

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการดำเนินงานเพื่อที่จะศึกษาถึงการพัฒนาที่จะนำเอาอีวาเปอร์เตอร์แบบสัมผัสโดยตรงมาใช้ร่วมกับระบบปรับสภาวะอากาศ โดยระบบได้ประกอบไปด้วยวงจรการทำงาน 3 วงจรคือ วงจรผลิตน้ำเย็น วงจรผลิตน้ำแข็ง และวงจรปรับอากาศ โดยจะทำการศึกษากาแบบจำลองของอุปกรณ์หลักแต่ละตัว จากนั้นทำการหาแบบจำลองสถานะการณ์ของระบบ เพื่อจะทำการศึกษาถึงปัญหาและสมรรถนะของระบบปรับสภาวะอากาศโดยใช้อีวาเปอร์เตอร์แบบสัมผัสโดยตรงเมื่อมีการใช้งานจริง

#### 4.1 วงจรผลิตน้ำแข็ง

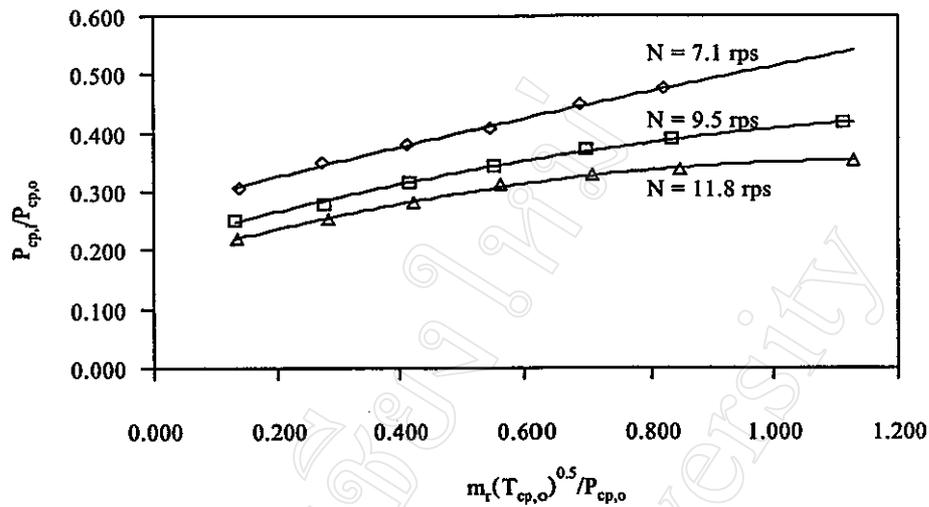
##### 4.1.1 ผลการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคอมเพรสเซอร์

การหาแบบจำลองของคอมเพรสเซอร์ของวงจรผลิตน้ำแข็งของโครงการวิจัยนี้ เนื่องจากคอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ในการทดลองที่ใช้มีค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของวงล้อคงที่และของไหลมีค่าความจุความร้อนจำเพาะค่อนข้างคงที่ ดังนั้นจะหาแบบจำลองจากความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องจักรกลแบบเพลาลอนจากสมการของ Stoecker (1989) ดังสมการ

$$\frac{P_{cp,i}}{P_{cp,o}} = f\left[\frac{m_r T_{cp,o}^{0.5}}{P_{cp,o}}, N\right] \quad [4.1]$$

โดยที่  $P_{cp,i}$  = ความดันขาเข้าคอมเพรสเซอร์ (Mpa)  
 $P_{cp,o}$  = ความดันขาออกจากคอมเพรสเซอร์ (Mpa)  
 $T_{cp,o}$  = อุณหภูมิขาออกจากคอมเพรสเซอร์ ( $^{\circ}$ C)  
 $N$  = ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ (rps)  
 $m_r$  = อัตราการไหลโดยมวลของสารทำความเย็น (kg/s)

จากการทดลองสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างพจน์ต่างๆ ได้ดังรูป 4.1



รูป 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้พลังงานไหลดต่ออัตราส่วนความดัน

จากรูป 4.1 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนความดันขาเข้าต่อความดันขาออกของคอมเพรสเซอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการใช้พลังงานไหลดของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น โดยขณะที่การเพิ่มความเร็วยรอบของคอมเพรสเซอร์จะส่งผลให้อัตราส่วนความดันขาเข้าต่อความดันขาออกของคอมเพรสเซอร์ลดลง

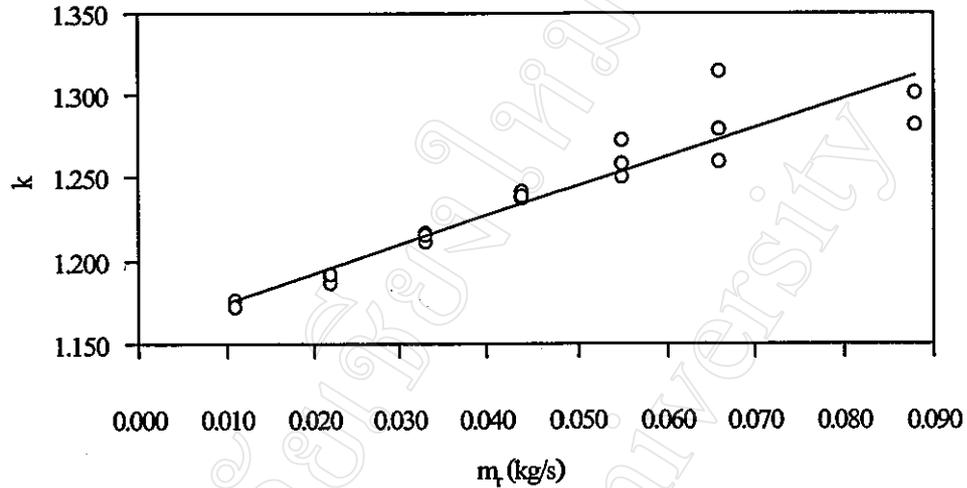
จากรูปสามารถสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้พลังงานไหลดของสารทำความเย็นที่มีผลต่ออัตราส่วนความดันของคอมเพรสเซอร์ที่ความเร็วยรอบของคอมเพรสเซอร์ต่างๆดังสมการ

$$\frac{P_{cp,i}}{P_{cp,o}} = \left[ \begin{array}{l} (0.0027 N^2 - 0.0705 N + 0.3297) \left[ m_r T_{cp,o}^{0.5} \right]^2 \\ + (-0.0013 N^2 - 0.0028 N + 0.1428) \left[ m_r T_{cp,o}^{0.5} \right] \\ + (0.0026 N^2 - 0.0685 N + 0.6253) \end{array} \right] \quad [4.2]$$

คอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบลูกสูบเป็นกระบวนการทำงานแบบโพลีโทรปิก ดังนั้นความสัมพันธ์ทางอุณหพลศาสตร์ของอัตราส่วนความดันและอัตราส่วนอุณหภูมิของคอมเพรสเซอร์ สามารถแสดงดังสมการ ( $k$  = ดัชนีโพลีโทรปิก)

$$T_{cp,o} = \frac{T_{cp,i}}{\left( \frac{P_{cp,i}}{P_{cp,o}} \right)^{(k-1)/k}} \quad [4.3]$$

จากการทดลองพบว่าค่าดัชนีโพลีทรอปิกมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของสารทำความเย็นดังรูป 4.2



รูป 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีโพลีทรอปิกและค่าอัตราการไหลของสารทำความเย็น

จากรูป 4.2 พบว่าค่าดัชนีโพลีทรอปิกจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการไหลของสารทำความเย็น เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของสารทำความเย็นจะทำให้อัตราส่วนความดันขาเข้าต่อความดันขาออกของคอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ ดังนั้นค่าดัชนีโพลีทรอปิกจึงเพิ่มขึ้นและสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีโพลีทรอปิกจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการไหลของสารทำความเย็น ดังสมการ

$$k = 1.7525 \dot{m}_r + 1.1571 \quad [4.4]$$

จากการทดลองของวงจรผลิตน้ำแข็งได้ทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็นในช่วง 0.011-0.088 กิโลกรัมต่อวินาที ดังนั้นจากสมการ 4.4 จะได้ค่าดัชนีโพลีทรอปิก ( $k$ ) มีค่าใกล้เคียงกันมาก จึงใช้ค่าดัชนีโพลีทรอปิกเฉลี่ย  $k=1.2438$  ในการคำนวณ

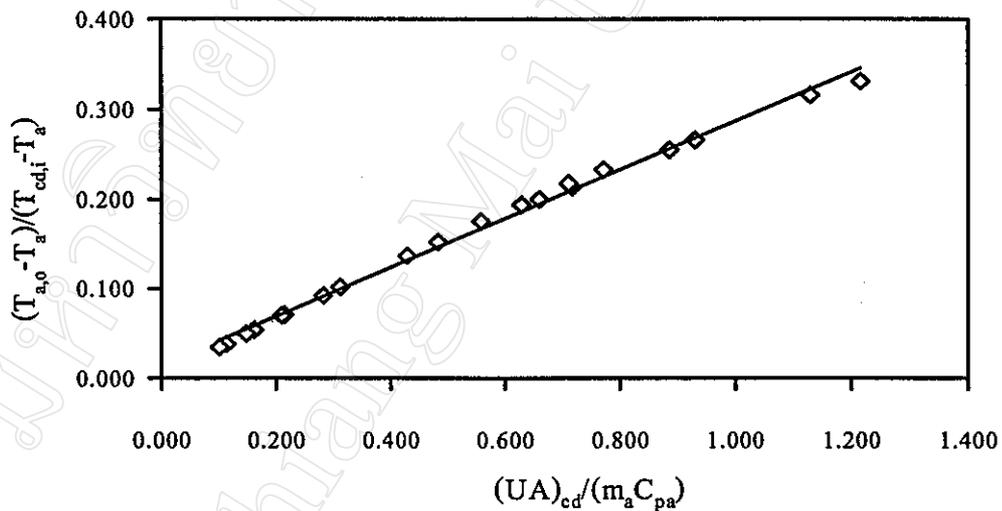
#### 4.1.2 ผลการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคอนเดนเซอร์

การทดสอบเพื่อหาแบบจำลองของคอนเดนเซอร์ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศของวงจรผลิตน้ำแข็ง โดยความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของอากาศที่ระบายความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของคอนเดนเซอร์ จากสมการ

$$\frac{T_{a,o} - T_a}{T_{cd,i} - T_a} = f \left( \frac{(UA)_{cd}}{m_a C_{pa}} \right) \quad [4.5]$$

โดยที่  $m_a$  = อัตราการไหลโดยมวลของอากาศ (kg/s)  
 $C_{pa}$  = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg-K)  
 $T_a$  = อุณหภูมิอากาศ (°C)  
 $T_{a,o}$  = อุณหภูมิอากาศขาออกจากคอนเดนเซอร์ (°C)  
 $T_{cd,i}$  = อุณหภูมิสารทำความเย็นขาเข้าคอนเดนเซอร์ (°C)  
 $(UA)_{cd}$  = ผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและพื้นที่ของคอนเดนเซอร์

โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคอนเดนเซอร์ สามารถแสดงได้ดังรูป 4.3



รูป 4.3 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของอากาศและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

จากรูปสามารถแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของอากาศและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์ได้ดังสมการ

$$\frac{T_{a,o} - T_a}{T_{cd,i} - T_a} = 0.2723 \left( \frac{(UA)_{cd}}{m_a C_{pa}} \right) + 0.0107 \quad [4.6]$$

จากการทดลองพบว่าความดันสูญเสียในที่คอนเดนเซอร์มีค่าค่อนข้างคงที่ ดังแสดงสมการ  
นี่คือ

$$P_{cd,o} = P_{cd,i} - 0.034 \quad [4.7]$$

โดยที่  $P_{cd,o}$  = ความดันขาออกจากวาล์วขยายตัว (MPa)

$P_{cd,i}$  = ความดันขาเข้าวาล์วขยายตัว (MPa)

#### 4.1.3 ผลการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวาล์วขยายตัว

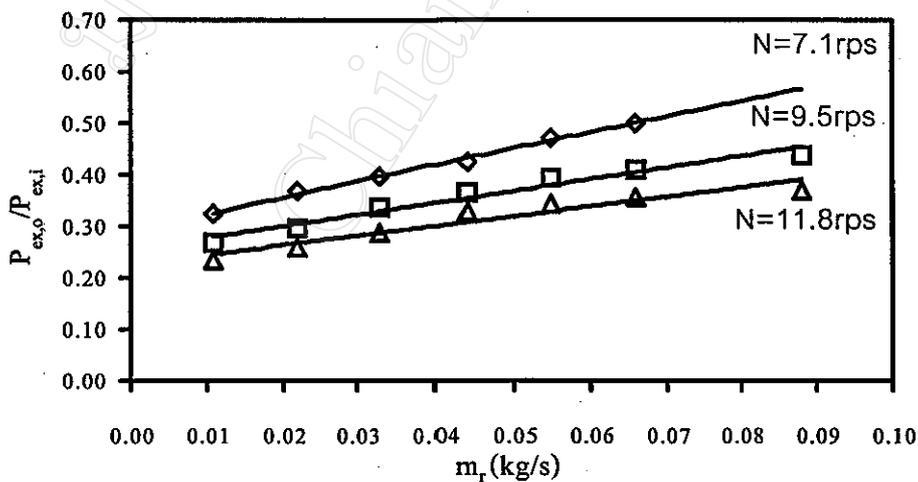
การทดสอบเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวาล์วขยายตัวของวงจรการผลิตน้ำ  
แข็ง โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ เมื่อทำการปรับอัตราการไหลของ  
สารทำความเย็นผ่านวาล์วโดยการควบคุมด้วยมือนั้น จะมีผลต่ออัตราส่วนความดันของสารทำความ  
เย็นที่ผ่านวาล์วขยายตัว สามารถสร้างความสัมพันธ์จากสมการ

$$\frac{P_{ex,o}}{P_{ex,i}} = f(m_r, N) \quad [4.8]$$

โดยที่  $P_{ex,o}$  = ความดันขาออกจากวาล์วขยายตัว (MPa)

$P_{ex,i}$  = ความดันขาเข้าวาล์วขยายตัว (MPa)

จากการทดลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูป 4.4



รูป 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความดันและอัตราการไหลที่ความเร็วรอบต่างๆ

จากรูป 4.4 เห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของสารทำความเย็นจะส่งผลทำให้อัตราส่วนความดันขาออกต่อขาเข้าที่ผ่านวาล์วขยายตัวเพิ่มขึ้น ขณะที่เมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ จะทำให้อัตราส่วนความดันขาออกต่อขาเข้าที่ผ่านวาล์วขยายตัวลดลงและสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความดันขาออกต่อขาเข้า อัตราการไหล และความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ที่ผ่านวาล์วขยายได้ดังสมการ

$$\frac{P_{ex,o}}{P_{ex,i}} = \left[ \frac{(0.4839N^2 - 12.657N + 59.808)m_r^2 + (-0.0252N^2 + 0.5546N + 0.9465)m_r}{(0.0031N^2 - 0.0783N + 0.6857)} \right] \quad [4.9]$$

จากการทดลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปของอัตราส่วนความดันที่วาล์วขยายตัวและคอมเพรสเซอร์ได้ดังสมการ

$$\frac{P_{cp,i}}{P_{cp,o}} = -4.6771 \left( \frac{P_{ex,o}}{P_{ex,i}} \right)^2 + 3.1933 \left( \frac{P_{ex,o}}{P_{ex,i}} \right) - 0.33 \quad [4.10]$$

#### 4.1.4 ผลการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่บริเวณท่อระหว่างอีวาปอเรเตอร์และคอมเพรสเซอร์

การประเมินการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่ท่อของวงจรการผลิตน้ำแข็งจะหาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ผ่านผนังท่อและผลต่างของอุณหภูมิของสารทำความเย็นเฉลี่ยกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยบริเวณท่อระหว่างอีวาปอเรเตอร์และคอมเพรสเซอร์ ดังสมการ

$$Heat\_gain = m_r C_{pr} (T_{cp,i} - T_{ev,o}) = f \left( T_a - \left( \frac{T_{ev,o} + T_{cp,i}}{2} \right), m_r \right) \quad [4.11]$$

โดยที่  $T_{ev,o}$  = อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาปอเรเตอร์ (°C)

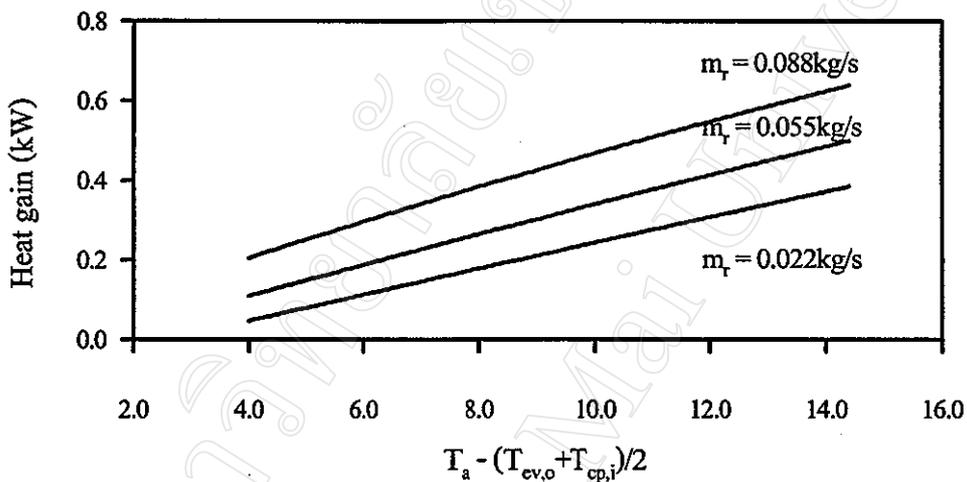
$T_{cp,i}$  = อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่เข้าคอนเดนเซอร์ (°C)

$C_{pr}$  = ความจุความร้อนจำเพาะของสารทำความเย็น (kJ/kg.K)

จากการทดลองสามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$m_r C_{pr} (T_{cp,i} - T_{ev,o}) = \left[ \begin{aligned} & \left( -0.0459 m_r^2 + 0.005 m_r - 0.003 \right) \left( T_a - \left( \frac{T_{ev,o} + T_{cp,i}}{2} \right) \right)^2 \\ & + \left( 0.9183 m_r^2 + 0.1596 m_r + 0.0356 \right) \left( T_a - \left( \frac{T_{ev,o} + T_{cp,i}}{2} \right) \right) \\ & + \left( 2.663 m_r^2 + 1.1131 m_r - 0.1304 \right) \end{aligned} \right] \quad [4.12]$$

โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากท่อระหว่างอีวาपोเรเตอร์ คอมเพรสเซอร์ และผลต่างของอุณหภูมิของสารทำความเย็นได้ดังรูป 4.5



รูป 4.5 ความสัมพันธ์การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ท่อระหว่างอีวาपोเรเตอร์และคอมเพรสเซอร์

จากรูป 4.5 แสดงว่าอัตราการสูญเสียความร้อนที่เข้าสู่บริเวณท่อระหว่างอีวาपोเรเตอร์และคอมเพรสเซอร์ จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของสารทำความเย็นและผลต่างอุณหภูมิของระบบกับสิ่งแวดล้อม

#### 4.1.5 ผลการประเมินการถ่ายเทความร้อนบริเวณท่อระหว่างคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์

การหาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ออกจากท่อและผลต่างของอุณหภูมิของสารทำความเย็นเฉลี่ยกับอุณหภูมิอากาศภายนอกบริเวณท่อระหว่างคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์ โดยหาความสัมพันธ์ได้จากสมการดังนี้

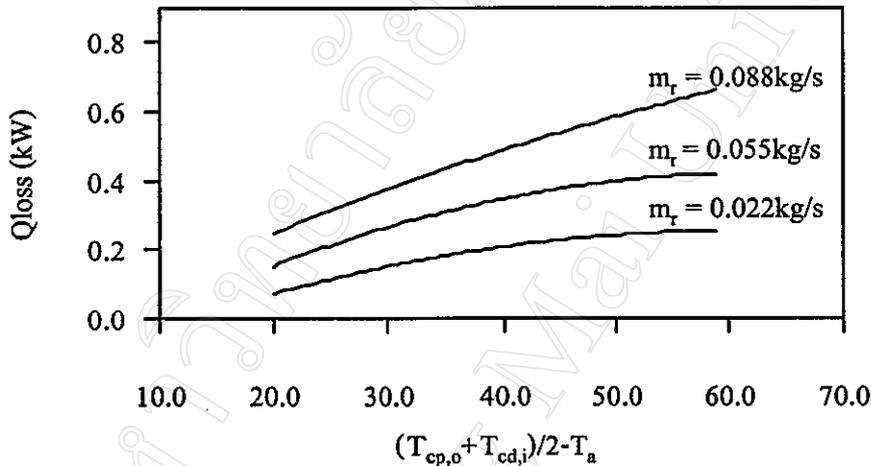
$$Q_{loss} = m_r C_{pr} (T_{cp,o} - T_{cd,i}) = f \left( \left( \frac{T_{cp,o} + T_{cd,i}}{2} \right) - T_a, m_r \right) \quad [4.13]$$

โดยที่  $T_{cd,i}$  = อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่เข้าคอนเดนเซอร์ ( $^{\circ}\text{C}$ )

