

# คำนำ

หนังสือนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ศึกษาเพิ่มเติม ประกอบการเรียนการสอน สำหรับนักศึกษาคณะ วิศวกรรมศาสตร์ที่ลงเรียนในรายวิชา Thermodynamics I โดยเนื้อหาภายในแบ่งออกเป็น 9 บท โดยบท ที่ 1 และ 2 จะเป็นการปูพื้นฐานความเข้าใจถึงภาพรวมในรายวิชา และคำจำกัดความต่างๆ รวมทั้ง คุณสมบัติของสารบริสุทธิ์ ซึ่งจะเป็นพื้นฐานสำคัญที่จะนำไปใช้ในบทต่อไป

และในบทที่ 3-5 จะเป็นทฤษฎีรากฐานสำคัญของ วิชา Thermodynamics ซึ่งเกี่ยวข้องกับ ปริมาณของพลังงาน อันได้แก่ งานและความร้อน กฎทรงมวล และกฎทรงของพลังงาน ซึ่งก็คือกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์นั่นเอง ส่วนในบทที่ 6-8 จะเป็นทฤษฎีสำคัญที่ชี้วัดเชิงคุณภาพของพลังงาน ว่า ด้วยเรื่อง กฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ และเอนโทรปี รวมทั้งประสิทธิภาพเชิงกฎข้อที่ 2

ส่วนท้ายสุดคือบทที่ 9 จะเป็นการอธิบายถึงหลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลกำลังชนิดต่างๆ และระบบการทำความเย็น ซึ่งเป็นกลุ่มเครื่องจักรที่มีความสำคัญยิ่งต่อความเจริญก้าวหน้าทางด้าน อุตสาหกรรม ในโลกปัจจุบัน ตลอดจนถึงคุณภาพชีวิตและความเป็นอยู่ที่ดีของมนุษยชาติ ที่วิศวกรทุก คนควรมีความเข้าใจในกลไกและหลักการทำงานของมัน รวมทั้งวิธีการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ของวิชา นี้ในการนำไปใช้วิเคราะห์เกี่ยวกับพลังงานและประสิทธิภาพของระบบเครื่องจักรดังกล่าว

นอกจากผู้เขียนนี้ยังได้จัดทำ website ของรายวิชานี้ ซึ่งจะมีเนื้อหาบทเรียนในรูปแบบแฟ้ม Power Point Presentation ที่นักศึกษาควรเข้าไปเปิดดูเพื่อทบทวนบทเรียน และมีข้อมูลที่สำคัญต่างๆเกี่ยวกับการ เรียนของวิชานี้อีกด้วย website ดังกล่าวอยู่ในระบบ e-Learning ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยเข้า ไปที่ <http://e-learning.kku.ac.th> แล้วคลิกหาตามลำดับคือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ – ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล - Thermodynamics [ <http://e-learning.kku.ac.th/course/view.php?id=470> ]

ท้ายนี้ การทำหนังสือเล่มนี้ได้รับทุนสนับสนุนการผลิตตำรา โดยสำนักนวัตกรรมการเรียนการ สอนมหาวิทยาลัยขอนแก่น ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณไว้ ณ โอกา สนี้ด้วยและขอให้นักศึกษาทุกคนมี ความสุขในการเรียน

รศ.ดร.สมหมาย ปรีเปรม



# สารบัญ

หน้า

คำนำ

สารบัญ

## บทที่ 1 บทนำ

1.1 ระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์	11
1.2 การพิจารณาแบบจุลภาคและมหภาค	12
1.3 คุณสมบัติและสภาวะของสาร	13
1.4 กระบวนการและวัฏจักร	14
1.5 หน่วยของ มวล ความยาว เวลา และแรง (Units)	16
1.6 ปริมาตรจำเพาะ	17
1.7 ความดัน	17
1.8 ความเท่ากันของอุณหภูมิ (Equality of Temperature)	19
1.9 กฎข้อที่ศูนย์ของเทอร์โมไดนามิกส์	19
1.10 สเกลอุณหภูมิ	20
สรุปท้ายบทที่ 1	21
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1	23

