

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

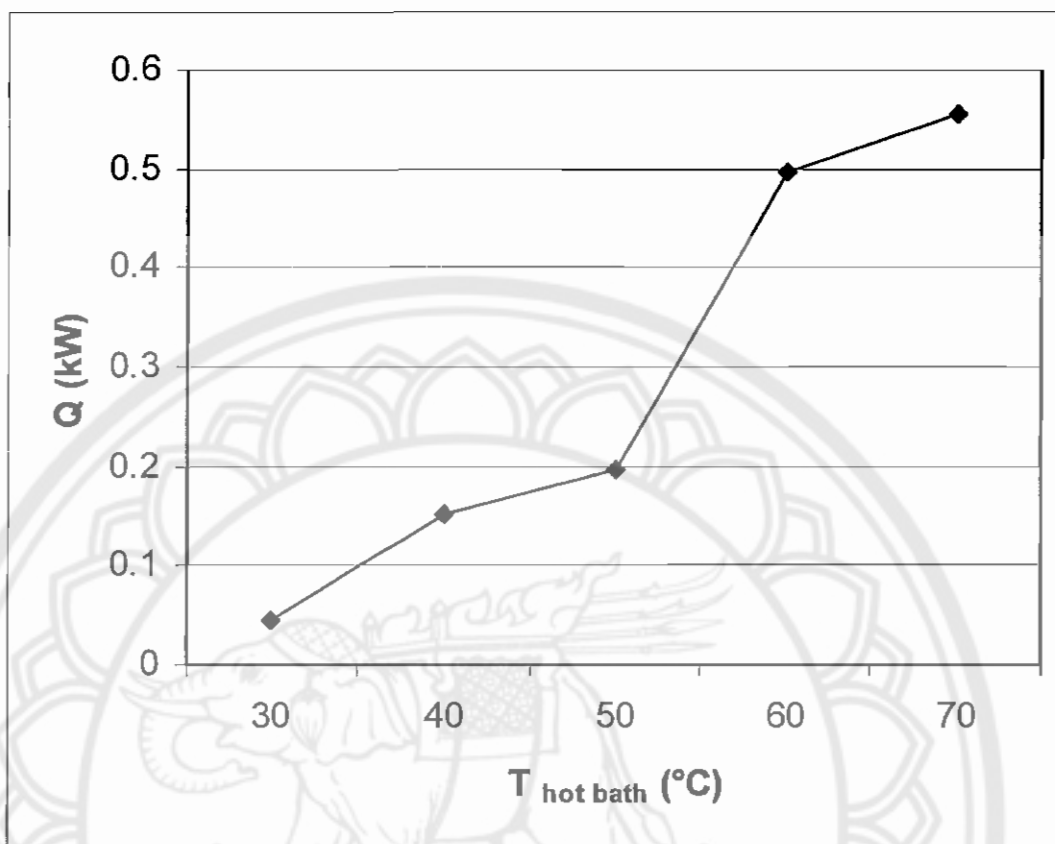
การทดลองมีค่าอัตราส่วนสนทรรศน์เท่า 10 และ 20 ซึ่งทั้งสองหลอดมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่เท่ากันแต่มีความยาวส่วนทำระเหยที่ต่างกัน จึงพิจารณาเฉพาะความยาวส่วนทำระเหย และค่าของอุณหภูมิการทำงาน ไม่พิจารณาค่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง โดยการทดลองมีการบันทึกภาพรูปแบบการไหลที่อุณหภูมิ 30°C, 40°C, 50°C, 60°C และ 70°C ได้นำภาพที่สามารถเห็นรูปแบบการไหลภายในของส่วนทำระเหยที่ชัดเจนที่สุดของแต่ละอุณหภูมิ และแต่ละเทอร์โมไซฟอน ดังแสดงในรูปที่ 5.1 - 5.7 และจากการทดลองได้ทำการบันทึกค่าของอัตราการไหลของน้ำเย็น, อุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้า และค่าอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกดังตารางในภาคผนวก และนำค่าจากตารางมาคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนทั้งสองหลอดตามสมการที่ 1 และแสดงค่าการถ่ายเทความร้อนดังแสดงในตารางที่ 5.1 - 5.7 โดยนำค่าที่ได้ในตารางมาเขียนกราฟ ดังแสดงในกราฟที่ 5.1 และกราฟที่ 5.2 มาแสดงในหัวข้อนี้ ซึ่งภาพของรูปแบบการไหลทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ค

