



การศึกษาเชิงทดลองของการไหลสองเฟสแบบอะเดียแบติก
ภายในท่อขดเกลียวขนาดไมโคร

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ADIABATIC TWO-PHASE MICRO
SCALE FLOW IN HELICAL COILS

ปฐมวรรณ แก่นกุล

PATHAMAWAN KAENKUN

พลอยแก้ว พิมพ์จันทร์

PLOYKAEW PIMJIN

วิสสุตา ช่อประเสริฐ

VISSUTA CHORPRASERT

ปริญญานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเชิงทดลองของการไหลสองเฟสแบบอะเดียแบติก
ภายในท่อขดเกลียวขนาดไมโคร
THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ADIABATIC TWO-PHASE MICRO
SCALE FLOW IN HELICAL COILS



ปริญญานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ADIABATIC TWO-PHASE MICRO
SCALE FLOW IN HELICAL COILS



A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL DEPARTMENT OF
ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANGPRINCE OF CHUMPHON CAMPUS 2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การศึกษาเชิงทดลองของการไหลสองเฟสแบบอะเดียแบติก ภายในท่อ
ขดเกลียวขนาดไมโคร

Project Title THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ADIABATIC TWO-PHASE
MICRO SCALE FLOW IN HELICAL COILS

ชื่อนักศึกษา นางสาวปฐมวรรณ แก่นกุล รหัสประจำตัว 61513004
นางสาวพลอยแก้ว พิมพ์จันทร์ รหัสประจำตัว 61514008
นางสาววิสุตา ช่อประเสริฐ รหัสประจำตัว 61514016

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ศิระ สายศร

ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
ผศ.วรัชชล	วัฒน์	กรรมการสอบ	
ดร.อดิเรก	สุริยะวงศ์	กรรมการสอบ	
ผศ.วชร	กาลาสี	กรรมการสอบ	
ดร.ศักรินทร์	ชินกุลพิทักษ์	กรรมการสอบ	
รศ.ดร.ศิระ	สายศร	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 เวลา 09.00 - 17.00 น.

สถานที่สอบ ตึก C ห้อง112 ห้องประชุมวิทยาศาสตร์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ กรกฎาคม พ.ศ. 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาเชิงทดลองของการไหลสองเฟสแบบอะเดียแบติก ภายในท่อขดเกลียวขนาดไมโคร		
Project Title	THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ADIABATIC TWO-PHASE MICRO SCALE FLOW IN HELICAL COILS		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวปฐมวรรณ แก่นกุล	รหัสประจำตัว	61513004
	นางสาวพลอยแก้ว พิมพ์จันทร์	รหัสประจำตัว	61514008
	นางสาววิสุตา ช่อประเสริฐ	รหัสประจำตัว	61514016
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมพลังงาน		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ศิระ สายศร		
ปริญญานิพนธ์			

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการทดลองและวิเคราะห์ลักษณะรูปแบบการไหลแบบสองสถานะคือ น้ำ-อากาศ โดยไม่มีการถ่ายเทความร้อน ในช่วงการทดลองใช้ท่อเทปลอนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1 มิลลิเมตร ลักษณะเป็นขดเกลียวมีเส้นผ่านศูนย์กลางขดเกลียว 50 มิลลิเมตร มีระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตร มุมเอียง 10 องศา และมีการวางท่อขดเกลียวโดยการปรับทิศทาง การไหล 3 ทิศทาง คือ การไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบน การไหลในแนวตั้งจากบนลงล่าง และการไหลในแนวนอน ซึ่งจากการสังเกตและบันทึกภาพผลจากการทดลองพบ รูปแบบการไหลทั้ง 6 รูปแบบ ได้แก่ Slug flow, Throat-annular flow, Annular-rivulet flow, Annular flow, Plug flow และ Bubbly flow ในลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละสภาวะการทดลอง โดยรูปแบบการไหลแบบ Slug flow มีการพบมากที่สุดในการไหลทั้ง 3 ทิศทาง อีกทั้งยังพบว่าการเปลี่ยนทิศทางวางท่อขดเกลียวไม่ส่งผลต่อการเกิดรูปแบบการไหล นอกจากนี้ยังพบว่าการเปลี่ยนทิศทางรูปแบบการไหลไม่ส่งผลต่อความดันลด และรูปแบบการไหลบริเวณท่อขดเกลียวเกิดความปั่นป่วนมากกว่าการไหลบริเวณท่อตรง

คำสำคัญ: การไหลในท่อขดเกลียว, การไหลแบบสองสถานะ, ความดันลด, รูปแบบการไหล

Project Title	THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ADIABATIC TWO-PHASE MICRO SCALE FLOW IN HELICAL COILS IN THE VERTICAL AND HORIZONTAL DIRECTIONS	
Student	Ms. Pathamawan Kaenkun	Student ID 61513004
	Ms. Ploykaew Pimjun	Student ID 61514008
	Ms. Vissuta Chorprasert	Student ID 61514016
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Energy Engineering	
Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Sira Saisorn	

Abstract

This research is a study of the experimental and analytical characterization of two-phase flow patterns, namely water-air, without heat transfer. During the experiment, tapelon tubes with an internal diameter of 1 mm were spirally coiled with a spiral diameter of 50 mm, a pitch of 20 mm, an inclination angle of 10 degrees, and a coiled pipe was placed by adjusting the flow direction. Direction is the vertical flow from bottom to top. Vertical flow from top to bottom and horizontal flow which from the observation was recorded. The resulting flow patterns were observed and recorded. There were 6 different types of flow diagrams: Slug flow, Throat-annular flow, Annular-rivulet flow, Annular flow, Plug flow and Bubbly flow, differently observed in different experimental conditions. The slug flow pattern was the most common in all three flow directions. It was found that changing the coil flow direct did not affect the flow pattern. It was also found that changing the direction of the flow pattern did not affect the pressure drop. Also the flow pattern taking place along the coiled pipe caused more turbulence than those along the straight pipe.

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

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เพราะการสนับสนุนของบุคคลหลายๆท่านซึ่งทางคณะผู้จัดทำงานวิจัย ต้องขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ศิระ สายศร อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่คอยให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือตลอดจนให้ความรู้ที่ทำให้เป็นประโยชน์ต่อการทำงาน ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำงานวิจัยได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณนายไชยรัตน์ เพชรศิริ ที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือด้านงานอุปกรณ์

ขอขอบคุณนายสิทธิพร ทองภูเบศร์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำวิธีเทคนิคการตรวจสอบอุปกรณ์

ขอขอบคุณนายกฤษฎา ประตุใหญ่ และนายอธิป แก้วมณี ที่คอยให้คำปรึกษา แนะนำการแก้ไขปัญหาในด้านต่างๆ อันเป็นอุปสรรคในการทำงานวิจัยนี้ ตลอดจนการออกแบบอุปกรณ์สำหรับการทดลองในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดคือ บิดา มารดา ที่ให้โอกาสทางการศึกษา และสนับสนุนทุนทรัพย์อย่างเต็มที่ และคอยให้กำลังใจเสมอมา จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวปฐมวรรณ แก่นกุล

นางสาวพลอยแก้ว พิมพ์จันทร์

นางสาววิสุตา ช่อประเสริฐ

กรกฎาคม 2565

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	XXI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการศึกษา	2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.7 แผนดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 รูปแบบการไหลแบบสองสถานะ	4
2.2 แผนที่แสดงรูปแบบการไหล (Flow regime map)	8
2.3 ความดันลด (pressure drop)	9
2.4 ความเร็วเฟสของของเหลวและความเร็วเฟสของแก๊ส	10
2.5 อัตราการไหล	10
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ	17
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดในการทดลอง	17
3.2 วงจรการทำงาน และรายละเอียดของ Test section	36
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	38
3.4 ข้อควรระวังในการทดลอง	39
3.5 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์การถ่ายภาพบันทึกผลการทดลอง	40

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	41
4.1 ผลการทดลองการไหลสองสถานะ (Two-phase flow)	41
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	91
5.1 สรุปผลการทดลอง	91
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ	91
เอกสารอ้างอิง	92
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	94
ประวัติผู้เขียน	245



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงการดำเนินงานของการศึกษาการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียว โดยไม่มีการให้ความร้อนในแนวตั้งและแนวนอน	3
ก.1	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	95
ก.2	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	96
ก.3	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	97
ก.4	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	98
ก.5	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	99
ก.6	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	100
ก.7	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	101
ก.8	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	102
ก.9	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	103

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.10	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	104
ก.11	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	105
ก.12	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	106
ก.13	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	107
ก.14	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	108
ก.15	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	109
ก.16	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	110
ก.17	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	111
ก.18	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	112
ก.19	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	113

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.20	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	114
ก.21	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	115
ก.22	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	116
ก.23	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	117
ก.24	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	118
ก.25	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	119
ก.26	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	120
ก.27	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	121
ก.28	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	122
ก.29	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	123

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.30	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	124
ก.31	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	125
ก.32	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	126
ก.33	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	127
ก.34	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	128
ก.35	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	129
ก.36	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	130
ก.37	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	131
ก.38	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	132
ก.39	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	133

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.40	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	134
ก.41	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	135
ก.42	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	136
ก.43	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	137
ก.44	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	138
ก.45	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	139
ก.46	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	140
ก.47	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	141
ก.48	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	142
ก.49	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	143

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.50	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	144
ก.51	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	145
ก.52	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	146
ก.53	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	147
ก.54	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	148
ก.55	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	149
ก.56	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	150
ก.57	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	151
ก.58	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	152
ก.59	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	153

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.60	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	154
ก.61	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	155
ก.62	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	156
ก.63	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	157
ก.64	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	158
ก.65	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	159
ก.66	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	160
ก.67	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	161
ก.68	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	162
ก.69	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	163

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.70	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	164
ก.71	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	165
ก.72	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	166
ก.73	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	167
ก.74	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	168
ก.75	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	169
ก.76	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	170
ก.77	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	171
ก.78	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	172
ก.79	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	173

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.80	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	174
ก.81	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	175
ก.82	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	176
ก.83	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	177
ก.84	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	178
ก.85	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	179
ก.86	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	180
ก.87	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	181
ก.88	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	182
ก.89	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	183

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.90	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	184
ก.91	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	185
ก.92	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	186
ก.93	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	187
ก.94	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	188
ก.95	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	189
ก.96	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	190
ก.97	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	191
ก.98	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	192
ก.99	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	193

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.100	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	194
ก.101	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	195
ก.102	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	196
ก.103	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	197
ก.104	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	198
ก.105	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	199
ก.106	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	200
ก.107	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	201
ก.108	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	202
ก.109	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	203
ก.110	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร	204
ก.111	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	205
ก.112	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	206
ก.113	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	207

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.114	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	208
ก.115	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	209
ก.116	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	210
ก.117	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	211
ก.118	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	212
ก.119	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	213
ก.120	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร	214
ก.121	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	215
ก.122	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	216
ก.123	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	217
ก.124	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	218
ก.125	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	219
ก.126	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	220
ก.127	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	221

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.128	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	222
ก.129	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	223
ก.130	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร	224
ก.131	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	225
ก.132	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	226
ก.133	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	227
ก.134	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	228
ก.135	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	229
ก.136	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	230
ก.137	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	231
ก.138	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	232
ก.139	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	233
ก.140	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร	234

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.141	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	235
ก.142	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	236
ก.143	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	237
ก.144	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	238
ก.145	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	239
ก.146	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	240
ก.147	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	241
ก.148	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	242
ก.149	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	243
ก.150	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร	244

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังการดำเนินงานของการศึกษาและการทดลองการไหลแบบสองสถานะในท่อ ขดเกลียวโดยไม่มีทำให้ความร้อนในแนวตั้ง	3
2.1	รูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียว	4
2.2	รูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง	5
2.3	รูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อไมโคร채นแนลในทิศทางการไหลในแนว ระดับ	6
2.4	รูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อไมโคร채นแนลในทิศทางการไหลขึ้นใน แนวตั้ง	7
2.5	ตัวอย่างแผนที่แสดงรูปแบบการไหลในท่อกลมขนาด 0.53 มิลลิเมตร	8
3.1	อุปกรณ์การทดลอง	17
3.2	ปั๊มดูดจ่ายสารแบบรีดท่อ (Peristaltic pump)	18
3.3	การผลัดคันโยกเพื่อเปิด roller	18
3.4	การติดตั้งท่อซิลิโคนตามขนาดที่ต้องการ	19
3.5	การผลัดคันโยก เพื่อล๊อคท่อซิลิโคน	19
3.6	การตรวจสอบขนาดของท่อที่ใช้งาน	20
3.7	การต่อท่ออย่างเพื่อส่งจ่ายน้ำจากถังน้ำกลั่น	20
3.8	การเปิดสวิตช์เครื่อง Peristaltic pump	21
3.9	การปรับค่าอัตราการไหลของเครื่อง Peristaltic pump	21
3.10	การปรับรอบการหมุน roller ของเครื่อง Peristaltic pump	22
3.11	การกดปุ่มหยุดการทำงานของเครื่อง Peristaltic pump	22
3.12	ถังน้ำ (Water tank)	23
3.13	เครื่องอัดอากาศหรือปั๊มลม (Air compressor)	24
3.14	ห้องผสม (Mixing chamber)	25
3.15	อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure regulator)	25
3.16	โรตاميเตอร์ (Rotameter)	26
3.17	ตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator)	27
3.18	ตัวรับสัญญาณความร้อน (Temperature indicator)	28
3.19	เกจวัดความดัน (Pressure gauge)	28
3.20	ตัวแปลงสัญญาณความดันหรือทรานสดิวเซอร์วัดความดัน	29
3.21	ปีกเกอร์	29

สารบัญรูป ต่อ

รูปที่	หน้า
3.22 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic Balance)	30
3.23 การสังเกตหยดน้ำที่อยู่บริเวณข้างของเครื่องชั่งดิจิทัล (Electronic Balance)	30
3.24 การแสดงผลหน้าจอเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลหลังการเปิดเครื่อง	31
3.25 การเซ็ตให้ตัวเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์อยู่ที่ค่าเริ่มต้น	31
3.26 การชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic Balance)	32
3.27 ยางและท่อซิลิโคน	32
3.28 ฟิล์มกรองแสง (Filter film)	33
3.29 หลอดไฟ LED (LED Lighting)	33
3.30 ท่อเทฟลอน (Teflon tube)	34
3.31 คลิปเลนส์ Macro + Start Light Lens 2 IN 1 LENS KIT	34
3.32 โทรศัพท์มือถือ (Smartphone) รุ่น iPhone XS Max	35
3.33 แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดลองการวางท่อในแนวตั้ง	36
3.34 แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดลองการวางท่อในแนวตั้ง	36
3.35 แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดลองการวางท่อในแนวระดับ	37
3.36 แผนภาพแสดงกระบวนการทำงาน	37
3.37 อุปกรณ์การถ่ายภาพและบันทึกวีดีโอผลการทดลอง	40
4.1 ตำแหน่งการถ่ายภาพและการบันทึกผล	41
4.2 ตำแหน่งการวางมุม และอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 1	42
4.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 2	42
4.4 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 3	43
4.5 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 4	43
4.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 5	43
4.7 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 1	45
4.8 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 2	46
4.9 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 3	48
4.10 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 4	49
4.11 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 5	51
4.12 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 1	52
4.13 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 2	54
4.14 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 3	55

สารบัญรูป ต่อ

รูปที่	หน้า	
4.15	รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 4	56
4.16	รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 5	57
4.17	รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 1	58
4.18	รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 2	59
4.19	รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 3	60
4.20	รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 4	61
4.21	รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 5	62
4.22	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 1	63
4.23	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 2	64
4.24	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 3	65
4.25	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 4	66
4.26	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 5	67
4.27	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 1	68
4.28	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 2	69
4.29	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 3	70
4.30	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 4	71
4.31	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 5	72
4.32	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 1	73
4.33	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 2	74
4.34	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 3	75
4.35	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 4	76
4.36	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 5	77
4.37	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 1	78
4.38	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 1	78
4.39	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบนกับการไหลในตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 1	79
4.40	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 2	80

สารบัญรูป ต่อ

รูปที่		หน้า
4.41	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 2	80
4.42	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบนกับการไหลในตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 2	81
4.43	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 3	82
4.44	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 3	82
4.45	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบนกับการไหลในตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 3	83
4.46	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 4	84
4.47	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 4	84
4.48	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบนกับการไหลในตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 4	85
4.49	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 5	86
4.50	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 5	86
4.51	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบนกับการไหลในตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 5	87
4.52	กราฟแสดงผลของความดันลุดที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง ทิศการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 1	88
4.53	กราฟแสดงผลของความดันลุดที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง ทิศการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 2	88
4.54	กราฟแสดงผลของความดันลุดที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง ทิศการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 3	89
4.55	กราฟแสดงผลของความดันลุดที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง ทิศการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 4	89

สารบัญรูป ต่อ

รูปที่		หน้า
4.56	กราฟแสดงผลของความดันโลหิตที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง ทิศการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 5	90
4.57	กราฟแสดงผลของความดันโลหิตที่เกิดขึ้นในแนวตั้งทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 1	91
4.58	กราฟแสดงผลของความดันโลหิตที่เกิดขึ้นในแนวตั้งทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 2	91
4.59	กราฟแสดงผลของความดันโลหิตที่เกิดขึ้นในแนวตั้งทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 3	92
4.60	กราฟแสดงผลของความดันโลหิตที่เกิดขึ้นในแนวตั้งทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 4	92
4.61	กราฟแสดงผลของความดันโลหิตที่เกิดขึ้นในแนวตั้งทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 5	93
4.62	กราฟแสดงผลของความดันโลหิตที่เกิดขึ้นในแนวนอน ตำแหน่งที่ 1	94
4.63	กราฟแสดงผลของความดันโลหิตที่เกิดขึ้นในแนวนอน ตำแหน่งที่ 2	94
4.64	กราฟแสดงผลของความดันโลหิตที่เกิดขึ้นในแนวนอน ตำแหน่งที่ 3	95
4.65	กราฟแสดงผลของความดันโลหิตที่เกิดขึ้นในแนวนอน ตำแหน่งที่ 4	95
4.66	กราฟแสดงผลของความดันโลหิตที่เกิดขึ้นในแนวนอน ตำแหน่งที่ 5	96

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันงานวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์ทางด้านวิศวกรรมกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ในการนำมาออกแบบและพัฒนาเพื่อตอบสนองกับความต้องการทางด้านงานอุตสาหกรรม เกษษศาสตร์ แพทย์ศาสตร์ รวมถึงอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆในระบบทำความร้อน (Heating system) ระบบทำความเย็น (cooling system) เครื่องกำเนิดไอน้ำ (steam generator) เครื่องปฏิกรณ์ (reactors) ตลอดจนการพัฒนาอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อน (Xiao et al., 2018) เพื่อลดขนาดอุปกรณ์ให้น้ำหนักเบา ขนาดกะทัดรัด และสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในพื้นที่จำกัด

โดยจากการศึกษาของงานวิจัยของ Saisorn and Wongwises (2014) พบว่าการไหลในท่อขนาดไมโครแบบสองสถานะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าการไหลแบบสถานะเดียว เนื่องจากการผสมกันของสาร 2 ชนิด ทำให้เกิดการปั่นป่วนมากขึ้น จึงมีการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณพื้นผิวท่อได้มากกว่าการไหลแบบสถานะเดียว Hardik et al. (2015) พบว่าการไหลภายในท่อที่มีลักษณะเป็นขดเกลียว ส่งผลทำให้สารทำงานเกิดการไหลแบบปั่นป่วนขึ้นได้ในรูปแบบการไหลแบบราบเรียบ และปั่นป่วนซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนโค้งท่อขดเกลียว ทำให้การไหลภายในขดเกลียวสามารถถ่ายเทความร้อนที่บริเวณพื้นผิวท่อได้มากกว่าการไหลภายในท่อตรง งานวิจัยต่อมา Benjawun and Saisorn (2015) พบว่าการวางตัวของท่อในแนวตั้งให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ส่วนค่าความดันลดเมื่อขนาดท่อเล็กลงทำให้ความดันลดสูงขึ้น แต่ในส่วนของการวางตัวของท่อต่อค่าความดันลดพบว่าการวางตัวของท่อไม่ส่งผลต่อค่าความดันลดในท่อทั้ง 3 ขนาด และในการทดลอง Moradia et al. (2019) สำหรับการไหลท่อขดเกลียวที่มีขนาดกะทัดรัดและมีการไหลแบบสองสถานะ มีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนได้ดีการไหลของอากาศสองสถานะสามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้และด้วยลักษณะของท่อขดเกลียวที่มีขนาดเล็ก กะทัดรัด มีน้ำหนักเบา (Zhu et al. 2017) ก็มีการเพิ่มขึ้นของเลขค่า Dean number ที่ผิวของอากาศมีการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและการสร้างเอนโทรปีเพิ่มขึ้นสูงสุด จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีขนาดเล็ก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเชิงทดลองของการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวขนาดเล็ก โดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนทั้งในแนวตั้งและแนวนอน โดยใช้ท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1 มิลลิเมตร มาใช้ในการวิจัยเพื่อให้ทราบข้อมูลที่สามารถนำไปใช้หาข้อสรุปได้ เนื่องจากข้อมูลการศึกษาเกี่ยวกับการไหลในท่อที่มีลักษณะเป็นขดเกลียวยังมีน้อยอีกทั้งข้อมูลต่างๆยังไม่มีชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของปฏิญญานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะรูปแบบการไหล และความดันลดในช่องทางการไหลแบบสองสถานะ (Two-phase flow pressure drop) ในท่อขดเกลียวโดยไม่มีการถ่ายเทความร้อน (Adiabatic two-phase flow in helical coil) โดยการปรับทิศทางการไหล 3 ทิศทาง คือ การไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบน การไหลในแนวตั้งจากบนลงล่าง และการไหลในแนวนอน

1.3 ขอบเขตของปฏิญญานิพนธ์

- 1.3.1 ใช้ท่อเทพล่อน (Teflon tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร
- 1.3.2 เส้นผ่านศูนย์กลางของขดเกลียว 50 มิลลิเมตร ระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตร
- 1.3.3 ความยาวของท่อเทพล่อน ทั้งหมด 850 มิลลิเมตร
- 1.3.4 เป็นการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวโดยไม่มีการให้ความร้อนในแนวนอนและแนวตั้งโดยไหลจากล่างขึ้นบนและบนลงล่าง
- 1.3.5 มุมเกลียวของท่อเทพล่อนเท่ากับ 10 องศา

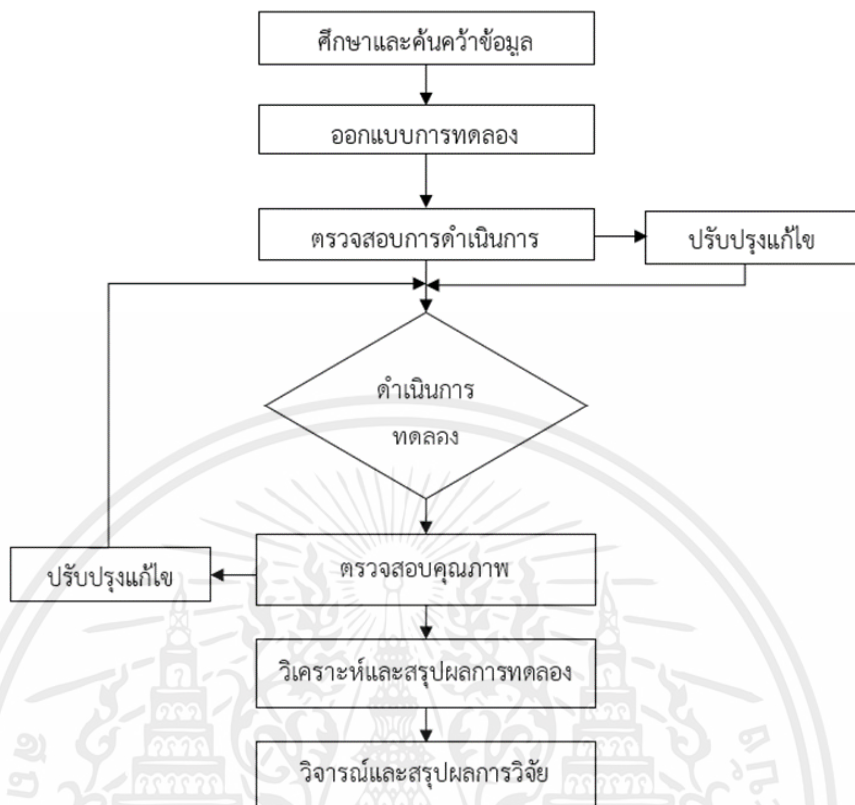
1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อรูปแบบการไหล,แผนผังที่รูปแบบการไหล (Flow visualization) และความดันลด (Pressure drop) ในการไหลแบบสองสถานะ
2. สามารถจำแนกรูปแบบการไหลและลักษณะของรูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวโดยไม่มีการให้ความร้อน (Adiabatic two-phase flow in helical coil) ในแนวตั้งและแนวนอน
3. สามารถนำความรู้ที่ได้มาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถของระบบระบายความร้อนในการทำงานของอุปกรณ์ทางวิศวกรรม

1.5 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการศึกษา

เป็นการนำทฤษฎีความดันลดในช่องทางการไหลแบบสองสถานะ (Two-phase flow pressure drop) มาใช้ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์การทดลองเพื่อใช้ในการศึกษารูปแบบการไหล แผนผังที่รูปแบบการไหล และความดันลดเกิดขึ้นในการไหลแบบสองสถานะ

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานการทดลองและวิเคราะห์การไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวขนาดเล็กโดยไม่มี การให้ความร้อนในแนวตั้งและแนวนอน

1.7 แผนดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงการดำเนินงานของการศึกษาการทดลองการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียว โดยไม่มี การให้ความร้อนในแนวตั้ง

หัวข้อ	ปี2564					ปี2565				
	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. ตรวจสอบอุปกรณ์				←→						
4. ทดลองและรวบรวมผล						←→				
5. วิเคราะห์ผล							←→			
6. สรุปผล								←→		

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รูปแบบการไหลแบบสองสถานะ (Two-phase flow)

การไหลแบบสองสถานะ (Two-phase) คือ การไหลของสสาร 2 ชนิด ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่าง แก๊สกับของเหลว แก๊สกับของแข็ง ของเหลวกับของแข็ง หรือของแข็งกับแก๊ส โดยการไหลของสสารที่มีสถานะต่างกันแต่ไหลไปพร้อมกันสามารถพบได้ทั่วไป สำหรับการไหลแบบสองสถานะสามารถจำแนกได้คือ

1. การไหลแบบสองสถานะของของเหลวและแก๊ส เป็นการไหลแบบผสมกันของของเหลวและแก๊สหรืออาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะของของเหลว เช่น การระเหยและการควบแน่นภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน.
2. การไหลแบบสองสถานะของของแข็งและแก๊ส เช่น การพ่นทราย
3. การไหลแบบสองสถานะของของเหลวและของเหลว เป็นการไหลแบบผสมกันระหว่างของเหลวและของเหลวที่มีความหนาแน่นต่างกันทำให้ของเหลวทั้ง 2 ชนิดไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น การไหลของน้ำและน้ำมันในท่อ
4. การไหลแบบสองสถานะของของแข็งและของเหลวเป็นการไหลผสมกันของของแข็งและของเหลวซึ่งของเหลวจะทำหน้าที่รองรับและนำพาของแข็งเคลื่อนที่ไปด้วย เช่น การไหลของตะกอนในแม่น้ำ



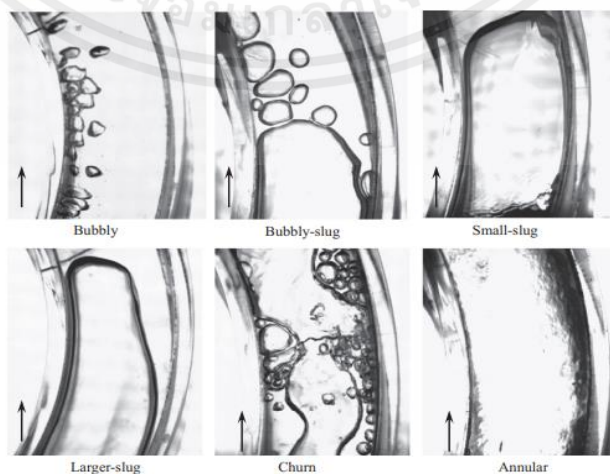
รูปที่ 2.1 รูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียว (Zhu et al. 2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากการจำแนกการไหลแบบสองสถานะข้างต้น การไหลแบบสองสถานะของของเหลวและแก๊สนับว่าเป็นการไหลที่มีรูปแบบซับซ้อนมากที่สุด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพื้นผิวสัมผัสระหว่างของไหลทั้งสองเฟสเกิดขึ้นตลอดเวลา สำหรับรูปแบบการไหลในท่อได้มีการจัดกลุ่มของความเป็นไปได้ที่จะเกิดรูปแบบการไหลชนิดต่างๆไว้เพื่อความสะดวกในการศึกษาและการจำแนกพฤติกรรมของการไหล โดยตัวอย่างรูปแบบการไหลในท่อขนาดเล็กที่มีทิศทางการไหลขึ้นในแนวตั้งเมื่อเพิ่มความเร็วให้อัตราการไหลของแก๊สมากขึ้น จะมีลักษณะการไหลดังรูปที่ 2.1 และ 2.2

จากข้อมูลงานวิจัยของ Wongwises (2012) สามารถสรุปรูปแบบการไหลแบบสองเฟสระหว่างแก๊สและของเหลว ได้ 6 รูปแบบ คือ

1. Bubbly flow มีลักษณะการไหลเป็นฟองแก๊สขนาดเล็กไหลอยู่ค่อนไปทางส่วนบนของท่อเนื่องจากฟองก๊าซมีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลวจึงลอยตัวขึ้น
2. Plug flow เกิดจากการรวมตัวกันของฟองแก๊สขนาดเล็กหลายๆลูกของ Bubbly flow ทำให้เกิดเป็นฟองแก๊สที่มีขนาดใหญ่และยาวขึ้น
3. Stratified Flow มีลักษณะของเหลวและแก๊สแยกชั้นกัน โดยก๊าซจะอยู่บน และของเหลวอยู่ล่าง โดยผิวสัมผัสของของไหลทั้งสองจะราบเรียบ
4. Wavy flow มีลักษณะของเหลวและแก๊สแยกชั้นกัน โดยแก๊สจะอยู่บน และของเหลว จะอยู่ล่าง โดยผิวสัมผัสของของไหลทั้งสองจะเป็นคลื่น
5. Slug flow เกิดเมื่อคลื่นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างชั้นของแก๊สและของเหลวใน Wavy flow เกิดสูงขึ้นจนยอดคลื่นถึงผนังด้านบนของท่อ
6. Annular flow เป็นลักษณะของเหลวไหลเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์ม ของของเหลวด้านล่างจะหนากว่าชั้นบน และอาจมีละอองของของเหลวเคลื่อนที่กระจาย อยู่ในแก๊สซึ่งเคลื่อนที่อยู่บริเวณแกนกลางของท่อ

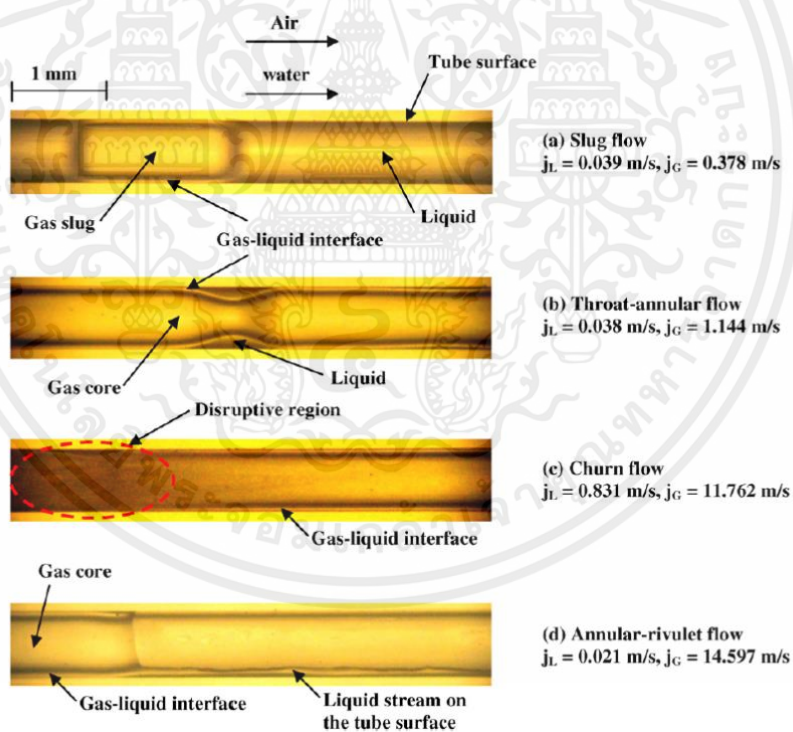


รูปที่ 2.2 รูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง (Liu et al. 2015)

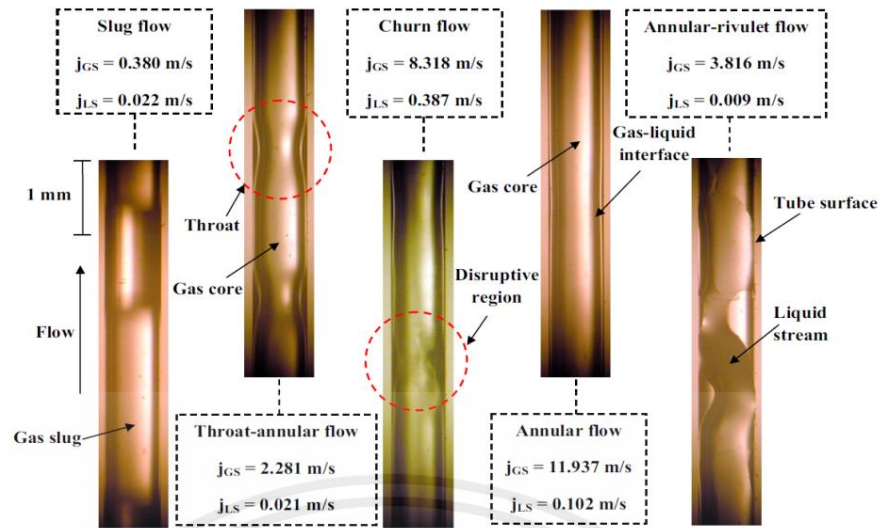
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยของ Saisorn and Wongwises (2008) ซึ่งทำการทดลองในลักษณะเดียวกันแต่เป็นการไหลทิศทางไหลในแนวระดับ โดยพบว่ารูปแบบการไหลในกรณีของการไหลขึ้นในแนวตั้งและการไหลในแนวระดับมีลักษณะที่คล้ายกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 พบว่าแต่ละสถานะเงื่อนไขของการทดลองเกิดรูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์และสังเกตรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นพบว่ามีรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้น 5 รูปแบบ ได้แก่ การไหลแบบ Slug flow, Throat-annular flow, Churn flow และการไหลแบบ Annular-rivulet flow

นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบข้อมูลของรูปแบบการไหลที่ได้จากการทดลองกับข้อมูลของการทดลองของ Saisorn and Wongwises (2015) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของการไหลแบบสองสถานะระหว่างอากาศกับน้ำภายในท่อไมโครเซนแนล ในทิศทางการไหลขึ้นในแนวตั้ง แต่มีความแตกต่างกันในบางประการอาจเกิดขึ้นอาจเป็นอิทธิพลของของทิศทางการไหลส่งผลให้เส้นรอยต่อระหว่างเฟส (Gas-liquid interface) และที่สภาวะเงื่อนไขของการทดลองเดียวกัน จะพบการไหลแบบ Annular flow เฉพาะในกรณีของการไหลขึ้นในแนวตั้งเท่านั้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 รูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อไมโครเซนแนลในทิศทางการไหลในแนวระดับ (Saisorn and Wongwises. 2008)



รูปที่ 2.4 รูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อไมโครแชนแนลในทิศทางการไหลขึ้นในแนวตั้ง
(Saisorn and Wongwises. 2015)

จากการศึกษาวิจัยส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการไหลในช่องทางการไหลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก เพื่อศึกษารูปแบบลักษณะการไหล ค่าความดันลดในช่องทางการไหลรวมทั้งใช้เปรียบเทียบกับแผนที่การไหลของช่องทางการไหลที่มีขนาดทั่วไปซึ่งรูปแบบการไหลที่พบในช่องทางการไหลที่มีขนาดเล็กมากจะมีหลักๆ 6 รูปแบบดังนี้

1. การไหลแบบ Bubbly flow จะมีลักษณะเป็นฟองอากาศ (Bubble) ขนาดเล็กไหลอย่างต่อเนื่อง และกระจายตัวอยู่บริเวณส่วนบนของท่อ อาจจะมีขนาดของฟองไม่เท่ากัน อันเนื่องจากผลกระทบของแรงลอยตัวกับฟองอากาศที่มีความหนาแน่นน้อย

2. การไหลแบบ Plug flow รูปแบบการไหลนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการไหลของของเหลวและแก๊สต่ำตัวฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการรวมตัวกันของฟองแก๊สที่มีขนาดเล็กๆจาก Bubbly flow กลายเป็นฟองแก๊สที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อและยึดขึ้น ซึ่งถ้าหากเราเพิ่มอัตราการไหลของของเหลวและแก๊สมากขึ้นจะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กบริเวณรอบข้างและหัวของฟองขนาดใหญ่จะเริ่มมีลักษณะที่แหลมขึ้นก่อนที่จะพัฒนาการเป็น Slug flow

3. การไหลแบบ Slug flow จะมีการรวมตัวกันของฟองอากาศ ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) จะมีฟิล์มของของเหลวเคลือบที่ไปตามผนังของท่อล้อมรอบฟองอากาศ และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่

4. การไหลแบบ Throat-annular flow ซึ่งพัฒนามาจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) จะสังเกตได้ชัดว่าเมื่อความเร็วของเฟสอากาศ ไหลเร็วขึ้นทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหล

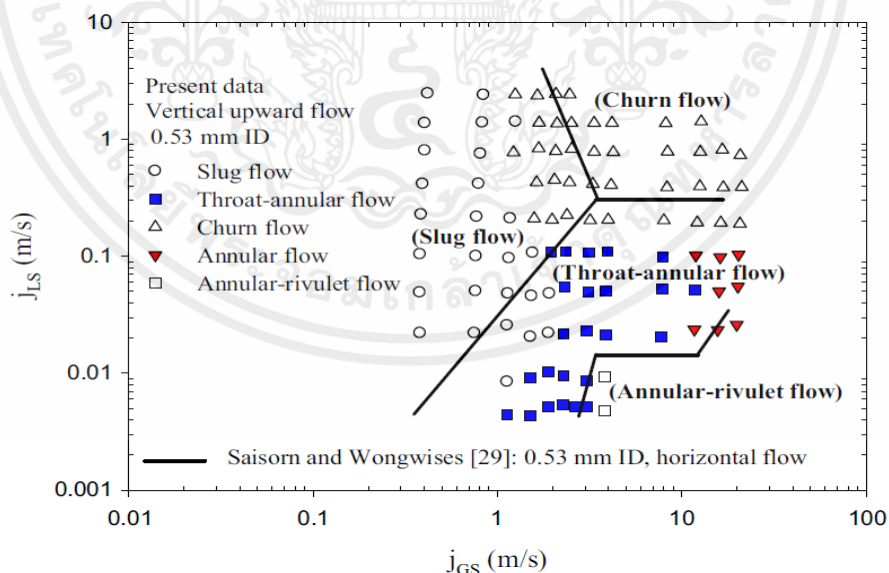
มาชนกันอย่างต่อเนื่อง ระหว่างรอยชนของฟองอากาศจะมีลักษณะเป็นคอคอด (throat) และมีลักษณะเป็นแกนแก๊สจะมีฟิล์มของของเหลวเคลื่อนที่ไปตามผนังของท่อล้อมรอบฟองอากาศอยู่

5. การไหลแบบ Churn flow จะมีลักษณะการไหลที่เกิดจากการแตกตัวของฟองอากาศของการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่ออัตราการไหลของเหลวและแก๊สสูงขึ้น จนทำฟองอากาศเกิดการแตก เกิดลักษณะการไหลแบบปั่นป่วนอยู่บริเวณกลางท่อ และถูกล้อมรอบด้วยของเหลว

6. การไหลแบบ Annular flow จะมีลักษณะการไหลของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลาง ต่อเนื่องกันตามความยาวท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มด้านล่างจะหนากว่าชั้น และอากาศจะไหลอยู่บริเวณแกนกลางของท่อ โดยอาจจะมีการไหลบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

2.2 แผนที่แสดงรูปแบบการไหล (Flow regime map)

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ลักษณะรูปแบบการไหลต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในช่องทางการไหลแล้วจึงนิยมนำเสนอในรูปแบบของแผนที่รูปแบบการไหล (Flow regime map) โดยใช้แผนภูมิรูปแบบการไหลที่ถูกสร้างขึ้นมาจากข้อมูลที่ได้จากทดลอง มานำเสนอในเทอมของพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น รูปที่ 2.3 เป็นตัวอย่างแผนภูมิแสดงรูปแบบการไหลซึ่งถูกนำเสนอในเทอมของความเร็วเฟสของอากาศ (Superficial gas velocity, j_G) และความเร็วเฟสของน้ำ (Superficial liquid velocity, j_L) ดังนี้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแผนที่แสดงรูปแบบการไหลในท่อกลมขนาด 0.53 มิลลิเมตร
Saisorn and Wongwises (2015)

2.3 ความดันลด (Pressure drop)

สำหรับความดันลดในช่องทางการไหลแบบสองสถานะ (Two-phase flow pressure drop) แบบจำลองที่เหมาะสมแก่การทำนายค่าความดันลดในการไหลแบบสองเฟสมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบจำลอง

