

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

#### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ตอนที่ 1

##### 1. ตัวแปรคงที่ในการทดลอง

อัตราการไหลโดยมวลของน้ำที่เครื่องระเหย 0.007 กิโลกรัมต่อวินาที

อัตราการไหลโดยมวลของน้ำที่เครื่องควบแน่น 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที

กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์โดยเฉลี่ย 0.874 กิโลวัตต์

ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ 265.4 รอบต่อนาที

อุณหภูมิของน้ำไหลเข้าเครื่องควบแน่นโดยเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส

\*\*\* หมายถึง ตั้งสมมติฐานให้ อุณหภูมิเครื่องระเหย ( $T_e$ ) =  $T_7$  และ อุณหภูมิเครื่องควบแน่น ( $T_c$ ) =  $T_6$

##### 2. ผลการทดลอง

##### ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองในตอนที่ 1

| Data Number | $T_2$<br>°C | $T_1$<br>°C | $T_4$<br>°C | $T_5$<br>°C | $T_6$<br>°C | $T_7$<br>°C | $T_9$<br>°C | $P_4$<br>psig | $P_5$<br>psig | $P_6$<br>psig | $P_7$<br>psig |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1           | 32.4        | 11.8        | 10.4        | 74.5        | 56.4        | 10.5        | 70.4        | 46            | 285           | 270           | 48            |
| 2           | 37.7        | 12.5        | 11.5        | 87.6        | 54.6        | 11          | 74.2        | 48            | 305           | 280           | 49            |
| 3           | 40.5        | 12.7        | 14.4        | 97.6        | 52.5        | 10.9        | 77.7        | 49            | 315           | 290           | 50            |
| 4           | 43.1        | 13          | 21.6        | 102.9       | 51.4        | 11.1        | 78.8        | 49            | 320           | 295           | 50            |
| 5           | 46.5        | 16.1        | 36.9        | 113.1       | 46.1        | 11.4        | 79.3        | 49            | 320           | 295           | 50            |
| 6           | 51.7        | 17.1        | 42.1        | 117.4       | 46.7        | 11.7        | 81.4        | 50            | 325           | 300           | 51            |
| 7           | 54.6        | 20.7        | 45.3        | 121.6       | 45.1        | 11.9        | 83.3        | 51            | 335           | 305           | 52            |
| 8           | 62.2        | 26.1        | 50.3        | 126.2       | 42.3        | 11.5        | 84.1        | 51            | 345           | 310           | 52            |

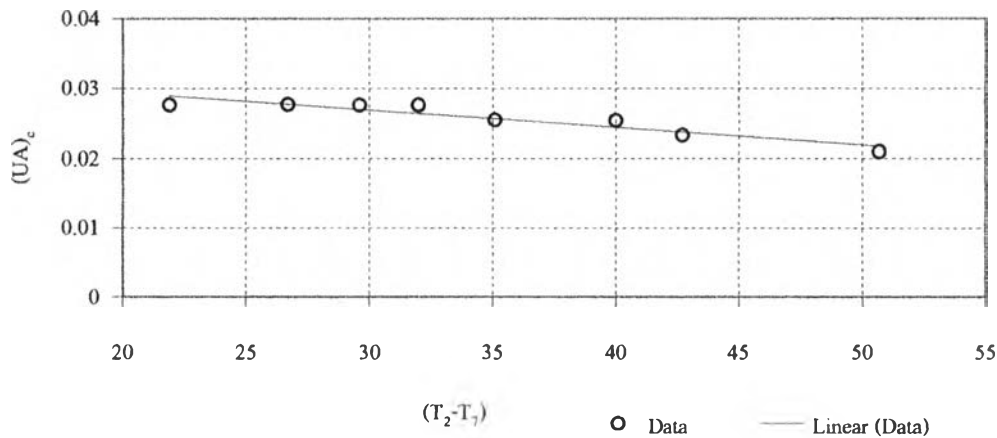
##### 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

##### 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ( $UA$ )<sub>e</sub> และ ( $T_2 - T_7$ )

Stoecker (1989) กำหนดให้ ( $UA$ )<sub>e</sub> =  $f(T_2 - T_7)$  จากผลการทดลองสามารถหาความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยใช้วิธีการถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear Regression) ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$(UA)_e = -0.000251(T_2 - T_7) + 0.0344035 ; R^2 = 0.88$$

$R^2$  = สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination)



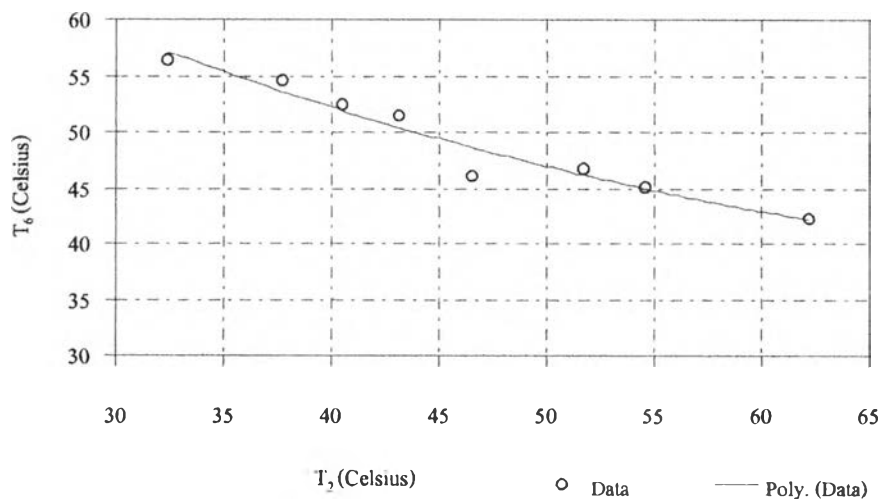
รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(UA)_e$  และ  $(T_2 - T_7)$

จากรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทางเข้าของสารทำความเย็นและน้ำที่เครื่องระเหย มีความแตกต่างกันมากการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องระเหยจะลดลง นั่นหมายความว่าความสามารถในการรับความร้อนของฮีตปั๊มจะลดลงตามไปด้วย

### 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $T_6$ และ $T_2$

กำหนดให้  $T_6 = f(T_2)$  จากผลการทดลองสามารถหาความสัมพันธ์ได้ โดยใช้วิธีการถดถอยแบบพหุนาม (Polynomial Regression) ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$T_6 = 0.0066T_2^2 - 1.122T_2 + 86.572 ; R^2 = 0.95$$



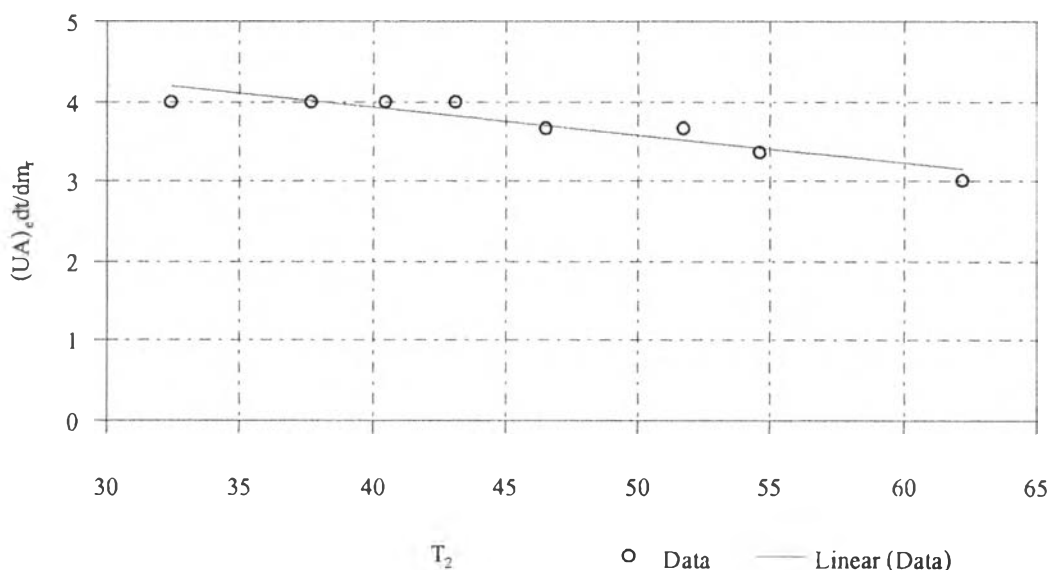
รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $T_6$  และ  $T_2$

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{(UA)_e}{\dot{m}_r}$  และ  $T_2$

กำหนดให้  $\frac{(UA)_e}{\dot{m}_r} = f(T_2)$  จากผลการทดลองสามารถหาความสัมพันธ์ได้ โดยใช้

วิธีการถดถอยแบบเชิงเส้น ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\frac{(UA)_e}{\dot{m}_r} = -0.0346T_2 + 5.301 ; R^2 = 0.87$$



รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{(UA)_e}{\dot{m}_r}$  และ  $T_2$

3.4 การรับความร้อนแฝงของเครื่องระเหย

สมรรถนะของเครื่องระเหย อาจพิจารณาจากการรับความร้อนแฝงของสารทำความเย็น ซึ่งจัดอยู่ในเทอมของความร้อนที่เข้าสู่ระบบ หรือความร้อนของเครื่องระเหย Stoecker (1989) ได้แสดงความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการระเหย และอุณหภูมิของน้ำที่ถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำความเย็น ดังสมการ

$$Q_u = f(T_7, T_2)$$

จากผลการทดลองสามารถหาความสัมพันธ์ โดยใช้วิธีการถดถอยแบบหลายเชิง (Multiple Regression), แบบเชิงเส้น ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$Q_u = 0.873991 + 0.0001220669T_7 - 0.000004999699T_2 ; R^2 = 0.024$$

