5. Air Conditioning

5.1 บทบาทของระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศ (air conditioning system) เป็นระบบที่ใช้ในอาคารเกือบทุกแห่ง ซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุดถึงประมาณร้อยละ 70 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด

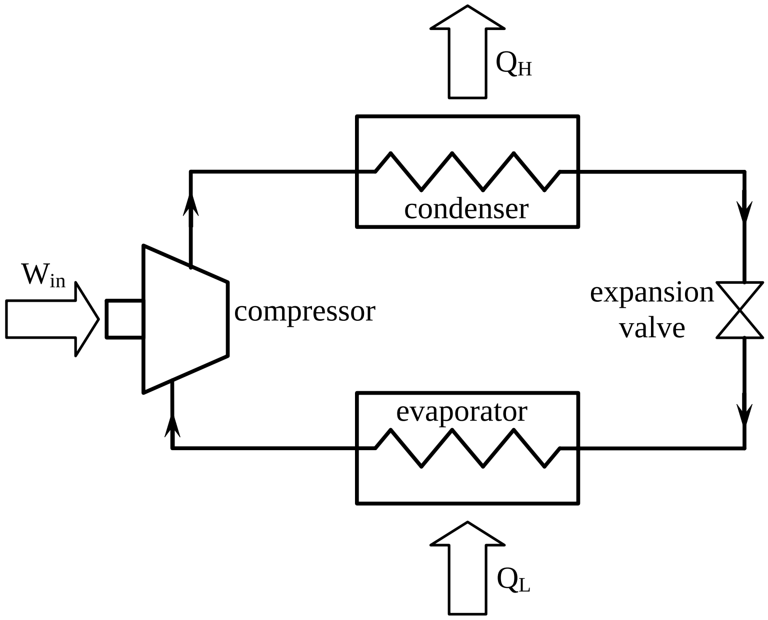
จุดมุ่งหมายของการปรับอากาศคือ

- เพื่อปรับอุณหภูมิและความชื้นในอากาศรวมถึงปัจจัยอื่นๆ เพื่อให้มีระดับความสบาย (thermal comfort) และคุณภาพอากาศ (indoor air quality, IAQ) ที่เหมาะสม
- เพื่อรักษาสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิต เช่นอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเวชภัณฑ์ อุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น

5.2 หลักการปรับอากาศเบื้องต้น

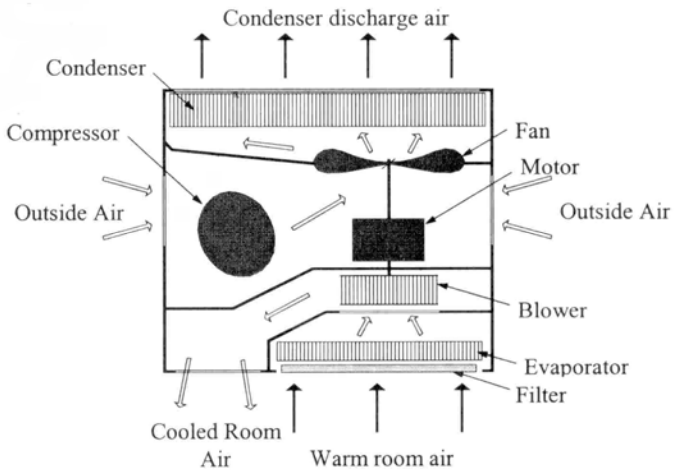
ระบบปรับอากาศประกอบด้วยอุปกรณ์ 4 ชิ้นที่สำคัญของระบบทำความเย็นแบบอัดไอคือ

- คอมเพรสเซอร์ (compressor) ทำหน้าที่อัดไอให้ความดันสูงขึ้น
- คอนเดนเซอร์ (condenser) ทำหน้าที่เปลี่ยนไอให้เป็นของเหลวที่ความดันสูง
- วาล์วลดความดัน (expansion valve) ทำหน้าที่ลดความดันจากสูงลงมาต่ำ
- อีวาปอเรเตอร์ (evaporator) ทำหน้าที่เปลี่ยนของเหลวกลับไปเป็นไอที่ความดันต่ำ



5.3 ชนิดของเครื่องปรับอากาศ

5.3.1 เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (window-type air conditioning unit)



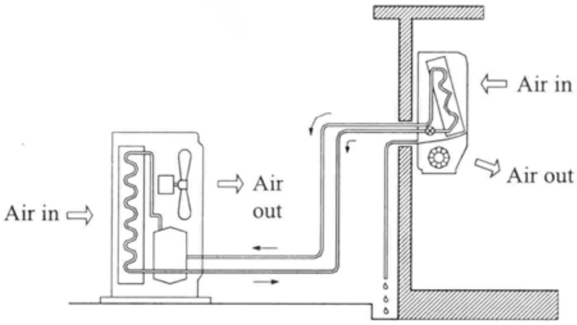
- มีอุปกรณ์ทุกชนิดรวมในเครื่องเดียวกัน
- ติดตั้งบริเวณหน้าต่าง
- ระบายความร้อนด้วยอากาศ
- มีขนาดเล็ก ติดตั้งง่าย แต่มีเสียงดัง

5.3.2 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type air conditioning unit)

เป็นเครื่องปรับอากาศที่มีการแยกระหว่างยูนิตที่ประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์รวมกับคอนเดนเซอร์และยูนิตที่มีอีวาปอเรเตอร์

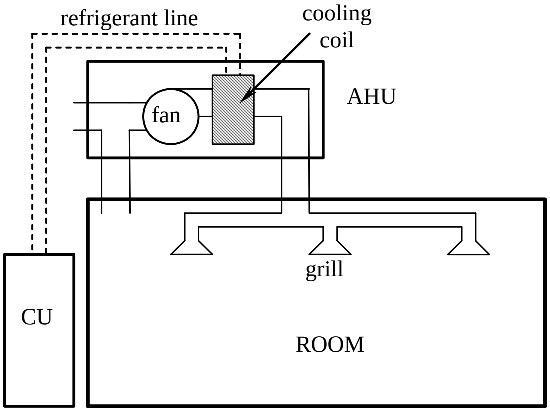
5.3.2.1 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน แบบไม่ต้องเดินท่อลม

เป็นเครื่องปรับอากาศที่มีใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายในปัจจุบันตามสำนักงานและที่อยู่อาศัย



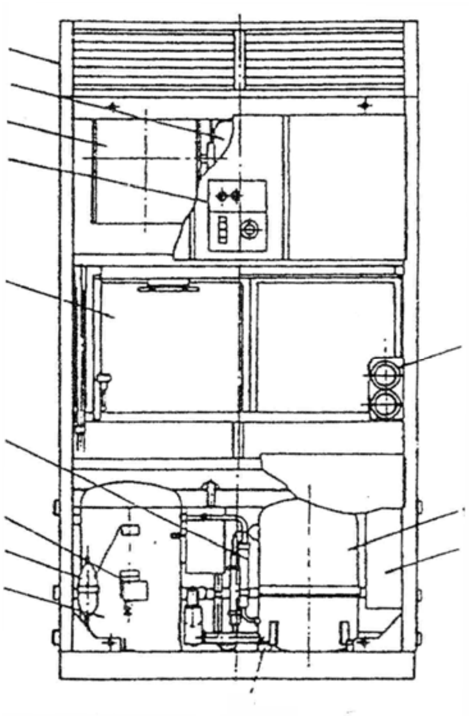
- มีการแยกระหว่าง condensing unit (CU) ซึ่งอยู่ด้านนอก และ fan-coil unit (FCU) ซึ่งอยู่ด้านใน
- ติดตั้งโดยการแขวนผนัง ตั้งพื้นหรือแขวนฝ้า
- ระบายความร้อนด้วยอากาศ
- มีขนาดประมาณ 0.75-5 ตัน ติดตั้งและบำรุงรักษาง่าย เดินเงียบ
- มีปัญหาเรื่องการกระจายลม

5.3.2.2 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน แบบต้องเดินท่อลม



- มีการแยกระหว่าง condensing unit (CU) ซึ่งอยู่ด้านนอก และ air handling unit (AHU) ซึ่งอยู่บนฝ้าหรือในห้องเครื่อง
- มีการเดินท่อลมส่ง (supply air) และท่อลมกลับ (return air)
- หากติดตั้งบนฝ้าจะมีปัญหาเรื่องฝุ่นและการบำรุงรักษา เสียงดัง หากติดตั้งในห้องเครื่องจะบำรุงรักษาง่าย เงียบ แต่ต้องเสียพื้นที่
- ระบายความร้อนด้วยอากาศ
- มีขนาดประมาณ 3-30 ตัน
- มีการกระจายลมได้ดี

5.3.3 เครื่องปรับอากาศแบบสำเร็จครบชุดในตัว (packaged unit)

