

การจัดการความปลอดภัย ในอุตสาหกรรมเคมี

Safety Management in Chemical Industry

กันยรัตน์ โหละสุด



พิมพ์ครั้งที่ 4

การจัดการความปลอดภัยในอุตสาหกรรมเคมี
Safety Management in Chemical Industry

คำอุทิศ

หากคุณค่าทางความรู้และความคิดจากเอกสารเล่มนี้ ช่วยชี้แนะผู้อ่านให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการทำงาน และสามารถศึกษาค้นคว้าเพื่อเพิ่มพูนความรู้ด้วยตนเอง ผู้เขียนขออุทิศความดีดังกล่าวให้ผู้มีพระคุณต่อผู้เขียนทุกท่าน

สารบัญ

คำนำ	๗
บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความปลอดภัย	1
1.1 นิยามเกี่ยวกับความปลอดภัย	4
1.2 วิศวกรรมความปลอดภัยคืออะไร	7
1.3 ประวัติและเหตุการณ์ต่างๆของการเกิดอุบัติเหตุ	8
1.4 ทฤษฎีความสูญเสีย	11
แบบฝึกหัด บทที่ 1	22
บทที่ 2 การบริหารงานความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรม	23
2.1 หลักการและกิจกรรมในการปฏิบัติงานในส่วนของความปลอดภัย	23
2.2 การควบคุมการเกิดอุบัติเหตุและระบบการบริหารความปลอดภัยในโรงงาน	35
2.2.1 การจัดองค์การบริหารของบริษัท (หรือโรงงาน)	36
2.2.2 หน้าที่และความรับผิดชอบต่อความปลอดภัย	38
2.2.3 ระบบที่ใช้ในการระบุปัญหาหรือตรวจหาจุดอันตราย	38
2.2.4 การคัดเลือกและบรรจุคนงานเข้าทำงาน	38
2.2.5 การฝึกอบรมแนะนำงาน	38
2.2.6 การบันทึกอุบัติเหตุและการวิเคราะห์	39
2.2.7 การจูงใจ	39
2.2.8 โครงสร้างด้านการแพทย์และสาธารณสุข	39
2.3 การควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์โดยเฉพาะในสถานะที่มีกระแสไฟฟ้า	39
อุณหภูมิ ความดันสูง และสถานะที่ผิดปกติพร้อมที่จะเกิดอันตราย	
2.4 การเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลอย่างเหมาะสม	42
2.5 การประเมินผลโครงการความปลอดภัย	52
2.5.1 มาตรการการใช้เทคนิคในการควบคุมสาเหตุของการเกิดอันตราย	52
2.5.2 มาตรฐานการระงับและฟื้นฟูเหตุการณ์	69
2.5.3 แผนงานปรับปรุงแก้ไข	72
แบบฝึกหัด บทที่ 2	73
บทที่ 3 ความปลอดภัยในการทำงานกับสารเคมีและแก๊ส	77
3.1 ความปลอดภัยในการทำงานกับสารเคมี	78
3.1.1 ชื่อของสารเคมี	79
3.1.2 สถานภาพ (Physical State)	79
3.1.3 คุณสมบัติด้านเป็นพิษ (Toxic)	79
3.1.4 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)	80
3.1.5 สิ่งที่ไม่เข้ากันไม่ได้ (Incompatible)	82

3.1.6 คุณสมบัติการติดไฟ (Flammability)	82
3.2 แหล่งข้อมูล (Source of information)	83
3.3 ขนาดความรุนแรงของสารอันตราย (Severity of hazardous chemical)	83
3.4 การขนส่งสารเคมี (สารเคมีที่ส่งพร้อมกันไม่ได้)	87
3.5 การทำลายหรือกำจัดสารเคมีให้ปลอดภัย	90
3.6 ความปลอดภัยในการทำงานกับแก๊ส	96
3.6.1 การจัดแบ่งประเภทของแก๊สทางอุตสาหกรรมเคมี	96
3.6.2 คุณสมบัติของแก๊สที่มีผลต่อความปลอดภัยในการทำงาน	99
3.6.2.1 คุณสมบัติของแก๊ส	99
3.6.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ	99
(1) น้ำหนักโมเลกุล จุดเดือด และภาวะวิกฤต	99
(2) ค่าความร้อนแฝงในการระเหย (Latent heat of Evaporation)	99
(3) ค่าความหนาแน่น (Density) ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume)	100
(4) ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของแก๊สเหลวและแก๊ส	100
(5) ค่าความดันไอ	100
(6) ส่วนผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ	101
(7) สี กลิ่น และความเป็นพิษ	101
3.6.3 ความปลอดภัยกับการใช้แก๊สต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม	102
3.6.3.1 แก๊สออกซิเจน (Oxygen gas) และออกซิเจนเหลว (liquid oxygen)	102
3.6.3.2 แก๊สไฮโดรเจน (Hydrogen)	105
3.6.3.3 แก๊สเอทิลีน (Ethylene)	106
3.6.3.4 แก๊สอะเซทิลีน (Acetylene)	107
3.6.3.5 แก๊สแอมโมเนีย (Ammonia)	109
3.6.3.6 แก๊สคลอรีน (Chlorine Gas)	111
3.6.3.7 แก๊สพิเศษอื่น ๆ (Special gases)	112
3.6.3.8 ประเภทของแก๊สเชื้อเพลิง	115
3.6.4 มาตรการการใช้สารอย่างปลอดภัย	120
3.6.4.1 มาตรการทั่ว ๆ ไป ที่เกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้แก๊ส	120
3.6.4.2 อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับภาชนะบรรจุแก๊สความดันสูง	121
3.6.4.3 วิธีขนส่งแก๊ส (Transportation method)	125
3.6.4.4 มาตรการการตรวจและทดสอบถังแก๊ส	127
3.7 พิษวิทยา (Toxicology)	127
3.7.1 สารพิษเข้าสู่ร่างกายได้อย่างไร	128
3.7.2 วิธีกำจัดสารพิษโดยกลไกทางชีววิทยา	130
3.7.3 สารพิษที่เข้าไปในส่วนต่างๆของสิ่งมีชีวิต	130

3.7.4 การศึกษาเกี่ยวกับสารพิษ	131
3.7.5 ปริมาณสารพิษที่มีผลในการตอบสนอง (Dose versus response)	132
3.7.6 แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายการตอบสนอง	139
3.7.7 ความเป็นพิษสัมพัทธ์ (Relative toxicity)	142
3.7.8 ขอบเขตที่รับได้ (Threshold Limit Values)	143
แบบฝึกหัด บทที่ 3	146
บทที่ 4 สุขศาสตร์อุตสาหกรรม	149
4.1 มาตรฐานเกี่ยวกับความปลอดภัยในด้านสุขศาสตร์อุตสาหกรรม	149
4.2 การหาปัญหา (Identification)	152
4.3 การประเมินในเชิงคุณภาพ (Quality evaluation)	155
4.4 การประเมินการได้รับสารพิษ ผุ่น และ เสียง ในเชิงปริมาณ	158
4.5 การประมาณการได้รับสารพิษของพนักงาน	161
4.6 การประมาณอัตราการระเหยของของเหลว	164
4.7 การประมาณการได้รับสารเคมีของพนักงานอยู่ระหว่างการเดิมสารเคมี	167
4.8 การป้องกันและควบคุม (Prevention and control)	169
4.8.1 การควบคุมและป้องกันที่แหล่งหรือต้นเหตุ (Source)	169
4.8.2 การควบคุมและป้องกันที่ทางผ่านของอันตราย (Path)	170
4.8.3 การควบคุมและป้องกันที่ตัวผู้ปฏิบัติงาน (Receiver)	171
4.8.3.1 เครื่องกรองการหายใจ (Respirators)	173
4.8.3.2 การระบายอากาศ (Ventilation)	174
แบบฝึกหัด บทที่ 4	180
บทที่ 5 แบบจำลองการรั่วไหลของสารเคมี	183
5.1 การรั่วผ่านช่องเล็ก ๆ ในถังที่มีขนาดใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับรูรั่ว	185
5.2 การรั่วผ่านช่องเล็ก ๆ ในภาชนะรับความดัน	188
5.3 การรั่วผ่านช่องเล็ก ๆ ในท่อ (Flow of liquids through a hole pipes)	192
5.4 การรั่วไหลของแก๊สผ่านรูรั่วในภาชนะรับความดัน (Flow of vapor through holes)	203
5.5 การรั่วไหลของแก๊สผ่านรูรั่วในท่อ (Flow of vapor through pipes)	211
5.5.1 ในกรณีที่สมมติเป็น Adiabatic flows	211
5.5.2 ในกรณีที่สมมติเป็น Isothermal flows	215
5.6 การเกิดการกระจายและเดือดของของไหล (Flashing liquids)	223
5.7 การเกิดการล้นเนื่องมาจากการระเหยหรือการเดือด	229
แบบฝึกหัด บทที่ 5	230

บทที่ 6 การรั่วไหลของสารพิษและแบบจำลองการแพร่ออกสู่บรรยากาศ	239
6.1 พื้นฐานในการออกแบบ (Design basis)	240
6.2 โมเดลการรั่วไหลจากแหล่งกำเนิด (Source models)	242
6.3 โมเดลการแพร่ออกไปสู่บรรยากาศ (Dispersion models)	242
6.4 โมเดลของ พาสควิลและกิฟฟอร์ด (Pasquill-Gifford model)	248
6.5 ผลการเกิดโมเมนตัมในขณะที่ปลดปล่อย	263
6.6 ผลของลักษณะภูมิประเทศและโครงสร้าง (Effect of building and structure)	269
6.7 การขจัดบำบัดเป่าที่ทันใด (Release mitigation)	269
แบบฝึกหัด บทที่ 6	272
บทที่ 7 การเกิดเพลิงไหม้และการระเบิด	279
7.1 สามเหลี่ยมของไฟ	279
7.2 ความแตกต่างระหว่างไฟและการระเบิด	280
7.3 นิยามของค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการเกิด ไฟ และการระเบิด	280
7.4 ค่าเฉพาะของการเกิดไฟไหม้ในเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวและไอ	284
7.4.1 จุดวาบไฟของสารผสม (Flash point of multicomponent mixture)	285
7.4.2 ขอบเขตของการติดไฟ (Flammability limit)	287
7.5 การหาความเข้มข้นต่ำสุดของออกซิเจนที่ไม่สามารถติดไฟได้หรือการทำให้เฉื่อย	290
7.6 พลังงานต่ำสุดที่ทำให้เกิดการติดไฟ (Minimum Ignition Energy; MIE)	291
7.7 ระดับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการติดไฟอัตโนมัติ (AIT)	292
7.8 กระบวนการเกิดออกซิเดชันอัตโนมัติ (Autooxidation)	292
7.9 การที่ระบบถูกอัดแบบอะเดียบาติก (Adiabatic compression)	292
7.10 แหล่งของการเกิดไฟ (Ignition Sources)	294
7.11 ไอและละอองที่ติดไฟได้ (Sprays and mists)	294
7.12 การระเบิด (Explosion)	294
7.12.1 การระเบิดในพื้นที่จำกัด (Confined explosions)	297
7.12.2 Vapor Cloud Explosion (VCE)	302
7.12.3 Boiling Liquid Expanding Vapor (BLEVE)	303
7.12.4 Blast Damage due to Overpressure	303
7.12.5 Missile Damage	306
7.12.6 Blast Damage to People	306
7.12.7 Energy of Mechanical Explosion	306
7.12.8 พลังงานการเกิดระเบิดโดยมีปฏิกิริยาเคมีร่วมด้วย	307
แบบฝึกหัด บทที่ 7	311

บทที่ 8 การออกแบบเพื่อป้องกันการเกิดไฟและระเบิด	317
8.1 การป้องกันในเชิงวิศวกรรม	317
8.1.1 การทำให้เฉื่อย	317
8.1.2 ไฟฟ้าสถิต (Static electricity)	323
8.1.3 การระบายอากาศ (Ventilation)	327
ก. โรงงานที่เปิดให้มีการระบายอากาศ (Open air plants)	327
ข. โรงงานที่อยู่ในอาคารระบบปิด (Plant inside buildings)	328
8.2 การออกแบบระบบดับเพลิงเพื่อป้องกันอัคคีภัย	329
8.2.1 ประเภทอาคารและพื้นที่ป้องกัน	330
8.2.2 ระบบท่อเย็นและสายน้ำดับเพลิง	332
8.2.3 ระบบท่อน้ำดับเพลิงนอกอาคาร	335
8.2.4 ระบบหัวกระจายดับเพลิง	336
8.2.5 มาตรฐานการติดตั้งผกเคมีแห้งแบบมือถือ	341
8.2.6 การจัดบันไดหนีไฟและช่องเปิดภายในอาคาร	341
แบบฝึกหัด บทที่ 8	343
บทที่ 9 กฎหมายความปลอดภัย	347
9.1 กฎหมายว่าด้วยโรงงาน	348
9.2 กฎหมายเกี่ยวกับความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม ตามพระราชบัญญัติ โรงงาน	356
9.3 กฎกระทรวง 8 ฉบับของพระราชบัญญัติโรงงาน สำหรับผู้ประกอบการโรงงาน	368
9.4 มาตรฐานความปลอดภัยตามกฎหมายโรงงาน	371
9.5 มาตรฐานสิ่งแวดล้อม กับพระราชบัญญัติโรงงานใหม่	391
9.6 ประกาศกระทรวงมหาดไทยเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงาน	394
แบบฝึกหัด บทที่ 9	396
บรรณานุกรม	399
ดรรชนี	403
ภาคผนวก ก	iii
ภาคผนวก ข	xi
ภาคผนวก ค	xix
ภาคผนวก ง	xxiii
ภาคผนวก จ	xxv
ภาคผนวก ฉ	xxvii
ภาคผนวก ช	xxvii
ประวัติผู้เขียน	

คำนำ

หนังสือการบริหารความปลอดภัยสำหรับวิศวกรเคมีนี้ได้จัดทำขึ้นเป็นฉบับที่สามหลังจากพิมพ์ครั้งที่ 1 ในปี พ.ศ. 2547 ครั้งที่ 2 ในปี พ.ศ. 2549 ครั้งที่ 3 ในปี พ.ศ. 2552 โดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อจำหน่ายให้แก่ นักศึกษาวิศวกรรมเคมีหรือผู้ที่สนใจ และ ในฉบับนี้ พ.ศ. 2554 ได้มีการปรับปรุงเพื่อส่งโรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพให้กับผู้อ่านได้กว้างขึ้น จึงได้มีการแก้ไขเนื้อหาบางส่วนเพื่อให้เหมาะสมและทันสมัยมากขึ้น จึงเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาผู้สนใจในยุคที่เทคโนโลยีและเศรษฐกิจที่มีความก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วเช่นในปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องรับและใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อเพิ่มคุณภาพและปริมาณของผลผลิต ซึ่งในบางกรณีจะเห็นได้ชัดว่าการพัฒนาเหล่านี้ อาจจะได้ไม่ได้เน้นในเรื่องของความปลอดภัย จึงอาจกลายเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายที่เนื่องมาจากความไม่รู้ไม่เข้าใจในส่วนบุคคลหรือขาดการอบรม หรืออาจจะเป็นความเสี่ยงที่เกิดจากสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัยในโรงงาน ความเสี่ยงเหล่านี้ในบางครั้งก็จะเป็นอุบัติเหตุซึ่งเราอาจจะเคยได้ยินได้ฟังจากสื่อต่าง ๆ อยู่บ่อย ๆ ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปแล้วคนส่วนมากจะเห็นว่าความปลอดภัยเป็นเรื่องที่สำคัญ ซึ่งอาจจะเห็นได้จากป้าย “ปลอดภัยไว้ก่อน” ที่ติดตามโรงงานหรือสถานที่ประกอบการหลาย ๆ แห่ง และจากการรณรงค์ การชักชวน การให้รางวัล การติดโปสเตอร์ และการบังคับใช้กฎหมายว่าด้วยความปลอดภัยในโรงงาน แต่การที่จะขจัดปัญหาซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัยในโรงงาน เจ้าของกิจการจำเป็นต้องมองไปถึงเรื่องของการคุ้มครอง การลงทุนเท่าไรจึงเหมาะสม หากลงทุนมากไปกำไรของบริษัทก็จะน้อย แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าลงทุนน้อยไปก็จะทำให้เกิดผลกระทบในเรื่องความสูญเสียซึ่งอาจจะมากกว่าที่ประมาณเอาไว้เสียอีก วิศวกรจึงมีส่วนช่วยต่อการตัดสินใจโดยใช้พื้นฐานของความเข้าใจในเรื่องความปลอดภัยซึ่งจะส่งผลให้การตัดสินใจมีความถูกต้อง และช่วยให้เกิดความมั่นใจ ทั้งเจ้าของกิจการ พนักงาน รวมทั้งผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholder) ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดอีกด้วย

เรื่องของความปลอดภัยโดยทั่วไปแล้วจะมีเนื้อหาที่กว้างมาก หนังสือเล่มนี้เขียนจากประสบการณ์การทำงานของผู้เขียนที่เคยเป็นวิศวกรโรงงานในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตของประเทศญี่ปุ่น และมีโอกาสได้รับการฝึกงานในประเทศญี่ปุ่น และมีโอกาสทำงานที่โรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จังหวัดระยอง ซึ่งงานส่วนใหญ่จะเน้นงานที่ต้องคำนึงถึงด้านความปลอดภัยค่อนข้างมาก บวกกับประสบการณ์การทำงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับความปลอดภัย ประกอบกับหนังสือเล่มนี้ใช้หนังสืออ้างอิงที่ได้เลือกบางส่วนมาประกอบกันขึ้นเป็นหนังสือที่ต้องการที่จะช่วยให้ผู้อ่านทั้งผู้ที่มิใช่วิศวกรหรือผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีความเข้าใจ และให้ความสำคัญในเรื่องความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีซึ่งมีความเสี่ยงต่อการแพร่ การติดไฟและการระเบิดในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งถ้าหากเกิดอุบัติเหตุขึ้นแล้วจะมีความสูญเสียอย่างมาก โดยทั่วไปแล้วในโรงงานอุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมและป้องกันอย่างรัดกุม มิให้เกิดความประมาทซึ่งเป็นเหตุทำให้เกิดการสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินซึ่งจะมีผลต่อความรู้สึกของคนในโรงงาน สิ่งแวดล้อมที่ถูกทำลายและสร้างความเสียหายจนประเมินค่าไม่ได้ ระดับของการควบคุมความปลอดภัยจึงเป็นสิ่งสำคัญที่วิศวกรจะต้องประเมินและปฏิบัติการเพื่อนำมาสู่ผลประโยชน์สูงสุดของทุก ๆ ฝ่าย

ในหนังสือเล่มนี้ตอนช่วงต้น ๆ ในบทที่ 1 และ บทที่ 2 จะเน้นในเรื่องความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความปลอดภัยและการบริหารงานความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรม การบ่งชี้อันตรายและการประเมินความเสี่ยง รวมทั้งการควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ส่วนบทที่ 3 จะเป็นเรื่องความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงานกับสารเคมีและแก๊ส ซึ่งวิศวกรทุกคนควรที่จะเข้าใจเพื่อที่จะได้เอาไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในบทนี้ได้รวมเอาแบบจำลองในการทำนายการตอบสนองของสารพิษเข้าไว้ด้วย สารพิษในที่นี้อาจจะเป็นฝุ่น ละออง ไอ หรือมองในรูปความดัน และการแผ่รังสี ก็ได้ พร้อมกับแสดงตัวอย่างการประยุกต์ต่าง ๆ เช่น การคำนวณหาระยะรัศมีของแรงระเบิดพร้อมหาวิธีการในการควบคุมป้องกันในด้านการออกแบบที่ปลอดภัยไว้รองรับกับปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้ เป็นต้น ส่วน ใน บทที่ 4 จะเป็นเรื่องสุทธศาสตร์อุตสาหกรรมซึ่งบทนี้จะเป็นเรื่องการหาปัญหาและการประเมินปัญหาของการได้รับสารเพื่อที่จะป้องกันและควบคุมทั้งแหล่งกำเนิด วิธีของการผ่านเข้าสู่ร่างกาย และป้องกันที่ตัวบุคคล บทที่ 5 จะกล่าวถึงแบบจำลองการรั่วไหลอย่างจากแหล่งกำเนิดในลักษณะต่าง ๆ การป้องกันหลังจากเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ต่อเนื่องไปถึงบทที่ 6 จะเป็น การรั่วไหลออกมาสู่บรรยากาศในรูปแบบของก๊าซพิษ หรือฝุ่น ทั้งในลักษณะต่อเนื่องหรือเรียกว่าพวย (Plume) และแบบไม่ต่อเนื่องหรือ พuff (Puff) ซึ่งจะใช้ลักษณะของปัจจัยทางภูมิประเทศและภูมิอากาศเป็นองค์ประกอบ โดยใช้โมเดลของ พาสเควและกิปฟอร์ดในการอธิบาย ผู้อ่านสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในเรื่องการควบคุม ป้องกันสารพิษรั่วไหล และการอพยพผู้คนในกรณีฉุกเฉิน ได้ บทต่อไปคือบทที่ 7 จะอธิบายถึงธรรมชาติของการเกิดเพลิงไหม้ ค่าเฉพาะของการเกิดเพลิงไหม้ในเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวและไอ และการระเบิดในลักษณะต่าง ๆ ของฝุ่นหรือไอสารเคมี ต่อด้วยบทที่ 8 ซึ่งจะเป็นการป้องกันและควบคุมการเกิดเพลิงไหม้และการระเบิด ไม่ว่าจะเป็นสาเหตุจะเป็นเรื่องการลัดไฟฟ้าสถิตที่ก่อให้เกิดประกายไฟ การลดการสัมผัสของสารไวไฟในอากาศร้อน การลดการเสียดีเนื่องจากความร้อน และการระบายอากาศเพื่อลดความเข้มข้นของสารติดไฟ เป็นต้น พร้อมมีการออกแบบและใช้อุปกรณ์ ระบบต่าง ๆ เพื่อทำให้เกิดสภาพการณ์ที่ปลอดภัย รวมทั้งการออกแบบระบบดับเพลิง เพื่อป้องกันอัคคีภัย ท้ายสุดในบทที่ 9 จะกล่าวถึงเรื่องกฎหมายพื้นฐานซึ่งเกี่ยวกับความปลอดภัยที่วิศวกรจะต้องทราบเพื่อนำไปใช้ในการทำงานต่อไป

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นประโยชน์แก่นักศึกษา และผู้สนใจทั่วไป

กันยรัตน์ โหละสุต

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 200 เล่ม	29 เมษายน 2547 โดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พิมพ์ครั้งที่ 2 จำนวน 200 เล่ม	10 ตุลาคม 2549
พิมพ์ครั้งที่ 3 จำนวน 200 เล่ม	29 ตุลาคม 2552
พิมพ์ครั้งที่ 4 จำนวน.....	

บทที่ 1

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความปลอดภัย

ปัจจุบันพบว่าการแข่งขันทั้งทางด้านเศรษฐกิจและการเมือง ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประกอบกับสภาวะของโลกาภิวัตน์ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างระบบต่าง ๆ ที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นและความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของธรรมชาติมีความซับซ้อนมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของความซับซ้อนนี้ส่งผลให้พฤติกรรมบางอย่างของระบบเป็นผลเสียที่เกิดแก่มนุษย์รวมถึงผลเสียที่เกิดกับสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่นการเกิดวิกฤติเศรษฐกิจในปี ค.ศ.1997 เป็นผลเสียต่อระบบเศรษฐกิจและการเงินในหลายประเทศในแถบเอเชีย การระบาดของโรคระบบหายใจล้มเหลวเฉียบพลัน (SARS) ในต้นปี ค.ศ. 2003 และเกิดการระบาดของโรคไข้หวัดนก (Avian influenza) ในต้นปี ค.ศ. 2004 หรือในปัจจุบันที่มาแรงคือไข้หวัด 2009 ซึ่งนอกจากจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพและชีวิตมนุษย์แล้วยังส่งผลเสียหายทางเศรษฐกิจอย่างมากด้วย ฉะนั้นจึงเป็นความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาทางที่จะป้องกันหรือลดความเสียหายและอันตรายที่เกิดขึ้นต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

วิชาว่าด้วยความปลอดภัยซึ่งเป็นวิชาที่ศึกษาหาทางป้องกันอันตรายและลดความเสียหายที่เกิดขึ้น ผลทำให้วิชาความปลอดภัยจึงมีความสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยทั่วไปแล้วเรื่องความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ อาจะเกิดขึ้นในระบบเศรษฐกิจและการเงิน ระบบสังคมและการเมืองระบบสิ่งแวดล้อมและท้ายที่สุดเสียหายต่อสุขภาพ ชีวิตและจิตใจที่มีสาเหตุมาจากการกระทำของมนุษย์ หรืออาจจะมีสาเหตุมาจากธรรมชาติ ในสมัยก่อนความเสียหายเรื่องอุบัติเหตุ จะจัดให้อยู่ในประเภทที่มีสาเหตุมาจากธรรมชาติ แต่ปัจจุบันอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบางแห่งอาจจะถือว่ามีสาเหตุมาจากทั้งธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์เช่นการตัดไม้ทำลายป่า ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งความก้าวหน้าทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของระบบ เช่นทฤษฎีของความยุ่งเหยิง (Chaos theory) และทฤษฎีความซับซ้อน (Complexity theory) ช่วยให้นักวิทยาศาสตร์สามารถเข้าใจและทำนายพฤติกรรมของระบบที่อาจจะทำให้เกิดความเสียหายได้ถูกต้องแม่นยำกว่าในอดีต

ในอดีตการศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยและการป้องกันความเสียหายเริ่มขึ้นโดยคำนึงถึงสุขภาพและชีวิตของมนุษย์เป็นหลัก ประมาณ 400 ปีก่อนคริสต์ศักราช ฮิปโปเครติส (Hippocrates) ชาวกรีกซึ่งปัจจุบันถือว่าเป็นบิดาทางการแพทย์ได้ศึกษาอันตรายของตัวก่อต่อนงานทำเหมืองตะกั่ว (Weisburge, 2001) ต่อมาในสมัยโรมัน Gaius Plinius Secundus (ซึ่งมีชีวิตอยู่ระหว่าง ค.ศ. 23-79) ได้ศึกษาเกี่ยวกับไอปรอทและกำมะถัน Secundus ได้แนะนำให้สวมหน้ากากที่ทำด้วยกระดาษปัสสาวะสัตว์เพื่อกรองอากาศจากการทำงานที่เกี่ยวข้องกับไอปรอทและไอกำมะถัน (Walter, 2000) หลังจากนั้นไม่นานระหว่าง ค.ศ. 129 ถึง ค.ศ. 216 กาเลนแห่งโรมัน (Galen of Pergamum) ได้ศึกษาอันตรายของไอของกรดกำมะถันในเมืองทองแดง (Weisburge, 2001) แต่หลังการสลายตัวของอาณาจักรโรมัน ก็ไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับพิษของสารอีกเลย จนถึงต้นคริสต์ศตวรรษที่ 13 หรือประมาณ ค.ศ. 1205 ในสมัยคิงส์จอห์นที่ 1 (King John I) ของประเทศอังกฤษได้มีการออกกฎหมายควบคุมคุณภาพของอาหารเป็นฉบับแรกของโลกกฎหมายฉบับนี้มีชื่อว่า Assize of Bread ในปี ค.ศ. 1205 กฎหมายฉบับนี้เป็นารควบคุมคุณภาพของขนมปังที่ขายในประเทศอังกฤษไม่ให้มีการเจือปน การศึกษาพิษของสารกลับมาเฟื่องฟูในยุโรปอีกครั้ง เมื่อ ยูริช เอเลบอค (Ulrich Ellenbog) ชาวสวิสได้เขียนบทความเกี่ยวกับไอพิษในปี ค.ศ. 1473 ในบทความนี้ เอเลบอค ได้กล่าวถึงพิษของไอปรอท ไอตะกั่ว ไอของเงิน และแก๊สพิษซึ่งเกิดจากการเผาถ่านหิน (แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์) ต่อมาในปี ค.ศ.1538 นักเคมีชาวสวิสชื่อ นาย

ฟิลิปปัส เออโคลัส พาราเซิร์ซ (Phlippus Aurcolus Paracellus) ซึ่งมีชีวิตอยู่ระหว่าง ค.ศ. 1493-1541 ซึ่งปัจจุบันถือว่าเป็นบิดาแห่งพิษวิทยา (Toxicology) ได้เสนอหลักการของปริมาณการได้รับสารในช่วงเวลาที่กำหนดให้หนึ่งหรือ โดส (Dose) และการชี้ให้เห็นว่าอันตรายที่เกิดจากสาร ใด ๆ ที่เกิดต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตนั้นขึ้นอยู่กับโดสของสารนั้น ๆ (Weisburge, 2001; Walter, 2000)

ในขณะที่การศึกษาเกี่ยวกับความเป็นพิษของสารต่างๆ กำลังเป็นที่นิยมในยุโรประหว่างคริสต์ศตวรรษที่ 16 ขณะนั้นมีการตื่นตัวทางด้านการเดินเรือซึ่งเป็นผลมาจากการค้นพบทวีปอเมริกาโดย Columbus ในตอนปลายคริสต์ศตวรรษที่ 15 ในปี ค.ศ. 1492 การแสวงหาอำนาจทั้งทางการเมืองและทางเศรษฐกิจของผู้มีอำนาจกษัตริย์ และราชวงศ์ของยุโรป ทำให้มีการลงทุนและสนับสนุนการบุกเบิกเพื่อหาแผ่นดินและเส้นทางการเดินเรือใหม่ในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 16 สูงมาก แต่การเดินเรือสมัยนั้นในน่านน้ำยังไม่มีแผนที่เป็นเหตุทำให้เกิดเรืออัปปางและมีการสูญหายของเรือบ่อย ๆ เป็นผลให้การศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของทรัพย์สินและเงินทอง (เรือและสินค้าที่บรรทุกบนเรือ) จึงเริ่มมีการพัฒนาขึ้นในยุคนี้ (การศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยในสมัยก่อนหน้านั้นได้มุ่งเน้นถึงความปลอดภัยเฉพาะชีวิตและสุขภาพของมนุษย์) ผลของความก้าวหน้าทางคณิตศาสตร์โดยเฉพาะการยอมรับการใช้ตัวเลขศูนย์ซึ่งเริ่มใช้ครั้งแรกในอินเดียมาใช้ในยุโรปเป็นครั้งแรก และการใช้ระบบเลขอารบิก (Arabic) ในการทำบัญชีแทนระบบเลขโรมันของยุโรป ประกอบกับการพิจารณาการทำบัญชีแบบรายรับรายจ่ายซึ่งนายลูคา พาซิโอลิ (Luca Pacioli) ผู้ชื่อว่าเป็นบิดาแห่งระบบการทำบัญชี ได้เป็นผู้รวบรวมและตีพิมพ์ในปี ค.ศ. 1494 (Miller, 1993) ทำให้การศึกษาด้านความปลอดภัยของทรัพย์สินเงินทองมีการพัฒนาขึ้นได้ในคริสต์ศตวรรษที่ 16 ระบบการทำบัญชีแบบรายรับรายจ่ายจึงได้กลายเป็นรากฐานของการตรวจสอบความเสียหายของการลงทุน (Martin, 1976)

ความสำเร็จของการทำแผนที่สำหรับการเดินเรือ ทำให้ประเทศในยุโรปหลายประเทศเช่น โปตุเกส สเปน อังกฤษ และฮอลันดา ครองเส้นทางการเดินเรือที่สำคัญ ๆ ของโลกในสมัยนั้น เรือสินค้าของประเทศเหล่านั้นได้ตระเวนไปเทียบท่าและค้าขายยังเมืองท่าใหญ่ ๆ ทุกเมืองท่าของโลก การพัฒนาของการทำแผนที่สำหรับการเดินเรือให้มีความถูกต้องและความแน่นอนมากขึ้น ทำให้อุบัติเหตุของการเดินเรือลดลง แต่ความไม่แน่นอนของสภาพอากาศยังมีส่วนต่อการอัปปางของเรือ ซึ่งถึงแม้ว่าจำนวนเรือที่อัปปางจะลดลงแต่ก็ยังมีอยู่เรื่อย ๆ เพื่อที่จะลดความเสี่ยงที่ทำให้เกิดความเสียหาย หลักการของการโยกย้ายของความเสี่ยงก็เริ่มพัฒนาขึ้นในประเทศอังกฤษในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 17 ในปี ค.ศ. 1688 ที่ลอนดอนกลุ่มของเจ้าของเรือ พ่อค้าและนายธนาคารไปประชุมกันที่ร้านกาแฟของนายเอ็ดเวิร์ด ลอยด์ (Edward Lloyd) เพื่อที่จะกระจายการรับความเสี่ยงของการเสียหายของสินค้า หลักการของการกระจายความเสี่ยงจึงกลายเป็นรากฐานของการประกันซึ่งในปี ค.ศ. 1782 บริษัท ลอยด์แห่งลอนดอน (Lloyd of London) ได้ออกกรรมธรรม์ประกันภัยด้านความเสียหายทางทะเล กรรมธรรม์ฉบับนี้ถือว่าเป็นกรรมธรรม์ที่ต้องตามกฎหมายฉบับแรกของโลกและหลังจากนั้นร้านกาแฟของนายลอยด์จึงได้เปลี่ยนกิจการกลายเป็นที่ตั้งของบริษัทประกันภัยลอยด์ (Lloyd Insurance) ของประเทศอังกฤษ และเป็นบริษัทประกันภัยแห่งแรกของโลก

ผลของการค้นพบเส้นทางการเดินเรือใหม่นอกจากจะทำให้มีการค้นพบแหล่งวัตถุดิบและตลาดใหม่แล้วยังส่งผลให้ประเทศซึ่งเป็นเจ้าของเรือเหล่านั้นต้องแข่งขันกันทั้งทางด้านเศรษฐกิจ การเมืองและเทคโนโลยีเพื่อที่จะรักษาและขยายแหล่งวัตถุดิบและตลาดให้กว้างขวางขึ้น และผลการแข่งขันทางด้านเทคโนโลยีใน

คริสต์ศตวรรษที่ 18 เป็นผลให้เป็นครั้งแรกในประวัติศาสตร์ของมนุษย์ที่สามารถใช้เครื่องจักรทำงานแทนมนุษย์ แทนที่จะใช้สัตว์หรือธรรมชาติ เช่น ลม ดังที่เคยทำมาก่อน ในปี ค.ศ. 1712 นาย โทมัส นิวโคเมน (Thomas Newcomen) ได้ประดิษฐ์เครื่องจักรไอน้ำเป็นเครื่องแรกของโลกซึ่งสามารถใช้สูบน้ำได้ หลังจากนั้นอีก 57 ปี เจมส์ วัตต์ (James Watt) ได้พัฒนาเครื่องจักรไอน้ำของนิวโคเมนให้มีขนาดเล็กกะทัดรัดและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และได้จดสิทธิบัตรไว้ในปี ค.ศ. 1769 (Usher, 1954) หลังจากนั้นไม่นานการใช้เครื่องจักรไอน้ำจึงแพร่เข้าไปยังโรงงานต่าง ๆ ในเกาะอังกฤษอย่างรวดเร็ว ทำให้เป็นจุดเริ่มต้นของการปฏิวัติทางอุตสาหกรรม การใช้เครื่องจักรทำงานหรือใช้เครื่องจักรช่วยคนงานในการผลิต ทำให้ประสิทธิภาพของการผลิตสินค้าหลาย ๆ อย่างสูงขึ้นทำให้เจ้าของกิจการโรงงานเหล่านี้มีรายได้มากขึ้น เพื่อที่จะเพิ่มรายได้จึงเกิดการขยายและสร้างโรงงานใหม่เพื่อเพิ่มการผลิตที่สูงขึ้น เมื่อโรงงานเพิ่มมากขึ้นทำให้ต้องใช้คนงานมากขึ้นตามไปด้วย สังคมที่เคยเป็นสังคมที่ขึ้นอยู่กับเกษตรจึงเปลี่ยนเป็นสังคมที่ขึ้นอยู่กับอุตสาหกรรม ในขณะที่การปฏิวัติทางอุตสาหกรรมซึ่งเริ่มขึ้นในเกาะอังกฤษและได้แพร่ขยายไปยังยุโรปและอเมริกา การศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของสุขภาพและชีวิตมนุษย์ยังมีความสำคัญมากขึ้น ในปี ค.ศ. 1700 หนังสือชื่อ “De Morlois Artificum Diatriba” เขียนโดย เบอร์โนเดียร์ แรมมาสสินี (Bernordia Ramazzini) ชาวอิตาลี (ซึ่งมีชีวิตอยู่ระหว่าง ค.ศ. 1633-1714) ได้กลายเป็นหนังสือขายดีของยุโรป (Weisburge, 2001) ในหนังสือเล่มนี้แรมมาสสินีได้สรุปถึงอันตรายและโรคที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานในอาชีพต่าง ๆ 52 อาชีพและชี้แนะว่าอาชีพคนขุดเหมืองแร่เป็นอาชีพที่อันตรายสูงที่สุด ในขณะที่เดียวกันในขณะนั้นการปฏิวัติทางอุตสาหกรรมเป็นการเริ่มใช้เครื่องจักรชนิดใหม่ วัตถุดิบชนิดใหม่ วิธีการการผลิตแบบใหม่ สภาพสิ่งแวดล้อมในการทำงานใหม่ ซึ่งสิ่งใหม่ๆ เหล่านี้ได้เพิ่มศักยภาพของการได้รับการบาดเจ็บและเป็นอันตรายแก่ชีวิตของคนงานมากขึ้น นอกจากนี้แล้วการปฏิวัติทางอุตสาหกรรมยังเป็นผลทำให้มีการสร้างบ้านให้คนงานอยู่ใกล้กับโรงงานและบ้านแต่ละหลังอยู่ติด ๆ กัน ดังนั้นบริเวณรอบ ๆ โรงงานจึงเริ่มเกิดการแออัดของประชากรมากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้สภาพที่อยู่อาศัยและสังคมของคนงานเปลี่ยนไปจากเดิมมาก ต่อมาในปี ค.ศ. 1775 เพอร์ซิเวอร์ พอตต์ (Percival Pott) ซึ่งมีอาชีพเป็นหมอในกรุงลอนดอนได้เขียนบทความเกี่ยวกับโรคมะเร็งในทางเดินหายใจของคนที่ทำความสะอาดปล่องไฟ (Walter, 2000) ซึ่งบทความนี้มีอิทธิพลมากในยุโรปและเป็นเหตุให้คนงานที่ทำความสะอาดปล่องไฟในยุโรปได้รวมตัวกันเป็นสมาคม และออกกฎหมายการทำงานและการแต่งกายให้เหมาะสมเพื่อรักษาสุขภาพของคนงาน หลังจากมีการตีพิมพ์เผยแพร่ถึงอันตรายในการทำงานในปล่องไฟ ส่งผลทำให้พนักงานที่ทำงานในปล่องไฟมีสุขภาพที่ดีขึ้น ซึ่งแตกต่างจากคนงานในเหมือง ถึงแม้ว่าแรมมาสสินีได้สรุปไว้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1700 ว่าอาชีพคนขุดเหมืองแร่เป็นอาชีพที่อันตรายสูง แต่สภาพการทำงานในเหมือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพการทำงานในเหมืองถ่านหินก็ยังไม่ดีขึ้น จนกระทั่งท่านเซอร์แฮมเฟอริ์ เดวี (Sir Humphrey Davy) ได้ประดิษฐ์ตะเกียงนิรภัย (Safety lamp) เพื่อใช้ในเหมืองถ่านหินในปี ค.ศ. 1815 การทำงานในเหมืองถ่านหินในอังกฤษจึงเริ่มปลอดภัยมากขึ้น ต่อมาในปี ค.ศ. 1833 รัฐสภาอังกฤษ (Walter, 2000) ได้ออกกฎหมายเกี่ยวกับโรงงาน (The Factory Act) เพื่อควบคุมการใช้แรงงานเด็ก และลดความเสียหายแก่คนงานในกรณีที่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้น ซึ่งไม่ใช่ความผิดของคนงานแต่เพียงฝ่ายเดียว อย่างไรก็ตามคนงานได้รับประโยชน์จากกฎหมายฉบับนี้น้อยมาก ทั้งนี้ก็เพราะว่าคนงานจะต้องเป็นฝ่ายพิสูจน์ว่าตัวเองไม่ได้เป็นต้นเหตุของอุบัติเหตุ และจำที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการพิสูจน์ด้วยตนเอง ในปี ค.ศ. 1880 รัฐสภาอังกฤษได้ออกกฎหมายเกี่ยวกับการรับผิดชอบของผู้ว่าจ้าง (Employer's Liability Act) แต่คนงานในอังกฤษต้องรอจนถึงปี ค.ศ. 1897 ว่าจะได้กฎหมายเกี่ยวกับการชดเชยค่าเสียหายโดยเฉพาะเมื่อรัฐสภาได้

ออกกฎหมายชดเชยความเสียหายของแรงงาน (Working Man's Compensation Act) เพื่อให้แทน Employer's Liability Act ซึ่งออกมาในปี ค.ศ.1880 ผลทำให้กฎหมายเกี่ยวกับการชดเชยค่าเสียหายของแรงงานเริ่มเป็นที่รู้จักในยุโรปและข้ามไปถึงทวีปอเมริกาด้วย ในปีค.ศ. 1908 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ออกกฎหมาย Federal Employer's Liability Act 1908 เพื่อใช้บังคับการชดเชยค่าเสียหาย (Rothstein, 1990)

การปฏิวัติอุตสาหกรรมทำให้วิศวกรมีบทบาทเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากจะต้องเป็นผู้นำในเรื่องการออกแบบ ผู้ควบคุมการสร้าง ผู้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรและเป็นผู้ที่จะต้องรับผิดชอบและป้องกันไม่ให้งานของเครื่องจักรเป็นอันตรายต่อคนงาน แต่ในปัจจุบันวิศวกรจำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของประชาชนด้วย ผลของการขัดแย้งทางการเมืองในปัจจุบันเป็นผลให้เกิดกระบวนการผู้ก่อการร้ายขึ้นในหลาย ๆ แห่งของโลก สำหรับผู้ก่อการร้ายเหล่านี้การก่อวินาศกรรมต่อโรงงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานอุตสาหกรรมเคมีขนาดใหญ่ก็เปรียบเสมือนการใช้อาวุธที่มีอำนาจในการทำลายสูง (Weapon of Mass Destruction; WMD) ชนิดหนึ่ง ผลคือวิศวกรในปัจจุบันต้องมีหน้าที่ที่รับผิดชอบมากกว่าในอดีตไม่เฉพาะการทำหน้าที่ป้องกันอันตรายแก่คนงานเท่านั้น วิศวกรต้องหาทางที่จะป้องกันอันตรายไม่ให้เกิดแก่ประชาชน และสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะผลกระทบต่อชุมชนรอบ ๆ โรงงานพร้อมกันด้วย ดังนั้นการศึกษากฎหมายที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยต่อสุขภาพ ทรัพย์สิน สิ่งแวดล้อม และกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับผู้ก่อการร้ายจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับวิศวกรในปัจจุบัน จึงขอเริ่มเข้าสู่เนื้อหาตามลำดับหัวข้อต่อไปนี้

1.1 นิยามเกี่ยวกับความปลอดภัย

ในปัจจุบันเมื่อกล่าวถึงความปลอดภัย (Safety) ก็ะหมายถึงการกระทำที่ป้องกันหรือไม่ทำให้เกิดความเสียหายและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ชีวิต ทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อม การที่จะสร้างระบบความปลอดภัยขึ้นได้จำเป็นที่จะต้องเข้าใจความหมายของบางคำที่เราพบเห็นในเรื่องความปลอดภัยเช่น อันตราย (Hazard) ความเสี่ยง (Risk) หรืออุบัติเหตุ (Accident) เป็นต้น

อันตราย (Hazard) หมายถึงสิ่งที่มีศักยภาพที่จะทำให้เกิดความเสียหายต่อสุขภาพ ชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม สิ่งที่เป็นอันตรายนี้รวมไปถึง สาร กระบวนการ (Process) หรือกรรมวิธีและพฤติกรรมของมนุษย์ สิ่งที่เป็นอันตรายนี้อาจจะมีระดับของความเป็นอันตรายมากหรือน้อยแตกต่างกันไป

การบ่งชี้อันตราย (Hazard Identification) เป็นการแจกแจงอันตรายต่าง ๆ ที่มีและแอบแฝงอยู่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการทุกขั้นตอนตั้งแต่การรับจ่าย การเก็บ การขนถ่ายหรือการขนย้าย การใช้ การขนส่งวัตถุพิษ เชื้อเพลิง สารเคมีหรือวัตถุอันตราย ผลิตภัณฑ์และวัตถุผลพลอยได้ กระบวนการผลิต วิธีการปฏิบัติงาน เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต และกิจกรรมสภาพการณ์ต่าง ๆ ภายในโรงงานเดียวกัน

ความเสี่ยง (Risk) ความหมายของความเสี่ยงได้มีการเปลี่ยนแปลงเรื่อยมาตามกาลเวลา ในปัจจุบันความเสี่ยงหาได้จากผลคูณของขนาดและโอกาสของความเสียหายที่จะเกิดขึ้นของสิ่งที่เป็นอันตราย (Hazard) ความเสี่ยงเป็นเรื่องของอนาคต ดังนั้นความเสี่ยงจึงไม่มีในเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมาแล้วในอดีตหรือกำลังเกิดขึ้นอยู่ในปัจจุบัน ในคริสต์ศตวรรษที่ 15 ก่อนการค้นพบทวีปอเมริกาโดยโคลัมบัส (Columbus) นักเดินเรือของยุโรปสมัยนั้นใช้คำว่าความเสี่ยงเพื่อหมายถึงโอกาสที่จะสูญหายไปบนน้ำที่ยังไม่มีการทำแผนที่หรือพื้นน้ำที่ยังไม่

เป็นที่รู้จัก ต่อมาเมื่อเริ่มมีการทำประกันขึ้นในคริสต์ศตวรรษที่ 18 ดังที่กล่าวข้างต้น ความเสี่ยงจึงรวมเอาเรื่องของเวลาเข้าไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเวลาในอนาคต ผู้รับประกันจำเป็นต้องมีการคำนวณหรือคาดการณ์ถึงผลที่จะเกิดขึ้นในอนาคตของผู้ทำประกัน ความเสี่ยงในความหมายนี้จึงเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับกันในสังคมที่เห็นอนาคตเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องทำการควบคุม หรือในสังคมที่เห็นอนาคตในการที่จะเป็นช่องทางในการแสวงหาผลประโยชน์ รวมทั้งระบบทุนนิยมที่กำลังระบาดในโลกปัจจุบันนี้ก็เป็นระบบที่มีรากฐานมาจากการพยายามควบคุมความเสี่ยงและควบคุมอนาคต ในระบบทุนนิยมนั้นการคาดคะเนเรื่องกำไรหรือขาดทุนในอนาคตจึงเป็นเรื่องที่จะต้องทำตลอดไปทุก ๆ วัน การคำนวณหาความเสี่ยงจึงเป็นเรื่องหลักที่เลี่ยงไม่ได้ ความก้าวหน้าทางเศรษฐกิจของระบบทุนนิยมจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความแม่นยำของการคำนวณหาความเสี่ยง ซึ่งความเสี่ยงสามารถหาได้จากสมการที่ (1.1)

$$\text{ความเสี่ยง} = \text{ความอันตราย} \times \text{โอกาสที่อันตรายจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต} \quad \dots(1.1)$$

จากสมการ (1.1) จะเห็นว่าความเสี่ยงไม่ใช่อันตราย ของที่มีความเป็นอันตรายสูงแต่ไม่มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้เลยก็มีความเสี่ยงต่ำ (เป็นศูนย์) ในขณะที่เดียวกันโอกาสที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอาจจะไม่เป็นค่าคงที่แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์และเวลา

โดยทั่วไปแล้วความเสี่ยงแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

1. ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่นภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินไหว ไฟป่า พายุ และน้ำท่วม จากประวัติศาสตร์ของมนุษยชนนั้น จะเห็นได้ว่ามนุษย์คุ้นเคยกับความเสี่ยงที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติมาก และส่วนมากมนุษย์สามารถหลีกเลี่ยงจากอันตรายและอยู่รอดมาได้ มนุษย์จึงมีความคุ้นเคยกับความเสี่ยงชนิดนี้มาตั้งแต่มนุษย์เริ่มวิวัฒนาการมาเป็นมนุษย์ และก่อนที่จะสามารถคำนวณหาความเสี่ยงได้ถูกต้องเป็นเวลาหลายแสนปี
2. ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์เอง มนุษย์ยังมีประสบการณ์ต่อความเสี่ยงชนิดนี้น้อยมากและในบางกรณียังไม่มีประสบการณ์เลยเช่นความเสี่ยงในระยะยาวของสิ่งมีชีวิตที่เป็นผลมาจากวิศวกรรมพันธุกรรม

สมัยคริสต์ศตวรรษที่ 21 อาจจะเป็นครั้งแรกในประวัติศาสตร์ของมนุษย์ที่มนุษย์จะต้องเผชิญกับความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์เองบ่อยกว่าความเสี่ยงที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติโอกาสที่จะอยู่รอดของมนุษย์ในอนาคตจึงขึ้นอยู่กับความสามารถของมนุษย์เองที่จะลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้นโดยการกระทำของมนุษย์

การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) หมายถึงกระบวนการวิเคราะห์ถึงปัจจัยหรือสภาพการณ์ต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้อันตรายที่มีและแอบแฝงอยู่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุและอาจก่อให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ เช่นการเกิดเพลิงไหม้ การระเบิด การรั่วไหลของสารเคมีหรือวัตถุอันตรายเป็นต้น โดยพิจารณาถึงโอกาสและความรุนแรงของเหตุการณ์เหล่านั้นซึ่งอาจส่งผลให้เกิดอันตรายหรือความเสียหายแก่ชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อมได้เป็นต้น

อุบัติเหตุ (Accident) มักจะถูกให้คำจำกัดความว่าเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นโดยไม่มีการวางแผนหรือคาดการณ์ไว้ล่วงหน้าซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อสุขภาพ ร่างกาย ชีวิต ทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อมแต่ ในความเป็นจริงอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นหลาย ๆ อย่างได้มีการคาดการณ์ไว้ล่วงหน้าไว้นานแล้วว่าจะเกิดขึ้นได้ตัวอย่างเช่น อุบัติเหตุบนท้องถนนซึ่งเกิดจากคนเมาเหล้าขับรถ ซึ่งคนส่วนมากสามารถคาดการณ์ไว้ล่วงหน้าได้ว่าจะเกิดอุบัติเหตุให้เกิดอุบัติเหตุบนท้องถนน ดังนั้นคำจำกัดความกว้าง ๆ ของอุบัติเหตุควรจะหมายถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นโดยไม่มีการคาดการณ์ไว้ให้เกิดซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อสุขภาพ ร่างกาย ชีวิต ทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อม สำหรับทางด้านกฎหมายแล้วอุบัติเหตุจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยเสมอ แต่ความหมายที่แท้จริงของอุบัติเหตุในทางวิศวกรรมความปลอดภัยแล้วจะเห็นว่าอุบัติเหตุคือผลของความเสี่ยง (Risk) ที่กำลังเกิดขึ้นหรือที่เกิดขึ้นแล้วจริง ๆ ในมุมมองนี้อุบัติเหตุจึงเป็นเรื่องของปัจจุบันหรืออดีต แต่อุบัติเหตุไม่ใช่เรื่องของอนาคตอย่างความเสี่ยง เมื่ออุบัติเหตุเกิดขึ้นแล้วความร้ายแรงของอุบัติเหตุจะขึ้นอยู่กับระดับของอันตราย (Hazard intensity) สิ่งที่ไม่มีความเสี่ยงจะกลายเป็นอุบัติเหตุไม่ได้ แต่ค่าของความเสี่ยงอาจจะเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นอยู่กับสถานการณ์ และเวลา

ในปัจจุบันธรรมชาติของอุบัติเหตุที่เป็นผลของการกระทำของมนุษย์ได้เปลี่ยนไปจากอดีตทั้งนี้เนื่องจาก

1. ความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีและความกดดันเนื่องจากความจำเป็นที่จะต้องแข่งขันทางด้านเศรษฐกิจ เป็นเหตุให้เทคโนโลยีใหม่ ๆ ได้ถูกนำมาใช้ก่อนที่จะมีการศึกษาระยะยาวของพฤติกรรมของเทคโนโลยีใหม่ซึ่งอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ ตามปกติแล้วเทคโนโลยีใหม่มักต้องการวัตถุดิบชนิดใหม่ขณะเดียวกันก็อาจจะก่อมลพิษชนิดใหม่ได้ นอกจากนี้แล้วคนงานหรือผู้ใช้เทคโนโลยีใหม่มีเวลาน้อยเกินไปที่จะทำความเข้าใจอย่างแท้จริงกับเทคโนโลยีใหม่ ทำให้พฤติกรรมของคนงานที่เคยชินกับเทคโนโลยีเก่าอาจจะเกิดอุบัติเหตุได้ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี
2. การขึ้นอยู่กับระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขึ้นอยู่กับ Digital technology ได้เพิ่มมากขึ้นในระบบวิศวกรรมขนาดใหญ่แต่ Digital technology ในบางกรณีก่อให้เกิดสาเหตุใหม่ซึ่งทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ สาเหตุใหม่นี้เกิดจากความผิดพลาดของโปรแกรม (Software bugs) การป้องกันความผิดพลาดของโปรแกรมใดโปรแกรมหนึ่งโดยการใช้โปรแกรมหลาย ๆ โปรแกรม (Parallel running) ทำงานไปพร้อม ๆ กันจะใช้ไม่ได้ในกรณีที่โปรแกรมยังมี Bugs อยู่ นอกจากนี้แล้วการใช้โปรแกรมหลาย ๆ โปรแกรมทำงานไปพร้อมกันอาจทำให้เกิด Bugs ใหม่ที่เป็นอันตรายมากขึ้นกว่าเดิม
3. ในปัจจุบันสารสนเทศ (Information) ที่ไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์มีศักยภาพที่ทำให้เกิดความเสียหายได้มากทั้งทางด้านชีวิตและทรัพย์สิน
4. ความซับซ้อนของระบบวิศวกรรมหลายระบบได้เพิ่มมากขึ้น ความซับซ้อนมากขึ้นของระบบซึ่งในบางกรณีอาจจะทำให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นมาเองได้โดยไม่มีสาเหตุจากภายนอก อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในกรณีเช่นนี้เป็นพฤติกรรมของระบบเองภายใต้สิ่งแวดล้อมและสภาพการณ์ซึ่งดูเหมือนจะปกติ
5. การเปลี่ยนแปลงของกฎหมายที่เกี่ยวกับความปลอดภัยและทัศนคติของประชาชนและสังคมเกี่ยวกับความปลอดภัย

ความปลอดภัย (Safety) คำจำกัดความสั้น ๆ ของความปลอดภัยก็คือความเป็นอิสระจากอุบัติเหตุ หรือเป็นการกระทำที่ไม่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้น ซึ่งหนังสือบางเล่มให้ความหมายความปลอดภัยว่าเป็นการป้องกันอุบัติเหตุโดยการใช้เทคนิคที่เหมาะสมเพื่อที่จะพิสูจน์ว่า (Identify) อันตราย (Hazards) คืออะไรหรือหาสาเหตุของปัญหาเพื่อที่จะกำจัดก่อนที่อุบัติเหตุจะเกิดขึ้น

การป้องกันการสูญเสีย (Loss and prevention) เป็นคำที่มีความหมายคล้ายกับคำว่าความปลอดภัย ใช้แทนกันในเรื่องการกระทำด้านการควบคุมการเกิดอันตรายต่าง ๆ รวมไปถึงการประเมินกลุ่มอันตราย ควบคุมอันตราย การควบคุมกระบวนการ และการจำกัดการสูญเสีย ให้มีการสูญเสียที่น้อยลง หรือไม่มีการสูญเสียแต่อย่างใด

1.2 วิศวกรรมความปลอดภัย (Safety engineer) คืออะไร

ในอดีตงานวิศวกรรมเป็นอาชีพที่ต้องทำงานเกี่ยวกับสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นไม่ว่าจะเป็นบ้าน เชื้อเพลิง น้ำ รถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานต่าง ๆ ในปัจจุบันอาชีพวิศวกรนอกจากเกี่ยวข้องกับงานที่เคยทำในอดีตแล้วยังมีงานใหม่เช่นงานที่เกี่ยวข้องกับการติดต่อหน่วยพันธุกรรมในอนาคตวิศวกรรมสังคมอาจจะมีบทบาทมากขึ้น

วิศวกรรมความปลอดภัยเริ่มต้นจากมุมมองที่ว่าระบบทางวิศวกรรมไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักร เครื่องยนต์ หรือโรงงานย่อมจะเกิดการเสียหรือขัดข้องของระบบทางวิศวกรรมขึ้นได้ ซึ่งในบางกรณีก่อให้เกิดอันตรายและเกิดความเสียหายอย่างมากต่อสุขภาพและชีวิตทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่นการระเบิดของโรงไฟฟ้าพลังงานปรมาณูที่เชอร์โนบิล (Chernobyl) ในสหภาพโซเวียตรัสเซียในวันที่ 26 เมษายน ปี ค.ศ. 1986 การระเบิดครั้งนั้นนอกจากจะทำให้การเสียชีวิตต่อคนงานและพนักงานกู้ภัยแล้ว การกระจายของกัมมันตภาพรังสีได้ปกคลุมทวีปยุโรปตอนเหนือและขยายไปถึงเกาะอังกฤษในวันที่ 2 พฤษภาคม ค.ศ. 1986 โดยใช้เวลาทั้งหมดเกือบสองสัปดาห์ในช่วงเวลานั้นมีหลายประเทศได้รับผลกระทบ ซึ่งประเทศที่ได้รับผลกระทบจากกัมมันตภาพรังสีสูงเกินอัตราความปลอดภัยต้องมีการทำลายวัณมและแกะที่กินหญ้าที่มีความปนเปื้อนของกัมมันตภาพรังสีเข้าไปรวมทั้งนมที่ได้จากวัณมที่ได้รับกัมมันตภาพรังสีนั้นก็จำเป็นต้องถูกทำลายด้วย ความเสียหายที่มีต่อผลผลิตทางการเกษตรของกลุ่มประเทศยุโรปเนื่องจากการระเบิดที่เชอร์โนบิลในครั้งนั้น คิดเป็นจำนวนเงินหลายร้อยล้านยูโรดอลลาร์ เพราะฉะนั้นจึงเป็นหน้าที่ของวิศวกรที่ต้องพยายามขจัดหรือลดความเสี่ยงที่เป็นเหตุให้เกิดความเสียหายขึ้น

การแข่งขันทางเศรษฐกิจและเทคโนโลยีเป็นผลให้วิศวกรต้องพยายามแสวงหาความเป็นไปได้ที่จะทำให้ได้เปรียบทางเศรษฐกิจและเทคโนโลยี ซึ่งผลของความผลักดันที่จะต้องแสวงหาจุดได้เปรียบทำให้วิธีการหลักการหรือแม้แต่สารวัตถุที่สมัยก่อนถือว่าเป็นการกระทำที่เป็นอันตรายได้กลับกลายเป็นสิ่งที่ไม่เป็นอันตรายหรือมีอันตรายน้อย เมื่อความรู้ทั้งวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีก้าวหน้ามากขึ้น ตัวอย่างเช่นในสมัยก่อนการกระโดดลงมาจากหน้าผาสูง ๆ เป็นการกระทำที่อันตรายมากแต่ในปัจจุบันการกระโดดลงมาจากหน้าผาโดยใช้เครื่องร่อน หรือร่มชูชีพกลับกลายเป็นกีฬาที่มีผู้นิยมเล่นมากขึ้นเรื่อย ๆ

นอกจากความกดดันที่เกิดขึ้นจากความจำเป็นที่ต้องแข่งขันทางเศรษฐกิจและเทคโนโลยีแล้ววิศวกรในปัจจุบันยังต้องเรียนและยอมรับหลักการใหม่ ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลักการของ “ความยั่งยืน (Sustainability)” ในหลักการนี้ไม่เฉพาะสุขภาพ ชีวิตและทรัพย์สินเท่านั้นที่ได้รับความเสียหายจากการผิดพลาดของระบบวิศวกรรม แต่สังคมและสิ่งแวดล้อมก็ได้รับความเสียหายด้วย ในหลักการนี้วิศวกรต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ที่ได้รับผลกระทบ (Stakeholder) ทุก ๆ คนด้วย ผู้ที่ได้รับผลกระทบนั้นอาจจะไม่ได้รับความเสียหายโดยตรง ตัวอย่างเช่นผลของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นทำให้สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลง และการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดความเสียหายต่อผู้ได้รับผลกระทบ ความเสียหายที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดขึ้นในระยะยาวหลายปีหลังจากการเกิดอุบัติเหตุ

เนื่องจากขอบเขตของความปลอดภัยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เรื่อย ๆ พร้อมๆ กับการปรับปรุงของกฎหมายความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับความปลอดภัย วิศวกรรมความปลอดภัย ในสมัยใหม่จำเป็นต้องรวมความรู้ทางด้าน สถิติ จิตวิทยา สิ่งแวดล้อม การบริหารจัดการ เศรษฐศาสตร์ กฎหมาย นอกเหนือไปจากวิชาต่าง ๆ ที่วิศวกรจำเป็นต้องเรียนรู้อยู่แล้ว จุดมุ่งหมายวิศวกรรมความปลอดภัยคือ การขจัดอุบัติเหตุแต่ในกรณีที่ไม่สามารถที่จะขจัดอุบัติเหตุได้ จำเป็นต้องพยายามลดความเสี่ยง ดังนั้นวิศวกรความปลอดภัยมีหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับทั้งการออกแบบ การสร้าง การดูแล การควบคุม และการจัดการระบบทางวิศวกรรมให้เป็นอิสระจากอุบัติเหตุ หรือไม่ให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นเอง

1.3 ประวัติและเหตุการณ์ต่าง ๆ ของการเกิดอุบัติเหตุ

ในโรงงานอุตสาหกรรมปัจจุบันถึงแม้ว่าจะมีระบบหรือกระบวนการที่จะขจัดอุบัติเหตุ แต่อุบัติเหตุก็ยังเกิดขึ้นบ่อย ๆ อุบัติเหตุเหล่านี้ก่อให้เกิดความสูญเสียและบาดเจ็บขึ้นเป็นจำนวนเพิ่มมากขึ้นทุกปี เพื่อที่จะเข้าใจธรรมชาติของอุบัติเหตุ จึงเป็นเหตุให้มีการจัดระบบความปลอดภัยในการทำงาน และเข้าใจถึงบทบาทของผู้บริหารงานในสถานประกอบการ วิศวกร ผู้ปฏิบัติการในสถานประกอบการและคนงานทุกคน และรวมทั้งสภาพของการทำงาน ยกตัวอย่างอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น ผู้คนจำนวน 6 หมื่นคนต้องอพยพหนีภัยจากไฟไหม้ที่เกิดขึ้นจากแอมโมเนียไนเตรท (Ammonium Nitrate) ในประเทศฝรั่งเศสเมื่อเดือนตุลาคม ค.ศ.1987 ทำให้เกิดการเสียชีวิต 4 คน บาดเจ็บ 1 คน การเกิดระเบิดของไวนิลคลอไรด์ (Vinylchloride) เมื่อเดือนพฤศจิกายน ปี ค.ศ.1986 เกิดขึ้นในบัลกาเรียทำให้มีผู้เสียชีวิต 17 คน ไม่เฉพาะแต่ในทวีปยุโรปเท่านั้นที่มีอุบัติเหตุขนาดใหญ่ ในเอเชียก็มีอุบัติเหตุขนาดใหญ่เกิดขึ้น เช่นการรั่วไหลของเมทิลไอโซไซยาเนต (Methyl Isocyanate) ในเมืองโบพาล ประเทศอินเดีย ปี ค.ศ.1984 ทำให้มีผู้คนเสียชีวิตกว่า 2,000 คนและบาดเจ็บถึง 200,000 คน อุบัติเหตุขนาดใหญ่ซึ่งเกิดขึ้นในประเทศไทยก็มีหลายครั้ง ตัวอย่างเช่น รถแก๊สระเบิดที่ถนนเพชรเกษม เมื่อปี พ.ศ. 2535 โรงงานลำไยที่เชียงใหม่ระเบิดเมื่อปี พ.ศ. 2542 เนื่องจากโรงเก็บปุ๋ยของโรงงานไม่มีการควบคุมแก๊สที่ระเหยออกมา การระเบิดครั้งนั้นทำให้มีการเสียชีวิตในรัศมีหลายกิโลเมตร ผู้คนที่ตั้งบ้านเรือนในบริเวณนั้นเสียชีวิตหลายคน อุบัติเหตุไฟไหม้โรงงานทำตุ๊กตาบริเวณชานเมืองกรุงเทพ คนงานที่พยายามหนีไฟไม่สามารถหนีออกไปทางประตูฉุกเฉินเนื่องจากเจ้าของกิจการปิดประตูป้องกันไม่ให้มีการขโมยตุ๊กตา จึงจำเป็นต้องหนีขึ้นไปชั้นสูงสุดแต่ก็ไม่สามารถหลีกเลี่ยงจากเปลวเพลิงได้ ทำให้คนตาย 188 คน

บาดเจ็บ 469 คน เมื่อปี ค.ศ.1993 ดังภาพสยดสยองในรูปที่ 1.1 และเหตุการณ์อื่นซึ่งสร้างความสะเทือนใจแก่ทุกคนที่อาจจะคิดว่าความผิดพลาดเหล่านี้ไม่น่าจะเกิดขึ้นเลย แต่ก็สาบสูญไปแล้ว



รูปที่ 1.1 รูปสภาพผู้เสียชีวิตที่เกิดจากไฟไหม้ของโรงงานทำตุ๊กตา เมื่อปี ค.ศ. 1993

แม้ว่าอุบัติเหตุต่าง ๆ เหล่านี้จะแตกต่างกันด้านลักษณะการเกิด แต่สิ่งที่เหมือนกันคือเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ ระเบิด หรือการรั่วไหลของสารพิษ หรือสารเคมีที่เป็นต้นเหตุ ซึ่งไม่อาจควบคุมได้ ทำให้เกิดการสูญเสียของคนจำนวนมากทั้งในโรงงานและนอกโรงงาน และยังมีผลทำให้เกิดความเสียหายแก่ทรัพย์สินและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุเหล่านี้ขึ้นอีก ในหลาย ๆ ประเทศได้มีการพยายามพัฒนากฎหมายควบคุมอุบัติเหตุร้ายแรงขึ้น ที่น่าสังเกตคือกฎหมายของกลุ่มประเทศในภาคพื้นยุโรป (EU) ซึ่งในปี ค.ศ. 1982 ได้ประกาศใช้กฎหมายควบคุมอุบัติเหตุร้ายแรงในอุตสาหกรรม “การแพร่กระจายอย่างรุนแรง การไหม้หรือการระเบิดที่เกิดจากการดำเนินงานในอุตสาหกรรมที่ปราศจากการควบคุม ทำให้เกิดอันตรายร้ายแรงต่อมนุษย์ทั้งที่อยู่ใกล้และไกลจากสถานที่เกิดเหตุ และเป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม ถือว่าเป็นความผิด” อย่างไรก็ตามต้องคำนึงเสมอว่าการดำเนินการด้านความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นเป็นงานที่มีขอบข่ายกว้างและมีความลำบากในการดำเนินงานให้บรรลุวัตถุประสงค์ ซึ่งผู้รับผิดชอบไม่สามารถทำงานให้ลุล่วงไปได้โดยลำพังแต่จะต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้ปฏิบัติงานทุกคน

การป้องกันอุบัติเหตุหรือสร้างความปลอดภัยนั้นได้เริ่มทำมาแล้วเมื่อร้อยกว่าปีหลังจากมีการปฏิวัติอุตสาหกรรมของโลกตะวันตกเริ่มขึ้นโดยประเทศอังกฤษในปี ค.ศ. 1750 หลังจากนั้นประเทศทั้งหลายได้มีความตระหนักถึงภัยอันตรายแก่ตัวและชีวิต ปัจจุบันมีสมาคมเพื่อความปลอดภัยนานาชาติโดยสมาคมที่เก่าแก่ที่สุดถูกตั้งที่ประเทศฝรั่งเศสเมื่อ ค.ศ. 1867 มีชื่อว่า Mulhouse Accident Prevention Association หลังจากนั้นประเทศต่าง ๆ ก็ได้มีการจัดตั้งสมาคมขึ้นตามลำดับ ดังนี้

- ค.ศ.1890 จัดตั้ง The Belgian Manufacturing's Association for the prevention of industrial Accidents
- ค.ศ.1894 จัดตั้งสมาคมร่วมกับเบลเยียมในอิตาลี
- ค.ศ.1905 จัดตั้ง Swedish Workers Protection Association ในประเทศ สวีเดน
- ค.ศ.1913 จัดตั้ง The National Safety Council of the United states ในสหรัฐอเมริกา โดยมีมาตรฐาน OSHA (Occupational Safety and Health Acts)
- ค.ศ.1918 จัดตั้ง The British National Safety First Association ปัจจุบันเปลี่ยนชื่อเป็น The Royal Society for the Prevention of Accidents ในประเทศอังกฤษ

- ค.ศ.1927 จัดตั้ง The National Safety Council of Australia และ The New South Wales Safety Association ในออสเตรเลีย
- ค.ศ.1928 จัดตั้ง Japanese Industrial Welfare Society ในประเทศ ญี่ปุ่น (เป็นสมาคมความปลอดภัยแห่งแรกของเอเชีย)
- ค.ศ.1931 จัดตั้ง The Safety First Association of India ในประเทศอินเดีย (แห่งที่สองของเอเชีย)
- ค.ศ.1936 จัดตั้ง The Cape Province Safety First Association ในทวีปแอฟริกา

ประเทศไทยได้ร่วมเป็นสมาชิกก่อตั้งองค์การกรรมระหว่างประเทศหรือ ILO (International Labor Organization) ในปี พ.ศ. 2462 จนกระทั่งปี พ.ศ. 2470 ประเทศไทยได้จัดตั้งคณะกรรมการเพื่อพิจารณากฎหมายที่จะส่งเสริมให้มีความปลอดภัยขึ้นแต่ยังไม่ได้ร่าง หลังจากมีการเปลี่ยนแปลงการปกครองในปี พ.ศ. 2475 ประเทศไทยได้มีการตื่นตัวทางด้านความปลอดภัยในการใช้แรงงาน จึงได้ประกาศใช้พระราชบัญญัติโรงงานเมื่อปี พ.ศ. 2482 เกี่ยวข้องกับการรักษาความสะอาด ความปลอดภัยในการใช้เครื่องจักร การป้องกันอันตรายสำหรับวัตถุมีพิษ สารเคมีต่าง ๆ อีก 2 ปีต่อมา ได้มีการประกาศใช้พระราชบัญญัติสาธารณสุข ซึ่งเกี่ยวข้องกับ สุขอนามัยของพนักงานในโรงงาน เช่นน้ำดื่ม ห้องน้ำ การระบายอากาศ การกำจัดขยะมูลฝอย การป้องกันอันตรายกับวัตถุมีพิษ จนมาถึงปัจจุบันถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของหน่วยงานในระบบราชการแต่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยที่เราควรจะทราบมีดังนี้

1. กรมโรงงานอุตสาหกรรม สำนักควบคุมวัตถุอันตราย และ สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม
2. กรมควบคุมมลพิษ (คพ.) และ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สผ.) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
3. กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน และ กองตรวจความปลอดภัย กระทรวงแรงงาน
4. กรมอนามัย และ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงสาธารณสุข
5. สำนักวิศวกรรมและความปลอดภัย (สนว.) กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
6. สำนักวิศวกรรมและความปลอดภัย (สนว.) กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์
7. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
8. สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
9. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานความปลอดภัยในประเทศ ที่เกี่ยวข้องที่ได้ยกมาบางหน่วยงาน ได้แก่

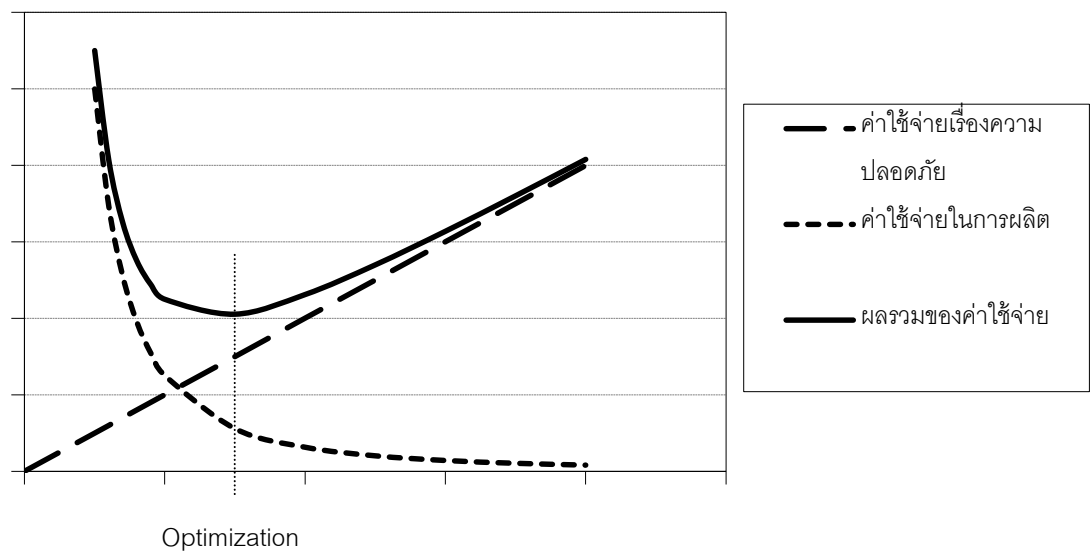
1. สมาคมส่งเสริมความปลอดภัยและอนามัยในการทำงาน (ประเทศไทย)
2. กองตรวจความปลอดภัย
3. ชมรมเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานนวมคร
4. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
5. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน
6. คณะกรรมการป้องกันอุบัติภัยแห่งชาติ

7. Thai Occupational Safety and Health Network
8. กรมอุตสาหกรรมและการเหมืองแร่
9. ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ส่วนหน่วยงานความปลอดภัยต่างประเทศซึ่งยกตัวอย่างในบางหน่วยงานประเทศต่าง ๆ ได้แก่

1. American Safety and Health Institute (ASHI)
2. Occupational Safety and Health Administration (OSHA) - U.S.A.
3. Asia-Pacific Occupational Safety and Health Organization (APOSHO)
4. Health and Safety Executives (HSE) - U.K.
5. Japan Industrial Safety and Health Association (JISHA)
6. Finnish Institute of Occupational Health (FIOH)
7. Workers Health & Safety Centre - Canada
8. National Occupational Health and Safety Commission - Australia

การพัฒนาอุตสาหกรรมในโลกปัจจุบันได้มีการขยายตัวสูงมากเนื่องจากความจำเป็นที่จะต้องมีการแข่งขันในท้องตลาดทั้งด้านคุณภาพและราคาของสินค้าจึงจำเป็นต้องให้ผู้ผลิตต้องใช้เครื่องจักรที่ทันสมัยและมีระบบการทำงานที่ซับซ้อนมากขึ้นรวมถึงการปรับปรุงและเปลี่ยนสภาพแวดล้อมอยู่เสมออาจมีผลทำให้เกิดอุบัติเหตุอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ดังนั้นผู้บริหารจึงจำเป็นต้องใช้มาตรการในการป้องกันอย่างไรก็ตามเมื่อได้รับผลประโยชน์อย่างหนึ่งจำเป็นต้องยอมรับในเรื่องค่าใช้จ่ายที่จะตามมาดังความสัมพันธ์ดังกราฟในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ค่าใช้จ่ายด้านความปลอดภัยสัมพันธ์กับค่าใช้จ่ายในการผลิต

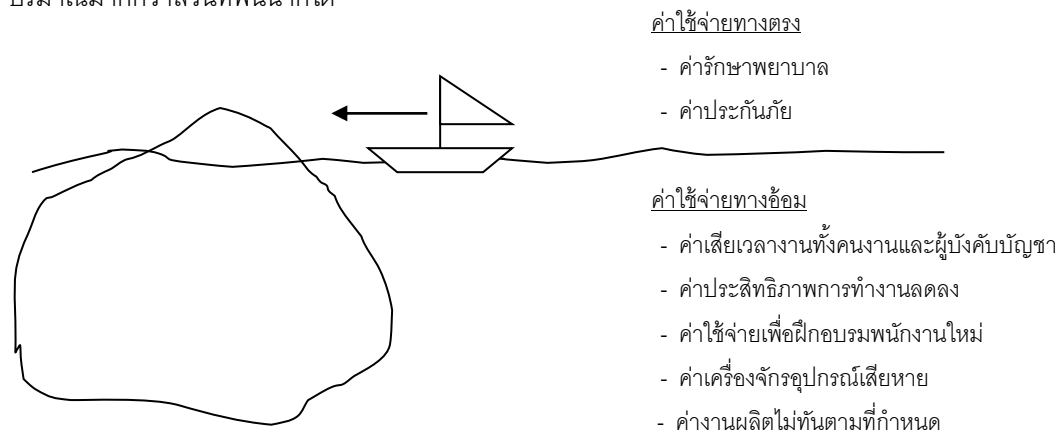
1.4 ทฤษฎีความสูญเสีย

เมื่อมีการเกิดอุบัติเหตุเกิดขึ้น จะทำให้เกิดการสูญเสียเกิดขึ้น ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความรุนแรง ดังนั้นความสูญเสียที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็น 2 ทางคือ

ความสูญเสียทางตรง เป็นการสูญเสียการขาดรายได้คนงาน การบาดเจ็บเกิดขึ้นกับผู้ที่ได้รับบาดเจ็บ การจ่ายเงิน ค่าทดแทน และค่ารักษาพยาบาล และการขาดกำลังแรงงาน

ความสูญเสียทางอ้อม เป็นความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ พนักงานขวัญเสีย เสียเวลาการทำงาน ความเสียหายในค่าใช้จ่ายและการซ่อมแซม ค่าเสียหายเพราะการผลิตรายหยุดชะงัก ภาวะสังคม อื่น ๆ

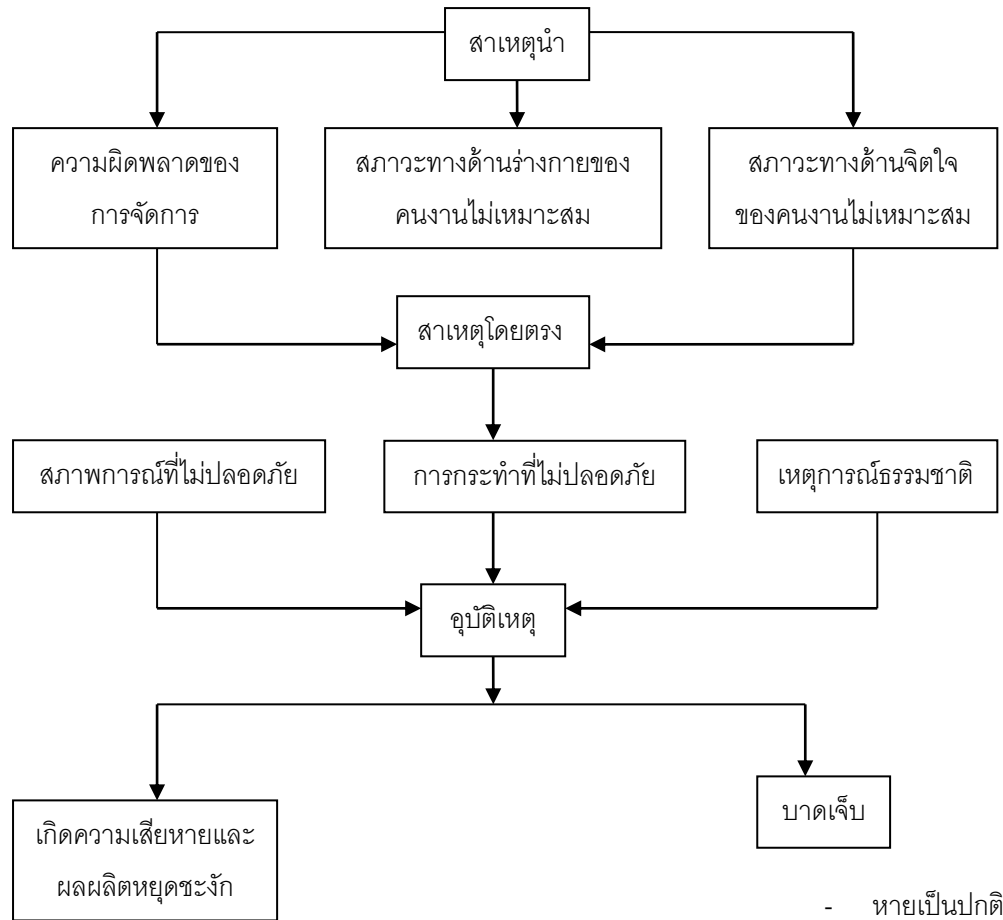
เมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียทั้งทางตรงและทางอ้อมเป็นค่าใช้จ่ายแล้วจะสามารถเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 1.3 ภูเขาน้ำแข็ง เราจะเห็นว่าหากเราเป็นคนที่อยู่บนเรือเราจะเห็นเรือเราถูกขับเคลื่อนหลบภูเขาน้ำแข็งออกไปห่างออกจากยอดภูเขาน้ำแข็งที่เราเห็นพื้นน้ำจะนั่นเรืออาจจะประทะน้ำแข็งในส่วนที่อยู่ใต้น้ำซึ่งเป็นส่วนที่มีปริมาณมากกว่าส่วนที่พื้นน้ำก็ได้



รูปที่ 1.3 แสดงความสูญเสียในรูปของภูเขาน้ำแข็ง

เราทราบจากนิยามในตอนต้นแล้วว่าอุบัติเหตุมีความหมายว่าอะไร อย่างไรก็ตามอุบัติเหตุในมุมมองของวิศวกรด้านความปลอดภัยจะสรุปว่าเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นโดยมิได้วางแผนไว้ล่วงหน้าเป็นผลให้ได้รับผลของความบาดเจ็บ พิการ หรือตาย และทำให้ทรัพย์สินได้รับความเสียหาย นอกจากนี้รวมถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแล้วมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตทำให้เกิดความล่าช้าหรือเสียเวลา ถึงแม้ว่าจะไม่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บ พิการ ก็ตามสามารถเขียนแผนภูมิอุบัติเหตุได้ดังรูปที่ 1.4 ด้วยการมองให้ง่ายจากสาเหตุหลัก ๆ 2 ประการ คือ

1. สาเหตุนำของการเกิดอุบัติเหตุ
2. สาเหตุโดยตรงจากการเกิดอุบัติเหตุ



- หายเป็นปกติ
- พิการ
- ตาย

รูปที่ 1.4 แผนผังแสดงสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ

1. สาเหตุนำของการเกิดอุบัติเหตุ

สาเหตุนำของการเกิดอุบัติเหตุจะเป็นตัวที่สำคัญที่จะโยงไปสู่การเกิดอุบัติเหตุโดยตรงโดยเกิดจากสาเหตุดังนี้

- (ก) ความผิดพลาดของการจัดการ เช่น ไม่มีการสอนหรืออบรมเกี่ยวกับความปลอดภัย ไม่มีการบังคับให้ปฏิบัติตามกฎหมายความปลอดภัย ไม่มีการวางแผนและเตรียมงานด้านความปลอดภัย หรือ ไม่มีการจัดหาอุปกรณ์ความปลอดภัย อื่น ๆ
- (ข) สภาวะทางด้านร่างกายของคนงานไม่เหมาะสม เช่น อ่อนเพลียง่าย หนักหน่วง สายตาไม่ดี มีร่างกายไม่เหมาะสมกับงานที่ทำ เป็นโรคหัวใจ ร่างกายมีความพิการ
- (ค) สภาวะทางด้านจิตใจของคนงานไม่เหมาะสม เช่น ผู้ทำงานอาจจะขาดความระมัดระวังในการทำงาน หรือการทำงานของคนไม่ประสานกัน มีทัศนคติไม่ถูกต้อง สมองสั่งงานซ้ำ ขาดความตั้งใจ อารมณ์อ่อนไหวง่าย และขี้โมโห หรือ เกิดความหวาดกลัว ขวัญอ่อน ตกใจง่าย เป็นต้น

2. สาเหตุโดยตรงจากการเกิดอุบัติเหตุ

สาเหตุโดยตรงของการเกิดอุบัติเหตุสามารถนำมาป้องกันในเชิงวิศวกรรมได้ง่ายกว่าสาเหตุนำซึ่งมีสาเหตุหลักได้แก่

- (ก) สภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe Condition) คือสภาวะหรือสภาพแวดล้อมที่มีอันตรายและมีโอกาสที่บุคคลจะเข้าสัมผัสกับแหล่งอันตรายได้ง่าย เช่น บริเวณส่วนที่เคลื่อนไหวได้ของเครื่องจักรไม่มีการกั้นรั้วกั้น แสงสว่างไม่เพียงพอ ฯลฯ
- (ข) การกระทำที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe Act) คือการกระทำของบุคคลที่ทำให้ตัวเองหรือบุคคลอื่นมีโอกาสที่จะสัมผัสกับแหล่งอันตรายได้ง่าย ยังผลให้เกิดความบาดเจ็บหรือสูญเสียได้หากสัมผัสกับแหล่งอันตรายเหล่านั้น เช่น ไม่รู้ ไม่ระวัง รีบเร่ง ลัดชั้นตอน หรืออาจจะสรุปได้เป็นสาเหตุ สำคัญ 3 ประการคือ 3I

INNOCENCE หรือการไม่รู้วิธีที่ถูกต้อง เกิดจากการขาดการฝึกอบรมที่เพียงพอ

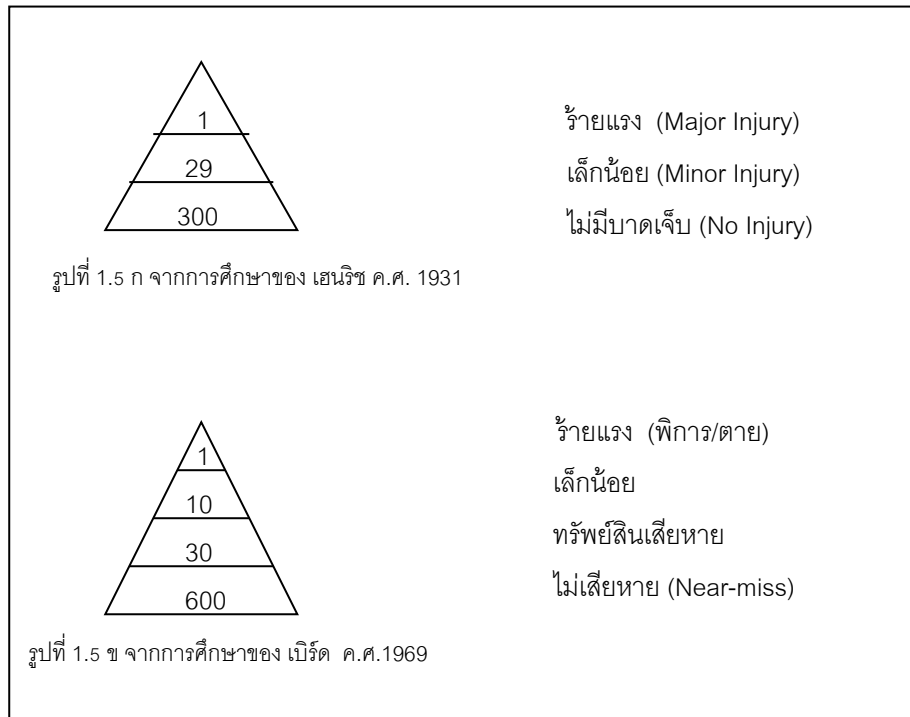
IGNORANCE หรือการรู้จักวิธีที่ถูกต้องแต่มีความประมาท เช่นการไม่ยอมปฏิบัติตามกฎความปลอดภัย

INTENTIONAL หรือมีความจงใจกระทำผิด

- (ค) สาเหตุจากธรรมชาติ ได้แก่ภัยที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น แผ่นดินไหว น้ำท่วม จากการศึกษาสาเหตุทางธรรมชาติของ เฮนริช (H.W Heinrich) ในปี ค.ศ.1920 พบว่า สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุตามธรรมชาติเกิดจาก

- พฤติกรรมของคน 88 เปอร์เซ็นต์
- ความผิดพลาดของเครื่องจักร 10 เปอร์เซ็นต์
- เหตุสุดวิสัย 2 เปอร์เซ็นต์

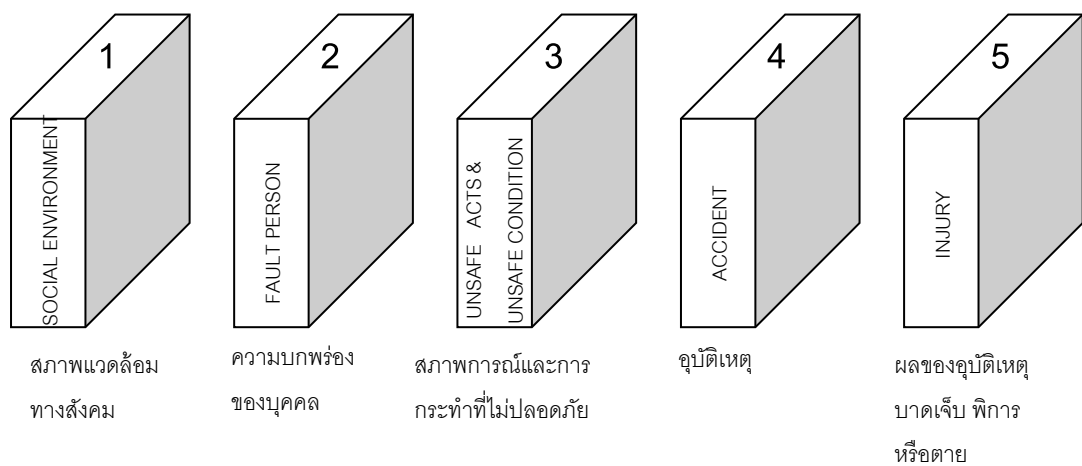
จากการศึกษาแนวโน้มทางสถิติของการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานของในสถานประกอบการซึ่งศึกษาโดยเฮนริช อีกครั้งเมื่อ ค.ศ. 1931 และศึกษาต่อด้วยเบิร์ต (Bird) เมื่อปี ค.ศ.1969 มีแนวโน้มคล้ายคลึงกันในรูปแบบของปิรามิด (Pyramid) ดังรูปที่ 1.5



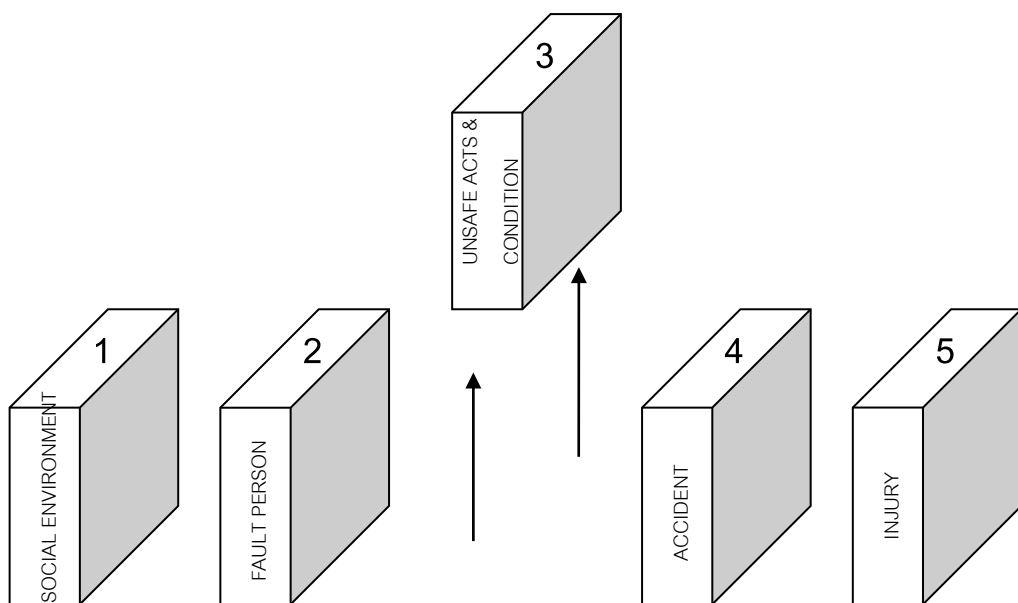
รูปที่ 1.5 จากการศึกษานแนวโน้มทางธรรมชาติของการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน (Heinrich, 1936)

โดยปกติคนทั่วไปมักคิดว่าอุบัติเหตุที่มีความร้ายแรงมากสามารถวัดได้จากจำนวนผู้เสียชีวิตและผู้ที่ได้รับบาดเจ็บ แต่ขณะเดียวกันอุบัติเหตุที่คนตายมาก ๆ อาจเกิดขึ้นน้อยกว่าอุบัติเหตุเล็ก ๆ แต่ถ้าคิดผลเสียหายโดยรวมแล้วอุบัติเหตุที่เกิดเล็ก ๆ น้อย ๆ และเกิดขึ้นหลาย ๆ ครั้งอาจมีความเสียหายมากกว่าอุบัติเหตุที่ร้ายแรงเพียงครั้งเดียวซึ่งเราสามารถประเมินในทางสถิติซึ่งได้แสดงรายละเอียดการคำนวณทางสถิติในบทที่ 2 การบริหารความปลอดภัย ในเรื่องความปลอดภัยนั้นถ้าหากเราให้ความสำคัญในการเกิดอุบัติเหตุเล็ก ๆ เหล่านี้ อาจจะมีผลในการลดอุบัติเหตุที่รุนแรงได้โดยทางอ้อม เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ง่ายขึ้นจึงมีวิศวกรหลายคนพยายามอธิบายหลักการต่าง ๆ ของความปลอดภัยโดยใช้ทฤษฎีโดมิโนของเฮนริชเพื่อช่วยเพิ่มความเข้าใจในการลดอุบัติเหตุดังนี้

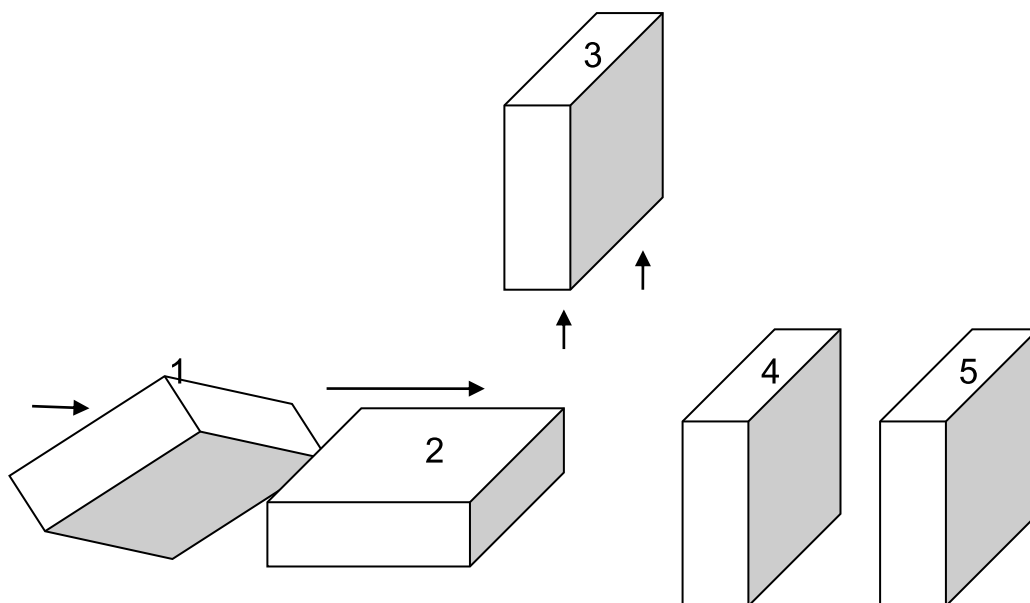
ทฤษฎีโดมิโนของ เฮนริช



รูปที่ 1.6 ตัวโดมิโนทั้ง 5 ตัวของกระบวนการเกิดอุบัติเหตุ



รูปที่ 1.7 แสดงการกำจัดโดมิโนตัวที่ 3 คือการกระทำและสภาพแวดล้อมที่ไม่ปลอดภัย



รูปที่ 1.8 เมื่อเกิดการล้มของโดมิโนตัวที่ 1 และ 2 โดยไม่มีตัวที่ 3 แล้วจะไม่ทำให้ตัวที่ 4 และตัวที่ 5 ล้มไปด้วย

โดยที่หมายเลขของโดมิโนในแต่ละตัวของ รูปที่ 1.6 ถึง รูปที่ 1.8 มีชื่อเรียกดังนี้

โดมิโนตัวที่ 1 สภาพแวดล้อมทางสังคมของบุคคล หรือภูมิหลังของบุคคลนั้นคือ สภาพครอบครัว ความเป็นอยู่ การฝึกฝน อื่น ๆ ที่เป็นบ่อเกิดของความบกพร่องผิดปกติส่วนบุคคล

โดมิโนตัวที่ 2 ความบกพร่องผิดปกติ เป็นความผิดปกติของบุคคลทางด้านร่างกายและจิตใจ ทำให้เกิดทัศนคติต่อความปลอดภัยไม่ถูกต้อง ชอบเสี่ยง มักง่าย และมีทัศนคติความปลอดภัยที่ไม่ถูกต้อง หรือข้ออ้างของผู้ไม่มีจิตสำนึกเรื่องความปลอดภัย 57 แบบดังนี้ (วิฑูรย์ สิมะโชคดี, 2539)

1. เราเคยลองมาก่อนแล้ว ยุ่งยาก ซ้ำ ไม่เห็นได้ความ
2. เราอยู่ในฐานะต่างกัน
3. โอ๊ย ไม่ไหวหรอก ถ้ามันว่าคิดเรื่องความปลอดภัย ต้องลงทุนอะไรบ้างก็ไม่รู้เปลืองตายเลย
4. เรื่องนั้นหรือมันอยู่นอกเหนือความรับผิดชอบของเรา
5. พวกเรามีภาระมากเกินไปจนไม่มีเวลาจะคิดสิ่งนั้น
6. นั่นไม่ใช่ธุระของฉันหรือนั่นไม่ใช่ปัญหาของเรา
7. มันเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบถอนรากถอนโคนกันเกินไป คงจะยอมรับกันยาก
8. เราไม่มีเวลาพอที่จะมาคิด มาทำเรื่องความปลอดภัยหรอก
9. ความช่วยเหลือของผู้บริหารมีไม่เพียงพอ
10. ถ้าหันมาใช้ความปลอดภัย อุปกรณ์ที่มีอยู่เดิมคงต้องเลิกใช้หมด
11. รอให้ชาวบ้านเขาลองใช้กันดูก่อนแล้วค่อยทำตาม
12. หน่วยงานของเรายังเล็กเกินไปที่จะมองความสำคัญในเรื่องความปลอดภัย
13. เป็นเรื่องไม่สะดวกในการปฏิบัติงาน
14. ทำออกไปคงไม่มีใครซื้อหรอก
15. สหภาพแรงงานคงเล่นงานเอาแน่

16. เรายังไม่เคยดำเนินการเรื่องความปลอดภัยมาก่อน
17. มันเป็นเรื่องที่ด้านกับนโยบายขององค์กร
18. ทำให้เสียค่าใช้จ่าย ค่าอำนวยความสะดวกมากขึ้น
19. เราไม่มีอำนาจในการตัดสินใจ
20. มันเป็นการเพิ่มเพื่อน หรือสร้างวิมานในอากาศมากเกินไป
21. ลองหันกลับไปดูความเป็นจริงกันดีกว่า เท่าที่ผ่านมาไม่เห็นมีอะไรเกิดขึ้นเลย
22. ทำให้จริงจะเปลี่ยนใหม่ละ ในเมื่อของเก่ามันยังใช้งานได้อยู่เลย
23. ฉันไม่ชอบความคิดนี้เลย
24. แล้วแต่ดวง
25. คุณชักจะล้ำเส้นมากเกินไปแล้ว
26. เรายังไม่พร้อมที่จะดำเนินการเรื่องความปลอดภัย
27. เราขาดทั้งเงิน ทั้งอุปกรณ์ ทั้งสถานที่ และคนที่ดำเนินการ
28. เราไม่ได้ตั้งงบประมาณไว้
29. พวกแก่วัดนี้คงสบายมันยาก
30. มันเป็นความคิดที่ดี แต่ยากที่จะปฏิบัติได้
31. ทำเฉย ๆ ไว้ดีกว่า
32. ให้เราได้มีโอกาสได้คิดมากกว่านี้สักหน่อย
33. ผู้บริหารชั้นสูงคงไม่เอาด้วยหรอก
34. ผมอยากให้ออกคำสั่งมาเป็นลายลักษณ์อักษร
35. ชื่นทำไปคงเซยแหลก
36. คงไม่เกิดเหตุเช่นนี้อีก
37. เรื่องนี้คงจะผลาญเงินเราไปอีกนาน
38. คุณไปขุดเรื่องโบราณเก่าคร่ำคร่านี้มาจากไหน
39. เราทำกันมาตั้งแต่หัวดำจนหัวหงอกแล้วไม่เห็นเป็นมีอะไรเลย
40. นั่นเป็นเรื่องของแผนกความปลอดภัยเค้า เราไม่เกี่ยว
41. นั่นเป็นเรื่องที่ใครยังไม่เคยมีใครลองทำกันมาก่อนเลย
42. ตั้งคณะกรรมการขึ้นมาดีกว่า
43. ผมว่าตอนนี้เก็บเข้าลิ้นชักกันไว้ก่อนดีกว่า
44. มีใครเคยลองทำมาแล้วหรือยัง
45. ไม่เห็นมีใครเตือนผมเลย
46. ผมไม่เห็นว่ามันจะเกี่ยวกันเลย
47. คงจะนำมาใช้ในหน่วยงานของเราไม่ได้หรอก
48. คุณกำลังพูดถึงเรื่องอะไรนะ (เหลวไหล ไม่เห็นเข้าท่า)
49. บางทีมันอาจจะประสบความสำเร็จในหน่วยงานของคุณ แต่ในหน่วยงานของผมคงไม่มีทาง
50. กรรมการบริหารคงไม่รับไว้พิจารณาแน่

51. คุณจะคิดหรือแปลว่าเราควรพิจารณาเรื่องนี้ให้ลึกซึ้งก่อนที่จะลงมือทำ
52. ในหน่วยงานคู่แข่งของเรา เขาทำอะไรกันบ้างเกี่ยวกับเรื่องนี้
53. เก็บเรื่องนี้เข้าไว้ก่อนดีกว่า
54. มันไม่มีทางทำได้แน่ ๆ หรือ อี๊ย...ไม่มีทางเป็นไปได้เลย
55. คงจะเปลี่ยนแปลง (ทัศนคติ พฤติกรรมได้ยาก)
56. มันไม่คุ้มกันหรอก (ความปลอดภัยกับเงินที่ต้องลงทุน)
57. คนที่เคยทำงานอย่างนี้มาผมก็รู้จัก

โดมิโนตัวที่ 3 สภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัยและการกระทำที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe Act & Unsafe condition)

: การกระทำที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe Act) เช่น

- เดินเครื่องจักร ทำงานโดยไม่มีหน้าที่ ไม่รู้งาน
- เดินเครื่องเร็วเกินควร
- ถอดอุปกรณ์ป้องกันอันตรายทิ้ง
- ใช้เครื่องมือไม่ถูกวิธี ไม่เหมาะสม ไม่ปลอดภัย
- ไม่ใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล
- ประมาท มักร่าง หยอกล้อ
- จงใจฝ่าฝืนกฎระเบียบ

ฯลฯ

: สภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe condition) เช่น

- เครื่องจักร ไม่มีอุปกรณ์ป้องกันส่วนที่เคลื่อนไหว
- เครื่องมือ อุปกรณ์ ชำรุด เป็นอันตราย
- สิ่งของ วัสดุ วางไม่เป็นระเบียบ เกะกะ
- อาคาร สิ่งปลูกสร้าง ไม่มั่นคง
- สารเคมี วัตถุมีพิษ ไม่เก็บในที่เฉพาะ
- ความร้อน-เย็นสูง แสงสว่างไม่พอ เสียงดัง และมี ฝุ่นละอองและ/หรือไอระเหย
- พื้นลื่น เป็นหลุม เป็นบ่อ ขรุขระ น้ำขัง
- ไม่มีประตูดึงเงิน ไม่มีบันไดหนีไฟ

ฯลฯ

โดมิโนตัวที่ 4 อุบัติเหตุ (Accident)

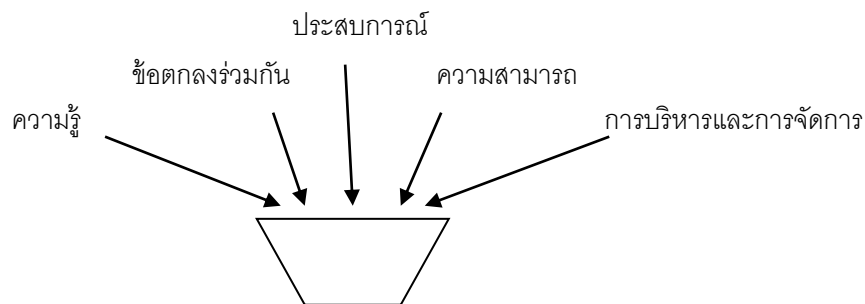
การเกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดการณ์ไว้ล่วงหน้า ยังผลให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สิน ชื่อเสียงและการบาดเจ็บ

โดมิโนตัวที่ 5 ความเสียหาย ดูเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเกิดอุบัติเหตุ ที่ทำให้ทรัพย์สินเสียหายต้องซ่อมแซม หรือทำร่างกายได้รับบาดเจ็บหรืออันตรายแก่ชีวิต

ตามทฤษฎีโดมิโน รูปที่ 1.6 แสดงให้เห็นว่าโดมิโนมีทั้งหมด 5 ตัวเรียงกัน และหากโดมิโนตัวที่ 1 ล้ม จะมีผลทำให้โดมิโนตัวถัดไปก็จะล้มตามกันไป เปรียบเสมือนกับการที่เราเราปล่อยให้โดมิโนตัวที่ 1 (เกิดความปลอดภัยแวดล้อมทางสังคมของบุคคล หรือภูมิหลังของบุคคล) และโดมิโนตัวที่ 2 (ความปลอดภัยของบุคคลทางด้านร่างกายและจิตใจ) ซึ่งทั้งสองเป็นสิ่งที่แก้ไขได้ยาก เนื่องจากเป็นสิ่งที่เกิดขึ้น และถูกปลูกฝังเป็นคุณสมบัติส่วนบุคคล จึงมีผลทำให้เกิดการล้มลงของตามไปด้วยของโดมิโนตัวที่ 3 (สภาพการณ์และการกระทำที่ไม่ปลอดภัย) ซึ่งเป็นผลให้เกิดเป็นการล้มแบบต่อเนื่องให้กับโดมิโนตัวที่ 4 (อุบัติเหตุหรือเกิดความสูญเสีย) หากไม่ต้องการให้โดมิโนตัวที่ 4 ล้ม หรือไม่อยากจะให้เกิดอุบัติเหตุและความสูญเสีย ก็จะต้องพยายามที่จะดึงเอาโดมิโนตัวที่ 3 ออกดังรูปที่ 1.7 ซึ่งเหมือนกับเป็นการไปกำจัดสภาพการณ์ และ/หรือการกระทำหรือที่ไม่ปลอดภัย ผลคือการบาดเจ็บหรือความเสียหายก็จะไม่เกิดขึ้นดังรูปที่ 1.8 ถึงแม้โดมิโนตัวที่ 1 และ 2 จะล้มแต่ก็ไม่มีอิทธิพลทำให้เกิดอุบัติเหตุและความสูญเสียใด ๆ

อย่างไรก็ตามหากเราไม่สามารถกำจัดโดมิโนตัวที่ 3 ให้หมดไปได้ เนื่องจากเมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้นแล้ว เราสามารถลดความรุนแรงของอุบัติเหตุลงได้โดยไม่ให้มีการบาดเจ็บ อาจจะทำให้ได้โดยการใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล กฎระเบียบ หรือเทคนิคทางวิศวกรรม เป็นต้น ซึ่งก็คือการป้องกันที่โดมิโนตัวที่ 5 (ผลจากอุบัติเหตุ การได้รับบาดเจ็บ พิการ หรือตาย)

ในบทเรียนวิชานี้เราจะมาเรียนการลดอุบัติเหตุในแบบต่าง ๆ โดยนำเอาสิ่งต่าง ๆ เช่น ความรู้ (Safety Knowledge) ข้อตกลงร่วมกัน (Commitment) ประสบการณ์ (Safety Experience) ความสามารถในการทำงาน (Technical Competence) และรวมไปถึงการบริหารและจัดการ (Safety management support) มารวมกันจนเป็นรูปร่างที่แนชัดดังรูปที่ 1.9 จึงเป็นการที่ทุกฝ่ายต้องมีความตระหนักในความสำคัญและช่วยกันทำมิให้เกิดจากผู้ที่มีหน้าที่หนึ่งคนหรือสองคนที่น่าจะจำได้จำเนื่องจากกฎหมายกำหนดไว้เท่านั้น



รูปที่ 1.9 ส่วนประกอบในความสำเร็จของการจัดการด้านความปลอดภัย

อุบัติเหตุที่สามารถทำให้เราเห็นภาพชัดเจนที่สุดคือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงหรือเหตุการณ์ที่เห็นกับตา โดยเฉพาะเมืองไทยสิ่งที่เห็นประจำหลังเกิดอุบัติเหตุคือการเป็นไทยมุง ในบางกรณีการเป็นไทยมุงก็มีประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับนักข่าวที่มาหาข่าวจะทราบได้จากการเล่าของคนที่ยังมุงด้วยกันแล้วนำเรื่องราวมาต่อกัน บางครั้งเรื่องอาจจะคลาดเคลื่อนเนื่องจากไม่มีผู้ใดสามารถเห็นเหตุการณ์ทั้งหมด อย่างไรก็ตามหากเรานำเหตุการณ์เหล่านี้มาวิเคราะห์และแก้ไขจะทำให้ลดโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุได้

ท้ายสุดนี้ก่อนที่จะเราจะเข้าบทเรียนอยากจะขอฝากเรื่องจริยธรรมและคุณธรรม (Engineering Ethics) ของอาชีพวิศวกรและสำหรับผู้ที่กำลังจะเป็นวิศวกรต่อไปในอนาคต โดยใช้รูปแบบของ AICHE (American

Institute of Chemical Engineering) ในการอธิบายโดยสรุปออกมาเป็นหลักการพื้นฐาน (Fundamental principle) หรือคัมภีร์จริยธรรม (Fundamental canons) ที่วิศวกรควรรักษาและเผยแพร่ศีลธรรม ความซื่อสัตย์ และความภาคภูมิใจของอาชีพวิศวกรดังประโยคที่เขียนว่า “Engineering shall uphold and advance the integrity, honor and dignity of engineering professional” ซึ่งจะขอแสดงรายละเอียดได้เป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. วิศวกรควรใช้ความรู้และความชำนาญเพื่อส่งเสริมความอยู่ดีกินดีของมนุษย์ (Using their knowledge and skill for the enhancement of human welfare)
2. วิศวกรควรมีความซื่อสัตย์และเป็นกลางในการประสานงานระหว่างนายจ้างและลูกค้า (Being honest and impartial and serving with fidelity the public, their employers and clients)
3. วิศวกรควรมีความพยายามและมีความกระตือรือร้นในการแสวงหาความรู้ใหม่ ๆ เพื่อที่จะเพิ่มความชำนาญและเกิดความมั่นใจในวิชาชีพ (Striving to increase the competence and prestige of the engineering profession)

หรืออาจจะมีเพิ่มเติมบางส่วนในหน้าที่ของวิศวกร

1. วิศวกรควรมีหน้าที่หลักที่จะต้องให้ความสำคัญในด้านความปลอดภัย สุขภาพ และความอยู่ดีกินดีของสาธารณชน (Engineers shall hold paramount the safety, health and welfare of the public in the performance of their professional duties)
2. วิศวกรควรทำงานในวิชาชีพที่ตนเองชำนาญ (Perform service only in areas of their competence) หมายถึงงานที่ไม่ชำนาญหากทำไปอาจจะเกิดผลเสียต่อตนเองและผู้อื่น
3. วิศวกรควรกล่าวที่จะเสนอและออกความเห็นในที่สาธารณะด้วยเหตุและผล (Issue public statements only in an objective and truthful manner)
4. วิศวกรควรสร้างความเชื่อถือที่เกิดจากการทำงานอย่างมีคุณภาพ (Build their professional reputations on the merits of their service) ซึ่งจะมีผลในการสร้างชื่อเสียงในสถานที่ทำงาน
5. วิศวกรควรสร้างความก้าวหน้าในการเรียนรู้สิ่งใหม่ (ภายใต้การดูแลของผู้เชี่ยวชาญ) เพื่อเพิ่มความชำนาญให้กับตนเองและควรจะให้โอกาสและสนับสนุนผู้ใต้บังคับบัญชาในการแสวงหาสิ่งที่มีประโยชน์เพื่อความก้าวหน้า (Continue their professional development throughout their careers and shall provide opportunities for the professional development of those engineers under their supervision)

สรุปบทที่ 1 ประวัติความเป็นมาของความปลอดภัยสอนให้เราทราบว่าเราจะเดินหน้าอย่างปลอดภัยได้อย่างไร ความเข้าใจของคนในโลกปัจจุบันเรื่องความปลอดภัยนั้นอาจจะต้องมองจากเดิมที่มุ่งในเรื่องผลผลิตและความปลอดภัยของพนักงานแล้วยังจำที่จะต้องให้ความสำคัญในเรื่องความปลอดภัยสำหรับผู้อื่นที่มีผลกระทบ (Stakeholder) อีกด้วย อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในแต่ละสถานที่และเวลาอาจมีความเสี่ยงไม่เท่ากันแต่อย่างไรก็ตามหากเราเข้าใจพื้นฐานของอุบัติเหตุเราสามารถลดความเสี่ยงที่อาจจะมีผลทำให้อุบัติเหตุเกิดขึ้นได้ วิศวกรมีบทบาทสำคัญต่อความปลอดภัยแต่ความสำเร็จในการลดอุบัติเหตุจะขึ้นกับความร่วมมือของทุกหน่วยงานในสถานประกอบการไม่เฉพาะหน่วยงานที่ได้รับมอบหมายเท่านั้น

แบบฝึกหัด บทที่ 1

งานเดี่ยว

1. ให้นักศึกษาเรียงความเรื่อง โรงงานในอุดมคติของตน ความปลอดภัยในชีวิตของตน หรือ ความปลอดภัยเกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อมรอบตัวฉัน
2. จงเขียนจริยธรรม และคุณธรรมโดยสมมติว่าท่านเป็นระดับ คนงาน วิศวกร ผู้จัดการ กรรมการผู้จัดการ
3. จงบอก Stakeholder ที่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัย และ Stakeholder ที่เกี่ยวข้องกับสถานประกอบการที่ท่านฝึกงาน หน่วยงานนั้นอาจเป็นองค์กรอิสระ (Non government organization; NGO) หรือเป็นสถาบันเอกชนก็ได้
4. ให้นักศึกษาเล่าประสบการณ์เกี่ยวกับอันตรายที่ตนได้รับจากการทำงานหรือจากการดำรงชีวิต ประสบการณ์นั้นอาจเป็นอันตรายที่เกือบจะเกิด (Near miss) ก็ได้
5. ในข้อที่ 4 นักศึกษามีหลักการหรือวิธีการอย่างไรในการจัดอันตรายที่เกิดขึ้นนั้น

งานกลุ่ม

6. ให้นักศึกษาค้นคว้าหากรณีศึกษาของอุบัติเหตุที่เกิดความสูญเสีย หรือความหายนะ (ความตาย บาดเจ็บ พิการ และสูญเสียทรัพย์สิน) ในระดับที่เป็นข่าวระดับโลก ทั้งในประเทศ และต่างประเทศ มา กลุ่มละ 1 กรณี
7. ให้นักศึกษาในกลุ่มถ่ายภาพสถานการณ์ที่มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดอันตราย อาจจะเป็นสถานการณ์ที่ไม่ปลอดภัยหรือการกระทำที่ไม่ปลอดภัยก็ได้ ทำเป็นรายงาน

บทที่ 2

การบริหารงานความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรม

การบริหารงานความปลอดภัยนั้นสามารถทำให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือทั้งภาครัฐและภาคเอกชน โดยภาพรวมนั้นภาครัฐบาลมีหน่วยงานต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่ออกกฎเกณฑ์หรือกฎหมายต่าง ๆ อย่างเหมาะสม เพื่อที่จะควบคุมโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ให้ปฏิบัติเพื่อช่วยให้เกิดความปลอดภัย รวมทั้งยังมีหน่วยงานของรัฐบาลที่เกี่ยวข้องทำหน้าที่ดูแลความปลอดภัยต่อภาครัฐและเอกชนอีกด้วย ส่วนภาคเอกชนควรที่จะต้องให้ความร่วมมือสนับสนุนนโยบายที่รัฐกำหนด ดังนั้นเราจึงเห็นระเบียบต่าง ๆ มากมาย หากระเบียบหรือแนวทางปฏิบัตินั้นไม่เหมาะสมต่อองค์กร จำเป็นจะต้องนำมาปรับปรุงใหม่จนกว่าจะเกิดผล วิศวกรจึงต้องมองเห็นความสำคัญของการบริหารและการจัดการความปลอดภัย โดยอาศัยความร่วมมือจากหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อความเข้าใจที่ดีในการบริหารและจัดการที่ดีในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งในบทนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

- 2.1 หลักการและกิจกรรมในการปฏิบัติงานในส่วนของการความปลอดภัย
- 2.2 การควบคุมการเกิดอุบัติเหตุและระบบการบริหารความปลอดภัยในโรงงาน
- 2.3 การควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์โดยเฉพาะในสถานะที่มีกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ ความดันสูง และสภาวะที่ผิดปกติพร้อมที่จะเกิดอันตราย
- 2.4 การเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลอย่างเหมาะสม
- 2.5 การประเมินผลโครงการความปลอดภัย (การบ่งชี้อันตรายและการประเมินความเสี่ยง)

2.1 หลักการและกิจกรรมในการปฏิบัติงานในส่วนของการความปลอดภัย

เราอาจจะพบว่าบางหน่วยงานวิศวกรทำหน้าที่หลาย ๆ อย่าง การที่กำหนดบทบาทหน้าที่ต่าง ๆ เพื่อให้เข้าใจการทำงานของทุกหน่วยงานและสามารถติดต่อประสานงานอย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นที่จะต้องศึกษาหลักการ 4E และกิจกรรมเช่น 5S ซึ่งเป็นกิจกรรมส่วนหนึ่งของความปลอดภัยดังต่อไปนี้

หลักการ 4E สามารถจำลองเพื่อนำมาใช้ในทางปฏิบัติเนื่องจากหลักการ 4E จะช่วยเสริมสร้างความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งได้แก่

$E_1 = \text{Engineering}$ คือการใช้ความรู้ ทางวิชาการด้านวิศวกรรมมาใช้ในการคำนวณออกแบบเครื่องมือเครื่องจักรเพื่อการใช้งานในสภาพที่ปลอดภัยที่สุด (Safety optimization) การติดตั้งเครื่องป้องกันอันตรายในส่วนที่มีการเคลื่อนไหวหรืออันตรายของเครื่องจักร การวางผังโรงงาน ระบบไฟฟ้า แสงสว่าง เสียง และการระบายอากาศ เป็นต้น

$E_2 = \text{Enforcement}$ คือการกำหนดวิธีการทำงานอย่างปลอดภัยและมาตรการควบคุมบังคับให้คนงานปฏิบัติตามเป็นระเบียบปฏิบัติที่ต้องประกาศให้ทราบทั่วกัน หากผู้ใดฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามจะต้องถูกลงโทษเพื่อให้เกิดความสำนึกและหลีกเลี่ยงการทำงานที่ไม่ถูกต้อง หรือเป็นอันตราย

$E_3 = \text{Education}$ คือการให้การศึกษา หรือฝึกอบรมและแนะนำคนงาน หัวหน้างานตลอดจนผู้เกี่ยวข้องในการทำงานให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการป้องกันอุบัติเหตุและเสริมสร้างความปลอดภัยในโรงงานให้รู้ถึงอุบัติเหตุจะเกิดขึ้นและป้องกันได้อย่างไร และทำงานวิธีใดจึงจะปลอดภัยที่สุด

E_4 = Environment คือการสร้างสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสม ผลคือจะทำให้ E_2 หรือการออกกระเปียบปฏิบัติต่าง ๆ ก็จะเป็นไปโดยอัตโนมัติ เนื่องจากพนักงานจะไม่มีโอกาสที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุจากสภาพการณ์และการกระทำที่ไม่ปลอดภัยซึ่งเป็นผลพวงมาจาก E_1 และ E_3 ด้วย

หลักการ 4E จะต้องดำเนินการไปพร้อมกัน จึงทำให้การป้องกันอุบัติเหตุ และการสร้างความปลอดภัยในโรงงานมีประสิทธิภาพสูงสุด เช่น เครื่องจักรที่ออกแบบมาถูกต้องตามหลักวิชาการ หรือทางวิศวกรรม (E_1) กล่าวคือ มีเครื่องป้องกันอันตราย หรือการ์ด (Machine guarding) ติดตั้งไว้อย่างเหมาะสมแล้วก็ตาม คนงานอาจจะเห็นว่าเกะกะไม่จำเป็น จึงถอดออก และทำงานด้วยความเสี่ยงต่อไป ดังนั้นจึงต้องมีการฝึกอบรมแนะนำคนงานถึงวิธีการทำงานกับเครื่องจักรตัวนั้น หรือชี้แนะให้เห็นอันตรายที่จะเกิดขึ้นหากถอดเครื่องป้องกันอันตรายออก เราควรจะกำหนดวิธีการทำงานอย่างปลอดภัย และ/หรือออกกระเปียบข้อบังคับ (E_2) ว่าถ้าใครถอดเครื่องป้องกันหรือฝากรอบส่วนเคลื่อนไหว หรือส่วนที่เป็นอันตรายต่อเครื่องจักร เช่น สายพานมูเลย์ ฯลฯ โดยไม่มีเหตุผลอันสมควร จะต้องถูกลงโทษอย่างหนึ่งอย่างใด

ในทำนองเดียวกัน แม้จะมีข้อบังคับห้ามถอดการ์ดแล้ว หากคนงานไม่ได้รับการแนะนำหรือชี้แนะวิธีการทำงานที่ถูกต้องปลอดภัย และไม่เห็นความสำคัญของการการ์ดแล้ว คือขาดการศึกษา (E_2) คนงานก็อาจจะปฏิบัติงานอย่างผิดวิธีทำให้เกิดอันตรายได้ นอกจากจะทำให้เกิดอุบัติเหตุหรือเครื่องจักรอาจเสียหายและผลที่ตามมาคือเกิดผลเสียหายมากมายดังที่เราทราบแล้วจากบทที่ 1 แล้ว

อย่างไรก็ตามท้ายสุดเราต้องพยายามปรับสิ่งแวดล้อม (E_4) ในการทำงานให้ดีขึ้น จะทำให้โอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุก็จะลดลงเช่นการออกแบบในด้านความสะดวกสบายต่อการทำงานของพนักงานโดยมีการ์ดที่ไม่เกะกะและพนักงานไม่รู้สึกรำคาญ ผลทำให้ทางผู้ประกอบการจึงไม่จำเป็นที่จะต้องไปออกมาตรการควบคุมข้อบังคับไม่ให้เอาการ์ดออกกับทุก ๆ คน ตัวอย่างนี้ก็คือการใช้หลักการ 4E ทั้งหมดไปพร้อมกัน ดังนั้น โอกาสที่เกิดอุบัติเหตุจากการทำงานกับเครื่องจักรตัวนั้นมีน้อยมากผลคือพนักงานทำงานได้อย่างสะดวกสบายและมีความปลอดภัยในที่สุด

ดังนั้นการใช้หลักการ 4E โดยนำทั้งวิชาการวิศวกรรม (Engineering) การออกกฎข้อบังคับ (E_2) การให้การอบรมแก่คนงาน (E_3) และการปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการทำงาน (E_4) จึงควรจะถูกนำมาดำเนินการพร้อมกันอย่างเหมาะสมในกระบวนการผลิตและการบริหารโรงงานนั้น จึงจะเป็นมาตรการที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดต่อการป้องกันอุบัติเหตุ และการเสริมสร้างความปลอดภัย กับโรงงานในเวลาอันสั้น

เนื่องจากการศึกษาและการฝึกอบรมด้านความปลอดภัย (Safety Education and Training) เป็นสิ่งสำคัญจากหลักการ 4E นั้น E_3 หรือ Education ควรจะให้ความสนใจเป็นพิเศษเนื่องจากเป็นสิ่งที่สามารถกระทำได้ไม่ยาก และเป็นการปลูกฝังความเข้าใจด้านความปลอดภัย (Safety Education) ในการปฏิบัติงานนั้นหมายถึงเป็นการพัฒนาความรู้และจิตใจที่เกี่ยวกับความปลอดภัยอันได้แก่ ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความสำคัญในการกำจัดอุบัติเหตุ และการแก้ไขปรับปรุงวิธีการทำงานและสภาพแวดล้อมที่อันตรายให้มีความปลอดภัย ดังนั้นการฝึกอบรมด้านความปลอดภัย (Safety Training) จึงหมายถึง การพัฒนาความสามารถและความชำนาญของคนงานในการทำงานอย่างถูกวิธีและมีความปลอดภัย

การให้การศึกษากับคนงานนี้ สามารถทำได้ทั้งในโรงงานและนอกโรงงาน สำหรับในโรงงานอาจทำได้โดยการเชิญวิทยากรภายนอกมาบรรยาย การอบรมเดือนละครั้ง ปีละครั้ง โดยผู้รู้และมีประสบการณ์ในโรงงาน

จากหลายๆหน่วยงาน เป็นต้น ส่วนการศึกษาอบรมนอกโรงงานทำได้โดยส่งคนงานไปเข้าศึกษาหรือฝึกอบรมตามหน่วยงานหรือศูนย์ต่าง ๆ ที่มีหลักสูตรด้านนี้ หรือ การให้การศึกษา และการฝึกอบรมสามารถพัฒนาความรู้ความสามารถและวิธีการทำงานอย่างปลอดภัยให้กับคนงานและยังเป็นการล้างทัศนคติเก่า ๆ ที่ว่าอุบัติเหตุเป็นเรื่องของโชคเคราะห์ของผู้บาดเจ็บ หรือเป็นโชคดีของผู้รอดพ้นจากภัย นั้น ๆ แท้จริงแล้วอุบัติเหตุสามารถป้องกันแก้ไขได้โดยการจัดสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือ สภาพการที่ไม่ปลอดภัย (Safety condition) และการกระทำที่ไม่ปลอดภัย (Safety act) ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ทฤษฎีโดมิโนของเฮนริช

กิจกรรม 5ส. มีความสำคัญเนื่องจากเป็นกิจกรรมหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตควบคู่ไปกับการสร้างความปลอดภัยโดยกิจกรรม 5ส ใช้ในการปรับปรุงสภาพการทำงานเพื่ออำนวยความสะดวกให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงาน ความปลอดภัยและคุณภาพของงานอันเป็นพื้นฐานในการเพิ่มผลผลิต โดย 5ส (ภาษาญี่ปุ่น) ย่อมาจาก

- สะสาง (SEIRI)
- สะดวก (SEITON)
- สะอาด (SEISO)
- สุขลักษณะ (SEIKETSU)
- สร้างเสริมนิสัย (SHITSUKE)

ความหมายของ 5ส

- (1) สะสาง (Seri) แยกสิ่งที่ไม่จำเป็นและกำจัดสิ่งที่ไม่จำเป็นทันที หน่วยงานต่าง ๆ มักมีเศษวัสดุ ชิ้นงานบกพร่อง หรือขยะที่ไม่ต้องการสะสมได้ง่าย ซึ่งทำให้หน่วยงานแคบหรือขัดขวางการผลิตจนทำงานแย่งลง
- (2) สะดวก (Seiton) เป็นการแบ่งกลุ่มสิ่งที่จะต้องใช้งานและเก็บในที่ที่หยิบใช้ได้ง่ายในสภาพที่ปลอดภัยและรักษาคุณภาพ
- (3) สะอาด (Seiso) กำจัดความสกปรกโดยทำความสะอาดเครื่องจักร อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้ บริเวณทางเดินและพื้นที่ทำงานให้ปราศจากขยะฝุ่นผงและเศษวัสดุ
- (4) สุขลักษณะ (Seiketsu) รักษาสถานที่ทำงานให้สะอาดและนำทำงานใน 3ส แรกให้ดูดีอยู่เสมอ พร้อม ๆ กับการคำนึงถึงสุขภาพอนามัยของพนักงาน
- (5) สร้างเสริมนิสัย (Shitsuke) เป็นการดำเนินงานในเรื่องสะสาง สะดวก สะอาด สุขลักษณะ อย่างต่อเนื่องเป็นนิสัย และปฏิบัติตามกฎระเบียบของบริษัทอย่างเคร่งครัด

ผลของการพัฒนา “5ส” เพื่อความปลอดภัย

หากไม่มีการพัฒนา 5ส หน่วยงานอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อด้านความปลอดภัยดังนี้

- (1) **อันตราย** ถ้า “5ส” ในหน่วยงานไม่ดีแล้วจะเกิดอุบัติเหตุและอัคคีภัยได้ง่าย ถ้าหน่วยงานที่มีวัสดุชิ้นงานบนพื้น มีท่อและสายไฟที่อาจทำให้เดินสะดุดได้ และมีน้ำ น้ำมัน ขยะ และฝุ่น ผอมปะปนอยู่จะเป็นบ่อเกิด ของอันตราย นั่นคือ สภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย
- (2) **สุขภาพอนามัยของพนักงาน** ถ้า “5ส” ไม่ดีแล้วสภาพแวดล้อมของหน่วยงานก็แย่ไปด้วยนอกจากจะเกิดอันตรายแล้วยังอาจเกิดโรคจากการทำงานได้อีกด้วย

- (3) วัสดุอันตรายและมีพิษ หน่วยงานที่ใช้วัสดุอันตรายและมีพิษ 5 ส มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพราะจะช่วยให้บริหารจัดการอันตรายให้แพร่กระจายออกไป
- (4) ปัญหาและความขัดข้องของเครื่องจักรอุปกรณ์ ถ้าไม่มี “5ส” แล้วเครื่องจักรอุปกรณ์จะสึกหรอเนื่องจากเศษโลหะขี้เถ้าและฝุ่นผงจะทำให้ความเที่ยงตรงเครื่องจักรลดลง อายุการใช้งานเครื่องจักรสั้นลง โดยเฉพาะเครื่องจักรที่เป็นระบบอัตโนมัติจะมีความละเอียดอ่อนและควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ที่แม่นยำสูง ถ้าระบบควบคุมมีฝุ่นผงจะเกิดปัญหาได้ง่าย
- (5) การแสดงที่ไม่ชัดเจนก่อให้เกิดอุบัติเหตุ ความบกพร่องของ “5ส” อาจทำให้ระบบการควบคุมเครื่องจักรผิดพลาด ควบคุมผิดหรือตัดสินใจผิด ๆ จนเกิดอุบัติเหตุและอันตรายอย่างใหญ่หลวงได้

ยกตัวอย่าง 5ส ที่มีการสำรวจตรวจสอบของหน่วยงานการผลิตสามารถแจกแจงได้ดังนี้

โดยทั่วไปจุดที่ควรตรวจสอบของหน่วยงานมีดังนี้

1. ทางเดิน

- (1) ความกว้างของทางเดินที่ปลอดภัยหรือกว้างกว่า 80 ซม. หรือไม่
- (2) ทางเดินแยกจากส่วนที่ทำงานด้วยการตีเส้นสีเหลืองหรือไม่
- (3) มีสิ่งของวางเกะกะหรือไม่
- (4) มีส่วนขรุขระหรือพื้นต่างระดับที่ไม่ปลอดภัยหรือไม่
- (5) มีน้ำมันหรือน้ำหกอยู่ที่พื้นหรือไม่
- (6) มีสายไฟหรือท่อเกะกะหรือไม่

2. พื้นที่ทำงาน

- (1) มีส่วนขรุขระหรือไม่
- (2) มีน้ำมันหรือน้ำหกอยู่หรือไม่
- (3) มีสายไฟหรือท่อวางไว้อย่างไม่ปลอดภัยหรือไม่
- (4) เครื่องมือ อุปกรณ์ทำงานและอุปกรณ์ทำความสะอาดอยู่ในจุดที่กำหนดและใช้งานได้ง่ายหรือไม่
- (5) สิ่งของอันตรายและมีพิษอยู่ในภาชนะแยกเฉพาะหรือไม่

3. เครื่องจักรอุปกรณ์

- (1) มีเครื่องมือ อุปกรณ์หรือวัสดุวางไว้ใกล้ส่วนที่เคลื่อนไหวได้ของเครื่องจักรหรือไม่
- (2) เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่จำเป็นได้เก็บไว้ในที่ปลอดภัย สามารถหยิบใช้ได้ง่ายและวางไว้อย่างมั่นคงหรือไม่
- (3) ชิ้นงานสำเร็จแล้ววางไว้ไม่ทำให้คนเดินผ่านไปให้ล้มหรือสะดุดหรือไม่
- (4) มีฝุ่นผงหรือเศษวัสดุกระจายอยู่รอบเครื่องจักรหรือไม่
- (5) แผงสวิทช์ควบคุมเครื่องจักรสกปรกจนดูไม่ชัดเจนหรือไม่
- (6) ดวงไฟสกปรกจนมืดหรือไม่
- (7) น้ำมันจากการกลิ้งหกละเทอะหรือไม่
- (8) ที่แท่นมีส่วนชำรุดจนทำให้หกล้มหรือไม่

- (9) ชุดทำงานสะอาดและปลอดภัยหรือไม่
- (10) ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่จำเป็นหรือไม่
- (11) มีการห้ามใส่ถุงมือผ้าทำงานกับเครื่องจักรที่มีส่วนที่เคลื่อนที่หรือหมุน ได้หรือไม่

นอกจากนี้ยังมีข้อพึงระวังบางส่วนเช่น

- (1) ส่วนที่แหลมคม โดยทั่วไปเครื่องจักรอาจมีส่วนที่แหลมคมและหมุนได้ถ้าวงเครื่องมืออุปกรณ์ใกล้จุดที่หมุนของเครื่องจักร จะทำให้เกิดอันตรายได้ จากการที่ใส่เสื้อผ้าที่รุ่มร่ามไม่รัดกุม อาจทำให้เครื่องจักรดึงเข้าไป การกระเด็นของอุปกรณ์ การโดนส่วนแหลมคมของเครื่องจักร
- (2) ส่วนที่เคลื่อนที่หรือหมุนของเครื่องจักร ถือเป็นจุดอันตรายของเครื่องจักร
- (3) บริเวณรอบ ๆ เครื่องจักร อาจมีการวางสิ่งของเกะกะ
- (4) การทำความสะอาดเครื่องจักรและส่วนรอบข้าง ความสกปรกทำให้เกิดความไม่ชัดเจนและการมองที่ไม่เด่นชัด

4. งานซ่อมบำรุง

- (1) มีการเตรียมเรื่องความปลอดภัย ก่อนลงมือซ่อมแล้วหรือยัง
- (2) มีเครื่องมือขนาดและประเภทต่าง ๆ อุปกรณ์ เครื่องป้องกันและป้ายต่าง ๆ พร้อมและจัดวางไว้ให้ใช้ได้ง่ายแล้วหรือยัง
- (3) ติดป้าย “ห้ามเข้า” ห้ามเดินเครื่องจักรในจุดที่จำเป็นแล้วหรือยัง
- (4) สวิตช์ไฟฟ้านั้นนอกจากป้ายแล้วได้ติดเครื่องป้องกันเอาไว้ด้วยหรือไม่
- (5) เอาสิ่งของวางหรือพียงที่แผงควบคุมสวิตช์หรือไม่
- (6) ขึ้นส่วนเล็ก ๆ เช่น นอต สกรูอยู่ในกล่อง และอาจตกลงมาได้หรือไม่
- (7) มีการกักน้ำมันที่ไหลออกจากเครื่องจักรหรือไม่
- (8) บริเวณเชื่อมโลหะมีสะเก็ดไฟ มีสารไวไฟอยู่ใกล้หรือไม่
- (9) เมื่อปฏิบัติงานเสร็จแล้วอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนที่ใช้แล้วเก็บเรียบร้อยแล้วหรือไม่
- (10) การัดของเครื่องจักร ปิดไว้ที่เดิมหรือไม่

นอกจากนี้ยังมีข้อพึงระวังบางส่วนเช่น

- (1) เตรียมก่อนเริ่มงาน ในระหว่างซ่อมเครื่องจักรอาจเกิดอันตรายได้ง่าย จึงต้องเตรียมอุปกรณ์ ความปลอดภัยให้พร้อม เช่นงานเชื่อมด้วยไฟฟ้า ต้องเตรียมเครื่องดับเพลิง ป้ายห้ามต่าง ๆ
- (2) มาตรการป้องกันอันตรายล่วงหน้า ได้แก่การใช้รั้วกันและติดป้ายห้ามเข้าให้ชัดเจน ต้องปิดสวิตช์และติดป้าย “ห้ามเดินเครื่องจักร” หากบริเวณที่ทำงานมีสารพิษควรทำการตรวจปริมาณสารพิษตกค้างก่อนเข้าไปทำงาน

5. ขณะปฏิบัติงาน

ขณะปฏิบัติงานนั้นมักจะบ่งชี้หรือชี้ชัดความระมัดระวังในการวางเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ชิ้นส่วนที่ถอดไว้เกะกะ น้ำมันหกไหลนองพื้น

6. การเก็บกวาดเมื่อเสร็จสิ้น

หลังการปฏิบัติงานจะต้องทำการเก็บกวาดอุปกรณ์และทำความสะอาดให้เรียบร้อย รวมทั้งการตั้งเครื่องจักรให้เรียบร้อย

7. อุปกรณ์ไฟฟ้า

- (1) ในรั้วของอุปกรณ์ไฟฟ้ามีสิ่งกีดขวางอยู่หรือไม่ และปิดกุญแจและป้ายห้ามเข้าหรือไม่
- (2) แป้นสวิตช์ไฟฟ้าสกปรก เนื่องจากฝุ่นผงหรือน้ำมันหรือไม่
- (3) น้ำหรือน้ำฝนเข้าไปในอุปกรณ์ไฟฟ้าได้หรือไม่
- (4) สายไฟฟ้าพ่วงเกะกะ บริเวณที่ทำงานหรือไม่
- (5) เต้าเสียบที่มีสายไฟฟ้าต่อรวมกันมากขึ้น เขียนอุปกรณ์ไว้ที่ปลั๊กแล้วหรือยัง
- (6) ต่อสายกันอย่างระมัดระวังหรือไม่
- (7) สายปลั๊กไฟฟ้าชำรุดหรือไม่
- (8) สายไฟฟ้าเดินไว้อย่างเหมาะสมหรือไม่

นอกจากนี้ยังมีข้อพึงระวังบางส่วนเช่น

- (1) บริเวณรอบ ๆ อุปกรณ์ไฟฟ้า ต้องสะอาดเพื่อสะดวกในการเปิดปิดสวิตช์ไฟฟ้า
- (2) ความสกปรกและการแยกส่วนปลั๊กย่อยในอุปกรณ์ไฟฟ้า ความสกปรกและฝุ่นต่าง ๆ มีผลต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นอย่างมาก เพราะทำให้ส่วนสัมผัสต่าง ๆ ของอุปกรณ์ไฟฟ้าเสื่อม ลัดวงจร หรือเกิดความร้อนสูงได้ง่าย
- (3) น้ำกับไฟฟ้า เนื่องจากน้ำหรือความชื้นเป็นศัตรูสำคัญทางอุปกรณ์ไฟฟ้า ถ้ามีน้ำแล้วไฟฟ้าจะรั่ว และถ้าผิวหนังเปียกน้ำจะทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของคนลดลง มีโอกาสลัดวงจรได้ง่าย
- (4) การจัดระเบียบของสายไฟฟ้าพ่วง สายอุปกรณ์ไฟฟ้ามักจะต่อลากปลั๊กผ่านไปบนพื้น หรือแขวนจากที่สูงจนไม่เป็นระเบียบเรียบร้อย

8. เครื่องมือ

- (1) เครื่องมือประเภทและขนาดที่เหมาะสมกับงานหรือไม่
- (2) มีการซ่อมแซมเครื่องมือให้อยู่ในสภาพใช้งานได้หรือไม่
- (3) เก็บไว้อย่างเป็นระเบียบหยิบใช้ง่ายในจุดที่กำหนดหรือไม่
- (4) เครื่องมือที่แหลมคมหุ้มไว้อย่างปลอดภัยหรือไม่
- (5) หินเจียรในมือรอยชำรุดหรือไม่
- (6) วางเครื่องมือไว้ใกล้ส่วนมีคมหรือส่วนขับเคลื่อนที่เป็นอันตรายของเครื่องจักรหรือไม่
- (7) วางไว้ที่สูงอย่างมั่นคง ซึ่งอาจตกลงมาได้ง่ายหรือไม่
- (8) วางไว้ที่บันไดทางเดิน หรือบริเวณทำงานหรือไม่
- (9) จุดห้ามวางที่เกิดประกายไฟหรือระเบิดได้นั้นได้ใช้เครื่องมือที่เกิดประกายไฟหรือไม่

นอกจากนี้ยังมีข้อพึงระวังบางส่วนเช่น

- (1) การเตรียมเครื่องมือให้เหมาะสมกับการทำงาน การใช้เครื่องมือผิดประเภทจะต้องมีอันตรายจะต้องมีเครื่องมือในประเภทและขนาดตามการใช้งาน

- (2) การตรวจสอบ เครื่องมือที่ชำรุดและสึกหรอต้องตรวจสอบเมื่อเลิกใช้งาน
- (3) การเก็บรักษา ต้องเก็บเครื่องมือที่จำเป็นไว้ใช้งานได้ง่าย หรือมีห้องหรือกล่องเครื่องมือมีการแบ่งประเภทและขนาดไว้

9. วัตถุอันตราย

จะขอแบ่งวัตถุอันตรายออกเป็น 4 ส่วนคือ ก๊าซ แก๊ส สารอินทรีย์เคมี สารเคมีและฝุ่นผง

9.1 ก๊าซ

- (1) เก็บถังแก๊สไว้โดยแยกกลุ่มหรือไม่
- (2) เก็บโดยการวางตั้ง และมีที่ป้องกันการล้มกลิ้งหรือไม่
- (3) มีฝาครอบวาล์วหรือไม่
- (4) เก็บแก๊สไว้นอกซิเจนหรือคลอรีนที่ช่วยติดไฟไว้ในที่เดียวกันหรือไม่
- (5) เก็บถังแก๊สไว้ในที่อุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส และแสงแดดโดยตรงและมีการระบายอากาศได้ดีหรือไม่
- (6) ที่เก็บถังแก๊สติดไฟหรือช่วยให้ติดไฟมีแหล่งไฟเกิดขึ้นหรือไม่
- (7) ถังออกซิเจนและน้ำมันไขมัน หรือผ้าเปียกน้ำมันอยู่รวมสิ่งๆที่ติดไฟได้ง่ายมีการจัดเป็นสัดส่วนหรือไม่

นอกจากนี้ยังมีข้อพึงระวังเนื่องจากถังแก๊สเป็นภาชนะหลักชนิดหนึ่งที่บรรจุมีความดันสูง (150 กก/ซม²) จึงจำเป็นต้องทำ “5ส” ให้ดี และเก็บรักษาให้ปลอดภัย

- สถานที่เก็บต้องแยกประเภทถัง และมีที่ล็อกถังเพื่อป้องกันการล้มกลิ้ง
- สถานที่เก็บสะอาด ไม่มีสิ่งไวไฟ หรือน้ำมัน
- รักษาอุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส

9.2 สารละลายอินทรีย์เคมี

- (1) เก็บไว้ในที่กำหนดหรือไม่
- (2) แสดงสถานที่เก็บไว้ชัดเจนหรือไม่ และระบายอากาศดีหรือไม่
- (3) ภาชนะเก็บแสดงสิ่งที่บรรจุหรือไม่
- (4) บริเวณที่เก็บสารไวไฟมีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดประกายไฟอยู่หรือไม่
- (5) สารละลายรั่วไหลหรือไม่
- (6) ภาชนะมีฝาปิดป้องกันการระเหยหรือไม่
- (7) สถานที่ใช้มีป้ายแสดงด้านความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยหรือไม่

นอกจากนี้ยังมีข้อพึงระวังบางส่วนเช่น

- ต้องมีป้ายแจ้งเตือน
- ต้องมีการกำจัดของเสียที่รั่วออกมา
- บริเวณที่ทำงานต้องระบายอากาศได้ดี ใส่ชุดป้องกันพิษ
- ห้ามใช้ใกล้บริเวณที่มีประกายไฟ สำหรับสารติดไฟ

9.3 สารเคมี

- (1) เก็บไว้ในสถานที่ที่กำหนดหรือไม่
- (2) เก็บไว้โดยแสดงสิ่งที่เป็นบรรจุและแยกแผนกที่บรรจุหรือไม่
- (3) เก็บสารเคมีไว้ในที่ปลอดภัย และผู้ไม่มีหน้าที่ให้นำออกมาใช้หรือไม่
- (4) กรดเข้มข้น อยู่ในกล่องที่ไม่กัดกร่อนหรือไม่
- (5) มีการระบายอากาศบริเวณที่ใช้สารเคมีดีหรือไม่
- (6) บริเวณที่เก็บสารเคมีมีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้ไว้หรือไม่

นอกจากนี้ยังมีข้อพึงระวังบางส่วนเช่น

- ภาชนะใส่เคมีต้องมีป้ายแสดง
- เตรียมอุปกรณ์ป้องกันขณะใช้งาน

9.4 ฝุ่นผง

การแบ่งฝุ่นผงจะถูกแบ่งได้เป็นชนิดติดไฟหรือไม่ติดไฟ ควรมีลักษณะที่ระบายอากาศที่ดีและต้องทำความสะอาดอยู่เสมอ

- (1) มีการทำ “5ส” บริเวณที่เกิดฝุ่นผงหรือไม่
- (2) มีการระบายอากาศดีหรือไม่

10. งานที่สูง

- (1) เครื่องมือ อุปกรณ์ช่วยยก หามวก และเข็มขัดนิรภัย จัดเตรียมไว้หรือยัง และจัดวางไว้ในที่กำหนดและใช้อย่างถูกต้องหรือไม่
- (2) “5ส” ของแท่นงานดีหรือไม่ มีน้ำมัน ทาราย หรือเครื่องมือที่อาจทำให้ลื่นสะดุดได้หรือไม่
- (3) อุปกรณ์ที่วางไว้ที่สูงอยู่ในที่เก็บป้องกันการตกได้หรือไม่
- (4) วางของที่บนได้ ช่องขึ้นลงหรือขานพักไว้หรือไม่
- (5) กำหนดและแสดงน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่พื้นนั่งร้านไว้หรือไม่
- (6) ติดป้าย “ห้ามเข้า” ใต้จุดทำงานที่สูงและป้องกันคนเข้าไปหรือยัง
- (7) เก็บงานเรียบร้อยดีหรือไม่ ทำความสะอาดดีหรือยัง

นอกจากนี้ยังมีข้อพึงระวังบางส่วนเช่น

- (1) “5ส” กับการป้องกันการตกจากที่สูง ความปลอดภัยของงานในที่สูงนั้น การป้องกันการตกและของหล่นเป็นเรื่องสำคัญเนื่องจากการตกหล่นจากพื้นสูงจะมีอันตราย ถ้าสูงมากยิ่งอันตรายมากงานในที่สูงต้องทำ 5ส ให้ดี ถ้าบกพร่องแล้วจะเกิดอันตรายได้ง่าย
- (2) มาตรการควบคุมความปลอดภัยเมื่อทำงานในที่สูงกับ “5ส” การทำงานในที่สูงนั้นอาจเกิดอันตรายเพราะคนหรือของตก จึงต้องห้ามเข้าเขตอันตรายและถ้าวางวัสดุอุปกรณ์ก็ต้องแยกจุดที่ควรและไม่ควรวาง
- (3) การเก็บงานเมื่อแล้วเสร็จ ถึงแม้จะทำงานเสร็จแล้วก็ไม่ควรวางวัสดุ อุปกรณ์หรือเศษสิ่งของต่าง ๆ ไว้เพราะอาจตกเมื่อรถที่นั่งร้าน หรือเมื่อเดินเครื่องได้

11. การยกเคลื่อนย้าย (ด้วยกำลังคน)

- (1) 5ส ในหน่วยงานดีหรือไม่
- (2) เส้นทางยกเคลื่อนย้ายกว้างพอหรือไม่
- (3) มีน้ำ น้ำมันหรือสิ่งกีดขวางบนพื้นทำให้ลื่นสะดุดได้หรือไม่
- (4) แสงสว่างในสถานที่ทำงานเพียงพอหรือไม่
- (5) การวางหีบห่ออาจล้มล้มได้หรือไม่
- (6) การวางหีบห่อไว้เป็นระเบียบเรียบร้อยหรือไม่
- (7) ของขนาดเล็กอยู่ในกล่องหรือภาชนะหรือไม่
- (8) เครื่องมือขนย้าย ได้ตรวจซ่อมและเก็บไว้ในที่สะดวกต่อการใช้งานหรือไม่
- (9) แท่นรองและเครื่องมือยกของขึ้นสูงนั้นตรวจซ่อมและเก็บในที่กำหนดและใช้ถูกต้องหรือไม่
- (10) สิ่งอันตรายและมีพิษมีการลำเลียงที่ป้องกันอย่างปลอดภัยดีพอหรือไม่หรือใช้เครื่องมือป้องกันที่เหมาะสมแล้วหรือไม่

นอกจากนี้ยังมีข้อพึงระวังบางส่วนเช่น

- (1) “5ส” ในหน่วยงานกับการจัดช่องทางยก การรักษาเส้นทางยกเคลื่อนย้ายและ “5ส” ของหน่วยงาน ให้มีแสงสว่างที่เพียงพอ การกำจัดสิ่งกีดขวาง
- (2) การวางวัสดุให้มั่นคง ทำการกำหนดที่วางและแผนกตามประเภท ขนาดและรูปร่าง เพื่อความสะดวกและปลอดภัย มีช่องว่างเพียงพอ เพื่อให้ยกเคลื่อนย้ายได้ง่าย
- (3) การใช้และเตรียมเครื่องมือขนย้าย งานขนย้ายอาจมีการฝืนกำลังหรือสูญเสียเปล่า การทำงานอย่างปลอดภัยนั้นต้องใช้เครื่องมือขนย้ายที่เหมาะสม ต้องเตรียมเครื่องมือที่สะดวกและบังคับง่าย และการขนย้ายในทิศทางที่ถูกต้อง
- (4) การเตรียมอุปกรณ์ช่วยยก ในสถานที่ทำงานหรือโกดังที่แคบนั้น หากต้องวางของจำนวนมากโดยใช้ชั้นที่มีความสูง ถ้าไม่มีอุปกรณ์ช่วยยกที่สะดวกและใช้งานได้ง่าย เมื่อเอาของเข้าออกจากที่สูงแล้วจะไม่ปลอดภัย และอาจล้มคว่ำได้ง่าย

12. อุปกรณ์ช่วยยกต่าง ๆ

- (1) เตรียมงานที่ปลอดภัยในงานแขวนหรือยัง
- (2) เตรียมอุปกรณ์ที่ตรงตามน้ำหนักและรูปร่างชิ้นงานไว้ในที่ที่กำหนดและใช้อย่างถูกต้องหรือไม่
- (3) จุดที่วางและเส้นทางลำเลียง มีสิ่งกีดขวางหรือไม่ และ “5ส” รอบข้างดีไหม
- (4) เมื่อยกแขวนชิ้นงานจะแกว่งหรือตกได้หรือไม่ ตำแหน่งงานมีที่ว่างเพียงพอหรือไม่
- (5) มีไม้หมอนรองรับน้ำหนักสิ่งของเพื่อสะดวกในการยกเคลื่อนย้ายหรือไม่
- (6) เมื่อเสร็จงานแล้วเก็บชุดแขวน แผ่นรอง ไม้หมอน ไว้ในจุดที่กำหนดและจัดระเบียบไว้ดีหรือไม่

นอกจากนี้ยังมีข้อพึงระวังบางส่วนเช่น

- (1) การจัดระเบียบอุปกรณ์ที่ใช้ในการแขวนสิ่งของต่าง ๆ ต้องกำหนดที่วางให้แน่ชัด แบ่งประเภทและบอกน้ำหนักที่จะแขวนไว้ด้วย
- (2) การเตรียมเครื่องมือทำงาน อุปกรณ์เครื่องมือ เพื่อใช้ในการทำงานต้องทำอย่างเหมาะสม
- (3) “5ส” ในการยกสิ่งของ เมื่อยกและวางชิ้นงานนั้นจะเกิดอันตรายได้ง่ายสถานที่ทำงานต้องมี “5ส” พื้นที่บริเวณนั้นต้องไม่มีสิ่งกีดขวางเกะกะและต้องเพียงพอสำหรับยกเคลื่อนย้ายได้สะดวก
- (4) การเก็บงาน (เมื่อเสร็จงาน) เมื่อเสร็จงานแล้วต้องเก็บอุปกรณ์การใช้งานต่าง ๆ เข้าที่เดิมเสมอ ถ้าเก็บงานไม่ดีแล้วจะเกิดอุบัติเหตุเมื่อทำงานครั้งต่อไป และทำงานไม่ปลอดภัย

13. อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล

- (1) อุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันต้องใช้ให้เหมาะสมกับงานและเก็บไว้ในที่ที่กำหนดหรือไม่
- (2) มีจำนวนเพียงพอหรือไม่
- (3) ชำรุดหรือสกปรก และมีสำรองหรือไม่
- (4) กำหนดผู้ควบคุมและตรวจซ่อมตามระยะเวลาหรือไม่
- (5) กำหนดวิธีการใช้และแสดงไว้อย่างชัดเจนหรือไม่
- (6) มีอยู่ในหน่วยงานหรือไม่
- (7) อุปกรณ์ช่วยชีวิตยามฉุกเฉินมีการตรวจสอบให้อยู่ในสภาพพร้อมสำหรับการใช้งานหรือไม่

นอกจากนี้ยังมีข้อพึงระวังบางส่วนเช่น

- (1) วิธีเก็บรักษา ต้องมีการเก็บรักษาให้ถูกต้องและดูแลให้สะอาดอยู่เสมอ
- (2) การตรวจซ่อม ต้องมีการตรวจซ่อมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้อยู่ในสภาพที่ใช้ทำงานได้ตลอดเวลา
- (3) การใช้งาน ต้องใช้ให้ถูกต้องตามลักษณะงาน
- (4) อุปกรณ์ช่วยชีวิตฉุกเฉิน ต้องทำการตรวจสอบพร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา

14.ชุดทำงาน

- (1) หลวมหรือยาวเกินไปหรือไม่
- (2) ขาดหรือมีส่วนรุ่งริ่งหรือไม่
- (3) สะอาดหรือไม่ มีน้ำมัน สารเคมีเปื้อนหรือไม่
- (4) พับปลายแขนเสื้อหรือขากางเกงหรือไม่
- (5) ให้หมวกครอบคลุมผมให้มิดชิดหรือไม่
- (6) ใช้ถุงมือผ้ากับงานที่มีส่วนของเครื่องจักรที่หมุนได้หรือไม่
- (7) รองเท้าลื่นหรือไม่
- (8) ในกระเป๋ามีของแหลมคม ของอันตรายและมีพิษอยู่หรือไม่ (รวมขวดเล็ก ๆ)
- (9) เมื่อทำงานกับฝุ่นที่ติดไฟ ระเบิด หรือมีพิษแล้วใส่ชุดที่มิดชิดหรือไม่
- (10) ในจุดที่มีแก๊สไวไฟ ฝุ่น และสารเคมีไวไฟซึ่งห้ามใช้ไฟนั้น ใส่ชุดป้องกันไฟฟ้าสถิตรองเท้าป้องกัน ใช้แผ่นต่อลงดิน และป้องกันไฟฟ้าสถิตจากร่างกายไว้หรือไม่

นอกจากนี้ยังมีข้อพึงระวังบางส่วนเช่น

- (1) ชุดทำงานต้องสะอาด
 - ถ้าเปื้อนน้ำมันแล้วจะติดไฟได้ง่าย สถานที่ที่มีการใช้แก๊สออกซิเจนจะยิ่งอันตรายมาก
 - งานชุบโลหะหรืองานที่ใช้สารเคมีนั้นอาจติดที่ชุดทำงาน ซึมเข้า ตา ปาก หรือ ในร่างกายได้
 - งานที่มีฝุ่นหรือสารเคมีเข้มข้น ชุดทำงานที่มีกระเป๋หรือพับแขนไม่ควรใช้
 - ชุดทำงานที่ใช้สารเคมีอันตรายหรือมีพิษต้องใช้เฉพาะจุดอย่าใส่กลับบ้าน
- (2) การกำจัดเงื่อนใยที่อันตราย ถ้ามีอะไรแขวนอยู่ในชุดทำงานอาจถูกส่วนเคลื่อนไหวทางเครื่องจักรตึงได้ และต้องไม่ใช่ของอันตรายในกระเป๋ด้วย
- (3) หมวก ถุงมือ รองเท้า ถือว่าหมวก ถุงมือ และรองเท้า เป็นส่วนหนึ่งของชุดทำงาน ถ้าใช้ไม่เหมาะสมอาจเกิดอันตรายขึ้นได้

15.สำนักงาน

15.1 บันได

บันไดที่ได้มาตรฐานต้องมีราวบันได มีแผ่นรองกันลื่น ไม่มีช่องว่างเกะกะ และ แสงสว่างเพียงพอ

- (1) มีสิ่งของวางเกะกะบนพื้นบันไดหรือไม่
- (2) พื้นบันไดมีน้ำ คราบน้ำมัน สกปรกอยู่หรือไม่
- (3) มีราวบันไดหรือไม่
- (4) แสงสว่างเพียงพอหรือไม่
- (5) ถือของในมือทั้งสองแล้วขึ้นลง ขณะที่มีองปลายเท้าไม่เห็นหรือไม่
- (6) ใช้รองเท้าที่ลื่นสูงเกินไปหรือไม่

15.2 ช่องทางเข้าออกและทางเดิน

- (1) ช่องทางเข้าออกกว้างพอ และมีช่องว่างเกะกะอยู่หรือไม่
- (2) ประตูทางเข้า-ออก มีป้าย “ผลัก” “ดึง” หรือไม่ และแสดงเขตรัศมีของประตูไว้ที่พื้นหรือไม่

- (3) ประตูละกอนิดใสมีเครื่องหมายป้องกันชนไว้ที่ระดับสายตาหรือไม่
- (4) ทางเดินราบหรือขรุขระหรือไม่
- (5) บนทางเดินมีสิ่งกีดขวาง น้ำ หรือน้ำมันทำให้ลื่นได้หรือไม่
- (6) ช่องทางเข้าออกและทางเดินมีแสงสว่างเพียงพอหรือไม่

15.3 บันไดและได้ไ้

- (1) “5ส” บันไดหรือไม่ วางเอกสารและของที่ไม่จำเป็นไว้หรือไม่
- (2) ที่เชิ่บหรือปลอดภัย วางในตำแหน่งที่ปลอดภัย มีกันบูหรือมากเกินไปหรือไม่
- (3) ลิ้นชักของไ้และตู้เปิดอยู่ตลอดเวลาหรือไม่
- (4) มีของที่ไม่จำเป็นอยู่ไ้ไ้หรือไม่
- (5) ดอกตะปูเพื่อแขวนของที่ข้างไ้หรือไม่

15.4 พื้นที่ริมหน้าต่างและผนัง

- (1) “5ส” บนพื้นดีไหม มีขยะหรือฝุ่นผง มีสายไฟฟ้าที่ไม่ปลอดภัยอยู่หรือไม่
- (2) ไ้วางเป็นแถวเกะกะทางเดินหรือไม่
- (3) มีเก้าอี้หรือถังขยะอยู่ที่ช่องทางเดินหรือไม่
- (4) “5ส” ที่ตู้เก็บของและลิ้นชักเก็บของเป็นระเบียบหรือไม่
- (5) วางของริมหน้าต่างจนอาจตกลงไปข้างล่างหรือไม่

15.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ป้องกันอัคคีภัย

- (1) มีการตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันอัคคีภัยอยู่เสมอหรือไม่
- (2) วางสิ่งของกีดขวางทางออกฉุกเฉินหรือไม่
- (3) วางสิ่งของเกะกะหน้าเครื่องดับเพลิงหรือไม่
- (4) บ้ายแสดงอุปกรณ์ดับเพลิงสังเกตเห็นได้ยากหรือไม่

จะเห็นว่าหลักการการบริหารความปลอดภัยในสวนปฏิบัติงานจะเกิดประสิทธิภาพจำเป็นต้องสร้างความร่วมมือระหว่างผู้ปฏิบัติงานให้มีการทำกิจกรรมเพื่อให้เกิดความรับผิดชอบร่วมกัน ส่งผลดีให้กับตัวบุคคล ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องและภาพพจน์ของโรงงาน

2.2 การควบคุมการเกิดอุบัติเหตุและระบบการบริหารความปลอดภัยในโรงงาน

ในการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ นั้น ปัจจุบันสามารถหาสาเหตุที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุได้โดยไม่ต้องรอให้อุบัติเหตุนั้นเกิดจึงจะสอบสวนหาสาเหตุ โดยเราให้ความสำคัญของสาเหตุทุกชนิดที่มีโอกาสจะเกิดขึ้นได้ แม้ว่าจะไม่มีการสูญเสีย (Near-missed) ก็ตาม นอกจากนี้แล้ว เราควรจะต้องให้ความสนใจในเรื่องความปลอดภัยและนำเทคนิคใหม่ๆ มาใช้อย่างต่อเนื่อง เทคนิคที่เราควรจะนำมาใช้ควบคุมความสูญเสียจากอุบัติเหตุซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปนี้จะช่วยให้เราเข้าใจได้มากขึ้น ก่อนอื่นเรามาทำความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ที่มีต่อความสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุ

1. สาเหตุที่เป็นการเปิดโอกาสที่จะทำให้เกิดการสูญเสีย (Loss exposure)
2. เหตุการณ์ที่เป็นการเกิดอุบัติเหตุจริง ๆ (Loss incident)
3. การสูญเสียที่เป็นผลสูญเสียจากการเกิดอุบัติเหตุ (Loss actual)

หัวข้อองค์ประกอบต้องพิจารณาควบคู่กันไป แต่การแก้ไขเราอาจจะแก้กันที่สาเหตุและถ้าแก้ที่สาเหตุไม่ได้ก็ควรจะหาทางระวังเพื่อลดความสูญเสียและป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายอื่นได้ โดยทั่วไปหน้าที่ของฝ่ายบริหารจัดการในโครงการด้านความปลอดภัย จึงต้องมีการจัดสรรงบประมาณเพื่อนำมาใช้ในกิจกรรมความปลอดภัยให้คุ้มค่าพอกับกำไรที่ได้ภายในโรงงาน ซึ่งถ้าใช้งบประมาณนี้เลือกสรรพนักงาน แต่กำไรของบริษัทจะไม่พอที่จะจ่ายบริษัทอยู่ได้แต่หากใช้น้อยเกินไปจะทำให้เกิดความสูญเสียเกิดขึ้นอาจจะสูญเสียแรงงาน เครื่องจักร และเสียเวลาในการทำงานรวมทั้งพนักงานเสียชีวิต คุณภาพงานลดลง ดังกราฟที่ได้แสดงความสัมพันธ์พื้นฐานค่าใช้จ่าย ดังรูปที่ 1.2 ดังนั้นผู้บริหารจึงมีหน้าที่สำคัญที่จะต้องนำงบประมาณเพื่อมาดำเนินงานซึ่งหน้าที่ที่สำคัญได้แก่

- 1) ต้องกำหนดนโยบาย (Policy) เพราะหากไม่มีนโยบายแล้วงานทุกอย่างก็ไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ และนโยบายที่ตั้งไว้ต้องนำไปสู่สัมฤทธิ์ผล
- 2) การจัดหน้าที่ความรับผิดชอบด้านความปลอดภัย เลือกผู้นำให้มีการควบคุมดูแลโดยตรง
- 3) จัดให้มีการศึกษาฝึกอบรม และสัมมนาด้านความปลอดภัย
- 4) จัดสภาพแวดล้อมให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และถูกต้องตามกฎหมาย ซึ่งทางผู้บริหารควรจะมีมาตรฐาน จากกรมแรงงาน และขอข้อมูลเพื่อให้การควบคุมมีมาตรฐานมากขึ้น
- 5) จัดให้มีเจ้าหน้าที่ความปลอดภัย ซึ่งอาจจะเป็นผู้ที่ทำงานในโรงงานเองให้เข้าฝึกอบรมของหน่วยงานที่รับผิดชอบ ซึ่งจะอบรมเป็นเวลาประมาณ 4 เดือน ซึ่งเป็นไปตามประกาศกฎกระทรวงมหาดไทย ผู้อบรมเสร็จจะเป็น จป. หรือเจ้าหน้าที่ความปลอดภัย
- 6) จัดให้มีการตรวจโรงงาน (Safety tours) หรือ Work Through Survey เพื่อหาสถานการณ์ที่ไม่ปลอดภัย และจัดการป้องกันมิให้เกิดอันตราย โดยปรับปรุงแก้ไขไม่ให้ลุกลามต่อไป
- 7) ให้ความสำคัญสนับสนุนต่อกิจกรรมด้านความปลอดภัย กิจกรรมที่ภายในโรงงานจัด เช่น ขับขี่ปลอดภัยโดยสวมหมวกกันน็อค การจัดอบรมพนักงานโดยผู้นำของแต่ละหน่วยงาน และพนักงานที่เพิ่งจะเข้าทำงาน การจัดกิจกรรมด้านสื่อสารเคมีที่เป็นอันตราย การประกวดคำขวัญด้านความปลอดภัย หรือประกวดเรียงความ, สัญลักษณ์ความปลอดภัย การให้รางวัลกับพนักงานซึ่งแต่งตัวถูกระเบียบ และมีทัศนคติด้านความปลอดภัยที่ดี อื่น ๆ

- 8) ติดตามผลงานความปลอดภัยอย่างสม่ำเสมอ การจัดกิจกรรมควรต่อเนื่อง และควรจะมีการประเมินทุกปีเพื่อดูแนวโน้ม และวางแผนในการจัดกิจกรรมในปีหน้า ผู้บริหารควรจะเป็นผู้สนับสนุนในการทำงานเสมอ

ดังนั้นในโรงงานอุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องมีระบบการจัดการในตัวเองเพื่อควบคุมความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นในองค์กรดังต่อไปนี้

2.2.1 การจัดองค์การบริหารของบริษัท (หรือโรงงาน)

- (1) นโยบายด้านความปลอดภัยของบริษัทต้องกำหนดเป็นลายลักษณ์อักษรหรือไม่
- (2) พิจารณาโครงสร้างขององค์การ และดูความสัมพันธ์ระหว่างสายปฏิบัติงานและที่ปรึกษาเป็นอย่างไร
- (3) ผู้บริหารระดับสูงให้การยอมรับหรือให้ความสำคัญด้านความปลอดภัยเพียงใด ทั้งด้านความร่วมมือและการสนับสนุน
- (4) บริษัทมีโครงสร้างด้านความปลอดภัยอย่างไรทั้งด้านคณะทำงาน (เจ้าหน้าที่) และความชัดเจนในความรับผิดชอบที่ได้รับ

สามารถดูบทบาทขององค์กรที่มองเห็นความสำคัญของความปลอดภัยได้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 บทบาทขององค์กรที่มองเห็นความสำคัญของความปลอดภัย

หน่วยงาน	บทบาทและหน้าที่
ผู้บริหาร	1. รับผิดชอบในความปลอดภัยของพนักงานทุกคน 2. กำหนดให้พนักงานระดับจัดการมีส่วนร่วมรับผิดชอบในความปลอดภัยของพนักงานทุกคน 3. จัดสรรงบประมาณที่จำเป็นการดำเนินการด้านความปลอดภัย 4. รับทราบและสั่งการให้เป็นไปตามนโยบายความปลอดภัยที่กำหนดขึ้น 5. มีส่วนร่วมในโครงการความปลอดภัยที่พนักงานหรือคณะกรรมการจัดการความปลอดภัยเสนอมา 6. จัดให้มีการฝึกอบรม 7. จัดให้มีการตรวจโรงงาน (Safety tour) หรือ Work Through Survey เพื่อหาสถานการณ์ที่ไม่ปลอดภัย และจัดการป้องกันมิให้มีการเกิดอันตรายโดยปรับปรุงแก้ไขไม่ให้เกิดขึ้น
ด้านความปลอดภัย	1. บริการให้คำแนะนำแก่สายงานแต่ไม่มีหน้าที่สั่งงานโดยตรง 2. ประสานงานกิจการด้านความปลอดภัย 3. เก็บข้อมูลและวิเคราะห์หาสาเหตุของอุบัติเหตุ ซึ่งส่วนนี้จำเป็นต้องร่วมมือกับวิศวกร 4. จัดทำแผนฝึกอบรมให้แก่หัวหน้างาน 5. จัดกิจกรรมที่ช่วยกระตุ้นในเรื่องของความปลอดภัย 6. พัฒนาโครงการฝึกอบรมด้านความปลอดภัยให้แก่พนักงานทุกคน 7. ให้บริการต่อคณะกรรมการความปลอดภัย 8. แนะนำและควบคุมการสอบสวนอุบัติเหตุพร้อมทั้งสรุปผล 9. วางแผนและแนะนำการตรวจสอบความปลอดภัย 10. ศึกษากฎหมายว่าด้วยความปลอดภัย 11. ออกข่าวสารแสดงผลการปฏิบัติงานด้านความปลอดภัย

หน่วยงาน	บทบาทและหน้าที่
ผู้ควบคุมงาน	1. รับผิดชอบความปลอดภัยผู้ได้บังคับบัญชาให้ทำงานอย่างปลอดภัย 2. ควบคุมการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามกฎความปลอดภัย 3. อบรมพนักงานผู้ได้บังคับบัญชาด้านความปลอดภัย 4. รับผิดชอบให้สถานที่ทำงานอยู่ในสภาพที่ปลอดภัย 5. รับผิดชอบให้ผู้บาดเจ็บได้รับการปฐมพยาบาลหรือช่วยเหลืออย่างถูกต้องทันทีที่ประสบอันตราย 6. รายงานและไต่สวนอุบัติเหตุ พร้อมทั้งหาทางแก้ไข 7. ให้ความร่วมมือกับคณะกรรมการความปลอดภัย 8. จัดให้มีการสนทนาด้านความปลอดภัย
สหภาพ แรงงาน	1. พัฒนาทัศนคติเกี่ยวกับความปลอดภัยของพนักงาน 2. ปรับปรุงวิธีแก้ไขวิธีปฏิบัติงานด้านความปลอดภัย พร้อมทั้งข้อเสนอแนะและแนะนำพนักงาน 3. ให้ความร่วมมือในการจัดฝึกอบรมเรื่องความปลอดภัยแก่พนักงาน 4. ช่วยให้โครงการความปลอดภัยในหน่วยงานของตนสำเร็จลุล่วง
คนงาน	1. ทำงานตามวิธีปฏิบัติงานอย่างปลอดภัยที่ได้กำหนดไว้ 2. รายงานสภาพการทำงานและวิธีปฏิบัติงานที่ไม่ปลอดภัย 3. เอาใจใส่สนใจต่อกิจกรรมด้านความปลอดภัย 4. ให้ความร่วมมือกับคณะกรรมการความปลอดภัย 5. เสนอแนะข้อคิดเห็นเกี่ยวกับแนวทางความปลอดภัย 6. ไม่เสี่ยงต่องานที่ยังไม่เข้าใจหรือไม่แน่ใจว่าจะปลอดภัย
หน่วย การแพทย์	1. รับผิดชอบด้านการป้องกันโรคที่เกิดเนื่องจากการทำงาน 2. ส่งเสริมให้ผู้ปฏิบัติงานทุกระดับมีสุขภาพกายและจิตที่สมบูรณ์ 3. บริการด้านการแพทย์ฉุกเฉิน 4. ตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตรายต่อการปฏิบัติงาน 5. ให้คำแนะนำเกี่ยวกับพิษวิทยา (Toxicology) และอันตรายจากการทำงานอื่น ๆ 6. ติดต่อประสานงานกับโรงพยาบาลเพื่อให้บริการด้านการรักษาพยาบาล 7. ส่งเสริมด้านการฟื้นฟูสมรรถภาพแก่คนงานที่ได้รับอุบัติเหตุจนถึงพิการ 8. จัดให้มีการตรวจสอบสมรรถภาพของคนงานก่อนเข้าทำงานและตรวจเป็นระยะ ๆ
หน่วยซ่อม บำรุง	1. ให้ความร่วมมือกับคณะกรรมการความปลอดภัย 2. ปฏิบัติงานตามใบสั่งงาน 3. ร่วมมือในการออกแบบและจัดทำเครื่องป้องกันอันตรายต่าง ๆ 4. ติดตามการซ่อมบำรุงตามแผนและเก็บรายงานการซ่อมบำรุงไว้ 5. ดำเนินการตรวจสอบเป็นประจำตามแผนงานคณะกรรมการความปลอดภัยแนะนำ

2.2.2 หน้าที่และความรับผิดชอบต่อความปลอดภัย

- (1) ผู้บริหารได้มอบหมายให้ฝ่ายบุคคลรับผิดชอบในการป้องกันอุบัติเหตุหรือไม่
- (2) วิธีการหรือเทคนิคอะไร ป้ายที่ใช้เพื่อกำหนดความรับผิดชอบ เช่น ความรับผิดชอบต่อหน้าที่และต่อผลเสียที่เกิดขึ้น

2.2.3 ระบบที่ใช้ในการระบุปัญหาหรือตรวจหาจุดอันตราย

- (1) การตรวจหาสภาพการทำงานได้ทำเป็นประจำหรือไม่ โดยใคร ที่ไหน เมื่อไหร่ อย่างไร
- (2) การตรวจสอบพิเศษ เช่น การตรวจสอบเฉพาะด้าน
- (3) ใช้ระบบตรวจสอบหาจุดอันตรายอื่น ๆ หรือไม่ เช่น
 - การวิเคราะห์งานความปลอดภัย หรือ JSA (Job safety Analysis)
 - การวิเคราะห์หาจุดที่จะก่อให้เกิดอุบัติเหตุอันตรายได้ง่าย
 - การวิเคราะห์แบบแผนภูมิต้นไม้ หรือ FTA (Fault-Tree Analysis)
 - การสุ่มตัวอย่างความปลอดภัย
- (4) วิธีการ และมาตรการความปลอดภัยสำหรับเครื่องจักร วัตถุติด และกระบวนการผลิตแบบใหม่ หรือการทำงานโดยวิธีการใหม่ อย่างไร
- (5) ฝ่ายจัดซื้อมีส่วนรับผิดชอบต่อความปลอดภัยหรือไม่เมื่อสั่งซื้อ เครื่องจักร วัตถุติด ฯลฯ
- (6) การติดตามผลและลงมือทำเมื่อมีการแก้ไขความบกพร่อง
- (7) การกำหนดจุดบริเวณมีการใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล
- (8) เมื่อต้องทำงานที่ไม่ปกติ หรืองานพิเศษโรงงานมีมาตรการด้านความปลอดภัยอย่างไร

2.2.4 การคัดเลือกและบรรจุคนงานเข้าทำงาน

- (1) คำถามในใบสมัครงานตรงตามความต้องการหรือจำเป็นหรือไม่
- (2) ขั้นตอนในการคัดเลือกและการสัมภาษณ์เป็นแบบใด
- (3) การตรวจสอบประวัติคนงาน ตรวจสอบได้อย่างไร
- (4) ใครเป็นผู้ตัดสินใจขั้นสุดท้าย
- (5) ก่อนรับคนงานเข้าทำงาน ได้รับการตรวจร่างกายจากแพทย์หรือไม่
- (6) ได้ทำการทดสอบความสามารถ ความชำนาญ หรือพื้นความรู้หรือไม่
- (7) บริษัทได้ใช้การวิเคราะห์งาน (Job Analysis) มาเป็นประโยชน์ต่อการบรรจุคนงาน

2.2.5 การฝึกอบรมแนะนำงาน

- (1) หนังสือคู่มือแนะนำ พนักงานใหม่เกี่ยวกับความปลอดภัย
- (2) การฝึกอบรมคนงานใหม่
- (3) การฝึกอบรมคนงานเก่าที่ถูกสับเปลี่ยน
- (4) การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ควบคุมงานหรือหัวหน้างาน
- (5) การประเมินผลหลักการฝึกอบรม

2.2.6 การบันทึกอุบัติเหตุและการวิเคราะห์

- (1) สถิติการบาดเจ็บอะไรบางอย่างที่มีการบันทึกเก็บไว้ และใครเป็นคนทำ
- (2) มาตรฐานสำหรับการบันทึกสถิติเกี่ยวกับอัตราความถี่และอัตราความรุนแรงของอุบัติเหตุ
- (3) ใครเป็นผู้พิจารณาและใช้สถิติเหล่านี้
- (4) การวิเคราะห์ประเภทใดจะใช้กับสถิติเหล่านี้
- (5) ขั้นตอนการสอบสวนอุบัติเหตุมีอะไรบ้าง

2.2.7 การจูงใจ

- (1) กิจกรรมที่มีเป้าหมายการจูงใจ ปัจจุบันมีอะไรบ้าง
- (2) บริษัทจัดให้มีการรณรงค์เพื่อเรื่องใดเรื่องหนึ่ง เป็นพิเศษหรือไม่

2.2.8 โครงสร้างด้านการแพทย์และสาธารณสุข

- (1) การปฐมพยาบาล ต้องมีการจัดเตรียมอะไรบ้าง
- (2) เจ้าหน้าที่ที่มีผู้รับผิดชอบการปฐมพยาบาล
- (3) คู่มือทางการแพทย์และการใช้ยา
- (4) ขั้นตอนการขอใช้ปฐมพยาบาล
- (5) การเตรียมการฝึกอบรมและบริการฉุกเฉิน กรณีเจ้าหน้าที่ปฐมพยาบาลไม่อยู่
- (6) บริษัทได้วางแผนรับมือเกี่ยวกับอุบัติเหตุร้ายแรงหรือไม่
- (7) บริษัทได้จัดเตรียมพาหนะรับส่งผู้บาดเจ็บไปยังโรงพยาบาลไว้หรือไม่
- (8) บริษัทได้ติดต่อหรือทำสัญญากับแพทย์พยาบาล โรงพยาบาล รถพยาบาลสำหรับบริการคนงานของบริษัทหรือไม่

2.3 การควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์โดยเฉพาะในสถานะที่มีกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ ความดันสูง และสถานะที่ผิดปกติพร้อมที่จะเกิดอันตราย

ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการนำเครื่องจักรหรืออุปกรณ์มาใช้ในกระบวนการการผลิต ประกอบและบรรจุ โดยแปรสภาพวัตถุดิบหรือสิ่งของใช้เป็นผลิตภัณฑ์ตามต้องการ โดยปกติอันตรายจากของเครื่องจักรสามารถแบ่งตามประเภทของกระบวนการผลิตของเครื่องจักร ได้ 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

ก. เครื่องต้นกำลัง (Power plant) เช่น Generator Boiler Heat Exchanger. ได้แก่ เครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้นใช้เองภายในโรงงานหม้อผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้นใช้เองภายในโรงงาน หม้อผลิตไอน้ำ เป็นต้น ซึ่งอันตรายที่เกิดจากหม้อไอน้ำ คือกรณีหม้อไอน้ำระเบิด ซึ่งทำอันตรายแก่ตัวอาคารโรงงานและชีวิตของคนงานอย่างฉับพลันในเวลาอันรวดเร็ว เกินกว่าที่คนงานจะหลบหลีกได้ทัน และการระเบิดแต่ละครั้งมักยังความเสียหายอย่างมาก รวมถึงเป็นต้นเหตุให้เกิดความเสียหายอย่างต่อเนื่องจากการเกิดระเบิดซ้ำหรือเพลิงไหม้ จากสารไวไฟต่างๆ ที่แตกกระจายออกจากภาชนะเนื่องจากแรงระเบิดของหม้อผลิตไอน้ำ



รูปที่ 2.1 หม้อไอน้ำหรือหนึ่งในเครื่องต้นกำลัง ในสถานประกอบการ (Bombay, 2011)

ข. เครื่องส่งกำลัง เช่น เพลา สายพาน โซ่ เฟือง ท่อลมอัดต่างๆ เป็นต้น อันตรายมักเกิดแก่คนงานในลักษณะถูกชนกระแทก หรือหนีบรั้งเข้าไปติดทำให้สูญเสียอวัยวะไปจนกระทั่งเสียชีวิต โดยปกติมักเกิดเป็นรายบุคคล อาจเกิดจากความประมาทเลินเล่อหรือเพราะความผิดพลาดในขณะที่ทำงานก่อให้เกิดอันตรายได้ โดยทั่วไปไม่รุนแรง หรือหือกินบริเวณกว้าง เช่น ในกรณีอันตรายจากเครื่องต้นกำลัง โดยเฉพาะจากหม้อผลิตไอน้ำ



รูปที่ 2.2 สายพาน (Belt) หนึ่งในเครื่องส่งกำลัง (Bombay, 2011)

ค. เครื่องจักรทำการผลิต ซึ่งแบ่งได้ตามลักษณะการเคลื่อนไหว และการทำงานของเครื่องจักร เช่น เครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องไสเครื่องเจาะ ซึ่งใช้เป็นเครื่องจักรในการผลิตชิ้นงาน หรือในการซ่อมบำรุงผลิตชิ้นส่วนอะไหล่ต่างๆ รวมทั้งการเชื่อมด้วยลักษณะอันตรายอยู่ในรูปของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นแก่ มือ เท้า บริเวณหน้า ศรีษะ และ ผิวหนัง และมักเกิดแก่คนงานที่ทำงานกับเครื่องจักรนั้นโดยตรงเป็นส่วนใหญ่

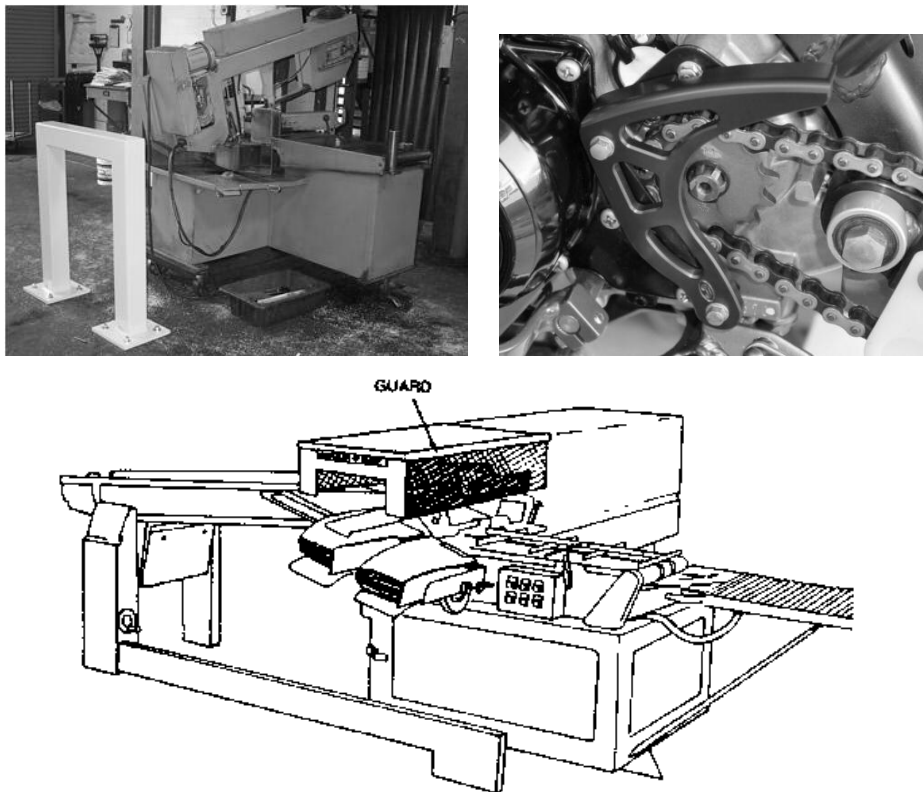


รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่าง เครื่องกัด เครื่องกลึง เครื่องเจาะ-ไส ซึ่งเป็นเครื่องจักรทำการผลิต (Bombay, 2011)

อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร

เป็นส่วนประกอบหรืออุปกรณ์ที่ออกแบบ และติดตั้งไว้บริเวณที่มีอันตรายของเครื่องจักร เพื่อป้องกันอันตรายพนักงานที่ควบคุม และพนักงานที่อยู่บริเวณนั้น จากอุบัติเหตุของเครื่องจักร

1. ป้องกันคนสัมผัสกับส่วนที่เคลื่อนที่ของเครื่องจักร
2. ป้องกันคนสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมที่อันตราย
3. ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรชำรุด
4. ป้องกันอันตรายจากความบกพร่องของพนักงาน



รูปที่ 2.4 การ์ดเครื่องจักรหรือ การ์ดเครื่องยนต์ (Bombay, 2011)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอันตรายที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรจะขึ้นอยู่กับ

- ลักษณะการทำงาน และประเภทของเครื่องจักร
- ความรู้ทั่วไปของผู้ปฏิบัติการเกี่ยวกับอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร
- อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของเครื่องจักรเฉพาะอย่าง
- การเลือกวัสดุที่ใช้ทำเป็น การ์ด
- กฎหมายเกี่ยวกับ (Safety Guard)

ซึ่งรายละเอียดเหล่านี้สามารถหาความรู้ได้จากหนังสือที่เขียนเฉพาะเรื่องได้ทั่วไปซึ่งขึ้นอยู่กับว่าผู้เขียนต้องการที่จะเน้นอุตสาหกรรมประเภทใด หากรวมทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วคงจะต้องใช้เนื้อที่ไม่น้อยเลยที่จะบรรจุอยู่ในหนังสือเล่มนี้ อย่างไรก็ตามจะขอกล่าวสั้น ๆ ในเรื่องอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรส่วนในเรื่องกฎหมายจะกล่าวโดยรวมในบทที่ 9

ตามความหมายของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร คือ ส่วนประกอบที่ติดมากับเครื่องจักร (Machine Guarding) หรืออาจสร้างขึ้นภายหลัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้เครื่องจักรเหล่านั้น อุปกรณ์ป้องกันอันตรายเหล่านี้ จะช่วยป้องกันอันตรายให้กับผู้ปฏิบัติงานแล้วยังช่วยป้องกันอันตรายให้กับผู้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงอีกด้วย จากสถิติการ

ประสบอันตรายเนื่องจากการทำงานของกองทุนทดแทนในจำนวนผู้ประสบอันตรายเนื่องจากเครื่องจักร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งอันตรายเหล่านี้เกิดขึ้นจาก

- อันตรายจากการสัมผัสเครื่องจักรที่ไม่มี การ์ด สายพาน, ใบเลื่อยมีดตัด, เครื่องกลึง
- อันตรายจากกระบวนการผลิต เช่น เศษวัสดุ ของเหลวกระเด็น เศษเหล็ก
- อันตรายจากสายไฟฟ้าชำรุด เครื่องจักรไม่ได้รับการบำรุงรักษา
- อันตรายจากผู้ที่ทำงานพลอเธอ เนื่องจากความวิตกกังวล ความเหน็ดเหนื่อย ประมาทเลินเล่อ

เช่น หยอกล้อกัน สุ่มนุหรือในขณะที่ทำงาน ง่วงนอน อื่นๆ

ในโรงงานอุตสาหกรรมเคมี หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการควบคุมอุปกรณ์ที่มีอุณหภูมิ และความดันสูง จำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องความปลอดภัยโดยเฉพาะอุปกรณ์ที่เราพบอยู่ทั่วไปในโรงงานคือ หม้อไอน้ำ และ ภาชนะรับความดัน ดังนั้นวิศวกรจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐาน ในเรื่องต่างๆ พอสังเขปคือ

- ด้านอุปกรณ์ย่อย ๆ ในระบบ
- อุปกรณ์ความปลอดภัย (Safety Equipment)
- โครงสร้างการทำงาน และส่วนประกอบ
- การบำรุงรักษา และการตรวจสอบ
- มาตรการการป้องกันอันตราย
- กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย

นอกจากนี้ในเรื่องอันตรายจากไฟฟ้า จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานในเรื่องต่างๆ คือ

- อันตรายของไฟฟ้า
- มาตรการการป้องกันและควบคุม ทางด้านวิศวกรรม
- กฎหมายที่เกี่ยวข้องของอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงงาน เช่น สายดิน สายล่อฟ้าอื่น ๆ

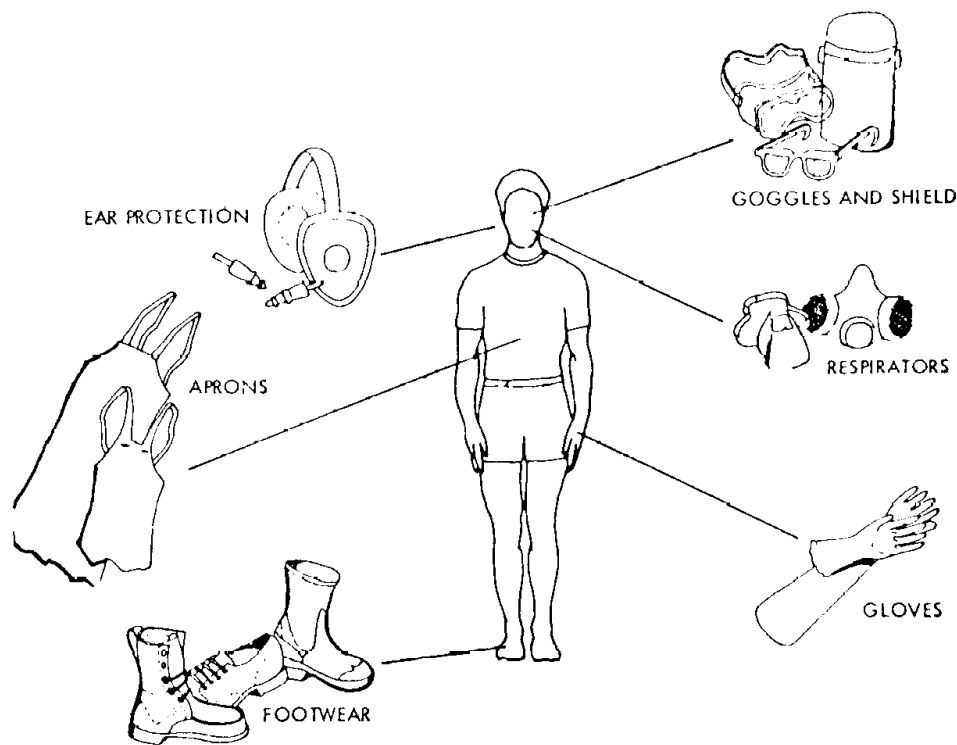
พร้อมกับต้องคำนึงถึง ตัวอย่าง เหตุการณ์ร้ายแรงที่เกิดขึ้นต่างๆ เพื่อเป็นประสบการณ์เพื่อปรับปรุงระบบ

พระราชบัญญัติป้องกันและระงับอัคคีภัย และติดตามประกาศกระทรวงมหาดไทย

2.4 การเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลอย่างเหมาะสม

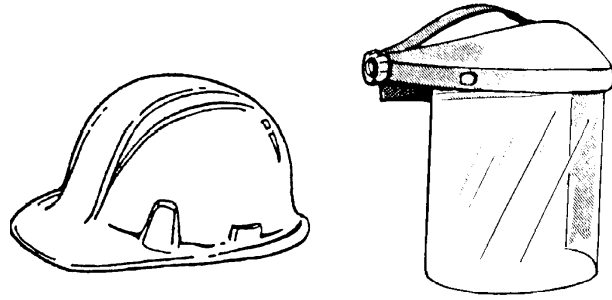
อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (Personal Protective Equipments) ซึ่งเป็นเรื่องในที่จะต้องป้องกันอันตรายในการทำงานภายในโรงงาน ซึ่งถ้าเราเองการได้รับอันตรายเราสามารถป้องกันได้ 3 ทางคือ แหล่งกำเนิด ทางผ่าน

และตัวบุคคล ในส่วนการป้องกันที่แหล่งกำเนิด และทางผ่านนั้นจะเป็นเรื่องเทคนิคของระบบการผลิต หรือขึ้นกับชนิดของกระบวนการทางอุตสาหกรรม ซึ่งจะกล่าวโดยอีกครั้งในบทที่ 4 ในส่วนการป้องกันและควบคุม ส่วนเรื่องการป้องกันและควบคุมของตัวบุคคลสามารถอธิบายในส่วนนี้โดยสามารถแบ่งประเภทของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลได้ 7 ชนิดคือ



รูปที่ 2.5 อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (Personnel Protective Equipment) (มสท, 2540)

- ก) อุปกรณ์ป้องกันศีรษะ
 - ข) อุปกรณ์ป้องกันหน้าและดวงตา
 - ค) อุปกรณ์ป้องกันการได้ยิน
 - ง) อุปกรณ์ป้องกันมือและเท้า
 - จ) อุปกรณ์ป้องกันการตกจากที่สูง
 - ฉ) อุปกรณ์ป้องกันอันตรายเฉพาะงาน
 - ช) อุปกรณ์ป้องกันอันตรายระบบทางเดินหายใจ
- ก) อุปกรณ์ป้องกันศีรษะ
- 1) หมวกนิรภัย (Safety Helmet)



รูปที่ 2.6 หมวกนิรภัยแบบต่างๆ (มสท, 2540)

มีทั้งหมวกขอบเต็ม (Full Helmet) และแบบที่มีแค่กระบังหมวก (Safety cap)

เราสามารถแบ่งประเภทหมวกตามชั้นคุณภาพ ตรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม โดยแบ่งได้เป็น 4 Class คือ

Class A เกี่ยวกับงานที่ต้องใช้แรงดันไฟฟ้าจำกัด งานเครื่องกลโยธา เหมือนแร่

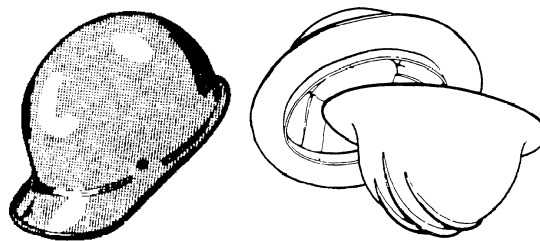
Class B งานที่ต้องทนแรงดันไฟฟ้าสูง

Class C งานที่ไม่เกี่ยวกับไฟฟ้า เช่น งานก่อสร้าง ปูน อิฐ และงานธรรมดาๆ

Class D งานดับเพลิง หรือนักผจญเพลิง สังเกตเห็นว่าจะเป็นแบบขอบหมวกเต็ม

2) หมวกกันศีรษะชน

หมวกประเภทนี้ไม่สามารถใช้แทนหมวกนิรภัยได้ เพราะไม่สามารถป้องกันการกระแทก ของวัตถุตกลงมาหรือ ไฟฟ้า

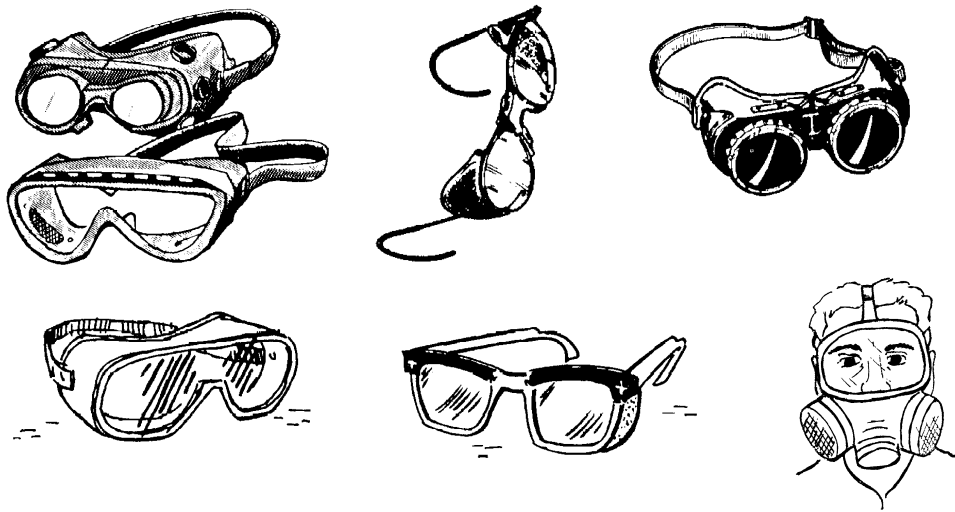


รูปที่ 2.7 หมวกป้องกันศีรษะชนแบบต่างๆ (มสท, 2540)

3) หมวกคลุมผม

หมวกคลุมผมยาวทำให้เสี่ยงต่ออันตรายจากการถูกดึงเข้าไปพันกับสายพาน เครื่องจักรที่กำลังเคลื่อนที่ เกิด เนื่องจากเส้นผมเข้ามาชนจุดเหล่านี้โดยตรง หรือ จากไฟฟ้าช็อต ดึงดูดเข้าไปซึ่งการใช้งานยังไม่มีมาตรฐานยอมรับใน หมวกคลุมผมในงานต่าง ๆ เช่น งานเชื่อม งานไวไฟ เป็นต้น แต่การปฏิบัติงานแล้วหมวกคลุมผมจะมีน้ำหนักเบา สามารถปฏิบัติงานได้ และป้องกันฝุ่นละอองน้ำมัน และสิ่งสกปรกต่าง ๆ ได้

ข) อุปกรณ์กันหน้าและดวงตา

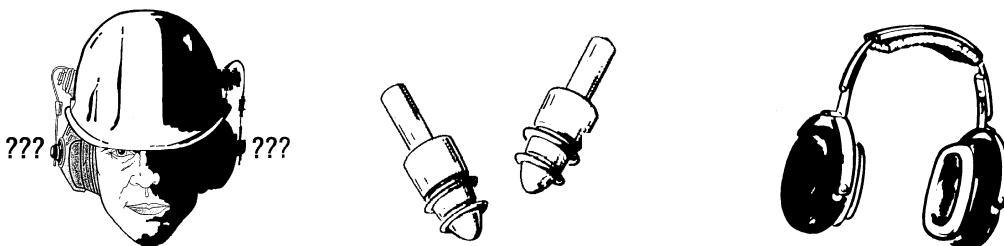


รูปที่ 2.8 แว่นนิรภัยแบบต่าง ๆ (มสท, 2540)

- 1) แว่นตานิรภัย ซึ่งแบ่งตามมาตรฐาน กระทรวงอุตสาหกรรมได้ 3 แบบ คือ
 - แบบ A ไม่มีกระบัง (Side shields) ด้านข้างจะป้องกันวัตถุกระเด็นเข้ามาด้านหน้าเท่านั้น
 - แบบ B มีกระบังไว้ด้านข้างและด้านล่างเป็นรูปถ้วยยึดติดกับของแว่น และกลางแว่น
 - แบบ C มีกระบังด้านข้างเป็นแผ่นเรียบพับเก็บได้
- 2) แว่นครอบตา ใช้ป้องกันฝุ่น สารเคมี โลหะหลอมละลาย
 - แบบรูปถ้วย
 - แบบปิดคลุม เพื่อ ป้องกันวัตถุกระแทก ป้องกันสำหรับงานเชื่อม หรือ ป้องกันสารเคมี
- 3) กระบังป้องกันใบหน้า (Face shield)

กระบังมีชนิดที่มีสี และชนิดโปร่งใส ชนิดตะแกรงลวด และชนิดพลาสติกและตะแกรง
- 4) หน้ากากเชื่อม ซึ่งมีทั้งแบบ ชนิดมือถือ ชนิดสามหัว หรือ ชนิดติดกับหมวกนิรภัย
- 5) ครอบป้องกันใบหน้า (Hood)
 - แบบมีไส้กรองสารเคมี
 - แบบครอบป้องกันใบหน้าไม่มีไส้กรองสารเคมี แต่อาจใช้อากาศจ่ายเข้าไป

ค) อุปกรณ์ป้องกันระบบการได้ยิน



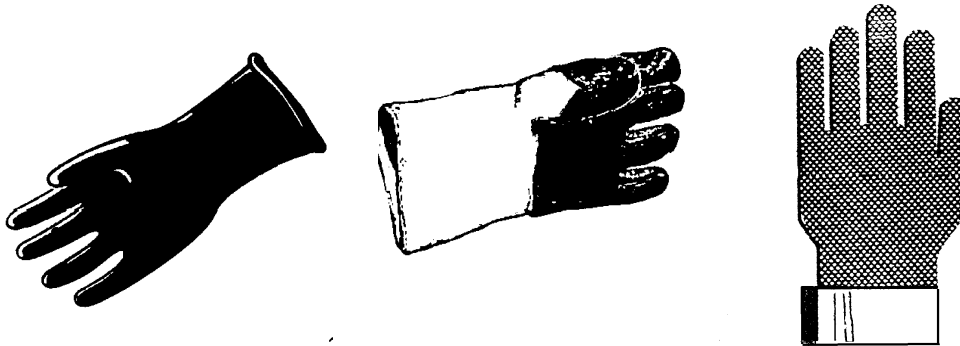
รูปที่ 2.9 อุปกรณ์ป้องกันการได้ยินแบบต่าง ๆ (มสท, 2540)

- ชนิดปิดคลุม (Enclosure) ราคาสูงไม่ค่อยเป็นที่นิยม
- ชนิดปลั๊กอุดหู (Ear plugs)
- ชนิดที่ครอบหู (Ear muffs)

การเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันการได้ยิน

การใช้งานในกรณีที่มีเสียงดังเกินไป 85 dBA ตลอดเวลา 8 ชั่วโมงการทำงาน ดังนั้นการลดเสียงดังจึงสัมพันธ์กับความถี่ของเสียง โดยทั่วไปที่ความถี่ต่ำ (บางความถี่) ปลั๊กอุดหู (Ear Plug) ให้การลดที่มากกว่า และที่ความถี่สูงที่ครอบหู (Ear Muff) ให้ค่าการลดมากกว่า

ง) อุปกรณ์ป้องกันมือและเท้า



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์ป้องกัน มือชนิดต่างๆ (มสท, 2540)

อุปกรณ์ป้องกันมือหรือถุงมือนิรภัยมี 6 ประเภท

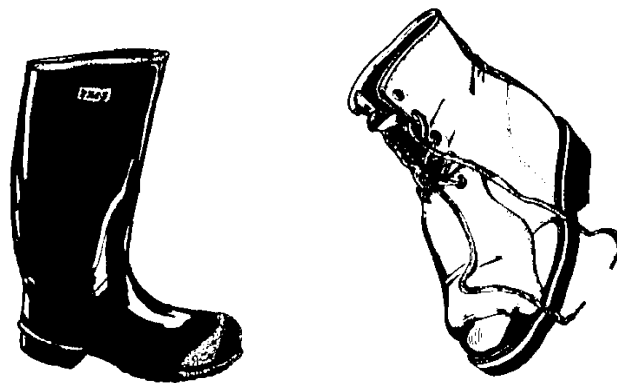
- ป้องกันความร้อน ซึ่งอาจจะเป็นถุงมือหนัง ฝ้ายดัก เอสเบสตอส
- ป้องกันสารเคมี ซึ่งอาจจะทำจากยางธรรมชาติ นิโอพรีน มีลด์
- ป้องกันการขีดข่วนของของมีคมและรังสี อาจเป็นผ้า หนัง หรือตาข่าย
- ป้องกันไฟฟ้า
- ถุงมือติดผนังตู้ ทนต่อสารเคมี
- แผ่นรองป้องกันมือ

วัสดุที่ใช้ทำถุงมือมีหลายประเภทคือ

- ไฮพาลอน (Hypalon) ใช้กับงานเสียดสีสูง ด้านทนต่อโอโซน หรือการเติมออกซิเจนนุ่ม แบบธรรมชาติ
- บิวทิล (Bytyl) ใช้งานป้องกันการซึมผ่านของสารได้สูง เช่น พวกลิน้ำ แก๊ส สารเคมีที่มีพิษสูงรวมทั้งน้ำมัน เชื้อเพลิงของจรวดมีความยืดหยุ่นได้ดีแม้ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ มีความต้านทานต่อสารละลายที่ให้ออกซิเจน

- นีโอพรีน (Neoprene) ใช้กับงานที่ต้องการแรงดึงสูง และมีการอ่อนตัวดี ทำงานได้คล่องแคล่วเหมาะกับงานที่มีการขยับได้คล่องตัว ด้านทานต่อการฉีกขาดสูง
- มิลล์-ไนไตรล (Milled-Nitrile Gloves) ใช้กับงานหนัก (Heavy-duty) มีการยืดหยุ่นตัวดี และมีความต้านทานต่อสารเคมีได้ยาวนาน และสวมใส่สบาย
- ถุงมือผ้า (Cotton Fabric Gloves) ทำจากการถัก สวมกระชับมือ ป้องกันการทำงานจับถือวัสดุที่มีผิวขรุขระหรือของมีคม
- ถุงมือตาข่ายลวด (Metal Mesh Gloves) ป้องกันการทำงานที่เกี่ยวกับของมีคม ใช้ในงานชำแหละเนื้อสัตว์ ป้องกันการตัดเฉือน
- ถุงมือหนัง (Leather Gloves) ป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับมือ แขน หรือขี้นงานที่มีผิวขรุขระ ป้องกันการเสียดสี สะเก็ดไฟ ความร้อนระดับหนึ่ง

จ.อุปกรณ์ป้องกันเท้า



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์ป้องกันเท้าชนิดต่างๆ (มสท, 2540)

- 1) รองเท้านิรภัยชนิดหัวโลหะ (Safety-toe Shoes) มี 2 แบบ คือแบบ แบบหุ้มส้น และแบบทรงสูง ซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญประกอบด้วย
 - หนังรองเท้า เป็นหนังที่มีโครเมียมสำหรับหน้าและส่วนข้าง
 - เหล็กหัวบัว (Steel Toe cap) ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม
 - ตาไกรร้อยเชือก
 - เชือกผูกกรองเท้า
 - แผ่นโลหะทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ที่พื้นรองเท้า
 - พื้นรองเท้า ต้องทนต่อความต้านแรงดึง การทับของพื้นรองเท้าน้ำมัน ด้านต่อแรงกระแทก
- 2) รองเท้าตัวนำไฟฟ้า

ซึ่งรองเท้านี้ออกแบบมาใช้กับงานเกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าประกอบด้วยเหล็กหัวบัวที่อยู่หน้ารองเท้า เพื่อให้ประจุไฟฟ้าไหลผ่านได้ และส่วนประกอบจำพวก (non ferrous) เพื่อลดการเกิด

ประกายไฟ เนื่องจากการเสียดสี เพื่อนำไปใช้กับงานที่จะทำให้เกิดประกายไฟ หรืออันตรายเกี่ยวกับระเบิด ซึ่งสามารถต้านไฟฟ้าได้ไม่เกิน 450,000 โอห์ม

3) รองเท้างานหลอมโลหะ (Foundry Shoes)

ทำด้วยอลูมิเนียมหรือเอสเบสตอส และปิดคลุมบนส่วนบนป้องกันมิให้โลหะหลอมละลายกระเด็นเข้าไปในรองเท้า

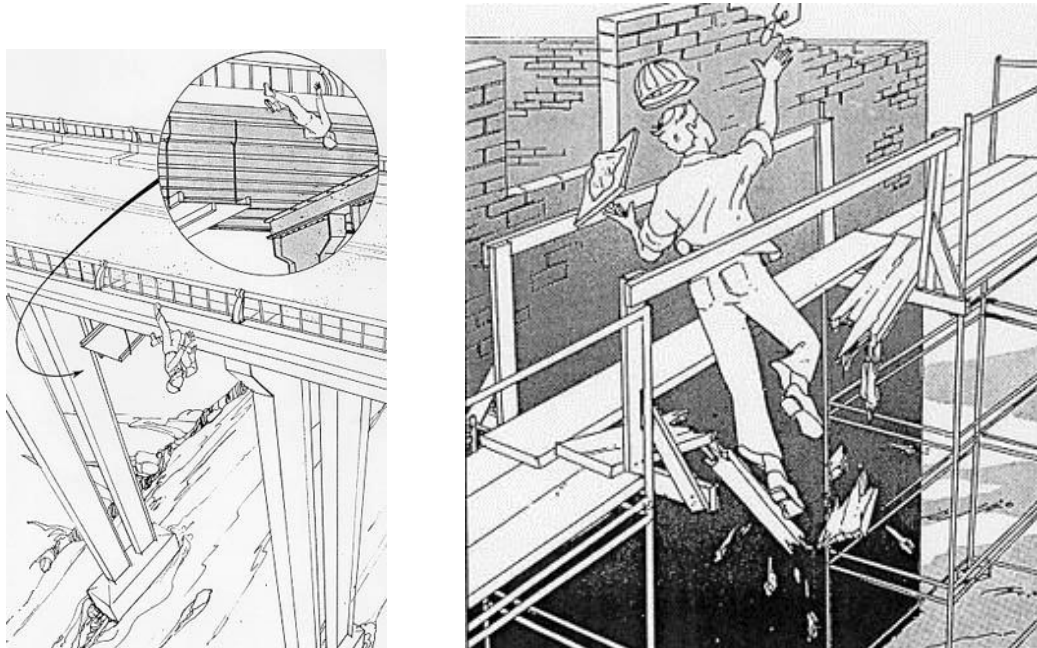
4) รองเท้าป้องกันระเบิด

ใช้กับงานที่เกี่ยวกับน้ำมันเชื้อเพลิง , สารระเหยไฮโดรคาร์บอน ที่ไม่ได้ต่อสายดิน เพื่อป้องกันการระเบิด และรองเท้านี้จะต้องไม่มีส่วนของโลหะ หรือสารประกอบของเหล็กอยู่ภายนอกพื้นรองเท้า

5) รองเท้าป้องกันสารเคมี

รองเท้านี้ต้องทนทานต่อการกัดกร่อน มีทั้งชนิดโลหะ และไม่มีหัวโลหะ

จ. อุปกรณ์ป้องกันการตกจากที่สูง



รูปที่ 2.11 การใช้อุปกรณ์ป้องกันการตกจากที่สูงขณะทำงาน (มสท, 2540)

1) เข็มขัดนิรภัย (Safety Belt.) มีทั้งแบบที่ทำเป็นเข็มขัด และเชือกนิรภัย

2) สายรัดช่วยชีวิต

ทำจากเชือก Niron ที่ทนทานต่อการขัดสี และต้านทานทั้งสารเคมีได้หรือเชือกสังเคราะห์จาก Polyethylene, Polypropylene หรือ อื่น ๆ และการผูกเชือกควรจะผูกให้แน่นสุดเพื่อให้ระยะการตกสั้นสุดและไม่ชนกับสิ่งกีดขวาง

3) สายรัดตัวนิรภัย มีหลายแบบ

- แบบคาดหน้าอก
- แบบคาดหน้าอก ขา สะโพก
- สายรัดตัวชนิดแขนตัว

จ. ชุดป้องกันอันตรายเฉพาะงาน

- 1) ชุดป้องกันความร้อน ทำด้วยอลูมิเนียม หนัก หรือทำจากใยแก้วที่เป็นฉนวน (Asbestos)
- 2) ชุดป้องกันการติดไฟ จะเคลือบสารป้องกันไฟเพื่อยืดระยะเวลาที่จะทำให้เสื้อผ้าติดไฟ
- 3) ชุดป้องกันสารเคมี
- 4) ชุดทำงานพิเศษอื่น เช่น ชุดตัวนำไฟฟ้า ซึ่งจะสามารถที่จะทำให้กระแสไฟฟ้า ไหลผ่านชุดตัวนำไฟฟ้าโดยไม่ทำให้ผู้สวมใส่ได้รับอันตราย ชุดป้องกันอากาศเย็น ชุดสะท้อนแสงป้องกันอันตรายเวลากลางคืน เสื้อคลุมตะกั่วป้องกันรังสีแกมมา ชุดป้องกันรังสีจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น



รูปที่ 2.11 การใช้ชุดป้องกันอันตรายเฉพาะงานแบบต่างๆ (มสท, 2540)

ข. อุปกรณ์ป้องกันอันตรายระบบทางเดินหายใจ

ประเภทของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายระบบหายใจ

- 1) อุปกรณ์ปิดคลุมช่องทางเดินหายใจ (Tight Fitting Coverings)
 - แบบเศษหนึ่งส่วนสี่ของหน้า หรือครอบปากจมูก
 - แบบหน้ากากแบบครึ่งหน้า
 - แบบหน้ากากแบบเต็มหน้า
 - แบบหน้ากากหายใจทางปาก

2) อุปกรณ์ปิดคลุมทางเดินหายใจแบบช่องอากาศผ่านออก (Loose-Fitting Covering)

ข) อุปกรณ์ป้องกันอันตรายระบบทางเดินหายใจ



รูปที่ 2.12 การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายระบบทางเดินหายใจแบบต่างๆ (มสท, 2540)

1) หน้ากากกรองอนุภาค

- ทำจากเส้นใยอัดเป็นแผ่น ชุบสารเรซิน
- ทำจากเส้นใยแก้วไม่มีการอัดแน่น
- เป็นหน้ากากกรองอนุภาคใช้ครั้งเดียว

2) หน้ากากกรองก๊าซไอระเหย

อาจเป็นการเพิ่มพื้นผิวของสารดูดซับซึ่งเป็นสารกัมมันต์ (Activated Carbon) ซิลิกา (Alumina Silica) หรือเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์ NaOH หรือ KOH ที่มีความสามารถในการซึมซับ (Absorption) ในลักษณะเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือโดยวิธีการเร่งปฏิกิริยาเคมี เช่น สารไฮโปคลาไลต์ ซึ่งเป็นส่วนผสมของแมกนีเซียม (Mg) และคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ซึ่งเราสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

- 2.1) หน้ากากป้องกันแบบตลับกรองสารเคมี ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของ ANSI K13.1-1973 ซึ่งจะแสดงในตาราง 2.2 ต่อไปนี้

ตาราง 2.2 แสดงสีที่ใช้แสดงที่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายในระบบหายใจสำหรับกำจัดสิ่งปนเปื้อนชนิดต่าง ๆ ในอากาศ

สิ่งปนเปื้อนในอากาศที่ป้องกัน	สีที่ใช้
ก๊าซที่เป็นกรด	ขาว
ไอระเหยสารอินทรีย์	ดำ
ก๊าซแอมโมเนีย	เขียว
คาร์บอนมอนนอกไซด์	น้ำเงิน
ก๊าซที่เป็นกรด และไอระเหยสารอินทรีย์	เหลือง
ก๊าซที่เป็นกรดแอมโมเนียและไอระเหยสารอินทรีย์	น้ำตาล
ก๊าซที่เป็นกรด แอมโมเนีย คาร์บอนมอนนอกไซด์ และไอระเหยสารอินทรีย์	แดง
ไอระเหยอย่างอื่น และก๊าซที่ไม่กล่าวไว้ข้างบน	เขียวเหลือง
วัสดุแก๊สมันตรังสี	ม่วง
ฝุ่นควันและหมอก (นอกเหนือจากวัสดุแก๊สมันตรังสี)	ส้ม

2.2) หน้ากากกรองก๊าซ (Gas mask) จะเป็นลักษณะของกล่องบรรจุสาร สำหรับแขวนซึ่งจะอยู่ใต้คางหรือเป็นหน้ากากหน้าผาก

2.3) หน้ากากกรองอนุภาคก๊าซ และไอระเหย ซึ่งใช้ป้องกันฝุ่นละอองก๊าซและไอระเหยซึ่งเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันในสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจจะบรรจุวัสดุกรองอนุภาคเข้าไปในตัวตลับกรอง หรือการหมุนเกลียว หรือล็อกติดอยู่ ด้านนอกกรองตลับกรอง ซึ่งใช้กับงานพ่นสี ยาปราบศัตรูพืช

สำหรับกล่องบรรจุสารจะเพิ่มวัสดุกรองอนุภาค ที่มีประสิทธิภาพสูงเข้าไปชั้นแรก ทางด้านอากาศผ่านเข้า ซึ่งกล่องบรรจุสารแบบ N หรือแบบ Universal ลักษณะคล้ายกับหน้ากากกรองก๊าซในหัวข้อ 2.2 ที่แขวนอยู่ด้านหลัง แต่ภายในกล่องบรรจุสารแบบ N จะประกอบด้วยสารดูดซับแตกต่างกันหลายชนิด สำหรับดูดซับแอมโมเนีย ก๊าซที่เป็นกรด และไอระเหยสารอินทรีย์ มีสารเร่งปฏิกิริยาไฮโปคลาไลต์ ทำหน้าที่เปลี่ยน CO เป็น CO₂ แต่ข้อเสียของกล่องบรรจุแบบ N จะสั้นกว่าธรรมดา ซึ่งการใช้กล่องบรรจุสารแบบ N จะใช้แขวนไว้ด้านหลังตัว

3) อุปกรณ์ป้องกันระบบการหายใจชนิดกรองอากาศ มีเครื่องดูดอากาศช่วย

ลักษณะของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายแบบนี้ มี 2 แบบคือแบบวัสดุกรองติดอยู่กับเครื่องดูดอากาศ และมีวัสดุกรองติดอยู่กับหมวกคลุมศีรษะ

นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายชนิดพิเศษซึ่งเป็นแบบส่งก๊าซช่วยหายใจ โดย แบ่งเป็น 3 แบบ

1) อุปกรณ์ที่มีถังก๊าซติดตัว (Self Contained Breathing Apparatus; SCBA)

ส่วนใหญ่ตัวก๊าซจะบรรจุ O_2 ซึ่งใช้ไอน้ำ และลมหายใจของผู้ใช้ทำปฏิกิริยากับสารโปแตสเซียมคลอไรด์ (KCl) หรือสารอื่น และปล่อย O_2 ออกมาได้ และแบบวงจรเปิดที่ไม่มีอุปกรณ์ผลิต O_2 แต่ระบบวงจรเปิดชนิดนี้จะมีถังก๊าซติดตัว

2) อุปกรณ์ป้องกันระบบหายใจชนิดมีแหล่งส่งอากาศ หัวแบบครึ่งหน้า และเต็มหน้า

3) อุปกรณ์ป้องกันระบบหายใจแบบผสมซึ่ง มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายแบบต่อเนื่องและแบบอุปกรณ์ป้องกันพิเศษ

2.5 การประเมินผลความปลอดภัย

การดำเนินการกิจกรรมต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นกิจกรรมส่วนบุคคลหรือกิจกรรมทางด้านอุตสาหกรรมย่อมมีโอกาสเกิดอุบัติเหตุได้เสมอ แม้ว่าบางครั้งจะมีการป้องกันดีแล้วก็ตาม นอกจากนั้นในอุตสาหกรรมมักเกี่ยวข้องกับวัตถุอันตราย เช่น สารที่ติดไฟง่าย วัตถุระเบิด วัตถุมีพิษ สารเคมี เป็นต้น สิ่งเหล่านี้อาจทำให้เกิดอุบัติเหตุซึ่งส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินด้วยความรุนแรงต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณวัตถุอันตรายเหล่านั้น รวมทั้งยังก่อปัญหาต่อสภาพแวดล้อมทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

ดังนั้นการจำแนกชนิดของวัตถุอันตราย วิเคราะห์โอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุโดยการบ่งชี้อันตรายและการประเมินผลกระทบเมื่อเกิดอุบัติเหตุ รวมทั้งการดำเนินกิจกรรมเพื่อป้องกันและลดการเกิดอุบัติเหตุ จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อลดความเสี่ยงของโรงงานและผู้ปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งสามารถช่วยลดเบี่ยงประกันและช่วยรักษาสีสิ่งแวดล้อมจากสภาวะความเสี่ยงที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ผู้ประกอบการกิจการโรงงานต้องดำเนินการจัดทำแผนงานเพื่อกำหนดมาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการจัดการความเสี่ยงเพื่อป้องกันและควบคุม บรรเทาหรือลดความเสี่ยงจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการ ซึ่งได้ผ่านการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง ซึ่งมาตรการความปลอดภัยเหล่านั้นให้พิจารณาถึงทุกขั้นตอนการทำงานตั้งแต่การออกแบบ การสร้าง การประกอบกิจการ และการบริหารงาน เป็นต้น โดยองค์ประกอบหลักในแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยงต้องประกอบไปด้วย 3 เรื่องคือ

2.5.1 มาตรการการใช้เทคนิคในการควบคุมสาเหตุของการเกิดอันตราย (Control measure)

2.5.2 มาตรฐานการระงับและฟื้นฟูเหตุการณ์ (Recovery Measure)

2.5.3 แผนงานปรับปรุงแก้ไข (Corrective Accident Plan)

2.5.1 มาตรการการใช้เทคนิคในการควบคุมสาเหตุของการเกิดอันตราย (Control measure)

โดยใช้เครื่องมือที่ปรากฏอยู่ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 3 ปีพ.ศ. 2542 เรื่องมาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงาน ต่อมาในปี พ.ศ. 2543 กระทรวงอุตสาหกรรมออกระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การบ่งชี้อันตรายการประเมินความเสี่ยง และตัวอักษรเสียงนั้นจะระบุระบุลงไปในกฎหมายของเครื่องมือในการบ่งชี้อันตราย 6 เครื่องมือ (**ตัวอักษรเอียงเข้ม**) แต่จะแสดงเครื่องมือที่ใช้ร่วมกันโดยทั่วไปตามสถานประกอบการทั่วไป ได้แก่

a) Job Safety Analysis (JSA)

b) Fault Tree Analysis (FTA)

- c) การตรวจสอบด้านความปลอดภัย (Safety Audit)
- d) การตรวจสอบสุขอนามัยในโรงงาน (Industrial Hygiene Survey)
- e) การศึกษาสาเหตุของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมาก่อนแล้ว (Accident Recall)
- f) การเดินตรวจสอบสภาพการณ์ (Walk through Survey)
- g) การหาสาเหตุของอุบัติเหตุ (Accident Investigation)
- h) การเก็บบันทึกข้อมูลอุบัติเหตุ (Accident Collection)
- i) การนำสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ (Statistic analysis)
- j) **การใช้แบบฟอร์มในการตรวจสอบ (Check list)**
- k) *What-If-Analysis*
- l) *Hazard and Operability Studied (HAZOP)*
- m) *Failure Modes and Effect Analysis (FMEA)*
- n) *Event-Tree Analysis*

a) JSA (Job Safety Analysis)

Job Safety Analysis เป็นการวิเคราะห์งานด้านความปลอดภัย ซึ่งส่วนใหญ่พนักงานจะจัดทำเพื่อวิเคราะห์เกี่ยวกับเรื่องงานที่ตนทำอยู่ มีอะไรบ้างที่เป็นสาเหตุที่จะทำให้เกิดอันตรายไม่ว่าด้วยตัวมันเองหรือร่วมกับสาเหตุอื่น

เนื่องจากการวิเคราะห์เพื่อความปลอดภัยเป็นกิจกรรมที่สำคัญของการดำเนินงานป้องกันควบคุมอุบัติเหตุและอันตรายที่จะเกิดขึ้นในการทำงาน การวิเคราะห์จึงเป็นไปอย่างละเอียดครอบคลุมปัญหาทุกจุดที่แฝงอยู่เพื่อจะไม่ให้เกิดผลของอันตรายนั้น ๆ ได้ ดังนั้นบุคคลที่จะทำการวิเคราะห์ได้ควรจะต้องทำงานเป็นทีม และบุคคลเหล่านั้นต้องมีประสบการณ์ในเรื่องความปลอดภัย โดยเฉพาะเทคนิคในการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยที่จะนำมาใช้ และจะต้องเข้าใจถึงระบบการทำงานนั้น ๆ

ขั้นตอนในการวิเคราะห์งานด้านความปลอดภัย (JSA)

ขั้นที่ 1) เลือกงานในการวิเคราะห์

ขั้นที่ 2) จัดลำดับการทำงานเป็นขั้นตอนที่เหมาะสม

ขั้นที่ 3) ค้นหาอันตรายที่แฝงอยู่ในแต่ละขั้นตอนการทำงาน

ขั้นที่ 4) กำหนดวิธีการที่ถูกต้องปลอดภัย ป้องกันอันตรายได้

กรณีศึกษา (Case study) ของการยกของหนัก

เนื่องจากนาย ก เป็นพนักงานที่เข้ามาทำงานใหม่ในโรงงานวิศวกรรมเคมีเป็นวันแรก เขายกกล่องหนังสือย้ายจากชั้น 3 มาที่ชั้น 1 จำนวนมาก ซึ่งเขาคิดว่ามันเป็นเรื่องสามัญสำนึก เขาก็ยกกล่องหนังสือวันแรกได้ 5 ใบ วันที่ 2 ได้ 5 ใบ หลังจากนั้นไม่นานเขาปวดหลังมากเขาจึงลางาน จึงสามารถวิเคราะห์เหตุการณ์นี้ได้ ในตารางที่ 2.2

จากกรณีศึกษา (Case study) นี้เราจะนำมาทำ JSA ก่อนเหตุการณ์ เช่นนี้อาจเกิดขึ้น ได้ดังนี้

ขั้นที่ 1) เลือกงานคือยกกล่องหนังสือ

ขั้นที่ 2) จัดลำดับวิธีการทำงาน ซึ่งจะต้องทำอย่างละเอียด

ขั้นที่ 3) ค้นหาอันตรายที่แฝงอยู่ในแต่ละขั้นตอน

ขั้นที่ 4) หาวิธีการในการยกกล่องกระดาษที่ถูกต้องปลอดภัย

ตารางที่ 2.2 กรณีศึกษาของการยกกล่องหนังสือโดยวิเคราะห์ด้วยวิธี Job Safety Analysis

ชื่องาน งานยกกล่องหนังสือ		วันที่ ____/____/____
แผนก ธุรการ		ผู้ทำการวิเคราะห์ 1) นายต๋ม มั่นคง 3) นายกิ้ง ก้านสาขา 2) นางทับทิม จุ่มจิม 4) นายเทวา หนักระริน

ขั้นตอนการยกกล่อง	อันตราย	วิธีการยกกล่องที่ต้องปลอดภัย
1) มองดูกล่องหนังสือ	ถ้าไม่ทราบน้ำหนักของกล่องเท่าใดอาจทำให้ออกแรงมากเกินไปหรือลืมหาย	ก่อนยกต้องดูให้τιάกล่องมีรูปร่าง ขนาด และน้ำหนักนั้น ๆ และพิจารณาว่ายกคนเดียวไหวหรือไม่
2) วางเท้าให้มั่นคง	การวางเท้าไม่มั่นคงจะทำให้ - อาจออกแรงมากกว่าที่ควรจะเป็น - การทรงตัวไม่ดีอาจล้ม - การจับที่ไม่มั่นคงจะทำให้กล่องหลุดมือได้	วางเท้าให้มั่นคงโดยเท้าข้างหนึ่งอยู่ข้างกล่องอีกข้างหนึ่งอยู่ด้านหลังเพื่อการทรงตัวที่ดี
3) นั่งยอง ๆ ในท่าที่ถนัดและจับกล่องหนังสือให้มั่นคง		นั่งยอง ๆ หลังตรง และหัวเข่าอยู่ในท่าที่ถนัด มือจับกล่องให้มั่นคงแบบชิดลำตัว
4) ยกตัวขึ้นพร้อมกล่อง	1) ถ้าจำเป็นต้องหมุนตัวระวังอย่าหมุนเร็วเกินไปอาจปวดหลังหรือชนสิ่งของเครื่องมืออื่น ๆ ได้ 2) ถ้ามีสิ่งกีดขวางอาจทำให้สะดุดหรือถ้ายกขาข้ามอาจจะต้องเพิ่มแรงก็ได้	1) ใช้กำลังขายกขึ้นอย่างช้า ๆ 2) จับกล่องให้ชิดตัวอย่าห่างตัว 3) หลังตรงเก็บคางและเคลื่นไหล่เฉพาะเข้า 4) อย่าเดิน หรือเปลี่ยนทิศทางจากเดิมจนกว่าจะอยู่ในท่ายืนเรียบร้อย
5) เดินไปยังตำแหน่งที่จะวางกล่องหนังสือ	1) ถ้าจำเป็นต้องหมุนตัวระวังอย่าหมุนเร็วเกินไปอาจปวดหลังหรือชนสิ่งของเครื่องมืออื่น ๆ ได้ 2) ถ้ามีสิ่งกีดขวางอาจทำให้สะดุดหรือถ้ายกขาข้ามอาจจะต้องเพิ่มแรงก็ได้	1) ต้องหมุนตัวช้า ๆ และเปลี่ยนตำแหน่งเท้าตามไปด้วย 2) ตามองทิศทางเดินว่ามีอะไรกีดขวาง 3) เดินด้วยอัตราช้าปกติ
6) วางกล่องหนังสือลง	- ถ้าวางโดยไม่ย่อเข่าอาจทำให้กระดูกสันหลังมีแรงกดบาดเจ็บได้ - กล่องอาจล้มเสียหายได้	1) ค่อย ๆ งอเข่าลงโดยใช้กล้ามเนื้อขาและหลังช่วย เช่นตอonyกขึ้น 2) เมื่อวางกล่องให้ปล่อยมือได้

b) การวิเคราะห์ FTA (Fault Tree Analysis)

การบ่งชี้อันตรายโดยการวิเคราะห์แบบ FTA (Fault Tree Analysis) เป็นวิธีหนึ่งของการวิเคราะห์งานซึ่งเน้นถึงอุบัติเหตุหรืออุบัติเหตุร้ายแรงที่เกิดขึ้นหรือคาดว่าจะเกิดขึ้น ซึ่งถูกกำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (2542) ส่วนมากในอุตสาหกรรมเคมีจะถูกนำไปใช้มาก เพราะในการผลิตนี้มีกระบวนการผลิตที่ยูกยาก สลับซับซ้อน จึงต้องการความมั่นใจสูงกว่าอุตสาหกรรมอื่น ๆ ซึ่งประโยชน์ของการวิเคราะห์แบบ FTA คือจะชี้ให้เห็นส่วนของอันตรายที่แฝงอยู่และทราบว่าแต่ละเหตุการณ์จะเกิดขึ้นมาอย่างไร ทำให้วางแผนป้องกันได้ ซึ่งเราสามารถ

ใช้โครงสร้างของ FTA เป็นตัวอ้างอิงในการประเมินความปลอดภัยเมื่อต้องการจะทำการปรับปรุงการทำงานหรือเปลี่ยนแปลง (Modification) กระบวนการผลิต และผู้บริหารสามารถเข้าใจง่าย นอกจากนั้นยังสามารถคำนวณหา ค่าความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายกับผลเสียที่ได้รับ จากวิธีการป้องกันอุบัติเหตุแต่ละวิธีที่เกิดขึ้นมาแล้วเปรียบเทียบกับ ว่าวิธีใดจะเห็นผลคุ้มทุนกว่ากัน

b.1) ขั้นตอนการศึกษา วิเคราะห์ ทบทวนการดำเนินการในโรงงาน

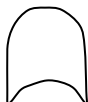
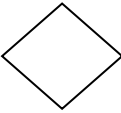
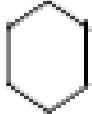
1. พิจารณาเลือกจำลองเหตุการณ์แรก (Top event) ที่เกิดขึ้นหรืออาจจะเกิดขึ้นได้ซึ่งจะส่งผลกระทบทำให้เกิดอุบัติเหตุร้ายแรงตามมา
2. วิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดเหตุการณ์แรกว่าเกิดได้จากเหตุการณ์ย่อย (Fault tree event or Intermediate event) อะไรได้บ้าง
3. วิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดเหตุการณ์ย่อยเหล่านั้นอีกจนการวิเคราะห์หาสาเหตุจะสิ้นสุด เมื่อพบว่า สาเหตุต่าง ๆ หรือเหตุการณ์ย่อยที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากความบกพร่องของเครื่องจักรอุปกรณ์ เครื่องมือ ระบบความปลอดภัยความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติงาน และ/หรือ ระบบการบริหารการจัดการซึ่งสาเหตุเหล่านั้นจัดเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้โดยปกติ (Basic event)
4. แสดงผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวนเพื่อชี้บ่งอันตรายในรูปแผนภูมิ โดยใช้เครื่องหมายใน ตารางที่ 2.3 ประกอบการวิเคราะห์
5. สรุปผลการศึกษา วิเคราะห์ และทบทวน การดำเนินงานในโรงงานเพื่อชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง เพื่อจัดลำดับความเสี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น
6. จัดทำแผนบริหารจัดการความเสี่ยง

b.2) ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบ FTA

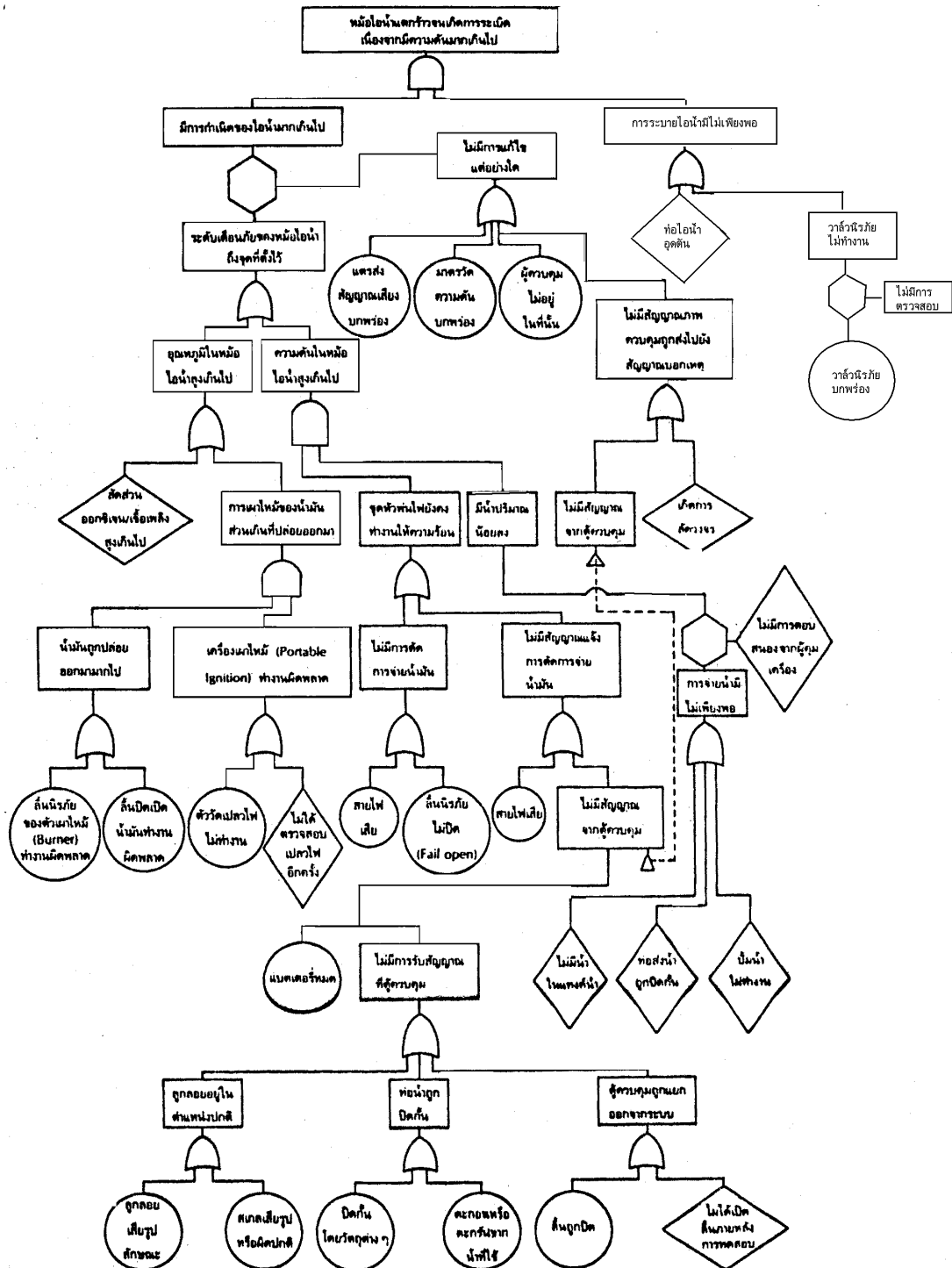
การวิเคราะห์แบบ FTA เป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการทางตรรกวิทยาในการใช้หลักการและเหตุผล เพื่อวิเคราะห์บ่งชี้อันตราย เพื่อให้ทราบสาเหตุว่าเหตุการณ์เกิดขึ้นอย่างไร มีโอกาสเกิดมากน้อยเพียงใด โดยเป็นวิธีที่ย้อนกลับกับ FTA ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาผลสืบเนื่องที่เกิดขึ้น เมื่อเกิดเหตุการณ์แรกขึ้น (Initiating Event) และเมื่อเครื่องจักรและอุปกรณ์เสียหายหรือคนทำงานผิดพลาด ซึ่งเป็นการตรวจสอบว่าระบบความปลอดภัยที่มีอยู่มีปัญหาหรือไม่ อย่างไร ดังนั้นขั้นตอนการศึกษา วิเคราะห์ แบบ FTA มีดังนี้

1. เลือกเหตุการณ์หนึ่งให้ Top Event เพื่อวิเคราะห์
2. หาสาเหตุหลักในการเกิดอุบัติเหตุ โดยตั้งคำถามว่าเหตุการณ์อะไรบ้างเกิดขึ้นพร้อมกันแล้วส่งผลให้เกิดเหตุการณ์อย่างนี้ อย่างน้อยควรจะได้ 2 เหตุการณ์ โดยใช้สัญลักษณ์ AND Gate ดังแสดงในตาราง 2.3
3. พิจารณาที่ละเหตุการณ์ พิจารณาโดยตั้งคำถาม โดยเรียงลำดับดังนี้
 - 3.1) เหตุการณ์อะไรบ้างที่ต้องเกิดขึ้นพร้อมกันแล้วส่งผลให้เกิดเช่นนี้ ถ้ามีใช่ AND ถ้าไม่มีใช่ Gate แต่ถ้าไม่มีต้องถามต่อว่า OR gate
 - 3.2) เหตุการณ์อะไรบ้างที่อาจเกิดขึ้นแล้วส่งผลให้เกิดเช่นนี้และถ้าเหตุการณ์ที่ต้องตอบทั้ง 2 ข้อ เหมือนกับตัวอย่างอื่นที่วิเคราะห์มาแล้วก็หยุดลงด้วย Undeveloped event และถ้ามีเหตุการณ์ที่เป็นเงื่อนไขและข้อจำกัด (Restriction) และ Input ต่าง ๆ โดยดูกรณีศึกษาของเหตุการณ์

ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ ที่ใช้ในการวิเคราะห์การบ่งอันตรายด้วยวิธี Fault Tree Analysis

สัญลักษณ์	ชื่อ	ความหมาย
	AND Gate สาเหตุหลายสาเหตุ	เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากสาเหตุหลาย ๆ สาเหตุ ของเหตุการณ์ย่อย ใช้ในกรณีที่ต้องการแสดงเหตุการณ์หนึ่งเกิดขึ้น นั่นคือ Out put เนื่องมาจาก Input ที่เกี่ยวข้อง นั่นคือเหตุการณ์ A จะเกิดขึ้นได้ต้องมี เหตุการณ์ $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ ซึ่งเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันดังนั้น AND Gate จะเป็นคำถามที่ถามว่า What happen must be occur?
	OR Gate สาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง	เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้เนื่องมาจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งของเหตุการณ์ย่อย ใช้ในกรณีที่ต้องการแสดงให้เห็นว่า เหตุการณ์หนึ่งเกิดขึ้นได้ โดยอาศัยเหตุการณ์หนึ่งอย่างน้อยหนึ่งเหตุการณ์โดย A จะเกิดขึ้นได้โดย อาจจะมีสาเหตุมาจากเหตุการณ์ $B_1, B_2, \dots, B_n$ ก็ได้ดังนั้น OR Gate จะเป็นคำถามที่ถามว่า What happen may be occur?
	Basic Event เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามปกติทั่วไป	เป็นการแทนของเหตุการณ์ย่อยที่เกิดขึ้นได้ตามปกติหรือเหตุการณ์ที่เห็นชัดเจนโดยไม่ต้องมีการวิเคราะห์ หรือเป็นความบกพร่องหรือความไม่สมบูรณ์ของตัวมันเอง เช่น หลอดไฟไม่ทำงานเนื่องจากหมดอายุการใช้งาน
	Fault Tree Event เหตุการณ์แรกหรือเหตุการณ์ย่อย	เหตุการณ์ย่อยที่ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ต่อเนื่องจนเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุเช่นเหตุการณ์ที่เป็นผลจากเหตุการณ์หรือสาเหตุต่าง ๆ ที่อยู่ใต้ Gate ซึ่งเหตุการณ์นี้สามารถที่จะถูกทำการวิเคราะห์ต่อไปได้อีก
	Undeveloped Event เหตุการณ์ที่วิเคราะห์ต่อไปไม่ได้	เหตุการณ์ย่อยที่ไม่ต้องการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไปเนื่องจากไม่มีข้อมูลสนับสนุน รูปสี่เหลี่ยม (Diamond) ใช้แทนเหตุการณ์ที่เกิดความบกพร่องที่เกิดขึ้นและสิ้นสุดลง
	External Event เหตุการณ์ภายนอก	เหตุการณ์ภายนอกหรือปัจจัยภายนอกที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ
	Restricted event เหตุการณ์ที่เป็นข้อจำกัด	เหตุการณ์ที่เกิดจากสาเหตุการขาดไม่ถึงของเหตุการณ์หนึ่งจึงเกิดเป็นข้อจำกัดขึ้นมา

ตารางที่ 2.3 แสดงสัญลักษณ์ ที่ใช้ในการวิเคราะห์การบ่งอันตรายด้วยวิธี Fault Tree Analysis ซึ่งจะมีตัวอย่างที่เป็นการระเบิดของหม้อไอน้ำเนื่องจากความดันมากเกินไปดังตัวอย่าง รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การวิเคราะห์ฟอลต์-ทรี (FTA; Fault Tree Analysis) ของเหตุการณ์หม้อไอน้ำระเบิด

(ม.ส.ธ., 2535)

จากตัวอย่างในรูปที่ 2.1 มีรายละเอียดดังนี้

- 1) Top event ของเหตุการณ์ คือหม้อไอน้ำเกิดระเบิดเนื่องจากเกิดการแตกร้าว
- 2) สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ คือมีการปล่อยไอน้ำออกไม่ทัน และมีไอน้ำมากเกินไปในหม้อต้ม
- 3) พิจารณาสาเหตุในแต่ละเหตุการณ์

3.1 ถ้าพิจารณาการปล่อยไอน้ำออกไม่ทันต้องนึกถึง Safety valve ไม่ทำงานหรือท่อไอน้ำอุดตัน อย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนั้นถ้าเราพิจารณาจะได้ความสัมพันธ์ลักษณะ OR Gate และถ้าต่อไป เหตุการณ์แรก วาล์วนิรภัย (Safety valve) ไม่ทำงาน ต้องนึกต่อไปว่าวาล์วนิรภัยทำงานเป็น เวลาหรือไม่ ถ้าวิเคราะห์ต่อไปอีกต้องพิจารณาด้วยคำถามอีก แต่ถ้าเราจะหยุดก็จะปิดด้วย สัญลักษณ์หกเหลี่ยม (Undeveloped Event) เป็นอันว่าสิ้นสุด

3.2 ถ้าเราพิจารณาว่ามีไอน้ำมากเกินไป เรานึกถึงคำตอบว่าอาจจะเกิดจากการมีอุณหภูมิสูงเกินไปใน หม้อต้ม หรือว่ามีความดันสูงเกินไป โดยมีข้อจำกัดว่าก่อนที่จะจะทราบว่ามี อุณหภูมิหรือความ ดันสูงนั้นระบบจะต้องมีเหตุการณ์เตือนด้วยเสียง (Alarm) หากมีความผิดปกติของมาตรวัด เพื่อให้ผู้ควบคุมไปอยู่ที่นั่น หากไม่มีสัญญาณควบคุมส่งไปยังสถานบอกเหตุจึงเกิดเป็นข้อจำกัด ขึ้นมา เราจึงใช้สัญลักษณ์หกเหลี่ยม

ดังนั้นเราต้องมองอีกว่าเมื่ออุณหภูมิหรือความดันสูงเกินไปนั้นเกิดจากอะไร ถ้ามต่อไป เราจะพบว่ากรณีที่ อุณหภูมิสูงเนื่องจากสัดส่วนของออกซิเจนต่อเชื้อเพลิงสูงเกินไปหรือการเผาไหม้ของน้ำมันส่วนเกิน ดังนั้นจึงใช้ OR Gate และถามต่อว่ากรณีที่ ความดันสูงเนื่องจากหัวพันไฟ (Burner) ยังคงทำงานขณะที่ระดับน้ำลดลงจึงใช้ AND Gate เป็นต้น

- 4) พิจารณาต่อไปดังที่กล่าวมา

ในปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปจะประยุกต์การนำไปใช้เนื่องจาก การวิเคราะห์ลักษณะนี้ ยากสำหรับคนเริ่มวิเคราะห์ใหม่ ดังนั้นปัจจุบันนี้จะพบว่าการใช้การวิเคราะห์แบบวิเคราะห์ฟอสท์-ทรี จะใช้สัญลักษณ์เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ของทุกเหตุการณ์ ซึ่งจะสะดวกกว่า

c) Safety Audit

การออกตรวจพื้นที่ถือว่าเป็นวิธีการจัดการความปลอดภัยอย่างหนึ่ง ซึ่งนั่นหมายถึงการนำเอาทุกพื้นที่ของ โรงงานอุตสาหกรรมนั้นผ่านเข้าไปเป็นกฎเกณฑ์อย่างมีระบบเพื่อลดความสูญเสีย โดยมีระยะเวลาในการตรวจสอบ สม่ำเสมอ การตรวจสอบพื้นที่จะมี 3 ลักษณะคือ

- c.1) Safety Inspection เป็นการตรวจสอบซึ่งเป็นการกำหนดกฎเกณฑ์แน่นอน โดยบุคลากรของ หน่วยงาน
- c.2) Safety Tour เป็นการตรวจสอบ ซึ่งมีการกำหนดกฎเกณฑ์แน่นอนโดยจะให้บุคลากรจากภายใน และภายนอกช่วยตรวจดูความเรียบร้อย
- c.3) Safety Sampling เป็นการยกตัวอย่าง เพื่อมาหาความผิดพลาดแล้วนำมาแก้ไข

จะเห็นได้ว่า Safety Audit จะเป็นการตรวจสอบและประเมินผลอย่างละเอียดทุกแง่มุมของโรงงาน ซึ่งถ้าดูตัวอย่างของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ซึ่งทำระบบการตรวจสอบความปลอดภัยที่เรียกว่า Five star rating system ซึ่งเป็นระบบสากลของสถาบัน International Loss Control Institute มาพัฒนาปรับใช้กับการตรวจสอบผลการดำเนินงานด้านความปลอดภัย เรียกว่า ISRS (International Safety Rating System) หรือระบบ 5 ดาว คือระบบการวัดผลของการปฏิบัติงานเข้าใจกระบวนการสามารถวัดเป็นค่าตัวเลขในการควบคุมเสียหาย และระบบนี้แบ่งหัวข้อการตรวจสอบออกเป็น 20 หัวข้อ โดยมีหัวข้อย่อย ๆ ในการที่จะใช้ตรวจวัดระบบความปลอดภัย ดังรายละเอียดใน เอกสาร “ความปลอดภัย” ของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยซึ่งได้มีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา

d) Industrial Hygiene Survey

เป็นลักษณะการออกสำรวจสุขภาพของพนักงาน อาจจะเป็นการตรวจเลือดของพนักงาน การตรวจเช็คสมรรถภาพการได้ยิน สมรรถภาพการหายใจ และอื่น ๆ ซึ่งมีมาตรฐานว่า พนักงานต้องมีสมรรถภาพได้ตามมาตรฐานที่กำหนดมิฉะนั้น พนักงานจะต้องได้รับการรักษาจนกว่าจะมีสมรรถภาพปกติและมีการเก็บข้อมูลเชิงสถิติเพื่อที่จะประเมินด้านสุขภาพของพนักงานต่อไป

e) Accident recall

การนำเอาประวัติของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นแล้วมาวิเคราะห์หรือนำมาเป็นแบบอย่างเพื่อไม่ให้เกิดเหตุการณ์นั้นอีก การตรวจสอบความปลอดภัย เป็นการตรวจสอบการณว่ามีสาเหตุอะไรบ้างที่นำไปสู่อันตรายโดย

e.1) สถานการณ์ที่ไม่ปลอดภัยต่อการตรวจหาสาเหตุว่ามีกลุ่มอันตรายทางไหนบ้างเช่นดังแสดงการหาอันตรายในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การหากรณอันตรายจากประวัติของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมาแล้วจากการทำงาน

กลุ่มอันตรายทาง “.....” หรือไม่	ปัจจัยที่มีผลกระทบ
ฟิสิกส์	แสงสี เสียง ความร้อน รังสี
เคมี	สารเคมีระเหย ระเบิดได้ หรือเข้า กันไม่ได้
ชีวภาพ	โรคติดต่อเนื่องจากการทำงาน
เอร์โกโนมิกส์	ลักษณะการทำงานกับสภาพของงาน
ด้านจิตใจ	มีแรงกดดันในการทำงาน เครียด
จากสิ่งที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บ	เครื่องจักร ความสะอาด

e.2) การประเมิน

การประเมินเพื่อต้องการทราบว่าอันตรายที่คาดการณ์มานั้นเป็นจริงหรือไม่ มีความร้ายแรงเพียงใด โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานความปลอดภัยต่าง ๆ ทั้งนี้แต่บางเหตุการณ์บางอย่างไม่สามารถวัดได้โดยตาเปล่า แต่ต้องอาศัยเครื่องมือ ตรวจวัด เช่น ปริมาณสารเคมี ความร้อน เป็นต้น เพื่อเป็นการประเมินที่ดีเราต้องวิเคราะห์ต่อไปว่าความร้ายแรงของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมีความร้ายแรงเพียงใด เช่น อาจมีใครได้รับบาดเจ็บ ตาย เสียหายทรัพย์สิน และเวลาที่สูญเสียไปเท่าใด

f) Walk through survey

การค้นหาสาเหตุของอุบัติเหตุและการประเมินความจำเป็นเพื่อกำหนดมาตรฐานการป้องกันก่อนที่อุบัติเหตุและอันตรายจะเกิดขึ้น การตรวจสอบ (Inspection) ด้านความปลอดภัยเพื่อค้นหาสถานการณ์หรือการกระทำที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe condition & Unsafe act) เพื่อนำสาเหตุดังกล่าวไปแก้ไขก่อนเกิดอุบัติเหตุ

g) Accident Investigation

การสอบสวนอุบัติเหตุ เป็นเครื่องมือที่จะช่วยลดอันตรายที่เกิดให้น้อยลงโดยการนำข้อมูลมาวิเคราะห์สาเหตุของอุบัติเหตุ นั้น ๆ

การสอบสวนแบ่งเป็น 4 ลักษณะของอุบัติเหตุ

ลักษณะที่ 1 บาดเจ็บถึงขั้นร้ายแรงขึ้นพิการทุพพลภาพ

ลักษณะที่ 2 บาดเจ็บเล็กน้อย

ลักษณะที่ 3 ไม่บาดเจ็บแต่ทรัพย์สินเสียหาย

ลักษณะที่ 4 ไม่เกิดอะไรขึ้นแต่มีแนวโน้มที่จะเกิดอีกได้ (Near-missed หรือ Near Injury Accident)

หลักสำคัญอย่างหนึ่งของการสอบสวนอุบัติเหตุ คือ เมื่อมีเหตุการณ์เกิดขึ้นต้องมีการสอบสวนทันที และตรวจสอบสังเกตสถานการณ์ที่เกิดขึ้นตามความเป็นจริง พร้อมกับการรักษาสภาพเดิมไว้ยกเว้นผู้บาดเจ็บต้องเข้าช่วยเหลือ อาจเก็บหลักฐานโดยการถ่ายภาพเพื่อเป็นประโยชน์ในการรวบรวมข้อมูลสอบสวนได้ ซึ่งผู้ทำการสอบสวนอุบัติเหตุจะต้องมีประสบการณ์ ดังนั้นเทคนิคในการสอบสวนอุบัติเหตุหรือสัมภาษณ์มีดังนี้

g.1) เทคนิคการสอบสวนอุบัติเหตุของผู้สอบสวน

- (1) Go ต้องรีบไปสถานที่ที่เกิดอุบัติเหตุทันทีที่ได้รับแจ้ง เพื่อเก็บหลักฐานต่าง ๆ และหลักฐานควรจะไม่ถูกทำลายก่อนที่ผู้ทำการสอบสวนจะมาถึง
- (2) Ask and Talk ถามประชาชนผู้เห็นการณ์เพื่อค้นหาความจริงที่เกิดขึ้น
- (3) Listen ฟังผู้ที่อยู่ในเหตุการณ์สนทนา หรือวิจารณ์อุบัติเหตุเพื่อนำมาประกอบการพิจารณา
- (4) Comment เสนอแนะวิธีป้องกันต่อผู้ที่อยู่ในเหตุการณ์
- (5) Investigation ศึกษาสาเหตุความเป็นไปได้ว่าเกิดจากการกระทำหรือสถานการณ์ที่ไม่ปลอดภัย
- (6) Meeting เพื่อศึกษาปัญหาและวิธีการแก้ไข
- (7) Report ตามแบบฟอร์มที่ให้สัมภาษณ์แล้วเก็บประวัติ
- (8) Follow ดูว่าเมื่อแก้ไขแล้วยังเกิดอุบัติเหตุเช่นเดิมหรือไม่
- (9) Information ประกาศให้ทราบโดยทั่วกันเพื่อให้พนักงานคนอื่นทราบและมีผลในการป้องกันอุบัติเหตุต่อไป

g.2) เทคนิคในการสัมภาษณ์ (5W1H)

- WHO ใครคือผู้ที่ได้รับบาดเจ็บ (บุคคล)
 WHERE อุบัติเหตุเกิดที่ไหน (สถานที่แผนก)
 WHEN อุบัติเหตุเมื่อไหร่ (เวลา)
 WHY ทำไมอุบัติเหตุถึงเกิดขึ้น (สาเหตุ)
 WHAT มีเหตุการณ์อะไรเกิดขึ้น (ลำดับเหตุการณ์)
 HOW จะสามารถป้องกันไม่ให้อุบัติเหตุเกิดขึ้นได้อย่างไร (วิธีการป้องกัน)

h) Accident Collection

การทำการเก็บบันทึกข้อมูลโดยใช้แบบฟอร์มโดยเป็นส่วนที่ต่อเนื่องมาจากวิธีการของการสอบสวนอุบัติเหตุ (Accident investigation) แต่ช่วยเก็บข้อมูลเป็นหลักฐานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ให้ไม่เกิดอุบัติเหตุอีก

h.1) แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลการสอบสวนอุบัติเหตุกับพยานดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลการสอบสวนอุบัติเหตุกับพยาน

1) พยาน (ชื่อ, สกุล)	_____
2) ผู้บาดเจ็บ (ชื่อ, สกุล)	_____
3) สถานที่เกิดเหตุ	_____
4) วันเวลา ที่เกิดอุบัติเหตุ	_____
5) ผู้สอบถามพยาน (ชื่อ, สกุล)	_____
6) รายละเอียดในการให้สัมภาษณ์ ของพยาน	_____
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อความที่ปรากฏข้างบนเป็นจริงทุกประการ	
(_____)	
ลายมือพยาน	
สอบสวนเมื่อวันที่ _____ เวลา _____	
สถานที่สอบสวน _____	

h.2) แบบฟอร์มการสอบสวนอุบัติเหตุดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงแบบฟอร์มการสอบสวนอุบัติเหตุ

1) วันเกิดเหตุ...../...../..... 2) รายละเอียดของผู้ได้รับบาดเจ็บ ชื่อ – สกุล..... อายุ..... การศึกษา..... หน้าที่การงาน..... อายุในแผนก..... ปี 3) ผลของอุบัติเหตุ ☐ ตาย ☐ พิการที่ตาแบบถาวร ☐ ส่วนของร่างกายได้รับบาดเจ็บ (ระบุสภาพ) ☐ ไม่มีการหยุดงาน ☐ พิการบางส่วน ☐ หยุดงาน 4) การสูญเสีย ค่ารักษาพยาบาล.....บาท ค่าซ่อมแซม (เครื่องจักร อุปกรณ์อื่น ๆ).....บาท ค่าใช้จ่ายอื่น ๆบาท 5) รายละเอียดของการเกิดอุบัติเหตุ (อุบัติเหตุ เกิดขึ้นได้อย่างไร) _____ _____ _____ 6) ผลการวิเคราะห์ของอุบัติเหตุ 6.1 การกระทำที่ไม่ปลอดภัย _____ 6.2 สภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย _____ 7) ข้อเสนอแนะสำหรับการป้องกันแก้ไข (มาตรการแก้ไข) _____ (_____) ผู้สอบสวนและรายงาน _____/_____/_____ ผู้จัดการ_____	รูปแสดงการเกิด อุบัติเหตุการแก้ไข 
---	--

h.3) หลักการวิเคราะห์อุบัติเหตุ

เพื่อค้นหาข้อมูลของผู้ได้รับบาดเจ็บ ซึ่งรายละเอียดในการวิเคราะห์ แต่ละหัวข้อตามแบบสถาบันมาตรฐานแห่งชาติสำหรับสหรัฐอเมริกา (Check list for Identifying key facts) ดังตารางที่ 2.7 ซึ่งมีวิธีการดำเนินการวิเคราะห์ของแบบฟอร์มดังนี้

ตารางที่ 2.7 แบบฟอร์มการวิเคราะห์อุบัติเหตุ

แบบฟอร์มการวิเคราะห์อุบัติเหตุ						
อันดับ	หัวข้อในการวิเคราะห์	รายการที่ 1	2	3	4	5
1	ลักษณะการบาดเจ็บ (Nature of injury)					
2	ส่วนของร่างกายที่ได้รับบาดเจ็บ (Part of body)					
3	ต้นเหตุของการได้รับบาดเจ็บ (Source of injury)					
4	ชนิดของอุบัติเหตุ (Accident type)					
5	สภาวะที่เป็นอันตราย (Hazardous condition)					
6	ตัวการที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ (Agency of accident)					
7	ส่วนของตัวการที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ (Agency of accident part)					
8	การกระทำที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe act)					
9	ส่วนของปัจจัยที่อำนวยความสะดวก (Contributing factor)					

- 1) ลักษณะการบาดเจ็บ (Nature of Injury) ให้ระบุประเภทและลักษณะการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นกับร่างกาย เช่น การตกจากที่สูง ของหนักทับ สารพิษ เป็นต้น
- 2) ส่วนของร่างกายที่ได้รับบาดเจ็บ (Part body) ให้ระบุส่วนของร่างกายที่ได้รับบาดเจ็บ แต่กรณีที่คนจมน้ำหายใจไม่ออก ให้ระบุว่าทางเดินหายใจ เป็นต้น
- 3) ต้นเหตุของการได้รับบาดเจ็บ (Source of Injury) เป็นแหล่งที่ทำให้ได้รับการบาดเจ็บ เช่น วัสดุสิ่งของการเคลื่อนไหวร่างกาย
- 4) ชนิดของอุบัติเหตุ (Accident type) ต้นเหตุที่ได้รับการบาดเจ็บมีลักษณะอย่างไร เช่น การลื่นล้มบนพื้นให้ระบุว่า การลื่น หรือเป็นการเคลื่อนไหวร่างกาย
- 5) สภาวะที่เป็นอันตราย (Hazardous condition) ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรง กับชนิดของอุบัติเหตุ และตัวการที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ (Agency of accident)

- 6) ตัวการที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ (Agency of accident) ตัวการที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ อาจจะเป็นวัตถุ สิ่งของหรือส่วนของร่างกายที่ถูกระบุสถานะที่เป็นอันตรายในข้อ (5) ซึ่งตัวการการเกิดอุบัติเหตุอาจเป็น ตัวเดียวกับต้นเหตุของการได้รับบาดเจ็บ (3) ก็ได้
- 7) ส่วนของตัวการ ที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ (Agency of accident part) เช่นการที่คนปีนขึ้นบันไดซึ่งเป็น บันไดชำรุดและตกมาเนื่องจากบันไดหักดังนั้นส่วนของตัวการที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุคือขั้นบันไดชำรุด
- 8) การกระทำที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe act)
- 9) ส่วนของปัจจัยที่อำนวยความสะดวก (Contributing factors) เช่นอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ชนิดไหนเช่นถุงมือ ปุ่มตัดอัตโนมัติ

ลักษณะการบาดเจ็บที่นิ้วหัวแม่มือขาด ส่วนที่ได้รับบาดเจ็บคือมือ ต้นเหตุการได้รับบาดเจ็บคือการเอื้อม มือข้ามเลื่อยวงเดือนที่กำลังหมุนอยู่ ชนิดของอุบัติเหตุคือเครื่องจักรไม่มีการป้องกัน และไม่มีการหยุดเครื่องจักรก่อน และสิ่งจำเป็นที่จะต้องมียคืออุปกรณ์ป้องกัน

ตัวอย่าง 2-1 การวิเคราะห์อุบัติเหตุ

นาย ก. กำลังปฏิบัติงานตัดไม้อยู่ในขณะนั้นมีเศษไม้ชิ้นหนึ่งหลุดกระเด็นเข้าไปหลังเครื่องเลื่อย ซึ่งไม่มีฝา ครอบป้องกัน จากนั้นนาย ก. ได้เอื้อมมือเข้าไปด้านหลังเลื่อยวงเดือนซึ่งกำลังหมุนอยู่จึงถูกเลื่อยตัดนิ้วหัวแม่มือ ให้ นักศึกษาวิเคราะห์ 1-9 ตามรายละเอียดในแบบฟอร์มข้อ 1.9 ในตารางที่ 2.7 การวิเคราะห์อุบัติเหตุแล้วแจกแจงด้วย แบบฟอร์มการวิเคราะห์อุบัติเหตุดังตารางที่ 2.8

ดังนั้นการบันทึกรายงานอุบัติเหตุที่มีประโยชน์ต่อผู้บริหาร ซึ่งถ้าเราจะบันทึกเป็นรายละเอียด จะไม่เกิด ประโยชน์ในการป้องกันอุบัติเหตุ เมื่อเราวิเคราะห์ และแจกแจงเป็นข้อมูลออกมา จะทำให้เราทราบว่ลักษณะ การ บาดเจ็บของคนงานเป็นลักษณะใด ส่วนใดของร่างกายได้รับบาดเจ็บมากที่สุด อะไรคือต้นเหตุ และมีสภาพอะไรเป็น อันตราย จนก่อให้เกิดความไม่ปลอดภัย และหาทางป้องกันแก้ไขดังกรณีนาย ก. เราสามารถแก้ไขได้โดยติด เซฟการ์ด (Safety guard) และแสงสว่างไม่พอก็เพิ่มแสงสว่าง และให้การอบรมแก่นาย ก. จะเห็นว่าเราสามารถ วิเคราะห์ให้ทราบถึงสาเหตุในการนำไปสู่การป้องกัน ทำให้เกิดอุบัติเหตุน้อยลงไป

ตารางที่ 2.8 แบบฟอร์มของการแจกแจงรายละเอียดในการวิเคราะห์อุบัติเหตุ

แบบฟอร์มของการแจกแจงรายละเอียดในการวิเคราะห์อุบัติเหตุ	
ชื่อแผนกโรงงาน _____	
เวลาที่เกิดอุบัติเหตุ _____ ถึง _____	จำนวน (ราย) ที่ได้รับบาดเจ็บทั้งสิ้น _____ ราย
ผู้ทำการวิเคราะห์ _____	จำนวนคนที่เสียชีวิตไปทั้งสิ้น _____ คน
วันที่ทำการวิเคราะห์ ____/____/____	จำนวนคนงานทั้งหมด _____ คน
	จำนวนชั่วโมงการทำงาน _____ ช.ม.
	อัตราความถี่ของการประสบอันตราย _____ คน
	อัตราความรุนแรงของการประสบอันตราย _____ คน
ลำดับที่ 1	
ชื่อ - สกุล นาย ก. ดวงดี	
แผนกสังกัด Production	
วันที่เกิดเหตุ 3 เม.ย.2547 เวลา 11.30 น.	
ลักษณะการบาดเจ็บ การเอื้อมมือไปหยิบเศษไม้ที่ด้านหลังเลื่อยวงเดือนในขณะที่เลื่อยวงเดือนกำลังทำงานอยู่	
ชนิดของอุบัติเหตุ ถูกตัดนิ้วหัวแม่มือ	
การกระทำที่ไม่ปลอดภัย นาย ก. เอา เซฟการ์ดออก การเอื้อมมือผ่านเลื่อยวงเดือนที่กำลังทำงาน	
สถานที่ที่เป็นอันตราย ไม่มี เซฟการ์ดหรือ แสงสว่างไม่เพียงพอ	
จำนวนที่เสียไป 30 วันทำงาน	
การดำเนินการ ติด เซฟการ์ดเพิ่มแสงสว่าง และ ให้การอบรม	

h.4) การควบคุม

การควบคุมเป็นความสามารถในการแนะนำแก้ไข การควบคุมที่ดีควรจะควบคุมที่ต้นเหตุของปัญหาดังแสดงรายการไว้ในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 แบบตรวจสอบความปลอดภัยในการทำงาน

แบบตรวจสอบความปลอดภัยในการทำงาน	
วันที่ ____/____/____	
ตรวจโดย 1) _____ 2) _____	หน่วยงานที่ตรวจ _____
3) _____ 4) _____	
การตรวจ	การปรับปรุง
-----	-----
-----	-----
-----	-----

ช่วงการตรวจสอบนั้นอาจจะกระทำโดยเจ้าหน้าที่ความปลอดภัย แต่ถ้ามีคณะกรรมการความปลอดภัยหรือทีมงานหมุนเวียนมีส่วนร่วมในการตรวจและจะเป็นการพัฒนาความรู้ความเข้าใจด้านความปลอดภัยด้วย นอกจากนี้หัวหน้างานที่ทำหน้าที่ในเขตพื้นที่รับผิดชอบของตน ก็ควรจะตรวจดูอย่างสม่ำเสมอจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพด้วย

i) การประเมินค่าทางสถิติ (Statistic)

เป็นการประเมินค่าอุบัติเหตุทางสถิติ (Accident and loss statistics) เกี่ยวกับการได้รับบาดเจ็บจากการทำงานเพื่อฝ่ายบริหารจะต้องหาวิธีการป้องกันการประเมินเป็นช่วง ๆ อาจจะประเมินแต่ละเดือนหรือแต่ละปี เพื่อหาผลมาเปรียบเทียบเป็นข้อมูลพื้นฐานว่ามีอุบัติเหตุระดับไหน อุบัติเหตุนี้ร้ายแรงเพียงใด เพื่อกำหนดนโยบายในการบริหารความปลอดภัย หรือ การวางแผน การลดการเกิดอุบัติเหตุของโรงงาน หรือ แต่ละหน่วยงาน

ตามทีสถาบันมาตรฐานแห่งชาติสหรัฐอเมริกา American National Standard Institution (ANSI) ได้กำหนดวิธีการประเมินผลโดยแบ่งวิธีการในการรายงานทางสถิติเป็น 3 แบบ ดังหัวข้อ i.1) ถึง i.3) และมีการประเมินโดยการคำนวณเปรียบเทียบข้อมูลในแต่ละปีโดยใช้ Students' T-Test ดังหัวข้อ i.4)

i.1) I.F.R. (Injury Frequency Rate) เป็นอัตราความถี่ของการได้รับบาดเจ็บ คำนวณจากจำนวนของคนงานที่ได้รับบาดเจ็บจากการทำงานในช่วงเวลาหนึ่งต่อการทำงาน 1 ล้านชั่วโมง

$$I.F.R. = \frac{N}{MH} \times 10^6 \quad \dots(2.1)$$

โดยที่ N = จำนวนครั้งของการเกิดอุบัติเหตุ (Number of Injured walkers)

MH = ชั่วโมงการทำงานของคนงานทั้งสิ้น (Total walker's man-hours)

i.2) I.S.R. (Injury Severity Rate) เป็นอัตราความรุนแรงของการบาดเจ็บ คำนวณจากวันทั้งหมดที่ลูกจ้างต้องหยุดงานเพื่อรักษาตัวจนกว่าจะหาย

$$I.S.R. = \frac{DL}{MH} \times 10^6 \quad \dots(2.2)$$

โดยที่ DL = จำนวนวันทำงานที่เสียไป (Day Lost)

MH = ชั่วโมงการทำงานของคนงานทั้งสิ้น (Total walkers' Man-Hours)

i.3) A.S.I. (Average Severity Index) เป็นค่าดัชนีความรุนแรงเฉลี่ยของการได้รับบาดเจ็บคำนวณจากค่าเฉลี่ยของ ของวันที่ลูกจ้างหยุดงาน หรือขาดคนต่อผู้บาดเจ็บ 1 ราย

$$A.S.I. = \frac{I.S.R.}{I.F.R.} = \frac{DL}{N} \quad \dots(2.3)$$

i.4) การคำนวณการเปรียบเทียบอัตราความถี่ของการบาดเจ็บโดยการประยุกต์หลัก

Safe – T – Score : STS

เป็นการนำเอาวิชาการทางสถิติมาใช้ในการควบคุมคุณภาพ (QC) ซึ่ง STS สามารถใช้ในการตรวจสอบหรือทดสอบความแตกต่างของอันตรายความถี่ของการบาดเจ็บในอดีตถึงปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบดูว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยหาได้จากสมการ (2.4)

$$STS = \frac{I.F.R(now) - I.F.R(past)}{\sqrt{\frac{I.F.R(past)}{10^6 - \text{Working hours}(now)}}} \quad \dots(2.4)$$

ซึ่งถ้าค่า STS; $-2 < STS < 2$ แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

$STS > 2$ แสดงว่าอันตรายในปัจจุบันมากกว่าอดีตที่ผ่านมา
หมายถึงมีอะไรบางอย่างผิดปกติ

$STS < -2$ ตรงข้ามกับ $STS > 2$ เปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้นหรืออันตรายน้อยลง

ดังนั้น STS จะมีประโยชน์มากในการจัดระบบเก็บบันทึกอุบัติเหตุและการประมวลข้อมูลตลอดจนสามารถใช้สนับสนุนโครงการการป้องกันอุบัติเหตุอย่างได้ผลด้วย

เนื่องจากมาตรฐานการทำงาน OSHA คือ พนักงานจะทำงานไม่เกิน 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ และ 50 สัปดาห์ต่อปี หรือประมาณ 200,000 ชั่วโมงต่อปีของคนงานที่ทำงานในบริเวณที่มีโอกาสได้รับสารอันตราย อย่างไรก็ตามการบริหารคนงานในโรงงานอาจจะทำงานแตกต่างกันเราจึงไม่สามารถเปรียบเทียบจำนวนอุบัติเหตุได้โดยตรงแต่การเปรียบเทียบจำเป็นจะต้องเปรียบเทียบที่ฐานเหมือนกัน (Normalization) เช่น จำนวนคนงานเท่ากันและชั่วโมงการทำงานที่เท่ากันด้วย

ตัวอย่าง 2-2 โรงงานแห่งหนึ่งมีคนงาน 500 คน ทำงานปีละ 50 สัปดาห์และสัปดาห์ละ 48 ชั่วโมง มีการขาดงานของคนงานทั้งสิ้น 5 เพอร์เซ็นต์ เนื่องจากเจ็บป่วยและธุรกิจส่วนตัวในเวลา 1 ปี พบว่าในรอบ 1 ปี ที่ผ่านมามีอุบัติเหตุเกิดขึ้นทั้งหมด 60 ครั้ง จะมีอัตราความถี่ของอุบัติเหตุเป็นเท่าใด

ชั่วโมงการทำงานใน 1 ปี = $(500 \text{ คน} \times 50 \text{ สัปดาห์/คน.ปี} \times 48 \text{ ชม./สัปดาห์}) = 1,200,000 \text{ ชั่วโมง}$

ชั่วโมงการไม่มาทำงาน = $(500 \text{ คน} \times 50 \text{ สัปดาห์/คน.ปี} \times 48 \text{ ชม./สัปดาห์}) \times 0.05 = 60,000 \text{ ชั่วโมง}$

ชั่วโมงการทำงานจริงใน 1 ปี $MH = 1,200,000 - 60,000 = 1,140,000 \text{ ชั่วโมง}$

$$I.F.R. = \frac{N}{MH} \times 10^6 = \frac{60}{1,140,000} \times 10^6 = 52.63 \text{ ครั้งในล้านชั่วโมงการทำงาน}$$

สรุปได้ว่า ในรอบ 1 ปีมีอุบัติเหตุ 52.63 ครั้งในล้านชั่วโมงการทำงาน

ตัวอย่าง 2-3 ต่อจากข้อที่ 1 ถ้าเกิดอุบัติเหตุ 60 ครั้ง ในปีนั้นคิดเป็นการสูญเสียซึ่งเป็นการลาหยุดงานของพนักงานทั้งสิ้น 1,270 วัน จะคิดเป็นค่าความร้ายแรงของอุบัติเหตุเป็นเท่าใด

$$\text{I.S.R.} = \frac{DL}{MH} \times 10^6 = \frac{1,270}{1,140,000} \times 10^6 = 1,114 \text{ วันในล้านชั่วโมงการทำงาน}$$

สรุปได้ว่า ในรอบ 1 ปีมีการสูญเสียวันทำงาน 1,114 วัน ใน ล้านชั่วโมงการทำงาน

ต้องระวังการใช้ I.F.R. และ I.S.R. เช่นในกรณีคนงานเสียชีวิตไม่อาจกลับเข้าไปทำงานได้ 228 วันต่อปี หลังจากนั้น 20 ปี

ชั่วโมงการทำงานที่คนงานนั้นไม่สามารถทำงานได้ = $20 \times 228 = 4,560$ วัน

จะเห็นว่า I.F.R. ไม่เปลี่ยน แต่ I.S.R. จะเปลี่ยนเป็น = $\frac{(1,270 + 4,560)}{1,140,000} \times 10^6 = 5,114$ วันในล้านชั่วโมง

การทำงาน

ตัวอย่าง 2-4 ข้อมูลของโรงงาน ดังต่อไปนี้

โรงงาน	สัปดาห์ต่อปี	ชั่วโมงการทำงานต่อสัปดาห์	คนทำงาน (คน)	ขาดงาน (คน)	จำนวนอุบัติเหตุ (ครั้ง)
ก	50	48	500	25	60
ข	20	50	140	5	20
ค	20	48	200	20	25

โรงงาน ก. มีชั่วโมงการทำงานทั้งหมด = $(500-25) \times 50 \times 48 = 1,140,000$ ชั่วโมง

โรงงาน ข. มีชั่วโมงการทำงานทั้งหมด = $(140-5) \times 20 \times 50 = 135,000$ ชั่วโมง

โรงงาน ค. มีชั่วโมงการทำงานทั้งหมด = $(200-20) \times 20 \times 48 = 172,800$ ชั่วโมง

$$\text{โรงงาน ก. I.F.R.}_1 = \frac{60 \times 10^6}{1,140,000} = 52.63$$

$$\text{โรงงาน ข. I.F.R.}_2 = \frac{20 \times 10^6}{135,000} = 148.15$$

$$\text{โรงงาน ค. I.F.R.}_3 = \frac{25 \times 10^6}{172,800} = 144.67$$

เมื่อเปรียบเทียบทั้งสามโรงงานจะเห็นว่าโรงงาน ก. จะอันตรายน้อยถึงแม้ว่าจะมีจำนวนครั้งที่เกิดอุบัติเหตุมากที่สุด

J) Check list เป็นวิธีทั่วไปที่ใช้สำหรับตรวจสอบการดำเนินงานในโรงงานเพื่อค้นหาอันตราย

แบบตรวจสอบประกอบด้วยหัวข้อคำถามที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบว่าได้ปฏิบัติตามมาตรการการออกแบบ มาตรฐานการปฏิบัติงานหรือกฎหมายเพื่อนำผลจากการตรวจสอบมาทำการบ่งชี้อันตราย

k) What-If-Analysis เป็นกระบวนการการศึกษาวิเคราะห์และทบทวนเพื่อชี้บ่งอันตรายโดยการใช้คำถาม อะไรจะเกิดขึ้นถ้า (What-If)

l) Hazard and Operability Studied (HAZOP) เป็นเทคนิคการศึกษา วิเคราะห์และทบทวนเพื่อชี้บ่งอันตราย และค้นหาปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินงานในโรงงานโดยการวิเคราะห์หาอันตรายของปัญหาของระบบต่าง ๆ ที่อาจเกิดจากความไม่สมบูรณ์ในการออกแบบ หรือความไม่ตั้งใจ

m) Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) เป็นเทคนิคการบ่งชี้อันตรายที่ใช้การวิเคราะห์ในรูปแบบความล้มเหลวและผลที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นการตรวจสอบชิ้นส่วนเครื่องจักรอุปกรณ์ในแต่ละส่วนของระบบแล้วนำมาวิเคราะห์หาผลที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดความล้มเหลวของเครื่องจักรอุปกรณ์

n) Event-Tree Analysis เป็นเทคนิคการบ่งชี้อันตรายเพื่อวิเคราะห์และประเมินหาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อเนื่องเมื่อเกิดเหตุการณ์แรกขึ้น (Initiating Event) ซึ่งเป็นการคิดเพื่อคาดการณ์ล่วงหน้าเพื่อวิเคราะห์หาผลสืบเนื่องที่เกิดขึ้นเมื่อเครื่องจักรอุปกรณ์เสียหายหรือคนทำงานผิดพลาด เพื่อให้ทราบสาเหตุว่าเกิดขึ้นอย่างไร และมีโอกาสที่เกิดมากน้อยเพียงใด รวมทั้งเป็นการตรวจสอบว่าระบบความปลอดภัยที่มีอยู่มีปัญหหรือไม่อย่างไร

หลังจากเลือกเครื่องมือที่เหมาะสมแล้วก็จะประเมินความเสี่ยงโดยใช้สมการ (1.1) ตามประกาศอุตสาหกรรมฉบับที่ 3 พ.ศ. 2542 เรื่องการคุ้มครองความปลอดภัยในการทำงาน

2.5.2 มาตรฐานการระงับและฟื้นฟูเหตุการณ์ (Recovery Measure) ได้แก่การวางแผนฉุกเฉิน การซ้อมดับเพลิง อาจจะมีมองครอบคลุมในเรื่องแผนฉุกเฉิน (Emergency Response Plan and Drill) รวมไปถึงการนำเอาประวัติการสอบสวนอุบัติเหตุ (Accident Investigation) มาวิเคราะห์เพื่อที่จะฟื้นฟูเหตุการณ์

“แผนงานฉุกเฉิน”เป็นมาตรการหนึ่งที่มีความสำคัญยิ่งในระบบความปลอดภัยของโรงงานเพื่อบรรเทาหรือลดความรุนแรงของอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นจากความผิดพลาดของปัจจัยที่ไม่อาจควบคุมได้ แผนงานฉุกเฉินจะประสบผลสำเร็จเมื่อทุกฝ่ายร่วมมือป้องกันเพื่อเตรียมพร้อมแก้ไขสถานการณ์เมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้นและเมื่อเหตุการณ์สงบลงแล้ว จะต้องร่วมมือฟื้นฟูสถานการณ์ที่เสียหายให้กลับคืนสู่สภาพปกติ เพื่อให้ประกอบกิจการได้ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดความรุนแรงของอุบัติเหตุ และควบคุมความสูญเสีย
2. เพื่อให้เกิดความร่วมมือกันทุกระดับในโรงงานโดยกำหนดหน้าที่และความรับผิดชอบของผู้เกี่ยวข้อง และ “คณะกรรมการแผนงานฉุกเฉิน”
3. เพื่อเตรียมพร้อมหรือฝึกซ้อม การปฏิบัติตามแผนงานฉุกเฉิน
4. เพื่อให้เกิดการประสานงานระหว่างหน่วยงานภายใน และหน่วยงานภายนอกในการช่วยเหลือและกอบกู้กัน

แผนงานฉุกเฉินที่ดี

จะต้องครอบคลุม 5W และ 1H คือ

1. WHAT: อะไร เหตุการณ์แบบไหนจึงจะถือว่าเป็นเหตุการณ์ฉุกเฉิน (What is emergency incident?)
2. WHY: ทำไม วัตถุประสงค์ของแผนงานฉุกเฉินเพื่ออะไร (Objectives of emergency Plan)
3. WHO: ใครจะเป็นผู้มีหน้าที่รับผิดชอบ
 - 3.1 ผู้บริหารระดับสูงและต่ำลงมาในระดับ หัวหน้างาน ถึงระดับพนักงานคนงาน
 - 3.2 “คณะกรรมการฉุกเฉิน” ตามแผนงานฉุกเฉิน ประกอบด้วย
 - ผู้บริหารระดับกลางขึ้นไปเป็นประธาน
 - ตัวแทนแต่ละหน่วยงาน
 - หน่วยปฐมพยาบาล
 - หน่วยกู้ภัย
 - หน่วยฟื้นฟู
4. WHEN: เมื่อไร
 - เมื่อไหร่จะเข้าสถานการณ์ฉุกเฉิน
 - คณะกรรมการฉุกเฉิน และผู้ที่เกี่ยวข้องจะเริ่มปฏิบัติหน้าที่ตามแผนงานฉุกเฉินเมื่อใด (การเตรียมพร้อม การกอบกู้ภัย การควบคุมการสูญเสีย การฟื้นฟูสภาพปกติ)
5. WHERE: ที่ไหน คณะกรรมการฉุกเฉิน และผู้ที่เกี่ยวข้องจะต้องรู้ว่า ตนเองจะปฏิบัติหน้าที่ตามแผนงานที่ใด เช่น จุดรวมพล สถานีส่งสารและการสื่อสาร ทางออกฉุกเฉิน รถพยาบาล จุดอพยพและสิ่งของเป็นต้น
6. HOW: อย่างไร

ผู้ที่เกี่ยวข้องตามแผนงานฉุกเฉินจะต้องรู้วิธีปฏิบัติการวางแผน (คือจะต้องทำงานอย่างไรบ้าง)

 - กำหนดวิธีการปฏิบัติตามลำดับก่อนหลัง
 - กำหนดขอบเขตของอำนาจการตัดสินใจ
 - กำหนดมาตรการตรวจสอบและแก้ไขป้องกันในจุดอันตราย เพื่อดำเนินการได้ถูกต้อง

หน้าที่ความรับผิดชอบตามแผนฉุกเฉิน

ผู้สั่งการ มีหน้าที่ควบคุมภาวะฉุกเฉินให้คืนสู่สภาพปกติโดยฉับพลันทันที เพื่อลดความสูญเสีย

ผู้ควบคุมอุปกรณ์ มีหน้าที่ควบคุมระบบกระบวนการผลิต ในขณะที่เกิดภาวะฉุกเฉิน เพื่อลดการสูญเสีย

ถ้าจำเป็นต้องหยุดโรงงานให้แจ้งผู้สั่งการเพื่อสั่งการต่อไป รับผิดชอบควบคุมเหตุการณ์หาก

จำเป็น ผู้ประสานงานภายนอก รับผิดชอบต้อนรับสื่อมวลชน แถลงข่าวตามที่ผู้สั่งการได้ให้ความเห็นชอบให้ข่าวดังกล่าว ประสานงานกับหน่วยงานราชการ และโรงงานข้างเคียง ควบคุมการรักษาความปลอดภัย

หน่วยสนับสนุน รับผิดชอบส่งเสริม การปฐมพยาบาล รถบริการ ในกรณีที่ภาวะฉุกเฉินต้องใช้เวลาการดำเนินการนาน

กรณีตัวอย่าง

ข้อสำคัญเกี่ยวกับแผนฉุกเฉิน

ส่วนที่ 1 แผนป้องกันและระงับอัคคีภัยล่วงหน้าต้องคำนึงถึง

- เวลา เช่น ในเวลางาน นอกเวลางาน ระยะเวลาการลุกไหม้
- ความปลอดภัยของพนักงานดับเพลิง ชุดดับเพลิง เครื่องช่วยหายใจ ระยะห่างจากจุดอันตราย (รังสีความร้อน การระเบิด)
- ความชัดเจนคุ้นเคยในพื้นที่ เช่น ทิศทางลม ที่เก็บอุปกรณ์น้ำ-โฟมดับเพลิง
- ความสามารถของอุปกรณ์ เช่น แรงดันของอุปกรณ์ฉีดน้ำ-โฟมดับเพลิง
- ความสามารถในการจ่ายน้ำดับเพลิง
- อุปกรณ์ข้างเคียง ต้องพิจารณาเกี่ยวกับทิศทางลม
- อัตรากำลังคน
- การประสานงานกับพนักงานเดินเครื่อง
- ปริมาณน้ำ-โฟม
- การติดต่อสื่อสาร
- แผนผังของโรงงานหรือบริเวณเกิดเหตุ
- ศูนย์บัญชาการ
- พนักงานดับเพลิง
- โครงข่าย การบังคับบัญชา
- ความต้องการอุปกรณ์ดับเพลิงต่าง ๆ
- ชนิดของผลิตภัณฑ์ในแต่ละพื้นที่
- ความช่วยเหลือจากภายนอก
- การฝึกอบรมพนักงาน
- ทดสอบแผนป้องกัน และระงับอัคคีภัยล่วงหน้า และผลการประเมิน

ส่วนที่ 2 : สิ่งที่ต้องพิจารณาในภาวะฉุกเฉินขณะนั้น

- อะไรกำลังเกิดขึ้น
- ขนาดของเหตุการณ์นั้น
- เราสามารถทำอะไรได้บ้าง

กล่าวโดยสรุป การจัดทำแผนงานฉุกเฉิน ควรประกอบด้วย

1. การจัดตั้งโครงการบังคับบัญชาสำหรับภาวะฉุกเฉิน
 - เพื่อให้ผู้สั่งการสามารถสั่งการได้เมื่อเกิดภาวะฉุกเฉิน
 - เพื่อควบคุมภาวะฉุกเฉินและการบรรเทาความเสียหาย
2. แผนปฏิบัติการเมื่อเกิดภาวะฉุกเฉิน
 - ให้พนักงานทุกระดับมีหน้าที่รับผิดชอบ
 - เพื่อไม่ให้งานซ้ำซ้อน และรู้หน้าที่ปฏิบัติอย่างชัดเจน
3. ประสานงานกับหน่วยงานภายนอกในกรณีที่ต้องการความช่วยเหลือ

2.5.3 แผนงานปรับปรุงแก้ไข (Corrective Accident Plan) ใช้ในกรณีสำหรับโรงงานที่ได้แจ้งการเริ่มประกอบกิจการโรงงาน ตามมาตรา 13 แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 แล้ว ทางโรงงานจะต้องแจ้งแผนงานกำหนดการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมในมาตรการป้องกันและควบคุมสาเหตุของการเกิดอันตรายและมาตรการระงับและฟื้นฟูเหตุการณ์เป็นต้น

สรุปบทที่ 2 การบริหารความปลอดภัยอย่างเป็นระบบจำเป็นจะต้องมีองค์กรที่จัดการความปลอดภัยและจุดมุ่งหมายในการทำงานอย่างชัดเจน การนำเอาเครื่องมือต่างๆ มาเป็นเครื่องมือช่วยในการบริหารหรือเพื่อวิเคราะห์จึงเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับการทำงานเนื่องจากเราจะต้องทราบการเปลี่ยนแปลงในอดีตของสถานประกอบ-การของเราพร้อม ๆ กับสามารถประเมินระดับอันตรายของตนเองกับสถานประกอบการใกล้เคียงอีกด้วย การจัดการความปลอดภัยนั้นจะมีประสิทธิภาพไม่ได้ถ้าเกิดจากหน่วยงานเพียงหน่วยเดียว ดังนั้นทุกคน ในหลายๆหน่วยงานจึงต้องร่วมมือกันเพื่อให้ผลลัพธ์ของการทำงานมีประสิทธิภาพเพิ่มมากยิ่งขึ้น

แบบฝึกหัด บทที่ 2

บทนี้นักศึกษาจะต้องทำงานเป็นทีมโดยการหาสมาชิกเข้ามาร่วมทำงานในแต่ละกลุ่ม 5-6 คน

- 2-1 ให้นักศึกษานำความรู้จากบทที่ 2 มาวิเคราะห์งานในข้อ 5 ของบทที่ 1 บทที่ 1 (ให้สมาชิกในกลุ่มเล่าเรื่องของตนเองให้สมาชิกฟัง แล้วให้สมาชิกในกลุ่มให้คะแนนของแต่ละคน เพื่อเลือกมา 1 เรื่องสำหรับวิเคราะห์)
- 2-2 ให้นักศึกษาสร้างกิจกรรมความปลอดภัย ที่สร้างความสามัคคีและประเมิณผลงานที่ได้
- 2-3 ให้นักศึกษาปิดตำราแล้วให้แต่ละคนอธิบายอุปกรณ์ความปลอดภัยที่เคยพบเห็นหรือเคยใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม โดยไม่ซ้ำ
- 2-4 อ่านกรณีศึกษาต่อไปแล้ววิเคราะห์เพื่อ 1) ประเมินความเสียหาย 2) สันนิษฐานสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ และ 3) เสนอแนะแนวทางการป้องกัน

เรื่องนี้เป็นเรื่องจริง ข้อมูลนี้เป็นได้มาจาก กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550) กรณีอุบัติเหตุเพลิงไหม้จากการเผาตัวทำลายที่ใช้แล้วในโรงงานผลิตถุงมือยางธรรมชาติ จังหวัดปทุมธานี วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2550 เป็นเหตุให้มีผู้บาดเจ็บสาหัสและเสียชีวิต 3 ราย บาดเจ็บเล็กน้อยจำนวน 1 ราย ส่วนอาคารโรงงานที่ได้รับความเสียหายจากเพลิงไหม้ทั้งหมด โดยเฉพาะบริเวณคลังสินค้า มีการประมาณค่าเสียหายเบื้องต้นประมาณ 650 ล้านบาท

2-4.1 ข้อมูลพื้นฐานของโรงงาน

โรงงานนี้มีคนงาน 710 คน มีกำลังเครื่องจักร 7,207 แรงม้า ลักษณะอาคารในส่วนที่เกิดเหตุ เป็นอาคารหลังคาโครงสร้างเหล็ก ใช้เป็นที่ทำการผลิตและเก็บรักษาวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ โดยโรงงานอยู่ระหว่างทดลองนำเอาสารละลายโพลูอินเข้ามาใช้ในการผลิต ซึ่งสัปดาห์ก่อนเกิดอุบัติเหตุมีการนำเอา โพลูอินกลับออกจากท่อเนื่องจากพบว่ามีน้ำที่เกิดจากการทดสอบการรั่วไหลของท่อเข้าไปปะปนกับสารละลายโพลูอิน ทำให้เกิดปัญหาในการผลิต จึงต้องมีการทำความสะอาดท่อ และในวันที่เกิดเหตุมีการทำความสะอาดท่อสำหรับรับโพลูอิน โดยผู้รับเหมาภายนอก

2-4.2 ข้อมูลอุปกรณ์เครื่องจักรในสถานที่เกิดอุบัติเหตุ

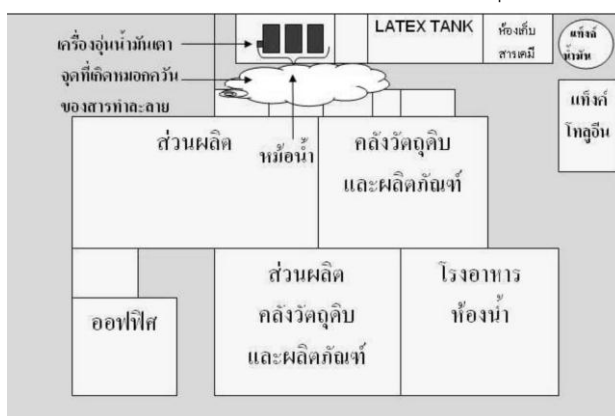
บริเวณสถานที่เกิดเหตุมีการติดตั้งหม้อน้ำทั้งสิ้น 3 เครื่อง อัตราการผลิตไอน้ำเครื่องละ 3 4.5 และ 6 ตันต่อชั่วโมง ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเครื่องอุ่นน้ำมันเตาสำหรับหม้อน้ำหมายเลข 1 ได้รับการดัดแปลงให้สามารถนำน้ำมันเครื่องใช้แล้วของโรงงานเทเข้าไปผสมเพื่อส่งไปเผาที่หม้อน้ำได้ดังรูปที่ 2.13 โดยเครื่องอุ่นน้ำมันเตานี้จะอุ่นน้ำมันที่ 110-115 องศาเซลเซียส และโรงงานได้มีการดำเนินการเผาน้ำมันเครื่องที่เกิดในโรงงานอยู่เป็นประจำ ซึ่งการดำเนินงานแต่ละครั้งจะมีการประสานงานระหว่างส่วนต่าง ๆ เพื่อเตรียมการล่วงหน้า สำหรับหม้อน้ำหมายเลข 2 และ 3 จะใช้เครื่องอุ่นน้ำมันเตาร่วมกัน และไม่สามารถนำสารอื่นเข้ามาผสมกับน้ำมันเตาได้



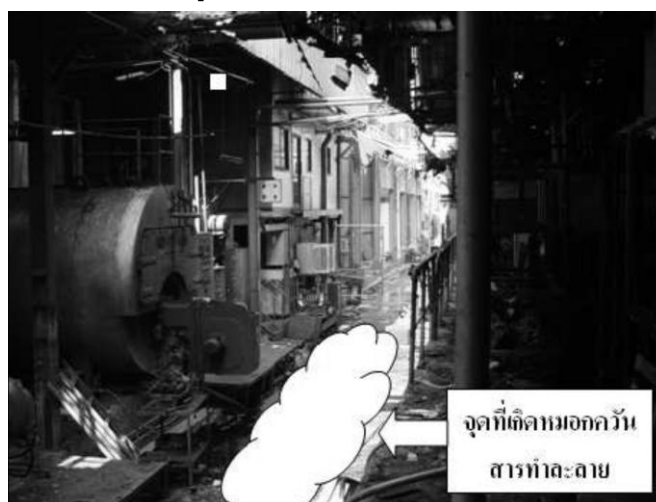
รูปที่ 2.13 เครื่องรีบน้ำมันเตาที่ได้รับการดัดแปลงให้สามารถผสมกับน้ำมันเครื่องใช้แล้วได้

2-4.3 การเกิดอุบัติเหตุ

ในเวลา 16.30 น วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2550 มีพนักงานผู้เห็นเหตุการณ์พบกลุ่มหมอกควันกระจายอยู่ในพื้นที่บริเวณที่ตั้งหม้อน้ำซึ่งอยู่บริเวณด้านหลังของโรงงานเป็นกลิ่นคล้ายโทลูอีน มีการระคายเคือง ตา และจมูก พนักงานได้สังเกตเห็นหมอกควันขาวที่พุ่งออกมาจากข้างหม้อน้ำเครื่องที่อยู่ด้านในสุดที่มีการติดตั้งเครื่องรีบน้ำมันเตา จึงได้หันหลังกลับและเดินหนีไป ระหว่างการเดินไปได้เกิดการลุดติดไฟของกลุ่มหมอกควันนั้น และไฟได้ลุกลามเข้ามาในโรงงานที่เป็นส่วนของการผลิต คลังเก็บสินค้า และวัตถุดิบ ดังแผนผังที่แสดงไว้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แผนผังโดยสังเขป



รูปที่ 2.15 จุดเกิดหมอกควันสารทำละลาย

- 2-5 อ่านกรณีศึกษาต่อไปนี้แล้ววิเคราะห์เพื่อ 1) ประเมินความเสียหาย 2) สันนิษฐานสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ และ 3) เสนอแนะแนวทางการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุไฟไหม้รถไฟลอยฟ้า

เหตุเกิด : วันอาทิตย์ที่ 23 มิถุนายน 2545 (เวลา 14.44 น.)

สถานที่ : ห้างสรรพสินค้าแฟชั่นไอส์แลนด์ ถนนรามอินทรา กรุงเทพมหานคร

ลักษณะเหตุ : ไฟลุกไหม้รถไฟลอยฟ้าโดยสาเหตุน่าจะเกิดจากพัดลมดูดอากาศที่ติดตั้งอยู่เหนือโบกี้รถไฟ ซึ่งเกิดจากการสะสมความร้อนจนเกิดไฟลุกไหม้ขึ้นอาจเนื่องจากการใช้งานมานานทำให้เสื่อมสภาพ หรือไม่ก็เกิดการชำรุดบริเวณส่วนใดส่วนหนึ่งของพัดลม

ความเสียหาย : ผู้เสียชีวิต 2 ราย เด็กหญิงวัย 6 และ 8 ขวบ , บาดเจ็บ 2 ราย

การช่วยเหลือ : หลังจากเกิดเหตุประมาณ 1 นาที เจ้าหน้าที่ได้วิ่งไปดึงสัญญาณไฟไหม้ชนิดมือดึง (Man pull) จากนั้นวิ่งไปหยิบถังดับเพลิง แล้วแจ้งไปยังห้องควบคุม Alarm Smoke (สัญญาณเตือนภัย) ซึ่งสัญญาณเตือนภัยได้ติดและดังขึ้น และมีควันจำนวนมาก เจ้าหน้าที่ได้ฉีดสารเคมี และ Water flow สบปรังเณน้ำ บนเพดานฉีดน้ำไปได้ประมาณ 1 นาที ไฟจึงดับ ขณะเดียวกันก็ได้มีการช่วยเหลือคนออกจากรถไฟหมดในเวลาใกล้เคียงกัน

- 2-6 A large storage tank is filled manually by an operator. The operator first opens a valve on a supply line and carefully watches the level on a level indicator until the tank is filled (a long time later). Once the filling is complete, the operator closes the valve to stop the filling. Once a year the operator is distracted and the tank is overfilled. To prevent this, an alarm was installed on the level gauge to alert the operator to a high-level condition. With the installation of the alarm, the tank now overfills twice per year. Can you explain?
- 2-7 A 50-gal drum with bulged ends is found in the storage yard of your plant. You are unable to identify the contents of the drum. Develop a procedure to handle this hazard. There are many ways to solve this problem. Please describe just one approach.
- 2-8 The plant has been down for extensive maintenance and repair. You are in charge of bringing the plant up and on-line. There is considerable pressure from the sales department to deliver product. At about 4 A.M. a problem develops. A slip plate or blind has accidentally been left in one of the process lines. An experienced maintenance person suggests that she can remove the slip plate without depressurizing the line. She said that she routinely performed this operation years ago. Since you are in charge, what would you do?
- 2-9 What is the worst thing that could happen to you as a chemical engineer in industry?
- 2-10 An explosion has occurred in your plant and an employee has been killed. An investigation shows that the accident was the fault of the dead employee, who manually charged the wrong ingredient to a reactor vessel. What is the appropriate response from the following groups?
- The other employees who work in the process area affected.
 - The other employees elsewhere in the plant site.
 - Middle management.

- d. Upper management.
- e. The president of the company.
- f. The union.

- 2-11** An explosion has occurred in your plant and an employee has been killed. An investigation You have just begun work at a chemical plant. After several weeks on the job you determine that the plant manager runs the plant with an iron fist. He is a few years away from retirement after working his way up from the very bottom. Also, a number of unsafe practices are performed at the plant, including some that could lead to catastrophic results. You bring up these problems to your immediate supervisor, but he decides to do nothing for fear that the plant manager will be upset. After all, he says, "We've operated this plant for 40 years without an accident." What would you do in this situation?
- 2-12** Large storage tanks are designed to withstand low pressures and vacuums. Typically they are constructed to withstand no more than 8 in of water gauge pressure and 2.5 in of water gauge vacuum. A particular tank is 30 ft in diameter.
- a. If a 200-lb person stands in the middle of the tank roof, what is the resulting pressure (in inches of water gauge) if the person's weight is distributed across the entire roof?
 - b. If the roof was flooded with 8 in of water (equivalent to the maximum pressure), what is the total weight (in pounds) of the water?
 - c. A large storage tank was sucked in when the vent to the outside became plugged and the operator turned on the pump to empty the tank. How did this happen?

Note: A person can easily blow to a pressure of greater than 20 in of water gauge.

บทที่ 3

ความปลอดภัยในการทำงานกับสารเคมีและแก๊ส

การทำงานกับสารเคมีซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องด้วยในหลายลักษณะ การเก็บรักษาสารเคมีตลอดจนการขนย้ายสารเคมีที่เป็นอันตรายต่างๆ ในปัจจุบันมีสารประกอบเคมี หรือของผสมทางเคมีหลากหลายพันชนิดซึ่งสามารถก่อให้เกิดอันตรายในแง่อันตรายหลักและอันตรายรอง การใช้ด้วยความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ ล้วนก่อให้เกิดอุบัติเหตุทางเคมี (Chemical Accidents) มากมายและพบว่าอุบัติเหตุทางเคมีนั้นนับวันจะยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น อุบัติเหตุมากมายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการละเลยต่อคุณสมบัติของสารเคมีที่เข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการหรือแม้แต่ในอุตสาหกรรมทั่วไปยังพบว่า ปัญหาของความปลอดภัยมักจะเกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมี แม้แต่ในอุตสาหกรรม ซึ่งอาจเกิดได้จากสาเหตุมากมายได้แก่ ความซับซ้อนของกระบวนการผลิต การใช้สารเคมีปริมาณมาก หรือสารเคมีดังกล่าวมีอันตรายในรูปแบบต่างๆ เช่น เป็นสารมีพิษ (Toxicity) หรือเป็นสารติดไฟ (Flammability) เป็นสารระเบิดได้ (Explosive) เป็นสารที่ไวต่อปฏิกิริยา (Reactive) และเป็นสารกัดกร่อน (Corrosive) ซึ่งสารเคมีบางชนิดสามารถเป็นอันตรายได้มากกว่าสองอย่าง

ดังนั้นในการทำงานกับสิ่งแวดล้อมทางเคมีจึงต้องเรียนรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติที่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายของสารเคมี การออกแบบระบบโรงงานอย่างถูกต้อง การกำจัดหรือการควบคุมอันตรายที่อาจเกิดขึ้น การควบคุมไม่ให้มีการปล่อยสารเคมีที่เป็นอันตรายออกสู่สภาพแวดล้อม การควบคุมการปฏิบัติงานของคนงานอย่างปลอดภัย การออกกฎหมายควบคุมอย่างเข้มงวดกวดขัน และต้องฝึกอบรมพนักงานเพื่อให้ตระหนักอย่างชัดเจนถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ต่อพนักงานที่ทำงานในองค์กรและผู้ที่เกี่ยวข้อง (Stakeholder) ในอาชีพของเรา

เราทราบจากบทที่ 2 แล้วในเรื่องของการจัดการที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลในองค์กร ดังนั้นการจัดการในโรงงานอุตสาหกรรมเคมีที่ดีจะสามารถทำให้อุตสาหกรรมสามารถดำเนินการผลิตไปได้อย่างปลอดภัย พร้อมกับลดความเสียหายทั้งทางตรงและทางอ้อมในการจัดการหรือดำเนินการดังกล่าวซึ่งสามารถสรุปออกเป็นหัวข้อสำคัญ ๆ ได้เป็น 4 หัวข้อคือ มีความรู้เรื่องสารเคมี (Knowledge of the Chemical) มีความรู้ในกระบวนการผลิตหรือโรงงาน (Knowledge of the processing plant) มีความรู้ในการปฏิบัติงาน (Knowledge of the operator) และมีความรู้ในการประเมินผล (Knowledge of the performance improvement)

ความรู้ในการทำงานเกี่ยวกับสารเคมีเป็นส่วนสำคัญที่ต้องเรียนรู้เนื่องจากจะส่งผลหรือมีอิทธิพลต่อการดำเนินการในโรงงานตลอดจนสามารถควบคุมการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพนอกจากนี้ยังมีผลต่อความชำนาญและความตั้งใจในการทำงานอันเป็นที่ต้องการของผู้ควบคุมการทำงานของโรงงาน อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าความรู้โดยทั่วๆ ไปที่จะทำให้เกิดความปลอดภัยของโรงงานอุตสาหกรรมเฉพาะด้านมีอยู่อย่างเพียงพอ สถานการณ์ในขณะนั้นๆ แต่ถ้ามมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นภายในกระบวนการ โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมเคมีและแก๊สซึ่งมักมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นวิศวกรจึงมีบทบาทอย่างมากที่จะต้องมีความรู้ความเข้าใจ และสามารถสื่อสารทำให้เกิดความเข้าใจกันระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้สารเคมี นอกจากนี้ยังจำเป็นจะต้องมีฐานข้อมูลสารเคมีจากแหล่งต่าง ๆ ความสามารถในการประเมินอันตรายของสารเคมี กระบวนการของสารเคมี เข้าใจขนาดความรุนแรงของสารตั้งต้น รวมถึงเข้าใจระบบการขนส่งของสารเคมีแต่ละชนิด นอกจากนี้แล้วสิ่งที่ไม่ได้คือควรจะต้องทราบสัญลักษณ์ต่าง ๆ ของสารเคมีและพร้อมที่จะเข้าใจเรื่องการทำลายและการกำจัดสารเคมีอย่างปลอดภัยซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไปตามลำดับ

ในเนื้อหาบทนี้ได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักโดยเรื่องแรก (3.1) ถึง (3.5) เป็นเรื่องความปลอดภัยในส่วนของสารเคมีทั่วไป (Chemical) เรื่องที่สอง (3.6) เป็นเรื่องความปลอดภัยในการใช้แก๊สในอุตสาหกรรม และเรื่องที่สาม (3.7) เป็นเรื่องความเข้าใจทางด้านพิษวิทยา (Toxicology) ซึ่งในหนังสือนี้จะเป็นการนำเอาหลักการมาประยุกต์ในการสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการทำนายอันตรายที่ได้รับจากกายภาพ ไม่ว่าจะเป็น ความดันจากระเบิด เสี่ยง หรือสารเคมีที่กระทบต่อคน ซึ่งจะอธิบายตามลำดับ

3.1 ความปลอดภัยในการทำงานกับสารเคมี

ความปลอดภัยในการทำงานกับสารเคมีสามารถทำได้โดยการประเมินอันตรายของสารเคมี (Chemical assessment) โดยสามารถสรุปได้โดยการใช้แบบประเมินอันตราย ดังได้แสดงในตารางที่ 3.1 การจัดทำแบบประเมินอันตรายควรจัดทำกับสารเคมีทุกประเภทที่พื้่นนำมาใช้งาน และแบบประเมินอันตรายนี้ควรจัดทำใหม่ทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโรงงานหรือมีการดัดแปลงกระบวนการผลิต

ตารางที่ 3.1 แบบประเมินอันตรายขั้นต้นเพื่อความปลอดภัย

1.	ชื่อของสารเคมี (Name of Chemical).....
2.	สถานะภาพ (Physical State).....
3.	คุณสมบัติความเป็นพิษ
	- เป็นพิษหรือไม่ (Toxic).....
	- อาการและความรุนแรง (Acute).....
	- อาการเรื้อรัง (Chronic).....
	- วิธีเข้าสู่ร่างกาย (ก) โดยทางปาก (by ingestion).....
	(ข) โดยทางหายใจ (by inhalation).....
	(ค) โดยการดูดซึมทางผิวหนัง (by absorption).....
	- ค่า Threshold limit value.....
4.	คุณสมบัติทางกายภาพ
	- ค่าความหนาแน่นของไอ (Vapor density).....
	- ค่าความดันไอ (Vapor Pressure).....
	- ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity).....
	- ค่าความสามารถในการผสมเข้ากันได้กับน้ำ (Miscibility with water).....
	- ค่าจุดเยือกแข็ง (Freezing point)
5.	สิ่งที่เข้ากันไม่ได้ (Incompatibility).....
6.	คุณสมบัติด้านติดไฟ (Flammability)
	- เป็นสารไวไฟอย่างรุนแรงหรือไม่ (Highly flammable).....
	- จุดวาบไฟ (Flash Point).....
	- ค่าขอบเขตของการระเบิด (Explosive Limits).....
	- อุณหภูมิจุดติดไฟ (Ignition Temperature).....
7.	ชนิดของอุปกรณ์ดับไฟที่ควรเลือกใช้.....
8.	ชนิดของเครื่องแต่งกาย (เสื้อคลุมที่ควรเลือกใช้).....
9.	อุปกรณ์ความปลอดภัยพิเศษ (Other special safeguards).....
	ผู้ให้ข้อมูล..... วันที่.....

จากข้อมูลที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 จะขออธิบายรายละเอียดข้อ 1 ถึง 5 ในบทนี้พร้อมกับเพิ่มการทำลายสารเคมี ส่วนข้อมูลของข้อที่ 6 จะแสดงรายละเอียดในบทที่ 7 และ บทที่ 8 ในเรื่องการเกิดเพลิงไหม้และการระเบิด และการออกแบบเพื่อป้องกันการเกิดไฟและการระเบิดตามลำดับ ส่วนข้อมูลในข้อ 7-9 จะกล่าวแทรกไว้ในบทที่ 8

3.1.1 ชื่อของสารเคมี

ชื่อของสารเคมีต้องชัดเจน จึงต้องมีทั้งชื่อนิยมเรียกโดยทั่วไป (Common name) ในขณะเดียวกันควรใช้ชื่อทางเคมีด้วย (Chemical name) ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางชื่อทางเคมีและชื่อทั่วไปของสารเคมี

ชื่อทางเคมี (Chemical name)	ชื่อทั่วไป (Common name)
- กรดอะเซทิล ซาลิไซลิก (Acetyl salicylic acid)	แอสไพริน (Aspirin)
- แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (Calcium hypochlorite)	Chlorinate lime
- กรดคาบออลิก (Carbolic acid)	ฟีนอล (Phenol)
- โซเดียมไฮโดรคาร์บอเนต (NaHCO_3) (Sodium hydrocarbonate)	สามารถเรียกได้ 3 อย่าง เช่น เบคกิ้งโซดา (Baking Soda) ไบคาร์บอเนตของโซดา (Bicarbonate of Soda) หรือ คาร์บอเนตของโซดา (Carbonate of Soda)

3.1.2 สถานภาพ (Physical State)

- สถานะของสาร ของแข็ง ของเหลว แก๊ส ในสภาวะต่าง ๆ
- การถ่ายเทความร้อน เข้าหรือออกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
- สภาพ สถานที่ และวิธีการเก็บสารเคมี
- แสงอาทิตย์ และความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะ หรือไม่
- ในกรณีสารเคมีนั้นมีสถานะเป็นของแข็ง เช่นเป็นฝุ่นจะมีวิธีการกำจัดหรือแยกฝุ่นออกได้อย่างไร หรือหากมีสถานะเป็นของเหลวเช่นอากาศเหลวหรือแอมโมเนียและหากอยู่ในสถานะแก๊สหรือไอระเหยเช่นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะมีอันตรายที่เกิดขึ้นได้กับสารดังกล่าวหรือไม่นั้นจะมีการพิจารณาแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่นถ้าสารอยู่ในสถานะแก๊สหากมีการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจะมีการฟุ้งกระจายอย่างรวดเร็วซึ่งอุณหภูมิยิ่งสูงยิ่งทำให้เกิดการฟุ้งกระจายดีขึ้นเป็นต้น
- ในกรณีที่สารเคมีนั้นเป็นของเหลว ควรพิจารณา การไหลล้น การผุกร่อน

3.1.3 คุณสมบัติความเป็นพิษ (Toxic)

ความเป็นพิษ (Toxicity) เป็นคุณสมบัติที่เป็นอันตรายประจำตัวของสารเคมีนั้น ๆ และไม่สามารถกำจัดหรือดึงออกได้ตราบดีที่สารเคมียังคงมีสูตรเคมีตามนั้น

อันตราย (Hazard) โอกาสที่สารเคมีนั้นจะทำให้เกิดอันตรายได้มากน้อยแค่ไหน จะขึ้นอยู่กับโอกาสที่จะพบหรือความถี่ในการใช้งาน ช่วงเวลาในการใช้งานและการเปิดสู่สภาพแวดล้อม

ในการออกแบบและการทำงานของกระบวนการผลิตสารเคมี มักจะต้องวิเคราะห์ถึงปริมาณของการเกิดสู่สภาพแวดล้อม ความเข้มข้นและอื่น ๆ ดังนั้นโดยอาศัยการออกแบบที่ถูกต้อง และการปฏิบัติงานอย่างปลอดภัยย่อมสามารถกำจัดอันตราย เช่น ของเหลวสองชนิดมีระดับความเป็นพิษใกล้เคียงกัน โดยที่ของเหลวชนิดหนึ่งจะไม่มีกลิ่นซึ่งจมูกของคนเราไม่สามารถรับรู้ได้ ในขณะที่สารอีกชนิดหนึ่งมีกลิ่นฉุนและจมูกสามารถรับรู้ได้ถึงแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยย่อมแสดงว่าสารที่ไม่มีกลิ่นควรจัดเป็นสารที่มีอันตรายสูงกว่าสารที่มีกลิ่นฉุน

ในการบอกสภาพความเป็นพิษของสารสามารถวิเคราะห์ได้ง่ายโดยดูจากค่า Threshold Limit Value (TLV) ซึ่งแสดงค่าความเข้มข้นในหนึ่งล้านส่วนของสารที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม ของที่เชื่อว่าจะไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อคนงานส่วนใหญ่ แต่สำหรับคนบางคนที่มีความไวในการรับสารหรือมีความต้านทานน้อย อาจเกิดอาการผิดปกติที่ระดับความเข้มข้นนี้ได้ ตัวอย่างของค่า TLV ของสารต่าง ๆ เช่นคลอรีน (Chlorine) มีค่า TLV เท่ากับ 1 ppm หรือคาร์บอนไดออกไซด์มีค่า TLV เท่ากับ 5,000 ppm ซึ่งเราจะคุ้นเคยมากขึ้นในช่วงท้าย ๆ ของบทในส่วนของการแสดงข้อมูลในแง่ของความเป็นพิษหัวข้อ 3.3 ซึ่งนอกจากจะบอกถึงขอบเขตของความเป็นพิษด้วยค่า TLV แล้วควรบอกถึง วิธีการที่สารจะเข้าสู่ร่างกาย เช่น โดยการหายใจ โดยการกิน หรือ การดูดซับทางผิวหนัง และอาการที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับสาร ว่ามีอาการฉับพลัน หรืออาการเรื้อรังอย่างไร ปฏิกริยาที่สารเคมีทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบการหายใจ การระคายเคือง ระบบหมุนเวียนโลหิต ระบบประสาทกระดูก การเกิดมะเร็ง ระบบทางพันธุกรรม การพิการของทารกในครรภ์มารดา เป็นต้น

3.1.4 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

ความรู้ทางคุณสมบัติ 5 ประการต่อไปนี้เป็นข้อมูลที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการทำงานอย่างปลอดภัย ได้แก่

(1) ค่าความดันไอ (Vapor pressure)

ของเหลวทั้งหมดเมื่อเปิดทิ้งไว้จะเกิดการระเหยทุกชนิด แต่อันตรายของการระเหยจะแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน โดยทั่ว ๆ ไปของเหลวที่ระเหยได้เร็วกว่าของเหลวที่เย็น ค่าความดันไอของของเหลว และสารละลายที่อุณหภูมิบรรยากาศควรมีการบันทึกไว้ในแบบประเมินอันตราย เพื่อใช้ในการออกแบบถังเก็บ

(2) ค่าความหนาแน่นของไอ (Vapor density)

เมื่อมีการรั่วไหลของสารเคมีออกจากถังจะก่อให้เกิดอันตราย อันตรายที่จะเกิดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของไอ การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของไอหรือแก๊สกับค่าความหนาแน่นของอากาศ (ที่สภาวะมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 1.0 กิโลกรัม/เมตร³) แสดงให้ทราบว่าไอที่สภาวะมาตรฐาน (อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ) จะหนักหรือเบากว่าอากาศ ซึ่ง

จากคำนี้จะบอกให้ทราบต่อไปว่า เมื่อแก๊สเกิดการไหลออกมาภายนอก มันจะเกิดการฟุ้งและลอยตัวขึ้นสู่บรรยากาศหรือจะไหลตกลงสู่ด้านล่าง ตัวอย่างเช่น ไอของปิโตรเลียม ซึ่งมีค่าความหนาแน่น 2.5 กิโลกรัม/เมตร³ เมื่อไอปิโตรเลียมเกิดรั่วไหลสู่ภายนอกมันจะตกลงมากองที่ระดับต่ำตามพื้น ซึ่งสภาวะดังกล่าวอาจได้รับผลกระทบจากความเร็วลม อุณหภูมิบรรยากาศ สภาวะภาคพื้นดิน หรือตัวแปรอื่น ๆ และเมื่อไอของสารเคมีนี้ไหลไปกองอยู่รวมกันในบริเวณที่ต่ำอาจก่อให้เกิดบรรยากาศการระเบิดขึ้นได้ถ้ามีประกายไฟเกิดขึ้น จากข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้ปฏิบัติงานในโรงงานที่มีความสูงหลาย ๆ ชั้น ในกรณีที่มีสารเคมีเป็นอันตรายไหลหกหล่นจากถัง หรือในกรณีที่มีแก๊สเหลวเกิดรั่วไหลในชั้นล่าง และเมื่อคนงานทราบค่าความหนาแน่นดังกล่าว ย่อมทำให้คนงานทราบว่าควรวิ่งหนีออกจากโรงงาน เช่น คลอรีนซึ่งมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2.5 กิโลกรัม/เมตร³ ซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่าอากาศ ดังนั้นคนที่ทำงานอยู่สูงหนีออกจากจุดที่รั่วย่อมสามารถวิ่งออกไปจากโรงงานในชั้นนั้นได้โดยโดยสะพานเชื่อมต่อระหว่างโรงงานและประตูฉุกเฉิน โดยไม่ต้องวิ่งลงมาตอนล่างซึ่งบริเวณนั้นจะเต็มไปด้วยไอจากคลอรีน

(3) ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ค่าความถ่วงจำเพาะของสารเคมีจะมีความสำคัญมาก เมื่อต้องการวิเคราะห์ถึงวิธีการแก้ไขในกรณีที่มีการไหลหกหล่นของสารเคมีที่เป็นของเหลว ค่าความถ่วงจำเพาะเป็นค่าที่เปรียบเทียบระหว่างค่าความหนาแน่นของสารเคมีกับค่าความหนาแน่นของน้ำ (ปกติที่สภาวะมาตรฐานน้ำจะมีค่าความหนาแน่น 1.0 กรัม/ซม³) ซึ่งค่านี้จะแสดงให้เห็นทราบว่าสารเคมีจะเกิดการลอยอยู่ทางตอนบนหรือจมลงสู่ตอนล่าง ในกรณีที่ของเหลวซึ่งเป็นสารเคมีที่ติดไฟง่าย เกิดการไหลลงท่อทางระบายน้ำ สารละลายจะถูกเกิดการพัดพาโดยหารไหลของน้ำไปในระยะทางไกล ๆ และถ้าเกิดการระเบิดขึ้นจะก่อให้เกิดการระเบิดการเสียหายไปในบริเวณกว้าง ค่าความถ่วงจำเพาะนี้เป็นค่าที่มีความสำคัญอย่างมากกับสารเคมีที่ติดไฟได้ (Flammable Chemicals) เช่น ปิโตรเลียม สารปิโตรเลียมมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.80 ดังนั้นเมื่อมีการไหลหกหล่นของสารปิโตรเลียมจะลอยอยู่บนส่วนบนของน้ำ ดังนั้นน้ำจึงไม่ถูกแนะนำให้ใช้เป็นสารดับเพลิง (Fire extinguishing agent) สำหรับปิโตรเลียมเหลว เพราะน้ำจะอยู่ทางตอนล่างของสารปิโตรเลียมและจะยิ่งทำให้สารปิโตรเลียมเกิดการกระจายไปในบริเวณกว้าง และเกิดการลุกไหม้ได้บริเวณกว้างมากขึ้น

(4) ความสามารถในการผสมเข้ากันกับน้ำได้ (Miscibility with water)

สารเคมีบางชนิดสามารถผสมเข้ากันได้กับน้ำ และรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันตลอด แต่สารเคมีบางชนิดจะไม่สามารถผสมเข้ากันได้กับน้ำ และเมื่อสารดังกล่าวถูกเททิ้งลงในท่อระบายอาจไปค้างอยู่ตรงบริเวณที่กัก (Trap) และสารนี้อาจก่อให้เกิดอันตรายในภายหลังได้ ถ้ามีสารที่ไม่ผสมเข้ากันกับน้ำอีกชนิดหนึ่งถูกเทลงไปในท่อระบาย และเกิดปฏิกิริยาอย่างแรงกับสารชนิดแรก

สารเคมีที่สามารถผสมเข้ากันได้กับน้ำอาจก่อให้เกิดอันตรายได้ถ้าสารดังกล่าวเกิดทำปฏิกิริยากับน้ำ หรือไอน้ำ อุบัติภัยที่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บรุนแรงอันเนื่องมาจากความสามารถในการผสมเข้ากันได้นี้ของสารเคมีได้ถูกบันทึกไว้ เช่น การเติมน้ำเข้าไปในถังเก็บสารเคมีต่าง ๆ

โดยที่ในถังมีสารเคมีหลงเหลืออยู่และเป็นสาเหตุทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรุนแรง อาทิเช่น ฟอสฟอรัส คลอไรด์ (Phosphorus chloride) ซึ่งโดยปกติสารเคมีนี้ไม่เป็นสารกัดกร่อนแต่เมื่อสัมผัสกับน้ำและไอน้ำจะเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างรุนแรงให้ความร้อนออกมาและเกิดเป็นกลุ่มละอองไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen chloride) ซึ่งเป็นสารที่กัดกร่อน ล้นออกจากถังเก็บและไหลลงไปในท่อระบายน้ำที่มีน้ำอยู่ปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนคลอไรด์กับน้ำจะเกิดขึ้นในท่อระบายน้ำเกิดเป็นแก๊สพิษไฮโดรเจนไฮยาไนด์ที่สามารถฆ่าสิ่งมีชีวิตได้

ปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารเคมีกับน้ำนอกจากจะให้แก๊สพิษ หรือสารกัดกร่อนแล้วยังให้ความร้อนออกมาเป็นปริมาณมากและเกิดอันตรายได้ตัวอย่างเช่น กรดซัลฟูริก ที่มีความเข้มข้นสูงเมื่อผสมกับน้ำแล้วให้ความร้อนออกมา ความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้เกิดเป็นไอน้ำปริมาณมากพุ่งออกมาก่อให้เกิดอันตรายได้

(5) อุณหภูมิจุดเยือกแข็ง (Freezing point)

อุณหภูมิจุดเยือกแข็งจะถูกนำไปพิจารณาในการเก็บสารเคมี สารเคมีที่เป็นของเหลวมักจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของแข็งที่อุณหภูมิประมาณ 0 องศาเซลเซียส ดังนั้นสำหรับในประเทศที่หนาวมาก ๆ จึงไม่ควรเก็บสารเคมีดังกล่าวไว้ข้างนอกเพราะอากาศที่หนาวเย็นอาจจะทำให้เกิดการควบแน่นเป็นของแข็งของสารและทำให้ยุ่งยากต่อการนำไปใช้งาน นอกจากนี้อาจเกิดอันตรายต่อถังเก็บได้เพราะเมื่อสารเคมีกลายเป็นของแข็งจะมีการขยายตัวและมีผลทำให้ถังแตกออกได้

3.1.5 สิ่งเข้ากันไม่ได้ (Incompatible)

อันตรายจากสารเคมีที่เข้ากันไม่ได้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาอย่างรุนแรง ตัวอย่างเช่น อะเซทิลีน (Acetylene) ทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับคลอรีนหรือกรดไนตริกความเข้มข้นสูง จึงไม่ควรที่จะสัมผัสกับของเหลวที่สามารถถูกติดไฟได้หรือไม่ควรนำสารเคมีเหล่านี้ใกล้กัน อันตรายส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นมักเกิดจากการละลายที่จะทำให้แบบประเมนอันตราย ถ้าเรารู้คุณสมบัติของสารเคมีแล้วเราย่อมควบคุมได้ ในบางครั้งอันตรายของสารเคมีที่เข้ากันไม่ได้เกิดจากความเข้าใจผิดและความเคยชินเช่นการนำสารเคมีชนิดเดิมลงไปในถังเก็บ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะสารเคมีนี้เก็บอยู่ในถังที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ดังนั้นก่อนที่จะมีการเติมสารใด ๆ ควรมีฉลากเพื่อให้ผู้ใช้สามารถทราบได้ว่าเป็นสารอะไรและผู้ใช้เองต้องอ่านฉลากทุกครั้งก่อนที่จะนำไปใช้งาน

3.1.6 คุณสมบัติการติดไฟ (Flammable properties)

(1) จุดวาบไฟ (Flash point)

จุดวาบไฟ คือจุดที่อุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้เชื้อเพลิงเหลวระเหยตัวกลายเป็นไอที่มีปริมาณมากพอที่จะถูกติดไฟได้ เมื่อมีประกายไฟจะเกิดการติดไฟทันที

(2) จุดขอบเขตการระเบิด (Explosive limit)

จุดขอบเขตการระเบิดคือช่วงของความเข้มข้นของไอหรือสารเป็นร้อยละโดยปริมาตรเมื่อผสมกับอากาศที่สภาวะหนึ่งแล้วจะสามารถติดไฟได้

(3) อุณหภูมิจุดติดไฟ (Ignition temperature)

การวิเคราะห์สารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่ถูกจัดเป็นสารไวไฟหรือสารไวไฟสูง (Highly flammability) สามารถทำได้โดยดูจากอุณหภูมิวาบไฟซึ่งจะกล่าวละเอียดในบทที่ 7 ในเรื่องไฟและการระเบิด

3.1.7-3.1.9 คำถามในข้อ 7-9 (ตารางที่ 3.1)

เป็นคำถามต่อเนื่องใน 6 ข้อแรก ถ้าปรากฏในแบบประเมินจะทำให้การประเมินมีประสิทธิภาพขึ้น เนื่องจากเกี่ยวข้องกับผู้ปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัยในการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

3.2 แหล่งข้อมูล (Source of information)

แหล่งข้อมูลสามารถหาได้จาก 4 แหล่งหลัก ๆ คือจากผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย จากฉลากที่ติดอยู่บนถังใส่สารเคมี จากหนังสือวิชาการหรือเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ หรือหน่วยงานราชการต่าง ๆ

- ผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายได้มีการติดฉลากเพื่อให้ข้อมูลอย่างเพียงพอด้านการจัดเก็บ การขนส่ง และการใช้งาน เนื่องจากจะสะดวกในการค้นหาข้อมูลสำหรับผู้ที่ใช้งาน นอกจากนี้ผู้ผลิตต้องให้คำแนะนำที่ถูกต้องแก่ผู้ใช้งานด้วย
- ฉลากที่ติดอยู่บนถังเก็บ เป็นข้อมูลที่มีคุณค่าแต่บางครั้งอันตรายมักเกิดในกรณีผู้ใช้ไม่อ่านหรือทำความเข้าใจ ดังนั้นผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องจัดทำข้อมูลความปลอดภัยต่าง ๆ ให้กับลูกค้าอย่างถูกต้อง ในทำนองเดียวกันลูกค้าสามารถขอรายละเอียดจากผู้ขายได้โดยตรง
- เอกสารวิชาการ สามารถค้นคว้าจากหนังสือต่าง ๆ เช่น หนังสือเกี่ยวกับสารอันตราย (Hazardous waste) สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรม (Industrial chemical) หรือเกี่ยวกับอาชีวอนามัยและความปลอดภัย (Occupational health and safety) เป็นต้น
- หน่วยงานราชการ สามารถสอบถามได้จากหน่วยงานราชการต่าง ๆ เช่น กระทรวงสาธารณสุข หรือ กระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1

3.3 ขนาดความรุนแรงของสารอันตราย (Severity of hazardous chemical)

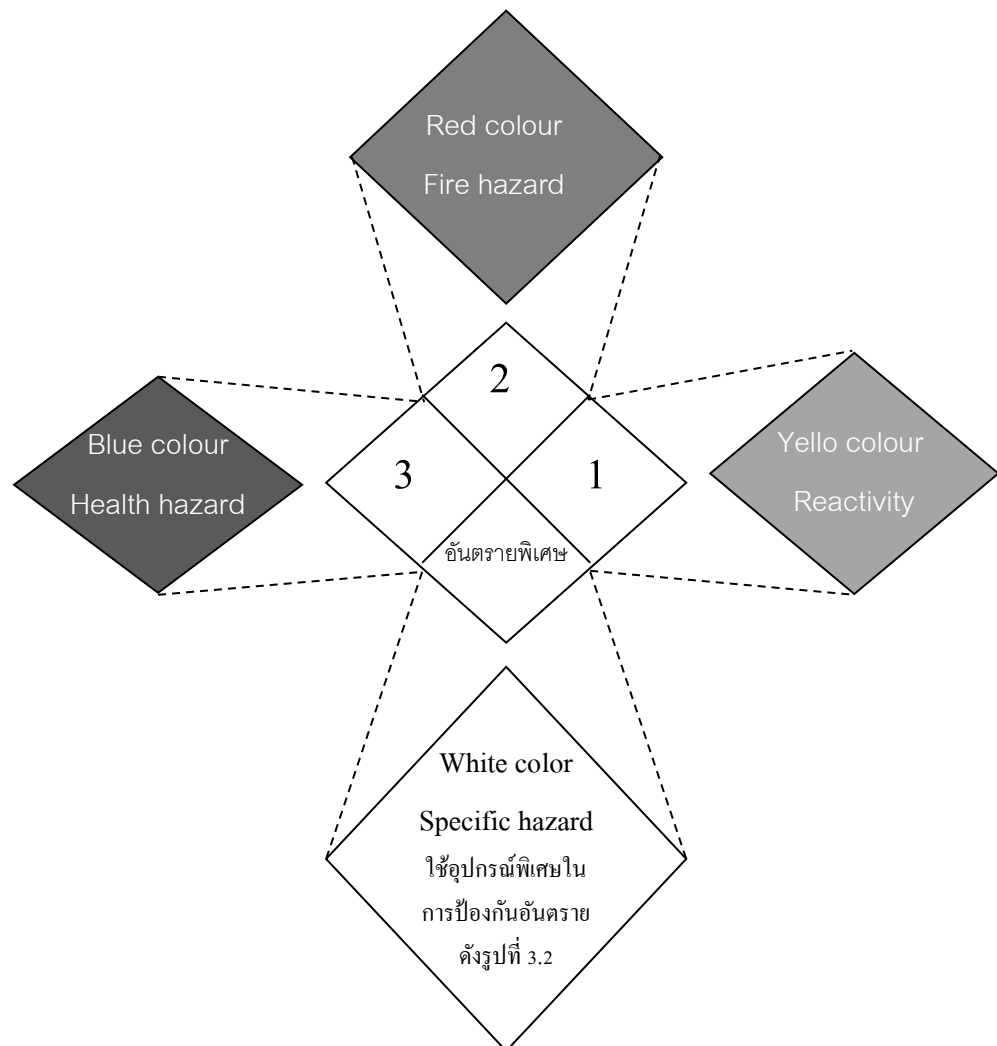
เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นจากสารอันตรายจำเป็นที่จะต้องเขียนฉลากติดเอาไว้บนภาชนะที่บรรจุสารนั้น ๆ เพื่อบ่งบอกถึงความเป็นพิษ ความไวไฟให้เห็นชัดเจนโดยใช้มาตรฐานของ สมาคมป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติ (National Fire Protection Association; NFPA) ของสหรัฐอเมริกา ดังต่อไปนี้

สารที่เป็นอันตรายทั้งหลายจะต้องมีฉลากรูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัดโดยแบ่งออกเป็นสี่ช่อง ในแต่ละช่องจะมีสีต่างกัน ซึ่งระบุด้วยตัวเลขและสัญลักษณ์ต่าง ๆ ขึ้นกับระดับความรุนแรงของสารตัวนั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.3

สารที่เป็นอันตรายอาจจะแสดงเป็นช่องสี่เหลี่ยมเรียงกันลงมา โดยมีสีของช่องบอกอันตรายต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งสามารถดูรายละเอียดได้ในรูปที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของการระบุอันตรายทั้ง 4 ช่องของสัญลักษณ์  ในรูปที่ 3.1

ช่อง	ระบุอันตรายเกี่ยวกับ	สี
ซ้ายมือ	สุขภาพ (Health hazard)	น้ำเงิน
ข้างบน	ไวไฟ (Fire hazard)	แดง
ขวามือ	ความว่องไวในปฏิกิริยา (Reactivity)	เหลือง
ข้างล่าง	ข้อมูลพิเศษ - อันตรายพิเศษ (Special Hazard) - อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล	ขาว



รูปที่ 3.1 ฉลากสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด (มาตรฐาน National Fire Protection Association; NFPA)

Health	☐
Flammability	☐
Reactivity	☐
Personal protection	☐

↓

PERSONAL PROTECTION INDEX							
A				G			
B				H			
C				I			
D				J			
E				K			
F				X	Consult your supervisor or S.O.P. for "SPECIAL" handling directions		
A		n		o		p	
Safety Glasses		Splash Goggles		Face Shield & Eye Protection		Gloves	
t		u		w		y	
Dust Respirator		Vapor Respirator		Dust & Vapor Respirator		Full Face Respirator	
q		r		s		Additional Information	
Boots		Synthetic Apron		Full Suit			
z							
Airline Hood or Mask							

รูปที่ 3.2 แสดงถึงการระบุดัชนีการป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (มาตรฐาน NFPA)

ความรุนแรงของอันตรายในแต่ละช่วง จะเป็นตัวเลขจาก 0 คือเลขที่แสดงความปลอดภัยมากที่สุด ถึงเลข 4 คือเลขที่แสดงความปลอดภัยน้อยที่สุดหรืออันตรายมากที่สุด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ขนาดความรุนแรงเกี่ยวกับสุขภาพ (Health Hazard)

- 0 Normal material ปลอดภัยมากที่สุด ถึงแม้จะสัมผัสก็จะไม่เกิดอันตรายใด ๆ
- 1 Slightly hazardous อาจทำให้เกิดการระคายเคือง และถ้าไม่ทำการรักษาก็อาจทำให้เกิดบาดแผลเล็กน้อยได้
- 2 Hazardous อาจทำให้ทุพพลภาพชั่วคราว หรืออาจเกิดบาดแผลขึ้นถ้าไม่มีการรักษาอย่างถูกต้อง
- 3 Extreme danger เกิดอันตรายและบาดเจ็บอย่างร้ายแรงชั่วคราว แม้จะมีการรักษาอย่างถูกต้องแล้วก็ตาม
- 4 Deadly อันตรายที่มากที่สุด อาจทำให้ถึงตายหรือบาดเจ็บอย่างถาวร และรุนแรงโดยไม่มีทางรักษา

ขนาดความรุนแรงเกี่ยวกับความไวไฟ (Fire hazard)

- 0 ไม่ติดไฟ (Will not Burn)
- 1 จุดวาบไฟตั้งแต่ 93 องศาเซลเซียส ต้องทำให้ร้อนก่อนจึงจะติดไฟได้
- 2 จุดวาบไฟต่ำกว่า 93 องศาเซลเซียส ต้องทำให้ร้อนหรือแตะต้องกับสิ่งที่อุณหภูมิสูง ก็ติดไฟได้
- 3 จุดวาบไฟต่ำกว่า 38 องศาเซลเซียส ติดไฟได้ในทุกสถานะของอุณหภูมิห้องปกติ
- 4 จุดวาบไฟต่ำกว่า 22 องศาเซลเซียส ระบุเป็นไอที่ความดันบรรยากาศ และพร้อมที่จะติดไฟได้ในอุณหภูมิรอบ ๆ โดยทั่วไป

ขนาดความรุนแรงเกี่ยวกับความไวในปฏิกิริยา (Reactivity)

- 0 มีเสถียรภาพ (Stable) และความอยู่ตัวมากที่สุด ถึงแม้จะอยู่ภายใต้สภาวะที่ติดไฟก็ไม่สลายและไม่เกิดปฏิกิริยากับน้ำ
- 1 อยู่ตัวแต่อาจสลายได้ที่อุณหภูมิสูง (Unstable if heated) และความดันสูง หรืออาจทำปฏิกิริยากับน้ำ แล้วเกิดความร้อนแต่ไม่รุนแรงนัก
- 2 ปกติไม่อยู่ตัว (Violent chemical change) และพร้อมที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างรุนแรงแต่ไม่ถึงขนาดทำให้เกิดระเบิดกัมปนาท (Detonation) นอกจากนั้นอาจทำปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำและพร้อมที่จะระเบิดได้ถ้าปนกับน้ำ
- 3 ไม่อยู่ตัว เกิดปฏิกิริยาระเบิดธรรมดาหรือระเบิดกัมปนาท (Shock and heat may detonate) อย่างรุนแรง ถ้ามีเชื้อเพลิงอื่นที่เป็นชนวนให้ความร้อนภายใต้ขอบเขตที่จำกัด หรืออาจทำให้เกิดปฏิกิริยากับน้ำรุนแรงถึงระเบิดได้
- 4 รุนแรงที่สุดจนทำให้เกิดการระเบิดกัมปนาท (May detonate) หรือระเบิดธรรมดาได้ที่อุณหภูมิและความดันปกติ

อันตรายพิเศษ (Special Hazard) หรือการป้องกัน

OXY Oxidizer เป็นสารที่เพิ่มออกซิเจน เมื่อระดับความร้อนสูง และช่วยในการเผาไหม้ เช่นสารพวก

เปอร์ออกไซด์, Perchloride acid and Chromic acid, สารจำพวก Halogens ยกตัวอย่างเช่น โบรมีน, ไอโอดีน เป็นต้น

W or $\overline{W}$ Use No Water เนื่องจากจะทำปฏิกิริยากับน้ำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เป็นอันตรายได้ เช่น ลิเทียม (Lithium) จะทำปฏิกิริยากับน้ำ และให้แก๊สไฮโดรเจน ซึ่งสามารถระเบิดได้

ACID Acid กรด

ALK Alkali ด่าง

COR Corrosive กัดกร่อน

 Radiation Hazard สารเกิดรังสี

ตัวอักษร A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L,X อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลตามรูปที่ 3.2

ขนาดความรุนแรงของสารอันตรายต่อสุขภาพ ความไวไฟและความว่องไวในปฏิกิริยาแสดงใน ภาคผนวก ก

3.4 การขนส่งสารเคมี (สารเคมีที่ส่งพร้อมกันไม่ได้)

ในบางครั้งการขนส่งสารเคมีต่างชนิดกันอาจเกิดการผสมปนกันเข้าเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่รุนแรงและอันตรายอย่างร้ายแรงได้ ผลที่ตามมาได้แก่การเกิดแก๊สพิษ ความร้อนการไหลล้นภาชนะบรรจุแตก ไฟไหม้ และระเบิด จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องรู้ว่าสารเคมีชนิดใดบ้างที่ไม่ควรทำการขนส่งพร้อมกันดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สารเคมีที่ขนส่งพร้อมกันไม่ได้ (พิชัย ไตวิวิชญ์ และคณะ, 2545)

CARGO GROUPS	REACTIVE GROUPS																					
	1. NON-OXIDIZING MINERAL ACIDS	2. SULFURIC ACID	3. NITRIC ACID	4. ORGANIC ACIDS	5. CAUSTICS	6. AMMONIA	7. ALIPHATIC AMINES	8. ALKANOLAMINES	9. AROMATIC AMINES	10. AMIDES	11. ORGANIC ANHYDRIDES	12. ISOCYANATES	13. VINYL ACETATE	14. ACRYLATES	15. SUBSTITUTED ALLYLS	16. ALKYLENE OXIDES	17. EPICHLOROHYDRIN	18. KETONES	19. ALDEHYDES	20. ALCOHOLS, GLYCOLS	21. PHENOLS, CRESOLS	22. CAPROLACTAM SOLUTION
1. NON-OXIDIZING MINERAL ACIDS	X																					
2. SULFURIC ACID		X																				
3. NITRIC ACID			X																			
4. ORGANIC ACIDS				X																		
5. CAUSTICS					X																	
6. AMMONIA						X																
7. ALIPHATIC AMINES							X															
8. ALKANOLAMINES								X														
9. AROMATIC AMINES									X													
10. AMIDES										X												
11. ORGANIC ANHYDRIDES											X											
12. ISOCYANATES												X										
13. VINYL ACETATE													X									
14. ACRYLATES														X								
15. SUBSTITUTED ALLYLS															X							
16. ALKYLENE OXIDES																X						
17. EPICHLOROHYDRIN																	X					
18. KETONES																		X				
19. ALDEHYDES																			X			
20. ALCOHOLS, GLYCOLS																				X		
21. PHENOLS, CRESOLS																					X	
22. CAPROLACTAM SOLUTION																						X

(ในช่องที่มีตัวอักษรใหญ่หมายถึงเหตุ)

ตารางที่ 3.4 เป็นแนวทางให้รู้ว่าสารชนิดใดบ้างไม่ควรขนส่งพร้อมกัน โดยดูจากเครื่องหมายกาบาศ “X” ถ้ามีเครื่องหมายนี้ปรากฏอยู่ในช่วงใด หมายความว่า กลุ่มของสารเคมีตามแนวนอนและแนวตั้งที่ตรงกันช่องนั้นไม่ควรส่งพร้อมกัน อย่างไรก็ตามทั้งสองตารางนี้เป็นแนวทางกว้างๆ เท่านั้น ไม่ได้หมายความว่าสารเคมีทุกตัวในกลุ่มทั้งสองนี้เมื่อผสมปนกันแล้ว จะทำให้เกิดอันตรายเสมอไป แต่ตารางนี้จะช่วยทำการขนส่งสารเคมีจำนวนมาก ๆ ได้อย่างปลอดภัยยิ่งขึ้น คือทำให้มีการเตรียมป้องกันที่เหมาะสม เพื่อหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุที่เกิดจากการผสมปนกันของสารเคมี 2 ชนิดที่มีเครื่องหมาย “X” ปรากฏอยู่ในตาราง รวมทั้งการพิจารณาในเรื่องอื่น ๆ นอกจากหลีกเลี่ยงการขนส่งพร้อมกันแล้ว ยังไม่ควรที่จะถ่ายเทสารเคมีทั้งสองโดยใช้ท่อเดียวกัน และไม่ควรเก็บไว้ในถังที่อยู่ใกล้เคียงกัน รายละเอียดของสารเคมีซึ่งเรียงตามลำดับอักษรถูกแสดงไว้ที่ ภาคผนวก ข

ตัวอย่างรูปภาพบ่งบอกอันตรายของสารเคมี (รูปที่ 3.3a - รูปที่ 3.3c)

สัญลักษณ์

ชนิดของสาร



สารไวไฟ (Flammable)



สารพิษ (Toxic) หรือสารพิษร้ายแรง
(Very toxic)



สารกัดกร่อน (Corrosive)



สารกัมมันตรังสี (Radioactive)



สารอันตรายต่อชีวภาพ (Biohazard)



สารอันตราย (Harmful) หรือ
สารระคายเคือง (Irritant)

รูปที่ 3.3a สัญลักษณ์ต่าง ๆ ในการบ่งถึงอันตรายของสารเคมี

เครื่องหมาย

ชนิดของสาร



แก๊สที่บรรจุด้วยความดันสูง
แต่ไม่ใช่พวกแก๊สไวไฟหรือแก๊สพิษ
**พื้นสีเขียว



แก๊สไวไฟ
**พื้นสีแดง บางครั้งสัญลักษณ์เป็นสีขาว



ของเหลวไวไฟ
**พื้นสีแดง



ของแข็งไวไฟ
** เส้นขีด ๆ สีแดงพื้นขาว



สารอันตรายเก็บห่างจากอาหาร
** พื้นส้ม



สารอันตราย
** พื้นส้ม



การระเบิด
** พื้นส้ม



สารกัมมันตรังสี
** พื้นเหลือง

รูปที่ 3.3b สัญลักษณ์ต่าง ๆ ในการบอกถึงอันตรายของสารเคมี (สัญลักษณ์จะเป็นสีดำ)

เครื่องหมาย	ชนิดของสาร
	สารอินทรีย์พวกเปอร์ออกไซด์ ** ^ข พ่นเพลิง
	สารออกซิไดซ์ ** ^ข พ่นเพลิง
	สารกัดกร่อน ** ^ข พ่นครั่งล้างสีเหลือง

รูปที่ 3.3c สัญลักษณ์ต่าง ๆ ในการบอกถึงอันตรายของสารเคมี

3.5 การทำลายหรือกำจัดสารเคมีให้ปลอดภัย

สารเคมีที่ต้องการทำลายนั้นอาจจะเป็นสารเคมีที่เก็บไว้นานแล้วและไม่ต้องการใช้อีกหรือเป็นสารเคมีที่เกิดขึ้นจากขบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม จากการทดลองในห้องปฏิบัติการที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ หรือเป็นสารเคมีที่หกเลอะโดยบังเอิญ การทำลายสารเคมีในแต่ละครั้งอาจมีวิธีการปฏิบัติไม่เหมือนกันและบางครั้งก็อาจเกิดอันตรายในรูปแบบต่าง ๆ ได้ถ้าทำไม่ถูกวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารเคมีที่ต้องการกำจัด

ปัญหาการทำลายสารเคมีเกี่ยวข้องกับเรื่องต่าง ๆ หลายอย่างซึ่งบางครั้งอาจจะไม่สามารถหาวิธีที่น่าพอใจเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ได้เสมอไป ในต่างประเทศมีบริษัทเอกชน หรือหน่วยงานของรัฐ ที่ให้บริการขนย้ายและกำจัดสารเคมีที่ไม่ต้องการ แต่บางที่บริษัทเอกชนหรือหน่วยงานเหล่านี้ก็ไม่ยอมรับแก้ปัญหาให้ เพราะทางบริษัทหรือหน่วยงานดังกล่าวรับกำจัดสารเคมีบางประเภทเท่านั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาทางแก้ไขได้ด้วยตนเอง โดยทั่วไปวิธีการที่ใช้สำหรับการกำจัดสารเคมี ได้แก่ **การเผาทั้ง** **การฝัง** **การทิ้งลงน้ำ** หรือการเปลี่ยนให้เป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายก่อนที่จะมีรายละเอียดดังนี้

-**การเผาทั้ง** เป็นวิธีที่ดีและใช้กันมาก สิ่งที่ต้องคำนึงถึงไว้ให้มากสำหรับวิธีนี้คืออันตรายจากไฟจะต้องนำไปเผาในที่ห่างไกลชุมชน ห่างจากตัวอาคารและควรจะมีหลุมใหญ่และเล็ก จึงนำเอาสิ่งที่ต้องการเผาไปไว้ในหลุมนี้พร้อมทั้งเชื้อเพลิง เวลาจุดไฟเผาก็ใช้วิธีการต่อสายยาว ไปยังจุดที่เผาในระยะที่ไกลและปลอดภัยพอ

- **การฝัง** เป็นวิธีที่ไม่ปลอดภัยนัก เพราะสารอาจสลายตัวมีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ เช่น น้ำฝนอาจจะชะล้างลงสู่บ่อน้ำ จะก่อให้เกิดอันตรายต่อไปนี้

- การทิ้งลงน้ำ เป็นวิธีที่ใช้ต่อเนื่อง สารที่จะทิ้งนั้นได้ตรวจสอบดูแล้วว่าไม่ทำให้เกิดอันตรายใด ๆ รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดสารแขวนลอยอยู่ในน้ำด้วย

- การเปลี่ยนเป็นสารที่ไม่มีอันตราย หรือมีอันตรายน้อยลงก่อนทิ้ง เป็นวิธีที่ใช้กันมาก แต่ต้องอาศัยความรู้ทางเคมีเข้าช่วย

กรณีสารเคมีที่ต้องการกำจัดเป็นสารที่หกเลอะโดยบังเอิญ ก่อนที่จะทำลายควรคิดหาวิธีเก็บสารนั้นขึ้นมาเสียก่อน ถ้าสารนั้นเป็นของแข็งก็ง่าย แต่ถ้าเป็นของเหลวจะมีปัญหามากขึ้น เนื่องจากของเหลวสามารถแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้าง จึงจำเป็นต้องหยุดการแผ่กระจายนี้โดยเร็ว ซึ่งทำได้โดยใช้ตัวดูดซับไปในบริเวณที่เกิดอุบัติเหตุขึ้น แล้วจึงเลือกหาวิธีที่เหมาะสมในการกำจัดสารเคมีนั้น ๆ ต่อไป

ในกรณีสารเคมีที่มีอันตรายหกเป็นจำนวนมาก ๆ การกำจัดหรือการทำความสะอาดพื้นที่บริเวณนั้น ๆ จำเป็นต้องคำนึงถึงอันตรายในด้าน ความเป็นพิษ การติดไฟ การขาดออกซิเจนสำหรับหายใจ และการระเบิด ดังนั้นการทำความสะอาดและการกำจัดสารเคมีที่หก ควรวิเคราะห์และพิจารณาโดยละเอียดเสียก่อน ข้อที่ควรพิจารณาคือ

1. สารเคมีนั้นคืออะไร
2. สารที่เกิดอุบัติเหตุขึ้นอยู่ไหน บนพื้นหรือน้ำ
3. มีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นได้หรือไม่
4. ปริมาณที่หก
5. สภาพแวดล้อมเป็นอย่างไร
6. มีอันตรายอะไรบ้างที่เกี่ยวข้อง

รายละเอียดเหล่านี้จะทำให้ตัดสินใจได้ว่า ควรจะเข้าไปในสถานการณ์อย่างไร ผู้ที่จะเข้าไปดำเนินการจำเป็นจะต้องมีเครื่องป้องกันตนเองที่ดีที่สุดเท่าที่จะทำได้

ตัวอย่างเครื่องมือเครื่องใช้ในการป้องกันตัวหรือสิ่งที่ควรจะต้องเตรียมไว้เมื่อมีความจำเป็นจะต้องแตะต้องหรือเกี่ยวข้องกับสารเคมี มีดังต่อไปนี้

- (ก) ถุงมือยาง (Rubber gloves)
- (ข) ถุงมือหนัง (Leather gloves)
- (ค) เสื้อคลุม (Laboratory Coat)
- (ง) เสื้อป้องกันไฟ (Fireproof Clothing)
- (จ) รองเท้าป้องกันภัย (Protective shoes)
- (ฉ) แว่นตานิรภัย (Safety glasses)
- (ช) เกราะก่าบังหน้า (Face shield)
- (ซ) เกราะก่าบังตัว (Body shield)
- (ฌ) ระบบถ่ายเทอากาศ (Good Ventilation)
- (ญ) ตู้ดูดควัน (Fume hood)
- (ถ) หน้ากากกรองอากาศ (Respirator)
- (ท) เครื่องช่วยหายใจที่มีถังออกซิเจน (Self-contained breathing apparatus)

ส่วนที่ทำลายหรือกำจัดสารเคมี ก็มีวิธีการต่าง ๆ กันแล้วแต่ชนิดของสารวิธีการเหล่านี้อาจแบ่งออกได้เป็น 10 วิธีคือ

1. ค่อย ๆ เทลงในกองปูนขาว ที่มีปริมาณมาก ๆ
2. ใช้ดูดซึมด้วยสารที่นิยม ๆ เช่น ซีลี้อย แล้วเก็บไว้ในภาชนะที่ไม่ติดไฟ
3. ผสมกับทรายหรือหินปูน
4. การเทลงไปในปริมาณมาก
5. ละลายกรด (หรือด่าง) แล้วแต่ความเหมาะสม แล้วทำให้เจือจางด้วยน้ำปริมาณมาก ๆ
6. ละลายหรือผสมกับสารที่ติดไฟ เช่น แอลกอฮอล์ ทินเนอร์ แล้วพ่นลงในเตาไฟ
7. ผสมกับสารที่เป็นตัวออกซิไดเซอร์ (Oxidizer) หรือ รีดิวเซอร์ (Reducer) แล้วแต่ความเหมาะสมแล้วทำให้เจือจางด้วยน้ำปริมาณมาก ๆ
8. ทำให้เป็นกลางแล้วเทลงในรางน้ำที่พร้อมทั้งน้ำปริมาณมาก ๆ ตามไปด้วย
9. นำไปทิ้งในเตาสำหรับกำจัดสารเคมีแล้วจุดไฟเผา
10. นำไปไว้ในที่โล่งและกว้างพร้อมกับปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญ

ตัวอย่างของสารเคมีแต่ละชนิดที่ต้องใช้เครื่องมือป้องกันตัว ข้อ ก ถึง ท และวิธีการกำจัดทั้ง 10 วิธี ดังกล่าวข้างต้นโดยได้รวบรวมไว้ใน ตารางที่ 3.5

ในทำนองเดียวกันสำหรับกรณีที่เราไม่ทราบชื่อสารเคมีทั้งที่อยู่ในสภาวะที่เป็นของแข็งหรือของเหลว จึงต้องเข้าใจวิธีการในการกำจัดและการที่ไปค้นหว่าสารนั้นควรที่จะกำจัดอย่างไรจึงจะเหมาะสมดังนี้

3.5.1 วิธีการกำจัดสารที่ไม่มีชื่อ

สารเคมีไม่ทราบชื่อจะก่อให้เกิดปัญหาขึ้นเมื่อต้องการเปิดภาชนะที่บรรจุหรือต้องการกำจัดทิ้งไป เนื่องจากความไม่แน่ใจว่าจะเกิดอะไรขึ้นกับสารดังกล่าว อีกประการหนึ่งสารเคมีที่ถูกเก็บเอาไว้จนป้ายชื่อหลุดหายไปย่อมแสดงว่าเป็นสารเคมีที่เก่าเก็บหรือเก็บไว้นาน ๆ ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาทางเคมีภายในภาชนะจนทำให้ยากต่อการทำงาน ผู้ที่จะทำงานเกี่ยวกับเรื่องนี้จึงควรที่จะได้เรียนรู้ กรรมวิธีที่ถูกต้องเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายขึ้นทั้งต่อตนเองและต่อสังคมโดยส่วนรวมจากสารเคมีที่ถูกทิ้งไปโดยมิได้ทำการกำจัดอย่างถูกต้อง

3.5.2 การเปิดภาชนะที่บรรจุสารเคมีที่ไม่มีชื่อ

ภาชนะที่บรรจุสารเคมีที่ไม่มีชื่อติดอยู่ ส่วนมากจะเป็นเพราะการเก็บสารเคมีดังกล่าวเอาไว้ นานมากจนทำให้จุกขวด หรือฝาปิดภาชนะปิดแน่นและเปิดออกได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากความดันภายในภาชนะที่เกิดจากการแตกตัวของสารเคมีแล้วให้แก๊สออกมาหรือเกิดจากการระเหยกลายเป็นไอของของเหลวภายในภาชนะนั้น

การแก้ปัญหาในการเปิดภาชนะแบบนี้ ให้ใช้วิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1 ใช้วิธีการลดความดันภายในภาชนะ ซึ่งสามารถทำได้โดยการลดอุณหภูมิภายในภาชนะ เช่น ทำให้เย็นโดยการจุ่มภาชนะนั้นลงในน้ำผสมน้ำแข็งให้สูงถึงคอขวด เมื่อเห็นว่าเย็นลงแล้ว ให้นำลงมาจากถังแช่แล้วใช้ผ้าเย็นห่อรอบภาชนะ เพื่อมิให้อุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นเร็วเกินไป เสร็จแล้วจึงค่อย ๆ

เคาะที่จุกหรือฝาปิดอย่างระมัดระวัง จนกระทั่งเห็นว่าจุกขวดหรือฝาปิดนั้นมีการขยับเขยื้อนซึ่งก็จะทำให้เปิดออกได้ในที่สุด ข้อควรระมัดระวัง ในการเปิดภาชนะโดยวิธีนี้ก็คือ ในขณะที่กำลังพยายามเปิดภาชนะอยู่นั้น ให้หันปากภาชนะออกจากตัวของท่านเอง และผู้อื่นตลอดเวลา

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างสารเคมีที่ต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล และวิธีการกำจัด

ชนิดสารเคมี	เครื่องป้องกันตัว											วิธีการจัด									
	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ	ช	ฌ	ญ	ฎ	พ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Acids inorganic	✓		✓				✓				✓			✓					✓		
Acids, organic	✓		✓								✓	✓			✓				✓		
Alcohols	✓		✓				✓		✓		✓		✓							✓	
Aldehydes	✓		✓								✓		✓							✓	
Alkalis		✓	✓				✓		✓			✓								✓	
Alkali earth metals		✓	✓				✓		✓			✓								✓	
Amines, aromatic	✓		✓								✓			✓						✓	
Amides, inorganic	✓		✓				✓	✓							✓				✓		
Amides, organic	✓		✓			✓											✓			✓	
Azides		✓					✓								✓				✓		
Azo compounds		✓					✓								✓				✓		
Carbides	✓		✓		✓										✓					✓	
Chlorohydrins	✓		✓					✓			✓	✓			✓				✓		
Cyanides	✓		✓				✓	✓			✓	✓			✓					✓	
Esters	✓		✓				✓	✓		✓			✓							✓	
Ethers	✓		✓				✓			✓							✓			✓	
Halides, inorganic	✓		✓				✓		✓	✓		✓			✓				✓		
Halides, organic	✓		✓				✓			✓			✓								✓
Halides, organic acid	✓		✓							✓		✓			✓				✓		
Halogens, organic	✓		✓					✓		✓		✓								✓	
Hydrazines	✓			✓							✓						✓			✓	
Hydrides	✓		✓				✓	✓						✓						✓	
Hydrocarbons	✓		✓				✓		✓		✓			✓						✓	
Inorganic salts	✓		✓		✓										✓				✓		
Ketones	✓		✓				✓		✓		✓			✓						✓	
Metal alkoxides		✓	✓				✓		✓			✓								✓	
Metal alkyls		✓	✓				✓		✓			✓								✓	
Mercaptans	✓		✓								✓						✓				
Nitriles	✓		✓				✓	✓			✓	✓			✓					✓	
Nitro compounds	✓		✓	✓							✓	✓								✓	
Nitro paraffins	✓		✓					✓			✓	✓			✓				✓		
Organo-metallic compounds	✓		✓		✓						✓	✓			✓				✓		
Oxidizing agents	✓		✓				✓		✓	✓	✓				✓					✓	
Peroxides, inorganic	✓						✓	✓				✓			✓				✓		
Peroxides, organic	✓		✓				✓	✓		✓				✓		✓			✓		
Phosphates, inorganic	✓		✓			✓									✓				✓		
Phosphates, organic	✓		✓							✓				✓			✓			✓	
Reducing agents	✓		✓			✓				✓											✓
Sulfides, inorganic	✓		✓			✓			✓	✓					✓						✓
Sulfides, organic	✓		✓								✓						✓				

วิธีที่ 2 ใช้วัสดุจี้คอกขวดโดยการตัดคอกขวดหรือภาชนะนั้นด้วยมีดตัดแก้วที่คมกรีดรอบคอกขวดหรือภาชนะให้เป็นรอยลึก เสร็จแล้วใช้แก้วทนต์ไฟที่เผาจนร้อนแดงมาจี้ที่จุดใดจุดหนึ่งของรอยกรีดนั้น ก็จะทำให้แก้วแยกออกจากกันตรงรอยกรีดนั้นเอง ทำให้เปิดภาชนะนั้นได้

วิธีที่ 3 ใช้วิธีตีคอกขวด กล่าวคือดำเนินการเช่นเดียวกันกับวิธีที่ 2 ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จนถึงขั้นกรีดคอกขวดหรือภาชนะด้วยมีดตัดแก้วจนเป็นรอยลึก แล้วให้นำขวดหรือภาชนะนั้นไปใส่ไว้ในฐานไม้ที่มีขนาดพอดี ต่อจากนั้นใช้ผ้าห่อหุ้มขวด หรือภาชนะนั้นให้มิดชิดโดยให้ไหลออกมาเฉพาะตรงคอกขวดเท่านั้น เสร็จแล้วจึงใช้ท่อนไม้ยาว ๆ ตีตรงคอเหนือรอยกรีด ซึ่งก็ทำให้ภาชนะนั้นคอกหักและเปิดออกได้

ก่อนที่จะปฏิบัติงานกับสารไม่ทราบชื่อ การเปิดภาชนะอาจมีอันตรายเกิดขึ้นได้ การลดปริมาณของสารที่ใช้จึงเป็นการลดอันตรายที่จะเกิดขึ้นมา จึงขอแยกอธิบายเป็น 2 สถานะคือการกำจัดสารเคมีที่เป็นของแข็ง และ วิธีกำจัดสารเคมีที่เป็นของเหลว ซึ่งจะกล่าวต่อไป

วิธีกำจัดสารเคมีที่เป็นของแข็ง

วิธีกำจัดสารเคมีที่เป็นของแข็งโดยมากมักจะต้องขึ้นกับชนิดของสารเคมีและเป็นการยากที่จะกำหนดวิธีการตายตัวลงไปสำหรับการกำจัดสารเคมีทุกชนิด อย่างไรก็ตามวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปมีดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1 การกำจัดสารเคมีที่เป็นของแข็งโดยการละลายเป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปในการกำจัดสารเคมีที่เป็นของแข็ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการละลายในน้ำหรือในสารละลาย กรด หรือ ด่าง ในขณะที่ทำการทดลองผลการละลายโดยใช้สารเพียงเล็กน้อย เพื่อลดอันตรายตามที่ได้กล่าวมาข้างบนนั้น ควรสังเกตในเรื่องต่อไปนี้

1. ปริมาณของการละลาย (รวมถึงการไม่ละลายเลย)
2. ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น เช่น มีความร้อนหรือเกิดแสง เสียง หรือเกิดการระเบิดหรือไม่
3. ถ้าไม่ละลายหรือละลายไม่ดี มีสารอะไรไหลลงไปช่วยหรือไม่ เช่น การใช้ wetting agent หรือ emulsifier เป็นต้น

วิธีที่ 2 การกำจัดสารเคมีที่เป็นของแข็งโดยการเผา

เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้กันทั่วไป อย่างไรก็ตามสิ่งที่ควรระมัดระวังในการเผาสารเคมีดังต่อไปนี้

1. ปฏิกริยารุนแรง เช่น การระเบิด
2. สารพิษที่เกิดจากการเผา เช่น เกิดเป็นควัน หรือแก๊สพิษ เป็นต้น

เพราะฉะนั้นในขณะที่ทำการทดลองเผาโดยใช้ปริมาณน้อย จึงต้องสังเกตให้ดี ถ้าไม่มีปัญหาใด ๆ เกิดขึ้น จึงทำการเผาในปริมาณมาก ๆ ได้ แต่อย่างไรก็ตามควรทำการเผาในที่โล่งแจ้ง และมีการถ่ายเทอากาศอย่างดี นอกจากนี้ควรจะต้องดูทิศทางลมด้วย เพื่อมิให้ควันพิษหรือแก๊สที่เกิดขึ้น ถูกพัดไปยังที่มีผู้คน รวมทั้งผู้ที่กำลังทำสัญจรอยู่ ในกรณีหลีกเลี่ยงไม่ได้ในการกำจัดขยะในชุมชน ควรเผาในเตาเผา (Incinerator) ซึ่งต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ

ในห้องเผาสูงเกิน 700 องศาเซลเซียส หรือตามมาตรฐานสากลเช่น EPA อย่างไรก็ตามสารพิษบางอย่างการกำจัดค่อนข้างซับซ้อน บางครั้งต้องส่งไปกำจัดในสถานที่เฉพาะตามกฎหมายกำหนด

วิธีที่ 3 การกำจัดสารเคมีที่เป็นของแข็งโดยการทิ้ง วิธีนี้ดูเหมือนเป็นวิธีที่ง่าย แต่ก่อนที่จะทิ้งสารเคมีใดโดยวิธีนี้ ควรจะต้องแน่ใจเสียก่อนว่าจะไม่เกิดปัญหาต่อไป โดยมากเราจะใช้วิธีนี้ต่อเมื่อสารประเภทนี้ไม่ละลายในน้ำหรือกรด ต่าง และเผาก็ไม่ละลายเท่านั้น การทิ้งสารประเภทนี้จะต้องใช้ภาชนะห่อเอาไว้อย่างดี เช่น ใช้ถุงพลาสติกที่แข็งแรง เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจาย เสริมแล้วจึงนำไปทิ้งโดยการฝังในดิน ทิ้งในที่สำหรับทิ้ง หรือทิ้งลงบ่อน้ำ เป็นต้น

วิธีการกำจัดสารเคมีที่เป็นของเหลว

วิธีที่ 1 การทำปฏิกิริยากับน้ำ ให้หยดสารที่กำจัด 1-2 หยด ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำอยู่ ถ้าเกิดปฏิกิริยารุนแรงและสารละลายเป็นกรด ให้นำสารนั้นไปที่บ่อสำหรับกำจัดสารเคมีแล้วโยนภาชนะบรรจุสารนั้น จากระยะที่ปลอดภัยให้ตกลงในบ่อ หรือเปิดฝาจุกภาชนะแล้วเทสารลงในบ่อนั้น จากนั้นก็ฉีดสารลงไปในบ่อ โดยให้ลำน้ำพุ่งไปในทางเดียวกัน แล้วไหลไปสู่กองโซเดียมคาร์บอเนต หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งได้เตรียมไว้ก่อนแล้ว เกลือคาร์บอเนตที่ใช้จะทำสารละลายกรดให้เป็นกลางได้

วิธีที่ 2 ความไวไฟ หยดสารจำนวน 2-3 หยด ลงบนภาชนะทนไฟแล้วเผาให้ร้อนเพื่อดูความยากง่ายของการเผาไหม้ นอกจากนี้ควรทดสอบการละลายน้ำด้วย เสริมแล้วให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

- ถ้ามีปริมาณน้อยและละลายน้ำได้ ให้ปล่อยทิ้งไปกับน้ำ แต่ต้องระวังอย่าให้มีเปลวไฟอยู่ใกล้ ถ้าไม่ละลายน้ำก็ปล่อยให้ระเหยไปเองในตู้ควันหรือในที่โล่งแจ้ง
- ถ้ามีปริมาณมากให้ทำการเผาในบ่อใช้กำจัดสารเคมี ซึ่งถ้าเป็นสารที่ระเหยได้ง่ายจะต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ

วิธีที่ 3 การระเหยกลายเป็นไอ สารที่ระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายและไม่ติดไฟ ก็ปล่อยให้ระเหยอยู่ในตู้ควัน (Hood) หรือที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้ดี โดยที่ควันของสารนั้นจะต้องไม่มีกลิ่นฉุนและไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ส่วนสารที่ให้ควันหรือไอซึ่งทำให้แสบตา แสบจมูก หรือคอ จะต้องกำจัดโดยวิธีต่อไปนี้

สารที่มีกลิ่นฉุนมาก ๆ จะต้องกำจัดโดยวิธีเฉพาะ บางทีกลิ่นของสารก็จะสามารถบอกได้ว่าเป็นสารประเภทใด ยกตัวอย่างเช่นสารพวกเมอร์แคปแทน (Mercaptans) กำจัดได้โดยวิธีออกซิไดซ์ด้วยสารละลายด่างทับทิมหรือโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ซึ่งจะทำให้สารละลายที่ได้มีกลิ่นฉุนน้อยลง สารพวกอาเซนิก (Arsenic) กำจัดได้โดยให้ทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดโครมิก (Chromic acid) ซึ่งทำได้โดยค่อยๆหยดสารละลายอาเซนิกลงในสารละลายกรดโครมิก ถ้าเกิดการออกซิไดซ์สีของกรดโครมิก จะเปลี่ยนเป็นสีเขียว และจะมีความร้อนเกิดขึ้น จึงต้องทำงานอย่างระมัดระวังและควรหยุดเป็นช่วง ๆ เพื่อปล่อยให้

สารละลายเย็นลงก่อนที่จะเติมครั้งต่อไป เมื่อเติมหมดแล้วให้เพิ่มสารละลายกรดโครมิกลงไปอีกจำนวนหนึ่ง แล้วตั้งทิ้งไว้สัก 2 ถึง 3 วัน เพื่อให้แน่ใจว่าสารอาเซนิก จะถูกทำลายหมดแล้ว

บ่อกำจัดสารเคมี

ขุดบ่อขนาด 8 ฟุต x 4 ฟุต และลึกประมาณ 2 ฟุต โดยให้พื้นบ่อลาดเอียงไปทางคูน้ำทิ้งซึ่งจะเป็นทางนำเอาสารของเหลวลงไปในดินพื้นล่างของบ่อน้ำควรจะมีด้วยซีเมนต์และให้มีท่อผ้าใบฉีดยาที่จุดสองจุด ห่างจากบ่อประมาณ 6 ฟุต วิธีการกำจัดสารในบ่อนี้ก็คือเทสารเคมีลงในบ่อ ในกรณีที่เปิดขวดภาชนะไม่ได้ก็ใช้วิธีโยนภาชนะลงในบ่อให้แตก เสร็จแล้วค่อยกวาดเอาเศษแก้วที่แตกขึ้นมาที่หลัง

3.6 ความปลอดภัยในการทำงานกับแก๊ส

แก๊สจัดเป็นสถานะหนึ่งของสาร โดยจะมีค่าความหนาแน่นต่ำเมื่อเทียบกับสถานะของเหลวและสถานะของแข็ง แก๊สสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายและสามารถขยายตัว และหดตัวได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิและความดันต่ำเปลี่ยนแปลงไป แก๊สที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมมีอยู่หลายประเภท ซึ่งหากจะแบ่งตามคุณสมบัติของแก๊ส สามารถแบ่งออกได้เป็น

- แก๊สไวไฟ (Flammable gases)
- แก๊สมีพิษ (Toxic gases)
- แก๊สระเบิดได้ (Explosive gases)
- แก๊สกัดกร่อน (Corrosive gases)

ในส่วนนี้เป็นการกล่าวถึงส่วนที่วิศวกรเคมีจำเป็นต้องเข้าใจในเรื่องแก๊สในทางอุตสาหกรรม คุณสมบัติของการใช้แก๊สต่าง ๆ ที่มีผลต่อความปลอดภัยเนื่องจากแก๊สในแต่ละชนิดมีคุณสมบัติต่างกัน รวมทั้งมาตรการในการใช้สารอย่างปลอดภัยรวมทั้งอุปกรณ์นิรภัยต่าง ๆ ซึ่งใช้สำหรับงานทั่วไปและการขนส่งด้วยวิธีต่าง ๆ ทำยสุดจะเป็นเรื่องมาตรการการตรวจสอบถึงแก๊สตามลำดับ

3.6.1 การจัดแบ่งประเภทของแก๊สทางอุตสาหกรรมเคมี

การใช้งานของแก๊สที่บรรจุอยู่ในภาชนะความดันนั้น อาจจะก่อให้เกิดอันตรายได้มากกว่าการใช้ในสถานะที่เป็นของเหลวหรือของแข็ง เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก แก๊สดังกล่าวมีความดันสูงเมื่อเกิดมีการรั่วไหลของแก๊สออกมาทางภายนอก จึงทำให้แก๊สสามารถฟุ้งกระจายไปได้ไกลและรวดเร็วกว่า นอกจากนี้อาจจะเกิดจากการที่เราใช้แก๊สเข้าไปทำปฏิกิริยาทางเคมีแต่เราควบคุมความดันของแก๊สไม่ถูกต้อง จึงอาจทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ หรือการควบคุมการไหลของแก๊สไม่ดีพอจึงทำให้มีแก๊สที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาเหลืออยู่และเกิดการรั่วไหลออกมาภายนอกจนก่อให้เกิดอันตรายได้ ในลักษณะของการศึกษาด้านความปลอดภัยในการใช้แก๊สในอุตสาหกรรมเคมีสามารถจัดแบ่งแก๊สออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ แก๊สที่ถูกอัด (Compressed gases) และแก๊สเย็นจัด (Cryogenic gases)

(1) แก๊สที่ถูกอัด (Compressed gas)

แก๊สที่ถูกอัด (รวมถึงแก๊สเหลว) ถูกนิยามให้หมายถึง สารหรือของผสมที่บรรจุอยู่ในภาชนะปิด โดยมีค่าความดันสมบูรณ์เกินกว่า 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 100 องศาฟาเรนไฮต์ ตัวอย่างของแก๊สที่ถูกอัดมีอยู่มากมายได้แก่ อากาศ แก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas) ออกซิเจน อะซิโตน หรืออื่น ๆ แก๊สบางชนิดในจำนวนนี้ เป็นแก๊สที่ติดไฟได้ง่าย บางชนิดไม่ติดไฟ บางชนิดจัดเป็นแก๊สพิษ และบางชนิดก็ไม่มีพิษ

