บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

การทำความเย็นแบบระเหยเพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ ใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศ โดยเมื่อน้ำระเหยจะดึงเอาความร้อนออกจากอากาศ ทำให้อากาศเย็นลง เมื่ออุณหภูมิของอากาศเย็นลงหากนำมาใช้ระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศจะทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยหลักการและทฤษฎีที่นำมาใช้ในโครงงานนี้จะประกอบด้วย วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ การทำความเย็นแบบระเหย คุณสมบัติของอากาศ แนวคิดในการทำโครงงาน และเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

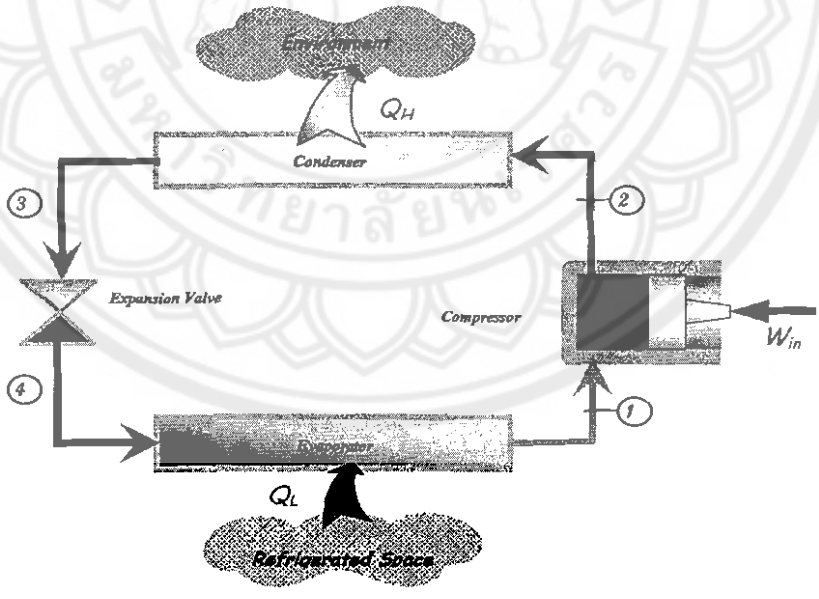
2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ[4] (Vapor-Compression Refrigeration Cycle)

การถ่ายเทความร้อนจากอุณหภูมิสูงไปต่ำ ไม่จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ต่างๆ เข้ามาช่วย เพราะเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติแต่ในทางกลับกัน กระบวนการที่มีการถ่ายเทความร้อนจากอุณหภูมิต่ำไปสูง จะเกิดขึ้นได้จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เข้ามาช่วย อุปกรณ์นี้ถูกเรียกว่า เครื่องทำความเย็น

อุปกรณ์ทำความเย็นจะมีของไหลทำงานถูกใช้ในกระบวนการทำความเย็นและจะถูกเรียกว่า สารทำความเย็น พื้นฐานของวัฏจักรการทำความเย็นเบื้องต้นได้แก่ วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ โดยจะมีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอยู่ 4 ชิ้นหลัก คือ

- คอมเพรสเซอร์ (Compressor)
- คอนเดนเซอร์ (Condenser)
- เอ็กเพนชั่นวาล์ว (Expansion Valve)
- อีวาปโปเรเตอร์ (Evaporator)

จากรูปที่ 2.1 สารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ด้วยสถานะไอดง (Vapor) ในจุดที่ 1 สารทำความเย็นจะถูกอัดให้มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงจนเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ (Super heated) ด้วยกระบวนการเอนโทรปีคงที่ (Isentropic Process) จากนั้นสารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่คอนเดนเซอร์ในจุดที่ 2 สารทำความเย็นที่มีความดันและอุณหภูมิสูง จะทำการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยนำความร้อนไปทิ้งยังสิ่งแวดล้อมและเปลี่ยนสถานะจากไอดงเป็นของเหลวด้วยกระบวนการความดันคงที่ จากนั้นสารทำความเย็นจะไหลเข้าเอ็กเพนชั่นวาล์วในจุดที่ 3 เพื่อทำการลดความดันและเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของผสมด้วยกระบวนการทร๊อตติ้ง (Throttling Process) จากนั้นสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิและความดันต่ำจะไหลเข้าสู่ อีวาปโปเรเตอร์ในจุดที่ 4 สารทำความเย็นจะทำการดูดความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็นและเปลี่ยนสถานะจากของผสมกลายเป็นไอออกจากอีวาปโปเรเตอร์เข้าสู่คอมเพรสเซอร์และจากรูปแสดงให้เห็นความร้อนที่สารทำความเย็นดูดซับจากแหล่งพลังงานความร้อนต่ำ (Q_L) เพื่อนำไปทิ้งในแหล่งพลังงานความร้อนสูง (Q_H) ได้นั้นจำเป็นจะต้องใส่งาน (W_{in}) ให้กับระบบ



