



ความดันลดลงสองเฟสในการไหลระดับไมโครที่เดือดในท่อคดเคี้ยวแนวนอน

TWO-PHASE PRESSURE DROP OF MICRO-SCALE FLOW BOILING IN  
HORIZONTAL SERPENTINE TUBE

ณรงค์ปกรณ์ สงเทพ

NARONGPAKORN SONGTHEP

วรเมธ ไชยการ

WORAMATE CHAIYAKARN

อมรเทพ คงยิ่ง

AMONTEP KONGYING

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันลดลงสองเฟสในการไหลระดับไมโครที่เดือดในท่อคดเคี้ยว  
ในแนวนอน

TWO-PHASE PRESSURE DROP OF MICRO-SCALE FLOW BOILING IN  
HORIZONTAL SERPENTINE TUBE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TWO-PHASE PRESSURE DROP OF MICRO-SCALE FLOW BOILING IN  
HORIZONTAL SERPENTINE TUBE



A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL  
DEPARTMENT OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG PRINCE OF  
CHUMPHON CAMPUS

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้






ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ความดันลดลงสองเฟสในการไหลระดับไมโครที่เดือดในท่อคด  
เคี้ยวแนวนอน

PROJECT TITLE TWO-PHASE PRESSURE DROP OF MICRO-SCALE FLOW  
BOILING IN HORIZONTAL SERPENTINE TUBE

ชื่อนักศึกษา นายณรงค์ปรกรณ์ สงเทพ รหัสนักศึกษา 62201223  
นายวรมธ ไชยการ รหัสนักศึกษา 62201236  
นายอมรเทพ คงยิ่ง รหัสนักศึกษา 62201239

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ศิระ สายศร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์			ลายมือชื่อ
ผศ.ววรรษชล	วัฒน์นะ	กรรมการสอบ	
ดร.อดิเรก	สุริยะวงศ์	กรรมการสอบ	
ดร.ศักรินทร์	ชินกุลพิทักษ์	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.วชร	กาลาสี	กรรมการสอบ	
รศ.ดร.ศิระ	สายศร	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 9 มิถุนายน 2565 เวลา 13.00-21.00 น.

สถานที่ ห้องประชุมวิทยาศาสตร์ อาคารปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ชั้น 1

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์รับรองแล้ว



( ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล )

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ กรกฎาคม พ.ศ. 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ความดันลดลงสองเฟสในการไหลระดับไมโครที่เดือด ในท่อคดเคี้ยวแนวนอน	
ชื่อนักศึกษา	นายณรงค์ปกรณ์ สงเทพ	รหัสประจำตัว 62201223
	นายวรเมธ ไชยการ	รหัสประจำตัว 62201236
	นายอมรเทพ คงยิ่ง	รหัสประจำตัว 62201239
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ศิระ สายศร	

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษารูปแบบการไหลในลักษณะต่างๆและค่าความดันลดในลักษณะการไหลแบบสองเฟส ของสารทำความเย็น R-134a ขณะเกิดการเดือดภายในท่อไมโครแซนแนล แบบเซอร์เพนไทน์วางตัวในแนวระดับมีทิศทางการไหลเป็นแนวระดับ โดยท่อเซอร์เพนไทน์มี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1 มิลลิเมตรขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 1.66 มิลลิเมตร เพื่อสังเกต รูปแบบการไหลต่างๆที่แตกต่างกัน 6 รูปแบบคือ Bubble flow, Plug flow, Slug flow, Throat-annular flow, Churn flow และ Annular flow ด้วยความดันที่ 6, 7 และ 8 bar ในส่วนความดันลดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มพลักซ์ความร้อนหรือพลักซ์มวลสูงขึ้น

**คำสำคัญ :** ความดันลดขณะเกิดการเดือด , ท่อเซอร์เพนไทน์ , การไหลขนาดไมโคร

<b>Thesis Title</b>	TWO-PHASE PRESSURE DROP OF MICRO-SCALE FLOW BOILING IN HORIZONTAL SERPENTINE TUBE	
<b>Student</b>	Mr.Narongpakorn Songthep	<b>Student ID</b> 62201223
	Mr.Woramate Chaiyakarn	<b>Student ID</b> 62201236
	Mr.Amontep Kongying	<b>Student ID</b> 62201239
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering	
<b>Field of Study</b>	Mechanical Engineering	
<b>Advisor</b>	Assoc.Prof. Dr.Sira Saisorn	

## ABSTRACT

This research is to study different types of flow patterns and pressure drop characteristics of refrigerant R-134a during boiling in a micro-scale serpentine tube Inside diameter of 1 mm, Outside diameter of 1.66 mm. In the horizontal flow patterns included Bubbly flow , Gas plug flow , Slug flow , Throat-annular flow , Churn flow , Annular flow at pressure of 6, 7 and 8 bar. The pressure drop tended to increase with increasing heat flux or mass flux.

**Keywords** : Pressure drop , Serpentine tube , micro-scale flow

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีเพราะได้รับการสนับสนุนจากบุคคลหลายฝ่ายซึ่งทางคณะผู้จัดทำปริญญาบัตรฉบับนี้ต้องขอขอบพระคุณ รศ.ดร ศิระ สายศร อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตรฉบับนี้นอกจากนี้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้มอบวิชาความรู้ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในปริญญาบัตรฉบับนี้ได้เป็น อย่างดี และที่ขาดไม่ได้เลยคือขอขอบพระคุณบุคคลที่มีสำคัญมากที่สุดคือ บิดา มารดาอันเป็นที่รักและเคารพอย่างยิ่ง ที่ให้โอกาสทางการศึกษาและสนับสนุนอย่างเต็มที่และคอยให้กำลังใจในการทำงานเสมอหาที่ใดเปรียบมิได้ จึงขอระลึกถึงพระคุณ บิดา มารดา และขอกราบขอบพระคุณ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญาบัตรฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ ที่จะทำการศึกษาเกี่ยวกับ ความดันลดลงของการไหลแบบสองสถานะของสารทำความเย็น R-134a ขณะเกิดการเดือดในท่อคดเคี้ยวแนวนอนและแนวตั้ง

นายณรงค์ปกรณ์ สงเทพ

นายวรเมธ ไชยการ

นายอมรเทพ คงยิ่ง

กรกฎาคม 2565

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 สมมติฐานของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในปริญญานิพนธ์	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.8 ระยะเวลาการทำงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนกประเภทของท่อ	6
2.2 ทฤษฎีในการออกแบบอุปกรณ์การทดลอง	6
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
2.4 ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการทดลอง	12
2.5 รูปแบบการไหลแบบสองสถานะที่พบในท่อขนาดไมโคร ของสารทำความเย็น R-134a	14
2.6 รูปแบบลักษณะ Flow pattern ทั้ง 6 แบบ	15
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 อุปกรณ์และหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์	17
3.2 ตำแหน่งของอุปกรณ์	25
3.3 วงจรการทำงานของอุปกรณ์การทดลอง	26

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.4 ขั้นตอนการทดลอง	27
3.5 ข้อควรระวังในการทดลอง	28
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 ผลการทดลองความดันลด Pressure drop แสดงรูปแบบการไหล	29
4.2 ผลการทดลองความดันลด Pressure drop แบบการไหลแบบสองสถานะ	29
4.3 ผลการทดลองความดันลด Pressure drop ที่ค่าฟลักซ์มวลคงที่	31
4.4 รูปแบบลักษณะ Flow pattern ทั้ง 6 แบบ	35
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	37
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไขปัญหา	37
5.3 ข้อเสนอแนะ	38
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ	43
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการเติมสารเข้าสู่ในระบบ	48
ภาคผนวก ค การเปิดระบบก่อนทำการทดลอง	50
ภาคผนวก ง การ Set zero mass flow meter	53
ภาคผนวก จ การตรวจสอบและแนวทางการแก้ไขบริเวณที่เกิดการรั่วในระบบ	56
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลการทดลอง	57
ภาคผนวก ช รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้น	72
ประวัติผู้เขียน	85

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ค.1	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.6 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 381 kg/m <sup>2</sup> s	58
ค.2	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.6 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 636 kg/ m <sup>2</sup> s	59
ค.3	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.6 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 891 kg/m <sup>2</sup> s	59
ค.4	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.7 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 381 kg/m <sup>2</sup> s	60
ค.5	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.7 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 636 kg/m <sup>2</sup> s	61
ค.6	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.7 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 891 kg/m <sup>2</sup> s	62
ค.7	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.8 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 636 kg/m <sup>2</sup> s	63
ค.8	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.8 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 891 kg/m <sup>2</sup> s	64
จ.1	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.6 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 381 kg/ m <sup>2</sup> s (ต่อ)	65
จ.2	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.6 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 636 kg/ m <sup>2</sup> s (ต่อ)	65
จ.3	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.6 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 891 kg/ m <sup>2</sup> s (ต่อ)	66
จ.4	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.7 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 381 kg/ m <sup>2</sup> s (ต่อ)	67
จ.5	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.7 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 636 kg/ m <sup>2</sup> s (ต่อ)	67
จ.6	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.7 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 891 kg/ m <sup>2</sup> s (ต่อ)	68
จ.7	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.8 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 636 kg/ m <sup>2</sup> s (ต่อ)	69
จ.8	ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.8 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 891 kg/ m <sup>2</sup> s (ต่อ)	70

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แผนภาพการไหลภายในท่อ Y.A. Cengel [3]	7
2.2	วงจรความร้อน Y.A Cengel [3]	8
2.6.1	การไหลแบบ Bubbly flow	15
2.6.2	การไหลแบบ Gas plug flow	15
2.6.3	การไหลแบบ Slug flow	15
2.6.4	การไหลแบบ Throat-annular flow	15
2.6.5	การไหลแบบ Churn flow	15
2.6.6	ไหลแบบ Annular flow	15
3.1.1	Condensing unit	17
3.1.2	Receiver tank	17
3.1.3	DC Power supply	17
3.1.4	Electrical control box	18
3.1.5	ตัวกรองแบบละเอียด	18
3.1.6	ตัวกรองแบบหยาบ (Filter drier)	18
3.1.7	Heater	19
3.1.8	Differential pressure transmitter	19
3.1.9	Pressure gauge	19
3.1.10	Digital clamp meter	20
3.1.11	ถังสแตนเลส	20
3.1.12	ฉนวน Aero flex	21
3.1.13	Micro gear pump	21
3.1.14	Inverter	21
3.1.15	Mass flow meter	22
3.1.16	Data logger รุ่น GL220 และรุ่น GL800	22
3.1.17	Thermometer	23
3.1.18	Sight glass	23
3.1.19	ทดลอง (Test section)	23
3.1.20	เครื่องทำสุญญากาศภายในระบบ	24
3.1.21	Manifold gauge	24
3.2.1	แสดงโครงสร้างของอุปกรณ์	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.3	แผนภาพแสดงการทำงานของระบบ	26
4.1	รูปแบบการไหลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและฟลักซ์ความร้อนให้แมสฟลักซ์คงที่ $381 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ ที่ความดัน 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa	29
4.2	รูปแบบการไหลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและฟลักซ์ความร้อนให้แมสฟลักซ์คงที่ $636 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ ที่ความดัน 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa	30
4.3	รูปแบบการไหลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและฟลักซ์ความร้อนให้แมสฟลักซ์คงที่ $891 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ ที่ความดัน 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa	30
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและฟลักซ์ความร้อนที่ความดันคงที่ 0.6 MPa มีค่าแมสฟลักซ์ 381 , 636 และ $891 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$	31
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและฟลักซ์ความร้อนที่ความดันคงที่ 0.7 MPa มีค่าแมสฟลักซ์ 381 , 636 และ $891 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$	31
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและฟลักซ์ความร้อนที่ความดันคงที่ 0.8 MPa มีค่าแมสฟลักซ์ 636 และ $891 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$	32
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและ mass flow rate $0.0003 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ ที่ความดัน 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa	32
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและ mass flow rate $0.0005 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ ที่ความดัน 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa	33
4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและ mass flow rate $0.0007 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ ที่ความดัน 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa	33
4.10	การไหลแบบ Bubbly flow	35
4.11	การไหลแบบ Gas Plug flow	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	การไหลแบบ Slug flow	35
4.13	การไหลแบบ Throat-annular flow	36
4.14	การไหลแบบ Churn flow	36
4.15	การไหลแบบ Annular flow	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมายสัญลักษณ์
$Re$	Reynolds number
$G$	Mass flux $\text{kg/m}^2 \text{ s}$
$\rho$	Density $\text{kg/m}^3$
$\mu$	Dynamic viscosity
$\dot{v}$	Volume flow rate $\text{m}^3 / \text{s}$
$A$	Cross section area of tube $\text{m}^2$
$\dot{q}$	พลังงานความร้อน (W)
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
$h$	เอนทาลปี (kJ/kg)
$q''$	Heat flux ( $\text{W/m}^2$ )
$q''_{T,s}$	ฟลักซ์ความร้อนของช่วงชุดทดลอง ( $\text{W/m}^2$ )
$C_P$	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg °C)
$\Delta T$	อุณหภูมิ (°C)
$T_f$	อุณหภูมิของสารทำความเย็น (°C)
$T_s$	อุณหภูมิพื้นที่ผิวของท่อในแต่ละตำแหน่งที่
$T_\infty$	อุณหภูมิห้อง (°C)
$L_h$	Hydrodynamic entry length (m)
$L_t$	Thermal entry length (m)
$N_u$	Nusselt number
$Pr$	Prandtl number
$D_h$	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (m)
$D_i$	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อภายใน (m)
$D_o$	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนอก (m)
$L$	ความยาวของท่อ (m)
$r$	รัศมีของท่อ (m)
$\Delta P_{exp,S}$	อัตราการลดลงของแรงดัน (MPa)
$\Delta P_f$	แรงเสียดทานความดันที่ลดลง (MPa)

## สัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมายสัญลักษณ์
$r_{cr,max}$	รัศมีของฉนวนกันความร้อน (m)
$r$	รัศมีของท่อ (m)
$q_{loss}$	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )
$q_{in}$	ตำแหน่งที่ติดตั้ง Thermocouple ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )
$q_{mea}$	พลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับระบบ (W)
$I$	กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้ (A)
$V$	แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ (V)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในโลกปัจจุบันนี้เทคโนโลยีมีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตเป็นอย่างมาก เพราะเทคโนโลยีเป็นเครื่องมืออำนวยความสะดวกในการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์เรา จึงได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ ภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้ใช้งานได้อย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ดังนั้นเทคโนโลยีในสมัยนี้จึงมีขนาดเล็กลงสอดคล้องกันกับทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด แต่ปัญหาที่จะตามมาคือเมื่ออุปกรณ์เทคโนโลยีสมัยนี้มีขนาดเล็กลงก็จะเกิดปัญหาความร้อนขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาการถ่ายเทความร้อนสำหรับท่อขดของการไหลแบบ two phase flow เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีในสมัยนี้และทำให้เทคโนโลยีในสมัยนี้ใช้ได้แบบที่มีคุณภาพดีที่สุด

Yoo et al. [1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนการกระจายของแก๊สและของเหลวในการไหลแบบ Two Phase และศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของการไหลแบบ Two Phase ในช่องทางคู่ขนานแนวนอนที่เชื่อมต่อกับแนวตั้งส่วนหัวขึ้น พวกเขาพบว่าการกระจายแบบของแก๊สและของเหลวในการไหลแบบ Two Phase นั้นผ่านช่องทางไปและเกิดการหมุนวนโดยการหมุนวนจะเกิดด้านหลังตรงส่วนแนวตั้งหัวขึ้นอันสุดท้าย จากที่กล่าวไปจะเห็นว่าการการกระจายนั้นจะเกิดที่ส่วนหน้าของส่วนหัวแนวนอนเท่านั้นโดยจะขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าการไหลต้นน้ำและชนิดของของเหลวและในส่วนด้านหลังจะเกิดการหมุนวนของกระแสร่างส่งผลให้ในส่วนของของเหลวที่ทางออกออกเพิ่มขึ้นส่วนทางการไหลนั้นลดลงใน Gas Phase และ Yoo et al. [1] ยังพบอีกว่าการกระจายใน Liquid Phase นั้นมีผลการกระจายที่ตรงกันข้ามกับ Gas Phase แต่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย Yoo et al. [1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการไหลแบบ Two Phase ที่ส่วนหัววางอยู่ในแนวตั้งอีกด้วย จากการสังเกตพบว่าที่ช่องทางสุดท้ายนั้นสามารถรับของเหลวได้มากขึ้นเมื่ออยู่ในแนวตั้งเพราะการกระจายในช่องแรกนั้นคล้ายกับทาง 3 แยก แต่เมื่อสังเกตแล้ว การกระจายใน Liquid Phase นั้นมีผลการกระจายที่ตรงกันข้ามกับ Gas Phase เหมือนกับการไหลที่ส่วนหัวอยู่ในแนวนอน

จากการทบทวนสิ่งตีพิมพ์ข้างต้น จะเห็นได้ว่าลักษณะการไหลแบบ Two Phase ขนาด micro channel ยังมีข้อมูลสนับสนุนน้อย แต่ในขณะเดียวกันการศึกษาค้นคว้าได้รับการศึกษาหลายรูปแบบ เช่น ท่อกลม และ ท่อสี่เหลี่ยมมุมฉาก เป็นต้น ดังนั้นกลุ่มผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาท่อขดเกลียวในแนวนอน เพื่อพัฒนาเป็นทางเลือกที่ส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพมากขึ้นและศึกษาพฤติกรรมของการไหลในท่อขดเกลียวที่เกิดขึ้นในการศึกษาและวิจัยในครั้งนี้ใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm มีสารทำงานเป็นสารทำความเย็นชนิด R-134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาค่าความดันลดลงของสารทำความเย็น R-134a ขณะเกิดการเดือดภายในท่อเซอร์เพนไทน์แบบไมโครแชนเนล
2. เพื่อศึกษารูปแบบการไหลของสารทำความเย็น R-134a ขณะเกิดการเดือดภายในท่อเซอร์เพนไทน์แบบไมโครแชนเนล

## 1.3 สมมติฐานของปริญญานิพนธ์

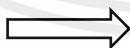
1. ในการทดลองมีรูปแบบการไหลหลายรูปแบบ การถ่ายเทความร้อนและความดันภายในระบบต่างกัน
2. การถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิ ความดันภายในระบบที่แตกต่างกันจะมีการถ่ายเทความร้อน ความดันภายในระบบ และรูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน

## 1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. ทดลองการไหลขณะเกิดการเดือดของสารทำความเย็น R-134a เท่านั้น
2. ใช้ท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวระดับสำหรับช่วงทดสอบ
3. ท่อสแตนเลสเกรด 316 ยาวทั้งหมด 1050 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ U 6 มิลลิเมตร
4. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 1.66 มิลลิเมตร
5. การให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบความร้อนฟลักซ์คงที่ (constant surface heat flux)
6. ความดันทดสอบที่ 6, 7 และ 8 Bar

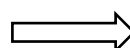
## 1.5 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

ตัวแปรต้น



-Mass flow rate  
-Heat flux

ตัวแปรตาม



-Flow pattern  
-Pressure drop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

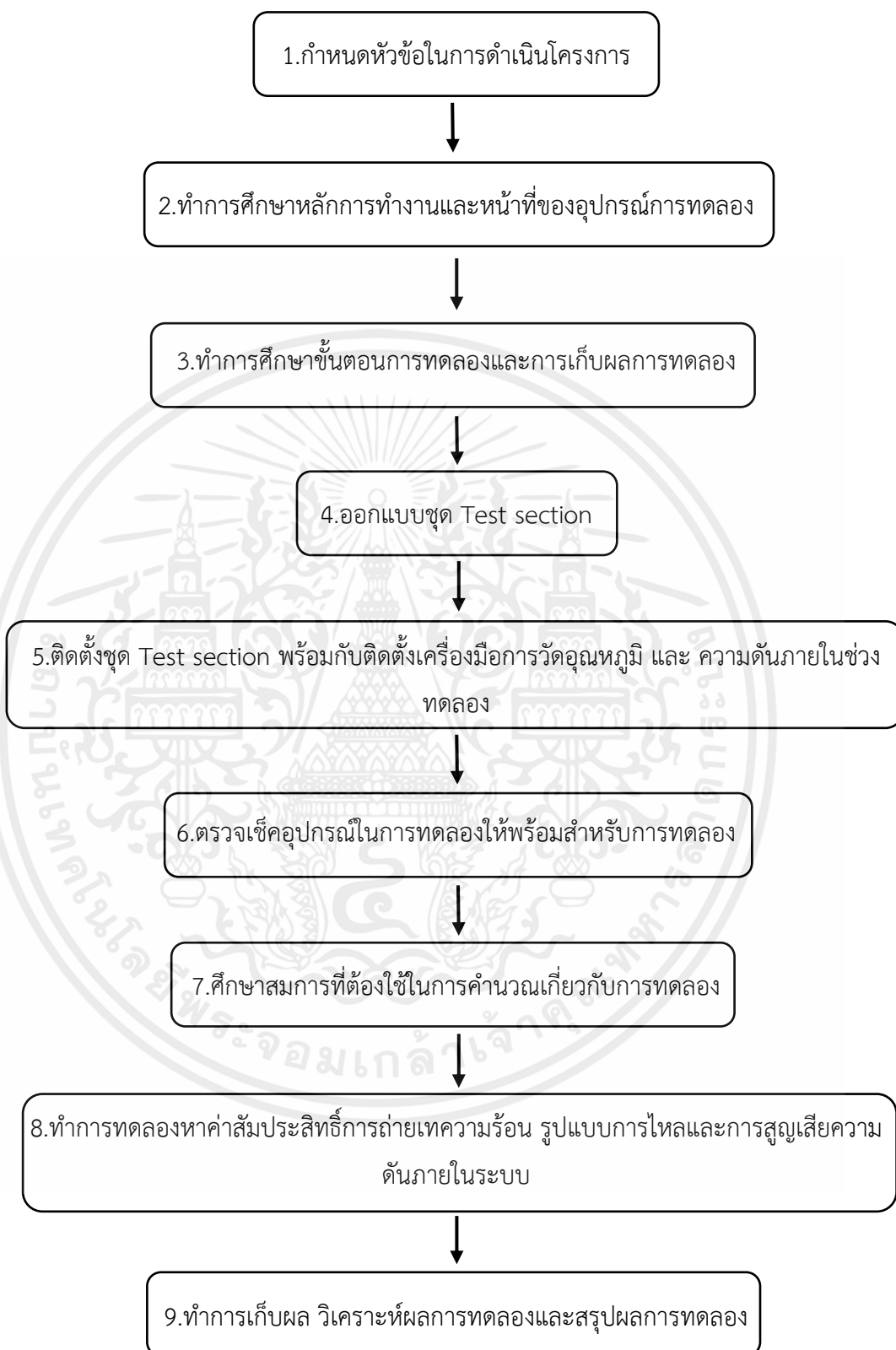
## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลในการทดลองว่ามีรูปแบบการไหลหลายรูปแบบ การถ่ายเทความร้อนและความดันภายในระบบต่างกัน
2. ได้ข้อมูลการถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิ ความดันภายในระบบที่แตกต่างกันจะมีการถ่ายเทความร้อน ความดันภายในระบบ และรูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน
3. ได้รับข้อมูลการทดลองที่สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลเพื่อนำไปศึกษา รูปแบบการไหล การถ่ายเทความร้อนและความดันภายในระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.8 ระยะเวลาการทำงาน

กิจกรรม	ระยะเวลาในการดำเนินการ 2564-2565													
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	
1.กำหนดหัวข้อในการดำเนิน	↔													
2.สำรวจเอกสารและศึกษาข้อมูลพื้นฐานของอุปกรณ์		↔												
3.ศึกษาข้อมูลของอุปกรณ์ในการทดลอง			↔											
4.ศึกษาและค้นคว้าสมการที่เกี่ยวข้อง									↔					
5.เช็คความเรียบร้อยอุปกรณ์เพื่อทำการทดลอง									↔					
6.ทดลองการใช้งานเพื่อหาคนที่สูญเสีย												↔		
7.วิจารณ์และสรุปผล การทดลอง													↔	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนกประเภทของท่อ

การจำแนกประเภทท่อนั้นจะถูกกำหนดโดยนักวิจัยต่างๆ โดยจะมีหลักการและวิธีการที่แตกต่างกันไป ซึ่งนักวิจัยแต่ละคนก็จะมีขนาดท่อแตกต่างกันไปยกตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

Mehendale et al. [2] ได้ใช้วิธีการนำเสนอเกณฑ์ โดยใช้เส้นผ่านศูนย์กลางท่อเป็นตัวแปรสำคัญ และเป็นปัจจัยสำคัญ เพื่อใช้ในการให้คำนิยามขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไว้ดังต่อไปนี้

- Micro-heat exchanger:  $1 \mu\text{m} \leq D_h \leq 100 \mu\text{m}$
- Micro-heat exchanger: 100 c
- Compact heat exchanger:  $1 \text{ mm} \leq D_h \leq 6 \text{ mm}$
- Conventional heat exchanger  $D_h > 6 \text{ mm}$