2.3.1 แบบจำลองการไหลแบบเนื้อเดียว (Homogeneous flow model) แบบจำลองนี้คือการไหลในแต่ละสถานะรวมกันเป็นเนื้อเดียวโดยเหมาะกับการไหลที่มีการไหลแบบสองเฟสที่ไม่สม่ำเสมอ

2.3.2 แบบจำลองการไหลแบบแยกส่วน (Separated flow model) แบบจำลองนี้คือแบบจำลองที่การไหลทั้งสองเฟสไม่ได้รวมกันเป็นเนื้อเดียวและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ความดันลดที่เกิดขึ้นจะถือว่ามีความคงตัวและเหมาะกับการไหลแบบ Stratified flow และ Annular flow

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

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

จากงานวิจัยของ Saisorn and Wongwises (2008) ซึ่งเป็นการทดลองในท่อตรง พบว่าค่าของแรงดันตกคร่อม (Accelerational pressure drop acceleration $\Delta P_{\text{acceleration}}$) และค่าของความดันลดที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง (Gravitation pressure drop) มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่ในงานนี้เป็นการทดลองในท่อขดเกลียวดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

โดย

$$\Delta P_{\text{exp}} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}} \quad (2.2)$$

เมื่อ P_{in} คือ ความดันที่วัดบริเวณทางเข้าของ Test section มีหน่วยเป็นกิโลปาสกาล (kPa)

P_{out} คือ ความดันที่วัดบริเวณทางออกของ Test section มีหน่วยเป็นกิโลปาสกาล (kPa)

เนื่องจากค่าความดันที่วัดบริเวณทางเข้าของ Test section (P_{in}) ที่อ่านได้จากตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator) มีหน่วยเป็นมิลิแอมแปร์ (mA) จึงต้องทำการแปลงค่าให้เป็นบาร์ (bar) คำนวณได้จาก

สมการเส้นตรง

$$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{Y - Y_1}{X - X_1} \quad (2.3)$$

$$Y = \frac{(Y_2 - Y_1)(X - X_1)}{(X_2 - X_1)} + Y_1 \quad (2.4)$$

- เมื่อ
- X คือ ค่าความดันที่อ่านจากตัวรับสัญญาณความดัน มีหน่วยเป็น มิลลิแอมแปร์ (mA)
 - X₁ คือ ค่าความดันเริ่มต้นของตัวรับสัญญาณความดัน มีหน่วยเป็น มิลลิแอมแปร์ (mA)
 - X₂ คือ ค่าความดันสูงสุดของตัวรับสัญญาณความดัน มีหน่วยเป็น มิลลิแอมแปร์ (mA)
 - Y คือ ผลลัพธ์ของค่าความดันที่แปลงค่ามีหน่วยเป็นบาร์ (bar)
 - Y₁ คือ ค่าความดันเริ่มต้นของช่วงค่าความดันที่ใช้มีหน่วยเป็นบาร์ (bar)
 - Y₂ คือ ค่าความดันสูงสุดของช่วงค่าความดันที่ใช้มีหน่วยเป็นบาร์ (bar)

จากการทดลองมีช่วงการทดลองสองช่วงคือ 0-4 bar และ 0-10 bar ในการคำนวณควรใช้ค่าให้สอดคล้องกับค่าที่ปรับในการทดลอง

หากใช้ช่วง 0-4 bar จะใช้สมการ

$$Y = \frac{(4\text{bar}-0\text{bar})(X - 4\text{mA})}{(20\text{mA}-4\text{mA})} + 0\text{bar} \quad (2.5)$$

หากใช้ช่วง 0-10 bar จะใช้สมการ

$$Y = \frac{(10\text{bar}-0\text{bar})(X - 4\text{mA})}{(20\text{mA}-4\text{mA})} + 0\text{bar} \quad (2.6)$$

2.4 ความเร็วเฟสของของเหลวและความเร็วเฟสของแก๊ส

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

$$j_{LS} = \frac{Q_L}{A} \quad (2.8)$$

$$j_{GS} = \frac{Q_G}{A} \quad (2.9)$$

2.5 อัตราการไหล

อัตราการไหล (Flow Rate) คือ ปริมาณการเคลื่อนย้ายของเหลวจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งในช่วงเวลาใด ๆ มีหน่วยเป็นปริมาตรต่อเวลา เช่น ลิตร/วินาที, ลบ.ม./ชม. เป็นต้น การไหลก่อให้เกิดแรงเสียดทานในเส้นท่อ และการไหลมีความสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่หน้าตัดและความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume Flow Rate) : Q มีสมการทั่วไปดังนี้

$$Q = AV \quad (2.10)$$

- เมื่อ
- A คือ พื้นที่หน้าตัดการไหล (m^2)
 - V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (m/s)
 - Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)

2.5.2 อัตราการไหลเชิงน้ำหนัก (Weight Flow Rate) : Q_w มีสมการทั่วไปดังนี้

$$Q_w = \gamma Q \quad (2.11)$$

- เมื่อ γ คือ น้ำหนักจำเพาะของของไหล

2.5.3 อัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate) : Q_m มีสมการทั่วไปดังนี้

$$Q_m = \rho Q = \rho AV \quad (2.12)$$

2.5.4 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊ส (Volumetric flow rate of gas) ที่บริเวณตำแหน่งต่างๆของท่อขดเกลียว

$$Q_m = Q_{\text{view}} = \frac{P_{\text{atm}} Q_{\text{STP}}}{\left[P_{\text{in}} - (P_{\text{in}} - P_{\text{atm}}) \frac{L_{\text{view}}}{L} \right]} \quad (2.13)$$

เนื่องจากอัตราไหลที่ปรับจากโรตاميเตอร์จำเป็นต้องมีการปรับเทียบค่าก่อนนำมาใช้ซึ่งอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ปรับเทียบค่าแล้วหาได้จากสมการดังนี้

$$Q_{\text{STP}} = Q_{\text{reading}} \times \sqrt{\frac{P_{\text{reading}}}{P_{\text{STP}}} \times \frac{T_{\text{STP}}}{T_{\text{reading}}}} \quad (2.14)$$

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

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการไหลที่สภาวะมาตรฐาน (Q_{STP})

การแปลงหน่วยอัตราการไหลของอากาศในการเก็บตัวอย่าง ($Q_{reading}$) ให้มีหน่วยเป็น m^3/s

(กำหนด $Q_{AIR} = 100 \text{ cc/min}$)

$$\frac{(Q_{air} \text{ (cc/min)})}{(60 \times 100)} = \frac{100}{(60 \times 1000)} = 1.6667 m^3/s \quad (2.15)$$

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

กำหนด

$$P_{read} = 7.67 \text{ bar}$$

$$P_{STP} = 1.0132 \text{ bar}$$

$$T_{STP} = 298 \text{ K}$$

$$T_{reading} \text{ ที่อุณหภูมิห้อง } 27 \text{ องศาเซลเซียส} = 300.15 \text{ K}$$

จะได้

$$Q_{STP} = 1.6667 \times \sqrt{\frac{7.67}{1.0132} \times \frac{298}{300.15}} = 4.5693 m^3/s \quad (2.16)$$

2.5.5 อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate) คือ ปริมาตรของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่ตัดขวางของ Flow tube ในหนึ่งหน่วยเวลา

$$\frac{dV}{dt} = AV \quad (2.17)$$

เราอาจวัดอัตราการไหลของของไหลโดยใช้อัตราการไหลเชิงมวล (Mass flow rate) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อวินาที (kg/s) เราอาจวัดอัตราการไหลของของไหลโดยใช้อัตราการไหลเชิงมวล ซึ่งหมายถึงมวลของของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดหนึ่งใน Flow tube ในหนึ่งหน่วยเวลา เราสามารถคำนวณได้โดย ρ ด้วยความหนาแน่นของของไหล

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

2.5.6 ตัวอย่างการคำนวณอัตราการไหลเชิงมวล

กำหนด น้ำที่ได้จากการชั่งน้ำหนัก 8.0608 กรัมต่อวินาที แปลงหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อวินาที จะได้

0.000134 กิโลกรัมต่อวินาที

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

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

จะได้อัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ

$$\rho AV = 996.5 \times 1.3823 \times 0.00013 = 0.1792 \text{ m}^3/\text{s} \quad (2.19)$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Saisorn and Wongwises (2008) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการไหลและหาความสัมพันธ์ของค่าความดันลดในท่อขนาด 0.53 มิลลิเมตร ความยาว 320 มิลลิเมตร ตัวท่อทำจากซิลิกา (Silica) ใช้ความเร็วของน้ำอยู่ที่ 0.37-16 เมตรต่อวินาที และความเร็วของอากาศอยู่ที่ 0.005-0.53 m/s ทิศทางการไหลอยู่ในแนวนอนและเป็นการไหลแบบสองสถานะ (Two-phase flow) เมื่อทำการทดลองโดยการถ่ายรูปที่ Test section โดยใช้กล้องดิจิทัล (Stereo zoom microscope) จะพบรูปแบบการไหลหลากหลายแบบ แต่โดยส่วนมากจะพบรูปแบบ การไหลแบบ Slug flow, การไหลแบบ Throat-annular flow, การไหลแบบ Churn flow, การไหลแบบ Annular-rivulet flow และ การไหลแบบ Annular flow

Benjawun et al. (2015) ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของขนาดท่อและทิศทางการวางตัวของท่อที่มีต่อคุณลักษณะรูปแบบการไหลการถ่ายเทความร้อนและความดันลดของการไหลสองสถานะอากาศและน้ำภายใต้สภาวะการให้ความร้อนแต่ไม่เกิดการเดือด (Non-boiling two-phase flow) และมีฟลักซ์ความร้อนคงที่ในการทดลองนี้ใช้ท่อไมโครแชนแนล (Micro channel) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1 มิลลิเมตรและมีการปรับทิศทางการไหล 3 ทิศทางการไหลคือ การไหลในแนวระดับ การไหลขึ้นในแนวตั้ง และการไหลลงในแนวตั้งพบว่า การวางตัวของท่อในแนวตั้งให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดในส่วนของความดันลดพบว่าเมื่อขนาดท่อเล็กลงทำให้ความดันลดสูงขึ้นในส่วนของการวางตัวของท่อต่อค่าความดันลดพบว่า การวางตัวของท่อไม่ส่งผลต่อค่าความดันลดในท่อทั้ง 3 ขนาดในการทดลองซึ่งจากการสำรวจเอกสารพบว่าโดยส่วนใหญ่ นักวิจัยส่วนใหม่จะมุ่งเน้นไปในด้านมีการศึกษาการไหลแบบสองสถานะในท่อตรงเล็กในสภาวะที่เป็น adiabatic และแบบที่มีการเดือดขณะไหล (flow boiling) และในส่วนที่เป็นท่อขดเกลียวจากการสำรวจเอกสารนั้นพบเห็นเพียงการไหลแบบ

Hardik et al. (2015) ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนในท่อขดเกลียวในการไหลแบบสถานะเดียวของน้ำ ในการทดสอบทำจากสแตนเลสผนังบางเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเป็น 5.4 ถึง 7.5 มม. และความหนาของท่อ 0.2 ถึง 0.25 มม. อัตราส่วนระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของขดลวด และเส้นผ่าศูนย์กลางของท่ออยู่ระหว่าง 13.1 , 20, 27.8 , 45.6, และ 67 จำนวนเรย์โนลด์จะแตกต่างกันระหว่าง 300 - 19,000 การกระจายอุณหภูมิสังเกตได้จากการถ่ายภาพความร้อนด้วยอินฟราเรด จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าค่าความดันลดลงในท่อขดเกลียวมีการไหลแบบราบเรียบและปั่นป่วนขึ้นอยู่กับอัตราส่วนโค้งท่อขดเกลียว การไหลแบบราบเรียบและปั่นป่วนเกิดขึ้นในท่อขดเกลียวมากกว่าท่อตรง

Saisorn and Wongwises (2015) ได้นำเสนอเรื่อง Adiabatic two-phase gas-liquid flow behaviors during upward flow in a vertical circular micro-channel โดยทดลองเกี่ยวกับรูปแบบการไหล Void fraction และค่าของความดันลด (Pressure drop) โดยใช้ท่อตรงแนวตั้งขนาด 0.53 มิลลิเมตรความยาวของท่อตรง 320 มิลลิเมตรและตัวท่อทำจากซิลิกา (Silica) ใช้ความเร็วของน้ำอยู่ที่ 0.37 - 16 เมตรต่อวินาทีและความเร็วของอากาศอยู่ที่ 0.005 - 0.53 เมตรต่อวินาทีทิศทางการไหลอยู่ในแนวตั้งและไหลแบบสองสถานะอากาศและน้ำ (Two-phase flow) ในการสังเกตการทดลองพบว่า มีหลายรูปแบบการไหล อาทิ การไหลแบบ Throat-annular flow , การไหลแบบ Annular-rivulet flow และ การไหลแบบ Churn flow ซึ่งพบว่าการใช้ท่อในแนวตั้งนี้ทำให้ค่าของ Void fraction ต่ำกว่าแนวนอนซึ่งเป็นผลการทดลองก่อนหน้านี้

Zhu et al. (2017) ได้นำเสนอเรื่อง Flow regime identification for upward two-phase flow in helically coiled tubes เป็นการทดลองของท่อขดเกลียวที่มี 25 มิลลิเมตร ความยาวของท่อทดลองยาว 4.0 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของขดเกลียว 0.4 เมตร ระยะห่างระหว่างท่อ 8.0 เซนติเมตร เป็นการไหลแบบสองสถานะ (Two-phase flow) ไหลด้วยความเร็วจำเพาะของน้ำเท่ากับ 0.08 เมตรต่อวินาที และความเร็วจำเพาะของอากาศ 12.13 เมตรต่อวินาที มีทิศทางการไหลของสารทำงานไหลขึ้นในแนวตั้งและมีอุปกรณ์ที่สำคัญในการทดลอง เช่น เซนเซอร์ตรวจจับความร้อน (Double-sensor conductivity probe) และกล้องจับภาพความเร็วสูง(High speed camera) การทดลองนี้ทำขึ้นเพื่อหาความสัมพันธ์ใหม่ของการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer efficiency) และวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของสารทำงานในท่อนำมาเปรียบเทียบกับท่อในแนวนอนซึ่งเป็นผลการทดลองก่อนหน้านี้

Liu et al. (2019) ได้นำเสนอเรื่อง Recognition of gas-liquid flow regimes in helically coiled tube using wire-mesh sensor and KNN algorithm. โดยศึกษาเกี่ยวกับท่อที่ขดเป็นเกลียว HCT ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดกระจัด โดยอิงจากการเอกซเรย์ภาพถ่ายแบล็คไลต์และสื่อเซอร์รูดตะขาคายที่ออกแบบเองและได้ดำเนินการทดลองอากาศและน้ำเพื่อศึกษาลักษณะการไหลของก๊าซและของเหลวภายใน HCT แบบโปร่งใส จากการทดลองสังเกตพบรูปแบบการไหลแบบ Bubble flow , Slug flow , Plug flow , Wavy flow and Annular flow ทั้งนี้ พบ Void fraction ที่บริเวณหน้าตัดของท่อจะถูกวัดและวิเคราะห์โดยใช้พารามิเตอร์ทางสถิติของการติดตาม

เวลา เนื่องจากมีความสะดวกในการใช้งานอีกทั้งข้อมูล Void fraction จะถูกนำมาใช้ในภายหลังพร้อมกับอัลกอริทึม k-Nearest Neighbors หรือ อัลกอริทึม KNN เพื่อระบุรูปแบบการไหล อย่างเป็นกลาง และนอกจากนี้มีการเสนอแผนผังรูปแบบการไหลและการเปรียบเทียบกับแผนผังการไหลแบบตรงและแผนที่ HCT ดังนั้นอิทธิพลของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เหนียวทำให้เกิดความโค้ง และการไหลทุติยภูมิต่อการกระจายเฟสและการเปลี่ยนแปลงสภาวะการไหล

Moradia et al. (2019) ได้นำเสนอเรื่อง Experimental investigation on the thermal and entropic behavior of a vertical helical tube with none-boiling upward air-water two-phase flow โดยศึกษาและทดลองเกี่ยวกับท่อขดเกลียวที่มีขนาดกะทัดรัดและมีการไหลแบบสองสถานะ พบว่ามีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนได้ดี โดยการประยุกต์ใช้การไหลสองสถานะในท่อขดเกลียว ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวของเอนโทรปี การศึกษานี้ให้ผลการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อเกลียวแนวตั้งที่มีการไหลสองสถานะแบบไม่เดือด ท่อเกลียวถูกวางภายใต้ปลั๊กความร้อนคงที่ที่ทางเข้า, ทางออก, ผนัง และอุณหภูมิแวดล้อมของท่อเกลียวถูกวัดเพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการสร้างเอนโทรปีที่ผิวหน้ามีค่า Dean number (De_s) อยู่ระหว่าง 1,000 ถึง 4800 นอกจากนี้ที่ผิวของแก๊ส (อากาศ) มีค่า Dean number (De_g) 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

Zhu et al. (2019) ได้นำเสนอเรื่อง Intermittent gas-liquid two-phase flow in helically coiled tubes โดยศึกษาและทดลองเกี่ยวกับการไหลของอากาศ-น้ำเป็นช่วงๆ ในท่อขดเกลียว แบบเกลียวสี่ขดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.016 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 0.24 , 0.43 และ 0.80 เมตร และมุมเอียง 5 องศาและ 15 องศา ใช้หัววัดค่าการนำไฟฟ้าแบบคู่เพื่อวัดพารามิเตอร์อุทกพลศาสตร์ 48 จุดในส่วน ตัดขวางของทางออก ผลการวิจัยพบว่าแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและ Dean Vortices เป็นกลไกหลักที่มี อิทธิพลต่อการกระจายช่องว่างความยาวฟองอากาศที่ยาวขึ้น ความยาวฟองอากาศ และความถี่ ฟองอากาศ เนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและสัดส่วนช่องว่างหมุนมุมที่เข้าใกล้ 90 องศา เมื่อความเร็วผิว เฉินของของเหลวเพิ่มขึ้นและเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดลดลง เนื่องจาก Dean Vortices ความยาว ฟองอากาศที่ยาวขึ้นและความยาวกระสุนลดลงเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อขดเกลียวลดลงส่งผลให้ ความถี่ฟองอากาศเพิ่มขึ้น ได้เสนอพารามิเตอร์ไร้มิติ Z ที่แสดงอัตราส่วนของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางต่อ แรงโน้มถ่วง ซึ่งเป็นเกณฑ์เชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณในการประเมินอิทธิพลของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ความสัมพันธ์ 14 ระหว่างมุมเบี่ยงเบน ความยาวฟองอากาศที่ยาวขึ้น และความถี่ของฟองอากาศถูกสร้างขึ้น ซึ่งสอดคล้อง กับข้อมูลการทดลองอย่างดีเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของขดเกลียวอยู่ระหว่าง 0.24 ถึง 0.80 เมตร และมุมเอียงระหว่าง 5 องศา ถึง 15 องศา นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอแบบจำลองดริฟท์พลักซ์สำหรับ HCTs

Ferraris and Marcel (2020) ได้นำเสนอเรื่อง Two-phase flow frictional pressure drop prediction in helical coiled tubes เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความดันลดแรงเสียดทานในท่อขดเกลียวสำหรับการไหลแบบสถานะเดียวและการไหลแบบสองสถานะของไอน้ำ เพื่อให้มีเครื่องมือคาดการณ์ที่เชื่อถือได้ ใช้งานง่ายสำหรับหาแรงดันตกคร่อมในท่อเกลียวรวมถึงการทำงานสำหรับการออกแบบและการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบครึ่งเดียวผ่านท่อขดเกลียวเช่นเดียวกับที่ใช้ในโมดูลาร์ขั้นสูงขนาดเล็กของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ฐานข้อมูลการไหลแบบสถานะเดียวมีข้อมูลประมาณ 2,000 จุดจากแหล่งต่างๆ 14 ที่วัดด้วยอากาศและน้ำสำหรับการไหลอย่างง่าย สรุปว่า ความแตกต่างเฉลี่ยระหว่างข้อมูลการทดลองกับความสัมพันธ์ของ Ito คือ 3.75% สำหรับการไหลแบบราบเรียบ และ 2.11% สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน ฐานข้อมูลการไหลสองสถานะถูกสร้างขึ้นจากเอกสาร เนื่องจากไม่พบความสัมพันธ์ที่มีอยู่ในการทำนายข้อมูลที่มีอยู่ได้สำเร็จ เป็นเครื่องมือใหม่ที่ใช้ในการทำนายสมมูลเฟสที่เป็นเนื้อเดียวกันคือเครื่องมือซึ่งเรียกว่าสหสัมพันธ์ FEMA มาบรรจบกับสหสัมพันธ์ Ito สำหรับการไหลแบบสถานะเดียว

Liu et al. (2022) ได้นำเสนอเรื่อง Recognition of gas-liquid flow regimes in helically coiled tube using wire-mesh sensor and KNN algorithm. โดยศึกษาเกี่ยวกับท่อที่ขดเป็นเกลียว HCT ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดกระจัด โดยอิงจากการเอกซเรย์ภาพถ่ายแบล็คไลต์และสื่อเซอร์รูดตะขาคายที่ออกแบบเองและได้ดำเนินการทดลองอากาศและน้ำเพื่อศึกษาลักษณะการไหลของก๊าซและของเหลวภายใน HCT แบบโปร่งใส จากการทดลองสังเกตพบรูปแบบการไหลแบบ bubble flow , slug flow , plug flow , wavy flow and annular flow ที่นี้ พบ Void fraction ที่บริเวณหน้าตัดของท่อจะถูกวัดและวิเคราะห์โดยใช้พารามิเตอร์ทางสถิติของการติดตามเวลา เนื่องจากมีความสะดวกในการใช้งานอีกทั้งข้อมูล Void fraction จะถูกนำมาใช้ในภายหลังพร้อมกับอัลกอริทึม k-Nearest Neighbors หรือ อัลกอริทึม KNN เพื่อระบุรูปแบบการไหลอย่างเป็นกลาง และนอกจากนี้มีการเสนอแผนผังรูปแบบการไหลและการเปรียบเทียบกับแผนผังการไหลแบบตรงและแผนที่ HCT ดังนั้นอิทธิพลของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เหนียวทำให้เกิดความโค้งและการไหลทุติยภูมิต่อการกระจายเฟสและการเปลี่ยนแปลงสภาวะการไหล

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 บั๊มดูดจ่ายสารแบบรีดท่อ (Peristaltic pump) ทำหน้าที่ดูดของเหลวจากถังน้ำเพื่อจ่ายไปยังบริเวณห้องผสม โดยบั๊มดูดจ่ายของเหลวแบบรีดท่อหรือ Peristaltic pump นี้ จะมี roller ที่อยู่บริเวณด้านหน้าของเครื่อง ทำหน้าหมุนกดท่อที่มีของเหลวอยู่ภายใน เมื่อ roller หมุนกดลงที่ท่อของเหลวจะเคลื่อนตัวโดยที่ท่อยังคงอยู่ที่เดิม จะเห็นได้ว่าของเหลวที่อยู่ภายในท่ออย่างไม่มี การสัมผัสกับตัว roller โดยตรงทำให้ของเหลวที่เคลื่อนที่ที่อยู่ภายในท่ออย่างไม่มี การปนเปื้อน แสดงดังรูปที่ 3.2

รายละเอียดอุปกรณ์

หน้าจอ LED สีน้ำเงิน ขนาด 32 นิ้ว

อัตราการไหล : 0.007 – 2280 มิลลิลิตรต่ออนาที

ความเร็วรอบ : 0.1 - 600 รอบต่อวินาที

ขนาดท่อที่รองรับ : 13 มิลลิเมตร, 14 มิลลิเมตร, 16 มิลลิเมตร, 17 มิลลิเมตร,

18 มิลลิเมตร, 19 มิลลิเมตรและ 25 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ป้อนดูดจ่ายสารแบบบริดท่อ (Peristaltic pump)

การติดตั้งท่อซิลิโคน

1. ทำการผลักคันโยกไปยังด้านซ้ายเพื่อให้ roller ที่ติดตั้งใน Pump head เปิดออก แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การผลักคันโยกเพื่อเปิด roller

2. จากนั้นเลือกขนาดของท่อซิลิโคนที่ต้องการ และทำการติดตั้งท่อซิลิโคน โดยสามารถเลือกขนาดของท่อใช้จากอัตราการใช้ที่ทำการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ทำการติดตั้งท่อซิลิโคน

รูปที่ 3.4 การติดตั้งท่อซิลิโคนตามขนาดที่ต้องการ

3. เมื่อติดตั้งท่อซิลิโคนเรียบร้อยแล้ว จึงผลักคันโยกไปยังด้านขวาเพื่อให้ roller ที่ติดตั้งบน Pump head ปิดลง เพื่อเป็นการล็อกท่อซิลิโคนไว้ แสดงดังรูปที่ 3.5



คันโยกเปิด - ปิด roller

รูปที่ 3.5 การผลักคันโยก เพื่อล็อกท่อซิลิโคน

4. ทำการตรวจสอบขนาดและชนิดของท่อที่หน้าจอ LED โดยขนาดและชนิดของท่อที่ทำการติดตั้งจะต้องตรงกับขนาดและชนิดท่อที่ปรากฏบนหน้าจอ LED แสดงดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การตรวจสอบขนาดของท่อที่ใช้งาน

5. ทำการต่อท่อซิลิโคนและท่อยางเพื่อส่งจ่ายน้ำจากถังน้ำกลั่นที่เตรียมไว้มาใช้ในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.7



ทำการต่อท่อยางลงในถังน้ำกลั่น

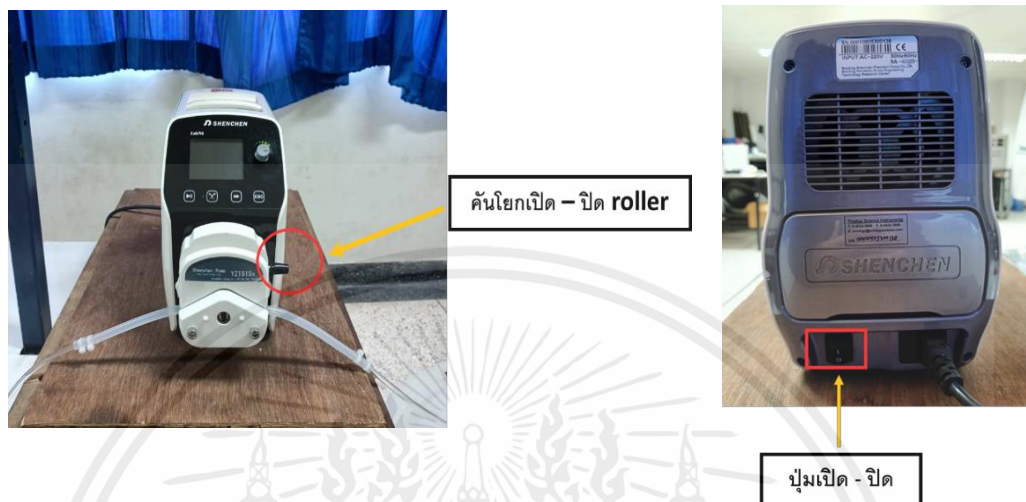
ทำการต่อท่อซิลิโคนกับท่อยาง

รูปที่ 3.7 การต่อท่อยางเพื่อส่งจ่ายน้ำจากถังน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

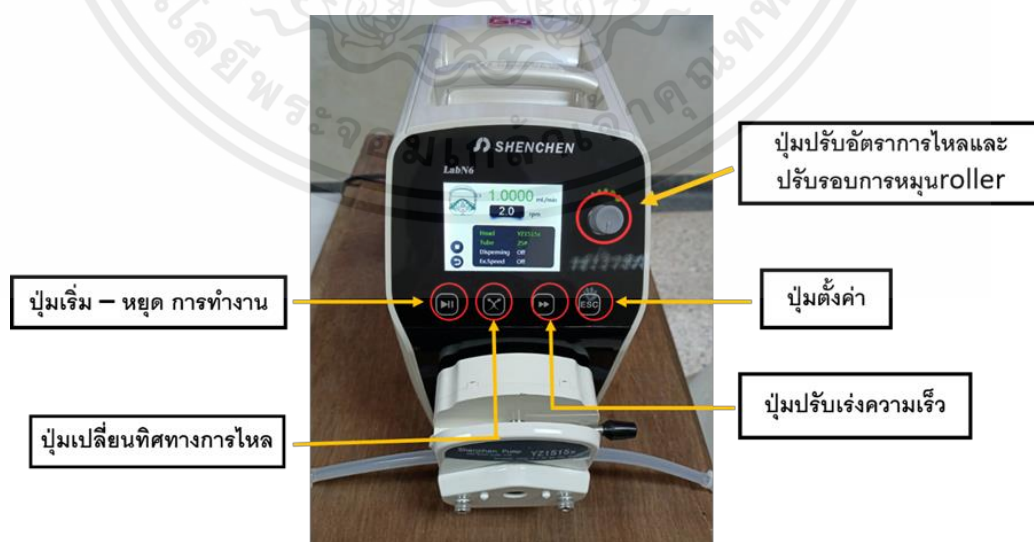
ขั้นตอนการใช้งาน

1. หลังจากทำการติดตั้งท่อซิลิโคนเข้ากับ Peristaltic pump เรียบร้อย จึงทำการกดปุ่มเปิดสวิตช์เครื่องที่บริเวณด้านหลังของเครื่อง Peristaltic pump แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การเปิดสวิตช์เครื่อง Peristaltic pump

2. ทำการหมุนปุ่มปรับอัตราการไหลของน้ำตามที่กำหนดไว้ในการทดลองหรือตามต้องการ จากนั้นทำการกดปุ่มเริ่มการทำงานของเครื่อง Peristaltic pump แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การปรับค่าอัตราการไหลของเครื่อง Peristaltic pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หากต้องการปรับรอบการหมุน roller ให้ทำการกดปุ่มตั้งค่า แล้วจึงดันปุ่มปรับอัตราการไหลจากนั้นทำการหมุนเพื่อปรับรอบการหมุน roller และหากมี ฟองแก๊สภายในท่อซิลิโคนหรือท่อยางให้ทำการกดปุ่มหยุดการทำงานจากนั้นทำการกดปุ่มปรับเร่งความเร็วจนกว่าฟองแก๊สที่อยู่ภายในท่อซิลิโคนหรือท่อยางเคลื่อนตัวมาด้านหน้าแล้วจึงทำการกดปุ่มเริ่มการทำงานอีกครั้ง ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.10 การปรับรอบการหมุน roller ของเครื่อง Peristaltic pump

4. ทำการตรวจสอบอัตราการไหล, อัตราการหมุนของrollerและชนิดของท่อที่หน้าจอ LED โดยขนาดและชนิดของท่อที่ทำการติดตั้งจะต้องตรงกับขนาดและชนิดท่อที่ปรากฏบนหน้าจอ LED แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.11 การกดปุ่มหยุดการทำงานของเครื่อง Peristaltic pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อทำการทดลองเสร็จ ให้ทำการกดปุ่มหยุดการทำงาน และทำการกดปุ่มปิดสวิทช์เครื่อง ที่บริเวณด้านหลังของเครื่อง Peristaltic pump แสดงดังรูปที่ 3.11

3.1.2 ถังน้ำ (Water tank) ทำหน้าที่บรรจุน้ำและพักน้ำเพื่อเตรียมใช้ในการทดลอง ซึ่งในการทดลองนี้ใช้น้ำกลั่นเป็นของเหลวในการทดลองเพื่อป้องกันการเกิดตะกอนภายในท่อไมโคร แชนแนล และถังน้ำจะต้องมีการปิดฝาถังอย่างมิดชิดเพื่อป้องกันการปนเปื้อน เมื่อน้ำกลั่นที่ใช้ในการทดลองหมดหรือต้องการเปลี่ยน สามารถติดต่อเจ้าหน้าที่ดูแลห้องปฏิบัติการแลบเคมี และสามารถนำถังเติมน้ำกลั่นไปเติมน้ำกลั่นได้ที่ ห้องปฏิบัติการแลบเคมีชั้น 2 อาคารเรียน B หรือติดต่อเจ้าหน้าที่ 087-044 2626 ฟีนารี ดั่งรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ถังน้ำ (Water tank)

3.1.3 เครื่องอัดอากาศหรือปั๊มลม (Air compressor) ทำหน้าที่อัดอากาศให้มีแรงดันสูงขึ้นแล้วทำการเก็บไว้ในถังลมเพื่อนำอากาศไปปล่อยเข้าสู่ระบบในการทดลองนี้จะใช้ปั๊มลมแบบลูกสูบ (Piston air compressor) ชนิดลูกสูบอัดชั้นเดียว (single stage) ความดัน 0–10 บาร์ ดังรูปที่ 3.13

รายละเอียดอุปกรณ์

รุ่น : TG-2 ใช้สายพาน, ระบายความร้อนด้วยอากาศ

ลูกสูบขนาด 1/2 แรงม้า, จำนวนลูกสูบ 2 ลูกสูบ

แรงดันลมที่ใช้ได้ 8 บาร์

อัตราการผลิตลม 120 ลิตร/นาที

มอเตอร์ปั๊มขนาด 1/2 แรงม้า, ไฟฟ้า 220 โวลต์ และถังเก็บลมขนาด 64 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

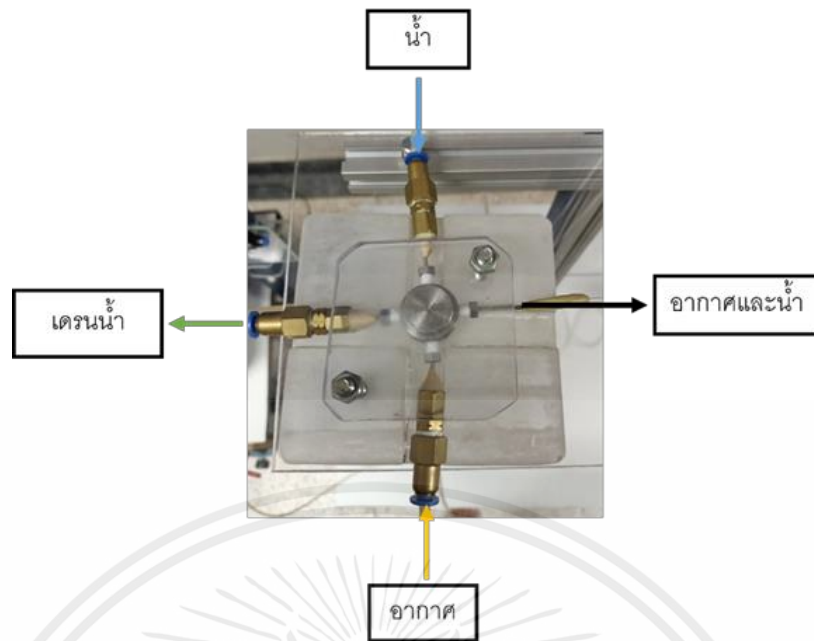
ข้อควรปฏิบัติและการบำรุงรักษา

1. ควรใช้น้ำมันเครื่องของปั๊มลมโดยเฉพาะและควรใช้ให้เหมาะสมกับขนาดหรือรุ่นของปั๊มลม
2. ควรหมั่นตรวจดูระดับน้ำของน้ำมันเครื่องและเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องทุกๆ 500 ชั่วโมงที่มีการใช้งาน
3. เมื่อต้องการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องของปั๊มลม สามารถติดต่อขอน้ำมันเครื่องสำหรับปั๊มลมที่อาคารปฏิบัติการเครื่องกลหรือติดต่อเจ้าหน้าที่ 081-538-2306 (พี่ไชยรัตน์)
4. ควรตรวจสอบและเปิดวาล์วสำหรับเตรนน้ำใต้ถังลมอาทิตย์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งานของถังลม
5. ก่อนการใช้งานควรตรวจสอบน็อตหรือสายพาน ว่าไม่มีอาการผิดปกติ อาทิ น็อตทุกตัวต้องขันแน่นและสายพานควรตั้งให้ตรงและตั้งพอสวมควร



รูปที่ 3.13 เครื่องอัดอากาศหรือปั๊มลม (Air compressor)

3.1.4 ห้องผสม (Mixing chamber) เป็นพื้นที่ที่น้ำและอากาศผสมเข้าด้วยกันก่อนไหลเข้าสู่ Test section โดยในการทดลองนี้ใช้ เป็นห้องผสมแบบ 4 ทิศทาง (Cross junction) เส้นผ่าศูนย์กลาง 23.2 มิลลิเมตร และควรเลือกขนาดท่อให้เหมาะสมกับขนาดของห้องผสม โดยในการทดลองนี้จะใช้ท่อ polyurethane ขนาด 2.5 x 4 มิลลิเมตรในช่องทางเข้าน้ำ, อากาศและเตรนน้ำ ทั้งนี้หากชำรุด สามารถสั่งซื้อได้ที่ ร้านศรีนครพาณิชย์(สำนักงานใหญ่) 121-123 อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร หรือติดต่อ 077-511136 แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ห้องผสม (Mixing chamber)

3.1.5 อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure regulator) ทำหน้าที่ ควบคุมความดันของอากาศสูงสุดภายในระบบให้คงที่และทำหน้าที่ดักจับสิ่งแปลกปลอมที่จะมาพร้อมอากาศจากเครื่องอัดอากาศ ทั้งนี้เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับระบบ สำหรับอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure regulator) ในการทดลองนี้สามารถควบคุมความดันได้ตั้งแต่ 0 – 10 บาร์ แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure regulator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้งาน

1. ทำการเปิดลมจากปั๊มลมเข้าสู่อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure regulator)
2. ทำการหมุนตัวปรับแรงดันลมที่อยู่บริเวณด้านบนของอุปกรณ์ควบคุมความดันโดยหมุนตามเข็มนาฬิกาเป็นการเพิ่มแรงดันของลมและการหมุนทวนเข็มนาฬิกาเป็นการลดแรงดันของลม

3.1.6 โรตاميเตอร์ (Rotameter) ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลเชิงปริมาตร โดยทำการอ่านค่าบริเวณสเกลบนโรตاميเตอร์ ซึ่งในการทดลองนี้จะมีการใช้โรตاميเตอร์ 2 ตัว แต่ละตัวจะบอกสเกลในการวัดช่วงการไหลอยู่ที่ 0 – 500 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่ออนาที และ 0 – 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่ออนาที แสดงดังรูปที่ 3.16 ตามลำดับ



รูปที่ 3.16 โรตاميเตอร์ (Rotameter)

วิธีการใช้งาน

ในการทดลองเมื่อต้องการปรับอัตราการไหลของอากาศตั้งแต่ 100 ถึง 500 ซีซีต่ออนาทีสามารถใช้โรตاميเตอร์ที่ปรับอัตราการไหล 0 ถึง 500 ซีซีต่ออนาที แต่หากต้องการปรับอัตราการไหลของอากาศตั้งแต่ 550 ถึง 1000 ซีซีต่ออนาที สามารถใช้โรตاميเตอร์ที่ปรับอัตราการไหลตั้งแต่ 0 ถึง 1000 ซีซีต่ออนาที ซึ่งในการทดลองนี้สามารถใช้โรตاميเตอร์ได้ทั้ง 2 ตัว แต่ในการใช้งานโรตاميเตอร์แนะนำให้ใช้งานโรตاميเตอร์ตัวที่ 0 ถึง 500 ซีซีต่ออนาที ปรับอัตราการไหลในช่วง 100 ถึง 400 ซีซีต่ออนาที และเปลี่ยนไปใช้งานโรตاميเตอร์ตัวที่ 0 ถึง 1000 ซีซีต่ออนาทีปรับอัตราการไหลในช่วง 450 - 500 ซีซีต่ออนาที เนื่องจากโรตاميเตอร์ตัวที่ 0 ถึง 500 ซีซีต่ออนาที มีความแม่นยำ ± 3 แต่โรตاميเตอร์ตัวที่ 0 ถึง 1000 ซีซีต่ออนาที มีความแม่นยำ ± 2 ทำให้การควบคุมอัตราการไหลโดยโรตاميเตอร์มีความแม่นยำมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.7 ตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator) ทำหน้าที่แสดงค่าความดันของของเหลวและแก๊สที่ผสมกัน โดยในการทดลองนี้ จะอ่านค่าในช่องสัญญาณที่ 1 โดยในช่องสัญญาณที่ 1 จะมีแสดงค่าความดันจากการแปลงสัญญาณไฟฟ้าของทรานสดิวเซอร์ (Pressure transducer) ในช่วง 0 - 4 บาร์ โดยทำการแปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าจากหน่วย มิลลิแอมแปร์ เป็นหน่วย บาร์ เพื่อใช้บันทึกค่าความดันภายในห้องผสมทบริเวณก่อนเข้า Test section แสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator)

3.1.8 ตัวรับสัญญาณความร้อน (Temperature indicator) ทำหน้าที่แสดงค่าอุณหภูมิที่แปลงจากค่าสัญญาณทางไฟฟ้าในระบบโดยจะมีการวัดค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิล ที่ติดตั้งอยู่ 2 จุดนั่นคือ บริเวณทางออกจากเกจวัดความดัน เพื่อวัดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้า Test section และบริเวณทางเข้าทรานสดิวเซอร์ (Pressure transducer) เพื่อวัดอุณหภูมิของของเหลวและอากาศที่ทำการผสมกัน โดยในการทดลองนี้ จะอ่านค่าในช่องสัญญาณที่ 3 โดยในช่องสัญญาณที่ 3 คือบริเวณที่มีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ทางเข้าทรานสดิวเซอร์ (Pressure transducer) และท่อเตรนน้ำ โดยค่าอุณหภูมิจะที่หน้าจอของตัวรับสัญญาณอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ตัวรับสัญญาณความร้อน (Temperature indicator)

3.1.9 เกจวัดความดัน (Pressure gauge) ทำหน้าที่วัดและอ่านค่าความดันของอากาศก่อนไหลสู่ห้องผสม (Mixing chamber) โดยในการทดลองนี้ เกจวัดความดันจะถูกติดตั้งอยู่บริเวณทางออกของโรตاميเตอร์ (Rotameter) และการติดตั้งเกจวัดความดันไว้ 3 ตัว โดยแต่ละตัวจะมีช่วงการวัดและอ่านค่าความดันที่ 0 -0.1 บาร์ , 0-1 บาร์ และ 0-10บาร์ สามารถอ่านค่าความดันที่บริเวณหน้าปัดเกจ โดยแสดงค่าเป็นแบบอนาล็อกหรือแบบเข็ม แสดงดังรูปที่ 3.19 ตามลำดับ

