



ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลภายใน
เทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวตั้ง

Effects of Evaporator Temperature and Filling ratio on Internal Flow Patterns of
Vertical Thermosyphon

นายจิตติเวช ไชยกันยา
นายอนรรฆ ศรีนภาสวัสดิ์

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ...../7 เม.ย. 2550
เลขทะเบียน.....5200068
เลขเรียกหนังสือ.....14997632 ฟ.ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๑42 ๖/ 2550

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2550



ใบรับรองโครงการงาน

หัวข้อโครงการงาน : ผลของอุณหภูมิส่วนที่ระเหยและอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อ
รูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวตั้ง
(Effects of Evaporator Temperature and Filling ratio on Internal Flow
Patterns of Vertical Thermosyphon)

ผู้ดำเนินโครงการงาน : นายจิตติเวช ไชยกันยา รหัสบัณฑิต 47362819
: นายอนรรฆ ศรีนภาสวัสดิ์ รหัสบัณฑิต 47363122

ที่ปรึกษาโครงการงาน : ศศ.ดร. ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์
สาขา : วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา : 2550

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนเรศวร อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการงาน

.....๑๐..... ประธานกรรมการ
(ศศ.ดร. ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ศศิรัฐกันท์ แคนลา)

..... กรรมการ
(อาจารย์สุรัตน์ ปัญญาแก้ว)

หัวข้อโครงการ : ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อ
รูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวตั้ง

ผู้ดำเนินโครงการ : นายจิตติเวช ไชยกัญญา รหัส 47362819
: นายอนรรฆ ศรีนภาสวัสดิ์ รหัส 47363122

ที่ปรึกษาโครงการ : ผศ.ดร. ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์

สาขา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา : 2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเชิงทัศน์ถึงรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนทั้งในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น จึงสร้างชุดการทดลอง 2 ชุดคือ ชุดที่ศึกษารูปแบบการไหลในส่วนทำระเหย (ส่วนทำระเหยเป็นท่อแก้ว) และชุดที่ศึกษารูปแบบการไหลในส่วนควบแน่น (ส่วนควบแน่นเป็นท่อแก้ว) โดยเทอร์โมไซฟอนนี้วางตัวในแนวตั้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกยาว 16 มิลลิเมตร ผนังหนา 2 มิลลิเมตร ส่วนทำระเหยยาว 360 มิลลิเมตร ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนยาว 200 มิลลิเมตร และส่วนควบแน่นยาว 305 มิลลิเมตร โดยทั้ง 2 ชุดเลือกใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงาน เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยและอัตราการเติมของสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน จึงทำการทดสอบที่อัตราการเติมสารทำงานเท่ากับ 30% 50% และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย และที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ 50°C 60°C 70°C และ 80°C โดยควบคุมอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าส่วนควบแน่นให้คงที่เท่ากับ 1 ลิตรต่อนาที และ 29°C ตามลำดับ และควบคุมอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ไหลผ่านส่วนทำระเหยให้คงที่เท่ากับ 1.85 ลิตรต่อนาที หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิน้ำเย็นที่ขาเข้าและขาออกของส่วนควบแน่นถ่ายภาพนิ่ง และภาพเคลื่อนไหวของรูปแบบการไหล ณ ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น กรณีผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยพบว่า เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้นรูปแบบการไหลจะเปลี่ยนจาก Slug flow ไปเป็น Churn flow และ Annular flow และค่าการถ่ายเทความร้อนจะมากขึ้นด้วย โดยที่ผลการทดสอบจะมี

แนวโน้มนั้นเหมือนกันที่ทุกๆ อัตราการเติมสารทำงานนั้นคือ สำหรับเทอร์โมไซฟอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย ส่วนไม่มีการถ่ายเทความร้อน และส่วนควบแน่นคือ 360 200 และ 305 มิลลิเมตร ตามลำดับ และใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงาน ที่อัตราการเติมสารทำงาน 50% เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจาก 50°C ไปเป็น 80°C ค่าการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นจาก 29.2 วัตต์ ไปเป็น 126.78 วัตต์ กรณีผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงาน พบว่าเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติมสารทำงาน 30% และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย จะมีรูปแบบการไหลหลักเป็น Slug flow Churn flow และ Annular flow ผสมกัน ในขณะที่อัตราการเติมสารทำงาน 50% นั้น รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเป็น Annular flow และค่าการถ่ายเทความร้อนที่อัตราการเติม 50% จะมีค่าสูงสุดด้วย โดยที่ผลการทดสอบจะมีแนวโน้มนั้นเหมือนกันที่ทุกค่าอุณหภูมิส่วนทำระเหย สำหรับที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C ค่าการถ่ายเทความร้อนที่เทอร์โมไซฟอนที่ใช้ทดสอบ ณ อัตราการเติม 30% 50% และ 70% คือ 88.98 วัตต์ 126.78 วัตต์ และ 100.3 วัตต์ ตามลำดับ และค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเกิดที่อัตราการเติม 50%



Project Title : Effects of Evaporator Temperature and Filling ratio on Internal Flow
Patterns of Vertical Thermosyphon

Name : Mr. Chitiwet Chaikanya Code 47362819
: Mr. Anak Srenapharsawad Code 47363122

Project Advisor : Asst. Prof. Dr. Piyanun Charoensawan

Major : Mechanical Engineering

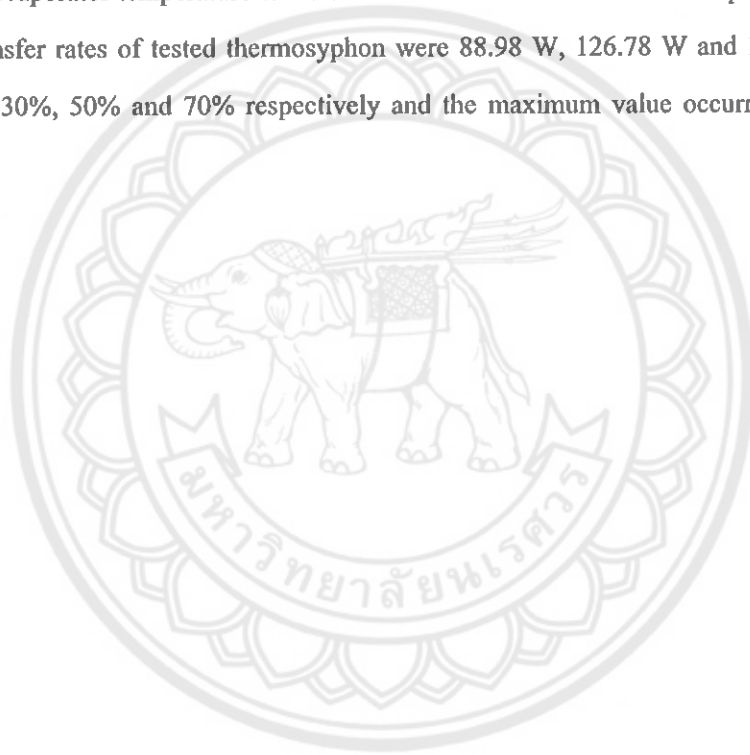
Department : Mechanical Engineering, Faculty of engineering, Naresuan University

Academic Year : 2007

Abstract

This project was a visual study of the internal flow patterns of thermosyphon at both the evaporator and condenser sections. The experimental setup was consisted of two sets i.e. one was built to observe the flow patterns in the evaporator section made of Pyrex glass tube and another was built to observe the flow patterns in the condenser section made of Pyrex glass tube. The tested thermosyphon operated at the vertical orientation. It's outside diameter and wall thickness was 16 and 2 mm respectively. The evaporator, adiabatic and condenser lengths were 360, 200 and 305 mm respectively. The tested working fluid of these two setups was only the distilled water. In order to investigate the effects of the evaporator temperature and filling ratio on the two-phase flow pattern and heat transfer rate of a thermosyphon, the experiment was conducted at the filling ratio of 30%, 50% and 70% of the evaporator volume and at the evaporator temperature of 50°C, 60°C, 70°C and 80°C. The volume flow rate and temperature of cold water at the inlet of condenser section were always maintained to be approximately 1 l/min and 29°C respectively. The flow rate of hot water that flowed through the evaporator part was kept to be approximately constant at 1.85 l/min. After the steady state was reached, the cold water temperatures at the inlet and outlet of the condenser part were recorded and the pictures of flow patterns in the evaporator and condenser parts were taken by the still and video digital camera. It was seen from the influence of evaporator temperature that the flow pattern changed from Slug flow to Churn flow and Annular flow with increasing the evaporator temperature and the heat rate also increased. The

experimental results at each filling ratio exhibited in the same trend. For thermosyphon with the inside diameter of 12 mm, the evaporator, adiabatic and condenser lengths of 360, 200 and 305 and the working fluid of water at 50% filling ratio, the heat transfer rate increased from 29.2 W to 126.78 W when the evaporator temperature was increased from 50°C to 80°C. It was seen from the influence of filling ratio that the main flow patterns were Slug flow, Churn flow and Annular flow for thermosyphon with the 30% and 70% filling ratios. As for 50% filling ratio, the flow pattern was mainly Annular flow and the heat rate was maximum at this filling ratio. The results at each evaporator temperature exhibited in the same trend. For 80°C evaporator temperature, the heat transfer rates of tested thermosyphon were 88.98 W, 126.78 W and 100.3 W at the filling ratio of 30%, 50% and 70% respectively and the maximum value occurred at the 50% filling ratio.



กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง “ผลของอุณหภูมิส่วนท่าระเหยและอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวคิ่ง” ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีก็เนื่องจากได้รับความกรุณาจากผู้มีพระคุณซึ่งให้การสนับสนุน ให้ข้อเสนอแนะ ให้การแนะนำ ให้คำปรึกษาต่างๆ มากมาย ทางคณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณ ซึ่งเป็นอาจารย์ร่วมที่ปรึกษาโครงการ โดยได้ให้คำปรึกษาเรื่องต่างๆ ในการจัดทำโครงการ ทั้งในด้านการปฏิบัติและทฤษฎีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้สถานที่ วัสดุ รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆ ในการจัดทำโครงการมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ทางคณะผู้จัดทำโครงการ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนแก่ผู้ดำเนินโครงการมาเป็นอย่างดี ซึ่งประโยชน์และคุณค่าที่เกิดจากการจัดทำปริญญา นิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบเป็นกตัญญูแก่คุณแค่มุขการี บุรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ด้วยความเคารพเป็นอย่างสูง ไว้ ณ ที่นี้

นายจิตติเวช ไชยกันยา
นายอนรรฆ ศรีนภาสวัสดิ์
(คณะผู้จัดทำโครงการ)

สารบัญ

	หน้า
ปกใน	ก
ใบรับรองโครงการ	ข
บทคัดย่อ	ค
Abstract	จ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
คำค้นสัญลักษณ์	ฃ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตของการทดลอง	5
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.6 งบประมาณ	7
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	8
2.1 หลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอน 2 สถานะแบบปิด	8
2.2 การถ่ายเทความร้อนในการทำงานของเทอร์โมไซฟอน 2 สถานะแบบปิด	10
2.3 รูปแบบการไหลสองสถานะภายในท่อหน้าตัดกลมที่วางตัวแนวตั้ง	13
2.4 การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนในส่วนควมแน่น	14
2.5 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 การออกแบบ	17
3.1 เทอร์โมไซฟอนแบบที่ 1 มีส่วนทำระเหยเป็นท่อแก้ว	18
3.2 เทอร์โมไซฟอนแบบที่ 2 มีส่วนควมแน่นเป็นท่อแก้ว	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ตู้น้ำร้อนและตู้น้ำเย็นของเทอร์โมไซโฟนแบบที่ 1	19
3.4 ตู้น้ำร้อนและตู้น้ำเย็นของเทอร์โมไซโฟนแบบที่ 2	20
3.5 แท่นชุดการทดลอง	21
3.6 แผงไฟ	24
บทที่ 4 วิธีการดำเนินงาน	25
4.1 ตัวแปรควบคุม	25
4.2 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา	25
4.3 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด	25
4.4 วิธีการทดลอง	31
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	33
5.1 ลักษณะการไหลของสารทำงานภายในเทอร์โมไซโฟนขณะทำงานในแนวตั้ง	33
5.2 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนที่ระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหล และค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซโฟน	34
5.3 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหล และค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซโฟน	48
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	66
6.1 สรุปผลการทดลอง	66
6.2 ข้อเสนอแนะ	67
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	70
ภาคผนวก ก การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนจากผลการทดลอง	70
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง	77
ประวัติผู้ทำโครงการ	82

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน	6
ตารางที่ ข1 แสดงค่าอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของท่อเทอร์โมไซฟอนและอัตราการใช้ ของน้ำเย็นเข้าที่ส่วนควบแน่นอัตราการเดิม 30% ที่ส่วนทำระเหยเป็นแก้ว	77
ตารางที่ ข2 แสดงค่าอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของท่อเทอร์โมไซฟอนและอัตราการใช้ ของน้ำเย็นเข้าที่ส่วนควบแน่นอัตราการเดิม 30% ที่ส่วนควบแน่นเป็นแก้ว	77
ตารางที่ ข3 แสดงค่าอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของท่อเทอร์โมไซฟอนและอัตราการใช้ ของน้ำเย็นเข้าที่ส่วนควบแน่นอัตราการเดิม 50% ที่ส่วนทำระเหยเป็นแก้ว	78
ตารางที่ ข4 แสดงค่าอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของท่อเทอร์โมไซฟอนและอัตราการใช้ ของน้ำเย็นเข้าที่ส่วนควบแน่นอัตราการเดิม 50% ที่ส่วนควบแน่นเป็นแก้ว	78
ตารางที่ ข5 แสดงค่าอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของท่อเทอร์โมไซฟอนและอัตราการใช้ ของน้ำเย็นเข้าที่ส่วนควบแน่นอัตราการเดิม 70% ที่ส่วนทำระเหยเป็นแก้ว	79
ตารางที่ ข6 แสดงค่าอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของท่อเทอร์โมไซฟอนและอัตราการใช้ ของน้ำเย็นเข้าที่ส่วนควบแน่นอัตราการเดิม 70% ที่ส่วนควบแน่นเป็นแก้ว	79
ตารางที่ ข7 แสดงค่าอัตราการเดิมสารและค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C ของ ส่วนทำระเหยเป็นแก้ว	80
ตารางที่ ข8 แสดงค่าอัตราการเดิมสารและค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C ของ ส่วนทำระเหยเป็นแก้ว	80
ตารางที่ ข9 แสดงค่าอัตราการเดิมสารและค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิ 70°C ของ ส่วนทำระเหยเป็นแก้ว	81
ตารางที่ ข10 แสดงค่าอัตราการเดิมสารและค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C ของ ส่วนทำระเหยเป็นแก้ว	81

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 เทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวตั้ง	1
รูปที่ 1.2 เทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวเอียง	1
รูปที่ 1.3 การประยุกต์เทอร์โมไซฟอนเข้ากับเครื่องอุ่นน้ำ	2
รูปที่ 1.4 การใช้เครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอนในการอบแห้ง	2
รูปที่ 1.5 แสดงการประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนในการผลิตกระแสไฟฟ้า	3
รูปที่ 1.6 แสดงการประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนกับตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์	4
รูปที่ 1.7 แสดงการประกอบใช้เทอร์โมไซฟอนกับ ตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ เข้ากับชุดอุปกรณ์อื่นๆ สำหรับเก็บพลังงานแสงอาทิตย์	4
รูปที่ 2.1 แสดงหลักการและส่วนประกอบต่างๆ ของเทอร์โมไซฟอน 2 สถานะแบบปิด	9
รูปที่ 2.2 แสดงตำแหน่งค่าความต้านทานของท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน 2 สถานะแบบปิด	9
รูปที่ 2.3 แสดงวงจรค่าความต้านทานของท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน 2 สถานะแบบปิด	10
รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบการไหลภายในท่อปิดในแนวตั้ง	13
รูปที่ 2.5 แสดงรูปประกอบการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนในส่วนควบแน่น	14
รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดลอง	17
รูปที่ 3.2 เทอร์โมไซฟอนทั้ง 2 ชุดการทดลอง	19
รูปที่ 3.3 แสดงภาพตู้น้ำร้อนและตู้น้ำเย็นของเทอร์โมไซฟอนแบบที่ 1	20
รูปที่ 3.4 แสดงภาพตู้น้ำร้อนและตู้น้ำเย็นของเทอร์โมไซฟอนแบบที่ 2	21
รูปที่ 3.5 ฐานสำหรับวางตู้น้ำร้อนและตู้น้ำเย็น	22
รูปที่ 3.6 โต้ะ โครงเหล็ก	23
รูปที่ 3.7 อุปกรณ์การทดลองที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว	23
รูปที่ 3.8 แผงไฟ	24
รูปที่ 4.1 แสดงสายเทอร์โมคัปเปิลที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ	26
รูปที่ 4.2 แสดงรูปปั้มน้ำร้อน	26
รูปที่ 4.3 เครื่องเก็บข้อมูลภายนอก	27
รูปที่ 4.4 กล้องดิจิทัลสำหรับถ่ายภาพนิ่ง	27
รูปที่ 4.5 ฮีตเตอร์	28
รูปที่ 4.6 เครื่องปั้มนสุญญากาศ	28

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 แผงควบคุมอุณหภูมิ	29
รูปที่ 4.8 แสดงรูปแผงควบคุมอุณหภูมิซึ่งต่อเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ ของชุดการทดลอง	29
รูปที่ 4.9 เครื่องเติมสารทำงาน	30
รูปที่ 4.10 ถังค้ำน้ำสำหรับค้ำน้ำร้อนเข้าที่ส่วนทำระเหย	31
รูปที่ 5.1 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 30%	35
รูปที่ 5.2 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 30%	36
รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติมสารทำงาน 30%	37
รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยและอุณหภูมิที่ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติมสารทำงาน 30%	38
รูปที่ 5.5 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 50%	39
รูปที่ 5.6 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 50%	41
รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติมสารทำงาน 50%	42
รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยและอุณหภูมิที่ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติมสารทำงาน 50%	43
รูปที่ 5.9 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 70%	44
รูปที่ 5.10 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 70%	46
รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติมสารทำงาน 70%	47
รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยและอุณหภูมิที่ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติมสารทำงาน 70%	47

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.13 ผลกระทบของอัตราการเค็มสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหล ในส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 50°C	49
รูปที่ 5.14 ผลกระทบของอัตราการเค็มสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหล ในส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 50°C	50
รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเค็มสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50°C	51
รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเค็มสารทำงานและอุณหภูมิที่ส่วนที่ไม่ มีการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50°C	51
รูปที่ 5.17 ผลกระทบของอัตราการเค็มสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนทำระเหย ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 60°C	53
รูปที่ 5.18 ผลกระทบของอัตราการเค็มสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนควบแน่น ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 60°C	54
รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเค็มสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 60°C	55
รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเค็มสารทำงานและอุณหภูมิที่ส่วนที่ ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 60°C	55
รูปที่ 5.21 ผลกระทบของอัตราการเค็มสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนทำระเหย ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 70°C	57
รูปที่ 5.22 ผลกระทบของอัตราการเค็มสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนควบแน่น ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 70°C	58
รูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเค็มสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70°C	59
รูปที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเค็มสารทำงานและอุณหภูมิที่ส่วนที่ ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70°C	60
รูปที่ 5.25 ผลกระทบของอัตราการเค็มสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนทำระเหย ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 80°C	61

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.26 ผลกระทบของอัตราการเคาะสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนควมแน่น ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 80°C	63
รูปที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคาะสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C	64
รูปที่ 5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคาะสารทำงานและอุณหภูมิที่ส่วนที่ ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C	64



ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A_x	พื้นที่หน้าตัดของผนังภาชนะ	m^2
C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็น	$kJ/kg.K$
D	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ	m
D_o	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ	m
g	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
h_{∞}	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิววนอก ของส่วนควมแน่น	$W/m.K$
h_{∞}	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิววนอก ของส่วนทำระเหย	$W/m.K$
l_a	ความยาวของส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน	m
l_c	ความยาวของส่วนควมแน่น	m
l_e	ความยาวของส่วนทำระเหย	m
h	อัตราการผลิตของน้ำเย็น	
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	W
S_{∞}	พื้นที่ผิวภายนอกของส่วนควมแน่น	m^2
S_{∞}	พื้นที่ผิวภายนอกของส่วนทำระเหย	m^2
T_1	ค่าอุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า	$^{\circ}C$
T_o	ค่าอุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	$^{\circ}C$
T_{si}	อุณหภูมิของส่วนระบายความร้อน	$^{\circ}C$
T_{∞}	อุณหภูมิของส่วนให้ความร้อน	$^{\circ}C$
ΔT_h	ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยเนื่องจากความต่างของ Hydro static head	$^{\circ}C$
Z	ค่าความต้านทานความร้อน	K/W
Z_1	ค่าความต้านทานความร้อนโดยการพาระหว่างส่วน ให้ความร้อนกับผิววนอกของส่วนทำระเหย	K/W
Z_2	ค่าความต้านทานความร้อนโดยการนำผ่านความหนา ของผนังในส่วนทำระเหย	K/W

ลำดับสัญลักษณ์ (ต่อ)

Z_3	ค่าความต้านทานความร้อนของของเหลวที่กำลังเดือด	K/W
Z_4	ค่าความต้านทานความร้อนระหว่างผิวหน้า ของของเหลวและไอในส่วนทำระเหย	K/W
Z_5	ค่าความต้านทานความร้อนที่เกิดจากความดัน ตกคร่อมระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น	K/W
Z_6	ค่าความต้านทานความร้อนระหว่างผิวหน้า ของของเหลวและไอในส่วนควบแน่น	K/W
Z_7	ค่าความต้านทานความร้อนของของเหลว ที่กำลังควบแน่น	K/W
Z_8	ค่าความต้านทานความร้อนโดยการนำผ่านความหนา ของผนังในส่วนควบแน่น	K/W
Z_9	ค่าความต้านทานความร้อนโดยการพาระหว่างผิวนอก ของส่วนควบแน่นกับตัวระบายความร้อน	K/W
Z_{10}	ค่าความต้านทานความร้อนโดยการนำในแนวแกนต่อ ผ่านพื้นที่หน้าตัดของผนังต่อจากส่วนทำระเหยมายัง ส่วนควบแน่น	K/W
Φ_2	Figure of Merit	
Φ_3	Physical properties	
λ_x	ค่าการนำความร้อน	W/m.K

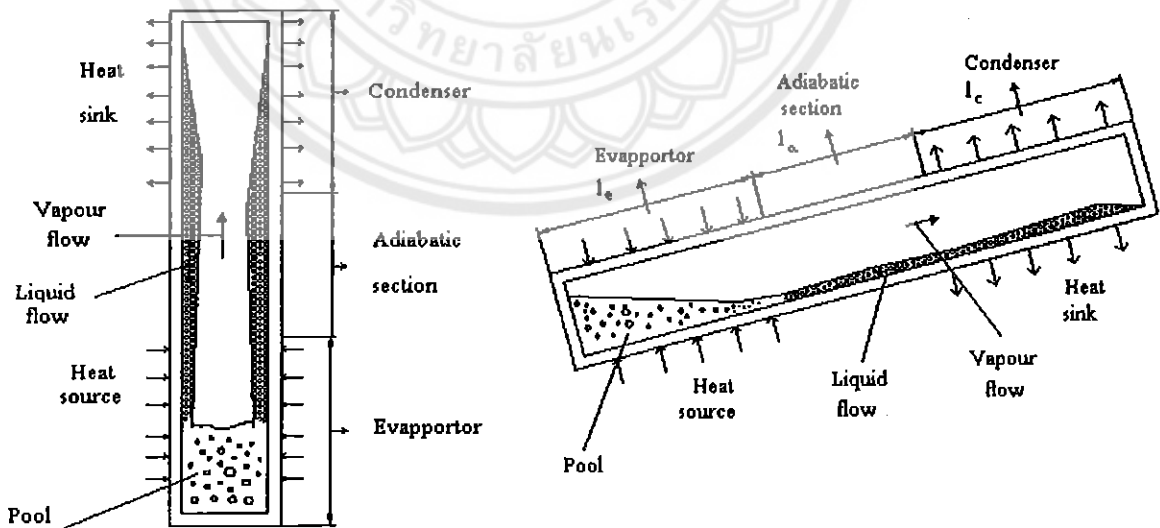
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

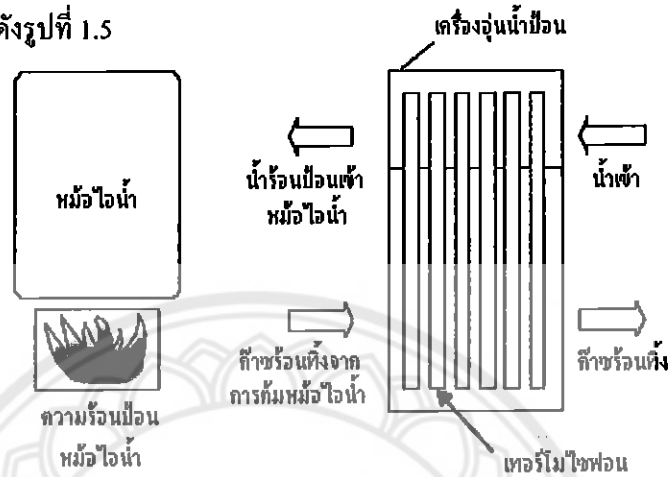
หลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้ถูกนำมาใช้พัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมมานานแล้ว แต่ในสถานะเศรษฐกิจปัจจุบันซึ่งมีการแข่งขันกันทางด้านธุรกิจสูงขึ้นมากและทรัพยากรต่างๆ เริ่มลดน้อยลงเนื่องจากการเติบโตทางอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ทุกองค์กรจึงมีจุดมุ่งหมายว่า ลดต้นทุนเพิ่มรายได้ และไม่ทำให้เกิดมลพิษ ทำให้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนมีบทบาทและได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับหลายองค์กรเพื่อช่วยในการประหยัดพลังงาน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้พิเศษกว่าชนิดอื่นๆ เนื่องจากสามารถส่งถ่ายความร้อนได้เร็ว ถ้ามีอุณหภูมิแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยก็สามารถส่งถ่ายความร้อนได้ประสิทธิภาพดีโดยไม่ต้องอาศัยพลังงานภายนอก ซึ่งมีหลักการทำงานง่ายๆ ว่า เมื่อของเหลว (สารทำงาน) ในท่อความร้อนซึ่งภายในเป็นสุญญากาศ นั้นได้รับความร้อนที่ส่วนทำระเหยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสารทำงานจะเกิดรูปแบบการไหลขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อการส่งผ่านความร้อน ของเหลวบางส่วนจะร้อนจนเปลี่ยนสถานะเป็นไอ และเมื่อไอนี้ลอยขึ้นไปสัมผัสกับพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำที่ส่วนความเย็นซึ่งอยู่ด้านบนของส่วนทำระเหยจะเกิดการควบแน่นจนกลายเป็นหยดน้ำไหลลงมาตามผิวของท่อ เนื่องจากสนามแรงโน้มถ่วงของโลกหมุนเวียนอยู่เช่นนี้ เทอร์โมไซฟอนนั้นมีทั้งที่วางตัวในแนวตั้งและวางตัวในแนวเอียง ดังรูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.2



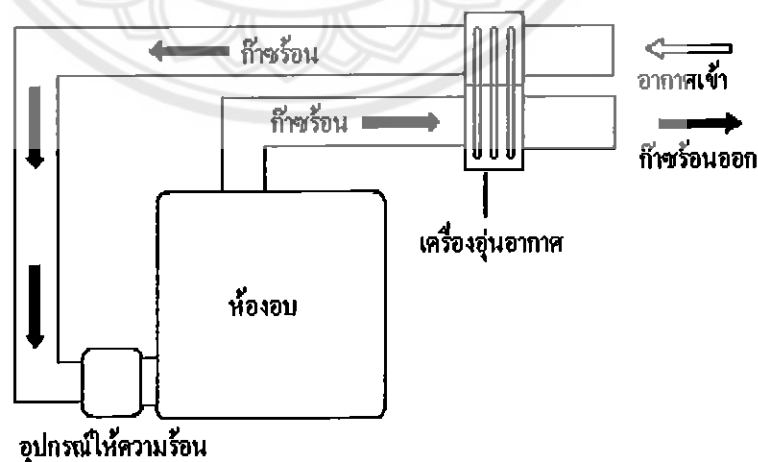
รูปที่ 1.1 เทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวตั้ง [1] รูปที่ 1.2 เทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวเอียง [1]