แก๊สความดันสูง หมายถึง แก๊สซึ่งถูกอัดอยู่ในภาชนะความดันทรงกระบอก แต่ยังไม่กลายเป็นของเหลว เนื่องจากจุดหลอมเหลวของแก๊สชนิดนี้ต่ำมาก คือ มีค่าประมาณ -100 องศาเซลเซียส แก๊สบิวเทนซึ่งมีจุดเดือดที่ 0 องศาเซลเซียส เป็นแก๊สชนิดหนึ่งที่ถูกจัดเป็นแก๊สเหลวซึ่งไม่เป็นไอ (หรือเดือด) เมื่ออุณหภูมิในบรรยากาศมีค่าเข้าใกล้จุดเยือกแข็ง ดังนั้นแก๊สบิวเทนจึงไม่ถูกนำไปใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง และนี่เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมในภูมิภาคส่วนเหนือของสหรัฐจึงไม่ใช่แก๊ส บิวเทน ส่วนแก๊สโพรเพนเป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของแก๊สเหลวซึ่งมีจุดเดือดอยู่ที่ -43 องศาเซลเซียส ดังนั้นแก๊สโพรเพนจึงสามารถใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงในเกือบทุก ๆ ที่ แก๊สคลอรีน แก๊สโพรพิลีน แก๊สแอมโมเนีย และแก๊สที่ใช้หล่อเย็นก็เป็นแก๊สประเภทหนึ่งที่ถูกจัดเป็นแก๊สเหลว

แก๊สอีกประเภทหนึ่งที่ไม่จัดเป็นทั้งแก๊สความดันสูง และแก๊สเหลว คือ แก๊สอะซิโตนเพราะเป็นแก๊สที่ละลายอยู่ในของเหลวชนิดหนึ่ง

แก๊สชนิดติดไฟและแก๊สไม่ติดไฟซึ่งถูกบรรจุลงในภาชนะบรรจุทรงกระบอก หรือภาชนะอื่น ๆ มักถูกขนส่งและมีการเก็บไว้ตลอดทั่วประเทศ ซึ่งแก๊สทั้งหมดเหล่านี้ก่อให้เกิดอันตรายได้ถ้าเกิดมีอัคคีภัยหรือความร้อนสูงจัด เราอาจป้องกันการที่ความดันภายในภาชนะสูงเกินไปได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์นิรภัย (Safety devices) โดยติดตั้งอยู่กับภาชนะที่บรรจุยกเว้นแก๊สที่มีพิษนั้นจะไม่ติดตั้งอุปกรณ์นิรภัยนี้

(2) แก๊สที่เย็นจัด (Cryogenic gases)

แก๊สเย็นจัด หมายถึง แก๊สซึ่งถูกทำให้กลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิที่ต่ำมาก ๆ คำว่าเย็นจัดเป็นน้ำแข็งหรือเทอมโคเยอเจน (Cryogen) มาจากภาษากรีก คำว่า "Kryos" สำหรับทางวิทยาศาสตร์ของแก๊สเย็นจัดหมายถึง แก๊สที่ถูกเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ (น้อยกว่าหรือเท่ากับ -150 องศาฟาเรนไฮต์) แก๊สเหล่านี้ได้แก่ แก๊สไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน มีเทน และฟลูออรีน รวมทั้งแก๊สเฉื่อย เช่น ฮีเลียม นีออน อาร์กอน คริปทอน และซีนอน ซึ่งแก๊สต่าง ๆ เหล่านี้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้หลาย ๆ ทาง

แก๊สที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เคยถูกขนส่งในรูปของแก๊สที่ถูกอัด แต่ได้ถูกเปลี่ยนมาขนส่งในรูปของของเหลวแทน ทั้งนี้เนื่องจากการขนส่งแก๊สในรูปของของเหลวนี้จะได้ปริมาณแก๊สต่อหนึ่งหน่วย

ปริมาณมากกว่า 200 ถึง 700 เท่า ยกตัวอย่างเช่น ออกซิเจนเหลว 1 หน่วยจะขยายตัวให้แก๊ส 842 เท่า เมื่อออกซิเจนเหลวถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของตัวเอง ซึ่งตารางที่ 3.6 ได้แสดงอุณหภูมิจุดเดือดของแก๊สเย็นจัด ส่วนตารางที่ 3.7 แสดงค่าอัตราการขยายตัวสำหรับ 1 แกลลอนของของเหลวเย็นจัด (Cryogenic liquid) และอัตราการขยายตัวจาก 1 ลูกบาศก์ฟุตของของเหลวเย็นจัด ค่าทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าการขนส่งและการเก็บในรูปของเหลวจะทำให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจมากกว่า

ตารางที่ 3.6 อุณหภูมิเดือดของแก๊สเย็นจัด

แก๊ส	อุณหภูมิจุดเดือด (องศาเซลเซียส)
ฮีเลียม	-269
ไฮโดรเจน	-253
นีออน	-246
ไนโตรเจน	-196
อากาศ	-193
ฟลูออรีน	-188
อาร์กอน	-186
ออกซิเจน	-183
มีเทน	-162
คริปทอน	-153
ซีนอน	-108

ตารางที่ 3.7 อัตราส่วนการขยายตัวของของเหลวเย็นจัด (อัตราส่วนของเหลวต่อไอ)

แก๊สเย็นจัด	สูตรทางเคมี	ลูกบาศก์ฟุตของแก๊สที่ได้จาก 1 แกลลอนของของเหลว	ลูกบาศก์ฟุตของแก๊สที่ได้จาก 1 ลูกบาศก์ฟุตของของเหลว
ฮีเลียม	He	101	737
ไฮโดรเจน	H ₂	113	830
นีออน	Ne	193	1,414
ไนโตรเจน	N ₂	93	681
อากาศ	-	97	712
ฟลูออรีน	F ₂	128	936
อาร์กอน	Ar	112	823
ออกซิเจน	O ₂	115	842
มีเทน	CH ₄	85	936
คริปทอน	Kr	93	546
ซีนอน	Xe	75	678

3.6.2 คุณสมบัติของแก๊สที่มีผลต่อความปลอดภัยในการใช้งาน

การนำแก๊สไปใช้ในงานอุตสาหกรรม สิ่งที่สำคัญประการแรกคือ ต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของแก๊สนั้น ๆ เสียก่อน เพื่อที่จะได้ใช้แก๊สนั้นอย่างปลอดภัย และเป็นการป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งคุณสมบัติที่ควรทราบได้แก่

- คุณสมบัติทางเคมีของแก๊ส
- คุณสมบัติทางกายภาพของแก๊ส

3.6.2.1 คุณสมบัติทางเคมีของแก๊ส

ในการใช้แก๊สนั้น สิ่งที่ต้องทราบก่อนอื่นคือคุณสมบัติทางเคมีของสาร นั่นคือควรทราบว่าสารแต่ละชนิดเป็นสารประเภทใด (สารอินทรีย์ หรืออนินทรีย์) มีฤทธิ์เป็นอะไร (กรดหรือด่าง) สามารถกัดกร่อนหรือไม่ มีสูตรทางเคมีอย่างไรและที่สำคัญจะเกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อของร่างกายหรือไม่ แก๊สชนิดนี้เมื่อเกิดปฏิกิริยาแล้วได้เป็นสารอะไร

3.6.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแก๊ส

(1) น้ำหนักโมเลกุล จุดเดือด และภาวะวิกฤต

จากค่าอุณหภูมิจุดเดือดของสารหรือแก๊ส จะช่วยในการบ่งบอกสถานะที่เกิดขึ้นที่ค่าความดันต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น แก๊สโปรเพนมีจุดเดือดเท่ากับ -42 องศาเซลเซียส ดังนั้นย่อมแสดงว่าแก๊สโปรเพนจะมีสถานะเป็นแก๊สที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้ถ้าลดอุณหภูมิลง แต่ถ้าเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงถึงจุดวิกฤตแล้ว ไม่ว่าจะใช้ความดันเท่าใด ก็ไม่สามารถเปลี่ยนสถานะให้เป็นของเหลวได้

ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีของถังเก็บออกซิเจน ซึ่งมีการออกแบบเป็นถึง 2 ชั้น ชั้นนอกเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน ส่วนถังในเป็นเหล็กกล้าสเตนเลส ระหว่างถังที่บรรจุถูกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน และถูกทำให้เป็นสุญญากาศ โดยทั่ว ๆ ไป ถึงจะมีคุณสมบัติป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกได้ดี แต่ก็ไม่สามารถป้องกันได้ทั้งหมด และการถ่ายเทความร้อนของถัง จะทำให้ออกซิเจนเหลวในถังเปลี่ยนสภาพเป็นไอได้ ซึ่งสิ่งที่ตามมาก็คือ ค่าความร้อนในถังจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดความดันวิกฤติ (Critical pressure) ซึ่งในกรณีที่ถังเป็นแก๊สออกซิเจนค่าความดันวิกฤติมีค่าเท่ากับ 737 ปอนด์ต่อตารางนิ้วสมบูรณ์ ออกซิเจนเหลวที่มีอยู่ทั้งหมดในถังจะแปรสภาพเป็นไอน้ำทันที ทำให้เกิดความดันมหาศาลและทำให้เกิดการระเบิดได้

(2) ค่าความร้อนแฝงในการระเหย (Latent heat of evaporation)

ความร้อนแฝงในการระเหย คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการระเหยเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นแก๊สที่จุดเดือดปกติ (ความดันบรรยากาศ) ดังนั้นเมื่ออากาศถูกปล่อยออกจากภาชนะเก็บ แก๊สเหลวจะเกิดการระเหย ขณะที่แก๊สเหลวระเหยจะต้องได้รับความร้อนจึง

ทำให้เกิดการดูดความร้อนจากบริเวณใกล้เคียงซึ่งจะทำให้บริเวณที่ถูกดูดความร้อนไปไม่มีความเย็นจัด ฉะนั้นถ้าแก๊สเหลวรั่วมาถูกผิวหนังหรือส่วนของร่างกายนั้นได้รับความเย็นจัดอาจทำให้ผิวหนังเกิดอันตรายจากความเย็นจัดมีลักษณะไหม้ (Cold burn) เช่นเดียวกับการถูกน้ำร้อนลวก และในบางกรณีมักพบว่ามีการแข็งเกาะจัดอยู่ตรงบริเวณวาล์วต่าง ๆ ที่ใช้เปิดปิดแก๊ส ทำให้ไม่สามารถปิดวาล์วในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉิน

(3) ค่าความหนาแน่น (Density) ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) และ ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของแก๊ส

- ค่าความหนาแน่นของแก๊สคือ อัตราส่วนของน้ำหนักของแก๊สต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร
- ปริมาตรจำเพาะ คือส่วนกลับของความหนาแน่นของแก๊ส
- ค่าความถ่วงจำเพาะ คืออัตราส่วนของความหนาแน่นของแก๊สเหลวเทียบกับต่อความหนาแน่น ของสารมาตรฐาน ในกรณีที่มีสถานะเป็นแก๊สมักเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของแก๊สเทียบกับความหนาแน่นของอากาศ แต่ในกรณีสถานะของของเหลวมักเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของของเหลวเทียบกับความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งถ้าแก๊สใดในสถานะของเหลวเกิดการรั่วไหลออกมา ถ้าของไหลนี้มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ แก๊สเหลวดังกล่าวอาจไหลลงไปใต้วงระบายน้ำ คู คลองและอาจทำให้แก๊สเหลวลอยอยู่เหนือผิวน้ำซึ่งจะถูกพัดพาไปไกลๆ ตามการไหลของกระแสน้ำ และเกิดอันตรายได้หากมีประกายไฟและแก๊สติดไฟได้ และในกรณีที่แก๊สมีค่าความถ่วงจำเพาะหนักกว่าน้ำ เมื่อเกิดการรั่วไหลขึ้น แก๊สจะจมน้ำและเกิดการสะสมตัวในบริเวณต่ำๆได้

(4) ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของแก๊สเหลวและแก๊ส

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของของแก๊สเหลว และแก๊สล้วนมีความสำคัญมาก ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของแก๊สเหลวยังมีค่ามาก การบรรจุแก๊สเหลวในภาชนะจะบรรจุให้เต็มไม่ได้ จะต้องมีช่องว่างไว้เพื่อการขยายตัวของแก๊สเหลวเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งค่าการขยายตัวของแก๊สเหลวสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$V_T = V_O (1 + R \Delta T) \quad \dots(3.1)$$

- เมื่อ
- V_T = ปริมาตรที่อุณหภูมิ T
 - V_O = ปริมาตรเริ่มต้น
 - R = สัมประสิทธิ์การขยายตัว (องศาเซลเซียส)⁻¹
 - ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

(5) ค่าความดันไอ

แก๊สที่บรรจุในภาชนะปิด ซึ่งอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของมันจะเกิดไออยู่เหนือระดับของเหลวเสมอ ถ้าในภาชนะนั้นมีของเหลวอยู่ด้วย ค่าความดันไอนี้จะเรียกว่าความดันอิ่มตัว (Saturation vapor pressure) ความดันไอนี้จะมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศที่อุณหภูมิ

เท่ากับจุดเดือดของมันและเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความดันไอก็จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงสภาวะวิกฤต

ค่าความดันไอใช้เป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติการระเหย (Volatility) ของสารกล่าวคือ ถ้าสารใดมีความดันไอสองย้อมแสดงว่าสารนั้นสามารถระเหยได้เร็ว คุณสมบัติของความดันไอของแก๊สนี้จะเป็นตัวสำคัญที่จะใช้ในการออกแบบระบบการใช้แก๊สต่าง ๆ

(6) ส่วนผสมระหว่างแก๊สกับอากาศ

ส่วนผสมระหว่างแก๊สกับอากาศที่จะทำให้ติดไฟได้เองที่อุณหภูมิติดไฟ (Ignition point) หรือหากมีประกายไฟจะติดไฟได้ที่อุณหภูมิจุดวาบไฟ (Flash point) และสามารถติดไฟได้ในช่วงขอบเขตการเกิดไฟ (Flammable limit) หรือช่วงขอบเขตการระเบิด (Explosion limit)

อุณหภูมิจุดติดไฟ (Ignition point) หมายถึง อุณหภูมิต่ำสุดที่แก๊สจะติดไฟได้เองโดยไม่ต้องถูกจุดด้วยตัวอย่างในตารางที่ 3.8 นอกจากอุณหภูมิจุดติดไฟแล้ว เรามักได้ยินอุณหภูมิอีกจุดหนึ่ง คือ อุณหภูมิจุดวาบไฟ หมายถึง อุณหภูมิที่มีไอระเหยผสมกับอากาศแล้วติดไฟได้เมื่อถูกจุด

แก๊สบางชนิดสามารถถูกติดไฟได้ เมื่อมีส่วนผสมระหว่างแก๊สกับอากาศที่เหมาะสมพร้อมกับต้องมีแหล่งประกายไฟ และหากส่วนผสมของเชื้อเพลิงในอากาศมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่านี้ก็ไม่สามารถถูกติดไฟได้นั้นเป็นช่วงจำกัดของการติดไฟ (Flammable limit) หรือช่วงจำกัดการระเบิด (Explosive Limit) ซึ่งหมายถึงช่วงของความเข้มข้นของไอ หรือสารเป็นร้อยละโดยปริมาตรเมื่อผสมกับอากาศแล้วสามารถระเบิดได้

ตารางที่ 3.8 ตัวอย่างของค่าอุณหภูมิจุดติดไฟของแก๊สต่างชนิดกัน

เชื้อเพลิง	อุณหภูมิจุดติดไฟ (องศาเซลเซียส)	
	ในอากาศ	ในออกซิเจน
โพรเพน	460-580	470-575
บิวเทน	410-550	280-550
อะเซทิลีน	300-500	235-440
แก๊สธรรมชาติ	630-750	550-700

(7) สี กลิ่น และความเป็นพิษ

แก๊สที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมเป็นแก๊สบริสุทธิ์ที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ซึ่งถ้าเกิดรั่วไหลออกมาจะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ง่าย แก๊สที่ไม่มีสีไม่มีกลิ่นจะเป็นแก๊สที่อันตรายมากกว่าแก๊สที่มีสีและมีกลิ่น เพราะถ้ามีการรั่วไหลของแก๊สมีสีมีกลิ่นจะสังเกตเห็นได้ง่ายและสามารถทำการแก้ไขก่อนที่จะถึงขั้นที่แก๊สนั้นจะฟุ้งกระจายออกมาจนเต็ม และเมื่อแก๊สมีการรั่วไหลออกมาจะก่อให้เกิดอันตรายได้มากหรือน้อยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเป็นพิษมากหรือน้อยของแก๊สชนิดนั้น ๆ

3.6.3 ความปลอดภัยกับการใช้แก๊สต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม

3.6.3.1) แก๊สออกซิเจน (Oxygen gas) และออกซิเจนเหลว (Liquid oxygen)

แก๊สออกซิเจนเป็นสารที่มีการใช้กันมากในทางอุตสาหกรรม สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

- แก๊สออกซิเจน เป็นแก๊สออกซิเจนที่ถูกอัดให้มีความดันสูง แต่ยังไม่กลายเป็นของเหลว มักถูกเก็บภายใต้สภาพความดัน 136 เท่าของความดันบรรยากาศ เก็บอยู่ในถังที่ไม่มีตะเข็บ
- ออกซิเจนเหลว เป็นออกซิเจนที่ถูกเก็บที่สภาวะต่ำกว่าจุดเดือด (อุณหภูมิจุดเดือดของออกซิเจนมีค่าเท่ากับ -183 องศาเซลเซียส) และจะถูกเก็บไว้ในภาชนะ 2 ชั้น ซึ่งชั้นนอกทำด้วยเหล็กกล้าคาร์บอน แต่ชั้นในเป็นเหล็กกล้าสแตนเลส มีฉนวนกันความร้อนและเป็นสุญญากาศ เพื่อป้องกันกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าไปในถังออกซิเจนเหลว จะมีความหนาแน่นสูงกว่าแก๊สประมาณ 850 เท่าที่ สภาวะความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิในขณะนั้น 15 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติของออกซิเจน

แก๊สออกซิเจนเป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและไม่มีรส โดยทั่วไปแก๊สออกซิเจนมีอยู่อากาศในปริมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ออกซิเจนเป็นแก๊สที่ไม่ติดไฟ แต่เป็นตัวออกซิไดซ์ ทำให้เกิดการลุกไหม้ขึ้นได้ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่สำคัญ คือ

น้ำหนักโมเลกุล	32
ค่าปริมาตรจำเพาะ	
ที่ 21 องศาเซลเซียส 1 บรรยากาศ	12.1 ลูกบาศก์ฟุตต่อปอนด์ (755.4 ml/g)
อุณหภูมิจุดเดือด	-183.0 องศาเซลเซียส
ค่าความหนาแน่นของ	
แก๊สที่ 0 องศาเซลเซียส, 1 บรรยากาศ	1.4291 กรัม/ลิตร
ค่าความหนาแน่นของเหลวที่จุดเดือด	1,141 กรัม/ลิตร
ความร้อนแฝงของการระเหย	5.064 แคลอรี/กรัม
ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวที่จุดทรีปีล	3.32 แคลอรี/กรัม
อุณหภูมิวิกฤต	-118.4°C
ความดันวิกฤต	50.14 บรรยากาศ

การใช้งาน

แก๊สออกซิเจนและออกซิเจนถูกนำมาใช้ในทางอุตสาหกรรมมากมายได้แก่

- ใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทิลีนออกไซด์จากเอทิลีน การผลิตเมทานอลจากไฮโดรคาร์บอน ผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากน้ำ

- ใช้เป็นแก๊สร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิง เช่น การใช้ร่วมกับแก๊สไฮโดรเจน เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงขับเคลื่อนกระสวยอวกาศ หรือใช้ร่วมกับอะเซทิลีน เพื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในเตาหลอม และเพิ่มอัตราการหลอมเหลวให้เร็วขึ้นในเตาถลุงโลหะ (Blast furnaces) อันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเตา
- ใช้ในวงการแพทย์ เพื่อช่วยรักษาชีวิตคนไข้ในการช่วยหายใจ
- ประโยชน์อื่น ๆ ใช้ในการปรับคุณภาพของน้ำเสีย หรือใช้ในห้วงการทดลองวิจัย อื่นๆ

อันตรายที่อาจเกิดกับการใช้ออกซิเจนที่อยู่ในรูปแก๊ส

อันตรายที่เกิดจากการใช้แก๊สออกซิเจน ซึ่งเป็นแก๊สความดันสูง มักเกิดขึ้นในแง่อันตรายการลุกไหม้ หรือการระเบิด ถึงแม้แก๊สออกซิเจนจะเป็นแก๊สที่ไม่ติดไฟ แต่เป็นสารช่วยสันดาป เราพบว่าแก๊สออกซิเจนจะก่อให้เกิดอันตรายอย่างมากหากอยู่ใกล้กับสารที่ติดไฟได้ดี เช่น ไม้ น้ำมันจารบี ถ่าน โลหะผงปนละเอียด ยางมะตอย สารอินทรีย์ ฯลฯ นอกจากนี้แก๊สออกซิเจนความดันสูงที่ถูกอัดอยู่ในถัง(เรียกเป็นท่อ) อาจก่อให้เกิดการระเบิดได้ โดยมีสาเหตุ 4 ประการดังนี้

- เกิดการกระแทกอย่างรุนแรง ในขณะที่มีการเคลื่อนย้ายอย่างไม่ระมัดระวัง หรือการโยนท่อ
- การใช้ถังผิดขนาดมาใช้เก็บ เช่น การนำแก๊สความดันต่ำมาอัดแก๊สความดันสูง
- ไม่มีการตรวจสอบถัง
- การมีคราบน้ำมัน สารอินทรีย์ หรือสารติดไฟอื่น ๆ ติดปนเข้าไปในระบบของแก๊สออกซิเจน

ภาวะอันตรายอันหนึ่งที่ไม่ใช่เกิดจากออกซิเจนแต่เกิดจากการที่มนุษย์ขาดออกซิเจน ภาวะของการขาดออกซิเจน เป็นอาการที่เฉียบพลันมาก อาทิเช่น ถ้าคนเราเข้าไปอยู่ในบริเวณที่ที่ออกซิเจนต่ำกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ จะพบว่ามีอาการอ้าปากค้าง และชักกระตุกและหยุดการหายใจ และสามารถเสียชีวิตภายใน 2 ถึง 3 นาที หรือถ้าอยู่ในบริเวณที่มีออกซิเจนอยู่ในช่วง 6 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ มนุษย์เราจะไม่สามารถบังคับให้กล้ามเนื้อเคลื่อนไหวได้ ตัวอย่างงานที่ขาดออกซิเจน อาจเนื่องมาจากการทำงานในถังที่มีออกซิเจนไม่พอหรือการปล่อยเข้าไปในโตรเจนเข้าไปในถังออกซิเจนสำหรับนักดำน้ำ ไนโตรเจนสามารถซึมเข้าไปในกระแสเลือดซึ่งจะมีผลให้นักประดาน้ำขาดออกซิเจน เกิดเสียชีวิตขึ้นได้

วัสดุที่นำมาใช้กับระบบที่มีการใช้ออกซิเจนนี้ควรระมัดระวังให้มาก ทางที่ดีควรทำจากโมเนล หรือโลหะผสมนิกเกิลไร้เหล็ก เพราะเป็นวัสดุที่ทนต่อการติดไฟในเกือบทุกสภาวะ ส่วนเหล็กกล้า เหล็กเหนียว เหล็กหล่อ อลูมิเนียม สังกะสี ฟลูออน เทฟลอน เป็นโลหะที่ติดไฟยากแต่ก็มีโอกาสติดไฟได้ (แต่จัดเป็นวัสดุที่ปลอดภัยในการติดไฟในสภาวะปกติ) มีอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นแล้ว อันเนื่องมาจากการเลือกใช้วัสดุที่ไม่ปลอดภัยมาใช้ในระบบออกซิเจนมากมาย เช่น การใช้ปั๊มออกซิเจน เสือปั๊มและใบพัดทำด้วยอลูมิเนียม และใช้กรองทำด้วยใยเหล็กสแตนเลส เมื่อใช้ไปนาน ๆ ใยกรองเกิดชำรุดและติดเข้าไปในปั๊ม และหมุนขัดสีกับเสือปั๊มจนเกิดความร้อนจนอลูมิเนียมลุกไหม้กับออกซิเจน ดังนั้น จึงควรเลือกใช้วัสดุที่ปลอดภัยเกือบทุกสภาวะได้แก่

- ทองแดง ทองเหลือง
- เงิน นิกเกิล
- โมเนล และโลหะผสมนิกเกิลไร้เหล็ก
- แอสเบสตอสบริฐท์ (NICE, 2004) ปัจจุบัน แอสเบสตอสถูกประกาศให้ยกเลิกใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมโดยสถาบันความปลอดภัยในการทำงาน (สปท.) หรือ National Institute for the Improvement of Working Conditions and Environment (NICE)
- ฉนวน ซิลิเกตชนิดไร้น้ำมัน

อันตรายที่เกิดจากการใช้ออกซิเจนที่อยู่ในรูปของเหลว

เนื่องจากออกซิเจนเหลวมีอุณหภูมิต่ำกว่า -120 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ ดังนั้นอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้คือ อันตรายจากความเย็นการบาดเจ็บที่เกิดจากการไปสัมผัสโดนกับความเย็นจะมีลักษณะคล้ายกันกับการถูกไฟหรือน้ำร้อนลวก (Cold burn) ผิวหนังเมื่อไปโดนสัมผัสกับท่อที่บรรจุแก๊สที่เย็นจัดจะยึดติดกับภาชนะ เนื่องจากการแข็งตัวของความชื้นหรือน้ำที่บริเวณผิวหนัง ถ้าดึงออกผิวหนังก็จะขาดออกทันที

ออกซิเจนเหลวอาจก่อให้เกิดอันตรายในรูปของความดันได้เช่นเดียวกัน โดยปกติออกซิเจนเหลวจะถูกเก็บอยู่ภายในภาชนะ 2 ชั้น ชั้นนอกเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน ชั้นในเป็นเหล็กกล้าสแตนเลส ระหว่างถังบรรจุด้วยฉนวนกับความร้อน (และทำให้เป็นสุญญากาศ) ทั้งนี้เนื่องจากออกซิเจนเหลวจะมีอุณหภูมิ -120 องศาเซลเซียส (ที่ความดัน 1 บรรยากาศ) จัดเป็นของเหลวอิมัตวจะถูกบีบเข้าไปเก็บในถัง ดังนั้นถังนี้จึงต้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ดี แต่โดยปกติจะไม่สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ทั้งหมด ดังนั้นออกซิเจนบางส่วนจะกลายเป็นไอประมาณ 0.1 ถึง 1.0 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน แต่เนื่องจากออกซิเจนเหลวมีความหนาแน่นสูงกว่าแก๊ส 850 เท่า เมื่อปริมาตรของแก๊สมากขึ้นทำให้ความดันในถังจึงมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งถ้าความดันภายในเกิดมีค่าสูงถึงจุดความดันวิกฤต 50 เท่าของความดันบรรยากาศ ออกซิเจนภายในถังจะแปรสภาพเป็นไอทันทีทำให้แรงดันสูงซึ่งจะทำให้เกิดการระเบิดได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงต้องมีการติดอุปกรณ์ความปลอดภัยเช่น วาล์วนิรภัยหรือฝาคอบบะทุแตก (Rupture disc) ไว้ที่ถังออกซิเจนเสมอ ข้อพึงระวังของแก๊สออกซิเจนคือ ห้ามใช้ออกซิเจนในงาน ฟันสี เติมน้ำมัน ยางรถ สันดาปจุดระเบิดในเครื่องยนต์ หรือใช้กับอุปกรณ์ เช่น เครื่องอัดอากาศ (Compressor) เครื่องมือลม เป็นต้น

การขนส่งลำเลียงแก๊สออกซิเจนความดันสูง

ถังแก๊สออกซิเจนควรมีขนาดปกติประมาณ 9 ลูกบาศก์เมตร และถูกบรรจุแก๊สจนมีความดันอยู่ในช่วง 120 ถึง 160 เท่าของความดันบรรยากาศ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของถัง ในกรณีที่แก๊สออกซิเจนถูกขนส่งด้วยถังบรรจพ่วงที่มีขนาดบรรจุสูงสุด 1,000 ลูกบาศก์เมตร

กรณีที่เกิดอัคคีภัยในบรรยากาศที่มีออกซิเจนอยู่มาก นักดับเพลิงควรพยายามหยุดการไหลของออกซิเจนให้ได้ และลดเพลิงที่เผาไหม้ให้หมดอย่างรวดเร็ว มักนิยมใช้น้ำเป็นตัวดับเพลิงสำหรับระบบนี้มากที่สุด น้ำจะถูกพ่นให้เป็นฝอยลงบนถังเก็บ เพื่อลดการเดือดอย่างรวดเร็วของออกซิเจนเหลว การพ่นน้ำควรระวังไม่ให้พ่นถูกอุปกรณ์นิรภัยต่าง ๆ เพราะอาจมีการแข็งตัวของน้ำและทำให้อุปกรณ์นิรภัยไม่สามารถทำงานได้ปกติ และอาจก่อให้เกิดอันตรายตามมามากขึ้น

3.6.3.2) แก๊สไฮโดรเจน (Hydrogen)

โดยปกติแก๊สไฮโดรเจนมักถูกเก็บไว้ในรูปของไฮโดรเจนเหลว (Liquid Hydrogen) จัดเป็นแก๊สที่เย็นจัดอันดับที่สอง คือมีจุดเดือดอยู่ต่ำถึง -252 องศาเซลเซียส เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่สำคัญได้แก่

ค่าความถ่วงจำเพาะของแก๊สเหลว	0.07
ค่าความหนาแน่นไอ	0.07
ความสามารถในการละลายน้ำ	ละลายน้ำได้ค่อนข้างมาก
ปฏิกิริยาเคมี	ทำปฏิกิริยาได้ดีกับสารเคมีที่เป็นตัวออกซิไดซ์
อุณหภูมิจุดติดไฟโดยอัตโนมัติ	585 องศาเซลเซียส
ส่วนผสมการระเบิด	4.0 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (ในอากาศ)

การใช้งาน

- แก๊สไฮโดรเจนเป็นแก๊สที่ใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมมากมาย เช่น
- เป็นแก๊สที่ใช้สำหรับผลิตสารเคมีต่าง ๆ เช่น แอมโมเนีย เมทิลแอลกอฮอล์ น้ำมันพืช และสบู่ ใช้สังเคราะห์สารอินทรีย์ สกัดแยกโลหะออกจากสินแร่ ใช้ในกระบวนการรีไฟน์เนอรีของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม
- ใช้ปกคลุมบรรยากาศเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันในงานเชื่อมและการตัดโลหะ

อันตรายที่เกิดจากการใช้ไฮโดรเจน

แก๊สไฮโดรเจนเป็นแก๊สไวไฟซึ่งระเบิดได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งแก๊สไฮโดรเจนเป็นแก๊สที่เย็นจัด ดังนั้นจึงสามารถทำให้อากาศเกิดการแข็งตัว และเกิดการขับออกซิเจนไว้ แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน จัดเป็นแก๊สที่มีอันตรายมากเมื่ออยู่ด้วยกัน เพราะจะก่อให้เกิดการระเบิดได้ ดังนั้นจึงต้องระวังไม่ให้แก๊สไฮโดรเจน (หรือแก๊สที่เย็นจัดอื่น ๆ เช่น ฮีเลียม ไนโตรเจน) เกิดการรั่วไหลไปจากภาชนะบรรจุได้ เพราะจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการควบแน่นของแก๊สออกซิเจนขึ้น นอกจากนี้ควรเก็บแก๊สไฮโดรเจนให้ห่างจากของเหลวไวไฟอื่น ๆ ไม่ควรใช้น้ำมันหล่อลื่นที่วาล์วหรือข้อต่อต่างใด ๆ หากมีการรั่วไหลควรอยู่ในที่โล่งซึ่งมีอากาศถ่ายเทเพื่อให้แก๊สกระจายออกไปได้อย่างปลอดภัย และรีบปิดวาล์วหรืออุดรอยรั่ว ในกรณีที่มีไฟลุกไหม้ให้อยู่ห่าง ๆ เพื่อป้องกันการถูก

ระเบิด ถ้าอยู่ในที่ปลอดภัยแล้วสามารถใช้น้ำฉีดเป็นฝอย (Water spray) ไปที่ถังเพื่อลดความร้อนอย่างต่อเนื่อง ข้อระวังของการดับเพลิงนั้นหากเปลวไฟลุกลามไปถึงถังที่เกิดการรั่ว ต้องรีบหลบออกไปจากบริเวณนั้นทันทีห้ามเข้าไปดับเพลิงโดยเด็ดขาด

3.6.3.3) แก๊สเอทิลีน (Ethylene)

แก๊สเอทิลีนสามารถเก็บและขนส่งได้ 2 แบบ เช่นเดียวกับแก๊สออกซิเจน คือ เก็บไว้ในรูปของเหลวหรือเก็บไว้ในสถานะแก๊สภายใต้ความดันที่สูงมาก เอทิลีนมีสูตรทางเคมีคือ CH_2 ซึ่งเป็นแก๊สที่ไม่มีสี แต่มีกลิ่นหวาน มีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่สำคัญได้แก่

ความถ่วงจำเพาะของแก๊สเหลว	0.61
ค่าความหนาแน่นไอ	0.98
ค่าความสามารถในการละลายน้ำ	แก๊ส 26 ซีซี. ต่อ น้ำ 100 ซีซี. ณ อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ
ปฏิกิริยาเคมี	ทำปฏิกิริยาได้ดีกับคลอรีนออกซิเจนโมโนคลอไรด์ ไอโซนหรือสารเคมีที่เป็นตัวออกซิไดซ์ตัวอื่น
อุณหภูมิจุดติดไฟโดยอัตโนมัติ	425 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิจุดเดือด	-104 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิจุดวิกฤต	10 องศาเซลเซียส
ความดันวิกฤต	51 บาร์
ส่วนผสมการระเบิด	2.7-36 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในอากาศ
ความดันไอ (ที่ 9.7 องศาเซลเซียส)	51.4 บาร์

การใช้งาน

แก๊สเอทิลีนเป็นแก๊สที่ใช้ในการผลิตสารเคมีชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เอทิลแอลกอฮอล์ โพลีเอทิลีน ไตรคลอโรเอทิลีน โพลีเอสเตอร์ เส้นใยชนิดต่าง ๆ เอทิลีนไกลคอล เอทิลีนไดคลอไรด์ เอทิลีนคลอไรด์ไฮดริน อะเซตัลดีไฮด์ ใช้เป็นยาสลบ ใช้เป็นสารทำความเย็น ใช้เป็นสารเร่งการเจริญเติบโตของพืชและใช้บ่มผลไม้ให้สุกเร็ว

เอทิลีนถูกใช้เป็นแก๊สไวไฟ เมื่อผสมกับอากาศจะกลายเป็นของผสมที่ระเบิดได้ ในกรณีที่มีเอทิลีนรั่วไหลออกมาและเริ่มจุดติดไฟ สิ่งที่ต้องทำอย่างแรกคือ ให้รีบปิดวาล์ว หรืออุดรอยรั่วทันที อย่าพยายามดับเพลิง โดยวิธีอื่นนอกเหนือจากใช้น้ำพ่นเป็นฝอยเพื่อลดอุณหภูมิ ส่วนบุคคลที่ฉีดน้ำควรอยู่ห่างและอยู่ในตำแหน่งที่ปลอดภัย ข้อควรระวังการดับเพลิงในกรณีที่เกิดเปลวไฟลุกลามไปถึงถังที่เกิดการรั่วไหล ให้รีบออกมาจากบริเวณนั้นทันที

การเก็บเอทิลีน

ควรวางให้ห่างไกลจากอาคาร หรือห่างจากถังแก๊สที่ใช้เก็บของเหลวไวไฟออกซิเจนหรือคลอรีนโดยเก็บไว้ให้ห่างอย่างน้อยที่สุดในระยะ 6 เมตร สำหรับถังที่บรรจุเอทิลีนไม่เกิน 0.450

ลูกบาศก์เมตรและเก็บไว้ให้ห่างอย่างน้อย 15 เมตร สำหรับถังขนาด 9 ถึง 135 ลูกบาศก์เมตร ควรเก็บให้ปลอดภัยเพิ่มขึ้นในเนื้อที่เฉพาะ และควรเก็บถึงเอทิลีนไว้ให้ห่างจากกรด สารกัดกร่อน ใด ๆ ไม่ควรเก็บรวมอยู่กับถังออกซิเจน หรือถังคลอรีน ไม่ควรใช้น้ำมันหล่อลื่นทาที่วาล์วหรือข้อต่อต่าง ๆ

การติดตั้งอุปกรณ์ความปลอดภัย ในกรณีที่มีการใช้เอทิลีน ได้แก่

- 1) บนถังเอทิลีนควรมีการติดตั้งวาล์วনিภัยระบายความร้อนความดัน (Pressure relief value)
- 2) ควรติดตั้งเครื่องปรับอากาศความดัน (Regulator) ไว้ที่วาล์วของถังเสมอ เพื่อรักษาความดันออกของแก๊สให้มีค่าคงที่สม่ำเสมอ
- 3) ควรติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับแก๊สเอาไว้สำหรับตรวจสอบการรั่วไหลของแก๊สเอทิลีน
- 4) ควรติดตั้งอุปกรณ์ผจญเพลิง ที่เป็นระบบดับเพลิงแบบพ่นน้ำเป็นฝอยหรือมีถังอยู่หลายใบ ควรติดตั้งม่านไอน้ำ (Steam curtain) ไว้เพื่อเป็นการป้องกันเพลิงไหม้
- 5) การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าในบรรยากาศที่มีเอทิลีนอยู่หนาแน่นควรเลือกใช้ชนิดที่เหมาะสม อย่างเช่น มอเตอร์และสวิตช์ ควรเป็นไปตามมาตรฐาน

3.6.3.4) แก๊สอะเซทิลีน (Acetylene)

แก๊สอะเซทิลีน มีสูตรทางเคมี C_2H_2 ($CH:CH$) เป็นแก๊สที่ไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายกระเทียม ไม่เสถียรและมีพิษ มีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่สำคัญคือ

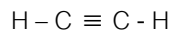
ความหนาแน่นไอ	0.91
ค่าความสามารถในการละลาย	ละลายได้ง่ายในอะซีโตน ละลายได้บ้างใน แอลกอฮอล์ ละลายในน้ำได้เท่ากับปริมาตรของน้ำ
ปฏิกิริยาเคมี	ทำปฏิกิริยากับทองแดงหรือเงินกลายเป็นสารประกอบที่ระเบิดได้ง่ายเมื่อผสมกับคลอรีนจะเกิดการระเบิดอย่างรุนแรง
อุณหภูมิจุดติดไฟโดยอัตโนมัติ	305 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิจุดเดือด	-83 องศาเซลเซียส
ส่วนผสมการระเบิด	2.5 ถึง 82 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตรในอากาศ)

การใช้งาน

แก๊สอะเซทิลีนเป็นแก๊สที่ใช้กันมากในงานเชื่อมเหล็กและตัดโลหะรวมกับแก๊สออกซิเจนให้เปลวไฟร้อนถึง 3,300 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมเคมี ได้แก่สารตั้งต้นการผลิต ไวนิลคลอไรด์ นีโอพรีน (Neoprene) ไวนิลอะซีเตต อะเซตัลดีไฮด์ กรดอะซีติก อะซีติกแอนไฮไดรด์ อะซีโตน นอกจากนี้ยังใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับพลาสติกอื่น ๆ อีกหลายชนิด

อันตรายที่เกิดจากการใช้อะเซทิลีน

อะเซทิลีนเป็นสารมีความไวสูงที่สุดในบรรดาสารอินทรีย์ที่เป็นแก๊ส เหตุผลเนื่องจากมีพันธะสามคู่อยู่ระหว่างธาตุคาร์บอน ดังนั้นอะเซทิลีนจึงเป็นสารที่มีความไม่เสถียรสูง มีความไวต่อปฏิกิริยา และเป็นสารที่ไวไฟมาก



ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้อะเซทิลีนเป็นแก๊สที่แยกเฉพาะออกจากแก๊สอื่น ๆ และมีข้อพึงระมัดระวังเฉพาะหรือแม้แต่ถังที่ใช้บรรจุแก๊สมีคุณสมบัติเฉพาะอะเซทิลีนถูกผลิตจากการสลายตัวของแคลเซียมคาร์ไบด์ในน้ำ



นอกจากนี้อะเซทิลีนยังอาจผลิตได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Cracking of Hydrocarbon) หรือการสลายตัวของสารมีเทน (Decomposition of methane)

แก๊สอะเซทิลีนถูกอัดเข้าไปในถังเหมือนแก๊สอื่น ๆ มันอาจเกิดการระเบิดได้ ค่าความดันสูงสุดของแก๊สอะเซทิลีนที่อัดได้ คือประมาณ 1 บรรยากาศ แก๊สอะเซทิลีนสามารถทำให้เป็นของเหลว หรือของแข็งได้ แต่จะมีอันตรายมาก เพราะการเพิ่มความเข้มข้นของอะเซทิลีนให้มีค่าสูงก็เป็นสาเหตุอันหนึ่งที่ทำให้เกิดการระเบิดได้

การเก็บอะเซทิลีนไม่สามารถทำในรูปของแก๊สความดันสูง ดังนั้นการเก็บอะเซทิลีนให้ปลอดภัย และเก็บได้ในปริมาณมาก ๆ จึงทำได้เพียงทางเดียว คือ การบรรจุถังโดยอาศัยคุณสมบัติในการละลายของอะเซทิลีน อะเซทิลีนจะถูกทำให้ละลายในอะซีโตนและแทรกตัวอยู่ในวัสดุที่มีความพรุนตัวสูง เช่น เอสเบสตอส (Asbestos) การบรรจุสารที่มีความพรุนสูงไว้จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวของแก๊สอะเซทิลีน ดังนั้นหากถังอะเซทิลีนถูกกระแทกอย่างรุนแรงจะสามารถป้องกันได้โดยใช้วัสดุพรุนตัวชนิดอื่น ๆ บรรจุในถังอะเซทิลีน ได้แก่ แคลเซียมซิลิเกต ซึ่งจะใส่ไว้ประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรของถัง อะซีโตนจะทำหน้าที่เป็นตัวดูดซึม (Absorbent) หนึ่งปริมาตรของอะซีโตนสามารถดูดซึมอะเซทิลีนได้ถึง 25 เท่าโดยปริมาตร ดังนั้นโดยวิธีนี้จึงทำให้สามารถเก็บอะเซทิลีนได้อย่างปลอดภัยและคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

อุปกรณ์นิรภัยที่ติดตั้งบนถังอะเซทิลีนที่มีขนาดความจุ 0.28 ถึง 40 ลูกบาศก์เมตร ได้แก่ ปลั๊กหลอมละลายซึ่งอาจติดตั้งอยู่บนฝาดังหรือ ทางส่วนล่างของถัง หรือ ติดตั้งทั้งสองที่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของถัง ในกรณีที่ถังมีขนาดความจุมากอาจมีการติดตั้งปลั๊กหลอมละลายถึง 4 จุด โดยปลั๊กหลอมละลายนี้จะหลอมละลายที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

อะเซทิลีนสามารถทำปฏิกิริยารุนแรงกับสารหลายชนิดและเกิดการระเบิดได้ เช่น คลอรีน ไบรเม็น กับโลหะบางชนิด เช่น ทองแดงและเงิน พรอทหรือเกลือ ดังนั้นอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จะใช้เก็บแก๊สชนิดนี้ต้องไม่เป็นทองแดงหรือเงิน และไม่ควรเก็บถังออกซิเจน และคลอรีนไว้ในโกดังที่ใช้เก็บอะเซทิลีน

ในกรณีที่แก๊สอะเซทิลีนเกิดรั่วไหลออกมาข้างนอก ควรรีบนำเอาถังที่รั่วออกไปที่โล่งแจ้งภายนอก และควรรีบปิดวาล์วก่อนทำการขนย้าย ในกรณีที่ถังอะเซทิลีนอยู่ในบริเวณที่มีเพลิงลุกไหม้ ควรพยายามทำให้ถังเย็นโดยการใช้น้ำสเปรย์พ่นให้เป็นฝอย ไม่ควรใช้วิธีการดับเพลิงแบบอื่นนอกเหนือจากการใช้น้ำทำให้เย็นลง ตำแหน่งของผู้ฉีดน้ำควรรออยู่ในตำแหน่งที่ป้องกันตัวเองได้ดี ในกรณีที่ไม่สามารถทำให้ถังเย็นลงได้ และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ควรหลบออกไปให้ห่างจากบริเวณนั้นแล้วปล่อยถังให้เย็นลงเอง

3.6.3.5) แก๊สแอมโมเนีย (Ammonia)

แอมโมเนียเป็นแก๊สเชื้อเพลิง เป็นได้ทั้ง 2 สถานะคือ แก๊ส (NH_3) และของเหลวปกติ แอมโมเนียมักพบในสถานะของเหลวที่เก็บอยู่ในถังภายใต้ความดันสูง แอมโมเนียเป็นสารเคมีประกอบด้วยไนโตรเจน และไฮโดรเจน จัดเป็นสารอนินทรีย์ ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนมากเมื่อมีความเข้มข้นสูง มีกลิ่นฉุนรุนแรงมาก ไม่ช่วยสันดาปสูตรทางเคมีของแอมโมเนียคือ NH_3 นอกจากนี้แอมโมเนียอาจพบอยู่ในรูปสารละลายในน้ำ โดยปกติมีความเข้มข้นจากน้อยไปจนถึง 30 เปอร์เซ็นต์ สูตรทางเคมีของแอมโมเนียที่อยู่ในรูปสารละลาย คือ NH_4OH คุณสมบัติอื่น ๆ ที่สำคัญของแอมโมเนีย ได้แก่

ค่าความหนาแน่นของไอ	0.6
อุณหภูมิจุดเดือด (ที่ความดันบรรยากาศ)	- 30 องศาเซลเซียส เป็นของเหลวที่ไม่มีสี
ส่วนผสมในช่วงติดไฟ	16-25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในอากาศ
ส่วนผสมในการระเบิด (Explosive limit)	15-27 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในอากาศ
อุณหภูมิจุดติดไฟ	330 องศาเซลเซียส
คุณค่าทางความร้อน	5,370 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม
ค่า TLV ของ NH_3	25 ppm
ค่า TLV ของ NH_4OH	50 ppm
ปฏิกิริยาเคมี	สามารถเกิดปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับคลอรีน โบรมีน ไอโอดีน เมื่อผสมกับทองแดง เงิน ปรอท ให้สารที่ระเบิดได้

การใช้งาน

ในอดีต แก๊สแอมโมเนียถูกนำมาใช้ในระบบทำความเย็น และใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเคมี เช่นการทำปุ๋ยแอมโมเนียไนเตรต ทำวัตถุระเบิดโดยผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิง ข้อดีของความเป็นต่างของแอมโมเนียคือมันจะทำลายฤทธิ์กรดที่ติดอยู่ในน้ำมันซึ่งช่วยลดการกัดกร่อนของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่าง ๆ นอกจากนี้ยังใช้แอมโมเนียในการฟอกสีน้ำตาลทราย ฟอกหนัง ย้อมสีเส้นใยใช้เป็นน้ำยาล้าง ใสในยางเป็นสาร สเตบิไรเซอร์ (Stabilizer) ไม่ให้ยางจับตัวเป็นก้อน ใช้ทำเป็นสารอิเล็กโตรไลต์ในเซลล์ไฟฟ้าเคมี ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีมาเป็นพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ในอนาคตมีแนวโน้มที่จะนำเอาแอมโมเนียไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในจรวด

ขับเคลื่อนยานอวกาศ ได้เช่นเดียวกับ ไฮดราซีน (Hydrazine) และไนโตรเจนเตตระไตรไซด์ (Nitrogen Tetroside, N_2O_4)

อันตรายจากการใช้แอมโมเนีย

อันตรายที่เกิดจากแก๊ส หรือสารแอมโมเนียมีหลายทาง ได้แก่

- แอมโมเนียระเหิดได้ การระเหิดเป็นผลมาจากปฏิกิริยาคายความร้อนอย่างรวดเร็ว เมื่อความร้อนเปลี่ยนไปอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณของแก๊สขยายตัวได้อย่างรวดเร็ว แก๊สที่ขยายตัวนี้จะทำให้เกิดแรงดันสูง ผลทำให้เกิดความไม่เสถียร จึงเป็นสาเหตุของการระเบิดซึ่งให้ความร้อนสูง สาเหตุการระเบิดของแก๊สแอมโมเนียมี 2 อย่างคือ

- (1) การที่ผสมกับสารที่เข้ากันไม่ได้เช่นสารประกอบ ทองแดง เงิน ตะกั่ว โบรมีน ไอโอดีน แล้วก่อให้เกิดความร้อนและความดัน และทำปฏิกิริยากัน จะให้สารระเหิดได้
- (2) การขัดสี เสียดสี หรือเกิดการกระทบ อาจมีประกายไฟหรือความร้อนทำให้เกิดการขยายตัวของแก๊สแอมโมเนียอย่างรวดเร็วทำให้ระเบิดได้

- แอมโมเนียเป็นสารติดไฟได้ หรือแม้แต่เป็นของเหลวก็สามารถติดไฟได้ เมื่อสารที่เข้ากันไม่ได้ผสมกันก็จะให้ความร้อนสูง และเกิดการเดือดพล่าน กลายเป็นสารไวไฟ เช่นไอของสารโบรมีน ผสมกับสารแอมโมเนียจะทำปฏิกิริยารุนแรงลุกติดไฟได้และเอทิลีนออกไซด์ (Ethylene Oxide) ผสมกับแอมโมเนียก็เกิดปฏิกิริยารุนแรงได้เหมือนกัน

- แอมโมเนียเป็นสารมีพิษ เพราะสามารถทำอันตรายแก่ระบบหายใจ แสบตา กัดผิวหนัง และถ้ามีอยู่ในปริมาณสูงอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ชีวิตได้ พบว่า ถ้าคนเราอยู่ในที่ที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนีย 1,700 ppm นานครึ่งชั่วโมงอาจทำให้อันตรายถึงแก่ชีวิตได้

การป้องกันอันตราย

- ในกรณีที่ร่างกายสัมผัสหรือ สูดดมแก๊สเข้าไป ต้องรีบถอดเสื้อผ้า เครื่องประดับร่างกาย ต่างๆ ออกทันทีแล้วแช่น้ำอย่างน้อย 15 นาที ห้ามใช้สิ่งทำความสะอาดบริเวณที่ถูกสารเคมี (สารแอมโมเนีย) และรีบพบแพทย์ทันที

- ถังบรรจุแก๊ส ไม่ควรตั้งให้ถูกแสงแดดหรือความร้อนสูง เพราะจะทำให้มีการขยายตัวของแก๊สที่อยู่ในถังมาก เมื่อเปิดวาล์ว แก๊สจะดันออกมาอย่างรุนแรงทำให้ได้รับอันตรายได้

- กรณีที่แก๊สเกิดรั่วซึมออกมา จะต้องสวมชุดป้องกันแก๊สพิษเข้าไปทำงาน หากมีการรั่วซึมมากควรใช้น้ำยาเคมีฟอสฟอรัสป้องกันก่อนเข้าทำงานและควรมีเครื่องช่วยหายใจด้วย การตรวจหารอยรั่วสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้กระดาษลิตมัส (Litmus paper) ซึ่งมีสีแดง กระดาษดังกล่าวนี้ เมื่อถูกทำให้ชื้นและไปสัมผัสถูกกับไอหรือแอมโมเนียเหลวจะเปลี่ยนสีจากแดงเป็นน้ำเงิน หรืออาจ

ใช้กรดไฮโดรคลอริก โดยนำภาชนะที่ใส่กรดไฮโดรคลอริกแล้วเปิดฝาดอก ถ้าบริเวณดังกล่าวมีแก๊สแอมโมเนียอยู่จะเห็น ไอสีขาวซึ่งเป็นสารแอมโมเนียคลอไรด์ สามารถสังเกตเห็นได้ง่าย

- การดับเพลิงที่เกิดจากแอมโมเนีย เช่นการเกิดเพลิงไหม้บริเวณที่เก็บแอมโมเนียในเตรท ต้องใช้น้ำดับ และไม่ควรดับเพลิงโดยวิธีพยายามจำกัดอากาศ เพราะความร้อนจะทำให้แอมโมเนียขยายตัว เกิดไนตรัสออกไซด์ (Nitrous oxide, N_2O) ซึ่งเป็นแก๊สที่ให้ออกซิเจนได้ ทำให้เกิดการลุกไหม้ต่อไปได้ ถึงแม้จะไม่มีอากาศจากภายนอกเข้าไปก็ตาม

3.6.3.6) แก๊สคลอรีน (Chlorine Gas)

แก๊สคลอรีนถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย จัดเป็นแก๊สที่ไม่ติดไฟแต่แก๊สคลอรีนเป็นแก๊สที่มีพิษก่อให้เกิดอุบัติเหตุที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ

แก๊สคลอรีนมีสีเหลืองแกมเขียว และมีกลิ่นฉุน ถ้าสัมผัสแก๊สนี้เข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อดวงตาและเป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจ แก๊สคลอรีนหนักกว่าอากาศ 2.5 เท่า ดังนั้นเมื่อแก๊สนี้เกิดการรั่วออกสู่ภายนอก มันจะไหลลงสู่ที่ต่ำ และเนื่องจากมันมีความถ่วงจำเพาะสูงจึงทำให้เป็นการยากที่จะทำให้แก๊สนี้เกิดการกระจายกระจายสลายตัวได้ช้าเป็นผลให้ผู้ได้รับแก๊สคลอรีนเข้าไปได้รับอันตรายได้

การใช้งานของแก๊สคลอรีน

แก๊สคลอรีนมักถูกใช้สำหรับฆ่าเชื้อโรคในน้ำ ในสระว่ายน้ำ หรือ ในขั้นตอนสุดท้ายของการบำบัดน้ำเสีย ในอุตสาหกรรมก็มีการใช้คลอรีนในการฟอกสี (Bleaching) ซึ่งมีการใช้แก๊สคลอรีนปริมาณมาก นอกจากนี้คลอรีนยังถูกใช้ในกระบวนการผลิตสารประกอบที่มีคลอรีนอยู่ เช่น ไตรคลอรีน เอทิลีน ยาฆ่าแมลง (Insecticide) ยาปราบวัชพืช (Herbicides) และไวโนลคลอไรด์ เป็นต้น คลอรีนถูกใช้เป็นสารตัวกลางในการผลิตสารป้องกันการแข็งตัวอีกได้แก่ เอทิลีนไกลคอล

อันตรายจากการใช้แก๊สคลอรีน

แก๊สคลอรีนเป็นสารที่ไม่ไวไฟ แต่คลอรีนช่วยในการเผาไหม้ เนื่องจากสามารถรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ แล้วเกิดการระเบิดอย่างรุนแรง ยกตัวอย่างเช่น การรวมตัวกันระหว่างแก๊สไฮโดรเจนกับแก๊สคลอรีนสามารถทำให้เกิดการระเบิดได้ในที่มีพลังงาน (เช่นแสงหรือความร้อน) คลอรีนสามารถทำปฏิกิริยากับเหล็กร้อนและเกิดการเผาไหม้ได้ การรวมตัวระหว่างคลอรีนกับอะซีติลีน แอมโมเนีย เทอเพนไทน์ (Turpentine) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสามารถก่อให้เกิดการระเบิด

ในกรณีที่มีแก๊สคลอรีนเกิดการรั่วไหล และเกิดการเผาไหม้ให้ความร้อนสูง (มากกว่า 148 องศาเซลเซียส) การดับเพลิงไม่ควรใช้น้ำมาพ่นบนถังที่รั่ว เพราะน้ำจะทำปฏิกิริยากับคลอรีนเกิดเป็นกรดไฮโดรคลอริกที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสูงและทำอันตรายต่อถังเก็บ ในกรณีที่มีแก๊สคลอรีนล้นตะแคงอยู่ ให้รีบจัดวางถังตั้งขึ้นเพื่อป้องกันไม่ให้แก๊สคลอรีนหนีออกและคลอรีนเหลวไหลออกมา ถ้าถังเกิดมีรูรั่วหรือเห็นการรั่วไหลของคลอรีนทั้งในรูปแก๊สและของเหลวให้ทำการปิดวาล์วทันทีจากนั้นพยายาม

แจ้งให้ผู้รับผิดชอบโดยตรงทราบในทันที ข้อพึงระวังของแก๊สคลอรีนคือในกรณีที่เกิดการรั่วไหลออกมาในปริมาณที่มาก ให้รีบออกไปจากพื้นที่นั้นอย่างรวดเร็ว

3.6.3.7) แก๊สพิเศษอื่น ๆ (Special gases)

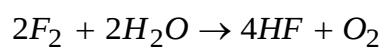
แก๊สเหลวอื่น ๆ นอกเหนือจากแก๊สออกซิเจนเหลวและไฮโดรเจนเหลวได้แก่

- ฟลูออรีนเหลว (Liquid fluorine)
- ไนโตรเจนเหลว (Liquid Nitrogen)
- ฮีเลียมเหลว (Liquid Helium)
- นีออนเหลว (Liquid Neon) อาร์กอน (Argon) คริปตอนเหลว (Krypton) และซีนอนเหลว (Xenon)

แก๊สฟลูออรีนเหลว (Liquid fluorine)

ฟลูออรีนเป็นธาตุโลหะที่มีความไวต่อปฏิกิริยาที่สุดและจะมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -187 องศาเซลเซียส มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.1 ในสถานะแก๊สจะมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.7

ฟลูออรีนเป็นสารที่กัดกร่อนและมีความเป็นพิษสูง ฟลูออรีนสามารถก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อดวงตาและผิวหนัง ฟลูออรีนสามารถรวมตัวกับสารชนิดอื่น ๆ ได้เกือบทั้งหมด เช่นเดียวกับออกซิเจน ฟลูออรีนจัดเป็นตัวออกซิไดซ์ตัวหนึ่ง ปฏิกิริยาระหว่างฟลูออรีนกับสารอื่น ๆ จะเกิดค่อนข้างรุนแรงและเผาไหม้ได้ดี เนื่องจากฟลูออรีนสามารถทำปฏิกิริยากับคอนกรีตและโลหะ ดังนั้นถึงบรรจฟลูออรีนจึงต้องทำจากโลหะพิเศษไม่มีสิ่งเจือปน อันตรายที่เกิดจากฟลูออรีนเหลว นอกจากสามารถทำอันตรายต่อผิวหนังมนุษย์ในลักษณะที่เรียกว่า Cold burn แล้วฟลูออรีนสามารถทำให้ผิวหนังไหม้ อันเนื่องมาจากสารเคมี (Chemical burns) ซึ่งต้องอาศัยการรักษาแผลที่ซับซ้อน ฟลูออรีนสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นไฮโดรเจนฟลูออไรด์และออกซิเจน ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



ในกรณีที่เชื้อเพลิงเผาไหม้โดยมีฟลูออรีนอยู่ในบรรยากาศด้วย จะต้องรีบหนีออกจากพื้นที่นั้น เนื่องจากความเป็นพิษต่อสุขภาพของฟลูออรีน ถ้าฟลูออรีนเกิดการรั่วไหลและเกิดเพลิงไหม้ควรกำจัดเพลิงโดยใช้กำลังคนให้น้อยที่สุดถ้าเป็นไปได้ ไม่ควรใช้น้ำราดไปบนฟลูออรีนโดยตรง เพราะจากปฏิกิริยาข้างต้นจะแสดงให้เห็นชัดเจนว่าราดน้ำจะยิ่งเป็นการไหม้ไฟให้มากขึ้น นักผจญเพลิงไม่ควรมีส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายเปิดออกเมื่ออยู่ในบริเวณที่ฟลูออรีนเกิดการรั่วไหล

ไนโตรเจนเหลว (Liquid Nitrogen)

ไนโตรเจนเหลวเป็นสารไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และมีน้ำหนักเบากว่าน้ำ โดยปกติมักถูกใช้เป็นสารหล่อเย็น และมักพบในห้องปฏิบัติการในกรณีที่ต้องการที่มีคุณสมบัติเฉื่อย ไนโตรเจนเหลวจะแตกต่างจากออกซิเจนเหลวตรงที่ไนโตรเจนเหลวมีความเย็นมากกว่า (คือมีอุณหภูมิ -195 องศาเซลเซียส) ไนโตรเจนเหลวไม่ได้เป็นสารที่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นจึงทำให้แนวโน้มของการเกิดอันตรายลดลง อุณหภูมิและค่าอัตราส่วนของเหลวต่อแก๊สจึงเป็นตัวที่ก่อให้เกิดอันตราย คุณสมบัติอื่น ๆ ที่สำคัญของไนโตรเจนมีดังต่อไปนี้

น้ำหนักโมเลกุล	28
อัตราส่วนโดยปริมาตรของแก๊สต่อของเหลว	
ที่ 15 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ	682
ความหนาแน่นของของเหลวที่ความดัน 1 atm	807 กิโลกรัม/เมตร ³
ความสามารถในการติดไฟ	None

ไนโตรเจนเหลวจะมีพฤติกรรม เช่นเดียวกับของเหลวเย็นจัดอื่น ๆ คือ มันจะทำให้สสารทุกอย่างเกิดการแข็งตัวถ้าสัมผัสถูกตัวมัน มีผู้ทดลองพบว่า ชี้นมันฝรั่ง (Potato chip) เมื่อถูกแช่ในไนโตรเจนเป็นเวลา 1 นาที และดึงออกมา จะมีความแข็งเพียงพอที่จะบด ซึ่งนี่เป็นตัวอย่างที่เห็นได้ชัดถึงอันตรายที่ต้องทำงานร่วมกับแก๊สเย็นจัด

นอกจากนั้นไนโตรเจนเหลว 1 หน่วยสามารถขยายตัวเป็นแก๊สได้ถึง 681 เท่าเมื่อของเหลวนี้มีอุณหภูมิถึงจุดเดือด ในกรณีถึงไนโตรเจนแตกออกภายในห้องที่ปิดทึบ จะก่อให้เกิดอันตรายต่อคนที่ทำงานอยู่ภายใน โดยมีอาการขาดออกซิเจน ซึ่งอันตรายดังกล่าวเกิดจากอันตรายการขยายตัวของของเหลวต่อแก๊สนั่นเอง

ฮีเลียมเหลว (Liquid helium)

ฮีเลียมเหลวเป็นแก๊สที่เย็นจัดที่สุด คือมีอุณหภูมิตั้ง -266 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุดของสสารเพียง 7 องศาเซลเซียสเท่านั้น อุณหภูมิต่ำสุดของสสารก็คืออุณหภูมิต่ำสุดในทางทฤษฎีที่โมเลกุลของสสารจะหยุดการเคลื่อนที่อย่างสมบูรณ์ ฮีเลียมเหลวถูกนำมาใช้เป็นตัวกลางที่หล่อเย็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ คุณสมบัติอื่น ๆ ที่สำคัญของฮีเลียม ได้แก่

น้ำหนักโมเลกุล	4
สี	ไม่มีสี
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
ปริมาตรจำเพาะ (ที่ 25 องศาเซลเซียส, 1 บรรยากาศ)	6,030 มิลลิลิตร/กรัม
ค่าความถ่วงจำเพาะของแก๊ส	0.137

แก๊สพิษอื่น ๆ

น็ออนเหลว อาร์กอนเหลว คริปตอนเหลว และซีนอนเหลว จัดเป็นแก๊สที่หาได้ยาก และมีเฉพาะในห้องปฏิบัติการเท่านั้น แก๊สทั้งหมดนี้จัดเป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีคุณสมบัติเฉพาะคล้ายกับไนโตรเจนเหลว ในบรรดาแก๊สที่กล่าวข้างต้น น็ออนเหลวจะเป็นแก๊สที่ถูกใช้มากที่สุดคือ เป็นสารทำความเย็น (Refrigerant) ใช้ในกรณีที่ต้องการวิจัยที่อุณหภูมิต่ำ

คุณสมบัติที่สำคัญของแก๊สอาร์กอนมีดังนี้

น้ำหนักโมเลกุล	40
ปริมาตรจำเพาะ (ที่ 25 องศาเซลเซียส 1 บรรยากาศ)	604 มิลลิเมตร/กรัม
อุณหภูมิจุดเดือด (1 บรรยากาศ)	-186 องศาเซลเซียส
ค่าความถ่วงจำเพาะของแก๊ส	1.38
อัตราส่วนโดยปริมาตรของแก๊สต่อของเหลว ที่ 15 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ	822
ค่าความหนาแน่นของของเหลวที่ความดัน (สมบูรณ์)	1,394 ที่ 1 บรรยากาศ
ขอบเขตของการติดไฟ	ไม่มี

นอกจากแก๊สที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีแก๊สอื่น ๆ อีกหลายชนิดที่ใช้อยู่ในทางอุตสาหกรรม ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แก๊สเอทิลีนออกไซด์ (C₂H₄O) แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) แก๊สเมทิลโบรไมด์ (CH₃Br) แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และแก๊สซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) ซึ่งแก๊สต่าง ๆ เหล่านี้มีคุณสมบัติที่สำคัญดังรายละเอียดในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 คุณสมบัติของแก๊สต่าง ๆ

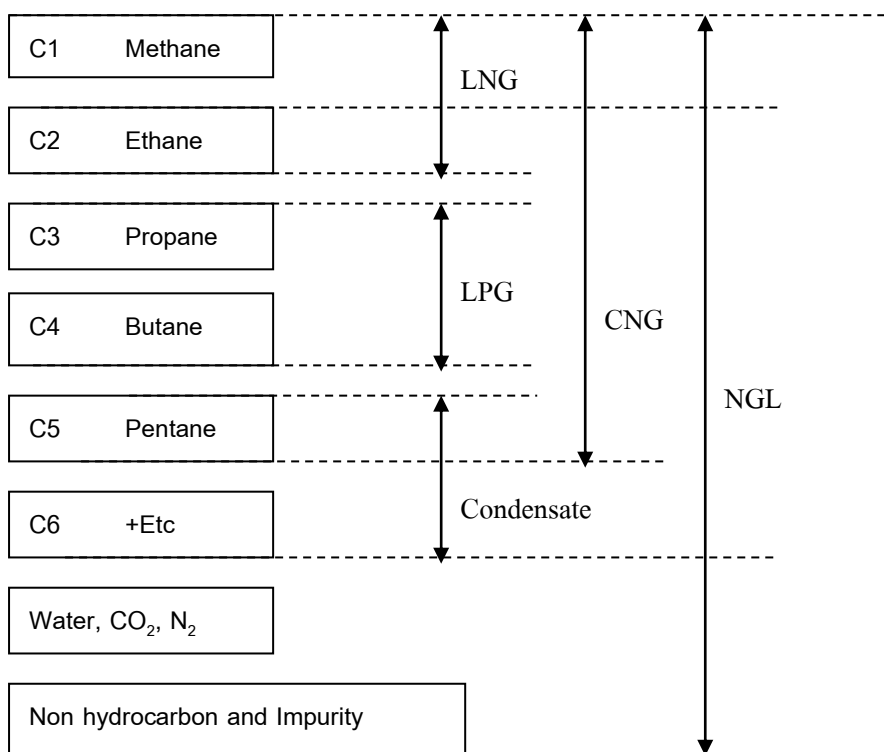
ชื่อแก๊ส คุณสมบัติต่าง ๆ	CO	CO ₂	C ₂ H ₄ O	H ₂ S	CH ₃ Br	SO ₂	SF ₆
- น้ำหนักโมเลกุล	28	44	44	34	95	64	146
- สี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
- กลิ่น	ไม่มี	ไม่มี	กลิ่นเทียน	กลิ่นไข่เน่า	กลิ่นหวาน	กลิ่นฉุน	ไม่มี
- รส	ไม่มี	มาก	-	-	-	-	-
- ปริมาตรจำเพาะที่ 25°C ที่ 1 บรรยากาศ (มิลลิเมตร/กรัม)	861	ไม่มี	548	701	256	368	156
- จุดเดือด (°C) ที่ 1 บรรยากาศ	-191	-76	+11	-60	+4	-10	-64
- ค่าความถ่วงจำเพาะของแก๊ส	0.968	-	1.73	1.19	3.24	2.25	5.11
- ค่า TLV (ppm)	50	5,000	1	10	15	2	1,000

แก๊สดังกล่าวข้างต้นส่วนใหญ่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบการหายใจ ตัวอย่างเช่น แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ เมื่อสูดดมเข้าไปในร่างกายจะเข้าไปรวมตัวกับฮีโมโกลบินในเลือดทำให้เลือดขาดออกซิเจน ถ้ามีความเข้มข้นของออกซิเจนน้อยจะทำให้ปวดศีรษะ ซึ่พจรเต้นแรง คลื่นไส้ ถ้าปล่อยไว้นานจะทำให้สมองและส่วนต่าง ๆ ของร่างกายขาดออกซิเจนทำให้หมดสติและถึงขั้นเสียชีวิตได้ ส่วนซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเมทิลโบรไมด์ จะก่อให้เกิดอาการไอ ปวดหัว มึนงง การตัดสินใจผิดพลาด เป็นต้น นอกจากนี้ถ้าสารดังกล่าวกระเด็นเข้าตาจุมูกหรือคอ และผิวหนัง จะก่อให้เกิดอาการระคายเคือง ยกตัวอย่างเช่น เอทิลีนออกไซด์หรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อาจจะจะทำให้ตาบอดได้ ส่วน เมทิลโบรไมด์จะทำให้เกิดอาการตาบอดชั่วคราวได้ และเกิดโรคเยื่อตาอักเสบได้

3.6.3.8) ประเภทของแก๊สเชื้อเพลิง

แก๊สเชื้อเพลิงที่นิยมใช้กันแพร่หลายในทางอุตสาหกรรม มีหลายประเภท ได้แก่

LPG (Liquefied Petroleum gas) หรือแก๊สปิโตรเลียมเหลว ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอน ที่ประกอบด้วยแก๊สโพรเพนและบิวเทนเป็นส่วนใหญ่ซึ่งแก๊สดังกล่าวจะอยู่ในสภาพไอในสภาวะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติ แต่สามารถจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้ภายใต้ความดันที่ไม่สูงมากนัก การเปลี่ยนสภาวะจากไอเป็นของเหลวทำให้ลดปริมาตรลงมาก (หนึ่งส่วนของของเหลวเปลืองเนื้อที่เท่ากับ 620 ส่วนของแก๊ส) สะดวกแก่การเก็บกักเมื่อต้องการขนย้ายก็อาศัยการขนส่งเหมือนของเหลวทั้งหลาย และเมื่อต้องการใช้ก็ลดความดันให้ระเหยกลับสู่สถานะไ้อีกครั้ง



รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นขอบเขตของแก๊สเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

NGL (Natural Gas Liquid) หรือ แก๊สธรรมชาติเหลว ได้จากการนำแก๊สธรรมชาติที่ยังไม่ได้แยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหนักออก แล้วนำมาลดอุณหภูมิถึงประมาณ -160°C เพื่อให้แก๊สเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลว การขนส่งไม่สะดวกเนื่องจากต้องใช้ภาชนะบรรจุที่ค่อนข้างพิเศษประเภทโลหะผสมแมกนีเซียม-อลูมิเนียม-นิกเกิล เพื่อจะได้ทนทานต่อความเย็น

LNG (Liquefied Natural Gas) หรือแก๊สธรรมชาติเหลว ประกอบด้วยแก๊สมีเทนเป็นส่วนใหญ่ได้ถูกทำให้เปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวโดยการทำให้เย็นจัดและเพิ่มความดัน เพื่อที่สะดวกในการเก็บหรือขนส่ง ส่วนมากจะประกอบด้วยแก๊สมีเทน

CNG (Compressed Natural Gas) หรือแก๊สธรรมชาติอัดแรงดัน หรือแก๊สเชื้อเพลิงความดันสูง องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นมีเทน มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่ $\text{C}_1 - \text{C}_5$ โดยปกติ CNG เป็นแก๊สที่ถูกเก็บภายใต้ความดันสูงถึง 170 ถึง 200 เท่าของความดันบรรยากาศ CNG ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์เมื่อเกิดวิกฤติการณ์ทางด้านน้ำมัน นิยมใช้ในบางประเทศ เช่น แคนาดา นิวซีแลนด์ บังกลาเทศ สหรัฐอเมริกา

แก๊สเชื้อเพลิงต่าง ๆ ดังกล่าวนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรม โดยเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาการบ่มยา การหุงต้มอาหาร ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ในรายละเอียดต่อไปนี้จะกล่าวเพียงแก๊ส LPG เท่านั้น

ภัยจาก LPG

แก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas, LPG) เป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดในประเทศไทย มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊สโพรเพน และบิวเทน

- โพรเพน (Propane, C_3H_8)
- บิวเทน (Butane, C_4H_{10})

LPG ในสภาพอุณหภูมิ และความดันบรรยากาศจะมีสภาพเป็นแก๊ส แต่สามารถเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวได้ 2 แบบ คือการเพิ่มความดัน หรือการลดอุณหภูมิให้ต่ำลง แต่ที่นิยมใช้ คือการเพิ่มความดัน เพราะ LPG สามารถคงสภาพเป็นของเหลวภายใต้กำลังไม่สูงนัก และทำให้การลำเลียงขนส่งแก๊สทำได้สะดวกยิ่งขึ้น คุณสมบัติของโพรเพน และบิวเทน แสดงไว้ในตารางที่ 3.10 ดังนี้

ตารางที่ 3.10 คุณสมบัติของแก๊สโพรเพน และบิวเทน

คุณสมบัติ	แก๊สโพรเพน	แก๊สบิวเทน	
		นอริมอลบิวเทน	ไอโซบิวเทน
น้ำหนักโมเลกุล	44.1	58.1	58.1
จุดเดือด (°C) ที่ 1 บรรยากาศ	-42.1	-0.5	-11.7
อุณหภูมิวิกฤต (°C)	96.8	152.0	134.0
ความดันวิกฤต (บรรยากาศ)	41.9	37.5	36.0
อุณหภูมิจุดติดไฟ (°C) *	460/580	410/550	410-550
ค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อมี			
สถานะเป็นของเหลว	0.51	0.57	0.57
ค่าความหนาแน่นเทียบกับ			
อากาศ	1.40-155	1.90-2.10	1.92-2.10
อัตราส่วนปริมาตร			
แก๊ส/ของเหลว	274	233	233
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว/ °ซ	0.003/ °ซ	0.00200/ °ซ	0.00200 °ซ
ระดับความเข้มข้นที่ลุกติดไฟได้	2.4-9.5	1.8-8.4	1.8-8.4
(%โดยปริมาตร)			
ค่าความร้อนจากการเผาไหม้	11,000	10,900	10,900
(กิโลแคลอรี, Net)			

หมายเหตุ * มีค่าขึ้นอยู่กับส่วนผสมของแก๊สและอากาศและสภาวะความดันเมื่อจุดติดไฟอันตรายจาก LPG

ถึงแม้ว่าแก๊ส LPG จะเป็นแก๊สที่ไม่มีพิษและไม่มีการกัดกร่อน แต่แก๊ส LPG เป็นสารที่ไวไฟ และใช้กันมากดังนั้นจึงมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นอยู่เป็นประจำในแต่ละปี ส่วนใหญ่มักเกิดจากการรั่วไหลของแก๊สออกสู่ภายนอก ไม่ว่าจะเป็นการรั่วไหลจากถังเก็บหรือในขณะขนส่ง จากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าเมื่อ LPG เหลวไหลออกมาจากถัง มันเริ่มระเหยกลายเป็นไอ แต่ไอนี้มีความหนาแน่นเกือบสองเท่าของอากาศ จึงทำให้ลอยตัวสูงที่ต่ำอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้ไอระเหยของ LPG ในต่างประเทศที่มีอุณหภูมิต่ำมาก ๆ จะมีผลทำให้ LPG ลอยต่ำลง เมื่อมีการแพร่ออกที่กว้างจะไหลลงที่ต่ำเหมือนน้ำในระดับเรียบพื้น ไอน้ำเมื่อผสมกับอากาศจะมีส่วนอยู่ในพิสัยติดไฟได้ค่าหนึ่ง เมื่อผสมในช่วงลุกติดไฟนี้พบแหล่งจุดไฟก็จะเกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรงและลุกลามมาจนถึงแหล่งที่เริ่มรั่วในที่สุด

อันตรายที่ร้ายแรงของ LPG คือการที่มี LPG เหลวเกิดการรั่วและพุ่งออกมาด้วยแรงดัน (ปกติความดันในถังมีค่า 10 บรรยากาศ) และถ้าปริมาณการรั่วมีอยู่มาก แก๊สดังกล่าวจะไม่ถูกเจือจางโดยอากาศได้ทัน เนื่องจากการรั่วไหลออกมาเกินลักษณะที่ปั่นป่วน ดังนั้นแก๊สนี้จะคลุกเคล้ากับอากาศที่สัมผัสพร้อมที่จะติดไฟได้ ซึ่งมีการจุดประกายไฟแก๊สกลุ่มใหญ่และจะเกิดการลุกติดไฟอย่างรวดเร็วพร้อมกับมีการระเบิดอย่างรุนแรง ความเสียหายนอกจากจะเกิดจากความร้อนแล้วยังเกิดจากคลื่น

กระแทกจากแรงดันสูง เกิดการเสียหายอย่างมาก และเรียกภัยพิบัตินี้ว่า การระเบิดจากกลุ่มไอในสภาพโล่งแจ้ง PUVCE (Percussive Unconfined Vapor Cloud Explosion) ซึ่งการเกิดระเบิดดังกล่าวจะเกิดขึ้นไม่บ่อยนักเนื่องจากแก๊ส LPG หนักกว่าอากาศจึงทำให้การผสมระหว่างแก๊สกับอากาศเป็นไปได้ยาก อย่างไรก็ตามการระเบิดดังกล่าวจะเกิดขึ้นกับแก๊สอื่น ๆ ที่โมเลกุล มีความไว (ไม่เสถียร) เช่นแก๊สเอทิลีน โพรพีน และบิวทีลีน ได้ถึงแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย

ลักษณะอีกอย่างหนึ่งของการระเบิดของแก๊ส LPG คือ ลักษณะการระเบิดจากของเหลวระเหยขยายตัวเป็นแก๊ส BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) ลักษณะการระเบิดนี้เป็นผลจากการที่แก๊ส เหลวถูกเก็บอยู่ภายใต้ความดันสูงในที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดที่ความดันนั้น การระเบิดแบบ BLEVE ได้นั้นที่เก็บ LPG จะต้องมีการฉีกขาดออกอันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. เกิดจากการที่ความดันจริงมีค่าสูงกว่าการออกแบบของภาชนะรับความดัน เนื่องจากมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ของเหลวเกิดการขยายตัว แรงดันที่เกิดจากการขยายตัวนี้จะดันเปลือกถังออกอย่างรุนแรงและรวดเร็วจึงทำให้ภาชนะรับความดันเกิดการฉีกขาดได้
2. เกิดจากการที่ความแข็งแรงของเปลือกภาชนะรับความดันเสียหาย เนื่องจากถูกระเบิด อาจเกิดในช่วงการขนส่ง ขณะเดียวกับเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้เสียความแข็งแรง ผลทำให้ LPG เหลวที่ได้รับความร้อนจะเกิดการเดือดพล่านจึงออกแรงดันพร้อม ๆ กัน จนทำให้เปลือกถังฉีกขาดและกระเด็นออก เมื่อของเหลวที่เดือดพล่านนี้กระเด็นออกมาจะเกิดการลุกติดไฟอย่างทันที เกิดเป็นแรงดันผลักดันให้ของเหลวที่ลุกติดไฟกระเด็นไปในระยะทาง ไกลๆ จนเป็นการยากที่จะควบคุมเพลิงไว้ได้ โดยปกติแผ่นเหล็กถังจะสูญเสียความแข็งแรงเมื่อได้รับความร้อนสูงเกิน 700 องศาเซลเซียส

การปฏิบัติการในกรณีที่มี LPG รั่ว

เนื่องจากแก๊ส LPG ประกอบด้วย แก๊สโพรเพน และบิวเทนซึ่งจะไม่มีกลิ่น ดังนั้นจึงต้องเติมสารเมอแคพแทน (Mercaptan) ที่ทำให้เกิดกลิ่นและสามารถเตือนผู้ใช้งานได้ว่ามีแก๊สรั่วไหลออกมา นอกจากทราบจากกลิ่นถึงการรั่วไหลของแก๊ส LPG แล้วในขณะเดียวกันควรตรวจสอบอัตราส่วนของแก๊สต่ออากาศว่าอยู่ในช่วงการจุดติดไฟหรือไม่ ความเร็วลมและอุณหภูมิบรรยากาศในขณะนั้น เนื่องจากการช่วยในการเพิ่มความรุนแรงมากขึ้น ทั้งนี้ได้แสดงรายละเอียดการออกแบบในเรื่องการรั่วไหลของสารออกสู่บรรยากาศในบทที่ 6 และการระบับอัคคีภัยในบทที่ 7

โดยหลักการหากมีการรั่วไหลของแก๊ส LPG หน้าที่ของผู้ทำงานก็คือการที่ต้องพยายามหยุดการรั่วไหลของแก๊สให้ได้ โดยพยายามกำจัดแหล่งเกิดประกายไฟให้หมดไป ในขณะเดียวกันพยายามระบายอากาศเพื่อให้แก๊สนี้เกิดการกระจายเจือจางไปในอากาศ ในกรณีที่แก๊สมีการรั่วไหลออกมาทางรอยแตก ไม่ควรพยายามเข้าใกล้ถึงจนกว่าแก๊สที่รั่วออกมานั้นถูกทำให้กระจายออกมาจนอยู่ในพื้นที่ปลอดภัย

การควบคุมเพลิงที่เกิดจาก LPG

ถังบรรจุ LPG จะถูกป้องกันโดยวาล์วระบายความดัน ซึ่งถ้าอยู่ในสภาพที่เกิดเพลิงไหม้วาล์วระบายความดันนี้จะทำงานที่ความดันประมาณ 14 ถึง 30 เท่าของความดันบรรยากาศ ทั้งนี้จำนวนของวาล์วระบายความดันขึ้นอยู่กับขนาดของถัง ถังที่มีขนาดใหญ่จะมีวาล์วจำนวนมากขึ้นรองรับการขยายตัวของแก๊สที่เพิ่มมากขึ้น

วาล์วนิรภัยนี้เป็นเครื่องมือที่ทำให้เกิดความปลอดภัยในกรณีที่เกิดความดันไอน้ำค่าสูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น วาล์วนี้จะเปิดเพื่อระบายแก๊สออกก่อนที่จะแตกออก การทำให้ถังเย็นลงก็เป็นสิ่งที่สำคัญมาก ผลของการทำให้ถังเย็นลงจะเป็นการลดค่าความดันลง ระบบฉีดน้ำนี้จะต้องได้รับการออกแบบให้ฉีดน้ำได้ครอบคลุมทุกพื้นที่อุปกรณ์และถังเก็บแก๊ส อีกทั้งต้องมีปริมาณมากพอที่จะทำให้อุณหภูมิของถังลดลงได้โดยที่ระบบฉีดน้ำควรเป็นระบบอัตโนมัติและสามารถควบคุมในระยะที่ห่างกว่า 200 เมตรได้ การฉีดน้ำควรเริ่มกระทำตั้งแต่อุณหภูมิผิวเปลือกนอกถังมีอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส มิเช่นนั้นโอกาสที่น้ำจะทำให้ผิวถังภายในมีอุณหภูมิลดลงยาก

ในการดับเพลิงที่เกิดจากการรั่วของแก๊สเหลวจากถังใหญ่นั้น บางกรณีผู้ใช้วิธีอัดน้ำเข้าไปในถังเพื่อยกกระดับแก๊สเหลวให้สูงขึ้น การที่น้ำมีความหนาแน่นสูงกว่าแก๊สเหลว น้ำก็จะลงไปอยู่ทางส่วนล่างของถังวิธีนี้เป็นการหยุดการรั่วออกของแก๊สเหลวโดยน้ำจะไปแทนที่แล้วปล่อยให้แก๊สรั่วออกมาแทน แต่อย่างไรก็ตามการดับเพลิงโดยวิธีนี้จะทำได้ก็ต่อเมื่อมีการวางระบบล่วงหน้า และเจ้าหน้าที่มีความรู้และได้รับการอบรมเตรียมการมาอย่างดี

อุบัติเหตุร้ายแรงในลักษณะของการระเบิดแบบ Passive Unconfined Vapor Cloud Explosion (PUVCE) และ Boiling Liquid Expansion Vapor Explosion (BLEVE) จะเกิดจากปัญหาของการกักเก็บ LPG ให้อยู่ในสภาวะของเหลวความดันสูง ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว ปัจจุบันนี้มีผู้สนใจที่จะเก็บ LPG ไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือด ณ ความดันบรรยากาศ เนื่องจากสามารถป้องกันอุบัติเหตุได้ในกรณีที่มีการรั่วไหลออกมา จะมีปริมาณน้อยลงเนื่องจากการเหยือกของ LPG นี้จะมีอัตราต่ำ เพราะ LPG จะดึงความร้อนจากบรรยากาศ ทำให้อุณหภูมิบรรยากาศต่ำลง และหากมีการลุกติดไฟก็จะเกิดลูกกลมธรรมดามีโอกาสน้อยที่จะระเบิด

ภัยจากการเก็บ LPG

โดยปกติแก๊สธรรมชาติเหลวมีจุดเดือด -169 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงไม่นิยมเก็บไว้ในถังอัดความดัน เพราะจะต้องออกแบบถังเก็บที่ทนความดันสูงมากเกินสมควร จึงมักเก็บไว้ในถังปรับอากาศ (Refrigerated Tank) ถังที่เก็บนิยมทำเป็นถัง 2 ชั้น ระหว่างผิวของถังชั้นในและถังชั้นนอกจะบุด้วยฉนวนกันความร้อน และทำให้เป็นสุญญากาศ เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนโดยการนำและการพาความร้อน ส่วนผิวภายนอกจะฉาบมันเพื่อป้องกันการแผ่รังสี (Radiation) ฉนวนที่บุอยู่ด้านข้างของถังจะทำจากแร่เพอร์ไลต์ (Partite) ส่วนฉนวนที่บุด้านล่างถังซึ่งต้องเป็นส่วนที่รับน้ำหนักจะบุด้วย โฟรีสไตรีน (Polystyrene) ไม้ประมาทหนึ่ง (Balsa wood) หรืออาจจะเป็นคอนกรีต (Framed concrete) อย่างใดอย่างหนึ่ง

ถึงด้านในทำด้วยคอนกรีต เนื่องจากพบว่าคอนกรีตกับแก๊สธรรมชาติเหลวจะไม่ทำปฏิกิริยาต่อกัน ส่วนผนังชั้นนอกทำจากโลหะเช่นเหล็ก (Steel) ผนังภายในไม่ควรใช้เหล็กกล้า เพราะอุณหภูมิภายในถึง LPG จะต่ำมากจะทำให้เหล็กกล้านี้เปราะ (Brittleness) และเกิดการแตกออกได้ ซึ่งปัญหานี้ได้เคยเกิดระเบิดขึ้นที่เคปแลนด์ (Cleveland) ในปี ค.ศ. 1944

ภาชนะรับความดันที่ใช้เก็บ LPG มีอยู่หลายขนาด รูปร่างอาจเป็นรูปทรงกระบอกหรือรูปทรงกลม มีขนาดความจุตั้งแต่ ล้านลูกบาศก์เมตร จนถึง 60 ล้านลูกบาศก์เมตร พบว่าสำหรับถังบรรจุขนาดทั่วไป มีการออกแบบสำหรับความดันไว้ 13 เท่าของความดันบรรยากาศ

3.6.4) มาตรการการใช้แก๊สอย่างปลอดภัย

มาตรการการใช้แก๊สอย่างปลอดภัย ประกอบด้วยหลักการต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแก๊สในแต่ละชนิด ในที่นี้จะขอกล่าวถึงหลักการทั่ว ๆ ไปเกี่ยวกับมาตรการความปลอดภัยในการใช้แก๊ส ตลอดจนจุดต่าง ๆ ที่มักเกิดอันตรายและการระมัดระวังอย่างไร ตามด้วยรู้จักกับอุปกรณ์พื้นฐานความปลอดภัย

3.6.4.1) มาตรการทั่ว ๆ ไป ที่เกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้แก๊ส

ในทางอุตสาหกรรมได้มีกฎที่ควรปฏิบัติตามในการใช้แก๊สความดันสูงดังนี้

- ต้องแน่ใจก่อนว่าแก๊สที่นำมาใช้นี้เป็นแก๊สที่ต้องการใช้จริง และทุกคนที่ทำงานอยู่กับแก๊สควรมีความรู้ถึงคุณสมบัติ และอันตรายที่อาจเกิดขึ้น ในกรณีที่เกิดนั้นมีคู่มือการใช้งาน ควรอ่านให้เข้าใจ และปฏิบัติตามนั้นโดยเคร่งครัด บนถังบรรจุควรมีสัญลักษณ์เขียนบอกอย่างชัดเจนอ่านออกได้ ไม่ลบหรือเลือน ถ้าเป็นการทำงานกับแก๊สพิษ ควรให้มีผู้ที่รับผิดชอบโดยตรง เช่น การเรียนรู้การปฐมพยาบาลหรือแก้ไขผู้ป่วย
- การปฐมพยาบาลผู้โดนแก๊สพิษคือ ควรรีบนำเอาผู้ป่วยออกจากบริเวณนั้นอย่างรวดเร็ว และรีบให้ออกซิเจนหรือการช่วยหรือการช่วยหายใจในกรณีที่ผู้ป่วยหายใจลำบากหรือหยุดหายใจ บริเวณผิวหนังและตาที่ถูกแก๊สพิษให้รับล้างด้วยน้ำปริมาณมาก ๆ เป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที หลังจากนั้นรีบพาส่งแพทย์ต่อไป
- ในบริเวณที่มีการใช้แก๊สความดันสูง ควรทำให้บริเวณดังกล่าวมีการระบายอากาศที่ดีโดยเฉพาะ กับแก๊สที่มีพิษ ควรใช้ระบบระบายอากาศแบบมีตัวดูด (Forced ventilation)
- ควรมีระบบตรวจจับแก๊ส (Gas detector) ที่รั่วไหลติดตั้งอยู่ และไม่ควรใช้จมูกในการสูดดม เพื่อหาแหล่งแก๊สรั่วเพราะแก๊สดังกล่าวอาจมีพิษได้
- ควรมีการวางแผนและชักซ้อมคนงานให้สามารถปฏิบัติการตลอดจนมีอุปกรณ์ป้องกัน อุปกรณ์ติดตั้งอยู่ตลอดจนฝึกซ้อมคนงานให้สามารถปฏิบัติการในกรณีเหตุฉุกเฉินได้อย่างรวดเร็วและมี ประสิทธิภาพ
- ควรมีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เช่น อุปกรณ์ช่วยหายใจ ชุดป้องกัน (Protective clothing) หน้ากากพิษ (Respirator) ถุงมือ อื่นๆ เพราะบางครั้งเราอาจพลาดพลั้งเช่น มือไปถูกกับถังหรือท่อแก๊สที่เย็นจัดหรือโดนแก๊สเหลวกระเด็นใส่โดยอุบัติเหตุ จึงควรใส่ถุงมือ

ที่ทำจากวัสดุที่ไม่ดูดซึม (Non-absorbent leather gloves) ตลอดเวลา โดยถุงมือนี้ควร หลวมนิ่มหน่อย และพอดีกับมือ เพื่อให้สามารถถอดออกได้ง่าย หรือถ้าเกิดมีแก๊สเหลวที่ กระเด็นใส่ตัวควรมีชุดคลุมป้องกัน ในกรณีกระเด็นใส่เท้าพร้อม ๆ กัน กางเกงควรสวมไว้ ภายนอกกรองเท้าบูท เพื่อให้สามารถถอดออกได้ง่ายในกรณีที่แก๊สเหลวกระเด็นใส่เป็นต้น นอกจากนี้อุปกรณ์ความปลอดภัยส่วนบุคคลต่าง ๆ ควรใช้ได้อย่างสะดวก และควรมั่นดูแล รักษาให้อุปกรณ์ดังกล่าวอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน

- เครื่องมือที่ใช้กับอุปกรณ์แก๊สความดันสูง ควรเลือกใช้อุปกรณ์ให้ถูกต้อง เช่น การเลือกใช้ อุปกรณ์กับแก๊ส ซึ่งมีพิษหรือแก๊สกัดกร่อน ยกตัวอย่างเช่น สำหรับแก๊สกัดกร่อนควร เลือกใช้ตามชนิดที่บริษัทผู้ผลิตแก๊สแนะนำ และชนิดของอุปกรณ์ที่เลือกใช้ควรเข้าได้กับ แก๊สนั้น ๆ
- การใช้แก๊สไวไฟ มีหลักการสำคัญคือ แก๊สไวไฟควรเก็บไว้ในสถานที่เก็บที่ปลอดภัย และ ควรเก็บให้ห่างจากถังแก๊สออกซิเจน และตัวออกซิไดซ์อื่น ๆ อุปกรณ์ไฟฟ้าและแสงไฟ ควรเลือกใช้ชนิดพิเศษที่ใช้สำหรับแหล่งแก๊สไวไฟ ไม่ควรใช้ไฟหรือหลอดไฟที่ไม่มีฝาปิดกัน ควรมีอุปกรณ์ดับเพลิงและน้ำที่หาได้ง่ายและสะดวกในการใช้งาน
- การปฐมพยาบาลผู้สัมผัสกับแก๊สเย็นจัด ควรรีบคลายเสื้อผ้าออก เพื่อให้มีการไหลเวียน ของเลือดได้สะดวกรีบแจ้งโรงพยาบาลทันที ไม่ควรใช้ความร้อนไปสัมผัสหรือตะบิเวณที่ โดนแก๊สเหลวแต่อาจใช้น้ำอุ่นแทนได้ ป้องกันบริเวณที่สัมผัสกับแก๊สเหลวจากการติดเชื้อ โดยอาจใช้การแต่งแผลที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคแล้วแต่ควรระวังอย่าให้มีการขีดขวางการไหล-เวียนของเลือด

3.6.4.2) อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับภาชนะบรรจุแก๊สความดันสูง

หน้าที่สำคัญของอุปกรณ์นิรภัยคือ ทำหน้าที่ป้องกันการแตกออกของภาชนะความ ดัน อันเนื่องจากการเพิ่มความดันอย่างกะทันหัน โดยได้รับผลจากการที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถ้าความดันถูกปล่อยสู่บรรยากาศ ก็จะสามารถป้องกันการแตกอย่างรุนแรงได้ ภาชนะบรรจุ แก๊สที่ใช้ในปัจจุบันมักมีการติดตั้งอุปกรณ์นิรภัยไว้เสมอไม่ชนิดใดก็ชนิดหนึ่ง

อุปกรณ์นิรภัยดังกล่าวข้างต้น สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ กล่าวคือ

- วาล์วนิรภัย และระบายความดัน (Safety relief valves)
- แผ่นปะทุแตก (Frangible discs)
- ปลั๊กหลอมละลาย (Fusible plugs)

อุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิด มีหน้าที่เหมือนกัน คือทำหน้าที่ปรับความดันให้ลดลงโดยการปล่อยแก๊ส ออก แต่จะมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกัน

วาล์วนิรภัย และระบายความดัน (Safety-Relief Valve)

วาล์วนิรภัยและวาล์วระบายความดันเป็นวาล์วที่ป้องกันไม่ให้ความดันในภาชนะความดันมีค่าสูงเกินกว่าที่ต้องการออก วาล์วนิรภัยและวาล์วระบายความดันจะมีลิ้นวาล์วอยู่โดยที่ลิ้นวาล์วนี้ถูกกดด้วยสปริงอัด ถ้าความดันภายในภาชนะมีค่าสูงเกินกว่าความดันที่ตั้งเอาไว้ ลิ้นวาล์วจะเปิดออก แก๊สที่อยู่ภายในก็จะถูกระบายออกสู่บรรยากาศหรือระบายออกสู่จุดที่มีความดันต่ำกว่า วาล์วประเภทนี้สามารถตั้งแรงกดของสปริง เพื่อให้สามารถกำหนดแรงดันที่จะทำให้วาล์วเปิดออก ค่าความดันที่ตั้งไว้ให้วาล์วเปิดออกจะขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สที่อยู่ภายในภาชนะ โดยปกติเรามักตั้งค่าความดันที่เปิดออกให้มีค่าไม่น้อยกว่าความดันในภาชนะความดันที่ถูกบรรจุเต็มไปด้วยแก๊สที่อุณหภูมิประมาณ 66 องศาเซลเซียส

ชื่อของวาล์วนิรภัยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ

- 1) วาล์วนิรภัย (Safety Valve) เป็นวาล์วที่เหมาะสมสำหรับของไหลประเภทที่ถูกอัดได้ (Compressible fluid) เช่น แก๊สและไอน้ำ วาล์วชนิดนี้จะเปิดระบายความดันอย่างรวดเร็ว (แล้วเปิดเต็มที) เมื่อมันถูกกดให้เปิดด้วยแรงดันที่เกินกว่าที่ตั้งไว้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.5 ถ้าแก๊สมีความดันสูงมาก ๆ จำเป็นต้องคำนึงถึงการเกิด Chocked ซึ่งมีรายละเอียดในบทที่ 5
- 2) วาล์วระบายความดัน (Relief Valve) เป็นวาล์วที่เหมาะสมสำหรับของไหลประเภทที่อัดไม่ได้ (Non compressible fluid) เช่นของเหลวต่างๆ เป็นวาล์วที่ระบายความดันให้ลดลงเหมือนวาล์วนิรภัยในข้อ 1 แต่แตกต่างกันตรงที่คุณสมบัติของวาล์วนี้จะค่อย ๆ ระบายความดันตามความสูงต่ำของความดันส่วนเกิน (Over pressure) จากค่าความดันที่ตั้งไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ของบ่าวาล์วถ้าเป็นระบายความดันนั้น เนื้อที่ของบ่าวาล์วที่เปิดออกจะมีค่าคงที่ไม่ว่าวาล์วจะปิดหรือเปิด แต่สำหรับวาล์วนิรภัยนั้นจะมีส่วนของเนื้อที่ของบ่าวาล์วที่เปลี่ยนแปลง เมื่อวาล์วเริ่มเปิดเนื้อที่บ่าวาล์วจะใหญ่ขึ้น
- 3) วาล์วนิรภัยและวาล์วระบายความดัน (Safety relief valve) เป็นวาล์วระบายความดันให้ลดลง แต่มีคุณสมบัติเป็นไปได้อันทั้งวาล์วนิรภัยและวาล์วระบายความดัน ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานแผ่นปะทุแตก (Frangible Disc)

แผ่นปะทุแตกหรือฝาครอบปะทุ (Frangible Disc)

แผ่นปะทุแตกทำหน้าที่เช่นเดียวกับวาล์วนิรภัย และระบายความดัน แต่แตกต่างกันตรงที่แผ่นปะทุแตกไม่สามารถตั้งปรับความดันให้เปิดออกได้เหมือนวาล์วนิรภัย แผ่นปะทุแตกมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะที่ถูกออกแบบให้แตกออกที่ค่าความดันสูงค่าหนึ่ง แต่ถ้าเปิดออกแล้วจะไม่สามารถปิดเองได้ ดังนั้นของไหลทั้งหมดที่อยู่ในภาชนะจะถูกระบายออกจนหมดค่าความดันที่แตกต่างออกของแผ่นปะทุแตกโดยส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้แตกออกถึงค่าความดันที่ภาชนะรับความดันจะรับได้ แผ่นปะทุแตกจะถูกพบในภาชนะรับความดันส่วนใหญ่ ดังแสดงรูปที่ 3.6

ปลั๊กหลอมละลาย (Fusible plug)

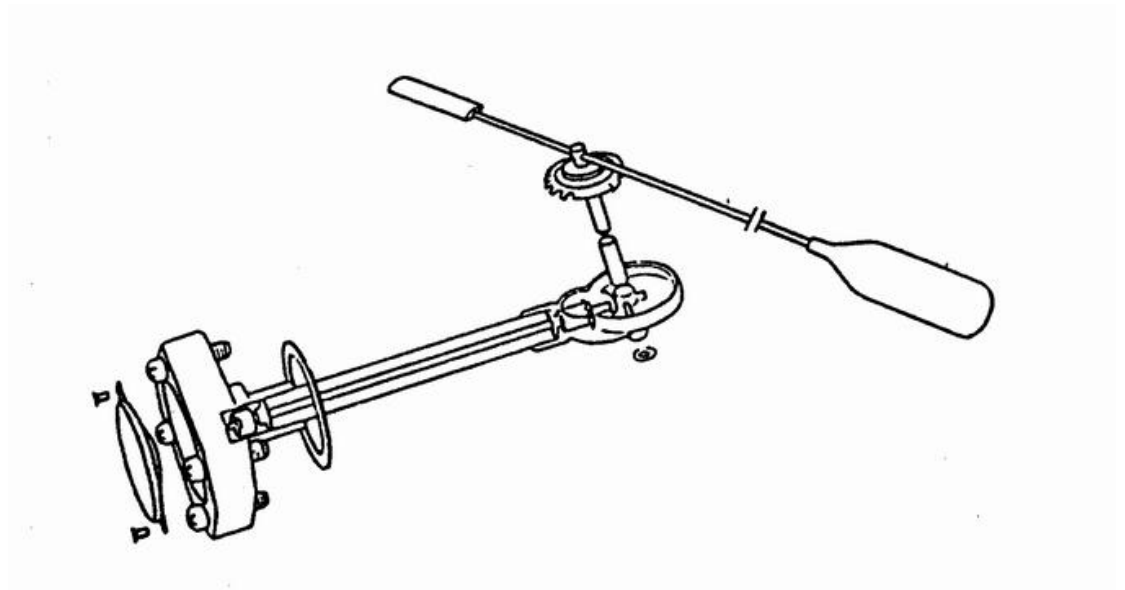
ปลั๊กหลอมละลายเป็นอุปกรณ์นิรภัยที่ถูกใช้กับแก๊สที่มีความไวมาก (Active gases) ปลั๊กหลอมละลายไม่ได้ทำงานโดยอาศัยความดันเหมือนอย่างอุปกรณ์นิรภัยในทั้งสองแบบแรก แต่อาศัยอุณหภูมิเป็นตัวกระตุ้น กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงเกินจนถึงจุดหลอมละลายของวัสดุที่ใช้ทำปลั๊ก ปลั๊กก็จะเกิดการหลอมขึ้นทำให้แก๊สที่อยู่ภายในระบายออกได้ แก๊สบางชนิดยกตัวอย่าง เช่น แก๊สอะเซทิลีนจะเกิดการสลายตัวหรือเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรส์ เมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นจนถึงจุดที่จะทำให้วาล์วนิรภัยเปิด (วาล์วนิรภัยจะเปิดเมื่อความดันสูงแต่การที่ความดันสูงได้นั้นก็เกิดจากการที่อุณหภูมิสูงขึ้นที่ปริมาตรคงที่และเมื่อ อะเซทิลีนเกิดปฏิกิริยาสลายตัวภายในถัง โดยที่แก๊สดังกล่าวไม่สามารถระบายออกมาสู่ภายนอก ย่อมเกิดการระเบิดแบบ (Sharpened type of explosion) ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายมากกว่าอันตรายที่เกิดขึ้น เมื่อแก๊สอยู่ในภาชนะถูกยอมให้รั่วไหลออกมาภายนอกโดยอยู่ในลักษณะที่ควบคุมได้ ปลั๊กหลอมละลายถูกสร้างจากโลหะผสมซึ่งหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำ และยอมให้แก๊สที่ถูกอัดอยู่ในสามารถหนีออกมาได้มากกว่าที่จะก่อให้เกิดความดันมีค่าสูงขึ้น โดยปกติถุงบรรจุ อะเซทิลีนมักติดตั้งปลั๊กหลอมเหลวที่จะทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส ปลั๊กหลอมละลายชนิดอื่น ๆ มักทำงานที่อุณหภูมิ 74 องศาเซลเซียส

ภาชนะความดันที่บรรจุแก๊สที่ถูกอัดมีการติดตั้งอุปกรณ์นิรภัยทั้ง 3 แบบดังกล่าวข้างต้น ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์นิรภัยทั้ง 3 แบบจะช่วยให้การทำงานมีความปลอดภัยในช่วงที่กว้างขึ้น

นอกจากอุปกรณ์นิรภัยดังกล่าวข้างต้นแล้ว เรายังพบว่าบนถังแก๊สมักมีการติดตั้งอุปกรณ์ความปลอดภัยอื่น ๆ ได้แก่

มาตรวัดระดับแก๊สในถัง

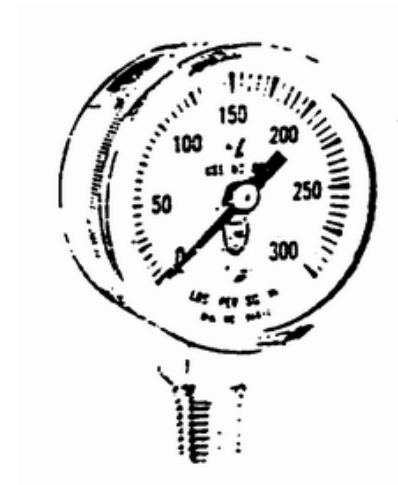
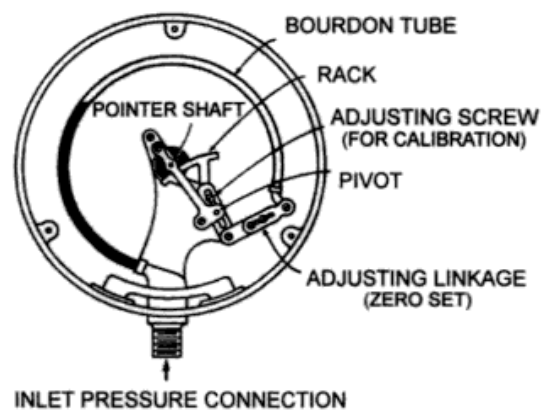
ในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายชนิดอาจแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ แบบชนิดลูกลอยหรือชนิดที่เป็นหลอดกลมกวาดไปรอบถัง ชนิดลูกลอยดังรูปที่ 3.7 ขึ้นลงตามระดับของแก๊สเหลว ลูกลอยนี้จะต่อเข้ากับแกนแนวนอน การเคลื่อนที่ขึ้นลงของลูกลอยจะทำให้แกนแนวนอนเคลื่อนไหว ทำให้เฟืองซึ่งเป็นตัวประสานระหว่างแกนแนวนอนกับแกนตั้งหมุน เมื่อเฟืองหมุนก็จะทำให้แกนในแนวตั้งหมุนด้วย อีกปลายหนึ่งของแกนแนวตั้งมีแม่เหล็กถาวรติดอยู่ เมื่อแกนแนวตั้งหมุน แม่เหล็กก็จะดึงดูดเข็มที่หน้าปัดหมุนบอกปริมาณของแก๊สในถัง



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์วัดระดับแก๊สในถัง

มาตรวัดความดัน

มีเกจวัดความดันอยู่หลายแบบแต่ที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือเกจวัดความดันแบบท่อบูร์คอน (ดังแสดงในรูปที่ 3.8)



รูปที่ 3.8 มาตรวัดความดันแบบท่อบูร์คอน (McCauley,

3.6.4.3) วิธีขนส่งแก๊ส (Transportation method)

แก๊สสามารถขนส่งได้หลายทาง ได้แก่ ทางรถไฟ ทางถนน ทางน้ำและอากาศ ซึ่งการขนส่งในแต่ละทางจะมีลักษณะแตกต่างกันดังนี้

- ทางรถไฟ แก๊สที่ขนส่งทางรถไฟรูปของถังที่ติดอยู่บนรถ (Tank cars) มีลักษณะคล้ายคลึงกับรถขนน้ำมันที่เป็นถัง ค่าความดันสูงสุดของแก๊สในถังควรมีค่าเท่ากับ 40 เท่าของความดันบรรยากาศ ค่าความจุแก๊สมีค่าอยู่ในช่วง 40 ลูกบาศก์เมตร (วัดโดยใช้น้ำ) ถังที่มีขนาดใหญ่สุดมีค่าความจุ 230 ลูกบาศก์เมตร แต่ที่มีใช้กันมากที่สุดคือ ถังที่มีความจุ 115 ลูกบาศก์เมตร ถังประเภทนี้ถูกใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหลว ชนิดของถังอาจเป็นแบบทั้งมีฉนวนหุ้มหรือไม่มีฉนวนหุ้ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ถังที่บรรจุแก๊สเหลว (Liquefied gases) ควรมีวาล์วติดตั้งไว้ 2 วาล์ว วาล์วอันแรกไว้สำหรับแก๊ส ส่วนอีกวาล์วเป็นวาล์วสำหรับของเหลว วาล์วเหล่านี้ควรติดตั้งฝาครอบไว้เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับวาล์ว ถังบรรจุแก๊สทางรถไฟควรติดตั้งปลั๊กหลอมละลายได้ ซึ่งปลั๊กนี้ควรหลอมละลายในช่วงอุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียส

- ทางรถยนต์

ถังขนส่งแก๊สทางรถยนต์ที่นิยมใช้มี 3 แบบ คือ ถังขนส่งเป็นถังทั้งแบบ Cargo tank หรือ Portable tank และอาจจะเป็นแบบ Tube trailers

(1) Cargo tank เป็นถังเดี่ยวที่ติดตั้งตายตัว เช่นเดียวกับถังที่นิยมใช้ทางรถไฟ ถังดังกล่าวอาจติดตั้งอยู่บนรถบรรทุกเล็ก หรืออาจติดตั้งอยู่บนรถพ่วงขนาดใหญ่ ถังแบบนี้ อาจมีการหุ้มฉนวน บางแบบอาจมีท่อระบายความร้อนหรือทำความเย็น หรืออาจจะมีระบบให้ความร้อนติดตั้งอยู่ชนิดของถังแบบ Cargo มีหลายชนิดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สที่ถูกลำเลียง ส่วนใหญ่ถังแบบ Cargo นิยมใช้ขนส่งแก๊สปิโตรเลียม

(2) แบบ Portable tanks เป็นถังทรงกระบอกปลายทั้งสองของถังแบน ถังประเภทนี้มีขนาดความจุหลายขนาด ตั้งแต่ขนาดเล็ก 120 แกลลอน จนถึงขนาดใหญ่มากกว่า 8 ลูกบาศก์เมตร ค่าความดันมีค่าอยู่ในช่วง 7 ถึง 35 เท่าของความดันบรรยากาศ

(3) แบบ Tube trailers เป็นถังทรงกระบอกหรือท่อขนาดใหญ่ที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน และมีส่วนหัวและท้ายปิดด้วยใช้ฝาปิด (Head) ที่เหมาะสม ถังชนิดติดตั้งอยู่บนรถต่าง ๆ ถังประเภทนี้นิยมใช้ขนส่งแก๊สความดันสูง (เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และฮีเลียม) ค่าความดันในถังประเภทนี้มีค่าตั้งแต่ 135 เท่าของความดันบรรยากาศ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีการขนส่งที่มีประสิทธิภาพสูง

- ทางอากาศ

การขนส่งทางอากาศเป็นสิ่งที่มีความปลอดภัย โดยทั่วไปการขนส่งทางอากาศ จะขนส่งเฉพาะในรูปของถังทรงกระบอก และเป็นถังที่มีขนาดเล็ก สำหรับถังขนาดใหญ่ จะห้ามขนส่งทางอากาศ

3.6.4.4) มาตรการการตรวจและทดสอบถังแก๊ส

การตรวจสอบถังแก๊สต้องกระทำในหลายขั้นตอน โดยเริ่มตั้งแต่การตรวจสอบคุณภาพของโลหะที่จะนำมาใช้ทำถังแก๊ส ตลอดจนลวดเชื่อมและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อม โลหะที่นำมาใช้ต้องมีใบรับรองคุณภาพจากผู้ผลิต (Specification) รวมทั้งใบรับรองการตรวจสอบในขั้นตอนแรก ซึ่งจะเป็นการทดสอบแบบกระแทก (Impact test) ของคัพประกอบทางเคมีของโลหะ และอื่น ๆ เมื่อตรวจสอบในขั้นตอนแรกเสร็จ จะเป็น การตรวจในขั้นสอง คือ การตรวจสอบการรั่วซึมถังแก๊ส ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้แก่ การตรวจสอบรอยเชื่อมโดยใช้ Magnetic Particle test หรือ Dye Penetrate test ก่อนที่จะเชื่อมแนวต่อไป ต้องมีการบันทึกอุณหภูมิของ Preheat และ Post weld heat treatment ไว้เป็นหลักฐาน ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดข้างต้นเป็นการตรวจสอบโดยผู้ผลิต หลังจากนั้นเป็นการตรวจสอบโดยเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับผู้ผลิต โดยการใช้การตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray) ซึ่งอาจจะกระทำทั้งหมด หรือเป็นเพียงบางจุดขึ้นอยู่กับการออกแบบ

ก่อนที่จะนำเอาถังแก๊สไปอัดแก๊ส ควรทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงดันของถังแก๊สก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าถังดังกล่าวสามารถทนต่อความดันได้สูงตามมาตรฐานของความปลอดภัย

3.7 พิษวิทยา (Toxicology)

เนื่องจากในโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปในปัจจุบันมีสารเคมีหลากหลายชนิด โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมเคมีซึ่งผู้ทำงานจะต้องเกี่ยวข้องกับสารเคมีซึ่งสารส่วนใหญ่เป็นสารมีพิษ ดังนั้นวิศวกรโรงงานหรือผู้ที่จะต้องเกี่ยวข้องกับสารเคมีจำเป็นที่จะต้องเรียนรู้และเข้าใจในเรื่องต่าง ๆ ดังนี้

1. วิธีที่สารพิษจะเข้าสู่ร่างกาย
2. วิธีกำจัดสารพิษออกจากร่างกาย
3. ผลของสารมีพิษที่มีต่อร่างกาย
4. วิธีป้องกันหรือลดปริมาณสารพิษที่เข้าสู่ร่างกาย

ในทั้ง 4 ข้อเป็นความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับความรู้เรื่องสารพิษที่มีผลต่อร่างกายกับสุขศาสตร์อุตสาหกรรม ซึ่งจำเป็นต้องเข้าใจในเชิงวิศวกรรมควบคู่ไปกับสุขภาพและอนามัยในเชิงป้องกัน (Industrial hygiene) และในปัจจุบันได้รวบรวมวิชา พิษวิทยาซึ่งเป็นศาสตร์ของพิษ (Poison) เข้าไปด้วย ในปี ค.ศ. 1500 นักพิษวิทยา ชื่อ พาราเซลซัส (Paracelsus) ได้กล่าวว่าสารทุกอย่างมีพิษ แม้แต่สารที่เข้าใจว่าไม่มีพิษถ้าเข้าไปในร่างกายในปริมาณที่มากเกินไปก็จะเป็นพิษได้ (All substances are poisons; there is none which is not poison. The right dose differentiates a poison and remedy) ดังนั้นการใช้สารที่อาจเป็นพิษหรือสารพิษคือเราต้องรู้วิธีการใช้สารอย่างถูกต้อง

ปัจจุบันเราสามารถระบุได้อย่างแน่ชัดในเรื่องปริมาณสารพิษที่มีผลต่อร่างกายทั้งทางทางเคมี และกายภาพ เช่นฝุ่น ไบโชน ไฟเบอร์ ซึ่งสามารถทำลายปอดและเป็นสารก่อมะเร็ง นอกจากนี้ยังมีอันตรายอื่น ๆ เช่น เสียง รังสี เป็นต้น นอกจากนี้เรายังสามารถนำเอาความรู้ต่าง ๆ มาลดอันตรายโดยทางเทคนิคต่าง ๆ เพื่อ

ประโยชน์ในโรงงานอุตสาหกรรม ถึงแม้ว่าไม่สามารถเปลี่ยนความเป็นพิษของสารพิษเหล่านั้นได้ ก่อนอื่นขอเริ่มทำความเข้าใจการเข้าสู่ร่างกายของสารพิษ

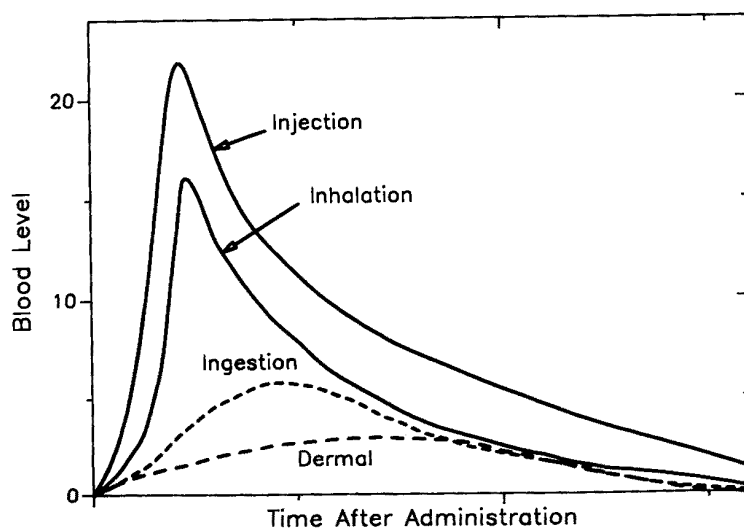
3.7.1 สารพิษเข้าสู่ร่างกายได้อย่างไร

สารพิษสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดย 4 ทางหลัก ๆ คือ

1. ระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal system) การรับประทาน จากปากไปยังกระเพาะ
 2. ระบบทางเดินหายใจ (Respiratory system) การสูดดม จากปากหรือจมูกไปยังปอด
 3. ระบบการดูดซึมเข้าทางผิวหนัง (Dermal system) โดยผ่านผิวหนังเข้าไป
 4. การฉีด หรือจากบาดแผลเข้าสู่ผิวหนัง (Injection)
1. ระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal tract) โดยทั่วไปสารพิษเข้าสู่ร่างกายโดยการกินหรือดื่ม เมื่ออนุภาคของของแข็งหรือของเหลวเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร จะถูกระบบในร่างกายดูดซึมทันที แต่ร่างกายจะมีระบบป้องกัน (Immune system) ซึ่งไวต่อการถูกทำลาย ระบบป้องกันอาจจะขับสารมาป้องกันทำให้เริ่มรู้สึกถึงการต้านรับในร่างกาย ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมี น้ำหนักโมเลกุล ขนาดโมเลกุล และรูปร่างของโมเลกุล ถ้าร่างกายได้รับสารพิษในปริมาณน้อย ระบบป้องกันของร่างกายต่อสู้ไหวก็จะเป็นอันตราย แต่ถ้าปริมาณนั้นมากจนร่างกายไม่สามารถต้านไว้ได้ ก็จะทำให้เกิดการล้มเจ็บหรือเสียชีวิต
2. ระบบหายใจ (Respiratory system) การหายใจเป็นกระบวนการสำคัญในการแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การหายใจใน 1 นาที สำหรับคนปกติหายใจเข้าไปใช้ออกซิเจนประมาณ 250 มิลลิตร ระบบการหายใจมี 2 ส่วนคือระบบการหายใจส่วนบนและส่วนล่าง
- ระบบการหายใจส่วนบนทำหน้าที่กรองชั้นแรก ซึ่งขนาดของอนุภาคที่สามารถผ่านการกรองในขั้นนี้จะมีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน ระบบการหายใจส่วนบนจะประกอบด้วย จมูก ช่องจมูก ปาก ช่องที่เชื่อมต่อระหว่างจมูก ปาก และหู ไปยังหลอดอาหาร กล่องเสียงและท่อนลม การกรองชั้นแรกหากมีสารเคมีหรือสิ่งแปลกปลอมเข้าไปจะทำปฏิกิริยาหรือละลายในน้ำมูกหรือเสมหะเพื่อปรับเปลี่ยนให้อยู่ในรูปกรดหรือด่าง สารพิษที่ทำอันตรายต่อ ระบบการหายใจส่วนบน ได้แก่ ไฮโดรเจนเฮไลด์ ออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ ฝุ่นของโซเดียม ไพรแตสเซียมไฮดรอกไซด์
- ระบบหายใจส่วนล่างจะเป็นส่วนที่จะสัมผัสกับอนุภาคขนาดเล็กที่สามารถผ่านการกรองในระบบการหายใจส่วนบน คืออนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน ระบบหายใจส่วนล่างซึ่งประกอบไปด้วยปอดและโครงสร้างเล็ก ๆ ของมัน รวมทั้งหลอดลมและ ถุงอากาศเล็ก ๆ (Alveoli) ที่มีหน้าที่ในการเปลี่ยนแก๊สโดยปกติแล้ว Alveoli จะมีประมาณ 300 ล้านอันต่อพื้นที่ประมาณ 70 ตารางเมตรซึ่งเท่ากับพื้นที่ผิวของปอด ภายในของ Alveoli จะมีหลอดเล็ก ๆ ทำหน้าที่ขนส่งเลือด การเข้ามาของสารพิษจะทำปฏิกิริยากับผนังของ Alveoli และมีผลทำให้เกิดการอักเสบ เช่น ฟอสจีน ทำปฏิกิริยากับผนัง Alveoli จะทำให้เกิดกรดไฮโดรคลอริก และคาบอนมอนนอกไซด์ ส่วนสารอื่น ๆ ที่เป็นพิษต่อระบบหายใจส่วนล่างได้แก่ โมโนเมอร์เฮไลด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ฟอสจีน เมธิลไซยาไนด์ ฝุ่นของใยหิน ซิลิกา และเขม่าต่าง ๆ
3. ระบบการดูดซึมโดยผิวหนัง ผิวหนังประกอบด้วย Stratum Corneum ซึ่งจะทำหน้าที่ช่วยกรองหรือเป็นส่วนที่เอาไว้สำหรับป้องกันสิ่งแปลกปลอมไม่ให้เข้าสู่ร่างกายโดยง่าย โดยเซลล์ที่ทำงานเมื่อหมดอายุแล้วจะ

เปลี่ยนเป็นเซลล์ที่ตายและแห้ง ความชื้นมีส่วนช่วยในการดูดซึมหรือส่งผลต่อการซึมซับให้ดียิ่งขึ้น เช่น การดูดซึมสารเคมีทางหนังศีรษะ (Hair follicles) ที่มีเหงื่อไคล อย่างไรก็ตามถ้าหากผิวหนังมีบาดแผลจะยิ่งเพิ่มการดูดซึมที่ติดต่อกับสารพิษมากขึ้นซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแล้วอาจจะไม่ต่างกับการได้รับสารพิษโดยการฉีดเข้าไปใต้ผิวหนัง บางครั้งการมองด้วยตาจะเห็นว่าผิวหนังบางส่วนที่หนาจะป้องกันไม่ให้สารพิษซึมเข้าไปได้ เช่นผิวหนังฝ่ามือที่หนา แต่ความจริงแล้วผิวหนังจะมีรูพรุนอยู่มากมายทำให้มีโอกาสในการดูดซึมสารพิษได้ตลอดเวลา

จากการทดลองโดยการวัดระดับสารพิษในเลือดเมื่อได้รับสารพิษในปริมาณเท่า ๆ กัน ผลปรากฏว่าการได้รับสารพิษโดยการฉีดหรือการได้รับสารพิษเข้าไปทางบาดแผล ร่างกายจะได้รับรวดเร็วที่สุดรองลงมาคือการหายใจ การกิน และการดูดซับ ดังแสดงให้เห็นดังกราฟการกระจาย (Distribution) ซึ่งสถิติใน รูปที่ 3.9 พร้อมกับแสดงการควบคุมไว้ที่ตารางที่ 3.11



รูปที่ 3.9 ความเข้มข้นของสารในเลือดที่เวลาใด ๆ ในการได้รับสารรูปแบบต่าง ๆ (Crowl and Louvar, 1999)
(Toxic blood level concentrations as a function of route of exposure)

การควบคุมและป้องกันไม่ให้สารพิษเข้าไปทำอันตรายตั้งแต่เนิ่น ๆ สามารถสรุปได้ในตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 การควบคุมและป้องกันสารพิษ

วิธีเข้าของสารพิษสู่ร่างกาย	ส่วนของอวัยวะ	วิธีการควบคุม
1. การรับประทาน	ปากหรือท้อง	ระวังเรื่องการกินการดื่มและการเสฟ
2. การสูดดม	จมูกหรือปาก	ควบคุมเรื่องการระบายอากาศ และอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล (PPE; Personal protective equipment)
3. การดูดซึมเข้าทางผิวหนัง	ผิวหนัง	ควรสวมชุดเสื้อผ้าที่ป้องกันได้
4. การฉีด หรือซึมเข้าไป	บาดแผล	ควรสวมชุดเสื้อผ้าที่ป้องกันได้

3.7.2 วิธีกำจัดสารพิษโดยกลไกทางชีววิทยา

สิ่งมีชีวิตมีระบบที่ซับซ้อน กลไกทางชีววิทยาเป็นกลไกที่ทำให้สิ่งมีชีวิตมีวิวัฒนาการปรับตัวหลังการได้รับสารพิษ ซึ่งสิ่งมีชีวิตสามารถกำจัดสารพิษออกเองในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถแสดงผลของสารพิษที่ได้รับออกเป็น 3 อย่างดังนี้

1. ขับออกโดย ไต ตับ ปอด และส่วนอื่น ๆ ที่มีสารเคมีธรรมชาติ (Chemical agent)
2. การถอนพิษ (Detoxification)
3. เก็บสะสมไว้ในเนื้อเยื่อที่มีไขมัน (Storage in fatty tissue)

ไต เป็นส่วนสำคัญในการขับถ่ายในร่างกายมนุษย์ หลังจากได้รับสารพิษที่เข้าสู่ร่างกายมนุษย์โดย 4 ทางดังที่กล่าวมาแล้ว ไตจะมีหน้าที่ขับสารพิษเหล่านั้นทางกระแสเลือดซึ่งน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 300 ส่วนตบจะมีน้ำดีที่เป็นสารเคมีในธรรมชาติ (Chemical agent) ซึ่งทำหน้าที่กำจัดสารพิษทางชีววิทยาโดยสารพิษที่กำจัดจะมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 300 ซึ่งหลังจากปล่อยน้ำดีซึ่งไปเปลี่ยนรูปของสารพิษโดยการทำปฏิกิริยา การกระทำเช่นนี้จะทำให้สารพิษมีอันตรายลดลงหรือไม่อันตรายเลย

ปอด มีหน้าที่ในการกำจัดสารระเหยได้เช่น อัลกอฮอล์ และคลอโรฟอร์ม นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาจะเกิดขึ้นได้ในส่วนต่าง ๆ เช่นของผนังลำไส้ ผิวหนัง ไต และส่วนอื่น ๆ ซึ่งอาจจะเปรียบเสมือนเป็นระบบถอนพิษ (Detoxification) แบบหนึ่งนอกจากนี้ในส่วนของ ผิวหนัง ผม จมูก และเล็บ ยังเป็นอวัยวะที่ช่วยกรองและกำจัดสารพิษรองมาจาก ไต ตับ และปอดอีกด้วย

3.7.3 สารพิษที่เข้าไปในส่วนต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต

ผลจากการเข้าไปในร่างกายของสารพิษสามารถสรุปได้ในตารางที่ 3.12 ดังนี้

ตารางที่ 3.12 ผลตอบสนองจากสารพิษในรูปแบบต่าง ๆ (Various responses to toxicants)

ผลตอบสนอง	ชนิดของผลตอบสนอง	ผลของสารพิษ
แบบรักษาไม่ได้ (Irreversible)	<i>Carcinogen</i>	มะเร็ง (Cancer)
	<i>Mutagen</i>	ผลเสียต่อ DNA (Chromosome)
	<i>Reproductive hazard</i>	เป็นหมัน (Reproductive system)
	<i>Teratogen</i>	ผลต่อเด็กในท้อง (Birth defect)
แบบรักษาได้ (Reversible) หรือ อาจจะไม่ได้ (Irreversible)	<i>Dermatotoxic</i>	ผิวหนัง
	<i>Hemotoxic</i>	เลือด
	<i>Hepatotoxic</i>	ตับ
	<i>Nephrotoxic</i>	ไต
	<i>Neurotoxic</i>	ประสาท
	<i>Pulmonotoxic</i>	ปอด

อ้างอิงจาก Crowl and Louvar (1999)

จะเห็นว่าตารางที่ 3.12 แสดงให้เห็นถึงชนิดของผลตอบสนองต่าง ๆ ของสารพิษ ถูกกำหนดได้ตามชนิดของสารพิษ โดยใช้การทดสอบทางการแพทย์พื้นฐาน ซึ่งการตรวจสอบสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องมือที่ผ่านมาตรฐานมาวินิจฉัย เช่น

- โรคทางเดินหายใจ ตรวจด้วยเครื่อง Spirometer ซึ่งใช้วัดปริมาณลมหายใจเข้าออก หรืออาจจะเป็นเครื่อง Forced Vital Capacity ; FVC เครื่อง Force Expired Volume; FEV, เครื่อง Force expiratory flow ซึ่งจะบอกค่ากลางของ Vital Capacity (FEV 25-75%) หรือใช้ทั้งเครื่อง FVC และ FEV เพื่อวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ (FEV/ FVC) หากผลการตรวจ ถ้าค่า FVC หรือ FEV น้อยกว่ามาตรฐาน อาจสรุปได้เพียงว่าปอดมีประสิทธิภาพลดลง ซึ่งอาจเนื่องมาจาก Alveoli ถูกทำลาย อย่างไรก็ตามต้องอาศัยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์สาเหตุของอาการของโรคต่อไป
- โรคที่เกี่ยวกับระบบประสาทโดยทั่วไปจะใช้เครื่อง Electroencephalogram (EEG) ซึ่งตรวจสอบคลื่นสมอง โดยใช้หลักการของ ข้อมูลโรคเกี่ยวกับเส้นประสาทในสมอง (Cranial nerve function) ระบบปฏิกิริยาย้อนกลับอัตโนมัติ (Motor system reflexes) และระบบความรู้สึก (Sensory system)
- โรคที่เกี่ยวกับผิวหนังอาจจะถูกวินิจฉัยโดยการเปลี่ยนแปลงของผิวหนังกำพวด สีผิว เส้นเลือด ผด ผื่น เป็นต้น
- โรคที่เกี่ยวกับไต จะถูกตรวจสอบโดยทางเคมีโดยการตรวจปัสสาวะ ถ้าไตเกิดความบกพร่องปัสสาวะจะมีน้ำตาลและโปรตีนปนออกมาด้วย

3.7.4 การศึกษาเกี่ยวกับสารพิษ

การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสารพิษโดยส่วนใหญ่จะศึกษาผลที่ได้จากสารพิษโดยอาศัยสัตว์ในการทดลองซึ่งผลการทดลองกับสัตว์จะถูกประมาณ (Extrapolate) อย่างเหมาะสมเพื่อใช้กับคน อย่างไรก็ตามจำเป็นที่จะต้องทราบรายละเอียด (Identify) ของสารพิษดังนี้

- ชื่อของสารพิษ (Toxicant)
- เป้าหมายในของการทดสอบกับสิ่งมีชีวิต (Target)
- ผลการตอบสนอง (Response)
- ช่วงของปริมาณสารที่สิ่งมีชีวิตสามารถรับ (Dose)
- ช่วงของเวลาการทดสอบการได้รับสารพิษ (Period)

คุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้เป็นสิ่งที่เราต้องทราบทั้งคุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ ตัวอย่างเช่นเบนซีนสามารถอยู่ในสภาวะของเหลวและไอได้ ดังนั้นแต่ละคุณสมบัติทางกายภาพของสารที่เข้าไปในร่างกายแต่ละทางจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาต่างกันไป

การศึกษาความเป็นพิษของสิ่งมีชีวิตตั้งแต่สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว (Simple single cell) ไปถึงระดับสูง (Animal) จำเป็นต้องเลือกโดยทดสอบเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่นค่าใช้จ่าย ความสะดวกในการทำงานต่างๆ (Availability) เช่นปัจจุบันการศึกษาผลของพันธุกรรม (Genetic effect) สามารถทดสอบเพียงใช้เซลล์เพียงหนึ่งโมเลกุลซึ่งสามารถวิเคราะห์ทั้งร่างกายได้แต่ค่าใช้จ่ายสูงในเรื่องการลงทุน อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังมีการ

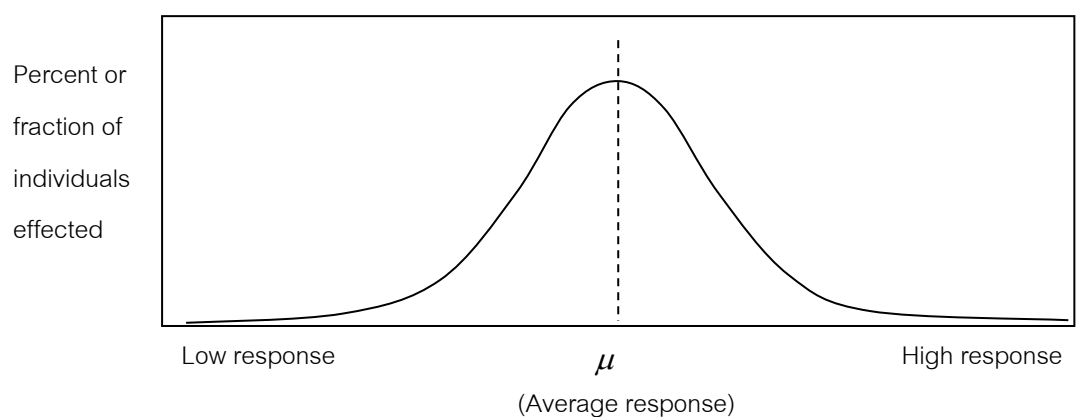
ทดสอบอย่างแพร่หลายในส่วนการทดสอบที่ระบุวัยะส่วนต่าง ๆ อาจจะมีค่าเป็น เช่น ดับ ได ปอด และ ส่วนอื่นในกลไกต่าง ๆ

หน่วยปริมาณกำหนด (Dose unit) เป็นหน่วยที่แสดงถึงปริมาณการรับยาหรือสารพิษเข้าไปในร่างกาย ซึ่งการรับเข้าไปอาจจะโดยการฉีดหรือรับประทาน หน่วยของปริมาณกำหนดส่วนใหญ่ที่ใช้กันคือ มิลลิกรัมของ สารต่อน้ำหนักของร่างกาย (กิโลกรัม) ซึ่งทดลองกับสัตว์เช่นหนู สำหรับคนจะคูณสัดส่วนโดยน้ำหนัก (Weight fraction) เข้าไปในค่าที่ทดลองได้กับสัตว์ (น้ำหนักเฉลี่ยของผู้ชายประมาณ 70 กิโลกรัม และผู้หญิงประมาณ 60 กิโลกรัม) สำหรับแก๊สจะวัดเป็น ppm (Part per million) หรืออาจจะวัดเป็น MPPCF (Millions of particles per cubic foot)

ในช่วงเวลาในการทดสอบจะขึ้นกับผลของการเกิดในระยะสั้นหรือยาว การดูผลของความเป็นพิษแบบ เฉียบพลัน (Acute toxicity) จะเกิดขึ้นได้ทั้งเป็นแบบครั้งเดียว (Single exposure) หรือเป็นแบบระยะ ๆ ซึ่งช่วงเวลาอาจจะสั้นหรือยาว (Series exposure) ส่วนการดูผลความเป็นพิษแบบเรื้อรัง (Chronic toxicity) เป็นผลของการสัมผัสสารเป็นระยะ ๆ ในช่วงเวลาที่ยาว ซึ่งใช้เวลามากในการดูแลและจะซับซ้อนกว่า เนื่องจาก มันอาจจะมีการแฝงตัวอยู่ในช่วงหนึ่งและมีผลตอบสนองในระยะเวลาต่อมา อย่างไรก็ตามสารพิษโดยส่วนใหญ่ มักจะใช้พื้นฐานของการตรวจเพื่อดูผลในระยะสั้น

3.7.5 ปริมาณสารพิษที่มีผลในการตอบสนอง (Dose versus response)

ร่างกายของสิ่งมีชีวิตมีการตอบสนองต่อปริมาณสารพิษ (Dose) แตกต่างกันไปขึ้นกับ อายุ (Age) เพศ (Sex) น้ำหนัก (Weight) การบริโภค (Diet) สุขภาพ (Health) และปัจจัยอื่น ๆ ตัวอย่างเช่นคนไทยจะทนต่อการ แพ้ฝุ่นของเกสรของดอกไม้ได้ดีกว่าคนยุโรป หรือการที่คนสองคนได้รับสารที่ทำให้ระคายเคืองต่อตาเท่ากันแต่ คนหนึ่งระคายเคืองเล็กน้อยแต่อีกคนตาแดงและเยื่อตาขาวอักเสบ ดังนั้นถ้ามีคนมาหลาย ๆ คนมาทดสอบผล การตอบสนองของการได้รับสารทำให้สามารถนำมาแจกแจงในเชิงสถิติดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การแจกแจงแบบปกติ (Gaussian or normal distribution) ของการตอบสนองการได้รับ สารพิษของสิ่งมีชีวิต

ในรูปที่ 3.10 แสดงถึงการกระจายความถี่โดยแสดงให้เห็นเป็นการกระจายของข้อมูล (Distribution) ซึ่ง สมการของการเปลี่ยนแปลงที่เป็นแบบปกติ (Normal distribution) หรือ Gaussian distribution จะได้ดังนี้

$$f(\mu_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\mu_i)^2} \quad \dots(3.1ก)$$

โดยที่ $f(\mu_i)$ คือ พังชั้นของการตอบสนอง โดยจากกราฟ 3.10 คือค่าความถี่ (Frequency)

$$\mu_i = \text{เทอมไร้หน่วย หรือ Dimensionless response} = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

หรือเขียนใหม่ได้เป็น $f(x_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}\right)^2}$...(3.1ข)

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / \sum_{i=1}^n f(x_i) \quad \dots(3.2)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 f(x_i) / \sum_{i=1}^n f(x_i)} \quad \dots(3.3)$$

โดยที่ $f(x)$ คือ พังชั้นของการตอบสนอง

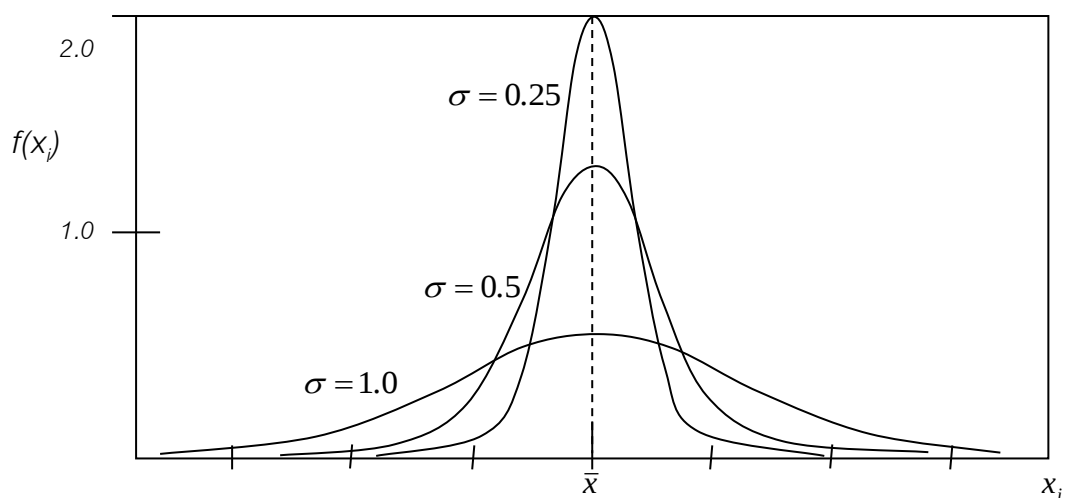
$$\mu = \text{เทอมไร้หน่วย หรือ Dimensionless response} = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

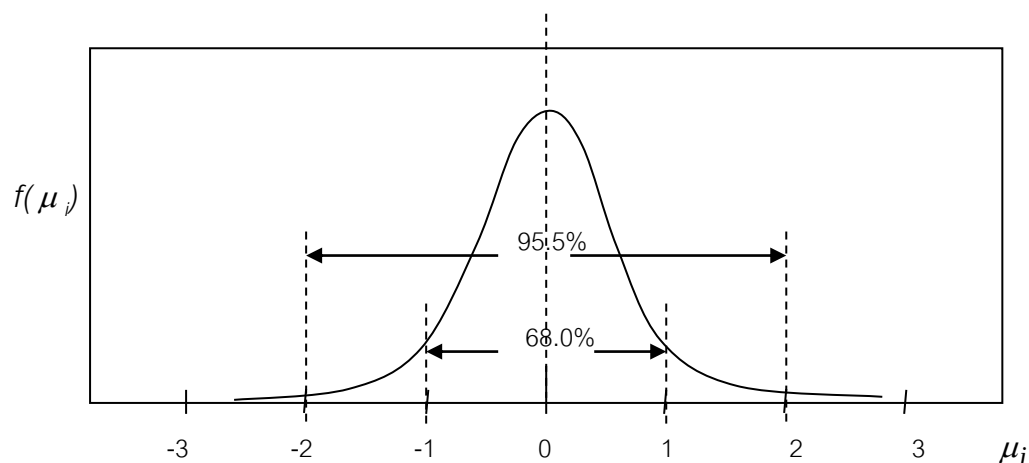
$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของการตอบสนอง (Average)

n = จำนวนข้อมูล

ซึ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) จะทำให้รูปร่างของการตอบสนองเปลี่ยนไปดังรูปที่ 3.11 และ ตัวอย่างเท่า (Confidence interval) ที่ต่างกันของการตอบสนองดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 แสดงผลจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่าง ๆ ในการแจกแจงแบบปกติ



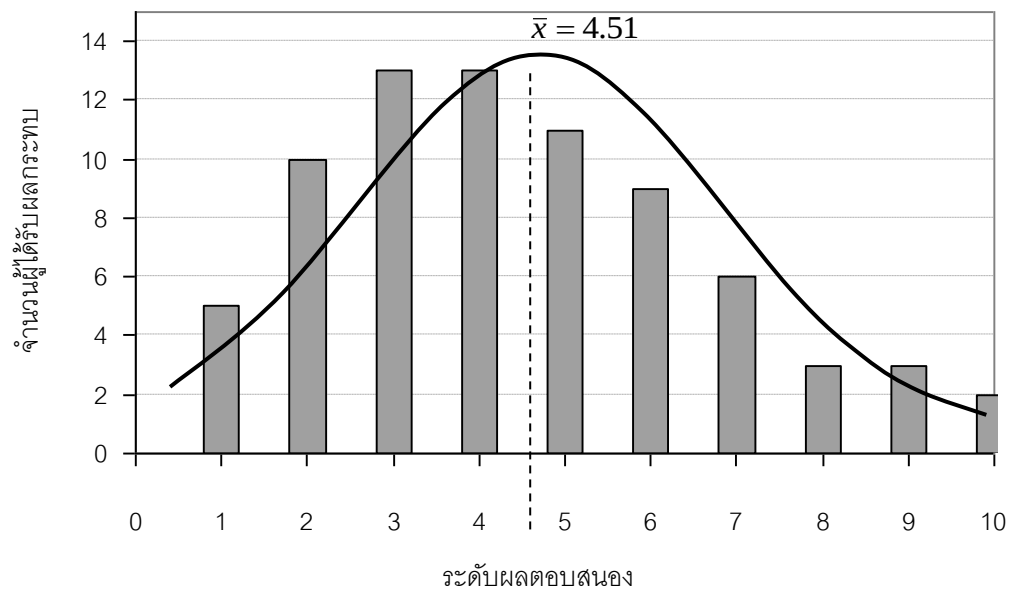
รูปที่ 3.12 เปอร์เซนต์ของผู้ที่ได้รับผลการตอบสนองระหว่าง 1 เท่าของค่าเบี่ยงเบน และ 2 เท่า แสดงผล
จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหนึ่ง ในการแจกแจงแบบปกติ

ตัวอย่าง 3-1 จากการทดสอบการตอบสนองจากสารพิษที่ผิวหนังโดยใช้ตัวอย่างประชากร 75 คน ผลที่ได้ดังตาราง
ซึ่งระดับจาก 0 ถึง 10 (โดยที่ 0 = ไม่มีการตอบสนองแต่อย่างใด และ 1 ถึง 10 = ผลตอบสนองต่อผิวหนังรุนแรง
ตามลำดับ)

ตารางที่ 3.13 ตารางแจกแจงความถี่ในตัวอย่างที่ 3-1

ระดับการ ตอบสนอง	จำนวนผู้ที่ได้รับผลตอบสนอง (Number of individuals affected)
0	0
1	5
2	10
3	13
4	13
5	11
6	9
7	6
8	3
9	3
10	2
รวม = 75	

จงสร้างกราฟแท่งของจำนวนประชากรที่ได้รับผลกระทบและระดับผลตอบสนองจากข้อมูล จงสร้างสมการ
 $f(x)$ และพล็อตกราฟการแจกแจงความถี่มาตรฐานแบบปกติ (Normal distribution) บนกราฟแท่งที่ได้จากข้อมูลใน
ตารางที่ 3.13 (การแจกแจงความถี่)



รูปที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ประชากรที่ได้รับผลกระทบและระดับผลตอบสนองโดยกราฟแท่ง

สมการ Normal distribution ดังสมการ (3.1ก) หรือ สมการ (3.1ข)

$$f(x_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}\right)^2} \quad \text{สมการนี้จำเป็นต้องหาค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (\sigma)}$$

จากสมการ (3.2) และ สมการ (3.3) ตามลำดับ

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\sum_{i=1}^n f(x_i)} \quad \dots(3.2) \\ &= (0 \times 0 + 1 \times 5 + 2 \times 10 + 3 \times 13 + 4 \times 13 + 5 \times 11 + 6 \times 9 + 7 \times 6 + 8 \times 3 + 9 \times 3 + 10 \times 2) / 75 \\ &= 338 / 75 \\ &= 4.51 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 f(x_i)}{\sum_{i=1}^n f(x_i)}} \quad \dots(3.3) \\ &= [(0-4.51)^2(0) + (1-4.51)^2(5) + \dots + (10-4.51)^2(2)] / 75)^{1/2} \\ &= 2.24 \end{aligned}$$

ดังนั้นสมการ $f(x_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}\right)^2}$ เมื่อแทนค่าแล้วจะได้ สมการ Normal curve

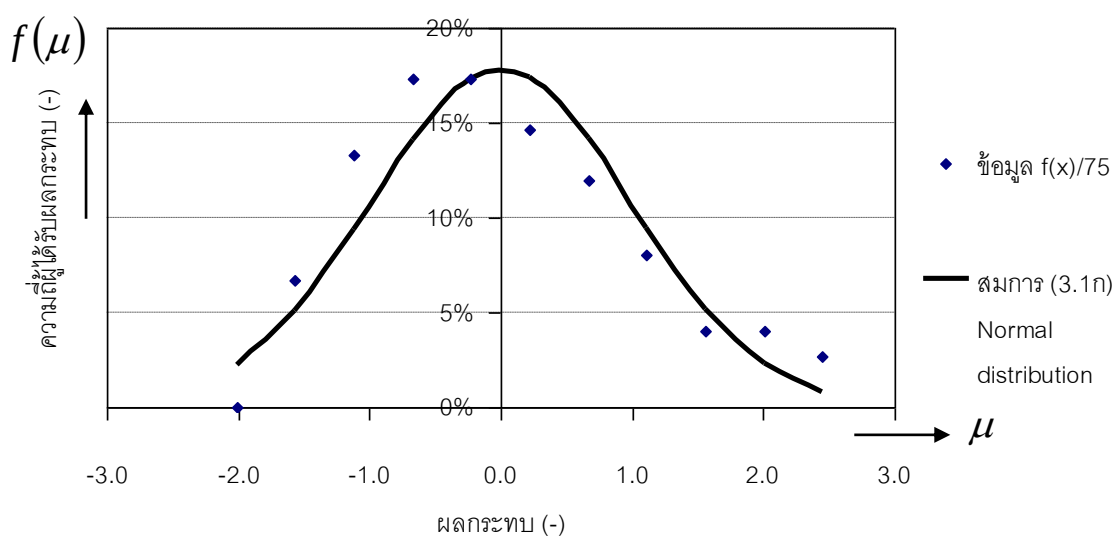
$$f(x_i) = 0.178e^{-0.10(x-4.51)^2} \quad \text{ดังแสดงการแจกแจงข้อมูลในตาราง 3.14}$$

ตารางที่ 3.14 แสดง ผลการวิเคราะห์แบบ Normalization

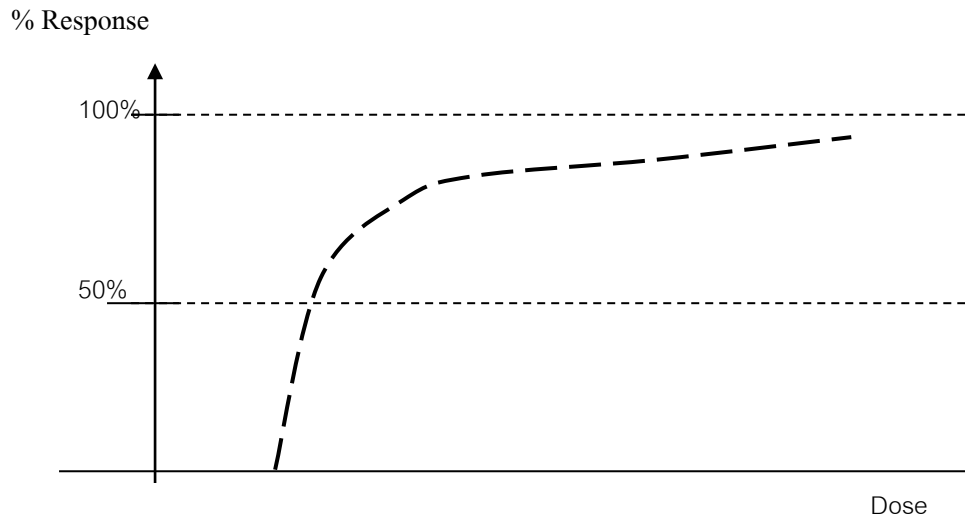
ระดับการ ตอบสนอง x_i	ระดับ ผลตอบสนอง $\mu = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$	จำนวนผู้ที่ได้รับ ผลตอบสนอง (Number of individuals affected) = $f(x)$	Normalization = $f(x)/75$ = $f(\mu_i)$ ของค่าจริง	$f(x_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\mu_i)^2}$ หรือ $f(x_i) = 0.178e^{-0.100(x-4.51)^2}$ ซึ่งเป็นสมการ Normal curve
0	-2.0	0	0.0000	0.0224
1	-1.6	5	0.0667	0.0507
2	-1.1	10	0.1333	0.0937
3	-0.7	13	0.1733	0.1411
4	-0.2	13	0.1733	0.1734
5	0.2	11	0.1467	0.1738
6	0.7	9	0.1200	0.1420
7	1.1	6	0.0800	0.0946
8	1.6	3	0.0400	0.0514
9	2.0	3	0.0400	0.0228
10	2.5	2	0.0267	0.0082
		รวม = 75 คน	รวม = 1.000	รวม = 1.000

เพื่อให้่ายในการเปรียบเทียบค่า $f(x)$ ที่ได้จากข้อมูลและการคำนวณด้วยสมการ (3.2) และ สมการ (3.3) จำเป็นต้อง Normalization

จากรูปที่ 3.13 จะเห็นว่าเมื่อพล็อตจากข้อมูลตารางที่ 3.13 จะมีลักษณะที่เบ้ซ้าย (Left skew) เล็กน้อย ซึ่งจะได้ชี้ชัดขึ้นเมื่อดูจากการเปรียบเทียบระหว่างกราฟที่ได้ในตัวอย่างและกราฟที่มีความเป็นปกติ (Normality) ดังรูปที่ 3.14 จึงซับซ้อนในการที่จะนำเอาผลที่ได้ที่เป็นลักษณะที่ไม่ปกติ (Non-Normality) มาพล็อตผลการแจกแจงความถี่ไปใช้ในการทำนายเปอร์เซ็นต์การตอบสนอง (% Response) สอดคล้องปริมาณกำหนด โดยอาศัยความสัมพันธ์ทางสถิติค่าสอดคล้องดังกราฟ 3.15 ดูเหมือนจะมีแนวโน้มเป็นเส้นโค้งซึ่งยากต่อการทำนาย

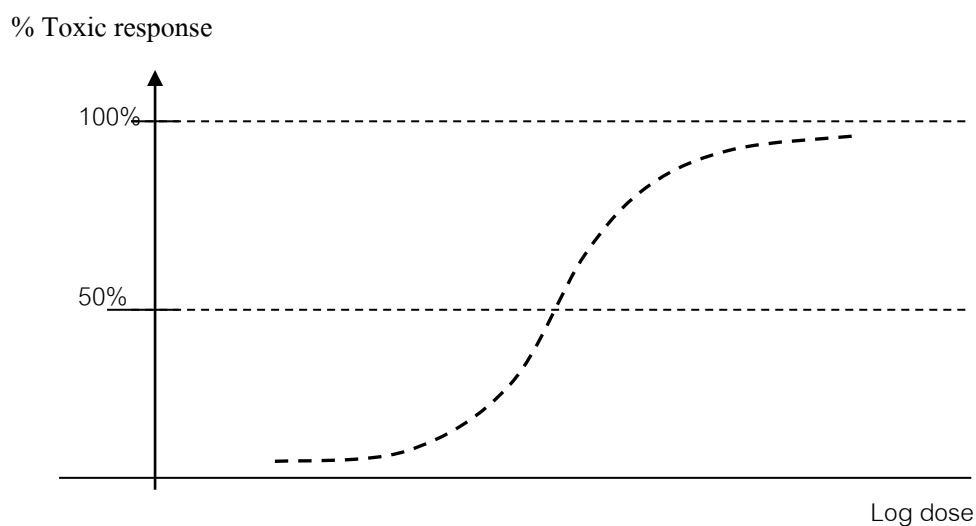


รูปที่ 3.14 การกระจายผลของผู้ที่ได้รับผลกระทบที่ระดับต่างๆ



รูปที่ 3.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของผลตอบสนองสะสมและค่า ปริมาณกำหนด

ดังที่เราทราบแล้วว่าการทำนายที่ง่ายที่สุดควรจะทำให้ ความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นมากที่สุด โดยถ้าเราเปลี่ยนให้เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟของผลตอบสนอง (Response) หรือกราฟเปอร์เซ็นต์ของผลตอบสนองสะสมและค่า Logarithm ของระดับของผลตอบสนองหรือ Logarithm of the Dose ดังได้จากกราฟความสัมพันธ์รูปที่ 3.16 ซึ่งเป็นลักษณะของ Logistic function ในรูปแบบของ Sigmoid curve หรือที่เราจะรู้จักง่าย ๆ ว่าเป็นเหมือนตัว S หรือ S-curve ซึ่งมีความง่ายในการทำนายในช่วงกลางที่เป็นเส้นตรง

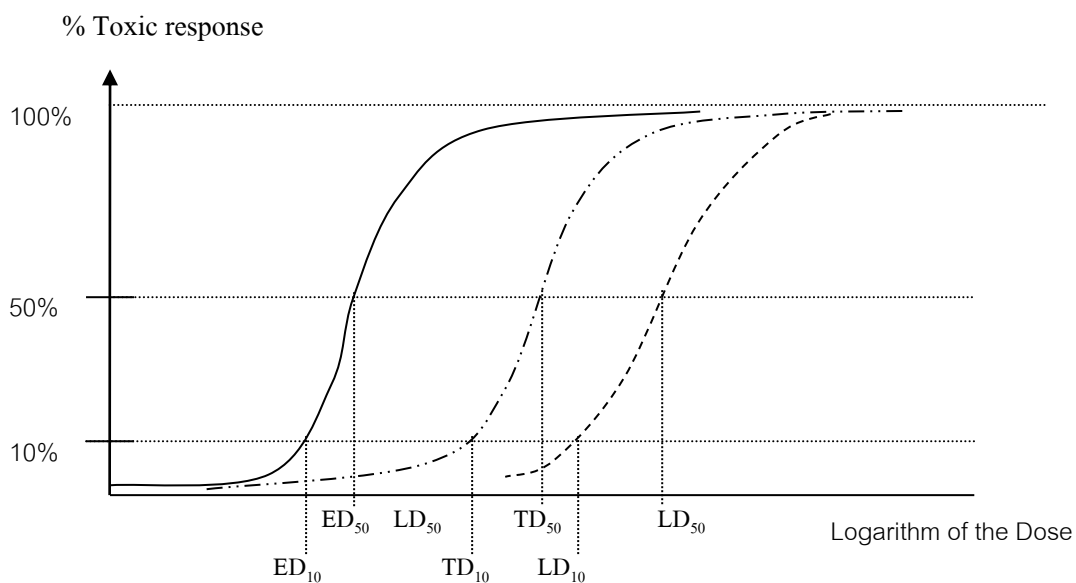


รูปที่ 3.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของผลตอบสนองสะสมและค่า Log Dose

ระดับของการตอบสนองขึ้นกับปริมาณสิ่งที่เราต้องการให้ตอบสนอง (Agent) โดยทั่วไปได้ถูกจำแนกเป็น 3 ระดับคือ

1. ED (Effective dose) เป็นผลในระดับน้อยที่สามารถแก้ไขได้ เช่นระคายเคืองตา ร้อนในบางบริเวณ สามารถรักษาให้หายได้
2. TD (Toxic dose) เป็นผลกระทบรุนแรงแต่ไม่ถึงกับเสียชีวิต เช่น โพรงจมูกอักเสบถาวร ตาบอดหรือตาพร่ามัวถาวร ตับและปอดถูกทำลายบางส่วน ไม่สามารถรักษาให้หายได้เป็นปกติ
3. LD (Lethal dose) เป็นผลในระดับถึงขั้นเสียชีวิต

ค่าตัวเลขที่ห้อยไว้ในผลของการตอบสนอง เช่น ED_{10} ED_{50} TD_{10} TD_{50} LD_{10} LD_{50} หรือ LD_{90} เป็นผลกระทบ ตาม % ที่ระบุ ดังแสดงในรูป 3.17 โดยแสดงในรูป ขึ้นกับสาเหตุอะไรที่ตอบสนองต่อสิ่งมีชีวิตตามน้ำหนักของสารต่อน้ำหนักผู้ได้รับสาร (mg/kg of subject-body-weight)



รูปที่ 3.17 แสดงลักษณะการตอบสนองในปริมาณต่าง ๆ ของสิ่งที่เราต้องการให้ตอบสนอง (Agent)

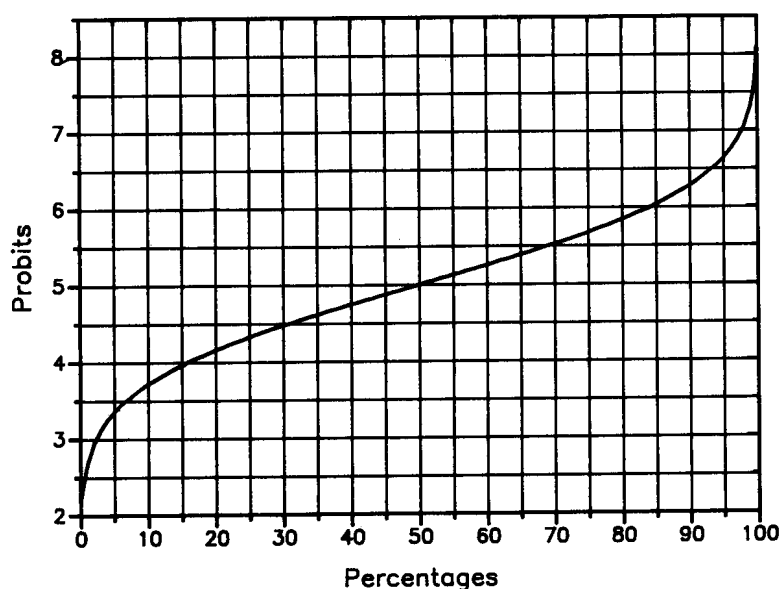
กราฟรูปที่ 3.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซนต์ของผลตอบสนองสะสม (% Response) และค่า Logarithm of the Dose ที่ตอบสนอง (Agent) ต่อร่างกายในปริมาณต่างกัน ซึ่ง Curve โดยทั่วไปเรามักใช้สารพิษที่ให้ผลต่อการตอบสนองแบบฉับพลัน (Acute toxicity) หากเรานำเอาไปใช้กับสารที่ตอบสนองช้าจะทำให้ผลคลาดเคลื่อนเมื่อเรามองถึงตัวการที่เราต้องการให้ตอบสนองหรือ Agent ต่างกันมีผลทำให้ข้อมูลการตอบสนองต่างไปเราจำเป็นต้องมองผลของสิ่งที่ตอบสนองซึ่งเราให้ความสำคัญที่สิ่งมีชีวิต ถ้าชนิดของสิ่งมีชีวิตต่างกันก็จะมีผลต่อการตอบสนองต่างกัน อย่างไรก็ตามการมองลึกลงไปในเรื่องสิ่งมีชีวิตแม้ชนิดเดียวกันก็ยังมีผลต่อการตอบสนองต่างกันด้วย ซึ่งอาจจะเป็นลักษณะเสริมฤทธิ์ในลักษณะรวมกันแบบบวกเมื่อสารทั้งหมดเป็นพิษ (Additive) เสริมฤทธิ์ในลักษณะเป็นพิษมากกว่าสารเริ่มต้นทั้งหมดที่เป็นพิษ (Synergistic) การเสริมฤทธิ์ในลักษณะเป็นสารใหม่ที่เป็นพิษแม้สารทั้งสองจะไม่เป็นพิษแต่รวมกันแล้วเป็นพิษ (Potential) หรือต้านฤทธิ์ (Antagonistic)

3.7.6 แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายการตอบสนอง (Models of Dose: Response curves)

การสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการทำนายการตอบสนองได้แสดงเป็นกราฟการตอบสนองในระดับต่าง ๆ ของปริมาณสารแตกต่างกันไปดังแสดงไปบ้างแล้วในหัวข้อ 3.7.5 ดังกราฟรูปที่ 3.16 ในบทนี้เราจะมาพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จะนำมาทำนายในเชิงวิเคราะห์โดยวิธีการที่เรียกว่าวิธีการโพรบิต (Probit Method) โดยเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\alpha}^{Y-5} e^{-\frac{1}{2}(u)^2} du \quad \dots(3.4)$$

สมการ (3.4) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็น P กับตัวแปร Probit Y ซึ่งเมื่อนำไปเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 3.18 และผลของข้อมูลในตารางที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์และโพรบิต (Crowl and Louvar, 1999)

ตารางที่ 3.15 แสดงค่า Transformation จากเปอร์เซ็นต์ผลตอบสนอง (% Response) เป็น Probit Y ที่ค่าต่าง ๆ (Finney, 1971)

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
50	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
60	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
90	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
%	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
99	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.75	7.88	8.09

จะเห็นว่ากราฟรูปที่ 3.18 จะพล็อตเปอร์เซ็นต์ (แกน X) เทียบกับ Probit Y ซึ่งสามารถหาค่าได้จากตารางที่ 3.16 ซึ่งจะเห็นว่าลักษณะของกราฟจะคล้ายกราฟรูปที่ 3.16 หรือ กราฟรูปที่ 3.17 ถ้าถูกสลับแกน

ตารางที่ 3.16 แสดงค่าตัวแปรของโพรบิทในการได้รับอันตราย (Exposure) แบบต่าง ๆ (Magnitude of exposure) (Lees, 1986)

Type of injury or damage	Causative variable	Probit parameters	
		k ₁	k ₂
Fire:			
Burn deaths from flash fire	$t_e I_e^{4/3} / 10^4$	-14.9	2.56
Burn deaths from pool burning	$t I^{4/3} / 10^4$	-14.9	2.56
Explosion:			
Deaths from lung hemorrhage	p^o	-77.1	6.91
Eardrum ruptures	p^o	-15.6	1.93
Deaths from impact	J	-46.1	4.82
Injuries from impact	J	-39.1	4.45
Injuries from flying fragments	J	-27.1	4.26
Structural damage	p^o	-23.8	2.92
Glass breakage	p^o	-18.1	2.79
Toxic release:			
Chlorine deaths	$\Sigma C^{2.75} T$	-17.1	1.69
Chlorine injuries	C	-2.40	2.90
Ammonia deaths	$\Sigma C^{2.75} T$	-30.57	1.385

t_e = effective time duration (s)

I_e = effective radiation intensity (W/m^2)

t = time duration of pool burning (sec)

I = radiation intensity from pool burning (W/m^2)

p^o = peak overpressure (N/m^2)

J = impulse ($N s/m^2$)

C = concentration (ppm)

T = time interval (min)

ตารางที่ 3.16 จะถูกนำมาคำนวณ Probit Y ซึ่งเป็นไปตามสมการเส้นตรง ดังนี้

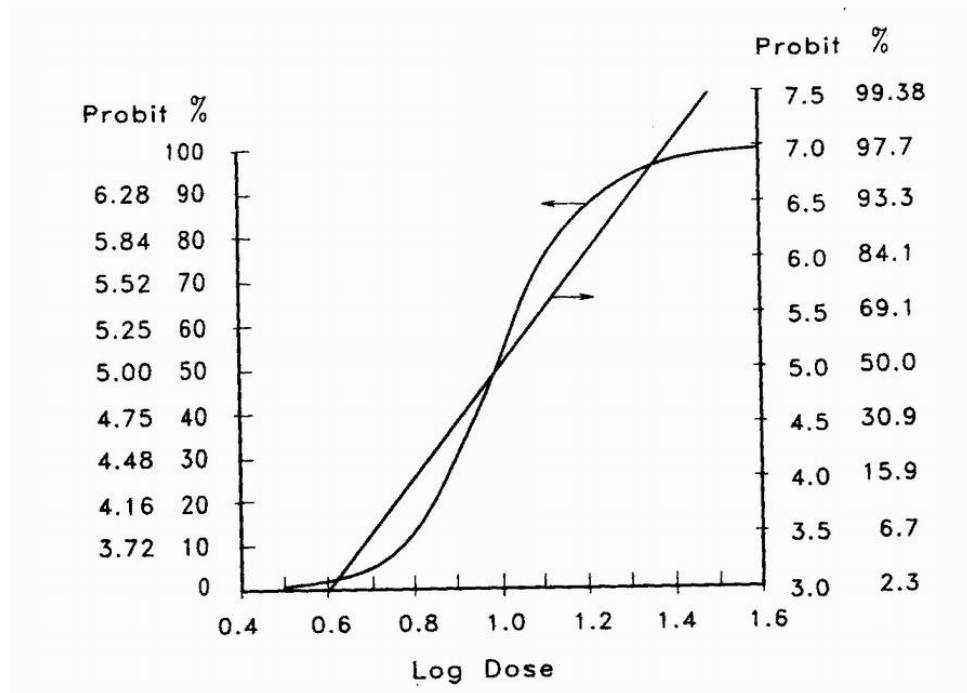
$$Y = k_1 + k_2 \ln V \quad \dots(3.5)$$

เมื่อ Y = Probit variable

k_1 และ k_2 = Probit parameters

V = ต้นเหตุที่ทำให้เกิดอันตราย (Causative variables)

เมื่อนำเอาข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่าง Probit Y และ $\ln V$ จะเกิดเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นเกิดขึ้น ดังกราฟรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การเปลี่ยนรูป (Transformation) จาก S-curve เป็นเส้นตรง (Crowl and Louvar, 1999)

ตัวอย่าง 3-2 จากรายงานของ Eisenberg เรื่องการระเบิดที่ส่งผลทำให้ความดันในหูของคน หรือ ค่า Peak overpressures ดังแสดงข้างล่าง จงหาความสัมพันธ์ (Correlation) โดยใช้ตารางที่ 3.17

ตารางที่ 3.17 รายงานของ Eisenberg การระเบิดที่ส่งผลทำให้ความดันในหูของคน

Percentage affected	1	10	50	90
Peak overpressure (P^o ;N/m ²)	16,500	19,300	43,500	84,300

จากตารางที่ 3.17 ในกรณีของ Explosion: Eardrum ruptures ซึ่งเมื่อเทียบสมการ (3.5) จะได้ว่า

$$Y = \text{Probit variable}$$

$$k_1 \text{ และ } k_2 = -15.6 \text{ และ } 1.93$$

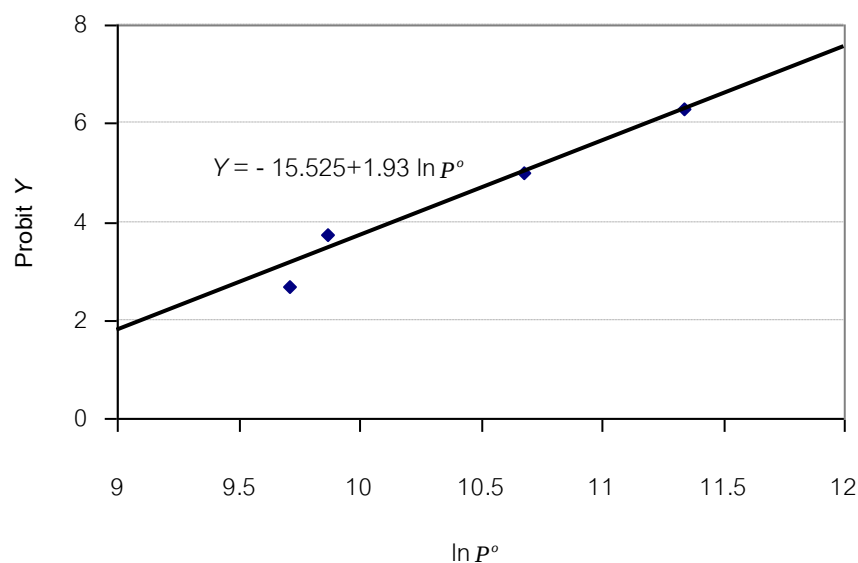
$$V = P^o \text{ หรือ ความดัน (Peak overpressure)}$$

เมื่อเปลี่ยนค่า Percentage affected เป็นค่า Probit (Y) โดยใช้ตารางที่ 3.15 จะได้ตารางที่ 3.18 ดังนี้

ตารางที่ 3.18 ความสัมพันธ์หลังจากเปลี่ยนค่า Percentage affected เป็นค่า Probit (Y) จากตารางที่ 3.15

Percentage affected	1	10	50	90
Probit (Y)	2.67	3.72	5.00	6.28
$\ln P^o$	9.71	9.87	10.68	11.34

และสามารถ Plot กราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง Probit (Y) และ $\ln P^o$ ได้ดังกราฟรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln P^\circ$ และ Probit Y ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงและสอดคล้องกับค่าในตารางที่ 3.17 (Crowl and Louvar, 1999)

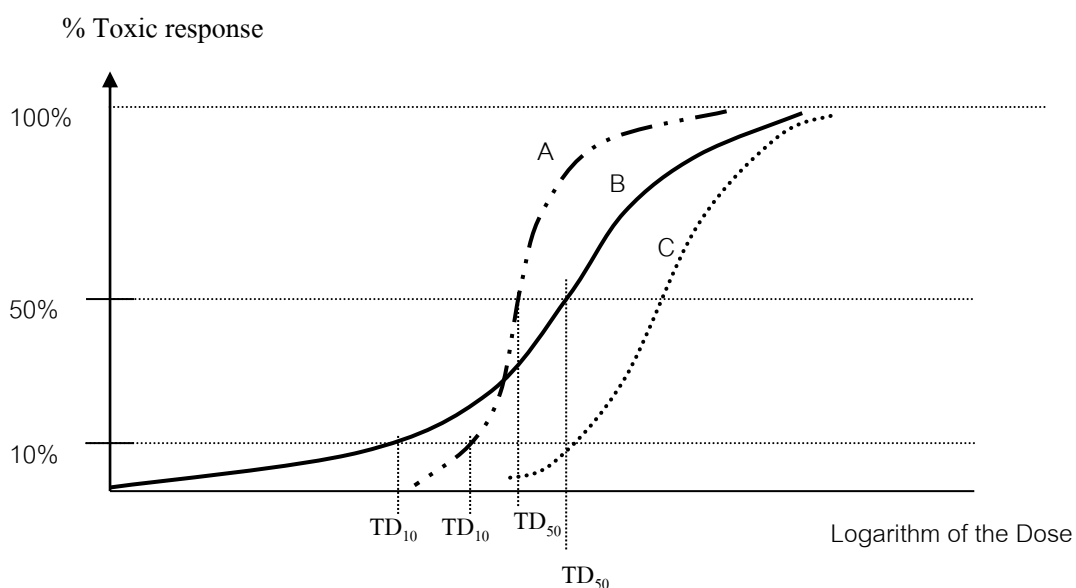
ข้อดีของโพรบิท (Probit) ในเรื่องผลของความสัมพันธ์ที่ได้จากตัวอย่าง 3-2 เราสามารถที่จะทำนายได้นอกช่วงที่กำหนดไว้ในรายงานของ Eisenberg นอกจากนี้เราสามารถทำนายเหตุการณ์ล่วงหน้าในกรณีของผลตอบสนองกับคน และสามารถหาสภาวะที่ปลอดภัยหรือที่ค่าโพรบิทมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งหมายความว่าที่สภาวะปลอดภัยหรือโอกาสที่จะได้รับอันตรายเท่ากับศูนย์เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในสภาพความเป็นจริงหากเกินขอบเขตที่ปลอดภัยอาจเตรียมหาอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคลเพื่อป้องกันเอาไว้ได้ในกรณีที่มีคนอยู่บริเวณที่มีโอกาสที่จะได้รับอันตราย อย่างไรก็ตามในบทที่สองได้กล่าวไว้แล้วในเรื่องการเตรียมข้อรับแผนฉุกเฉิน (การระบับในการเตรียมพร้อมในการลดความตื่นเต้นตกใจจะมีความสำคัญในการลดความเสี่ยงของการได้รับอันตรายของพนักงานได้อีกทางหนึ่งด้วย

3.7.7 ความเป็นพิษสัมพัทธ์ (Relative toxicity)

สารพิษต่าง ๆ จำเป็นต้องทราบระดับของความเป็นพิษ (การประยุกต์จะรวมไปถึงด้านการรับความร้อน แสง เสียง ที่เกินมาตรฐาน ด้วย) อย่างน้อยต้องรู้ว่าอะไรที่มีพิษเป็นภัยมากหรือน้อยกว่ากันอย่างไร ดังนั้นโดยใช้ ตารางที่ 3.19 หรือตาราง Hodge-Sternern จะแสดงให้เห็นระดับของความเป็นพิษซึ่งอยู่ในช่วง 1.0 – 15,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยเปรียบเทียบโดยใช้ค่า LD_{50} (ค่าเฉลี่ยของการได้รับสารพิษซึ่งเป็นผลให้เกิดการเสียชีวิตได้ร้อยละ 50) อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบอาจจะเปรียบเทียบเป็นเส้นโค้งดังกราฟ 3.17 ที่แสดงเป็นเส้นโค้ง (Sigmoid shape) ของ LD ED หรือ TD โดยรูปร่างของเส้นโค้งมีความชันเท่ากันผลคือเส้นโค้งที่อยู่ทางซ้ายจะมีความเป็นพิษมากที่สุด ส่วนรูปที่ 3.21 จะเห็นว่าถ้าเส้นโค้งมีความชันไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องขึ้นกับจุดอ้างอิงของการตอบสนอง (เปรียบเทียบกันที่ % Toxic response หนึ่ง ๆ) เช่นในกรณีที่เปอร์เซ็นต์การตอบสนองต่ำ ๆ หรือที่ 10% Toxic response สาร B มีความเป็นพิษมากกว่า A แต่ที่เปอร์เซ็นต์การตอบสนองสูงขึ้น ถึง 50% Toxic response พบว่าสาร A มีความเป็นพิษมากกว่า B และ C

ตารางที่ 3.19 ตาราง Hodge-Sterner บอกระดับความเป็นพิษ (Irving, 1984)

การทดลอง LD ₅₀ (กิโลกรัมต่อน้ำหนักตัว)	ระดับของสารพิษ	ค่า LD ₅₀ สำหรับคนน้ำหนัก 70 กิโลกรัม
<1.0	Dangerously toxic	A taste
1.0-50 มิลลิกรัม	Seriously toxic	A teaspoonful
50-500 มิลลิกรัม	Highly toxic	An ounce
0.5-5 กรัม	Moderately toxic	A pint
5-15 กรัม	Slightly toxic	A quart
> 15 กรัม	Extremely low toxicity	More than a quart



รูปที่ 3.21 แสดงลักษณะการตอบสนองในปริมาณต่าง ๆ ของ สาร A, B และ C

3.7.8 ขอบเขตที่รับได้ (Threshold Limit Values)

TLV ได้เริ่มจาก ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) ซึ่งได้ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1938 โดยกลุ่มของนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมที่ทำงานในภาครัฐบาลโดยมีจุดมุ่งหมายหลักคือเพื่อส่งเสริมกิจกรรมของนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรม แลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อช่วยให้บรรลุเป้าหมายในการคุ้มครองดูแลสุขภาพของคนงานจึงได้มีการก่อตั้งคณะกรรมการเกี่ยวกับ Threshold Limits ในปี ค.ศ. 1941 อยู่ในคณะกรรมการของ Technical Standards การพัฒนาจัดทำข้อมูลเกี่ยวกับ TLVs และ BEIs มีดังนี้

ค.ศ. 1944 มีการจัดตั้ง TLV Committee

ค.ศ. 1946 กำหนด MACs (Maximum allowable concentrations) ความเข้มข้นสูงสุดของสารที่ยอมในสัมผัสได้ 150 สารจัดพิมพ์ใน Transactions

ค.ศ. 1948 เปลี่ยนชื่อเรียก MACs เป็น Threshold Limit Values (TLVs)

ค.ศ. 1950 มีการเตรียมข้อมูลสำหรับการกำหนดค่า TLV และได้กำหนดค่า TLV ของสารจำนวน 207 สาร

ค.ศ. 1961 เริ่มมีการกำหนดวิธีการได้รับสารเข้าร่างกายทางผิวหนังลงในค่า TLV เพื่อเตือนให้นักอาชีวอนามัยให้ความสำคัญกับวิธีการได้รับสาร

ค.ศ. 1962 ได้มีการจัดพิมพ์เอกสาร TLVs จำนวน 293 สาร เป็นฉบับแรกและมีการเพิ่มจำนวนสารขึ้นคืบในปีต่อ ๆ มา จนได้ 600 สารในปี ค.ศ. 1986

ค.ศ. 1976 มีการเติม Short-Term Exposure Limits (STELs) ลงในเอกสาร TLVs

TLVs เป็นความเข้มข้นของสารเมื่อคนงานเกือบทั้งหมดสัมผัสหลาย ๆ วันต่อเนื่องกันโดยไม่เกิดผลเสียหรืออันตรายต่อสุขภาพ แต่เนื่องจากคนเรามีความแตกต่างกัน อาจมีคนงานส่วนน้อยที่ได้รับอันตรายหรือเกิดความไม่สบายหรือเกิดโรคจากการทำงาน จากการได้รับสารในระดับเท่ากับหรือน้อยกว่าค่า TLV การสูบบุหรี่อาจทำให้ร่างกายทนทานสารมลพิษได้น้อยลง คนแต่ละคนมีความไวต่อสารมลพิษแต่ละชนิดแตกต่างกันขึ้นกับลักษณะทางกรรมพันธุ์ อายุ ลักษณะพฤติกรรมส่วนตัวเช่น การสูบบุหรี่ การดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ การรับประทานยา ซึ่งคนเหล่านี้จึงไม่ได้รับการคุ้มครองจากอันตรายต่อสุขภาพที่ความเข้มข้นของสารเคมีที่กำหนดเป็นค่า TLV ค่า TLV ได้มาจากประสบการณ์ในอุตสาหกรรม การทดลองในคนและสัตว์ทดลอง การกำหนดค่า TLV สำหรับสารเคมีแต่ละสารก็แตกต่างกัน โดยทั่วไป การพิจารณาอันตรายต่อสุขภาพอาจพิจารณาจากการมีอายุสั้นลงความสามารถในการทนทานสารพิษลดลงหรือทำให้ป่วยเป็นโรค หรือสารนั้นมีผลต่อระบบสืบพันธุ์และการพัฒนาของร่าการลดลง เป็นต้น

TLVs มี 3 รูปแบบที่ต่างกันคือ TLV-TWA, TLV-STEL และ TLV-C ซึ่งมีนิยามต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.20 อย่างไรก็ตามบางครั้งเราอาจจะเห็นคำว่า PEL (Permissible Exposure Level) ซึ่งถูกบัญญัติโดย OSHA (Occupational Safety Health Administration) ซึ่งเป็นองค์กรที่สำคัญในเรื่องความปลอดภัยของสหรัฐอเมริกา โดยใช้ตารางที่ 3.8 จะเห็นว่าเป็นค่าที่ต่ำกว่า TLV ซึ่งได้คำรับรองจาก ACGIH ว่ามาตรฐาน PEL สำหรับพนักงานที่สัมผัสไอของสารพิษในการทำงาน 8 ชม. ต่อวัน จะปลอดภัยและจะปลอดภัยมากขึ้นถ้าค่าความเข้มข้นลดลงไปเท่าที่จะทำได้

ตารางที่ 3.20 นิยามของ Threshold Limit values ทั้ง 3 แบบ

TLV-TWA	เป็นค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารสำหรับการทำงานปกติ 8 ชั่วโมงต่อวันและ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์โดยที่คนงานเกือบทุกคนสัมผัสสารซ้ำ ๆ หลายวันต่อเนื่องกันโดยไม่เกิดอันตรายต่อร่างกาย
TLV-STEL	ความเข้มข้นของสารที่คนงานสัมผัสในช่วงเวลา 15 นาทีต่อเนื่องกันโดยไม่เกิดอันตรายจากการระคายเคืองอันตรายเรื้อรังต่อเนื้อเยื่อ หูดสติ ซึ่งอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุประสิทธิภาพการทำงานลดลงและความเข้มข้นของสารแต่ละวันในสถานที่ทำงานต้องไม่เกินค่า TLV-TWA ถ้าความเข้มข้นของสารสูงขึ้นมาถึงระดับ STEL ก็ไม่ควรเกิน 15 นาทีต่อเนื่องกันและไม่ควรมากกว่า 4 ครั้งต่อวัน แต่ละครั้งควรห่างกันอย่างน้อย 60 นาที
TLV-C	เป็นค่าความเข้มข้นของสารไม่ควรจะให้สูงกว่านี้ตลอดช่วงเวลาทำงาน Excursion Limits ใช้สำหรับสารเคมีที่มีการกำหนดค่า TLV-TWA แต่ไม่มีการกำหนดค่า STEL อาจใช้ในกรณีที่ระดับของสารเคมีที่คนงานสัมผัสอาจสูงเกิน 3 เท่าของ TLV-TWA ได้ไม่เกิน 30 นาทีระหว่างทำงาน 1 วันและ ไม่ควรเกิน 5 เท่าของ TLV-TWA โดยที่ระดับความเข้มข้นของสารเคมีเฉลี่ยไม่เกิน TLV-TWA

ค่า TLV สำหรับไอมีหน่วยเป็น ppm, mg/m³ (ถ้าเป็นฝุ่นจะเป็น mg/m³ หรือ mppcf; millions of particles per cubic foot of air) ของสารเคมีต่าง ๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ค

ข้อควรระวังการใช้ TLVs

TLVs ไม่ใช้ในการประเมินผลหรือควบคุมปริมาณสารพิษในอากาศของชุมชน ไม่ใช้ในการประเมินความเป็นพิษของ คนงานที่ทำงานในช่วงเวลาทำงานที่ยาวผิดปกติ ไม่ใช่เป็นข้อพิสูจน์ว่าเป็นโรค ไม่ใช่ในประเทศที่มีสภาวะการทำงาน และวัฒนธรรมที่แตกต่างจากประเทศสหรัฐอเมริกา ไม่ใช่สำหรับเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของมลพิษที่ได้จากการ เก็บตัวอย่างครั้งเดียว ไม่ใช่เป็นเส้นแบ่งระหว่างความเข้มข้นที่ปลอดภัยและความเข้มข้นที่เกิดอันตราย ไม่ใช่ข้อบ่งชี้ ถึงความเป็นพิษ ใช้ได้เฉพาะคนที่ได้รับการฝึกทางด้านสุขศาสตร์อุตสาหกรรม มีความรู้เกี่ยวกับข้อจำกัดของค่า TLV และผลต่อสุขภาพเท่านั้น

สำหรับการเปลี่ยนหน่วยจาก ppm เป็น mg/m³ ของไอหรือฝุ่นในอากาศจะใช้สมการ (3.6)

$$\begin{aligned} C_{ppm} &= \frac{22.4}{M} \left(\frac{T}{273} \right) \left(\frac{1}{P} \right) \text{ mg/m}^3 \\ &= 0.08205 \left(\frac{T}{PM} \right) \end{aligned} \quad \dots(3.6)$$

เมื่อ T = อุณหภูมิ (Kelvin)
 P = ความดันสัมบูรณ์ (atm)
 M = มวลโมเลกุล

หรืออาจใช้

$$C_{ppm} = \frac{1}{31M} \text{ mg/m}^3 \quad \dots(3.6)$$

เมื่อ ค่า 31 คือ ปริมาตรสารเคมีมีหน่วยเป็นลิตร ของก๊าซ 1 กรัมโมเลกุลที่อุณหภูมิ 25 C และความดัน 760 mm Hg

สรุปบทที่ 3 ความรู้ความเข้าใจสารเคมีและแก๊สเป็นเรื่องที่จำเป็นสำหรับทุกคนโดยเฉพาะวิศวกรในโรงงาน เนื่องจากผู้ที่มีความรู้สามารถเข้าใจก็สามารถแก้สถานการณ์ได้ทั้งในกรณีที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามสารเคมีและแก๊ส มีมากมายซึ่งเราไม่สามารถจดจำได้หมดแต่อย่างน้อยควรที่จะต้องเข้าใจประเภทและรู้ถึงอันตรายซึ่งทราบถึงการหา ข้อมูลเพิ่มเติมได้จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ หรือเอกสารประกอบเฉพาะสำหรับสารนั้น ๆ นอกจากนี้เราสามารถทำความเข้าใจในเรื่องสารพิษ ผลตอบสนองต่อส่วนต่าง ๆ ของอวัยวะในร่างกาย ขอบเขตที่กำหนดให้ในการได้รับ สารพิษ TLV การทำนายผลตอบสนองโดยใช้ โพรบิทหรือการประเมินทางสถิติของการตอบสนองของสารพิษของ สิ่งมีชีวิตเพื่อที่จะโยงเข้าไปทำความเข้าใจในบทที่ 4 เรื่องสุขศาสตร์อุตสาหกรรมต่อไป

แบบฝึกหัด บทที่ 3

3-1 Derive Equation (3.6)

3-2 Finney reported the data of Martin (Crowl and Louvor, 2002) involving the toxicity of rotenone to the insect species *Macrosiphoniella sanborni*. The rotenone was applied in a medium of 0.5% saponin, containing 5% alcohol. The insects were examined and classified one day after spraying. The obtained data were:

Dose of rotenone (mg/l)	Number of insects	Number affected
10.2	50	44
7.7	49	42
5.1	46	24
3.8	48	16
2.6	50	6
0	49	0

- From the given data, plot the percentage of insects affected versus the natural logarithm of the dose.
 - Convert the data to a probit variable, and plot the probit versus the natural logarithm of the dose. If the result is linear, determine a straight line that fits the data. Compare the probit and number of insects affected predicted by the straight-line fit to the actual data.
- 3-3. A blast produces a peak overpressure of $47,000 \text{ N/m}^2$. What fraction of structures will be damaged by exposure to this overpressure? What fraction of people exposed will die as a result of lung hemorrhage? What fraction will have eardrums ruptured? What conclusions about the effects of this blast can be drawn?
- 3-4. The peak overpressure expected as a result of the explosion of a tank in a plant facility is approximated by the equation

$$\log P = 4.2 - 1.8 \log r,$$

where P is the overpressure in psi and r is the distance from the blast in feet. The plant employs 500 people who work in an area from 10 to 500 ft from the potential blast site. Estimate the number of fatalities expected as a result of lung hemorrhage and the number of eardrums ruptured as a result of this blast. Be sure to state any additional assumptions.

