# บทที่ 2

# หลักการและทฤษฎี

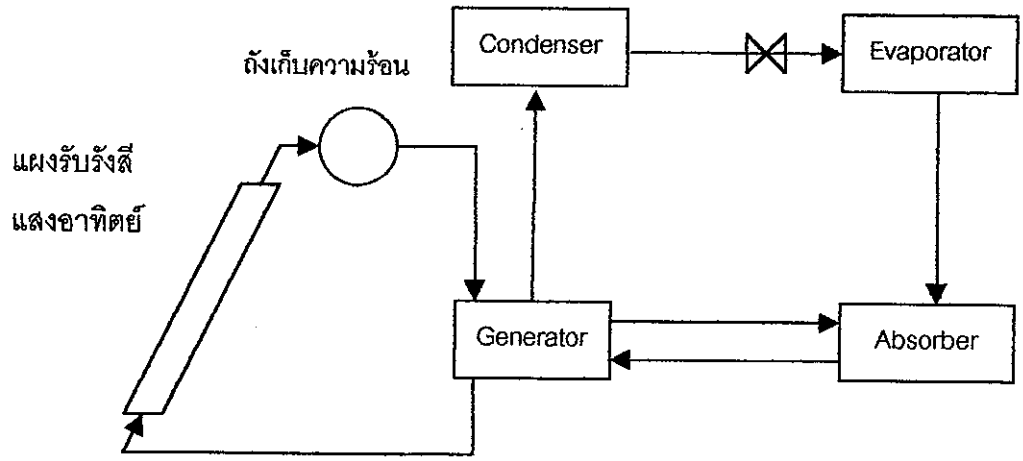
## 2.1 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมนำมาใช้ในครั้งแรกสำหรับการผลิตน้ำแข็งในประเทศสหรัฐอเมริกา ระหว่างสงครามกลางเมือง ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมถูกคิดค้นและประดิษฐ์โดย Ferdinand Carre ชาวฝรั่งเศส

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมนี้ต้องอาศัยพลังงานความร้อนจากนอกระบบมาเพื่อทำให้ความดันของสารละทำความเย็นมีความแตกต่างและทำให้สารทำความเย็นไหลวนในระบบ พลังงานความร้อนจากภายนอกที่นำมาใช้อาจนำมาจากการเผาไหม้ของน้ำมัน , แก๊ส , ไอน้ำ หรือของเสียจากเครื่องยนต์ต่าง ๆ เป็นต้น เป็นพลังงานความร้อนที่ได้มาทำให้สูญเสียทรัพยากรต่าง ๆ มากมาย พลังงานความร้อนอีกชนิดหนึ่งที่ได้เปล่าจากธรรมชาติคือพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ สามารถนำมาใช้กับระบบทำความเย็นแบบดูดซึมได้โดยใช้ระบบทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาให้ความร้อนแก่ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

- แผงรับแสงอาทิตย์ ( Solar collector)
- ถังสะสมความร้อน ( Energy storage Tank)
- ชุดแยกสารละลาย ( Generator)
- ชุดควบแน่น ( Condenser)
- ชุดทำความเย็น ( Evaporator)
- ชุดดูดสารละลาย ( Absorber)
- ลิ้นลดความดัน ( Expansion valve)




<u>ภาพที่ 2.1</u> ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

### 2.1.1 ระบบทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะต้องมีแผงรับรังสีแสงอาทิตย์จากการแผ่กระจายของแสงอาทิตย์ แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ทำจากโลหะที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง ค่านิยมของแผ่นรับรังสีแสงอาทิตย์จะมีสีดำเพื่อช่วยให้ดูดซับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด ด้านบนของแผงรับรังสีอาทิตย์จะถูกปิดคลุมด้วยกระจกหรือแผ่นพลาสติก ป้องกันไม่ให้แผ่นดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์สัมผัสของอากาศรอบๆ แผงรับรังสี รวมทั้งมีฉนวนหุ้มเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนกับอากาศรอบ ๆ แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ และมีการตั้งมุมเอียงของแผงรับแสงที่ดีที่สุด จึงจะทำให้ระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่ดี ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ คือ แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ และ ถังเก็บน้ำร้อน และท่อเชื่อมระหว่างถังเก็บน้ำร้อนกับแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

2.1.1.1 **แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นราบ** (Flat-Plate collector)

เป็นแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างง่าย ให้ประสิทธิภาพปานกลางใช้ในกรณีที่ต้องการอุณหภูมิความร้อนต่ำกว่า 100 °C ด้านบนของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์มีสีดำคลุมด้วยกระจกหรือพลาสติกอาจมี 1 ชั้นหรือมากกว่า และด้านล่างคลุมด้วยฉนวน แสงอาทิตย์จะถูกส่งผ่านแผ่นคลุมด้านบน แล้วถูกดูดซับด้วยพื้นผิวของแผ่นดูดซับรังสีแสงอาทิตย์ที่มีสีดำเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนและถ่ายเทให้กับของเหลวที่ไหลอยู่ภายในท่อที่ติดอยู่กับแผ่นดูดซับรังสีแสงอาทิตย์ ส่วนประกอบที่สำคัญของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์มีดังนี้

2.1.1.1.1 **กระจกหรือแผ่นปิดหน้าโปร่งใส** (Glass or Transparent covers plate)

แผ่นปิดบนตัวแผงรับรังสีแสงอาทิตย์จะต้องเป็นวัสดุที่รังสีแสงอาทิตย์ส่งผ่านได้ดี มีความคงทนไม่เสื่อมตามเวลา กระจกมีคุณสมบัติให้รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ผ่านได้ แต่ไม่ยอมให้รังสีคลื่นยาวที่เป็นรังสีความร้อนจากตัวดูดซับรังสีแสงอาทิตย์ผ่านออกไปได้ กระจกที่ใช้ปิดบนแผงรับรังสีแสงอาทิตย์จึงมีหน้าที่ป้องกันการนำความร้อนส่วนช่องว่างระหว่างแผ่นกระจกกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นอากาศนิ่งที่จะป้องกันการนำความร้อน แผงรับรังสีแสงอาทิตย์แบบมีแผ่นกระจกปิดด้านบนจึงมีประสิทธิภาพมากกว่า ตัวรับรังสีแบบเปลือย

2.1.1.1.2 **แผ่นดูดซับรังสีแสงอาทิตย์** (Aperture plate)

แผ่นดูดซับรังสีแสงอาทิตย์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนที่เกิดได้ตลอดเวลาที่มีแสงแดดจะถูกดูดความร้อน โดยผ่านแผ่นดูดกลืนแสงและถ่ายเทความร้อนไปให้น้ำที่อยู่ภายในท่อโลหะซึ่งเป็นอลูมิเนียม เหล็ก พลังงานความร้อนจะถูกเก็บไว้ในถังเก็บน้ำร้อนในเวลาที่ปราศจากแสงอาทิตย์

2.1.1.1.3 **ท่อภายในแผง** (Tube)

ท่อน้ำภายในแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ส่วนมากใช้ท่อทองแดง ท่ออาบเหล็กสังกะสี ท่อเหล็กไร้สนิม วัสดุที่เป็นสื่อไฟฟ้าที่ดีมักเป็นตัวนำความร้อนที่ดีด้วย นอกจากนั้นทองแดงยังมีความทนทาน ทนต่อความกดดัน ทนต่อการกรัดกร่อนของสนิมและการเกาะของหินปูนได้ดีมาก ตัว

แผ่นรับแสงที่ใช้ประกอบท่อภายในแผงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนอาจทำด้วยวัสดุเช่นเดียวหรือแตกต่างกับท่อภายในแผง แต่วัสดุที่เหมาะสมได้แก่ แผ่นทองแดง อลูมิเนียมหรือเหล็กกล้า

2.1.1.1.4 **ฉนวนกันความร้อน** (Insulation)

ฉนวนกันความร้อนใช้สำหรับป้องกันการสูญเสียความร้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ การเลือกฉนวนกันความร้อนต้องคำนึงถึงการพา การนำ และการแผ่รังสีความร้อนเป็นสำคัญ ต้องมีราคาถูกหาง่ายและน้ำหนักเบา ไม่มีผลกับไอน้ำและอื่น ๆ

2.1.1.1.5 **กล่องบรรจุ** (Container)

