บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีพื้นฐาน

เนื้อหาในบทนี้จะประกอบไปด้วย

2.1 ภาระการทำความเย็น (Load of Refrigeration)

2.2 วัฏจักรการทำความเย็น

2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาระการทำความเย็น (Load of Refrigeration)

คือ จำนวนความร้อนทั้งหมดที่เครื่องทำความเย็นจะต้องเอาออกไป แหล่งความร้อนที่เป็นภาระในการทำความเย็นได้แก่

1. ความร้อนที่ผ่านเข้าไปในบริเวณทำความเย็นจากภายนอกไปภายในโดยการนำความร้อนผ่านฉนวนของผนัง

2. ความร้อนที่ผ่านเข้ามาในบริเวณทำความเย็นโดยการแผ่รังสีโดยตรงจากกระจก หรือวัสดุอื่นที่ผ่านได้

3. ความร้อนที่ผ่านเข้ามาในบริเวณทำความเย็นเนื่องจากอากาศร้อนจากภายนอกเข้ามาในห้อง อาจจะโดยผ่านทางประตู หน้าต่าง หรือรอยร้าวอื่น ๆ

4. ความร้อนที่เกิดจากการนำสิ่งของที่อุณหภูมิสูงกว่าเข้ามาในบริเวณทำความเย็น

5. ความร้อนที่ออกจากคนที่เข้าไปอยู่ในบริเวณทำความเย็น

6. ความร้อนที่เกิดจากเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ที่อยู่ในบริเวณทำความเย็น เช่น ไฟแสงสว่าง มอเตอร์ไฟฟ้า เตาหุงอาหาร เป็นต้น

ความสัมพันธ์ของแหล่งกำเนิดความร้อนที่จะต้องคำนึงถึงจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับงาน ไม่ใช่ว่าทุกหัวข้อจะมีความสำคัญที่จะต้องรวมอยู่ในงานทุกอย่าง อย่างไรก็ตาม ในงานที่ได้กำหนดไว้แต่ละงานจำเป็นจะต้องพิจารณาความร้อนจากแหล่งที่ให้ความร้อนทุกอย่างในงานนั้น ๆ

การคำนวณภาระของการทำความเย็น

ประสิทธิภาพการทำความเย็น – EER (energy efficiency ratio) เป็นค่าแสดงอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องทำความเย็น ซึ่งใช้อ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ ปัจจุบันในประเทศไทยโดยศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ศท.) ซึ่งมีฐานะเป็นกองสังกัดสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม มีการทดสอบเพื่อรับรองมาตรฐานของเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศจากค่า EER ซึ่งมีหน่วยเป็น $BTU/\ hr.W$ ในระบบอังกฤษ หรือเป็น W/W (ไม่มีหน่วย) ในระบบ SI โดยสัดส่วนดังกล่าวยิ่งมีค่าสูงจะยิ่งแสดงถึงการประหยัดพลังงาน โดยมีการกำหนดระดับแสดงประสิทธิภาพออกเป็น 5 ระดับ ดังตัวอย่างที่ใช้สำหรับกำหนดระดับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศจะกำหนดเป็นมาตรฐานไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ระดับประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

ระดับ (เบอร์)	ระดับประสิทธิภาพ	ค่า EER $(BTU/hr.W)$	ค่า kW/TON
1	ต่ำ	≥ 6.6	≤1.82
2	พอใช้	≥ 7.6	≤1.58
3	ปานกลาง	≥ 8.6	≤1.40
4	ดี	≥ 9.6	≤1.25
5	ดีมาก	≥ 10.6	≤1.13

ค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำของเครื่องปรับอากาศสำหรับประเทศไทย กำหนดค่า EER ตั้งแต่ 8.6 (ระดับ 3) ขึ้นไป

$$\text{การหาค่า EER} = \frac{Load(BTU/hr)}{Power(W)} \qquad (2.1)$$

2.2 วัฏจักรการทำความเย็น

วัฏจักรการทำความเย็นและอุปกรณ์ทำความเย็น

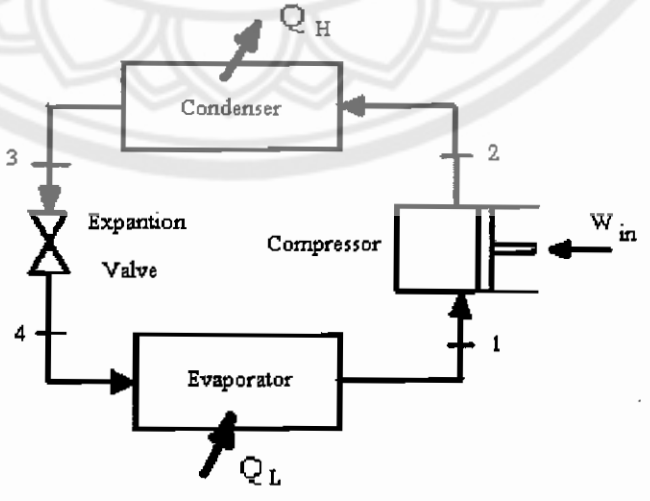
วัฏจักรการทำความเย็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายนั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดคือ วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ และวัฏจักรการทำความเย็นแบบดูดซึม

