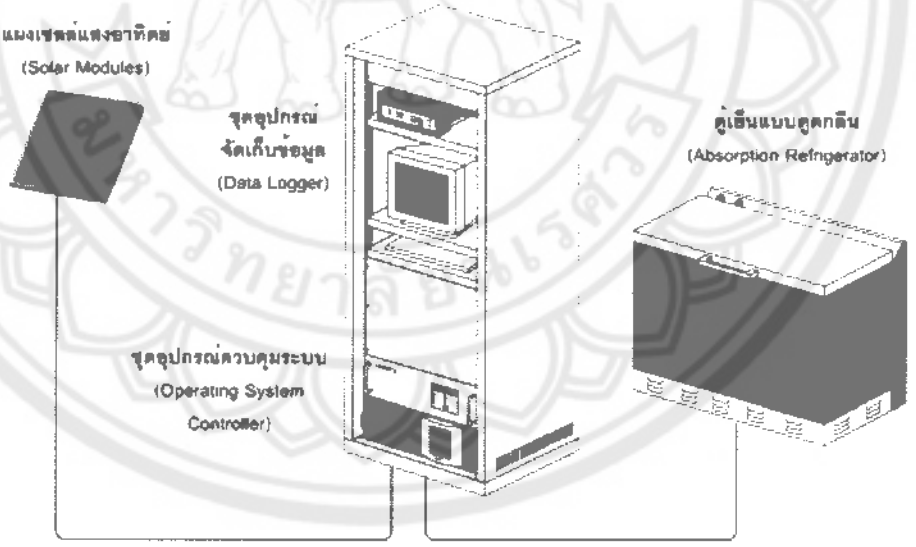
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของระบบตู้เย็นแบบดูดกลืนที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และหลักการทำงานของระบบตลอดจนทฤษฎีของการทำความเย็นแบบดูดกลืน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วระบบแบบนี้จะถูกนำไปใช้ในสถานที่ที่สายส่งไฟฟ้าเข้าไปไม่ถึง เช่น การนำไปใช้ในการแช่วัคซีน ตามสถานีอนามัยในชนบท ซึ่งการแช่วัคซีนโดยทั่วไปต้องการอุณหภูมิในช่วง 2-8 °C

2.1 ระบบตู้เย็นแบบดูดกลืนที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์

ระบบตู้เย็นแบบดูดกลืนที่ทำการศึกษา เป็นตู้เย็นที่ใช้แหล่งพลังงานหลักจากเซลล์แสงอาทิตย์และใช้พลังงานสำรองในเวลาที่ไม่มีแสงหรือเวลากลางคืนจากแบตเตอรี่ โดยจะมีชุดอุปกรณ์ควบคุมและจัดเก็บข้อมูลทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

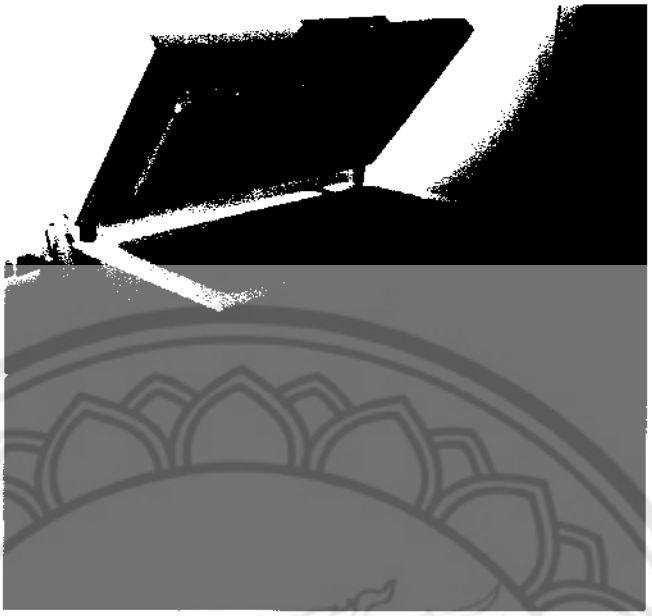


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบระบบของตู้เย็นแบบดูดกลืนที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์

2.1.1 ส่วนประกอบของระบบ

ระบบตู้เย็นพลังงานแสงอาทิตย์แบบดูดกลืนนี้มีส่วนประกอบสำคัญตาม รูปที่ 2.1 ดังนี้

1. ตู้เย็นแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.2



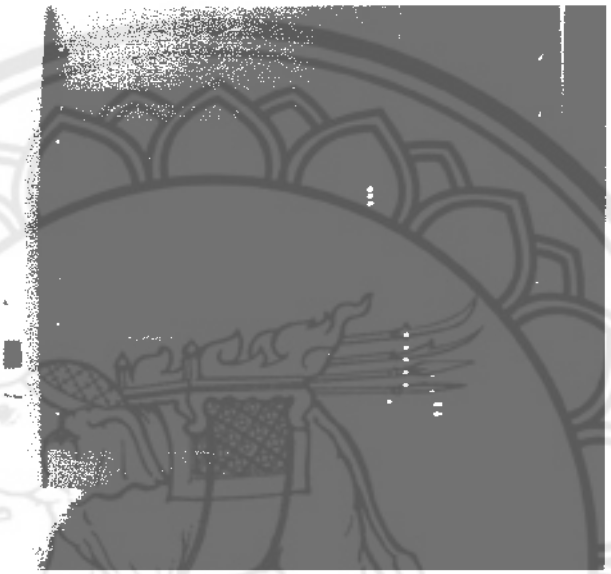
รูปที่ 2.2 ตู้เย็นแบบดูดกลืน

2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

3. ชุดควบคุมการทำงานของระบบ ตามรูปที่ 2.4 ประกอบด้วย

- ส่วนควบคุมการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- แบตเตอรี่ (Battery)
- ส่วนควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และอุณหภูมิในตู้เย็น(Temperature control)