Kadikar [3] ได้ใช้วิธีการนำเสนอเกณฑ์ โดยมีหลักการจำแนกตามประเภทของท่อที่ใช้ในทางวิศวกรรม ได้ดังต่อไปนี้ โดยที่  $D$  เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไฮดรอลิก (Hydraulic diameter,  $D_h$ )

- Micro-channels:  $10 \mu\text{m} \leq D_h \leq 200 \mu\text{m}$
- Mini-channels:  $200 \mu\text{m} \leq D_h \leq 3 \text{ mm}$
- Conventional channels:  $D_h > 3 \text{ mm}$

อย่างไรก็ตามเกณฑ์การจำแนกประเภทของท่อนั้น ถึงแม้ว่านักวิจัยแต่ละคนจะกำหนดเกณฑ์ของท่อที่มีขนาดต่างกัน แต่ในปัจจุบันก็ยังไม่มียุทธศาสตร์ใดที่จะสามารถจำแนกประเภทของท่อที่ชัดเจน

### 2.2 ทฤษฎีในการออกแบบอุปกรณ์การทดลอง

2.2.1 การคำนวณหาค่าของ Hydrodynamic entry length และ Thermal entry length เพื่อที่จะสามารถทราบความยาวที่เหมาะสมในการวัดอุณหภูมิ โดยจากการคำนวณรูปแบบการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) โดยที่ค่า Hydrodynamic entry length ถูกประมาณได้เป็นดังสมการที่ 2.1

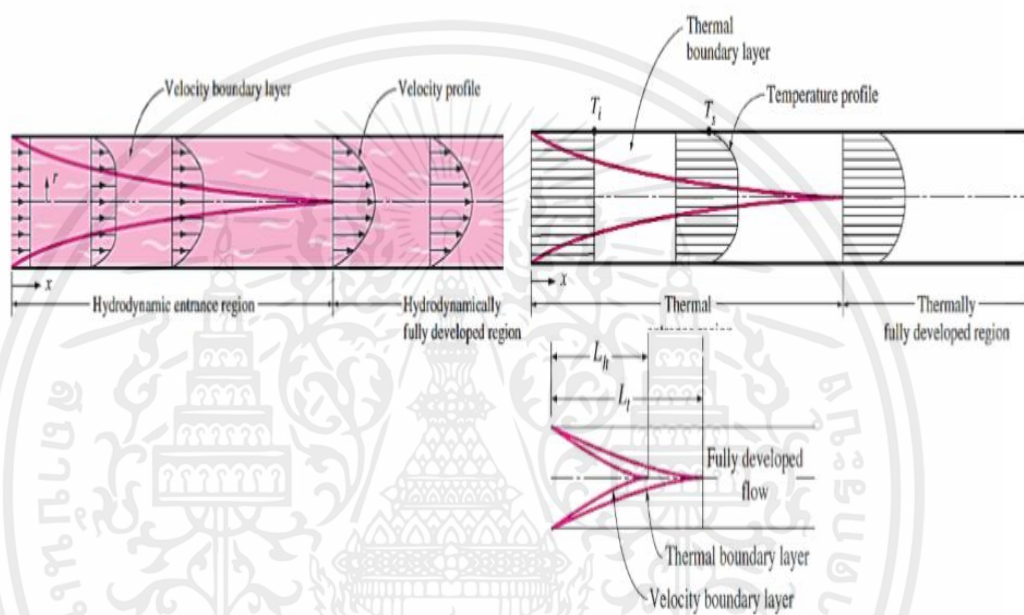
$$L_{h,laminar} \approx 0.05 \text{ Re}D \quad (2.1)$$

และสำหรับ Thermal entry length ถูกประมาณได้เป็น

$$L_{h,laminar} \approx 0.05 \text{ RePr}D = \text{Pr}L_{h,lamina} \quad (2.2)$$

สำหรับการคำนวณหาค่ารูปแบบการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) โดยที่ค่า Hydrodynamic entry length และ Thermal entry length จะสั้นกว่ารูปแบบการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) มาก โดยสามารถประมาณได้ดังสมการที่ 2.3

$$L_{h,turbulent} \approx L_{t,turbulent} \approx 10 D \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.1 แผนภาพการไหลภายในท่อ Y.A. Cengel [3]

2.2.2 การคำนวณหาความร้อนที่ป้อนให้ในช่วง Pre-heater เพื่อให้ค่าอุณหภูมิของสารทำงานที่เหมาะสมก่อนการเปลี่ยนสถานะและสภาวะฟลักซ์ความร้อนคงที่พื้นผิวด้านนอกท่อจากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์หรือกฎการอนุรักษ์พลังงานที่กล่าวว่าพลังงานสามารถเปลี่ยนรูปแบบหรือโอนจากอีกที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งได้แต่ไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือถูกทำลายได้จะได้อสมการ ดังนี้

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{system} \quad (2.4)$$

หลังจากการปรับรูปแบบสมการ จะได้

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_2 - h_1) = GA(h_2 - h_1) \quad (2.5)$$

$$H_{avg} = h_f + xh_{fg} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	$\dot{Q}$	คือ พลังงานความร้อน (W)
	$\dot{m}$	คือ ฟลักซ์ความร้อน (W/m <sup>2</sup> )
	$h$	คือ เอนทาลปี (kg/s)
	$G$	คือ ฟลักซ์มวล (kg/m <sup>2</sup> s)
	$A$	คือ พื้นที่หน้าตัดท่อ (m <sup>2</sup> )

2.2.3 การคำนวณหาค่าความร้อนที่ให้แก่ช่วง Test section เพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่เหมาะสมสำหรับป้อนให้แก่ช่วง Test section ในการเปลี่ยนสถานะของสารทำงานเป็นสอง สถานะ และสภาวะฟลักซ์ความร้อนคงที่พื้นผิวด้านนอกท่อตามสมการอนุรักษ์พลังงาน สำหรับการไหลแบบคงตัวของของไหลภายในท่อสามารถเขียนได้เป็น

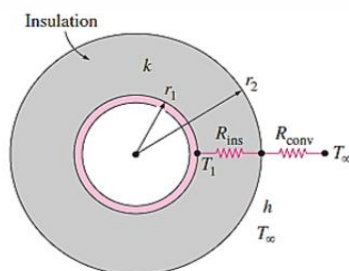
$$\dot{Q} = \dot{q}_s A_s = \dot{m} C_p (T_e - T_i) \quad (2.7)$$

$$\dot{Q} = \dot{m} (h_2 - h_1) = GA (h_2 - h_1) \quad (2.8)$$

เมื่อ	$\dot{Q}$	คือ พลังงานความร้อน (W)
	$\dot{q}_s$	คือ ฟลักซ์ความร้อน (W/m <sup>2</sup> )
	$\dot{m}$	คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
	$C_p$	คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg °C)
	$T$	คือ อุณหภูมิ (°C)
	$A$	คือ พื้นที่ผิว (m <sup>2</sup> )

2.2.4 การคำนวณความหนาของฉนวนเพื่อหาขนาดความหนาของฉนวนที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ กับท่อขนาดเล็ก กระบวนการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็นและอากาศเกิดจากการนำความร้อนในฉนวนและการพาความร้อนในอากาศดัง

2.2.4 การคำนวณความหนาของฉนวนเพื่อหาขนาดความหนาของฉนวนที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ กับท่อขนาดเล็ก กระบวนการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็นและอากาศเกิดจากการนำความร้อนในฉนวนและการพาความร้อนในอากาศดังแสดงในรูปที่ (2.2)



รูปที่ 2.2 วงจรความร้อน Y.A Cengel [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบความหนาของฉนวนที่เหมาะสมได้ตั้งสมการที่ ( 2.4) และ ( 2.5)

$$\dot{Q} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{ins} - R_{conv}} = \frac{T_s - T_\infty}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk} + \frac{1}{h(2\pi r_2 L)}} \quad (2.9)$$

$$\frac{d\dot{Q}}{dr_2} = 0 \text{ (zero slope)} \Rightarrow r_{cr,cylinder} = \frac{k}{n} \quad (2.10)$$

หาอุณหภูมิที่ผิวฉนวน

$$Q = \frac{T_s - T_{ins}}{R_{ins}} \quad (2.11)$$

Critical radius of insulation

$$r_{cr,max} = \frac{k_{max,insulation}}{h_{min}} \quad (2.12)$$

การคำนวณหาค่า Pressure Drop

$$-\left(\frac{dP}{dt}\right)_{total} = \left[-\left(\frac{dP}{dt}\right)_F\right] + \left[-\left(\frac{dP}{dt}\right)_a\right] + \left[-\left(\frac{dP}{dt}\right)_g\right]$$

$$-\left(\frac{dP}{dt}\right)_{total} = -\left(\frac{dP}{dt}\right)_F + \sigma^2 \frac{d}{dt} \left[ \frac{x^2}{e_\sigma \alpha} + \frac{(1-x)^2}{e_L(1-\alpha)} \right] + g \sin \theta [\alpha e_\sigma + (1-\alpha)e_L]$$

$$-\left(\frac{dP}{dt}\right)_F = -\left(\frac{dP}{dt}\right)_{total} \sigma^2 \frac{d}{dt} \left[ \frac{x^2}{e_\sigma \alpha} + \frac{(1-x)^2}{e_L(1-\alpha)} \right] + g \sin \theta [\alpha e_\sigma + (1-\alpha)e_L]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Poggi et al. [4] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกระจายของการไหลแบบ Adiabatic Flows ในลักษณะการไหลแบบ Two Phase โดยมีการแลกเปลี่ยนความร้อนในช่องทางขนาดเล็ก พบว่าการไหลที่ไหลคล่องมากที่สุดคือการไหลเข้าสู่ทางช่องแรกที่มีส่วนหัวในแนวนอนและทางแนวตั้งนั้นต้องตั้งลงและช่องสุดท้ายจะไหลคล่องมากที่สุดเมื่ออยู่ในลักษณะดังกล่าว ผู้ทำการทดลองพบว่าการกระจายการไหลแบบ Two Phase ในช่องทางขนาดเล็กนี้ได้รับผลกระทบจากแรงโน้มถ่วงของโลก

Cho and Cho. [5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกระจายของ R-22 ในส่วนหัวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.4 มม. และช่องทางขนาดเล็กขนาด 1.32 มม. พบว่าการวางส่วนหัวในแนวนอนผลปรากฏว่าอัตราการไหลและทิศทางการไหลของสารทำความเย็นในแนวนอนดีกว่าการวางส่วนหัวในแนวตั้ง

Dario et al. [6] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการไหลแบบ Maldistribution ในช่องทางขนาดเล็กกว่ามีผลกระทบอย่างไรและทิศทางการไหลในช่องทางขนาดเล็ก (แนวนอน แนวตั้ง ขึ้น ลง) พบว่าการกระจายของการไหลนั้นคงที่ในกรณีวางส่วนหัวให้อยู่ในแนวนอนและช่องทางขนาดเล็กในแนวนอนที่มี Feed tube ไปยังช่องทางขนาดเล็กตั้งฉากหรือจากด้านล่างส่วนหัว จากที่กล่าวมาเห็นว่าพฤติกรรมของการไหลในส่วนหัวนั้นได้รับอิทธิพลอย่างมากจากแรงโน้มถ่วงของโลกเราซึ่งประสิทธิภาพจะแตกต่างกันโดยการหมุนส่วนหัวมาวางในแนวตั้งหรือแนวนอนนั่นเอง

Ahmad et al. [7] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกระจายตัวในลักษณะการไหลแบบ Two Phase ในแนวนอนโดยส่วนหัวจะวางในแนวตั้งและแนวนอน (ขึ้นและลง) พบว่าการกระจายของไอน้ำและของเหลวในแนวตั้งได้ผลที่ดีที่สุดและสำหรับช่องทางในแนวตั้งที่มีความคงที่ของ Phase และการกระจายโดยรวมสูง

Saber. [8] ได้ทำการศึกษาตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ผนังเคลือบ microchannels แบบท่อขนานกัน ได้รับการตรวจสอบที่เหมือนกันในช่องทางคู่ขนานสามารถแก้ไขปรับปรุงปฏิกิริยาได้ และสามารถลดแรงดันภายในท่อทั้งหมดพร้อมกันได้ ยังสามารถวัดค่าความหนาแน่นของของเหลวโดยวัดจาก densimeter และความหนืดโดยวัดจาก viscometer และแรงตึงผิวโดยวัดจาก tensiometer การทดลองได้ดำเนินการที่ 298 K แต่ละสภาวะการทำงาน การทดลองที่ซ้ำกัน และความยาวของ slug flow เมื่อเทียบกับการตรวจสอบที่ทำการทำซ้ำ จะพบว่ามีข้อผิดพลาดสูงสุด 4.2 % และข้อมูลมาเฉลี่ยเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของ flow และแก่งความยาวไม่เกิน 3 %

Xu et al. [9] ได้ทำการทดลองการไหลแบบ Two Phase ใน ท่อขนาดเล็กรูปทรงสี่เหลี่ยม นำเสนอรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลสูงขึ้นสำหรับการไหลสองเฟสแนวตั้งในช่องสี่เหลี่ยม ทดสอบกับผลการทดลองที่ได้รับจากการไหลแบบ Two Phase กระแสในช่องสี่เหลี่ยมมีความกว้างช่องว่างของ 0.3, 0.6 และพบขนาดการไหล 1.0 mm. สำหรับช่องว่างช่อง 0.6 และ 1.0 mm. จะเหมือนกับขนาดท่อช่องว่างขนาดใหญ่ทั่วไป อย่างไรก็ตาม สำหรับ ช่องว่างขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.3 mm. จะมีการไหลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและ Flow ก็ไม่ได้สังเกตในอัตราการไหลของ ก๊าซที่ต่ำมาก พวกเขาสรุปว่าการไหลแบบ Two Phase ในความกว้างช่องว่างขนาดเล็กของ 0.3 mm ต้องการความจำเป็นในการพัฒนารูปแบบใหม่

**Kim et al. [10]** ได้ทำการศึกษากาการไหลน้ำและอากาศหรือแบบการอะเดียแบติกในแนวตั้ง ลง ภายในท่อกลมที่มี ขนาด 25.4 และ 50.8 mm. พวกเขา สังเกตเห็นว่าขอบเขตการไหลมีอัตรา สูงขึ้น ขึ้นอยู่กับพื้นที่การไหลในการไหลตั้งไหลลงซึ่งแตกต่างจากในแนวตั้งไหลขึ้น ในการไหล ฟองอากาศถูกตั้งข้อสังเกตที่จะได้รับ การโยกย้ายไปสู่ศูนย์กลางของท่อปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “coring” นอกจากนี้ความเร็วฟองน้อยกว่ารอบความเร็วเฟสของเหลว นอกจากนี้ยังได้ข้อสรุปว่า กลไก ของการเกี่ยวข้องของฟองและการสลายตัวมีความคล้ายคลึงกับ ในขึ้นไหลสองเฟสแนวตั้ง

**Subei and Schmitz. [11]** ได้ทำการศึกษากาการวิเคราะห์แรงดันตกคร่อมในท่อของระบบ ปรับอากาศรถยนต์ที่ใช้ CO<sub>2</sub> เป็นสารทำความเย็นทดสอบสำหรับการทดสอบแรงดันตกคร่อมในท่อ รูปทรงบิตแรลลี่ ช่วงการทำงานของการทำงานทดสอบ การทำงานของหน่วยปรับสภาพเครื่องปรับอากาศใน รถยนต์สำหรับรถยนต์ระดับพรีเมียมและครอบคลุมแรงดันตั้งแต่ 30 บาร์ ถึง 130 บาร์ อุณหภูมิตั้งแต่ -20 °C ถึง 130 °C และอัตราการไหลของมวลมากถึง 250 กก. ชั่วโมง-1 การตรวจสอบจะดำเนินการ สำหรับเฟสเดียว และการไหลของท่อสองเฟส ผลลัพธ์สำหรับรูปทรงท่อสองแบบที่แตกต่างกันจะถูก นำเสนอต่อแรกเป็นการเชื่อมต่อระหว่างกันของหลาย 90° ส่วนโค้ง ส่วนท่อตรง และขดลวดขด ท่อที่ สอง

**Donaldson et al. [12]** ได้ทำการศึกษาผลของรัศมีของความโค้งต่อการเปลี่ยนรูปแบบ การไหลแบบสองเฟสและการเริ่มต้นของการแตกตัวของฟองอากาศและการรวมตัวในการจัดเรียง แบบคดเคี้ยวระนาบ รูปแบบการไหล บริเวณการเปลี่ยนแปลงและการกระจายขนาดฟอง กลไกของ การแตกฟอง การจัดกลุ่ม และการรวมกันถูกกล่าวถึง โดยพบรัศมีความโค้งที่เล็กกว่าเพื่อปรับปรุงการ แตกตัวสุดท้าย การวิเคราะห์ไว้มิติแบบเฟสเดียวสำหรับเรขาคณิตโค้งถูกขยายไปสู่การไหลแบบหลาย เฟสเพื่อระบุการพึ่งพาทางเรขาคณิตของการแตกของฟอง เพื่อวัตถุประสงค์ในการหาปริมาณความ เข้มของการไหลทุติยภูมิที่เหนี่ยวนำให้เกิดความโค้งในเฟสต่อเนื่อง ความยาวของลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปทรงโค้งที่พบในการไหลแบบเฟสเดียวได้บันทึกผลกระทบของความโค้งในการเริ่มต้นของ การแตกตัวของฟองอากาศได้

**Samir and Hussain. [13]** ได้ทำการศึกษาเชิงตัวเลขสำหรับสารทำความเย็น (R-134a) การถ่ายเทความร้อนเดือดด้วยการพาความร้อนตามธรรมชาติในท่อแนวตั้งที่เต็มไปด้วยโฟมโลหะ นอกจากนี้ยังตรวจสอบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ความร้อน ความพรุน และเส้นผ่าน ศูนย์กลางของท่อด้วย พบว่าความอิมตัวของของเหลวจะถึงค่าต่ำสุดที่ทางออก และจุดแห้ง จะเห็น เสมอที่ครึ่งหลังของความยาวท่อ ผลลัพธ์ยังแสดงให้เห็นว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่เล็กกว่าและ ความพรุนที่สูงขึ้นสำหรับ PPI เดียวกันทำให้เกิดความแปรผันของอุณหภูมิที่สูงขึ้น ใ้ทั่วท่อโฟมโลหะ ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tapia and Ribatski.[14] ในปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาทดลองหลายครั้งเกี่ยวกับแรงดันตกคร่อมสองเฟส และเป็นผลให้มีวิธีการทำนายถูกเสนอโดยส่วนใหญ่ใช้บนฐานข้อมูลทดลองที่ถูกจำกัดตามที่ระบุไว้โดย [14] ยังมีความแตกต่างระหว่างข้อมูลจากห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกันหลายด้าน เช่น ความขรุขระของพื้นผิวที่แตกต่างกัน, สิ่งกีดขวางภายในท่อ, และการมีอยู่ของความไม่เสถียรทางความร้อน

พฤติกรรมการไหลสองเฟสในไมโครแชนเนลแบบวงกลมอาจแตกต่างมีนัยสำคัญจากรูปทรงหน้าตัดที่ไม่เป็นวงกลมเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น อัตราส่วน สิ่งสำคัญคือต้องเน้นว่าลักษณะเฉพาะของช่องสัญญาณที่ควรนำมาใช้เพื่อคำนวณแรงดันตกกระทบระหว่างกระแสสองเฟสในช่องที่ไม่เป็นวงกลมยังไม่ชัดเจน ฐานข้อมูลการทดลองกว้างสำหรับการเสียดทานสองเฟสได้รับแรงดันตกคร่อมในท่อไมโครแชนเนล ฐานข้อมูลทดลองประกอบด้วยข้อมูลการทดลองและครอบคลุมสารทำงาน (R134a) นอกจากนี้ยังได้รับการตรวจสอบจากการทดลองสำหรับแรงดันตกคร่อมแบบเฟสเดียวในกระแสปั่นป่วน จากการวิเคราะห์แบบพาราเมตริกของผลการทดลองสรุปได้ว่าแรงดันเสียดทานสองเฟสนั้นสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับของเหลวอื่น ๆ นอกจากนี้การไล่ระดับแรงดันตกคร่อมแบบเสียดทานสองเฟสของ R1234ze สูงกว่า R134a การไล่ระดับความดันเสียดทานสองเฟสเพิ่มขึ้นด้วยความเร็วมวลที่เพิ่มขึ้น เกรเดียนต์ของแรงดันตกคร่อมแสดงค่าสูงสุดซึ่งจะเคลื่อนไปที่คุณภาพของไอที่ต่ำ สูง และการไล่ระดับแรงดันตกคร่อมจากแรงเสียดทานจะลดลงด้วย

## 2.4 ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการทดลอง

### 2.4.1 การคำนวณหาค่าตัวประกอบแรงเสียดทาน

จากผลการทดลองทำให้ได้ข้อมูลความดันตกของสารทำความเย็นในช่วงทดสอบ เพื่อคำนวณหาค่าตัวประกอบแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในท่อขดเกลียวขนาดเล็ก โดยใช้สมการของ ดาร์ซี (Darcy friction factor) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าตัวประกอบแรงเสียดทานที่มีรูปแบบการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) ของ Hagen Poiseuille และทฤษฎีของ Blasius ที่มีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence) และมีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์อยู่ในช่วง 4,000-100,000 ดังสมการที่ (2.18) – (2.19) และ (2.2)

$$f = \frac{\Delta P_{\text{friction}} 2D_h \rho}{L G^2} \quad (2.14)$$

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (2.15)$$

$$f = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 คุณภาพไอของช่วง Pre-heater ( $X_4$ ) และ Test section ( $X_5$ ) สามารถหา  $h_4$  ได้จากสมการที่ (2.37)

$$h_4 = \frac{Q_h - Q_{\text{sensible}}}{\dot{m}} + h_3 ; h_3 \approx h_{f@T_4} \quad (2.17)$$

ที่คุณภาพไอทางออก Pre-heater สามารถหาได้จากสมการที่ (2.38)

$$X_4 = \frac{h_4 - h_{f@T_4}}{h_{fg@T_4}} \quad (2.18)$$

และสามารถหาคุณภาพไอที่ทางออก Test section ได้จากสมการ (2.39)

$$X_5 = \frac{h_5 - h_{f@T_5}}{h_{fg@T_5}} \quad (2.19)$$

โดยเมื่อทำการทดลองต้องการคุณภาพไอทางเข้าและทางออกของ Test section เพื่อตรวจสอบสถานะที่ทางออก Test section ว่าไม่มีสถานะเป็นไอ เนื่องจากในการทดลองต้องมีสถานะเป็นของผสมเท่านั้น

2.4.3 คุณภาพไอของแต่ละตำแหน่ง (Local vapor quality) สามารถหาได้จากสมการที่ (2.40)

$$X_z = \frac{h_z - h_f(T_f@z)}{h_{fg}(T_f@z)} \quad (2.20)$$

เมื่อ  $X_z$  คือ คุณภาพไอแต่ละตำแหน่ง  
 $h_z$  คือ เอนทาลปีที่ตำแหน่งต่างๆ (kJ/kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$h_f(T_f@z)$  คือ เอนทาลปี (ของเหลว) ที่ตำแหน่งต่างๆ (kJ/kg)

$h_{fg}(T_f@z)$  คือ เอนทาลปี (ของผสม) ที่ตำแหน่งต่างๆ (kJ/kg)

ค่าเอนทาลปีที่ตำแหน่งใดๆสามารถหาได้จากสมการที่ (2.41)

$$h_z = \frac{q''_{T.s.}(\pi D_{in} z)}{\dot{m}} + h_{T.s.inlet} \quad (2.21)$$

เมื่อ  $h_{T.s.inlet}$  คือ เอนทาลปีทางเข้า Test section (kJ/kg)

$\dot{m}$  คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

$z$  คือ ระยะที่จุดใดๆ (m)

## 2.5 รูปแบบการไหลแบบสองสถานะที่พบในท่อขนาดไมโครของสารทำความเย็น R-134a มีดังนี้

### 2.5.1 Bubbly flow

การไหลแบบ Bubbly flow มักจะเกิดในช่วงที่สารทำความเย็นมีความเร็วค่อนข้างต่ำ แล้วค่าความร้อนต่ำมาก จะมีลักษณะเป็นฟองเล็กๆ ภายในท่อต่อกันแบบกระจายตัว

### 2.5.2 Gas plug flow

การไหลแบบ Gas plug flow จะเห็นได้ว่าเป็นการรวมตัวกันของ Bubbly flow เนื่องจากค่าความร้อนเพิ่มขึ้น จะเป็นฟองขนาดใหญ่ขึ้นมาเล็กน้อยมีลักษณะคล้ายหัวกระสุนสั้นๆ

### 2.5.3 Slug flow

การไหลแบบ Slug flow มักจะเกิดขึ้นในช่วงที่สารทำความเย็นมีความเร็วค่อนข้างต่ำ แล้วค่าความร้อนต่ำ ลักษณะคล้ายหัวกระสุนเป็นฟองยาว แต่ฟองของสารจะถูกแยกออกจากผนังช่องฟิล์มโดยของเหลว

### 2.5.4 Throat-annular flow

การไหลแบบ Throat-annular flow จะมีความเร็วค่อนข้างต่ำคล้าย Slug flow แต่จะเกิดฟองยาวหลายๆเชื่อมต่อกัน มีลักษณะเป็นวงแหวนเกิดคอคอดเป็นช่วงๆเนื่องจากการต่อกันของฟอง