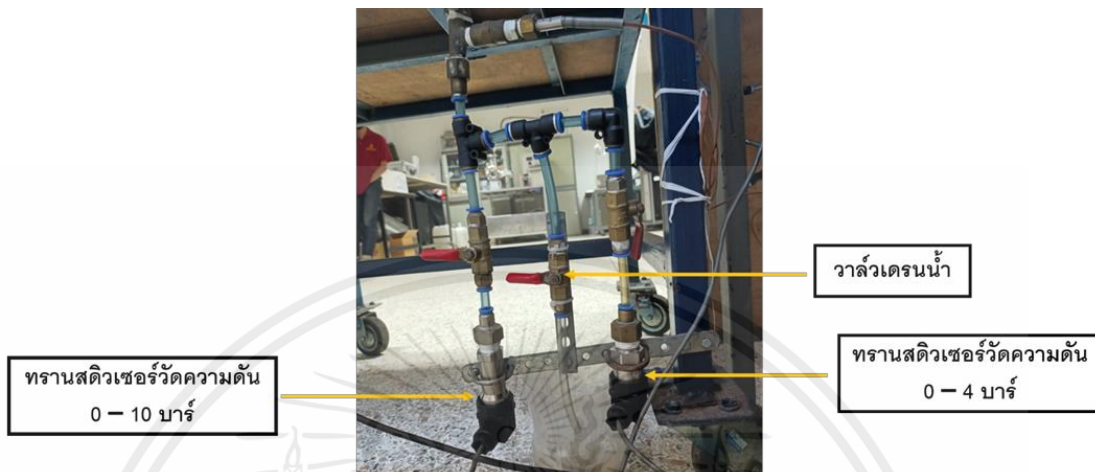


รูปที่ 3.19 เกจวัดความดัน (Pressure gauge)

3.1.10 ตัวแปลงสัญญาณความดันหรือทรานสดิวเซอร์วัดความดัน ทำหน้าที่แปลงค่าความดันที่วัดได้ภายในห้องผสมทางเข้าบริเวณก่อนเข้า Test section ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อไปแสดงค่าที่ตัวรับสัญญาณความดัน Pressure indicator โดยในการทดลองนี้จะมีตัวแปลงสัญญาณ

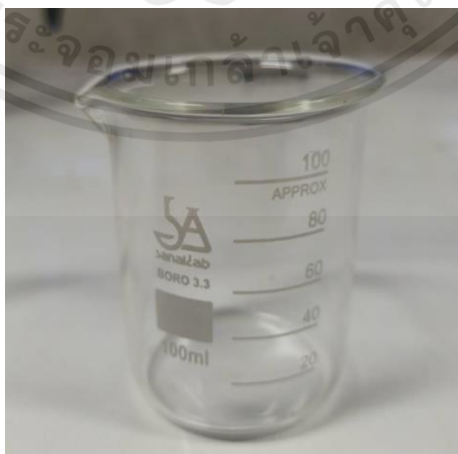
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันหรือทรานสดิวเซอร์วัดความดัน อยู่ 2 ช่วงคือช่วง 0-4 bar ที่มี Pressure transducer Accuracy $\pm 0.7\%$ of full scale และ ช่วง 0-10 bar Pressure transducer Accuracy $\pm 0.3\%$ of full scale แสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ตัวแปลงสัญญาณความดันหรือทรานสดิวเซอร์วัดความดัน

3.1.11 ปีกเกอร์ เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ใช้ในห้องปฏิบัติการสำหรับบรรจุสารเคมี ผสมสาร หรือพักสาร มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกก้นแบน ในการทดลองจะใช้ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เพื่อรับของเหลวที่ออกจาก Test section และนำไปซึ่งในเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลเพื่อนำไปหาค่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ปีกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.12 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic Balance) เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ใช้ในห้องปฏิบัติการสำหรับชั่งสารหรือสารละลายความละเอียดสูง โดยสามารถชั่งน้ำหนักได้ในช่วง 42-310, ค่าละเอียดอยู่ที่ 0.0001 กรัม (0.1 มิลลิกรัม), งานซึ่งเป็นสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร กรัม อีกทั้งมีตุ้มน้ำหนักภายในเครื่องสำหรับปรับเทียบค่าน้ำหนักอัตโนมัติ, สามารถสอบเทียบตัวเองอัตโนมัติเพื่อรักษาความถูกต้องโดยอยู่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ, ตัวเครื่องมีขนาด 249 (กว้าง) x 330 (ลึก) x 328 (สูง) มิลลิเมตรและใช้หม้อแปลง AC Adapter ในการทดลองนี้ใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic Balance) เพื่อชั่งตวงน้ำหนักของของเหลวที่ออกจาก Test section เพื่อนำไปหาค่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic Balance)

การใช้งานอุปกรณ์

1. เลือกพื้นที่ที่มีลักษณะราบเรียบในการวางเครื่องชั่งดิจิทัล จากนั้นทำการสังเกตหยดน้ำที่อยู่บริเวณข้างของเครื่องชั่งดิจิทัล โดยหยดน้ำต้องอยู่ภายในวงสีแดง แสดงดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การสังเกตหยดน้ำที่อยู่บริเวณข้างของเครื่องชั่งดิจิทัล (Electronic Balance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการกดปุ่มเปิดเครื่อง จากนั้นรอนจนหน้าจอแสดงผลของเครื่องซึ่งดิจิทัลอล ขึ้นตัวเลข 0 ที่มีลักษณะเป็นทศนิยม 4 ตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การแสดงผลหน้าจอเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลอลหลังการเปิดเครื่อง

3. กดปุ่ม RE-Zero เพื่อเป็นการเซตให้ตัวเครื่องซึ่งอิเล็กทรอนิกส์อยู่ที่ค่าเริ่มต้นคือ 0 แสดงดังรูปที่ 3.25

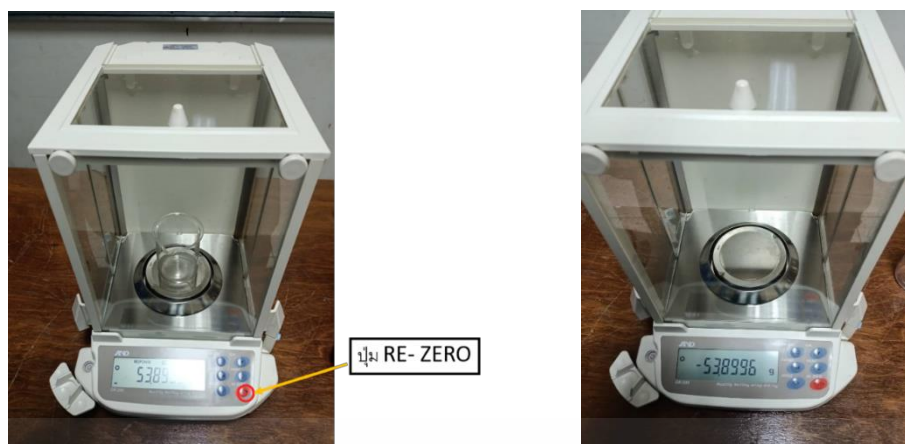


รูปที่ 3.25 การเซตให้ตัวเครื่องซึ่งอิเล็กทรอนิกส์อยู่ที่ค่าเริ่มต้น

4. จากนั้นทำการเปิดกระจกทุกด้านของเครื่องซึ่งให้สนิท เพื่อนำบีกเกอร์เปล่ามาชั่งน้ำหนัก แสดงดังรูปที่ 3.26

5. เมื่อชั่งน้ำหนักเสร็จสิ้นแล้ว ทำการกดปุ่ม RE- Zero เพื่อเซตค่าบีกเกอร์เปล่าเป็นค่าเริ่มต้นในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 การชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic Balance)

3.1.13 ท่อยางและท่อซิลิโคน ใช้สำหรับลำเลียงสารทำงานเข้าสู่ test section โดยท่อทั้งสองชนิดนี้ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีและทนต่อแรงดันได้ดี จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองโดยท่อ ยางนำมาใช้ลำเลียงอากาศและน้ำ สำหรับท่อซิลิโคน จะใช้กับเครื่อง Peristaltic pump ทั้งนี้หาก ท่อชำรุดหรือต้องการท่อ ยาง สามารถสั่งซื้อได้ที่ ร้านศรีนครพาณิชย์(สำนักงานใหญ่) 121-123 อำเภอ เมือง จังหวัดชุมพร หรือติดต่อ 077511136 และสำหรับท่อซิลิโคน สามารถสั่งซื้อได้ที่ บริษัท อมานี คอร์ปอเรชั่น จำกัด โทร 02 – 322- 4421-3 , Email: amani@ksc.th.com แสดงดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 ยางและท่อซิลิโคน

3.1.14 ฟิล์มกรองแสง (Filter film) ทำหน้าที่กรองแสงจากหลอดไฟ LED และกำจัดจุดที่ ไม่ซ้ำกันของหลอดไฟ LED เนื่องจากหลอดไฟ LED จะมีแถบไฟสองแถวหรือสามแถว ทำให้มีช่องว่าง ระหว่างแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง จึงใช้ฟิล์มกรองแสงเพื่อให้เกิดการกระจายแสงอย่าง สมบูรณ์ ในการทดลองนี้จะทำการติดตั้งไว้กับหลอดไฟ LED แสดงดังรูปที่ 3.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 ฟิล์มกรองแสง (Filter film)

3.1.15 หลอดไฟ LED (LED Lighting) เป็นอุปกรณ์ที่นำมาให้แสงสว่างเพื่อช่วยในการถ่ายภาพภายในห้องทดลอง ทำให้ภาพและวิดีโอที่ได้มีความชัดเจนและง่ายต่อการสังเกตรูปแบบการไหล อีกทั้งหลอดไฟ LED ที่ใช้ในการทดลองนี้แสงสว่างของหลอดไฟ LED ไม่เกิดความร้อน แสดงดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 หลอดไฟ LED (LED Lighting)

3.1.16 ท่อเทฟลอนใส (Teflon tube) หรือ Perfluoro alkoxy Tube (PFA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อภายใน 1 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นท่อสีขาวใส โปร่งแสง มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานน้อย ทนอุณหภูมิได้สูงสุด 280 องศาเซลเซียส ทนสารเคมีทุกชนิด ทนกรด/ด่างความเข้มข้นสูง ทนแรงดันสูง ทนแสงแดดและรังสียูวี เป็นฉนวนไฟฟ้า สามารถตัดโค้งงอได้ด้วยความร้อน และมีคุณภาพสูงสามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลานาน แสดงดังรูปที่ 3.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากเกิดการชำรุดหรือไม่เพียงพอในการใช้งานสามารถสั่งซื้อได้ที่ บริษัท อมานี คอร์ปอเรชั่น
จำกัด โทร 02 – 322- 4421-3 , Email: amani@ksc.th.com

คุณสมบัติ : อุณหภูมิการใช้งาน -200 °C to +260 °C , ทนสารเคมี, ทนต่อการกัดกร่อนดี
เยี่ยม, ฝิวลื่น – Low Friction Coefficient, ยืดหยุ่น สามารถดัดโค้งงอได้, ไม่ดูดซับน้ำและเป็น
ฉนวนไฟฟ้า



รูปที่ 3.30 ท่อเทฟลอน (Teflon tube)

3.1.18 คลิปเลนส์ Macro + Start Light Lens 2 IN 1 LENS KIT โดยมีเลนส์ 15x
Macro Lens กำลังขยาย 15 เท่า สามารถถ่ายสิ่งของเล็กๆ ให้เห็นรายละเอียดและโฟกัสได้ดีกว่าการ
ใช้โทรศัพท์มือถือถ่ายปกติ การเคลือบกระจกเลนส์แบบพิเศษ ทำให้ได้ภาพใส คมชัดแบบ HD ลดการ
บิดเบี้ยวของภาพ นำแสงได้ดีขึ้น 99% ลดเงาและลดแสงสะท้อน ในช่วงระยะ 3-5 เซนติเมตร มีขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.7 เซนติเมตร และเลนส์ 37MM Starlight Lens ซึ่งเป็น filter สำหรับสร้างแสง
ไฟในยามค่ำคืนให้ ภาพแสงไฟที่ถ่ายออกมาจะสวยงามมากยิ่งขึ้น แสดงดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.31 คลิปเลนส์ Macro + Start Light Lens 2 IN 1 LENS KIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

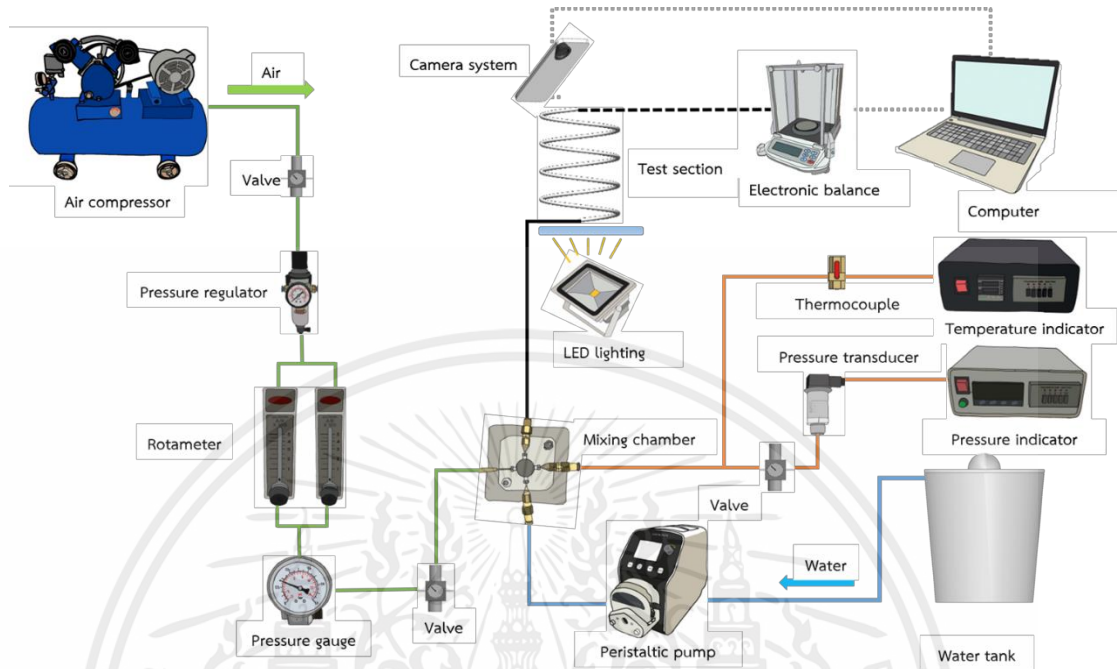
3.1.19 โทรศัพท์มือถือ (Smartphone) รุ่น iPhone XS Max ใช้ในการทดลองเพื่อ บันทึกภาพและวิดีโอรูปแบบการไหลที่อยู่ภายใน Test section โดยมีสเปกเป็นกล้องคู่มุมกว้างและ กล้องเทเลโฟโต้ความละเอียด 12MP, มุมกว้าง: รูรับแสงขนาด $f/1.8$, เทเลโฟโต้: รูรับแสงขนาด $f/2.4$ ซุมออปติคัล 2 เท่า และซูมดิจิทัลได้สูงสุด 10 เท่าระบบป้องกันภาพสั่นไหวคู่แบบ ออปติคัล อัตโนมัติพร้อม Focus Pixels บันทึกภาพถ่ายและ Live Photos ด้วยขอบเขตสีกว้าง การแก้ไขตาแดงขั้นสูง การควบคุมค่าแสง รูปแบบไฟล์ภาพที่บันทึก: HEIF และ JPEG ในการบันทึก วิดีโอ วิดีโอที่ได้จะมีความละเอียดระดับ 4K ที่ 24 fps, 30 fps หรือ 60 fps , ระดับ HD 1080p ที่ 30 fps หรือ 60 fps และ ระดับ HD 720p ที่ 30 fps รูปแบบไฟล์วิดีโอที่บันทึก: HEVC และ H.264 แสดงดังรูปที่ 3.31



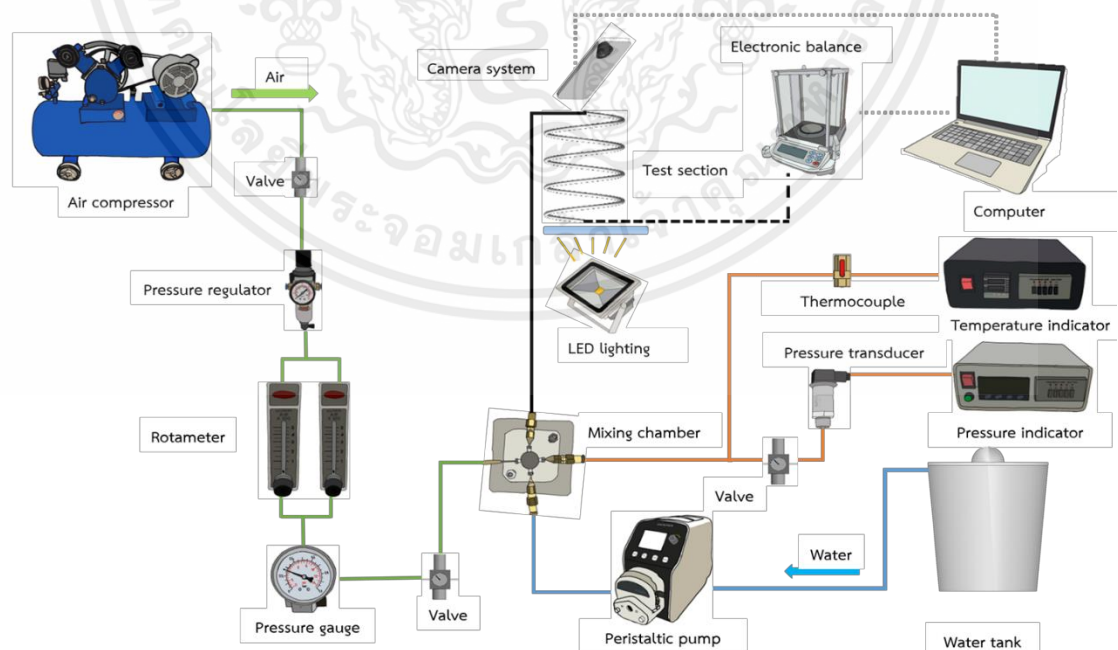
รูปที่ 3.32 โทรศัพท์มือถือ (Smartphone) รุ่น iPhone XS Max

3.2 วงจรการทำงาน และรายละเอียดของ test section

3.2.1 วงจรการทำงาน

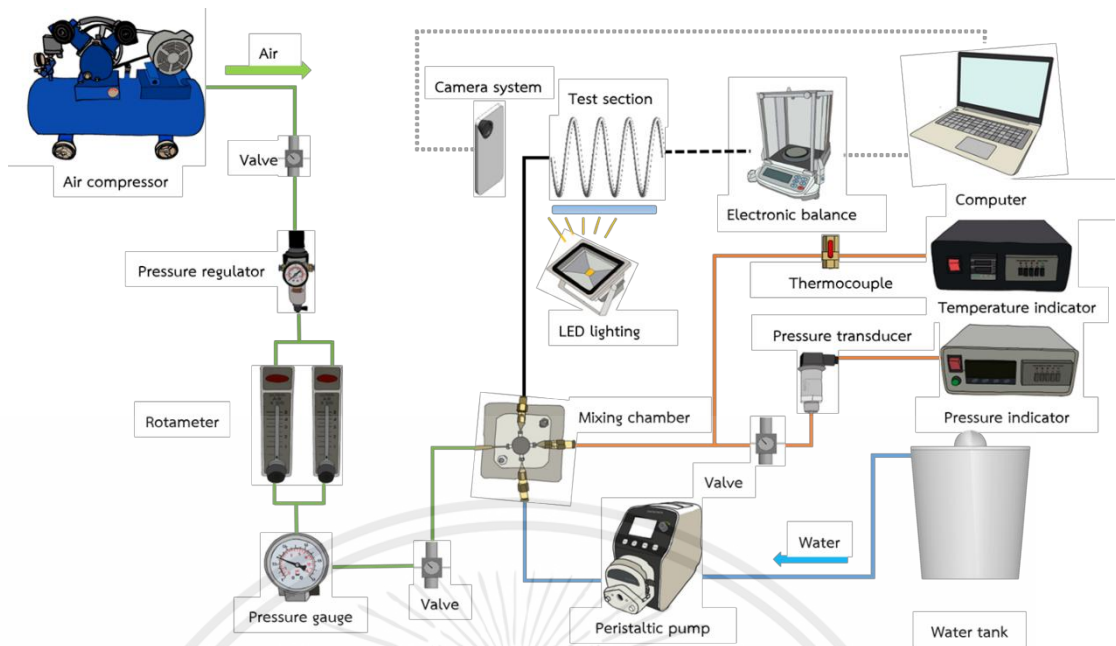


รูปที่ 3.33 แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดลองการวางท่อในแนวตั้ง



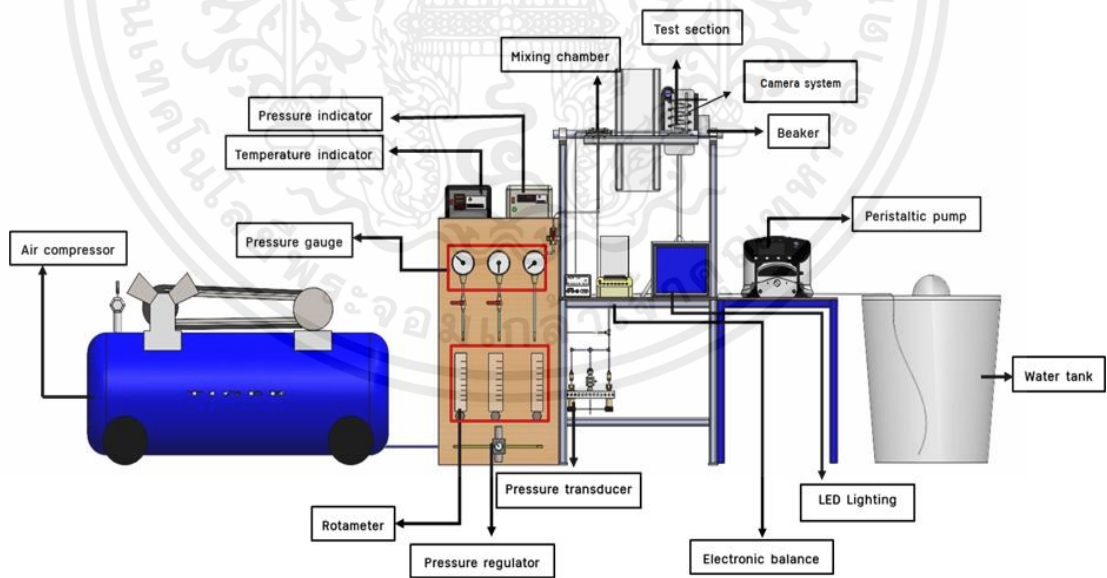
รูปที่ 3.34 แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดลองการวางท่อในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.35 แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดลองการวางท่อในแนวระดับ

3.2.2 กระบวนการทำงาน



รูปที่ 3.36 แผนภาพแสดงกระบวนการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 และ 3.36 แสดงให้เห็นถึงแผนผังวงจรการทำงานในการทดลอง โดยระบบจะเริ่มต้นจากปั๊มลม (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)

การทดลองนี้จะใช้ห้องผสมแบบสี่ทาง (Mixing chamber) เพื่อผสมน้ำกับอากาศเข้าด้วยกัน ก่อนที่จะไหลเข้าสู่ท่อทดลองในช่วง test section ในการวัดความดันในช่วง test section จะติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันแบบทรานสดิวเซอร์ (Pressure transducer) ไว้ที่ทางเข้า test section และในส่วนการสังเกตรูปแบบการไหลจะใช้หลักการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายรูปหรือกล้องโทรศัพท์มือถือที่มีอุปกรณ์เสริม โดยที่จะถ่ายภาพท่อไหลที่บริเวณท่อที่ออกจากห้องผสมที่มีระยะเกิน 10 เซนติเมตรไปแล้ว และ บริเวณบนขดเกลียวที่มีระยะถ่ายภาพ 2 เซนติเมตร ทั้งนี้จะมีการให้แสงสว่างด้วยหลอดไฟ LED เพื่อให้ดูรูปแบบการไหลได้อย่างชัดเจน ในการทดลองนี้จะเก็บข้อมูลการทดลองเพื่อนำไปคำนวณและวิเคราะห์ผลต่อไป

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

มีขั้นตอนการทดลอง จากรูปที่ 3.33 ถึง 3.34 และ 3.35 อธิบายดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์การทดลอง เช่น ตรวจสอบข้อต่อของท่อในแต่ละจุด
2. ทำการเปิดวาล์วเตรนน้ำที่อยู่บริเวณข้างตัวแปลงสัญญาณความดัน (Pressure transducer) เพื่อเตรนน้ำที่ค้างอยู่ภายในระบบออกแล้วจึงทำการปิดวาล์วเตรนน้ำให้เรียบร้อย
3. ทำการเปิดวาล์วตัวแปลงสัญญาณความดัน (Pressure transducer) ช่วง 0-4 บาร์ เพื่อรับสัญญาณความดันของของเหลวและอากาศที่ผสมกันบริเวณทางเข้า Test section และจะทำการแสดงค่าผ่านหน้าจอดิจิตอลของเครื่อง Pressure indicator
4. ทำการเปิดเครื่องอัดอากาศหรือปั๊มลม โดยกำหนดให้มีความดันอากาศไม่เกิน 4 บาร์ จากนั้นทำการเปิดวาล์วอากาศเพื่อให้อากาศไหลเข้าสู่ระบบ
5. เปิดสวิตซ์ตัวรับสัญญาณความดัน Pressure indicator เพื่อทำการอ่านค่าความดันเมื่อของเหลวและอากาศผสมกันบริเวณก่อนเข้า Test section

6. ทำการเปิดปั๊มดูดจ่ายสารแบบรีดท่อ หรือ Peristaltic pump โดย สวิตช์เปิด-ปิดจะอยู่บริเวณด้านหลังของตัว Peristaltic pump จากนั้นทำการปรับค่าอัตราการไหลของน้ำโดยในการทดลองนี้จะกำหนดค่าอัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 ในหน่วย มิลลิลิตรต่อนาที

7. เปิดวาล์วควบคุมความดันหรือ Pressure Regulator โดยควบคุมความดันไว้ที่ไม่เกิน 4 บาร์

8. ทำการปรับค่าอัตราการไหลของอากาศที่บริเวณโรตاميเตอร์ โดยโรตاميเตอร์จะเป็นตัววัดอัตราการไหลของอากาศที่จะเข้าสู่ระบบโดยในการทดลองนี้จะมีการกำหนดอัตราการไหลของอากาศดังนี้ 100,150,200,250,300,350,400,450,500 ในหน่วย ซีซีต่อนาที

9. ทำการสังเกตค่าความดันที่เข้าสู่ระบบจากเกจวัดความดัน โดยในการทดลองนี้จะมีการใช้เกจวัดความดันอยู่ 2 หน่วยคือ มิลลิบาร์ และ บาร์

10. เมื่อของเหลวและอากาศเข้าสู่ระบบแบบคงที่ทำการบันทึกภาพและวิดีโอโดยเป็นการถ่ายภาพจำนวน 50 ภาพและวิดีโอเป็นเวลา 1 นาที

11. จากนั้นนำน้ำที่ออกจากบริเวณ Test section ที่มีการจับเวลา 1 นาที ใส่ลงในบีกเกอร์เพื่อทำการชั่งน้ำหนักน้ำที่ออกจากระบบโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล เพื่อนำไปหาค่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำต่อไป

12. หากความดันของของเหลวและอากาศที่ผสมกันบริเวณทางเข้า Test section แสดงค่าผ่านหน้าจอดีจิตอลของเครื่อง Pressure indicator ว่ามีค่าเกิน 20 มิลิแอมป์ ต้องทำการเปลี่ยนตัวแปลงสัญญาณค่าความดันหรือ Pressure transducer เป็นช่วง 0-10 บาร์

3.4 ข้อควรระวังในการทดลอง

1. เลือกใช้ ตัวแปลงสัญญาณค่าความดันหรือ Pressure transducer ที่มีอยู่ 2 ช่วงคือ 0-4 บาร์ และ 0-10 บาร์ ให้เหมาะสมกับความดันขณะทำการทดลองเพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เสียหาย

2. เลือกใช้เกจวัดความดันที่เหมาะสมกับช่วงความดันขนาดทดลองเพื่อความแม่นยำและไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย

3. ในการชั่งน้ำหนักของน้ำที่ไหลออกจาก Test section จะต้องทำการปรับเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลโดยทำการ Reset ให้เป็นค่า 0 และต้องอยู่ในพื้นที่ที่เป็นพื้นราบเรียบเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนในการหาค่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ

4. ความดันอากาศภายในระบบจะต้องไม่เกิน 6 บาร์เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับข้อต่อของท่อที่ใช้ในการทดลอง

5. ในการบันทึกค่าระบบจะต้องอยู่ในสภาวะคงที่เท่านั้นเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง

3.5 วิธีติดตั้งอุปกรณ์การถ่ายภาพและบันทึกวีดีโอผลการทดลอง

ในการบันทึกภาพและวีดีโอรูปแบบการไหลในการทดลองจะใช้สมาร์ทโฟน กล้องคู่มุมกว้าง และกล้องเทเลโฟโต้ความละเอียด 12 ล้านพิกเซล อีกทั้งติดตั้งคลิปเลนส์ Macro + Start Light Lens 2 IN 1 LENS KIT ระยะซูม 15x macro + เลนส์ start light ขนาด 37 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 อุปกรณ์การถ่ายภาพและบันทึกวีดีโอผลการทดลอง

บทที่ 4

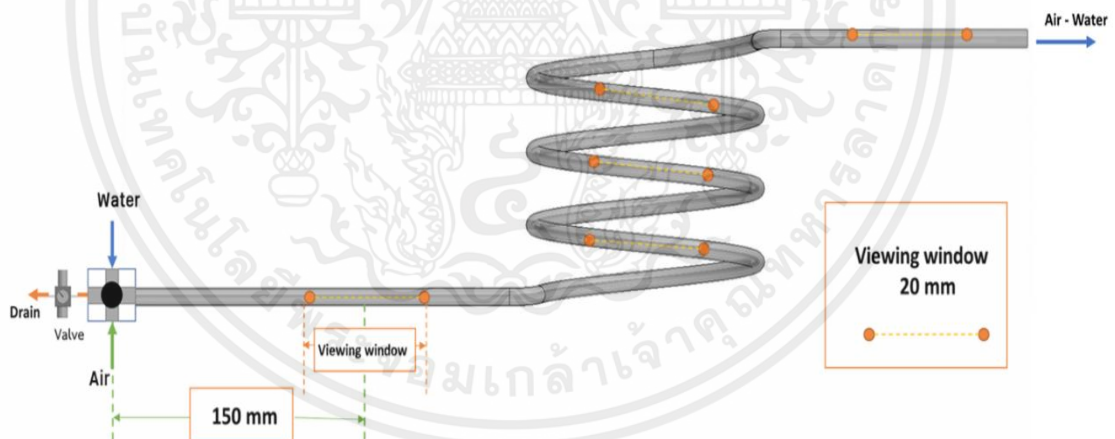
ผลและการวิจารณ์ผล

ในบทนี้เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับการอภิปรายผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาลักษณะรูปแบบการไหลและความดันตกในช่องทางการไหล สำหรับการไหลแบบสองสถานะภายใต้สภาวะที่ไม่มีการเดือด (Non-boiling two-phase flow) ระหว่างน้ำกับอากาศ ในท่อเทปลอนที่มีลักษณะเป็นขดเกลียว (Helical coil tube) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1 โดยมีการปรับทิศทางการไหล 3 ทิศทาง คือ การไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบน (Vertical upward flow) การไหลในแนวตั้งจากบนลงล่าง (Vertical downward flow) และการไหลในแนวนอน (Vertical Horizontal flow)

4.1 ผลการทดสอบการไหลแบบสองสถานะ (Two-phase flow)

4.1.1 รูปแบบการไหลที่พบในการทดลอง

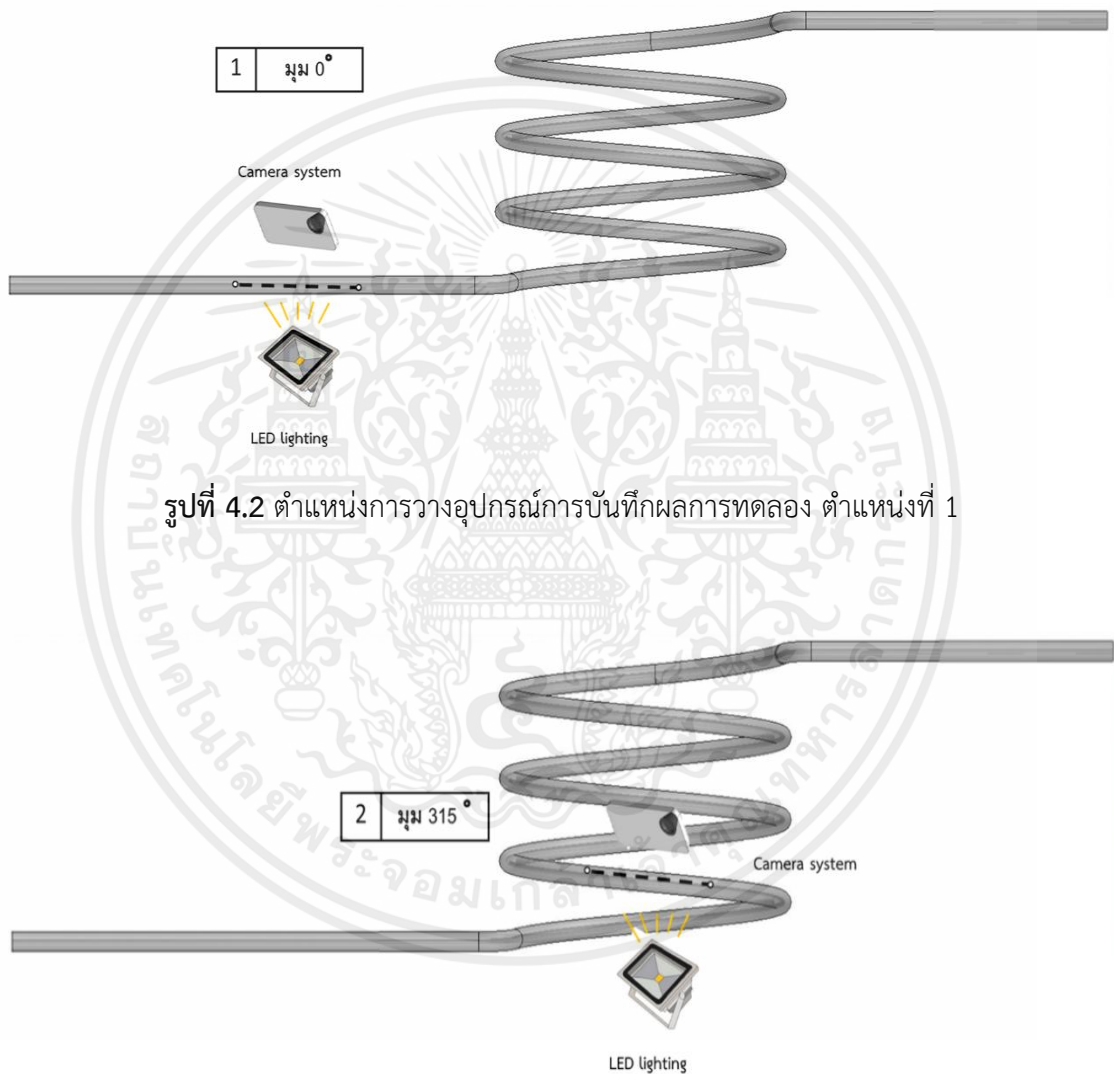
ในการศึกษาลักษณะรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นที่สภาวะต่างๆตามเงื่อนไขการทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการเก็บข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของรูปแบบการไหล



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งการถ่ายภาพและการบันทึกผล

สำหรับตำแหน่งที่ใช้ในการถ่ายภาพและการบันทึกผล รวมถึงการวางอุปกรณ์ในการบันทึกภาพและวิดีโอของการทดลองในแต่ละตำแหน่งเริ่มบันทึกภาพถ่ายและวิดีโอจากจุดที่ 1 บริเวณห่างจากห้องผสมที่ 150 มิลลิเมตร โดยมีความยาวของแต่ละตำแหน่งถ่ายภาพตามแนวเส้นโค้งบริเวณขดเกลียว 20 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.1 และใช้ตำแหน่งถ่ายภาพและบันทึกผลทั้งหมด 5 ตำแหน่ง

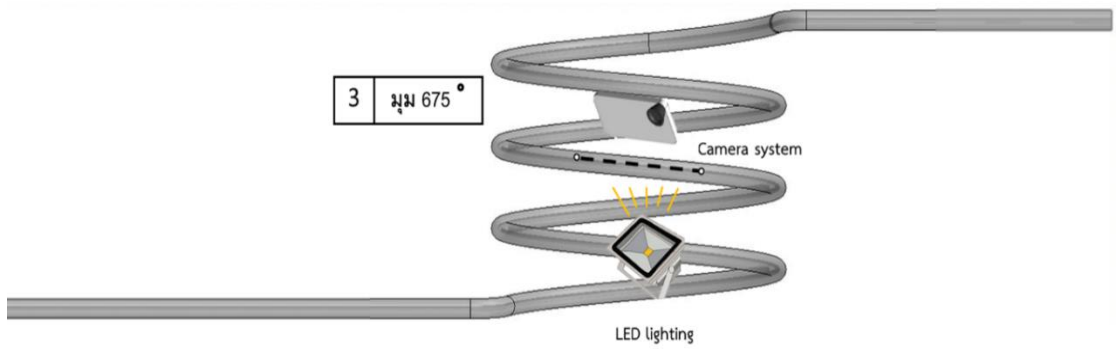
ได้แก่ ตำแหน่งที่ 1 บริเวณทางเข้า Test section ที่มุม 0 องศา (กำหนดตำแหน่งที่ 1 เป็นแกนอ้างอิง) ดังรูปที่ 4.2 ตำแหน่งที่ 2 บริเวณท่อขดเกลียวที่ มุม 315 องศา ดังรูปที่ 4.3 ตำแหน่งที่ 3 บริเวณท่อขดเกลียวที่ มุม 675 องศา ดังรูปที่ 4.4 ตำแหน่งที่ 4 บริเวณท่อขดเกลียวที่ มุม 1035 องศา ดังรูปที่ 4.5 ตำแหน่งที่ 5 บริเวณทางออกของ Test section ที่ มุม 0 องศา ดังรูปที่ 4.6 โดยการเก็บบันทึกภาพรูปแบบการไหลในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ซึ่งมีการเก็บบันทึกภาพ 50 ภาพขึ้นไปในแต่ละการทดลองแล้วจึงนำภาพที่ได้มาวิเคราะห์ผลว่าเป็นการไหลในรูปแบบใด



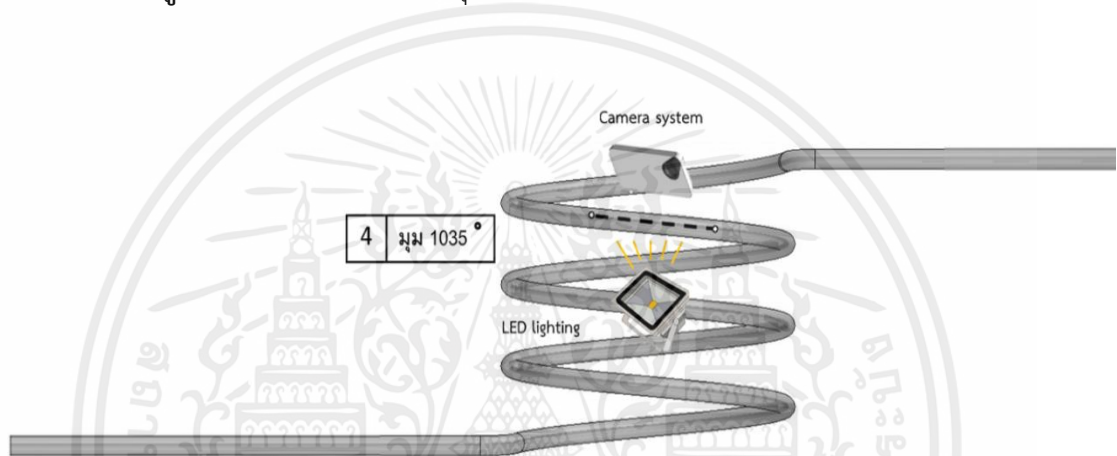
รูปที่ 4.2 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 1

รูปที่ 4.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 2

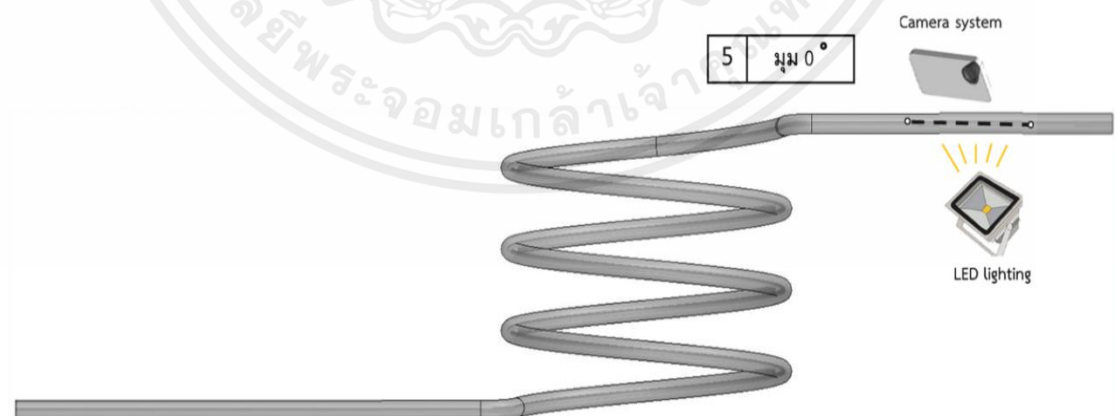
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 4.5 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 4