รูปที่ 2.4 ชุดควบคุมการทำงานของระบบ

4. ชุดจัดเก็บข้อมูลและประมวลผล ดังแสดงในรูปที่ 2.5

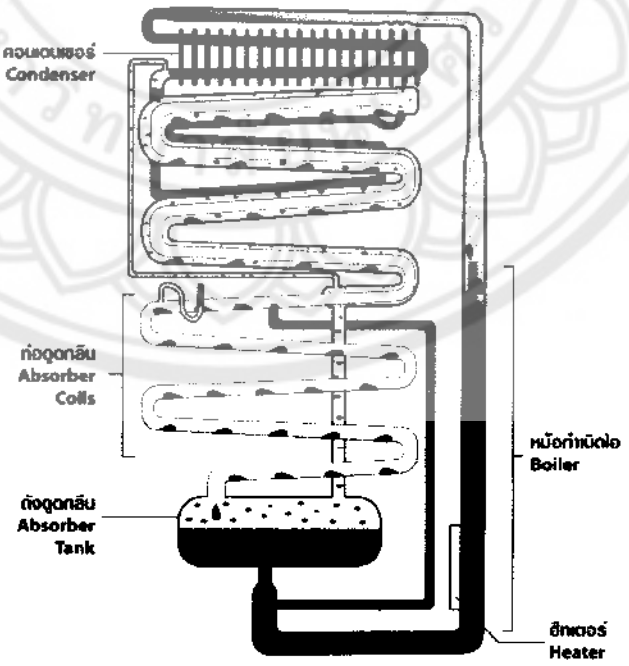
รูปที่ 2.5 ชุดจัดเก็บข้อมูลและประมวลผล

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงข้อมูลจำเพาะของระบบ

ข้อมูลจำเพาะของระบบ			
อุปกรณ์	**ชื่อรุ่น/ชนิด**	**ขนาด**	**จำนวน**
ตู้เย็น Frostek-160	Frostek-160G	160 ลิตร	1 เครื่อง
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	อะมอฟัส (Amorphous)	40 วัตต์	20 แผง
อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	SOLARCON / PV microprocessor controller ยี่ห้อ LEONIC	-	1 เครื่อง
อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่	ULTRA SINE RACK MOUNT UPS ยี่ห้อ LEONIC	-	1 เครื่อง
แบตเตอรี่	-	12 โวลต์	9 ลูก
ชุดจัดเก็บข้อมูล	Agilent 34970A	-	1 เครื่อง
หัววัดอุณหภูมิ	Thermocouple Type K	-	7 หัว
เครื่องคอมพิวเตอร์	ยี่ห้อ POWELL	-	1 เครื่อง

2.2 หลักการทำงานของระบบ

หลักการทำงานของตู้เย็นแบบดูดกลืนที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



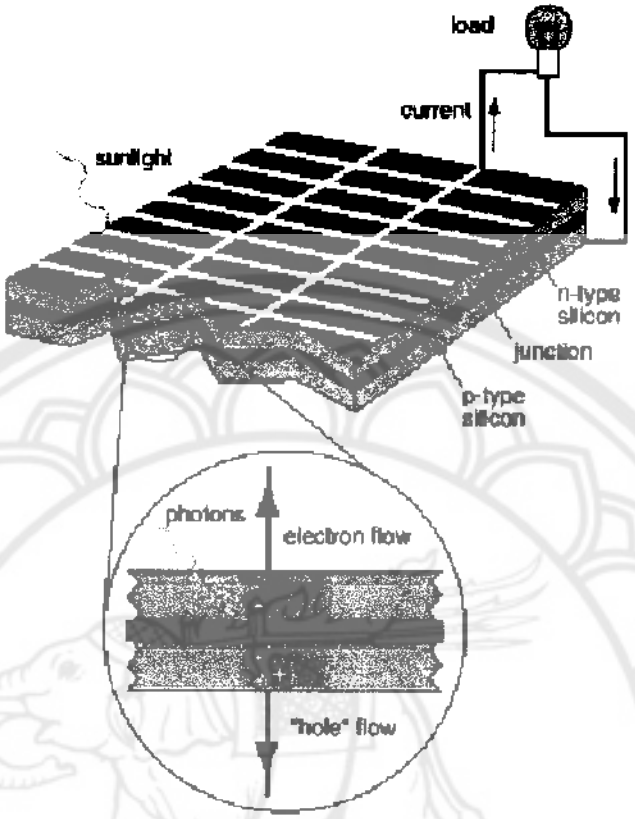
รูปที่ 2.6 หลักการทำงานของตู้เย็นแบบดูดกลืน