ในการใช้งานจริงนั้นเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวตั้งจะถูกนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายกว่า เช่น สามารถนำไปประยุกต์ใช้เข้ากับเครื่องอุ่นน้ำ ดังรูปที่ 1.3 หรือ การนำเครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอนไปประยุกต์กับการอบแห้ง ดังรูปที่ 1.4 และ การนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.5



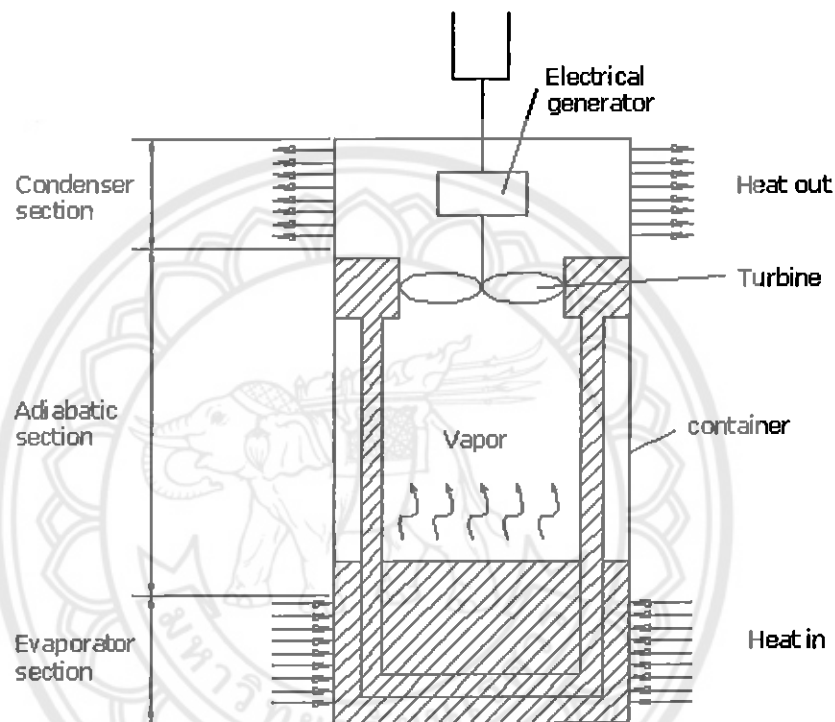
รูปที่ 1.3 การประยุกต์เทอร์โมไซฟอนเข้ากับเครื่องอุ่นน้ำ [2]

จากรูปที่ 1.3 จะใช้ก๊าซร้อนทิ้งจากการต้มที่หม้อไอน้ำนำมาให้ความร้อนกับเครื่องอุ่นน้ำแบบเทอร์โมไซฟอนที่ส่วนทำระเหยทำให้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนมีอุณหภูมิสูงขึ้นเกิดการเดือดเปลี่ยนสถานะเป็นไอลอยขึ้นส่วนควบแน่นทางด้านบน ที่ส่วนควบแน่นจะปล่อยให้น้ำเย็นไหลเข้ามาเป็นตัวระบายความร้อนจากเทอร์โมไซฟอน ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนไหลเข้าหม้อไอน้ำทำให้ประหยัดพลังงานในการต้มน้ำ และเช่นเดียวกันกับการนำเครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอนมาประยุกต์ใช้กับการอบแห้ง ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 การใช้เครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอนในการอบแห้ง [2]

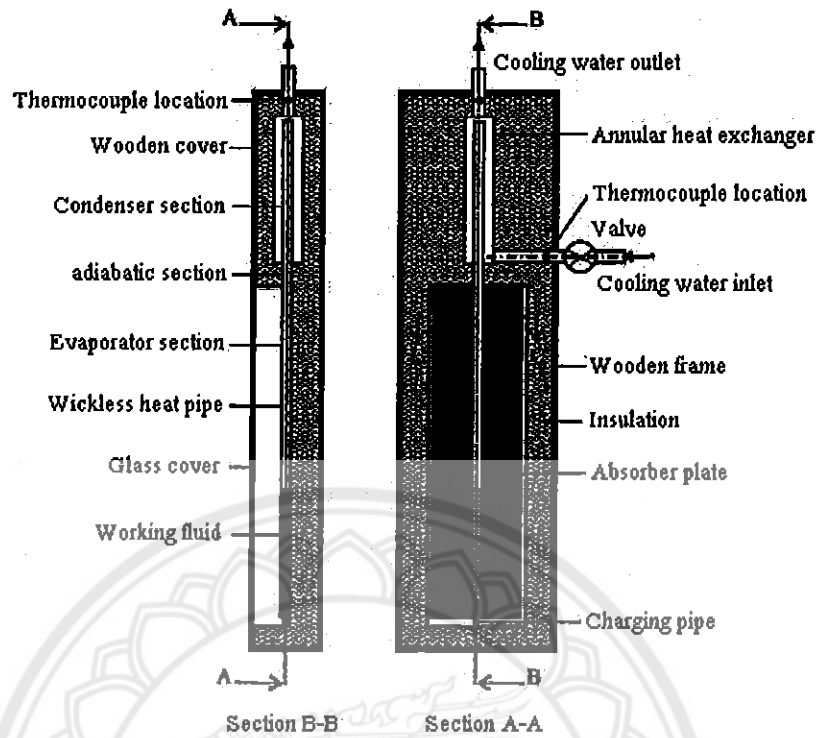
จากรูปที่ 1.4 จะใช้ก๊าซไอเสียร้อนจากห้องอบนำมาให้ความร้อนแก่เครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอนที่ส่วนทำระเหย ทำให้สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนมีอุณหภูมิสูงขึ้นเกิดการเดือดเปลี่ยนสถานะเป็นไอลอยขึ้นส่วนควบแน่นทางด้านบน ที่ส่วนควบแน่นจะปล่อยให้อากาศภายนอกไหลเข้ามาเป็นตัวระบายความร้อนจากเทอร์โมไซฟอน ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนไหลเข้าห้องอบทำให้ประหยัดพลังงานที่ใช้กับอุปกรณ์ให้ความร้อน



รูปที่ 1.5 แสดงการประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนในการผลิตกระแสไฟฟ้า [3]

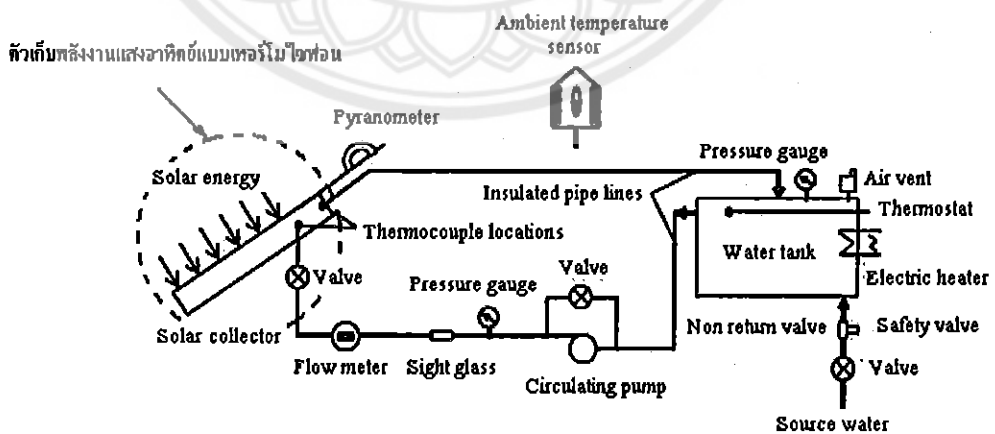
จากรูปที่ 1.5 ใช้ไอจากการระเหยเนื่องจากการให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยซึ่งมีการทำงานแบบเทอร์โมไซฟอนภายในมีกัมมันต์และต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า เมื่อใบพัดเกิดการหมุนเนื่องจากไอร้อนนี้เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าก็จะให้กำเนิดกระแสไฟ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานต่อได้ ส่วนไอร้อนเมื่อได้สัมผัสกับส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำในส่วนควบแน่นก็จะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวไหลลงสู่ส่วนทำระเหยเป็นวัฏจักรเช่นนี้เรื่อยไป

เทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวเอียงนั้นก็สามารนำไปประยุกต์ในการใช้งานจริงได้เช่นกัน ถึงแม้ว่าจะประยุกต์ใช้ได้หลากหลายไม่เท่ากับเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวตั้ง แต่ที่เห็นได้ชัดเจนคือการนำไปประยุกต์ใช้กับ ตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar collector) ดังรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 แสดงการประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนกับตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ [4]

จากรูปที่ 1.6 ส่วนที่ระเหยนั้นจะได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์และมีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็นที่ไหลเข้าทางด้านล่างของส่วนควบแน่นและไหลออกทางด้านบนของส่วนควบแน่น มีการทาสีดำไว้ที่ส่วนที่ระเหยเพื่อที่จะได้ดูดซับแสงอาทิตย์ได้มากขึ้น เมื่อนำมาประกอบทำมุมเอียง 30 องศา จากแนวระดับเข้ากับชุดอุปกรณ์อื่นๆ สำหรับเก็บพลังงานแสงอาทิตย์จะได้ ดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 แสดงการประกอบใช้เทอร์โมไซฟอนกับตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับชุดอุปกรณ์อื่นๆ สำหรับเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ [4]

จากรูปที่ 1.7 มีการปล่อยน้ำจากถังน้ำไหลไปยังเทอร์โมไซฟอนที่อยู่ในแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งทำมุมเอียงจากแนวระดับ สารทำงานจะได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่วนทำระเหยและใช้น้ำเย็นที่ไหลจากถังน้ำเป็นตัวระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่น และมีตัววัดพลังงานแสงอาทิตย์ (Pyranometer) ติดอยู่ที่ด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์

สิ่งที่ได้ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนกับการใช้งานจริงไปแล้วนั้น ในการใช้งานจริงเราไม่สามารถเห็นถึงการทำงานภายในของท่อความร้อนได้ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำท่อความร้อนไม่โปร่งใส วัสดุที่ใช้ทำจำเป็นต้องเป็นโลหะเพื่อให้ท่อสามารถพาความร้อนได้ดี ดังนั้นการจะศึกษาการทำงานให้เข้าใจอย่างถ่องแท้จึงเป็นไปได้ยากลำบาก เพราะเราไม่สามารถจะเห็นถึงการทำงานภายในของเทอร์โมไซฟอนนี้ได้ ไม่สามารถสังเกตผลกระทบของตัวแปรต่างๆ เช่น อัตราการเติมสารทำงาน อุณหภูมิส่วนทำระเหย อัตราส่วนสนทรรศน์ ความยาวของส่วนทำระเหย ซึ่งเหล่านี้จะส่งผลต่อรูปแบบการไหลภายใน ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่ารูปแบบการไหลภายในส่งผลอย่างไรต่อค่าการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นโครงการนี้จึงออกแบบอุปกรณ์การทดลอง เพื่อศึกษาการทำงานภายในของท่อความร้อนในแนวตั้งเพื่อให้เข้าใจหลักการการทำงานและสามารถวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อการทำงานของเทอร์โมไซฟอน และเลือกศึกษาเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวตั้งเนื่องจากเทอร์โมไซฟอนในแนวตั้งนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้มากกว่าเทอร์โมไซฟอนในแนวเอียงและตัวแปรในการศึกษาคือ อัตราการเติมสารทำงาน และอุณหภูมิของส่วนทำระเหย เนื่องจากการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ายังไม่มียานวิจัยใดที่กล่าวถึงผลกระทบของทั้ง 2 ตัวแปรนี้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษารูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวตั้ง

1.2.2 ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยและอัตราการเติมสารทำงานที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของเทอร์โมไซฟอน และค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวตั้ง

1.3 ขอบเขตของการทดลอง

1.3.1 เทอร์โมไซฟอนสร้างจากท่อแก้ว Pyrex ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 16 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 360 มิลลิเมตร ความยาวส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน 200 มิลลิเมตร ความยาวส่วนควบแน่น 305 มิลลิเมตร

1.3.2 ใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงาน

1.3.2 เทอร์โมไซฟอนวางตัว 90 องศาจากแนวระดับ

1.3.3 ตัวแปรการทดลองประกอบด้วย

- อุณหภูมิส่วนทำระเหย คือ 50°C 60°C 70°C และ 80°C

- อัตราการเติมสารทำงาน คือ 30% 50% และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาทฤษฎี และบทความที่เกี่ยวข้องจากห้องสมุด อินเทอร์เน็ต และงานวิจัยต่างๆ

1.4.2 ศึกษาแนวทางในการสร้างเครื่องเพื่อเตรียมวัสดุในการสร้างเครื่อง และทำการออกแบบอุปกรณ์การทดลองเพื่อให้สามารถมองเห็นรูปแบบการไหลภายในที่สามารถทดลองความตัวแปรต่างๆได้

1.4.3 ดำเนินการสร้างและปรับแก้อุปกรณ์การทดลองเชิงทัศน์

1.4.4 ทดสอบและประเมินผลตามตัวแปรต่างๆ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซฟอน

1.4.5 สรุปผลการทดลองและทำรายงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน

กิจกรรม	2549				2550							
	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	
ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัย												
ศึกษาแนวทางในการสร้างเครื่อง ออกแบบอุปกรณ์ในการทดลอง												
ดำเนินการสร้างและปรับแก้ อุปกรณ์การทดสอบเชิงทัศน์												
ทดสอบและประเมินผลและ วิเคราะห์ผลการทดลอง												
สรุปผลการทดลองและทำรายงาน												

สถานที่ปฏิบัติงาน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เข้าใจถึงกระบวนการทำงานภายในของเทอร์โมไซโฟนที่วางตัวในแนวตั้ง

1.5.2 เข้าใจถึงผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในเทอร์โมไซโฟน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน

1.5.3 ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์การศึกษารูปแบบเชิงทัศน์ของเทอร์โมไซโฟน

1.6 งบประมาณ

1.6.1 ค่าจ้างเหมาสร้างเครื่อง	11600 บาท
1.6.2 ค่าป้อนน้ำร้อน	4500 บาท
1.6.3 วาล์วประตุน้ำ	200 บาท
1.6.4 ชุดอุปกรณ์ควมคุมและฮีตเตอร์	11150 บาท
1.6.5 วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องและทดสอบ (เช่น ท่อแก้ว Pyrex, แผ่นสแตนเลส, กาวแดง ฯลฯ)	31800 บาท
1.6.6 ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์	2680 บาท
1.6.7 ค่าถ่ายเอกสาร	2991 บาท
รวมเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น	64921 บาท

บทที่ 2

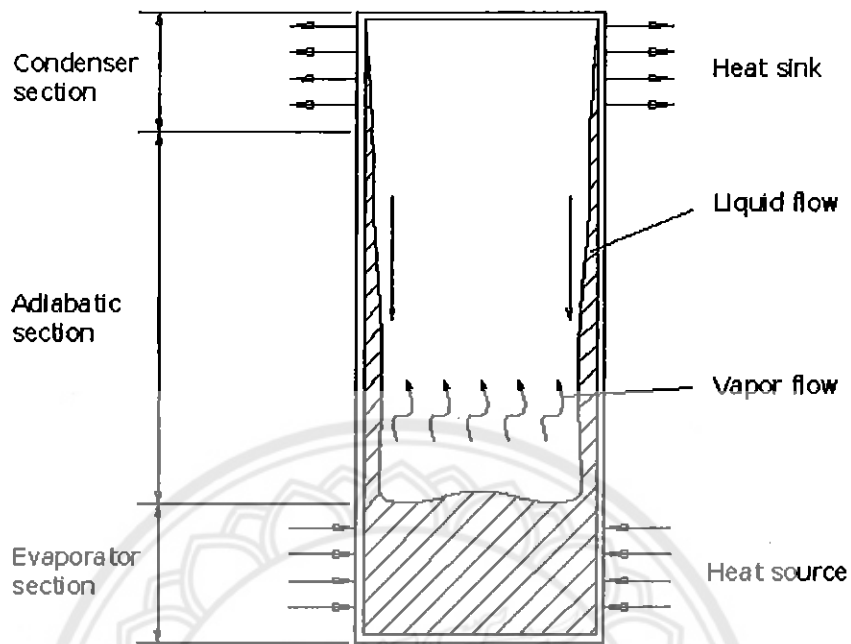
หลักการและทฤษฎี

ทฤษฎีเกี่ยวกับโครงการนี้เป็นทฤษฎีเกี่ยวกับเทอร์โมไซฟอนซึ่งวางตัวในดิ่ง โดยเริ่มตั้งแต่หลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอน รูปแบบการไหลต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงพอ ค่าการถ่ายเทความร้อน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในโครงการนี้จำเป็นต้องรู้ทฤษฎีเหล่านี้เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ผลการทดลอง และการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อน สามารถแบ่งการศึกษาทฤษฎีได้ ดังนี้

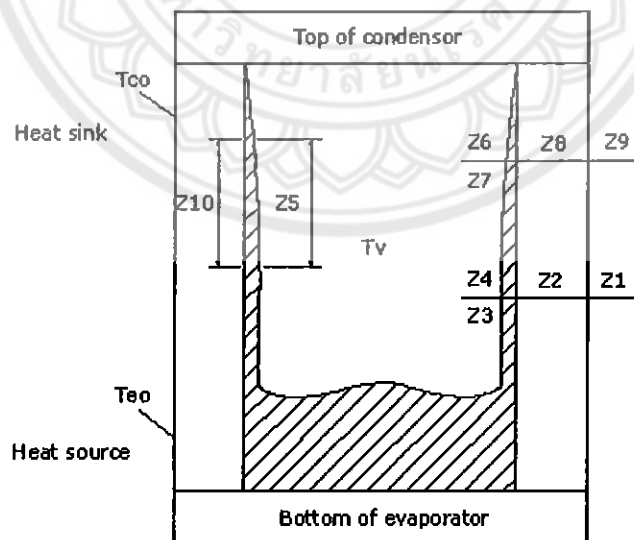
2.1 หลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอน 2 สถานะแบบปิด (two-phase closed thermosyphon)

เทอร์โมไซฟอน 2 สถานะแบบปิด จะมีโครงสร้างเป็นภาชนะปิดโดยภายในบรรจุสารทำงานและเป็นสูญญากาศ (เพื่อให้ภายในมีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศทำให้สารทำงานเดือดได้เร็วกว่าปกติ) โดยภาชนะปิดนั้นจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) เป็นส่วนที่ให้ความร้อนกับสารทำงานซึ่งจะมีอุณหภูมิสูง ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน (Adiabatic section) ส่วนควบแน่น (Condenser section) เป็นส่วนระบายความร้อนซึ่งจะมีอุณหภูมิต่ำ ส่วนควบแน่นนี้จำเป็นต้องอยู่เหนือส่วนทำระเหยเสมอ เมื่อสารทำงานซึ่งอยู่ในส่วนทำระเหยนั้นได้รับความร้อนมากพอ สารทำงานจะเริ่มเดือดและเกิดรูปแบบการไหลขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อน สารทำงานบางส่วนจะร้อนจนเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอลอยขึ้นสู่ด้านบนผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่น เมื่อไอเหล่านี้สัมผัสกับผิวของส่วนควบแน่นซึ่งมีอุณหภูมิต่ำก็จะคลายความร้อนให้กับพื้นผิวแล้วก็จะเปลี่ยนสถานะตัวเองเป็นของเหลวไหลลงมาตามผิวที่อกกลับสู่ส่วนทำระเหยเพื่อไปรับความร้อนอีกครั้งหนึ่งเนื่องจากสนามแรงโน้มถ่วงของโลก หมุนวนกันเป็นวัฏจักรเช่นนี้เรื่อยไป ดังรูปที่ 2.1

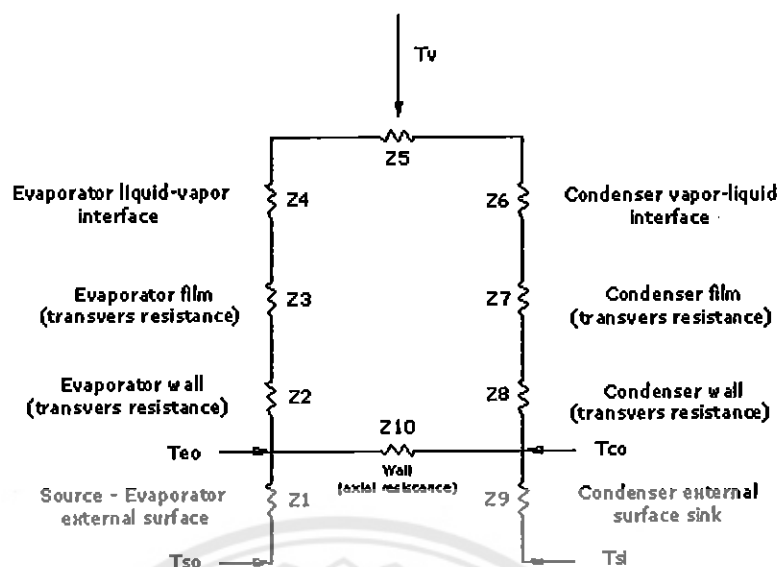
สามารถแสดงค่าความต้านทานความร้อนที่ส่วนต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกของเทอร์โมไซฟอน 2 สถานะแบบปิด ได้ดังรูปที่ 2.2 และยังสามารถแสดงค่าความต้านทานความร้อนเหล่านี้ในรูปแบบของวงจรความต้านทานได้ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการและส่วนประกอบต่างๆ ของเทอร์โมไซฟอน 2 สถานะแบบปิด [1]



รูปที่ 2.2 แสดงตำแหน่งค่าความดันของท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน 2 สถานะแบบปิด [1]



รูปที่ 2.3 แสดงวงจรค่าความต้านทานของท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน 2 สถานะแบบปิด [1]

2.2 การถ่ายเทความร้อนในการทำงานของเทอร์โมไซฟอน 2 สถานะแบบปิด

ในการทำงานของเทอร์โมไซฟอน 2 สถานะแบบปิด สามารถแสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (Q) ได้โดย ความต้านทานความร้อนทั้งหมด (Z) และ ผลต่างของอุณหภูมิที่ส่วนให้ความร้อนและที่ส่วนระบายความร้อน ($\Delta T = T_{so} - T_{si} - \Delta T_h$) ทำให้ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q = \Delta T / Z \quad (2.1)$$

โดย T_{so} คือ อุณหภูมิของส่วนให้ความร้อน

T_{si} คือ อุณหภูมิของส่วนระบายความร้อน

ΔT_h คือ ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยเนื่องจากความต่างของ Hydro static head

$$\text{เปรียบเทียบจากความสัมพันธ์ } Z_{10} / (Z_2 + Z_3 + Z_5 + Z_7 + Z_8) > 20 \quad (2.2)$$

หากมากกว่า 20 ค่า Z สามารถหาได้จาก

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_5 + Z_7 + Z_8 + Z_9 \quad (2.3)$$

หากน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 Z สามารถหาได้จาก

$$Z = Z_1 + [(Z_2 + Z_3 + Z_5 + Z_7 + Z_8)^{-1} + 1/Z_{10}]^{-1} + Z_9 \quad (2.4)$$

และสามารถแสดงตำแหน่ง วงจรค่าความต้านทานแต่ละตัวได้ ดังนี้

Z_1 และ Z_9 คือ ค่าความต้านทานความร้อนโดยการพาระหว่างส่วนให้ความร้อนกับผิวนอกของส่วนทำระเหย และระหว่างผิวนอกของส่วนควบแน่นกับตัวระบายความร้อน ตามลำดับ โดยใช้ความสัมพัทธ์ดังนี้

$$Z_1 = 1/(h_{co} S_{co}) \text{ และ } Z_9 = 1/(h_{co} S_{co}) \quad (2.5)$$

โดย h_{co} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวนอกของส่วนทำระเหย
 h_{co} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวนอกของส่วนควบแน่น
 S_{co} คือ พื้นที่ผิวภายนอกของส่วนทำระเหย
 S_{co} คือ พื้นที่ผิวภายนอกของส่วนควบแน่น

Z_2 และ Z_8 คือ ค่าความต้านทานความร้อนโดยการนำผ่านความหนาของผนังในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ตามลำดับ โดยใช้ความสัมพัทธ์ดังนี้

$$Z_2 = \frac{\ln(D_o/D)}{2\pi l_e \lambda_x} \text{ และ } Z_8 = \frac{\ln(D_o/D)}{2\pi l_c \lambda_x} \quad (2.6)$$

โดย D_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ
 D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ
 λ_x คือ Thermal conductivity (ค่าการนำความร้อน)
 l_e, l_c คือ ความยาวของส่วนทำระเหย และ ส่วนควบแน่น ตามลำดับ

Z_3 และ Z_7 คือ ค่าความต้านทานความร้อนของของเหลวที่กำลังเดือดและควบแน่นภายในเทอร์โมไซฟอน โดยค่าความต้านทานนี้จะขึ้นกับ คุณสมบัติของของไหล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเทอร์โมไซฟอน และอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยใช้ความสัมพัทธ์ดังนี้

$$Z_3 = Z_{3p}F + Z_{3r}(1-F) \quad (2.7)$$

$$Z_{3f} = \frac{CQ^{1/3}}{D^{3/4} g^{1/3} I_e(\Phi_2)^{4/3}} \quad (2.8)$$

$$Z_{3p} = \frac{1}{I_e \Phi_3 g^{0.2} Q^{0.4} (\pi D I_e)^{0.6}} \quad (2.9)$$

โดย g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่า $9.81 \text{ m}^2/\text{s}$

Z_{3f} คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์ม

Z_{3p} คือ ค่าความต้านทานความร้อนของการเดือดเป็นแอ่ง

Φ_2 คือ Figure of Merit

Φ_3 คือ (คุณสมบัติทางฟิสิกส์) Physical properties

หากของไหลเป็นน้ำ $\Phi_3 = 63(P_v/P_a)^{0.23} \quad (2.10)$

หากของไหลเป็นแอมโมเนีย $\Phi_3 = 56(P_v/P_a)^{0.23} \quad (2.11)$

$C = 0.235$

$$Z_7 = \frac{CQ^{1/3}}{D^{3/4} g^{1/3} I_e(\Phi_2)^{4/3}} \quad (2.12)$$

Z_4 และ Z_6 คือ ค่าความต้านทานความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างที่ผิวหน้าของของเหลวและไอในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยมาก จึงไม่นำมาคิด

Z_5 คือ ค่าความต้านทานความร้อนที่เกิดจากความดันตกคร่อมระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเมื่อเปรียบเทียบกับ Z_3 และ Z_7 จึงไม่นำมาคิด

Z_{10} คือ ค่าความต้านทานความร้อนโดยการนำในแนวแกนต่อผ่านพื้นที่หน้าตัดของผนังท่อจากส่วนทำระเหยมายังส่วนควบแน่น โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

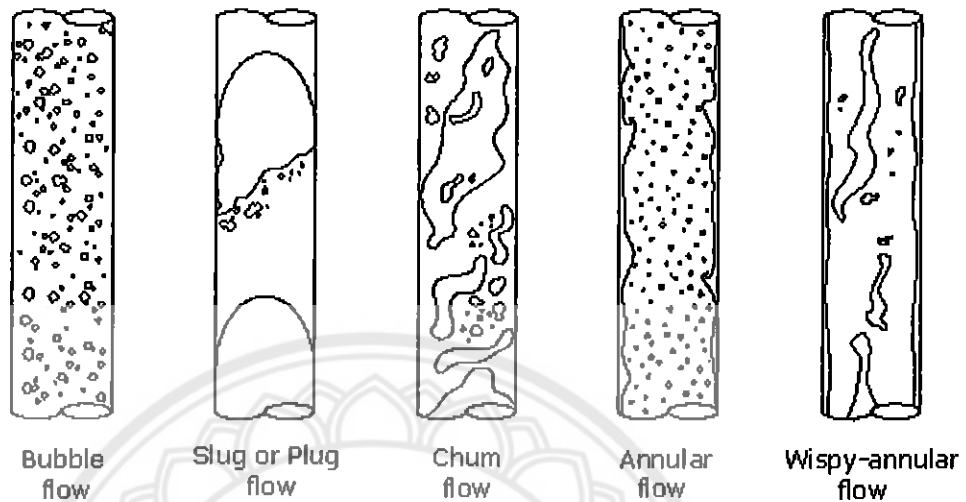
$$Z_{10} = (0.5 I_e + I_a + 0.5 I_e) / (A_x \lambda_x) \quad (2.13)$$