2.2.1 ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression Refrigertion System)

จะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักใหญ่อยู่ 4 ชนิด คือ

1) อีแวปอเรเตอร์ (Evaparator)
2) คอมเพรสเซอร์ (Compressor)
3) คอนเดนเซอร์ (Condenser)
4) วาล์วลดความดัน (Expansion Valve)

ซึ่งจะมีตำแหน่งในการทำงานในระบบทำความเย็นตาม รูปที่ 2.1 ระบบทำความเย็นโดยทั่วไปจะมีหลักการทำงานคล้ายกับปั๊มความร้อน โดยที่สารทำความเย็นที่มีสภาพเป็นของเหลวจะได้รับความร้อน ขณะที่ไหลผ่านอีแวปอเรเตอร์ ทำให้เปลี่ยนสถานะกลายเป็นก๊าซ และจะถูกอัดตัวด้วยคอมเพรสเซอร์ให้มีความดันและอุณหภูมิที่สูงและจ่ายเข้าไปในคอนเดนเซอร์ ความร้อนที่สารทำความเย็นรับมาตอนผ่านอีแวปอเรเตอร์นั้นจะถูกระบายทิ้งสู่ภายนอกที่คอนเดนเซอร์ ทำให้เปลี่ยนสถานะเป็นสารทำความเย็นเหลว แล้วสารทำความเย็นเหลวจะถูกลดความดันหลังจากการไหลผ่านวาล์วลดความดัน และสารทำความเย็นที่ถูกลดความดันแล้วจะไหลเข้าสู่อีแวปอเรเตอร์อีกครั้งหนึ่งเป็นวัฏจักร



รูปที่ 2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ [2]

2.2.1.1) อีแวปอเรเตอร์ (Evaporator)

อีแวปอเรเตอร์ เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีหน้าที่สำคัญที่สุดในวัฏจักรการทำความเย็น เพราะมีหน้าที่ในการทำความเย็น

อีแวปอเรเตอร์ มีหลายชนิดและมีรูปร่างแตกต่าง ๆ กัน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่นำไปใช้ ทั้งนี้เพราะอีแวปอเรเตอร์จะต้องทำให้วัตถุและสิ่งต่าง ๆ ในสภาวะต่าง ๆ เย็นลง (อาทิ อากาศ ก๊าซ และน้ำในสภาวะของเหลว) อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและสะดวกที่สุด

อีแวปอเรเตอร์ ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อน โดยนำความร้อนที่ได้จากภายในพื้นที่ทำความเย็นมาถ่ายเทให้แก่สารทำความเย็น สารทำความเย็นจะได้รับความร้อนและเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอที่สภาวะความดันต่ำ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่อีแวปอเรเตอร์ คำนวณได้จาก

$$Q_L = \dot{m}_{ref}(h_1 - h_4) \qquad (2.2)$$

เมื่อ Q_L = อัตราความร้อนที่ถ่ายเทที่อีแวปอเรเตอร์, kW

$\dot{m}_{ref}$ = อัตราการไหลของสารทำความเย็นโดยมวล, kg/s

h_1 = ค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากอีแวปอเรเตอร์, kJ/kg

h_4 = ค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่เข้าอีแวปอเรเตอร์, kJ/kg

2.2.1.2) คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

คอมเพรสเซอร์ ทำหน้าที่อัดสารทำความเย็นขณะที่มีสถานะเป็นไอที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ ให้เป็นสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอที่ความดันสูง ในกระบวนการอัดตัวเป็นแบบไอเซนโทรปิก (Isentropic process) สามารถคำนวณได้จาก

$$W_{in} = \dot{m}_{ref}(h_2 - h_1) \qquad (2.3)$$

เมื่อ W_{in} = งานที่ต้องให้แก่คอมเพรสเซอร์, kW

$\dot{m}_{ref}$ = อัตราการไหลของสารทำความเย็นโดยมวล, kg/s

h_1 = ค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากอีแวปอเรเตอร์, kJ/kg

h_2 = ค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์, kJ/kg

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็น สามารถคำนวณได้จาก

$$COP = (h_1 - h_3) / (h_2 - h_1) \quad (2.4)$$

เมื่อ COP = ค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็น (Coeffcient of Performance)

2.2.1.3) คอนเดนเซอร์ (Condenser)

ในการทำให้ไอสารทำความเย็นที่คอมเพรสเซอร์อัดให้มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวนั้นจำเป็นจะต้องระบายความร้อนออกไปให้เท่ากับความร้อนแฝงของการควบแน่นของไอสารทำความเย็น

คอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็น โดยสารทำความเย็นจะควบแน่นเป็นของเหลวที่ความดันสูง อัตราการถ่ายเทความร้อนคำนวณได้จาก

$$Q_H = \dot{m}_{ref}(h_2 - h_3) \quad (2.5)$$

เมื่อ Q_H = อัตราความร้อนที่ถ่ายเทที่คอนเดนเซอร์, kW

$\dot{m}_{ref}$ = อัตราการไหลของสารทำความเย็นโดยมวล, kg/s

h_2 = ค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์, kJ/kg

h_3 = ค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์, kJ/kg

2.2.1.4) วาล์วลดความดัน (Expansion Valve)

วาล์วลดความดัน เป็นเครื่องควบคุมการไหลของสารทำความเย็นเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบทำความเย็นชนิดอัดไอ ซึ่งมีหน้าที่ดังนี้ คือ

1. เป็นอุปกรณ์ซึ่งใช้ในการควบคุมสารทำความเย็นเหลวจากท่อของเหลวไปยังอีแวปอเรเตอร์
2. ควบคุมความแตกต่างของความดันระหว่างด้านที่มีความดันสูง และความดันต่ำของระบบให้พอดีกับการะเหยของสารทำความเย็นด้านความดันต่ำในอีแวปอเรเตอร์ และในขณะเดียวกันไอสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ก็จะควบแน่น ในเครื่องควบแน่น

วาล์วลดความดัน มีหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นจากสถานะที่มีความดันสูงให้มีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ กระบวนการที่เกิดในวาล์วลดความดันเป็นการบวนการที่มีค่าเอนทาลปีคงที่ (Throttling Process) ดังสมการ

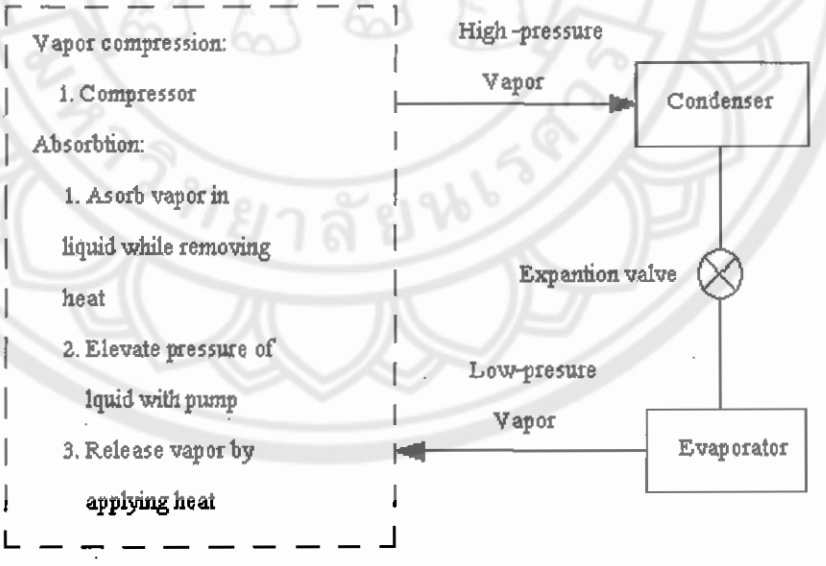
$$h_3 = h_4 \qquad (2.6)$$

เมื่อ h_3 = ค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่เข้าวาล์วลดความดัน, kJ/kg

h_4 = ค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากวาล์วลดความดัน, kJ/kg

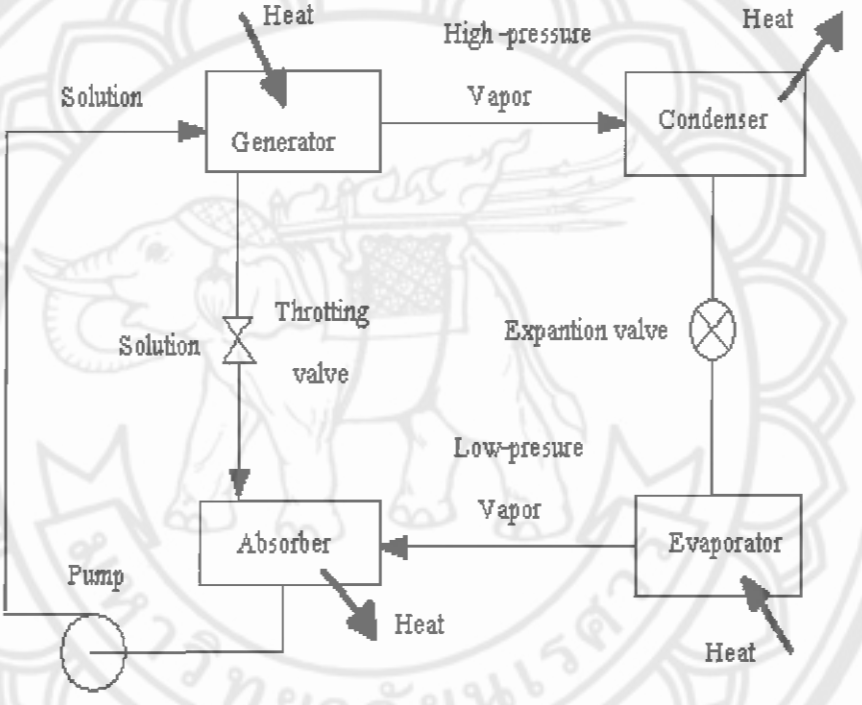
2.2.2 ระบบการทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Refrigeration System)