รูป 2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

- กำหนดการทำงานภายใต้สภาวะคงที่ (Steady state condition)
- ไม่นำพลังงานจลน์และพลังงานศักย์มาคิด
- ไม่คิดความดันตกคร่อมผ่านอุปกรณ์ทดสอบ

2.1.1 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

จากกระบวนการที่ 1 – 2 เป็นกระบวนการอัดแบบเอนโทรปีคงที่ (Isentropic process) ไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้า และ ออกคอมเพรสเซอร์

$$\dot{W}_c = \dot{m}(h_2 - h_1) \tag{2.1}$$

โดยที่ $\dot{W}_c$ = กำลังที่ให้กับคอมเพรสเซอร์, (kW)

h_2, h_1 = เอลทาลปีเข้าและออกจากคอมเพรสเซอร์ตามลำดับ, (kJ/kg)

$\dot{m}$ = อัตราการไหลของสารทำงาน, (kg/s)

2.1.2 คอนเดนเซอร์ (Condenser)

จากกระบวนการที่ 2 – 3 เป็นกระบวนการคายความร้อนที่สภาวะความดันคงที่ (Isobaric process)

$$\dot{Q}_c = \dot{m}(h_2 - h_3) \tag{2.2}$$

$\dot{Q}_c$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์, (kW)

h_2, h_3 = เอลทาลปีเข้าและออกจากคอนเดนเซอร์ตามลำดับ, (kJ/kg)

2.1.3 เอ็กเพนชั่นวาล์ว (Expansion Valve)

เป็นอุปกรณ์ลดความดันและที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ capillary tube มีหลักการทำงานเป็นไปตาม กระบวนการ 3 – 4 คือ การขยายตัวของสารทำงานโดยเอนทาลปีคงที่ภายใต้กระบวนการ Throttling process

$$h_3 = h_4 \tag{2.3}$$

โดยที่ h_4 เอลทาลปีของสารทำงานที่ออกจากเอ็กเพนชั่นวาล์ว, (kJ/kg)

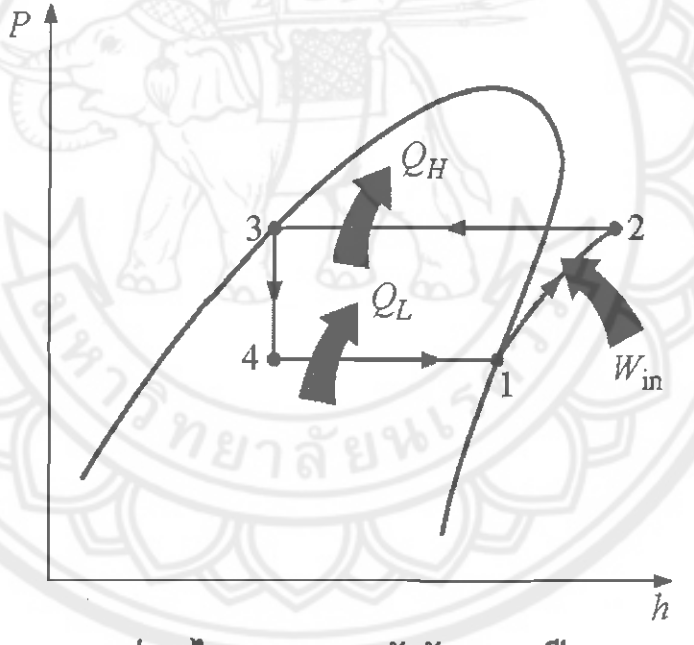
2.1.4 อีวาปโปเรเตอร์ (Evaporator)

กระบวนการ 4 – 1 เป็นกระบวนการดูดความร้อนภายใต้ความดันคงที่ (Isobaric process)