#### 5.1 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหล และการถ่ายเทความร้อนภายในเทอร์โมไซฟอน

จากการทดลองมีการบันทึกรูปแบบการไหลต่างๆ ที่เกิดจากการเปลี่ยนอุณหภูมิซึ่งรูปที่นำเสนอนจะเป็นรูปภาพที่เห็นรูปแบบการไหลที่ชัดเจนที่สุดสำหรับการบันทึกภาพ ของแต่ละอุณหภูมิ โดยนำมาเรียงเป็นรูปเปรียบเทียบกันให้เห็นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น และได้นำเสนอค่าการถ่ายเทความร้อนมาเพื่อเปรียบเทียบกับรูปภาพ และได้นำค่าการถ่ายเทความร้อนมาเขียนกราฟ เพื่อให้สามารถสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของการถ่ายเทความร้อนได้ง่ายขึ้น

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าของการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm

สารทำงานคือน้ำ, $d = 32 \text{ mm}$ , $L_e/d = 10$					
รูป	a	b	c	d	e
$T_{\text{hot bath}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C
Q (kW)	0.046	0.150	0.196	0.497	0.555



กราฟที่ 5.1 แสดงค่าของการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm

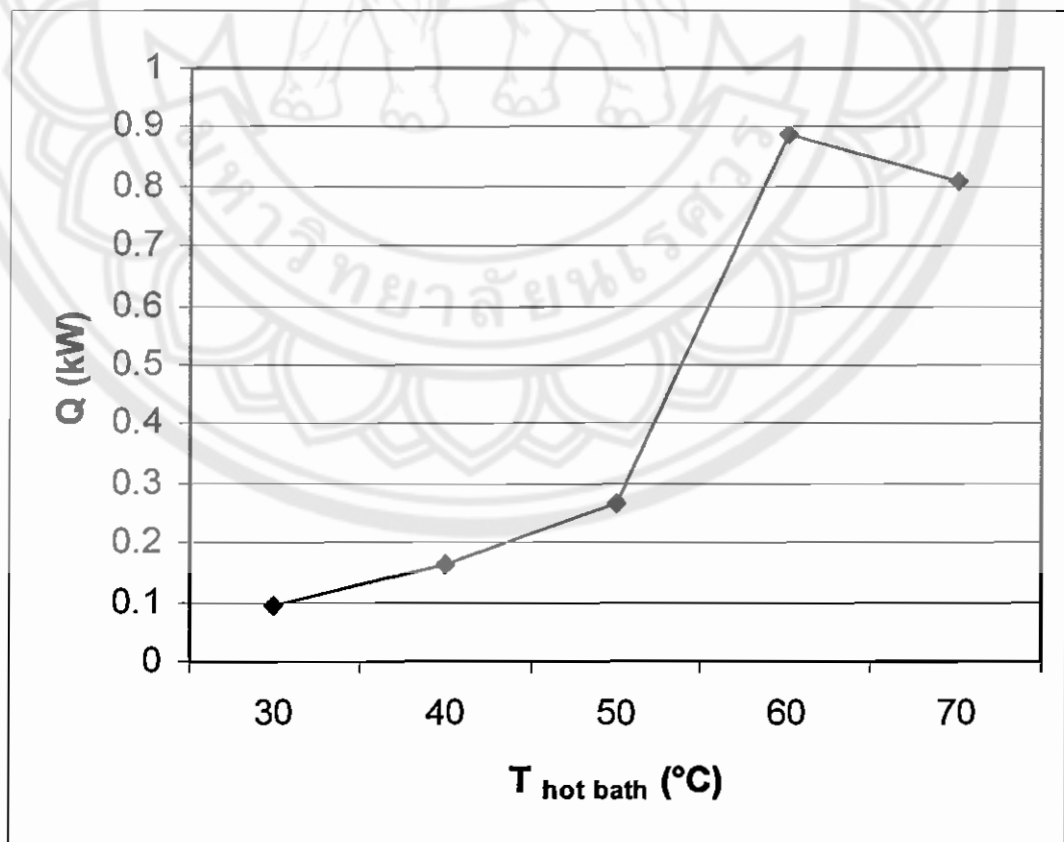
จากผลการทดลองตามรูปที่ 5.1 แสดงรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวอยู่ในแนวตั้ง ที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm

- ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ 30 °C มีการระเหยของสารทำงานเพียงเล็กน้อย และมีไอน้ำเกาะอยู่ที่ผิวของเทอร์โมไซฟอน
- ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ 40 °C มีการระเหยของสารทำงาน และควบแน่นเป็นหยดน้ำกลับลงมา
- ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ 50 °C มีการระเหยของสารทำงาน และควบแน่นลงมาเป็นหยดน้ำกลับลงมาเป็นทาง
- ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ 60 °C มีรูปแบบการไหลเป็นแบบ Bubble flow, Slug flow, Chum flow และ Annular flow เกิดขึ้นไหลปะปนกันขึ้นมาที่ส่วนกลางของหลอดแก้วอย่างต่อเนื่อง
- ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ 70 °C มีรูปแบบการไหลเป็นแบบ Bubble flow, Slug flow, Chum flow แต่ค่อนข้างจะปรากฏเป็นแบบ Annular flow มากกว่า

จากตารางที่ 5.1 และกราฟที่ 5.1 แสดงค่าของการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวอยู่ในแนวตั้ง ที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm. ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ 30°C ถึง 70°C มีค่าการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.046, 0.150, 0.196, 0.497 และ 0.555 kW ตามลำดับ จากค่าการถ่ายเทความร้อนแสดงให้เห็นว่า ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยต่ำจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้น้อย และที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้นไปจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้สูงขึ้น เนื่องจากรูปแบบการไหลเปลี่ยนแปลงจากการระเหยของสารทำงานเพียงเล็กน้อย ไปเป็นรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ซึ่งมีความเร็วไหลสูง

**ตารางที่ 5.2** แสดงค่าของการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm

สารทำงานคือน้ำ, $d = 32 \text{ mm}$ , $L_e/d = 20$					
รูป	a	b	c	d	e
$T_{\text{hot bath}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C
Q (kW)	0.092	0.162	0.266	0.890	0.809



**กราฟที่ 5.2** แสดงค่าของการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm

จากผลการทดลองตามรูปที่ 5.1 แสดงรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวอยู่ในแนวตั้ง ที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm

- ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ  $30^{\circ}\text{C}$  มีรูปแบบการไหลแบบ Bubble flow เกิดขึ้นเล็กน้อยที่ส่วนบนของสารทำงาน

- ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ  $40^{\circ}\text{C}$  มีรูปแบบการไหลแบบ Bubble flow และ Slug flow เกิดขึ้นสลับกัน

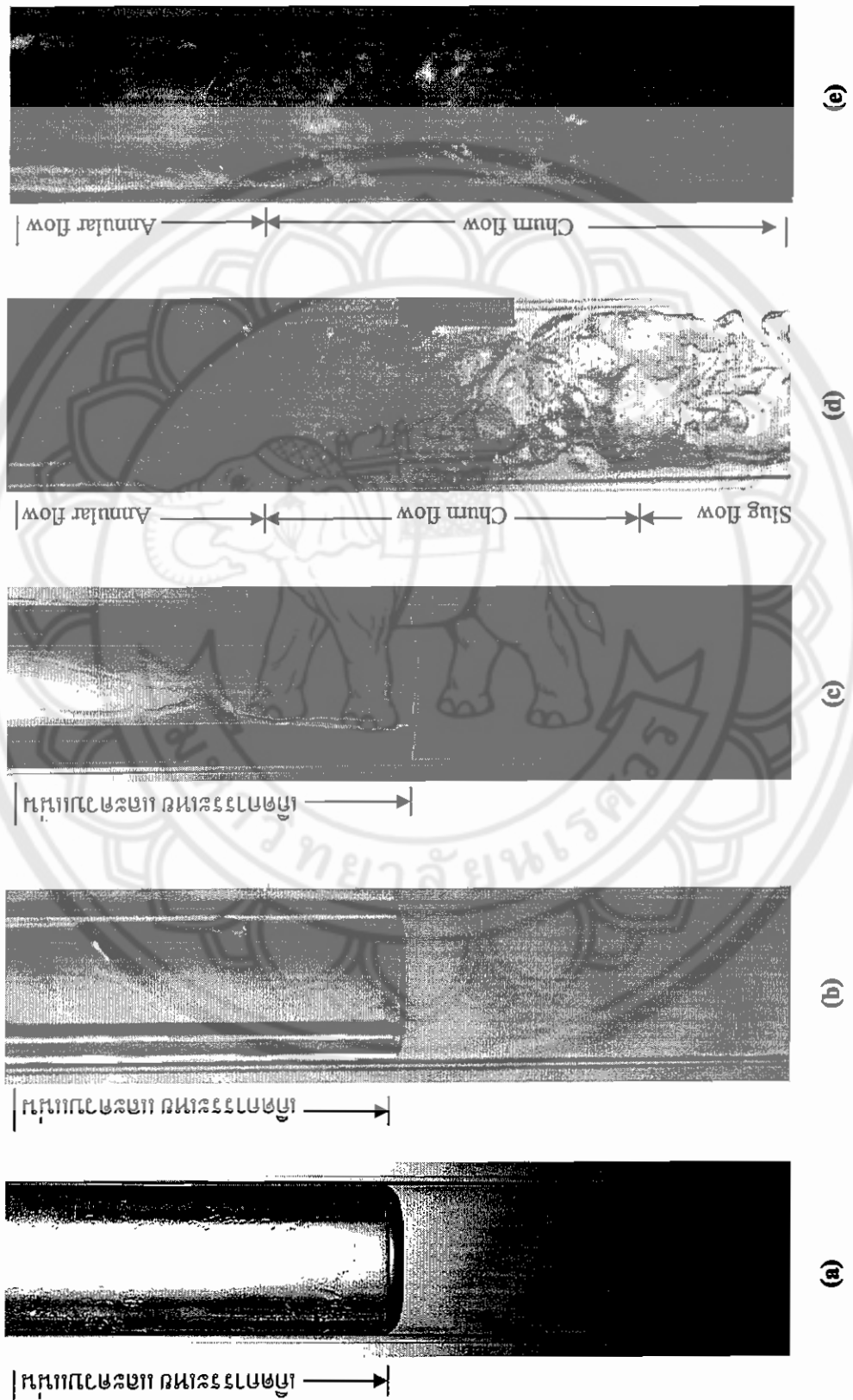
- ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ  $50^{\circ}\text{C}$  มีรูปแบบการไหลแบบ Bubble flow เกิดมากขึ้นกว่าที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$  และรูปแบบการไหลแบบ Slug flow ขนาดใหญ่เกิดขึ้นเป็นช่วงๆ ทำให้สามารถเห็นรูปแบบการไหลได้ชัดเจนขึ้น

- ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ  $60^{\circ}\text{C}$  มีรูปแบบการไหลแบบ Bubble flow, Slug flow, Churn flow และ Annular flow ไหลปะปนกันขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง

- ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ  $70^{\circ}\text{C}$  มีรูปแบบการไหลแบบ Churn flow และ Annular flow เกือบทั้งหมดของส่วนส่วนทำระเหยและมีรูปแบบการไหลแบบ Bubble flow และ Slug flow ไหลปะปนขึ้นมาเล็กน้อย

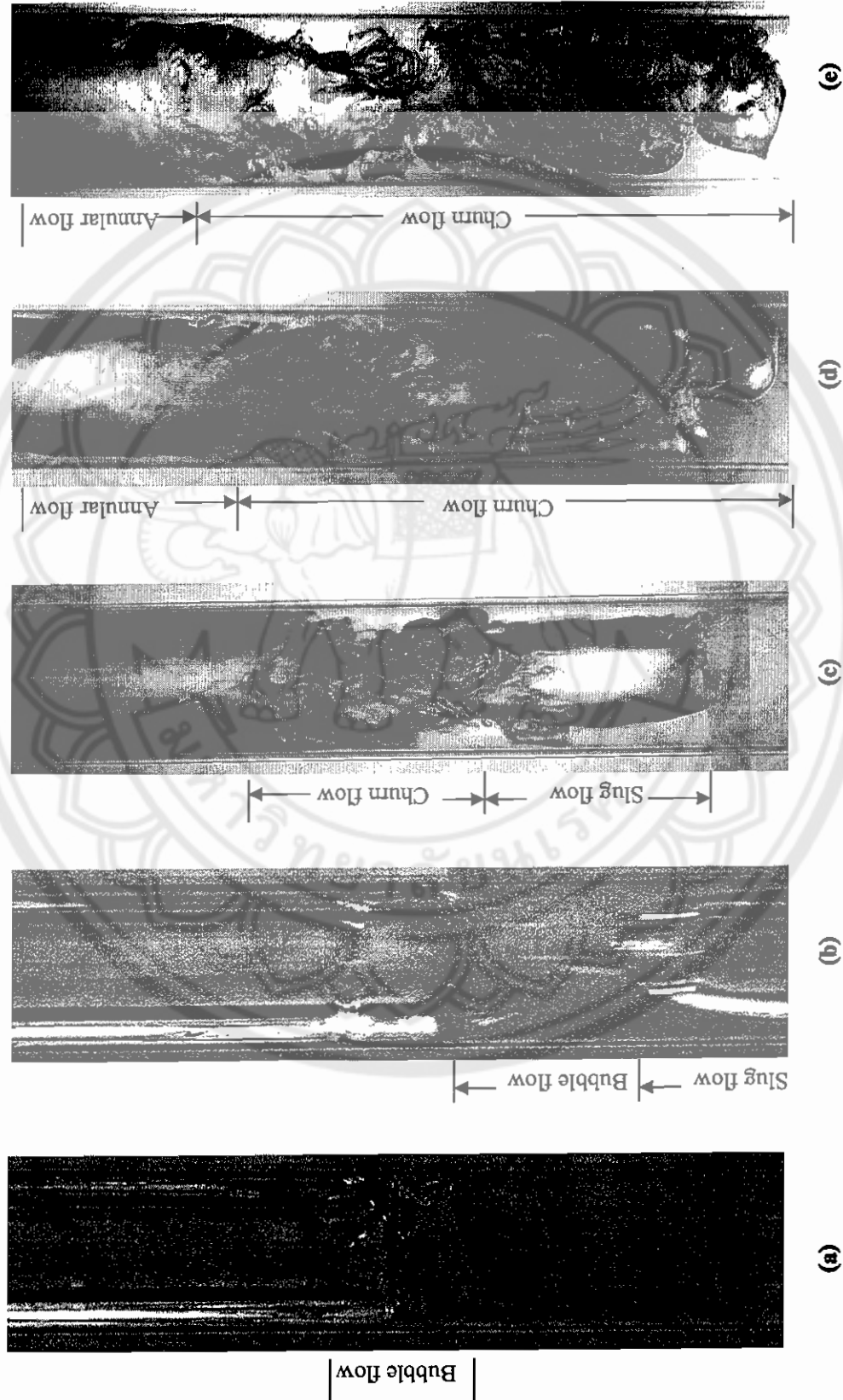
จากตารางที่ 5.2 และกราฟที่ 5.2 แสดงค่าของการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวอยู่ในแนวตั้ง ที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ  $30^{\circ}\text{C}$  ถึง  $70^{\circ}\text{C}$  ซึ่งมีค่าการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.092, 0.162, 0.266, 0.890, 0.809 kW ตามลำดับ จากค่าการถ่ายเทความร้อน แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยต่ำจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้น้อย และที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้นไปจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้สูงขึ้น เนื่องจากรูปแบบการไหลเปลี่ยนแปลงจาก Bubble flow ไปเป็นรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ซึ่งมีความเร็วไอสูง