เมื่อหม้อกำเนิดไอได้รับความร้อนจากฮีทเตอร์ ซึ่งเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นความร้อน ก๊าซแอมโมเนียจะระเหยจากสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นผ่านช่วงเรกติไฟเออร์ (Rectifier) ซึ่งทำหน้าที่กักไอน้ำที่ผสมมา ด้วยการทำให้ควบแน่นกลายเป็นสารละลายเจือจาง ส่วนไอของแอมโมเนียจะเข้าสู่คอนเดนเซอร์ (condenser) แล้วระบายความร้อนให้บรรยากาศภายนอกและกลั่นตัวเป็นแอมโมเนียเหลว ไหลลงสู่ส่วนอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator)ซึ่งแอมโมเนียเหลวจะถูกลดความดันโดยอาศัยก๊าซไฮโดรเจน และระเหยเป็นไอด้วยความช่วยเหลือของก๊าซไฮโดรเจนและดูดความร้อนบริเวณรอบข้างทำให้บริเวณนั้น (ภายในตู้เย็น) มีอุณหภูมิลดลง ก๊าซแอมโมเนียที่ระเหยแล้วจะผ่านต่อไปยังส่วนแอบซอบเบอร์ (Absorber) ซึ่งมีสารละลายแอมโมเนียเจือจางที่ได้จากสารละลายเข้มข้นที่ถูกต้มแล้วจากเรกติไฟเออร์ ไหลล้นเข้ามาในส่วนแอบซอบเบอร์นี้ สารละลายแอมโมเนียเจือจางจะดูดกลืนก๊าซแอมโมเนียที่มาจากอีวาโปเรเตอร์ จนกลายเป็นสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นอีกครั้ง และไหลมารวมตัวกันที่ถังดูดกลืน (Absorber Tank) ซึ่งจะป้อนสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นนี้ให้กับหม้อกำเนิดไอต่อไป

กระบวนการนี้จะดำเนินไปตลอดตราบเท่าที่มีพลังงานความร้อนเพียงพอที่จะป้อนให้กับหม้อกำเนิดไอ ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิในตู้เย็นจึงใช้ตัววัดอุณหภูมิ เพื่อวัดอุณหภูมิในตู้เย็นแล้วส่งข้อมูลให้ชุดควบคุม เมื่ออุณหภูมิลดลงถึงจุดต่ำที่ตั้งไว้ ชุดควบคุมจะหยุดการป้อนพลังงานไฟฟ้าให้ฮีทเตอร์ หรือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงจุดสูงที่ตั้งไว้ชุดควบคุมก็จะเริ่มป้อนพลังงานไฟฟ้าให้ฮีทเตอร์ เพื่อให้ตู้เย็นเริ่มทำงาน ระบบการทำงานทั้งหมดนี้เป็นไปอย่างอัตโนมัติและอาศัย ความร้อน แรงโน้มถ่วง ความถ่วงจำเพาะ และความแตกต่างของแรงดันภายในของระบบตู้เย็นพลังงานแสงอาทิตย์แบบดูดกลืน ระบบตู้เย็นพลังงานแสงอาทิตย์แบบดูดกลืนนี้ ไม่มีชิ้นส่วนใดเคลื่อนไหวเลยแม้แต่ชิ้นเดียวทำให้การทำงานเงียบสนิท ไม่สั่น และไม่มีชิ้นส่วนสึกหรอ ถ้าดูแลรักษาสภาพตู้เย็นพลังงานแสงอาทิตย์แบบดูดกลืนให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ดีจะมีความทนทานใช้งานได้นานกว่า 20 ปี[12]

2.3 การทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงโดยกระบวนการ Photovoltaic effect ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำ ในขณะที่ปริมาณแสงที่มีพลังงานมากพอมาตกกระทบและเมื่อนำภาระทางไฟฟ้า (Load) มาต่อให้ครบวงจรอิเล็กตรอนอิสระบริเวณรอยต่อก็จะเกิดการเคลื่อนที่เป็นกระแสไฟฟ้าได้



รูปที่ 2.7 การทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.4 ชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และอุณหภูมิภายในตู้เย็น

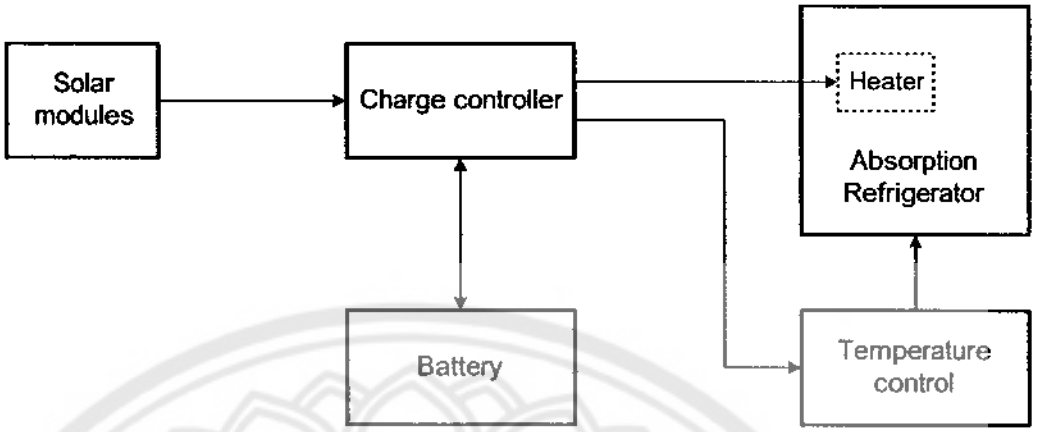
ชุดควบคุมการทำงานจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. ชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่และแรงดันไฟฟ้าเข้าฮีทเตอร์ (Charge controller)

ชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่และแรงดันไฟฟ้าเข้าฮีทเตอร์ ส่วนนี้จะควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะกับการประจุแบตเตอรี่และป้อนให้กับฮีทเตอร์ ในขณะเดียวกันเมื่อแบตเตอรี่เต็มหรือแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าค่าที่เหมาะสมกับฮีทเตอร์ ชุดควบคุมนี้จะตัดวงจรที่ต่อจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ออกเพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อแบตเตอรี่และฮีทเตอร์

2. **ชุดควบคุมอุณหภูมิภายในตู้เย็น** (Temperature control)

ชุดควบคุมอุณหภูมิภายในตู้เย็นจะใช้หัววัดอุณหภูมิภายในตู้เย็นตลอดเวลาเมื่ออุณหภูมิลดลงหรือสูงขึ้นถึงค่าที่ตั้งไว้ (0 ˚C - 10˚C) ชุดควบคุมนี้จะตัดหรือต่อวงจรการป้อนพลังงานให้กับฮีทเตอร์ของหม้อกำเนิดก๊าซแอมโมเนีย



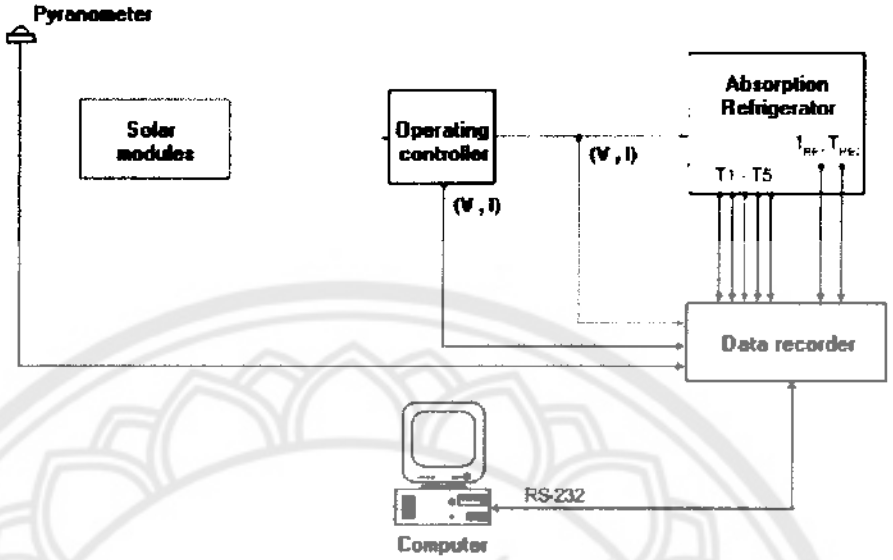
รูปที่ 2.8 การทำงานของชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่และอุณหภูมิภายในตู้เย็น

2.5 ชุดเก็บข้อมูลและประมวลผล

ชุดเก็บข้อมูลและประมวลผลจะประกอบด้วย

- หัววัดอุณหภูมิ 7 ตัว
- เครื่องอ่านและบันทึกค่า
- เครื่องคอมพิวเตอร์
- Pyranometer
- Shunt วัดกระแสไฟฟ้า 2 ตัว

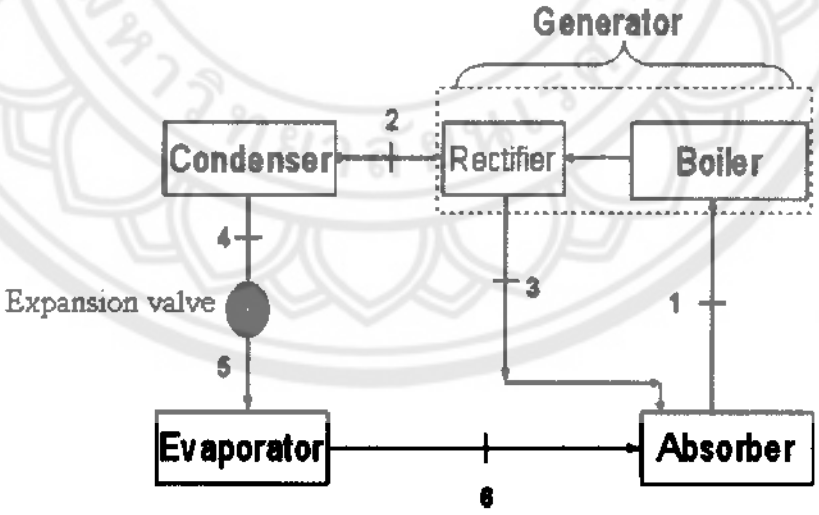
เครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลจะอ่านค่าต่างๆทั้งหลาย ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิภายในและภายนอกตู้เย็น และค่าความเข้มแสงโดยเก็บบันทึกไว้พร้อมกับส่งข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต RS-232 เพื่อเก็บบันทึกในฮาร์ดดิสก์ ส่วนจอมอนิเตอร์นั้นสามารถแสดงผลได้แบบ Real Time ซึ่งชุดเก็บข้อมูลและการประมวลผลแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ชุดเก็บข้อมูลและประมวลผล