### 2.5.5 Churn flow

การไหลแบบ Churn flow จะเป็นการไหลที่มีความเร็วและค่าความร้อนค่อนข้างสูง ทำให้ลักษณะการไหลเป็นแบบปั่นป่วน จะเกิดฟองกับสารทำความเย็นสลับกันไปเป็นช่วง

### 2.5.6 Annular flow

การไหลแบบ Annular flow จะเห็นว่าเมื่อฟองแก๊สรวมกันมากๆ จะเริ่มเกิดฟิล์มของของเหลวเคลือบที่ผนังของท่อ มีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน ที่มีค่าความร้อนสูงและความเร็วสูง

## 2.6 รูปแบบลักษณะ Flow pattern ทั้ง 6 แบบ

2.6.1 รูปแบบ Bubbly flow จะมีลักษณะ เป็นฟองเล็กๆภายในท่อ เป็นรูปแบบการไหลที่จะเกิดเป็นรูปแบบที่ 1 ก่อนเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็น Super heat



Gas bubbly

2.6.2 รูปแบบ Gas plug flow จะมีลักษณะเป็นฟองขนาดใหญ่กว่า Bubbly flow แต่จะมีลักษณะ เป็นหัวกระสุนแบบสั้นๆ



Gas plug

2.6.3 รูปแบบ Slug flow จะมีลักษณะเป็นหัวกระสุนที่ค่อนข้างยาวกว่า Gas plug flow



Gas slug

2.6.4 รูปแบบ Throat-annular flow จะมีลักษณะเป็นหัวกระสุนยาวคล้าย Slug flow แต่เกิดวงแหวนที่ช่วงปลาย



Throat

2.6.5 รูปแบบ Churn flow จะมีลักษณะเป็นแบบ Throat-annular flow แต่จะเป็นไหลแบบปั่นป่วนที่สุด และมีช่องว่างระหว่างสาร เนื่องจากเกิดความปั่นป่วนภายในท่อ



Disruptive region

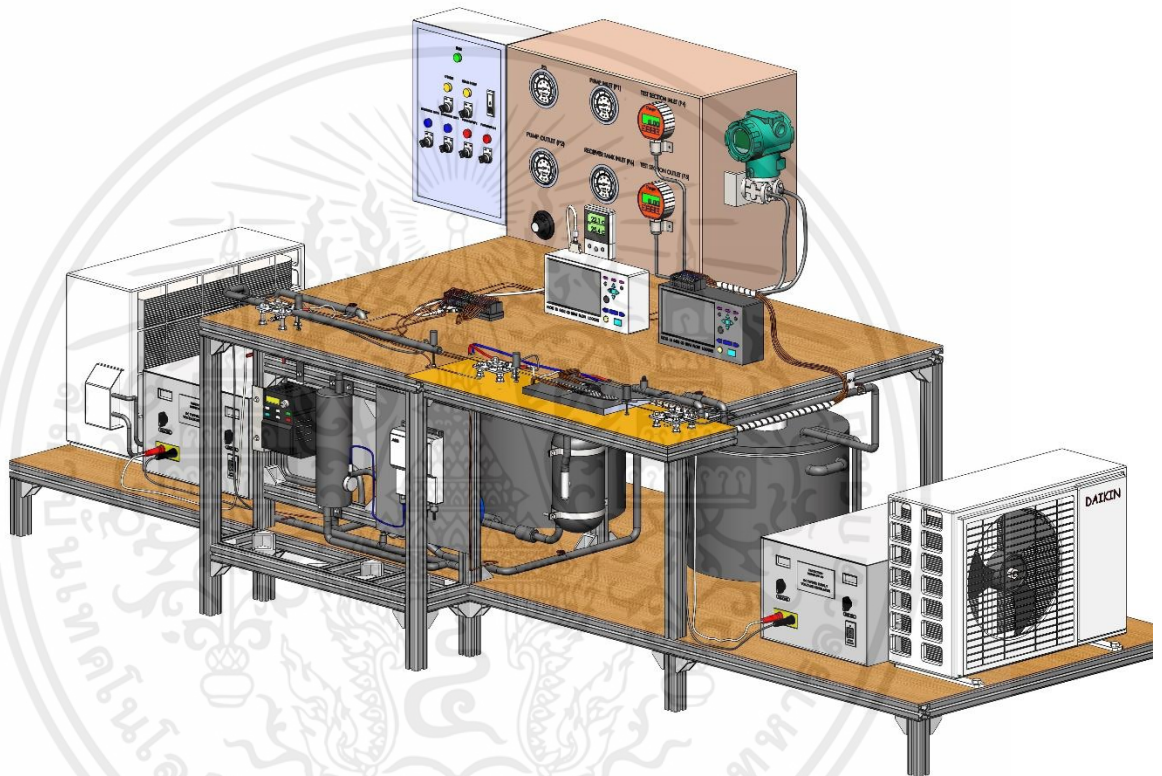
2.6.6 รูปแบบ Annular flow จะมีลักษณะเป็นฟองแก๊สรวมตัวกันเป็นจำนวนมาก



Gas core

### บทที่ 3

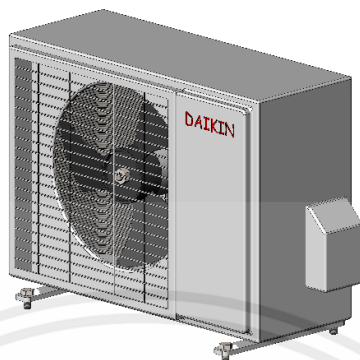
## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 อุปกรณ์และหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์

3.1.1 Condensing unit ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายในถึงสแตนเลสที่ 1 และถึงสแตนเลสที่ 2 เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและสารทำความเย็น R-134a



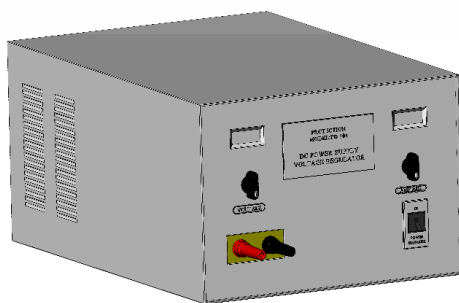
รูปที่ 3.1.1 Condensing unit

3.1.2 Receiver tank ทำหน้าที่กักเก็บสารทำความเย็น R-134a ที่อยู่ภายในระบบ



รูปที่ 3.1.2 Receiver tank

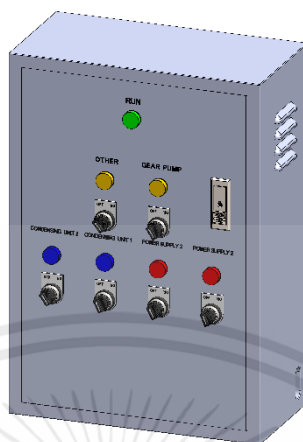
3.1.3 DC Power supply ทำหน้าที่ป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ Pre-heater เพื่อเพิ่ม Temperature ของสารทำความเย็น R-134a ที่ทางเข้า-ทางออกของชุดทดลอง (Test section)



รูปที่ 3.1.3 DC Power supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 Electrical control box ทำหน้าที่ควบคุมระบบไฟฟ้าของระบบทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง



รูปที่ 3.1.4 Electrical control box

3.1.5 ตัวกรองแบบละเอียด (Inline filter) ทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรกต่างๆในสารทำความเย็นเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับ Micro gear pump



รูปที่ 3.1.5 ตัวกรองแบบละเอียด

3.1.6 ตัวกรองแบบหยาบ (Filter drier) ทำหน้าที่ดักจับความชื้นของสารทำความเย็นในระบบก่อนเข้าไปยัง Micro gear pump



รูปที่ 3.1.6 ตัวกรองแบบหยาบ (Filter drier)

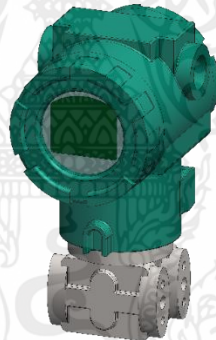
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.7 Heater ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิน้ำในถังที่ 2 เพื่อให้ น้ำในถังและสารทำความเย็นภายในถังให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนให้เหมาะสมก่อนเข้าไปสู่ Receiver tank



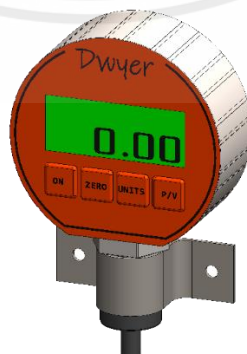
รูปที่ 3.1.7 Heater

3.1.8 Differential pressure transmitter ทำหน้าที่วัดความดันตกคร่อม (Pressure drop) ของชุดทดลอง



รูปที่ 3.1.8 Differential pressure transmitter

3.1.9 Pressure gauge ทำหน้าที่วัดความดันในช่วงต่างๆของระบบ



รูปที่ 3.1.9 Pressure gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.10 Digital clamp meter ทำหน้าที่วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปยัง Pre-heater และ Test section



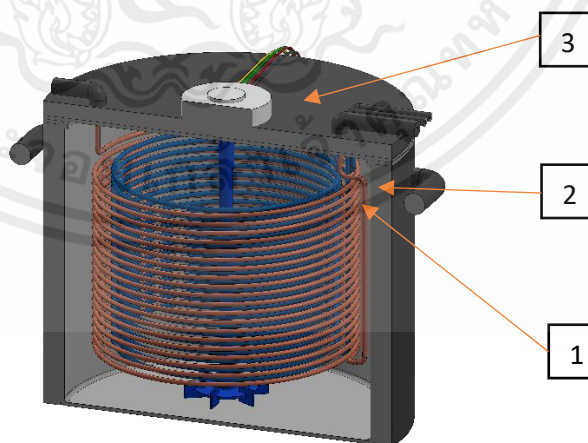
รูปที่ 3.1.10 Digital clamp meter

3.1.11 ถังสแตนเลส ทำหน้าที่กักเก็บน้ำกลั่นที่ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิและแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นในระบบ ในถังประกอบด้วย คอยล์เย็น คอยล์ร้อนและใบกวน

3.1.12 ขดคอยล์เย็น (หมายเลข 1 สีทองเหลือง ) ภายในมีสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับคอยล์ร้อนภายในถังสแตนเลส แสดงให้เห็นรูปที่ 3.1.11

3.1.13 ขดคอยล์ร้อน (หมายเลข 2 สีน้ำเงิน ) ภายในขดคอยล์ร้อนนั้นจะมีสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งไหลมาจากช่วงทดลองเข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อนภายในถังสแตนเลส แสดงให้เห็นรูปที่ 3.1.11

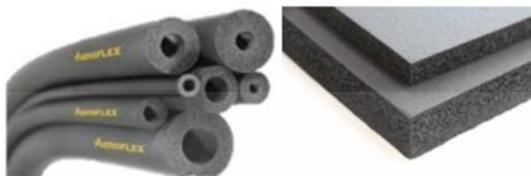
3.1.14 มอเตอร์ขับใบกวน (หมายเลข 3 ) ทำหน้าที่กวนน้ำกลั่นที่อยู่ภายในถังสแตนเลส เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน แสดงให้เห็นรูปที่ 3.1.11



รูปที่ 3.1.11 ถังสแตนเลส

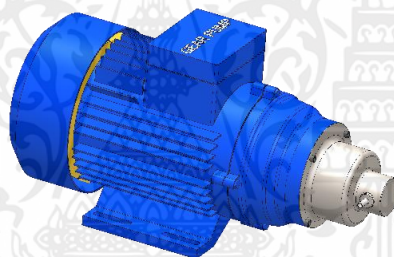
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.15 ฉนวน Aero flex ทำหน้าที่ฉนวนท่ออย่างดำและแผ่นยางที่ผลิตจากยางอีลาสโตเมอร์ชนิดพิเศษ (EPDM) ใช้หุ้มท่อนำความเย็นลดการสูญเสียความเย็นและป้องกันการเกิดหยดเหงื่อ (Condensation) ของท่อที่มีความเย็นต่ำได้ถึง 57 องศา หรือ -70F และใช้หุ้มท่อน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูง ถึง +125C เพื่อลดการสูญเสียความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.1.12 ฉนวน Aero flex

3.1.16 Micro gear pump ทำหน้าที่ดูดและอัดสารทำความเย็นจาก Receiver tank ไปยังส่วนต่างๆของระบบ



รูปที่ 3.1.13 Micro gear pump

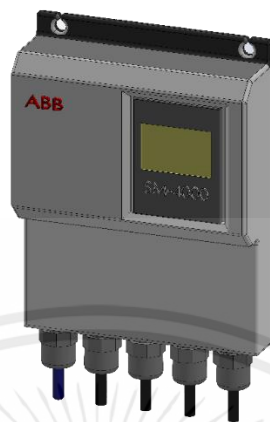
3.1.17 Inverter ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ในอุปกรณ์ Micro gear pump เพื่อควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นของเข้าไปยังช่วงทดสอบ



รูปที่ 3.1.14 Inverter

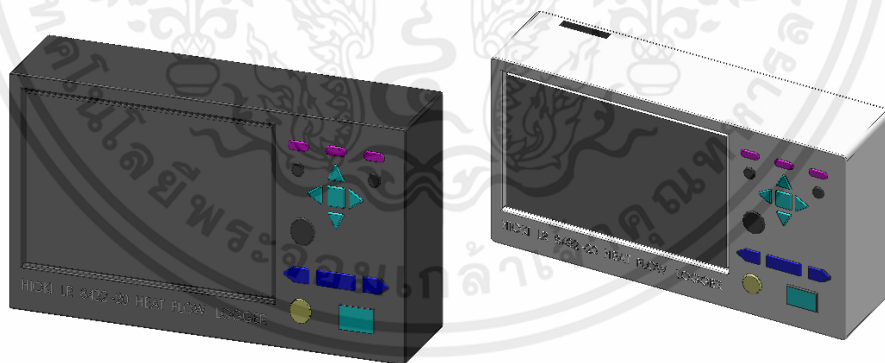
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.18 Mass flow meter ทำหน้าที่วัดอัตราการไหลก่อนเข้าไปยังช่วงทดสอบ โดยจะทำงานควบคู่กับ Micro gear pump



รูปที่ 3.1.15 Mass flow meter

3.1.19 Data logger รุ่น GL220 และรุ่น GL800 ทำหน้าที่ใช้ในการตรวจสอบอุณหภูมิในอุปกรณ์ต่างๆภายในระบบ โดยจะรับสัญญาณจาก Thermocouple Type T ที่ติดตั้งในอุปกรณ์ต่างๆ และยังสามารถเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์หรือโน้ตบุ๊ก ด้วยสาย USB เพื่อให้แสดงข้อมูลในคอมพิวเตอร์หรือโน้ตบุ๊กและบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิของสารทำความเย็นในช่วงต่างๆ เพื่อนำไปคำนวณหาผลการทดลอง



รูปที่ 3.1.16 Data logger รุ่น GL220 และรุ่น GL800

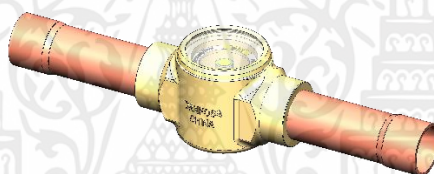
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.20 Thermometer ทำหน้าที่แสดงอุณหภูมิภายในห้อง



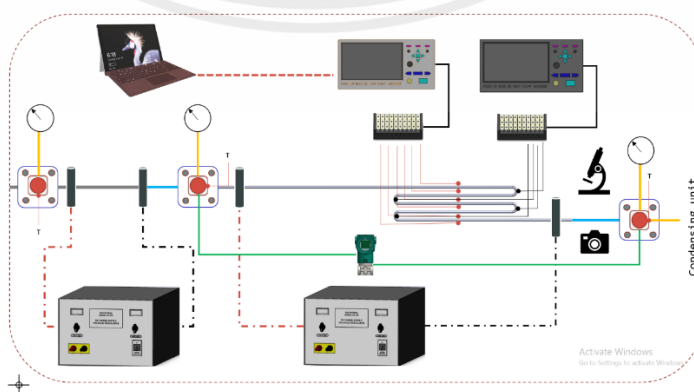
รูปที่ 3.1.17 Thermometer

### 3.1.21 Sight glass ทำหน้าที่ไว้ตรวจสอบเช็คสารทำความเย็นในระบบว่าสารทำความเย็นขาดหรือไม่



รูปที่ 3.1.18 Sight glass

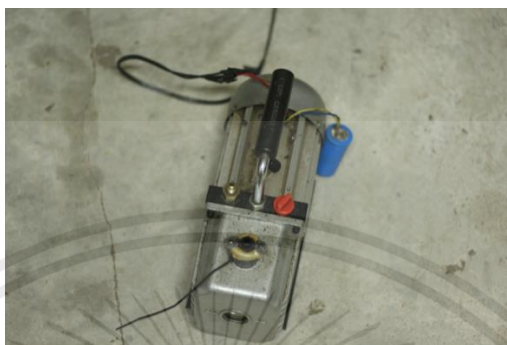
3.1.22 ชุดทดลอง (Test section) จะใช้เป็นท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ความยาว 1069 มิลลิเมตร โดยการทดลองนั้นเราจะป้อนกระแสไฟฟ้า จาก DC Power Supply ไปยังท่อสแตนเลสเพื่อให้เกิดความร้อนและทำให้สารทำความเย็นเกิดการเดือดจนเกิดฟองขึ้นและทำการป้อนกระแสไฟฟ้าที่ทางออกอีกครั้งเพื่อให้สารทำความเย็นเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบการไหลชนิดต่างๆและบันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 3.1.19 ชุดทดลอง (Test section)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.23 เครื่องทำสุญญากาศภายในระบบ เพื่อที่จะทำให้บรรยากาศภายในระบบต่ำกว่า atm เพื่อเวลาที่เติมสารทำความเย็นเข้าสู่ในระบบสารจะสามารถไหลเข้าได้ง่าย และเพื่อป้องกันสารค้างในระบบเนื่องจากบางที่สารอาจจะติดอยู่ที่ขอบของท่อทองแดง เราจึงทำสุญญากาศภายในระบบก่อนจะทำการเติมสารทุกครั้ง



รูปที่ 3.1.20 เครื่องทำสุญญากาศภายในระบบ

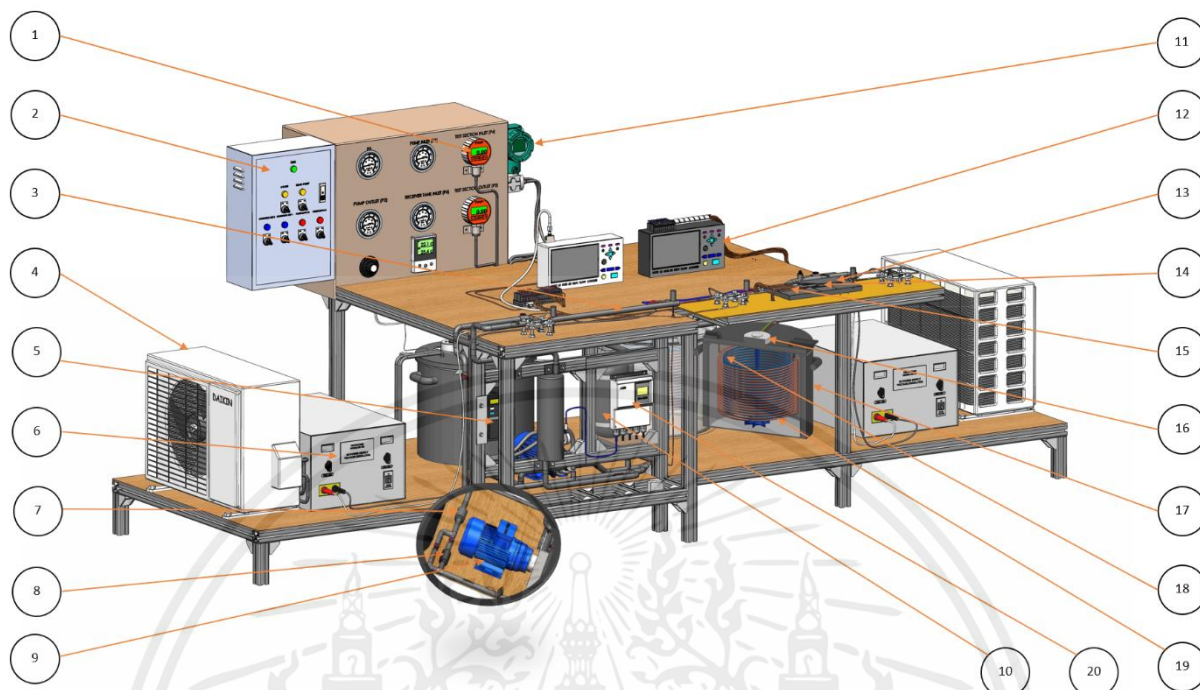
3.1.24 Manifold gauge คือเครื่องมือใช้สำหรับการบริการและการตรวจวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น การทำสุญญากาศ การเติมสารทำความเย็น การเติมสารหล่อลื่น การตรวจวัดความดัน การหาอุณหภูมิระเหยและอุณหภูมิความแน่นของสารทำความเย็นในระบบ



รูปที่ 3.1.21 Manifold gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ตำแหน่งของอุปกรณ์

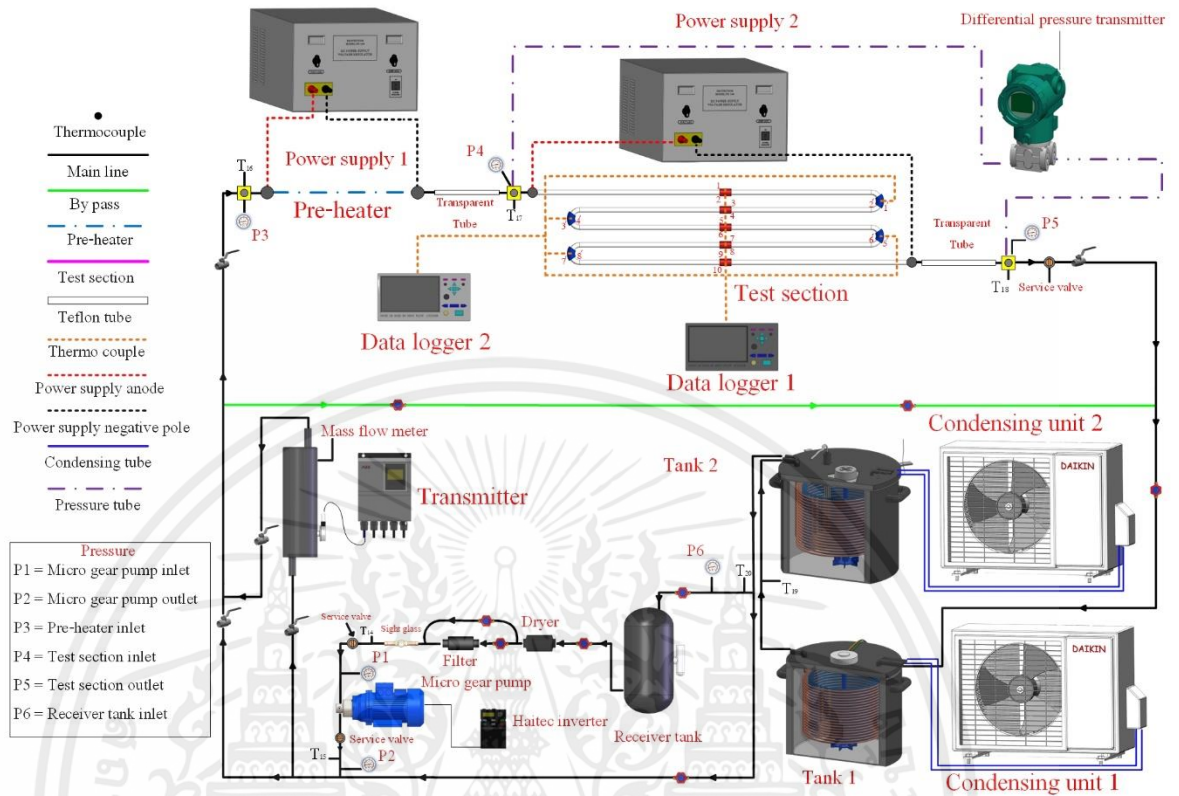


จากรูปที่ 3.2.1 แสดงโครงสร้างของอุปกรณ์ โดยสามารถระบุได้ดังนี้

- |                                |                                       |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Pressure gauge              | 11. Differential pressure transmitter |
| 2. Electrical control box Unit | 12. Data logger                       |
| 3. Pre-heater                  | 13. ฉนวน                              |
| 4. Condensing                  | 14. Test section                      |
| 5. Haitec inverter             | 15. Thermocouple Type T               |
| 6. Power supply (DC)           | 16. มอเตอร์ขับใบกวน                   |
| 7. Filter drier                | 17. ถังสแตนเลส                        |
| 8. Inline filter               | 19. ขดคอยล์ร้อน                       |
| 9. Micro gear pump             | 18. ขดคอยล์เย็น                       |
| 10. Receiver tank              | 20. Mass Flow Meter                   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วงจรการทำงานของอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบ

จากรูปที่ 3.3 เป็นแผนภาพการทำงานของระบบ การทำงานจะเริ่มจาก Micro gear pump โดยเราจะทำการเปิด Inverter เพื่อควบคุมรอบการทำงานของ Micro gear pump หลังจากนั้น Micro gear pump จะทำการดูดสารทำความเย็น R-134a ออกจาก Receiver tank สารทำความเย็น R-134a ที่ออกจาก Receiver tank จะมีสถานะเป็นของเหลว หลังจากนั้นสารทำความเย็นจะผ่านตัวกรองทั้งสองตัวนั่นก็คือ Dryer และ Filter โดย Dryer จะเป็นตัวกรองแบบหยาดและ Filter จะเป็นตัวกรองแบบละเอียด หลังจากนั้นสารทำความเย็น R-134a จะไหลเข้าไปยัง Mass Flow meter โดยหน้าที่ของ Mass Flow meter จะสามารถอ่านค่าอัตราการไหลของสารทำความเย็น R-134a เพื่อให้สามารถควบคุมค่าอัตราการไหลตามที่ต้องการที่จะทดลองได้ เมื่อสารทำความเย็นไหลผ่าน Mass Flow meter จะไหลเข้าไปสู่ช่วง Pre-heater ที่ทางเข้าโดยช่วง Pre-heater จะทำการป้อนกระแสไฟฟ้าจาก DC Power Supply เครื่องที่ 1 เข้าไปยัง Pre-heater เพื่อเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับสารทำความเย็น R-134a ให้สารทำความเย็นนั้นมีอุณหภูมิที่เหมาะสมก่อนเข้าไปยังช่วงชุดทดสอบ ( Test-section ) หลังจากนั้นสารทำความเย็น R-134a จะไหลเข้าไปยังชุดทดสอบ ( Test-section ) จะทำการป้อนกระแสไฟฟ้าจาก DC Power Supply เครื่องที่ 2 ไปยัง Pre-heater

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้สารทำความเย็นเกิดการเดือดจนเป็นสถานะกลายเป็นของผสม (Two Phase) ในส่วนชุดทดสอบจะมี Thermocouple Type T ติดตั้งอยู่เพื่อวัดอุณหภูมิจุดต่างๆในชุดทดสอบ (Test-section) โดยจะมีการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ด้วยสายส่งสัญญาณจาก Thermocouple Type T แล้วส่งสัญญาณไปยัง เครื่อง Data logger รุ่น GL220 และรุ่น GL800 จากนั้นไปแสดงผลที่ Laptop โดยวัดความดันลดของช่วงชุดทดสอบ ด้วย Differential pressure transmitter ที่ทางเข้าและทางออกของชุดทดลอง (Test-section) จะมีท่อเทปลอนที่มีลักษณะโปร่งใสเพื่อสังเกตลักษณะรูปแบบการไหลของสารทำความเย็นในรูปแบบต่างๆและเก็บข้อมูลหลังจากสารทำความเย็นออกจากทางออกชุดทดลองแล้วจะไหลกลับเข้าไปในถังที่ 1 เพื่อทำการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลองโดยตอนที่สารทำความเย็นออกจากทางออกของชุดทดลอง (Test-section) จะมีสถานะเป็นของผสม เมื่อสารทำความเย็นเข้าไปยังถังที่ 1 จะเกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิจึงทำให้สารทำความเย็นที่ตอนแรกเป็นของผสมเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว จากนั้นสารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่ถังที่ 2 เพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิที่ต้องการและไหลเข้าไปเก็บใน Receiver tank จากนั้น Micro gear pump จะทำการดูดสารทำความเย็นออกจาก Receiver tank และทำงานวนเป็นวัฏจักรจนสิ้นสุดการทดลอง

### 3.4 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการตรวจอุปกรณ์ต่างๆภายในระบบให้พร้อมใช้งาน
2. ทำการเปิดวาล์วทุกตัวยกเว้นส่วน Test section เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากแรงดัน
3. ทำการเปิดเกียร์ปั๊มเพื่อให้สารทำความเย็นไหลทั่วระบบ
4. เปิดเครื่องปรับอากาศที่ 1 และ 2 เพื่อควบคุมอุณหภูมิของสารทำความเย็นโดยอุณหภูมิ Condensing Unit 1 จะอยู่ที่ 1-9 องศาเซลเซียส Condensing Unit 2 อุณหภูมิจะอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียสโดยประมาณ
5. ทำการปิด By Pass และเปิดวาล์วตรงส่วน Test section เพื่อให้สารทำความเย็นเข้าสู่ชุด Test section
6. ควบคุมอุณหภูมิภายในห้องเพื่อให้เหมาะสมกับความดันที่ต้องการจะเก็บผลคือ 21 , 26 , 31 องศาเซลเซียสโดยประมาณ
7. ทำการเปิดเครื่อง Heater เพื่อเพิ่มความร้อนในถังที่ 2 เพื่อเพิ่มความดันอิมตัวในช่วง Test section ตามที่ต้องการคือ 6,7 และ 8 bar
8. หลังจากที่เราได้ความดันตามที่เรากำหนดที่ต้องการที่จะทดลองแล้วให้ทำการปรับรอบของเกียร์ปั๊มเพื่อให้สารทำความเย็นมีอัตราการไหลตามที่เรากำหนดที่ต้องการจะเก็บผลคือ 381, 636 และ 891 kg/m<sup>2</sup>s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เมื่ออัตราการไหลคงที่ตามค่าที่เราต้องการแล้วให้ทำการป้อนกระแสไฟฟ้าจาก Power supply ตัวที่ 1 ให้กับ Pre-heater เป็นการเพิ่มความร้อนให้สารทำความเย็นก่อนจะเข้า Test section โดยเราจะต้องควบคุมให้คุณภาพไออยู่ที่ 0.01 โดยประมาณ

10. ทำการป้อนกระแสไฟฟ้าจาก Power supply ตัวที่ 2 ให้กับช่วง Test section โดยการเพิ่มไฟฟ้าเราจะทำการค่อยๆป้อนไฟฟ้าเข้าไปทีละนิดเพื่อทำการสังเกตรูปแบบการไหลต่างๆ

11. ทำการบันทึกค่าผลการทดลองที่ได้

### 3.5 ข้อควรระวังในการทดลอง

1. การปรับ DC Power supply ควรปรับค่ากระแสอย่างระมัดระวังเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความเสียหายจากการค่ากระแสเกินที่ต้องการทดลอง

2. การเลือกช่วงเวลาทำการทดลองควรเลือกทดลองช่วงเวลากลางคืนเนื่องจากเวลากลางคืนมีการใช้ไฟฟ้าน้อยจะทำให้หลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาไฟฟ้าไม่พอหรือไฟฟ้ตก และไฟฟ้าที่ป้อนจาก DC Power supply จะมีความเสถียรมากกว่าทดลองช่วงกลางวัน

3. เมื่อเลิกทดลองควรทำให้อุณหภูมิในอุปกรณ์ต่างๆที่มีอุณหภูมิสูงมีอุณหภูมิที่เย็นลงก่อนที่จะทำการปิดเครื่องและให้ปิดวาล์วที่ทางเข้าและทางออกของ Receiver tank และชุดทดสอบ ที่ชุดทดสอบควรเปิด By pass เพื่อไม่ให้ความดันระบบสูงเกินไปและเป็นการ Safety ด้วย

4. เมื่อเกิดไฟฟ้าตกหรือไฟฟ้าดับควรรีบกดปุ่ม Safety switch โดยทันทีเพื่อป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าของเครื่องเกิดความเสียหาย

5. ในการบันทึกผลควรทำให้ค่าอุณหภูมิให้คงที่โดยเราสามารถดูอุณหภูมิได้ที่ Data logger อุณหภูมิคงที่แล้วจึงจะบันทึกผลการทดลองได้

6. ควรสังเกตความดันที่ทางเข้าและทางออกของ Micro gear pump ไม่ให้ต่างกันเกิน 5 bar โดยสามารถดูได้ที่เกจวัดความดัน P1 และ P2

## บทที่ 4

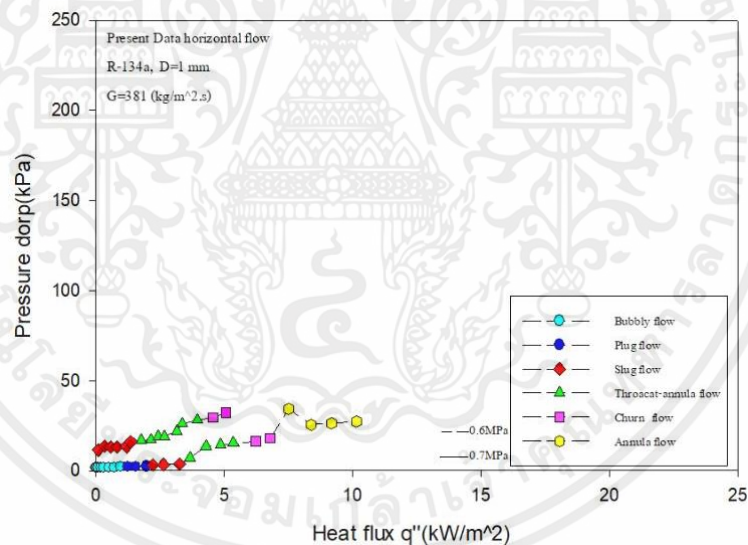
### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### การทดลองการไหลแบบสองสถานะ ( Two phase flow )

การทดลองการไหลแบบสองสถานะ (Two phase flow) เพื่อศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์และหน้าที่ของอุปกรณ์ในการทดลองเพื่อจะนำความรู้ไปทำการทดลองการไหลแบบ two phase flow ภายในท่อเซอร์เพนไทน์แบบไมโครแชนแนลและเพื่อศึกษาการหาค่าความดันลดลงของสารทำความเย็น R-134a ขณะเกิดการเดือดภายในท่อเซอร์เพนไทน์แบบไมโครแชนแนลและศึกษารูปแบบการไหลของสารทำความเย็น R-134a ขณะเกิดการเดือดภายในท่อเซอร์เพนไทน์แบบไมโครแชนแนล

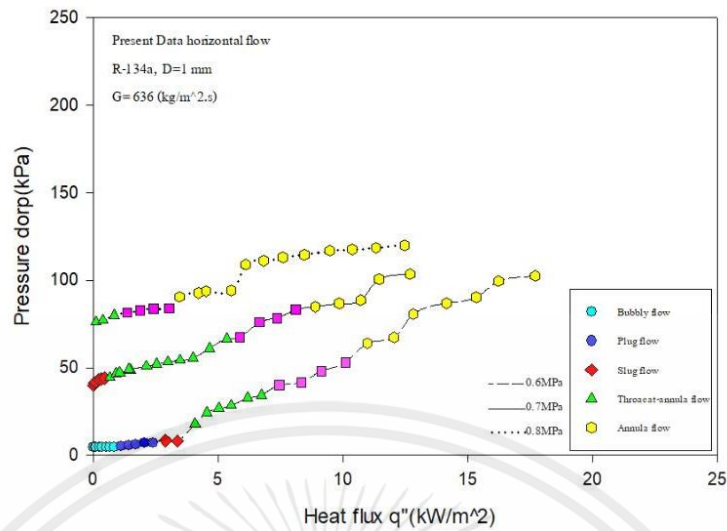
#### 4.1 ผลการทดลองความดันลด Pressure drop แสดงรูปแบบการไหล

โดยเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและฟลักซ์ความร้อน เพื่อแสดงรูปแบบการไหล ในแต่ละช่วงของการทดลอง

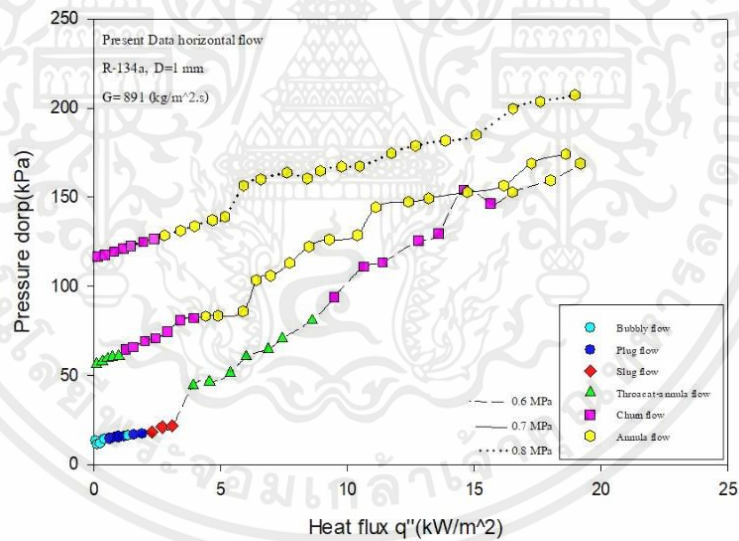


รูปที่ 4.1 รูปแบบการไหลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและฟลักซ์ความร้อน ให้ฟลักซ์มวลคง ที่ 381 kg/m<sup>2</sup>s ที่ความดัน 0.6 และ 0.7 MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 รูปแบบการไหลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและฟลักซ์ความร้อน ให้ฟลักซ์มวลคง ที่ 636 kg/m<sup>2</sup>s ที่ความดัน 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa

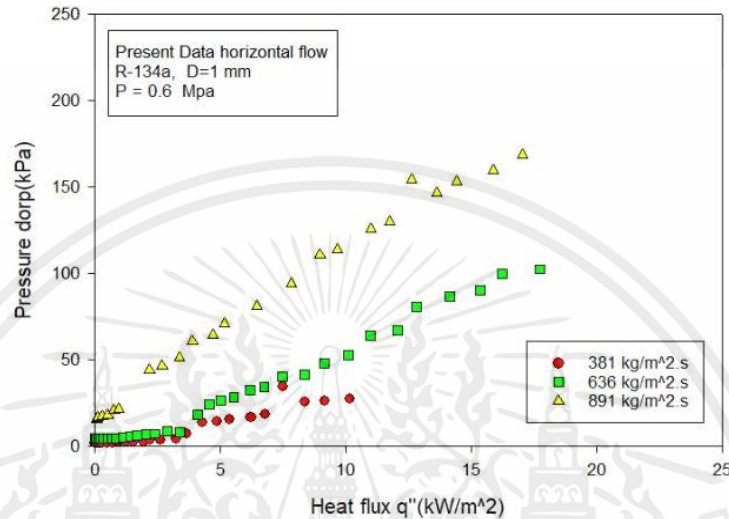


รูปที่ 4.3 รูปแบบการไหลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและฟลักซ์ความร้อน ให้ฟลักซ์มวลคง ที่ 891 kg/m<sup>2</sup>s ที่ความดัน 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa

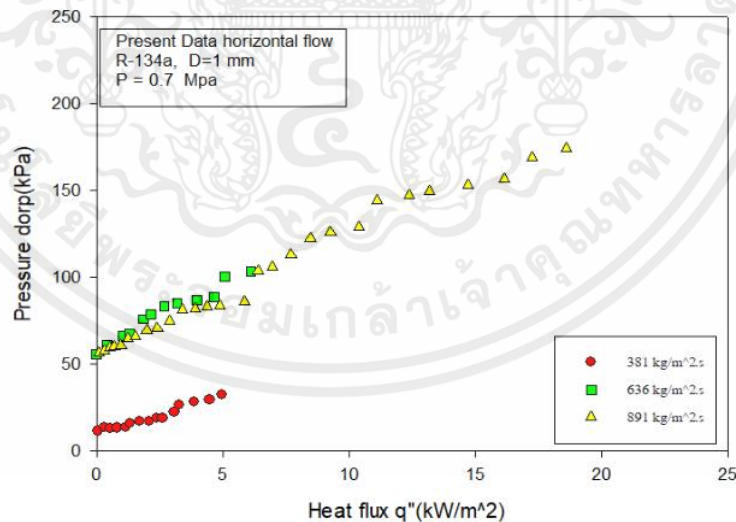
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการทดลองความดันลด Pressure drop แบบการไหลแบบสองสถานะ (Two phase flow)

โดยเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความดันคงที่ 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa โดยมีค่า ฟลักซ์มวล 381 , 636 และ 891  $\text{kg/m}^2\text{s}$  เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความดันลด Pressure drop

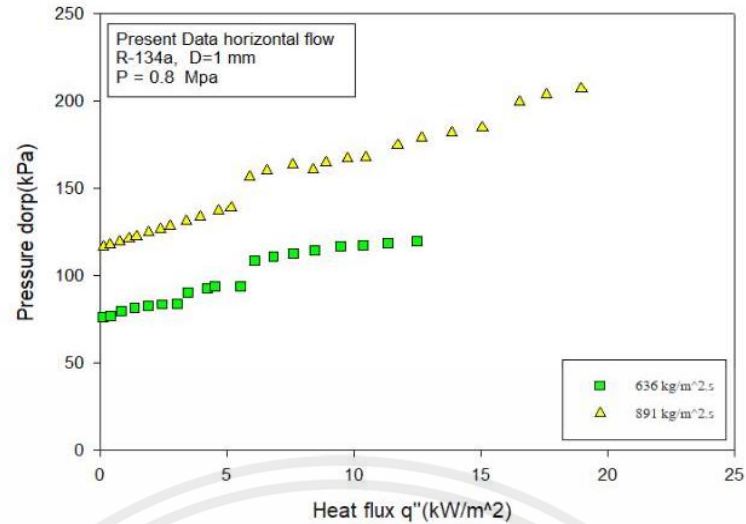


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและฟลักซ์ความร้อนที่ความดันคงที่ 0.6 MPa และอุณหภูมิ 21 องศา มีค่า ฟลักซ์มวล 381 , 636 และ 891  $\text{kg/m}^2\text{s}$



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและฟลักซ์ความร้อนที่ความดันคงที่ 0.7 MPa และอุณหภูมิ 26 องศา มีค่า ฟลักซ์มวล 381 , 636 และ 891  $\text{kg/m}^2\text{s}$

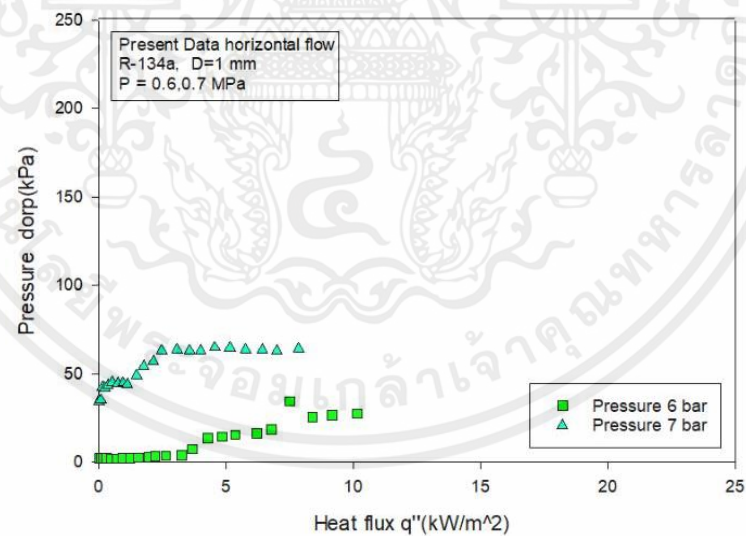
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและฟลักซ์ความร้อนที่ความดันคงที่ 0.8 MPa มีค่า ฟลักซ์มวล 636 และ 891 kg/m<sup>2</sup>.s

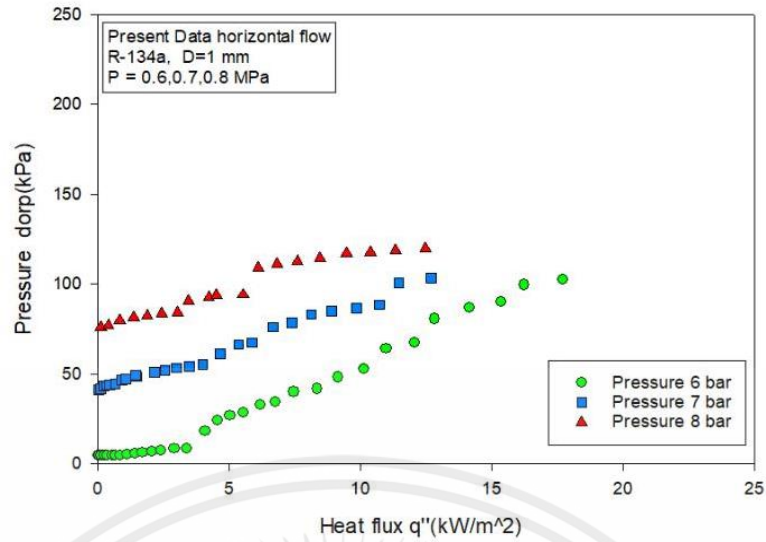
#### 4.3 ผลการทดลองความดันลด Pressure drop ที่ค่าฟลักซ์มวลคงที่

โดยเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ฟลักซ์มวลคงที่ ตามความดัน 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความดันลด Pressure drop ของแต่ละความดันในหนึ่งฟลักซ์มวล

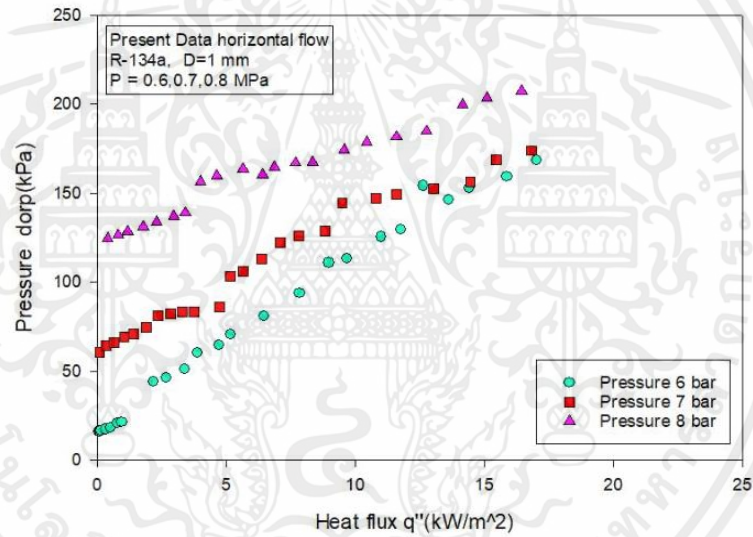


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและ mass flow rate 0.0003 kg/m<sup>2</sup> ที่ความดัน 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและ mass flow rate 0.0005 kg/m<sup>2</sup> ที่ความดัน 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและ mass flow rate 0.0007 kg/m<sup>2</sup> ที่ความดัน 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองรูปที่ 4.1 จากการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa ที่ฟลักซ์มวล (Mass flux) 381 kg/m<sup>2</sup>s ไหลในท่อเซอร์เพนไทน์ที่มีทิศทางไหลแนวนอน พบว่าเกิดการรูปแบบการไหล Throat-annular flow เกิดความดันลดต่ำสุด ส่วน Annular flow เกิดความดันลดสูงสุด และผลการทดลองรูปที่ 4.1 เกิดความดันลด ต่ำสุดที่ 2.07 kPa และสูงสุดที่ 27.32 kPa

จากผลการทดลองรูปที่ 4.2 จากการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa ที่ฟลักซ์มวล (Mass flux) 636 kg/m<sup>2</sup>s ไหลในท่อเซอร์เพนไทน์ที่มีทิศทางไหลแนวนอน พบว่าเกิดการรูปแบบการไหล Bubbly flow เกิดความดันลดต่ำสุด ส่วน Annular flow เกิดความดันลดสูงสุด และผลการทดลองรูปที่ 4.2 เกิดความดันลด ต่ำสุดที่ 4.64 kPa และสูงสุดที่ 102.4 kPa

จากผลการทดลองรูปที่ 4.3 จากการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa ที่ฟลักซ์มวล (Mass flux) 891 kg/m<sup>2</sup>s ไหลในท่อเซอร์เพนไทน์ที่มีทิศทางไหลแนวนอน พบว่าเกิดการรูปแบบการไหล Bubbly flow เกิดความดันลดต่ำสุด ส่วน Annular flow เกิดความดันลดสูงสุด และผลการทดลองรูปที่ 4.3 เกิดความดันลด ต่ำสุดที่ 11.49 kPa และสูงสุดที่ 168.77 kPa

จากผลการทดลองรูปที่ 4.4 จากการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.6 MPa ที่ฟลักซ์มวล 381 kg/m<sup>2</sup>s , 636 kg/m<sup>2</sup>s และ 891 kg/m<sup>2</sup>s ไหลในท่อเซอร์เพนไทน์ที่มีทิศทางไหลแนวนอน พบว่าผลการ เกิดความดันลด ต่ำสุดที่ 27.32 kPa และสูงสุดที่ 168.77 kPa

จากผลการทดลองรูปที่ 4.5 จากการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.7 MPa ที่ฟลักซ์มวล 381 kg/m<sup>2</sup>s , 636 kg/m<sup>2</sup>s และ 891 kg/m<sup>2</sup>s ไหลในท่อเซอร์เพนไทน์ที่มีทิศทางไหลแนวนอน พบว่าผลการ เกิดความดันลด ต่ำสุดที่ 64.82 kPa และสูงสุดที่ 174.01 kPa

