



การไหลขนาดไมโครของอากาศและน้ำ แบบอะเดียแบติกสองเฟสภายในท่อเซอร์
เพนไทน์

AN ADIABATIC-SCALE TWO-PHASE AIR-WATER FLOW IN SERPENTINE TUBES

มณฑิชา เผือกผ่อง

MONTHICHA PHUEAKPHONG

สาวิตรีบุญธรรม

SAVITREE BOONTHAM

สิทธิโชค บุญเกื้อ

SITTICHOK BUNKUER

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลขนาดไมโครของอากาศและน้ำ แบบอะเดียแบติกสองเฟสภายในท่อเซอร์
เพนไทน์


AN ADIABATIC-SCALE TWO-PHASE AIR-WATER FLOW IN SERPENTINE TUBES



ปริญญาานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AN ADIABATIC-SCALE TWO-PHASE AIR-WATER FLOW IN SERPENTINE TUBES

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The umbrella is flanked by two smaller, three-tiered umbrellas. The entire emblem is surrounded by a decorative border with Thai script. The text inside the seal reads: "MONTHICHA PHUEAKPHONG", "SAVITREE BOONTHAM", and "SITTICHOK BUNKUER".

MONTHICHA PHUEAKPHONG
SAVITREE BOONTHAM
SITTICHOK BUNKUER

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

2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์






หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การไหลขนาดไมโครของอากาศและน้ำ แบบอะเดียแบติกสองเฟสภายในท่อเซอร์เพนไทน์

PROJECT TITLE AN ADIABATIC-SCALE TWO-PHASE AIR-WATER FLOW IN SERPENTINE TUBES

ชื่อนักศึกษา นางสาวมณฑิชา เผือกผ่อง รหัสประจำตัว 62201079
นางสาวสาวิตรี บุญธรรม รหัสประจำตัว 62201096
นายสิทธิโชค บุญเกื้อ รหัสประจำตัว 62201097

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ศิระ สายศร

ปริญญาานิพนธ์

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

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 13 มิถุนายน 2566 เวลา 09:00 – 19:00 น.

สถานที่สอบ ห้อง A309

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 19 มิถุนายน พ.ศ. 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การไหลขนาดไมโครของอากาศและน้ำ แบบอะเดียแบติกสองเฟสภายในท่อเซอร์เพนไทน์	
PROJECT TITLE	AN ADIABATIC-SCALE TWO-PHASE AIR-WATER FLOW IN SERPENTINE TUBES	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวมณฑิชา เผือกผ่อง	รหัสประจำตัว 62201079
	นางสาวสาวิตรี บุญธรรม	รหัสประจำตัว 62201096
	นายสิทธิโชค บุญเกื้อ	รหัสประจำตัว 62201097
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ศิระ สายศร	
ปริญญานิพนธ์		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการทดลองและสร้างแผนภูมิรูปแบบการไหลของท่อเซอร์เพนไทน์ขนาดไมโคร โดยใช้ท่อเทฟลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 1 มิลลิเมตร มีรัศมี 3 มิลลิเมตร และสารที่ใช้ในการทดลองในการไหลแบบสองสถานะ คือ น้ำ-อากาศ และในการทดลองนี้ไม่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องทั้งในแนวตั้งและแนวนอน ซึ่งรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นจะบันทึกภาพและอัดวีดีโอ

คำสำคัญ: การไหลของท่อเซอร์เพนไทน์, การไหลสองสถานะ, ความดันลด, รูปแบบการไหล

Project Title	AN ADIABATIC- SCALE TWO-PHASE AIR-WATER FLOWIN SERPENTINE TUBES	
Student	Ms. Monthicha Phueaphong	Student ID 62201079
	Ms. Savitree Boontham	Student ID 62201096
	Mr. Sittichok Bunkuer	Student ID 62201097
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering	
Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Sira Saisorn	

Abstract

This work aims to experimentally study and chart the flow patterns of micro serpentine tubes. A Teflon tube with an inner diameter of 1 millimeter and a radius of 3 millimeters will be used for the experiment. The substance used in the experiment will be a two-phase flow of water and air. It is important to note that there will be no heat involved in both the vertical and horizontal directions of the experiment. The resulting flow pattern will be captured and recorded on video.

Keywords: serpentine tube flow, two-phase flow, pressure drop, flow pattern.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากบุคคลหลายๆท่าน โดยเฉพาะอาจารย์ที่
ปรีกษารศ.ดร.ศิระ สายศร ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือตลอดจนให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์
ต่อการทำงาน ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำงานวิจัยได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณนายไชยรัตน์ เพชรศิริ ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ต่างๆ

ขอขอบคุณนางสาววิสุตยา ช่อประเสริฐ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำวิธีเทคนิคการตรวจสอบอุปกรณ์

บุคคลที่ขาดมิได้คือ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณและเป็นทีเคารพรัก ที่คอยให้การสนับสนุนและกำลังใจ
แก่คณะผู้จัดทำเสมอมา คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณ พี่ๆเพื่อนๆ นักศึกษา
ที่คอยช่วยเหลือแนะนำและสนับสนุนในทุกๆ ด้าน รวมถึงกำลังใจซึ่งทำให้การจัดทำปริญญานิพนธ์นี้
สำเร็จลุล่วง คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มากก็น้อยต่อผู้ที่สนใจศึกษา
เกี่ยวกับการไหลขนาดไมโครของอากาศและน้ำ แบบอะเดียแบติกสองเฟสภายในท่อเซอร์เพนไทน์

มณฑิชา เผือกผ่อง

สาวิตรี บุญธรรม

สิทธิโชค บุญเกื้อ

มิถุนายน 2566

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	XXIX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการศึกษา	2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.7 แผนดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 รูปแบบการไหลแบบสองเฟส (Two-phase flow)	5
2.2 ความดันลดในช่องทางการไหลแบบสองเฟส (Two-phase flow pressure drop)	7
2.3 Void fraction	9
2.4 ความเร็วเฟสของของเหลวและความเร็วเฟสของแก๊ส	9
2.5 อัตราการไหล	9
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ	16
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง	16
3.2 วงจรการทำงาน และรายละเอียดของ test section	35
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	38
3.4 ข้อควรระวังในการทดลอง	39
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	40
4.1 ผลการทดลองการไหลสองสถานะ (Two-phase flow)	40
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	87
5.1 สรุปผลการทดลอง	87
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ	87
เอกสารอ้างอิง	88
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก	90
ประวัติผู้เขียน	183

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ก.1	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	91
ก.2	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	91
ก.3	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	92
ก.4	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	92
ก.5	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	93
ก.6	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	93
ก.7	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	94
ก.8	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.9	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	95
ก.10	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	95
ก.11	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	96
ก.12	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	96
ก.13	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	97
ก.14	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	97
ก.15	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	98
ก.17	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	98

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.18	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	99
ก.19	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	99
ก.20	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	100
ก.21	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	100
ก.22	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	101
ก.23	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	101
ก.24	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	102
ก.25	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	102

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.26	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	103
ก.27	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	103
ก.28	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	104
ก.29	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	104
ก.30	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	105
ก.31	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	105
ก.32	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	106
ก.33	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	106

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.34	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	107
ก.35	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	107
ก.36	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตรตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	108
ก.37	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	108
ก.38	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	109
ก.39	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	109
ก.40	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	110
ก.41	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	110

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.42	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	111
ก.43	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	111
ก.44	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	112
ก.45	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	112
ก.46	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	113
ก.47	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	113
ก.48	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	114
ก.49	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	114

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.50	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	115
ก.51	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	115
ก.52	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	116
ก.53	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	116
ก.54	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	118
ก.55	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	117
ก.56	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	118
ก.57	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	118

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.58	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	119
ก.59	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	119
ก.60	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	120
ก.61	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	120
ก.62	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	121
ก.63	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	121
ก.64	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	122
ก.65	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	122

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.66	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	123
ก.67	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	123
ก.68	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	124
ก.69	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	124
ก.70	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	125
ก.71	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	125
ก.72	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	126
ก.73	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	126

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.74	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	127
ก.75	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	127
ก.76	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	128
ก.77	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	128
ก.78	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	129
ก.79	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	129
ก.80	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	130
ก.81	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	130

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.82	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	131
ก.83	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	131
ก.84	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	132
ก.85	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	132
ก.86	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	133
ก.87	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	133
ก.88	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	134
ก.89	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	134

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.90	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	135
ก.91	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	135
ก.92	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	136
ก.93	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	136
ก.93	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	137
ก.94	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	137
ก.95	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์แนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	138
ก.96	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	138

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.97	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	139
ก.98	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	139
ก.99	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	140
ก.100	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร	140
ก.101	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	141
ก.102	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	141
ก.103	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	142
ก.104	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	142

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.105	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	143
ก.106	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	143
ก.107	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	144
ก.108	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 2 35 มิลลิเมตร	144
ก.109	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	145
ก.110	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร	145
ก.111	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	146
ก.112	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	146

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.113	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	147
ก.114	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	147
ก.115	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	148
ก.116	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	148
ก.117	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	149
ก.118	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	149
ก.119	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	150
ก.120	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร	150

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.121	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	151
ก.122	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	151
ก.123	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	152
ก.124	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	152
ก.125	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	153
ก.126	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	153
ก.127	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	154
ก.128	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	154

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.129	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	155
ก.130	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร	155
ก.131	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	156
ก.132	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	156
ก.133	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	157
ก.134	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	157
ก.135	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	158
ก.136	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	158

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.137	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	159
ก.138	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	159
ก.139	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	160
ก.140	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร	160
ก.141	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	161
ก.142	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	161
ก.143	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	162
ก.144	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	162

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.145	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	163
ก.146	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	163
ก.147	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	164
ก.148	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	164
ก.149	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	165
ก.150	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร	165
ก.151	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	166
ก.152	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	166

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.153	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	167
ก.154	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	167
ก.155	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	168
ก.156	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	168
ก.157	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	169
ก.158	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	169
ก.159	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	170
ก.160	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร	170

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.161	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	171
ก.162	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	171
ก.163	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	172
ก.164	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	172
ก.165	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	173
ก.166	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	173
ก.167	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	174
ก.168	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	174

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.169	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	175
ก.170	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	175
ก.171	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	176
ก.172	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	176
ก.173	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	177
ก.174	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	177
ก.175	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร	178
ก.176	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	178

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.177	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	179
ก.178	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	179
ก.179	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	180
ก.180	ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร	180

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังการดำเนินงานและวิเคราะห์การไหลขนาดไมโครของอากาศและน้ำแบบอะไดแบติกสองเฟสภายในท่อเซอร์เพนไทน์	3
2.1	รูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง	5
2.2	รูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียว	6
3.1	อุปกรณ์การทดลอง	16
3.2	ปั๊มดูดจ่ายสารแบบรีดท่อ (Peristaltic pump)	17
3.3	การผลักรันโยกเพื่อเปิด roller	17
3.4	การติดตั้งท่อซิลิโคนตามขนาดที่ต้องการ	18
3.5	การผลักรันโยก เพื่อล็อกท่อซิลิโคน	18
3.6	การตรวจสอบขนาดของท่อที่ใช้งาน	19
3.7	การต่อท่ออย่างเพื่อส่งจ่ายน้ำจากถังน้ำกลั่น	19
3.8	การเปิดเครื่อง Peristaltic pump	20
3.9	การปรับค่าอัตราการไหลของเครื่อง Peristaltic pump	20
3.10	การปรับรอบการหมุน roller ของเครื่อง Peristaltic pump	21
3.11	การกดปุ่มหยุดการทำงานของเครื่อง Peristaltic pump	21
3.12	ถังน้ำ (Water tank)	22
3.13	เครื่องอัดอากาศหรือปั๊มลม (Air compressor)	23
3.14	ห้องผสม	24
3.15	อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure regulator)	24
3.16	คลิปเลนส์ Macro + Start Light Lens 2 IN 1 LENS KIT	25
3.17	หลอดไฟ LED (LED Lighting)	26
3.18	ท่อเทฟลอนใส (Teflon tube)	26
3.19	ท่ออย่างและท่อซิลิโคน	27
3.20	ฟิล์มกรองแสง (Filter film)	27
3.21	บีกเกอร์	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.22	เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic Balance)	28
3.23	การสังเกตหยดน้ำบริเวณข้างเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic Balance)	29
3.24	การแสดงผลหน้าจอเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลหลังการเปิดเครื่อง	29
3.25	การเซ็ตเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลอยู่ที่ค่าเริ่มต้น	30
3.26	การชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic Balance)	30
3.27	เกจวัดความดัน (Pressure gauge)	31
3.28	ตัวแปลงสัญญาณความดันหรือทรานสดิวเซอร์วัดความดัน transducer)	31
3.29	ตัวรับสัญญาณความร้อน (Temperature indicator)	
3.30	ตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator)	32
3.31	โรตاميเตอร์ (Rotameter)	33
3.32	โทรศัพท์มือถือ iPhone 13	33
3.33	ชุดการทดลอง (Test section)	34
3.34	แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดลองการวางท่อในแนวนอน	35
3.35	แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดลองการวางท่อในแนวตั้ง	36
3.36	แผนภาพแสดงกระบวนการทำงาน	36
3.37	อุปกรณ์การถ่ายภาพและบันทึกผลการไหลทั้งแนวนอนและแนวตั้ง	38
4.1	ตำแหน่งการถ่ายภาพและบันทึกผลการไหลทั้งแนวนอนและแนวตั้ง	40
4.2	ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 1	41
4.3	ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 2	41
4.4	ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 3	42
4.5	ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 4	42
4.6	ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 5	42
4.7	ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 6	43
4.8	ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 7	43
4.9	ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 8	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.10	ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 9	44
4.11	รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่1 (ตั้งรูปที่4.2)	44
4.12	รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่2 (ตั้งรูปที่4.3)	46
4.13	รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่3 (ตั้งรูปที่4.4)	47
4.14	รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่4 (ตั้งรูปที่4.5)	48
4.15	รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่5 (ตั้งรูปที่4.6)	49
4.16	รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่6 (ตั้งรูปที่4.7)	51
4.17	รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 7 (ตั้งรูปที่4.8)	52
4.18	รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 8 (ตั้งรูปที่4.9)	53
4.19	รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 9 (ตั้งรูปที่4.10)	54
4.20	รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่1 (ตั้งรูปที่4.2)	55
4.21	รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่2 (ตั้งรูปที่4.3)	56
4.22	รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่3 (ตั้งรูปที่4.4)	57
4.23	รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่4 (ตั้งรูปที่4.5)	58
4.24	รูปแบบการไหลแนวตั้ง ตำแหน่งที่5 (ตั้งรูปที่4.6)	59
4.25	รูปแบบการไหลแนวตั้ง ตำแหน่งที่6 (ตั้งรูปที่4.7)	60
4.26	รูปแบบการไหลแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 7 (ตั้งรูปที่4.8)	61
4.27	รูปแบบการไหลแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 8 (ตั้งรูปที่4.9)	62
4.28	รูปแบบการไหลแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 9 (ตั้งรูปที่4.10)	63
4.29	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 1	64
4.30	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 2	65
4.31	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 3	65
4.32	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 4	66
4.33	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 5	66
4.34	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 6	67
4.35	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 7	67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.36	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 8	68
4.37	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 9	68
4.38	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 1	69
4.39	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 2	69
4.40	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 3	70
4.41	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 4	70
4.42	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 5	71
4.43	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 6	71
4.44	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 7	72
4.45	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 8	72
4.46	กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 9	73
4.47	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 1	73
4.48	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 1	74
4.49	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 2	74
4.50	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 2	75
4.51	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 3	75
4.52	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 3	76
4.53	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 4	76
4.54	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 4	77
4.55	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 5	77
4.56	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 5	78
4.57	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 6	78
4.58	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 6	79
4.59	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 7	79
4.60	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 7	80
4.61	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 8	80