แผงรับรังสีแสงอาทิตย์จะวางไว้ในกรอบซึ่งทำด้วยโลหะ อลูมิเนียมหรือไฟเบอร์กลาส เงาบังบนแผงรับรังสีแสงอาทิตย์อาจเกิดจากเฟรมที่เป็นกรอบแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ได้ แต่จะมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การประกอบกล่องภายในเป็นแผงรับรังสีแสงอาทิตย์อาทิตย์และมีกระจกติดอยู่ด้านบนระหว่างรอยต่อของกล่องจะต้องมีปะเก็นเพื่อป้องกันการเกิดไอน้ำภายในกล่อง และทำให้อากาศนิ่ง เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียความร้อนจากการดูดซับรังสีแสงอาทิตย์

2.1.1.2 **ถังเก็บน้ำร้อน** (Tank)

ถังสะสมความร้อนทำหน้าที่เป็นหน่วยเก็บสะสมพลังงานความร้อน โดยมีน้ำเป็นสารทำงาน เนื่องจากน้ำเป็นสารที่มีราคาถูก หาได้ง่าย และมีความจุความร้อนสูง เมื่อได้น้ำร้อนที่มาจากระบบทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แล้วจะนำมาเพิ่มความร้อนให้แก่ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมเพื่อทำการแยกสารทำความเย็นออกจากสารดูดซึมบริเวณ Generator เพื่อทำให้ระบบทำความเย็นทำงานได้

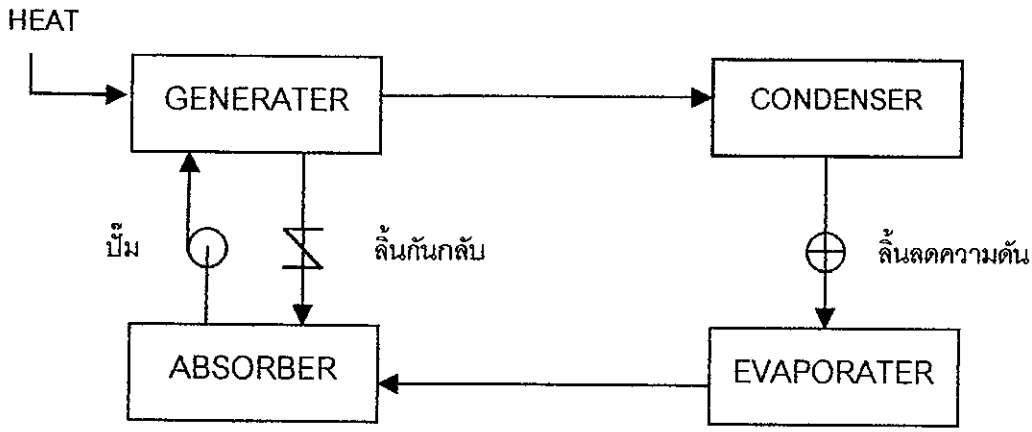
การศึกษาโครงการวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาออกแบบระบบทำความเย็นแบบดูดซึมเพียงอย่างเดียวไม่รวมการออกแบบระบบทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงแต่นำข้อมูลอุณหภูมิน้ำร้อนช่วงเวลาต่าง ๆ มาพิจารณาออกแบบระบบทำความเย็นแบบดูดซึมที่ใช้ในโครงการ

## 2.2 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชนิดพื้นฐาน

หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชนิดพื้นฐาน ในส่วนของคอนเดนเซอร์จะมีลิ้นลดความดันไปยังอีวาโปเรเตอร์เป็นลักษณะเดียวกันกับในระบบทำความเย็นแบบอัดแก๊ส ส่วนการทำงานของเยนเนอเรเตอร์และแอปซอฟเบอร์ซึ่งทำหน้าที่แทนคอมเพรสเซอร์ในระบบทำความเย็นแบบอัดแก๊ส

การทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชนิดพื้นฐานมีดังนี้ คือ ไอของสารทำความเย็นที่มาจากอีวาโปเรเตอร์จะเข้าสู่แอปซอฟเบอร์ ภายในแอปซอฟเบอร์จะบรรจุด้วยสารดูดซึม ดังนั้นเมื่อไอสารทำความเย็นเข้ามาสู่แอปซอฟเบอร์แล้วจะถูกดูดซึมกลายเป็นสารละลาย สารละลายของสารทำความเย็นที่เกิดขึ้นในแอปซอฟเบอร์ซึ่งมีความเข้มข้นสูงจะถูกส่งไปยังเยนเนอเรเตอร์ซึ่งภายในเยนเนอเรเตอร์มีขบวนการแยกสารทำความเย็นออกจากสารละลายโดยใช้ความร้อนซึ่งได้มาจากนอกระบบ สารทำความเย็นที่ผสมอยู่ในสารละลายปรกติจะมีจุดเดือดต่ำกว่าสารดูดซึมดังนั้นเมื่อรับความร้อนจากนอกระบบจึงจะกลายเป็นไอก่อนสารดูดซึม ขณะเดียวกันภายในเยนเนอเรเตอร์ได้ออกแบบไว้สำหรับให้ไอของสารทำความเย็นแยกออกไปได้ และสารดูดซึมที่เหลือตกค้างอยู่จะอยู่ในรูปของสารละลายเจือจางและจะไหลกลับเข้าสู่แอปซอฟเบอร์โดยผ่านคอคอดเพื่อลดความดันของสารละลายลงให้เท่ากับความดันของแอปซอฟเบอร์ เมื่อสารละลายเจือจางเข่าสู่แอปซอฟเบอร์จะมีขบวนการดูดซึมไอสารทำความเย็นที่มาจากอีวาโปเรเตอร์อีกครั้งหนึ่ง

ส่วนไอของสารทำความเย็นที่แยกตัวออกจากสารละลายภายในเยนเนอเรเตอร์จะผ่านเข้าสู่คอนเดนเซอร์เพื่อคายความร้อนออกนอกระบบทำให้กลายสภาพเป็นของเหลวและจะผ่ายเข้าสู่ลิ้นลดความดันและเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์เพื่อรับความร้อนจากนอกระบบทำให้กลายสภาพเป็นไอและไหลเข้าสู่แอปซอฟเบอร์เพื่อผ่านขบวนดูดซึม ครบหนึ่งวัฏจักรของการทำความเย็นระบบดูดซึมชนิดพื้นฐาน




**รูปที่ 2.2** ส่วนประกอบของระบบทำความเย็นแบบพื้นฐาน

## 2.3 สารทำความเย็นในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมมีหลักการพื้นฐาน คือ ใช้สารดูดซึมและสารทำความเย็นทำงานร่วมกันโดยมีการดูดซึมสารทำความเย็นและการแยกตัวของสารทำความเย็นออกจากสารดูดซึมและจะเกิดกระบวนการดูดรับความร้อนเข้าสู่สารทำความเย็นและการถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็นด้วย สารทำความเย็นและสารดูดซึมที่นิยมใช้ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมมีอยู่สองคู่ คือแอมโมเนีย+น้ำ และลิเทียมโบรไมด์+น้ำ แต่ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้ใช้สารละลายแอมโมเนียกับน้ำ

คุณสมบัติทางกายภาพของแอมโมเนีย

แอมโมเนียเป็นสารที่ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน ถ้าหายใจเข้าไปเพียงเล็กน้อยมีผลทำให้น้ำตาไหล และมีฤทธิ์กระตุ้นหัวใจอย่างแรง ( ทำให้ถึงตายได้ )แอมโมเนียทำให้เป็นของเหลวได้ง่ายโดยเพียงใช้ความดันและอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะ แอมโมเนียมีอุณหภูมิจุดหลอมเหลวเท่ากับ –77.76 องศาเซลเซียส และมีความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของแอมโมเนียเหลวเท่ากับ 328.3 แคลลอรี่/กรัม

ในการเลือกวัสดุที่นำมาใช้ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมที่ใช้แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็นนั้นต้องพิจรณาถึงสารทำความเย็น คือ แอมโมเนียมีสถานภาพเป็นเบส วัสดุที่ใช้ได้

กับแอมโมเนีย คือ Iron และ Steel ส่วนวัสดุที่ใช้ร่วมกับแอมโมเนียไม่ได้นั้น คือ Copper, Zinc, Tin, their alloys และ Mercury