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

$C_{pr}$  = ความจุความร้อนจำเพาะของสารทำความเย็น (kJ/kg.K)

จากการทดลองหาความสัมพันธ์โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากท่อระหว่างคอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ และผลต่างของอุณหภูมิของสารทำความเย็นได้ ดังรูป 4.6



รูป 4.6 ความสัมพันธ์การถ่ายเทความร้อนบริเวณท่อระหว่างคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์

จากรูป 4.6 แสดงว่าอัตราการสูญเสียความร้อนที่ออกจากบริเวณท่อระหว่างคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของสารทำความเย็นและผลต่างอุณหภูมิของระบบกับสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกับอัตราการสูญเสียความร้อนที่ออกจากบริเวณท่อระหว่างอีวาปอเรเตอร์และคอมเพรสเซอร์ และสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ในรูปสมการดังนี้

$$m_r C_{pr} (T_{cp,o} - T_{cd,i}) = \left[ \begin{aligned} & \left( (1.607 m_r^2 - 0.0298 m_r + 0.0146) \left( \left( \frac{T_{cp,o} + T_{cd,i}}{2} \right) - T_a \right) \right) \\ & + (-20.432 m_r^2 + 1.9399 m_r - 0.293) \end{aligned} \right] \quad [4.14]$$

#### 4.1.6 ผลการจำลองของการแข็งตัวของน้ำในอีวาपोเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง

ในการหาแบบจำลองของการแข็งตัวของน้ำในอีวาपोเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง โดยตั้งสมมุติฐานว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ถังน้ำโดยผ่านทางฉนวนมีค่าน้อยมาก โดยทำการแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงการลดอุณหภูมิจะทำการทดสอบในกรณีของอุณหภูมิของน้ำมากกว่า 0.01 องศาเซลเซียส ส่วนช่วงการเกิดน้ำแข็งจะทำการทดสอบในช่วงการเปลี่ยนเฟสของน้ำและปริมาณน้ำแข็งที่เกิดขึ้น โดยจะใช้สมการดังต่อไปนี้ตามลำดับ

$$(M_w C_{pw} + M_t C_{pt}) (\Delta T_w) = m_r (h_{ev,j} - h_{ev,o}) \Delta t \quad [4.15]$$

$$M_w L = m_r (h_{ev,j} - h_{ev,o}) \Delta t \quad [4.16]$$

โดยที่  $M_w$  = มวลของน้ำในถังอีวาपोเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง (kg)

$M_t$  = มวลของถังอีวาपोเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง (kg)

$m_r$  = อัตราการไหลโดยมวลของสารทำความเย็น (kg/s)

$C_{pw}$  = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.19 kJ/kg.K)

$C_{pt}$  = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของถัง (0.6 kJ/kg.K)

$L$  = ค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำ (333.33 kJ/kg)

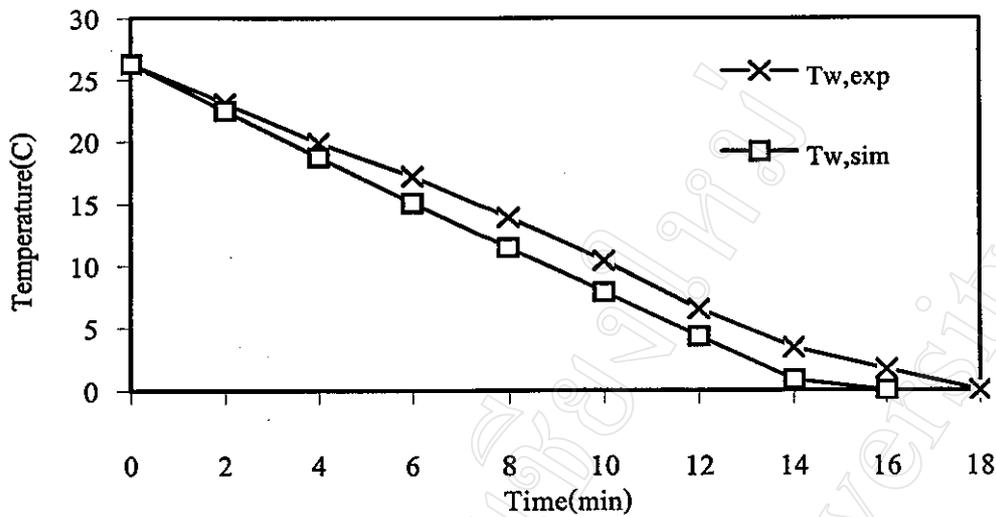
$h_{ev,i}$  = เอนทัลปีของสารทำความเย็นขาเข้าอีวาपोเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง (kJ/kg)

$h_{ev,o}$  = เอนทัลปีของสารทำความเย็นขาออกอีวาपोเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง (kJ/kg)

$\Delta T_w$  = ผลต่างของอุณหภูมิในถังในช่วงระยะเวลา  $\Delta t$  วินาที ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta t$  = ช่วงระยะเวลาที่พิจารณา (s)

จากการทดลองได้ทำการทดลองเปรียบเทียบในช่วงเวลาการลดอุณหภูมิของน้ำภายในอีวาपोเรเตอร์แบบสัมผัส โดยตรงที่ได้จากผลการทดลองและแบบจำลองสถานการณ์แสดงดังรูป 4.7



รูป 4.7 ช่วงการลดอุณหภูมิของน้ำภายในอีวาपोเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง

จากรูป 4.7 จะเห็นได้ว่าอัตราการลดอุณหภูมิของน้ำภายในถึงน้ำแข็งจากแบบจำลองสถานการณ์จะเร็วกว่าจากผลการทดลองที่ได้ เนื่องจากว่ามีความร้อนผ่านฉนวนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่อีวาपोเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงทำให้อัตราการลดอุณหภูมิช้าลง

#### 4.1.7 การจำลองสถานการณ์ของระบบผลิตน้ำแข็ง

จากการทดลองได้แบบจำลองสถานการณ์ของระบบผลิตน้ำแข็งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์หลักแต่ละตัวในวงจรผลิตน้ำแข็ง โดยทำการป้อนอัตราการไหลของสารทำความเย็น ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและช่วงเวลาที่จะพิจารณา และจะได้ข้อมูลออกมาคือ กำลังที่ใช้ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ การถ่ายเทความร้อนที่อีวาपोเรเตอร์ การถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์และสมรรถนะของระบบ แสดงดังรูป 4.8 และเมื่อทำการยกตัวอย่างการเปรียบเทียบปริมาณน้ำแข็งที่ระบบผลิตน้ำแข็งทำได้จริงกับปริมาณน้ำแข็งที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ของระบบวงจรผลิตน้ำแข็งหรือการคำนวณภายในระยะเวลาที่เท่ากันที่ปริมาณของน้ำต่างๆ ภายในอีวาपोเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง ที่อัตราการไหล 0.022 0.033 และ 0.044 กิโลกรัมต่อวินาที ที่ความเร็วรอบต่างๆของคอมเพรสเซอร์ แสดงดังตาราง 4.1

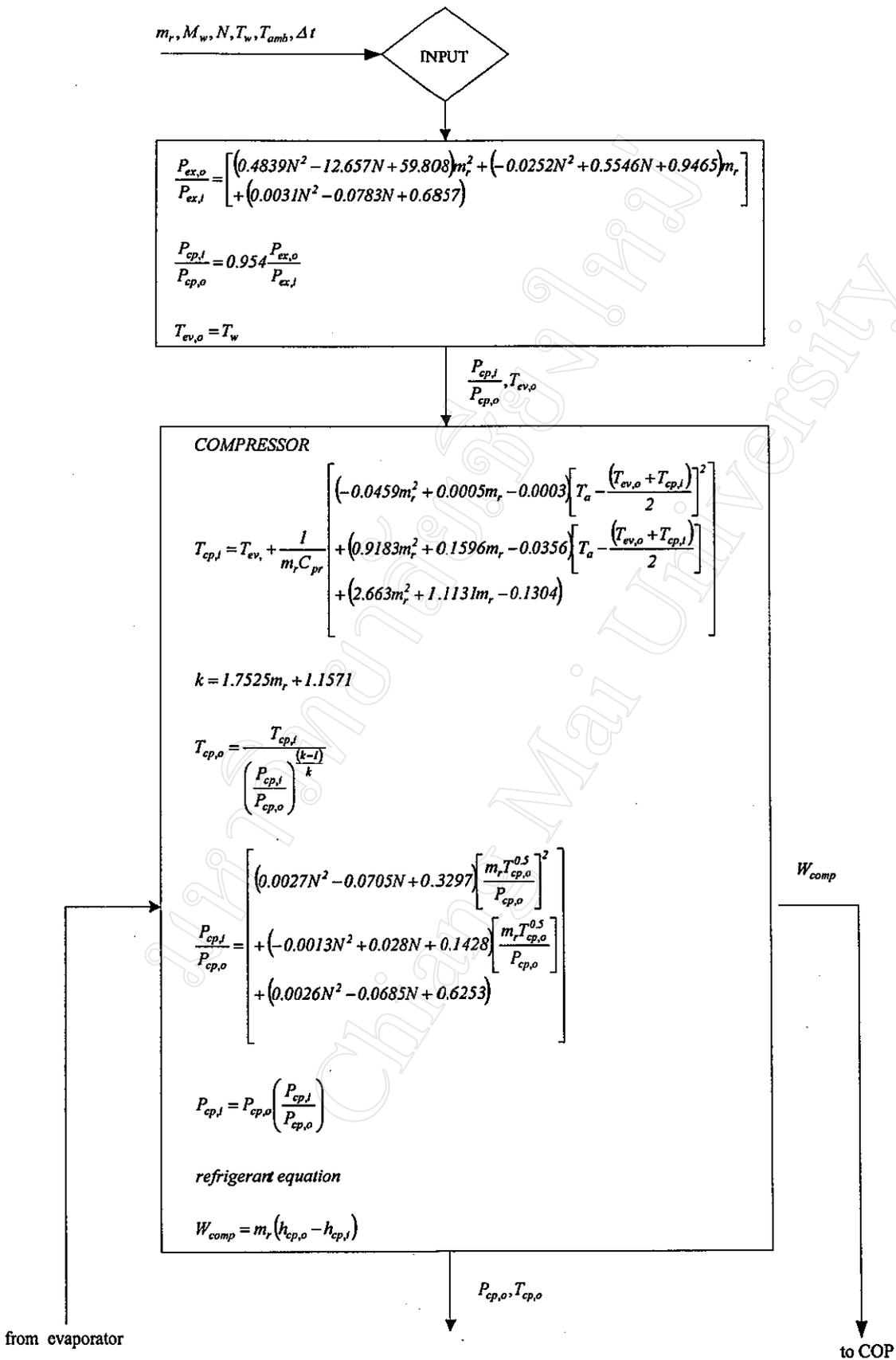
ตาราง 4.1 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำแข็งที่ผลิตได้จากแบบจำลองสถานการณ์และจากการทดลอง