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.62	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 8	81
4.63	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 9	81
4.64	กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 9	82
4.65	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศและค่าความดัน ลดภายในท่อที่เกิดขึ้นในแนวนอน	82
4.66	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศและค่าความดัน ลดภายในท่อที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง	83
4.67	กราฟเปรียบเทียบความดันลดกับความเร็วผิวผิวนของแก๊สในทิศทางการ ไหลแนวตั้งและแนวนอน ในช่วงความเร็วผิวผิวนของของเหลวในช่วง 0.078-0.078 m/s	84
4.68	กราฟเปรียบเทียบความดันลดกับความเร็วผิวผิวนของแก๊สในทิศทางการ ไหลแนวตั้งและแนวนอน ในช่วงความเร็วผิวผิวนของของเหลวในช่วง 0.365-0.379 m/s	85
4.69	กราฟเปรียบเทียบความดันลดกับความเร็วผิวผิวนของแก๊สในทิศทางการ ไหลแนวตั้งและแนวนอน ในช่วงความเร็วผิวผิวนของของเหลวในช่วง 0.719-0.749 m/s	86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอุปกรณ์ทางวิศวกรรมได้ถูกออกแบบและพัฒนาด้วยเทคโนโลยีต่างๆให้มี ประสิทธิภาพ มากยิ่งขึ้นและที่กำลังได้รับความสนใจกันอย่างมากในงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนา อุปกรณ์การแลกเปลี่ยน ความร้อนที่มีการให้ความร้อนที่ผิวสูงและมีขนาดกะทัดรัดที่สามารถ นำมาประยุกต์ใช้เพื่อการออกแบบ เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในงานด้านอุตสาหกรรม และอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆเช่น เครื่องปรับอากาศระบบทำความร้อนระบบทำความเย็น เครื่องปฏิกรณ์เคมีตลอดจนถึงการระบาย ความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จึงเป็นสิ่งสำคัญ ที่จะช่วยส่งผลให้อุปกรณ์ต่างๆ สามารถทำงานได้อย่างมี ประสิทธิภาพและทำให้อายุการใช้งาน ของอุปกรณ์มากขึ้น

โดยจากการศึกษางานวิจัยของนักวิจัยหลายๆท่านพบว่า การไหลภายในท่อขนาดเล็ก แบบสอง สถานะ สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าการไหลแบบสถานะเดียว Saisorn and Wongwises(2014) เนื่องจากการไหลภายในท่อแบบสองสถานะมีการผสมกันระหว่างสารทำงาน ชนิดส่งผลให้เกิดการไหล แบบปั่นป่วนมากขึ้นทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนบริเวณพื้นผิวท่อได้มา กว่าการไหลแบบสถานะเดียว ที่มีสารทำงานเพียงชนิดเดียว โดยยกตัวอย่างงานวิจัย[5]ศึกษาการ ไหลของแก๊สและของเหลวในช่องขนาด เล็กและไมโครและศึกษารูปแบบการไหลในท่อเซอร์เพน ไทน์ และศึกษารูปแบบการไหลสองเฟสและ แรงดันตกในช่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กขนาด 1.59 มิลลิเมตร ช่องสี่เหลี่ยมขนาดกัน 5 ช่องที่มีหน้าตัด 1x1 มิลลิเมตรและยาว 30 เซนติเมตรและเชื่อม ด้วยส่วนโค้งตัวยู และสังเกตรูปแบบการไหลของอากาศและ น้ำ

ดังนั้น จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทดลองและวิเคราะห์การไหลแบบสองสถานะในท่อเซอร์ เพนไทน์โดยไม่มีการให้ความร้อนในแนวตั้งและแนวนอน ซึ่งในการศึกษาการไหลในท่อที่ ลักษณะเป็น เซอร์เพนไทน์ยังมีน้อยทั้งนี้เพื่อประยุกต์ใช้ใช้เทคโนโลยีในอนาคต จากการศึกษา เอกสารต่างและสรุปที่ที่ ทิศทางที่เดียวกันว่าการถ่ายเทความร้อนแบบสถานะเดียวให้ผลที่ดีกว่า สองสถานะและการศึกษาที่พบ ได้ในเอกสารหนึ่งได้ข้อสรุปว่ารูปแบบการไหลแบบสองสถานะมีผล การถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าสถานะ เดียวจึงได้ทำการทดลองและวิเคราะห์การไหลในท่อเซอร์เพนไทน์แบบแนวตั้งและแนวนอน เพื่อ เปรียบเทียบและพัฒนาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนให้มี ประสิทธิภาพมากขึ้นและศึกษาพฤติกรรม การไหลในท่อเซอร์เพนไทน์ และได้ใช้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในท่อ 1 มิลลิเมตร มาใช้ในการวิจัยเพื่อ ทราบข้อมูลและข้อสรุปที่ชัดเจนขึ้นที่จะสามารถ นำข้อข้อมูลที่ได้งานวิจัยนี้มาพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อนให้มีประสิทธิภาพและก้าวทันต่อ เทคโนโลยีต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท

- 1.2.1 สร้างแผนภูมิรูปแบบการไหลของท่อเซอร์เพนไทน์ขนาดไมโคร
- 1.2.2 ศึกษาคุณลักษณะความดันลดของท่อขนาดไมโคร
- 1.2.3 เปรียบเทียบลักษณะการไหลภายในท่อในทิศทางต่างๆ

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

- 1.3.1 ใช้ท่อเทปลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 1 มิลลิเมตร
- 1.3.2 ส่วนที่ตัดโค้งให้โค้ง 180 องศา มีรัศมี 3 มิลลิเมตร มีจำนวน 4 โค้ง
- 1.3.3 ระยะห่างของส่วนโค้ง 12 มิลลิเมตรและมีความยาวของท่อเซอร์เพนไทน์ทั้งหมด 1010 มิลลิเมตร
- 1.3.4 สารที่ใช้ในการทดลองในการไหลแบบสองสถานะ คือ น้ำ-อากาศ
- 1.3.5 ในการทดลองไม่มีการให้ความร้อนในแนวตั้งและแนวนอน

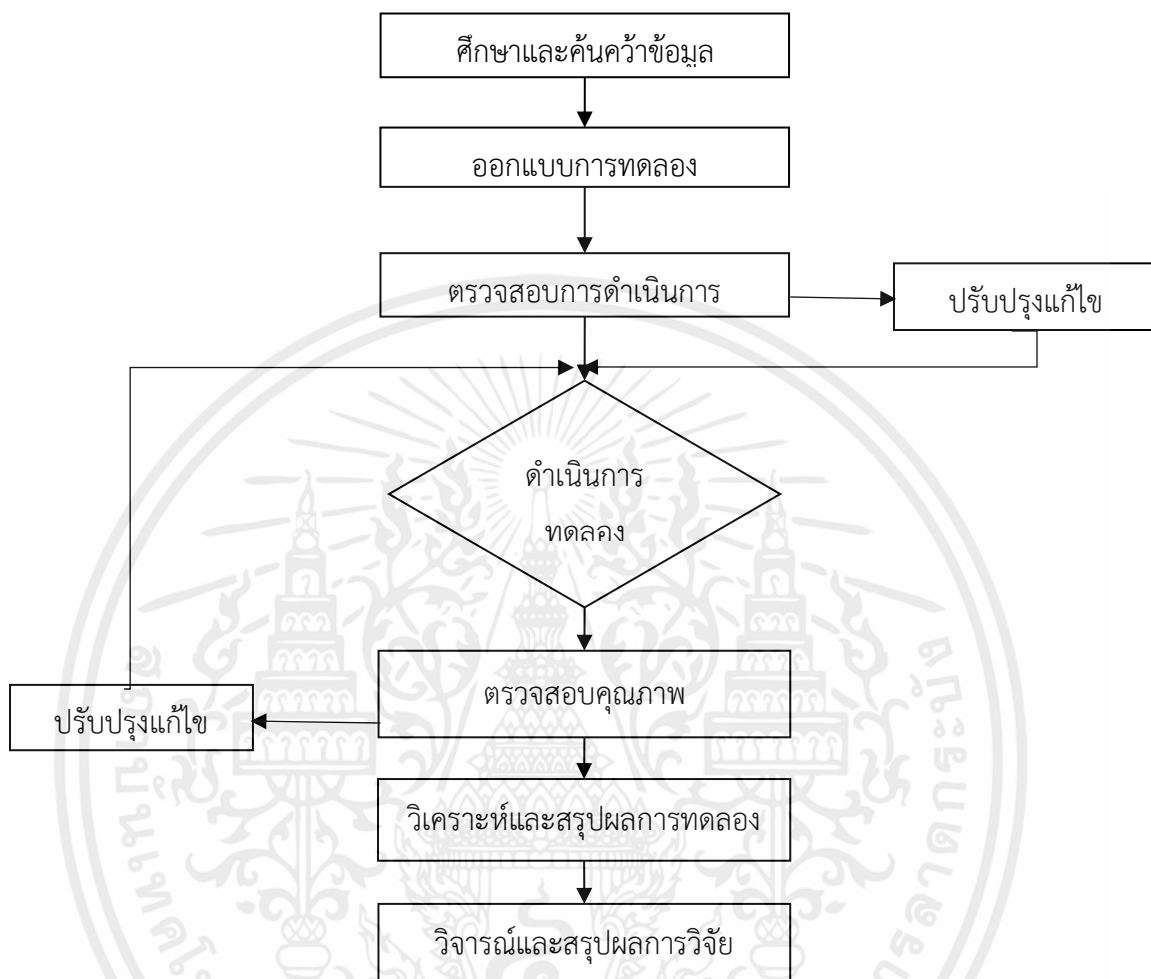
1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทำให้ทราบปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อรูปแบบการไหล แผนทีรูปแบบการไหลและความดันลด (Pressure drop) ในการไหลแบบสองสถานะ
- 1.4.2 ได้ข้อมูลรูปแบบการไหลโดยไม่มีความร้อนมาเกี่ยวข้องในแนวตั้งและแนวนอน
- 1.4.3 สามารถนำความรู้มาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของอุปกรณ์ทางวิศวกรรม

1.5 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษารูปแบบการไหลภายในท่อเซอร์เพนไทน์ขนาดไมโครในทิศทางแนวตั้งและแนวนอนนั้น เนื่องจากไม่สังเกตรูปแบบการไหลจากท่อสเตนเลสได้ จึงนำเอาท่อเทปลอนที่มีลักษณะโปร่งใสมาใช้เพื่อสังเกตรูปแบบการไหล

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานและวิเคราะห์การไหลขนาดไมโครของอากาศและน้ำ แบบอะโดแบติก สองเฟสภายในท่อเซอร์เพนไทน์

1.7 แผนดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงการดำเนินงานของการศึกษาการไหลขนาดไมโครของอากาศและน้ำแบบอะไบติคสองเฟสภายในท่อเซอร์เพนไทน์

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปี 2565					ปี 2566				
	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								←→		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รูปแบบการไหลแบบสองเฟส (Two-phase flow)

การไหลแบบสองเฟส คือ การไหลของสสารที่มีสถานะต่างกันแต่ไหลไปพร้อมกันสามารถพบได้ทั่วไปการไหลแบบ 2 เฟส สามารถจำแนกได้ คือ