5.1.1 สำหรับความยาวของส่วนทำระเหย น้อยเท่ากับ 32 cm



(a) แสดงรูปแบบการไหลภายในท่อในโหมดโรโตโรนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยต่างๆ (a) ที่อุณหภูมิทำงานเท่ากับ 30°C (b) ที่อุณหภูมิทำงานเท่ากับ 40°C (c) ที่อุณหภูมิทำงานเท่ากับ 50°C (d) ที่อุณหภูมิทำงานเท่ากับ 60°C (e) ที่อุณหภูมิทำงานเท่ากับ 70°C

5.1.2 สำหรับความยาวของส่วนทำระเหยมากกว่ากับ 64 cm



(a) (b) (c) (d) (e)

**รูปที่ 5.2** แสดงรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยต่างๆ (a) ที่อุณหภูมิทำงานเท่ากับ 30°C (b) ที่อุณหภูมิทำงานเท่ากับ 40°C (c) ที่อุณหภูมิทำงานเท่ากับ 50°C (d) ที่อุณหภูมิทำงานเท่ากับ 60°C (e) ที่อุณหภูมิทำงานเท่ากับ 70°C

## 5.2 ผลของความยาวของส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหล และการถ่ายเทความร้อนภายในเทอร์โมไซฟอน

จากการทดลองมีการบันทึกรูปแบบการไหลต่างๆ ที่เกิดจากการเปลี่ยนความยาวของส่วนทำระเหยซึ่งรูปภาพที่นำเสนอ จะเป็นรูปภาพที่เห็นรูปแบบการไหลที่ชัดเจนที่สุดสำหรับการบันทึกภาพของแต่ละความยาวของส่วนทำระเหย โดยนำรูปและค่าการถ่ายเทความร้อนมาเปรียบเทียบกันให้เห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้น