จากผลการทดลองรูปที่ 4.6 จากการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.8 MPa ที่ฟลักซ์มวล 381 kg/m<sup>2</sup>s , 636 kg/m<sup>2</sup>s และ 891 kg/m<sup>2</sup>s ไหลในท่อเซอร์เพนไทน์ที่มีทิศทางไหลแนวนอน พบว่าผลการ เกิดความดันลด ต่ำสุดที่ 119.99 kPa และสูงสุดที่ 207.37 kPa

จากผลการทดลองรูปที่ 4.7 จากการทดลองที่ฟลักซ์มวล (Mass flux) 381 kg/m<sup>2</sup>s ที่ความดัน 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa ไหลในท่อเซอร์เพนไทน์ที่มีทิศทางไหลแนวนอน พบว่าผลการเกิดความดันลด ต่ำสุดที่ 27.32 kPa และ สูงสุดที่ 64.82 kPa

จากผลการทดลองรูปที่ 4.8 จากการทดลองที่ฟลักซ์มวล (Mass flux) 636 kg/m<sup>2</sup>s ที่ความดัน 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa ไหลในท่อเซอร์เพนไทน์ที่มีทิศทางไหลแนวนอน พบว่าผลการเกิดความดันลด ต่ำสุดที่ 102.4 kPa และสูงสุดที่ 119.99 kPa

จากผลการทดลองรูปที่ 4.9 จากการทดลองที่ฟลักซ์มวล (Mass flux) 891 kg/m<sup>2</sup>s ที่ความดัน 0.6 , 0.7 และ 0.8 MPa ไหลในท่อเซอร์เพนไทน์ที่มีทิศทางไหลแนวนอน พบว่าผลการเกิดความดันลด ต่ำสุดที่ 168.77 kPa และสูงสุดที่ 207.37 kPa

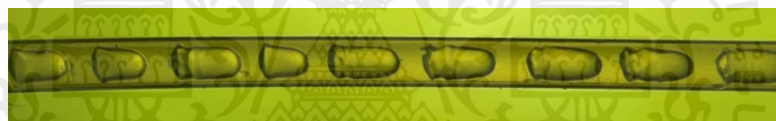
#### 4.4 รูปแบบลักษณะ Flow pattern ทั้ง 6 แบบ

4.4.1 การไหลแบบ Bubbly flow ที่เกิดขึ้นมักเกิดที่ความเร็วค่อนข้างต่ำและความร้อนต่ำ มีลักษณะเป็นฟองเกิดขึ้นเมื่อสารทำความเย็นได้รับพลังความร้อนจนเกิดการเดือด จะเกิดลักษณะมีการไหล เป็นฟองแก๊สขนาดเล็กไหลอยู่ค่อนไปทางส่วนบนของท่อเนื่องจากฟองก๊าซมีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลว จึงลอยตัว



รูปที่ 4.10 การไหลแบบ Bubbly flow

4.4.2 การไหลแบบ Gas Plug flow โดยการไหลแบบ Plug flow ที่เกิดขึ้นมักเกิดที่ความเร็วค่อนข้างต่ำและค่าความร้อนต่ำ มี ลักษณะคล้ายหัวกระสุนเป็นฟองสั้นๆขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ฟองของสารทำงานจะเกิดบริเวณตรงกลาง ช่องโดยจะถูกแยกออกจากผนังช่องโดยฟิล์มของเหลว เกิดจากการรวมตัวของฟองแก๊สขนาดเล็ก หลายๆ ลูก ของ Bubbly flow ทำให้เกิดเป็นฟองแก๊สที่มีขนาดใหญ่และยาวขึ้น



รูปที่ 4.11 การไหลแบบ Bubbly flow

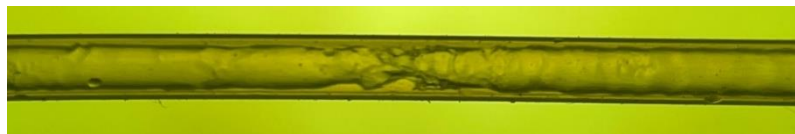
4.4.3. การไหลแบบ Slug flow โดยการไหลแบบ Slug flow ที่เกิดขึ้นมักเกิดที่ความเร็วค่อนข้างต่ำและค่าความร้อนต่ำ มี ลักษณะคล้ายหัวกระสุนเป็นฟองยาวกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ฟองของสารทำงานจะเกิดบริเวณ ตรงกลางช่องโดยจะถูกแยกออกจากผนังช่องโดยฟิล์มของเหลว เกิดลักษณะการไหลของแก๊สที่ยาวเป็น กลุ่ม โดยที่ มีหัวของฟองแก๊สที่เหมือนหัวกระสุน และเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองแก๊สเต็มขนาดของท่อ



รูปที่ 4.12 การไหลแบบ Slug flow

4.4.4. การไหลแบบ Throat-annular flow จะมีความเร็วค่อนข้างต่ำเหมือน Slug flow แต่จะมีค่าความร้อนที่สูงกว่า จะเกิดฟองยาวหลายๆฟองเชื่อมต่อกันจนเกิดเป็นฟองยาว มีลักษณะของฟอง แก๊สที่ เป็นคอคอด เกิดจากการที่ Slug flow มาชนกันและรวมตัวกัน แต่จะมีบางส่วนของแก๊สที่รวมกัน ไม่เต็มเป็น คอคอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 การไหลแบบ Throat-annular flow

4.4.5 การไหลแบบ Churn flow จะเป็นการไหลที่มีความเร็วของสารทำงานค่อนข้างสูง ทำให้ลักษณะการไหลที่ปั่นป่วน ความเร็วของแก๊สสูงมาก ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของแก๊สลดลง จึงทำให้ฟอง แก๊ส แยกตัวออกจากกัน



รูปที่ 4.14 การไหลแบบ Churn flow

4.4.6. การไหลแบบ Annular flow จะเห็นว่าเมื่อฟองแก๊สรวมตัวกันมากๆ จะเริ่มเกิดฟิล์มของของเหลวเคลือบที่ผนังของท่อ มีลักษณะการไหลที่ปั่นป่วน จะเห็นเงาดำเป็นช่วงๆ ที่เกิดจากชั้นฟิล์มของของไหลมีการไหลเป็นวงแหวนรอบผนังท่อ



รูปที่ 4.15 การไหลแบบ Annular flow

## บทที่ 5

# สรุปผล และข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองจะพบรูปแบบการไหลทั้งหมด 6 รูปแบบ คือ Bubbly flow, Gas plug flow, Slug flow, Throat-annular flow, Churn flow, และ Annular flow
2. จากการทดลองพบว่าฟลักซ์ความร้อนมีผลต่อรูปแบบการไหลและความดันภายในท่อ และจะลดลงเมื่ออุณหภูมิภายในท่อสูงขึ้น
3. ความดันที่ลดลงภายในท่อเกิดขึ้นจากความร้อน ทำให้รูปแบบการไหลจะต่างกันตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นยิ่งอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นแรงดันภายในท่อก็จะลดลงตามไปด้วย
4. เมื่อฟลักซ์มวลเพิ่มขึ้นที่มีค่าฟลักซ์ความร้อนและความดันคงที่ ความดันลดที่เกิดขึ้นมากที่สุดจะเกิดขึ้นที่ ฟลักซ์มวล  $891 \text{ kg/m}^2$  ค่าความดันลดจะขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงขึ้นเรื่อยๆ แต่ที่ฟลักซ์มวล  $381,636 \text{ kg/m}^2$  ค่าความดันลดจะค่อยๆเกิดขึ้นช้าๆและไม่สูงมาก
5. เมื่อเพิ่มฟลักซ์ความร้อนจะทำให้ค่าความดันลดสูงขึ้นและรูปการไหลเปลี่ยนไปเมื่อความดันลดเพิ่มขึ้นแต่ค่าฟลักซ์ความร้อนและฟลักซ์มวลคงที่ จะทำให้ความดันลดเกิดขึ้นน้อยเมื่อความดันต่ำและเพอร์เซจอร์จะสูงขึ้นเรื่อยๆเมื่อความดันเพิ่มขึ้น
6. เมื่อเพิ่มค่าฟลักซ์มวลแต่ค่าฟลักซ์ความร้อนและความดันคงที่จะทำให้ความดันลดน้อยที่สุดที่ค่าฟลักซ์มวล  $381 \text{ kg/m}^2$  และความดันลดมากที่สุดที่ค่าฟลักซ์มวล  $891 \text{ kg/m}^2$

### 5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไขปัญหา

1. ขั้นตอนในการทำสุญญากาศในช่วง Test section ทำได้ยากมาก เพราะท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กทำให้การทำสุญญากาศใช้เวลานานประมาณ 6-8 ชั่วโมง และการทำสุญญากาศในบางครั้งใช้เวลาสั้นเกินไปทำให้ยังมีไอน้ำอยู่ในระบบอีกด้วย
2. ขั้นตอนในการเติมสารทำความเย็นเข้าสู่ระบบทำได้ยาก เพราะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อมีขนาดเล็กทำให้สารทำความเย็นไหลเข้าไปในท่อได้ยากจะต้องทำการเติมสารทำความเย็นโดยใช้เวลา 4-6 ชั่วโมง
3. การควบคุมอัตราการไหล (Mass flow) ควบคุมค่อนข้างยาก ต้องรอให้อุณหภูมิกับความดันคงที่เสียก่อนจึงจะสามารถควบคุมอัตราการไหลได้ และควร Set zero ทุกครั้งก่อนทำการทดลอง
4. ในชุด Test section มีฝุ่นที่เกิดจากการติดตั้งท่อใส่ที่ทางเข้าและทางออก ทำให้สารทำความเย็นไม่สามารถไหลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ในการติดตั้งท่อใส่ที่ทางเข้าและทางออกของ Test section เพื่อดูรูปแบบการไหลนั้นทำได้ยากมาก เพราะในระบบมีความดันที่สูง และยังมีความร้อนด้วย ทำให้ท่อใส่ที่ติดตั้งไว้นั้น เกิดการรั่วซึมอยู่บ่อยครั้ง ทำให้ไม่สามารถทำการเก็บผลการทดลองได้
6. ในการติดตั้ง Thermocouple Type T ทั้ง 18 จุดมีการทับการของสาย Thermocouple Type T ซึ่งอาจทำให้เกิดการช็อตของระบบได้
7. เนื่องจากการทำสุญญากาศจะต้องเวลานาน จึงทำให้ต้องเปิดเครื่องทำสุญญากาศติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้เครื่องทำสุญญากาศเกิดปัญหาขึ้น
8. Digital clamp meter ที่ใช้วัดกระแสไฟที่ป้อนเข้าไปในช่วง Pre Heater และ Test section การใช้งานไม่ค่อยมีความเที่ยงตรง เนื่องจากการใช้งานเป็นเวลานานจะทำให้ผลการทดลองเกิดการผิดพลาดได้
9. การปรับอัตราการไหลทำได้ค่อนข้างยาก เพราะระบบมีความร้อนทำให้อัตราการไหลไม่คงที่ จึงไม่สามารถเก็บผลการทดลองได้
10. การควบคุมอุณหภูมิและความดันจะควบคุมค่อนข้างยากเนื่องจากอุณหภูมิและความดันไม่คงที่
11. ในการตรวจเช็ครอยรั่วของระบบทำได้ยากและใช้เวลานานเนื่องจากรอยรั่วของระบบจะเกิดตามช่วงข้อ ต่อ หัววาล์ว ซึ่งเป็นจุดเล็กๆ ยากต่อการสังเกต ต้องรอดูความดัน pressure gauge ถ้าแรงดันลดลงแสดงว่ามีการรั่วในระบบ
12. การดูรูปแบบการไหล ไม่สามารถดูด้วยตาเปล่าได้ จะต้องทำการติดตั้งไฟส่องสว่าง และจะต้องติดตั้งกล้องถ่ายรูปลูกด้วย

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ก่อนจะทำการทดลองควรจะศึกษาคู่มือการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆในระบบให้ดีเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายต่อผู้ทำการทดลองและอุปกรณ์ เพราะอุปกรณ์แต่ละอย่างล้วนมีคุณภาพ
2. การติดตั้งท่อใส่ที่ทางเข้าและทางออกของชุด Test section จะต้องทำการมัดไม่ให้ท่อสามารถเลื่อนได้เลย เพราะถ้าท่อเลื่อนจะทำให้ท่อหลุดและระบบรั่วได้
3. ในการติดตั้ง Thermocouple Type T ทั้ง 18 จุด จะต้องติดตั้งโดยไม่ให้สายทับกันโดยจะนำ ท่อพลาสติก มาหุ้มสายของ Thermocouple Type T ทั้ง 18 จุด ไว้ เพื่อไม่ให้เกิดการช็อต
4. Digital clamp meter ที่ใช้วัดกระแสไฟที่ป้อนเข้าไปในช่วง Pre Heater และ Test section จะต้องมีความเที่ยงตรง
5. การทำความสะอาดภายในชุด Test section นั้นจะต้องใช้ แอลกอฮอล์เท่านั้น เพราะ แอลกอฮอล์สามารถระเหยออกจนหมดได้ แต่ถ้าเป็นน้ำจะไม่สามารถระเหยออกได้จนหมด
6. ก่อนทำการเปิดเกียร์ปั๊มควรตรวจเช็คควาล์วทุกตัวว่าทำการเปิดเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ขณะทำการทดลองควรสังเกตที่ Pressure gauge ความดัน P1 และ P2 ควรจะไม่ต่างกันเกิน 5 bar เพราะเป็นขีดจำกัดของปั๊มที่สามารถรับได้

8. ควรระมัดระวังขณะปรับตั้งค่าการจ่ายไฟกระแสตรง (DC Power supply) เนื่องจาก DC Power supply มีความไวต่อการตอบสนองของขณะที่ทำการปรับตั้งค่า เพราะอาจจะทำให้อุปกรณ์เสียหายได้

9. ก่อนทำการทดลองจะควบคุมอุณหภูมิในห้องก่อน เพื่อที่เราจะได้อุณหภูมิภายในระบบให้ใกล้เคียงกันที่สุด

10. ก่อนทำการเติมสารทำความเย็นควรจะศึกษาวิธีเติมอย่างระเอียดก่อน เพราะอาจจะให้เกิดอันตรายได้



## เอกสารอ้างอิง

- [1] Kang et al. (2020) “Experimental investigation of absorption in upward and downward flow of NH<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O in a mini-channel heat exchanger” International Journal of Heat and Mass Transfer 152 (February)
- [2] Castro et al. (2020) “Experimental investigation of absorption in upward and downward flow of NH<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O in a mini-channel heat exchanger” International Journal of Heat and Mass Transfer 152 (February)
- [3] Garimella et al. (2020) “Experimental investigation of absorption in upward and downward flow of NH<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O in a mini-channel heat exchanger” International Journal of Heat and Mass Transfer 152 (February)
- [4] Van Leeuwen (2015) “Experimental investigation of convective heat transfer in a narrow rectangular channel for upward and downward flows.” International Journal of Heat and Mass Transfer (October) : 305-353
- [5] Sudo et al. (2015) “Experimental investigation of convective heat transfer in a narrow rectangular channel for upward and downward flows.” International Journal of Heat and Mass Transfer (October) : 305-353
- [6] Sudo et al. (2015) “Experimental investigation of convective heat transfer in a narrow rectangular channel for upward and downward flows.” International Journal of Heat and Mass Transfer (October) : 305-353
- [7] Gamrat et al. (2015) “Experimental investigation of convective heat transfer in a narrow rectangular channel for upward and downward flows.” International Journal of Heat and Mass Transfer (October) : 305-353
- [8] Hwang et al. (2015) “Experimental investigation of convective heat transfer in a narrow rectangular channel for upward and downward flows.” International Journal of Heat and Mass Transfer (October) : 305-35384
- [9] Poggi et al. (2017) conducted an experiment to investigate the distribution of Two phase adiabatic flows in a small channel heat exchanger in two positions (horizontal flow and vertical downflow in the manifold).” International Journal of Heat and Mass Transfer 112, (September): 767-778.
- [10] Lillo, G., Mastrullo, R., Mauro, A. W., and Viscito, L. (2019). “Flow boiling of R1233zd(E) horizontal tube Experiments, assessment and correlation for

asymmetric annular flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 129 (February): 547-561. 50

- [11] Saisorn, S., Kaew-On, J., and Wongwises, S. (2013). "An experimental investigation of flow boiling heat transfer of R-134a in horizontal and vertical mini-channels." *Experimental Thermal and Fluid Science* 46 (April): 232-244.
- [12] Dario et al.(2017) analyzed the flow maldistribution in the micro-channel Considering the effects of micro-channel header arrangements (horizontal or vertical) and micro-channel flow orientations (horizontal, vertical upward or downward)." *International Journal of Heat and Mass Transfer* (September): 767-778.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1 การหาคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียออกจากระบบ (Heat loss)

จะใช้ข้อมูลจากตารางที่ 6.1 และ 6.2 ผลการทดลองที่  $P_{sat} = 7 \text{ bar}$   $G = 891 \text{ kg/m}^2\text{s}$  ที่อุณหภูมิคงที่  $26 \text{ }^\circ\text{C}$  (ค่าที่ 10) เมื่อค่าการนำความร้อนของฉนวน  $\frac{1}{R_{total}} = 0.0004$  ที่ได้จากพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิของพื้นผิวภายนอกของท่อกับอุณหภูมิห้อง (แกน X) กับกำลังของพลังงานที่สูญเสียออกจากระบบ (แกน Y)

เมื่อ

$$Q_{loss} = \frac{T_{s,outer,avg} - T_\infty}{R_{total}}$$

แทนค่า

$$Q_{loss} = 0.0004 \times (29.22 - 22)$$

จะได้

$$\therefore Q_{loss} = 0.00288 \text{ kW/m}^2$$

### 2 การหาคำนวณหาค่า Heat flux

จะใช้ข้อมูลจากตารางที่ 6.1 และ 6.2 ผลการทดลองที่ความดันอิ่มตัว  $0.8 \text{ MPa}$  ฟลักซ์เชิงมวล  $912 \text{ kg/m}^2\text{s}$  ที่อุณหภูมิ คงที่  $31 \text{ }^\circ\text{C}$  (ค่าที่ 10) Nokkaew et al. [12]

เมื่อ

$$q_{T.S.}'' = \frac{(Q_{T.S.} - Q_{loss})kW}{\pi D_{inner}L}$$

แทนค่า

$$q_{T.S.}'' = \frac{(0.034 - 0.00288)kW}{\pi \times 0.001 \text{ m} \times 1.069 \text{ m}}$$

จะได้

$$\therefore q_{T.S.}'' = 9.2664 \text{ kW/m}^2$$

### 3 การหาคำนวณหาค่าคุณภาพไอของช่วง Pre-heater ( $X_4$ ) และ ( $X_5$ )

จะใช้ข้อมูลจากตารางที่ 6.1 และ 6.2 ผลการทดลองที่  $P_{sat} = 7 \text{ bar}$   $G = 891 \text{ kg/m}^2\text{s}$  ที่อุณหภูมิ คงที่  $26 \text{ }^\circ\text{C}$  (ค่าที่ 10)

เมื่อ

$$Q_{ph} = IV = Q_{Sensible heat} + Q_{latent heat}$$

และ

$$Q_{Sensible heat} = \dot{m}C_p(T_3 - T_2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า

$$Q_{Sensible\ heat} = 0.0007\ kg/s \times 1.4431\ kJ/kg \cdot k\ (28.6 - 24)^{\circ}C$$

จะได้

$$\therefore Q_{Sensible\ heat} = 0.0046\ kW$$

เมื่อ

$$Q_{latent\ heat} = \dot{m}(h_3 - h_{2'})$$

แทนค่า

$$Q_{ph} = IV = \frac{6.8\ A \times 5\ V}{1000} = 0.034\ kW$$

และ

$$h_3 = \frac{q_{ph}}{\dot{m}} \cdot c_p (T_3 - T_2) + h_{f@T_3}$$

$$h_3 = \frac{0.034}{0.0007} \cdot 1.4431 (28.6 - 24) + 239.73$$

แทนค่า

จะได้

$$\therefore h_3 = 281.71\ kJ/kg$$

เมื่อ

$$x_3 = \frac{h_3 - h_{f@T_3}}{h_{fg@T_3}}$$

แทนค่า

$$x_4 = \frac{(281.71 - 239.73)\ kJ/kg}{174.39\ kJ/kg}$$

จะได้

$$\therefore x_4 = 0.291$$

ช่วง Test section ( $X_5$ )

เมื่อ

$$Q_{T.S.} = IV - Q_{loss} = \dot{m}(h_5 - h_4)$$

จะได้

$$Q_{T.S.} = \frac{6.8\ A \times 5\ V}{1000} = 0.034\ KW$$

และ

$$h_5 = \frac{(Q_{T.S.} - Q_{loss})}{\dot{m}} + h_4$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า

$$h_5 = \frac{(0.034 - 0.0028)kW}{0.0007 \text{ kg/s}} + 281.71 \text{ kJ/kg}$$

จะได้

$$\therefore h_5 = 326.159 \text{ kJ/kg}$$

เมื่อ

$$x_5 = \frac{(h_5 - h_{f@T5})}{h_{fg@T5}}$$

แทนค่า

$$x_5 = \frac{(326.159 - 233.554) \text{ kJ/kg}}{178.433 \text{ kJ/kg}}$$

จะได้

$$\therefore x_5 = 0.519$$

#### 4 การคำนวณหาค่านัสเซลน์เบอร์ที่ตำแหน่งใดๆ (Local nusselt number)

จะใช้ข้อมูลจากตารางที่ 6.1 และ 6.2 ผลการทดลองที่ความดันอิ่มตัว 0.7 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 891 kg/m<sup>2</sup>s ที่อุณหภูมิคงที่ 26 °C (ค่าที่ 10) เทอโมคัปเปิลตัวที่ 1

เมื่อ

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu}$$

แทนค่า

$$Re = \frac{891 \text{ kg/m}^2\text{s} \times 0.001 \text{ m}}{0.000183 \text{ N.s/m}^2}$$

จะได้

$$\therefore Re = 4868.85$$

เมื่อ

$$T_{f,local \ 1st} = T_{f,inlet} + \frac{q_{T.S.} \pi \ d_{inner} \ x}{\dot{m} C_p}$$

แทนค่า

$$T_{f,local \ 1st} = 30.20 + \frac{9.2638 \text{ kW/m}^2 \times \pi \times 0.001 \text{ m} \times 0.485 \text{ m}}{0.0007 \text{ kg/m}^2\text{s} \times 1.431 \text{ kJ/kg.k}}$$

จะได้

$$\therefore T_{f,local \ 1st} = 30.444 \text{ }^\circ\text{C}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$\alpha_{local\ 1st} = \frac{q_{T.S.}''}{T_{s,in,local\ 1st} - T_{f,local\ 1st}}$$

แทนค่า

$$\alpha_{local\ 1st} = \frac{9.2638\ kW/m^2}{30.30\ ^\circ C - 42.68\ ^\circ C}$$

จะได้

$$\therefore \alpha_{local\ 1st} = -0.7485\ kW/m^2\ ^\circ C$$

เมื่อ

$$Nu_{local\ 1st} = \frac{\alpha_{local\ 1st} D_{inner}}{k_{fluid}}$$


แทนค่า

$$Nu_{local\ 1st} = \frac{-0.7485\ kW/m^2\ ^\circ C \times 0.001\ m}{0.000082\ kW/m^2\ ^\circ C}$$

จะได้

$$\therefore Nu_{local\ 1st} = -20.74$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข  
ขั้นตอนการเติมสารทำความเย็นเข้าสู่ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการเติมสารทำความเย็นเข้าสู่ระบบ

1. ควรต้องทำการเช็คทั้งระบบก่อนว่ามีอุปกรณ์ส่วนไหนเสียหายหรือไม่ เพื่อป้องกันการรั่วที่จะเกิด ภายในระบบ
2. ทำสุญญากาศทั้งระบบโดยใช้เครื่อง vacuum pump โดยใช้เวลาประมาณ 6-8 ชั่วโมง
3. จากนั้นทำการชั่งสารทำความเย็นก่อนที่จะทำการเติมสารเข้าสู่ระบบทุกครั้งเพื่อที่จะได้ทราบว่า ที่เราเติมเข้าไปกี่ kg แล้ว
4. นำสายสีเหลืองที่ Manifold gauge ต่อที่ถัง และนำสายสีฟ้าต่อเข้ากับ valve service เพื่อทำการ เติมสารเข้าไปในระบบ
5. เปิดวาล์วที่ถังเก็บสารทำความเย็น แต่ต้องปิดวาล์วที่ Manifold gauge
6. หลังจากนั้นทำการเปิดวาล์วสีแดงเล็กน้อยที่ Manifold gauge เพื่อที่จะทำการไล่อากาศเพื่อที่จะได้ สารที่เป็นของเหลวทั้งหมดก่อนที่จะเติมเข้าไปภายในระบบ
7. จากนั้นหลังจากทำการไล่อากาศออกหมดแล้ว ทำการเปิดวาล์วสีฟ้าเพื่อนำสารทำความเย็นเข้าสู่ ระบบ
8. เปิด Gear pump โดยใช้รอกต่ำ เพื่อที่จะทำให้สารในระบบไหลเวียนได้ง่าย
9. ทำอุณหภูมิภายในระบบให้ต่ำ เพื่อทำให้สารทั้งหมดเป็นของเหลวทั้งหมด เพื่อให้ง่ายต่อการ ไหลเวียนในระบบ
10. สังเกตที่ sight glass ว่าสารในระบบขาดหรือไม่ จากนั้นก็รอกให้สารไหลเวียนในทั้งระบบจนเต็ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเริ่มเปิดเครื่องทำการเก็บผล