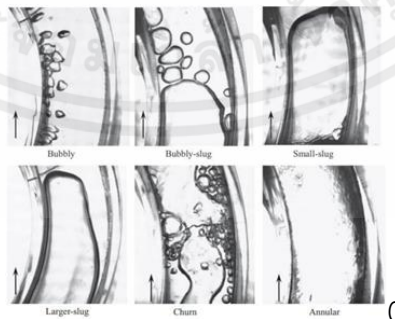
1. การไหลแบบสองเฟสของของเหลวและแก๊ส เป็นการไหลแบบผสมกันของของเหลวและแก๊สหรืออาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะของของเหลว เช่น การระเหยและการควบแน่นภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

2. การไหลแบบสองเฟสของของแข็งและแก๊ส เช่น การพ่นทราย

3. การไหลแบบสองเฟสของของเหลวและของเหลว เป็นการไหลแบบผสมกันระหว่างของเหลวและของเหลวที่มีความหนาแน่นต่างกันทำให้ของเหลวทั้ง 2 ชนิดไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น การไหลของน้ำและน้ำมันในท่อ

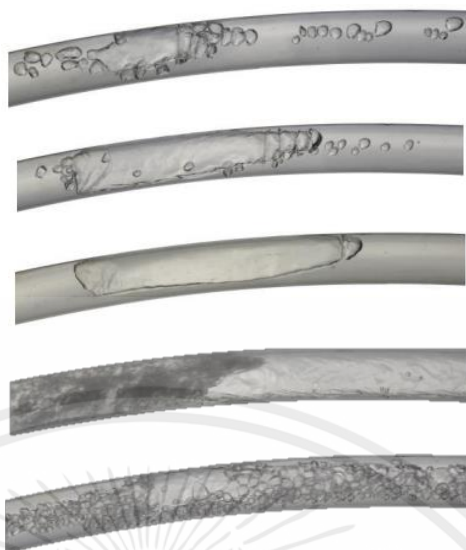
4. การไหลแบบสองเฟสของของแข็งและของเหลวเป็นการไหลผสมกันของของแข็งและของเหลวซึ่งของเหลวจะทำหน้าที่รองรับและนำพาของแข็งเคลื่อนที่ไปด้วย เช่น การไหลของตะกอนในแม่น้ำ

ซึ่งจากการจำแนกการไหลแบบสองเฟสข้างต้น การไหลแบบสองเฟสของของเหลวและแก๊สนับว่าเป็นการไหลที่มีรูปแบบซับซ้อนมากที่สุด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพื้นผิวสัมผัสระหว่างของไหลทั้งสองเฟสเกิดขึ้นตลอดเวลา สำหรับรูปแบบการไหลในท่อได้มีการจัดกลุ่มของความเป็นไปได้ที่จะเกิดรูปแบบการไหลชนิดต่างๆไว้เพื่อความสะดวกในการศึกษาและการจำแนกพฤติกรรมของการไหล โดยตัวอย่างรูปแบบการไหลในท่อขนาดเล็กที่มีทิศทางการไหลขึ้นในแนวตั้ง เมื่อเพิ่มความเร็วให้อัตราการไหลของแก๊สมากขึ้นเรื่อยๆจะมีลักษณะการไหลดังรูปที่ 2.1 และ 2.2



รูปที่ 2.1 รูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียวในแนวตั้ง

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



รูปที่ 2.2 รูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อขดเกลียว

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

จากงานวิจัยที่ผ่านมามีงานวิจัยส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการไหลในช่องทางการไหลที่มีขนาดเล็ก เพื่อศึกษาค่าความดันลดในช่องทางการไหลรวมทั้งใช้เปรียบเทียบกับแผนที่ การไหลของช่องทางการไหลที่มีขนาดทั่วไปซึ่งรูปแบบการไหลที่พบในช่องทางการไหลที่มีขนาดเล็กมากจะมีหลักๆ 6 รูปแบบดังนี้

1. Bubbly flow รูปแบบการไหลนี้จะเกิดที่ความเร็วของแก๊สต่ำ ความเร็วผิวเฉือนของของเหลวสูง มีลักษณะการไหลเป็นฟองแก๊สที่มีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ตัวฟองจะไหลอยู่ค่อนไปทางส่วนบนของท่อเนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลว

2. Plug flow รูปแบบการไหลนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการไหลของของเหลวและแก๊สต่ำตัวฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการรวมตัวกันของฟองแก๊สที่มีขนาดเล็กๆจาก Bubbly flow กลายเป็นฟองแก๊สที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อและยึดขึ้น ซึ่งถ้าหากเราเพิ่มอัตราการไหลของของเหลวและแก๊สมากขึ้นจะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กบริเวณรอบข้างและหัวของฟองขนาดใหญ่จะเริ่มมีลักษณะที่แหลมขึ้นก่อนที่จะพัฒนาการเป็น Slug flow

3. Slug flow รูปแบบการไหลรูปแบบนี้บริเวณส่วนหัวของฟองอากาศ จะมีลักษณะคล้ายหัวกระสุน โดยที่บริเวณรอบๆของฟองอากาศขนาดใหญ่ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อจะมีฟอง อากาศขนาดเล็กอยู่บริเวณรอบๆ ซึ่งในบางกรณีเราจะสังเกตได้ว่าจะมีฟองน้ำขนาดเล็กแทรกเข้าไปภายในฟองอากาศขนาดใหญ่

4. Wavy flow รูปแบบการรายนี้เราจะพบว่าน้ำในท่อมีลักษณะคล้ายคลื่นซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการไหลของของเหลวต่ำอัตราการไหลของแก๊สปานกลาง ในรูปแบบการไหลรูปแบบนี้เราจะพบว่า

พื้นที่ส่วนใหญ่ของท่อเป็นแก๊ส โดยที่น้ำที่มีลักษณะเป็นคลื่นจะอยู่บริเวณด้านล่างท่อในบางกรณี คลื่นมีลักษณะสูงถึงบริเวณด้านบนของท่อหรืออาจมีหยดน้ำแทรกเข้ามาบริเวณพื้นที่การไหลของแก๊ส

5. churn flow รูปแบบการถ่ายรูปแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอัตราเร็วของแก๊สขึ้นสูงมากทำให้ฟองอากาศในการไหลแบบ Plug Flow ที่มีลักษณะคล้ายลูกกระสุนเริ่มมีการบิดเบี้ยวและมีรูปร่างไม่เสถียร

6. Annular flow รูปแบบการถ่ายรูปแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการไหลของแก๊สสูงมากเราจะพบว่าของเหลวในรูปแบบการรายนี้จะมีลักษณะเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อโดยความหนาของชั้นฟิล์มบริเวณด้านล่างจะหนากว่าชั้นฟิล์ม บริเวณด้านบนและอาจจะมีละอองของของเหลวเคลื่อนที่กระจายเข้าไปในบริเวณการเคลื่อนที่ของแก๊ส

2.2 ความดันลดในช่องทางการไหลแบบสองเฟส (Two-phase flow pressure drop)

แบบจำลองที่เหมาะสมแก่การทำนายค่าความดันลดในการไหลแบบสองเฟสมีอยู่ด้วยกันสองแบบจำลอง

2.2.1 แบบจำลองการไหลแบบเนื้อเดียว (Homogeneous flow model) แบบจำลองนี้คือการไหลในแต่ละสถานะรวมกันเป็นเนื้อเดียวโดยเหมาะกับรูปแบบการไหลที่มีการไหลแบบสองเฟสที่ไม่สม่ำเสมอ

2.2.2 แบบจำลองการไหลแบบแยกส่วน (Separated flow model) แบบจำลองนี้คือแบบจำลองที่การไหลทั้งสองเฟสไม่ได้อยู่รวมกันเป็นเนื้อเดียวและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ความดันที่เกิดขึ้นจะถือว่ามีความคงตัวและเหมาะกับการไหลแบบ Stratified flow และ Annular flow

การคำนวณหาความดันลดที่เกิดขึ้นสำหรับการไหลแบบ 2 สถานะโดยมีสมมติฐานว่าความเร็วเฟสของแก๊สและน้ำมีความเร็วเท่ากัน และผสมเข้ากันเป็นอย่างดีจะคำนวณโดยใช้คุณสมบัติที่เกิดจากการผสมกันระหว่างของไหลทั้งสอง ความดันที่เกิดขึ้นทั้งหมดสำหรับการไหลแบบสองสถานะในการทดลองนี้สามารถหาค่าความดันที่เกิดจากความเสียดทาน (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 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) มีหน่วยเป็นมิลลิแอมแปร์ (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)

X_1 คือ ค่าความดันเริ่มต้นของตัวรับสัญญาณความดัน มีหน่วยเป็น มิลลิแอมแปร์ (mA)

X_2 คือ ค่าความดันสูงสุดของตัวรับสัญญาณความดัน มีหน่วยเป็น มิลลิแอมแปร์ (mA)

Y คือ ผลลัพธ์ของค่าความดันที่แปลงค่ามีหน่วยเป็นบาร์ (bar)

Y_1 คือ ค่าความดันเริ่มต้นของช่วงค่าความดันที่ใช้มีหน่วยเป็นบาร์ (bar)

Y_2 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

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

2.3 Void fraction

Void fraction (α) คือ สัดส่วนของพื้นที่ที่แก๊สครองอยู่ต่อพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของช่องทางการไหล หรือปริมาตรที่ของเหลวครองอยู่ต่อปริมาตรทั้งหมดของท่อในช่วงความยาวที่พิจารณา

$$\alpha = \frac{A_G}{A} = \frac{V_G}{V} \quad (2.7)$$

เมื่อ

A_G คือ พื้นที่หน้าตัดในช่องทางการไหลส่วนที่เป็นแก๊ส

A คือ พื้นที่หน้าตัดในช่องทางการไหล

V_G คือ ปริมาตรของแก๊สในช่องทางการไหล

V คือ ปริมาตรรวมในช่องทางการไหล

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 การไหลก่อให้เกิดแรงเสียดทานในท่อ และการไหลมีความสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่หน้าตัดและความเร็ว

2.4.1 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 (m³/s)

2.4.2 อัตราการไหลเชิงน้ำหนัก (Weight Flow Rate) : Q_w มีสมการทั่วไปดังนี้

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

เมื่อ

γ คือ น้ำหนักจำเพาะของของไหล

2.4.3 อัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate) : Q_m มีสมการทั่วไปดังนี้

$$Q_m = \rho Q = \rho A V \quad (2.12)$$

2.4.4 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของแก๊ส (Volumetric flow rate of gas) ที่บริเวณตำแหน่งต่างๆของท่อขดเกลียว

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

เนื่องจากอัตราไหลที่ปรับจากโลตส์มิเตอร์จำเป็นต้องมีการปรับเทียบค่าก่อนนำมาใช้ซึ่งอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ปรับเทียบค่าแล้วหาได้จากสมการดังนี้

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

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 $Q_{AIR} = 100$ 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

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

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

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

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

จะได้

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

2.4.5 อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate) คือ ปริมาตรของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่ตัดขวางของ flow tube ในหนึ่งหน่วยเวลา

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

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

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

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

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

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

จะได้อัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ

$$\rho A v = 996.5 \times 1.3823 \times 0.000134 = 0.1792 \text{ m}^3/\text{s} \quad (2.19)$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

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

Saisorn and Wongwises (2015) ได้นำเสนอเรื่อง Adiabatic two-phase gas-liquid flow behaviors during upward flow in a vertical circular micro-channel. โดยทดสอบเกี่ยวกับรูปแบบการไหล Void fraction และค่าของความดันลด (Pressure drop) โดยใช้ท่อตรงแนวตั้งขนาด 0.53 มิลลิเมตร ความยาวของท่อตรง 320 มิลลิเมตร และตัวท่อทำจากซิลิกา (Silica) ใช้ความเร็วของน้ำอยู่ที่ 0.37-16 เมตรต่อวินาทีและความเร็วของอากาศอยู่ที่ 0.005-0.53 เมตรต่อวินาที ทิศทางการไหลอยู่ในแนวตั้งและไหลแบบสองสถานะอากาศและน้ำ (Two-phase flow) ในการสังเกตการทดลองพบว่ามีหลายรูปแบบการไหล อาทิ การไหลแบบ Throat-annular flow, การไหลแบบ Annular-rivulet flow และการไหลแบบ Churn flow ซึ่งพบว่าการใช้ท่อในแนวตั้งทำให้ค่าของ Void fraction ต่ำกว่าแนวนอนซึ่งเป็นผลการทดลองก่อนหน้านี้

Malhotra et al. (2017) ได้นำเสนอเรื่อง Air – water flow through a single serpentine mini channel – flow distribution and pressure drop ได้มีการศึกษารูปแบบการไหลและลักษณะแรงดันตกระหว่างการไหลของอากาศและน้ำผ่านช่องแคบคดเคี้ยวช่องเดียว มีการสังเกตว่าการไหลของ Ring flow และ Slug flow เป็นรูปแบบการไหลที่โดดเด่น ผลกระทบของแรงโน้มถ่วงความเร็วเฟสต่ำ ความดันลดลง ในแนวตั้งพบว่าสูงกว่าแนวนอน แนวนอนมีแนวโน้มที่จะกระจายระบบการไหลที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เป็นช่องทางการไหลของก๊าซของ PEMFC มีการไหลแบบ Ring flow และ Slug flow เป็นรูปแบบการไหลที่มีอิทธิพลเหนือการไหลในแนวนอนและแนวตั้งขึ้น กฎการไหลทั้งหมดเป็นกฎที่ควบคุมแรงตึงผิว และการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นจาก Ring flow เป็น Slug flow สำหรับ $We_{GS} = 3.15We_{LS}^{0.797}$ และจาก Slug เป็น Slug ที่ปิดเบี้ยวสำหรับ $We_{GS} > 0.5$ เนื่องจากผลกระทบเล็กน้อยของแรงโน้มถ่วงที่อัตราการไหลของน้ำที่ต่ำ การจัดวางในแนวตั้งจึงมีแรงดันตกคร่อมสูงกว่าการวางในแนวนอน การวางในแนวนอนยังมีแนวโน้มที่จะเกิดการกระจายการไหลที่ไม่สม่ำเสมอที่อัตราการไหลของน้ำต่ำภายในช่อง จึงนำไปสู่ความผันผวนของแรงดันตกด้วยอัตราการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้การกระจายการไหลมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