วัฏจักรนี้ได้รับการคิดค้นขึ้นในปี 1860 โดย Ferdinand Carre ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวัฏจักรอัดไอมาตรฐาน แต่มีระบบมาแทนที่เครื่องอัดไอ ในรูปที่ 2.2 จะเป็นการแสดงการทำงานของระบบทำความเย็นจากสภาวะที่มีความดันไอต่ำไปยังสภาวะที่มีความดันไอสูงของระบบการทำความเย็นแบบดูดซึม ซึ่งในส่วนของคอมเพรสเซอร์ของระบบการทำความเย็นแบบอัดไอจะเปลี่ยนเป็นส่วนของการดูดซึมแทน ในระบบการดูดซึมจะต้องมีเงื่อนไขคือ Generator จะมีการได้รับความร้อนในการระเหยไอและมีการเคลื่อนที่ของของไหลโดยอาศัยปั๊ม



รูปที่ 2.2 การทำงานของระบบทำความเย็นจากสภาวะที่มีความดันไอต่ำไปยังสภาวะที่มีความดันไอสูง [3]

ในรูปที่ 2.3 จะเป็นการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขั้นพื้นฐาน ระบบจะดูดไอน้ำยาเข้าไปในสารละลาย (คายความร้อน) แล้วปั๊มสารละลายยกความดันขึ้น แล้วปล่อยไอน้ำยาออกจากสารละลาย (ดูดความร้อน) ให้เข้าสู่วัฏจักรปกติต่อไป เครื่องมือดูดไอน้ำยาเข้าสู่สารละลายเรียกว่า Absorber และเครื่องมือที่ไล่ไอน้ำยาเรียกว่า Generator วัฏจักร Absorption นี้เรียกกันว่า Heat-operated cycle เพราะถึงแม้จะใช้ปั๊มด้วยก็ตาม งานที่ให้กับปั๊มนั้นน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณความเย็นที่ได้รับ



รูปที่ 2.3 การทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมขั้นพื้นฐาน [3]

2.2.2.1 คุณสมบัติของสารละลาย LiBr - Water

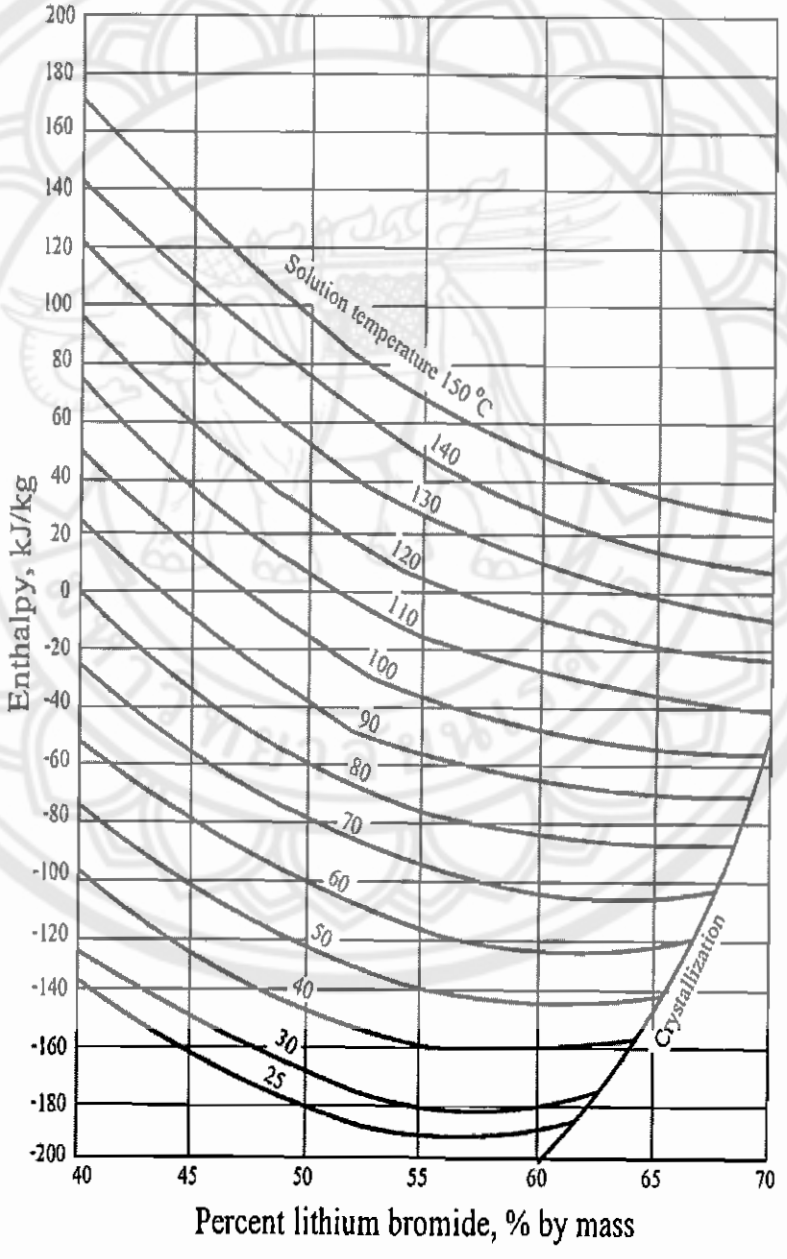
ตามปรกติ LiBr จะเป็นผลึกเกลือ แต่หากมีไอน้ำจะดูดซึมกลายเป็นสารละลายเหลว ซึ่งมีความดันเท่ากับความดันไอน้ำ โดยมีความเข้มข้นและมีอุณหภูมิต่างๆ กันได้ รูปที่ 6 แสดงกราฟคุณสมบัติของสารละลาย LiBr – Water จะเห็นว่า ณ จุดที่ 1 ค่าความเข้มข้น 59% และ 80° C จะมีความดัน 7.38 kPa ที่จุดที่ 2 ค่าความเข้มข้น 54% และ 70° C ก็มีความดันเท่ากัน จุดต่าง ๆ จะแสดงในรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 กราฟระหว่างอุณหภูมิ ความดัน และการตกผลึกของสาร LiBr-Water [3]