1. ก่อนที่เริ่มการทดลองจะทำการตรวจสอบจะสังเกตที่อุปกรณ์ การต่อสายอุปกรณ์ ต่างๆ สถานะพร้อม ใช้งาน
2. ถ้าเกิดว่าสารทำความเย็นเต็มทั้งระบบ เราจะสังเกตว่า Sight glass จะไม่มีการขยับหรือเกิดฟองของสารทำความเย็น
3. ถ้าเราสังเกตที่ Sight glass แล้วสารทำความเย็นในระบบนั้นเต็มแล้ว เราควรจะทำ การควบคุมอุณหภูมิภายในห้องให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่เราจะทดลอง steady state ควบคุมอุณหภูมิภายในห้องเหมาะสมการทดลอง
4. ดันขึ้นเพื่อเปิด Cut out สะพานไฟ ในตู้ควบคุม Electrical Control Box
5. ตู้ Control ควบคุมระบบไฟการทดลอง Test-section ไฟสีเขียว แจ้งเตือนการพร้อมทำงานของระบบ



6. เปิดวาล์วBy-pass เส้นเข้า-ออก และ ปิดวาล์ว Test-section ในเวลาเดียวกัน By Pass เพื่อให้สารสามารถไหลเวียนในระบบ เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน
7. เปิด Condenser ตัวที่ 1 ฝั่งขวา อุณหภูมิ 1-9 องศาเซลเซียส เปิด Condenser ตัวที่ 2 ฝั่งซ้าย อุณหภูมิ เช่น 26 , 28 และ 30 เพื่อสารทำความเย็นเป็นสถานะของไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำการปิด By Pass และเปิดวาล์วตรงส่วน Test section เพื่อให้สารทำความเย็นเข้าสู่ชุด Test section
9. ทำการเปิด Data logger ทั้ง 2 เครื่อง รุ่น GRAPHTEC mini-Logger เชื่อมต่อกับตัวบันทึกผล แล้วสังเกตที่ channel ที่ 19 จะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิของสารทำความเย็น ในระบบทำอุณหภูมิการทดลอง
10. ในกรณีที่อุณหภูมิของสารทำความเย็นในระบบ มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการทดลอง ให้ทำการเปิด Heater ในถังที่ 2 เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารทำความเย็น ให้อยู่ที่อุณหภูมิที่การทดลอง
11. เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการตามการทดลองแล้ว ทำการเปิดวาล์ว Test section เพื่อการทดลอง เก็บผล แล้วปิดวาล์ว By pass
12. ปรับอัตราการไหลที่เครื่อง Inverter และดูค่าอัตราการไหลที่เครื่อง Mass flow meter ให้อยู่ช่วงที่ทดลอง มีอัตราการไหลตามที่เรต้องการจะเก็บผลเช่น 412 , 649 และ 912 kg/m<sup>2</sup>s ก่อนทำการปรับ Mass flow Rate ทำการ Set zero mass flow meter (ขณะปรับอัตราการไหลที่เครื่อง Inverter ต้องสังเกต เกจวัดความดัน P1 และ P2 อย่างสม่ำเสมอ และควบคุมเกจวัดความดัน P1 และ P2 (มีความดันต่างกันไม่เกิน 5 bar) เมื่ออัตราการไหลคงที่ตามค่าที่เราต้องการแล้วให้ทำการป้อนกระแสไฟฟ้าจาก Power supply
13. Power supply ตัวที่ 1 ให้ความร้อนกับ Pre-heater เป็นการเพิ่มความร้อนให้สารทำความเย็นก่อนจะเข้า Test section โดยเราจะต้องควบคุมให้คุณภาพไอ x ให้เข้าใกล้ 0 ที่สุด ซึ่งจะเป็นการเริ่มไหลแบบ 2 สถานะ
14. ทำการป้อนกระแสไฟฟ้าจาก Power supply ตัวที่ 2 ให้กับช่วง Test section โดยการเพิ่มไฟฟ้าเราจะทำการค่อยๆป้อนไฟฟ้าเข้าไปทีละนิดเพื่อทำการสังเกตรูปแบบการไหลต่างๆ
15. ในการเก็บผลแต่ละครั้งต้อง ถ่ายรูปที่ท่อเทปลอนหลังช่วง Test section เพื่อสังเกตรูปแบบการไหล (Flow pattern) ในการเก็บผลทุกครั้งที่เราเพิ่มไฟเข้าไป เราควรจะถ่ายรูปที่ท่อใส่ที่ทางออก ของ Test section เพื่อสังเกตรูปแบบการไหล
16. เมื่อเก็บผลถึง Annular flow แล้ว ให้ลดกระแสไฟโวลต์ก่อนและปิด Power supply ทั้ง 2 เครื่อง และนำค่าที่ได้จากการเก็บผลนั้นไปพล็อตกราฟ ของ Ph diagram ว่าได้ตามวัฏจักรหรือไม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การ Set –zero เครื่อง Mass Flow Meter

1. ใช้อุปกรณ์ ปากกาควบคุมเครื่อง Mass flow meter สำหรับควบคุมหน้าจอ
2. ใช้อุปกรณ์ ปากกาแตะ คำสั่ง Up หรือ Down แสดงผลเป็นคำสั่ง Progr.level\*Locked
3. ทำการ กดok แตะคำสั่ง Up > เลือก Specialist\_ > กด OK
4. แตะหน้าจอ กด Up >เลือก System Zero adj. >กด OK
5. หน้าจอขึ้นคำสั่ง System Zero Adj automatic ? > เลือก OK
6. เลือกคำสั่ง System Zero Adj :slow ? หลังจากนั้น กด OK
7. หน้าจอแสดงผลSystem Zero adj: Number จากนั้น รอเครื่อง Set Zero จาก 0-100%
8. กด Main Menu ย้อนกลับหน้าแสดงผล อัตราการไหล Mass flow rate เป็นการเสร็จสิ้น Set Zero



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ  
การตรวจสอบและแนวทางการแก้ไขบริเวณที่เกิดการรั่วในระบบ


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การตรวจสอบและแนวทางการแก้ไขบริเวณที่เกิดการรั่วในระบบ

1. การตรวจสอบรอยรั่วการตรวจสอบรอยรั่วจะต้องทำหลังจากที่เราได้ทำการเติมสารทำความเย็นเรียบร้อยแล้วเท่านั้น เพราะเพื่อจะตรวจสอบรอยรั่วของระบบ ถ้าหากระบบเกิดรอยรั่วขึ้นจะให้ การทดลองมีความเที่ยงตรง เราจะเช็คที่รอยต่อเช่นวาล์วและส่วนที่สามารถถอด-ประกอบได้ เช่น Teat section โดยที่ช่วง Teat sectionจะติดตั้งท่อใส่ไว้ที่ท่อทางเข้าและทางออก เพื่อดูรูปแบบการไหล ส่วนที่มีการรั่วบ่อยที่สุดคือ ที่ท่อใส่ตรงทางออกของ Teat section



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ฉ  
ข้อมูลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลการทดลอง

## 1.ผลการทดลองที่ความดัน 0.6 MPa

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองที่ความดันอิมพั 0.6 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 381 kg/m<sup>2</sup>s

T <sub>ambien</sub> °C	Q <sub>in</sub> (KW)	Q <sub>loss</sub> (KW)	G (kg/m <sup>2</sup> s)	q'' (kW/m <sup>2</sup> )	T <sub>s,in,avg</sub>
22	0	-0.00103	381.97	0.3074	21.0616
22	0.00004	-0.00106	381.97	0.3283	21.0341
22	0.00016	-0.00099	381.97	0.3439	21.0958
22	0.00036	-0.00085	381.97	0.3615	21.2244
22	0.00064	-0.00080	381.97	0.4283	21.2753
22	0.001	-0.00030	381.97	0.3876	21.7277
22	0.00168	0.00065	381.97	0.3068	22.5939
22	0.00238	0.00195	381.97	0.1276	23.7785
22	0.0032	0.00454	381.97	-0.3998	26.1357
22	0.00414	0.00521	381.97	-0.3173	26.7401
22	0.0052	0.00608	381.97	-0.2612	27.5346
22	0.0066	0.00826	381.97	-0.4951	29.5239
22	0.00744	0.01067	381.97	-0.9614	31.7130
22	0.00884	0.01380	381.97	-1.4767	34.5614
22	0.01092	0.01802	381.97	-2.1148	38.4044
22	0.0123	0.00680	381.97	1.6388	28.2017
22	0.0144	0.00669	381.97	2.2971	28.1051
22	0.01632	0.00668	381.97	2.8707	28.1028
22	0.018	0.00684	381.97	3.3235	28.2509
22	0.0209	0.00714	381.97	4.0975	28.5296
22	0.0228	0.00728	381.97	4.6212	28.6617
22	0.0252	0.00772	381.97	5.2060	29.0624
22	0.02816	0.00780	381.97	6.0618	29.1462
22	0.03082	0.00788	381.97	6.8319	29.2182
22	0.03408	0.00796	381.97	7.7789	29.2967

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.ผลการทดลองที่ความดัน 0.6 MPa

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.6 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 636 kg/m<sup>2</sup>s

$T_{ambien}$ °C	$Q_{in}$ (KW)	$Q_{loss}$ (KW)	$G$ (kg/m <sup>2</sup> s)	$q''$ (kW/m <sup>2</sup> )	$T_{s,in,avg}$
20	0.02806	0.03280	636.62	-1.4112	28.9177
20	0.03072	0.03383	636.62	-0.9264	29.2016
20	0.034	0.03455	636.62	-0.1651	29.4032
20	0.03692	0.03561	636.62	0.3911	29.6931
20	0.0405	0.03680	636.62	1.1004	30.0235
20	0.04312	0.03749	636.62	1.6775	30.2127
20	0.04756	0.03930	636.62	2.4587	30.7120
20	0.0516	0.04042	636.62	3.3296	31.0210
20	0.05456	0.04122	636.62	3.9711	31.2443
20	0.05952	0.04271	636.62	5.0052	31.6555

## 1.ผลการทดลองที่ความดัน 0.6 MPa

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.6 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 891 kg/m<sup>2</sup>s

$T_{ambien}$ °C	$Q_{in}$ (KW)	$Q_{loss}$ (KW)	$G$ (kg/m <sup>2</sup> s)	$q''$ (kW/m <sup>2</sup> )	$T_{s,in,avg}$
20	0.00088	0.00073	891.27	0.0450	21.8237
20	0.00130	0.00088	891.27	0.1256	22.1983
20	0.00180	0.00101	891.27	0.2352	22.5286
20	0.00252	0.00118	891.27	0.3991	22.9540
20	0.00336	0.00136	891.27	0.5941	23.4186
20	0.00432	0.00170	891.27	0.7803	24.2571
20	0.00520	0.00200	891.27	0.9526	25.0123
20	0.00616	0.00220	891.27	1.1780	25.5216
20	0.00696	0.00249	891.27	1.3304	26.2431
20	0.00806	0.00284	891.27	1.5557	27.1040
20	0.00952	0.00316	891.27	1.8934	27.9210
20	0.01110	0.00349	891.27	2.2668	28.7388

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20	0.01280	0.00381	891.27	2.6780	29.5402
20	0.01462	0.00427	891.27	3.0830	30.6934
20	0.01656	0.00344	891.27	3.9078	28.6216
20	0.01900	0.00372	891.27	4.5485	29.3468
20	0.02200	0.00397	891.27	5.3699	29.9564
20	0.02436	0.00421	891.27	5.9994	30.5753
20	0.02728	0.00428	891.27	6.8471	30.7634
20	0.02944	0.00451	891.27	7.4226	31.3355
20	0.03312	0.00427	891.27	8.5894	30.7460
20	0.03500	0.00323	891.27	9.4594	28.1456
20	0.03900	0.00330	891.27	10.6293	28.3313
20	0.04158	0.00339	891.27	11.3723	28.5475
20	0.04648	0.00357	891.27	12.7782	29.0030
20	0.04930	0.00367	891.27	13.5873	29.2650
20	0.05280	0.00386	891.27	14.5737	29.7404
20	0.05642	0.00397	891.27	15.6177	30.0316
20	0.05952	0.00414	891.27	16.4889	30.4728
20	0.06468	0.00424	891.27	17.9974	30.7169
20	0.06868	0.00427	891.27	19.1785	30.8082

### 1. ผลการทดลองที่ความดัน 0.7 MPa

ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.7 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 381 kg/m<sup>2</sup>s

$T_{ambien}$ °C	$Q_{in}$ (KW)	$Q_{loss}$ (KW)	$G$ (kg/m <sup>2</sup> s)	$q''$ (kW/m <sup>2</sup> )	$T_{s,in,avg}$
24	0.00342	0.00318	381.97	0.0722	26.8952
24	0.00440	0.00332	381.97	0.3220	27.0253
24	0.00550	0.00366	381.97	0.5472	27.3397
24	0.00672	0.00402	381.97	0.8045	27.6655
24	0.00832	0.00441	381.97	1.1640	28.0257
24	0.00980	0.00534	381.97	1.3269	28.8766
24	0.01170	0.00590	381.97	1.7263	29.3881
24	0.01344	0.00638	381.97	2.1036	29.8210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24	0.01496	0.00695	381.97	2.3844	30.3485
24	0.01692	0.00814	381.97	2.6152	31.4294
24	0.01938	0.00901	381.97	3.0882	32.2261
24	0.02160	0.01057	381.97	3.2832	33.6533
24	0.02394	0.01095	381.97	3.8666	34.0036
24	0.02640	0.01135	381.97	4.4821	34.3654
24	0.02898	0.01226	381.97	4.9799	35.1958

### 1. ผลการทดลองที่ความดัน 0.7 MPa

ตารางที่ ค.5 ผลการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.7 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 636 kg/m<sup>2</sup>s

$T_{ambien}$ °C	$Q_{in}$ (KW)	$Q_{loss}$ (KW)	$G$ (kg/m <sup>2</sup> s)	$q''$ (kW/m <sup>2</sup> )	$T_{s,in,avg}$
24	0.01344	0.01339	636.62	0.0140	27.6452
24	0.01564	0.01426	636.62	0.4110	27.8836
24	0.01800	0.01445	636.62	1.0582	27.9384
24	0.01976	0.01538	636.62	1.3057	28.1928
24	0.02240	0.01620	636.62	1.8459	28.4209
24	0.02478	0.01758	636.62	2.1428	28.7991
24	0.02728	0.01827	636.62	2.6841	28.9882
24	0.02990	0.01917	636.62	3.1937	29.2387
24	0.03312	0.01971	636.62	3.9926	29.3899
24	0.03600	0.02035	636.62	4.6593	29.5686
24	0.03848	0.02138	636.62	5.0908	29.8519
24	0.04266	0.02213	636.62	6.1140	30.0607

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. ผลการทดลองที่ความดัน 0.7 MPa

ตารางที่ ค.6 ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.7 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 891 kg/m<sup>2</sup>s

$T_{ambien}$ °C	$Q_{in}$ (KW)	$Q_{loss}$ (KW)	G (kg/m <sup>2</sup> s)	$q''$ (kW/m <sup>2</sup> )	$T_{s,in,avg}$
22	0.00204	0.00171	891.27	0.0989	26.2732
22	0.00280	0.00174	891.27	0.3166	26.3471
22	0.00352	0.00174	891.27	0.5297	26.3597
22	0.00414	0.00174	891.27	0.7143	26.3611
22	0.00500	0.00175	891.27	0.9690	26.3737
22	0.00594	0.00178	891.27	1.2383	26.4649
22	0.00696	0.00180	891.27	1.5353	26.5226
22	0.00858	0.00190	891.27	1.9905	26.7543
22	0.01008	0.00200	891.27	2.4052	27.0250
22	0.01170	0.00200	891.27	2.8869	27.0336
22	0.01344	0.00206	891.27	3.3891	27.1710
22	0.01530	0.00215	891.27	3.9157	27.4033
22	0.01692	0.00219	891.27	4.3874	27.4958
22	0.01862	0.00223	891.27	4.8796	27.6162
22	0.02200	0.00229	891.27	5.8695	27.7621
22	0.02394	0.00248	891.27	6.3893	28.2512
22	0.02596	0.00260	891.27	6.9549	28.5561
22	0.02852	0.00266	891.27	7.6999	28.7061
22	0.03120	0.00277	891.27	8.4647	28.9902
22	0.03400	0.00289	891.27	9.2638	29.2858
22	0.03796	0.00311	891.27	10.3759	29.8564
22	0.04050	0.00321	891.27	11.1023	30.1127
22	0.04480	0.00321	891.27	12.3853	30.0984
22	0.04756	0.00323	891.27	13.1985	30.1765
22	0.05280	0.00336	891.27	14.7222	30.4933
22	0.05766	0.00340	891.27	16.1580	30.5974
22	0.06144	0.00355	891.27	17.2377	30.9895
22	0.06600	0.00353	891.27	18.6009	30.9532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. ผลการทดลองที่ความดัน 0.8 MPa

ตารางที่ ค.7 ผลการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.8 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 636 kg/m<sup>2</sup>s

$T_{ambien}$ °C	$Q_{in}$ (KW)	$Q_{loss}$ (KW)	G (kg/m <sup>2</sup> s)	$q''$ (kW/m <sup>2</sup> )	$T_{s,in,avg}$
22	0.00860	0.02833	636.62	0.1121	29.6722
22	0.00968	0.02872	636.62	0.3998	29.7802
22	0.01128	0.02922	636.62	0.8333	29.9174
22	0.01326	0.02986	636.62	1.3676	30.0942
22	0.01512	0.03031	636.62	1.8822	30.2204
22	0.01710	0.03076	636.62	2.4324	30.3470
22	0.01920	0.03099	636.62	3.0381	30.4123
22	0.02108	0.03266	636.62	3.4533	30.8680
22	0.02376	0.03295	636.62	4.2264	30.9508
22	0.02508	0.03405	636.62	4.5248	31.2492
22	0.02880	0.03527	636.62	5.5272	31.5854
22	0.03108	0.03642	636.62	6.1063	31.9019
22	0.03388	0.03776	636.62	6.8239	32.2703
22	0.03680	0.03888	636.62	7.5970	32.5770
22	0.03984	0.03940	636.62	8.4575	32.7224
22	0.04350	0.04024	636.62	9.4742	32.9580
22	0.04680	0.04115	636.62	10.3782	33.2097
22	0.05022	0.04187	636.62	11.3341494	33.4116
22	0.05432	0.04285	636.62	12.4710046	33.6818

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. ผลการทดลองที่ความดัน 0.8 MPa

ตารางที่ ค.8 ผลการทดลองที่ความดันอิมิตัว 0.8 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 891 kg/m<sup>2</sup>s

$T_{ambien} \text{ } ^\circ\text{C}$	$Q_{in} \text{ (KW)}$	$Q_{loss} \text{ (KW)}$	$G \text{ (kg/m}^2\text{s)}$	$q'' \text{ (kW/m}^2\text{)}$	$T_{s,in,avg}$
22	0.00324	0.00280	891.27	0.1300	29.0144
22	0.00420	0.00284	891.27	0.4052	29.1056
22	0.00550	0.00286	891.27	0.7870	29.1529
22	0.00672	0.00291	891.27	1.1356	29.2780
22	0.00780	0.00298	891.27	1.4360	29.4585
22	0.00952	0.00305	891.27	1.9275	29.6345
22	0.01110	0.00312	891.27	2.3747	29.8329
22	0.01248	0.00318	891.27	2.7684	29.9804
22	0.01462	0.00322	891.27	3.3943	30.0795
22	0.01656	0.00330	891.27	3.9480	30.2841
22	0.01900	0.00336	891.27	4.6566	30.4393
22	0.02080	0.00348	891.27	5.1567	30.7440
22	0.02352	0.00375	891.27	5.8862	31.4246
22	0.02596	0.00388	891.27	6.5742	31.7527
22	0.02944	0.00391	891.27	7.6024	31.8261
22	0.03216	0.00397	891.27	8.3937	31.9875
22	0.03400	0.00407	891.27	8.9117	32.2421
22	0.03692	0.00416	891.27	9.7546	32.4709
22	0.03942	0.00424	891.27	10.4744	32.6820
22	0.04368	0.00431	891.27	11.7243	32.8461
22	0.04698	0.00444	891.27	12.6657	33.1983
22	0.05100	0.00449	891.27	13.8481	33.3288
22	0.05518	0.00460	891.27	15.0608	33.6046
22	0.06016	0.00470	891.27	16.5151	33.8536
22	0.06402	0.00496	891.27	17.5867	34.5136
22	0.06868	0.00502	891.27	18.9564	34.6730

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 ผลการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.6 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 381 kg/m<sup>2</sup>s (ต่อ)

$T_{f,in}$ °C	$T_{f,out}$ °C	$T_{f,avg}$ °C	$h_{avg}$ KW/m <sup>2</sup> °C	Pressuer drop (kPa)	Uncertainty (W/m <sup>2</sup> °C)
21.6	26	23.80	0.37231	7.27	38.1807
21.6	26.2	23.90	0.54626	13.57	44.0940
21.6	26.3	23.95	0.69126	14.4	48.2284
21.6	26.4	24.00	0.78183	15.41	49.9781
21.6	26.5	24.05	0.91470	16.41	52.4006
21.6	26.6	24.10	1.01304	18.22	54.3246
21.7	26.9	24.30	1.09316	34.34	55.5783
21.6	27	24.30	1.25084	25.58	58.9363
21.6	27.1	24.35	1.40339	26.33	62.3790
21.6	27.1	24.35	1.57256	27.32	65.9021

ตารางที่ จ.2 ผลการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.6 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 636 kg/m<sup>2</sup>s (ต่อ)

$T_{f,in}$ °C	$T_{f,out}$ °C	$T_{f,avg}$ °C	$h_{avg}$ KW/m <sup>2</sup> °C	Pressuer drop (kPa)	Uncertainty (W/m <sup>2</sup> °C)
21.2	25.6	23.40	0.06214	63.95	54.34523
21.2	25.7	23.45	0.16740	67.17	55.65388
21.3	25.8	23.55	0.25177	80.6	57.39742
21.3	25.9	23.60	0.34571	86.84	57.90299
21.2	26	23.60	0.44867	90.19	59.01917
21.3	26.2	23.75	0.52988	99.45	60.88641
21.3	26.3	23.80	0.63716	102.4	62.17065

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 ผลการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.6 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 891 kg/m<sup>2</sup>s (ต่อ)

$T_{f,in}$ °C	$T_{f,out}$ °C	$T_{f,avg}$ °C	$h_{avg}$ KW/m <sup>2</sup> °C	Pressuer drop (kPa)	Uncertainty (W/m <sup>2</sup> °C)
21.1	20.9	21.00	0.05465	13.02	49.57629
21.1	20.9	21.00	0.10478	11.27	41.26400
21.1	21	21.05	0.15908	11.87	39.35755
21.1	21.1	21.10	0.21527	14.07	37.50747
21.1	21	21.05	0.25082	14.39	34.24707
21.1	21	21.05	0.24330	15.04	28.98501
21.1	20.9	21.00	0.23741	15.36	25.53679
21.1	21	21.05	0.26343	15.76	25.08955
21.1	20.9	21.00	0.25375	16.19	22.79168
21.1	20.9	21.00	0.25486	16.59	21.24445
21.1	20.9	21.00	0.27358	17.24	20.64302
21.1	20.9	21.00	0.29292	18.08	20.21887
21.1	21	21.05	0.31542	20.94	20.08186
21.1	21	21.05	0.31970	21.53	19.18160
21.1	21.2	21.15	0.52302	44.16	26.75734
21.1	21.2	21.15	0.55491	46.32	26.66132
21.1	21.3	21.20	0.61326	51.2	27.54031
21.1	21.3	21.20	0.63992	60.46	27.50411
21.1	21.5	21.30	0.72354	64.57	29.43904
21.1	21.6	21.35	0.74334	70.6	29.33167
21.1	21.7	21.40	0.91904	80.79	34.08913
21.1	21.8	21.45	1.41277	93.94	49.31122
21.1	22	21.55	1.56743	110.93	52.70379
21.1	22.1	21.60	1.63689	113.54	53.79371
21.1	22.3	21.70	1.74971	125.6	55.69287
21.1	22.4	21.75	1.80802	129.74	56.45497
21.1	22.5	21.80	1.83538	154.15	56.22976
21.1	22.6	21.85	1.90889	146.42	57.36613
21.1	22.6	21.85	1.91225	152.78	56.63837
21.1	22.8	21.95	2.05289	159.48	59.48873

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงนวิชาหการเชงานเพอการศกษาแทนน ไมอนุญาตหนาไปเชประยชนดานการคา  
ไมวากรณใตๆ ทั้งสิ้น อิกทั้งห้ามมิใหัดดแปลงเนือหาและตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.4 ผลการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.7 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 381 kg/m<sup>2</sup>s (ต่อ)

