



การทดลองการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียว
โดยไม่มีการให้ความร้อนในแนวตั้ง

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ADIABATIC TWO-PHASE
FLOW IN UPWARD HELICAL COIL

ทวารัฐ บรรดาลทรง

TAWARUT BUNDANCHONG

ธัญญา ชูคำมัน

THANANYA CHUKHAMMAN

ปัทิตตา ชูคำมัน

PRATHITTA CHUKKAMMAN

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียว
โดยไม่มีการให้ความร้อนในแนวตั้ง

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ADIABATIC TWO-PHASE
FLOW IN UPWARD HELICAL COIL




ทวารัฐ บรรดालทรง
TAWARUT BUNDANCHONG
ธัญญา ชุคัมมัน
THANANYA CHUKHAMMAN
ปติตตา ชุคัมมัน
PRATHITTA CHUKHAMMAN

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ADIABATIC TWO-PHASE
FLOW IN UPWARD HELICAL COIL



TAWARUT BUNDANCHONG
THANANYA CHUKHAMMAN
PRATHITTA CHUKHAMMAN

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

2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การทดลองการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียว
โดยไม่มีการให้ความร้อนในแนวตั้ง

Project Title THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ADIABATIC TWO-PHASE
FLOW IN UPWARD HELICAL COIL

ชื่อนักศึกษา นายทวารัฐ บรรดาลทรง รหัสประจำตัว 60512055
นางสาวณัญญา ชูคำมัน รหัสประจำตัว 60512060
นางสาวปทิตตา ชูคำมัน รหัสประจำตัว 60512068

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ศิระ สายศร

ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
ผศ.วรัชชล	วัฒน์	กรรมการสอบ	
อาจารย์อดิเรก	สุริยะวงศ์	กรรมการสอบ	
อาจารย์วัชร	กาลาสี	กรรมการสอบ	
รศ.ดร.ศิระ	สายศร	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2564 เวลา 09.00 - 17.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2564

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การทดลองการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียว โดยไม่มีให้ความร้อนในแนวตั้ง		
Project Title	THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ADIABATIC TWO-PHASE FLOW IN UPWARD HELICAL COIL		
ชื่อนักศึกษา	นายทวารัฐ บรรดาลทรง	รหัสประจำตัว	60512055
	นางสาวธัญญา ชูคำมัน	รหัสประจำตัว	60512060
	นางสาวปติตา ชูคำมัน	รหัสประจำตัว	60512068
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ศิระ สายศร		
ปริญญานิพนธ์			

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ลักษณะรูปแบบการไหลแบบสองสถานะของเหลวและแก๊ส เป็นการวิเคราะห์รูปแบบลักษณะการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวโดยไม่มีให้ความร้อนในแนวตั้ง โดยในการวิเคราะห์การทดลองนี้ใช้ท่อแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.875 มิลลิเมตร ลักษณะเป็นขดเกลียวมีเส้นผ่านศูนย์กลางขดเกลียว 50 มิลลิเมตร มีระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตร มุมเอียง 10 องศา สังเกตและบันทึกภาพการไหลของรูปแบบการไหลที่ตำแหน่งต่างๆ พบรูปแบบการไหล 5 รูปแบบ ได้แก่ slug flow, throat-annular flow, churn flow, annular flow, annular-rivulet flow นอกจากนี้ยังมีการคำนวณความดันลดในช่องทางการไหลแบบสองสถานะ ซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่ารูปแบบการไหลไม่ส่งผลต่อความดันลด

คำสำคัญ: การไหลในท่อขดเกลียว, การไหลแบบสองสถานะ, ความดันลด, รูปแบบการไหล

Project Title	THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ADIABATIC TWO-PHASE FLOW IN UPWARD HELICAL COIL	
Student	Mr. Tawarut Bundanchong	Student ID 60512055
	Mr. Thananya Chukhamman	Student ID 60512060
	Mr. Prathitta Chukhamman	Student ID 60512068
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering	
Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Sira Saisorn	

Abstract

This research is the study of the adiabatic two-phase up flow characteristics of liquid and gas in a helical micro-tube. In this experiment, a glass tube with an inner diameter of 0.875 mm is coiled to have a coil diameter of 50 mm, a pitch of 20 mm, and a helix angle of 10°. The two-phase flow patterns emerging in different positions along the tube were observed and recorded. There are five flow patterns consisting of slug flow, throat-annular flow, churn flow, annular flow, annular-rivulet flow. Also, pressure drop in the two-phase flow micro-channels were measured. The results showed the flow patterns insignificantly affected the pressure drop.

Keywords : Helical coil, Two-phase, Pressure drop, Flow pattern

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เพราะการสนับสนุนอย่างเต็มที่ของบุคคลหลายๆฝ่าย ซึ่งทางคณะผู้จัดทำงานวิจัยชิ้นนี้ ต้องขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ศิระ สายศร อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย และ ข้อมูลที่ทำให้เป็นประโยชน์ต่อการทำงาน ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำงานวิจัยได้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณ คุณประจัน แจ้เนตร ช่างผู้ชำนาญการ ร้านไอกลาส IGLASS ที่อยู่ 147 ม.9 ต.บ้านเข็ญ อ.หันคาจ จ.ชัยนาท 17130 โทร.081-9342121 ที่ช่วยสร้างท่อขดเกลียวให้ออกมาสมบูรณ์ และ ขอขอบคุณ คุณกฤษฏา ประตุใหญ่ (นักศึกษาปริญญาโท) รุ่นพี่ ME16 คุณดอนยา มานะ ตลอดจนการ แก้ไขปัญหาในด้านต่างๆ อาทิเช่น อุปสรรคในการทำงานวิจัย เป็นต้น อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดคือ บิดา มารดา ที่ให้โอกาสทางการศึกษา และ สนับสนุนทุนทรัพย์อย่างเต็มที่ และคอยให้กำลังใจเสมอมา อันหาที่เปรียบมิได้ จึงขอระลึกถึงพระคุณ บิดา มารดา และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นายทวารัฐ บรรดาทรง
นางสาวธัญญา ชูคำมัน
นางสาวปติตตา ชูคำมัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการศึกษา	3
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.7 แผนดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 รูปแบบการไหลแบบสองเฟส และแผนที่รูปแบบการไหล	5
2.2 ความดันลดในช่องทางการไหลแบบสองเฟส	8
2.3 ความเร็วเฟสของของเหลวและความเร็วเฟสของแก๊ส	10
2.4 อัตราการไหล	10
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ	16
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดในการทดลอง	16
3.2 วงจรการทำงาน และรายละเอียดของ Test section	31
3.3 วิธีการดำเนินการ	33
3.4 ข้อควรระวังในการทดลอง	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์การถ่ายภาพบันทึกผลการทดลอง	39
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	40
4.1 ผลการทดลองการไหลสองสถานะ (Two-phase flow)	40
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	61
5.1 สรุปผลการทดลอง	61
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ	61
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก	66
ภาคผนวก ข	80
ภาคผนวก ค	102
ประวัติผู้เขียน	105

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงการดำเนินงานของการศึกษาการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวโดยไม่มีการให้ความร้อนในแนวตั้งและแนวนอน	4
ข.1	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียว อยู่ภายใต้สภาวะไม่เกิดการเดือดของท่อขดเกลียว ที่อัตราการไหลของน้ำ 20 ml/min	81
ข.2	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียว อยู่ภายใต้สภาวะไม่เกิดการเดือดของท่อขดเกลียว ที่อัตราการไหลของน้ำ 30 ml/min	84
ข.3	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียว อยู่ภายใต้สภาวะไม่เกิดการเดือดของท่อขดเกลียว ที่อัตราการไหลของน้ำ 40 ml/min	87
ข.4	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียว อยู่ภายใต้สภาวะไม่เกิดการเดือดของท่อขดเกลียว ที่อัตราการไหลของน้ำ 50 ml/min	90
ข.5	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียว อยู่ภายใต้สภาวะไม่เกิดการเดือดของท่อขดเกลียว ที่อัตราการไหลของน้ำ 60 ml/min	93
ข.6	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียว อยู่ภายใต้สภาวะไม่เกิดการเดือดของท่อขดเกลียว ที่อัตราการไหลของน้ำ 70 ml/min	96
ข.7	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียว อยู่ภายใต้สภาวะไม่เกิดการเดือดของท่อขดเกลียว ที่อัตราการไหลของน้ำ 80 ml/min	99

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังการดำเนินงานของการศึกษาและการทดลองการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวโดยไม่มีให้ความร้อนในแนวตั้ง	3
2.1	รูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง	6
2.2	การไหลแบบสองเฟสของน้ำและอากาศที่เกิดขึ้นภายในท่อ	6
3.1	ปั๊มลม (Air compressor)	16
3.2	ตัวควบคุมความดัน (Pressure regulator)	17
3.3	โรตاميเตอร์ (Rotameter)	18
3.4	เกจวัดความดัน (Pressure gauge)	19
3.5	ตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator)	20
3.6	ห้องผสม (Mixing chamber)	21
3.7	การต่อท่ออย่างปั๊มดูดจ่ายของเหลว (Peristaltic pump)	22
3.8	การต่อท่ออย่างเข้ากับถังน้ำ	22
3.9	การเปิดอุปกรณ์การใช้งาน	23
3.10	การปรับค่าอัตราการไหล	23
3.11	ถังน้ำ (Water tank)	24
3.12	บีกเกอร์ (Beaker)	24
3.13	หลอดไฟ (LED Lighting)	25
3.14	ฟิล์มกรองแสง (Filter film)	26
3.15	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล (Electronic balance)	27
3.16	ท่ออย่างและท่อซิลิโคน (Silicon tube)	28
3.17	ท่อเทฟลอน (Teflon tube)	28
3.18	ตัวแปลงสัญญาณความดันหรือทรานสดิวเซอร์วัดความดัน (Pressure transducer)	29
3.19	ท่อแก้ว (Glass tube)	30
3.20	แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดลอง (การวางท่อขดเกลียวในแนวตั้ง)	31
3.21	อุปกรณ์การทดลอง	31
3.22	การบอกตำแหน่งและระยะการบันทึกภาพผลการทดลอง Test section	32
3.23	การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.24	การเปิดวาล์วเตรนน้ำออกก่อนเริ่มการทดลอง	33
3.25	การเปิด-ปิดเครื่องดูดจ่ายของเหลว	34
3.26	การเปิดวาล์วลม	34
3.27	การเปิดเครื่องตัวรับสัญญาณความดัน	35
3.28	การปรับอัตราการไหลของน้ำ	35
3.29	การอ่านค่าของอุปกรณ์การวัดความดันอากาศ	36
3.30	การปรับตัววัดอัตราการไหลของอากาศ	36
3.31	การปรับตัวแปลงสัญญาณความดัน	37
3.32	การบันทึกผลในตำแหน่ง Test section	37
3.33	การใช้งานเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล	38
3.34	การติดตั้ง Super Macro Lens เข้ากับสมาร์ทโฟน	39
4.1	ตำแหน่งการถ่ายภาพและการบันทึกผล	40
4.2	มุมของท่อขดเกลียวที่ใช้ในการทดลอง	41
4.3	ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บันทึกผลการทดลอง	42
4.4	รูปแบบการไหลบริเวณตำแหน่งที่1 (ดังรูปที่4.1)	43
4.5	รูปแบบการไหลบริเวณตำแหน่งที่2 (ดังรูปที่4.1)	45
4.6	รูปแบบการไหลบริเวณตำแหน่งที่3 (ดังรูปที่4.1)	46
4.7	รูปแบบการไหลบริเวณตำแหน่งที่4 (ดังรูปที่4.1)	47
4.8	รูปแบบการไหลบริเวณตำแหน่งที่5 (ดังรูปที่4.1)	48
4.9	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลตำแหน่งที่1	50
4.10	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลภายในท่อขดเกลียวตำแหน่งที่2	51
4.11	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลภายในท่อขดเกลียวตำแหน่งที่3	52
4.12	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลภายในท่อขดเกลียวตำแหน่งที่4	53
4.13	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลภายในท่อขดเกลียวตำแหน่งที่5	54
4.1.4	กราฟแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลกับ Triplet และคณะ ตำแหน่ง1	55
4.1.5	กราฟแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลกับ Triplet และคณะ ตำแหน่ง2	56
4.1.6	กราฟแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลกับ Triplet และคณะ ตำแหน่ง3	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1.7	กราฟแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลกับ Triplet และคณะ ตำแหน่ง4	58
4.1.8	กราฟแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลกับ Triplet และคณะ ตำแหน่ง5	59
4.1.9	กราฟแสดงผลของความดันลตที่เกิดขึ้น	60



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วขึ้นทำให้อุปกรณ์ทางวิศวกรรมมีการมากยิ่งขึ้นและมีขนาดเล็กกลงไปด้วยเรื่องๆซึ่งรวมถึงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการให้ความร้อนที่ผิวสูงขนาดกะทัดรัด ดังนั้นในปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนความร้อนกำลังได้รับความสนใจและนิยมอย่างมากเพราะสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการออกแบบเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในงานด้านอุตสาหกรรมและอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆเช่น เครื่องปรับอากาศระบบทำความร้อนระบบทำความเย็นเครื่องปฏิกรณ์เคมีตลอดจนถึงการระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นระบบระบายความร้อนจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยส่งผลให้อุปกรณ์ต่างๆสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์มากขึ้น

การศึกษาและการทดลองในครั้งนี้เป็นการศึกษาการไหลในท่อขดเกลียวแนวอน และแนวตั้ง ซึ่งการศึกษาในการการไหลในท่อตรงมีอยู่มากแต่ในท่อที่มีลักษณะเป็นขดเกลียวยังมีน้อยทั้งนี้เพื่อนำไปตัดแปรและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในอนาคตจากการศึกษาเอกสารต่างๆได้ข้อสรุปที่มีทิศทางที่เดียวกันว่าถ่ายเทความร้อนแบบสถานะเดียวให้ผลที่ดีกว่าสองสถานะ และการศึกษาที่พบได้ในเอกสารหนึ่งได้ข้อสรุปว่ารูปแบบการไหลแบบสองสถานะ มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าสถานะเดียว และได้ทดลองรูปแบบการไหลดังนี้ Bubble flow, Plug flow, Slug flow, Throat-annular flow, Churn flow และ Annular flow และจำนวน Nusselt number มีผลให้การถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นตามไปด้วย จึงได้ทดลองการไหลในท่อขดเกลียวแบบแนวตั้ง เพื่อเปรียบเทียบและพัฒนาความสัมพันธ์การถ่ายเทความร้อนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และได้ศึกษาพฤติกรรมการไหลในท่อขดเกลียว ในงานวิจัยครั้งนี้ได้นำท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.875 มิลลิเมตร มาใช้ในการวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยของนักวิจัยหลายๆท่านพบว่าการไหลแบบสองสถานะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าแบบสถานะเดียว Saisorn และ Wongwises [1] และการไหลผ่านในท่อที่มีลักษณะขดเกลียวสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อตรง Hedrick และคณะ [2] เนื่องจากการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวจะทำให้ของไหลบริเวณผนังส่วนโค้งขดเกลียวนั้นเกิดการไหลแบบปั่นป่วนขึ้นทำให้สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดียิ่งขึ้น Birwas และ Das [3] ซึ่งถ้าต้องการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับของไหลแบบสถานะเดียวในท่อตรงนั้นจะทำให้เกิดรูปแบบการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งต้องใช้กำลังในการโอนเข้าสู่ช่วงการถ่ายเทความร้อนค่อนข้างสูงและอุปกรณ์การทำงานมีขนาดใหญ่แต่รูปแบบการไหลแบบสอง

สถานะในท่อขดเกลียวนั้นสามารถทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนขึ้นได้ในรูปแบบการไหลแบบราบเรียบ ทำให้อุปกรณ์การทำงานมีขนาดเล็กและขดเกลียวยังมีปริมาณพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนมากกว่าท่อตรง Hardrick และคณะ [2] จึงทำให้การเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนดีขึ้นตั้งแต่ส่วนใหญ่นักวิจัยทำการศึกษาดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการใช้ท่อขนาดใหญ่ที่มีลักษณะเป็นขดเกลียวแต่การใช้งานจริงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในอุปกรณ์ที่มีพื้นที่จำกัดในการติดตั้งน้อย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยท่อขนาดเล็กที่มีลักษณะเป็นขดเกลียวเพื่อให้มีขนาดกะทัดรัดและมีพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้นเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดแต่การศึกษาในเรื่องนี้ยังมีค่อนข้างน้อย อีกทั้งข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการไหลการถ่ายเทความร้อนและความดันลดยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนซึ่งข้อมูลเหล่านี้ล้วนเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวโดยไม่มี การให้ความร้อน Adiabatic ในแนวตั้ง

1.2.2 จำแนกรูปแบบการไหลแบบสองสถานะและสร้างแผนที่รูปแบบการไหล (Flow visualization) ของการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวโดยไม่มี การให้ความร้อน Adiabatic ในแนวตั้งไหลจากล่างขึ้นบน

1.2.3 เพื่อศึกษาความดันลดในช่องทางการไหลแบบสองสถานะ (Two-phase flow pressure drop) ในท่อขดเกลียวโดยไม่มี การให้ความร้อน (Adiabatic two-phase flow in helical coil) ในแนวตั้งไหลจากล่างขึ้นบน

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1.3.1 ใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.875 มิลลิเมตร

1.3.2 เส้นผ่านศูนย์กลางของขดเกลียว 50 มิลลิเมตร ระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตร

1.3.3 ความยาวของท่อแก้วทั้งหมด 700 มิลลิเมตร

1.3.4 เป็นการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวโดยไม่มี การให้ความร้อนในแนวตั้ง

1.3.5 มุมเกลียวของท่อแก้วเท่ากับ 10 องศา

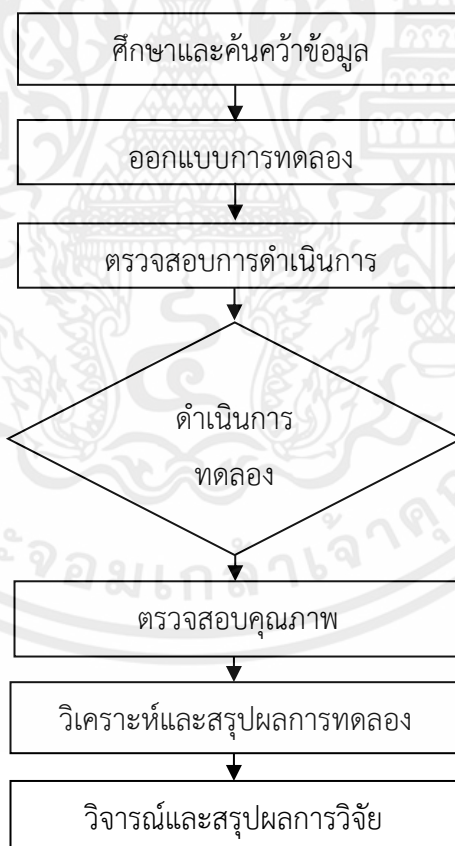
1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบลักษณะของรูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวโดยไม่มีการให้ความร้อน (Adiabatic two-phase flow in helical coil) ในแนวตั้ง
2. สามารถจำแนกรูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวโดยไม่มีการให้ความร้อน (Adiabatic two-phase flow in helical coil) ในแนวตั้ง
3. ทำให้ทราบปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อรูปแบบการไหล, แผนที่รูปแบบการไหล (Flow visualization) และความดันตก (Pressure drop) ในการไหลแบบสองสถานะ

1.5 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการศึกษา

เป็นการนำเอาทฤษฎีความดันตกมาใช้ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์การทดลองเพื่อใช้ในการศึกษารูปแบบการไหล แผนที่รูปแบบการไหล และความดันตกเกิดขึ้นในการไหลแบบสองสถานะ

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานของการศึกษาการทดลองการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวโดยไม่มีการให้ความร้อนในแนวตั้ง

1.7 แผนดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงการดำเนินงานของการศึกษาการทดลองการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียว โดยไม่มีการให้ความร้อนในแนวตั้ง

หัวข้อ	ปี2563					ปี2564				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล	↔									
2. ออกแบบการทดลอง		↔								
3. ทดลองและรวบรวมผล			↔							
4. วิเคราะห์ผล							↔			
5. สรุปผล									↔	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รูปแบบการไหลแบบสองเฟส และแผนที่รูปแบบการไหล (Flow visualization)

เทคนิคการถ่ายภาพการไหลแบบสองเฟสที่มีรูปแบบแตกต่างกันไปตามเงื่อนไขที่ให้แกตัวแปรสามารถใช้อธิบายกลไกเชิงคุณภาพของการไหลแบบสองสถานะได้โดยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน รูปแบบการไหลมีผลโดยตรงต่อความดันลดและการถ่ายเทความร้อน การทำแผนที่การไหลเป็นเทคนิคทั่วไปที่จะแสดงในกราฟแบบสองมิติ ใช้ในการวิเคราะห์หารูปแบบการไหลที่เกิดขึ้น

การไหลแบบสองเฟส คือ การไหลของสสาร (Matter) ที่มีสถานะของสสารสองชนิดไหลพร้อมกัน ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน การไหลแบบสองเฟสสามารถจำแนกได้คือ

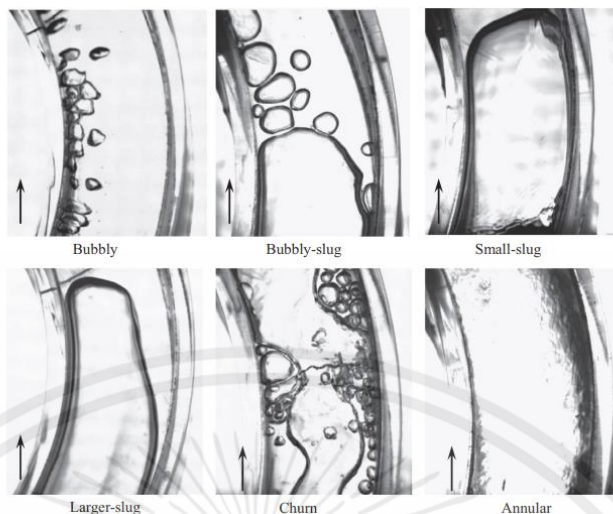
2.1.1 การไหลแบบสองเฟสของของเหลวและแก๊ส เป็นการไหลแบบผสมกันของของเหลว และแก๊ส โดยเกิดขึ้นจากการผสมระหว่างของเหลวและแก๊สหรืออาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะของของไหล เช่น การระเหยและการควบแน่นของของไหลภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เป็นต้น

2.1.2 การไหลแบบสองเฟสของของแข็งและแก๊ส เช่น การพ่นทราย (Sandblasting)

2.1.3 การไหลแบบสองเฟสของของเหลวและของเหลว เป็นการไหลแบบผสมกันของของเหลวสองชนิดแต่ของเหลวทั้งสองชนิดจะไม่รวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างของเหลวทั้งสองชนิด เช่น การไหลแบบผสมกันของน้ำและน้ำมันภายในท่อ

2.1.4 การไหลแบบสองเฟสของของแข็งและของเหลว เป็นการไหลแบบผสมกันของของแข็งและของเหลว ซึ่งของเหลวทำหน้าที่รองรับและนำพาของแข็งให้เคลื่อนที่ไปด้วย โดยอาศัยการลอยตัวของอนุภาคของแข็งในของเหลว(Suspension) เช่นการไหลของตะกอนในแม่น้ำ

สำหรับการไหลแบบสองเฟสของของเหลวและแก๊ส นับว่าเป็นการไหลที่มีรูปแบบการไหลที่ซับซ้อนมากที่สุด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพื้นผิวสัมผัสระหว่างของไหลทั้งสองเฟส เกิดขึ้นตลอดเวลาความสามารถในการอัดตัวได้ของของไหลก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลขึ้น เมื่อพิจารณาการไหลแบบสองเฟสของของเหลวและแก๊สในช่องทางการไหล พื้นผิวสัมผัสระหว่างของเหลวและแก๊สจะเกิดการจัดแต่งเป็นรูปแบบต่างๆได้เป็นอนันต์ รูปแบบสำหรับการไหลในท่อที่วางในแนวตั้งได้มีการจัดกลุ่มของความเป็นไปได้ที่จะเกิดรูปแบบการไหลชนิดต่างๆไว้เพื่อความสะดวกในการศึกษาและการจำแนกพฤติกรรมของการไหลเมื่อให้การไหลของของไหลสองเฟสที่มีทิศทางไหลขึ้นในแนวตั้ง ลักษณะของการไหลเมื่อให้อัตราการไหลของแก๊สเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จะมีลักษณะการไหลดังรูป 2.1 และ 2.2



รูปที่2.1 รูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อขอลิยวในแนวตั้ง (X.F. Liu,G.D. Xia,G. Yang .2015)



รูปที่2.2 การไหลแบบสองเฟสของน้ำและอากาศที่เกิดขึ้นภายในท่อ
(Guangyu Zhu,Xingtuan Yang, Shengyao Jiang, Hongye Zhu. 2019)

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการไหลในช่องทางการไหล ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กเพื่อที่จะเรียนรู้เกี่ยวกับกลไกที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนความดันลดในช่องทางการไหลรวมทั้งใช้เปรียบเทียบกับแผนที่การไหลของช่องทางการไหลที่มีขนาดทั่วไป รูปแบบการไหลแบบสองเฟสในช่องทางการไหลขนาดเล็กมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Bubbly flow รูปแบบการไหลนี้เกิดขึ้นที่แก๊สต่ำ ความเร็ว และความเร็วผิวผิวนของเหลวสูง ในอากาศไหลกระจายเป็นฟองอากาศต่อเนื่องกัน ฟองอากาศมีลักษณะเป็นทรงกลมหรืออาจเปี้ยวได้ที่มีความยาวฟองน้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ผลกระทบของความเร่งแบบแรงเหวี่ยงบนการกระจายฟองอากาศคือ ของเหลวมีขนาดใหญ่ขึ้นแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางซึ่งทำให้น้ำเคลื่อนตัวไปตามด้านนอกของช่องในขณะที่ฟองอากาศไหลไปตามด้านในของช่อง

2. Slug flow การไหลของแบบกระสุน ความยาวของฟองอากาศที่ยาวเกิน ส่งผลให้ผนังส่วนบนของท่อส่วนใหญ่ถูกรอบครอบโดยเฟสแก๊ส เนื่องจากการไหลของแก๊สที่เพิ่มขึ้นอัตรา แรงเฉือนระหว่างเฟสได้รับการปรับปรุง และกำจัดฟองอากาศขนาดเล็กแม้ในอัตราการไหลของของเหลวต่ำ นอกจากนี้ของเหลวฟิล์มบางลงและช้าลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่การไหลของของเหลวต่ำอัตรา ทำให้ฟองอากาศขนาดเล็กสามารถไหลได้ในทางกลับกัน เนื่องจากความเร็วที่น้อยกว่า ฟองอากาศที่เล็กกว่าจึงฟองอากาศที่ยืดออกแล้ว จำนวนฟองอากาศขนาดเล็กคือใหญ่กว่าฟองอากาศที่ยืดออกมากจนทำให้เกิดฟองที่มีความยาวคอร์ดคล้ายกับการไหลของฟอง

3. plug flow ฟองอากาศที่ยืดออก (ยาวกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ) เกิดขึ้นที่ทางเข้าแล้วผ่านเป็นระยะๆ ฟองอากาศถูกแยกออกจากกันด้วยของเหลว ที่อัตราการไหลของแก๊สและของเหลวต่ำ ฟองอากาศสั้นและฟองอากาศยาวมีส่วนต่อประสานที่เรียบ เช่นส่งผลให้สัญญาณที่จุดบวมมีความชัดเจนมาก

4. Wavy flow ในการไหลเป็นคลื่นแก๊สและของเหลวถูกแบ่งชั้นโดยพื้นฐานและคลื่นถูกสร้างขึ้นบนอินเทอร์เฟซ ระบบการไหลนี้ปรากฏที่อัตราการไหลของของเหลวที่ต่ำมากและอัตราการไหลของแก๊สในระดับปานกลางเพื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สจากการไหลของของเหลวภายใต้ฟองอากาศที่ยืดออกเร็วขึ้นเนื่องจากแรงเฉือนที่แรงกว่าแรงระหว่างสองเฟส ส่งผลให้การไหลย้อนกลับลดลง และของเหลวไม่สามารถสะสมได้ง่ายในที่สุดส่วนใหญ่จะถอยกลับเป็นคลื่นที่มียอดต่ำกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ฟองอากาศเชื่อมต่อกันเพื่อสร้างคอแก๊สเล็กๆ ไหลผ่านช่องว่างระหว่างยอดคลื่นและผนังท่อ ช่องว่างเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของแก๊สเพิ่มขึ้น

5. Churn flow เกิดขึ้นที่ความเร็วเฟสของอากาศสูงมากทำให้ฟองแก๊สแคบลงไหลไม่เป็นรูปทรง และเกิดความปั่นป่วนทำให้เกิดการแตกตัวขึ้นโดยจะเกิดที่ความเร็วของน้ำและอากาศค่อนข้างสูง