2.2.2.2 ค่าเอนทาลปีของสารละลาย LiBr-Water

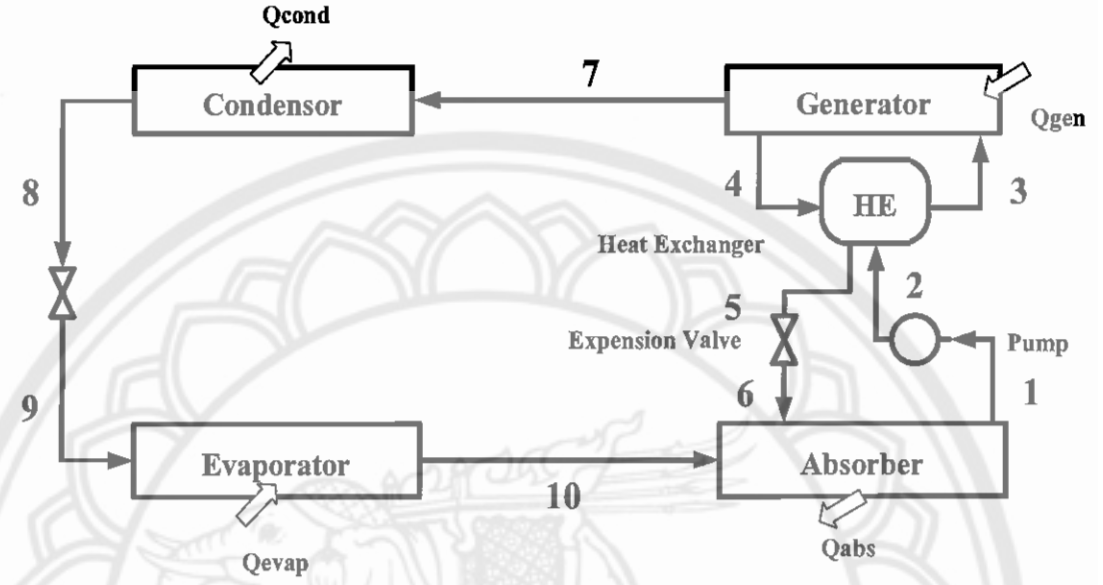
ค่าคุณสมบัติใด ๆ ของน้ำ หรือไอน้ำจะหาได้จากตารางไอน้ำ แต่สำหรับคุณสมบัติค่าเอนทาลปีของสารละลาย LiBr-Water จะดูได้จากรูปที่ 2.5

การตกผลึกในกราฟสมบัติของสารละลาย เราจะพบเส้นตกผลึกของ LiBr หากทำงานในสภาวะใต้เส้นตกผลึกนี้ LiBr จะเกิดการตกผลึกและทำให้ระบบท่อต่าง ๆ อุดตันได้



รูปที่ 2.5 กราฟค่าเอนทาลปีของสาร LiBr – Water [3]

2.2.2.3 วัฏจักร Absorption ที่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 2.6 วัฏจักรการทำความเย็นแบบดูดซึม [3]

การคำนวณระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

การดำเนินการทางเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับระบบการทำความเย็นแบบดูดซึมจะประยุกต์ใช้กฎการอนุรักษ์มวลและพลังงานของแต่ละอุปกรณ์

สมการควบคุมของแต่ละส่วนประกอบของระบบการทำความเย็นแบบดูดซึมมีดังนี้

สำหรับที่ Absorber

$$\dot{m}_{strong} = \dot{m}_{ref} + \dot{m}_{weak} \quad (2.7)$$

$$\dot{m}_{weak}\, x_{weak} = \dot{m}_{strang}\, x_{strong} \quad (2.8)$$

เมื่อ

$\dot{m}_{strong} = \dot{m}_3 = \dot{m}_2 = \dot{m}_1$ = อัตราการไหลของสารผสมเข้มข้น