## บทที่ 2 คุณสมบัติของสารบริสุทธิ์

2.1 สารบริสุทธิ์	25
2.2 การสมดุลระหว่างสถานะทั้งสามของสารบริสุทธิ์	26
2.3 คุณสมบัติอิสระของสารบริสุทธิ์	33
2.4 ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์	34
2.5 สมการสภาวะของแก๊สจินตภาพ	40
2.6 สมการสภาวะของแก๊สจริง	42
สรุปท้ายบทที่ 2	45
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2	47

## บทที่ 3 งานและความร้อน

3.1 คำจำกัดความของงาน	49
-----------------------	----

3.2 หน่วยของงาน	50
3.3 งานกระทำที่ขอบระบบซึ่งเคลื่อนที่ของระบบปิด	
กคอัตราในกระบวนการสมดุลชั่วขณะ	50
3.4 ความร้อน	55
3.5 หน่วยของความร้อน	55
สรุปท้ายบทที่ 3	57
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3	58

#### **บทที่ 4 กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์**

4.1 กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับระบบที่ดำเนิน ไปเป็นวัฏจักร	63
4.2 พลังงานภายใน – คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์อย่างหนึ่ง	64
4.3 กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบปิด	65
4.4 การวิเคราะห์และเทคนิคในการแก้ปัญหา	67
4.5 เอนทัลปี	70
4.6 ความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่และความดันคงที่	72
4.7 พลังงานภายใน เอนทัลปี และความร้อนจำเพาะของแก๊สจินตภาพ	73
4.8 กฎข้อที่หนึ่งในรูปสมการเชิงอัตรา	76
สรุปท้ายบทที่ 4	77
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4	78

#### **บทที่ 5 กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับระบบเปิด**

5.1 ปริมาตรควบคุมและกฎทรงมวล	83
5.2 กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับระบบเปิด	85
5.3 พลังงานของการไหล	86
5.4 กระบวนการไหลคงที่และสถานะคงที่	87
5.5 แนวทางการพิจารณาวิเคราะห์กระบวนการในอุปกรณ์ทางวิศวกรรมบางอย่าง	88
5.6 กระบวนการการไหลและสถานะสม่ำเสมอ	107
สรุปท้ายบทที่ 5	112
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5	114

## บทที่ 6 กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์

6.1 เครื่องยนต์ความร้อน	117
6.2 ป้อนความร้อน	120
6.3 แหล่งความร้อน	122
6.4 กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์	124
6.5 กระบวนการคืนสภาพ	125
6.6 ตัวประกอบที่ทำให้ กระบวนการไม่คืนสภาพ	126
6.7 วัฏจักรคาร์โนต์	128
6.8 หลักการของคาร์โนต์	129
6.9 ประสิทธิภาพคาร์โนต์	133
สรุปท้ายบทที่ 6	134
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6	136

## บทที่ 7 เอนโทรปี

7.1 ความไม่เท่ากันของเคลาเซียส	143
7.2 เอนโทรปี	144
7.3 เอนโทรปีของสารบริสุทธิ์	146
7.4 การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีในกระบวนการคืนสภาพ	147
7.5 ความสัมพันธ์ของเทอร์โมไดนามิกส์ที่สำคัญสองประการ	150
7.6 การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของระบบระหว่าง กระบวนการไม่คืนสภาพ	151
7.7 หลักการของการเพิ่มเอนโทรปี	152
7.8 การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของของเหลวหรือของแข็ง	154
7.9 การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของแก๊สจินตภาพ	155
7.10 กระบวนการไอเซนโทรปิก สำหรับแก๊สจินตภาพ	156
7.11 กระบวนการโพลีโทรปิกของแก๊สจินตภาพ	157
สรุปท้ายบทที่ 7	160
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7	162