3.5 สมรรถนะของเครื่องระเหย

Kiatsirirot, Chowceun และ Wibulswas (1990) แสดงในรูปแบบของสมการ

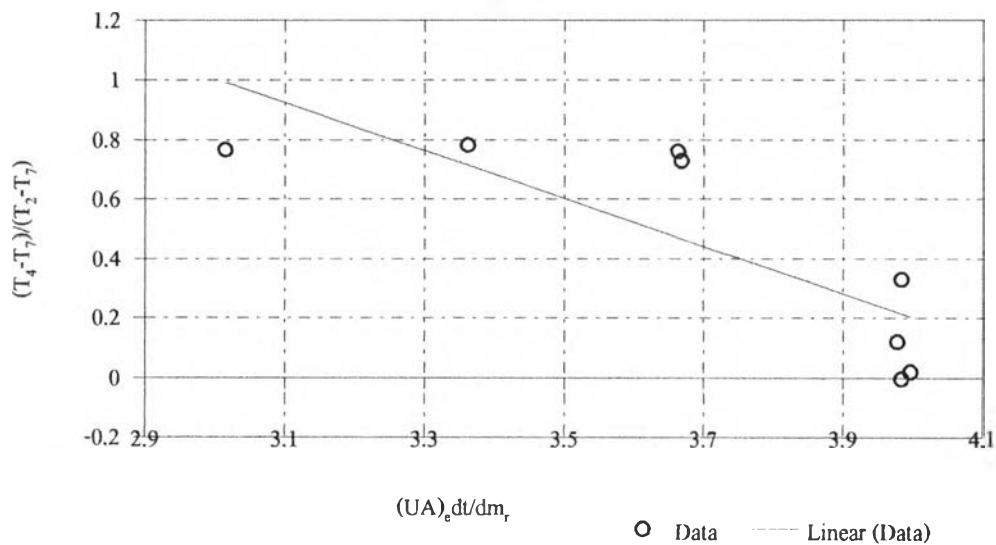
$$\frac{T_7}{T_2 - T_7} = f\left(\frac{(UA)_e}{\dot{m}_r}, T_6\right)$$

จากสมการดังกล่าวอาจไม่พิจารณา  $T_6$  สมการจะลดรูปเป็น

$$\frac{T_4 - T_7}{T_2 - T_7} = f\left(\frac{(UA)_e}{\dot{m}_r}\right)$$

จากผลการทดลองสามารถหาความสัมพันธ์ได้ โดยใช้วิธีการถดถอยแบบเชิงเส้น โดยซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\frac{T_4 - T_7}{T_2 - T_7} = -0.802901 \left(\frac{(UA)_e}{\dot{m}_r}\right) + 3.41248 ; R^2 = 0.653$$



รูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{T_4 - T_7}{T_2 - T_7}$  และ  $\frac{(UA)_e}{\dot{m}_r}$

รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความแตกต่างของอุณหภูมิที่เครื่องระเหย เมื่อ  $\frac{T_4 - T_7}{T_2 - T_7}$  มีค่าลดลง อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหยต่ออัตราการไหลโดยมวลของสารทำความเย็นมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากน้ำไปสู่สารทำความเย็นได้ดีขึ้น และกรณีที่ พิจารณา  $T_6$  จากผลการทดลองสามารถหาความสัมพันธ์ โดยใช้วิธีการถดถอยแบบหลายเชิง แบบเชิงเส้น ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\frac{T_7}{T_2 - T_7} = -0.4004 - 0.024654 \left(\frac{(UA)_e}{\dot{m}_r}\right) + 0.016865 T_6 ; R^2 = 0.93$$

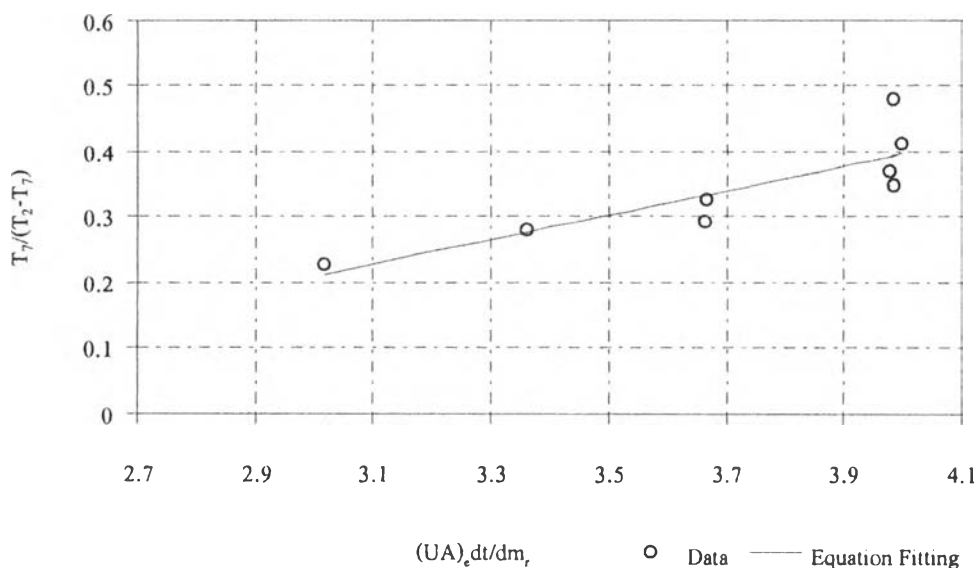
Kiatsiroat, Chowceun และ Wibulswas (1990) จัดให้อยู่ในรูปแบบของสมการ

$$\frac{T_7}{T_2 - T_7} = f\left(\frac{(UA)_e}{\dot{m}_r}\right)$$

จากผลการทดลองสามารถหาความสัมพันธ์ โดยใช้วิธีการถดถอยแบบเชิงเส้น ซึ่งเป็นไป

ตามสมการ

$$\frac{T_7}{T_2 - T_7} = 0.190\left(\frac{(UA)_e}{\dot{m}_r}\right) - 0.3571 \quad ; \quad R^2 = 0.72$$



รูปที่ 4.5 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{T_7}{T_2 - T_7}$  และ  $\frac{(UA)_e}{\dot{m}_r}$

รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความแตกต่างของอุณหภูมิของเครื่องระเหย เมื่อ  $\frac{T_7}{T_2 - T_7}$  มีค่าลดลง อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหยต่ออัตราการไหลโดยมวลของสารทำความเย็นมีค่าลดลงด้วย การถ่ายเทความร้อนจากน้ำไปยังสารทำความเย็นจะลดลง

### 3.5 ครรชนีโพลิทรอปิก

ครรชนีโพลิทรอปิก สามารถคำนวณจากกระบวนการอัดไอแบบโพลิทรอปิก

$$\frac{P_5}{P_4} = \left(\frac{T_5}{T_4}\right)^{\frac{p}{p-1}}$$

จากผลการทดลองพบว่า ครรชนีโพลิทรอปิก มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.16654

### 3.6 อัตราการไหลโดยมวลของสารทำความเย็น

จากผลการทดลองสามารถคำนวณหา  $\dot{m}_r$  ที่ความเร็วของคอมเพรสเซอร์คงที่ โดยใช้หลักสมดุลความร้อนที่เครื่องระเหยและเครื่องควบแน่น กล่าวคือ

$$\text{ที่เครื่องระเหย} \quad \dot{m}_r = \frac{\dot{Q}_u}{h_4 - h_6} \quad ; \quad \dot{Q}_u = c_{pw} \dot{m}_{wf} (T_2 - T_1)$$

$$\text{ที่เครื่องควบแน่น} \quad \dot{m}_r = \frac{\dot{Q}_c}{h_5 - h_6} \quad ; \quad \dot{Q}_c = \dot{m}_{wc} c_{pw} (T_9 - T_8)$$

ในทางปฏิบัติอาจพิจารณาจากค่าเฉลี่ย กล่าวคือ

$$\dot{m}_r = \frac{\frac{\dot{Q}_u}{h_4 - h_6} + \frac{\dot{Q}_c}{h_5 - h_6}}{2}$$

จากการคำนวณพบว่า  $\dot{m}_r$  มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ  $0.00693 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

### 3.7 อัตราส่วนความดัน

กำลังขับคอมเพรสเซอร์อาจพิจารณาได้จากอัตราส่วนความดัน ถ้าหากสูงเกินไปย่อมหมายถึงกำลังขับเพิ่มขึ้นตามไปด้วย Stoecker (1989) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความดัน กับอัตราการไหลของสารทำความเย็นและความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ ดังสมการ

$$\frac{P_5}{P_4} = f\left(\frac{\dot{m}_r \sqrt{T_4}}{P_4}\right) \quad \text{และ} \quad \frac{P_4}{P_5} = f\left(\frac{\dot{m}_r \sqrt{T_5}}{P_5}\right)$$

