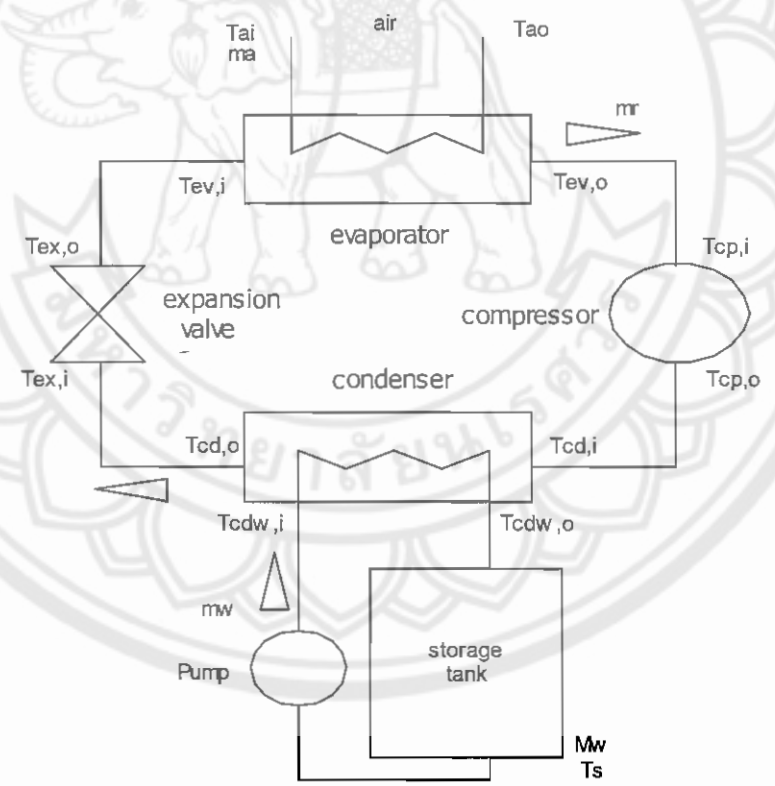
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าได้สูงขึ้นกว่าอดีตที่ผ่านมามาก ส่งผลให้ปริมาณเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าลดน้อยลงตามลำดับ ดังนั้นการประหยัดพลังงานหรืออีกนัยหนึ่งคือ การใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหา

ระบบปรับอากาศเป็นระบบหนึ่งที่ใช้ไฟฟ้าสูงมาก โดยพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งถูกปล่อยทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์จากคอนเดนเซอร์ ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขึ้นมา เพื่อดึงเอาความร้อนที่สูญเสียไปกลับมาใช้ประโยชน์ โดยมีหลักการทำงานพื้นฐานดังรูป 1.1 ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการดังต่อไปนี้



รูป 1.1 วงจรการทำงานพื้นฐานของระบบผลิตน้ำร้อนจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