6. Annular flow รูปแบบการไหลนี้ถูกกำหนดเมื่ออากาศเข้าสู่ภายในแกนท่อ และฟิล์มเหลวเกิดขึ้นบนท่อผนังที่ถูกลากขึ้นโดยอากาศเนื่องจากส่วนต่อประสานแรงเสียดทาน ฟิล์มเหลวแตกและกลายเป็นอนุภาคขนาดเล็กพลตเนื่องจากปฏิกิริยาของเฟสในอัตราการไหลของอากาศสูงละอองขนาดเล็กเหล่านี้จะเลื่อนไปด้านนอกของช่องทางโดยผลของการเร่งความเร็วแบบแรงเหวี่ยงที่ใหญ่กว่าความหนาของของเหลวด้านนอกสูงกว่าด้านในมากด้าน

2.2 ความดันตกในช่องทางการไหลแบบสองเฟส (Two-phase flow pressure drop)

แบบจำลองที่เหมาะสมแก่การทำนายความดันตกในรูปแบบการไหลแบบสองเฟสมีด้วยกันสองแบบจำลอง

2.2.1 การไหลแบบเนื้อเดียว (Homogeneous flow model) และแบบจำลองการไหลแบบแยกส่วน (Separated flow model) โดยแบบจำลองการไหลแบบเนื้อเดียวคือการไหลในแต่ละสถานะรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน โดยแบบจำลองนี้เหมาะกับรูปแบบการไหลที่มีการไหลแบบสองเฟสที่ไม่สม่ำเสมอ

2.2.2 แบบจำลองการไหลแบบแยกส่วน คือการไหลทั้งสองเฟสไม่ได้รวมเป็นเนื้อเดียวกันและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ความดันตกที่เกิดขึ้นถือว่าคงตัวและเหมาะกับการไหลแบบ Stratified flow และ Annular flow

การคำนวณหาความดันตกที่เกิดขึ้นสำหรับการไหลแบบสองสถานะโดยจะสมมุติฐานว่าเฟสของแก๊สกับเฟสของน้ำมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากัน และผสมเข้าด้วยกันเป็นอย่างดีจะคำนวณโดยใช้คุณสมบัติที่เกิดจากการผสมกันระหว่างของไหลทั้งสองความดันที่เกิดขึ้นทั้งหมดสำหรับการไหลแบบสองสถานะจะในการทดลองนี้จะสามารถหาค่าความดันตกที่เกิดจากความเสียดทาน

(Frictional pressure drop $\Delta P_{\text{friction}}$) ได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Delta P_{\text{exp}} = \Delta P_{\text{friction}} + \Delta P_{\text{acceleration}} + \Delta P_{\text{contraction}} \quad (2.1)$$

ในการทดลองนี้ ค่าของแรงดันตกคร่อม (Accelerational pressure drop $\Delta P_{\text{acceleration}}$) และค่าของความดันตกที่เกิดจากการหดตัวอย่างฉับพลัน (Pressure drop due to sudden Contraction $\Delta P_{\text{contraction}}$) มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จึงทำให้เกิดเป็นสมการ

$$\Delta P_{\text{exp}} = \Delta P_{\text{friction}} \quad (2.2)$$

โดย

$$\Delta P_{\text{exp}} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}} \quad (2.3)$$

เมื่อ

P_{in} ความดันที่วัดบริเวณทางเข้าของ Test section มีหน่วยเป็น กิโลปาสกาล (KPa)

P_{out} ความดันที่วัดบริเวณทาง خروج Test section มีหน่วยเป็น กิโลปาสกาล (KPa)

ดังนั้น

$$\Delta P_{\text{friction}} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}} \quad (2.4)$$

เนื่องจากค่าความดันที่วัดบริเวณทางเข้าของ Test section (P_{in}) ที่อ่านได้จากตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator) มีหน่วยเป็น มิลลิแอมแปร์ (mA) จึงต้องทำการแปลงค่าให้เป็นบาร์(bar) สามารถคำนวณได้จาก

สมการเส้นตรง

$$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{Y - Y_1}{X - X_1} \quad (2.5)$$

$$Y = \frac{(Y_2 - Y_1)(X - X_1)}{(X_2 - X_1)} + Y_1 \quad (2.6)$$

เมื่อ

- X ค่าความดันที่อ่านได้จากตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator) มีหน่วยเป็น มิลลิแอมแปร์ (mA)
- X_1 ค่าความดันเริ่มต้นของตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator) มีหน่วยเป็น มิลลิแอมแปร์ (mA) ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 4 มิลลิแอมแปร์ (mA)
- X_2 ค่าความดันสูงสุดของตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator) มีหน่วยเป็น มิลลิแอมแปร์ (mA) ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 20 มิลลิแอมแปร์ (mA)
- Y ผลลัพธ์ของค่าความดันที่แปลงค่ามีหน่วยเป็นบาร์ (bar)
- Y_1 ค่าความดันเริ่มต้นของช่วงค่าความดันที่ใช้มีหน่วยเป็นบาร์ (bar) ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0 บาร์ (bar)
- Y_2 ค่าความดันสูงสุดของช่วงค่าความดันที่ใช้มีหน่วยเป็นบาร์ (bar)

จากการทดลองมีช่วงการทดลองสองช่วงคือ 0-4 bar และ 0-10 bar ในการคำนวณควรใช้ค่าให้สอดคล้องกับค่าที่ปรับในการทดลอง

หากใช้ช่วงการทดลองช่วง 0-4 bar จะใช้สมการ

$$Y = \frac{(4\text{bar} - 0\text{bar})(X - 4\text{mA})}{(20\text{mA} - 4\text{mA})} + 0\text{bar} \quad (2.7)$$

หากใช้ช่วงการทดลองช่วง 0-10 bar จะใช้สมการ

$$Y = \frac{(10\text{bar} - 0\text{bar})(X - 4\text{mA})}{(20\text{mA} - 4\text{mA})} + 0\text{bar} \quad (2.8)$$

2.3 ความเร็วเฟสของของเหลวและความเร็วเฟสของแก๊ส

เมื่อความเร็วเฟสของของเหลว (j_{LS}) และความเร็วเฟสของแก๊ส (j_{GS}) สามารถหาได้จากสมการ ตามลำดับ

$$j_{LS} = \frac{Q_L}{A} \quad (2.9)$$

$$j_{GS} = \frac{Q_G}{A} \quad (2.10)$$

2.4 อัตราการไหล

อัตราการไหล (Flow Rate) คือ ปริมาณการเคลื่อนย้ายของเหลวจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งในช่วงเวลาใดๆ มีหน่วยเป็นปริมาตรต่อเวลา เช่น ลบ.ม./ชม, ลิตร/วินาที, แกลลอน/นาที เป็นต้น การไหลก่อให้เกิดแรงเสียดทานในเส้นท่อและการไหลมีความสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่หน้าตัดและความเร็ว

2.4.1 อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume Flow Rate): Q มีสมการทั่วไป ดังนี้

$$Q = AV \quad (2.11)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดการไหล มีหน่วยเป็น m^2
 V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล มีหน่วยเป็น m/s
 Q คือ หน่วยของอัตราการไหล มีหน่วยเป็น m^3 / s

2.4.2 อัตราการไหลเชิงน้ำหนัก (Weight Flow Rate): Q_w มีสมการทั่วไป ดังนี้

$$Q_w = \gamma Q \quad (2.12)$$

เมื่อ γ คือ น้ำหนักจำเพาะของของไหล

2.4.3 อัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate): Q_m มีสมการทั่วไป ดังนี้

$$Q_m = \rho Q = \rho AV \quad (2.13)$$

2.4.4 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊ส (Volumetric flow rate of gas) ที่บริเวณตำแหน่งต่างๆของท่อขดเกลียว

$$Q_G = Q_{\text{view}} = \frac{P_{\text{atm}} Q_{\text{STP}}}{\left[P_{\text{in}} - \left(P_{\text{in}} - P_{\text{atm}} \right) \frac{L_{\text{view}}}{L} \right]} \quad (2.14)$$

เนื่องจากอัตราการไหลที่ปรับจากโรตاميเตอร์จำเป็นต้องมีการปรับเทียบค่าก่อนนำมาใช้ ซึ่งอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ปรับเทียบค่าแล้วสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_{STP} = Q_{reading} \times \sqrt{\frac{P_{reading}}{P_{STP}} \times \frac{T_{STP}}{T_{reading}}} \quad (2.15)$$

เมื่อ	Q_{STP}	คือ อัตราการไหลที่สภาวะมาตรฐาน
	$Q_{reading}$	คือ อัตราการไหลของอากาศในการเก็บตัวอย่าง
	$P_{reading}$	คือ ความดันอากาศที่อ่านจาก Pressure transducer
	P_{STP}	คือ ความดันอากาศที่สภาวะมาตรฐาน
	T_{STP}	คือ อุณหภูมิอากาศที่สภาวะมาตรฐาน
	$T_{reading}$	คือ อุณหภูมิภายนอกห้องทดสอบ

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการไหลที่สภาวะมาตรฐาน (Q_{STP})
 การแปลงหน่วย อัตราการไหลของอากาศในการเก็บตัวอย่าง ($Q_{reading}$) ให้มีหน่วยเป็น m^3 / s

กำหนด $Q_{Air} = 100 \text{ cc/min}$

$$\frac{(Q_{air} \text{ (cc / min)})}{(60 \times 100)} = \frac{100}{(60 \times 1000)} = 1.6667 m^3 / s \quad (2.16)$$

$$\text{จะได้ } Q_{reading} = 1.6667 m^3 / s$$

กำหนด

$P_{reading}$	7.67 bar
P_{STP}	1.0132 bar
T_{STP}	298 K
$T_{reading}$	ที่อุณหภูมิห้อง 27 องศาเซลเซียส = 300.15 K

จะได้

$$Q_{STP} = 1.6667 \times \sqrt{\frac{7.67}{1.0132} \times \frac{298}{300.15}} = 4.5693 m^3 / s \quad (2.17)$$

2.4.5 อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate) คือปริมาตรของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่ตัดขวางหนึ่งของ flow tube ในหนึ่งหน่วยเวลา

$$\frac{dV}{dt} = AV \quad (2.18)$$

เราอาจวัดอัตราการไหลของของไหลโดยใช้อัตราการไหลเชิงมวล (mass flow rate) มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อวินาที (kg / s) ซึ่งหมายถึงมวลของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดหนึ่งใน flow tube ในหนึ่งหน่วยเวลา เราสามารถคำนวณได้โดย ρ ด้วยความหนาแน่นของของไหล

$$\frac{dm}{dt} = \rho \frac{dV}{dt} = \rho AV \quad (2.19)$$

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการไหลเชิงมวล

กำหนด น้ำที่ได้จากการชั่งน้ำหนัก 8.0608 g/min แปลงหน่วยเป็น kg/s จะได้ 0.000134 kg/s

$$A = \pi r^2 = \pi(0.44) = 1.3823 \text{ m}^2$$

$$\rho_{\text{water}} = 996.95 \text{ kg} / \text{m}^3$$

จะได้ อัตราการไหลเชิงมวล เท่ากับ

$$\rho AV = 996.95 \times 1.3823 \times 0.000134 = 0.1792 \text{ m}^3 / \text{s} \quad (2.20)$$

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ferraris [8] และคณะ ได้นำเสนอและสรุปเรื่อง Two-phase flow frictional pressure drop prediction in helical coiled tubes โดยศึกษาและทดลองเกี่ยวกับความดันลดแรงเสียดทานในท่อขดเกลียวสำหรับการไหลแบบสถานะเดียวและการไหลสองสถานะของไอน้ำเพื่อให้มีเครื่องมือคาดการณ์ที่เชื่อถือได้และใช้งานง่ายสำหรับการประเมินแรงดันตกคร่อมในท่อเกลียวซึ่งครอบคลุมสภาพการทำงานที่น่าสนใจสำหรับการออกแบบและการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบครึ่งเดียวผ่านท่อขดเกลียว เช่นเดียวกับที่ใช้ในโมดูลาร์ขั้นสูงขนาดเล็กของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ฐานข้อมูลการไหลแบบสถานะเดียวมีข้อมูลประมาณ 2,000 จุดจากแหล่งต่างๆ 14 แห่งรวมถึงข้อมูลที่วัดด้วยอากาศและน้ำเป็นของเหลวทำงานครอบคลุมตัวเลขเรย์โนลด์ ตั้งแต่ 40 ถึง 145,000 และความโค้งระหว่าง 0.0027 ถึง 0.3 เคารห์ความสามารถในการทำนายของความสัมพันธ์ที่มีอยู่สำหรับการไหลอย่างง่าย สรุปว่าความสัมพันธ์ของ Ito สำหรับระบบการไหลแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วนเหมาะสมกับการทดลอง ความแตกต่างเฉลี่ยระหว่างข้อมูลการทดลองกับความสัมพันธ์ของ Ito คือ 3.75% สำหรับการไหลแบบราบเรียบและ

2.11% สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน ฐานข้อมูลการไหลสองสถานะถูกสร้างขึ้นจากเอกสารเนื่องจากไม่พบความสัมพันธ์ที่มีอยู่ในการทำนายข้อมูลที่มีอยู่ได้สำเร็จ เป็นเครื่องมือใหม่ที่ใช้ในการทำนายสมดุลเฟสที่เป็นเนื้อเดียวกันคือเครื่องมือซึ่งเรียกว่าสหสัมพันธ์ FEMA มาบรรจบกับสหสัมพันธ์ Ito สำหรับการไหลแบบสถานะเดียว คุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์เท่ากับ 0 และ 1

Hossein [9] และคณะ ได้นำเสนอเรื่อง Experimental investigation on the thermal and entropic behavior of a vertical helical tube with none-boiling upward air-water two-phase flow โดยศึกษาและทดลองเกี่ยวกับท่อเกลียวมีขนาดกะทัดรัดและมีเสถียรภาพการไหลสองสถานะ และคุณสมบัติทางความร้อนที่ติดกับการเพิ่มขึ้นของการประยุกต์ใช้การไหลสองสถานะในท่อขดเกลียว เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของการไหลสองสถานะในท่อเกลียวเอนโทรปีของการไหลสองสถานะในท่อเกลียว การศึกษานี้ให้ผลการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อเกลียวแนวตั้งที่มีการไหลสองสถานะแบบไม่เดือด ท่อเกลียวถูกวางภายใต้ฟลักซ์ความร้อนคงที่ที่ทางเข้า, ทางออก, ผนัง และอุณหภูมิแวดล้อมของท่อเกลียวถูกวัดเพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการสร้างเอนโทรปีที่มีค่า Dean number ($Desl$) อยู่ระหว่าง 1,000 ถึง 4800 นอกจากนี้ที่ผิวของแก๊ส (อากาศ) มีค่า Dean number ($Desg$) อยู่ระหว่าง 45 ถึง 235 ส่วน VF (เศษส่วนปริมาตร) อยู่ระหว่าง 0.11 ถึง 0.55 เกือบทุกกรณีที่ถูกทดสอบทั้งหมดอยู่ในช่วงของรูปแบบการไหลแบบของ slag และ plug ผลการวิจัยพบว่าการไหลของอากาศสองสถานะสามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้ การเพิ่มขึ้นของเลขค่า Dean number ที่ผิวของอากาศมีการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและการสร้างเอนโทรปีเพิ่มขึ้นสูงสุด 35% และ 26% สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการสร้างเอนโทรปี

Guangyu Zhu [10] และคณะ ได้นำเสนอเรื่อง Intermittent gas-liquid two-phase flow in helically coiled tubes โดยศึกษาและทดลองเกี่ยวกับการไหลของอากาศ-น้ำเป็นช่วงๆ ในท่อขดลวดแบบเกลียวสี่ท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.016 ม. เส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 0.24, 0.43 และ 0.80 ม. และมุมเอียง 5° และ 15° ใช้หัววัดค่าการนำไฟฟ้าแบบคู่เพื่อวัดพารามิเตอร์อุทกพลศาสตร์ 48 จุดในส่วนตัดขวางของทางออก ผลการวิจัยพบว่าแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและ Dean Vortices เป็นกลไกหลักที่มีอิทธิพลต่อการกระจายช่องว่างความยาวฟองอากาศที่ยาวขึ้น ความยาวฟองอากาศ และความถี่ฟองอากาศ เนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และสัดส่วนช่องว่างหมุนมุมที่เข้าใกล้ 90° เมื่อความเร็วผิวเฉือนของของเหลวเพิ่มขึ้นและเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดลดลง เนื่องจาก Dean Vortices ความยาวฟองอากาศที่ยาวขึ้นและความยาวกระสุนลดลงเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อขดเกลียวลดลงส่งผลให้ความถี่ฟองอากาศเพิ่มขึ้น ได้เสนอพารามิเตอร์ไร้มิติ Z ที่แสดงอัตราส่วนของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางต่อแรงโน้มถ่วง ซึ่งเป็นเกณฑ์เชิงปริมาณในการประเมินอิทธิพลของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ความสัมพันธ์

ระหว่างมุมเบี่ยงเบนความยาวฟองอากาศที่ยาวขึ้น และความถี่ของฟองอากาศถูกสร้างขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการทดลองอย่างดีเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของขดเกลียวอยู่ระหว่าง 0.24 ถึง 0.80 ม. และมุมเอียงระหว่าง 5° ถึง 15° นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอแบบจำลองดริฟท์ฟลักซ์สำหรับ HCTs

Yao Xiao [11] และคณะ ได้นำเสนอและสรุปเรื่อง Experimental study of two-phase frictional pressure drop of steamwater in helically coiled tubes with small coil diameters at high pressure โดยศึกษาและทดลองเกี่ยวกับลักษณะของแรงดันตกคร่อมของท่อขดเกลียวที่มีความสำคัญต่อการออกแบบให้เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบขดเกลียว ลักษณะของการไหลแบบสถานะเดียวและการไหลสองสถานะความดันลดลงในท่ออย่างต่อเนื่องสำหรับ 12.5 mm และ 14.5 mm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในคือ และเส้นผ่าศูนย์กลางของขดลวดเกลียวเป็น 180, 280 และ 380 มม. และช่วงความดันของระบบเป็น 2-8 MPa ผลกระทบของการไหลและพารามิเตอร์ทางเรขาคณิต การอธิบายเกี่ยวกับคุณสมบัติความดันลดแรงเสียดทาน สำหรับพารามิเตอร์การไหลตัวคูณแรงดันตกคร่อมแบบเสียดทานแบบสองเฟสจะลดลงเมื่อแรงดันของระบบสูงขึ้น และไม่ตอบสนองต่อมวลและฟลักซ์ความร้อนสำหรับพารามิเตอร์ทางเรขาคณิต ตัวคูณแรงดันตกแบบสองเฟสจะไม่ไวต่ออัตราส่วนความโค้งภายใต้สภาวะที่ตรวจสอบ เปรียบเทียบกับความสัมพันธ์กับการรายงานความสัมพันธ์ของปัจจัยแรงเสียดทานแบบสถานะเดียว และความสัมพันธ์ตัวคูณแรงดันตกคร่อมแบบสองสถานะสำหรับท่อขดเกลียวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กที่ความดันสูง ได้รับการเสนอและเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการทดลอง

Hongye Zhu [12] และคณะ ได้นำเสนอเรื่อง Flow regime identification for upward two-phase flow in helically coiled tubes โดยศึกษาและทดลองเกี่ยวกับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและการปรับตัวความเครียดความร้อนเสถียรภาพของการไหลสองสถานะของท่อขดเกลียว ที่ประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายของการไหลสองสถานะในเกลียวท่ออุปกรณ์เป็นสิ่งจำเป็นที่จะเข้าใจลักษณะของการกระจายสถานะและการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน บทความนี้ระบุระบบการไหลของอากาศ-น้ำสองสถานะโดยไม่เกิดความร้อนไหลในท่อขดเกลียวสามขด โดยใช้ห้วัดค่าการนำไฟฟ้าแบบเซ็นเซอร์คู่ และกล้องความเร็วสูงคล้ายกับท่อตรงลาดเอียง พบระบบการไหลทั้งหมดหกแบบที่พบในท่อขดเกลียว อิทธิพลของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในการกระจายสถานะการไหลถูกวิเคราะห์สำหรับแต่ละรูปแบบการไหล มีการเสนอชุดของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลแบบตรงไปข้างหน้า จากนั้นจึงตรวจสอบความถูกต้องโดยการทดลองเปรียบเทียบที่ดำเนินการในท่อตรงแบบเอียง และใช้เกณฑ์เหล่านี้เพื่อสร้างแผนที่รูปแบบการไหลตามการทดลองด้วยความเร็วผิวผิวนของเหลวตั้งแต่ 0.03 ถึง 4.12 ม./วินาที และความเร็วผิวผิวนของแก๊สตั้งแต่ 0.03 ถึง 16 ม./วินาที เมื่อเทียบกับท่อแนวตรงและแนวเอียง ท่อขดเป็นเกลียวมีการหดตัวในบริเวณรูปแบบการไหลแบบฟอง นอกจากนี้กระแสคลื่นและวงแหวนปรากฏขึ้นที่ความเร็วผิวผิวนของแก๊สช้าลง

Hamid Saffari [13] และคณะ ได้นำเสนอเรื่อง Prediction of hydrodynamic entrance length for single and two-phase flow in helical coils โดยศึกษาและทดลองเกี่ยวกับความยาวทางเข้าอุทกพลศาสตร์ในท่อขดเกลียวสำหรับการไหลแบบสถานะเดียวและการไหลแบบสองสถานะแบบ ฟองทั้งการทดลองและเชิงตัวเลข การพัฒนาความยาวของการไหลและคุณลักษณะโดยละเอียดของการไหลของของไหลได้รับการตรวจสอบโดยพารามิเตอร์ท่อขดเกลียวที่แตกต่างกัน เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์ และสัดส่วนช่องว่างสำหรับการจำลอง CFD ของการไหลของของไหลสองเฟส ใช้แบบจำลอง Eulerian–Eulerian เพื่อคำนวณความผันผวนที่ปั่นป่วน มีการใช้แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (SST)^(k- ω) การจำลองเชิงทดลองและเชิงตัวเลขของพารามิเตอร์ในพื้นที่แสดงให้เห็นว่าความยาวการพัฒนาอุทกพลศาสตร์ (L/D) เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวน Reynolds เพิ่มขึ้นในการไหลสถานะเดียวและสองสถานะ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าความยาวทางเข้าของการพัฒนาเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่เพิ่มขึ้นและลดลงตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อขดเกลียวที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความยาวทางเข้าจะลดลงในกรณีที่อัตราส่วนความโค้งของท่อขดเกลียวและสัดส่วนช่องว่างมากขึ้น มีการแนะนำสมการสหสัมพันธ์เพื่อทำนายความยาวทางเข้าอุทกพลศาสตร์เป็นหน้าที่ของพารามิเตอร์ต่างๆ ของท่อขดเกลียว

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 **ปั๊มลม หรือเครื่องอัดอากาศ (Air compressor)** ทำหน้าที่ในการอัดลมให้มีแรงดันสูงตามที่ต้องการ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อป้องกันความเสียหายกับอุปกรณ์ต่างๆ โดยอากาศที่ถูกส่งมาจากปั๊มลมไหลผ่านอุปกรณ์ตัวนี้ก่อนเข้าสู่ระบบ สำหรับปั๊มลมที่ใช้ในการทดลองนี้จะเป็นปั๊มลมแบบลูกสูบ (Piston air compressor) ชนิดลูกสูบอัดชั้นเดียว (single stage) มีความดัน 4-10 bar

รายละเอียดอุปกรณ์ รุ่น : TIGER ปั๊มลม มอเตอร์ 1.5HP ถึง 64L (รอบเร็ว), 2 ลูกสูบ, ความจุถังลม 64 L, ปริมาณลม 80 L/min, รอบมอเตอร์ 2,800 RPM, มอเตอร์ 1.5 แรงม้า, Power 1.5 HP/1.2KW, Current 12.0 A, Frequency 50 HZ, Motor efficiency 75 %

การบำรุงรักษาและข้อควรระวัง

1. ควรทำความสะอาดปั๊มลมภายนอกอย่างสม่ำเสมอเพื่อดูว่ามีสิ่งผิดปกติอะไรบ้าง เช่น น้ำมันรั่วหรือฝุ่นที่จะเข้าไปในตัวเครื่องก่อให้เกิดสิ่งสกปรกสะสม
2. ควรเลือกใช้ใช้น้ำมันเครื่องของปั๊มลมเพราะหากเติมน้ำมันหล่อลื่นชนิดอื่นเข้าไปผสม อาจส่งผลเสียกับชิ้นส่วนภายในปั๊มลมได้
3. ควรเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องทุกๆ 500 ชั่วโมง หรือเมื่อสีของน้ำมันเริ่มคล้ำขึ้น
4. ควรเปิดวาล์วเติมน้ำได้ถังลมอย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เพื่อยืดอายุการใช้ของถังลม
5. ไม่ควรติดตั้งปั๊มลมในพื้นที่ที่ลาดชันและถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดีเพราะจะทำให้ความร้อนสะสมในบริเวณนั้นสูงขึ้น และทำให้อุณหภูมิโดยรอบปั๊มลมร้อนเกินไป



รูปที่ 3.1 ปั๊มลม (Air compressor)

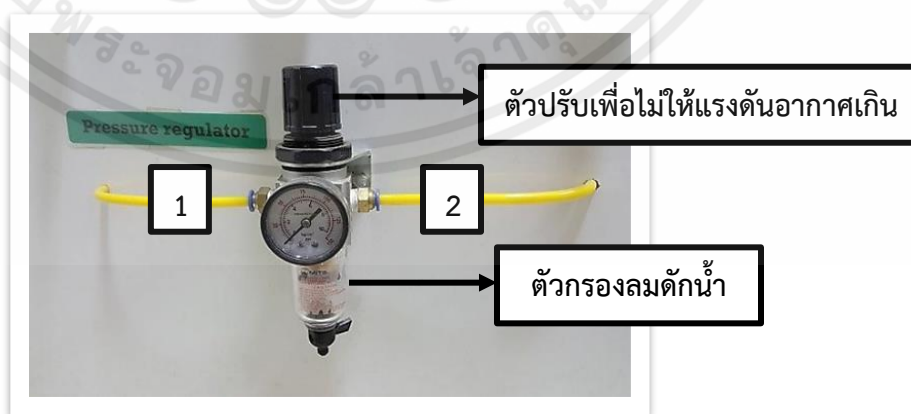
3.1.2 อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure regulator) มีหน้าที่ในการปรับและควบคุมความดันสูงสุดในการใช้งานให้คงที่และเหมาะสมกับความดันของระบบและกรองสิ่งเจือปนที่ติดมากับอากาศที่ถูกส่งมาจากปั๊มลมก่อนเข้าสู่ระบบ เพื่อป้องกันความเสียหายกับอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ควบคุมความดันสูงสุดให้ไม่เกิน 4 bar ตัวปรับความดันลมตัวควบคุมความดันลม Air Regulator, Regulator คือตัวปรับให้แรงดันด้านขาออกของตัวปรับแรงดันลมเป็นไปตามความต้องการใช้งานอย่างคงที่ ซึ่งโดยปรกติมักปรับอยู่ที่ประมาณ 3-5 bar

การใช้งานอุปกรณ์

เมื่ออากาศแรงดันมีแรงเพิ่มสูงขึ้นจะกดให้ไดอะแฟรมขณะแรงสปริงที่กดอยู่อีกด้าน ในขณะเดียวกัน Plunger ซึ่งเป็นก้านวาล์วก็จะถูกสปริงกดให้เลื่อนตามไดอะแฟรมลงไปด้วย ทำให้ช่องเปิดวาล์วมีขนาดเล็กลงหรือปิดเลย หมายความว่าแรงดันจะถูกกำหนดปริมาณมวลสารที่ไหลผ่านบริเวณวาล์ว เมื่อแรงดันที่ต้องการตกลงสปริงก็จะดันแผ่นไดอะแฟรมเลื่อนขึ้นตัว Plunger ก็จะเปิดวาล์วให้อากาศแรงดันไหลผ่านมากขึ้นได้ตามความต้องการ ถ้าอากาศแรงดันทางด้าน Secondary เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จะทำให้แผ่นไดอะแฟรมถูกกดลงขณะแรงสปริงที่ดันอยู่ให้ต่ำลงมาก ด้าน Plunger ก็จะเปิดวาล์วที่แกนของไดอะแฟรมให้อากาศแรงดันระบายผ่านห้องสปริงออกไปภายนอก และมีตัวกรองลมดักน้ำทำหน้าที่กรองฝุ่นละอองทำให้ลมอัดมีความสะอาดก่อนนำไปใช้งานโดยมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อลมอัดผ่านช่อง (1) เข้าคาลิเบรียงคัปลม มีผลทำให้ลมเกิดการหมุนวนน้ำ ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่า ลมจะถูกเหวี่ยงไปปะทะกับหลอดแก้ว ไหลลงสู่ด้านล่างดังรูป ลมที่ไหลผ่านช่อง (2) จะเป็นลมที่มีความสะอาด

รายละเอียดอุปกรณ์

ช่วงที่ปรับได้ 7 PSI ถึง 140 PSI, ความดันอินพุตสูงสุด 150 PSI, แรงดันเอาต์พุตสูงสุด 140 3 8 CFM MAX FLOW, WALL MOUNTING BRACKET, CENTER BACK MOUNT GAUGE 1.5 "DIAL 0-160 PSI.