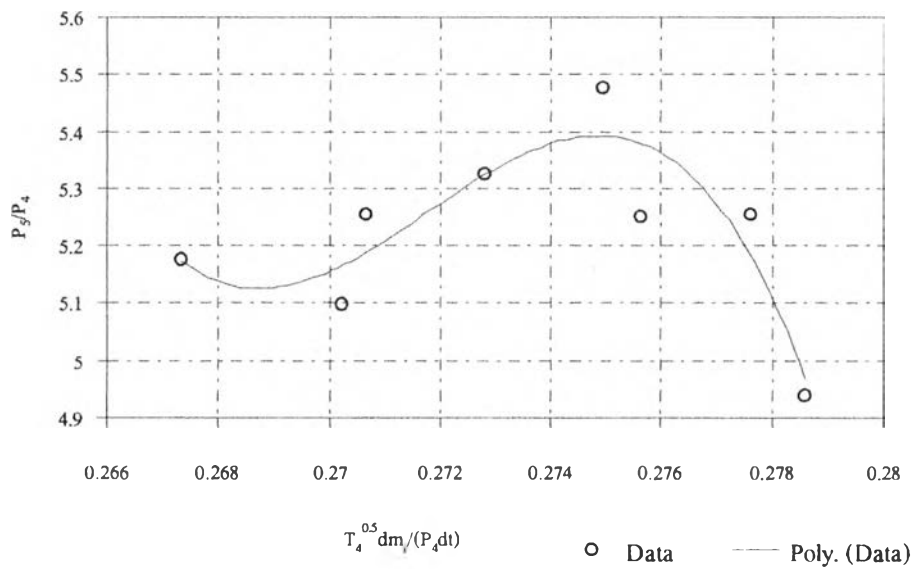
จากผลการทดลองสามารถหาความสัมพันธ์ โดยใช้วิธีการถดถอยแบบพหุนาม และเชิงเส้น ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\frac{P_5}{P_4} = -2331852 \left(\frac{\dot{m}_r \sqrt{T_4}}{P_4}\right)^3 + 1901345 \left(\frac{\dot{m}_r \sqrt{T_4}}{P_4}\right)^2 - 516707.1 \left(\frac{\dot{m}_r \sqrt{T_4}}{P_4}\right) + 46805.88$$

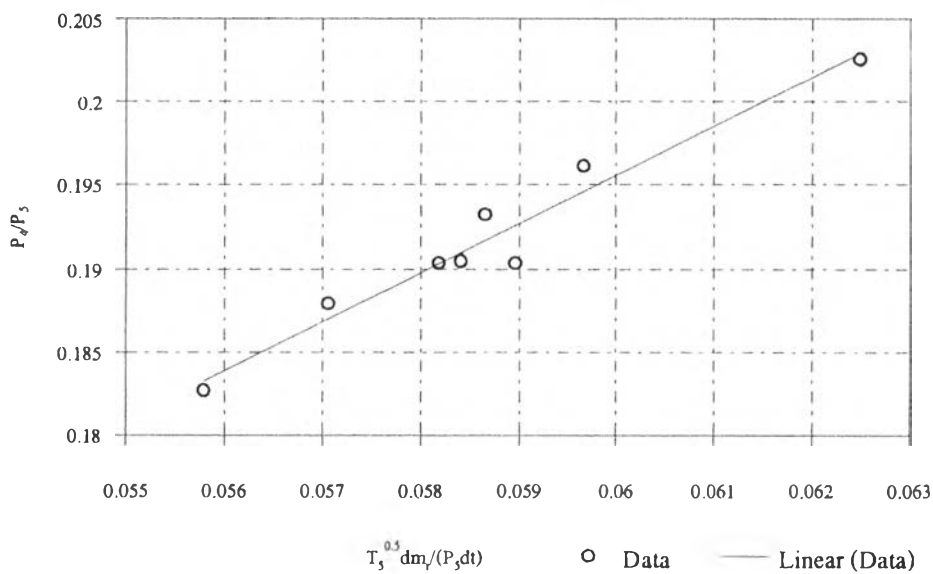
$$; \quad R^2 = 0.78$$

$$\frac{P_4}{P_5} = 1.789 \left(\frac{\dot{m}_r \sqrt{T_5}}{P_5}\right) + 0.0846 \quad ; \quad R^2 = 0.95$$

เมื่ออัตราส่วนความดันมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานหนักขึ้นตามไปด้วย จากรูปที่ 4.6 พบว่า  $\frac{\dot{m}_r \sqrt{T_4}}{P_4}$  มีค่าเพิ่มขึ้น อัตราส่วนความดันค่อนข้างแปรผันตามในลักษณะกระจัดกระจาย



รูปที่ 4.6 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{P_5}{P_4}$  และ  $\frac{\dot{m}_r \sqrt{T_4}}{P_4}$



รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{P_4}{P_5}$  และ  $\frac{\dot{m}_r \sqrt{T_5}}{P_5}$

### 3.8 สมรรถนะของเครื่องควบแน่น

Kiatsiroat, Chowceun และ Wibulswas (1990) สามารถแสดงในรูปแบบของสมการ

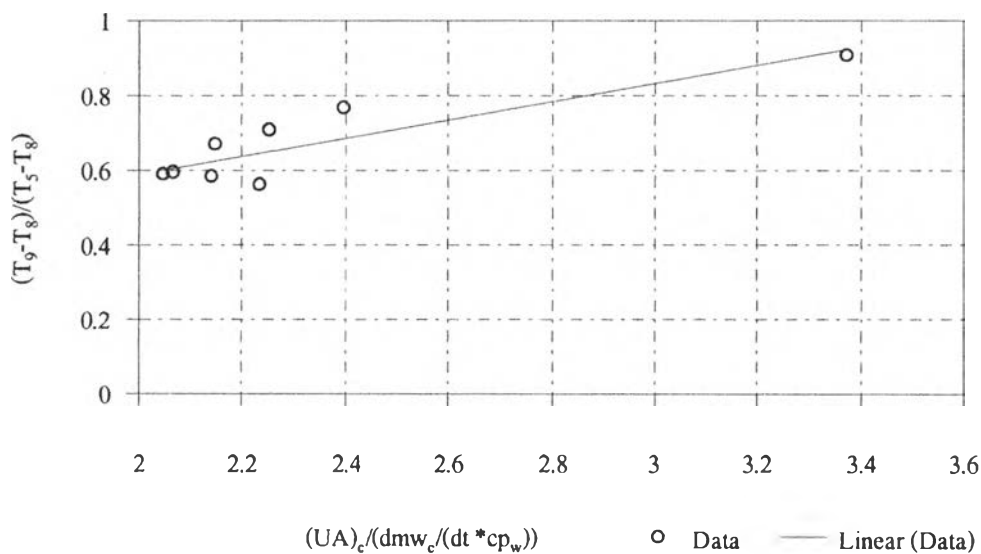
$$\frac{T_9 - T_8}{T_5 - T_8} = f \left( \frac{(UA)_c}{\dot{m}_{wc} \cdot c_{pw}} \right)$$

$$\text{โดยที่} \quad (UA)_c = \frac{\dot{Q}_c}{(LMTD)_c}$$

จากผลการทดลองสามารถหาความสัมพันธ์ โดยใช้วิธีการถดถอยแบบเชิงเส้น ซึ่งเป็นไป

ตามสมการ

$$\frac{T_9 - T_8}{T_5 - T_8} = 0.2428 \left( \frac{(UA)_c}{\dot{m}_{wc} \cdot c_{pw}} \right) + 0.1058 \quad ; \quad R^2 = 0.79$$



รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{T_9 - T_8}{T_5 - T_8}$  และ  $\frac{(UA)_c}{\dot{m}_{wc} \cdot c_{pw}}$

รูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความแตกต่างของอุณหภูมิของเครื่องควบแน่น เมื่อ  $\frac{T_9 - T_8}{T_5 - T_8}$  มีค่าเพิ่มขึ้น อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องควบแน่นต่อผลคูณระหว่างอัตราการไหลโดยมวลของน้ำและอัตราการไหลโดยมวลของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ความสามารถในการระบายความร้อนจากสารทำความเย็น ไปสู่น้ำก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

### 3.9 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊ม

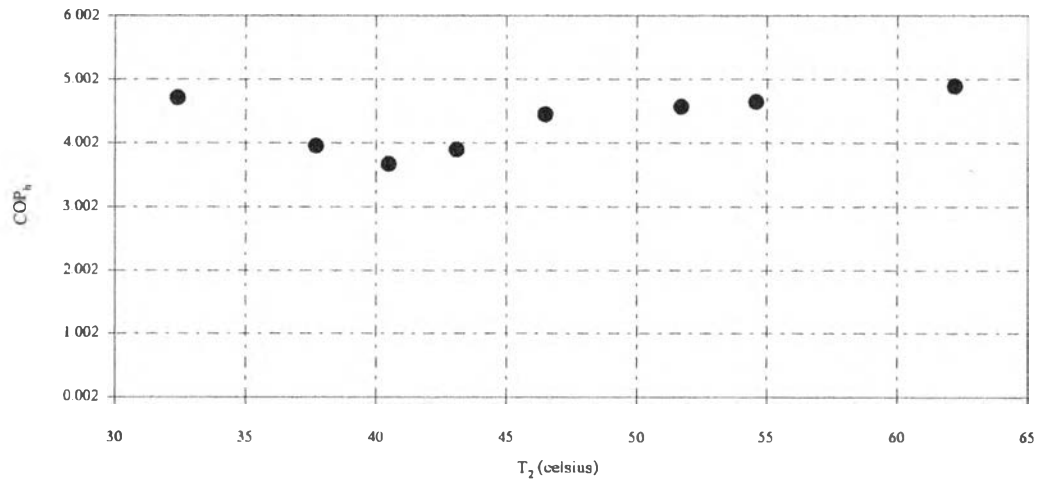
การประเมินสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊ม แสดงอยู่ในรูปสมการ

$$COP_b = \frac{\dot{Q}_c}{WC} = \frac{h_5 - h_6}{h_5 - h_4}$$

\*\*\* หมายถึง  $\dot{Q}_c = \dot{m}_r (h_5 - h_6)$  และ  $WC = \dot{m}_r (h_5 - h_4)$  โดยที่ เอนทัลปีพิจารณาในสภาวะไอร้อนยิ่งยวด (Superheat Condition) โดยที่  $h = f(T, P)$