Zhu et al. (2019) ได้นำเสนอเรื่อง Intermittent gas-liquid two-phase flow in helically coiled tubes โดยศึกษาและทำการทดลองเกี่ยวกับการไหลของอากาศและน้ำเป็นจังหวะในท่อขดเกลียวสี่ท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.016 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด 0.24, 0.43 และ 0.80 เมตร และมุมเอียง 5 องศาและ 15 องศา ใช้หวััดค่าการนำไฟฟ้าแบบคู่เพื่อวัดพารามิเตอร์อุทกพลศาสตร์ที่ 48 จุด ในส่วนหน้าตัดของ ท่อออก ผลการวิจัยพบว่าแรงเหวี่ยง Dean Vortices เป็นกลไกหลักที่มีอิทธิพลต่อการกระจายช่องว่างความยาวของฟองอากาศที่ยาวขึ้น ความยาวของฟองอากาศ และความถี่ของฟองอากาศ เนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและสัดส่วนช่องว่างหมุนมุมซึ่งเข้าใกล้ 90 องศา เมื่อความเร็วผิวเผินของของเหลวเพิ่มขึ้นและเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดลดลง เนื่องจาก Dean Vortices ความยาวฟองอากาศที่ยาวขึ้นและความยาวกระสุนลดลงเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดลดลง ส่งผลให้ความถี่ของฟองอากาศเพิ่มขึ้น มีการนำเสนอพารามิเตอร์ไร้มิติ Z ซึ่งแสดงถึงอัตราส่วนของแรงหนีศูนย์กลางต่อแรงโน้มถ่วงซึ่งให้เกณฑ์เชิงปริมาณเพื่อประเมินอิทธิพลของแรงหนีศูนย์กลาง มีการทำนายมุมเบี่ยงเบน ความยาวฟองอากาศที่ยาวขึ้นและความถี่ของฟองอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการทดลอง เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางขดลวดอยู่ระหว่าง 0.24 ถึง 0.80 เมตร และมุมเอียงระหว่าง 5 องศา ถึง 15 องศา นอกจากนี้ ยังมีการนำเสนอแบบจำลองดริฟท์พลักซ์สำหรับ HCT

Moradi 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. โดยศึกษาและทดลองเกี่ยวกับท่อเกลียวมีขนาดกะทัดรัดและมีเสถียรภาพการไหลสอง

สถานะและคุณสมบัติทางความร้อนที่ดีกับการเพิ่มขึ้นของการประยุกต์ใช้ในการไหลสองสถานะในท่อขดเกลียว เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของการไหลสองสถานะในท่อเกลียวเอนโทรปีของการไหลสองสถานะในท่อเกลียว การศึกษานี้ให้ผลการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อเกลียวแนวตั้งที่มีการไหลสองสถานะแบบไม่เดือด ท่อเกลียวถูกวางภายใต้พลังความร้อนคงที่ที่ทางเข้า, ทางออก, ผนัง และอุณหภูมิแวดล้อมของท่อเกลียวถูกวัดเพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการสร้างเอนโทรปีที่ผิวหน้ามีค่า Dean number (Desl) อยู่ระหว่าง 1,000 ถึง 4800 นอกจากนี้ที่ผิวของแก๊ส (อากาศ) มีค่า Dean number (Desg) อยู่ระหว่าง 45 ถึง 235 ส่วน VF (เศษส่วนปริมาตร) อยู่ระหว่าง 0.11 ถึง 0.55 เกือบทุกกรณีที่ถูกทดสอบทั้งหมดอยู่ในช่วงของรูปแบบการไหลแบบของ slag และ plug ผลการวิจัยพบว่า การไหลของอากาศสองสถานะสามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้ การเพิ่มขึ้นของเลขค่า Dean number ที่ผิวของอากาศมีการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและการสร้างเอนโทรปีเพิ่มขึ้นสูงสุด 35% และ 26% สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการสร้างเอนโทรปี

Ferraris and Marcel (2020) ได้ นำเสนอเรื่อง Two-phase flow frictional pressure drop prediction in helical coiled tubes. โดยศึกษาและทดลองเกี่ยวกับความดันลดแรงเสียดทานในท่อขดเกลียวสำหรับการไหลแบบสถานะเดียวและการไหลสองสถานะของไอน้ำ เพื่อให้มีเครื่องมือคาดการณ์ที่เชื่อถือได้และใช้งานง่ายสำหรับการประเมินแรงดันตกคร่อมในท่อเกลียวซึ่งครอบคลุมสภาพการทำงานที่น่าสนใจสำหรับการออกแบบและการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบครั้งเดียวผ่านท่อขดเกลียว เช่นเดียวกับที่ใช้ในโมดูลาร์ขั้นสูงขนาดเล็กของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ฐานข้อมูลการไหลแบบสถานะเดียวมีข้อมูลประมาณ 2,000 จุดจากแหล่งต่างๆ 14 แห่งรวมถึงข้อมูลที่วัดด้วยอากาศและน้ำเป็นของเหลวทำงานครอบคลุมตัวเลขเรย์โนลด์ ตั้งแต่ 40 ถึง 145,000 และความโค้งระหว่าง 0.0027 ถึง 0.3

เคราะห์ความสามารถในการทำนายของความสัมพันธ์ที่มีอยู่สำหรับการไหลอย่างง่าย สรุปว่าความสัมพันธ์ของ Ito สำหรับระบบการไหลแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วนเหมาะสมกับการทดลอง ความแตกต่างเฉลี่ยระหว่างข้อมูลการทดลองกับความสัมพันธ์ของ Ito คือ 3.75% สำหรับการไหลแบบราบเรียบและ 2.11% สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน ฐานข้อมูลการไหลสองสถานะถูกสร้างขึ้นจากเอกสารเนื่องจากไม่พบความสัมพันธ์ที่มีอยู่ในการทำนายข้อมูลที่มีอยู่ได้สำเร็จ เป็นเครื่องมือใหม่ที่ใช้ในการทำนายสมมูลเฟสที่เป็นเนื้อเดียวกันคือเครื่องมือซึ่งเรียกว่าสหสัมพันธ์ FEMA มาบรรจบกับสหสัมพันธ์ Ito สำหรับการไหลแบบสถานะเดียว คุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์เท่ากับ 0 และ 1

Zhu et al.(2020) ได้นำเสนอเรื่อง Flow regime identification for upward two-phase flow in helically coiled tubes. โดยศึกษาและทดลองเกี่ยวกับประสิทธิภาพการถ่าย

บทความร้อนและการปรับตัวความเครียดความร้อนเสถียรภาพของการไหลสองสถานะของท่อขดเกลียว ที่ประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายของการไหลสองสถานะในเกลียวท่ออุปกรณ์เป็นสิ่งจำเป็นที่จะเข้าใจลักษณะของการกระจายสถานะและการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน บทความนี้ระบุระบบการไหลของอากาศ-น้ำสองสถานะโดยไม่เกิดความร้อนไหลในท่อขดเกลียวสามขด โดยใช้หัววัดค่าการนำไฟฟ้าแบบเซ็นเซอร์คู่ และกล้องความเร็วสูงคล้ายกับท่อตรงลาดเอียง พบระบบการไหลทั้งหมดหกแบบที่พบในท่อขดเกลียว อิทธิพลของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในการกระจายสถานะการไหลถูกวิเคราะห์สำหรับแต่ละรูปแบบการไหล มีการเสนอชุดของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลแบบตรงไปข้างหน้า จากนั้นจึงตรวจสอบความถูกต้องโดยการทดลองเปรียบเทียบที่ดำเนินการในท่อตรงแบบเอียง และใช้เกณฑ์เหล่านี้เพื่อสร้างแผนที่รูปแบบการไหลตามการทดลองด้วยความเร็วผิวผิวนองของเหลวตั้งแต่ 0.03 ถึง 4.12 ม./วินาที และความเร็วผิวผิวนองของแก๊สตั้งแต่ 0.03 ถึง 16 ม./วินาที เมื่อเทียบกับท่อแนวตรงและแนวเอียง ท่อขดเป็นเกลียวมีการหดตัวในบริเวณรูปแบบการไหลแบบพอง นอกจากนี้กระแสคลื่นและวงแหวนปรากฏขึ้นที่ความเร็วผิวผิวนองของแก๊สต่ำลง

Saffari et al. (2022) ได้นำเสนอเรื่อง Prediction of hydrodynamic entrance length for single and two-phase flow in helical coils. โดยศึกษาและทดลองเกี่ยวกับความยาวบริเวณทางเข้าอุทกพลศาสตร์ในท่อขดเกลียวสำหรับการไหลแบบสถานะเดียวและการไหลแบบสองสถานะแบบพองทั้งการทดลองและเชิงตัวเลข การพัฒนาความยาวของการไหลและคุณลักษณะโดยละเอียดของการไหลของของไหลได้รับการตรวจสอบโดยพารามิเตอร์ท่อขดเกลียวที่แตกต่างกัน เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์ และสัดส่วนช่องว่างสำหรับการจำลอง CFD ของการไหลสองเฟส ใช้แบบจำลอง Eulerian-Eulerian เพื่อคำนวณความผันผวนที่ปั่นป่วน มีการใช้แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (SST)(k- ω) การจำลองเชิงทดลองและเชิงตัวเลขของพารามิเตอร์ในพื้นที่แสดงให้เห็นว่าความยาวการพัฒนาอุทกพลศาสตร์ (L/D) เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวน Reynolds เพิ่มขึ้นในการไหลสถานะเดียวและสองสถานะ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าความยาวทางเข้าของการพัฒนาเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่เพิ่มขึ้นและลดลงตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อขดเกลียวที่เพิ่มขึ้นนอกจากนี้ความยาวทางเข้าจะลดลงในขณะที่อัตราส่วนความโค้งของท่อขดเกลียวและสัดส่วนช่องว่างมากขึ้น มีการแนะนำสมการสหสัมพันธ์เพื่อทำนายความยาวทางเข้าอุทกพลศาสตร์เป็นหน้าที่ของพารามิเตอร์ต่างๆของท่อขดเกลียว

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 ปั๊มดูดจ่ายสารแบบบริดท่อ (Peristaltic pump) ทำหน้าที่ดูดของเหลวจากถังน้ำเพื่อจ่ายไปยังบริเวณห้องผสม โดยปั๊มดูดจ่ายของเหลวแบบบริดท่อหรือ Peristaltic pump นี้ จะมีตัว roller ที่อยู่บริเวณด้านหน้าของเครื่อง ทำหน้าที่หมุนกดท่อที่มีของเหลวอยู่ภายใน เมื่อตัว roller หมุนกดลงที่ท่อของเหลวจะเคลื่อนตัวโดยที่ท่อยังคงอยู่ที่เดิม จะเห็นได้ว่าของเหลวที่อยู่ภายในท่ออย่างไม่มีสัมผัสกับตัว roller โดยตรงทำให้ของเหลวที่เคลื่อนที่อยู่ภายในท่ออย่างไม่มีปนเปื้อน

รายละเอียดอุปกรณ์

หน้าจอ LED สีน้ำเงิน ขนาด 32 นิ้ว

อัตราการไหล : 0.007 – 2280 มิลลิลิตรต่อนาที

ความเร็วรอบ : 0.1 - 600 รอบต่อวินาที

ขนาดท่อที่รองรับ : 13มิลลิเมตร ,14มิลลิเมตร , 16มิลลิเมตร ,17มิลลิเมตร , 18มิลลิเมตร ,

19 มิลลิเมตร และ 25 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ปัมดูดจ่ายสารแบบรีดท่อ (Peristaltic pump)

การติดตั้งท่อซิลิโคน

1. ทำการผลักคันโยกไปยังด้านซ้ายเพื่อให้ roller ที่ติดตั้งใน Pump head เปิดออกแสดงดัง

รูปที่ 3.3



คันโยกเปิด - ปิด roller

รูปที่ 3.3 การผลักคันโยกเพื่อเปิด roller

2. จากนั้นเลือกขนาดของท่อซิลิโคนที่ต้องการ และทำการติดตั้งท่อซิลิโคน โดยสามารถเลือกขนาดท่อใช้จากอัตราการใช้ทำการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.4



ทำการติดตั้งท่อซิลิโคน

รูปที่ 3.4 การติดตั้งท่อซิลิโคนตามขนาดที่ต้องการ

3. เมื่อติดตั้งท่อซิลิโคนเรียบร้อยแล้ว จึงผลักคันโยกไปทางด้านขวาเพื่อทำให้ 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



รูปที่ 3.6 การตรวจสอบขนาดของท่อที่ใช้งาน

5. ทำการต่อซิลิโคนและท่อยางเพื่อส่งจ่ายน้ำจากถังน้ำกลั่นที่เตรียมไว้มาใช้ในการทดลอง แสดง
ดังรูปที่ 3.7