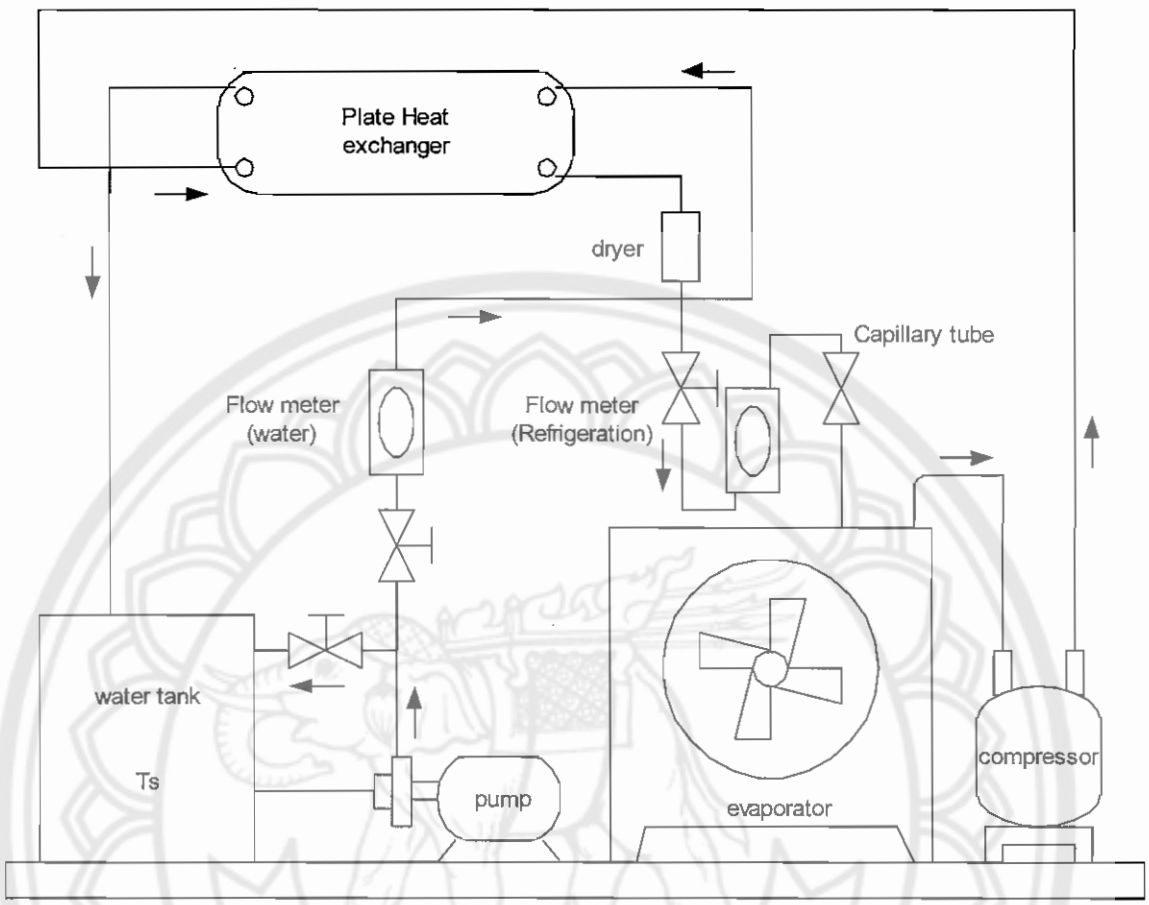
- กระบวนการปรับอากาศ กระบวนการนี้ระบบทำความเย็นจะประกอบไปด้วย คอมเพรสเซอร์ (Compressor), อีวาปอเรเตอร์(Evaporator), วาล์วขยายตัว(Expansion Valve), และ คอนเดนเซอร์ (Condenser) ซึ่งเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเพลท(Plate Heat Exchanger) เมื่อเดินเครื่อง ระบบปรับอากาศจะทำงานปกติโดยอีวาปอเรเตอร์จะดึงความร้อน จากอากาศและคายความร้อนทิ้งที่คอนเดนเซอร์

- กระบวนการผลิตน้ำร้อน กระบวนการนี้จะดำเนินควบคู่ไปกับกระบวนการปรับอากาศ โดยการเดินปั๊ม(Pump)น้ำจะไหลเวียนเข้าไปในคอนเดนเซอร์เพื่อระบายความร้อนและไหลกลับเข้าสู่ถังเก็บ กระบวนการนี้จะดำเนินเป็นวัฏจักรไปเรื่อยๆ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น

จากระบบดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการนำระบบผลิตน้ำร้อนจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมาใช้ประโยชน์ จะช่วยดึงพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกลับมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานอีกวิธีหนึ่ง อย่างไรก็ตามระบบผลิตน้ำร้อนจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน อาจส่งผลต่อสมรรถนะของระบบปรับอากาศได้ ในกรณีที่อุณหภูมิของน้ำที่มาระบายความร้อนเพิ่มสูงขึ้น

จากหลักการดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ โดยจะศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของระบบดังกล่าวและจะทำการสร้างแบบจำลอง(Model) ของอุปกรณ์หลักแต่ละตัวเพื่อนำไปสู่การจำลองสถานการณ์ของระบบ (System Simulation) ตลอดจนการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ จากแบบจำลองและผลการทดลอง

หลักการทำงานของระบบที่จะศึกษานี้มีวงจรการทำงานอย่างง่ายดังรูป 1.2 โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 วงจรดังนี้



รูป 1.2 วงจรการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

1.1.1 วงจรผลิตน้ำร้อน

วงจรผลิตน้ำร้อนมีวัฏจักรการทำงานเริ่มจาก การปั๊มน้ำจากถังเก็บไประบายความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์โดยสารทำความเย็น(R134a)ซึ่งมีอุณหภูมิสูง จะแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นและไหลกลับเข้าไปสู่ถังเก็บ