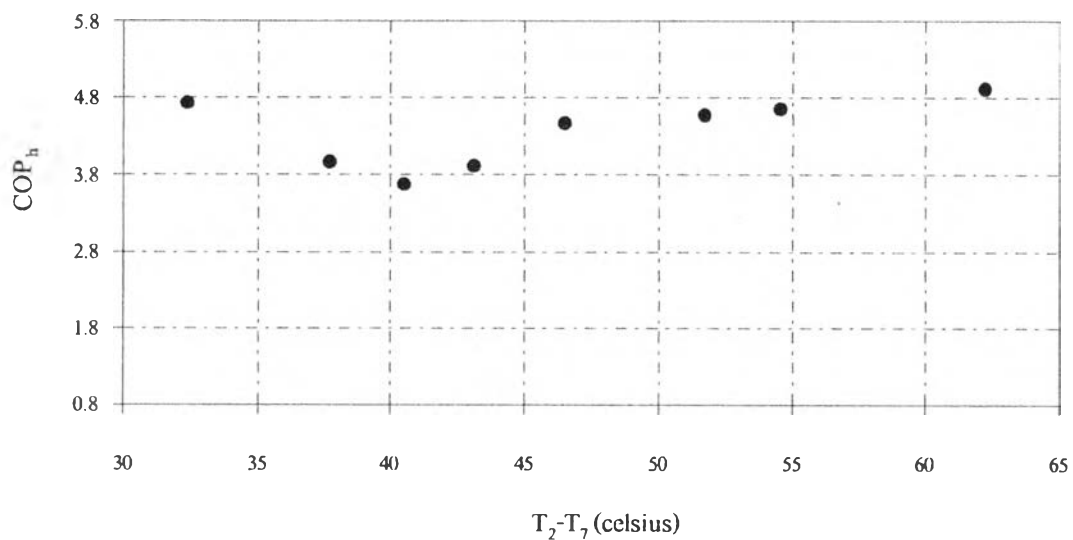


จากผลการทดลองสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $COP_h$  และ  $T_2$  ได้ดังนี้



รูปที่ 4.9 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $COP_h$  และ  $T_2$

รูปที่ 4.9 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊ม กับ อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าเครื่องระเหย พบว่ามีความสัมพันธ์กันเชิงนัยสำคัญตามหลักสถิติที่  $R^2 = 0.276$  ซึ่ง แสดงถึงเสถียรภาพในการทำงานของฮีตปั๊ม



รูปที่ 4.10 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $COP_h$  และ  $T_2 - T_7$

รูปที่ 4.10 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊ม กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำและอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ไหลเข้าเครื่องระเหย พบว่ามีความสัมพันธ์กัน เชิงนัยสำคัญตามหลักสถิติที่  $R^2 = 0.278$

ในการคำนวณหา  $COP_h$  จะพิจารณาจากตัวแปรที่ได้จากวัดคุณสมบัติของฟรียอน-12 ได้แก่ อุณหภูมิและความดัน ซึ่งเป็นหลักการในการคำนวณความสารณในการทำงานของฮีตปั๊มอย่างแท้จริง อย่างไรก็ตามเมื่อคำนวณเปรียบเทียบจากกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ จะคิดรวมความสูญเสียพลังงานในระบบไฟฟ้าที่มอเตอร์ (สนามแม่เหล็ก) และจากความเสียดทานของมอเตอร์และคอมเพรสเซอร์ รวมทั้งความสูญเสียอื่น เช่น ความสิ้นสะเทือน และการเชื่อมต่อของระบบส่งกำลัง เป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้นปัจจัยจากระบบส่งกำลัง ซึ่งเป็นสายพานและพูลเลย์ โดยประเป็นส่งกำลังที่มีประสิทธิภาพไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับระบบส่งกำลังประเภทอื่น เช่น การส่งกำลังแบบต่อเพลามอเตอร์กับเพลของคอมเพรสเซอร์โดยตรง เป็นต้น รวมทั้งอุปกรณ์ทดลองบางส่วน เช่น คอมเพรสเซอร์ เป็นต้น เป็นของเก่าซึ่งนำมาปรับปรุงให้สามารถใช้งานได้ และพบว่าอาจคำนวณได้จากสมการ

$$COP_h = \frac{\dot{Q}_c}{\text{kW of motor}}$$

จากผลการคำนวณพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.97 - 1.3

#### ผลการจำลองการทำงานผลทดลองตอนที่ 1

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในเบื้องต้นในการจำลองการทำงานของฮีตปั๊ม จะพิจารณาเฉพาะเงื่อนไขสถานะสม่ำเสมอเท่านั้น ในการจำลองจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งเขียนด้วยภาษา Visual Basic 5.0 ช่วยในการคำนวณ สำหรับรายละเอียดของโปรแกรมแสดงดัง ภาคผนวก

##### 1. ข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในการจำลองการทำงาน

###### 1.1 ตัวแปรคงที่

อัตราการไหลโดยมวลของน้ำที่เครื่องระเหย/เครื่องควบแน่น 0.007/0.005 กิโลกรัมต่อวินาที

อัตราการไหลโดยมวลของสารทำความเย็น 0.00693 กิโลกรัมต่อวินาที

ความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของน้ำ  $4.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$

อุณหภูมิของน้ำไหลเข้าเครื่องควบแน่นโดยเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส

###### 1.2 ตัวแปรผันแปร

อุณหภูมิของน้ำไหลเข้าเครื่องระเหยมีค่าแปรผันทั้งหมด 8 ค่า ได้แก่ 32.4, 37.7, 40.5, 43.1, 46.5, 51.7, 54.6 และ 62.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อัตราพลังงานความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์โดยถ่ายเทให้กับของเหลว หรืออัตราพลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับเครื่องควบแน่นมีค่าแปรผันทั้งหมด 8 ค่า ได้แก่ 0.604198, 0.739116, 0.815374, 0.882833, 0.891632, 1.014818, 0.994287 และ 1.058813 กิโลวัตต์ ตามลำดับ

##### 2. ผลการจำลองการทำงานเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ผลการจำลองการทำงานเปรียบกับการทดลองของ  $T_1, T_4, T_6, T_7$

| Parameters Input                 |                    | Parameters Output |       |                 |       |                 |        |                 |       |                 |       |
|----------------------------------|--------------------|-------------------|-------|-----------------|-------|-----------------|--------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| $Q_u$                            | $T_2$              | $T_1$ (Celsius)   |       | $T_4$ (Celsius) |       | $T_5$ (Celsius) |        | $T_6$ (Celsius) |       | $T_7$ (Celsius) |       |
| kW                               | $^{\circ}\text{C}$ | exp.              | sim.  | exp.            | sim.  | exp.            | sim.   | exp.            | sim.  | exp.            | sim.  |
| 0.604198                         | 32.4               | 11.80             | 11.80 | 10.40           | 11.47 | 74.50           | 84.07  | 56.40           | 57.15 | 10.50           | 10.21 |
| 0.739116                         | 37.7               | 12.50             | 12.50 | 11.50           | 16.35 | 87.60           | 98.51  | 54.60           | 53.65 | 11.00           | 10.89 |
| 0.815374                         | 40.5               | 12.70             | 12.70 | 14.40           | 19.41 | 97.60           | 103.81 | 52.50           | 51.96 | 10.90           | 11.15 |
| 0.882833                         | 43.1               | 13.00             | 13.00 | 21.60           | 22.58 | 102.90          | 107.59 | 51.40           | 50.47 | 11.10           | 11.34 |
| 0.891632                         | 46.5               | 16.10             | 16.10 | 36.90           | 27.20 | 113.10          | 111.02 | 46.10           | 48.67 | 11.40           | 11.52 |
| 1.014818                         | 51.7               | 17.10             | 17.10 | 42.10           | 35.41 | 117.40          | 113.17 | 46.70           | 46.21 | 11.70           | 11.69 |
| 0.994287                         | 54.6               | 20.70             | 20.70 | 45.30           | 40.60 | 121.60          | 113.88 | 45.10           | 44.99 | 11.90           | 11.75 |
| 1.058813                         | 62.2               | 26.10             | 26.10 | 50.30           | 56.39 | 126.20          | 130.58 | 42.30           | 42.32 | 11.50           | 11.86 |
| The Coefficient of Determination |                    | $R^2 = 1.00$      |       | $R^2 = 0.87$    |       | $R^2 = 0.9$     |        | $R^2 = 0.95$    |       | $R^2 = 0.83$    |       |
| The Coefficient of Correlation   |                    | $R = 1.00$        |       | $R = 0.93$      |       | $R = 0.95$      |        | $R = 0.97$      |       | $R = 0.91$      |       |

\*\*\* sim. = simulation , exp. = experiment ;  $R$  = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of Correlation)