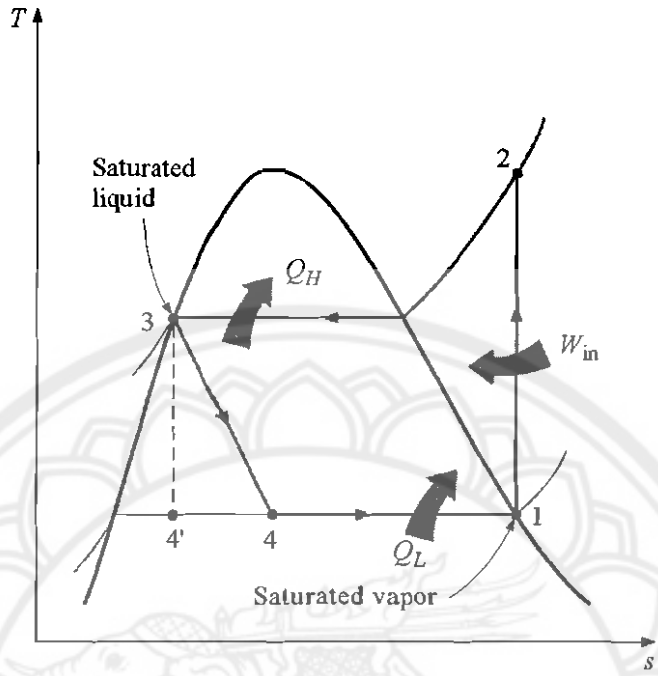
$$\dot{Q}_e = \dot{m}(h_1 - h_4) \tag{2.4}$$

โดยที่ $\dot{Q}_e$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อีวาปโปเรเตอร์, (kW)

สำหรับกระบวนการทั้งหมดสามารถดูรูปที่ 2.2 และ รูปที่ 2.3 ประกอบ



รูป 2.2 ไดอะแกรมความดันกับเอนทาลปี



รูป 2.3 ไดอะแกรมอุณหภูมิกับเอนโทรปี

2.1.5 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance, COP)

เป็นค่าที่บอกประสิทธิภาพของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอโดยสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของสมรรถนะของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ ซึ่งเป็นการแสดงอัตราส่วนระหว่างอัตราการดูดความร้อนจากตำแหน่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ ($\dot{Q}_L$) ต่อกำลังสุทธิที่ป้อนให้กับระบบ ($\dot{W}_{net}$)

โดยที่ $$\dot{W}_{net} = \dot{Q}_H - \dot{Q}_L \quad (2.5)$$

ดังนั้น $$COP_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{net}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2.6)$$

ค่าของ COP_R คือค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะที่คิดกำลังสุทธิ($\dot{W}_{net}$) จากสารทำความเย็น ดังนั้นจึงสามารถมีค่ามากกว่า 1 ได้ เมื่ออัตราการดูดความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำมีค่ามากว่ากำลังที่ป้อนให้กับระบบ

2.2 การทำความเย็นแบบระเหย[5] (Evaporative cooling)

ในการทำโครงการนี้จะอาศัยหลักการทำความเย็นแบบระเหยโดยเป็นขบวนการทำความเย็นโดยมีอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่และไม่มีการเปลี่ยนแปลงความร้อน (Adiabatic process)ในการทำความเย็นแบบระเหยนั้นมีหลายหลักการที่ใช้ทำ อาทิเช่น

- Direct Evaporative Air Coolers
  - Air Washers
- Indirect Evaporative Air Cooler
- Indirect/Direct Combinations

2.2.1 หลักการแอร์วอชเชอร์ (Air washer)

แอร์วอชเชอร์ คือ อุปกรณ์ปรับอากาศถูกใช้ในการเพิ่มความชื้น ทำความเย็น และทำความสะอาดอากาศ หน้าที่ของ Air washer คือ

- ทำความเย็นและเพิ่มความชื้น
- ทำความเย็นและลดความชื้น
- ทำความสะอาด

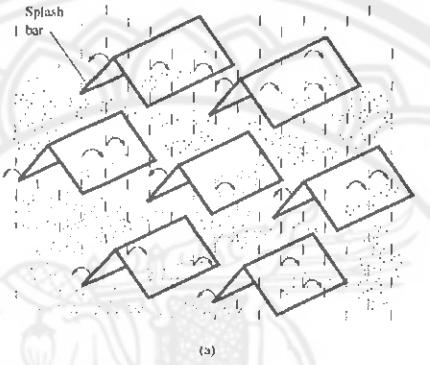
อากาศจะมีการทำความเย็นและเพิ่มความชื้นหรือทำความเย็นและลดความชื้นกระบวนการหาได้โดยอุณหภูมิของน้ำที่สเปรย์ออกไป ถ้าการไหลเวียนของน้ำถูกใช้ในการสเปรย์อุณหภูมิของน้ำจะเท่ากับอุณหภูมิของกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าไปในแอร์วอชเชอร์และอากาศจะถูกทำให้ชื้นและทำให้เย็นโดยการระเหย ถ้าน้ำถูกทำให้เย็นและน้ำที่วนอยู่ในระบบถูกใช้ในการสเปรย์และมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างของอากาศที่เข้าไป อากาศจะถูกทำให้เย็นลงและถูกลดความชื้นการสเปรย์น้ำบางครั้งมีจุดประสงค์เพื่อล้างและทำความสะอาดเมื่อมีแก๊สหรือของเสียที่สามารถแยกตัวออกจากอากาศได้ (ละลายในน้ำได้)