โดย A_x คือ พื้นที่หน้าตัดของผนังภาชนะ

I_e คือ ความยาวของส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน

2.3 รูปแบบการไหลสองสถานะภายในท่อหน้าตัดกลมที่วางตัวแนวดิ่ง

รูปแบบการไหลภายในท่อของแนวดิ่ง แสดงและให้คำจำกัดความ ได้ดังนี้



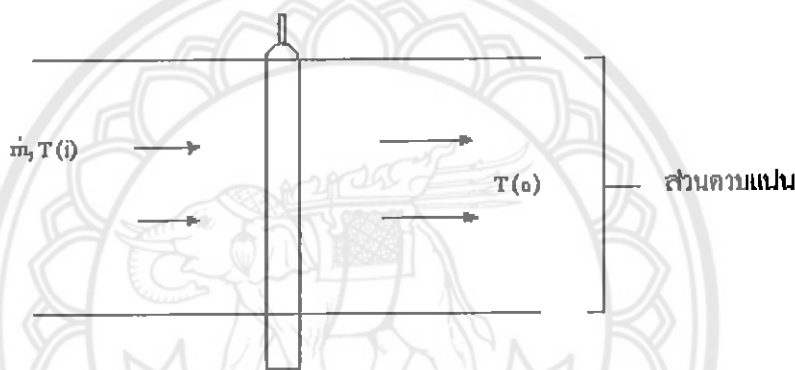
รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบการไหลภายในท่อปิดในแนวดิ่ง [5]

- Bubble flow เป็นการไหลในช่วงเริ่มต้นมีการไหลของฟองอากาศในของเหลวอย่างต่อเนื่อง และ ฟองอากาศนี้แพร่กระจายทั่วของเหลว
- Slug flow หรือ Plug flow เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นฟองอากาศเหล่านั้นจะเริ่มจับตัวกันเป็นลักษณะของหัวกระสุนปืน และการแพร่กระจายของฟองอากาศจะน้อยกว่า Bubble flow
- Churn flow เนื่องจากความเร็วในการไหลเพิ่มมากขึ้นอีกทำให้ไอส่วนที่เป็นลักษณะกระสุนเกิดการแตกออกนำมาซึ่งความไม่เสถียรภายในท่ออาจจะทำให้ท่อเกิดการสั่นได้แต่ในกรณีที่ท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กการสั่นนี้อาจไม่เกิดขึ้น
- Annular flow การไหลในช่วงนี้มีความเร็วจนกระทั่งของเหลวจะไหลขึ้นไปตามผิวท่อเป็นแผ่น พิล์มส่วนที่เป็นไอจะไหลอยู่ตรงกลางของท่อ

- Wispy Annular flow ในการไหลชนิดนี้ความเร็วในการไหลของไอน้ำจะเพิ่มมากขึ้นจนสามารถพาของเหลวที่ไหลเป็นฟิล์มไหลตามขึ้นไปกับส่วนที่เป็นไอ โดยของเหลวนี้จะรวมตัวกันจนเป็นก้อนนูน เรียกว่า “Wisp” และจะมี mass flux สูงมาก

2.4 การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนในส่วนควบแน่น

จากการทดลองได้บันทึกค่าของอัตราการไหลของน้ำเย็น, ค่าอุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้าและค่าอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกที่ตู้ส่วนควบแน่น และนำค่าที่บันทึกได้เหล่านี้มาคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนทั้ง 2 หลอด ดังรูปที่ 2.5 และสมการที่ 2.14



รูปที่ 2.5 แสดงรูปประกอบการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนในส่วนควบแน่น

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \tag{2.14}$$

- โดยที่ Q เป็นอัตราการถ่ายเทความร้อน (kW)
- \dot{m} เป็นอัตราการไหลของน้ำเย็น
- C_p เป็นค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเย็น
- ΔT เป็นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าและขาออก
- T_i เป็นค่าอุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า
- T_o เป็นค่าอุณหภูมิน้ำเย็นขาออก

2.5 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานทดลองของ P. Terdtoon, M. Chailungkar, and S. Rittthidej ในเรื่องผลกระทบของ Bond number ที่มีผลกับการไหล 2 สถานะภายในท่อปัดที่ทำงาน แบบเทอร์โมไซฟอนซึ่งทำงานในสภาวะปกติ โดยทำการทดสอบ ท่อ 2 ขนาดที่เส้นผ่านศูนย์กลางไม่เท่ากัน และวางตัวในแนว 90 องศา และ 30 องศา โดยแบ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลและค่าความร้อนที่เกิดขึ้นเป็น 3 ช่วง

$$\text{โดย Bond number (Bo)} = d [\sigma g (\rho_l - \rho_v) / \rho^2]^{1/2} \quad (2.15)$$

ทำการกำหนดตัวแปรควบคุม ดังนี้

อุณหภูมิไอที่ 30°C อัตราการเติมสารทำงาน คือ 50 % และสารทำงาน คือสารทำความเย็น

R123

ตัวแปรที่ปรับค่าได้ คือ

ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 11.2 และ 25.4 มิลลิเมตร และมีค่า L/d เท่ากับ 5, 10 และ 30 มุมเอียง 90 องศา และ 30 องศา จากแนวระดับ

และจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบการไหลจะขึ้นกับ aspect ratio (L/d) และ Bond number (Bo) ดังนี้

- ที่ (L/d) มีค่าเท่ากับ 10 หรือมากกว่า จากการไหลแบบ Annular flow ในแนวตั้ง เมื่อท่อวางตัวเอียงจะเปลี่ยนการไหลเป็นแบบ Slug flow จะมีแผ่นฟิล์มของเหลวบางๆ อยู่ส่วนบนซึ่งจะช่วยในการระบายความร้อนได้ ในกรณีนี้หากเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างการวางท่อในแนวเอียงกับการวางท่อในแนวตั้ง จะพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ใกล้เคียงกันมาก

- ที่ (L/d) มีค่าน้อยกว่า 10 และ Bo มีค่าน้อย จากการไหลแบบ bubbly flow ในแนวตั้ง เมื่อท่อวางตัวเอียงจะเปลี่ยนการไหลเป็นแบบ stratified flow บางครั้งในส่วนล่างอาจจะมองเห็นฟองไอที่รวมตัวกันเป็นลักษณะหัวกระสุน

- ที่ (L/d) มีค่าน้อยกว่า 10 และ Bo มีค่ามาก จากการไหลแบบ bubbly flow เมื่อท่อวางตัวเอียงจะเปลี่ยนเป็นการไหลแบบ stratified flow และ bubbly flow ในส่วนนี้จะปราศจากฟองไอที่รวมตัวกันเป็นลักษณะหัวกระสุน หากเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างการวางท่อในแนวเอียงกับการวางท่อในแนวตั้ง จะพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าในกรณีที่ Bo มีค่าน้อย จาก 2 ปัจจัยนี้อาจสามารถสรุปได้ 2 ข้อ คือ

1. บริเวณพื้นที่ด้านล่างของท่อจะไม่ถูกรบกวนด้วยฟองไอ

2. ฟองไอที่รวมตัวกันเป็นลักษณะหัวกระสุนจะไม่เคลื่อนที่สู่ด้านบนของท่อ

จากการศึกษางานทดลองของ P. Terdtoon M. Chailungkar, and M. Shiraishi ในเรื่อง ของผลกระทบของอัตราส่วนสนทรรสน์ ที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในท่อเทอร์โมไซฟอนซึ่ง วางตัวในแนวเอียงที่การทำงานสภาวะปกติ

เทอร์โมไซฟอนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร เลือกใช้สารทำงานเป็นสารทำความเย็น R123 อุณหภูมิไอ 30°C อัตราการเดินที่ 80% เป็นการสังเกตปรากฏการณ์การไหล เลือกมุมเอียงที่ 90° , 30° และ 5° จากแนวตั้ง มีอัตราส่วนสนทรรสน์ที่ 30, 10, และ 5 ปรากฏการณ์การไหลจะถูกบันทึกไว้ในกล้องวีดีโอ และกล้องถ่ายภาพ และค่าการถ่ายเทความร้อนจะถูกบันทึกไว้ด้วย

จากการศึกษาแบบวิเคราะห์ถึงผลกระทบของ Le/d ที่มีต่อปรากฏการณ์ของรูปแบบการไหลภายในท่อเทอร์โมไซฟอนซึ่งวางตัวในแนวเอียงที่การทำงานสภาวะปกติ สามารถที่จะสรุปได้ว่ารูปแบบการไหลภายในพื้นฐานสามารถแบ่งตามเงื่อนไขของ Le/d แสดงได้ดังนี้

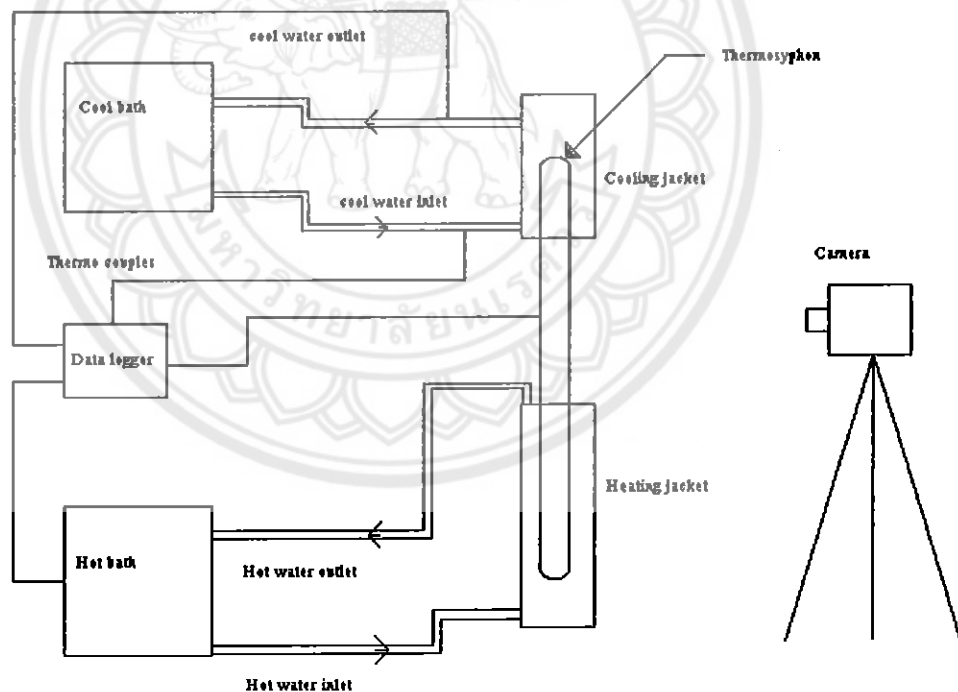
ที่ Le/d มีค่า 10 หรือสูงกว่า รูปแบบการไหลภายในจะเปลี่ยนจาก annular และ churn flow ที่แนวตั้ง ไปเป็น stratified slug flow ที่แนวเอียง และในขณะที่เดียวกันมีการปรับปรุงอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างแนวตั้งและแนวเอียง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการไหลภายใน จะช่วยรักษาสภาวะเปียกที่ผิวท่อด้านในของส่วนทำระเหยแม้แต่ในการทำงานที่สภาวะปกติ

ที่ Le/d มีค่าน้อยกว่า 10 การไหลแบบ bubbly flow นั้นจะมีอิทธิพลทั้งในแนวตั้งและแนวเอียง ขึ้นอยู่กับสภาวะเปียกของแต่ละกรณี การเอียงตัวของเทอร์โมไซฟอนจากแนวตั้งจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนรูปแบบการไหลภายในทั้งหมด ดังนั้นการปรับปรุงอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเท่าเดิมหรือสูงกว่ากรณีก่อนหน้านี้

บทที่ 3

การออกแบบ

จากวัตถุประสงค์ของโครงการ คือ การสร้างอุปกรณ์การทดลองเพื่อศึกษารูปแบบการไหลภายในท่อเทอร์โมไซฟอน โดยจะถูกแบ่งออกเป็น 2 จุด คือ จุดที่ 1 ศึกษารูปแบบการไหลในส่วนทำระเหยและจุดที่ 2 ศึกษารูปแบบการไหลในส่วนควบแน่น โดยชุดการทดลองทั้ง 2 ชุดนี้จะถูกวางตัวในแนวตั้ง ซึ่งแต่ละชุดจะเดินสารทำงานที่ 30% 50% 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย และให้อุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่ 50°C 60 °C 70 °C และ 80°C เมื่อสารทำงานในหลอดเทอร์โมไซฟอนได้รับความร้อนจากน้ำร้อนในส่วนทำระเหยจะทำให้เทอร์โมไซฟอนเริ่มทำงานและในส่วนควบแน่นจะมีการระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น โดยมีการบันทึกค่าอุณหภูมิ และอัตราการไหลของน้ำเย็น รวมถึงบันทึกภาพรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังการทำงานของชุดอุปกรณ์การทดลอง

โครงการนี้แบ่งการศึกษาเทอร์โมไซฟอนออกเป็น 2 ชุดการทดลองคือ ศึกษารูปแบบการไหลที่ส่วนทำระเหย และศึกษารูปแบบการไหลที่ส่วนควบแน่น จึงกำหนดให้ชุดทดลองแบบที่ 1 มีส่วนทำระเหยเป็นท่อแก้วเพื่อศึกษาที่ส่วนทำระเหย และชุดทดลองแบบที่ 2 มีส่วนควบแน่นเป็นท่อแก้วเพื่อศึกษาที่ส่วนควบแน่น มีการออกแบบชุดการทดลองของแต่ละชุดดังนี้

3.1 เทอร์โมไซฟอนแบบที่ 1 มีส่วนทำระเหยเป็นท่อแก้ว

- ในส่วนทำระเหย ใช้หลอดแก้วไพเร็กซ์ (Pyrex glass tube) ซึ่งสามารถทนความร้อนได้สูงและสามารถสังเกตเห็นถึงรูปแบบการไหลภายในได้ โดยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 16 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12 มิลลิเมตร ยาว 360 มิลลิเมตร

- ส่วนควบแน่นและในส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ใช้ท่อท่อแดงซึ่งมีค่าการนำความร้อนที่ดี โดยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 16 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12 มิลลิเมตร ยาว 505 มิลลิเมตร และที่บริเวณด้านบนของท่อมีท่อเล็กเติมสารขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6.3 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร

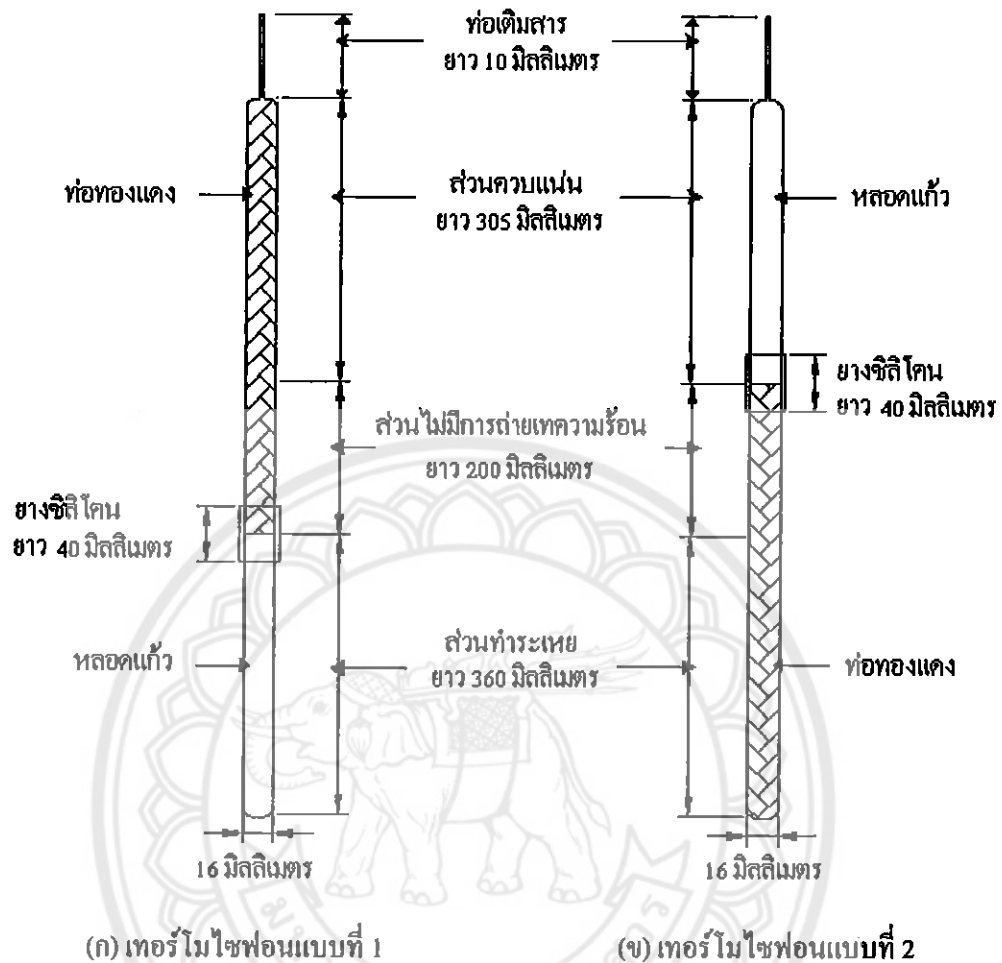
ใช้ท่ออย่างซิลิโคนซึ่งทนความร้อนได้สูงถึงอุณหภูมิ 200°C ทำการปิดท่อทั้ง 2 ชนิดนี้ไว้ด้วยกัน โดยท่อซิลิโคนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 20 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 16 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.2 ก

3.2 เทอร์โมไซฟอนแบบที่ 2 มีส่วนควบแน่นเป็นท่อแก้ว

- ในส่วนทำระเหยและส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ใช้ท่อท่อแดงซึ่งมีค่าการนำความร้อนที่ดี โดยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 16 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12 มิลลิเมตร ยาว 560 มิลลิเมตร

- ในส่วนควบแน่นใช้หลอดแก้วไพเร็กซ์ (Pyrex glass tube) ซึ่งสามารถทนความร้อนได้สูงและสามารถสังเกตเห็นถึงรูปแบบการไหลภายในได้ โดยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 16 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12 มิลลิเมตร ยาว 305 มิลลิเมตร และบริเวณด้านบนของท่อมีท่อเล็กเติมสารขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6.3 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร

ใช้ท่ออย่างซิลิโคนซึ่งทนความร้อนได้สูงในการปิดท่อทั้ง 2 ชนิดนี้ไว้ด้วยกัน โดยท่อซิลิโคนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 20 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 16 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.2 ข



รูปที่ 3.2 เทอร์โมไซโฟนทั้ง 2 ชุดการทดลอง

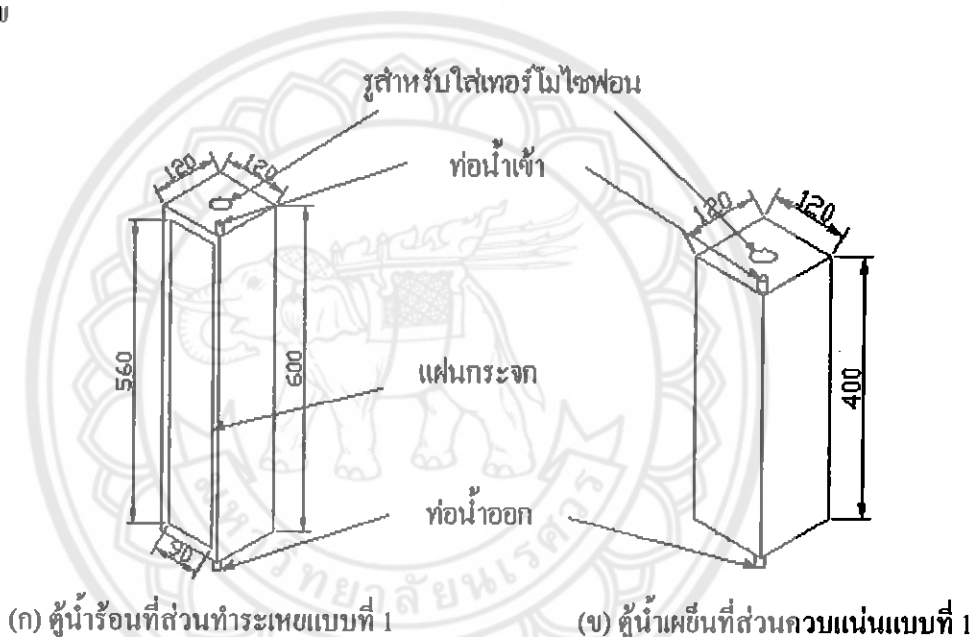
สำหรับตู้น้ำของเทอร์โมไซโฟนนั้นทำการแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลองเช่นเดียวกันคือ ตู้ น้ำสำหรับใส่เทอร์โมไซโฟนแบบที่ 1 ซึ่งพิจารณาที่ส่วนทำระเหย และตู้น้ำสำหรับใส่เทอร์โมไซ ฟอนแบบที่ 2 ซึ่งพิจารณาที่ส่วนควบแน่น ซึ่งแต่ละชุดจะประกอบด้วยตู้ น้ำ 2 ตู้ คือตู้ น้ำร้อนสำหรับ ส่วนทำระเหย และตู้ น้ำเย็นสำหรับส่วนควบแน่น ดังนี้

3.3 ตู้ น้ำร้อนและตู้ น้ำเย็นของเทอร์โมไซโฟนแบบที่ 1

- ที่ตู้ น้ำร้อนเลือกใช้สเตนเลส ซึ่งมีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูงและไม่เป็นสนิม โดยมี ขนาด กว้าง 120 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร สูง 600 มิลลิเมตร และมีแผ่นกระจกประกบที่ ด้านหน้าและด้านหลังของตู้เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ตามวัตถุประสงค์และสามารถบันทึกภาพ

เก็บไว้ได้ โดยกระจกมีขนาดกว้าง 90 มิลลิเมตร ยาว 560 มิลลิเมตรหนา 5 มิลลิเมตร ที่ด้านบนเจาะรูเพื่อใส่เทอร์โมไซ์ฟอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 มิลลิเมตร และมีท่อสำหรับน้ำเข้าน้ำออก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 7 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร ทั้งด้านบนและด้านล่างของตู้ ดังรูปที่ 3.3 ก

- ที่ตู้น้ำเย็นเลือกใช้สแตนเลส ซึ่งมีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูงและไม่เป็นสนิม โดยมีขนาด กว้าง 120 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร สูง 400 มิลลิเมตร ที่ด้านบนเจาะรูเพื่อใส่เทอร์โมไซ์ฟอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 มิลลิเมตร และมีท่อสำหรับน้ำเข้าน้ำออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 7 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร ทั้งด้านบนและด้านล่างของตู้ในส่วนทำระเหย ดังรูปที่ 3.3 ข

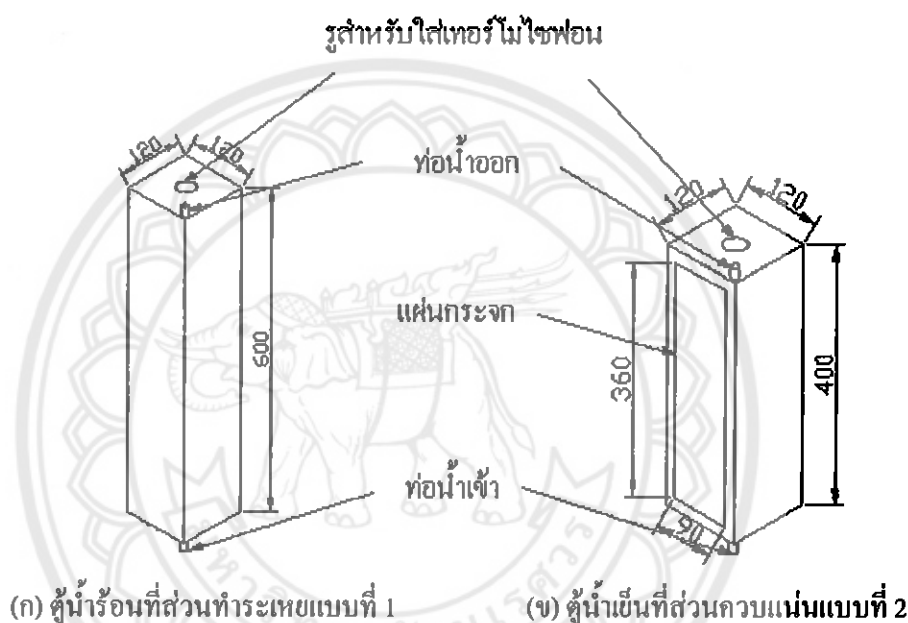


รูปที่ 3.3 แสดงภาพตู้น้ำร้อนและตู้น้ำเย็นของเทอร์โมไซ์ฟอนแบบที่ 1

3.4 ตู้น้ำร้อนและตู้น้ำเย็นของเทอร์โมไซ์ฟอนแบบที่ 2

- ที่ตู้น้ำร้อนเลือกใช้สแตนเลส ซึ่งมีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูงและไม่เป็นสนิม โดยมีขนาด กว้าง 120 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร สูง 400 มิลลิเมตร ที่ด้านบนเจาะรูเพื่อใส่เทอร์โมไซ์ฟอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 มิลลิเมตร และมีท่อสำหรับน้ำเข้าน้ำออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 7 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร ทั้งด้านบนและด้านล่างของตู้ในส่วนทำระเหย ดังรูปที่ 3.4 ก

- ที่ตู้น้ำเย็นเลือกใช้สแตนเลส ซึ่งมีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูงและไม่เป็นสนิม โดยมีขนาด กว้าง 120 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตรสูง 600 มิลลิเมตร และมีแผ่นกระจกประกบที่ด้านหน้าและด้านหลังของตู้เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ความวัตถุประสงค์และสามารถบันทึกภาพเก็บไว้ได้ โดยกระจกมีขนาดกว้าง 90 มิลลิเมตร ยาว 560 มิลลิเมตรหนา 5 มิลลิเมตร ที่ด้านบนเจาะรูเพื่อใส่เทอร์โมไซฟอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 มิลลิเมตร และมีท่อสำหรับน้ำเข้าน้ำออก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 7 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร ทั้งด้านบนและด้านล่างของตู้ ดังรูปที่ 3.4 ข



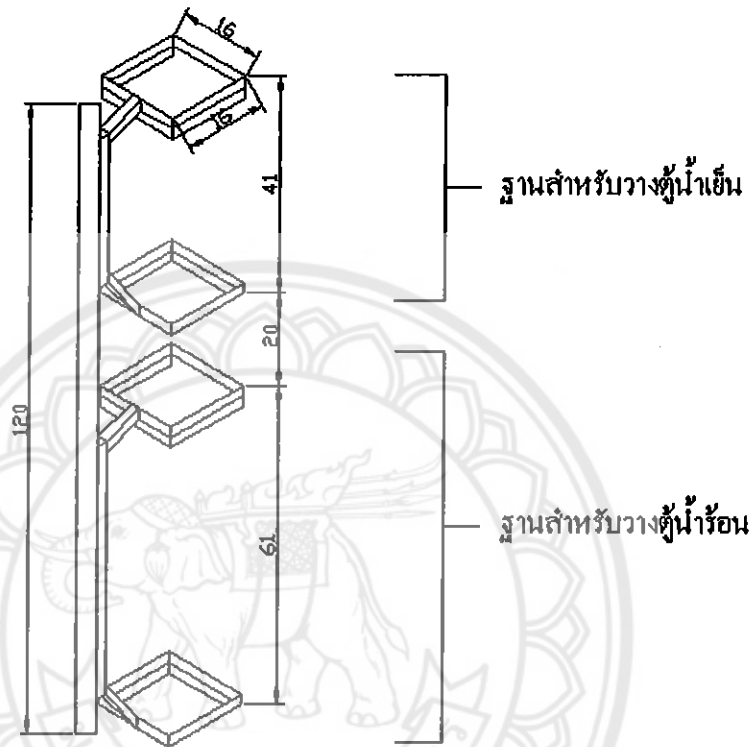
รูปที่ 3.4 แสดงภาพตู้น้ำร้อนและตู้น้ำเย็นของเทอร์โมไซฟอนแบบที่ 2

เมื่อประกอบเทอร์โมไซฟอนเข้ากับตู้น้ำทั้ง 2 ตู้แล้วจึงนำมาประกอบกับแท่นชุดการทดลองซึ่งประกอบด้วยฐานสำหรับวางตู้น้ำร้อนและตู้น้ำเย็น ซึ่งทั้ง 2 ชุดการทดลองนั้นใช้ฐานสำหรับวางตู้น้ำที่มีขนาดเท่ากัน และส่วนโต๊ะโครงเหล็กสำหรับวางอุปกรณ์ทั้งหมดรวมถึงแผงไฟด้วย

3.5 แท่นชุดการทดลอง

- ที่ฐานสำหรับวางตู้น้ำร้อนและตู้น้ำเย็น ในการประกอบนั้นจะใช้เหล็กขนาด 1 นิ้วในการทำเป็นกรอบ 2 กรอบแล้วเชื่อมกับเหล็กกลวงหน้าตัดสี่เหลี่ยมเพื่อตั้งในแนวตั้ง ขนาดของฐานวางตู้จะเท่ากันทั้ง 2 ชุดการทดลอง ซึ่งชุดการทดลองที่ 1 จะนำตู้น้ำร้อนที่ติดกับกระจกซึ่งเป็น