1.1.2 วงจรปรับอากาศ

วงจรปรับอากาศจะทำงานไปพร้อมๆกับวงจรผลิตน้ำร้อน โดยคอมเพรสเซอร์จะอัดสารทำความเย็นทำให้สารทำความเย็นมีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นและถูกส่งต่อไปควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ โดยคอนเดนเซอร์เป็นแบบเพลท(Plate Heat Exchanger) จากนั้นสารทำความเย็นในเฟสของเหลวจะไหลผ่านท่อแคปปิลารีเพื่อลดความดันและอุณหภูมิลง และไหลเข้าสู่อีวาปอเรเตอร์ เพื่อดึงความร้อนออกจากอากาศ หลังจากนั้นจะไหลไปยังคอมเพรสเซอร์จนครบวัฏจักรการทำงาน

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากโครงการวิจัยนี้จะทำการสร้างโมเดลของอุปกรณ์ของระบบแต่ละชนิด ตลอดจนนำโมเดลเหล่านั้นมาจำลองสภาพการทำงานของระบบ ดังนั้นในที่นี้จะขอกล่าวสาระสำคัญของเอกสารที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1.2.1 กลุ่มที่ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองของอุปกรณ์

Stoecker [1] ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องจักรกลแบบเพลาหมุน เช่น พัดลม, คอมเพรสเซอร์ และปั๊ม ในรูปของเทอมไร้มิติดังนี้

$$\frac{P_o}{P_i} = f[\frac{m(C_pT_i)^{0.5}}{D^2P_i}, \frac{ND}{(C_pT_i)^{0.5}}] \qquad [1.1]$$

โดยที่ P_i = ความดันขาเข้าเครื่องจักรแบบเพลาหมุน (kPa)

P_o = ความดันขาออกจากเครื่องจักรแบบเพลาหมุน (kPa)

m = อัตราการไหลโดยมวล (kg/s)

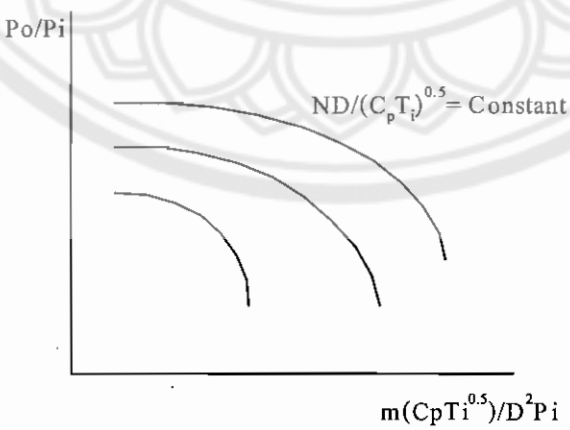
C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของของไหล (kJ/kg.K)

T_i = อุณหภูมิของไหลขาเข้าเครื่องจักรแบบเพลาหมุน ($^\circ$C)

N = ความเร็วรอบของเครื่องจักร (rps)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของวงล้อ (m)

โดยความสัมพันธ์ของเทอมไร้มิติดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูป 1.3



รูป 1.3 แสดงความสัมพันธ์ของเทอมไร้มิติของ Stoecker

Kiatsiriroat et al. [2] ได้ทำการจำลองแบบของอุปกรณ์หลัก 3 ตัวคือ คอมเพรสเซอร์, คอนเดนเซอร์ และอีวาปอเรเตอร์ ในวงจรความเย็นแบบอัดไอคอมเพรสเซอร์เป็นแบบลูกสูบชัก (Reciprocating Compressor) และได้ดัดแปลงแบบจำลองมาจาก **Stoecker** [1] ได้หาความสัมพันธ์ของความดันขาออกและความดันขาเข้าที่คอมเพรสเซอร์ ซึ่งมีผลมาจากชุดตัวแปร 2 ชุด ดังนี้

$$\frac{P_{cp,o}}{P_{cp,i}} = f[\frac{m_r T_{cp,i}^{0.5}}{P_{cp,i}}, N] \qquad [1.2]$$

$$\frac{P_{cp,i}}{P_{cp,o}} f[\frac{m_r T_{cp,o}^{0.5}}{P_{cp,o}}, N] \qquad [1.3]$$

โดยที่ $P_{cp,i}$ = ความดันขาเข้าคอมเพรสเซอร์ (bar)

$P_{cp,o}$ = ความดันขาออกจากคอมเพรสเซอร์ (bar)

$T_{cp,i}$ = อุณหภูมิสารทำความเย็นขาเข้าคอมเพรสเซอร์ ($^{\circ}$C)

$T_{cp,o}$ = อุณหภูมิสารทำความเย็นขาออกคอมเพรสเซอร์ ($^{\circ}$C)

N = ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ (rps)

m_r = อัตราการไหลโดยมวลของสารทำความเย็น (g/s)