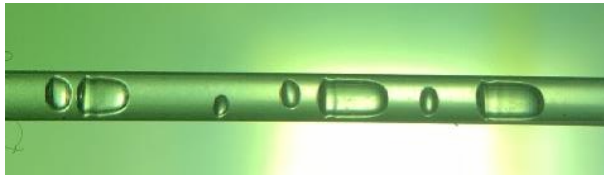


รูปที่ 4.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน

ตำแหน่งที่ 1 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณทางเข้า Test section ที่มีมุม 0 องศา ความยาว 150 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของห้องผสม



Flow 

Bubbly flow

$$j_L = 0.4099 \text{ m/s}$$

$$j_G = 3.4416 \text{ m/s}$$



Flow 

Plug flow

$$j_L = 0.2012 \text{ m/s}$$

$$j_G = 6.8387 \text{ m/s}$$

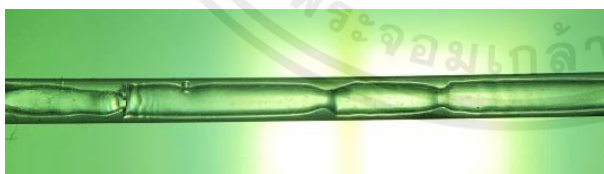


Flow 

Slug flow

$$j_L = 0.3053 \text{ m/s}$$

$$j_G = 6.7697 \text{ m/s}$$



Flow 

Throat-annular flow

$$j_L = 0.1994 \text{ m/s}$$

$$j_G = 14.7247 \text{ m/s}$$



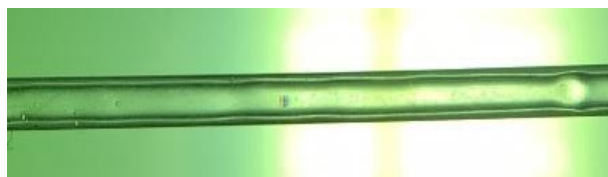
Flow 

Annular-rivulet flow

$$j_L = 0.1011 \text{ m/s}$$

$$j_G = 10.3495 \text{ m/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Flow

Annular flow

$$j_L = 0.4067 \text{ m/s}$$

$$j_G = 12.2534 \text{ m/s}$$

รูปที่ 4.7 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 1 (ดังรูปที่ 4.2)

จากรูปที่ 4.7 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณทางเข้า Test section ที่มีมุม 0 องศา ความยาว 150 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 1 พบทั้งหมด 6 รูปแบบการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Bubbly flow : เกิดที่ความเร็วของแก๊สต่ำ ความเร็วของของเหลวสูง ทำให้เกิดฟองแก๊สที่มีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และเนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลว ทำให้ตัวฟองไหลอยู่ค่อนไปทางส่วนบนของท่อ

2. Plug flow : เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของฟองแก๊สที่มีขนาดเล็กๆจาก Bubbly flow กลายเป็นฟองแก๊สที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อและยึดขึ้น (ยาวกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ) เกิดขึ้นที่ทางเข้าแล้วผ่านเป็นระยะๆ

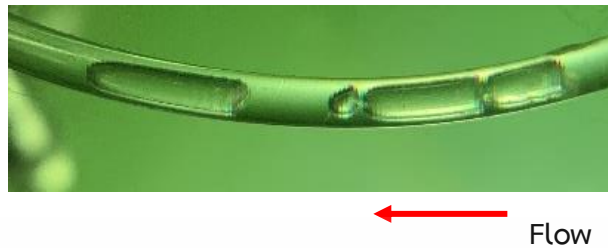
3. Slug flow : เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของฟองอากาศ ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่

4. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความเร็วของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

5. Annular-rivulet flow : เกิดขึ้นที่ความเร็วเฟสของน้ำและอากาศที่ค่อนข้างต่ำจะมีลักษณะการไหลที่ไม่ต่อเนื่องจะเห็นผิวท่อที่ไม่มีน้ำหรือมีของเหลวไหลอยู่แต่ไม่เต็มท่อ

6. Annular flow : เกิดจากลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลาง ต่อเนื่องกันตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 2 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มุม 315 องศา ความยาว 400 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางกึ่งกลางของห้องผสม



Slug flow

$$j_L = 0.5133 \text{ m/s}$$

$$j_G = 4.9108 \text{ m/s}$$



Throat-annular flow

$$j_L = 0.1994 \text{ m/s}$$

$$j_G = 11.0502 \text{ m/s}$$



Annular-rivulet flow

$$j_L = 0.1011 \text{ m/s}$$

$$j_G = 6.3880 \text{ m/s}$$



Annular flow

$$j_L = 0.5091 \text{ m/s}$$

$$j_G = 11.0502 \text{ m/s}$$

รูปที่ 4.8 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 2 (ดังรูปที่ 4.3)

จากรูปที่ 4.8 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในท่อขดเกลียวที่มุม 315 องศา ความยาว 400 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางกึ่งกลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 2 พบทั้งหมด 4 รูปแบบการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของฟองอากาศ ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่

2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความเร็วของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

3. Annular-rivulet flow : เกิดขึ้นที่ความเร็วเฟสของน้ำและอากาศที่ค่อนข้างต่ำจะมีลักษณะการไหลที่ไม่ต่อเนื่องจะเห็นผิวท่อที่ไม่มีน้ำหรือมีของเหลวไหลอยู่แต่ไม่เต็มท่อ

4. Annular flow : เกิดจากลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลาง ต่อเนื่องกันตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 3 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มุม 675 องศา ความยาว 540 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



plug flow

$$j_L = 0.4099 \text{ m/s}$$

$$j_G = 2.9120 \text{ m/s}$$



Slug flow

$$j_L = 0.3048 \text{ m/s}$$

$$j_G = 2.7585 \text{ m/s}$$



Throat-annular flow

$$j_L = 0.1994 \text{ m/s}$$

$$j_G = 9.6953 \text{ m/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Annular-rivulet flow

$$j_L = 0.1011 \text{ m/s}$$

$$j_G = 5.2605 \text{ m/s}$$

Flow



Annular flow

$$j_L = 0.3015 \text{ m/s}$$

$$j_G = 9.1814 \text{ m/s}$$

Flow

รูปที่ 4.9 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 3 (ดังรูปที่ 4.4)

จากรูปที่ 4.9 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มีมุม 675 องศา ความยาว 540 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 3 พบทั้งหมด 5 รูปแบบการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Plug flow : เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของฟองแก๊สที่มีขนาดเล็กๆจาก Bubbly flow กลายเป็นฟองแก๊สที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อและยึดขึ้น (ยาวกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ) เกิดขึ้นที่ทางเข้าแล้วผ่านเป็นระยะๆ

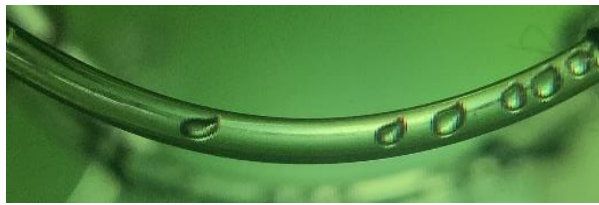
2. Slug flow : เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของฟองอากาศ ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่

3. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความเร็วของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

4. Annular-rivulet flow : เกิดขึ้นที่ความเร็วเฟสของน้ำและอากาศที่ค่อนข้างต่ำจะมีลักษณะการไหลที่ไม่ต่อเนื่องจะเห็นผิวท่อที่ไม่มีน้ำหรือมีของเหลวไหลอยู่แต่ไม่เต็มท่อ

5. Annular flow : เกิดจากลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลาง ต่อเนื่องกันตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 4 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มุม 1035 องศา ความยาว 690 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



← Flow

Plug flow

$$j_L = 0.4086 \text{ m/s}$$

$$j_G = 3.5974 \text{ m/s}$$



← Flow

Slug flow

$$j_L = 0.5144 \text{ m/s}$$

$$j_G = 2.6672 \text{ m/s}$$



← Flow

Throat-annular flow

$$j_L = 0.1983 \text{ m/s}$$

$$j_G = 9.8386 \text{ m/s}$$



← Flow

Annular-rivulet flow

$$j_L = 0.4067 \text{ m/s}$$

$$j_G = 8.6791 \text{ m/s}$$



← Flow

Annular flow

$$j_L = 0.4067 \text{ m/s}$$

$$j_G = 8.6791 \text{ m/s}$$

รูปที่ 4.10 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 4 (ดังรูปที่ 4.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณบริเวณท่อขดเกลียวที่มีมุม 1035 องศา ความยาว 690 มิลลิเมตร ในตำแหน่งที่ 4 พบทั้งหมด 5 รูปแบบการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Plug flow : เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของฟองแก๊สที่มีขนาดเล็กๆจาก Bubbly flow กลายเป็นฟองแก๊สที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อและยึดขึ้น (ยาวกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ) เกิดขึ้นที่ทางเข้าแล้วผ่านเป็นระยะๆ

2. Slug flow : เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของฟองอากาศ ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่

3. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความเร็วของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

4. Annular-rivulet flow : เกิดขึ้นที่ความเร็วเฟสของน้ำและอากาศที่ค่อนข้างต่ำจะมีลักษณะการไหลที่ไม่ต่อเนื่องจะเห็นผิวท่อที่ไม่มีน้ำหรือมีของเหลวไหลอยู่แต่ไม่เต็มท่อ

5. Annular flow : เกิดจากลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลาง ต่อเนื่องกันตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 5 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณทางออกของ Test section ที่มีมุม 0 องศา ความยาว 780 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม

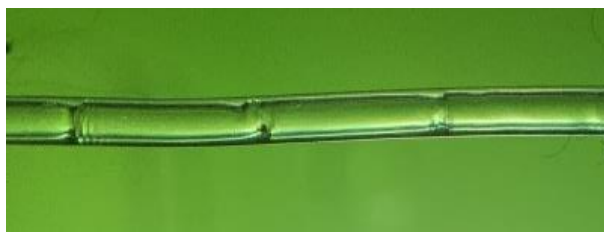


Flow

Slug flow

$$j_L = 0.5144 \text{ m/s}$$

$$j_G = 2.6672 \text{ m/s}$$



Flow



Throat-annular flow

$$j_L = 0.1994 \text{ m/s}$$

$$j_G = 8.5696 \text{ m/s}$$



Flow



Annular flow

$$j_L = 0.3018 \text{ m/s}$$

$$j_G = 7.0291 \text{ m/s}$$

รูปที่ 4.11 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 5 (ตั้งรูปที่ 4.6)

จากรูปที่ 4.11 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณทางออกของ Test section ที่มีมุม 0 องศา ความยาว 780 มิลลิเมตร ในตำแหน่งที่ 5 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของฟองอากาศ ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่

2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความเร็วของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

3. Annular flow : เกิดจากลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลาง ต่อเนื่องกันตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีการไหลบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง

ตำแหน่งที่ 1 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณทางเข้า Test section ที่มีมุม 0 องศา ความยาว 150 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



Flow



Plug flow

$$j_L = 0.4062 \text{ m/s}$$

$$j_G = 6.5282 \text{ m/s}$$



Flow



Slug flow

$$j_L = 0.3051 \text{ m/s}$$

$$j_G = 3.4235 \text{ m/s}$$



Flow



Throat-annular flow

$$j_L = 0.2996 \text{ m/s}$$

$$j_G = 12.3784 \text{ m/s}$$



Flow



Annular flow

$$j_L = 0.3028 \text{ m/s}$$

$$j_G = 8.1525 \text{ m/s}$$

รูปที่ 4.12 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 1 (ดังรูปที่ 4.2)

จากรูปที่ 4.12 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลภายในท่อขดเกลียว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อภายใน 1 มิลลิเมตร ในส่วนทางเข้าของ test section พบทั้งหมด 4 รูปแบบการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Plug flow : เกิดขึ้นจะเกิดจากการรวมตัวกันของฟองแก๊สที่มีขนาดเล็กๆ กลายเป็นฟองแก๊สที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อและยึดขึ้นที่ฟองอากาศถูกแยกออกจากกันด้วยของเหลวที่อัตราการไหลของแก๊สและของเหลวต่ำ

2. Slug flow : เกิดขึ้นที่ความเร็วเฟสของแก๊ส (Superficial gas velocity) ค่อนข้างต่ำมีลักษณะเป็นฟองยาวที่ไหลไปในทิศทางเดียวกับการไหลจะมีลักษณะคล้ายกระสุนที่เป็นแก๊ส โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของแก๊สที่เทียบเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

3. Throat-annular flow : การเกิดของ throat-annular flow พัฒนาจากรูปแบบการไหล slug flow มาชนกัน แล้วเกิดคอคอดจะมีลักษณะคล้าย annular flow แต่จะมีคอคอดเกิดขึ้น

4. Annular flow : เป็นลักษณะของเหลวไหลเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มของของเหลวด้านล่างจะหนากว่าชั้นบนและอาจมีละอองของของเหลวเคลื่อนที่กระจายอยู่ในแก๊สซึ่งเคลื่อนที่อยู่บริเวณแกนกลางของท่อ

ตำแหน่งที่ 2 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มุม 315 องศา ความยาว 400 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



← Flow

Slug flow

$$j_L = 0.5089 \text{ m/s}$$

$$j_G = 3.6313 \text{ m/s}$$



← Flow

Throat-annular flow

$$j_L = 0.2994 \text{ m/s}$$

$$j_G = 11.5916 \text{ m/s}$$



Annular flow

$$j_L = 0.3028 \text{ m/s}$$

$$j_G = 6.1305 \text{ m/s}$$

Flow

รูปที่ 4.13 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 2 (ดังรูปที่ 4.3)

จากรูปที่ 4.13 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในท่อขดเกลียวที่มีมุม 315 องศา ความยาว 400 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 2 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของฟองอากาศ ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่

2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความเร็วของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

3. Annular flow : เกิดจากลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลาง ต่อเนื่องกันตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 3 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มีมุม 675 องศา ความยาว 540 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม

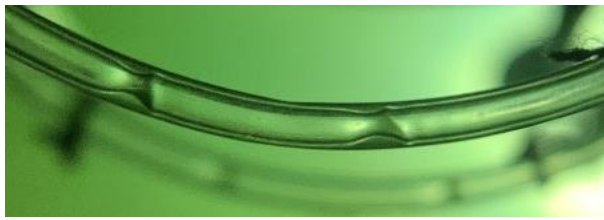


Slug flow

$$j_L = 0.4071 \text{ m/s}$$

$$j_G = 3.0765 \text{ m/s}$$

Flow



Throat-annular flow

$$j_L = 0.2996 \text{ m/s}$$

$$j_G = 9.3228 \text{ m/s}$$

← Flow



Annular flow

$$j_L = 0.1991 \text{ m/s}$$

$$j_G = 9.9141 \text{ m/s}$$

← Flow

รูปที่ 4.14 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 3 (ดังรูปที่ 4.4)

จากรูปที่ 4.14 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มุม 675 องศา ความยาว 540 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 3 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของฟองอากาศ ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่

2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความเร็วของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

3. Annular flow : เกิดจากลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลาง ต่อเนื่องกันตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 4 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มีมุม 1035 องศา ความยาว 690 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



← Flow

Slug flow

$$j_L = 0.3042 \text{ m/s}$$

$$j_G = 2.6241 \text{ m/s}$$



← Flow

Throat-annular flow

$$j_L = 0.2996 \text{ m/s}$$

$$j_G = 8.5144 \text{ m/s}$$



← Flow

Annular flow

$$j_L = 0.1994 \text{ m/s}$$

$$j_G = 7.5485 \text{ m/s}$$

รูปที่ 4.15 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 5 (ดังรูปที่ 4.5)

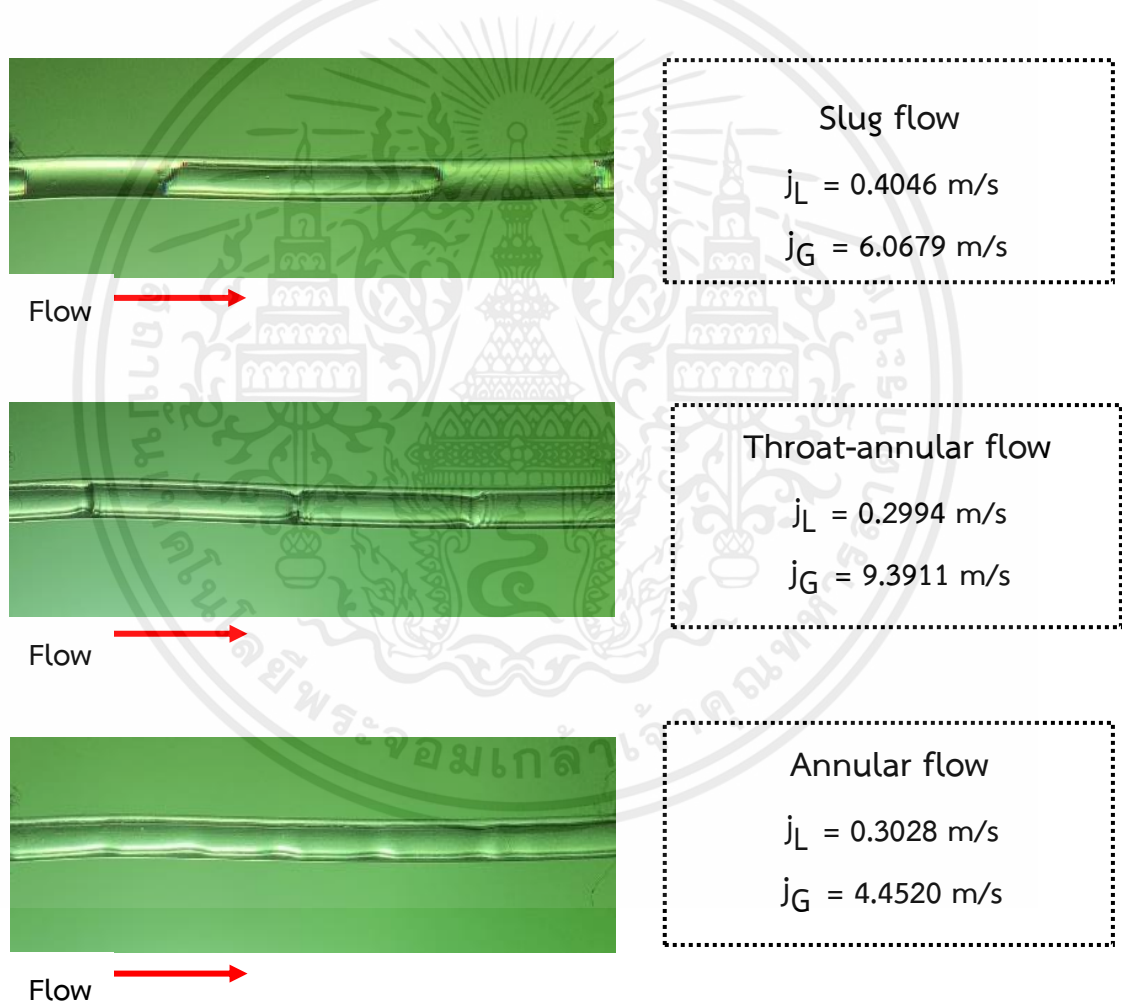
จากรูปที่ 4.15 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มีมุม 1035 องศา ความยาว 690 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 4 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของฟองอากาศ ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่

2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความเร็วของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

3. Annular flow : เกิดจากลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลาง ต่อเนื่องกันตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 5 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณทางออกของ Test section ที่มีมุม 0 องศา ความยาว 780 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



รูปที่ 4.16 รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 5 (ดังรูปที่ 4.6)

จากรูปที่ 4.16 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มุม 0 องศา ความยาว 780 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 5 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

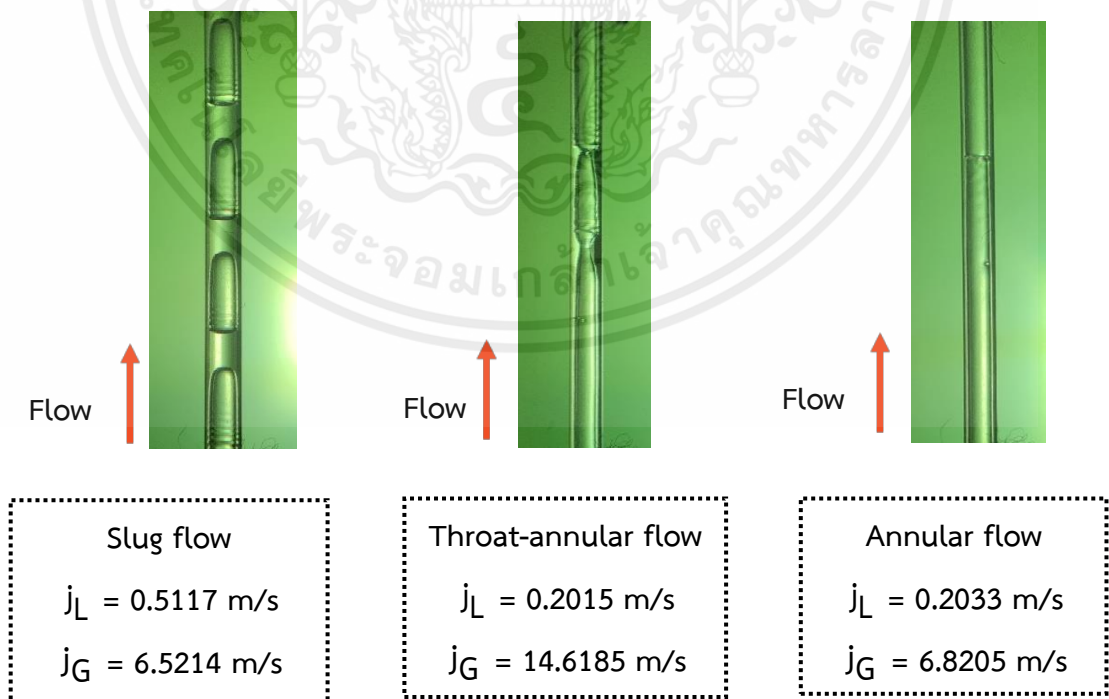
1. Slug flow : เกิดขึ้นที่ความเร็วเฟสของแก๊สค่อนข้างต่ำ มีลักษณะเป็นฟองยาวที่ไหลไปในทิศทางเดียวกับการไหลจะมีลักษณะคล้ายกระสุนที่เป็นแก๊ส โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของแก๊สที่เทียบเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ หากสังเกตจะพบฟองแก๊สเล็กๆเกิดขึ้น

2. Annular flow : เป็นลักษณะของเหลวไหลเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มของของเหลวด้านล่างจะหนากว่าชั้นบนและอาจมีละอองของของเหลวเคลื่อนที่กระจายอยู่ในแก๊สซึ่งเคลื่อนที่อยู่บริเวณแกนกลางของท่อ

3. Throat-annular flow : การเกิดขึ้นจากรูปแบบการไหล slug flow มาจนระหว่างรอยชนของฟองอากาศจะมีลักษณะเป็นคอคอด (Throat) จะมีลักษณะคล้าย annular flow แต่มีจะมีคอคอดเกิดขึ้นทำให้เห็นได้อย่างชัดเจน

รูปแบบการไหลในแนวนอน

ตำแหน่งที่ 1 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณทางเข้า Test section ที่มุม 0 องศา ความยาว 150 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



รูปที่ 4.17 รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 1 (ดังรูปที่ 4.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

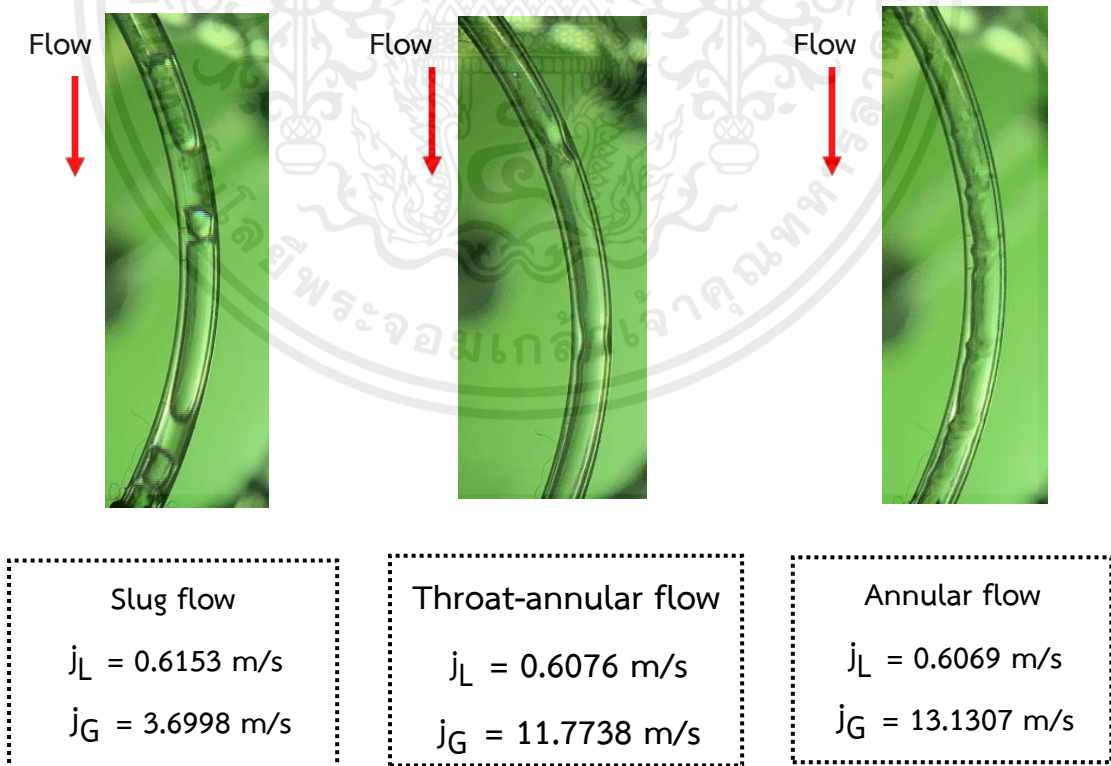
จากรูปที่ 4.17 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มุม 0 องศา ความยาว 150 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 1 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดขึ้นที่ความเร็วเฟสของแก๊สค่อนข้างต่ำ มีลักษณะเป็นฟองยาวที่ไหลไปในทิศทางเดียวกับการไหลจะมีลักษณะคล้ายกระสุนที่เป็นแก๊ส โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของแก๊สที่เทียบเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ หากสังเกตจะพบฟองแก๊สเล็กๆเกิดขึ้น

2. Annular flow : เป็นลักษณะของเหลวไหลเป็นชั้นฟิล์มบางแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มของของเหลวด้านล่างจะหนากว่าชั้นบนและอาจมีละอองของของเหลวเคลื่อนที่กระจายอยู่ในแก๊สซึ่งเคลื่อนที่อยู่บริเวณแกนกลางของท่อ

3. Throat-annular flow : การเกิดขึ้นจากรูปแบบการไหล slug flow มาจนระหว่างรอยชนของฟองอากาศจะมีลักษณะเป็นคอคอด (Throat) จะมีลักษณะคล้าย annular flow แต่จะมีคอคอดเกิดขึ้นทำให้เห็นได้อย่างชัดเจน

ตำแหน่งที่ 2 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มุม 315 องศา ความยาว 400 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



รูปที่ 4.18 รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 2 (ดังรูปที่ 4.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

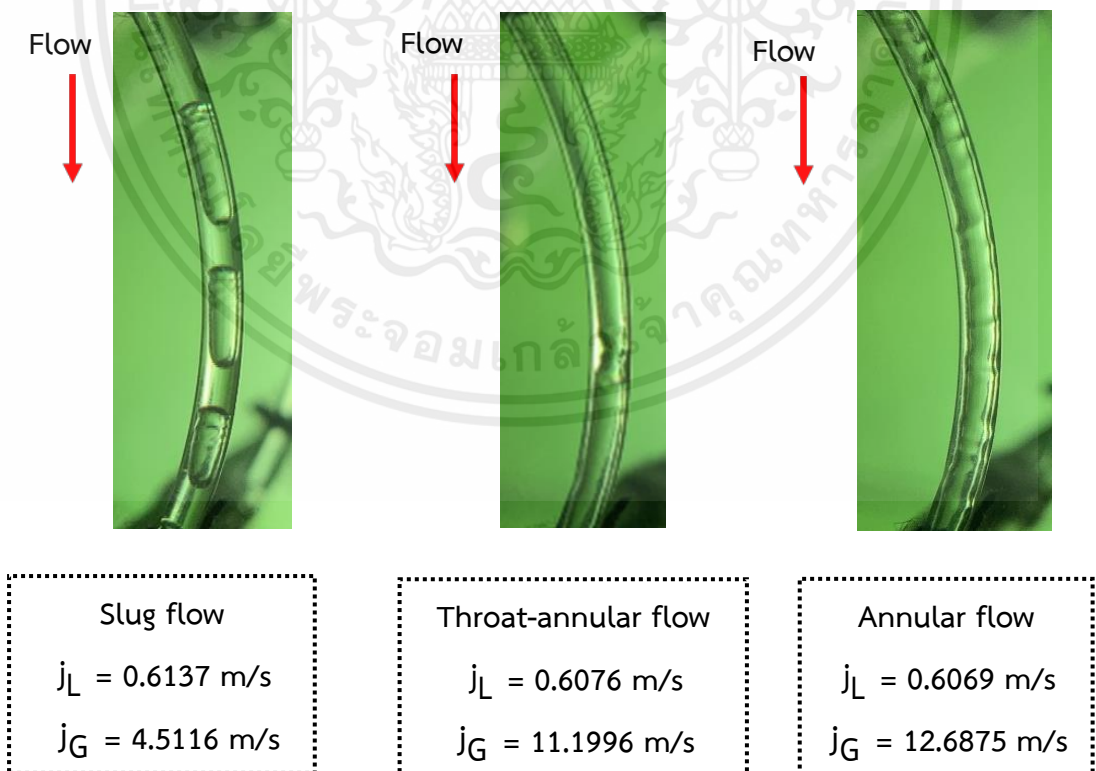
จากรูปที่ 4.18 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มุม 315 องศา ความยาว 400 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 2 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของฟองอากาศ ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่

2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความเร็วของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

3. Annular flow : เกิดจากลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลาง ต่อเนื่องกันตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีการไหลบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 3 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มุม 675 องศา ความยาว 540 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



รูปที่ 4.19 รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 3 (ดังรูปที่ 4.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

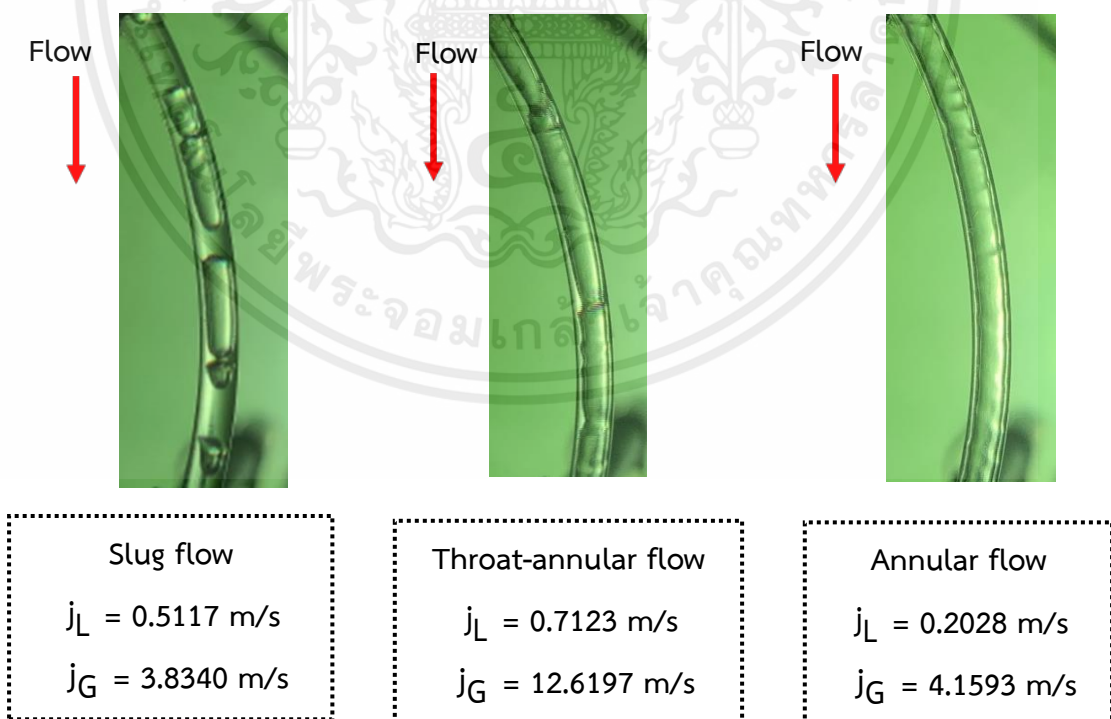
จากรูปที่ 4.19 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มุม 675 องศา ความยาว 540 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 3 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของฟองอากาศ ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่

2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความเร็วของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

3. Annular flow : เกิดจากลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลาง ต่อเนื่องกันตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 4 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มุม 1035 องศา ความยาว 690 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



รูปที่ 4.20 รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 4 (ดังรูปที่ 4.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

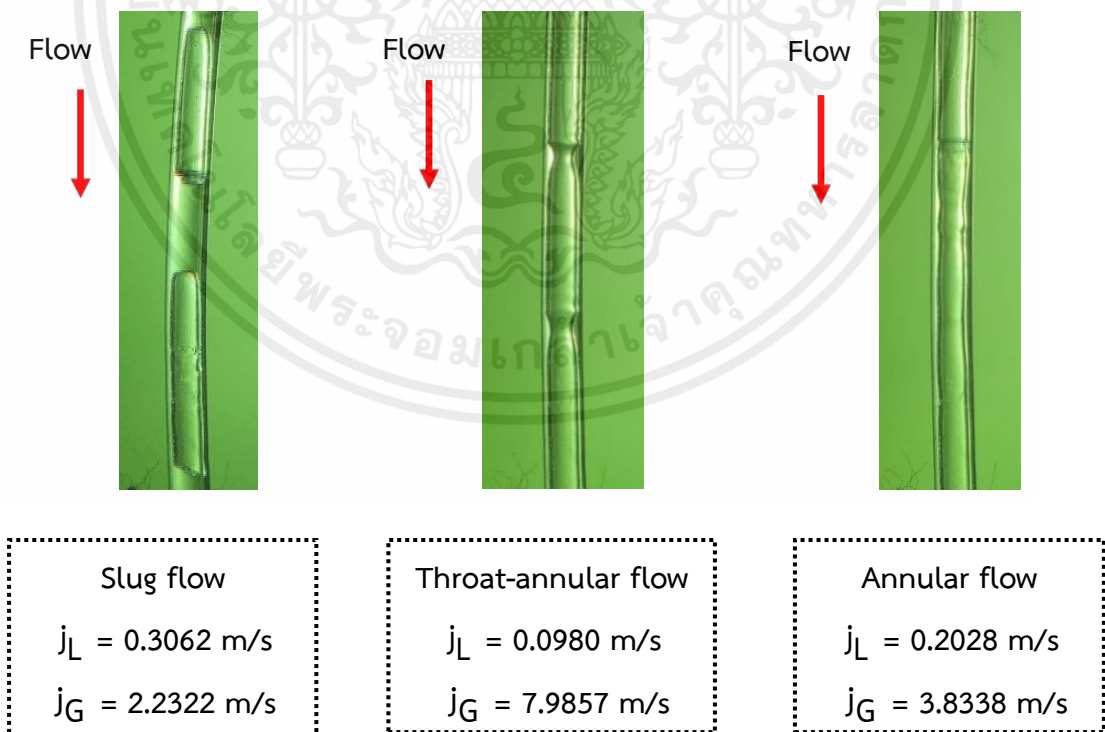
จากรูปที่ 4.20 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มีมุม 1035 องศา ความยาว 690 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 4 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของฟองอากาศ ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่

2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความเร็วของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

3. Annular flow : เกิดจากลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ และมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลาง ต่อเนื่องกันตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีการไหลบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 5 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณทางออกของ Test section ที่มีมุม 0 องศา ความยาว 780 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



รูปที่ 4.21 รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 5 (ดังรูปที่ 4.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลบริเวณท่อขดเกลียวที่มีมุม 0 องศา ความยาว 780 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 5 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

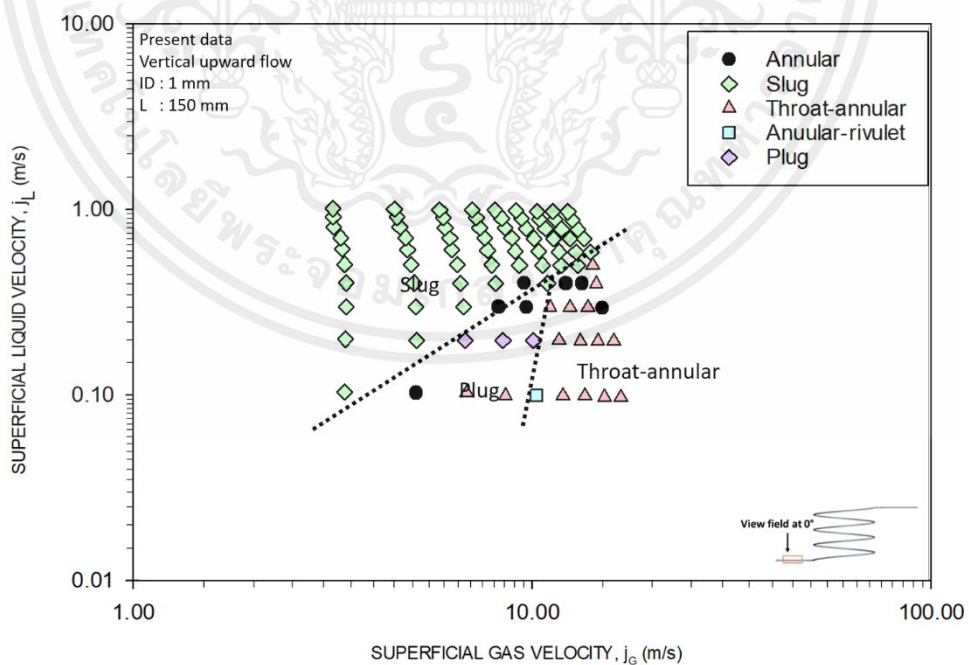
1. Slug flow : เกิดขึ้นที่ความเร็วเฟสของแก๊สค่อนข้างต่ำ มีลักษณะเป็นฟองยาวที่ไหลไปในทิศทางเดียวกับการไหลจะมีลักษณะคล้ายกระสุนที่เป็นแก๊ส โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของแก๊สที่เทียบเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ หากสังเกตจะพบฟองแก๊สเล็กๆเกิดขึ้น

2. Annular flow : เป็นลักษณะของเหลวไหลเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มของของเหลวด้านล่างจะหนากว่าชั้นบนและอาจมีละอองของของเหลวเคลื่อนที่กระจายอยู่ในแก๊สซึ่งเคลื่อนที่อยู่บริเวณแกนกลางของท่อ

3. Throat-annular flow : การเกิดขึ้นจากรูปแบบการไหล slug flow มาชนระหว่างรอยชนของฟองอากาศจะมีลักษณะเป็นคอคอด (Throat) จะมีลักษณะคล้าย annular flow แต่จะมีคอคอดเกิดขึ้นทำให้เห็นได้อย่างชัดเจน

4.1.4 แผนที่รูปแบบการไหล (Flow pattern map)

รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศการไหลจากล่างขึ้นบน
ตำแหน่งที่ 1

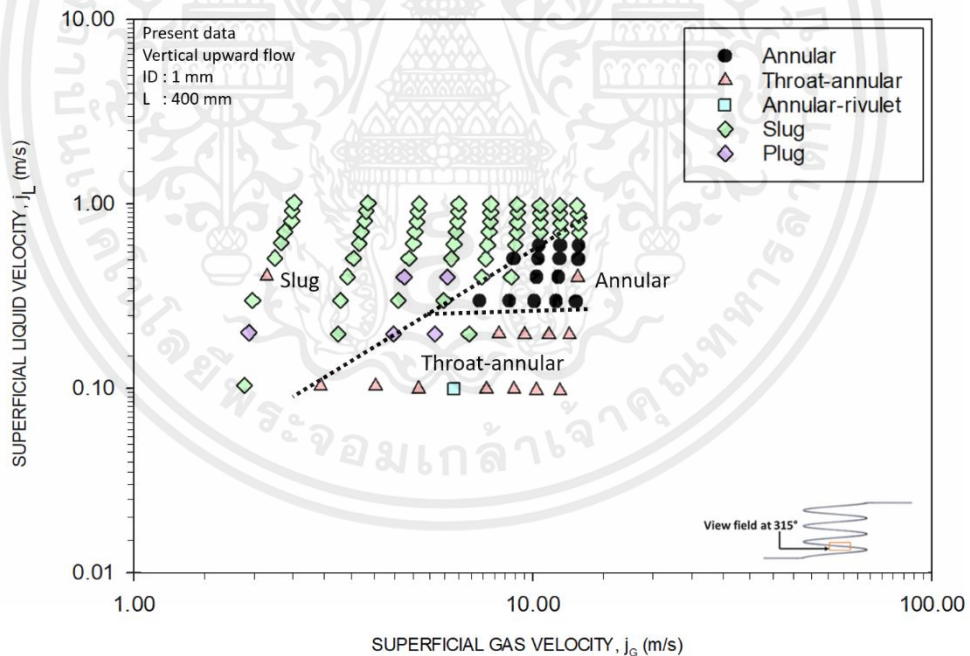


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ทิศการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.22 กราฟที่ตำแหน่งที่ 1 พบว่ารูปแบบการไหลแบบ Slug flow พบมากที่สุดโดยมีช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-1.03 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 3.20-12.40 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-0.52 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 6.70-16.80 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-0.41 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 5.16-13.47 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Plug flow ที่ความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.21 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.84-10.17 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Annular-rivulet flow ที่ความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11 m/s ที่ความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 10.54 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Bubbly flow ที่ความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.42 m/s ที่ความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 3.44 m/s ซึ่งรูปแบบการไหลแบบ Bubbly flow, Annular-rivulet flow และ Plug flow มีการพบน้อยมาก