2.6 การวิเคราะห์ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์

ในโครงงานนี้จะทำการวิเคราะห์ โดยพิจารณาสภาวะของสารละลาย แอมโมเนีย-น้ำ และแอมโมเนีย ณ ตำแหน่งที่เข้า-ออก อุปกรณ์หลักของระบบ 6 จุด ดังแสดงในแผนภาพที่ 2.10 ต่อไปนี้



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์หลักและตำแหน่งที่ทำการวิเคราะห์ระบบ

สมมุติฐานของสภาวะที่ใช้ในการคำนวณในโครงงานนี้ มีดังต่อไปนี้

จากรูปที่ 2.10 จุดที่ 1 เป็นจุดที่สารละลายหลังจากผ่านกระบวนการดูดกลืนสารทำความเย็นที่แอบซอฟเบอร์ไหลไปยังเจนเนอเรเตอร์ สารละลายดังกล่าวมีสภาวะดังนี้

- เป็นสารละลายแอมโมเนียที่มีสภาพความเข้มข้นสูง
- ที่จุดนี้มีความดันเท่ากับความดันภายในแอบซอฟเบอร์
- อุณหภูมิที่จุดนี้เท่ากับอุณหภูมิภายในแอบซอฟเบอร์

จุดที่ 2 เป็นจุดที่สารแอมโมเนียถูกแยกออกจากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง เพื่อไหลเข้าสู่เครื่องควบแน่นโดยแอมโมเนียที่จุดที่ 2 มีสภาวะดังนี้

- เป็นไอแอมโมเนียที่มีสถานะเป็นไอร้อนยวดยิ่ง
- มีความดันเท่ากับความดันที่เจนเนอเรเตอร์
- มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิภายในเจนเนอเรเตอร์
- อย่างไรก็ตามสมมุติฐานในโครงงานนี้ให้ชุดแยกไอแอมโมเนียที่จุดนี้สามารถแยกได้ 100 % ดังนั้นไอแอมโมเนียที่จุดนี้มีความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ (x_A ,x_G = 100%)

จุดที่ 3 เป็นจุดที่ใช้แยกสารละลายให้ไอแอมโมเนียที่มีสถานะเป็นไอร้อนยวดยิ่งไหลผ่านไปเข้าส่วนของคอนเดนเซอร์ และแยกสารละลายเจือจางกลับไปยังแอบซอฟเบอร์ ซึ่งสารละลายมีสภาวะดังนี้

- เป็นสารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่ำ
- มีความดันเท่ากับความดันที่เจนเนอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์
- มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิภายในเจนเนอเรเตอร์

จุดที่ 4 เป็นจุดที่แอมโมเนียเหลวไหลออกจากคอนเดนเซอร์ไปยังส่วนที่มีการลดความดัน ซึ่งมีสภาวะดังนี้

- แอมโมเนียมีสถานะเป็นของเหลว
- ความดันสูง และมีค่าเท่ากับความดันในเจนเนอเรเตอร์
- อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่คอนเดนเซอร์

จุดที่ 5 เป็นจุดที่แอมโมเนียเหลวความดันต่ำจะเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์ ซึ่งมีสภาวะดังนี้

- น้ำยาแอมโมเนียมีสภาพเป็นของเหลว
- มีค่าความดันเท่ากับความดันในอีวาโปเรเตอร์
- อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่อีวาโปเรเตอร์

จุดที่ 6 เป็นจุดที่สารทำความเย็นออกจากอีวาโปเรเตอร์ไปยังแอบซอฟเบอร์ ซึ่งมีสภาวะดังนี้

- เป็นไอแอมโมเนียอิ่มตัว
- มีค่าความดันเท่ากับความดันภายในอีวาโปเรเตอร์
- อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิภายในอีวาโปเรเตอร์

2.7 การคำนวณหาสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์

การคำนวณหาสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนสามารถหาได้โดยใช้กฎของการอนุรักษ์มวล (Conservation of mass) และกฎของการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of energy) เมื่อมีสมมุติฐานว่า เป็นกระบวนการที่มีสภาวะคงตัว การไหลคงตัว (Steady-state, Steady-flow processes) การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของสารทำงานมีค่าน้อยมาก ไม่มีการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของระบบท่อและไม่คิดค่าความดันที่ลดลงเมื่อไหลภายในท่อ เขียนสมการสมดุลมวลและสมดุลพลังงานได้ดังต่อไปนี้