ข้อดีของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยใช้แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็นในระบบนี้

1. ใช้แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็นทำให้สามารถทำความเย็นได้อุณหภูมิที่ต่ำมาก
2. นอกจากอุปกรณ์ควบคุมความเย็นแล้วการทำความเย็นในระบบนี้ไม่มีอุปกรณ์ที่มีการ เคลื่อนที่อยู่เลย
3. การบำรุงรักษาระบบกระทำได้ง่าย
4. แอมโมเนียเป็นสารประกอบที่หาได้ง่ายและราคาถูก

ข้อเสียของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยใช้แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็น

1. เมื่อระบบเริ่มทำงานแล้วการทำความเย็นต้องใช้ระยะเวลานานกว่าระบบทำความเย็นแบบอัดแก๊ส
2. แอมโมเนียเป็นสารมีพิษเป็นอันตรายต่อร่างกาย

## 2.4 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมที่ใช้ในโครงการวิจัย

หลักการพื้นฐานของระบบทำความเย็นที่ใช้ในโครงการวิจัย พิจารณาตามกระบวนการพื้นฐานของระบบสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กระบวนการหลักได้ดังนี้

- กระบวนการแยกสารทำความเย็นออกจากสารดูดซึม ซึ่งกระบวนการนี้เกิดขึ้นที่เยนเนอเรเตอร์
- กระบวนการควบแน่น ซึ่งกระบวนการนี้เกิดขึ้นที่คอนเดนเซอร์
- กระบวนการทำความเย็น ซึ่งกระบวนการนี้เกิดขึ้นที่อีวาโปเรเตอร์
- กระบวนการดูดซึม ซึ่งกระบวนการนี้เกิดขึ้นที่แอปซอฟเบอร์

การทำงานของส่วนประกอบหลักของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมอธิบายได้ดังนี้

### 2.4.1 แอปซอฟเบอร์ ( Absorber )

เป็นส่วนที่มีหน้าที่รับสารทำความเย็น ( น้ำยาแอมโมเนีย ) ที่มีสถานะเป็นก๊าซเข้าไปเก็บในถังแอปซอฟเบอร์ และทางเข้าแอปซอฟเบอร์จะมีสารละลายเจือจาง ( น้ำ+แอมโมเนีย ) มีหน้าที่ดูดซึมสารทำความเย็น ( น้ำยาแอมโมเนีย ) เข้าไว้เป็นสารละลายเข้มข้นจากนั้นจะไหลเข้าถังแอปซอฟเบอร์ต่อไป

### 2.4.2 เยนเนอเรเตอร์ ( Generater )

เป็นส่วนที่มีหน้าที่รับความร้อนจากภายนอกเข้ามาภายในระบบ และความร้อนนี้จะแยกสารทำความเย็น ( น้ำยาแอมโมเนีย ) ซึ่งระเหยได้ง่ายกว่าออกจากสารดูดซึม ( น้ำ ) สารทำความเย็นจะมีคุณสมบัติระเหยง่ายแม้ว่าจะได้รับความร้อนเพียงเล็กน้อย สารทำความเย็น ( น้ำยาแอมโมเนีย ) จะระเหยขึ้นไปตอนบนและความดันจะเพิ่มสูงขึ้นคือ ขบวนการจาก 1 ไปยัง 2 ในแผนภูมิอุณหภูมิ – เอนธาลปี

### 2.4.3 คอนเดนเซอร์ ( Condenser )

เป็นส่วนที่มีหน้าที่กลั่นสารทำความเย็น ( น้ำยาแอมโมเนีย ) ที่มีสถาวะเป็นไอที่ออกมาจากเยนเนอเรเตอร์ ไอของสารทำความเย็น ( น้ำยาแอมโมเนีย ) เมื่อผ่านคอนเดนเซอร์จะถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่มีความดันสูง คือ ขบวนการจาก 2 ไปยัง 3 ในแผนภูมิอุณหภูมิ – เอนธาลปี

### 2.4.4 ลิ้นลดความดัน ( Expention Valve )

เป็นลิ้นที่ควบคุมการไหลของสารทำความเย็น ( น้ำยาแอมโมเนีย ) ที่มีสถานะเป็นของเหลว ลิ้นลดความดันนี้จะทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็น ( น้ำยาแอมโมเนีย ) จากความดันที่มาจากคอนเดนเซอร์ที่มีอุณหภูมิสูงกลายมาเป็นสารทำความเย็น ( น้ำยาแอมโมเนีย ) สภาวะของเหลวความดันต่ำที่ทางเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์ คือ ขบวนการจาก 3 ไปยัง 4 ในแผนภูมิอุณหภูมิ – เอนธาลปี

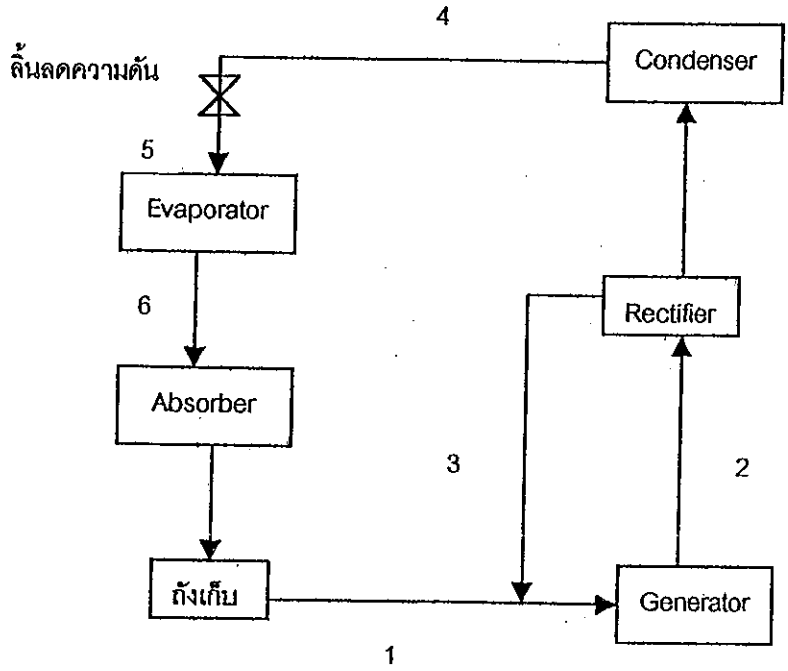
### 2.4.5 อีวาเพอโปเรเตอร์ ( Evaporater )

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ สารทำความเย็น ( น้ำยาแอมโมเนีย ) ที่มีสถานะเป็นของเหลวความดันต่ำที่ออกจากลิ้นลดความดันจะดูดรับความร้อนที่อยู่รอบ ๆ อีวาโปเรเตอร์ เมื่อดูดรับความร้อนจากรอบ ๆ แล้วสารทำความเย็นที่สถานะเป็นของเหลวความดันต่ำจะเดือดกลายเป็นไอและดูดความร้อนจากวัตถุหรือสิ่งของที่วางอยู่รอบ ๆ ตัวอีวาโปเรเตอร์นั้น และเมื่อออกจากอีวาโปเรเตอร์แล้วนั้นสารทำความเย็น ( น้ำยาแอมโมเนีย ) จะมีสถานะเป็นก๊าซ คือ กระบวนการจาก 4 ไปยัง 1 ในแผนภูมิอุณหภูมิ – เอนธาลปี

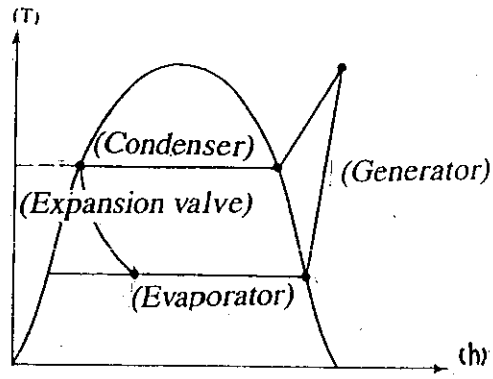
### 2.4.6 เรกติไฟเออร์ ( Rectifier )