สำหรับกระบวนการที่ต้องการเพิ่มความชื้นควรใช้หัวฉีดที่มีรูขนาดเล็กและความดันน้ำมากส่วนกระบวนการทำความเย็นและลดความชื้น ควรใช้หัวฉีดที่มีรูขนาดใหญ่และความดันน้ำน้อย

2.2.2 หลักการแบบน้ำหยด [5] (Water droplets)

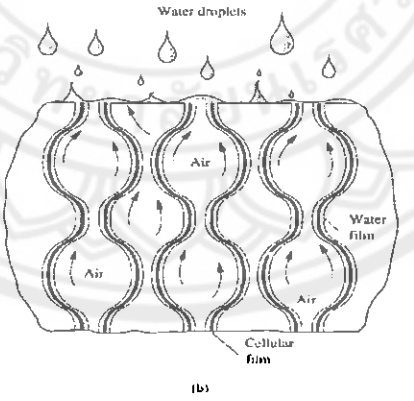
รูปร่างมีผลกระทบโดยตรงต่อค่าสัมประสิทธิ์ของอุปกรณ์ ผลกระทบ คือ พื้นที่ที่ใหญ่ขึ้นต่อหน่วยปริมาตร ซึ่งหมายถึงพื้นที่ผิวสัมผัส เวลาที่ยาวนานที่สุด และส่วนที่สัมผัสกันระหว่างอากาศกับน้ำ ปัจจุบันมี 2 วิธีที่เกี่ยวข้องที่จะทำให้น้ำกับอากาสมีพื้นที่เพิ่มมากขึ้นคือ

2.2.2.1 Splash bar



รูป 2.4 แสดงน้ำหยดใช่ Splash bar

2.2.2.2 Cellular film



รูป 2.5 แสดงน้ำหยดใช่ Cellular film

Splash bar คือ ตัวกระจายน้ำชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นหน้าจั่วยาวดังรูปที่ 2.4 มีความสะดวกตรงที่จะไม่มีสิ่งเจือปนหรือฝุ่นละอองที่มากับน้ำอุดตันเหมือนกับ Cellular film และถ้าจะใช้วิธีแบบ Cellular film จะต้องทำความสะอาดน้ำให้ดีก่อนที่จะนำมาใช้งาน

2.2.3 ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย[5]

ประสิทธิภาพของระบบการทำความเย็นแบบระเหยจะแสดงอยู่ในรูปของประสิทธิภาพอิ่มตัว (Saturating Efficiency: η_{sat})

$$\eta_{sat} = \frac{T_{db2} - T_{db1}}{T_{wb1} - T_{db1}} \quad (2.7)$$

เมื่อ

T_{db1} = อุณหภูมิกระเปาะแห้งก่อนผ่านระบบการระเหยของน้ำ ^oC

T_{db2} = อุณหภูมิกระเปาะแห้งหลังผ่านระบบการระเหยของน้ำ ^oC

T_{wb1} = อุณหภูมิของอากาศอิ่มตัว ^oC

2.3 คุณสมบัติของอากาศ (Air Property)

อากาศส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย ไนโตรเจน 78 % ออกซิเจน 21 % และก๊าซเฉื่อย 1 % อากาศทั่วๆไปจะมีไอน้ำปนอยู่ด้วย เรียกอากาศชนิดนี้ว่า อากาศชื้น(moist air)

อากาศชื้น(moist air) = อากาศแห้ง(dry air)+ไอน้ำ(vapor)

โดยอากาศชื้นจะมีคุณสมบัติประกอบไปด้วยดังนี้

2.3.1. ความดันรวม (Total Pressure:P,kPa) คือ ความดันที่มีอยู่ในอากาศทั้งหมดหาได้จาก กฎของดาลตัน(Dalton's Law of Partial Pressure) โดยความดันรวมของอากาศทั้งหมด(P) จะเท่ากับความดันย่อยของอากาศแห้ง(P_a) รวม กับความดันย่อยของไอน้ำในอากาศ (P_v)

$$P = P_a - P_v \quad (2.8)$$

2.3.2 .ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) คือ น้ำหนักที่แท้จริงของไอน้ำที่มีอยู่ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของอากาศ ณ สภาพนั้น ๆ

2.3.3.อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio : , kg/kg dry air) คือ อัตราส่วนของมวลของไอน้ำ(m_v) ต่อมวลของอากาศแห้ง (m_a)

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{0.622 P_v}{P - P_v} \quad (2.9)$$