### 5.2.1 สำหรับอุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ 30°C

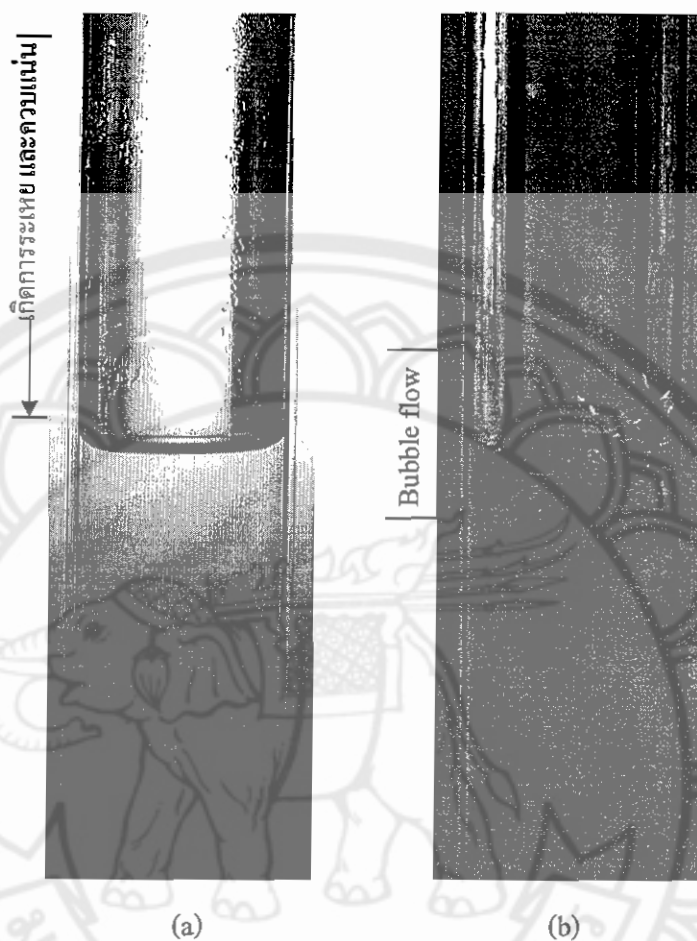
จากรูปที่ 5.3 และตารางที่ 5.3 แสดงรูปแบบการไหล และค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ 30°C

- เทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm มีการระเหย และควบแน่นกลับลงมา ส่วนเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm มีรูปแบบการไหลเป็น Bubble flow
- ค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm มีค่าเท่ากับ 0.046 kW ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm มีค่า 0.092 kW ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm มีการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm

### 5.2.2 สำหรับอุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ 40°C

จากรูปที่ 5.4 และตารางที่ 5.4 แสดงรูปแบบการไหล และค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ 40°C

- เทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm มีการระเหย และควบแน่นกลับลงมา ส่วนเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm มีรูปแบบการไหลแบบ Bubble flow และ Slug flow
- ค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm มีค่าเท่ากับ 0.150 kW ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm มีค่าเท่ากับ 0.162 kW ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm มีการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm



**รูปที่ 5.3** แสดงรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$   
 (a) ส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm (b) ส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm

**ตารางที่ 5.3** แสดงค่าของการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ  $30^{\circ}\text{C}$

	Q (kW)
ส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm	0.046
ส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm	0.092

**ตารางที่ 5.4** แสดงค่าของการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ  $40^{\circ}\text{C}$

	Q (kW)
ส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm	0.150
ส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm	0.162





รูปที่ 5.4 แสดงรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ  $40^{\circ}\text{C}$   
 (a) ส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm (b) ส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm

### 5.2.3 สำหรับอุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ $50^{\circ}\text{C}$

จากรูปที่ 5.5 และตารางที่ 5.5 แสดงรูปแบบการไหล และค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ  $50^{\circ}\text{C}$

- เทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm มีการระเหย และควบแน่นกลับลงมาเป็นน้ำมากขึ้น ส่วนเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm มีรูปแบบการไหลแบบ Bubble flow, Slug flow และเนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้น และความดันเพิ่มมากขึ้น จนทำให้มีความเร็วเพิ่มมากขึ้นทำให้ฟองเกิดการบิดเบี้ยวจนกลายเป็นการไหลแบบ Churn flow ในส่วนบน

- ค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm มีค่าเท่ากับ 0.193 kW ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm มีค่า