รูปที่ 3.2 ตัวควบคุมความดัน (Pressure regulator)

3.1.3 โรตاميเตอร์ (Rotameter) เป็นอุปกรณ์ใช้วัดการไหล (flow measurement) ที่สามารถวัดการไหลได้ทั้งของเหลวและแก๊สมีหน้าที่ในการวัด และควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้เราจะใช้โรตاميเตอร์ 2 ช่วง เป็นลักษณะของการวัดอัตราการไหลเป็นลักษณะของการวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตร (volumetric flow rate) จะมีช่วงการไหลอยู่ที่ 0-10, 50-500 และ 100-1000 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

โรตاميเตอร์ Flowmeter Dwyer CC Min AiR X100(RMA-13-SSV) เป็นชนิด Flow meter ที่วัดอัตราการไหลอัตราการไหลของของเหลวหรือแก๊ส (Air) ใช้หลักการเมื่อของเหลวหรือแก๊สไหลผ่านท่อปิดทรงกรวยเรียว Tapered tube ซึ่งบรรจุท่อนลูกลอย Float ไว้ ในขณะที่มีการไหลจากทิศทางล่างสู่บน จะเกิดแรงกระทำต่อท่อนด้นยกตัวให้สูงขึ้นโดยเป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่วงแหวนรอบลูกลอยกับพื้นที่ผิวด้านบนลูกลอยนั้น ค่าระดับความสูงของลูกลอยจะแปรผันตามอัตราไหลที่เปลี่ยนแปลงไป

วิธีอ่านค่าใช้สายตาดูที่ระดับความสูงของลูกลอยบนสุดเทียบกับขีดสเกลบนตัวมิเตอร์จะได้ค่าอัตราการไหลนั้น มีให้เลือกทั้งแบบ Acrylic tube, Glass tube และ Metal tube ตามความเหมาะสม

ความแม่นยำของโรตاميเตอร์

โรตاميเตอร์ ที่ใช้ในการทดลองมี 3 ช่วงการไหล 1, 2, 3 โดยช่วงการไหลที่ 1 มีการปรับการไหลของอากาศอยู่ที่ 0-10 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที มีความแม่นยำ $\pm 4\%$, ช่วงการไหลที่ 2 มีการปรับการไหลของอากาศอยู่ที่ 50-500 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที มีความแม่นยำ $\pm 3\%$, และช่วงการไหลที่ 3 มีช่วงการปรับการไหลของอากาศอยู่ที่ 100-1000 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาทีความแม่นยำ $\pm 2\%$ โดยการทดลองจะเลือกใช้โรตاميเตอร์ช่วงการไหลที่ 2 และ 3 การใช้งานในการทดลองเมื่อต้องการปรับการไหลของอากาศที่ 50-500 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ให้ใช้ช่วงการไหลที่ 1 หากต้องการปรับการไหลของอากาศที่สูงกว่า 500 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาทีให้ทำการลดการไหลของอากาศในช่วงการไหลที่ 2 ลง และทำการเปิดช่วงการไหลที่ 3



รูปที่3.3 โรตاميเตอร์ (Rotameter)

3.1.4 เกจวัดความดัน (Pressure gauge) เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดและอ่านค่าความดันของอากาศที่จะไหลเข้าสู่ระบบซึ่งในการทดลองนี้จะติดตั้งอยู่ทางออกของโรตاميเตอร์ (Rotameter) ก่อนที่อากาศไหลจะไปผสมกับน้ำในห้องผสม (Mixing chamber) และไหลเข้าไปยังช่วง test section ซึ่งมีการติดตั้งเกจวัดความดันไว้ 3 ตัวจะมีช่วงความดันที่ 0-0.1, 0-1 และ 0-6 bar โดยอ่านค่าความดันที่หน้าปัดเกจเป็นแบบอนาล็อกหรือแบบเข็ม สำหรับข้อควรระวังในการใช้เกจวัดความดันคือจะต้องไม่ใช่วัดความดันที่สูงเกินกว่าเกจวัดความดันตัวนั้นสามารถรับได้เพราะจะทำให้เกจวัดความดันเกิดความเสียหายได้

รายละเอียดอุปกรณ์

BAUMER Pressure Gauge 100mm , SUS 316, RANG 0-6 bar , PT 1/2" NITTO Pressure Gauge 2.5", RANG 0-1 bar, PT 1/4"

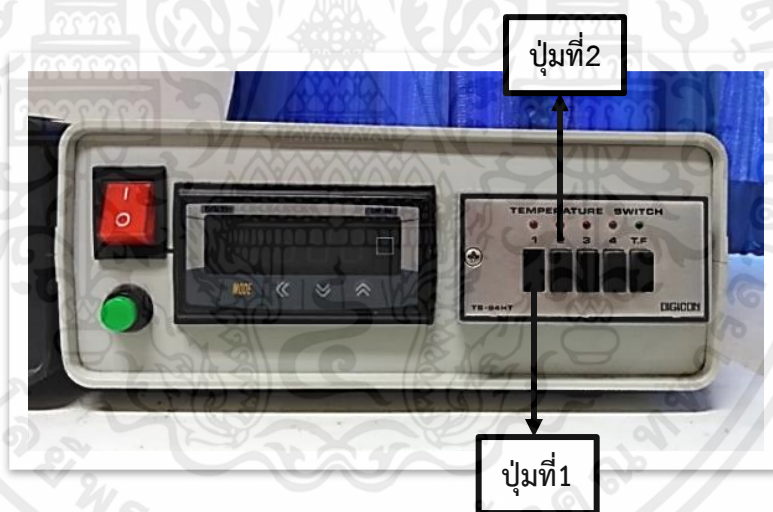


รูปที่ 3.4 เกจวัดความดัน (Pressure gauge)

3.1.5 ตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator) ใช้ในการอ่านค่าความดันที่ได้รับสัญญาณไฟฟ้ามาจากทรานสดิวเซอร์วัดความดัน (Pressure transducer) มาแปลงจากสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นค่าของความดัน ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้อ่านค่าความดันที่บริเวณทางเข้าของช่วง Test section

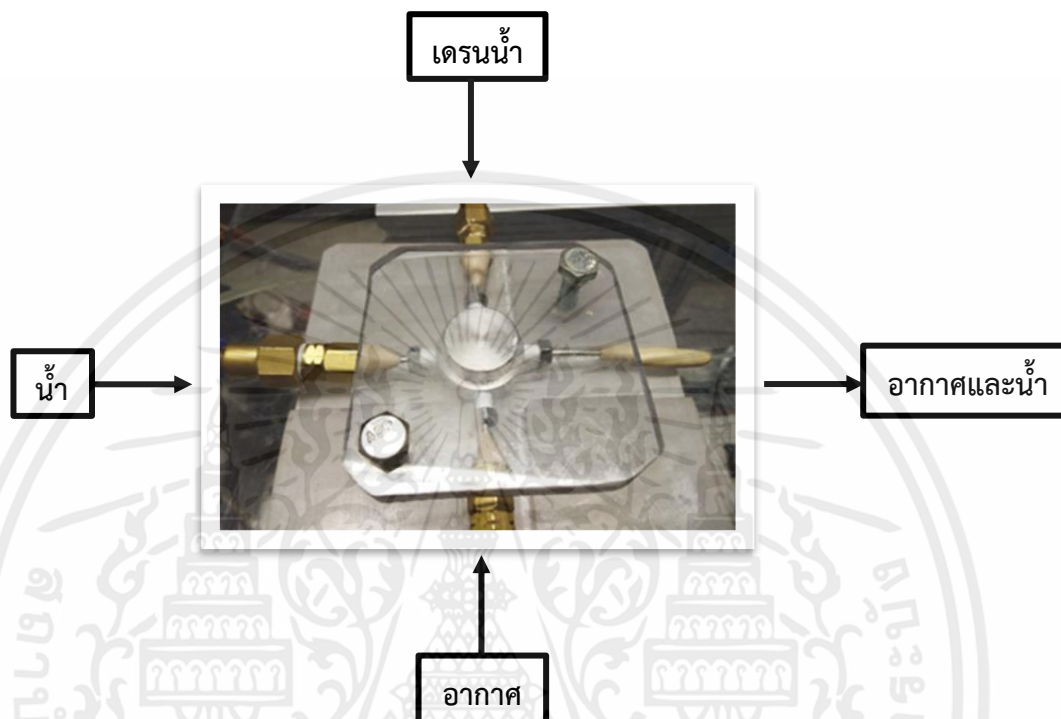
การใช้งาน

จะแปลงปริมาณความดันทางกายภาพให้ออกมาเป็นสัญญาณมาตรฐานทางไฟฟ้า (สัญญาณ Output) โดยสามารถอ่านค่าได้จากหน้าจอที่แสดงผลและในการทดลองจะใช้ปั๊มที่ 1 และปั๊มที่ 2 ซึ่งปั๊มที่ 1 จะเป็นการใช้ความดันอากาศในช่วง 0-4 bar และปั๊มที่ 2 จะเป็นการใช้ความดันอากาศในช่วง 4-10 bar อ่านค่าเป็นหน่วยมิลลิแอมแปร์ (mA) เนื่องจากค่าความดันที่วัดบริเวณทางเข้าของ Test section (P_{in}) ที่อ่านได้จากตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator) มีหน่วยเป็นมิลลิแอมแปร์ (mA) จึงต้องทำการแปลงค่าให้เป็นบาร์ (bar) ดังสมการที่ (2.5) และ (2.6) ตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator) จะทำงานสอดคล้องกับตัวแปลงสัญญาณความดันหรือทรานสดิวเซอร์วัดความดัน (Pressure transducer) ว่าใช้ค่าความดันที่ ในช่วง 0-4 bar หรือช่วง 0-10 bar



รูปที่ 3.5 ตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator)

3.1.6 ห้องผสม (Mixing chamber) ทำหน้าที่ในการผสมน้ำและอากาศเข้าด้วยกันก่อนที่จะไหลเข้าช่วง test section ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ห้องผสมแบบ 4 ทาง (Cross junction) ซึ่งจะต้องเลือกห้องผสมให้มีขนาดของช่องผสมให้เท่ากับขนาดท่อที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่3.6 ห้องผสมและทิศทางการเข้าของอากาศและน้ำ (Mixing chamber)

3.1.7 ปั๊มดูดจ่ายของเหลวแบบรีดท่อ (Peristaltic pump) ทำหน้าที่ในการดูดของเหลวจากถังน้ำไปยังห้องผสมโดยปั๊มเพอริสแตลติก โดยใช้ลูกกลิ้งที่อยู่ในเครื่องของปั๊มเพอริสแตลติกซึ่งลูกกลิ้งจะหมุนรีดสายยางเพื่อดูดของเหลวเข้าสู่ระบบ ช่วงความเร็ว : 0.1-600 รอบต่อนาทีที่เหมาะสมสำหรับหัวปั๊มต่างๆ ช่วงอัตราการไหล : 0.000166 - 2280 ml/นาที แหล่งจ่ายไฟ AC 220V \pm 10% 50HZ/60HZ (มาตรฐาน) AC 110V \pm 10% 50HZ/60HZ (อุปกรณ์เสริม) ขนาดของไดรฟ์ 261.4x157.3x236.9 (LWH) น้ำหนักไดรฟ์ 4.40 กก. การใช้พลังงาน <50W อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 0-40 °C ความชื้นสัมพัทธ์ <80% อัตรา IP IP31 หน้าจอ LCD สีน้ำเงินขนาด 3.2 นิ้วความเร็วของลูกบิดและปุ่มกดแบบกลไกเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน

รายละเอียดอุปกรณ์

Flow Rate 0.000166-2280mL/min, Speed range 0.1-600 rpm, suitable for various pump heads. Flow rate range 0.000166-2280ml/min. Multiple external control for selection. Support RS232/RS485 communication, standard MODBUS protocol (RTU mode)

การใช้งานอุปกรณ์

1. ทำการติดตั้งท่ออย่างเข้ากับปั๊มปั๊ม Peristaltic pump โดยการใส่ท่ออย่างเข้าไปแล้วก็โยกไปทางซ้ายเพื่อให้ตัวลูกกลิ้งเปิดออกจากรันก็โยกกลับไปทางเดิมคือทางขวาเพื่อให้ลูกกลิ้งปิดตามลูกศร และต่อท่ออย่างเข้ากับถังน้ำ
2. จากนั้นทำการกดปุ่มเปิดเครื่อง Peristaltic pump
3. กดปุ่ม Start ที่เป็นปุ่มกดเพื่อเริ่มการทำงานของอุปกรณ์
4. กดปุ่มปรับระดับเพิ่มหรือลดของอัตราการไหลของน้ำตามที่ต้องการ
5. เมื่อใช้งานเสร็จกดปุ่ม Stop ที่เป็นปุ่มกดเพื่อหยุดการทำงานของอุปกรณ์
6. เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้วกดปุ่มปิดด้านหลังของอุปกรณ์

ขั้นตอนเริ่มการใช้งาน

1. ติดตั้งสายยางเข้ากับปั๊มโดยปรับชนิดของท่ออย่างให้ตรงกับท่ออย่างที่เลือกใช้ โดยใช้ท่ออย่าง Tube 25# และสามารถดูขนาดของท่ออย่างได้จากขนาดที่บอกอยู่บนท่ออย่างสามารถสั่งซื้อท่ออย่างได้จาก บริษัท อามานี คอร์ปอเรชั่น จำกัด โทร 02 322 4421-3 Email: amani@ksc.th.com



รูปที่3.7 การต่อท่ออย่างปั๊มดูจ่ายของเหลวแบบรีดท่อ (Peristaltic pump)

2. ทำการต่อสายยาง Tube 25# เข้ากับถังน้ำ เพื่อนำน้ำจากถังมาใช้ในการทดลอง



รูปที่3.8 การต่อท่ออย่างเข้ากับถังน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กดปุ่ม start ที่อยู่ด้านหลังของอุปกรณ์เพื่อเริ่มการทำงาน



รูปที่3.9 การเปิดอุปกรณ์การใช้งาน

4. ปรับค่าอัตราการไหลของน้ำตามที่ได้กำหนดไว้ และกดปุ่มแรก เพื่ออุปกรณ์เริ่มการทำงาน สามารถดูข้อมูลเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ก หน้าที่ 69-75



รูปที่3.10 การปรับค่าอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 ถังน้ำ (Water tank) เป็นถังพักน้ำ โดยจะใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวแบบรีดที่ดูดน้ำจากถังเพื่อส่งเข้าสู่ระบบ สำหรับน้ำที่นำมาใช้ในการทดลองจะต้องเป็นน้ำกลั่นเพื่อป้องกันการเกิดตะกรันไปอุดตันภายในท่อไมโครเซนแนล และจะต้องมีการปิดฝาถังให้มิดชิด เมื่อน้ำกลั่นที่ใช้ในการทดลองหมดสามารถติดต่อเจ้าหน้าที่ดูแลห้องปฏิบัติการแลปเคมี และสามารถนำถังเติมน้ำกลั่นไปเติมน้ำกลั่นได้ที่ห้องปฏิบัติการแลปเคมีชั้น 2 อาคารเรียน B หรือติดต่อเจ้าหน้าที่ 081-609-9950 พี่เหม่ม



รูปที่ 3.11 ถังน้ำ (Water tank)

3.1.9 ปีกเกอร์ (Beaker) เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อบรรจุสารเคมี เพื่อให้ความร้อน ผสมสาร หรือทำปฏิกิริยากัน มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกก้นแบน ขนาดของปีกเกอร์ที่พบได้โดยทั่วไปจะมีตั้งแต่ 50 มิลลิลิตร ไปจนถึง 5 ลิตร ซึ่งมักจะมีขีดบอกริมาตรไว้ ปีกเกอร์ที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการทำจากแก้วทนไฟใช้เพื่อบรรจุน้ำที่ช่องทางออกของ test section ในการทดลองเราใช้ที่ขนาด 100 มิลลิลิตร



รูปที่ 3.12 ปีกเกอร์ (Beaker)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.10 หลอดไฟ LED (LED Lighting) เป็นหลอดไฟที่ให้แสงสว่างได้สูง มีอัตราการกระพริบที่สูงมาก (แทบจะไม่มีการกระพริบ) และแสงสว่างไม่เกิดความร้อน จึงเหมาะที่จะใช้ในการทดลองในครั้งนี้ โดยจะใช้ส่องแสงสว่างบริเวณท่อเทพลอนและท่อแก้วเขตเกลียวบริเวณ test section ขณะที่ทำการถ่ายภาพเพื่อสังเกตรูปแบบการไหลเพื่อใช้ถ่ายภาพรูปแบบการไหลได้ชัดเจนขึ้นและง่ายต่อการสังเกต อุปกรณ์ชนิดนี้ตั้งอยู่ในห้องทดลองโปรเจกต์ชั้น 2

รายละเอียดอุปกรณ์

รุ่น: LED-XL-FGD-MZ30, แรงดันไฟฟ้า AC85V-265V, ช่วงความถี่ 50HZ-60HZ, ปัจจัยพลังงาน>0.98, แรงดันไฟฟ้า DC30-36V, การใช้พลังงานLED 30W, ระบบใช้พลังงาน 33W, ประสิทธิภาพ การส่องสว่าง 90-100LM/W, ประสิทธิภาพของหลอดไฟ>90%, อายุการทำงาน >50,000H, มุมแสง120

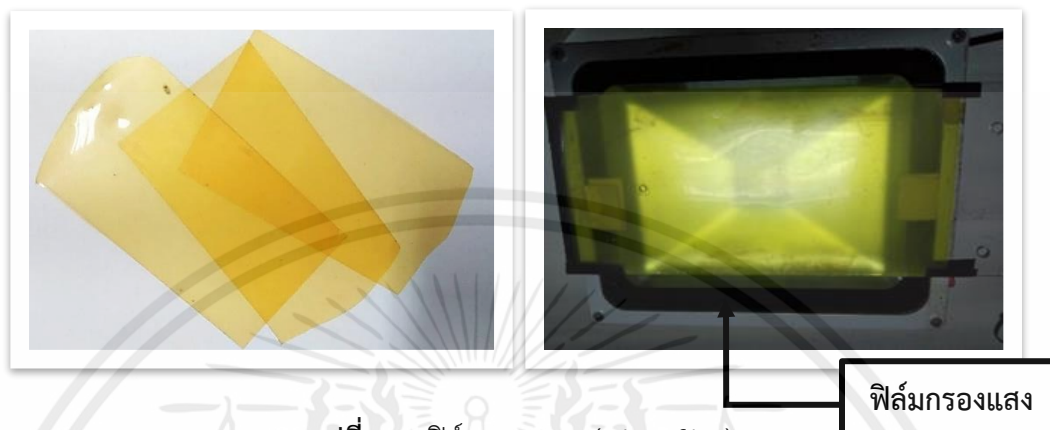


รูปที่3.13 หลอดไฟ LED (LED Lighting)

3.1.11 ฟิล์มกรองแสง (Filter film) มีหน้าที่กำจัดจุดที่ไม่ซ้ำกันของไฟ LED เนื่องจากหลอดไฟ LED เป็นรางสองแถวหรือสามแถวจึงมีช่องว่างระหว่างแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงแต่ละจุด ดังนั้นจุดจะถูกสร้างขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากใช้ฟิล์มกรองแสงแล้วฟิล์มแสงจะเกิดขึ้นที่จุดกำเนิด แสงมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างเปล่งแสงทำให้สม่ำเสมอมาก แก้ปัญหาเฉพาะจุดได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อขยายมุมของการส่องสว่างเป้าหมายของการส่องสว่าง LED เป็นทิศทางที่มากมุมของการส่องสว่างจะอยู่ที่ประมาณ 120 องศา และทำให้เกิดจุดบอดในการส่องสว่างได้ง่าย หลังจากใช้ฟิล์มกรองแสงช่วงรังสีสามารถขยายได้ถึงประมาณ 180 องศาเนื่องจากการแพร่กระจายที่เป็นเอกลักษณ์ของฟิล์มกรองแสง สิ่งนี้มีประโยชน์ในการกำจัดจุดบอดในแสง และนำมาใช้งานจริงในการเก็บผลการทดลอง โดยการติดฟิล์มกรองแสงเข้ากับหลอดไฟ

วิธีการติดตั้ง

นำฟิล์มกรองแสงติดเข้ากับบริเวณด้านส่องสว่างของหลอดไฟ LED



รูปที่ 3.14 ฟิล์มกรองแสง (Filter film)

3.1.12 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Electronic Balance) สามารถชั่งน้ำหนักได้ในช่วง 42-310 กรัม ความละเอียดสูงสุด 0.01 มิลลิกรัม มีตุ้มน้ำหนักภายในเครื่องสำหรับปรับเทียบค่าน้ำหนักอัตโนมัติ การสอบเทียบตัวเองอัตโนมัติเพื่อรักษาความถูกต้องภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ มีตู้ครอบกันลมป้องกันไฟฟ้าสถิต มีหน่วยความจำสามารถบันทึกค่าการวัดได้ โหมดการนับและการปรับค่าความถูกต้องอัตโนมัติ ฟังก์ชันชั่งแบบเปอร์เซ็นต์และการเปิดเครื่องอัตโนมัติ ฟังก์ชัน underhook ฟังก์ชันการชั่งหาความหนาแน่นและชุดทดสอบความหนาแน่น มีซอฟต์แวร์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ และสามารถลดผลกระทบจากการสั่นสะเทือนอากาศและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ต่อผลกระทบของการชั่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถดูข้อมูลเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ก หน้าที่ 71-74

รายละเอียดอุปกรณ์

ชั่งได้สูงสุด 310 กรัม, ค่าละเอียด 0.0001 กรัม (0.1 มิลลิกรัม), จานชั่งเป็นสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร, หน้าจอแสดงผลเป็นตัวเลข LCD สีดำ, มีปุ่มหักค่าน้ำหนักภาษาชนะ (Re-Zero), มีฟังก์ชันนับจำนวนชิ้นงาน (Counting Function), มีฟังก์ชันเทียบเปอร์เซ็นต์ (Percentage Function), มีฟังก์ชันบันทึกผลการชั่ง (Data Memory Function), สามารถชั่งน้ำหนักจากการแขวนได้, ปรับเทียบน้ำหนักอัตโนมัติ (Internal Calibration), พร้อมตู้กระจกกันลม และกันไฟฟ้าสถิต, พร้อมช่องต่อ RS-232C, ตัวเครื่องมีขนาด 249 (กว้าง) x 330 (ลึก) x 328 (สูง) มิลลิเมตร, ใช้หม้อแปลง AC Adapter

การใช้งานอุปกรณ์

1. วางเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลไว้ตรงพื้นที่ที่ราบเรียบจากนั้นปรับระดับหยดน้ำให้อยู่ตรงศูนย์กลางของวงกลม แสดงดังรูปที่ 3.15
2. กดปุ่ม (Power) ปุ่มสีแดงเพื่อเปิดเครื่องให้รอจนกว่าจะมีเลข 0.0000 (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ขึ้นบนหน้าจอแสดงผล
3. กดปุ่ม (Units) ปุ่มที่สองจากซ้ายเพื่อเปลี่ยนและเลือกหน่วยการวัด
4. เปิดกระจกที่เครื่องชั่งดิจิตอลแล้วนำปิกเกอร์ตวงเปล่าวางไว้ตรงกลางของเครื่องชั่งแล้วปิดกระจกให้มิดชิด
5. หน้าจอจะแสดงผลปรากฏของน้ำหนักปิกเกอร์ตวงเปล่าแล้วรอจนให้ค่าชั่งน้ำหนักที่หน้าจอแสดงค่าของน้ำหนัก
6. กดปุ่ม (Tare) ปุ่มทางขวาสุด จากนั้นนำของเหลวที่ได้จากการทดลองในช่วงทางออกของ Test section มาใส่ในปิกเกอร์ น้ำหนักที่เครื่องชั่งคำนวณได้จะเป็นค่าของน้ำหนักของของเหลว
7. นำปิกเกอร์ตวงออกจากเครื่องชั่งน้ำหนักแล้วทำการจดบันทึกผลการทดลอง สามารถดูคู่มือเพิ่มเติมการใช้งานเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Electronic Balance) ได้จากภาคผนวก ก หน้าที่76-79



รูปที่3.15 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Electronic Balance)

3.1.13 ท่อยางและท่อซิลิโคน (Silicon tube) ในการทดลองใช้ท่อท่อยางและท่อซิลิโคนในการลำเลียงสารทำงานในระบบก่อนเข้าช่วง test section ซึ่งท่อยางจะใช้ในการลำเลียงอากาศเพราะท่อยางสามารถทนแรงดันได้ดีในขณะที่ในส่วนท่อซิลิโคนจะใช้สำหรับการลำเลียงน้ำซึ่งท่อทั้ง 2 ชนิดเป็นท่อที่ทนการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดี สามารถสั่งซื้อท่อยางและท่อซิลิโคนได้จาก บริษัท อมานี คอร์ปอเรชั่น จำกัด โทร 02 322 4421-3 Email: amani@ksc.th.com



รูปที่ 3.16 ท่อยางและท่อซิลิโคน (Silicon tube)

3.1.14 ท่อเทฟลอน (Teflon tube) ท่อเทฟลอนทำจากเป็นพลาสติกชนิดพิเศษมีความโปร่งแสงสามารถเห็นสารทำงานที่ไหลอยู่ภายในได้ทนต่ออุณหภูมิที่สูงและต่ำได้ดีมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานน้อยมาก และน้ำหรือน้ำมันจะไม่เกาะติดที่บริเวณผิวท่อดังแสดงในรูป 3.17 ใช้เป็นท่อแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สำหรับเพิ่มความร้อนของสารเคมีที่มีการกัดกร่อนสูง สามารถทนอุณหภูมิที่ต่ำได้ดีเยี่ยม นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าได้อย่างดีเยี่ยมซึ่งเหมาะกับการทดลองนี้เป็นอย่างยิ่งที่จะใช้ท่อเทฟลอนในการสังเกตรูปแบบการไหล สามารถสั่งซื้อท่อเทฟลอนได้จาก บริษัท อมานี คอร์ปอเรชั่น จำกัด โทร 02 322 4421-3 Email: amani@ksc.th.com



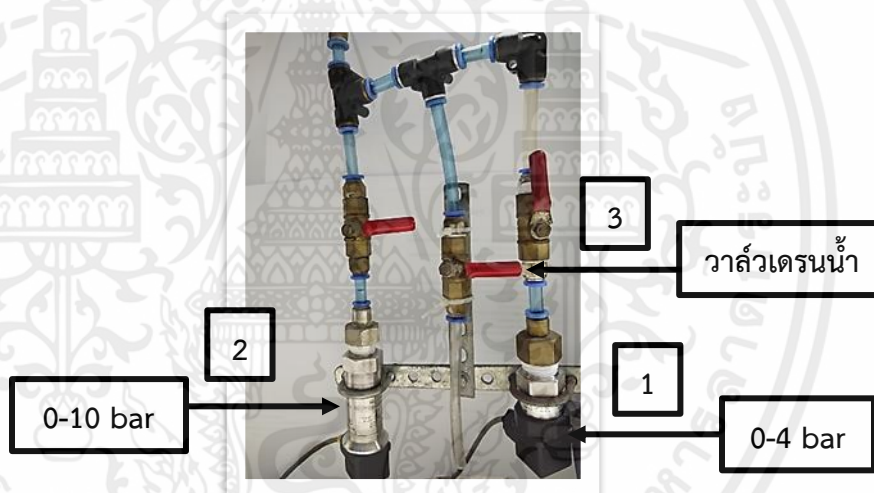
รูปที่ 3.17 ท่อเทฟลอน (Teflon tube)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.15 ตัวแปลงสัญญาณความดัน หรือทรานสดิวเซอร์วัดความดัน (Pressure transducer) มีหน้าที่แปลงค่าความดันเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ตัวแปลงสัญญาณความดันอยู่ในช่วงวัดที่ 0-4 bar และ 0-10 bar ดังแสดงในรูปที่ 3.18 สำหรับการใช้ทรานสดิวเซอร์วัดความดันควรเลือกใช้ให้ถูกต้องกับช่วงของความดันที่อ่านค่าได้จากตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator) เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหาย สำหรับทรานสดิวเซอร์มีค่าความแม่นยำอยู่ที่ ± 0.025 เปอร์เซ็นต์ของค่าสูงสุด

การใช้งานอุปกรณ์

1. หมายเลข 1 คือวาล์วที่ใช้ในการทดลอง Pressure ในช่วง 0-4 bar และหมายเลข 2 คือวาล์วที่ใช้ในการทดลอง Pressure ในช่วง 0-10 bar
2. ขั้นตอนแรกเริ่มต้นด้วยการปิดวาล์วหมายเลข 1 และหมายเลข 2 จากนั้นทำการเปิดวาล์วหมายเลข 3 เพื่อเตรียมน้ำที่คาอยู่ในท่อออกทิ้งไว้สักพักแล้วทำการปิดวาล์วหมายเลขจากนั้นทำการเปิดวาล์วที่ต้องการจะทำการทดลอง