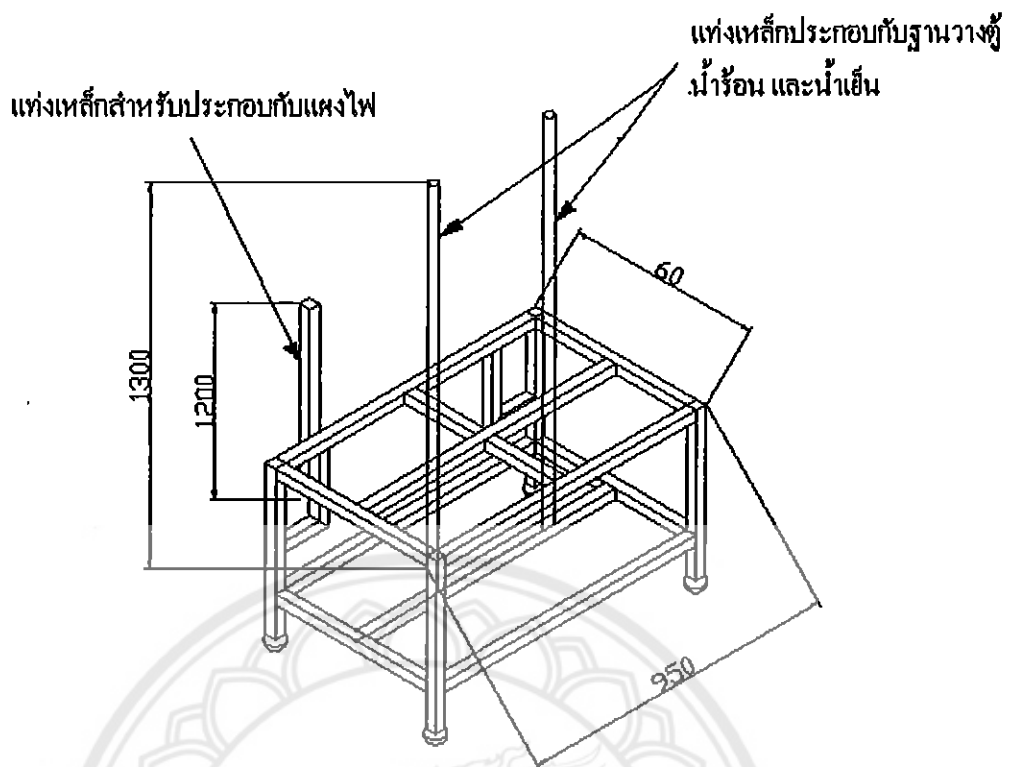
ส่วนทำระเหยไสในกรอบด้านล่าง และตู้น้ำเย็นที่เป็นส่วนควบแน่นไสในกรอบด้านบน ชุดการทดลองที่ 2 จะนำตู้น้ำร้อนที่เป็นส่วนทำระเหยไสในกรอบด้านล่าง และตู้น้ำที่ติดกับกระจกซึ่งเป็นส่วนควบแน่นไสในกรอบด้านบน ดังแสดงในรูป 3.5



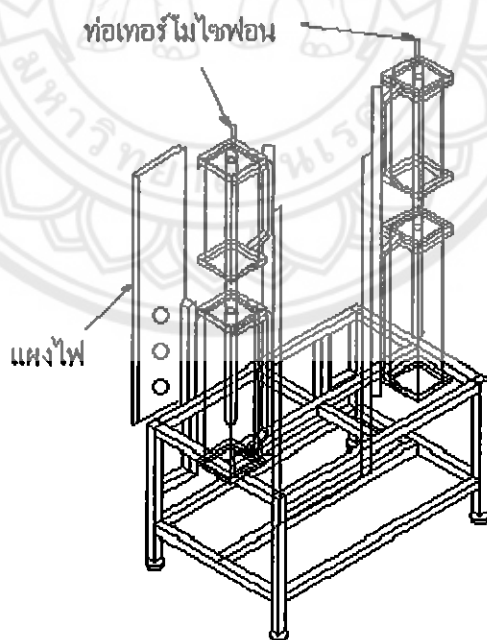
รูปที่ 3.5 ฐานสำหรับวางตู้น้ำร้อนและตู้น้ำเย็น

- ที่ส่วน โต้ะ โครงเหล็กนั้นทำจากโครงเหล็กมีความยาว 950 มิลลิเมตร ความกว้าง 600 มิลลิเมตร มีก้านเหล็กกลางหน้าตัดกลมความยาว 1300 มิลลิเมตร สำหรับยึดโต้ะนี้เข้ากับฐานวางตู้น้ำร้อนและน้ำเย็น และด้านท้ายของโต้ะมีก้านเหล็กความยาว 1200 มิลลิเมตร สำหรับประกอบเข้ากับแผงไฟ โดยด้านล่างได้ติดล้อเพื่อความสะดวกต่อการเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูป 3.6

จากนั้นนำตู้น้ำร้อนและตู้น้ำเย็นของทั้ง 2 ชุดการทดลองมาประกอบเข้ากับฐานวางและโต้ะโครงเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 3.7



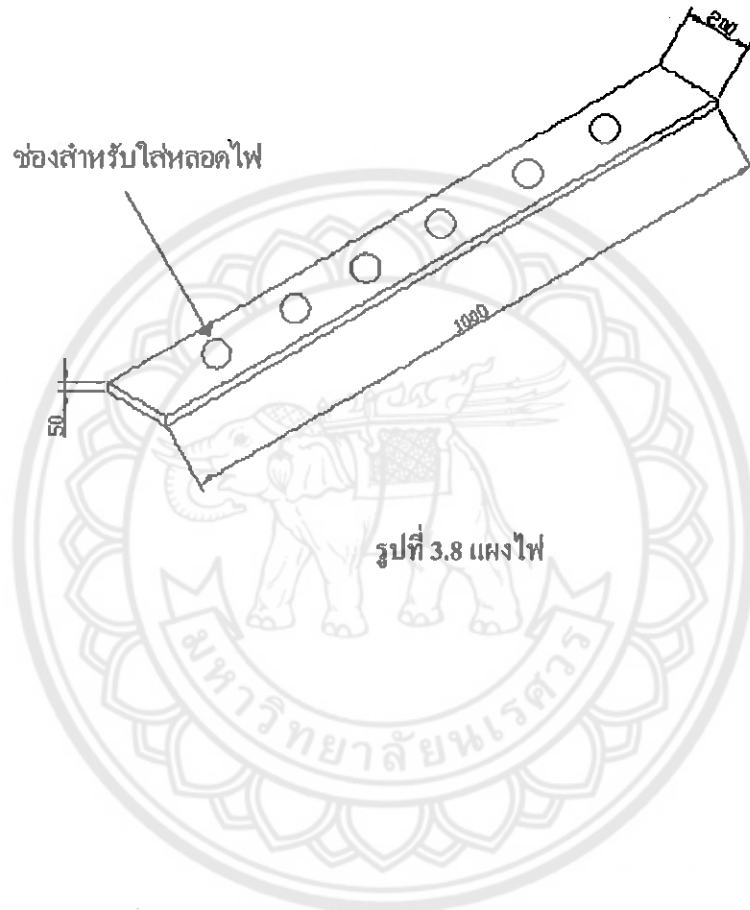
รูปที่ 3.6 โค้ด โครงเหล็ก



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์การทดลองที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว

3.6 แผงไฟ

เนื่องจากการเก็บภาพนิ่งของรูปแบบการไหลภายในท่อเทอร์โมไซฟอน จำเป็นต้องติดตั้งแผงไฟ ไว้ที่ด้านหลังของตัวเครื่องเพื่อให้แสงและเงา ทำให้ภาพที่เก็บได้มีความสวยงาม และคมชัดยิ่งขึ้น โดย ไม้ที่ใช้แผงไฟมีขนาด กว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 1000 มิลลิเมตร หนา 50 มิลลิเมตร และมีหลอดไฟขนาด 60 w จำนวน 6 หลอด ดังรูป 3.8



5200068

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

14997637

บทที่ 4

พ.ร.

วิธีการดำเนินงาน

9426 ๗

๒๕๕๐

จากการออกแบบชุดการทดลอง เริ่มดำเนินงานโดยกำหนดตัวแปรต่างๆ เพื่อให้ผลการทดลองอยู่ในขอบเขตที่ศึกษา รวมถึงรายละเอียดของการติดตั้ง และวิธีการทดลอง ดังนี้

4.1 ตัวแปรควบคุม

4.1.1 อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ผ่านส่วนควบแน่น มีค่าคงที่ประมาณ 1 ลิตรต่อนาทีและมีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 29°C

4.1.2 อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ผ่านส่วนทำระเหยมีค่าคงที่ประมาณ 1.85 ลิตรต่อนาที

4.1.3 ท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 16

มิลลิเมตร

4.1.4 ความยาวของส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน 200 มิลลิเมตร

4.1.5 ความยาวของส่วนควบแน่น 305 มิลลิเมตร

4.1.6 สารทำงาน โดยกำหนดสารทำงานคือน้ำกลั่น

4.1.7 ความดันสุญญากาศของท่อเทอร์โมไซฟอนก่อนเติมสารทำงานในช่วง -0.9 ถึง -1

bar

4.2 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา

4.2.1 อุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่ 50°C 60°C 70°C และ 80°C

4.2.2 อัตราการเติมสารทำงานมี 3 ค่า คือ 30% 50% และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย

4.3 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด

4.3.1 สายเทอร์โมคัปเปิล Chromel-Alumel type K ของบริษัท OMEGA ใช้ต่อเข้ากับเครื่องเก็บข้อมูลภายนอกและจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ ดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงสายเทอร์โมคัปเปิลที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ

4.3.2 ปั๊มน้ำร้อน (Arwana pump) ใช้กับน้ำร้อน Model. SW-501 Phase 1, 0.37 kw, 0.5 HP, $H_{max}=18$ m, $Q = 120$ L/min ซึ่งสามารถทนความร้อนได้ 80-90 องศาเซลเซียส ดังรูป 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงรูปปั๊มน้ำร้อน

4.3.3 เครื่องเก็บข้อมูลภายนอก Agilent 34970A Data Acquisition/Switch Unit เป็นเครื่องเก็บอุณหภูมิโดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิลเป็นตัวยึดเชื่อมต่อในการประมวลค่า ดังรูป 4.3



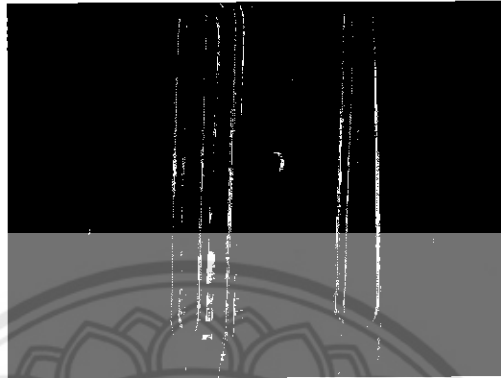
รูปที่ 4.3 เครื่องเก็บข้อมูลภายนอก

4.3.5 กล้องดิจิทัล Sony Cyber-shot ความละเอียด 7.2 Mega pixels ใช้สำหรับบันทึกภาพการทดลองเป็นภาพนิ่ง ดังรูป 4.4



รูปที่ 4.4 กล้องดิจิทัลสำหรับถ่ายภาพนิ่ง

4.3.6 ฮีตเตอร์สั่งทำเอง ขนาด 2000 w 2 ตัว สำหรับต้มน้ำในถังน้ำร้อน ดังรูป 4.5



รูปที่ 4.5 ฮีตเตอร์

4.3.7 เครื่องปั๊มสุญญากาศ Robinair Capacity 94 L/M Motor H.P. 1/3 สำหรับดูดอากาศออกจากหลอดแก้วเพื่อให้ภายในหลอดแก้วเป็นสุญญากาศ ดังรูป 4.6



รูปที่ 4.6 เครื่องปั๊มสุญญากาศ

4.3.8 แผงควบคุมอุณหภูมิและสวิตช์ ใช้สำหรับตั้งอุณหภูมิ และเปิด-ปิด แผงควบคุมอุณหภูมิ กับฮีตเตอร์ ดังรูป 4.7

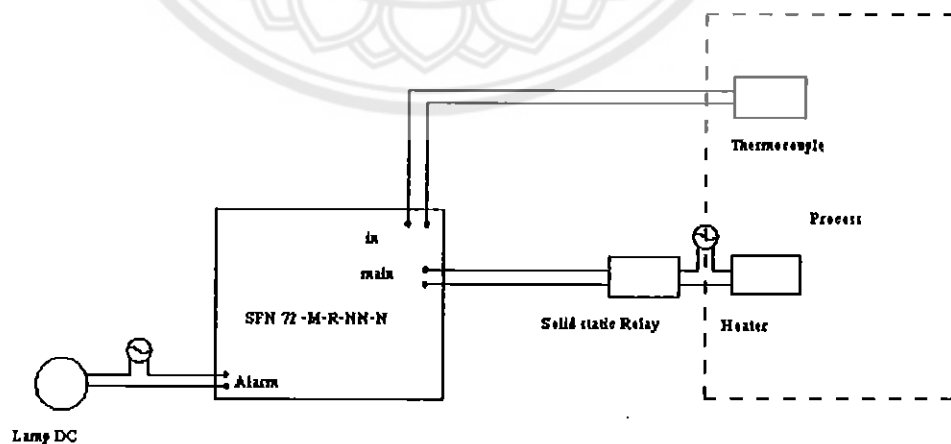
โดยในชุดแผงควบคุมนั้นมีส่วนประกอบ ดังนี้

- Temperature Controller Model : SFN72-M-R-NN-N
- Solid state Relay Model : P2425AL
- Heat sink
- Lamp

และสามารถแสดงแผนผังของแผงควบคุมอุณหภูมิซึ่งต่อเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ ของชุดการทดลองได้ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 แผงควบคุมอุณหภูมิ

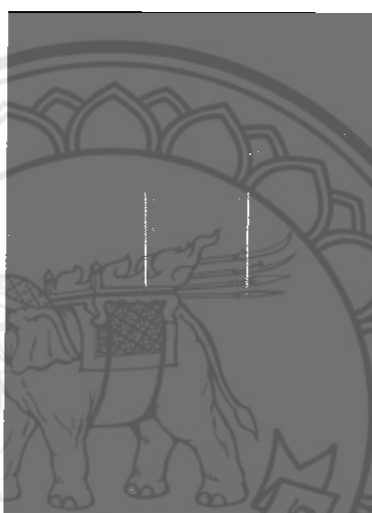


รูปที่ 4.8 แสดงรูปแผงควบคุมอุณหภูมิซึ่งต่อเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ ของชุดการทดลอง

4.3.9 ก๊อกน้ำ SANWA Bond valve ขนาด 5 หุน สำหรับปล่อยน้ำเย็นไหลเข้าในส่วน
 กวบแน่น

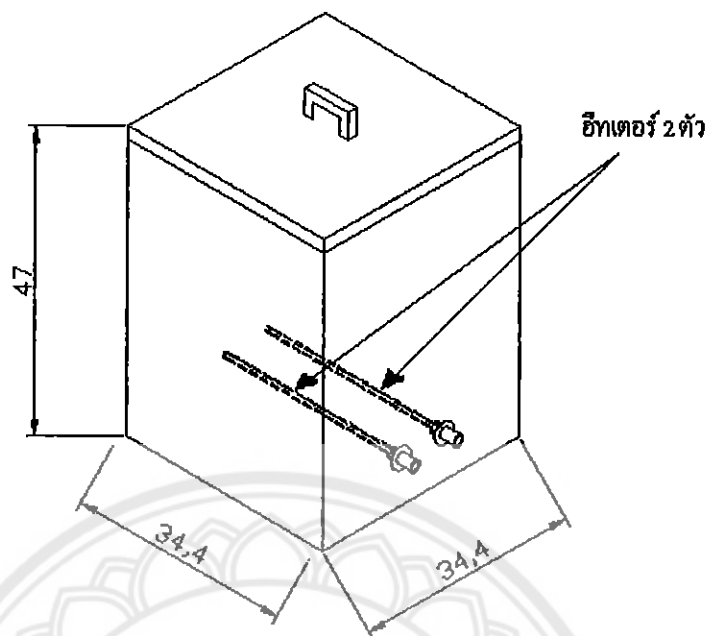
4.3.10 เครื่องเติมสารทำงาน ซึ่งประกอบด้วยวาล์วเปิด-ปิด 3 ตัว มาตรวัดความดัน 2 ตัว ท่อ
 แก้วพร้อมเกนซ์วัดสำหรับเติมสาร 1 ท่อ

ที่ท่อด้านข้างพร้อมวาล์วสำหรับต่อกับปั๊มสุญญากาศ ท่อด้านล่างพร้อมวาล์วสำหรับต่อกับ
 ท่อเล็กที่ด้านบนของท่อในส่วนกวบแน่น ท่อด้านบนซึ่งมีเกนซ์วัดในหน่วยมิลลิลิตรพร้อมวาล์ว
 สำหรับใส่สารทำงาน ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 เครื่องเติมสารทำงาน

4.3.11 ถังค้ำน้ำนั้นเลือกใช้วัสดุในการทำนั้นเป็นสแตนเลสเพื่อไม่ให้เกิดสนิมที่ตัวถัง เมื่อ
 ระยะเวลาในการทำงานนานๆ ซึ่งที่ตัวถังได้หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนซึ่งคูมีขนาด 34.4 cm x 34.4
 cm x 47 cm โดยถังเจาะรูสำหรับใส่ ฮีตเตอร์ สายเทอร์โมคัปเปิล และรูน้ำทิ้งที่ฝาได้เจาะรูเพื่อ
 ระบายความดัน และฮีตเตอร์เราใช้สำหรับค้ำน้ำ 36 ลิตร ที่อุณหภูมิ 80-90°C ดังนั้น ฮีตเตอร์ที่ใช้
 นั้นเป็นฮีตเตอร์แบบจุ่ม คิคตั้งที่ด้านข้างของตัวถัง มีความยาว 28.5 cm เส้นผ่านศูนย์กลางของ
 เกลียว 1.25 นิ้ว ขนาด 220 v / 2000 w และจำเป็นต้องใช้ฮีตเตอร์ 2 ตัว เนื่องจากหากใช้เพียงแคฮีต
 เตอร์ 1 ตัว จำเป็นต้องใช้เวลาในการค้ำน้ำ 45-60 นาที โดยที่ หากใช้ฮีตเตอร์ 2 ตัว จะใช้เวลาในการ
 ค้ำน้ำเพียง 15 นาที ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ถังค้ำน้ำสำหรับค้ำน้ำร้อนเข้าที่ส่วนทำระเหย

4.4 วิธีการทดลอง

ถังที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ชุดที่ศึกษารูปแบบการไหลในส่วนทำระเหย และชุดที่ศึกษารูปแบบการไหลในส่วนควบแน่น โดยมีวิธีการดังนี้

4.4.1 นำท่อที่เป็นแก้วมาต่อกับท่อทองแดง โดยการยึดด้วยท่อยางซิลิโคนซึ่งสามารถทนอุณหภูมิได้สูง ที่ด้านบนของท่อในส่วนควบแน่นจะมีท่อเล็กต่อยาวขึ้นไป ให้ประกบท่อเล็กนี้เข้ากับท่อทองแดงเล็ก โดยยึดด้วยท่อยางซิลิโคนขนาดเล็กสำหรับเติมสารทำงานจากเครื่องปั๊มสุญญากาศ ทาด้วยกาวแดงทั้ง 2 ส่วน ทิ้งไว้ 1 วัน เพื่อให้กาวแดงแห้ง จากนั้นนำสายที่เครื่องปั๊มสุญญากาศมาสวมแล้วทำการเติมสารทำงานเข้าไปตามอัตราส่วนที่ต้องการ

4.4.2 นำท่อเทอร์โมไซฟอนแบบที่ 1 ที่ส่วนทำระเหยเป็นท่อแก้วซึ่งทำการเติมสารเสร็จแล้วนำไปประกบเข้ากับตู้น้ำร้อนในส่วนทำระเหยโดยสอดเข้าทางรูกลมทางด้านบนของตู้น้ำซึ่งตั้งอยู่บนฐานวาง จากนั้นนำตู้น้ำเย็นในส่วนควบแน่นไปสวมเข้ากับท่อทองแดงซึ่งเป็นส่วนควบแน่นของท่อเทอร์โมไซฟอนและประกบเข้ากับฐานวาง และนำกาวแดงมาทาที่บริเวณช่องว่างตรงส่วนที่เป็นข้อต่อของท่อเทอร์โมไซฟอนทุกจุดเพื่อป้องกันน้ำรั่วออก แล้วทิ้งไว้ 1 วัน ให้กาวแดงแห้ง ทำเหมือนกันทั้งในส่วนที่ศึกษาส่วนทำระเหยและในส่วนที่ศึกษาส่วนควบแน่น

4.4.3 นำท่อเล็กที่ด้านบนของส่วนควบแน่นมาต่อเข้ากับสายจากปั๊มสุญญากาศเพื่อดูดอากาศภายในท่อเทอร์โมไซฟอนออกให้หมด จากนั้นทำการเติมสารทำงาน (น้ำกลั่น) ที่ด้านบนของเครื่องเติมสารตามอัตราส่วนที่ต้องการ พอได้ปริมาณสารที่ต้องการแล้วให้หนีบท่อทองแดงเล็กที่ด้านบนของส่วนควบแน่นแล้วตัดออกมาเชื่อมเพื่อป้องกันอากาศเข้า

4.4.4 นำสายเทอร์โมคัปเปิลไปต่อเข้ากับสายขงที่ทางน้ำไหลเข้าจากตู้ส่วนควบแน่น 2 เส้น 1 จุด ที่ทางน้ำออกจากตู้ส่วนควบแน่น 2 เส้น 1 จุด แล้วทากาวแดงบริเวณ 2 จุดนี้เพื่อป้องกันน้ำรั่วซึม นำสายเทอร์โมคัปเปิลอีก 1 เส้น ไปจุ่มในถังน้ำร้อนเพื่อวัดอุณหภูมิในถังน้ำร้อน และนำอีกเส้นหนึ่งไปติดกับส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนพร้อมหุ้มฉนวน

4.4.5 นำสายขงทนความร้อนต่อเข้ากับท่อน้ำเข้าของตู้ใน ส่วนทำระเหย ซึ่งต่อกับปั๊มที่ดูดน้ำร้อนมาจากถังน้ำร้อน และนำสายขงทนความร้อนอีกเส้นหนึ่งต่อกับถังน้ำร้อนไปต่อกับท่อน้ำออกของตู้ในส่วนทำระเหย ใช้เข็มฉีดยาสายยางรัดท่อไว้เพื่อป้องกันน้ำรั่วซึมตรงบริเวณรอยต่อสายขงกับตู้ในส่วนทำระเหย

4.4.6 เมื่อติดตั้งอุปกรณ์เสร็จแล้ว นำกระดาษไขมาติดกับตู้ที่ทำการทดลองที่ด้านตรงข้ามกับด้านที่เราตั้งกล้องถ่ายรูปไว้ จากนั้นนำแผงไฟมาติดที่ด้านหลังของตู้อีกทีเพื่อให้แสงและเงาทำให้ภาพที่ได้มีความสวยงามและคมชัด ตรวจสอบอุปกรณ์ทั้งหมดอีกครั้ง แล้วเริ่มดำเนินการทดลอง

4.4.7 เริ่มทำการทดลอง เปิดปั๊มปล่อยน้ำร้อนจากถังน้ำร้อนเข้าสู่ตู้ส่วนทำระเหย ตั้งค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 50°C ปล่อยน้ำเย็นจากก๊อกน้ำเข้าสู่ตู้ส่วนควบแน่นควบคุมอัตราการไหลให้ได้ประมาณ 1 ลิตรต่ออนาที

4.4.8 เปิดเครื่องเก็บข้อมูลภายนอก เพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิต่างๆ ที่ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลไว้

4.4.9 ติดตั้งกล้องคิจิตอลเพื่อบันทึกภาพนิ่ง

4.4.10 รอเวลาให้ระบบอยู่ในสภาวะสมดุลโดยไม่ขึ้นกับเวลาจึงเริ่มบันทึกค่าอุณหภูมิตั้งในตารางที่เตรียมไว้ แล้วบันทึกภาพรูปแบบการไหลภายในด้วยกล้องคิจิตอลเพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไป

4.4.11 เมื่อบันทึกอุณหภูมิและภาพนิ่งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 50°C เสร็จแล้วให้ปรับอุณหภูมิที่แผงควบคุมเป็น 60°C 70°C และ 80°C ตามลำดับ แล้วทำตามหัวข้อ 4.4.10 เช่นเดิม

4.4.12 เมื่อทดลองท่อนในส่วนทำระเหยเป็นท่อแก้วเสร็จแล้วให้เปลี่ยนเป็นอีกท่อหนึ่งซึ่งมีส่วนควบแน่นเป็นแก้วแล้วทำการทดลองเช่นเดิม เหมือนท่อเทอร์โมไซฟอนที่มีส่วนทำระเหยเป็นท่อแก้ว

4.4.13 นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์แล้วสรุปผลการทดลอง

บทที่ 5

ผลการทดลอง และ วิเคราะห์ผลการทดลอง

คั้งที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการทดลองนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ศึกษารูปแบบการไหลในส่วนทำระเหย (ส่วนทำระเหยเป็นท่อแก้ว) และชุดที่ศึกษารูปแบบการไหลในส่วนควบแน่น (ส่วนควบแน่นเป็นท่อแก้ว) โดยทั้ง 2 ชุดจะมีอัตราการเคิมนสาร 30% 50% และ 70% ของปริมาณส่วนทำระเหย ควบคุมอุณหภูมิที่ 50°C 60°C 70°C และ 80°C จากทฤษฎีจะบอกไว้ว่า หากท่อเทอร์โมไซฟอนวางตัว 90 องศา จากแนวราบนั้นอัตราการเคิมนสารของปริมาณส่วนทำระเหยที่เหมาะสมคือ 40-60% จึงได้ทำการทดลองที่อัตราการเคิมนสารที่ 30% และ 70% ของปริมาณส่วนทำระเหยด้วย เพื่อดูว่ามีความแตกต่างกันในการทำงานมากแค่ไหน โดยมีผลการทดลองดังนี้

5.1 ลักษณะการไหลของสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนขณะทำงานในแนวตั้ง

เมื่อให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนจนสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเคิมนสารทำงานจะเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็น ไอลอยขึ้นด้านบนส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อนไปควบแน่นเป็นหยดน้ำที่ส่วนควบแน่นและไหลย้อนกลับลงมาเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกผ่านส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อนลงมายังส่วนทำระเหยอีกครั้งหนึ่ง และถ้าอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยสูงขึ้นเรื่อยๆ ความเร็วของไอเนื่องจากการเคิมนภายในท่อเทอร์โมไซฟอนก็จะมากขึ้นเรื่อยๆ จนสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของสารทำงานในลักษณะต่างๆ ได้แก่ แบบ Slug flow คือเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นฟองไอลเหล่านั้นจะเริ่มจับตัวกันเป็นลักษณะของหัวกระสุนปืน แบบ Churn flow คือเนื่องจากความเร็วในการไหลเพิ่มมากขึ้นอีกทำให้ไอลส่วนที่เป็นลักษณะกระสุนเกิดการแตกออก นำมาซึ่งความไม่เสถียรภายในท่ออาจจะทำให้เกิดการสั่นได้ แต่ในกรณีที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กการสั่นนี้อาจไม่เกิดขึ้น แบบ Annular flow คือการไหลในช่วงนี้มีความเร็วจนกระทั่งของเหลวจะไหลขึ้นไปตามผิวท่อเป็นแผ่นฟิล์มส่วนที่เป็นไอลจะไหลอยู่ตรงกลางของท่อ และจะมี mass flux สูงมาก มีผลทำให้ค่าความต้านทานความร้อนภายในเทอร์โมไซฟอน (Z_1 ถึง Z_2 ในรูปที่ 2.2 และสมการที่ 2.7 ถึง 2.12) มีค่าน้อยลง ความเร็วไอของสารทำงานเนื่องจากการเคิมนยังส่งผลต่อ Reynolds number อีกด้วย ทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนนั้นส่งผ่านความร้อนได้ดีขึ้นด้วย

5.2 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหล และค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน

5.2.1 ที่อัตราการเติม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหย

พิจารณาชุดที่ทำการทดลองในส่วนทำระเหย

- อุณหภูมิ 50°C

ในช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีการเดือด หรือ เกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำภายในตู้ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนนี้ทำงาน จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ที่ส่วนทำระเหยได้ ดังรูป 5.1 (ก)