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แยกสารละลายที่มีความเข้มข้นเจือจางออกจากไอของสารทำความเย็นที่มาจากเยนเนอเรเตอร์ สารละลายเจือจางจะไหลกลับเข่าสู่เอปซอฟเบอร์เพื่อทำทำให้เกิดกระบวนการดูดซึมสารทำความเย็นที่มาจากอีวาโปเรเตอร์ที่มีสถานะเป็นก๊าซให้เป็นสารละลายความเข้มข้นสูงต่อไป เมื่อปริมาณของสารละลาย ( น้ำ+แอมโมเนีย ) มีปริมาณลดน้อยลง

สารละลายจากถังแอปซอฟเบอร์จะไหลเข้ามาในเยนเนอเรเตอร์อีกเป็นการเริ่มวัฏจักรการทำงานใหม่ต่อไป



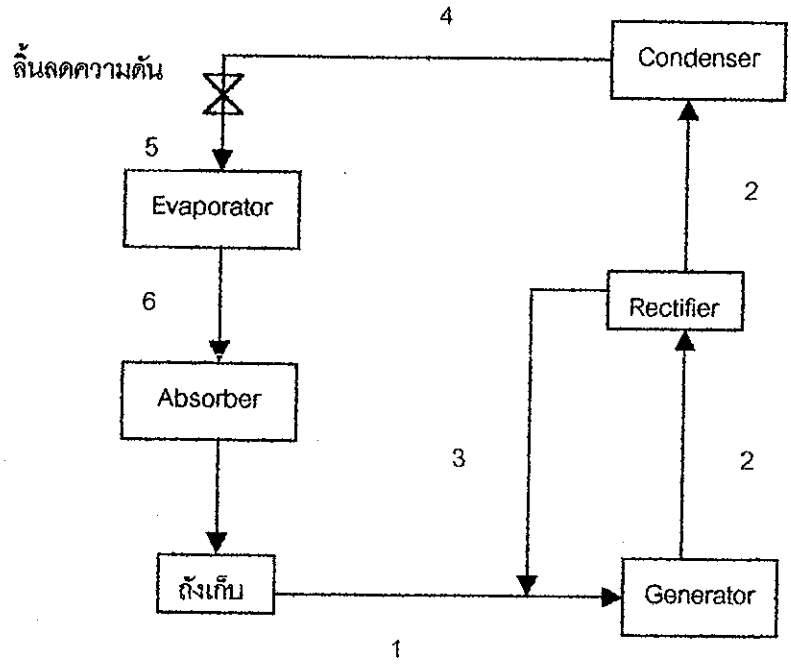

ภาพที่ 2.3 ภาพแสดงระบบทำความเย็นแบบดูดซึมที่ใช้ในโครงการวิจัย




ภาพที่ 2.4 แผนภูมิอุณหภูมิ – เอนธาลปี ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

## 2.5 การวิเคราะห์ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมในโครงการวิจัย

เมื่อทำการวิเคราะห์ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม ตามหลักการทำงานที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ 2.4 จะได้ดังนี้




ภาพที่ 2.5 แผนภาพแสดงจุดสภาวะในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมที่ใช้ในโครงการวิจัย

### 2.5.1 จุดที่ 1

เป็นจุดที่สารละลายหลังจากผ่านกระบวนการดูดซึมสารทำความเย็นที่แอปซอฟเบอร์ไหลไปยังเยนเนอเรเตอร์ สารละลายดังกล่าวมีสภาวะดังนี้

- เป็นสารละลายที่มีสภาพเป็นของเหลวที่มีความเข้มข้นสูง
- มีความดันต่ำและมีความดันเท่ากับภายในแอปซอฟเบอร์
- อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิภายในแอปซอฟเบอร์
- เอนธาลปีมีสภาพเป็นของเหลวอิ่มตัว

2.5.2 **จุดที่ 2**

เป็นจุดที่สารทำความเย็นได้รับความร้อนจากนอกระบบออกจากเยนเนอเรเตอร์ เข้าสู่คอนเดนเซอร์ ซึ่งมีสภาพดังนี้

- เป็นน้ำยาแอมโมเนียที่มีสภาพเป็นไอดง ( Superheated Ammonia )
- มีความดันสูงและมีค่าความดันเท่ากับเยนเนอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์
- อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิภายในเยนเนอเรเตอร์
- เอนธาลปีมีสภาพเป็นไอดง ( Superheated Ammonia )

2.5.3 **จุดที่ 3**

เป็นจุดที่สารละลายเรกติไฟเออร์กลับไปยังแอปซอฟเบอร์ สารละลายมีสภาพดังนี้

- เป็นสารละลายมีสภาพเป็นของเหลวเจือจาง
- มีความดันสูง และมีค่าความดันเท่ากับเยนเนอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์
- อุณหภูมิเท่ากับในเยนเนอเรเตอร์
- เอนธาลปีมีสภาพเป็นของเหลวอิ่มตัว

2.5.4 **จุดที่ 4**

เป็นจุดที่น้ำยาคอนเดนเซอร์ไปยังลิ้นลดความดัน ซึ่งมีสภาพดังนี้

- น้ำยาแอมโมเนียมีสภาพเป็นของเหลว
- ความดันสูง และมีค่าความดันเท่ากับความดันในเยนเนอเรเตอร์
- อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่ไอแอมโมเนียถ่ายเทให้กับสิ่งรอบ ๆ คอนเดนเซอร์
- เอนธาลปีมีสภาพเป็นของเหลวอิ่มตัว

### 2.5.5 จุดที่ 5

เป็นจุดที่น้ำยาแอมโมเนียไหลผ่านลิ้นลดความดันจะเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์ ซึ่งมีสภาพดังนี้

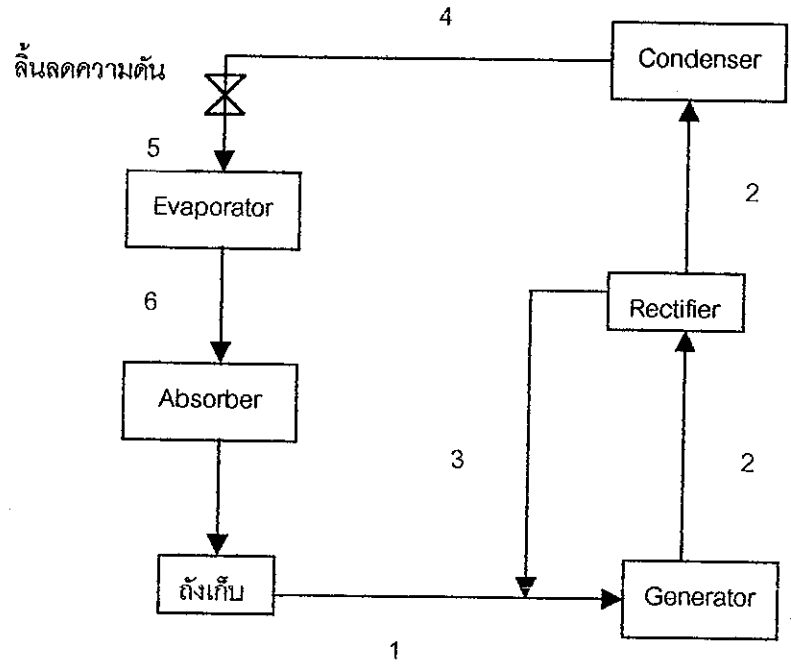
- น้ำยาแอมโมเนียมีสภาพเป็นของเหลว
- ความดันต่ำ และมีค่าความดันเท่ากับความดันในอีวาโปเรเตอร์
- อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่น้ำยาแอมโมเนียดูดรับความร้อนจากสิ่งรอบ ๆ ตัวอีวาโปเรเตอร์
- เอนธาลปีมีสภาพเป็นของเหลวอิ่มตัว

### 2.5.6 จุดที่ 6

เป็นจุดที่สารทำความเย็นออกจากอีวาโปเรเตอร์ไปยังแอปซอฟเบอร์ ซึ่งมีสภาพดังนี้

- เป็นไอแอมโมเนีย
- ความดันต่ำมีค่าความดันเท่ากับความดันภายในอีวาโปเรเตอร์
- อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิภายในอีวาโปเรเตอร์
- เอนธาลปีมีสภาพเป็นไออิ่มตัว