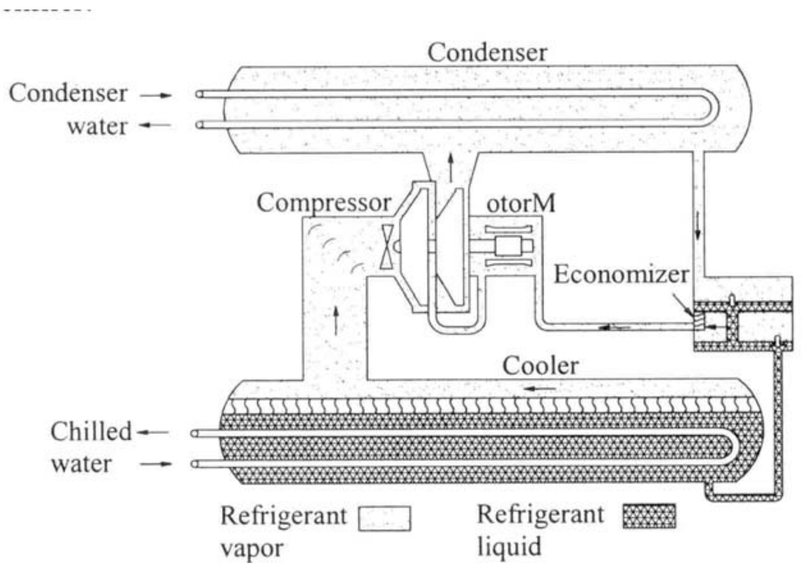


- มีอุปกรณ์ทุกชนิดรวมในเครื่องเดียวกัน
- ติดตั้งได้ง่าย และเหมาะกับบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด
- อาจจะมีการเดินท่อลม ทำให้กระจายลมได้ดี
- ระบายความร้อนด้วยอากาศหรือน้ำ
- มีขนาดประมาณ 3-50 ตัน แต่เสียงจะดัง
- ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ

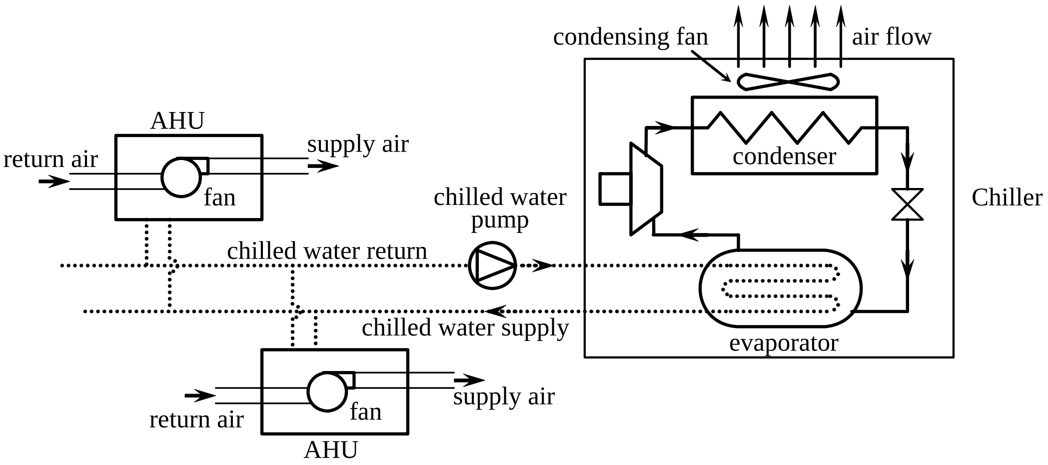
5.3.4 เครื่องทำน้ำเย็น (chiller)

ใช้ในระบบปรับอากาศขนาดกลางถึงใหญ่ เช่นในโรงแรม โรงพยาบาล ศูนย์การค้า เครื่องทำน้ำเย็นนั้นใช้น้ำเย็นเป็นสื่อกลางในการส่งผ่านความเย็นระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศ เหตุผลที่มีการใช้น้ำเป็นสื่อกลางเนื่องจาก

- สามารถส่งไปได้ในระยะไกลๆ และใช้พลังงานน้อยกว่าการส่งอากาศ
- การควบคุมปริมาณการจ่ายน้ำทำได้ง่าย
- ปลอดภัย และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

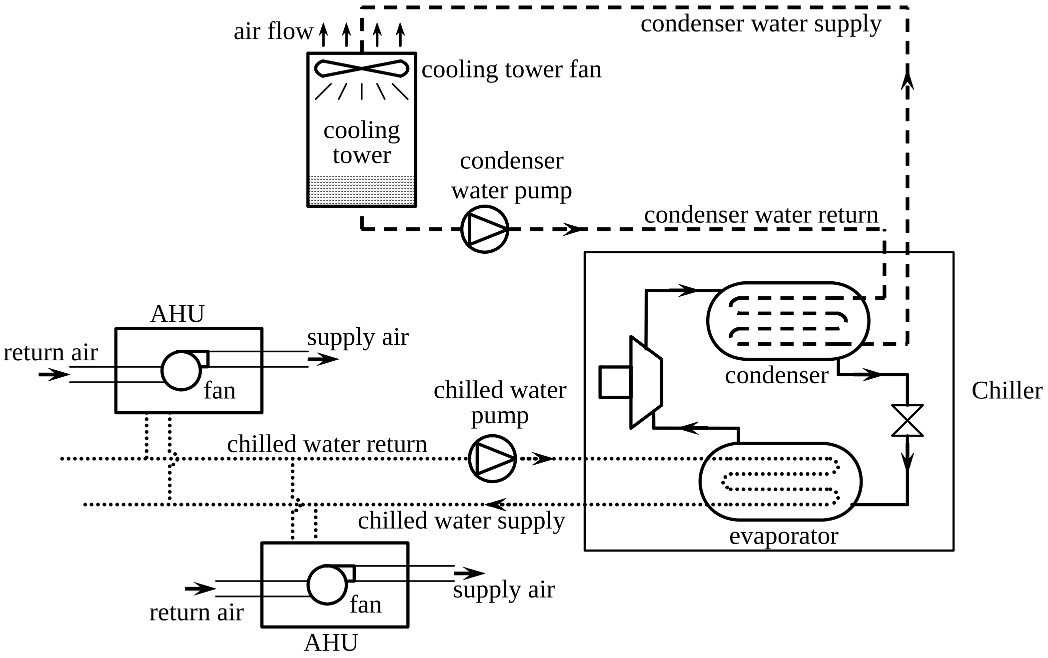


5.3.4.1 เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (air cooled chiller)



- มีขนาดประมาณ 50-500 ตัน
- เหมาะกับในพื้นที่ที่ขาดน้ำ หรือว่าน้ำมีคุณภาพไม่ดีพอ
- น้ำเย็นจะถูกส่งโดยปั๊มเพื่อไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศที่ AHU
- สะดวกในการติดตั้ง บำรุงรักษาง่าย
- คอมเพรสเซอร์มักจะเป็นแบบลูกสูบหรือสกรู
- ประสิทธิภาพต่ำกว่า water cooled chiller

5.3.4.2 เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (water cooled chiller)



- มีขนาดประมาณ 100-3,000 ตัน
- น้ำเย็นจะถูกส่งโดยปั๊มเพื่อไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศที่ AHU
- คอมเพรสเซอร์มักจะเป็นแบบลูกสูบ สกรู หรือแบบหอยโข่ง
- ประสิทธิภาพสูงกว่า air cooled chiller แต่ก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่สูงกว่า

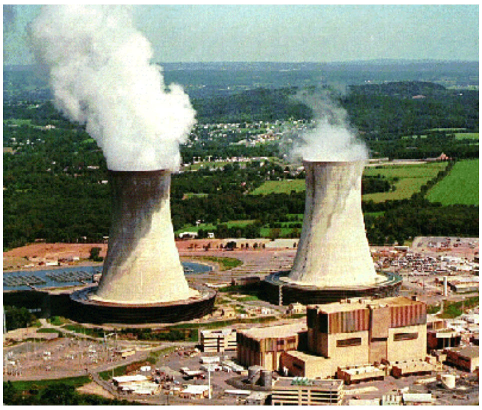
- ต้องมีหอทำความเย็น (cooling tower) เพื่อทำการระบายความร้อนออกจาก condenser

cooling tower นั้นอาศัยหลักของการลดอุณหภูมิของน้ำโดยการระเหยของน้ำสู่อากาศ (evaporative cooling) ดังนั้นเมื่อน้ำบางส่วนระเหยและดูดความร้อนออกไปจะทำให้น้ำส่วนที่เหลือมีอุณหภูมิต่ำลง ในขณะที่อากาศที่ไหลผ่านจะดูดซับไอน้ำที่ระเหยออกมาทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ทั้งนี้เมื่อมีน้ำบางส่วนระเหยออกไป ดังนั้นจึงต้องมีการเติมน้ำแทนที่น้ำส่วนที่ระเหยออกไปอย่างสม่ำเสมอ