$\dot{m}_{ref} = \dot{m}_{10} = \dot{m}_9 = \dot{m}_8 = \dot{m}_7$ = อัตราการไหลของน้ำ

$\dot{m}_{abs} = \dot{m}_4 = \dot{m}_5 = \dot{m}_6$ = อัตราการไหลของสารผสมเจือจาง

สำหรับที่ Evaporator

$$Q_{evap} = \dot{m}_{ref}(h_{10} - h_9) \tag{2.9}$$

สำหรับที่ Condenser

$$Q_{cond} = \dot{m}_{ref}(h_8 - h_7) \tag{2.10}$$

สำหรับที่ Expansion Valves

$$h_8 = h_9 \tag{2.11}$$

$$h_5 = h_6 \tag{2.12}$$

สำหรับที่ Generator

$$Q_{gen} = \dot{m}_{ref}\, h_7 + \dot{m}_{weak}\, h_4 - \dot{m}_{strong}\, h_3 \tag{2.13}$$

สำหรับที่ Pump

$$W_{pump} = \dot{m}_{strong}(h_1 - h_2) \tag{2.14}$$

สำหรับที่ Heat Exchanger

$$\dot{m}_{strong}(h_2 - h_3) = \dot{m}_{weak}(h_5 - h_4) \tag{2.15}$$

สำหรับค่า COP

$$COP = \left(\frac{Q_{evap}}{Q_{gen}}\right) \tag{2.16}$$

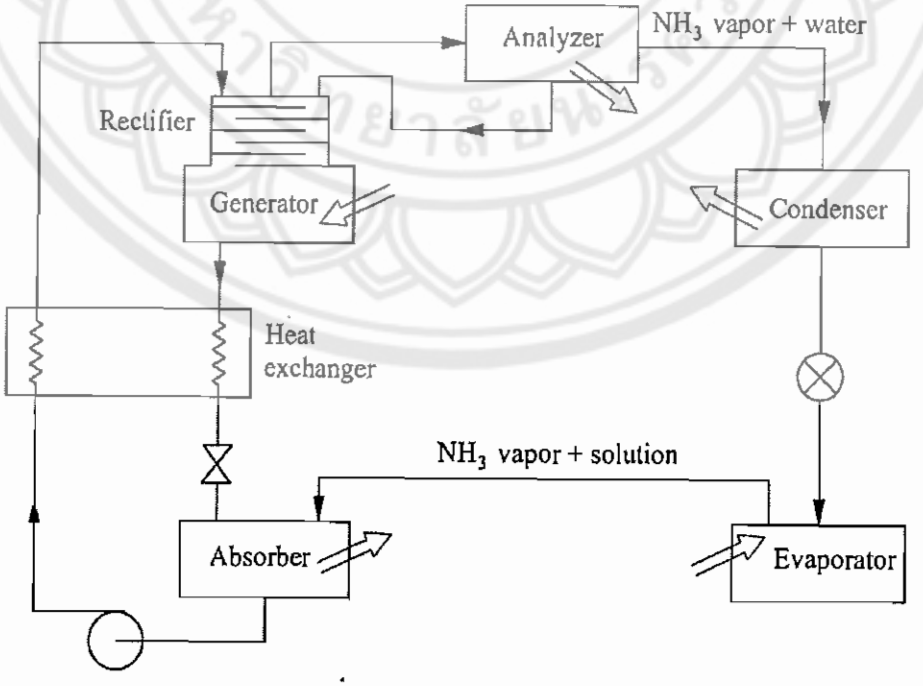
2.2.2.4 การควบคุม Capacity

หากภาระความเย็นลดลง อุณหภูมิคอยล์เย็นจะลดลงด้วย จึงมีการควบคุม Capacity ของระบบ ซึ่งทำได้โดย

1. ลดอัตราการไหลที่ผ่านปั๊ม ซึ่งจะทำให้ปริมาณการใช้ไอน้ำยาลดลงด้วย Capacity ก็จะลดลง (อัตราการไหลลดลงจาก 0.6 เป็น 0.4 kg/s จะได้ Capacity เหลือ 1/3) แต่การใช้วิธีนี้ต้องระวังไม่ให้ความเข้มข้นของสารละลายเปลี่ยนไป มิฉะนั้นจะเกิดการตกผลึกได้
2. ลดอุณหภูมิ Generator ซึ่งทำได้โดยการลดแหล่งความร้อนลง จะทำให้ไอน้ำยา ระเหยออกน้อยลง
3. เพิ่มอุณหภูมิคอยล์ร้อน นั้นก็คือเพิ่มความดันในเส้นให้สูงขึ้นนั้นเอง ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของสารละลายลดลง ไอน้ำยาจะละเหยน้อยลงที่อุณหภูมิ Generator เท่ากัน