และได้จำลองแบบของคอมเพรสเซอร์ คือ

$$\frac{P_{cp,o}}{P_{cp,i}} = (8.86 + 2.53N - 0.16N^2) + 100(-8.475 + 0.979N - 0.0326N^2)\frac{m_r T_{cp,i}^{0.5}}{P_{cp,i}} \qquad [1.4]$$

$$\frac{P_{cp,i}}{P_{cp,o}} = (0.1236 - 0.0196N - 0.00138N^2) + (45.4 - 5.16N + 0.1675N^2)\frac{m_r T_{cp,o}^{0.5}}{P_{cp,o}} \qquad [1.5]$$

คอนเดนเซอร์ เป็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยได้หาความสัมพันธ์ของตัวแปรไร้มิติ 2 ชุด ดังนี้

$$\frac{(T_{w,o} - T_{w,i})}{(T_{cd,i} - T_{w,i})} = f[\frac{(UA)_{cd}}{m_w C_{pw}}] \qquad [1.6]$$

และได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\frac{(T_{w,o}-T_{w,i})}{(T_{cd,i}-T_{w,i})} = -0.0643 + 0.581\frac{(UA)_{cd}}{(m_w C_{pw})} \qquad [1.7]$$

โดยที่ $T_{w,i}$ = อุณหภูมิของน้ำขาเข้าคอนเดนเซอร์ ($^{\circ}$C)

$T_{w,o}$ = อุณหภูมิของน้ำขาออกจากคอนเดนเซอร์ ($^{\circ}$C)

$T_{cd,i}$ = อุณหภูมิของสารทำความเย็นขาเข้าคอนเดนเซอร์ ($^{\circ}$C)

$(UA)_{cd}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของคอนเดนเซอร์ (kW/K)

m_w = อัตราการไหลโดยมวลของน้ำ (kg/s)

C_{pw} = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg.K)

อีวาปอเรเตอร์ ได้นำเอาอีวาปอเรเตอร์ไปแช่ในสารละลายระหว่าง น้ำและ Glycol โดยมีเครื่องทำความร้อนไฟฟ้า (Electric Heater) แช่ในสารผสมทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของสารละลาย (T_{sol}) ให้คงที่ และได้หาความสัมพันธ์ของฟังก์ชั่นดังต่อไปนี้

$$\frac{T_{cv}}{(T_{sol}-T_{ev})} = f[\frac{(UA)_{ev}}{m_r}, T_{cd}] \qquad [1.8]$$

โดยที่ T_{ev} = อุณหภูมิของอีวาปอเรเตอร์(°C)

T_{cd} = อุณหภูมิของคอนเดนเซอร์(°C)

T_{sol} = อุณหภูมิของสารละลายระหว่าง น้ำและ Glycol (°C)

$(UA)_{ev}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอีวาปอเรเตอร์ (kW/K)

m_r = อัตราการไหลโดยมวลของสารทำความเย็น (g/s)

และได้แบบจำลองของอีวาปอเรเตอร์ คือ

$$\frac{T_{ev}}{(T_{sol}-T_{ev})} = [-1.96 + 0.0175(T_{cd}-273)] + [1.75 + 0.0412(T_{cd}-273)][\frac{(UA)_{ev}}{m_r}] \qquad [1.9]$$

นอกจากนี้ยังหาความสัมพันธ์ระหว่างภาระทางความเย็น(Refrigeration Load ; Q_{ref}) และ งานที่ป้อนเข้ามอเตอร์ของคอมเพรสเซอร์ได้ดังนี้

$$Q_{ref} = (0.278 - 0.0468 + 0.00351N^2) + (-0.265 + 0.108N - 0.00579N^2)W_m \quad [1.10]$$

โดยที่ Q_{ref} = ภาระทางความเย็น (kW)

W_m = กำลังที่ป้อนเข้ามอเตอร์ (kW)

1.2.2 กลุ่มที่ศึกษาเกี่ยวกับการทำน้ำร้อน

Parise และ **Cartwright** [3] ศึกษาสมรรถนะปั๊มความร้อนแบบอัดไอ และใช้น้ำแลกเปลี่ยนความร้อน (water to water heat pump) โดยใช้สาร R-11 เป็นสารทำงานในระบบ โดยมีสภาวะเงื่อนไขในการศึกษาดังนี้ อุณหภูมิของน้ำที่ผ่านอีวาปอเรเตอร์อยู่ในช่วง 40–70°C ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์อยู่ในช่วง 500 – 3,000 rpm และอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 30 liters/min จากการศึกษาพบว่าความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์มีผลต่ออัตราการผลิตความร้อนที่คอมเพรสเซอร์ เมื่อคอมเพรสเซอร์มีความเร็วรอบเพิ่มขึ้น คอนเดนเซอร์สามารถผลิตความร้อนได้มากขึ้น และเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิของสารทำงานที่อีวาปอเรเตอร์ โดยความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์มีค่าคงที่ ส่งผลให้อัตราการผลิตความร้อนที่คอนเดนเซอร์มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารทำงานที่อีวาปอเรเตอร์สูงขึ้น จะทำให้คอนเดนเซอร์ผลิตความร้อนได้มากขึ้น