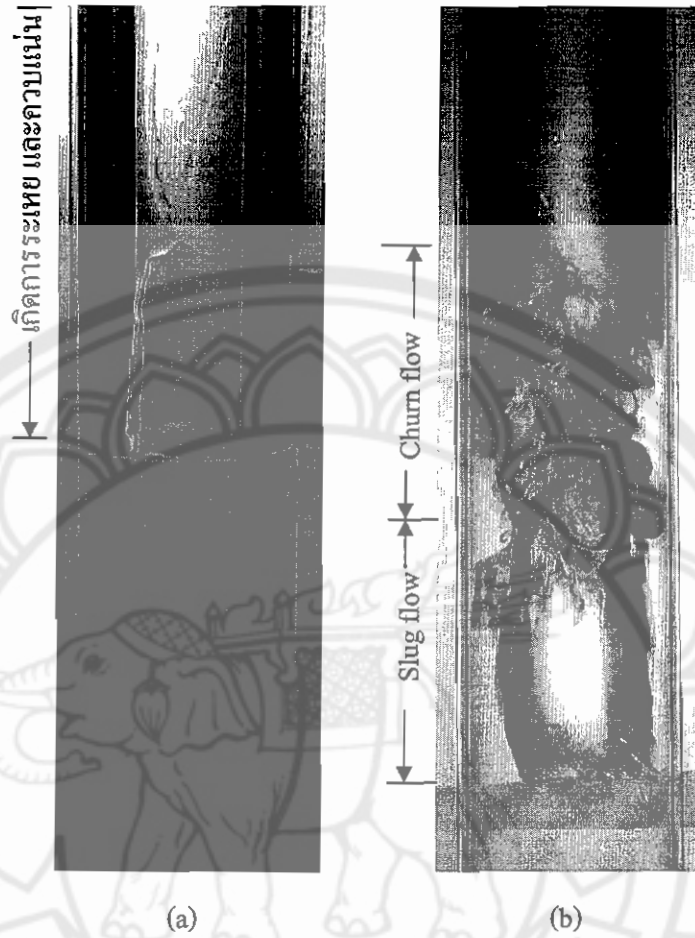
เท่ากับ 0.267 kW ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm มีการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm

#### 5.2.4 สำหรับอุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ 60°C

จากรูปที่ 5.6 และตารางที่ 5.6 แสดงรูปแบบการไหล และค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ 60°C

- เทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm อุณหภูมิของส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจนทำให้เกิดรูปแบบการไหลที่หลากหลายคือ รูปแบบการไหลแบบ Bubble flow, Slug flow และมีอุณหภูมิ และความดันสูงพอที่จะทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของฟองไอใน ส่วนกลาง จนกลายเป็นรูปแบบการไหลที่มีการไหลของไออยู่ในแกนกลางท่อ โดยมีหยดของเหลวเล็กๆปะปน และมีการไหลเป็นฟิล์มที่ผิวท่อซึ่งเป็นรูปแบบการไหลแบบ Churn flow และ Annular flow ส่วนเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm มีรูปแบบการไหลแบบ Bubble flow, Slug flow และ Churn flow และเนื่องจากอุณหภูมิ และความดันสูงขึ้นพอที่จะทำให้มีความเร็วเพิ่มมากขึ้นพอที่จะเกิดรูปแบบการไหลที่มีการไหลของไออยู่ในแกนกลางท่อ โดยมีหยดของเหลวเล็กๆปะปน และมีการไหลเป็นฟิล์มที่ผิวท่อซึ่งเป็นรูปแบบการไหลแบบ Annular flow

- ค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm มีค่าเท่ากับ 0.497 kW ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm มีค่าเท่ากับ 0.890 kW ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทอร์โมไซฟอนมีค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นมากกว่าที่อุณหภูมิ 50°C มากเนื่องจากมีรูปแบบการไหลแบบ Annular flow เพิ่มขึ้น แต่ที่เทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm ยังมีการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm



รูปที่ 5.5 แสดงรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$

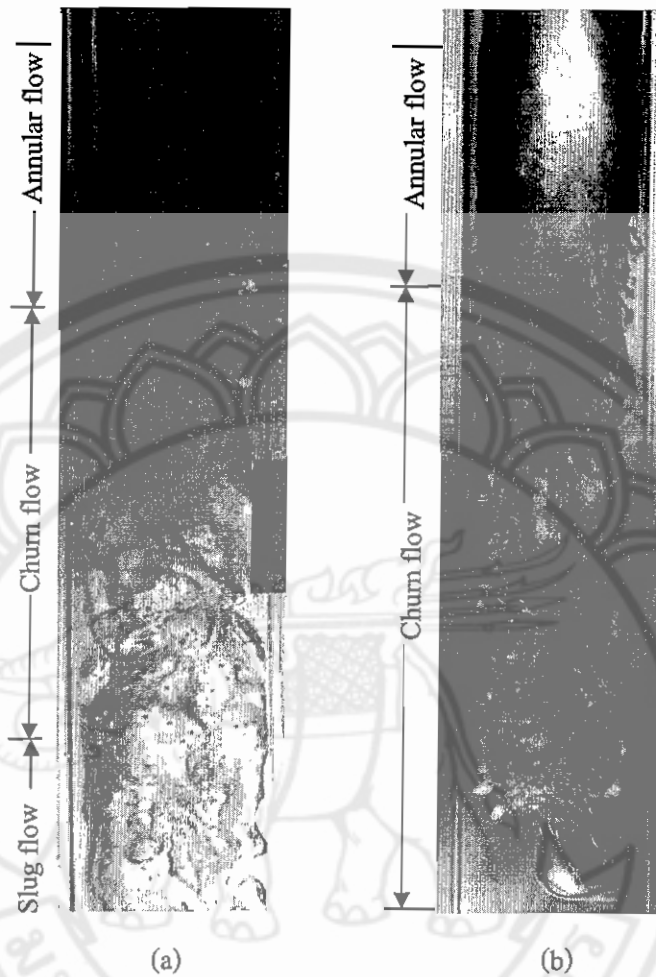
(a) ส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm (b) ส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าของการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ  $50^{\circ}\text{C}$