ตำแหน่งที่ 2



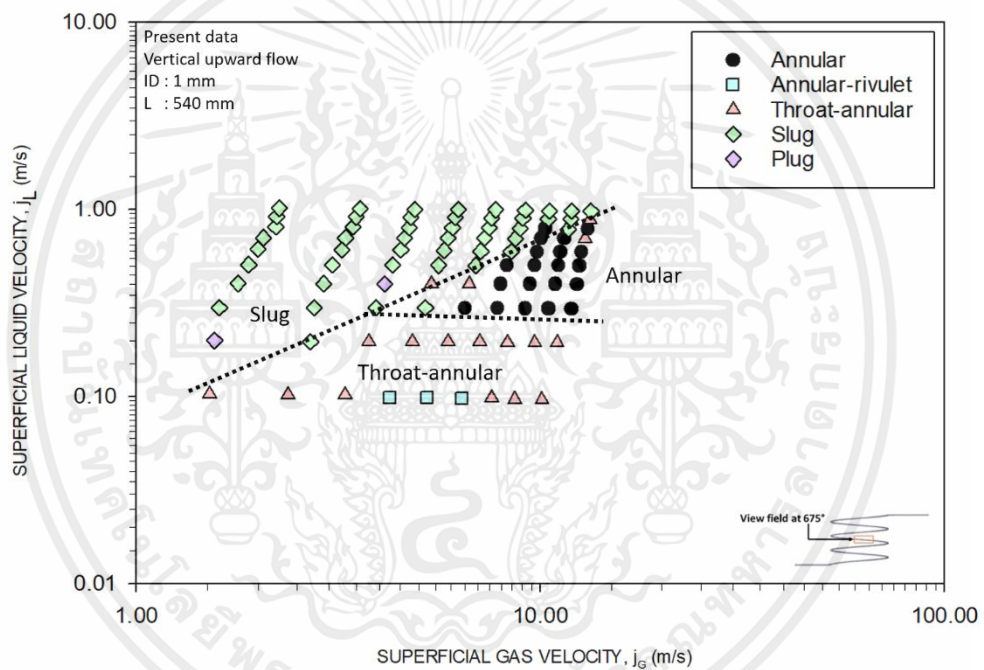
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ทิศการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 2

จากรูปที่ 4.23 กราฟที่ตำแหน่งที่ 2 พบว่ารูปแบบการไหลแบบ Slug flow พบมากที่สุดโดยมีช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-1.03 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.90-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.02 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.31-0.61 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 7.40-13.15 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-2.16 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 2.16-13.08 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Plug flow ที่ความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.21-0.41 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.95-6.14 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Annular-rivulet flow ซึ่งพบน้อยที่สุดที่ความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11 m/s ที่ความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 6.39 m/s

ตำแหน่งที่ 3

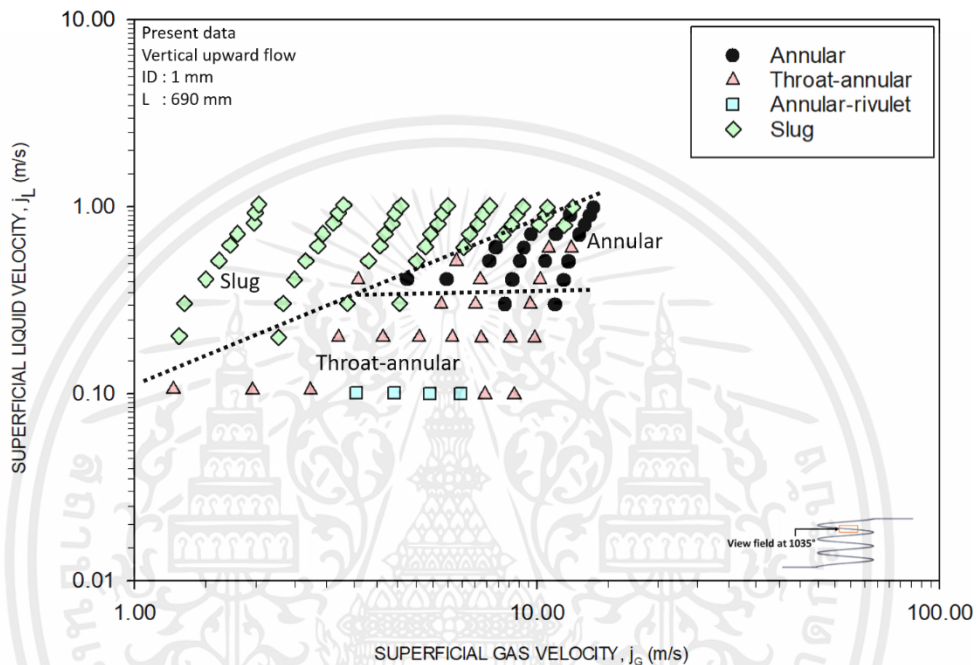


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ที่ศกการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 3

จากรูปที่ 4.24 กราฟที่ตำแหน่งที่ 3 พบว่ารูปแบบการไหลแบบ Slug flow พบมากที่สุดโดยมีช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.21-1.03 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.61-13.39 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.31-0.81 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 6.52-13.13 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-0.90 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.52-13.29 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Annular-rivulet flow ที่ความเร็วเฟสของน้ำ

ประมาณ 0.11 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 4.26-6.41 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Plug flow ซึ่งพบน้อยที่สุดที่ความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.21-0.41 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.57-4.13 m/s

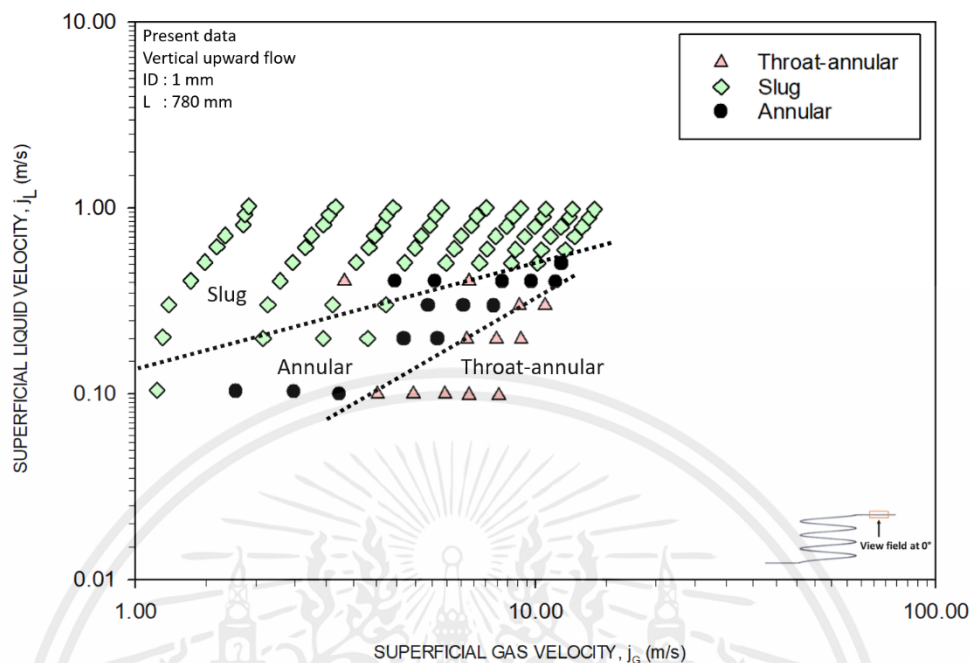
ตำแหน่งที่ 4



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ทิศการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 4

จากรูปที่ 4.25 กราฟที่ตำแหน่งที่ 4 พบว่ารูปแบบการไหลแบบ Slug flow พบมากที่สุดโดยมีช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.21-1.03 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.30-12.26 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.31-0.99 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 4.77-13.82 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.10-0.61 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.26-12.18 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Annular-rivulet flow ซึ่งพบน้อยที่สุดที่ความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 3.56-6.48 m/s

ตำแหน่งที่ 5

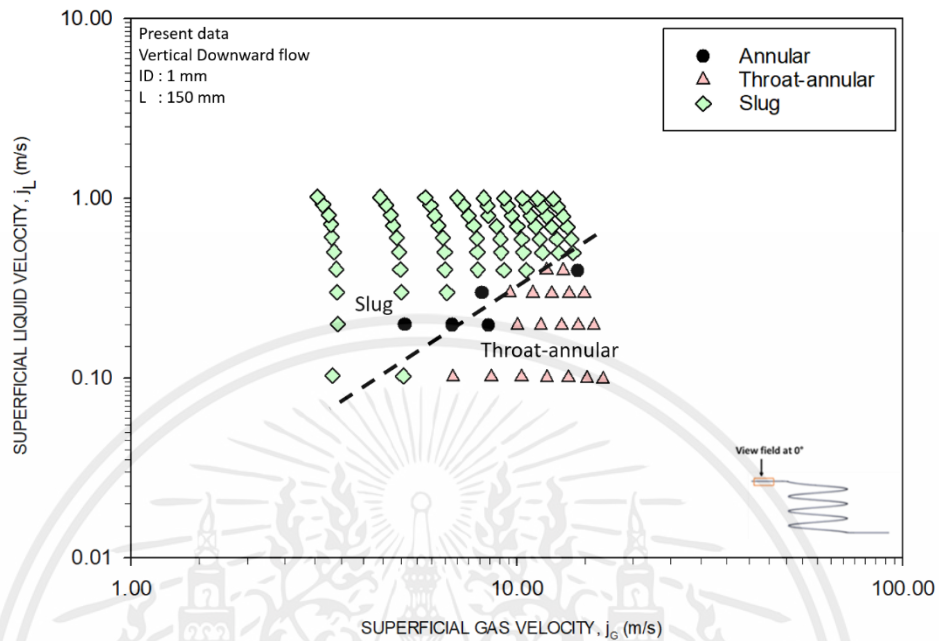


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ทิศการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 5

จากรูปที่ 4.26 กราฟที่ตำแหน่งที่ 5 พบว่ารูปแบบการไหลแบบ Slug flow พบมากที่สุดโดยมีช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-1.03 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.14-14.09 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-0.51 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.79-11.66 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.10-0.41 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 3.35-10.62 m/s

รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง

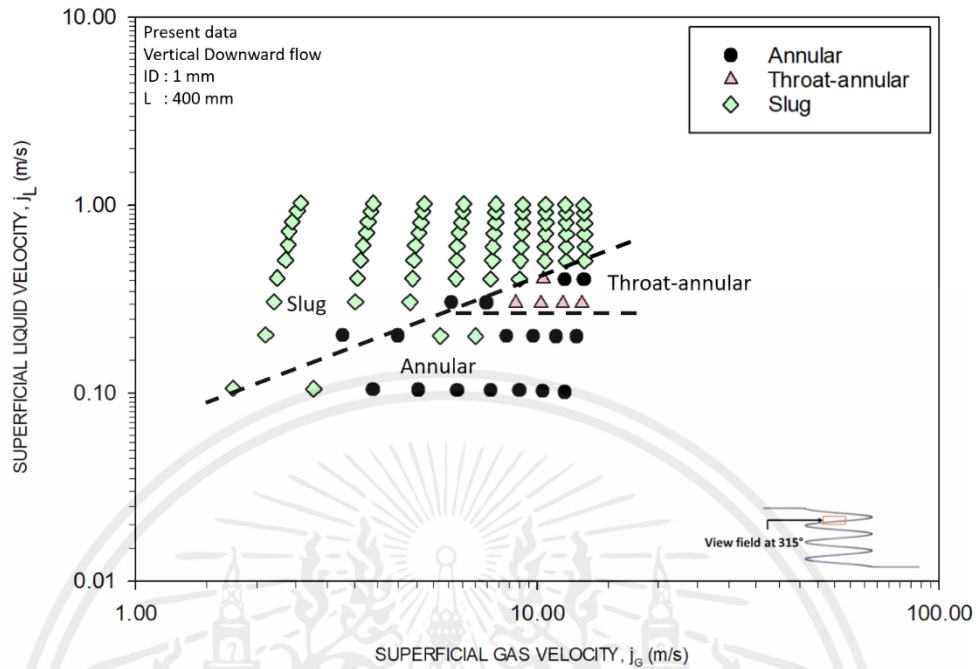
ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงแผนผังรูปแบบการไหลในแนวตั้ง ทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 1

จากรูปที่ 4.27 กราฟที่ตำแหน่งที่ 1 พบว่ารูปแบบการไหลแบบ Slug flow พบมากที่สุดโดยมีช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-1.03 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 3.15-14.07 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.10-0.41 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 6.86-16.80 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ซึ่งพบน้อยที่สุดที่ความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.20-1.03 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 3.06-14.46 m/s

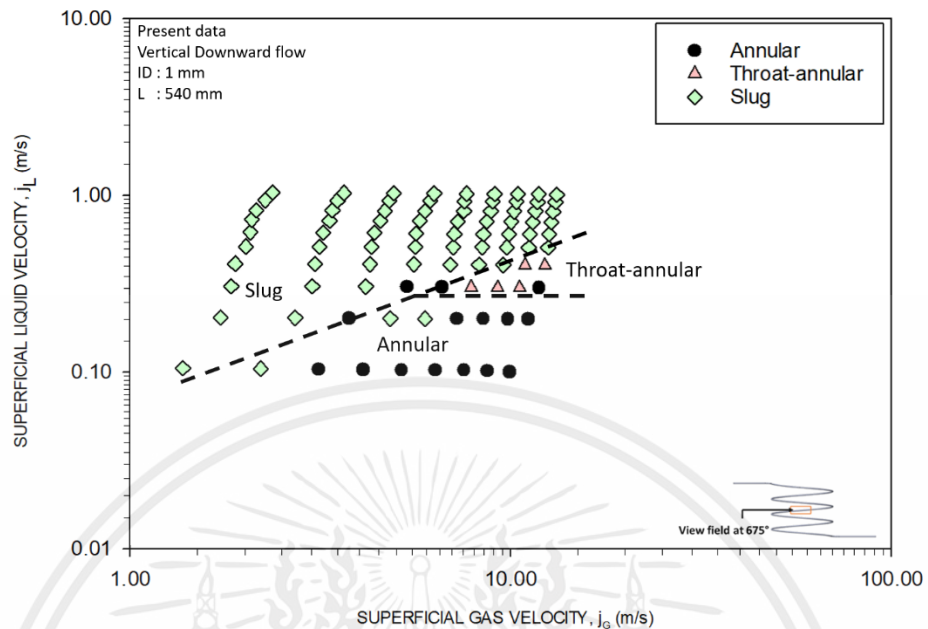
ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 2

จากรูปที่ 4.28 กราฟที่ตำแหน่งที่ 2 พบว่ารูปแบบการไหลแบบ Slug flow พบมากที่สุดโดยมีช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-1.03 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.75-13.17 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.10-0.41 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 3.29-13.10 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow ซึ่งพบน้อยที่สุดในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.30-0.41 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 8.85-12.95 m/s

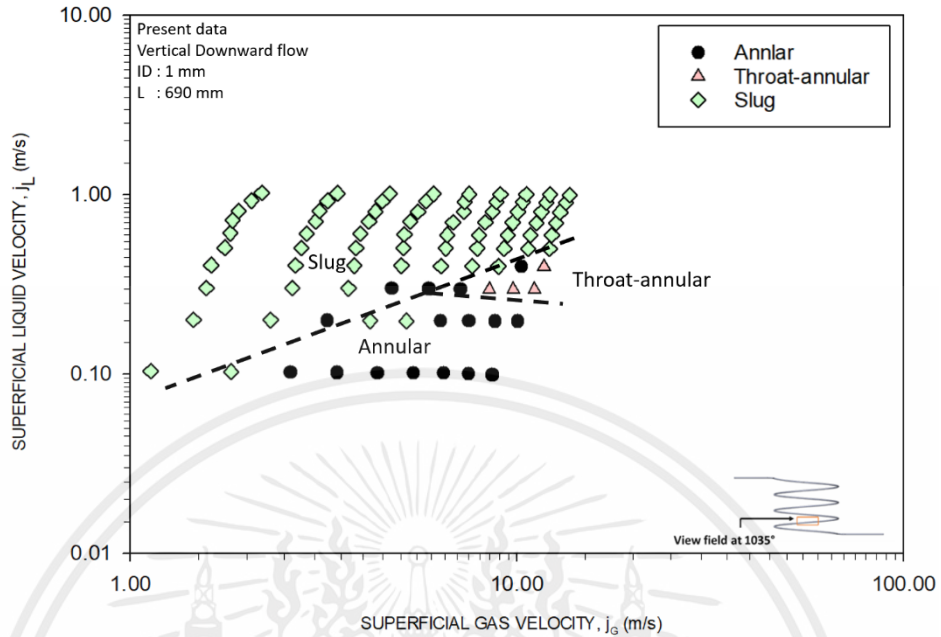
ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 3

จากรูปที่ 4.29 กราฟที่ตำแหน่งที่ 3 พบว่ารูปแบบการไหลแบบ Slug flow พบมากที่สุดโดยมีช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-1.03 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.39-13.39 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.10-0.31 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 3.14-12.03 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow ซึ่งพบน้อยที่สุดในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.30-0.41 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 7.96-12.45 m/s

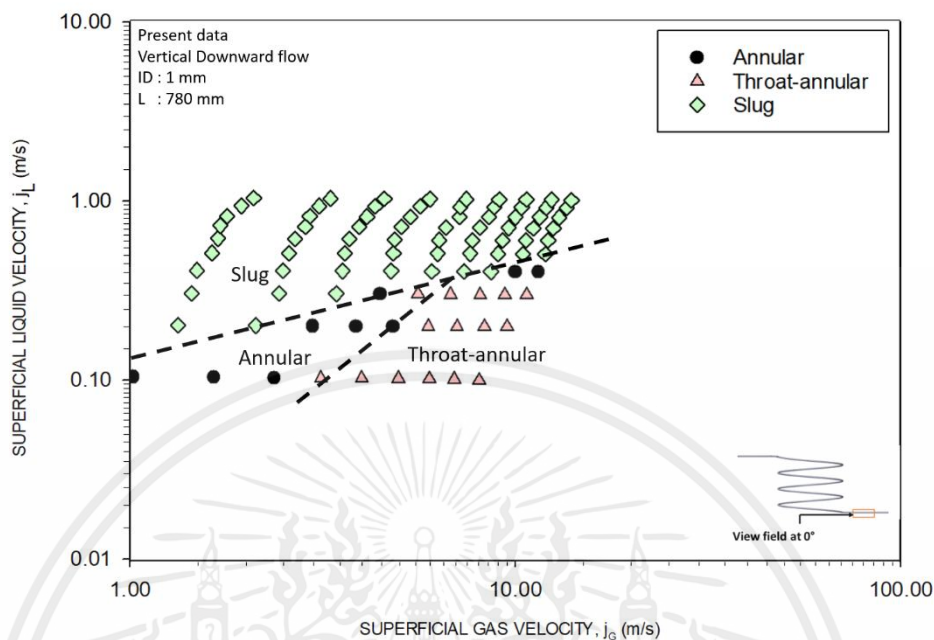
ตำแหน่งที่ 4



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 4

จากรูปที่ 4.30 กราฟที่ตำแหน่งที่ 4 พบว่ารูปแบบการไหลแบบ Slug flow พบมากที่สุดโดยมีช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-1.03 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.13-13.77 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.10-0.41 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 2.61-10.10 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow ซึ่งพบน้อยที่สุดในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.30-0.41 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 8.52-11.82 m/s

ตำแหน่งที่ 5

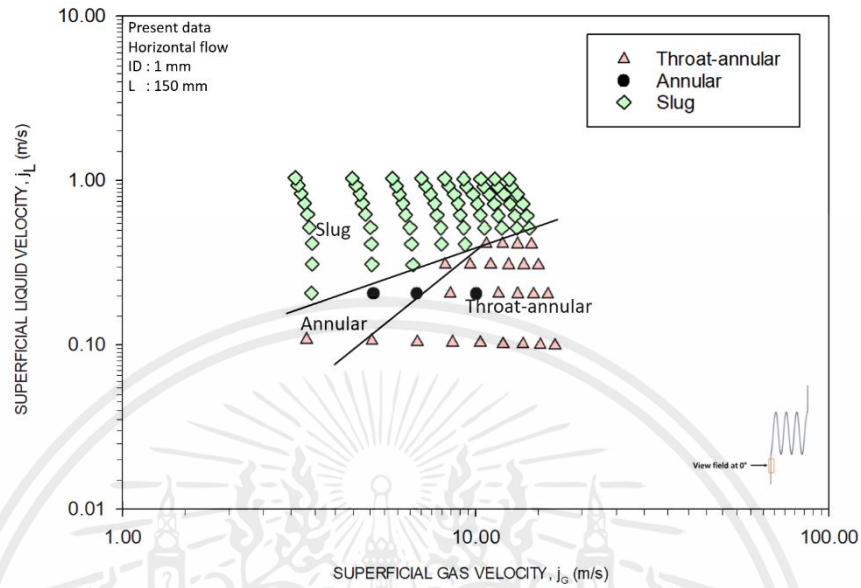


รูปที่ 4.31 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 5

จากรูปที่ 4.31 กราฟที่ตำแหน่งที่ 5 พบว่ารูปแบบการไหลแบบ Slug flow พบมากที่สุดโดยมีช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.21-2.10 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.33-14.01 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.10-0.31 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 3.13-10.71 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ซึ่งพบน้อยที่สุดในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-0.41 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.02-11.47 m/s

รูปแบบการไหลในแนวนอน

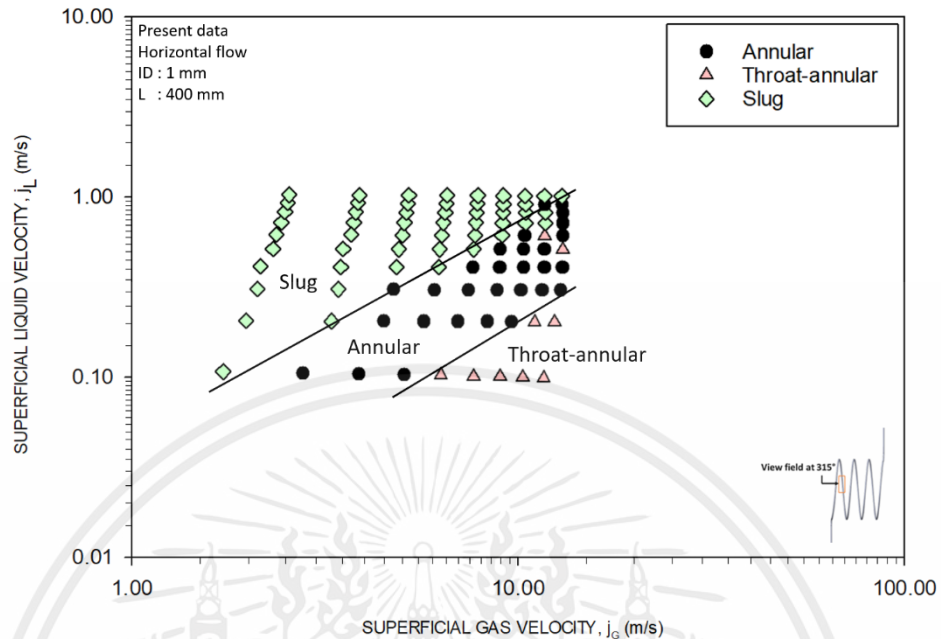
ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 1

จากรูปที่ 4.32 กราฟที่ตำแหน่งที่ 1 พบว่ารูปแบบการไหลแบบ Slug flow พบมากที่สุดโดยมีช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.21-1.05 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 3.44-12.49 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-0.42 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 3.32-14.45 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ซึ่งพบน้อยที่สุดที่ความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.21 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 5.15-10.08 m/s

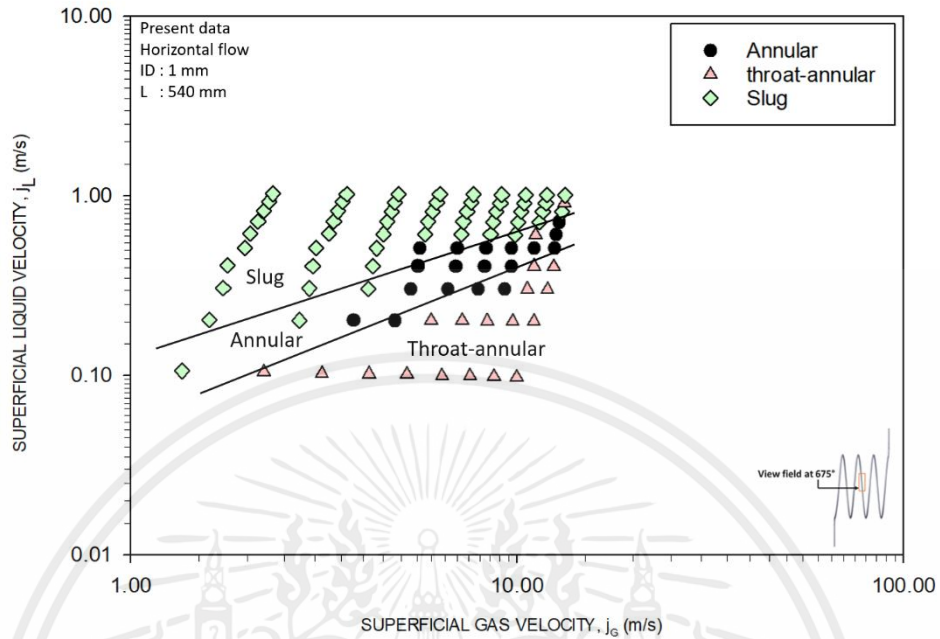
ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 2

จากรูปที่ 4.33 กราฟที่ตำแหน่งที่ 2 พบว่ารูปแบบการไหลแบบ Slug flow พบมากที่สุดโดยมีช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-1.03 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.73-13.04 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-0.91 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 2.78-13.07 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow ซึ่งพบน้อยที่สุดในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-0.61 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 6.33-13.12 m/s

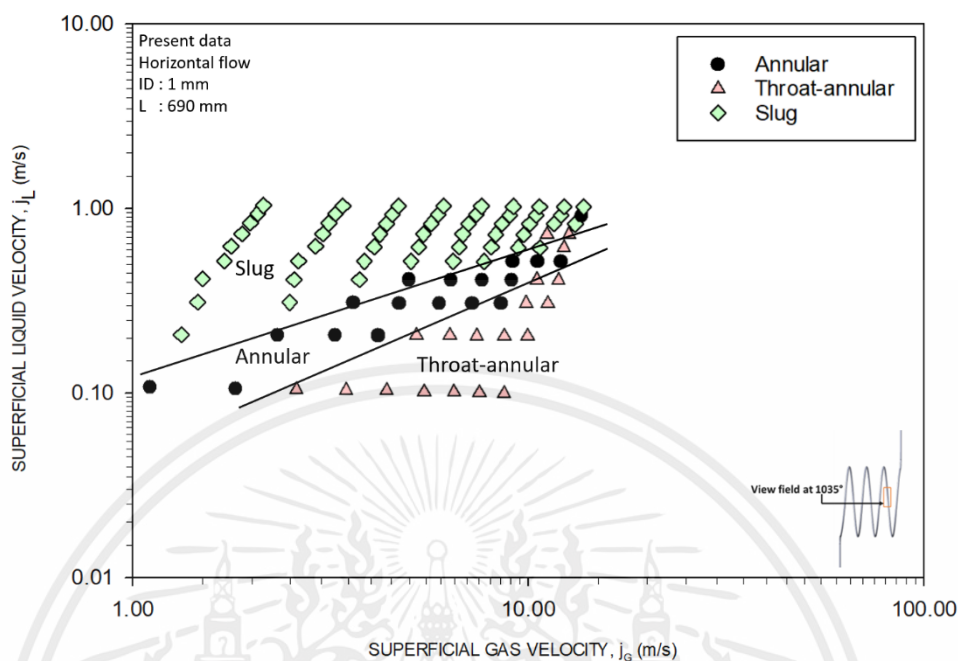
ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 3

จากรูปที่ 4.32 กราฟที่ตำแหน่งที่ 3 พบว่ารูปแบบการไหลแบบ Slug flow พบมากที่สุดโดยมีช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-1.13 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.36-13.37 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.21-0.72 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 3.79-12.89 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-0.91 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 2.22-13.30 m/s

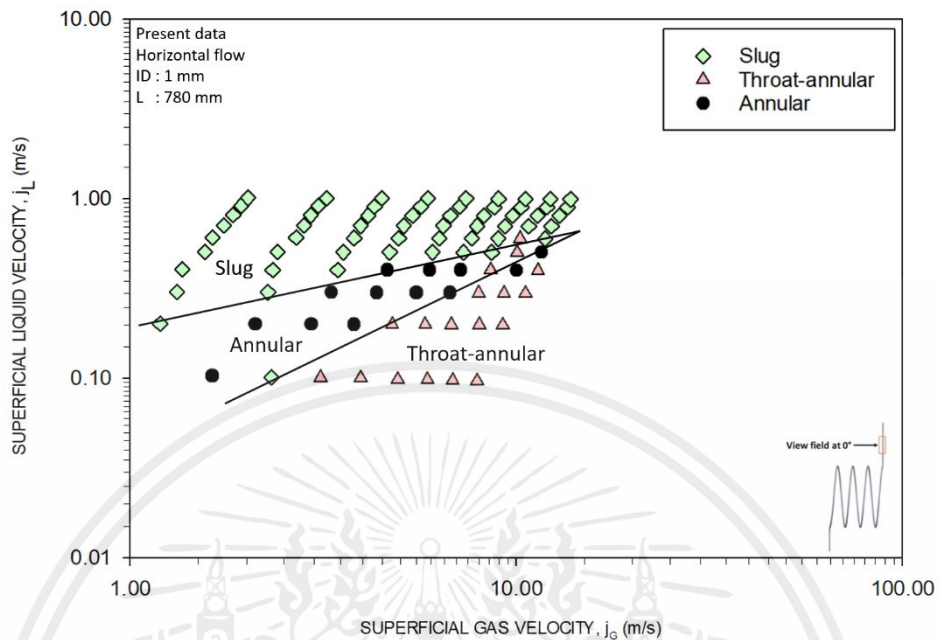
ตำแหน่งที่ 4



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 4

จากรูปที่ 4.35 กราฟที่ตำแหน่งที่ 4 พบว่ารูปแบบการไหลแบบ Slug flow พบมากที่สุดโดยมีช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.21-1.03 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.33-13.74 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-0.91 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.11-13.56 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-0.72 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 2.59-12.62 m/s

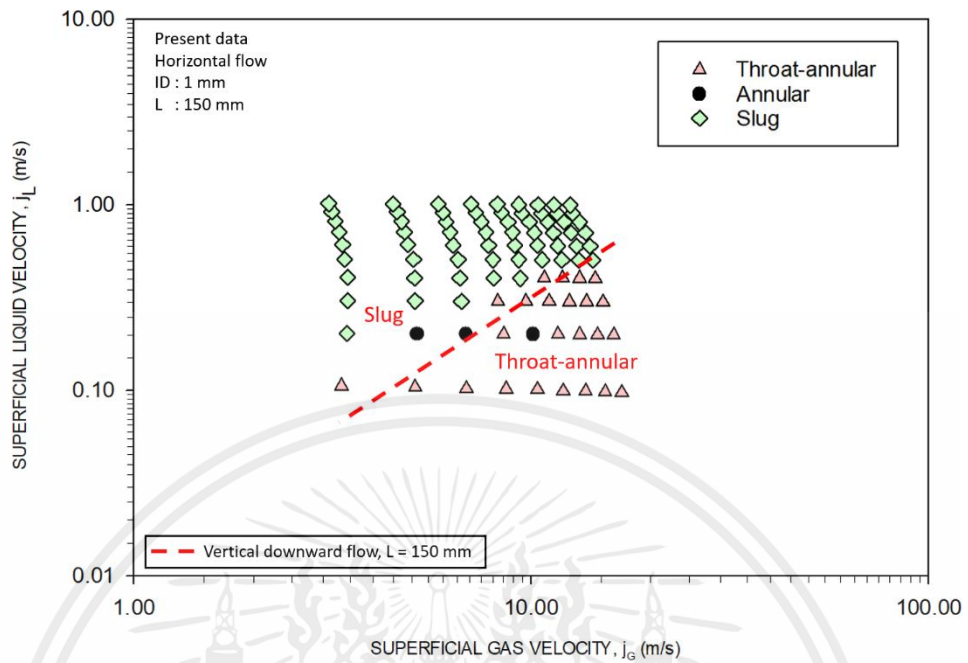
ตำแหน่งที่ 5



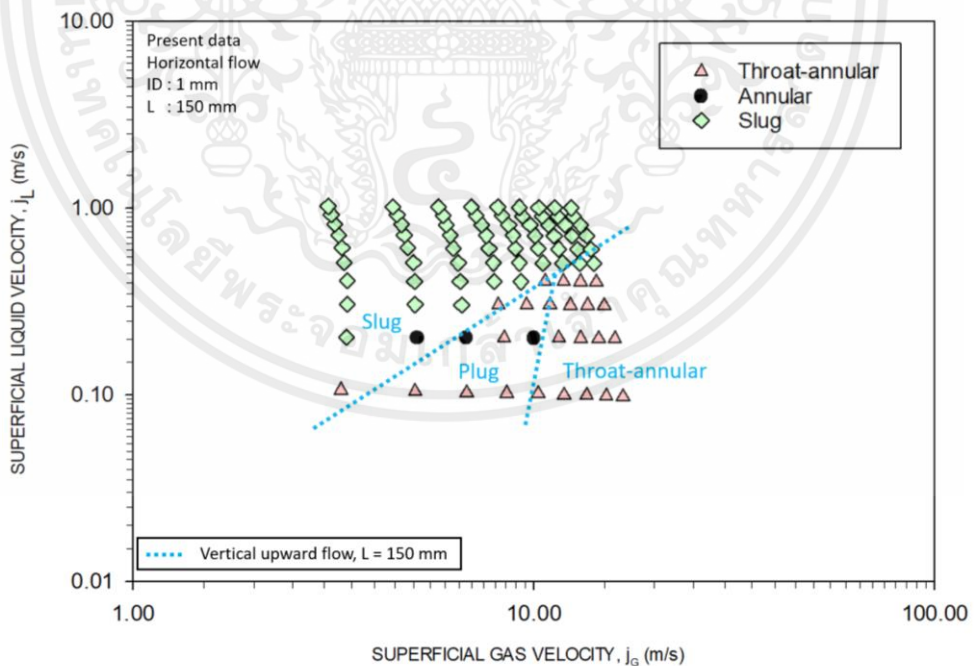
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 5

จากรูปที่ 4.36 กราฟที่ตำแหน่งที่ 5 พบว่ารูปแบบการไหลแบบ Slug flow พบมากที่สุดโดยมีช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-1.03 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.00-13.97 m/s พบรูปแบบการไหลแบบ Annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-0.51 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 1.65-11.75 m/s และพบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow ในช่วงความเร็วเฟสของน้ำประมาณ 0.11-0.61 m/s ช่วงความเร็วเฟสของอากาศประมาณ 3.15-10.34 m/s

กราฟแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหล 3 ทิศทาง

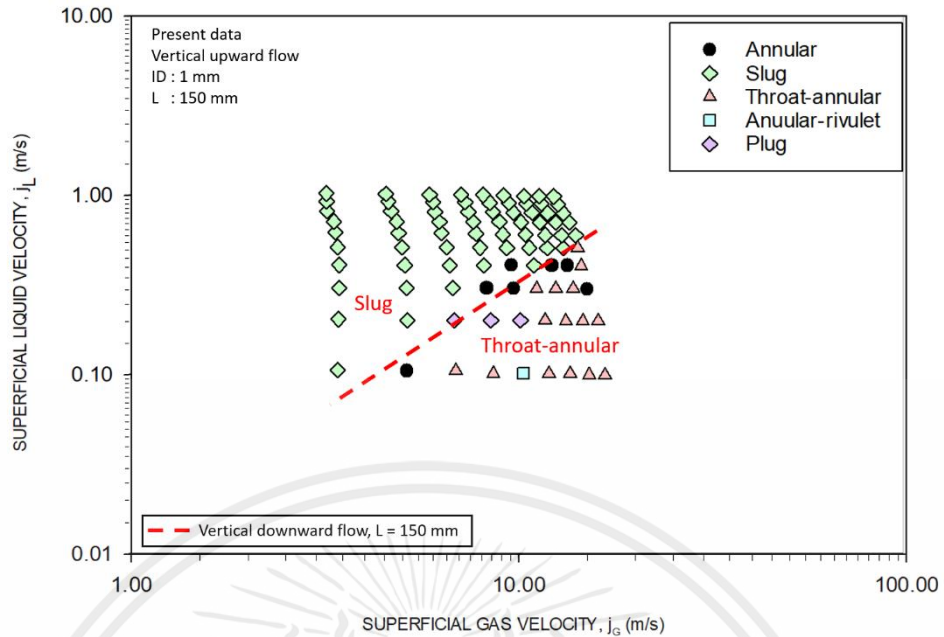


รูปที่ 4.37 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้ง จากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 1



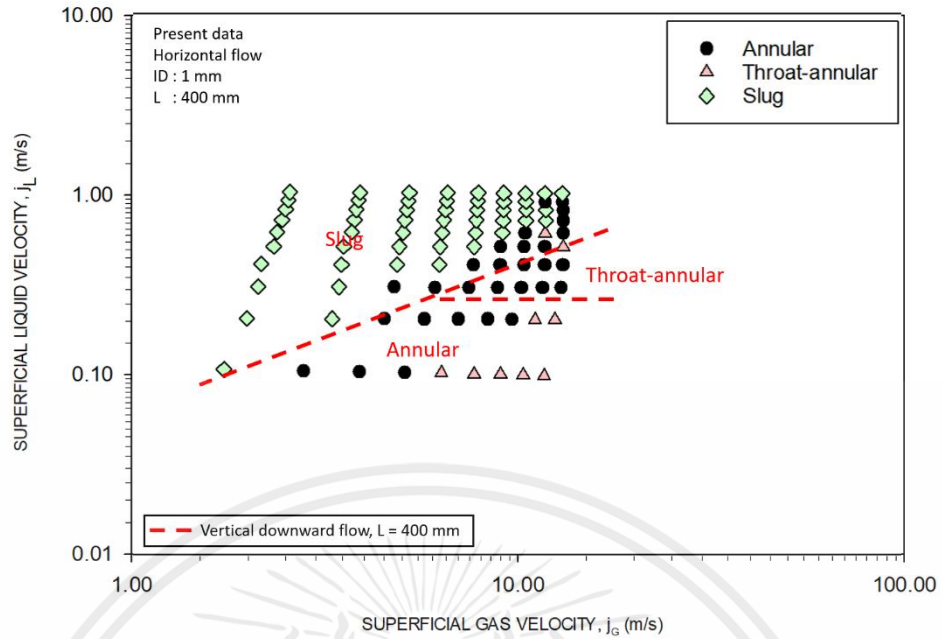
รูปที่ 4.38 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้ง จากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

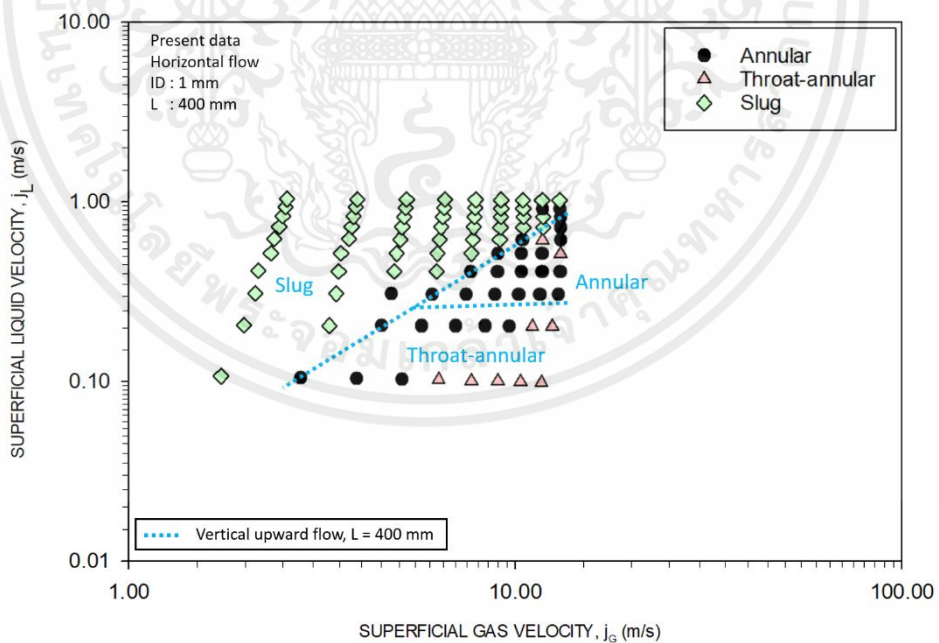


รูปที่ 4.39 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบนกับการไหลในตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 1