$T_{f,in}$ °C	$T_{f,out}$ °C	$T_{f,avg}$ °C	$h_{avg}$ KW/m <sup>2</sup> °C	Pressuer drop (kPa)	Uncertainty (W/m <sup>2</sup> °C)
26.4	24.8	25.60	0.05573	11.52	62.18945
26.5	24.8	25.65	0.23412	13.72	67.13086
26.6	24.8	25.70	0.33374	13.14	63.68534
26.8	24.8	25.80	0.43126	13.26	62.64591
26.9	24.7	25.80	0.52296	13.55	59.47842
27	24.7	25.85	0.43840	15.96	48.12443
27.9	24.7	26.30	0.55901	16.92	52.53095
27.9	24.7	26.30	0.59745	17.3	50.10079
27.9	24.7	26.30	0.58896	18.9	46.43675
27.9	24.7	26.30	0.50984	19.12	39.58087
27.9	24.7	26.30	0.52113	22.16	37.41873
27.9	24.4	26.15	0.43756	26.27	31.69886
27.9	24.4	26.15	0.49234	28.17	32.40124
27.9	24.4	26.15	0.54557	29.51	33.06207
27.9	24.4	26.15	0.55052	32.23	31.98398

ตารางที่ จ.5 ผลการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.7 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 636 kg/m<sup>2</sup>s (ต่อ)

$T_{f,in}$ °C	$T_{f,out}$ °C	$T_{f,avg}$ °C	$h_{avg}$ KW/m <sup>2</sup> °C	Pressuer drop (kPa)	Uncertainty (W/m <sup>2</sup> °C)
27.8	25.9	26.85	0.01760	55.42	221.85224
27.8	25.9	26.85	0.39764	61.12	187.80266
27.8	25.9	26.85	0.97230	66.35	195.19957
27.8	25.9	26.85	0.97234	67.34	167.53849
27.9	26	26.95	1.25489	75.98	166.20236
27.9	26	26.95	1.15883	78.41	141.29039
28	26	27.00	1.35005	83.11	140.12454
28	26	27.00	1.42656	84.86	132.42873
28	26	27.00	1.67059	86.59	133.30838

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

28.2	26	27.10	1.88746	88.44	136.80293
28.2	26	27.10	1.84994	100.51	128.47151
28.5	26	27.25	2.17526	103.42	135.78902

ตารางที่ จ.6 ผลการทดลองที่ความดันอิ่มตัว 0.7 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 891 kg/m<sup>2</sup>s (ต่อ)

$T_{f,in}$ °C	$T_{f,out}$ °C	$T_{f,avg}$ °C	$h_{avg}$ KW/m <sup>2</sup> °C	Pressuer drop (kPa)	Uncertainty (W/m <sup>2</sup> °C)
26.9	24.8	25.85	0.23380	56.41	149.20250
26.9	24.8	25.85	0.63696	57.9	150.03969
27	24.7	25.85	1.03919	59.45	164.15349
27	24.7	25.85	1.39760	60.18	176.86818
27	24.7	25.85	1.85027	60.54	190.69245
27	24.6	25.80	1.86239	64.51	164.79231
27.1	24.6	25.85	2.28287	65.8	177.67907
27.1	24.6	25.85	2.20119	69.32	149.42216
27.1	24.6	25.85	2.04709	70.75	126.35856
27.2	24.6	25.90	2.54665	74.62	143.09879
27.3	24.4	25.85	2.56560	81.1	133.54257
27.4	24.5	25.95	2.69431	82.09	131.45372
27.5	24.5	26.00	2.93311	83.19	135.72903
27.6	24.5	26.05	3.11561	83.37	137.49778
27.5	24.4	25.95	3.23911	85.9	133.08199
27.6	24.3	25.95	2.77654	103.53	110.58047
28	24.3	26.15	2.89054	105.94	111.44690
28.1	24.3	26.20	3.07250	113.12	114.02861
28.2	24.3	26.25	3.08910	122.42	110.91806
28.6	24.3	26.45	3.26673	126.22	113.78645
28.8	24.3	26.55	3.13809	128.66	105.75717
29	24.3	26.65	3.20626	144.41	105.65280
29.4	24.3	26.85	3.81279	147.29	121.45662
29.6	24.3	26.95	4.09061	149.33	127.63099
29.7	24.3	27.00	4.21437	152.79	127.81164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29.8	24.4	27.10	4.62004	156.56	136.69614
30	24.4	27.20	4.54879	169.07	132.40944
30.1	24.4	27.25	5.02295	174.01	143.30267

ตารางที่ จ.7 ผลการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.8 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 636 kg/m<sup>2</sup>s (ต่อ)

$T_{f,in}$ °C	$T_{f,out}$ °C	$T_{f,avg}$ °C	$h_{avg}$ KW/m <sup>2</sup> °C	Pressuer drop (kPa)	Uncertainty (W/m <sup>2</sup> °C)
30.30	27.80	29.05	0.18026	76.12	241.39308
30.40	27.90	29.15	0.63450	77.1	249.76561
30.50	28.00	29.25	1.24871	79.98	256.04435
30.60	27.90	29.25	1.62005	81.51	222.51572
30.70	28.10	29.40	2.29432	82.6	246.53359
30.80	28.10	29.45	2.71194	83.67	242.07683
30.80	28.10	29.45	3.15713	83.94	241.61036
31.10	28.30	29.70	2.95676	90.36	209.85721
31.20	28.40	29.80	3.67268	92.82	230.09416
31.40	28.50	29.95	3.48284	93.78	208.97287
31.50	28.60	30.05	3.59989	94.01	194.88446
31.70	28.70	30.20	3.58788	108.94	184.32850
32.20	28.80	30.50	3.85472	111.16	187.69249
32.30	28.90	30.60	3.84261	113	177.74260
32.40	29.00	30.70	4.18190	114.49	183.51158
32.60	29.10	30.85	4.49439	116.87	187.55559
32.80	29.30	31.05	4.80534	117.59	192.80200
33.00	29.40	31.20	5.12496	118.67	198.07635
33.00	29.40	31.20	5.02499	119.99	187.16645

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.8 ผลการทดลองที่ความดันอิมตัว 0.8 MPa ฟลักซ์เชิงมวล 891 kg/m<sup>2</sup>s (ต่อ)

$T_{f,in}$ °C	$T_{f,out}$ °C	$T_{f,avg}$ °C	$h_{avg}$ KW/m <sup>2</sup> °C	Pressuer drop (kPa)	Uncertainty (W/m <sup>2</sup> °C)
31.10	26.80	28.95	2.21421	106.53	0.28510
31.00	26.80	28.90	2.31595	106.01	25.33345
31.00	26.80	28.90	3.06592	110.73	69.41227
31.00	26.80	28.90	4.48264	114.54	146.54582
31.00	26.80	28.90	7.29242	112.63	326.61389
31.00	26.80	28.90	5.62771	113.09	419.52967
31.00	26.80	28.90	5.71628	113.53	668.75054
31.00	26.80	28.90	4.64513	114.41	1204.18545
31.10	26.80	28.95	1.05002	115.7	4836.45039
31.10	26.80	28.95	2.02050	116.61	1215.28650
31.10	26.80	28.95	2.60486	117.62	577.85455
31.10	26.80	28.95	3.87825	119.37	514.60242
31.10	26.80	28.95	3.46262	121.11	356.33731
31.30	26.90	29.10	4.00504	122.59	354.21520
31.30	26.90	29.10	3.60641	124.9	267.30702
31.40	27.00	29.20	3.75187	126.62	247.21026
31.60	27.00	29.30	4.06856	128.53	246.28373
31.60	27.10	29.35	4.65276	131.27	253.55902
31.70	27.10	29.40	4.46573	133.73	226.13570
31.90	27.30	29.60	5.54833	137	260.38649
32.00	27.30	29.65	4.71377	139.01	211.41139
32.70	27.60	30.15	4.61807	156.61	196.99301
32.90	27.60	30.25	4.37496	160.03	178.44916
33.00	27.60	30.30	4.98152	163.7	191.91769
33.20	27.80	30.50	5.64283	160.6	209.23887
33.20	27.80	30.50	5.11558	164.75	185.22584
33.20	27.80	30.50	4.94930	167.2	173.52434
33.20	27.80	30.50	4.80035	167.53	164.06527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33.50	27.90	30.70	5.46305	174.63	180.07133
33.60	28.00	30.80	5.28120	178.88	169.98611
33.90	28.00	30.95	5.82135	181.75	182.33252
34.00	28.00	31.00	5.78233	185.03	176.85490
34.20	28.00	31.10	5.99770	199.7	178.98025
34.60	28.00	31.30	5.47261	203.78	160.86914
34.80	28.50	31.65	6.27064	207.37	180.74854



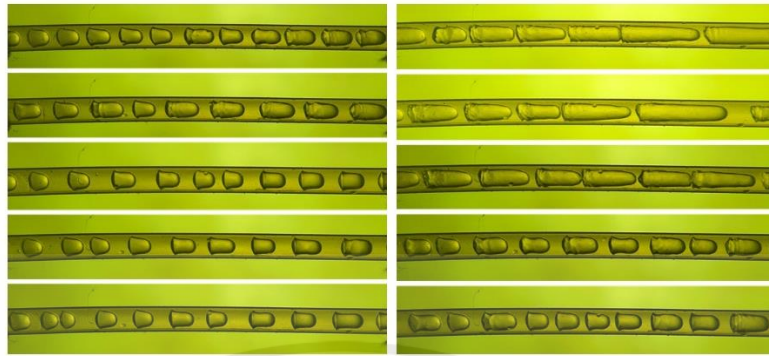
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช  
รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้น

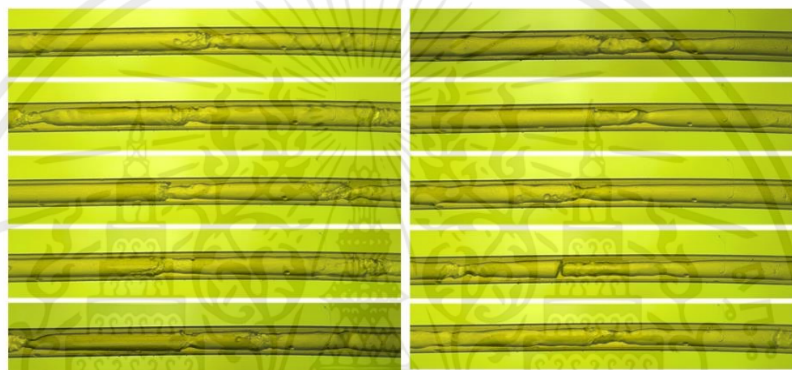


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

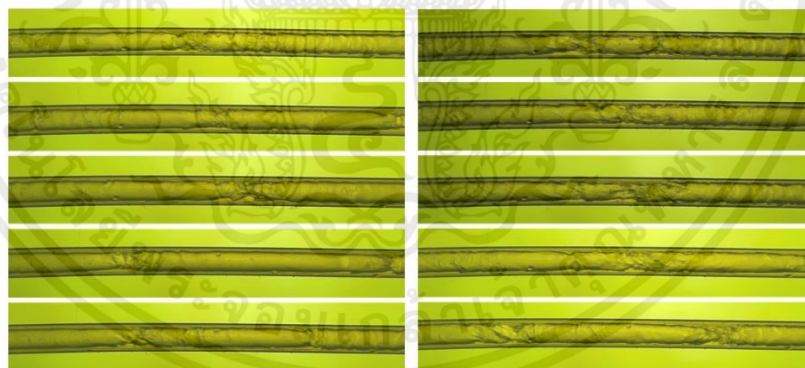
รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้น ที่ mass flux 0.0003 kg/s ที่ อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส  
การไหลแบบ Gas Plug flow



การไหลแบบ Slug flow

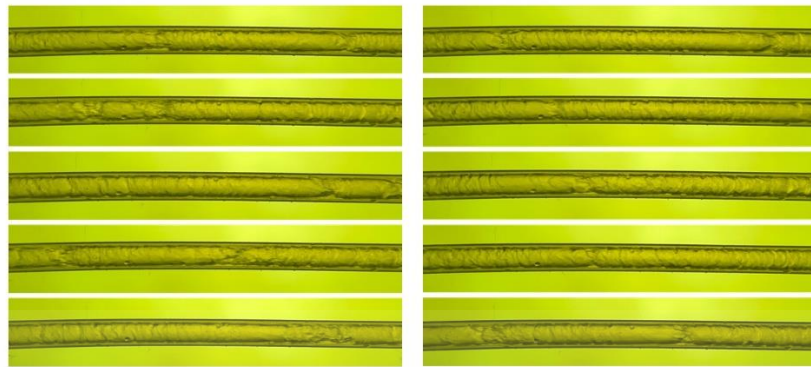


การไหลแบบ Throat-annular flow

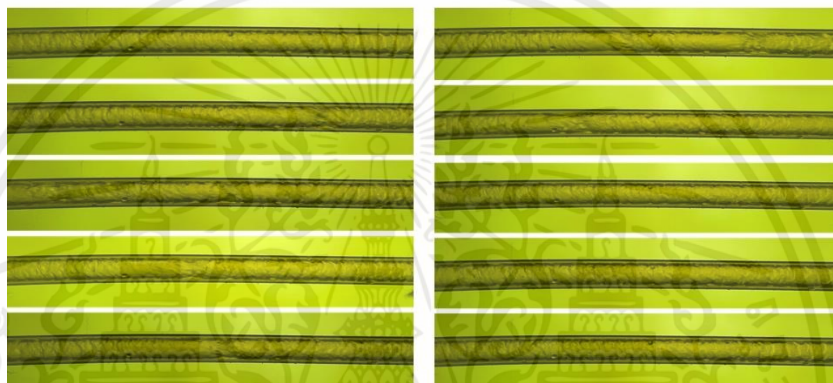


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลแบบ Churn flow

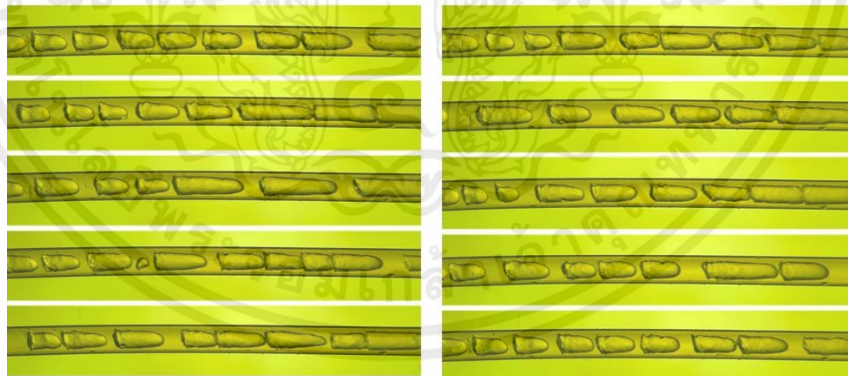


การไหลแบบ Annular flow



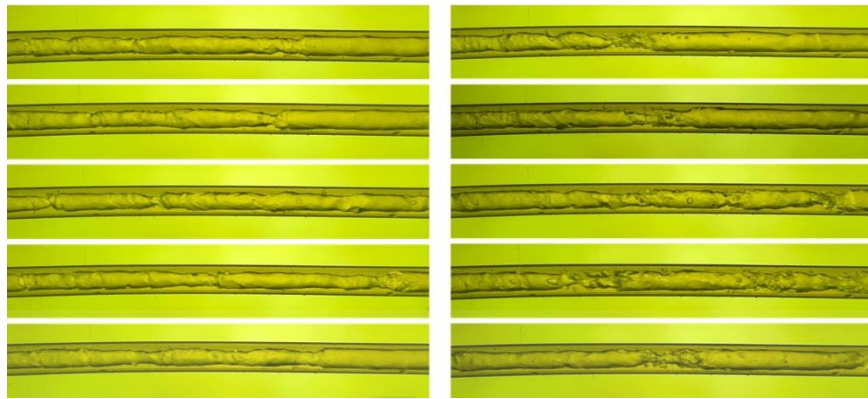
รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้น ที่ mass flux 0.0005 kg/s ที่ อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส

การไหลแบบ Gas Plug flow

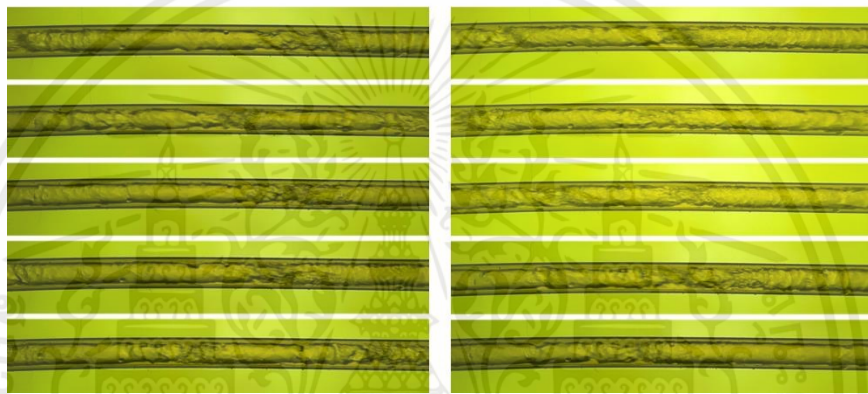


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลแบบ Slug flow



การไหลแบบ Throat-annular flow

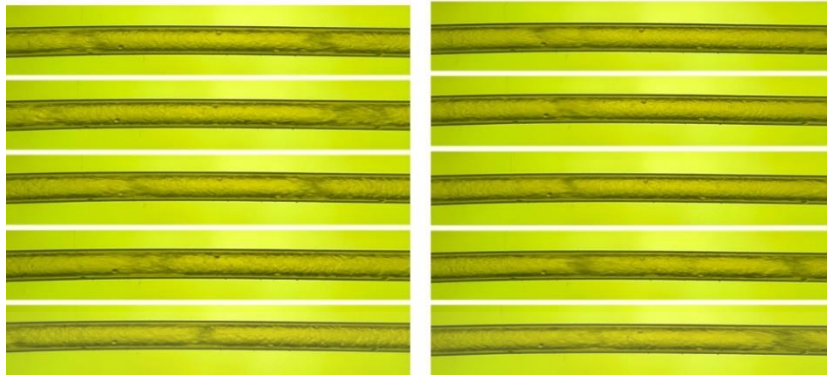


การไหลแบบ Churn flow



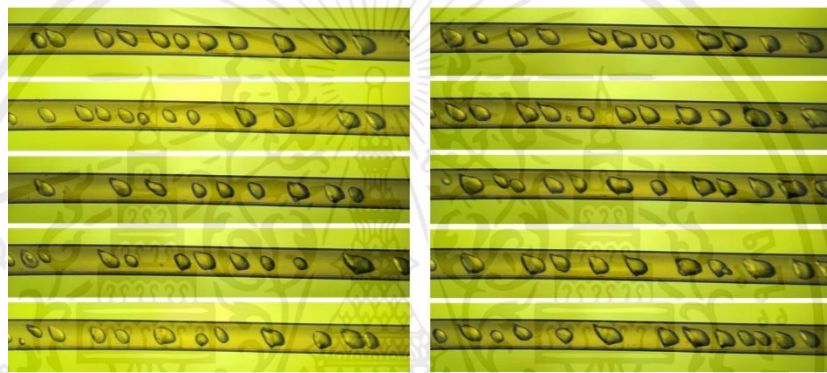
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลแบบ Annular flow

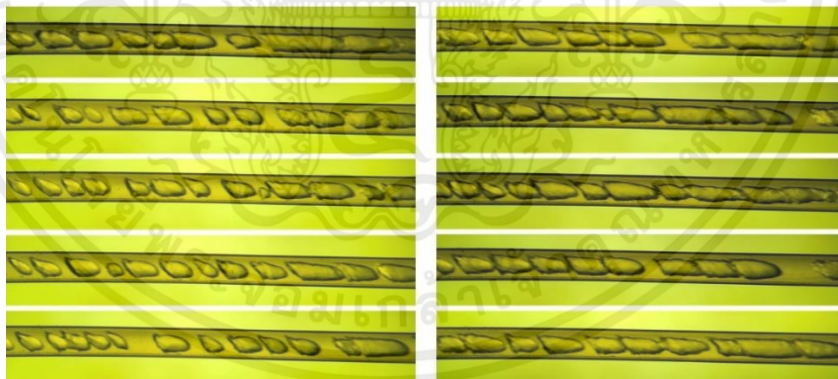


รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้น ที่ mass flux 0.0007 kg/s ที่ อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส

การไหลแบบ Bubble flow

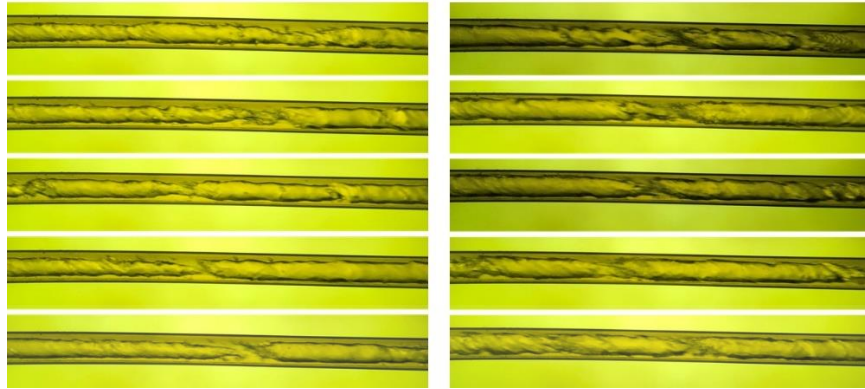


การไหลแบบ Gas Plug flow

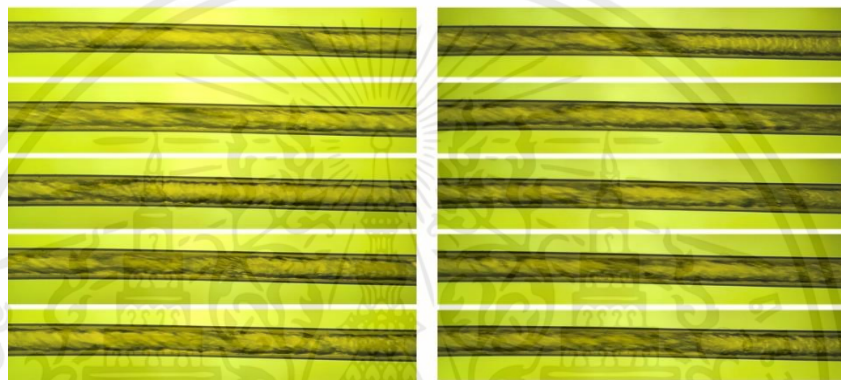


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

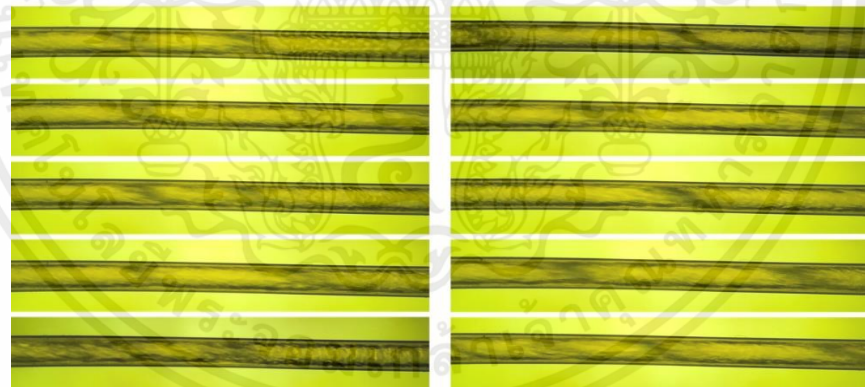
การไหลแบบ Slug flow



การไหลแบบ Throat-annular flow

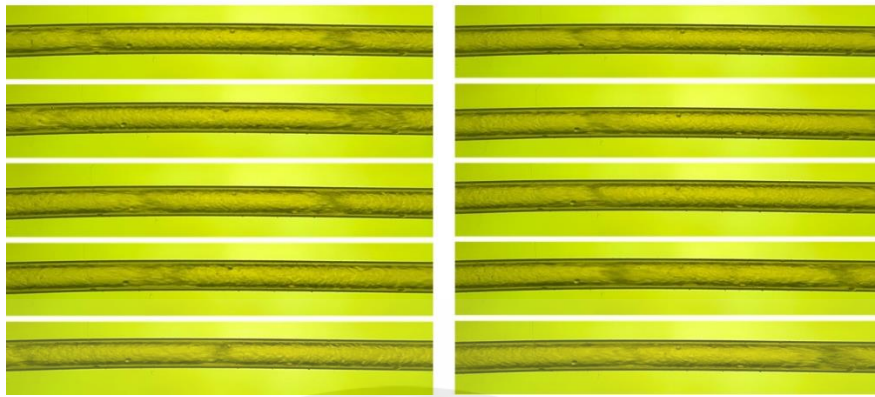


การไหลแบบ Churn flow



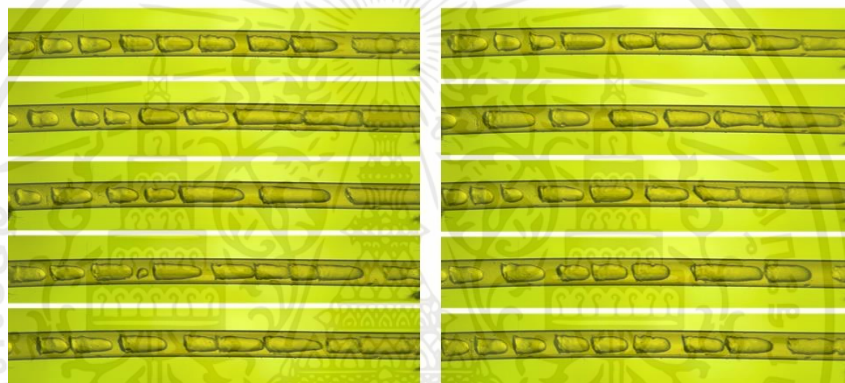
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลแบบ Annular flow