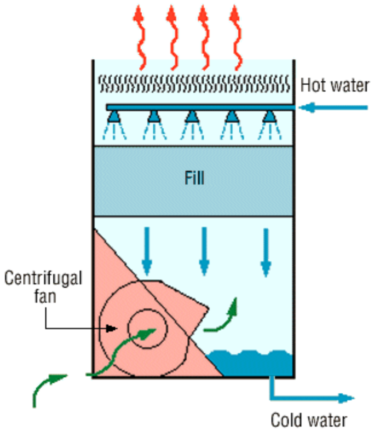
cooling tower สามารถแบ่งได้เป็นหลายชนิดตามเกณฑ์ต่าง ๆดังต่อไปนี้

1) แบ่งตามวิธีการขับเคลื่อนอากาศ
   - แบบ natural draft ซึ่งอาศัยแรงลอยตัวของอากาศร้อน
   - แบบ mechanical draft ซึ่งอาศัยพัดลม จะสามรถแบ่งได้เป็น แบบ forced draft (เป่าลมเข้า) และแบบ induced draft (ดูดลมออก)
2) แบ่งตามทิศทางการไหลของอากาศกับน้ำ
   - แบบ counter flow หรือการไหลสวนทาง
   - แบบ cross flow หรือการไหลตั้งฉาก
3) แบ่งตามชนิดของฟิล (fill)
   - แบบ splash
   - แบบ film

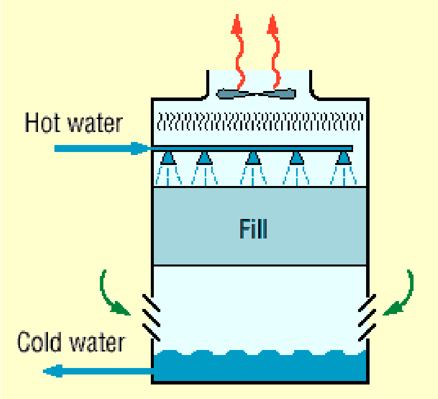
Cooling tower แบบต่างๆ



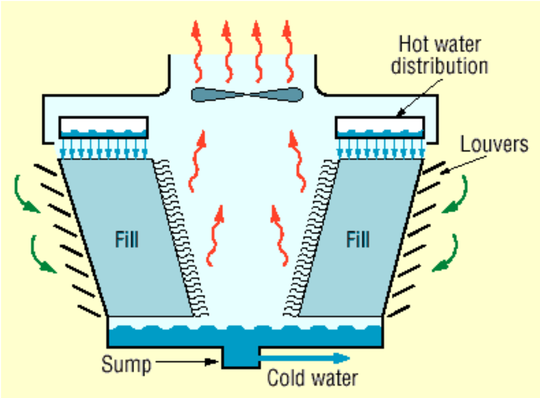
แบบ natural draft counter flow



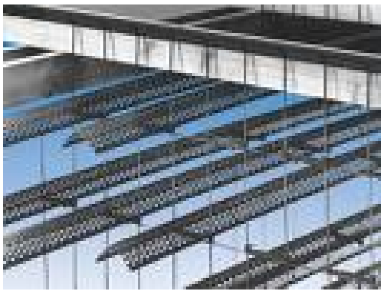
แบบ forced draft counter flow



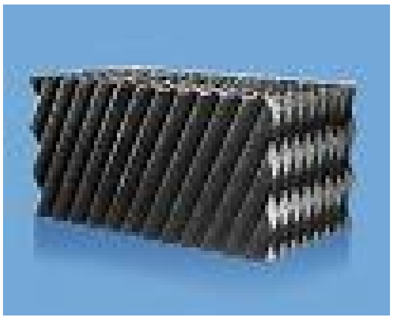
แบบ induced draft counter flow



แบบ induced draft cross flow



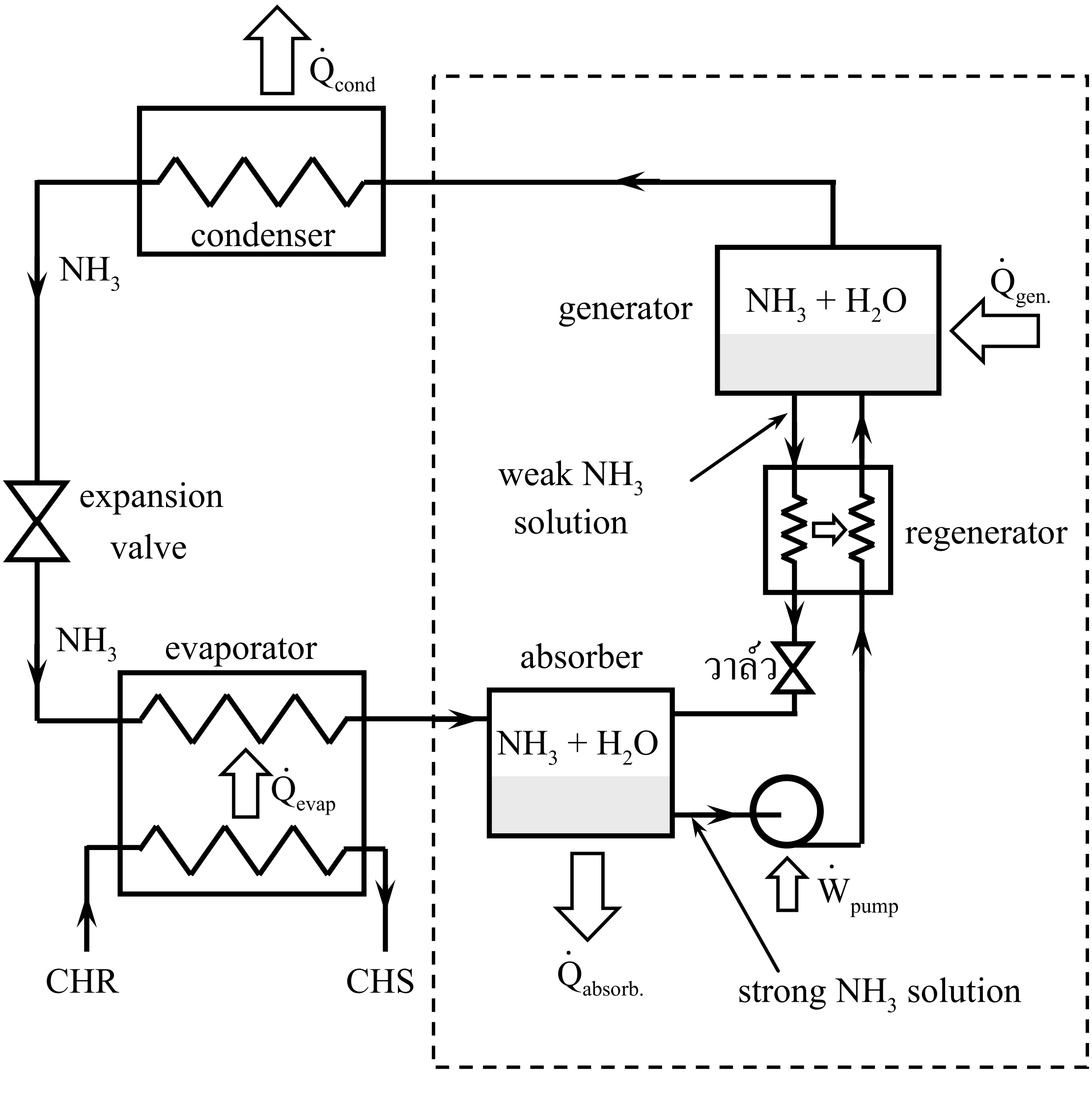
splash-type fill



film-type fill

5.3.4.3 เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน (absorption chiller)

เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนอาศัยระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนในการทำความเย็นซึ่งแตกต่างจากระบบทำความเย็นทั่วไปดังรูป



จะสังเกตได้ว่าระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนจะใช้ความร้อนเป็นพลังงานขาเข้าเป็นพลังงานหลักแทนการใช้งานทางไฟฟ้าดังเช่นระบบทำความเย็นทั่วไป

ถ้าแบ่งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนตามชนิดของแหล่งความร้อน

- แบบ direct-fired คือการใช้แหล่งความร้อนจากการเผาไหม้โดยตรง
- แบบ indirect-fired คือการใช้แหล่งความร้อนจากไอน้ำ ของเหลวร้อน หรือไอเสีย

ถ้าแบ่งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนตามลำดับขั้นการทำงาน