รูปที่ 3.18 ตัวแปลงสัญญาณความดัน หรือทรานสดิวเซอร์วัดความดัน (Pressure transducer)

3.1.16 ท่อแก้ว (Glass tube) คุณสมบัติของหลอดแก้วควอตซ์ใสมีดังนี้: ความบริสุทธิ์สูง (99.998% SiO₂) อัตราการส่องผ่านของแสงสูง (ประมาณ 95%) การควบคุมความคลาดเคลื่อนที่เข้มงวด ปริมาณ OH ต่ำและอื่น ๆ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อภายใน 0.875 mm สามารถนำท่อแก้วไปวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางได้ที่ได้ที่ห้องปฏิบัติการแลปเคมีชั้น 2 อาคารเรียน B แสดงดังรูปที่ 3.19

วิธีการคำนวณ

1. นำ Ocular micrometer มาเปรียบเทียบกับสเกล Stage micrometer ได้ดังนี้

40 ช่องของ Ocular micrometer = 100 ช่องบน Stage micrometer

$$\begin{aligned} 1 \text{ ช่องของ Ocular micrometer} &= \frac{100}{40} \text{ ช่องบน Stage micrometer} \\ &= 2.5 \text{ ช่องบน Stage micrometer} \end{aligned}$$

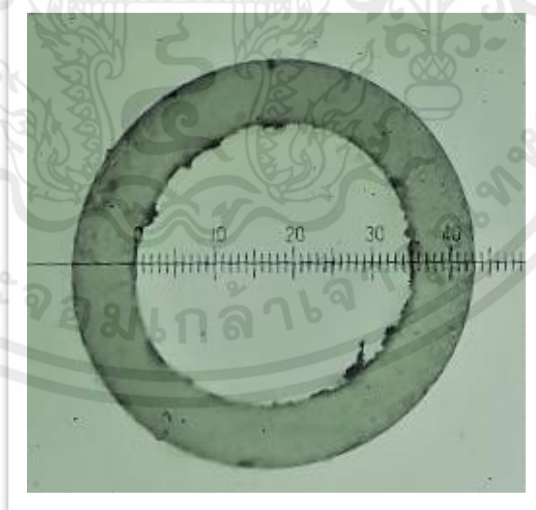
$$1 \text{ ช่อง Stage micrometer} = 0.01 \text{ mm.}$$

$$\text{ดังนั้น } 1 \text{ ช่องของ Ocular micrometer} = 2.5 \times 0.01 \text{ mm} = 0.025 \text{ mm}$$

2. เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์และใช้เลนส์กำลังขยาย 4 เท่าในการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อแก้วจะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อแก้ว = 35 ช่องบน Ocular micrometer

$$\text{เนื่องจาก } 1 \text{ ช่องของ Ocular micrometer} = 0.025 \text{ mm}$$

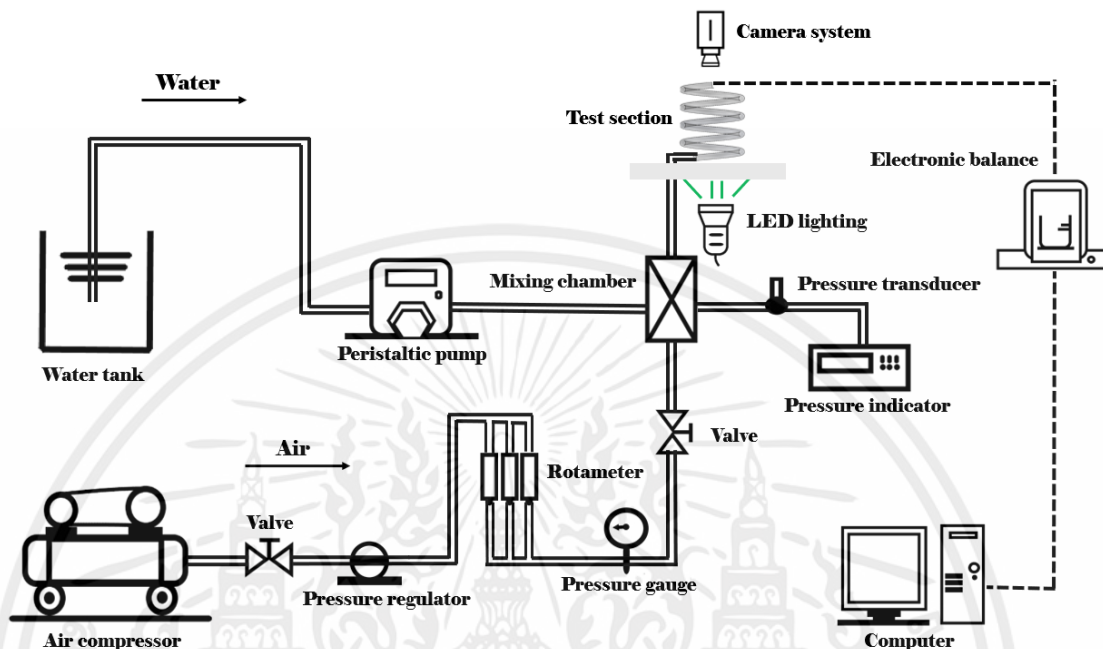
$$\text{ดังนั้น ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อแก้ว} = 35 \times 0.025 = 0.0875 \text{ mm}$$



รูปที่ 3.19 ท่อแก้ว (Glass tube) [18]

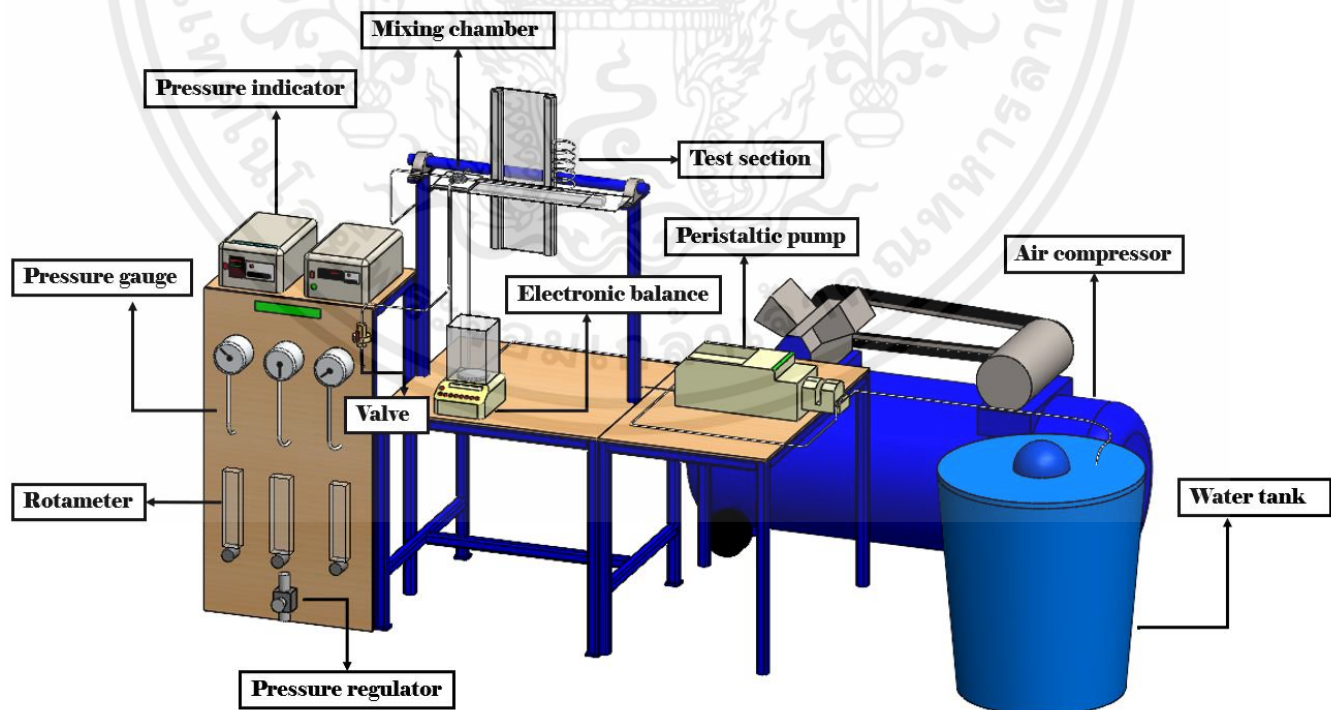
3.2 วงจรการทำงาน และรายละเอียดของ test section

3.2.1 การวางท่อในแนวตั้ง



รูปที่ 3.20 แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดลอง(การวางท่อขดเกลียวในแนวตั้ง)

3.2.2 กระบวนการทำงาน



รูปที่ 3.21 อุปกรณ์การทดลอง

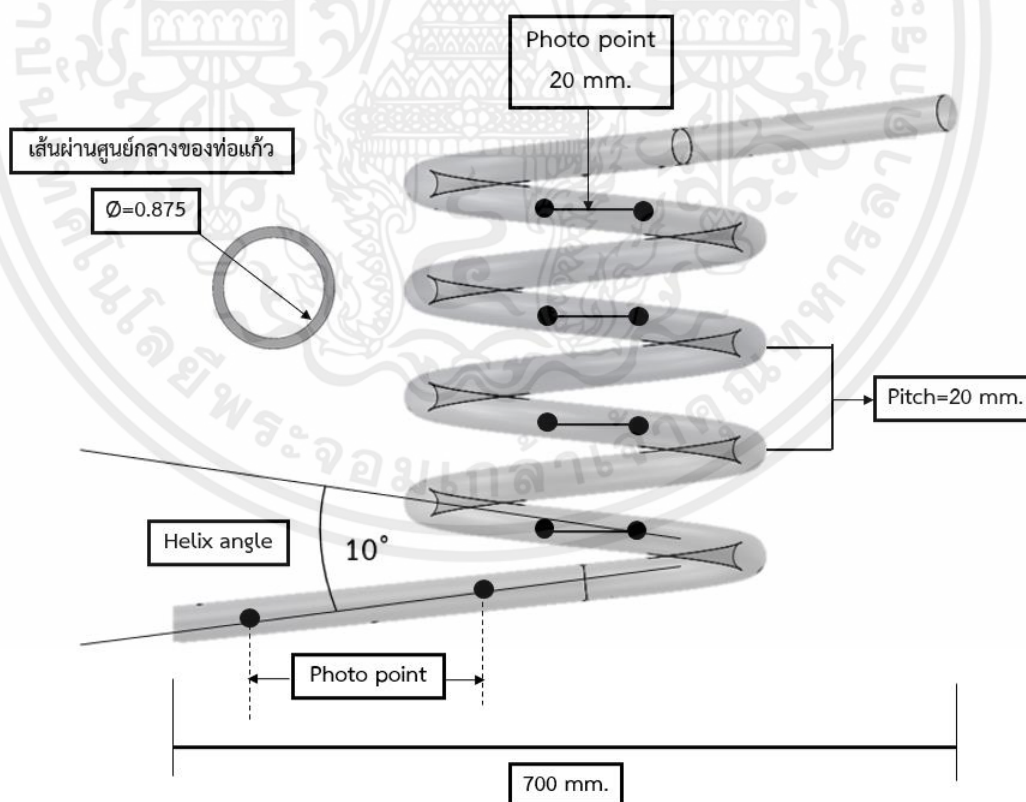
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจะเริ่มต้นจากปั๊มลม (Air compressor) จะอัดอากาศผ่านอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure regulator) ก่อนที่จะผ่านเข้าไปยังระบบ โดยอัตราการไหลของอากาศสามารถวัดและควบคุมได้โดยโรตاميเตอร์ (Rotameter) และมีเกจวัดความดัน (Pressure gauge) อ่านค่าความดันของอากาศของไหลเข้าสู่ช่วง test section

การทำงานของน้ำจะเริ่มจากปั๊มของเหลวแบบรีดท่อ (Peristaltic pump) ซึ่งปั๊มสามารถปรับอัตราการไหลของน้ำได้ จะดูดน้ำจากถังเก็บน้ำส่งเข้าสู่ช่วง test section โดยอัตราการไหลของน้ำสามารถหาได้จากการชั่งน้ำหนักของน้ำที่ไหลออกจากช่วง test section ในช่วงเวลาที่กำหนดไว้โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Electronic Balance)

การทดลองนี้จะใช้ห้องผสมแบบ 4 ทาง (Mixing chamber) เพื่อผสมน้ำกับอากาศเข้าด้วยกัน ก่อนที่จะไหลเข้าสู่ท่อขดเกลียวในช่วง test section ในการวัดความดันในช่วง test section จะติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันแบบทรานสดิวเซอร์ (Pressure transducer) ไว้ที่ทางเข้า test section และในส่วนการสังเกตรูปแบบการไหลจะใช้หลักการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายรูปหรือกล้องโทรศัพท์มือถือที่มีอุปกรณ์เสริม โดยที่จะถ่ายภาพท่อแก้ว

3.2.3 การบอกตำแหน่งและระยะการบันทึกภาพผลการทดลอง Test section

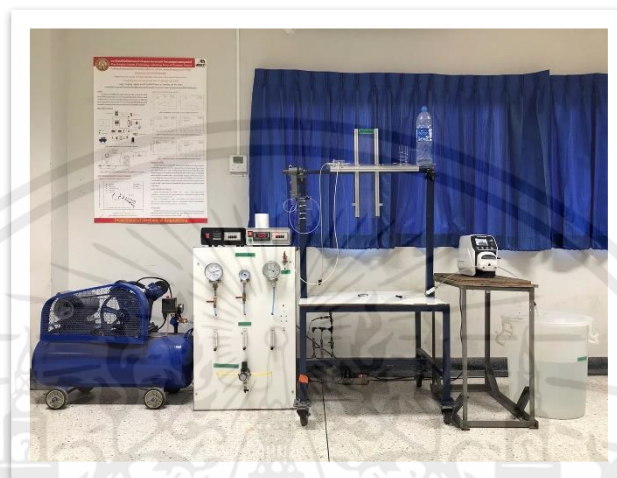


รูปที่ 3.22 การบอกตำแหน่งและระยะการบันทึกภาพผลการทดลอง Test section

3.3 วิธีการดำเนินการ

มีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

3.3.1 ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์การทดลองให้พร้อมใช้งาน



รูปที่ 3.23 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

3.3.2 ทำการเติมน้ำที่ข้างอยู่ในระบบออกให้เรียบร้อย โดยวาล์วเติมน้ำออกจากอยู่ด้านหลังของชุดทดลอง ที่วาล์วเติมน้ำจะมีท่อปล่อยน้ำออกเท่านั้น เมื่อทำการเติมน้ำที่ค้างอยู่ในระบบออกหมด และจึงทำการปิดวาล์วเติมน้ำให้เรียบร้อย



รูปที่ 3.24 การเปิดวาล์วเติมน้ำออกก่อนเริ่มการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 เปิดเครื่อง Peristaltic pump โดยสวิทช์เปิด-ปิดเครื่องจะอยู่ด้านหลังของอุปกรณ์ และตรวจสอบค่าอัตราการไหลของน้ำที่จอแสดงผลให้ถูกต้อง สามารถปรับค่าอัตราการไหลตามที่ต้องการได้ หากต้องการที่จะเปลี่ยนท่ออย่างดูจ่าย ควรตรวจสอบชนิดของท่ออย่างให้ตรงกับจอแสดงผลของเครื่องดูจ่ายของเหลว



รูปที่3.25 การเปิด-ปิดเครื่องดูจ่ายของเหลว

3.3.4 เปิดปั้มลม หรือเครื่องอัดอากาศเพื่อปล่อยอากาศเข้าสู่ระบบ และเพื่อป้องกันน้ำในถังลมกับอากาศไหลปนกันควรหมั่นเติมน้ำในถังลม อย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เพราะไม่เช่นนั้นหากปล่อยไปนอกจากจะทำให้ถังลมเป็นสนิมแล้ว จะทำให้เครื่องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองของท่านเสียหายตามมามีด้วย



รูปที่3.26 การเปิดวาล์วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 เปิดสวิตซ์ตัวรับสัญญาณความดัน Pressure indicator เป็นอุปกรณ์การอ่านค่าความดันที่ได้รับสัญญาณไฟฟ้ามาจากทรานสดิวเซอร์วัดความดัน



รูปที่3.27 การเปิดเครื่องตัวรับสัญญาณความดัน

3.3.6 ปรับอัตราการไหลของน้ำที่ได้กำหนดไว้ และทำการบันทึกผล โดยค่าอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการทดลอง คือ 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 ในหน่วย ml/min

เนื่องจากถ้าหากอัตราการไหลของน้ำต่ำกว่า 20 ml/min จะทำให้ไม่สามารถเห็นการไหลของน้ำภายในท่อขดเกลียวได้ จะเห็นเพียงแค่การไหลของอากาศอย่างเดียว และที่อัตราการไหลของน้ำสูงกว่า 110 ml/min จะไม่สามารถเห็นการไหลของอากาศภายในท่อขดเกลียวจะเห็นเพียงแค่การไหลของน้ำอย่างเดียวเช่นกัน



รูปที่3.28 การปรับอัตราการไหลของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 สังเกตความดันที่เข้าสู่ระบบโดยการสังเกตจากอุปกรณ์การวัดและการอ่านค่าของความดันอากาศโดยจะมีอุปกรณ์ที่ใช้อ่านค่าอยู่ 3 ชนิด 0-0.1, 0-1, 0-6 bar



รูปที่3.29 การอ่านค่าของอุปกรณ์การวัดความดันอากาศ

3.3.8 ทำการปรับค่าอัตราการไหลของอากาศ โดยปรับจากอุปกรณ์โรตารีมิเตอร์เป็นตัววัดอัตราการไหลของอากาศที่จะให้เข้าสู่ระบบ โดยกำหนดอัตราการไหลที่จะทำการทดลองและบันทึกผลไว้ดังนี้ 100,150,200,250,300,350,400,450,500,550 ในหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที



รูปที่3.30 การปรับตัววัดอัตราการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.9 หากค่าความดันของน้ำกับอากาศก่อนจะไหลเข้าสู่ช่วง Test section เกินโดยตัวแปลงสัญญาณความดันจะแปลงความดันเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า แล้วส่งไปแสดงผลที่ตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator) ผ่านจอแสดงผลแบบดิจิทัล หากค่าที่แสดงผลออกมาเกินจากช่วง 0-4 bar ให้ทำการปิดตัวแปลงสัญญาณความดันช่วง 0-4 bar แล้วทำการเปิดตัวแปลงสัญญาณความดันช่วง 0-10 bar แทน และควรเลือกใช้เพียงแค่ตัวเดียว หากต้องการเปลี่ยนควรทำการปิดตัวที่ไม่ได้ใช้ก่อนที่จะเปิดการใช้งานของอีกตัว เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์



รูปที่ 3.31 การปรับตัวแปลงสัญญาณความดัน

3.3.10 ทำการทดลองและบันทึกผลที่ตำแหน่ง Test section โดยการบันทึกผลเป็นภาพถ่ายที่แสดงถึงลักษณะการไหลของแต่ละรูปแบบ โดยการบันทึกผลของแต่ละ Section โดยแบ่งเป็นภาพถ่ายจำนวน 50 ภาพและ 1 วิดีโอเป็นเวลา 5 วินาทีของการไหลในแต่ละ Section



รูปที่ 3.32 การบันทึกผลในตำแหน่ง Test section

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.11 เก็บผลที่ทางออกของ Test section โดยน้ำที่ได้จากการทดลองของแต่ละ Section ที่ได้กำหนดไว้ใส่ลงในบีกเกอร์เพื่อนำไปชั่งเพื่อหาปริมาตรของของเหลวด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักชั่งแบบดิจิตอล และทำการจดบันทึกค่าที่ได้จากการทดลองอย่างละเอียด



รูปที่ 3.33 การใช้งานเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

3.4 ข้อควรระวังในการทดลอง

3.4.1 ความดันในระบบไม่ควรเกิน 4 bar เพราะจะทำให้บริเวณข้อต่อที่ใช้ในการทดลองเกิดการรั่วซึมและเกิดความเสียหายได้

3.4.2 การใช้เกจวัดความดันต้องเลือกใช้ตัวที่เหมาะสมกับช่วงความดันที่ใช้งานเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับเครื่องมือวัดและเพื่อความถูกต้องแม่นยำในการเก็บผลการทดลอง

3.4.3 ในการชั่งมวลของน้ำต้องแน่ใจว่าเครื่องชั่งอยู่ในตำแหน่งศูนย์และพื้นที่เรียบทุกครั้งถ้าไม่อยู่ในตำแหน่งศูนย์ให้ทำการ Reset เครื่องให้อยู่ในตำแหน่งพร้อมใช้งานก่อนจะเริ่มทำการวัดอัตราการไหลในการทดลอง

3.4.4 การเลือกใช้ตัวแปลงสัญญาณความดันหรือทรานสดิวเซอร์วัดความดัน (Pressure transducer) จะมีอยู่ 2 แบบวัดความดันตั้งแต่ 0-4 bar และ 0-10 bar ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความดันที่รับได้เพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายของเครื่องมือวัด หรือถ้าค่าความดันมีค่าใกล้เคียง 4 bar ควรเปลี่ยนเป็นทรานสดิวเซอร์ 0-10 bar

3.4.5 การบันทึกค่าต่างๆ ต้องบันทึกเมื่อระบบทำงานอยู่ในสถานะคงที่เท่านั้น

3.5 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์การถ่ายภาพบันทึกผลการทดลอง

3.5.1 การถ่ายภาพบันทึกผลการทดลองจะใช้สมาร์ทโฟนที่มีกล้องหลังความละเอียด 12 ล้านพิกเซล พร้อมกับติดตั้งคลิปเลนส์ Super Macro Lens 12.5 เท่า ขนาด 37 mm เข้ากับกล้องหลังของสมาร์ทโฟน เพื่อใช้ในการถ่ายภาพบันทึกผลการทดลอง สามารถดูข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ก หน้าที่ 67-68



รูปที่ 3.34 การติดตั้ง Super Macro Lens เข้ากับสมาร์ทโฟน

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผล

เนื่องจากสถานการณ์ของโรคระบาด Covid-19 ที่เกิดขึ้น ส่งผลกระทบต่อแผนการปฏิบัติที่ได้ทำการวางแผนไว้ จึงไม่สามารถรวบรวมผลการทดลองได้ครบตามที่กำหนดไว้ และเนื่องจากการควบคุมโรคระบาดของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร จึงทำให้การเรียนการปฏิบัติงานต่างๆอยู่ในรูปแบบของออนไลน์ โดยการทดลองที่เหลือจะถูกส่งต่อให้

นางสาวปฐมวรรณ แก่นกุล รหัสนักศึกษา 61513004

นางสาวพลอยแก้ว พิมพ์จันทร์ รหัสนักศึกษา 61514008

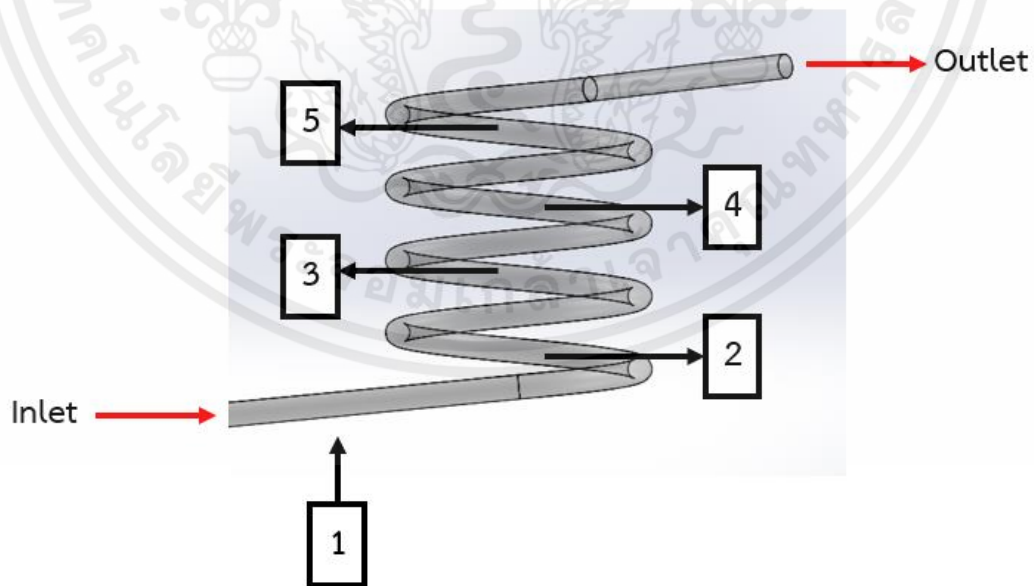
นางสาววิสุตา ช่อประเสริฐ รหัสนักศึกษา 61514016

ทำการทดลองต่อไป โดยรายละเอียดการทดลองที่ต้องรวบรวมผลการทดลองเพิ่มเติมอยู่ในข้อเสนอแนะ

4.1 ผลการทดลองการไหลสองสถานะ (Two-phase flow)

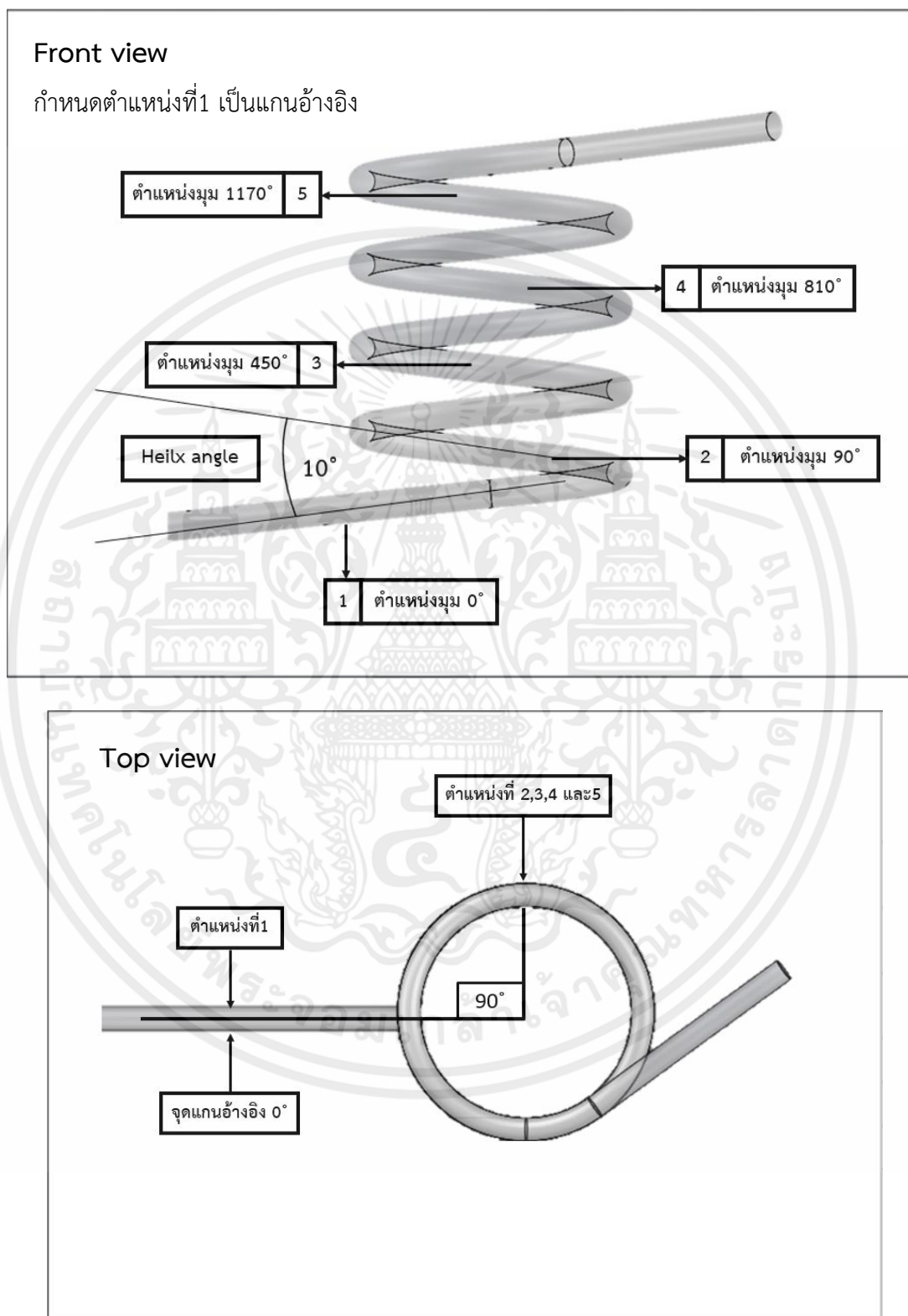
4.1.1 รูปแบบการไหลที่พบในการทดลอง

ในการศึกษาลักษณะรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นที่สภาวะเงื่อนไขการทดลองต่างๆ มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อที่จะช่วยให้วิเคราะห์ถึงอิทธิพลของรูปแบบการไหล