- อุณหภูมิ 60°C

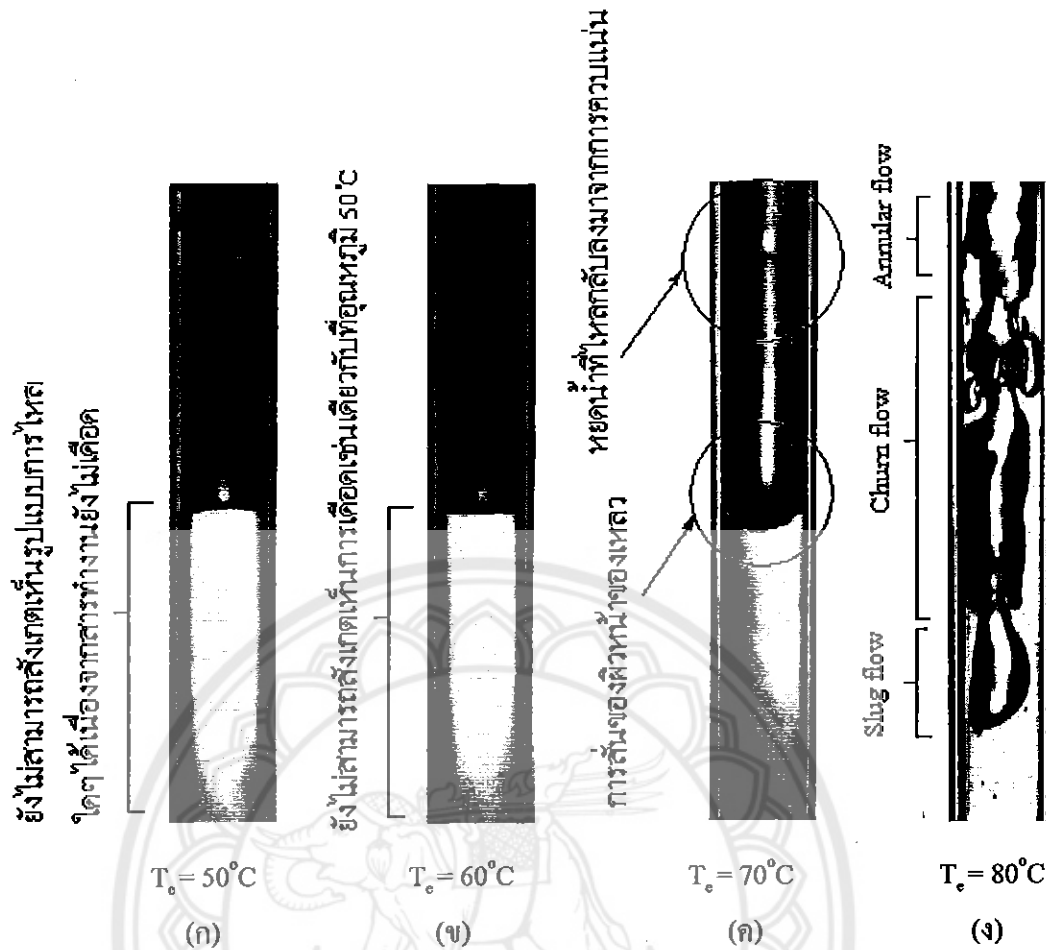
เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 50°C คือ สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำภายในตู้ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนทำงาน จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ที่ส่วนทำระเหยได้ ดังรูป 5.1 (ข)

- อุณหภูมิ 70°C

ในช่วงอุณหภูมินี้จะเริ่มสังเกตเห็นหยดน้ำเกาะที่ผิวด้านในบางส่วนของท่อที่ส่วนทำระเหย และสามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงที่ผิวหน้าของสารทำงาน คือจะมีการกระเพื่อมของสารทำงานบริเวณผิวหน้าเป็นจังหวะมีความถี่ประมาณ 13-15 ครั้งต่อนาที ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิของน้ำในตู้ส่วนทำระเหยสูงขึ้นจนท่อเทอร์โมไซฟอนนี้เริ่มทำงาน และเริ่มสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นไหลลงมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน (ความดันไอยังไม่สูงพอที่จะพาไอเหล่านี้ไปควบแน่นที่ส่วนควบแน่น) แต่ยังไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ได้ ดังรูปที่ 5.1 (ค)

- อุณหภูมิ 80°C

ในช่วงอุณหภูมินี้ไม่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นที่ไหลกลับลงมาจากส่วนควบแน่นได้ เนื่องจากรูปแบบการไหลภายในท่อไหลในทิศทางที่สวนทางกับหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพาหยดน้ำไหลขึ้นไปด้วย และจะเริ่มสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow และ Churn flow เพียงช่วงเวลาเล็กน้อยในตอนต้นๆ ขณะที่อุณหภูมิของน้ำในตู้ทำระเหยยังไม่ถึง 80°C จากนั้นจะเริ่มสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่ อาจสรุปได้ว่า รูปแบบการไหลของ Annular flow คือรูปแบบการไหลหลักในช่วงอุณหภูมินี้ ดังรูปที่ 5.1 (ง)



รูปที่ 5.1 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 30%

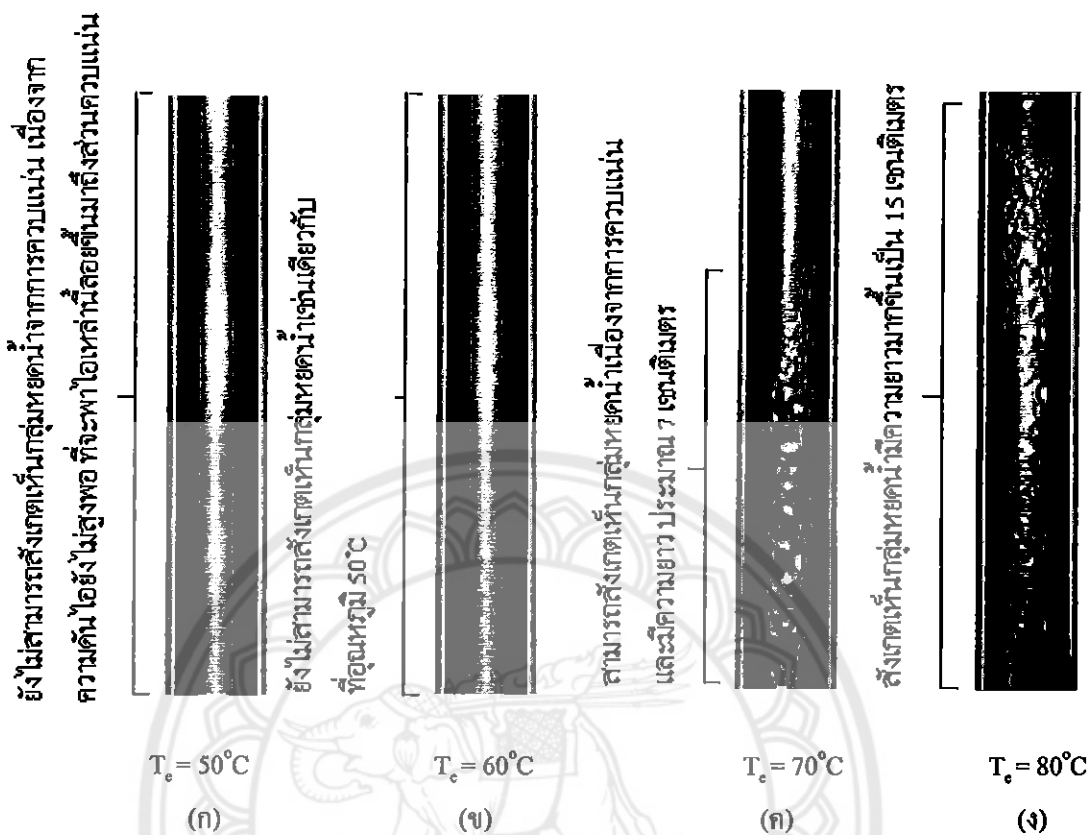
พิจารณาชุดที่ทำการทดลองในส่วนควบแน่น

- อุณหภูมิ 50°C

ในช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิน้ำภายในตู้ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนนี้ทำงาน ความดันของไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ หรือหยดน้ำเนื่องจากการควบแน่นที่ส่วนควบแน่นได้ ดังรูปที่ 5.2 (ก)

- อุณหภูมิ 60°C

เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 50°C คือสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนเนื่องจากอุณหภูมิน้ำภายในตู้ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนนี้ทำงาน ความดันของไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ หรือกลุ่มหยดน้ำเนื่องจากการควบแน่นที่ส่วนควบแน่นได้ ดังรูปที่ 5.2 (ข)



รูปที่ 5.2 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 30%

- อุณหภูมิ 70°C

ในช่วงอุณหภูมินี้ที่เทอร์โมไซฟอนนี้เริ่มทำงานแล้ว จะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวเกาะอยู่ที่ผิวด้านในของท่อส่วนควบแน่นเนื่องจากความดันไอสูงพอที่จะพาไอเหล่านี้ไปยังส่วนควบแน่นได้แล้ว และกลุ่มหยดของเหลวนี้กำลังไหลกลับลงมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ไอเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่นโดยมีความยาวประมาณ 7 เซนติเมตรวัดจากขอบล่างของตู้ในส่วนควบแน่น คิดเป็น 19.44% ของความยาวส่วนควบแน่นทั้งหมด ดังรูปที่ 5.2 (ค)

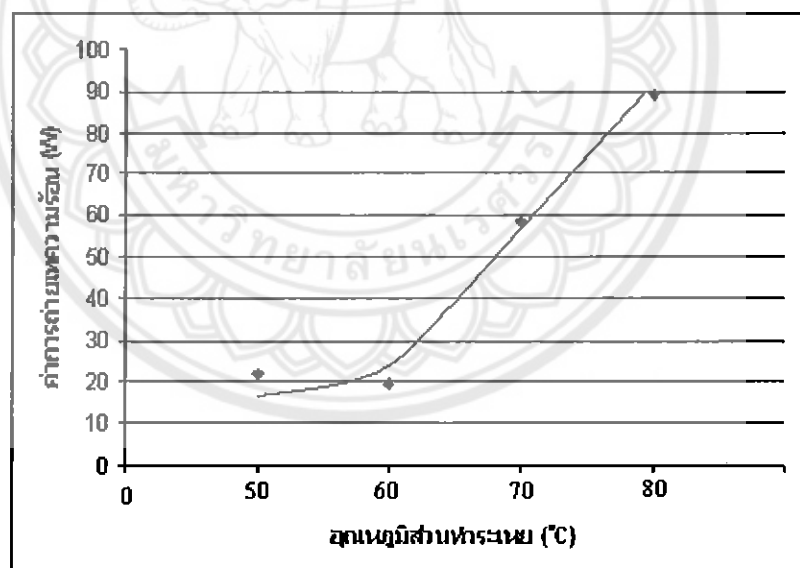
- อุณหภูมิ 80°C

ในช่วงอุณหภูมินี้ จะเริ่มสังเกตเห็นหยดของเหลวเกาะอยู่ที่ผิวด้านในของท่อส่วนควบแน่นและกำลังไหลกลับลงมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก แต่ความยาวของไอเหล่านี้ที่รวมตัวกันอย่างหนาแน่นจะมีความยาวมากกว่าช่วงอุณหภูมิ 70°C โดยมีความยาวประมาณ 15 เซนติเมตรวัดจากขอบล่างของตู้ในส่วนควบแน่น คิดเป็น 41.67% ของความยาวส่วนควบแน่น

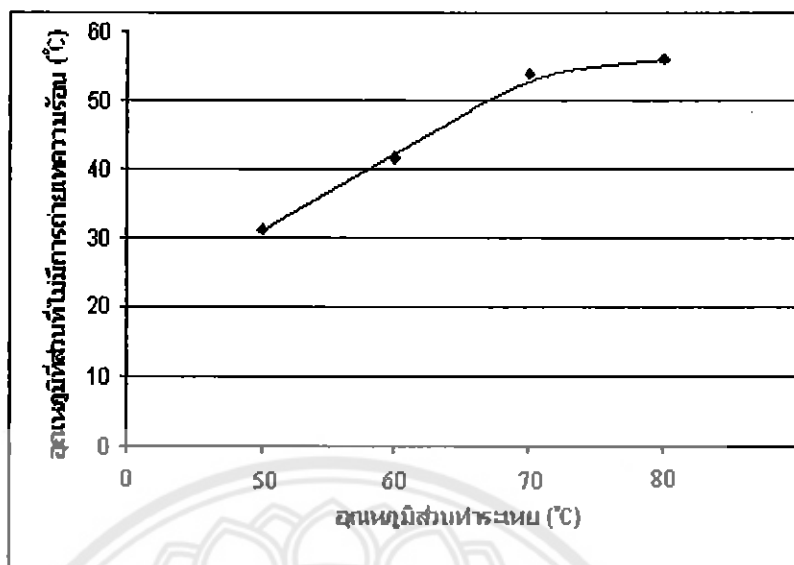
ทั้งหมด เนื่องจากอุณหภูมิในตู้ส่วนทำระเหยสูงขึ้นมาก สารทำงานจึงร้อนและมีความดันไอสูงกว่า ช่วงอุณหภูมิ 70°C ทำให้ในส่วนของน้ำมันจำเป็นต้องใช้พื้นที่มากกว่าเดิมในการจะทำ การควบแน่น ไอน้ำเหล่านั้นให้กลับลงมาสู่ส่วนทำระเหย ดังรูป 5.2 (ง)

รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยและค่าการถ่ายเทความร้อน จะเห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนจะมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วยหากอุณหภูมิของส่วนทำระเหยสูงขึ้น เมื่อ อุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจาก 50°C ไปเป็น 80°C ค่าการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นจาก 21.97 W ไปเป็น 88.98 W

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้นสารทำงานจะเกิดการเดือดและ เริ่มเปลี่ยนสถานะเป็นไอและมีรูปแบบการไหลต่างๆ ที่รูปแบบการไหลนั้นเปลี่ยนไปเพราะ ความเร็วและความดันของไอนี้มีค่าสูงขึ้น ความดันนี้จะพาไอร้อนผ่านส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่นได้มากขึ้น สังเกตได้จากอุณหภูมิของส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อนจะ มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.4 ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจะมีค่าสูงขึ้นด้วยดังรูปที่ 2.5 และสมการที่ 2.14



รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเดินสารทำงาน 30%



รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนที่ระเหยและอุณหภูมิที่ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติมสารทำงาน 30%

5.2.2 ที่อัตราการเติม 50% ของปริมาตรส่วนที่ระเหย พิจารณาชุดที่ทำการทดลองในส่วนที่ระเหย

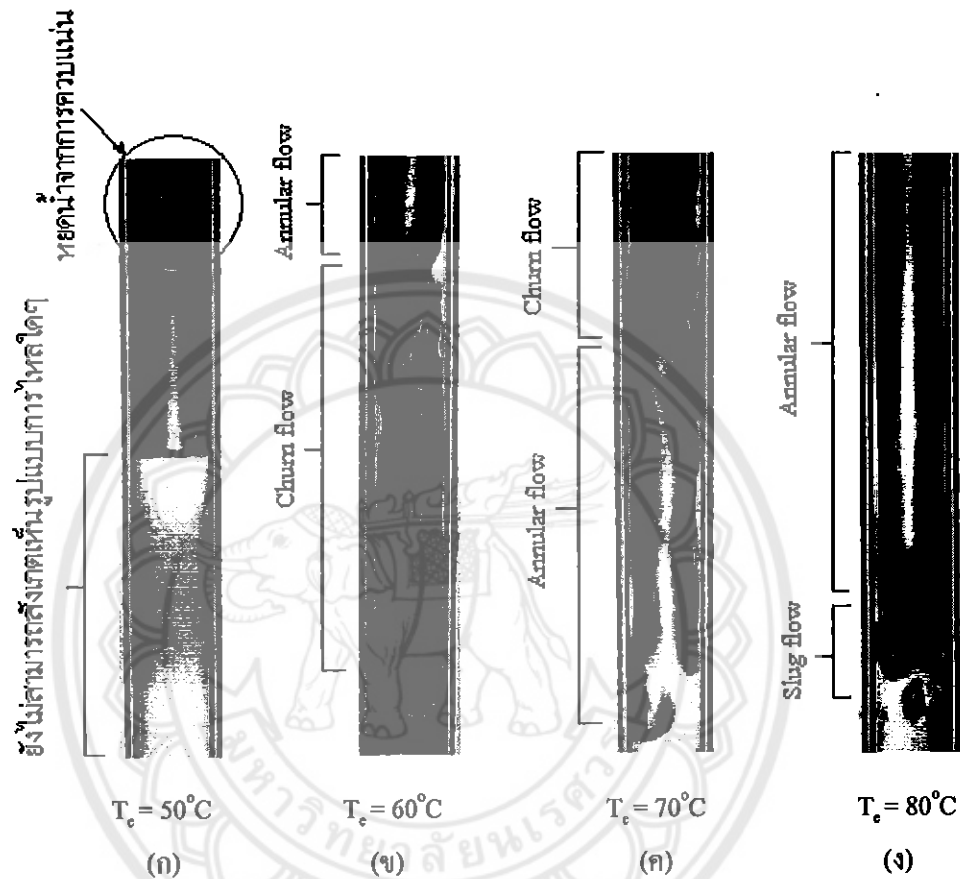
- อุณหภูมิ 50°C

ในช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีการเดือด แต่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นซึ่งไหลลงมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน (ความดันไอยังไม่สูงพอที่จะพาไอเหล่านี้ไปควบแน่นที่ส่วนควบแน่น) เพราะว่าคุณสมบัติของน้ำภายในตู้ส่วนที่ระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอนนี้ทำงาน จึงยังไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆที่ส่วนที่ระเหยได้ ดังรูป 5.5 (ก)

- อุณหภูมิ 60°C

ในช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจสรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบของ Churn flow โดยที่อาจจะมีรูปแบบการไหลของ Annular flow และเป็นบางช่วงเวลา หรือ อาจสรุปได้ว่า รูปแบบการไหลของ Slug flow แล้วเปลี่ยนเป็น Churn flow คือ รูปแบบการไหลหลักของช่วงอุณหภูมินี้ หยดน้ำซึ่งไหลลงมาจากส่วนควบแน่นเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกไม่สามารถสังเกตเห็นได้อีกต่อไปเนื่องจาก

รูปแบบการไหลภายในท่อไหลในทิศทางที่สวนทางกับหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพาหยดน้ำไหลขึ้นไปด้วย ดังรูป 5.5 (จ)



รูปที่ 5.5 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 50%

- อุณหภูมิ 70°C

ในช่วงอุณหภูมินี้รูปแบบการไหลของ Slug flow และรูปแบบการไหลของ Churn flow จะถูกสังเกตเห็นเพียงเล็กน้อย โดยทั่วไปแล้วจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่ จึงอาจสรุปได้ว่ารูปแบบการไหลของ Annular flow ซึ่งมีรูปแบบการไหลของ Slug flow และรูปแบบการไหลของ Churn flow เพียงเล็กน้อย เป็นรูปแบบการไหลหลักในช่วงอุณหภูมินี้ หยดน้ำซึ่งไหลลงมาจากส่วนควบแน่นเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกไม่สามารถสังเกตเห็น

ได้อีกต่อไป เนื่องจากรูปแบบการไหลภายในท่อไหลในทิศทางที่สวนทางกับหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพาหยดน้ำไหลขึ้นไปด้วย ดังรูป 5.5 (ค)

- อุณหภูมิ 80°C

ในช่วงอุณหภูมินี้ รูปแบบการไหลของ Slug flow และ รูปแบบการไหลของ Churn flow สามารถสังเกตเห็นได้น้อยมาก จะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่จึงอาจสรุปได้ว่ารูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นรูปแบบการไหลหลักในช่วงอุณหภูมินี้ หยดน้ำซึ่งไหลลงมาจากส่วนควบแน่นเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกไม่สามารถสังเกตเห็นได้อีกต่อไป เนื่องจากรูปแบบการไหลภายในท่อไหลในทิศทางที่สวนทางกับหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพาหยดน้ำไหลขึ้นไปด้วย ดังรูป 5.5 (ง)

พิจารณาชุดที่ทำการทดลองในส่วนควบแน่น

- อุณหภูมิ 50°C

ในช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิน้ำภายในตู้ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอนนี้ทำงาน ความดันของไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ หรือหยดน้ำเนื่องจากการควบแน่นที่ส่วนควบแน่นได้ ดังรูป 5.6 (ก)

- อุณหภูมิ 60°C

เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 50°C คือ สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิน้ำภายในตู้ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอนนี้ทำงาน ความดันของไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงยังไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ หรือหยดน้ำเนื่องจากการควบแน่นที่ส่วนควบแน่นได้ ดังรูป 5.6 (ข)

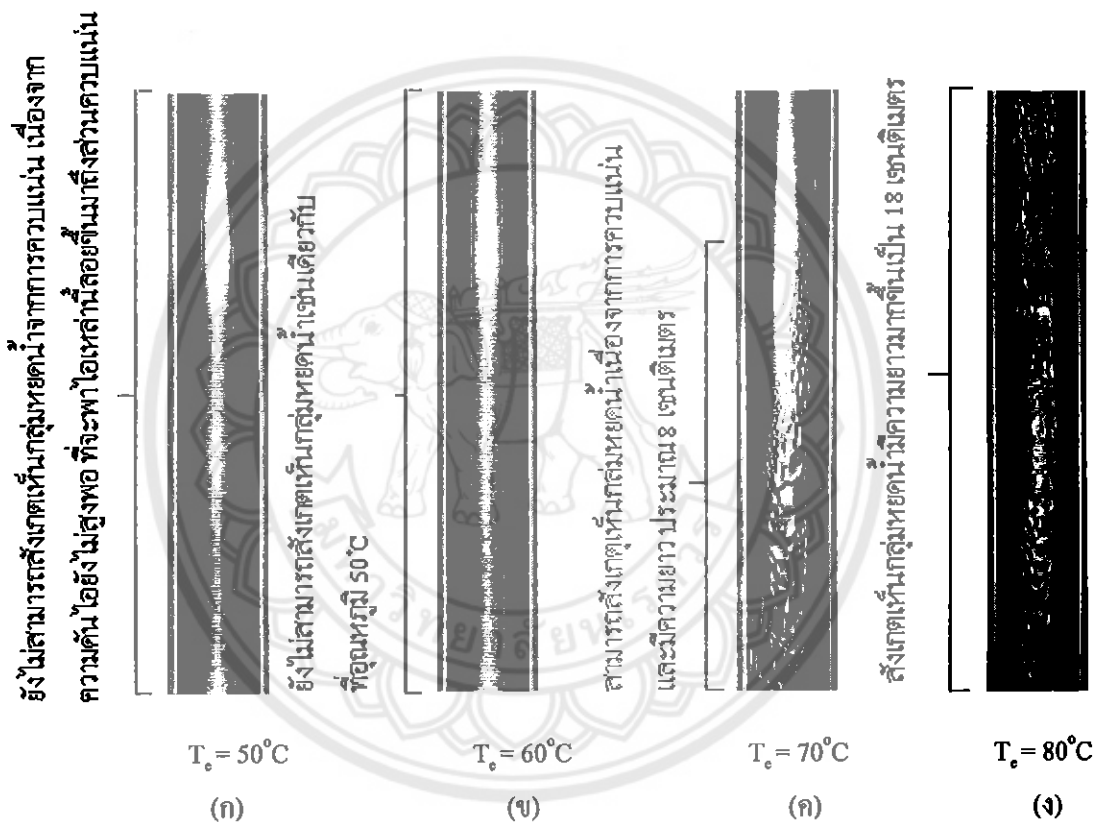
- อุณหภูมิ 70°C

ในช่วงอุณหภูมินี้เทอร์โมไซฟอนนี้เริ่มทำงานแล้ว จะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวเกาะอยู่ที่ผิวด้านในของท่อส่วนควบแน่นและกำลังไหลกลับลงมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่นโดยมีความยาวประมาณ 8 เซนติเมตรวัดจากขอบล่างของตู้ส่วนควบแน่น คิดเป็น 22.22% ของความยาวส่วนควบแน่นทั้งหมด ดังรูปที่ 5.6 (ค)

- อุณหภูมิ 80°C

ในช่วงอุณหภูมินี้จะสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวจากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านในของท่อส่วนควบแน่นและกำลังไหลกลับลงมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก แต่ความยาว

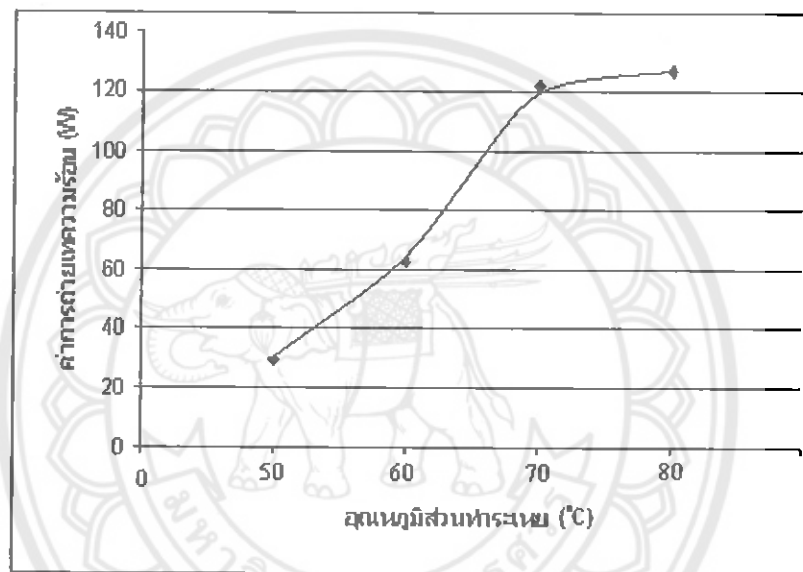
ของไอน้ำที่รวมตัวกันอย่างหนาแน่นจะมีความยาวมากกว่าช่วงอุณหภูมิ 70°C โดยมีความยาวประมาณ 18 เซนติเมตรวัดจากขอบล่างของตู้ในส่วนควบแน่น คิดเป็น 50% ของความยาวส่วนควบแน่นทั้งหมด เนื่องจากอุณหภูมิในตู้ส่วนทำระเหยสูงขึ้นมากสารทำงานจึงร้อนและมีความดันไอมากกว่าช่วงอุณหภูมิ 70°C ทำให้ในส่วนควบแน่นจำเป็นต้องใช้พื้นที่มากกว่าเดิมในการทำการควบแน่นไอน้ำเหล่านั้นให้กลับลงมาสู่ส่วนทำระเหย ดังรูปที่ 5.6 (ง)



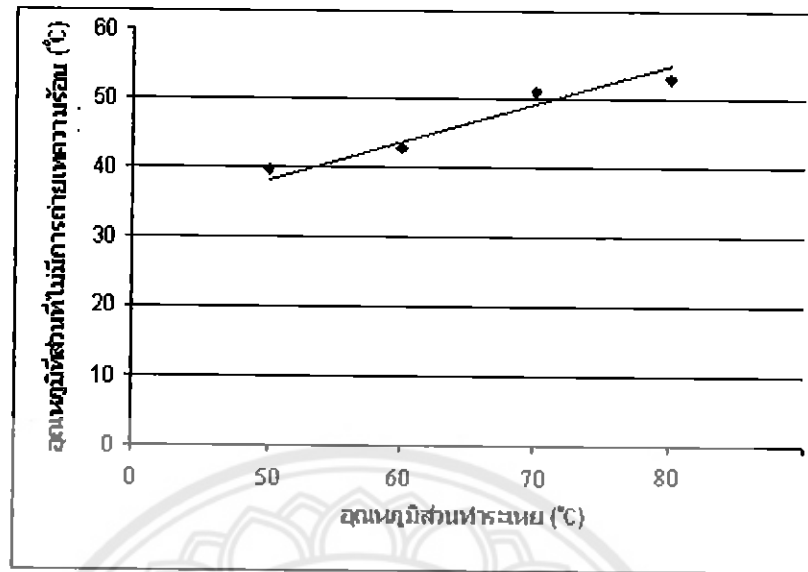
รูปที่ 5.6 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 50%

รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยและค่าการถ่ายเทความร้อน จะเห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนจะมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วยหากอุณหภูมิของส่วนทำระเหยสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจาก 50°C ไปเป็น 80°C ค่าการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นจาก 29.2 W ไปเป็น 126.78 W