- แบบชั้นเดียว (single effect) ซึ่งมีอุปกรณ์หลัก 4 ชิ้นตามรูปที่แสดง
- แบบสองชั้น (double effect) จะมีการเพิ่ม generator และคอนเดนเซอร์เข้าไปอีกอย่างจะ 1 ชุด ซึ่งจะทำให้เกิดการลดหลั่น

ของอุณหภูมิ (cascade) ในจำนวนชั้นที่มากกว่า ทำให้ค่า COP ของเครื่องแบบสองชั้นมีค่ามากกว่าแบบชั้นเดียว

ข้อดีของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน

- ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่าในกรณีที่ขาดแคลนแหล่งจ่ายไฟฟ้า
- เงียบเนื่องจากมีส่วนที่เคลื่อนไหวน้อย
- เหมาะสมในกรณีที่มีความร้อนเหลือทิ้งที่มีเพียงพอต่อการนำไปทำความเย็น

ข้อเสียของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน

- เมื่อเทียบภาระความเย็นที่เท่ากันจะมีราคาที่แพงกว่า
- ค่า COP ที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ COP ของเครื่องทำน้ำเย็นทั่วไป
- ระบบมีความซับซ้อนกว่าและในบางกรณีอาจจะควบคุมได้ยากกว่า

5.4 สัดส่วนการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

พลังงานที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศโดยมากจะเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับมอเตอร์ (ยกเว้นแบบดูดกลืน) อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานมากที่สุดก็คือคอมเพรสเซอร์ แต่นอกจากคอมเพรสเซอร์แล้วยังมีอุปกรณ์ที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์ในการขับเคลื่อนได้แก่

- พัดลมจ่ายลมเย็นใน FCU หรือ AHU
- พัดลมระบายความร้อนที่ condenser ในกรณีที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ
- ปั๊มน้ำเย็นในกรณีที่เป็นเครื่องทำน้ำเย็น
- ปั๊มน้ำระบายความร้อนและพัดลมที่ cooling tower ในกรณีที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ
- อุปกรณ์อิเล็คโทรนิคในการควบคุม ในส่วนนี้โดยมากจะมีค่าน้อยจนสามารถละทิ้งได้

5.4.1 เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง

คอมเพรสเซอร์	90%
พัดลมจ่ายลมเย็นและระบายความร้อน	10%

5.4.2 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

5.4.2.1 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน แบบไม่ต้องเดินท่อลม

คอมเพรสเซอร์	88%
พัดลมระบายความร้อนที่ CU	6%
พัดลมจ่ายลมเย็นที่ FCU	6%

5.4.2.2 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน แบบต้องเดินท่อลม

คอมเพรสเซอร์	80%
พัดลมระบายความร้อนที่ CU	6%
พัดลมจ่ายลมเย็นที่ AHU	14%

5.4.3 เครื่องปรับอากาศแบบสำเร็จครบชุดในตัว

5.4.3.1 แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

คอมเพรสเซอร์	80%
พัดลมระบายความร้อนที่ CU	12%
พัดลมจ่ายลมเย็นที่ AHU	7%

5.4.3.2 แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

คอมเพรสเซอร์	80%
ปั๊มน้ำระบายความร้อน	7%
พัดลมที่ cooling tower	3%
พัดลมจ่ายลมเย็นที่ AHU	10%

5.4.4 เครื่องทำน้ำเย็น (chiller)

5.4.4.1 แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

คอมเพรสเซอร์	82%
พัดลมระบายความร้อนที่ CU	5%
ปั๊มน้ำเย็น	5%
พัดลมจ่ายลมเย็นที่ AHU	8%

5.4.4.2 แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

คอมเพรสเซอร์	82%
ปั๊มน้ำระบายความร้อน	5%
พัดลมที่ cooling tower	2%
พัดลมจ่ายลมเย็นที่ AHU	8%
ปั๊มน้ำเย็น	5%

ข้อสังเกตเพิ่มเติม

- ในความเป็นจริงการใช้พลังงานของเครื่อง-ปรับอากาศขึ้นกับชนิดของคอมเพรสเซอร์
- ฝั่งคอนเดนเซอร์ต้องการการถ่ายเทความร้อนมากกว่าฝั่งอีวาปอเรเตอร์
- พัดลมแบบ centrifugal จะกินพลังงานมากกว่าแบบ propeller
- การเดินท่อลมหรือท่อน้ำที่ต่างกันทำให้การใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างกัน

5.5 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

5.5.1 นิยามของประสิทธิภาพ

ค่าในการวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศนั้นมีอยู่หลายค่า ค่าที่ใช้ในทางเทอร์โมไดนามิกส์นั้นจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (coefficient of performance, COP) ในการแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น

$$COP = \frac{\text{cooling load}}{\text{power input}}$$

โดยที่ค่า cooling load และ power input เป็นค่าที่มาจากหน่วยเดียวกัน

ในการกำหนดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศในบางครั้งจะใช้ค่าดังต่อไปนี้

- ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (energy efficiency ratio, EER)

$$EER = \frac{\text{cooling load (Btu/hr)}}{\text{power input (W)}}$$

ค่า EER มักใช้กับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กถึงกลาง ได้แก่แบบหน้าต่าง แยกส่วน หรือแบบสำเร็จครบชุดในตัว และส่วนมากค่าพลังงานที่แทนในสูตรของ EER มักจะเป็นพลังงานรวมทั้งหมด (คอมเพรสเซอร์และพัดลมทุกตัว)

- ค่ากิโลวัตต์ต่อตันความเย็น (kW/ton)

$$\text{kW / ton} = \frac{\text{power input (kW)}}{\text{cooling load (tons of refrigeration)}}$$

ค่า kW/ton มักใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นทั้งแบบระบายความร้อนด้วยอากาศและน้ำ และส่วนมากค่าพลังงานที่แทนในสูตรของ kW/ton ควรจะมีการระบุว่าเป็นพลังงานรวมทั้งหมด หรือคิดเฉพาะที่คอมเพรสเซอร์เพียงอย่างเดียว

การแปลงหน่วยของ cooling load ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปสามารถทำได้ดังต่อไปนี้

$$1\ \text{kW} = 3{,}412.14\ \text{Btu/hr}$$

$$1\ \text{tons of refrig.} = 12{,}000\ \text{Btu/hr} = 3.51685\ \text{kW}$$

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่า COP, EER และ kW/ton จึงประมาณได้เป็น

$$\text{EER} = 3.412 \times \text{COP}$$

$$\text{kW/ton} = \frac{3.517}{\text{COP}} = \frac{12}{\text{EER}}$$

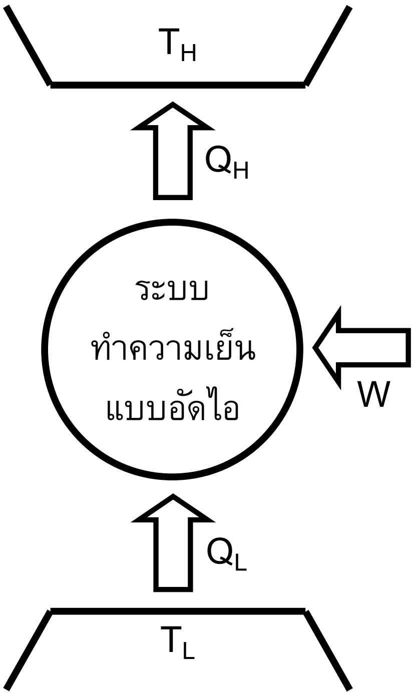
สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบดูดกลืนนั้นจะมีค่า COP ที่นิยามต่างกันออกไป

$$\text{COP} = \frac{\text{cooling load}}{\text{rate of energy input}}$$

rate of energy input นั้นอาจจะเป็นความร้อนขาเข้าที่ generator อย่างเดียวหรืออาจจะนำความร้อนดังกล่าวไปรวมกับกำลังไฟฟ้าที่ปั๊ม

5.5.2 ประสิทธิภาพในทางทฤษฎี

หากเครื่องปรับอากาศใช้งานโดยอาศัยระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ประสิทธิภาพในทางทฤษฎีของระบบทำความเย็นคือ