2.3.4. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity : Ø) คือ อัตราส่วนของความดันย่อยของไอน้ำ (P_v) ที่เกิดขึ้นในสารผสมต่อความดันอิ่มตัวของไอ (P_{sat}) ที่อุณหภูมิเดียวกัน

$$Ø = \frac{P_v}{P_{sat}} \qquad (2.10)$$

2.3.5. อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point : T_{dp} ,°C) คือ อุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มกลั่นตัวเป็นน้ำภายใต้ความดันไอคงที่

2.3.6. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง(Dry buib Temperature : T_{db} , °C) คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่ชี้บอกบนเทอร์โมมิเตอร์ชนิดหลอดแก้ว

2.3.7. อุณหภูมิกระเปาะเปียก(Wet Bulb Temperature : T_{wb} , °C) แบ่งเป็น 2 ชนิด

2.3.7.1 อุณหภูมิกระเปาะเปียกไซโครเมตริก คือ อุณหภูมิอากาศชื้นที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์หุ้มด้วยสำลีเปียก

2.3.7.1 อุณหภูมิกระเปาะเปียกทางเทอร์โมไดนามิกส์ คือ อุณหภูมิที่น้ำระเหยเข้าไปในอากาศแล้วทำให้อากาศอิ่มตัว

2.4 แนวคิดในการทำโครงการ

เป็นแนวคิดที่ต้องการประหยัดพลังงานที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศโดยอาศัยการลดอุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องคอนเดนเซอร์ซึ่งในระบบปรับอากาศเป็นวัฏจักรการทำความเย็นที่อาศัยหลักการทำงานแบบคาร์โนต์ โดยมีหลักการดังนี้

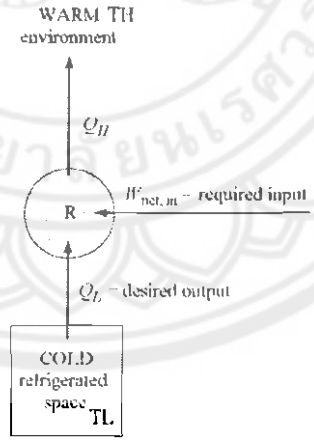
วัฏจักรคาร์โนต์[6]เป็นวัฏจักรทางอุดมคติที่ย้อนกลับได้และมีประสิทธิภาพสูงสุดและวัฏจักรการทำความเย็นของคาร์โนต์เป็นการนำเอาวัฏจักรของคาร์โนต์ที่ย้อนกลับได้มาใส่งานและเพื่อที่จะดึงพลังงานความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำมาทิ้งยังแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง โดยมีกระบวนการ 4 กระบวนการ ดังนี้

2.4.1 กระบวนการอัดแบบไม่มีพลังงานความร้อนเกิดขึ้น (Adiabatic compression)

2.4.2 กระบวนการคายความร้อนสู่แหล่งความร้อนอุณหภูมิสูงแบบอุณหภูมิคงที่ (Isothermal rejection of heat)

2.4.3. กระบวนการขยายตัวแบบไม่มีพลังงานความร้อนเกิดขึ้น (Adiabatic expansion)

2.4.4. กระบวนการดูดความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำแบบอุณหภูมิคงที่ (Isothermal addition of heat)



รูป 2.6 กลจักรความเย็นตามวัฏจักรคาร์โนต์

ในการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ(Coefficient of Performance, COP) ของวัฏจักรคาร์โนต์หาได้จาก

$$COP_{carnot} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \tag{2.11}$$

เมื่อ

T_L = แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ

T_H = แหล่งความร้อนอุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

หากปรับรูปแบบสมการ 2.11 ให้กระบวนการทุกกระบวนการเป็น กระบวนการย้อนกลับได้ภายในสามารถจัดรูปแบบสมการได้เป็น สมการที่ 2.12