ทำการต่อท่อยางลงในถังน้ำกลั่น

ทำการต่อท่อซิลิโคนกับท่อยาง

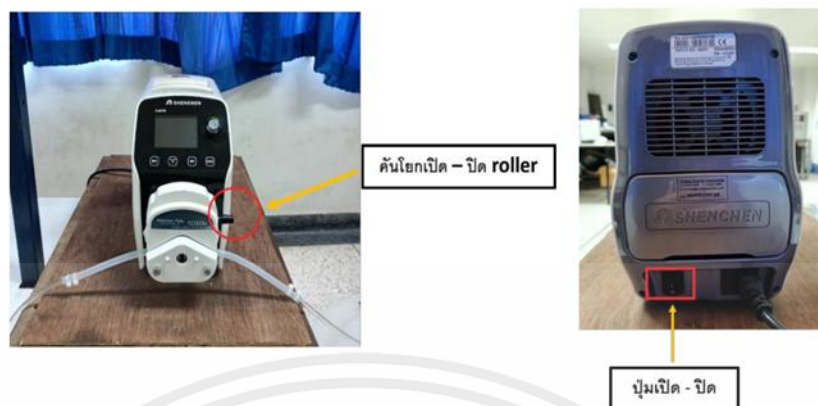
Activate Win

รูปที่ 3.7 การต่อท่อยางเพื่อส่งจ่ายน้ำจากถังน้ำกลั่น

ขั้นตอนการใช้งาน

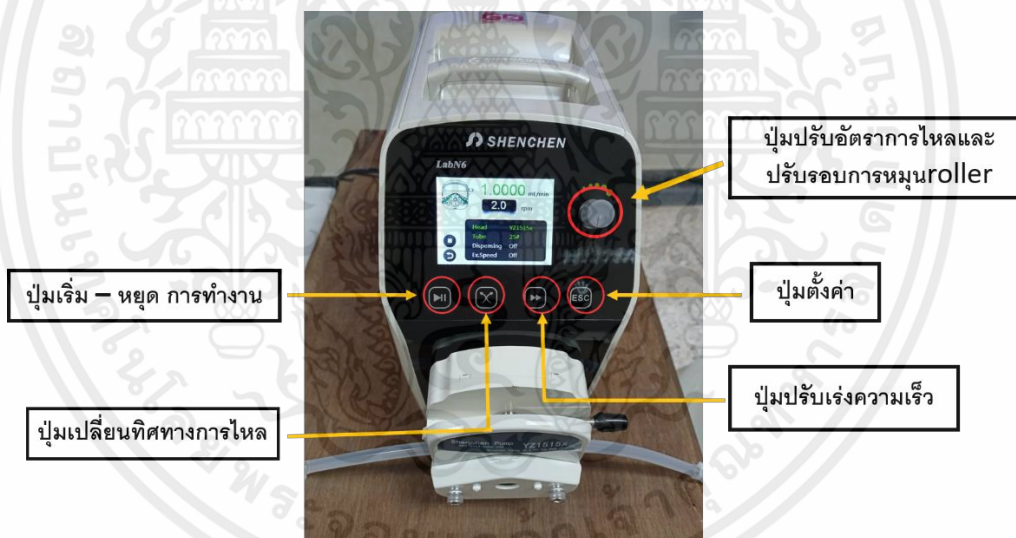
1. หลังจากการติดตั้งท่อซิลิโคนเข้ากับ Peristaltic pump เรียบร้อย จึงทำการกดปุ่มเปิดสวิตซ์ เครื่องด้านหลังของเครื่อง Peristaltic pump แสดงดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การเปิดเครื่อง Peristaltic pump

2. ทำการหมุนปุ่มปรับอัตราการไหลของน้ำตามที่กำหนดไว้ใน การทดลองหรือตามต้องการ จากนั้นทำการกดปุ่มเริ่มทำงานของเครื่อง Peristaltic pump แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การปรับค่าอัตราการไหลของเครื่อง Peristaltic pump

3. หากต้องการปรับรอบการหมุน roller ให้ทำการกดปุ่มตั้งค่า แล้วจึงดันปุ่มปรับอัตราการไหล จากนั้นทำการหมุนเพื่อปรับรอบการหมุน roller และหากมีฟองแก๊สภายในท่อซิลิโคนหรือท่อยางให้ทำการกดปุ่มหยุดการทำงาน จากนั้นทำการกดปุ่มปรับเร่งความเร็วจนกว่าฟองแก๊สที่อยู่ภายในท่อซิลิโคนหรือท่อยางเคลื่อนตัวมาด้านหน้าแล้วจึงทำการกดปุ่มเริ่มการทำงานอีกครั้ง ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การปรับรอบการหมุน roller ของเครื่อง Peristaltic pump

4. ทำการตรวจสอบอัตราการไหล อัตราการหมุนของ roller และชนิดของท่อที่หน้าจอ LED โดยขนาดและชนิดของท่อที่ทำการติดตั้งจะต้องตรงกับขนาดและชนิดของท่อที่ปรากฏบนหน้าจอ LED แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.11 การกดปุ่มหยุดการทำงานของเครื่อง Peristaltic pump

5. เมื่อทำการทดลองเสร็จให้ทำการกดปุ่มหยุดการทำงานของเครื่อง และทำการกดปุ่มปิดสวิตซ์เครื่องที่บริเวณด้านหลังของเครื่อง Peristaltic pump แสดงดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ถังน้ำ (Water tank) ทำหน้าที่บรรจและพักน้ำเพื่อเตรียมใช้ในการทดลอง ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้น้ำกลั่นเป็นของเหลวในการทดลองเพื่อป้องกันการเกิดตะกอนภายในท่อไมโครเซนแนล และถังน้ำจะต้องมีการปิดฝาอย่างมิดชิดเพื่อป้องกันการปนเปื้อน เมื่อน้ำกลั่นที่ใช้ในการทดลองหมดหรือต้องการการเปลี่ยน สามารถติดต่อเจ้าหน้าที่ดูแลห้องปฏิบัติการแลปเคมี และสามารถนำไปเติมน้ำกลั่นได้ที่ห้องปฏิบัติการแลปเคมีชั้น 2 อาคารเรียน B หรือติดต่อเจ้าหน้าที่ 087-044-2626 พี่นารี ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ถังน้ำ (Water tank)

3.1.3 เครื่องอัดอากาศหรือปั๊มลม (Air compressor) ทำหน้าที่ อัดอากาศให้มีแรงดันสูงขึ้น แล้วทำการเก็บไว้ในถังลมเพื่อนำอากาศปล่อยเข้าสู่ระบบในการทดลองนี้จะใช้ปั๊มลมแบบลูกสูบ (Piston air compressor) ชนิดลูกสูบอัดขึ้นเดียว (Single stage) ความดัน 0 - 10 บาร์ ดังรูปที่ 3.13

รายละเอียดของอุปกรณ์

รุ่น : TG2 ใช้สายพาน,ระบายความร้อนด้วยอากาศ

ลูกสูบขนาด 1/2 แร้วม้า, จำนวนลูกสูบ 2 ลูกสูบ

แรงดันลมที่ใช้ได้ 8 บาร์

อัตราการผลิตลม 120 ลิตร/นาที

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

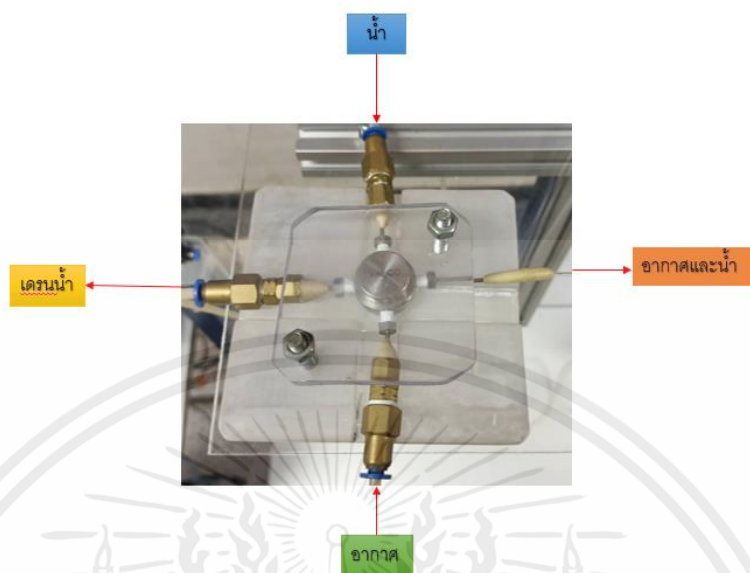
ข้อควรปฏิบัติและบำรุงรักษา

1. ควรใช้น้ำมันเครื่องของปั๊มลมโดยเฉพาะและควรใช้ให้เหมาะสมกับขนาดหรือรุ่นของปั๊มลม
2. ควรหมั่นตรวจระดับของน้ำมันเครื่องและเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องทุกๆ 500 ชั่วโมงที่มีการใช้งาน
3. เมื่อต้องการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องของปั๊มลม สามารถติดต่อขอรับน้ำมันเครื่องสำหรับปั๊มลมที่อาคารปฏิบัติการเครื่องกลหรือติดต่อเจ้าหน้าที่ 081-538-2306 (พีไซร์ตัน)
4. ควรตรวจสอบและเปิดวาล์วสำหรับเดรนน้ำได้ถึงลมอาทิตย์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อยืดอายุการใช้งานของถังลม
5. ก่อนใช้งานควรตรวจสอบน็อตหรือสายพาน ว่าไม่มีอาการผิดปกติ อาทิ น็อตทุกตัวต้องขันแน่น และสายพานควรตั้งให้ตึงพอสมควร



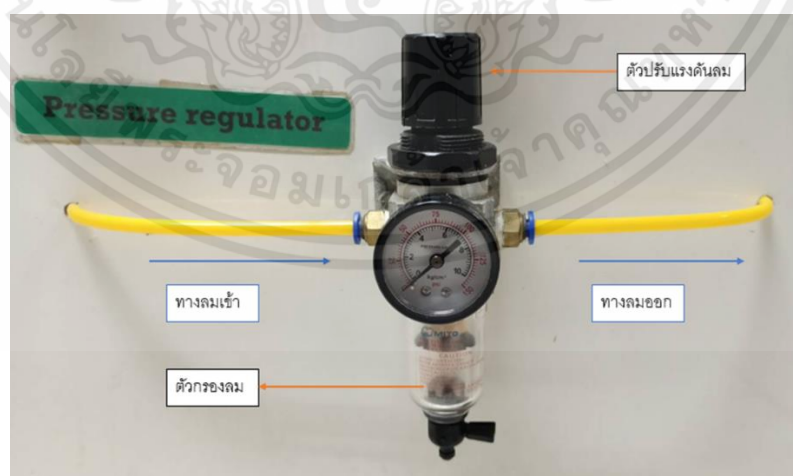
รูปที่ 3.13 เครื่องอัดอากาศหรือปั๊มลม (Air compressor)

3.1.4 ห้องผสม (Mixing chamber) เป็นพื้นที่ที่น้ำและอากาศผสมเข้าด้วยกันก่อนไหลเข้าสู่ Test section โดยในการทดลองนี้ใช้เป็นห้องผสมแบบ 4 ทิศทาง (Cross junction) เส้นผ่าศูนย์กลาง 23.2 มิลลิเมตร และควรเลือกขนาดท่อให้เหมาะสมกับขนาดห้องผสม โดยในการทดลองนี้จะใช้ท่อ Polyurethane ที่ขนาด 2.5 x 4 มิลลิเมตรในช่องทางเข้าน้ำ, อากาศและเดรนน้ำ หากชำรุด 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) ทำหน้าที่ควบคุมความดันของ อากาศ สูงสุดภายในระบบให้คงที่และทำหน้าที่ดักจับสิ่งแปลกปลอมที่จะมาพร้อมอากาศจากเครื่องอัด อากาศ 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. ทำการหมุนตัวปรับแรงดันลมที่อยู่บริเวณด้านบนของอุปกรณ์ควบคุมความดันโดยหมุนตามเข็มนาฬิกาเป็นการเพิ่มแรงดันของลมและการหมุนทวนเข็มนาฬิกาเป็นการลดแรงดันลม

3.1.6 คลิปเลนส์ Macro + Start Light Lens 2 IN 1 LENS KIT โดยมีเลนส์ 15x Macro Lens กำลังขยาย 15 เท่า สามารถถ่ายสิ่งของขนาดเล็กๆ ให้เห็นรายละเอียดและโฟกัสได้ดีกว่าการใช้โทรศัพท์ถ่ายภาพปกติ การเคลือบกระจกเลนส์แบบพิเศษ ทำให้ได้ภาพคมชัดแบบ HD ลดการบิดเบี้ยวของภาพ นำแสงได้ดีขึ้น 99% ลดเงาและลดแสงสะท้อน ในช่วงระยะ 3-5 เซนติเมตร มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.7 เซนติเมตร และเลนส์ 37MM Starlight Lens ซึ่งเป็น filter สำหรับสร้างแสง ไฟในยามค่ำคืนให้ ภาพแสงไฟที่ถ่ายออกมาจะสวยงามมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.16 คลิปเลนส์ Macro + Start Light Lens 2 IN 1 LENS KIT

3.1.7 หลอดไฟ LED (LED Lighting) เป็นอุปกรณ์ที่นำมาให้แสงสว่างเพื่อช่วยในการถ่ายภาพภายในท่อเทพลอน ทำให้ภาพและวิดีโอที่ได้มีความชัดเจนและง่ายต่อการสังเกตรูปแบบการไหล อีกทั้งหลอดไฟ LED ที่ใช้ในการทดลองนี้แสงสว่างของหลอดไฟ LED ไม่เกิดความร้อน แสดงดัง รูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 หลอดไฟ LED (LED Lighting)

3.1.8 ท่อเทพล่อนใส (Teflon tube) หรือ Perfluoro alkoxy Tube (PFA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อภายใน 1 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นท่อสีขาวใส โปร่งแสง มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานน้อย ทนอุณหภูมิได้สูงสุด 280 องศาเซลเซียส ทนสารเคมีทุกชนิด ทนกรดและด่าง ความเข้มข้นสูง ทนแรงดันสูง ทนแสงแดดและรังสียูวี เป็นฉนวนไฟฟ้า สามารถตัดโค้งงอได้ด้วยความร้อน และมีคุณภาพสูง สามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลานาน แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ท่อเทพล่อนใส (Teflon tube)