กฎข้อที่หนึ่ง

$$\left(-Q_H\right)+Q_L=(-W)$$

$$W+Q_L=Q_H$$

กฎข้อที่สอง

$$\left(-\frac{Q_{H,rev}}{T_H}\right)+\frac{Q_{L,rev}}{T_L}=0$$

จากผลของกฎข้อที่หนึ่งและสองจะเขียนได้ว่า

$$COP_{R,rev}=\left(\frac{Q_L}{W}\right)_{rev}=\frac{T_L}{T_H-T_L}$$

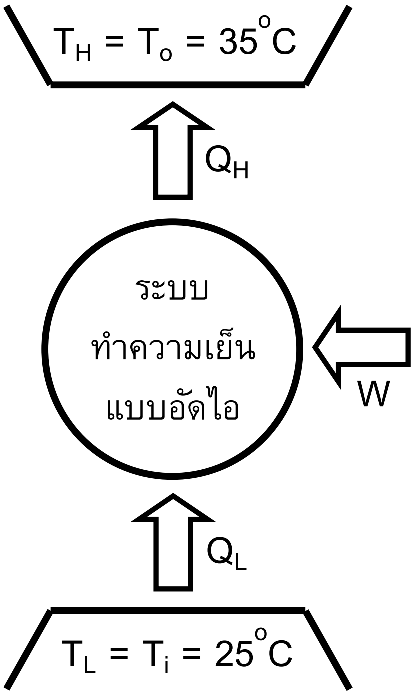
อนึ่งเราสามารถเปลี่ยน Q_L, Q_H หรือ W ให้อยู่ในรูปของอัตราหรือ $\dot{Q}_L$, $\dot{Q}_L$ หรือ $\dot{W}$ ก็ได้

พิจารณาระบบปรับอากาศโดยทั่วไป ถ้าหากว่า

$T_L = T_i$ = อุณหภูมิภายในส่วนที่ปรับอากาศ

$T_H = T_o$ = อุณหภูมิอากาศภายนอก

ดังนั้นถ้าลองแทนค่าดังกล่าวเพื่อประมาณค่า $COP_{R,rev}$ ดังรูปด้านล่าง



$$COP_{R,rev} = \frac{298.15\ K}{308.15 - 298.15\ K}$$

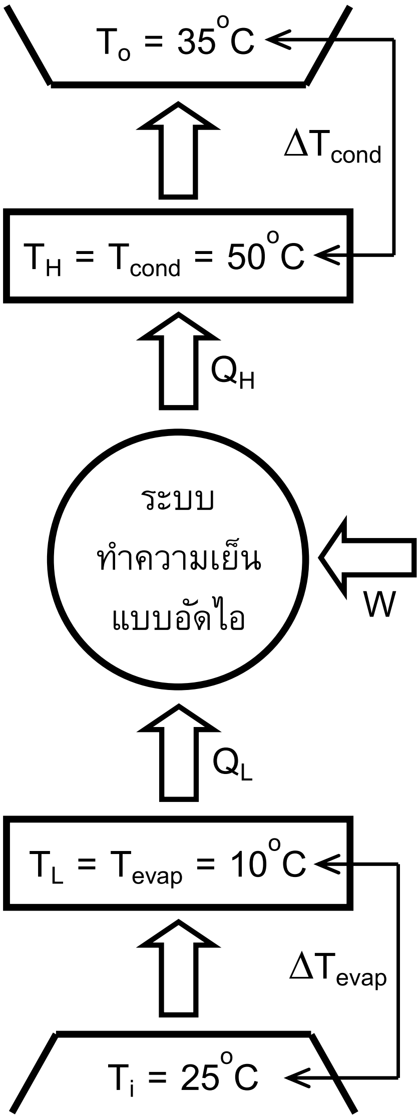
$$COP_{R,rev} = 29.8$$

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ

$$COP_{R,actual} = 3.22$$

จะพบว่าค่าต่างกันมาก

สาเหตุหลักส่วนหนึ่งมาจากค่าผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT) ที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของระบบทำความเย็นแบบอัดไอซึ่งก็คือคอนเดนเซอร์และอีวาปอเรเตอร์นั่นเอง



$$COP_{R,rev} = \frac{283.15\text{ K}}{323.15 - 283.15\text{ K}}$$

$$COP_{R,rev} = 7.08$$

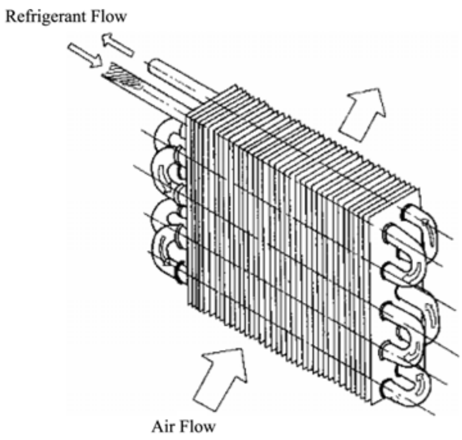
ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ

$$COP_{R,actual} = 3.22$$

จะพบว่าค่ามีความใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ ΔT จะสามารถประมาณได้จากชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้อยู่

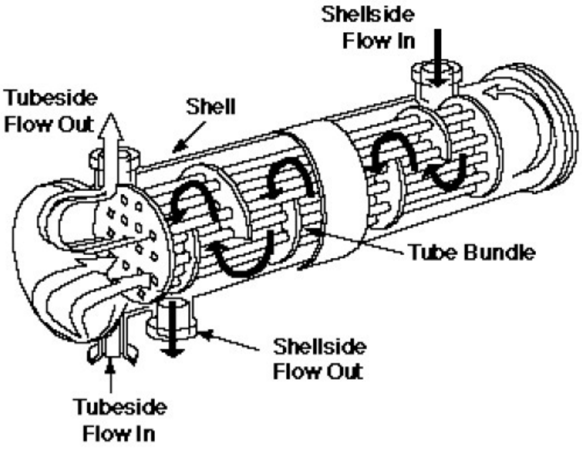
ชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

1) แบบ Fin-and-tube



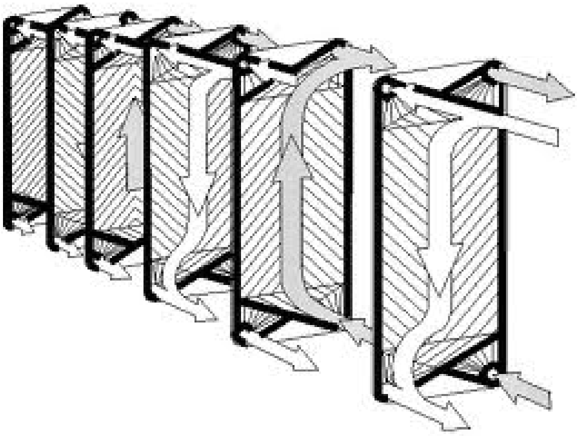
- แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สกับของเหลวหรือของผสมสองสถานะ
- $\Delta T \approx 15^{o}C$

2) แบบ Shell-and-tube



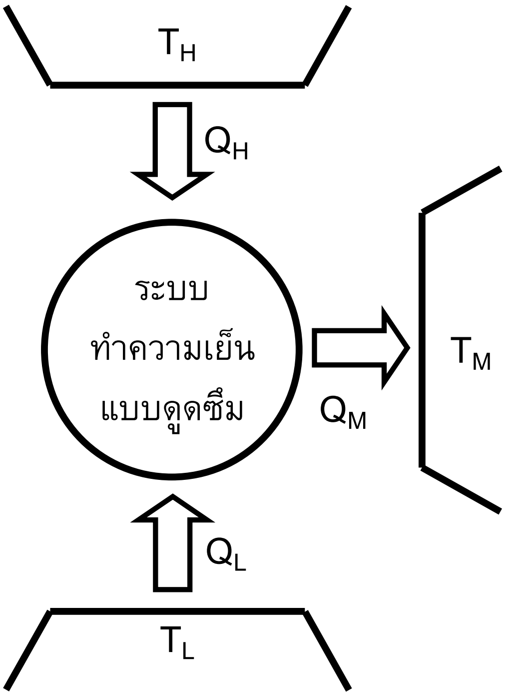
- แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลวหรือของผสมสองสถานะสองชนิด
- $\Delta T \approx 10^{o}C$

3) แบบ Plate



- แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลวหรือของผสมสองสถานะสองชนิด
- $\Delta T \approx 5^{o}C$