2.2.2.5 ระบบ NH_3 + Water

ในระบบนี้น้ำจะเป็นตัวทำละลาย แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็น โดยทั่วไปการทำงานจะคล้ายกับระบบ LiBr + Water แต่จะเพิ่มตัว Rectifier สามารถดูในรูปที่ 2.7 เพื่อให้ไอแอมโมเนียแยกจากน้ำจริงๆ



รูปที่ 2.7 ระบบ NH_3 + Water [3]

2.2.2.6 ความแตกต่างระหว่างระบบ NH_3 + Water กับระบบ LiBr + Water

ตารางที่ 2.2 ความแตกต่างระหว่างระบบ NH_3 + Water กับระบบ LiBr + Water

ระบบ NH_3 + Water	ระบบ LiBr + Water
1. $T_{evap} < 0^\circ C$	1. T_{evap} ไม่น้อยกว่า 3° C
2. ต้องมี Rectifier	2. ไม่ต้องมี
3. ความดันระบบสูงกว่าความดันที่ปั๊ม เมื่อสารทำงานรั่วไหลสามารถตรวจสอบได้ง่าย	3. ความดันระบบต่ำกว่าความดันที่ปั๊ม เมื่อสารทำงานรั่วไหลจะตรวจหาลำบากและต้องไล่อากาศออกเสมอ

สาเหตุที่เลือกใช้ระบบ LiBr + Water ในโครงงานนี้เนื่องจากระบบ NH_3 + Water ใช้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 ° C และแอมโมเนียเป็นสารที่เป็นอันตรายแต่ LiBr + Water สามารถใช้ที่อุณหภูมิที่เราสนใจคือ 4-8 ° C ได้

2.3 การทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 จากงานวิจัยของ Lucas et al. (2004) เรื่อง การประเมินและจำลองสมรรถนะของสารดูดซึมแบบใหม่สำหรับระบบการทำความเย็นแบบดูดซึม (Performance evaluation and simulation of a new absorbent for an absorption refrigeration system)

ในบทความนี้จะใช้สารทำความเย็นอีกตัวหนึ่งในการดูดซึม แทนที่จะใช้สารดูดซึมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน คือ ลิเทียม โบรมาย (Litium Bromide) ระบบทางเลือกใหม่จะประกอบไปด้วย ลิเทียม โบรมาย (Litium Bromide) กับ โพแทสเซียม ฟอร์เมท (Potassium Formate) ในอัตราส่วนโดยมวล 2:1 ส่วนสารทำความเย็นจะเป็นน้ำตัวเดิม เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของสองระบบ โปรแกรมที่จำลองเกี่ยวกับวัฏจักรการทำความเย็นแบบดูดซึมจะสร้างจากข้อมูลที่ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยวิธีการทำโปรแกรม ค่าสัมประสิทธิ์ของวัฏจักรการทำความเย็นแบบดูดซึมจะถูก

ประเมิน เช่นเดียวกับการทำงานและการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานของแต่ละระบบจะถูกวิเคราะห์ การศึกษาจะพิจารณาเข้าไปถึงภายในตัวแปรทางสถิติและเน้นพฤติกรรมที่เป็นไปได้ที่มีผลต่อการศึกษาเหล่านั้น

โดยทั่วไปการทำความเย็นแบบดูดซึม คุณลักษณะของสารดูดซึมที่ดี คือ

1. มีความสามารถในการถูกละลายที่สูงใน Absorber
2. มีความดันไอน้ำที่ต่ำใน Absorber
3. มีการดูดซึมที่เร็ว และเข้าใกล้จุดสมดุลได้เร็ว
4. มีลักษณะความเป็นด่างในสารละลายที่ทำงานอยู่ และมีความกัดกร่อนน้อยในโลหะ เช่น Copper, Mild steel และ Brass
5. มีความหนืดต่ำ ใต้สภาวะการทำงาน
6. มีความร้อนในการดูดซึมต่ำ
7. มีการนำความร้อนสูง
8. มีจุดเยือกแข็งที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับจุดเยือกแข็งที่ต่ำที่สุดในวัฏจักร
9. มีความหนาแน่นต่ำ
10. มีความเสถียรทางความร้อน
11. มีความเป็นพิษต่ำ
12. ไม่ระเหยกลายเป็นไอ
13. มีราคาต่ำ

ความต้องการพื้นฐานที่เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาเพื่อเลือกสารทำความเย็น คือ

1. ใช้ง่าย
2. มีสมรรถนะการทำความเย็นเป็นที่ยอมรับ
3. มีประสิทธิภาพการทำความเย็นเป็นที่ยอมรับ
4. มีการรับรองในการใช้งานที่ปลอดภัย
5. มีราคาที่เหมาะสมกับการใช้งานที่ยอมรับได้

สำหรับสารทำความเย็นและสารดูดซึมที่รวมตัวกันควรจะอยู่ในสภาวะดังต่อไปนี้

1. ตัวทำละลายควรจะละลายได้ดีในสารละลาย สิ่งนี้สามารถลดปัจจัยการเพิ่มของอุณหภูมิที่สูงขึ้น และความร้อนที่เพิ่มขึ้นใน Generator