3.1.9 ท่อยางและท่อซิลิโคน ใช้สำหรับลำเลียงสารทำงานเข้าสู่ test section โดยท่อทั้งสองชนิดนี้ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีและทนต่อแรงดันได้ดี จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองโดยท่อยาง

นำมาใช้ลำเลียงอากาศและน้ำ สำหรับท่อซิลิโคน จะใช้กับเครื่อง Peristaltic pump ทั้งนี้หาก ท่อชำรุดหรือต้องการท่ออย่าง (สามารถสั่งซื้อได้ที่ ร้านศรีนครพาณิชย์ สำนักงานใหญ่) 121-123 อำเภอ เมือง จังหวัดชุมพร หรือติดต่อ 077511136 และสำหรับท่อซิลิโคน สามารถสั่งซื้อได้ที่ บริษัท อามามิ คอร์ปอเรชั่น จำกัด โทร 02-322-4421-3, Email: amami@ksc.th.com แสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ท่อยางและท่อซิลิโคน

3.1.10 ฟิล์มกรองแสง (Filter film) ทำหน้าที่กรองแสงจากหลอดไฟ LED และกำจัดจุดที่ไม่ซ้ำกันของหลอดไฟ LED เนื่องจากหลอดไฟ LED จะมีแถบไฟสองแถวหรือสามแถว ทำให้มีช่องว่างระหว่างแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง จึงใช้ฟิล์มกรองแสงเพื่อให้เกิดการกระจายแสงอย่างสม่ำเสมอ ในการทดลองนี้จะทำการติดตั้งไว้กับหลอดไฟ LED แสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ฟิล์มกรองแสง (Filter film)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.11 ปีกเกอร์ เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการสำหรับบรรจุสารเคมี ผสมสาร หรือพักสาร มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกก้นแบน ปากแฉะออกเล็กน้อยและมีจะงอยเพื่อช่วยในการเทสาร ในการทดลองจะใช้ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เพื่อรับของเหลวที่ออกจาก Test section และนำไปชั่งในเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลเพื่อนำไป หาค่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ปีกเกอร์

3.1.12 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic Balance) เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ใช้ในห้องปฏิบัติการสำหรับชั่งสารหรือสารละลายความละเอียดสูง ในการทดลองนี้ใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic Balance) เพื่อชั่งตวงน้ำหนักของของเหลวที่ ออกจาก Test section เพื่อนำไปหาค่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic Balance)

การใช้งานอุปกรณ์

1. เลือกพื้นที่วางเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล โดยต้องวางในพื้นที่เรียบราบ จากนั้นให้สังเกตหยดน้ำให้อยู่ตรงกลางในวงกลมสีแดง แสดงดังรูป 3.23



รูปที่ 3.23 การสังเกตหยดน้ำบริเวณข้างเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic Balance)

2. ทำการกดปุ่มเปิดเครื่อง จากนั้นรอให้หน้าจอแสดงผลของเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล นับถอยหลังให้ขึ้นตัวเลข 0.0000 หน้าจอจะแสดงทศนิยม 4 ตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การแสดงผลหน้าจอเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลหลังการเปิดเครื่อง

3. กดปุ่ม RE-Zero เพื่อเป็นการเซ็ตเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลอยู่ที่ค่าเริ่มต้นที่ 0.0000 แสดงดังรูปที่ 3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 การเซตเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลอยู่ที่ค่าเริ่มต้น

4. จากนั้นทำการเปิดกระจกด้านใดด้านหนึ่งของเครื่องชั่ง นำบีกเกอร์เปล่ามาใส่ในเครื่องชั่งและทำการปิดกระจกทุกด้านให้สนิท เพื่อชั่งน้ำหนักของบีกเกอร์ แสดงดังรูป 3.26

5. เมื่อชั่งน้ำหนักเสร็จสิ้น ทำการกดปุ่ม RE-Zero เพื่อเก็บค่าบีกเกอร์เปล่าเป็นค่าเริ่มต้นในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 การชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Electronic Balance)

3.1.13 เกจวัดความดัน (Pressure gauge) ทำหน้าที่วัดและอ่านค่าความดันของอากาศ ก่อนไหลสู่ห้องผสม (Mixing chamber) ซึ่งในการทดลองนี้ เกจวัดความดันจะถูกติดตั้งอยู่ทางออกของโรคา มิเตอร์ (Rotameter) ซึ่งมีเกจวัดความดันอยู่ 2 ตัว โดยแต่ละตัวจะมีช่วงในการวัดและอ่านค่าความดันอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

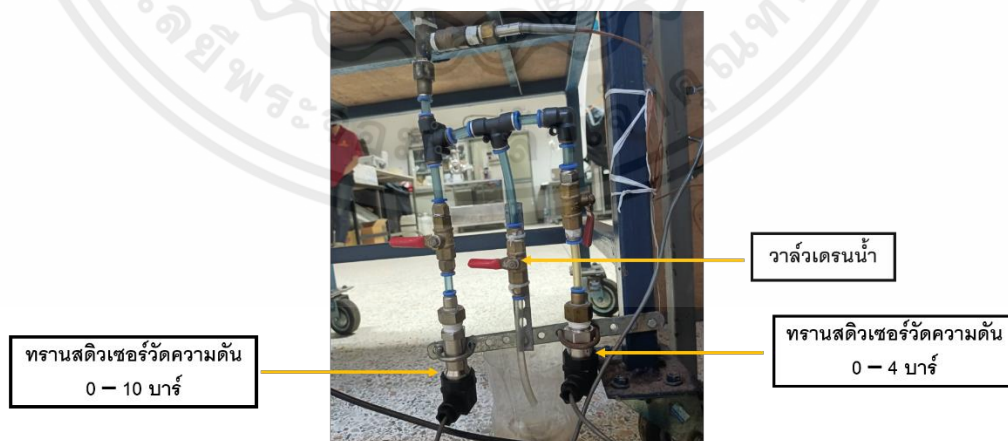
ที่ 0-1 บาร์ และ 0-10บาร์ สามารถอ่านค่าความดันที่หน้าปัดของเกจ โดยแสดงค่าเป็นแบบอนาล็อกหรือแบบเข็ม แสดงดังรูปที่ 3.37 ตามลำดับ



รูปที่ 3.27 เกจวัดความดัน (Pressure gauge)

3.1.14 ตัวแปลงสัญญาณความดันหรือทรานสดิวเซอร์วัดความดัน (Pressure transducer)

ทำหน้าที่แปลงค่าความดันที่วัดได้ภายในห้องผสมทางเข้าบริเวณก่อนเข้า Test section ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อไป แสดงค่าที่ตัวรับสัญญาณความดัน Pressure indicator โดยในการทดลองนี้จะมีตัวแปลงสัญญาณความดันหรือทรานสดิวเซอร์มีการวัดความดัน ช่วง 0-4 bar และ ช่วง 0-10 bar แสดงดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 ตัวแปลงสัญญาณความดันหรือทรานสดิวเซอร์วัดความดัน (Pressure transducer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.15 ตัวรับสัญญาณความร้อน (Temperature indicator) ทำหน้าที่แสดงค่าอุณหภูมิที่แปลงจากค่าสัญญาณทางไฟฟ้าในระบบโดยจะมีการวัดค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิล ที่ติดตั้งอยู่ 2 จุด นั่นคือ บริเวณทางออกจากเกจวัดความดัน เพื่อวัดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้า Test section และ บริเวณทางเข้าทรานสดิวเซอร์ (Pressure transducer) เพื่อวัดอุณหภูมิของของเหลวและอากาศที่ ทำการผสมกัน โดยในการทดลองนี้ จะอ่านค่าในช่องสัญญาณที่ 3 โดยในช่องสัญญาณที่ 3 คือบริเวณ ที่มี การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ทางเข้าทรานสดิวเซอร์ (Pressure transducer และท่อเตรนน้ำ โดย ค่าอุณหภูมิจะที่หน้าจอของตัวรับสัญญาณอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 ตัวรับสัญญาณความร้อน (Temperature indicator)

3.1.16 ตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator) ทำหน้าที่แสดงค่าความดันของของเหลวและแก๊สที่ผสมกัน โดยในการทดลองนี้ จะอ่านค่าในช่องสัญญาณที่ 1 โดยในช่องสัญญาณที่ 1 จะมีแสดงค่าความดันจากการแปลงสัญญาณไฟฟ้าของทรานสดิวเซอร์ (Pressure transducer) ในช่วง 0 - 4 บาร์ โดยทำการแปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าจากหน่วย มิลลิแอมแปร์ เป็นหน่วย บาร์ เพื่อใช้ บันทึกค่าความดันภายในห้องผสมทบริเวณก่อนเข้า Test section แสดงดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 ตัวรับสัญญาณความดัน (Pressure indicator)

3.1.17 โรตاميเตอร์ (Rotameter) ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลเชิงปริมาตร โดยทำการอ่าน ค่าบริเวณสเกลบนโรตاميเตอร์ ซึ่งในการทดลองนี้จะมีการใช้โรตاميเตอร์ 2 ตัว แต่ละตัวจะบอกสเกล ในการวัดช่วงการไหลอยู่ที่ 0 – 500 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที และ 0 – 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่อนาที แสดงดังรูปที่ 3.31 ตามลำดับ Rotameter



รูปที่ 3.31 โรตاميเตอร์ (Rotameter)

วิธีการใช้งาน

ในการทดลองเมื่อต้องการปรับอัตราการไหลของอากาศตั้งแต่ 100 ถึง 500 ซีซีต่อนาทีที่สามารถใช้โรตاميเตอร์ที่ปรับอัตราการไหล 0 ถึง 500 ซีซีต่อนาที แต่หากต้องการปรับอัตราการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งแต่ 550 ถึง 1000 ซีซีต่อนาที่ที่สามารถใช้โรตاميเตอร์ที่ปรับอัตราการไหลตั้งแต่ 0 ถึง 1000 ซีซีต่อนาที่ ซึ่งในการทดลองนี้สามารถใช้โรตاميเตอร์ได้ 2 ตัว แต่ในการใช้งานโรตاميเตอร์แนะนำให้ใช้งานโรตاميเตอร์ตัวที่ 0 ถึง 500 ซีซีต่อนาที่ ปรับอัตราการไหลในช่วง 100 ถึง 400 ซีซีต่อนาที่ และเปลี่ยนไปใช้งานโรตاميเตอร์ตัวที่ 0 ถึง 1000 ซีซีต่อนาที่ปรับอัตราการไหลในช่วง 450 ถึง 500 ซีซีต่อนาที่ เนื่องจากโรตاميเตอร์ตัวที่ 0 ถึง 500 ซีซีต่อนาที่ มีความแม่นยำ ± 3 แต่โรตاميเตอร์ตัวที่ 0 ถึง 1000 ซีซีต่อนาที่ มีความแม่นยำ ± 2 ทำให้การควบคุมอัตราการไหลโรตاميเตอร์มีความแม่นยำมากกว่า

3.1.18 โทรศัพท์มือถือ iPhone 13 กล้องความละเอียด 12MP รูรับแสงขนาด $f/2.2$

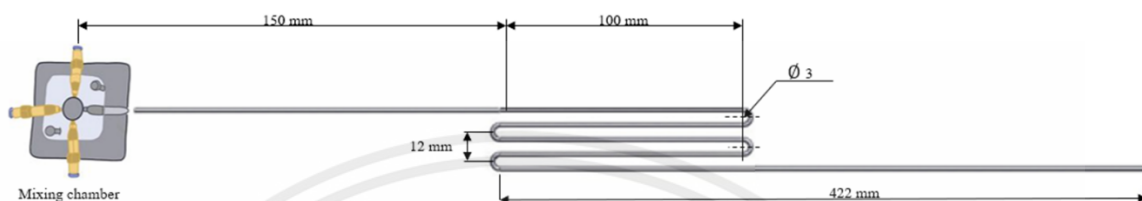
โหมดภาพถ่ายบุคคลพร้อมโบเก้ที่สมจริงและการควบคุมระยะชัดลึก การจัดแสงภาพถ่ายบุคคลพร้อมเอฟเฟ็กต์ 6 แบบ (แสงไฟธรรมชาติ, แสงไฟสตูดิโอ, แสงไฟคอนทัวร์, แสงไฟเวที, แสงไฟเวทีขาวดำ, แสงไฟขาวดำไฮคีย์) Animoji และ Memoji โหมดกลางคืน Deep Fusion HDR อัจฉริยะ 4 คุณสมบัติ "สไตล์ภาพถ่าย" Apple ProRAW โหมดภาพยนตร์สำหรับการบันทึกวิดีโอที่มีมิติความชัดตื้น (1080p ที่ 30 fps) บันทึกวิดีโอ HDR ในแบบ Dolby Vision สูงสุด 4K ที่ 60 fps บันทึกวิดีโอระดับ 4K ที่ 24 fps, 25 fps, 30 fps หรือ 60 fps บันทึกวิดีโอระดับ HD 1080p ที่ 25 fps, 30 fps หรือ 60 fps บันทึกวิดีโอ ProRes สูงสุด 4K ที่ 30 fps (1080p ที่ 30 fps สำหรับพื้นที่จัดเก็บข้อมูล ความจุ 128GB) รองรับวิดีโอสโลว์โมชั่น ความละเอียด 1080p ที่ 120 fps วิดีโอใหม่แลปส์ พร้อมระบบป้องกันภาพสั่นไหวใหม่แลปส์ในโหมดกลางคืน ระบบป้องกันภาพวิดีโอสั่นไหวในคุณภาพระดับภาพยนตร์ (4K, 1080p และ 720p) วิดีโอ QuickTake บันทึกภาพถ่ายและ Live Photos ด้วยขอบเขตสีกว้าง การปรับแก้เลนส์ Retina Flash ระบบป้องกันภาพสั่นไหวอัตโนมัติ โหมดภาพถ่ายต่อเนื่อง