## 2.6 การคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม




**ภาพที่ 2.6** ภาพแสดงจุดสภาวะต่าง ๆ ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

การคำนวณวัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมใช้หลักการวิเคราะห์จุดสภาวะต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาใน ข้อที่ 2.4 มาเป็นหลักในการคำนวณนอกเหนือจากนั้นต้องมีสมมุติฐานในการคำนวณดังนี้

- อัตราการไหลของสารละลายเข้มข้นจากชุดดูดละลายไปยังชุดแยกสารละลายมีค่าคงที่
- ความร้อนที่ถ่ายเทให้สิ่งแวดล้อมอื่น ๆ มีค่าน้อยมาก
- ความดันสูญเสียที่เกิดจากแรงเสียดทานมีค่าน้อยมาก

การคำนวณวัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบ จะพิจารณาจากการกำหนดปริมาณการทำความเย็นของอีวาโปเรเตอร์ ( Evaporator ) ซึ่งในโครงการวิจัยจะกำหนดปริมาณการทำความเย็นของระบบเป็น 1 kW และกำหนดอุณหภูมิของการทำงานแต่ละส่วนดังนี้

อุณหภูมิที่ชุดทำความเย็น $T_E = 0\ ^\circ C$

อุณหภูมิที่ชุดควบแน่น $T_C = 45\ ^\circ C$

อุณหภูมิที่ชุดแยกสารละลาย $T_G = 55\ ^\circ C$

อุณหภูมิที่ชุดดูดซึม $T_A = 30\ ^\circ C$

## 2.6.1 การคำนวณหาคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ ณ สภาวะต่าง ๆ

### 2.6.1.1 การคำนวณหาความดันชุดอุปกรณ์

- พิจารณาที่ชุดทำความเย็น ให้ไอสารทำความเย็นที่สภาวะ (6) เป็นสภาวะของไออิ่มตัว( Saturated vapor ) ของแอมโมเนียดังนั้นเมื่อ $T_E = T_6$ จะได้

$$P_6 = P_{Sat@T_E}$$

โดยความดันในสภาวะ (6) จะมีค่าเท่ากับความดันในสภาวะ (1) และ (5)

เพราะฉะนั้น $P_6 = P_1 = P_5$

- พิจารณาที่ชุดควบแน่น ให้สารทำความเย็นเหลวที่สภาวะ (4) เป็นสภาวะของเหลวอิ่มตัว ( Saturated liquid ) ดังนั้น เมื่อ $T_C = T_4$ จะได้

$$P_4 = P_{Sat@T_C}$$

โดยความดันในสภาวะ (4) จะมีค่าเท่ากับความดันในสภาวะ (2) และ (4)

เพราะฉะนั้น $P_4 = P_2 = P_3$

### 2.6.1.2 การคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลาย

สภาวะอุณหภูมิและความดันที่ชุดดูดซึม $T_1 = T_A$ กับ $P_1$ จากภาพภาคผนวกที่ 1 จะได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายเข้มข้น $X_A$

สภาวะอุณหภูมิและความดันที่ชุดแยกสารละลาย $T_2 = T_G$ กับ $P_2$ จากภาพภาคผนวกที่ 1 จะได้ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในสภาพไออิ่มตัวมีความเข้มข้น $X_G$

### 2.6.1.3 การคำนวณหาค่าเอนธาลปี

สภาวะ (1) เมื่ออุณหภูมิและค่าความเข้มข้นเป็น $T_1$ และ $X_1$ ตามลำดับจากภาพภาคผนวก 2 จะได้ค่าเอนธาลปีที่สภาวะ (1) คือ $h_1$

สภาวะ (2) เมื่ออุณหภูมิและค่าความเข้มข้นเป็น $T_2$ และ $X_2$ ตามลำดับจากภาพภาคผนวก 2 จะได้ค่าเอนธาลปีที่สภาวะ (2) คือ $h_2$

ค่าเอนธาลปีที่สภาวะ (3), (4), (5) และ (6) จะได้จากตารางภาคผนวกที่5และ6

$$h_3 = h_{T_3,P_3}$$

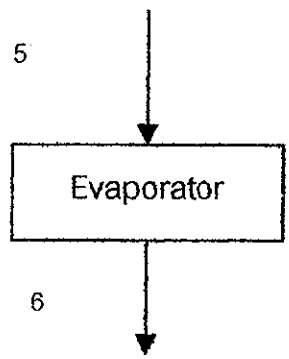
$$h_4 = h_{T_4,P_4}$$

$$h_4 = h_5$$

$$h_6 = h_{g,T_E}$$

### 2.6.1.4 การคำนวณอัตราการไหล

**พิจารณาชุดทำความเย็น**




**ภาพที่ 2.7** แผนภาพแสดงชุดดูดซึม

จากสมการสมดุลพลังงาน

$$Q_E + m_5 * h_5 = m_6 * h_6 \qquad (2.1)$$

สมการสมดุลมวล

$$m_5 = m_6 \qquad (2.2)$$

จากสมการ 2.1 และ 2.2 จะหาอัตราการไหลของสารทำความเย็นที่สภาวะ (5) ได้คือ

$$Q_E + m_5 * h_5 = m_6 * h_6$$

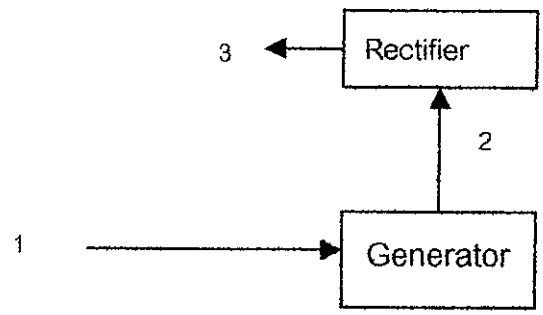
จะได้

$$m_5 = \frac{Q_E}{h_6 - h_5}$$

อัตราการไหลของสภาวะ (5) นี้ จะมีค่าเท่ากับอัตราการไหลที่สภาวะ (4) , (6) และ (2)

$$m_5 = m_6 = m_4 = m_2$$

**พิจารณาชุดแยกสารละลาย**




**ภาพที่ 2.8** แผนภาพแสดงชุดแยกสารละลาย

เนื่องจากชุดแยกสารละลายมี Rectifier ทำหน้าที่แยกน้ำหรือสารละลายเจือจางออกจากไอของสารทำความเย็น

จากสมมุติฐานที่ว่าอัตราการไหลของสารละลายเข้มข้นจากชุดดูดละลายไปยังชุดแยกสารละลายมีค่าคงที่จะได้ว่า

$$m_1 = m_2 + m_3$$

หรือ

$$m_{สารละลาย} = m_{ไอทำความเย็น} + m_{สารละลายเจือจาง}$$

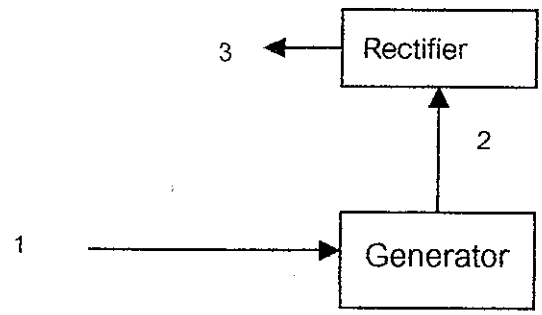
( เนื่องจากสารมีมวลคงที่ที่สภาวะต่างกันในระบบปิด )

จะได้ $m_2$ จาก $m_1 * x_2$ และ $m_2 = m_4$

และจะได้ $m_3 = m_1 - m_2$

## 2.6.2 สมการสมดุลพื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์

### 2.6.2.1 ชุดแยกสารละลาย ( Generator )




**ภาพที่ 2.9** แผนภาพแสดงชุดแยกสารละลาย

โดยที่ชุดแยกสารละลายรวมกับ Rectifier ทำหน้าที่แยกส่วนที่เป็นสารละลายที่เป็นของเหลวออกจากสภาวะที่ 2 ซึ่งเป็นไอของสารละลาย