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งการถ่ายภาพและการบันทึกผล

การวัดมุมของท่อขดเกลียว

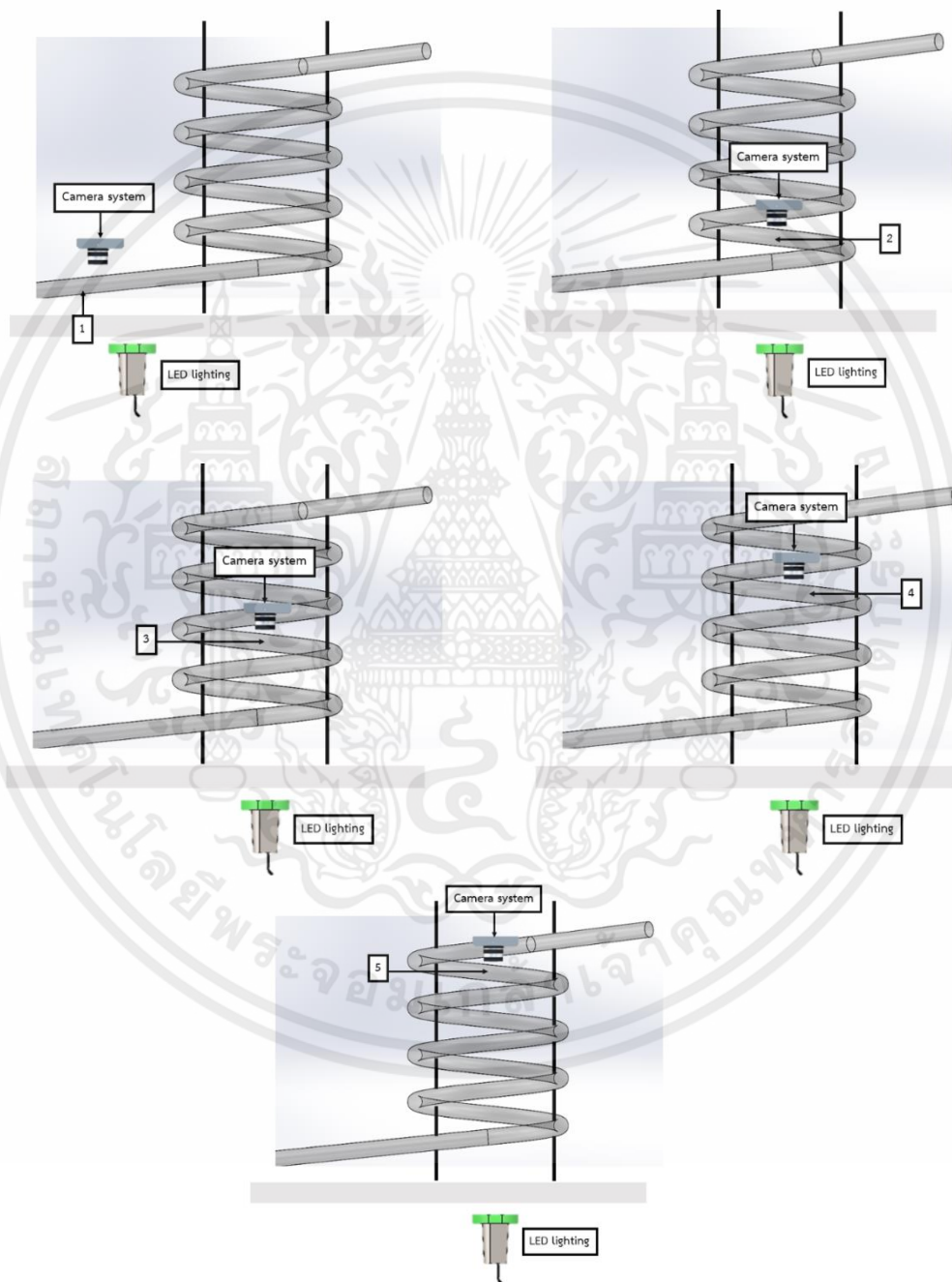


รูปที่ 4.2 มุมของท่อขดเกลียวที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การวางตำแหน่งอุปกรณ์การถ่ายภาพ และอุปกรณ์การให้แสงสว่างในการบันทึกภาพ และวิดีโอของการทดลองในแต่ละตำแหน่ง

ซึ่งภาพถ่ายตำแหน่งต่างๆสามารถสังเกตได้จาก ความยาวตามแนวเส้นโค้งที่สังเกตได้จาก เส้นด้ายบริเวณที่ขอตกเกลียว และระยะบันทึกภาพความยาวตามแนวเส้นโค้ง 20 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บบันทึกภาพลักษณะรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นสามารถทำได้โดยใช้กล้องถ่ายภาพที่มีความไวและความละเอียดที่สูง โดยจะทำการถ่ายภาพตำแหน่งต่างๆ ได้แก่ บริเวณทางเข้าของ test section (หมายเลข 1) บริเวณท่อขดเกลียว (หมายเลข 2,3,4,5) ดังรูปที่ 4.1 โดยการถ่ายภาพของตำแหน่งที่ 2,3,4 และ 5 จะถ่ายในทิศทางตั้งฉากกับรัศมีความโค้งของท่อขดเกลียวเพื่อที่จะเก็บรายละเอียดของรูปแบบการไหลแต่ละเงื่อนไขการทดลองโดยบันทึกภาพ 50 ภาพและ 1 วิดีโอเป็นเวลา 5 วินาที ของการไหลแต่ละเงื่อนไขการทดลอง แล้วจะนำภาพถ่ายท่อขดเกลียวที่ถ่ายในทิศทางตั้งฉากกับรัศมีความโค้งของท่อขดเกลียวและทางเข้าของ test section มาวิเคราะห์ผลว่าเป็นการไหลแบบใด

4.1.3 ผลการทดลอง

ตำแหน่งที่ 1 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลภายในท่อขดเกลียวบริเวณที่ตำแหน่งมุม 0 องศา

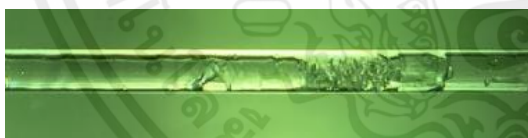


Flow →

Slug flow

$$j_L = 0.259906 \text{ m/s}$$

$$j_G = 41.9477 \text{ m/s}$$



Flow →

Churn flow

$$j_L = 0.415644 \text{ m/s}$$

$$j_G = 44.57275 \text{ m/s}$$



Flow →

Annular-rivulet flow

$$j_L = 0.103972 \text{ m/s}$$

$$j_G = 132.1651 \text{ m/s}$$

รูปที่ 4.4 รูปแบบการไหลบริเวณตำแหน่งที่ 1 (ดังรูปที่ 4.1)

รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลภายในท่อขดเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อภายใน 0.875 มิลลิเมตรในส่วนทางเข้าของ test section พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

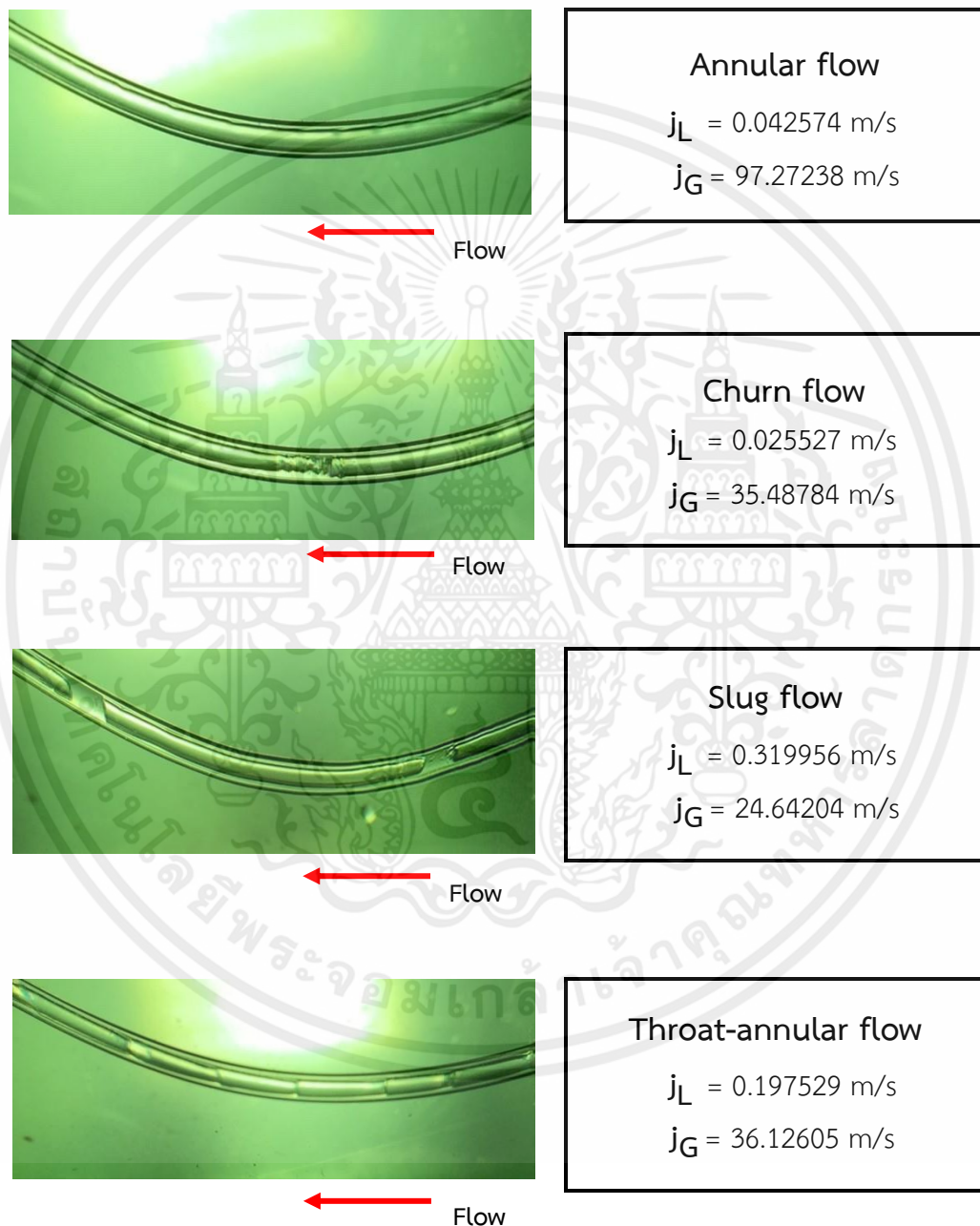
1. Slug flow : เกิดขึ้นที่ความเร็วเฟสของอากาศ (Superficial gas velocity) ค่อนข้างต่ำมีลักษณะเป็นฟองยาวที่ไหลไปในทิศทางเดียวกับการไหลจะมีลักษณะคล้ายกระสุนที่เป็นแก๊สโดยเส้นผ่านศูนย์กลางของแก๊สที่เทียบเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

2. Churn flow : เกิดขึ้นที่ความเร็วเฟสของอากาศสูงมากทำให้ฟองแก๊สแคบลงไหลไม่เป็นรูปทรงและเกิดความปั่นป่วนทำให้เกิดการแตกตัวขึ้นโดยจะเกิดที่ความเร็วของน้ำและอากาศค่อนข้างสูง

3. Annular-rivulet : เกิดขึ้นที่ความเร็วเฟสของน้ำและอากาศที่ค่อนข้างต่ำจะมีลักษณะการไหลที่ไม่ต่อเนื่องจะเห็นผิวท่อที่ไม่มีน้ำ

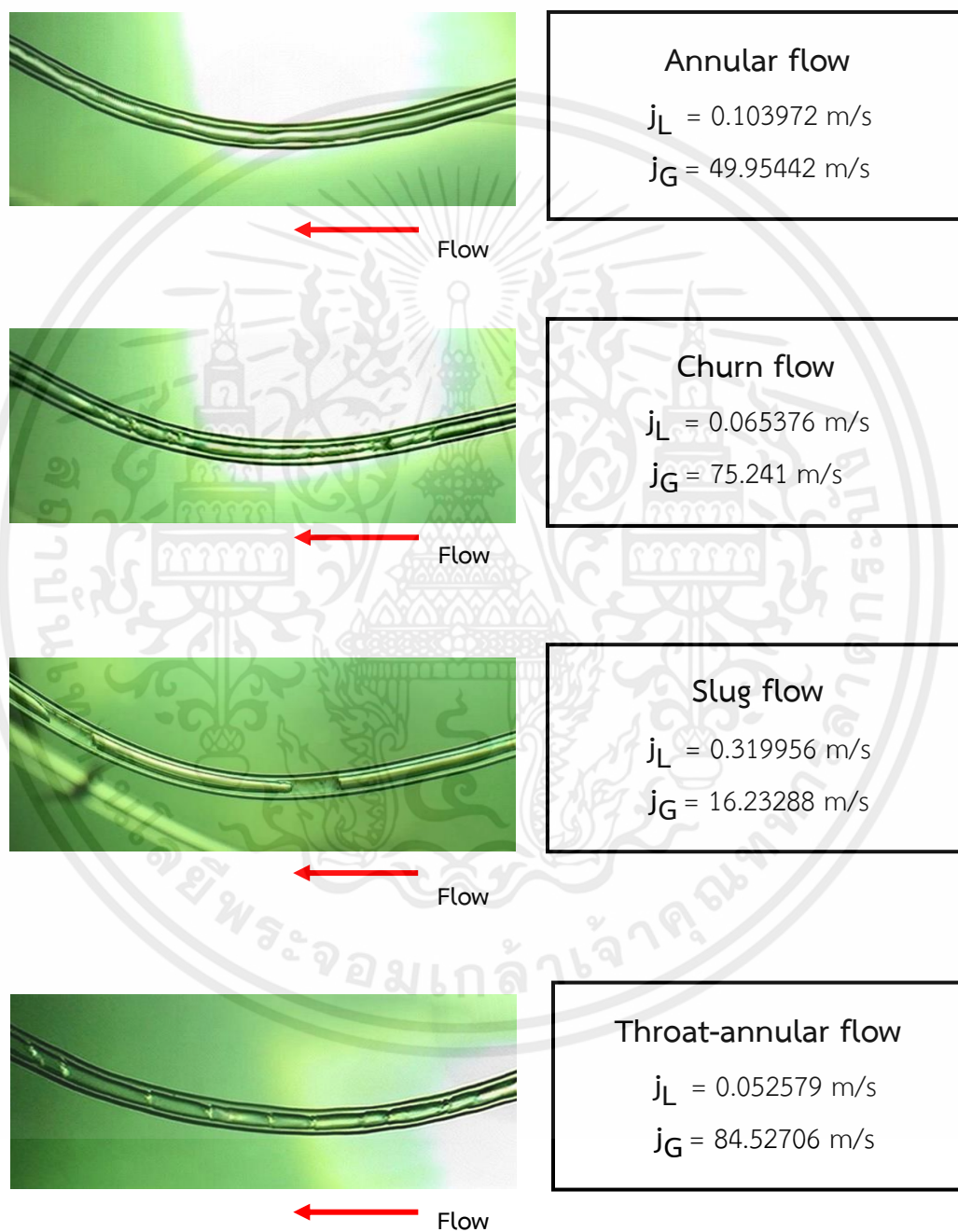


ตำแหน่งที่ 2 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลภายในท่อขดเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อภายใน 0.875 มิลลิเมตรบริเวณท่อขดเกลียวที่ถ่ายในทิศทางตั้งฉากกับรัศมีความโค้งที่ตำแหน่งมุม 90 องศา



รูปที่4.5 รูปแบบการไหลบริเวณตำแหน่งที่2 (ดังรูปที่4.1)

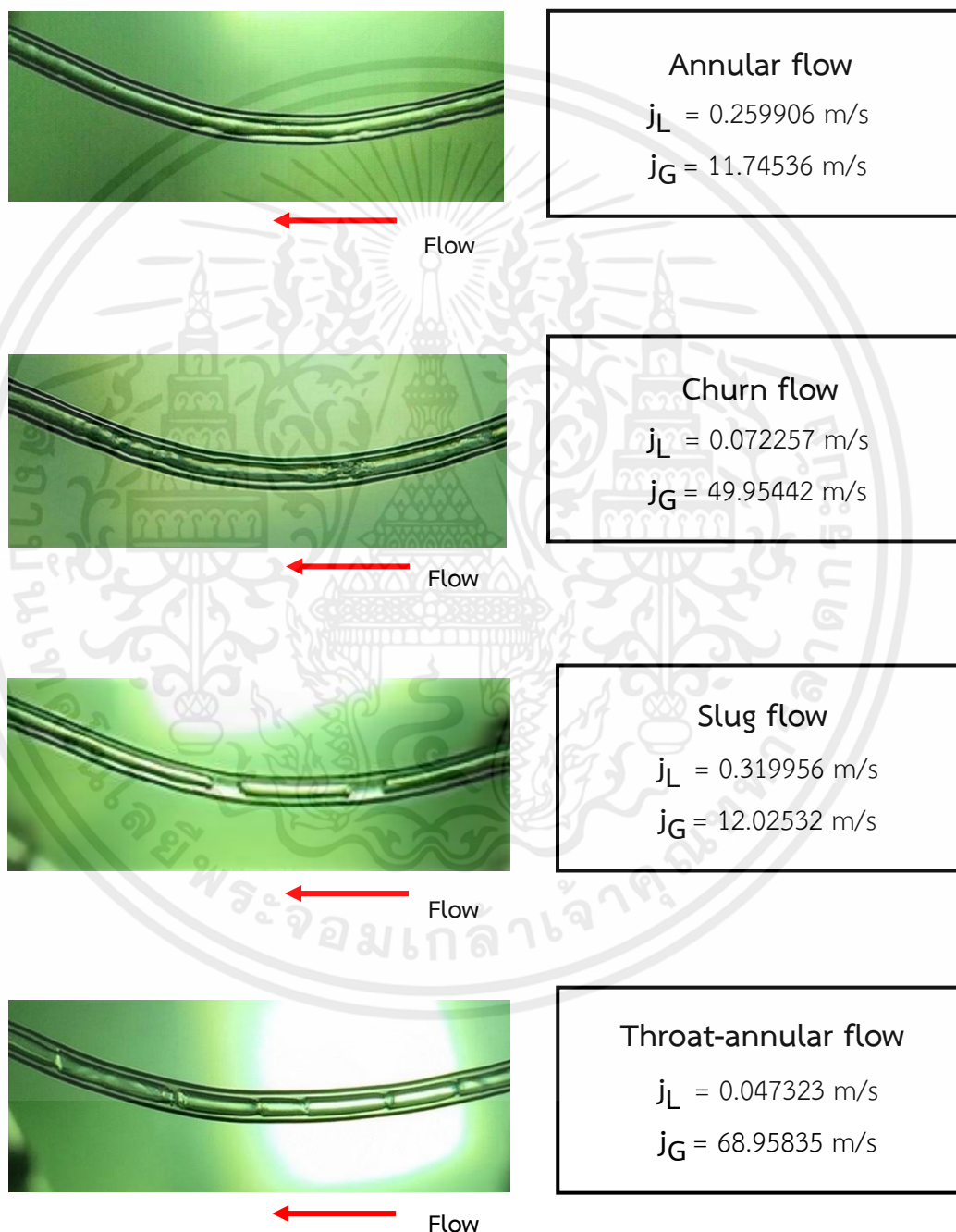
ตำแหน่งที่ 3 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลภายในท่อขดเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อภายใน 0.875 มิลลิเมตรบริเวณท่อขดเกลียวที่ถ่ายในทิศทางตั้งฉากกับรัศมีความโค้งที่ตำแหน่งมุม 450 องศา



รูปที่ 4.6 รูปแบบการไหลบริเวณตำแหน่งที่ 3 (ดังรูปที่ 4.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

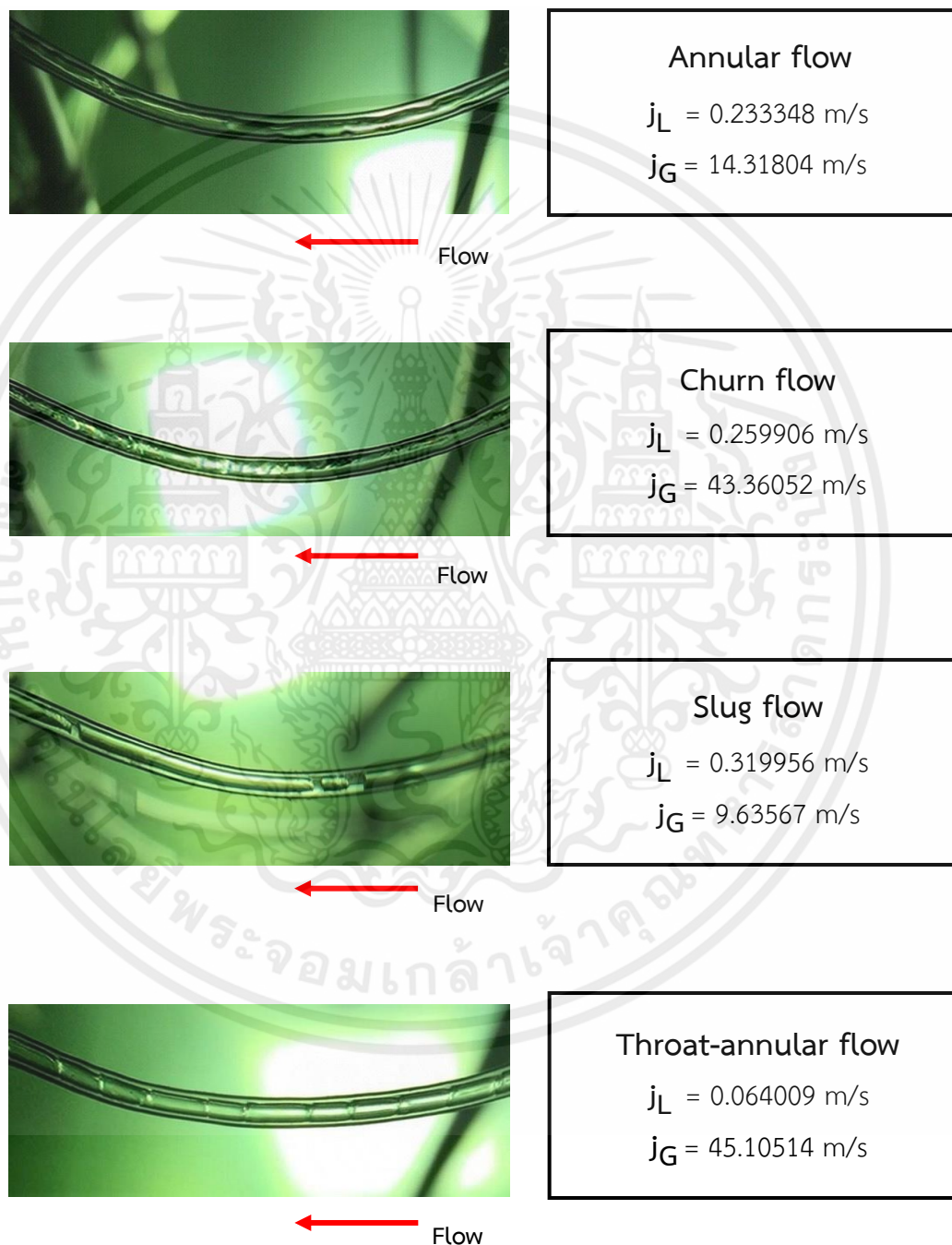
ตำแหน่งที่ 4 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลภายในท่อขดเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อภายใน 0.875 มิลลิเมตรบริเวณท่อขดเกลียวที่ถ่ายในทิศทางตั้งฉากกับรัศมีความโค้งที่ตำแหน่งมุม 810 องศา



รูปที่ 4.7 รูปแบบการไหลบริเวณตำแหน่งที่ 4 (ดังรูปที่ 4.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่ 5 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลภายในท่อขดเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อภายใน 0.875 มิลลิเมตรบริเวณท่อขดเกลียวที่ถ่ายในทิศทางตั้งฉากกับรัศมีความโค้งที่ตำแหน่งมุม 1170 องศา



รูปที่ 4.8 รูปแบบการไหลบริเวณตำแหน่งที่ 5 (ดังรูปที่ 4.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของลักษณะการไหลภายในท่อขดเกลียวที่มีทิศทางตั้งฉากกับรัศมีความโค้ง มีรูปแบบและทิศทางของการไหลใน 4 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งที่ 2, 3, 4 และ 5 รูปแบบการไหลที่พบในการทดลองประกอบด้วย 4 รูปแบบได้แก่

1. Slug flow : เกิดขึ้นที่ความเร็วเฟสของอากาศ (Superficial gas velocity) ค่อนข้างต่ำมีลักษณะเป็นฟองยาวที่ไหลไปในทิศทางเดียวกับการไหลจะมีลักษณะคล้ายกระสุนที่เป็นแก๊สโดยเส้นผ่านศูนย์กลางของแก๊สที่เทียบเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

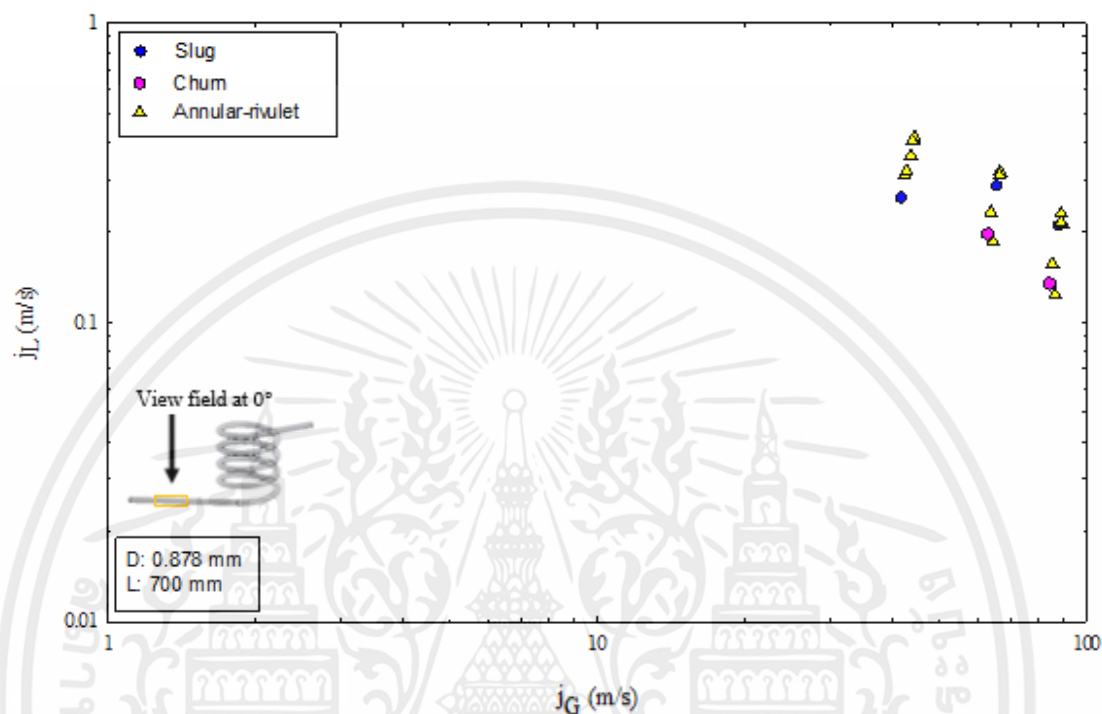
2. Churn flow : เกิดขึ้นที่ความเร็วเฟสของอากาศสูงมากทำให้ฟองแก๊สแคบลงไหลไม่เป็นรูปทรงและเกิดความปั่นป่วน ทำให้เกิดการแตกตัวขึ้นโดยจะเกิดที่ความเร็วของน้ำและอากาศค่อนข้างสูง

3. Annular flow : เป็นลักษณะของเหลวไหลเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มของของเหลวด้านล่างจะหนากว่าชั้นบนและอาจมีละอองของของเหลวเคลื่อนที่กระจายอยู่ในแก๊สซึ่งเคลื่อนที่อยู่บริเวณแกนกลางของท่อ

4. Throat-annular flow : การเกิดของ throat-annular flow พัฒนาจากรูปแบบการไหล slug flow มาเช่นกัน แล้วเกิดคอคอดจะมีลักษณะคล้าย annular flow แต่จะมีคอคอดเกิดขึ้น

4.1.4 แผนที่รูปแบบการไหล (Flow pattern map)