3-5. A certain volatile substance evaporates from an open container into a room of volume 1000 ft³. The evaporation rate is determined to be 100 mg/min. If the air in the room is assumed to be well mixed, how many ft³/min of fresh air must be supplied to ensure that the concentration of the volatile is maintained below its TLV of 100 ppm? The temperature is 77°F and the pressure is 1 atm. Assume a volatile species molecular weight of 100. Under most circumstances the air in a room cannot be assumed to be well mixed. How would poor mixing affect the quantity of air required?

3-6. In Example 3.1, the data were represented by the normal distribution function

$$f(x_i) = 0.178e^{-0.100(x-4.51)^2}$$

Use this distribution function to determine the fraction of individuals demonstrating a response between the ranges of 2.5 to 7.5.

3-7. How much acetone liquid (in milliliters) is required to produce a vapor concentration of 200 ppm in a room of dimension 3 X 4 X 10 m? The temperature is 25°C and the pressure is 1 atm. The following physical property data are for acetone: molecular weight, 58.1; and specific gravity, 0.7899

3-8. Use a spreadsheet program (such as Excel) to solve Problem 3-4. Break the distance from 10 ft to 500 ft into several intervals. Use a small enough distance increment so that the results are essentially independent of the increment size. Your spreadsheet output should have designated columns for the distance, pressure, probit values, percentages, and the number of individuals affected for each increment. You should also have two spreadsheet cells that provide the total number of individuals with eardrum ruptures and lung hemorrhage deaths. For converting from probits to percentages, use a lookup function or an equivalent function.

3-9. Use the results of Problem 3-8 to establish the recommended distance between the control room and the tank if the control room is designed to withstand overpressures of (a) 1 psi and (b) 3 psi.

3-10. Using the data from 3-2, determine the probit constants and the LC₅₀

3-11. List the materials' incompatibility problems you should be aware of in plants that handle 1. Hydrogen peroxide; 2. Ethylene oxide; 3. Chlorine; 4. Ammonium nitrate; and 5. Styrene.

บทที่ 4

สุขศาสตร์อุตสาหกรรม

สุขศาสตร์อุตสาหกรรม (Industrial Hygiene) เป็นทั้งวิทยาศาสตร์และศิลปะศาสตร์ของการรักษาสุขภาพในโรงงาน ทั้งนี้เราจำเป็นต้องศึกษาให้เข้าใจเพื่อหาสาเหตุ (Identify) หรือปัญหา การประเมิน (Evaluate) และการควบคุม (Control) สภาวะต่าง ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความเจ็บป่วยและการได้รับอันตรายจากการทำงาน การลดอันตรายต่อสุขภาพในโรงงานอุตสาหกรรมจะสามารถแจกแจงได้ดังนี้

- ตรวจสอบ (Monitoring) ควบคุมเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารพิษที่มีอยู่ในอากาศ
- การลดการเกิดพิษโดยการใช้วิธีการระบายอากาศ
- การเลือกใช้ อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล หรือ PPE (Personal Protective Equipment) อย่างเหมาะสม
- ปรับปรุงวิธีการหรือกระบวนการขนถ่ายสารที่เป็นอันตราย (Hazardous material)
- ตรวจสอบสิ่งที่เป็นอันตรายที่เราสามารถลดลงได้เพื่อความปลอดภัยของพนักงานเช่น เสียงดัง ความร้อนสูง การแผ่รังสี เพื่อให้ไม่ให้ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสกับสิ่งที่เป็นอันตราย

ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าสุขศาสตร์อุตสาหกรรมประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ

- Identification คือการบ่งชี้หรือความน่าจะเป็นที่จะสัมผัสกับสารพิษในโรงงาน
- Evaluation คือการประเมินระดับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่คุกคามสุขภาพเช่น การหาสาเหตุของการได้รับสารพิษที่อยู่ในอากาศ รวมถึงสภาวะเออโกโนมิกส์ (Ergonomic) ด้วย
- Control คือ การใช้วิธีการเหมาะสมเพื่อลดความเสี่ยง (Risk) หรือโอกาสในการสัมผัสกับสารพิษในโรงงานให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยอาจจะใช้สารเคมีที่มีอันตรายน้อยกว่า เปลี่ยนแปลงระบบการผลิต หรือการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (PPE)

ในโรงงานอุตสาหกรรมเคมีหรือในห้วงทดลองต่าง ๆ ต้องคำนึงถึงเรื่องสุขศาสตร์เพื่อความปลอดภัยและประยุกต์การนำเอาสุขศาสตร์เพื่อให้เกิดความปลอดภัยหรือป้องกันการสูญเสีย (Loss prevention) ซึ่งจะทำให้การทำงานร่วมกันระหว่างผู้ปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยซึ่งจำเป็นต้องเข้าใจในเรื่องเทคนิคและความเข้าใจต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการต่าง ๆ ในเรื่องความปลอดภัยซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

4.1. มาตรฐานเกี่ยวกับความปลอดภัยในด้านสุขศาสตร์อุตสาหกรรม (Safety industrial hygiene regulation)

เป้าหมายในการคุ้มครองสุขภาพและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานคือ การขจัดอันตรายให้หมดไปจากสถานที่ทำงานให้ได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามบางครั้งอาจจะพบว่าอาจจะไม่สามารถกำจัดอันตรายให้หมดไปได้ 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องด้วยปัญหาของภูมิหลังของบุคคลที่เราได้ทราบมาจากทฤษฎีโดมิโนในบทที่ 1 จึงมีผลทำให้ทัศนคติหรือสิ่งบางอย่างมีแนวโน้มที่จะเกิดอันตรายหรือสิ่งบางอย่างที่เราไม่สามารถรู้หรือคาดเดาได้ว่าเป็นสิ่งที่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติการ ดังนั้นการออกมาตรฐานหรือกฎระเบียบที่ทุกคนต้องปฏิบัติตามจึงเป็นสิ่งหนึ่งที่สามารถควบคุมได้

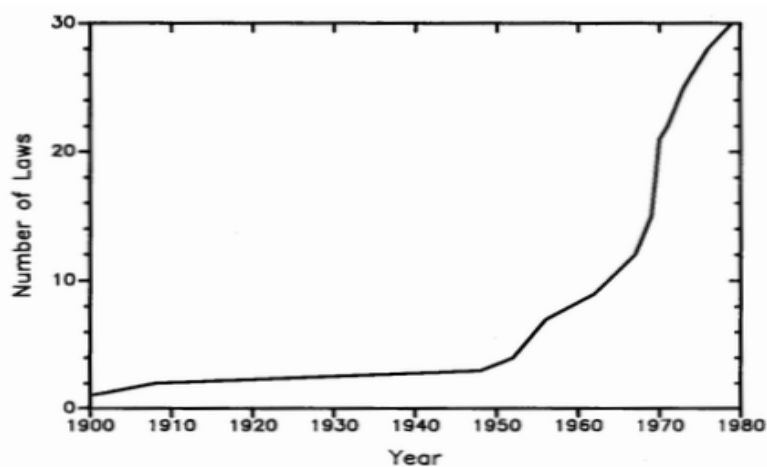
ในเรื่องกฎหมายด้านความเป็นพิษ ซึ่งปัจจุบันเราใช้มาตรฐาน OSHA (Occupational Safety Health Administration) ซึ่งก่อตั้งก่อนปี ค.ศ. 1970 ซึ่งมาตรฐานเป็นของ NIOSH (Nations Institute for Occupational Safety and Health) ซึ่งมีมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 4.1 ส่วนหนึ่งของมาตรฐานความปลอดภัยโดย OSHA ตารางที่ 4.2 กฎระเบียบที่สำคัญของ OSHA และ ตารางที่ 4.3 ชื่อของกฎระเบียบความปลอดภัย อย่างไรก็ตามในส่วนของบริษัทเราจะมุ่งเน้นทางสารเคมีที่เป็นพิษ หรือเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน

ตารางที่ 4.1 ส่วนหนึ่งของมาตรฐานความปลอดภัยโดย OSHA (Crowl and Louvar, 1999)

หมายเลข	หัวเรื่อง
1919.94	Ventilation
1919.95	Occupational noise exposures
1910.1000	Air contaminants
1910.1001	Asbestos
1910.1003	4-Nitrobiphenyl
1910.1008	bi-Chloromethyl ether
1910.1017	Vinyl chloride
1910.1028	Benzene

ตารางที่ 4.2 กฎระเบียบที่สำคัญของ OSHA (Crowl and Louvar, 1999)

- เจ้าของกิจการต้องอนุญาตทุกครั้งที่เจ้าหน้าที่ OSHA มาตรวจความปลอดภัยในโรงงาน โดยเจ้าหน้าที่ OSHA ไม่จำเป็นต้องมีการแจ้งล่วงหน้า เพียงแสดงเอกสารสิทธิการเข้าตรวจ (Search warrant) ได้ทันที
- เจ้าหน้าที่ OSHA มีสิทธิที่จะขอตรวจบันทึกโรงงานประวัติความปลอดภัยและสุขภาพของพนักงาน
- การตรวจสอบหากมีความผิดจะต้องถูกลงโทษตามกฎหมายอาญา (Criminal penalties) โดยหลีกเลี่ยงไม่ได้
- เจ้าหน้าที่ OSHA มีสิทธิที่จะปิดโรงงานได้ถ้าโรงงานนั้นมีโอกาสที่จะเกิดอันตรายร้ายแรง



รูปที่ 4.1 จำนวนกฎข้อบังคับ (Number of federal legislative) ที่เกี่ยวกับความปลอดภัยเพิ่มขึ้นในแต่ละปี (Crowl and Louvar, 1999)

ตารางที่ 4.3 ชื่อย่อของกฎระเบียบความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรมเคมี (Crowl and Louvar, 1999)

Date	Abbreviation	Act
1899	RHA	River and Harbor Act
1906*	FDCA	Federal Food, Drug and Cosmetic Act
1947*	FIFRA	Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act
1952	DCA	Dangerous Cargo Act
1952*	FWPCA	Federal Water Pollution Control Act
1953*	FFA	Flammable Fabrics Act
1954	AEA	Atomic Energy Act
1956*	FWA	Fish and Wildlife Act of 1956
1960*	FHSA	Federal Hazardous Substances Labeling Act
1965*	SWDA	Solid Waste Disposal Act
1966	MNMSA	Metal and Non-Metallic Mine Safety Act
1969	NEPA	National Environmental Policy Act
1969	CMHSA	Federal Coal Mine Health and Safety Act
1970*	CAA	Clean Air Act
1970	PPPA	Poison Prevention Packaging Act of 1970
1970	WQI	Water Quality Improvement Act of 1970
1970	RSA	Federal Railroad Safety Act of 1970
1970	RRA	Resource Recovery Act of 1970
1970	OSHA	Occupational Safety and Health Act
1972	NCA	Noise Control Act of 1972
1972	FEPCA	Federal Environmental Pollution Control Act
1972	HMTA	Hazardous Materials Transportation Act
1972	CPSA	Consumer Product Safety Act
1972	MPRSA	Marine Protection, Research and Sanctuary Act of 1972
1972*	CWA	Clean Water Act
1972*	CZMA	Coastal Zone Management Act
1973	ESA	Endangered Species Act of 1973
1974*	SDWA	Safe Drinking Water Act
1974	TSA	Transportation Safety Act of 1974
1974*	ESECA	Energy Supply and Environmental Coordination Act
1976	TSCA	Toxic Substances Control Act
1976*	RCRA	Resource Conservation and Recovery Act
1977	FMSHA	Federal Mine Safety and Health Act
1977	SMCRA	Surface Mine Control and Reclamation Act
1978	UMTCA	Uranium Mill Tailings Control Act
1978	PTSA	Port and Tanker Safety Act
1980	CERCLA	Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act of 1980 (Superfund)

จะเห็นว่าในตารางที่ 4.3 บ่งบอกถึงกฎระเบียบความปลอดภัย (Federal legislation) มีเพิ่มมากขึ้นทุกปี อย่างไรก็ตามกฎระเบียบต่างๆ มีมากมายแต่ที่ยกตัวอย่างมานี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น สิ่งสำคัญที่สุดคือการปฏิบัติงานถ้าการปฏิบัติงานอย่างไม่ระมัดระวังหรือไม่เข้าใจแล้วจะเป็นผลของการเกิดอุบัติเหตุและผลตามมามากมายดังที่กล่าวในบทที่ 1 (ภูเขาน้ำแข็ง) ในฐานะที่เรากำลังจะเป็นวิศวกรจึงจำเป็นที่จะต้องตระหนักเพื่อสร้างความมั่นใจและสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดีในการทำงานของพนักงานในโรงงาน

4.2 การหาปัญหา (Identification)

ความรับผิดชอบอันหนึ่งของงานสุขศาสตร์อุตสาหกรรมคือการหาสาเหตุและแก้ไขปัญหาก็เกี่ยวข้องกับสุขภาพที่เกิดขึ้นภายในโรงงาน เทคโนโลยีเกี่ยวกับการผลิตในอุตสาหกรรมเคมีมีความซับซ้อนมากจึงเป็นการยากที่จะรู้ล่วงหน้าในการออกแบบผลิตภัณฑ์ การควบคุมการทำงาน ดังนั้นการรายงานผลจึงเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตทั้งฝ่ายวิศวกรและฝ่ายผู้บริหาร เพื่อลดความเสี่ยง จึงจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์อย่างระมัดระวัง ขั้นตอนการจำแนกจะต้องอาศัยการศึกษาในกระบวนการ สภาพการปฏิบัติงาน ขบวนการปฏิบัติงาน ซึ่งเราสามารถหาแหล่งข้อมูลจาก คำอธิบายกระบวนการออกแบบ การปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับเครื่องมือ คำอธิบายจากรายการสินค้า หรือจากผู้ขาย ข้อมูลบุคคลควบคุมเครื่อง คุณภาพและขั้นตอนการจำแนก ซึ่งจำเป็นที่จะต้องนำมาพิจารณาและคัดข้อมูลที่มีคุณภาพและสามารถที่จะนำไปเปรียบเทียบกับปัญหาในแต่ละประเภท เพื่อจำแนกปัญหาใหม่ ๆ พร้อมทั้งดูผลของการกระทำที่จะเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามการหาอันตรายอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุมักเป็นส่วนหนึ่งในขั้นตอนที่ปัญหาหรือสาเหตุของปัญหา (Identification) ในการจดบันทึกสิ่งที่เป็นอันตรายและความเสี่ยงในการที่จะเกิดอันตรายจะใช้ในขั้นตอนการประเมินผล (Evaluate) และการควบคุมแผนงาน (Control) ที่จะลดความเสี่ยง (Risk) และเพิ่มประสิทธิภาพของงานอย่างเหมาะสม ดังแสดงข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาในตารางที่ 4.4 ซึ่งอาจจะคล้ายคลึงกับบทที่ 3 ในเรื่องการประเมินอันตรายของสารเคมี

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการหาสาเหตุของอันตราย (Identification)
(Crowl and Louvar, 1999)

-
- ขอบเขตของสารปลอดภัยในอากาศที่คนยอมรับได้; TLV (Theshold Limit value)
 - ความรุนแรงของกลิ่น ที่ยอมรับได้ (Odor theshold for vapors)
 - ลักษณะกายภาพ (Physical state)
 - ความดันไอของของเหลว (Vapor pressure of liquid)
 - ความไวของสารเคมีต่ออุณหภูมิหรือต่อผลกระทบที่เกิดขึ้นต่าง ๆ (Sensitivity of chemical to temperature or impact)
 - อัตราและพลังงานความร้อนของปฏิกิริยา (Rate and heats of reaction)
 - ผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตอาจจะเป็นผลให้เกิดอันตราย (Hazardous by-products)
 - การเกิดปฏิกิริยากับสารเคมีอื่น (Reactivity of other chemicals)
 - ความเข้มข้นที่สามารถเกิดระเบิดของฝุ่นและไอเคมี (Explosive concentrations of chemical dusts and vapor)
 - ระดับความดังของอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ในระหว่างการใช้งาน (Noise levels of equipment)
 - ชนิดและระดับความเข้มข้นของการแผ่รังสี (Type and degree of radiation)
-

หนึ่งในการหาปัญหาเกี่ยวกับสารเคมีคือการรายงานความปลอดภัยโดยใช้ข้อมูลจาก MSDS (Material Safety Data Sheets) ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญที่สุด ตัวอย่างของ MSDS แสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งได้อธิบายรายละเอียดในหัวข้อ 3.1 แล้วว่าควรจะต้องประกอบด้วยข้อมูลอะไรบ้าง

MATERIAL SAFETY DATA SHEET		S-210 31:9203
Material Safety Data Sheet May be used to comply with OSHA's Hazard Communication Standard, 29 CFR 1910.1200. Standard must be consulted for specific requirements.	U.S. Department of Labor Occupational Safety and Health Administration (Non-Mandatory Form) Form Approved OMB No. 1218-0072	
IDENTITY (As Used on Label and List)		
<i>Note: Blank spaces are not permitted. If any item is not applicable, or no information is available, the space must be marked to indicate that.</i>		
Section I		
Manufacturer's Name	Emergency Telephone Number	
Address (Number, Street, City, State, and ZIP Code)	Telephone Number for Information	
	Date Prepared	
	Signature of Preparer (optional)	
Section II — Hazardous Ingredients/Identity Information		
Hazardous Components (Specific Chemical Identity, Common Name(s))	OSHA PEL	ACGIH TLV
		Other Limits Recommended
		% (optional)
Section III — Physical/Chemical Characteristics		
Boiling Point		Specific Gravity (H ₂ O = 1)
Vapor Pressure (mm Hg.)		Melting Point
Vapor Density (Air = 1)		Evaporation Rate (Butyl Acetate = 1)
Solubility in Water		
Appearance and Odor		
Section IV — Fire and Explosion Hazard Data		
Flash Point (Method Used)	Flammable Limits	LEL . UEL
Extinguishing Media		
Special Fire Fighting Procedures		
Unusual Fire and Explosion Hazards		
(Reproduce locally)		
OSHA 174, Sept. 1985		

รูปที่ 4.2a Material Safety Data Sheet (MSDS) ซึ่งรายการในแต่ละที่จะมีลักษณะแตกต่างกัน (Crowl and Louvar, 1990)

31:9204		REFERENCE FILE	
Section V — Reactivity Data			
Stability:	Unstable	Conditions to Avoid	
	Stable		
Incompatibility (Materials to Avoid)			
Hazardous Decomposition or Byproducts			
Hazardous Polymerization	May Occur	Conditions to Avoid	
	Will Not Occur		
Section VI — Health Hazard Data			
Route(s) of Entry:	Inhalation?	Skin?	Ingestion?
Health Hazards (Acute and Chronic)			
Carcinogenicity:	NTP?	IARC Monographs?	OSHA Regulated?
Signs and Symptoms of Exposure			
Medical Conditions Generally Aggravated by Exposure			
Emergency and First Aid Procedures			
Section VII — Precautions for Safe Handling and Use			
Steps to Be Taken in Case Material is Released or Spilled			
Waste Disposal Method			
Precautions to Be Taken in Handling and Storing			
Other Precautions			
Section VIII — Control Measures			
Respiratory Protection (Specify Type)			
Ventilation	Local Exhaust	Special	
	Mechanical (General)	Other	
Protective Gloves		Eye Protection	
Other Protective Clothing or Equipment			
Work/Hygienic Practices			
Page 2		* U.S.G.P.O. 1988-5297-5775	

รูปที่ 4.2b (ต่อ) Material Safety Data Sheet (MSDS) ซึ่งรายการในแต่ละที่จะมีลักษณะแตกต่างกัน
(Crowl and Louvar, 1990)

4.3 การประเมินในเชิงคุณภาพ (Quality Evaluation)

การจัดการงานที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในด้านสิ่งต่าง ๆ ที่คุกคามต่อสุขภาพดังจะสามารถแยกออกเป็นปัจจัยที่ควรจะศึกษาได้ดังนี้

4.3.1 ปัจจัยทางกายภาพ เช่นเสียงดัง ความสั่นสะเทือน ความร้อน รังสี แสงสว่าง ความกดดันบรรยากาศ รวมถึงเครื่องมือเครื่องจักร อุปกรณ์ต่าง ๆ และบริเวณสถานที่ทำงานเป็นต้น ซึ่งปัจจัยทางกายภาพด้านสุขอนามัยสามารถแบ่งออกได้ 3 หมวดหลัก ๆ คือ ความร้อน แสงสว่าง และเสียงซึ่ง สามารถแจกแจงได้ดังนี้

ก. เสียงดัง ถูกจำกัดมาตรฐานโดยวัดเป็นค่าเดซิเบล (db) ซึ่งเท่ากับ

$$db = -10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_o} \right) \quad \dots(4.1)$$

ซึ่ง I = ความเข้มของเสียงที่ดัง

I_o = ความเข้มของเสียงในระดับอ้างอิง

และการทำงานต่อเนื่องในช่วงเวลา 7 ชั่วโมงการทำงาน ความดังของเสียงต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 91 db และการทำงานต่อเนื่องในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง การทำงาน ความดังของเสียงต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 80 db

ข. ความร้อน การวัดว่าความร้อนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่อยู่ 2 แนวทางคือ

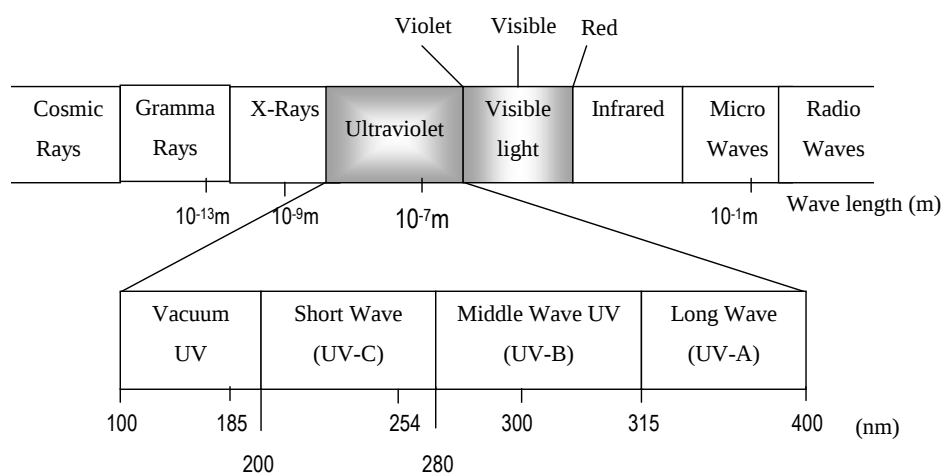
1. วัดอุณหภูมิของร่างกายต้องน้อยกว่า 38 องศาเซลเซียส ถ้าเกินต้องปรับปรุงด้วยการใส่ อุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยส่วนบุคคล PPE (Personal Protective Equipment)
 2. วัดอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมหรือที่ทำงาน ต้องน้อยกว่า 44 องศาเซลเซียส ถ้าเกินต้องปรับปรุงโดยการระบายความร้อนหรือสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล
- เราจะสังเกตได้ว่าถ้าความร้อนมากเกินไปจะรู้สึกเหนียวเนื่องจากเสียเหงื่อมากและบางครั้งอาจเกิดตะคริว

ค. แสงสว่าง กฎหมายได้กำหนดมาตรฐานของแสงสว่างลักษณะงาน (ความละเอียดในการใช้สายตา) ที่ต้องปฏิบัติดังนี้

1. การขนย้าย บรรจุ วัดอุณหภูมิยาบ ให้มีความเข้มแสงสว่างมากกว่าหรือเท่ากับ 50 ลักซ์
 2. การเย็บผ้า เย็บหนัง ให้มีความเข้มแสงสว่าง มากกว่าหรือเท่ากับ 200 ลักซ์
 3. งานซ่อมนาฬิกา เจียรนัยเพชรพลอย ความเข้มแสงสว่างมากกว่าหรือเท่ากับ 1,000 ลักซ์
- หากแสงสว่างไม่พอหรือแสงสว่างมากเกินไปจะมีผลทำให้เกิดการปวดศีรษะหรือเป็นอันตรายต่อตาหรือในส่วนของการรับภาพหรือเรตินา

นอกจากนี้ยังมี ความปลอดภัยทางกายภาพอื่น ๆ เช่น

- ความสั่นสะเทือนซึ่งมีผลเกี่ยวกับการไหลเวียนของเลือด ที่ไปหล่อเลี้ยงปลายนิ้วมือเกิดชาตึงขึ้นและถ้าหากนิ้วมือได้รับความเย็นก็จะเกิดอาการรุนแรงขึ้น
- ความกดดันบรรยากาศซึ่งส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับนักดำน้ำหรือนักบินที่ต้องทำงานนาน ๆ อาจจะทำให้เกิดตะคิว และหูหนวกได้ ถ้าได้รับความดันที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว
- รังสีซึ่งหากโรงงานหรือสถานประกอบการใดมีการทำงานที่มีรังสีเกี่ยวข้องด้วยจะต้องมีการเข้มงวดในเรื่องความปลอดภัยค่อนข้างมาก เนื่องจากรังสีเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทะลุทะลวงได้ขึ้นกับชนิดของรังสี สำหรับคนที่ได้รับรังสีเป็นระยะเวลานาน ๆ สามารถทำให้เกิดอันตรายได้ เช่นรังสีเอกซ์ รังสียูวี รังสีอินฟราเรด ดังรูปที่ 4.3 เป็นต้น



รูปที่ 4.3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ (Komvuschara, 2002)

4.3.2 ปัจจัยทางเคมี เช่นสารเคมี (วัตถุติดไฟหรือผลผลิต) ของเสีย ที่อาจจะเกิดเหตุการณ์ การระเหิด ระเหย เป็นฝุ่น (Dust) ฟุ้ง (Fume) คว้น (Smoke) ละออง (Mist) แก๊ส (Gas) ไอน้ำ (Vapor) ซึ่งถ้าร่างกายรับเข้าไป จะเป็นอันตรายได้ เราสามารถนิยามคำต่าง ๆ ได้ดังนี้

- ฝุ่น (Dust) อนุภาคของแข็งที่ฟุ้งกระจายในอากาศ โดยเกิดจากการบด การกระแทก พับอัดและระเบิด ฝุ่นเหล่านี้สามารถเข้าไปสะสมในปอด โดยขนาดของฝุ่นประมาณไม่เกิน 100 ไมโครเมตร เช่น หินแร่ โลหะและถ่านหิน
- ฟุ้ง (Fume) ฟุ้งเกิดจากอนุภาคของแข็งที่ถูกทำให้ร้อนจนกลายเป็นไอ แล้วเกิดการควบแน่นในอากาศ ปกติขนาดของฟุ้งจะมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร เช่นฟุ้งของตะกั่วออกไซด์ เหล็กออกไซด์ ในงานเชื่อมประสานไฟฟ้า
- คว้น (Smoke) คว้นจะมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร คว้นปกติจะเป็นของแข็ง (Airborne solid) ของเหลว (Liquid particles) และ แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ของวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน เป็นต้น

- ผงเขม่า (Soot) จะคล้ายกับควันแต่เขม่าจะเข้าใจกันทั่วไปว่ามีสีเข้มกว่า เป็นอนุภาคเล็ก ๆ ที่เป็นของแข็ง (Carbon black) กระจัดกระจายอยู่ หรือพบเห็นติดอยู่บนปล่องไฟ
- ละออง (Mist) เป็นอนุภาคของเหลวที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศโดยทั่วไป มีสสารหรือละอองเกิดจากการควบแน่นจากสภาพแก๊สเป็นของเหลวหรือโดยการแตกตัวของของเหลวไปอยู่ในสภาวะที่ฟุ้งกระจายได้ เช่น การตีเป็นฟอง การพ่นเป็นไอ
- แก๊ส (Gas) เป็นสภาวะที่เป็นแก๊สขนาดของอนุภาคจะขึ้นกับชนิดของสารเคมี โดยทั่วไปก๊าซที่ระเหยที่อุณหภูมิห้อง เช่น CO_2 , H_2S เป็นต้น
- ไอ (Vapor) เกิดขึ้นจากการที่ของเหลวหรือของแข็งเกิดการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นแก๊ส

4.3.3 ปัจจัยทางชีวภาพ เช่น การติดเชื้อต่าง ๆ เช่น ไวรัส แบคทีเรีย พยาธิ และเชื้อจากสัตว์ต่าง ๆ ที่เป็นพาหะ หรือพิษของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เช่น รุกัด ผื่นจากพืช ผื่นไม้ ผื่นฝ้าย ผื่นจากเมล็ดพืชต่าง ๆ การได้รับ GMO (Genetic Modified Organics) จากการกินพบมากในอุตสาหกรรมเกษตร อย่างไรก็ตามปัจจัยนี้อาจจะสัมผัสน้อยในโรงงานอุตสาหกรรมเคมีโดยทั่วไป

4.3.4 ปัจจัยทางจิตวิทยาสังคม (Ergonomics) การทำงานบางอย่างที่ต้องเร่งรัดหรือแข่งขันกับเวลา การทำงานเป็นกะ การทำงานในระยะเวลาที่ยาวนาน การทำงานหนักเกินไป การทำงานที่จำเจซ้ำซาก การทำงานที่ไม่เหมาะสมต่อร่างกายและจิตใจ หรือมีการเคลื่อนไหวอริยาบถที่ไม่เหมาะสมต่าง ๆ อย่างไรก็ตามการประเมินในหัวข้อนี้จะนำไปด้วยความยากลำบากเนื่องจากการประเมินที่ความรู้สึกบางครั้งไม่สามารถวัดออกมาเป็นตัวเลขให้เห็นอย่างชัดเจนเช่น

- ความเครียดหรือเบื่อหน่ายต่องาน เกิดขึ้นเนื่องจากสภาพแวดล้อมในการทำงานเช่นการปกครองที่ไม่มีมนุษยสัมพันธ์ของหัวหน้างาน บรรยากาศการทำงานที่ตึงเครียด การทำงานที่ผู้ทำงานมีความรู้สึกที่ไม่มีส่วนร่วมในการทำงาน ผลทำให้เกิดการเปลี่ยนพฤติกรรมในการทำงาน
- เกิดจากความกดดันจากสภาพงานที่ไม่เหมาะสม การเปลี่ยนกะนอกเหนือจากเวลาปกติทำให้เป็นโรคกระเพาะ เกิดการไหลเวียนเส้นเลือดไม่ดี โรคประสาท
- การเกิดอุบัติเหตุจากปัญหาจิตวิทยาสังคม นอกจากจะเบื่อหน่ายแล้วจะทำให้เกิดการทำงานผิดพลาดขึ้นได้ เช่นปัญหาเรื่องรายได้ไม่พอกับค่าใช้จ่าย อาจจะต้องแก้ปัญหาโดยการทำงานมากจนได้รับอุบัติเหตุ
- การเกิดการเจ็บป่วยจากอริยาบถ หรือเกิดจากการทำงานที่ไม่เหมาะสม เช่น การนั่งเก้าอี้ที่ไม่ได้สัดส่วน (เก้าอี้สูงกว่าโต๊ะหรือโต๊ะสูงกว่าเก้าอี้มาก ๆ) นาน ๆ ในการทำงาน หรือการยืนทำงานหลาย ๆ ชั่วโมง การนั่งพิมพ์ดีดนาน ๆ เป็นต้น

ถึงตรงนี้เราคงทราบปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุซึ่งไม่ได้หมายความว่าต้องเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลัน แต่อันตรายอาจจะค่อย ๆ เกิดขึ้นก็ได้

4.4 การประเมินการได้รับสารพิษ ฝุ่น และ เสียง ในเชิงปริมาณ

(Quantitative Evaluating Exposures to Volatile Toxicants, Dusts and Noise)

เราได้ทราบมาแล้วตั้งแต่บทที่ 3 ในส่วนของการประเมินการได้รับสารพิษ (Toxicology) ซึ่งเป็นการวัดการตอบสนองกับสิ่งมีชีวิต ค่าเหล่านั้นเป็นประโยชน์ในการนำมาใช้เป็นค่าขอบเขตในเรื่องระดับที่ยอมรับได้หรือค่า Threshold Limit value (TLV) ในทางปฏิบัติในสถานการณ์จริงวิธีการวัดสามารถทำได้โดยการวัดค่าของปริมาณสารพิษที่อยู่ในอากาศอย่างต่อเนื่องโดยค่าความเข้มข้น C ที่เวลา t ใด ๆ หรือ $C(t)$ เพื่อหาค่า TWA (Time-Weight Average Concentration) ซึ่งเป็นค่าผลรวมระดับความเข้มข้นมาตรฐานที่ได้จากการตรวจวัดจากสภาพการณ์จริงในการทำงานอย่างต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง ดังสมการ

$$TWA = \frac{1}{8} \int_0^{t_w} C(t) dt \quad \dots(4.2)$$

โดยที่ $C(t)$ = ความเข้มข้นของสารในอากาศ (ppm) หรือ มิลลิกรัม/ม³
 t = ช่วงเวลาการทำงานใน 1กะ (ชั่วโมง)

ค่า อินทิกรัลถูกหารด้วย 8 ชม. เนื่องจากเป็นค่าที่ตั้งไว้ตามมาตรฐานการทำงาน ถึงแม้ว่าพนักงานจะทำงานอาจจะมากกว่า 8 ชม. แต่การวัด TWA จะคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการทำงาน 8 ชม. TLV ในกรณีการเก็บข้อมูลเป็นแบบไม่ต่อเนื่องสมการ (4.2) จะเป็นสมการ (4.3)

$$TWA = \frac{C_1t_1 + C_2t_2 + C_3t_3 + \dots + C_nt_n}{8} \quad \dots(4.3)$$

กรณีที่สารเคมีมากกว่า 1 ชนิดในสถานที่ทำงาน วิธีหนึ่งที่พิจารณาว่าสารพิษมีผลกระทบรวม (Additive) ถ้าคำนวณ Index จากสารพิษหลายชนิดที่มีค่า TLV ต่างกันจากสมการ ดังนี้

$$\text{Index} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{TLV_i} \quad \dots(4.4)$$

และ สมการ (4.4) Index ต้องน้อยกว่า 1.0 จึงจะปลอดภัย ถ้าในกรณีที่ Index มากกว่า 1 อาจสรุปได้ว่าสารพิษมีปริมาณเกินมาตรฐานในอากาศ เราสามารถคำนวณ TLV_{mix} ของของผสมโดยสามารถคำนวณได้จาก

$$TLV_{mix} = \sum_{i=1}^n C_i \bigg/ \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{TLV_i} \quad \dots(4.5)$$

ถ้าผลรวมของความเข้มข้นของสารพิษในของผสมมากกว่ามาตรฐานแสดงให้เห็นว่ามีการได้รับสารพิษมากเกินไป
มาตรฐานที่ยอมรับได้ (Over exposed)

ตัวอย่าง 4-1 จงหาค่า สภาพการณ์ของพนักงานที่ได้รับไอเบนซีนดังต่อไปนี้ปลอดภัยหรือไม่

ระยะเวลาการได้รับไอ (ชม.)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)
2	110
2	330
4	90

โดยที่มาตรฐานของไอเบนซีนค่า TLV เท่ากับ 10 ppm สำหรับการทำงาน 8 ชม. และ น้อยกว่า 25 ppm ณ เวลาใด ๆ

จากสมการ (4.2) จะได้

$$TWA = \frac{110 \times 2 + 330 \times 2 + 90 \times 4}{8} = 155 \text{ ppm}$$

ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน (TLV = 10 ppm) สรุปว่าพนักงานอยู่ในสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย

ตัวอย่าง 4-2 มีสารผสม 3 ชนิด อยู่ในอากาศที่สถานประกอบการแห่งหนึ่งดังนี้

Diethyl amine 5 ppm (TLV = 10 ppm)

Cyclohexanal 20 ppm (TLV = 50 ppm)

Porylene Oxide 10 ppm (TLV = 20 ppm)

จงหาว่าปริมาณสารผสมเท่าไรในอากาศที่กฎหมายยอมให้ได้และพนักงานที่ทำงานอยู่ในสภาพที่ปลอดภัยหรือไม่

$$\text{จะเห็นว่า Index} = \frac{5}{10} + \frac{20}{50} + \frac{10}{20} = 1.4$$

ซึ่ง Index ที่ได้มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าเป็นสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย

เพื่อเป็นการยืนยันว่าสภาพการณ์ที่ปลอดภัย (ยอมรับได้) นั้นมีปริมาณสารผสมเท่าไรหรือในอากาศที่กฎหมายอนุญาตให้มีระดับของสารผสมเท่าไร จึงสามารถหาจากสมการ (4.4)

$$\begin{aligned} TLV_{mix} &= 5 + 20 + 10 / \left(\frac{5}{10} + \frac{20}{50} + \frac{10}{20} \right) \\ &= 25 \text{ ppm} \end{aligned}$$

แต่ สารผสมในอากาศที่วัดได้คือ $5+20+10 = 35$ ซึ่งมากกว่า 25 ppm สภาวะการณ์ในขณะนั้นมีสารเคมีระเหยอยู่ในอากาศในระดับที่สามารถเป็นอันตรายต่อผู้ที่ทำงานได้

ตัวอย่าง 4-3 มีการเก็บตัวอย่างของฝุ่น 2 ชนิด อยู่ในอากาศที่สถานประกอบการแห่งหนึ่งดังนี้ จงหาว่าพนักงานที่ทำงานอยู่ในสภาพที่ปลอดภัยหรือไม่ และปริมาณของฝุ่นในขณะนั้นเป็นเท่าไร

ชนิดของฝุ่น	ความเข้มข้น (mppcf)	TLV (mppcf [*])
Nonasbestiform tale	0.7	20
Quartz	0.3	2.7

* Million particle per cubic foot

จะปลอดภัยหรือไม่ขึ้นกับค่า $\text{Index} = \frac{0.7}{20} + \frac{0.3}{2.7}$ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าน้อยกว่า 1 นั้นแสดงว่าปลอดภัย

และค่า TLV ของฝุ่นรวมขณะนั้นคือ $TLV_{mix} = (0.7 + 0.3) / \left(\frac{0.7}{20} + \frac{0.3}{2.7} \right) = 6.8 \text{ mppcf}$ ซึ่งน้อยกว่า

มาตรฐานที่กำหนดคือ $20+2.7 = 22.7 \text{ mppcf}$

ตัวอย่าง 4-4 การเก็บตัวอย่างของเสียง ในสถานประกอบการแห่งหนึ่งดังนี้ จงหาว่าพนักงานที่ทำงานอยู่ในสภาพที่ปลอดภัยหรือไม่ และระดับของเสียงขณะนั้นเป็นเท่าไร

ระดับเสียง (dbA)	ระยะเวลา (ชม)
85	3.6
95	3.0
110	0.5

โดยมาตรฐานที่ยอมรับได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 มาตรฐานเสียงที่บอกถึงระยะเวลาที่ยอมรับได้ (Permission noise exposure)

ระดับเสียง (dbA)	ระยะเวลาที่ยอมรับได้ (ชม)
80	no limit
90	8
92	6
95	4
97	3
100	2
102	1.5
105	1
110	0.5
115	0.25

จะปลอดภัยหรือไม่ขึ้นกับค่า $\text{Index} = \frac{3.6}{no\ limit} + \frac{3.0}{4} + \frac{0.5}{0.5} = 1.75$ ซึ่งมากกว่า 1 แสดงว่าไม่ปลอดภัย

เราบางคนอาจจะเคยเห็นตอนที่ไปฝึกงานสำหรับมาตรฐานการกำหนดระดับเสียงของการกระทำต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.6

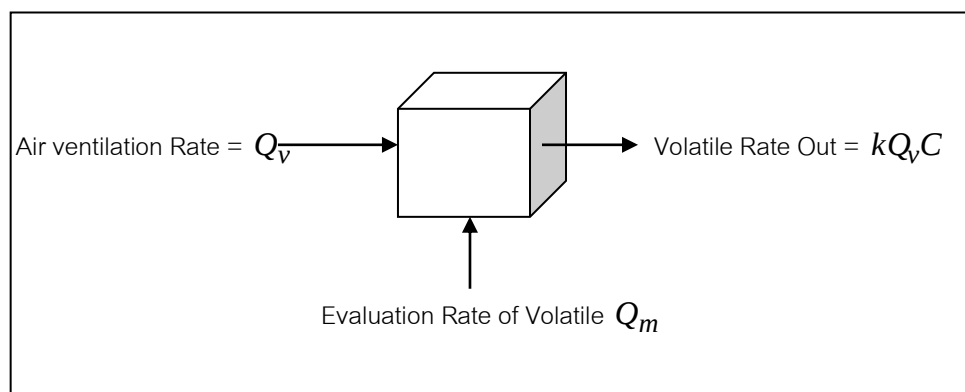
ตารางที่ 4.6 ระดับความเข้มเสียงของการกระทำต่าง ๆ

ลักษณะของเสียง	ระดับความเข้ม (db)
เสียงในโรงงานที่ทำให้ทรมาน (Painful)	120
การย่ำหมุด (Riveting)	95
เสียงในโรงงาน (Factory)	90
เสียงจอแจในสำนักงาน (Noisy office)	80
เสียงบริเวณการจราจร (Busy street traffic)	70
การสนทนา (Conversational speech)	65
สำนักงานส่วนตัว (Private office)	50
ที่พักอาศัย (Average residence)	40
ห้องบันทึกเสียง (Recording studio)	30
เสียงกระซิบ (Whisper)	20
เสียงจากลมพัดใบไม้ (Rustle of leave)	10
ระดับอ้างอิงของการได้ยิน (Hearing threshold)	0

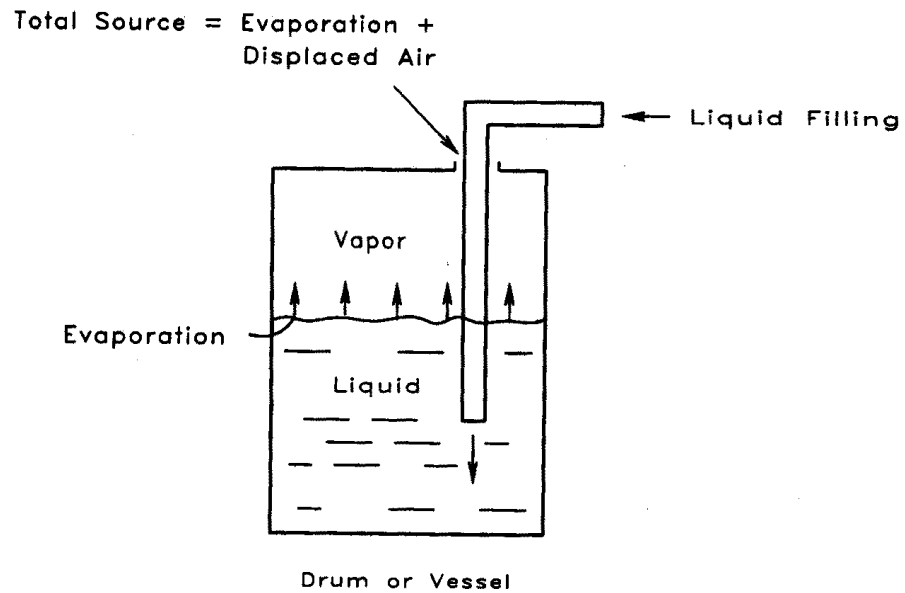
ข้อมูลจาก P. 61 Crowl D. A. and Louvar J. F. (1990) Chemical Process Safety

4.5 การประมาณการได้รับสารพิษของพนักงาน (Estimating Worker Exposures to Toxic Vapors)

การพบการรั่วไหลของสารเคมีในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำการประเมินดังหัวข้อที่กล่าวมาแล้ว การทำงานบางครั้งก็อาจการณ์นั้น ๆ พนักงานจะไม่สะดวกในการทำงานและเกิดความอึดอัดต่อการทำงาน จึงจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงระบบระบายอากาศภายในห้องทำงาน สมมติการสมดุลมวลได้ดังรูปที่ 4.4a ดังนี้



รูปที่ 4.4a สมดุลมวลของการระเหยอากาศในห้อง



รูปที่ 4.4 b การระเหยที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการเติม/ผสมสารเคมีในถังภาชนะรับความดัน
(Crowl and Louvar, 1990)

จากรูปที่ 4.4a ด้วยสมมุติฐานที่ว่า

- ความเข้มข้นเป็นค่าเฉลี่ยที่เป็นค่าที่พนักงานมีสิทธิ์ได้รับเต็มที่
- เกิดสภาวะคงตัว จึงไม่มีการสะสม หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเมื่อเวลาเปลี่ยนไป
- ให้ค่า k เป็นค่า Non-ideal mixing factor ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ขึ้นอยู่กับลักษณะการผสม โดยปกติในทางปฏิบัติ (Practical) จะอยู่ระหว่าง 0.1-0.5

เราสามารถสมดุลมวลได้โดยใช้สมการ เข้า - ออก = สะสม จะได้ดังสมการ (4.6)

$$Q_m - kQ_v C = V \frac{dC}{dt} \quad \dots(4.6)$$

โดยที่ Q_m = อัตราการปลดปล่อยสารออกมา (มวล/เวลา)

Q_v = อัตราการระบายอากาศ (ปริมาตร/เวลา)

k = ค่าคงที่ (-)

C = ความเข้มข้นของสาร (Volatile vapor) ในห้องที่ปิด (มวล/ปริมาตร)

V = ปริมาตรห้องที่ปิด (ปริมาตร)

จากสมมติฐานที่สภาวะคงตัว $\frac{dC}{dt} = 0$ ดังนั้นสมการ (4.6) จะหาค่าของความเข้มข้นของสาร (Volatile vapor) ในห้องได้เป็น

$$C = \frac{Q_m}{kQ_v} \quad \dots(4.7)$$

เพื่อความสะดวกเราสามารถคำนวณความเข้มข้นจาก (มวล/ปริมาตร) ให้เป็นหนึ่งในล้านส่วน (Part per million; ppm) ได้ดังนี้

จาก
$$C_{ppm} = \frac{V_v}{V_b} \times 10^6$$

โดยที่ V_v = ปริมาตรสาร (Volatile vapor) ซึ่งจะได้ $C_{ppm} = \frac{m_v / \rho_v}{V_b} \times 10^6$
 V_b = ปริมาตรทั้งหมด

จากสมการ แก๊สอุดมคติ $PV = nRT$ หรือ $\rho_v = PM/RT$ โดยที่ M = มวลโมเลกุลของสาร (Volatile species) ผลที่ได้คือ สมการ (4.8)

$$C_{ppm} = \left(\frac{m_v}{V_b} \right) \left(\frac{R_g T}{PM} \right) \times 10^6 \quad \dots(4.8)$$

เมื่อ m_v/V_b คือ C ซึ่งเท่ากับ Q_m/kQ_v ดังสมการ (4.7) จึงได้

$$C_{ppm} = \left(\frac{Q_m}{kQ_v} \right) \left(\frac{R_g T}{PM} \right) \times 10^6$$

หรือ
$$C_{ppm} = \left(\frac{Q_m R_g T}{kQ_v PM} \right) \times 10^6 \quad \dots(4.9)$$

สมการ (4.9) ใช้หาความเข้มข้นเฉลี่ยในหน่วยหนึ่งในล้าน (ppm) สำหรับไอระเหยที่ทราบค่าอัตราการไหลของมวล Q_m และ อัตราการระบาย Q_v การได้รับสารของพนักงานทำงานอาจได้รับโดย พนักงานยืนอยู่ใกล้บริเวณที่มีการระเหย

ตัวอย่างที่ 4-5 ถังบรรจุโกลูอินเปิดอยู่ในห้องมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตามเวลา เนื่องจากมีการระเหยด้วยอัตรา 0.1 กรัมต่อนาที มีการระบายด้วยอัตรา 100 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที อุณหภูมิในขณะนั้น 80 °F ความดัน 1 atm จงประมาณความเข้มข้นของไอโกลูอิน เพื่อเปรียบเทียบกับค่า TLV สำหรับโกลูอินเท่ากับ 100 ppm

จากสมการ (4.9) ที่ว่า $C_{ppm} = \left(\frac{Q_m R_g T}{k Q_v P M} \right) \times 10^6$

เมื่อ $Q_m = 0.1$ กรัม/นาที่ หรือ $= 2.2 \times 10^{-4}$ ปอนด์/นาที่
 $R_g = 0.7302$ ฟุต³ atm/ปอนด์-โมล^oR
 $T = 80^{\circ}\text{F}$ หรือ 540°R
 $k =$ ค่าที่อยู่ระหว่าง 0.1-0.5 ขึ้นกับการผสมโดยปัจจัยต่าง ๆ เช่น ลม ความร้อน อื่น ๆ ในอากาศ
 $Q_v = 100$ ฟุต³/นาที่
 $P = 1$ atm
 $M = 92$ ปอนด์/ปอนด์-โมล

ผลคือ $C_{ppm} = \left(\frac{2.2 \times 10^{-4} \times 0.7302 \times 540}{k \times 100 \times 1 \times 92} \right) \times 10^6 = 9.43/k$

เมื่อ k อยู่ระหว่าง 0.1-0.5 จะได้ว่า C_{ppm} อยู่ระหว่าง 18.9 - 94.3 ppm อย่างไรก็ตามยังถือว่าปลอดภัย เนื่องจากค่าความเข้มข้นที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่า TLV

4.6 การประมาณอัตราการระเหยของของเหลว (Estimating the vaporization rate of a liquid)

เราทุกคนทราบมาแล้วว่าของเหลวที่มีความดันไอสูงจะมีโอกาสระเหยได้เร็วกว่าของเหลวที่มีความดันไอลด เราคิดเป็น Q_m หรือมวล/เวลา ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นดังสมการ (4.10) ดังนี้

$$Q_m \propto (p^{Sat} - P) \quad \dots(4.10)$$

โดยที่ P^{Sat} = ไออิ่มตัวของของเหลวบริสุทธิ์ (Saturation vapor pressure of pure liquid)

P = ไอผสมในอากาศที่นิ่งบนของเหลว (Partial vapor pressure in stagnant gas above the liquid)

ผลของสมการที่ได้คือ $Q_m = \frac{MKA(P^{sat} - P)}{R_g T_L} \quad \dots(4.11)$

โดยที่ Q_m = อัตราการระเหย (มวล/เวลา)

M = มวลโมเลกุลของสารระเหย

A = พื้นที่ผิวของส่วนที่มีการระเหย

K = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (Mass transfer coefficient)(ความยาว/เวลา) สำหรับพื้นที่ A

R_g = ค่าคงที่ของแก๊สอุดมคติ (Ideal gas constant)

$$T_L = \text{อุณหภูมิสัมบูรณ์ของของเหลว}$$

โดยทั่วไปแล้วสำหรับความดันไออิ่มตัวของของเหลวบริสุทธิ์ (P^{Sat}) มักจะมากกว่าความดันไอผสม (P) ดังนั้นสมการ (4.11) จึงเขียนให้ง่ายได้เป็น

$$Q_m = \frac{MKAP^{sat}}{R_g T_L} \quad \dots(4.12)$$

สมการ (4.12) สามารถนำมาใช้ในการหีการระเหยของสารเคมีในบริเวณที่เปิดหรือมีการกระเด็นของสารออกไป และเราสามารถแปลงรูปสมการ (4.12) ให้เป็นความเข้มข้น ppm โดยใช้สมการที่ (4.9) จะได้

$$C_{ppm} = \left(\frac{KATP^{sat}}{kQ_v P T_L} \right) \times 10^6 \quad \dots(4.13)$$

$$\text{เมื่อ } T_L = T \text{ จะได้ดังนี้} \quad C_{ppm} = \left(\frac{KAP^{sat}}{kQ_v P} \right) \times 10^6 \quad \dots(4.14)$$

เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (K) สามารถหาค่าได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของแก๊ส (D) และค่าคงที่ a ซึ่งได้

$$K = aD^{2/3} \quad \dots(4.15)$$

หรือสามารถหาค่า K จากความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของแก๊ส (D) ได้จากสมการ

$$\frac{K}{K_o} = \left(\frac{D}{D_o} \right)^{2/3} \quad \dots(4.16)$$

โดยที่ K_o และ D_o เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของแก๊สของสารอ้างอิง ดังนั้นเมื่อเขียนค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของแก๊สสัมพันธ์กับมวลโมเลกุลโดยประมาณดังนี้

$$\frac{D}{D_o} = \left(\frac{M_o}{M} \right)^{1/2} \quad \dots(4.17)$$

โดยที่ M_o เป็นมวลโมเลกุลของสารอ้างอิง เมื่อรวมสมการ (4.16) เข้ากับ (4.17) แล้วจะได้ว่า

$$\frac{K}{K_o} = \left(\frac{M_o}{M} \right)^{1/3} \quad \dots(4.18)$$

โดยทั่วไปจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของของสารอ้างอิงมักจะใช้น้ำซึ่งน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลคือประมาณ 0.83 cm/sec

ตัวอย่างที่ 4.6 ถังโหลอื่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ฟุต จงประมาณอัตราการระเหยจากถังที่มีอุณหภูมิ 77 องศาฟาเรนไฮต์ ความดัน 1 บรรยากาศ และถ้าอัตราการระเหยเท่ากับ 3,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที จงประมาณความเข้มข้นของโหลอื่นในห้องทำงาน โดยกำหนดให้มวลโมเลกุลของโหลอื่นเท่ากับ 92 และให้ใช้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ประมาณ 0.83 เซนติเมตรต่อวินาที เป็นจุดอ้างอิง และกำหนดให้ความดันไออิ่มตัว (Saturation vapor pressure) ของโหลอื่น เท่ากับ 28.2 มิลลิเมตรปรอท

จากสมการ (4.18) เมื่อเราทราบค่า

$$\begin{aligned} K_o &= \text{สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ประมาณ } 0.83 \text{ cm/sec} \\ M_o &= 18 \\ M &= 92 \\ \therefore K &= 0.83 \times (18/92)^{1/3} = 0.482 \text{ cm/sec or } 0.949 \text{ ฟุต/นาที} \end{aligned}$$

เมื่อความดันไออิ่มตัวของโหลอื่น P^{sat} เท่ากับ 28.2 mm Hg หรือ 0.0371 atm

$$\text{พื้นที่ (A)} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times 5^2}{4} = 19.6 \text{ ฟุต}^2$$

อัตราการระเหยสามารถหาได้จากสมการ (4.12) ที่อุณหภูมิ 77°F หรือเท่ากับ 537°R

$$\begin{aligned} Q_m &= \frac{MKAP^{sat}}{R_g T_L} = \frac{92 \times 0.949 \times 19.6 \times 0.0371}{0.7302 \times 537} \\ &= 0.162 \text{ ปอนด์/นาที} \end{aligned}$$

ความเข้มข้นสามารถหาจากสมการ (4.14) เมื่อทราบค่า $K=0.949$ ฟุต/นาที, $A=19.6$ ฟุต², $P^{sat}=0.0371$, $Q_v=3,000$ ฟุต³/นาที และ $P=1$ atm ได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$C_{ppm} = \left(\frac{0.949 \times 19.6 \times 0.0371}{k \times 3,000 \times 1} \right) \times 10^6 = 230/k \text{ ppm}$$

เมื่อ k อยู่ระหว่าง 0.1-0.5 ดังนั้น C_{ppm} จึงมีค่าอยู่ระหว่าง 460-2,300 ppm จึงเห็นว่าเป็นผลที่สูงกว่าค่า TLV ของโหลอื่นซึ่งมีค่าเท่ากับ 100 ppm ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการระบาย จาก 2,300 ppm เป็น 100 ppm โดยการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศอีก 2,300/100 เท่า จากเดิมที่ใช้ หรือเพิ่มขึ้นเป็น 23 x 3,000 ฟุต³/นาที

4.7 การประมาณการได้รับสารเคมีของพนักงานขณะเติมสารเคมี (Estimating worker exposure during vessel filling operations)

การเติมสารเคมีจะมีการระเหยเกิดขึ้น 2 ประการหลัก ๆ คือ การระเหยที่เกิดจากสารระเหย ซึ่งเป็นการระเหยที่ของเหลวมีการระเหยเนื่องจากอุณหภูมิในขณะนั้นสูงกว่าจุดเดือดซึ่งการระเหยในลักษณะนี้จะระเหยอยู่ตลอดเวลาถึงแม้ของเหลวนั้นจะอยู่นิ่ง ๆ อย่างไรก็ตามการระเหยจะน้อยลงซึ่งอาจมีอัตราการระเหยเป็นศูนย์หากมีการจำกัดพื้นที่ การระเหยลักษณะนี้สามารถหาได้จากสมการ (4.4-4.14) ส่วนการระเหยที่เกิดจากการเติม (Displacement) สำหรับการระเหยที่เกิดจากการระเหยในขณะที่มีการเคลื่อนไหว เช่นการเติม การไหล เป็นต้น การระเหยที่เกิดจากการเติมที่จะต้องมีการคำนวณโดยขึ้นกับปริมาตรของถัง และการที่โมเลกุลของของเหลวมีการกระจายตัวจากการฉีดพ่น (Splash) หากมีการฉีดพ่นน้อยจะเกิดความเสี่ยงปนเปื้อน เช่นต่อท่อเข้าไปจุ่มอยู่ในเนื้อของสารหรือแบบการเกิดการฉีดพ่นมากเช่นจะมีการกระเด็นเหมือนรดน้ำต้นไม้ ซึ่งจะให้ผลของค่าการระเหยไม่เท่ากัน อันไหนมากกว่าเราคงจะบอกได้ แต่มากเท่าไรคงต้องทำความเข้าใจโดยสามารถเขียนเป็นผลรวมของการระเหยเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q_m = (Q_m)_1 + (Q_m)_2 \quad \dots(4.19)$$

เนื่องจาก $(Q_m)_1$ = การระเหยแบบของเหลวอยู่นิ่ง สามารถใช้สมการที่ (4-12) ได้โดยตรง

$(Q_m)_2$ = การระเหยที่เกิดจากการเติม

จากสมมติฐานในการหาสมการในการคำนวณการระเหยเนื่องจากการเติมสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของตัวแปรมากมายแต่สามารถนำเอาตัวแปรที่สำคัญและง่ายต่อการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

V_c = ขนาดของถังบรรจุ หรือ Container (Volume)

r_f = ค่าคงที่ของการเติมในช่วงมาตรฐานการทำงาน 8 ชั่วโมง (Filling rate; เวลา⁻¹)

P^{sat} = ความดันไออิ่มตัวของของเหลว (Saturation vapor pressure of volatile liquid)

T_L = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของของเหลวในถัง (Absolute temperature of the container and liquid)

สามารถหาการระเหยเนื่องจากการเติมโดยนำเอาความหนาแน่นของของเหลวเข้ามาเกี่ยวข้องดังสมการ (4.20)

$$(Q_m)_2 = \rho_v(r_f V_c)$$

...(4.20)

เมื่อ ρ_v คือความหนาแน่นของระเหย

และ ρ_v สามารถหาจากแก๊สในอุดมคติที่ว่า $P^{sat}V = nR_gT_L$

$$\rho_v = \frac{MP^{sat}}{R_gT_L} \quad \dots(4.21)$$

เมื่อแทนค่า สมการ (4.21) ในสมการ (4.20) จะได้

$$(Q_m)_2 = \left[\frac{MP^{sat}}{R_g T_L} (r_f V_c) \right] \phi \quad \dots(4.22)$$

โดยที่ ϕ เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ปรับลักษณะของการเติมสารโดยที่

ถ้า $\phi = 1.0$ แสดงถึงการเติมแบบฉีดพ่น (Splash filing)

$\phi = 0.5$ แสดงการเติมแบบการต่อท่อลงไปในช่องเหลว (Sub-surface filling)

แทนค่าสมการ (4.12) และสมการ (4.22) ลงในสมการ (4.19) จะได้

$$Q_m = \frac{MP^{sat}}{R_g T_L} (KA + \phi r_f V_c) \quad \dots(4.23)$$

ดังนั้นความเข้มข้นจากสมการ (4.9) ที่ว่า $C_{ppm} = \left(\frac{Q_m R_g T}{k Q_v P M} \right) \times 10^6$ เมื่อ $T = T_L$

จะได้

$$C_{ppm} = \frac{P^{sat}}{k Q_v P} (KA + \phi r_f V_c) \times 10^6 \quad \dots(4.24)$$

จากสมการ (4.24) ในทางปฏิบัติทั่ว ๆ ไปจะพบว่า ค่า KA เป็นปัจจัยของการระเหยของสาร มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการระเหยแบบถูกเติมดังนั้นในความเป็นจริงเราสามารถละทิ้งค่านี้ได้

ตัวอย่าง 4-7 รถไฟบรรทุกสารเคมีซึ่งมีการเติมสารไหลอื่นแบบฉีดพ่น (Splash) โดยท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ในตู้หนึ่งของรถไฟสามารถบรรจุไหลอื่นได้ 10,000 แกลลอน ซึ่งจะทำให้การเติมหนึ่งครั้งในช่วงเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง จะประมาณความเข้มข้นของไหลอื่นเมื่อกำหนดให้อัตราการระเหย 3,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที อุณหภูมิ 77 องศาฟาเรนไฮท์ และที่ความดันบรรยากาศ

จากสมการ (4.24) เราสามารถแทนตัวแปรได้ดังต่อไปนี้

$$P^{sat} = 0.0371 \text{ atm (จากตัวอย่าง 4.6)}$$

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$k = \text{ค่าระหว่าง } 0.1-0.5$$

$$K = 0.949 \text{ ฟุต/นาที่ (จากตัวอย่าง 4.6)}$$

$$V_c = 10,000 \text{ Gallon} = 1,336.72 \text{ ฟุต}^3 \text{ (จากภาคผนวก จ. 1 ลูกบาศก์ฟุต} = 7.481 \text{ แกลลอน)}$$

$$\phi = 1.0 \text{ สำหรับการเติมแบบฉีดพ่น หรือ Splashing}$$

$$r_f = 1/8 \text{ hr}^{-1} \text{ หรือ } (1/8)(1/60) = 0.00208 \text{ นาที}^{-1}$$

$$Q_v = 3,000 \text{ ฟุต}^3/\text{นาที}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 0.0872 \text{ ฟุต}^3$$

แทนค่าทั้งหมดในสมการ (3.24) จะได้

$$C_{ppm} = \frac{0.0371}{k \times 3,000 \times 1.0} (1.0 \times 0.00208 \times 1,336.7 + 0.949 \times 0.0872) \times 10^6$$

$$C_{ppm} = 35.4/k$$

ซึ่ง ค่า k มีค่าระหว่าง 0.1-0.5 ดังนั้นความเข้มข้นจึงอยู่ระหว่าง 69 ถึง 344 อย่างไรก็ตาม TLV ของโทลูอีน คือ 100 จึงแนะนำว่าค่าที่ได้ต้องไม่เกิน 100 ซึ่งอาจขึ้นกับการควบคุมการเติมโดยดูจากค่า ϕ ซึ่งการเติมแบบที่ไม่ใช่ Splash อาจจะทำให้ค่าความเข้มข้นที่ได้ลดลง

4.8 การป้องกันและควบคุม (Prevention and control)

การควบคุมจำเป็นต้องกระทำหลังจากที่เราทราบวิธีการในการหาปัญหา (Identify) และการวิเคราะห์ปัญหา (Evaluate) จำเป็นที่จะต้องมีการควบคุม (Control) ด้วย ดังนั้นการควบคุมทางสุขศาสตร์อุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องใช้ความรู้เชิงวิศวกรรม การบริหารและเทคโนโลยีเพื่อที่จะหาวิธีป้องกันซึ่งหลักในการป้องกันและควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วซึ่งอาจจะมีหลาย ๆ วิธีการขึ้นกับประสบการณ์ในการเลือกวิธีการที่เหมาะสม นำผลให้เกิดการประหยัดซึ่งเป็นผลดีต่อผู้ประกอบการและผู้ปฏิบัติงาน จึงได้สรุปไว้ดังนี้

4.8.1 การควบคุมและป้องกันที่แหล่งหรือต้นกระบวนการ (Source)

4.8.2 การควบคุมและป้องกันที่ทางผ่านของอันตราย (Path)

4.8.3 การควบคุมและป้องกันที่ตัวผู้ปฏิบัติงาน (Receiver)

4.8.1 การควบคุมและป้องกันที่แหล่งหรือต้นเหตุ (Source)

การควบคุมและป้องกันที่แหล่งหรือต้นเหตุ (Source) นั้นจะเป็นการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต หรือการใช้ระบบระบายอากาศ ณ จุดทำงาน หรือการควบคุมการใช้สารพิษหรือสารที่เป็นอันตรายให้น้อยลง ซึ่งเป็นการป้องกันที่ต้นตอของอันตรายก่อนที่จะมีการกระจายไปสู่บรรยากาศหรือในสถานที่ทำงานอื่น การควบคุมและป้องกันมีดังนี้

(1) การใช้สารที่เป็นอันตรายน้อยแทน เช่นตัวอย่างดังต่อไปนี้

- โรงงานไม้ขีดไฟเมื่อก่อนใช้ฟอสฟอรัสขาวซึ่งมีอันตรายสูงแต่ปัจจุบันใช้ฟอสฟอรัสแดงหรือ หรือ เซควิ ซัลไฟด์ (Phosphorous sesquisulphide)
- น้ำยาที่ใช้สำหรับตู้เย็นเมื่อก่อนใช้ เมทิลโบรไมด์ (Methyl bromide) ซึ่งอันตรายมาก หลังจากนั้นเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียยังมีความอันตราย มากกว่าการเปลี่ยนมาใช้ ฟรีออน (Freon) อย่างไรก็ตาม ฟรีออนในสมัยก่อนมีการถูกยกเลิกเนื่องจากปัญหาที่ถูกพบว่ามีจะทำลายบรรยากาศในชั้นบรรยากาศจนมีการปรับปรุงมาเป็น Freon-12 ในปัจจุบัน

- สารละลายแทนที่จะใช้สารละลาย (Solvent) ที่ระเหยได้ แต่เปลี่ยนไปใช้ผงซักฟอกผสมน้ำ หรือใช้สารละลาย Supercritical หรือการใช้สารละลายในการผสมสีเดิมใช้ เบนซีน ซึ่งอันตรายได้ เปลี่ยนเป็น โทลูอินซึ่งมีอันตรายน้อยกว่าแต่คุณสมบัติไม่ต่างกันมาก
- การป้องกันการใช้ตะกั่วในการผลิตเช่นในประเทศอังกฤษในอุตสาหกรรมการทำภาชนะเคลือบจะไม่มีตะกั่วผสมอยู่

(2) การเปลี่ยนกระบวนการการทำงาน (Process)

การเปลี่ยนกระบวนการการทำงาน หรือเปลี่ยนกระบวนการผลิตโดยเลือกกระบวนการที่เป็นอันตรายน้อยกว่า เช่นเลือกกระบวนการชุบสีของโลหะแทนการพ่น การเชื่อมแทนการตอกย้ำหมุด เนื่องจากการย้ำหมุดมีเสียงดังมาก แต่ปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการย้ำหมุดให้เสียงเบาลง คนก็จะกลับไปใช้การย้ำหมุดเนื่องจากไม่ต้องเผชิญปัญหาเรื่องพุ่มหรือควันของโลหะในขณะเชื่อม ปัจจุบันเทคโนโลยีสะอาดมีบทบาทสำคัญต่อการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นการศึกษาสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัยจำเป็นที่จะต้องมองเข้าไปลึกๆ ในกระบวนการการผลิตเพื่อเลือกกระบวนการที่เหมาะสมที่สุดไม่เพียงการเพิ่มผลผลิตแต่ต้องมองในเรื่องความปลอดภัยด้วย

- (3) การปิดคลุมกระบวนการที่มีพิษหรืออันตราย เช่นการพ่นสีในห้องที่ปิดคลุม เพื่อป้องกันการเล็ดลอดของไอสาร
- (4) แยกกระบวนการอันตรายออกไปจากบริเวณที่มีผู้ปฏิบัติงานอยู่มาก
- (5) การใช้วิธีทำให้เปียกขึ้น เช่นการลดฝุ่นในกระบวนการ
- (6) การใช้ระบบระบายอากาศ ด้วยการออกแบบการระบายอากาศ ในหัวข้อ 4.5 หรืออาจจะเป็นการเปลี่ยนระบบการการดูดฝุ่นก่อนผ่านแผ่นกรองเป็นดูดฝุ่นหลังผ่านแผ่นกรอง

4.8.2 การควบคุมและป้องกันที่ทางผ่านของอันตราย (Path)

การป้องกันอันตรายที่ทางผ่านหรือทางเดินเช่นการป้องกันให้มีพุ่มของตะกั่วซึ่งอาจจะควบคุมที่แหล่งกำเนิดไม่ได้เต็มที่ จึงต้องมีระบบระบายอากาศด้วยดังรายละเอียดดังนี้

- (1) การเก็บรักษาความเป็นระเบียบเรียบร้อยภายในสถานประกอบการ เช่นหลังจากสารพิษหก (Spill out) จะถูกทำความสะอาดทันทีไม่มีการสะสมไว้
- (2) การระบายอากาศโดยทั่วไปโดยการเพิ่มอากาศดีเข้าไปหรือดูดอากาศเสียออกทำให้ปริมาณสารพิษลดลง
- (3) การเพิ่มระยะห่างระหว่างแหล่งอันตราย เช่นการที่คำนวณระยะห่างจากจุดที่เกิดจากสารติดไฟ หรืออาจเกิดการระเบิดหรือเกิดการแตกด้วยความดันสูง เป็นต้น
- (4) การตรวจสอบสิ่งแวดล้อมในการทำงานหรือต่อตัวสัญญาณเตือนภัย เพื่อบอกถึงระดับอันตราย (กำหนดสัญญาณเตือนภัย) ที่จะเกิดแก่ผู้ปฏิบัติการ เช่นการตรวจแก๊สในถ่านไฟฉายซึ่งอยู่ในรูปฝุ่น การวัดระดับเสียงในโรงงาน การวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในบริเวณทำงานแล้วนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้

4.8.3 การควบคุมและป้องกันที่ตัวผู้ปฏิบัติงาน (Receiver)

การควบคุมและป้องกันที่ตัวผู้ปฏิบัติงานมีทั้งการควบคุมทางตรงและทางอ้อมดังนี้

- (1) การให้การศึกษอบรมเกี่ยวกับความปลอดภัย
- (2) การผลิตเปลี่ยนหมุนเวียนผู้ปฏิบัติงาน
- (3) การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล PPE (Personal protective Equipment)
- (4) การใช้สัญญาณเตือนภัยที่จะเกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงาน
- (5) การควบคุมด้านการแพทย์ เช่นการที่โรงงานมีสวัสดิการตรวจสุขภาพอนามัยแก่บุคคลที่เข้าทำงานใหม่ แล้วเก็บประวัติการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอุบัติเหตุ

อาจจะศึกษาเพิ่มเติมได้ในตารางที่ 4.7 เทคนิคในการการควบคุมสารเคมี

ตารางที่ 4.7 เทคนิคซึ่งใช้ในการควบคุมโรงงานอุตสาหกรรมเคมี (Crowl and Louvar, 1990)

Type and explanation	Typical techniques
Substitution Use chemicals and equipment which are less hazardous.	* Use mechanical pump seals vs. packing. * Use welded pipe vs. flanged sections. * Use solvents that are less toxic. * Use mechanical gauges vs. mercury. * Use chemicals with higher flash points, boiling points, and other less hazardous properties. * Use water as a heat transfer fluid instead of hot oil.
Attenuation Use chemicals under conditions which make them less hazardous	* Use vacuum to reduce boiling point. * Reduce process temperature and pressures. * Refrigerate storage vessels. * Dissolve hazardous material in safe solvent. * Operate at conditions where reactor run-away is not possible.
Isolation Isolate equipment and/or sources of hazard.	* Place control rooms away from operations. * Separate pump rooms from other rooms. * Acoustically insulate noisy lines and equipment. * Barricade control rooms and tanks.
Intensification Reduce quantity of chemical.	* Change from large batch reactor to smaller continuous reactor. * Reduce storage inventory of raw materials. * Improve control to reduce inventory of hazardous intermediate chemicals. * Reduce process hold-up.
Enclosures Enclose room or equipment and place under negative pressure.	* Enclose hazardous operations like sample points. * Seal rooms, sewers, ventilation, and the like. * Use analyzers and instruments to observe inside equipment. * Shield high temperature surfaces. * Pneumatically convey dusty material.

ตารางที่ 4.7 เทคนิคที่ใช้ในการควบคุมโรงงานอุตสาหกรรมเคมี (ต่อ)

Type and explanation	Typical techniques
Local Ventilation Contain and exhaust hazardous substances.	* Use properly designed hoods. * Use hoods for charging and discharging. * Use ventilation at drumming station. * Use local exhaust at sample points. * Keep exhaust systems under negative pressure
Dilution Ventilation Design ventilation systems to control low level toxics	* Design locker rooms with good ventilation and special areas or enclosures for contaminated clothing. * Design ventilation to isolate operations from rooms and offices. * Design filter press rooms with directional ventilation.
Wet Methods Use wet methods to minimize contamination with dusts.	* Clean vessels chemically vs. sand blasting. * Use water sprays for cleaning. * Clean areas frequently. * Use water sprays to shield trenches or pump seals.
Good Housekeeping Keep toxics and dusts contained.	* Use dikes around tanks and pumps. * Provide water and steam connections for area washing. * Provide lines for flushing and cleaning. * Provide well-designed sewer system with emergency containment.
Personal Protection As last line of defense.	* Use safety glasses and face shields. * Use aprons, arm shields, and space suits. * Wear appropriate respirators; airline respirators are required when oxygen concentration is less than 19.5%.

จะเห็นว่าเมื่อสังเกตโดยรวมแล้วจะมีการควบคุมหลัก ๆ อยู่ 2 อย่างเท่านั้นคือ การควบคุมที่ตัวบุคคล (Personal protective equipment; PPE) และสิ่งแวดล้อมในการทำงาน (Work place) สำหรับการควบคุมที่ตัวบุคคลสามารถอาศัยตารางที่ 4.8 ในการทำความเข้าใจแต่ละชนิดของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในเรื่องสืบเนื่องมาจากสารพิษและการระเหยของนำเอาอุปกรณ์ความปลอดภัยที่เรียกว่าเครื่องกรองสารเคมี (Respirator) หรือสารระเหยมาประกอบความเข้าใจอย่างถ่องแท้

ตารางที่ 4.8 อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (ไม่รวมเครื่องกรองเพื่อการหายใจ หรือ Respirators)
(Crowl and Louvar, 2002)

Type	Description
Hard hat	Protects head from falling equipment and bumps.
Safety glasses	Impact resistant lenses.
Chemical splash goggles gas tight	Suitable for liquids and fumes.
Steel-toed safety shoes	Protects against dropped equipment.
Wrap around face shield	Fiberglass, resistant to most chemicals.
Vinyl apron	Resists most chemicals.
Splash suit	Viton or butyl rubber for nonflammable exposures.
Umbilical cord suit	Used with external air supply.
Rubber oversleeves	Protects forearms.
PVC coated gloves	Resists acids and bases.
PVC and nitrile knee boots	Resists acids, oils, and greases.
Ear plugs	Protects against high noise levels.

4.8.3.1 เครื่องกรองการหายใจ (Respirators)

เครื่องกรองการหายใจเป็นที่รู้จักของพนักงานที่ทำงานในสถานที่ที่มีไอระเหยสูงและมักพบเห็นในห้องทดลองโดยทั่วไปโดยทั่วไปเครื่องกรองควรจะถูกใช้ในลักษณะดังนี้

- ใช้ชั่วคราวเพื่อป้องกันอันตรายของสารที่ระเหยออกมา
- ใช้ในกรณีฉุกเฉิน
- ใช้เมื่อเป็นวิธีสุดท้าย (Last resort) ในการที่เราไม่สามารถป้องกันอย่างอื่นในสถานประกอบการได้ อย่างไรก็ตามบางคนอาจจะเข้าใจผิดคิดว่าจะต้องใช้เครื่องกรองทุกครั้งในขณะที่กำลังทำงานตลอดวัน

ในกระบวนการ (Process) ปกติเครื่องกรองต่าง ๆ ประเทศไทยจะใช้มาตรฐานของ OSHA หรือ NIOSH ซึ่งจะต้องมีการควบคุมในเรื่องคุณภาพมาตรฐานในการใช้งานในงานที่เหมาะสมกับเครื่องกรองนั้น ๆ ซึ่งถ้าเราสังเกตเห็นที่หน้ากากจะมีการแสดงรายละเอียดเสมอ นอกจากนี้ยังต้องมีการกำหนดมาตรฐานในเรื่องอายุการใช้งานพร้อมกับจะต้องมีการบันทึกการใช้งานเพื่อทราบความถี่ในการใช้ในแต่ละครั้งโดยเฉพาะหากงานเหล่านั้นเป็นงานที่มีความถี่สูงและสารพิษที่เป็นอันตรายสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเข้าใจใน มาตรฐาน OSHA หรือ NIOSH จึงสามารถใช้อ้างอิงทั่วโลก ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.9

จากเนื้อหาตอนต้นที่ทำให้เราเข้าใจต่าง ๆ ในเรื่องการระเหยจากการทำงานโยงไปถึงการควบคุมและป้องกันโดยการควบคุมต่าง ๆ การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลซึ่งเป็นส่วนช่วยในขั้นตอนสุดท้ายหากเราไม่สามารถป้องกันและควบคุมจากสิ่งแวดล้อมในการทำงานหรือกระบวนการเนื่องจากกระบวนการบางอย่างไม่สามารถควบคุมได้ อย่างไรก็ตามถึงตรงนี้เรามามองมุมของวิศวกรในรูปแบบการออกแบบสิ่งที่จะมาลดอันตรายโดยช่วยลดอันตรายในสถานที่ทำงานโดยใช้ระบบระบายอากาศหรือการที่เราพยายามที่จะไปดึงเอาอากาศเสียออกและนำเอาอากาศดีเข้าไปแลกเปลี่ยน เพื่อการควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพเราจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาเรื่องการระบายอากาศ (Ventilation)

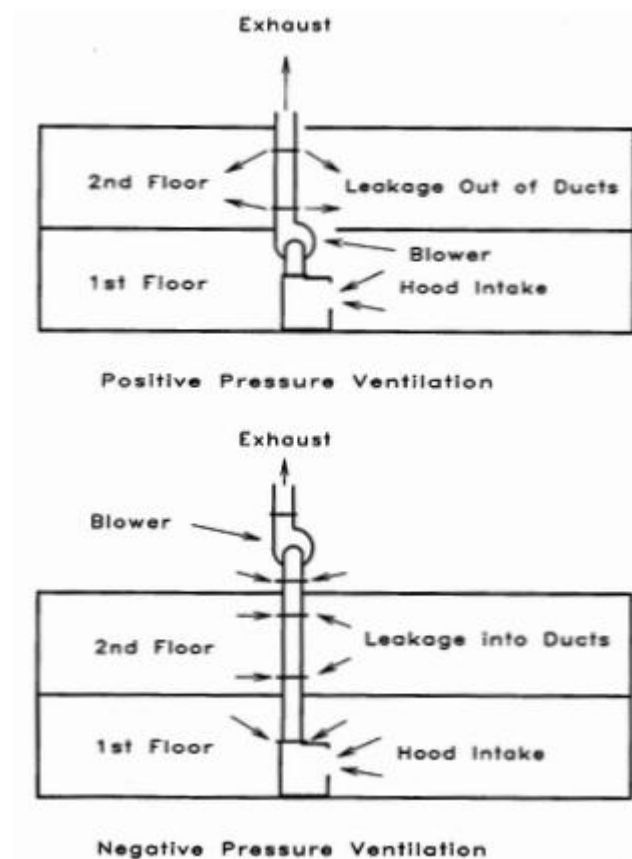
ตารางที่ 4.9 เครื่องกรองสารเพื่อหลีกเลี่ยงมลภาวะทางอากาศในโรงงานอุตสาหกรรมเคมี

(Crowl and Louvar, 1990)

Type	Examples of commercial brand	Limitations
Mouth and nose dust mask	3M 8710 Dust ¹	O ₂ > 19.5% Single use; PEL > 0.05 mg/m ³
Mouth and nose with chemical cartridge	MSA Comfo II Cartridge ²	O ₂ > 19.5%; GMA Cartridge (black) for 1000 ppm of organic vapors; GMC Cartridge (yellow) for 10 ppm Cl ₂ ; and 50 ppm of HCl or SO ₂
Full face mask with chemical canister	MSA Industrial Gas Mask ³	O ₂ > 19.5%; GMA Canister (black) for 2% organics; GMP Canister (olive) for 0.05% pesticides.
Self-contained breathing apparatus (SCBA)	Scott Air PAK II ⁴	Good for toxic or noxious gases; air tank lasts approx. 20 minutes.

4.8.3.2 การระบายอากาศ (Ventilation)

การระบายอากาศนั้นสำคัญที่เราต้องการที่จะทำให้อากาศมีพิษ (Airborne toxic material) ลดลง หรือนอกจากอากาศเป็นพิษลดลงแล้วยังสามารถลดโอกาสของการติดไฟได้ (Flammable toxic material) ได้ด้วย ดังนั้นการระบายอากาศที่ดีคือต้องสามารถติดตั้งได้ง่ายและสะดวก รวมทั้งต้องสามารถเพิ่มกำลังของการระบายได้อย่างไม่ยากนัก แต่ข้อเสียของการใช้ระบบการระบายอากาศคือการแก้ปัญหาปลายเหตุ เนื่องจากความจริงที่ว่า ถ้าเราสามารถควบคุมและป้องกันการรั่วไหลที่ต้นตอ โดยมีระบบการทำงานที่ดี เราไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบการระบายอากาศเพื่อให้เหมาะสมต่อบุคลากรที่ปฏิบัติงาน อย่างไรก็ตามปัญหานี้มักพบเห็นบ่อยๆ และบางครั้งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เนื่องมาจากการลงทุนของกระบวนการอาจจะสูงมากในการทำให้ระบบไม่มีการรั่วไหลของสารพิษเลย การระบายอากาศจึงเป็นวิธีหนึ่งที่เราสามารถลดต้นทุนบางส่วนในกระบวนการการผลิต

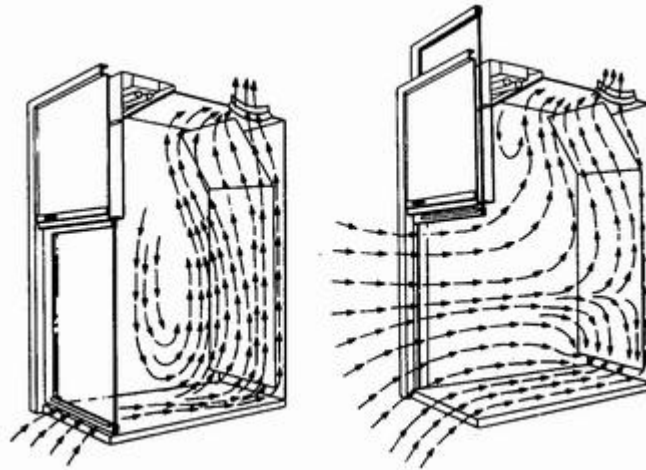


รูปที่ 4.5 ลักษณะของการระบายทั้งแบบ Positive และ Negative ซึ่ง Negative จะเป็นที่นิยมมากกว่าเนื่องจาก จะมีการควบคุมระบบไม่ให้เกิดการรั่วไปสู่สถานที่ทำงานหรือสิ่งแวดล้อม (Crowl and Louvar, 1990)

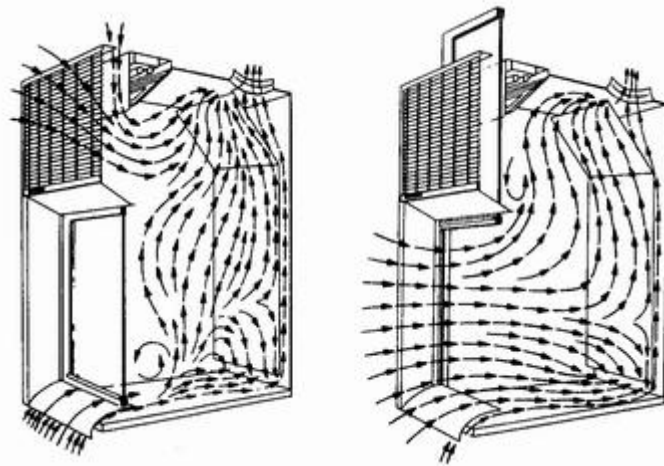
ระบบการระบายอากาศจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ท่อ (Duct) และ ใบพัดหรือ (Fan or Blower) โดยท่อส่วนใหญ่ในอาคารมักออกแบบเป็นสี่เหลี่ยมแล้วต่อกับ เครื่องดูดซึ่งจะดูดด้วยแรงดัน ลดซึ่งต่างน้อยกว่า 0.1 psi อากาศจะเคลื่อนตัวจากความดันสูงไปสู่ความดันที่ต่ำกว่าส่วนใหญ่เรามัน ใช้วิธีดูดอากาศพิษออกซึ่งจะเหมาะกว่าการที่ฝนหรือเป่าอากาศบริสุทธิ์เข้าไปดังแสดงในรูปที่ 4.5 การระบายแบ่งออกเป็น 2 ประเภท หลัก ๆ คือ

- (1) การระบายในที่จำกัด (Local ventilation)
- (2) การระบายโดยทำให้เกิดการเจือจาง (Dilution ventilation)

(1) **การระบายในที่จำกัด (Local ventilation)** เป็นการระบายที่ใช้กันเป็น Hood หรือเป็นอุปกรณ์ที่จำกัดการทำงานเฉพาะที่โดยลักษณะของการระบายของ Hood จะมีหลายแบบ เช่น แบบที่เราใช้กันโดยทั่วไปในห้องทดลอง (Enclose hood) เป็นประตูที่สามารถเปิด-ปิดได้ขึ้นอยู่กับขนาดที่ใช้ซึ่งต้องสัมพันธ์กับกำลังการขับออก การเปิดปิดจะเลื่อนขึ้นเลื่อนลงโดยขึ้นกับความสูงของม่าน (Sash) ดังแสดงในรูปที่ 4.6 หรือแบบ By pass ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 มาตรฐานของ Hood ที่ใช้ในห้องทดลองซึ่งควบคุมการไหลของอากาศและความเร็วโดยความสูงของม่าน (Sash) (Crowl and Louvar, 1990)



รูปที่ 4.7 มาตรฐาน Hood ที่ใช้ในห้องทดลองแบบ Bypass ซึ่งควบคุมโดยความสูงของม่าน (Sash) (Crowl and Louvar, 1990)

ดังนั้นการออกแบบจึงจำเป็นที่จะต้องเข้าใจการไหลแบบราบเรียบหรือการไหลแบบแอโรไดนามิกส์ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ข้อได้เปรียบของการใช้การระบายที่จำกัดพื้นที่ (Local ventilation) คือ ระบบมันจะถูกแยกออกจากผู้ปฏิบัติงานโดยสิ้นเชิง ระบบไม่ต้องการกำลังในการขับเคลื่อนอากาศมากเนื่องจากพื้นที่ถูกจำกัด อุปกรณ์นี้ยังเป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมการทำงานโดยสามารถแยกออกระบบจากบริเวณที่ไวไฟหรือระเบิดได้โดยตรง และระบบสามารถควบคุมได้โดยการเปิดปิดประตูขึ้นลง ซึ่งสะดวกต่อการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน อย่างไรก็ตามข้อเสียที่ต้องพิจารณาของระบบนี้คือมันจะมีขนาดเล็กซึ่งการทำงานอาจจะถูกจำกัดในห้องทดลอง (Bench scale) หรือ โรงงานจำลอง (Pilot plant)

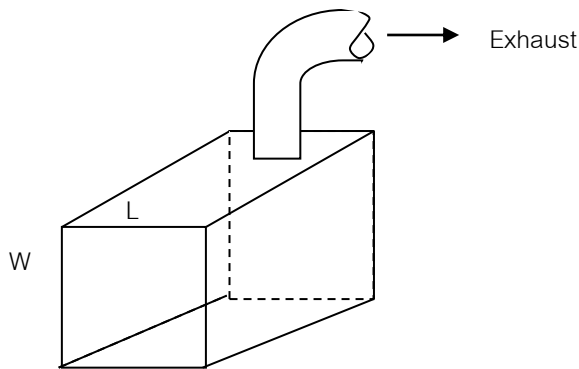
การคำนวณ ของ Hood สามารถคำนวณอัตราการไหล (Q_v) โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ($\bar{u}$) และพื้นที่หน้าตัด (A) ดังสมการ

$$Q_v = A\bar{u} \quad \dots(4.25)$$

โดยทั่วไปการออกแบบท่อ (Duct) จะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยม (Rectangular) ซึ่งมีความกว้าง (W) และความยาว (L) ดังนั้น อัตราการไหลจากสมการ (4.25) จะได้

$$Q_v = WL\bar{u} \quad \dots(4.26)$$

ถ้าสมการ (4.26) แสดงดังรูปที่ 4.8 โดยแสดงให้เห็นเป็นกล่องเปิด (Simple box-type enclosure) การควบคุมความเร็วในการดูดจะขึ้นกับสารที่เป็นพิษ สัมพันธ์กับความเร็วของอากาศที่ทางเปิดเข้าของ Hood ถ้า Hood มีขนาดที่สั้นมักจะต้องออกแบบความเร็วสูงขึ้นเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าสารพิษถูกดูดออกไปไม่มีการติดค้างในห้องหรือผู้ที่ทำงานอยู่ โดยทั่วไปจากประสบการณ์จากหลาย ๆ ที่ (Crowl and louvor, 1999) พบว่า ความเร็วที่ใช้ถ้าสูงไปจะเกิดเป็นการไหลที่ปั่นป่วน (Turbulent) แบบเริ่มจะเป็นการไหลที่ปั่นป่วน (Eddy หรือ Swirl) บริเวณทางเข้าทางช่องม่าน (Sash) ด้านล่าง โดยทั่วไปความเร็วที่เหมาะสมในการออกแบบ (Control Velocity) คือ 100 ถึง 125 ฟุตต่อนาที (fpm) เราสามารถใช้มาตรฐาน OSHA ซึ่งเกี่ยวกับการไหลของอากาศในอุปกรณ์ ในการตรวจสอบได้



รูปที่ 4.8 การหาอัตราการไหลของอากาศใน Hood ขนาดกว้าง (W) x ยาว (L)

การออกแบบจะขึ้นกับความกว้าง (W) และยาว (L) ของ Hood และรูปร่างของท่อ (Duct) อุปกรณ์อื่น ๆ ที่มักติดตั้งร่วมกันอยู่คือท่อที่ยืดหดและบิดได้ (Flexible) คล้ายวงช้าง (Elephant trunk) ที่ครอบ (Canopies) และที่รวมแก๊สพิษ (Plenums) ซึ่งการออกแบบสามารถปรับได้จนกระทั่งมั่นใจว่าไม่มีการรั่วไหลของอากาศพิษ

- (2) การระบายโดยทำให้เกิดการเจือจาง (Dilution ventilation) เป็นการระบายโดยทำให้เกิดการเจือจาง (Dilution ventilation) ซึ่งการระบายแบบนี้จะเกิดขึ้นนอก Hood หรือข้างนอกที่คนสามารถที่จะรับสารพิษได้หากไม่มีการระบายโดยทั่วไปจะใช้อัตราการไหลที่สูงกว่าแบบเฉพาะที่ (Local ventilation) การคำนวณจะใช้สมการ (4.9), (4.12) และ (4.14) โดยที่ค่า k หรือค่า Non ideal mixing factor ของสภาวะการเจือจาง (Dilution condition) ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่หาได้จากตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 Non ideal mixing factor ของสภาวะการเจือจาง (Crowl and Louvar, 1990)

Vapor concentration (ppm)	Dust concentration (mppcf)	Mixing factor k for various dilution ventilation conditions			
		Poor	Average	Good	Excellent
Over 500	50	1/7	1/4	1/3	1/2
101-500	20	1/8	1/5	1/4	1/3
0-100	5	1/11	1/8	1/7	1/6

*** ในกรณีมีหลายแหล่ง (Source) ให้คำนวณหาปริมาณอากาศที่ต้องการ (ในแต่ละแหล่งอาจจะมีค่า k ต่างกัน)ให้นำเอาค่าทั้งหมดมารวมกันเป็นปริมาณการระบายอากาศที่ต้องการ

ตัวอย่าง 4.8 ไชรีนถูกใช้เป็นตัวทำละลายของสี เกิดการระเหยของสาร ไชรีนในอัตราการระเหยเท่ากับ 3 แกลลอนใน 8 ชั่วโมงการทำงาน จงคำนวณหาอัตราการระบาย (Dilution ventilation rate) ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นที่ยอมรับได้ (TLV-TWA) เท่ากับ 100 ppm และคำนวณหาอากาศที่จำเป็นในการระบาย (Air required) เมื่อสมมติให้พนักงานทำงานอยู่นอก ซึ่ง Hood ที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 50 ตารางฟุต และความเร็ว (Face velocity) 100 ฟุตต่อนาทีซึ่งมีอุณหภูมิในขณะนั้น 77 องศาฟาเรนไฮต์ และที่ความดัน 1 บรรยากาศ เมื่อกำหนดให้ ไชรีนมีความถ่วงจำเพาะ 0.864 และมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 106

$$\text{จากสมการ (4.9)} \quad C_{ppm} = \left(\frac{Q_m R_g T}{k Q_v PM} \right) \times 10^6$$

$$Q_m = \left(\frac{3 \text{Gallon}}{8 \text{hr}} \right) \left(\frac{1 \text{hr}}{60 \text{min}} \right) \left(\frac{0.1337 \text{ ft}^3}{1 \text{Gallon}} \right) \left(\frac{62.4 \text{ lb}_m}{\text{ft}^3} \right) (0.864) = 0.0450 \text{ ปอนด์/นาที}$$

$$R_g = 0.7302 \text{ ฟุต}^3 \text{atm/ปอนด์-โมล } ^\circ \text{R}$$

$$T = 77^\circ \text{F หรือ } 537^\circ \text{R}$$

$$k = \text{ใช้ค่าเฉลี่ยของการผสม จากตารางที่ 4.11 จะได้เท่ากับ } 1/8$$

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$M = 106$$

$$C_{ppm} = 100 \text{ ppm}$$

$$Q_v = \left(\frac{Q_m R_g T}{k C_{ppm} PM} \right) \times 10^6 = 13,300 \text{ ฟุต}^3 \text{/นาที}$$

เมื่อเปรียบเทียบการคำนวณโดยที่ Hood ซึ่งมีขนาดพื้นที่หน้าตัด (A) = 50 ฟุต² และความเร็ว $\bar{u}$ (Face velocity) 100 ฟุตต่อนาที เพื่อที่จะหาอัตราการไหลของอากาศ (Air flow) โดยคำนวณจากความสัมพันธ์

$$Q_v = 50 \text{ ft}^2 \cdot 100 \text{ ft/min} = 5,000 \text{ ฟุต}^3 \text{/นาที}$$

สรุปได้ว่าถ้าสีทั้งหมดมีการระเหยใน Hood จะต้องอัตราการไหลเพียง 5,000 ฟุต³/นาที ซึ่งน้อยกว่าอัตราการไหลซึ่งจำเป็นที่จะต้องทำให้สารไซรีนเจือจางในห้องทำงานที่มีคนทำงานอยู่

สรุปบทที่ 4 บทนี้เราจำเป็นที่จะต้องเข้าใจสุทธศาสตร์อุตสาหกรรมเพื่อเข้าใจและสามารถที่จะลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติการโดยการควบคุมผลกระทบทั้งระดับสารเคมีในอากาศ เสียง แสง ความร้อน รวมทั้งความเข้าใจถึงการประมาณการได้รับสารเคมีในขณะปฏิบัติงาน การบริหารและจัดการในเชิงวิศวกรรมเช่นการป้องกันและควบคุมที่แหล่งต้นเหตุ ทางผ่าน และผู้ปฏิบัติงาน พร้อมกับสร้างสภาพการทำงานอย่างเหมาะสมให้กับผู้ปฏิบัติงาน วิศวกรเคมีคงไม่รอให้ใครมาแก้ไขเหตุการณ์อันตรายที่เกิดขึ้นทุกครั้ง ดังนั้นการป้องกันอันตรายโดยการลดความเสี่ยงจึงเป็นหน้าที่ของเราโดยตรง

แบบฝึกหัด บทที่ 4

- 4-1. A process plant inventories the following chemicals: vinyl chloride, methyl ethyl ketone, ethylene oxide, styrene, and cyclohexane. Determine the hazards associated with these chemicals. What additional information might you request to perform an appropriate assessment of the risk associated with these chemicals?
- 4-2. The TLV-TWA for a substance is 150 ppm. A worker begins a work shift at 8 A.M. and completes the shift at 5 P.M. A one-hour lunch break is included between 12 noon and 1 P.M., where it can be assumed that no exposure to the chemical occurs. The data were taken in the work area at the times indicated. Has the worker exceeded the TLV specification?

Time	Concentration (ppm)
8:10 A.M.	110
9:05 A.M.	130
10:07 A.M.	143
11:20 A.M.	162
12:12 P.M.	142
1:17 P.M.	157
2:03 P.M.	159
3:13 P.M.	165
4:01 P.M.	153
5:00 P.M.	130

- 4-3. Air contains 4 ppm of carbon tetrachloride and 25 ppm of 1,1-dichloroethane. Compute the mixture TLV, and determine whether this value has been exceeded.
- 4-4. A substance has a TLV-TWA of 200 ppm, a TLV-STEL of 250 ppm, and a TLV-C of 300 ppm. The data in the following table were taken in a work area:

Time	Concentration (ppm)
8:01 A.M.	185
9:17 A.M.	240
10:05 A.M.	270
11:22 A.M.	230
12:08 P.M.	190
1:06 P.M.	150
2:05 P.M.	170
3:09 P.M.	165
4:00 P.M.	160
5:05 P.M.	130

A worker on an 8-hour shift is exposed to this toxic vapor. Is the exposure within compliance? If not, what are the violations? Assume that the worker is at lunch between the hours of 12 noon to 1 P.M. and is not exposed to the chemical during that time.

- 4-5. Sax provided the following working equation for determining the dilution air requirements resulting from evaporation of a solvent:

$$\text{CFM} = \frac{(3.87 \times 10^8)(\text{lb}_m \text{ of liquid evaporated/min})}{(\text{molecular weight})(\text{TLV})(k)},$$

where CFM is the ft³/min of dilution air required. Show that this equation is the same as Equation (4.9). What assumptions are inherent in this equation?

Problems 4-6 through 4-11 apply to toluene and benzene. The following data are available for these materials

	Benzene (C ₆ H ₆)	Toluene (C ₇ H ₈)
Molecular weight	78.11	92.13
Specific gravity	0.8794	0.866
TLV (ppm)	10	50

Saturation vapor pressures:

$$\ln(P^{\text{sat}}) = A - \frac{B}{C + T},$$

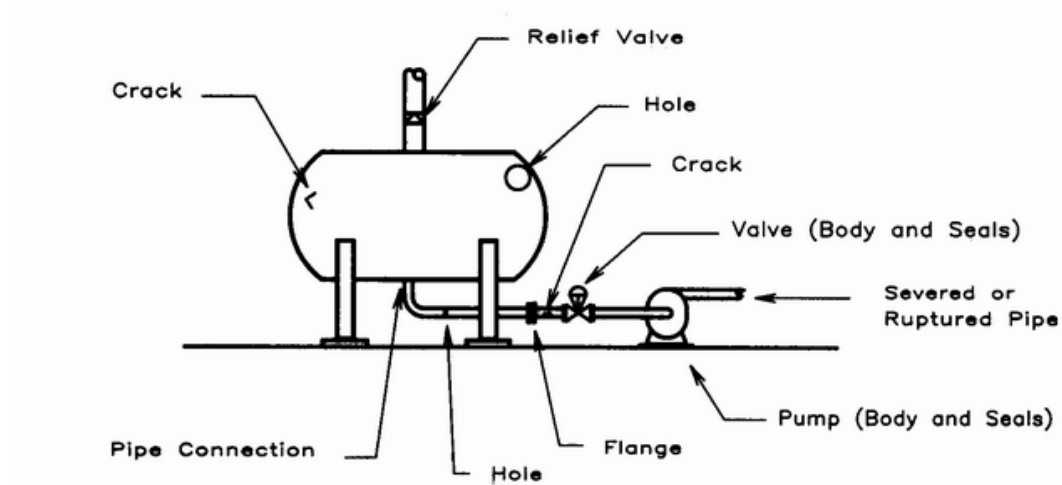
where P^{sat} is the saturation vapor pressure in mm Hg, T is the temperature in K, and A, B, and C are the constants, given in Appendix ง (ภาคผนวก ง.):

- 4-6. Compute the concentration (in ppm) of the saturated vapor with air above a solution of pure toluene. Compute the concentration (in ppm) of the equilibrium vapor with air above a solution of 50 mol % toluene and benzene. The temperature is 80°F and the total pressure is 1 atm.
- 4-7. Compute the density of pure air and the density of air contaminated with 100 ppm benzene. Do the densities of these two gases differ enough to ensure a higher concentration on floors and other low spots? The temperature is 70°F and the pressure is 1 atm.
- 4-8. Equations (4.12) and (4-14) represent the evaporation of a pure liquid. Modify these equations to represent the evaporation of a mixture of ideal miscible liquids.

- 4-9. Benzene and toluene form an ideal liquid mixture. A mixture composed of 50 mol % benzene is used in a chemical plant. The temperature is 80°F, and the pressure is 1 atm.
- Determine the mixture TLV
 - Determine the evaporation rate per unit area for this mixture.
 - A drum with a 2-in-diameter bung is used to contain the mixture. Determine the ventilation rate required to maintain the vapor concentration below the TLV. The ventilation quality within the vicinity of this operation is average.
- 4-10. A drum contains 42 gal of toluene. If the lid of the drum is left open (lid diameter = 3 ft), determine the time required to evaporate all the toluene in the drum. The temperature is 85°F. Estimate the concentration of toluene (in ppm) near the drum if the local ventilation rate is 1000 ft³/min. The pressure is 1 atm.
- 4-11. A certain plant operation evaporates 2 pint/hr of toluene and 1 pint/ 8 hr shift of benzene. Determine the ventilation rate required to maintain the vapor concentration below the TLV. The temperature is 80°F, and the pressure is 1 atm.
- 4-12. Equations 3-12 and 3-14 can be applied to non-enclosed exposures by using an effective ventilation rate. The effective ventilation rate for outside exposures has been estimated at 3,000 ft³/min.
- A worker is standing near an open passageway of a tank containing 2-butoxyethanol (molecular weight = 118). The passageway area is 7 ft². Estimate the concentration (in ppm) of the vapor near the passageway opening. The vapor pressure of the 2-butoxyethanol is 0.6 mm Hg.
- 4-13. Fifty-five-gallon drums are being filled with 2-butoxyethanol. The drums are being splash filled at the rate of 30 drums per hour. The bung opening through which the drums are being filled has an area of 8 cm². Estimate the ambient vapor concentration if the ventilation rate is 3,000 ft³/min. The vapor pressure of 2-butoxyethanol is 0.6 mm Hg under these conditions.

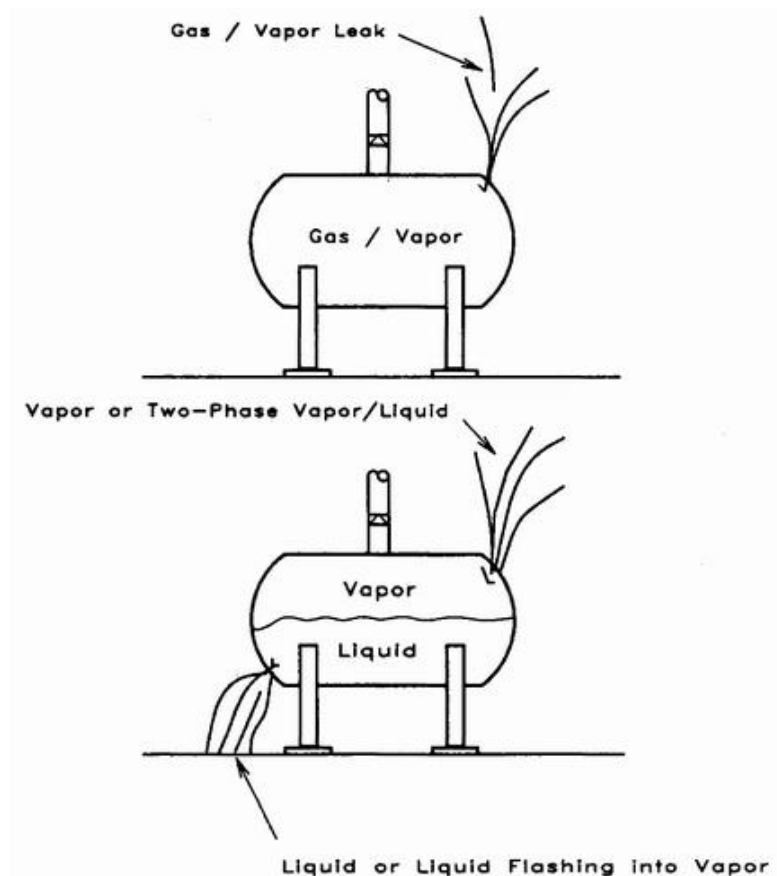
บทที่ 5 แบบจำลองการรั่วไหลของสารเคมี

อุบัติเหตุส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมเคมีเกิดจากการรั่วไหลหรือจากการหกหล่นของสารเคมีที่เป็นพิษ (Spills of toxic) หรืออาจจะเกิดไฟไหม้จากของเหลวที่ติดไฟได้ (Flammable) หรืออาจจะมีการเกิดระเบิดควบคู่กันไปเนื่องจากมีความดันเข้ามาเกี่ยวข้องในขณะที่เกิดเพลิงไหม้ของสารเคมี (Explosive material) ดังนั้นเพื่อให้เราจะได้เข้าใจจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาหลักการต่าง ๆ เพื่อนำมาสร้างแบบจำลอง (Source Model) แบบจำลองมีประโยชน์ต่อการศึกษาเนื่องจากสามารถนำเอาความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ มาใช้สำหรับทำนายการเกิดอุบัติเหตุจากการรั่วไหล อาจจะหาความสัมพันธ์โดยใช้พื้นฐานการทดลองเชิงคณิตศาสตร์ (Empirical Equation) หรือใช้เหตุการณ์จริงเป็นแหล่งศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐานที่จะทำให้เกิดความเข้าใจซึ่งพื้นฐานเหล่านี้ นั้นจริงๆ คือความเข้าใจในเรื่องของกระบวนการทางเคมี-ฟิสิกส์ที่เราได้เรียนมาแล้วในวิชาพื้นฐานหลาย ๆ วิชา ถ้าความรู้นี้มากการสร้างแบบจำลองก็就会有ความถูกต้องมาก แต่บางครั้งเราจำเป็นต้องทำให้ง่ายที่สุดเนื่องจากประหยัดเวลา หรือการคำนวณที่เน้นในเรื่องความปลอดภัยเราอาจจะใช้สมมติฐานต่าง ๆ เพื่อให้ได้แบบจำลองที่ง่ายรวดเร็วและมีความเป็นจริงมากที่สุด ในบทเรียนนี้จะมาทำความเข้าใจในเรื่องการเกิดอุบัติเหตุจากการรั่วไหลของของเหลวและแก๊สในภาชนะรับความดัน ก่อนที่จะนำไปสู่การสร้างแบบจำลองต่อไปเราจะเริ่มกันที่ลักษณะการรั่วไหลของสารในภาชนะรับความดันในรูปแบบต่าง ๆ ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 การรั่วไหลที่จุดต่าง ๆ ของภาชนะรับความดัน (Crowl and Louvar, 1999)

ปรากฏการณ์เหล่านี้เราสามารถหาลักษณะอะไร เมื่อเราเห็นสารรั่วเราอาจจะเกิดความคิดที่จะต้องเข้าใจในเรื่องของอัตราการไหลของของเหลวหรือแก๊ส ซึ่งเกิดขึ้น 1 เฟส หรือ 2 เฟส ดังรูป 5.2 หรือบางคนอาจจะใช้วิธีการแบบคิดรวมว่าสารเหล่านั้นเกิดรั่วออกไปเท่าไร (Total quantity release) หรือถ้าบางคนคิดลึกซึ้งหน่อย อาจจะจำเป็นที่จะต้องไปหาข้อมูลมาก่อนอาจไปค้นหาคุณสมบัติทางกายภาพของสารเคมี (Physical state of material) นั้นมาช่วยในการคำนวณ แน่นอนที่สุดไม่ว่าเราจะคิดต่างกันอย่างไรก็คงหนีไม่พ้นที่ว่าเมื่อเหตุการณ์เหล่านี้เกิดขึ้น เราคงไม่ให้เกิดซ้ำแล้วซ้ำเล่า จนกระทั่งอุบัติเหตุเล็ก ๆ อาจจะกลายเป็นอุบัติเหตุขนาดใหญ่ได้



รูปที่ 5.2 การรั่วของของเหลวและไอปนกัน (Two-phase Vapor/Liquid) (Crowl and Louvar, 1999)

ดังนั้นการตัดไฟตั้งแต่ต้นลมหรือการแก้ปัญหาตั้งแต่ต้นตอในเชิงวิศวกรรมคือการนำหลักการหรือทฤษฎีต่าง ๆ มาช่วยในการออกแบบทั้งออกแบบเพื่อให้เกิดความเหมาะสมและสามารถออกแบบเพื่อป้องกันอุบัติเหตุ อย่างไรก็ตามหากเกิดอุบัติเหตุแสดงว่าอาจจะเกิดเหตุการณ์นอกเหนือจากการคาดเดาของผู้ออกแบบ ดังนั้นการออกแบบที่ดีจำเป็นต้องมีการเผื่อไว้เพื่อให้ปลอดภัยหรือหลีกเลี่ยงจากการเกิดอุบัติเหตุ หรือที่เราเรียกว่าการออกแบบเผื่อการเกิดอุบัติเหตุ (Design on the safe side) สามารถแยกแยะพื้นฐานของการพิจารณาแบบจำลองการรั่วไหล (Source model) ออกเป็น 7 แบบดังนี้

- 5.1 การรั่วผ่านช่องเล็ก ๆ ในถังที่มีขนาดใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับรูรั่ว (Flow of liquids through a hole)
- 5.2 การรั่วผ่านช่องเล็ก ๆ ในภาชนะรับความดัน (Flow of liquids through a hole in the tank)
- 5.3 การรั่วผ่านช่องเล็ก ๆ ในท่อ (Flow of liquids through a hole pipes)
- 5.4 การรั่วไหลของแก๊สผ่านรูรั่วในภาชนะรับความดัน (Flow of vapor through holes)
- 5.5 การรั่วไหลของแก๊สผ่านรูรั่วในท่อ (Flow of vapor through pipes)
- 5.6 การเกิดการกระจายและเดือดของของไหล (Flashing liquids)
- 5.7 การเกิดการล้นเนื่องมาจากการระเหยหรือการเดือด (Liquid pool evaporation or boiling)

5.1 การรั่วผ่านช่องเล็ก ๆ (Flow of liquids through a hole)

ในกรณีนี้จะเป็นกรณีที่สมมติว่าในภาชนะรับความดันมีขนาดใหญ่มาก ๆ เมื่อเทียบกับรูรั่ว ดังนั้นสมการที่ใช้ในการสมดุลพลังงานของของไหลโดยทั่วไปที่ใช้คือ

$$\int \frac{dP}{\rho} + \Delta \left(\frac{\bar{u}^2}{2\alpha g_c} \right) + \frac{g}{g_c} \cdot \Delta z + F = -\frac{W_S}{\dot{m}} \quad \dots(5.1)$$

- ซึ่ง:
- P = ความดัน (Pressure); (Force/Area)
 - ρ = ความหนาแน่นของของเหลว (Density of fluid); (Mass/Volume)
 - $\bar{u}$ = ความเร็วเฉลี่ย (Instantaneous Average velocity of fluid); (Length/time)
 - g_c = ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วง (Gravitational constant); (Length mass/force time²)
 - α = Correction factor
 - = 0.5; Laminar flow
 - = 1.0; Plug flow
 - > 1.0; Turbulent flow
 - g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (Acceleration due to gravity); (Length/time²)
 - z = ระดับความสูงเหนือจุดอ้างอิง (Height above datum); (Length)
 - F = แรงเสียดทานรวม (Net frictional loss term or Friction force); (Length force/Mass)
 - W_s = แรงแบบกวนที่ทำให้เกิดงาน (Shaft work); (Force.Length)
 - $\dot{m}$ = อัตราการไหลโดยมวล (Mass flow rate); (Mass/time)

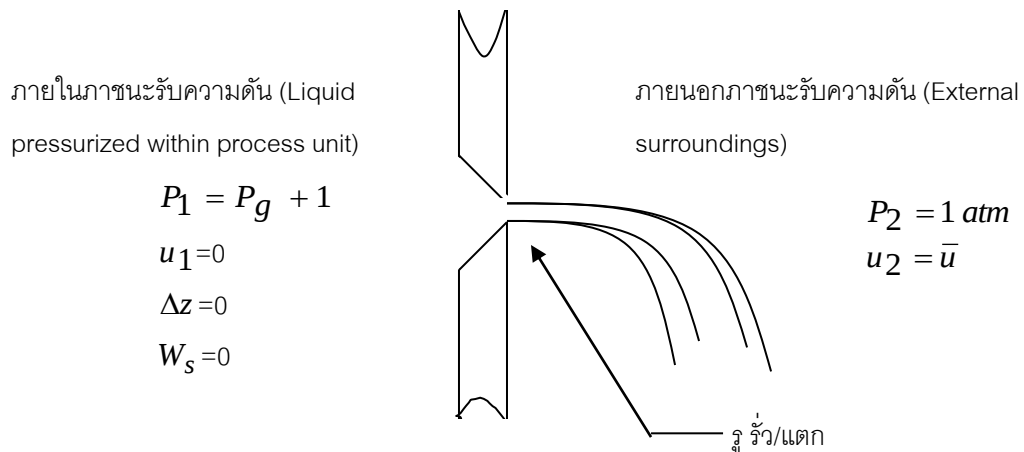
ซึ่งถูกจำกัดไว้สำหรับของเหลวที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible liquid) ที่มีความหนาแน่น ρ คงที่ ดังนั้น

$$\int \frac{dP}{\rho} = \frac{\Delta P}{\rho} \quad \dots(5.2)$$

ในกรณีที่มีการรั่วจากรูเล็ก ๆ ของภาชนะรับความดันจะเกิดสภาวะดังรูปที่ 5.3 ของเหลวจะพุ่งออกมาจากรอยรั่วด้วยความดันสูงในถังโดยพลังงานจลน์ (Kinetic energy) จะเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่พร้อมกับแรงเสียดทาน (Friction flow) ซึ่งเกิดบริเวณรอยรั่วเกิดเป็นพลังงานความร้อน (Thermal energy) ที่อาจจะส่งผลทำให้ความเร็วของของไหลลดลงโดยสภาวะที่เกิดขึ้นภายใต้สมมติฐานดังนี้

Assumptions

- ความดัน $\Delta P = P_2 - P_1$ โดยที่ P_g คือความดันเกจในถัง ดังนั้น $P_1 = P_g + 1$ และ $P_2 = 1$ เมื่อความดันบรรยากาศ (ภายนอก) = 1 หน่วย ผลคือ $\Delta P = -P_g$
- ระดับของเหลวเปลี่ยนแปลงน้อยมาก $\Delta z = 0$ เนื่องจากภาชนะรับความดันที่มีขนาดใหญ่มาก
- ไม่มีเครื่องปั๊มหรือส่วนที่ให้พลังงาน (Shaft work) หรือ $W_s = 0$
- ไม่มีความเร็วของของเหลวเริ่มต้น $u_1 = 0$ แต่มีเพียงความเร็วตอนออก $u_2 = \bar{u}$
- แรงเสียดทานน้อยมากถูกพิจารณาด้วยค่าสัมประสิทธิ์การระบายหรือปล่อยออก (Discharge coefficient) ซึ่งขึ้นกับลักษณะของรูที่ รั่ว/แตก ซึ่งจะกล่าวต่อไป



รูปที่ 5.3 การรั่วของของเหลวผ่านช่องเล็ก ๆ ในถังที่มีขนาดใหญ่่มาก ๆ (Flow of liquids through a hole)
(Crowl and Louvar, 1999)

โดยสมมติให้แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นน้อยมาก (Friction loss) ถูกแสดงด้วยสมการ (5.3) แรงลัพธ์ทั้งหมดเท่ากับแรงที่เกิดจากแรงที่ได้จากค่าความดันต่างหารด้วยความหนาแน่นแล้วคูณสัมประสิทธิ์ของการปล่อยออก (Discharge)

$$-\frac{\Delta P}{\rho} - F = C_1^2 \left(-\frac{\Delta P}{\rho} \right) \quad \dots(5.3)$$

แทนสมการ (5.3) และเงื่อนไขต่าง ๆ (Assumptions) ลงในสมการ (5.1) จะได้

$$\left(\frac{\bar{u}^2 - 0}{2\alpha g_c} \right) = C_1^2 \left(\frac{P_g}{\rho} \right)$$

ผลคือ

$$\bar{u} = C_1 \sqrt{\alpha} \sqrt{\frac{2g_c P_g}{\rho}} \quad \dots(5.4)$$

โดยที่ค่า Discharge coefficient C_o ถูกนิยามร่วมกับค่า Correction factor (α) ได้ดังนี้

$$C_o = C_1 \sqrt{\alpha} \quad \dots(5.5)$$

ค่า C_o ขึ้นอยู่กับ Re (Reynolds number) และลักษณะของรูที่รั่ว/แตก ตามเงื่อนไขดังนี้

กรณีที่ ① $C_o = 0.61$ สำหรับรูที่มีขอบคม (Sharp-edged orifices) ค่า $Re > 30,000$

กรณีที่ ② $C_o = 1.0$ สำหรับขอบที่มน (Well-round nozzle) หรือถ้าไม่ข้อมูลสามารถสมมติให้เท่ากับหนึ่ง

กรณีที่ ③ $C_o = 0.81$ กรณีการรั่วมีลักษณะมีท่อสั้นติดอยู่กับภาชนะ (Short section of pipe attached to a vessel) โดยอัตราส่วนความยาวท่อ (L) กับเส้นผ่าศูนย์กลาง (ϕ) น้อยกว่า 3

หรือการหาค่า C_o จากวิธี 2-K (2- K Method) ซึ่งสามารถดูรายละเอียดได้ใน ภาคผนวก ข

จะได้ความเร็วของของเหลวที่รั่วออกคือความเร็วสูงสุดมีค่าเท่ากับ

$$\bar{u} = C_o \sqrt{\frac{2g_c P_g}{\rho}} \quad \dots(5.6)$$

Mass flow rate ที่จุดรั่วที่ช่องรั่ว (Leak area) ที่มีพื้นที่หน้าตัด A หรือ โดยมีนิยามดังนี้

$$Q = \rho \bar{u} A$$

แทนสมการ (5.6) จะได้อัตราการไหลสูงสุด

$$Q_m = AC_o \sqrt{2\rho g_c P_g} \quad \dots(5.7)$$

ตัวอย่าง 5-1 ที่เวลาบ่ายโมงผู้ปฏิบัติการในโรงงานผู้หนึ่งสังเกตว่าเกิดความดันลดในท่อส่งเบนซีน ความดันขณะนั้นอยู่ที่ 100 psig หลังจากนั้นเวลาบ่ายสองครึ่ง ได้พบจุดรั่วไหลที่ท่อขนาด 0.25 นิ้ว หลังจากนั้นเขาได้ซ่อมรอยรั่วที่เกิดขึ้นทันที จึงคำนวณหาเบนซีนทั้งหมดที่รั่วออกมา ถ้าความถ่วงจำเพาะของเบนซีนเท่ากับ 0.8794

จากคำถามจะได้ข้อมูลดังนี้

$$A = \pi \frac{d^2}{4} = \frac{(3.14)(0.25)^2}{4} = 0.04906 \text{ นิ้ว}^2 = 3.41 \times 10^{-4} \text{ ฟุต}^2$$

$$C_o = 0.61 \text{ (สมมติรอยแตกเป็นลักษณะรูที่มีขอบแหลมคม (Sharp edged orifices))}$$

$$\rho = (0.8794) \times 62.4 \text{ ปอนด์/ฟุต}^3 = 54.9 \text{ ปอนด์/ฟุต}^3$$

$$g_c = 32.17 \text{ ฟุต/วินาที}^2$$

$$P_g = 100 \text{ psi} = 100 \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2 = 14,400 \text{ ปอนด์/ฟุต}^2$$

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการ (5.7)

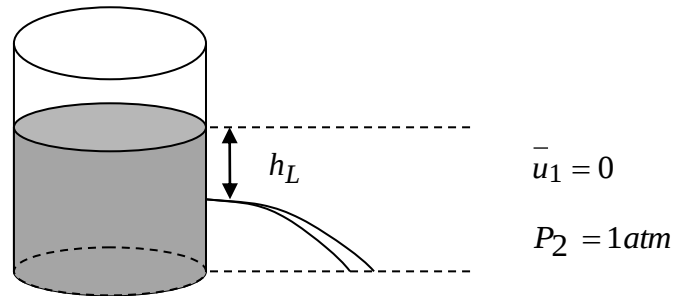
$$\begin{aligned} \therefore Q_m &= (3.41 \times 10^{-4})(0.61) \sqrt{2(54.9)(32.17)(14,400)} \\ &= 1.48 \text{ ปอนด์/วินาที} \end{aligned}$$

ระยะเวลาที่รั่วจาก (1 pm - 2.30 pm) ใช้เวลา 90 นาที

$$\therefore \text{มวลทั้งหมดที่สูญเสีย} = 1.48 \text{ ปอนด์/วินาที} \times 90 \times 60 \text{ วินาที} = 7,990 \text{ ปอนด์}$$

5.2 การรั่วผ่านช่องเล็ก ๆ ในภาชนะรับความดัน (Flow of liquid through a hole in a tank)

กรณีนี้จะเป็นการรั่วผ่านช่องเล็ก ๆ (Orifice-type) ในภาชนะรับความดันที่มีของเหลวที่อยู่ในระดับสูงเหนือจุดที่รั่วโดยจะถ่ายให้เกิดเป็นพลังงานจลน์ให้กับของไหลเพื่อไหลผ่านออกมาจนกระทั่งด้วยแรงดันที่เปลี่ยนตามระดับของของเหลว



รูปที่ 5.4 การรั่วผ่านช่องเล็ก ๆ (Orifice-type) ในภาชนะรับความดัน

Assumptions จากรูป 5.4

- ความดัน $\Delta P = -P_g$ คล้ายเงื่อนไขในหัวข้อ 5.1
- ระดับของเหลวเปลี่ยนไปจากระดับ h_L จนถึงจุดรั่ว, $\Delta z = h_L$
- Shaft work น้อยมาก $W_s = 0$
- ความเร็วเริ่มต้น $\bar{u}_1 = 0$ และ $\bar{u}_2 = \bar{u}$
- Frictional loss ถูกนิยามด้วยความสัมพันธ์กับค่า C_1 ดังสมการ (5.8)

$$-\frac{\Delta P}{\rho} - \frac{g}{g_c} \Delta z - F = C_1^2 \left(-\frac{\Delta P}{\rho} - \frac{g}{g_c} \Delta z \right) \quad \dots(5.8)$$

จาก สมการ (5.1); $\frac{\Delta P}{\rho} + \Delta \left(\frac{\bar{u}^2}{2\alpha g_c} \right) + \frac{g}{g_c} \Delta z + F = \frac{W_s}{\dot{m}}$

แทน สมการ (5.8) ใน สมการ (5.1) จะได้

$$\bar{u} = C_1 \sqrt{\alpha} \sqrt{2 \left(\frac{g_c P_g}{\rho} + g h_L \right)} \quad \dots(5.9)$$

$$= C_o \sqrt{2 \left(\frac{g_c P_g}{\rho} + g h_L \right)} \quad \dots(5.10)$$

เมื่อ $C_o = C_1 \sqrt{\alpha} \quad \dots(5.11)$

จาก Mass flow rate; $Q_m = \rho \bar{u} A$

$$\therefore Q_m = \rho A C_o \sqrt{2 \left(\frac{g_c P_g}{\rho} + g h_L \right)} \quad \dots(5.12)$$

เนื่องจากระดับ h_L เปลี่ยนแปลงตามเวลาเมื่อระดับของเหลวลดลงจะได้

$$\text{จาก} \quad m = \rho A_t h_L \quad \dots(5.13)$$

โดยที่ A_t = พื้นที่หน้าตัดของภาชนะรับความดัน (Cross sectional area)

h_L = ความสูงของระดับของเหลวถึงจุดวัด

จะได้อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลของของเหลวในถังคือ

$$\frac{dm}{dt} = \rho A_t \frac{dh_L}{dt} = -Q_m \quad \dots(5.14)$$

จากความสัมพันธ์สมการ (5.12) และ (5.14) จะได้

$$\frac{dh_L}{dt} = -C_o \frac{A}{A_t} \sqrt{2 \left(\frac{g_c P_g}{\rho} + g h_L \right)} \quad \dots(5.15)$$

จัดเรียงสมการ (5.15) ใหม่แล้วอินทิเกรตจากระดับความสูงเริ่มต้น (h_L^o) ถึงระดับใด ๆ (h_L) จะได้

$$\int_{h_L^o}^{h_L} \frac{dh_L}{\sqrt{\frac{2g_c P_g}{\rho} + 2gh_L}} = -\frac{C_o A}{A_t} \int_0^t dt \quad \dots(5.16)$$

หลังจากอินทิเกรตแล้วจะได้

$$\frac{1}{g} \sqrt{\frac{2g_c P_g}{\rho} + 2gh_L} - \frac{1}{g} \sqrt{\frac{2g_c P_g}{\rho} + 2gh_L^o} = -\frac{C_o A}{A_t} \cdot t \quad \dots(5.17)$$

$$\therefore h_L = h_L^o - \frac{C_o A}{A_t} \sqrt{\frac{2g_c P_g}{\rho} + 2gh_L^o} \cdot t + \frac{g}{2} \left(\frac{C_o A t}{A_t} \right)^2 \quad \dots(5.18)$$

แทนสมการ (5.18) ลงใน (5.12) เพื่อหาอัตราการไหลจะได้

$$Q_m = \rho C_o A \sqrt{2 \left(\frac{g_c P_g}{\rho} + g h_L^o \right)} - \rho g \frac{C_o^2 A^2}{A_t} \cdot t \quad \dots(5.19)$$

การรั่วจะเริ่มต้นจากระดับ h_L^0 และหยุดไหลหลังจากที่ระดับความสูงของของเหลว $h_L = 0$ สามารถหาเวลาทั้งหมดที่เกิดการรั่วได้จากสมการ (5.19) ที่ $Q_m = 0$ จะได้

$$0 = \rho C_o A \sqrt{2 \left(\frac{g_c P_g}{\rho} + g h_L^0 \right)} - \rho g \frac{C_o^2 A^2}{A_t} \cdot t$$

$$\therefore t_e = \frac{1}{C_o g} \left(\frac{A_t}{A} \right) \cdot \left(\sqrt{2 \left(\frac{g_c P_g}{\rho} + g h_L^0 \right)} - \sqrt{\frac{2 g_c P_g}{\rho}} \right) \quad \dots(5.20)$$

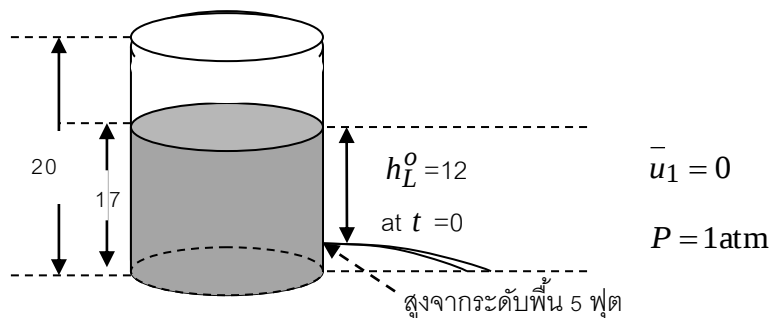
หากของเหลวรั่วออกจนถึงระดับ $h_L = 0$ และ ที่ความดันเกจหรือความดันในภาชนะรับความดันเท่ากับศูนย์ ($P_g = 0$) สมการ (5.20) จะได้เวลาทั้งหมดของการรั่วของของเหลวตั้งแต่ว่าระดับของของเหลวสูงเท่ากับ $h_L = h_L^0$ จนกระทั่ง $h_L = 0$ เท่ากับ จึงได้สมการ (5.21)

$$t_e = \frac{1}{C_o g} \left(\frac{A_t}{A} \right) \cdot \sqrt{2 g_c h_L^0} \quad \dots(5.21)$$

ตัวอย่าง 5.2 ภาชนะรับความดันรูปทรงกระบอก (Cylindrical tank) ขนาดสูง 20 ฟุต และเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ฟุต ข้างในบรรจุเบนซีน เพื่อความปลอดภัยเบนซีนจะถูกคลุม (Padded) ด้วยแก๊สไนโตรเจน (เนื่องจากไนโตรเจนเป็นแก๊สเฉื่อยหรือไม่ติดไฟ) ที่ความดันเกจเท่ากับ 1 atm เพื่อป้องกันการติดไฟและการระเบิด ในภาชนะรับความดันระดับของเหลวสูง 17 ฟุต โชคไม่ดีเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากคนขับโฟค-ลิฟ (Folk lift) ขับรถด้วยความเร็วเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ในโรงงานและไม่มีความเร็ววัง ทำให้การยกของรถโฟค-ลิฟกระแทกเข้ากับถังสูงจากพื้น 5 ฟุต เกิดรั่วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จงหา

- ก) ปริมาณของเบนซีนที่รั่วออกทั้งหมด
- ข) เวลาทั้งหมดที่เบนซีนรั่วออกมาจนถึงระดับ 12 ฟุต จากรั่ว
- ค) อัตราการไหลสูงสุดของเบนซีนที่รั่ว

เมื่อกำหนดให้ความถ่วงจำเพาะของเบนซีนเท่ากับ 0.8794 โดยอ้างอิงจากรูป 5.4



ก. หาปริมาณที่เบนซินรั่วออกทั้งหมดจากถัง

ปริมาตรของเบนซินที่จะรั่วได้จะอยู่เหนือระดับรอยรั่วคือระยะความสูงเท่ากับ $17-5=12$ ฟุต

$$\begin{aligned}\text{ปริมาตร} &= \pi r^2 \cdot L \\ &= \pi \left(\frac{8^2}{4} \right) \text{ฟุต}^2 (17-5) \text{ฟุต} \\ &= 603.2 \text{ฟุต}^3\end{aligned}$$

โดยที่ (7.48 แกลลอน = 1 ฟุต³) ดังนั้น ปริมาตรของเบนซินที่รั่วออกทั้งหมดเท่ากับ 4,506 แกลลอน

ข. หาเวลาของเบนซินรั่วจนกระทั่งระดับที่ไม่สามารถรั่วได้จากสมการ (5.20)

เมื่อ

$$C_o = 0.61 \text{ สมมติว่าเป็น Sharp-edged orifices)}$$

$$g = 32.17 \text{ ฟุต/วินาที}^2$$

$$A_t = \pi r^2 = 50.26 \text{ ฟุต}^2$$

$$A = \pi \left(\frac{1}{12} \right)^2 \cdot \frac{1}{4} = 5.45 \times 10^{-3} \text{ ฟุต}^2$$

$$g_c = 32.17 \text{ ฟุต-ปอนด์}_m/\text{ปอนด์}_f\text{-วินาที}^2$$

$$P_g = 14.7 \text{ ปอนด์}_f/\text{นิ้ว}^2 \times 144 \left(\frac{\text{in}}{\text{ft}} \right)^2 = 2.12 \times 10^3 \text{ ปอนด์}_f/\text{ฟุต}^2$$

$$\rho = 0.8794 \times 62.4 \text{ ปอนด์}_m/\text{ฟุต}^3 = 54.9 \text{ ปอนด์}_m/\text{ฟุต}^3$$

$$h_L^o = 12 \text{ ฟุต}$$

$$\text{แทนค่า} \therefore t_e = \frac{1}{(0.61)(32.17)} \left(\frac{50.26}{5.45 \times 10^{-3}} \right) \cdot \sqrt{2 \left(\frac{32.17 \times 2.12 \times 10^3}{54.9} \right) + 2 \times (32.17)(12) - \sqrt{2484}}$$

$$= 3,386 \text{ วินาที หรือ } 56.4 \text{ นาที}$$

จะได้เวลาของการรั่วของเบนซินทั้งหมดเท่ากับ 56.4 นาที

ค. อัตราการไหล (Mass flow rate) Q_m หรืออัตราการไหลสูงสุดของ Benzene ที่รั่วออกมา

จากสมการ (5.19) ที่ $t = 0$, $h_L^o = 12$ ฟุต จะได้

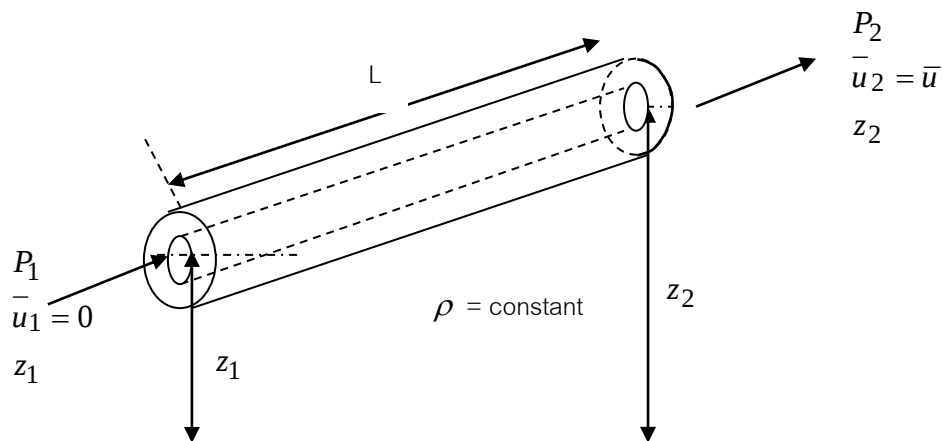
$$\therefore Q_{\max} = \rho A C_o \sqrt{2 \left(\frac{g_c P_g}{\rho} + g h_L^o \right)}$$

$$= (54.9) (5.45 \times 10^{-3}) (0.61) \sqrt{2 \left[\frac{32.17 \times 2.12 \times 10^3}{54.9} + 32.14(12) \right]}$$

$\therefore Q_{\max} = 10.4$ ปอนด์/วินาที นั่นคือ Mass flow rate สูงสุดของการรั่วเท่ากับ 10.4 ปอนด์ต่อวินาที

5.3 การรั่วผ่านช่องเล็ก ๆ ในท่อ (Flow of liquid through pipe)

กรณีนี้จะเป็นการไหลของของไหลผ่านท่อ ซึ่งจะมีการพิจารณาความเสียดทานระหว่างของไหลและท่อ ผลลัพธ์ก็คือเกิดความดันลดโดยส่วนใหญ่พลังงานจลน์มักไม่ถูกคิดรวมเอาไว้ในกรณีนี้



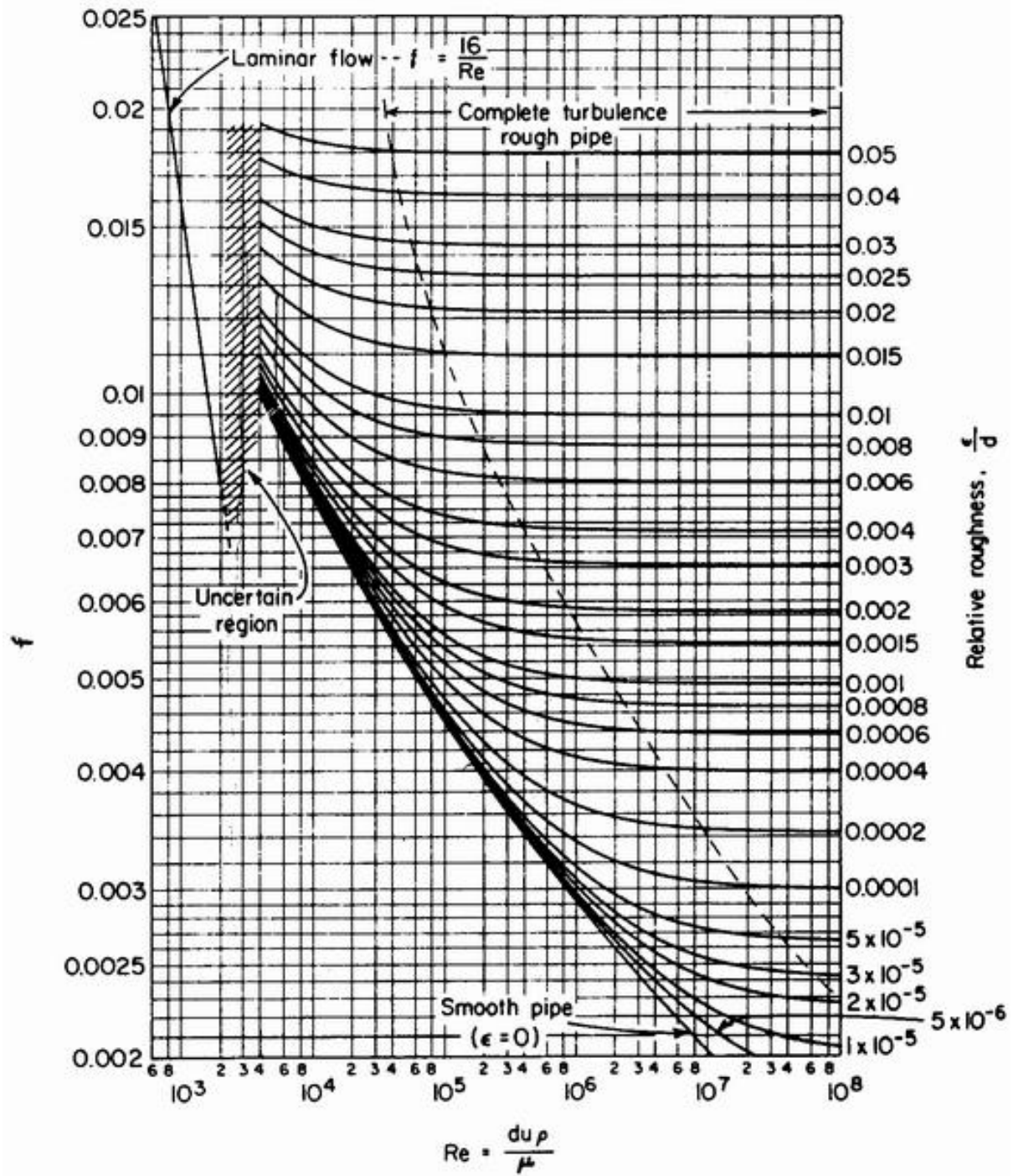
รูปที่ 5.5 การไหลของของไหลผ่านท่อ

การไหลผ่านท่อจากรูปที่ 5.5 จะเกิดแรงเสียดทานระหว่างของไหลและผนังท่อและเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ซึ่งอยู่ในรูปของพลังงานความร้อน จึงทำให้ความเร็วในการไหลลดลง การไหลของของไหลที่อัดตัวไม่ได้เช่น น้ำ (จริง ๆ แล้วของไหลทุกอย่างสามารถอัดตัวได้ขึ้นอยู่กับสมมติฐานเนื่องจากต้องใช้ความดันสูงมากในการอัดตัวของน้ำไม่เหมือนแก๊สซึ่งแก๊สสามารถอัดตัวให้เป็นของเหลวได้ง่ายกว่า) สมการ (5.22) อธิบายโดยใช้สมการ (5.1) ดังนี้

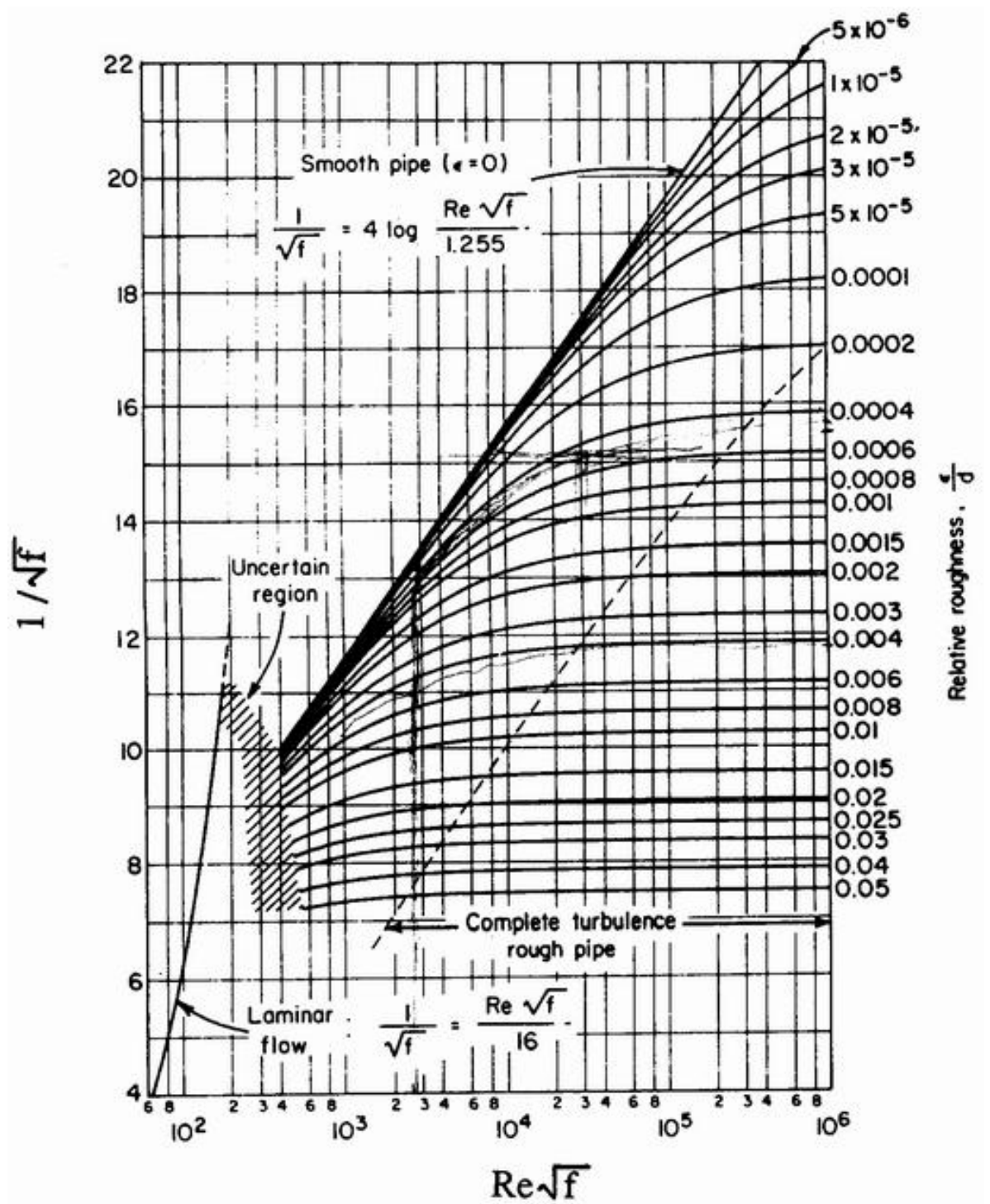
$$\frac{\Delta P}{\rho} + \Delta \left(\frac{\bar{u}^2}{2\alpha g_c} \right) + \frac{g}{g_c} \cdot \Delta z + F = -\frac{W_S}{\dot{m}} \quad \dots(5.22)$$

Assumptions

- ความดัน $\Delta P = P_2 - P_1$
- ความเร็วเริ่มต้น $\bar{u}_1 = 0$ และความเร็วเปลี่ยนเป็น $\bar{u}_2 = \bar{u}$
- ระดับของเหลวเปลี่ยนไปจากระดับ z_1 ไป z_2 แล้ว $\Delta z = z_1 - z_2$
- แหล่งกำลังงาน W_S (Shaft work) น้อยมาก ดังนั้น $W_S = 0$
- ความเสียดทาน (Frictional loss) จะคำนวณด้วยสมการ (5.23)



รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Re และค่า Relative roughness (Crowl and Louvar, 1999)



รูปที่ 5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/\sqrt{f}$ และ $Re\sqrt{f}$ เพื่อใช้ในการคำนวณ
(Crowl and Louvar, 1999)

$$F = \frac{2fL\bar{u}^2}{g_c d} \quad \dots(5.23)$$

โดยที่ f = ปัจจัยของแรงเสียดทานเนื่องจากการขยายตัวของของไหล (Fanning friction factor) ขึ้นกับ

ค่า Reynolds number (Re) และค่าความขรุขระของท่อ ((Roughness of pipe; ε)

L = ความยาวของท่อ (Length of pipe)

d = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ (Diameter of pipe)

สำหรับ Laminar flow;
$$f = \frac{16}{Re} \quad \dots(5.24)$$

สำหรับ Turbulent flow;
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log \left(\frac{1}{3.7} \frac{\varepsilon}{d} + \frac{1.255}{Re \sqrt{f}} \right) \quad \dots(5.25)$$

หรือ
$$\frac{1}{Re} = \frac{\sqrt{f}}{1.255} \left[10^{-0.25\sqrt{f}} - \frac{1}{3.7} \frac{\varepsilon}{d} \right] \quad \dots(5.26)$$

โดยที่ค่า ε คือค่าความขรุขระ สามารถหาค่าโดยตรงได้จากตารางที่ 5.1

จากสมการ (5.26) สามารถนำมาพล็อตเป็นกราฟ โดยใช้ความสัมพันธ์ของค่า Re , f และค่า

Relative roughness (ε/d) ดังรูป รูปที่ 5.6

ตารางที่ 5.1 ค่าความขรุขระของวัสดุชนิดต่าง ๆ (ค่านี้ใช้ในกรณีท่ีวสุดุสะอาด; Clean pipes)

วัสดุที่ใช้ทำท่อ	ค่าความขรุขระ (ε , mm) ของวัสดุชนิดต่าง ๆ
ท่อเหล็กที่ม้วนแล้วพับเพื่อตอกหมุด (Riveted steel)	1.10
ท่อคอนกรีต (Concrete)	0.3-3
ท่อเหล็กหล่อ (Cast iron)	0.26
ท่อกัลวาไนซ์ (Galvanized iron)	0.15
ท่อเหล็กที่ขายในท้องตลาดทั่วไป (Commercial steel)	0.046
ท่อเหล็กเหนียว (Wrought iron)	0.046
ท่อเหล็กแป๊ปที่ใช้ทำท่อน้ำ (Drawn tubing)	0.0015
ท่อแก้ว (Glass)	0
ท่อพลาสติก (Plastic)	0

ในกรณีที่ Re มีค่า มาก ๆ จะได้

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log \left(3.7 \frac{d}{\varepsilon} \right) \quad \dots(5.27)$$

แต่สำหรับท่อที่มีผิวเรียบ (Smooth pipe) $\varepsilon = 0$ จะใช้สมการ (5.27) ไม่ได้ จึงต้องปรับสมการใหม่เป็น

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log \frac{Re \sqrt{f}}{1.255} \quad \dots(5.28)$$

และจากสมการ (5.28) สามารถนำมาพล็อตเป็นกราฟ โดยใช้ความสัมพันธ์ของค่า $1/\sqrt{f}$, $Re \sqrt{f}$ และ ε/d ดังรูป [รูปที่ 5.7](#)

แต่ในกรณีที่ $Re < 100,000$ ท่อเรียบ (Smooth pipe) จะได้สมการที่ได้จากการประมาณด้วยวิธีของ Blasius ซึ่งเกิดในยุคของ จักรพรรดินโปเลียน ประมาณปี ค.ศ. 1790-1800 จะได้สมการที่ถูกลดรูปให้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งานดังสมการ (5.29)

$$f = 0.079 (Re)^{-\frac{1}{4}} \quad \dots(5.29)$$

สำหรับท่อที่มีพวกข้อต่อ (Fittings) ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ท่อโค้งหักศอก (Elbows) วาล์ว (Valves) หรือ จุดที่ต่อรวม (Unions) อื่น ๆ ความยาวจะถูกคิดเป็นความยาวรวมเทียบเท่าทั้งหมด (Total equivalent length; L_{eq_Total}) เนื่องจากข้อต่อต่าง ๆ เหล่านี้เป็นส่วนที่ทำให้เกิดอุปสรรคต่อการไหลโดยสามารถสมมติว่าความยาวนั้นรวมถึงความยาวเทียบเท่า และความยาวจริงซึ่งสมการที่ได้จะเท่ากับ

$$L_{eq_total} = L_{straight} + \sum L_{eq} \quad \dots(5.30)$$

โดยที่

L_{eq_total} = ความยาวรวมเทียบเท่าทั้งหมด (Total equivalent length)

$L_{straight}$ = ความยาวท่อตรง (Pipe length)

$\sum L_{eq}$ = ผลรวมของความยาวเทียบเท่า (Summation of equivalent length)

เราสามารถหาค่า ความสัมพันธ์ของ L_{eq}/d ในตารางที่ 5.2 โดยแสดงค่า L_{eq}/d ของข้อต่อแบบต่าง ๆ เช่น ถ้าท่อมีการต่อของเกจวาล์ว (Gate valve) และเปิดเกจวาล์วเต็มที่ การไหลผ่านของของไหลอาจจะมี ความเสียดทานที่ต้องผ่านพื้นที่ของเกจวาล์ว จึงมีผลทำให้มีค่า L_{eq}/d เป็น 7 แต่ถ้าถูกเปิดด้วยความกว้าง $1/4$ เท่า จะมีค่า L_{eq}/d สูงขึ้นถึง 900 แต่หากเป็นลักษณะของการต่อท่อแบบงอมุม เช่น มุมข้อต่อเท่ากับ 90° Elbow standard จะเกิดความเสียดทานน้อยกว่าโดยค่า L_{eq}/d เท่ากับ 30 เป็นต้น

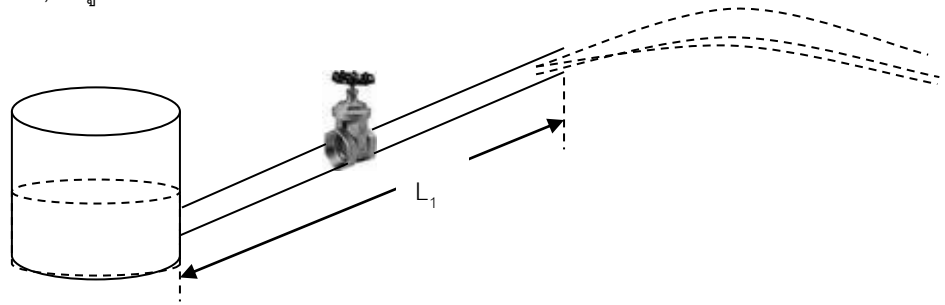
ตารางที่ 5.2 ค่าความยาวเทียบเท่าของท่อ (Equivalent lengths for various pipe fitting) โดยการไหลต้องเป็น การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) เท่านั้น (Crowl and Louvar, 1999)

อุปกรณ์สำหรับ ปิด-เปิดและเชื่อมต่อท่อ (Pipe fitting)	L_{eq}/d
Globe valve, wide open	~300
Gate valve, wide open	~7
- $\frac{3}{4}$ open	~40
- $\frac{1}{2}$ open	~200
- $\frac{1}{4}$ open	~900
90° elbow, standard	30
45° elbow, standard	15
Tees	
- Use as elbow, entering the stem	90
- Use as elbow, entering one of two sides	60
- Straight through	20
Pipe connections to vessels	
- Ordinary pipe flush with wall	16
- Borda, pipe protruding into vessel	30
- Rounded entrance, union, coupling	~0
Sudden enlargement from d to D	
- Laminar flow in d	$\frac{Re}{32} \left[1 - \left(\frac{d^2}{D^2} \right) \right]^2$
- Turbulent flow in d	$\frac{f_{(ind)}}{4} \left[1 - \left(\frac{d^2}{D^2} \right) \right]^2$
Sudden contraction from D to d (Except choked gas flow)	
- lamina flow in d	$\frac{Re}{160} \left[1.25 - \left(\frac{d^2}{D^2} \right) \right]^2$
- Turbulent flow in d	$\frac{f_{(ind)}}{10} \left[1.25 - \left(\frac{d^2}{D^2} \right) \right]^2$

หมายเหตุ: ในกรณีที่ใช้ออกสารอ้างอิงของ Crowl and Louvar (2002) คือใช้วิธี 2-K ซึ่งได้แสดงรายละเอียด ใน ภาคผนวก ข จะต้องเปลี่ยนการคำนวณ และ ตาราง 5.2 จะถูกเปลี่ยนเป็นตาราง ข-1 ในภาคผนวก ข

ตัวอย่าง 5.3 จงหาความยาวเทียบเท่าของท่อดังต่อไปนี้

- 5.3 ก ท่อขนาดเท่ากันต่อจากที่ถังผ่าน Gate valve ซึ่งมีลักษณะเป็นการต่อแบบติดธรรมดา (Ordinary, pipe flush with wall) ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 แสดงการต่อท่อ และมี Gate valve แบบผิวท่อเชื่อมติดที่ตัวถัง (Ordinary, Pipe flush with wall)

จะเห็นว่าท่อถูกต่อ (Connection) อยู่ 2 จุดคือ

1. จุดต่อท่อ ที่เป็นแบบที่ต่อติดธรรมดา (Ordinary, pipe flush with wall)

จากตารางที่ 5.2 ค่า $L_{eq1}/d = 16$ ผลคือ $L_{eq1} = 16d$

2. ที่ gate valve ที่เปิดเต็มที่

จากตารางที่ 5.2 ค่า $L_{eq2}/d = 7$ ผลคือ $L_{eq2} = 7d$

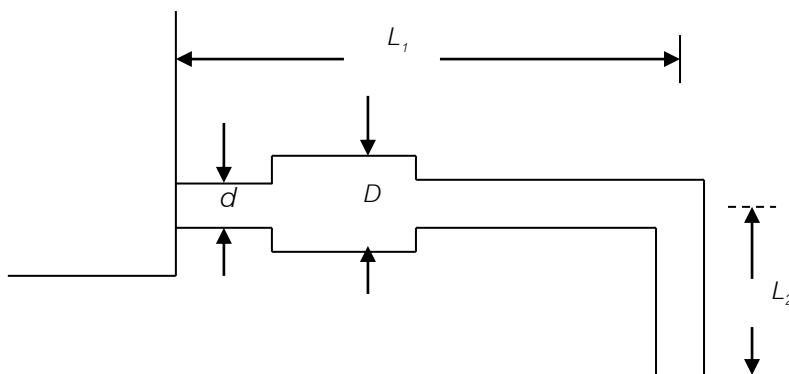
จากสมการ (5.30) ความยาวทั้งหมดเท่ากับ $L_{eq_{total}} = \text{ความยาวจริง} + \sum L_{eq}$

$$= L_1 + L_{eq1} + L_{eq2}$$

หรือ

$$= L_1 + 16d + 7d$$

- 5.3 ข ถ้าการต่อท่อมีลักษณะดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 แสดงการต่อท่อโดยผ่านลักษณะท่อแบบต่าง ๆ

จากรูปที่ 5.9 จะเห็นว่าท่อถูกต้อง (Connection) อยู่ 2 จุดคือ

จุดที่ 1. จุดต่อท่อ ที่เป็นแบบเปลี่ยนแปลงแบบกะทันหันแบบจากท่อขนาดเล็กไปท่อขนาดใหญ่ (Sudden enlarge from d to D)

จากตารางที่ 5.2 ค่า Sudden enlarge มีความสัมพันธ์คือ

$$L_{eq1}/d = \frac{Re}{32} \left[1 - \left(\frac{d^2}{D^2} \right) \right]^2$$

$$\text{หรือ} \quad L_{eq1} = \frac{Re}{32} \left[1 - \left(\frac{d^2}{D^2} \right) \right]^2 \cdot d$$

จุดที่ 2. จุดต่อท่อ ที่เป็นแบบเปลี่ยนแปลงแบบกะทันหันแบบจากท่อขนาดใหญ่ไปท่อขนาดเล็ก (Sudden contraction from D to d)

$$\text{จากตารางที่ 5.2 ค่า } L_{eq2}/d = \frac{Re}{160} \left[1.25 - \left(\frac{d^2}{D^2} \right) \right]$$

$$\text{หรือ} \quad L_{eq2} = \frac{Re}{160} \left[1.25 - \left(\frac{d^2}{D^2} \right) \right] \cdot d$$

นอกจากนี้ยังมีข้อต่อ $L_{eq3} = 16d$

และข้อต่อ 90° ซึ่งมีค่า $L_{eq4} = 30d$

จากสมการ (5.30) ความยาวทั้งหมดเท่ากับ

$$L_{eq_{total}} = \text{ความยาวจริง} + \sum L_{eq}$$

$$= L_1 + L_2 + L_{eq1} + L_{eq2} + L_{eq3} + L_{eq4}$$

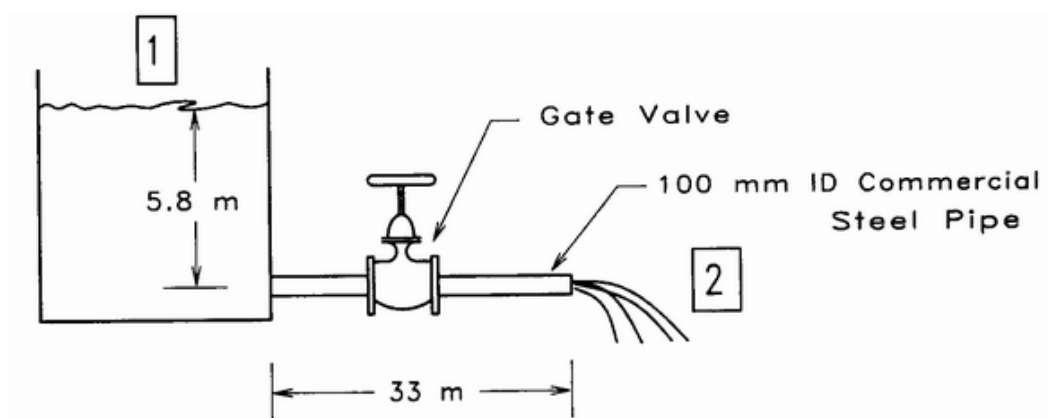
$$\text{หรือ} \quad = L_1 + L_2 + \frac{Re}{160} \left[1.25 - \left(\frac{d^2}{D^2} \right) \right] \cdot d + \frac{Re}{160} \left[1.25 - \left(\frac{d^2}{D^2} \right) \right] \cdot d + 16d + 30d$$

ตัวอย่าง 5.4 น้ำผสมกากของเสียที่เป็นอันตราย (Hazardous waste) ถูกปล่อยออกจากถัง (Storage) ออกสู่ท่อเหล็ก (Commercial steel) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ท่อนี้มีความยาว 100 เมตร ที่มีท่อมี gate valve ติดอยู่ ใกล้กับภาชนะรับความดัน ท่อนี้ถูกต่อเข้ากับภาชนะรับความดันแบบท่อยื่นเข้า (Protruded) ไปในภาชนะรับความดัน ซึ่งถูกวางในแนวนอน ซึ่งมีระดับของเหลวในถังสูง 5.8 เมตร เหนือท่อนี้ เหตุเกิดขึ้นที่ท่อความยาว 33 เมตร

จงคำนวณหาอัตราการรั่วไหลที่มีของเหลวไหลออกไป

Assumptions

- ไม่คิดพลังงานจลน์ (หรือเกิดขึ้นน้อยมาก)
- ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของความดันหรือ ความดันลด (ΔP) เท่ากับศูนย์
- ไม่มีงาน (Shaft work) เกิดขึ้น $W_s = 0$



รูปที่ 5.10 แสดงการต่อท่อ และมี Gate valve แบบท่อยื่นเข้าไปในภาชนะรับความดัน (Protrude) (Crowl and Louvar, 1999)

โดยเริ่มต้นจากสมการ (5.1) และการใช้เงื่อนไขข้างต้นจะได้

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta \vec{v}^2}{2\alpha g_c} + \frac{g}{g_c} \Delta z + F = - \frac{W_s}{m}$$

ลดรูปเป็น;

$$\frac{g}{g_c} \Delta z + F = 0 \quad \dots(5.31)$$

เมื่อ

$$g = 9.8 \text{ m/วินาที}^2$$

$$g_c = 1 \frac{\text{m}}{\text{kg}_f} \cdot \frac{\text{kg}_m}{\text{s}^2}$$

$$\Delta z = -5.8 \text{ m}$$

จากสมการความเสียดทาน (Frictional loss)

$$F = \frac{2fL\bar{u}^2}{g_c d} = \frac{2f(L_{eq_total})\bar{u}^2}{(1)(0.1)} \quad \dots(5.23)$$

$$\begin{aligned} L_{eq_total} &= 33 + 30d + 7d \\ &= 33 + 30(0.1) + 7(0.1) \\ &= 36.7 \text{ m} \end{aligned}$$

แทน $L_{eq_total} = 36.7 \text{ m}$ ใน สมการ (5.23) จะได้ $F = 706 f \bar{u}^2$

จากสมการ (5.31) จะได้

$$\begin{aligned} (9.8) - 5.8 + 706 f \bar{u}^2 &= 0 \\ \therefore \bar{u} &= 0.28 / \sqrt{f} \end{aligned} \quad \dots(5.32)$$

จะหา $Q_m = \rho \bar{u} A$

โดยที่ $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$

$$\bar{u} = 0.284 / \sqrt{f}$$

$$A = \frac{\pi(0.1)^2}{4} = 0.00785 \text{ m}^2$$

แทนค่า; $\therefore Q_m = 785 \bar{u}$

$$= 2.2294 / \sqrt{f} \quad \dots(5.33)$$

จาก $Re = \frac{\rho \bar{u} d}{\mu}$ โดยที่ $\mu = 10^{-3} \text{ kg/m.s}$

$$= \frac{10^3 \times 0.1}{10^{-3}} \bar{u} = 10^5 \bar{u} \quad \dots(5.34)$$

แทน (5.32) ลงใน (5.34) จะได้

$$\begin{aligned} Re &= 10^5 (0.284 / \sqrt{f}) \\ &= 2.8 \times 10^4 / \sqrt{f} \\ \therefore Re \sqrt{f} &= 2.84 \times 10^4 \end{aligned} \quad \dots(5.35)$$

จาก ตารางที่ 5.1 Commercial steel มีค่า $\varepsilon = 0.046$ หรือ $\varepsilon/d = 0.00046$

จากกราฟที่ 5.6 ที่ $\varepsilon/d = 0.00046$ จะได้ $f > 0.004$ ดังนั้น $\sqrt{f} > 0.0632$

จากสมการ (5.35) Re ต้องน้อยกว่า $2.84 \times 10^4 / 0.0632$ หรือน้อยกว่า 4.5×10^5

ดังนั้นที่ $\varepsilon/d = 0.00046$ และ $Re = 2.45 \times 10^5$ จะได้ $1/\sqrt{f} = 15.81$ (ซึ่งความจริงแล้วจะต้องน้อยกว่านี้)

นอกจากนี้การหาค่า $1/\sqrt{f}$ สามารถหาจาก สมการ (5.26)

$$\frac{1}{Re} = \frac{\sqrt{f}}{1.255} \left[10^{-0.25\sqrt{f}} - \frac{1}{3.7} \frac{\varepsilon}{d} \right] \quad \dots(5.35)$$

แทนค่าจะได้;

$$\frac{1}{Re} = \frac{\sqrt{f}}{1.255} \left[10^{-0.25\sqrt{f}} - \frac{46}{370000} \right]$$

จากสมการ (5.35) สมมติให้ค่าสูงสุดของ $Re = 2.84 \times 10^4$, $\sqrt{f} = 0.0632$ และ $1/\sqrt{f} = 15.81$

แทน (5.34) จะได้ $\bar{u} = 4.5 \text{ m/s}$ ซึ่งค่าความเร็วที่ได้ในกรณีนี้จะมากกว่าความเป็นจริง

การกำหนดพลังงานจลน์ (KE) ตอนเริ่มต้นจะเป็นศูนย์ (ดังสมมติฐาน) จะไม่เป็นความจริง จึงต้องนำไปพิจารณาด้วยถึงแม้ว่าสมมติฐานว่าพลังงานจลน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมากระหว่างตอนเริ่มต้นถึงตอนจบ จึงอาจมีคำถามว่าความเร็วสุดท้ายจะสูงหรือต่ำกว่าความเร็วเริ่มต้นเท่าใด อย่างไรก็ตามเราสามารถสมมติให้เสมือนจริงที่สุดคือ พลังงานจลน์ (KE) ตอนเริ่มต้นไม่เป็นศูนย์ และความเร็วเริ่มต้นเท่ากับ 0 โดยจะได้

$$\frac{g}{g_c} \Delta z + \Delta \frac{\bar{u}^2}{2\alpha g_c} + F = 0$$

แต่จากสมมติเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) ดังนั้น $\alpha = 1$ (หน้า 173) และ $\bar{u}_o = 0$, $g_c = 1$

$$\text{จะได้} \quad 9.8(-5.8) + \frac{\bar{u}^2}{2} + 706 f \bar{u} = 0$$

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{(9.8)(5.8)}{\left(\frac{1}{2} + 706 f\right)}}$$

เนื่องจากค่า f เป็นฟังก์ชันของ Re และ $\bar{u}$ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการลองผิดลองถูก (Trial and error)

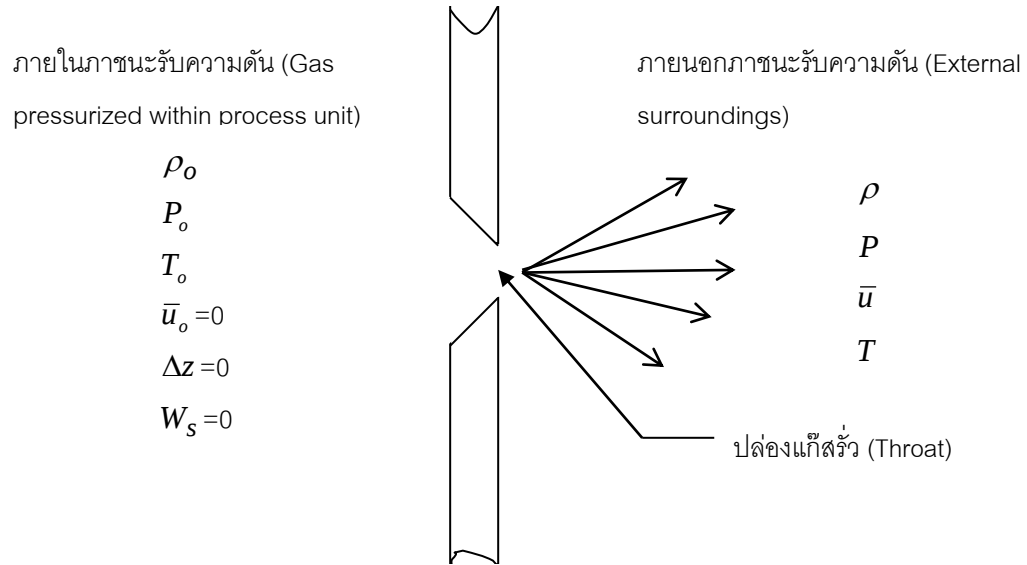
ประมาณค่า f	$\bar{u}$	Re สมการ (5.34)	f จากสมการ (5.35)
0.004	4.13	4.13×10^5	0.00439
0.00439	3.97	3.97×10^5	0.00438
0.00438			

ทำงานกระทั่ง ได้ค่าที่เหมาะสม ถ้าที่ f มีค่า 0.00439 จะได้ $\bar{u} \approx 3.97 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} \therefore Q_m &= \rho \bar{u} A \\ &= 10^3 (3.97)(0.00785) = 31.16 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

5.4 การรั่วไหลของแก๊สผ่านรูรั่วในถัง (Flow of vapor through holes)

ในกรณีนี้เป็นการพิจารณาการรั่วของแก๊สโดยอิสระแบบ Isentropic (ขณะที่แก๊สมีการขยายตัวจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความดัน และความเร็วด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลงคงที่)



รูปที่ 5.11 การรั่วของแก๊สโดยอิสระ

Assumptions

- ความดันเริ่มต้น P_o เปลี่ยนเป็น P
- $\Delta z = z_1 - z_2 = 0$ หรือไม่มีพลังงานศักย์
- งานภายใน (Shaft work) น้อยมาก $W_s = 0$
- เกิดความเสียดทาน (Frictional loss)
- พลังงานจลน์ (Kinetic energy) ขึ้นกับลักษณะ Discharge (อาจจะเป็น Throttling release หรือ Free expansion release)

จากสมการ

$$\int \frac{dP}{\rho} + \Delta \left(\frac{\bar{u}^2}{2\alpha g_c} \right) + \frac{g}{g_c} \cdot \Delta z + F = \frac{W_s}{m}$$

จัดรูปเป็น
$$\int \frac{dP}{\rho} + \Delta \left(\frac{\bar{u}^2}{2\alpha g_c} \right) + F = 0 \quad \dots(5.36)$$

จากนิยามเดียวกับสมการ (5.3) การ discharge ของของเหลวที่ไม่ขึ้นกับระดับความสูงของของไหล

$$-\int \frac{dP}{\rho} - F = C_1^2 \left(-\int \frac{dP}{\rho} \right) \quad \dots(5.3)$$

รวมสมการ (5.3) และ สมการ (5.36) จะได้

$$C_1^2 \int_{P_0}^P \frac{dP}{\rho} + \frac{\bar{u}^2}{2\alpha g_c} = 0 \quad \dots(5.37)$$

สำหรับแก๊สในอุดมคติ (Ideal gas) ซึ่งมีการขยายตัวแบบ Isentropic process

$$PV^\gamma = \frac{P}{\rho^\gamma} = \text{Constant} \quad \dots(5.38)$$

โดยที่ $\gamma = C_p/C_v$ หรือ สัดส่วนของความจุความร้อนระหว่างที่ความดันคงที่และที่ปริมาตรคงที่ (Heat capacity ratio)

และจากความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความดันด้วยค่า Ratio of heat capacities (γ) จะได้

$$\rho = \rho_o \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad \dots(5.39)$$

แทนค่า (5.39) ในสมการ (5.37) จะได้

$$C_1^2 \int_{P_0}^P \frac{dP}{\rho_o \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{1}{\gamma}}} = - \frac{\bar{u}^2}{2\alpha g_c} \quad \dots(5.40)$$

จากค่าสัมประสิทธิ์การระบายหรือปล่อยออก (Discharge) C_1

$$C_o = C_1 \sqrt{\alpha} \quad \dots(5.41)$$

โดยที่ C_o = Discharge coefficient

α = Correction factor

แทนค่า สมการ (5.41) ในซีกซ้ายของสมการ (5.40) และจัดรูปใหม่จะได้

$$\text{จาก } C_1^2 \int_{P_0}^P \frac{dP}{\rho_o \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{1}{\gamma}}} = \frac{C_o^2}{\alpha \rho_o} \cdot (P_o)^\gamma \int_{P_0}^P \frac{dP}{(P)^\gamma}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{C_o^2}{\alpha \rho_o} (P_o)^{\frac{1}{\gamma}} \left[\frac{P^{1-\frac{1}{\gamma}}}{\left(1-\frac{1}{\gamma}\right)} \right]_{P_o}^P \\
&= \frac{C_o^2}{\alpha \rho_o} (P_o)^{\frac{1}{\gamma}} \left(\frac{r}{1-\gamma} \right) \left[P^{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)} - P_o^{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)} \right] \cdot \left(\frac{P_o}{P_o} \right)^{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)} \\
&= \frac{C_o^2}{\alpha \rho_o} (P_o)^{\frac{1}{\gamma}} \left(\frac{\gamma}{1-\gamma} \right) \left[\left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \cdot (P_o)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \\
&= \frac{C_o^2}{\alpha \rho_o} P_o \left(\frac{\gamma}{1-\gamma} \right) \left[\left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \\
\text{แทน (5.40) จะได้; } -\frac{\bar{u}^2}{2\alpha g_c} &= \frac{C_o^2}{\alpha \rho_o} P_o \left(\frac{\gamma}{1-\gamma} \right) \left[\left(\frac{P}{P_o} \right)^{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)} - 1 \right] \\
\therefore \bar{u}^2 &= 2g_c C_o^2 \left(\frac{\gamma}{1-\gamma} \right) \cdot \left(\frac{P_o}{\rho_o} \right) \left[1 - \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)} \right] \quad \dots(5.42)
\end{aligned}$$

$$\text{จาก } \frac{P_o}{\rho_o} = \frac{nR_g T_o}{\frac{V}{\frac{nM}{V}}} = \frac{R_g T_o}{M} \quad \dots(5.43)$$

แทนค่า(5.43) ใน (5.42) จะได้

$$\begin{aligned}
\bar{u}^2 &= 2g_c C_o^2 \frac{R_g T_o}{M} \left(\frac{\gamma}{1-\gamma} \right) \left[1 - \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \\
\text{หรือ } \bar{u} &= C_o \sqrt{2g \frac{R_g T_o}{M} \left(\frac{\gamma}{1-\gamma} \right) \left[1 - \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)} \right]} \quad \dots(5.44)
\end{aligned}$$

แทน (5.44) ในสมการที่หาอัตราการไหลหรือ $Q_m = \rho \bar{u} A = \rho_o (\rho/\rho_o) \bar{u} A$ จะได้

$$\begin{aligned}
Q_m &= \rho_o \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot A C_o \sqrt{2g_c \frac{R_g T_o}{M} \left(\frac{\gamma}{1-\gamma} \right) \left(1 - \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)} \\
&= \left(\frac{\rho_o}{P_o} \right) \cdot C_o A P_o \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{2g_c \left(\frac{R_g T_g}{M} \right) \left(\frac{\gamma}{1-\gamma} \right) \left(1 - \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)} \\
&= \frac{M}{R_g T_o} \cdot C_o A P_o \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{2g_c \left(\frac{R_g T_g}{M} \right) \left(\frac{\gamma}{1-\gamma} \right) \left(1 - \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)} \\
&= C_o A P_o \sqrt{\frac{M^2}{R_g^2 T_o^2} \cdot 2g_c \left(\frac{R_g T_g}{M} \right) \left(\frac{\gamma}{1-\gamma} \right) \left(1 - \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right) \cdot \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{2}{\gamma}}} \\
\therefore Q_m &= C_o A P_o \sqrt{\frac{2g_c M}{R_g T_o} \left(\frac{\gamma}{1-\gamma} \right) \left(\left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right)} \quad \dots(5.45)
\end{aligned}$$

เนื่องจากการรั่วของแก๊สเป็น Isotropic ดังนั้นจึงมีอัตราการไหลต่อสัดส่วนความดัน (ระหว่างความดันของแก๊สออกและแก๊สเข้า) คงที่หรือเอนโทรปี (Entropy) คงที่ หรืออัตราการเปลี่ยนแปลง $\frac{dQ_m}{d(P/P_o)} = 0$

และสมมติให้ $\frac{P}{P_o} = x$ ดังนั้นสมการ (5.45) จะเป็น

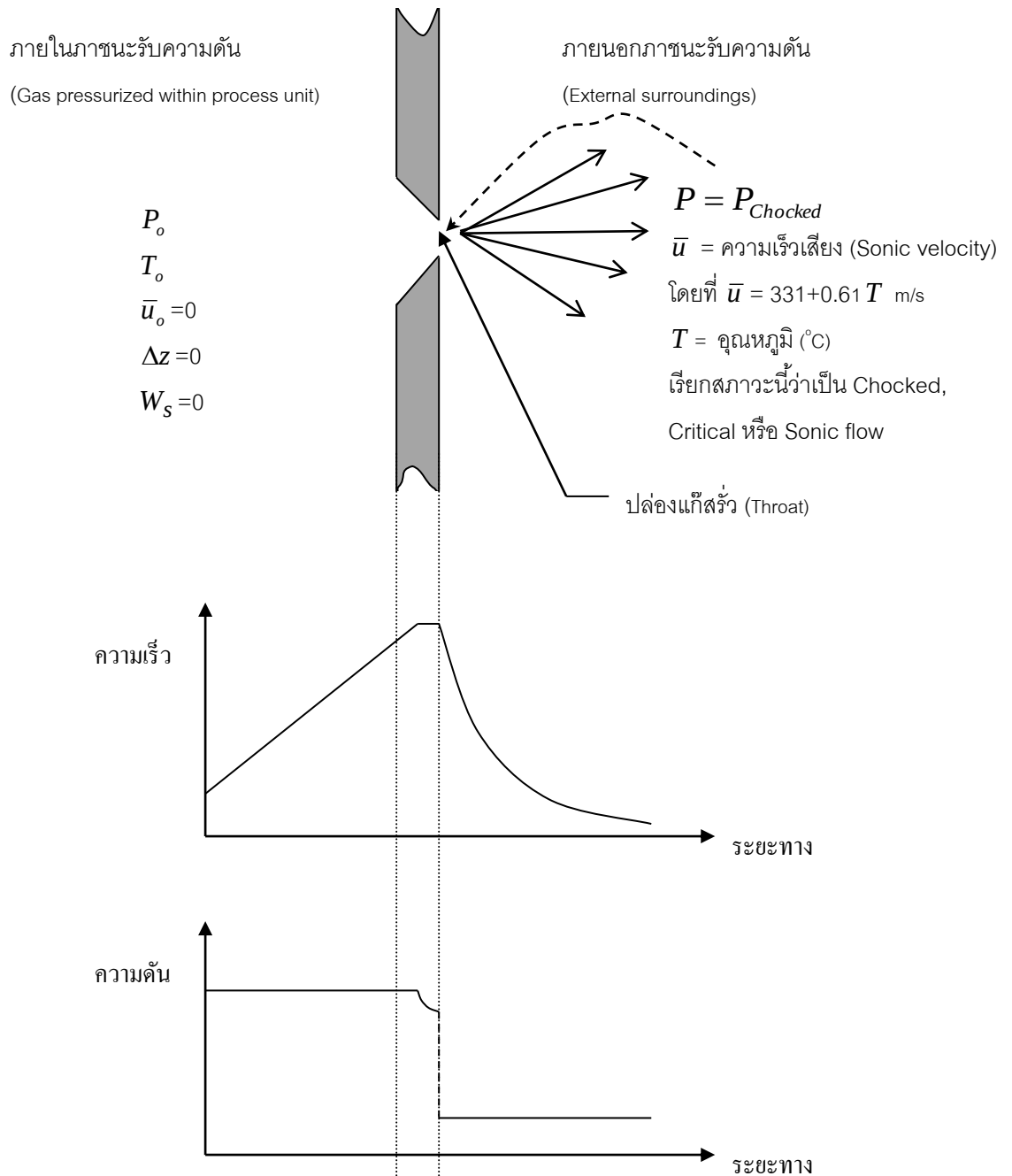
$$\begin{aligned}
\therefore \frac{d}{dx} \sqrt{x^{\frac{2}{\gamma}} - x^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}} &= 0 \\
\frac{1}{2} \left(x^{\frac{2}{\gamma}} - x^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right)^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{2}{\gamma} x^{\frac{2}{\gamma}-1} - \left(\frac{\gamma+1}{\gamma} \right) x^{\frac{\gamma+1}{\gamma}-1} \right) &= 0
\end{aligned}$$

ในพจน์แรกนั้นไม่มีโอกาสเป็นศูนย์ นอกจากค่า $x=1$ หรือค่า $P/P_o = 1$ จึงไม่คิดพจน์นี้ ดังนั้นจึงเหลือพจน์ที่ 2

$$\begin{aligned}
\frac{2}{\gamma} \cdot x^{\frac{2-\gamma}{\gamma}} &= \left(\frac{\gamma+1}{\gamma} \right) \cdot x^{\frac{1}{\gamma}} \\
\frac{2}{(\gamma+1)} &= x^{\frac{1}{\gamma} - \frac{2+\gamma}{\gamma}} = x^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \text{หรือ} \quad \frac{P}{P_o} = \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad \dots(5.46)
\end{aligned}$$

เมื่อ $P = P_{Choked}$ หรือ ความดันที่ทำให้ของไหลมีความเร็วสูงสุดเท่าเสียงในขณะที่มีการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งซึ่งถือว่าเป็นความเร็วสูงสุดในขณะนั้น (Maximum downstream pressure) ดังรูปที่ 5.12

$$\text{แทน (5.46) เมื่อ } x = \frac{P}{P_o} = \frac{P_{Choked}}{P_o} = \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad \dots(5.47)$$

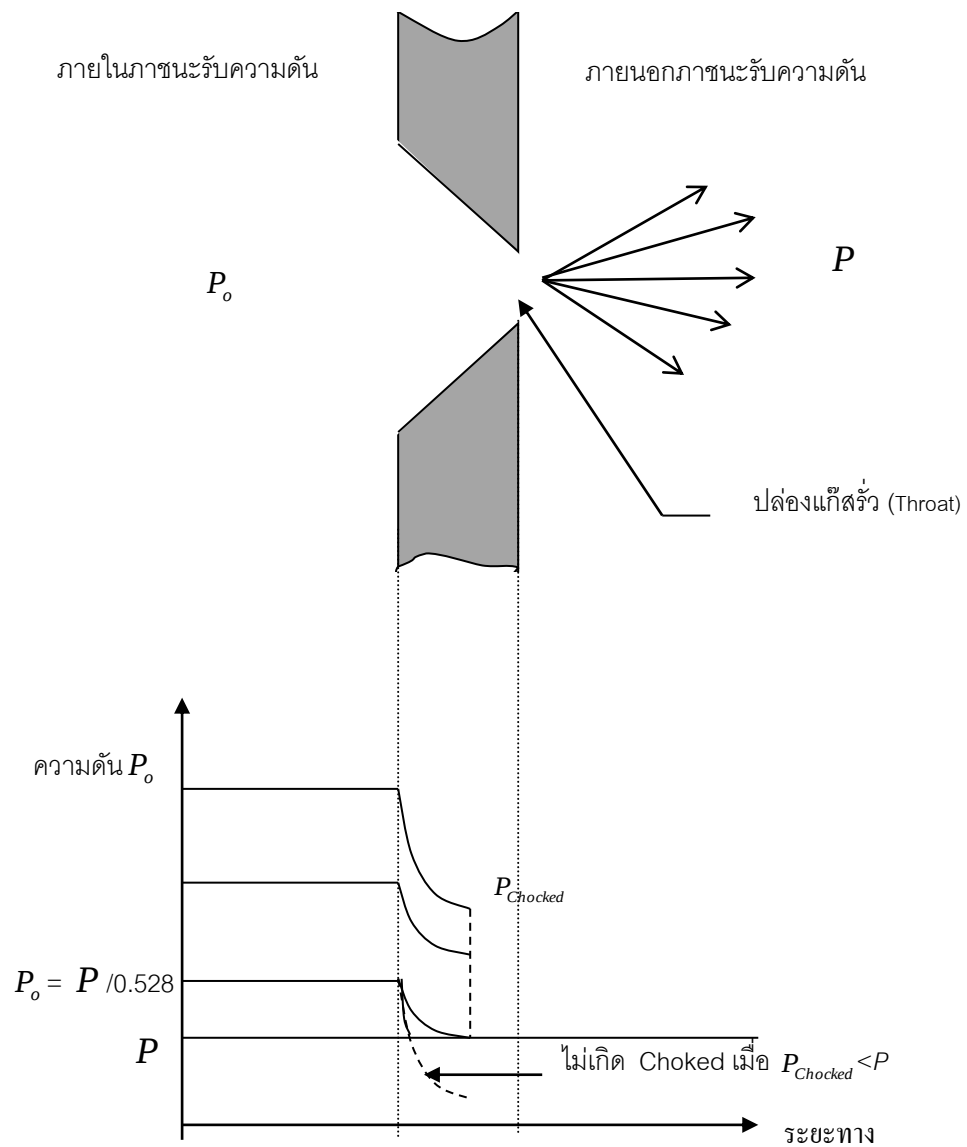


รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ของสภาวะต่างๆเมื่อเกิดการรั่วของแก๊สสู่บรรยากาศ

ค่า P_{Choked} ขึ้นกับอัตราส่วนความจุความร้อน (Heat capacity ratio) γ ของ gas แต่ละชนิดโดยถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.3 คือ

ตารางที่ 5.3 แสดงค่า ความจุความร้อน (γ) โดยแบ่งแก๊สออกเป็น 3 ประเภท

Gas	γ	จุดเริ่มเกิด P_{Choked}
Monotonic	≈ 1.67	$0.487 P_o$
Diatomic and air	≈ 1.40	$0.528 P_o$
Triatomic	≈ 1.32	$0.542 P_o$



รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ของสภาวะต่างๆเมื่อเกิดการร่วไหลของแก๊สต่างๆสู่บรรยากาศ

จากรูปที่ 5.13 แสดงให้เห็นว่าถ้าแก๊สออกซิเจนเกิดการรั่วผ่านช่อง (Throat) ไปสู่บรรยากาศ การเกิด Choked flow หรือการที่แก๊สที่รั่วไหลออกด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วเสียง ซึ่งเหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นได้ เมื่อความดันในถึง (P_o) มากกว่าความดันภายนอก (P) ยกตัวอย่างเช่น ถ้า ความดันภายนอก P คือความดันบรรยากาศ ดังนั้นความดันของแก๊สออกซิเจนซึ่งเป็น diatomic จะเกิด Choked flow ได้เมื่อมีความดันในถึงมากกว่า $P/0.528$ หรือ $14.7/0.528$ Psi จึงจะทำให้เกิดเหตุการณ์เช่นนี้

เมื่อแทนค่าสมการ (5.47) ในสมการ (5.45) เมื่อ $P = P_{choked}$ เพื่อหา Q_m จะได้

$$(Q_m)_{Choked} = C_o A P_o \sqrt{\frac{2g_c M}{R_g T_o} \left(\frac{\gamma}{\gamma-1}\right) \cdot \left[\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\left(\frac{\gamma}{\gamma-1}\right)\left(\frac{2}{\gamma}\right)} - \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\left(\frac{\gamma}{\gamma-1}\right)\left(\frac{\gamma+1}{\gamma}\right)} \right]} \quad \dots(5.48)$$

$$= C_o A P_o \sqrt{\frac{g_c M \gamma}{R_g T_o} \left(\frac{2}{\gamma-1}\right) \cdot \left[\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\left(\frac{\gamma}{\gamma-1}\right)\left(\frac{2}{\gamma}\right)} - \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\left(\frac{\gamma}{\gamma-1}\right)\left(\frac{\gamma+1}{\gamma}\right)} \right]}$$

$$\text{ดูพจน์นี้} \quad \frac{2}{(\gamma-1)} \left[\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\left(\frac{\gamma}{\gamma-1}\right)\left(\frac{2}{\gamma}\right)} - \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\left(\frac{\gamma}{\gamma-1}\right)\left(\frac{\gamma+1}{\gamma}\right)} \right]$$

$$\text{ซึ่ง} \quad \frac{2}{(\gamma-1)} \left[\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{2}{\gamma-1}} - \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\left(\frac{\gamma+1}{\gamma-1}\right)} \right] = \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \left(\frac{2}{\gamma-1}\right) \cdot \left[\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\left(\frac{2}{\gamma-1}\right)} - \left(\frac{\gamma+1}{\gamma-1}\right) - 1 \right]$$

$$= \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \left(\frac{2}{\gamma-1}\right) \cdot \left[\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma-1}} - 1 \right]$$

$$= \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \left(\frac{2}{\gamma-1}\right) \cdot \left[\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{-1} - 1 \right]$$

$$= \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \left(\frac{2}{\gamma-1}\right) \cdot \left[\left[\frac{\gamma+1}{2}\right] - 1 \right]$$

$$= \left(\frac{2}{\gamma-1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \quad \dots(5.49)$$