สำหรับระบบทำความเย็นแบบดูดซึมนั้น ประสิทธิภาพในทางทฤษฎีสามารถหาได้จาก



กฎข้อที่หนึ่ง (ละทิ้งงานที่ใส่เข้าไปโดยปั๊ม)

$$Q_H + \left(-Q_M\right) + Q_L = 0$$

$$Q_H + Q_L = Q_M$$

กฎข้อที่สอง

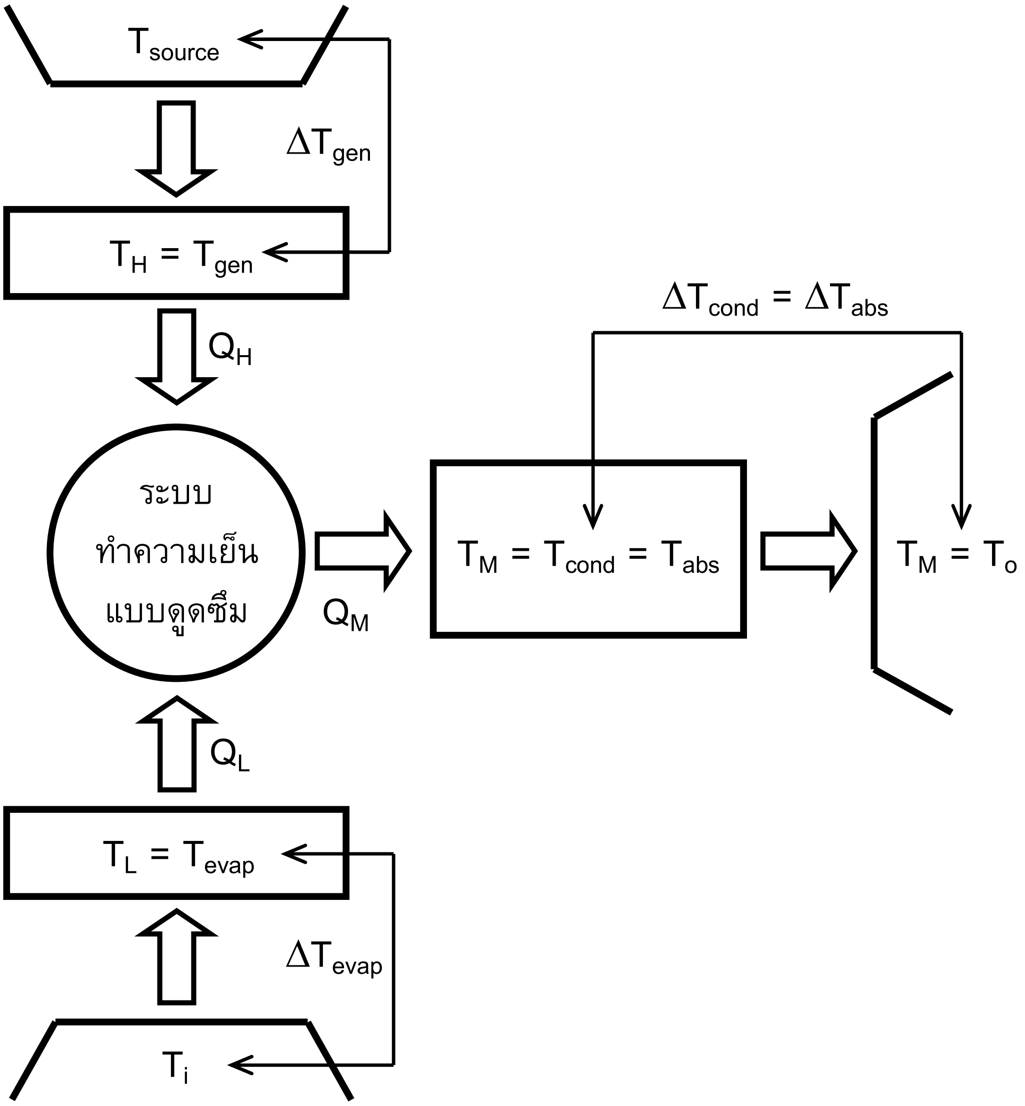
$$\frac{Q_{H,rev}}{T_H} + \left(-\frac{Q_{M,rev}}{T_M}\right) + \frac{Q_{L,rev}}{T_L} = 0$$

$$\left(\frac{T_M}{T_H}\right) Q_{H,rev} + \left(\frac{T_M}{T_L}\right) Q_{L,rev} = Q_{M,rev}$$

จากผลของกฎข้อที่หนึ่งและสองจะเขียนได้ว่า

$$COP_{R,rev} = \left(\frac{Q_L}{Q_H}\right)_{rev} = \left(\frac{T_H - T_M}{T_H}\right)\left(\frac{T_L}{T_M - T_L}\right)$$

ในทำนองเดียวกัน $COP_{R,rev}$ ก็จะลดลง เนื่องจาก ΔT ที่เจนเนอเรเตอร์ แอปซอร์พเบอร์ คอนเดนเซอร์และอีวาปอเรเตอร์ดังรูป



5.5.3 ประสิทธิภาพในทางปฏิบัติโดยประมาณ

ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศชนิดต่างๆ

ชนิด	ขนาด (ตัน)	kW/ton	การใช้งาน
window type AC	0.5-3	1.3-1.5	บ้านพัก, สำนักงาน
split type AC (without duct)	0.75-5	1.1-1.5	บ้านพัก, สำนักงาน
split type AC (with duct)	3-30	1.3-1.5	สำนักงาน
packaged AC (air-cooled)	3-30	1.4-1.7	สำนักงาน, คอนโดมิเนียม
packaged AC (water-cooled)	5-50	1.2-1.4	สำนักงาน, คอนโดมิเนียม
chiller (air-cooled) (reciprocating)	10-500	1.4-1.6	โรงพยาบาล, โรงแรม สำนักงานขนาดกลาง
chiller (water-cooled) (reciprocating)	30-500	1.2-1.4	โรงพยาบาล, โรงแรม สำนักงาน, ศูนย์การ-ค้าขนาดกลาง/ใหญ่
chiller (water-cooled) (centrifugal)	> 500	0.9-1.1	โรงพยาบาล, โรงแรม สำนักงาน, ศูนย์การ-ค้าขนาดใหญ่

5.6 มาตรฐานเครื่องปรับอากาศในอาคาร

ตามประกาศประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552 (ออกตามกฎกระทรวงฯ พ.ศ. 2552) ได้มีข้อกำหนดเกี่ยวกับเครื่องปรับอากาศและเครื่องทำน้ำเย็นดังนี้

(1) เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก ซึ่งหมายถึงเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ระบายความร้อนด้วยอากาศหรือน้ำ ต้องมีค่า COP หรือ EER ขั้นต่ำดังนี้

ขนาดของเครื่องปรับอากาศ	COP (W/W)	EER (Btu/hr/W)
ไม่เกิน 12,000 W หรือ 3.41 Ton	3.22	11

(2) ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ต้องมีค่า kW/ton ดังต่อไปนี้

2.1 เครื่องทำน้ำเย็นต้องมีค่า kW/ton ไม่เกินค่าที่กำหนดดังนี้

ประเภทของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ		ภาระความเย็นพิกัด (Ton)	ค่า kW/ton (kW/ton)
ชนิดการระบายความร้อน	ชนิดของเครื่องอัด		
ด้วยอากาศ	ทุกชนิด	น้อยกว่า 300 มากกว่า 300	1.33 1.31
ด้วยน้ำ	แบบลูกสูบ	ทุกขนาด	1.24
	แบบโรตารี่ สกรู หรือ สครอลล์	น้อยกว่า 150 มากกว่า 150	0.89 0.78
	แบบแรงเหวี่ยง	น้อยกว่า 500 มากกว่า 500	0.76 0.62

2.2 ส่วนประกอบอื่นที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า ได้แก่ระบบระบายความร้อน ระบบจ่ายน้ำเย็น ระบบส่งลมเย็น ต้องมีค่า kW/ton รวมไม่เกิน 0.5 kW/ton

(3) เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนมีค่า COP (เฉพาะความร้อนขาเข้า) ขั้นต่ำดังต่อไปนี้

3.1 กำหนดภาวะพิกัดโดยระบุ $T_{CDW,in}$ และ Q_{CDW}

ชนิด	ภาวะพิกัด				COP (W/W)
	ด้านน้ำเย็น		ด้านน้ำระบายความร้อน		
	$T_{CHW,in}$	$T_{CHW,out}$	$T_{CDW,in}$	Q_{CDW}	
	^{o}C	^{o}C	^{o}C	L/s/kW	
ชั้นเดียว	12.0	7.0	32.0	0.105	0.65
สองชั้น	12.0	7.0	32.0	0.079	1.10

3.2 กำหนดภาวะพิกัดโดยระบุ $T_{CDW,in}$ และ $T_{CDW,out}$

ชนิด	ภาวะพิกัด				COP (W/W)
	ด้านน้ำเย็น		ด้านน้ำระบายความร้อน		
	$T_{CHW,in}$	$T_{CHW,out}$	$T_{CDW,in}$	$T_{CDW,out}$	
	^{o}C	^{o}C	^{o}C	L/s/kW	
ชั้นเดียว	12.0	7.0	32.0	37.5	0.65
สองชั้น	12.0	7.0	32.0	37.5	1.10

ในปี 2548 สำนักงานผลิตภัณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.) ได้กำหนดประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างและแบบแยกส่วน มอก. 2134-2545 ดังนี้

แบบเครื่องปรับอากาศ	COP ขั้นต่ำ (W/W)	
ไม่เกิน 12,000 W หรือ 3.41 Ton	ขีดความสามารถทำความเย็นไม่เกิน 8,000 W	ขีดความสามารถทำความเย็น 8,001 W ถึง 12,000 W
แบบหน้าต่าง	2.82	2.53
แบบแยกส่วน	2.82	2.53

ต่อมาการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) ร่วมกับกระทรวงพลังงานได้มีการกำหนดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศในปี 2549 โดยใช้ฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 ดังนี้

ระดับประสิทธิภาพ	EER (Btu/hr/W)
เบอร์ 5	ค่าของ EER $\geq$ 11.0
เบอร์ 4	10.6 $\leq$ ค่าของ EER $<$ 11.0
เบอร์ 3	9.6 $\leq$ ค่าของ EER $<$ 10.6

5.7 อุปกรณ์ในการตรวจวัดที่เกี่ยวข้อง

1) Power (or clamp) meter

เป็นอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้ารวมไปถึงค่ากระแส, ความต่างศักย์, power factor.

- เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ load ค่อนข้างคงที่ เช่น ปั๊มน้ำ พัดลม หรืออุปกรณ์มีการควบคุมแบบ on/off
- ควรระวังช่วงการใช้งานของเครื่องมือวัด
- ควรมีอุปกรณ์เช่นถุงมือ หรือรองเท้าหนัง เพื่อความปลอดภัย

2) Power (or clamp) meter with datalogger

คือ power meter ที่สามารถเก็บข้อมูลเป็น real time ข้อมูลจะเป็นจาก analog เป็น digital เพื่อทำการเก็บในหน่วยความจำ

- เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ load ค่อนข้างแปรเปลี่ยนตามเวลา
- ควรระวังช่วงการใช้งานของเครื่องมือวัดและมีอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยเช่นเดียวกับ Power meter
- ราคาค่อนข้างแพง

3) Thermometer

3.1) Measurement by contact

เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิโดยการสัมผัสโดยตรงโดย thermocouple หรือ RTD

- มีหัวโพรบหลายชนิดตามสภาพการใช้งานเช่น immersion, penetration, air, หรือ surface probe
- ไม่สามารถวัดกับอุณหภูมิสูง ๆ เป็นระดับ 1,000^{o}C ได้

3.2) Measurement by non-contact

เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิโดยวัดรังสี infrared ของวัตถุนั้น

- ต้องป้อนค่า emissivity ของวัตถุที่จะวัด
- การ response นั้นค่อนข้างเร็วกว่าแบบ contact type
- เหมาะสำหรับวัตถุที่กำลังเคลื่อนไหว, ที่มีอุณหภูมิสูงมากๆ, ที่มีอันตรายต่อมนุษย์

4) Psychrometer

คือ อุปกรณ์ที่วัดความชื้นในอากาศ มีอยู่ 2 แบบคือแบบ sling ซึ่งเป็นระบบ mechanical และแบบ digital ซึ่งอาศัยระบบ electronic

- แบบ sling จะค่อนข้างทนทาน แต่ response ช้า และใช้ยากในบริเวณที่มีขนาดจำกัด
- แบบ digital จะเปราะบางกว่า และวัดค่า RH ที่ใกล้ 100% ไม่ได้ แต่ response เร็ว และสามารถบันทึกและเก็บข้อมูลได้ง่าย

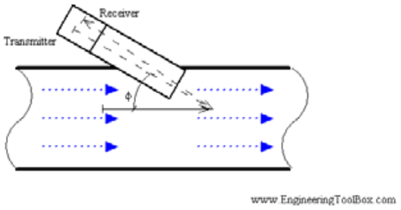
5) Anemometer

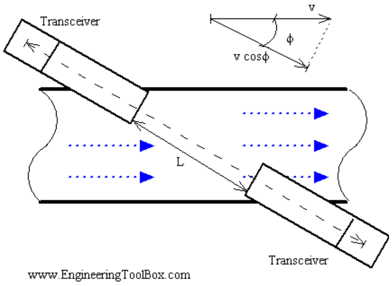
คือ อุปกรณ์ที่วัดความความเร็วลมซึ่งมีอยู่สองแบบ คือแบบ hotwire และ vane

- แบบ hotwire จะค่อนข้างเปราะบาง จึงไม่ควรวัดลมที่สกปรกหรือมีฝุ่น เหมาะสำหรับวัดลมที่มีความเร็วต่ำ และวัดลมที่จุดใดๆในกรณีที่ลมไม่ uniform
- แบบ vane จะทนทานกว่า แต่ไม่สามารถวัดลมที่ความเร็วต่ำได้ (< 0.3 m/s) และลมต้องค่อนข้าง uniform ในบริเวณพื้นที่ของ vane

6) Flow meter

คืออุปกรณ์ที่วัดความความเร็วของของเหลวในท่อโดยวัด Doppler effect หรือ time of flight ของ ultrasonic

- 



Doppler effect　　　　Time of flight

- สามารถวัดได้โดยไม่ต้องตัดท่อ
- อาจจะเกิดข้อผิดพลาดหากของเหลวมีสิ่งเจือปนมาก
- ไม่สามารถวัดของเหลวผสมได้
- ราคาค่อนข้างแพงหากเทียบกับการติดตั้ง flow meter ชนิดอื่นแบบถาวรในกรณีที่ต้องการการเก็บข้อมูลอย่างสม่ำเสมอ

5.8 มาตรการเกี่ยวกับเครื่องปรับอากาศ

1) มาตรการเกี่ยวกับการจัดการ

- การลดการเปิดเครื่องปรับอากาศโดยไม่จำเป็นเช่นปิดเครื่องปรับอากาศตอนเที่ยง ปิดเครื่องปรับอากาศก่อนเวลาเลิกงาน ปิดเครื่องปรับอากาศตอนฤดูหนาว
- การตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศโดยการเพิ่มอุณหภูมิเทอร์โมสตัทของเครื่องปรับอากาศตามบ้านจะประหยัดพลังงานได้โดยการประมาณจาก $COP_{R,rev}$ ที่เพิ่มขึ้น
- การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเย็นให้เหมาะสมของเครื่องทำน้ำเย็นจะประหยัดพลังงานได้โดยการประมาณจาก $COP_{R,rev}$ ที่เพิ่มขึ้น
- การปิดเครื่องปรับอากาศ, chiller, cooling tower และปั๊มต่าง ๆ เมื่อภาระความเย็นเป็นแบบ part load

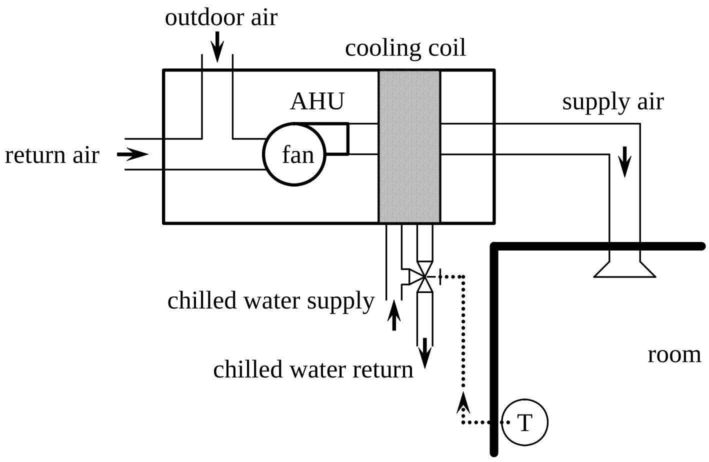
2) มาตรการด้านการปรับปรุงประสิทธิภาพ

- ทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ตามกำหนด อุณหภูมิ condensing ที่ลดลงจะประหยัดโดยการประมาณจาก $COP_{R,rev}$ ที่เพิ่มขึ้น
- ทำความสะอาด cooling tower ตามกำหนด อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนที่ลดลงจะประหยัดโดยการประมาณจาก $COP_{R,rev}$ ที่เพิ่มขึ้น
- การป้องกันไม่ให้เกิดสภาพลมย้อนกลับใน air-cooled condenser และ cooling tower
- การหุ้มฉนวนและบำรุงรักษาฉนวนของท่อน้ำเย็นและท่อสารทำความเย็น
- การลดภาระความเย็นภายในห้องปรับอากาศโดยการใช้ฉนวนปูฝ้าเพดาน, ติดม่านหรือบานเกล็ด, ติดฟิล์มที่กระจก, ลดช่องเปิดต่าง ๆ, ลดการใช้พัดลมดูดอากาศ ฯลฯ

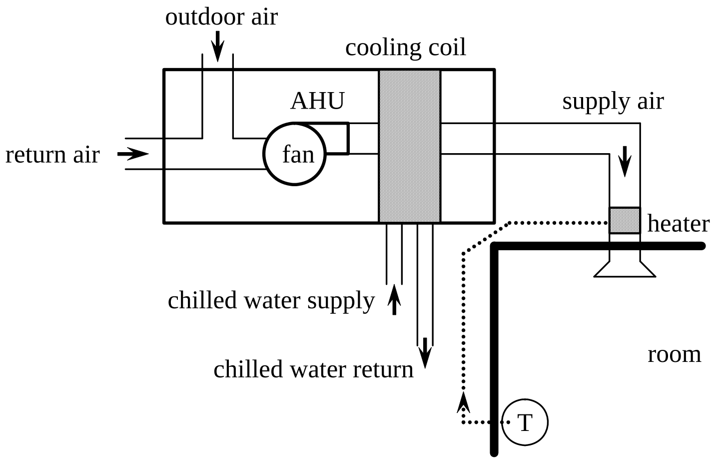
3) มาตรการด้านการเปลี่ยนอุปกรณ์/เครื่องจักร