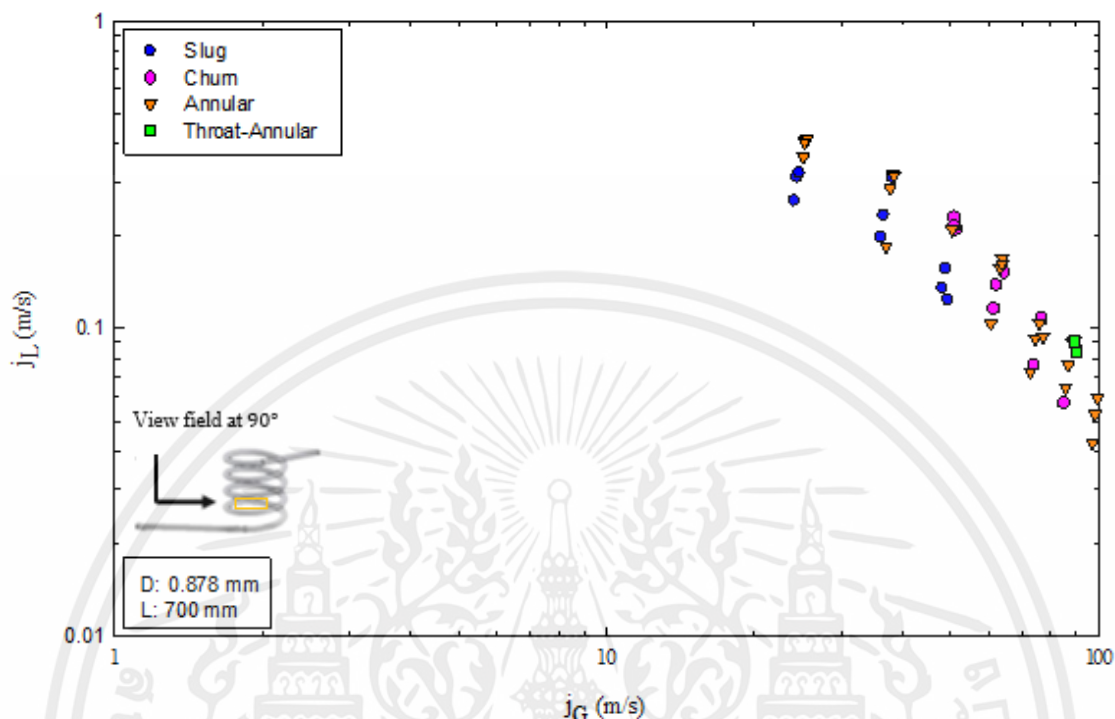
ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลตำแหน่งที่ 1

จากกราฟที่ตำแหน่งที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงแผนที่รูปแบบการไหลภายในท่อขดเกลียว จะแสดงผลของรูปแบบการไหลจะสร้างขึ้นด้วยเทอมของความเร็วเฟสของน้ำและความเร็วเฟสของอากาศ เพื่อจะสังเกตรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นในแต่ละสภาวะการทดลองและสามารถแบ่งแยกพื้นที่การไหลออกเป็นกลุ่มของแต่ละรูปแบบการไหล จากกราฟที่ตำแหน่งที่ 1 จะสังเกตเห็นได้ว่ารูปแบบการไหลแบบ annular-rivulet flow พบมากที่สุดโดยจะพบที่ช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.02-0.4m/s และความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 42-246 m/s และรูปแบบการไหลแบบ Churn flow จะพบที่ช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.02-0.2m/s และความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 111-245 m/s ส่วนรูปแบบการไหลแบบ slug flow จะพบน้อยมากโดยจะอยู่ที่ความเร็วเฟสของน้ำและความเร็วเฟสอากาศประมาณ 0.04-0.28 m/s และ 41-247 m/s ตามลำดับ

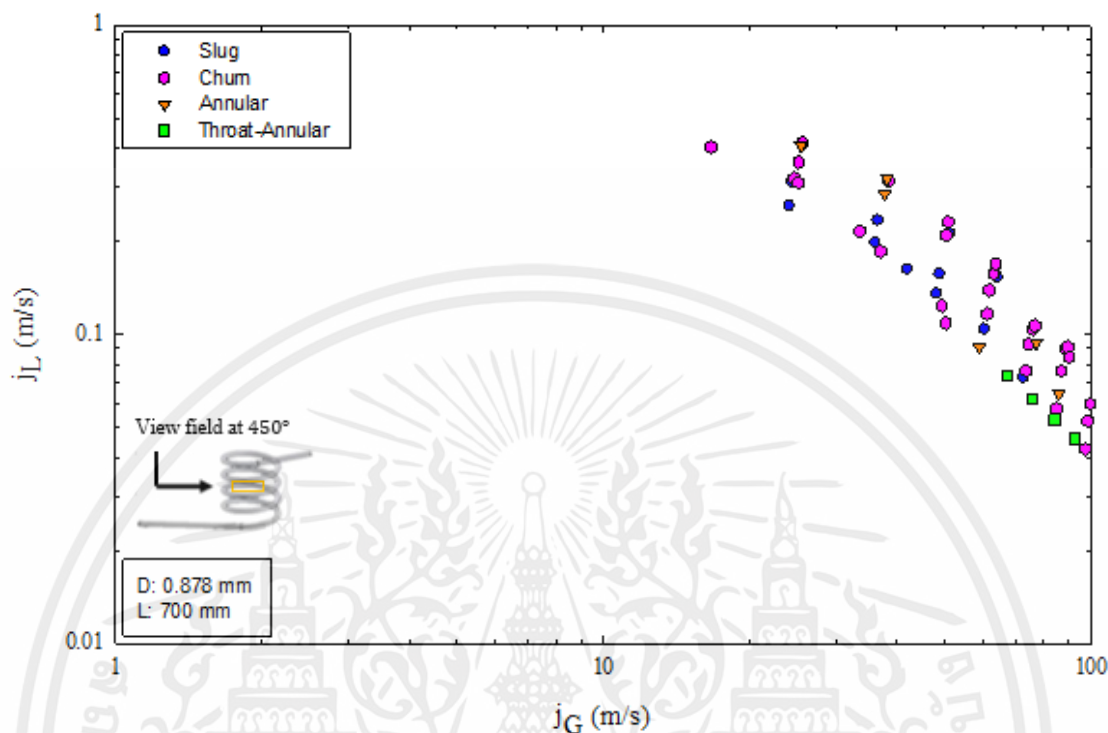
ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลภายในท่อขดเกลียวตำแหน่งที่ 2

รูปแบบการไหลจากกราฟที่ตำแหน่งที่ 2 จะสังเกตเห็นได้ว่ารูปแบบการไหลแบบ Annular flow พบมากที่สุดโดยจะพบที่ช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.03-1.1 m/s และความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 25-137 m/s รูปแบบการไหลแบบ Churn flow พบมากรองลงมาจะพบที่ช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.025-0.2m/s และความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 50-141 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow จะพบที่ช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.03-0.19m/s และความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 36-142 m/s ส่วนรูปแบบการไหลแบบ slug flow จะพบน้อยมากโดยจะอยู่ที่ความเร็วเฟสของน้ำ และความเร็วเฟสอากาศประมาณ 0.1-0.3 m/s และ 24-49 m/s ตามลำดับ

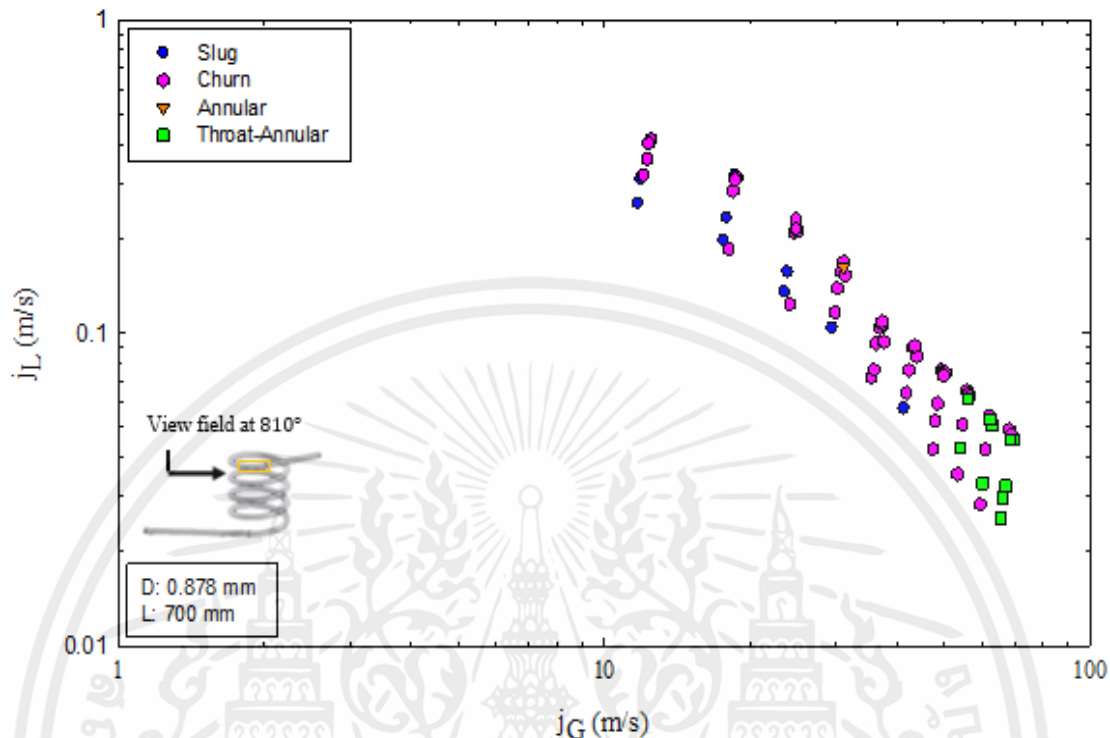
ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลภายในท่อขดเกลียวตำแหน่งที่ 3

รูปแบบการไหลจากกราฟที่ตำแหน่งที่ 3 จะสังเกตเห็นได้ว่ารูปแบบการไหลแบบ Churn flow พบมากที่สุดโดยจะพบที่ช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.03-0.6 m/s และความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 16-93 m/s รูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow พบมากรองลงมาจะพบที่ช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.025-0.07 m/s และความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 67-93 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ slug flow จะพบที่ช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.15-0.32 m/s และความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 15-42 m/s ส่วนรูปแบบการไหลแบบ Annular flow จะพบน้อยที่สุด โดยจะอยู่ที่ความเร็วเฟสของน้ำ และความเร็วเฟสอากาศประมาณ 0.04-0.4 m/s และ 16-73 m/s ตามลำดับ

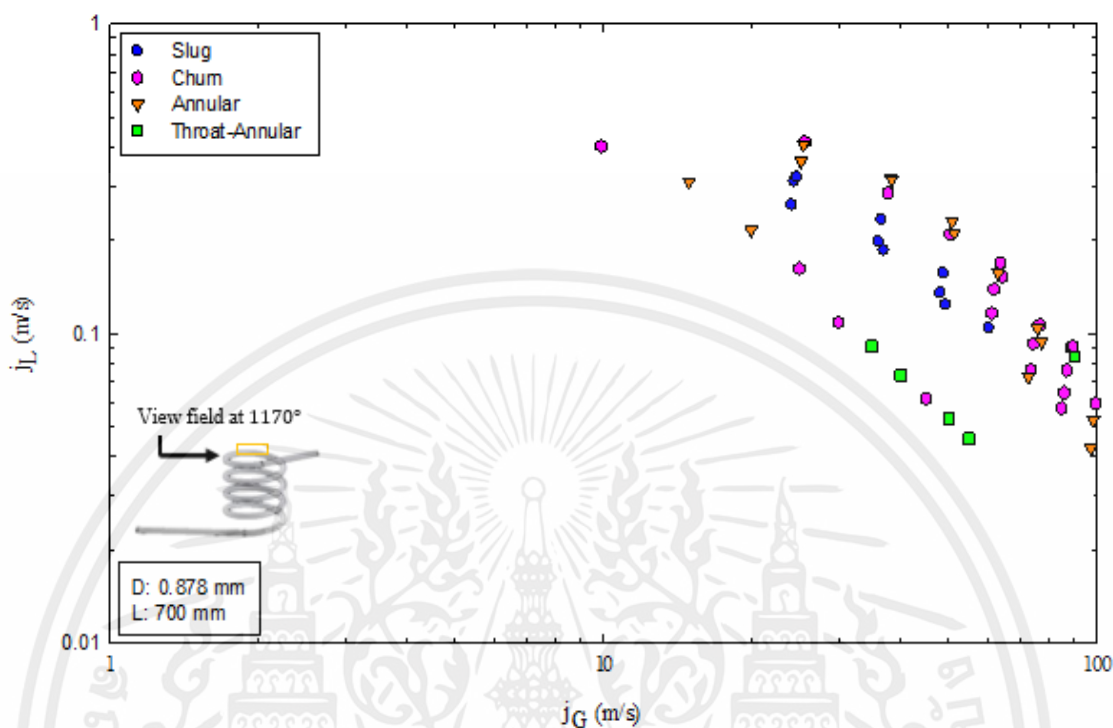
ตำแหน่งที่ 4



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลภายในท่อขดเกลียวตำแหน่งที่ 4

รูปแบบการไหลจากกราฟที่ตำแหน่งที่ 4 จะสังเกตเห็นได้ว่ารูปแบบการไหลแบบ Churn flow พบมากที่สุดโดยจะพบที่ช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.02-0.37 m/s และความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 12-68.3 m/s รูปแบบการไหลแบบ slug flow พบมากรองลงมาจะพบที่ช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.1-0.41 m/s และความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 11-41 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow จะพบที่ช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.025-0.43 m/s และความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 24.8-92.8 m/s ส่วนรูปแบบการไหลแบบ Annular flow จะพบน้อยมากโดยจะอยู่ที่ความเร็วเฟสของน้ำ และความเร็วเฟสอากาศประมาณ 0.09-0.25 m/s และ 11.7-59 m/s ตามลำดับ

ตำแหน่งที่ 5



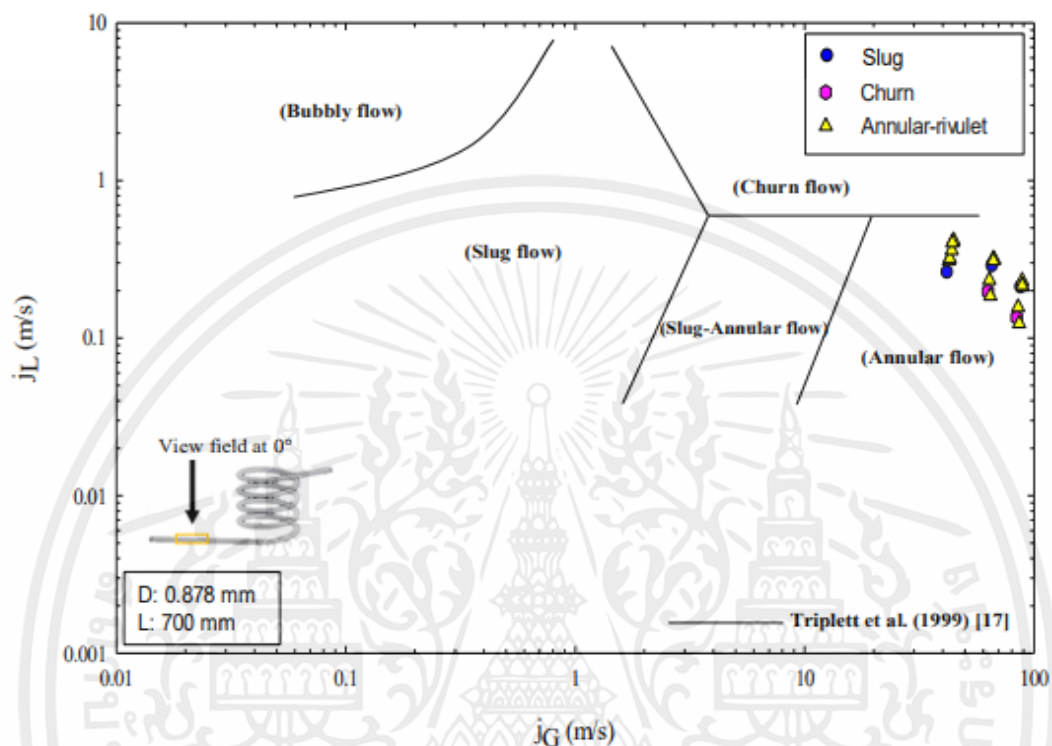
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลภายในท่อขดเกลียวตำแหน่งที่ 5

รูปแบบการไหลจากกราฟที่ตำแหน่งที่ 5 จะสังเกตเห็นได้ว่ารูปแบบการไหลแบบ Churn flow พบมากที่สุดโดยจะพบที่ช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.02-0.4 m/s และความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 9.8-55.3 m/s รูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow พบมารองลงมาจะพบที่ช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.029-0.066 m/s และความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 35-55.6 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow จะพบที่ช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.02-0.41 m/s และความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 9.8-48.8 m/s ส่วนรูปแบบการไหลแบบ Slug flow จะพบน้อยที่สุดโดยจะอยู่ที่ความเร็วเฟสของน้ำ และความเร็วเฟสอากาศประมาณ 0.1-0.32 m/s และ 9.4-23.6 m/s ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่ารูปแบบการไหลที่ได้จากการทดลองในแต่ละตำแหน่งที่ได้นั้นจะแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะอยู่ในเงื่อนไขสถานะการทดลองเดียวกันก็มีรูปแบบการไหลที่ต่างกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการไหลจะขึ้นอยู่กับความเร็วเฟสของน้ำกับอากาศ และสัดส่วนของความโค้งของขดเกลียว ในทางกลับกันหากมองในภาพรวมของแผนที่รูปแบบการไหลในแต่ละตำแหน่ง จะพบว่าลักษณะของแผนที่รูปแบบการไหลในแต่ละตำแหน่งจะมีลักษณะไม่แตกต่างกันมากนัก

4.1.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลกับ Triplet และคณะ

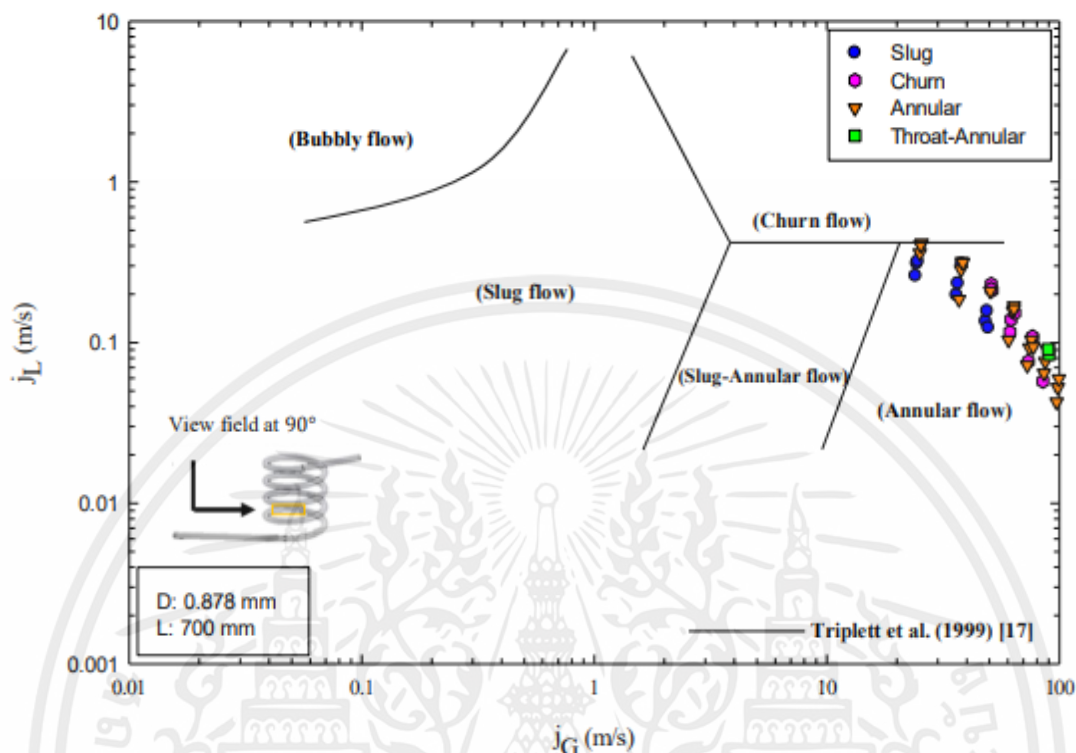
ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลกับ Triplet และคณะ[17] ตำแหน่งที่ 1

จากรูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลจากการทดลองกับแผนที่การไหลของ Triplet และคณะ[17] ซึ่งเป็นการทดลองการไหลแบบสองสถานะที่ไม่มีการเดือดของน้ำและอากาศ จะเห็นได้ว่าที่ข้อมูลการทดลองอยู่ตรงในบริเวณรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ของแผนที่การไหลของ Triplet และคณะ[17] ข้อมูลรูปแบบการไหลที่พบในการทดลองมีรูปแบบการไหลแบบ Slug flow, Churn flow และ Annular-rivulet flow ซึ่งในการทดลองไม่พบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow แสดงว่าแผนที่รูปแบบการไหลของ Triplet และคณะ[17] ไม่สามารถทำนายรูปแบบการไหลของผลการทดลองได้

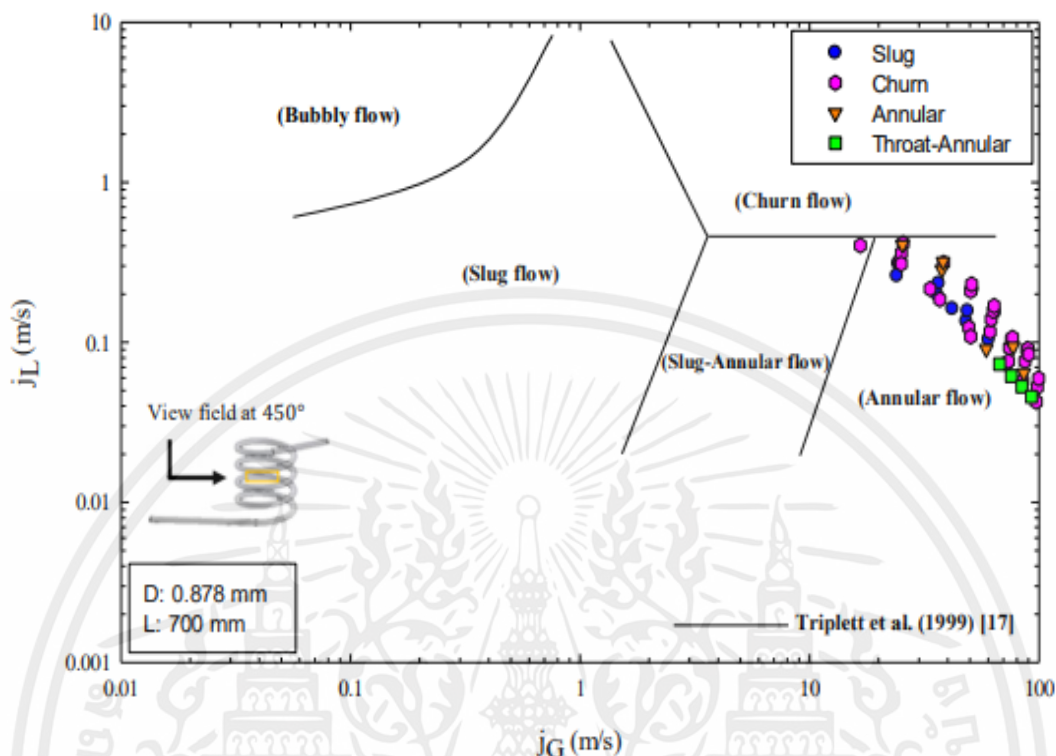
ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลกับ Triplett และคณะ[17] ตำแหน่งที่ 2

จากรูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลจากการทดลองกับแผนที่การไหลของ Triplett และคณะ[17] ซึ่งเป็นการทดลองการไหลแบบสองสถานะที่ไม่มีการเดือดของน้ำและอากาศ เห็นได้ว่าแผนที่รูปแบบการไหลของ Triplett และคณะ[17] สามารถทำนายผลการทดลองรูปแบบการไหลได้ เฉพาะรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ส่วนรูปแบบการไหลแบบ Churn flow, Slug flow และ Throat-annular flow ที่ได้จากการทดลองนั้น แผนที่รูปแบบการไหลของ Triplett และคณะ[17] ไม่สามารถทำนายได้

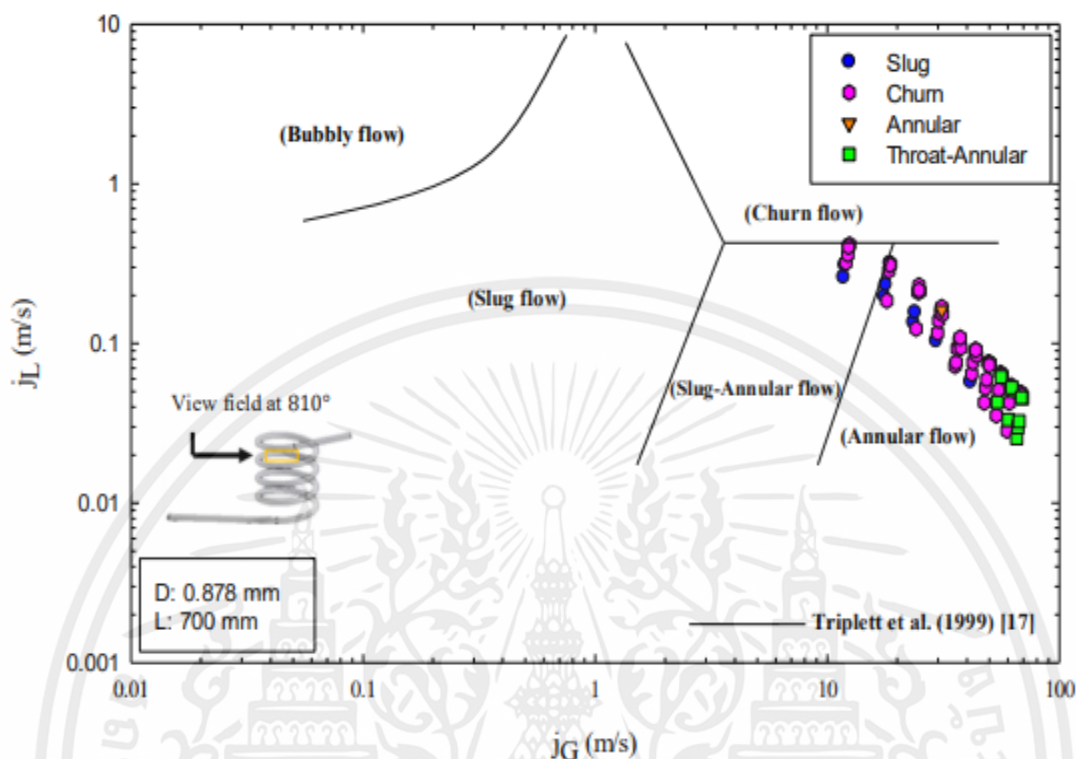
ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลกับ Triplett และคณะ[17] ตำแหน่งที่ 3

จากรูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลจากการทดลองกับแผนที่การไหลของ Triplett และคณะ[17] ซึ่งเป็นการทดลองการไหลแบบสองสถานะที่ไม่มีการเดือดของน้ำและอากาศ เห็นได้ว่าแผนที่รูปแบบการไหลของ Triplett และคณะ[17] สามารถทำนายผลการทดลองรูปแบบการไหลได้ เฉพาะรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ส่วนรูปแบบการไหลแบบ Churn flow, Slug flow และ Throat-annular flow ที่ได้จากการทดลองนั้น แผนที่รูปแบบการไหลของ Triplett และคณะ[17] ไม่สามารถทำนายได้

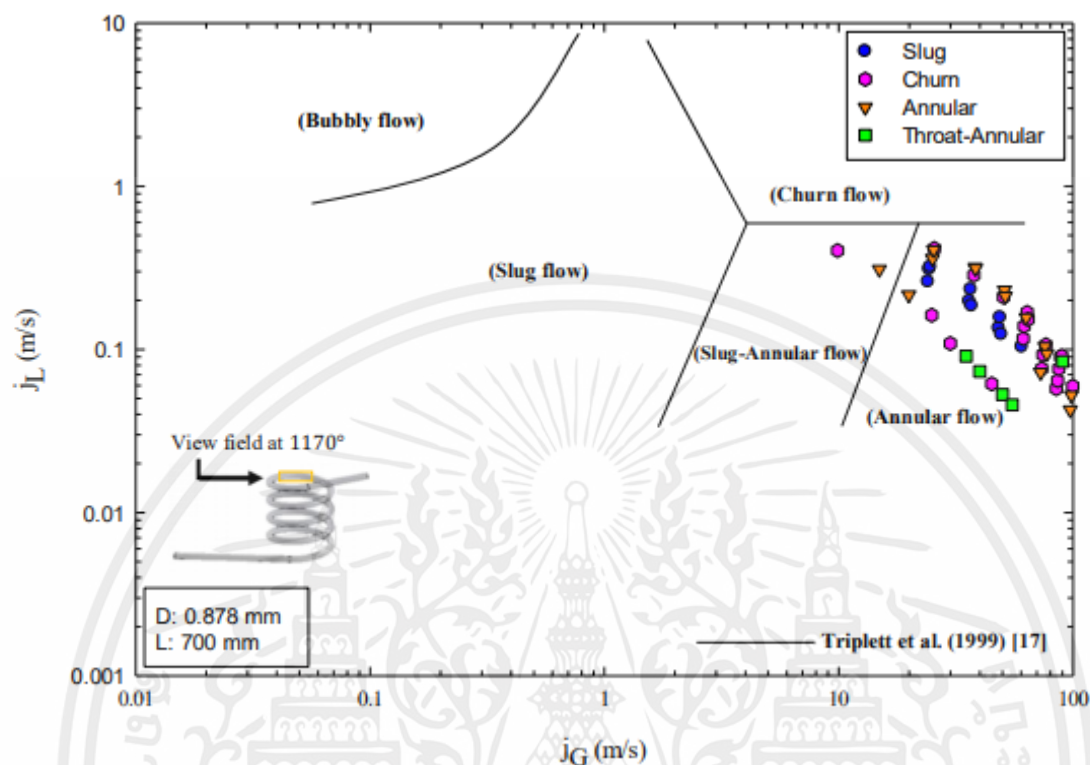
ตำแหน่งที่ 4



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลกับ Triplett และคณะ[17] ตำแหน่งที่ 4

จากรูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลจากการทดลองกับแผนที่การไหลของ Triplett และคณะ[17] ซึ่งเป็นการทดลองการไหลแบบสองสถานะที่ไม่มีการเดือดของน้ำและอากาศ เห็นได้ว่าแผนที่รูปแบบการไหลของ Triplett และคณะ[17] สามารถทำนายผลการทดลองรูปแบบการไหลได้ เฉพาะรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ส่วนรูปแบบการไหลแบบ Churn flow, Slug flow และ Throat-annular flow ที่ได้จากการทดลองนั้น แผนที่รูปแบบการไหลของ Triplett และคณะ[17] ไม่สามารถทำนายได้

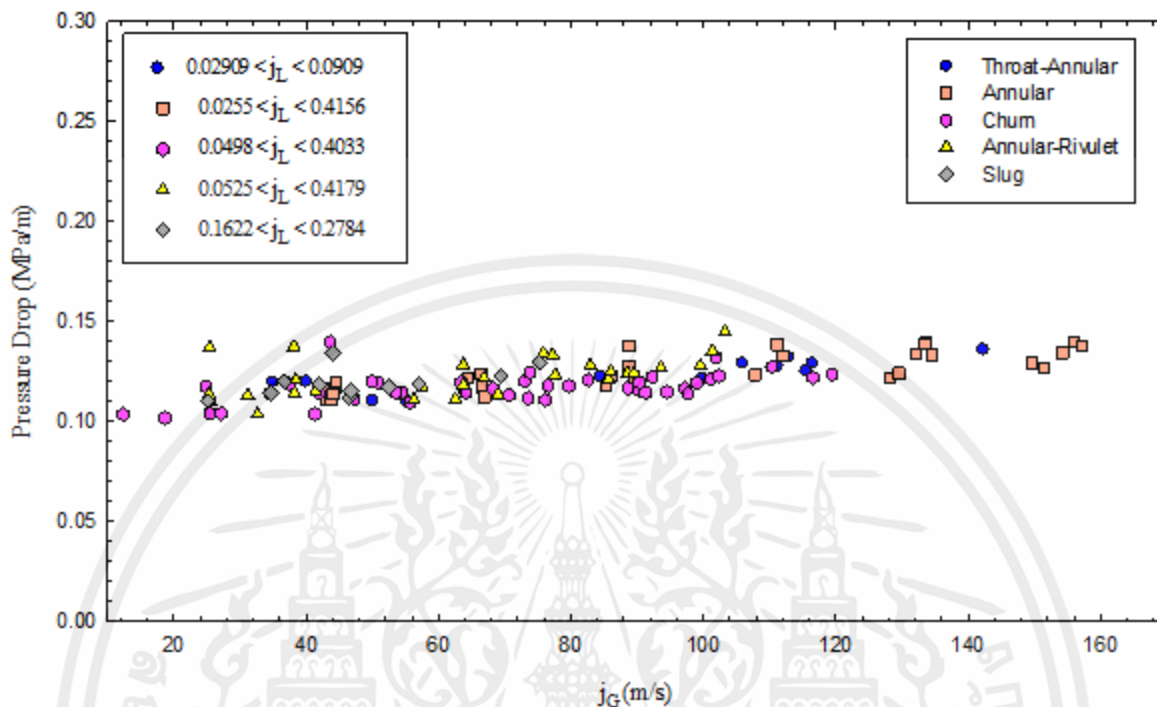
ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลกับ Triplett และคณะ[17] ตำแหน่งที่ 5

จากรูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลจากการทดลองกับแผนที่การไหลของ Triplett และคณะ[17] ซึ่งเป็นการทดลองการไหลแบบสองสถานะที่ไม่มีการเดือดของน้ำและอากาศ เห็นได้ว่าแผนที่รูปแบบการไหลของ Triplett และคณะ[17] สามารถทำนายผลการทดลองรูปแบบการไหลได้ เฉพาะรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ส่วนรูปแบบการไหลแบบ Churn flow, Slug flow และ Throat-annular flow ที่ได้จากการทดลองนั้น แผนที่รูปแบบการไหลของ Triplett และคณะ[17] ไม่สามารถทำนายได้

4.1.6 ความดันลด (Pressure Drop)



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงผลของความดันลดที่เกิดขึ้น

จากกราฟความดันลดที่แสดงผลเกี่ยวกับความดันลดที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทาน สังเกตได้ว่าถ้าความเร็วเฟสของน้ำและอากาศมีค่าต่ำจะได้ค่าความดันลดที่ต่ำ และถ้าความเร็วเฟสของน้ำและอากาศมีค่าสูงก็จะได้ค่าความดันลดที่สูงเช่นกัน เห็นได้ว่าความเร็วเฟสของน้ำและอากาศมีผลต่อความดันลด ในขณะที่เดียวกันพบว่าการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการไหลไม่ส่งผลต่อค่าความดันลด กล่าวโดยสรุปคือความดันลดมีผลต่อความเร็วเฟสของน้ำและอากาศ และการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวไม่มีผลต่อค่าความดันลด

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทดลองเกี่ยวกับลักษณะการไหลสำหรับการไหลแบบสองสถานะภายใต้สภาวะที่ไม่มีการเดือด (Non-boiling two-phase flow) ระหว่างน้ำกับอากาศในท่อขดเกลียวมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.875 มิลลิเมตรมีเส้นผ่านศูนย์กลางของขดเกลียว 50 มิลลิเมตร และมีระยะพิตช์ของขดเกลียว 20 มิลลิเมตร และมุมเกลียวของท่อแก้ว 10 องศา โดยมีทิศทางการไหลขึ้นในแนวตั้งสำหรับเงื่อนไขในการทดลองครั้งนี้

1. ในการทดลองพบเห็นรูปแบบการไหล 5 รูปแบบการไหล ได้แก่ slug flow, annular-rivulet flow, throat-annular flow, churn flow และ annular flow และการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบแบบการไหลจะขึ้นอยู่กับความเร็วเฟสของน้ำและอากาศ และสัดส่วนของความโค้งของขดเกลียว

2. ในการทดลองพบว่า รูปแบบการไหลไม่ส่งผลต่อค่าความดันลด ของการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวในแนวตั้งโดยไม่มีการให้ความร้อน

3. รูปแบบการไหลแบบ Churn flow จะพบมากที่สุดตรงบริเวณท่อขดเกลียว

4. การถ่ายภาพของท่อขดเกลียวพบว่า ที่ตำแหน่งที่ 1 มีรูปแบบการไหลแบบ Annular-rivulet flow มากที่สุด ตำแหน่งที่ 2,3,4,5 บริเวณทิศทางที่ตั้งฉากกับรัศมีของส่วนโค้ง มีรูปแบบการไหลแบบ Churn flow และจะพบมากที่สุดที่บริเวณส่วนโค้งของท่อขดเกลียว

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ

1. เพิ่มขนาดของปั๊มลมเนื่องจากที่ใช้ในการทดลองนี้พบว่าปั๊มลมมีขนาดเล็ก สามารถเก็บลมไว้ภายในถังความดันได้เพียง 4 bar ทำให้ต้องมีการปั๊มลมอยู่บ่อยๆ ในขณะที่ทำการทดลองเก็บผลต้องทำการปรับค่าอัตราการไหลของอากาศที่โรตาริเตอร์ให้อยู่ในค่าที่ต้องการใหม่และสามารถทำให้การทดลองของระบบสามารถทดลองในช่วงที่กว้างขึ้น

2. ควรศึกษาและหาอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำได้คงที่มากกว่าเดิมเพื่อให้ง่ายต่อการทดลองเพราะค่าอัตราการไหลของน้ำมีความสำคัญต่อการทดลองเป็นอย่างมาก

3. เนื่องจากสถานการณ์ของโรคระบาด Covid-19 ที่เกิดขึ้น ส่งผลกระทบต่อแผนการปฏิบัติที่ได้ทำการวางแผนไว้ จึงไม่สามารถรวบรวมผลการทดลองได้ครบตามที่กำหนดไว้ และเนื่องจากการควบคุมโรคระบาดของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร จึงทำให้การเรียนการปฏิบัติงานต่างๆอยู่ในรูปแบบของออนไลน์ โดยการทดลองที่เหลือจะถูกส่งต่อให้

นางสาวปฐมวรรณ แก่นกุล รหัสนักศึกษา 61513004

นางสาวพลอยแก้ว พิมพ์จันทร์ รหัสนักศึกษา 61514008

นางสาววิสุตา ช่อประเสริฐ รหัสนักศึกษา 61514016

ผลการทดลองที่ไม่สามารถรวบรวมได้ มีดังนี้

การทดลองในแนวตั้ง ไหลจากล่างขึ้นบน

อัตราการไหลของน้ำ (ml/min)	อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)
90	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
100	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
110	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550

การทดลองในแนวตั้ง ไหลจากบนลงล่าง

อัตราการไหลของน้ำ (ml/min)	อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)
20	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
30	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
40	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
50	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
60	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
70	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
80	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
90	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
100	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
110	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550

การทดลองในแนวนอน

อัตราการไหลของน้ำ (ml/min)	อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)
20	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
30	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
40	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
50	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
60	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
70	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
80	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
90	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
100	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550
110	100,150,200,250,300,350,400,450,500,550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Saisorn S., Wongwises S. (2014), "Heat transfer characteristics of gas-liquid flow in horizontal rectangular micro-channels." **Experimental Thermal and Fluid Science.** 55 : 54-61.
- [2] Hardik B.K., Baburajan P.K., Prabhu S.V., (2015), "Local heat transfer coefficient in helical coils with single phase flow. " **International Journal of Heat and Mass.** 89 : 522-538.
- [3] Biswas A.B., Das, S.K., (2008). "Two-phase frictional pressure drop of gas-non Newtonian liquid flow through helical coils in vertical orientation. " **Chem. Eng. Process.** 47 : 816-826
- [4] X.F. Liu, G.D. Xia , G. Yang. (2015) , "Experimental study on the characteristics of air-water two-phase flow in vertical helical rectangular channel." **International Journal of Multiphase Flow.** : 227-237
- [5] Hongye Zhu , Zhaoxu Li , Xingtuan Yang , Guangyu Zhu , Jiyuan Tu , Shengyao Jiang,(2016) "Flow regime identification for upward two-phase flow in helically coiled tubes." **Chemical Engineering Journal.** : 606-618
- [6] L. Friedel, "Improved friction pressure drop correlations for horizontal and vertical two-phase pipe flow", Paper E2, European Two-Phase Group Meeting, Ispra, Italy, 1979
- [7] D.CHISHOLM. "A THEORETICAL BASIS FOR THE LOCKHART-MARTINELLI CORRELATION FOR TWO-PHASE FLOW" : **In J Heat Moss Transfer.** : 1176-1178
- [8] Saisorn S., Wongwises S., (2008). "Flow pattern void fraction and pressure drop of two-phase air-water flow in a horizontal circular micro-channel." **Experimental Thermal and Fluid Science.** 32 : 748-760
- [9] D.L. Ferraris, C.P. Marcel, (2020). "Two-phase flow frictional pressure drop prediction in helical coiled tubes. " **International Journal of Heat and Mass Transfer.** 162 : 120372

- [10] Hossein Moradi , Amirhossein Bagheri , Maziar Shafae, Saleh Khorasani, "Flow regime identification for upward two-phase flow in helically coiled tubes" **Applied Thermal Engineering**. 157
- [11] Guangyu Zhu, Xingtuan Yang, Shengyao Jiang, Hongye Zhu, " Intermittent gas-liquid two-phase flow in helically coiled tubes" **International Journal of Multiphase Flow**. 116 (2019) : 113-124
- [12] Yao Xiao , Zhenxiao Hu, Shuo Chen, Hanyang Gu, " Experimental study of two-phase frictional pressure drop of steamwater in helically coiled tubes with small coil diameters at high pressure" **Applied Thermal Engineering**. 132 (2018) : 18-29
- [13] Hongye Zhu , Zhaoxu Li , Xingtuan Yang , Guangyu Zhu , Jiyuan Tu , Shengyao Jiang, " Flow regime identification for upward two-phase flow in helically coiled tubes" **Chemical Engineering Journal**. 308 (2018) : 606-168
- [14] Hamid Saffari , Rouhollah Moosavi , Nourooz Mohammad Nouri , Cheng-Xian Lin , " Prediction of hydrodynamic entrance length for single and two-phase flow in helical coils" **Chemical Engineering and Processing Process Intensification**. 86 (2014) : 9-21
- [15] BAODING SHENCHEN PRECISION PUMP. [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: <https://www.good-pump.com/cplist-41274.html>.
- [16] AND Discover Precision. **GR Series Semi-Micro Analytical Balances** [Online]. แหล่งที่เข้าถึง: <https://www.aandd.jp>.
- [17] K.A. Triplett, S.M. Ghiaasiaan, S.I. Abdel-Khalik, D.L. Sadowski " Gas-liquid two-phase flow in microchannels Part I: two-phase flow patterns" **International Journal of Multiphase Flow** **25**. (1999) : 377-394
- [18] นายดอนยา มามะ. 2562. การศึกษารูปแบบการไหลและความดันลดในการไหลของอากาศ น้ำภายในท่อขดแก้วไมโครขนาดเล็กลงในแนวตั้ง. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร



ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้งานอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งอุปกรณ์การถ่ายภาพ

LIEQI LQ-027 Universal Clip Str Lens

คลิปเลนส์ Super Macro Lens 12.5 เท่า ขนาด 37mm

คลิปเลนส์ SLR เลนส์ระดับมืออาชีพ ชุดเลนส์กล้องสำหรับสมาร์ตโฟน

ข้อมูล

- ขนาดของเลนส์ Macro 37 mm

- วัสดุของเลนส์ : อลูมิเนียมและเลนส์แก้ว

คุณลักษณะเด่น

- คุณสมบัติการถ่ายภาพของเลนส์มุมกว้าง : ขยายมุมมองที่ไม่บิดเบือน ใช้ได้ทั้งกล้องหน้าและกล้องหลัง

- คุณสมบัติการถ่ายภาพของเลนส์มาโครสุด : ขยายวัตถุขนาดเล็ก 12.5

- เลนส์แก้วคุณภาพสูง ช่วยลดการสะท้อนแสงรอบเลนส์ ตัวเลนส์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มม.

- สามารถใช้ได้กับ มือถือ, คอมพิวเตอร์

อุปกรณ์ในกล่อง

- เลนส์มาโคร 12.5 เท่า

- คลิปสำหรับใส่เลนส์

- ฝาครอบเลนส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งเลนส์กล้องเข้ากับสมาร์ทโฟนเพื่อใช้ในการบันทึกภาพและวิดีโอ

- สมาร์ทโฟน
- เลนส์ Super Macro Lens 12.5 เท่า ขนาด 37mm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานเครื่องดูดน้ำแบบรีดท่อ (Peristaltic pump)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

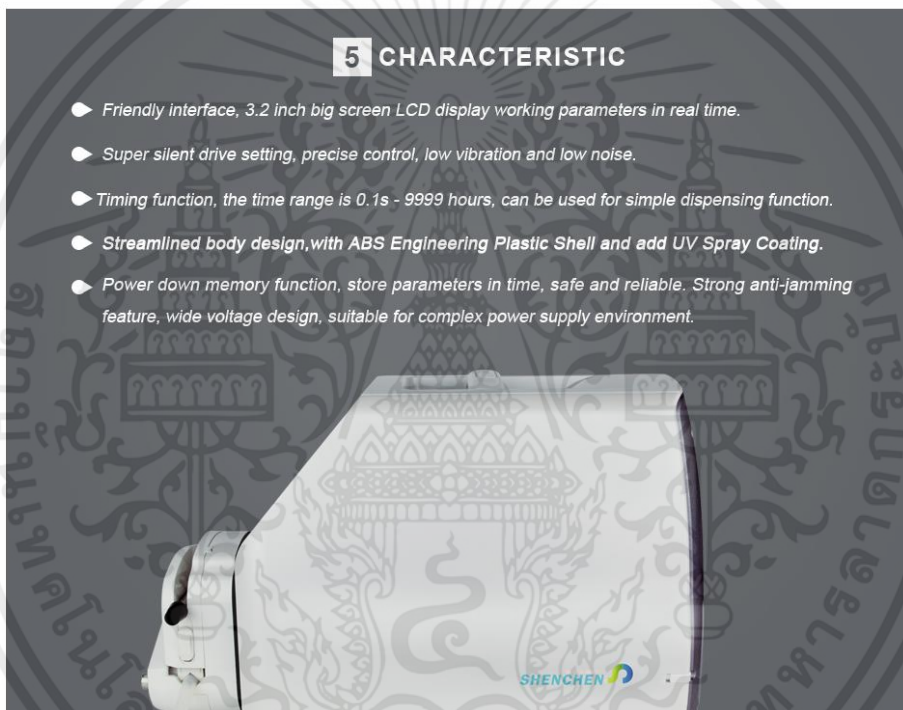
01

INTRODUCTION

Flow rate peristaltic pump, with ABS Engineering Plastic Shell and add UV Spray Coating to have anti-corrosion and anti-static function. Streamlined body design, more fashion sense. 3.2" color LCD screen display, flow rate and motor speed display in same screen. mechanical keypad control, hand feel comfortable. Speed range: 0.1-600rpm, suitable for various pump heads. Flow rate range: 0.000166-2280ml/min. Multiple external control for selection. Support RS232/RS485 communication, standard MODBUS protocol (RTU mode), meeting different industrial sites equipment request.

5 CHARACTERISTIC

- ▶ *Friendly interface, 3.2 inch big screen LCD display working parameters in real time.*
- ▶ *Super silent drive setting, precise control, low vibration and low noise.*
- ▶ *Timing function, the time range is 0.1s - 9999 hours, can be used for simple dispensing function.*
- ▶ *Streamlined body design, with ABS Engineering Plastic Shell and add UV Spray Coating.*
- ▶ *Power down memory function, store parameters in time, safe and reliable. Strong anti-jamming feature, wide voltage design, suitable for complex power supply environment.*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

02

FUNCTION



03

DETAIL

Embedded Handle

Embedded handle, comfortable grip, convenient for users to take.



Pump head wrench

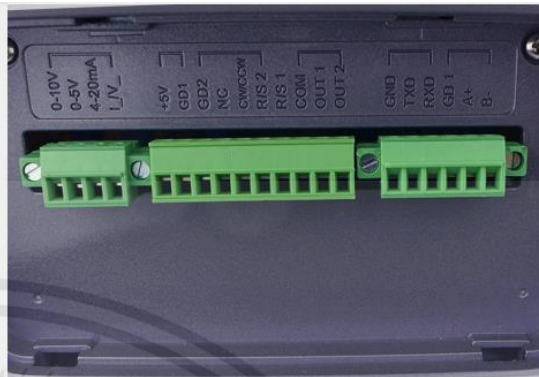
The rear end is equipped with removable external control interface protection cover, internal wrench, easy to remove the pump head.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External Input Port

The rich external control function,with the exception of routine start-stop, direction, speed control and RS485, RS232 interface,support Shenchon communication protocol or standard Modbus communication protocol (RTU mode).



ABS Engineering Plastic Shell

Streamlined body design , with ABS Engineering Plastic Shell and add UV Spray Coating to have anti-corrosion and anti-static function.applicable environment more extensive.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



YZ1515x



MC Series



YZ2515x



DG Series

Pump Head & Flow Rate

Drive & Speed	Pump head	Tubing Size	Flow rate (mL/min)
LabN6 0.1~600rpm	YZ1515x	13#, 14#, 19#, 16#, 25#, 17#, 18#	0.007~2280
	YZ2515x	15#, 24#	0.17~1740
	MC1-MC12(10)	ID : 0.13~3.17mm , Wall thickness : 0.8~1mm	0.000166~49 (suggestion working speed≤150rpm)
	MC1-MC12(6)		0.000185~65 (suggestion working speed≤150rpm)

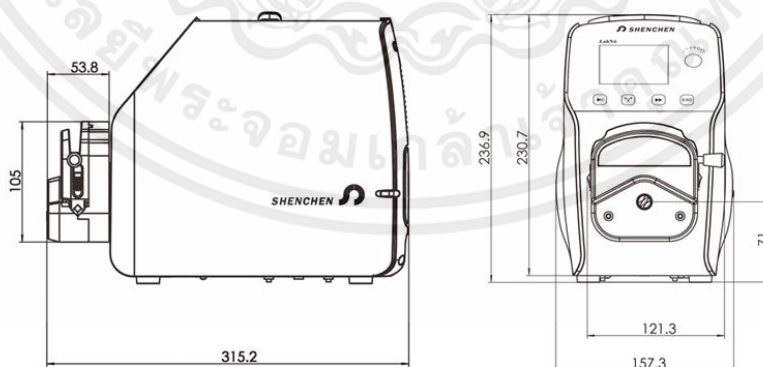
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

05

PARAMETER

Flow rate range	0.000166-2280ml/min
Speed resolution	0.1 rpm/min
Back suction angle	0-360°
Testing time range	0.1s-9999hr
Outlet pressure	0.8~1.0mm wall thickness : 0.1Mpa ; 1.6~2.4mm wall thickness : 0.1~0.27Mpa
Display	3.2" color LCD screen display
Control system	Mechanical keypad+Rotary encoded switch
Keypad lifetime	300,000 times
External control speed signal	0-5V , 0-10V , 4-20mA for option
Start/stop,direction signal	Passive switch signal, such as foot pedal switch Active switch signal: 5V, 12V and 24V for option
Communication interface	RS232 , RS485 support Modbus protocol(RTU mode)
Output interface	Output motor working status (Open-Collector output)
Power supply	AC 220V ±10% 50Hz/60Hz (standard) AC 110V ±10% 50Hz/60Hz (optional)
Drive dimension	261.4×157.3×236.9 (L×W×H)
Drive weight	4.40kg
Power consumption	< 50W
Environment temperature	0~40°C
Relative humidity	< 80%
IP rate	IP31

Dimension Drawing(Unit:mm)

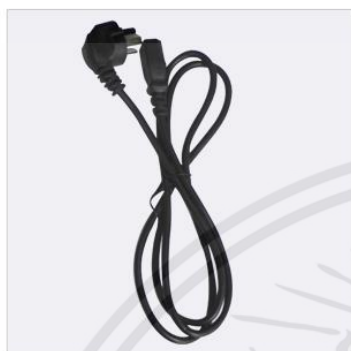


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

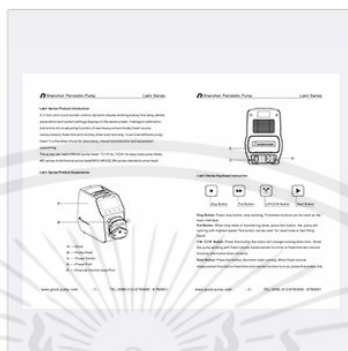
06

ACCESSORIES

Standard Accessories



Power Line



Manual



Silicone Tubing

Optional Accessories



Foot Spedal Switch



Filling Nozzle



Support Stand



Tubing Connector

07

ADVANTAGE

Authorization

Authorized by Baoding municipal government as peristaltic pump engineering technology research center.

OCM Customized

Excellent research and development ability to undertake OCM customized fluid solutions.

13 years

Experienced, engaged in peristaltic pump industry 13 years.

Quality Assurance

Warranty for three years and lifetime maintenance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Electronic Balance)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Superb “New Generation” Analysis! Speedy & Simple Operation to Maximize Performance

Easy Access Door

A unique system allows the user to conveniently open or close the left or right side of the weighing chamber using a control lever. This system allows quick and efficient access to the weighing chamber.



One Touch Calibration

Allows quick calibration with one push of the CAL key.

Automatic Adjustable Environment Setting

Adapts automatically to the most suitable Environment Response Setting to minimize adverse external effects. “FAST”, “MID” or “SLOW” is displayed.

Automatic Self Calibration

Performs self calibration automatically when a change of ambient temperature exceeds the preset temperature range.

13 Multiple Weighing Units

g, mg, pcs, %, oz, ozt, ct, mom, dwt, GN, tl, t (tola), m (messghal)

Two Layer Housing

Durable construction minimizes negative effects of ambient temperature changes.

Splash Proof Keyboard and Display

Protected from dust and spills.

Data Memory Function

Stores up to 200 sets of weighing data. Data can be output using numerical codes.

GLP/GMP Compliant

Allows GLP or LIMS balance management by outputting the Balance ID number and weight used to calibrate the balance. The data can be output to A&D's AD-8127 printer or a computer, indicating date, time, Balance ID number and calibration weight.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Space-Saving Design



The GR Series has a 30% smaller footprint compared with conventional balances. Its tall weighing chamber can accommodate large beakers. The glass panes disappear into the back when opening the door, requiring no extra space at the rear of the balance.



Underhook

Ideal for density measurement and weighing magnetic substances.

RS-232C Interface

Enables bi-directional communication with a PC or printer.

Quick Reference Card

A fast and convenient operation guide.



WinCT-Window Communication Tools

WinCT is Windows Communication Tools Software, providing easy transmission of weighing data from A&D Balances to a PC using RS-232C interface. Data can be transferred in a manageable format limited only by a PC's capability.

WinCT consists of three applications:

- RsKey** allows weighing data to be directly pasted into a Windows application such as Microsoft Excel or Word, but this application cannot use "commands" to control the balance.
- RsCom** can transmit weighing data to a PC using a text file format and can transmit "commands" to control the balance. "Commands" include Calibrate, On/Off, Print, Query weight data, Re-zero, Range, Sample, Mode and Zero.
- RsWeight** can retrieve weighing data from a balance and display it in graph form on a PC screen in real-time. Maximum, minimum, average, standard deviation and coefficient of variation values of data can be calculated and displayed.



GR Series

RS-232C
(Standard)

Cable: AX-K04790

*For a PC with no serial (RS-232C) port, please use the separately-sold AX-C047-21P serial/USB converter and cable set.



Win CT

RsCom, RsKey and RsWeight offer user selectable time, date, sequential #, interval transmission and GLP/GMP data. A readme file contains all setup, operation & troubleshooting guides.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

	GR-202	GR-300	GR-200	GR-120
Weighting capacity	42 g / 200 g	310 g	200 g	120 g
Minimum weighing value	0.01 mg / 0.1 mg		0.1 mg	
Percentage Min Div.			0.01%	
Counting Min Weight			0.1mg	
Linearity	±0.0002 / ±0.00002g	±0.0003g		±0.0002g
Repeatability/Std. Dev.	0.0001 / 0.00002g	0.0002g		0.0002g
Stabilization Time	3.5 / 8 seconds (typical)			3.5 seconds (typical)
Accuracy Drift		±2ppm / °C (10°C–30°C / 50°F–86°F)		
Display Refresh		5 times per second / 50 times per second		
Peak Size		0.95mm / 3.74 inches		
Physical Dimensions	mm	249 (W) × 130 (D) × 128 (H)		
	inches	9.8 (W) × 5.1 (D) × 5.0 (H)		
Weight Base Dimensions	mm	178 (W) × 240 (D) × 233 (H)		
	inches	7.0 (W) × 9.5 (D) × 9.2 (H)		
Admissible Ambient Conditions		0°C–40°C / 41°F–104°F RH less than 85%		
Weight Approximately		6.0kg / 13.2lb		
Power		Approx. 10VA (supplied to the AC adapter)		
Standard Accessories		Instruction manual, AC Adapter, Reference Card		

Specifications are subject to change for improvement without notice.