แทน (5.49) ลงใน (5.48)

$$(Q_m)_{Choked} = C_o A P_o \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_o} \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\left(\frac{\gamma+1}{\gamma-1}\right)}} \quad \dots(5.50)$$

ตัวอย่าง 5.5 แก๊สไนโตรเจนรั่วออกมาจากจุดแตกของภาชนะรับความดันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1 นิ้ว ความดันในภาชนะรับความดันสูงถึง 200 psig อุณหภูมิ 80 องศาฟาเรนไฮต์ จงหาอัตราการไหลของมวล (Mass flow rate) และจงวาดรูปความสัมพันธ์ของการเกิด Choked ในระยะทางที่เปลี่ยนไปต่อความดันและความเร็ว

จากสมการอัตราการไหลของมวล สมการ (5.50)

โดยที่ $C_o = 1.0$ (คำนวณให้อัตราการไหลสูงสุด; Conservative valve)

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times (0.1/12)^2}{4} \text{ ft}^2 = 5.45 \times 10^{-5} \text{ ft}^2$$

$$P_o = 200 + 14.7 = 214.7 \text{ psia} = 214.7/144 \text{ lb}_f/\text{ft}^2$$

$$\gamma = 1.4 \text{ (N}_2 \text{ is diatomic air)} \Rightarrow P_{Choked} = 0.528 P_o = 113.4 \text{ psia}$$

$$M = 14 \times 2 = 28$$

$$R_g = 1,545 \text{ ft lb}_f/\text{lb-mole } ^\circ\text{R}$$

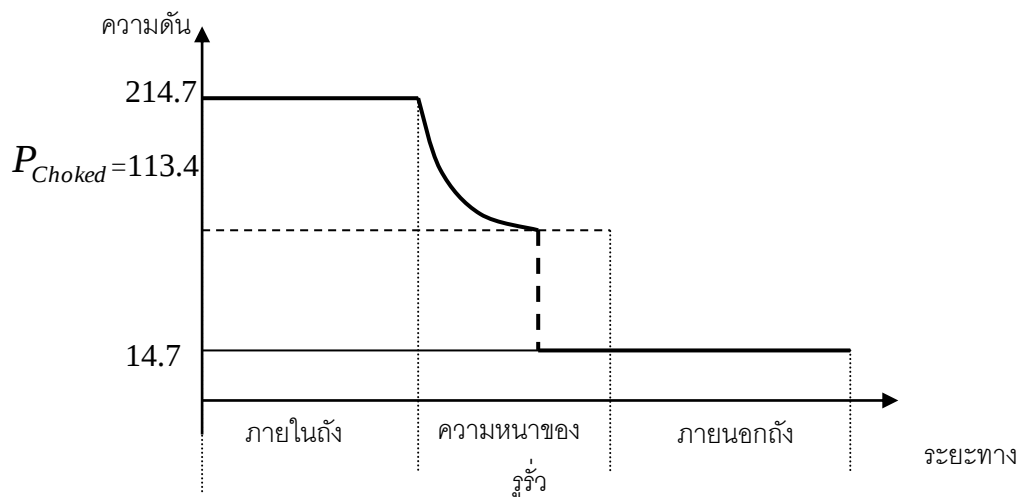
$$T_o = 80^\circ\text{F} = 540^\circ\text{R}$$

แทนค่าทั้งหมดในสมการ (5.50)

สมการที่สำคัญที่ควรรู้

$$\frac{C}{100} = \frac{F - 32}{180} = \frac{R}{2025}$$

$$\begin{aligned} (Q_m)_{Choked} &= C_o A P_o \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_o} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}}} \\ &= (1) (5.45 \times 10^{-5}) \left(\frac{214.7}{144} \right) \sqrt{\frac{(1.4)(32.14)(28)}{(1545)(540)} \left(\frac{2}{1.4 + 1} \right)^{\frac{2.4}{0.4}}} \\ &= 3.79 \times 10^{-2} \text{ lb}_m/\text{s} \end{aligned}$$



รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ระยะทางต่างๆ

ก่อนข้ามไปหัวข้อ 5.5 ให้นักศึกษาลองพล็อตความสัมพันธ์ใน ระหว่าง ความเร็วและระยะทางของรูปที่ 5.14 ว่าจะเป็นอย่างไร

5.5 การร่วไหลของแก๊สผ่านรูในท่อ (Flow of vapor through pipes)

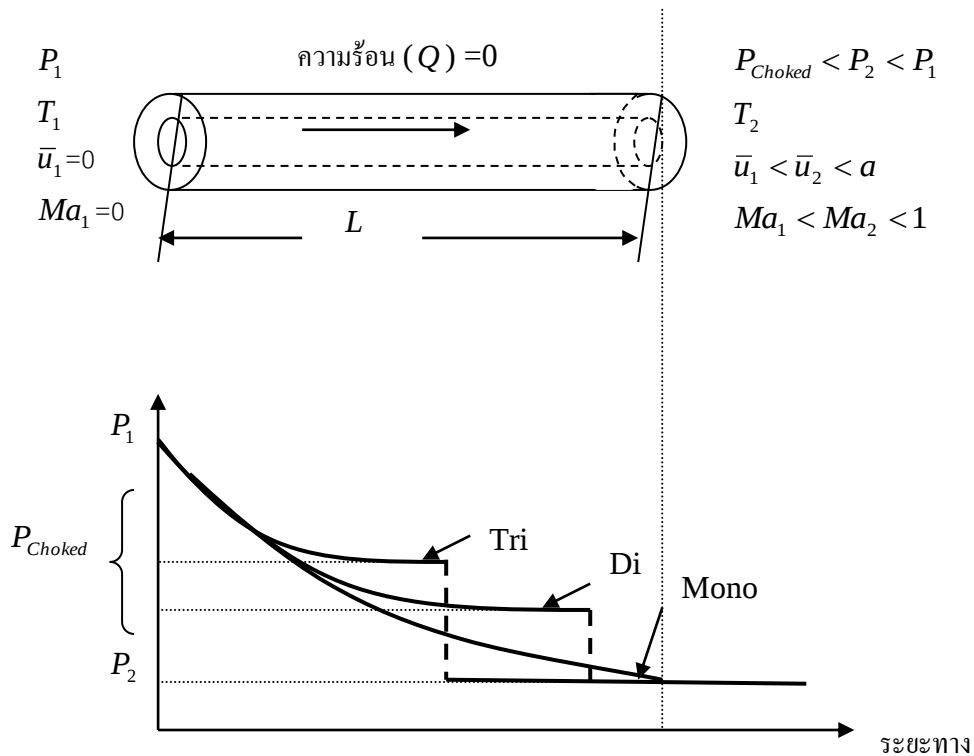
ในโลกแห่งความเป็นจริงการที่จะพิจารณาการไหลเราควรจะต้องสมมติให้ง่ายและใกล้เคียงกับความจริง การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นเราสามารถแบ่งสมมติฐานออกเป็น 2 อย่างหลักๆ คือ Adiabatic (Rapid vapor flow ผ่านท่อที่มีฉนวนความร้อน) และ Isothermal (vapor flow ผ่านที่อุณหภูมิคงที่) เพื่อความสะดวกทั้งสองกรณีเราสามารถให้คำจำกัดความของ มัคนัมเบอร์ (Mach number; Ma) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วของแก๊ส ($\bar{u}$) กับความเร็วของเสียง (a) ดังสมการ (5.51)

$$Ma = \frac{\bar{u}}{a} \quad \dots(5.51)$$

โดยที่ความเร็วของเสียงสามารถเป็นไปได้ทั้ง 2 กรณี ดังสมการ (5.52) และ สมการ (5.53) หรือสามารถประมาณได้โดยสมการ (5.59)

$$a = \begin{cases} \sqrt{g_c \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_s} & \dots(5.52) \\ \sqrt{\gamma g_c R_g (T/M)}; \text{ for Ideal gas} & \dots(5.53) \\ \approx 331.1 + 0.61T \text{ m/s}; T = \text{อุณหภูมิ } (^{\circ}\text{C}) & \dots(5.54) \end{cases}$$

5.5.1 ในกรณีที่สมมติการไหลเป็นแบบอะเดียแบติก (Adiabatic Flows)



รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและระยะทางของแก๊สที่ไหลผ่านในท่อ

Assumptions สำหรับการไหลแบบ Adiabatic

- ความดัน $\Delta P = P_1 - P_2$ ลดลง
- $\Delta z = 0$
- Shaft work น้อยมาก $W_s = 0$ ที่ Re มากๆ
- เกิด Frictional loss ขึ้นกับ Temp และความยาวของท่อ
- kinetic energy เกิดการขยายตัวของแก๊ส (Energy balance require)
- Temp อาจเพิ่มหรือลดขึ้นกับแรง (F) และ พลังงานจลน์

จากสมการ

$$\int \frac{dP}{\rho} + \Delta \left(\frac{\bar{u}^2}{2\alpha g} \right) + \cancel{\frac{g}{g_c} \Delta z} + F = \cancel{\frac{W_s}{m}}$$

$$\frac{dP}{\rho} + \frac{2\bar{u}d\bar{u}}{2\alpha g} + dF = 0$$

โดยที่ $dF = \frac{2f^2 \bar{u} dL}{g_c d}$ ในกรณีที่ค่า $Re \gg$

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ สำหรับการไหลแบบ Steady state flow

เอนทัลปี Δh + พลังงานจลน์ + พลังงานศักย์ $\xrightarrow{0} =$ Heat $\xrightarrow{0}$ + Work done $\xrightarrow{0}$
pipe is adiabatic no mechanical linkage

จากความพยายามในการสร้าง Model สรุปได้ว่า

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{Y_1}{Y_2} \quad \text{ซึ่ง} \quad Y_i = 1 + \left(\frac{\gamma - 1}{2} \right) Ma_i^2 \quad \dots(5.55)$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{Ma_1}{Ma_2} \sqrt{\frac{Y_1}{Y_2}} \quad \dots(5.56)$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{Ma_1}{Ma_2} \sqrt{\frac{Y_2}{Y_1}} \quad \dots(5.57)$$

$$G = \rho \bar{u} = Ma_1 P_1 \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_1}} = Ma_2 P_2 \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_2}} \quad \dots(5.58)$$

โดยที่ G = Mass flux with units of Mass/(Area.Time)

$$\left(\frac{\gamma+1}{2}\right) \ln \left[\frac{Ma_2^2 Y_1}{Ma_1^2 Y_2} \right] - \left[\frac{1}{Ma_1^2} - \frac{1}{Ma_2^2} \right] + \gamma \left[\frac{4fL}{d} \right] = 0 \quad \dots(5.59)$$

Kinetic energy
Compressibility
Pipe friction

สรุปว่า Ma มีความสัมพันธ์กับ Frictional loss ซึ่งขึ้นกับการอัดตัวและการขยายตัวของแก๊ส

จัดรูปใหม่เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน

$$\left(\frac{\gamma+1}{\gamma}\right) \ln \frac{P_1 P_2}{P_2 T_1} - \frac{\gamma-1}{2\gamma} \left(\frac{P_1^2 T_2^2 - P_2^2 T_1^2}{T_2 - T_1} \right) \left(\frac{1}{P_1^2 T_2} - \frac{1}{P_2^2 T_1} \right) + \frac{4fL}{d} = 0 \quad \dots(5.60)$$

$$G = \sqrt{\frac{2g_c M}{R_g} \left(\frac{\gamma}{\gamma-1} \right) \left[\frac{T_2 - T_1}{(T_1/P_1)^2 - (T_2/P_2)^2} \right]} \quad \dots(5.61)$$

ปัญหาค่อนข้างใหญ่ เราจะหา Mass flux (G) โดยที่เราทราบความยาวท่อ (L) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (d), อุณหภูมิขาเข้า (T_1), ความดันเข้า – ออก (P_1, P_2)

- ขั้นตอนจึงมีดังนี้
- 1) หา ε จากตารางที่ 5.1 เพื่อหา ε/d
 - 2) หา f จาก สมการ (5.27) โดย สมมติว่า ค่า Re มีค่าสูงๆ
 - 3) หา T_2 จากสมการ (5.60)
 - 4) หา G จากสมการ (5.61)

แต่ถ้า L ยาวๆ, ΔP สูงๆ จะมีโอกาสทำให้เกิดความเร็วที่เท่ากับเสียงที่ในท่อตอนปลาย ดังรูปที่ 5.16

ผลคือ

$$\frac{T_{Choked}}{T_1} = \frac{2Y_1}{\gamma+1} \quad \dots(5.62)$$

$$\frac{P_{Choked}}{P_1} = Ma_1 \sqrt{\frac{2Y_1}{\gamma+1}} \quad \dots(5.63)$$

$$\frac{\rho_{Choked}}{\rho_1} = Ma_1 \sqrt{\frac{\gamma+1}{2\gamma_1}} \quad \dots(5.64)$$

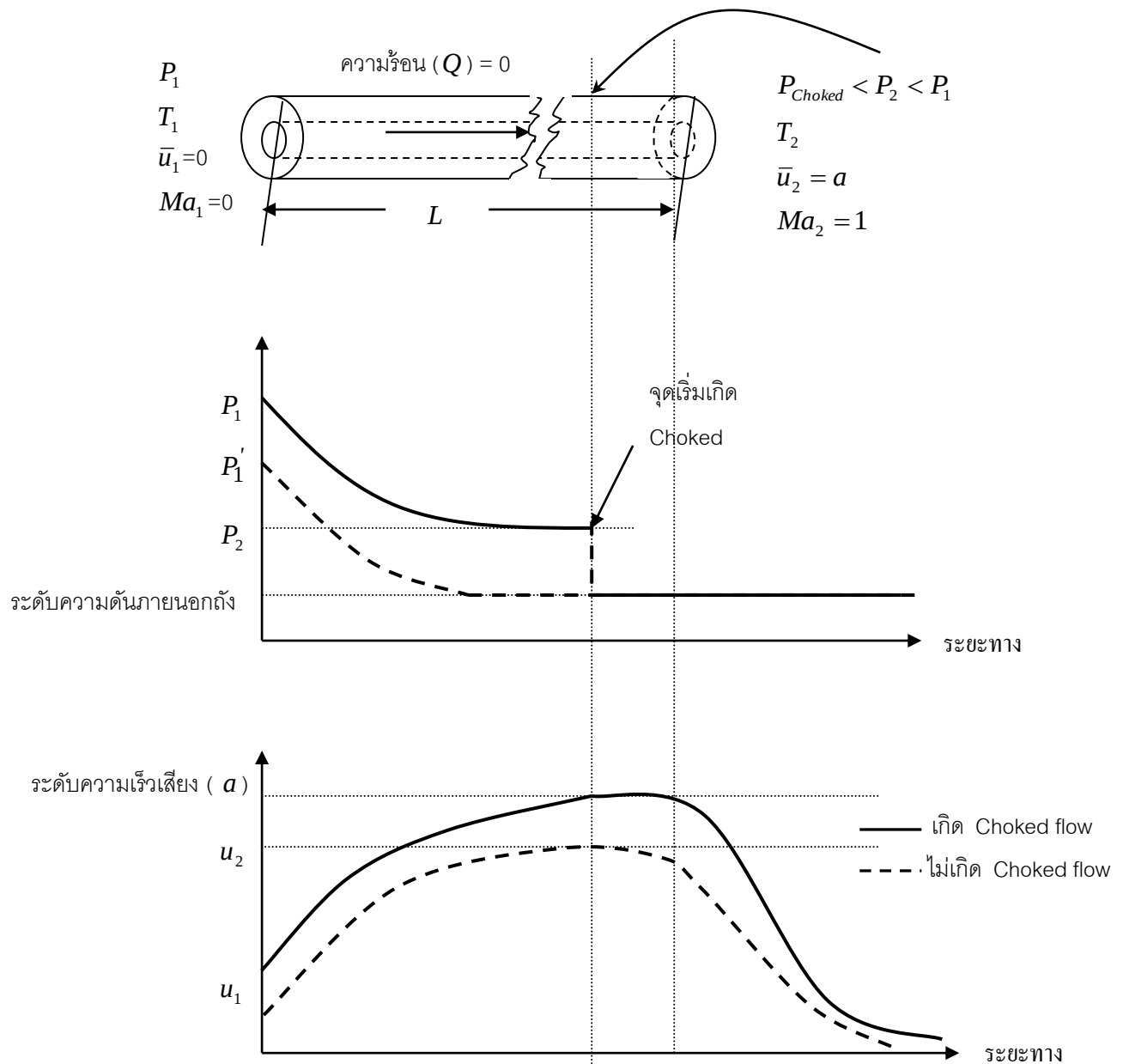
$$G_{Choked} = \rho \bar{u} = Ma_1 \cdot P_1 \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_1}} = P_{Choked} \cdot \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_{Choked}}} \quad \dots(5.65)$$

$$\frac{\gamma+1}{2} \ln \left[\frac{2Y_1}{(\gamma+1) Ma_1^2} \right] - \left(\frac{1}{Ma_1^2} - 1 \right) + \gamma \left(\frac{4fL}{d} \right) = 0 \quad \dots(5.66)$$

ปัญหาส่วนใหญ่ เราจะหา G โดยที่เราทราบ L, d, P_1, T_1

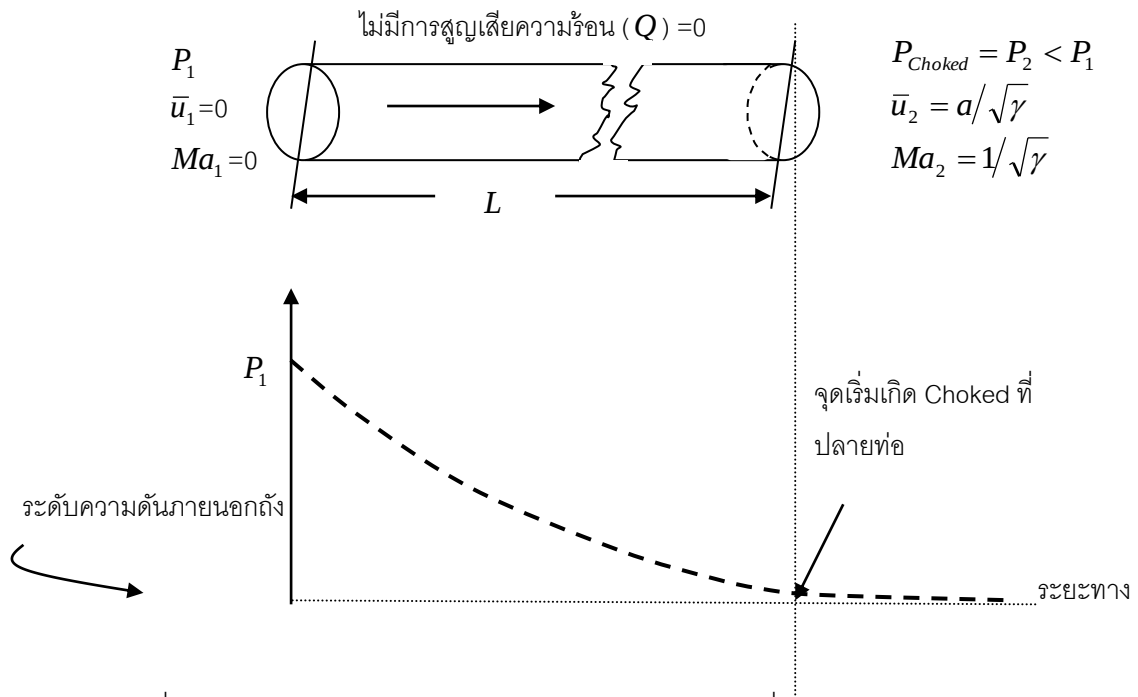
ขั้นตอนจึงมีดังนี้

- 1) หา f จากสมการ (5.27) โดยที่สมมติว่าค่า Re มีค่ามากๆ
- 2) หา Ma_1 จากสมการ (5.66)
- 3) หา G_{Choked} จากสมการ (5.65)
- 4) หา P_{Choked} จาก สมการ (5.61)



รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและระยะทางของแก๊สที่ไหลผ่านในท่อ

5.5.2 ในกรณีที่สมมติการไหลเป็นแบบไอโซเทอร์มอล Isothermal Flows



รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและระยะทางของแก๊สที่ไหลผ่านในท่อแบบ Isothermal

Assumptions

- ความดัน $\Delta P = P_1 - P_2$ ลดลง
- $\Delta z = 0$
- Shaft work ; $W_s = 0$
- เกิดความเสียดทาน (Frictional loss) คงที่
- เนื่องจากอุณหภูมิคงที่จึงไม่คิดพลังงาน (Energy balance is not required)

จะได้

$$T_1 = T_2 \quad \dots(5.67)$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{Ma_1}{Ma_2} \quad \dots(5.68)$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{Ma_1}{Ma_2} \quad \dots(5.69)$$

$$G = \rho \bar{u} = Ma_1 P_1 \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T}} \quad \dots(5.70)$$

$$2 \ln \frac{Ma_2}{Ma_1} - \frac{1}{\gamma} \left(\frac{1}{Ma_1^2} - \frac{1}{Ma_2^2} \right) + \frac{4fL}{d} = 0 \quad \dots(5.71)$$

Kinetic
energy

Compressibility

Pipe
friction

จัดรูปให้ง่ายขึ้นเป็น

$$2 \ln \frac{P_1}{P_2} - \frac{g_c M}{G^2 R_g T} (P_1^2 - P_2^2) + \frac{4 f L}{d} = 0 \quad \dots(5.72)$$

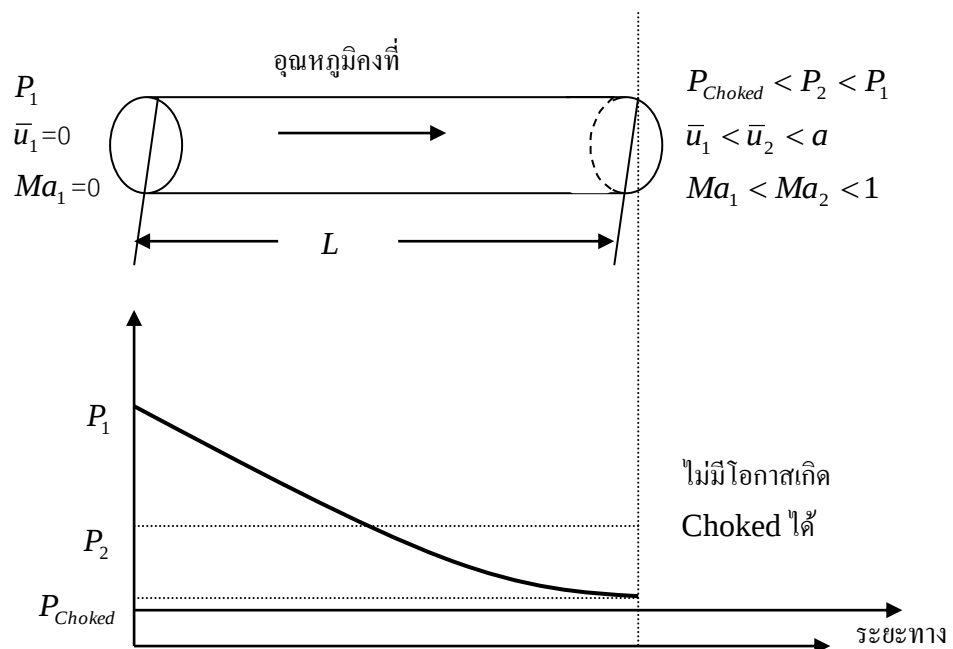
หนังสือ Levenspiel, Engineering flow พบว่าค่า $\bar{u}_2$ ของ Isothermal จะไม่เท่ากับความเร็วเสียงเหมือน Adiabatic ดังนั้นค่า Ma จะเท่ากับ

$$Ma = \frac{\bar{u}}{a} = \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \quad \dots(5.73)$$

$$-\frac{dP}{dL} = \frac{2 f G^2}{g_c \rho d} \left[\frac{1}{1 - (\bar{u}^2 \rho / g_c P)} \right] \quad \dots(5.74)$$

$$= \frac{2 f G^2}{g_c \rho d} \left[\frac{1}{1 - (\gamma Ma^2)} \right] \quad \dots(5.75)$$

ถ้า $Ma \rightarrow \frac{1}{\sqrt{\gamma}}$ ผลคือ $\frac{dP}{dL} \Rightarrow -\alpha$ เมื่อ $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ มีโอกาสเกิด Choked



รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและระยะทางของแก๊สที่ไหลผ่านในท่อแบบ Isothermal

$$T_{Choked} = T_1 \quad \dots(5.76)$$

$$\frac{P_{Choked}}{P_1} = Ma_1 \sqrt{\gamma} \quad \dots(5.77)$$

$$\frac{\rho_{Choked}}{\rho_1} = Ma_1 \sqrt{\gamma} \quad \dots(5.78)$$

$$\frac{\bar{u}_{Choked}}{\bar{u}_1} = \frac{1}{Ma_1 \sqrt{\gamma}} \quad \dots(5.79)$$

$$G_{Choked} = \rho \bar{u} = \rho_1 \bar{u}_1 = Ma_1 P_1 \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T}} = P_{Choked} \cdot \sqrt{\frac{g_c M}{R_g T}} \quad \dots(5.80)$$

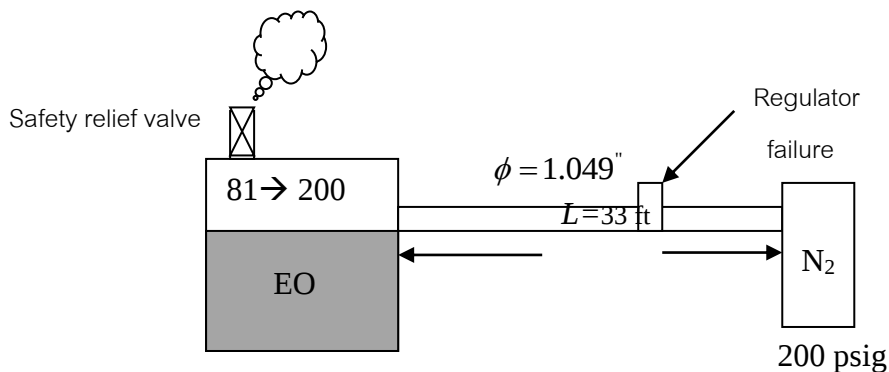
$$\text{ซึ่ง} \quad \ln \left(\frac{1}{\gamma Ma_1^2} \right) - \left(\frac{1}{\gamma Ma_1^2} - 1 \right) + \frac{4fL}{d} = 0 \quad \dots(5.81)$$

ปัญหาคำนวณส่วนใหญ่เราจะรู้ค่า L, d, P_1, T_1

มีขั้นตอนดังนี้

- 1) หา f จากสมการ (5.27) โดยที่สมมติว่าค่า Re มีค่ามาก ๆ
- 2) หา Ma_1 จากสมการ (5.81)
- 3) หา G_{Choked} จากสมการ (5.80)

ตัวอย่าง 5-6 ถัง Ethylene oxide (EO) จะถูกไล่ (Purged) แก๊สออกซิเจน โดยการใช้แก๊สไนโตรเจนเข้าไปแทนที่ (Padded) ที่ความดัน 81 psig เพื่อป้องกันการระเบิด ถังไนโตรเจนถูกบรรจุด้วยความดัน 200 psig ต่อท่อเข้าไปในถัง EO ด้วยท่อที่ทำจากเหล็ก (Steel) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 1.049 นิ้ว และความยาว 33 ฟุต บังเอิญเกิดความผิดพลาดที่อุปกรณ์ควบคุม (Regulator) ผลทำให้แก๊สไนโตรเจนไหลเข้าไปในถังด้วยความดัน 200 psig ซึ่งเกินอัตราความดันที่ถัง EO จะรับได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันการแตกของถัง EO วาล์วนิรภัย (Safety relief valve) จึงเริ่มทำงาน...



รูปที่ 5.19 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 5-6

ถามว่าอัตราการไหลโดยมวล (Mass flow rate) ของแก๊สที่ปล่อยออกจาก วาล์วนิรภัย ควรเป็นอย่างไรน้อยเท่าใด โดยสมมติให้ลักษณะท่อเป็น

- Orifice ซึ่งมีคอคออด (Throat) เท่ากับขนาดท่อ
- เป็น Adiabatic pipe
- เป็น Isothermal pipe

จาก 3 สถานะนี้จึงควรพิจารณาว่าสถานะไหนเป็นสถานการณ์ที่เป็นจริงที่สุด ในด้านความปลอดภัย

a) กรณี Orifice โดยใช้สมการ (5.50)

$$(Q)_{Choked} = C_o A P_o \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_o} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}}}$$

โดยที่ $C_o = 1.0$ (Assume)

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (1.049/12)^2}{4} = 6 \times 10^{-3} \text{ ft}^2$$

$$P_o = 200 + 14.7 = 214.7 \text{ psia} = 3.09 \times 10^4 \text{ lb}_f/\text{ft}^2$$

$$\gamma = 1.4 \text{ (สำหรับ Diatomic air)}$$

$$g_c = 32.17 \text{ ft lb}_m/\text{lb}_f \text{ s}^2$$

$$M = 28 \text{ lb}_m/\text{lb-mole}_e$$

$$R_g = 1,545 \text{ ft lb}_f/\text{lb-mole} \cdot ^\circ\text{R}$$

$$T_o = 540^\circ\text{R}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } Q_m &= (1.0)(6 \times 10^{-3})(3.09 \times 10^4) \cdot \sqrt{\frac{(1.4)(32.17)(28)}{(1,545)(540)} \left(\frac{2}{2.4} \right)^{\frac{2.4}{0.4}}} \\ &= 4.16 \text{ lb}_m/\text{s} \end{aligned}$$

จากตารางที่ 5.3 จะได้ Diatomic and air $\Rightarrow P_{Choked} = 0.528 P_o$

$$= 0.528 \times 214.7$$

$$= 113.4 \text{ psia}$$

$$= 1.63 \times 10^4 \text{ lb}_f/\text{ft}^2$$

b) สมมติว่าเป็น Adiabatic กรณีท่อความยาว L

① หา $\mathcal{E}$ จากตารางที่ (5-1) เพื่อหา $\frac{\mathcal{E}}{d}$

② หา f จากสมการ (5-27)

③ หา T_{Choked} จากสมการ (5-62) และหา Ma จากสมการ (5-66)

④ หา G จากสมการ (5-65)

① ท่อเหล็กมีค่า $\mathcal{E} = 0.046 \text{ mm}$ (Table 5-1)

$$d = 1.049 \text{ in} \times 25.4 \frac{\text{mm}}{\text{in}} = 26.6 \text{ mm}$$

$$\therefore \frac{\mathcal{E}}{d} = \frac{0.046}{26.6} = 0.00173$$

② หา f จากสมการ (5-27) ; $\frac{1}{\sqrt{f}} = 4 \log \left(3.7 \frac{d}{\mathcal{E}} \right)$

$$\therefore f = 0.00564$$

③ หา T_{Choked} ; $\frac{T_{Choked}}{T_1} = \frac{2Y_1}{\gamma + 1}$

$$\text{จากสมการ (5.55)} \quad Y_1 = 1 + \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right) Ma_1^2 \quad \dots(5.55)$$

$$\gamma = 1.4$$

$$\text{จะได้ } Y_1 = 1 + 1.2 Ma_1^2 \text{ และ } T_{Choked} = T_1 \left(\frac{2(1.4)}{1.4 + 1} \right)$$

$$T_1 = 80^\circ\text{F} = (80 + 460)^\circ\text{R} = 455^\circ\text{R}$$

$$\therefore T_{Choked} = 455^\circ\text{R}$$

หา Ma ; จากสมการ (5.66)

$$\frac{\gamma + 1}{2} \ln \left[\frac{2Y_1}{(\gamma + 1)Ma_1^2} \right] - \left(\frac{1}{Ma_1^2} - 1 \right) + \gamma \left(\frac{4fL}{d} \right) = 0 \quad \dots(5.66)$$

$$\frac{2.4}{2} \ln \left[\frac{2 + 0.4Ma_1^2}{2.4Ma_1^2} \right] - \left(\frac{1}{Ma_1^2} - 1 \right) + 1.4 \left(\frac{4 \times 0.00564 \times 33}{1.049/12} \right) = 0$$

$$1.2 \ln \left[\frac{2 + 0.4Ma_1^2}{2.4Ma_1^2} \right] - \left(\frac{1}{Ma_1^2} - 1 \right) + 11.92 = 0$$

ใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and error)

Ma_1	ค่าที่ได้จากสมการด้านซ้ายมือ
0.20	-8.43
0.25	0.043

$$\frac{x - 0.2}{0 - (-8.43)} = \frac{0.25 - 0.2}{0.043 - (-8.43)}$$

$$x = 0.2 + 8.43 \left(\frac{0.25 - 0.2}{0.043 + 8.43} \right)$$

$$\therefore Ma_1 = 0.25$$

$$\therefore Y_1 = 1 + 0.2 (Ma)^2 = 1.012$$

$$\text{Check จากสมการ (5.63) } P_{Choked} = P_1 Ma \sqrt{\frac{2Y_1}{1 + \gamma}} \quad \dots(5.63)$$

$$= 214.7 (0.25) \sqrt{\frac{2 \times 1.012}{2.4}}$$

$$= 49.4 \text{ psia}$$

$$= 7.11 \times 10^3 \text{ lb}_f/\text{ft}^2$$

④ หา G_{Choked} จากสมการ (5.65)

$$G_{Choked} = P_{Choked} \sqrt{\frac{\gamma g_c M}{R_g T_{Choked}}} \quad \dots(5.65)$$

$$= 7.11 \times 10^3 \sqrt{\frac{1.4 \times 32.17 \times 28}{1545 \times 455}}$$

$$= 301 \text{ lb}_m/\text{ft}^2 \cdot \text{s}$$

$$\therefore Q_m = G_{Choked} A$$

$$= 301 \text{ lb}_m/\text{ft}^2 \cdot \text{s} \times 6 \times 10^{-3} \text{ ft}^2$$

$$= 1.81 \text{ lb}_m/\text{s}$$

C) สมมติว่าเป็น Isothermal

① หา f จากสมการ (5-27) เมื่อ Adiabatic② Ma จากสมการ (5-81) และหา P_{Choked} จากสมการ (5.77)③ หา G จากสมการ (5-80)① หา $f = 0.00564$ ② หา Ma จากสมการ (5.55)

$$\ln\left(\frac{1}{1.4Ma^2}\right) - \left(\frac{1}{1.4Ma^2} - 1\right) + \frac{4fL}{d} = 0 \quad \dots(5.81)$$

$$\ln\left(\frac{1}{1.4Ma^2}\right) - \left(\frac{1}{1.4Ma^2} - 1\right) + 8.52 = 0$$

Trial and error

Ma	ค่าที่ได้จากสมการด้านซ้ายมือ
0.245	0.097
0.244	0.005
0.24	-0.362

Check จากสมการ (5.77)

$$\begin{aligned}
 P_{Choked} &= P_1 Ma_1 \sqrt{\gamma} \quad \text{จากสมการ} \quad \dots(5.77) \\
 &= (214.7)(0.244) \sqrt{1.4} \\
 &= 62.0 \text{ psia} \\
 &= 8.93 \times 10^3 \text{ lb/ft}^2
 \end{aligned}$$

③ หา G จากสมการ (5.80)

$$\begin{aligned}
 G_{Choked} &= P_{Choked} \sqrt{\frac{g_c M}{R_g T}} \quad \dots(5.80) \\
 &= 8.93 \times 10^3 \sqrt{\frac{32.17 \times 28}{(1545)(540)}} \\
 &= 293 \text{ lb}_m/\text{ft}^2 \cdot \text{s}
 \end{aligned}$$

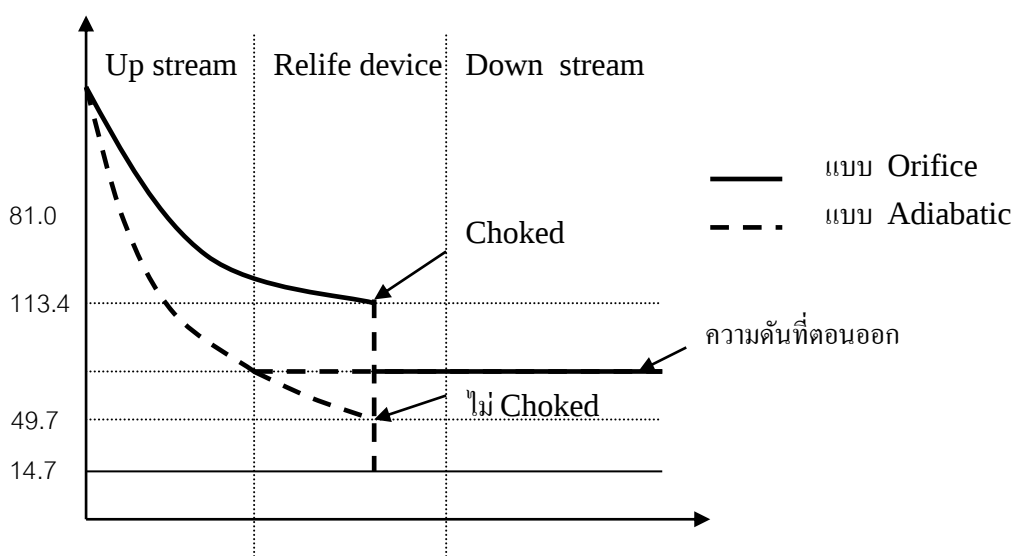
$$\begin{aligned}
 \therefore Q_m &= G_{Choked} \cdot A \\
 &= (293 \text{ lb}_m/\text{ft}^2 \cdot \text{s}) (6 \times 10^{-3} \text{ ft}^2) \\
 &= 1.76 \text{ lb}_m/\text{s}
 \end{aligned}$$

ผลสรุปของการ Relief ทั้ง 3 แบบได้ดังนี้

ลักษณะการรั่ว	P_{Choked} (psia)	Q_m (lb _m /s)
Orifice	113.4	4.16
Adiabatic	49.4	1.81
Isothermal	62.0	1.76

- Orifice การคำนวณแบบนี้เป็นการคำนวณแบบ Conservative หรือเผื่อไว้ในด้านความปลอดภัยในแง่ของการออกแบบ Safety relief valve เนื่องจากต้องการให้แก๊สถูกปล่อยออกมาในอัตราการไหลสูงสุด และเมื่อภาชนะรับความดันมีความดันสูงเกินขอบเขตที่กำหนดไว้ แต่ผลของค่า P_{Choked} ที่เป็นแบบนี้จะให้ค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสภาวะ Adiabatic และ Isothermal ในสภาพความเป็นจริงการออกแบบนี้จะเป็นการเผื่อ
- Adiabatic ให้ค่า P_{Choked} ต่ำสุด จึงเป็นทางเลือกที่ดีในการออกแบบการ Relief เนื่องจากจะให้ผลใกล้เคียงความจริงมากที่สุดซึ่งวิธีการนี้เหมาะกับการคำนวณเพื่อเป็นทางเลือกที่ปลอดภัยและวิธีการไม่ซับซ้อนเกินไป
- Isothermal ให้ค่า P_{Choked} สูงกว่า Adiabatic แต่ต่ำกว่า Orifice ถือว่าเป็นทางเลือกที่ดี แต่ในทางปฏิบัติเนื่องจากการเป็นสมมติที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุดซึ่งวิธีสมมติแบบ Isothermal ต้องคำนึงถึงเรื่อง การถ่ายเทความร้อนซึ่งเป็นที่ค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งอาจจะไม่ง่ายในการคำนวณ

จะเห็นว่า สภาวะ Adiabatic และ Isothermal เป็นการสมมติสภาวะการรั่วที่ค่อนข้างเหมือนจริงในทางคำนวณ ซึ่งเหตุการณ์จริงนั้น Choked อาจไม่เกิดขึ้น เนื่องจากผลที่ได้ของ Downstream pressure ที่ได้ไม่สูงพอที่จะเกิด Choked ได้ (ดูรายละเอียดการออกแบบในรูปที่ 5.20)



รูปที่ 5.20 การเปรียบเทียบการออกแบบแบบต่าง ๆ ตามตัวอย่าง 5.6

จากรูปที่ 5.20 ในเรื่องของการออกแบบอุปกรณ์ความปลอดภัยอย่าลืมว่าการออกแบบอุปกรณ์ Safety relief valve เพื่อความปลอดภัยนั้นจำเป็นต้องพยายามที่จะออกแบบเพื่อให้แก๊สถูกปลดปล่อยออกไปได้เร็วที่สุด การคำนวณแบบ Orifice ถือว่าเป็นการสมมติให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่คอขวดเท่ากับขนาดของท่อหรือคิดแบบเผื่อเพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด หากมองในแง่เศรษฐศาสตร์วิธีการนี้จะค่อนข้างสิ้นเปลืองโดย เมื่อใช้เหตุผลของการคำนวณทำให้ได้ค่า $P_{Choked} = 113.4$ psia ซึ่งค่อนข้างสูงถ้าเทียบกับวิธีการคำนวณอื่น ๆ และเมื่อเปรียบเทียบความดันที่คำนวณได้กับความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure) แล้วคือจะได้ค่าที่สูงกว่าถึง $\frac{P_{Choked}}{14.7} = \frac{113.4}{14.7} \approx 8$ เท่า

ในทางปฏิบัติการออกแบบจึงจำเป็นต้องคิดค่าความดันที่ Down stream เท่ากับ $\frac{14.7x}{\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\gamma(\gamma-1)}}$;

เมื่อ x คือจำนวนเท่าของความดันที่ภาชนะรองรับได้ สมมติว่าให้เท่ากับ 10 เท่า (Safety factor) และ γ = อัตราค่าความร้อน (Heat capacity ratio) เท่ากับ 0 ผลคือ ต้องสร้างภาชนะรับความดันที่สามารถทนความดันได้เผื่อเอาไว้เป็น 147 เท่าของความดันบรรยากาศซึ่งถือว่าสูงมาก ๆ

5.6 การร่วแบบกระจายเป็นประกายของไอและของเหลว (Flashing liquid)

การร่วแบบกระจายของของเหลวที่เก็บไว้ในถังเก็บความดันสูง ถ้าของเหลวนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่า จุดเดือดของของเหลวจะเกิดการกระจายเป็นประกาย (Flash) อาจเกิดระเบิดได้

Assumptions

- สมมติให้เป็นสภาวะ Adiabatic ซึ่งจะเกิดเร็วมาก (ไม่มีการถ่ายเทของความร้อน)
- อุณหภูมิเปลี่ยนจากสูงกว่าจุดเดือดและอุณหภูมิที่ต่ำลงทำให้ของเหลวเกิดการเดือดและเกิดแยกเฟสระหว่างของเหลวกับแก๊ส

$$Q = mC_p(T_o - T_b) \quad \dots(5-82)$$

โดยที่ m = มวลของของเหลวตอนเริ่มต้น
 C_p = ความถ่วงจำเพาะของของเหลว (พลังงาน/มวล.อุณหภูมิ)
 T_o = อุณหภูมิของของเหลวก่อนลดความดัน (Depressurization)
 T_b = อุณหภูมิของของเหลวหลังลดความดัน

$$m_v = \frac{Q}{\Delta H_v} = \frac{mC_p(T_o - T_b)}{\Delta H_v} \quad \dots(5.83)$$

โดยที่ ΔH_v = ความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะเป็นไอ (ในการระเหยของของเหลว)
 m_v = มวลของของเหลวที่ระเหย

∴ ในส่วน (Fraction) ของของเหลวที่ระเหย

$$f_v = \frac{m_v}{m} = C_p \frac{(T_o - T_b)}{\Delta H_v} \quad \dots(5.84)$$

สมการ (5-84) สามารถใช้ในกรณีที่ของเหลวไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจาก T_o ถึง T_b

ในกรณีทั่วไป ; $dm = \frac{mC_p}{\Delta H_v} dT \quad \dots(5.85)$

จากสมการ (5.85) อินทิเกรตจาก T_o ถึง T_b และ จาก m ถึง $m - m_v$

$$\int_m^{m-m_v} \frac{dm}{m} = \frac{C_p}{\Delta H_v} \int_{T_o}^{T_b} dT \quad \dots(5.86)$$

$$\ln\left(\frac{m-m_v}{m}\right) = \frac{\bar{C}_p}{\Delta H_v} \cdot (T_b - T_o) = -\frac{\bar{C}_p}{\Delta H_v} \cdot (T_o - T_b) \quad \dots(5.87)$$

$\bar{C}_p$ = ค่าเฉลี่ยความจุความร้อน (Mean heat capacity)

ΔH = ค่าเฉลี่ยของความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ (Average of latent heat)

แทนสมการ (5-84) ลงใน (5-87) จะได้

$$\ln\left(1 - \frac{m_v}{m}\right) = -\frac{\bar{C}_p}{\Delta H_v} (T_o - T_b)$$

$$\ln(1 - f_v) = -\frac{\bar{C}_p}{\Delta H_v} (T_o - T_b) \text{ โดยที่ } m_v/m = f_v$$

$$\therefore f_v = 1 - \exp\left(-\bar{C}_p (T_o - T_b) / \Delta H_v\right) \quad \dots(5.88)$$

ตัวอย่าง 5.7 ถังเก็บความดันบรรจุ 1 ปอนด์ ของของเหลวอิ่มตัวอุณหภูมิ 350 ฟาเรนไฮต์ หลังจากถังเกิดแตก (Rupture) ความดันในถังลดลงเป็น 1 บรรยากาศ จงคำนวณหาส่วนของไอสาร โดยใช้ผลข้อมูลและสมการ

a) Steam tables b) สมการ (5-84) และ c) สมการ (5.88)

- a) ที่จุดเริ่มต้นอุณหภูมิของไอน้ำอิ่มตัวคือ 350°F สามารถเปิดหาค่า H_{liquid} จากตารางเทอร์โมไดนามิกส์ (Steam tables) ในภาคผนวก จ และที่จุดสุดท้ายที่ความดัน 1 atm จะได้ H_{Vapor} และ H_{liquid} โดยสมมติให้ระบบเป็น Adiabatic

$$H_{final} = H_{liquid} + f_v(H_{Vapor} - H_{liquid})$$

$$321.6 = 180.04 + f_v(1,150.4 - 180.07)$$

$$\therefore f_v = 0.1459 \text{ หรือ } 14.59\%$$

สรุปว่าในของเหลวตอนต้นมีไอน้ำอยู่ 14.59 เปอร์เซ็นต์

b) ใช้ในสมการ

$$f_v = \frac{C_p(T_o - T_b)}{\Delta H_v} \quad \dots(5.89)$$

โดยที่ $C_p = 1.01 \text{ Btu/lb}_m^\circ\text{F}$

$$\overline{\Delta H}_v = 970.3 \text{ Btu/lb}_m$$

แทน $f_v = \frac{1.01(350 - 212)}{970.3} = 0.1436$

c) ใช้สมการ (5.88)

$$f_v = 1 - e^{(-\bar{C}_p(T_o - T_b) / \overline{\Delta H}_v)}$$

โดยที่ $\bar{C}_p = 1.01 \text{ Btu/lb}_m^\circ\text{F}$

$$\overline{\Delta H} = 970.3 \text{ BTU/lb}_m$$

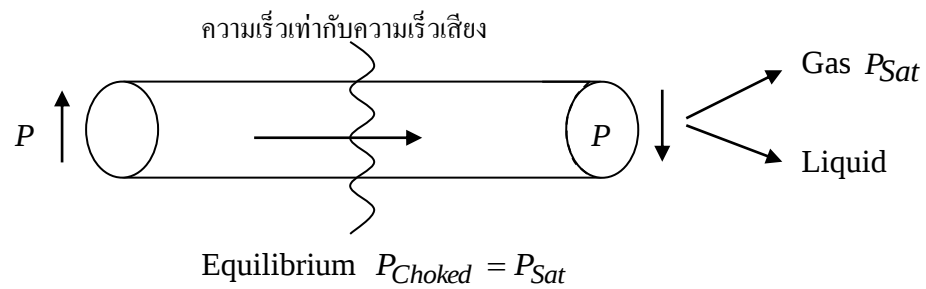
แทน $f_v = 1 - e^{(-1.01(350-212)/970.3)}$

$$= 1 - 0.8557$$

$$= 0.1443$$

การเกิด Choked ในกรณี Flashing

- กรณีผนังหนา > 10 cm
- กรณีท่อความยาว > 10 cm



รูปที่ 5.22 การเกิด Choked ในกรณี Flashing (Crowl and Louvar, 1999)

พิจารณาสมการ (5-7)

$$Q_m = AC_o \sqrt{2\rho g_c P_g} \quad \dots(5.7)$$

แต่ P_g จะเปลี่ยนเป็น $P - P_{Sat}$

$$= AC_o \sqrt{2\rho g_c (P - P_{Sat})}$$

โดยที่ P = ความดันในถังความดัน

P_{Sat} = ความดันไออิ่มตัว (Saturation vapor pressure) ที่อุณหภูมิบริเวณรอบ ๆ ทั่ว (Ambient temperature)

ตัวอย่าง 5.8 แอมโมเนียเหลวในถังอุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ความดัน 1.4×10^6 ปาสคาล เกิดรั่วขนาด 0.0945 m เกิดเป็น Flashing ที่ค่า $P_{Sat} = 0.468 \times 10^6$ ปาสคาล ความหนาแน่น 603 kg/m³. จงหา Q_m ที่สภาวะสมดุล (Equilibrium)

จากสมการ (5-7)

$$Q_m = AC_o \sqrt{2\rho g_c P_g}$$

สมมติว่า $C_o = 0.61$ เมื่อรูมีลักษณะ Sharp edged orifices

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times (0.0945)^2}{4} = 0.00701 \text{ m}^2$$

$$\rho = 603 \text{ Kg/m}^3$$

$$g_c = 9.8 \text{ kg}_m/\text{N.s}^2 \text{ โดยที่ } N = \text{kg}_f$$

$$P = 1.4 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$P_{Sat} = 0.98 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

แทน $Q_m = 97.6 \text{ kg/s}$

สำหรับกรณีนี้ที่ $P = P_{Sat}$ จะเป็นกรณีที่เป็น Two-phase mass flow rate มีโอกาสที่จะเกิด Choked ด้วย จึงต้องใช้สมการ (5.90)

$$Q_m = A \sqrt{-\frac{g_c}{dv/dP}} \quad \dots(5-90)$$

ซึ่ง v = Specific volume (volume/mass)

Two phase specific volume จะเป็น

$$v = v_{fg} f_v + v_f \quad \dots(5-91)$$

ซึ่ง v_{fg} = ผลต่าง specific volume ของ vapor และ liquid

v_f = Specific volume ของของเหลว

f_v = Mass fraction of vapor

จากสมการ (5-91) สามารถหาอนุพันธ์เทียบกับความดันจะได้

$$\frac{dv}{dp} = v_{fg} \frac{df_v}{dp} \quad \dots(5-92)$$

จากสมการ (5.89) ที่ว่า $f_v = \frac{C_p(T_o - T_v)}{\Delta H_v} \quad \dots(5.89)$

สามารถหาอนุพันธ์เทียบกับอุณหภูมิได้

$$\therefore df_v = -\frac{C_p dT}{\Delta H} \quad ; \quad T_v = T \quad \dots(5.93)$$

จาก Clausius – Clapyron equation, at saturation

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H_v}{T \cdot v_{fg}} \quad \dots(5.94)$$

แทน สมการ (5.94) และ (5.93) ใน สมการ (5.92)

$$\text{จาก สมการ (5.93)} \quad \frac{df_v}{dT} = -\frac{C_p}{\Delta H_v} \quad \text{①}$$

$$\text{จาก สมการ (5.94)} \quad \frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H_v}{T \cdot v_{fg}} \quad (2)$$

$$\text{①/②} \quad ; \quad \frac{df_v}{dP} = -\frac{C_p T}{(\Delta H_v)^2} \cdot v_{fg} \quad (3)$$

แทน ③ ใน สมการ (5.92)

$$\frac{dv}{dP} = \frac{(v_{fg})^2}{(\Delta H_v)^2} \cdot C_p T \quad \dots(5-95)$$

แทนสมการ (5-95) ใน (5-90) จะได้ อัตราการไหลโดยมวล (Mass flow rate) เท่ากับ

$$Q_m = \frac{\Delta H_v}{v_{fg}} \cdot A \sqrt{\frac{g_c}{C_p T}} \quad \dots(5-96)$$

การเกิดหยด (Droplets) ของ liquid เล็ก ๆ สามารถเกิด Flashing ลมเป็นตัวในการพัดพาออกจากจุดระเหิด

ตัวอย่าง 5-9 แก๊สโพรพิลีน (Propylene) ถูกบรรจุอยู่ในถังความดัน ซึ่งเท่ากับความดันอิ่มตัว ที่ 25 องศาเซลเซียส มีรูรั่วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร

$$\text{จากสมการ (5-99);} \quad Q_m = \frac{\Delta H_v}{v_{fg}} \cdot A \sqrt{\frac{g_c}{C_p T}}$$

$$\text{โดยที่} \quad \Delta H_v = 3.34 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

$$v_{fg} = 0.042 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$P_{Sat} = 1.15 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$C_p = 2.18 \times 10^3 \text{ J/kg.K}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 7.85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$g_c = 1.0 \text{ kg.m/N.S}^2$$

$$T = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$\therefore Q_m = 0.774 \text{ kg/s}$$

5.7 การเกิดการล้นเนื่องมาจากการระเหยหรือการเดือด (Liquid pool evaporation or Boiling)

การรั่วในลักษณะนี้ใช้โมเดลของ Hanna and Dricas (1987) เป็นแนวทางในลักษณะ vapor cloud dispersion models

$$\text{จาก } Q_m \propto P - P_{Sat}$$

$$Q_m = \frac{MKA(P_{Sat} - P)}{R_g T_L}$$

สำหรับหลาย ๆ สถานการณ์ที่ $P_{Sat} \gg P$ ดังนั้น

$$Q_m = \frac{MKAP_{Sat}}{R_g T_L}$$

โดยที่ Q_m = อัตราการระเหยโดยมวล (Mass evaporation rate)

M = มวลโมเลกุล (Molecular weight)

A = พื้นที่สัมผัสกับของเหลว (Area of exposure)

P_{Sat} = ไออิ่มตัวของของเหลว (The saturation vapor of the liquid)

R_g = ค่าคงที่ของแก๊สในอุดมคติ (Ideal gas constant)

T_L = อุณหภูมิของของเหลว (Temperature of liquid)

โมเดลนี้ต้องเข้าใจว่าการเดือดของของเหลวเกิดทั้งการนำความร้อนจากพื้นที่หกหล่นและบริเวณที่ระเหยไปในอากาศที่อยู่รอบ ๆ การพาความร้อนในจากอากาศ รวมทั้งการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์และความร้อนของสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบ ๆ

สรุปบทที่ 5 บทนี้จะเน้นความเข้าใจในเรื่องการรั่วไหลโดยตั้งสมมติฐานให้เป็นความจริงที่สุด เพื่อที่จะทราบปริมาณที่รั่ว เวลาในการรั่ว จำเป็นที่วิศวกรต้องเข้าใจเพื่อที่จะใช้ในการควบคุมและบรรเทาสถานการณ์หลังเกิดอุบัติเหตุหรือเป็นการดีถ้าเราสามารถทำนายได้นอกจากจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายแล้วยังสร้างภาพพจน์ที่ดีแก่โรงงานอุตสาหกรรมและสภาพจิตใจแก่พนักงานหรือผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบการที่เราดูแลอีกด้วย

แบบฝึกหัด บทที่ 5

- 5-1. A 0.20-in hole develops in a pipeline containing toluene. The pressure in the pipeline at the point of the leak is 100 psig. Determine the leakage rate. The specific gravity of toluene is 0.866.
- 5-2. A 100-ft-long horizontal pipeline transporting benzene develops a leak 43 ft from the high-pressure end. The diameter of the leak is estimated to be 0.1 in. At the time, the upstream pressure in the pipeline is 50 psig and the downstream pressure is 40 psig. Estimate the mass flow rate of benzene through the leak. The specific gravity of benzene is 0.8794.
- 5-3. The TLV-TWA for hydrogen sulfide gas is 10 ppm. Hydrogen sulfide gas is stored in a tank at 100 psig and 80°F. Estimate the diameter of a hole in the tank leading to a local hydrogen sulfide concentration equal to the TLV. The local ventilation rate is 2000 ft³/min and is deemed average. The ambient pressure is 1 atm.
- 5-4. A tank contains pressurized gas. Develop an equation describing the gas pressure as a function of time if the tank develops a leak. Assume choked flow and a constant tank gas temperature of T_w
- 5-5. For incompressible flow in a horizontal pipe of constant diameter and without fittings or valves show that the pressure is a linear function of pipe length. What other assumptions are required for this result? Is this result valid for nonhorizontal pipes? How will the presence of fittings, valves, and other hardware affect this result?
- 5-6. A storage tank is 10 m high. At a particular time the liquid level is 5 m high within the tank. The tank is pressurized with nitrogen to 0.1 bar gauge to prevent a flammable atmosphere within the tank. The liquid in the tank has a density of 490 kg/m³.
- If a 10-mm hole forms 3 m above the ground, what is the initial mass discharge rate of liquid (in kg/s)?
 - Estimate the distance from the tank the stream of liquid will hit the ground. Determine whether this stream will be contained by a 1-m-high dike located 1 m from the tank wall.
- Hint: For a freely falling body the time to reach the ground is given by
- $$t = \sqrt{\frac{2h}{g}},$$
- where t is the time, h is the initial height above the ground, and g is the acceleration due to gravity.
- 5-7. Water is pumped through a 1-in schedule 40 pipe (internal diameter = 1.049 in) at 400 gal/hr. If the pressure at one point in the pipe is 103 psig and a small leak develops 22 ft downstream,

- compute the fluid pressure at the leak. The pipe section is horizontal and without fittings or valves. For water at these conditions the viscosity is 1.0 centipoise and the density is $62.4 \text{ lb}_m/\text{ft}^3$.
- 5-8. If a globe valve is added to the pipe section of Problem 5-7 (Holasut, 2002), compute the pressure assuming that the valve is wide open.
- 5-9. A 31.5% hydrochloric acid solution is pumped from one storage tank to another. The power input to the pump is 2 kW and is 50% efficient. The pipe is plastic PVC pipe with an internal diameter of 50 mm. At a certain time the liquid level in the first tank is 4.1 m above the pipe outlet. Because of an accident, the pipe is severed between the pump and the second tank, at a point 2.1 m below the pipe outlet of the first tank. This point is 27 m in equivalent pipe length from the first tank. Compute the flow rate (in kg/s) from the leak. The viscosity of the solution is $1.8 \times 10^{-3} \text{ kg/m s}$, and the density is $1,600 \text{ kg/m}^3$.
- 5-10. The morning inspection of the tank farm finds a leak in the turpentine tank. The leak is repaired. An investigation finds that the leak was 0.1 in diameter and 7 ft above the tank bottom. Records show that the turpentine level in the tank was 17.3 ft before the leak occurred and 13.0 ft after the leak was repaired. The tank diameter is 15 ft. Determine (a) the total amount of turpentine spilled, (b) the maximum spill rate, and (c) the total time the leak was active. The density of turpentine at these conditions is 55 lb/ft^3 .
- 5-11. Compute the pressure in the pipe at the location shown on **Figure 5-17**. The flow rate through the pipe is 10,000 L/hr. The pipe is commercial steel pipe with an internal diameter of 50 mm. The liquid in the pipe is crude oil with a density of 928 kg/m^3 and a viscosity of 0.004 kg/m s . The tank is vented to the atmosphere.

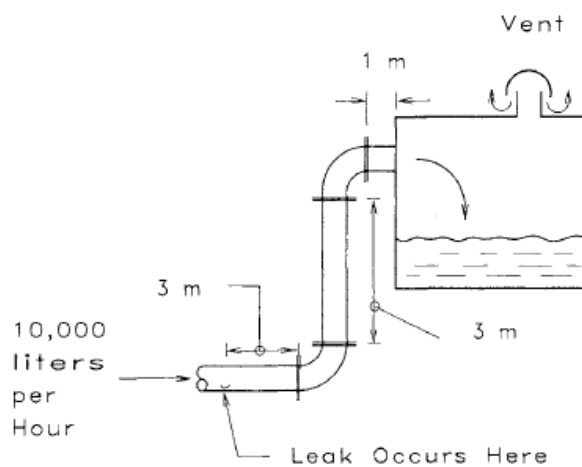


Figure 5-17 Process configuration for Problem 5-11

- 5-12. A tank with a drain pipe is shown in Figure 5-18. The tank contains crude oil, and there is concern that the drain pipe might shear off below the tank, allowing the tank contents to leak out.

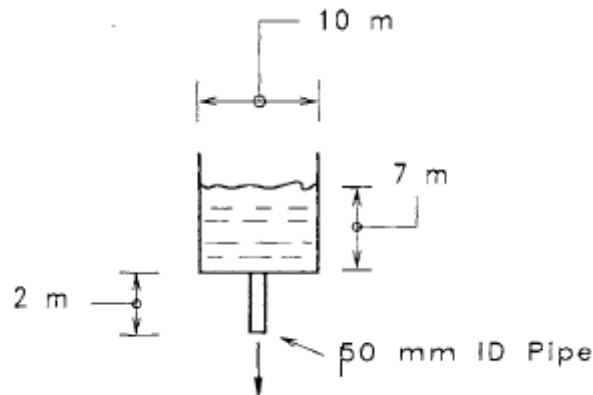


Figure 5-18 Tank draining process for Problem 5-12

- If the drain pipe shears 2 meters below the tank, and the oil level is 7 m at the time, estimate the initial mass flow rate of material out of the drain pipe.
- If the pipe shears off at the tank bottom, leaving a 50-mm hole, estimate the initial mass flow rate.

The crude oil has a density of 928 kg/m^3 and a viscosity of 0.004 kg/m s .

- 5-13. A cylinder in the laboratory contains nitrogen at 2200 psia. If the cylinder falls and the valve is sheared off, estimate the initial mass flow rate of nitrogen from the tank. Assume a hole diameter of 0.5 in. What is the force created by the jet of nitrogen?
- 5-14. A laboratory apparatus uses nitrogen at 250 psig. The nitrogen is supplied from a cylinder, through a regulator, to the apparatus through 15 ft of 0.25-in (internal diameter) drawn copper tubing. If the tubing separates from the apparatus, estimate the flow of nitrogen from the tubing. The nitrogen in the tank is at 75°F .
- 5-15. Steam is supplied to the heating coils of a reactor vessel at 125 psig, saturated. The coils are 0.5-in schedule 80 pipe (internal diameter = 0.546 in). The steam is supplied from a main header through similar pipe with an equivalent length of 53 ft. The heating coils consist of 20 ft of the pipe wound in a coil within the reactor.
- If the heating coil pipe shears accidentally, the reactor vessel will be exposed to the full 125-psig pressure of the steam, exceeding the vessel's pressure rating. As a result, the reactor must be equipped with a relief system to discharge the steam in the event of a coil shear. Compute the maximum mass flow rate of steam from the sheared coils using two approaches:

- a. Assuming the leak in the coil is represented by an orifice.
- b. Assuming adiabatic flow through the pipe.

5-16. A home hot water heater contains 40 gal of water. Because of a failure of the heat control, heat is continuously applied to the water in the tank, increasing the temperature and pressure.

Unfortunately, the relief valve is clogged and the pressure rises past the maximum pressure of the vessel. At 250 psig the tank ruptures. Estimate the quantity of water flashed.

5-17. Calculate the mass flux ($\text{kg/m}^2\text{s}$) for the following tank leaks given that the storage pressure is equal to the vapor pressure at 25°C :

Toxic material	Pressure (Pa)	Heat of vaporization (J/kg)	v_{fg} (m^3/kg)	Heat capacity (J/kg K)
a. Propane	0.95×10^6	3.33×10^5	0.048	2.23×10^3
b. Ammonia	1×10^6	1.17×10^6	0.127	4.49×10^3
c. Methyl chloride	0.56×10^6	3.75×10^5	0.077	1.5×10^3
d. Sulfur dioxide	0.39×10^6	3.56×10^5	0.09	1.36×10^3

5-18. Large storage tanks need a breather vent (technically called a conservation vent) to allow air to move into and out of the tank as a result of temperature and pressure changes and a change in the tank liquid level. Unfortunately, these vents also allow volatile materials to escape, resulting in potential worker exposures.

An expression that can be used to estimate the volatile emission rate in a storage tank resulting from a single change in temperature is given by

$$m = \frac{MP^{\text{sat}}V_o}{R_gT_L} \left(\frac{T_H}{T_L} - 1 \right),$$

where m is the total mass of volatile released, M is the molecular weight of the volatile, P^{sat} is the saturation vapor pressure of the liquid, V_o is the vapor volume of the tank, R is the ideal gas constant, T_L is the initial low absolute temperature, and T_H is the final absolute temperature. A storage tank is 15 m in diameter and 10 m tall. It is currently half full of toluene ($M = 92$, $P^{\text{sat}} = 36.4 \text{ mm Hg}$). If the temperature changes from 4°C to 30°C over a period of 12 hr,

- a. Derive the equation form.
- b. Estimate the rate of emission of toluene (in kg/s).
- c. If a worker is standing near the vent, estimate the concentration (in ppm) of toluene in the air.

Use an average temperature and an effective ventilation rate of $3000 \text{ ft}^3/\text{min}$.

Is the worker overexposed?

- 5-19. A tank 100 ft in diameter and 20 ft tall is filled with crude oil to within 2 ft of the top of the tank. One accident scenario is that a 6-in-diameter line connected to the bottom of the tank might break loose from the tank, allowing crude oil to drain out. If a 30-min emergency response time is required to stop the leak, estimate the maximum amount of crude oil (in gallons) leaked. The tank is vented to the atmosphere, and the specific gravity of crude oil is 0.9.
- 5-20. One accident mitigation procedure is called emergency material transfer, in which the material is transported away from the accident site before it becomes involved. We plan on mitigating a crude oil tank fire scenario by pumping the tank empty in 1 hr total time. The crude oil storage tank is 30 m in diameter, and the crude oil is typically at a level of 9 m. The transfer will be accomplished by pumping the crude oil through a 200-mm (internal diameter) commercial steel pipe to another tank 40 m in diameter and 10 m high. The pipeline represents 50 m of equivalent pipe.
- Estimate the minimum pump size (in HP) required to pump the entire tank empty in 1 hr. Assume a pump efficiency of 80%.
 - If a 100-HP pump (80% efficient) is available, how long will it take to empty the tank?
 - What conclusions can be drawn about the viability of this approach? The density of the crude oil is 928 kg/m^3 with a viscosity of 0.004 kg/m s .
- 5-21. A storage tank contains water contaminated with a small quantity of a soluble hazardous waste material. The tank is 3 m in diameter and 6 m high. At the current time the liquid height is within 1 m of the top of the tank.
- If a 3-cm (internal diameter) feed pipe at the bottom of the tank breaks off, how much liquid (in m³) is spilled if an emergency response procedure requires 30 min to stop the flow?
 - What is the final liquid level (in m)?
 - What is the maximum spill rate of liquid (in kg/s)?
- Assume that the tank is vented.
- 5-22. A 3-cm (internal diameter) pipe has broken off of a 1-ton pig (or tank) of nitrogen. Estimate the maximum mass flow rate (in kg/s) of the gas if the initial pressure in the tank is 800 kPa gauge. The temperature is 25°C, and the ambient pressure is 1 atm.
- 5-23. A storage tank is vented to the atmosphere. If a hole develops in the tank, the liquid level h , is given by the following differential equation:

$$\frac{dh_L}{dt} = -\frac{C_o A}{A_t} \sqrt{2gh_L},$$

where h_L is the liquid level height above the leak, C_o is the constant discharge coefficient ($= 0.61$), A is the cross-sectional area of the leak, A_t is the cross-sectional area of the tank, and g is the acceleration due to gravity.

- Integrate the equation to determine an expression for the liquid level height as a function of time. Assume an initial liquid level above the leak of h_L^o ,
- What is the driving force that pushes the water out of the hole in the tank?
- If the cross-sectional area of the tank is increased, does the liquid level change faster, slower, or the same?
- If the liquid level is increased, does the liquid level change faster, slower, or the same?
- A cylindrical tank 10 ft high and 20 ft in diameter is used to store water. The liquid level in the tank is initially at 7 ft. If a 1-in puncture occurs 2 ft off the bottom of the tank, how long will it take for the water to drain down to the leak? What is the total amount of liquid (in gallons) discharged?
- What would be the significance of the leak if the liquid were flammable? toxic?

5-24. Use a mechanical energy balance to show that the pump work required to pump a liquid through a pipe from one tank to another is given by

$$W_s = -\frac{2fL\dot{m}^3}{g_c d \rho^2 A^2} = -\frac{32fL\dot{m}^3}{\pi^2 g_c d^5 \rho^2},$$

where W , is the work input to the pump, f is the Fanning friction factor, L is the length of the pipe, $\dot{m}$ is the mass flow rate, d is the diameter of the pipe, ρ is the density of the liquid, and A is the cross-sectional area of the pipe. Be sure to list clearly your assumptions!

5-25. In **Example 5-6** (Holasut, 2002) the maximum flow through the nitrogen line was determined in order to size the relief device. An important concept in process safety is *inherent* safety. This means that the process is designed in such a fashion as to prevent hazards from resulting in an accident. Suppose that the reactor of **Example 5-6** is equipped with a relief device capable of relieving nitrogen from the reactor vessel at the rate of 0.5 lb_m/s. This is not enough to prevent overpressuring of the reactor in the event of a regulator failure. One inherently safer design method is to install an orifice in the nitrogen supply line to limit the flow of nitrogen.

- Calculate the orifice diameter required to reduce the flow from the nitrogen line to 0.5 lb_m/s.
- What new safety or operational problems might arise as a result of installing the orifice?

5-26. A 10-m-diameter round tank sits on the ground within a 20-m-square diked area. The tank contains a hazardous material dissolved in mostly water. The tank is vented to the atmosphere. A leak occurred in the tank because a 0.1-m-diameter pipe located 1 m above the bottom of the tank was accidentally disconnected. By the time the liquid flow was stopped, the liquid level in the diked area had reached a height of 0.79 m.

- Estimate the total amount of liquid spilled (in m^3 and in kg).
- If the liquid level in the tank at the end of the spill was 8.5 m above the tank bottom, estimate the length of time for the leak.
- What was the original liquid level in the tank?

5-27.

- Show that for any pump the maximum liquid discharge velocity is given by

$$u = \sqrt[3]{-\frac{2g_c W_s}{\rho A}},$$

where u is the maximum liquid discharge velocity, W_s is the pump shaft work, ρ is the density of the liquid, and A is the pump outlet discharge area. Make sure you list your assumptions in your solution.

- A 1-kW pump discharges water through a 50-mm (internal diameter) pump outlet. What is the maximum velocity of the liquid from this pump? What is the maximum discharge rate (in kg/s)?

5-28. Consider an oil well drilled to a depth of 1000 ft and connected to the surface with 5-in (internal diameter) commercial steel pipe. If the pressure in the well reservoir is a constant 500 psig, what is the expected flow rate of liquid oil (in barrels per day) at the surface if the surface pipe is open to the atmosphere? Assume 1000 ft of equivalent pipe and no gas flow with the oil. The specific gravity of the oil is 0.93, and its viscosity is 0.4 centipoise. Make sure that you clearly state and justify any assumptions! Remember, an oil barrel is 42 gal.

5-29. Pumps can be blocked in by closing valves on the inlet and outlet sides of the pump. This can lead to a rapid increase in the temperature of the liquid blocked inside the pump. A pump contains 4 kg of water. If the pump is rated at 1 HP, what is the maximum temperature increase expected in the water in $^{\circ}\text{C/hr}$? Assume a constant heat capacity for the water of 1 kcal/kg $^{\circ}\text{C}$. What will happen if the pump continues to operate?

5-30. Calculate the number of liters per year of liquid that can be transported through the following pipe sizes, assuming a constant liquid velocity of 1 m/s:

- a. 3 cm internal diameter.
- b. 5 cm internal diameter.
- c. 25 cm internal diameter.
- d. 50 cm internal diameter.

Comment on the magnitude of the result and the necessity for large pipe sizes in a chemical plant.

5-31. Calculate the number of kilograms per year of ideal gas that can be transported through the following pipe sizes, assuming a gas velocity of 3 m/s, a pressure of 689 kPa gauge, a temperature of 25°C, and a molecular weight of 44:

- a. 3 cm internal diameter.
- b. 5 cm internal diameter.
- c. 25 cm internal diameter.
- d. 50 cm internal diameter.

Comment on the magnitude of the result and the necessity for large pipe sizes in a chemical plant.

5-32. The strip chart in **Figure 5-19** displays the history of a leak in a storage tank. No other pumping or filling operations occur during this time. The tank is 10 m high and 10 m in diameter, and it contains a liquid with a specific gravity of 0.9.

- a. When did the leak start, and about how long did it last?
- b. At what height is the leak?
- c. What is the total quantity (in kg) leaked?
- d. Estimate the maximum discharge rate of the fluid (in kg/s).
- e. Estimate the leak hole diameter (in cm).

5-33. A storage vessel containing carbon tetrachloride (CCl_4) is contained within a diked area with dimensions of 10 m x 10 m. The storage tank is in a horizontal bullet configuration with legs to raise the vessel well above the dike floor. The temperature of the liquid is 35°C, and the ambient pressure is 1 atm. The atomic weight of chlorine is 35.4.

- a. What spill rate (in kg/s) from the storage vessel is required to completely fill the floor of the dike with liquid?
- b. If one of the accident scenarios for this vessel results in a leak with a discharge rate of 1 kg/s, estimate the CCl_4 vapor concentration near the vessel (in ppm), assuming an effective ventilation rate for the outdoors of 3000 ft³/min.

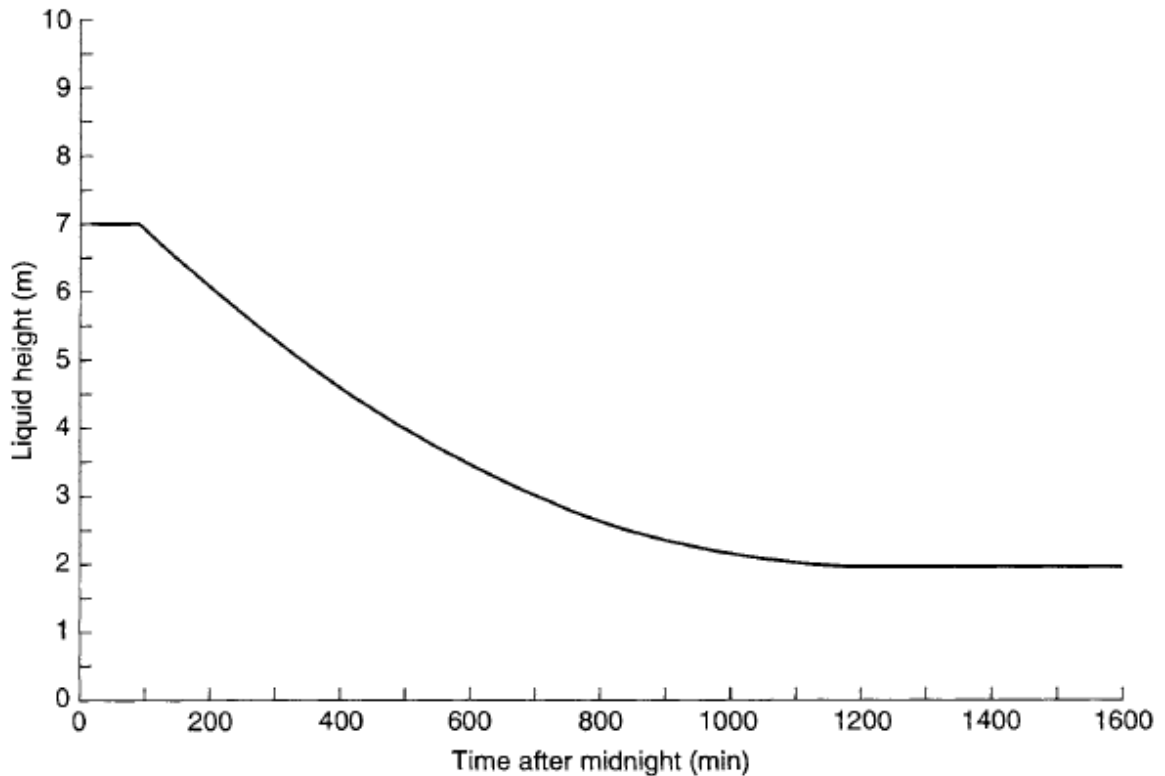


Figure 5-19 Strip chart data for Problem 5-32

- 5-34. Show that for a spherical storage vessel containing liquid at an initial height h , the time for the liquid to drain from a hole in the bottom of the sphere is given by

$$t = \frac{\sqrt{2}\pi(h_0)^{3/2}\left(D - \frac{3}{5}h_0\right)}{3AC_0\sqrt{g}},$$

where D is the inside diameter of the sphere, A is the area of the hole, C_0 , is the discharge coefficient, and g is the acceleration due to gravity.

- 5-35. Estimate the vaporization rate resulting from heating from the ground at 10 s after the instantaneous spill of 1,500 m³ of liquefied natural gas (LNG) into a rectangular concrete dike of dimensions 7 m by 10 m. You will need the following data:

Thermal diffusivity of soil: $4.16 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

Thermal conductivity of soil: 0.92 W/m K

Temperature of liquid pool: 109 K

Temperature of soil: 293 K

Heat of vaporization of pool: 498 kJ/kg at 109 K

บทที่ 6

การรั่วไหลของสารพิษและแบบจำลองการแพร่ออกสู่บรรยากาศ

จากบทที่ 5 เราได้ทราบแล้วว่าสารเคมีที่เป็นพิษต่าง ๆ ถูกปล่อยออกมา (Toxic release and dispersion) ในรูปแบบต่าง ๆ จากภาชนะรับความดันที่มีการควบคุมโดยใช้ระบบความปลอดภัย การปล่อยสารออกมานั้นถ้ามีสารมีในปริมาณไม่มากจะถูกปล่อยออกอาจจะมีผลกระทบไม่มากที่จะทำให้เกิดอันตราย แต่ถ้าการปล่อยมาก ๆ เป็นลักษณะการกระจายในรูปแบบต่าง ๆ เช่น พลุ หรือ พัดพาจะทำให้เกิดผลกระทบของสารหรือสารพิษที่อาจจะปกคลุมในโรงงาน หรือในเขตชุมชน สามารถแยกเหตุการณ์ออกเป็น 4 แบบ

- การเกิดระเบิดของภาชนะรับความดันอันเนื่องมาจากปฏิกิริยา
- ท่อสารพิษแตกที่ความดันสูง
- การแตกของถังบรรจุสารพิษที่ถูกอัดด้วยความดันสูง
- การเกิดอุบัติเหตุของรถขนถ่ายน้ำมัน อาจจะเป็นรถบรรทุกหรือรถไฟ

ขอยกตัวอย่างการเกิดอุบัติเหตุที่ร้ายแรง (Catastrophe) จากเหตุการณ์ที่สะเทือนขวัญทั่วโลก เหตุการณ์หนึ่งคือบริษัท ยูเนียน คาร์บาย (Union Carbide) ซึ่งเป็นของสหรัฐอเมริกา มาตั้งโรงงานผลิตเมทิลไอโซยาเนท (MIE; Methyl Isocyanate) ในเมืองโบพาล ประเทศอินเดีย จน ปี ค.ศ.1984 ได้เกิดความผิดปกติจากปฏิกิริยาเคมีในถังเก็บ MIE ทำให้ความดันสูง จนภาชนะรับความดันไม่สามารถต้านทานได้ จึงแตก และเกิดการรั่วไหล ทำให้คนอินเดียที่อาศัยบริเวณใกล้เคียงเสียชีวิตกว่า 2,500 คน บาดเจ็บกว่า 10,000 คน แต่ก็มี การฟ้องร้อง ต่อเนื่องกันมาจนถึงปัจจุบัน และไม่สามารถเอาผิดได้ เนื่องจากสมัยนั้นยังไม่มีกฎหมายที่สามารถ ฟ้องร้องค่าเสียหายจากการตั้งโรงงานอุตสาหกรรมของคนต่างชาติ ทำให้เรามีบทเรียนในการที่จะควบคุมอย่าง เคร่งครัดในปัจจุบัน ยังมีอีกหลายเหตุการณ์ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากหลายสาเหตุของการละเลยในเรื่องความปลอดภัย

วิศวกรที่เกี่ยวข้องกับการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมเคมีจำเป็นจะต้องเข้าใจหลาย ๆ มุมมอง การ สร้างระบบความปลอดภัยที่ดีจะต้องมองเห็นปัญหาต่าง ๆ ก่อนที่จะเกิดขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเข้าใจ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้น

การออกแบบแบบจำลองของการปล่อยสารพิษ สามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) ระบุสถานการณ์ที่เกิดการรั่วไหล (Identify the incident) ควรจะรู้ว่าการปลดปล่อย (Release) ต่าง ๆ ควรจะใช้ในกระบวนการอะไร และบอกได้ว่าสถานการณ์ไหนที่เลวร้ายที่สุดในแง่ความปลอดภัย
- 2) สร้างโมเดลที่สามารถอธิบายการปลดปล่อยของสารและอัตราการไหลออก
- 3) ประเมินค่าความเข้มข้นของสารที่กระจายสู่พื้นที่ใกล้เคียง (Downwind concentration) โดยใช้แบบจำลองการแพร่กระจาย (Dispersion model)

นั่นคือหลักสำคัญในการออกแบบหรือการใช้แบบจำลองของการรั่วไหล (Release model) ซึ่ง จุดประสงค์ง่าย ๆ คือป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วไหลออกไปสู่ชุมชนหรือเมื่อมีการเกิดขึ้นแล้วสามารถทำนายได้ว่ามี การรั่วไหลไปที่ไหน มีความเข้มข้นเท่าไรของสารและพร้อมที่จะมีการป้องกันซึ่งจะป้องกันอย่างไรจะเป็นเรื่อง ยากมากกว่าที่จะพยายามควบคุมตั้งแต่ต้นตอ

การป้องกันการรั่วไหลของสารเคมีที่เป็นพิษ (Toxic release model) อาจทำได้หลาย ๆ ทาง เช่น การใช้สัญญาณเตือนภัย การปรับปรุงงานทางวิศวกรรมในการป้องกันเหตุการณ์ที่เป็นต้นเหตุของการรั่วไหล, การควบคุมโอกาสของแหล่งที่จะเกิดการรั่วไหล มีการติดตั้งสครับเบอร์ (Vent scrubber) หรือ เครื่องกำจัดไอ-สาร (Scrubber) เพื่อกำจัดสารก่อนกระจายสู่อากาศ การลดการใช้สารที่เป็นอันตราย (Hazardous material) หรือการลดปริมาณการใช้สารที่เป็นพิษ (ดังที่เราทราบมาแล้วในบทที่ 4 ส่วนของสุทธศาสตร์อุตสาหกรรม) การเพิ่มพื้นที่ในการควบคุม และจัดหาอุปกรณ์ความปลอดภัยไม่ทำให้เกิดอันตรายของการล้น (Spill) หรือการรั่ว (Leak) และการควบคุมและป้องกันต่าง ๆ นอกเหนือจากที่ยกตัวอย่างมานี้ อาจจะกระทำได้โดยการออกกฎหมายควบคุมซึ่งในประเทศไทยอาจจะยังไม่เคร่งครัดเท่ากับต่างประเทศ เนื่องจากประชาชนของประเทศที่พัฒนาแล้วสามารถฟ้องและเอาผิดกับโรงงานหรือสถานประกอบการได้ถึงแม้ว่าเหตุการณ์เกิดอยู่ประเทศหนึ่งแล้วมีผลตกไปสู่ประเทศหนึ่ง และโรงงานสามารถตรวจสอบได้และพร้อมที่จะปรับปรุงแก้ไขอยู่ตลอดเวลา การศึกษาในบทนี้เป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อเป็นเครื่องมือในการหาอันตรายที่ยอมรับได้หรือยอมรับไม่ได้ของระบบ ถ้ายอมรับไม่ได้จำเป็นต้องมีการทำให้บรรเทาเบาบางลง (Mitigation) หรือจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงในบางส่วนเพื่อลดอันตราย อย่างไรก็ตามจะขอเริ่มในเรื่องหลักการด้านพื้นฐานของการออกแบบก่อน

6.1 พื้นฐานในการออกแบบ (Design basis)

ก่อนอื่นถ้าเราจะออกแบบการรั่วไหลของสารพิษ เราต้องทำอะไรก่อนเพราะสถานการณ์ต่าง ๆ ในโรงงานอาจจะมีทั้งเหตุการณ์เล็ก ๆ น้อย ๆ จนถึงเหตุการณ์ที่รุนแรงและเสียหายมาก เช่น เหตุการณ์การแตกของท่อ หรือเป็นรูกะแทกของถังภาชนะเก็บความดัน การซึมลงพื้นดิน (Ground spills) และอื่น ๆ ที่อาจจะเป็นภัยพิบัติที่รุนแรง (Catastrophe) เช่น การแตกของท่อขนาดใหญ่ (Large bore pipe) การแตกระเบิดของถังปฏิกริยาเคมี เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้แบ่งการเกิดการรั่วไหล (Release) เป็น 2 กรณีคือ การเกิดแบบเกิดขึ้นได้ทั่วไปที่เรียกว่า (Practicable release) และการเกิดแบบแฝงซึ่งการเกิดมีโอกาสที่จะเกิดได้ตลอดเวลา (Potential release)

ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างของการเกิด Release 2 แบบคือ Practicable และ Potential release

เกิดการรั่วขนาดใหญ่ซึ่งเกิดได้ทั่วไปในขณะปฏิบัติงาน Largest practicable release	เกิดการรั่วที่มีศักยภาพที่มีผลกระทบรุนแรง Largest potential release
1) การแตกของท่อขนาดไม่เกิน 1 นิ้ว 2) การหลุดของประเก็นที่ Flange เนื่องจากแรงดัน 3) เกิดความผิดพลาดที่รอยต่อของท่อ $\frac{3}{4}$ นิ้ว บนถังทรงกระบอกขนาดบรรจุได้ 1 ton 4) การปลดปล่อย (Release) ที่มีขีดจำกัดของเวลา (ปกติไม่เกิน 15 นาที) ในการควบคุมสถานการณ์	1) การแตกของท่อส่งผ่านของเหลว 2-3 นิ้ว 2) รถบรรทุกแก๊ส/ของเหลว แตกในถนน High way (เกิดรั่วประมาณ 3-4 นิ้ว) 3) การทะลักออกของสารในขณะเดิมสาร เกิดได้ใน ทุกส่วนของอุปกรณ์ที่ติดอยู่กับภาชนะ

การออกแบบที่ดีนั้นต้องมีความชำนาญ ประสบการณ์ และความเข้าใจกระบวนการ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป เรื่องการมองเห็นอันตราย ระบุอันตรายที่จะเกิดขึ้นหรือเรียกว่าการบ่งชี้อันตราย (Hazard identification)

สรุปว่าความชำนาญ ประสบการณ์ และความเข้าใจในกระบวนการสำหรับวิศวกรเคมีใหม่นั้นยังอาจจะต้องใช้เวลาอย่างน้อยที่สุดเราควรจะทราบจากพื้นฐาน 3 ข้อคือ อะไรที่เคยผิดพลาดมาแล้วในอดีต อันนี้ขึ้นกับข้อมูลและประสบการณ์ เข้าใจสถานะของสาร เป็นอะไร ของแข็ง ของเหลว หรือแก๊สซึ่งมีการเกิดลักษณะต่างกัน และเข้าใจกลไกของการรั่วไหลอาจจะเป็นการแตกรูปแบบต่าง ๆ เช่นท่อแตก (Rupture pipe) การเกิดรอยรั่วในภาชนะรับความดัน (Hole in storage vessel) และอื่น ๆ ลองมาดูตัวอย่างที่ 6-1 และลองมาตัดสินใจสถานการณ์ที่เกิดขึ้น

ตัวอย่าง 6-1 คลอรีนถูกใช้สำหรับฆ่าเชื้อในสระว่ายน้ำด้วยคลอรีนที่ถูกบรรจุไว้ในขวดปริมาณ 100 ปอนด์ ขณะป้อนคลอรีนเข้าสู่ขวดด้วยท่อขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว ในถังคลอรีนจะมีอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Relief valve) เพื่อป้องกันการแตกของถัง คลอรีนเมื่อถูกถ่ายลงในขวดที่ความดันต่ำกว่าความดันในถังจึงเกิดการเดือด จงหาเหตุการณ์ (Scenario) ที่คลอรีนสามารถรั่วไหลไปที่จุดใดได้บ้าง

Scenario 1) อาจเกิดการแตกของขวดเนื่องจากความดันสูงรวมไปถึงการเกิดการกระจายและการเดือดของของไหล (Flashing) ทันทีที่มันโดนทั้งเป็นไอและของเหลวเดือดอยู่บนพื้นดิน

Scenario 2) ที่ถังเกิดรูเนื่องจากการกระแทกทั้งที่อาจจะเกิดทั้งการกระแทกเชิงกลหรือการรั่วโดยทางเคมี เช่นเกิดการกัดกร่อน ผลคือทำให้คลอรีนพุ่งออกมาเป็นลำทั้งรูปแบบของของเหลวและแก๊ส กองกันเป็นหลุมเป็นบ่อพร้อมที่จะเกิดการเดือดได้ตลอดเวลา

Scenario 3) การเกิดความผิดพลาดของอุปกรณ์ควบคุมความดัน Relief valve ทำให้เกิดการพุ่งเป็นลำเกิด การเดือดของสารเคมี {Pool of boiling}

Scenario 4) เกิดความผิดพลาดของท่อที่ส่ง (Feed line) ที่ส่งไปให้ plant เกิดความผิดพลาดเกิดการเดือดของสารเคมี

Scenario 5) เกิดไฟไหม้ทำให้ถังคลอรีนร้อนแล้วความร้อนทำลายวาล์วนิรภัยทำให้เปิดออกไม่ได้มีผลต่อวาล์วควบคุมความดันในถังทำให้เปิดตลอดเวลา

Scenario 6) เกิดไฟไหม้ทำให้ถังคลอรีนร้อนขึ้น ในขณะที่วาล์วนิรภัยเกิดปิดอยู่ตลอดเวลาผลคือความดันในถังคลอรีนสูงขึ้นจนทำให้ถังคลอรีนแตกเกิดการเดือดล้นจนเกิดระเบิดได้

จากเหตุการณ์ทั้ง 6 เหตุการณ์ถ้าให้แยกว่าอันไหนเป็นการรั่วไหลในลักษณะ Practicable release และ ในลักษณะ Potential release สามารถแยกได้ดังนี้คือ Scenario 2,3,4 เป็นเหตุการณ์ที่เกิดอันตรายได้ขึ้นอยู่กับการปลดปล่อยสารซึ่งเป็นการคำนวณในบทที่ 5 ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแบบจำลองที่ใช้ ดังนั้น Scenario 2,3,4 จึงเป็น Practicable release ส่วน Scenario 1 และ 5 เป็นเหตุการณ์ที่สามารถป้องกันได้โดยใช้อุปกรณ์ความปลอดภัย เนื่องจากยังมีปริมาณน้อย และสามารถควบคุมได้ในขณะนั้น ส่วน Scenario 6 จะเป็น Potential release ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่ร้ายแรงมากอาจจะต้องทำการควบคุมอย่างรวดเร็ว

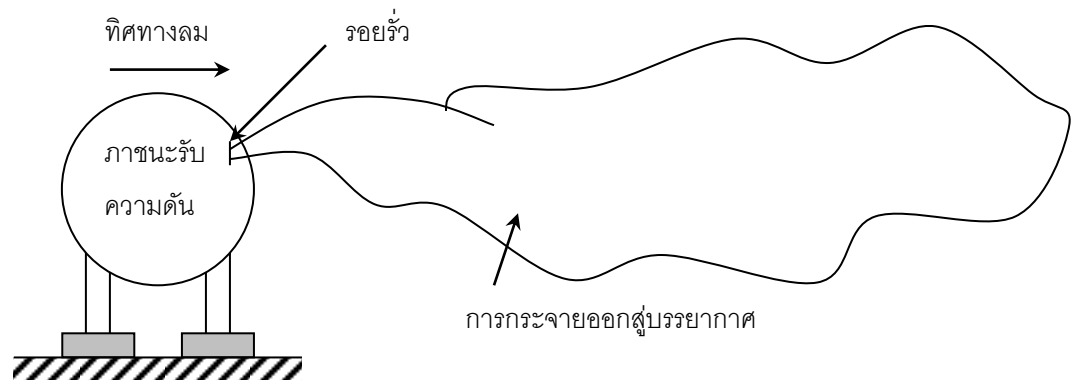
ตอนนี้เราพอจะเข้าใจแล้วว่าการเลือกเหตุการณ์ (Scenario) เพื่อนำมาออกแบบเพื่อความปลอดภัย

6.2 โมเดลการรั่วไหลจากแหล่งกำเนิด (Source Models)

เราต้องการหาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อวัตถุประสงค์ คืออัตราการรั่วไหล และปริมาณทั้งหมดของสารที่รั่วไหลออกในรูปแบบต่าง ๆ อาจจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ในส่วนของแบบจำลอง (Source Models) นี้จะเป็นการโยงจากบทที่ 5 แต่จะเป็นแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยปริมาณที่มาก ๆ ทั้งแบบต่อเนื่อง (Continuous) และแบบเป็นช่วงครั้งชั่วคราว (Temporally release) จึงจำเป็นที่เราต้องพิจารณาแบบจำลองการแพร่กระจาย (Dispersion Model) เนื่องจากมีการปลดปล่อยและมีการกระจายตัวเนื่องจากการพัดพาควบคู่กันไป ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างและขนาดของการปลดปล่อยดังที่จะกล่าวต่อไป

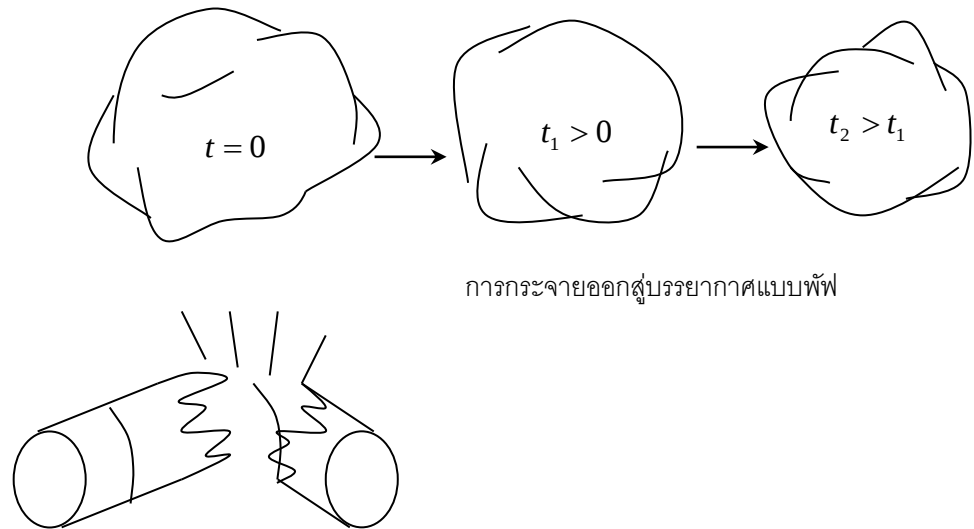
6.3 โมเดลการแพร่ออกไปสู่บรรยากาศ (Dispersion Models)

การเกิดการรั่วไหลของสารพิษที่กระจายอยู่บนอากาศ (Airborne transportation) จะเริ่มจากแหล่งกำเนิดหรือต้นตอของการเกิดการรั่วไหลของสารพิษไปผสมกับอากาศจนเกิดการกระจายตัว (Dispersion) ไปในสถานที่ต่าง ๆ ทั้งในโรงงานและนอกโรงงานหรือชุมชนต่าง ๆ รูปแบบของการกระจายจะถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบ แบบแรกคือแบบพวย (Plume) ซึ่งเป็นการปลดปล่อยอย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 6.1 และแบบที่สองคือแบบพัฟ (Puffs) ซึ่งเป็นการปลดปล่อยแบบเป็นครั้งคราวทันทีทันใด (Instantaneous release) ดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.1 ลักษณะการรั่วไหลแบบพวย (Plume) หรือแบบต่อเนื่อง

จากรูปที่ 6.1 เป็นการกระจายแบบต่อเนื่องหรือ พวย จะเห็นว่าการกระจายเริ่มจากจุดเริ่มต้นนั้นจะมีเข้มข้นสูงและเบาบางลงไปตามกระแสลมที่พัดพา ในทำนองเดียวกันการกระจายตัวในรูปที่ 6.2 เป็นการกระจายตัวแบบก้อนหรือ พัฟ ซึ่งเคลื่อนที่ออกไปหรืออาจจะเป็นแบบต่อเนื่องหากมีหลาย ๆ ก้อนในช่วงเวลาการพ่นออกที่สม่ำเสมอ จะเห็นว่าไม่ว่าจะเกิดแบบไหนความเข้มข้นที่การกระจายตัวจึงจำเป็นที่จะต้องรู้และเข้าใจปัจจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งมีอยู่ 5 อย่างหลัก ๆ คือความเร็วลม (Wind speed) ความเสถียรภาพของอากาศ (Stability of atmosphere) สภาวะภาคพื้นดิน (Ground condition) ความสูงของปล่องปลดปล่อย (Height of the releasing) และโมเมนตัม (Momentum buoyancy) หรือแรงลอยตัวของอากาศ) ซึ่งจะแสดงรายละเอียดต่อไป



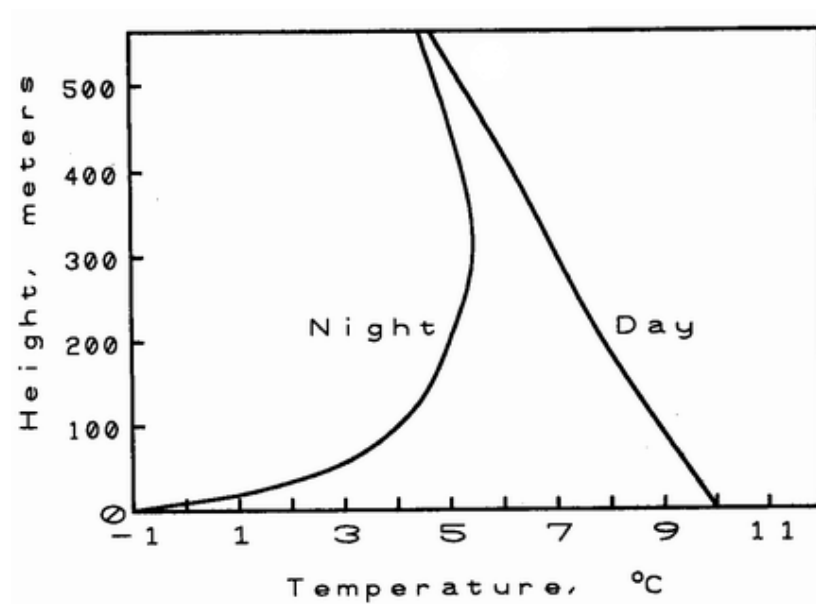
การกระจายออกสู่บรรยากาศแบบพัฟ

รูปที่ 6.2 ลักษณะการรั่วไหลแบบพัฟ (Puff) หรือแบบไม่ต่อเนื่องทันทีทันใด (Instantaneously)

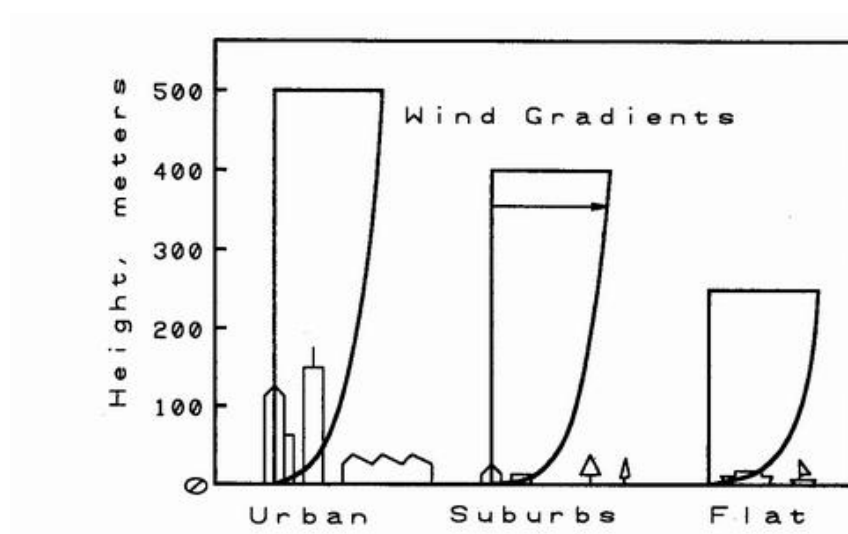
ปัจจัยของการเคลื่อนตัวของพุ่ม และพัฟ

- 1) **ความเร็วลม (Wind speed)** สำหรับความเร็วลมสูง ๆ จะช่วยเปลี่ยนแปลงลักษณะของพุ่ม (Plume) ให้มีความยาวและแคบมากขึ้นถ้าความเร็วลมสูงขึ้น เนื่องจากลมเป็นสาเหตุของการเจือจางของสารให้เร็วขึ้น ดังรูปที่ 6.1
- 2) **ความเสถียรภาพของบรรยากาศ (Atmospheric stability)** จะขึ้นกับการผสมของอากาศในแนวตั้ง (Vertical mixing) ดังรูปที่ 6.3 ขึ้นอยู่กับสภาวะของอากาศเช่นในช่วงกลางวัน จะมีอุณหภูมิที่ความสูงที่สูงขึ้น ตรงข้ามกับกลางคืน (ที่ความสูงระดับหนึ่งก็จะมีอุณหภูมิเริ่มคงที่และอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงที่ความสูงมากขึ้น) เนื่องจากอุณหภูมิที่ภาคพื้นดินตอนกลางคืนจะเย็น เนื่องจากเกิดการคลายความร้อนของภาคพื้นดินหลังจากที่เก็บความร้อนเอาไว้ในตอนกลางวัน แต่บางครั้งหากมีสภาพอากาศที่ไม่ปกติเช่นฝนตกหรือมีพายุอาจจะมีเปลี่ยนแปลงของความสัมพันธ์
- 3) **ลักษณะของสภาวะภาคพื้นดิน (Ground condition)** จะทำให้เกิดการผสมของอากาศต่าง ๆ กัน เช่นอาจจะเป็นในเมืองที่มีตึกสูงติด ๆ กัน เป็นน้ำหรือ เป็นพื้นที่ป่าหรือมีต้นไม้ เป็นต้น เช่น ถ้าที่สภาวะพื้นดินเป็นป่าที่มีต้นไม้ทึบหรือในเมืองที่มีตึกสูงติด ๆ กัน จะช่วยเพิ่มการผสมเสมือนกับเป็นตัวช่วยในการผสม (Baffle) ที่ติดอยู่ในถังกวน แต่ถ้าพื้นดินที่มีแต่ทุ่งหญ้า แม่น้ำ หรือหิมะที่โล่ง ๆ ก็จะทำให้เกิดการพัดผ่านไปอย่างรวดเร็ว การผสมก็จะเกิดขึ้นน้อย ดังรูปที่ 6.4 แสดงลักษณะ Vertical gradient

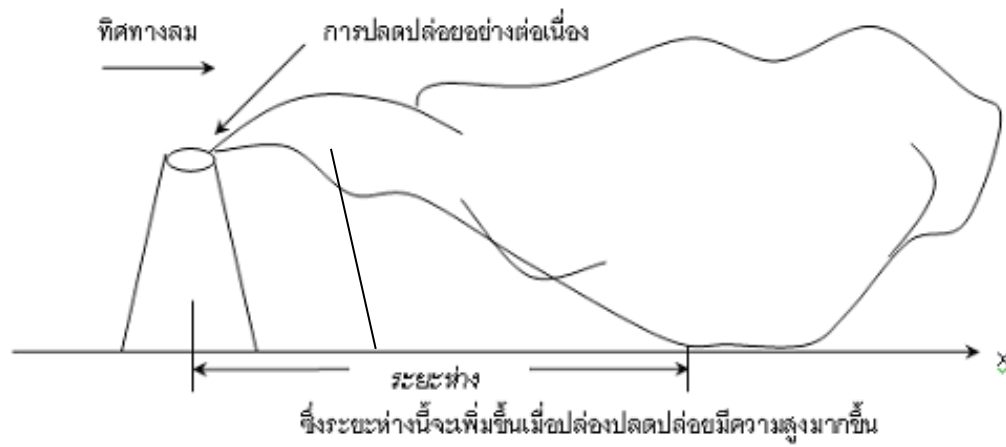
- 4) **ความสูงของจุดเริ่มต้น** ที่เริ่มมีการปลดปล่อยเหนือจากระดับพื้นดินซึ่งการเพิ่มความสูงของการปลดปล่อยทำให้เกิดความปลอดภัยมากขึ้นหรือการลดความเข้มข้นของสารพิษที่ระดับพื้นดินซึ่งอาจเกิดอันตรายให้กับผู้คนอาศัยอยู่ได้ ดังรูปที่ 6.5 เนื่องจากที่ระดับความสูงมาก ๆ จะมีผลต่อการกระจายถึงพื้นดินจะมีระยะห่างมากขึ้น หรือโอกาสน้อยที่สารที่ร่วออกมาจะกระจายลงบนพื้น เนื่องจากสารพิษจะถูกเจือจางในอากาศตอนบนจนความเข้มข้นต่ำลง ในแง่ความปลอดภัยแล้วการต่อ Stack สูง ๆ จะดีกว่าการใช้ Stack ต่ำ ๆ แต่อย่างไรก็ตามการลงทุนจะสูงตามไปด้วย
- 5) **โมเมนต์และแรงลอยตัว** (Buoyancy) ของสาร ณ จุดเริ่มต้นที่จะถูกปลดปล่อยซึ่งเป็นแรงส่งในการปลดปล่อยดังรูปที่ 6.6



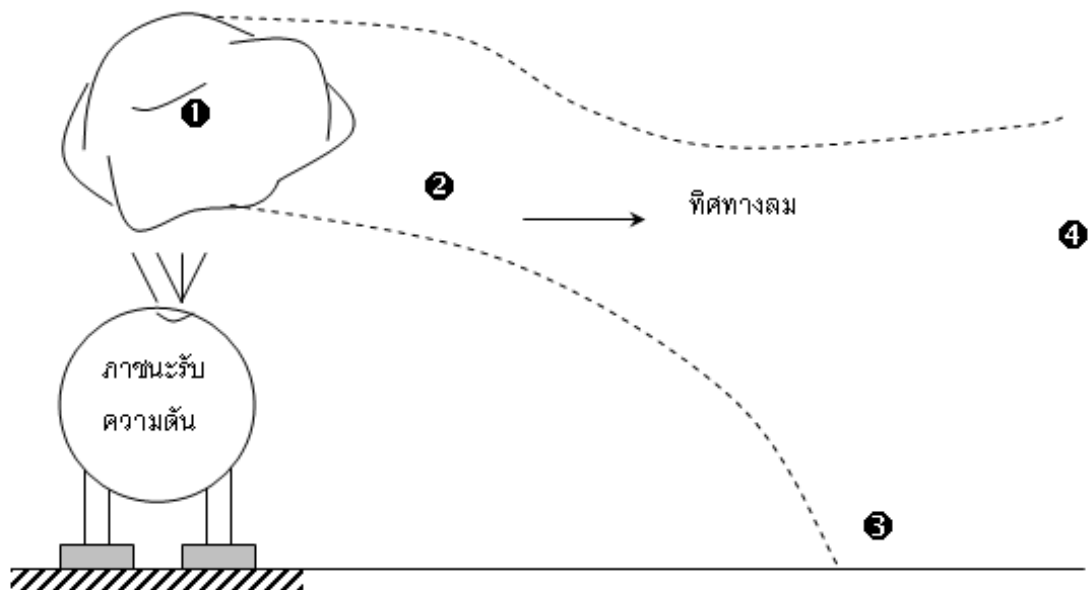
รูปที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและอุณหภูมิในตอนกลางคืนและกลางวัน (Crowl and Louvar, 1999)



รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและลักษณะสภาพภาคพื้นดิน (Crowl and Louvar, 1999)



รูปที่ 6.5 การเพิ่มความสูงของปล่องปลดปล่อยเพื่อความปลอดภัยต่อผู้คนในการได้รับสารพิษที่ระดับพื้นดิน



- ① = Initial acceleration and dilution
- ② = Dominance of internal buoyancy
- ③ = Transition from dominance of internal
- ④ = Dominance of ambient turbulence

รูปที่ 6.6 การเกิดการพุ่งออกด้วยความเร่งในตอนเริ่มต้นการเกิดการรั่วไหลจากภาชนะรับความดัน
(Crowl and Louvar, 1999)

มาทำความเข้าใจเกี่ยวกับ Models ซึ่งมี 2 แบบหลัก ๆ ที่ใช้ คือ พลุ และ พัฟ

Plume Model - อธิบาย Steady state concentration ของสารซึ่งถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 6.1

Puff Model - อธิบาย Temporal concentration ของสารซึ่งถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดเป็น Single release (ไม่ต่อเนื่อง) ดังรูปที่ 6.2

จริง ๆ แล้ว แบบจำลองแบบพัฟสามารถใช้กับแบบจำลองแบบพลุ ได้รายละเอียดในการศึกษาเฉพาะกรณี (Case study) ต่าง ๆ อย่างไรก็ดีตามข้ออธิบายถึงความเข้าใจพื้นฐานในการสร้างโมเดลซึ่งมีอยู่ 10 โมเดลซึ่ง ต้องเข้าใจว่าโมเดลแต่ละโมเดลถูกสร้างมาด้วยความยากลำบากทั้งการวิเคราะห์ (Analytical) และผลวิเคราะห์จากการทดลอง (Empirical) กว่าจะได้มาแต่ละสมการ ในหนังสือนี้จึงกล่าวในเรื่องรายละเอียดที่มา แต่ขอให้ผู้อ่านเข้าใจว่า เรา กำลังจะทำอะไร หากจะหยิบเอา Model ไปใช้อย่างน้อยต้องรู้ว่าเราเริ่มต้นด้วยความเข้าใจเรื่องอะไร จึงขอกล่าวถึงที่มาของสมการหลักหรือสมการ (6.9) ว่ามาได้อย่างไรตามความเข้าใจของผู้เขียน

ขอเริ่มต้นที่สมการ (6.1) หรือ Advection ซึ่งมีความสัมพันธ์ของความเข้มข้นต่อเวลาด้วยความเร็วและความเข้มข้นต่อระยะทางที่สภาวะคงตัวและสมมติฐานที่ว่าไม่มีปฏิกิริยาหรือการแบ่งโมเลกุล (Molecular diffusion) จะได้

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (u_j C) = 0 \quad \dots(6.1)$$

โดยที่ u_j = ความเร็วของกระแสลม

x_j = ทิศทางในแนวแกน x y และ z หรือที่จุดรวม (x, y, z)

C = ความเข้มข้นของสารที่ปลดปล่อยออกมาสู่บรรยากาศ

สมการ (6.1) มีเงื่อนไขว่า ความเร็ว u_j นั้นต้องทราบที่เวลานั้น ๆ ตำแหน่งนั้น ๆ และต้องเป็นการผสมของสารพิษในอากาศแบบปั่นป่วน (Turbulence) หรือ ความเข้มข้นของการผสมของสารพิษในอากาศเท่ากันหรือสม่ำเสมอตลอดแนวซึ่งความจริงเป็นไปไม่ได้ เนื่องจากสภาพความเป็นจริงจะต้องมีการแปรปรวน (Noise) หรือมีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Variation) ซึ่งเป็นผลให้ค่าที่วัดได้ไม่เท่ากันในแต่ละครั้ง ดังนั้นการแก้ปัญหาจึงใช้เป็นค่าเฉลี่ยของความเร็ว บวกกับความแปรปรวนหรือเรียกว่าเป็นปริมาณความผันผวน (Stochastic quantity) นั่นคือ

$$u_j = \bar{u}_j + u'_j \quad \dots(6.2)$$

โดยที่ u_j = ความเร็วที่วัดได้

$\bar{u}_j$ = ความเร็วเฉลี่ย

u'_j = ค่า Stochastic fluctuation ของความเร็วเนื่องจากความแปรปรวน

ขณะเดียวกัน $C = \bar{C} + C'$... (6.3)

โดยที่ $\bar{C}$ = ความเข้มข้นเฉลี่ย
 C' = ค่า Stochastic fluctuation ของความเข้มข้นเนื่องจากความแปรปรวน

แทนสมการ (6.2) และ (6.3) ในสมการ (6.1) จะได้

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_j + u'_j)(\bar{C} + C') = 0$$

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_j \bar{C}}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j C'}{\partial x_j} + \frac{\partial u'_j \bar{C}}{\partial x_j} + \frac{\partial u'_j C'}{\partial x_j} = 0 \quad \dots (6.4)$$

ดังนั้น (6.4) จะเป็น $\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_j \bar{C}}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j C'}{\partial x_j} = 0 \quad \dots (6.5)$

สถานการณ์จริง ๆ อาจจะเป็นแค่ Eddy diffusion ดังนั้นเราสามารถพิจารณาจากค่า

ดังนั้น $\bar{u}_j C' = -k_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} \quad \dots (6.6)$

โดยที่ k_j = Eddy diffusion หรือ diffusivity

แทน (6.6) ใน (6.5); $\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_j \bar{C}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} \right) \quad \dots (6.7)$

เพื่อให้มันง่ายแต่ไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง จึงสมมติให้บรรยากาศเป็นของไหลแบบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible fluid) และมีความหนาแน่นคงที่ โดยพิจารณาเหตุผลที่ว่าในบรรยากาศมีค่าคงที่ของตัวเลขมัค (Mach number; **Ma**) ซึ่งเป็นค่าคงที่ (ดังที่แสดงไว้ในบทที่ 5 มาบ้างแล้ว)

$$\frac{\partial \bar{u}_j \bar{C}}{\partial x_j} = \bar{u}_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} ; \quad \text{โดยที่} \quad \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0 \quad \dots (6.8)$$

ดังนั้นสมการ (6.7) กลายเป็น

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} \right) \quad \dots (6.9)$$

สมการ (6.9) เป็นที่มาของอีกหลาย ๆ โมเดลขึ้นกับสมมติฐานที่เรากำหนดไว้ โมเดลต่าง ๆ เหล่านี้ได้ถูกบรรจุเอาไว้ใน Pasquill-Gifford Model ทั้งสิบโมเดลดังหัวข้อต่อไป

6.4 โมเดลของ พาสควิลและกิปฟอร์ด (Pasquill-Gifford Model)

พาสควิลและกิปฟอร์ด (Pasquill-Gifford Model) ได้ศึกษาลักษณะการรั่วของสารออกสู่บรรยากาศทั้ง 10 กรณี (Crowl and Louvar, 1999) ซึ่งจะแบ่งออกเป็นกรณีต่าง ๆ ดังนี้

กรณีที่ 1 เป็นการรั่วแบบพุ่มโดยสมมติว่าไม่มีความเร็วลม ($\bar{u} = 0$) (Steady state continuous point release with no wind) ดังรูปที่ 6.7

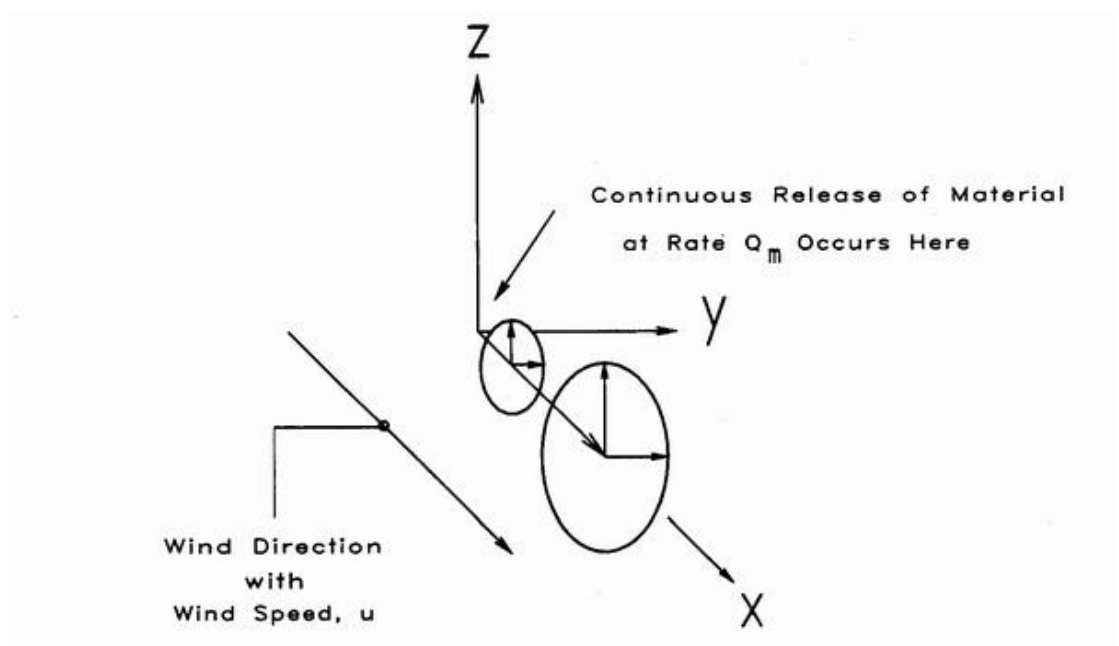
สมมติฐาน

- อัตราการไหลโดยมวล (Q_m) คงที่
- ความเข้มข้นที่ปล่อยออกมาเมื่ออัตราคงที่ $\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = 0$
- ไม่มีความเร็วลม ดังนั้นค่า $k_j = k^*$ จึงมีค่าเท่ากันทุกทิศทางทั้งแกน x, y และ z

จากสมมติฐานสมการ (6.9) จึงถูกลดรูปเป็น

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left(k_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} \right) = k^* \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right)$$

และ
$$\left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right) = 0 \quad \dots(6.10)$$



รูปที่ 6.7 โมเดลที่เกิดการรั่วอย่างต่อเนื่องแต่ไม่มีความเร็วลม (กรณีที่ 1) (Crowl and Louvar, 1999)

ในทางปฏิบัติกรณีที่ 1 เป็นกรณีที่ยากที่สุดเนื่องจากไม่มีความเร็วลมและสารพิษที่รั่วออกมาเมื่ออัตราการไหลโดยมวลคงที่ทุก ๆ จุด แต่ความเป็นจริงแล้วขึ้นกับสภาวะต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ และ/หรือความดัน เป็นต้น

เพื่อให้ง่ายต่อการแก้สมการเราใช้ Spherical coordinate หรือพิกัดโคออดิเนต (Polar coordinate) r และ θ มาคิดแทน Cartesian coordinate หรือ Rectangular coordinate แกน x, y และ z ดังนั้นสมการ (6.10) จะได้

$$\frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{d\bar{C}}{dr} \right) = 0 \quad \dots(6.11)$$

เมื่อพิจารณาการปล่อยสารพิษอย่างต่อเนื่องที่จุด r (รัศมี r) โดยสารพิษในขณะนั้นมีอัตราการไหลโดยมวล Q_m จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned} Q_m &= -k^* A \frac{d\bar{C}}{dr} \\ \text{หรือ} \quad &= -k^* (4\pi r^2) \frac{d\bar{C}}{dr} \end{aligned} \quad \dots(6.12)$$

เพื่อที่จะหาคำตอบ (6.12) ดังนั้น

$$\int_{\bar{C}}^0 d\bar{C} = -\frac{Q_m}{4\pi k^*} \int_r^\infty \frac{dr}{r^2} \quad \dots(6.13)$$

ที่ค่าขอบเขต (Boundary condition) $r = 0$, ความเข้มข้น = $\bar{C}$ และเมื่อ $r = \infty$, $\bar{C} = 0$

อินทิเกรตสมการ (6.13) จะได้

$$\bar{C}_r = \frac{Q_m}{4\pi k^* r} \quad \dots(6.14)$$

เปลี่ยนจาก Spherical coordinate r และ θ มาเป็น Cartesian coordinate

$$\bar{C}(x, y, z) = \frac{Q_m}{4\pi k^* \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \quad \dots(6.15)$$

โมเดล พาสเควและกิปฟอร์ด กรณีที่ 1 นี้ถึงแม้ว่าจะดูง่ายแต่ค่า k^* ในทางปฏิบัติวัดยากมาก ดังนั้นจึงมีผู้ไปหาความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Dispersion coefficient) หรือ σ โดยได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= 4kt \\ \text{หรือ} \quad k &= \sigma^2 / 4t \end{aligned} \quad \dots(6.16)$$

กรณีที่ 2 เป็นการเกิดแบบไม่ต่อเนื่องหรือเป็นแบบพัฟไม่มีความเร็วลม ($\bar{u} = 0$) (Puff with no wind)

สมมติฐาน

- อัตราการไหลโดยมวล ($Q_m = Q_m^*$) หรือปล่อยออกมาเป็น พัฟ
- เนื่องจากไม่มีลมพัดดังนั้น $k_j = k^*$ จึงมีค่าเท่ากันทุกทิศทาง

แทนเงื่อนไขทั้งหมดในสมการ (6.9) จะได้

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = k^* \left(\frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \right) \quad \dots(6.17)$$

ที่เงื่อนไขค่าเริ่มต้นที่ $\bar{C}(x, y, z) = 0$ เมื่อ $t = 0$...(6.18)

จาก Carslaw และ Jaeger, 1959 ได้ใช้อธิบายโดยใช้สมการ (6.17) และใช้เงื่อนไขค่าเริ่มต้นจาก สมการ (6.18) ในรูปของ Spherical coordinate

$$\bar{C}(r, t) = \frac{Q_m^*}{8(\pi k^* t)^{3/2}} \exp\left(-\frac{r^2}{4k^* t}\right) \quad \dots(6.19)$$

เปลี่ยนสมการ (6.19) เป็น Cartesian coordinate จะได้

$$\bar{C}(x, y, z) = \frac{Q_m^*}{8(\pi k^* t)^{3/2}} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2 + z^2}{4k^* t}\right) \quad \dots(6.20)$$

ซึ่ง k^* ในทางปฏิบัติหาจากสมการ (6.16)

กรณีที่ 3 เป็นการเกิดแบบไม่ต่อเนื่องหรือเป็นแบบพุ่มไม่มีความเร็วลม ($\bar{u} = 0$)

สมมติฐาน

- อัตราการไหลโดยมวล (Q_m) หรือปล่อยออกมาเป็น พุ่ม แบบไม่ต่อเนื่อง
- เนื่องจากไม่มีลมพัดดังนั้น $k_j = k^*$ จึงมีค่าเท่ากันทุกทิศทาง

แทนเงื่อนไขทั้งหมดในสมการ (6.9) จะได้สมการ (6.17) ในกรณีที่ 2

ที่เงื่อนไขค่าเริ่มต้นคือ เมื่อ $r = 0$, ความเข้มข้น = $\bar{C}$ และเมื่อ $r = \infty$, $\bar{C} = 0$ และ

$$\text{เมื่อ } \bar{C}(x, y, z) = 0 \text{ เมื่อ } t = 0$$

ผลคือได้สมการที่อยู่ในรูป Spherical coordinate คือ

$$\bar{C}(r,t) = \frac{Q_m^*}{4(\pi k^* r)} \operatorname{erfc}\left(\frac{r}{2\sqrt{k^* t}}\right) \quad \dots(6.21)$$

เปลี่ยนสมการ (6.21) เป็น Cartesian coordinate จะได้

$$\bar{C}(x,y,z,t) = \frac{Q_m^*}{4\pi k^* \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{2\sqrt{k^* t}}\right) \quad \dots(6.22)$$

ซึ่งในกรณี $t = \infty$ สมการ (6.21) และ (6.22) จะกลับไปเป็นสมการ (6.15) เนื่องจาก

$$\operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{2\sqrt{k^* t}}\right) = \operatorname{erfc}(0) = 1$$

กรณีที่ 4 เป็นการเกิดแบบต่อเนื่องและมีความเร็วลม ($\bar{u} \neq 0$) (Steady state, continuous point source release with wind ($\bar{u}_j \neq 0$))

สมมติฐาน

- อัตราการไหลโดยมวล (Q_m) คงที่
- เนื่องจากมีลมพัดด้วยอัตราเร็วคงที่ในแนวแกน x
- $k_j = k^*$ มีค่าเท่ากันทุกทิศทาง

แทนเงื่อนไขทั้งหมดในสมการ (6.9) จะได้

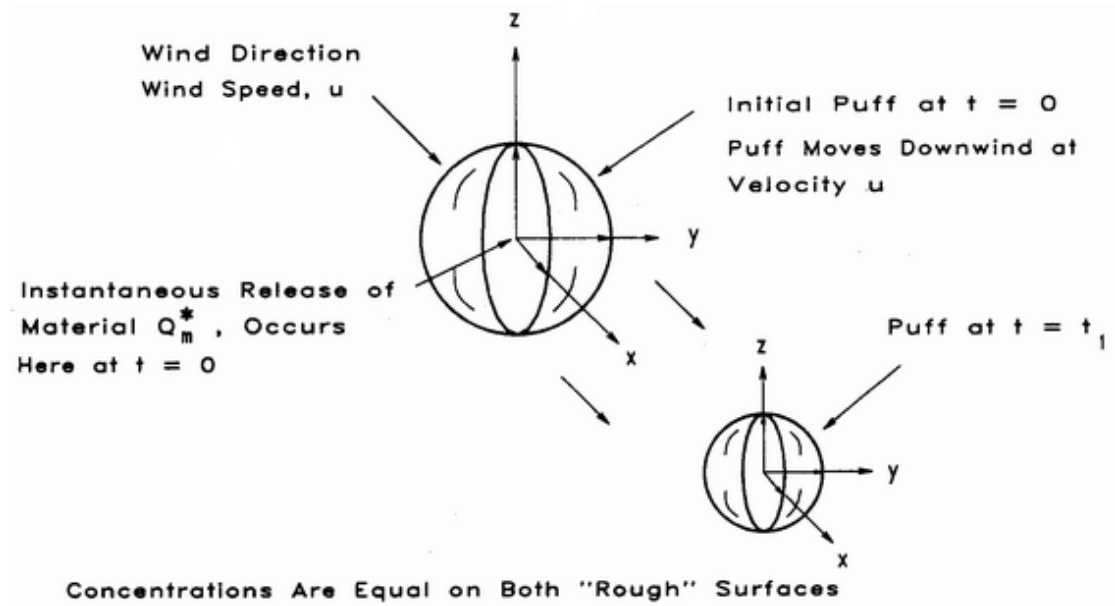
$$\frac{\bar{u}}{k^*} \frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \quad \dots(6.23)$$

ที่เงื่อนไขค่าเริ่มต้นเมื่อ $r = 0$, ความเข้มข้น = $\bar{C}$ และเมื่อ $r = \infty$, $\bar{C} = 0$ จะได้

$$\bar{C}(x,y,z) = \frac{Q_m}{4\pi k^* \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \exp\left(-\frac{\bar{u}}{2k^*}(\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} - x)\right) \quad \dots(6.24)$$

เงื่อนไขจะเหมือนในรูปที่ 6.8 เนื่องจากสารพิษมีการขยายตัวถ้าสารพิษมีการปลดปล่อยขยายตัวน้อย (Slender long plume) ดังนั้นความสัมพันธ์ที่ได้คือ

$$x^2 \gg y^2 + z^2 \quad \dots(6.25)$$



รูปที่ 6.8 การปลดปล่อยอย่างต่อเนื่องที่ความเร็วลมหนึ่งซึ่งภาวะคงตัว (Continuous point source release with wind at steady state) (Carslaw และ Jaeger, 1959)

ใช้การประมาณ (Approximate) $\sqrt{1+a} \approx (1+a/2)$ เมื่อ $a < 1$ ดังนั้นสมการ (6.24) จะถูกลดรูปออกมาได้

$$\bar{C}(x,y,z) = \frac{Q_m}{4\pi k_x^*} \exp\left(-\frac{\bar{u}}{2k_x^*}(y^2 + z^2)\right) \quad \dots(6.26)$$

คิดความเข้มข้นที่จุดกึ่งกลาง พลุมน บนแกน x ดังนั้น $y = 0, z = 0$ จะได้

$$\bar{C}(x) = \frac{Q_m}{4(\pi k_x^*)} \quad \dots(6.27)$$

กรณีที่ 5 คล้ายกรณีที่ 2 ซึ่ง เป็นการเกิดแบบไม่ต่อเนื่องหรือเป็นแบบพัฟไม่มีความเร็วลม ($\bar{u} = 0$) แต่ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ไม่เท่ากัน (Puff with no wind; Eddy diffusivity a function of direction)

สมมติฐาน

- อัตราการไหลโดยมวล (Q_m) คงที่
- เนื่องจากไม่มีลมพัดในแนวแกน x
- k_j มีค่าไม่เท่ากันในแต่ละทิศทางหรือ $k_x \neq k_y \neq k_z$

แทนเงื่อนไขทั้งหมดในสมการ (6.9) จะได้

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = k_x \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} \quad \dots(6.28)$$

สมการ (6.28) สามารถแก้สมการโดย Carslaw and Jaeger (1959) จะได้

$$\bar{C}(x,y,z,t) = \frac{Q_m^*}{8(\pi)^{3/2} \sqrt{k_x k_y k_z}} \exp\left(-\frac{1}{4t} \left(\frac{x^2}{k_x} + \frac{y^2}{k_y} + \frac{z^2}{k_z}\right)\right) \quad \dots(6.29)$$

กรณีที่ 6 เป็นการปลดปล่อยแบบต่อเนื่องหรือเป็นพลุมน มีความเร็วลม (กรณีนี้จะเหมือนกับกรณีที่ 4) และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ไม่เท่ากัน (At steady state, Plume/continuous point source release with wind; Eddy diffusivity a function of direction)

สมมติฐาน

- อัตราการไหลโดยมวล (Q_m) คงที่
- สภาวะคงตัว $\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = 0$
- เนื่องจากมีลมพัดด้วยความเร็วคงที่ในแนวแกน x
- k_j มีค่าไม่เท่ากันในแต่ละทิศทางหรือ $k_x \neq k_y \neq k_z$

แทนเงื่อนไขทั้งหมดในสมการ (6.9) จะได้

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} = k_x \frac{\partial \bar{C}^2}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial \bar{C}^2}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial \bar{C}^2}{\partial z^2} \quad \dots(6.30)$$

Lee (1986) สามารถแก้สมการ (6.30) ดังนี้

$$\bar{C}(x,y,z) = \frac{Q_m}{4\pi x \sqrt{k_y k_z}} \exp\left(-\frac{\bar{u}}{4x} \left(\frac{y^2}{k_y} + \frac{z^2}{k_z}\right)\right) \quad \dots(6.31)$$

เมื่อคิดที่จุดกึ่งกลางของ พลุมน บนแกน x; $y = 0, z = 0$

$$\bar{C}(x) = \frac{Q_m}{4\pi x \sqrt{k_y k_z}} \quad \dots(6.32)$$

กรณีที่ 7 เป็นการปลดปล่อยแบบไม่ต่อเนื่องหรือเป็นพัฟ (กรณีนี้จะเหมือนกับกรณีที่ 5) แต่มีความเร็วลม ($\bar{u} \neq 0$) (Puff with wind)

สมมติฐาน

- อัตราการไหลโดยมวล (Q_m^*) คงที่
- เนื่องจากมีลมพัดด้วยอัตราเร็วคงที่ในแนวแกน x
- k_j มีค่าไม่เท่ากันในแต่ละทิศทางหรือ $k_x \neq k_y \neq k_z$
- การคิดแบบย้ายแกนไปตามการเคลื่อนที่จาก x เป็น $x - \bar{u}t$

แทนเงื่อนไขทั้งหมด จะได้

$$\bar{C}(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{8(\pi)^{3/2} \sqrt{k_x k_y k_z}} \exp \left(-\frac{1}{4t} \left(\frac{(x-ut)^2}{k_x} + \frac{y^2}{k_y} + \frac{z^2}{k_z} \right) \right) \quad \dots(6.33)$$

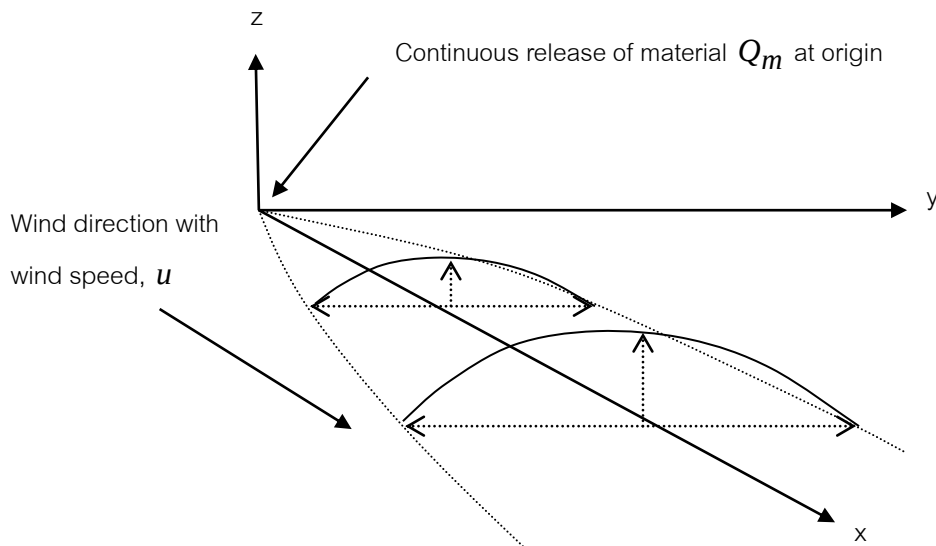
กรณีที่ 8 เป็นการปลดปล่อยแบบไม่ต่อเนื่องหรือเป็นพัฟที่มีความเร็วลม ($\bar{u} \neq 0$) ที่ระดับพื้นดิน (Puff with no wind with source on the ground) ดังรูปที่ 6.9

สมมติฐาน

- อัตราการไหลโดยมวล (Q_m^*) คงที่
- เนื่องจากมีลมพัดด้วยอัตราเร็วคงที่ในแนวแกน x
- k_j มีค่าไม่เท่ากันในแต่ละทิศทางหรือ $k_x \neq k_y \neq k_z$
- การคิดความเข้มข้นที่จุดใด ๆ เท่ากับสองเท่าของการเกิด พัฟ แบบปกติซึ่งคือสมการในกรณีที่ 5 (หรือคิดที่สองเท่าสมการ (6.28))

แทนเงื่อนไขทั้งหมด จะได้

$$\bar{C}(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{4(\pi)^{3/2} \sqrt{k_x k_y k_z}} \exp \left(-\frac{1}{4t} \left(\frac{x^2}{k_x} + \frac{y^2}{k_y} + \frac{z^2}{k_z} \right) \right) \quad \dots(6.34)$$



รูปที่ 6.9 แสดงการเกิด พลุ ในระดับพื้นดินในสภาวะคงตัวความเข้มข้นจะเป็นสองเท่าดังสมการ (6.34) (Crowl and Louvar, 1999)

กรณีที่ 9 เป็นการปลดปล่อยแบบต่อเนื่องหรือเป็นพุ่มมีความเร็วลม ($\bar{u} \neq 0$) ที่ระดับพื้นดิน (Steady state plume with source on the ground) ดังรูป 6.9

สมมติฐาน - อัตราการไหลโดยมวล (Q_m) คงที่

- เนื่องจากมีลมพัดด้วยอัตราเร็วคงที่ในแนวแกน x
- k_j มีค่าไม่เท่ากันในแต่ละทิศทางหรือ $k_x \neq k_y \neq k_z$
- การคิดความเข้มข้นที่จุดใด ๆ เท่ากับสองเท่าของการเกิด พุ่ม แบบปกติซึ่งคือสมการในกรณี ที่ 6 (หรือคิดที่สองเท่าสมการ (6.31))

แทนเงื่อนไขทั้งหมด จะได้

$$\bar{C}(x, y, z) = \frac{Q_m}{2\pi x \sqrt{k_x k_z}} \exp\left(-\frac{\bar{u}}{4x} \left(\frac{y^2}{k_y} + \frac{z^2}{k_z}\right)\right) \quad \dots(6.35)$$

กรณีที่ 10 เป็นการปลดปล่อยแบบต่อเนื่องหรือเป็นพุ่มมีความเร็วลม ($\bar{u} \neq 0$) ที่ระดับสูงจากพื้นดิน H (Steady state plume with source at high; H above the ground)

สมมติฐาน

- อัตราการไหลโดยมวล (Q_m) คงที่
- เนื่องจากมีลมพัดด้วยอัตราเร็วคงที่ในแนวแกน x
- k_j มีค่าไม่เท่ากันในแต่ละทิศทางหรือ $k_x \neq k_y \neq k_z$
- Stack ถูกต่อให้มีระดับสูงจากพื้นดิน H

แทนเงื่อนไขทั้งหมด จะได้

$$\bar{C}(x, y, z) = \frac{Q_m}{4\pi x \sqrt{k_y k_z}} \exp\left(\frac{\bar{u} y^2}{4x k_y}\right) \cdot \left\{ \exp\left(\frac{-\bar{u}}{4x k_z} (z - H)^2\right) + \exp\left(-\frac{\bar{u}}{4x k_z} (z + H)^2\right) \right\} \dots(6.36)$$

จะสังเกตว่าถ้าสมการ (6.36) ถูกแทนค่าด้วย $H = 0$ หรือระดับพื้นดิน สมการ (6.36) จะกลับไปเป็น สมการ (6.35) นั่นเอง

จะเห็นว่าการพัฒนาโมเดลทั้งสี่โมเดลเราจะสมมติให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เป็นค่าคงที่ซึ่งทดลองยากในทางปฏิบัติดังที่กล่าวแล้วในสมการ (6.16) เราสามารถหาจาก Standard deviation ของความเข้มข้นของสารพิษที่ถูกปลดปล่อยในทิศทางซึ่งขึ้นกับความเสถียรภาพของบรรยากาศ (Atmospheric stability) โดยดูได้จากตารางที่ 6.2 เพื่อหาค่าเบี่ยงเบนในแนวแกน y และ z สำหรับพุ่มใช้กราฟรูปที่ 6.10 ในกรณีที่อยู่

พื้นที่ชนบท และ รูปที่ 6.11 กรณียที่อยู่ในเมืองหลวง ส่วนพีใช้กราฟรูปที่ 6.12 หรืออาจจะหาค่าได้จากตารางที่ 6.3 ในกรณี พลุ และ ตารางที่ 6.4 ในกรณีพีก็ได้

ตารางที่ 6.2 ชนิดของความเสถียรภาพในบรรยากาศเพื่อใช้สำหรับ Pasquill-Gifford dispersion model^{1, 2}

A, B และ C อากาศไม่เสถียร แต่ D E และ F จะเสถียร (Crowl and Louvar, 1999)

ความเร็วลม (Surface wind speed; m/s)	กลางวัน (Daytime Isolation) ³			กลางคืน (Night time) ⁴	
	แดดส่อง (Radiation intensity)			เมฆปกคลุมท้องฟ้า (Cloud cover)	
	จัด (Strong)	ปานกลาง (Moderate)	บาง ๆ (Slight)	มีเมฆน้อย (Low Cloudy)	มีเมฆมาก (Cloudiness)
<2	A	A-B	B	F ⁵	F ⁵
2-3	A-B	B	C	E ⁵	F
3-5	B	B-C	C	D ⁶	E
5-6	C	C-D	D	D ⁶	D ⁶
>6	C	D ⁶	D ⁶	D ⁶	D ⁶

หมายเหตุ :

Stability classes:

A, extremely unstable

B, moderately unstable

C, slightly unstable

D, neutrally stable

E, slightly stable

F, moderately stable

¹F. A. Gifford, "Use of Routine Meteorological Observations for Estimating Atmospheric Dispersion," *Nuclear Safety* (1961), 2(4): 47.

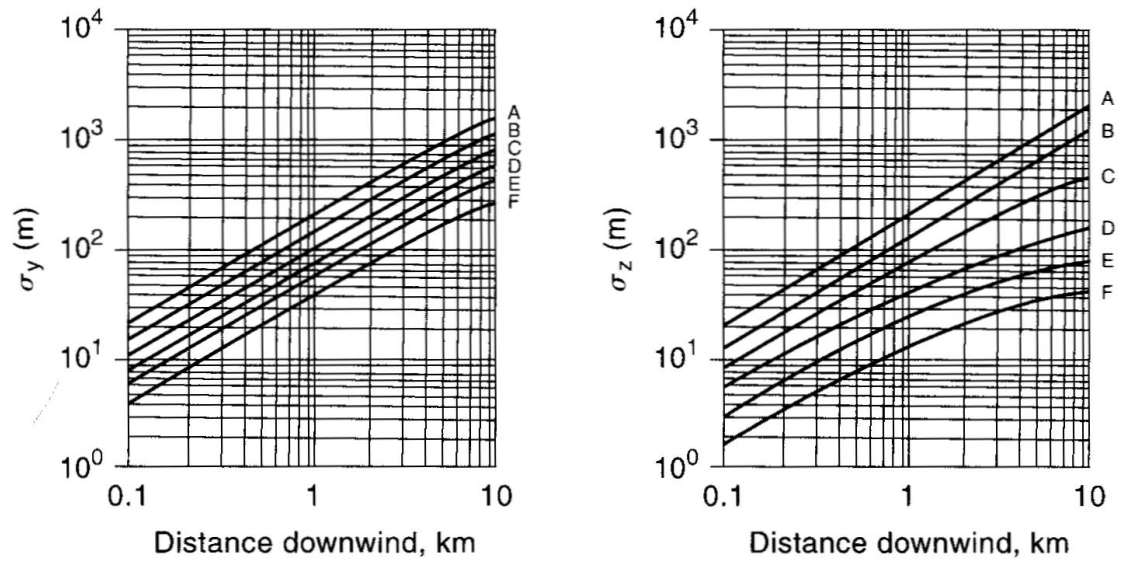
²F. A. Gifford, "Turbulent Diffusion-Typing Schemes: A Review," *Nuclear Safety* (1976), 17(1): 68.

³Strong insolation corresponds to a sunny midday in midsummer in England. Slight insolation to similar conditions in midwinter.

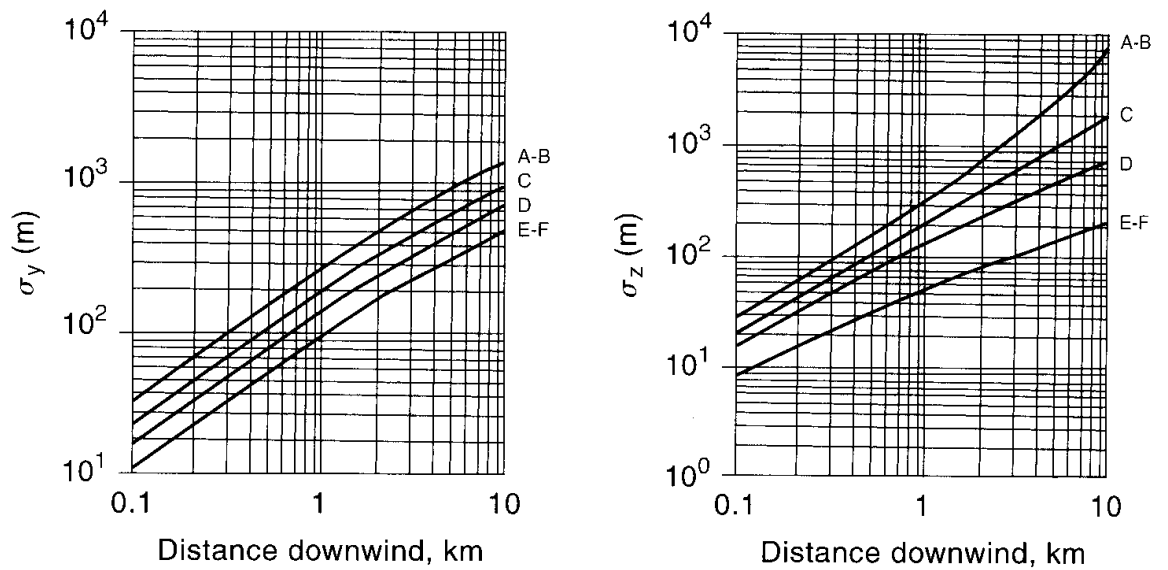
⁴Night refers to the period 1 hour before sunset and 1 hour after dawn.

⁵These values are filled in to complete the table.¹

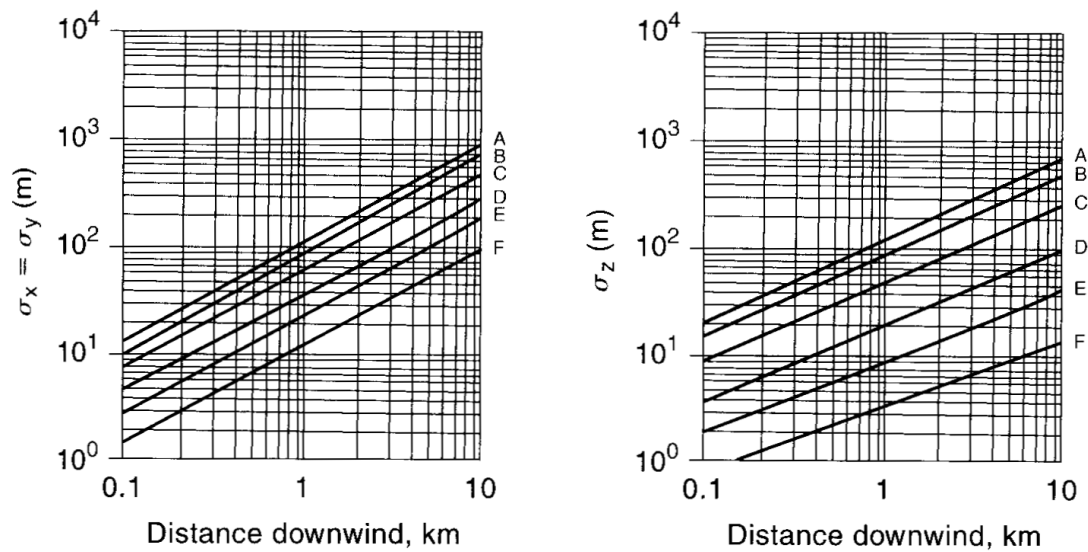
⁶The neutral category D should be used, regardless of wind speed, for overcast conditions during day or night and for any sky conditions during the hour before or after sunset or sunrise, respectively.



รูปที่ 6.10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตามแนวนอน (Horizontal dispersion coefficient) สำหรับ
การเกิดพลาสม่า แบบ Pasquill-Gifford plume model ในพื้นที่ชนบท (Crowl and Louvar, 2002)



รูปที่ 6.11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตามแนวตั้ง (Vertical dispersion coefficient) สำหรับ
การเกิดพลาสม่า แบบ Pasquill-Gifford plume model ในเมืองหลวง (Crowl and Louvar, 2002)



รูปที่ 6.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Y-Dispersion coefficient) ตามแนวนอนสำหรับการเกิด พฟ (Crowl and Louvar, 2002)

ตารางที่ 6.3 สมการที่สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของพุ่ม (Plume dispersion coefficient) ที่ระยะ x (เมตร) (Crowl and Louvar, 2002)

กรณีเป็น พุ่ม

Pasquill-Gifford stability class	σ_y (m)	σ_z (m)
Rural conditions		
A	$0.22x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.20x$
B	$0.16x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.12x$
C	$0.11x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0002x)^{-1/2}$
D	$0.08x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.06x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$
E	$0.06x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.03x(1 + 0.0003x)^{-1}$
F	$0.04x(1 + 0.0001x)^{-1/2}$	$0.016x(1 + 0.0003x)^{-1}$
Urban conditions		
A-B	$0.32x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.24x(1 + 0.0001x)^{+1/2}$
C	$0.22x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.20x$
D	$0.16x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.14x(1 + 0.0003x)^{-1/2}$
E-F	$0.11x(1 + 0.0004x)^{-1/2}$	$0.08x(1 + 0.0015x)^{-1/2}$

A-F are defined in Table 5-1.

¹R. F. Griffiths, "Errors in the Use of the Briggs Parameterization for Atmospheric Dispersion Coefficients," *Atmospheric Environment* (1994), 28(17): 2861-2865.

²G. A. Briggs, *Diffusion Estimation for Small Emissions*, Report ATDL-106 (Washington, DC: Air Resources, Atmospheric Turbulence, and Diffusion Laboratory, Environmental Research Laboratories, 1974).

ตารางที่ 6.4 สมการที่สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของพัฟ (Puff dispersion coefficient) ที่ระยะ x (เมตร) (Crowl and Louvar, 2002)

กรณีเป็น พัฟ

Pasquill-Gifford stability class	σ_y (m) or σ_x (m)	σ_z (m)
A	$0.18x^{0.92}$	$0.60x^{0.75}$
B	$0.14x^{0.92}$	$0.53x^{0.73}$
C	$0.10x^{0.92}$	$0.34x^{0.71}$
D	$0.06x^{0.92}$	$0.15x^{0.70}$
E	$0.04x^{0.92}$	$0.10x^{0.65}$
F	$0.02x^{0.89}$	$0.05x^{0.61}$

A–F are defined in Table 5-1.

¹R. F. Griffiths, "Errors in the Use of the Briggs Parameterization for Atmospheric Dispersion Coefficients," *Atmospheric Environment* (1994), 28(17): 2861–2865.

²G. A. Briggs, *Diffusion Estimation for Small Emissions*, Report ATDL-106 (Washington, DC: Air Resources, Atmospheric Turbulence, and Diffusion Laboratory, Environmental Research Laboratories, 1974).

ในทางปฏิบัติในบางกรณีของโมเดลสามารถนำไปใช้ได้เลยแต่ได้มีผู้พัฒนาโมเดลเพื่อให้ใช้ได้ง่ายขึ้นโดยนำเอากรณีที่ 7, 9 และ 10 มาใช้เพื่อให้ได้เป็นความจริงมากที่สุดโดยนำสมการ (6.16) $\sigma^2 = 4kt$ มาใช้โดยแทน $k = \sigma^2 / 4t$ ในสมการ

กรณีที่ 11 เป็นการปรับปรุงแบบจำลองแบบพัฟในกรณีที่ 7 โดยการแทนค่าในสมการ (6.33) ด้วย $k = \sigma^2 / 4t$ จะได้

$$\bar{C}(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{\sqrt{2}(\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\left(\frac{x - \bar{u}t}{\sigma_x} \right)^2 + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right) \dots (6.38)$$

คิดความเข้มข้นที่ระดับพื้นดิน (Ground level) หรือ $z = 0$ จะได้

$$\bar{C}(x, y, 0, t) = \frac{Q_m^*}{\sqrt{2}(\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\left(\frac{x - \bar{u}t}{\sigma_x} \right)^2 + \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right) \right) \dots (6.39)$$

คิดความเข้มข้นตลอดแนวแกน x หรือทั้งที่ระดับพื้นดิน (Ground level) หรือ $z=0$ และจุดกึ่งกลางที่ $y=0$ จะได้

$$\bar{C}(x, 0, 0, t) = \frac{Q_m^*}{\sqrt{2}(\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{u}t}{\sigma_x} \right)^2 \right) \dots (6.40)$$

คิดความเข้มข้นที่จุดศูนย์กลาง โดยย้ายแกน x ไปตามการเคลื่อนที่ของ พัฟ หรือที่ $x_{new} = x_{old} - \bar{u}t$, $y=0$ และ $z=0$ จะได้

$$\bar{C}(\bar{u}t, 0, 0, t) = \frac{Q_m^*}{\sqrt{2}(\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \quad \dots(6.41)$$

เพื่อการอธิบายในรูปของการได้รับสารพิษจึงใช้นิยามคำว่าปริมาณกำหนด (Dose) $\bar{D}$ ซึ่งคือความเข้มข้นที่ได้รับในช่วงเวลาหนึ่ง ดังนั้นการคิดปริมาณกำหนดจึงต้องรวมปริมาณกำหนดทั้งหมดที่ได้เป็นสมการ

$$\bar{D}(x, y, z) = \int_0^{\infty} \bar{C}(x, y, z, t) dt \quad \dots(6.42)$$

พิจารณาที่ระดับพื้นดิน (เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยต่อผู้คนที่ยืนอยู่บนพื้นดิน) จะได้

$$\bar{D}(x, y, 0) = \frac{Q_m^*}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{u}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right) \quad \dots(6.43)$$

คิด ปริมาณกำหนด ที่แนวแกน x

$$\bar{D}(x, 0, 0) = \frac{Q_m^*}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{u}} \quad \dots(6.44)$$

การคำนวณโดยอ้างอิงตามกฎหมายโดยจะจำกัด ปริมาณกำหนด เอาไว้ เช่นแสดงอยู่ในรูปขอบเขตที่ยอมรับได้ (Threshold limit value; TLV) เราก็จะทราบว่าจุดไหนที่ยืนอยู่ปลอดภัยและไม่ปลอดภัยเพียงใด

$$y = \sigma_y \sqrt{2 \ln \left[\frac{\bar{C}(x, 0, 0, t)}{\bar{C}(x, y, 0, t)} \right]} \quad \dots(6.45)$$

กรณีที่ 12 การปรับปรุงแบบจำลองของพุ่ม ที่ระดับภาคพื้นดิน (Ground level) และมีความเร็วลมในแนวแกน x กรณีนี้จะเป็นการปรับปรุงสมการ (6.35) ในกรณี 9 เพื่อให้สอดคล้องการใช้งานโดยแทนค่า ด้วย $k = \sigma^2 / 4t$ จะได้

$$\bar{C}(x, y, z) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{u}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right) \quad \dots(6.46)$$

คิดความเข้มข้นที่ระดับพื้นดิน (Ground level) หรือ $z=0$ จะได้

$$\bar{C}(x, y, 0) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{u}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \quad \dots(6.47)$$

คิดความเข้มข้นตลอดแนวแกน x หรือทั้งที่ระดับพื้นดิน (Ground level) หรือ $z=0$ และจุดกึ่งกลางที่ $y=0$ จะได้

$$\bar{C}(x,0,0) = \frac{Q_m}{\pi\sigma_y\sigma_z\bar{u}} \quad \dots(6.48)$$

กรณีที่ 13 การปรับปรุงแบบจำลองแบบพลุ้ม ที่ระดับสูง H จากกรณีที่ 10 เพื่อให้่ายต่อการใช้งานโดยแทนค่า ด้วย $k = \sigma^2 / 4t$ จะได้

$$\bar{C}(x,y,z) = \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z\bar{u}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right) \left\{ \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right) + \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right) \right\} \dots(6.49)$$

คิดความเข้มข้นที่ระดับพื้นดิน (Ground level) หรือ $z=0$ จะได้

$$\bar{C}(x,y,0) = \frac{Q_m}{\pi\sigma_y\sigma_z\bar{u}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2 - \frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right) \quad \dots(6.50)$$

คิดความเข้มข้นตลอดแนวแกน x หรือทั้งที่ระดับพื้นดิน (Ground level) หรือ $z=0$ และจุดกึ่งกลางที่ $y=0$ จะได้

$$\bar{C}(x,0,0) = \frac{Q_m}{\pi\sigma_y\sigma_z\bar{u}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right) \quad \dots(6.51)$$

เพื่อที่จะทราบความเข้มข้นสูงสุดจึงต้องหาค่า Derivative ของสมการ (6.50) โดยเทียบกับค่าประมาณของ x จะได้เป็น

$$\bar{C}_{\max} = \frac{2Q_m}{e\pi\bar{u}H^2} \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_y} \right) \quad \dots(6.52)$$

ซึ่งค่า σ_z สูงสุดโดยการประมาณ คือ $\sigma_z = \frac{H}{\sqrt{2}} \quad \dots(6.53)$

กรณีที่ 14 การปรับปรุงแบบจำลองแบบ พฟ์ ที่ระดับสูง H จากกรณีที่ 7 เนื่องจาก แบบจำลองแบบพฟ์ เราสามารถพิจารณาการเคลื่อนที่ไปตามระยะ ของ พฟ์ ที่เคลื่อนที่ออกไปได้จึงสามารถปรับปรุงสมการ (6.38) ที่ระดับความสูง H เป็นจุดอ้างอิง จะได้ $z_{\text{new}} = z_{\text{old}} - H$ ซึ่งสมการถูกพัฒนาได้ดังนี้

$$\bar{C}(x,y,z,t) = \frac{Q_m^*}{(2\pi)^{3/2}\sigma_x\sigma_y\sigma_z} \exp\left(\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right)\right) \left\{ \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right) + \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right) \right\} \quad \dots(6.54)$$

คิดความเข้มข้นที่ระดับพื้นดิน (Ground level) หรือ $z = 0$ จะได้

$$\bar{C}(x, y, 0, t) = \frac{Q_m^*}{\sqrt{2} \cdot \pi^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right) \quad \dots(6.55)$$

คิดความเข้มข้นตลอดแนวแกน x หรือทั้งที่ระดับพื้นดิน (Ground level) หรือ $z = 0$ และจุดกึ่งกลางที่ $y = 0$ จะได้

$$\bar{C}(x, 0, 0, t) = \frac{Q_m^*}{2 \cdot \pi^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right) \quad \dots(6.56)$$

คิด ปริมาณกำหนด ที่ระดับพื้นดินโดยใช้สมการเดียวกับ (6.50) จะได้

$$\bar{D}(x, y, 0, t) = \frac{Q_m^*}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{u}} \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right) \quad \dots(6.57)$$

กรณีที่ 15 ในกรณีที่เราพิจารณา พฟ เคลื่อนที่ไปตามแกนโดยขณะนั้น $x_{new} = x_{old} - \bar{u}t$

$$\bar{C}(x, y, z, t) = \text{เงื่อนไขจากสมการ (6.54) ถึง (6.56)} \times \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{u}t}{\sigma_x} \right)^2 \right) \quad \dots(6.58)$$

ในบางกรณีที่ พลมูกถูกกำหนดว่าเป็น Continuous steady state และ พฟถูกกำหนดให้เป็นลักษณะการปล่อยออกมาอย่างรวดเร็วแล้วแพร่ออกสู่บรรยากาศ แต่อย่างไรก็ตามเราสามารถกำหนดให้ พฟเป็นการปล่อยออกอย่างต่อเนื่องก็ได้โดยเราคิดว่าพลมูกคือพฟที่หลุดออกมาหลาย ๆ อัน n ครั้ง

$$n = \frac{t}{t_p} \quad \dots(6.59)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} t &= \text{เวลาทั้งหมดที่ปลดปล่อย} \\ t_p &= \text{เวลาที่สารพิษปล่อยออกมาต่อครั้ง (สามารถคำนวณจากกระทางใน Stack/ความเร็ว)} \\ &\quad \text{ดังสมการ (6.60)} \\ n &= \text{ครั้งของสารที่ถูกปล่อยออกมา} \\ H_{eff} &= \text{ระดับความสูงของมวลสารที่ปล่อยออกมา} \\ t_p &= H_{eff} / \bar{u} \quad \dots(6.60) \end{aligned}$$

ซึ่งจากสมการ Empirical ของความสูงที่มีประสิทธิภาพมีความสัมพันธ์กับแฟกเตอร์ 1.5 (จะเชื่อหรือไม่ก็ตามแต่มีคนที่วิจัยได้ค่าใกล้เคียงกับ 1.5 โดยเฉลี่ย)

$$H_{eff} = H_{old} \times 1.5 \quad \dots(6.61)$$

ดังนั้นการเกิดฟุ้งต่อเนื่องได้โดยเท่ากับความสัมพันธ์ดังนี้

$$(Q_m^*)_{Total} = Q_m t_p \quad \dots(6.62)$$

อย่างไรก็ตามเมื่อเราได้ Q_m ที่คำนวณด้วยวิธีของพลุมจึงสามารถคำนวณ Q_m^* ได้โดยสมการ (6.63)

$$Q_m^* = (Q_m^*)_{Total} / n \quad \dots(6.63)$$

อย่างไรก็ตามเราจะจำกัดไว้ว่ากรณีนี้ใช้ได้เมื่อสารพิษเป็นของเหลวไม่ใช่ไอ

6.5 ผลการเกิดโมเมนตัมในขณะทีปลดปล่อย (Effect of release momentum and buoyancy)

การคิดผลกระทบของโมเมนตัมและแรงลอยตัวจะขึ้นกับอุณหภูมิที่ไปเปลี่ยนความหนาแน่นของของไหล ดังนั้นการเกิดโมเมนตัมจะมีผลให้ของไหลพุ่งออกในระดับความสูงจากทางออกของปล่อง H_z ดังนั้นความสูงจากการคำนวณจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนตามสมการ (6.64)

$$\Delta H = \frac{\bar{u}_s}{\bar{u}} d \left[1.5 + 2.68 \times 10^{-3} P \cdot d \left(\frac{T_s - T_a}{T_s} \right) \right] \quad \dots(6.64)$$

โดยที่

ΔH = เป็นความสูงที่เพิ่มขึ้นจากระดับความสูงของปล่อง Stack = H (เมตร)

$\bar{u}_s$ = ความเร็วที่ออกจากปล่อง Stack (เมตร/วินาที)

$\bar{u}$ = ความเร็วลม (เมตร/วินาที)

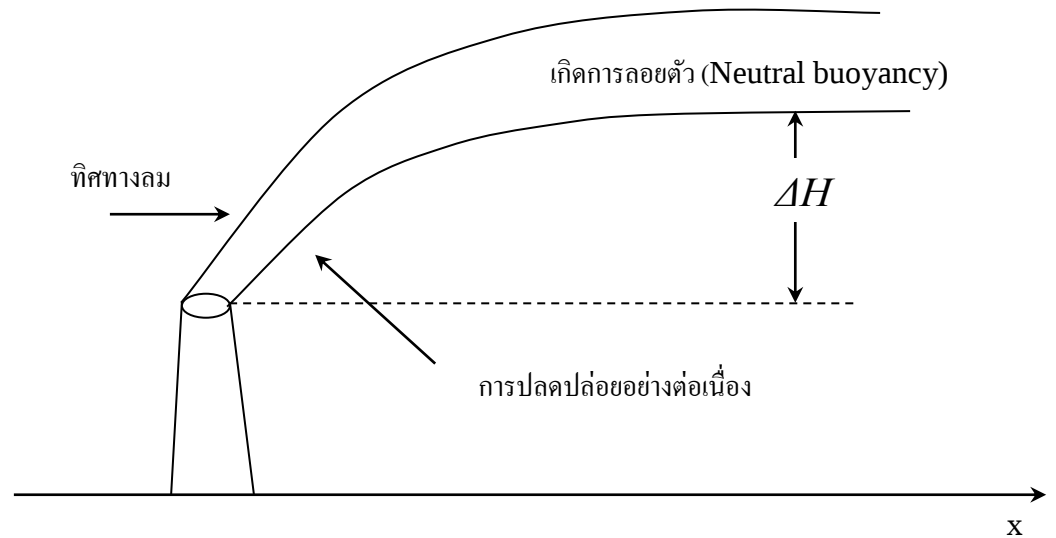
d = เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (เมตร)

P = ความดันสัมบูรณ์ (มิลลิบาร์)

T_s = อุณหภูมิของปล่อง Stack (เคลวิน)

T_a = อุณหภูมิของอากาศในขณะนั้น (เคลวิน)

จะเห็นว่าสมการ (6.64) เป็นสมการที่ได้จากการทดลอง (Empirical) หรือสมการที่ได้มาจากการทดลอง ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีสมการเชิงวิเคราะห์ (Analytical) จริง ๆ



รูปที่ 6.13 ลักษณะการปล่อยที่มีโมเมนตัมเกิดการลอยตัวตอนออกจากปล่องยกระดับความสูงเพิ่มขึ้น ΔH

ตัวอย่าง 6-1

วันหนึ่งท้องฟ้าแจ่มใส (Overcast) มีแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ถูกปล่อยออกมาด้วยอัตราการไหลโดยมวล 80 กรัมต่อวินาที ความเร็วลมในขณะนั้น 6 เมตรต่อวินาที ณ ความสูงของปล่อง Stack 60 เมตรที่ตั้งอยู่ในชนบท (Rural area) จงหา

- หาความเข้มข้นเฉลี่ยของ SO_2 ที่ถูกพัดไปตามกระแสลมที่ระดับพื้นดิน (on the ground) ห่างจากฐาน Stack 500 เมตร
- หาความเข้มข้นเฉลี่ยของ SO_2 พัดไปตามกระแสลมที่ระดับพื้นดิน 500 เมตรและระยะขวาง (Crosswind) 50 เมตร
- หาจุดหรือระยะ (Location) และความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับพื้นดิน ที่ตอนปลายลม (Downwind)
- จากสมมติฐานที่คล้ายกับกรณีนี้ 10 และได้ถูกพัฒนาเป็นกรณีนี้ 13 หรือ สมการ (6.49) และที่ระดับพื้นดินสมการจึงกลายเป็นสมการ (6.51)

$$\bar{C}(x,0,0) = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{u}} \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right) \quad \dots(6.51)$$

โดยที่

x	=	500 เมตร
Q_m	=	80 กรัมต่อวินาที
H	=	60 เมตร
$\bar{u}$	=	6 เมตรต่อวินาที

และที่ความเร็วลมที่ 6 เมตรต่อวินาที เมื่ออ่านจากตาราง 6.2 ที่ท้องฟ้าแจ่มใส (Overcast) จะได้ค่า D

ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว σ_y และ σ_z จะหาค่าได้จาก กราฟรูปที่ 6.11 (ในเมืองหลวง) หรือ หาจาก ตารางที่ 6.3 ที่ระยะ $x = 500$ m จะได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\sigma_y &= 0.08x(1 + 0.0001x)^{-1/2} \\ &= 39 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_z &= 0.06x(1 + 0.0015x)^{-1/2} \\ &= 22.7 \text{ m}\end{aligned}$$

แทนค่าตัวแปร σ_y , σ_z และตัวแปรทั้งหมด ในสมการ (6.51) จะได้

$$\begin{aligned}\bar{C}(500,0,0) &= \frac{80}{\pi(39)(22.7)(6)} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{60}{22.7}\right)^2\right) \\ &= 1.45 \times 10^{-4} \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เมตร}\end{aligned}$$

ข. คล้ายกับ ข้อ ก. แต่ที่ระยะ $y = 50$ เมตร โดยใช้สมการ (6.50)

$$\bar{C}(x, y, 0) = \frac{Q_m}{\pi\sigma_y\sigma_z\bar{u}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2 - \frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right) \quad \dots(6.50)$$

หรือ

$$\bar{C}(500, 50, 0) = \bar{C}(500, 0, 0) \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right)$$

$$= 1.45 \times 10^{-4} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{50}{39}\right)^2\right)$$

$$= 6.37 \times 10^{-5} \text{ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

ค. หาค่า Location และ ความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับพื้นดินโดยใช้สมการ (6.52)

โดยที่ ค่า σ_z สูงสุดโดยใช้การประมาณ (Approximate) จากสมการ (6.53) คือ

$$\sigma_z = \frac{H}{\sqrt{2}} \quad \dots(6.53)$$

$$\text{แทนค่า } \sigma_z = \frac{60}{\sqrt{2}} = 42.4 \text{ เมตร}$$

จากรูปที่ 6.10 สำหรับ Class D Stability หรือ ที่ สภาวะอากาศแจ่มใส และ $\sigma_z = 42.4$ แล้ว จะได้

$x = 1,200$ เมตร Downwind

และจากรูป 6.10 หรือ ตารางที่ 6.3 จะได้ $\sigma_y = 88$ เมตร

จากนั้นแทนค่าตัวแปรทั้งหมดในสมการ ความเข้มข้นเฉลี่ย สมการที่ (6.52)

$$\begin{aligned}\bar{C}_{\max} &= \frac{2Q_m}{e\pi\bar{u}H^2} \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_y} \right) \quad \dots(6.52) \\ &= \frac{2(80)}{(2.72)(3.14)(6)(60)^2} \left(\frac{42.4}{88} \right) \\ &= 3.68 \times 10^{-4} \text{ กรัม/ลูกบาศก์เมตร}\end{aligned}$$

ตัวอย่าง 6-2 โรงงานอุตสาหกรรมเคมีหนึ่งใช้คลอรีนเป็นสารเคมีในกระบวนการจากการศึกษา Source model พบว่ามีอันตราย (Accident scenario) ที่เกิดจากการปลดปล่อยของคลอรีน 1 กิโลกรัม ที่ระดับพื้นดิน โดยที่เกิดคลอรีนรั่วไหลนี้ห่างจากชุมชน (Residential area) 500 เมตร จงหา

- ก. เวลาที่กลุ่มไอของคลอรีนลอยมาที่บ้านเรือนด้วยความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที
 - ข. ความเข้มข้นสูงสุดในบริเวณชุมชนที่ห่างไป 500 เมตร เมื่อเทียบกับค่าขอบเขต (TLV) เท่ากับ 0.5 ppm และถามว่าสภาวะความเสถียรภาพของบรรยากาศและความเร็วลมเท่าไรจึงจะทำให้ความเข้มข้นสูงสุด
 - ค. ระยะทางที่กลุ่มไอคลอรีนที่จะทำให้ความเข้มข้นสูงสุดอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้
 - ง. ขนาดหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของกลุ่มไอที่ระยะ 5 กิโลเมตรในระดับพื้นดินโดยใช้ระดับ TLV เป็นค่าวัดขนาดของกลุ่มไอ
- ก. หาเวลาที่กลุ่มไอของคลอรีนลอยมาด้วยความเร็วลมในขณะนั้น 2 เมตร/วินาที
- เนื่องจากบ้านเรือนห่างจุดเกิดเหตุ 500 เมตร ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการลอยไปถึงเขตชุมชนคือ 250 วินาที หรือ 4.2 นาที (500 เมตรหารด้วยความเร็ว 2 เมตรต่อวินาที) จะเห็นว่าในระยะ 500 เมตรถือว่าใกล้สำหรับการตั้งโรงงานที่มีการรั่วไหลของแก๊สคลอรีน 1 กิโลกรัม อย่างไรก็ตามเวลาเพียง 4 นาที ซึ่งถือว่าน้อยมากซึ่งอาจไม่เพียงพอแม้เพียงการส่งสัญญาณความปลอดภัยและประกาศให้ทุกคนในเขตชุมชนทราบในขณะนั้น
- ข. จากที่ทราบว่า Cl_2 รั่วออกมา 1 กิโลกรัม เป็นลักษณะแบบพัฟความเร็วของลมขณะนั้น 2 เมตร/วินาที เนื่องจากมีความเร็วลมดังนั้นสมบัติการแพร่จึงไม่เท่ากันทั้งสามทิศทาง ($k_x \neq k_y \neq k_z$) และความเข้มข้นในขณะนั้นขึ้นกับระยะ x, y, z และ t
- ดังนั้น Model ที่เลือกใช้ให้เหมาะสมคือ กรณีที่ 7 ที่ $\bar{C}(x, y, z, t)$ จะเห็นว่าจุดศูนย์กลางของพัฟที่ระยะ x ใด ๆ นั่นคือ $y = z = 0$ และที่จุดที่เข้มข้นที่สุดคือจุดศูนย์กลาง
- ดังนั้นสมการที่ใช้ที่จุดศูนย์กลางคือ สมการ (6.41)

$$\bar{C}(\bar{u}t, 0, 0, t) = \frac{Q_m^*}{\sqrt{2}(\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \quad \dots(6.41)$$

โดยที่

- สภาวะอากาศสมมติว่าเป็นแบบ Stable เพื่อให้มีการขยายตัวหรือการเจือจางสู่บรรยากาศของฟุ้งน้อยที่สุด จึงได้ว่าสภาวะแบบ D ดังนั้นจากกราฟรูปที่ 6.12 หรือใช้ตารางที่ 6.4 ที่ระยะ 500 เมตร จะได้ $\sigma_y = 5.2$ เมตร, $\sigma_z = 2.2$ เมตร และ เมื่อทราบ ว่า $\sigma_x = \sigma_y$
- $Q_m^* = 1$ กิโลกรัม

แทนค่าในสมการ (6.41) $\bar{C}_{Max} = \frac{1}{\sqrt{2}(\pi)^{3/2} 5.2^2 (2.2)} = 2.14 \times 10^{-3}$ กิโลกรัม/เมตร³

ความเข้มข้นสูงสุดในขณะนั้น 2.14×10^{-3} กิโลกรัม/เมตร³

โดยใช้สมการ (3.6) เปลี่ยนหน่วยจาก มิลลิกรัม/เมตร³ เป็น ppm

$$C_{ppm} = \frac{22.4}{M} \left(\frac{T}{273} \right) \left(\frac{1}{P} \right) \text{ มิลลิกรัม/เมตร}^3 \quad \dots(3.6)$$

สมมติให้ที่สภาวะในขณะนั้นมีอุณหภูมิ 298 เคลวิน ความดัน 1 บรรยากาศ และ มวลโมเลกุล = 70

$$\therefore 2.14 \times 10^{-3} \text{ กิโลกรัม/เมตร}^3 \text{ เท่ากับ } 737 \text{ ppm}$$

จะเห็นว่า ค่าความเข้มข้นสูงกว่า TLV มาก ๆ ดังนั้นผู้อาศัยอยู่บริเวณใต้ลมในระยะ 500 เมตร จะได้รับอันตรายจากการหายใจไอระเหยของคลอรีน

- ค. หาระยะที่ปลอดภัยหรือระยะที่ความเข้มข้นของฟุ้งที่ถูกพัดไปจนมีระดับความเข้มข้นน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขอบเขต

ที่ค่าขอบเขต 0.5 ppm = 1.45 มิลลิกรัม/เมตร³ หรือ 1.45×10^{-6} กิโลกรัม/เมตร³ โดยใช้สมการ (3.6) ใน

การแปลงหน่วยและแทนค่าลงใน สมการ (6.41) $\bar{C}_{Max} = \frac{Q_m^*}{\sqrt{2}(\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z}$ จะได้ว่า

$$1.45 \times 10^{-6} = \frac{1}{\sqrt{2}(\pi)^{3/2} \sigma_y^2 \sigma_z}$$

$$(\sigma_y)^2 \sigma_z = 8.76 \times 10^4 \text{ เมตร}^3$$

ใช้วิธี Trial and error

ค่า x ที่สุ่ม	σ_y	σ_z	$(\sigma_y)^2 \sigma_z$
1000	10.0	3.2	3.2×10^2
10,000	80.0	12.0	8.07×10^4
11,000	88.0	13.0	1.01×10^5

Interpolate ที่ช่วงระหว่าง 10 และ 11 กิโลเมตร จะได้ $x = 10.3$ กิโลเมตร

แสดงให้เห็นว่า คลอรีน 1 กิโลกรัม ต้องอาศัยเวลาในการทำให้อเจือจางในระดับต่ำกว่าค่าขอบเขต โดยการเคลื่อนที่ไปตามลมจนถึงระยะทาง 10.3 กิโลเมตร

- ง. หาขนาดหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของพืชนาดเท่าไร่ที่ระยะ 5 กิโลเมตร

โดยคิดความเข้มข้นตลอดแนวแกน x หรือทั้งที่ระดับพื้นดิน (Ground level) หรือ $z=0$ และจุดกึ่งกลางที่ $y=0$ จะได้

$$\bar{C}(x,0,0,t) = \frac{Q_m^*}{\sqrt{2}(\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x - \bar{u}t}{\sigma_x}\right)^2\right) \quad \dots(6.40)$$

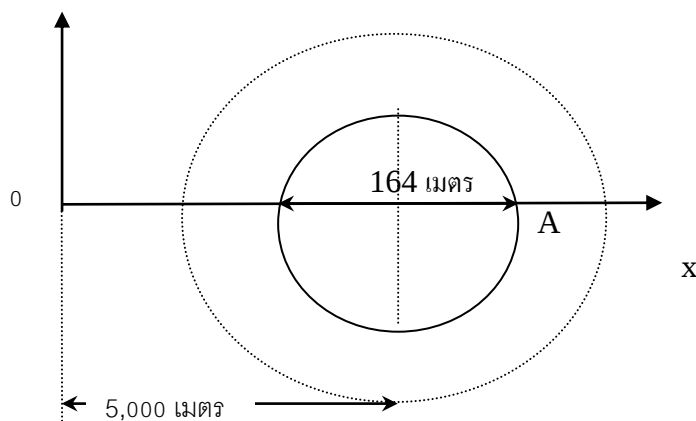
ที่ระยะ 5 กิโลเมตร อากาศแจ่มใสในสภาวะ D จะได้ $\sigma_y = 44$ เมตร, $\sigma_z = 8$ เมตร เมื่อ $\sigma_x = \sigma_y$ แทนค่าจะได้

$$1.45 \times 10^6 = \frac{1}{\sqrt{2}(\pi)^{3/2} (44^2)(8)} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x - 5000}{44}\right)^2\right)$$

จัดรูปให้เป็นสมการกำลังสอง (Quadratic equation)

$$x^2 - 10,000x + 2.499324 \times 10^7 = 0$$

$$\therefore x = 5,000 \pm 82$$



รูปที่ 6.15 ภาพด้านบนของการกระจายตัวของพื

จะเห็นว่าถ้ามีคนอยู่ใต้ลมด้วยระยะห่าง 5,082 เมตร (จุด A) จะต้องได้รับไอระเหยคลอรีนที่เกิน TLV นาน 164 เมตร / 2 เมตร/วินาที = 82 วินาที

ดังนั้นในช่วงที่คนได้รับแก๊สคลอรีนในระดับที่เป็นอันตรายควรแนะนำให้คนบริเวณนั้นอยู่ในบ้านพร้อมกับปิดหน้าต่างทุกบาน พร้อมกับห้ามเปิดเครื่องระบายอากาศในช่วงเวลาที่กลุ่มไอดีผ่าน

อย่างไรก็ตามคำแนะนำในบทที่ 2 เรื่องการควบคุมอันตรายจากการระเหยของสารอาจทำได้โดยการควบคุมที่ต้นเหตุโดยไม่ให้โรงงานปล่อยสารออกมาเกินขอบเขต TLV หรืออาจทำได้โดยการหลีกเลี่ยงโดยการตั้งบ้านเรือนให้ไกลออกไปจากโรงงานหรือโรงงานต้องเคลื่อนย้ายกระบวนการให้ออกไปเกิน 10.3 กิโลเมตร เพื่อความแน่ใจเรื่องความปลอดภัย หรือให้โรงงานยกระดับความสูงของจุดปล่อยสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการต่อปล่อยขึ้นไปสูง ๆ ก็จะทำให้ปลอดภัยขึ้นแต่เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายของโรงงาน

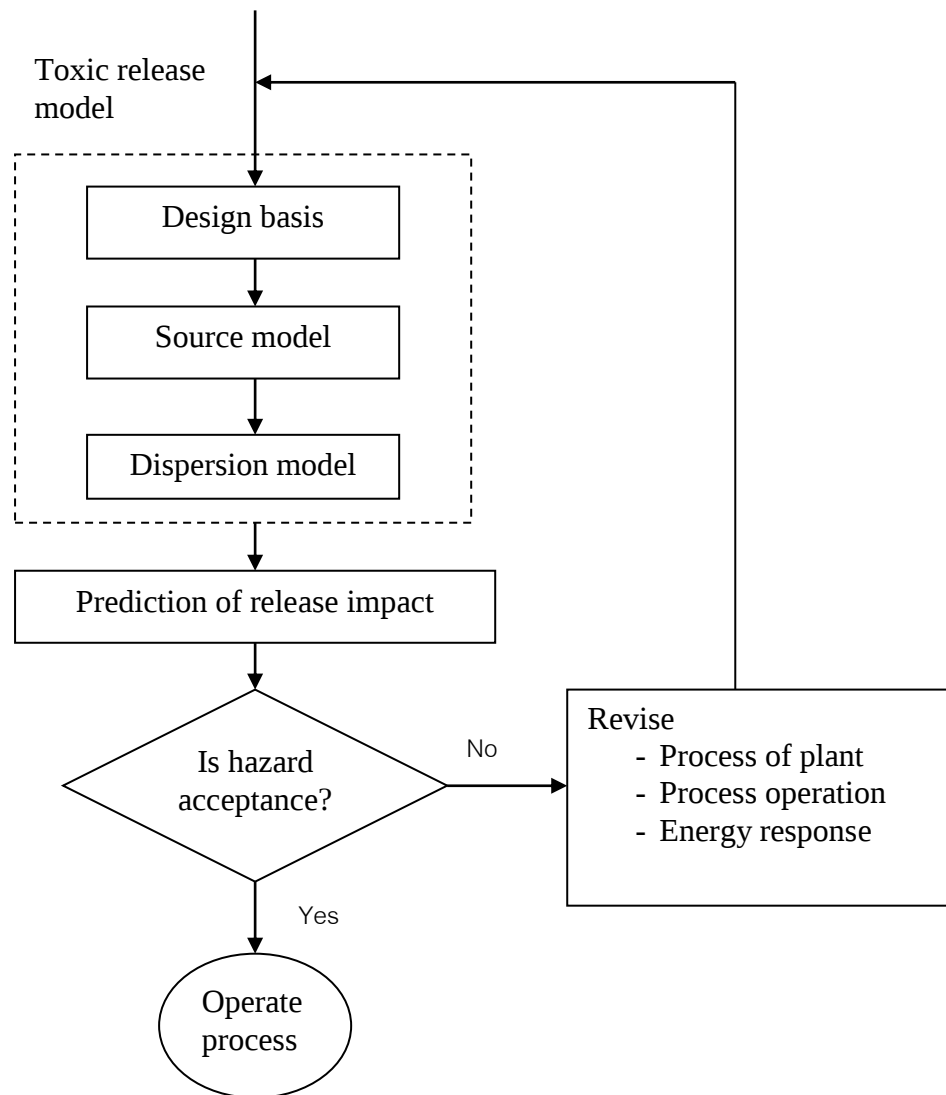
6.6 ผลของลักษณะภูมิประเทศและโครงสร้าง (Effect of building and structure)

คงทราบแต่ตอนต้นแล้วในเรื่องสภาวะต่างๆ ที่มีผลต่อรูปร่างและการแพร่ของฟุ้งและพุ่มเช่นความเร็วลม (ถ้าความเร็วมากกลุ่มไอดีสามารถที่จะสลายตัวเร็วกว่าลมเบา ๆ) ความเสถียรภาพของบรรยากาศ อากาศเป็นอย่างไร (การรบกวนเกิดในเวลากลางวันหรือกลางคืนต่างกันอย่างไร)

ภูมิประเทศหรือลักษณะของโครงสร้างบ้านเรือนหรือชุมชนในขณะนั้น ในกรณีตัวอย่าง 6-2 จะเห็นว่าในกรณีการรั่วไหลของคลอรีนเพียง 1 กิโลกรัม มีผลทำให้ชุมชนที่ตั้งบ้านเรือนอยู่ 500 เมตร ได้รับผลกระทบ การแก้ปัญหาในเรื่องนี้อาจจะเพิ่มการปลูกต้นไม้คั่นในระหว่างโรงงานและชุมชนอาจจะเป็นการบรรเทาสถานการณ์ให้เบาลงแต่บางครั้งก็เป็นอุปสรรคหากบังเอิญทำเลแถวนั้นเป็นทะเลสาบจะแก้ปัญหายังไง การศึกษาในลักษณะนี้ยังไม่ชัดเจนในปัจจุบัน ทำให้การคำนวณเกิดความผิดพลาดได้ง่ายในการคำนวณ

6.7 การขจัดปัดเป่าที่ต้นตอ (Release mitigation)

การขจัดปัดเป่า (Release mitigation) หรือการพยายามที่จะลดความเสี่ยงของการเกิดอันตรายในเรื่องการปลดปล่อยสารที่เป็นพิษ (Risk of a release incident by acting on the source) การป้องกันเราสามารถทำได้สองอย่างหลัก ๆ คือป้องกันไม่ให้เกิดการปล่อยหรือปล่อยให้น้อยที่สุด อีกวิธีหนึ่งหากไม่สามารถควบคุมการปล่อยได้จึงต้องป้องกันโดยใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล โดยหลักการนี้ ได้มีผู้เขียนหลักการเป็นแผนผังรูปที่ 6.16



รูปที่ 6.15 ขั้นตอนในการจัดปิดเป่าในการลดอุบัติเหตุ (Crowl and Louvar, 1999)

อย่างไรก็ตามให้ทราบว่า การจัดปิดเป่าเป็นการแก้ปัญหาทั้งต้นเหตุและปลายเหตุขึ้นอยู่กับมุมมองของแต่ละเพื่อให้ดีควรจะทำให้ไม่มีสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุหรือไม่ยอมให้หลุดลอดออกมาให้คนได้รับอันตรายเลย แต่ในสภาวะการณ์จริง ๆ ทำได้ยากมากดังนั้นจึงมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานเพื่อให้ปลอดภัย หรือการออกเป็นกฎหมาย (Regulation) เพื่อให้ลดการเกิดอันตรายซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดในบทที่ 9 เรื่องกฎหมายความปลอดภัย ต่อไป

ตารางที่ 6.5 แนวทางในการขจัดปัดเป่า (Release mitigation) (Crowl and Louvar, 1999)

Major area	Examples
<i>Inherent Safety</i>	Inventory reduction: Less chemicals inventoried or less in process vessels. Chemical substitution: Substitute a less hazardous chemical for one more hazardous. Process attenuation: Use lower temperatures and pressures.
<i>Engineering Design</i>	Plant physical integrity: Use better seals or materials of construction. Process integrity: Insure proper operating conditions and material purity. Process design features for emergency control: Emergency relief systems. Spill containment: Dikes and spill vessels.
<i>Management</i>	Operating policies and procedures Training for vapor release prevention and control. Audits and inspections Equipment testing Maintenance program Management of modifications and changes to prevent new hazards. Security
<i>Early Vapor Detection and Warning</i>	Detection by sensors Detection by personnel
<i>Countermeasures</i>	Water sprays Water curtains Steam curtains Air curtains Deliberate ignition of explosive cloud. Dilution Foams
<i>Emergency Response</i>	On-site communications Emergency shutdown equipment and procedures. Site evacuation Safe havens Personal protective equipment Medical treatment. On-site emergency plans, procedures, training and drills.