หลักการสมดุลมวล (Mass Balance)

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e$$

$$\sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e = 0 \qquad (2.1)$$

หลักการสมดุลสารดูดกลืน (Absorbent Balance)

$$\sum \dot{m}_i x_i = \sum \dot{m}_e x_e$$

$$\sum \dot{m}_i x_i - \sum \dot{m}_e x_e = 0 \qquad (2.2)$$

หลักการสมดุลพลังงาน (Energy Balance)

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V^2}{2} + gZ_i \right) = \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V^2}{2} + gZ_e \right) + \dot{W}$$

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_i h_i = \sum \dot{m}_e h_e \qquad (2.3)$$

โดยที่ $\dot{m}_i, \dot{m}_e$ = อัตราการไหลของมวลที่ทางเข้าและทางออก (kg/s)

x_i, x_e = ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทางเข้าและทางออก (kg NH_3 / kg solution)

$\dot{Q}_i, \dot{Q}_e$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าและออก (kW)

h_i, h_e = เอนทาลปีจำเพาะที่ทางเข้าและทางออก (kJ/kg)

2.7.1 การคำนวณหาความดันที่ชุดอุปกรณ์

จากแผนภาพระบบทำความเย็นในรูปที่ 2.10 เมื่อคิดว่าไอสารทำความเย็นที่จุด 6 เป็นไอแอมโมเนียอิ่มตัว (saturated vapor) จากสมมุติฐานว่า การทำงานของสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาโปเรเตอร์เข้าสู่แอบซอฟเบอร์เป็นกระบวนการความดันคงที่ ดังนั้นเมื่อ อุณหภูมิของไอแอมโมเนีย (T_6) เท่ากับอุณหภูมิของอีวาโปเรเตอร์ (T_E), $T_E = T_6$ จะได้ว่า ความดันของไอแอมโมเนีย (P_6) จะเท่ากับความดันอิ่มตัวที่อุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์ ดังนี้

$$P_6 = P_{sat@Te}$$

โดยความดันที่สภาวะ 6 จะมีค่าเท่ากับความดันในสภาวะที่ 1 และ 5 เพราะฉะนั้น

$$P_6 = P_1 = P_5$$

พิจารณาที่คอนเดนเซอร์ ให้สารทำความเย็นที่สภาวะ 4 เป็นของเหลวอิ่มตัว (saturated liquid) ดังนั้น เมื่อให้อุณหภูมิของแอมโมเนียที่ 4 (T_4) เท่ากับอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ (T_C), $T_C = T_4$ จะได้ว่า ความดันของแอมโมเนียเหลว (P_4) จะเท่ากับความดันอิ่มตัวที่อุณหภูมิคอนเดนเซอร์ ดังนี้

$$P_4 = P_{sat@Tc}$$

โดยความดันในสภาวะ 4 จะมีค่าเท่ากับความดันในสภาวะ 2 และ 3 เพราะฉะนั้น

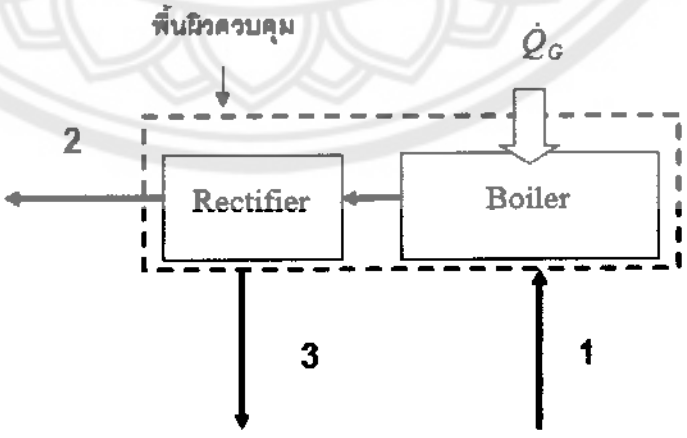
$$P_4 = P_2 = P_3$$

2.7.2 สมการสมดุลพื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิคส์

เมื่อคิดให้กระบวนการที่เกิดภายในอุปกรณ์หลักของระบบเป็นกระบวนการไหลคงตัว จะได้สมการสมดุลมวล และสมดุลพลังงาน ของแต่ละอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

เจนเนอร์เรเตอร์ (Generator)

เมื่อกำหนดให้ เจนเนอร์เรเตอร์ ประกอบด้วย บอยเลอร์ และ เรคติไฟเออร์



รูปที่ 2.11 เจนเนอร์เรเตอร์

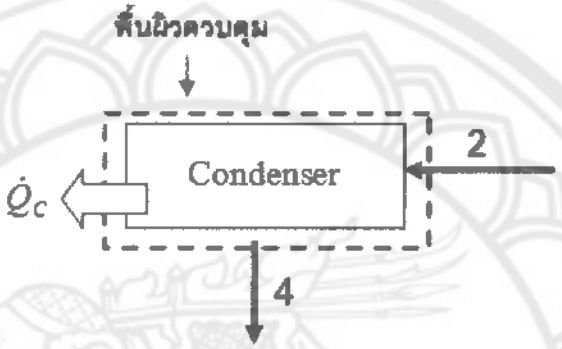
สมการสมดุลพลังงาน

$$\dot{Q}_G + \dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 \quad (2.4)$$