ตารางที่ 4.3 ผลการจำลองการทำงานเปรียบกับการทดลองของ  $T_9, WC, Q_c, COP_h$

| Parameters Input                 |                    | Parameters Output |       |              |      |              |      |              |      |
|----------------------------------|--------------------|-------------------|-------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|
| $Q_u$                            | $T_2$              | $T_9$ (Celsius)   |       | WC (kW)      |      | $Q_c$ (kW)   |      | $COP_h$      |      |
| kW                               | $^{\circ}\text{C}$ | exp.              | sim.  | exp.         | sim. | exp.         | sim. | exp.         | sim. |
| 0.604198                         | 32.4               | 70.40             | 72.42 | 0.18         | 0.21 | 0.85         | 0.89 | 4.72         | 4.31 |
| 0.739116                         | 37.7               | 74.20             | 77.87 | 0.24         | 0.27 | 0.93         | 1.00 | 3.95         | 3.69 |
| 0.815374                         | 40.5               | 77.70             | 79.90 | 0.27         | 0.29 | 1.00         | 1.05 | 3.66         | 3.64 |
| 0.882833                         | 43.1               | 78.80             | 81.39 | 0.27         | 0.29 | 1.02         | 1.08 | 3.89         | 3.67 |
| 0.891632                         | 46.5               | 79.30             | 82.78 | 0.25         | 0.29 | 1.03         | 1.11 | 4.45         | 3.83 |
| 1.014818                         | 51.7               | 81.40             | 83.70 | 0.25         | 0.25 | 1.08         | 1.13 | 4.57         | 4.44 |
| 0.994287                         | 54.6               | 83.30             | 84.03 | 0.25         | 0.23 | 1.12         | 1.13 | 4.65         | 4.96 |
| 1.058813                         | 62.2               | 84.10             | 91.17 | 0.25         | 0.29 | 1.13         | 1.28 | 4.89         | 4.44 |
| The Coefficient of Determination |                    | $R^2 = 0.89$      |       | $R^2 = 0.57$ |      | $R^2 = 0.89$ |      | $R^2 = 0.66$ |      |
| The Coefficient of Correlation   |                    | $R = 0.94$        |       | $R = 0.76$   |      | $R = 0.94$   |      | $R = 0.81$   |      |

ตารางที่ 4.4 ผลการจำลองการทำงานเปรียบกับการทดลองของ  $P_4, P_5, P_6, P_7$

| Parameters Input                 |                    | Parameters Output |       |               |        |               |        |              |       |
|----------------------------------|--------------------|-------------------|-------|---------------|--------|---------------|--------|--------------|-------|
| $Q_u$                            | $T_2$              | $P_4$ (psig)      |       | $P_5$ (psig)  |        | $P_6$ (psig)  |        | $P_7$ (psig) |       |
| kW                               | $^{\circ}\text{C}$ | exp.              | sim.  | exp.          | sim.   | exp.          | sim.   | exp.         | sim.  |
| 0.604198                         | 32.4               | 46.00             | 47.23 | 285.00        | 314.77 | 270.00        | 314.77 | 48.00        | 47.23 |
| 0.739116                         | 37.7               | 48.00             | 48.52 | 305.00        | 312.88 | 280.00        | 312.88 | 49.00        | 48.52 |
| 0.815374                         | 40.5               | 49.00             | 49.02 | 315.00        | 314.39 | 290.00        | 314.39 | 50.00        | 49.02 |
| 0.882833                         | 43.1               | 49.00             | 49.39 | 320.00        | 316.52 | 295.00        | 316.52 | 50.00        | 49.39 |
| 0.891632                         | 46.5               | 49.00             | 49.75 | 320.00        | 320.57 | 295.00        | 320.57 | 50.00        | 49.75 |
| 1.014818                         | 51.7               | 50.00             | 50.09 | 325.00        | 330.91 | 300.00        | 330.91 | 51.00        | 50.09 |
| 0.994287                         | 54.6               | 51.00             | 50.19 | 335.00        | 335.97 | 305.00        | 335.97 | 52.00        | 50.19 |
| 1.058813                         | 62.2               | 51.00             | 50.42 | 345.00        | 292.41 | 310.00        | 292.41 | 52.00        | 50.42 |
| The Coefficient of Determination |                    | $R^2 = 0.93$      |       | $R^2 = 0.004$ |        | $R^2 = 0.001$ |        | $R^2 = 0.88$ |       |
| The Coefficient of Correlation   |                    | $R = 0.97$        |       | $R = 0.06$    |        | $R = 0.021$   |        | $R = 0.94$   |       |

#### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ตอนที่ 2

##### 1. ตัวแปรคงที่ในการทดลอง

อัตราการไหลโดยมวลของน้ำที่เครื่องระเหย 0.007 กิโลกรัมต่อวินาที

อัตราการไหลโดยมวลของน้ำที่เครื่องควบแน่น 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที

กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์โดยเฉลี่ย 0.874 กิโลวัตต์

ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ 265.4 รอบต่อนาที

อุณหภูมิของน้ำไหลเข้าเครื่องควบแน่นโดยเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส

เวลาที่ใช้ในการทดลอง 810 นาที หรือ 13.5 ชั่วโมง

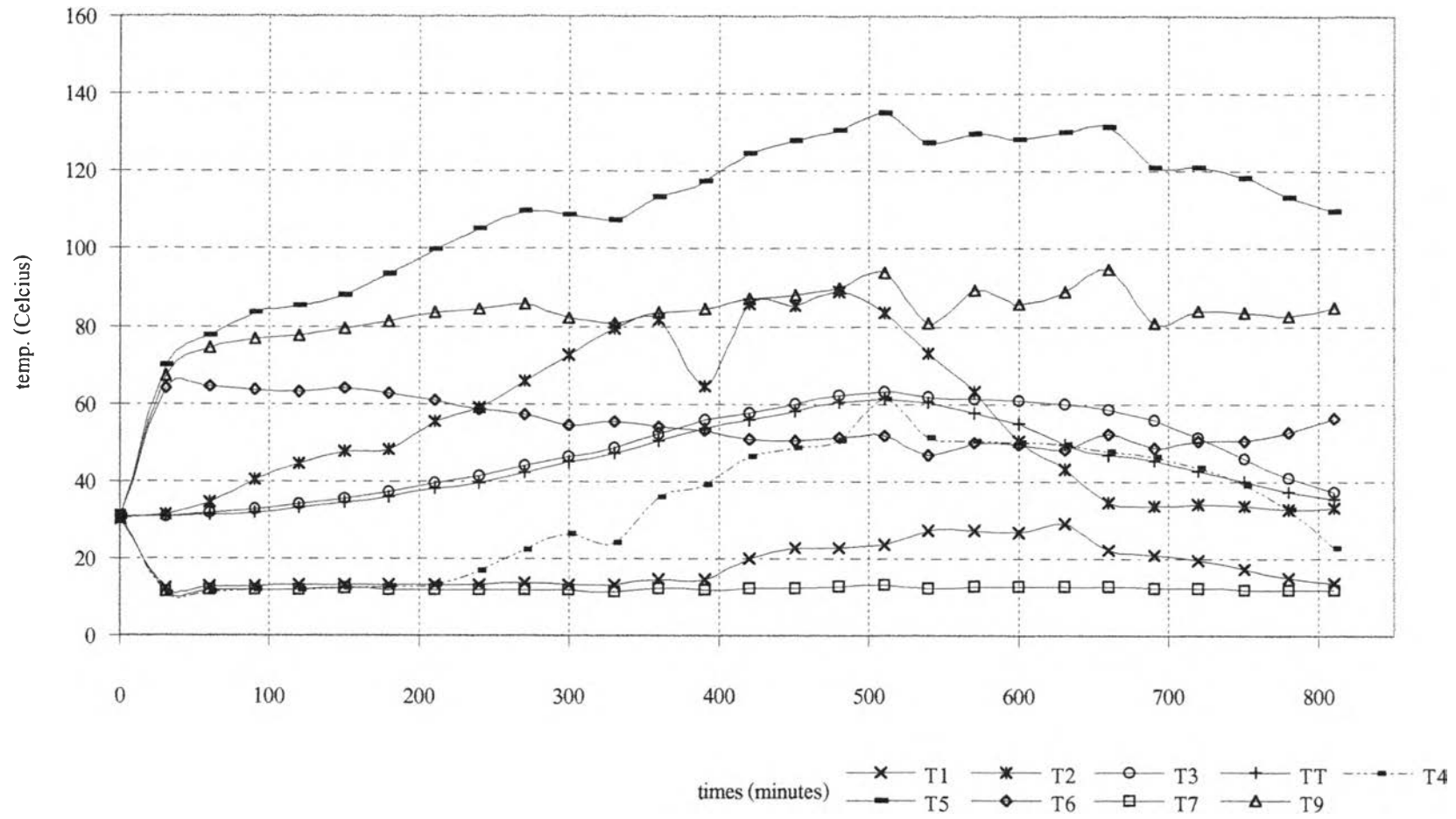
\*\*\* หมายถึง ตั้งสมมติฐานให้ อุณหภูมิเครื่องระเหย ( $T_c$ ) =  $T_7$  และ อุณหภูมิเครื่องควบแน่น ( $T_c$ ) =  $T_6$

##### 2. ผลการทดลอง

ผลการทดลองเป็นค่าที่วัดต่อเนื่องทุก 30 นาที ดังมีรายละเอียดตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองในตอนที่ 2