- การเปลี่ยนเทอร์โมสตัทแบบ bi metal ให้เป็นแบบ electronic ซึ่งจะประหยัดพลังงานได้ประมาณ 4%
- การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ/chiller ที่มีอยู่เดิมโดยไปใช้เครื่องปรับอากาศ/chiller ที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น
- การใช้ระบบ VAV (Variable Air Volume) แทนการใช้ CAV (Constant Air Volume) ระบบ VAV จะช่วยประหยัดพลังงานของ AHU fan ได้เนื่องจากการใช้อุปกรณ์ลดความเร็วรอบ (Variable speed drive, VSD) แทนการหรี่วาล์ว การลดความเร็วรอบจะเป็นไปตามกฎของปั๊มหรือพัดลม

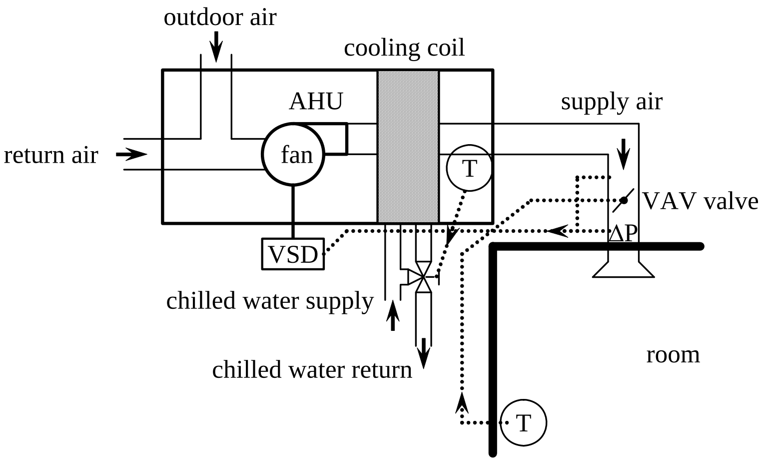
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^3$$



ระบบ CAV และการควบคุมแบบหรี่วาล์ว

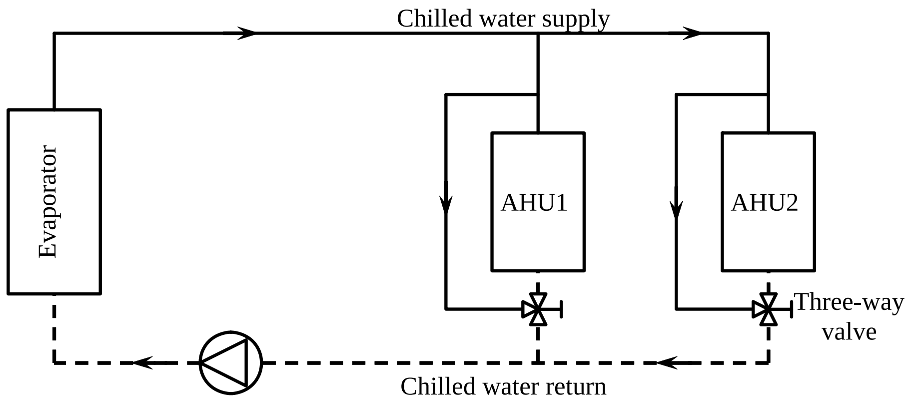


ระบบ CAV และการควบคุมแบบ reheat coil

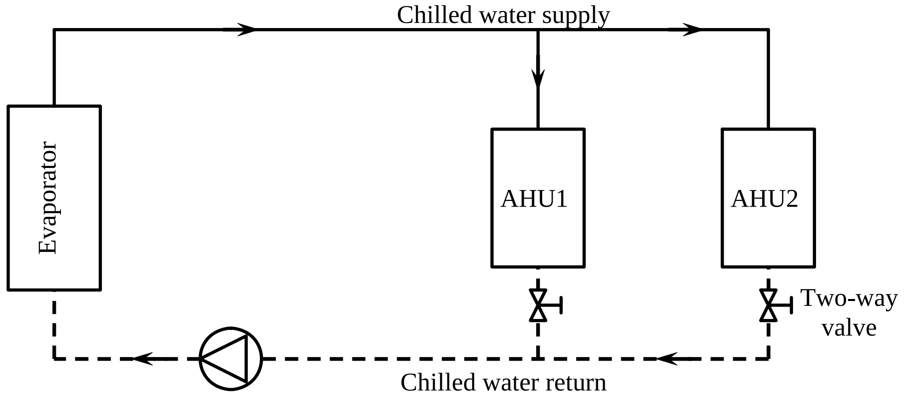


ระบบ VAV และการควบคุม

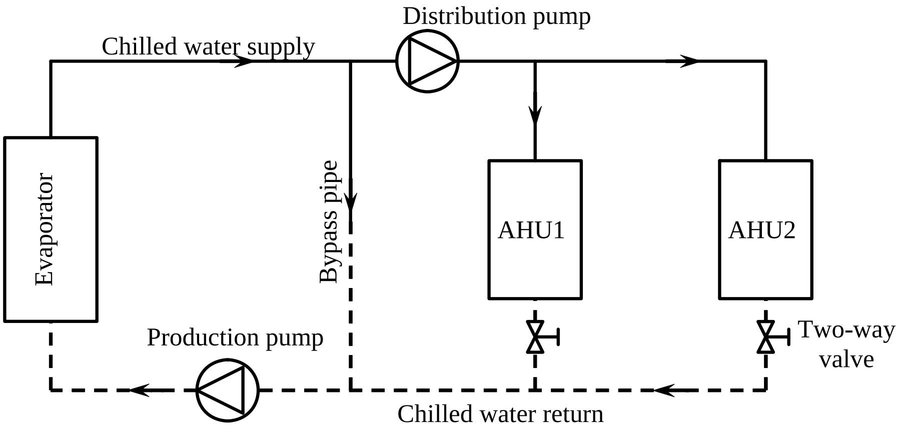
- การใช้ระบบ VWV (Variable Water Volume) แทนการใช้ CWV (Constant Water Volume) เป็นหลักการเดียวกับการใช้ VAV แทน CAV



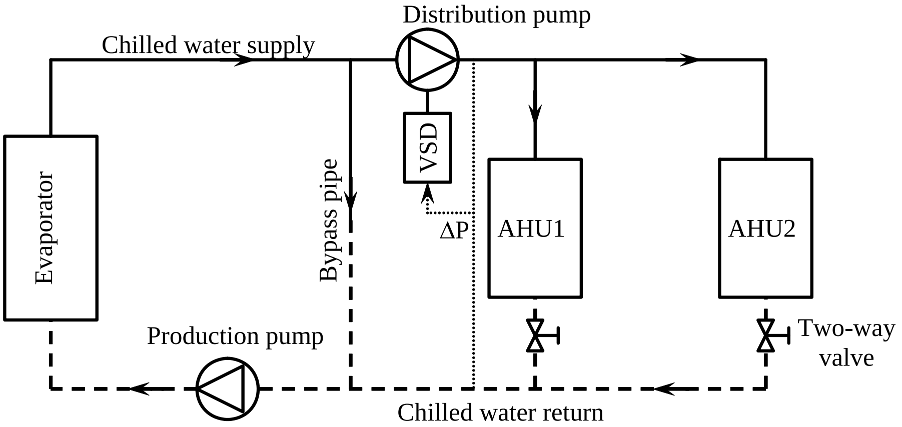
ระบบ CWV และการควบคุมแบบ three-way valve ซึ่งทำให้อัตราการไหลคงที่



ระบบ VWV และการควบคุมแบบ two-way valve ซึ่งทำให้อัตราการไหลไม่คงที่ทั้งที่ AHU และ Evaporator ซึ่งไม่เหมาะสม



ระบบ VWV และการควบคุมแบบ two-way valve ซึ่งทำให้อัตราการไหลคงที่ที่ Evaporator แต่อัตราการไหลไม่คงที่ที่ AHU สิ้นเปลืองพลังงานที่ distribution pump



ระบบ VWV และการควบคุมแบบ two-way valve ซึ่งทำให้อัตราการไหลคงที่ที่ Evaporator แต่อัตราการไหลไม่คงที่ที่ AHU โดยการใช้ VSD ที่ distribution pump