2. สารละลายเข้มข้นที่ไหลออกจาก Generator เมื่อผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ควรมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิ Absorber เพื่อลดภาระความร้อนของ Generator
3. สารทำความเย็นและสารดูดซึมควรจะไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ ไม่เกิดการกัดกร่อน ราคาถูกและหาใช้ได้ง่าย

บทสรุปผลงานวิจัย

1. ความร้อนที่ต่ำกว่าของการละลายของสารดูดซึมตัวใหม่ทำให้ลดความต้องการพลังงานใน Generator และลดความต้องการในการหล่อเย็นของระบบทำความเย็น

2. ใน Generator ใช้อุณหภูมิเพียง 329.15 K ก็จะถึงจุดเดือดของสารผสมเจือจางของสารดูดซึมตัวใหม่ เป็นผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ที่สำคัญของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

3. ประสิทธิภาพวัฏจักรทำความเย็นแบบดูดซึมจะมากขึ้น 10 % เมื่อใช้สารดูดซึมตัวใหม่

4. สมบัติทางกายภาพของสารผสมของโพแทสเซียมฟอร์มเมทกับลิเทียมโบรมาย ให้ประโยชน์มากมาย คือ มีการกัดกร่อนเพียงเล็กน้อย มีราคาไม่แพงมากนัก มีความหนาแน่นและความหนืดที่ต่ำกว่าลิเทียมโบรมายและเป็นที่ยอมรับแพร่หลาย

สาเหตุที่โครงงานนี้เลือกใช้ระบบ LiBr + Water เนื่องจาก LiBr + Water เป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและมีค่าคุณสมบัติที่ครบตามต้องการแต่ระบบ LiBr + Water + Potassium Format เป็นระบบที่ใหม่ที่กำลังศึกษาวิจัยอยู่ในตอนนี้ จึงไม่สามารถหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณได้

2.3.2 จากงานวิจัยของ Shannon Marie McLaughlin (2005) เรื่อง ระบบการทำความเย็นทางเลือกใหม่สำหรับใช้ในยานยนต์ (An Alternative Refrigeration System for Automotive Applications)

Shannon Marie MeLaughlin (2005) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม LiBr + Water ในยานยนต์ โดยที่ในงานวิจัยนี้ได้เสนอสมการความสัมพันธ์ในระบบ SI Unit แสดงค่าอุณหภูมิของผสมกับอุณหภูมิของน้ำและความเข้มข้นของสารละลาย LiBr + Water

$$T = A\left(T_{ref} + 17.778\right) + 0.556B - 17.778 \qquad (2.17)$$

ความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิของน้ำ และความดันของผสม

$$P = 6.8994 \exp\left[6.21147 - \frac{2886.373}{(1.8T_{ref} + 492.67)} - \frac{33726.46}{(1.8T_{ref} + 492.67)^2}\right] \quad (2.18)$$

เมื่อ T = อุณหภูมิของผสม ($^{\circ}C$)

T_{ref} = อุณหภูมิของสารทำความเย็น ($^{\circ}C$)

P = ความดันของของผสม (kPa)

A และ B = ค่าคงที่จากสมการที่ (2.19) และ (2.20)

X = ค่าความเข้มข้นของลิเทียมโบรมาย $(\%LiBr)$

$$A = -2.00755 + 0.16976X - 3.13336 \times 10^{-3} X^2 + 1.97668 \times 10^{-5} X^3 \quad (2.19)$$

$$B = 321.128 - 19.322X + 3.74382 \times 10^{-1} X^{-2} - 2.0637 \times 10^{-3} X^3 \quad (2.20)$$

สมการที่ (2.17) และ (2.18) จะใช้ได้สำหรับอุณหภูมิของผสมระหว่าง 4.5 $^{\circ}C$ ถึง 177 $^{\circ}C$ และอุณหภูมิของน้ำอยู่ระหว่าง -17.8 $^{\circ}C$ ถึง 110 $^{\circ}C$ และความเข้มข้นจะอยู่ระหว่าง 45 % ถึง 70 % และค่าเอนทาลปีของ LiBr + Water จะสามารถหาได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$h = C + D(1.8T + 32) + E(1.8T + 32)^2 \quad (2.21)$$

เมื่อ

$C, D,$ และ E เป็นค่าคงที่ในสมการ (2.22), (2.23) และ (2.24)

$$C = -1015.07 + 79.5387X - 2.358016X^2 + 0.0303158X^3 - 1.40026 \times 10^{-4} X^4 \quad (2.22)$$

$$D = 4.6811 - 0.30378X + 8.4485 \times 10^{-3} X^2 - 1.0477 \times 10^{-4} X^3 + 4.80 \times 10^{-7} X^4 \quad (2.23)$$

$$E = -4.9 \times 10^{-3} 3.83 \times 10^{-4} X - 1.08 \times 10^{-5} X^2 + 1.315 \times 10^{-7} X^3 - 5.9 \times 10^{-10} X^4 \quad (2.24)$$