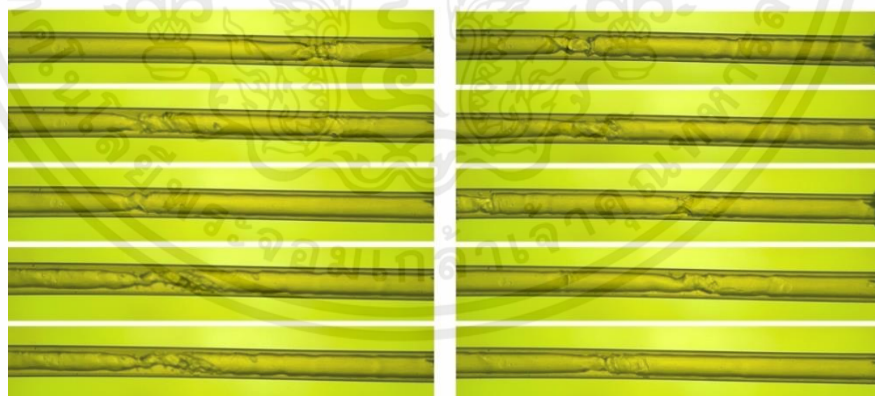


รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้น ที่ mass flux 0.0003 kg/s ที่ อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส

การไหลแบบ Gas Plug flow

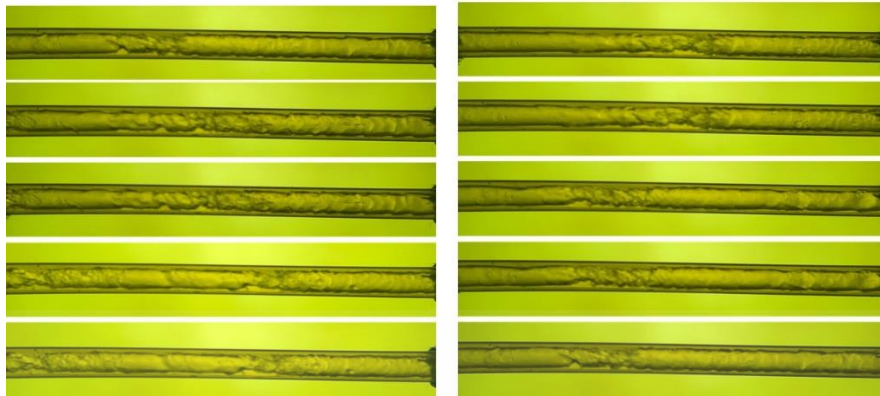


การไหลแบบ Slug flow

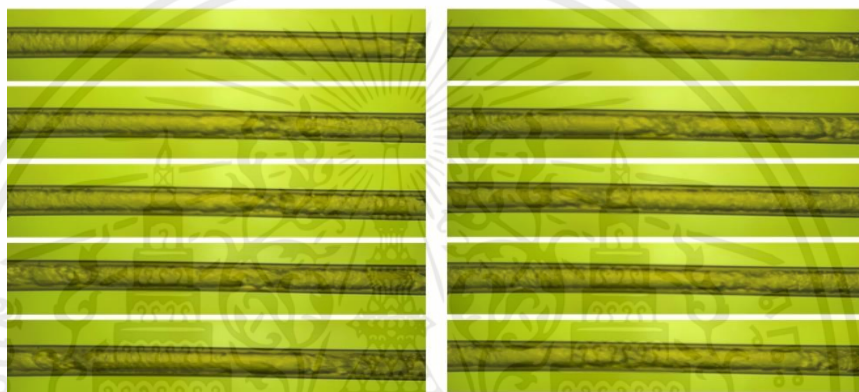


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลแบบ Throat-annular flow

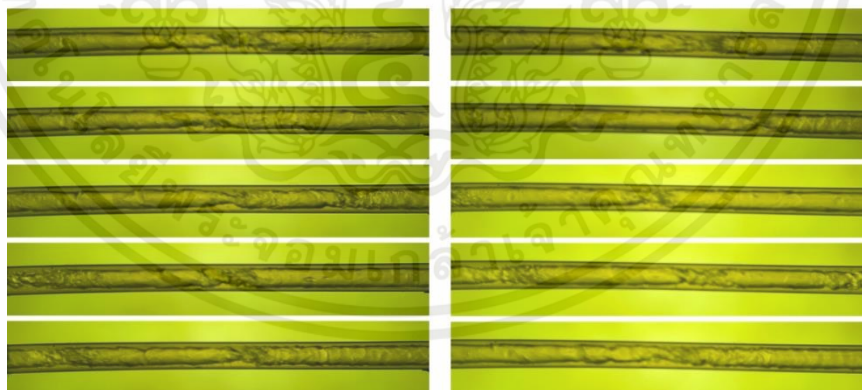


การไหลแบบ Churn flow

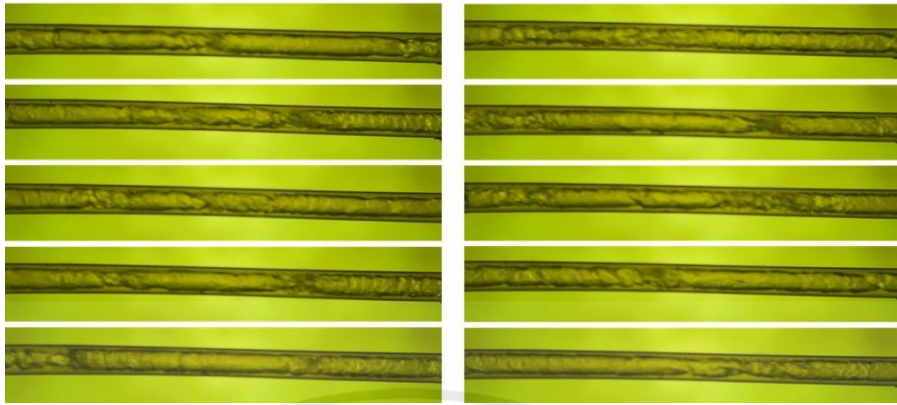


รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้น ที่ mass flux  $0.0005 \text{ kg/s}$  ที่ อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส

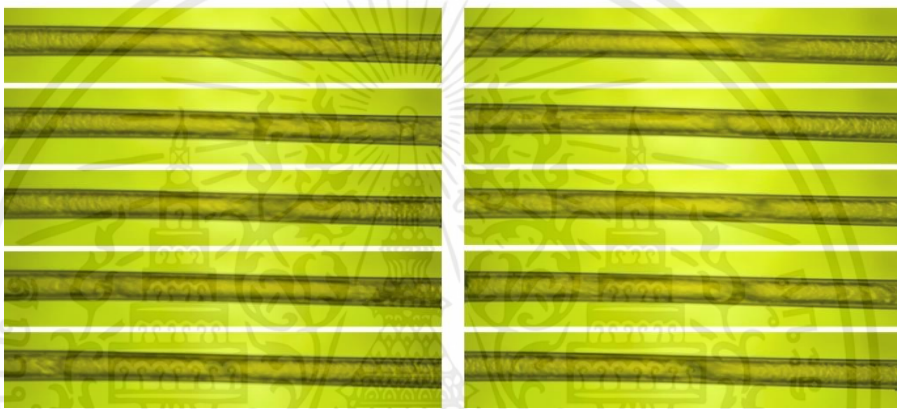
การไหลแบบ Slug flow



การไหลแบบ Throat-annular flow



การไหลแบบ Churn flow

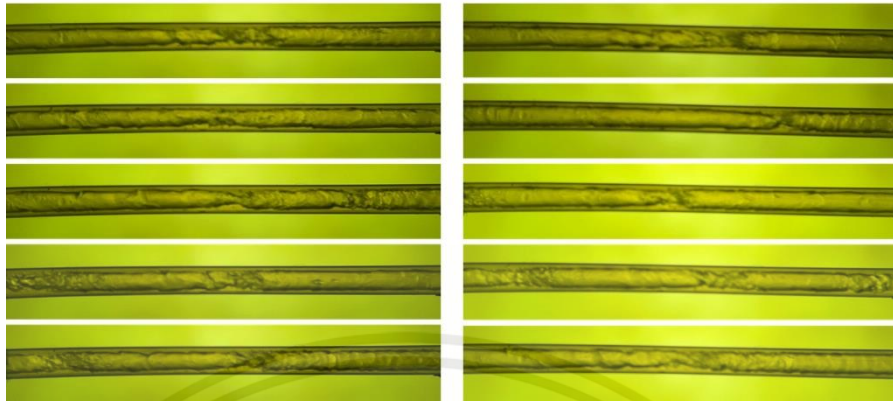


การไหลแบบ Annular flow

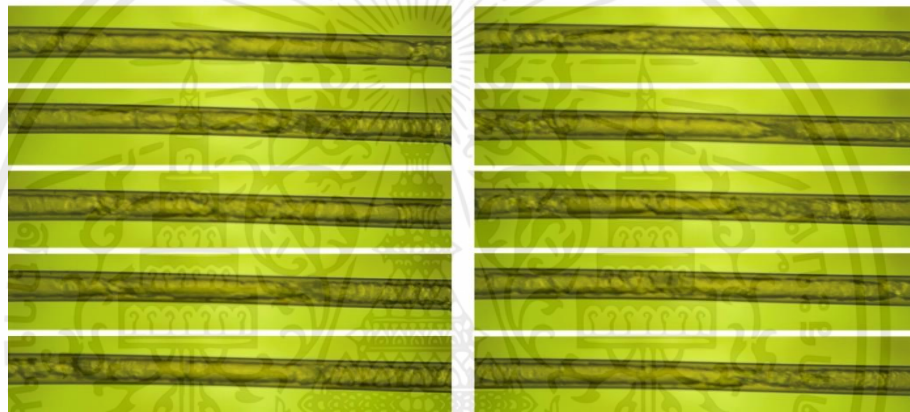


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

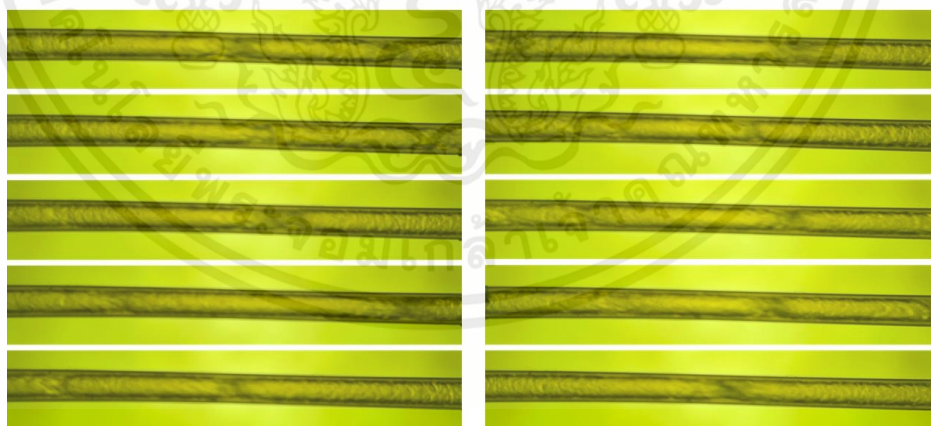
รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้น ที่ mass flux 0.0007 kg/s ที่ อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส  
การไหลแบบ Slug flow



การไหลแบบ Throat-annular flow

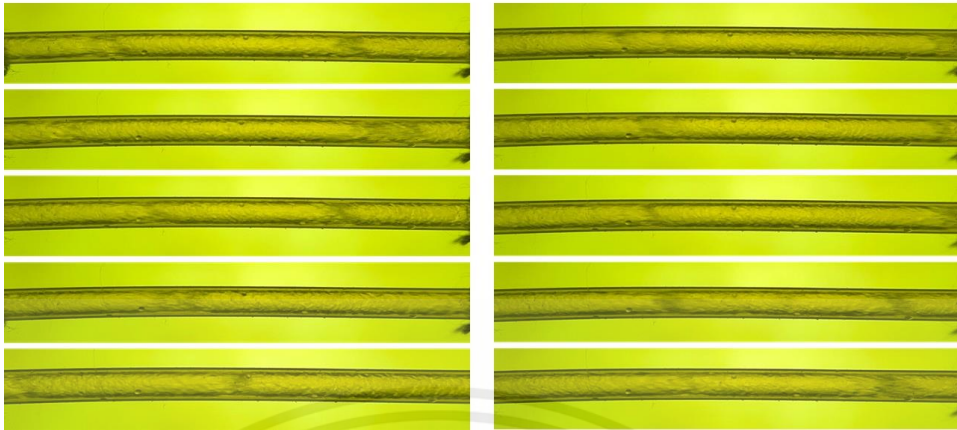


การไหลแบบ Churn flow



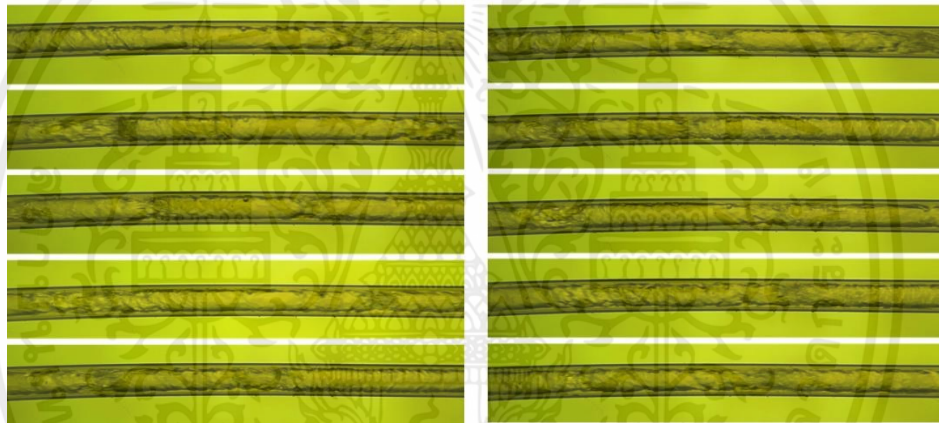
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลแบบ Annular flow

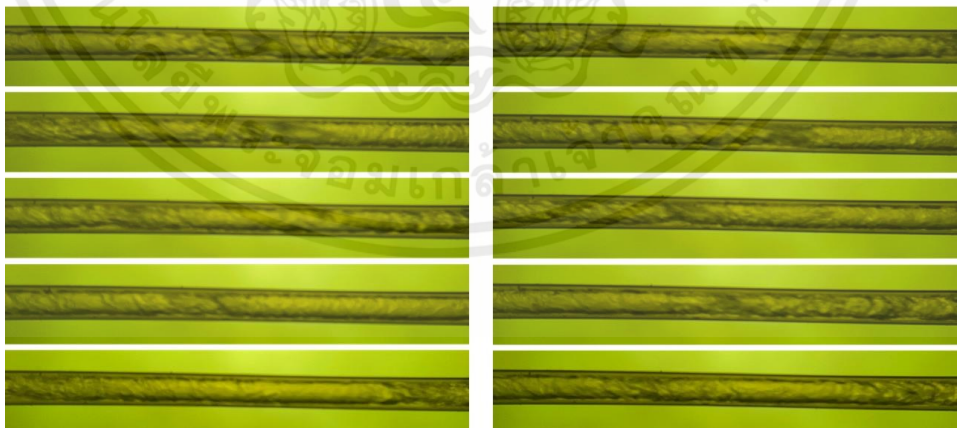


รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้น ที่ mass flux 0.0005 kg/s ที่ อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส

การไหลแบบ Throat-annular flow

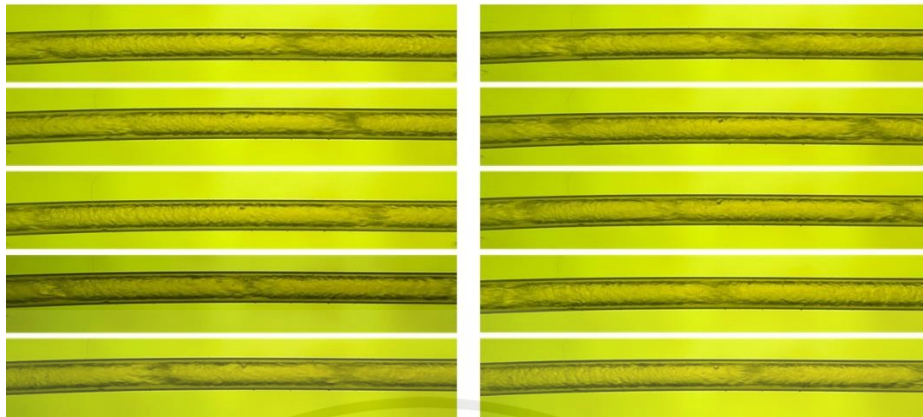


การไหลแบบ Churn flow



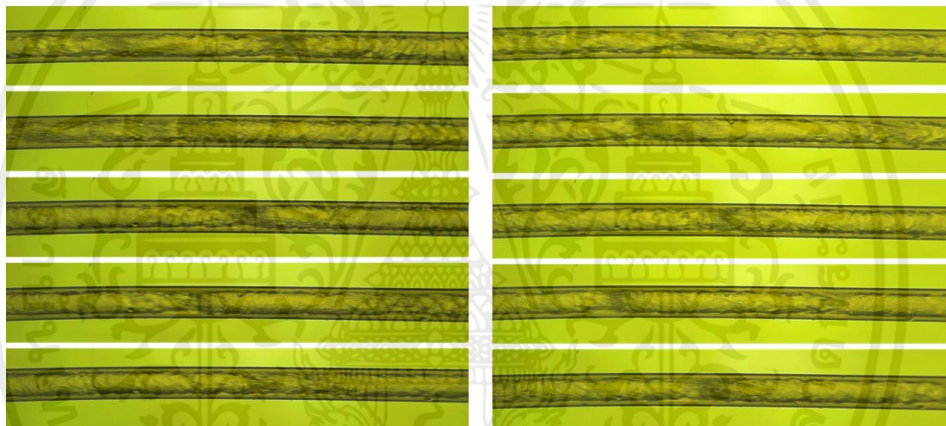
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลแบบ Annular flow

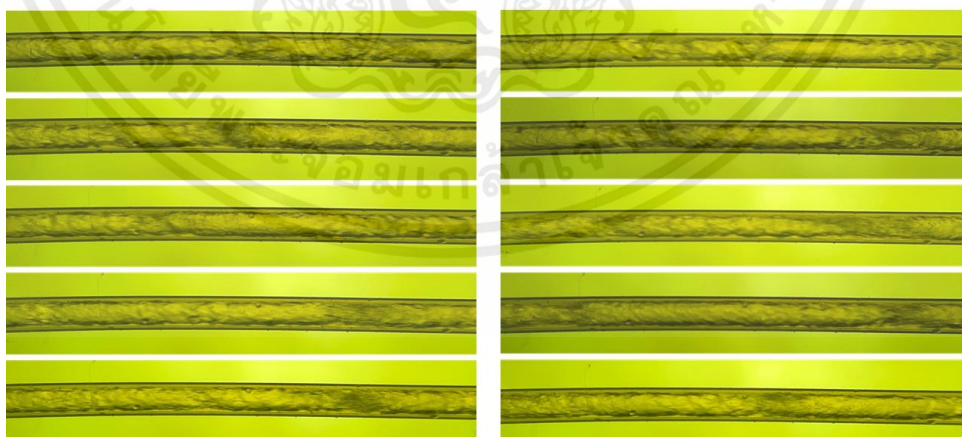


รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้น ที่ mass flux  $0.0007 \text{ kg/s}$  ที่ อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส

การไหลแบบ Throat-annular flow

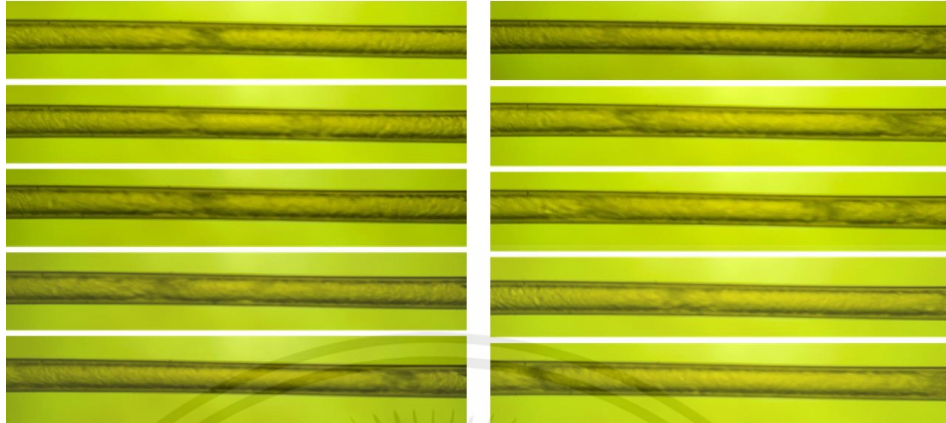


การไหลแบบ Churn flow



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลแบบ Annular flow



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายณรงค์ปกรณ์ สงเทพ  
 วัน เดือน ปีเกิด 23 พฤศจิกายน 2541  
 ภูมิลำเนา จังหวัด นครศรีธรรมราช  
 ที่อยู่ 138/1 หมู่ที่ 6 ตำบล ควนพัง  
 อำเภอ ร่อนพิบูลย์  
 จังหวัด นครศรีธรรมราช 80130

## ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษา ปวช. จากวิทยาลัยเทคนิค  
 นครศรีธรรมราช  
 ปีการศึกษา 2559  
 จบการศึกษา ปวส. จากวิทยาลัยเทคนิค  
 นครศรีธรรมราช  
 ปีการศึกษา 2561

## ผลงานและกิจกรรม

- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
 วศ.บ (สาขาวิศวกรรมเครื่องกล) ปี 2564 จาก สถาบัน  
 เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร  
 - ผ่านการฝึกประสบการณ์วิชาชีพหลักสูตร  
 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขา ช่างเทคนิค  
 ยานยนต์ ที่ ร้านชัยวัฒน์เซอร์วิส อำเภอเมือง  
 จังหวัด นครศรีธรรมราช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล	นายวรมธ ไชยการ
วัน เดือน ปีเกิด	22 มกราคม 2541
ภูมิลำเนา	จังหวัด ตรัง
ที่อยู่	76 หมู่ที่ 8 ตำบล หนองปรือ อำเภอ รัชฎา จังหวัด ตรัง 92130

## ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษา ปวช. จากวิทยาลัยการอาชีพห้วยยอด  
ปีการศึกษา 2559
- จบการศึกษา ปวส. จากวิทยาลัยการอาชีพห้วยยอด  
ปีการศึกษา 2561

## ผลงานและกิจกรรม

- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
วศ.บ (สาขาวิศวกรรมเครื่องกล) ปี 2564 จาก สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- ผ่านการฝึกประสบการณ์วิชาชีพหลักสูตร  
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขา ช่างเทคนิค  
ยานยนต์ ที่ บริษัทโตโยต้า ผู้จำหน่ายโตโยต้า จำกัด  
สาขาห้วยยอด อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายอมรเทพ คงยิ่ง  
 วัน เดือน ปีเกิด 31 พฤษภาคม 2541  
 ภูมิลำเนา จังหวัด นครศรีธรรมราช  
 ที่อยู่ 21 หมู่ที่ 10 ตำบล ควนทอง  
 อำเภอ ขนอม  
 จังหวัด นครศรีธรรมราช 80210

## ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษา มัธยมศึกษา 6 โรงเรียนปากแพรกวิทยาคม  
ปีการศึกษา 2559
- จบการศึกษา ปวส. วิทยาลัยเทคโนโลยีและ  
อุตสาหกรรมการต่อเรือนครศรีธรรมราช  
ปีการศึกษา 2561

- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
วศ.บ

(สาขาวิศวกรรมเครื่องกล) ปี 2564 จาก สถาบัน  
เทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

## ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกประสบการณ์วิชาชีพหลักสูตร  
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขา เทคนิคเครื่องกล  
เรือ ที่ บริษัทเพชรศรี วิชัย อำเภอ เมืองสุราษฎร์ธานี  
จังหวัด สุราษฎร์ธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้