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้นสารทำงานจะเกิดการเดือดและเริ่มเปลี่ยนสถานะเป็นไอและมีรูปแบบการไหลต่างๆ ที่รูปแบบการไหลนั้นเปลี่ยนไปเพราะความเร็วและความดันของไอนี้มีค่าสูงขึ้น ความดันนี้จะพาไอร้อนผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่นได้มากขึ้น สังเกตได้จากอุณหภูมิของส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.8 ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจะมีค่าสูงขึ้นด้วยดังรูปที่ 2.5 และสมการที่ 2.14



รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเค็มสารทำงาน 50%



รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนที่ระเหยและอุณหภูมิที่ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเคิมนสารทำงาน 50%

5.2.3 ที่อัตราการเคิมน 70% ของปริมาตรส่วนที่ระเหย

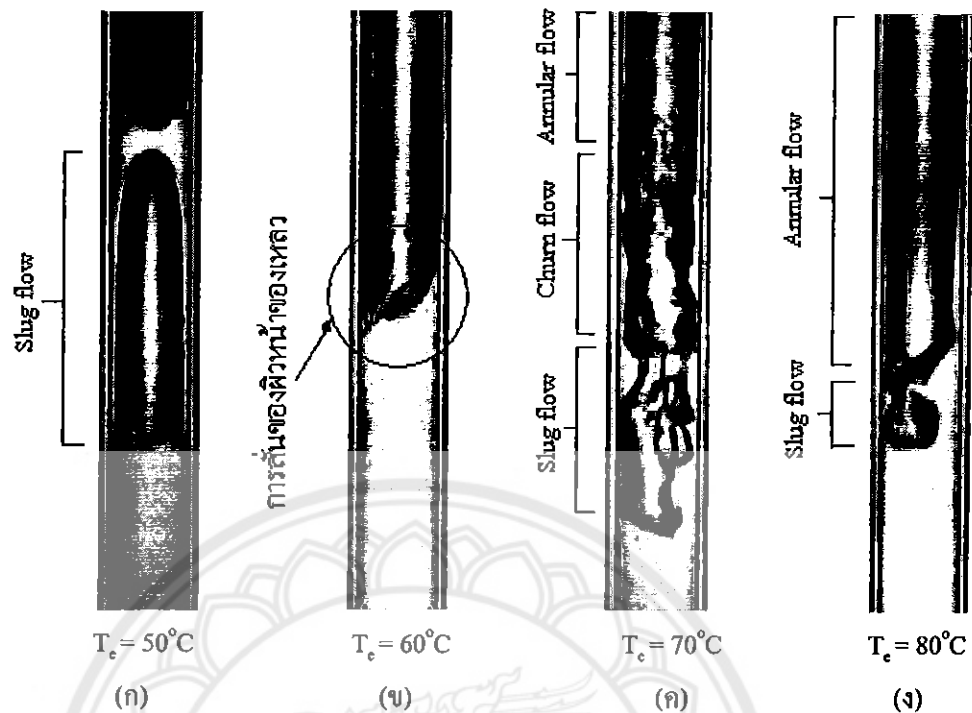
พิจารณาชุดที่ทำการทดลองในส่วนที่ระเหย

- อุณหภูมิ 50°C

ในช่วงอุณหภูมินี้เริ่มมีการเคิมนของสารทำงาน และจะเริ่มสังเกตเห็นการทำงานของท่อเทอร์โมไซฟอนได้แล้วโดยเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow อย่างชัดเจนแต่เพียงรูปแบบเดียว โดยมีลักษณะเหมือนหัวกระสุนพุ่งขึ้นอย่างช้าๆ ทีละหัว โดยลักษณะของฟองไอหัวกระสุนนี้จะเริ่มจากเล็กๆ แล้วขยายตัวใหญ่ขึ้น ดังรูปที่ 5.9 (ก)

- อุณหภูมิ 60°C

ในช่วงอุณหภูมินี้ไม่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นเกาะที่ผิวด้านในของท่อที่ส่วนที่ระเหย แต่สามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงที่ผิวหน้าของสารทำงาน ก็จะมีการกระเพื่อมของสารทำงานบริเวณผิวหน้าเป็นจังหวะซึ่งมีความถี่ประมาณ 19-22 ครั้งต่อนาที ซึ่งเกิดจากที่อุณหภูมิของน้ำในตู้ส่วนที่ระเหยสูงขึ้นจนท่อเทอร์โมไซฟอนนี้เริ่มทำงาน แต่ยังไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ได้ ดังรูปที่ 5.9 (ข)



รูปที่ 5.9 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 70%

- อุณหภูมิ 70°C

ในช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนมีการเดือดแล้วสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบของ Churn flow เป็นส่วนใหญ่โดยที่อาจจะมีรูปแบบการไหลของ Annular flow เกิดผสมกันเป็นบางช่วงเวลา หรือ อาจสรุปได้ว่า รูปแบบการไหลของ Slug flow แล้วเปลี่ยนเป็น Churn flow คือ รูปแบบการไหลหลักของช่วงอุณหภูมินี้ หยดน้ำซึ่งไหลลงมาจากส่วนควบแน่นเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ไม่สามารถสังเกตเห็นได้อีกต่อไปเนื่องจากรูปแบบการไหลภายในท่อไหลในทิศทางที่สวนทางกับหยดน้ำที่ไหลลงมาถึงนำพาหยดน้ำเหล่านี้ไหลขึ้นไปด้วย ดังรูป 5.9 (ค)

- อุณหภูมิ 80°C

ในช่วงอุณหภูมินี้ สามารถเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow และรูปแบบการไหลของ Churn flow เพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่ จึงอาจสรุปได้ว่ารูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นรูปแบบการไหลหลักในช่วงอุณหภูมินี้ หยดน้ำซึ่งไหลลงมาจากส่วนควบแน่นเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกไม่สามารถสังเกตเห็น

ได้อีกต่อไปเนื่องจากรูปแบบการไหลภายในท่อไหลในทิศทางที่สวนทางกับหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพาหยดน้ำเหล่านี้ไหลขึ้นไปด้วย ดังรูป 5.9 (ง)

พิจารณาชุดที่ทำการทดลองในส่วนควบแน่น

- อุณหภูมิ 50°C

ในช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิน้ำภายในตู้ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอนนี้ทำงาน ความดันของไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ หรือหยดน้ำเนื่องจากการควบแน่นที่ส่วนควบแน่นได้ ดังรูป 5.10 (ก)

- อุณหภูมิ 60°C

เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 50°C คือสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิน้ำภายในตู้ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอนนี้ทำงาน ความดันของไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงยังไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ หรือหยดน้ำเนื่องจากการควบแน่นที่ส่วนควบแน่นได้ ดังรูปที่ 5.10 (ข)

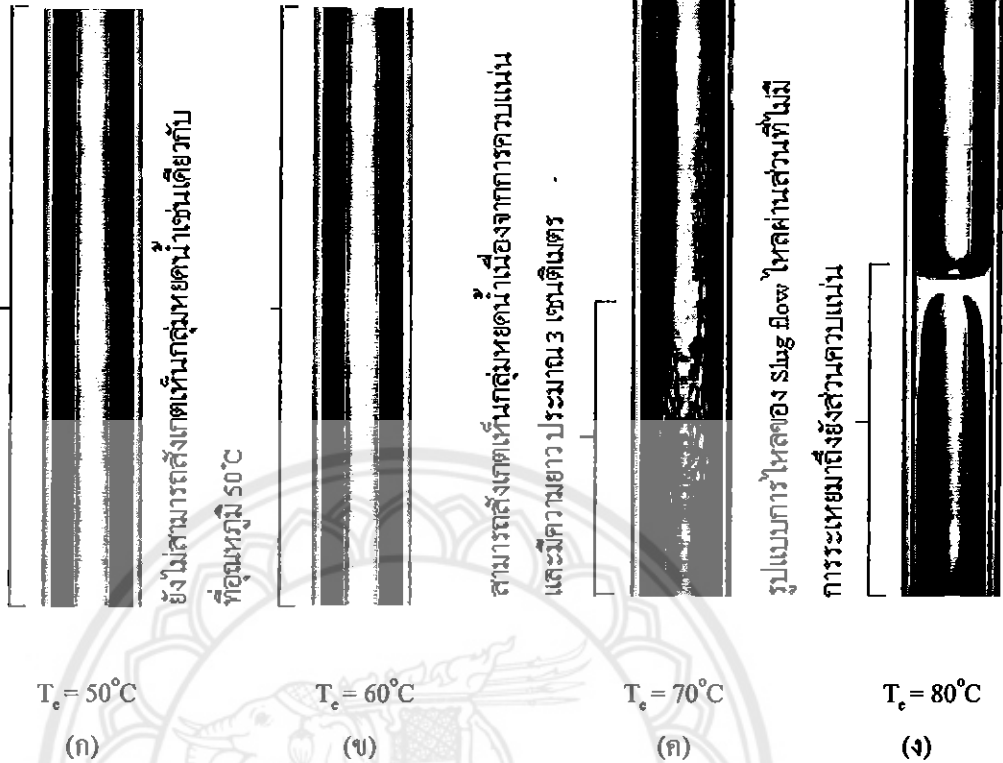
- อุณหภูมิ 70°C

ในช่วงอุณหภูมินี้เทอร์โมไซฟอนนี้เริ่มทำงานแล้ว จะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวเนื่องจากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านในของท่อส่วนควบแน่นและกำลังไหลกลับลงมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่นโดยมีความยาวประมาณ 3 เซนติเมตรวัดจากขอบล่างของตู้ในส่วนควบแน่น คิดเป็น 8.33% ของความยาวส่วนควบแน่นทั้งหมด ดังรูปที่ 5.10 (ค)

- อุณหภูมิ 80°C

ในช่วงอุณหภูมินี้ จะไม่สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวจากการควบแน่นเกาะกลุ่มกันเหมือนที่อัตราการเดิมอื่น เนื่องจากรูปแบบการไหลของ Slug flow นั้นไหลผ่านส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อนจนไหลมาถึงส่วนควบแน่นและมีทิศทางการไหลที่สวนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำไหลเหล่านี้ขึ้นไปด้วย ดังรูป 5.10 (ง)

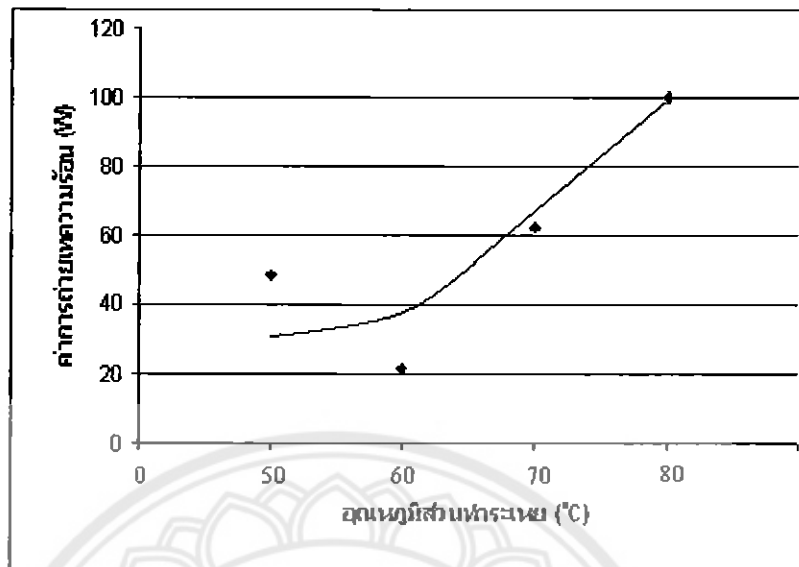
ยังไม่สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดน้ำจากการควบแน่น เนื่องจากความดันไอยังไม่สูงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมาถึงส่วนควบแน่น



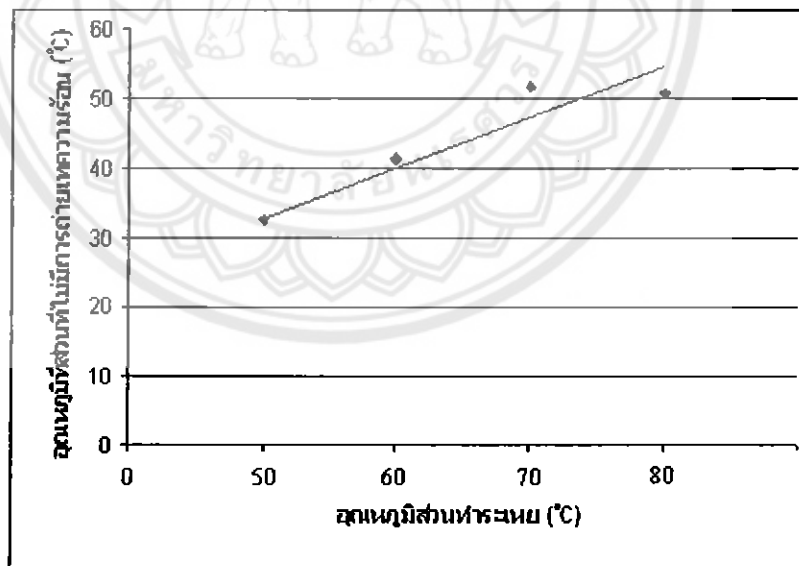
รูปที่ 5.10 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเดิม 70%

รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยและค่าการถ่ายเทความร้อน จะเห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนจะมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วยหากอุณหภูมิของส่วนทำระเหยสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจาก 50°C ไปเป็น 80°C ค่าการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นจาก 48.44 W ไปเป็น 100.3 W

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้นสารทำงานจะเกิดการเดือดและเริ่มเปลี่ยนสถานะเป็นไอและมีรูปแบบการไหลต่างๆ ที่รูปแบบการไหลนั้นเปลี่ยนไปเพราะความเร็วและความดันของไอนี้มีค่าสูงขึ้น ความดันนี้จะพาไอร้อนผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่นได้มากขึ้น สังเกตได้จากอุณหภูมิของส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.12 ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจะมีค่าสูงขึ้นด้วยดังรูปที่ 2.5 และสมการที่ 2.14



รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนที่ระเหยและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติมสารทำงาน 70%



รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนที่ระเหยและอุณหภูมิส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอน ที่มีอัตราการเติมสารทำงาน 70%

ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อน ณ อัตราการเติมต่างๆ พบว่าผลกระทบของอุณหภูมิมิมีแนวโน้มเหมือนกัน คือ เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนจะมากขึ้นด้วย สำหรับเทอร์โมไซฟอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12 มิลลิเมตร ความยาวที่ส่วนทำระเหย 360 มิลลิเมตร ความยาวที่ส่วนไม่มีการถ่ายเทความร้อน 200 มิลลิเมตร และความยาวที่ส่วนควบแน่น 305 มิลลิเมตร และใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงาน ที่อัตราการเติมสารทำงาน 50% เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจาก 50°C ไปเป็น 80°C ค่าการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นจาก 29.2 W ไปเป็น 126.78 W

5.3 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน

5.3.1 ที่อุณหภูมิ 50°C

พิจารณาชุดที่ทำการทดลองในส่วนทำระเหย

- อัตราการเติมที่ 30% ของส่วนทำระเหย

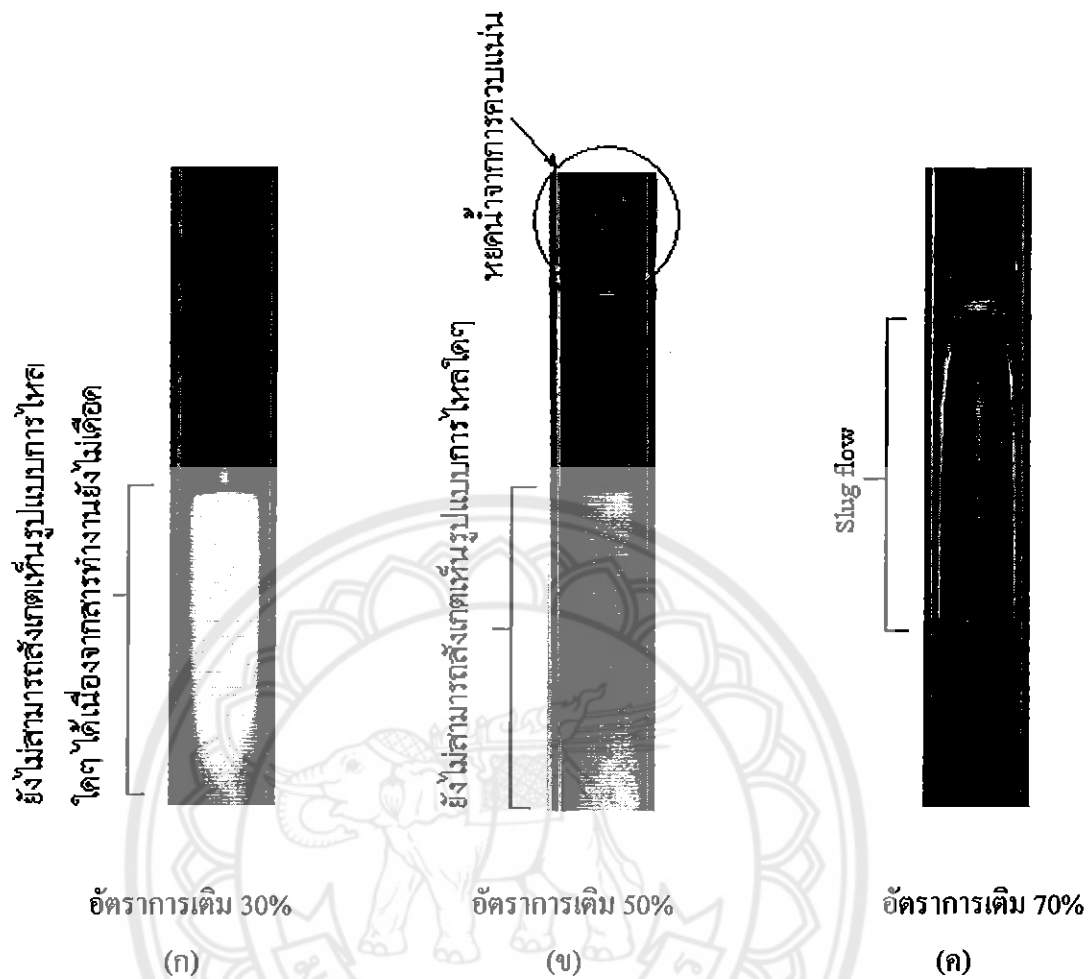
สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเคี้ยว หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำภายในตู้ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนนี้ทำงาน จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ที่ส่วนทำระเหยได้ ดังรูป 5.13 (ก)

- อัตราการเติมที่ 50% ของส่วนทำระเหย

สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเคี้ยว แต่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นซึ่งไหลลงมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน (ความดันไอยังไม่สูงพอ ที่จะพาไอน้ำนี้ไปควบแน่นที่ส่วนควบแน่น) เพราะอุณหภูมิของน้ำภายในตู้ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนนี้ทำงาน จึงยังไม่มีสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ที่ส่วนทำระเหยได้ ดังรูป 5.13 (ข)

- อัตราการเติมที่ 70% ของส่วนทำระเหย

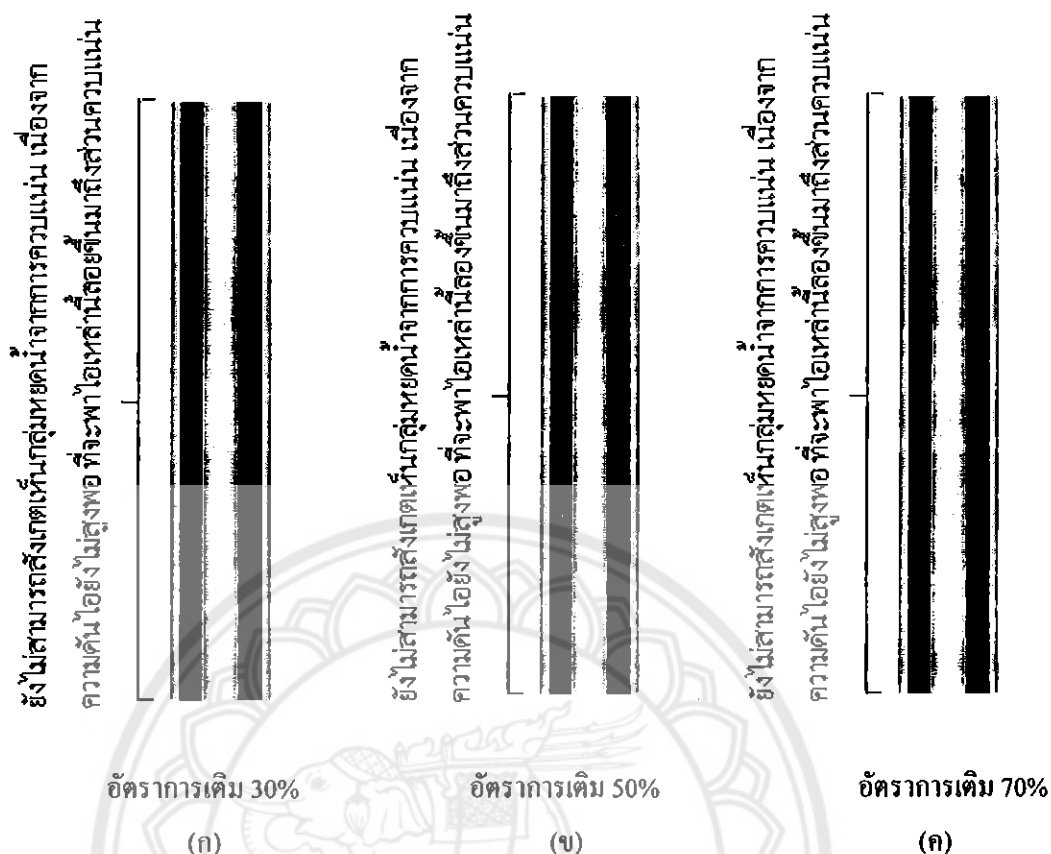
สารทำงานเริ่มมีการเคี้ยว และจะเริ่มสังเกตเห็นการทำงานของท่อเทอร์โมไซฟอนได้แล้ว โดยเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow อย่างชัดเจนแต่เพียงรูปแบบเดียวโดยมีลักษณะเหมือนหัวกระสุนพุ่งขึ้นอย่างช้าๆ ทีละหัว โดยลักษณะของฟองไอน้ำที่กระสุนนี้จะเริ่มจากเล็กๆ แล้วขยายตัวใหญ่ขึ้น ดังรูปที่ 5.13 (ค)



รูปที่ 5.13 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 50°C

พิจารณาชุดที่ทำการทดลองในส่วนควบแน่น

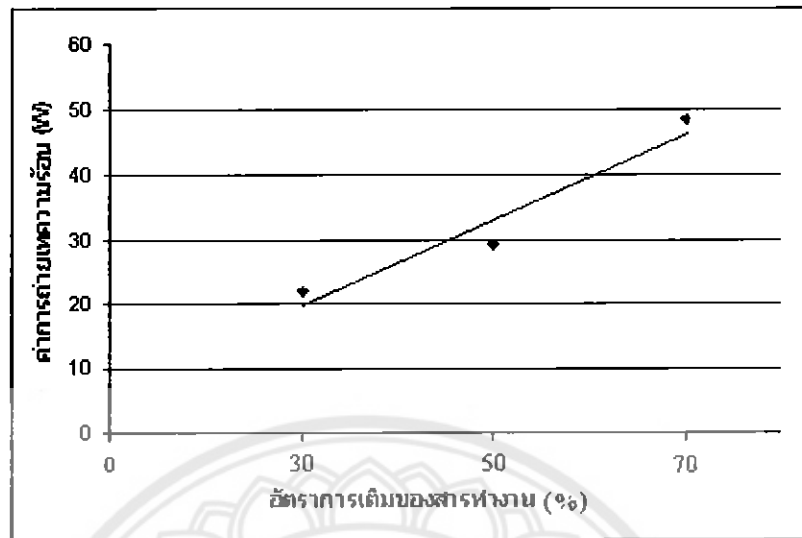
อัตราการเติมที่ 30% 50% และ 70% ของส่วนทำระเหย จะให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน คือ สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยัง ไม่มีการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำภายในตู้ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนนี้ทำงาน ความดันของไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ หรือหยดน้ำเนื่องจากการควบแน่นที่ส่วนควบแน่นได้ ดังรูปที่ 5.14



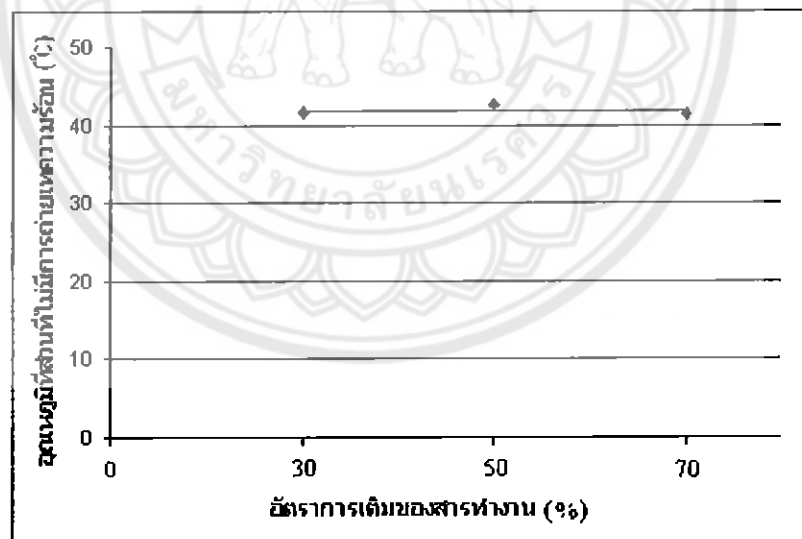
รูปที่ 5.14 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 50°C

รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อน จะเห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนจะมีแนวโน้มสูงขึ้นหากอุณหภูมิของส่วนทำระเหยสูงขึ้น เมื่ออัตราการเติมสารทำงานเพิ่มขึ้นจาก 30% ไปเป็น 70% ค่าการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นจาก 21.97 W ไปเป็น 48.44 W

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก ที่อัตราการเติม 30% และ 50% นั้นท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่ทำงานทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนนั้นใกล้เคียงกัน ส่วนที่อัตราการเติม 70% ท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือดแล้วสังเกตได้จากเกิดการเกิดรูปแบบการไหลของ Slug flow ที่ส่วนทำระเหย ทำให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าที่อัตราการเติม 30% และ 50% บ้าง แต่เทอร์โมไซฟอนทั้ง 3 อัตราการเติมยังถือว่าไม่ทำงานเหมือนกันทั้งหมด สังเกตได้จากอุณหภูมิส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนนั้นเกือบจะมีค่าเท่ากันทั้ง 3 อัตราการเติม แสดงในรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเพิ่มสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C



รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเพิ่มสารทำงานและอุณหภูมิที่ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C

5.3.2 ที่อุณหภูมิ 60°C

พิจารณาชุดที่ทำการทดลองในส่วนทำระเหย

- อัตราการเติมที่ 30% ของส่วนทำระเหย

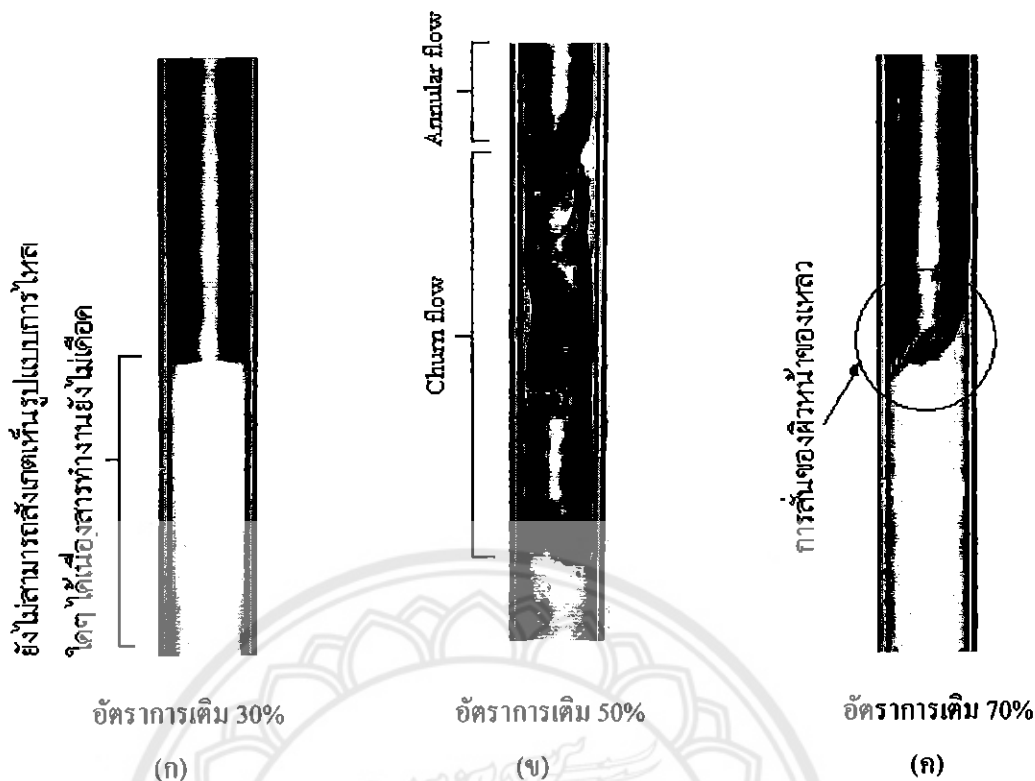
สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำภายในตู้ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอนทำงาน จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ที่ส่วนทำระเหยได้ ดังรูป 5.17 (ก)