จากรูปที่ 4.37, 4.38 และ 4.39 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันลดภายในท่อของการไหลระหว่างทั้งสามทิศทางในตำแหน่งที่ 1 ที่ความยาว 150 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อความเร็วเฟสของอากาศมากขึ้นค่าความดันลดก็จะมีค่าที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเร็วเฟสของอากาศมีผลต่อค่าความดันลดภายในท่อ และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสามทิศทางในช่วงความเร็วเฟสของน้ำใกล้เคียงกันพบว่าค่าความดันลดภายในท่อของการไหลที่มีทิศทางไหลจากล่างขึ้นบนมีค่าที่สูงกว่าในอีกสองทิศทาง

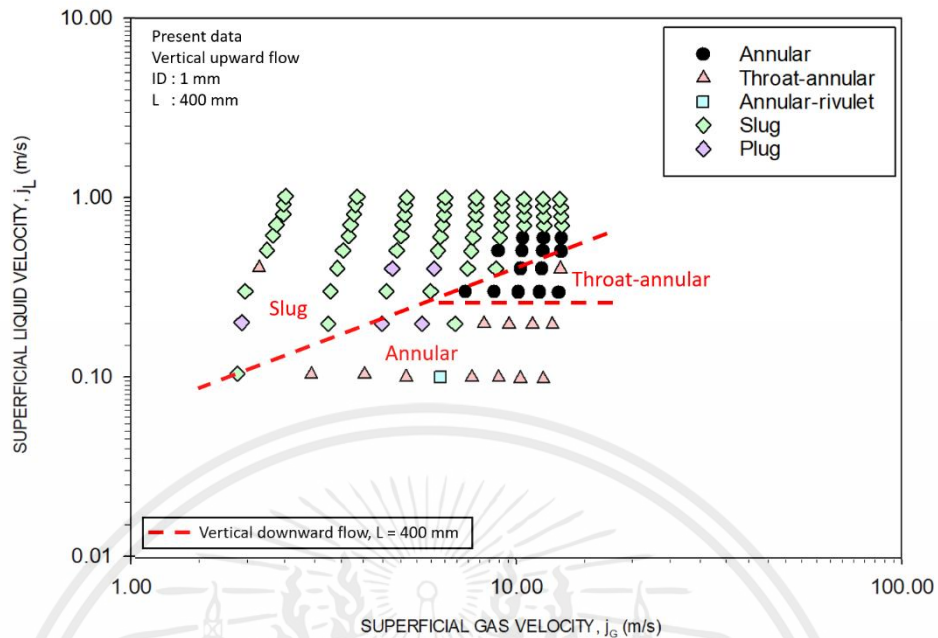


รูปที่ 4.40 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้ง จากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 2



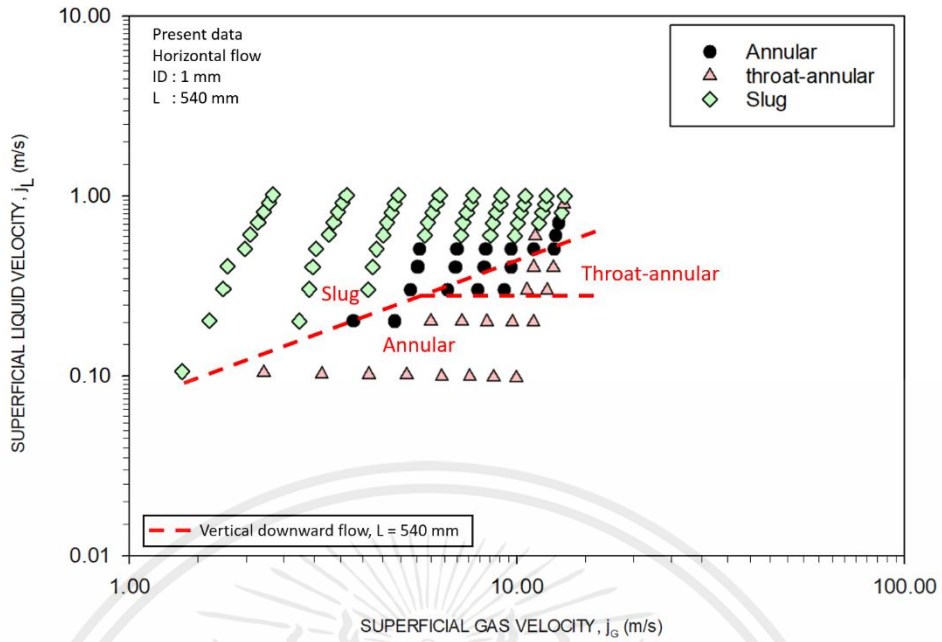
รูปที่ 4.41 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้ง จากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

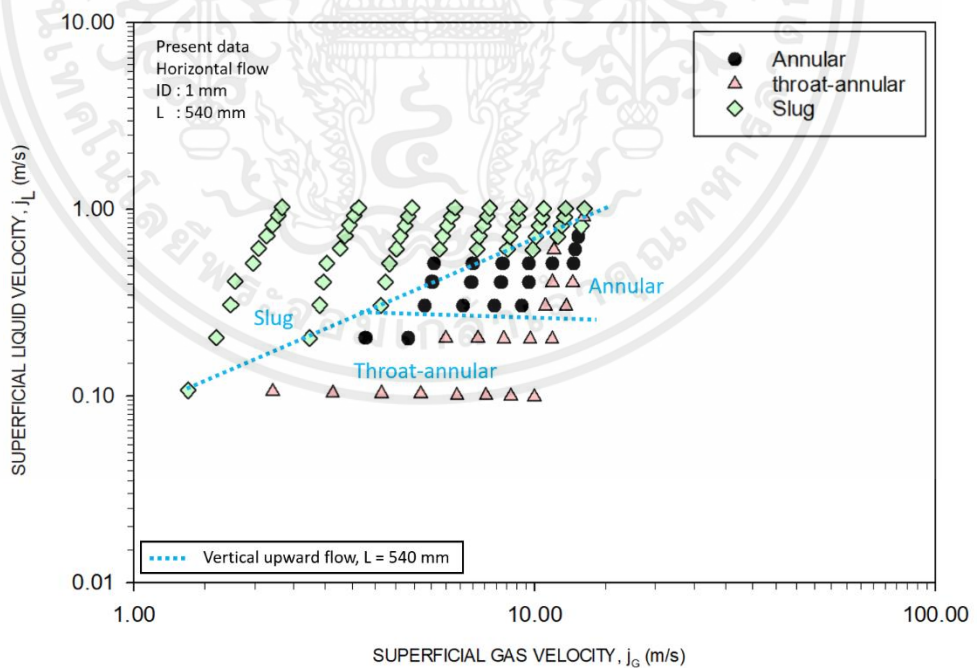


รูปที่ 4.42 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบน กับการไหลในตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 2

จากรูปที่ 4.40, 4.41 และ 4.42 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันลดภายในท่อของการไหลระหว่างทั้งสามทิศทางในตำแหน่งที่ 2 ที่ความยาว 400 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อความเร็วเฟสของอากาศมากขึ้นค่าความดันลดก็จะมีค่าที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเร็วเฟสของอากาศมีผลต่อค่าความดันลดภายในท่อ และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสามทิศทางในช่วงความเร็วเฟสของน้ำใกล้เคียงกันพบว่าค่าความดันลดภายในท่อของการไหลที่มีทิศทางไหลจากล่างขึ้นบนมีค่าที่สูงกว่าในอีกสองทิศทาง

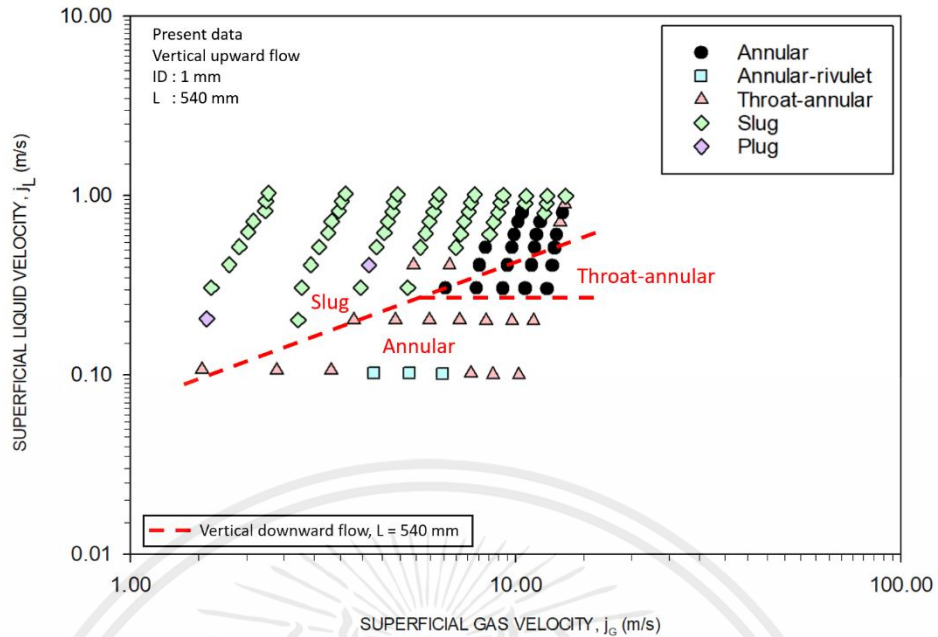


รูปที่ 4.43 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้ง จากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 3



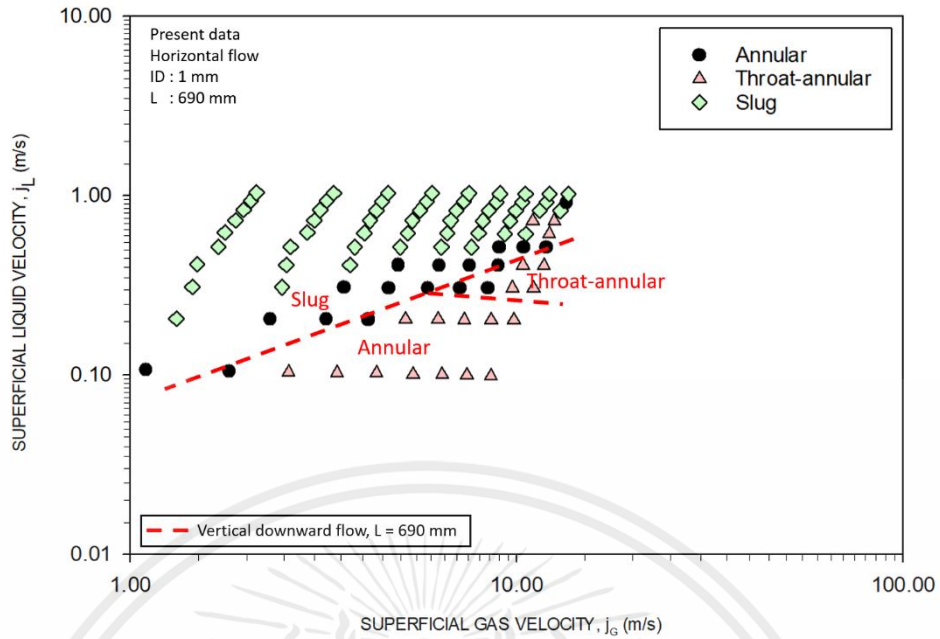
รูปที่ 4.44 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้ง จากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

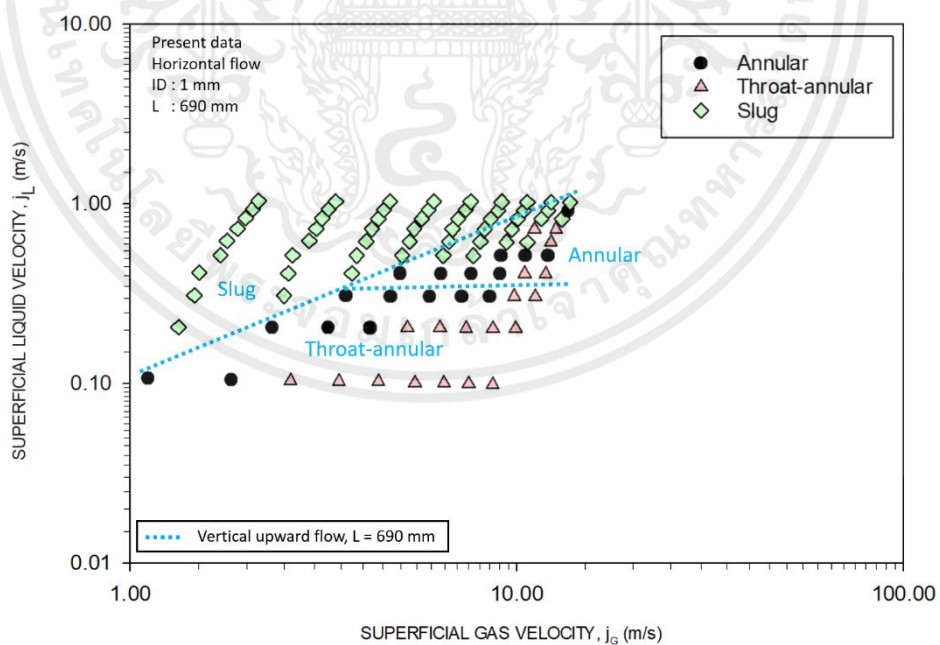


รูปที่ 4.45 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบน กับการไหลในตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 3

จากรูปที่ 4.43, 4.44 และ 4.45 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันลดภายในท่อของการไหลระหว่างทั้งสามทิศทางในตำแหน่งที่ 3 ที่ความยาว 540 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อความเร็วเฟสของอากาศมากขึ้นค่าความดันลดก็จะมีค่าที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเร็วเฟสของอากาศมีผลต่อค่าความดันลดภายในท่อ และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสามทิศทางในช่วงความเร็วเฟสของน้ำใกล้เคียงกันพบว่าค่าความดันลดภายในท่อของการไหลที่มีทิศทางไหลจากล่างขึ้นบนมีค่าที่สูงกว่าในอีกสองทิศทาง

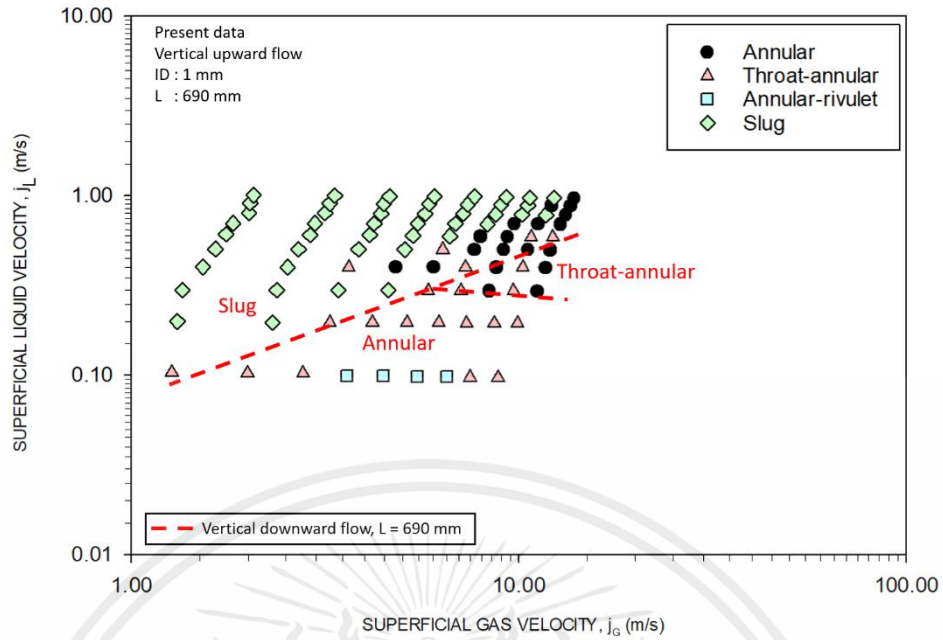


รูปที่ 4.46 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้ง จากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 4



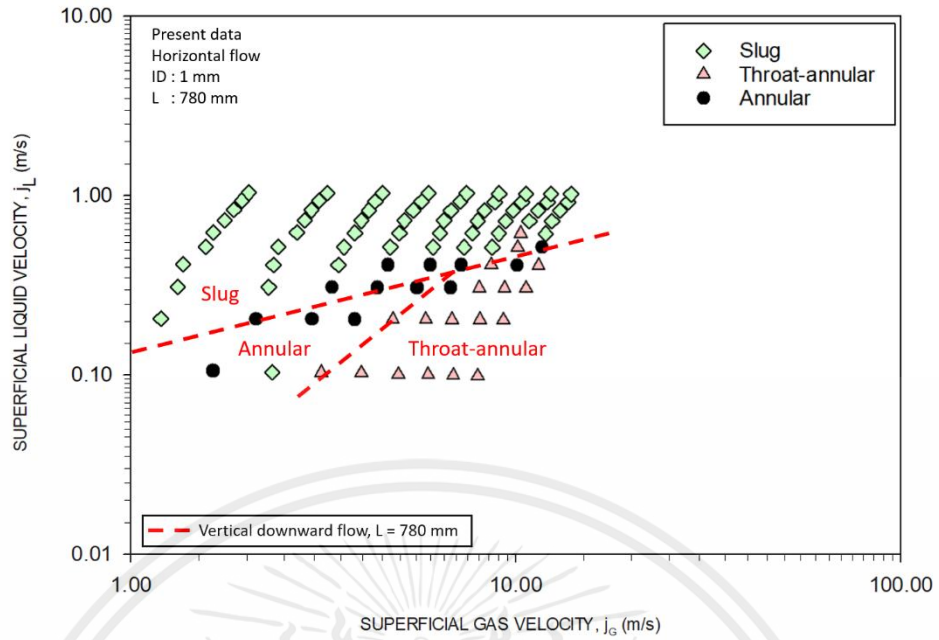
รูปที่ 4.47 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้ง จากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

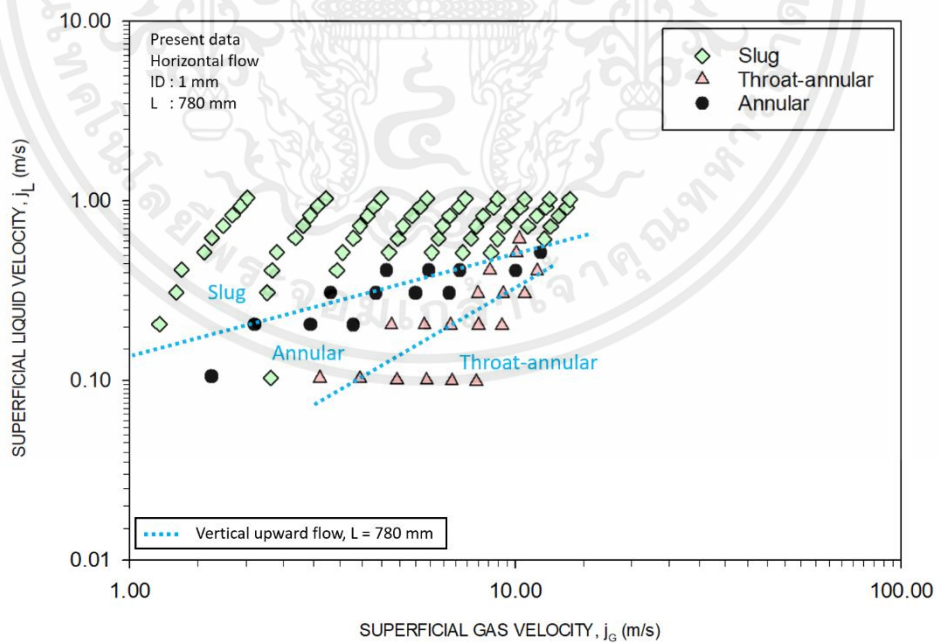


รูปที่ 4.48 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบน กับการไหลในตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 4

จากรูปที่ 4.46, 4.47 และ 4.48 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันลดภายในท่อของการไหลระหว่างทั้งสามทิศทางในตำแหน่งที่ 4 ที่ความยาว 690 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อความเร็วเฟสของอากาศมากขึ้นค่าความดันลดก็จะมีค่าที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเร็วเฟสของอากาศมีผลต่อค่าความดันลดภายในท่อ และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสามทิศทางในช่วงความเร็วเฟสของน้ำใกล้เคียงกันพบว่าค่าความดันลดภายในท่อของการไหลที่มีทิศทางไหลจากล่างขึ้นบนมีค่าที่สูงกว่าในอีกสองทิศทาง

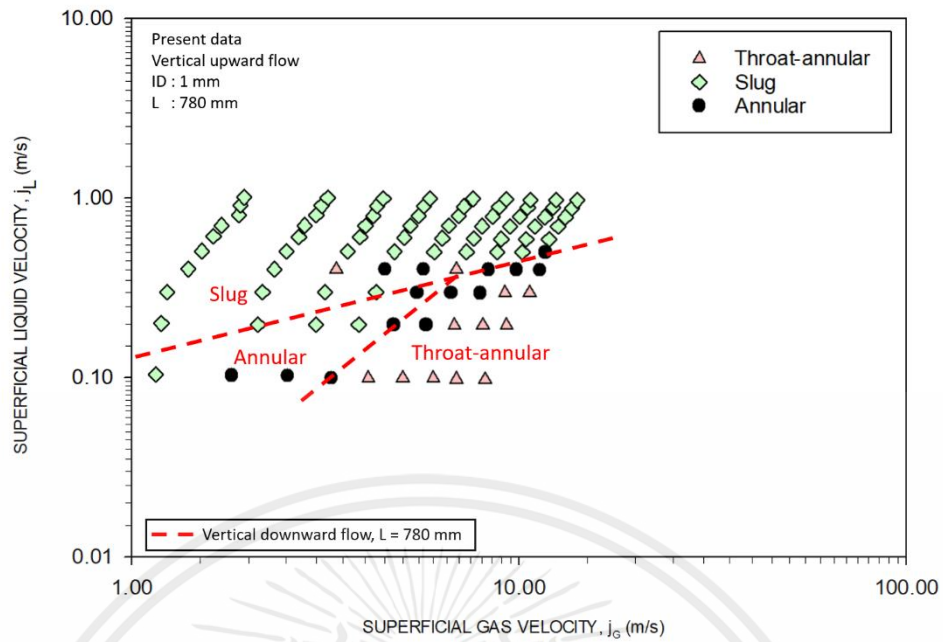


รูปที่ 4.49 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้ง จากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ 4.50 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอนกับการไหลในแนวตั้ง จากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

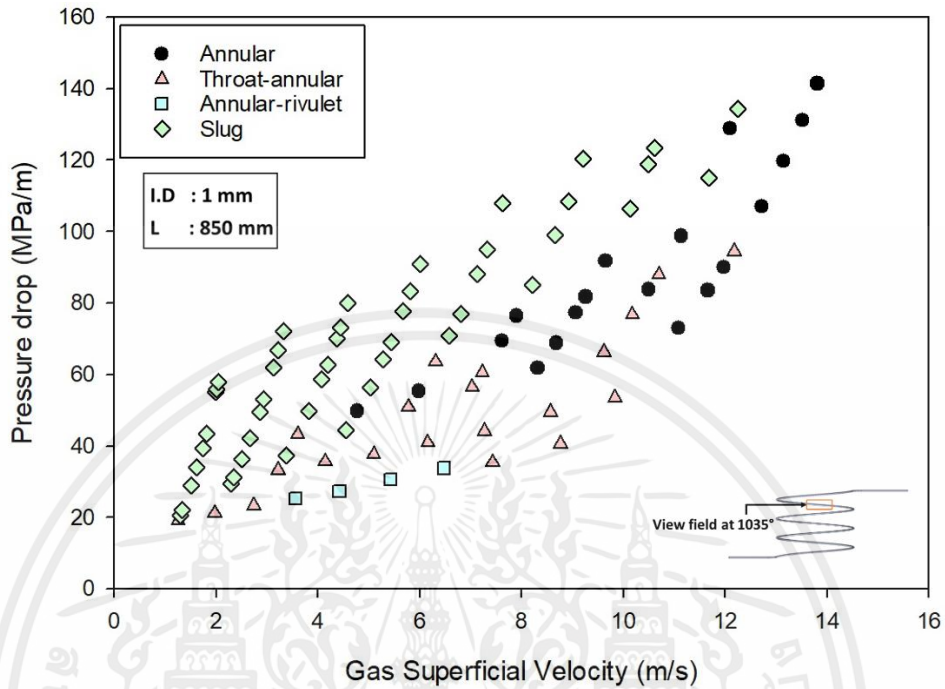


รูปที่ 4.51 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบน กับการไหลในตั้งจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 5

จากรูปที่ 4.49 ถึง 4.50 และ 4.51 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันลดภายในท่อของการไหลระหว่างทั้งสามทิศทางในตำแหน่งที่ 5 ที่ความยาว 780 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อความเร็วเฟสของอากาศมากขึ้นค่าความดันลดก็จะมีค่าที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเร็วเฟสของอากาศมีผลต่อค่าความดันลดภายในท่อ และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสามทิศทางในช่วงความเร็วเฟสของน้ำใกล้เคียงกันพบว่าค่าความดันลดภายในท่อของการไหลที่มีทิศทางไหลจากล่างขึ้นบนมีค่าที่สูงกว่าในอีกสองทิศทาง

4.1.5 ความดันลด (Pressure Drop)

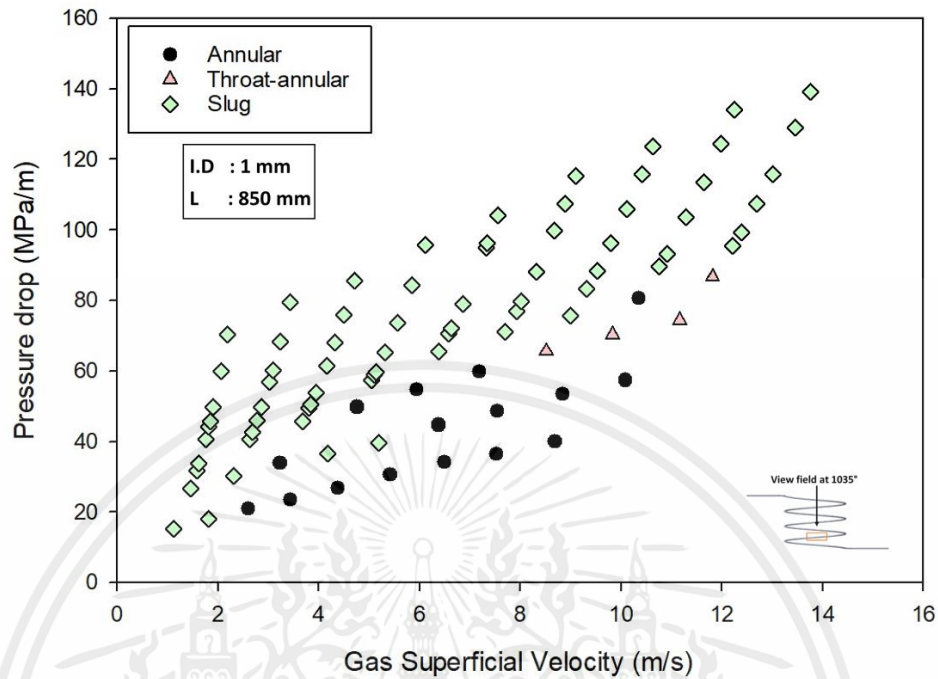
รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน



รูปที่ 4.52 กราฟแสดงผลของความดันลดที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง ทิศการไหลจากล่างขึ้นบน ตำแหน่งที่ 4

จากกราฟรูปที่ 4.52 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของอากาศและค่าความดันลดภายในท่อที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง โดยทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน ทั้ง 5 ตำแหน่ง สังเกตได้ว่า เมื่ออัตราการไหลอากาศมีค่าต่ำ ค่าความดันลดที่เกิดขึ้นก็มีค่าต่ำลง เช่นกันและถ้าอัตราการไหลอากาศมีค่าสูงขึ้นค่าความดันลดก็มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลอากาศมีผลต่อความดันลด กล่าวโดยสรุปคืออัตราการไหลอากาศมีผลต่อความดันลดที่เกิดขึ้น

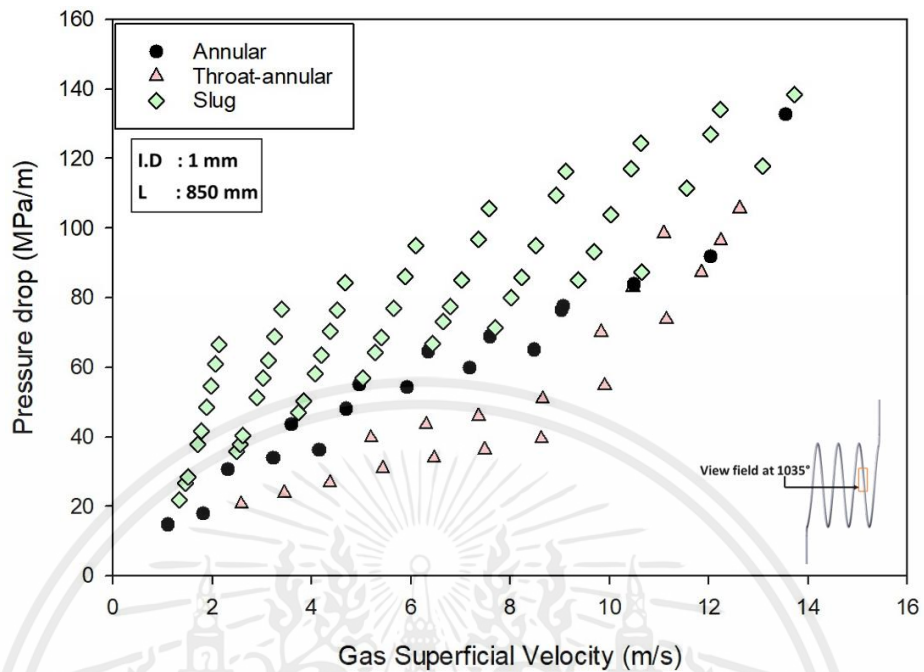
รูปแบบการไหลในแนวตั้งทิศทางการไหลจากบนลงล่าง



รูปที่ 4.53 กราฟแสดงผลของความดันตกที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง ทิศการไหลจากบนลงล่าง ตำแหน่งที่ 4

จากกราฟรูปที่ 4.53 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของอากาศและค่าความดันตกภายในท่อที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง โดยทิศทางการไหลจากบนลงล่างทั้ง 5 ตำแหน่ง สังเกตได้ว่า เมื่ออัตราการไหลอากาศมีค่าต่ำ ค่าความดันตกที่เกิดขึ้นก็มีค่าต่ำลงเช่นกันและถ้าอัตราการไหลอากาศมีค่าสูงขึ้นค่าความดันตกก็มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลอากาศมีผลต่อความดันตก กล่าวโดยสรุปคืออัตราการไหลอากาศมีผลต่อความดันตกที่เกิดขึ้น

รูปแบบการไหลในแนวนอน



รูปที่ 4.54 กราฟแสดงผลของความดันดลที่เกิดขึ้นในแนวนอน ตำแหน่งที่ 4

จากกราฟรูปที่ 4.54 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของอากาศและค่าความดันดลภายในท่อที่เกิดขึ้นในทิศทางแนวนอน ทั้ง 5 ตำแหน่ง สังเกตได้ว่า เมื่ออัตราการไหลอากาศมีค่าต่ำ ค่าความดันดลที่เกิดขึ้นก็มีค่าต่ำลงเช่นกันและถ้าอัตราการไหลอากาศมีค่าสูงขึ้นค่าความดันดลก็มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลอากาศมีผลต่อความดันดล กล่าวโดยสรุปคืออัตราการไหลอากาศมีผลต่อความดันดลที่เกิดขึ้น

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับลักษณะรูปแบบการไหล และความดันลดในช่องทางการไหลสำหรับการไหลแบบสองสถานะระหว่างน้ำกับอากาศ ภายใต้สภาวะที่ไม่มีภาวะเดือด (Non-boiling two-phase flow) ในท่อขดเกลียว ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของขดเกลียว 50 มิลลิเมตร ระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตร มุมเกลียวของท่อเทปลอนเท่ากับ 10 องศา โดยการปรับทิศทางการไหล 3 ทิศทาง คือ การไหลในแนวตั้งจากล่างขึ้นบน การไหลในแนวตั้งจากบนลงล่าง และการไหลในแนวนอน

ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ในการทดลองพบลักษณะรูปแบบการไหลทั้งหมด 6 รูปแบบการไหล ได้แก่ Bubbly flow, Plug flow, Slug flow, Throat-annular flow, Annular-rivulet flow และ Annular flow โดยการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลจะขึ้นอยู่กับความเร็วเฟสของน้ำและอากาศ
2. ในการทดลองพบว่าค่าความดันลดภายในท่อของทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบนมีค่าสูงกว่าการไหลในทิศทางอื่น
3. รูปแบบการไหลแบบ Slug flow เป็นรูปแบบการไหลที่พบมากที่สุดในทุก 3 ทิศทาง
4. รูปแบบการไหลที่บริเวณท่อขดเกลียว ฟิล์มของเหลวที่ขอบด้านของขดเกลียวมีความหนามากกว่าด้านนอกขดเกลียวซึ่งเป็นผลจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
5. การเปลี่ยนทิศทางการวางท่อขดเกลียวไม่ส่งผลต่อการเกิดลักษณะรูปแบบการไหล

5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อ

1. ควรเพิ่มขนาดของปั๊มลมเพื่อให้สามารถเก็บลมได้มากขึ้น เนื่องจากถังเก็บลมมีขนาดเล็กทำให้ในขณะที่ทำการทดลองเก็บผลต้องมีการปั๊มลมเพิ่มอยู่เสมอ จึงต้องทำการปรับค่าอัตราการไหลของอากาศที่โรตารีมิเตอร์ให้อยู่ในค่าที่ต้องการใหม่และสามารถทำให้การทดลองของระบบสามารถทดลองในช่วงที่กว้างขึ้น
2. ควรศึกษาและหาอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำได้คงที่มากกว่าเดิมเพื่อให้ง่ายต่อการทดลองเพราะค่าอัตราการไหลของน้ำมีความสำคัญต่อการทดลองเป็นอย่างมาก
3. ควรศึกษาและหาอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศได้คงที่มากกว่าเดิมเพื่อให้ง่ายต่อการทดลองเพราะค่าอัตราการไหลของอากาศมีความสำคัญต่อการทดลองเป็นอย่างมาก

เอกสารอ้างอิง

- [1] 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
- [2] Somchai Wongwises (2012). "Non-Boiling of Two-Phase Flow in Micro-Channels Pansunee Suwankamnerd" **The Journal of the Royal Institute of Thailand** 4 Oct-Dec 2012.
- [3] Liu X.F., Xia G.D. and Yang G. (2014). "Experimental study on the characteristics of air-water two-phase flow in vertical helical rectangular channel." **International Journal of Multiphase Flow** 73: 227-237
- [4] Saisorn, S. and Wongwises, S. (2014). "Heat transfer characteristics of gas-liquid flow in horizontal rectangular micro-channels." **Experimental Thermal and Fluid Scienc** 55 : 54-61.
- [5] Benjawun P., Saisorn S. (2015). "Heat transfer flow pattern and pressure drop characteristics of two-phase gas-liquid flow in a 1 mm tube." In ; **MENETT 2015. 29th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand** July 132015.
- [6] 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: 522-583.
- [7] Saisorn S., Wongwises S., (2015). "Adiabatic two-phase gas-liquid flow behaviors during upward flow in a vertical circular micro-channel" **Experimental Thermal and Fluid Science** 69: 158-168
- [8] Zhu et al., (2017) "Flow regime identification for upward two-phase flow inhelicly coiled tubes." **Chemical Engineering Journal** 308 (2017) 606-618.
- [9] Xiao et al., (2018) " Experimental study of two-phase frictional pressure drop of steam-water in helically coiled tubes with small coil diameters at high pressure" **Applied Thermal Engineering** 132 (2018) : 18-29

- [10] Moradia et al., (2019) " Experimental investigation on the thermal and entropic behavior of a vertical helical tube with none-boiling upward air-water two-phase flow" **Applied Thermal Engineering** 157 2019 :113621
- [11] Zhu et al., (2019) " Intermittent gas-liquid two-phase flow in helically coiled tubes" **International Journal of Multiphase Flow** 116 (2019) : 113-124
- [12] 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 (2020): 120372
- [13] Liu et al., (2022). "Recognition of gas-liquid flow regimes in helically coiled tube using wire-mesh sensor and KNN algorithm" **International Journal of Multiphase Flow** 154 (2022) :104144





ภาคผนวก ก
ตารางบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางก.1 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.336974485	0.104764671	15.29411765	Slug flow
150	5.091328626	0.104108554	17.94117647	Slug flow
200	6.851887483	0.103040974	20.88235294	Throat-annular flow
250	8.60109598	0.102779639	23.52941176	Throat-annular flow
300	10.33058915	0.10262117	26.76470588	Throat-annular flow
350	12.01276732	0.102384857	30.58823529	Throat-annular flow
400	13.64604637	0.1020985	34.11764706	Throat-annular flow
450	15.26760076	0.101414582	36.47058824	Throat-annular flow
500	16.79540017	0.099952219	40	Throat-annular flow

ตารางก.2 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.441833258	0.202570609	26.76470588	Slug flow
150	5.145429221	0.202131344	30.29411765	Annular flow
200	6.821594916	0.201088785	33.82352941	Annular flow
250	8.48060501	0.200343703	36.47058824	Annular flow
300	10.08041336	0.199846054	39.70588235	Throat-annular flow
350	11.59461234	0.199757089	44.70588235	Throat-annular flow
400	13.10412905	0.199431811	48.52941176	Throat-annular flow
450	14.50154995	0.199131554	53.52941176	Throat-annular flow
500	15.90646964	0.198494898	57.35294118	Throat-annular flow

ตารางก.3 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.423546283	0.305063891	31.76470588	Slug flow
150	5.030386699	0.304185362	40.58823529	Slug flow
200	6.608648184	0.30363211	45.58823529	Slug flow
250	8.152467233	0.302845326	49.70588235	Annular flow
300	9.628497378	0.301446907	54.70588235	Throat-annular flow
350	11.05070391	0.300206956	59.70588235	Throat-annular flow
400	12.37840978	0.299592542	65.58823529	Throat-annular flow
450	13.70422986	0.299372909	70.29411765	Throat-annular flow
500	15.02116619	0.299189419	74.41176471	Throat-annular flow

ตารางก.4 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาทีตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.412480279	0.408808245	33.82352941	Slug flow
150	5.000706564	0.407106789	42.64705882	Slug flow
200	6.528165401	0.406167095	49.41176471	Slug flow
250	7.944098417	0.405591603	57.35294118	Slug flow
300	9.280756459	0.404607427	65.58823529	Slug flow
350	10.63642684	0.403361917	71.17647059	Slug flow
400	11.9805058	0.401957937	75.58823529	Throat-annular flow
450	13.26106671	0.400923719	80.58823529	Throat-annular flow
500	14.45029739	0.400198097	86.76470588	Annular flow

ตารางก.5 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.365221159	0.510039336	40.58823529	Slug flow
150	4.96258327	0.508960635	45.88235294	Slug flow
200	6.517278661	0.50816829	50.58823529	Slug flow
250	7.923278229	0.507737366	58.82352941	Slug flow
300	9.136245776	0.506814354	70.58823529	Slug flow
350	10.43443628	0.5058691	77.05882353	Slug flow
400	11.68812466	0.505146259	83.23529412	Slug flow
450	12.88426203	0.504201006	89.70588235	Slug flow
500	14.06013045	0.503061141	95.58823529	Slug flow

ตารางก.6 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.321397555	0.614184032	44.11764706	Slug flow
150	4.896307459	0.61114254	49.70588235	Slug flow
200	6.44098417	0.608987918	53.82352941	Slug flow
250	7.894658722	0.604492404	59.70588235	Slug flow
300	9.093336815	0.602799288	72.05882353	Slug flow
350	10.34523982	0.60089766	79.70588235	Slug flow
400	11.49845358	0.599896804	88.52941176	Slug flow
450	12.74916848	0.599104459	93.23529412	Slug flow
500	13.90669183	0.598451122	99.41176471	Slug flow

ตารางก.7 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.304867075	0.724926042	45.58823529	Slug flow
150	4.782907876	0.716463243	56.76470588	Slug flow
200	6.276350507	0.71393608	61.47058824	Slug flow
250	7.746681122	0.71217068	65.29411765	Slug flow
300	8.881297494	0.708233977	79.11764706	Slug flow
350	10.06541405	0.705968149	88.23529412	Slug flow
400	11.22444143	0.70405262	96.17647059	Slug flow
450	12.35089777	0.701889658	103.5294118	Slug flow
500	13.57228005	0.700822078	107.3529412	Slug flow

ตารางก.8 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.263667965	0.816896429	49.70588235	Slug flow
150	4.726673806	0.815920594	60.29411765	Slug flow
200	6.142715315	0.813863277	67.94117647	Slug flow
250	7.530073547	0.812259127	73.82352941	Slug flow
300	8.452512293	0.811158184	95	Slug flow
350	9.721377967	0.808658823	99.70588235	Slug flow
400	10.91103279	0.80737439	105.8823529	Slug flow
450	12.00759529	0.806543123	113.5294118	Slug flow
500	13.2528808	0.805214208	115.8823529	Slug flow

ตารางก.9 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.153191456	0.931180359	60	Slug flow
150	4.600247635	0.928978475	68.23529412	Slug flow
200	5.982522606	0.927588396	75.88235294	Slug flow
250	7.277810897	0.925920302	84.41176471	Slug flow
300	8.421101175	0.919970765	96.17647059	Slug flow
350	9.506847456	0.9160007	107.3529412	Slug flow
400	10.60753733	0.913737652	115.8823529	Slug flow
450	11.66154629	0.912139061	124.4117647	Slug flow
500	12.79841363	0.909759247	129.1176471	Slug flow

ตารางก.10 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.050399873	1.027494153	70.29411765	Slug flow
150	4.440813073	1.023935152	79.41176471	Slug flow
200	5.80443905	1.020300114	85.58823529	Slug flow
250	7.027287894	1.016558809	95.88235294	Slug flow
300	8.229301624	1.013696351	104.1176471	Slug flow
350	9.299737004	1.010590884	115.2941176	Slug flow
400	10.38542901	1.00855174	123.8235294	Slug flow
450	11.37558436	1.005443783	134.1176471	Slug flow
500	12.4820929	1.002096784	139.1176471	Slug flow