สมการสมดุลพลังงาน

$$Q_G + m_1 * h_1 = m_2 * h_2 + m_3 * m_3 \qquad (2.3)$$

QB
539
.E4
ม536ก
2544
ค.1

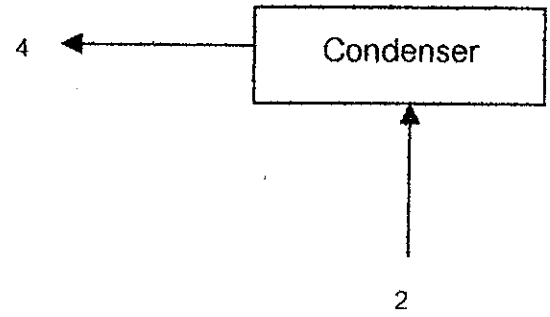
28 มิ.ค. 2543
4340083

สำนักหอสมุด

สมการสมดุลมวล

$$m_1 * x_1 = m_2 * x_2 + m_3 * x_3 \qquad (2.4)$$

### 2.6.2.2 ชุดควบแน่น ( Condenser )




<u>ภาพที่ 2.10</u> แผนภาพแสดงชุดควบแน่น

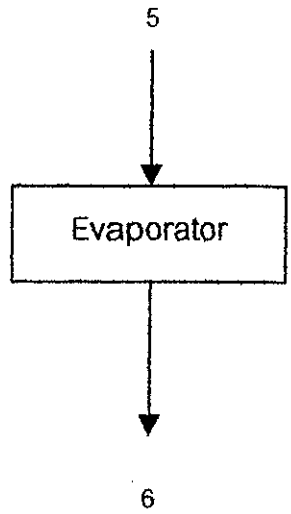
สมการสมดุลพลังงาน

$$Q_c + m_4 * h_4 = m_2 * h_2 \qquad (2.5)$$

สมการสมดุลมวล

$$m_2 = m_4 \qquad (2.6)$$

### 2.5.2.3 ชุดทำความเย็น ( Evaporator )




**ภาพที่ 2.11** แผนภาพแสดงชุดทำความเย็น

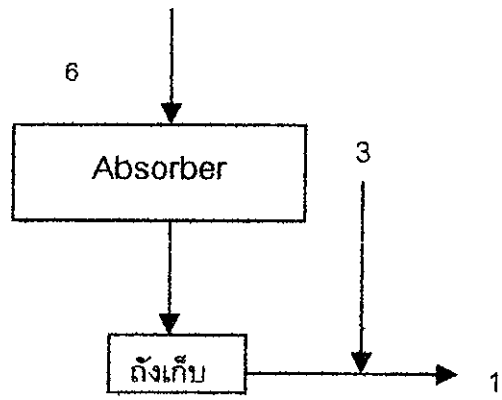
สมการสมดุลพลังงาน

$$Q_c + m_5 * h_5 = m_6 * h_6 \qquad (2.7)$$

สมการสมดุลมวล

$$m_5 = m_6 \qquad (2.8)$$

### 2.5.2.4 ชุดดูดซึม ( Absorber )




**ภาพที่ 2.12** แผนภาพแสดงชุดดูดซึม

ซึ่งชุดดูดซึมรวมถังเก็บสารละลายเข้าไว้ด้วย

สมการสมดุลพลังงาน

$$Q_A + m_1 * h_1 = m_3 * h_3 + m_6 * m_6 \qquad (2.9)$$

สมการสมดุลมวล

$$m_1 * x_1 = m_3 * x_3 + m_6 * h_6 \qquad (2.10)$$

เนื่องจาก ค่าความเข้มข้นไอของแอมโมเนียมีเปอร์เซนต์ความเข้มข้นสูง จึงสามารถคิดเป็น"แอมโมเนียบริสุทธิ์ได้ ค่า $x_G$ จึงไม่นำมาคิดในสมการสมดุลมวล แต่ใช้คิดในสมการหาอัตราการไหล

### 2.6.3 การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทของแต่ละอุปกรณ์

#### 2.6.3.1 ชุดแยกสารละลาย ( Generator )

จากสมการที่ 2.3

$$Q_G + m_1 * h_1 = m_2 * h_2 + m_3 * h_3$$

จะได้ว่า

$$Q_G = m_2 * h_2 + m_3 * h_3 - m_1 * h_1$$

#### 2.6.3.2 ชุดควบแน่น ( Condenser )

จากสมการที่ 2.5

$$Q_C + m_4 * h_4 = m_2 * h_2$$

จะได้ว่า

$$Q_C = m_2 * h_2 - m_4 * h_4$$

### 2.6.3.3 ชุดทำความเย็น ( Evaporator )

$Q_E$ = 1 KW = 3413 BTU/hr

### 2.6.3.4 ชุดดูดซึม ( Absorber )

จากสมการที่ 2.9

$$Q_A + m_1 * h_1 = m_3 * h_3 + m_6 * m_6$$

จะได้ว่า

$$Q_A = m_3 * h_3 + m_6 * h_6 - m_1 * h_1$$

สมดุลพลังงานทั้งหมดของระบบ คือ

| | Gain ( BTU/hr ) | Loss ( BTU/hr ) |
|---|---|---|
| Generator | $Q_G$ | |
| Condenser | | $Q_C$ |
| Evaporator | $Q_E$ | |
| Absorber | | $Q_A$ |
| | รวม Gain | รวม Loss |

**ตารางที่ 2.1** สมดุลพลังงานของระบบที่ออกแบบ

## 2.7 การออกแบบอุปกรณ์ของระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

### 2.7.1 ชุดแยกสารละลาย (Generator)

เป็นชุดแยกสารละลายเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม โดยทำหน้าที่แยกสารทำความเย็นออกจากสารละลาย ซึ่งในระบบที่ออกแบบนี้ ชุดแยกสารละลายจะทำหน้าที่แยกแอมโมเนียซึ่งเป็นสารทำความเย็น ออกจากสารละลายแอมโมเนีย-น้ำ

หลักการทำงานของชุด GERNERATER จะได้รับความร้อนจากแหล่งพลังงานภายนอกระบบที่หาได้ง่ายและมีการให้พลังงานความร้อนที่เพียงพอเพื่อแยกสารทำความเย็นออกจากสารละลาย ในที่นี้เราใช้ พลังงานความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนของน้ำร้อนที่ได้มาจากแผงทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ หรือจากน้ำร้อนที่เหลือจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันไอน้ำ,น้ำร้อนที่เหลือจากการต้มของเตาเผาขยะ เพื่อใช้แทนพลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นจากสภาวะแวดล้อมดังกล่าวนี้ทำให้เราต้องพิจารณาถึง ขั้นตอนของ HEAT TRANSFER

สารละลายที่เข้มข้นที่มาจากชุดดูดละลาย(Absorber) เมื่อได้รับความร้อนจากน้ำร้อนแล้วอุณหภูมิจะสูงขึ้น จนถึงจุดอิ่มตัว และสารทำความเย็นก็จะระเหยแยกออกไปยังชุดควบแน่น(CONDENSER)

ในการออกแบบชุดแยกสารละลายนี้การคำนวณนั้นอ้างอิงกับหลักการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีหลายแบบ การจำแนกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำโดยอาศัยทิศทางการเคลื่อนที่ของของไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นหลัก แบบออกเป็น 3 แบบคือ

**แบบท่อสองชั้น (concentric tube)**

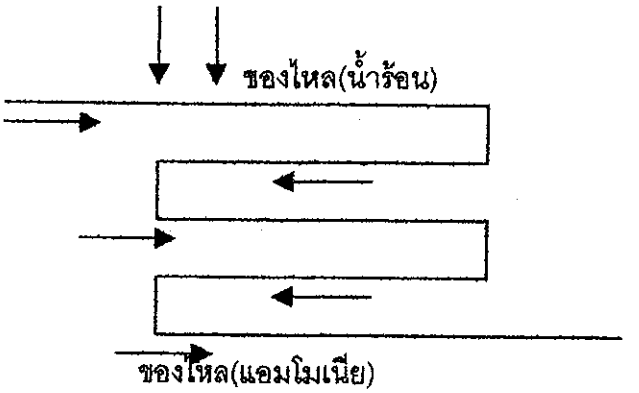
ชนิดท่อสองชั้น (concentric tube ) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้อยู่ในลักษณะของท่อสองท่อสวมเข้าด้วยกัน

**แบบเชลล์และ ท่อ (shell and tube )**

แบบเชลล์และแบบท่อ(shell and tube ) ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ของไหลอย่างหนึ่งจะอยู่ในเชลล์ และอีกอย่างหนึ่งจะอยู่ในท่อ