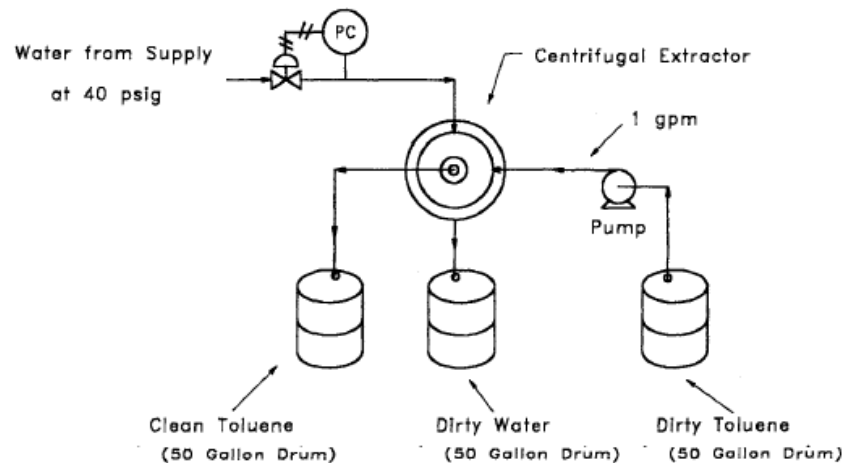
¹Richard W. Prugh and Robert W. Johnson, *Guidelines for Vapor Release Mitigation* (New York: American Institute of Chemical Engineers, 1988).

สรุปบทที่ 6 ความเข้าใจในเรื่องการรั่วไหลของสารพิษและแบบจำลองการแพร่ออกสู่บรรยากาศเป็นส่วนที่สำคัญในความเข้าใจในสถานะที่ก่อเกิดหรือหลังเกิดเหตุการณ์ขึ้นมา การใช้แบบจำลองยังต้องมีการพัฒนาปรับปรุงสมการตามสมมติฐานซึ่งแม้ว่าจะไม่ใช่เหตุการณ์ที่ไม่เป็นไปตามความเป็นจริงแต่ปัจจุบันมีผู้พัฒนาแบบจำลองที่ค่อนข้างจะมีความถูกต้องและมีความแม่นยำมากขึ้น การเรียนในบทนี้เป็นการนำแนวคิดพื้นฐานไปประยุกต์ใช้ การปรับปรุงเพื่อให้มีความถูกต้องจึงต้องขึ้นอยู่กับการตรวจสอบด้วย อย่างไรก็ตามในอนาคตเราอาจเห็นแบบจำลองที่เปลี่ยนไปไม่เหมือนกับที่เราเรียน เนื่องจากมีผู้คิดพื้นฐานใหม่ที่จะทำให้เข้าใจกลไกความจริงมากขึ้นก็เป็นไปได้

แบบฝึกหัด บทที่ 6

6-1 A backyard barbeque grill contains a 20-lb tank of propane. The propane leaves the tank through a valve and regulator and is fed through a 112-in rubber hose to a dual valve assembly. After the valves the propane flows through a dual set of ejectors where it is mixed with air. The propane-air mixture then arrives at the burner assembly, where it is burned. Describe the possible propane release incidents for this equipment.

6-2 Contaminated toluene is fed to a water wash system shown in Figure 5-16. The toluene is pumped from a 50-gal drum into a countercurrent centrifugal extractor. The extractor separates the water from the toluene by centrifugal force acting on the difference in densities.



รูปที่ 6.16 Toluene water wash process

The contaminated toluene enters the extractor at the periphery and flows to the center. The water enters the center of the extractor and flows to the periphery. The washed toluene and contaminated water flow into 50-gal drums. Determine a number of release incidents for this equipment.

6-3 A burning dump emits an estimated 3 g/s of oxides of nitrogen. What is the average concentration of oxides of nitrogen from this source directly downwind at a distance of 3 km on an overcast night with a wind speed of 7 m/s? Assume that this dump is a point ground-level source.

6-4. A trash incinerator has an effective stack height of 100 m. On a sunny day with a 2 m/s wind the concentration of sulfur dioxide 200 m directly downwind is measured at $5.0 \times 10^3 \text{ g/m}^3$. Estimate the mass release rate (in g/s) of sulfur dioxide from this stack. Also estimate the maximum sulfur dioxide concentration expected on the ground and its location downwind from the stack.

6-5. You have been suddenly enveloped by a plume of toxic material from a nearby chemical plant. Which way should you run with respect to the wind to minimize your exposure?

6-6. An air sampling station is located at an azimuth of 203° from a cement plant at a distance of 1,500 m. The cement plant releases fine particulates (less than 15 μm diameter) at the rate of 750 lb/hr from a 30-m stack. What is the concentration of particulates at the air sampling station when the wind is from 30° at 3 m/s on a clear day in the late fall at 4:00 P.M.?

6-7. A storage tank containing acrolein (ERPG-1 = 0.1 ppm) is located 1,500 m from a residential area. Estimate the amount of acrolein that must be instantaneously released at ground level to produce a concentration at the boundary of the residential area equal to the ERPG-1.

6-8. Consider again Problem 5-7, but assume a continuous release at ground level. What is the release rate required to produce an average concentration at the boundary to the residential area equal to the ERPG-1?

6-9 The concentration of vinyl chloride 2 km downwind from a continuous release 25 m high is 1.6 mg/m^3 . It is a sunny day, and the wind speed is 18 km/hr. Determine the average concentration 0.1 km perpendicular to the plume 2 km downwind.

6-10 Diborane is used in silicon chip manufacture. One facility uses a 500-lb bottle. If the entire bottle is released continuously during a 20-min period, determine the location of the 5 mg/m^3 ground-level isopleth. It is a clear, sunny day with a 5 mph wind. Assume that the release is at ground level.

6-11 Reconsider Problem 5-10. Assume now that the bottle ruptures and that the entire contents of diborane are released instantaneously. Determine, at 15 min after the release,

- The location of the vapor cloud. And the location of the 5 mg/m^3 isopleth.
- The concentration at the center of the cloud.
- The total dosage received by an individual standing on the downwind axis at the 15 min downwind location.
- How far and long the cloud will need to travel to reduce the maximum concentration to 5 mg/m^3

6-12. An 800-lb tank of chlorine is stored at a water treatment plant. A study of the release scenarios indicates that the entire tank contents could be released as vapor in a period of 10 min. For chlorine gas, evacuation of the population must occur for areas where the vapor concentration exceeds the ERPG-1. Without any additional information, estimate the distance downwind that must be evacuated.

6-13. A reactor in a pesticide plant contains 1,000 lb of a liquid mixture of 50% by weight liquid methyl isocyanate (MIC). The liquid is near its boiling point. A study of various release scenarios indicates that a rupture of the reactor will spill the liquid into a boiling pool on the ground. The boiling rate of MIC has been estimated to be 20 lb/min. Evacuation of the population must occur in areas where the vapor concentration exceeds ERPG-1. If the wind speed is 3.4 mph on a clear night, estimate the area downwind that must be evacuated.

6-14. A chemical plant has 10,000 lb of solid acrylamide stored in a large bin. About 20% by weight of the solid has a particle size less than 10 μm . A scenario study indicates that all the fine particles could be airborne in a period of 10 min. If evacuation must occur in areas where the particle concentration exceeds 110 mg/m^3 , estimate the area that must be evacuated.

6-15. You have been appointed emergency coordinator for the community of Smallville, shown in Figure 6-17. ABC Chemical Company is shown on the map. They report the following chemicals and amounts: 100 lb of hydrogen chloride and 100 gal of sulfuric acid. You are required to develop an emergency plan for the community.

- Determine which chemical presents the greater hazard to the community.
- Assuming all of the chemical is released during a 10-min period, determine the distance downwind that must be evacuated.
- Identify locations that might be affected by a release incident at the plant or might contribute to the incident because of its proximity to the plant.
- Determine transportation routes that will be used to transport hazardous materials into or out of the facility. Identify any high-risk intersections where accidents might occur.
- Determine the vulnerable zone along the transportation routes identified in part d. Use a distance of 0.5 mi on either side of the route, unless a smaller distance is indicated by part b.
- Identify any special concerns (schools, nursing homes, shopping centers, and the like) that appear in the transportation route vulnerable zone.
- Determine evacuation routes for the areas surrounding the plant.

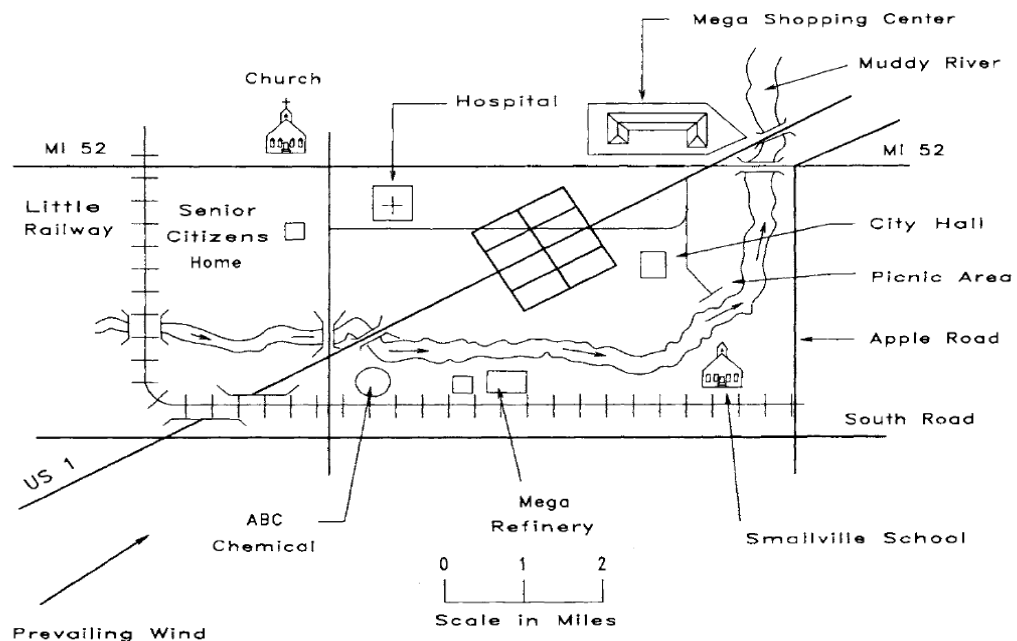


Figure 6-17 Map of Smallville (Crowl and Louvar, 2003)

- Determine alternative traffic routes around the potential hazard.
- Determine the resources required to support the needs of parts g and h.
- Identify the means required to warn the area, and describe the content of an example warning message that could be used in an emergency at the facility.
- Estimate the potential number of people evacuated during an emergency. Determine how these people are to be moved and where they might be evacuated to.
- What other concerns might be important during a chemical emergency?

6-16. Derive Equation (6.43)

6-17. One response to a short-term release is to warn people to stay in their homes or offices with the windows closed and the ventilation off. An average house, with the windows closed, exchanges air with the surroundings equal to three times the volume of the house per hour (although wide variations are expected).

- a. Derive an equation for the concentration of chemical vapor within the house based on a parameter, N_v , equal to the number of volume exchanges per hour. Assume well mixed behavior for the air, an initial zero concentration of vapor within the house, and a constant external concentration during the exposure period.
- b. A vapor cloud with a maximum concentration of 20 ppm is moving through a community. Determine the time before the vapor concentration within an average house reaches 10 ppm.
- c. If the wind is blowing at 2 mph and the plant is 1 mile upwind from the community, what is the maximum time available to the plant personnel to stop or reduce the release to ensure that the concentrations within the homes do not exceed the 10 ppm value?

6-18. A supply line (internal diameter = 0.493 in) containing chlorine gas is piped from a regulated supply at 50 psig. If the supply line ruptures, estimate the distance the plume must travel to reduce the concentration to 7.3 mg/m^3 . Assume an overcast day with a 15 mph wind and a temperature of 80°F . The release is near ground level.

6-19. A tank has ruptured and a pool of benzene has formed. The pool is approximately rectangular with dimensions of 20 ft by 30 ft. Estimate the evaporation rate and the distance affected downwind. Define the plume boundary using the TLV-TWA of 10 ppm. It is an overcast day with a 9 mph wind. The temperature is 90°F .

6-20. The EPA Risk Management Plan (RMP) defines a worst-case scenario as the catastrophic release of the entire process inventory in a 10-min period (assumed to be a continuous release). The dispersion calculations must be completed assuming F stability and 1.5 m/s wind speed. As part of the RMP rule, each facility must determine the downwind distance to a toxic endpoint. These results must be reported to the EPA and to the surrounding community.

- a. A plant has a 100-lb tank of anhydrous hydrogen fluoride (molecular weight = 20). The toxic endpoint is specified in the RMP as 0.016 mg/L. Determine the distance downwind (in miles) to the toxic endpoint for an EPA worst-case release.
- b. Comment on the viability of using a continuous release model for a 10-min release period.
- c. One hundred pounds of HF is a small quantity. Many plants have much larger vessels on site. Comment on how a larger quantity would affect the downwind distance and how this might affect the public's perception of your facility. What does this imply about the size of chemical inventories for chemical plants?

6-21. A tank of chlorine contains 1000 kg of chlorine at 50 bar gauge (1 bar = 100,000 Pa). What is the maximum hole diameter (in mm) in this tank that will result in a downwind concentration equal to the ERPG-1

at a downwind distance of 300 m? Assume 1 atm, 25°C, a molecular weight of chlorine of 70.9, and that all the liquid chlorine vaporizes.

6-22. The emergency coordinator has decided that the appropriate emergency response to the immediate release of a toxic material is to alert people to stay in their homes, with doors and windows closed, until the cloud has passed. The coordinator has also indicated that homes 4000 m downwind must not be exposed to concentrations exceeding 0.10 mg/m³ of this material for any longer than 2 min. Estimate the maximum instantaneous release of material (in kg) allowed for these specifications. Be sure to clearly state any assumptions about weather conditions, wind speed, etc.

6-23. A tank containing hydrogen sulfide gas (molecular weight 34) has been overpressured and the relief device has been opened. In this case the relief device has a 3-cm diameter, and the flow through the relief is equivalent to the flow obtained through a 3-cm-diameter hole in the tank. In this case the flow of gas has been calculated to be 1.76 kg/s. A cloud of material has formed downwind of the release. Determine the distance downwind that must be evacuated (in km). Assume that evacuation must occur in any location that exceeds the OSHA PEL. For this release the hydrogen sulfide in the tank is at a pressure of 1 MPa absolute and 25°C, the release occurs at ground level, and it is a clear night with a wind speed of 5.5 m/s.

6-24. A pipeline carrying benzene has developed a large leak. Fortunately, the leak occurred in a diked area and the liquid benzene is contained within the square 50 ft X 30 ft dike. The temperature is 80°F and the ambient pressure is 1 atm. It is a cloudy night with a 5 mph wind. All areas downwind with a concentration exceeding 4 times the PEL must be evacuated.

- Determine the evaporation rate from the dike (in lb/s).
- Determine the distance downwind (in mi) that must be evacuated.
- Determine the maximum width of the plume (in ft) and the distance downwind (in mile) where it occurs.

6-25. You are developing emergency evacuation plans for the local community downwind of your plant. One scenario identified is the rupture of an ammonia pipeline. It is estimated that ammonia will release at the rate of 10 lb/s if this pipeline ruptures. You have decided that anyone exposed to more than 100 ppm of ammonia must be evacuated until repairs are made. What evacuation distance downwind will you recommend?

6-26. Emergency plans are being formulated so that rapid action can be taken in the event of an equipment failure. It is predicted that if a particular pipeline were to rupture, it would release ammonia at a rate of 100 lb/s. It is decided that anyone exposed to potential concentrations exceeding 500 ppm must be evacuated. What recommendation will you make as to the evacuation distance downwind? Assume that the wind speed is 6 mph and that the sun is shining brightly.

6-27. Use the Britter-McQuaid dense gas dispersion model to determine the distance to the 1% concentration for a release of chlorine gas. Assume that the release occurs over a duration of 500 s with a volumetric release rate of 1 m³/s. The wind speed at 10 m height is 10 m/s. The boiling point for the chlorine is -34°C, and the density of the liquid at the boiling point is 1,470 kg/m³. Assume ambient conditions of 298 K and 1 atm.

6-28. Use a spreadsheet program to determine the location of a ground isopleth for a plume. The spreadsheet should have specific cell inputs for release rate (g/s), release height (m), spatial increment (m), wind speed (m/s), molecular weight of the released material, temperature (K), pressure (atm), and isopleth concentration (ppm). The spreadsheet output should include, at each point downwind, both y and z dispersion coefficients (m), downwind centerline concentrations (ppm), and isopleth locations (m).

The spreadsheet should also have cells providing the downwind distance, the total area of the plume, and the maximum width of the plume, all based on the isopleth values. Your submitted work should include a brief description of your method of solution, outputs from the spreadsheet, and plots of the isopleth locations. Use the following two cases for computations, and assume worst-case stability conditions

Case a: Release rate: 200 g/s, Release height: 0 m, Molecular weight: 100, Temperature: 298 K, Pressure: 1 atm, Isopleth concentration: 10 ppm

Case b: Same as above, but release height = 10 m. Compare the plume width, area, and downwind distance for each case. Comment on the difference between the two cases.

6-29. Develop a spreadsheet to determine the isopleths for a puff at a specified time after the release of material.

The spreadsheet should contain specific cells for user input of the following quantities: time after release (s), wind speed (m/s), total release (kg), release height (m), molecular weight of released gas, ambient temperature (K), ambient pressure (atm), and isopleth concentration (ppm).

The spreadsheet output should include, at each point downwind, downwind location, both y and z dispersion coefficients, downwind centerline concentration, and isopleths distance off-center (+/-).

The spreadsheet output should also include a graph of the isopleth location.

For your spreadsheet construction, we suggest that you set up the cells to move with the puff center. Otherwise, you will need a large number of cells.

Use the spreadsheet for the following case:

Release mass: 0.5 kg, Release height: 0 m, Molecular weight of gas: 30, Ambient temperature: 298 K, Ambient pressure: 1 atm, Isopleth concentration: 1 ppm, Atmospheric stability: F

Run the spreadsheet for a number of different times, and plot the maximum puff width as a function of distance downwind from the release. Answer the following questions:

- At what distance downwind does the puff reach its maximum width?
- At what distance and time does the puff dissipate?
- Estimate the total area swept out by the puff from initial release to dissipation.

Your submitted work should include a description of your method of solution, a complete spreadsheet output at 2,000 s after release, a plot of maximum puff width as a function of downwind distance, and the calculation of the total swept area.

6-30. A fixed mass of toxic gas has been released almost instantaneously from a process unit. You have been asked to determine the percentage of fatalities expected 2,000 m downwind from the release. Prepare a

spreadsheet to calculate the concentration profile around the center of the puff 2,000 m downwind from the release. Use the total release quantity as a parameter. Determine the percentage of fatalities at the 2,000 m downwind location as a result of the passing puff. Vary the total release quantity to result in a range of fatalities from 0 to 100%. Record the results at enough points to provide an accurate plot of the percentage of fatalities vs. quantity released. The release occurs at night with calm and clear conditions. Change the concentration exponent value to 2.00 instead of 2.75 in the probit equation, and rerun your spreadsheet for a total release amount of 5 kg. How sensitive are the results to this exponent?

Hint: Assume that the puff shape and concentration profile remain essentially fixed as the puff passes.

Supplemental information:

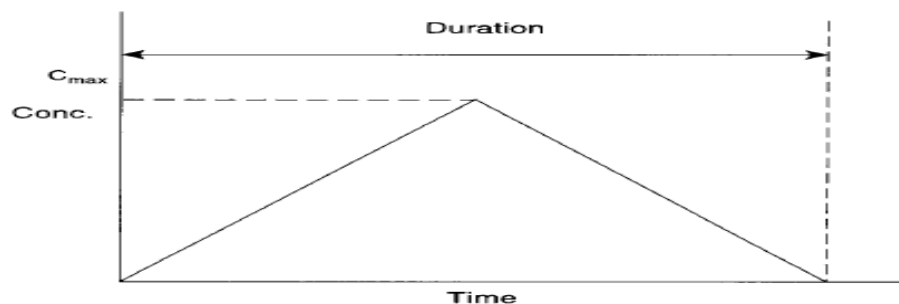
Molecular weight of gas: 30, Temperature: 298 K, Pressure: 1 atm, Release height: 0, Wind speed: 2 m/s
Use a probit equation for fatalities of the form:

$$Y = -17.1 + 1.69 \ln \left(\sum C^{2.75} T \right),$$

where Y is the probit variable, C is the concentration in ppm, and T is the time interval (min).

Your submitted work must include a single output of the spreadsheet for a total release of 5 kg, including the puff concentration profile and the percent fatalities; a plot of the concentration profile for the 5 kg case vs. the distance in meters from the center of the puff; a plot of the percentage of fatalities vs. total quantity released; a single output of the spreadsheet for a 5-kg release with a probit exponent of 2.00; and a complete discussion of your method and your results.

6-31. A particular release of chlorine gas has resulted in the concentration profile given in Figure 6-18 for the cloud moving downwind along the ground. This is the concentration recorded at a fixed location as the cloud passes. The concentration increases linearly to a maximum concentration $C_{\max}$, and then decreases linearly to zero.



รูปที่ 6.16 Concentration profile for a chlorine gas release

The width of the cloud is represented by the duration or time to pass, as shown. Develop a spreadsheet to compute the percentage of fatalities expected as a result of this cloud, with this particular shape, passing a fixed location. Set up your spreadsheet to include input parameters of cloud duration and maximum concentration. Use your spreadsheet to draw a plot of the percentage of fatalities vs. duration of exposure. Draw a curve on the plot for each of the maximum concentrations of 40, 50, 60, 70, 80, and 100 ppm. What conclusions can be drawn about the results?

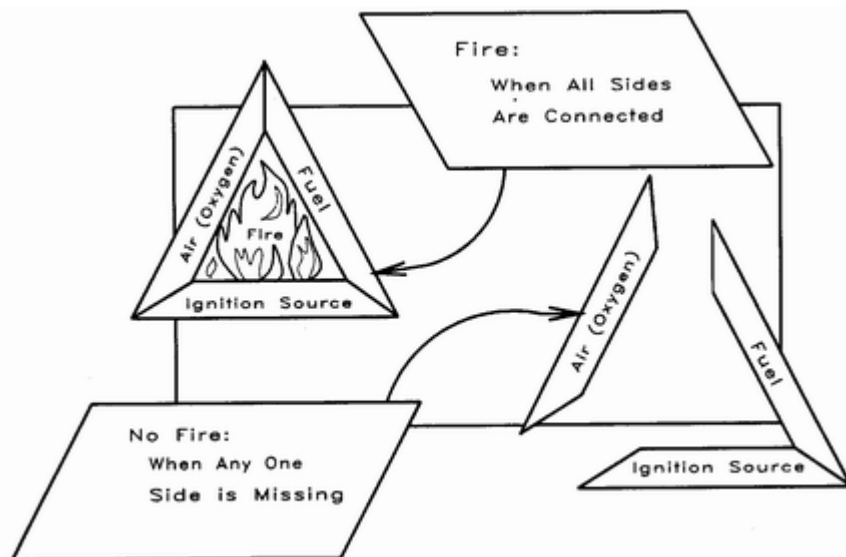
บทที่ 7

การเกิดเพลิงไหม้และการระเบิด

หลายคนคงรู้จักความร้ายแรงของไฟและการระเบิด (Fires and Explosion) มาจากหลาย ๆ เหตุการณ์ ทั้งตั้งใจและไม่ตั้งใจที่จะให้มันเกิดหรือเหตุการณ์นั้นเกิดไถ่ตัวและไถ่ตัวอย่างไรก็ดีปฏิกิริยาแล้วการเกิดไฟไหม้ และการระเบิดจะเกิดคู่กันหรือเหตุการณ์หนึ่งเกิดก่อนแล้วเหตุการณ์หนึ่งเกิดหลังซึ่งเราทราบรายละเอียดจากบทที่ 3 แล้วในเรื่องสารเคมีกับการติดไฟซึ่งเราจะทราบจากความประมาทซึ่งลงในหนังสือพิมพ์ในแต่ละวัน วิศวกรเคมีจึงจำเป็นต้องเข้าใจในบทนี้เพื่อที่จะลดอุบัติเหตุโดยเริ่มจากสาเหตุของการเกิดไฟก่อน

7.1 สามเหลี่ยมของไฟ

การเกิดไฟไหม้หรือการระเบิดจะเกิดขึ้นได้ถ้ามีองค์ประกอบ หลัก ๆ คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจนที่ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ และความร้อนซึ่งเป็นเหตุของการลุกติดไฟ ดังที่เราจะรู้จักในรูปสามเหลี่ยมของไฟ ดังแสดงในรูปที่ 7.1 ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 7.1 สามเหลี่ยมของไฟ (The fire triangle) (Crowl and Louvar, 1999)

จากรูปที่ 7.1 เราเห็นว่าการเกิดเพลิงไหม้มี 3 องค์ประกอบดังนี้คือ

- ① เชื้อเพลิง ในรูปของ ของแข็ง เช่น ไม้ พลาสติก ไฟเบอร์ ฝุ่นผงที่ติดไฟได้ ของเหลว เช่น น้ำมันเบนซิน (แก๊สโซลีน) อะซีโตน อีเธอร์ อัลกอฮอล์ แก๊ส เช่น ไฮโดรเจน (H_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) อะเซทิลีน (C_2H_2) โพรเพน (C_3H_8)
- ② ตัวออกซิไดซ์ในรูปของแข็ง เช่น โลหะที่สามารถเกิดออกไซด์ได้ (Metal peroxides) เช่น อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) หรืออาจจะเป็นแอมโมเนียมไนไตร (NH_4NO_3) ซึ่งเราคงจะคุ้นเคยบ้างแล้วในบทที่ 4
- ③ แหล่งติดไฟ (Ignitions) เช่น ประกายไฟ (Sparks) เปลวเพลิง (Flames) ไฟฟ้าสถิต (Static electricity) ความร้อน (Heat)

ในปัจจุบันการเกิดไฟอาจจะต้องพิจารณาองค์ประกอบที่มากกว่า 3 อย่างดังที่แสดงไว้ใน รูปที่ 7.1 คือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Sustain exothermic chain reaction) หรือการเกิดการคายความร้อนออกมาทำให้ อุณหภูมิสูงขึ้นเกิดการรุกรลามอย่างต่อเนื่อง

7.2 ความแตกต่างระหว่างไฟและการระเบิด

ปกติแล้ว ไฟ และ การระเบิด จะเกิดควบคู่กันหรือเกิดก่อน-หลัง การระเบิดจะมีพลังงานปลดปล่อย (Energy release) ที่รวดเร็วมากกว่าการเกิดไฟหลายเท่า

7.3 นิยามของคำต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการเกิด ไฟและการระเบิด

เพื่อเป็นที่เข้าใจแบบสากลเราจำเป็นต้องมาเข้าใจนิยามของคำต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

Combustion: การสันดาปหรือเกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงตามสมการ



จากที่เราทราบแล้วว่าการติดไฟต้องมี 3 องค์ประกอบที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กันคือ เชื้อเพลิง, ออกซิเจนและความร้อน หลังจากการเกิดไฟจะมีการปลดปล่อยพลังงาน (Energy release) อย่างต่อเนื่อง เมื่อเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำดังแสดงในสมการ (7.1)

Ignition: การติดไฟ/จุดระเบิด หรือการจุดไฟ

Auto ignition: การติดไฟ/จุดระเบิดได้เอง ส่วนใหญ่แก๊สหรือ ไอ ที่มีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้เกิดการติดไฟเองได้ (Self-ignite)

Auto ignition temperature: (AIT) จุดลุกติดไฟได้เอง หรือ อุณหภูมิที่เชื้อเพลิงสามารถลุกติดไฟขึ้นได้โดยไม่ต้องอาศัยแหล่งความร้อนจากภายนอก AIT จะมีค่าสูงกว่า ค่า Flammable mixture

Flash point: จุดวาบไฟ หรือ แสดงด้วยอุณหภูมิ ซึ่งถ้าของเหลวระเหยกลายเป็นไอ และมีปริมาณเพียงพอที่จะรวบรวมกันกลายเป็นสารติดไฟได้ เมื่อมีประกายไฟในช่วงเวลาสั้น ๆ ความดันสูงขึ้นจะทำให้เกิดง่ายขึ้น

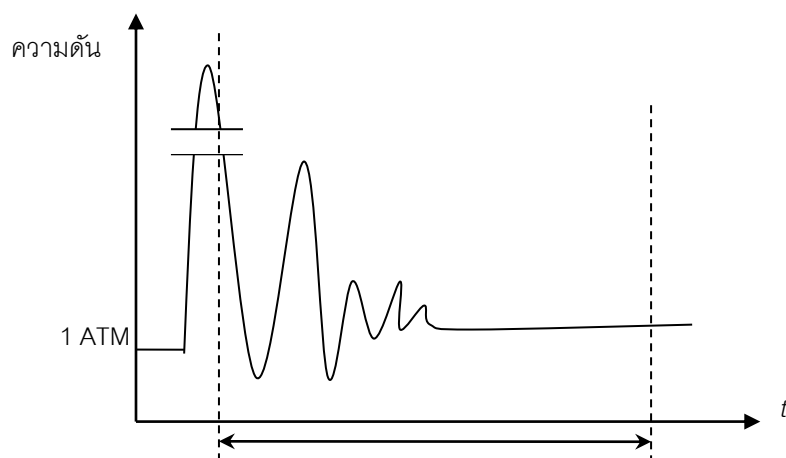
Fire point : เป็นจุดที่อุณหภูมิสูงกว่า Flash point เมื่อไอของของเหลวเกิดการติดไฟ และต่อเนื่อง

%FL (Flammable limit) : ค่าขอบเขตความเข้มข้นต่ำสุดและความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถไหม้ไฟได้ซึ่งขอบเขตนี้อาจจะ เปลี่ยนได้ขึ้นกับอุณหภูมิ ความดัน และปัจจัยทางกายภาพอื่น ๆ เช่นขนาดละอองของเชื้อเพลิง

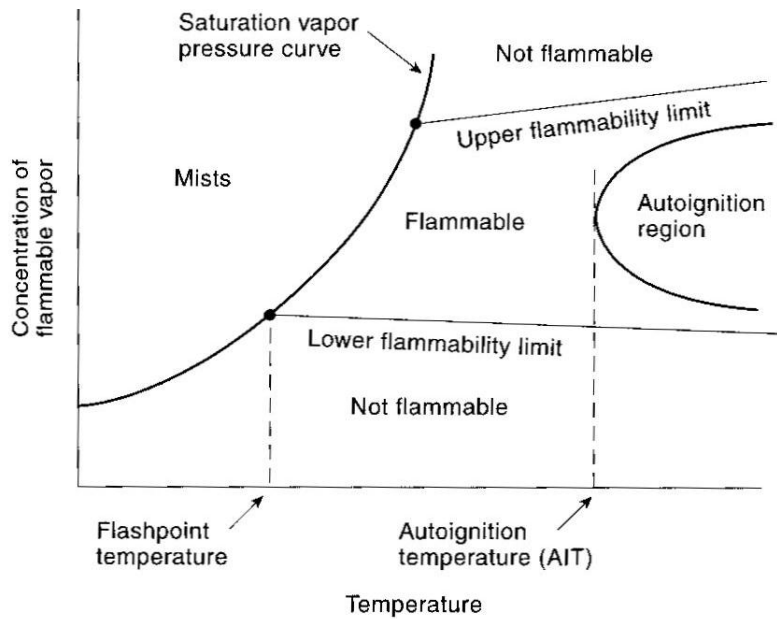
%LFL = เป็นขอบเขตต่ำสุดของเปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงในอากาศที่สามารถติดไฟได้ หรือ
%Lower Flammable Limit

%UFL = เป็นขอบเขตสูงสุดของเปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงในอากาศที่สามารถติดไฟได้
% Upper Flammable Limit

- Shock wave : คลื่นความดันสูงวิ่งผ่านอากาศหรือแก๊ส ทำให้เกิดกระแสมแรงมาก ทั้งสองอย่างนี้เรียกว่า Blast wave โดยปกติถ้าความดันเกิดขึ้นเร็วมาก กระบวนการนี้จะถ่ายเทความร้อนไม่ทัน ส่วนมากจะถูกสมมติว่าเป็นสภาวะอะเดียบาติก (Adiabatic)
- Explosion : การระเบิดที่เป็นการขยายตัวของแก๊ส เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว อาจเกิดเป็น Shock wave ถ้าการเคลื่อนที่ที่ความเร็วมากกว่าเสียง
- Deflagration : เป็นการระเบิดที่ความดันไม่สูงพอที่จะทำให้เกิด Shock wave หรือความเร็วต่ำกว่าความเร็วเสียง ดังนั้นเราจะได้ยินเสียงก่อนก่อนที่จะเห็นเปลวไฟ
- Detonation : เป็นการระเบิดที่ความดันสูงมากที่จะทำให้เกิด Shock wave หรือการเคลื่อนที่ที่มีความเร็วเหนือเสียง พร้อมกับมีปฏิกิริยาที่ปล่อยพลังงานออกมาเร็วมาก (Sharp energy release)
- Confined explosion : การระเบิดที่ถูกจำกัดขนาดเช่น การเกิดระเบิดในภาชนะรับความดันหรือในห้องที่เกิดความเสียหายแตกพังด้วยความดันสูง
- Unconfined explosion : การระเบิดในที่โล่ง (พื้นที่ไม่ถูกจำกัด) อาจเกิดโดยการระเหยของสารเคมีจนถึงจุดติดไฟ (Ignite) แต่ในอากาศเกิดน้อยกว่าการระเบิดที่ถูกจำกัดขนาด (Confined explosion) เนื่องจากอาจจะถูกเจือจาง ด้วยอากาศ แต่ถ้าเกิดการระเบิดในที่โล่ง (Unconfined explosion) จะเกิดการกระจายในบริเวณกว้าง
- BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) : เป็นการระเบิดของของเหลวที่ขยายตัวเป็นไอเมื่อถึงจุดเดือด เมื่อมีการรั่วไหลออกมาสู่บรรยากาศ ที่ความดันบรรยากาศและเกิดการเดือดจนฉับพลันจะเกิดการลั่นออกอย่างต่อเนื่อง หากมีประกายไฟจะเกิดการลุกไหม้ของของเหลวที่ติดไฟได้และอาจจะมีระเบิดหากมีความดันสูงพอ
- Dust explosion: เกิดจากการสันดาปของฝุ่นที่ติดไฟได้ รวมถึงโลหะบางชนิด เช่นเหล็กหรืออลูมิเนียม หลังเกิดการออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง
- Overpressure: เป็นความดันในขณะนั้นที่เป็นผลจาก Shock wave ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนดังรูปที่ 7.2 ทำให้เกิดความสูญเสียเหมือนที่เราเรียนในบทที่ 3



รูปที่ 7.2 ความดันของการเกิดระเบิด (Overpressure)



รูปที่ 7.3 แสดงความสัมพันธ์ของคุณสมบัติการติดไฟต่างๆ

จากรูป 7.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความดันไอของสารติดไฟ (Flammable vapor) และอุณหภูมิ พร้อมกับความสัมพันธ์ของ คำนิยามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เช่น จุดวาบไฟ (Flash point) และการจุดติดไฟอัตโนมัติ (Auto-ignition point) เส้นกราฟความสัมพันธ์ที่เป็นในรูป 7.3 ที่เป็นเอ็กโปเนนเชียล แสดงให้เห็นถึงความดันไออิ่มตัวของของเหลว (Saturated vapor pressure) ส่วนเส้นตรง 2 เส้นคือเส้น URL และ LFL เส้น URL จะเป็นเส้นตรงที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (ความชันเป็นบวก)

จากความสัมพันธ์ เส้น LFL จะเป็นเส้นตรงที่ลดลงเมื่อเวลาอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (ความชันเป็นลบ) โดยทฤษฎีแล้วเส้น LFL เมื่อตัดกับเส้นความดันไออิ่มตัวจะได้ จุดวาบไฟ แต่ผลการทดลองโดยส่วนใหญ่จะไม่เป็นจริงตามทฤษฎี ส่วนค่าการจุดติดไฟอัตโนมัติจากรูป คืออุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ทำให้ไอของสารติดไฟสามารถติดไฟได้เอง อย่างไรก็ตามยังไม่มีใครบอกได้ว่าอาณาบริเวณของค่า การจุดติดไฟอัตโนมัติ (Auto-ignition point) และค่า ขอบเขตของการติดไฟ (Flammability limit) จะอยู่ตรงไหน

ดังนั้น จุดวาบไฟ และ ขอบเขตของการติดไฟ จึงไม่ใช่คุณสมบัติพื้นฐาน (Fundamental properties) แต่จะเป็นวิธีการวัดที่ขึ้นกับวิธีการวัด (Procedure) โดยการทดลองจะใช้อุปกรณ์ดังรูป 7.4 ซึ่งเป็นวิธีการวัดแบบเปิด (Open-cup flash point procedure) ซึ่งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงในเรื่องการควบคุมความดันบ้าง ส่วนวิธีการแบบปิด (Close-cup method) จะสามารถควบคุมความดันของสารละลายเมื่อมีการอุ่นสารละลายให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนการสัมผัสประกายไฟได้ดีกว่า (เนื่องจากมีจากปิดไว้) ซึ่งค่าที่ได้โดยวิธีแบบปิดนี้จะต่ำกว่าวิธีแบบเปิด นอกจากวิธีการทดลองที่กล่าวมาแล้วยังมีผู้ที่สามารถหาสมการทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าจุดวาบไฟของสารประกอบอินทรีย์ (Organic compound) ชื่อ Satyanarayana and Rao (1992) ซึ่งได้หาความสัมพันธ์เกี่ยวกับคุณสมบัติพื้นฐานนั้นคือค่าจุดเดือด ดังสมการ (7.1) นี้ถูกทดสอบแล้วพบว่ามีความผิดพลาดน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

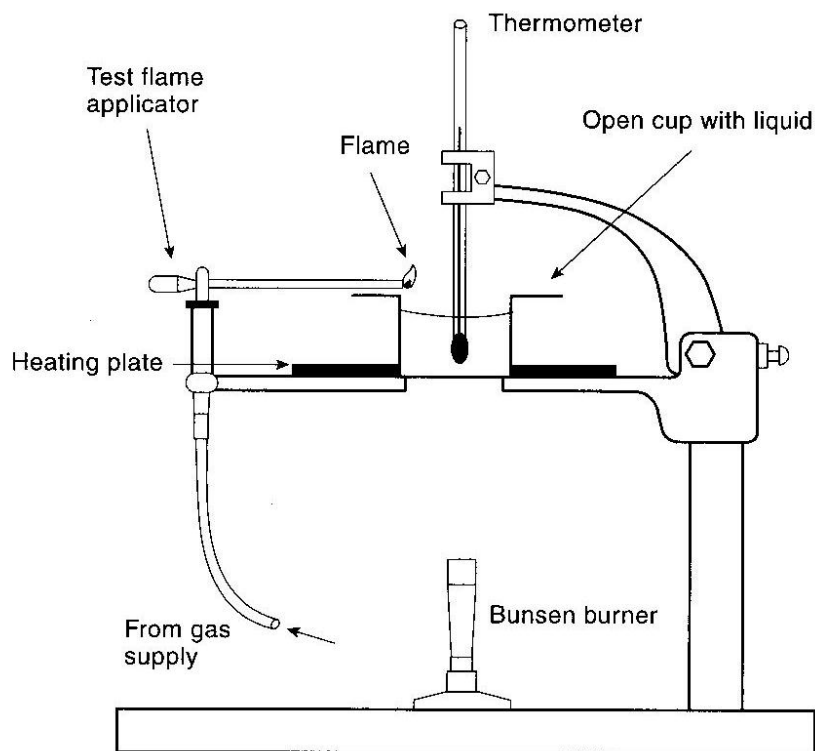
$$T_f = a + \frac{b(c/T_b)^2 e^{-c/T_b}}{(1 - e^{-c/T_b})^2} \quad \dots(7.1)$$

โดยที่

T_f = อุณหภูมิของจุดวาบไฟ (K)

a, b, c คือ ค่าคงที่ที่แสดงไว้ในตาราง 7.1

T_b = อุณหภูมิของจุดเดือด (K)



รูปที่ 7.4 เครื่องมือการหาจุดวาบไฟแบบเปิด (Cleveland open-cup flash point determination)

ตารางที่ 7.1 แสดงค่าคงที่ a, b, c สำหรับสมการหาที่จุดวาบไฟ หรือสมการ (7.1)¹

Chemical group	a	b	c
Hydrocarbons	225.1	537.6	2217
Alcohols	230.8	390.5	1780
Amines	222.4	416.6	1900
Acids	323.2	600.1	2970
Ethers	275.9	700.0	2879
Sulfur	238.0	577.9	2297
Esters	260.8	449.2	2217
Ketones	260.5	296.0	1908
Halogens	262.1	414.0	2154
Aldehydes	264.5	293.0	1970
Phosphorus-containing	201.7	416.1	1666
Nitrogen-containing	185.7	432.0	1645
Petroleum fractions	237.9	334.4	1807

¹K. Satyanarayana and P. G. Rao, *Journal of Hazardous Materials* (1992), 32: 81–85.

7.4 ค่าเฉพาะของการเกิดไฟไหม้ในเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวและไอ (Flammability characteristics for liquids and vapors)

ค่าเฉพาะของการเกิดไฟไหม้ในเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลวและไอจะถูกแสดงใน ตารางที่ 7.2 ซึ่งจะบอกค่า จุดวาบไฟ (Flash point), เปอร์เซ็นต์ของสารระเหยในอากาศหรือค่าขอบเขตความเข้มข้นต่ำสุดและความเข้มข้นสูงสุดของสารระเหยในอากาศ ที่สามารถไหม้ไฟได้ (% LFL- % UFL) และอุณหภูมิของการจุดติดไฟอัตโนมัติ (Auto ignition temp) อย่างไรก็ตามสภาวะที่แสดงในตารางที่ 7.2 อาจมีการเปลี่ยนแปลงถ้าสภาวะต่าง ๆ เปลี่ยนไปเช่นอุณหภูมิ ความดัน ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการของอากาศในขณะนั้น เป็นต้น

ตารางที่ 7.2 ค่าที่บอกการไหม้ไฟของเชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปของเหลวและไอ (Flammability Characteristics of liquids and gases) (Crowl and Louvar, 1999)

Compound	Flash point (°F)	%LFL in air	%UFL in air	Autoignition Temperature (°F)
Acetone	0.0*	2.5	13	1000
Acetylene	Gas	2.5	100	
Acrolein	-14.8	2.8	31	
Acrylonitrile	32	3.0	17	
Aniline	158	1.3	11	
Benzene	12.0**	1.3	7.9	1044
Butane	-76	1.6	8.4	761
Carbon monoxide	Gas	12.5	74	
Chlorobenzene	85**	1.3	9.6	1180
Cyclohexane	-1**	1.3	8	473
Diborane	Gas	0.8	88	
Dioxane	53.6	2.0	22	
Ethane	-211	3.0	12.5	959
Ethyl alcohol	55	3.3	19	793
Ethylene	Gas	2.7	36.0	914
Ethylene oxide	-20*	3.0	100	800
Ethyl ether	-49.0**	1.9	36.0	180
Formaldehyde		7.0	73	
Gasoline	-45.4	1.4	7.6	
Heptane	24.8	1.1	6.7	
Hexane	-15	1.1	7.5	500
Hydrogen	Gas	4.0	75	1075
Isopropyl alcohol	53*	2.0	12	850
Isopropyl ether	0	1.4	7.9	830
Methane	-306	5.3	15	1000
Methyl acetate	15	3.1	16	935
Methyl alcohol	54*	6	36	867
Methyl chloride	32	8.1	17.4	1170
Methyl ethyl ketone	24*	1.4	11.4	960
Methyl isobutyl ketone	73	1.2	8.0	860
Methyl methacrylate	50*	1.7	8.2	790
Methyl propyl ketone	45	1.5	8.2	941
Naptha	-57	1.2	6.0	550
Octane	55.4	1.0	6.5	
Pentane	-40	1.51	7.8	588
Phenol	174	1.8	8.6	
Propane	Gas	2.1	9.5	
Propylene	-162	2.0	11.1	927
Propylene dichloride	61	3.4	14.5	1035
Propylene oxide	-35	2.3	36	869
Styrene	87**	1.1	7.0	914
Toluene	40	1.2	7.1	997

* Open cup flash point

** Closed cup flash point

¹ Martha W. Winholtz, ed., The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals, 10th ed. (Rahway, NJ: Merck and Company, 1983), p. 1124; Gress Nostrand Reinhold, 1981), pp 860-861; and Richard A> Wadden and Peter A. Scheff, Engineering Design for the Control of Workplace Hazards (New York: McGraw-Hell Book Company, 1987), pp 146-156.

โดยปกติในโรงงานอุตสาหกรรมเคมีมักจะมีสารเคมีหลาย ๆ ชนิดซึ่งสารเคมีแต่ละชนิดจะมีคุณลักษณะการลุกติดไฟต่าง ๆ กันไปดังแสดงในตารางที่ 7.2 แต่บางครั้งเราจำเป็นต้องคำนวณหาสารนั้นถูกเปลี่ยนคุณสมบัติเช่นถูกเจือจางลงไปหรือคุณลักษณะของสารหลาย ๆ ชนิดรวมกัน โดยความเข้าใจในเรื่องการผสม โดยเฉพาะค่าจุดวาบไฟและค่าเปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงในอากาศจะขออธิบายโดยการยกตัวอย่างที่ 7-1 และ ตัวอย่างที่ 7-2

7.4.1 จุดวาบไฟของสารผสม (Flash point of multicomponent mixture)

การหาจุดวาบไฟของสารเดิมเมื่อมีสัดส่วนที่เปลี่ยนไปโดยใช้ความเข้าใจในเรื่องการผสม โดยมีหลักการคือ ให้ความดันไอ (Vapor pressure) ของสารที่ถูกผสม (Multicomponent) มีค่าเท่าความดันส่วนย่อย (Partial pressure) เช่น เมททานอลมีจุดวาบไฟ 52 องศาฟาเรนไฮน์ และความดันไอในขณะนั้นคือ 53 mmHg ถามว่าจุดวาบไฟของเมททานอล 75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (มีน้ำ 25 เปอร์เซ็นต์) เท่าไหร่

ตัวอย่างที่ 7-1 ก่อนอื่นต้องหาสัดส่วนโมลของเมททานอล 75% มาก่อนเพื่อนำไปหาความดันไอใหม่

ส่วนประกอบ	% โดยน้ำหนัก	มวลโมเลกุล	โมล	สัดส่วนโมล
เมททานอล	0.75	$\text{CH}_4\text{O} = 32$	$0.75/32$	0.628
น้ำ	0.25	$\text{H}_2\text{O} = 18$	$0.25/18$	0.372
			0.03733	1.00

ดังนั้นเราต้องหาความดันไอของสารผสมใหม่โดยใช้ความสัมพันธ์

$$P^* = (\text{สัดส่วนโมล}) P^{Sat} \quad \dots(7.2a)$$

โดยที่ P^* = ความดันไอของสารที่ยังไม่ถูกผสม (Vapor pressure of pure component)

P^{Sat} = ความดันไอของสารที่ถูกผสม (Partial pressure of multicomponent)

ความดันไอของเมททานอลโจทย์ได้กำหนดให้ 53 mm Hg แต่ถ้าไม่กำหนดมาให้สามารถหาได้จากสมการแอนโทนี-วอห์นสัน

$$\ln(P^{Sat}) = A - \frac{B}{C + T} \quad \dots(7.2b)$$

โดยที่ A, B, C หาจากตาราง ภาคผนวก ง ความดันไออิ่มตัว (Saturation vapor pressure data) หรือบางคนอาจจะใช้ตาราง Antoine constant จากหนังสือเทอร์โมไดนามิกส์ ก็ได้

T = อุณหภูมิ (K)

$$\text{จากภาคผนวก ง; } \ln(P^{Sat}) = 18.5875 - \frac{3626.55}{-34.29 + 284.11} = 1.765$$

หรือ ความดันไอของเมทานอลเท่ากับ 58.23 mm Hg

บางคนอาจแปลกใจว่าทำไมค่าความดันไอที่โจทย์กำหนดให้กับค่าความดันไอที่คำนวณหาออกมาไม่เท่ากันเหตุผลหนึ่งเนื่องจาก สมการ (7.2b) เป็นสมการเอมไพริคัลของสารผสมซึ่งตัวเลขที่ได้อาจจะคลาดเคลื่อนไปบ้าง สมมติว่าเราจะหาความดันไอของเมทานอลหลังจากผสมน้ำโดยเอาค่าความดันไอเท่ากับเมทานอลบริสุทธิ์ คือ 53 mmHg มาคำนวณ โดยแทนค่าความดันไอและสัดส่วนโมลเข้าไปในสมการ (7.2) จะได้

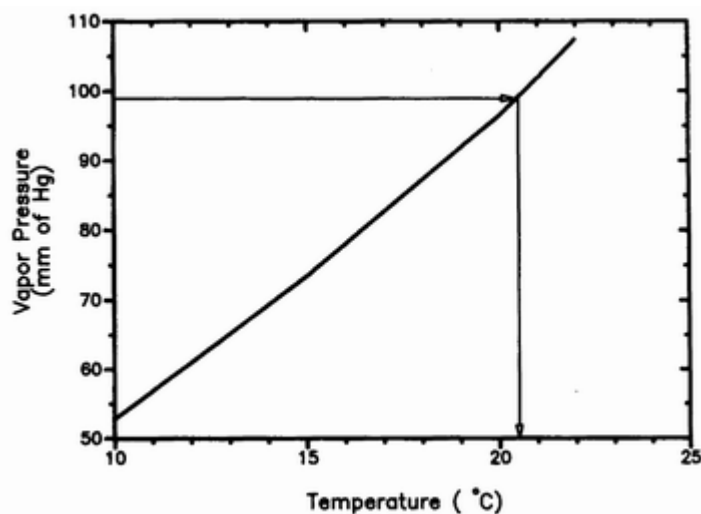
$$P^{Sat} = 53/0.628 = 84.1 \text{ mmHg}$$

แทนค่ากลับ P^{Sat} ไปที่สมการ (7.2b) โดยเมทานอลเท่ากับ 84.1 mmHg จะได้

$$\ln(84.1) = 18.5875 - \frac{3626.55}{-34.29 + T}$$

ดังนั้นจะได้จุดวาบไฟของเมทานอลเท่ากับ 290.48 เคลวิน หรือ 17.48 องศาเซลเซียส

เมื่อเทียบค่าความดันไอของเมทานอล 53 mm Hg จะมีจุดวาบไฟ 11.11°C (52°F) ถ้าความดันไอของ เมทานอลเปลี่ยนไปเป็น 84.1 mm Hg จะมีจุดวาบไฟเท่ากับ $(11.11 \times 84.1)/53 = 17.63 \text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือหาจากทดลอง (Empirical experiment) พบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวรูปที่ 7.5 ซึ่งจะเห็นว่าค่อนข้างเป็นเชิงเส้น



รูปที่ 7.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดวาบไฟที่ความดันไอของเมทานอล (Crowl and Louvar, 1999)

เราก็ได้ทราบแล้วว่าค่าจุดวาบไฟเปลี่ยนไปเมื่อเชื้อเพลิงใด ๆ มีสัดส่วนของส่วนผสมเปลี่ยนไปในการทำงานเดียวกันในสภาวะจริงในโรงงานอุตสาหกรรมเคมีโดยทั่วไปจะมีสารระเหยที่ติดไฟได้อยู่ถ้ามีสารชนิดเดียวเราสามารถดูได้จากตารางที่ 7.2 เพื่อหาค่าก็เปอร์เซ็นต์ที่เชื้อเพลิงลอยอยู่ในอากาศ แต่ถ้าเป็นสารเคมีที่ติดไฟได้หลาย ๆ ชนิดผสมกันเราจะหาอย่างไรดูหลักการดังต่อไปนี้

7.4.2 ขอบเขตของการติดไฟ (Flammable limit)

การหาค่าเปอร์เซ็นต์ที่เชื้อเพลิงลอยอยู่ในอากาศที่สามารถติดไฟได้ (Flammable limit) ในกรณีสารที่ผสมกันมากกว่า 1 ชนิด สามารถหาได้โดยการใช้สมการที่ได้จากการทดลอง (Empirical equation) ของ Le Chatelier's equation (Crowl and Louvar, 1990) ซึ่งจะได้

$$LFL_{mix} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{LFL_i}} < FL < UFL_{mix} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{UFL_i}} \quad \dots(7.3)$$

n = จำนวนของของผสมทั้งหมดที่ไหม้ไฟได้ (Combustible species)

y_i = สัดส่วนโมลของส่วนผสม i

$\%LFL_i, \%UFL_i$ = เปอร์เซนต์ที่เชื้อเพลิงลอยอยู่ในอากาศต่ำสุดและสูงสุดสำหรับสาร i

ตัวอย่างที่ 7-2 แก๊สผสมระหว่าง Hexane 0.8% + Methane 2.0% + Ethylene 0.5% โดยปริมาตร จงหา $\%LFL$ และ $\%UFL$ ของแก๊สผสม

	% โดยปริมาตร	สัดส่วนโมล	$\%LFL$	$\%UFL$
Hexane	0.8	$0.8/3.3 = 0.242$	1.1	7.5
Methane	2.0	$2.0/3.3 = 0.610$	5.0	15
ethylene	0.5	$0.5/3.3 = 0.148$	2.7	36
total	3.3	1.00		

$$\therefore \%LFL_{mix} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i}{LFL_i} \right)} = \frac{1}{\frac{0.242}{1.1} + \frac{0.610}{5.0} + \frac{0.148}{2.7}} = 2.52\%$$

$$\therefore \%UFL_{mix} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i}{UFL_i} \right)} = \frac{1}{\frac{0.242}{7.5} + \frac{0.610}{15} + \frac{0.148}{36}} = 12.98\%$$

จะเห็นว่าจะมีการเกิด Flame ได้เนื่องจาก Hexane + Methane + ethylene มีส่วนผสมในอากาศ 3.3% โดยปริมาตร ซึ่งมากกว่า $\%LFL_{mix} = 2.52\%$ โดยปริมาตร

ผลกระทบของค่า %LFL และ %UFL จากอุณหภูมิและความดัน

ผลกระทบจากอุณหภูมิเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิห้อง 25°C

$$LFL = LFL_{at 25^{\circ}\text{C}} (1 - 0.75 (T - 25) / \Delta H_c) \quad \dots(7.3)$$

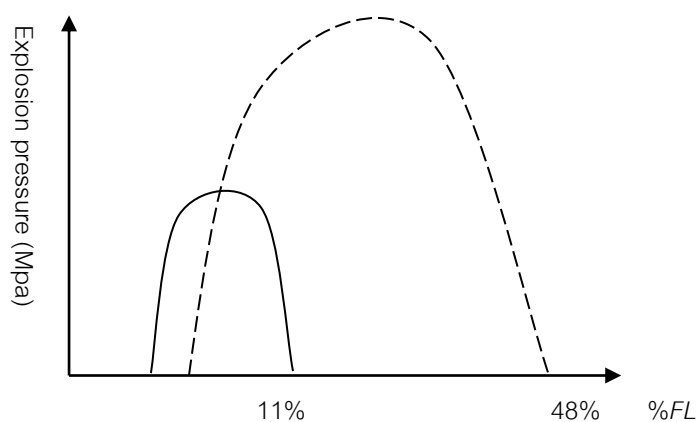
$$UFL = UFL_{25^{\circ}\text{C}} (1 - 0.75 (T - 25) / \Delta H_c) \quad \dots(7.4)$$

เมื่อ T = อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

ΔH_c = ค่าการสันดาปโดยรวม (Kcal/mole)

ผลกระทบจากความดัน

ตามปกติที่ความดันน้อยกว่า 50 mm Hg การเกิดไฟไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ลาม แต่เมื่อเพิ่มความดันให้สูงขึ้น ผลคือจะทำให้ให้ช่วง %LFL - %UFL ขยับกว้างขึ้นหรือเกิดช่วงที่สามารถทำให้ไฟติดได้มากขึ้นดังรูป 7.6



รูปที่ 7.6 ช่วงของ %LFL - %UFL เปลี่ยนเนื่องจากความดัน

โดยใช้สมการ Empirical ในช่วง %UFL ใหม่ = %UFL เก่า + 20.6 (log P + 1) เช่นที่ $P = 0$ เมกกะปาสคาล มีค่า %UFL เก่าเท่ากับ 11% แต่เมื่อความดันเปลี่ยนเป็น 6 เมกกะปาสคาล ดังนั้น %UFL ใหม่ที่ได้เพิ่มขึ้นเป็น 48%

การหา FL หรือ Flammability limit โดยการคำนวณ ส่วนมากแล้วเราจะทราบ %LFL และ %UFL จากการทดลอง หรือข้อมูลในตารางที่ 7.1 แต่เราสามารถคำนวณได้โดยใช้วิธีของ G.W. Jones แต่วิธี

นี้จะสามารถหาค่าได้เฉพาะ $\%LFL$ และ $\%UFL$ ของสาร Hydrocarbon โดยใช้ความสัมพันธ์ Stoichiometric concentration (C_{st}) จาก Combustion equation.

$$C_{st} = \frac{\text{Moles fuel}}{\text{moles fuel} + \text{Moles air}} \quad \dots(7.5)$$

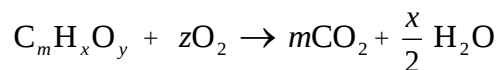
หารด้วย Mole Fuel;

$$= \frac{100}{1 + \frac{\text{Moles air}}{\text{Moles fuel}}}$$

คิด O_2 ในอากาศมี 21% by mole จะได้ โมลทั้งหมดของอากาศเท่ากับ โมลของ $O_2/0.21$ แทนค่าจะได้

$$C_{st} = \frac{100}{1 + \frac{\text{mole } O_2 / 0.21}{\text{mole fuel}}} \quad \dots(7.6)$$

โดยที่ โมลของออกซิเจนหาได้จากสมการการเผาไหม้ทั่วไป



จากสมดุลโมลของออกซิเจนจะได้

$$y + 2z = 2m + \frac{x}{2}$$

$$\therefore z = m + \frac{x}{4} - \frac{y}{2} \quad \text{โดยที่ } z = \frac{\text{mole } O_2}{\text{mole fuel}} \quad \dots(7.7)$$

แทน z สมการ (7.7) ใน (7.6) จะได้

$$\begin{aligned} \therefore C_{st} &= \frac{100}{1 + \left(\frac{z}{0.21} \right)} \\ &= \frac{100}{1 + \frac{\left(m + \frac{x}{4} - \frac{y}{2} \right)}{0.21}} \\ &= \frac{100}{4.76m + 1.19x - 2.38y + 1} \quad \dots(7.8) \end{aligned}$$

จากสมการ Empirical ได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\left. \begin{aligned} \%LFL &= 0.55 C_{st} \\ \%UFL &= 3.5 C_{st} \end{aligned} \right\} \quad \dots(7.9)$$

ดังนั้นแทนค่าสมการ (7.8) ลงใน (7.9) จะได้

$$\left. \begin{aligned} \%LFL &= \frac{55}{4.76m + 1.19x - 2.38y + 1} \\ \%UFL &= \frac{350}{4.76m + 1.19x - 2.38y + 1} \end{aligned} \right\} \dots(7.10)$$

สมการ (7.10) สามารถใช้ได้หลังจากที่เราสมดุลสมการการเผาไหม้สารไฮโดรคาร์บอน

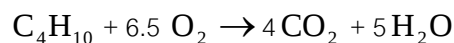
7.5 การหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของออกซิเจนที่ไม่สามารถติดไฟได้หรือการทำให้เฉื่อย (Maximum oxygen concentration; MOC and inerting)

ถึงแม้ว่า $\%LFL$ และ $\%UFL$ เป็นขอบเขตของเชื้อเพลิงในอากาศที่จะทำให้ติดไฟ แต่ถ้าเราลดออกซิเจนที่มีอยู่ในขณะนั้นออก จะทำให้วงจรรของไฟไม่สมบูรณ์ การลดอาจทำได้โดยการเพิ่มแก๊สเฉื่อยเช่น แก๊สไนโตรเจนหรือเติมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อเจือจางหรืออาจจะเติมน้ำโดยการพ่นน้ำให้เป็นฝอยเป็นต้น ดังนั้นเราสามารถหาค่าต่ำสุดของออกซิเจนที่เป็นวงจรรของการติดไฟหรือค่า MOC ได้โดยใช้ความสัมพันธ์

$$MOC = \%LFL \left(\frac{\text{mole O}_2}{\text{mole fuel}} \right) = \%LFL \times z$$

โดยที่ โมลของออกซิเจนหาจากสมการการเผาไหม้ (Combustion equation)

สมมติถ้าเป็น Butane จะได้



$$\therefore z = \frac{\text{mole O}_2}{\text{mole fuel}} = 6.5$$

และ $\%LFL$ ของ Butane = 1.6 จากตารางที่ 7.2

$$\therefore MOC = 1.6 \times 6.5 = 10.4\% \text{ โดยปริมาตร}$$

หมายเหตุ: การลด O_2 โดยการฉีดน้ำ อาจจะไปเพิ่มการลุกไหม้ให้รุนแรงขึ้น เนื่องจากละอองน้ำอาจจะมี การควบแน่นกลับลงมา ผลทำให้สารที่ติดไฟได้ที่ระเหยอยู่ในขณะนั้นได้รับความเย็นจนเกิดการควบแน่น ในจังหวะที่ สามารถอยู่ในช่วงที่ติดไฟได้ ทำให้ดูเหมือนว่าการฉีดน้ำไปช่วยทำให้เกิดการลุกติดไฟมากขึ้น (ส่วนใหญ่จะเห็น ได้ชัดกับประเทศที่มีอากาศหนาว)

7.6 พลังงานต่ำสุดที่ทำให้เกิดการติดไฟ (Minimum Ignition Energy; MIE)

การที่เราทราบพลังงานต่ำสุดในการจุดระเบิดจะเป็นการช่วยในเรื่องการประหยัดพลังงานในการจุดติดไฟ ซึ่งการจุดติดไฟดังที่เราทราบมาแล้วว่าขึ้นกับความเข้มข้นของเชื้อเพลิงที่อยู่ในอากาศ ความดันและอุณหภูมิในขณะนั้นของเชื้อเพลิง ยกตัวอย่างจากตารางที่ 7.2 ที่ว่า โพรเพน 1% โมล ที่ความดัน 1 atm ใช้พลังงาน 0.004 mJ แต่ที่ 0.5 atm ใช้พลังงาน 0.01 mJ จากการศึกษาของนักวิจัยพบว่าค่าพลังงานต่ำสุดที่ทำให้เกิดการติดไฟ (MIE) ของสาร Hydrocarbon อยู่ประมาณ 0.25-0.29 mJ ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับพลังงานในการจุดติดไฟของโพรเพนนั่นจะต่ำมากเมื่อเทียบกับการติดไฟจากแหล่งอื่น ๆ แม้กระทั่งประกายไฟที่ได้จากการเกิดไฟฟ้าสถิต ยังใช้พลังงานถึง 22 mJ ซึ่งไฟฟ้าสถิตเป็นสาเหตุหลักที่เกิดไฟไหม้ ดังแสดงในตารางที่ 7.3 ที่แสดงถึงสถิติของการเกิดไฟไหม้ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา รัฐอิลลินอยด์ มลรัฐชิคาโก ในปี พ.ศ. 2517 ส่วนสาเหตุรองลงมาคือบุหรี่ ความเสียดทาน การร้อนขึ้นจนเกิดไฟไหม้โดยไม่ได้ตั้งใจของวัสดุ (Overheated material) เป็นต้น

ตารางที่ 7.3 สาเหตุหลักของการเกิดไฟไหม้จากสถิติจากรัฐอิลลินอยด์ มลรัฐชิคาโก พ.ศ. 2517
(Crowl and Louvar, 1999)

Electrical (wiring of motors)	23%
Smoking	18%
Friction (bearings or broken parts)	10%
Overheated materials (abnormally high temperatures)	8%
Hot surfaces (heat from boilers, lamps, etc.)	7%
Burner flames (improper use of torches, etc.)	7%
Combustion sparks (sparks and embers)	5%
Spontaneous ignition (rubbish, etc.)	4%
Cutting and welding (sparks, arcs, heat, etc.)	4%
Exposure (fires jumping into new areas)	3%
Incendiarism (fires maliciously set)	3%
Mechanical sparks (grinders, crushers, etc.)	2%
Molten substances (hot spills)	2%
Chemical action (processes not in control)	1%
Static sparks (release of accumulated energy)	1%
Lightning (where lightning rods are not used)	1%
Miscellaneous	1%

¹*Accident Prevention Manual for Industrial Operations* (Chicago: National Safety Council, 1974).

ในทางตรงข้ามถ้าเราต้องการให้เกิดการติดไฟยากขึ้นหรือทำให้ค่า MIE สูง สามารถทำได้โดยลดความดัน เพิ่มแก๊สเฉื่อยเช่นแก๊ส ไนโตรเจน หรือควบคุมที่ต้นตอโดยควบคุมค่าการติดไฟไม่ให้โดยไม่ให้เกินค่า MIE

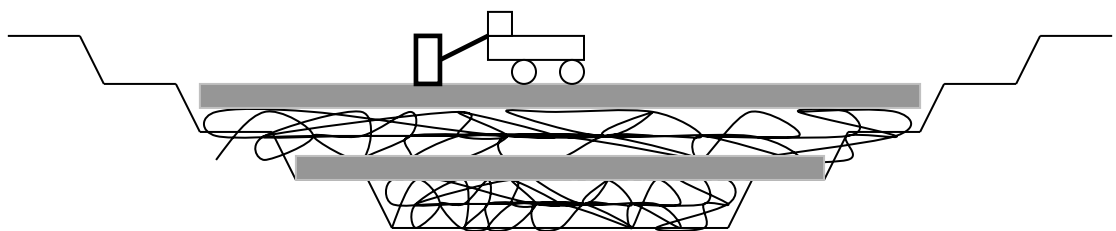
7.7 กระบวนการเกิดออกซิเดชันอัตโนมัติ (Autoignition Temperature; AIT)

บางที่เราอาจได้ยินคนเรียกว่าเป็นการจุดติดไฟด้วยตัวเองโดยธรรมชาติ (Spontaneous Ignition Temperature; SIT) หรือการเกิดการติดไฟนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของสารระเหย ปริมาณของไอเชื้อเพลิงในอากาศ ความดัน อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยา, การไหลเวียนของอากาศในขณะนั้น และลักษณะตัวมันเองของสารหรือเชื้อเพลิงนั้น ๆ (ดูจากตารางที่ 7.2)

7.8 กระบวนการเกิดออกซิเดชันอัตโนมัติ (Autooxidation)

กระบวนการการเกิดออกซิเดชันเป็นกระบวนการสะสมออกซิเจนอย่างช้า ๆ เราอาจจะใช้คำนี้ในการเกิดการลุกไหม้ของไฟทุกครั้งแต่การเกิดไฟจะเป็นการเกิดออกซิเดชันเร็ว ๆ หรือมีการสะสมของออกซิเจนเร็ว ๆ เรียกว่าจุดติดไฟ (Ignition) เป็นผลให้เกิดการจุดติดไฟได้เอง

กระบวนการการเกิดออกซิเดชันมักพบเห็นโดยทั่วไปเช่น น้ำมันเครื่องที่อยู่ในบริเวณที่ร้อนเกิดการระเหยอยู่ตลอดเวลาในถังเก็บที่เปิดฝาไว้ ฉนวนที่กั้นความร้อนของไอน้ำ (Steam pipe) ที่มีอุณหภูมิสูงจนถึงจุดหนึ่งเกิดการออกซิเดชันซึ่งความสามารถสะสมของออกซิเจนเมื่อทำปฏิกิริยากับโพลีเมอร์จนเกิดการติดไฟ ตัวกรอง (Filter aid) ที่ถูกทิ้งในกองขยะขนาดใหญ่ (Land-filled) อาจจะมีสารที่ติดไฟได้เมื่อเกิดการทับถมมากขึ้น เกิดความร้อนสูงขึ้นก็จะเกิดการออกซิเดชันจนเกิดความร้อนจนเกิดติดไฟขึ้นมาเอง (Autoignition) เหมือนกับหลายประเทศที่มีการฝังกลบขยะไว้นาน ๆ จนไม่รู้ว่ามีขยะสามารถเกิดออกซิเดชันอยู่ใต้ดิน เมื่อมีการเปลี่ยนมือเจ้าของที่ดินโดยไม่มีข้อมูลเจ้าของที่ใหม่อาจจะไปทำที่ดินจัดสรรหรือสร้างบ้านขึ้นมา พื้นใต้ดินที่ระอุไปด้วยความร้อนที่เกิดจากการออกซิเดชันอาจจะทำให้เกิดโศกนาฏกรรมได้ถึงแม้ว่าจะใช้เวลาหลายปีดังรูปที่ 7.7 บางที ชาว ปี 2549 ในประเทศไทยเกี่ยวกับใต้พื้นดินมีความร้อนในเขตจังหวัดสมุทรปราการ คนไม่สามารถอยู่ในบ้านได้เพราะเยียบพื้นที่ไหนก็ร้อนไปหมด ถึงแม้ว่าจะยังไม่ทราบสาเหตุที่แน่นอน แต่เหตุการณ์แบบนี้อาจเกิดจากสาเหตุของกระบวนการ ออกซิเดชันอัตโนมัติ ก็ได้



รูปที่ 7.7 การเกิดออกซิเดชันทำให้เกิดความร้อนใต้พื้นดินอาจเกิดกระบวนการหมัก (Fermentation)

7.9 การที่ระบบถูกอัดแบบอะเดียบาติก (Adiabatic compression)

ระบบแบบอะเดียบาติกที่เห็นชัด ๆ ที่ส่วนใหญ่จะเป็นกระบอกสูบ เช่นกระบอกสูบเครื่องยนต์ดีเซล ถ้าเครื่องยนต์ร้อนเกินไปอาจจะทำให้เกิดการระเบิดไม่ทันแม้ปิดเครื่องยังได้ยินเสียงเครื่องยนต์ทำงานอยู่ กรณีของการอัดจะใช้หลักการดูดและคายอากาศ แต่ถ้าไอของของเหลวที่ไวไฟเกิดเข้าไปในเครื่องจะทำให้กระบวนการไม่

ต่างจากเครื่องยนต์ดีเซล ดูดอัดระเบิดคาย ดังนั้นอุณหภูมิที่ได้ถ้าสมมติว่าระบบเป็นแบบอะเดียบาติกจะได้ความสัมพันธ์

$$T_f = T_i \left(\frac{P_f}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} ; \gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad \dots(7.20)$$

T_f = อุณหภูมิสุดท้าย (K)

T_i = อุณหภูมิเริ่มต้น (K)

P_f = ความดันสุดท้าย

P_i = ความดันเริ่มต้น

ตัวอย่างที่ 7-3 จงหาอุณหภูมิหลังจากสารละลายเฮกเซนถูกบีบเข้าไปในเครื่องคอมเพรสเซอร์โดยอุบัติเหตุ ที่ความดันภายนอกขณะนั้น 14.7 psia และเครื่องคอมเพรสเซอร์ในขณะนั้นมีความดัน 500 psi ถ้ากำหนดให้ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 100°F, $\gamma = 1.4$

จากสมการ (7.20);
$$T_f = T_i \left(\frac{P_f}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} ; \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

โดยที่ $T_i = 100^\circ\text{F}$ หรือ 310.78 K

$P_f = 500\text{ psia}$

$P_i = 14.7\text{ psia}$

แทนค่าจะได้;
$$T_f = 310.78 \left(\frac{500}{14.7} \right)^{\frac{0.4}{1.4}} = 831.27\text{ K หรือ } 1072^\circ\text{F}$$

เมื่อดูค่าในตารางที่ 7.2 จะเห็นว่า AIT ของ Hexane = 500°F นั้นแสดงว่าอุณหภูมิในเครื่องแอร์คอมเพรสเซอร์ 1072.88°F ซึ่งสูงกว่า 500°F ที่ Hexane สามารถติดไฟเองได้ ผลคือจะมีการระเบิดแน่ ๆ ของเครื่องคอมเพรสเซอร์ ถ้ามีสารละลายเฮกเซนหลุดเข้าไปในเครื่อง

ตัวอย่างที่ 7-4 เราทราบว่าความดันในเครื่องแอร์คอมเพรสเซอร์จะต้องถูกออกแบบให้มีความปลอดภัยที่ความ

ดันสุดท้ายไม่เกิน $P_i \left(\frac{T_f}{T_i} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$ หรืออุณหภูมิไม่เกิน $T_i \left(\frac{P_f}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$ ในการออกแบบเพื่อใช้งานจำเป็นต้องใช้น้ำมันหล่อลื่น (Lubricant oil) ในกระบอกสูบในเครื่องแอร์คอมเพรสเซอร์จำเป็นต้องเข้าใจ ถ้าให้ AIT ของน้ำมันหล่อลื่นคือ 400 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศนั้นคือเราต้องออกแบบความดันสุดท้ายของเครื่องแอร์คอมเพรสเซอร์เท่าไรเมื่อสมมติเป็นสภาวะอะเดียบาติกเราสามารถนำเอาสมการ (7.20) มาใช้ได้เลย

$$\begin{aligned} P_f &= 1\text{ atm} \left(\frac{400 + 273}{25 + 273} \right)^{\frac{(1.4)}{(1.4-1)}} \\ &= 17.3\text{ atm} \end{aligned}$$

ดังนั้นเราจำเป็นต้องออกแบบเครื่องแอร์คอมเพรสเซอร์ให้มีความดันต่ำกว่า 17.3 เท่าของความดันบรรยากาศ

7.10 แหล่งของการเกิดไฟ (Ignition Sources)

ก่อนหน้านี้เราตัดวงจรของไฟในส่วนของการลัดออกซิเจนแต่การที่เราตัดวงจรโดยการลัดออกซิเจนที่ต้นตอแล้ว เราควรจะตัดแหล่งเชื้อเพลิง (Ignition sources) ด้วยเพื่อเป็นการตัดไฟแต่ต้นลมซึ่งจากงานวิจัยเรื่อง Accident prevention manual for Industrial operations, 1974 จาก National Safety council พบว่าแหล่งเชื้อเพลิงหลัก ส่วนใหญ่คือความร้อนของสายไฟที่ต่อเข้ามอเตอร์ (Wiring of motors) ดูในตารางที่ 7.3 ถ้าเป็นเมืองไทยพวกเราคงรู้ว่าสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้เกือบทุกครั้งจะถูกรายงานเนื่องจากสาเหตุไฟช็อตนั่นเอง

7.11 ไอและละอองที่ติดไฟได้ (Sprays and mists)

การพ่นให้เป็นฝอย (Spray) มีโอกาสสร้างไฟฟ้าสถิต (Static electricity) เนื่องจากอนุภาคมีการเสียดสีและสูญเสียประจุในช่วงที่ออกมาจากเครื่องพ่น (Injector) ถ้าไม่ควบคุมอาจจะทำให้เกิดการไม่สมดุลหรือประจุเกิดการสะสมจนเกิดการกระโดดหรือเกิดการ Spark ได้ ถ้าละอองที่พ่นออกมาติดไฟได้จะทำให้เกิดระเบิดได้ แม้กระทั่งของเหลวที่เป็นสารระเหยยาก (Non volatile) เมื่อถูกพ่นเป็นฝอย

ปกติไอระเหยของสารหากได้รับความเย็นจะเกิดการควบแน่นกลายเป็นละออง (เหมือนหมอก) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 0.01 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถติดไฟได้เหมือนกับเป็นไอดำมีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าค่า %LFL จากการทดลองพบว่าถ้าขนาดของละอองใหญ่ขึ้นจะมีผลทำให้ค่า %LFL ต่ำลง โดยปกติเครื่องพ่นที่ประดิษฐ์ขึ้นโดยทั่วไปจะมีความสามารถพ่นละอองได้ขนาด 0.01-0.2 มิลลิเมตร ถ้าขนาดของละออง 0.2 มิลลิเมตร พบว่าค่า %LFL ที่ได้จะเท่ากับ %LFL / 10 แต่ถ้าขนาดของละอองให้ขนาดใหญ่ เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6-1.5 มิลลิเมตร จะติดไฟได้แต่จะไม่มีการลามไฟ แต่อย่างไรก็ตามหากมีการก่อวนทำให้ละอองใหญ่เกิดการแตกตัว (Shatter) เป็นละอองขนาดเล็กอาจจะเกิดการลามได้

7.12 การระเบิด (Explosion)

มีสมการ Empirical มากมายที่พยายามจำลองเหตุการณ์ระเบิด ซึ่งจริง ๆ แล้ว การที่จะหาสาเหตุของการระเบิดนั้นเป็นเรื่องที่ค่อนข้างซับซ้อน เพราะการระเบิดนอกจากมีหลายปัจจัยแล้ว เราต้องเข้าใจพฤติกรรมต่าง ๆ ของการระเบิดด้วย ดังนั้นวิศวกรจำเป็นต้องเข้าใจและตระหนักในเรื่องการออกแบบเพื่อป้องกันการระเบิดในลักษณะห้ามพลาด (Margin of safety) หรือที่เรารู้จักในลักษณะการเผื่อเพื่อความปลอดภัย (Safety factor) นั่นเอง

พฤติกรรมของการระเบิดมีหลายลักษณะอาจจะระเบิดที่เกิดขึ้นในที่โล่งหรือจำกัดพื้นที่ดังจะกล่าวต่อไป

การเกิดระเบิดในลักษณะต่าง ๆ (Detonation and Deflagration)

การเกิดระเบิดในสองลักษณะนี้มักจะเกิดขึ้นในพื้นที่จำกัดเช่นในห้อง โอกาสที่จะเกิดระเบิดความร้อนสูง (Deflagration) ก่อนแล้วเพิ่มแบบทวีคูณเนื่องจากไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ทัน (Adiabatic pressure) แล้วเกิด Detonation ตามมา การเกิด ระเบิดกัมปะนาท (Detonation) เป็นเรื่องที่มีหลายคนศึกษากลไกหลายกลไกการเกิดแต่กลไกหลักที่ทุกครั้งที่เกิดระเบิดกัมปะนาท จะมี 2 แบบดังนี้

1. กลไกที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิ (Thermal mechanism) เนื่องจากอุณหภูมิถือว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างหนึ่ง
2. การเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain branching reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจาก Free radical reacting หรือการปล่อยสารอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งมีพลังงานสูงมากเมื่อชนกับตัวอื่นเข้าจะมีผลทำให้เกิดพลังงานและเกิด free radical ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ หรือเหมือนกับเป็นการแตกออกจากจุดกึ่งกลางจากหนึ่งเป็นสองจากสองเป็นสี่ จากสี่เป็นแปด ไปเรื่อย ๆ ปฏิกิริยานี้เรียกง่าย ๆ ว่าปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction)

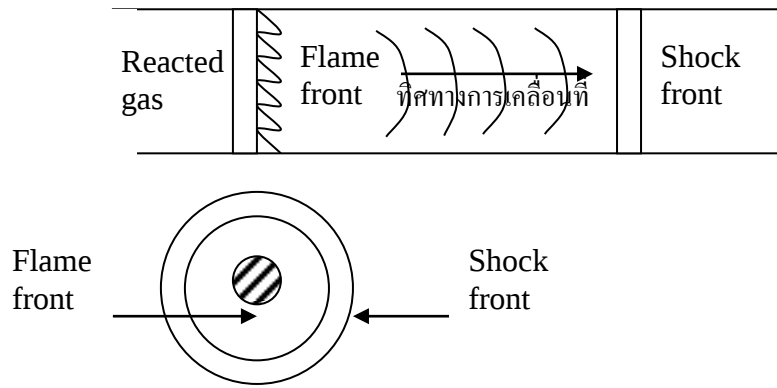
ความแตกต่างระหว่างระเบิดความร้อนสูง (Deflagration) และระเบิดกัมปะรนาท (Detonation)

ก่อนอื่นเราทราบแล้วว่า ระเบิดความร้อนสูงและระเบิดกัมปะรนาทไม่เพียงเป็นการเกิดไฟไหม้ธรรมดา แต่เป็นการระเบิดเนื่องจากเกิดในพื้นที่ที่จำกัดทำให้มีความดันซึ่งเกิดจากการแผ่ขยายตัว (Propagation) อย่างต่อเนื่องของเชื้อเพลิงซึ่งเหตุการณ์ที่จะรุนแรงเท่าใดขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ที่แสดงดังตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมการระเบิด

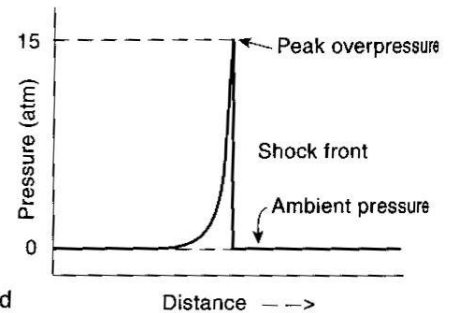
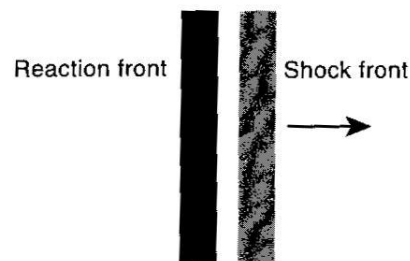
1.	อุณหภูมิในสิ่งแวดล้อมขณะนั้น (Ambient temperature)
2.	ความดันในสิ่งแวดล้อมขณะนั้น (Ambient pressure)
3.	ส่วนประกอบของวัสดุที่ระเบิดได้ (Combustible of explosive material)
4.	คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ระเบิดได้ (Physical properties of explosive material)
5.	ธรรมชาติของของการจุดติดไฟ เช่น ชนิด พลังงานและเวลาที่ใช้ในช่วงการติดไฟ (Nature of ignition)
6.	ลักษณะของสถานที่เกิดระเบิดในที่ที่จำกัดหรือในที่โล่ง (Geometry of surrounding)
7.	ปริมาณของวัสดุที่ระเบิดได้ (Amount of combustible material)
8.	ลักษณะการผสมผสานของวัสดุในขณะเผาไหม้ (Turbulence of combustible material)
9.	เวลาที่ใช้ก่อนจุดติดไฟ (Time before ignition)
10.	อัตราการเผาไหม้ที่ได้รับออกมาจากวัสดุนั้น (Rate at which combustible is release)

การเกิด ระเบิดความร้อนสูง จะเกิดขึ้นด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ช้ากว่าเสียง (การติดไฟ หรือ สันดาป (Combustion) ใช้เวลาประมาณ 1/300 วินาที) ถ้าเราไปยืนอยู่ที่จุดเกิดเหตุจะได้ยินเสียงก่อนคลื่นจะมาถึงเรา แต่สำหรับระเบิดกัมปะรนาท จะเกิดขึ้นด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เร็วกว่าเสียง (การติดไฟ หรือ Combustion ใช้เวลาประมาณ 1/1,000 วินาที) ความดันสูงกว่าระเบิดความร้อนสูง ถึงสิบเท่า ถ้าเราไปยืนอยู่ที่จุดเกิดเหตุจะไม่มีโอกาสได้ยินเสียงแต่การกระแทกของคลื่นจะเหมือนกับเป็นระเบิดที่รุนแรงมากก่อนที่จะเห็นเปลวไฟดังรูปที่ 7.8 และสามารถดูความสัมพันธ์ระหว่างความดันและระยะทางระหว่างการระเบิดแบบ Detonation และ Deflagration ดังรูป 7.9



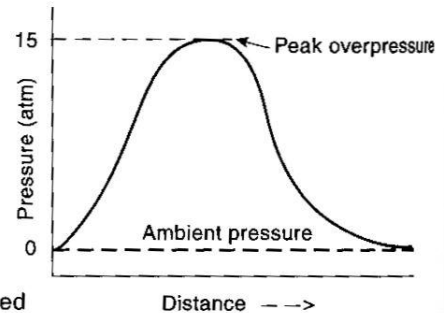
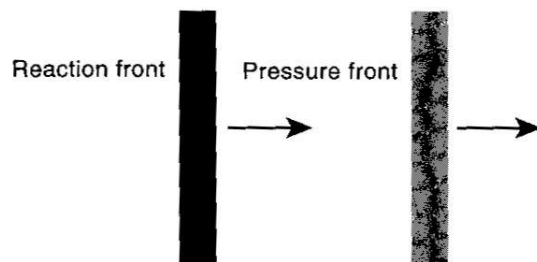
รูปที่ 7.8 ลักษณะของการเกิดระเบิดความร้อนสูง (Deflagration) และระเบิดกัมประนาท (Detonation) ในท่อ

DETONATION



In a detonation, the reaction front moves at a speed greater than the speed of sound, driving the shock front immediately preceding it. Both fronts move at the same speed.

DEFLAGRATION

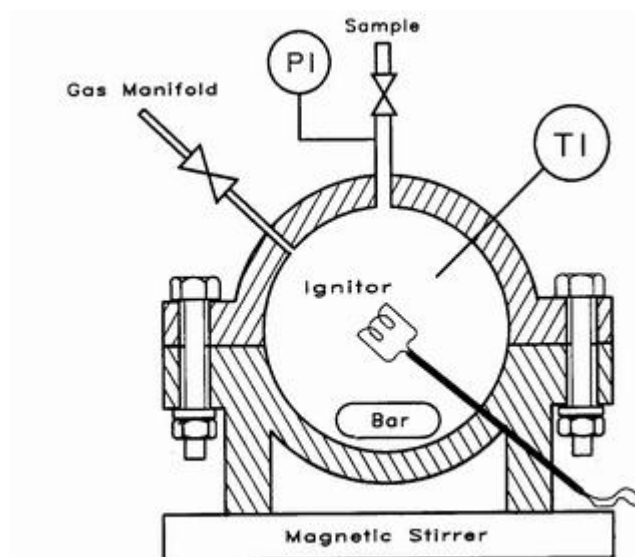


In a deflagration, the reaction front moves at a speed less than the speed of sound, while the pressure front moves away from the reaction front at the speed of sound.

รูปที่ 7.9 การเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและระยะทาง ของการระเบิดแบบ Detonation และ Deflagration

7.12.1 การระเบิดในพื้นที่จำกัด (Confined explosions)

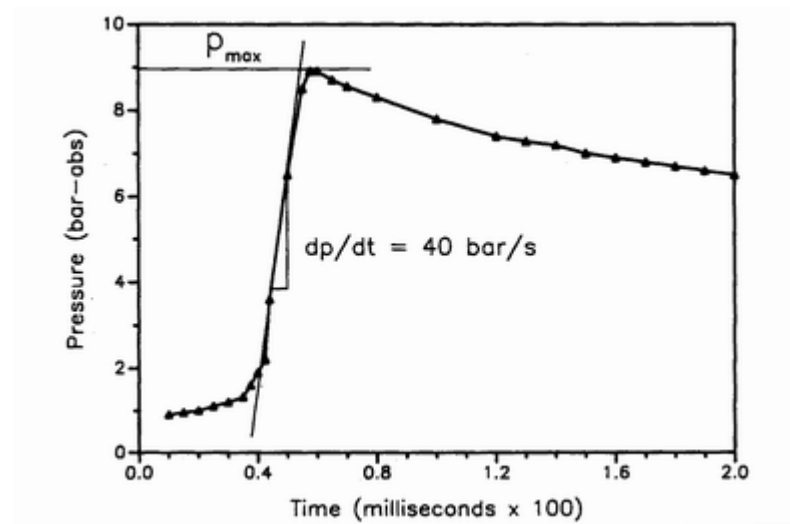
การศึกษาระเบิดที่เกิดในบริเวณพื้นที่จำกัด โดยวิธีทำการทดลองเพื่อหาลักษณะเฉพาะ (Characterise) ของการระเบิดซึ่งเครื่องมือการทดสอบมี 2 แบบคือทดสอบในรูป การระเบิดของสารระเหย (Vapor explosion apparatus) และการระเบิดจากผงฝุ่น (Dust explosion apparatus) ดังรูปที่ 7.10 และ 7.13



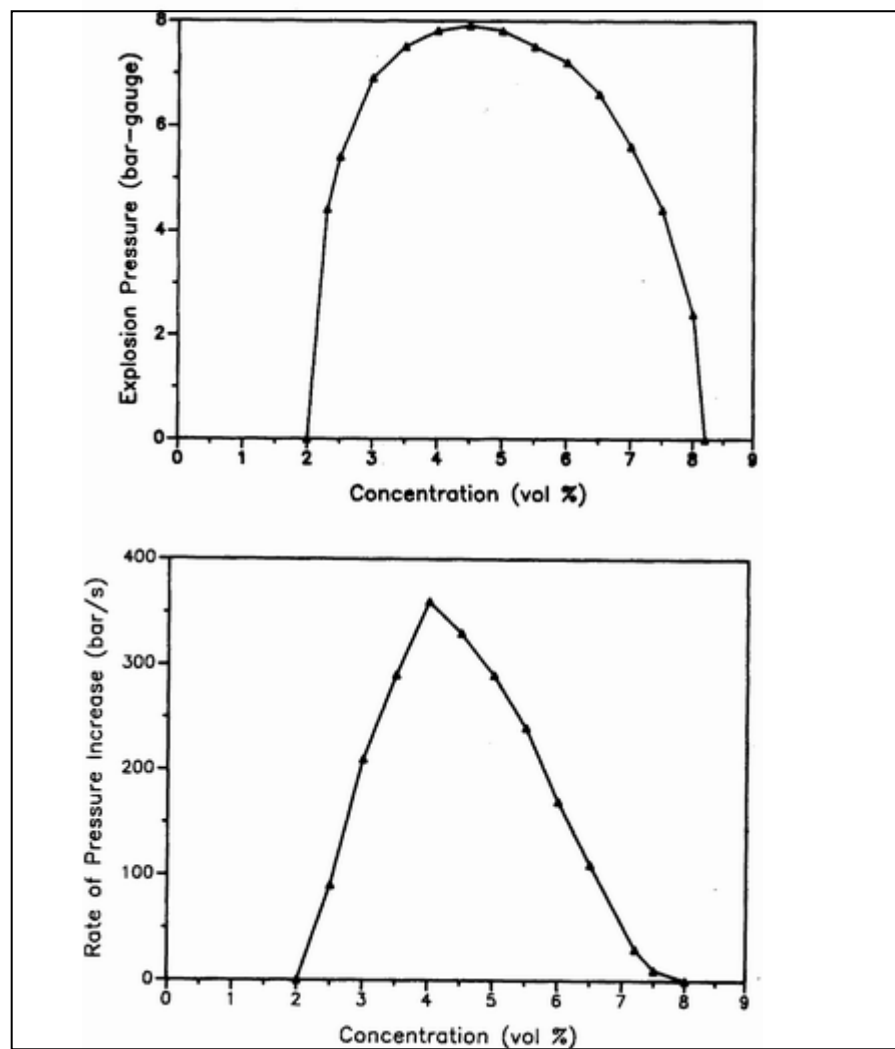
รูปที่ 7.7 อุปกรณ์ทดสอบการระเบิดจากไอระเหย (Crowl and Louvar, 1999)

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองกับเครื่อง ในรูปที่ 7.10 (กรณีไอระเหยของของเหลวที่ติดไฟได้) หรือรูปที่ 7.10 (กรณีที่เป็นฝุ่นติดไฟได้) และความสัมพันธ์ ของการทดลองในเครื่องทั้งสองนั้นสามารถหาได้ 2 แบบ คือ ความดันสูงสุด (Maximum pressure) และอัตราต่อเวลาสูงสุดของความดัน (Maximum rate pressure) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

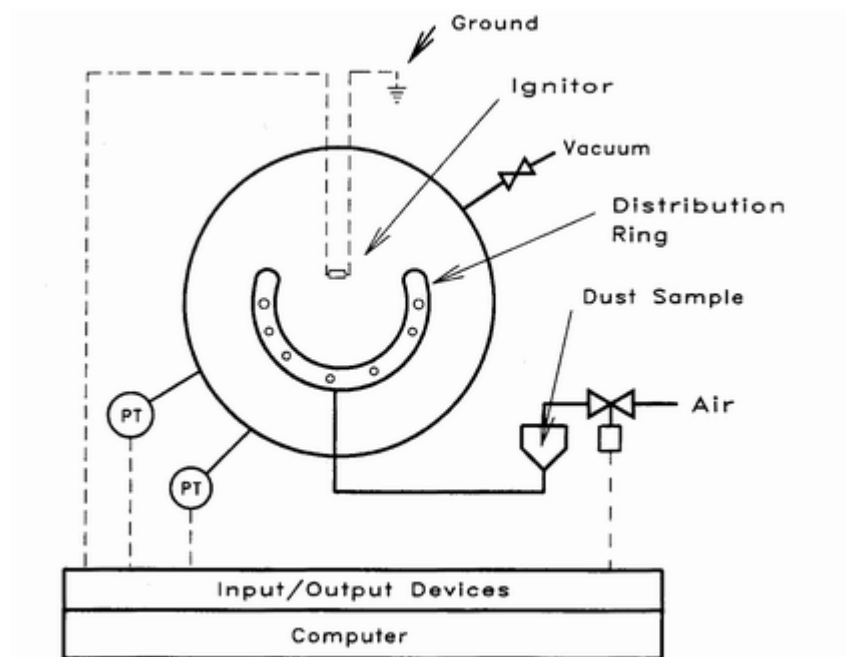
- 1) ความดันสูงสุด (Maximum pressure) เป็นค่าขอบเขตของการเกิดไฟ (Flammability) และการระเบิด (Explosively) ดังรูปที่ 7.11
- 2) อัตราความดันสูงสุด (Maximum rate pressure) ดังกราฟความสัมพันธ์รูปที่ 7.12 ความสัมพันธ์นี้บอกให้ทราบถึงอัตราการเพิ่มความดันสูงสุดที่จะเอาไว้ป้องกันในการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันอันตราย (Safety equipment) เช่น Venting ก่อนที่จะเกิดการแตกของ Pressure rupture หรือหาวิธีการที่จะทำให้ลดอุณหภูมิโดยวิธีการ Cooling down โดยชะลอการสันดาปโดยใช้น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ หรือโฟมต่าง ๆ



รูปที่ 7.11 อุปกรณ์ทดสอบการระเบิดจากฝุ่นผงที่ติดไฟได้ (Crowl and Louvar, 1999)



รูปที่ 7.12 การทดลองการวัดความดันที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ (Crowl and Louvar, 1999)



รูปที่ 7.13 การวัดความดันสูงสุดและอัตราของความดันสูงสุด (ค่าอัตราการเพิ่มความดันไม่จำเป็นจะต้องอยู่จุดเดียวกับความดันสูงสุด) (Crowl and Louvar, 1999)

จะเห็นว่าจากความสัมพันธ์ที่ได้ ถ้า Plot $\log \left(\frac{dP}{dt} \right)_{\max}$ กับ $\log V$ ของสมการจะได้ความสัมพันธ์เป็น

$$\left(\frac{dP}{dt} \right)_{\max} \cdot V^{\frac{1}{3}} = \text{Constant} = k_g \text{ กรณีเป็น gas} \quad \dots(7.21a)$$

$$= k_{st} \text{ กรณีที่เป็นฝุ่น} \quad \dots(7.21b)$$

$$\log \left(\frac{dP}{dt} \right)_{\max} = -\frac{1}{3} \log V + \log(k_g) \text{ ซึ่งความสัมพันธ์นี้แสดงในรูปที่ 7.13 โดยที่}$$

ให้ k_g (Gas) คือ ค่าคงที่ของแก๊สหาได้จากตารางที่ 7.5 และ k_{st} (Dusts) คือค่าคงที่ของฝุ่นซึ่งหาจากตารางที่ 7.6 ตามลำดับ

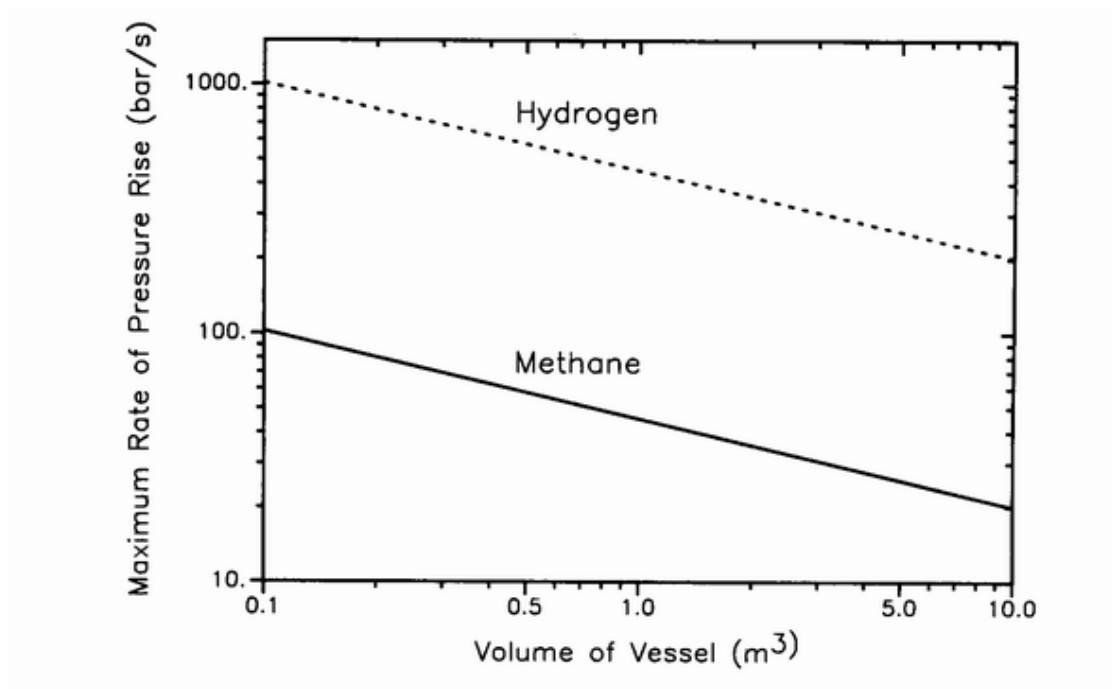
ตารางที่ 7.5 ค่าเฉลี่ยของค่า k_g (Gas) หรือค่าคงที่ของแก๊ส (Crowl and Louvar, 1999)

ชนิดของแก๊ส	k_g (bar m/s)
มีเทน	55
โพรเพน	75
ไฮโดรเจน	550

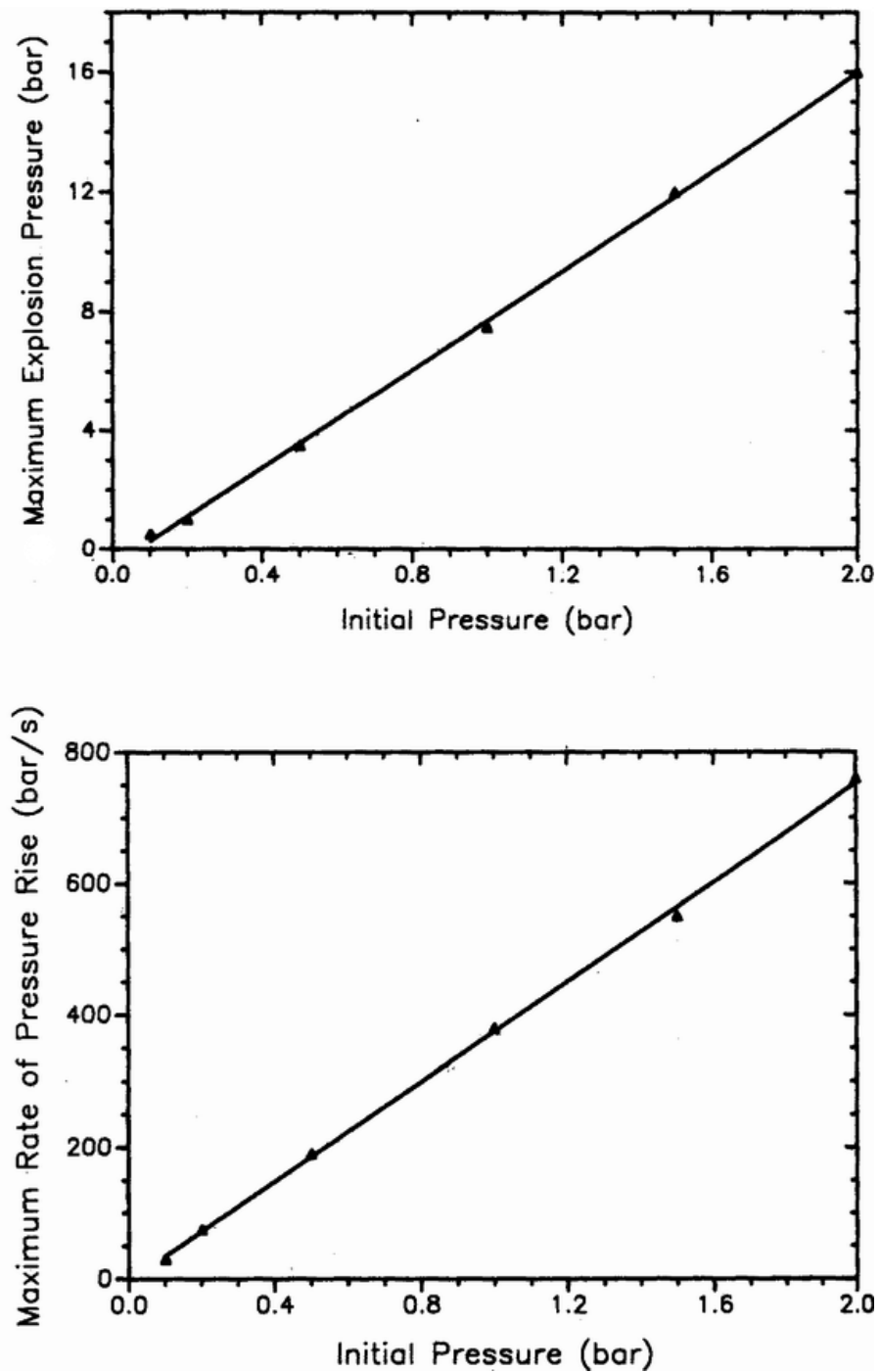
ตารางที่ 7.6 ค่าเฉลี่ยของค่า k_{st} (Dusts) หรือค่าคงที่ของฝุ่น (Crowl and Louvar, 1999)

ชนิดของแก๊ส	P_{max} (bar)	k_{st} (bar m/s)
PVC	6.7-8.5	27-98
Milk powder	8.1-9.7	58-130
Polyethylene	7.4-8.8	54-131
Sugar	8.2-9.4	59-165
Resin dust	7.8-8.9	108-174
Brown Coal	8.1-10.0	93-176
Wood dust	7.7-10.5	83-211
Cellulose	8.0-9.8	56-229
Pigments	6.5-10.7	28-344
Aluminum	5.4-12.9	16-750

ในทำนองเดียวกันการเกิดการระเบิดของสารแต่ละชนิดจะได้ลักษณะของกราฟแตกต่างกันไปดังรูปที่ 7.14 และความสัมพันธ์ของค่าความดันสูงสุดของแรงระเบิด และอัตราของความดันที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับ ค่าความดันเริ่มต้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น ดังรูปที่ 7.15

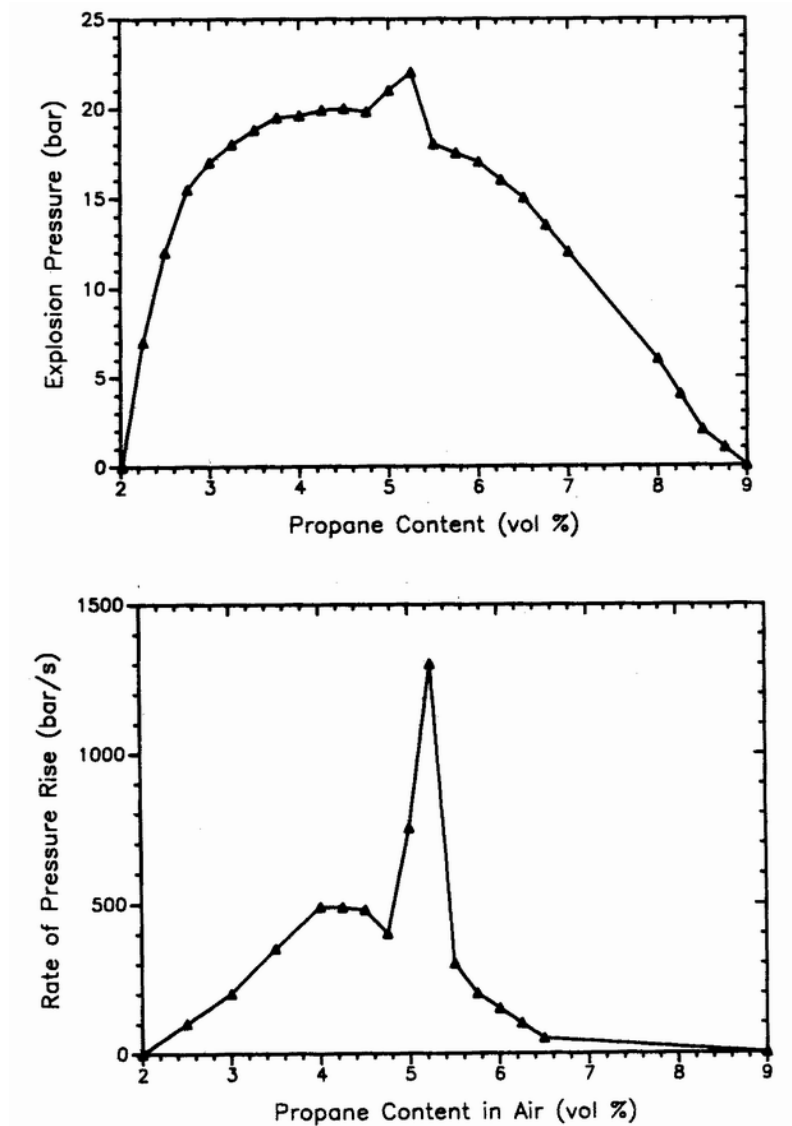


รูปที่ 7.14 ข้อมูลความสัมพันธ์ของความดันที่แปรผันไปตามปริมาตรขนาดต่าง ๆ ของการระเบิด ของโพรเพนใน ห้องทดลองซึ่งจุดสูงสุด (Peak) แสดงว่าเป็นการเกิด Detonation (Crowl and Louvar, 1999)



รูปที่ 7.15 ข้อมูลความสัมพันธ์แบบลูกบาศก์ (Cubic) (Crowl and Louvar, 1999)

ค่าการออกแบบโดยสมการ (7.21) จะขึ้นกับความดันเริ่มต้น (Initial pressure) ในถังปฏิกรณ์ด้วย พบว่าทั้งตัวแปรความดันสูงสุด ($P_{\max}$) และ $\left(\frac{dP}{dt}\right)_{\max}$ เมื่อ plot กับความดันเริ่มต้นแล้วจะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงดังรูปที่ 7.16



รูปที่ 7.16 ผลของดันเริ่มต้น (Initial pressure) กับค่าความดันสูงสุดและอัตราการความดัน (Crowl and Louvar, 1999)

7.12.2 Vapor Cloud Explosion (VCE)

มักเกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมเคมี มีขั้นตอนดังนี้

- ถึงแตกเนื่องจากอุบัติเหตุ ซึ่งถึงบรรจุ Flammable vapor ความดันสูง
- เกิดการกระจายของไอสาร
- เกิดความร้อนระดับจุดติดไฟได้ (Ignite) ทำให้เกิดกลุ่มควัน (Cloud)

VCE เกิดได้หลายปัจจัย แต่ส่วนมากเกิดที่ความดันต่ำ ส่วนใหญ่จะเป็นความร้อน แต่ถ้ากลุ่มควัน ปลิวไปปนกับอากาศและมีส่วนผสมพอเหมาะอาจจะระเบิดได้ การป้องกัน ควรจะควบคุมการจัดเก็บสารที่ ไหม้ไฟได้ (Flammable) และเกิดกลุ่มหมอกควันได้ และควรมีการตรวจเช็คท่อกับการส่งสารเหล่านี้ ซึ่งอาจจะเกิดการรั่วออกมา (Safety valve ควรจะมีการปิดถ้ามีการรั่ว)

7.12.3 Boiling Liquid Expanding Vapor (BLEVE)

เกิดขึ้นเมื่อ Vessel ที่บรรจุ Flammable liquid มีความดันสูงกว่า boiling Point ทำให้ถังแตก ของเหลวบางส่วนกลายเป็นแก๊สอย่างรวดเร็ว อาจเกิดระเบิดได้ แต่ถ้าไม่ใช่ Flammable liquid อาจจะเป็น Toxic อาจจะมีอันตรายเนื่องจากความเป็นพิษกระจายออกไป

7.12.4 ความเสียหายจากระเบิดความดันสูง (Blast Damage due to Overpressure)

เกิดขึ้นเมื่อ Peak pressure มากระทบ การคิดความเสียหายซึ่งเกิดจากแรงดัน โดยปกติจะเปรียบเทียบกับ mass TNT (Trinitrotoluene ; $C_7H_5(NO_2)_3$) ซึ่งมีผลทำให้ความเสียหายเท่ากัน จากสมการที่ได้จากการทดลอง (Empirical equation)

$$Z_e = \frac{r}{m_{TNT}^{1/3}} \quad \dots(7.22)$$

โดยที่ $Z_e = \text{Scaling pressure} \left(\text{ft} / \text{lb}^{1/2} \right) \text{ หรือ } \left(\text{m} / \text{kg}^{1/2} \right)$

r = ระยะห่างจากจุดที่เกิดเหตุ (ฟุต หรือ เมตร)

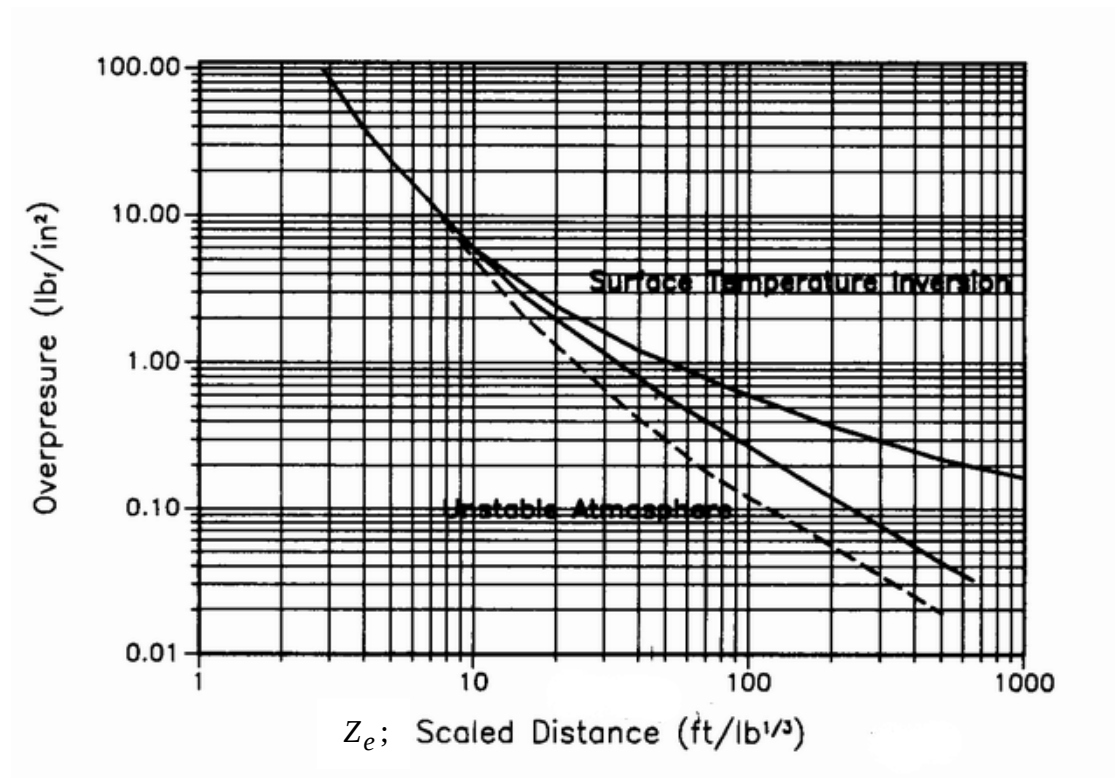
m = มวลเทียบเท่าของสาร TNT (ปอนด์ หรือ กิโลกรัม)

พลังงานของ TNT = 1,120 cal/gm

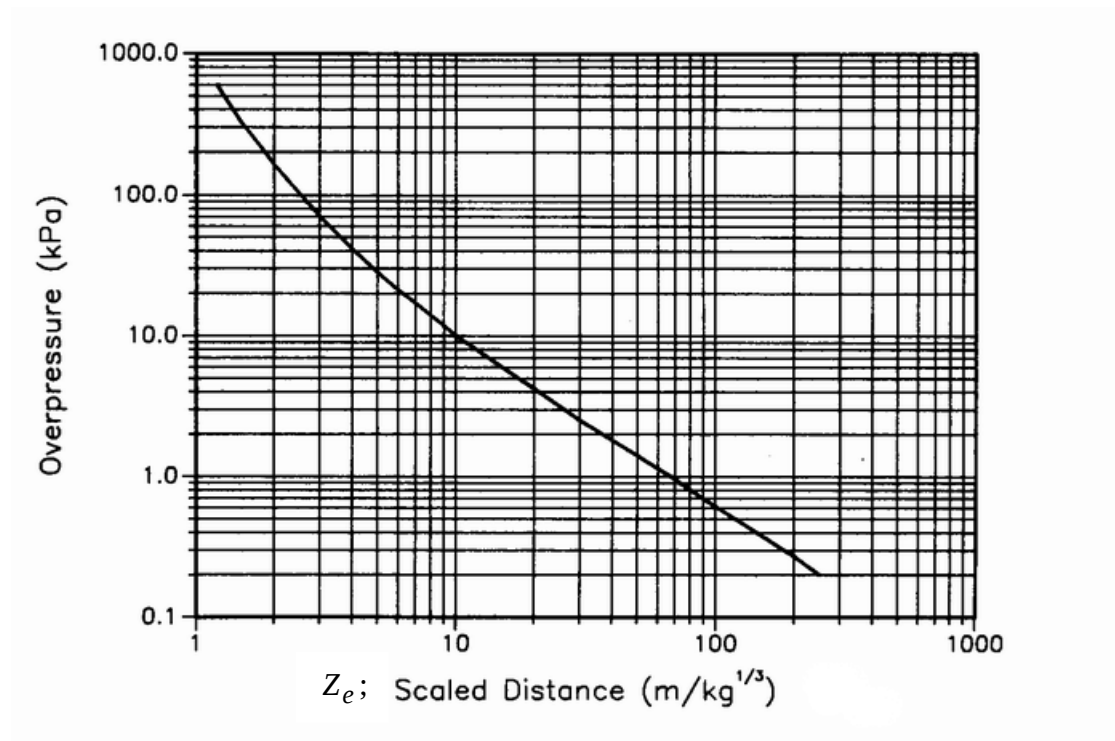
ซึ่งแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Z_e และ Overpressure ไว้ในกราฟรูปที่ 7.17 (ระบบอังกฤษ) หรือกราฟรูปที่ 7.18 (แสดงระบบ SI) และค่า Overpressure (psig) ของแต่ละเหตุการณ์ได้ในตารางที่ 7.7

ตารางที่ 7.7 ค่าความดันสูงสุดของเหตุการณ์ที่ได้รับความเสียหายในรูปแบบต่าง ๆ (Crowl and Louvar, 1999)

Overpressure (PSIG)	Damage
0.03	Large glass windows which are already under strain broken.
0.04	Loud noise. Sonic boom glass failure.
0.15	Typical pressure for glass failure.
0.3	95% probability of no serious damage.
0.5-1	Large and small windows usually shattered.
0.7	Minor damage to house structures.
1	Partial demolition of houses, made uninhabitable
1.3	Steel frame of clad building slightly distorted.
2-3	Non-reinforced concrete or cinder walls shattered.
2.3	Lower limit of serious structural damage.
3	Steel frame building distorted and pulled from foundations.
3-4	Rupture of oil storage tanks.
5	Wooden utility poles snapped.
5-7	Nearly complete destruction of houses.
7	Loaded train wagons overturned.
9	Loaded train boxcars completely demolished.
10	Probable total destruction of buildings.
300	Limit of crater lip.



รูปที่ 7.17 Correlation ระหว่าง Scale distance และ overpressure ในระบบอังกฤษ (Crowl and Louvar, 1999)



รูปที่ 7.18 Correlation ระหว่าง Scale distance และ overpressure ในระบบ SI

(Crowl and Louvar, 1999)

ตัวอย่างที่ 7-5 จงคำนวณหาความดันที่ $r = 30$ m ห่างจากจุดเกิดเหตุโดยใช้ 1 กิโลกรัม ของ TNT ทดลองระเบิด

โดยใช้สมการ (7.22) ดังนี้

$$Z_e = \frac{30}{(1)^{\frac{1}{3}}} = 30 \text{ m/kg}^{\frac{1}{3}}$$

เปิดกราฟรูปที่ 7.18 (ระบบ SI) จะได้ความดัน $P = 2.4 \text{ kpa} \times .35 \text{ psi}$

ตัวอย่างที่ 7-6 ถังปฏิกรณ์หนึ่งบรรจุสารเทียบเท่า TNT 10,000 lb เกิดระเบิดขึ้น ถามว่าจะเกิดอันตรายต่อคนที่ระยะ 500 ft จากที่เกิดเหตุ

$$Z_e = \frac{500}{(10000)^{\frac{1}{3}}} = 23.2 \text{ ft/lb}^{\frac{1}{3}}$$

เปิดกราฟรูปที่ 7.17 ที่ $Z_e = 23.2$, $P = 1.8 \text{ psi}$

จาก Probit ของผู้ที่ได้รับผลกระทบเส้นเลือดในปอดแตก

$$\begin{aligned} Y &= -77.1 + 6.91 \ln p \\ &= -77.1 + 6.91 \ln \left(\frac{1.8 \text{ psi}}{14.7 \text{ psi/atm}} \times 1.01325 \times 10^5 \frac{\text{N/m}^2}{\text{atm}} \right) \\ &= -11.9 \quad (\text{ติดลบแสดงว่าไม่มีใครได้รับอันตราย}) \end{aligned}$$

จาก Probit ของผู้ที่ได้รับผลกระทบแก้วหูแตก

$$\begin{aligned} Y &= -15.6 + 1.93 \ln \left(\frac{1.8 \text{ psi}}{14.7 \text{ psi/atm}} \times 1.01325 \times 10^5 \frac{\text{N/m}^2}{\text{atm}} \right) \\ &= 2.59 \text{ จากตารางมีผู้ได้รับบาดเจ็บ} < 1 \text{ เปอร์เซนต์} \end{aligned}$$

สำหรับ Blast fragment หรือสะเก็ดระเบิดต่าง ๆ ที่ $m = 10000 \text{ lb}$ จากกราฟรูปที่ 7.17 ; รัศมี = 6,000 ฟุต นั้นแสดงว่าคลุ้มรัศมี 500 ฟุต ผลคืออากาศที่เกิดความเสียหายช่วง 500 ฟุต แน่ ๆ

7.12.5 Missile Damage

ความเสียหายจากสะเก็ดระเบิด ขึ้นกับความดันที่ทำให้เกิดสะเก็ด และเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดลอม

7.12.6 ความเสียหายจากการระเบิดต่อคน (Blast Damage to People)

อันตรายที่มีผลกระทบต่อคนขึ้นอยู่กับความดันที่ได้รับการเกิดระเบิด ซึ่งต้องใช้ Probit

7.12.7 พลังงานกลจากการขยายตัวของแก๊ส (Energy of Mechanical Explosion)

การระเบิดเนื่องจากความดันของแก๊ส ไม่มีปฏิกิริยาเคมีใด ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องเป็น Isentropic process ไม่มีการสูญเสียพลังงาน (ค่าของมีค่าเอนทัลปีคงที่)

$$W = \int_1^2 P dv = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - \gamma} \quad \dots(7.23)$$

$$\text{จาก } \frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{-\frac{1}{\gamma}} \Rightarrow V_2 = V_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \dots(7.24)$$

แทนสมการ (7.24) ใน สมการ (7.23)

$$\begin{aligned} W &= \frac{P_2 \left(V_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{-\frac{1}{\gamma}} \right) - P_1 V_1}{1 - \gamma} \\ &= \left[\frac{P_2^{\frac{-1}{\gamma}+1} V_1^{\frac{-1}{\gamma}}}{P_1^{\frac{1}{\gamma}}} - P_1 V_1 \right] / (1 - \gamma) \\ &= \left[\frac{P_2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} V_1^{\frac{-1}{\gamma}} - P_1^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} V_1}{P_1^{\frac{1}{\gamma}} (1 - \gamma)} \right] \end{aligned}$$

$$W_c = \frac{P_1 V_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \quad \dots(7.25)$$

ตัวอย่างที่ 7-7 จงหาพลังงานจากการระเบิดของ 1 กิโลกรัมโมล ของอากาศที่ความดันเกจ 100 atm, 20 องศาเซลเซียส $\gamma = 1.4$ จงหา m ของ TNT เมื่อเทียบการระเบิด

$$\begin{aligned}\text{จาก } PV &= nRT \\ V &= 1 \times 82.06 \frac{\text{l-atm}}{\text{kg mole K}} \cdot (20 + 273) \text{ K} \\ &= 238 \text{ litres} \\ \text{แทน } W_c &= \frac{(101 \text{ atm})(238 \text{ l})}{(1.4 - 1)} \left[1 - \left(\frac{1 \text{ atm}}{101 \text{ atm}} \right)^{\frac{0.4}{1.4}} \right] \\ &= 44,000 \text{ l-atm} \\ &= 1.06 \times 10^6 \text{ cal.}\end{aligned}$$

จากพลังงาน ของ TNT = 1120 cal/g

$$\begin{aligned}\therefore \text{ ถ้า } 1.06 \times 10^6 \text{ cal จะใช้ TNT} &= \frac{1.06 \times 10^6}{1120} \text{ g} \\ &= 0.95 \text{ กิโลกรัม}\end{aligned}$$

7.12.8 พลังงานการเกิดระเบิดโดยมีปฏิกิริยาเคมีร่วมด้วย (Energy of chemical explosion)

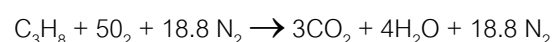
การระเบิดเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงราคาเร็วมากการคำนวณจะถูกสมมติว่าไม่มี การเปลี่ยนแปลงปริมาตรแต่มีการเปลี่ยนแปลงความดันดังสมการ

$$P_f = \frac{P_i n_f T_f}{n_i T_i} \quad \dots(7.26)$$

โดยที่

$$\begin{aligned}T_f &= \text{อุณหภูมิสุดท้าย (K)} \\ T_i &= \text{อุณหภูมิเริ่มต้น (K)} \\ P_f &= \text{ความดันสุดท้าย} \\ P_i &= \text{ความดันเริ่มต้น} \\ n_f &= \text{จำนวนโมลสุดท้าย} \\ n_i &= \text{จำนวนโมลเริ่มต้น}\end{aligned}$$

จากสมการ Stoichiometric ของการสันดาปของโพรเพนในอากาศแบบสมบูรณ์ (Complete combustion equation)



$$n_i = 1 + 5 + 18.8 = 24.8$$

$$n_f = 3 + 4 + 18.8 = 25.8$$

Maximum release energy โดย Helmholtz free energy A

$$dA = -SdT - PdV$$

ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ดังนั้นจะได้

$$dA = -PdV$$

$$\Delta A = (\Delta A_f^o)_P - (\Delta A_f^o)_R \quad \dots(7.27)$$

$$\Delta A = \Delta U - T\Delta S \quad \dots(7.28)$$

$$\Delta S = (\Delta U_f^o)_P - (\Delta U_f^o)_R \quad \dots(7.29)$$

$$\Delta S = S_P - S_R \quad \dots(7.30)$$

$$S = S^o - R_g \sum x_i \ln x_i \quad \dots(7.31)$$

โดยที่ ΔA_f^o = Helmholtz free energy at standard state

ΔU_f^o = Internal energy

x_i = mole fraction of the species

S^o = Entropy at the standard state

R_g = ideal gas const. And

P, R = Reactants and product แสดงเป็น Subscript

โดยที่ค่าพลังงาน ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 7.8

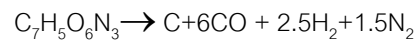
ตารางที่ 7.8 ตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์เพื่อการคำนวณการระเบิด (Crowl and Louvar, 1999)

Species	State	ΔU_f^o	ΔH_f^o	ΔA_f^o	ΔG_f^o	S^o	ΔH_c^o
C(graphite)	s	0	0	0	0	1.3609	-94.052
CO	g	-26.722	-26.416	-33.104	-32.808	47.301	-67.636
CO ₂	g	-94.052	-94.052	-94.260	-94.260	51.061	—
H ₂	g	0	0	0	0	31.211	-68.317
H ₂ O	g	-57.502	-57.798	-56.339	-54.636	45.106	—
N ₂	g	0	0	0	0	45.767	—
O ₂	g	0	0	0	0	49.003	—
Acetylene	g		54.194		50.000	47.997	-310.615
Benzene	g		19.820		30.989	64.34	-789.080
n-Butane	g		-30.15		-4.10	74.12	-687.982
Cyclohexane	g		-29.43		7.59	71.28	-936.880
Ethane	g		-20.236		-7.860	54.85	-372.820
Ethylene	g		12.496		16.282	52.45	-337.234
Methane	g		-17.889		-12.140	44.50	-212.798
Propane	g		-24.820		-5.614	64.51	-530.605
Propylene	g		4.879		14.990	63.80	-491.987
Styrene	g		35.22		51.10	82.48	—
TNT	s	-13.0				65.0	

UNITS: ΔU_f^o , ΔH_f^o , ΔG_f^o , ΔH_c^o in kcal/mole, S^o in cal/mole°K

¹Lees, *Loss Prevention in the Process Industries*, p. 562.

ตัวอย่างที่ 7-8 จงคำนวณหาพลังงานหลังการระเบิดของ TNT ($C_7H_5(NO_2)_3$) เมื่อ มวลโมเลกุล = 227



$$\therefore \Delta U = (\Delta U_f)_P - (\Delta U_f)_R$$

โดยการเปิดตารางที่ 7.8

$$\begin{aligned}\Delta U &= (1 \times 0) + 6(-26.722) + 2.5(0) + 1.5 \times 0 - 1 \times (-13) \\ &= -147 \text{ kcal/mole} = 147,000 \text{ cal/mole} \\ &= -\frac{147 \times 10^3 \text{ cal}}{227 \text{ g}} = -648 \text{ cal/g of TNT}\end{aligned}$$

จาก สมการ (7.30) และ (7.31)

$$\Delta S = S_P - S_R \quad \dots(7.30)$$

$$S = S^o - R_g \sum x_i \ln x_i \quad \dots(7.31)$$

โดยแทน (7.31) ลงใน (7.30) พิจารณา Product

$$\Delta S = (S^o)_P - R_g \sum x_i \ln x_i - (S)_R \quad \dots(7.32)$$

$$\begin{aligned}\text{โดยที่} \quad (S^o)_P &= \sum n_f (S^o_f)_P \\ &= 1 \times 1.361 + 6 \times 47.301 + 2.5 \times 31.211 + 1.5 \times 45.767 \\ &= 431.85 \text{ cal/mole K}\end{aligned}$$

$$(R_g \sum x_i \ln x_i)_P = R_g (\sum n_f) (\sum x_i \ln x_i) \text{ ดูจากตาราง}$$

Species	n_f	x_i	$x_i \ln x_i$
CO	6	0.6	-0.3065
H ₂	2.5	0.25	-0.3466
N ₂	1.5	0.15	-0.2846
	$\sum n_f = 10$	$\sum x_i = 1.0$	$(\sum x_i \ln x_i) = -0.9377$

$$\begin{aligned}\therefore (R_g \sum x_i \ln x_i)_P^{\text{ทั้งหมด}} &= 10 \times (1.987 \text{ cal/gm-mole K}) \times (-0.9377) \\ &= 18.63 \text{ cal/mole K}\end{aligned}$$

$$(S)_R = 1 \times 65 \text{ cal/mole K}$$

และค่าทั้งหมดในสมการ (7.32)

$$\begin{aligned}\Delta S &= 431.85 + 18.63 - 65 \\ &= 385.5 \text{ cal/mole}^\circ\text{K}\end{aligned}$$

จากสมการ Energy explosion (7.28)

$$\Delta A = \Delta U - T\Delta S \quad \dots(7.28)$$

$$= 147,000 \text{ cal/mole} - (298\text{K} \times 385.5 \text{ cal/mole-K})$$

$$= \frac{261,879}{227} \frac{\text{cal}}{\text{g of TNT}} = 1,153.65 \frac{\text{cal}}{\text{g of TNT}}$$

พบว่าค่าทดลองจริงค่า $\Delta A = 1,120 \frac{\text{cal}}{\text{g of TNT}}$

สรุปบทที่ 7 บทนี้นอกจากจะเข้าใจความแตกต่างของการเกิดไฟไหม้และการระเบิดแล้ว ยังสามารถที่จะเข้าใจคำจำกัดความต่าง ๆ รวมทั้งเข้าใจลักษณะของการติดไฟแบบต่าง ๆ พร้อมทั้งสามารถคำนวณหาพลังงานที่น้อยที่สุดในการจุดติดไฟซึ่งเราสามารถที่จะควบคุมมิให้เกิดอัคคีภัยเกิดขึ้นได้ ในทางตรงกันข้ามอาจมองในเรื่องการประหยัดพลังงานอีกด้วย

แบบฝึกหัด บทที่ 7

7-1. Estimate the flash point of a solution of 50 mol % water and 50 mol % methanol.

7-2. Estimate the flash point of a solution of 50 mol % water and 50 mol % ethanol.

7-3. Estimate the LFL and the UFL of the following mixtures:

All in volume %				
	a	b	c	d
Hexane	0.5	0.0	1.0	0.0
Methane	1.0	0.0	1.0	0.0
Ethylene	0.5	0.5	1.0	1.0
Acetone	0.0	1.0	0.0	1.0
Ethyl ether	0.0	0.5	0.0	1.0
Total combustibles	2.0	2.0	3.0	3.0
Air	98.0	98.0	97.0	97.0

7-4. Estimate the LFL and the UFL of Problem 6-3a at 50°C, 75°C, and 100°C.

7-5. Estimate the UFL of Problem 7.3a at 1 atm, 5 atm, 10 atm, and 20 atm of pressure.

7-6. Estimate the LFL and the UFL using the stoichiometric concentrations for methane, propylene, ethyl Ether and acetone. Compare these estimates to actual values.

7-7. Determine the minimum compression ratio required to raise the temperature of air over hexane to its AIT. Assume an initial temperature of 100°C.

7-8. What will be the LFL of hexane in the presence of hexane mists with drops larger than 0.01 mm'?

7-9. Why do staged hydrogen compressors need interstage coolers?

7-10. Why do hot engines sometimes continue to run after the ignition is turned off?

7-11. A set of experiments is run on a flammable gas in a spherical vessel. The following data are obtained for two different vessel volumes. Estimate the value of KG for this combustible gas:

$V = 1 \text{ m}^3$		$V = 20 \text{ m}^3$	
Time (s)	P (bar)	Time (s)	P (bar)
0.0	0.0	0.0	0.0
0.1	0.2	0.2	0.15
0.2	0.5	0.3	0.35
0.3	1.2	0.4	0.6
0.35	1.6	0.5	0.9
0.40	3.2	0.6	1.4
0.425	4.7	0.7	2.2
0.450	6.5	0.8	4.1
0.475	6.9	0.85	5.0
0.500	7.1	0.90	6.2
0.550	7.4	0.95	7.1
0.600	7.3	1.00	7.0
0.650	7.0	1.05	7.2
0.700	6.4	1.10	6.7
0.750	6.1	1.15	6.25
0.800	5.7	1.20	5.90
0.900	5.1	1.30	5.40
1.000	4.7	1.40	5.00
		1.50	5.60

- 7-12. Determine the energy of explosion for 1 lb of gaseous n-butane. What is the TNT equivalent?
- 7-13. A gas cylinder contains 50 lb of propane. The cylinder accidentally falls over and ruptures, vaporizing the entire contents of the cylinder. The cloud is ignited and an explosion occurs. Determine the overpressure from this explosion 100 ft away. What type of damage is expected?
- 7-14. A VCE with methane destroyed a house structure 100 ft away from the ignition source. Estimate the amount of methane released.
- 7-15. A large cloud of propane is released and eventually ignited, producing a VCE. Estimate the quantity of propane released if the blast shattered windows 3 mi from the source of the ignition.
- 7-16. At 77°F gasoline has a vapor pressure of 4.6 psia. Why can gasoline be stored in vented storage vessels without the presence of flammable vapors above the liquid in the vessel? Comment on the EPA's effort to reduce gasoline volatility in order to reduce fugitive emissions. What will happen as the volatility is reduced?
- 7-17. An automobile assembly line includes an operation that involves filling the gas tanks with gasoline. Estimate the ventilation rate required to reduce the vapors from this operation to below the LFL for gasoline. Assume that each tank has a volume of 14 gal and that a tank can be filled in 3 min. Assume splash filling and that only one tank is filled at a time. The molecular weight of gasoline is about 94, and its vapor pressure at 77°F is 4.6 psia. Also, calculate the ventilation air required to reduce the concentration of the gasoline vapors to below the TLV-TWA. Which problem is more difficult?
- 7-18. A butane tank is located 500 ft from a residential area. Estimate the minimum instantaneous release of butane required to produce a vapor concentration in the residential area equal to the LFL for butane. What continuous release rate is required? Assume that the release occurs at ground level. Will the minimum amount increase, decrease, or stay the same if the release occurs above ground level?
- 7-19. Benzene is stored in an inside storage area, 15 ft long and 15 ft wide with an 8-ft ceiling. This storage area has a ventilation system that changes the air in the room completely six times per hour. The storage area is also equipped with a flammable vapor detector that sounds an alarm when the flammable vapor concentration reaches 25% of the LFL for benzene. What is the minimum benzene spill rate, in lblhr, that will set off the flammable vapor alarm in the room? Assume a pressure of 1 atm and a temperature of 80°F. Also assume average ventilation conditions
- 7-20. A standard laboratory cylinder is about 5 ft high with an internal vessel diameter of about 6 in. Determine the total energy of explosion for this cylinder if it contains nitrogen compressed to 2500 psig. Assume initial and ambient conditions of 298 K and 1 atm
- 7-21. Many chemical operators believe that the inerted vapors above a flammable liquid are not flammable when they mix with air. This is frequently not the case: If the inerted vapors escape from the vessel and mix with air or if the vessel is purged with air after emptying, the resulting mixture might be flammable.

A storage vessel contains liquid benzene at 100°F. The vessel vapor space is inerted with pure nitrogen to a total pressure of 112-in of water gauge. Assume that the vapor space is saturated with benzene vapor.

- a. Determine the volume percent concentration of benzene in the vapor.
- b. Use a flammability diagram to show whether this mixture will become flammable or not when mixed with air.

(Hint: 1 atm = 34.4 ft of water.

7-22. An informal industry rule is to design occupied control rooms to withstand a 1- ton blast of TNT at 100 ft.

- a. What overpressure does this correspond to?
- b. What quantity (in pounds) of propane (C₃H₈) does this correspond to, based on an equivalent amount of energy?
- c. How far away (in ft) from this 1- ton blast must a residential home be in order to receive no more than minor damage to house structures?

7-23. According to fire code, propane storage tanks cannot be closer than 10 ft from a house. This requirement is designed to prevent flammable vapors from entering the house, not to protect the house from a potential explosion. What quantity of propane (in lb,) can be stored under these conditions that will cause no more than minor damage to a house in the event of an explosion? Be sure to list any assumptions.

7-24. Fires and explosions are substantial hazards in many chemical plants.

- a. Describe with examples the three ingredients of any fire.
- b. Create a checklist with at least six items to identify fire hazards in any workplace.
- c. List six common fire prevention/protection features for chemical plants, and describe when they would be appropriate.

7-25. The following liquids are stored in a storage vessel at 1 atm and 25°C. The vessels are vented with air. Determine whether the equilibrium vapor above the liquid will be flammable. The liquids are:

- a. Acetone
- b. Benzene
- c. Cyclohexane
- d. Ethyl alcohol
- e. Heptane
- f. Hexane
- g. Pentane
- h. Toluene

7-26. A natural gas wellhead is located 400 m from an instrument control room. The control room is a potential ignition hazard in the event of a leak of natural gas (essentially pure methane). Studies have shown that

a suitable safety margin is imposed if the downwind gas concentration is determined using one-half the LFL. For methane this represents a concentration of 2.5 vol. %.

- What is the minimum release rate of methane (in kg/s) that will result in a concentration at the control room equal to half the LFL? Be sure to state your assumptions clearly. Assume a temperature of 298 K and an ambient pressure of 1 atm.
- If the methane pressure in the wellhead is at 10 atm pressure, what hole size (in cm) will produce the release rate of part a?
- If the largest pipe Size in the wellhead is 4 cm (internal diameter), comment on the likelihood of an ignition hazard from the control room.

7-27. In the TWA Flight 800 tragedy the accident is blamed on explosion of fuel vapors in the central fuel tank. The volume of the central fuel tank is 18,000 gal.

- If, at the time of the explosion, the fuel concentration in the tank is 1 % by volume and the pressure inside the tank is 12.9 psia, determine the equivalent energy of explosion for the vapor (in pounds of TNT). Assume a temperature of 80°F. Be sure to state carefully any assumptions.
- Estimate the overpressure at a distance of 50 ft from the fuel tank explosion from the explosion of the vapors in part a.

For jet fuel the energy of explosion is 18,590 Btu/lb and the molecular weight is 160.

7-28. You have decided to purchase a 500-gal tank of liquid propane (C_3H_8) to heat your house during the winter. You are concerned about tank rupture and the possibility of a vapor cloud explosion of all the propane. How far away (in ft) must the tank be from the house to ensure that your house will receive only minor damage from an explosion? The specific gravity of liquid propane is 0.500, and the energy of explosion for propane is 503.9 kcal/g-mol

7-29. A liquid mixture containing 0.50 mole fraction benzene-toluene is contained in a storage vessel at 25°C and 1 atm. The vessel is vented to the atmosphere.

- Is the vapor in the vessel flammable?
- What are your resulting concerns about fire and explosion hazards with this storage vessel?

Hint: Benzene-toluene can be assumed to be an ideal liquid-vapor system.

7-30. A tank containing liquid butane (C_4H_{10}) is located 500 ft from an electrical substation. One of the scenarios we are considering is the breaking of a 1-in schedule 40 pipe (internal diameter = 1.049 in) with discharge of the liquid butane. We are concerned that this leak will cause flammable vapor concentrations at the substation. Assume that all the liquid flashes to vapor.

- Estimate the discharge rate (in lb/s) of butane from the 1-in broken pipe.
- Estimate the butane vapor concentrations at the substation. Is this likely to be a flammable hazard?

The temperature is 80°F and the ambient pressure is 1 atm. Make sure you clearly state any assumptions. The vapor pressure of liquid butane at 80°F is 40 psia, and the specific gravity of liquid butane at 80°F is 0.571.

- 7-31. Acetone is used as a solvent in a laboratory. There is some concern about the fire hazards associated with the acetone. One solution is to dilute the pure acetone with water, thus providing an increased flash point. What mole fraction of water in a water-acetone mixture is required to increase the flash point of the mixture to 100°F? Acetone is completely soluble in water.
- 7-32. You have been assigned the task of assisting in relocating the new control room for your process. The new control room will be designed to withstand an explosive overpressure of 2 psig. Your attention is focused on a propane storage tank located 100 m from the proposed site for the new control room. What is the maximum quantity of propane (in kg) that can be stored in this tank without exceeding the overpressure rating of the control room? Make sure you state any assumptions used in your calculation.
- 7-33. Methyl alcohol liquid is stored in a vessel. Its vapor is inerted with nitrogen to a total pressure of 2 in of water gauge. Will the inerted vapor be flammable if it escapes the vessel? Assume a temperature of 25°C.
- 7-34. Draw a flammability diagram for n-butane. The experimentally reported LOC for n-butane is 12%. What must the oxygen concentration be reduced to before pumping in butane? What butane concentration must the vapor be reduced to before pumping air into the vessel before taking it out of service?
- 7-35. For flammable gases the minimum ignition energy is typically 0.1 mJ. The mass of a penny is typically 2.6 g. How far must this penny be dropped to contain the kinetic energy equal to 0.1 mJ?
- 7-36 During a particular accident, an estimated 39,000 kg of flammable material was released and ignited, resulting in an explosion and fireball and the subsequent fatalities and equipment damage. The publication *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVES* (New York: American Institute of Chemical Engineers, 1994) provides a number of equations useful for estimating the effects of such an explosion. The heat radiation intensity (in kW/m²) from a ball of burning vapor is given by the empirical equation

$$I_e = 828m_f^{0.771}/L^2$$

The effective time duration (in seconds) of the burn is given by

$$t_e = 2.6m_f^{1/6}$$

The height of the center of the fireball (in meters) is assumed to be constant during the burn and is given by

$$H_{BLEVE} = 0.75D_{\max}$$

Finally, the maximum diameter of the fireball (in meters) is given by

$$D_{\max} = 5.8m_f^{1/3}$$

For these equations I , is the effective radiation intensity (kW/m²), mf is the mass of fuel (kg), L is the distance from the center of the fireball to the receptor (m), and t , is the effective time duration of the burn (s).

Use a spreadsheet program (such as Quattro Pro or Excel) to estimate the total number of fatalities resulting from the burning fireball. Use the Probit equations provided in the text. Assume that 400 people are distributed evenly at a distance of 75 m to 1000 m from the fireball center. Divide the distance interval into a number of small increments. Use a small enough distance increment so that the results are essentially independent of the increment size.

Your spreadsheet output should have designated columns for the distance from the fireball center, radiation intensity, Probit values, and percentage and number of fatalities. You should also have a single designated spreadsheet cell providing the total number of fatalities. One way to simplify the procedure is to specify a threshold radiative flux. It is assumed that 100% fatalities will occur to anyone exposed to anything above this value. Anyone exposed to a lesser value will be unharmed. Estimate an approximate threshold radiative flux value that will result in the same number of fatalities as the detailed Probit calculation.

7-37 The air in a 55-gal drum must be flushed and inerted with nitrogen before the drum is filled with a flammable liquid. This is accomplished by placing a nitrogen lance through the hole of the drum reaching to the bottom. A constant flow rate of nitrogen is used to achieve the inerting.

- a. Show that the concentration of oxygen in the drum is represented by

$$V \frac{dC}{dt} = -kQ_v C$$

where C is the concentration of oxygen in the drum (mass/volume), k is the non-ideal mixing factor ($0.1 < k < 1$), and Q_v is the volumetric flow of nitrogen (volume/time).

- b. Show that the time required to reach a target concentration C_f from an initial concentration C_i is given by

$$t = -\left(\frac{V}{kQ_v}\right) \ln\left(\frac{C_f}{C_i}\right)$$

- c. Estimate the time it will take to inert a drum to 1 % oxygen using 75 L/min of nitrogen. Use k as a parameter.

7.38 A container in a process using a flammable vapor has dimensions of 100 m by 100 m by 10 m high. Use the TNO multi-energy model to estimate the overpressure 100 m from the process resulting from the release and ignition of the flammable vapor. Assume that 20% of the process volume is moderately congested and that the remaining 80% is lightly congested. Be sure to state any additional assumptions.

บทที่ 8

การออกแบบเพื่อป้องกันการเกิดไฟและระเบิด

จากบทที่ผ่านมาผู้อ่านคงจะมีพื้นฐานเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดเพลิงไหม้และการระเบิดในรูปแบบต่าง ๆ แล้ว ในบทนี้จะขอกล่าวถึงสองเรื่องหลักที่สำคัญคือ เรื่องแรกคือการป้องกันในเชิงวิศวกรรมคือการควบคุมไม่ให้เกิดตั้งแต่แรก แต่ถ้ามีเหตุการณ์ที่ไม่สามารถควบคุมให้เกิดอัคคีภัยได้จะเป็นเรื่องที่สองคือ การออกแบบระบบดับเพลิงเพื่อป้องกันอัคคีภัยในโรงงานอุตสาหกรรม

8.1) การป้องกันในเชิงวิศวกรรม

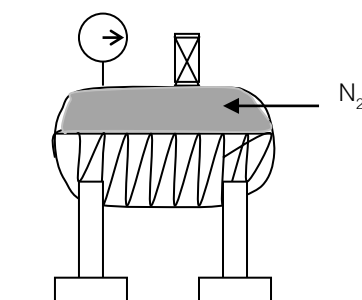
จะขอกล่าวในเรื่องการป้องกันในเชิงวิศวกรรม เพื่อลดความเสียหายให้น้อยที่สุด โดยการออกแบบเพื่อป้องกันการเกิดไฟและระเบิด (Design to Prevent Fire & Explosion) โดยวิธีการดังต่อไปนี้

- การทำให้เฉื่อย (Inerting)
- การควบคุมการเกิดไฟฟ้าสถิต (Static electricity)
- การระบายอากาศ (Ventilation)
- ใช้อุปกรณ์ที่ไม่ทำให้เกิดการระเบิด (Explosion proof)
- ระบบเครื่องโปรยน้ำ (Sprinkler system)

ในบทนี้จะขอกล่าวเพียง 3 วิธีส่วนวิธีการที่ใช้อุปกรณ์ที่ไม่ทำให้เกิดการระเบิด (Explosion proof) อาจจะพบเห็นกันมาบ้างเช่นวิทยุที่ใช้ในโรงงานที่เป็นเขตพื้นที่อันตราย (Hazardous area) หรือไฟที่เราเห็นในโรงงานปิโตรเคมีจะเป็นแบบป้องกันการเกิดไฟและการระเบิดในตัวเอง (Fire proof และ Explosion proof) ส่วนการใช้ระบบเครื่องโปรยน้ำเราก็คงพอผ่านตามาบ้างในบทที่แล้วในการที่ตัดวงจรที่ทำให้เกิดไฟโดยการใช้ม่านน้ำเพื่อลดออกซิเจนและความร้อน เป็นต้น

8.1.1 การทำให้เฉื่อย

การทำให้เฉื่อยถือว่าเป็นการลดปริมาณออกซิเจนหรือให้ปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าค่าขอบเขตสูงสุดของออกซิเจน (Maximum Oxygen Concentration; MOC) โดยใช้ก๊าซเฉื่อยไปไล่ก๊าซเฉื่อยที่ใช้ไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนอาจจะเป็นก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทั่วไปจะนำก๊าซเฉื่อยไปแทนที่ก๊าซออกซิเจนเพื่อให้ระดับของออกซิเจนลดลงให้มีค่า MOC ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งระบบควบคุมการแทนที่ของก๊าซเฉื่อยบนช่องว่างของของเหลว



รูปที่ 8.1 การใช้ก๊าซไนโตรเจนแทนที่

จากรูปที่ 8.1 เพื่อควบคุมความเข้มข้นของออกซิเจนให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย ระบบจะถูกเปิดให้ก๊าซเฉื่อยเข้าเมื่อสัญญาณรับข้อมูล (Sensor) อ่านค่าปริมาณของออกซิเจนได้ เปอร์เซ็นต์ และจะถูกปิดเมื่ออ่านค่าของออกซิเจนได้ 6 เปอร์เซ็นต์ วิธีการทำให้เฉื่อยด้วยวิธีการไล่ (Purge) ก๊าซเฉื่อยเข้าไปในถังเปล่าก่อนบรรจุสารเคมี จะมีวิธีการอยู่คล้าย ๆ กัน 3 วิธีคือ การสูบลอกให้เป็นสุญญากาศ (Vacuum purging) การอัดด้วยความดัน (Pressure purging) การพ่นเข้าไปแทนที่ (Sweep through purging) และโดยวิธีการแทนที่ (Siphon purging) ดังที่จะกล่าวต่อไป

ก. การทำให้เป็นสุญญากาศ (Vacuum purging)

การ Purge ด้วยวิธีการ Vacuum purging technique นี้เป็นหลักการง่ายที่สุดใช้ได้ทั่วไป นิยมใช้กับภาชนะรับความดันที่มีขนาดเล็กเพราะค่อนข้างที่จะใช้เวลานาน วิธีการ Purge ด้วยก๊าซเฉื่อยแบบสุญญากาศมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ดูดอากาศออกจากภาชนะรับความดันเพื่อให้ความดันต่ำลง
- 2) เติมก๊าซเฉื่อยอัดเข้าไปแทนที่
- 3) ทำข้อที่ 1 และ 2 ใหม่จนกว่าจะลดปริมาณออกซิเจนให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย

ถ้าเราให้ y_i = ความเข้มข้นของ O_2 โดยที่

y_o = ความเข้มข้นของ O_2 ตอนเริ่มต้น (ก่อน purge)

y_1 = ความเข้มข้นของ O_2 ตอนถูก N_2 แทนที่ครั้งที่ 1

y_2 = ความเข้มข้นของ O_2 ตอนถูก N_2 แทนที่ครั้งที่ 2

1. เริ่มขั้นตอนที่หนึ่งโดยสมมติให้ว่าอัตราส่วนของปริมาณ O_2 ที่ความดันบรรยากาศและปริมาณ O_2 ที่ความดันต่ำ (ช่วงดูดออก) จะเท่ากัน

$$\text{ที่ความดันบรรยากาศ} \quad y_o = \frac{(n_{O_2})_H}{n_H} \quad \dots(8.1)$$

$$\text{ดูดออกครั้งที่หนึ่ง} \quad y_o = \frac{(n_{O_2})_L}{n_L} \quad \dots(8.2)$$

โดยที่

$(n_{O_2})_H, (n_{O_2})_L$ = จำนวนโมลของออกซิเจนภายใต้ความดันบรรยากาศและที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ

n_H, n_L = จำนวนโมลรวมภายใต้ความดันบรรยากาศ และที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ

2. ขั้นตอนต่อไปคืออัดก๊าซไนโตรเจนเข้าไปเพื่อให้ความดันเข้าสู่ความดันบรรยากาศจะได้สมมติฐานที่ว่าอัตราส่วนของปริมาณ O_2 ที่ความดันบรรยากาศและปริมาณ O_2 ที่ความดันต่ำ (ช่วงดูดออก) จะเท่ากันจะได้

$$\text{ที่ความดันบรรยากาศ} \quad y_1 = \frac{(n_{O_2})_L}{n_H} = y_o \left(\frac{n_L}{n_H} \right) \quad \dots(8.2)$$

$$\text{ดูดออกครั้งที่สอง} \quad y_1 = \frac{(n_{O_2})_{2L}}{n_L} \quad \dots(8.3)$$

3. ขั้นตอนต่อไปคืออัดก๊าซไนโตรเจนเข้าไปอีกเพื่อให้ความดันเข้าสู่ความดันบรรยากาศจะได้สมมติฐานที่ว่าอัตราส่วนของปริมาณ O_2 ที่ความดันบรรยากาศและปริมาณ O_2 ที่ความดันต่ำ (ช่วงดูดออก) จะเท่ากันจะได้

$$\text{ที่ความดันบรรยากาศ} \quad y_2 = \frac{(n_{O_2})_{2L}}{n_H} = y_1 \left(\frac{n_L}{n_H} \right) = y_o \left(\frac{n_L}{n_H} \right)^2 \quad \dots(8.4)$$

$$\text{ดูดออกครั้งที่สาม} \quad y_2 = \frac{(n_{O_2})_{3L}}{n_L} \quad \dots(8.5)$$

ทำเช่นเดิมต่อไปจนไปถึงขั้นตอน (Cycle) ที่ i

$$\therefore y_i = \frac{(n_{O_2})_{iL}}{n_H} = \frac{y_{i-1}(n_L)}{n_H} = y_o \left(\frac{n_L}{n_H} \right)^i \quad \dots(8.7)$$

$$\text{จากก๊าซในอุดมคติ} \quad PV = nR_gT \quad \text{หรือ} \quad n = \frac{PV}{R_gT} \quad \dots(8.8)$$

$$\text{ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ} \quad n_L = \frac{P_L V}{R_g T} \quad \dots(8.9)$$

$$\text{ที่ความดันบรรยากาศ} \quad n_H = \frac{P_L V}{R_g T} \quad \dots(8.10)$$

แทนค่าสมการ (8.9) และ (8.10) ในสมการ (8.7) จะได้

$$y_i = y_o \left(\frac{n_L}{n_H} \right)^i = y_o \left(\frac{P_L}{P_H} \right)^i \quad \dots(8.11)$$

จำนวนของ N_2 ที่เติมทั้งหมดแต่ละครั้ง (Cycle; i) ของการ purge โดยเลือกสมการ (8.10) ลบออกจากสมการ (8.9) จะได้

$$\Delta n_{N_2} = i(P_H - P_L) \frac{V}{R_g T} \quad \dots(8.12)$$

ตัวอย่างที่ 8-1 ถ้าใช้หลักการ Vacuum purging technique เพื่อที่จะลดปริมาณ (ความเข้มข้น) ของ O_2 ในตัวซึ่งมีความจุ 1,000 แกลลอนให้เหลือ 1 ppm จงหาว่าต้อง Purge ด้วยไนโตรเจนกี่ครั้งถ้าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมในขณะนั้น 75 องศาฟาเรนไฮต์ และความดันสัมบูรณ์ที่ดูดอากาศออกเท่ากับ 20 mm Hg

จากสมการ (8.11); $y_i = y_o \left(\frac{P_L}{P_H} \right)^i$

โดยที่ $y_i = \frac{1}{10^6}$

$$y_o = 0.21 \frac{\text{lb mole } O_2}{\text{total lb mole}}$$

$$P_L = 20 \text{ mm Hg} = (20/760) \times 14.7 \text{ psia} \text{ หรือเท่ากับ } 0.387 \text{ psia}$$

$$P_H = 760 \text{ mm Hg} = 14.7 \text{ psia}$$

$$\begin{aligned} \ln \frac{y_i}{y_o} &= i \ln \left(\frac{P_L}{P_H} \right) \\ i &= \frac{\ln(y_i/y_o)}{\ln(P_L/P_H)} = \frac{\ln(10^{-6}/0.21)}{\ln(20/760)} \\ &= 3.37 \approx 4 \text{ ครั้ง} \end{aligned}$$

ปริมาณของไนโตรเจนที่เติมโดยใช้สมการ (8.12)

$$\begin{aligned} \Delta n_{N_2} &= \frac{4(14.7 - 0.387)(1000/7.48)\text{ft}^3}{10.73\text{psiaft}^3/\text{lb mole}^\circ\text{R} (75 + 460)^\circ\text{R}} \\ &= 1.33 \text{ ปอนด์ โมล} \\ &= 37.2 \text{ ปอนด์} \end{aligned}$$

ข. การไล่โดยใช้ความดัน (Pressure purging)

สมการความสัมพันธ์ของวิธี Pressure purging เหมือนกับ Vacuum purging โดยหลักการแทนที่จะทำให้ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศแต่เป็นการไปเพิ่มความดันมากกว่าบรรยากาศ ทำให้ P_H คือความดันที่สูงกว่าความดันบรรยากาศ และ P_L คือความดันบรรยากาศ ข้อดีของวิธีนี้คือใช้เวลาสั้นลงแต่ละครั้ง purge

แต่ต้องทำหลายครั้งกว่าการ Purge แบบ Vacuum purging และยังใช้ปริมาณของก๊าซมากกว่า อย่างไรก็ตามวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดแต่ต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นด้วย

ตัวอย่างที่ 8-2 ใช้ข้อมูลเดียวกับตัวอย่างที่ 8-1 แต่แทนที่จะดูให้ความดันต่ำก็ทำการ Purge โดยการอัดไนโตรเจนด้วยความดันสูง $P_H = 80$ psig แล้วปล่อยออกเท่ากับความดันบรรยากาศ ($P_L = 1$ atm) ที่อุณหภูมิ 75°F จงหาว่าต้อง Purge ที่ครั้ง (Cycle) และหาปริมาณไนโตรเจนที่ใช้

การอัดไนโตรเจนเข้าไปถึงที่หนึ่งที่มีความดันสูง 80 psig ให้ความเข้มข้นของออกซิเจนตอนเริ่มต้นเปลี่ยนไปจาก 21เปอร์เซ็นต์ เป็น

$$y_o = 0.21 \left(\frac{14.7}{80 + 14.7} \right) = 0.0326$$

จากสมการ (8.11) คิดที่ ออกซิเจนเริ่มต้น $y_o = 0.0326$ เพื่อให้ได้ความเข้มข้นตอนสุดท้ายเท่ากับ $y_i = 10^{-6}$

ที่ความดันในการอัดแต่ละครั้งจาก $P_L = 1$ atm = 14.7 psia เป็น $P_H = 80$ psig หรือ 94.7 psia

แทนค่า

$$\begin{aligned} y_i &= y_o \left(\frac{P_o}{P_H} \right)^i \\ \log y_i &= \log y_o + i \log \left(\frac{P_o}{P_H} \right) \\ i &= \frac{\log(y_i / y_o)}{\log(P_o / P_H)} \\ &= \frac{\log(10^{-6} / 0.0326)}{\log(14.7 / 94.7)} = 5.6 \approx 6 \text{ ครั้ง} \end{aligned}$$

จำนวนครั้งในการอัดก๊าซไนโตรเจน คือ 6 ครั้ง ดังนั้น ปริมาณ ไนโตรเจน (Δn_{N_2}) หาโดยใช้สมการ (8.12) คือ

$$\begin{aligned} \Delta n_{N_2} &= i(P_H - P_L) \frac{V}{R_g T} \\ &= \frac{6(94.7 - 14.7)(1000 \text{ gallon} / 7.48 \text{ gallon/ft}^3)}{10.73 \text{ psia ft}^3/\text{lb-mole}^\circ\text{R}(535^\circ\text{R})} \\ &= 11.1 \text{ ปอนด์-โมล} \\ &= 311 \text{ ปอนด์} \end{aligned}$$

นั่นคือวิธีการ Pressure purging จะใช้ปริมาณของไนโตรเจนมากกว่า วิธี Vacuum purging เราสามารถเลือกวิธีในการ Purge ที่ประหยัดเหมาะสมกับสถานการณ์ได้ โดยนอกจากจะคำนึงถึงต้นทุนของไนโตรเจนดังที่ได้กล่าวแล้วตอนต้น นอกจากนี้ยังต้องมองเรื่องช่วงเวลาในการทำงานที่ใช้ไปในกระบวนการด้วย

ค. การกวาดไล่ (Sweep through purging)

เป็นกระบวนการไล่ออกซิเจนโดยการใช้ไนโตรเจนที่สภาวะความดันบรรยากาศการคำนวณจำเป็นที่จะต้องเข้าใจสมมูลมวลที่ภาชนะรับความดันได้ดังนี้

อัตราความเข้มข้นในปริมาตรหนึ่ง = ความเข้มข้นเข้า-ความเข้มข้นออก

$$\frac{VdC}{dt} = C_oQ_v - CQ_v = Q_v(C_o - C)$$

$$V \int_{C_1}^{C_2} \frac{dC}{(C_o - C)} = Q_v \int_0^t dt$$

$$Q_v t = V \ln \left(\frac{(C_1 - C_o)}{C_2 - C_o} \right)$$

...(8.13)

โดยที่ Q_v = อัตราการไหล

t = เวลา (Time)

V = ปริมาตรของภาชนะรับความดัน

C = ความเข้มข้นของออกซิเจน

C_o = ความเข้มข้นของออกซิเจนในการไล่ก๊าซโดยการ purge ด้วยก๊าซไนโตรเจนหรือ purging gas

ที่บริสุทธิ์ $C_o = 0$ (มักจะ Assume)

ตัวอย่างที่ 8-3 ถ้าที่ความดันบรรยากาศมีอากาศ 100 เปอร์เซ็นต์ เราต้องการ purge โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนโดยให้ปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนลดลงเป็น 1.25 เปอร์เซ็นต์ แต่ไนโตรเจนที่เอาไปไล่ (Purge) ไม่บริสุทธิ์ 100 เปอร์เซ็นต์ เพราะมีออกซิเจนปะปนอยู่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ จงหาว่าใช้ไนโตรเจนไปเท่าไร ถ้าปริมาตรของภาชนะรับความดันเท่ากับ 1,000 ฟุต³

จากสมการ (8.13);

$$Q_v t = V \ln \left(\frac{(C_1 - C_o)}{C_2 - C_o} \right)$$

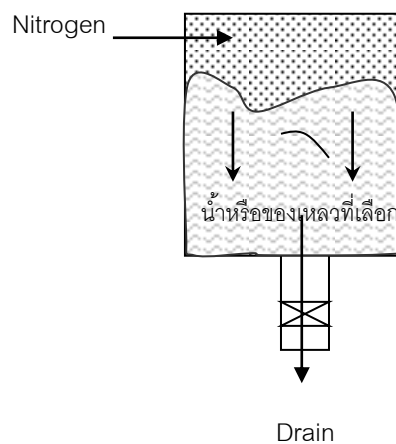
$$= 1,000 \ln \frac{(21 - 0.01)}{(1.25 - 0.01)}$$

$$Q_v = 2,830 \text{ ฟุต}^3$$

จะเห็นถ้าใช้วิธีการกวาดไล่ (Sweep through purging) จะใช้ปริมาณของไนโตรเจนมากกว่าการไล่โดยใช้การอัดความดัน (Pressure purging) หรือ การสูบออกโดยการทำให้เป็นสุญญากาศ (Vacuum purging)

ง. การไล่โดยใช้หลักการไซฟอน (Siphon purging)

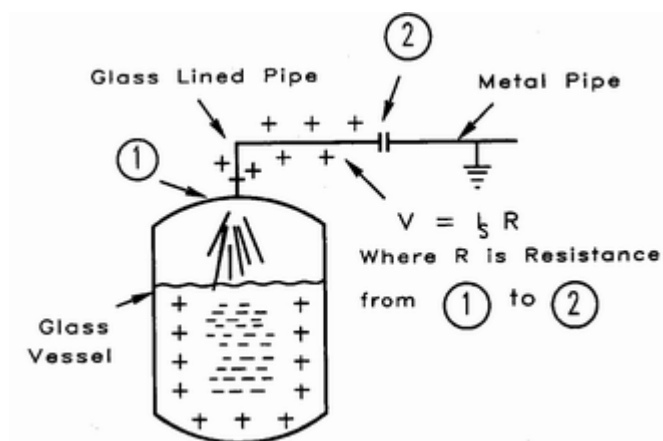
หลักการของวิธี Siphon purging คือการแทนที่ไนโตรเจนด้วยน้ำ เพื่อที่จะประหยัดปริมาณของไนโตรเจนมากกว่าการใช้วิธี Sweep through purging แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ ของเหลว (ซึ่งส่วนใหญ่จะเลือกการใช้น้ำ) ที่เราใช้ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่จะเติม



รูปที่ 8.2 การทำให้เฉื่อยด้วยวิธี Siphon purging

จะได้สมมูลมวลคืออัตราการปล่อยออกของของเหลวเท่ากับอัตราการปล่อยเข้าของไนโตรเจน วิธีนี้มีข้อดีคือมักใช้ในถังเก็บขนาดใหญ่ที่ใช้ปริมาณของไนโตรเจนจำนวนมาก

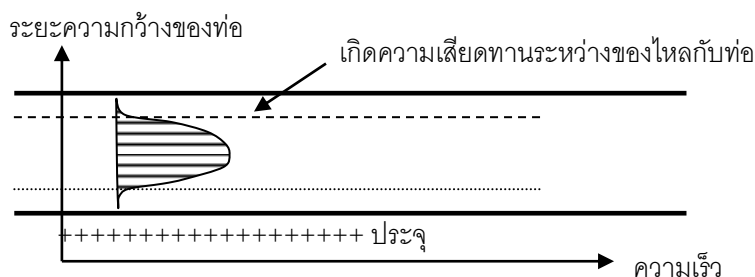
8.1.2 ไฟฟ้าสถิต (Static Electricity)



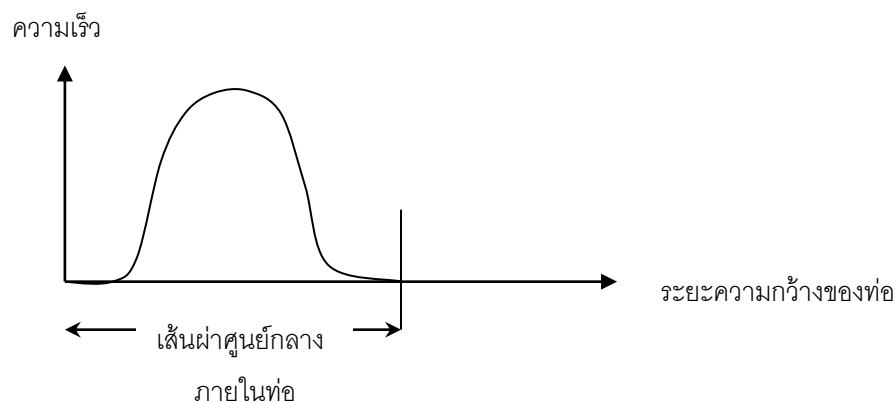
รูปที่ 8.3 การสะสมของประจุเนื่องจากการไหลของของเหลว (Crowl and Louvar, 1999)

ไฟฟ้าสถิตเกิดจากการเสียดสี ซึ่งเกิดจากการไหลของของเหลว ก๊าซ หรือผงฝุ่น เม็ดต่าง ๆ มักจะเกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการขนถ่ายอย่างต่อเนื่อง โดยปกติถ้าความต่างศักย์จากประจุสูงกว่า 350 โวลต์ และมีประจุของปริมาณมากกว่า 0.1 มิลลิจุลจะถือว่าอันตราย เนื่องจากการปล่อย (Discharge) จะมีการเกิดการกระโดดของประจุ (Spark) เกิดขึ้น ถ้าโชคนิดีเกิดมีไอระเหยของสารอยู่ในช่วงที่สามารถติดไฟได้หรือ อยู่ใน ช่วง %LFL-%UFL หรือเชื้อเพลิงที่เหมาะสมอาจจะทำให้เกิดเพลิงไหม้ และลุกลามได้

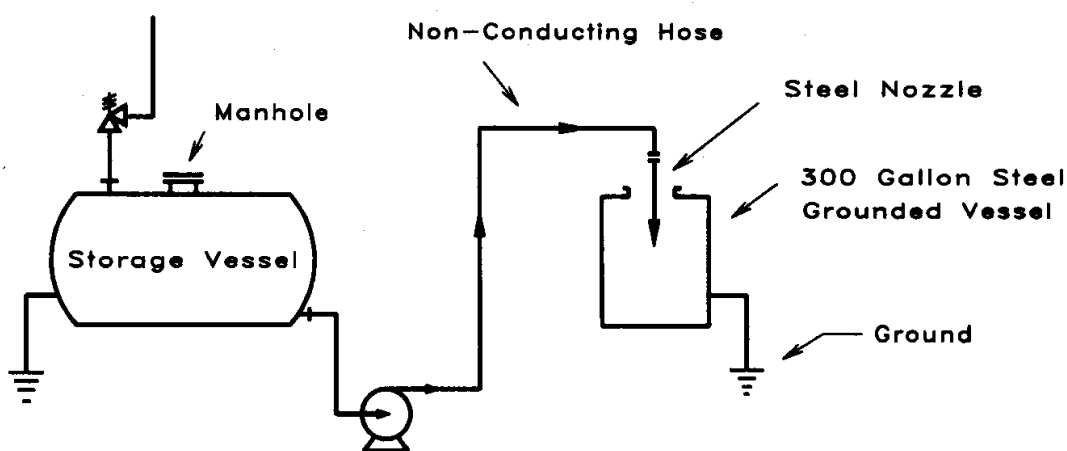
การเกิดไฟฟ้าสถิตในของเหลวที่มีการไหล (Streaming current)



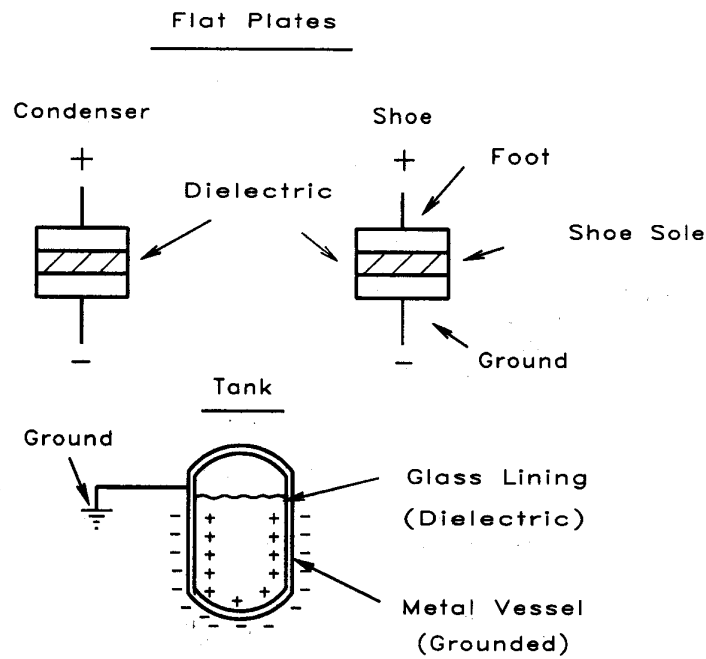
รูปที่ 8.4 การเกิดไฟฟ้าสถิตในของเหลวที่มีการไหล (Streaming current) ในท่อ



รูปที่ 8.5 ความเร็วที่เกิดขึ้นในท่อที่พื้นที่หน้าตัดหนึ่ง ๆ



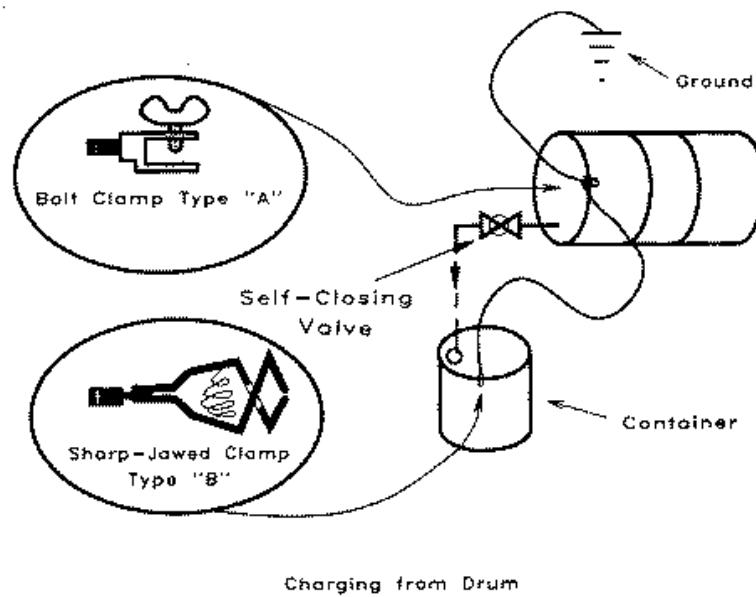
รูปที่ 8.6 การ Discharge ประจุในระบบ (Crowl and Louvar, 1999)



รูปที่ 8.7 ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นในถังที่มีสองชั้นที่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต (Crowl and Louvar, 1999)

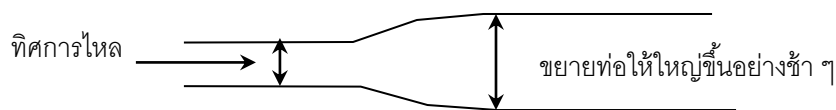
การแก้ไขไฟฟ้าสถิตโดย 5 วิธีหลัก ๆ คือ

- 1) การต่อลงดิน (Grounding) หรือการลดการ Discharge ประจุที่เกิดขึ้นมาไหลออกลงดินแล้วทำให้ตัวเองเป็นกลาง



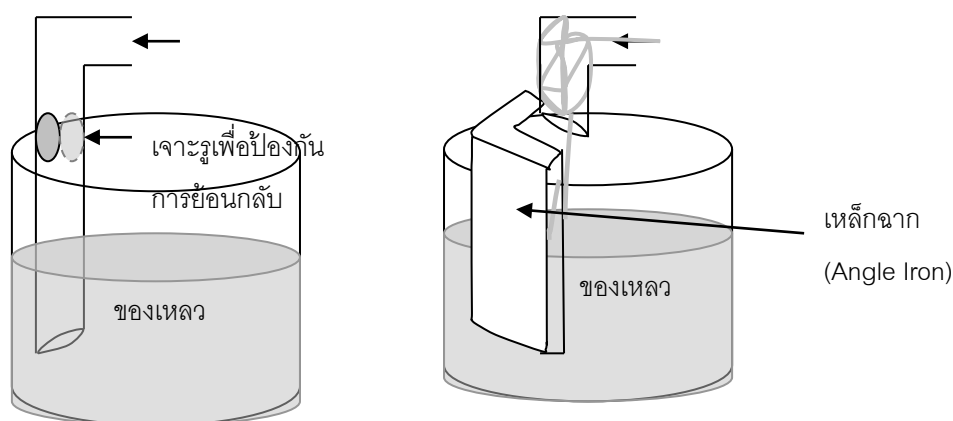
รูปที่ 8.8 การลดการเกิดไฟฟ้าสถิตโดยการต่อลงดิน (Grounding) (Crowl and Louvar, 1999)

- 2) การทำให้คลาย (Relaxation) หรือการทำให้ความเร็วลดลงหรือลดการเกิดความเสียหายของการไหลในท่อให้น้อยลงดังรูปที่ 8.9



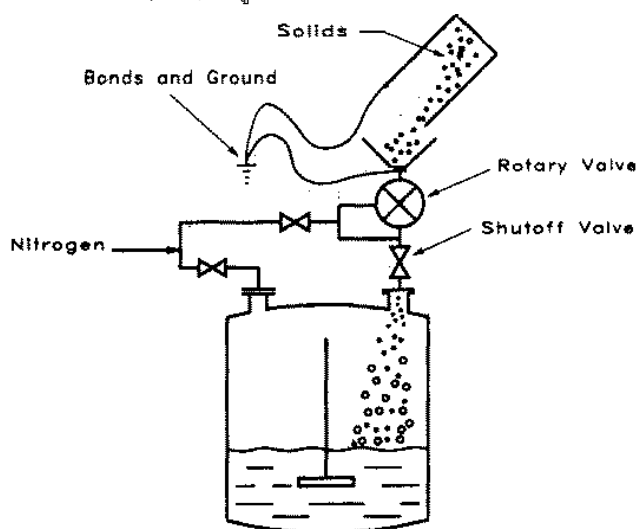
รูปที่ 8.9 การลดการเกิดไฟฟ้าสถิตโดยการใช้วิธี Relaxation

- 3) การจุ่มท่อ Feed ลงไปในของเหลว (Dip pipe) เพื่อให้ของเหลวที่ไหลลงไปไม่มีการแลกเปลี่ยนประจุหรือการแลกเปลี่ยนประจุน้อยลงกว่าการต่อท่อให้ลอยอยู่เหนือระดับของเหลว



รูปที่ 8.10 การป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตในท่อที่จุ่มในของเหลวและไม่จุ่มในของเหลว

- 4) การเติมสารที่เพิ่มการนำไฟฟ้า (Increasing conductivity with additive)
เช่นการพรมน้ำหรือการเติมสารเข้าไป เช่นอัลกอฮอล์ขณะที่ Transport เพื่อลดการเสียดสี
- 5) การต่อสายดินกับอุปกรณ์ป้อนสาร (Feeder) และทุกส่วนที่มีโอกาสเกิดประกายไฟ (Handling solids without flammable vapors) ดังรูปที่ 8.11



รูปที่ 8.11 การถ่ายผงสารเคมีในถัง (Handling solids without flammable vapors)

(Crowl and Louvar, 1999)

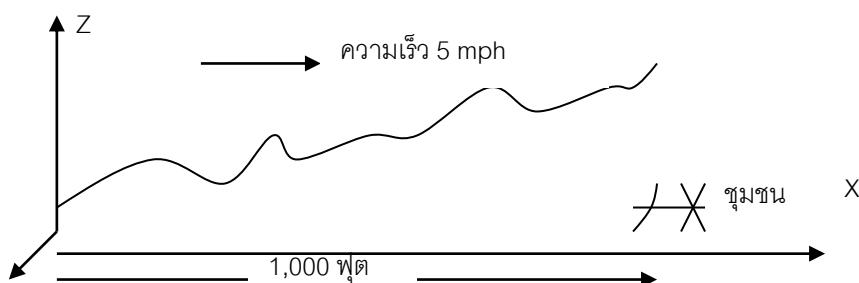
8.1.3 การระบายอากาศ (Ventilation)

มี 2 กรณีในการระบายอากาศ คือ โรงงานที่เปิดให้มีการระบายอากาศ (Open air plants) และโรงงานที่ออกแบบอาคารเป็นแบบปิด (Plant inside building)

ก. โรงงานที่เปิดให้มีการระบายอากาศ (Open air plants)

คำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเร็วลม ทิศทางของลม และระยะห่างระหว่างโรงงานและชุมชน รวมถึงความเป็นพิษค่า TLV ที่ต้องรู้ค่าว่าเท่าไร ต้องใช้สมการบทที่ 6 (ในที่นี้ขอยกมาใช้เลย)

ตัวอย่างที่ 8-4 โรงงานแห่งหนึ่งใช้สารโทลูอินซึ่งเป็นสารติดไฟได้ ตั้งห่างจากชุมชน 1,000 ฟุต ขณะนั้นมีการรั่วไหล โดยมีความเร็วลม 5 ไมล์ต่อชั่วโมง (mph) และอากาศในขณะนั้นอยู่ในสภาวะ C จงหาอัตราการไหลโดยมวล (Mass flow rate) ของโทลูอินที่รั่วน้อยที่สุดที่จะทำให้เกิดอันตรายในระดับที่เกิดการติดไฟได้



จากสมการ (6.48) ในบทที่ 6;
$$C = \frac{Q_m}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \quad \dots(6.48)$$

จากตารางที่ (7.2) % LFL ของโทลูอิน ($C_6H_5CH_3$) = 1.2% by vol. เปลี่ยนให้เป็น g/เมตร³ โดยใช้สมการ (3.6)

$$\frac{1.2}{100} \div 22.4 \longrightarrow \text{โมล} \longrightarrow x (72 + 5 + 12 + 3) \text{ g/l} = 92 \text{ g/l}$$

หรือเท่ากับ
$$\frac{0.12}{22.4} \times 92 = 0.0493 \text{ g/l}$$
$$= 49.3 \text{ g/เมตร}^3$$

จากความเร็ว 5 ไมล์ต่อชั่วโมง
$$= \frac{5 \times 1609.344}{3,600} = 2.24 \text{ เมตร/วินาที}$$

ระยะทางระหว่างโรงงานและชุมชน = 1,000 ฟุต = $1,000 \times 0.3048$ เมตร
$$= 304.8 \text{ เมตร}$$

หาค่า σ_y จากกราฟรูปที่ 6.11 ที่สภาวะอากาศ C (โจทย์กำหนด) $\sigma_y \approx 22$
 σ_z จากกราฟรูปที่ 6.11 ที่สภาวะอากาศ C จะได้ $\sigma_z \approx 12$

หรืออาจจะอ่านจากตาราง 6.3 ในเมือง ที่ C condition

$$\sigma_y = 0.22(x) \cdot (1 + 0.0004(x))^{-1/2} = 63.307 \text{ m}$$

$$\sigma_z = 0.22(x) = 0.20 \cdot 304.8 = 60.96 \text{ m}$$

$$\text{แทนค่าในสมการ 6.48; } Q_m = C\pi\sigma_y\sigma_z u$$

$$= 49.3 \times 3.14 \times 22 \times 63.307 \times 60.96 \times 2.24$$

$$= 1.34 \times 10^6 \text{ กรัมต่อวินาที หรือประมาณ 3,000 ปอนด์ต่อวินาที}$$

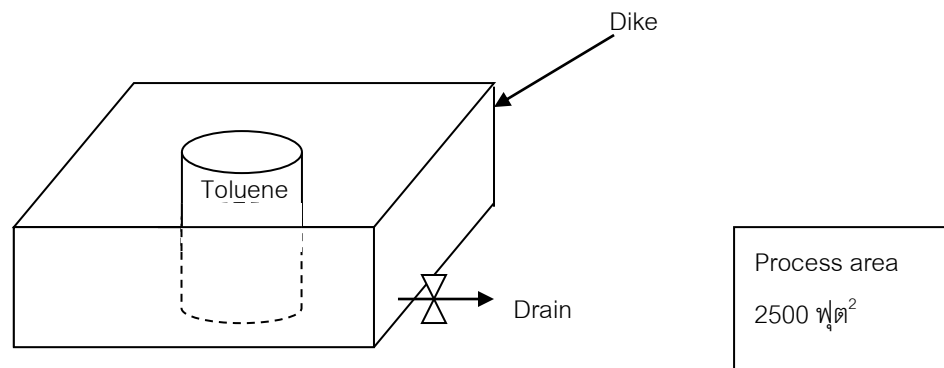
จะเห็นว่าค่าการรั่วของโหลอื่น 3,000.5 ปอนด์ต่อวินาที เป็นการรั่วที่มีโอกาสที่จะทำให้ติดไฟถ้ามีไอของโหลอื่นลอยอยู่ในอากาศสูงกว่าค่า %LFL ของ โหลอื่น จากตารางที่ 7.1 เท่ากับค่า %LFL ของโหลอื่นเท่ากับ 1.2% หรือถ้าในอากาศ 100 ส่วนมีโหลอื่นอยู่ 1.2 ส่วน ก็จะมีโอกาสติดไฟได้ อย่างไรก็ตาม โหลอื่นยังเป็นสารพิษที่ต้องคำนึงถึงค่า TLV ซึ่งจากภาคผนวก ค ค่า TLV มีค่าเท่ากับ 375 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในทางปฏิบัติถึงแม้ว่าค่า TLV จะต่ำกว่าค่า % LFL แต่จำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเรื่องสุขภาพและจำเป็นต้องมีการอพยพคนออกจากชุมชนนั้น ๆ

ข. โรงงานที่อยู่ในอาคารแบบปิด (Plant inside Buildings)

ในกรณีการรั่วที่เกิดขึ้นในอาคารตารางที่ 8.1 จะเป็นข้อมูลในการปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดไฟและการระเบิด (Ventilation data for handling flammability) ซึ่งปัจจุบันได้ถือว่าเป็นกฎที่ต้องปฏิบัติเพื่อเป็นสากล (กฎหมาย)

1. การระบายอากาศภายในพื้นที่ที่เก็บของหรือโกดัง (Ventilation for inside storage areas)
 - อัตราการระบายหรือเปลี่ยนอากาศในห้องต้องอย่างน้อย 6 ครั้ง/ชม.
 - สภาพภายในห้อง เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ แสงสว่างส่องถึง เป็นต้น
 - ห้ามมีสวิชไฟต่าง ๆ ไปในบริเวณ Storage area
 - สวิสไฟต้องอยู่ที่จุดเดียวกัน
 - แสงไฟ (Pilot light) ต้องอยู่ใกล้กับสวิชไฟกรณีที่มีการจ่ายแก๊สในพื้นที่นั้นและควรเปิดไว้เพื่อให้สังเกตเห็นการทำงานทุกครั้ง
2. Ventilation for processing area inside building
 - อัตราการระบายหรือเปลี่ยนอากาศในห้องต้องอย่างน้อย 1 ฟุต³ต่อพื้นที่ห้อง (ฟุต²)-นาที่
 - สภาพภายในห้อง
 - อากาศที่เป่าเข้ามา (Make up air) จะต้องไม่ Short circuit (รััดหรือรั่ว)
 - ความเข้มข้นต้องถูกทำให้เจือจางนอกเขต 5 ฟุต (รัศมี) ของอุปกรณ์ที่อันตรายต่อการระเบิด (Class I มี จุดวาบไฟ <37.8 องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง 8-5 จงหาความเข้มข้นของโทลูอีนที่หกหล่นมาที่กำแพงไฟดงรูป



ที่ อุณหภูมิ 68 °F, ความดัน 20 mm Hg, %LFL = 1.27% by volume

จากสมการ (4.14) เพื่อหาความเข้มข้นจะได้

$$C_{ppm} = \left(\frac{KAP^{sat}}{kQ_vP} \right) \times 10^6 \quad \dots(4.14)$$

โดยที่ K หาจากสมการ (4.18) $K = K_o \left(\frac{M_o}{M} \right)^{1/3}$ หรือ เท่ากับ 0.83 ของน้ำ $\times \left(\frac{18}{92} \right)^{1/3}$

$$K = 0.482 \text{ เซนติเมตร/วินาที} = 0.948 \text{ ฟุต/นาที่}$$

$$A = \text{Area of pool } 100 \text{ ฟุต}^2 \text{ (Dike)}$$

$$P^{sat} = 20 \text{ mm Hg หรือ } 20/760 \text{ atm}$$

$$k = \text{Mixing factor}$$

$$Q_v = \text{ปริมาณอากาศในเขต Class I } 2,500 \text{ ฟุต}^3/\text{นาที่ ณ พื้นที่ } 2,500 \text{ ฟุต}^2$$

$$\text{แทนค่า } C_{ppm} k = \frac{0.948 \times 100 \times (20/760) \times 10^6}{2500 \times 1} = 998 \text{ ppm}$$

ค่าความเข้มข้นจะขึ้นกับค่า k ; $0.5 < k < 1$; ผลคือทำให้ค่า ความเข้มข้น C_{ppm} ;

$$1,996 \text{ ppm} < C_{ppm} < 9,980 \text{ ppm หรือ } 0.1996\% < C_{ppm} < 0.998\% \text{ โดยปริมาตร}$$

เนื่องจาก %LFL ของโทลูอีน = 1.27 จะเห็นว่าค่าที่คำนวณได้ต่ำกว่า 1.27เปอร์เซ็นต์ แสดงว่ายอมรับได้

8.2 การออกแบบระบบดับเพลิงเพื่อป้องกันอัคคีภัย

ในส่วนนี้จะเน้นการออกแบบระบบดับเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม นักศึกษาจึงจำเป็นต้องมองภาพการออกแบบให้เป็นมิติของทั้งขนาดของโรงงานหรือสถานประกอบการ และชนิดของอุปกรณ์ดับเพลิงหลากหลายชนิดที่จะติดไว้ ณ จุดต่าง ๆ จึงสามารถแยกหัวข้อที่จะกล่าวได้ 5 แบบ หลัก ๆ คือ ประเภท

อาคารและพื้นที่ป้องกัน ระบบท่อเย็นหรือสายน้ำดับเพลิง ระบบท่อน้ำดับเพลิงนอกอาคาร การจัดระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Sprinkler) มาตรฐานการติดตั้งถังเคมีแห้งแบบมือถือ และการจัดบันไดหนีไฟและช่องเปิดภายในอาคาร ซึ่งจะขอก้าวโดยอ้างอิงข้อมูลของบริษัทไทยปิโตรเคมีกัลไทยจำกัด ในช่วงระหว่างที่ผู้เขียนปฏิบัติงานเป็นวิศวกร ในปี พ.ศ. 2533 เป็นเวลาเกือบ 1 ปีและมีผู้รวบรวมเอาไว้ (เกียรติฟ้า, 2542) ดังต่อไปนี้

8.2.1.ประเภทของอาคาร และพื้นที่ที่ป้องกัน

8.2.1.1 ประเภทของอาคาร

การแบ่งประเภทของอาคาร หมายถึง การกำหนดประเภทของอาคารต่าง ๆ ที่มีลักษณะการใช้คล้ายคลึงกัน โดยไม่พิจารณาชนิดของการสร้าง

8.2.1.1.1 อาคารประเภทที่ 1 เป็นประเภทที่ถือว่าอัตราการเสี่ยงจากเพลิงที่เกิดขึ้นไม่รุนแรง (Light hazard occupancies)

8.2.1.1.1.1 อาคารประเภทที่ 1 ลำดับที่ 1 ได้แก่อาคารต่อไปนี้ หรือคล้ายกัน

- บ้านไม้หรือบ้านครึ่งตึกครึ่งไม้
- สโมสร
- ร้านค้า
- ร้านอาหาร

8.2.1.1.1.2 อาคารประเภทที่ 1 ลำดับที่ 2 ได้แก่อาคารต่อไปนี้ หรือคล้ายกัน

- อาคารสูง ประเภทสำนักงาน
- อาคารสูง ประเภทที่อยู่อาศัย

8.2.1.1.2 อาคารประเภทที่ 2 เป็นประเภทที่ถือว่าอัตราการเสี่ยงจากเพลิงที่เกิดขึ้นรุนแรงปานกลาง (Ordinary hazard occupancies)

8.2.1.1.2.1 อาคารประเภทที่ 2 ลำดับที่ 1 ได้แก่อาคารต่อไปนี้ หรือคล้ายกัน

- โรงจอดรถ (เหนือพื้นดินหรือเป็นที่โล่ง)
- โรงงานผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- โรงงานผลิตแก้วและวัสดุที่ทำจากแก้ว

8.2.1.1.2.2 อาคารประเภทที่ 2 ลำดับที่ 2 ได้แก่อาคารต่อไปนี้หรือคล้ายกัน

- โกดังห้องเย็น
- โรงงานผลิตสารเคมี
- โรงพิมพ์
- โรงกลึง
- โรงจอดรถ (ชั้นใต้ดิน)

8.2.1.1.2.3 อาคารประเภทที่ 2 ลำดับที่ 3 ได้แก่อาคารต่อไปนี้หรือคล้ายกัน

- โกดังเก็บวัสดุที่ติดไฟง่าย
- โรงกลึงไม้
- โรงงานยาง
- ท่าเรือและสะพานส่วนที่ยื่นไปในน้ำ

8.2.1.1.3 อาคารประเภทที่ 3 เป็นประเภทที่ถือว่าอันตรายเสี่ยงจากเพลิงที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรงมาก (Extra hazard occupancies)

8.2.1.1.3.1 อาคารประเภทที่ 3 ลำดับที่ 1 คือ อาคารที่มีการทำงานเกี่ยวกับวัสดุที่เป็นเชื้อเพลิงเหลว หรือของเหลวที่ระเหยติดไฟเล็กน้อย ได้แก่อาคารต่อไปนี้หรือคล้ายกัน

- โรงงานผลิตสี
- โรงงานผลิตภัณฑ์พลาสติก

8.2.1.1.3.2 อาคารประเภทที่ 3 ลำดับที่ 2 คือ อาคารที่มีการใช้งานเกี่ยวกับวัสดุที่เป็นเชื้อเพลิงเหลว หรือของเหลวที่ระเหยติดไฟโดยตรง ได้แก่ อาคารต่อไปนี้หรือคล้ายกัน

- โรงงานทำสารละลาย
- โรงกลั่นน้ำมัน
- โรงผลิตน้ำมันเครื่อง
- โรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

8.2.1.2 ประเภทพื้นที่ที่ป้องกัน

พื้นที่ที่ป้องกันหมายถึงพื้นที่ที่ตั้งอยู่ในเขตป้องกันเพลิงของอาคารหรือพื้นที่ที่กำหนดนอกอาคาร เขตป้องกันเพลิงให้เป็นพื้นที่ที่ถูกป้องกัน โดยไม่พิจารณาถึงชนิดของการสร้าง

8.2.1.2.1 พื้นที่ป้องกันประเภทที่ 1

เป็นพื้นที่ที่ถือว่ามีความเสี่ยงจากเพลิงที่เกิดขึ้นไม่รุนแรง (Light hazard class) ได้แก่

- ห้องนอน
- ห้องน้ำ
- สำนักงานทั่วไป
- ห้องคอมพิวเตอร์
- ห้องประชุมขนาดเกิน 50 คน

8.2.1.2.2 พื้นที่ป้องกันประเภทที่ 2 เป็นพื้นที่ที่ถือว่า มีความเสี่ยงจากเพลิงที่เกิดขึ้นรุนแรงปานกลาง (Ordinary hazard class) ได้แก่

- ห้องเก็บเอกสาร
- ห้องไฟฟ้า
- ห้องครัว

8.2.1.2.3 พื้นที่ป้องกันประเภทที่ 3 เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะการใช้งานเกี่ยวกับวัสดุที่เป็นเชื้อเพลิงเหลว ที่ระเหยติดไฟง่ายโดย ถือว่าเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากเพลิงที่เกิดขึ้นรุนแรงมาก (Extra hazard class) ได้แก่

- ห้องหม้อไอน้ำ
- ห้องเครื่องปั่นไฟ
- ห้องหม้อแปลงไฟฟ้า

8.2.2 ระบบท่อเย็น และสายน้ำดับเพลิง

8.2.2.1 ทัวไป

ระบบท่อเย็น (Stand pipe) คือการติดตั้งระบบท่อส่งน้ำ, วาล์ว, หัวต่อสายฉีดน้ำดับเพลิงและอุปกรณ์ฉีดน้ำดับเพลิงประกอบกับอุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกติดตั้งในอาคาร โดยมีตำแหน่งของหัวต่อสายฉีดดับเพลิง หรือที่เก็บสายฉีดน้ำดับเพลิง อยู่ในที่ซึ่งสามารถต่อสายฉีดน้ำไปติดตั้งจุดที่เกิดเพลิงไหม้ได้โดยง่าย เป็นจุดที่สามารถเห็นได้ชัดเจน และสะดวกต่อการทำงานของพนักงานดับเพลิง

ระบบท่อเย็นจะเป็นระบบที่พร้อมสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อต่อระบบทั้งหมดเข้ากับระบบส่งน้ำ เพื่อให้มีแหล่งจ่ายน้ำที่มีปริมาณเพียงพอในการฉีดน้ำดับเพลิงตามระยะเวลาที่ต้องการ

8.2.2.2 ประเภทการใช้งาน

8.2.2.2.1 ประเภทที่ 1 สำหรับพนักงานดับเพลิงหรือผู้ที่ได้รับการฝึกฝนมาแล้ว ขนาดสาย 65 มม.