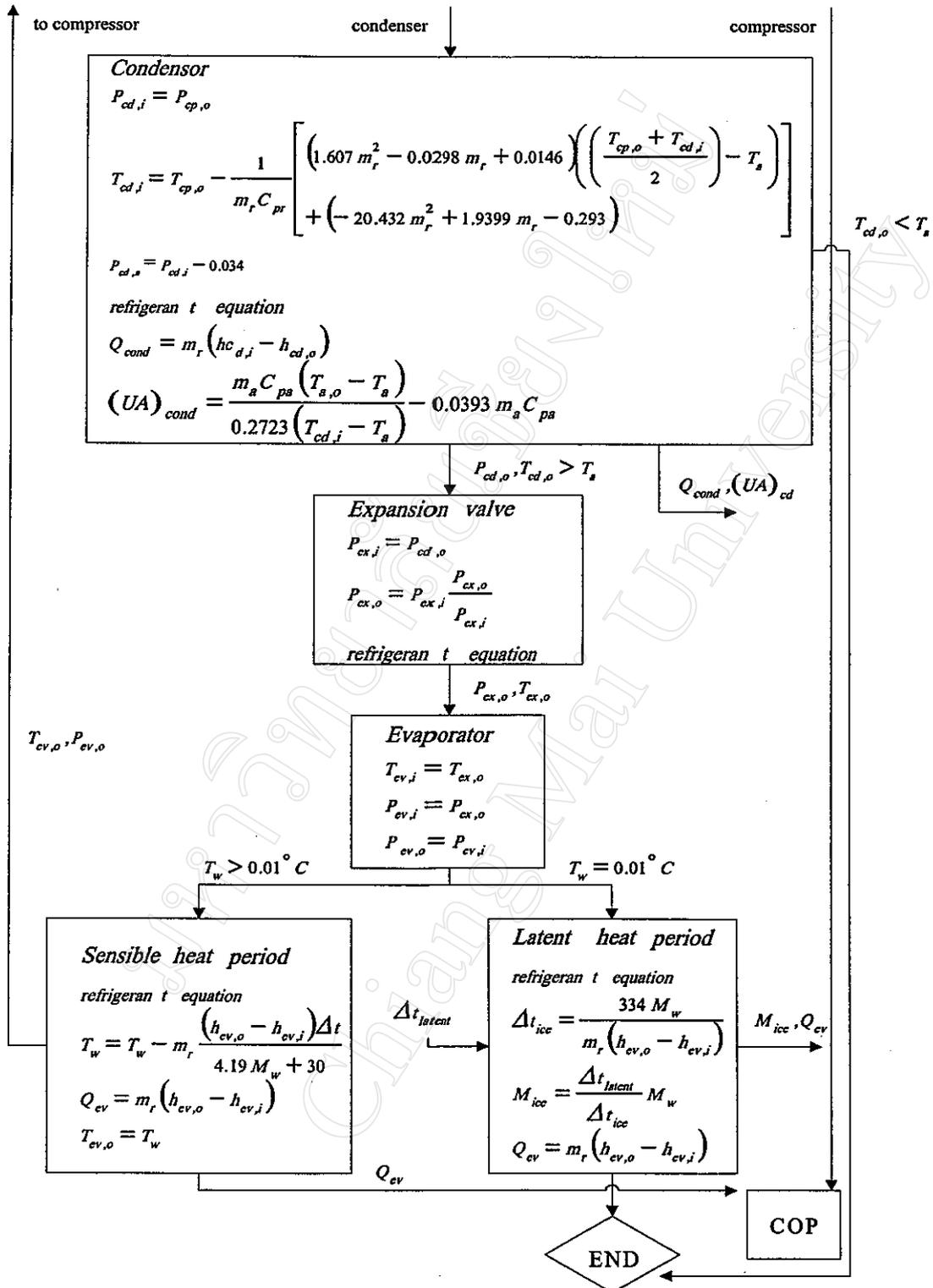
ปริมาณน้ำ (lites)	อัตราการไหลของ สารทำความเย็น(kg/s)	ความเร็วรอบของ คอมเพรสเซอร์(rps)	ปริมาณน้ำที่ได้จาก การทดลอง(kg)	ปริมาณน้ำที่ได้จาก แบบจำลองสถานการณ์(kg)
30	0.022	7.1	9.1	13.6
30	0.022	9.5	17.0	19.5
30	0.022	11.8	25.5	31.5
30	0.033	9.5	10.0	14.5
30	0.033	11.8	15.0	18.5
30	0.044	9.5	19.5	22.8
30	0.044	11.8	15.5	24.2
40	0.022	7.1	18.0	21.6
40	0.022	9.5	10.0	14.2
40	0.033	9.5	9.5	13.8
40	0.033	11.8	5.0	12.6
40	0.044	9.5	18.0	22.8

และเมื่อทำการยกตัวอย่างการเปรียบเทียบปริมาณน้ำแข็งที่ผลิตได้จริงกับที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์หรือการคำนวณ ที่ทำการทดลองเพื่อนำไปปรับสภาวะอากาศภายในห้องภายใต้สภาวะเดียวกันสามารถแสดงได้ดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำแข็งจำนวนมากที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ

Mass of water(kg)	$T_w(^{\circ}C)$	$T_{amb}(^{\circ}C)$	ice from exp(kg)	ice from sim(kg)
250	18	29.2	212	250
250	16.5	30.2	209	250
300	15	28.5	272	300
300	15.4	26.8	269	300





รูป 4.8 แสดงแบบจำลองสถานะการณืของวงจรการผลิตน้ำแข็ง

จากตาราง 4.1 และตาราง 4.2 จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำแข็งที่ผลิตได้จริงจากการทดลองจะน้อยกว่าปริมาณน้ำแข็งที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ ภายในระยะเวลาเท่ากัน โดยที่อัตราการไหลของสารทำความเย็นที่ทำการฉีด ปริมาณน้ำแข็งที่ต้องการภายในถังฮีวปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงและความเร็วรอบต่างๆของคอมเพรสเซอร์อยู่ภายใต้สภาวะเดียวกัน เพราะเมื่อทำการฉีดสารทำความเย็นลงไปดึงความร้อนจากน้ำภายในถัง ในการทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็งนั้น จะเกิดการดูดคั้นของน้ำแข็งที่บริเวณหัวฉีดของสารทำความเย็น ทำให้อัตราการผลิตน้ำแข็งที่ได้จากการทดลองช้ากว่าที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์

## 4.2 วงจรผลิตน้ำเย็น

### 4.2.1 ผลการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคอมเพรสเซอร์

การหาแบบจำลองของคอมเพรสเซอร์ของวงจรผลิตน้ำเย็น เนื่องจากคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในการทดลองมีค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของวงล้อคงที่เช่นเดียวกับวงจรผลิตน้ำแข็ง ดังนั้นจะหาแบบจำลองจากความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องจักรกลแบบเพลลาหมุนจากสมการ

$$\frac{P_{cp,i}}{P_{cp,o}} = f\left[\frac{m_r T_{cp,o}^{0.5}}{P_{cp,o}}\right] \quad [4.17]$$

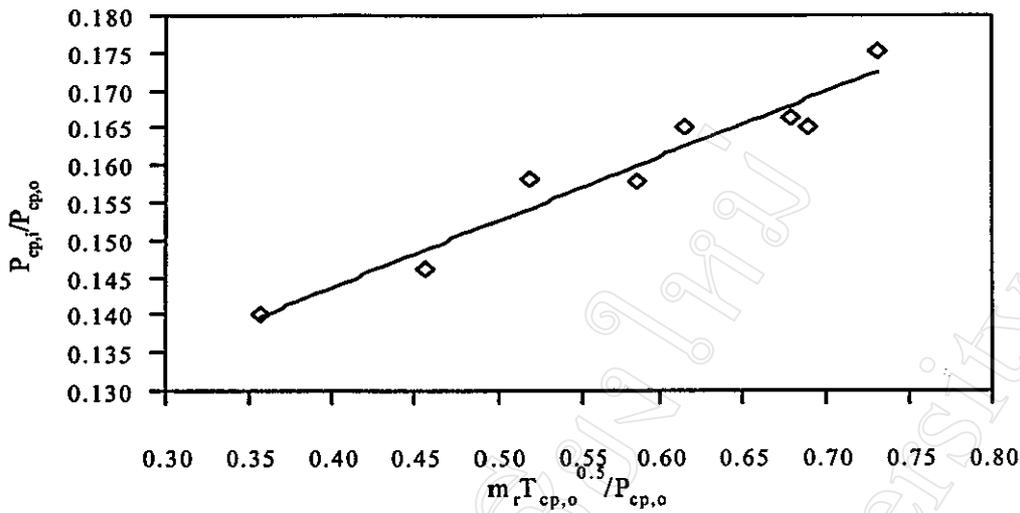
โดยที่  $P_{cp,i}$  = ความดันขาเข้าคอมเพรสเซอร์ (Mpa)

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

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

$m_r$  = อัตราการไหล โดยมวลของสารทำความเย็น (kg/s)

จากการทดลองในระบบวงจรการผลิตน้ำเย็นสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างพจน์ต่างๆที่ขาออกของคอมเพรสเซอร์ ได้ดังรูป 4.9



รูป 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่ออัตราส่วนความดันที่ขาออกของคอมเพรสเซอร์

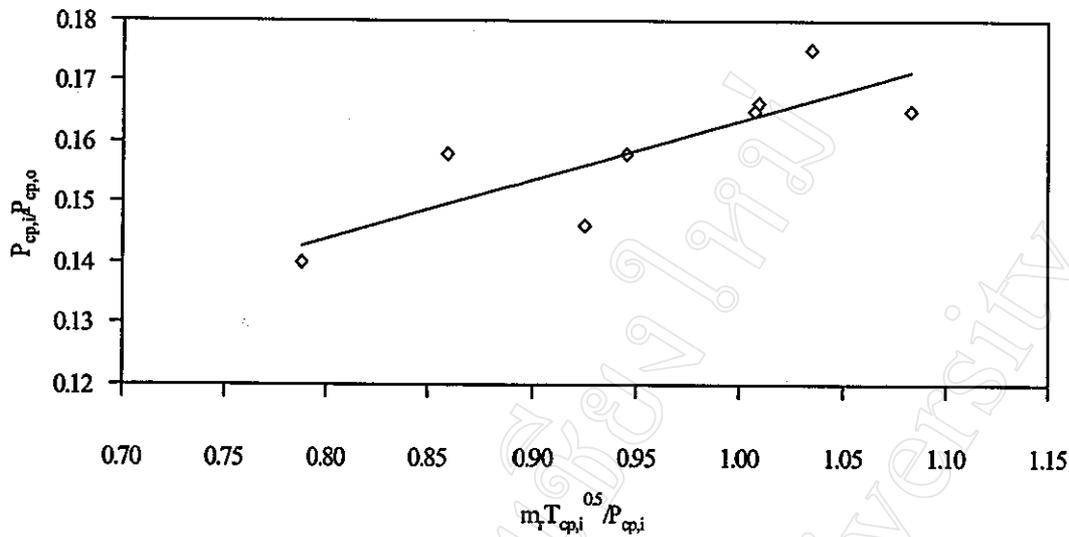
จากรูป 4.9 จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของสารทำความเย็นจะทำให้อัตราส่วนความดันขาเข้าและขาออกของคอมเพรสเซอร์มีค่าเพิ่มขึ้น สามารถเขียนสมการในรูปความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$\frac{P_{cp,i}}{P_{cp,o}} = -0.0057 \left( \frac{m_r T_{cp,o}^{0.5}}{P_{cp,o}} \right)^2 + 0.0936 \left( \frac{m_r T_{cp,o}^{0.5}}{P_{cp,o}} \right) + 0.1071 \quad [4.18]$$

และทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างพจน์ต่างๆที่สภาวะขาเข้าของคอมเพรสเซอร์ สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$\frac{P_{cp,i}}{P_{cp,o}} = 0.0973 \left( \frac{m_r T_{cp,i}^{0.5}}{P_{cp,i}} \right) + 0.0663 \quad [4.19]$$

โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่สภาวะขาเข้ากับอัตราส่วนความดันขาเข้าต่อขาออกของคอมเพรสเซอร์ ได้ดังรูป 4.10



รูป 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่ออัตราส่วนความดันที่ขาเข้าของคอมเพรสเซอร์

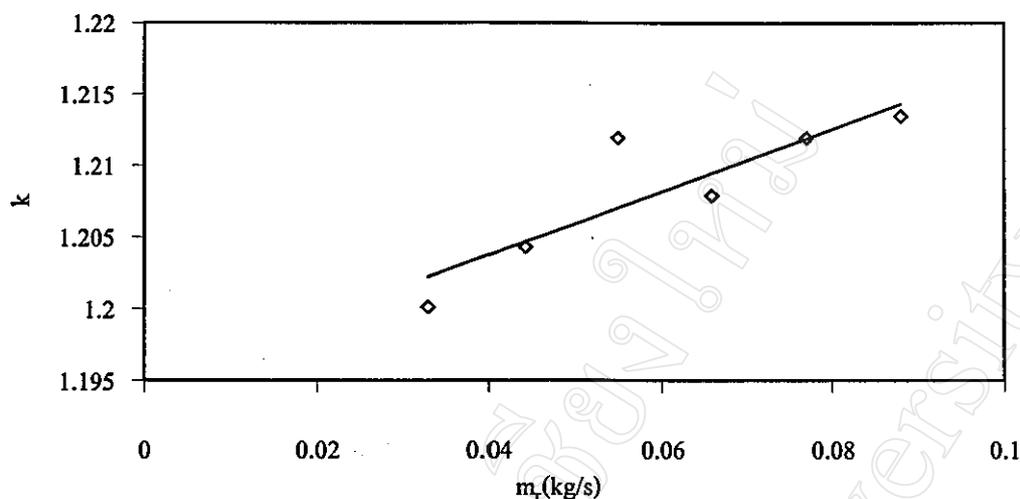
คอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบลูกสูบเช่นเดียวกับวงจรการผลิตน้ำแข็งซึ่งถือได้ว่าเป็นกระบวนการทำงานแบบโพลีโทรปิกและสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีโพลีโทรปิกจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการไหลของสารทำความเย็น ดังสมการ

$$k = 0.2216 m_r + 1.1949 \quad [4.20]$$

จากการทดลองของวงจรผลิตน้ำเย็นได้ทดลองโดยทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็นในช่วง 0.033-0.088 กิโลกรัมต่อวินาที จากการแทนค่าอัตราการไหลลงในสมการ 4.20 พบว่าค่าดัชนีโพลีโทรปิก ( $k$ ) มีค่าใกล้เคียงกันมาก จึงใช้ค่าดัชนีโพลีโทรปิกเฉลี่ยแทนในการคำนวณดังสมการ

$$k = 1.2083$$

จากการทดลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีโพลีโทรปิกและค่าอัตราการไหลของสารทำความเย็นได้ดังรูป 4.11



รูป 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีโพลีโทรปิกและค่าอัตราการไหลของสารทำความเย็น

จากรูป 4.11 จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีโพลีโทรปิกจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการไหลของสารทำความเย็น เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของสารทำความเย็นจะทำให้อัตราส่วนความดันขาเข้าต่อความดันขาออกของคอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนอุณหภูมิที่คอมเพรสเซอร์ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นค่าดัชนีโพลีโทรปิกจึงเพิ่มขึ้นพิจารณาได้จากสมการ 4.3

#### 4.2.2 ผลการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวาล์วขยายตัว

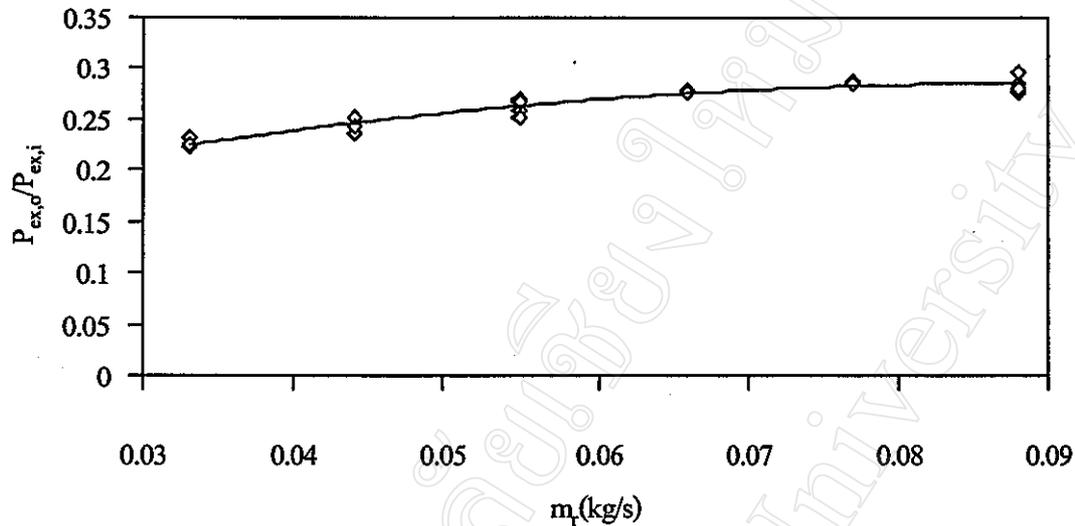
การทดสอบเพื่อหาแบบจำลองของวาล์วขยายตัวของวงจรผลิตน้ำเย็นเมื่อทำการปรับอัตราการไหลของสารทำความเย็นผ่านวาล์วด้วยการควบคุมด้วยมือ นั้นจะมีผลต่ออัตราส่วนความดันของสารทำความเย็นที่ผ่านวาล์วขยายตัว จึงสามารถสร้างความสัมพันธ์จากสมการ

$$\frac{P_{ex,o}}{P_{ex,i}} = f(m_r) \quad [4.21]$$

โดยที่  $P_{ex,o}$  = ความดันขาออกจาวาล์วขยายตัว (MPa)

$P_{ex,i}$  = ความดันขาเข้าวาล์วขยายตัว (MPa)

จากการทดลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความดันและอัตราการไหลของสารทำความเย็นได้ดังรูป 4.12

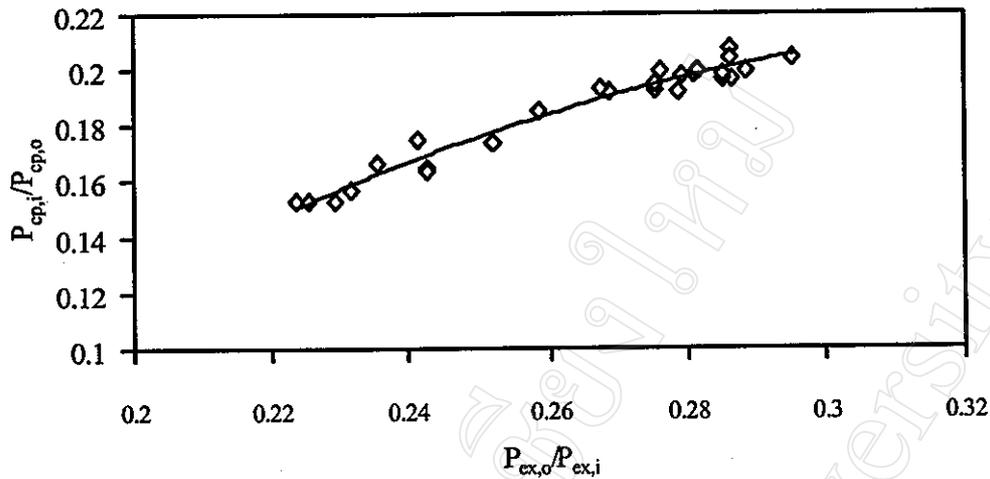


รูป 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความดันและอัตราการไหลของสารทำความเย็น

จากรูป 4.12 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของสารทำความเย็นจะทำให้อัตราส่วนความดันขาออกต่อขาเข้าที่ผ่านวาล์วขยายตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากทำให้อัตราส่วนความดันของคอมเพรสเซอร์สูงขึ้นและสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความดันขาออกต่อขาเข้าและอัตราการไหลของสารทำความเย็นที่ผ่านวาล์วขยายตัวได้ดังสมการ

$$\frac{P_{ex,o}}{P_{ex,i}} = -20.114 m_r^2 + 3.5432 m_r + 0.1291 \quad [4.22]$$

และสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปของอัตราส่วนความดันที่วาล์วขยายตัวและคอมเพรสเซอร์ได้ดังรูป 4.13



รูป 4.13 ความสัมพันธ์ในรูปอัตราส่วนความดันที่วาล์วขยายตัวและคอมเพรสเซอร์

จากรูป 4.13 เมื่ออัตราส่วนความดันที่วาล์วขยายตัวเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราส่วนความดันขาเข้าต่อขาออกที่คอมเพรสเซอร์สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเราทำการเพิ่มอัตราการไหลของสารทำความเย็นและนำความสัมพันธ์ในรูปอัตราส่วนความดันที่วาล์วขยายตัวและคอมเพรสเซอร์มาเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$\frac{P_{cp,i}}{P_{cp,o}} = -4.6771 \left( \frac{P_{ex,o}}{P_{ex,i}} \right)^2 + 3.1933 \left( \frac{P_{ex,o}}{P_{ex,i}} \right) - 0.33 \quad [4.23]$$