**แบบที่ของไหลมีทิศทางตั้งฉากกัน (cross flow)**

ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ ของไหลจะไหลในทิศทางตั้งฉากต่อกัน ที่ทางเราออกแบบในการสร้างอยู่ในลักษณะของไหลไหลหลายเที่ยวดังภาพที่ 2.13




<u>ภาพที่ 2.13</u> แผนภาพแสดงการไหลของสารแลกเปลี่ยนความร้อน

การคำนวณออกแบบพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน เราใช้สมการดังนี้

$$Q = U\ A\ (\Delta T)_m \qquad (2.11)$$

หรือ $Q = m_c\ h_c\ (\Delta T)_c = m_h\ h_h\ (\Delta T)_h$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน สำหรับการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทรงกระบอกชั้นเดียว ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนซึ่งขึ้นกับพื้นที่ภายในท่อ จะเขียนได้จากสมการ ดังนี้คือ

$$U_i = \left[\frac{1}{h_i} + \frac{\ln[r_2/r_1]}{k/r_1} + \frac{1}{h_o\, r_2/r_1}\right]^{-1} \qquad (2.12)$$

โดยที่ $r_2 - r_1$ คือ ความหนาของผนัง

$h_i, h_o$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

$k_1$ คือ ค่าการนำความร้อน หาได้จากตารางภาคผนวกที่ 7

$$h_i = 0.023\left[\frac{m*4}{\rho d_i \mu}\right]^{0.8}\left[\frac{c_p \mu}{k}\right]^{0.4}\left[\frac{k}{d}\right] \qquad (2.13)$$

(Number of Transfer Unit-NTU)

$$\frac{\bar{h}L}{k} = 0.72\left[\frac{\rho^2 g h_{fg} d^3}{k * T \mu}\right]^{1/4} \qquad (2.14)$$

NTU คือ อัตราส่วนระหว่างผลคูณของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (overall coefficient of heat transfer – U) และพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (surface area –A) ต่อผลคูณของอัตราการไหล (m) และความร้อนจำเพาะ (c) ที่มีค่าน้อยกว่า

$$\text{NTU} = \frac{\text{UA}}{\text{mc}_{\text{min}}}$$

ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหล (Effective Mean Temperature Difference) (EMTD) ของการไหลแบบตั้งฉากจะต้องเป็นดังสมการ

$$(\Delta T)_{mc} = F(\Delta T)_m \qquad (2.15)$$

โดยค่า $(\Delta T)_m$ เป็นสมการพื้นฐาน (EMTD)ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไหลสวนทางกันเพียงครั้งเดียว

$$(\Delta T)_m = \frac{(\Delta T)_{max} - (\Delta T)_{min}}{\ln\left[\frac{(\Delta T)_{max}}{(\Delta T)_{min}}\right]} \qquad (2.16)$$

และ

ค่าของ F คือค่า (correction factor )แฟคเตอร์แก้ ที่หาค่าได้จากภาพภาคผนวกที่ 8

ดังสมการข้างต้นเราจะได้

$$A_{compute} = \frac{Qg}{U(\Delta T)_{mc}}$$

เมื่อ $A_{design} = \pi * d_o * L * N$

จากนั้นเปรียบเทียบค่า $A_{design}$ กับ $A_{compute}$

โดยการคำนวณต้องมีค่า $A_{design} > A_{compute}$ จึงใช้ได้

## 2.7.2 คอนเดนเซอร์ (Condenser)

คอนเดนเซอร์เป็นอุปกรณ์ควบแน่นโดยทำหน้าที่ทำให้สารทำความเย็นในสภานะแก๊สที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงที่ถูกส่งตัวจากเจนเนอเรเตอร์ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึมเพื่อกลั่นตัวด้วยการระบายความร้อน

ชนิดโดยทั่วไปของคอนเดนเซอร์ แบ่งออกเป็น 3ชนิด

1.ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (air-cooled)

2.ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ(water-cooled)

3.ชนิดอีวาพอเรตีฟ(evaporative)

ในการออกแแบบคอนเดนเซอร์ในระบบแบบดูดซึมวิ่งเป็นต้นแบบเครื่องทำความเย็นต่อไปเราจึงออกแบบเพื่องายในการบำรุงรักษาทำความสะอาดง่ายและไม่ใช่พลังงานจากไฟฟ้า จึงออกแบบเป็นคอนเดนเซอร์ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ อากาศจะเป็นตัวกลางในการระบายความร้อนที่เป็นท่อเหล็ก (Steel tubing) ตามคุณสมบัติไม่ให้มีการกัดกร่อน และมีครีบ(fin)เป็นตัวช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการระบาย ความออกจากน้ำยาในคอนเดนเซอร์แบบใช้อากาศหมุนเวียนพาความร้อนออกโดยธรรมชาติ เป็นการแทนที่ของอากาศโดยรอบที่อุณหภูมิสูงกว่าลอยตัวขึ้นอากาศเย็นเข้ามาแทนที่การเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนด้วย (finned tubing)จึงต้องคำนวณให้เหมาะสมในการหมุนเวียนของอากาศ ตามหลักของ heat transfer

## การคำนวณในการออกแบบคอนเดนเซอร์

พิจารณาความต้องการในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ต้องการภายในระบบโดยการกำหนดอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ต้องการเปรียบเทียบกับอัตราแลกเปลี่ยนความร้อนของแบบที่ออกแบบไว้โดยมีค่าความ เผื่อที่ 2 องศาเซลเซียส

ชนิดของครีบ

ครีบแบ่งได้ตามลักษณะและรูปร่าง

ครีบแบ่งออกตามลักษณะรูปตัดได้ดังนี้

1) ครีบที่มีหน้าตัดสม่ำเสมอ (Fin of uniform cross section)ดังแสดงในรูปในภาพภาคผนวกที่ 9 (ครีบแท่ง หรือ bar fin) และรูปที่ ครีบรูปเข็มหมด หรือ pin fin)

(2) ครีบที่มีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ (Fin of non-uniform cross section ) ดังแสดงในภาพภาคผนวกที่ 9

**<u>สมการครีบ</u>**

สมการของครีบเป็นสมการดิฟเฟอร์เรนเชียล ซึ่งได้จากการพิจารณาความสมดุลของความร้อนบนครีบที่กระจายไปตามความยาวของครีบจากฐานครีบ

จากสมการของโฟริเออร์ สมการนำความร้อน

$$Q = -kA\left[\frac{dT}{dx}\right]$$

อัตราการระบายความร้อนของครีบ

$$Q = mkA\theta_0 \tanh ml$$

ประสิทธิภาพของครีบ (Fin Efficiency)ของครีบแท่ง

$$\eta_F = \frac{tanh(ml)}{ml} \tag{2.17}$$

หาค่าของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังซึ่งติดครีบเพื่อทำให้อุปกรณ์คอนเดนเซอร์มีขนาดกระทัดรัดขึ้น จึงมีการติดครีบบนผนังเพื่อเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน จึงควรมีการศึกษาผลกระทบของครีบต่อประสิทธิ์ภาพการถ่ายเทความร้อนของผนัง พิจารณารูปที่ภาพภาคผนวกที่ 9 ซึ่งแสดงผิวของผนังเมื่อติดครีบ โดยที่ $A_i$ เป็นพื้นที่ด้านใน ซึ่งมีอุณหภูมิ $T_{wi}$ , $A_o$ เป็นพื้นที่ด้านนอกของท่อไม่รวมส่วนที่ครีบทับอยู่และมีอุณหภูมิ $T_{wo}$ $A_F$ เป็นพื้นที่ผิวของครีบซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย $T_{Fm}$ อุณหภูมิอากาศด้านในและด้านนอกมีค่า $T_i$ และ $T_o$ตามลำดับ

ครีบแท่งการคำนวณค่าของ

$$m = \sqrt{\frac{2h}{kt}} \tag{2.18}$$

พิจารณาที่ขดท่อของคอนเดนเซอร์

แบบที่ของไหลมีทิศทางตั้งฉากกัน (cross flow)

ในการแลกเปลี่ยนถ่ายเทความร้อนที่ของเหลวไหลตั้งฉากกัน ที่เป็นของไหลสองเที่ยว (double pass)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

$$U = \left[\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o\left[\left[A_o/A_i\right] + \eta_F\left[A_F/A_i\right]\right]}\right]^{-1} \tag{2.19}$$