8.2.2.2.2 ประเภทที่ 2 สำหรับผู้ที่อาศัยภายในอาคารใช้จนกว่าพนักงานดับเพลิงจะมาถึง ขนาดสาย 25 มม. หรือ 40 มม.

8.2.2.2.3 ประเภทที่ 3 สำหรับพนักงานดับเพลิงหรือผู้ที่ได้รับการฝึกฝนมาแล้ว ใช้สายขนาดใหญ่ตามข้อ 8.2.2.2.1 หรือผู้อยู่อาศัยภายในอาคารตามข้อ 8.2.2.2.2

8.2.2.3 ประเภทอาคารที่จัดให้มี

8.2.2.3.1 อาคารประเภทที่ 1 ลำดับที่ 1 ถูกจัดให้มีระบบท่อเย็นและสายฉีดน้ำดับเพลิงตามประเภทการใช้งานประเภทที่ 2 หรือไม่มีก็ได้

8.2.2.3.2 อาคารประเภทที่ 1 ลำดับที่ 2 จะต้องจัดให้มีระบบท่อเย็นและสายฉีดน้ำดับเพลิงตามประเภทการใช้งานประเภทที่ 3

8.2.2.3.3 อาคารประเภทที่ 2 ลำดับที่ 1 และ 2 จะต้องจัดให้มีระบบท่อเย็นและสายฉีดน้ำดับเพลิงตามประเภทการใช้งานประเภทที่ 3

8.2.2.3.4 อาคารประเภทที่ 2 ลำดับที่ 3 จะต้องจัดให้มีระบบท่อเย็นและสายฉีดน้ำดับเพลิงตามประเภทการใช้งานประเภทที่ 1

8.2.2.3.5 อาคารประเภทที่ 3 ทุกลำดับจะต้องจัดให้มีระบบท่อเย็น และสายฉีดน้ำดับเพลิงตามประเภทการใช้งานประเภทที่ 1 หรือประเภทที่ 1 และ 2

8.2.2.4 จำนวนท่อเย็น

เราพิจารณาจากสภาพความเหมาะสมของอาคารส่วนที่จะต้องป้องกัน

1. สำหรับท่อเย็นประเภทที่ 1 และ 3 (จากหัวข้อ 8.2.2.2) ที่ติดตั้งภายในแต่ละชั้นของอาคารให้อยู่ภายในรัศมีของน้ำที่จะถูกฉีดจากหัวฉีดได้ถึงในระยะ 10 เมตร

โดยหัวฉีดซึ่งต่อกับสายส่งน้ำ ยาวไม่เกิน 30 เมตร

2. สำหรับระบบท่อเย็นประเภทที่ 2 ที่ติดตั้งภายในแต่ละชั้นของอาคาร และในแต่ละส่วนของอาคารที่ถูกแบ่งด้วยผนังกันไฟทุก ๆ ส่วนของแต่ละชั้นของอาคาร ให้อยู่ภายในรัศมีของน้ำที่จะถูกฉีดออกจากหัวฉีดได้ถึงระยะ 10 เมตร โดยหัวฉีดซึ่งต่อกับสายส่งน้ำยาวไม่เกินกว่า 30 เมตร เพราะฉะนั้นจะได้

$$\text{รัศมีการฉีดน้ำ} = \text{ความยาวของสายฉีด} + \text{รัศมีน้ำที่ถูกฉีด (10 เมตร)}$$

ดังนั้นในการออกแบบให้พิจารณาว่า พื้นที่ภายในรัศมีฉีดน้ำเป็นพื้นที่วงกลม

8.2.2.5 ตู้เก็บสายฉีดน้ำดับเพลิง (Hose box)

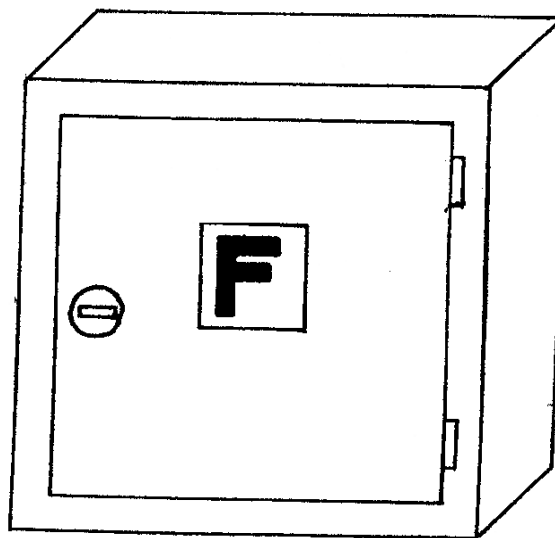
มี 2 ประเภทดังนี้

1. แบบติดผนัง แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะดังนี้

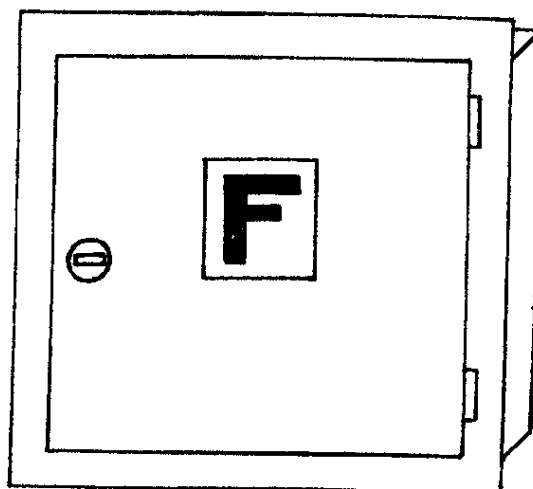
1.1 แบบลอย ติดตั้งกับผนังโดยตรง ดูรูปที่ 8.12

1.2 แบบฝัง ติดตั้งกับผนังโดยฝังลงในผนัง นิยมใช้กับอาคารประเภทสำนักงาน เพื่อความสวยงาม ดูรูปที่ 8.13

2. แบบตั้งกลางแจ้ง



รูปที่ 8.12 ตู้เก็บสายฉีดน้ำดับเพลิงแบบลอย

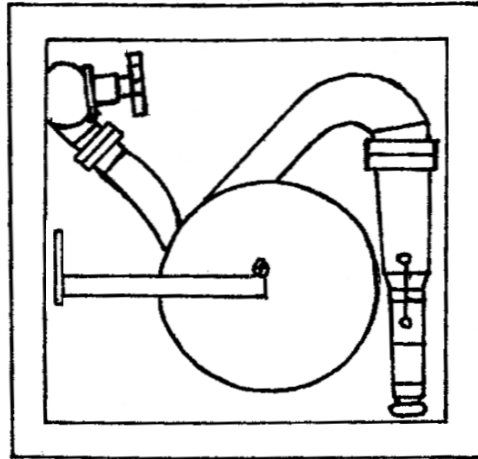


รูปที่ 8.13 ตู้เก็บสายฉีดน้ำดับเพลิงแบบฝัง

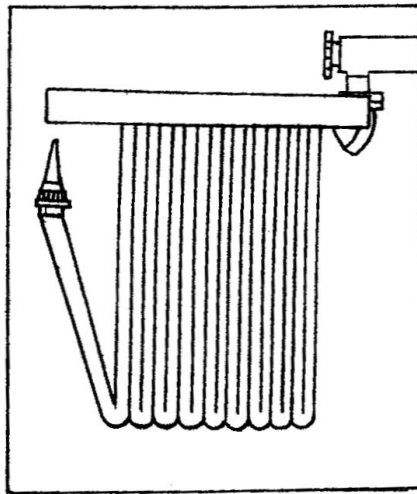
8.2.2.6 ที่เก็บสายเก็บน้ำดับเพลิง

มีการเก็บได้ 2 ลักษณะคือ

1. แบบม้วนเก็บโดยใช้ลูกล้อ เก็บในตู้เก็บสายเก็บน้ำดับเพลิง ดังรูปที่ 8.14
2. แบบพับเก็บ เก็บในตู้เก็บสายฉีดน้ำดับเพลิง ดังรูปที่ 8.15



รูปที่ 8.14 ตู้เก็บสายฉีดน้ำดับเพลิงแบบม้วนเก็บโดยใช้ลูกล้อ



รูปที่ 8.15 ตู้เก็บสายฉีดน้ำดับเพลิงแบบพับเก็บ

สำหรับการออกแบบในหัวข้อต่อไปนี้

1. ขนาดและการจัดระบบท่ออื่น
2. ระบบส่งน้ำ
3. ระบบท่อน้ำ และอุปกรณ์ประกอบ
4. การทดสอบระบบ

ให้ศึกษาเพิ่มเติมได้จากมาตรฐาน NFPA 14-1978, Standard for the Installation of Standpipe and Hose System

8.2.3.ระบบท่อน้ำดับเพลิงนอกอาคาร

8.2.3.1 ประเภทของอาคารที่จะต้องจัดให้มี

ได้แก่ อาคารประเภทที่ 2 และ 3

8.2.3.2 ระบบท่อน้ำดับเพลิง

8.2.3.2.1 หัวดับเพลิง (Hydrant)

8.2.3.2.1.1 หัวไป

1. ขนาดของหัวต่อทางน้ำเข้าของหัวดับเพลิงของระบบน้ำจะต้องมีขนาด ไม่เล็กกว่า 150 มม. และตัวหัวดับเพลิงจะต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 100 มม. สำหรับหัวน้ำออก ขนาด 65 มม. จำนวน 2 หัว
2. ชนิดของหัวดับเพลิงจะต้องเป็นแบบเปียกเท่านั้น (Wet barrel)
3. ให้มีวาล์วปิดเปิดขนาด 65 มม. ติดตั้งที่หัวน้ำออกจุดและหัว
4. จำนวนหัวต่อสายฉีดน้ำดับเพลิง (Hose outlet) ให้มีไม่น้อยกว่า 2 หัว พร้อมวาล์วควบคุมขนาดเดียวกัน
5. หัวต่อสายฉีดน้ำดับเพลิงจะต้องเป็นชนิดหัวต่อความเร็ว (ตัวเมีย) พร้อมฝาครอบและโซ่

8.2.3.2.1.2 ตำแหน่งหัวดับเพลิง

1. ตำแหน่งที่ติดตั้งหัวดับเพลิงควรห่างจากอาคารที่ป้องกัน ไม่น้อยกว่า 12 เมตร
2. ในกรณีที่ระยะห่างหัวดับเพลิง กับอาคารที่กำหนดในข้อ 1 ไม่สามารถ ทำได้ อนุญาตให้ติดตั้งใกล้อาคารได้ แต่ทั้งนี้ให้พิจารณาติดตั้งใกล้กับส่วนที่เป็นผนัง หนาไฟของอาคาร หรือใกล้กับส่วนที่เป็นบันได หรือมุมอาคาร ซึ่งผนังดังกล่าว ในส่วนนี้จะต้องไม่พังลงโดยง่าย เมื่อถูกไฟเผาไหม้
3. ระยะห่างระหว่างหัวดับเพลิงแต่ละหัว จะต้องไม่ห่างกันเกินกว่า 150 เมตร (ในโรงงานใช้ค่าระยะห่าง 100 เมตร)

สำหรับการออกแบบหัวต่อไปนี้

1. ระบบวาล์วควบคุม
2. ระบบส่งน้ำ
3. มาตรฐานการวางท่อ
4. การทดสอบระบบ

ให้ศึกษาเพิ่มเติมได้จาก NFPA 24-2977, Standard for Outside Protection

8.2.4 ระบบหัวกระจายดับเพลิง

8.2.4.1 ประเภทของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง

8.2.4.1.1 ระบบปิดท่อเปียก (Wet pipe system)

- ระบบนี้ภายในเส้นท่อน้ำจะมีน้ำตลอดเวลา และต่อเข้ากับระบบส่งน้ำ หัวกระจายน้ำดับเพลิงเป็นแบบปิด และจะเปิดน้ำให้กระจายออกมาทันทีเมื่อเกิดความร้อนจนถึงอุณหภูมิทำงาน
- สำหรับเก็บวัดความดัน ให้ติดตั้งทั้งก่อนเข้าและออกจากวาล์วสัญญาณ (Alarm valve)

8.2.4.1.2 ระบบท่อแห้ง (Dry pipe system)

- ระบบนี้ภายในเส้นท่อน้ำจะไม่มีน้ำอยู่เลย แต่จะมีอากาศหรือแก๊สในโตรเจนภายในความดันบรรจุอยู่ในท่อหัวกระจายน้ำดับเพลิงเป็นแบบปิด และจะเปิดเมื่อเกิดความร้อนจนถึงอุณหภูมิทำงาน ความดันของอากาศหรือแก๊สภายในระบบท่อที่ลดลงทันทีทันใดจะเป็นเหตุให้วาล์วสัญญาณเปิดให้น้ำมีความดันเข้าสู่ระบบ

8.2.4.1.3 ระบบปิดท่อแห้งแบบชลอน้ำเข้า (Pre-action system)

- ระบบนี้ภายในเส้นท่อน้ำจะไม่มีน้ำอยู่เลย แต่จะมีอากาศอยู่ภายในท่อแทน ซึ่งความดันสูงกว่า หรือเท่ากับความดันบรรยากาศระบบทั้งหมดจะต่อเข้ากับระบบส่งน้ำตลอดเวลา ถูกส่งเข้าระบบกระจายน้ำดับเพลิงก็ต่อเมื่อระบบตรวจจับเพลิงไหม้จับสัญญาณเพลิงที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะส่งไปยังวาล์วควบคุมเปิดให้น้ำเข้าสู่ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง และพร้อมต่อการทำงาน น้ำจะถูกฉีดกระจายออกจากหัวกระจายน้ำดับเพลิงก็ต่อเมื่อหัวกระจายน้ำดับเพลิงได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิทำงานระบบนี้มีข้อกำหนดบางประการดังนี้

1. จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงต้องไม่เกิน 1,000 ตัว ต่อวาล์วควบคุม 1 ตัว (Pre-Action Valve)
2. อุปกรณ์ตรวจจับเพลิงและระบบท่อจะต้องเป็นชนิดที่ถูกต้องตรวจสอบการทำงานโดยอัตโนมัติ เมื่อระบบติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเกิน 20 หัว
3. ขนาดท่อกำหนดได้ทั้งจากตารางและการคำนวณ

8.2.4.1.4 ระบบเปิด (Deluge system)

- ระบบชนิดนี้หัวกระจายน้ำดับเพลิงทั้งหมดจะเป็นแบบเปิด และระบบท่อน้ำจะต่อเข้ากับระบบส่งน้ำ โดยมีวาล์วควบคุมปิดอยู่ น้ำจะถูกนำเข้าสู่ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงเมื่อระบบตรวจจับเพลิง (Fire detection system) ซึ่งถูกติดตั้งในพื้นที่ป้องกันลักษณะเดียวกันกับหัวกระจายน้ำดับเพลิง จับสัญญาณเพลิงที่เกิดขึ้นได้ สัญญาณดังกล่าวจะส่งไปยังวาล์วควบคุม เพื่อเปิดให้น้ำเข้าสู่ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงและฉีดกระจายออกมาพร้อมกันทุกหัว ระบบดังกล่าวมีข้อกำหนดบางประการดังนี้

อุปกรณ์ตรวจจับเพลิงหรือระบบตรวจจับเพลิงจะต้องเป็นชนิดที่ถูกต้องตรวจสอบการทำงานโดยอัตโนมัติ เมื่อระบบติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงเกินกว่า 20 หัว

ในระบบกระจายน้ำ ดับเพลิงทั้งชนิดท่อแห้งแบบชลอน้ำเข้าและระบบเปิดนั้นโดยปกติระบบทั้งสองจะไม่มีน้ำอยู่ในเส้นท่อเลย แต่ว่าลวอัตโนมัติจะปล่อยให้น้ำเข้าสู่ระบบโดยอุปกรณ์ตรวจจับเพลิงและด้วยมือ ระบบทั้งสองอาจจะจัดให้มีอุปกรณ์ ซึ่งจะทำให้มีลักษณะการทำงานของระบบ ดังนี้

1. ทั้งระบบท่อน้ำและอุปกรณ์ตรวจจับเพลิงเป็นชนิดที่ถูกตรวจสอบการทำงานอย่างอัตโนมัติ
2. ทั้งระบบท่อน้ำและอุปกรณ์ตรวจจับเพลิงเป็นชนิดที่ไม่ได้ถูกตรวจสอบการทำงานอย่างอัตโนมัติเท่านั้น
3. ในระบบการกระจายน้ำดับเพลิงแบบปิด ให้อุปกรณ์ตรวจจับเพลิงถูกตรวจสอบการทำงานอย่างอัตโนมัติเท่านั้น
4. ในระบบการกระจายน้ำดับเพลิงแบบปิด ให้อุปกรณ์ตรวจจับเพลิงไม่ได้ถูกตรวจสอบการทำงานอย่างอัตโนมัติเท่านั้น
5. ในระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบเปิด การทำงานของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงและอุปกรณ์ตรวจจับเพลิงถูกตรวจสอบการทำงานอย่างอัตโนมัติ
6. ในระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบเปิด การทำงานของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงและอุปกรณ์ตรวจจับเพลิงไม่ได้ถูกตรวจสอบการทำงานอย่างอัตโนมัติ

การทดสอบระบบ

ทั้งระบบปิดท่อแห้ง แบบชลอน้ำเข้า และระบบเปิดเมื่อติดตั้งเสร็จจะต้องได้รับการทดสอบทางด้านกลศาสตร์ ของไหลตามที่ระบุไว้ สำหรับการทดสอบระบบเปิดให้ติดตั้งปลักอุดแทนหัวกระจายน้ำดับเพลิงเมื่อการทดสอบการสิ้นสุดลงจึงจะติดตั้งหัวกระจาย น้ำดับเพลิงได้

การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเพลิง

การกำหนดตำแหน่งและระยะของอุปกรณ์ตรวจจับเพลิงให้ตรวจสอบตามมาตรฐานจากผู้ผลิตอุปกรณ์นั้น

8.2.4.2 ประเภทของการใช้งาน

ประเภทของการใช้งานจะเกี่ยวข้องกับการติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง และระบบส่งน้ำ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดขนาดของระบบ ประเภทการใช้งานจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

8.2.4.2.1 ประเภทที่ 1

ประเภทดังกล่าวนี้ให้ถือว่าพื้นที่นั้น ๆ มีปริมาณของเชื้อเพลิงน้อย อัตราการลุกไหม้ และการขยายตัวของเชื้อเพลิงช้า

8.2.4.2.2 ประเภทที่ 2

- ประเภทที่ 2 กลุ่มที่ 1 ประเภทดังกล่าวนี้ให้ถือว่าพื้นที่นั้น ๆ มีปริมาณของเชื้อเพลิงน้อยอัตราการลุกไหม้และการขยายตัวของเพลิงปานกลาง
- ประเภทที่ 2 กลุ่มที่ 2 ประเภทดังกล่าวนี้ให้ถือว่าพื้นที่นั้น ๆ มีปริมาณของเชื้อเพลิงมากอัตราการลุกไหม้และการขยายตัวของเพลิงปานกลาง
- ประเภทที่ 2 กลุ่มที่ 3 ประเภทดังกล่าวนี้ให้ถือว่าพื้นที่นั้น ๆ มีปริมาณของ เชื้อเพลิงมากอัตราการลุกไหม้และการขยายตัวของเชื้อเพลิงสูง

8.2.4.2.3 ประเภทที่ 3

ประเภทดังกล่าวนี้ให้ถือว่าพื้นที่นั้น ๆ มีปริมาณของเชื้อเพลิงสูงมาก ชนิดของเชื้อเพลิงเป็นวัสดุไวไฟ อัตราการลุกไหม้และการขยายตัวของเชื้อเพลิงสูงมาก

8.2.4.3 ประเภทของอาคาร และพื้นที่ป้องกันที่จัดให้มี

ประเภทของอาคาร (ดูหัวข้อที่ 8.2.1.1 การกำหนดประเภทของอาคารและพื้นที่ป้องกัน)
จะจัดให้มีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงระบบใดในระบบหนึ่งตามประเภทการใช้งานดังนี้

8.2.4.3.1 อาคารประเภทที่ 1 ลำดับที่ 1

จะจัดให้มีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบระบบปิดท่อเปียก ตามประเภทการใช้งานประเภทที่ 1 หรือไม่มีก็ได้

8.2.4.3.2 อาคารประเภทที่ 1 ลำดับที่ 2

จะจัดให้มีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบระบบปิดท่อเปียก ตามประเภทการใช้งานประเภทที่ 1 ยกเว้นอาคารดังกล่าวต่อไปนี้ อาจจะไม่ต้องจัดให้มี

- โรงภาพยนตร์
- สถานศึกษาทั่วไป (โรงเรียน มหาวิทยาลัย)
- โรงมหรสพ
- เรือนจำ

8.2.4.3.3 อาคารประเภทที่ 2 ลำดับที่ 1

จะจัดให้มีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบระบบปิดท่อเปียก หรือระบบเปิดท่อแห้ง ชลวน้ำเข้าตามประเภทการใช้งานประเภทที่ 2 กลุ่ม 1 ยกเว้นอาคารดังกล่าวต่อไปนี้ อาจจะไม่ต้องจัดให้มี

- โรงจอดรถยนต์(เหนือพื้นดินและเปิดโล่ง)

8.2.4.3.4 อาคารประเภทที่ 2 ลำดับที่ 2

จะจัดให้มีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบระบบปิดท่อเปียก ตามประเภทการใช้งานประเภทที่ 2 กลุ่ม 2

8.2.4.3.5 อาคารประเภทที่ 2 ลำดับที่ 3

จะจัดให้มีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบระบบปิดท่อเปียกตามประเภทการใช้งานประเภทที่ 2 กลุ่ม 3

8.2.4.3.6 อาคารประเภทที่ 3 ทุกลำดับ

จะจัดให้มีระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงแบบระบบเปิดตามประเภทการใช้งานประเภทที่ 3

8.2.4.4 การจัดระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง

การจัดระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงในหัวข้อดังกล่าวนี้
จะบังคับขนาดของพื้นที่ป้องกันตามประเภทการใช้งานประเภทต่างๆ การกำหนดขนาดของท่อย่อยและการจัดหัวกระจายน้ำดับเพลิง

8.2.4.4.1 ขนาดของพื้นที่ป้องกัน

ขนาดของพื้นที่ป้องกันด้วยระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงสูงสุดในแต่ละพื้นที่
หรือแต่ละชั้นต่อระบบหนึ่งระบบให้มีขนาดตามตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 แสดงขนาดของพื้นที่ป้องกันด้วยระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงสูงสุด

ประเภทการใช้งาน	พื้นที่ป้องกันสูงสุด (ตร.เมตร)
ประเภทที่ 1	4,831
ประเภทที่ 2	4,831
ประเภทที่ 3	2,323

8.2.4.4.2 การจัดระยะหัวฉีดดับเพลิง

โดยทั่วไปให้จัดระยะหัวฉีดน้ำดับเพลิงบนท่อย่อย (Branch line) เดียวกัน หรือระยะห่างระหว่างท่อย่อย (ตารางที่ 8.2) และพื้นที่สูงสุดต่อหัว (ตารางที่ 8.3) ตามประเภทการใช้งาน

ตารางที่ 8.2 แสดงการจัดระยะหัวฉีดน้ำดับเพลิง

ประเภทการใช้งาน	ระยะห่างสูงสุดของหัวฉีดน้ำดับเพลิงบนท่อย่อยเดียวกัน (เมตร)
ประเภทที่ 1	4.6
ประเภทที่ 2	4.6
ประเภทที่ 3	3.7

หมายเหตุ : ระยะห่างหัวฉีดน้ำดับเพลิงจากผนัง จะต้องมีการระยะห่างครึ่งของระยะห่างระหว่างหัวฉีดน้ำดับเพลิงแต่ละหัว

ตารางที่ 8.3 แสดงพื้นที่ป้องกันสูงสุดต่อหัว

ประเภทการใช้งาน	พื้นที่ป้องกันสูงสุดต่อหัว (ตร.เมตร)
ประเภทที่ 1	16
ประเภทที่ 2	12
ประเภทที่ 3	8.5

8.2.4.4.3 ตารางท่อสำหรับการใช้งานประเภทที่ 1

- จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงบนท่อแยกแต่ละตารางท่อจะต้องไม่เกิน 8 หัว
- ขนาดของท่อน้ำต่อจำนวนหัวฉีดน้ำดับเพลิงสำหรับการใช้งานประเภทที่ 1 เมื่อหัวฉีดน้ำดับเพลิงติดตั้งได้ฝ้าเพดานตามตารางที่ 8.4 เมื่อใช้ท่อเหล็กและตามตารางที่ 8.5 เมื่อใช้ท่อทองแดง
- ขนาดของท่อน้ำต่อจำนวนหัวฉีดน้ำดับเพลิงสำหรับการใช้งานประเภทที่ 1 เมื่อหัวฉีดน้ำดับเพลิงติดตั้งได้ฝ้าเพดานตามตารางที่ 8.6 เมื่อใช้ท่อเหล็กและตามตารางที่ 8.7 เมื่อใช้ท่อทองแดง
- ในกรณีที่หัวกระจายน้ำดับเพลิงบนท่อย่อย จำเป็นต้องเป็น 8 หัว เป็น 9 หัว 2 หัวสุดท้ายบนปลายท่อย่อยให้มีขนาด 25 มม. (1 นิ้ว), หัวถัดมาบนท่อย่อยมี 32 มม. (1 1/4 นิ้ว) และขนาดท่อถัดมาเป็นไปตามตารางที่ 8.4 เมื่อใช้ท่อเหล็กและตามตารางที่ 8.5 เมื่อใช้ท่อทองแดง

- ในกรณีที่จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิงบนท่อย่อยเป็น 10 หัว 2 หัวสุดท้ายบนปลายท่อย่อยให้มีขนาด 25 มม. (1 นิ้ว), หัวถัดมาบนท่อย่อยมี 32 มม. (1 1/4 นิ้ว) และขนาดท่อถัดมาเป็นไปตามตารางที่ 8.4 เมื่อใช้ท่อเหล็กและตามตารางที่ 8.5 เมื่อใช้ท่อทองแดง แต่ท่อย่อยหลังหัวที่ 10 ให้มีขนาด 65 มม. (2 1/2 นิ้ว)

- สำหรับพื้นที่ที่ป้องกันด้วยระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงและจำนวนเกินกว่า 100 หัว โดยปราศจากผนังกันห้องภายใน (ผนังธรรมดา) ขนาดของท่อ main หรือท่อตั้งจะต้องถูกกำหนดตามตารางท่อ สำหรับการใช้งานประเภทที่ 2

ตารางที่ 8.4 ท่อเหล็กเหนียว สำหรับการใช้งานประเภทที่ 1

จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิง	≤2	≤3	≤5	≤10	≤30	≤60	≤100	≤ 100
ขนาดท่อสาขา มม.	≤25	≤32	≤40	≤50	≤65	≤75	≤85	≤ 100

ตารางที่ 8.5 ท่อทองแดง สำหรับการใช้งานประเภทที่ 1

จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิง	≤2	≤3	≤5	≤12	≤30	≤60	≤115	≥115
ขนาดท่อสาขา มม.	≤25	≤32	≤40	≤50	≤65	≤75	≤85	≤ 100

ตารางแสดงขนาดท่อ สำหรับประเภทการใช้งานที่ 1 ติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงทั้งใต้ฝ้าและใต้ฝ้า

ตารางที่ 8.6 ท่อเหล็กเหนียว สำหรับประเภทการใช้งานที่ 1 ติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงทั้งใต้ฝ้าและใต้ฝ้า

จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิง	≤2	≤4	≤7	≤15	≤50
ขนาดท่อสาขา มม.	≤25	≤32	≤40	≤50	≤65

ตารางที่ 8.7 ท่อทองแดง สำหรับประเภทการใช้งานที่ 1 ติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงทั้งใต้ฝ้าและใต้ฝ้า

จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิง	≤2	≤4	≤7	≤18	≤65
ขนาดท่อสาขา มม.	≤25	≤32	≤40	≤50	≤65

ตารางสำหรับการใช้งานประเภทที่ 3

1. จำนวนหัวฉีดน้ำดับเพลิงบนท่อย่อยแต่ละท่อจะต้องไม่เกิน 6 นิ้ว
2. ขนาดของท่อน้ำต่อจำนวนหัวฉีดน้ำดับเพลิง สำหรับการใช้งานประเภทที่ 3 ตามตารางที่ 1 เมื่อใช้ ท่อเหล็ก และตามตารางที่ 8.5 เมื่อใช้ท่อทองแดง
3. ระบบฉีดน้ำดับเพลิงระบบเปิดให้ใช้ตารางที่ 8.4 และ 8.5
4. ขนาดท่อ สำหรับระบบเปิด (Deluge system) ซึ่งใช้หัวกระจายน้ำดับเพลิงชนิดเปิด (Open sprinkler) ขนาดท่อทั้งหมดได้มาจากการคำนวณตามหลักการตามกลศาสตร์ของไหลเท่านั้น (Hydraulically calculated)

ตารางที่ 8.8 ท่อเหล็กเหนียว สำหรับการใช้งานประเภทที่ 3

จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิง	1	≤2	≤5	≤8	≤15	≤27	≤40	≤55	≤90	≤150	>150
ขนาดท่อสาขา มม.	≤25	≤32	≤40	≤50	≤65	≤75	≤85	≤100	≤125	≤150	≤150

ตารางที่ 8.9 ท่อทองแดง สำหรับการใช้งานประเภทที่ 3

จำนวนหัวกระจายน้ำดับเพลิง	1	≤2	≤5	≤8	≤20	≤30	≤45	≤65	≤100	≤170	>170
ขนาดท่อสาขา มม.	≤25	≤32	≤40	≤50	≤65	≤75	≤85	≤100	≤125	≤150	≤200

8.2.5.มาตรฐานการติดตั้งผกเคมีแห้งแบบมือถือ

การออกแบบให้ยึดหลักการดังนี้

1. รัศมีการควบคุมเพลิง

ตารางที่ 8.10 แสดงรัศมีการควบคุมเพลิง

ประเภทของอาคารหรือพื้นที่ป้องกัน	ขนาดของอุปกรณ์ผกเคมีแห้ง (กิโลกรัม)	รัศมีการควบคุมเพลิง (เมตร)
1. อาคารหรือพื้นที่ป้องกัน ประเภทที่ 1	6	9.0
2. อาคารหรือพื้นที่ป้องกัน ประเภทที่ 2	12	15.0
3. อาคารหรือพื้นที่ป้องกัน ประเภทที่ 3	35 ขึ้นไป	9.0

2. ในการออกแบบให้พิจารณาว่า อุปกรณ์ดับเพลิง 1 ถึงสามารถควบคุมเพลิงเป็นพื้นที่วงกลม

(เอกสารอ้างอิง : NEPA 10-1978 , Standard. for Portable Fire Extinguisher)

8.2.6.การจัดบันไดหนีไฟ และช่องเปิดภายในอาคาร

8.2.6.1 บันไดหนีไฟ

บันไดหนีไฟ คือ บันไดที่จัดให้มีวัตถุประสงค์เพื่อการหนีไฟแต่เพียงอย่างเดียว และควรมีลักษณะดังนี้

- 1.1 จะต้องมียุติกันไฟ เพื่อปิดกั้นบันไดหนีไฟ
- 1.2 อยู่ติดกับภายนอกอาคาร และเปิดโล่ง หรือเปิดช่องตลอดความสูงของบันได ออกภายนอกอาคาร เพื่อช่วยระบายอากาศของบันได และไม่มีบันไดมีสภาพเหมือนปล่องไฟ ในกรณีนี้เกิดเพลิงไหม้
- 1.3 หารบันไดหนีไฟจะต้องอยู่ภายในอาคาร และไม่สามารถที่จะเปิดช่องระบายอากาศดังกล่าวในข้อ 1.2 ได้ จะต้องมียุติกันลมในบันได โดยใช้พัดลมความดันสูงและระบบท่ออัดลม โดยจะต้องออกแบบให้มีความดันภายในบันได และใช้งานไม่ต่ำกว่า 0.24 มม.ของน้ำ และการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติเมื่อเกิดเพลิงไหม้
- 1.4 ภายในบันไดหนีไฟ จะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางทางหนีไฟ
- 1.5 ผู้หนีไฟจะต้องสามารถหนีลงทางบันไดหนีไฟจนถึงชั้นล่างของอาคารโดยสามารถถึงงานอยู่เฉพาะภายในบันไดหนีไฟ

- 1.6 จะต้องไม่มีวัสดุติดไฟ หรือไอพิษอยู่ภายในบันไดหนีไฟ
- 1.7 จะต้องมีย้ายแสดงบันไดหนีไฟที่เรืองแสง ได้อยู่หน้าบันไดหนีไฟ มีขนาดวัดตัวหนังสือไม่น้อยกว่า 100 มม.
- 1.8 จะต้องมีย้ายการให้แสงสว่างฉุกเฉิน ภายในบันไดหนีไฟโดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ อย่างเพียงพอ เพื่อให้ผู้หนีไฟสามารถใช้บันไดหนีไฟได้อย่างปลอดภัย
- 1.9 ประตูหนีไฟจะต้องเป็นชนิดที่ปิดได้เองหลังจากเปิดแล้ว ประตูหนีไฟสำหรับชั้นบน ๆ ของอาคาร ต้องสามารถเปิดเข้าในบันไดได้ตลอดเวลา และสำหรับประตูชั้นล่างสุดจะต้องสามารถเปิดออกจาก บันไดหนีไฟได้ตลอดเวลา
- 1.10 บันไดที่มีจุดประสงค์เพื่อให้เป็นบันไดสาธารณะแต่เป็นบันไดที่ใช้ติดต่อกันในอาคารที่มีความสูงเกินกว่า 4 ชั้น จะต้องมีย้ายประตูกันไฟปิดกัน โดยอนุโลมให้เจาะผนังหน้าต่างได้แต่กระจกหน้าต่างจะ ต้องเป็นกระจกที่มีลวดเสริมภายใน

8.2.6.2 ช่องเปิดภายในอาคาร

ช่องเปิดภายในอาคารจะเป็นจุดอ่อนที่ทำให้การแพร่ขยายตัวของเพลิงเป็นไฟอย่างรวดเร็ว จึงต้องมีย้ายปิดกันก่อนช่องเปิดต่างๆ เหล่านี้ โดยมีข้อกำหนดดังนี้

- 2.1 หากจะต้องมีย้ายท่อน้ำต่าง ๆ ทะลุผนังหรือพื้นกันไฟ เมื่อเดินท่อน้ำต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องอุดขอบท่อนี้ด้วยวัสดุกันไฟ ที่สามารถทนไฟไม่ต่ำกว่าผนัง หรือ พื้นกันไฟที่ทะลุผ่าน
- 2.2 ท่อร้อยสายไฟที่ทะลุผนัง พื้นกันไฟจะต้องอุดขอบด้วยวัสดุกันไฟ เช่นเดียวกับข้อ 2 จะต้องอุด ภายในท่อร้อยสายไฟด้วย
- 2.3 ท่อลมที่ทะลุผนัง หรือพื้นกันไฟ จะต้องมีย้ายลิ้นกันไฟที่ทำงานโดยอัตโนมัติ เพื่ออุดหนีของลิ้นกันไฟ ถึงที่กำหนด โดยมีความสามารถในการกันไฟไม่ต่ำกว่าผนังหรือพื้นกันไฟที่ทะลุผ่านบริเวณโดยรอบ ของลิ้นกันไฟจะต้องอุดรอบด้วยวัสดุกันไฟ เช่นเดียวกับข้อ 2.1 และการยัดลิ้นปิดกันไฟต้องติดกับ โครงสร้างของผนังอย่างถาวร
- 2.4 สำหรับอาคารสูงเกิน 4 ชั้น พื้นของอาคารแต่ละชั้นจะต้องถือว่าเป็นพื้นกันไฟและ ท่อที่ทะลุผ่าน พื้นอาคารนี้ จะต้องดำเนินการตามข้อ 2.1 2.2 และ 2.3 ยกเว้นท่อที่เดินภายในบันไดหนีไฟ ที่ถือว่าเป็นส่วนป้องกัน ทำให้การอุดรอบท่อน้ำเฉพาะที่ผนังของบันไดหนีไฟได้

สรุปบทที่ 8 การป้องกันการเกิดอัคคีภัยมีหลายวิธีตามหลักการพื้นฐานของการเกิดไฟ แต่ในสภาพการทำงานจริงนั้นจะขึ้นกับลักษณะกระบวนการ รวมทั้งการลงทุนในระบบนั้น ๆ วิศวกรจึงต้องมีความสามารถในการออกแบบระบบอย่างมีหลักการด้านความปลอดภัย สามารถที่จะทำนายได้ถึงอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นล่วงหน้า พร้อมทั้งหาวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมการรองรับอุบัติเหตุทั้งการป้องกันอัคคีภัยทั้งต้นเหตุและปลายเหตุ ซึ่งเกิดในรูปแบบต่าง ๆ เช่นการป้องกันที่ต้นเหตุในเรื่อง การสะสมของประจุ (ไฟฟ้าสถิต) ที่เป็นต้นเหตุที่สามารถทำให้เกิดไฟได้ หรือการทำให้เฉื่อยเพื่อที่จะตัดวงจรการเกิดไฟในบางส่วน ส่วนการป้องกันที่ปลายเหตุจำเป็นต้องเข้าใจเรื่องการออกแบบระบบการป้องกันอัคคีภัย เป็นต้น

แบบฝึกหัด บทที่ 8

- 8-1. Develop a list of steps needed to convert a common kitchen into an XP area.
- 8-2. What bonding and grounding procedures must be followed to transfer a drum of flammable solvent into a storage tank?
- 8-3. Ethylene oxide is a flammable liquid having a normal boiling temperature below room temperature. Describe a system and a procedure for transferring ethylene oxide from a tank car through a pumping system to a storage tank. Include both inerting and purging as well as bonding and grounding procedures.
- 8-4. Flammable liquid is being pumped out of a drum into a bucket using a hand pump. Describe an appropriate grounding and bonding procedure.
- 8-5. Using the sweep-through purging method, inert a 100-gal vessel containing 100% air until the oxygen concentration is 1%. What volume of nitrogen is required? Assume nitrogen with no oxygen and a temperature of 77°F.
- 8-6. A 150-ft³ tank containing air is to be inerted to 1% oxygen concentration. Pure nitrogen is available for the job. Because the tank's maximum allowable working pressure is 150 psia, it is possible to use either the sweep-through or a pressurization technique. For the pressurization technique, multiple pressurization cycles might be necessary, with the tank being returned to atmospheric pressure at the end of each cycle. The temperature is 80°F.
 - a. Determine the volume of nitrogen required for each technique.
 - b. For the pressurization technique, determine the number of cycles required if the pressure purge includes increasing the pressure to 140 psia with nitrogen and then venting to 0 psig.
- 8-7. Use a vacuum purging technique to purge oxygen from a 150-ft³ tank containing air. Reduce the oxygen concentration to 1% using pure nitrogen as the inert gas. The temperature is 80°F. Assume that the vacuum purge goes from atmospheric pressure to 20 mm Hg absolute. Determine the number of purge cycles required and the total moles of nitrogen used.
- 8-8. Repeat **Problem 8-7** using a combined vacuum and pressure purge. Use a vacuum of 20 mm Hg absolute and a pressure of 200 psig.
- 8-9. Use the sweep-through purging technique to reduce the concentration of toluene from an initial 20% to 1% in a room with a volume of 25,000 ft³. Assume that the room is purged with air at a rate of 6 room volumes per hour. How long will it take to complete this purge process?
- 8-10. Design an inerting system for a pressure vessel to maintain the inert atmosphere at 40 psig. Be sure to account for filling and emptying of the vessel. Indicate the precise location of valves, regulators, pipes, etc.
- 8-11. Design a generalized pressure vessel storage tank for a flammable material. Include the following design features:

- a. Vacuum and pressure purging.
- b. Vacuum charging of material from a 55-gal drum.
- c. Draining the tank contents.

Provide precise details on the location of valves, regulators, and process lines.

- 8-12. Determine the number of vacuum purges required to reduce a vessel's oxygen concentration from 21 % to 1 % if the nitrogen contains:
- a. 0 ppm of oxygen.
 - b. 9,000 ppm of oxygen.

Assume that your vacuum system goes down to 20 mm Hg absolute.

- 8-13. Use the system \$\$\$ described in Figure 7-14 (Or Figure 8.6 Thai version; Holasut, 2007) to determine the voltage developed between the \$\$\$ charging nozzle and the grounded tank, and the energy stored in the nozzle. Explain the potential hazard for cases a and b from the following table:

	Case a	Case b
Hose length (ft)	20	20
Hose diameter (in)	2	2
Flow rate (gpm)	25	25
Liquid conductivity (mho/cm)	10^{-8}	10^{-18}
Dielectric constant	2.4	19
Density (g/cm ³)	0.8	0.8

- 8-14. Use the system described in **Problem 8-13**, part b, to determine the hose diameter required to eliminate the potential hazard resulting from static buildup.
- 8-15. Repeat Example 8-2 with a 40,000-gal storage vessel. Assume that the vessel height is equal to the diameter.
- 8-16. Review **Problem 8-13**, part b. What is the most effective way to reduce the hazard of this situation?
- 8-17. Estimate the charge buildup and accumulated energy as a result of pneumatically conveying a dry powder through a Teflon duct. The powder is collected in an insulated vessel. Repeat the calculation for a transport rate of 50 lb/min and 100 lb/min for transport times of 1 hr and 5 hr. Discuss ways to improve the safety of this situation.
- 8-18. Compute the accumulated charge and energy for a 100,000-gal vessel being filled with a fluid at a rate of 200 gpm and having a streaming current of 2×10^6 amp. Make the calculation for a fluid having a conductivity of 10^{-18} mho/cm and a dielectric constant of 2.0. Repeat the calculation for (a) a half full vessel, (b) a full vessel, and (c) a full vessel with an overflow line.
- 8-19. For **Problem 8-18**, part c, if the inlet flow is stopped, compute the accumulated charge and energy after 5 hr and after 20 hr. Discuss the consequences of these results.
- 8-20. Some large storage vessels have a floating head, a flat cover that floats on the liquid surface. As the liquid volume increases and decreases, the floating head rises and falls within the cylindrical shell of the vessel. What are the reasons for this design?

- 8-21. Determine the fire water requirements (gpm, number of sprinklers, and pump horsepower) to protect an inside process area of 200 ft². Assume that the sprinkler nozzles have a 0.5-in orifice, the nozzle pressure is 75 psig, and the rate is 50 gpm.
- 8-22. What electrical classification would be specified for an area that has Classes I and II, Groups A and E, and Divisions 1 and 2 motors?
- 8-23. Determine the recommended distance between a process area with toluene and an area with an open flame. Toluene leaks as large as 200 gpm have been recorded. Assume an average wind speed of 5 mph and stability class D.
- 8-24. Determine the recommended ventilation rate for an inside process area (30,000 ft³) that will handle Class I liquids and gases.
- 8-25. For the process area described in **Problem 8-24**, determine the concentration of propane in the area as a function of time if at $t = 0$ a 314-in propane line breaks (the propane main header is at 100 psig). The temperature is 80°F. See chapter 4 for the appropriate source model and chapter 3 for material balance models.
- 8-26. Using the results of **Problem 8-25**, describe what safety features should be added to this process area.
- 8-27. Determine the fire water requirements (gpm, number of sprinkler heads, and pump horsepower) to protect an inside process area of 2000 ft². Assume that the sprinkler nozzles have a 0.5-in orifice and that the nozzle pressure is 75 psig.
- 8-28. Repeat **Problem 8-27** assuming that the nozzle pressure is 100 psig and that the rate is 58 gpm.
- 8-29. Determine the water requirement (gpm) and number of nozzles for a deluge system required to protect a 10,000-gal storage tank that has a diameter of 15 ft. Use 0.5-in nozzles with a nozzle pressure of 35 psig, and assume that the vessel contains a reactive solvent.
- 8-30. Determine the sprinkler requirements for a chemical process area 150 ft by 150 ft. Determine the number of sprinkler heads and the pump specifications for this system (HP and gpm). Assume that the friction loss from the last sprinkler head to the pump is 50 psi and that the nozzles (0.5-in orifice) are at 75 psig.
- 8-31. Acetone (C₃H₆O) is to be stored in a cylindrical process vessel with a diameter of 5 ft and a height of 8 ft. The vessel must be inerted with pure nitrogen before storage of the acetone. A limited supply of pure nitrogen is available at 80 psig and 80°F. A vacuum is available at 30 mm Hg absolute pressure.
- Determine the target oxygen concentration for the inerting procedure.
 - Decide whether a pressure or vacuum purge, or a combination of both, is the best procedure.
 - Determine the number of cycles required for your selected procedure.
 - Determine the total amount of nitrogen used. The final pressure in the tank after the inerting procedure is atmospheric. The ambient temperature is 80°F.

บทที่ 9

กฎหมายความปลอดภัย

400 ปีก่อนคริสต์ศตวรรษ ฮิปโปเครติส (Hippocrates) ได้ศึกษาอันตรายของพิษตะกั่ว ในกลุ่มผู้ทำงานเหมืองแร่แต่ก็ไม่ปรากฏว่ามีการคุ้มครองผู้ปฏิบัติงาน จนกระทั่งปี ค.ศ. 100 พอลินี และ เอลเดอร์ (Pliny and Elder) นักวิชาการชาวเยอรมันอธิบายการคุกคามต่อสุขภาพของกลุ่มกำมะถันและสังกะสีและได้มีการแนะนำให้มีการใช้หน้ากากป้องกันฝุ่นที่ทำจากกระเพาะปัสสาวะสัตว์แก่ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นหรือพุ่มตะกั่ว

ปี ค.ศ. 1833 ประเทศอังกฤษได้ออกพระราชบัญญัติมาบังคับโรงงานต่าง ๆ และประเทศยุโรปต่าง ๆ ได้ดำเนินการและพัฒนาพระราชบัญญัติค่าทดแทนซึ่งเป็นสิ่งที่กระตุ้นสำคัญในการเพิ่มมาตรการด้านความปลอดภัยและเริ่มให้มีบริการทางการแพทย์ในโรงงาน สร้างความรู้สึกรับผิดชอบต่อชุมชนอย่างชัดเจน จากนั้น ปี ค.ศ. 1878 ประเทศอังกฤษได้กำหนดให้มีการตรวจโรงงานขึ้นในลอนดอน จากนั้นปี 1970 สหรัฐอเมริกาได้ตราพระราชบัญญัติความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยในการทำงาน (Occupational Safety and Health Act) หรือ OSHA ซึ่งมีจุดประสงค์ในการคุ้มครองคนทำงานในประเทศให้มีความปลอดภัยและมีสภาพการทำงานที่ถูกต้องเหมาะสม

ปี ค.ศ. 1972 นำโดยลอร์ดโรบิน (Lord Robens) คณะกรรมการปรับปรุงกฎหมายความปลอดภัยโดยมีใจความโดยย่อดังนี้

1. ให้กฎหมายที่ใช้อยู่มากมายทั้งหมด แล้วให้ออกเป็นพระราชบัญญัติฉบับเดียวที่ครอบคลุมบุคคลที่ทำงานทั้งหมด
2. ให้เป็นกฎหมายที่ไม่ต้องมีรายละเอียดมากนัก และเข้าใจง่าย
3. ให้เปลี่ยนวิธีการบังคับตามกฎหมายเสียใหม่ทั้งนี้ไม่จำเป็นต้องดำเนินคดีเป็นสิ่งแรกเสมอไป
4. ให้กฎหมายสามารถคุ้มครองกับผู้มาเยือนสถานประกอบการและสาธารณชนด้วย
5. ให้เน้นที่ระบบปลอดภัยของงานแทนการกำหนดมาตรฐานอย่างเดียว
6. ให้ผู้ปฏิบัติงานมีส่วนร่วมในกระบวนการป้องกันอุบัติเหตุในสถานที่ทำงานอย่างเต็มที่

จากนั้นมาเมื่อปี ค.ศ. 1974 ประเทศต่าง ๆ ในยุโรป ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ ได้ใช้แนวความคิดนี้พัฒนาให้เกิดการปรับปรุงกฎหมายเดิมให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

สำหรับประเทศไทยการพัฒนาทางด้านความปลอดภัยได้มีพระราชบัญญัติสาธารณสุขเมื่อ พ.ศ. 2484 เนื่องจากได้มีการพัฒนาจากภาคเกษตรกรรมเป็นภาคอุตสาหกรรม การพัฒนามาถึงปี พ.ศ. 2526 ประเทศไทยได้ตั้ง สปก. หรือ สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน (National Institute for the Improvement of Working Conditions and Environment) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า NICE โดยสำนักงานปัจจุบันตั้งอยู่ที่เขตตลิ่งชัน กทม.

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยปัจจุบัน (พ.ศ. 2549) จะยึดถือ กฎกระทรวง 2 ข้อ ประกาศกระทรวงมหาดไทย 16 ข้อ และ ประกาศกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม 2 เรื่อง แต่จะมีการยกเลิกและมีการปรับปรุงเพื่อเป็นกฎหมายฉบับใหม่ ปัจจุบันกฎหมายที่เกี่ยวข้องเรื่องความปลอดภัยจะมีอยู่ประมาณ 19 ถึง ปัจจุบันหลัก ๆ มีอยู่ 26 ซึ่งในบทนี้การอธิบายจะแยกหมวดหมู่ของกฎหมายตามการควบคุมหมวดต่าง ๆ

9.1 กฎหมายว่าด้วยโรงงาน

กฎหมายอุตสาหกรรมในความหมายกว้าง ๆ หมายถึง กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับกิจการอุตสาหกรรม และอยู่ในความรับผิดชอบของกระทรวงอุตสาหกรรม (กิจการอุตสาหกรรมในความหมายทั่วไปก็คือ โรงงานอุตสาหกรรมนั่นเอง) อันได้แก่ พระราชบัญญัติโรงงาน พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พระราชบัญญัติเกี่ยวกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พระราชบัญญัติจดทะเบียนเครื่องจักร เป็นต้น

กฎหมายอุตสาหกรรมในความหมายอย่างแคบจะหมายถึง กฎหมายว่าด้วยโรงงาน หรือพระราชบัญญัติโรงงานเท่านั้น เพราะเป็นกฎหมายหลักในการประกอบกิจการโรงงาน ซึ่งกล่าวถึงบทบาทของทางราชการและหน้าที่รับผิดชอบของโรงงานเป็นสำคัญ

ปัจจุบันกฎหมายว่าด้วยโรงงานที่บังคับใช้ทั่วราชอาณาจักรในปัจจุบัน คือ พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 109 ตอนที่ 44 ลงวันที่ 9 เมษายน พ.ศ. 2535 โดยให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนด 90 วันนับตั้งแต่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป (มาตรา 2) ดังนี้ พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 จึงมีผลใช้บังคับแล้วตั้งแต่วันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2535

พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ส่งผลให้พระราชบัญญัติโรงงานฉบับเดิมซึ่งถือปฏิบัติมากกว่า 20 ปี ต้องยกเลิกไป (มาตรา 3) ได้แก่

- (1) พระราชบัญญัติโรงงาน (ฉบับแรก) พ.ศ. 2512
- (2) พระราชบัญญัติโรงงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2518
- (3) พระราชบัญญัติโรงงาน (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2522

เหตุแห่งการเปลี่ยนแปลง : จากการควบคุมสู่การกำกับดูแล

รัฐบาลภายใต้นายกรัฐมนตรีนายอานันท์ ปันยารชุน ได้มอบหมายนโยบายแก่กระทรวงอุตสาหกรรม ให้พิจารณาแก้ไขปรับปรุงกฎหมาย เกี่ยวกับโรงงานเสียใหม่ให้รับกับสภาพทางเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงในปัจจุบันโดยกล่าวถึงเหตุผลและความจำเป็นที่สำคัญ ดังนี้ ในการประกาศใช้พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ดังนี้

“โดยที่พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 มีบทบัญญัติที่ไม่สอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจและสังคมปัจจุบันและไม่เอื้ออำนวยต่อการส่งเสริมการประกอบกิจการโรงงาน เนื่องจากกำหนดให้โรงงานทุกลักษณะต้องขออนุญาตเช่นเดียวกันทั้ง ๆ ที่ตามสภาพที่เป็นจริงโรงงานต่าง ๆ มีลักษณะที่แตกต่างกัน โรงงานบางประเภทไม่จำเป็นต้องควบคุมดูแลการตั้งโรงงาน เพียงแต่ดูแลการดำเนินงานเท่านั้นคงมีแต่โรงงานประเภทที่อาจเกิดอันตรายจากการประกอบกิจการได้เท่านั้นที่ควรจะต้องควบคุมการจัดตั้งบอยอย่างเคร่งครัด จึงสมควรปรับปรุงระบบการควบคุมดูแลให้สอดคล้องกับสภาพการประกอบกิจการด้วยการให้โรงงานบางลักษณะอาจจะประกอบกิจการได้ภายใต้ระบบการกำกับตามปกติและโรงงานบางลักษณะจะต้องแจ้งให้ทราบก่อนจึงจะเริ่มประกอบกิจการได้ โดยคงมีแต่โรงงานบางลักษณะที่จำเป็นเท่านั้นที่จะยังคงให้ระบบการอนุญาตและสมควรปรับปรุงวิธีการอนุญาตให้เหมาะสมยิ่งขึ้นด้วย นอกจากนี้ได้กำหนดให้มีการประสานงานกันระหว่างพนักงานเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการอนุญาตตามกฎหมาย ให้พิจารณาผลการดำเนินงานที่ซ้ำซ้อนกัน เพื่อความสะดวกแก่ผู้ประกอบการ และสมควรปรับปรุงการควบคุมการประกอบกิจการโรงงานให้เป็นไปโดยได้ผลยิ่งขึ้นด้วยการให้มีการออกกฎเพื่อกำหนด

ขอบเขตการประกอบกิจการโรงงานให้ชัดเจนและกำหนดขั้นตอนการใช้อำนาจของพนักงานเจ้าหน้าที่ในการออกคำสั่งเพื่อบังคับให้ โรงงานปฏิบัติตามกฎหมาย พร้อมกับปรับปรุงอัตราโทษและกำหนดให้มีการร่วมรับผิดชอบสำหรับผู้ทำงานในโรงงานนอกเหนือจากเจ้าของโรงงานเพื่อให้การควบคุมโรงงานเป็นไปอย่างได้ผลยิ่งขึ้นจำเป็นต้องตราพระราชบัญญัตินี้”

หลักเกณฑ์และเหตุผลที่สำคัญในการออกกฎหมายว่าด้วยโรงงานฉบับใหม่ (พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535) โดยสรุป ได้แก่

1. เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจสังคมในปัจจุบัน และเอื้ออำนวยต่อการส่งเสริมการประกอบกิจการโรงงาน (โดยแบ่งประเภทโรงงานอย่างเหมาะสม)
2. เพื่อปรับปรุงวิธีการอนุญาตให้เหมาะสมยิ่งขึ้น (โดยจัดระบบการอนุญาต ใบอนุญาต ตลอดจนหลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาต่าง ๆ ให้รวดเร็วมีประสิทธิภาพมากขึ้น)
3. เพื่อให้มีการประสานงานกันระหว่างพนักงานเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการอนุญาตตามกฎหมายต่าง ๆ ให้ลดการดำเนินงานที่ซ้ำซ้อนกันเพื่อความสะดวกแก่ผู้ประกอบการกิจการโรงงาน (โดยกำหนดวิธีการในการดำเนินการเพื่อพิจารณาอนุญาตร่วมกัน สถานที่ยื่นคำขอ เอกสารหลักฐานและหลักเกณฑ์วิธีการพิจารณาร่วมกันได้)
4. เพื่อปรับปรุงการควบคุมการประกอบกิจการโรงงาน ด้วยการกำหนดขอบเขตการประกอบกิจการโรงงานให้ชัดเจน (โดยการประกาศให้ท้องที่ใดท้องที่หนึ่งเป็นเขตประกอบการอุตสาหกรรม เพื่อให้การควบคุมดูแลเป็นไปอย่างได้ผลยิ่งขึ้น)
5. เพื่อกำหนดขั้นตอนการใช้อำนาจของพนักงานเจ้าหน้าที่ (โดยการกำหนดอำนาจของพนักงานเจ้าหน้าที่อย่างชัดเจนตามลำดับขั้น และมีขั้นตอนในการออกคำสั่งเพื่อบังคับให้โรงงานปฏิบัติตามกฎหมายอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น)
6. เพื่อปรับปรุงอัตราโทษและกำหนดให้มีการร่วมรับผิดชอบสำหรับผู้ทำงานในโรงงาน (โดยการกำหนดโทษปรับ หรือจำคุกสูงขึ้น และให้วิศวกร สถาปนิก หรือคนงานต้องร่วมรับผิดชอบเช่นเดียวกับเจ้าของโรงงานเมื่อมีการฝ่าฝืน หรือกระทำผิดกฎหมาย)

กฎหมายว่าด้วยโรงงาน ฉบับที่ถูกยกเลิกไปแล้ว (พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2514, พ.ศ. 2518 และ พ.ศ. 2522) บัญญัติส่วนใหญ่มีลักษณะควบคุมให้โรงงานทุกประเภทไม่ว่าขนาดเล็กใหญ่ หรือจะก่อให้เกิดปัญหาเล็กน้อยเพียงใด จะต้องยื่นขออนุญาตตั้ง และประกอบกิจการโรงงานก่อนจึงจะดำเนินการได้ เป็นการไม่สอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจและสังคมที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ระเบียบหรือหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ก็ไม่เอื้ออำนวยต่อการส่งเสริม และพัฒนาอุตสาหกรรมที่แตกต่างกัน เพราะบังคับใช้แก่ทุกโรงงานเช่นเดียวกันหมด

ดังนั้น เพื่อให้การพัฒนากิจการอุตสาหกรรมเป็นไปได้อย่างเสรี และเหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจสังคม อีกทั้งมีความคล่องตัวมากขึ้นทั้งภาครัฐบาลและเอกชน นโยบายของรัฐบาลท่านนายกรัฐมนตรีอานันท์ จึงปรับเปลี่ยนนโยบายจากการควบคุมโรงงานอย่างเข้มงวดไปสู่การกำกับดูแลให้โรงงานปฏิบัติตามกฎหมายโดยอาศัยหลักเกณฑ์ หรือระเบียบที่กำหนดอย่างชัดเจนเป็นแนวทางดำเนินการ จึงแบ่งโรงงานเป็น 3 จำพวก ตามประเภทหรือขนาดของกิจการ ซึ่งมีวิธีการปฏิบัติและผลทางกฎหมายแตกต่างกันบ้าง

ทำอย่างไรบ้างจึงเป็น “โรงงาน” ตามกฎหมาย

“โรงงาน” หมายความว่า อาคาร สถานที่ หรือยานพาหนะที่ใช้เครื่องจักรมีกำลังรวมตั้งแต่ 5 แรงม้าหรือกำลังเทียบเท่าตั้งแต่ 5 แรงม้าขึ้นไป หรือใช้คนงานตั้งแต่ 7 คนขึ้นไปโดยใช้เครื่องจักรหรือไม่ก็ตาม

ดังนั้น การประกอบกิจการที่จัดว่าเป็น “โรงงาน” ตามกฎหมาย จะต้องมีลักษณะที่ครบองค์ประกอบทั้ง 4 ข้อ ได้แก่

(1) ต้องเป็นอาคาร สถานที่ หรือยานพาหนะ

โรงงานตามคำนิยามนี้จึงมีได้ 3 ลักษณะ คือ

ก. เป็นอาคารที่ปลูกสร้างขึ้นเพื่อติดตั้งเครื่องจักรและประกอบกิจการอยู่ภายในอาคารโรงงาน เช่น อาคารโรงงานทั่วไปทั้งที่เป็นตัวตึกหรืออาคารไม้ ตึกแถว เรือนแถว เป็นต้น

ข. เป็นสถานที่ที่มีบริเวณที่แน่นอนจำกัด หมายถึง บริเวณโดยรอบทั้งหมดของโรงงาน (ทั้งตัวอาคารและที่ว่างทั้งหมดภายในรั้วกำแพง) หรือเป็นกรณีที่เป็นบริเวณที่ว่างโล่ง มีเฉพาะเครื่องจักร ไม่มีตัวอาคาร เช่น ถังผสม ปูนก่อสร้าง เตาเผาอิฐสายพานลำเลียงหินทรายกลางแจ้ง เป็นต้น

ค. เป็นยานพาหนะ โรงงานมิได้จำกัดเฉพาะอาคารหรือสถานที่เท่านั้น จะเป็นยานพาหนะก็ได้ เช่น เรือ ดุดดำแระ เรือขุดรอกกรวดทราย เป็นต้น

(2) ต้องมีการใช้เครื่องจักรมีกำลังรวมตั้งแต่ 5 แรงม้าหรือกำลังเทียบเท่าตั้งแต่ 5 แรงม้าขึ้นไป หรือใช้คนงานตั้งแต่ 7 คนขึ้นไปโดยใช้เครื่องจักรหรือไม่ก็ตาม

อาคารสถานที่หรือยานพาหนะที่ต้องด้วยลักษณะของโรงงานต้องมีการติดตั้งเครื่องจักร เพื่อทำการผลิตหรือบริการ โดยเครื่องจักรทั้งหมดมีกำลังรวมตั้งแต่ 5 แรงม้าขึ้นไป หรือประเมินได้เป็นกำลังเทียบเท่า (แรงม้าเปรียบเทียบ) ตั้งแต่ 5 แรงม้า หรือเป็นกรณีที่ใช้เฉพาะคนงานเพื่อการผลิตเท่านั้น (เป็นโรงงานที่ไม่มีการใช้เครื่องจักรเลย) โดยมีคนงานตั้งแต่ 7 คนขึ้นไป เช่น โรงงานทำดอกไม้พลาสติก ประกอบหลอดไฟตกแต่ง ห่อหุ้มฟู่ เป็นต้น

(3) ต้องมีการทำ ผลิต ประกอบ บรรจุ ซ่อม ซ่อมบำรุง ปรับปรุง แปรสภาพลำเลียง เก็บรักษา หรือทำลายสิ่งใด ๆ

โรงงานจะต้องมีการทำ ผลิต ประกอบ ฯลฯ วัตถุดิบหรือสิ่งของจนเป็นสินค้าหรือบริการ หรือมีกิจกรรมประการใดประการหนึ่งหรือหลายประการร่วมกันตามนิยามก็ได้

(4) ต้องเป็นประเภทหรือชนิดของโรงงานที่กำหนดในกฎกระทรวง

โรงงานที่มีลักษณะตามองค์ประกอบทั้ง 3 ข้อ ดังกล่าวแล้ว จะเป็น “โรงงาน” ตามคำนิยามในมาตรา 5 แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ก็ต่อเมื่อเป็นประเภทหรือชนิดของโรงงานที่กำหนดในกฎกระทรวงฉบับที่ 1 พ.ศ. 2535 ด้วยเท่านั้น ซึ่งปัจจุบันมีทั้งหมด 104 ประเภท หากการประกอบกิจการไม่เข้าลักษณะประเภทหรือชนิดใด ๆ ในกฎกระทรวง กิจการนั้นก็ไม่เข้าข่ายควบคุม คือไม่เป็น “โรงงาน” ตามกฎหมาย

ดังนั้น การประกอบกิจการที่ถือว่าเป็น “โรงงาน” จึงต้องมีลักษณะครบถ้วนทั้ง 4 องค์ประกอบดังกล่าวข้างต้น หากขาดองค์ประกอบข้อใดข้อหนึ่งก็ไม่เป็น “โรงงาน” ตามพระราชบัญญัตินี้

โรงงาน 3 จำพวก

พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ได้คำนึงถึงความจำเป็นในการควบคุมดูแลการป้องกันเหตุเดือดร้อนรำคาญ การป้องกันความเสียหาย และการป้องกันอันตรายตามระดับความรุนแรงของผลกระทบที่จะมีต่อประชาชนหรือสิ่งแวดล้อม จึงแบ่งโรงงานตามประเภท ชนิด หรือขนาดเป็น 3 จำพวก (มาตรา 7) ได้แก่

(1) โรงงานจำพวกที่ 1 จัดเป็นโรงงานขนาดเล็กการประกอบกิจการไม่ก่อปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม หรือเหตุเดือดร้อนอันตราย

โรงงานจำพวกที่ 1 นี้ สามารถประกอบกิจการได้ทันทีโดยไม่ต้องแจ้งหรือขออนุญาตต่อทางราชการ

(2) โรงงานจำพวกที่ 2 จัดเป็นโรงงานขนาดกลางการประกอบกิจการอาจก่อปัญหามลพิษหรือเหตุเดือดร้อนรำคาญเพียงเล็กน้อยซึ่งสามารถแก้ไขปรับปรุงได้ง่าย

โรงงานจำพวกที่ 2 นี้ เมื่อจะประกอบกิจการโรงงานต้องแจ้งให้ทางราชการ (ผู้อนุญาต) ทราบก่อน

(3) โรงงานจำพวกที่ 3 จัดเป็นโรงงานขนาดใหญ่การประกอบกิจการอาจก่อปัญหามลพิษหรือเหตุเดือดร้อนรำคาญซึ่งทางราชการต้องควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิด

โรงงานจำพวกที่ 3 นี้ จะต้องขออนุญาตการตั้งโรงงานจะต้องได้รับใบอนุญาตก่อนจึงจะดำเนินการได้

ข้อยกเว้น

พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ได้บัญญัติยกเว้นแก่โรงงานของทางราชการที่ดำเนินการโดยทางราชการ เพื่อประโยชน์แห่งความมั่นคงและความปลอดภัยของประเทศ ไม่ต้องแจ้งหรือขออนุญาต แต่การประกอบกิจการยังต้องอาศัยกฎหมายเป็นแนวทาง (มาตรา 4)

บทบัญญัติหลัก : มาตรา 8

พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 กำหนดหลักเกณฑ์ในการควบคุม ดูแลการประกอบกิจการโรงงานที่เกี่ยวกับทำเลที่ตั้งโรงงาน ความปลอดภัย ความเดือดร้อนอันตรายและสภาพแวดล้อมของโรงงาน โดยให้อำนาจแก่รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ในการออกกฎกระทรวงเพื่อการนี้

“มาตรา 8 เพื่อประโยชน์ในการควบคุมการประกอบกิจการโรงงานให้รัฐมนตรีมีอำนาจออกกฎกระทรวงเพื่อให้โรงงานจำพวกใดจำพวกหนึ่งหรือทุกจำพวกตามมาตรา 7 ต้องปฏิบัติตามในเรื่องดังต่อไปนี้

(1) กำหนดหลักเกณฑ์เกี่ยวกับที่ตั้งของโรงงาน สภาพแวดล้อมของโรงงาน ลักษณะอาคารของโรงงาน หรือลักษณะภายในโรงงาน

(2) กำหนดลักษณะ ประเภทหรือชนิดของเครื่องจักร เครื่องอุปกรณ์หรือสิ่งที่ต้องนำมาในการประกอบกิจการโรงงาน

(3) กำหนดให้มีคนงานซึ่งมีความรู้เฉพาะตามประเภท ชนิดหรือขนาดของโรงงานเพื่อปฏิบัติหน้าที่หนึ่งหน้าที่ใดประจำโรงงาน

(4) กำหนดหลักเกณฑ์ที่ต้องปฏิบัติ กรรมวิธีการผลิตและการจัดให้มีอุปกรณ์หรือเครื่องมืออื่นใด เพื่อป้องกันหรือระงับหรือบรรเทาอันตราย ความเสียหายหรือความเดือดร้อนที่อาจเกิดแก่บุคคลหรือทรัพย์สินที่อยู่ในโรงงานหรือที่อยู่ใกล้เคียงกับโรงงาน

(5) กำหนดมาตรฐานและวิธีการควบคุมการปล่อยของเสีย มลพิษหรือสิ่งใด ๆ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการโรงงาน

(6) กำหนดการจัดให้มีเอกสารที่จำเป็นประจำโรงงานเพื่อประโยชน์ในการควบคุม หรือตรวจสอบการปฏิบัติตามกฎหมาย

(7) กำหนดข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการประกอบกิจการโรงงานที่ผู้ประกอบการโรงงานต้องแจ้งให้ทราบเป็นครั้งคราวหรือตามระยะเวลาที่กำหนดไว้

(8) กำหนดการอื่นใดเพื่อคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงานเพื่อป้องกันหรือระงับหรือบรรเทาอันตรายหรือความเสียหายที่อาจเกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน

กฎกระทรวงตามวรรคหนึ่งจะกำหนดให้ยกเว้นโรงงานประเภท ชนิด หรือขนาดใดจากการต้องปฏิบัติในเรื่องหนึ่งเรื่องใดก็ได้ และกฎกระทรวงดังกล่าวจะสมควรกำหนดให้เรื่องที่เป็นรายละเอียดทางด้านเทคนิคหรือเป็นเรื่องที่ต้องเปลี่ยนแปลงรวดเร็วตามสภาพสังคมให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษาได้”

เอกชนก็ตรวจโรงงานได้

มาตรการสำคัญอย่างหนึ่งในการกำกับดูแลแทนการควบคุมโรงงาน ได้บัญญัติไว้ในมาตรา 9 แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 คือ การเปิดโอกาสให้เอกชน (วิศวกรอิสระหรือบริษัทวิศวกรที่ปรึกษา) เป็นผู้ตรวจโรงงาน หรือเครื่องจักรที่ผู้รับใบอนุญาตจะต้องปฏิบัติตามกฎหมาย โดยให้เอกชนเป็นผู้ดำเนินการและจัดทำรายงานผลการตรวจสอบแทนการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่

“มาตรา 9 ในกรณีที่จะต้องมีการตรวจสอบโรงงานหรือเครื่องจักรเพื่อปฏิบัติตามพระราชบัญญัตินี้ อาจมีการกำหนดให้เอกชนเป็นผู้ดำเนินการ และจัดทำรายงานผลการตรวจสอบแทนการปฏิบัติหน้าที่ของพนักงานเจ้าหน้าที่ก็ได้ ทั้งนี้ ตามระเบียบที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา”

ผลทางกฎหมาย

พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 กำหนดโทษต่อโรงงานทั้ง 3 จำพวกมีความหนักเบาไม่เท่ากัน กล่าวคือ

(1) กรณีโรงงานจำพวกที่ 2

หากผู้ประกอบการโรงงานดำเนินการโดยไม่แจ้งให้เจ้าหน้าที่ทราบตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 6 เดือน หรือปรับไม่เกิน 50,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ (มาตรา 48)

หากผู้ประกอบการโรงงานแจ้งการประกอบกิจการไม่ถูกต้องครบถ้วนตามแบบและวิธีการที่กำหนดไว้ต้องระวางโทษปรับไม่เกิน 20,000 บาท (มาตรา 49)

(2) กรณีโรงงานจำพวกที่ 3

หากผู้ใดประกอบกิจการโรงงานโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือตั้งโรงงานโดยไม่ได้รับใบอนุญาตตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 2 ปี หรือปรับไม่เกิน 200,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ (มาตรา 50 วรรคหนึ่ง)

หากการประกอบกิจการนั้นเป็นกรณีของโรงงานประเภทที่มีนโยบายให้ตั้งหรือห้ามตั้งในท้องที่ใดตามที่ใดตามทีประกาศแล้ว โทษจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า คือต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 4 ปี หรือปรับไม่เกิน 400,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ (มาตรา 50 วรรคสอง)

สถาปนิกและวิศวกรต้องร่วมรับผิดชอบด้วย

ลักษณะเด่นประการหนึ่งของพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 คือ การกำหนดโทษแก่สถาปนิกหรือวิศวกรที่ให้ความร่วมมือหรือรู้เห็นเป็นใจกับผู้ประกอบการกิจการโรงงานในการกระทำที่ฝ่าฝืนกฎหมาย จะต้องมีความผิดด้วย ซึ่งกล่าวไว้ในบทบัญญัติมาตรา 55 และมาตรา 61 อันอาจจะมีโทษหนักถึงขั้นถูกยึดใบอนุญาตประกอบวิชาชีพสถาปนิกหรือวิศวกรได้ด้วย

“มาตรา 55 ผู้ใดประกอบกิจการโรงงานในระหว่างที่มีคำสั่งให้หยุดประกอบกิจการโรงงานหรือภายหลังที่มีคำสั่งให้ปิดโรงงาน ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 2 ปีหรือปรับไม่เกิน 200,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ และให้ปรับอีกวันละ 5,000 บาทจนกว่าจะหยุดการประกอบกิจการ

สถาปนิกหรือวิศวกรผู้ใดฝ่าฝืนทำงานในโรงงานเฉพาะส่วนที่มีคำสั่งให้หยุดประกอบกิจการหรือยังฝ่าฝืนทำงานในโรงงานที่มีคำสั่งปิดโรงงานแล้วเพื่อให้โรงงานประกอบกิจการต่อไปต้องระวางโทษเช่นเดียวกับผู้ประกอบการกิจการโรงงานตามวรรคหนึ่ง

ผู้ที่ทำงานโรงงานหรือคนงานผู้ใดยังฝ่าฝืนทำในโรงงาน เฉพาะส่วนที่มีคำสั่งให้หยุดประกอบการ หรือยังฝ่าฝืนทำงานในโรงงานที่มีคำสั่งปิดโรงงานแล้ว ให้สันนิษฐานไว้ก่อนว่าเป็นผู้ร่วมกระทำ หรือสนับสนุนการกระทำ ความผิดตามวรรคหนึ่งแล้วแต่กรณี แต่ศาลจะลงโทษน้อยเพียงใดก็ได้ โดยคำนึงถึงฐานะความรับผิดชอบต่อครอบครัว ความจงใจฝ่าฝืนกฎหมายและความมีส่วนสำคัญในการกระทำ”

“มาตรา 61 ในกรณีที่ผู้ประกอบกิจการโรงงานกระทำความผิดตามพระราชบัญญัตินี้ ให้ถือว่าสถาปนิกหรือวิศวกรที่ทำงานในโรงงานและมีหน้าที่รับผิดชอบในการงานส่วนที่มีกรณีการกระทำความผิดนั้นเกิดขึ้น มีส่วนร่วมหรือในการกระทำความผิดกับผู้ประกอบกิจการโรงงานและต้องรับโทษเช่นเดียวกับผู้ประกอบการโรงงาน เว้นแต่จะพิสูจน์ได้ว่าตนมิได้รู้เห็นหรือยินยอมด้วยกับการกระทำความผิดนั้น

นอกจากต้องรับโทษตามวรรคหนึ่งแล้ว ให้ปลัดกระทรวงแจ้งชื่อและการกระทำของบุคคลเช่นนั้น ให้คณะกรรมการควบคุมการประกอบวิชาชีพสถาปัตยกรรมหรือคณะกรรมการควบคุมการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมทราบ เพื่อพิจารณาดำเนินการตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพสถาปัตยกรรมหรือกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพวิศวกรรมตามควรแก่กรณีต่อไป”

บทกำหนดโทษ

โรงงานจำพวก	จำคุก	ปรับ	จำและปรับ
2 (ไม่แจ้ง)	ไม่เกิน 6 เดือน	ไม่เกิน 50,000 บาท	/
2 (แจ้งไม่ครบ)	-	ไม่เกิน 20,000 บาท	-
3 (ไม่ได้รับอนุญาต)	ไม่เกิน 2 ปี	ไม่เกิน 200,000 บาท	/
3 (มีนโยบายห้าม)	ไม่เกิน 1 ปี	ไม่เกิน 400,000 บาท	/
ไม่ได้รับอนุญาตขยาย	เหมือนจำพวกที่ 3		
ฝ่าฝืนคำสั่งหยุด สถาปนิก/วิศวกร	ไม่เกิน 2 ปี	ไม่เกิน 200,000 บาท	+ วันละ 5,000 บาท จนกว่าจะหยุด

จุดเด่นและข้อแตกต่าง พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535 จาก พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2512 (ฉบับแรก)

1. คำนิยาม (มาตรา 5)
2. การแบ่งโรงงานตามประเภท ชนิด หรือขนาดเป็น 3 จำพวก (มาตรา 7)
3. ให้เอกชนตรวจโรงงานและรายงานแทน (มาตรา 9)
4. หลักเกณฑ์การขออนุญาต (มาตรา 10-13)
5. ใบอนุญาตมีอายุ 5 ปีปฏิทิน (มาตรา 14)
6. รัฐมนตรีประกาศเขตประกอบการอุตสาหกรรมได้ (รวมทั้งห้ามรอบเขตด้วย) (มาตรา 30)
7. ให้มีการประสานงานระหว่างเจ้าหน้าที่ตาม พ.ร.บ. นี้และอื่น ๆ กำหนดวิธีพิจารณาร่วมกันได้ (ยื่นคำขอร่วม, ตรวจร่วม, ยกเว้นเอกสาร) (มาตรา 31)
8. พนักงานเจ้าหน้าที่ระดับ 4 จับกุมส่งพนักงานสอบสวนได้ (มาตรา 36)
9. อำนาจของพนักงานเจ้าหน้าที่ (มาตรา 35-41)
10. ทางราชการเข้าไปจัดการแก้ไขเพื่อให้เป็นไปตามคำสั่งได้ โดยเจ้าของเสียค่าใช้จ่ายและเบี้ยปรับ (มาตรา 42)
11. โรงงานจำพวกที่ 2 และ 3 ชำระค่าธรรมเนียมรายปี (มาตรา 43)
12. บทกำหนดโทษรุนแรงขึ้น (มาตรา 45-54)
13. สถาปนิกหรือวิศวกรต้องระวางให้โทษเช่นเดียวกันกับเจ้าของ ถ้าฝ่าฝืนทำงานส่วนที่ถูกสั่งหยุดรวมทั้งคนงานด้วย (มาตรา 55)
14. สถาปนิกหรือวิศวกร ต้องร่วมรับผิดชอบรู้เห็นกับโรงงานกระทำความผิด พ.ร.บ. นี้ (มาตรา 61)
15. ให้มีคณะกรรมการเปรียบเทียบคดี (มาตรา 65)

ความต่อเนื่องของกฎหมาย

เนื่องจาก พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535 เป็นกฎหมายที่เริ่มมีสภาพการบังคับใช้เมื่อ 9 ก.ค. 2535 หลักเกณฑ์ ข้อกำหนด มาตรฐาน และวิธีทางปฏิบัติในบางเรื่องก็ออกไม่ทัน ขณะที่การประกอบกิจการโรงงานต่าง ๆ ยังคงดำเนินต่อไปอยู่ ดังนั้น เพื่อไม่ให้เกิดช่องว่างทางกฎหมาย อันจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อส่วนรวม และให้กฎหมายมีผลบังคับอย่างต่อเนื่องครอบคลุม กฎหมายฉบับใหม่นี้จึงมีบทเฉพาะกาลกำหนดให้นำบทบัญญัติบางเรื่องในกฎหมายเดิม (พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2512) มาใช้ได้โดยอนุโลม ดังนี้

“มาตรา 66 คำขออนุญาตใด ๆ ที่ได้ยื่นไว้และการอนุญาตใด ๆ ที่ได้ให้ไว้และยังอยู่ในระหว่างการพิจารณาของผู้อนุญาต หรือการปฏิบัติของผู้ขออนุญาตตามที่ได้รับอนุญาต แล้วแต่กรณีให้ถือว่าเป็นคำขออนุญาตหรือการอนุญาตตามพระราชบัญญัตินี้โดยอนุโลม ในกรณีที่คำขออนุญาต หรือการอนุญาตดังกล่าวมีข้อแตกต่างไปจากคำขออนุญาต หรือการอนุญาตตามพระราชบัญญัตินี้ หรือการอนุญาตมีอำนาจสั่งให้แก้ไขเพิ่มเติมได้ตามความจำเป็น เพื่อให้การเป็นไปตามพระราชบัญญัตินี้”

“มาตรา 67 ใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานที่ออกให้แก่บุคคลใด ๆ ตามกฎหมายว่าด้วยโรงงานก่อนวันที่พระราชบัญญัตินี้ใช้บังคับ ให้คงใช้ได้ต่อไปจนสิ้นอายุที่กำหนดไว้

ให้ถือว่าใบอนุญาตตั้งโรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงานก่อนวันที่พระราชบัญญัตินี้ใช้บังคับเป็นใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานตามพระราชบัญญัตินี้ และให้ผู้ได้รับใบอนุญาตตั้งโรงงานดังกล่าวมีหน้าที่ดำเนินการต่อไปตามพระราชบัญญัตินี้”

“มาตรา 68 บรรดากฎกระทรวงและประกาศที่ออกตามกฎหมายว่าด้วยโรงงานให้คงใช้บังคับต่อไปเท่าที่ไม่ขัดหรือแย้งกับบทแห่งพระราชบัญญัตินี้”

สาระสำคัญของพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 มีบทบัญญัติรวม 68 มาตรา แบ่งเป็น 3 หมวดได้แก่

หมวด 1 การประกอบกิจการโรงงาน (มาตรา 7 - มาตรา 31)

หมวด 2 การกำกับและดูแลโรงงาน (มาตรา 32 - มาตรา 44)

หมวด 3 บทกำหนดโทษ (มาตรา 45 - มาตรา 68)

บทบัญญัติของหมวดต่าง ๆ โดยสรุป ซึ่งเห็นว่ามีสำคัญและเปลี่ยนแปลงจากกฎหมายเดิม ได้แก่

หมวดที่ 1 : การประกอบกิจการโรงงานมีสาระสำคัญโดยสรุป คือ

- การแบ่งโรงงานตามประเภท ชนิด หรือขนาด เป็น 3 จำพวก (มาตรา 7)
- การกำหนดหลักเกณฑ์เกี่ยวกับทำเลที่ตั้งโรงงาน สภาพแวดล้อม ลักษณะอาคาร โรงงาน เครื่องจักร การกำจัดของเสีย มลพิษ ความปลอดภัย เหตุเดือดร้อนรำคาญ เป็นต้น (มาตรา 8)
- การให้เอกชนเป็นผู้ดำเนินการ และจัดทำรายงานผลการตรวจสอบโรงงานแทนการปฏิบัติหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ (มาตรา 9)
- การขออนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (มาตรา 10-มาตรา 13)
- ใบอนุญาตมีอายุ 5 ปีโดยนับตั้งแต่ปีที่เริ่มประกอบกิจการจนถึงวันสิ้นปีปฏิทินปีที่ 5 (มาตรา 14)
- การขอต่ออายุใบอนุญาต (มาตรา 15)
- การขยายโรงงาน (มาตรา 18)
- การโอนการประกอบกิจการโรงงาน (มาตรา 21)
- การย้ายโรงงาน (มาตรา 27)
- การเลิกประกอบกิจการโรงงาน (มาตรา 21)
- การย้ายโรงงาน (มาตรา 27)
- การเลิกประกอบกิจการโรงงาน (มาตรา 28)
- การประกาศเขตอุตสาหกรรม (มาตรา 30)

หมวดที่ 2 : การกำกับและดูแลโรงงาน มีสาระสำคัญโดยสรุป คือ

- การกำหนดจำนวน และขนาดของโรงงานแต่ละประเภทที่จะให้ตั้งหรือขยายวัตถุประสงค์ผลิตภัณฑ์ หรือผลผลิตของโรงงาน เพื่อประโยชน์ทางเศรษฐกิจ การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ความมั่นคงปลอดภัย (มาตรา 32)
- การหยุดการดำเนินงานชั่วคราว (มาตรา 33)
- กรณีอุบัติเหตุในโรงงาน (มาตรา 34)
- อำนาจของพนักงานเจ้าหน้าที่ (มาตรา 35-มาตรา 41)
- การเข้าไปแก้ไขปรับปรุงโรงงานตามคำสั่งโดยให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานเสียค่าใช้จ่ายพร้อมดอกเบี้ย (มาตรา 42)
- การชำระค่าธรรมเนียมรายปี (มาตรา 43)

หมวดที่ 3 บทกำหนดโทษ มีสาระสำคัญโดยสรุป คือ

- การกำหนดระวางโทษปรับ หรือจำคุก หรือทั้งจำและปรับ กรณีที่มีการฝ่าฝืนไม่ปฏิบัติตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 (มาตรา 45- มาตรา 54)
- สถาปนิก หรือวิศวกรที่ฝ่าฝืนทำงานในโรงงานที่ถูกคำสั่งให้หยุดประกอบกิจการ ต้องระวางโทษ เช่นเดียวกับผู้ประกอบการโรงงาน (มาตรา 55)
- ความรับผิดชอบของสถาปนิก หรือวิศวกรที่ทำงานในโรงงาน (มาตรา 61)
- การเปรียบเทียบคดี (มาตรา 65)

บทเฉพาะกาล มีสาระสำคัญโดยสรุป คือ

- การขออนุญาต และการอนุญาตใด ๆ ก่อนพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 มีผลบังคับ ให้ถือว่าเป็นการขออนุญาต และการอนุญาตตามกฎหมายใหม่โดยอนุโลม (มาตรา 66)
- ใบอนุญาตประกอบกิจการฉบับเดิมให้ใช้ได้จนสิ้นอายุ (มาตรา 67)
- กฎกระทรวงและประกาศต่าง ๆ ตามกฎหมายเดิมให้ใช้บังคับต่อไปได้เท่าที่ไม่ขัดกฎหมายใหม่ (มาตรา 68)

9.2 กฎหมายเกี่ยวกับความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม ตามพระราชบัญญัติ โรงงาน พ.ศ. 2535

เมื่อพิจารณาบทบัญญัติแห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 โดยรวมแล้วสามารถแยกสาระสำคัญของบทบัญญัติทั้งหมดได้ 4 ลักษณะ ซึ่งเป็นหลักการและเหตุผลสำคัญในการกำกับควบคุม และดูแลโรงงานต่าง ๆ ได้แก่

1. นโยบายด้านเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรม
2. ความปลอดภัยและสุขอนามัย
3. มลพิษและสิ่งแวดล้อม
4. บทกำหนดโทษ

ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมจึงเป็นมาตรการสำคัญของการประกอบกิจการโรงงาน หากไม่ได้รับความเอาใจใส่ทั้งทางราชการและเอกชน อาจก่อให้เกิดเหตุอันตราย เหตุเดือดร้อนรำคาญ หรือผลกระทบต่อประชาชนหรือสิ่งแวดล้อม สร้างความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สินดังที่เป็นข่าวเนื่อง ๆ ยังความสูญเสียต่อเศรษฐกิจและสังคมอย่างมหาศาล

การแบ่งโรงงานเป็น 3 จำพวก

มาตรา 7 แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ได้ให้อำนาจรัฐมนตรีออกกฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือชนิด หรือขนาดของโรงงานออกเป็น 3 จำพวก เพื่อประโยชน์แก่การกำกับหรือควบคุมดูแลโรงงานให้สอดคล้องกับสภาพทางเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบัน

ปัจจัยในการแบ่งโรงงานออกเป็น 3 จำพวก ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ได้แก่

1. ความจำเป็นในการควบคุมดูแลการประกอบกิจการโรงงานประเภทนั้น ๆ

2. การป้องกันเหตุเดือดร้อนรำคาญ
3. การป้องกันความเสียหาย
4. การป้องกันอันตราย
5. ระดับความรุนแรงของผลกระทบที่จะมีต่อประชาชนหรือสิ่งแวดล้อม

ดังนั้น ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมจึงเป็นหลักเกณฑ์สำคัญในการจัดแบ่งโรงงานออกเป็น 3 จำพวก โดยกำหนดให้การประกอบกิจการโรงงานตามประเภท ชนิด หรือขนาดใดเป็นโรงงานจำพวกที่ 1 โรงงานจำพวกที่ 2 หรือโรงงานจำพวกที่ 3 ปรากฏในกฎกระทรวงฉบับที่ 1 แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

การควบคุมการประกอบกิจการโรงงาน

1. เพื่อประโยชน์ในการควบคุมการประกอบกิจการโรงงาน จำพวกใดจำพวกหนึ่งหรือทุกจำพวก รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมมีอำนาจออกกฎกระทรวงเพื่อให้โรงงานปฏิบัติตามในเรื่องต่อไปนี้ (มาตรา 8)

- (1) กำหนดหลักเกณฑ์เกี่ยวกับที่ตั้งของโรงงาน สภาพแวดล้อมของโรงงาน ลักษณะอาคารของโรงงาน หรือลักษณะภายในของโรงงาน
- (2) กำหนดลักษณะ ประเภท หรือชนิดของเครื่องจักร เครื่องอุปกรณ์ หรือสิ่งที่ต้องนำมาใช้ในการประกอบกิจการโรงงาน
- (3) กำหนดให้มีคนงานซึ่งมีความรู้เฉพาะตามประเภท ชนิด หรือขนาดของโรงงานเพื่อปฏิบัติหน้าที่หนึ่งหน้าที่ใดประจำโรงงาน
- (4) กำหนดหลักเกณฑ์ที่ต้องปฏิบัติ กรรมวิธีการผลิต และการจัดให้มีอุปกรณ์หรือเครื่องมืออื่นใดเพื่อป้องกันหรือระงับหรือบรรเทาอันตราย ความเสียหายหรือความเดือดร้อนที่อาจเกิดแก่บุคคล หรือทรัพย์สินที่อยู่ในโรงงานหรือที่อยู่ใกล้เคียงกับโรงงาน
- (5) กำหนดมาตรฐานและวิธีการควบคุมการปล่อยของเสีย มลพิษหรือสิ่งใด ๆ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน
- (6) กำหนดการจัดให้มีเอกสารที่จำเป็นประจำโรงงาน เพื่อประโยชน์ในการควบคุม หรือตรวจสอบการปฏิบัติตามกฎหมาย
- (7) กำหนดข้อมูลที่เป็น เกี่ยวกับการประกอบกิจการโรงงานที่ผู้ประกอบการโรงงาน ต้องแจ้งให้ทราบเป็นครั้งคราวหรือตามระยะเวลาที่กำหนดไว้
- (8) กำหนดการอื่นใด เพื่อคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงานเพื่อป้องกันหรือระงับหรือบรรเทาอันตราย หรือความเสียหายที่อาจเกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน

2. ข้อยกเว้น หากรัฐมนตรีเห็นสมควร ก็สามารถออกกฎกระทรวงกำหนดให้ยกเว้นโรงงานประเภท ชนิด หรือขนาดใดจากการต้องปฏิบัติในเรื่องหนึ่งเรื่องใดใน 8 ข้อ ของมาตรา 8 ก็ได้ และอาจกำหนดในเรื่องที่เป็นรายละเอียดทางด้านเทคนิค หรือที่ต้องเปลี่ยนแปลงรวดเร็วตามสภาพสังคมก็ได้ ตามอำนาจในมาตรา 8 วรรคสอง

3. ผู้ประกอบกิจการโรงงานจำพวกที่ 3 มีหน้าที่ต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ที่ต้องกำหนดในกฎกระทรวง และประกาศกระทรวงที่ออกตามมาตรา 8 แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 อันมีลักษณะเสมือนหน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการ ดังเปรียบได้กับกฎหมายเดิมในมาตรา 39 แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 ซึ่งเป็นบทบัญญัติเกี่ยวกับ “หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน”

มาตรา 39 แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512

ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน มีหน้าที่กระทำการดังต่อไปนี้

- (1) รักษาโรงงานให้มั่นคงแข็งแรงและมีสภาพอันปลอดภัยอยู่เสมอ ตลอดจนดูแลรักษาเครื่องจักรให้มีสภาพมั่นคง และแข็งแรงปลอดภัยเหมาะแก่การใช้
 - (2) จัดให้โรงงานมีทางออกฉุกเฉินพอเพียงกับจำนวนคนงาน
 - (3) จัดให้มีสัญญาณแจ้งเหตุอันตราย
 - (4) จัดให้มีเครื่องดับเพลิงหรือสิ่งอื่นที่ใช้ในการดับเพลิงจำนวนเพียงพอแก่สภาพ ขนาด หรือลักษณะการประกอบกิจการโรงงาน ตลอดจนให้มีการป้องกันอัคคีภัยด้วยวิธีอื่นด้วย
 - (5) จัดโรงงานให้ถูกต้องตามสุขลักษณะและอนามัย
 - (6) จัดให้มีการกำจัดสิ่งปฏิกูล การระบายน้ำทิ้ง และการระบายอากาศ
 - (7) จัดให้มีแสงสว่างพอเพียงแก่การทำงาน
 - (8) จัดสถานที่ทำงานให้พอเพียง และเหมาะสมกับจำนวนคนงาน เครื่องจักร วัตถุดิบ และวัตถุสำเร็จรูป
 - (9) จัดให้มีเครื่องมือในการปฐมพยาบาล
 - (10) จัดให้มีส้วม และที่ปัสสาวะอันถูกต้องตามสุขลักษณะตลอดจนสถานที่สำหรับทำความสะอาดร่างกาย
 - (11) จัดให้มีน้ำสะอาดสำหรับดื่ม
 - (12) จัดให้มีการป้องกันอุบัติเหตุ หรืออันตรายที่อาจเกิดจากเครื่องจักร เครื่องมือ เครื่องเคลื่อนย้าย หยิบยก หรือลำเลียงวัสดุ สายไฟฟ้า ท่อไอน้ำ หรือวัตถุอันเป็นสื่อส่งกำลังในโรงงานโดยจัดให้มีรั้ว เครื่องกัน หรือเครื่องป้องกันอย่างอื่นเพื่อความปลอดภัย
 - (13) จัดให้มีการเก็บ และการใช้โดยปลอดภัยเกี่ยวกับวัตถุมีพิษ วัตถุเคมี วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด หรือวัตถุอื่นที่อาจเป็นอันตราย หรือที่อาจทำให้เกิดฝุ่นละอองความร้อน แสงหรือเสียงซึ่งเป็นอันตรายในการปฏิบัติงานในหน้าที่เกี่ยวกับวัตถุนั้น ๆ ทั้งนี้ ภายใต้บังคับกฎหมายว่าด้วยการนั้น ตลอดจนจัดให้มีวิธีการป้องกัน และเครื่องป้องกันมิให้เกิดอันตรายแก่คนงานซึ่งปฏิบัติหน้าที่นั้น ๆ ด้วย
 - (14) ประกอบกิจการโรงงานมิให้เกิดเหตุรำคาญตามกฎหมายว่าด้วยสาธารณสุข
 - (15) จัดทำรายงานเกี่ยวกับปริมาณการผลิตและการจำหน่ายของโรงงาน
 - (16) จัดให้มีการทำอย่างอื่นตามที่รัฐมนตรีกำหนด
- ทั้งนี้ ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ความปลอดภัยเป็นเงื่อนไขสำคัญในการอนุญาต

การพิจารณาอนุญาตสำหรับการยื่นขออนุญาตประกอบกิจการโรงงาน จำพวกที่ 3 นอกจากที่ผู้ประกอบกิจการโรงงานจำพวกที่ 3 จะต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในกฎกระทรวงที่ออกตามมาตรา 8 ประกาศของรัฐมนตรีที่ออกตามกฎกระทรวง และประกาศของรัฐมนตรีที่ออกตามมาตรา 32 แล้ว ยังมีหน้าที่จะต้องประกอบกิจการอย่างปลอดภัยด้วย

ในการพิจารณาออกใบอนุญาต ผู้มีอำนาจจะใช้หลักเกณฑ์ในการพิจารณาตามมาตรา 12 วรรคห้าแห่งพระราชบัญญัติโรงงาน 2535 ดังนี้

1. หลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงที่ออกตามมาตรา 8 และประกาศของรัฐมนตรีที่ออกตามกฎกระทรวง

2. ประกาศของรัฐมนตรีที่ออกตามมาตรา 32

3. ความปลอดภัยของบุคคล หรือทรัพย์สิน กล่าวคือ

“ในการออกใบอนุญาตให้ผู้มีอำนาจอนุญาตพิจารณาตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงที่ออกตามมาตรา 8 ประกาศของรัฐมนตรีที่ออกจากระทรวงดังกล่าว และประกาศของคณะรัฐมนตรีที่ออกตามมาตรา 32 ถ้ากรณีใดยังมีได้มีหลักเกณฑ์กำหนดไว้ให้พิจารณา โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของบุคคล หรือทรัพย์สินที่อยู่ในโรงงาน หรือที่อยู่ใกล้เคียงกับโรงงาน หรือเป็นกรณีที่ต้องปฏิบัติตามประกาศของรัฐมนตรีที่ออกตามมาตรา 32 ในการนี้จะกำหนดเงื่อนไขที่ผู้ประกอบการโรงงานจะต้องปฏิบัติเป็นพิเศษไว้ในใบอนุญาตก็ได้”

ดังนั้น การประกอบกิจการโรงงานอย่างปลอดภัย จึงเป็นเงื่อนไขสำคัญประการหนึ่งในการพิจารณาออกใบอนุญาต เช่น ความมั่นคงแข็งแรงของอาคารโรงงาน การระบายอากาศ ฝุ่น เขม่าควัน ความร้อน แสงสว่าง เสียงดัง ความแออัดของพื้นที่ การป้องกันอัคคีภัย หรือการระเบิดเป็นต้น

นโยบายอุตสาหกรรม

มาตรา 32 แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เป็นบทบัญญัติเกี่ยวกับนโยบายของกระทรวงอุตสาหกรรมในส่วนที่เกี่ยวกับเศรษฐกิจ การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ความมั่นคง ความปลอดภัยของประเทศ หรือของสาธารณชน ถือเป็นหลักเกณฑ์ที่สำคัญยิ่งในการพิจารณาออกใบอนุญาต

มาตรา 32 เพื่อประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมความมั่นคงความปลอดภัยของประเทศ หรือของสาธารณะชน ให้รัฐมนตรีโดยอนุมัติคณะรัฐมนตรีมีอำนาจกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษาในเรื่องดังต่อไปนี้

(1) กำหนดจำนวนและขนาดของโรงงานแต่ละประเภท หรือชนิดที่จะให้ตั้งหรือขยายหรือที่จะให้ตั้ง หรือขยายในท้องที่ใดท้องที่หนึ่ง

(2) กำหนดชนิดหรือคุณภาพ อัตราส่วนของวัตถุดิบแหล่งกำเนิดของวัตถุดิบ และหรือปัจจัยหรือชนิดของพลังงานที่จะนำมาใช้หรือผลิตในโรงงาน

(3) กำหนดชนิดหรือคุณภาพของโรงงานที่จะให้ตั้งหรือขยายไปใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภท หรือให้ส่งผลผลิตออกนอกราชอาณาจักรทั้งหมดหรือบางส่วน

(4) กำหนดให้นำผลผลิตของโรงงานที่จะให้ตั้งหรือขยายไปใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภท หรือให้ส่งผลผลิตออกนอกราชอาณาจักรทั้งหมดหรือบางส่วน

ตัวอย่างเช่น การห้ามตั้งหรือห้ามขยายโรงงานปั่นด้ายเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณผลผลิตล้นตลาดแล้ว การห้ามตั้งโรงงานฟอกย้อมติดแม่น้ำ เนื่องจากปัญหาด้านน้ำเสีย การกำหนดมาตรฐานของหลอดไฟฟ้า การห้ามตั้งโรงงานผลิตอาวุธในเขตเมือง เป็นต้น

การเกิดอุบัติเหตุในโรงงาน

(1) บทบัญญัติที่เกี่ยวกับการเกิดอุบัติเหตุอันตรายในการประกอบกิจการโรงงานดังได้กล่าวไว้ใน มาตรา 34 แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 (เช่นเดียวกับมาตรา 27 ของกฎหมายเดิม)

มาตรา 34 ในกรณีอุบัติเหตุในโรงงานเนื่องจากโรงงานหรือเครื่องจักรของโรงงานไม่ว่าจะเป็นกรณีของ โรงงานจำพวกใด ถ้าอุบัติเหตุนั้น

(1) เป็นเหตุให้บุคคลถึงแก่ความตาย เจ็บป่วยหรือบาดเจ็บ ซึ่งภายหลัง 72 ชั่วโมงแล้วยังไม่สามารถ ทำงานในหน้าที่เดิมได้ ให้ผู้ประกอบการกิจการโรงงานแจ้งเป็นหนังสือให้พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบภายใน 3 วัน นับตั้งแต่วันตาย หรือวันครบกำหนด 72 ชั่วโมง แล้วแต่กรณี

(2) เป็นเหตุให้โรงงานต้องหยุดดำเนินงานเกินกว่า 7 วันให้ผู้ประกอบการกิจการโรงงานแจ้งเป็นหนังสือให้ พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบภายใน 10 วันนับแต่วันเกิดอุบัติเหตุ

“เมื่อเกิดอุบัติเหตุในโรงงานใดตามวรรคหนึ่งให้พนักงานเจ้าหน้าที่เข้าไปตรวจโรงงานและเครื่องจักรและ พิจารณาดำเนินการตามมาตรา 37 หรือ มาตรา 39 แล้วแต่กรณี”

ดังนั้น ความหมายของคำว่า “อุบัติเหตุ” ในโรงงานตามบทบัญญัตินี้ จึงมี 2 กรณี

1. กรณีที่อุบัติเหตุ นั้น ก่อให้เกิดความเสียหายทางชีวิตหรือร่างกาย คือเป็นเหตุให้มีผู้เสียชีวิต บาดเจ็บ หรือเจ็บป่วย

2. กรณีที่อุบัติเหตุ นั้น ก่อให้เกิดความเสียหายทางทรัพย์สิน

(2) การรายงานอุบัติเหตุ

เมื่อเกิดอุบัติเหตุในโรงงานอันเนื่องมาจากการประกอบกิจการ อาคารโรงงาน หรือเครื่องจักร ผู้ประกอบ กิจการโรงงานทุกจำพวก (เจ้าของโรงงาน หรือผู้จัดการตามทะเบียนนิติบุคคล) จะต้องแจ้งเป็นหนังสือ (ในลักษณะ ของรายงาน) ให้พนักงานเจ้าหน้าที่ได้ทราบภายในเวลาที่กำหนดไว้ แยกไว้เป็น 2 กรณี คือ

1. กรณีที่อุบัติเหตุ นั้นทำให้มีคนถึงแก่ความตาย หรือทำให้มีผู้เจ็บป่วย หรือบาดเจ็บจนไม่สามารถมา ทำงานในหน้าที่เดิมได้เกินกว่า 3 วัน หรือ 72 ชั่วโมง ซึ่งอาจเป็นกรณีที่ผู้บาดเจ็บต้องหยุดงานไป หรือพักรักษาตัว ในสถานพยาบาล หรือถูกส่งเปลี่ยนไปทำงานในหน้าที่อื่นมากกว่า 3 วันติดต่อกัน เจ้าของโรงงาน หรือผู้จัดการมี หน้าที่ต้องแจ้งการเกิดอุบัติเหตุ นั้น โดยรายงานเป็นหนังสือให้พนักงานเจ้าหน้าที่ได้ทราบภายใน 3 วัน นับแต่วัน ตาย หรือในวันสิ้นสุดของการหยุดงานครบ 3 วัน แล้วแต่กรณี

2. กรณีที่เกิดอุบัติเหตุโดยไม่ทำให้มีคนบาดเจ็บหรือตาย แต่ทำให้โรงงานต้องหยุดดำเนินงานเกินกว่า 7 วัน ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากเครื่องจักร หรืออุปกรณ์บางอย่างชำรุดเสียหายต้องหยุดซ่อมแซมแก้ไข หรือทำให้เกิด ปัญหาในขบวนการผลิต หรือเกิดอัคคีภัย เจ้าของโรงงานหรือผู้จัดการก็ต้องแจ้งเป็นหนังสือโดยทำรายงานเกี่ยวกับ อุบัติเหตุให้พนักงานเจ้าหน้าที่ได้ทราบภายใน 10 วัน นับตั้งแต่วันที่เกิดอุบัติเหตุ

(3) การดำเนินการของทางราชการ

เมื่อเกิดอุบัติเหตุในโรงงานใด ๆ พนักงานเจ้าหน้าที่จะต้องเข้าไปตรวจโรงงานและเครื่องจักร เพื่อ พิจารณาดำเนินการดังต่อไปนี้

ก. สั่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานรับการประกอบกิจการ หรือเดินเครื่องจักรที่เป็นต้นเหตุของอุบัติเหตุ หรือสั่งการให้โรงงานทำการแก้ไข ปรับปรุง หรือปฏิบัติให้ถูกต้องเหมาะสมภายในกำหนดเวลา ตลอดจนการผูกมัด ประทับตราเครื่องจักรได้ด้วย (มาตรา 37)

ข. หากปรากฏว่า ผู้ประกอบกิจการโรงงานจงใจไม่ปฏิบัติตามคำสั่งโดยไม่มีเหตุอันควร หรือการประกอบ กิจการโรงงานอาจก่อให้เกิดอันตราย ความเสียหาย หรือความเดือดร้อนแก่บุคคล หรือทรัพย์สิน กฎหมายให้อำนาจปลัดกระทรวงสั่งให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานนั้นหยุดประกอบกิจการ จนถึงการสั่งเพิกถอนใบอนุญาตได้ (มาตรา 39)

(4) บทกำหนดโทษ

4.1 กรณีไม่แจ้งหรือรายงานการเกิดอุบัติเหตุ

- ต้องระวางโทษปรับไม่เกิน 20,000 บาท (มาตรา 54)

4.2 กรณีไม่ปฏิบัติตามคำสั่ง

- ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 1 ปี หรือปรับไม่เกิน 100,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ หรือต้องถูกปรับ อีกวันละไม่เกิน 5,000 บาท จนกว่าจะแก้ไขถูกต้อง (มาตรา 57 และมาตรา 58)

การประกอบกิจการอันเป็นอันตราย

การประกอบกิจการอันเป็นอันตรายตามบทบัญญัติแห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 แบ่งได้เป็น 2 กรณี ซึ่งมีข้อกำหนดและบทกำหนดโทษต่างกัน

(1) กรณีที่อันตรายไม่ร้ายแรงตามมาตรา 37

การประกอบกิจการโรงงานที่มีสภาพที่อาจก่อให้เกิดอันตราย ความเสียหายหรือความเดือดร้อนแก่บุคคล หรือทรัพย์สินที่อยู่ในโรงงาน หรือที่อยู่ใกล้เคียง เช่น เสียงดังและกลิ่นจากการเคาะพ่นสีรถยนต์, ฝุ่นละออง (จากโรงงานไม้หั่น), เขม่าควัน (จากโรงสีข้าว, โรงงานหลอมหล่อโลหะ, โรงเผาอิฐแดง) น้ำเสียมีสีและกลิ่นอันพึงรังเกียจ (จากโรงทำก๋วยเตี๋ยว โรงทำไอศกรีม) เป็นต้น กรณีนี้จะต้องเป็นกรณีที่มีสภาพอันตรายหรือเหตุรำคาญโดยทั่วไป ไม่ใช่กรณีร้ายแรงซึ่งจะกล่าวต่อไป

“มาตรา 37 ในกรณีที่เจ้าพนักงานพบว่าผู้ประกอบกิจการโรงงานผู้ใดฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตาม พระราชบัญญัตินี้ หรือการประกอบกิจการโรงงานมีสภาพที่อาจก่อให้เกิดอันตรายความเสียหายหรือความ เดือดร้อนแก่บุคคล หรือทรัพย์สินที่อยู่ในโรงงานหรือใกล้เคียงกับโรงงาน ให้พนักงานเจ้าหน้าที่มีอำนาจสั่งให้ผู้ นั้น รับการกระทำที่ฝ่าฝืน หรือแก้ไขหรือปรับปรุงหรือปฏิบัติให้ถูกต้องหรือเหมาะสมภายในระยะเวลาที่กำหนดได้

ในกรณีที่เห็นสมควร เมื่อได้รับอนุมัติจากปลัดกระทรวงหรือผู้ซึ่งปลัดกระทรวงมอบหมายหรือให้พนักงาน เจ้าหน้าที่มีอำนาจผูกมัดประทับตราเครื่องจักร เพื่อให้เครื่องจักรทำงานได้ในระหว่างการปฏิบัติตามคำสั่งของ พนักงานเจ้าหน้าที่ ตามวรรคหนึ่ง”

(2) กรณีที่อันตรายร้ายแรง

การประกอบกิจการโรงงานที่อาจจะก่อให้เกิดอันตราย ความเสียหายหรือความเดือดร้อนอย่างร้ายแรง แก่บุคคล หรือทรัพย์สินที่อยู่ในโรงงาน หรือที่อยู่ใกล้เคียงกับโรงงาน เช่น แก๊สพิษ (จากโรงงานเคมีบางประเภท) น้ำเสียที่มีสารพิษหรือโลหะหนักเจือปน (จากโรงงานบางประเภท) เป็นต้น กรณีนี้จะป็นกรณีที่ป็นอันตรายใน ระดับร้ายแรงตามหลักวิชาการหรือ เป็นกรณีที่มีผลกระทบต่อสาธารณสุข

“มาตรา 39 ในกรณีที่ผู้ประกอบการกิจการโรงงานใด จงใจไม่ปฏิบัติตามคำสั่งของพนักงานเจ้าหน้าที่ตามมาตรา 37 โดยไม่มีเหตุอันสมควรหรือในกรณีที่ปรากฏว่าการประกอบกิจการของโรงงานใดอาจจะก่อให้เกิดอันตรายความเสียหาย หรือความเดือดร้อนอย่างแรงแก่บุคคลหรือทรัพย์สินที่อยู่ในโรงงาน หรือที่อยู่ใกล้เคียงกับโรงงาน ให้ปลัดกระทรวงหรือผู้ซึ่งปลัดกระทรวงมอบหมายมีอำนาจสั่งให้ผู้ประกอบการนั้นหยุดประกอบกิจการโรงงานทั้งหมด หรือบางส่วนเป็นการชั่วคราว และปรับปรุงและแก้ไขโรงงานนั้นเสียใหม่ หรือปฏิบัติให้ถูกต้องภายในระยะเวลาที่กำหนด

ถ้าผู้ประกอบการกิจการโรงงานได้ปรับปรุงแก้ไขโรงงาน หรือปฏิบัติให้ถูกต้องภายในระยะเวลาที่กำหนดแล้ว ให้ปลัดกระทรวงหรือผู้ซึ่งปลัดกระทรวงมอบหมายสั่งให้ประกอบกิจการโรงงานต่อไปได้

ถ้าผู้ประกอบการกิจการโรงงานไม่ปรับปรุงแก้ไขโรงงาน หรือไม่ปฏิบัติให้ถูกต้องภายในเวลาที่กำหนด ให้ปลัดกระทรวงหรือผู้ซึ่งปลัดกระทรวงมอบหมายมีอำนาจสั่งปิดโรงงานได้ และในกรณีที่ป็นโรงงานจำพวกที่ 3 ให้คำสั่งปิดโรงงานดังกล่าวมีผลเป็นการเพิกถอนใบอนุญาตด้วย”

การประกอบกิจการโรงงานอย่างปลอดภัย

การประกอบโรงงานอย่างปลอดภัยตามหลักเกณฑ์และข้อกำหนดของกฎหมายว่าด้วยโรงงานมี 2 กรณี ได้แก่

1. กรณีตาม พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535

ข้อกำหนดหรือหลักเกณฑ์เกี่ยวกับความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงานตาม พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535 นอกจากจะได้กำหนดไว้ในบัญญัติต่าง ๆ ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ยังได้กำหนดในรายละเอียดที่ปรากฏในกฎกระทรวง ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ซึ่งอาศัยอำนาจตามความในมาตรา 6 และ มาตรา 8 แห่ง พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535 โดยกำหนดรวมไว้เป็นหมวดหมู่ สรุปได้แก่

(1) กฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535)

หมวด 1: ที่ตั้ง สภาพแวดล้อม ลักษณะอาคารและลักษณะภายในอาคาร

- ข้อ 1. ทำเลที่ตั้งของโรงงานจำพวกที่ 1 และจำพวกที่ 2
- ข้อ 2. ทำเลที่ตั้งของโรงงานจำพวกที่ 3
- ข้อ 3. สถานที่ทำการของหน่วยงานของรัฐ
- ข้อ 4. ทำเลที่ตั้งและสภาพแวดล้อมของโรงงานจำพวกที่ 3
- ข้อ 5. ลักษณะของอาคารโรงงาน

หมวด 2: เครื่องจักร เครื่องอุปกรณ์ หรือสิ่งทีนำมาใช้ในโรงงาน

- ข้อ 6. ลักษณะของเครื่อง เครื่องอุปกรณ์ หรือสิ่งทีนำมาใช้ในโรงงาน
- ข้อ 7. หลักเกณฑ์และวิธีการทดลองความปลอดภัยของเครื่องจักร

หมวด 3: คนงานประจำโรงงาน

- ข้อ 8. ผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำ
- ข้อ 9. ผู้ควบคุมการสร้างและซ่อมหม้อไอน้ำ
- ข้อ 10. ผู้ควบคุมดูแลและปฏิบัติงานประจำระบบป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ
- ข้อ 11. ผู้ควบคุมดูแลการใช้สารกัมมันตรังสี
- ข้อ 12. คุณสมบัติของคนงานประจำโรงงาน

หมวด 4: การควบคุมการปล่อยของเสีย มลพิษ หรือสิ่งใด ๆ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

- ข้อ 13. การกำจัดขยะ สิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้
- ข้อ 14. ลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน
- ข้อ 15. ระบบบำบัดน้ำเสีย
- ข้อ 16. ลักษณะของอากาศเสียที่ระบายออกจากโรงงาน
- ข้อ 17. มาตรฐานเสียงดัง

หมวด 5: ความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงาน

- ข้อ 18. โรงงานประเภทที่ต้องมีมาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงาน
- ข้อ 19. เครื่องจักรต้องมีมาตรการคุ้มครองความปลอดภัย

(2) กฎกระทรวงฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2535)

กำหนดให้โรงงานบางประเภทต้องจัดทำรายงานหรือส่งข้อมูลที่จำเป็นเกี่ยวกับการประกอบกิจการโรงงานต่อทางราชการ

- ข้อ 1. การรายงานต้องเป็นไปตามแบบวิธีการที่กำหนด
- ข้อ 2. รายงานการตรวจและการทดสอบความปลอดภัยในการใช้หม้อไอน้ำ
- ข้อ 3. รายงานข้อมูลการผลิต การตรวจและการทดสอบความปลอดภัยของหม้อไอน้ำที่สร้าง หรือซ่อม
- ข้อ 4. รายงานข้อมูลการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบป้องกันสิ่งแวดล้อม เป็นพิษ
- ข้อ 5. รายงานข้อมูลเกี่ยวกับกัมมันตรังสี
- ข้อ 6. ข้อมูลความปลอดภัยของวัตถุอันตราย

2. กรณีตามบทเฉพาะกาลแห่ง พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535

เนื่องจาก พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535 เป็นกฎหมายใหม่ซึ่งมีผลบังคับใช้เมื่อเร็ว ๆ นี้ กฎกระทรวงและประกาศกระทรวงต่าง ๆ จึงออกมาได้ไม่มาก และไม่ทันต่อเหตุการณ์ ดังนั้น เพื่อให้กฎหมายมีความต่อเนื่องเชื่อมโยงกัน โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายทั้งด้านการปฏิบัติและการบังคับใช้

มาตรา 68 แห่ง พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535 จึงบัญญัติขึ้นเป็นบทเฉพาะกาลที่กำหนดให้บรรดา กฎกระทรวงและประกาศที่ออกตามกฎหมายว่าด้วยโรงงานให้คงใช้บังคับได้เท่าที่ไม่ขัดแย้งไม่ขัดหรือแย้งกับกฎหมายแห่งพระราชบัญญัติใหม่นี้

ข้อกำหนด หลักเกณฑ์ หรือ มาตรฐานขั้นต่ำเกี่ยวกับความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงานได้กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2531) และฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2541) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 โดยอาศัยอำนาจตามความมาตรา 39 ซึ่งบัญญัติเกี่ยวกับหน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานอันถือเป็นข้อกำหนดหรือมาตรฐานขั้นต่ำด้านความปลอดภัยในการประกอบกิจการที่คงมีผลบังคับใช้ได้ในปัจจุบัน ตามบทเฉพาะกาลในมาตรา 68 แห่ง พ.ร.บ. โรงงาน 2535 จนกว่าจะมีกฎกระทรวงหรือประกาศฉบับใหม่ออกมาบังคับใช้

(1) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2513) แห่ง พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2512

กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการทั่วไป รวม 10 หมวด ดังนี้

- หมวดที่ 1 การรักษาโรงงานและเครื่องจักร
- หมวดที่ 2 ทางออกฉุกเฉินในโรงงาน
- หมวดที่ 3 สัญญาณแจ้งเหตุอันตราย
- หมวดที่ 4 เครื่องดับเพลิงหรือสิ่งอื่นที่ใช้ในการดับเพลิงและการป้องกันอัคคีภัย
- หมวดที่ 5 การกำจัดสิ่งปฏิกูล การระบายน้ำทิ้งและการระบายอากาศ

หมวดที่ 6	แสงสว่างในการทำงาน
หมวดที่ 7	การจัดสถานที่ทำงาน
หมวดที่ 8	เครื่องมือในการปฐมพยาบาล
หมวดที่ 9	ส้วม ที่ปัสสาวะ และสถานที่ทำความสะอาดร่างกาย
หมวดที่ 10	น้ำสะอาดสำหรับดื่ม

(2) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2514) แห่ง พ.ร.บ. โรงงาน

หมวดที่ 11	การจัดโรงงานให้ถูกต้องตามสุขลักษณะและอนามัย
หมวดที่ 12	การป้องกันอุบัติเหตุหรืออันตรายจากเครื่องจักร เครื่องมือ เครื่องเคลื่อนย้าย หยิบยกหรือลำเลียงวัสดุ สายไฟฟ้า ท่อไอน้ำ หรือวัตถุนั้นเป็นสื่อส่งกำลังในโรงงาน
หมวดที่ 13	การเก็บและการใช้วัตถุมีพิษ วัตถุเคมี วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด และวัตถุอื่นที่อาจเป็นอันตราย หรือที่อาจทำให้เกิดฝุ่นละออง ความร้อนแสงหรือเสียง ซึ่งเป็นอันตรายในการปฏิบัติงานกับวิธีป้องกันและเครื่องป้องกันมิให้เกิดอันตรายแก่คนงาน
หมวดที่ 14	การประกอบกิจการโรงงานมิให้เกิดเหตุรำคาญ

การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

บทบัญญัติใน พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535 ที่กล่าวถึงการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอย่างชัดเจน ได้แก่ บทบัญญัติเกี่ยวกับการกำกับและดูแลโรงงานในมาตรา 32

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมโดยอนุมัติของคณะรัฐมนตรีมีอำนาจกำหนดจำนวนและขนาดของโรงงานแต่ละประเภทที่จะให้ตั้งหรือขยาย หรือที่จะไม่ให้ตั้งหรือขยายในท้องที่ใดท้องที่หนึ่ง และข้อกำหนดอื่น ๆ อีก ถือเป็นมาตรการในการกำหนด “นโยบายอุตสาหกรรม” ประการหนึ่ง โดยจะต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์ข้อหนึ่งข้อใดต่อไปนี้ เพื่อประโยชน์ในทาง

1. เศรษฐกิจ
2. การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
3. ความมั่นคง ความปลอดภัยของประเทศหรือของสาธารณชน

เหตุที่ทางราชการเข้าไปจัดการแก้ไขเอง

จุดเด่นประการหนึ่งของ พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535 คือ บทบัญญัติในมาตรา 42 การที่ทางราชการสามารถเข้าไปดำเนินการ โดยให้พนักงานเจ้าหน้าที่หรือบุคคลใด ๆ เข้าไปจัดการแก้ไขปรับปรุงโรงงานเพื่อให้เป็นไปตามที่ได้มีคำสั่งมาตรา 37 แล้ว โดยคิดค่าใช้จ่ายและเบี้ยปรับจากผู้ประกอบกิจการโรงงาน และเป็นไปตามหลักการที่ว่า “ผู้สร้างปัญหามลพิษ จะต้องเป็นผู้รับภาระในการบำบัดและการจำกัดมลพิษนั้น (Polluters Pay Principle)”

“มาตรา 42 ในกรณีที่ผู้ประกอบกิจการโรงงานไม่ปฏิบัติตามคำสั่งของพนักงานเจ้าหน้าที่ตามมาตรา 37 ถ้ามีเหตุที่ทางราชการสมควรเข้าไปดำเนินการแทน ให้ปลัดกระทรวงหรือผู้ซึ่งปลัดกระทรวงมอบหมายมีอำนาจสั่งการให้พนักงานเจ้าหน้าที่หรือมอบหมายให้บุคคลใด ๆ เข้าจัดการแก้ไขเพื่อให้เป็นไปตามคำสั่งนั้นได้ ในกรณีเช่นนี้ ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องเป็นผู้เสียค่าใช้จ่ายการเข้าจัดการนั้นตามจำนวนที่จ่ายจริง รวมกับเบี้ยปรับในอัตราร้อยละ 30 ต่อปีของเงินจำนวนดังกล่าว

ถ้าทางราชการได้เข้าไปจัดการแก้ไขปัญหามลพิษหรือผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากโรงงาน ให้ขอรับเงินช่วยเหลือจากกองทุนสิ่งแวดล้อมตามกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เพื่อใช้จ่ายในการดำเนินการได้ และเมื่อได้รับเงินตามวรรคหนึ่งจากผู้ประกอบการกิจการโรงงานแล้วให้ชดใช้เงินช่วยเหลือที่ได้รับมาคืนแก่กองทุนสิ่งแวดล้อมดังกล่าวต่อไป”

ข้อกำหนดและมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม

ข้อกำหนด หลักเกณฑ์ และมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม ทั้งด้านคุณภาพของน้ำเสีย อากาศเสีย หรือการควบคุมมลพิษ เฉพาะที่กำหนดในกฎหมายว่าด้วยโรงงาน ได้แก่

1. พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535

- มาตรา 8
- กฎกระทรวง ฉบับที่ 2 และ 3
- ประกาศกระทรวง

2. พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2512 ตามบทเฉพาะกาลในมาตรา 68 แห่ง พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535 ได้แก่

- มาตรา 39
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ออกตามความใน พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2512

ฉบับที่ 10	(พ.ศ. 2521)	ฉบับที่ 13	(พ.ศ. 2525)
ฉบับที่ 11	(พ.ศ. 2522)	ฉบับที่ 22	(พ.ศ. 2528)
ฉบับที่ 12	(พ.ศ. 2525)	ฉบับที่ 24	(พ.ศ. 2530)
ฉบับที่ 25	(พ.ศ. 2531)		

อำนาจหน้าที่ตามกฎหมายบางฉบับด้านสิ่งแวดล้อม

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมดูแลโรงงานอุตสาหกรรมที่การประกอบกิจการก่อให้เกิดมลพิษสิ่งแวดล้อม ฉบับที่สำคัญ ๆ ได้แก่

1. พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535
 2. พ.ร.บ. ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535
 3. พ.ร.บ. สาธารณสุข พ.ศ. 2535
- ดังได้แสดงสรุปในตารางต่อไปนี้

อำนาจหน้าที่ตามกฎหมายฉบับในเรื่องสิ่งแวดล้อม

	เรื่อง	ผู้มีอำนาจ หน้าที่	บทลงโทษ				
			จำคุก	ปรับ (บาท) ไม่เกิน	ทั้งจำ ทั้งปรับ	อื่น ความ แพ่ง	หมายเหตุ
การวางมาตรฐาน	พ.ร.บ.ส่งเสริมและ รักษาคุณภาพ สิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535	มาตรฐาน คุณภาพสิ่ง- แวดล้อม	กรรมการ สิ่งแวดล้อม แห่งชาติ	-	-	-	-
		มาตรฐาน ควบคุมมลพิษ จากแหล่ง กำเนิด	ร.ม.ว. กระทรวง วิทยา- ศาสตร์	1 ปี	100,000 / 4 เท่าของ ค่าใช้จ่าย ของระบบ	-	ถ้าอยู่ใน เขต กำหนด
	พ.ร.บ.โรงงาน พ.ศ. 2535	มาตรฐาน ควบคุม มลพิษจาก แหล่งกำเนิด	ร.ม.ว. กระทรวง อุตสาหกรรม	-	20,000	-	-
พ.ร.บ.สาธารณสุข พ.ศ. 2535		มาตรฐาน วัดคุณภาพและ กรรมวิธี การผลิต	-	-	-	-	-
		มาตรฐาน ควบคุมสิ่ง- แวดล้อม	ร.ม.ว. กระทรวง สาธารณสุข	-	10,000	-	-
		มาตรฐาน ควบคุม มลพิษจาก แหล่งกำเนิด มาตรฐานด้าน อาชีวอนามัย มาตรฐานเหตุ รำคาญ	-	-	-	-	-

การรับเหตุฉุกเฉิน							
พ.ร.บ.ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535	เนื่องจากภัยธรรมชาติหรือภาวะมลพิษมีผลต่อสุขภาพและทรัพย์สิน	นายกรัฐมนตรี	1 ปี 5 ปี	100,000 500,000	/ /	- -	คนทั่วไป ผู้ก่อเหตุ
พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535	อันตรายต่อบุคคลและทรัพย์สิน	พนักงานเจ้าหน้าที่	1 ปี 2 เดือน	100,000 5,000	/ -	- -	- -
การรับเหตุฉุกเฉิน							
พ.ร.บ. สาธารณสุข พ.ศ. 2535	ภาวะมลพิษและมีผลต่อ	อธิบดีกรมอนามัย เจ้าพนักงานสาธารณสุข เจ้าพนักงานท้องถิ่น	2 เดือน 6 เดือน	5,000 10,000	/ -	ปรับต่อวันละ ไม่เกิน 5,000 บาท	- -
พ.ร.บ. วัตถุอันตราย พ.ศ. 2535	อันตรายต่อบุคคลสิ่งแวดล้อมและทรัพย์สิน	คณะรัฐมนตรี (ตามพระราชกฤษฎีกา)					
การทำรายงานวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม							
พ.ร.บ. ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม	ชะลอการออกไปอนุญาต	รัฐมนตรี	-	-		ไม่ออกไปอนุญาต	-

หมายเหตุ

- การวางมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมฯ ยังเป็นอำนาจหน้าที่ของหน่วยราชการอื่นๆ ตามที่กฎหมายอื่นๆ กำหนดไว้ ตามเจตนารมณ์ของกฎหมายนั้น เช่น กรมประมง กรมชลประทาน กรมเจ้าท่า เป็นต้น
- ตารางจากนิตยา มหาผล วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

9.3 กฎกระทรวง 8 ฉบับของพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 สำหรับผู้ประกอบการโรงงาน

พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ได้กำหนดให้มีการกฎกระทรวงเพื่อเป็นหลักเกณฑ์และข้อปฏิบัติสำหรับผู้ประกอบการโรงงานที่จะดำเนินการให้ถูกต้องตามกฎหมาย และให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อย ปลอดภัย ไม่ก่อเหตุเดือดร้อนอันตรายต่อบุคคล ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม กฎกระทรวงมีทั้งสิ้น 8 ฉบับ ทั้งนี้ผลใช้บังคับตั้งแต่วันที่ 16 ตุลาคม 2535 เป็นต้นมา สาระสำคัญที่ต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษ พอจะสรุปได้ดังต่อไปนี้

กฎกระทรวง ฉบับที่ 1 กล่าวถึง การให้โรงงานตามประเภทหรือชนิดที่ระบุในบัญชีท้ายกฎกระทรวงนี้เป็นโรงงานตามกฎหมาย และยังสามารถแบ่งจำแนกโรงงานเหล่านี้เป็นโรงงานจำพวกที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งหากจะกล่าวโดยย่อได้ดังนี้

- **โรงงานจำพวกที่ 1** หมายถึง โรงงานขนาดเล็กไม่มีปัญหามลพิษและสามารถประกอบกิจการโรงงานไปได้โดยไม่ต้องขออนุญาต ได้แก่ โรงงานบางประเภทที่ใช้เครื่องจักรไม่เกิน 20 แรงม้า และคนงานไม่เกิน 20 คน แต่ทั้งนี้ไม่ใช่เป็นกฎตายตัวเพราะโรงงานขนาดเล็กบางประเภทที่มีปัญหามลพิษก็ถูกจำแนกไว้เป็นจำพวกที่ 3 ก็มี

- **โรงงานจำพวกที่ 2** หมายถึง โรงงานขนาดกลาง ไม่มีปัญหามลพิษหรือหากมีก็เล็กน้อย และสามารถตั้งโรงงานไปก่อนได้ หากแต่เมื่อจะเริ่มเดินเครื่องจักร ผู้ประกอบการโรงงานต้องแจ้งแก่ทางราชการทราบ ได้แก่ โรงงานบางประเภทที่ใช้เครื่องจักรไม่เกิน 50 แรงม้า และคนงานไม่เกิน 50 คน

- **โรงงานจำพวกที่ 3** หมายถึง โรงงานขนาดใหญ่ที่มีปัญหามลพิษ หรือที่มีปัญหาความปลอดภัย และผู้ประกอบการต้องขออนุญาตก่อนจะตั้งโรงงาน การพิจารณาว่ากิจการของผู้ประกอบการโรงงาน จัดจำแนกอยู่จำพวกใดให้ตรวจสอบดูจากบัญชีท้ายกฎกระทรวงออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 หรือสอบถามได้จากกองควบคุมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม และสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดทุกแห่ง

กฎกระทรวงฉบับที่ 2 กล่าวถึงหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวกับทำเลที่ตั้ง สภาพแวดล้อมลักษณะอาคารและลักษณะภายในโรงงาน ประเด็นสำคัญที่ควรรู้คือ

- บริเวณที่ห้ามตั้งโรงงาน โดยกำหนดห้ามตั้งโรงงานจำพวกที่ 1 และ 2 ในบริเวณที่พักอาศัย⁽¹⁾ และห้ามตั้งภายในระยะ 50 เมตร จากเขตติดต่อสาธารณสถาน⁽²⁾ ห้ามตั้งโรงงานจำพวกที่ 3 ในบริเวณที่พักอาศัย⁽¹⁾ และห้ามตั้งภายในระยะ 100 เมตรจากเขตติดต่อสาธารณสถาน⁽²⁾ อีกทั้งต้องอยู่ในทำเลและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมมีบริเวณเพียงพอที่จะประกอบกิจการอุตสาหกรรมตามขนาดและประเภท หรือชนิดของโรงงานโดยไม่อาจก่อให้เกิดอันตราย เหตุรำคาญหรือความเสียหายต่อบุคคลหรือทรัพย์สินผู้อื่น ทั้งนี้สาธารณสถานในส่วนที่เป็นสถานที่ทำการงานของหน่วยงานของรัฐ ไม่หมายความถึงสถานที่ทำการงานโดยเฉพาะ เพื่อการควบคุม กำกับดูแลอำนวยความสะดวกหรือให้บริการแก่การประกอบกิจการของโรงงานแห่งนั้น ๆ เช่น ห้องปฏิบัติงานวิเคราะห์หรือทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของทางราชการ เป็นต้น

(1) หมายถึง บ้านจัดสรร อาคารชุด และบ้านแถวเพื่อทำการพักอาศัย

(2) หมายถึง โรงเรียนหรือสถาบันการศึกษา วัดหรือศาสนสถาน โรงพยาบาล โบราณสถาน และสถานที่ทำการของหน่วยงานของรัฐ และให้ความรวมถึงแหล่งอนุรักษ์ทรัพยากร ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมตามที่คณะรัฐมนตรีกำหนด

- อาคารโรงงานต้องมั่นคง แข็งแรง และภายในโรงงานต้องมีบริเวณเพียงพอ โดยมีคำรับรองของผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม มีการระบายอากาศที่ดี มีประตูหรือทางออกที่เพียงพอ ระยะตั้งระหว่างพื้นถึงเพดานโดยเฉลี่ย ต้องไม่น้อยกว่า 3 เมตร แต่ถ้ามีระบบปรับอากาศหรือการระบายอากาศที่เหมาะสม อาจลดระยะดังกล่าวได้ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2.30 เมตร

- ตัวพื้นโรงงานต้องมั่นคง แข็งแรง ไม่ลื่น บริเวณหรือห้องทำงานต้องมีเนื้อที่ไม่น้อยกว่า 3 ตารางเมตร ต่อคนต้องจัดให้มีห้องสุขา และห้องน้ำที่ถูกลักษณะ

- เครื่องจักร และเครื่องอุปกรณ์ที่ใช้ต้องมั่นคง แข็งแรง ปลอดภัย โดยมีวิศวกรรับรองและไม่ก่อความเสียหาย เสี่ยง หรือคลื่นวิทยุรบกวนผู้อาศัยข้างเคียง

- หม้อน้ำ (Boiler) เครื่องอัดแก๊ส (Compressor) ภาชนะบรรจุความดัน (Pressure vessel) ถังปฏิกรณ์ (Reactor) ต้องได้มาตรฐาน โดยมีวิศวกรรับรอง

- ภาชนะบรรจุวัตถุอันตรายตั้งแต่ 25,000 ลิตรขึ้นไป ต้องมั่นคง แข็งแรง และได้มาตรฐาน โดยมีวิศวกรรับรอง และต้องมีมาตรการป้องกันการรั่วไหลหรือล้นออก

- ระบบไฟฟ้าทั้งหมด ต้องเป็นไปตามหลักวิชาการ โดยมีวิศวกรรับรอง

- สำหรับโรงงานที่ใช้หม้อไอน้ำ ผู้ประกอบการโรงงานต้องจัดให้มีผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำ และหากหม้อไอน้ำมีขนาดตั้งแต่ 20 ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป ผู้ประกอบการต้องจัดให้มีวิศวกรผู้ควบคุม และอำนวยความสะดวกใช้น้ำเพิ่มเติมน้ำอีกด้วย

- ในเรื่องเกี่ยวกับการควบคุมดูแลระบบบำบัดมลพิษ ผู้ประกอบการต้องจัดให้มีผู้ควบคุมดูแล และผู้ปฏิบัติงานประจำ การควบคุมการปล่อยของเสีย มลพิษ หรือสิ่งใด ๆ ที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม ต้องเป็นไปตามกฎกระทรวงอุตสาหกรรม เช่น มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงาน หรือมาตรการการกำจัดกากสารพิษอุตสาหกรรมเป็นต้น ตลอดจนให้ผู้ประกอบการต้องติดตั้งมาตรวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียโดยเฉพาะ และการบันทึกปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียทุกวัน จะได้เห็นว่ากฎกระทรวงฉบับนี้ ได้เน้นให้ภาคเอกชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิศวกรเข้ามามีส่วนร่วมในการรับผิดชอบต่อโรงงาน และสังคมมากยิ่งขึ้น ผู้ฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามกฎกระทรวงฉบับนี้ต้องระวางโทษปรับไม่เกิน 200,000 บาท ยกเว้นที่เกี่ยวกับความผิดที่ฝ่าฝืนไม่จัดให้มีเอกสารที่จำเป็นประจำโรงงานเพื่อประโยชน์ในการควบคุมหรือตรวจสอบการปฏิบัติตามกฎหมายต้องระวางโทษปรับไม่เกินสองหมื่นบาท

กฎกระทรวงฉบับที่ 3 กล่าวถึง หน้าที่ของผู้ประกอบการโรงงานที่ต้องจัดส่งรายงานข้อมูลการตรวจสอบต่าง ๆ ทางด้านสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย ซึ่งเกี่ยวข้องกับหม้อไอน้ำ ระบบบำบัดมลพิษ สารกัมมันตรังสี และสารวัตถุอันตราย ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 หากไม่ปฏิบัติตามต้องระวางโทษปรับไม่เกิน 20,000 บาท

กฎกระทรวงฉบับที่ 4 กล่าวถึงขั้นตอนที่โรงงานจำพวกที่ 2 ต้องแจ้งเริ่มประกอบกิจการโรงงาน สำหรับโรงงานที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานครนั้น ให้แจ้งที่กองควบคุมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนที่ตั้งอยู่ต่างจังหวัดให้แจ้งที่สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนั้น ๆ โดยใช้แบบ ร.ง. 1 และเมื่อพนักงานเจ้าหน้าที่ได้รับแจ้งแล้ว จะออกใบรับแจ้งตาม ร.ง. 2 โรงงานก็สามารถประกอบกิจการได้ทันที ผู้ฝ่าฝืนไม่แจ้งให้พนักงานเจ้าหน้าที่ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 6 เดือนหรือปรับไม่เกิน 50,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

กฎกระทรวงฉบับที่ 5 กล่าวถึง ขั้นตอนการขออนุญาตของโรงงานจำพวกที่ 3 โดยให้ใช้แบบ ร.ง. 3 สำหรับการขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานหรือใบอนุญาตขยายโรงงานหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เมื่อจะขออนุญาตตั้งหรือขยายโรงงานนั่นเอง

- เมื่อใบอนุญาตหมดอายุลง (อายุใบอนุญาตไม่เกิน 5 ปี) ให้นำใบอนุญาตเดิมมาแสดงพร้อมทั้งยื่นคำขอใบอนุญาตตามแบบ ร.ง. 3/1

- ส่วนการขอรับโอนกิจการให้ใช้แบบ ร.ง. 3/2

- แบบ ร.ง. ทั้งหลายที่กล่าวมาให้โรงงานในเขตกรุงเทพมหานคร ยื่นคำขอ 2 ชุดต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนในต่างจังหวัดให้ยื่น 3 ชุด ต่อสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนั้น ๆ

- การยื่นต่ออายุให้ชำระค่าธรรมเนียมพร้อมกัน และหากยื่นหลังจากใบอนุญาตหมดอายุลงแล้ว แต่ไม่เกิน 60 วัน จะต้องเสียค่าปรับเพิ่มอีก 20 เปอร์เซ็นต์

- ใบอนุญาตทั้งหลายจะรวมอยู่ในเล่มเดียวกันเรียกชื่อว่า ร.ง. 4

- กฎกระทรวงนี้มีข้อเด่นพิเศษอยู่ที่ว่าการพิจารณาอนุญาตต้องให้เสร็จภายใน 90 วัน หากเอกสารและเรื่องราวทุกอย่างต้องเรียบร้อย ซึ่งจะทำให้ผู้ประกอบการโรงงานสามารถวางแผนโครงการได้อย่างถูกต้องชัดเจน ส่วนผู้ใดที่ประกอบกิจการโรงงานโดยไม่ได้รับอนุญาตต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินสองปีหรือปรับไม่เกิน 200,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ และเมื่อประสงค์จะเริ่มประกอบกิจการโรงงานในส่วนหนึ่งส่วนใด ต้องแจ้งให้พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบไม่น้อยกว่า 15 วัน ก่อนเริ่มประกอบกิจการโรงงาน หากผู้ใดไม่ปฏิบัติตามต้องระวางโทษปรับไม่เกิน 20,000 บาท

กฎกระทรวงฉบับที่ 6 กล่าวถึงการแจ้งทดลองเดินเครื่องจักรได้ไม่เกิน 60 วัน (ถ้าเกิน 60 วัน ต้องขออนุญาตเป็นกรณีพิเศษ) การแจ้งในกรุงเทพมหานครให้แจ้งต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม ในจังหวัดอื่นให้แจ้งต่อสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัด ทั้งนี้ต้องก่อนล่วงหน้าไม่น้อยกว่า 15 วัน และในระหว่างการทดลองเดินเครื่องจักรผู้ประกอบการต้องจัดทำบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการผลิต และเก็บรักษาไว้ในโรงงานสำหรับตรวจสอบต่อไป หากผู้ใดไม่ปฏิบัติตามต้องระวางโทษปรับไม่เกิน 20,000 บาท

กฎกระทรวงฉบับที่ 7 กล่าวถึง ค่าธรรมเนียมต่าง ๆ เริ่มตั้งแต่ค่าขอฉบับละ 10 บาท ค่าธรรมเนียมใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานหรือใบอนุญาตขยายโรงงาน หรือต่ออายุ อยู่ในช่วงตั้งแต่ 500 บาท จนถึง 60,000 บาท ทั้งนี้ขึ้นกับว่าโรงงานนั้นใช้คนงานอย่างเดียวหรือใช้เครื่องจักรจำนวนเท่าใด รายละเอียดให้ดูจากกฎกระทรวงฉบับที่ 7

กฎกระทรวงฉบับที่ 8 กล่าวถึง ค่าธรรมเนียมรายปีที่โรงงานจำพวกที่ 2 และ 3 ต้องชำระล่วงหน้า โดยนับตั้งแต่วันเริ่มประกอบกิจการโรงงาน สำหรับผู้ที่ประกอบกิจการโรงงานจำพวกที่ 2 และ 3 อยู่แล้วในวันที่กฎกระทรวงนี้ใช้บังคับ ให้ชำระค่าธรรมเนียมรายปีสำหรับการประกอบกิจการตั้งแต่วันที่ 9 กรกฎาคม 2535 จนถึงวันที่ต้องชำระค่าธรรมเนียมรายปีสำหรับ พ.ศ. 2536 รวมกับค่าธรรมเนียมล่วงหน้าอีก 1 ปี ทั้งนี้ได้นำไปรับแจ้งการประกอบกิจการโรงงานหรือใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานแล้วแต่กรณีไปแสดงด้วย ยกเว้นโรงงานที่ตั้งอยู่ในเขตประกอบการอุตสาหกรรม หรือในเขตนิคมอุตสาหกรรมโรงงานในกรุงเทพมหานครให้ชำระที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม ในจังหวัดอื่นให้ชำระที่สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดและในเขตนิคมอุตสาหกรรมให้ชำระที่การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย หรือสำนักงานเขต ค่าธรรมเนียมรายปีจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 150 บาท จนถึง 18,000 บาท ขึ้นกับการใช้คนงานหรือเครื่องจักรจำนวนแรงแม้เท่าใด รายละเอียดให้ดูจากกฎกระทรวงฉบับที่ 8

ตัวอย่าง การคิดค่าธรรมเนียมรายปี สำหรับโรงงานที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการโรงงานก่อนวันที่ 9 กรกฎาคม 2535 (วันที่พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 มีผลใช้บังคับ)

สมมติโรงงาน ก. ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการโรงงานตั้งแต่วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2530 (คือก่อนวันที่ 9 กรกฎาคม 2535) ขนาดเครื่องจักร 150 แรงม้า อัตราค่าธรรมเนียมรายปี 1,500 บาท

ในวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2536 โรงงาน ก. ต้องชำระค่าธรรมเนียมรายปี ตั้งแต่วันที่ 9 กรกฎาคม 2535 จนถึงวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2536 (= 209 วัน) เป็นเงิน

$$\frac{209}{365} \times 1,500 = 858.90 \text{ บาท} \quad \text{รวมกับค่าธรรมเนียมล่วงหน้าอีก 1 ปี (1,500 บาท)}$$

ดังนั้น โรงงาน ก. ต้องชำระทั้งสิ้น

$$858.90 + 1,500.00 = 2,358.90 \text{ บาท}$$

และวันครบกำหนดชำระครั้งต่อ ๆ ไป คือ วันที่ 2 กุมภาพันธ์ ของทุกปี และสมมติว่าเมื่อครบกำหนดชำระค่าธรรมเนียมรายปีครั้งต่อไป คือ วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2537 ปรากฏว่าโรงงาน ก. มาชำระวันที่ 10 เมษายน 2537 ดังนั้น โรงงาน ก. ต้องชำระค่าธรรมเนียมรายปี 1,500 บาท รวมกับเงินเพิ่ม (เป็นค่าปรับเนื่องจากมาชำระล่าช้าเลยกำหนด) อีก 5 เปอร์เซ็นต์ ของค่าธรรมเนียมต่อเดือน ระยะเวลาที่คิดเงินเพิ่มคือ ตั้งแต่วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2537 ถึง 10 เมษายน 2537 = 67 วัน เป็นเงิน

$$\frac{67}{30} \times 1,500 \times 0.05 = 167.50 \text{ บาท}$$

$$\text{โรงงาน ก. จึงต้องชำระทั้งสิ้น } 1,500 + 167.50 = 1,667.50 \text{ บาท}$$

ตัวอย่างดังกล่าวอาจก่อให้เกิดความยุ่งยากอยู่บ้าง แต่ถ้าหากผู้ประกอบการชำระตามกำหนดก็จะหลีกเลี่ยงเรื่องดังกล่าวไปได้ ดังนั้น ขอแนะนำคือ ให้จดจำหรือบันทึกวันที่โรงงานได้รับอนุญาตให้เริ่มประกอบกิจการโรงงาน (วันเริ่มเดินเครื่องจักร) ซึ่งจะเป็นวันที่ผู้ประกอบการต้องไปชำระค่าธรรมเนียมของทุกปีนั่นเอง และข้อพึงระวังคือ หากผู้ประกอบการไม่ยินยอมเสียค่าธรรมเนียมรายปีโดยไม่มีเหตุอันสมควร พนักงานเจ้าหน้าที่มีอำนาจสั่งให้ผู้นั้นหยุดการประกอบกิจการไว้ได้จนกว่าจะได้เสียค่าธรรมเนียม และเงินเพิ่มจนครบจำนวน

9.4 มาตรฐานความปลอดภัยตามกฎหมายโรงงาน

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2512) ออกตามความพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 เรื่อง หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 39 แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการที่ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานทุกประเภทหรือชนิดมีหน้าที่กระทำการไว้ดังต่อไปนี้

หลักเกณฑ์และวิธีการทั่วไป

หมวดที่ 1 การรักษาโรงงานและเครื่องจักร ออกโดยอาศัยอำนาจตามความใน (1) แห่งมาตรา 39

ข้อ 1 ต้องจัดให้มีการตรวจสอบสภาพอาคารโรงงานและเครื่องจักรเป็นประจำและต้องบำรุงรักษาหรือซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพที่มั่นคงแข็งแรงและปลอดภัยเหมาะแก่การใช้เช่นเดียวกับสภาพที่ได้รับอนุญาตไว้

ข้อ 2 ต้องรักษาทางเดินและพื้นที่ปฏิบัติงานให้สะอาด เรียบสม่ำเสมอไม่ลื่น และแห้ง เว้นแต่บริเวณที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้

ข้อ 3 ต้องรักษาราวกั้น บันได และพื้นหรือทางเดินที่อยู่สูงจากระดับพื้นโรงงานตั้งแต่ 2.50 เมตร ขึ้นไปให้อยู่ในสภาพที่มั่นคงแข็งแรงอยู่เสมอ

ข้อ 4 ต้องเก็บรักษาและจัดวาง วัตถุหรือสิ่งต่าง ๆ ให้เป็นระเบียบเรียบร้อย ไม่เกะกะกีดขวางทางเดินหรือการปฏิบัติงาน อันจะก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้

ข้อ 5 ต้องดูแลและรักษาทางออกและบันไดฉุกเฉินให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะหลบภัยออกไปได้ทันทีเมื่อมีเหตุฉุกเฉินเกิดขึ้น

หมวดที่ 2 ทางออกฉุกเฉินในโรงงาน

ออกโดยอาศัยอำนาจตามความใน (2) แห่งมาตรา 39

ข้อ 6 ทางออกฉุกเฉินต้องมีขนาดกว้างไม่น้อยกว่า 110 เซนติเมตร แต่ถ้ากรณีผู้ที่จะต้องออกตามทางนี้มากกว่า 50 คน ก็ให้ดูแลให้กว้างเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนไม่น้อยกว่า 2 เซนติเมตรต่อ 1 คน

ข้อ 7 ต้องดูรักษาให้ประตูทางออกฉุกเฉินอยู่ในสภาพที่คนงานจะเปิดผลักออกได้โดยง่ายตลอดเวลาที่มีการปฏิบัติงาน

ข้อ 8 ต้องดูแลรักษาให้มีแสงสว่างให้เพียงพอ และไม่ให้มีสิ่งกีดขวางที่ทางออกหรือบันไดฉุกเฉิน หรือทางซึ่งจะมีผู้ใช้ในการออกฉุกเฉิน

ข้อ 9 ทางออกฉุกเฉินของโรงงานที่มีคนปฏิบัติงานตั้งแต่ 50 คน ขึ้นไป ต้องจัดให้มีระบบแสงสว่างทดแทนในกรณีระบบไฟฟ้าประจำ ซึ่งให้แสงสว่างอยู่เสีย ทั้งนี้ในขนาดและจำนวนที่เพียงพอแก่การออกฉุกเฉิน

ข้อ 10 ทางออกหรือบันไดฉุกเฉินที่มีได้ใช้เป็นทางเดินประจำ ต้องจัดและดูแลรักษาให้มีป้ายหรือเครื่องหมายที่เห็นได้ชัดเจนให้คนงานทราบว่าเป็นทางออกหรือบันไดฉุกเฉินอยู่ตลอดเวลา

หมวดที่ 3 สัญญาณแจ้งเหตุอันตราย

ออกโดยอาศัยอำนาจตามความใน (3) แห่งมาตรา 39

ข้อ 11 โรงงานที่มีแก๊สอันอาจเป็นอันตรายต่อบุคคล หรือโรงงานที่มีวัสดุไวไฟที่มีคนปฏิบัติงานตั้งแต่ 50 คนขึ้นไป หรือโรงงานที่มีวัสดุอันอาจติดไฟได้ง่าย ที่มีคนปฏิบัติงานตั้งแต่ 100 คนขึ้นไป ต้องจัดให้มีเครื่องสัญญาณแจ้งเหตุอันตราย ซึ่งให้สัญญาณได้ชัดเจนและพอเพียงที่จะให้คนที่อยู่ในเขตอันตรายออกพ้นเขตอันตรายได้ทันที และแจ้งให้ผู้มีหน้าที่รับทราบถึงเหตุอันตรายได้โดยเร็ว

ข้อ 12 ต้องจัดให้มีสัญญาณแจ้งเหตุอันตราย ณ ที่ต่างกันอย่างน้อย 2 แห่ง ที่ให้สัญญาณแจ้งเหตุอันตรายต้องอยู่ในที่ปลอดภัยจากอันตราย อันอาจเกิดขึ้นได้ตามข้อข้างต้น และอยู่ในตำแหน่งที่คนจะเข้าไปใช้เครื่องสัญญาณแจ้งเหตุอันตรายได้โดยสะดวกและรวดเร็ว

ข้อ 13 เครื่องให้สัญญาณแจ้งเหตุอันตรายตามข้อข้างต้น ต้องเป็นชนิดที่ให้สัญญาณโดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากระบบส่องสว่าง และที่ใช้กับเครื่องจักร

หมวดที่ 4 เครื่องดับเพลิงหรือสิ่งที่ใช้ในการดับเพลิงและการป้องกันอัคคีภัย

ออกโดยอาศัยอำนาจตามความใน (4) แห่งมาตรา 39

ข้อ 14 การประกอบกิจการโรงงานอันอาจก่อให้เกิดอัคคีภัยได้ อาคารโรงงานหรือโรงเก็บที่สร้างด้วยวัสดุที่อาจติดไฟได้ การเก็บวัสดุที่อาจติดไฟได้ต้องมีเครื่องดับเพลิงที่เหมาะสมตามสภาพขนาดและลักษณะของโรงงานนั้น ๆ ประจำไว้ในที่ต่าง ๆ กันในบริเวณโรงงานให้หยิบใช้ได้โดยสะดวก ทั้งนี้ต้องไม่น้อยกว่า 1 เครื่อง ต่อพื้นที่ 100 ตารางเมตร เศษของ 100 ตารางเมตร ให้นับเป็น 100 ตารางเมตร

ข้อ 15 เครื่องดับเพลิง 1 เครื่อง หมายถึงเครื่องดับเพลิงหรือเครื่องอื่นที่ใช้ในการดับเพลิงครั้งต่อไปนี้

- (1) เครื่องดับเพลิงชนิดกรด-โซดา หรือชนิดฉีดน้ำด้วยแก๊สขนาดบรรจุไม่น้อยกว่า 10 ลิตร
- (2) เครื่องดับเพลิงชนิดฟองแก๊ส ขนาดบรรจุไม่น้อยกว่า 10 ลิตร
- (3) เครื่องดับเพลิงชนิดคาร์บอนไดออกไซด์ ขนาดบรรจุไม่น้อยกว่า 5 กิโลกรัม
- (4) เครื่องดับเพลิงชนิดผงเคมีแห้ง ขนาดบรรจุไม่น้อยกว่า 5 กิโลกรัม

ข้อ 16 เครื่องดับเพลิงเคมีต้องเป็นชนิดที่เหมาะสมกับชนิดของไฟที่อาจเกิดขึ้น ดังนี้

- (1) ชนิดกรด-โซดา หรือชนิดฉีดน้ำด้วยแก๊ส ใช้ดับไฟธรรมดา เช่น ไฟที่เกิดจากไม้ กระดาษ ผ้า ห้ามใช้กับไฟที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า น้ำมันต่าง ๆ อัลกอฮอล์ อะซิโตน หรือ คัลเซียมคาร์ไบด์
- (2) ชนิดฟองแก๊ส ใช้ดับไฟธรรมดาและไฟที่เกิดจากน้ำมันต่าง ๆ อัลกอฮอล์หรือ อะซิโตน ห้ามใช้กับไฟที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือคัลเซียมคาร์ไบด์
- (3) ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้กับไฟทุกชนิด ซึ่งไม่ได้เกิดในที่ที่มีลมแรงหรือที่โล่ง
- (4) ชนิดผงเคมีแห้งใช้ดับไฟได้ทุกชนิด

ข้อ 17 เครื่องดับเพลิงต้องอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ และต้องจัดให้มีการบันทึกการเติมหรือการเปลี่ยนแปลงเคมีภัณฑ์กับการตรวจสอบความจำเป็นและตามข้อแนะนำของผู้ผลิต แต่การตรวจสอบนั้นต้องกระทำไม่น้อยกว่า 6 เดือนต่อหนึ่งครั้ง

ข้อ 18 ต้องจัดให้มีการฝึกซ้อมคนงานให้รู้จักวิธีใช้เครื่องดับเพลิง และทราบวิธีปฏิบัติเมื่อเกิดอัคคีภัย

หมวดที่ 5 การกำจัดสิ่งปฏิกูล การระบายน้ำทิ้งและการระบายอากาศ

ออกโดยอาศัยอำนาจตามความใน (6) แห่งมาตรา 39

ข้อ 19 ต้องรักษาโรงงานให้สะอาดปราศจากสิ่งปฏิกูลอยู่เสมอ และจัดให้มีที่รองรับหรือที่กำจัดสิ่งปฏิกูลตามความจำเป็นและเหมาะสม

ข้อ 20 ต้องแยกเก็บสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ซึ่งมีวัตถุมีพิษปนอยู่ด้วยหรือสำลีผ้า หรือเศษด้ายที่เป็นอันตรายไว้ไฟ ไว้ในที่รองรับต่างหากที่เหมาะสมและมีฝาปิดมิดชิดและต้องจัดให้มีการกำจัดสิ่งดังกล่าวโดยเฉพาะด้วยวิธีการที่ปลอดภัยและไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ

ข้อ 21 ต้องดูแลรักษาระบบระบายน้ำทิ้งให้อยู่ในสภาพเรียบร้อยและมีประสิทธิภาพ

ข้อ 22 ห้ามมิให้ระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงาน เว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างให้มีลักษณะดังต่อไปนี้

- (1) ค่าของความเป็นกรด ด่าง (Ph value) ระหว่าง 5 ถึง 9
- (2) ค่าของเปอร์มันганเต (Permanganate value) ไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (3) สารที่ละลายได้ (Dissolved Solids) รวมกันไม่มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (4) ซัลไฟด์คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (5) ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (6) สังกะสี โคโรเนียม อาร์เซนิก เงิน ทองแดง ปรัช แคดเมียม บารีียม เซเลเนียม ตะกั่ว รวมกันหรือแต่ละอย่างไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (7) น้ำมันทาร์ (Tar) ไม่มีเลย
- (8) น้ำมันและไขมัน (Oil & Gresols) ไม่มีเลย ความใน (8) ของข้อ 22 นี้ ถูกยกเลิกและใช้ข้อความใหม่แทนแล้วโดยข้อ 2 แห่งประกาศฯ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2522)
- (9) ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (10) ฟีนอลและหรือครีโซลส์ (Phenols & Gresols) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (11) คลอรีนอิสระ (Free chlorine) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (12) ยาฆ่าแมลง (Insecticide) สารกัมมันตรังสี ไม่มีเลย
- (13) ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำในน้ำสาธารณะอยู่ระหว่าง 1 ต่อ 8 ถึง 1 ต่อ 150 สารที่ลอยเจือปนอยู่ต้องไม่มากกว่า 30 ส่วนใน 1,000,000 ส่วน ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำในน้ำสาธารณะอยู่ระหว่าง 1 ต่อ 151 ถึง 1 ต่อ 300 สารที่ลอยเจือปนอยู่ต้องไม่มากกว่า 60 ส่วนใน 1,000,000 ส่วน ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำในน้ำสาธารณะอยู่ระหว่าง 1 ต่อ 151 ถึง 1 ต่อ 300 สารที่ลอยเจือปนอยู่ต้องไม่มากกว่า 150 ส่วนใน 1,000,000 ส่วน
- (14) ค่าของ บี.โอ.ดี (5 วันที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้แล้ว แต่ภูมิประเทศหรือลักษณะการระบายตามที่พนักงานเจ้าหน้าที่เห็นสมควร แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร (บี.โอ.ดี. หรือ B.O.D. ย่อมาจาก Biochemical Oxygen Demand)
- (15) อุณหภูมิของน้ำทิ้งที่ระบายลงสู่ลำน้ำสาธารณะไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส
- (16) สีหรือกลิ่นของน้ำทิ้งเมื่อระบายน้ำลงสู่ลำน้ำสาธารณะแล้ว ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

ข้อ 23 ในกรณีที่จะระบายน้ำทิ้งจากโรงงานสู่ทะเลหรือสู่ท่อสาธารณะโดยตรง ให้เป็นไปตามที่พนักงานเจ้าหน้าที่จะเห็นสมควร

ข้อ 24 ต้องจัดให้มีการระบายอากาศที่เหมาะสม โดยให้มีพื้นที่ ประตู หน้าต่าง และช่องลมรวมกัน โดยไม่นับที่ติดต่อกันระหว่างห้องไม่น้อยกว่า 1 ใน 10 ส่วน ของพื้นที่ของห้องในเวลาปฏิบัติงาน หรือมีการระบายอากาศไม่น้อยกว่า 0.5 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อคนงาน 1 คน ทั้งนี้สำหรับโรงงานโดยทั่วไปที่ไม่มีการเก็บหรือการใช้วัตถุดิบพิษ วัตถุเคมี วัตถุระเบิด หรือวัตถุอื่นที่อาจเป็นอันตรายหรือที่อาจเป็นฝุ่นละออง

ข้อ 25 ในการปฏิบัติงานเป็นครั้งคราวในที่อับซึ่งอากาศไม่ถ่ายเท ต้องใช้เครื่องช่วยในการหายใจหรือเครื่องระบายอากาศที่ดีช่วยในการปฏิบัติงานของคนงาน และอย่างน้อยต้องมีคนหนึ่งประจำอยู่ปากทางเข้าออกที่อับ สำหรับคอยให้ความช่วยเหลืออยู่ตลอดเวลา

หมวดที่ 6 แสงสว่างในการทำงาน

ออกโดยอาศัยอำนาจตามความใน (7) แห่งมาตรา 39

ข้อ 26 ต้องจัดให้มีแสงสว่างให้เพียงพอแก่การทำงานให้ทั่วถึง สามารถมองเห็นสิ่งกีดขวางและส่วนที่อาจเกิดอันตรายจากการเคลื่อนไหวของเครื่องจักรหรืออันตรายจากไฟฟ้า ตลอดจนบันไดขึ้นลงและทางออกในเวลามีเหตุฉุกเฉินโดยชัดเจน

ข้อ 27 ต้องป้องกันมิให้มีแสงตรงหรือแสงสะท้อนส่องเข้าตาในการปฏิบัติงาน

ข้อ 28 ต้องจัดให้มีแสงสว่างในการทำงาน ณ ที่ปฏิบัติงานหรือจุดปฏิบัติงานตามหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

(1) ลาน ถนน และทางเดินนอกอาคารโรงงาน ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 20 ลักซ์ (Lux) หรือ ฟุต-แคนเดิล (Foot Candle)

(2) บริเวณที่การปฏิบัติงานไม่ต้องการความละเอียด เช่น การขนย้ายวัสดุ การคัดเลือกวัสดุอย่างหยาบ ๆ การบดดิน หิน หรือวัสดุที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันและบริเวณทางเดินในอาคารโรงงาน ระเบียง บันได ห้องเก็บของโดยทั่วไป ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 50 ลักซ์

(3) บริเวณที่การปฏิบัติงานต้องการความละเอียดเล็กน้อย เช่น การผลิตผลิตภัณฑ์เหล็ก หรือเหล็กกล้าสำเร็จ การประกอบชิ้นงานอย่างหยาบ ๆ การสีข้าว การสา่งฝ้าย หรือการปฏิบัติงานขั้นแรกในกระบวนการอุตสาหกรรมต่าง ๆ และบริเวณห้องเครื่อง ห้องหม้อน้ำ ลิฟต์ ห้องบรรจุหีบห่อ ห้องเก็บวัสดุหรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเล็ก ๆ ห้องผลิตเครื่องแต่งกาย ห้องน้ำและห้องส้วม ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 100 ลักซ์

(4) บริเวณที่การปฏิบัติงานต้องการความละเอียดปานกลาง เช่น การประกอบชิ้นงานที่มีความละเอียดปานกลาง การกลึงหรือแต่งโลหะอย่างหยาบ ๆ การตรวจพินิจอย่างหยาบ ๆ การเย็บผ้าหรือหนังที่มีสีอ่อน การบรรจุอาหารกระป๋อง การไสไม้ การทำไม้แผ่นบาง (Veneering) ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 200 ลักซ์

(5) บริเวณที่การปฏิบัติงานต้องการความละเอียด เช่น การกลึงหรือแต่งโลหะที่ต้องการความละเอียดปานกลาง การตรวจพินิจหรือ ทดสอบที่ต้องการความละเอียดปานกลาง การแต่งผิวหนังสัตว์ การทอผ้าฝ้าย หรือผ้าขนสัตว์ที่มีสีอ่อน งานหนังสือ ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 300 ลักซ์

(6) บริเวณที่การปฏิบัติงานต้องการความละเอียดมาก และชิ้นงานมีขนาดเล็กและละเอียด เช่น การเจาะ เจียรไน หรือแต่งชิ้นงานที่ต้องการความละเอียดมาก การประกอบชิ้นส่วนที่มีความละเอียดมากแต่มีลักษณะสีต่างกันพอสังเกตเห็นได้ชัด การตรวจสอบอย่างละเอียด การทอผ้าที่มีสีคล้ำ ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 500 ลักซ์

(7) บริเวณที่มีการปฏิบัติงานต้องการความละเอียดเป็นพิเศษ หรือเมื่อมีการปฏิบัติงานติดต่อกันเป็นระยะเวลานานที่ชิ้นงานมีขนาดเล็กละเอียด และลักษณะสีสันทันไม่แตกต่างกันนัก เช่น การประกอบเครื่องจักรที่มีความละเอียดสูง การประกอบนาฬิกา การทดสอบเครื่องที่มีความละเอียดสูง การเจียรไนเพชร พลอย การเรียงพิมพ์ การเย็บผ้าที่มีสีคล้ำ ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 1,000 ลักซ์

หมวดที่ 7 การจัดสถานที่ทำงาน

ออกโดยอาศัยอำนาจตามความใน (8) แห่งมาตรา 39

ข้อ 29 ต้องจัดให้มีพื้นที่ปฏิบัติงานไม่น้อยกว่า 3 ตารางเมตร ต่อคนงานหนึ่งคน การคำนวณพื้นที่ที่ใช้วางโต๊ะปฏิบัติงาน เครื่องจักร และผลิตภัณฑ์หรือวัสดุที่เคลื่อนไปตามกระบวนการผลิตด้วย

หมวดที่ 8 เครื่องมือในการปฐมพยาบาล

ออกโดยอาศัยอำนาจตามความในมาตรา (9) แห่งมาตรา 39

ข้อ 30 เครื่องมือในการปฐมพยาบาลตลอดจนอุปกรณ์ ต้องอยู่ในสภาพที่สะอาด ถูกสุขลักษณะ พร้อมทั้งจะใช้งานได้ทันที อย่างน้อยตามรายการดังต่อไปนี้

- (1) กรรไกร
- (2) ปากคีบปลายท่อ
- (3) สายยางรัดห้ามเลือด
- (4) ปกรวดไข้
- (5) ถ้วยตวงยา
- (6) ถ้วยน้ำ
- (7) ถ้วยล้างตา
- (8) ผ้ายางปาสเตอร์
- (9) ผ้าพันแผล
- (10) สำลีที่ฆ่าเชื้อโรคแล้ว
- (11) ยาแดง
- (12) ยาเหลือง
- (13) ทิงเจอร์ไอโอดีน
- (14) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
- (15) เชริลอัลกอฮอล์
- (16) แอมโมเนียหอม
- (17) ทิงเจอร์ฝืนการบูร
- (18) ยาแก้ปวดหัวตัวร้อน
- (19) ยาแก้ไฟไหม้น้ำร้อนลวก
- (20) น้ำโบรிகสำหรับล้างตา

หมวดที่ 9 ส้วม ที่ปัสสาวะ และสถานที่ทำความสะอาดร่างกาย

ออกโดยอาศัยอำนาจตามความเป็น (10) แห่งมาตรา 39

ข้อ 31 ต้องจัดให้มีห้องส้วม และที่ปัสสาวะ ที่มีลักษณะที่จะรักษาความสะอาดได้ง่ายเรียบร้อย

ข้อ 32 ต้องจัดให้มีห้องส้วมอย่างน้อยในอัตรา คนงานไม่เกิน 40 คน 2 ที่นั่ง คนงานไม่เกิน 80 คน 3 ที่นั่ง และเพิ่มขึ้นต่อจากนี้ในอัตรา 1 ที่นั่งต่อจำนวนคนงานไม่เกิน 50 คน สำหรับโรงงานที่มีคนงานชายและคนงานหญิงรวมกันมากกว่า 15 คน ให้จัดส้วมเป็นสัดส่วนไว้สำหรับคนงานหญิงโดยเฉพาะตามสมควร

ข้อ 33 อาคารโรงงานที่มีคนงานอยู่หลายชั้น ต้องจัดให้มีห้องส้วมและที่ปัสสาวะในชั้นต่าง ๆ ตามความจำเป็นและเหมาะสม

ข้อ 34 ห้องส้วมที่มีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 1.5 ตารางเมตร ต่อ 1 ที่นั่ง

ข้อ 35 ห้องส้วมที่มีที่ปัสสาวะต้องเป็นแบบใช้น้ำชำระลงบ่อซึม พื้นห้องต้องเป็นแบบไม่ดูดน้ำ

ข้อ 36 ต้องจัดให้มีกระดาษชำระหรือน้ำสำหรับชำระให้พอเพียงสำหรับห้องส้วมทุกห้อง

ข้อ 37 ต้องจัดให้มีสถานที่ทำความสะอาดร่างกาย พร้อมทั้งวัสดุและอุปกรณ์สำหรับคนงานตามความจำเป็นและเหมาะสม

ข้อ 38 ต้องจัดให้มีการระบายถ่ายเทอากาศให้พอเพียงสำหรับห้องส้วม ห้องปัสสาวะ และสถานที่ทำความสะอาดร่างกายทุกห้อง

ข้อ 39 ต้องจัดให้มีการทำความสะอาดห้องส้วม ที่ปัสสาวะ และสถานที่ทำความสะอาดร่างกายให้อยู่ในสภาพที่ถูกต้องลักษณะเป็นประจำทุกวัน

ข้อ 40 ในโรงงานที่มีการผลิตสิ่งที่ใช้บริโภค ต้องจัดให้มีที่ล้างมือ ยาฆ่าเชื้อ หรือสบู่อันได้สุลักษณะ และต้องอยู่ในที่ที่เหมาะสมอย่างน้อยในอัตรา คนงานไม่เกิน 15 คน 1 ที่ คนงานไม่เกิน 40 คน 2 ที่ คนงานไม่เกิน 80 คน 3 ที่ และเพิ่มขึ้นต่อจากนี้ในอัตราส่วน 1 ที่ ต่อจำนวนคนงานไม่เกิน 50 คน

หมวดที่ 10 น้ำสะอาดสำหรับดื่ม

ออกโดยอาศัยอำนาจตามความใน (11) แห่งมาตรา 39

ข้อ 41 ต้องจัดให้มีน้ำสะอาดสำหรับดื่มตามมาตรฐานน้ำบริโภคอย่างพอเพียงไว้เป็นที่ย่างหากลอย่างน้อยในอัตราคนงานไม่เกิน 40 คน 1 ที่ คนงานไม่เกิน 80 คน 2 ที่ และเพิ่มขึ้นต่อจากนี้ในอัตราส่วน 1 ที่ ต่อจำนวนคนงานไม่เกิน 50 คน

ข้อ 42 ต้องจัดหาและรักษาอุปกรณ์การดื่มหรือภาชนะที่บรรจุน้ำดื่มให้พอเพียงและอยู่ในสภาพที่สะอาดถูกต้องลักษณะ

ประกาศ ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2513

พลโท พ. ปุณณกันต์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2514)ออกตามความพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2512
เรื่อง หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 39 แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการที่ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานทุกประเภทหรือชนิด มีหน้าที่กระทำการต่อจากที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2513) ลงวันที่ 24 กรกฎาคม 2513 ดังต่อไปนี้

หลักเกณฑ์และวิธีการทั่วไป

หมวดที่ 11 การกำจัดสิ่งปฏิกูล การระบายน้ำทิ้งและการระบายอากาศ

ออกโดยอาศัยอำนาจตามความใน (5) แห่งมาตรา 39

ข้อ 1 ต้องจัดโรงงานให้สะอาดปราศจากสิ่งสกปรก รกรุงรัง และให้ถูกสุขลักษณะและอนามัยตามสภาพของโรงงานแต่ละประเภทหรือชนิด

หมวดที่ 12 การป้องกันอุบัติเหตุหรืออันตรายจากเครื่องจักร เครื่องมือเครื่องเคลื่อนย้าย หยิบยก หรือลำเลียงวัสดุ สายไฟฟ้า ท่อไอน้ำ หรือวัตถุอันเป็นสื่อส่งกำลังในโรงงาน

ออกโดยอาศัยอำนาจตามความในมาตรา (12) แห่งมาตรา 39

ข้อ 2 เครื่องจักรใดที่ผู้ผลิตได้ติดเครื่องป้องกันอันตรายไว้เพื่อความปลอดภัย หรือมีเครื่องจักรป้องกันอันตรายอยู่ในวันตรวจโรงงานและเครื่องจักร ตามมาตรา 12 ต้องดูแลรักษาเครื่องป้องกันอันตรายของเครื่องจักรดังกล่าวให้อยู่ในสภาพเช่นนั้นเสมอ

ข้อ 3 ชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่มีการเคลื่อนไหวอันอาจจะเป็นอันตรายต้องมีเครื่องป้องกันอันตรายที่มั่นคงแข็งแรง และห้ามถอดย้าย เปลี่ยนแปลงหรือซ่อมเครื่องป้องกันอันตรายรวมทั้งอุปกรณ์และกลไกของเครื่องป้องกันอันตรายในขณะที่เครื่องจักรมีการเคลื่อนไหว

ข้อ 4 ไฟลวีลต้องมีฝาครอบหรือตาข่ายเหล็ก ช่องกว้างไม่มากกว่า 5 เซนติเมตรปิดกั้นคนงานหรือสิ่งของกระทบ ไฟลวีล เว้นแต่ในกรณีใดกรณีหนึ่ง ดังต่อไปนี้

(1) ไฟลวีลที่ทำงานปกติ หมุนไม่เร็วกว่า 500 รอบต่อนาที จะจัดให้มีรั้วที่มั่นคงแข็งแรง กั้นสูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 100 เซนติเมตร มีลูกนอนอย่างน้อย 1 ลูกสูงจากพื้นไม่มากกว่า 30 เซนติเมตรและห่างจากไฟลวีลไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตรแทนก็ได้

(2) ไฟลวีลที่สูงจากพื้นปฏิบัติงานหรือทางเดินตลอดตั้งแต่ 250 เซนติเมตร ขึ้นไป ซึ่งมีเครื่องป้องกันอันตราย ก็ต่อเมื่อพนักงานเจ้าหน้าที่ออกคำสั่งเป็นหนังสือให้จัดทำ

(3) ในกรณีที่ต้องใช้คนสอดเพื่อหมุนไฟลวีลเมื่อจะเดินเครื่อง จะจัดให้มีช่องไว้ที่เครื่องป้องกันอันตรายสำหรับสอดคนเข้าไปก็ได้

(4) ในกรณีที่ต้องใช้คนหมุนไฟลวีลเมื่อจะเดินเครื่อง จะจัดให้มีช่องเปิดไว้ที่เครื่องป้องกันอันตราย เพื่อประโยชน์แก่การนั้นก็ได้อีก

ข้อ 5 เครื่องต้นกำลังกลทุกชนิด ยกเว้นเครื่องยนต์ไฟฟ้า ต้องมีเครื่องรักษาระดับความเร็วอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพดี

ข้อ 6 ต้องจัดให้มีวิธีหยุดเดินเครื่องจักรในกรณีฉุกเฉิน จากที่ตั้งอยู่ห่างจากส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องจักรในระยะที่ปลอดภัยแก่การปฏิบัติ

ข้อ 7 ถ้าจำเป็นต้องมีทางเดินข้ามเพลาหรือที่ยึดเพลา ทางเดินนั้นต้องมีพื้นที่ยึดและมีความกว้างอย่างแข็งแรง

ข้อ 8 เพลา สายพาน พูลล์ และอุปกรณ์ส่งถ่ายกำลังอื่น จะไม่มีเครื่องป้องกันอันตรายตามข้อข้างต้นก็ได้ หากได้จัดให้อยู่ในบริเวณหรือห้องเฉพาะ และปฏิบัติตามข้อต่อไปนี้ ครอบคลุมทุกข้อคือ

- (1) ห้องหรือบริเวณดังกล่าวปิดไม่ให้ผู้ที่ไม่มีความเกี่ยวข้องเข้าไป ตลอดครบถ้วนทุกข้อ
- (2) ความสูงจากพื้นถึงเพดานหรือวัตถุอื่นใดเหนือทางเดินไม่น้อยกว่า 170 เซนติเมตร
- (3) มีแสงสว่างเพียงพอ พื้นแห้งราบเรียบ ไม่ลื่นและมั่นคงแข็งแรง
- (4) มีเครื่องป้องกันอันตรายตามทางเดินของช่างเครื่อง

ข้อ 9 เพลาที่สูงจากพื้นปฏิบัติงานหรือทางเดินไม่มากกว่า 250 เซนติเมตร ต้องมีเครื่องป้องกันอันตราย ที่มั่นคงแข็งแรงอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนี้

- (1) ครอบปิดยาวตลอดตัวเพลาดูโดยรอบหรืออย่างน้อยที่สุดด้านข้างและด้านบนหรือด้านล่างที่คนงานหรือสิ่งของอาจกระทบเพลานี้ได้
- (2) รั้วกันสูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 100 เซนติเมตร มีลูกนอนอย่างน้อย 1 ลูก สูงจากพื้นไม่มากกว่า 30 เซนติเมตร และห่างจากเพลาน้อยกว่า 50 เซนติเมตร

ข้อ 10 ข้อต่อเพลาคัลช พูลล์ และสายพานหรือโซ่ส่งถ่ายกำลังที่อยู่สูงจากพื้นหรือพื้นที่ปฏิบัติงานไม่มากกว่า 2.5 เมตร ต้องมีเครื่องป้องกันอันตรายอย่างมั่นคงแข็งแรง

ข้อ 11 เกียร์ที่อยู่ในบริเวณที่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายได้ ต้องมีเครื่องป้องกันอันตรายอย่างมั่นคงแข็งแรงอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

- (1) มีครอบปิดคลุมหมด นอกเสียจากเกียร์เป็นแบบที่ปิด จะใช้ครอบเฉพาะขอบตรงบริเวณฟันเกียร์ก็ได้

- (2) ถ้าเกียร์ขนาดใหญ่ ต้องทำคอกกันอย่างมั่นคงแข็งแรง

ข้อ 12 ต้องไม่ใช้งานพูลล์ที่มีสภาพไม่มั่นคงแข็งแรง หรือมีรอยร้าว หรือขอบบิ่นแตกร้าว

ข้อ 13 พูลล์ที่มีความเร็วรอบขอบนอกมากกว่า 1,200 เมตร ต่อนาที ต้องเป็นพูลล์ที่ได้สร้างขึ้นถูกต้องตามหลักวิชาการเพื่อกิจการนั้นเป็นพิเศษเท่านั้น

ข้อ 14 พูลล์ที่ใช้กับสายพานแบน ที่ไม่มีการขยับเลื่อน ต้องมีหน้าจุกเพื่อป้องกันไม่ให้สายพานหลุด

ข้อ 15 ถ้าพูลล์อยู่ห่างจากพูลล์ตายหรือคลัชหรืออย่างอื่น ๆ ไม่มากกว่าความกว้างของสายพาน ต้องจัดให้มีเครื่องป้องกันไม่ให้สายพานหลุดทางด้านที่อยู่ใกล้กับพูลล์ตาย หรือคลัชหรืออื่น ๆ นั้น

ข้อ 16 พูลล์ที่ติดอยู่ที่ปลายเพลาลอยต้องมีเครื่องป้องกันไม่ให้สายพานหลุดออกนอกเพลานี้ได้

ข้อ 17 ถ้าสายพานหรือโซ่ส่งถ่ายกำลังอยู่สูงจากพื้นที่ปฏิบัติงานไม่มากกว่า 250 เซนติเมตร ต้องมีเครื่องป้องกันด้านข้างสูงพ้นจากส่วนบนของสายพานหรือโซ่ส่งถ่ายกำลังไม่น้อยกว่า 40 เซนติเมตร หรือสูง 250 เซนติเมตร จากพื้นหรือพื้นที่ปฏิบัติงานแล้วแต่อย่างใดจะน้อยกว่ากัน แต่ต้องสูงไม่น้อยกว่า 100 เซนติเมตร ทั้งนี้ เว้นแต่สายพานหรือโซ่ส่งถ่ายกำลังจะมีครอบปิดคลุมหมด

ข้อ 18 สายพานส่งถ่ายกำลังที่มีความกว้างมากกว่า 12 เซนติเมตร ความเร็วของสายพานตั้งแต่ 540 เมตรต่อนาทีขึ้นไป และศูนย์กลางพูลล์ห่างกันตั้งแต่ 300 เซนติเมตรขึ้นไป ถ้าอยู่สูงจากพื้นหรือพื้นที่ปฏิบัติงานมากกว่า 250 เซนติเมตร ต้องมีเครื่องป้องกันด้านล่างตลอดความยาวของสายพาน

ข้อ 19 คันขยับสายพานต้องมีเครื่องบังคับไม่ให้สายพานข้ามพูลล์ได้เอง

ข้อ 20 ในอาคารโรงงานเดียวกัน คันขยับสายพานหรือคันขยับคลัช ต้องขยับไปทางเดียวกัน เมื่อจะหยุดเครื่อง ยกเว้นคันขยับสามตำแหน่ง

ข้อ 21 เครื่องจักรที่ไม่ได้ขับเคลื่อนด้วยเครื่องต้นกำลังเฉพาะตัว ต้องจัดให้มีคลัชพูลล์ฟรี หรือวิธีการอื่นใดที่เหมาะสม เพื่อให้หยุดหรือเดินเครื่องจักรนั้นเฉพาะตัวได้โดยสะดวกและปลอดภัย

ข้อ 22 สวิตช์ตัดตอนของเครื่องยนตไฟฟ้า ต้องเป็นชนิดใดที่ไม่อาจจะเปิด-ปิดได้ เมื่อมีการกระทบโดยบังเอิญ

ข้อ 23 ถ้าสวิตช์ตัดตอนเป็นแบบปุ่มกด ต้องเป็นแบบที่มีปุ่มกดเดินและปุ่มกดหยุดแยกกัน ปุ่มกดเดินต้องเป็นชนิดสีเขียวหรือดำ ส่วนปุ่มกดหยุดต้องเป็นชนิดสีแดง

ข้อ 24 เครื่องจักรที่ใช้งานหลายคนปฏิบัติงานร่วมกัน ต้องมีเครื่องบังคับมิให้เครื่องจักรนั้นปฏิบัติงานได้ในขณะที่คนงานอยู่ในตำแหน่งอันอาจจะเป็นอันตรายได้

ข้อ 25 ถ้าเครื่องจักรขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนตไฟฟ้าหลายเครื่อง นอกจากมีสวิตช์ตัดตอนเฉพาะเครื่องไฟฟ้าแต่ละเครื่องแล้ว ต้องมีสวิตช์ตัดตอนหยุดเครื่องยนตไฟฟ้าทั้งหมดพร้อมกันด้วย

ข้อ 26 เครื่องยนต์ขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถจะเคลื่อนต่อไปได้อีกด้วยแรงเฉื่อย แม้จะได้หยุดส่งถ่ายกำลังแล้ว ต้องมีห้ามล้อที่มีประสิทธิภาพพอที่จะหยุดเครื่องได้โดยเร็ว ในกรณีที่สามารถจะก่อให้เกิดอันตรายได้ ต้องมีห้ามล้อชนิดอัตโนมัติ