Accessories

AD-1653	Density determination kit
AD-1682	Rechargeable battery unit
AD-1683	Static eliminator
AD-1684A	Electrostatic fieldmeter
AD-1687	Weighing environment logger
AD-1688	Weighing data logger
AD-1689	Tweezers for calibration weight
AD-8127	Compact printer
AD-8526	Serial/Ethernet converter with WinCT-Plus
AD-8527	Quick USB adapter
AD-8920A	Remote display
AD-8922A	Remote controller
AX-USB-25P	Serial/USB converter and cable set

AD-1653 Density Determination Kit



Discover Precision

A&D Company, Ltd.
5-2-1 Higashi-Shinjuku, Toshima-ku, Tokyo, 175-0023, Japan Tel: +81 3-5328-6132 Fax: +81 3-5328-1066 <http://www.aandd.jp>

A&D Engineering, Inc.
1718 Suburban Parkway, San Jose, CA 95128, U.S.A. Tel: +1 408 265-6333 Fax: +1 408 263-0719

A&D Australia Pty Ltd.
22 Sims Street, Traralgon, South Australia 5207, Australia Tel: +61 8-8521-6120 Fax: +61 8-8521-1328

A&D Instruments Ltd.
Unit 22,23, Southside Way, Clingens Banna Park, Aldington, Chichester PO14 1DN United Kingdom Tel: +44 1243-500-025 Fax: +44 1243-500-026
• SAHMAN Sales Office:
Hamburg, Elster 30, D-22629, Altonaer Platz, Germany Tel: +49 4302-495230 Fax: +49 42-62-89231

A&D Korea Ltd.
3F, Mankook Bldg., 33, Dalgongnyong-ro 4-gil, Yeongdeungpo-gu, Seoul 15073, Korea Tel: +82 2-792-4132 Fax: +82 2-792-4380

A&D Rus Co., Ltd.
Vozynskaya Str. 17, 121217, Moscow, Russia Tel: +7 495 707-33-44 Fax: +7 495-927-55-66

A&D Instruments India (P) Ltd.
NOR Lajpat Vihar Phase V Gurgaon 122 016, Haryana, India Tel: +91 7 264875-8555 Fax: +91 124 471-6999

© 2010 A&D Co., Ltd. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

ตารางบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางก.1 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวอยู่ภายใต้สภาวะไม่เกิดการเดือดของท่อขดเกลียว ที่อัตราการไหลของน้ำ 20 ml/min

จุดที่ 1 (ระยะ 0.175 m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.259906	41.9477	0.110144	Slug flow
150	0.197529	62.96255	0.110444	Churn flow
200	0.135148	84.05931	0.111044	Churn flow
250	0.103704	105.3467	0.112245	Churn flow
300	0.072257	126.7423	0.113445	Churn flow
350	0.057416	147.961	0.113745	Churn flow
400	0.042574	169.5319	0.114946	Churn flow
450	0.035471	190.9668	0.115546	Churn flow
500	0.028364	212.4554	0.116146	Churn flow
550	0.025527	233.8494	0.116447	Annular-rivulet flow

จุดที่ 2 (ระยะ 0.305m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.259906	24.06835	0.110144	Slug flow
150	0.197529	36.12605	0.110444	Throat-annular flow
200	0.135148	48.23075	0.111044	Slug flow
250	0.103704	60.44483	0.112245	Annular flow
300	0.072257	72.72098	0.113445	Annular flow
350	0.057416	84.89565	0.113745	Churn flow
400	0.042574	97.27238	0.114946	Annular flow
450	0.035471	109.5711	0.115546	Churn flow
500	0.028364	121.9007	0.116146	Churn flow
550	0.025527	134.1759	0.116447	Churn flow

จุดที่ 3 (ระยะ 0.463m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.259906	15.85496	0.110144	Slug flow
150	0.197529	23.79794	0.110444	Slug flow
200	0.135148	31.77188	0.111044	Slug flow
250	0.103704	39.81787	0.112245	Slug flow
300	0.072257	47.90475	0.113445	Slug flow
350	0.057416	55.92478	0.113745	Churn flow
400	0.042574	64.07792	0.114946	Churn flow
450	0.035471	72.17966	0.115546	Churn flow
500	0.028364	80.30173	0.116146	Churn flow
550	0.025527	88.388	0.116447	Throat-annular flow

จุดที่ 4 (ระยะ 0.625m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.259906	11.74536	0.110144	Annular flow
150	0.197529	17.62951	0.110444	Slug flow
200	0.135148	23.53661	0.111044	Slug flow
250	0.103704	29.49708	0.112245	Slug flow
300	0.072257	35.48784	0.113445	Churn flow
350	0.057416	41.42908	0.113745	Slug flow
400	0.042574	47.46892	0.114946	Churn flow
450	0.035471	53.47069	0.115546	Churn flow
500	0.028364	59.48752	0.116146	Churn flow
550	0.025527	65.47783	0.116447	Throat-annular flow

จุดที่ 5 (ระยะ 0.78m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.259906	9.411342	0.110144	Slug flow
150	0.197529	14.12621	0.110444	Slug flow
200	0.135148	18.85946	0.111044	Slug flow
250	0.103704	23.63548	0.112245	Slug flow
300	0.072257	28.43577	0.113445	Annular flow
350	0.057416	33.19638	0.113745	Churn flow
400	0.042574	38.03599	0.114946	Annular flow
450	0.035471	42.84511	0.115546	Throat-annular flow
500	0.028364	47.66628	0.116146	Annular flow
550	0.025527	52.46621	0.116447	Churn flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางก.2 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวอยู่ภายใต้สภาวะไม่เกิดการเดือดของท่อขดเกลียว ที่อัตราการไหลของน้ำ 30 ml/min

จุดที่ 1 (ระยะ 0.175 m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.310048	42.51807	0.116447	Annular-rivulet flow
150	0.233348	63.81756	0.116747	Annular-rivulet flow
200	0.156647	85.2517	0.117647	Annular-rivulet flow
250	0.116456	106.6991	0.118247	Slug flow
300	0.076265	128.2001	0.118848	Annular-rivulet flow
350	0.064367	149.6607	0.119148	Annular-rivulet flow
400	0.052469	171.4694	0.120348	Annular-rivulet flow
450	0.042809	193.264	0.121248	Annular-rivulet flow
500	0.033149	214.8713	0.121549	Annular-rivulet flow
550	0.029834	236.5052	0.121849	Annular-rivulet flow

จุดที่ 2 (ระยะ 0.305m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.310048	24.39561	0.116447	Slug flow
150	0.233348	36.61663	0.116747	Slug flow
200	0.156647	48.91491	0.117647	Slug flow
250	0.116456	61.22079	0.118247	Churn flow
300	0.076265	73.55741	0.118848	Churn flow
350	0.064367	85.87087	0.119148	Annular flow
400	0.052469	98.3841	0.120348	Annular flow
450	0.042809	110.8892	0.121248	Annular flow
500	0.033149	123.2868	0.121549	Annular flow
550	0.029834	135.6997	0.121849	Throat-annular flow

จุดที่ 3 (ระยะ 0.463m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.310048	16.07055	0.116447	Slug flow
150	0.233348	24.12111	0.116747	Slug flow
200	0.156647	32.22256	0.117647	Slug flow
250	0.116456	40.32903	0.118247	Churn flow
300	0.076265	48.45575	0.118848	Churn flow
350	0.064367	56.5672	0.119148	Annular flow
400	0.052469	64.81026	0.120348	Churn flow
450	0.042809	73.04795	0.121248	Annular flow
500	0.033149	81.21485	0.121549	Churn flow
550	0.029834	89.39181	0.121849	Throat-annular flow

จุดที่ 4 (ระยะ 0.625m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.310048	11.90506	0.116447	Slug flow
150	0.233348	17.86892	0.116747	Slug flow
200	0.156647	23.87048	0.117647	Slug flow
250	0.116456	29.87574	0.118247	Churn flow
300	0.076265	35.89602	0.118848	Churn flow
350	0.064367	41.90498	0.119148	Churn flow
400	0.052469	48.01144	0.120348	Churn flow
450	0.042809	54.11392	0.121248	Throat-annular flow
500	0.033149	60.16396	0.121549	Throat-annular flow
550	0.029834	66.22145	0.121849	Throat-annular flow

จุดที่ 5 (ระยะ 0.78m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.310048	9.539311	0.116447	Slug flow
150	0.233348	14.31804	0.116747	Annular flow
200	0.156647	19.12698	0.117647	Slug flow
250	0.116456	23.9389	0.118247	Churn flow
300	0.076265	28.76283	0.118848	Churn flow
350	0.064367	33.57771	0.119148	Churn flow
400	0.052469	38.4707	0.120348	Annular flow
450	0.042809	43.36052	0.121248	Churn flow
500	0.033149	48.2083	0.121549	Throat-annular flow
550	0.029834	53.06206	0.121849	Throat-annular flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางก.3 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวอยู่ภายใต้สภาวะไม่เกิดการเดือดของท่อขดเกลียว ที่อัตราการไหลของน้ำ 40 ml/min

จุดที่ 1 (ระยะ 0.175 m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.319956	42.94756	0.121248	Annular-rivulet flow
150	0.18537	64.46139	0.121549	Annular-rivulet flow
200	0.123688	86.16179	0.122749	Annular-rivulet flow
250	0.139055	107.8353	0.123349	Annular-rivulet flow
300	0.092741	129.5618	0.12395	Annular-rivulet flow
350	0.076152	151.4341	0.12485	Annular-rivulet flow
400	0.05956	173.4912	0.12605	Annular-rivulet flow
450	0.051057	195.4154	0.126651	Churn flow
500	0.042558	217.3923	0.127251	Churn flow
550	0.032498	239.4215	0.127851	Churn flow

จุดที่ 2 (ระยะ 0.305m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.319956	24.64204	0.121248	Slug flow
150	0.18537	36.98604	0.121549	Annular flow
200	0.123688	49.43709	0.122749	Slug flow
250	0.139055	61.8727	0.123349	Churn flow
300	0.092741	74.33874	0.12395	Annular flow
350	0.076152	86.8884	0.12485	Annular flow
400	0.05956	99.54411	0.12605	Churn flow
450	0.051057	112.1236	0.126651	Churn flow
500	0.042558	124.7333	0.127251	Churn flow
550	0.032498	137.373	0.127851	Annular flow

จุดที่ 3 (ระยะ 0.463m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.319956	16.23288	0.121248	Slug flow
150	0.18537	24.36446	0.121549	Churn flow
200	0.123688	32.56655	0.122749	Churn flow
250	0.139055	40.75848	0.123349	Churn flow
300	0.092741	48.97044	0.12395	Churn flow
350	0.076152	57.2375	0.12485	Churn flow
400	0.05956	65.57441	0.12605	Churn flow
450	0.051057	73.86113	0.126651	Churn flow
500	0.042558	82.1677	0.127251	Churn flow
550	0.032498	90.49409	0.127851	Throat-annular flow

จุดที่ 4 (ระยะ 0.625m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.319956	12.02532	0.121248	Slug flow
150	0.18537	18.04919	0.121549	Churn flow
200	0.123688	24.1253	0.122749	Churn flow
250	0.139055	30.19388	0.123349	Churn flow
300	0.092741	36.2773	0.12395	Churn flow
350	0.076152	42.40154	0.12485	Churn flow
400	0.05956	48.57753	0.12605	Churn flow
450	0.051057	54.71632	0.126651	Churn flow
500	0.042558	60.86983	0.127251	Churn flow
550	0.032498	67.03802	0.127851	Throat-annular flow

จุดที่ 5 (ระยะ 0.78m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.319956	9.63567	0.121248	Slug flow
150	0.18537	14.46249	0.121549	Slug flow
200	0.123688	19.33117	0.122749	Slug flow
250	0.139055	24.19381	0.123349	Churn flow
300	0.092741	29.06835	0.12395	Churn flow
350	0.076152	33.97559	0.12485	Churn flow
400	0.05956	38.9243	0.12605	Churn flow
450	0.051057	43.84321	0.126651	Churn flow
500	0.042558	48.7739	0.127251	Annular flow
550	0.032498	53.71636	0.127851	Throat-annular flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางก.4 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวอยู่ภายใต้สภาวะไม่เกิดการเดือดของท่อขดเกลียว ที่อัตราการไหลของน้ำ 50 ml/min

จุดที่ 1 (ระยะ 0.175 m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.360222	43.7939	0.130852	Annular-rivulet flow
150	0.284866	65.76938	0.131453	Slug flow
200	0.209513	87.90154	0.132653	Slug flow
250	0.156738	110.0073	0.133253	Slug flow
300	0.103972	132.1651	0.133854	Annular-rivulet flow
350	0.090081	154.2838	0.134154	Annular-rivulet flow
400	0.076191	176.6363	0.135054	Annular-rivulet flow
450	0.065376	199.0662	0.135954	Annular-rivulet flow
500	0.054565	221.4438	0.136555	Annular-rivulet flow
550	0.049106	243.7306	0.136855	Annular-rivulet flow

จุดที่ 2 (ระยะ 0.305m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.360222	25.12765	0.130852	Annular flow
150	0.284866	37.73653	0.131453	Annular flow
200	0.209513	50.43531	0.132653	Annular flow
250	0.156738	63.11897	0.133253	Annular flow
300	0.103972	75.83245	0.133854	Annular flow
350	0.090081	88.52347	0.134154	Annular flow
400	0.076191	101.3487	0.135054	Annular flow
450	0.065376	114.2183	0.135954	Churn flow
500	0.054565	127.0579	0.136555	Churn flow
550	0.049106	139.8454	0.136855	Churn flow

จุดที่ 3 (ระยะ 0.463m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.360222	16.55277	0.130852	Churn flow
150	0.284866	24.85884	0.131453	Annular flow
200	0.209513	33.22412	0.132653	Churn flow
250	0.156738	41.57945	0.133253	Churn flow
300	0.103972	49.95442	0.133854	Annular flow
350	0.090081	58.31459	0.134154	Churn flow
400	0.076191	66.76317	0.135054	Churn flow
450	0.065376	75.241	0.135954	Churn flow
500	0.054565	83.69906	0.136555	Churn flow
550	0.049106	92.12279	0.136855	Churn flow

จุดที่ 4 (ระยะ 0.625m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.360222	12.26229	0.130852	Churn flow
150	0.284866	18.41543	0.131453	Churn flow
200	0.209513	24.61243	0.132653	Churn flow
250	0.156738	30.80206	0.133253	Churn flow
300	0.103972	37.00624	0.133854	Churn flow
350	0.090081	43.19945	0.134154	Churn flow
400	0.076191	49.45816	0.135054	Churn flow
450	0.065376	55.73853	0.135954	Churn flow
500	0.054565	62.00426	0.136555	Churn flow
550	0.049106	68.24456	0.136855	Churn flow

จุดที่ 5 (ระยะ 0.78m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.360222	9.825554	0.130852	Annular flow
150	0.284866	14.75595	0.131453	Churn flow
200	0.209513	19.7215	0.132653	Churn flow
250	0.156738	24.68113	0.133253	Annular flow
300	0.103972	29.65243	0.133854	Annular flow
350	0.090081	34.61494	0.134154	Churn flow
400	0.076191	39.62993	0.135054	Churn flow
450	0.065376	44.66228	0.135954	Throat-Annular flow
500	0.054565	49.6829	0.136555	Churn flow
550	0.049106	54.68314	0.136855	Throat-Annular flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางก.5 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวอยู่ภายใต้สภาวะไม่เกิดการเดือดของท่อขดเกลียว ที่อัตราการไหลของน้ำ 60 ml/min

จุดที่ 1 (ระยะ 0.175 m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.407036	44.31465	0.136855	Annular-rivulet flow
150	0.318866	66.51079	0.137155	Annular-rivulet flow
200	0.230694	88.73278	0.137455	Annular-rivulet flow
250	0.16871	111.1097	0.138355	Annular-rivulet flow
300	0.106722	133.5637	0.139256	Annular-rivulet flow
350	0.091081	156.0046	0.139856	Annular-rivulet flow
400	0.075443	178.3939	0.140156	Annular-rivulet flow
450	0.064009	201.0401	0.141056	Annular-rivulet flow
500	0.052579	223.6344	0.141657	Annular-rivulet flow
550	0.047323	246.2798	0.142257	Annular-rivulet flow

จุดที่ 2 (ระยะ 0.305m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.407036	25.42644	0.136855	Annular flow
150	0.318866	38.16193	0.137155	Annular flow
200	0.230694	50.91225	0.137455	Churn flow
250	0.16871	63.75148	0.138355	Annular flow
300	0.106722	76.63493	0.139256	Churn flow
350	0.091081	89.51084	0.139856	Annular flow
400	0.075443	102.3572	0.140156	Churn flow
450	0.064009	115.3508	0.141056	Churn flow
500	0.052579	128.3148	0.141657	Throat-annular flow
550	0.047323	141.3081	0.142257	Churn flow

จุดที่ 3 (ระยะ 0.463m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.407036	16.7496	0.136855	Annular flow
150	0.318866	25.13907	0.137155	Annular flow
200	0.230694	33.53831	0.137455	Churn flow
250	0.16871	41.99611	0.138355	Churn flow
300	0.106722	50.48306	0.139256	Churn flow
350	0.091081	58.96503	0.139856	Churn flow
400	0.075443	67.4275	0.140156	Churn flow
450	0.064009	75.98706	0.141056	Churn flow
500	0.052579	84.52706	0.141657	Throat-annular flow
550	0.047323	93.08633	0.142257	Churn flow

จุดที่ 4 (ระยะ 0.625m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.407036	12.4081	0.136855	Slug flow
150	0.318866	18.62302	0.137155	Slug flow
200	0.230694	24.84518	0.137455	Churn flow
250	0.16871	31.11072	0.138355	Churn flow
300	0.106722	37.39785	0.139256	Churn flow
350	0.091081	43.68129	0.139856	Churn flow
400	0.075443	49.95029	0.140156	Churn flow
450	0.064009	56.29121	0.141056	Churn flow
500	0.052579	62.61764	0.141657	Churn flow
550	0.047323	68.95835	0.142257	Throat-annular flow

จุดที่ 5 (ระยะ 0.78m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.407036	9.94239	0.136855	Annular flow
150	0.318866	14.92229	0.137155	Annular flow
200	0.230694	19.908	0.137455	Annular flow
250	0.16871	24.92846	0.138355	Churn flow
300	0.106722	29.96622	0.139256	Churn flow
350	0.091081	35.00103	0.139856	Churn flow
400	0.075443	40.02427	0.140156	Churn flow
450	0.064009	45.10514	0.141056	Throat-annular flow
500	0.052579	50.17439	0.141657	Churn flow
550	0.047323	55.25509	0.142257	Churn flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางก.6 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวอยู่ภายใต้สภาวะไม่เกิดการเดือดของท่อขดเกลียว ที่อัตราการไหลของน้ำ 70 ml/min

จุดที่ 1 (ระยะ 0.175 m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.415644	44.57275	0.139856	Churn flow
150	0.313669	66.93628	0.140456	Annular-rivulet flow
200	0.21169	89.50506	0.141957	Annular-rivulet flow
250	0.152827	112.0094	0.142557	Annular-rivulet flow
300	0.093963	134.5648	0.143157	Annular-rivulet flow
350	0.0843	157.2606	0.144058	Annular-rivulet flow
400	0.074637	179.9305	0.144658	Annular-rivulet flow
450	0.0626	202.5365	0.144958	Annular-rivulet flow
500	0.050567	225.168	0.145258	Slug flow
550	0.045511	247.9648	0.145858	Slug flow

จุดที่ 2 (ระยะ 0.305m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.415644	25.57453	0.139856	Annular flow
150	0.313669	38.40606	0.140456	Annular flow
200	0.21169	51.35536	0.141957	Churn flow
250	0.152827	64.26769	0.142557	Churn flow
300	0.093963	77.20932	0.143157	Annular flow
350	0.0843	90.23147	0.144058	Throat-annular flow
400	0.074637	103.2388	0.144658	Annular flow
450	0.0626	116.2095	0.144958	Churn flow
500	0.050567	129.1947	0.145258	Throat-annular flow
550	0.045511	142.2749	0.145858	Throat-annular flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดที่ 3 (ระยะ 0.463m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.415644	16.84715	0.139856	Churn flow
150	0.313669	25.29989	0.140456	Churn flow
200	0.21169	33.8302	0.141957	Slug flow
250	0.152827	42.33617	0.142557	Slug flow
300	0.093963	50.86143	0.143157	Annular flow
350	0.0843	59.43974	0.144058	Churn flow
400	0.074637	68.00828	0.144658	Churn flow
450	0.0626	76.55268	0.144958	Churn flow
500	0.050567	85.10668	0.145258	Throat-annular flow
550	0.045511	93.72319	0.145858	Throat-annular flow

จุดที่ 4 (ระยะ 0.625m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.415644	12.48037	0.139856	Churn flow
150	0.313669	18.74216	0.140456	Churn flow
200	0.21169	25.06142	0.141957	Churn flow
250	0.152827	31.36263	0.142557	Churn flow
300	0.093963	37.67815	0.143157	Churn flow
350	0.0843	44.03296	0.144058	Churn flow
400	0.074637	50.38053	0.144658	Churn flow
450	0.0626	56.71022	0.144958	Churn flow
500	0.050567	63.04703	0.145258	Throat-annular flow
550	0.045511	69.43014	0.145858	Throat-annular flow

จุดที่ 5 (ระยะ 0.78m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อ นาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.415644	10.0003	0.139856	Churn flow
150	0.313669	15.01776	0.140456	Annular flow
200	0.211169	20.08126	0.141957	Annular flow
250	0.152827	25.13031	0.142557	Churn flow
300	0.093963	30.19082	0.143157	Annular flow
350	0.0843	35.28282	0.144058	Throat-annular flow
400	0.074637	40.36902	0.144658	Throat-annular flow
450	0.0626	45.44088	0.144958	Throat-annular flow
500	0.050567	50.51845	0.145258	Throat-annular flow
550	0.045511	55.63312	0.145858	Throat-annular flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางก.7 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวอยู่ภายใต้สภาวะไม่เกิดการเดือดของท่อขดเกลียว ที่อัตราการไหลของน้ำ 80 ml/min

จุดที่ 1 (ระยะ 0.175 m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.40335	44.08107	0.134154	Annular-rivulet flow
150	0.30948	66.43314	0.136555	Annular-rivulet flow
200	0.215607	88.73278	0.137455	Annular-rivulet flow
250	0.162184	111.1097	0.138355	Churn flow
300	0.108708	133.4091	0.138655	Annular-rivulet flow
350	0.090942	155.9145	0.139556	Churn flow
400	0.073179	178.291	0.139856	Annular-rivulet flow
450	0.061601	200.5774	0.139856	Churn flow
500	0.052908	222.9924	0.140156	Annular-rivulet flow
550	0.045773	245.433	0.140456	Churn flow

จุดที่ 2 (ระยะ 0.305m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.40335	25.29242	0.134154	Annular flow
150	0.30948	38.11737	0.136555	Slug flow
200	0.215607	50.91225	0.137455	Churn flow
250	0.162184	63.75148	0.138355	Annular flow
300	0.108708	76.54618	0.138655	Churn flow
350	0.090942	89.45915	0.139556	Throat-annular flow
400	0.073179	102.2981	0.139856	Throat-annular flow
450	0.061601	115.0854	0.139856	Throat-annular flow
500	0.052908	127.9464	0.140156	Throat-annular flow
550	0.045773	140.8222	0.140456	Throat-annular flow

จุดที่ 3 (ระยะ 0.463m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.40335	16.66131	0.134154	Churn flow
150	0.30948	25.10972	0.136555	Churn flow
200	0.215607	33.53831	0.137455	Churn flow
250	0.162184	41.99611	0.138355	Slug flow
300	0.108708	50.42459	0.138655	Churn flow
350	0.090942	58.93097	0.139556	Annular flow
400	0.073179	67.3886	0.139856	Throat-annular flow
450	0.061601	75.81218	0.139856	Throat-annular flow
500	0.052908	84.28437	0.140156	Throat-annular flow
550	0.045773	92.76626	0.140456	Throat-annular flow

จุดที่ 4 (ระยะ 0.625m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อ นาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.40335	12.3427	0.134154	Churn flow
150	0.30948	18.60128	0.136555	Churn flow
200	0.215607	24.84518	0.137455	Churn flow
250	0.162184	31.11072	0.138355	Annular flow
300	0.108708	37.35454	0.138655	Churn flow
350	0.090942	43.65606	0.139556	Churn flow
400	0.073179	49.92148	0.139856	Churn flow
450	0.061601	56.16166	0.139856	Throat-annular flow
500	0.052908	62.43786	0.140156	Throat-annular flow
550	0.045773	68.72125	0.140456	Throat-annular flow

จุดที่ 5 (ระยะ 0.78m)

อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)	J_L (m/s)	J_G (m/s)	ΔP (kPa)	Flow patten
100	0.40335	9.889984	0.134154	Churn flow
150	0.30948	14.90487	0.136555	Annular flow
200	0.215607	19.908	0.137455	Annular flow
250	0.162184	24.92846	0.138355	Churn flow
300	0.108708	29.93152	0.138655	Churn flow
350	0.090942	34.98082	0.139556	Throat-annular flow
400	0.073179	40.00118	0.139856	Throat-annular flow
450	0.061601	45.00133	0.139856	Churn flow
500	0.052908	50.03034	0.140156	Throat-annular flow
550	0.045773	55.0651	0.140456	Throat-annular flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

คู่มือในการเปิดไฟล์ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือในการเปิดไฟล์ข้อมูล

- ข้อมูลทั้งหมดจัดเก็บอยู่ในไฟล์ข้อมูลชื่อ การทดลองการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียว
- ไฟล์รูปภาพการทดลองจะอยู่ในไฟล์ข้อมูลชื่อ ภาพผลการทดลอง
- ภายในไฟล์ข้อมูลชื่อ ภาพผลการทดลอง จะแบ่งออกเป็นไฟล์ข้อมูลที่ทดลองโดยใช้ที่อัตราการไหลของน้ำค่าต่างๆ ดังนี้

ค่าอัตราการไหลของน้ำ (mL/min)
20
30
40
50
60
70
80

- ภายในไฟล์ข้อมูลที่ทดลองโดยใช้ที่อัตราการไหลของน้ำค่าต่างๆจะแบ่งออกเป็นไฟล์ข้อมูลที่ทดลองโดยใช้ที่อัตราการไหลของอากาศค่าต่างๆ ดังนี้

ค่าอัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)
100
150
200
250
300
350
400
450
500
550

- ภายในไฟล์ข้อมูลที่ทดลองโดยใช้ที่อัตราการไหลของอากาศค่าต่างๆจะแบ่งออกเป็นไฟล์ข้อมูลภาพถ่ายที่แต่ละจุด ดังนี้

ข้อมูลภาพถ่าย
จุดที่1
จุดที่2
จุดที่3
จุดที่4
จุดที่5

- ไฟล์เอกสารทั้งหมดจะรวมอยู่ในไฟล์ข้อมูลชื่อ **รวมไฟล์**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายทวารัฐ บรรดาลทรง
วัน เดือน ปีเกิด 12 มกราคม พ.ศ.2542
ภูมิลำเนา จังหวัดนครศรีธรรมราช
ที่อยู่ 151/5 หมู่2 ตำบล นาสาร อำเภอ พระพรหม
จังหวัด นครศรีธรรมราช 80000

- ประวัติการศึกษา - สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ภาคใต้ จังหวัด นครศรีธรรมราช
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- ผลงานและกิจกรรม - เข้าร่วมโครงการศึกษาดูงานโรงงานอุตสาหกรรมโรงหล่อใบจักร ณ หจก.ระนองอุตสาหกรรมหล่อเหล็กและใบจักร จังหวัดระนอง



ชื่อ-นามสกุล นางสาวณัฏญา ชูคำมัน
 วัน เดือน ปีเกิด 16 ตุลาคม พ.ศ. 2541
 ภูมิลำเนา จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
 ที่อยู่ 48/4 หมู่ 2 ตำบลอ่างทอง อำเภอ ทับสะแก
 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77130

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนอิทาบสะแกวิทยา จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมโครงการศึกษาดูงานโรงงานอุตสาหกรรมโรงหล่อไบจักร ณ หจก.ระนองอุตสาหกรรมหล่อเหล็กและไบจักร จังหวัดระนอง
- ได้ผ่านการอบรมเชิงปฏิบัติการและมีระดับคะแนนดีเยี่ยมด้าน "การใช้โปรแกรม SOLIDWORKS ช่วยในการออกแบบงานทางด้านวิศวกรรมเครื่องกล" ในโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการของรายวิชา "COMPUTER AIDED MECHANICAL DRAWING DESIGN"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ-นามสกุล นางสาวปัทมา ชูคำมัน
 วัน เดือน ปีเกิด 16 ตุลาคม พ.ศ. 2541
 ภูมิลำเนา จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
 ที่อยู่ 48/4 หมู่ 2 ตำบลอ่างทอง อำเภอ ทับสะแก
 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77130

- ประวัติการศึกษา
- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนอิทาบสะแกวิทยา จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
 - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- ผลงานและกิจกรรม
- เข้าร่วมโครงการศึกษาดูงานโรงงานอุตสาหกรรมโรงหล่อใบจักร ณ หจก.ระนองอุตสาหกรรมหล่อเหล็กและใบจักร จังหวัดระนอง
 - ได้ผ่านการอบรมเชิงปฏิบัติการและมีระดับคะแนนดีเยี่ยมด้าน "การใช้โปรแกรม SOLIDWORKS ช่วยในการออกแบบงานทางด้านวิศวกรรมเครื่องกล" ในโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการของรายวิชา "COMPUTER AIDED MECHANICAL DRAWING DESIGN"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้