$$COP_R = \frac{T_e}{T_c - T_e} \tag{2.12}$$

เมื่อ

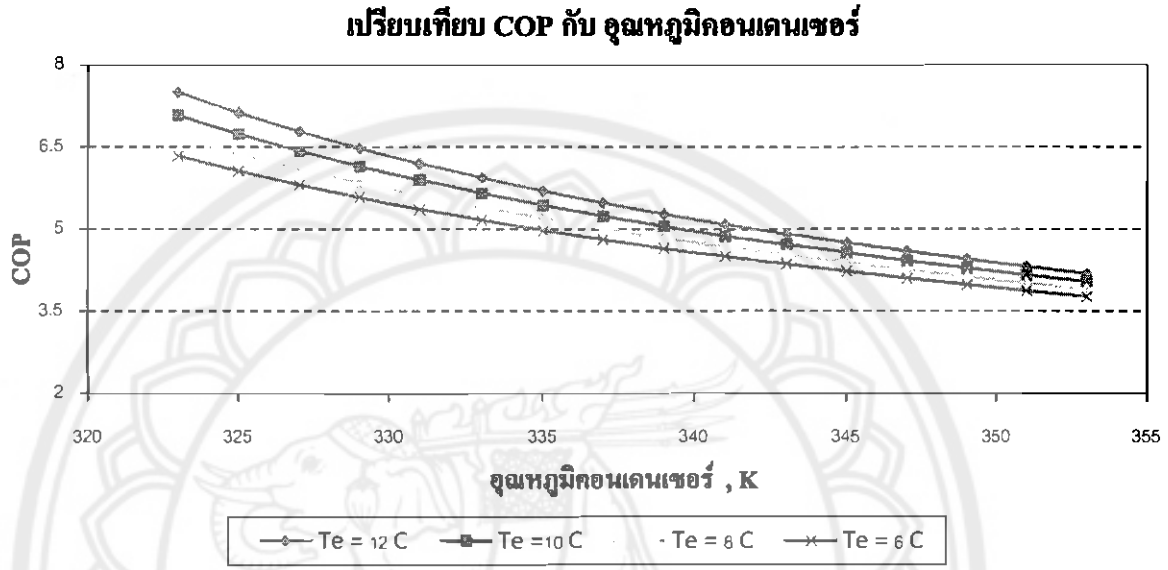
T_e = อุณหภูมิของอีวาปโปเรเตอร์

T_c = อุณหภูมิของคอนเดนเซอร์

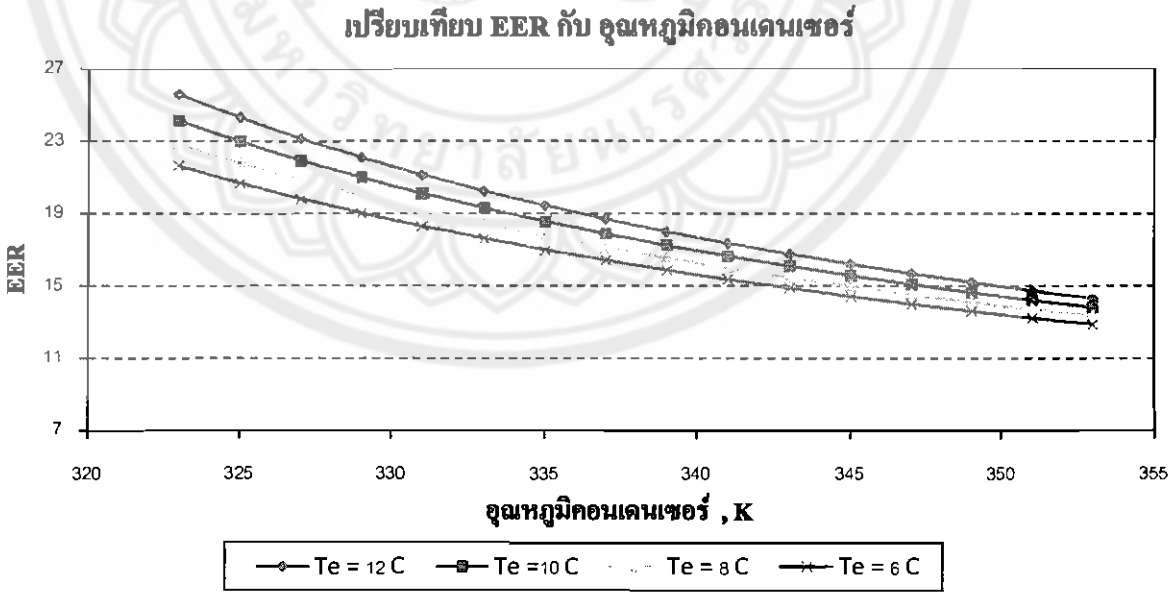
ค่าที่นิยมใช้ในการวัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศอีกรูปแบบหนึ่งนั้น คือ ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (Energy Efficiency Rating , EER)[6] เป็นค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศโดยแสดงถึงปริมาณความร้อนที่ดึงออกจากห้องที่ถูกปรับสภาวะอากาศในหน่วยของ Btu ต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการดึงความร้อนออกโดยมีหน่วยเป็น (Btu/hr)/W ดังแสดงในสมการที่ 2.13

$$EER = 3.412 COP_R \tag{2.13}$$

จากสมการที่ 2.12 และ 2.13 เมื่อให้ อุณหภูมิของคอนเดนเซอร์อยู่ระหว่าง 50-80 °C และอุณหภูมิของอีวาปโปเรเดอร์อยู่ระหว่าง 6-12 °C สามารถแสดงได้ดังรูป 2.1 และ 2.2 จะเห็นได้ว่าหากมีการลดอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ได้จะทำให้ค่า COP และ ค่า EER เพิ่มขึ้น