สมการสมดุลมวล

$$\dot{m}_1 x_1 = \dot{m}_2 x_2 + \dot{m}_3 x_3 \quad (2.5)$$

คอนเดนเซอร์ (Condenser)



รูปที่ 2.12 คอนเดนเซอร์

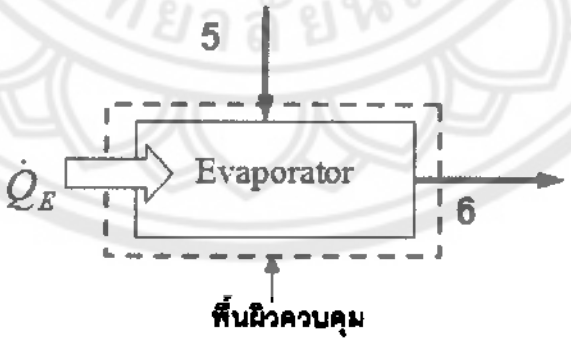
สมการสมดุลพลังงาน

$$\dot{Q}_C + \dot{m}_4 h_4 = \dot{m}_2 h_2 \quad (2.6)$$

สมการสมดุลมวล

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_4 \quad (2.7)$$

อีวาโปเรเตอร์ (Evaporator)



รูปที่ 2.13 อีวาโปเรเตอร์

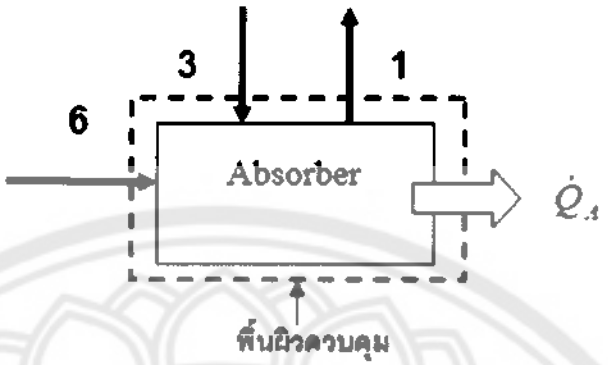
จากสมการสมดุลพลังงาน

$$\dot{Q}_E + \dot{m}_5 h_5 = \dot{m}_6 h_6 \quad (2.8)$$

สมการสมดุลมวล

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (2.9)$$

แอบซอบเบอร์ (Absorber)



รูปที่ 2.14 แอบซอฟเบอร์

สมการสมดุลพลังงาน

$$\dot{Q}_A + \dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_6 h_6 \tag{2.10}$$

สมการสมดุลมวล

$$\dot{m}_1 x_1 = \dot{m}_3 x_3 + \dot{m}_6 x_6 \tag{2.11}$$

2.7.3 การคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลาย

เมื่อทราบค่าอุณหภูมิและความดันของสารละลายแล้ว สามารถหาค่าความเข้มข้นของสารละลายได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอนทาลปีจำเพาะกับอุณหภูมิและความดันของสารละลายแอมโมเนีย-น้ำ ยกตัวอย่างเช่น

เมื่อทราบอุณหภูมิและความดันที่แอบซอฟเบอร์ คือ $T_1 = T_A$ กับ P_1 จากกราฟ ช.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอนทาลปีจำเพาะกับอุณหภูมิและความดันของสารละลายแอมโมเนีย-น้ำ (ภาคผนวก ช) จะได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายเข้มข้น x_A

และในทำนองเดียวกัน เมื่อทราบอุณหภูมิและความดันที่เจนเนอร์เรเตอร์ คือ $T_2 = T_G$ กับ P_2 จาก กราฟ ช.1 จะได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายเข้มข้น x_G

2.7.4 การคำนวณหาค่าเอนทาลปีจำเพาะ

เมื่อทราบอุณหภูมิและความเข้มข้น สามารถหาเอนทาลปีจำเพาะได้จาก กราฟ ช.1 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอนทาลปีจำเพาะกับอุณหภูมิและความดันของสารละลายแอมโมเนีย-น้ำ (ภาคผนวก ช) ยกตัวอย่างเช่น

ที่สภาวะ 1 ในแผนภาพ 2.10 เมื่อทราบอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายคือ T_1 และ x_1 ตามลำดับ จากกราฟ ช.1 จะได้ค่าเอนทาลปีจำเพาะที่สภาวะ 1 คือ h_1

ที่สภาวะ 2 เมื่อทราบอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายคือ T_2 และ x_2 ตามลำดับ จากกราฟ ช.1 จะได้ค่าเอนทาลปีจำเพาะที่สภาวะ 2 คือ h_2

ค่าเอนทาลปีจำเพาะที่สภาวะ 3, 4, 5 และ 6 จะได้จากตาราง B2 ที่แสดงคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิคส์ของแอมโมเนีย (ภาคผนวก ช)