## บทที่ 8 การวิเคราะห์ระบบเปิดด้วยกฎข้อที่สอง

8.1 กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับระบบเปิด	166
8.2 กระบวนการสภาวะคงที่ไหลคงที่ และกระบวนการ สภาวะสม่ำเสมอไหลสม่ำเสมอ	167

8.3 งานในการขับปั๊ม	169
8.4 ประสิทธิภาพ	170
8.5 งานคั่นสภาพและเอร์เวิสซิวิตี	171
8.6 อะเวียลาบิลิตี	175
8.7 กระบวนการเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมี	178
สรุปท้ายบทที่ 8	179
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8	

## บทที่ 9 วัฏจักรต้นกำลังและวัฏจักรทำความเย็น

9.1 วัฏจักรไอต้นกำลัง	181
9.2 ผลของความดันและอุณหภูมิต่อวัฏจักรแรงดัน	185
9.3 วัฏจักรรีฮีท	188
9.4 ความเบี่ยงเบนของวัฏจักรจริงจากวัฏจักรในจินตนาการ	190
9.5 วัฏจักรไอทำความเย็น	191
9.6 วัฏจักรต้นกำลังมาตรฐานอากาศ	193
9.7 วัฏจักรมาตรฐานอากาศคาร์โน	194
9.8 วัฏจักรมาตรฐานอากาศออตโต	195
9.9 วัฏจักรมาตรฐานอากาศดีเซล	197
9.10 วัฏจักรเบรตัน	199
9.11 วัฏจักรมาตรฐานอากาศสำหรับเครื่องยนต์เจ็ท	203
9.12 วัฏจักรทำความเย็นมาตรฐานอากาศ	204
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9	207

## ตารางคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์

ตารางที่ 1 ค่าคุณสมบัติ Molar mass, gas constant และ critical-point ของสารต่างๆ	213
ตารางที่ 2-A ความร้อนจำเพาะของแก๊สในอุดมคติแต่ละชนิด ณ อุณหภูมิ 300 K	214
ตารางที่ 2-B ค่าความร้อนจำเพาะของแก๊สในอุดมคติแต่ละชนิด ณ อุณหภูมิต่างๆ	215
ตารางที่ 2-C ประมวลค่าความร้อนจำเพาะของแก๊สในอุดมคติแต่ละชนิด	216
ตารางที่ 3-A คุณสมบัติทั่วไปของ ของเหลว ของแข็ง และอาหาร	217
ตารางที่ 4 ตารางอุณหภูมิของน้ำอิ่มตัว	219
ตารางที่ 5 ตารางความดันของน้ำอิ่มตัว	221

ตารางที่ 6 คุณสมบัติไอငของน้ำ ณ อุณหภูมิและความดันต่างๆ	223
ตารางที่ 7 คุณสมบัติของของเหลว ณ อุณหภูมิและความดันต่างๆ	229
ตารางที่ 8 ตารางอุณหภูมิของไอน้ำและน้ำแข็งอิ่มตัว	230
แผนภาพที่ 9 อุณหภูมิและเอนโทรปีของน้ำ	231
แผนภาพที่ 10 แผนภาพ Mollier ของน้ำ	232
ตารางที่ 11 ตารางอุณหภูมิของสารทำความเย็น R-12	233
ตารางที่ 12 ตารางความดันของสารทำความเย็น R-12	234
ตารางที่ 13 ตารางคุณสมบัติไอငของสารทำความเย็น R-12	235
แผนภาพที่ 14 ความดันและเอนทาลปีของสารทำความเย็น R-12	238
ตารางที่ 15-A ตารางอุณหภูมิของสารทำความเย็น R-134a อิ่มตัว	239
ตารางที่ 15-B ตารางความดันของสารทำความเย็น R-134a อิ่มตัว	240
ตารางที่ 16 คุณสมบัติไอငของสารทำความเย็น R-134a	241

---