กราฟที่ 2.1 แสดงค่า COP กับอุณหภูมิคอนเดนเซอร์

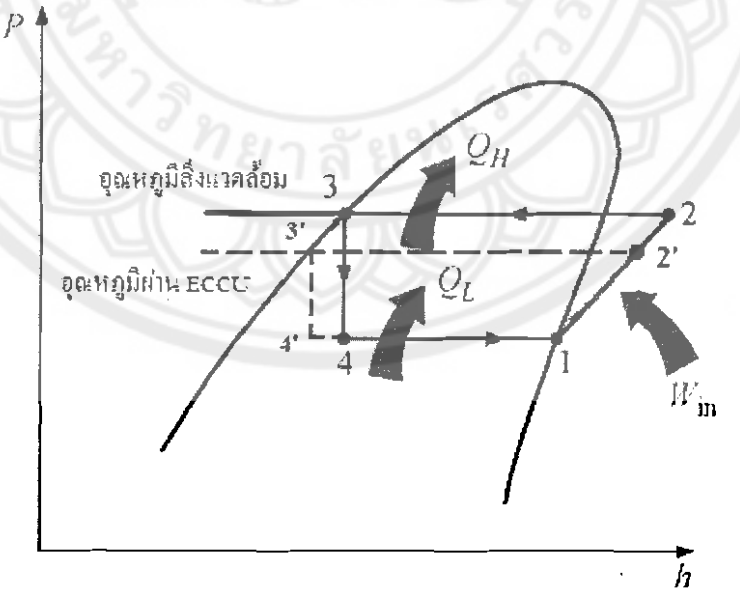


กราฟที่ 2.2 แสดงค่า EER กับอุณหภูมิคอนเดนเซอร์

จากแนวคิดข้างต้นแสดงว่าสามารถประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้นหากสามารถลดอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ได้

2.4.1 การนำหลักวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอมาวิเคราะห์

วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอนั้นเป็นวัฏจักรในการทำความเย็นแบบอุดมคติโดยจะมองเครื่องปรับอากาศเป็นปั๊มความร้อน (Heat Pump) โดยการที่จะดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนต่ำไปทิ้งยังแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจำเป็นที่จะต้องใส่งานเข้าไป ถ้ายิ่งแหล่งที่จะนำความร้อนไปทิ้งมีอุณหภูมิสูงเท่าใดก็จำเป็นที่จะต้องใส่งานเข้าไปมากเช่นกัน ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะลดอุณหภูมิของแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูงลงเพื่อจะลดงานในการที่จะนำความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำไปทิ้งในแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง จากรูปที่ 2.7 พบว่าเมื่อแหล่งความร้อนอุณหภูมิมีค่าสูงดังเส้นทึบที่แสดงพบว่าจะต้องใส่งานให้กับคอมเพรสเซอร์จากจุดที่ 1 ไปยัง จุดที่ 2 แต่เมื่อทำการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ลงโดยผ่านเครื่องทำความเย็นแบบระเหย พบว่างานที่ต้องใส่ให้กับคอมเพรสเซอร์จะลดลงโดยจากจุดที่ 1 ไปยัง จุด 2´ ซึ่งจะเห็นว่าช่วงกว้างของงานที่ใส่ให้กับคอมเพรสเซอร์มีค่าลดลง โดยการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ไม่มีผลเพียงแต่กับงานที่ให้กับคอมเพรสเซอร์เท่านั้นแต่ยังมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์และอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อีวาปโปเรเดอร์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



รูป 2.7 แสดงผลของการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์

2.4.2 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์

โดยในการทดลองนี้จะใช้สมการสมดุลพลังงานที่ Evaporator[7] เพื่อหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ Evaporator สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$\ln P_{ws} = (-5.8002206 \times 10^{3})/t + 1.3914993 - (4.860239 \times 10^{-2})t + (4.1764768 \times 10^{-5})t^{2} - (1.4452093 \times 10^{-8})t^{3} + (6.5459673)\ln t \quad (2.14)$$

เมื่อ

P_{ws} = ความดันไอน้ำอิ่มตัวในอากาศ, kPa

t = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ , K

$$\omega_s^* = 0.62198 \frac{P_{ws}}{P - P_{ws}} \quad (2.15)$$

เมื่อ

ω_s^* = อัตราส่วนความชื้นของอากาศของอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก , $\mathrm{kg_w}/kg_{da}$