โดยที่ $A_i$ คือพื้นที่ผิวภายในต่อหน่วยความยาวของท่อ

$A_o$ คือพื้นที่ผิวภายนอกต่อหน่วยความยาวของท่อ (ไม่รวมส่วนที่เป็นครีบ)

$A_F$ คือพื้นที่ผิวของครีบต่อหน่วยความยาวของท่อ

$\eta_F$ คือประสิทธิ์ภาพของครีบ

ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหล (Effective Mean Temperature Difference) (EMTD)

$$(\Delta T)_m = \frac{(\Delta T)_{max} - (\Delta T)_{min}}{ln\left[\frac{(\Delta T)_{max}}{(\Delta T)_{min}}\right]}$$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน $h_i$

$$h_i = 0.023\left[\frac{m * 4}{\rho\, d_i \mu}\right]^{0.8}\left[\frac{c_p \mu}{k}\right]^{0.4}\left[\frac{k}{d}\right] \qquad (2.20)$$

$$h_o = B'\left[\frac{\Delta T}{C}\right]^{0.25} \qquad (2.21)$$

$$Q = U\, A\, (\Delta T)_m$$

บทสรุปที่จะพิสูตรได้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากคอนเดนเซอร์ที่ออกแบบนั้นมีความเหมาะสมและถูกต้องกับความต้องการเผื่อการออกแบบ เราต้องเปรียบเทียบ ถึงอัตราการถ่ายเทความร้อนเป็นเปอร์เซนต์ และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ดั้งนี้ $\eta$ ที่ดีไซด์มีค่า>>>>> 1

U ที่ดีไซด์ต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อน $\geq$ Qของคอนเดนเซอร์

## 2.7.3 ชุดทำความเย็น (Evaporator)

ชุดทำความเย็น เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อน โดยสารทำความเย็นจะดึงความร้อนจากสารที่ต้องการทำให้เย็น หรือดึงความร้อนภายในระบบการทำความเย็น ซึ่งสามารถทำความเย็นจากการระเหยกลายเป็นไอของสารทำความเย็น

ชุดทำความเย็นนี้ จะรับสารทำความเย็นจากวาล์วลดความดัน และจะส่งไอสารทำความเย็นไปยังชุดทำความเย็น

ลักษณะการทำงานของชุดทำความเย็น มี 2 แบบ คือ

1. แบบแห้ง ( Dry type )

แบบนี้จะมีการควบคุมการไหลของสารทำความเย็นให้ไหล ในปริมาณใดปริมาณหนึ่ง เมื่อสารทำความเย็นไหลผ่านชุดทำความเย็น จะถูกทำให้ระเหยเป็นไอไปหมด ดังนั้นจำนวนสารทำความเย็นในชุดทำความเย็นแบบนี้ จะมีปริมาณเพียงแค่ความร้อนที่ต้องการถ่ายเทออกเท่านั้น

2. แบบเปียก (Flooded type)

สารทำความเย็นจะบรรจุในถังที่มีระดับคงที่ ผิวภายในจะมีสารทำความเย็นเหลวอยู่เสมอในแบบนี้สารทำความเย็นในตัวระเหยจะกลายเป็นไอเพียงบางส่วน

ในการออกแบบนี้เลือกใช้แบบเปียก เนื่องจาก ระบบทำความเย็นโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การควบคุมสารทำความเย็นเพื่อระเหยหมดในชุดทำความเย็นตามแบบแห้งนั้นกระทำได้อยากกว่าแบบเปียก

โดยมีลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนตามธรรมชาติ (Free Convection Outside Tube )และอาศัยพื้นฐานของการไหลของความร้อน ที่ความเย็นจะมีแรงหรือน้ำหนักที่ทิ้งตัวตามแรงดึงดูดของโลกแทนที่ความร้อนที่มีน้ำหนักเบากว่ามาแลกเปลี่ยนความร้อน ณ ชุด ทำความเย็น

หลักการคำนวณก็จะมีลักษณะเดียวกันกับชุดแลกเปลี่ยนความร้อน คือ

การคำนวณออกแบบพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน เราใช้สมการดังนี้

$$Q = U\ A\ (\Delta T)_m$$

หรือ $Q = m_c h_c (\Delta T)_c = m_h h_h (\Delta T)_h$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน สำหรับการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทรงกระบอกชั้นเดียว ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนซึ่งขึ้นกับพื้นที่ภายในท่อ จะเขียนได้จากสมการ ดังนี้คือ

$$U_i = \left[\frac{1}{h_i} + \frac{ln[r_2/r_1]}{k_i/r_1} + \frac{1}{h_o r_o/r_i}\right]^{-1}$$

โดยที่ $r_2 - r_1$ คือ ความหนาของผนัง

$h_i, h_o$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

$k_1$ คือ ค่าการนำความร้อน หาได้จากภาพภาคผนวกที่ 7

$$\frac{\bar{h} d_i}{k_i} = 0.0082\left[\left[\frac{Gd_i}{\mu_i}\right]^2\left[\frac{\Delta x h_{fg}}{gL}\right]\right]^{0.4} \qquad (2.22)$$

$$10^9 < \left[\frac{Gd_i}{\mu_i}\right]^2\left[\frac{\Delta x h_{fg}}{gL}\right] < 7*10^{12}$$

ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหล (Effective Mean Temperature Difference) (EMTD) ของการไหลแบบตั้งฉากจะต้องเป็นดังสมการ

$$(\Delta T)_m = \frac{(\Delta T)_{max} - (\Delta T)_{min}}{\ln\left[\frac{(\Delta T)_{max}}{(\Delta T)_{min}}\right]}$$

สำหรับการหาค่าการพาความร้อนโดยธรรมชาติในท่อกลม คือสมการของDittus-Boetler ให้ไว้ในสมการ Ozisik ที่ใช้ในกรณีที่ความแตกต่างของอุณหภูมิมีค่าสูง และตัวเลขแพรนเติลมีค่ามากขึ้น ดังสมการนี้

$$\overline{N}_U = 0.027 R_e^{0.8} P_r^{1/3} \left[\mu_m / \mu_w\right]^{0.14}$$

โดยที่

$$\overline{N}_U = \frac{\overline{h} d}{k}$$

$\overline{h}$

คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

### 2.7.4 ชุดดูดซึม (Absorber)

ชุดดูดละลายก็เปรียบเสมือนเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)อีกตัวหนึ่งที่ทำหน้าที่ผสมผสานสารละลายที่เจือจางที่ได้จากชุดแยกสารละลาย กับไอสารทำความเย็นที่มาจากชุดทำความเย็น (Evaporator) เพื่อให้ได้สารละลายเข้มข้นก่อนส่งไปยังชุดแยกสารละลาย (Generator) อีกครั้งหนึ่งเพื่อครบวงจรการทำความเย็น

ในการออกแบบชุดดูด ซึ่งนอกจากจำเป็นในการออกแบบชุดดูดละลายที่สามารถระบายความร้อนได้เร็วแล้ว ความแตกต่างของความดันภายในชุดดูดละลายต้องมีค่าน้อยเพราะความดันของชุดทำความเย็นแปรผันโดยตรงกับชุดดูดละลาย ดังนั้น ชุดดูดละลายจะต้องคงค่าความดันไม่ให้สูงเกินไป ถ้าเกิดความแตกต่างของความดันมีค่ามาก ความดันของชุดดูดละลายจะมีค่าสูงขึ้นเป็นผลให้อุณหภูมิในชุดทำความเย็นสูงขึ้นตามด้วย

สำหรับการหาค่าการพาความร้อนโดยธรรมชาติในท่อกลม คือสมการของDittus-Boetler ให้ไว้ในสมการ Ozisik ที่ใช้ในกรณีที่ความแตกต่างของอุณหภูมิมีค่าสูง และตัวเลขแพรนเติลมีค่ามากขึ้น ดังสมการนี้

$$\overline{N}_U = 0.027 R_e^{0.8} P_r^{1/3} \left[\mu_m / \mu_w\right]^{0.14}$$

โดยที่

$$\overline{N}_U = \frac{\overline{h} d}{k}$$

$\overline{h}$

คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

$$R_e = \frac{Vd\rho}{\mu}$$

$$P_r = \frac{\mu c_p}{k}$$