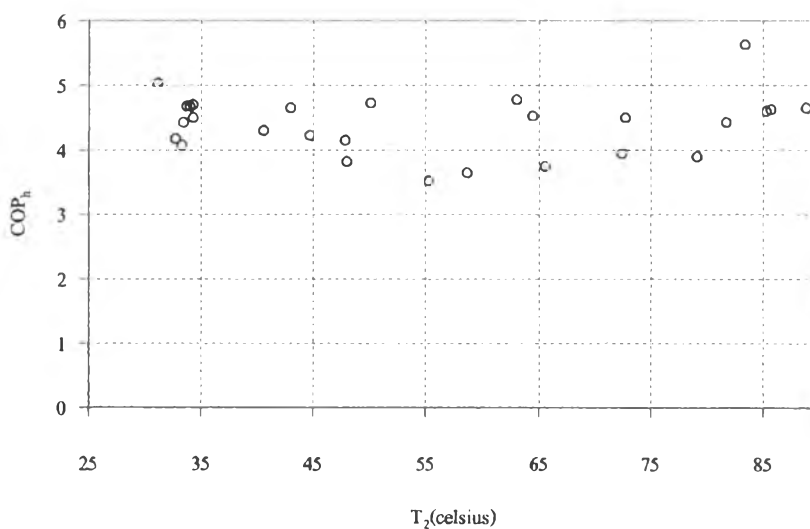
| Clock | Time  | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>7</sub> | T <sub>4</sub> | T <sub>5</sub> | T <sub>6</sub> | T <sub>8</sub> | T <sub>9</sub> | P <sub>4</sub> | P <sub>c</sub> | P <sub>e</sub> | P <sub>7</sub> |
|-------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Time  | mins. | °C             | °C             | °C             | °C             | °C             | °C             | °C             | °C             | °C             | psig           | psig           | psig           | psig           |
| 19:42 | 0     | 30.1           | 30.3           | 30.7           | 30.7           | 30.8           | 30.4           | 30.5           | 30.7           | 30.3           | 88             | 89             | 88             | 88             |
| 20:12 | 30    | 12.1           | 31.1           | 30.8           | 30.7           | 10.9           | 69.8           | 63.7           | 11.2           | 67.3           | 48             | 285            | 250            | 50             |
| 20:42 | 60    | 12.8           | 34.3           | 31.9           | 31.4           | 11.5           | 77.4           | 64.2           | 11.7           | 74.2           | 50             | 315            | 285            | 51             |
| 21:12 | 90    | 12.9           | 40.5           | 32.7           | 31.9           | 11.6           | 83.2           | 63.5           | 11.7           | 76.8           | 49             | 325            | 295            | 50             |
| 21:12 | 120   | 13.2           | 44.6           | 34.1           | 33.2           | 12             | 85.3           | 63.2           | 11.9           | 77.6           | 50             | 330            | 300            | 51             |
| 22:12 | 150   | 13.2           | 47.8           | 35.5           | 34.5           | 12.4           | 87.9           | 63.7           | 12.2           | 79.5           | 50             | 340            | 305            | 51             |
| 22:42 | 180   | 13.3           | 47.9           | 37.3           | 36             | 12.6           | 93.5           | 62.6           | 12             | 81.2           | 50             | 345            | 315            | 51             |
| 23:12 | 210   | 13.3           | 55.2           | 39.3           | 37.9           | 13.3           | 99.8           | 60.7           | 12             | 83.2           | 50             | 345            | 315            | 51             |
| 23:42 | 240   | 13.2           | 58.7           | 41.1           | 39.5           | 16.9           | 105            | 58.3           | 11.9           | 84.5           | 50             | 360            | 325            | 51             |
| 0:12  | 270   | 13.4           | 65.6           | 43.9           | 42.3           | 22.2           | 109.8          | 57.3           | 12             | 85.8           | 50             | 360            | 325            | 51             |
| 0:42  | 300   | 13.3           | 72.4           | 46.3           | 44.7           | 26.4           | 109            | 54.3           | 11.6           | 81.9           | 50             | 340            | 300            | 51             |
| 1:12  | 330   | 13.3           | 79.2           | 48.5           | 47             | 24.2           | 107.2          | 55.2           | 11.5           | 80.9           | 50             | 340            | 300            | 51             |
| 1:42  | 360   | 14.3           | 81.8           | 52.1           | 50.3           | 35.6           | 113.1          | 53.9           | 12.1           | 83.4           | 51             | 345            | 310            | 52             |
| 2:12  | 390   | 14.7           | 64.5           | 55.7           | 53.5           | 39.2           | 117.4          | 53.1           | 12             | 84.3           | 51             | 355            | 315            | 52             |
| 2:42  | 420   | 19.8           | 85.7           | 57.6           | 55.8           | 46.1           | 124.6          | 50.9           | 12.4           | 87             | 51             | 360            | 325            | 52             |
| 3:12  | 450   | 22.6           | 85.3           | 59.8           | 58             | 48.4           | 128            | 50.1           | 12.4           | 87.9           | 52             | 365            | 330            | 53             |
| 3:42  | 480   | 22.7           | 88.9           | 62.1           | 60.2           | 50.3           | 130.4          | 51.1           | 12.8           | 89.8           | 52             | 375            | 340            | 53             |
| 4:12  | 510   | 23.5           | 83.4           | 62.9           | 61.3           | 61.1           | 135            | 51.8           | 13             | 93.9           | 53             | 400            | 360            | 54             |
| 4:42  | 540   | 27.1           | 72.8           | 61.6           | 60.1           | 51.3           | 127.5          | 46.9           | 12.2           | 80.6           | 51             | 325            | 285            | 52             |
| 5:12  | 570   | 27.2           | 63             | 61.1           | 57.6           | 50.5           | 129.6          | 49.8           | 12.7           | 89.2           | 52             | 375            | 340            | 53             |
| 5:42  | 600   | 26.9           | 50.1           | 60.6           | 54.7           | 50             | 128.4          | 49.5           | 12.5           | 85.8           | 52             | 365            | 325            | 53             |
| 6:12  | 630   | 29.1           | 43             | 59.8           | 49.4           | 49.5           | 129.9          | 48.2           | 12.6           | 89             | 52             | 370            | 330            | 53             |
| 6:42  | 660   | 22.2           | 34.3           | 58.6           | 46.9           | 47.8           | 131.4          | 52.2           | 12.8           | 94.7           | 52             | 390            | 360            | 53             |
| 7:12  | 690   | 20.8           | 33.7           | 55.9           | 45.1           | 46.3           | 121.1          | 48.5           | 12.1           | 80.9           | 51             | 335            | 300            | 52             |
| 7:42  | 720   | 19.3           | 34             | 51.1           | 42.7           | 43.6           | 121            | 50.3           | 12.2           | 83.7           | 51             | 355            | 315            | 52             |
| 8:12  | 750   | 17.2           | 33.4           | 45.6           | 39.8           | 39.2           | 118.2          | 50.1           | 12             | 83.3           | 50             | 345            | 310            | 51             |
| 8:42  | 780   | 15             | 32.7           | 40.8           | 37.1           | 32.8           | 113.2          | 52.6           | 11.8           | 82.4           | 50             | 340            | 300            | 51             |
| 9:12  | 810   | 13.7           | 33.2           | 37.2           | 35.3           | 22.7           | 109.8          | 56             | 11.8           | 84.9           | 50             | 385            | 320            | 51             |



รูปที่ 4.11 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

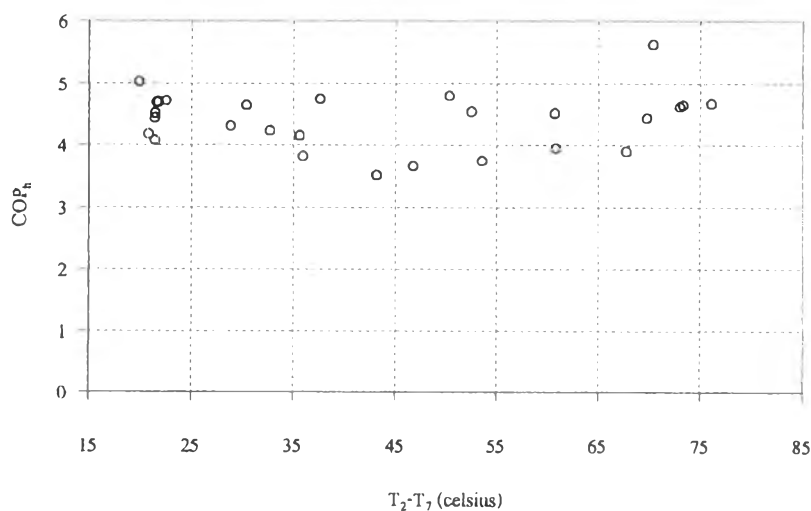
จากรูปที่ 4.11 เมื่อสังเกตในช่วงเวลาระหว่าง 350 – 650 นาที  $T_2$  จะเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากแต่  $T_3$  จะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ในช่วงเวลาระหว่าง 450 – 750 นาที ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนส่วนหนึ่งจะได้มาจากการคายความร้อนของสารเปลี่ยนวัฏภาค และอีกส่วนหนึ่งได้มาจากความร้อนสัมผัสของน้ำและสารเปลี่ยนวัฏภาค จึงทำให้อุณหภูมิ  $T_3$  ค่อนข้างจะมีความสม่ำเสมอ และสังเกตได้ว่า  $T_7$  และ  $T_6$  จะค่อนข้างคงที่แม้ว่า  $T_2$  จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปมาก

### 3. ผลการวิเคราะห์



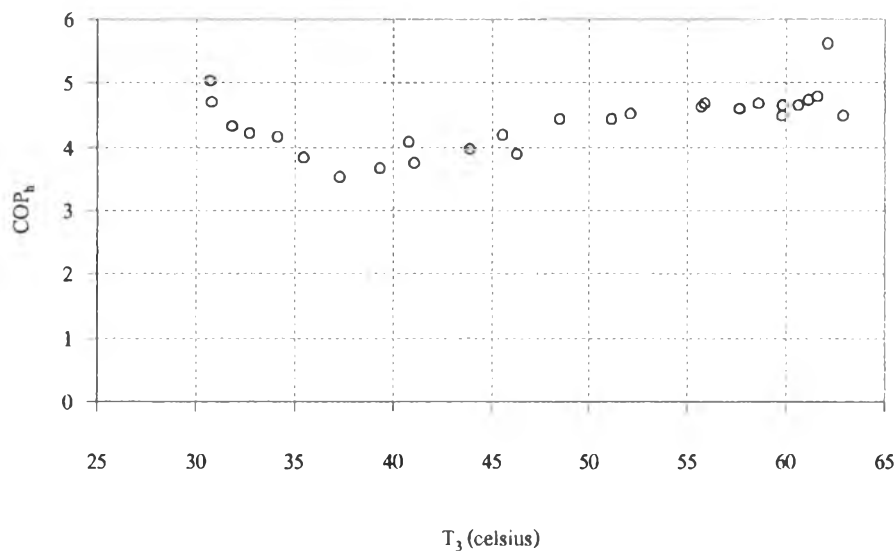
รูปที่ 4.12 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $COP_h$  และ  $T_2$

จากรูปที่ 4.12 พบว่า  $T_2$  และ  $COP_h$  มีความสัมพันธ์กันเชิงนัยสำคัญตามหลักสถิติที่  $R^2 = 0.003$  หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงของ  $T_2$  ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลง  $COP_h$  ค่อนข้างน้อยตามนัยสำคัญตามหลักสถิติดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงความเสถียรภาพของ  $COP_h$  (มีค่าอยู่ในช่วง 3.6 – 5)



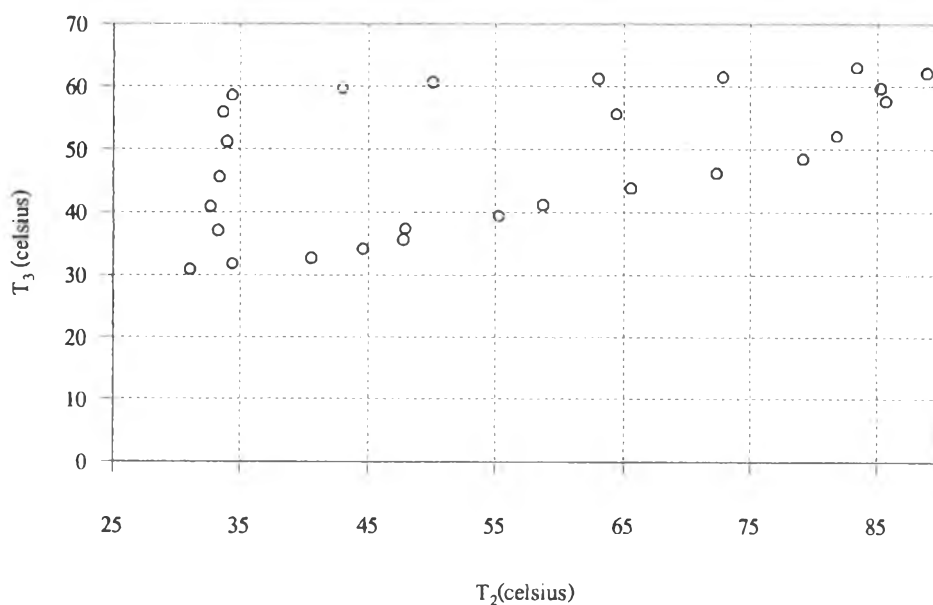
รูปที่ 4.13 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $COP_h$  และ  $T_2 - T_7$

จากรูปที่ 4.13 พบว่า  $T_2 - T_7$  และ  $COP_h$  มีความสัมพันธ์กันเชิงนัยสำคัญตามหลักสถิติที่  $R^2 = 0.002$  หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงของ  $T_2 - T_7$  ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลง  $COP_h$  ค่อนข้างน้อยตามนัยสำคัญตามหลักสถิติดังกล่าว



รูปที่ 4.14 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $COP_h$  และ  $T_3$

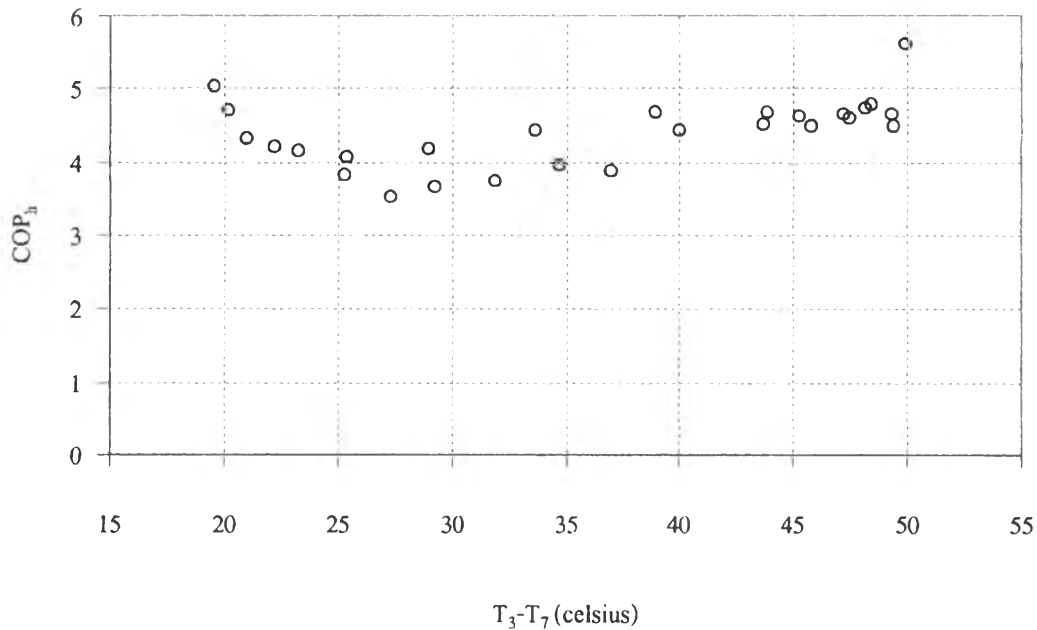
จากรูปที่ 4.14 พบว่า  $T_3$  และ  $COP_h$  มีความสัมพันธ์กันเชิงนัยสำคัญตามหลักสถิติที่  $R^2 = 0.27$  หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงของ  $T_3$  ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลง  $COP_h$  ค่อนข้างน้อยตามนัยสำคัญตามหลักสถิติดังกล่าว



รูปที่ 4.15 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $T_2$  และ  $T_3$



จากรูปที่ 4.15 พบว่า  $T_3$  และ  $T_2$  มีความสัมพันธ์กันเชิงนัยสำคัญตามหลักสถิติที่  $R^2 = 0.29$  หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงของ  $T_3$  ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลง  $T_2$  ค่อนข้างน้อยตามนัยสำคัญตามหลักสถิติดังกล่าว เนื่องจากกระบวนการสะสมและคายความร้อนของถังสะสมความร้อน



รูปที่ 4.16 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $COP_h$  และ  $T_3 - T_7$

จากรูปที่ 4.16 พบว่า  $COP_h$  และ  $T_3 - T_7$  มีความสัมพันธ์กันเชิงนัยสำคัญตามหลักสถิติที่  $R^2 = 0.23$  หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงของ  $T_3 - T_7$  ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลง  $COP_h$  ค่อนข้างน้อยตามนัยสำคัญตามหลักสถิติดังกล่าว