ตารางก.11 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.748281643	0.104764671	15.29411765	Slug flow
150	2.779627679	0.104108554	17.94117647	Slug flow
200	3.901221011	0.103040974	20.88235294	Annular flow
250	5.070562115	0.102779639	23.52941176	Annular flow
300	6.333413955	0.10262117	26.76470588	Annular flow
350	7.681749308	0.102384857	30.58823529	Annular flow
400	9.041161562	0.1020985	34.11764706	Annular flow
450	10.34076017	0.101414582	36.47058824	Annular flow
500	11.73223142	0.099952219	40	Annular flow

ตารางก.12 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.11009793	0.202570609	26.76470588	Slug flow
150	3.280148804	0.202131344	30.29411765	Annular flow
200	4.506816493	0.201088785	33.82352941	Annular flow
250	5.74392165	0.200343703	36.47058824	Slug flow
300	7.024111561	0.199846054	39.70588235	Slug flow
350	8.409655142	0.199757089	44.70588235	Annular flow
400	9.773792396	0.199431811	48.52941176	Annular flow
450	11.18418638	0.199131554	53.52941176	Annular flow
500	12.55980985	0.198494898	57.35294118	Annular flow

ตารางก.13 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.216031003	0.305063891	31.76470588	Slug flow
150	3.531223232	0.304185362	40.58823529	Slug flow
200	4.825246347	0.30363211	45.58823529	Slug flow
250	6.130455999	0.302845326	49.70588235	Annular flow
300	7.481188759	0.301446907	54.70588235	Annular flow
350	8.845899655	0.300206956	59.70588235	Throat-annular flow
400	10.22920672	0.299592542	65.58823529	Throat-annular flow
450	11.59164138	0.299372909	70.29411765	Throat-annular flow
500	12.94893959	0.299189419	74.41176471	Throat-annular flow

ตารางก.14 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.254520034	0.408808245	33.82352941	Slug flow
150	3.569526437	0.407106789	42.64705882	Slug flow
200	4.89909	0.406167095	49.41176471	Slug flow
250	6.272690785	0.405591603	57.35294118	Slug flow
300	7.669383872	0.404607427	65.58823529	Slug flow
350	9.034361458	0.403361917	71.17647059	Slug flow
400	10.38159252	0.401957937	75.58823529	Throat-annular flow
450	11.73615462	0.400923719	80.58823529	Annular flow
500	13.09917483	0.400198097	86.76470588	Annular flow

ตารางก.15 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.36231285	0.510039336	40.58823529	Slug flow
150	3.631321048	0.508960635	45.88235294	Slug flow
200	4.930353198	0.50816829	50.58823529	Slug flow
250	6.310413158	0.507737366	58.82352941	Slug flow
300	7.73864154	0.506814354	70.58823529	Slug flow
350	9.099630961	0.5058691	77.05882353	Slug flow
400	10.45374511	0.505146259	83.23529412	Slug flow
450	11.80527255	0.504201006	89.70588235	Slug flow
500	13.14501504	0.503061141	95.58823529	Slug flow

ตารางก.16 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.398224585	0.614184032	44.11764706	Slug flow
150	3.681903475	0.61114254	49.70588235	Slug flow
200	4.976848679	0.608987918	53.82352941	Slug flow
250	6.319539408	0.604492404	59.70588235	Slug flow
300	7.755521678	0.602799288	72.05882353	Slug flow
350	9.122655662	0.60089766	79.70588235	Slug flow
400	10.49105114	0.599896804	88.52941176	Slug flow
450	11.82590984	0.599104459	93.23529412	Slug flow
500	13.16225636	0.598451122	99.41176471	Slug flow

ตารางก.17 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.413019628	0.724926042	45.58823529	Slug flow
150	3.763359025	0.716463243	56.76470588	Slug flow
200	5.074062426	0.71393608	61.47058824	Slug flow
250	6.391960998	0.71217068	65.29411765	Slug flow
300	7.812701406	0.708233977	79.11764706	Slug flow
350	9.173758046	0.705968149	88.23529412	Slug flow
400	10.51416239	0.70405262	96.17647059	Slug flow
450	11.83761291	0.701889658	103.5294118	Slug flow
500	13.15350317	0.700822078	107.3529412	Slug flow

ตารางก.18 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.4541985	0.816896429	49.70588235	Slug flow
150	3.796249618	0.815920594	60.29411765	Slug flow
200	5.136791484	0.813863277	67.94117647	Slug flow
250	6.474184559	0.812259127	73.82352941	Slug flow
300	7.887017442	0.811158184	95	Slug flow
350	9.209453321	0.808658823	99.70588235	Slug flow
400	10.5299519	0.80737439	105.8823529	Slug flow
450	11.83524704	0.806543123	113.5294118	Slug flow
500	13.14276942	0.805214208	115.8823529	Slug flow

ตารางก.19 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.528295453	0.931180359	60	Slug flow
150	3.852503715	0.928978475	68.23529412	Slug flow
200	5.190764945	0.927588396	75.88235294	Slug flow
250	6.538940505	0.925920302	84.41176471	Slug flow
300	7.888216598	0.919970765	96.17647059	Slug flow
350	9.21351075	0.9160007	107.3529412	Slug flow
400	10.51940475	0.913737652	115.8823529	Slug flow
450	11.80811713	0.912139061	124.4117647	Slug flow
500	13.09839146	0.909759247	129.1176471	Slug flow

ตารางก.20 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.580162603	1.027494153	70.29411765	Slug flow
150	3.91125756	1.023935152	79.41176471	Slug flow
200	5.238576455	1.020300114	85.58823529	Slug flow
250	6.576266411	1.016558809	95.88235294	Slug flow
300	7.901063578	1.013696351	104.1176471	Slug flow
350	9.208528636	1.010590884	115.2941176	Slug flow
400	10.50152442	1.00855174	123.8235294	Slug flow
450	11.7682816	1.005443783	134.1176471	Slug flow
500	13.0456749	1.002096784	139.1176471	Slug flow

ตารางก.21 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.380285006	0.104764671	15.29411765	Slug flow
150	2.216138639	0.104108554	17.94117647	Slug flow
200	3.143215893	0.103040974	20.88235294	Annular flow
250	4.1228576	0.102779639	23.52941176	Annular flow
300	5.205494447	0.10262117	26.76470588	Annular flow
350	6.391341518	0.102384857	30.58823529	Annular flow
400	7.604176805	0.1020985	34.11764706	Annular flow
450	8.758075406	0.101414582	36.47058824	Annular flow
500	10.03768445	0.099952219	40	Annular flow

ตารางก.22 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.734309984	0.202570609	26.76470588	Slug flow
150	2.726625361	0.202131344	30.29411765	Slug flow
200	3.787160095	0.201088785	33.82352941	Annular flow
250	4.864796987	0.200343703	36.47058824	Slug flow
300	6.004604316	0.199846054	39.70588235	Slug flow
350	7.28848246	0.199757089	44.70588235	Annular flow
400	8.556084633	0.199431811	48.52941176	Annular flow
450	9.914134452	0.199131554	53.52941176	Annular flow
500	11.23596751	0.198494898	57.35294118	Annular flow

ตารางก.23 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.850521555	0.305063891	31.76470588	Slug flow
150	3.02617816	0.304185362	40.58823529	Slug flow
200	4.191780586	0.30363211	45.58823529	Slug flow
250	5.382816702	0.302845326	49.70588235	Annular flow
300	6.650602114	0.301446907	54.70588235	Annular flow
350	7.956880794	0.300206956	59.70588235	Throat-annular flow
400	9.322754587	0.299592542	65.58823529	Throat-annular flow
450	10.67048677	0.299372909	70.29411765	Throat-annular flow
500	12.02032038	0.299189419	74.41176471	Annular flow

ตารางก.24 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.894514303	0.408808245	33.82352941	Slug flow
150	3.076463146	0.407106789	42.64705882	Slug flow
200	4.298406688	0.406167095	49.41176471	Slug flow
250	5.611530007	0.405591603	57.35294118	Slug flow
300	6.989768186	0.404607427	65.58823529	Slug flow
350	8.331610472	0.403361917	71.17647059	Slug flow
400	9.659655331	0.401957937	75.58823529	Slug flow
450	11.02612374	0.400923719	80.58823529	Throat-annular flow
500	12.44741847	0.400198097	86.76470588	Throat-annular flow

ตารางก.25 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.024448494	0.510039336	40.58823529	Slug flow
150	3.157051259	0.508960635	45.88235294	Slug flow
200	4.338735161	0.50816829	50.58823529	Slug flow
250	5.664675394	0.507737366	58.82352941	Slug flow
300	7.12801838	0.506814354	70.58823529	Slug flow
350	8.491337605	0.5058691	77.05882353	Slug flow
400	9.870018019	0.505146259	83.23529412	Slug flow
450	11.27644055	0.504201006	89.70588235	Slug flow
500	12.68275315	0.503061141	95.58823529	Slug flow

ตารางก.26 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.07521633	0.614184032	44.11764706	Slug flow
150	3.232877216	0.61114254	49.70588235	Slug flow
200	4.414852616	0.608987918	53.82352941	Slug flow
250	5.68442145	0.604492404	59.70588235	Slug flow
300	7.165199447	0.602799288	72.05882353	Slug flow
350	8.556394192	0.60089766	79.70588235	Slug flow
400	10.00040414	0.599896804	88.52941176	Slug flow
450	11.36501734	0.599104459	93.23529412	Slug flow
500	12.77917239	0.598451122	99.41176471	Slug flow

ตารางก.27 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.0962347	0.724926042	45.58823529	Slug flow
150	3.362025819	0.716463243	56.76470588	Slug flow
200	4.582486533	0.71393608	61.47058824	Slug flow
250	5.821821875	0.71217068	65.29411765	Slug flow
300	7.319518833	0.708233977	79.11764706	Slug flow
350	8.740173521	0.705968149	88.23529412	Slug flow
400	10.15432735	0.70405262	96.17647059	Slug flow
450	11.56838463	0.701889658	103.5294118	Slug flow
500	12.93008459	0.700822078	107.3529412	Slug flow

ตารางก.28 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.154896908	0.816896429	49.70588235	Slug flow
150	3.419325574	0.815920594	60.29411765	Slug flow
200	4.705292879	0.813863277	67.94117647	Slug flow
250	6.002814501	0.812259127	73.82352941	Slug flow
300	7.602197737	0.811158184	95	Slug flow
350	8.94565125	0.808658823	99.70588235	Slug flow
400	10.3279509	0.80737439	105.8823529	Slug flow
450	11.74087587	0.806543123	113.5294118	Slug flow
500	13.08190257	0.805214208	115.8823529	Slug flow

ตารางก.29 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.275734071	0.931180359	60	Slug flow
150	3.531087227	0.928978475	68.23529412	Slug flow
200	4.832604818	0.927588396	75.88235294	Slug flow
250	6.187179081	0.925920302	84.41176471	Slug flow
300	7.618251513	0.919970765	96.17647059	Slug flow
350	9.057014841	0.9160007	107.3529412	Slug flow
400	10.47068724	0.913737652	115.8823529	Slug flow
450	11.89181756	0.912139061	124.4117647	Slug flow
500	13.2726031	0.909759247	129.1176471	Slug flow

ตารางก.30 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.375124454	1.027494153	70.29411765	Slug flow
150	3.666419367	1.023935152	79.41176471	Slug flow
200	4.967390579	1.020300114	85.58823529	Slug flow
250	6.348105296	1.016558809	95.88235294	Slug flow
300	7.728437787	1.013696351	104.1176471	Slug flow
350	9.15822915	1.010590884	115.2941176	Slug flow
400	10.56767875	1.00855174	123.8235294	Slug flow
450	12.00026832	1.005443783	134.1176471	Slug flow
500	13.38408747	1.002096784	139.1176471	Slug flow

ตารางก.31 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.126280109	0.104764671	15.29411765	Slug flow
150	1.820684022	0.104108554	17.94117647	Slug flow
200	2.601616586	0.103040974	20.88235294	Annular flow
250	3.434989091	0.102779639	23.52941176	Annular flow
300	4.371385847	0.10262117	26.76470588	Annular flow
350	5.416471846	0.102384857	30.58823529	Annular flow
400	6.497681503	0.1020985	34.11764706	Annular flow
450	7.524214149	0.101414582	36.47058824	Annular flow
500	8.692502477	0.099952219	40	Annular flow

ตารางก.32 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.456410759	0.202570609	26.76470588	Slug flow
150	2.309128025	0.202131344	30.29411765	Slug flow
200	3.233882836	0.201088785	33.82352941	Annular flow
250	4.179431282	0.200343703	36.47058824	Slug flow
300	5.196490911	0.199846054	39.70588235	Slug flow
350	6.377503678	0.199757089	44.70588235	Annular flow
400	7.54845433	0.199431811	48.52941176	Annular flow
450	8.838733656	0.199131554	53.52941176	Annular flow
500	10.09582712	0.198494898	57.35294118	Annular flow

ตารางก.33 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.572609768	0.305063891	31.76470588	Slug flow
150	2.624069423	0.304185362	40.58823529	Slug flow
200	3.674876852	0.30363211	45.58823529	Slug flow
250	4.760748752	0.302845326	49.70588235	Annular flow
300	5.943590665	0.301446907	54.70588235	Annular flow
350	7.183379571	0.300206956	59.70588235	Annular flow
400	8.514368918	0.299592542	65.58823529	Throat-annular flow
450	9.833250696	0.299372909	70.29411765	Throat-annular flow
500	11.1626251	0.299189419	74.41176471	Throat-annular flow

ตารางก.34 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.617739185	0.408808245	33.82352941	Slug flow
150	2.679851057	0.407106789	42.64705882	Slug flow
200	3.799296374	0.406167095	49.41176471	Slug flow
250	5.04211469	0.405591603	57.35294118	Slug flow
300	6.383678175	0.404607427	65.58823529	Slug flow
350	7.69065133	0.403361917	71.17647059	Slug flow
400	8.989846407	0.401957937	75.58823529	Slug flow
450	10.35490981	0.400923719	80.58823529	Annular flow
500	11.81743689	0.400198097	86.76470588	Throat-annular flow

ตารางก.35 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.755446345	0.510039336	40.58823529	Slug flow
150	2.769502931	0.508960635	45.88235294	Slug flow
200	3.844466899	0.50816829	50.58823529	Slug flow
250	5.10497544	0.507737366	58.82352941	Slug flow
300	6.572377412	0.506814354	70.58823529	Slug flow
350	7.923810513	0.5058691	77.05882353	Slug flow
400	9.312852909	0.505146259	83.23529412	Slug flow
450	10.76000356	0.504201006	89.70588235	Slug flow
500	12.22224103	0.503061141	95.58823529	Slug flow

ตารางก.36 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.813513833	0.614184032	44.11764706	Slug flow
150	2.859268116	0.61114254	49.70588235	Slug flow
200	3.938358731	0.608987918	53.82352941	Slug flow
250	5.131829667	0.604492404	59.70588235	Slug flow
300	6.624915932	0.602799288	72.05882353	Slug flow
350	8.022830154	0.60089766	79.70588235	Slug flow
400	9.52320831	0.599896804	88.52941176	Slug flow
450	10.90947156	0.599104459	93.23529412	Slug flow
500	12.39272216	0.598451122	99.41176471	Slug flow

ตารางก.37 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.837740363	0.724926042	45.58823529	Slug flow
150	3.017273394	0.716463243	56.76470588	Slug flow
200	4.151554536	0.71393608	61.47058824	Slug flow
250	5.313978552	0.71217068	65.29411765	Slug flow
300	6.855826878	0.708233977	79.11764706	Slug flow
350	8.318907887	0.705968149	88.23529412	Slug flow
400	9.795154667	0.70405262	96.17647059	Slug flow
450	11.2931922	0.701889658	103.5294118	Slug flow
500	12.69897931	0.700822078	107.3529412	Slug flow

ตารางก.38 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.905865151	0.816896429	49.70588235	Slug flow
150	3.090551003	0.815920594	60.29411765	Slug flow
200	4.316775749	0.813863277	67.94117647	Slug flow
250	5.568431314	0.812259127	73.82352941	Slug flow
300	7.319011034	0.811158184	95	Slug flow
350	8.679277666	0.808658823	99.70588235	Slug flow
400	10.11994836	0.80737439	105.8823529	Slug flow
450	11.64141982	0.806543123	113.5294118	Slug flow
500	13.01731061	0.805214208	115.8823529	Slug flow

ตารางก.39 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.055712747	0.931180359	60	Slug flow
150	3.241343913	0.928978475	68.23529412	Slug flow
200	4.499933619	0.927588396	75.88235294	Slug flow
250	5.85000052	0.925920302	84.41176471	Slug flow
300	7.348783364	0.919970765	96.17647059	Slug flow
350	8.895134691	0.9160007	107.3529412	Slug flow
400	10.41898817	0.913737652	115.8823529	Slug flow
450	11.98282343	0.912139061	124.4117647	Slug flow
500	13.4644752	0.909759247	129.1176471	Slug flow

ตารางก.40 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.188765583	1.027494153	70.29411765	Slug flow
150	3.43597009	1.023935152	79.41176471	Slug flow
200	4.706353871	1.020300114	85.58823529	Slug flow
250	6.120585887	1.016558809	95.88235294	Slug flow
300	7.551660763	1.013696351	104.1176471	Slug flow
350	9.104943071	1.010590884	115.2941176	Slug flow
400	10.63948957	1.00855174	123.8235294	Slug flow
450	12.25919405	1.005443783	134.1176471	Slug flow
500	13.76671253	1.002096784	139.1176471	Slug flow

ตารางก.41 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.014288363	0.104764671	15.29411765	Annular flow
150	1.644603182	0.104108554	17.94117647	Annular flow
200	2.357851457	0.103040974	20.88235294	Annular flow
250	3.122417623	0.102779639	23.52941176	Throat-annular flow
300	3.987975086	0.10262117	26.76470588	Throat-annular flow
350	4.96233009	0.102384857	30.58823529	Throat-annular flow
400	5.975940594	0.1020985	34.11764706	Throat-annular flow
450	6.937767337	0.101414582	36.47058824	Throat-annular flow
500	8.04557467	0.099952219	40	Throat-annular flow

ตารางก.42 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.328670135	0.202570609	26.76470588	Slug flow
150	2.114835505	0.202131344	30.29411765	Slug flow
200	2.973259543	0.201088785	33.82352941	Annular flow
250	3.853681098	0.200343703	36.47058824	Annular flow
300	4.808229394	0.199846054	39.70588235	Annular flow
350	5.932598599	0.199757089	44.70588235	Throat-annular flow
400	7.050277409	0.199431811	48.52941176	Throat-annular flow
450	8.298634572	0.199131554	53.52941176	Throat-annular flow
500	9.516433981	0.198494898	57.35294118	Throat-annular flow

ตารางก.43 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.442618119	0.305063891	31.76470588	Slug flow
150	2.430310369	0.304185362	40.58823529	Slug flow
200	3.421710686	0.30363211	45.58823529	Slug flow
250	4.452046912	0.302845326	49.70588235	Annular flow
300	5.587211857	0.301446907	54.70588235	Throat-annular flow
350	6.787486085	0.300206956	59.70588235	Throat-annular flow
400	8.093301789	0.299592542	65.58823529	Throat-annular flow
450	9.391137821	0.299372909	70.29411765	Throat-annular flow
500	10.7043477	0.299189419	74.41176471	Throat-annular flow

ตารางก.44 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.487363246	0.408808245	33.82352941	Slug flow
150	2.487444907	0.407106789	42.64705882	Slug flow
200	3.551842641	0.406167095	49.41176471	Slug flow
250	4.752750915	0.405591603	57.35294118	Slug flow
300	6.067981608	0.404607427	65.58823529	Slug flow
350	7.351324475	0.403361917	71.17647059	Slug flow
400	8.630767442	0.401957937	75.58823529	Slug flow
450	9.990024893	0.400923719	80.58823529	Annular flow
500	11.46915473	0.400198097	86.76470588	Annular flow

ตารางก.45 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.62582568	0.510039336	40.58823529	Slug flow
150	2.579511933	0.508960635	45.88235294	Slug flow
200	3.598502294	0.50816829	50.58823529	Slug flow
250	4.819273576	0.507737366	58.82352941	Slug flow
300	6.278715576	0.506814354	70.58823529	Slug flow
350	7.618304294	0.5058691	77.05882353	Slug flow
400	9.007758702	0.505146259	83.23529412	Slug flow
450	10.47223977	0.504201006	89.70588235	Slug flow
500	11.96164389	0.503061141	95.58823529	Slug flow

ตารางก.46 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.685946485	0.614184032	44.11764706	Slug flow
150	2.673864228	0.61114254	49.70588235	Slug flow
200	3.69883045	0.608987918	53.82352941	Slug flow
250	4.849002076	0.604492404	59.70588235	Slug flow
300	6.33816286	0.602799288	72.05882353	Slug flow
350	7.733481114	0.60089766	79.70588235	Slug flow
400	9.258142208	0.599896804	88.52941176	Slug flow
450	10.65326174	0.599104459	93.23529412	Slug flow
500	12.17187113	0.598451122	99.41176471	Slug flow

ตารางก.47 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.71113648	0.724926042	45.58823529	Slug flow
150	2.842392797	0.716463243	56.76470588	Slug flow
200	3.929820913	0.71393608	61.47058824	Slug flow
250	5.049685113	0.71217068	65.29411765	Slug flow
300	6.604778991	0.708233977	79.11764706	Slug flow
350	8.085092954	0.705968149	88.23529412	Slug flow
400	9.59159386	0.70405262	96.17647059	Slug flow
450	11.13427281	0.701889658	103.5294118	Slug flow
500	12.56423948	0.700822078	107.3529412	Slug flow

ตารางก.48 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.782282893	0.816896429	49.70588235	Slug flow
150	2.921978759	0.815920594	60.29411765	Slug flow
200	4.113008507	0.813863277	67.94117647	Slug flow
250	5.336721784	0.812259127	73.82352941	Slug flow
300	7.15900455	0.811158184	95	Slug flow
350	8.526934365	0.808658823	99.70588235	Slug flow
400	9.999120378	0.80737439	105.8823529	Slug flow
450	11.58255089	0.806543123	113.5294118	Slug flow
500	12.97886069	0.805214208	115.8823529	Slug flow

ตารางก.49 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.943001404	0.931180359	60	Slug flow
150	3.089250851	0.928978475	68.23529412	Slug flow
200	4.321443567	0.927588396	75.88235294	Slug flow
250	5.664774852	0.925920302	84.41176471	Slug flow
300	7.196062521	0.919970765	96.17647059	Slug flow
350	8.800754754	0.9160007	107.3529412	Slug flow
400	10.38821305	0.913737652	115.8823529	Slug flow
450	12.03809863	0.912139061	124.4117647	Slug flow
500	13.58228457	0.909759247	129.1176471	Slug flow

ตารางก.50 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ที่อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.090356474	1.027494153	70.29411765	Slug flow
150	3.311100462	1.023935152	79.41176471	Slug flow
200	4.562498122	1.020300114	85.58823529	Slug flow
250	5.991737682	1.016558809	95.88235294	Slug flow
300	7.449423778	1.013696351	104.1176471	Slug flow
350	9.073268026	1.010590884	115.2941176	Slug flow
400	10.68304645	1.00855174	123.8235294	Slug flow
450	12.41998312	1.005443783	134.1176471	Slug flow
500	14.0069718	1.002096784	139.1176471	Slug flow

ตารางก.51 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	0.10614919	3.416505994	19.11764706	Slug flow
150	0.104881438	5.155966096	21.17647059	Annular flow
200	0.104703508	6.89711291	23.23529412	Throat-annular flow
250	0.10138122	8.630951301	25.29411765	Throat-annular flow
300	0.101105984	10.34949107	27.35294118	Annular-rivulet flow
350	0.100839089	12.03059189	30.58823529	Throat-annular flow
400	0.100597215	13.66341363	33.82352941	Throat-annular flow
450	0.099398968	15.32744125	35.29411765	Throat-annular flow
500	0.098520438	16.79833993	40.58823529	Throat-annular flow

ตารางก.52 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	0.204227582	3.430752701	20.58823529	Plug flow
150	0.20117219	5.163226398	29.41176471	Slug flow
200	0.201108246	6.838685691	33.23529412	Plug flow
250	0.200638399	8.506706654	35.58823529	Plug flow
300	0.200610598	10.16211808	37.64705882	Plug flow
350	0.200460469	11.75298774	40.88235294	Throat-annular flow
400	0.199626422	13.30749919	44.11764706	Throat-annular flow
450	0.199434591	14.72469061	49.41176471	Throat-annular flow
500	0.198264145	16.14205931	53.52941176	Throat-annular flow

ตารางก.53 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	0.305269623	3.439189815	22.05882353	Slug flow
150	0.304771975	5.143692084	31.17647059	Slug flow
200	0.304518981	6.769741224	37.35294118	Slug flow
250	0.304396654	8.304299213	44.41176471	Annular flow
300	0.302597892	9.760126936	50.88235294	Annular flow
350	0.301836129	11.17660438	56.47058824	Throat-annular flow
400	0.301544212	12.54649878	61.76470588	Throat-annular flow
450	0.301424665	13.905167	66.17647059	Throat-annular flow
500	0.300512774	15.10399603	72.94117647	Annular flow

ตารางก.54 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.44158774	0.409889726	28.82352941	Bubbly flow
150	5.094468774	0.409180786	36.17647059	Slug flow
200	6.66258774	0.408616414	43.23529412	Slug flow
250	8.161855616	0.408268894	49.70588235	Slug flow
300	9.617593206	0.407334762	55.29411765	Annular flow
350	11.02164644	0.406981682	60.58823529	Slug flow
400	12.25336501	0.406748148	68.82352941	Annular flow
450	13.42857113	0.406648063	76.76470588	Annular flow
500	14.59888217	0.405324708	83.52941176	Throat-annular flow

ตารางก.55 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.412073298	0.515491225	34.11764706	Slug flow
150	5.015082264	0.514412524	42.05882353	Slug flow
200	6.530559571	0.513333823	49.70588235	Slug flow
250	7.984603724	0.511493359	56.47058824	Slug flow
300	9.35736168	0.510734376	63.52941176	Slug flow
350	10.69895193	0.51045914	69.41176471	Slug flow
400	11.90973423	0.50957227	77.35294118	Slug flow
450	13.12023144	0.509127445	83.82352941	Slug flow
500	14.30279501	0.508607555	90	Throat-annular flow

ตารางก.56 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.37169371	0.624601282	39.41176471	Slug flow
150	4.905801788	0.61837651	49.41176471	Slug flow
200	6.341741594	0.615062562	58.52941176	Slug flow
250	7.778580989	0.613338865	64.11764706	Slug flow
300	9.124330922	0.607736847	70.88235294	Slug flow
350	10.45275093	0.604264431	76.47058824	Slug flow
400	11.75090745	0.602740905	81.76470588	Slug flow
450	12.96808531	0.600805915	87.94117647	Slug flow
500	14.11968094	0.600033031	94.41176471	Slug flow

ตารางก.57 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.332764117	0.717236127	43.52941176	Slug flow
150	4.852832785	0.715940573	52.94117647	Slug flow
200	6.261907442	0.715195491	62.64705882	Slug flow
250	7.658421404	0.713432872	69.11764706	Slug flow
300	8.951172783	0.712045573	77.05882353	Slug flow
350	10.18338248	0.710071661	85	Slug flow
400	11.39319181	0.708717725	91.76470588	Slug flow
450	12.54830054	0.708031026	98.82352941	Slug flow
500	13.61285155	0.707322086	107.0588235	Slug flow

ตารางก.58 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.203731416	0.820113071	55	Slug flow
150	4.694114361	0.816593392	62.05882353	Slug flow
200	6.097725583	0.813496297	70	Slug flow
250	7.435242352	0.811552967	77.64705882	Slug flow
300	8.621826433	0.807538419	88.23529412	Slug flow
350	9.72879486	0.805153044	99.11764706	Slug flow
400	10.88180756	0.802689825	106.4705882	Slug flow
450	11.94687838	0.79765218	115	Slug flow
500	13.10440072	0.797168432	119.7058824	Slug flow

ตารางก.59 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.195382431	0.927004563	55.88235294	Slug flow
150	4.620622832	0.922684198	66.76470588	Slug flow
200	6.030783055	0.91989014	73.23529412	Slug flow
250	7.300274307	0.915686542	83.23529412	Slug flow
300	8.44556407	0.912269729	95	Slug flow
350	9.467134231	0.907952144	108.5294118	Slug flow
400	10.51037485	0.903331523	118.8235294	Slug flow
450	11.51789453	0.898635837	128.8235294	Slug flow
500	12.720118	0.894387756	131.1764706	Slug flow

ตารางก.60 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.191341594	1.025808289	57.94117647	Slug flow
150	4.548916081	1.020677782	72.05882353	Slug flow
200	5.904014924	1.012832841	80	Slug flow
250	7.124873343	1.009877098	90.88235294	Slug flow
300	8.126993184	1.005546879	107.9411765	Slug flow
350	9.164519035	1.000741679	120.2941176	Slug flow
400	10.38329998	0.994783766	123.5294118	Slug flow
450	11.35216646	0.992406595	134.4117647	Slug flow
500	12.39152407	0.987868497	141.4705882	Slug flow

ตารางก.61 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.897697846	0.10614919	19.11764706	Slug flow
150	2.947387216	0.104881438	21.17647059	Throat-annular flow
200	4.050852627	0.104703508	23.23529412	Throat-annular flow
250	5.200267214	0.10138122	25.29411765	Throat-annular flow
300	6.388043506	0.101105984	27.35294118	Annular-rivulet flow
350	7.693147507	0.100839089	30.58823529	Throat-annular flow
400	9.026994222	0.100597215	33.82352941	Throat-annular flow
450	10.26917003	0.099398968	35.29411765	Throat-annular flow
500	11.79207321	0.098520438	40.58823529	Throat-annular flow

ตารางก.62 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.945484787	0.204227582	20.58823529	Plug flow
150	3.260596716	0.20117219	29.41176471	Slug flow
200	4.492244714	0.201108246	33.23529412	Plug flow
250	5.715027403	0.200638399	35.58823529	Plug flow
300	6.955929866	0.200610598	37.64705882	Slug flow
350	8.270438873	0.200460469	40.88235294	Throat-annular flow
400	9.608717775	0.199626422	44.11764706	Throat-annular flow
450	11.05020784	0.199434591	49.41176471	Throat-annular flow
500	12.44941407	0.198264145	53.52941176	Throat-annular flow

ตารางก.63 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.989322546	0.305269623	22.05882353	Slug flow
150	3.309425971	0.304771975	31.17647059	Slug flow
200	4.621758915	0.304518981	37.35294118	Slug flow
250	6.009681671	0.304396654	44.41176471	Slug flow
300	7.398208919	0.302597892	50.88235294	Annular flow
350	8.77858519	0.301836129	56.47058824	Annular flow
400	10.15954856	0.301544212	61.76470588	Annular flow
450	11.52553032	0.301424665	66.17647059	Annular flow
500	12.93423685	0.300512774	72.94117647	Annular flow

ตารางก.64 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.159495669	0.409889726	28.82352941	Throat-annular flow
150	3.441229765	0.409180786	36.17647059	Slug flow
200	4.777896945	0.408616414	43.23529412	Plug flow
250	6.137515834	0.408268894	49.70588235	Plug flow
300	7.500032395	0.407334762	55.29411765	Slug flow
350	8.866730555	0.406981682	60.58823529	Slug flow
400	10.29126499	0.406748148	68.82352941	Annular flow
450	11.69597313	0.406648063	76.76470588	Annular flow
500	13.07208056	0.405324708	83.52941176	Throat-annular flow

ตารางก.65 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.260662547	0.515491225	34.11764706	Slug flow
150	3.563011082	0.514412524	42.05882353	Slug flow
200	4.910821099	0.513333823	49.70588235	Slug flow
250	6.271450755	0.511493359	56.47058824	Slug flow
300	7.649803392	0.510734376	63.52941176	Slug flow
350	9.01144021	0.51045914	69.41176471	Annular flow
400	10.39926491	0.50957227	77.35294118	Annular flow
450	11.76149524	0.509127445	83.82352941	Annular flow
500	13.11873509	0.508607555	90	Annular flow

ตารางก.66 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.343564529	0.624601282	39.41176471	Slug flow
150	3.681580201	0.61837651	49.41176471	Slug flow
200	5.042206448	0.615062562	58.52941176	Slug flow
250	6.378979273	0.613338865	64.11764706	Slug flow
300	7.73930172	0.607736847	70.88235294	Slug flow
350	9.092566077	0.604264431	76.47058824	Slug flow
400	10.44903331	0.602740905	81.76470588	Annular flow
450	11.80662201	0.600805915	87.94117647	Annular flow
500	13.14923556	0.600033031	94.41176471	Annular flow

ตารางก.67 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.395500712	0.717236127	43.52941176	Slug flow
150	3.728612087	0.715940573	52.94117647	Slug flow
200	5.095030573	0.715195491	62.64705882	Slug flow
250	6.441305877	0.713432872	69.11764706	Slug flow
300	7.806111111	0.712045573	77.05882353	Slug flow
350	9.170140068	0.710071661	85	Slug flow
400	10.51491513	0.708717725	91.76470588	Slug flow
450	11.85462597	0.708031026	98.82352941	Slug flow
500	13.18180076	0.707322086	107.0588235	Slug flow

ตารางก.68 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.49380612	0.820113071	55	Slug flow
150	3.807195507	0.816593392	62.05882353	Slug flow
200	5.150491121	0.813496297	70	Slug flow
250	6.500384604	0.811552967	77.64705882	Slug flow
300	7.858052261	0.807538419	88.23529412	Slug flow
350	9.199506647	0.805153044	99.11764706	Slug flow
400	10.51954045	0.802689825	106.4705882	Slug flow
450	11.82071704	0.79765218	115	Slug flow
500	13.12072135	0.797168432	119.7058824	Slug flow

ตารางก.69 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.500846292	0.927004563	55.88235294	Slug flow
150	3.841316085	0.922684198	66.76470588	Slug flow
200	5.171354345	0.91989014	73.23529412	Slug flow
250	6.529294401	0.915686542	83.23529412	Slug flow
300	7.880534073	0.912269729	95	Slug flow
350	9.205474114	0.907952144	108.5294118	Slug flow
400	10.50059525	0.903331523	118.8235294	Slug flow
450	11.7801808	0.898635837	128.8235294	Slug flow
500	13.07702682	0.894387756	131.1764706	Slug flow

ตารางก.70 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.528668793	1.025808289	57.94117647	Slug flow
150	3.879677834	1.020677782	72.05882353	Slug flow
200	5.212579141	1.012832841	80	Slug flow
250	6.555426662	1.009877098	90.88235294	Slug flow
300	7.889338568	1.005546879	107.9411765	Slug flow
350	9.189140463	1.000741679	120.2941176	Slug flow
400	10.4921272	0.994783766	123.5294118	Slug flow
450	11.75129283	0.992406595	134.4117647	Slug flow
500	13.01116247	0.987868497	141.4705882	Slug flow

ตารางก.71 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.519436953	0.10614919	19.11764706	Throat-annular flow
150	2.377158559	0.104881438	21.17647059	Throat-annular flow
200	3.290440057	0.104703508	23.23529412	Throat-annular flow
250	4.253476256	0.10138122	25.29411765	Annular-rivulet flow
300	5.260464377	0.101105984	27.35294118	Annular-rivulet flow
350	6.400825007	0.100839089	30.58823529	Annular-rivulet flow
400	7.585547881	0.100597215	33.82352941	Throat-annular flow
450	8.667371498	0.099398968	35.29411765	Throat-annular flow
500	10.10553909	0.098520438	40.58823529	Throat-annular flow

ตารางก.72 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.565858747	0.204227582	20.58823529	Plug flow
150	2.702843561	0.20117219	29.41176471	Slug flow
200	3.768208984	0.201108246	33.23529412	Throat-annular flow
250	4.827788934	0.200638399	35.58823529	Throat-annular flow
300	5.911477078	0.200610598	37.64705882	Throat-annular flow
350	7.093398587	0.200460469	40.88235294	Throat-annular flow
400	8.314554092	0.199626422	44.11764706	Throat-annular flow
450	9.695328582	0.199434591	49.41176471	Throat-annular flow
500	11.03568563	0.198264145	53.52941176	Throat-annular flow

ตารางก.73 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.609379435	0.305269623	22.05882353	Slug flow
150	2.758547422	0.304771975	31.17647059	Slug flow
200	3.924449671	0.304518981	37.35294118	Slug flow
250	5.204370772	0.304396654	44.41176471	Slug flow
300	6.515271544	0.302597892	50.88235294	Annular flow
350	7.836959293	0.301836129	56.47058824	Annular flow
400	9.181373683	0.301544212	61.76470588	Annular flow
450	10.51758175	0.301424665	66.17647059	Annular flow
500	11.97119491	0.300512774	72.94117647	Annular flow

ตารางก.74 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.786750298	0.409889726	28.82352941	Slug flow
150	2.912029001	0.409180786	36.17647059	Slug flow
200	4.124526749	0.408616414	43.23529412	Plug flow
250	5.389015555	0.408268894	49.70588235	Throat-annular flow
300	6.676794212	0.407334762	55.29411765	Throat-annular flow
350	7.991722104	0.406981682	60.58823529	Annular flow
400	9.444374966	0.406748148	68.82352941	Annular flow
450	10.90784812	0.406648063	76.76470588	Annular flow
500	12.34884878	0.405324708	83.52941176	Annular flow

ตารางก.75 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.901357208	0.515491225	34.11764706	Slug flow
150	3.065897624	0.514412524	42.05882353	Slug flow
200	4.311922284	0.513333823	49.70588235	Slug flow
250	5.598750051	0.511493359	56.47058824	Slug flow
300	6.940546127	0.510734376	63.52941176	Slug flow
350	8.280084961	0.51045914	69.41176471	Annular flow
400	9.709657713	0.50957227	77.35294118	Annular flow
450	11.11679018	0.509127445	83.82352941	Annular flow
500	12.53750011	0.508607555	90	Annular flow

ตารางก.76 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.001745351	0.624601282	39.41176471	Slug flow
150	3.230177228	0.61837651	49.41176471	Slug flow
200	4.523156524	0.615062562	58.52941176	Slug flow
250	5.795063368	0.613338865	64.11764706	Slug flow
300	7.13296223	0.607736847	70.88235294	Slug flow
350	8.474984582	0.604264431	76.47058824	Slug flow
400	9.838625543	0.602740905	81.76470588	Annular flow
450	11.24273803	0.600805915	87.94117647	Annular flow
500	12.66189457	0.600033031	94.41176471	Annular flow

ตารางก.77 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.069570035	0.717236127	43.52941176	Slug flow
150	3.300441948	0.715940573	52.94117647	Slug flow
200	4.613587266	0.715195491	62.64705882	Slug flow
250	5.914891933	0.713432872	69.11764706	Slug flow
300	7.284287143	0.712045573	77.05882353	Slug flow
350	8.686149783	0.710071661	85	Slug flow
400	10.07977916	0.708717725	91.76470588	Annular flow
450	11.49866188	0.708031026	98.82352941	Annular flow
500	12.95212851	0.707322086	107.0588235	Throat-annular flow

ตารางก.78 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.218506685	0.820113071	55	Slug flow
150	3.442908464	0.816593392	62.05882353	Slug flow
200	4.738298636	0.813496297	70	Slug flow
250	6.07279508	0.811552967	77.64705882	Slug flow
300	7.486652683	0.807538419	88.23529412	Slug flow
350	8.927517294	0.805153044	99.11764706	Slug flow
400	10.32701389	0.802689825	106.4705882	Annular flow
450	11.75122373	0.79765218	115	Slug flow
500	13.12987867	0.797168432	119.7058824	Annular flow

ตารางก.79 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.229475704	0.927004563	55.88235294	Slug flow
150	3.509818337	0.922684198	66.76470588	Slug flow
200	4.789160597	0.91989014	73.23529412	Slug flow
250	6.164704868	0.915686542	83.23529412	Slug flow
300	7.595948498	0.912269729	95	Slug flow
350	9.065166	0.907952144	108.5294118	Slug flow
400	10.49512662	0.903331523	118.8235294	Slug flow
450	11.93234635	0.898635837	128.8235294	Slug flow
500	13.28578396	0.894387756	131.1764706	Throat-annular flow

ตารางก.80 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.265259094	1.025808289	57.94117647	Slug flow
150	3.584370804	1.020677782	72.05882353	Slug flow
200	4.891761871	1.012832841	80	Slug flow
250	6.274592788	1.009877098	90.88235294	Slug flow
300	7.762225374	1.005546879	107.9411765	Slug flow
350	9.202986336	1.000741679	120.2941176	Slug flow
400	10.55407277	0.994783766	123.5294118	Slug flow
450	11.9873088	0.992406595	134.4117647	Slug flow
500	13.38600832	0.987868497	141.4705882	Slug flow

ตารางก.81 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.252045403	0.10614919	19.11764706	Throat-annular flow
150	1.969006324	0.104881438	21.17647059	Throat-annular flow
200	2.739465121	0.104703508	23.23529412	Throat-annular flow
250	3.559184289	0.10138122	25.29411765	Annular-rivulet flow
300	4.423821721	0.101105984	27.35294118	Annular-rivulet flow
350	5.424508822	0.100839089	30.58823529	Annular-rivulet flow
400	6.477353076	0.100597215	33.82352941	Annular-rivulet flow
450	7.426271948	0.099398968	35.29411765	Throat-annular flow
500	8.762747836	0.098520438	40.58823529	Throat-annular flow

ตารางก.82 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.295093716	0.204227582	20.58823529	Slug flow
150	2.284201724	0.20117219	29.41176471	Slug flow
200	3.213311622	0.201108246	33.23529412	Throat-annular flow
250	4.139279327	0.200638399	35.58823529	Throat-annular flow
300	5.092246327	0.200610598	37.64705882	Throat-annular flow
350	6.154874925	0.200460469	40.88235294	Throat-annular flow
400	7.266017832	0.199626422	44.11764706	Throat-annular flow
450	8.569553649	0.199434591	49.41176471	Throat-annular flow
500	9.838628522	0.198264145	53.52941176	Throat-annular flow