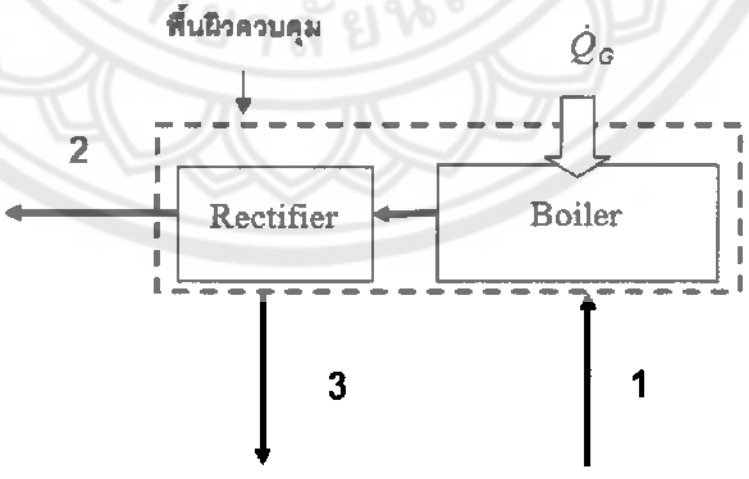
$$h_3 = h_{T_1,P_3}$$
$$h_4 = h_{T_4,P_4}$$
$$h_4 = h_5$$
$$h_6 = h_{g,T_B}$$

2.7.5 การคำนวณอัตราการไหล

ในโครงงานนี้ เนื่องจากทราบกระแสไฟฟ้า (I) และ ความต่างศักย์ (V) ที่ป้อนให้กับฮีตเตอร์ของเจนเนอร์เรเตอร์ทำให้ทราบค่าพลังงานที่ใส่เข้าสู่เจนเนอร์เรเตอร์ $(\dot{Q}_G)$ ทำให้สามารถคำนวณหาอัตราการไหลของมวลของสารละลายเข้มข้น $(\dot{m}_1)$ อัตราการไหลของมวลของแอมโมเนีย $(\dot{m}_2)$และอัตราการไหลของสารละลายเจือจาง $(\dot{m}_3)$ ได้จากสมการสมดุลมวลและพลังงาน

เมื่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเจนเนอร์เรเตอร์ $= \dot{Q}_G = IV$

สำหรับปริมาตรควบคุมในรูป 2.15 จะได้ว่า



รูปที่ 2.15 เจนเนอร์เรเตอร์

สมดุลพลังงาน

$$\dot{Q}_G + \dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 \tag{2.12}$$

สมดุลมวลของแอมโมเนีย

$$\dot{m}_1 x_1 = \dot{m}_2 x_2 + \dot{m}_3 x_3 \tag{2.13}$$

สมดุลอัตราการไหล

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \tag{2.14}$$

สมการ (2.12) (2.13) และ (2.14) อยู่ในรูปแบบกลุ่มสมการ 3 สมการ 3 ตัวแปร สามารถใช้เมตริกซ์ในการคำนวณหาค่า $\dot{m}$ แต่ละค่าได้

$$\dot{Q}_G + \dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3$$
$$\dot{m}_1 x_1 = \dot{m}_2 x_2 + \dot{m}_3 x_3$$
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$$

เขียนเป็นเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} -h_1 & h_2 & h_3 \\ -x_1 & x_2 & x_3 \\ -1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{m}_1 \\ \dot{m}_2 \\ \dot{m}_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \dot{Q}_G \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

ซึ่งจะสามารถแก้สมการเมตริกซ์หาค่า $\dot{m}$ ได้

2.8 การคำนวณภาระจากผลิตภัณฑ์

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าเข้าไปเก็บไว้ในตู้เย็น ผลิตภัณฑ์จะคายความร้อนออกเพื่อให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิภายในตู้เย็น ความร้อนที่เป็นภาระแก่การทำความเย็นสามารถคำนวณได้ดังนี้

เมื่ออุณหภูมิตู้เย็นอยู่เหนือจุดเยือกแข็ง ($0^{\circ}C$) การคำนวณความร้อนของผลิตภัณฑ์หาได้ดังนี้

$$Q = mc_p \Delta T \tag{2.15}$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่คายออกจากผลิตภัณฑ์ (kJ/kg)

m = มวลของผลิตภัณฑ์ (kg)

ΔT = อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไป (K)

จากสมการ (2.15) เป็นการคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ที่จะถูกทำให้เย็นลง แต่ไม่ได้กำหนดระยะเวลาไปว่าจะใช้เวลาในการทำความเย็นนานเท่าใด อย่างไรก็ตามในการกำหนดระยะเวลาที่ใช้ทำความเย็นอาจจะน้อยกว่า 24 ช.ม ก็ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ

ผลิตภัณฑ์ที่จะต้องทำให้เย็นลงในเวลาเท่าใด ซึ่งเท่ากับภาระที่เครื่องทำความเย็นจะต้องทำได้ ดังนั้นสามารถคำนวณอัตราความร้อน ได้ตามสมการ

$$\dot{Q} = \frac{mc_p \Delta T}{\Delta t} \tag{2.16}$$

เมื่อ Δt = เวลาในการทำความเย็น

2.9 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP)

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ}(COP) = \frac{\dot{Q}_E}{\dot{Q}_G} \tag{2.17}$$