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ตอนที่ 3

#### 1. ตัวแปรคงที่ในการทดลอง

อัตราการไหลโดยมวลของน้ำที่เครื่องระเหย 0.007 กิโลกรัมต่อวินาที

เวลาที่ใช้ในการทดลอง 360 นาที หรือ 6 ชั่วโมง

#### 2. ผลการทดลอง

ผลการทดลองเป็นค่าที่วัดต่อเนื่องทุก 10 นาที ดังมีรายละเอียดตามตารางที่ 4.6

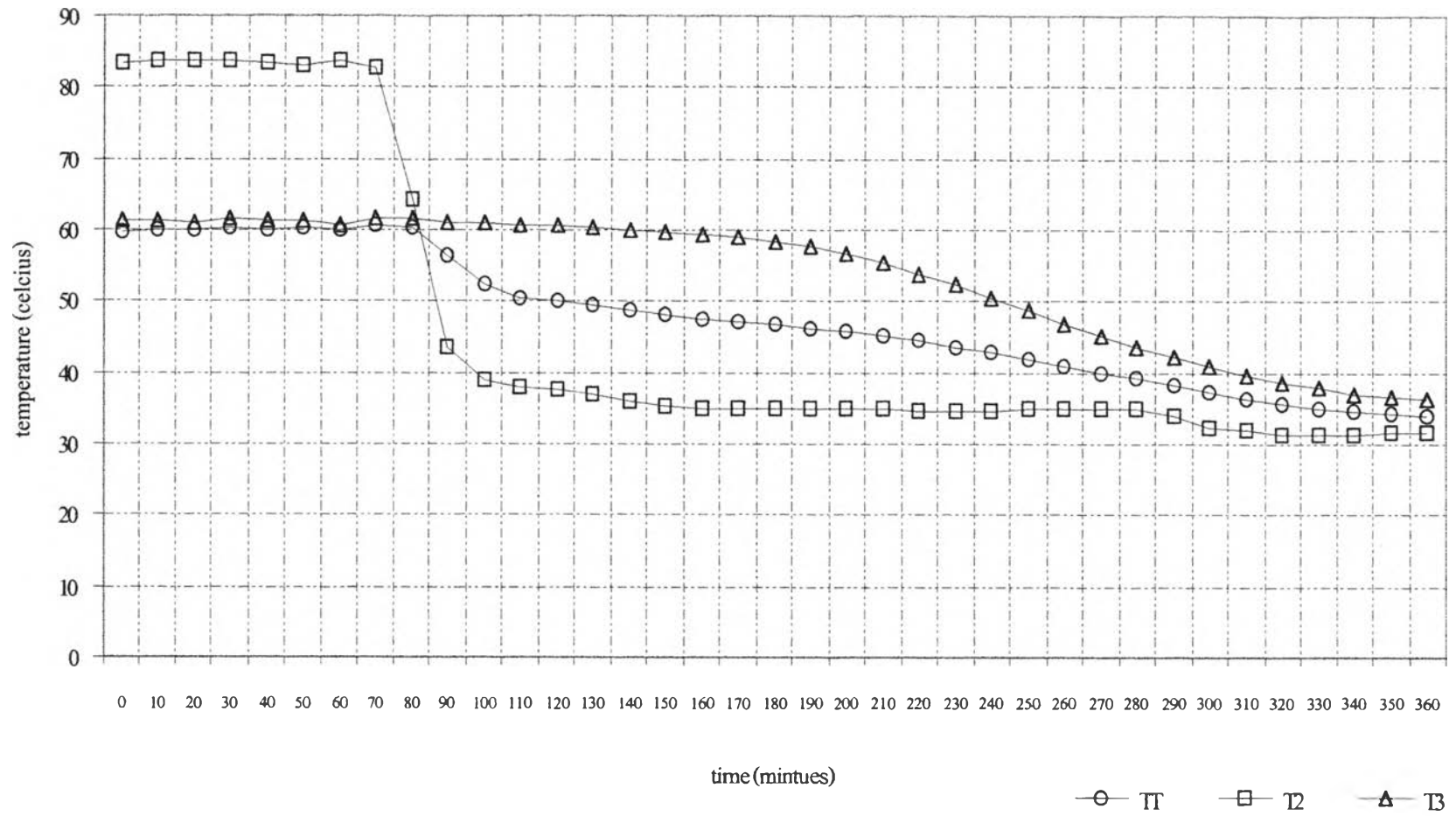
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองในตอนที่ 3

| Clock Time | Time  | T <sub>T</sub> | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> |
|------------|-------|----------------|----------------|----------------|
|            | mins. | °C             | °C             | °C             |
| 2:12       | 0     | 59.8           | 83.4           | 61.2           |
| 2:22       | 10    | 60.1           | 83.9           | 61.3           |
| 2:32       | 20    | 59.9           | 83.6           | 61             |
| 2:42       | 30    | 60.4           | 83.8           | 61.5           |
| 2:52       | 40    | 60.1           | 83.4           | 61.2           |
| 3:02       | 50    | 60.3           | 83.1           | 61.3           |
| 3:12       | 60    | 60.1           | 83.6           | 60.7           |
| 3:22       | 70    | 60.5           | 82.7           | 61.6           |
| 3:32       | 80    | 60.4           | 64.4           | 61.6           |
| 3:42       | 90    | 56.3           | 43.4           | 61             |
| 3:52       | 100   | 52.3           | 39             | 60.9           |
| 4:02       | 110   | 50.5           | 37.8           | 60.5           |
| 4:12       | 120   | 50             | 37.5           | 60.5           |
| 4:22       | 130   | 49.3           | 37             | 60.2           |
| 4:32       | 140   | 48.8           | 35.8           | 60.1           |
| 4:42       | 150   | 48.2           | 35.3           | 59.8           |
| 4:52       | 160   | 47.6           | 35.1           | 59.4           |
| 5:02       | 170   | 47.3           | 35.1           | 59             |
| 5:12       | 180   | 46.8           | 34.8           | 58.2           |
| 5:22       | 190   | 46.3           | 34.8           | 57.6           |
| 5:32       | 200   | 45.9           | 34.8           | 56.7           |
| 5:42       | 210   | 45.1           | 34.8           | 55.4           |
| 5:52       | 220   | 44.4           | 34.7           | 53.9           |
| 6:02       | 230   | 43.5           | 34.7           | 52.3           |
| 6:12       | 240   | 42.7           | 34.7           | 50.3           |
| 6:22       | 250   | 41.8           | 34.8           | 48.7           |
| 6:32       | 260   | 40.8           | 34.8           | 46.9           |

(ต่อหน้าถัดไป)

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองในตอนที่ 3 (ต่อ)

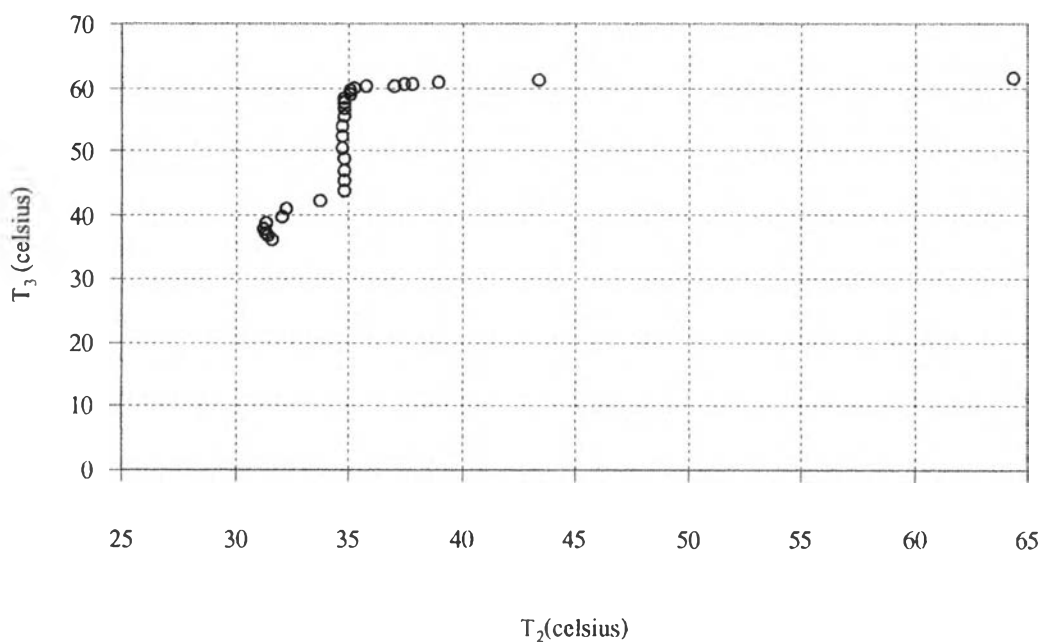
| Clock Time | Time  | $T_1$              | $T_2$              | $T_3$              |
|------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|
|            | mins. | $^{\circ}\text{C}$ | $^{\circ}\text{C}$ | $^{\circ}\text{C}$ |
| 6:42       | 270   | 39.9               | 34.8               | 45.2               |
| 6:52       | 280   | 39.2               | 34.8               | 43.6               |
| 7:02       | 290   | 38.4               | 33.8               | 42.1               |
| 7:12       | 300   | 37.3               | 32.3               | 40.9               |
| 7:22       | 310   | 36.4               | 32.1               | 39.7               |
| 7:32       | 320   | 35.7               | 31.4               | 38.5               |
| 7:42       | 330   | 35.1               | 31.3               | 37.8               |
| 7:52       | 340   | 34.5               | 31.4               | 37                 |
| 8:02       | 350   | 34.2               | 31.5               | 36.7               |



รูปที่ 4.17 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_T$  กับเวลา

### 3. วิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 3

จากรูป 4.17 เมื่อตัดระบบไฟฟ้าออก  $T_2$  จะมีค่าเปลี่ยนแปลงในทิศทางลดลงอย่างรวดเร็ว จาก 84 องศาเซลเซียส ไปเป็น 40 องศาเซลเซียส จะพบว่า  $T_3$  จะมีค่าไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากการคายความร้อนของสารเปลี่ยนวิภาคจากของเหลวไปเป็นของแข็ง และความร้อนส่วนหนึ่งได้มาจากความร้อนสัมผัสของน้ำและสารเปลี่ยนวิภาค จึงทำให้อุณหภูมิ  $T_3$  ค่อนข้างจะมีความสม่ำเสมอในช่วงระยะเวลาโดยประมาณ 120 นาที หรือ 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดจนถึง 35 องศาเซลเซียส รวมเป็นเวลาทั้งหมดประมาณ 290 นาที หรือ 4.8 ชั่วโมง



รูปที่ 4.18 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ  $T_2$  และ  $T_3$

จากรูปที่ 4.18 เมื่อ  $T_2$  มีอุณหภูมิประมาณ 35 องศาเซลเซียส  $T_3$  มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 45-60 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องมาจากการคายความร้อนของสารเปลี่ยนวิภาคจากของเหลวไปเป็นของแข็ง และความร้อนส่วนหนึ่งได้มาจากความร้อนสัมผัสของน้ำและสารเปลี่ยนวิภาค ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในตอนต้นที่ 2