รูปที่ 3.32 โทรศัพท์มือถือ iPhone 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

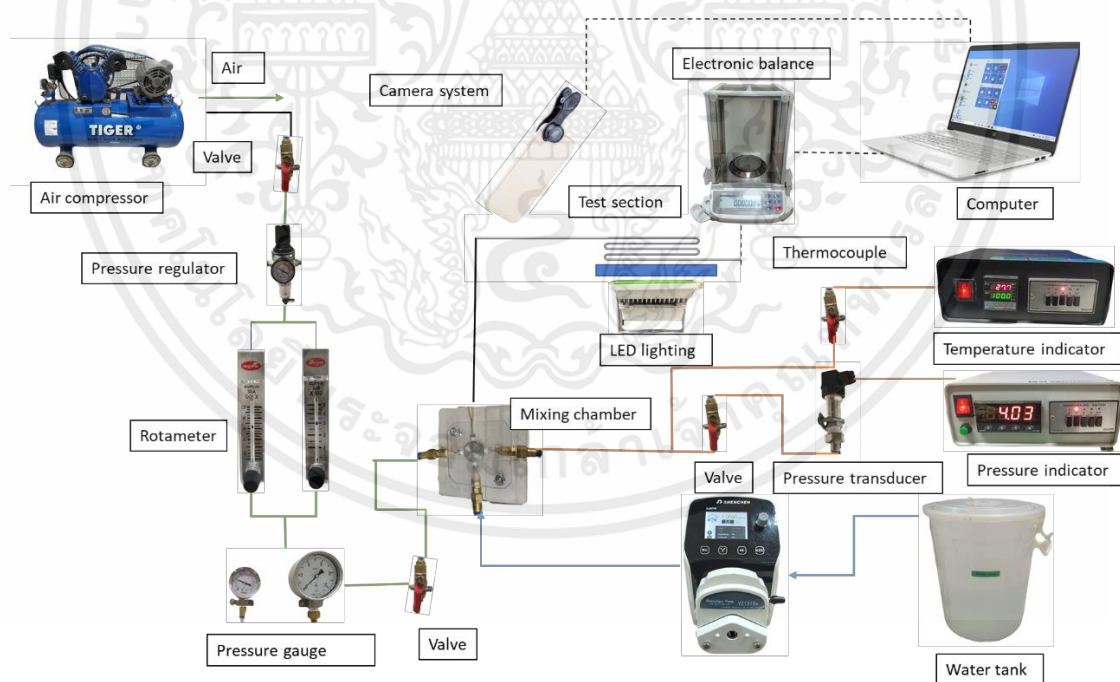
3.1.19 ชุดการทดลอง (Test section) จะใช้เป็นท่อเทปลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 1010 มิลลิเมตร ใช้ในการทดลองทั้งแนวตั้งและแนวนอน ที่จะเก็บข้อมูลการทดลอง



รูปที่ 3.33 ชุดการทดลอง (Test section)

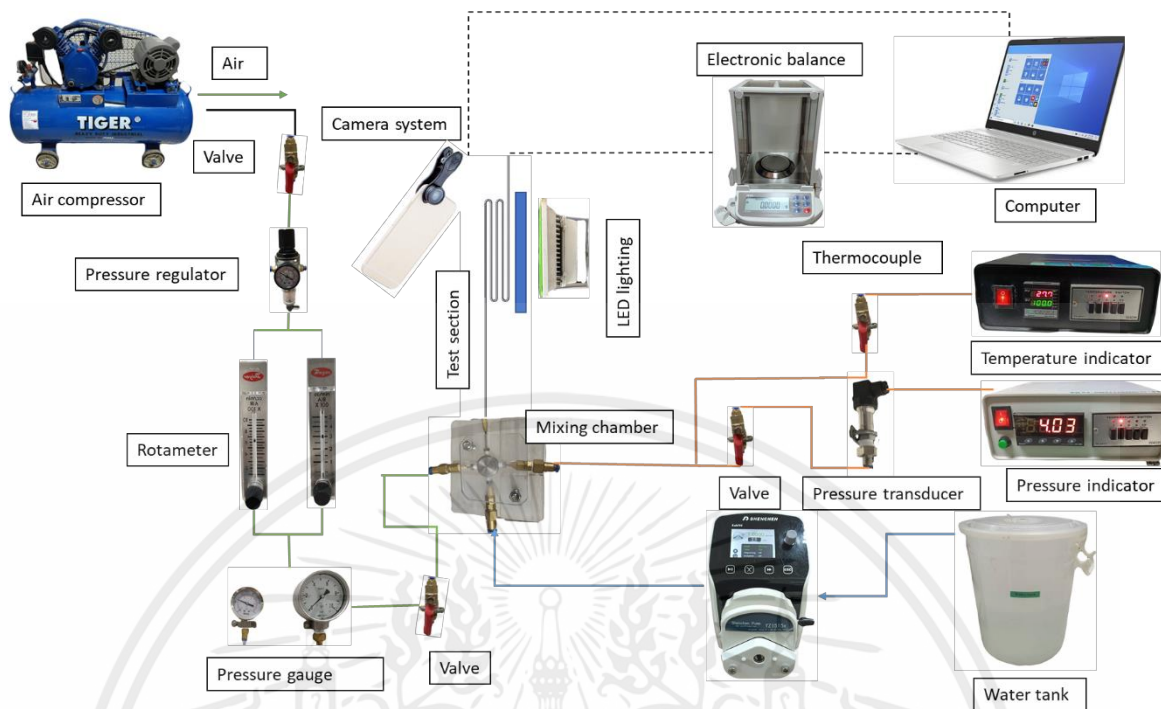
3.2 วงจรการทำงาน และรายละเอียดของ test section

3.2.1 วงจรการทำงาน

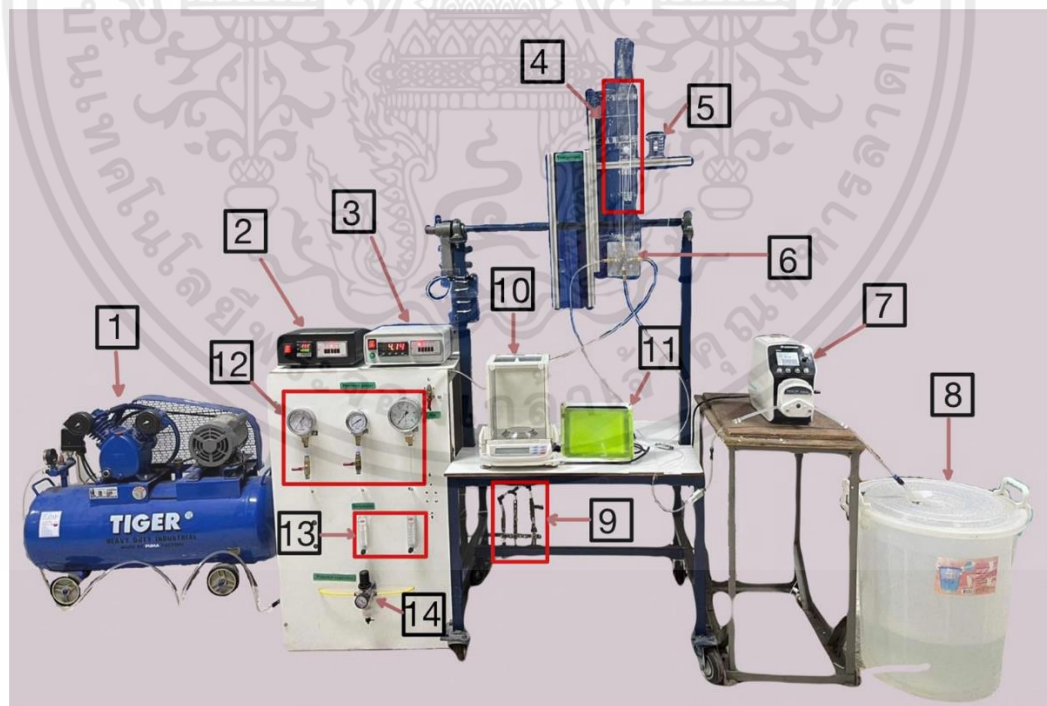


รูปที่ 3.34 แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดลองการวางท่อในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.35 แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์ทดลองการวางท่อในแนวตั้ง



รูปที่ 3.36 แผนภาพแสดงการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์การทดลอง

1. Air compressor
2. Temperature indicator
3. Pressure indicator
4. Test section
5. Beaker
6. Mixing chamber
7. Peristaltic pump
8. Water tank
9. Pressure transducer
10. Electronic balance
11. LED lighting
12. Pressure gauge
13. Rotameter
14. Pressure regulator

3.3.2 กระบวนการทำงาน

ในรูปที่ 3.34 และรูปที่ 3.35 แสดงให้เห็นแผนผังวงจรการทำงานของการทดลอง โดยกระบวนการทำงานเริ่มต้นที่ปั๊มลม (Air compressor) จะอัดอากาศเข้าสู่ระบบไปที่อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure regulator) ก่อนจะผ่านเข้าสู่ระบบโดยความดันอากาศจะถูกควบคุมโดยโรตاميเตอร์ (Rotameter) ซึ่งสามารถควบคุมอัตราการไหล และมีเกจความดัน (Pressure gauge) เพื่ออ่านค่าความดันอากาศ ก่อนที่ความดันอากาศจะเข้าไปยังห้องผสมแบบสี่ทิศทาง (Mixing chamber) สำหรับกระบวนการของน้ำจะเริ่มจากถังน้ำ (Water tank) ซึ่งเป็นถังสำหรับการพักน้ำ โดยจะถูกปั๊มของเหลวแบบปริดท่อ (Peristaltic pump) จะดูดน้ำขึ้นจากถังพักและปั๊มของเหลว สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำได้ ก่อนที่อัตราการไหลของน้ำจะถูกปั๊มดูดขึ้นไปยังห้องผสม เมื่อผสมน้ำและอากาศเข้าด้วยกัน ก่อนที่จะไหลเข้าท่อเซอร์เพนไทน์ในช่วง Test section โดยอัตราการไหลของน้ำสามารถหาได้จากการชั่งน้ำหนักของน้ำที่ไหลออกจาก Test section ในช่วงเวลาที่กำหนดโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Electronic balance) ในการวัดความดันในช่วง Test section จะติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันแบบทรานสดิวเซอร์ (Pressure transducer) ไว้ที่ทางเข้า Test section และในส่วนการสังเกตรูปแบบการไหลจะใช้หลักการถ่ายรูปหรือกล้องโทรศัพท์มือถือที่มีอุปกรณ์เสริมช่วยในการถ่ายรูป โดยที่จะถ่ายรูป

บริเวณท่อเทปลอนที่เป็นท่อตรงและส่วนโค้งของท่อเทปลอนที่กำหนดจุดถ่ายภาพไว้ ระยะถ่ายภาพ 2 เซนติเมตร ทั้งนี้จะมีการให้แสงสว่างด้วยหลอดไฟ LED เพื่อให้เห็นรูปแบบการให้ให้ชัดเจน ในการทดลองนี้จะเก็บข้อมูลการทดลองเพื่อนำไปคำนวณและวิเคราะห์ผลต่อไป

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

มีขั้นตอนการทดลอง จากรูปที่ 3.34 และ 3.35 อธิบายดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์การทดลองต่างๆให้พร้อมต่อการทดลอง
2. ทำการเสียบปลั๊กไฟของตัวระบบต่างๆ
3. ทำการเปิดวาล์วเตรนน้ำที่อยู่ข้างกับตัวแปลงสัญญาณความดันเพื่อปล่อยน้ำที่ตกค้างในระบบ ออกแล้วจึงทำการปิดวาล์วเตรนน้ำให้เรียบร้อย
4. ทำการเปิดวาล์วตัวแปลงสัญญาณความดัน ช่วง 0-4 บาร์ เพื่อรับสัญญาณความดันของน้ำและอากาศที่ผสมกันที่บริเวณทางเข้า Test sectionและจะทำการแสดงผ่านหน้าจอดีจิตอลของเครื่อง Pressure indicator
5. ทำการเปิดเครื่องอัดอากาศหรือปั๊มลม โดยกำหนดให้มีความดันอากาศไม่เกิน 4 บาร์ จากนั้นทำการเปิดวาล์วอากาศเพื่อให้อากาศไหลเข้าสู่ระบบ
6. เปิดสวิตซ์ตัวรับสัญญาณความดัน Pressure indicator เพื่อทำการอ่านค่าความดันเมื่อของน้ำและอากาศผสมกันบริเวณก่อนเข้า Test section
7. ทำการเปิดปั๊มดูดจ่ายสารแบบรีดท่อ โดยสวิตซ์เปิด-ปิดจะอยู่ด้านหลังของตัวเครื่อง จากนั้นทำการปรับค่าอัตราการไหลของน้ำโดยในการทดลองนี้จะกำหนดค่าอัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 1 ถึง 10 มิลลิเมตรต่ออนาที
8. เปิดวาล์วควบคุมความดันหรือ Pressure regulator โดยควบคุมความดันไม่เกิน 4 บาร์
9. ทำการปรับค่าอัตราการไหลของอากาศที่บริเวณโรตاميเตอร์ โดยโรตاميเตอร์จะเป็นตัวการวัดอัตราการไหลของอากาศที่จะเข้าสู่ระบบในการทดลองนี้จะมีการกำหนดอัตราการไหลของอากาศดังนี้ 100,150,200,250,300,350,400,450,500 ในหน่วย ซีซีต่ออนาที
10. ทำการสังเกตค่าความดันที่เข้าสู่ระบบจากเกจวัดความดัน โดยในการทดลองนี้จะใช้เกจวัดความดันอยู่ 2 หน่วยคือ มิลลิบาร์ และ บาร์
11. เมื่อของน้ำและอากาศเข้าสู่ระบบคงที่ทำการบันทึกภาพและวิดีโอโดยเป็นการถ่ายภาพจำนวน 50 ภาพและวิดีโอเป็นเวลา 1 นาที
12. จากนั้นนำน้ำที่ออกจากบริเวณ Test section ที่มีการจับเวลา 1 นาที ใส่ลงในปิ๊กเกอร์เพื่อทำการชั่งน้ำหนักน้ำที่ออกจากระบบโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล เพื่อนำไปหาค่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำต่อไป