	Q (kW)
ส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm	0.193
ส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm	0.267

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าของการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ  $60^{\circ}\text{C}$

	Q (kW)
ส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm	0.497
ส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm	0.890



**รูปที่ 5.6** แสดงรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$   
 (a) ส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm (b) ส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm

### 5.2.5 สำหรับอุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ $70^{\circ}\text{C}$

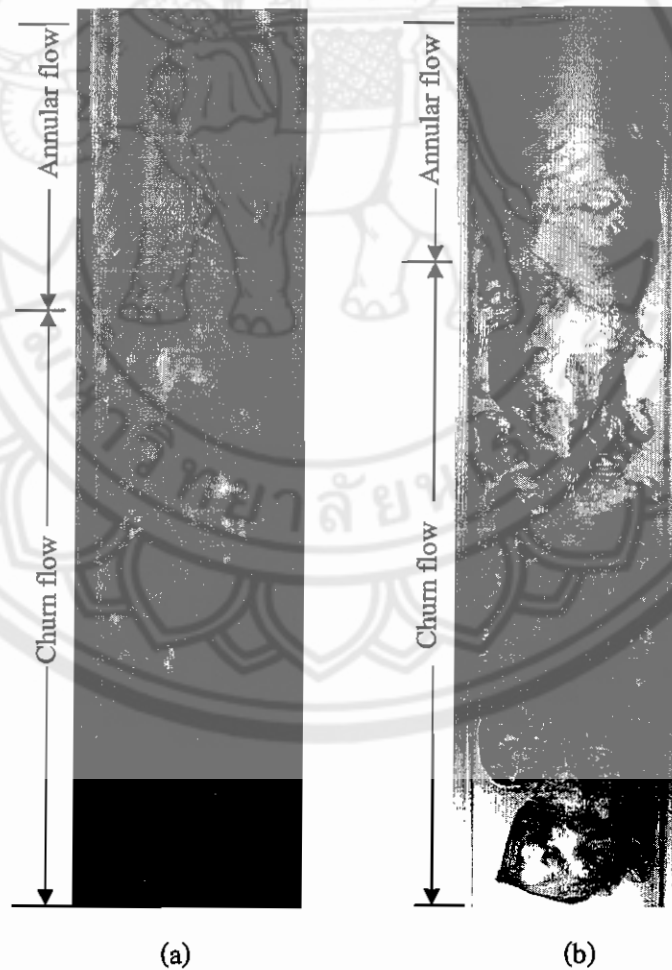
จากรูปที่ 5.7 และตารางที่ 5.7 แสดงรูปแบบการไหล และค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ  $70^{\circ}\text{C}$

- เทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm. มีรูปแบบการไหลเหมือนกับที่  $60^{\circ}\text{C}$  คือมีรูปแบบการไหลแบบ Bubble flow, Slug flow, Churn flow และ Annular flow แต่ค่อนข้างจะหนักไปทาง Churn flow และ Annular flow มากกว่า เช่นเดียวกับเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm ที่มีรูปแบบการไหลเหมือนกับที่  $60^{\circ}\text{C}$  เช่นกันคือมีรูปแบบการไหลแบบ Bubble flow, Slug flow, Churn flow และ Annular flow แต่ค่อนข้างจะหนักไปทาง Churn flow และ Annular flow มากกว่าเช่นเดียวกันกับหลอดสั้น

- ค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm มีค่าเท่ากับ 0.555 kW ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm มีค่าลดลงกว่าที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเท่ากับ 0.809 kW แต่ว่าเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm ยังมีการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าของการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ  $70^{\circ}\text{C}$

	Q (kW)
ส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm	0.555
ส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm	0.809



รูปที่ 5.7 แสดงรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$

(a) ส่วนทำระเหยเท่ากับ 32 cm (b) ส่วนทำระเหยเท่ากับ 64 cm