P = ความดันบรรยากาศ ,(101.325) kPa

P_{ws} = ความดันไอน้ำอิ่มตัวในอากาศ, kPa

$$\omega = \frac{(2501 - 2.326t^*)\omega_s^* - 1.006(t - t^*)}{2501 + 1.86t - 4.186t^*} \quad (2.16)$$

เมื่อ

ω = อัตราส่วนความชื้นของอากาศ $\mathrm{kg_w}/kg_{da}$,

ω_s^* = อัตราส่วนความชื้นของอากาศของอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก , $\mathrm{kg_w}/kg_{da}$

t^* = อุณหภูมิเกราะเปาะเปียกอากาศ, °C

t = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ , °C

$$Q_s = \dot{V}[1.23(t_2 - t_1)] \quad (2.17)$$

เมื่อ

Q_s = อัตราการถ่ายเทความร้อนสัมผัสของอากาศ, kW

$\dot{V}$ = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ, m^3/s

t_1 = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศขาเข้า, °C

t_2 = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศขาออก, °C

$$Q_{la} = \dot{V}[3055(\omega_2 - \omega_1)] \quad (2.18)$$

เมื่อ

Q_{la} = อัตราการถ่ายเทความร้อนแฝงของอากาศ , kW

$\dot{V}$ = อัตราไหลเชิงปริมาตรของอากาศ, m^3/s

ω_1 = อัตราส่วนความชื้นของอากาศขาเข้า, $\mathrm{kg_w}/kg_{da}$

ω_2 = อัตราส่วนความชื้นของอากาศขาออก , $\mathrm{kg_w}/kg_{da}$

$$Q_t = Q_s + Q_{la} \quad (2.19)$$

เมื่อ

Q_t = อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม, kW

Q_s = อัตราการถ่ายเทความร้อนสัมผัสของอากาศ , kW

Q_{la} = อัตราการถ่ายเทความร้อนแฝงของอากาศ , kW

$$COP = \frac{Q_t}{\dot{W}} \quad (2.20)$$

เมื่อ

COP = ค่าสัมประสิทธิสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ

Q_t = พลังงานความร้อนโดยรวมของอากาศ , kW

$\dot{W}$ = อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า, kW

การทำโครงงานครั้งนี้ค่าสัมประสิทธิสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ จะเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณอัตราการใช้พลังงานความร้อนโดยรวมของอากาศต่ออัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์

2.5 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม[8] (Payback Period)

ในวิเคราะห์การลงทุนการเงิน มีจุดประสงค์ด้านการเงิน มีจุดประสงค์เพื่อต้องการหาว่าโครงงานที่ลงทุนนี้มีความเหมาะสมหรือไม่ โดยพิจารณาจากผลตอบแทนการลงทุน และผลการดำเนินโครงงานนี้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเท่าใด โดยใช้ระยะเวลาคืนทุนเป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.5.1 ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period)

ระยะเวลาผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับ เงินลงทุนต่อผลที่ได้รับจากการประเมินการลงทุนโดยวิธีนี้ก็คือ จะทำให้ทราบว่าจะได้รับเงินคืนทุนช้าหรือเร็วเท่าใด ถ้าคืนทุนได้เร็วเท่าใดก็จะดีมากขึ้นเท่านั้น เพราะโอกาสเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตมีน้อยลงและสามารถนำเงินที่คืนทุนไปลงทุนในกิจการอื่นได้ วิธีหาระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น เป็นวิธีคิดแบบง่ายและเป็นที่นิยมใช้แต่มีข้อเสียคือ ไม่ได้พิจารณาถึงผลตอบแทนที่ได้รับหลังระยะเวลาคืนทุนแล้วและไม่ได้พิจารณาปรับมูลค่าเงินตามเวลา ซึ่งหาได้ดังนี้

สำหรับในกรณีที่ผลตอบแทนและค่าใช้จ่ายในแต่ละปีมีค่าเท่ากันทุกปี ระยะเวลาคืนทุนหาได้ดังนี้

$$\textit{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\textit{เงินลงทุน}}{\textit{กระแสเงินสดสุทธิต่อปี}} \qquad (2.21)$$

โดยที่

กระแสเงินสดสุทธิต่อปี = ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ต่อปี

กรณีที่ผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับต่อปีไม่เท่ากัน จะรวมผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับแต่ละปีจนกระทั่งถึงปีที่ผลสะสมของผลตอบแทนสุทธิเท่ากับจำนวนเงินที่ลงทุน จำนวนปีนี้คือระยะเวลาคืนทุน