ข้อ 27 ไฟฟ้าแสงสว่างและไฟฟ้ากำลังที่ใช้ผลิตหรือช่วยในการผลิต ต้องใช้วงจรแยกจากกัน แต่ละวงจรต้องมีสวิตช์ตัดตอนชนิดที่สามารถตัดวงจรเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเกินกำลัง

ข้อ 28 ในห้องปฏิบัติงานหรือห้องเก็บของอาจมี แก๊ส ควัน ฝุ่น ใย หรือหมอกที่ติดไฟได้ง่าย ต้องเดินสายไฟฟ้าในท่อ เครื่องยนตไฟฟ้า สวิตช์ไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ต้องเป็นแบบปิดชนิดป้องกันการระเบิด และห้ามใช้หลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์แบบมีสตาร์ทเตอร์สวิตช์ตัดตอนแบบใบมีด เต้าเสียบและอุปกรณ์ที่อาจทำให้เกิดประกายไฟได้

ข้อ 29 หลอดไฟฟ้าที่จะใช้เคลื่อนย้ายไปมา ต้องมีเครื่องป้องกันการกระแทกและต้องเป็นแบบที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในกิจการนั้น ๆ โดยเฉพาะ

ข้อ 30 เครื่องยนตไฟฟ้า หรือเครื่องไฟฟ้าชนิดที่เคลื่อนย้ายไปมาได้ต้องใช้ปลั๊กและเต้าเสียบที่แข็งแรงและมีที่ต่อกับสายดินด้วย

ข้อ 31 เครื่องยนตไฟฟ้าที่มีขนาดตั้งแต่ ¼ แรงม้าขึ้นไป ต้องมีเครื่องป้องกันกระแสเกินขนาดและการใช้เกินกำลัง

ข้อ 32 เครื่องยนตไฟฟ้า และเครื่องไฟฟ้าต้องต่อสายดิน การต่อสายดินต้องใช้เสาไฟฟ้าขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่น้อย 2.5 ตารางมิลลิเมตร และไม่เล็กกว่าครึ่งหนึ่งของสายไฟฟ้าเข้าเครื่อง แต่ไม่จำเป็นต้องใหญ่กว่า 70 ตารางมิลลิเมตร ต่อเข้ากับท่อน้ำชนิดโลหะที่ติดต่อลงถึงพื้นดินได้ หรือต่อลงสู่ท่อหรือแท่งทองแดงซึ่งยาวไม่น้อยกว่า 150 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 1 เซนติเมตร ฝังในพื้นดินที่ชั้นลึกไม่น้อยกว่า 150 เซนติเมตร หรือต่อลงสู่ตัวนำอื่นด้วยวิธีที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

ข้อ 33 ต้องดูแลรักษาสายไฟฟ้า สายดิน เครื่องยนตไฟฟ้า สวิตช์ เต้าเสียบและอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ให้อยู่ในสภาพเรียบร้อย ไม่หลุดหลวม แตกร้าว หรือผุกร่อน

ข้อ 34 แผงสวิตช์ หม้อแปลงแรงไฟ คาปาซิเตอร์ แบตเตอรี่ ขนาด 150 โวลต์ ขึ้นไปที่มีติดตั้งไว้ในห้องที่จัดไว้โดยเฉพาะ ต้องจัดทำรั้วกันโดยรอบมิให้บุคคลที่ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเข้าไปได้

ข้อ 35 ห้ามมิให้ซ่อมสายไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าในขณะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

ข้อ 36 สายไฟฟ้า เครื่องไฟฟ้าและอุปกรณ์ ต้องได้รับการตรวจรับรองเห็นชอบจากผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม หรือนายช่างของการไฟฟ้านครหลวง หรือนายช่างของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หรือจากวิศวกรที่กระทรวงอุตสาหกรรมเห็นชอบทุก ๆ ระยะเวลา 1 ปี โดยมีเอกสารรับรองเป็นหลักฐานทุกปี

ข้อ 37 ต้องจัดให้ทุกคนที่อยู่ในบริเวณงานที่อาจจะเป็นอันตราย สวมหมวกป้องกันอันตรายตามความเหมาะสม

ข้อ 38 ต้องจัดให้ทุกคนที่อยู่ในบริเวณงานที่อาจจะเป็นอันตรายต่อตา หรือใบหน้า สวมแว่นตา (Safety glasses หรือ Goggle) หรือกระบังหน้า (Face shield) ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสม

ข้อ 39 ต้องจัดให้ทุกคนที่อยู่ในบริเวณที่มีเสียงดังเกินกว่า 80 เดซิเบล หรือเสียงดังอันอาจเป็นอันตรายต่อแก้วหูอุดหูด้วยที่อุดหู (Ear plug) ที่มีประสิทธิภาพ

ข้อ 40 ต้องจัดให้ทุกคนที่อยู่ในบริเวณงานที่อาจจะเป็นอันตรายต่อใบหูและรูหูสวมเครื่องป้องกันหู (Ear guard) ที่มีประสิทธิภาพ

ข้อ 41 ต้องจัดให้คนงานที่ใช้มือในการปฏิบัติงานอันอาจสัมผัสกับส่วนที่แหลมหรือคมของวัตถุ สวมถุงมือที่มีความเหนียวทนต่อวัตถุแหลมคม

ข้อ 42 ต้องจัดให้คนงานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับวัตถุที่ร้อน สวมเครื่องป้องกันอันตราย เช่น ถุงมือ รองเท้า ซึ่งทำด้วยวัสดุที่มีคุณภาพเป็นฉนวนความร้อน ตามความจำเป็นและเหมาะสม

ข้อ 43 ต้องจัดให้คนงานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับวัตถุเคมี กรด ด่าง อันอาจจะเป็นอันตรายต่อผิวหนัง สวมเครื่องป้องกันอันตราย เช่น ถุงมือ รองเท้าหุ้มรองเท้า กันเปื้อนที่ทำด้วยยางหรือพลาสติก หรือวัตถุที่มีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีนั้น ๆ ตามความจำเป็นและเหมาะสม

ข้อ 44 ต้องจัดให้คนงานที่ปฏิบัติงานอันอาจจะเป็นอันตรายต่อขา หรือเท้า สวมเครื่องป้องกันอันตรายที่ขาหรือเท้าตามความจำเป็นและเหมาะสม

ข้อ 45 ต้องจัดให้คนงานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้า สวมรองเท้าที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า

ข้อ 46 ต้องจัดให้คนงานที่ต้องการไปปฏิบัติงานอยู่บนที่สูง ซึ่งต้องมีการปีนป่ายใช้สายรัดหรือเข็มขัดกันตก

ข้อ 47 ต้องจัดให้คนงานที่ปฏิบัติงานอันอาจจะเป็นอันตรายต่อระบบการหายใจ สวมเครื่องป้องกันอันตราย (Respiratory protection) หรือเครื่องช่วยในการหายใจที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมต่อการปฏิบัติงานนั้น ๆ

ข้อ 48 ต้องทำความสะอาดและรักษาเครื่องป้องกันอันตรายสำหรับคนงานให้อยู่ในสภาพเรียบร้อยพร้อมที่จะใช้งานได้ตลอดเวลา

หมวดที่ 13 การเก็บและการใช้วัตถุมีพิษ วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิดและวัตถุอื่นที่เป็นอันตรายหรือที่อาจทำให้เกิดฝุ่นละออง ความร้อนแสงหรือเสียง ซึ่งเป็นอันตรายในการปฏิบัติงาน กับวิธีการป้องกันและเครื่องป้องกันมิให้เกิดอันตรายแก่คนงาน

ออกโดยอาศัยอำนาจตามความใน (13) แห่งมาตรา 39

ข้อ 49 ต้องแยกเก็บวัตถุมีพิษ วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด หรือวัตถุอื่นที่อาจเป็นอันตรายหรือที่อาจทำให้เกิดฝุ่นละออง ให้เป็นระเบียบและเป็นสัดส่วนต่างหาก และต้องปิดกุญแจห้องเก็บทุกครั้งเมื่อไม่มีการปฏิบัติงานในห้องนี้แล้ว

ข้อ 50 ต้องจัดให้มีการระบายอากาศในห้องเก็บและห้องปฏิบัติงานอันเกี่ยวกับวัตถุมีพิษ วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด หรือวัตถุอื่นที่อาจเป็นอันตรายหรือที่อาจทำให้เกิดฝุ่นละอองอย่างเพียงพอ และต้องป้องกันมิให้อากาศที่ระบายออกจากห้อง เป็นอันตรายต่อบุคคลหรือทรัพย์สินของผู้อื่น หรือเป็นเหตุเดือดร้อนรำคาญกับต้องดูแลรักษาให้ห้องต่าง ๆ ดังกล่าวอยู่ในสภาพที่มั่นคงแข็งแรงเหมาะสมแก่งานนั้น ๆ

ข้อ 51 ต้องไม่ให้วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด หรือวัตถุที่ระเหยเป็นไอได้ง่าย อยู่ใกล้เตาไฟ หม้อน้ำ ท่อไอน้ำ สายไฟฟ้าแรงสูง บริเวณที่อาจมีการเกิดประกายไฟ หรือในที่ซึ่งมีอุณหภูมิสูง

ข้อ 52 ต้องจัดทำป้าย “วัตถุมีพิษ” วัตถุไวไฟ “ห้ามสูบบุหรี่” วัตถุระเบิด “ห้ามสูบบุหรี่” แล้วแต่กรณีและป้าย “ห้ามบุคคลที่ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องเข้า” ด้วยตัวอักษรสีแดงขนาด 20 เซนติเมตรบนพื้นสีขาว และป้ายเครื่องหมายแจ้งอันตรายติดไว้ให้เห็นอย่างชัดเจนที่เส้นทางเข้าทุกห้อง กับควบคุมดูแลให้คนงานปฏิบัติตามข้อห้ามนั้น ๆ อย่างเคร่งครัด

ข้อ 53 ต้องดูแลรักษามีให้มีการรั่วไหลของวัตถุมีพิษออกจากเครื่องจักรที่ใช้ในการทำผลิต บรรจุ แปรสภาพ แยก หรือผสมวัตถุมีพิษ

ข้อ 54 ต้องทำความสะอาดเครื่องจักร อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้เกี่ยวข้องกับวัตถุมีพิษก่อนใช้งานกับวัตถุอย่างอื่นทุกครั้ง เพื่อป้องกันมิให้เกิดปฏิกิริยาเคมีของสารต่างชนิดกัน

ข้อ 55 ต้องดูแลรักษาท่อและส่วนประกอบของท่อส่งวัตถุให้อยู่ในสภาพเรียบร้อยไม่มีการแตกร้าว รั่วซึม รูด หรือเกิดการไหลย้อนกลับ

ข้อ 56 ท่อส่งวัตถุมีพิษ วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด ต่างชนิดกัน ต้องทาสี หรือเครื่องหมายแสดงความแตกต่างไว้อย่างชัดเจน

ข้อ 57 ท่อส่งวัตถุมีอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ต้องมีฉนวนกันความร้อนหุ้มตามความจำเป็น และเหมาะสม เพื่อมิให้เกิดอันตรายต่อบุคคลหรือสิ่งของ

ข้อ 58 ต้องจัดไม่ให้ท่อส่งวัตถุไวไฟ อยู่ใกล้เตาไฟ หม้อน้ำ ท่อไอน้ำ สายไฟฟ้าแรงสูง เครื่องยนต์ไฟฟ้า สวิตช์ไฟฟ้า หรือส่วนของเครื่องจักรที่มีประกายไฟฟ้า หรือบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ

ข้อ 59 ต้องวางท่อส่งวัตถุมีพิษ วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด ในลักษณะที่จะทำให้เกิดการชำรุดเสียหาย

ข้อ 60 ต้องดูแลรักษาลิ้นเปิดปิดต่าง ๆ มิให้มีการรั่วซึม และต้องมีเครื่องหมายแสดงการเปิดหรือปิดลิ้นไว้ด้วย

ข้อ 61 การเปิด ปิด ลิ้นที่ต้องปฏิบัติไปตามลำดับ ต้องมีกลไกควบคุมเพื่อมิให้เกิดอันตรายขึ้นได้

ข้อ 62 ต้องแยกภาชนะสำหรับบรรจุวัตถุมีพิษ วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด แต่ละชนิดให้เป็นสัดส่วน ไม่ปะปนกัน และต้องจัดทำป้ายชื่อวัตถุที่บรรจุติดไว้ที่ภาชนะทุกใบ

ข้อ 63 ภาชนะบรรจุวัตถุมีพิษ วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด และอุปกรณ์ต้องเป็นแบบแข็งแรง ทนทาน และปลอดภัยในการใช้งาน กับต้องดูแลรักษาในสภาพเรียบร้อยและปลอดภัยต่อการใช้งานอยู่เสมอ

ข้อ 64 ภาชนะที่บรรจุวัตถุมีพิษ วัตถุไวไฟหรือวัตถุที่ระเหยเป็นไอได้ง่ายต้องปิดฝาอย่างสนิทมิดชิด

ข้อ 65 ต้องทำความสะอาดภาชนะที่ใช้กับวัตถุมีพิษ วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด หลังจากใช้งานแล้วทุกครั้ง ภาชนะบรรจุที่ไม่ต้องการใช้ให้ทำลายเสีย ห้ามนำไปบรรจุวัตถุสิ่งของอื่น ๆ

ข้อ 66 ภาชนะบรรจุวัตถุมีพิษ วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด ต้องเป็นแบบที่หยิบยกหรือขนย้ายได้ด้วยความปลอดภัย

ข้อ 67 ต้องจัดให้คนงานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับวัตถุมีพิษ วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด หรือวัตถุอื่นที่อาจเป็นอันตราย หรือที่อาจทำให้เกิดฝุ่นละออง ความร้อน แสงหรือเสียง ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อการปฏิบัติงานในหน้าที่สวมเครื่องป้องกันอันตราย ตามความเหมาะสมต่อการปฏิบัติงานนั้น ๆ

ข้อ 68 ต้องจัดให้มีการอบรม แนะนำชี้แจงคนงานให้เข้าใจถึงเหตุอันควรอันอาจเกิดขึ้นได้ของงานต่าง ๆ ที่ตนปฏิบัติอยู่ ตลอดจนอธิบายให้รู้ถึงวิธีระมัดระวังป้องกันอันตรายและการใช้มาตรการการแก้ไขอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานได้ทันทีด้วย

ข้อ 69 ต้องไม่ยอมให้ผู้ที่มีหน้าที่โดยตรง/ผู้ซึ่งไม่เข้าใจถึงเหตุอันตรายของงานปฏิบัติงานที่มีอันตราย

ข้อ 70 ต้องไม่ให้มีการรับประทานอาหารหรือเครื่องดื่มในบริเวณโรงงานซึ่งมีการปฏิบัติเกี่ยวกับวัตถุมีพิษ ทั้งนี้ นอกเสียจากจะได้กระทำในห้องอาหาร หรือโรงอาหารอย่างถูกต้องตามสุขลักษณะอนามัยโดยเฉพาะ

ข้อ 71 ต้องให้คนงานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับวัตถุมีพิษ ล้างมือและหน้าก่อนรับประทานอาหาร และทำความสะอาดร่างกายเมื่อเลิกงานแล้ว

ข้อ 72 ต้องไม่ให้มีการพักอาศัยอยู่ในอาคารโรงงานหรือโรงเก็บ

ข้อ 73 ในการซ่อมเครื่องจักรต่าง ๆ ที่ผู้ปฏิบัติงานอาจได้รับอันตรายจากวัตถุมีพิษ วัตถุเคมี วัตถุมีไฟ วัตถุระเบิด ต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญในการปฏิบัติงานนั้น ๆ โดยเฉพาะ และต้องสวมเครื่องป้องกันอันตรายตามความเหมาะสมด้วย ในการซ่อมต้องหยุดเครื่องจักรส่วนอื่นที่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายตามความเหมาะสมด้วย ในการซ่อมต้องหยุดเครื่องจักรส่วนอื่นที่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายได้ และให้ผู้ที่ไม่มีความเกี่ยวข้องกับขณะปฏิบัติงานออกจากบริเวณนั้น

ข้อ 74 ในกรณีที่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงาน ต้องหยุดงานส่วนนั้น ๆ ทันที คนงานซึ่งไม่มีหน้าที่ซ่อมแซมแก้ไขต้องออกจากบริเวณนั้นโดยด่วน และจัดให้มีการแก้ไขหรือระงับอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นโดยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงาน สวมเครื่องป้องกันอันตรายตามความเหมาะสม

หมวดที่ 14 การประกอบกิจการโรงงานมิให้เกิดเหตุรำคาญ

ออกโดยอาศัยอำนาจตามความใน (14) แห่งมาตรา 39

ข้อ 75 ต้องทำการกำจัดกลิ่น เสียง ความสั่นสะเทือน ฝุ่นละออง เขม่า เถ้าถ่านที่เกิดขึ้นจากโรงงานมิให้เป็นที่น่ารำคาญ หรือเป็นเหตุเสื่อมอาจเป็นอันตรายแก่สุขภาพของผู้อยู่อาศัยใกล้เคียง

ข้อ 76 ต้องดูแลรักษาระบบเก็บเสียง ท่อไอเสีย หม้อพักของเครื่องต้นกำลังให้อยู่ในสภาพเรียบร้อยตลอดเวลา

ข้อ 77 โรงงานที่มีการใช้เตาหรือเครื่องจักรอื่นใด ซึ่งทำให้มีเขม่าควันออกสู่อากาศ ต้องปล่อยออกทางปล่องที่มีความสูงตามความจำเป็นและเหมาะสม ความดำของเขม่าควันที่ปากปล่องต้องไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ของความดำมาตรฐานริงเกลมานน์ เว้นแต่ในช่วงระยะเวลาสั้นในขณะที่จะเริ่มติดเตาหรือติดเครื่องเขี่ยเชื้อ เป่าเขม่า หรือเกิดขัดข้องขึ้นในระบบจัดเขม่าควัน

ประกาศ ณ วันที่ 11 สิงหาคม 2514

พลโท พ. ปุณณกันต์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 18 (พ.ศ. 2528) ออกตามความพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512
เรื่อง หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 39 (12) และ (16) แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการที่ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน มีหน้าที่กระทำการ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานทุกประเภทหรือชนิดที่มีการใช้หม้อไอน้ำสำหรับประกอบกิจการโรงงาน ต้องจัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันอันตราย ดังนี้

1.1 ต้องติดตั้งลิ้นนิรภัย (Safety Valve) อย่างน้อย 2 ชุด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของบัลันนิรภัยไม่น้อยกว่า 15 มิลลิเมตร ที่สามารถตรวจสอบการใช้งานได้ง่ายสำหรับหม้อไอน้ำที่มีพื้นผิวรับความร้อนน้อยกว่า 50 ตารางเมตร จะมีลิ้นนิรภัยเพียง 1 ชุดก็ได้ในการติดตั้งลิ้นนิรภัยต้องไม่มีลิ้นปิดเปิด (Stop Valve) คั่นระหว่างหม้อไอน้ำกับลิ้นนิรภัย และต้องมีท่อระบายไอน้ำจากลิ้นนิรภัยไปยังที่เหมาะสมและปลอดภัย

1.2 ต้องติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำชนิดหลอดแก้วไว้ให้เห็นได้ชัดพร้อมลิ้นเปิดปิด (Stop valve) เพื่อตรวจสอบระดับน้ำและต้องมีท่อระบาย ไปยังที่เหมาะสมปลอดภัย ทั้งนี้ต้องจัดให้มีเครื่องป้องกันหลอดแก้วด้วย

1.3 ต้องติดตั้งเครื่องวัดความดันไอ (Pressure gauge) ขนาดหน้าปัดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร มีสเกลสามารถวัดความดันได้ 1.5 ถึง 2 เท่า

1.4 ต้องติดตั้งเครื่องสูบน้ำเข้าหม้อไอน้ำ (Feed water pump) ขนาดความสามารถอัดน้ำได้อย่างน้อย 1.5 เท่า ของความดันใช้งานสูงสุด และความสามารถในการสูบน้ำเข้าต้องมากกว่าอัตราการผลิตไอน้ำ

1.5 ต้องติดตั้งลิ้นกันกลับ (Check valve) ที่ท่อน้ำเข้าหม้อไอน้ำโดยติดตั้งให้ใกล้หม้อไอน้ำมากที่สุด และมีขนาดเท่ากับท่อน้ำเข้า

1.6 ต้องติดตั้งลิ้นจ่ายไอน้ำ (Main steam valve) ที่ตัวหม้อไอน้ำ

1.7 โรงงานที่หม้อไอน้ำตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป ที่ใช้ท่อจ่ายไอน้ำร่วมกันต้องติดตั้งลิ้นกันกลับ (Check Valve) ที่ท่อหลังลิ้นจ่ายไอน้ำ (Main Steam Valve) ของหม้อไอน้ำแต่ละเครื่อง

1.8 หม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมัน แก๊ส ต้องติดตั้งเครื่องควบคุมความดัน (Pressure control) เครื่องควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติ (Water level control)

1.9 ต้องติดตั้งสัญญาณเตือนอัตโนมัติ (Automatic alarm) แจ้งอันตรายเมื่อระดับน้ำในหม้อไอน้ำต่ำกว่าระดับใช้งานปกติ

1.10 ต้องจัดให้มีฉนวนหุ้มท่อจ่ายไอน้ำโดยตลอด

1.11 ท่อน้ำ ท่อจ่ายไอน้ำ ลิ้นเปิดเปิด (Valve) ทุกตัวและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้กับหม้อไอน้ำ ต้องเป็นชนิดที่ใช้สำหรับหม้อไอน้ำเท่านั้น และเหมาะสมกับความดันใช้งานด้วย

1.12 หม้อไอน้ำที่สูงเกินกว่า 3 เมตรจากพื้น ต้องติดตั้งบันไดและทางเดินไว้รอบหม้อไอน้ำ

1.13 ต้องจัดให้มีลิ้นปิดเปิด (Blow down valve) เพื่อระบายน้ำจากล่างสุดของหม้อไอน้ำ ให้สามารถระบายได้สะดวกไปยังที่ที่เหมาะสมและปลอดภัย

ข้อ 2 ให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานทุกประเภทหรือชนิดที่มีการใช้หม้อไอน้ำ หรือหม้อต้มฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อทำความร้อน (ชนิดที่มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งมีรูปร่างคล้ายคลึงหม้อไอน้ำและใช้งานคล้ายคลึงกับหม้อไอน้ำ) สำหรับประกอบกิจการโรงงานต้องจัดให้มีการตรวจสอบความปลอดภัยในการใช้

งานของหม้อไอน้ำหรือหม้อต้ม ฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนทุก ฯ ป้อนอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง โดยวิศวกรสาขาเครื่องกลประเภทสามัญวิศวกรหรือวุฒิวิศวกร หรือผู้ได้รับใบอนุญาตพิเศษให้ตรวจทดสอบหม้อไอน้ำตามพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ. 2505 แล้วส่งเอกสารรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อไอน้ำ หรือ หม้อต้ม ฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนตามแบบที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด ไปยังกรมโรงงานอุตสาหกรรมภายใน 30 วัน นับตั้งแต่วันที่ได้ตรวจทดสอบ

กรณีมีการซ่อมหรือมีการเคลื่อนย้ายหม้อไอน้ำหรือหม้อต้ม ฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนภายหลังจากการซ่อมหรือติดตั้งเสร็จแล้ว ต้องจัดให้มีการตรวจทดสอบโดยบุคคลที่มีคุณวุฒิดังกล่าวข้างต้น แล้วส่งเอกสารรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อไอน้ำหรือหม้อต้ม ฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนตามแบบที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไปยังกรมโรงงานอุตสาหกรรมก่อนจะใช้งาน

ข้อ 3 ให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานทุกประเภทหรือชนิดที่มีการใช้หม้อไอน้ำหรือหม้อต้ม ฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน (ชนิดที่มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งมีรูปร่างคล้ายคลึงหม้อไอน้ำและใช้งานคล้ายคลึงหม้อไอน้ำ) สำหรับประกอบกิจการโรงงานต้องจัดให้มีผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำหรือ หม้อต้ม ฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน (Operator) ที่มีผู้ได้รับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างกลโรงงาน หรือ ช่างยนต์หรือช่างผู้ชำนาญงานที่ผ่านการทดสอบฝึกอบรมหลักสูตรผู้ควบคุมหม้อไอน้ำ จากกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือสถาบันอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมรับรอง

สำหรับโรงงานที่มีการใช้หม้อไอน้ำขนาดกำลังผลิตไอน้ำตั้งแต่ 20 ตันต่อชั่วโมงขึ้นไป นอกจากจะต้องดำเนินการตามความในวรรคแรกแล้วต้องจัดให้มีวิศวกรสาขาเครื่องกลผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรม ตามพระราชบัญญัติวิศวกรรม พ.ศ. 2505 เป็นวิศวกรควบคุมและอำนวยความสะดวก ใช้หม้อไอน้ำอีกด้วย

ข้อ 4 ให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานที่ประกอบกิจการโรงงานสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำหรือหม้อต้ม ฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ต้องจัดให้มีวิศวกรสาขาเครื่องกลผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรม ตามพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ. 2505 เป็นผู้ควบคุมการสร้างหรือซ่อม

ข้อ 5 วิศวกรผู้ตรวจสอบความปลอดภัยในการใช้งานหม้อไอน้ำหรือหม้อต้ม ฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อความร้อน (Operator) วิศวกรควบคุมและอำนวยความสะดวก ใช้หม้อไอน้ำ และวิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำ หรือหม้อต้ม ฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน ตามที่กล่าวไว้ในข้อ 2 ข้อ 3 และข้อ 4 ต้องเป็นผู้ได้รับอนุญาตให้ขึ้นทะเบียนจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมตามระเบียบและวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด

ข้อ 6 กรณีผู้ได้รับใบอนุญาตให้ขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุม และอำนวยความสะดวก ใช้หม้อไอน้ำ วิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำหรือหม้อต้ม ฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำ หรือหม้อต้ม ฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน (Operator) ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานรายใดลาออกหรือไม่ปฏิบัติหน้าที่แล้ว หรือขาดต่ออายุการขึ้นทะเบียนหรือไม่ได้รับการอนุญาตให้ต่ออายุการขึ้นทะเบียนหรือถูกเพิกถอนการขึ้นทะเบียน ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานนั้นต้องแจ้งให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบทันที และจัดหาทดแทนภายใน 30 วัน นับแต่วันที่มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

ข้อ 7 ประกาศฉบับนี้ให้บังคับเมื่อพ้นกำหนด 90 วัน นับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2518

นายอบ วสุรัตน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

**ระเบียบโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยการขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อไอน้ำ
วิศวกรตรวจสอบหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อนและผู้ควบคุมประจำหม้อ
ไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2528**

ตามความในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 18 (พ.ศ. 2528) ลงวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2528 ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 เรื่องหน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน กำหนดให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน จัดให้มีวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อไอน้ำ วิศวกรตรวจสอบหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน วิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำ หรือหม้อต้มฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำ หรือหม้อต้มฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน (Operator) และบุคคลดังกล่าวต้องขึ้นทะเบียนตามระเบียบและวิธีการที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดนั้น

กรมโรงงานอุตสาหกรรม จึงวางระเบียบและวิธีการขึ้นทะเบียนไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ระเบียบนี้เรียกว่า ระเบียบโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยการขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อไอน้ำ วิศวกรตรวจสอบหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน วิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน พ.ศ. 2528

อนึ่ง คำว่า “หม้อต้มฯ” ที่ใช้กล่าวต่อไปในระเบียบนี้ให้หมายถึง หม้อต้มฯ ที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน (ชนิดที่มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งมีรูปร่างคล้ายคลึงหม้อไอน้ำและใช้งานคล้ายคลึงกับหม้อไอน้ำ)

ข้อ 2 คุณสมบัติผู้ขอขึ้นทะเบียน

2.1 วิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อไอน้ำ วิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ต้องเป็นวิศวกรสาขาเครื่องกล ผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมตามพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ. 2505

2.2 วิศวกรตรวจสอบหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ต้องเป็นวิศวกรสาขาเครื่องกลประเภทสามัญวิศวกร หรือวุฒิวิศวกรหรือผู้ได้รับใบอนุญาตพิเศษให้ตรวจสอบหม้อไอน้ำตามพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ. 2505

2.3 ผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ (Operator) ต้องเป็นผู้มีคุณสมบัติได้รับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างกลโรงงานหรือช่างยนต์ หรือช่างชำนาญงานที่ผ่านการทดสอบ หลักสูตรฝึกอบรมผู้ควบคุมหม้อไอน้ำ จากกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือสถาบันอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมรับรอง

ข้อ 3 วิธีการขึ้นทะเบียน

3.1 ให้ผู้มีคุณสมบัติตามความในข้อ 2 ยื่นคำขออนุญาตขึ้นทะเบียนอนุญาตให้ขึ้นทะเบียนให้ไว้เป็นหลักฐาน

3.2 การขึ้นทะเบียนให้มีอายุครั้งละ 3 ปีปฏิทินนับแต่ปีที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมออกหนังสืออนุญาตให้ขึ้นทะเบียนหากประสงค์จะต่ออายุการขึ้นทะเบียน ให้ยื่นคำขอต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม ก่อนวันที่หนังสืออนุญาตให้ขึ้นทะเบียนจะหมดอายุ เมื่อยื่นคำขอต่ออายุแล้ว ให้ถือว่ายังอนุญาตให้ขึ้นทะเบียนอยู่ จนกว่ากรมโรงงานอุตสาหกรรมจะแจ้งไม่อนุญาตให้ต่ออายุ

3.3 คำขออนุญาตขึ้นทะเบียนคำขอต่ออายุหนังสืออนุญาตให้ขึ้นทะเบียนให้ใช้ตามแนบท้ายระเบียบนี้

ข้อ 4 หน้าที่และความรับผิดชอบของวิศวกรควบคุมและอำนวยการใช้หม้อน้ำ

- 4.1 ต้องควบคุมดูแลผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำ (Operator) ให้ควบคุมดูแลประจำหม้อไอน้ำตลอดเวลา
- 4.2 ต้องวางแผนและจัดทำแผนในการใช้งานหม้อไอน้ำโดยปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ
- 4.3 ต้องวางแผนและจัดทำแผนในการปรับปรุงรักษาให้หม้อไอน้ำมีความมั่นคงแข็งแรงและปลอดภัยอยู่เสมอ
- 4.4 ต้องควบคุมดำเนินการแก้ไขและซ่อมแซมหม้อไอน้ำให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยต่อการใช้งาน และจัดให้มีการตรวจสอบเพื่อความปลอดภัยในการใช้หม้อไอน้ำทุกปีอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง
- 4.5 เมื่อพบข้อบกพร่องของหม้อไอน้ำซึ่งจะเป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายร้ายแรง ให้หยุดใช้หม้อไอน้ำเพื่อทำการซ่อมแซมแล้วแจ้งให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานและกรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบทันที

ข้อ 5 หน้าที่และความรับผิดชอบของวิศวกรตรวจสอบหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ

- 5.1 ต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจสอบหม้อไอน้ำ ดังต่อไปนี้
 1. บัมพ์น้ำแรงดันสูง สามารถอัดน้ำทดสอบได้เกินกว่า 1.5 เท่า ของความดันใช้งานปกติของหม้อไอน้ำ
 2. เครื่องทดสอบลึ้นนิรภัย
 3. เครื่องทดสอบเกจวัดความดัน
 4. เครื่องวัดความหนาของเหล็ก ชนิดอ่านเป็นตัวเลข
 5. อุปกรณ์วิเคราะห์คุณภาพน้ำ
- 5.2 เมื่อตรวจสอบพบว่าหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ หรือส่วนประกอบและหรืออุปกรณ์ของหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ อยู่ในสภาพไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน ต้องแจ้งให้ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานดำเนินการปรับปรุง แก้ไข ซ่อมแซม หรือเปลี่ยนให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยต่อการใช้งานโดยด่วน
- 5.3 การตรวจสอบหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ต้องดำเนินการตามข้อกำหนดหรือหลักเกณฑ์ในการตรวจสอบหรือตามหลักวิชาการวิศวกรรม และกรอกรายงานการตรวจตามแบบเอกสารรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ตามท้ายระเบียบนี้

ข้อ 6 หน้าที่และความรับผิดชอบของวิศวกรควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ

- 6.1 ต้องควบคุมการสร้างหรือซ่อมหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ให้เป็นไปตามแบบแปลนและรายละเอียดที่ผ่านการรับรองจากวิศวกรแล้วเท่านั้น
- 6.2 จัดทำรายงานเกี่ยวกับขนาดและจำนวน พร้อมแบบแปลนและรายละเอียดของหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ที่สร้างหรือซ่อม และสถานที่ที่นำไปติดตั้ง ส่งให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบก่อนจะนำไปติดตั้ง

ข้อ 7 หน้าที่และความรับผิดชอบของผู้ควบคุมประจำหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ (Operator)

- 7.1 ต้องอยู่ดูแลประจำหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ตลอดเวลาที่ปฏิบัติงานในหน้าที่
- 7.2 ต้องตรวจความเรียบร้อยของหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ก่อนเดินเครื่องและขณะเดินเครื่อง พร้อมทั้งทำบันทึกรายงานประจำวันตามแบบแนบท้ายระเบียบนี้
- 7.3 บันทึกรายงานประจำวันของหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ ต้องจัดเก็บไว้ให้เรียบร้อยพร้อมที่จะให้เจ้าหน้าที่ตรวจได้ตลอดเวลา

7.4 เมื่อพบว่าหม้อไอน้ำหรือหม้อต้มฯ มีข้อบกพร่องอันอาจก่อให้เกิดอันตราย ต้องหยุดการใช้งานทันทีแล้วรายงานให้วิศวกรควบคุมและอำนวยความสะดวกให้หรือผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานหรือผู้รับผิดชอบทราบโดยด่วน

ข้อ 8 การเพิกถอนการขึ้นทะเบียน

กรณีได้รับอนุญาตให้ขึ้นทะเบียนไม่ปฏิบัติตามหน้าที่และความรับผิดชอบของตนตามที่กำหนดไว้ในข้อ 4, 5, 6, 7 หรือรายงานเท็จ หรือเป็นวิศวกรซึ่งอยู่ในระหว่างพักใช้ใบอนุญาตหรือเพิกถอนใบอนุญาตหรือใบอนุญาตของ ก.ว. หมดยาอายุ กรมโรงงานอุตสาหกรรม จะพิจารณาเพิกถอนการขึ้นทะเบียน และอาจดำเนินการตามกรมโรงงานอุตสาหกรรมเห็นสมควรต่อไป

ประกาศ ณ วันที่ 16 เมษายน 2528

นายจำนงค์ พนัสจุฑาบุญ
อธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2530) ออกตามความพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512

เรื่อง หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 39 (13) แห่งพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการที่ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานทุกประเภทหรือชนิดมีหน้าที่กระทำการเกี่ยวกับการเก็บและการใช้วัตถุมีพิษ วัตถุเคมี วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด และวัตถุอื่นที่อาจเป็นอันตราย หรือที่อาจทำให้เกิดฝุ่นละออง ความร้อน แสง หรือเสียง ซึ่งเป็นอันตรายในการปฏิบัติงานกับวิธีการป้องกันและเครื่องป้องกันมิให้เกิดอันตรายแก่คนงาน ดังต่อไปนี้

ให้ยกเลิกความในหมวดที่ 13 แห่งประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2514) ลงวันที่ 11 สิงหาคม 2514 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

ข้อ 49 ต้องแยกอาคารที่มีการผลิตหรือใช้วัตถุระเบิด หรือวัตถุไวไฟให้เป็นเอกเทศโดยต้องอยู่ห่างจากที่พักอาศัย หรือเตาไฟ หรือที่เก็บสินค้าต่าง ๆ และอาคารอื่น และต้องดูแลรักษาอาคารดังกล่าวให้อยู่ในสภาพมั่นคงแข็งแรง เหมาะสมแก่การปฏิบัติงาน

ข้อ 50 ต้องแยกเก็บวัตถุมีพิษ วัตถุเคมี วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด หรือวัตถุอื่นที่อาจเป็นอันตรายหรือที่อาจทำให้เกิดฝุ่นละอองให้เป็นระเบียบแยกห่างจากกัน และเป็นสัดส่วนต่างหาก โดยจะต้องปิดกุญแจห้องเก็บทุกครั้งหลังจากที่ไม่มีการปฏิบัติงานในห้องนี้แล้ว

ข้อ 51 ต้องจัดให้มีระบบป้องกันและกำจัดอากาศเสียในห้องเก็บและห้องปฏิบัติงานอันเกี่ยวกับวัตถุมีพิษ วัตถุเคมี วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด หรือวัตถุอื่นที่อาจเป็นอันตราย หรือที่อาจทำให้เกิดฝุ่นละอองอย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะป้องกันมิให้อากาศที่ระบายออกจากห้องมีค่าความเข้มข้นเกินกว่ามาตรฐานความปลอดภัยจนเป็นเหตุให้เกิดอันตรายต่อบุคคล สัตว์ พืช หรือทรัพย์สินของผู้อื่นหรือเป็นเหตุเดือดร้อนรำคาญ กับต้องดูแลรักษาให้ห้องต่าง ๆ ดังกล่าวอยู่ในสภาพที่มั่นคงแข็งแรงเหมาะสมแก่งานนั้น ๆ

ข้อ 52 ต้องไม่ให้วัดถัมมิพิซ วัดถุเคมี วัดถุไวไฟ วัดถุระเบิด วัดถุอื่นที่อาจเป็นอันตรายหรือวัดถุที่ระเหยเป็นไอได้ง่าย อยู่ใกล้เตาไฟ หม้อน้ำ ท่อไอน้ำ สายไฟฟ้าแรงสูง บริเวณที่อาจเป็นการเกิดประกายไฟ หรือในที่ซึ่งมีอุณหภูมิสูง

ข้อ 53 ต้องจัดทำป้ายที่มีสัญลักษณ์และเครื่องหมายและข้อความคำเตือนต่อไปนี้

- (1) สัญลักษณ์และเครื่องหมายแสดงสิ่งต้องห้ามสำหรับอาณาบริเวณเฉพาะส่วนตามรายละเอียดแนบท้ายประกาศรายการที่ 1
- (2) สัญลักษณ์และเครื่องหมายสำหรับอาณาบริเวณที่ต้องใช้เครื่องป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ตามรายละเอียดแนบท้ายประกาศรายการที่ 2
- (3) สัญลักษณ์และเครื่องหมายเตือนภัยของอาณาบริเวณเฉพาะส่วนตามรายละเอียดแนบท้ายประกาศรายการที่ 3
- (4) สัญลักษณ์และเครื่องหมายฉุกเฉิน ตามรายละเอียดแนบท้ายประกาศรายการที่ 4

ทั้งนี้ โดยให้ติดป้ายสัญลักษณ์และเครื่องหมายในข้อ 1 ถึงข้อ 4 ในขนาดที่เหมาะสมไว้ให้เห็นอย่างเด่นชัดหน้าทางเข้าออกของอาณาบริเวณที่เกี่ยวข้องกับสัญลักษณ์และเครื่องหมาย และต้องควบคุมดูแลคนงานหรือผู้ที่เข้าไปในอาณาบริเวณดังกล่าว ปฏิบัติตามคำเตือนนั้นอย่างเคร่งครัด

ข้อ 54 ต้องดูแลรักษามีให้มีการรั่วไหลของวัดถัมมิพิซ วัดถุเคมี วัดถุไวไฟ วัดถุระเบิด หรือวัดถุอื่นที่อาจเป็นอันตราย ออกมาจากเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ใดที่ใช้ในการผลิต บรรจุ แปรสภาพ แยก หรือผสมปรุงแต่ง

ข้อ 55 ต้องทำความสะอาดเครื่องจักร อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้เกี่ยวข้องกับวัดถุที่อาจเป็นอันตรายชนิดใดชนิดหนึ่ง ก่อนใช้งานกับวัดถุอื่นทุกครั้งเพื่อป้องกันมิให้เกิดปฏิกิริยาเคมีของสารชนิดต่างกัน

ข้อ 56 ต้องดูแลรักษาท่อและส่วนประกอบของท่อส่งวัดถัมมิพิซ วัดถุเคมี วัดถุไวไฟ วัดถุระเบิด หรือวัดถุอื่นที่อาจเป็นอันตราย ให้อยู่ในสภาพที่เรียบร้อย ไม่มีการแตก ร้าว รั่ว ซีม ชำรุด หรือเกิดการไหลย้อนกลับ ท่อส่งต่างชนิดกันต้องทาสี หรือทำเครื่องหมายแสดงความแตกต่างไว้อย่างชัดเจน ในกรณีท่อส่งวัดถุที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส ต้องมีฉนวน กันความร้อนหุ้ม และต้องติดตั้งในลักษณะที่จะไม่ทำให้เกิดการชำรุดเสียหาย โดยจะต้องไม่ตั้งอยู่ใกล้เตาไฟ หม้อน้ำ ท่อไอน้ำ สายไฟฟ้าแรงสูง เครื่องยนต์ไฟฟ้า สวิตช์ไฟฟ้า หรือส่วนของเครื่องจักรที่มีประกายไฟฟ้าหรือบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ

ข้อ 57 ต้องดูแลรักษาลิ้นเปิดปิด (Valve) ต่าง ๆ มิให้มีการรั่วซึม และต้องมีเครื่องหมายแสดงทิศทางการเปิดหรือปิดของลิ้นไว้ด้วย การเปิดและปิดต้องปฏิบัติตามลำดับ ต้องมีกลไกควบคุมเพื่อมิให้เกิดอันตรายขึ้นได้

ข้อ 58 ภาชนะบรรจุวัดถุระเบิด วัดถุไวไฟ วัดถุติดไฟเองได้ วัดถัมมิพิซ วัดถุกัดกร่อน วัดถุระคายเคือง หรือวัดถุที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ แต่ละชนิดต้องแยกเก็บเป็นสัดส่วนและต้องดำเนินการดังต่อไปนี้

- (1) ต้องจัดทำสัญลักษณ์และเครื่องหมายปิดหรือพิมพ์ไว้ที่ภาชนะบรรจุทุกชิ้น โดยให้ตรงตามคุณสมบัติที่เป็นจริงของวัดถุนั้น ๆ ตามรายละเอียดแนบท้ายประกาศรายการ
- (2) ต้องจัดทำสัญลักษณ์และเครื่องหมายปิดหรือพิมพ์ไว้ที่ภาชนะบรรจุ ที่ใช้ในการขนถ่ายวัดถุดังกล่าวออกนอกบริเวณโรงงานตามรายละเอียดแนบท้ายประกาศรายการที่ 6

ทั้งนี้โดยติดป้ายสัญลักษณ์และเครื่องหมายในข้อ 1 ถึงข้อ 2 ในขนาดที่เหมาะสมให้เห็นอย่างชัดเจน

ข้อ 59 ภาชนะบรรจุหรืออุปกรณ์ที่ใช้เกี่ยวกับวัดถัมมิพิซ วัดถุเคมี วัดถุไวไฟ วัดถุระเบิดหรือวัดถุอื่นที่อาจเป็นอันตราย ต้องเป็นแบบที่แข็งแรง ทนทานปลอดภัยในการใช้งาน และต้องเป็นแบบที่เหมาะสม หยิบยกหรือขน

ย้ายได้ด้วยความปลอดภัย หลังจากใช้งานแล้วทุกครั้ง ภาชนะบรรจุที่ไม่ต้องการใช้ให้ทำลายเสีย ห้ามนำไปบรรจุวัตถุสิ่งของอื่น ๆ

ข้อ 60 ภาชนะที่บรรจุวัตถุมีพิษ วัตถุเคมี วัตถุไวไฟ หรือวัตถุที่ระเหยเป็นไอได้ง่ายต้องปิดฝาอย่างสนิท

ข้อ 61 ภาชนะบรรจุวัตถุมีพิษ วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด และวัตถุเคมีชนิดที่เป็นของเหลวที่มีขนาดของภาชนะบรรจุตั้งแต่ 25,000 ลิตรขึ้นไป ต้องสร้างเขื่อนหรือกำแพงคอนกรีตโดยรอบให้มีขนาดที่สามารถจะกักเก็บปริมาณของวัตถุดังกล่าวได้ทั้งหมด เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของวัตถุมีพิษ วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด และวัตถุเคมีนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในกรณีเมื่อเกิดเหตุอุบัติเหตุกับภาชนะดังกล่าวและต้องจัดให้มีวัตถุหรือเคมีภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการระงับหรือลดความรุนแรงของการแพร่กระจายได้อย่างเหมาะสมและเพียงพอ ในกรณีที่ภาชนะบรรจุนั้นตั้งอยู่ในที่โล่งแจ้ง ต้องมีสายล่อฟ้าให้เป็นไปตามหลักวิชาการและภาชนะบรรจุที่อาจเกิดประกวไฟฟ้าสถิตได้ในตัวต้องต่อสายดิน

ข้อ 62 ภาชนะที่บรรจุวัตถุมีพิษ วัตถุเคมี วัตถุไวไฟ หรือถึงปฏิกิริยาภายใต้ความดันต้องสร้างให้ได้มาตรฐานและมีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น ลิ้นนิรภัย (Safety valve) จานนิรภัย (Bursting disc) ปลั๊กหลอมละลาย (Fusible plug) ฯลฯ ครบถ้วน สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

ภาชนะบรรจุและอุปกรณ์อำนวยความสะดวกดังกล่าวที่ผ่านการใช้งานตามระยะเวลาที่มาตรฐานกำหนด ต้องจัดให้มีการตรวจสอบสภาพความปลอดภัยโดยวิศวกรเครื่องกล ผู้ได้รับอนุญาตให้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมตามพระราชบัญญัติวิชาชีพวิศวกรรม พ.ศ. 2505 และให้ส่งรายงานการตรวจสอบตามหลักวิชาการให้แก่พนักงานเจ้าหน้าที่รับผิดชอบของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ข้อ 63 การทำลายหรือปฏิบัติกับภาชนะบรรจุทั้งเศษเหลือของวัตถุมีพิษ วัตถุเคมี วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด หรือวัตถุอื่นที่อาจเป็นอันตราย ต้องใช้วิธีการที่เหมาะสมกับวัตถุชนิดนั้น ๆ ห้ามมิให้มีการทำลายวัตถุอันตรายเหล่านั้นในบริเวณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อบุคคล สัตว์ พืช หรือทรัพย์สินของผู้อื่น หรืออนามัยของบุคคล

ข้อ 64 ต้องจัดให้คนงานปฏิบัติงานเกี่ยวกับวัตถุมีพิษ วัตถุเคมี วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด หรือวัตถุอื่นที่อาจเป็นอันตราย หรือที่อาจทำให้เกิดฝุ่นละออง ความร้อน แสงหรือเสียง ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อการปฏิบัติงานในหน้าที่สวมเครื่องป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ตามความจำเป็นและเหมาะสมต่อการปฏิบัติงานนั้น ๆ และต้องดูแลรักษาเครื่องป้องกันอันตรายดังกล่าวให้อยู่ในสภาพเรียบร้อยพร้อมที่จะใช้งานได้มีประสิทธิภาพตลอดเวลา

ข้อ 65 ต้องจัดให้มีการอบรม แนะนำชี้แจงคนงานให้เข้าใจถึงเหตุอันตรายอันอาจเกิดขึ้นได้ของงานต่าง ๆ ที่ตนปฏิบัติอยู่ ตลอดจนอธิบายให้รู้ถึงวิธีระมัดระวังป้องกันอันตรายและการใช้มาตรการแก้ไขอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานได้ในทันทีด้วย

ข้อ 66 ต้องไม่ยอมให้ผู้ที่ไม่มีความรู้โดยตรง หรือผู้ซึ่งไม่เข้าใจดีถึงเหตุอันตรายของการปฏิบัติงานที่มีอันตรายโดยลำพัง

ข้อ 67 ในกรณีที่คนงานต้องปฏิบัติงานเกี่ยวกับวัตถุมีพิษ วัตถุเคมี หรือวัตถุอื่นที่อาจเกิดเป็นอันตรายต่อผิวหนังหรือร่างกาย ผู้ประกอบการต้องจัดให้มีที่อาบน้ำฉุกเฉิน (Safety shower) ที่ล้างตาฉุกเฉิน (Eye bath) ตามความจำเป็นและเหมาะสม สำหรับทำความสะอาดร่างกายขึ้นต้นเมื่อสัมผัสกับวัตถุดังกล่าว

ข้อ 68 ต้องให้คนงานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับวัตถุมีพิษ วัตถุเคมี วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด หรือวัตถุอื่นที่อาจเป็นอันตราย ทำความสะอาดร่างกายหลังจากเสร็จสิ้นการปฏิบัติงาน กับต้องให้มีการตรวจสุขภาพของคนงานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับวัตถุอันตรายดังกล่าวอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง และให้จัดทำบันทึกไว้

ข้อ 69 ต้องไม่ให้มีการรับประทานอาหาร น้ำ หรือเครื่องดื่มในบริเวณที่ปฏิบัติงาน ที่เก็บ ซึ่งมีการปฏิบัติงานเกี่ยวกับวัตถุมีพิช วัตถุเคมี วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด หรือวัตถุอื่นที่อาจเป็นอันตราย ทั้งนี้นอกเสียจากจะได้กระทำในห้องอาหาร หรือโรงอาหารอย่างถูกต้องตามสุขลักษณะอนามัยโดยเฉพาะ และก่อนรับประทานอาหาร ต้องให้ผู้ปฏิบัติงานล้างมือล้างหน้าเสียก่อน และหลังจากเลิกงานและต้องทำความสะอาดร่างกายทุกครั้ง

ข้อ 70 ต้องไม่ให้มีการพักอาศัยอยู่ภายในอาคารที่มีการเก็บ ผลิต หรือใช้วัตถุมีพิช วัตถุเคมี วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิดหรือวัตถุที่อาจเป็นอันตรายอื่น

ข้อ 71 ในการซ่อมเครื่องจักรต่าง ๆ ที่ผู้ปฏิบัติงานอาจได้รับอันตรายจากวัตถุมีพิช วัตถุเคมี วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด หรือวัตถุอื่นที่อาจเป็นอันตราย ต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญในการปฏิบัติงานนั้น ๆ โดยเฉพาะ และต้องสวมเครื่องป้องกันอันตรายตามความจำเป็นและเหมาะสมในการซ่อม ต้องหยุดเครื่องจักรอื่นที่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายได้ และให้ผู้ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องในการปฏิบัติงานออกจากบริเวณนั้น

ข้อ 72 ในกรณีที่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงานต้องหยุดงานส่วนนั้น ๆ ทันที คนงานซึ่งไม่มีหน้าที่ซ่อมแซมแก้ไขต้องออกจากบริเวณนั้นด่วน และจัดให้มีการแก้ไขหรือระงับอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นโดยเร็ว โดยให้ผู้มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานสวมเครื่องป้องกันอันตรายส่วนบุคคลตามความเหมาะสม

ข้อ 73 โรงงานที่มีการเก็บหรือใช้วัตถุมีพิช วัตถุไวไฟ วัตถุระเบิด หรือวัตถุเคมีที่อาจเป็นอันตรายต้องจัดทำข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติ วิธีใช้ วิธีป้องกันอุบัติเหตุ วิธีเก็บรักษา ข้อควรปฏิบัติและรายละเอียดอื่น ๆ ของวัตถุดังกล่าวตามแบบและวิธีการของกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้แก่กรมโรงงานอุตสาหกรรมทุกงวด 4 เดือน นับแต่วันที่ได้รับอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน

ข้อ 74 ผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานที่มีการเก็บหรือใช้วัตถุมีพิช วัตถุเคมี วัตถุไวไฟ หรือวัตถุอื่นที่อาจเป็นอันตรายต้องจัดให้มีมาตรการเพื่อความปลอดภัยเกี่ยวกับการระงับเหตุอันตรายหรือระงับอัคคีภัย โดยให้จัดทำป้ายเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ตามมาตรฐานสากลแสดงให้ทราบถึงระดับความไวไฟ ระดับอันตรายต่อสุขภาพร่างกายของวัตถุเหล่านั้นขณะถูกติดไฟหรือระดับความรุนแรงต่อปฏิกิริยาหรือรายละเอียดอื่น ๆ เช่น วัตถุดังกล่าวนั้นสามารถใช้น้ำดับไฟได้หรือไม่ ให้แผ่นป้ายมีขนาดใหญ่พอสมควรติดหรือแขวนไว้ด้านหน้า บริเวณที่มีการเก็บหรือใช้วัตถุอันตรายดังกล่าว"

ประกาศ ณ วันที่ 1 มิถุนายน 2530

ประมวล สภาวสุ

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

9.5 มาตรฐานสิ่งแวดล้อม กับพระราชบัญญัติโรงงานใหม่

การพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศในระยะที่ผ่านมา ทำให้การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมเป็นไปอย่างรวดเร็ว ดังจะเห็นได้จากโรงงานอุตสาหกรรมใหม่ ๆ ที่เกิดขึ้นมากมายโดยในปี 2533 มีโรงงานอุตสาหกรรมทั่วประเทศถึง 98,995 แห่ง และในปี 2534 เพิ่มขึ้นเป็น 102,723 แห่ง

การเพิ่มขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมากให้ของเสียที่เหลือจากการผลิต หรือหมดสภาพการใช้งานทางอุตสาหกรรมถูกปล่อยทิ้ง และมีจำนวนไม่น้อยที่ปะปนลงไปกับน้ำในลำคลอง และแม่น้ำจนเกิดมลภาวะ และสัตว์น้ำได้รับอันตรายจำนวนมาก สารตกค้าง หรือสารพิษแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และนับเป็นสาเหตุให้

สภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมลงอย่างมากมายทั้งในอากาศและน้ำนอกจากนั้นยังมีอันตรายจากเสียงที่อีกที่รบกวนและความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นทั่วไปในบริเวณใกล้เคียงกับโรงงานอุตสาหกรรม

จำนวนโรงงานอุตสาหกรรม

ปี	กรุงเทพมหานคร	ภูมิภาค	รวม
2529	16,661	68,819	85,480
2530	17,056	70,166	87,222
2531	17,465	73,623	91,088
2532	18,689	76,083	94,722
2533	19,892	79,103	98,995
2534	20,378	82,345	102,723

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

นำของเสียกลับมาใช้ใหม่ : มาตรการการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม

มลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมมีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ ทางหน่วยงานของราชการที่มีหน้าที่รับผิดชอบจึงได้เร่งแก้ไขด้วยมาตรการต่าง ๆ ซึ่งวิธีหนึ่งที่ได้นำมาใช้ก็คือ การให้ผู้ประกอบการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่อีกครั้ง (Recycle) ด้วยการปรับปรุงคุณภาพของเสียให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ พร้อมทั้งสนับสนุนเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อเพิ่มคุณภาพของวัตถุดิบที่นำกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนั้นยังมีการจัดทำแผนระดับชาติเรื่องการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ และการลดปริมาณของเสียโดยจะมีการจัดตั้งศูนย์ประสานงานนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์

นอกจากนี้ในปี 2536 สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ส.อ.ท.) ยังมีโครงการจะจัดตั้งศูนย์วางแผนและควบคุมการใช้ประโยชน์จากของเสียและการลดปริมาณของเสียในประเทศโดยใช้เงินงบประมาณจากรัฐบาล และการสนับสนุนจากองค์การร่วมมือระหว่างประเทศ

การนำของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์ปี 2529-2534

ลักษณะของเสีย	ศักยภาพในการใช้ประโยชน์ต่อปี(ร้อยละ)
มูลฝอยชุมชน	8
ของเสียที่เป็นน้ำมัน	80
ของเสียที่เป็นของเหลว	80
ของเสียที่เป็นโคลน	34

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

การแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมมีนโยบายที่สำคัญ ๆ ดังนี้

1. นโยบายมุ่งเน้นการป้องกันมลพิษ โดยใช้ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์วัสดุใหม่ที่พัฒนาขึ้นมากรรมวิธีการผลิต และผลที่จะเกิดต่อสภาวะแวดล้อม

2. นโยบายเกี่ยวกับการพัฒนา หรือการเลือกใช้กรรมวิธีการผลิตที่คำนึงถึงของเสียที่จะเกิดขึ้น และมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และการให้โรงงานอุตสาหกรรมรับผิดชอบในการจัดของเสียเอง

3. นโยบายส่งเสริมสนับสนุนให้ผู้บริโภคมีความรับผิดชอบต่อปริมาณ และคุณภาพของเสียที่เกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยอาศัยการหมุนเวียนของทรัพยากรและนำกลับมาใช้ใหม่เป็นทางเลือกหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการหมุนเวียนสสารตามธรรมชาติสภาวะเศรษฐกิจ การจัดสรรและใช้ทรัพยากร ซึ่งจากประสบการณ์ที่ผ่านมาประเทศที่พัฒนาแล้วต่างชี้ให้เห็นความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยีของการนำวัตถุดิบกลับมาใช้ใหม่จะให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจอย่างคุ้มค่าและเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม ได้อย่างจริงจังด้วย

พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 กับปัญหาสิ่งแวดล้อม

ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติฉบับที่ 7 (พ.ศ. 2535-2539) ได้เน้นเกี่ยวกับปัญหาการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และป้องกันการทำลายสิ่งแวดล้อมจากโรงงานอุตสาหกรรมและเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพที่เป็นอยู่ จึงได้มีการแก้ไขพระราชบัญญัติโรงงานในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งเรียกพระราชบัญญัติใหม่ว่า พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งมีผลบังคับใช้ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2535 โดยมีรายละเอียดที่สำคัญ ดังนี้

การจัดแบ่งประเภทโรงงานแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

1. โรงงานที่ไม่ต้องขออนุญาตจัดตั้งสามารถดำเนินการได้เลยตามความประสงค์ของผลประกอบการ เช่น โรงงานบริการทั่วไป

2. โรงงานที่ไม่ต้องขออนุญาตจัดตั้งแต่ก่อนเปิดดำเนินการต้องแจ้งให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบ ได้แก่ โรงงานขนาดกลางที่ไม่ก่อปัญหามลพิษ

3. โรงงานที่ต้องขออนุญาตจัดตั้งและประกอบกิจการ ได้แก่ โรงงานที่อาจก่อปัญหามลพิษ

การขอเปิดโรงงานเป็นบางส่วน หรือทดลองเครื่องจักรจะต้องแจ้งให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบล่วงหน้าไม่น้อยกว่า 15 วัน ใบอนุญาตขอเปิดโรงงานมีกำหนดอายุเวลา 5 ปี นอกจากนี้พระราชบัญญัติใหม่ยังให้อำนาจรัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดเขตอุตสาหกรรม ซึ่งเขตนี้จะได้รับการยกเว้นสำหรับการจัดตั้งโรงงานได้โดยไม่ต้องแจ้งให้ทางการทราบ

การกำหนดเขตอุตสาหกรรมนี้ เพื่อประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมสำหรับโรงงานใดที่ก่อให้เกิดอันตราย ความเสียหายหรือ ความเดือดร้อนแก่บุคคลใดบุคคลหนึ่งและสิ่งแวดล้อม พนักงานเจ้าหน้าที่ก็จะมีความสั่งให้โรงงานปรับปรุงแก้ไขให้เรียบร้อยภายในกำหนดเวลา หากโรงงานยังไม่รีบดำเนินการ หรือการประกอบกิจการโรงงานอาจก่อให้เกิดความเสียหายร้ายแรง กรมโรงงานอุตสาหกรรม ก็มีอำนาจสั่งให้หยุดโรงงานได้ และถ้าหากยังไม่ยอมปรับปรุงแก้ไขอีก ก็มีอำนาจสั่งปิดโรงงานได้ ซึ่งในกรณีที่เป็นโรงงานประเภทที่ 3 เท่ากับเป็นการเพิกถอนใบอนุญาตนั่นเอง

อย่างไรก็ดี ผู้ประกอบการก็มีสิทธิอุทธรณ์ต่อรัฐมนตรีภายใน 30 วัน ในกรณีที่ผู้ประกอบการไม่ยอมปรับปรุงแก้ไขโรงงาน ถ้ามีเหตุที่ทางราชการสมควรเข้าไปดำเนินการแทนก็มีอำนาจสั่งการหรือมอบหมายให้บุคคลใดเข้าจัดการแก้ไขเพื่อให้เป็นไปตามคำสั่งนั้น โดยผู้ประกอบการต้องเสียค่าใช้จ่ายทั้งหมดตามความจริง รวมไปถึงเบี้ยปรับอีก 30เปอร์เซ็นต์ ต่อปี ซึ่งตรงกับหลักการที่ว่า “ผู้สร้างปัญหามลพิษจะต้องเป็นผู้รับภาระในการบำบัดและการกำจัดมลพิษ (Polluters Pay Principle)”

บทกำหนดโทษที่ควรรู้

สำหรับโรงงานที่กระทำความผิดฝ่าฝืนกฎหมายพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 จะต้องมีโทษดังนี้

1. ผู้ฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามจะต้องระวางโทษปรับไม่เกิน 200,000 บาท
2. ผู้ประกอบกิจการโรงงานประเภทที่ 2 ประกอบกิจการโดยไม่แจ้ง ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 6 เดือน หรือปรับไม่เกิน 50,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ
3. ผู้ประกอบกิจการโรงงานประเภทที่ 3 ประกอบกิจการ โดยไม่ได้รับอนุญาตต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 2 ปี หรือปรับไม่เกิน 200,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ
4. ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่ขยายโดยไม่ได้รับใบอนุญาตขยาย ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 2 ปี หรือปรับไม่เกิน 20,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ
5. ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่ไม่ยอมหยุดหรือไม่ยอมเปิดโรงงานตามคำสั่ง ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 2 ปี หรือปรับไม่เกิน 200,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ และปรับอีกวันละ 5,000 บาท จนว่าจะหยุดประกอบกิจการ สำหรับสถานปนักหรือวิศวกรที่ทำงานในโรงงานหรือคนงานในโรงงานที่ฝ่าฝืนก็ต้องลงโทษลดหลั่นลงมา
6. ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่ไม่ปฏิบัติตามคำสั่งของพนักงานเจ้าหน้าที่ ในส่วนการปรับปรุงแก้ไขโรงงาน ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 1 ปี หรือปรับไม่เกิน 100,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับและปรับอีกวันละไม่เกิน 5,000 บาท ตลอดเวลาที่ยังฝ่าฝืน

จะเห็นได้ว่าบทกำหนดโทษดังกล่าวนี้เป็นบทกำหนดโทษที่ค่อนข้างจะรุนแรงกว่าพระราชบัญญัติเดิม เนื่องจากเมื่อทางราชการไม่ผ่อนปรนในส่วนของการขออนุญาตเพื่อความสะดวกรวดเร็วและเอื้ออำนวยแก่บรรยากาศของการลงทุนแล้ว การกำกับดูแลเหตุเดือดร้อนอันตรายความปลอดภัย ตลอดจนปัญหามลพิษอันเกี่ยวเนื่องมาจากโรงงานอุตสาหกรรมก็ควรจะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

อย่างไรก็ตาม การที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมให้ได้ผลสำเร็จควบคู่ไปกับการพัฒนาอุตสาหกรรมนั้น ควรจะเริ่มจากการสร้างจิตสำนึกและการให้ความร่วมมืออย่างจริงจังของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมและผู้ที่เกี่ยวข้องด้วยทุกฝ่ายเพื่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่ดีขึ้นต่อไป

9.6 ประกาศกระทรวงมหาดไทยเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงาน

ปัจจุบันกระทรวงมหาดไทย ได้ออกประกาศกระทรวงมหาดไทยเป็นจำนวนหลายฉบับโดยอาศัยอำนาจแห่งประกาศของคณะปฏิวัติ ฉบับที่ 103 ลงวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2515 ประกาศกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่บัญญัติเกี่ยวกับความปลอดภัยในการทำงาน ฉบับที่สำคัญ ๆ ได้แก่

1. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร ลงวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2519
2. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม ลงวันที่ 12 พฤศจิกายน พ.ศ. 2519
3. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ลงวันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2520
4. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยเกี่ยวกับไฟฟ้า ลงวันที่ 8 มีนาคม พ.ศ. 2522

5. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม (ประธานน้ำ)
ลงวันที่ 17 กันยายน พ.ศ. 2523
6. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้างว่าด้วยลิฟต์ขนส่งวัสดุชั่วคราว
ลงวันที่ 29 มกราคม 2524
7. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้างว่าด้วยนั่งร้าน
ลงวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2525
8. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานของลูกจ้าง ลงวันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2528
9. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้างว่าด้วยเขตก่อสร้าง
ลงวันที่ 10 กันยายน พ.ศ. 2528
10. ประกาศเกี่ยวกับกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับบันได
ลงวันที่ 17 เมษายน พ.ศ. 2530
11. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับการตอกเสาเข็ม
ลงวันที่ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2531
12. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานในสถานที่อับอากาศ
ลงวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2533
13. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสารเคมีอันตราย
ลงวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2533
14. ประกาศกระทรวง มหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อไอน้ำ
ลงวันที่ 21 ตุลาคม พ.ศ. 2534
15. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานในสถานที่ที่มีอันตรายจากการตกจากที่สูง วัสดุ
กระเด็น ตกหล่น และพังทลาย ลงวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2534
16. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการเพื่อความปลอดภัยใน
การทำงานสำหรับลูกจ้าง ลงวันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2534

สรุปบทที่ 9 กฎหมายอุตสาหกรรม โดยการประกาศใช้ “พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535” นี้ นับเป็นก้าวสำคัญในด้านการส่งเสริม และพัฒนากิจการอุตสาหกรรม เนื่องจากการออกกฎหมายที่คำนึงถึงความเป็นจริงของสภาพเศรษฐกิจ สังคมและเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว เป็นการเปิดโอกาสให้ภาคอุตสาหกรรมมีความคล่องตัวมากขึ้นในการประกอบกิจการโรงงาน สอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลที่มุ่งเน้นการกำกับดูแลแทนการควบคุมโรงงานอย่างเข้มงวด รวมทั้งกฎกระทรวงที่ได้กล่าวมาข้างต้นเป็นส่วนที่สำคัญที่โรงงานต้องยึดถือปฏิบัติโดยได้กล่าวรวมถึงบทบาทและหน้าที่ที่สำคัญของวิศวกร ตลอดจนนักวิทยาศาสตร์ หรือช่างเทคนิคที่เกี่ยวข้องในอันที่จะมีส่วนร่วมกันรับผิดชอบ เพื่อให้การประกอบการอุตสาหกรรมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และปลอดภัยพลพิษ หรือที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดต่อไป

แบบฝึกหัด บทที่ 9

ข้อที่ 1 จงเขียนเครื่องหมายถูกหรือผิดหน้าข้อต่อไปนี้

-1. กฎหมายความปลอดภัยเกิดขึ้นจากการศึกษาอันตรายของพิษตะกั่วในกลุ่มผู้ทำงานเหมืองแร่ เมื่อ 400 ปีก่อนคริสต์ศักราช
-2. การพัฒนากฎหมายทางด้านความปลอดภัยในประเทศไทยโดยเฉพาะ พรบ. สาธารณสุข มีสาเหตุเนื่องมาจากการพัฒนาจากภาคเกษตรกรรมเป็นภาคอุตสาหกรรม
-3. ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 โรงงานหมายความว่า อาคาร สถานที่ หรือยานพาหนะที่ใช้เครื่องจักรมีกำลังรวมตั้งแต่ห้าแรงม้าหรือกำลังเทียบเท่าตั้งแต่ห้าแรงม้าขึ้นไป หรือใช้คนงานตั้งแต่ห้าคนขึ้นไปโดยใช้เครื่องจักรหรือไม่ก็ตาม
-4. พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 (มาตรา 7) ได้แบ่งโรงงานตามประเภท ชนิด หรือขนาดเป็น 3 จำพวก ซึ่งโรงงานประเภทที่ 1 จัดเป็นโรงงานขนาดเล็ก ส่วนโรงงานประเภทที่ 2 เป็นโรงงานขนาดกลาง และ โรงงานประเภทที่ 3 เป็นโรงงานขนาดใหญ่ ซึ่งโรงงานประเภทที่ 1 หรือโรงงานขนาดเล็กสามารถประกอบกิจการได้ทันทีโดยไม่ต้องแจ้งหรือขออนุญาตต่อทางราชการเนื่องจากถือว่าเป็นการประกอบกิจการที่ไม่ก่อปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมหรือเหตุเดือดร้อนอันตราย
-5. เราทราบแล้วว่าหากผู้ใดประกอบกิจการในโรงงานขนาดใหญ่ โดยไม่ได้รับอนุญาต หรือตั้งโรงงานโดยไม่ได้รับใบอนุญาตตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 5 ปี หรือปรับไม่เกิน 200,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ
-6. การลงโทษผู้ประกอบกิจการโรงงานและวิศวกรผู้ทำงานในระหว่างที่ได้มีคำสั่งให้หยุดประกอบกิจการ โรงงานหรือภายหลังที่มีคำสั่งให้ปิดโรงงาน ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 2 ปีหรือปรับไม่เกิน 200,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ และให้ปรับอีกวันละ 5,000 บาทจนกว่าจะหยุดการประกอบกิจการ ส่วนคนงานผู้ใดฝ่าฝืนทำในโรงงาน ให้ศาลตัดสินโดยคำนึงถึงฐานะความรับผิดชอบต่อครอบครัว ความจงใจฝ่าฝืนกฎหมาย
-7. พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 สามารถแยกสาระสำคัญของบทบัญญัติทั้งหมดได้ 4 ลักษณะ ซึ่งเป็นหลักการและเหตุผลสำคัญในการกำกับควบคุม และดูแลโรงงาน ต่าง ๆ หนึ่งในสาระสำคัญของบทบัญญัติคือความปลอดภัยและสุขอนามัย
-8. การประกอบกิจการโรงงานอย่างปลอดภัย จึงเป็นเงื่อนไขสำคัญประการหนึ่งในการพิจารณาออกใบอนุญาต เช่น ความมั่นคงแข็งแรงของอาคารโรงงาน การระบายอากาศ ฝุ่น เขม่าควัน ความร้อน แสงสว่าง เสียงดัง ความแออัดของพื้นที่ การป้องกันอัคคีภัย หรือการระเบิด เป็นต้น
-9. บทบัญญัติเกี่ยวกับการเกิดอุบัติเหตุอันตรายในพ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535 การประกอบกิจการในมาตรา 34 ให้ ความหมายของการก่อให้เกิดความเสียหายของ “อุบัติเหตุ” 2 แบบคือ ก่อให้เกิดความเสียหายทางชีวิตหรือร่างกายและ ก่อให้เกิดความเสียหายทางจิตใจ
-10. จุดเด่นประการหนึ่งของ พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535 คือ การคิดค่าใช้จ่ายและเบี่ยงปรับจากผู้ประกอบกิจการโรงงาน และเป็นไปตามหลักการที่ว่า “ผู้สร้างปัญหามลพิษ จะต้องเป็นผู้รับภาระในการบำบัดและการจำกัดมลพิษนั้น” (Polluters Pay Principle)

-11. การแบ่งโรงงานเป็นประเภทไหนนั้นแบ่งโดยใช้เกณฑ์แรงม้าของเครื่องจักร หรือจำนวนคนงาน
-12. เครื่องดับเพลิงต้องอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ และต้องจัดให้มีการบันทึกการเติมหรือการเปลี่ยนแปลงเคมีภัณฑ์กับการตรวจสอบความจำเป็นและตามข้อแนะนำของผู้ผลิต แต่การตรวจสอบนั้นต้องกระทำไม่น้อยกว่า 1 ปีต่อหนึ่งครั้ง
-13. ค่าของความเป็นกรด ด่าง (pH value) ของน้ำก่อนการระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงาน ต้องอยู่ระหว่าง 6 ถึง 9
-14. คลอรีนอิสระ (Free chlorine) ของน้ำก่อนการระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงาน ต้องไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
-15. บริเวณที่มีการปฏิบัติงานต้องการความละเอียดเป็นพิเศษ หรือเมื่อมีการปฏิบัติงานติดต่อกันเป็นระยะเวลานานที่ซึ่งงานมีขนาดเล็กละเอียด และลักษณะสีสันไม่แตกต่างกันนัก เช่น การประกอบเครื่องจักรที่มีความละเอียดสูง การประกอบนาฬิกา การทดสอบเครื่องที่มีความละเอียดสูง การเจียรไนเพชร พลอย การเรียงพิมพ์ การเย็บผ้าที่มีสีคล้ำ ความเข้มของการส่องสว่างต้องไม่น้อยกว่า 500 ลักซ์

ข้อที่ 2 จากมาตรฐานความปลอดภัยตามกฎหมายโรงงานหมวดที่ 2 -4

- 1 เส้นทางออกฉุกเฉินที่วางทางออกฉุกเฉินต้องที่ขนาดกว้างไม่น้อยกว่า 110 เซนติเมตร แต่ถ้ากรณีนี้ผู้ที่จะต้องออกตามทางนี้มากกว่า 50 คน ก็ให้ดูแลให้กว้างเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนไม่น้อยกว่า 2 เซนติเมตรต่อ 1 คน ถ้ามีคนอยู่ในห้องประชุมใหญ่ 200 คน ต้องมีประตูกว้างเท่าใด (ในทางปฏิบัติประตูใหญ่เกินไปต้นทุนจะสูงขึ้น อาจตอบเป็นความกว้างรวมของประตูแต่ละบานก็ได้).....
- 2 เครื่องดับเพลิงหรือสิ่งที่ใช้ในการดับเพลิงและการป้องกันอัคคีภัย ที่ว่าการประกอบกิจการโรงงานอันอาจก่อให้เกิดอัคคีภัยดังนั้นต้องมีเครื่องดับเพลิงที่เหมาะสมตามสภาพขนาดและลักษณะของโรงงานนั้นๆ ประจำไว้ในที่ต่างๆ กันในบริเวณโรงงานให้หยิบใช้ได้โดยสะดวก ทั้งนี้ต้องมี 1 เครื่อง ต่อพื้นที่ 100 ตารางเมตร เศษของ 100 ตารางเมตร ให้นับเป็น 100 ตารางเมตร ดังนั้นถ้าพื้นที่เปล่า 250 ตารางเมตร และมีภาชนะรับความดันกินพื้นที่ 80 ตารางเมตร จะต้องให้มีเครื่องดับเพลิงกี่เครื่อง.....
- 3 ต้องจัดให้มีห้องส้วมอย่างน้อยในอัตรา คนงานไม่เกิน 40 คน 2 ที่นั่ง คนงานไม่เกิน 80 คน 3 ที่นั่ง และเพิ่มขึ้นต่อจากนี้ในอัตรา 1 ที่นั่งต่อจำนวนคนงานไม่เกิน 50 คน สำหรับโรงงานที่มีคนงานชายและคนงานหญิงรวมกันมากกว่า 15 คน ให้จัดส้วมเป็นสัดส่วนไว้สำหรับคนงานหญิงโดยเฉพาะตามสมควร ต้องจัดให้มีห้องส้วมอย่างน้อยในอัตรา คนงานไม่เกิน 40 คน 2 ที่นั่ง คนงานไม่เกิน 80 คน 3 ที่นั่ง และเพิ่มขึ้นต่อจากนี้ในอัตรา 1 ที่นั่งต่อจำนวนคนงานไม่เกิน 50 คน สำหรับโรงงานที่มีคนงานชายและคนงานหญิงรวมกันมากกว่า 15 คน ให้จัดส้วมเป็นสัดส่วนไว้สำหรับคนงานหญิงโดยเฉพาะตามสมควร ถ้าคนงานชาย 40 คน คนงานหญิง 20 คน จะต้องมียุ้งน้ำทั้งหมด.....ห้อง เป็นห้องน้ำหญิงห้อง และ ชายห้อง
- 4 ต้องจัดให้มีน้ำสะอาดสำหรับดื่มตามมาตรฐานน้ำบริโภคอย่างพอเพียงไว้เหมือนกับจัดห้องส้วมหรือไม่ ถ้าไม่ ต้องมากหรือน้อยกว่า.....

บรรณานุกรม

- เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต. (2542). การออกแบบระบบป้องกันอัคคีภัย (**Fire Fighting System Design**).
ระยอง: บริษัทปิโตรเคมีกล๊อปไทย จำกัด.
- พิชัย ไตวิวิชญ์ และคณะ. (2545). คู่มือสารเคมีกับความปลอดภัย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ:
โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิฑูรย์ สิมะโชคดี. (2536). วิศวกรรมความปลอดภัย. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
- วิฑูรย์ สิมะโชคดี. (2539). วิศวกรรมและการบริหารความปลอดภัยในโรงงาน. กรุงเทพฯ: สมาคม
ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช. (2540). เอกสารการสอนวิชาหลักความปลอดภัยในการทำงาน.
พิมพ์ครั้งที่ 7. นนทบุรี: มหาวิทยาลัย.
- สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน. (2004). **NICE News letter**. 21(48), 1-2.
- สุรัชย์ วิวัฒน์สินรินทร์ และวสิน มหัตนรินทร์กุล. (2547). การป้องกันและการประเมินความเสี่ยง.
กรุงเทพฯ: บริษัทปิโตรเคมีแห่งชาติ (มหาชน) จำกัด และองค์กรพัฒนาคุณภาพ
อุตสาหกรรมไทย.
- Bombay harbor. (2010). Engineering products. Retrieved January 11, 2011 from
http://www.bombayharbor.com/Product/12495/Used_1_Ton_Boiller_ForSale.html
- Carslaw, H. S. and Jaeqer J. C. (1959). **Conduction of heat transfer in solids**. Oxford:
Oxford University Press.
- Crowl, D.A. & Louvar, J.F. (2011). **Chemical process safety fundamentals with applications**.
3 rd.ed. New Jersey: Prentice Hall.
- Cuny, X. & Lejeune, M. (2003). Statistical modeling and risk assessment. **Safety Science**.
41 (4), 29-51.
- Federal Aviation Admin. (2010). **Sytem Safety Handbook**. Retrieved January 11, 2011
from http://www.faa.gov/library/manuals/aviation/risk_management/ss_handbook/
- Finney, D.J. (1971). **Probit analysis**. New York: Cambridge University Press.
- Gabbar, H.A., Suzuki Kuzuhiko & Shimada, Yukiysu. (2001). Design of plant safety model
in plant enterprise engineering environment. **Reliability Engineering and System
Safety**. 73 (1), 35-47.
- Harms-Ringdahl Lar. (2003). Assessing safety functions-result from a case study at an
industrial workplace. **Safety Science**. 41 (8), 701-720.
- Hanna, S.R. and Dricas, P.J. (1987). **Guidelines for Use of Vapor Cloud Dispersion Models**,

- American Institute of Chemical Engineers. Center for Chemical Process Safety, New York.
- Heinrich, H.W. 1959. **Industrial Accident Prevention**. 4th ed. New York: Mc Grow-Hill.
- Hill Jr. R. H. (2003). The safety Ethic : Where can you get one?. **Chemical Health & Safety**, 10 (3), 8-11.
- Sax, N.I. 1984. **Dangerous properties of Industrial Material**. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Satyanarayana and Rao (1992). Improved equation to estimate Flash Points of Organic compounds. **J. of Hazardous material** 32, 81-85.
- Komvuschara K. (2002). **UV disinfection in comparison with other small scale technologies for the treatment of domestic greywater**. Ph.D. thesis, University of Hertfordshire, UK.
- Lees, F.P. (1980). **Loss prevention in the process industries, Vol 1** Butterworth-Heinemann, London:
- Leveson Nancy. (2003). A new accident model for engineering safer systems. **Safety Science** No. 2, 1-33.
- Lundin J. & Johnsson R. (2002). Master of science in risk management and safety engineering, at Lund University, Sweden, **Journal of loss prevention in the process industries**, 15 (2), 111-117.
- Martin, F. (1976). **History of Lloyds and of Marine Insurance in Great Britain**. Oxford: Oxford University Press.
- Miller, Zin & Nelson, L. (1993). **Financial Accounting Principles**. 2nd Canadian ed. Ontario: Irwin.
- NEPA 10-1978. Standard for Portable fire extinguisher
- Peter, Symonds. (1997). **Industrial Inferno: The story of the Thai Toy Factory Fire.**, Bankstown Australia: Labour Press Books.
- Singley, J. A. (2004). Hazard versus risk. **Chemical Health & Safety** 11 (1), 14-16.
- Usher, A..P. (1954). **A History of Mechanical Invention**. New York: Dover Publication.
- Walters, D. (2000). A Short History of Chemical Health and Safety Beginning with Adam and Eve. **Chemical Health Safety**. Vol 9, 44.

Weisburger, E.K. (2001). History and background of the Threshold Limit Value committee of the American conference of governmental Industrial Hygienists. **Chemical Health & Safety**, Vol 10, 10-12.

Wentz, C.A. (1998). **Safety, Health and Environmental protection**. Australia: International Scientific Management.

ดรรชนี

กฎระเบียบความปลอดภัย	37	การสันดาป	280
กฎหมายความปลอดภัย	347	การหาปัญหา	152,169
การเกิดอุบัติเหตุ	8,12,35	การอพยพลี้ภัย	328
การแทนที่	216	แก๊สเชื้อเพลิง	
การแผ่ตัวอยู่	132	แก๊สปิโตรเลียมเหลวแอลพีจี	115,116
การให้การศึกษา	23	แก๊สธรรมชาติเหลว เอ็นจีแอล	116
การไหม้เมื่อได้รับความเย็น	100	แก๊สธรรมชาติเหลว แอลเอ็นจี	116
การไหลแบบคงที่	205, 246	แก๊สธรรมชาติอัดแรงดัน	116
การไหลแบบปั่นป่วน	197	แก๊สเหลว	97
การฉีดพ่นของของเหลว	167	แก๊สอุดมคติ	163
การกระจายข้อมูลแบบปกติ	132	ของเสียอันตราย	349, 355
การกระทำที่ไม่ปลอดภัย	14,62	ของเหลวที่ความหนาแน่นคงที่	262
การตรวจโรงงาน	35	ข้อตกลงร่วมกัน	20
การตรวจสอบความปลอดภัย	36,59	คลื่นความดันสูง	281
การติดไฟ	279, 287, 291	ความเป็นพิษสัมพัทธ์	142
การถอนพิษ	130	ความเสี่ยง	4,149
การทดสอบแบบกระแทก	127	ความดันของระเบิด	141, 145
การทำให้เฉื่อย		ความดันไออิ่มตัว	281
การทำให้เป็นสุญญากาศ	318	ความยั่งยืนถาวร	8
การไล่โดยใช้ความดัน	320	ความร้อนแฝง	99
การกวาดไล่	322	ค่าความขรุขระสัมพัทธ์	194
หลักการไซฟอน	323	คุณธรรมและจริยธรรม	20
การบ่งชี้อันตราย	4, 52	คัมภีร์จริยธรรม	21
การประเมินความเสี่ยง	5	คุณสมบัติของแก๊ส	
การประเมินผล	52	แก๊สไวไฟ	105,106,121
การปลดปล่อยสารพิษ	239	แก๊สมีพิษ	96
การป้องกันการสูญเสีย	7	แก๊สระเบิดได้	96
การฟื้นฟูเหตุการณ์	52,69	แก๊สกัดกร่อน	96,121
การระเบิด	279, 294	แก๊สที่ถูกอัด	97,124
การระบายอากาศ	317, 327	แก๊สที่เย็นจัด	97,104,105,113
การรั่วแบบกระจาย	223	คุณสมบัติด้านการติดไฟ	
การลดความดัน	291	เป็นสารไวไฟอย่างรุนแรง	78
การสอบสวนอุบัติเหตุ	36, 39, 60, 61	จุดวาบไฟ	78, 82, 86

ค่าขอบเขตของการระเบิด	78	แผนงานปรับปรุงแก้ไข	52, 72
อุณหภูมิจุดติดไฟ	101, 105, 106, 107	แผ่นปะทุแตก	121
คุณสมบัติทางกายภาพ		ฝาครอบปะทุแตก	104
ความหนาแน่นของไอ	78, 80	พลังงานความร้อน	152
ความดันไอ	78, 80	พลังงานจลน์	185, 192
ความถ่วงจำเพาะ	111, 113, 114	พลังงานที่ทำให้เกิดการติดไฟ	279, 290
การผสมเข้ากันได้กับน้ำ	78, 81	พิษ	78, 239
จุดเยือกแข็ง	78, 82	พิษวิทยา	78, 127
ชื่อเรียกสารเคมีทั่วไป	78	พื้นที่อันตราย	316
ชื่อทางเคมี	79	ไฟฟ้าสถิต	294
ชุดป้องกัน	110, 120	ไฟลวีล	378
เซฟการ์ด	65	ระเบิดกัมปะนาท	294
ตัวการที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ	63	ระเบิดความร้อนสูง	295
ด้านฤทธิ์ของสารพิษ	138	ระดับการตอบสนองของชั้นเสียชีวิต	128
ทฤษฎีของความยุ่งเหยิง	1	ระบบการรับสารเคมีของร่างกาย	
ทฤษฎีความซับซ้อน	1	การฉีก	128
เทอมไร้หน่วย	133	ระบบทางเดินอาหาร	128
ทางเข้าสู่ร่างกายของสารเคมี		ระบบทางเดินหายใจ	128
ทางปาก	78	ระบบการดูดซึมทางผิวหนัง	128
ทางหายใจ	78	ระบบที่ถูกอัดแบบอะเดียแบติก	292
การดูดซึม	78	ระบายนกาศแบบมีตัวดูด	120
แบบจำลองปริมาณกำหนด	259, 261	รังสีเอกซ์	127
แบบจำลองการรั่วไหล	182	ริงเกลมานน์	383
แบบรักษาได้	130	รูปแบบของสาร	
แบบรักษาไม่ได้	130	ฝุ่น	156
ใบรับรองคุณภาพจากผู้ผลิต	127	พุ่ม	156
ปิรามิดความปลอดภัย	15	ควีน	156
ปลั๊กหลอมละลาย	108, 121, 124	ละออง	157
ปัจจัยที่อำนวยความสะดวก	63	แก๊ส	157
ปริมาณกำหนด (โดส)	132	ไอ	157
ผลของพันธุกรรม (ยีน)	131	แรงลอยตัว	242
ผลตอบสนอง	130	วาล์วนิรภัย	58
ผลสูญเสียจากการเกิดอุบัติเหตุ	35	วิศวกรรมความปลอดภัย	7
ผู้ที่ได้รับผลกระทบ	8	สถานภาพ	79
สภาวะที่เป็นอันตราย	63	สภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย	14

ไอผสมในอากาศ	163	เออโกโนมิกส์	149
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล	164	โอกาสที่จะทำให้เกิดการสูญเสีย	35
สัมประสิทธิ์การปล่อยออก	185	ไอผสมในอากาศ	164
สามเหลี่ยมของไฟ	279	ไออิมตัว	164
สารเคมีในธรรมชาติ	130	ฮิปโปเครติส	1
สารไฮโดรคาร์บอน	290		
สารกัดกร่อน	77, 82		
สารติดไฟ	77		
สารที่เป็นอันตราย	83		
สารที่ไวต่อปฏิกิริยา	77		
สารพิษ	94		
สารมีพิษ	77		
สารระเบิดได้	77		
สิ่งที่เข้ากันไม่ได้	78, 82		
สุขศาสตร์อุตสาหกรรม	149		
เสริมฤทธิ์แบบรวมกันแบบบวก	138		
เสริมฤทธิ์มากกว่าสารตั้งต้น	138		
หม้อต้มความดัน	346		
อัตราการไหลโดยมวล	210		
อันตรายต่าง ๆ			
สุขภาพ	84		
ไวไฟ	84		
ความไวไฟในปฏิกิริยา	84		
ข้อมูลพิเศษ	84		
อาการเรื้อรัง	78		
อาการแบบเฉียบพลัน	78		
อุบัติเหตุ	6		
อุบัติเหตุทางเคมี	77		
อุณหภูมิที่ติดไฟเอง	279		
อุปกรณ์นิรภัย	97		
อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล	86		
เอนโทรปี	206		
เอนทัลปี	212		

Index

A.S.I.	66	Cold burn	100
Accident	6,69	Combustion	280
ACGIH	143	Commitment	20
Acute	132	Common name	79
Additive	138	Complexity	1
Adiabatic	211, 281	Complexity theory	1
Advection	246	Contributing factors	63
Agency of accident	63	Correction factor	204
AICHE	20	Corrective Accident Plan	52,72
Alveoli	128	Corrosive	77
ANSI	51	db	155
Antagonistic	138	dbA	160
Auto ignition temp	280	Deflagration	281
B.O.D	374	Depressurization	223
BLEVE	118,253	Detonation	281
Boiler	367	Detoxification	130
Buoyancy	244	Dilution ventilation	149, 173
Catastrophe	239,240	Dimensionless	133
Catesian coordinate	249	Disc rupture	104
Chaos theory	1	Discharge coefficient	204
Chemical Accidents	77	Dispersion coefficient	249
Chemical agent	130	Displacement	167
Chemical name	79	Dose	131,239
Chemical transfer		Dust explosion	281
Ingestion	78	ED	138,142
Inhalation	78	Eddy diffusion	247
Absorption	78	Education	23
Choked flow		Effectuated Chemical form	
Adiabatic pipe	218	Dust	156
Isothermal pipe	218	Fume	156
Holes	202	Smoke	156
Chronic	78	Mist	157
Clausius – Clapyron	227	Gas	157

Vapour	157	Explosive gases	96
Empirical	183	Corrosive gases	96
Enthalpy	212	Compressed gas	96,97
Entropy	206	Cryogenic gases	96,97
Equilibrium	226	Gaussian distribution	132
Equivalent length	196	Genetic effect	131
Ergonomic	149,157	GMO	157
Ethics	20	Hazard	
Evaluation	149	Health hazard	84,85
Event-Tree Analysis	53	Fire hazard	84,86
Exothermic chain react	279	Reactivity	84,86
Explosion	281	Special	84,86
Explosion proof	316	Hazard Identification	149
Explosive material	77	Hazardous condition	63
Federal legislation	151	Hazardous area	317
Fire point	280	Hazardous material	83, 349, 355
Fire triangle	279	Hazardous waste	83,338
Fires	279	HAZOP	53
Flammability	77,254	Heat capacity ratio	204, 208
Highly flammable	78	Helmholtz free energy	308
Flash Point	78,82,252	Hippocrates	1
Explosive Limits	78,82,101	Hydrocarbon	108, 115
Flammability limit	101,259	I.F.R.	66
Ignition Temperature	78,83,96,264	Ideal gas constant	229
Flashing liquid	223	I.S.R	66
FMEA	53	Identification	149,163,219
Frangible disc	121,336	Impact test	127
Frictional loss	192	Incompatibility	78
Frictional loss	201	Incompressible fluid	247
FTA	38,52	Industrial hygiene	149
Fundamental canons	21	Inerting	
Fusible plugs	124	Vacuum purging	318
Gas properties		Pressure purging	320
Flammable gases	96	Sweep through purging	322
Toxic gases	96	Siphon purging	323

integrity	20	Pasquill-Gifford plume	256
Irreversible response	130	PEL	144
Isentropic	203	Petroleum	
Isotropic	206	LPG	115,116,118,119
ISRS	59	NGL	115,116
JSA	38,52	LNG	116
Kinetic energy	203, 212	CNG	116
Laminar flow	185,195,197	Physical properties	
Latent heat	224	Vapor density	78,80
LD	138,142	Vapor Pressure	78,80
LC	177	Specific gravity	78,81
Liquefied gases	126	Miscibility with water	78,81
Log. Of the dose	137	Freezing point	78,82
Loss actual	35	Physical State	79
Loss exposure	35	Plume dispersion	258
Loss incident	35	Poisons	127
Loss Prevention	7	Polluters Pay Principle	393
Mass evap. rate	163	Potential release	240
Mass flow rate	210	PPE	129
Mass flux	213	ppm	132
Mass fraction	215	Practicable release	240
Mass transfer coef	164	Probit	142
MIE	291	Protective clothing	120
Mitigation	327	Puff dispersion	259
MOC	290	PUVCE	118
Models of dose	139	Pyramid	15
MPPCF	132	Quadratic equation	268
MSDS	152	Reactive	77
NIOSH	173	Recovery Measure	52
Non-ideal mixing factor	162	Relative roughness	193, 194
Normal distribution	132	Relative toxicity	142
Normality	136	Reversible response	130
OSHA	37,144-167,293	Reynolds number	185
Overpressure	281	Risk	4
Partial vapor pressure	164	Risk Assessment	5

Safe Guard	41	TLV-TWA	144
Safety	7	TNT	303
Safety Inspection	58	Toxic dispersion	238
Safety Sampling	58	Toxic release	239
Safety tour	35,36	Toxicants	130
Safety devices	97	Toxicity	77,79
Safety Engineering	7	Toxicology	127
Safety relief valves	121,122	Transfer system	
Saturation vapor	164, 180	Injection	128
Shaft work	185, 199	Gastrointestinal	128
Shock wave	281	Respiratory	128
Sigmoid curve	137	Dermal	128
Simple single cell	131	Turbulent flow	194,196
Sonic flow	207	Unsafe Act	14
Source model	183	Unsafe Condition	14
Specific volume	100	Vent scrubber	240
Specification	127	Ventilation	317,327
Spherical coordinate	249	Weight fraction	132
Splash	186	What-If-Analysis	53
Stakeholder	8,21	Work Through Survey	35
Static electricity	317,323	X-ray	127
Steady state flow	212		
Stochastic fluctuation	245		
Stoichiometric	288		
Storage in fatty tissue	130		
Students' T-Test	66		
Sustainability	8		
Synergistic	138		
TD	138,142		
Thermal energy	185		
Throttling release	203		
TLV	143,239,246		
TLV-C	144		
TLV-STEL	144		

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ขนาดความรุนแรงของสารอันตรายต่อสุขภาพความไวไฟและความว่องไวในปฏิกิริยา

Chemical	Health	Flammability	Reactivity	Chemical	Health	Flammability	Reactivity
Acetylene tetrabromide	1	3	0	Auramine			
Acetylene tetrachloride	3			Aziridine	3	3	3
Acetylene trichloride	2	1		Azonaphthalene			
Acridine	2			Azoxybenzene		1	
Acrolein	3	3	3	Barium	2	2	
Acrylic acid	3	2	2	Barium chlorate	1	0	1
Acrylonitrile	4	3	2	Barium chloride	2	0	
Adipic acid	1	1		Barium hydroxide	2		
Adiponitrile	3	2		Barium nitrate	1	0	1
Aldrin	3	1	0	Barium peroxide	1	0	1
Allene		4		Benzal chloride			
Allyl acetate	3	1		Benzaldehyde	2	2	0
Allyl alcohol	3	3	1	Benzene	2	3	0
Allyl amine	3	3	1	Benzene sulfonic acid	3		
Allyl bromide	3	3	1	Benzene sulfonyl chloride			
Allyl chloride	3	3	1	Benzidine	3		
Allyl iodide	3	2		Benzoic acid	1	1	
Alum	1			Benzonitrile	3		
Aluminum	0	1	1	Benzotrichloride	2		
Aluminum borohydride		3		Benzotrifluoride	4	3	0
Aluminum bromide				Benzoyl chloride	3	2	1
Aluminum carbide				Benzoyl peroxide	1	4	4
Aluminum chloride	3	0	2	Benzyl acetate	1	1	0
Aluminum nitrate	2	2		Benzyl alcohol	2	1	0
Amino-diphenylene oxide				Benzyl amine	3		
Aminopyridine	3			Benzyl benzoate	1	1	0
Ammonia	3	1	0	Benzyl bromide	3		
Ammonium dichromate	3	2		Benzyl chloride	2	2	1
Ammonium fluoride	3			Benzyl chloroformate	2		
Ammonium hydroxide	2	1		Benzyl cyanide	3		
Ammonium nitrate	2	1	3	Benzyl mercaptan		2	
Ammonium perchlorate	2	1	4	Beryllium	4	1	1
Ammonium persulfate	1	2		Beryllium chloride	4	1	
Ammonium sulfamate	1	1		Biphenyl	2	1	0
Ammonium sulfide		2		Biphenylamine	2	1	0
Ammonium thiocyanate	1			Bismuth chloride	3		
Amyl acetate	1	3	0	Borax	2	3	
Amyl alcohol	1	3	0	Boric acid	2		
Amylamine	3	3	0	Boron	2	2	
Amyl bromide	1	3	0	Boron hydride	3	4	3
Amylene	1	4	0	Boron oxide	2		
Amyl ether	1	2	0	Boron tribromide	2		
Amyl formate	1	3	0	Boron trichloride	2		
Amyl nitrate	1	2	2	Boron trifluoride	3	0	1
Amyl nitrite	1	2	2	Bromic acid	3	2	
Aniline	3	2	0	Bromine	4	0	1
Anisaldehyde	2	1	0	Bromine pentafluoride	3	3	
Anisole	1	2	0	Bromine trifluoride	3		4
Anthracene	1	2		Bromo-acetic acid	2		
Anthramine				Bromobenzene	2	2	0
Anthraquinone	1	1		Bromochloromethane			
Antimony	3	2		Bromoethane	2	3	0
Antimony hydride				Bromoethylene	2	3	
Antimony pentachloride	3			Bromoform	2		
Antimony pentasulfide	3	1	1	Bromotoluene	2	2	0
Antimony trichloride	3			Bromotrifluoromethane			
Antimony trioxide	3			Butadiene	2	4	2
Argon				Butane	1	4	0
Arsenic	3	2		Butene	1	4	0
Arsenic acid	3			Butyl acetate	1	3	0
Arsenic trichloride	3			Butyl alcohol	1	3	0
Arsenic trioxide	3			Butyl amine	3	3	0

Chemical	Health	Flammability	Reactivity	Chemical	Health	Flammability	Reactivity
Butyl bromide	2	3	0	Chlorobenzene	2	3	0
Butyl cellosolve	2	2		Chlorobromomethane	2		
Butyl chloride	2	3	0	Chlorocresol	3		
Butyl chromate	3			Chlorodifluoroethane	2	0	
Butyl formate	2	3	0	Chlorodinitrobenzene	3	1	4
Butyl hydroperoxide	1	4	4	Chlorodiphenyl	3	1	
Butyl mercaptan	2	3	0	Chloroethanol	3	2	0
Butyl methacrylate	2	2	0	Chloroform	3	1	0
Butyl methyl ketone	2	3	0	Chloromethyl ether			
Butyl peracetate	2	3	1	Chloronaphthalene	3		
Butyl perbenzoate	1	3	4	Chloronaphthylamine			
Butyl phosphate				Chloronitroaniline	3	1	
Butyl toluene	3	2		Chloronitrobenzene	3	1	1
Butyl vinyl ether	2	3	2	Chloronitropropane	3	2	3
Butyne		2		Chlorophenol	3	2	
Butyraldehyde	2	3	1	Chloropicrin	4	0	1
Butyric acid	2	2	0	Chloroprene	3		
Butyronitrile				Chlorosulfonic acid	3	0	2
Butyryl chloride	3			Chlorotrifluoroethylene	3	4	2
Cadmium	3	2		Chromic acid			
Cadmium chloride	3			Chromium bromide			
Cadmium oxide	3			Chromium chloride			
Calcium	1	1	2	Chromium nitrate			
Calcium arsenate	3			Chromium sulfate			
Calcium carbide	1	4	2	Chromium trioxide	1	0	1
Calcium carbonate	1			Chromyl chloride	3		
Calcium chlorate	2	2		Cinnamaldehyde			
Calcium chloride				Citric acid	1	1	
Calcium cyanide	2	0	0	Cobalt bromide	1		
Calcium hydride	3			Cobalt chloride	1		
Calcium hydroxide	2			Cobalt nitrate	2	0	1
Calcium hypochlorite	2	1	2	Cobalt sulfate	1		
Calcium oxide	1	0	1	Collodion	1	4	0
Caproic acid	2	1	0	Copper bromide	1		
Capryl alcohol	1	2	0	Copper chloride	1		
Caprylic acid	1	2	0	Copper nitrate	1	0	1
Carbazole	1	1		Copper sulfate	1		
Carbitol	1	1	0	Cresol	2	2	0
Carbon	1	1		Crotonaldehyde			
Carbon disulfide	2	3	0	Crotonitrile			
Carbon monoxide	2	4	0	Crotonyl chloride	1		
Carbon tetrabromide	3	0	1	Cumene	0	2	0
Carbon tetrachloride	3	0	0	Cyanamide	2	1	
Carbon tetrafluoride	2			Cyanoacetamide	3	2	
Carbonyl fluoride	2	3		Cyanogen	4	4	2
Cellosolve	2	2		Cyanogen chloride	3		
Cellosolve acetate	2	2		Cycloheptanone	2		
Cellulose nitrate	2	3	3	Cyclohexane	1	3	0
Chloral	3			Cyclohexanol	1	2	0
Chloral hydrate	2	1		Cyclohexanone	1	2	0
Chlordane	3			Cyclohexene	1	3	0
Chloric acid	3	3	3	Cyclohexylamine	2	3	0
Chlorine	3	0	1	Cyclohexylbenzene	2	3	0
Chlorine dioxide	3	3		Cyclopentadiene		2	
Chlorine trifluoride	3	3	3	Cyclopentane	1	3	0
Chloroacetaldehyde	3	2		Cyclopentanone	2	3	0
Chloroacetamide				Cyclopropane	1	4	0
Chloroacetic acid	2	2		Cymene	2	2	0
Chloroacetonitrile	3			Decaborane	3	2	1
Chloracetophenone	3			Decahydronaphthalene	2	0	0
Chloracetyl chloride	3			Decaldehyde			
Chloroaniline	3			Decane	0	2	0

Chemical	Health	Flammability	Reactivity	Chemical	Health	Flammability	Reactivity
Decyl alcohol		2		Dimethylazobenzene			
Diacetone alcohol	1	2	0	Dimethyldiphenylamine			
Diatomaceous earth				Dimethyl butane	1	3	0
Diazomethane	3			Dimethyl carbonate		3	1
Dibenzanthracene				Dimethyl ether	3	4	0
Dibenzcarbazole				Dimethylformamide	1	2	0
Dibenzofluorine				Dimethyl fumarate			
Dibenzylamine	3	1		Dimethylhydrazine	3	3	1
Diborane	3	4	3	Dimethylnaphthalene			
Dibromoethane	3			Dimethyl phthalate	0	1	0
Dibutylamine	3	2	0	Dimethyl propane		4	0
Dibutyl ether	2	3	0	Dimethyl sulfate	4	2	0
Dibutyl oxalate	3	1	0	Dimethyl sulfide	4	4	0
Dibutyl peroxide	2	3	4	Dimethyl sulfoxide	1	1	0
Dibutyl phthalate	0	1	0	Dinitroaniline	3	1	3
Dichloroacetic acid	3			Dinitrobenzene	4		4
Dichloroacetyl chloride	3	2	1	Dinitrocresol	2	2	
Dichloroaniline	3	1	0	Dinitrofluorine			
Dichlorobenzene	2	2	0	Dinitrophenol	3	2	
Dichlorobenzidine				Dinitropiperazine			
Dichlorobutane	2	2	0	Dinitrotoluene	3	1	3
Dichlorobutene	2	3	0	Diethyl phthalate	0	1	0
Dichlorodifluoromethane	1			Dioxane	2	3	1
Dichloroethane	2	3	0	Diphenylamine	3	1	0
Dichloroethylene	2	3	2	Diphenylmethane	1	1	0
Dichloroethyl ether	2	2	0	Diphenylsulfide			
Dichloromethane	2	0	0	Dodecane	0	2	0
Dichloromonofluoromethane	1			Elon			
Dichloronitroethane	3	2	3	Endrin	3	1	0
Dichlorophenol		1	0	Epichlorohydrin	3	3	2
Dichlorophenylphosphine	3			Epoxy resin			
Dichloropropane	2	3	0	Ethane	1	4	0
Dichloropropene	3	2		Ethanethiol	2	4	0
Dichlorotetrafluoroethane	1	0		Ethanol	0	3	0
Dicyclohexylamine		2		Ethanolamine	2	2	0
Dicyclopentadiene	1	3	1	Ethoxynitroaniline			
Diethanolamine	1	1	0	Ethyl acetanilide	0	2	0
Diethyladipate				Ethyl acetate	1	3	0
Diethylaluminum chloride	3	3	3	Ethyl acetoacetate	2	2	0
Diethylamine	3	3	0	Ethyl acrylate	2	3	2
Diethylaminoethanol	3	2	0	Ethylamine	3	4	0
Diethylaniline	3	2	0	Ethylamyl ketone			
Diethyl carbonate	2	3	1	Ethyl aniline	3	2	0
Diethylene glycol	1	1	0	Ethyl benzene	2	3	0
Diethylenetriamine	3	1	0	Ethyl benzoate	1	2	0
Diethyl ether	2	4	1	Ethylbutyl ketone	1	2	0
Diethyl ketone	1	3	0	Ethyl butyrate	2	3	0
Diethyl malonate	0	1	0	Ethyl chloride	2	4	0
Diethyl phthalate	0	1	0	Ethyl chloroacetate	2	2	0
Diethyl sulfate	3	1	1	Ethyl chloroformate	3	3	1
Diethyl zinc	0	3	3	Ethylene	1	4	2
Dihydroxyanthraquinone		1		Ethylenediamine	3	2	0
Diisobutyl ketone	1	2	0	Ethylenedichloride	2	3	0
Diisopropyl amine	3	3	0	Ethylene glycol	1	1	0
Diisopropyl ether	2	3	1	Ethylene nitrate	3	2	
Dimethoxybenzidine				Ethylene oxide	2	4	3
Dimethoxyethane		2	0	Ethylene oxide	2	4	3
Dimethoxymethane	2	3	2	Ethyl fluoride	1		
Dimethoxypropane		2		Ethyl fluoroacetate	4		
Dimethyl acetamide	2	1		Ethyl formate	2	3	0
Dimethyl amine	3	4	0	Ethyl hexanol	2	2	0
Dimethylaniline	3	2	0	Ethyl iodide	2	2	

Chemical	Health	Flammability	Reactivity	Chemical	Health	Flammability	Reactivity
Ethyl morpholine	2	3	0	Hydroquinone	2	1	
Ethyl nitrite	2	4	4	Hydroxylamine	1	3	3
Ethyl oxalate	3	2	0	Indanol			
Ethyl phenol		1	0	Iodic acid	3	2	
Ethyl silicate	2	2	0	Iodine	3		
Ethyl vinyl ether	2	4	2	Iodine chloride	3	2	
Fatty acids				Iodine pentafluoride	3		3
Ferric chloride	1			Iodine trichloride	3	1	
Ferrous ammonium sulfate	1			Iodoacetic acid	1		
Ferrous chloride	1			Isoprene	2	4	1
Ferrous sulfate	1			Jet fuel (kerosene)	1	3	0
Fluorine	4	0	3	Lactonitrile	3	2	
Fluoroacetic acid	2			Latex	2		
Fluoroboric acid	3			Lauric acid		1	
Fluoroethane				Lauroyl peroxide	0	2	3
Fluoroethylene	2	4	1	Lead	3	2	
Fluorosilicic acid	3			Lead acetate	3		
Fluorotrichloromethane	1			Lead arsenate	3		
Formaldehyde	2	4	0	Lead carbonate	3		
Formalin	2	2	0	Lead nitrate	1	0	1
Formamide	2	2		Lead oxide	3	1	
Formic acid	3	2	0	Lead thiocyanate	1	1	1
Fumaric acid	1	1		Lindane	3		
Furan	1	4	1	Liquified petroleum gas		3	
Furfural	1	2	1	Lithium	1	1	2
Furfuryl alcohol	1	2	1	Lithium aluminum hydride	3	1	2
Gallic acid				Lithium borohydride	2		
Gasoline	1	3	0	Lithium carbonate			
Germane	2	3		Lithium hydride	1	4	2
Germanium dioxide	2			Magnesium	0	1	2
Germanium hydride				Magnesium chlorate	2	3	
Germanium tetrachloride	3			Magnesium chloride	2		
Glutaric acid				Magnesium nitrate	1	0	1
Glycerol	1	1	0	Magnesium oxide	2		
Glycolic acid	2			Magnesium perchlorate	1	0	1
Glyoxal	2	1		Malathion	3		
Grease				Maleic acid	2	1	
Heptachlor	3			Manganese	2	2	
Heptane	1	3	0	Manganese sulfate	2		
Heptylamine	2	2	0	Mercaptoethanol	2	2	
Hexachlorobenzene	1	1		Mercuric chloride	3		
Hexachloroethane	2			Mercury	3		
Hexachloronaphthalene	3			Mercury compounds (organic)	3		
Hexafluoroethane		0		Mercury fulminate	3	3	
Hexamethylene tetramine	2	1		Mesityl oxide	3	3	0
Hexane	1	3	0	Methacrylic acid	3	3	2
Hexanediamine	2	1		Methane	1	4	0
Hexanol	1	2	0	Methoxychlor	1		
Hexanone				Methoxyphenol	2	2	
Hexene	1	3	0	Methyl acetate	1	3	0
Hexyl acetate	1	2	0	Methyl acrylate	2	3	2
Hexylamine	2	3	0	Methyl alcohol	1	3	0
Hydrazine	3	3	3	Methyl amyl alcohol	2	2	0
Hydrazoic acid	3			Methyl amyl ketone	1	2	0
Hydriodic acid	3			Methyl benzoate	0	2	0
Hydrobromic acid	3			Methylbenzyl alcohol	1	1	0
Hydrochloric acid	3	0	0	Methyl bromide	3	1	0
Hydrocyanic acid	4	4	2	Methyl butene		4	0
Hydrofluoric acid	4	0	0	Methylbutylamine			
Hydrogen	0	4		Methyl butyl ketone	2	3	0
Hydrogen peroxide	2	0	3	Methyl butyrate	2	3	0
Hydrogen sulfide	3	4	0	Methyl cellosolve	2	2	

Chemical	Health	Flammability	Reactivity	Chemical	Health	Flammability	Reactivity
Potassium acetate	1			Silica gel (silicic acid)	1		
Potassium borohydride	2			Silicon tetrachloride	3		
Potassium carbonate				Silicon tetrafluoride	3		
Potassium chlorate	1	0	2	Silver nitrate	1	0	1
Potassium cyanide	2	0	0	Sodium	3	1	2
Potassium dichromate	3	2		Sodium acetate	0		
Potassium ferrocyanide	1			Sodium amide	3	2	
Potassium fluoride	3			Sodium azide	3		
Potassium hydroxide	3			Sodium benzoate	0		
Potassium nitrate	1	0	2	Sodium bicarbonate			
Potassium perchlorate	1	0	2	Sodium bisulfate	2		
Potassium permanganate	0	0	1	Sodium borohydride	2	2	
Potassium persulfate	1	0	1	Sodium carbonate	2		
Potassium peroxide	3	0	2	Sodium chlorate	1	0	2
Potassium sulfide	2	1	0	Sodium chloride	0		
Propane	1	4	0	Sodium chlorite	1	1	2
Propanediamine	2	3	0	Sodium chromate	3		
Propanediol	0	1	0	Sodium cyanide	2	0	0
Propenyl acetate	2	3		Sodium dichromate	3		
Propiolactone				Sodium ethoxide	3	3	
Propionaldehyde	2	3	1	Sodium fluoride	3		
Propionic acid	2	2	0	Sodium fluoroacetate	3		
Propionitrile	3	2		Sodium formate	3	1	
Propionyl chloride	3	3	1	Sodium hydride	3	2	
Propyl acetate	1	3	0	Sodium hydroxide	3	0	1
Propyl alcohol	1	3	0	Sodium hypochlorite	2		
Propylamine	3	3	0	Sodium iodide	2		
Propyl benzene		3	0	Sodium methoxide			
Propyl benzoate	1	1		Sodium nitrate	1	0	2
Propyl bromide	3	3		Sodium nitrite	3	2	
Propyl chloride	2	3	0	Sodium perchlorate	2	0	2
Propylene	1	4	1	Sodium peroxide	3	0	2
Propylene carbonate	1	1	0	Sodium phosphate			
Propylene disulfate				Sodium propionate			
Propylene glycol				Sodium silicate	1		
Propylene imine	2	2		Sodium sulfide	2	1	0
Propylene oxide				Sodium sulfite	2		
Propyl ether	2	3	1	Sodium tetraborate	3		
Propyl formate	2	3		Sodium thiocyanate	3		
Propyl nitrate	2	3	3	Sodium thiosulfate	1		
Propyne	2	4	2	Stannic chloride	3	1	
Pyrethrum	2			Stearic acid	1	1	0
Pyridine	2	3	0	Stibine	3	2	
Pyrogalllic acid	3			Stoddard solvent	1	2	
Pyrrolidine	2	3	1	Strontium	2	2	
Pyruvic acid				Strontium carbonate			
Quinoline	2	1	0	Strontium nitrate	1	0	1
Quinone	3			Strontium peroxide	1	0	1
Resorcinol	2	1		Strychnine	3		
Rotenone	2	1		Styrene	2	3	
Rubber				Styrene monomer	2	3	2
Rubidium	2	3		Succinic acid	2	1	
Ruthenium		2		Succinonitrile	3	1	
Salicylaldehyde		2	0	Sulfamide			
Salicylic acid	1	1		Sulfur	2	1	0
Selenic acid	3	2		Sulfur decafluoride	3		
Selenium	3	2		Sulfur dichloride	3	2	
Selenium dioxide	3			Sulfur dioxide	3	0	0
Selenium hexafluoride	3			Sulfur hexafluoride			
Selenium oxychloride	3			Sulfuric acid	3	0	1
Silane	3	3		Sulfur monochloride	2	1	1
Silica	2			Sulfur trioxide	3		

Chemical	Health	Flammability	Reactivity	Chemical	Health	Flammability	Reactivity
Sulfuryl chloride	3			Tricresyl phosphate	2	1	0
Sulfuryl fluoride	3			Tridecanol			
Tall oil		1		Triethyl aluminum	3		
Tallow	0	1	0	Triethylamine	2	3	0
Tannic acid	2	1		Triethanolamine	1	1	1
Tar	3	2		Triethylene glycol	1	1	0
Tellurium hexafluoride	2			Triethylene tetramine	3	1	0
Terphenyl		1	0	Triethyl formate	3	2	
Tetradecane		1	0	Trifluoroacetic acid	3		
Tetraethylenepentamine	2	1	0	Trifluoromethane	2		
Tetraethyl lead	3	2	3	Trimethylamine	3	4	0
Tetrahydrofuran	2	3	1	Trimethyl borate	2	3	1
Tetrahydronaphthalene	1	2	0	Trimethyl cyclohexanone	2	1	0
Tetramethyl lead	3	3	3	Trimethyl pentane	2	3	0
Tetramethyl silane	3			Trimethyl pentene		3	0
Tetranitromethane	3	3		Trinitrobenzene	2	4	4
Thallium	3			Trinitrotoluene	2	4	4
Thallosulfate	3			Trioxane	2	2	0
Thioacetamide	2			Triphenyl phosphate	2	1	0
Thiodiethanol	1	1	0	Triphenyl phosphine	3	2	
Thioglycolic acid	3			Tripropylamine	2	2	0
Thionyl chloride	3			Trisodium phosphate	2		
Thionyl fluoride	3			Turpentine	1	3	0
Thiophene	2	3		Uranium	3	3	
Thiourea	1			Uranium nitrate	1	0	1
Thorium	1	2		Urea	0		
Thorium nitrate	1	0	1	Valeraldehyde			
Tin	0	1		Valeric acid	1		
Tin compounds (inorganic)				Vanadium dichloride	3		
Tin compounds (organic)	3			Vanadium oxytrichloride	3		
Titanium	0			Vanadium pentoxide		2	
Titanium dioxide	1			Vinyl acetate	2	3	2
Titanium tetrachloride	3	0	1	Vinyl chloride	2	4	2
Toluene	2	3	0	Vinyl ether	2	3	2
Toluene diisocyanate	2	1	2	Vinylidene chloride	2	4	2
Tolyl phosphate				Ucylene	2	3	0
Toluidine	3	2	0	Xylenol	3	1	
Triamylene	2	1	0	Xylidine	3	1	0
Tributylamine	2	2	0	Yttrium		2	
Tributylchlorotin				Zinc	0	1	1
Tributyl phosphate	2	1	0	Zinc acetate	0		
Trichloroacetic acid	3			Zinc chlorate	2	0	2
Trichloroacetonitrile				Zinc chloride	2	0	2
Trichloroacetyl chloride	3			Zinc oxide	3		
Trichlorobenzene	2	1	0	Zirconium	1	4	1
Trichloroethylene	2	1		Zirconium acetate	1		
Trichloronaphthalene	2			Zirconium chlorate	1		
Trichloropropane	3	2	0	Zirconium nitrate	1		
Trichlorotrifluoroethane		1		Zirconium oxide	1		

ภาคผนวก ข ข้อมูลสำหรับตารางที่ 3.4 รายชื่อสารเคมีเรียงตามลำดับตัวอักษร

ชื่อ	กลุ่ม	ชื่อ	กลุ่ม
Acetaldehyde	19	Butylamine	7
Acetic Acid	4	Butyl Benzyl Phthalate	34
Acetic Anhydride	11	Butylene	30
Acetonitrile	37	1, 3-Butylene Glycol	20
Acrolein (inhibited)	19	Butylene Oxide	16
Acrylic Acid (inhibited)	4	Butyl Ether	41
Acrylonitrile (inhibited)	15	Butyl Methacrylate (inhibited)	14
Adiponitrile	37	Butyraldehyde	19
Allyl Alcohol	15	Butyric Acid	4
Allyl Chloride	15		
Aminoethylethanolamine	8	Camphor Oil (light)	18
Ammonia, Anhydrous	6	Caprolactam Solution	22
Ammonium Hydroxide (28% or less)	6	Carbolic Oil	21
Ammonium Nitrate, Urea, Water		Carbon Disulfide	38
Solutions (containing Ammonia)	6	Carbon Tetrachloride	36
Ammonium Nitrate, Urea, Water		Caustic Potash Solution	5
Solutions (not containing		Caustic Soda Solution	5
Ammonia)	43	Chlorine	*
Amyl Acetate	34	Chlorobenzene	36
Amyl Alcohol	20	Chloroform	36
Amyl Tallate	34	Chlorosulfonic Acid	*
Aniline	9	Corn Syrup	43
Asphalt	33	Creosote, Coal Tar	21
Asphalt Blending Stocks:		Cresols	21
Roofers Flux	33	Cresylate Spent Caustic Solution	5
Straight Run Residue	33	Crotonaldehyde	19
		Cumene	32
Benzene	32	Cycloaliphatic Resins	31
Benzene, Toluene, Xylene (crude)	32	Cyclohexane	31
Butadiene (inhibited)	30	Cyclohexanol	20
Butane	31	Cyclohexanone	18
Butyl Acrylate (inhibited)	14	Cyclohexylamine	7
Butyl Acetate	34	Cymene	32
Butyl Alcohol	20		

ชื่อ	กลุ่ม	ชื่อ	กลุ่ม
Decaldehyde	19	Dimethylamine	7
Decane	31	Dimethylethanolamine	8
Decene	30	Dimethylformamide	10
Decyl Alcohol	20	Dinonyl Phthalate	34
Decyl Acrylate (inhibited)	14	Diocetyl Phthalate	34
Decylbenzene	32	1, 4-Dioxane	41
Dextrose Solution	43	Diphenyl-Diphenyl Oxide	33
Diacetone Alcohol	20	Diphenylmethane Diisocyanate	12
Dibutylamine	7	Di-n-propylamine	7
Dibutyl Phthalate	34	Dipropylene Glycol	40
Dichlorobenzene	36	Distillates	
Dichlorodifluoromethane	36	Straight Run	33
1, 1-Dichloroethane	36	Flashed Feed Stocks	33
Dichloroethyl Ether	41	Diundecyl Phthalate	34
Dichloromethane	36	Dodecane	31
1, 1-Dichloropropane	36	Dodecanol	20
1, 2-Dichloropropane	36	Dodecene	30
1, 3-Dichloropropene	15	Dodecylbenzene	32
Dicyclopentadiene	30		
Diethanolamine	8	Epichlorohydrin	17
Diethylamine	7	Ethane	31
Diethylbenzene	32	Ethanolamine	8
Diethylene Glycol	40	Ethoxylated Alcohols $C_{11} - C_{15}$	40
Diethylene Glycol Monobutyl Ether	40	Ethoxy Triglycol	40
Diethylene Glycol Monobutyl Ether		Ethyl Acetate	34
Acetate	34	Ethyl Alcohol	20
Diethylene Glycol Monoethyl Ether	40	Ethyl Acrylate (inhibited)	14
Diethylene Glycol Monomethyl		Ethylamine	7
Ether	40	Ethyl Benzene	32
Diethylenetriamine	7	Ethyl Butanol	20
Diethylethanolamine	8	Ethyl Chloride	36
Diheptyl Phthalate	34	Ethylene	30
Diisobutylene	30	Ethylene Chlorohydrin	20
Diisobutyl Carbinol	20	Ethylene Cyanohydrin	20
Diisobutyl Ketone	18	Ethylenediamine	7
Diisodecyl Phthalate	34	Ethylene Dibromide	36
Diisopropanolamine	8	Ethylene Dichloride	36
Diisopropylamine	7	Ethylene Glycol	20

ชื่อ	กลุ่ม	ชื่อ	กลุ่ม
Resinous Petroleum	33	Propylene Glycol	20
Rosin	33	Propylene Oxide	16
Sperm	33	Propylene Tetramer	30
Spindle	33	Propyl Ether	41
Spray	33	Pyridine	9
Tall	34		
Tanner's	33	Sodium Hydrosulfide Solution	
Turbine	33	(45% or less)	5
Oleum	*	Sorbitol	20
		Styrene (inhibited)	30
Pentadecanol	22	Sulfolane	39
Pentane	31	Sulfur (molten)	*
Pentene	30	Sulfuric Acid	2
Pentyl Aldehyde	19	Sulfuric Acid, Spent	2
Perchloroethylene	36		
Petrolatum	33	Tallow	34
Petroleum Naphtha	33	Tallow Fatty Alcohol	20
Phenol	21	1, 1, 2, 2-Tetrachloroethane	36
Pentachloroethane	36	Tetradecanol	20
Phosphoric Acid	1	Tetradecene	30
Phosphorus	*	Tetradecylbenzene	32
Phthalic Anhydride (molten)	11	Tetraethylene Glycol	40
Polybutene	30	Tetraethylenepentamine	7
Polyethylene Glycols	40	Tetrahydrofuran	41
Polymethylene Polyphenylisocyanate	12	Tetrahydronaphthalene	32
Polypropylene	30	Tetrasodium Salt of EDTA Solution	43
Polypropylene Glycol Methyl Ether	40	Toluene	32
Polypropylene Glycols	40	Toluene Diisocyanate	12
Propane	31	1, 2, 4-Trichlorobenzene	36
Propanolamine	8	Trichloroethylene	36
Propionaldehyde	19	Tridecanol	20
Propionic Acid	4	Tridecene	30
Propionic Anhydride	11	Tridecylbenzene	32
Propyl Acetate	34	Triethanolamine	8
Propyl Alcohol	20	Triethylamine	7
Propylamine	7	Triethyl Benzene	32
Propylene	30	Triethylene Glycol	40
Propylene Butylene Polymer	30	Triethylenetetramine	7

ชื่อ	กลุ่ม
------	-------

Tripropylene Glycol	40
Turpentine	30
Undecanol	20
Undecene	30
Undecylbenzene	32
Valeraldehyde	19
Vinyl Acetate (inhibited)	13
Vinyl Chloride (inhibited)	35
Vinylidene Chloride (inhibited)	35
Vinyl Toluene (inhibited)	30
Xylene	32

1. Non-Oxidizing Mineral Acids

Hydrochloric Acid
Hydrofluoric Acid
Phosphoric Acid

2. Sulfuric Acids

Spent Sulfuric Acid
Sulfuric Acid (98% or less)

3. Nitric Acid

Nitric Acid (70% or less)

4. Organic Acids

Acetic Acid
Butyric Acid
Formic Acid
Propionic Acid
Acrylic Acid (inhibited)

5. Caustics

Caustic Potash Solution
Caustic Soda Solution
Cresylate Spent Caustic Solution
Sodium Hydrosulfide Solution
(45% or less)

6. Ammonia

Ammonia, Anhydrous
Ammonium Hydroxide (28% or less)
Ammonium Nitrate. Urea, Water Solutions
(containing Ammonia)

7. Aliphatic Amines

Butylamine
Cyclohexylamine
Dibutylamine
Diethylamine
Diethylenetriamine
Diisopropylamine
Dimethylamine
Di-n-propylamine
Ethylamine
Ethylenediamine
Hexamethyleneimine
Methylamine
Morpholine
Propylamine
Tetraethylenepentamine
Triethylamine
Triethylenetetramine

8. Alkanolamines

Aminoethylethanolamine
Diethanolamine
Diethylethanolamine

Diisopropanolamine
 Dimethylethanolamine
 Ethanolamine
 Propanolamine
 Triethanolamine

9. Aromatic Amines

Aniline
 Pyridine
 2-Methyl-5-Ethylpyridine

10. Amides

Dimethylformamide

11. Organic Anhydrides

Acetic Anhydride
 Phthalic Anhydride
 Propionic Anhydride

12. Isocyanates

Diphenylmethane Diisocyanate
 Polyphenyl Polymethyleneisocyanate
 Toluene Diisocyanate

13. Vinyl Acetate

Vinyl Acetate (inhibited)

14. Acrylates

Butyl Acrylate (inhibited)
 Butyl Methacrylate (inhibited)
 Decyl Acrylate (inhibited)
 Ethyl Acrylate (inhibited)
 2-Ethylhexyl Acrylate (inhibited)
 Ethyl Methacrylate (inhibited)
 Methyl Acrylate (inhibited)
 Methyl Methacrylate (inhibited)

Acrylonitrile (inhibited)
 Allyl Alcohol
 Allyl Chloride
 1, 3-Dichloropropene

16. Alkylene Oxides

Propylene Oxide
 Butylene Oxide

17. Epichlorohydrin

Epichlorohydrin

18. Ketones

Acetone
 Camphor Oil
 Cyclohexanone
 Diisobutyl Ketone
 Isophorone
 Mesityl Oxide
 Methyl Ethyl Ketone
 Methyl Isobutyl Ketone

19. Aldehydes

Acetaldehyde
 Acrolein (inhibited)
 Butyraldehyde
 Decaldehyde
 Ethylhexaldehyde
 Formaldehyde
 Glutaraldehyde Solution
 Glyoxal Solution
 Methylbutyraldehyde
 Octyl Aldehyde
 Pentyl Aldehyde
 Propionaldehyde
 Valeraldehyde

20. Alcohols, Glycols

Amyl Alcohol
 Butyl Alcohol
 1, 3-Butylene Glycol
 Cyclohexanol
 Decyl Alcohol
 Diacetone Alcohol
 Diisobutyl Carbinol
 Dodecanol
 Ethanol
 Ethoxylated Alcohols $C_{11} - C_{15}$
 Ethyl Alcohol
 Ethylbutanol
 Ethylene Chlorohydrin
 Ethylene Cyanohydrin
 Ethylene Glycol
 2-Ethyl Hexanol
 Furfuryl Alcohol
 Glycerin
 Hexanol
 Hexylene Glycol
 Methanol
 Methyl Alcohol
 Methylamyl Alcohol
 Methylisobutyl Carbinol
 Octyl Alcohol
 Nonyl Alcohol
 Pentadecanol
 Propyl Alcohol
 Propylene Glycol
 Sorbitol
 Tallow Fatty Alcohol
 Tetradecanol
 Tridecanol
 Undecanol

21. Phenols and Cresols

Carbolic Oil

Creosote, Coal Tar

Cresols

Nonyl Phenol

Phenol

22. Caprolactam Solution

Caprolactam Solution

23-29. Unassigned**30. Olefins**

Butadiene (inhibited)
 Butene
 Butylene
 Decene
 Dicyclopentadiene
 Diisobutylene
 Dodecene
 Ethylene
 Hexene
 Isoprene (inhibited)
 Methyl Acetylene, Propadiene Mixture
 (stabilized) (alpha-) Methyl Styrene
 (inhibited)
 Nonene
 Octene
 Pentene
 Polybutene
 Polypropylene
 Propylene
 Propylene Butylene Polymer
 Propylene Tetramer
 Styrene (inhibited)
 Vinyl Toluene (inhibited)
 Tetradecene
 Tridecene
 Turpentine
 Undecene

31. Paraffins

Butane
 Cycloaliphatic Resins
 Cyclohexane
 Decane
 Dodecane
 Ethane
 Heptane
 Hexane
 Methane
 Nonane
 Octane
 Pentane
 Propane

32. Aromatic Hydrocarbons

Benzene
 Benzene, Toluene, Xylene (crude)
 Cumene
 Cymene
 Decylbenzene
 Diethylbenzene
 Dodecylbenzene
 Ethylbenzene
 Naphthalene
 Tetradecylbenzene
 Tetrahydronaphthalene
 Toluene
 Tridecylbenzene
 Triethylbenzene
 Undecylbenzene
 Xylene

33. Misc. Hydrocarbon Mixtures

Asphalt
 Asphalt Blending Stocks
 Diphenyl – Diphenyl Oxide

Distillates
 Gas Oil, Cracked
 Gasoline Blending Stocks
 Gasolines
 Jet Fuels
 Kerosene
 Mineral Spirits
 Naphtha
 Oils, Crude
 Oils, Diesel
 Oils, Coal
 Oils, Fuel (No. 1 thru No. 6)
 Oils, Residual
 Oils, Road
 Oils, Transformer
 Petrolatum
 Petroleum Naphtha

34. Esters

Amyl Acetate
 Amyl Tallate
 Butyl Acetate
 Butyl Benzyl Phthalate
 Castor Oil
 Coconut Oil
 Cottonseed Oil
 Dibutyl Phthalate
 Diethylene Glycol Monobutyl Ether
 Acetate
 Diheptyl Phthalate
 Diisodecyl Phthalate
 Dinonyl Phthalate
 Dioctyl Phthalate
 Diundecyl Phthalate
 Ethyl Acetate
 Ethylene Glycol Monobutyl Ether Acetate
 Ethylene Glycol Monoethyl Ether Acetate
 Ethylhexyl Tallate

Fish Oil
 Glycol Diacetate
 Lard
 Methyl Acetate
 Methyl Amyl Acetate
 Octyl Epoxy Tallate
 Olive Oil
 Palm Oil
 Peanut Oil
 Propyl Acetate
 Safflower Oil
 Soybean Oil
 Tallow
 Tucum Oil
 Vegetable Oil

35. Vinyl Halides

Vinyl Chloride (inhibited)
 Vinylidene Chloride (inhibited)

36. Halogenated Hydrocarbons

Carbon Tetrachloride
 Chlorobenzene
 Chloroform
 Dichlorobenzene
 1, 1-Dichloroethane
 Dichloroethyl Ether
 Dichloromethane
 1, 1-Dichloropropane
 1, 2-Dichloropropane
 Ethyl Chloride
 Ethylene Dibromide
 Ethylene Dichloride
 Methyl Bromide
 Methyl Chloride
 Pentachloroethane
 Perchloroethylene

42. Nitrocompounds

(mono-) Nitrobenzene
 1- or 2-Nitropropane
 Nitrotoluene

1, 1, 2, 2-Tetrachloroethane
 1, 2, 4-Trichlorobenzene
 Trichloroethylene

37. Nitriles

Acetonitrile
 Adiponitrile

38. Carbon Disulfide

39. Sulfolane

40. Glycol Ethers

Diethylene Glycol
 Diethylene Glycol Monobutyl Ether
 Diethylene Glycol Monoethyl Ether
 Diethylene Glycol Monomethyl Ether
 Dipropylene Glycol
 Ethoxy Triglycol
 Ethylene Glycol Monobutyl Ether
 Ethylene Glycol Monoethyl Ether
 Ethylene Glycol Monomethyl Ether
 Nonylphenol, Ethoxylated
 Polyethylene Glycols
 Polypropylene Glycols
 Polypropylene Glycols Methyl Ether
 Soybean Oil, Epoxidized
 Tetraethylene Glycol
 Triethylene Glycol
 Tripropylene Glycol

41. Ethers

Butyl Ether
 1, 4-Dioxane
 Ethyl Ether
 Methyl Formal (Dimethyl Formal)
 Propyl Ether
 Tetrahydrofuran

43. Miscellaneous Water Solutions

Ammonium Nitrate, Urea, Water Solutions
 (not containing Ammonia)
 Corn Syrup
 Dextrose Solution
 Latex Solutions
 Tetrasodium Salt of EDTA Solution

ภาคผนวก ค ค่า TLV และ PEL ของสารเคมีแต่ละชนิด (Crowl and Louvar, 1999)

Substance	Threshold Limit Value ¹ Time Weighted Average		OSHA Permissible Exposure Level (PEL)	
	ppm	mg/m ³ , 25°C	ppm	mg/m ³ , 25°C
Acetaldehyde	100	180	100	180
Acetic acid	10	25	10	25
Acetone	750	1780	750	1780
Acrolein	0.1	0.25	0.1	0.25
Acrylic acid (<i>skin</i>)	2	6		
Acrylonitrile* (<i>skin</i>)	2	4.5	2	4.5
Ammonia	25	18	25	18
Aniline (<i>skin</i>)	2	8	2	8
Arsine	0.05	0.2	0.05	0.2
Benzene*	10	30	10	30
Biphenyl	0.2	1.5	0.2	1.5
Bromine	0.1	0.7	0.1	0.7
Butane	800	1900		
Caprolactum (<i>vapor</i>)	0.22	1		
Carbon dioxide	5000	9000	5000	9000
Carbon monoxide	50	55	35	38
Carbon tetrachloride* (<i>skin</i>)	5	30	2	12
Chlorine	0.5	1.5	0.5	1.5
Chloroform*	10	50	2	10
Cyclohexane	300	1015	300	1015
Cyclohexanol (<i>skin</i>)	50	200	50	200
Cyclohexanone (<i>skin</i>)	25	100	25	100
Cyclohexene	300	1010	300	1010
Cyclopentane	600	1720		
Diborane	0.1	0.1	0.1	0.1
1,1 Dichloroethane	200	810	100	400
1,2 Dichloroethylene	200	790	200	790
Diethylamine	10	30	10	30
Diethyl ketone	200	705		
Dimethylamine	10	18	10	18
Dioxane (<i>skin</i>)	25	90	25	90
Ethyl acetate	400	1400	400	1400
Ethylamine	10	18	10	18
Ethyl benzene	100	435	100	435
Ethyl bromide	200	890	200	890
Ethyl chloride	1000	2600	1000	2600
Ethylene dichloride	10	40	1	4
Ethylene oxide*	1	2	1	2
Ethyl ether	400	1200	400	1200
Ethyl mercaptan	0.5	1	0.5	1
Fluorine	1	2	0.1	0.2
Formaldehyde*	1	1.5	1	1.5
Formic acid	5	9	5	9
Furfural (<i>skin</i>)	2	8	2	8
Gasoline	300	900		

Substance		Threshold Limit Value ¹		OSHA Permissible Exposure Level (PEL)	
		Time Weighted Average ppm	mg/m ³ , 25°C	ppm	mg/m ³ , 25°C
Heptane		400	1600	400	1600
Hexachloroethane		1	10	1	10
Hexane		50	180	50	180
Hydrogen chloride	TLV-C:	5	7	5	7
Hydrogen cyanide (<i>skin</i>)	TLV-C:	10	10	10	10
Hydrogen fluoride	TLV-C:	3	2.5	3	2.5
Hydrogen peroxide		1	1.5	1 (90%)	1.4 (90%)
Hydrogen sulfide		10	14	10	14
Iodine	TLV-C:	0.1	1	0.1	1
Isobutyl alcohol		50	150	50	150
Isopropyl alcohol		400	980	400	980
Isopropyl ether		250	1050	250	1050
Ketene		0.5	0.9	0.5	0.9
Maleic anhydride		0.25	1	0.25	1
Methyl acetate		200	610	200	610
Methyl acetylene		1000	1650	1000	1650
Methyl alcohol		200	260	200	260
Methylamine		10	12	10	12
Methyl bromide (<i>skin</i>)		5	20	5	20
Methyl chloride		50	105	50	105
Methylene chloride*		50	175	50	175
Methyl ethyl ketone		200	590	200	590
Methyl formate		100	250	100	250
Methyl isocyanate (<i>skin</i>)		0.02	0.05	0.02	0.05
Methyl mercaptan		0.5	1	0.5	1
Napthalene		10	50	10	50
Nitric acid		2	5	2	5
Nitric oxide		25	30	25	30
Nitrobenzene (<i>skin</i>)		1	5	1	5
Nitrogen dioxide		3	6	3	6
Nitromethane		100	250	100	250
Nonane		200	1050		
Octane		300	1450	300	1450
Oxalic acid			1		1
Ozone	TLV-C:	0.1	0.2	0.1	0.2
Pentane		600	1800	600	1800
Phenol (<i>skin</i>)		5	19	5	19
Phosgene		0.1	0.4	0.1	0.4
Phosphine		0.3	0.4	0.3	0.4
Phosphoric acid			1		1
Phthalic anhydride		1	6	1	6
Pyridine		5	15	5	15
Styrene, monomer (<i>skin</i>)		50	215	50	215
Sulfur dioxide		2	5	2	5
Toluene (<i>skin</i>)		100	375	100	375

Substance	Threshold Limit Value ¹		OSHA Permissible Exposure	
	Time Weighted Average ppm	mg/m ³ , 25°C	Level (PEL) ppm	mg/m ³ , 25°C
Trichloroethylene	50	270	50	270
Triethylamine	10	40	10	40
Turpentine	100	560	100	560
Vinyl acetate	10	30		
Vinyl chloride**	5	10	5	10
Xylene	100	435	100	435

*possible carcinogen

**human carcinogen

¹*Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*, 5th ed. (Cincinnati: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1986).

ภาคผนวก ง Saturation vapor pressure data (Crow and Louver, 2002)

$$\ln(P^{\text{sat}}) = A - \frac{B}{C + T}$$

where

P^{sat} is the saturation vapor pressure (mm Hg),

T is the temperature (K), and

A, B, C are constants given below.

Species	Formula	Range(K)	A	B	C
Acetone	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	241–350	16.6513	2940.46	–35.93
Benzene	C_6H_6	280–377	15.9008	2788.51	–52.36
Carbon tetrachloride	CCl_4	253–374	15.8742	2808.19	–45.99
Chloroform	CHCl_3	260–370	15.9732	2696.79	–46.19
Cyclohexane	C_6H_{12}	280–380	15.7527	2766.63	–50.50
Ethyl acetate	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	260–385	16.1516	2790.50	–57.15
Ethyl alcohol	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	270–369	18.9119	3803.98	–41.68
n-Heptane	C_7H_{16}	270–400	15.8737	2911.32	–56.51
n-Hexane	C_6H_{14}	245–370	15.8366	2697.55	–48.78
Methyl alcohol	CH_4O	257–364	18.5875	3626.55	–34.29
n-Pentane	C_5H_{12}	220–330	15.8333	2477.07	–39.94
Toluene	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	280–410	16.0137	3096.52	–53.67
Water	H_2O	284–441	18.3036	3816.44	–46.11

¹Selected from David Himmelblau, *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering* (New Jersey: Prentice Hall, 1982), p. 591.

ภาคผนวก จ Unit conversion constant (Crowl and Louvor, 2002)

Volume Equivalents

in³	ft³	US gal	L	m³
1	5.787×10^{-4}	4.329×10^{-3}	1.639×10^{-2}	1.639×10^{-5}
1728	1	7.481	28.32	2.832×10^{-2}
231	0.1337	1	3.785	3.785×10^{-3}
61.03	3.531×10^{-2}	0.2642	1	1.000×10^{-3}
6.102×10^4	35.31	264.2	1000	1

Mass Equivalents

avoirdupois oz.	lb_m	grains	g	kg
1	6.25×10^{-2}	437.5	28.35	2.835×10^{-2}
16	1	7000	453.6	0.4536
2.286×10^{-3}	1.429×10^{-4}	1	6.48×10^{-2}	6.48×10^{-5}
3.527×10^{-2}	2.20×10^{-3}	15.432	1	0.001
35.27	2.20	15,432	1000	1

Linear Measure

m	in	ft	mi
1	39.37	3.2808	6.214×10^{-4}
2.54×10^{-2}	1	8.333×10^{-2}	1.58×10^{-5}
0.3048	12	1	1.8939×10^{-4}
1609	6.336×10^4	5280	1

Power Equivalents

HP	kW	ft-lb_f/s	Btu/s	J/s
1	0.7457	550	0.7068	745.7
1.341	1	737.56	0.9478	1000
1.818×10^{-3}	1.356×10^{-3}	1	1.285×10^{-3}	1.356
1.415	1.055	778.16	1	1055
1.341×10^{-3}	1.000×10^{-3}	0.7376	9.478×10^{-4}	1

Heat, Energy, or Work Equivalents

ft-lb_f	kW hr	HP hr	Btu	cal	J
1	3.766×10^{-7}	5.0505×10^{-7}	1.285×10^{-3}	0.3241	1.356
2.655×10^6	1	1.341	3412.8	8.6057×10^5	3.6×10^6
1.98×10^6	0.7455	1	2545	6.4162×10^5	2.6845×10^6
778.16	2.930×10^{-4}	3.930×10^{-4}	1	252	1055
3.086	1.162×10^{-6}	1.558×10^{-6}	3.97×10^{-3}	1	4.184
0.7376	2.773×10^{-7}	3.725×10^{-7}	9.484×10^{-4}	0.2390	1

Pressure Equivalents

mm Hg	in Hg	bar	atm	kPa	psia
1	3.937×10^{-2}	1.333×10^{-3}	1.316×10^{-3}	0.1333	1.934×10^{-2}
25.40	1	0.03387	3.342×10^{-2}	3.387	0.4912
750.06	29.53	1	0.9869	100.0	1.415×10^{-3}
760.0	29.92	1.013	1	101.3	14.696
7.502	0.2954	0.01000	9.872×10^{-3}	1	0.1451
51.71	2.036	6.893×10^{-2}	6.805×10^{-2}	6.893	

Ideal Gas Constant R_g

1.9872 cal/g-mol K
 1.9872 Btu/lb-mol $^{\circ}$ R
 10.731 psia ft³/lb-mol $^{\circ}$ R
 8.3143 kPa m³/kg-mol K = 8.314 J/g-mol K
 82.057 cm³ atm/g-mol K = 8.2057×10^{-5} m³ atm/mol K
 0.082057 L atm/g-mol K = 0.082057 m³ atm/kg-mol K
 21.9 (in Hg) ft³/lb-mol $^{\circ}$ R
 0.7302 ft³ atm/lb-mol $^{\circ}$ R
 1,545.3 ft lb_f/lb-mol $^{\circ}$ R
 8.314×10^3 kg m²/kg-mol s² K

Gravitational Constant, g_c

32.174 ft-lb_m/lb_f-s²
 1 (kg m/s²)/N
 1 (g cm/s²)/dyne

Miscellaneous

1 Poise = 100 centipoise = 0.1 kg/m s = 0.1 Pa s = 0.1 N s/m²
 1 N = 1 kg m/s²
 1 J = 1 N m = 1 kg m²/s²
 1 centipoise = 1×10^{-3} kg/m s = 2.4191 lb_m/ft-hr = 6.7197×10^{-4} lb_m/ft-s

ภาคผนวก จ Saturated Steam English Units

SATURATED STEAM ENGLISH UNITS

V = SPECIFIC VOLUME (CU FT)/(LBM)
 U = SPECIFIC INTERNAL ENERGY (BTU)/(LBM)
 H = SPECIFIC ENTHALPY (BTU)/(LBM)
 S = SPECIFIC ENTROPY (BTU)/(LBM)(R)

TEMP	ABS PRESS	SPECIFIC VOLUME V			INTERNAL ENERGY U			ENTHALPY H			ENTROPY S		
T (DEG F)	P (PSIA)	SAT LIQUID	EVAP	SAT VAPOR	SAT LIQUID	EVAP	SAT VAPOR	SAT LIQUID	EVAP	SAT VAPOR	SAT LIQUID	EVAP	SAT VAPOR
32	0.0886	0.01602	3304.6	3304.6	-0.02	1021.3	1021.3	-0.02	1075.5	1075.5	0.0	2.1873	2.1873
34	0.0960	0.01602	3061.9	3061.9	2.00	1020.0	1022.0	2.00	1074.4	1076.4	0.0041	2.1762	2.1802
36	0.1040	0.01602	2839.0	2839.0	4.01	1018.6	1022.6	4.01	1073.2	1077.2	0.0081	2.1651	2.1732
38	0.1125	0.01602	2634.1	2634.1	6.02	1017.3	1023.3	6.02	1072.1	1078.1	0.0122	2.1541	2.1663
40	0.1216	0.01602	2445.8	2445.8	8.03	1015.9	1023.9	8.03	1071.0	1079.0	0.0162	2.1432	2.1594
42	0.1314	0.01602	2272.4	2272.4	10.03	1014.6	1024.6	10.03	1069.8	1079.9	0.0202	2.1325	2.1527
44	0.1419	0.01602	2112.8	2112.8	12.04	1013.2	1025.2	12.04	1068.7	1080.7	0.0242	2.1217	2.1459
46	0.1531	0.01602	1965.7	1965.7	14.05	1011.9	1025.9	14.05	1067.6	1081.6	0.0282	2.1111	2.1393
48	0.1651	0.01602	1830.0	1830.0	16.06	1010.5	1026.6	16.06	1066.4	1082.5	0.0321	2.1006	2.1327
50	0.1780	0.01602	1704.8	1704.8	18.06	1009.2	1027.2	18.06	1065.3	1083.4	0.0361	2.0901	2.1262
52	0.1916	0.01602	1589.2	1589.2	20.06	1007.8	1027.9	20.06	1064.2	1084.2	0.0400	2.0798	2.1197
54	0.2063	0.01603	1482.4	1482.4	22.06	1006.5	1028.5	22.06	1063.1	1085.1	0.0439	2.0695	2.1134
56	0.2218	0.01603	1383.6	1383.6	24.06	1005.1	1029.2	24.06	1061.9	1086.0	0.0478	2.0593	2.1070
58	0.2384	0.01603	1292.2	1292.2	26.06	1003.8	1029.8	26.06	1060.8	1086.9	0.0516	2.0491	2.1008
60	0.2561	0.01603	1207.6	1207.6	28.06	1002.4	1030.5	28.06	1059.7	1087.7	0.0555	2.0391	2.0946
62	0.2749	0.01604	1129.2	1129.2	30.06	1001.1	1031.2	30.06	1058.5	1088.6	0.0593	2.0291	2.0885
64	0.2950	0.01604	1056.5	1056.5	32.06	999.8	1031.8	32.06	1057.4	1089.5	0.0632	2.0192	2.0824
66	0.3163	0.01604	989.0	989.0	34.06	998.4	1032.6	34.06	1056.3	1090.4	0.0670	2.0094	2.0764
68	0.3389	0.01605	926.5	926.5	36.06	997.1	1033.1	36.06	1055.2	1091.2	0.0708	1.9996	2.0704
70	0.3629	0.01605	868.3	868.3	38.06	995.7	1033.8	38.06	1054.0	1092.1	0.0745	1.9900	2.0645
72	0.3884	0.01605	814.3	814.3	40.06	994.4	1034.4	40.06	1052.9	1093.0	0.0783	1.9804	2.0587
74	0.4155	0.01606	764.1	764.1	42.06	993.0	1035.1	42.06	1051.8	1093.8	0.0821	1.9708	2.0529
76	0.4442	0.01606	717.4	717.4	44.04	991.7	1035.7	44.04	1050.7	1094.7	0.0858	1.9614	2.0472
78	0.4746	0.01607	673.8	673.8	46.04	990.3	1036.4	46.04	1049.5	1095.6	0.0895	1.9520	2.0415
80	0.5068	0.01607	633.3	633.3	48.03	989.0	1037.0	48.04	1048.4	1096.4	0.0932	1.9426	2.0359
82	0.5409	0.01608	595.5	595.5	50.03	987.7	1037.7	50.03	1047.3	1097.3	0.0969	1.9334	2.0303
84	0.5770	0.01608	560.3	560.3	52.03	986.3	1038.3	52.03	1046.1	1098.2	0.1006	1.9242	2.0248
86	0.6152	0.01609	527.5	527.5	54.02	985.0	1039.0	54.03	1045.0	1099.0	0.1043	1.9151	2.0193
88	0.6555	0.01609	496.8	496.8	56.02	983.6	1039.6	56.02	1043.9	1099.9	0.1079	1.9060	2.0139
90	0.6981	0.01610	468.1	468.1	58.02	982.3	1040.3	58.02	1042.7	1100.8	0.1115	1.8970	2.0086
92	0.7431	0.01610	441.3	441.3	60.01	980.9	1040.9	60.01	1041.6	1101.6	0.1152	1.8881	2.0033
94	0.7906	0.01611	416.3	416.3	62.01	979.6	1041.6	62.01	1040.5	1102.5	0.1188	1.8792	1.9980
96	0.8407	0.01612	392.8	392.8	64.00	978.2	1042.2	64.01	1039.3	1103.3	0.1224	1.8704	1.9928
98	0.8936	0.01612	370.9	370.9	66.00	976.9	1042.9	66.00	1038.2	1104.2	0.1260	1.8617	1.9876
100	0.9492	0.01613	350.4	350.4	68.00	975.5	1043.5	68.00	1037.1	1105.1	0.1295	1.8530	1.9825
102	1.0079	0.01614	331.1	331.1	69.99	974.2	1044.2	70.00	1035.9	1105.9	0.1331	1.8444	1.9775
104	1.0697	0.01614	313.1	313.1	71.99	972.8	1044.8	71.99	1034.8	1106.8	0.1366	1.8358	1.9725
106	1.1347	0.01615	296.2	296.2	73.98	971.5	1045.4	73.99	1033.6	1107.6	0.1402	1.8273	1.9675
108	1.2030	0.01616	280.3	280.3	75.98	970.1	1046.1	75.98	1032.5	1108.5	0.1437	1.8188	1.9625
110	1.275	0.01617	265.4	265.4	77.98	968.8	1046.7	77.98	1031.4	1109.3	0.1472	1.8106	1.9577
112	1.351	0.01617	251.4	251.4	79.97	967.4	1047.4	79.98	1030.2	1110.2	0.1507	1.8021	1.9528
114	1.430	0.01618	238.2	238.2	81.97	966.0	1048.0	81.97	1029.1	1111.0	0.1542	1.7938	1.9480
116	1.513	0.01619	225.8	225.8	83.97	964.7	1048.6	83.97	1027.9	1111.9	0.1577	1.7856	1.9433
118	1.601	0.01620	214.2	214.2	85.96	963.3	1049.3	85.97	1026.8	1112.7	0.1611	1.7774	1.9386
120	1.693	0.01620	203.25	203.26	87.96	962.0	1049.9	87.97	1025.6	1113.6	0.1646	1.7693	1.9339
122	1.789	0.01621	192.94	192.95	89.96	960.6	1050.6	89.96	1024.5	1114.4	0.1680	1.7613	1.9293
124	1.890	0.01622	183.23	183.24	91.96	959.2	1051.2	91.96	1023.3	1115.3	0.1715	1.7533	1.9247
126	1.996	0.01623	174.08	174.09	93.95	957.9	1051.8	93.96	1022.2	1116.1	0.1749	1.7453	1.9202
128	2.107	0.01624	165.45	165.47	95.95	956.5	1052.4	95.96	1021.0	1117.0	0.1783	1.7374	1.9157
130	2.223	0.01625	157.32	157.33	97.95	955.1	1053.1	97.96	1019.8	1117.8	0.1817	1.7295	1.9112
132	2.345	0.01626	149.64	149.66	99.95	953.8	1053.7	99.95	1018.7	1118.6	0.1851	1.7217	1.9068
134	2.472	0.01626	142.40	142.41	101.94	952.4	1054.3	101.95	1017.5	1119.5	0.1884	1.7140	1.9024
136	2.605	0.01627	135.55	135.57	103.94	951.0	1055.0	103.95	1016.4	1120.3	0.1918	1.7063	1.8980
138	2.744	0.01628	129.09	129.11	105.94	949.6	1055.6	105.95	1015.2	1121.1	0.1951	1.6986	1.8937
140	2.889	0.01629	122.98	123.00	107.94	948.3	1056.2	107.95	1014.0	1122.0	0.1985	1.6910	1.8895
142	3.041	0.01630	117.21	117.22	109.94	946.9	1056.8	109.95	1012.9	1122.8	0.2018	1.6834	1.8852
144	3.200	0.01631	111.74	111.76	111.94	945.5	1057.5	111.95	1011.7	1123.6	0.2051	1.6759	1.8810
146	3.365	0.01632	106.58	106.59	113.94	944.1	1058.1	113.95	1010.5	1124.5	0.2084	1.6684	1.8769
148	3.538	0.01633	101.68	101.70	115.94	942.8	1058.7	115.95	1009.3	1125.3	0.2117	1.6610	1.8727
150	3.718	0.01634	97.05	97.07	117.94	941.4	1059.3	117.95	1008.2	1126.1	0.2150	1.6536	1.8686
152	3.906	0.01635	92.66	92.68	119.94	940.0	1059.9	119.95	1007.0	1126.9	0.2183	1.6463	1.8646
154	4.102	0.01636	88.50	88.52	121.94	938.6	1060.5	121.95	1005.8	1127.7	0.2216	1.6390	1.8606
156	4.307	0.01637	84.56	84.57	123.94	937.2	1061.2	123.95	1004.6	1128.6	0.2248	1.6318	1.8566
158	4.520	0.01638	80.82	80.83	125.94	935.8	1061.8	125.96	1003.4	1129.4	0.2281	1.6245	1.8526
160	4.741	0.01640	77.27	77.29	127.94	934.4	1062.4	127.96	1002.2	1130.2	0.2313	1.6174	1.8487

SATURATED STEAM ENGLISH UNITS (Continued)

TEMP	ABS PRESS	SPECIFIC VOLUME V			INTERNAL ENERGY U			ENTHALPY H			ENTROPY S		
T (DEG F)	P (PSIA)	SAT LIQUID	EVAP	SAT VAPOR	SAT LIQUID	EVAP	SAT VAPOR	SAT LIQUID	EVAP	SAT VAPOR	SAT LIQUID	EVAP	SAT VAPOR
162	4.972	0.01641	73.90	73.92	129.95	933.0	1063.0	129.96	1001.0	1131.0	0.2345	1.6103	1.8448
164	5.212	0.01642	70.70	70.72	131.95	931.6	1063.6	131.96	999.8	1131.8	0.2377	1.6032	1.8409
166	5.462	0.01643	67.67	67.68	133.95	930.2	1064.2	133.97	998.6	1132.6	0.2409	1.5961	1.8371
168	5.722	0.01644	64.78	64.80	135.95	928.8	1064.8	135.97	997.4	1133.4	0.2441	1.5892	1.8333
170	5.993	0.01645	62.04	62.06	137.96	927.4	1065.4	137.97	996.2	1134.2	0.2473	1.5822	1.8295
172	6.274	0.01646	59.43	59.45	139.96	926.0	1066.0	139.98	995.0	1135.0	0.2506	1.5753	1.8258
174	6.566	0.01647	56.95	56.97	141.96	924.6	1066.6	141.98	993.8	1135.8	0.2537	1.5684	1.8221
176	6.869	0.01649	54.59	54.61	143.97	923.2	1067.2	143.99	992.6	1136.6	0.2568	1.5616	1.8184
178	7.184	0.01650	52.35	52.36	145.97	921.8	1067.8	145.99	991.4	1137.4	0.2600	1.5548	1.8147
180	7.511	0.01651	50.21	50.22	147.98	920.4	1068.4	148.00	990.2	1138.2	0.2631	1.5480	1.8111
182	7.850	0.01652	48.17	48.19	149.98	919.0	1069.0	150.01	989.0	1139.0	0.2662	1.5413	1.8075
184	8.203	0.01653	46.23	46.25	151.99	917.6	1069.6	152.01	987.8	1139.8	0.2694	1.5346	1.8040
186	8.568	0.01655	44.38	44.40	153.99	916.2	1070.2	154.02	986.5	1140.6	0.2725	1.5279	1.8004
188	8.947	0.01656	42.62	42.64	156.00	914.7	1070.7	156.03	985.3	1141.3	0.2756	1.5213	1.7969
190	9.340	0.01657	40.94	40.96	158.01	913.3	1071.3	158.04	984.1	1142.1	0.2787	1.5148	1.7934
192	9.747	0.01658	39.34	39.35	160.02	911.9	1071.9	160.05	982.8	1142.9	0.2818	1.5082	1.7900
194	10.168	0.01660	37.81	37.82	162.02	910.5	1072.5	162.05	981.6	1143.7	0.2848	1.5017	1.7866
196	10.605	0.01661	36.35	36.36	164.03	909.0	1073.1	164.06	980.4	1144.4	0.2879	1.4952	1.7831
198	11.058	0.01662	34.95	34.97	166.04	907.6	1073.6	166.08	979.1	1145.2	0.2910	1.4888	1.7798
200	11.526	0.01664	33.62	33.64	168.06	906.2	1074.2	168.09	977.9	1146.0	0.2940	1.4824	1.7764
202	12.011	0.01665	32.35	32.37	170.06	904.7	1074.8	170.10	976.6	1146.7	0.2971	1.4760	1.7731
204	12.512	0.01666	31.13	31.15	172.07	903.3	1075.3	172.11	975.4	1147.5	0.3001	1.4697	1.7698
206	13.031	0.01668	29.97	29.99	174.08	901.8	1075.9	174.12	974.1	1148.2	0.3031	1.4634	1.7665
208	13.568	0.01669	28.86	28.88	176.09	900.4	1076.5	176.14	972.8	1149.0	0.3061	1.4571	1.7632
210	14.123	0.01670	27.80	27.82	178.11	898.9	1077.0	178.15	971.6	1149.7	0.3091	1.4509	1.7600
212	14.696	0.01672	26.78	26.80	180.12	897.5	1077.6	180.17	970.3	1150.5	0.3121	1.4447	1.7568
215	15.592	0.01674	25.34	25.36	183.14	895.3	1078.4	183.19	968.4	1151.6	0.3166	1.4354	1.7520
220	17.186	0.01678	23.13	23.15	188.18	891.6	1079.8	188.23	965.2	1153.4	0.3241	1.4201	1.7442
225	18.912	0.01681	21.15	21.17	193.22	888.0	1081.2	193.28	962.0	1155.3	0.3315	1.4051	1.7365
230	20.78	0.01685	19.364	19.381	198.27	884.3	1082.5	198.33	958.7	1157.1	0.3388	1.3902	1.7290
235	22.79	0.01689	17.756	17.773	203.32	880.5	1083.9	203.39	955.4	1158.8	0.3461	1.3754	1.7215
240	24.97	0.01693	16.304	16.321	208.37	876.8	1085.2	208.45	952.1	1160.6	0.3533	1.3609	1.7142
245	27.31	0.01697	14.991	15.008	213.43	873.1	1086.5	213.52	948.8	1162.3	0.3606	1.3465	1.7070
250	29.82	0.01701	13.802	13.819	218.50	869.3	1087.8	218.59	945.4	1164.0	0.3677	1.3323	1.7000
255	32.53	0.01706	12.724	12.741	223.57	865.5	1089.0	223.67	942.1	1165.7	0.3748	1.3182	1.6930
260	35.43	0.01709	11.745	11.762	228.64	861.6	1090.3	228.76	938.6	1167.4	0.3819	1.3043	1.6862
265	38.53	0.01713	10.854	10.871	233.73	857.8	1091.5	233.85	935.2	1169.0	0.3890	1.2905	1.6795
270	41.86	0.01717	10.042	10.060	238.82	853.9	1092.7	238.95	931.7	1170.6	0.3960	1.2769	1.6729
275	45.41	0.01722	9.302	9.320	243.91	850.0	1093.9	244.06	928.2	1172.2	0.4029	1.2634	1.6663
280	49.20	0.01726	8.627	8.644	249.01	846.1	1095.1	249.17	924.6	1173.8	0.4098	1.2501	1.6599
285	53.24	0.01731	8.009	8.026	254.12	842.1	1096.2	254.29	921.0	1175.3	0.4167	1.2368	1.6536
290	57.55	0.01736	7.443	7.460	259.24	838.1	1097.4	259.43	917.4	1176.8	0.4236	1.2238	1.6473
295	62.13	0.01740	6.924	6.942	264.37	834.1	1098.5	264.57	913.7	1178.3	0.4304	1.2108	1.6412
300	67.01	0.01745	6.448	6.466	269.50	830.1	1099.6	269.71	910.0	1179.7	0.4372	1.1979	1.6351
305	72.18	0.01750	6.011	6.028	274.64	826.0	1100.6	274.87	906.3	1181.1	0.4439	1.1852	1.6291
310	77.67	0.01755	5.608	5.626	279.79	821.9	1101.7	280.04	902.5	1182.5	0.4506	1.1726	1.6232
315	83.48	0.01760	5.238	5.255	284.94	817.7	1102.7	285.21	898.7	1183.9	0.4573	1.1601	1.6174
320	89.64	0.01766	4.896	4.914	290.11	813.6	1103.7	290.40	894.8	1185.2	0.4640	1.1477	1.6116
325	96.16	0.01771	4.581	4.598	295.28	809.4	1104.6	295.60	890.9	1186.5	0.4706	1.1354	1.6059
330	103.05	0.01776	4.289	4.307	300.47	805.1	1105.6	300.81	886.9	1187.7	0.4772	1.1231	1.6003
335	110.32	0.01782	4.020	4.037	305.66	800.8	1106.5	306.03	882.9	1188.9	0.4837	1.1110	1.5947
340	117.99	0.01787	3.770	3.788	310.87	796.5	1107.4	311.26	878.8	1190.1	0.4902	1.0990	1.5892
345	126.08	0.01793	3.539	3.556	316.08	792.2	1108.2	316.50	874.7	1191.2	0.4967	1.0871	1.5838
350	134.60	0.01799	3.324	3.342	321.31	787.8	1109.1	321.76	870.6	1192.3	0.5032	1.0752	1.5784
355	143.57	0.01805	3.124	3.143	326.55	783.3	1109.9	327.03	866.3	1193.4	0.5097	1.0634	1.5731
360	153.01	0.01811	2.939	2.957	331.79	778.9	1110.7	332.31	862.1	1194.4	0.5161	1.0517	1.5678
365	162.93	0.01817	2.767	2.785	337.06	774.3	1111.4	337.60	857.8	1195.4	0.5225	1.0401	1.5626
370	173.34	0.01823	2.606	2.624	342.33	769.8	1112.1	342.91	853.4	1196.3	0.5289	1.0286	1.5575
375	184.27	0.01830	2.457	2.475	347.61	765.2	1112.8	348.24	849.0	1197.2	0.5352	1.0171	1.5523
380	195.73	0.01836	2.317	2.335	352.91	760.5	1113.5	353.58	844.5	1198.0	0.5416	1.0057	1.5473
385	207.74	0.01843	2.187	2.205	358.22	755.9	1114.1	358.93	839.9	1198.8	0.5479	0.9944	1.5422
390	220.32	0.01850	2.065	2.083	363.55	751.1	1114.7	364.30	835.3	1199.6	0.5542	0.9831	1.5372
395	233.49	0.01857	1.9510	1.9695	368.89	746.3	1115.2	369.69	830.6	1200.3	0.5604	0.9718	1.5323
400	247.26	0.01864	1.8444	1.8630	374.24	741.5	1115.7	375.09	825.9	1201.0	0.5667	0.9607	1.5274
405	261.65	0.01871	1.7445	1.7633	379.61	736.6	1116.2	380.52	821.1	1201.6	0.5729	0.9496	1.5225
410	276.69	0.01878	1.6510	1.6697	384.99	731.7	1116.7	385.96	816.2	1202.1	0.5791	0.9385	1.5176
415	292.40	0.01886	1.5632	1.5820	390.40	726.7	1117.1	391.42	811.2	1202.7	0.5853	0.9275	1.5128
420	308.78	0.01894	1.4808	1.4997	395.81	721.6	1117.4	396.90	806.2	1203.1	0.5915	0.9165	1.5080
425	325.87	0.01901	1.4033	1.4224	401.25	716.5	1117.8	402.40	801.1	1203.5	0.5977	0.9055	1.5032
430	343.67	0.01909	1.3306	1.3496	406.70	711.3	1118.0	407.92	796.0	1203.9	0.6038	0.8946	1.4985
435	362.23	0.01918	1.2621	1.2812	412.18	706.1	1118.3	413.46	790.7	1204.2	0.6100	0.8838	1.4937
440	381.54	0.01926	1.1976	1.2169	417.67	700.8	1118.5	419.03	785.4	1204.4	0.6161	0.8729	1.4890
445	401.64	0.01934	1.1369	1.1562	423.18	695.5	1118.7	424.62	780.0	1204.6	0.6222	0.8621	1.4843
450	422.55	0.01943	1.0796	1.0991	428.71	690.1	1118.8	430.23	774.5	1204.7	0.6283	0.8514	1.4797
455	444.28	0.0195	1.0256	1.0451	434.27	684.6	1118.9	435.87	768.9	1204.8	0.6344	0.8406	1.4750

SATURATED STEAM ENGLISH UNITS (Continued)

TEMP		SPECIFIC VOLUME V			INTERNAL ENERGY U			ENTHALPY H			ENTROPY S		
ABS PRESS													
T (DEG F)	P (PSIA)	SAT LIQUID	EVAP	SAT VAPOR	SAT LIQUID	EVAP	SAT VAPOR	SAT LIQUID	EVAP	SAT VAPOR	SAT LIQUID	EVAP	SAT VAPOR
460	466.87	0.0196	0.9746	0.9942	439.84	679.0	1118.9	441.54	763.2	1204.8	0.6405	0.8299	1.4704
465	490.32	0.0197	0.9265	0.9462	445.44	673.4	1118.9	447.23	757.5	1204.7	0.6466	0.8192	1.4657
470	514.67	0.0198	0.8810	0.9008	451.06	667.7	1118.8	452.95	751.6	1204.6	0.6527	0.8084	1.4611
475	539.94	0.0199	0.8379	0.8578	456.71	662.0	1118.7	458.70	745.7	1204.4	0.6587	0.7977	1.4565
480	566.15	0.0200	0.7972	0.8172	462.39	656.1	1118.5	464.48	739.6	1204.1	0.6648	0.7871	1.4518
485	593.32	0.0201	0.7586	0.7787	468.09	650.2	1118.3	470.29	733.5	1203.8	0.6708	0.7764	1.4472
490	621.48	0.0202	0.7220	0.7422	473.82	644.2	1118.0	476.14	727.2	1203.3	0.6769	0.7657	1.4426
495	650.65	0.0203	0.6874	0.7077	479.57	638.0	1117.6	482.02	720.8	1202.8	0.6830	0.7550	1.4380
500	680.86	0.0204	0.6545	0.6749	485.36	631.8	1117.2	487.94	714.3	1202.2	0.6890	0.7443	1.4333
505	712.12	0.0205	0.6233	0.6438	491.2	625.6	1116.7	493.9	707.7	1201.6	0.6951	0.7336	1.4286
510	744.47	0.0207	0.5936	0.6143	497.0	619.2	1116.2	499.9	700.9	1200.8	0.7012	0.7228	1.4240
515	777.93	0.0208	0.5654	0.5862	502.9	612.7	1115.6	505.9	694.1	1200.0	0.7072	0.7120	1.4193
520	812.53	0.0209	0.5386	0.5596	508.8	606.1	1114.9	512.0	687.0	1199.0	0.7133	0.7013	1.4146
525	848.28	0.0210	0.5131	0.5342	514.8	599.3	1114.2	518.1	679.9	1198.0	0.7194	0.6904	1.4098
530	885.23	0.0212	0.4889	0.5100	520.8	592.5	1113.3	524.3	672.6	1196.9	0.7255	0.6796	1.4051
535	923.39	0.0213	0.4657	0.4870	526.9	585.6	1112.4	530.5	665.1	1195.6	0.7316	0.6686	1.4003
540	962.79	0.0215	0.4437	0.4651	532.9	578.5	1111.4	536.8	657.5	1194.3	0.7378	0.6577	1.3954
545	1003.5	0.0216	0.4226	0.4442	539.1	571.2	1110.3	543.1	649.7	1192.8	0.7439	0.6467	1.3905
550	1045.4	0.0218	0.4026	0.4243	545.3	563.9	1109.1	549.5	641.8	1191.2	0.7501	0.6356	1.3856
555	1088.7	0.0219	0.3834	0.4053	551.5	556.4	1107.9	555.9	633.6	1189.5	0.7562	0.6244	1.3807
560	1133.4	0.0221	0.3651	0.3871	557.8	548.7	1106.5	562.4	625.3	1187.7	0.7625	0.6132	1.3757
565	1179.4	0.0222	0.3475	0.3698	564.1	540.9	1105.0	569.0	616.8	1185.7	0.7687	0.6019	1.3706
570	1226.9	0.0224	0.3308	0.3532	570.5	532.9	1103.4	575.6	608.0	1183.6	0.7750	0.5906	1.3654
575	1275.8	0.0226	0.3147	0.3373	577.0	524.8	1101.7	582.3	599.1	1181.4	0.7813	0.5790	1.3602
580	1326.2	0.0228	0.2994	0.3222	583.5	516.4	1099.9	589.1	589.9	1179.0	0.7876	0.5673	1.3550
585	1378.1	0.0230	0.2846	0.3076	590.1	507.9	1098.0	596.0	580.4	1176.4	0.7940	0.5556	1.3496
590	1431.5	0.0232	0.2705	0.2937	596.8	499.1	1095.9	602.9	570.8	1173.7	0.8004	0.5437	1.3442
595	1486.6	0.0234	0.2569	0.2803	603.5	490.2	1093.7	610.0	560.8	1170.8	0.8069	0.5317	1.3385
600	1543.2	0.0236	0.2436	0.2675	610.4	481.0	1091.3	617.1	550.6	1167.7	0.8134	0.5196	1.3330
605	1601.5	0.0239	0.2313	0.2551	617.3	471.5	1088.8	624.4	540.0	1164.4	0.8200	0.5072	1.3273
610	1661.6	0.0241	0.2191	0.2433	624.4	461.8	1086.1	631.8	529.2	1160.9	0.8267	0.4947	1.3214
615	1723.3	0.0244	0.2075	0.2318	631.5	451.8	1083.3	639.3	517.9	1157.2	0.8334	0.4819	1.3154
620	1786.9	0.0247	0.1961	0.2208	638.8	441.4	1080.2	646.9	506.3	1153.2	0.8403	0.4689	1.3092
625	1852.2	0.0250	0.1852	0.2102	646.2	430.7	1076.8	654.7	494.2	1148.9	0.8472	0.4556	1.3028
630	1919.5	0.0253	0.1746	0.1999	653.7	419.5	1073.2	662.7	481.6	1144.2	0.8542	0.4419	1.2962
635	1988.7	0.0256	0.1643	0.1899	661.4	407.9	1069.3	670.8	468.4	1139.2	0.8614	0.4279	1.2893
640	2059.9	0.0259	0.1543	0.1802	669.2	395.8	1065.0	679.1	454.6	1133.7	0.8686	0.4134	1.2821
645	2133.1	0.0263	0.1445	0.1708	677.3	383.1	1060.4	687.7	440.2	1127.8	0.8761	0.3985	1.2746
650	2208.4	0.0267	0.1350	0.1617	685.5	369.8	1055.3	696.4	425.0	1121.4	0.8837	0.3830	1.2667
655	2285.9	0.0272	0.1257	0.1529	694.0	355.8	1049.8	705.5	409.0	1114.5	0.8915	0.3670	1.2584
660	2365.7	0.0277	0.1166	0.1443	702.8	341.0	1043.9	714.9	392.1	1107.0	0.8995	0.3502	1.2498
665	2448.2	0.0279	0.1131	0.1409	706.4	335.0	1041.4	718.7	385.2	1103.9	0.9029	0.3433	1.2462
670	2532.2	0.0281	0.1095	0.1376	710.2	328.5	1038.7	722.9	377.7	1100.6	0.9064	0.3361	1.2425
675	2618.4	0.0283	0.1059	0.1342	714.2	321.7	1035.9	727.1	370.0	1097.1	0.9100	0.3286	1.2387
680	2706.6	0.0286	0.1023	0.1309	718.3	314.8	1033.0	731.5	362.1	1093.5	0.9137	0.3210	1.2347
685	2796.6	0.0288	0.0987	0.1275	722.3	307.7	1030.0	735.8	354.0	1089.8	0.9174	0.3133	1.2307
690	2888.4	0.0291	0.0951	0.1242	726.4	300.5	1026.9	740.2	345.7	1085.9	0.9211	0.3054	1.2266
695	2981.5	0.0294	0.0916	0.1210	730.5	293.1	1023.6	744.7	337.2	1081.9	0.9249	0.2974	1.2223
700	3076.8	0.0297	0.0880	0.1177	734.7	285.5	1020.2	749.2	328.5	1077.6	0.9287	0.2892	1.2179
705	3174.2	0.0300	0.0844	0.1144	738.9	277.7	1016.6	753.8	319.4	1073.2	0.9326	0.2807	1.2133
710	3273.2	0.0304	0.0808	0.1112	743.2	269.6	1012.8	758.5	310.1	1068.5	0.9365	0.2720	1.2086
715	3374.1	0.0307	0.0772	0.1079	747.7	261.2	1008.8	763.3	300.4	1063.6	0.9406	0.2631	1.2036
720	3476.8	0.0311	0.0735	0.1046	752.2	252.4	1004.6	768.2	290.2	1058.4	0.9447	0.2537	1.1984
725	3581.5	0.0315	0.0698	0.1013	756.9	243.1	1000.0	773.4	279.5	1052.9	0.9490	0.2439	1.1930
730	3688.4	0.0320	0.0659	0.0980	761.8	233.3	995.2	778.8	268.2	1047.0	0.9535	0.2337	1.1872
735	3796.6	0.0326	0.0620	0.0946	767.0	222.9	989.9	784.5	256.1	1040.6	0.9583	0.2227	1.1810
740	3906.6	0.0331	0.0580	0.0911	772.5	211.6	984.1	790.5	243.1	1033.6	0.9634	0.2110	1.1744
745	4018.4	0.0338	0.0537	0.0875	778.5	199.2	977.7	797.1	228.8	1025.9	0.9689	0.1983	1.1671
750	4132.5	0.0345	0.0492	0.0837	785.1	185.4	970.5	804.4	212.8	1017.2	0.9749	0.1841	1.1591
755	4249.5	0.0355	0.0442	0.0797	792.6	169.6	962.2	812.6	194.6	1007.2	0.9818	0.1681	1.1499
760	4369.5	0.0366	0.0386	0.0752	801.5	150.7	952.1	822.4	172.7	995.2	0.9901	0.1490	1.1390
765	4492.5	0.0382	0.0317	0.0700	812.8	126.3	939.1	835.0	144.7	979.7	1.0006	0.1246	1.1252
770	4618.5	0.0411	0.0219	0.0630	830.1	89.1	919.2	854.2	102.0	956.2	1.0169	0.0876	1.1046
775	4747.5	0.0508	0.0000	0.0508	875.9	-0.0	875.9	906.0	-0.0	906.0	1.0612	0.0000	1.0612

ภาคผนวก ข 2-K Method

For pipe fittings, valves, and other flow obstructions the traditional method has been to use an equivalent pipe length $L_{e,,,}$ in Equation (๙-1).

$$K_f = \frac{4fL}{d}, \quad \dots(๙-1)$$

The problem with this method is that the specified length is coupled to the friction factor. An improved approach is to use the 2-K which uses the actual flow path length in Equation (๙-1) equivalent lengths are not used and provides a more detailed approach for pipe fittings, inlets, and outlets. The 2-K method defines the excess head loss in terms of two constants, the Reynolds number and the pipe internal diameter:

$$K_f = \frac{K_1}{Re} + K_\infty \left(1 + \frac{1}{ID_{\text{inches}}} \right), \quad \dots(๙-2)$$

where

K_f is the excess head loss (dimensionless),

K_1 and K_∞ are constants (dimensionless),

Re is the Reynolds number (dimensionless), and

$ID_{,,,,}$ is the internal diameter of the flow path (inches).

For pipe entrances and exits Equation (๙-2) is modified to account for the change in kinetic energy:

$$K_f = \frac{K_1}{Re} + K_\infty. \quad \dots(๙-3)$$

For pipe entrances, $K_1 = 160$ and $K_\infty = 0.50$ for a normal entrance and $K_\infty = 1.0$ for a Bordatype entrance. For pipe exits, $K_1 = 0$ and $K_\infty = 1.0$. The K factors for the entrance and exit effects account for the changes in kinetic energy through these piping changes, so no additional kinetic energy terms in the mechanical energy balance must be considered. For high Reynolds numbers (that

is, $Re > 10,000$) the first term in Equation (9-3) is negligible and $K_f = K_\alpha$. For low Reynolds numbers (that is, $Re < 50$) the first term dominates and $K_f = K_1/Re$.

Equations are also available for orifices and for changes in pipe sizes.

The 2-K method also represents liquid discharge through holes. From the 2- K method an expression for the discharge coefficient for liquid discharge through a hole can be determined.

The result is

$$C_o = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum K_f}}, \quad \dots(9-4)$$

where $\sum K_f$ is the sum of all excess head loss terms, including entrances, exits, pipe lengths, and fittings, provided by Equations (9-1), (9-2) and (9-3). For a simple hole in a tank with no pipe connections or fittings the friction is caused only by the entrance and exit effects of the hole.

For Reynolds numbers greater than 10,000, $K_f = 0.5$ for the entrance and $K_f = 1.0$ for the exit.

Thus $\sum K_f = 1.5$, and from Equation (9-4), $C_o = 0.63$, which nearly matches the suggested value of 0.61.

The solution procedure to determine the mass flow rate of discharged material from a piping system is as follows:

1. Given: the length, diameter, and type of pipe; pressures and elevation changes across the piping system; work input or output to the fluid resulting from pumps, turbines, etc.; number and type of fittings in the pipe; properties of the fluid, including density and viscosity.
2. Specify the initial point (point 1) and the final point (point 2). This must be done carefully because the individual terms in Equation 4.28 are highly dependent on this specification.
3. Determine the pressures and elevations at points 1 and 2. Determine the initial fluid velocity at point 1.

4. Guess a value for the velocity at point 2. If fully developed turbulent flow is expected, then this is not required.
5. Determine the friction factor for the pipe using Equations (5.24) through Equation (5.27) and a single solution has been proposed by Chen (Crowl and Louver, 2002) to provide the friction factor f over the entire range of Reynolds number shown in Figure 5.7. This Equation is

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log \left(\frac{\epsilon/d}{3.7065} - \frac{5.0452 \log A}{Re} \right),$$

where

$$A = \left[\frac{(\epsilon/d)^{1.1098}}{2.8257} + \frac{5.8506}{Re^{0.8981}} \right].$$

6. Determine the excess head loss terms for the pipe (using Equation (๕-1)), for the fittings (using Equation (๕-2)), and for any entrance and exit effects (using Equation (๕-3)). Sum the head loss terms, and compute the net frictional loss term using Equation (5.29). Use the velocity at point 2.
7. Compute values for all the terms in Equation (5.28), and substitute into the equation. If the sum of all the terms in Equation (5.28) is zero, then the computation is completed. If not, go back to step 4 and repeat the calculation.
8. Determine the mass flow rate using the equation $m = \rho \bar{u} A$ or $m = \rho G A$.

If fully developed turbulent flow is expected, the solution is direct. Substitute the known terms into Equation (5.28), leaving the velocity at point 2 as a variable. Solve for the velocity directly.

So if we use this 2-K method, the table 5.2 (ตารางที่ 5.2 ค่าความยาวเทียบเท่าของท่อ

(Equivalent lengths for various pipe fitting) โดยการไหลต้องเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) เท่านั้น (Crowl and Louvar, 1999)) will be changed to Table as follows:

Table 9-1 2-K Constants for Loss Coefficients in Fittings and Valves

Fittings	Description of fitting	K_1	K_∞
Elbows	Standard ($r/D = 1$), threaded	800	0.40
	Standard ($r/D = 1$), flanged/welded	800	0.25
	Long radius ($r/D = 1.5$), all types	800	0.20
	Mitered ($r/D = 1.5$): 1 weld (90°)	1000	1.15
	2 welds (45°)	800	0.35
	3 welds (30°)	800	0.30
	4 welds (22.5°)	800	0.27
	5 welds (18°)	800	0.25
	45°		
	Standard ($r/D = 1$), all types	500	0.20
45°	Long radius ($r/D = 1.5$)	500	0.15
	Mitered, 1 weld (45°)	500	0.25
	Mitered, 2 welds (22.5°)	500	0.15
	180°		
180°	Standard ($r/D = 1$), threaded	1000	0.60
	Standard ($r/D = 1$), flanged/welded	1000	0.35
	Long radius ($r/D = 1.5$), all types	1000	0.30
Tees			
Used as elbows	Standard, threaded	500	0.70
	Long radius, threaded	800	0.40
	Standard, flanged/welded	800	0.80
	Stub-in branch	1000	1.00
Run-through	Threaded	200	0.10
	Flanged/welded	150	0.50
	Stub-in branch	100	0.00
Valves			
Gate, ball or plug	Full line size, $\beta = 1.0$	300	0.10
	Reduced trim, $\beta = 0.9$	500	0.15
	Reduced trim, $\beta = 0.8$	1000	0.25
Globe	Standard	1500	4.00
	Angle or Y-type	1000	2.00
Diaphragm	Dam type	1000	2.00
Butterfly		800	0.25
Check	Lift	2000	10.0
	Swing	1500	1.50
	Tilting disk	1000	0.50

¹William B. Hooper, *Chemical Engineering*, (Aug. 24, 1981), p. 97.

กัญรัตน์ โหละสุด

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002
โทรศัพท์ 043-362240 โทรสาร 043-362240



ประวัติการศึกษา

ปริญญาเอก (วิศวกรรมเคมี) University of Hertfordshire ประเทศอังกฤษ
ปริญญาโท บริหารธุรกิจ (ทั่วไป) มหาวิทยาลัยขอนแก่น MBA รุ่นที่ 1
ปริญญาตรี (วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัยขอนแก่น รุ่น 23
E-mail Address kanyarat@kku.ac.th

ประสบการณ์การทำงาน

- วิศวกรเคมีการผลิต ไทยฮีโนมอเตอร์ จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย วันที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2533 ถึง วันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2534
- วิศวกร (ฝึกงาน) ได้ศึกษางานอบสีชนิดต่างๆ ที่ บริษัท Hino Tokyo ประเทศญี่ปุ่น ระหว่าง สนับสนุนโดย บริษัท นิปปอน เพ้นท์ จำกัด เป็นเวลา 1 เดือน ช่วงการเป็นวิศวกรที่ ไทยฮีโนมอเตอร์ จำกัด
- วิศวกรความปลอดภัยด้านโรงงานการผลิต (Safety plant) ที่ บริษัทปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด (TPI ระยอง) ระหว่าง วันที่ 20 พฤษภาคม 2534 ถึง วันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2535
- อาจารย์วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2535 จนถึง 8 มกราคม พ.ศ. 2540 ได้รับทุนทบวงมหาวิทยาลัย เพื่อศึกษาต่อปริญญาเอกที่ประเทศอังกฤษ
- ระหว่างดำรงตำแหน่งอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้ศึกษาในระดับปริญญาโทคณะบริหารธุรกิจ ระหว่าง 22 ตุลาคม พ.ศ. 2537 ถึง 9 ตุลาคม พ.ศ. 2539
- งานวิจัยปริญญาเอกที่มหาวิทยาลัย Hertfordshire ประเทศอังกฤษ ระหว่าง พ.ศ. 2540 ถึง พ.ศ. 2545
- ประสบการณ์การทำงานในช่วงการศึกษาปริญญาเอกที่ Thai Rack restaurant 13 George Street Herts., AL3 4ER England (ร้านอาหารไทย 5 ดาว) ได้จัดการเกี่ยวกับเรื่องระบบระบายอากาศกลิ่นอาหาร และระบบคิวของลูกค้า เพื่อให้พนักงานทำงานสะดวกขึ้น ในเดือน เมษายน ถึงเดือนสิงหาคม 2542
- Demonstrator สำหรับ B. Eng Engineering degree course "Business of Engineering" ที่มหาวิทยาลัย Hertfordshire ประเทศอังกฤษ เรื่องการใช้ Microsoft office applications (Ms Word Excel and Power point) และ Web applications (MS internet explorer and webpage production) สำหรับหลักสูตร ช่วง กันยายน 2542 ถึง กรกฎาคม 2543

จนปัจจุบัน ดำรงตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

- สามารถหาข้อมูลวิจัยและอื่น ๆ เพิ่มเติมได้ที่ <http://www.en.kku.ac.th/dept/che/>
- รางวัลที่ได้รับ

#	ระดับรางวัล	กลุ่มรางวัล	ชื่อผลงาน	รางวัลที่ได้รับ/หน่วยงานที่มอบ	วันที่รับรางวัล
1	ชาติ	วิจัย	โครงการ "การพัฒนาสารอิเล็กโทรไลต์และหาวิธีการวัดความไม่สมดุลสำหรับการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าของวานาเดียมรีดอกซ์โฟลด์แบตเตอรี่ (Development of electrolyte for Energy storage of Vanadium Redox Flow Battery;	รางวัล : รางวัลโครงการดีเด่น TM INNOVATION AWARD 2017 หน่วยงาน : สนง.อุทยานวิทยาศาสตร์ https://www.kku.ac.th/news/v.php?q=0014750&l=th	2 ต.ค. 2560
2	สถาบัน	วิชาการ	รางวัลเชิดชูเกียรติบุคลากร ระดับดีเลิศ พ.ศ. 2553 ด้านการเรียนการสอน	รางวัล : รางวัลเชิดชูเกียรติบุคลากร ระดับมหาวิทยาลัยขอนแก่นประจำปี พ.ศ. 2553 ด้านการเรียนการสอน หน่วยงาน : มหาวิทยาลัยขอนแก่น	16 ต.ค. 2553
3	ชาติ	สิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรม	เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์	รางวัล : - หน่วยงาน : การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22	15 ต.ค. 2551
4	ชาติ	วิชาการ	รางวัลชมเชยประกวดการแข่งขันส้อมอิเล็กทรอนิกส์	รางวัล : รางวัลชมเชยประกวดการแข่งขันส้อมอิเล็กทรอนิกส์ คณะ หน่วยงาน : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มข.	4 พ.ค. 2549
5	ชาติ	วิจัย	การพัฒนาเครื่องแสดงจริงเพื่อทดแทนพลังงาน	รางวัล : รางวัลอาจารย์ที่ปรึกษากลุ่มรองชนะเลิศอันดับ 1 . หน่วยงาน : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มข.	4 พ.ค. 2548
6	ชาติ	วิจัย	รางวัลผลงานตีพิมพ์มากเป็นอันดับ 3	รางวัล : รางวัลผลงานตีพิมพ์มากเป็นอันดับ 3 หน่วยงาน : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มข	4 พ.ค. 2547
7	ชาติ	วิชาการ	รางวัลผลงานตีพิมพ์มากเป็นอันดับ 3	รางวัล : รางวัลผลงานตีพิมพ์มากเป็นอันดับ 3 หน่วยงาน : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มข	4 พ.ค. 2546