ตารางก.83 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.335991007	0.305269623	22.05882353	Slug flow
150	2.341030986	0.304771975	31.17647059	Slug flow
200	3.378334753	0.304518981	37.35294118	Slug flow
250	4.550970446	0.304396654	44.41176471	Slug flow
300	5.77661891	0.302597892	50.88235294	Throat-annular flow
350	7.029131555	0.301836129	56.47058824	Throat-annular flow
400	8.322805012	0.301544212	61.76470588	Annular flow
450	9.6165123	0.301424665	66.17647059	Throat-annular flow
500	11.08674796	0.300512774	72.94117647	Annular flow

ตารางก.84 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.507886684	0.409889726	28.82352941	Slug flow
150	2.500095907	0.409180786	36.17647059	Slug flow
200	3.597442936	0.408616414	43.23529412	Throat-annular flow
250	4.766231231	0.408268894	49.70588235	Annular flow
300	5.974198872	0.407334762	55.29411765	Annular flow
350	7.227531088	0.406981682	60.58823529	Throat-annular flow
400	8.679134544	0.406748148	68.82352941	Annular flow
450	10.17335745	0.406648063	76.76470588	Throat-annular flow
500	11.65779413	0.405324708	83.52941176	Annular flow

ตารางก.85 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.624687836	0.515491225	34.11764706	Slug flow
150	2.667189213	0.514412524	42.05882353	Slug flow
200	3.813612792	0.513333823	49.70588235	Slug flow
250	5.021635201	0.511493359	56.47058824	Slug flow
300	6.313385151	0.510734376	63.52941176	Throat-annular flow
350	7.617684843	0.51045914	69.41176471	Annular flow
400	9.065552735	0.50957227	77.35294118	Annular flow
450	10.50011586	0.509127445	83.82352941	Annular flow
500	11.96931194	0.508607555	90	Annular flow

ตารางก.86 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.731205441	0.624601282	39.41176471	Slug flow
150	2.855104581	0.61837651	49.41176471	Slug flow
200	4.073836917	0.615062562	58.52941176	Slug flow
250	5.277470643	0.613338865	64.11764706	Slug flow
300	6.58057792	0.607736847	70.88235294	Slug flow
350	7.900071668	0.604264431	76.47058824	Annular flow
400	9.259095787	0.602740905	81.76470588	Annular flow
450	10.6954375	0.600805915	87.94117647	Throat-annular flow
500	12.17829903	0.600033031	94.41176471	Throat-annular flow

ตารางก.87 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.806257348	0.717236127	43.52941176	Slug flow
150	2.938856624	0.715940573	52.94117647	Slug flow
200	4.189439215	0.715195491	62.64705882	Slug flow
250	5.438670001	0.713432872	69.11764706	Slug flow
300	6.797434483	0.712045573	77.05882353	Slug flow
350	8.221247559	0.710071661	85	Slug flow
400	9.651830078	0.708717725	91.76470588	Annular flow
450	11.14025472	0.708031026	98.82352941	Annular flow
500	12.71476962	0.707322086	107.0588235	Annular flow

ตารางก.88 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.983858814	0.820113071	55	Slug flow
150	3.122767385	0.816593392	62.05882353	Slug flow
200	4.36409433	0.813496297	70	Slug flow
250	5.672977154	0.811552967	77.64705882	Slug flow
300	7.125805215	0.807538419	88.23529412	Slug flow
350	8.653399429	0.805153044	99.11764706	Slug flow
400	10.12840523	0.802689825	106.4705882	Slug flow
450	11.67766766	0.79765218	115	Slug flow
500	13.13970428	0.797168432	119.7058824	Annular flow

ตารางก.89 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.997268613	0.927004563	55.88235294	Slug flow
150	3.212759812	0.922684198	66.76470588	Slug flow
200	4.437757134	0.91989014	73.23529412	Slug flow
250	5.816705658	0.915686542	83.23529412	Slug flow
300	7.312994584	0.912269729	95	Slug flow
350	8.919505887	0.907952144	108.5294118	Slug flow
400	10.4892737	0.903331523	118.8235294	Slug flow
450	12.09980438	0.898635837	128.8235294	Annular flow
500	13.5169772	0.894387756	131.1764706	Annular flow

ตารางก.90 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.037818238	1.025808289	57.94117647	Slug flow
150	3.3140955	1.020677782	72.05882353	Slug flow
200	4.589140461	1.012832841	80	Slug flow
250	5.99922878	1.009877098	90.88235294	Slug flow
300	7.630500948	1.005546879	107.9411765	Slug flow
350	9.217867577	1.000741679	120.2941176	Slug flow
400	10.62125988	0.994783766	123.5294118	Slug flow
450	12.25093477	0.992406595	134.4117647	Slug flow
500	13.81235975	0.987868497	141.4705882	Annular flow

ตารางก.91 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.132469726	0.10614919	19.11764706	Slug flow
150	1.785107231	0.104881438	21.17647059	Annular flow
200	2.489363019	0.104703508	23.23529412	Annular flow
250	3.241700027	0.10138122	25.29411765	Annular flow
300	4.03844835	0.101105984	27.35294118	Throat-annular flow
350	4.969693208	0.100839089	30.58823529	Throat-annular flow
400	5.955333827	0.100597215	33.82352941	Throat-annular flow
450	6.838721234	0.099398968	35.29411765	Throat-annular flow
500	8.115713988	0.098520438	40.58823529	Throat-annular flow

ตารางก.92 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.173357043	0.204227582	20.58823529	Slug flow
150	2.089972924	0.20117219	29.41176471	Slug flow
200	2.952449288	0.201108246	33.23529412	Slug flow
250	3.813006763	0.200638399	35.58823529	Slug flow
300	4.701331318	0.200610598	37.64705882	Annular flow
350	5.702201815	0.200460469	40.88235294	Annular flow
400	6.754906967	0.199626422	44.11764706	Throat-annular flow
450	8.011406079	0.199434591	49.41176471	Throat-annular flow
500	9.237429928	0.198264145	53.52941176	Throat-annular flow

ตารางก.93 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.212417564	0.305269623	22.05882353	Slug flow
150	2.146135611	0.304771975	31.17647059	Slug flow
200	3.117999729	0.304518981	37.35294118	Slug flow
250	4.232165527	0.304396654	44.41176471	Slug flow
300	5.408700188	0.302597892	50.88235294	Annular flow
350	6.619718274	0.301836129	56.47058824	Annular flow
400	7.880644108	0.301544212	61.76470588	Annular flow
450	9.146356554	0.301424665	66.17647059	Throat-annular flow
500	10.61614736	0.300512774	72.94117647	Throat-annular flow

ตารางก.94 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.378773072	0.409889726	28.82352941	Slug flow
150	2.304500337	0.409180786	36.17647059	Slug flow
200	3.341250753	0.408616414	43.23529412	Throat-annular flow
250	4.457173891	0.408268894	49.70588235	Annular flow
300	5.619402889	0.407334762	55.29411765	Annular flow
350	6.835361175	0.406981682	60.58823529	Throat-annular flow
400	8.276754879	0.406748148	68.82352941	Annular flow
450	9.778298651	0.406648063	76.76470588	Annular flow
500	11.27908055	0.405324708	83.52941176	Annular flow

ตารางก.95 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.494231133	0.515491225	34.11764706	Slug flow
150	2.474137842	0.514412524	42.05882353	Slug flow
200	3.566326211	0.513333823	49.70588235	Slug flow
250	4.729148977	0.511493359	56.47058824	Slug flow
300	5.988695203	0.510734376	63.52941176	Slug flow
350	7.268786603	0.51045914	69.41176471	Slug flow
400	8.718538203	0.50957227	77.35294118	Slug flow
450	10.16189348	0.509127445	83.82352941	Slug flow
500	11.65246444	0.508607555	90	Annular

ตารางก.96 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.601350034	0.624601282	39.41176471	Slug flow
150	2.669147442	0.61837651	49.41176471	Slug flow
200	3.844683868	0.615062562	58.52941176	Slug flow
250	5.009037869	0.613338865	64.11764706	Slug flow
300	6.288390082	0.607736847	70.88235294	Slug flow
350	7.591099691	0.604264431	76.47058824	Slug flow
400	8.94303017	0.602740905	81.76470588	Slug flow
450	10.3919084	0.600805915	87.94117647	Slug flow
500	11.90547565	0.600033031	94.41176471	Slug flow

ตารางก.97 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.678150097	0.717236127	43.52941176	Slug flow
150	2.757589297	0.715940573	52.94117647	Slug flow
200	3.970427543	0.715195491	62.64705882	Slug flow
250	5.188048759	0.713432872	69.11764706	Slug flow
300	6.535356218	0.712045573	77.05882353	Slug flow
350	7.965450297	0.710071661	85	Slug flow
400	9.41206967	0.708717725	91.76470588	Slug flow
450	10.93573804	0.708031026	98.82352941	Slug flow
500	12.57648469	0.707322086	107.0588235	Slug flow

ตารางก.98 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.865473915	0.820113071	55	Slug flow
150	2.957750382	0.816593392	62.05882353	Slug flow
200	4.166658701	0.813496297	70	Slug flow
250	5.457396209	0.811552967	77.64705882	Slug flow
300	6.925524158	0.807538419	88.23529412	Slug flow
350	8.496862616	0.805153044	99.11764706	Slug flow
400	10.01286505	0.802689825	106.4705882	Slug flow
450	11.63397437	0.79765218	115	Slug flow
500	13.14560671	0.797168432	119.7058824	Slug flow

ตารางก.99 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.87979649	0.927004563	55.88235294	Slug flow
150	3.057494543	0.922684198	66.76470588	Slug flow
200	4.250624047	0.91989014	73.23529412	Slug flow
250	5.626147167	0.915686542	83.23529412	Slug flow
300	7.153119629	0.912269729	95	Slug flow
350	8.834335228	0.907952144	108.5294118	Slug flow
400	10.48576507	0.903331523	118.8235294	Slug flow
450	12.20255445	0.898635837	128.8235294	Slug flow
500	13.6595961	0.894387756	131.1764706	Slug flow

ตารางก.100 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง ทิศทางการไหลจากล่างขึ้นบน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.922030612	1.025808289	57.94117647	Slug flow
150	3.170648085	1.020677782	72.05882353	Slug flow
200	4.424896755	1.012832841	80	Slug flow
250	5.845313862	1.009877098	90.88235294	Slug flow
300	7.553590604	1.005546879	107.9411765	Slug flow
350	9.226819445	1.000741679	120.2941176	Slug flow
400	10.66198432	0.994783766	123.5294118	Slug flow
450	12.41475056	0.992406595	134.4117647	Slug flow
500	14.08146092	0.987868497	141.4705882	Slug flow

ตารางก.101 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.318903034	0.106413305	14.70588235	Throat-annular flow
150	5.087143398	0.104686827	17.94117647	Throat-annular flow
200	6.846840433	0.102924207	20.58823529	Throat-annular flow
250	8.600298139	0.102423779	23.82352941	Throat-annular flow
300	10.31703417	0.101887208	26.76470588	Throat-annular flow
350	11.98972795	0.100119028	30.88235294	Throat-annular flow
400	13.62975709	0.099749267	33.82352941	Throat-annular flow
450	15.26331309	0.098976384	36.17647059	Throat-annular flow
500	16.81414054	0.09802835	39.41176471	Throat-annular flow

ตารางก.102 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.432339304	0.205183957	21.76470588	Slug flow
150	5.143254937	0.203849481	30.58823529	Annular
200	6.820474141	0.203254527	33.82352941	Annular
250	8.475443632	0.202787461	36.17647059	Throat-annular flow
300	10.07545374	0.202690155	39.70588235	Annular
350	11.6301748	0.202534467	43.52941176	Throat-annular flow
400	13.1987588	0.201945073	45.88235294	Throat-annular flow
450	14.61853509	0.20154195	50.88235294	Throat-annular flow
500	16.04222205	0.201035962	54.70588235	Throat-annular flow

ตารางก.103 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.44579557	0.308199909	26.76470588	Slug flow
150	5.090473037	0.306242678	35.88235294	Slug flow
200	6.647995991	0.304916543	43.52941176	Slug flow
250	8.208155964	0.303493102	47.94117647	Slug flow
300	9.655247083	0.303715515	54.11764706	Throat-annular flow
350	11.06162718	0.303401357	59.70588235	Throat-annular flow
400	12.41713154	0.303084419	65	Throat-annular flow
450	13.73795585	0.302800843	70	Throat-annular flow
500	15.07254942	0.302114144	73.82352941	Throat-annular flow

ตารางก.104 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.443174829	0.411449394	28.52941176	Slug flow
150	5.072217616	0.407893573	37.94117647	Slug flow
200	6.585967593	0.407626678	47.05882353	Slug flow
250	8.023827461	0.40642565	55	Slug flow
300	9.329698964	0.406167095	64.41176471	Slug flow
350	10.7252259	0.40590298	68.82352941	Throat-annular flow
400	11.95387192	0.405680568	76.47058824	Throat-annular flow
450	13.16797654	0.404977188	82.94117647	Throat-annular flow
500	14.43077976	0.404521242	87.35294118	Throat-annular flow

ตารางก.105 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.383150065	0.514623816	37.94117647	Slug flow
150	5.041978906	0.514409744	40.29411765	Slug flow
200	6.521356924	0.51168797	50.29411765	Slug flow
250	7.978077826	0.511535061	56.76470588	Slug flow
300	9.250362317	0.511209783	66.76470588	Slug flow
350	10.62257163	0.510531424	71.47058824	Slug flow
400	11.89834457	0.510069918	77.64705882	Slug flow
450	13.12238955	0.509711278	83.82352941	Slug flow
500	14.21572176	0.509185828	91.76470588	Slug flow

ตารางก.106 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.344034284	0.617564704	41.76470588	Slug flow
150	4.871374408	0.615298876	51.17647059	Slug flow
200	6.340693326	0.613716966	58.23529412	Slug flow
250	7.769636417	0.612282405	64.11764706	Slug flow
300	9.04468929	0.611020213	73.23529412	Slug flow
350	10.32353846	0.609796944	80	Slug flow
400	11.61326921	0.608406865	85	Slug flow
450	12.95997077	0.60761174	87.35294118	Slug flow
500	14.0043051	0.606975084	96.47058824	Slug flow

ตารางก.107 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.272803583	0.720349903	48.52941176	Slug flow
150	4.778978764	0.718984846	56.76470588	Slug flow
200	6.226968724	0.71852334	63.52941176	Slug flow
250	7.655789222	0.718042372	68.52941176	Slug flow
300	8.924962875	0.717355674	77.35294118	Slug flow
350	10.13166774	0.715965595	85.88235294	Slug flow
400	11.31583689	0.715162129	93.23529412	Slug flow
450	12.52629171	0.714205755	98.52941176	Slug flow
500	13.63021203	0.712329149	105.5882353	Slug flow

ตารางก.108 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.208444411	0.82221487	54.70588235	Slug flow
150	4.694885215	0.821803407	62.05882353	Slug flow
200	6.088768575	0.82026876	70.29411765	Slug flow
250	7.443373246	0.818987108	77.05882353	Slug flow
300	8.7070915	0.817774959	85	Slug flow
350	9.840229543	0.816851947	95	Slug flow
400	10.95477094	0.816237532	103.8235294	Slug flow
450	12.05917318	0.815611996	111.4705882	Slug flow
500	13.16742768	0.815164391	117.9411765	Slug flow

ตารางก.109 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.140767521	0.929629032	60.88235294	Slug flow
150	4.587466698	0.925269745	68.82352941	Slug flow
200	5.965152931	0.919489798	76.47058824	Slug flow
250	7.227828405	0.915725464	86.17647059	Slug flow
300	8.392391023	0.914649544	96.76470588	Slug flow
350	9.43255088	0.910840728	109.4117647	Slug flow
400	10.55074473	0.90876117	117.0588235	Slug flow
450	11.56341555	0.907095856	127.0588235	Slug flow
500	12.66606779	0.906094999	132.6470588	Slug flow

ตารางก.110 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 150 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	3.082941295	1.026441529	66.47058824	Slug flow
150	4.469573682	1.023002889	76.76470588	Slug flow
200	5.814599184	1.020685397	84.41176471	Slug flow
250	7.033348176	1.018527602	95	Slug flow
300	8.179469325	1.015582957	105.5882353	Slug flow
350	9.251368779	1.013398626	116.4705882	Slug flow
400	10.34880345	1.011279384	124.4117647	Slug flow
450	11.35689909	1.008965781	134.1176471	Slug flow
500	12.48389779	1.005684164	138.5294118	Slug flow

ตารางก.111 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.722121852	0.106413305	14.70588235	Slug flow
150	2.77734274	0.104686827	17.94117647	Annular
200	3.882653476	0.102924207	20.58823529	Annular
250	5.088920483	0.102423779	23.82352941	Annular
300	6.325103748	0.101887208	26.76470588	Throat-annular flow
350	7.690624593	0.100119028	30.88235294	Throat-annular flow
400	9.004758387	0.099749267	33.82352941	Throat-annular flow
450	10.31011665	0.098976384	36.17647059	Throat-annular flow
500	11.68701155	0.09802835	39.41176471	Throat-annular flow

ตารางก.112 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.977636721	0.205183957	21.76470588	Slug flow
150	3.288933683	0.203849481	30.58823529	Slug flow
200	4.506076032	0.203254527	33.82352941	Annular
250	5.725022606	0.202787461	36.17647059	Annular
300	7.020655663	0.202690155	39.70588235	Annular
350	8.359455107	0.202534467	43.52941176	Annular
400	9.658060735	0.201945073	45.88235294	Annular
450	11.08089858	0.20154195	50.88235294	Throat-annular flow
500	12.46455045	0.201035962	54.70588235	Throat-annular flow

ตารางก.113 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.11252712	0.308199909	26.76470588	Slug flow
150	3.429240937	0.306242678	35.88235294	Slug flow
200	4.778399721	0.304916543	43.52941176	Annular
250	6.09669846	0.303493102	47.94117647	Annular
300	7.474348358	0.303715515	54.11764706	Annular
350	8.854643545	0.303401357	59.70588235	Annular
400	10.23005066	0.303084419	65	Annular
450	11.60387077	0.302800843	70	Annular
500	12.95903236	0.302114144	73.82352941	Annular

ตารางก.114 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.153502858	0.411449394	28.52941176	Slug flow
150	3.480943596	0.407893573	37.94117647	Slug flow
200	4.860932	0.407626678	47.05882353	Slug flow
250	6.245801356	0.40642565	55	Slug flow
300	7.662850398	0.406167095	64.41176471	Annular
350	9.007822896	0.40590298	68.82352941	Annular
400	10.39835074	0.405680568	76.47058824	Annular
450	11.76375445	0.404977188	82.94117647	Annular
500	13.10998396	0.404521242	87.35294118	Annular

ตารางก.115 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.321776282	0.514623816	37.94117647	Slug flow
150	3.530705655	0.514409744	40.29411765	Slug flow
200	4.923629661	0.51168797	50.29411765	Slug flow
250	6.277430377	0.511535061	56.76470588	Slug flow
300	7.690211223	0.511209783	66.76470588	Slug flow
350	9.035028137	0.510531424	71.47058824	Annular
400	10.40232613	0.510069918	77.64705882	Annular
450	11.76342986	0.509711278	83.82352941	Annular
500	13.11986232	0.509185828	91.76470588	Throat-annular flow

ตารางก.116 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.370173	0.617564704	41.76470588	Slug flow
150	3.699790343	0.615298876	51.17647059	Slug flow
200	5.032735393	0.613716966	58.23529412	Slug flow
250	6.371644099	0.612282405	64.11764706	Slug flow
300	7.75575789	0.611020213	73.23529412	Slug flow
350	9.114519852	0.609796944	80	Slug flow
400	10.45775366	0.608406865	85	Annular
450	11.77379266	0.60761174	87.35294118	Throat-annular flow
500	13.13070906	0.606975084	96.47058824	Annular

ตารางก.117 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.44103997	0.720349903	48.52941176	Slug flow
150	3.760267462	0.718984846	56.76470588	Slug flow
200	5.090653552	0.71852334	63.52941176	Slug flow
250	6.42065148	0.718042372	68.52941176	Slug flow
300	7.793041512	0.717355674	77.35294118	Slug flow
350	9.154096698	0.715965595	85.88235294	Slug flow
400	10.49637606	0.715162129	93.23529412	Slug flow
450	11.82282838	0.714205755	98.52941176	Slug flow
500	13.14297055	0.712329149	105.5882353	Annular

ตารางก.118 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.492910089	0.82221487	54.70588235	Slug flow
150	3.807820713	0.821803407	62.05882353	Slug flow
200	5.150148712	0.82026876	70.29411765	Slug flow
250	6.491193948	0.818987108	77.05882353	Slug flow
300	7.840739442	0.817774959	85	Slug flow
350	9.181892832	0.816851947	95	Slug flow
400	10.50867808	0.816237532	103.8235294	Slug flow
450	11.82100721	0.815611996	111.4705882	Slug flow
500	13.12629893	0.815164391	117.9411765	Annular

ตารางก.119 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.530853605	0.929629032	60.88235294	Slug flow
150	3.852887382	0.925269745	68.82352941	Slug flow
200	5.18892563	0.919489798	76.47058824	Slug flow
250	6.537653677	0.915725464	86.17647059	Slug flow
300	7.876393265	0.914649544	96.76470588	Slug flow
350	9.194384066	0.910840728	109.4117647	Slug flow
400	10.49446783	0.90876117	117.0588235	Slug flow
450	11.78008039	0.907095856	127.0588235	Annular
500	13.06263921	0.906094999	132.6470588	Annular

ตารางก.120 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 400 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.559168954	1.026441529	66.47058824	Slug flow
150	3.892894725	1.023002889	76.76470588	Slug flow
200	5.224279479	1.020685397	84.41176471	Slug flow
250	6.562799061	1.018527602	95	Slug flow
300	7.887076458	1.015582957	105.5882353	Slug flow
350	9.188299668	1.013398626	116.4705882	Slug flow
400	10.47887478	1.011279384	124.4117647	Slug flow
450	11.7489513	1.008965781	134.1176471	Slug flow
500	13.03223053	1.005684164	138.5294118	Slug flow

ตารางก.121 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.356615026	0.106413305	14.70588235	Slug flow
150	2.214316905	0.104686827	17.94117647	Throat-annular flow
200	3.125024131	0.102924207	20.58823529	Throat-annular flow
250	4.141913669	0.102423779	23.82352941	Throat-annular flow
300	5.198664207	0.101887208	26.76470588	Throat-annular flow
350	6.404601672	0.100119028	30.88235294	Throat-annular flow
400	7.566862703	0.099749267	33.82352941	Throat-annular flow
450	8.724601593	0.098976384	36.17647059	Throat-annular flow
500	9.982409597	0.09802835	39.41176471	Throat-annular flow

ตารางก.122 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.598296162	0.205183957	21.76470588	Slug flow
150	2.736446811	0.203849481	30.58823529	Slug flow
200	3.786537872	0.203254527	33.82352941	Annular
250	4.844614571	0.202787461	36.17647059	Annular
300	6.001650021	0.202690155	39.70588235	Throat-annular flow
350	7.222071658	0.202534467	43.52941176	Throat-annular flow
400	8.396666777	0.201945073	45.88235294	Throat-annular flow
450	9.758451533	0.20154195	50.88235294	Throat-annular flow
500	11.08069429	0.201035962	54.70588235	Throat-annular flow

ตารางก.123 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.736306559	0.308199909	26.76470588	Slug flow
150	2.899376456	0.306242678	35.88235294	Slug flow
200	4.128252948	0.304916543	43.52941176	Slug flow
250	5.329031175	0.303493102	47.94117647	Annular
300	6.635070655	0.303715515	54.11764706	Annular
350	7.964745917	0.303401357	59.70588235	Annular
400	9.311599863	0.303084419	65	Annular
450	10.67521596	0.302800843	70	Throat-annular flow
500	12.01551588	0.302114144	73.82352941	Throat-annular flow

ตารางก.124 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.780117785	0.411449394	28.52941176	Slug flow
150	2.960778671	0.407893573	37.94117647	Slug flow
200	4.239141089	0.407626678	47.05882353	Slug flow
250	5.556306864	0.40642565	55	Annular
300	6.965911807	0.406167095	64.41176471	Annular
350	8.266550041	0.40590298	68.82352941	Annular
400	9.692078281	0.405680568	76.47058824	Annular
450	11.10083547	0.404977188	82.94117647	Throat-annular flow
500	12.4707967	0.404521242	87.35294118	Throat-annular flow

ตารางก.125 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.974828233	0.514623816	37.94117647	Slug flow
150	3.023244034	0.514409744	40.29411765	Slug flow
200	4.329609205	0.51168797	50.29411765	Slug flow
250	5.607990857	0.511535061	56.76470588	Annular
300	7.026561671	0.511209783	66.76470588	Annular
350	8.337265632	0.510531424	71.47058824	Annular
400	9.718070363	0.510069918	77.64705882	Annular
450	11.11861875	0.509711278	83.82352941	Annular
500	12.57692651	0.509185828	91.76470588	Annular

ตารางก.126 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.037832749	0.617564704	41.76470588	Slug flow
150	3.260640358	0.615298876	51.17647059	Slug flow
200	4.511573028	0.613716966	58.23529412	Slug flow
250	5.788399638	0.612282405	64.11764706	Slug flow
300	7.182561396	0.611020213	73.23529412	Slug flow
350	8.553550839	0.609796944	80	Slug flow
400	9.905804491	0.608406865	85	Slug flow
450	11.19975243	0.60761174	87.35294118	Throat-annular flow
500	12.68749553	0.606975084	96.47058824	Annular

ตารางก.127 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.136913056	0.720349903	48.52941176	Slug flow
150	3.359263947	0.718984846	56.76470588	Slug flow
200	4.618669785	0.71852334	63.52941176	Slug flow
250	5.888631627	0.718042372	68.52941176	Slug flow
300	7.276260993	0.717355674	77.35294118	Slug flow
350	8.684833074	0.715965595	85.88235294	Slug flow
400	10.08729962	0.715162129	93.23529412	Slug flow
450	11.46234886	0.714205755	98.52941176	Slug flow
500	12.88503262	0.712329149	105.5882353	Annular

ตารางก.128 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.216138858	0.82221487	54.70588235	Slug flow
150	3.443473848	0.821803407	62.05882353	Slug flow
200	4.740881112	0.82026876	70.29411765	Slug flow
250	6.05726974	0.818987108	77.05882353	Slug flow
300	7.426913515	0.817774959	85	Slug flow
350	8.850311975	0.816851947	95	Slug flow
400	10.27438164	0.816237532	103.8235294	Slug flow
450	11.69169849	0.815611996	111.4705882	Slug flow
500	13.10337886	0.815164391	117.9411765	Slug flow

ตารางก.129 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.282623185	0.929629032	60.88235294	Slug flow
150	3.535825106	0.925269745	68.82352941	Slug flow
200	4.836485579	0.919489798	76.47058824	Slug flow
250	6.205806972	0.915725464	86.17647059	Slug flow
300	7.614227499	0.914649544	96.76470588	Slug flow
350	9.06619087	0.910840728	109.4117647	Slug flow
400	10.46321421	0.90876117	117.0588235	Slug flow
450	11.90499683	0.907095856	127.0588235	Slug flow
500	13.29575989	0.906094999	132.6470588	Throat-annular flow

ตารางก.130 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 540 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.336840801	1.026441529	66.47058824	Slug flow
150	3.630574721	1.023002889	76.76470588	Slug flow
200	4.943240068	1.020685397	84.41176471	Slug flow
250	6.325800157	1.018527602	95	Slug flow
300	7.732288307	1.015582957	105.5882353	Slug flow
350	9.153355149	1.013398626	116.4705882	Slug flow
400	10.55315303	1.011279384	124.4117647	Slug flow
450	11.98055696	1.008965781	134.1176471	Slug flow
500	13.36086768	1.005684164	138.5294118	Slug flow

ตารางก.131 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.105273337	0.106413305	14.70588235	Annular
150	1.819187364	0.104686827	17.94117647	Annular
200	2.584651471	0.102924207	20.58823529	Throat-annular flow
250	3.45336698	0.102423779	23.82352941	Throat-annular flow
300	4.365650058	0.101887208	26.76470588	Throat-annular flow
350	5.431477416	0.100119028	30.88235294	Throat-annular flow
400	6.46139767	0.099749267	33.82352941	Throat-annular flow
450	7.490427026	0.098976384	36.17647059	Throat-annular flow
500	8.633266864	0.09802835	39.41176471	Throat-annular flow

ตารางก.132 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.325818939	0.205183957	21.76470588	Slug flow
150	2.319057286	0.203849481	30.58823529	Annular
200	3.233351515	0.203254527	33.82352941	Annular
250	4.1592996	0.202787461	36.17647059	Annular
300	5.193934212	0.202690155	39.70588235	Throat-annular flow
350	6.303202974	0.202534467	43.52941176	Throat-annular flow
400	7.365921978	0.201945073	45.88235294	Throat-annular flow
450	8.65211147	0.20154195	50.88235294	Throat-annular flow
500	9.902729106	0.201035962	54.70588235	Throat-annular flow

ตารางก.133 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.458087411	0.308199909	26.76470588	Slug flow
150	2.487560082	0.306242678	35.88235294	Slug flow
200	3.60301275	0.304916543	43.52941176	Annular
250	4.695557331	0.303493102	47.94117647	Annular
300	5.922539967	0.303715515	54.11764706	Annular
350	7.190480112	0.303401357	59.70588235	Annular
400	8.494493105	0.303084419	65	Annular
450	9.832147157	0.302800843	70	Throat-annular flow
500	11.14603406	0.302114144	73.82352941	Throat-annular flow

ตารางก.134 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.50123408	0.411449394	28.52941176	Slug flow
150	2.552162439	0.407893573	37.94117647	Slug flow
200	3.728183011	0.407626678	47.05882353	Slug flow
250	4.968625255	0.40642565	55	Annular
300	6.347380192	0.406167095	64.41176471	Annular
350	7.596744124	0.40590298	68.82352941	Annular
400	9.034602045	0.405680568	76.47058824	Annular
450	10.46875446	0.404977188	82.94117647	Throat-annular flow
500	11.85168465	0.404521242	87.35294118	Throat-annular flow

ตารางก.135 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.702282744	0.514623816	37.94117647	Slug flow
150	2.619808248	0.514409744	40.29411765	Slug flow
200	3.834008095	0.51168797	50.29411765	Slug flow
250	5.032930298	0.511535061	56.76470588	Slug flow
300	6.431858515	0.511209783	66.76470588	Slug flow
350	7.700119829	0.510531424	71.47058824	Slug flow
400	9.078256458	0.510069918	77.64705882	Annular
450	10.50184299	0.509711278	83.82352941	Annular
500	12.04295804	0.509185828	91.76470588	Annular

ตารางก.136 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.771669105	0.617564704	41.76470588	Slug flow
150	2.892756404	0.615298876	51.17647059	Slug flow
200	4.061000027	0.613716966	58.23529412	Slug flow
250	5.271402091	0.612282405	64.11764706	Slug flow
300	6.655542747	0.611020213	73.23529412	Slug flow
350	8.024398422	0.609796944	80	Slug flow
400	9.37562361	0.608406865	85	Slug flow
450	10.6437413	0.60761174	87.35294118	Slug flow
500	12.24466754	0.606975084	96.47058824	Throat-annular flow

ตารางก.137 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.885253746	0.720349903	48.52941176	Slug flow
150	3.014794733	0.718984846	56.76470588	Slug flow
200	4.201317981	0.71852334	63.52941176	Slug flow
250	5.408471076	0.718042372	68.52941176	Slug flow
300	6.793579103	0.717355674	77.35294118	Slug flow
350	8.232659902	0.715965595	85.88235294	Slug flow
400	9.682968809	0.715162129	93.23529412	Slug flow
450	11.09974257	0.714205755	98.52941176	Throat-annular flow
500	12.61967411	0.712329149	105.5882353	Throat-annular flow

ตารางก.138 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.980545821	0.82221487	54.70588235	Slug flow
150	3.123280197	0.821803407	62.05882353	Slug flow
200	4.368898394	0.82026876	70.29411765	Slug flow
250	5.652426023	0.818987108	77.05882353	Slug flow
300	7.029408441	0.817774959	85	Slug flow
350	8.520632223	0.816851947	95	Slug flow
400	10.03467281	0.816237532	103.8235294	Slug flow
450	11.55625638	0.815611996	111.4705882	Slug flow
500	13.0789103	0.815164391	117.9411765	Slug flow

ตารางก.139 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.065558713	0.929629032	60.88235294	Slug flow
150	3.249331156	0.925269745	68.82352941	Slug flow
200	4.508395541	0.919489798	76.47058824	Slug flow
250	5.885712716	0.915725464	86.17647059	Slug flow
300	7.352035516	0.914649544	96.76470588	Slug flow
350	8.932749433	0.910840728	109.4117647	Slug flow
400	10.42993411	0.90876117	117.0588235	Slug flow
450	12.04180951	0.907095856	127.0588235	Slug flow
500	13.55494548	0.906094999	132.6470588	Annular

ตารางก.140 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 690 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.137848762	1.026441529	66.47058824	Slug flow
150	3.386106408	1.023002889	76.76470588	Slug flow
200	4.67385162	1.020685397	84.41176471	Slug flow
250	6.090160076	1.018527602	95	Slug flow
300	7.573047071	1.015582957	105.5882353	Slug flow
350	9.116208352	1.013398626	116.4705882	Slug flow
400	10.63391436	1.011279384	124.4117647	Slug flow
450	12.23905739	1.008965781	134.1176471	Slug flow
500	13.73188246	1.005684164	138.5294118	Slug flow

ตารางก.141 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	0.994699803	0.106413305	14.70588235	Slug flow
150	1.643251268	0.104686827	17.94117647	Annular
200	2.341698497	0.102924207	20.58823529	Slug flow
250	3.140157411	0.102423779	23.82352941	Throat-annular flow
300	3.982742379	0.101887208	26.76470588	Throat-annular flow
350	4.977687298	0.100119028	30.88235294	Throat-annular flow
400	5.940664291	0.099749267	33.82352941	Throat-annular flow
450	6.904411769	0.098976384	36.17647059	Throat-annular flow
500	7.985697054	0.09802835	39.41176471	Throat-annular flow

ตารางก.142 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.202788271	0.205183957	21.76470588	Slug flow
150	2.124616923	0.203849481	30.58823529	Annular
200	2.972771042	0.203254527	33.82352941	Annular
250	3.833895853	0.202787461	36.17647059	Annular
300	4.805863722	0.202690155	39.70588235	Throat-annular flow
350	5.856153719	0.202534467	43.52941176	Throat-annular flow
400	6.860611492	0.201945073	45.88235294	Throat-annular flow
450	8.101049708	0.20154195	50.88235294	Throat-annular flow
500	9.308959618	0.201035962	54.70588235	Throat-annular flow

ตารางก.143 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.330199728	0.308199909	26.76470588	Slug flow
150	2.292213706	0.306242678	35.88235294	Slug flow
200	3.347472166	0.304916543	43.52941176	Annular
250	4.382950648	0.303493102	47.94117647	Annular
300	5.564031938	0.303715515	54.11764706	Annular
350	6.794195298	0.303401357	59.70588235	Annular
400	8.06962038	0.303084419	65	Throat-annular flow
450	9.387331803	0.302800843	70	Throat-annular flow
500	10.68223336	0.302114144	73.82352941	Throat-annular flow

ตารางก.144 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.372243816	0.411449394	28.52941176	Slug flow
150	2.356989929	0.407893573	37.94117647	Slug flow
200	3.4767447	0.407626678	47.05882353	Slug flow
250	4.672127241	0.40642565	55	Annular
300	6.026319362	0.406167095	64.41176471	Annular
350	7.244545948	0.40590298	68.82352941	Annular
400	8.68125856	0.405680568	76.47058824	Throat-annular flow
450	10.12291549	0.404977188	82.94117647	Annular
500	11.50887029	0.404521242	87.35294118	Throat-annular flow

ตารางก.145 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.572103414	0.514623816	37.94117647	Slug flow
150	2.425598353	0.514409744	40.29411765	Slug flow
200	3.587608565	0.51168797	50.29411765	Slug flow
250	4.741222606	0.511535061	56.76470588	Slug flow
300	6.121021632	0.511209783	66.76470588	Slug flow
350	7.362526906	0.510531424	71.47058824	Slug flow
400	8.73327021	0.510069918	77.64705882	Slug flow
450	10.16356498	0.509711278	83.82352941	Throat-annular flow
500	11.7437998	0.509185828	91.76470588	Annular

ตารางก.146 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.642918999	0.617564704	41.76470588	Slug flow
150	2.709346119	0.615298876	51.17647059	Slug flow
200	3.831412976	0.613716966	58.23529412	Slug flow
250	5.003277988	0.612282405	64.11764706	Slug flow
300	6.374889205	0.611020213	73.23529412	Slug flow
350	7.737208055	0.609796944	80	Slug flow
400	9.0839089	0.608406865	85	Slug flow
450	10.33586715	0.60761174	87.35294118	Throat-annular flow
500	11.99350406	0.606975084	96.47058824	Slug flow

ตารางก.147 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.76083226	0.720349903	48.52941176	Slug flow
150	2.840057798	0.718984846	56.76470588	Slug flow
200	3.985249155	0.71852334	63.52941176	Slug flow
250	5.156207955	0.718042372	68.52941176	Slug flow
300	6.533532006	0.717355674	77.35294118	Slug flow
350	7.983271937	0.715965595	85.88235294	Slug flow
400	9.455563508	0.715162129	93.23529412	Slug flow
450	10.89298572	0.714205755	98.52941176	Slug flow
500	12.46564125	0.712329149	105.5882353	Slug flow

ตารางก.148 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.861791924	0.82221487	54.70588235	Slug flow
150	2.958236095	0.821803407	62.05882353	Slug flow
200	4.172468312	0.82026876	70.29411765	Slug flow
250	5.434494094	0.818987108	77.05882353	Slug flow
300	6.810694259	0.817774959	85	Slug flow
350	8.33435618	0.816851947	95	Slug flow
400	9.896142268	0.816237532	103.8235294	Slug flow
450	11.47648698	0.815611996	111.4705882	Slug flow
500	13.06427298	0.815164391	117.9411765	Slug flow

ตารางก.149 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	1.95406636	0.929629032	60.88235294	Slug flow
150	3.098686552	0.925269745	68.82352941	Slug flow
200	4.332072092	0.919489798	76.47058824	Slug flow
250	5.709030344	0.915725464	86.17647059	Slug flow
300	7.203212186	0.914649544	96.76470588	Slug flow
350	8.85455357	0.910840728	109.4117647	Slug flow
400	10.41006748	0.90876117	117.0588235	Slug flow
450	12.12541696	0.907095856	127.0588235	Slug flow
500	13.71536467	0.906094999	132.6470588	Slug flow

ตารางก.150 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อขดเกลียวในแนวนอน อัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที
ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 780 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow patten
100	2.033930031	1.026441529	66.47058824	Slug flow
150	3.254614798	1.023002889	76.76470588	Slug flow
200	4.525865772	1.020685397	84.41176471	Slug flow
250	5.95701844	1.018527602	95	Slug flow
300	7.480612189	1.015582957	105.5882353	Slug flow
350	9.094064643	1.013398626	116.4705882	Slug flow
400	10.68296722	1.011279384	124.4117647	Slug flow
450	12.39958234	1.008965781	134.1176471	Slug flow
500	13.96454943	1.005684164	138.5294118	Slug flow

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล	นางสาว ปฐมวรรณ แก่นกุล
วัน เดือน ปีเกิด	27 กันยายน พ.ศ. 2542
ภูมิลำเนา	จังหวัดชุมพร
ที่อยู่	16 หมู่ 7 ตำบลพะโต๊ะ อำเภอบึงสามพัน จังหวัด พะโต๊ะ
	จังหวัด ชุมพร 86180

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2560 จากโรงเรียนพะโต๊ะวิทยา จังหวัดชุมพร

- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ.

(วิศวกรรมเครื่องกลแขนงวิศวกรรมเกษตรและอาหาร) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ได้เข้าร่วมกิจกรรมการแข่งขันทักษะการประชุมทางวิชาการ โครงการ วิศวกรรมเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 26 ประจำปี 2563 มหาวิทยาลัยขอนแก่น

- ได้เข้าร่วมการประชุมวิชาการโครงการ วิศวกรรมเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 27 ประจำปี 2564 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

- ผ่านการฝึกงานในส่วนของการซ่อมบำรุงรถจักร หน่วยงาน แขวงรถไฟชุมพร การรถไฟแห่งประเทศไทย จังหวัดชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาว พลอยแก้ว พิมพ์จันทร์
 วัน เดือน ปีเกิด 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2543
 ภูมิลำเนา จังหวัดบุรีรัมย์
 ที่อยู่ 247 หมู่ 3 ตำบลหนองไม้งาม
 อำเภอ บ้านกรวด
 จังหวัด บุรีรัมย์ 31180

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรชั้นมัธยมปีที่ 6 ปีการศึกษา 2560 จากโรงเรียนละหานทรายรัชดาภิเษก จังหวัดบุรีรัมย์
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์ วศ.บ. (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงานในส่วนของแผนกประกันคุณภาพแก๊สชีวภาพ จากบริษัท ไทยอีสเทิร์น ไบโอ พาวเวอร์ จำกัด Thai Eastern Group จังหวัดชลบุรี

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล	นางสาว วิสสุตา ช่อประเสริฐ
วัน เดือน ปีเกิด	17 มิถุนายน พ.ศ. 2541
ภูมิลำเนา	จังหวัด เชียงใหม่
ที่อยู่	193 หมู่ 4 ตำบลป่าไผ่ อำเภอ สันทราย จังหวัด เชียงใหม่ 50210

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนโรงเรียนดาราวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์ วศ.บ. (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงานในส่วงานวิศวกรรมพลังงาน จากบริษัท เขา คือ วินด์ พาวเวอร์ จำกัด จังหวัดเพชรบูรณ์