- อัตราการเติมที่ 50% ของส่วนทำระเหย

สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้หลายรูปแบบแต่อาจสรุปได้ว่า ในช่วงแรกนั้นสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบของ Churn flow โดยที่อาจจะมีรูปแบบการไหลของ Annular flow และเป็นบางช่วงเวลา หรือ อาจสรุปได้ว่า รูปแบบการไหลของ Slug flow แล้วเปลี่ยนเป็น Churn flow คือ รูปแบบการไหลหลักของอัตราการเติม 50% ของช่วงอุณหภูมินี้ หยดน้ำซึ่งไหลลงมาจากส่วนควบแน่นเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกไม่สามารถสังเกตเห็นได้อีกต่อไป เนื่องจากรูปแบบการไหลภายในท่อไหลในทิศทางที่สวนทางกับหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพาหยดน้ำไหลขึ้นไปด้วย ดังรูป 5.17 (ข)

- อัตราการเติมที่ 70% ของส่วนทำระเหย

ไม่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นเกาะที่ผิวด้านในของท่อที่ส่วนทำระเหย แต่สามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงที่ผิวหน้าของสารทำงาน คือจะมีการกระเพื่อมของสารทำงานบริเวณผิวหน้าเป็นจังหวะซึ่งมีความถี่ประมาณ 19-22 ครั้งต่อนาที ซึ่งเกิดจากที่อุณหภูมิของน้ำในตู้ส่วนทำระเหยสูงขึ้นจนเทอร์โมไซฟอนนี้เริ่มทำงาน แต่ยังไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ได้ ดังรูปที่ 5.17 (ค)

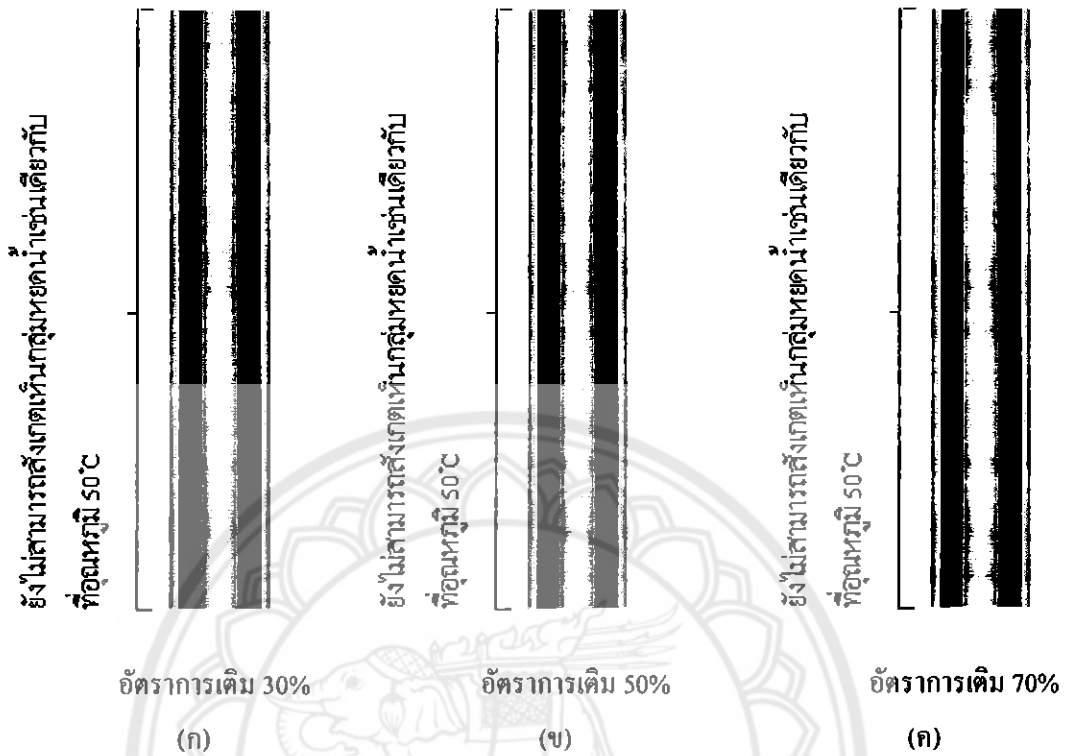


รูปที่ 5.17 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 60°C

พิจารณาชุดที่ทำการทดลองในส่วนควบแน่น

- อัตราการเติมที่ 30%, 50% และ 70% ของส่วนทำระเหย จะให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน

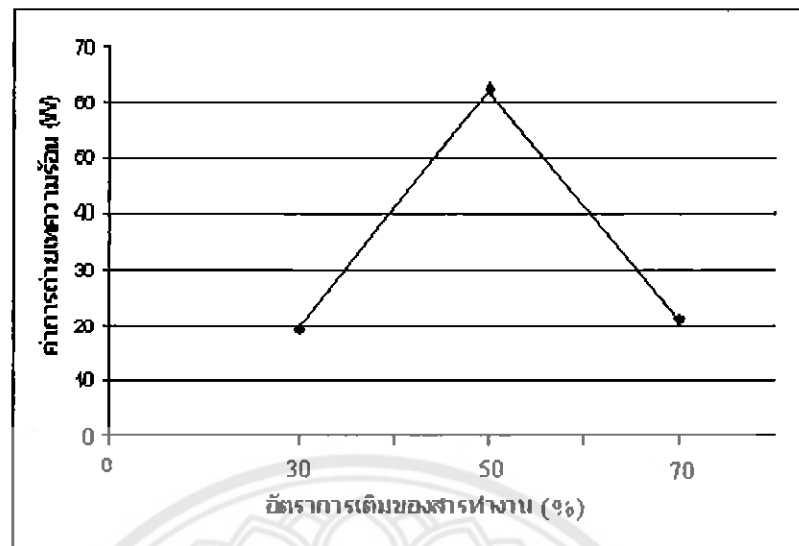
คือ สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำภายในตู้ส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอนนี้ทำงาน ความดันของไอจากการระเหยยังไม่เพียงพอที่จะพาไอเหล่านี้ลอยขึ้นมายังส่วนควบแน่น จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ หรือกลุ่มหยดน้ำเนื่องจากการควบแน่นที่ส่วนควบแน่นได้ ดังรูปที่ 5.18



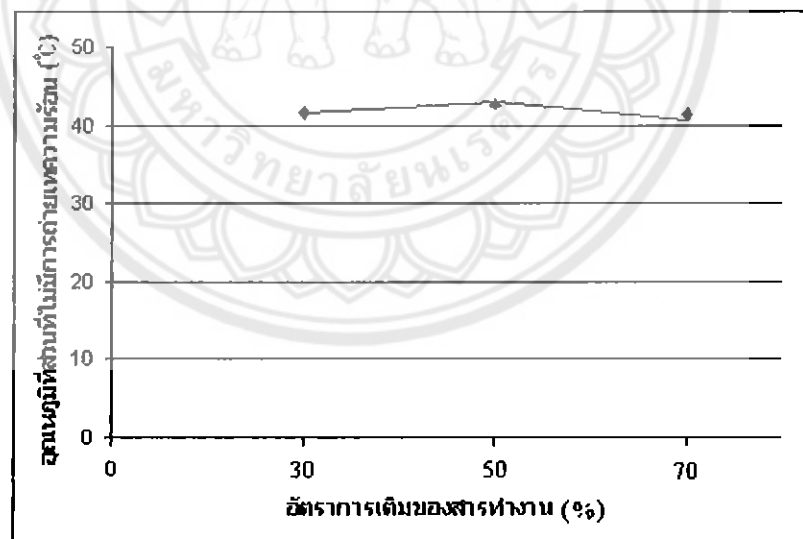
รูปที่ 5.18 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนควมแน่นของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 60°C

รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อน จะเห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่อัตราการเติม 30% และ 70% จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าที่อัตราการเติม 50% โดยจะมีค่า 19.4 W และ 21.36 W ในขณะที่อัตราการเติม 50% จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงถึง 62.78 W

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ที่อัตราการเติมสารทำงาน 30% และ 70% เทอร์โมไซฟอนยังไม่ทำงาน ทำให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าน้อยกว่าที่อัตราการเติม 50% ซึ่งเทอร์โมไซฟอนเริ่มทำงานแล้ว สังเกตได้จากการเกิดรูปแบบการไหลของ Churn flow และ Annular flow ที่ส่วนทำระเหย หรือสังเกตได้จากอุณหภูมิที่ส่วนควมแน่นที่อัตราการเติม 50% จะมีค่าสูงที่สุด แสดงในรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนที่ระเหย 60°C



รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมสารทำงานและอุณหภูมิที่ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนที่ระเหย 60°C

5.3.3 ที่อุณหภูมิ 70°C

พิจารณาชุดที่ทำการทดลองในส่วนทำระเหย

- อัตราการเติมที่ 30% ของส่วนทำระเหย

เริ่มสังเกตเห็นหยดน้ำเกาะที่ผิวด้านในบางส่วนของท่อที่ส่วนทำระเหยและสามารถ

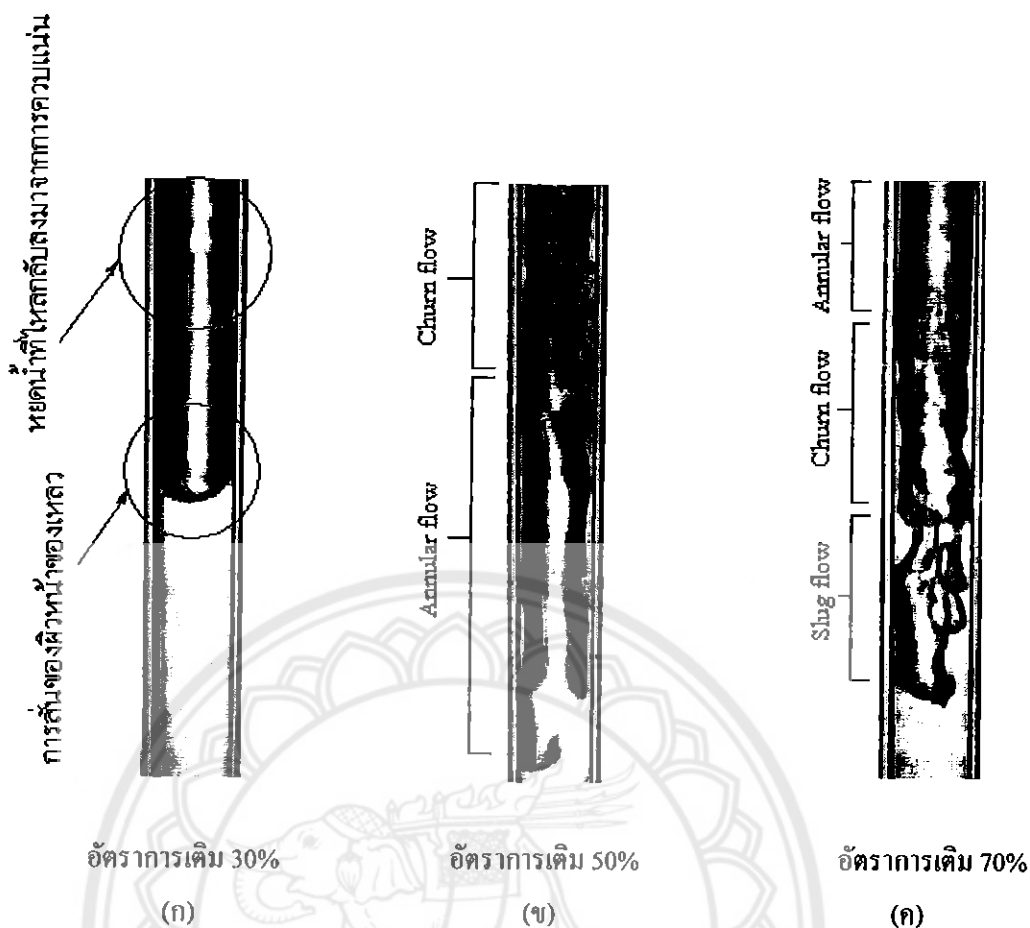
สังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงที่ผิวหน้าของสารทำงาน ก็จะมีการกระเพื่อมของสารทำงานบริเวณผิวหน้าเป็นจังหวะมีความถี่ประมาณ 13-15 ครั้งต่อนาที ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิของน้ำในตู้ส่วนทำระเหยสูงขึ้นจนท่อเทอร์โมไซฟอนนี้เริ่มทำงาน และเริ่มสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นไอลลงมาจากส่วนที่ไม่มีมีการถ่ายเทความร้อน (ความดันไอลยังไม่สูงพอที่จะพาไอลเหล่านี้ไปควบแน่นที่ส่วนควบแน่น) แต่ยังไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ได้ ดังรูปที่ 5.21 (ก)

- อัตราการเติมที่ 50% ของส่วนทำระเหย

รูปแบบการไหลของ Slug flow และ รูปแบบการไหลของ Chum flow จะถูกสังเกตเห็นเพียงเล็กน้อย โดยทั่วไปแล้วจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่ จึงอาจสรุปได้ว่ารูปแบบการไหลของ Annular flow ซึ่งมีรูปแบบการไหลของ Slug flow และ รูปแบบการไหลของ Chum flow เพียงเล็กน้อย เป็นรูปแบบการไหลหลักที่อัตราการเติม 50% ของช่วงอุณหภูมินี้ หยดน้ำซึ่งไหลซึ่งไหลลงมาจากส่วนควบแน่นเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ไม่สามารถสังเกตเห็นได้อีกต่อไป เนื่องจากรูปแบบการไหลภายในท่อไหลในทิศทางที่สวนทางกับหยดน้ำที่ไหลลงมาจากพาหยดน้ำไหลขึ้นไปด้วย ดังรูป 5.21 (ข)

- อัตราการเติมที่ 70% ของส่วนทำระเหย

ในช่วงอุณหภูมินี้สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนมีการเดือดแล้วสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบของ Chum flow เป็นส่วนใหญ่โดยที่อาจจะมีรูปแบบการไหลของ Annular flow เกิดผสมกันเป็นบางช่วงเวลา หรือ อาจสรุปได้ว่า รูปแบบการไหลของ Slug flow แล้วเปลี่ยนเป็น Chum flow คือ รูปแบบการไหลหลักที่อัตราการเติม 70% ของช่วงอุณหภูมินี้ หยดน้ำซึ่งไหลซึ่งไหลลงมาจากส่วนควบแน่นเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ไม่สามารถสังเกตเห็นได้อีกต่อไปเนื่องจากรูปแบบการไหลภายในท่อไหลในทิศทางที่สวนทางกับหยดน้ำที่ไหลลงมาจากพาหยดน้ำเหล่านี้ไหลขึ้นไปด้วย ดังรูป 5.21 (ค)



รูปที่ 5.21 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 70°C

พิจารณาชุดที่ทำการทดลองในส่วนควบแน่น

- อัตราการเติมที่ 30% ของส่วนทำระเหย

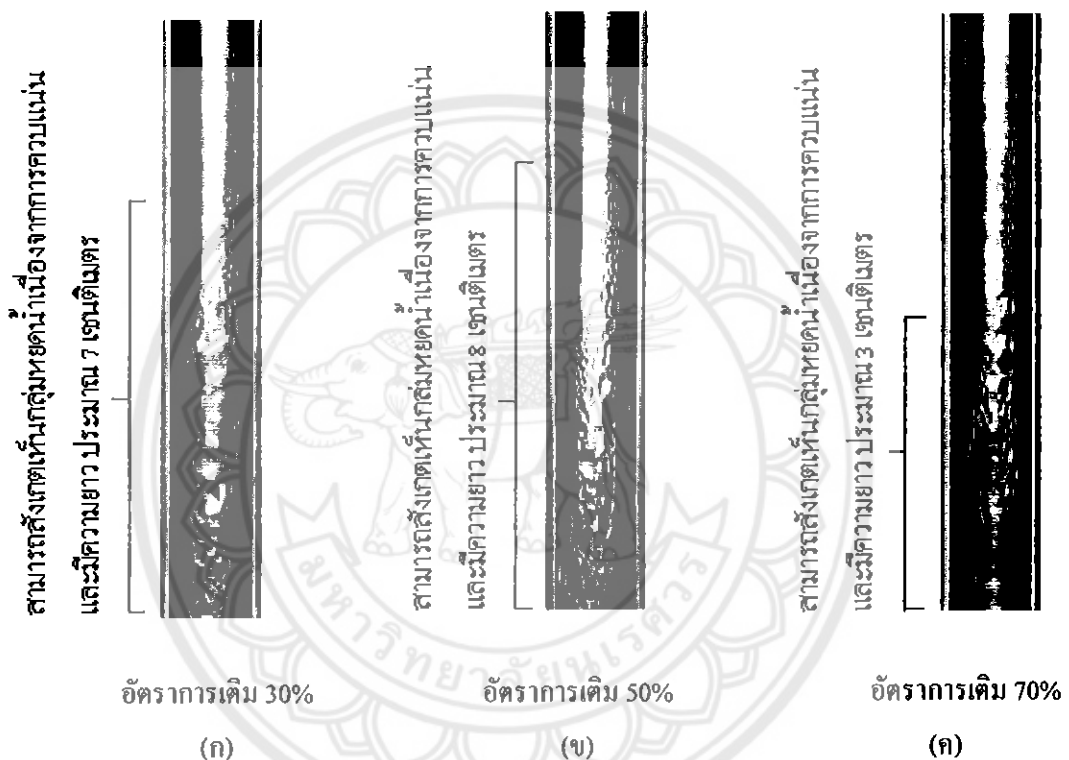
ในช่วงอุณหภูมินี้ที่เทอร์โมไซฟอนนี้เริ่มทำงานแล้ว จะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวเกาะอยู่ที่ผิวด้านในของท่อส่วนควบแน่นเนื่องจากความดันไอสูงพอที่จะพาไอเหล่านี้ไปยังส่วนควบแน่นได้แล้ว และกลุ่มหยดของเหลวนี้กำลังไหลกลับลงมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่นโดยมีความยาวประมาณ 7 เซนติเมตรวัดจากขอบล่างของตู้ในส่วนควบแน่น คิดเป็น 19.44% ของความยาวส่วนควบแน่นทั้งหมด ดังรูปที่ 5.22 (ก)

- อัตราการเติมที่ 50% ของส่วนทำระเหย

ในช่วงอุณหภูมินี้ที่เทอร์โมไซฟอนนี้เริ่มทำงานแล้ว จะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวเกาะอยู่ที่ผิวด้านในของท่อส่วนควบแน่นและกำลังไหลกลับลงมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่นโดยมีความยาวประมาณ 8 เซนติเมตรวัดจากขอบล่างของตู้ในส่วนควบแน่น คิดเป็น 22.22% ของความยาวส่วนควบแน่นทั้งหมด ดังรูปที่ 5.22 (ข)

- อัตราการเติมที่ 70% ของส่วนทำระเหย

ที่ช่วงอุณหภูมินี้เทอร์โมไซฟอนนี้เริ่มทำงานแล้ว จะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลว เนื่องจากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านในของท่อส่วนควบแน่นและกำลังไหลกลับลงมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ไอน้ำเหล่านี้รวมตัวกันหนาแน่นโดยมีความยาวประมาณ 3 เซนติเมตรวัดจากขอบล่างของตู้ในส่วนควบแน่น คิดเป็น 8.33% ของความยาวส่วนควบแน่น ทั้งหมด ดังรูปที่ 5.22 (ค)

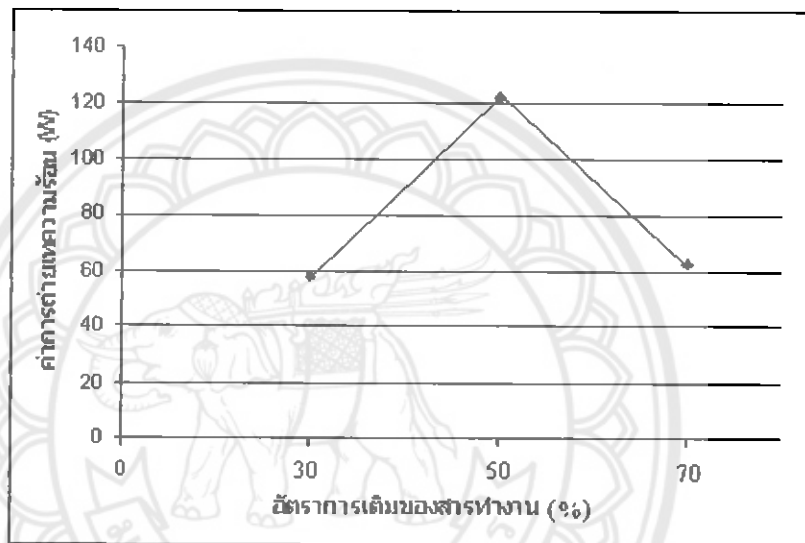


รูปที่ 5.22 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 70°C

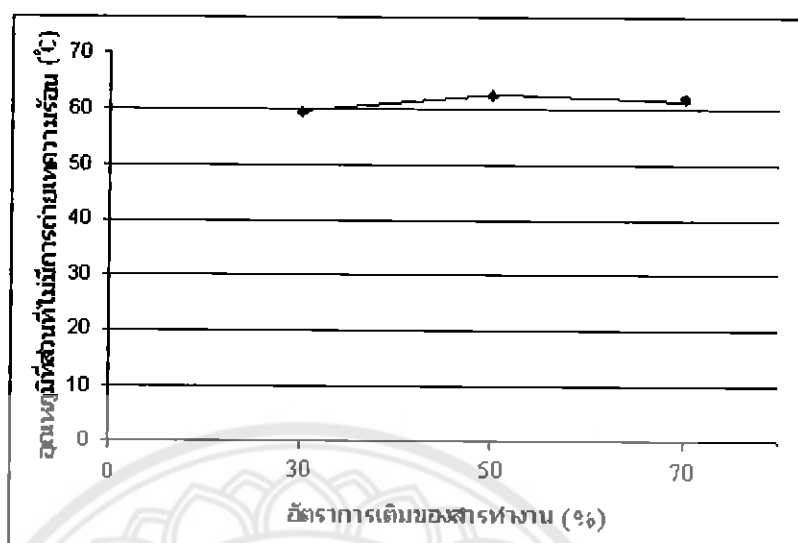
รูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อน จะเห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่อัตราการเติม 30% และ 70% จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าที่อัตราการเติม 50% โดยจะมีค่า 58.31 W และ 62.64 W ตามลำดับ ในขณะที่อัตราการเติม 50% จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงถึง 122.2 W

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก ที่อัตราการเติมสารทำงาน 30% เมื่อสารทำงานระเหยกลายเป็นไอแล้วปริมาตรของไอนั้นน้อยมาก ซึ่งไอเหล่านี้จะเป็นตัวพาความร้อนไปยังส่วนควบแน่น หากไอมี

ปริมาณน้อยอาจทำให้ลอยไปไม่ถึงส่วนควบแน่นหรือไปควบแน่นได้น้อย อุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจะมีค่าต่ำลงด้วยดังรูปที่ 2.5 และสมการที่ 2.14 จะส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยลงด้วย ในขณะที่อัตราการเติมสารทำงาน 70% นั้น เนื่องจากปริมาณสารทำงานเยอะมาก เมื่อสารทำงานเดือดและเกิดรูปแบบการไหลต่างๆ ซึ่งรูปแบบการไหลต่างๆ นั้นอาจไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนและรบกวนต่อการควบแน่นของสารทำงานที่ส่วนควบแน่น ส่วนอัตราการเติมสารทำงาน 50% เป็นอัตราการเติมที่เหมาะสมสังเกตได้จากอุณหภูมิส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงสุดแสดงในรูปที่ 5.24



รูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70°C



รูปที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมสารหางานและอุณหภูมิในส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 °C

5.3.4 ที่อุณหภูมิ 80 °C

พิจารณาชุดที่ทำการทดลองในส่วนทำระเหย

- อัตราการเติมที่ 30% ของส่วนทำระเหย

ไม่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นที่ไหลกลับลงมาจากส่วนควบแน่นได้

เนื่องจากรูปแบบการไหลภายในท่อไหลในทิศทางที่สวนทางกับหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพาหยดน้ำไหลขึ้นไปด้วย และจะเริ่มสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow และ Churn flow เพียงช่วงเวลาเล็กน้อยในตอนต้นๆ ขณะที่อุณหภูมิของน้ำในส่วนทำระเหยยังไม่ถึง 80 °C จากนั้นจะเริ่มสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่ อาจสรุปได้ว่า รูปแบบการไหลของ Annular flow คือรูปแบบการไหลหลักที่อัตราการเติม 30% ของช่วงอุณหภูมินี้ ดังรูปที่ 5.25 (ก)

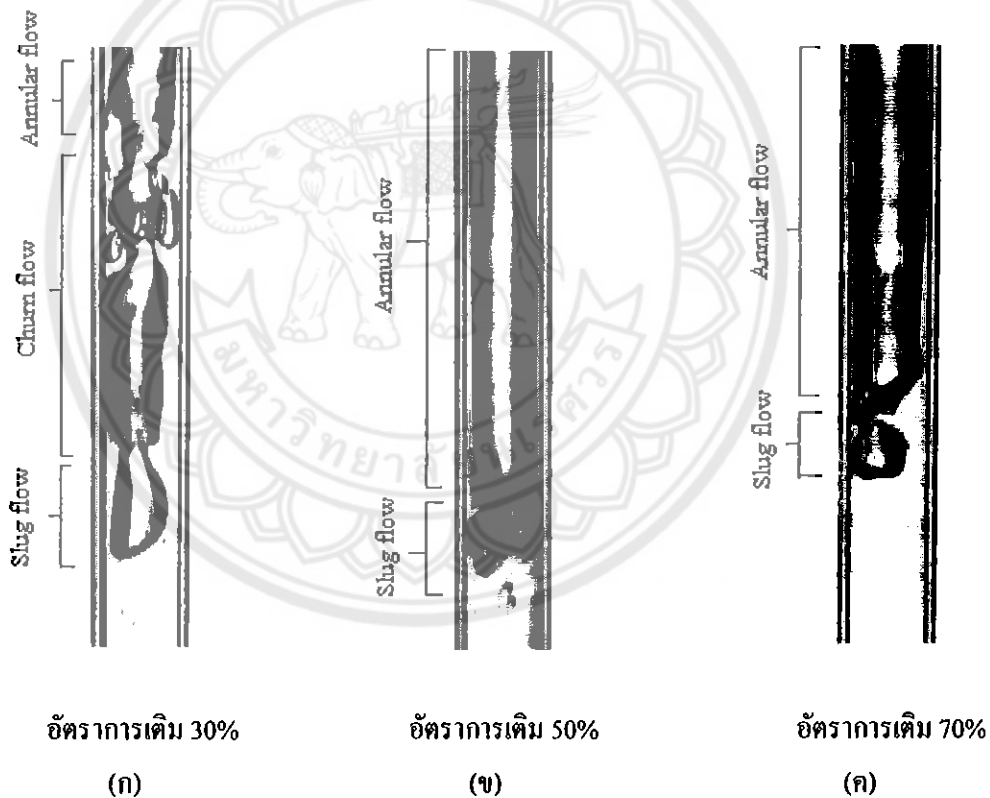
- อัตราการเติมที่ 50% ของส่วนทำระเหย

รูปแบบการไหลของ Slug flow และ รูปแบบการไหลของ Churn flow สามารถสังเกตเห็นได้น้อยมาก จะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่จึงอาจสรุปได้ว่ารูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นรูปแบบการไหลหลักที่อัตราการเติม 50% ของช่วงอุณหภูมินี้ หยดน้ำซึ่งไหลลงมาจากส่วนควบแน่นเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกไม่สามารถสังเกตเห็น

ได้อีกต่อไปเนื่องจากรูปแบบการไหลภายในท่อไหลในทิศทางที่สวนทางกับหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพาหยดน้ำไหลขึ้นไปด้วยดังรูป 5.25 (ข)