#### 4.2.3 ผลการหาแบบจำลองของอีวาพอเรเตอร์หรือซิลเลอร์

การทดสอบเพื่อหาแบบจำลองของอีวาพอเรเตอร์นั้นซึ่งเป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนชนิดที่ของไหลทั้ง 2 ชนิดไม่ผสมกันจะใช้สมการดังต่อไปนี้ในการหาความสัมพันธ์ ไปใช้ในการหาแบบจำลองสถานการณ์ของระบบ

$$Q = m_r (h_{ch,o} - h_{ch,i}) \quad [4.24]$$

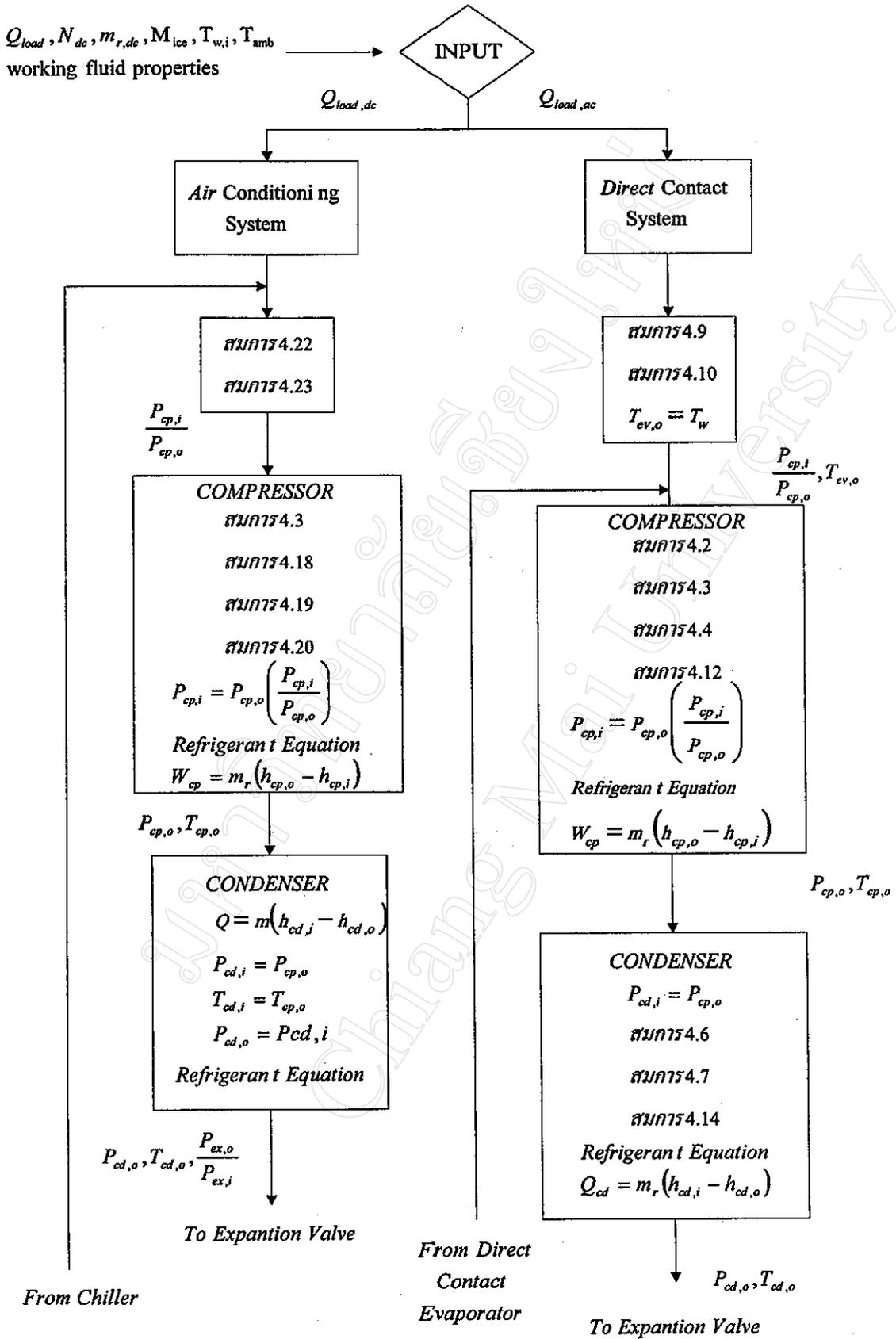
$$Q = m_w C_{cpw} (T_{w,i} - T_{w,o}) \quad [4.25]$$

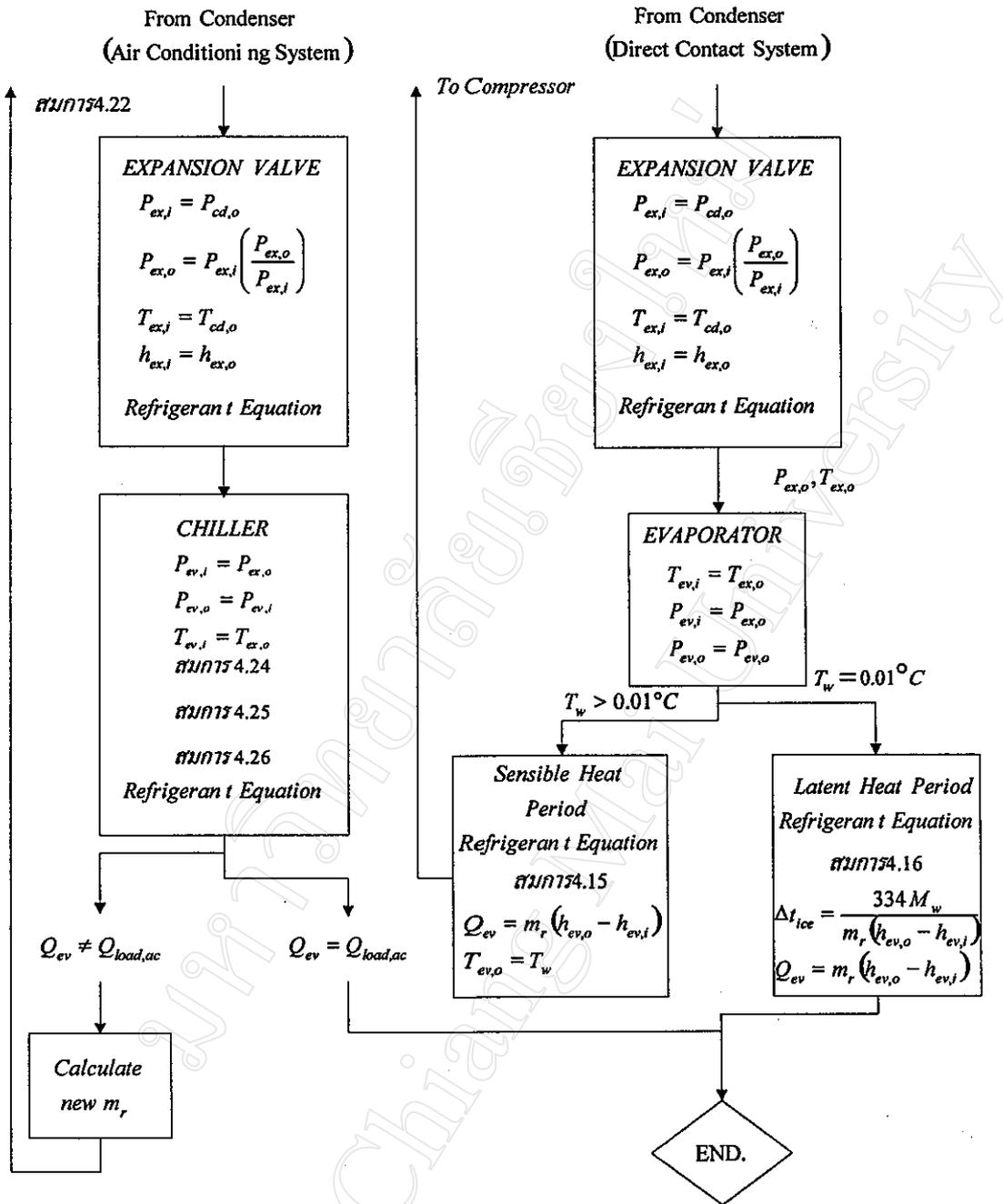
$$Q = (UA)_{ch} \left[ \frac{(T_{w,i} - T_{ch,o}) - (T_{w,o} - T_{ch,i})}{\ln \left[ \frac{T_{w,i} - T_{ch,o}}{T_{w,o} - T_{ch,i}} \right]} \right] \quad [4.26]$$

ดังนั้นจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์หลักแต่ละวงจรคือวงจรผลิตน้ำเย็นและวงจรการผลิตน้ำแข็งที่ได้ทำการทดลองหา นั้น สามารถนำมาเขียนแบบจำลองสถานการณ์ของวงจรปรับสภาพอากาศที่ใช้ฮีวปอเรเตอร์แบบสัมผัส โดยตรงของโครงการวิจัยนี้ดังแสดงในผังรูป 4.14 จากนั้นเมื่อทำการยกตัวอย่างการเปรียบเทียบปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองสถานการณ์ ที่อัตราการไหลต่างๆ แสดงดังตาราง 4.2

ตาราง 4.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์และการทดลอง

อัตราการไหลของสารทำความเย็น (kg/s)	ปริมาณกระแสไฟฟ้าจากการทดลอง (kW)	ปริมาณกระแสไฟฟ้าจากการแบบจำลอง (kW)
0.033	2.02	2.18
0.044	2.56	2.76
0.055	3.1	3.37
0.066	3.61	3.97
0.077	4.11	4.53
0.088	5.11	5.09



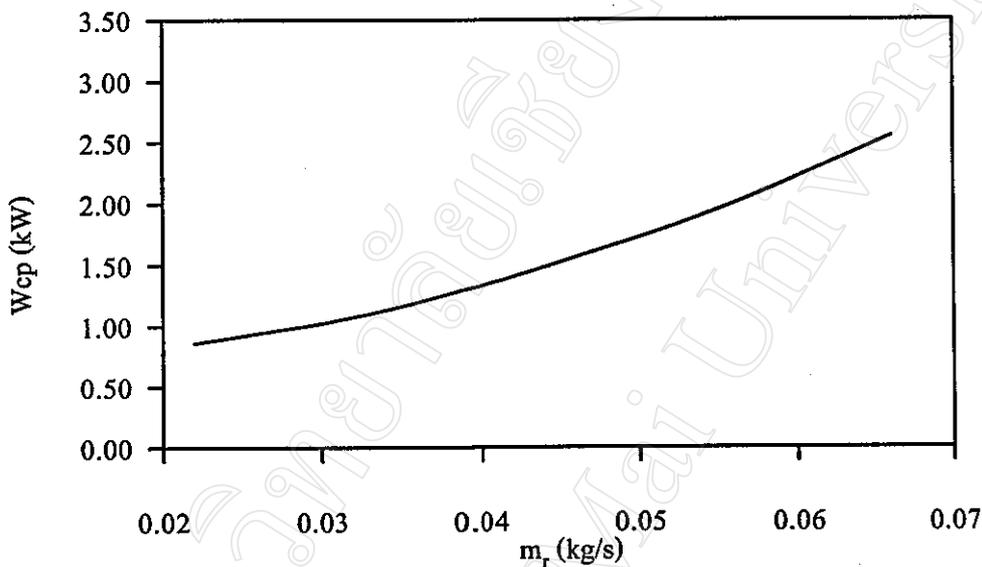


รูป 4.14 แสดงแบบจำลองสถานการณ์ของวงจรปรับอากาศที่ใช้อีวาโปเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง

### 4.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ

#### 4.3.1 กำลังที่ใช้ในการอัดสารทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์

ในการตรวจสอบหาค่ากำลังที่ใช้ในการอัดสารทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์ของระบบวงจรผลิตน้ำแข็งจากแบบจำลองสถานการณ์ของระบบ เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ใช้ในการอัดสารทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์กับอัตราการไหลของสารทำความเย็นและสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูป 4.15

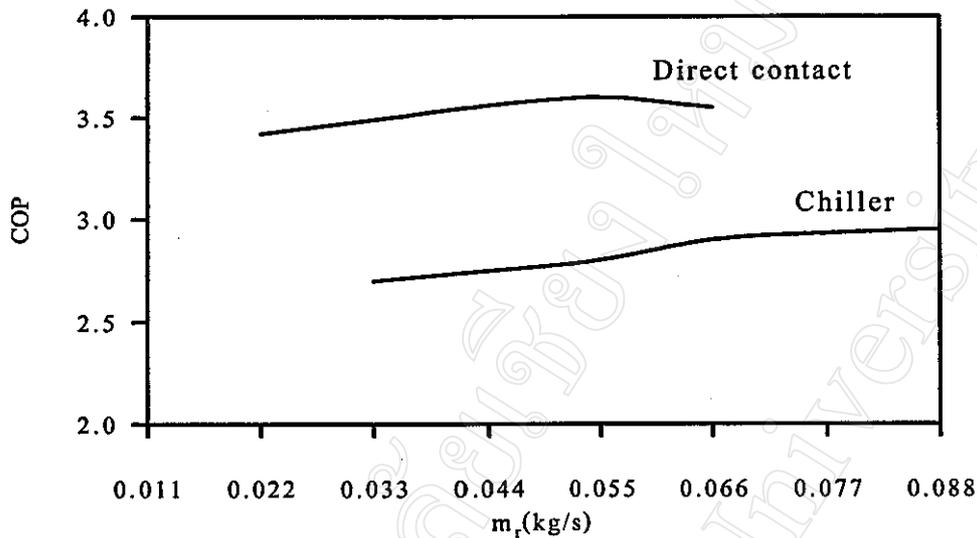


รูป 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอมเพรสเซอร์กับอัตราการไหลของสารทำความเย็น

จากรูป 4.15 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้สูงขึ้น จะส่งผลให้กำลังที่ใช้ในการอัดสารทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์สูงขึ้นด้วย เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้สูงขึ้นนั้น จะส่งผลโดยตรงทำให้ต้องอาศัยกำลังงานในการอัดสารทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์ให้เคลื่อนที่สูงขึ้นตามไปด้วย ถึงแม้ว่าการเพิ่มของอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้สูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนความดัน ( $P_{cp,i}/P_{cp,o}$ ) เพิ่มขึ้นหรือทำให้ผลต่างของความดันขาเข้าและขาออกของคอมเพรสเซอร์ลดลงก็ตาม

4.3.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบวงจรผลิตน้ำแข็งและระบบวงจรผลิตน้ำเย็น โดยจะใช้ค่าสมรรถนะ COP ซึ่งเป็นอัตราส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในฮีวปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงต่อกำลังที่ใช้อัดสารทำความเย็นของคอมเพรสเซอร์ โดยได้จากการจำลองสถานการณ์ของระบบวงจรผลิตน้ำเย็นและระบบวงจรผลิตน้ำแข็งที่ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ 9.5 รอบต่อ

วินาทีของระบบวงจรผลิตน้ำแข็ง พบว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการไหลของสารทำความเย็น แสดงดังรูป 4.16

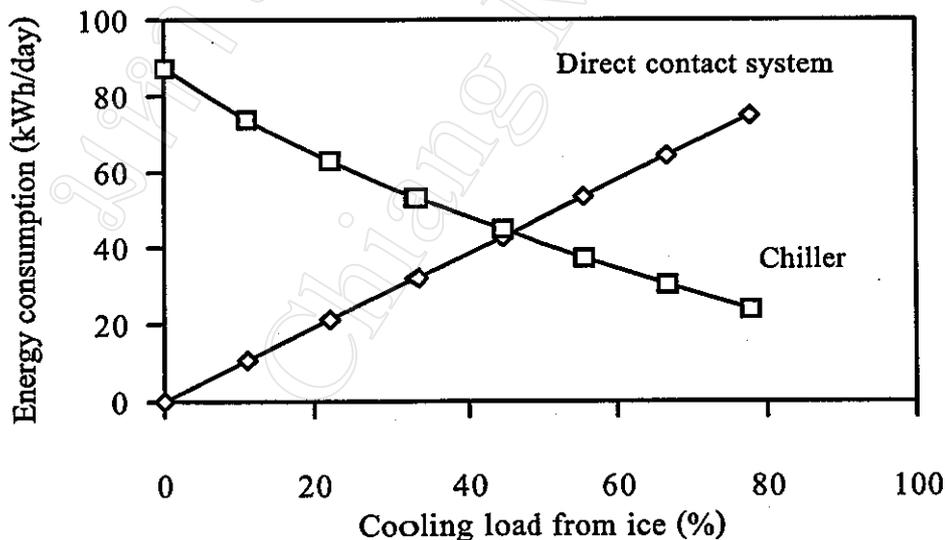


รูป 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะและอัตราการไหลของสารทำความเย็น

จากรูป 4.16 พบว่าเส้นบนแสดงถึงสมรรถนะของระบบวงจรผลิตน้ำแข็ง (COP) จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของสารทำความเย็นและความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ในระบบวงจรผลิตน้ำแข็งกล่าวคือ เมื่ออัตราการไหลของสารทำความเย็นต่ำส่งผลให้สมรรถนะของระบบต่ำด้วย เนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนที่อีวาพอเรเตอร์ต่ำและเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของสารทำความเย็นขึ้นก็จะส่งผลให้สมรรถนะของระบบเพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลให้สูงไปอีก พบว่าสมรรถนะของระบบกลับลดลงเนื่องจากกำลังที่คอมเพรสเซอร์ใช้อัดสารทำความเย็นให้เคลื่อนที่จะสูงขึ้นมาก ดังแสดงจากรูป 4.15 ถึงแม้ว่าการเพิ่มของอัตราการไหลให้สูงขึ้นจะส่งผลทำให้อัตราส่วนความดัน ( $P_{c,p}/P_{c,o}$ ) เพิ่มขึ้นหรือทำให้ผลต่างของความดันขาเข้าและขาออกของคอมเพรสเซอร์ลดลงก็ตาม โดยจากรูป 4.16 อัตราการไหล 0.055 kg/s จะส่งผลทำให้ค่า COP ของระบบสูงประมาณ 3.5 ส่วนเส้นด้านล่างแสดงถึงสมรรถนะของระบบวงจรผลิตน้ำเย็นจะต่ำกล่าวระบบวงจรผลิตน้ำแข็งกล่าวคือ เมื่ออัตราการไหลของสารทำความเย็นต่ำจะส่งผลให้สมรรถนะของระบบต่ำ แต่เมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลก็ทำให้สมรรถนะของระบบค่อยๆสูงขึ้นและจะมีค่าสูงในช่วงอัตราการไหล 0.066-0.088 kg/s โดยค่า COP สูงประมาณ 2.91

#### 4.3.3 การศึกษาการนำเอาฮีวปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงมาใช้ในการปรับอากาศ

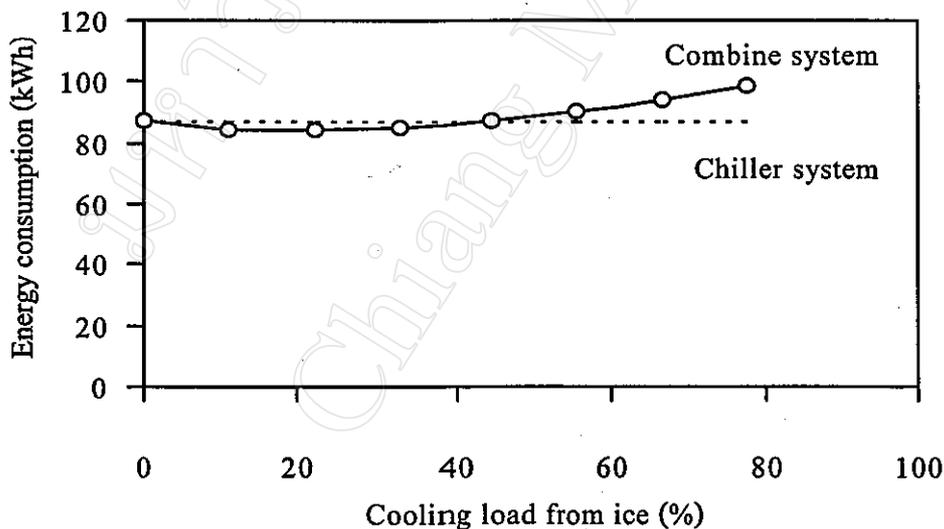
การศึกษาการนำเอาฮีวปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงในการผลิตน้ำแข็งมาใช้ร่วมกับวงจรการปรับอากาศหลัก โดยโครงการวิจัยนี้ได้แบ่งภาระความเย็นให้แก่วงจรการปรับอากาศหลักคือ วงจรผลิตน้ำเย็นให้มีความสามารถในการทำความเย็นประมาณ 5 ตันความเย็น ซึ่งเป็นวงจรหลักในการปรับสภาวะอากาศ เนื่องจากใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าโดยประมาณในการทำความเย็นเท่ากับการใช้กระแสรวมของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆภายในห้องและวงจรผลิตน้ำแข็งที่ใช้ฮีวปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง ซึ่งมีความสามารถในการทำความเย็นประมาณ 2 ตันความเย็น ทำการผลิตน้ำแข็งมาใช้ในเสริม กรณีที่มีภาระความร้อนของห้องเกินความสามารถที่วงจรผลิตน้ำเย็นหรือซิลเลอร์น้ำเย็นของระบบวงจรผลิตน้ำเย็นจะสามารถให้ได้ โดยจะทำการเปิดวาล์วให้น้ำเย็นจากซิลเลอร์ไหลเข้าไปในฮีวปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงหรือถ้าน้ำแข็งก่อนจะป้อนเข้าสู่เครื่องส่งลมเย็น โดยทำการควบคุมด้วยมือ จากนั้นได้ทำการศึกษาถึงพลังงานที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ที่ใช้ในการปรับสภาวะอากาศ เมื่อมีการใช้ฮีวปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงมาใช้ในการผลิตน้ำแข็งร่วมกับวงจรปรับสภาวะอากาศหลัก และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในแต่ละวงจรกับเปอร์เซ็นต์ที่ใช้ฮีวปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงในการผลิตน้ำแข็งมาใช้ร่วมในการปรับสภาวะอากาศ ดังรูป 4.17