Tassou [4] ศึกษาวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ต่อสมรรถนะระบบปั๊มความร้อน โดยใช้สาร R-12 เป็นสารทำงานในระบบ ปั๊มความร้อนที่ใช้เป็นแบบน้ำ – อากาศ (water to air heat pump) โดยมีน้ำที่อุณหภูมิ 40°C ไหลผ่านคอนเดนเซอร์และอากาศไหลผ่านอีวาปอเรเตอร์ จากการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่อีวาปอเรเตอร์มีค่าลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์มีค่าสูงขึ้น ทำให้อัตราการผลิตความร้อนที่คอนเดนเซอร์มีค่าเพิ่มมากขึ้น

Devotta และ **Gopichand** [5] ศึกษาและเปรียบเทียบการใช้สาร R-12 และ R-134a ในระบบปั๊มความร้อน พบว่าสามารถใช้สาร R-134a แทนสาร R-12 ได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน แต่สาร R-134a มีราคาสูงกว่าสาร R-12 และจากการวิจัยพบว่า เมื่ออุณหภูมิของสารทำงานที่คอนเดนเซอร์มีค่า 70°C และความแตกต่างของอุณหภูมิของสารทำงานที่คอนเดนเซอร์และที่อีวาปอเรเตอร์มีค่าเท่ากันแล้ว สาร R-12 จะมีค่าสมรรถนะของระบบ (Coefficient of Performance, COP) สูงกว่าสาร R-134a แต่สาร R-12 สามารถให้ความร้อนที่คอนเดนเซอร์ได้น้อยกว่าสาร R-134a

จากเอกสารที่เกี่ยวข้องข้างต้น จะเห็นได้ว่าการใช้น้ำมาแลกเปลี่ยนความร้อนแทนคอนเดนเซอร์ในระบบทำความเย็น เป็นเรื่องที่เป็นไปได้และน่าศึกษา เพราะเป็นการนำพลังงานที่สูญเปล่ากลับมาใช้ผลิตน้ำร้อนเพื่อการนำไปใช้ต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตน้ำร้อนจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

(1) นำพลังงานความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม

(2) ลดการใช้ไฟฟ้าในส่วนที่จะนำไปผลิตน้ำร้อน

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยในโครงการนี้ มีรายละเอียดดังนี้

1. ขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการการทดสอบ

- ขนาดของระบบทำความเย็นประมาณ 2 ตัน
- ขนาดของถังเก็บน้ำประมาณ 107 kg

2. สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ จะทำการทดสอบเพื่อหาค่าอุณหภูมิของน้ำในถังและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ(COP) โดยในการทดสอบจะพยายามรักษาสภาวะต่างๆดังนี้

- อัตราการไหลของสารทำความเย็นประมาณ 0.011 kg/s
- อัตราการไหลของน้ำที่ไหลเวียนในระบบ 7 , 9 lpm
- อัตราการไหลของอากาศประมาณ 1.211 kg/s
- ปริมาณน้ำในถังประมาณ 107 kg
- อุณหภูมิของน้ำในถังเริ่มต้นประมาณ 25 - 30 °C

3. ขอบเขตอื่นๆ

- การทดสอบแต่ละครั้งจะกระทำจนกระทั่งความดันด้านขาออกจากคอมเพรสเซอร์มีค่าประมาณ 1.921 MPa แล้วจึงเริ่มทำการทดสอบใหม่ ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยของระบบ

1.6 แผนการดำเนินงาน

หัวข้อ	สัปดาห์ที่															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. ศึกษาระบบปรับอากาศแบบปกติ	←	→														
2. การหาแบบจำลองของอุปกรณ์แต่ละตัวในวงจร			←	—	—	→										
3. ทำการ Simulation ระบบ							←	—	—	→						
4. เปรียบเทียบผลการจำลองแบบที่ได้กับการทดลอง											←	—	→			
5. สรุปผลและจัดทำรายงาน														←	—	→