- อัตราการเติมที่ 70% ของส่วนทำระเหย

ที่ช่วงอุณหภูมินี้ สามารถเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow และรูปแบบการไหลของ Churn flow เพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่ จึงอาจสรุปได้ว่ารูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นรูปแบบการไหลหลักที่อัตราการเติม 70% ของช่วงอุณหภูมินี้ หยดน้ำซึ่งไหลลงมาจกส่วนควบแน่นเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกไม่สามารถสังเกตเห็นได้อีกต่อไปเนื่องจากรูปแบบการไหลภายในท่อไหลในทิศทางที่สวนทางกับหยดน้ำที่ไหลลงมาจึงนำพาหยดน้ำเหล่านี้ไหลขึ้นไปด้วย ดังรูป 5.25 (ค)



รูปที่ 5.25 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 80°C

พิจารณาชุดที่ทำการทดลองในส่วนควบแน่น

- อัตราการเติมที่ 30% ของส่วนทำระเหย

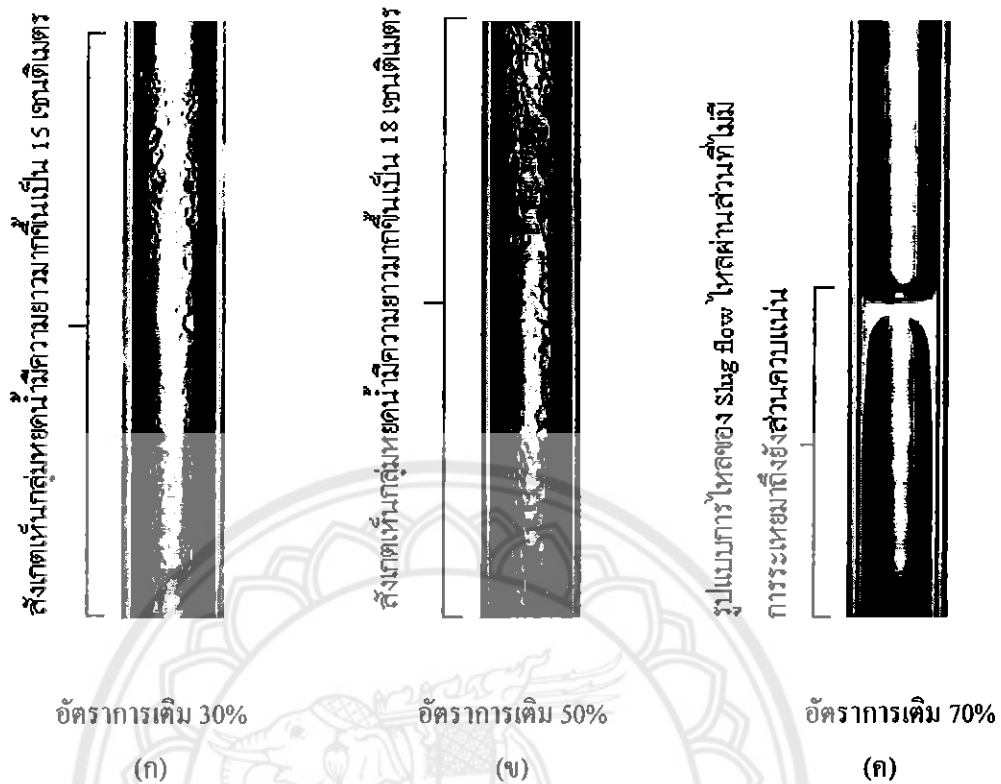
จะเริ่มสังเกตเห็นหยดของเหลวเกาะอยู่ที่ผิวด้านในของท่อส่วนควบแน่นและกำลังไหล กลับลงมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก แต่ความยาวของไอน้ำที่รวมตัวกันอย่าง หนาแน่นจะโดยมีความยาวประมาณ 15 เซนติเมตรวัดจากขอบล่างของคู้้น้ำส่วนควบแน่น คิดเป็น 41.67% ของความยาวส่วนควบแน่นทั้งหมด เนื่องจากอุณหภูมิในตู้ส่วนทำระเหยสูงขึ้นมาก สาร ทำงานจึงร้อนและมีความดันไอสูงขึ้น ทำให้ในส่วนควบแน่นจำเป็นต้องใช้พื้นที่มากกว่าเดิมในการ จะทำการควบแน่นไอน้ำเหล่านั้นให้กลับลงมาสู่ส่วนทำระเหย ดังรูป 5.26 (ก)

- อัตราการเติมที่ 50% ของส่วนทำระเหย

สังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวจากการควบแน่นเกาะอยู่ที่ผิวด้านในของท่อส่วนควบแน่น และกำลังไหลกลับลงมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก โดยมีความยาวประมาณ 18 เซนติเมตรวัดจากขอบล่างของคู้้น้ำส่วนควบแน่น คิดเป็น 50% ของความยาวส่วนควบแน่นทั้งหมด เนื่องจากอุณหภูมิในตู้ส่วนทำระเหยสูงขึ้นมาก สารทำงานจึงร้อนและมีความดันไอมากขึ้นทำให้ใน ส่วนควบแน่นจำเป็นต้องใช้พื้นที่มากกว่าเดิมในการทำการควบแน่นไอน้ำเหล่านั้นให้กลับลงมาสู่ ส่วนทำระเหย ดังรูป 5.26 (ข)

- อัตราการเติมที่ 70% ของส่วนทำระเหย

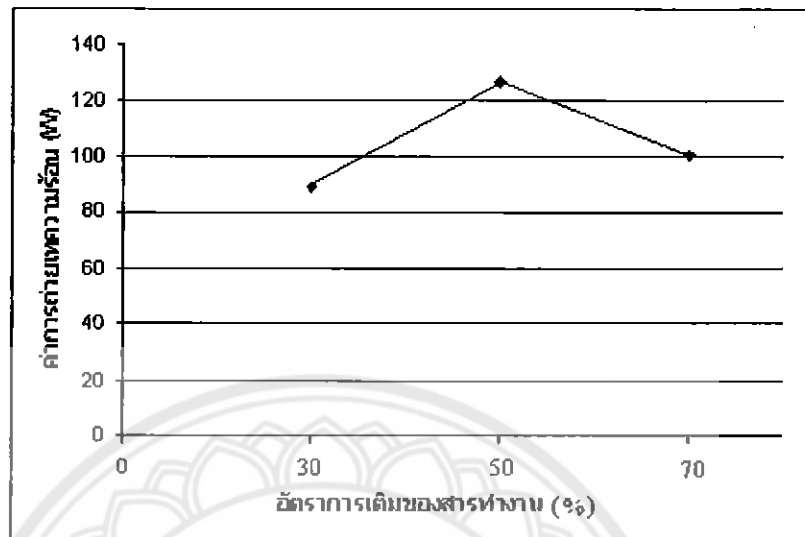
ในช่วงอุณหภูมินี้ จะไม่สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวจากการควบแน่นเกาะกลุ่มกัน เหมือนที่อัตราการเติมอื่น เนื่องจากรูปแบบการไหลของ Slug flow นั้นไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการ ถ่ายความร้อนจนไหลมาถึงส่วนควบแน่นและมีทิศทาง การไหลที่สวนทางกับกลุ่มหยดน้ำที่ไหล ลงมาจึงนำพากลุ่มหยดน้ำไหลเหล่านี้ขึ้นไปด้วย ดังรูป 5.26 (ค)



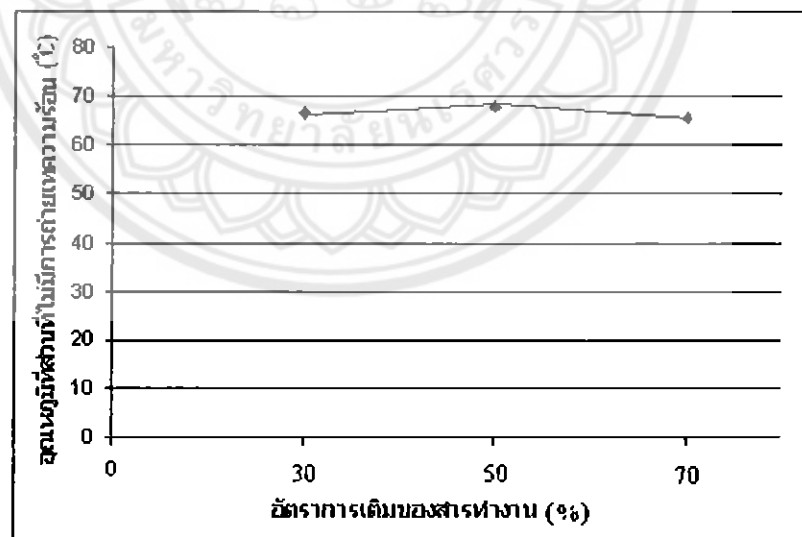
รูปที่ 5.26 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลในส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 80°C

รูปที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อน จะเห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่อัตราการเติม 30% และ 70% จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าที่อัตราการเติม 50% โดยจะมีค่า 88.98 W และ 100.3 W ตามลำดับ ในขณะที่อัตราการเติม 50% จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงถึง 126.78 W

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก ที่อัตราการเติมสารทำงาน 30% เมื่อสารทำงานระเหยกลายเป็นไอแล้วปริมาตรของไอนั้นน้อยมาก ซึ่งไอนี้จะเป็นตัวพาความร้อนไปยังส่วนควบแน่น หากไอนี้มีปริมาตรน้อยอาจทำให้ลอยไปไม่ถึงส่วนควบแน่นหรือไปควบแน่นได้น้อย อุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจะมีค่าต่ำลงด้วยดังรูปที่ 2.5 และสมการที่ 2.14 จะส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยลงด้วย ในขณะที่อัตราการเติมสารทำงาน 70% นั้น เมื่อสารทำงานเดือดและเกิดรูปแบบการไหลต่างๆ ซึ่งรูปแบบการไหลต่างๆ นั้นอาจไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนมาถึงยังส่วนควบแน่นและรบกวนต่อการควบแน่นของสารทำงานที่ส่วนควบแน่นสังเกตได้จากการไหลแบบ Slug flow ที่ส่วนที่ระเหยไหลมาถึงส่วนควบแน่น ส่วนอัตราการเติมสารทำงาน 50% เป็นอัตราการเติมที่เหมาะสมสังเกตได้จากอุณหภูมิส่วนที่ระเหยจะมีค่าสูงสุดแสดงในรูปที่ 5.28



รูปที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเพิ่มสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C



รูปที่ 5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเพิ่มสารทำงานและอุณหภูมิที่ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C

ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อน ณ อุณหภูมิส่วนทำ
ระเหยต่างๆ พบว่าผลกระทบของอัตราการเติมมีแนวโน้มเหมือนกัน คือที่อัตราการเติม 50% เทอร์
โมไซฟอนจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด สำหรับเทอร์โมไซฟอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
ภายใน 12 มิลลิเมตร ความยาวส่วนที่ทำระเหย 360 มิลลิเมตร ความยาวที่ส่วนไม่มีการถ่ายเทความ
ร้อน 200 มิลลิเมตร และความยาวที่ส่วนควบแน่น 305 มิลลิเมตร และใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงาน ที่
อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C ที่อัตราการเติม 30% และ 70% จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าที่
อัตราการเติม 50% โดยจะมีค่า 88.98 W และ 100.3 W ตามลำดับ ในขณะที่อัตราการเติม 50% จะมี
ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงถึง 126.78 W



บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้เป็นการสร้างชุดการทดลองที่สามารถศึกษารูปแบบการไหลภายใน และค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวดิ่ง โดยศึกษาตามตัวแปรของอุณหภูมิในส่วนทำระเหย และ อัตราการเติมของสารทำงาน

6.1.1 เมื่ออุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนสูงขึ้นเรื่อยๆ ความเร็วของไอเนื่องจากการเดือดภายในท่อเทอร์โมไซฟอนก็จะมากขึ้นเรื่อยๆ จนสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของสารทำงาน ในลักษณะต่างๆ ได้แก่ แบบ Slug flow ฟองไอลงจากการระเหยเริ่มจับตัวกันเป็นลักษณะของหัวกระสุนปืน แบบ Churn flow เนื่องจากความเร็วในการไหลเพิ่มมากขึ้นอีกทำให้ไอส่วนที่เป็นลักษณะกระสุนเกิดการแตกออก นำมาซึ่งความไม่เสถียรภายในท่ออาจจะทำให้เกิดการสั่นได้แต่ในกรณีที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กการสั่นนี้อาจไม่เกิดขึ้น แบบ Annular flow การไหลในช่วงนี้มีความเร็วจนกระทั่งของเหลวจะไหลขึ้นไปตามผิวท่อเป็นแผ่นฟิล์มส่วนที่เป็นไอจะไหลอยู่ตรงกลางของท่อ และจะมี mass flux สูงมาก มีผลทำให้ค่าความต้านทานความร้อนภายในเทอร์โมไซฟอน (Z , ถึง Z_1 ในรูปที่ 2.2 และสมการที่ 2.7 ถึง 2.12) มีค่าน้อยลง ความเร็วไอของสารทำงานเนื่องจากการเดือดยังส่งผลต่อ Reynolds number อีกด้วย ทำให้เทอร์โมไซฟอนนั้นส่งผ่านความร้อนได้ดีขึ้นด้วย

6.1.2 ผลของอุณหภูมิต่างๆ ที่มีต่อรูปแบบการไหล การทำงานในส่วนควบแน่น และการถ่ายเทความร้อนภายในเทอร์โมไซฟอน

- ที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีการเดือดที่แตกต่างกัน คือ จะมีการเดือดที่รุนแรงมากขึ้น โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นรูปแบบการไหลภายในจะแตกต่างกันและความถี่ในการเกิดรูปแบบการไหลนั้นจะเปลี่ยนไปด้วย คือ จากการไหลแบบ Slug flow จะเปลี่ยนไปเป็น Churn flow, และ Annular flow

- ที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ส่วนควบแน่นก็จะมีการทำงานแตกต่างกันด้วย นั่นคือในขณะที่อุณหภูมิของตัวในส่วนทำระเหยยังไม่สูงมากนัก ในส่วนควบแน่นจะยังไม่ทำงานแต่เมื่ออุณหภูมิของตัวในส่วนทำระเหยสูงขึ้นจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดน้ำจากการควบแน่นเพราะความดันไอสูงพอที่จะพาไอลงจากการระเหยของสารทำงานลอยขึ้นมาควบแน่นที่ส่วนควบแน่นได้แล้ว โดยปริมาณของกลุ่มหยดน้ำนี้จะมากขึ้นหากอุณหภูมิในส่วนทำระเหยสูงขึ้น

- ที่อุณหภูมิต่างๆ จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน คือ เมื่ออุณหภูมิของส่วนทำระเหยสูงขึ้นจะมีแนวโน้มว่าการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงขึ้นด้วย โดยมีแนวโน้มเหมือนกันทุกๆ

อัตราการเค็มสารทำงาน สำหรับเทอร์โมไซฟอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12 มิลลิเมตร ความยาวที่ส่วนทำระเหย 360 มิลลิเมตร ความยาวที่ส่วนไม่มีการถ่ายเทความร้อน 200 มิลลิเมตร และความยาวที่ส่วนควบแน่น 305 มิลลิเมตร และใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงาน ที่อัตราการเค็มสารทำงาน 50% เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจาก 50°C ไปเป็น 80°C ค่าการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นจาก 29.2 W ไปเป็น 126.78 W

6.1.3 ผลของอัตราการเค็มสารทำงานที่ส่งผลต่อการทำงานของท่อเทอร์โมไซฟอน และการถ่ายเทความร้อนภายในท่อเทอร์โมไซฟอน

- ที่อัตราการเค็มสารทำงานที่ 30% และ 70% ของส่วนทำระเหย ท่อเทอร์โมไซฟอนจะเริ่มทำงานที่อุณหภูมิในตู้ของส่วนทำระเหยมีค่า 70 °C แต่ที่อัตราการเค็มสารทำงานที่ 50% ของส่วนทำระเหย ท่อเทอร์โมไซฟอนจะทำงานเริ่มทำงานได้ดีกว่าที่อัตราการเค็มสารทำงานที่ 30% และ 70% ของส่วนทำระเหย โดยเริ่มทำงานที่อุณหภูมิในตู้ของส่วนทำระเหยมีค่า 60 °C

- กรณีผลกระทบของอัตราการเค็มสารทำงาน พบว่าเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเค็มสารทำงาน 30% และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย จะมีรูปแบบการไหลหลักเป็น Slug flow Churn flow และ Annular flow ผสมกัน ในขณะที่อัตราการเค็มสารทำงาน 50% นั้น รูปแบบการไหลส่วนใหญ่จะเป็น Annular flow

- ที่อัตราการเค็มสารทำงานที่ 70% ของส่วนทำระเหย จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าที่อัตราการเค็มสารทำงาน ที่ 30% ของส่วนทำระเหย เช่น ที่อุณหภูมิของส่วนทำระเหยเท่ากับ 80°C จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 88.98 W ส่วนที่อัตราการเค็มสารทำงานที่ 70% ของส่วนทำระเหย นั่นคือ เท่ากับ 100.3 kW แต่ที่อัตราการเค็มสารทำงาน ที่ 50% ของส่วนทำระเหย จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด เช่น ที่อุณหภูมิของส่วนทำระเหยเท่ากับ 80 °C จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 126.78 kW

6.2 ข้อเสนอแนะ

- หากต้องการศึกษาให้หลากหลายรูปแบบอาจเปลี่ยนสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน และสารทำงานภายในระบบ

- หากต้องการศึกษาให้หลากหลายรูปแบบควรเพิ่มมุมเอียงของท่อเทอร์โมไซฟอนเพื่อศึกษาผลกระทบของความเอียงนี้

- หากต้องการให้เห็นรูปแบบการไหลที่ชัดเจนและซับซ้อนกว่านี้ควรเพิ่มอุณหภูมิของส่วนทำระเหยให้มีค่าสูงขึ้นอีก

- เทอร์โมไซโฟนจะทำงานได้ดีหากภายในเทอร์โมไซโฟนมีสถานะเป็นสุญญากาศ ดังนั้นควรมีการดูดอากาศภายในเทอร์โมไซโฟนที่ดี



บรรณานุกรม

- [1] Heat pipe – Performance of two-phase closed thermosyphon, ESDU, 1981.
- [2] <http://www.teenet.chiangmai.ac.th>
- [3] Faghri A., Heat Pipe science and technology, the United States of America; Taylor & Francis, 1995.
- [4] <http://www.sciencedirect.com>
- [5] Hewitt G.F., Shires G.L. and Bott T.R., Process heat transfer, CRC Press, Inc., 1994.
- [6] Terdtoon P., Chailungkar M. and Rittidej S., EFFECTS OF BOND NUMBERS ON INTERNAL FLOW PATTERNS OF AN INCLINED, CLOSED, TWO-PHASE THERMOSYPHON AT NORMAL OPERATING CONDITIONS, Experimental Heat Transfer, pp.233-251, 1997.
- [7] Terdtoon P., Chailungkar M. and Shiraishi M., EFFECTS OF ASPECT RATIOS ON INTERNAL FLOW PATTERNS OF AN INCLINED, CLOSED, TWO-PHASE THERMOSYPHON AT NORMAL OPERATING CONDITIONS, Heat transfer engineering, pp.75-85, 1998.

ภาคผนวก ก

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนจากผลการทดลอง

จากการทดลองมีการวัดอัตราการไหล, อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า และ อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก โดยนำมาคำนวณตามสมการด้านล่าง

$$Q = \dot{m}C_p\Delta T \quad \dots(1)$$

$$\text{ค่าความหนาแน่นของน้ำ} = 997 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{ค่า } C_p \text{ ของน้ำ} = 4.18 \text{ kJ/kg-K}$$

คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 30% ของส่วนทำระเหย ที่ส่วนทำระเหยเป็นแก้ว

- ที่อุณหภูมิ 50 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.9725 \frac{L}{\text{Min}} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1}{10^6} \frac{\text{m}^3}{\text{cm}^3} \times 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \\ & 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg-K}} \times (27.4 - 27.075) \text{ K} \\ &= 0.02197 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 60 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.9725 \frac{L}{\text{Min}} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1}{10^6} \frac{\text{m}^3}{\text{cm}^3} \times 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \\ & 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg-K}} \times (27.225 - 26.938) \text{ K} \\ &= 0.0194 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 70 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.97 \frac{L}{\text{Min}} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1}{10^6} \frac{\text{m}^3}{\text{cm}^3} \times 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \\ & 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg-K}} \times (27.49 - 26.625) \text{ K} \\ &= 0.05831 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 80 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.975 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ &4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (28.163 - 26.85) \text{ K} \\ &= 0.08898 \text{ kW} \end{aligned}$$

คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 30% ของส่วนทำระเหย ที่ส่วนควบแน่นเป็นแก้ว

- ที่อุณหภูมิ 50 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.96 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ &4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (29.675 - 29.538) \text{ K} \\ &= 0.00914 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 60 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.9725 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ &4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (28.425 - 28.225) \text{ K} \\ &= 0.0135 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 70 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.9975 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ &4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (28.013 - 27.375) \text{ K} \\ &= 0.04423 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 80 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.9825 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1}{10^6} \frac{m^3}{cm^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ & 4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (28.538 - 27.363) \text{ K} \\ &= 0.0802 \text{ kW} \end{aligned}$$

คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเดิน 50% ของส่วนทำระเหยที่ ส่วนทำระเหยเป็นแก้ว

- ที่อุณหภูมิ 50 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.99 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1}{10^6} \frac{m^3}{cm^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ & 4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (30.788 - 30.363) \text{ K} \\ &= 0.0292 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 60 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.99 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1}{10^6} \frac{m^3}{cm^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ & 4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (31.1125 - 30.2) \text{ K} \\ &= 0.06278 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 70 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 1.005 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1}{10^6} \frac{m^3}{cm^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ & 4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (31.738 - 29.988) \text{ K} \\ &= 0.1222 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 80 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.9925 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ &4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (31.613 - 29.775) \text{ K} \\ &= 0.12678 \text{ kW} \end{aligned}$$

คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 50% ของส่วนทำระเหย ที่ส่วนควบแน่นเป็นแก้ว

- ที่อุณหภูมิ 50 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.9775 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ &4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (29.413 - 29.313) \text{ K} \\ &= 0.00679 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 60 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.96 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ &4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (29.425 - 26.263) \text{ K} \\ &= 0.0108 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 70 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.995 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ &4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (29.725 - 29.25) \text{ K} \\ &= 0.0329 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 80 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.99 \frac{L}{\text{Min}} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \\ &4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times (29.875 - 29.213) \text{ K} \\ &= 0.0455 \text{ kW} \end{aligned}$$

คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเดิม 70% ของส่วนทำระเหยที่ส่วนทำระเหยเป็นแก้ว

- ที่อุณหภูมิ 50 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.9775 \frac{L}{\text{Min}} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \\ &4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times (29.538 - 28.825) \text{ K} \\ &= 0.04844 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 60 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.985 \frac{L}{\text{Min}} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \\ &4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times (29.3 - 28.988) \text{ K} \\ &= 0.02136 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 70 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 1.015 \frac{L}{\text{Min}} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \\ &4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times (29.413 - 28.525) \text{ K} \\ &= 0.06264 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 80 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.97 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1}{10^6} \frac{m^3}{cm^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ &4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (29.688 - 28.2) \text{ K} \\ &= 0.1003 \text{ kW} \end{aligned}$$

คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 70% ของส่วนทำระเหยที่
ส่วนควบแน่นเป็นแก้ว

- ที่อุณหภูมิ 50 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 1 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1}{10^6} \frac{m^3}{cm^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ &4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (27.255 - 27.175) \text{ K} \\ &= 0.00556 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 60 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.9925 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1}{10^6} \frac{m^3}{cm^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ &4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (27.245 - 27.163) \text{ K} \\ &= 0.00469 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 70 °C

$$\begin{aligned} \therefore Q &= 0.98 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1}{10^6} \frac{m^3}{cm^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ &4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (27.785 - 27.313) \text{ K} \\ &= 0.03215 \text{ kW} \end{aligned}$$

- ที่อุณหภูมิ 80 °C

$$\begin{aligned}\therefore Q &= 0.995 \frac{L}{Min} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ Min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times 997 \frac{kg}{m^3} \times \\ &4.18 \frac{kJ}{kg-K} \times (28.288 - 27.2) \text{ K} \\ &= 0.07524 \text{ kW}\end{aligned}$$



ภาคผนวก ข
ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ข1 แสดงค่าอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของท่อเทอร์โมไซฟอนและอัตราการไหลของน้ำเย็นเข้าที่ส่วนควมแน่นอัตราการเดิม 30% ที่ส่วนทำระเหยเป็นแก้ว

อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน (°C)	ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)
50	31.15	21.97
60	41.575	19.4
70	53.95	58.31
80	56.05	88.98

ตารางที่ ข2 แสดงค่าอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของท่อเทอร์โมไซฟอนและอัตราการไหลของน้ำเย็นเข้าที่ส่วนควมแน่นอัตราการเดิม 30% ที่ส่วนควมแน่นเป็นแก้ว

อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน (°C)	ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)
50	41.2	9.14
60	55.6	13.5
70	59.35	44.23
80	66.6	80.2

ตารางที่ ข3 แสดงค่าอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของท่อเทอร์โมไซฟอนและอัตราการไหลของน้ำเย็นเข้าที่ ส่วนควบแน่นอัตราการเดิม 50% ที่ส่วนทำระเหยเป็นแก้ว

อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อน (°C)	ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)
50	39.625	29.2
60	42.75	62.78
70	51.1	122.2
80	52.975	126.78

ตารางที่ ข4 แสดงค่าอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของท่อเทอร์โมไซฟอนและอัตราการไหลของน้ำเย็นเข้าที่ ส่วนควบแน่นอัตราการเดิม 50% ที่ส่วนควบแน่นเป็นแก้ว

อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อน (°C)	ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)
50	41.375	6.79
60	53.45	10.8
70	62.55	32.9
80	68	45.5

ตารางที่ ข5 แสดงค่าอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของท่อเทอร์โมไซฟอนและอัตราการไหลของน้ำเย็นเข้าที่ ส่วนควบแน่นอัตราการเดิม 70% ที่ส่วนทำระเหยเป็นแก้ว

อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อน (°C)	ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)
50	32.65	48.44
60	41.475	21.36
70	51.675	62.64
80	50.85	100.3

ตารางที่ ข6 แสดงค่าอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ ของท่อเทอร์โมไซฟอนและอัตราการไหลของน้ำเย็นเข้าที่ ส่วนควบแน่นอัตราการเดิม 70% ที่ส่วนควบแน่นเป็นแก้ว

อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อน (°C)	ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)
50	40.45	5.56
60	55.35	4.69
70	61.875	32.15
80	65.75	75.24

ตารางที่ ข7 แสดงค่าอัตราการเติมสารและค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C ของส่วนทำ
ระเหยเป็นแก้ว

อัตราการเติม	อุณหภูมิส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน(°C)	ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)
30%	41.2	21.97
50%	41.375	29.2
70%	40.45	48.44

ตารางที่ ข8 แสดงค่าอัตราการเติมสารและค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C ของส่วนทำ
ระเหยเป็นแก้ว

อัตราการเติม	อุณหภูมิส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน(°C)	ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)
30%	41.575	19.4
50%	42.75	62.78
70%	41.475	21.36

ตารางที่ ข9 แสดงค่าอัตราการเพิ่มสารและค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C ของส่วนทำ
ระเหยเป็นแก้ว

อัตราการเพิ่ม	อุณหภูมิส่วนที่ไม่มีถ่ายเทความร้อน(°C)	ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)
30%	59.35	58.31
50%	62.55	122.2
70%	61.875	62.64

ตารางที่ ข10 แสดงค่าอัตราการเพิ่มสารและค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ของส่วนทำ
ระเหยเป็นแก้ว

อัตราการเพิ่ม	อุณหภูมิส่วนที่ไม่มีถ่ายเทความร้อน(°C)	ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)
30%	66.6	88.98
50%	68	126.78
70%	65.75	100.3

ประวัติผู้ทำโครงการ

นายจิตติเวช ไชยกันยา

1. ประวัติส่วนตัว
เกิดวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2528
2. ประวัติการศึกษา
สำเร็จระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนวชิรวิทย์ อ.หนองเสือ
อ.วาปีปทุม จ.มหาสารคาม

นายอนรรฆ ศรีนภาสวัสดิ์

1. ประวัติส่วนตัว
เกิดวันที่ 2 กรกฎาคม 2527
2. ประวัติการศึกษา
สำเร็จระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนชลราษฎรอำรุง ต.หัวกะปิ
อ.เมือง จ.ชลบุรี