รูป 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการใช้ฮีวปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงร่วมในการปรับอากาศ

จากรูป 4.17 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในหนึ่งวัน ในการปรับสถานะอากาศของระบบวงจรผลิตน้ำแข็งของอีวาपोเรเตอร์แบบสั้มผัส โดยตรงกับวงจรผลิตน้ำเย็นของซิลเลอร์ พบว่าเมื่อมีการใช้น้ำแข็งที่ผลิตได้จากอีวาपोเรเตอร์แบบสั้มผัสโดยตรงมาใช้ร่วม ในการปรับสถานะอากาศ ส่งผลทำให้คอมเพรสเซอร์ของระบบปรับสถานะอากาศหลักหรือซิลเลอร์ น้ำเย็นใช้พลังงานในการปรับอากาศน้อยลง โดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณภาระความร้อนที่จะใช้น้ำแข็งที่ ผลิตภายในอีวาपोเรเตอร์แบบสั้มผัสโดยตรงมาใช้ร่วมในการปรับอากาศ กล่าวคือเมื่อมีการใช้อีวา พอเรเตอร์แบบสั้มผัสโดยตรงในการผลิตน้ำแข็งมาใช้ร่วมในการปรับสถานะอากาศมาก ก็จะส่งผล ทำให้พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ของระบบปรับสถานะอากาศหลักน้อยลง โดยเมื่อทำการใช้ซิล เลอร์น้ำเย็นเพียงอย่างเดียวจะทำให้คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานสูงสุดประมาณ 87.36 กิโลวัตต์ชั่วโมง ต่อวัน

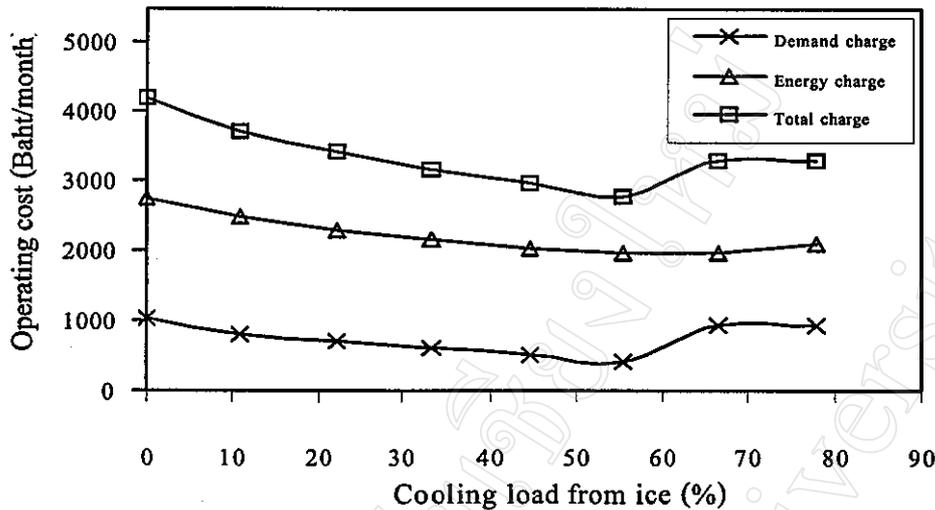
เมื่อทำการพิจารณาถึงพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้เมื่อมีการใช้อีวาपोเรเตอร์แบบสั้มผัส โดยตรงในการผลิตน้ำแข็งร่วมในการปรับสถานะอากาศ โดยทำการเปรียบเทียบกับการปรับสถานะ อากาศที่ใช้ระบบวงจรผลิตน้ำเย็นหรือซิลเลอร์เพียงอย่างเดียว สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้กับภาระความเย็นที่แบ่งให้อีวาपोเรเตอร์แบบสั้มผัส โดยตรงในการ ปรับสถานะอากาศได้ดังรูป 4.18



รูป 4.18 พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้และรูปแบบของการปรับสถานะอากาศ

จากรูป 4.18 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในการปรับสภาวะอากาศเมื่อมีการใช้อีวาพอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงร่วมกับซิลเลอร์ในการปรับอากาศ กับเมื่อมีการใช้ซิลเลอร์น้ำเย็นเพียงอย่างเดียวในการปรับอากาศ พบว่าเมื่อมีการใช้อีวาพอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงร่วมกับซิลเลอร์น้ำเย็นในการปรับสภาวะอากาศ จะสามารถประหยัดพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ได้มากกว่าเมื่อมีการใช้ซิลเลอร์เพียงอย่างเดียวในการปรับอากาศ โดยสามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุดเมื่อมีการแบ่งภาระความร้อนให้แก่อีวาพอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงในการผลิตน้ำแข็งเพื่อใช้ในการปรับสภาวะอากาศ ในอัตราส่วนประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ของภาระความร้อนทั้งหมด เนื่องจากว่าสมรรถนะ (COP) ของวงจรผลิตน้ำแข็งของอีวาพอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงสูงกว่าสมรรถนะของระบบซิลเลอร์น้ำเย็น ดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.3.2 จึงทำให้ระบบสามารถประหยัดพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในการปรับสภาวะอากาศ เมื่อมีการใช้อีวาพอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงร่วมในการปรับสภาวะอากาศ แต่เมื่อมีการแบ่งภาระความร้อนให้อีวาพอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง ในอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับซิลเลอร์น้ำเย็นก็จะทำให้พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องใช้ในการผลิตน้ำแข็งของอีวาพอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงเพิ่มมากขึ้น โดยจะส่งผลต่อพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องใช้ในการปรับอากาศ เมื่อมีการใช้อีวาพอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงร่วมกับซิลเลอร์น้ำเย็นมากกว่าพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องใช้ เมื่อมีการใช้ซิลเลอร์น้ำเย็นเพียงอย่างเดียวในการปรับอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากว่าอัตราการการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ของอีวาพอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงสูงกว่าอัตราการลดลงของการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ของซิลเลอร์ เมื่อมีการแบ่งภาระความร้อนให้อีวาพอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรง ในอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับระบบซิลเลอร์น้ำเย็น ดังแสดงในรูป 4.17

จากนั้นทำการพิจารณาถึงราคาในการดำเนินการทางไฟฟ้า (Electric cost) เมื่อมีการใช้อีวาพอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงมาใช้ในการปรับสภาวะอากาศร่วมกับระบบปรับอากาศหลักหรือซิลเลอร์น้ำเย็น โดยเมื่อทำการแบ่งภาระความร้อนให้อีวาพอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงเพื่อทำการผลิตน้ำแข็งในอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ต่างๆ เทียบกับระบบซิลเลอร์น้ำเย็น



รูป 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาค่าเงินการและการใช้อิวาปอเรเตอร์ร่วมในการปรับอากาศ

จากรูป 4.19 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาในการดำเนินการของโครงการวิจัยนี้ที่ได้ใช้อิวาปอเรเตอร์แบบสัฟต์โดยตรงมาใช้ร่วมในการปรับสภาวะอากาศกับภาระความร้อนที่แบ่งให้อิวาปอเรเตอร์แบบสัฟต์โดยตรงในอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับซิลเลอร์น้ำเย็น จากรูปราคาค่าดำเนินการประมาณ 4,193 บาทต่อเดือน เมื่อมีการใช้ระบบผลิตน้ำเย็นหรือซิลเลอร์น้ำเย็นเพียงอย่างเดียว ซึ่งราคาการดำเนินการทางไฟฟ้า จะประกอบไปด้วยค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand charge) และค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy charge) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการแบ่งภาระความร้อนให้อิวาปอเรเตอร์แบบสัฟต์โดยตรงในการผลิตน้ำแข็งเพื่อปรับสภาวะอากาศมากขึ้น ก็จะทำให้ราคาค่าเงินการต่ำลงเรื่อยๆ เนื่องจากว่าค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าน้อยลง เพราะเมื่อทำการแบ่งภาระความร้อนให้อิวาปอเรเตอร์แบบสัฟต์โดยตรงมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้พลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องใช้ในการปรับอากาศของซิลเลอร์น้ำเย็นลดต่ำลง โดยระบบปรับอากาศหลักหรือซิลเลอร์น้ำเย็นนั้น จะทำการเดินระบบในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง (On peak) ส่วนพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ของอิวาปอเรเตอร์แบบสัฟต์โดยตรงต้องการใช้ในการผลิตน้ำแข็งนั้น ทำการผลิตในช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off peak) ซึ่งจะเสียค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าในอัตราราคาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต่ำ จึงส่งผลให้ราคาค่าเงินการทางไฟฟ้าของระบบปรับอากาศโดยรวมต่ำลง โดยจะสามารถประหยัดราคาค่าดำเนินการทางไฟฟ้าได้ประมาณ 34 เปอร์เซ็นต์ของการใช้ระบบผลิตน้ำเย็นหรือซิลเลอร์น้ำเย็นเพียงอย่างเดียวในการปรับสภาวะอากาศ แต่เมื่อทำการ

แบ่งภาระความร้อนให้อิวาปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงในการผลิตน้ำแข็งในอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์มากขึ้น โดยมากกว่า 56 เปอร์เซ็นต์ของภาระความร้อนทั้งหมด จะทำให้ราคาในดำเนินการทางไฟฟ้าสูงขึ้นทันที เนื่องจากว่าระบบวงจรผลิตน้ำแข็งที่ใช้อิวาปอเรเตอร์แบบสัมผัสโดยตรงในการผลิตน้ำแข็งนั้น จะไม่สามารถผลิตน้ำแข็งได้ทันภายในช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำ จึงต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าในอัตราที่สูงภายในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูง โดยคิดราคาการดำเนินการทางไฟฟ้าของโครงการวิจัยนี้แบบอัตรา Time of use rate (TOU) ดังตาราง 1.1 ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Chiang Mai University