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

3.4 ข้อควรระวังในการทดลอง

1. การเลือกใช้ตัวแปลงสัญญาณความดันจะมีอยู่ 2 ช่วง คือ วัดความดันตั้งแต่ 0-4 บาร์ และ 0-10 บาร์เลือกใช้ให้เหมาะสมต่อการใช้งานเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายของอุปกรณ์
2. การเลือกใช้เกจวัดความดันต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับช่วงความดันที่ใช้ในการทดลอง เพื่อความถูกต้องและความแม่นยำในการใช้งาน และไม่ให้เกิดความเสียหาย
3. ในการชั่งปริมาณน้ำหนักของน้ำที่ไหลออกมาจาก Test section ก่อนชั่งจะต้องทำการเช็ดทำความสะอาดรอบพื้นผิวด้านนอกของบีกเกอร์ทุกครั้งก่อนชั่งน้ำหนัก
4. ก่อนชั่งจะต้องปรับค่าให้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ให้เป็นค่า 0.0000 โดยทำการกด Reset และเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลจะต้องตั้งอยู่ในพื้นที่ราบเรียบเท่านั้นเพื่อป้องกันการคาดเคลื่อนในการชั่งน้ำหนัก
5. ในการบันทึกผลหรือค่าต่างๆ ในระบบจะต้องอยู่ในสภาวะคงที่เท่านั้น เพื่อป้องกันการคาดเคลื่อนของผลการทดลอง

3.5 วิธีติดตั้งอุปกรณ์การถ่ายภาพและบันทึกวิดีโอผลการทดลอง

ในการบันทึกภาพและวิดีโอรูปแบบการไหลในการทดลองจะใช้โทรศัพท์ กล้องจับคู่มุมกว้างและกล้องเทเลโฟโต้ความละเอียด 12 ล้านพิกเซล และถ่ายบันทึกวิดีโอ ProRes สูงสุด 4K อีกทั้งติดตั้งคลิปเลนส์ Macro + Start Light Lens 2 In 1 Lens Kit ระยะซูม 15 x Macro + Start Light Lens ขนาด 37 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่



รูปที่ 3.37 อุปกรณ์การถ่ายภาพและบันทึกวิดีโอผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

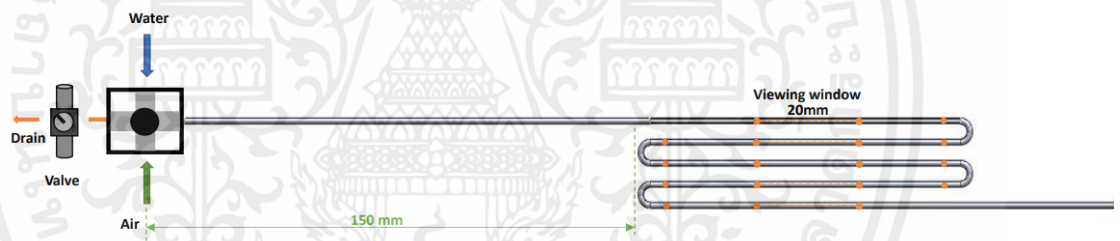
ผลและการวิจารณ์ผล

ในบทนี้เป็นการอธิบายผลการทดลองที่ได้ศึกษารูปแบบการไหล ศึกษาคุณลักษณะความดันลดของท่อขนาดไมโคร สำหรับการไหลแบบสองสถานะภายใต้สภาวะที่ไม่มีความร้อนมาเกี่ยวข้อง ระหว่างน้ำและอากาศ ในท่อเทปลอนที่มีลักษณะเป็นท่อเซอร์เพนไทน์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 1 มิลลิเมตร โดยมีทิศทางการไหล 2 ทิศทาง คือ การไหลในแนวตั้งและการไหลในแนวนอน

4.1 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะ (Two-phase flow)

4.1.1 รูปแบบการไหลที่พบในการทดลอง

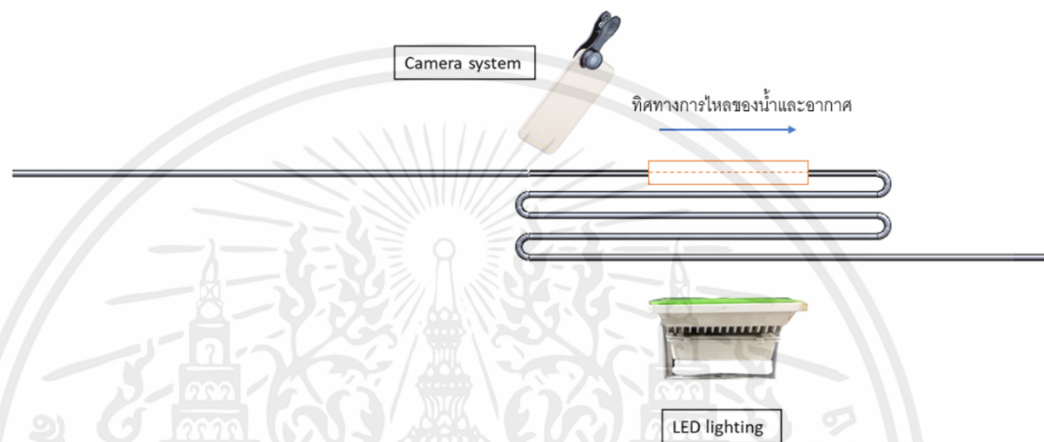
ในการศึกษารูปแบบการไหลที่เกิดในสภาวะต่างๆ ตามเงื่อนไขการทดลอง เพื่อยืนยันว่าผลการทดลองมีความถูกต้องและการเก็บข้อมูลทำการวิเคราะห์รูปแบบการไหล



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งการถ่ายภาพและบันทึกผลการไหลทั้งแนวนอนและแนวตั้ง

สำหรับตำแหน่งที่ใช้ในการถ่ายภาพและบันทึกผล รวมถึงตำแหน่งในการวางอุปกรณ์ในการบันทึกภาพและวิดีโอในแต่ละตำแหน่ง โดยมีความยาวของตำแหน่งถ่ายภาพและบันทึกวิดีโอตามแนวเส้นตรงและเส้นโค้งที่รูปตัวยู 20 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.1 และตำแหน่งถ่ายภาพและบันทึกวิดีโอทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ได้แก่ตำแหน่งที่ 1 บริเวณเส้นตรงก่อนเข้าโค้ง ที่ความยาว 180 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.2 ตำแหน่งที่ 2 บริเวณเส้นโค้ง ที่ความยาว 235 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.3 ตำแหน่งที่ 3 บริเวณเส้นตรงหลังเข้าโค้งในตำแหน่งที่ 2 ที่ความยาว 289 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.4 ตำแหน่งที่ 4 บริเวณเส้นโค้ง ที่ความยาว 344 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.5 ตำแหน่งที่ 5 บริเวณเส้นตรงหลังเข้าโค้งตำแหน่งที่ 4 ที่ความยาว 399 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.6 ตำแหน่งที่ 6 บริเวณเส้น

โค้ง ที่ความยาว 454 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.7 ตำแหน่งที่ 7 บริเวณเส้นตรงหลังโค้งตำแหน่งที่ 6 ที่ความยาว 508 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.8 ตำแหน่งที่ 8 บริเวณเส้นโค้ง ที่ความยาว 563 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.9 ตำแหน่งที่ 9 บริเวณเส้นตรงหลังเข้าโค้ง ที่ความยาว 618 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.10 โดยการเก็บบันทึกภาพรูปแบบการไหลในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ซึ่งภาพที่เก็บบันทึกภาพจำนวน 50 ภาพขึ้นในแต่ละการทดลองแล้วจึงนำภาพมาวิเคราะห์ว่าเป็นรูปแบบการไหลใด

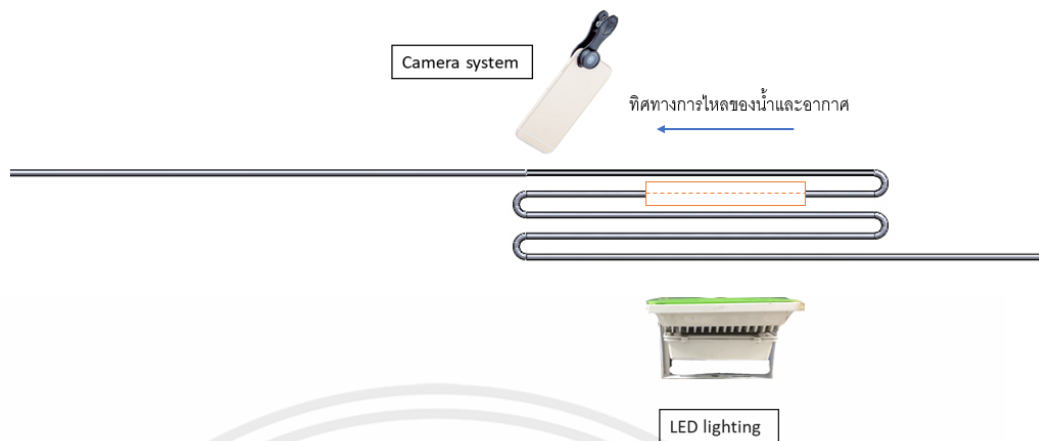


รูปที่ 4.2 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 1

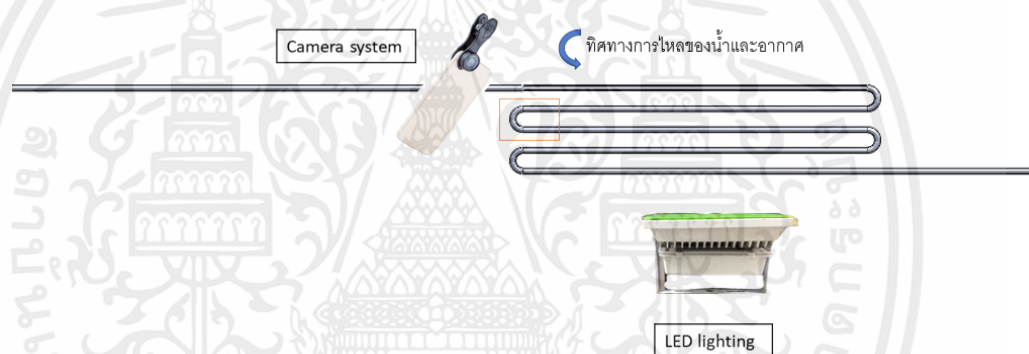


รูปที่ 4.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 2

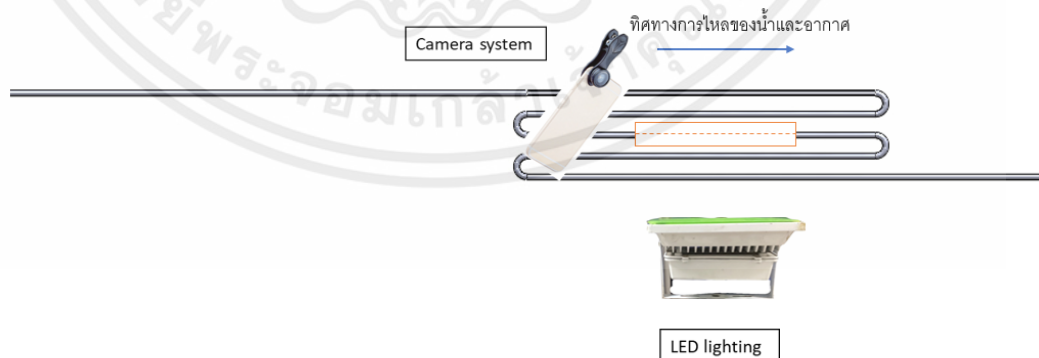
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 3

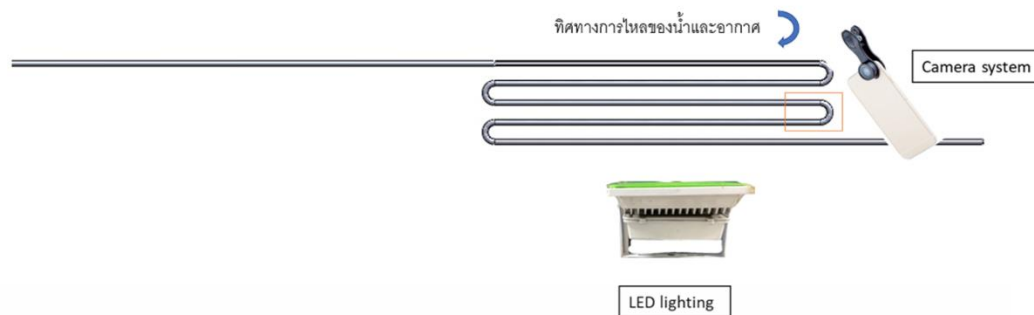


รูปที่ 4.5 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 4

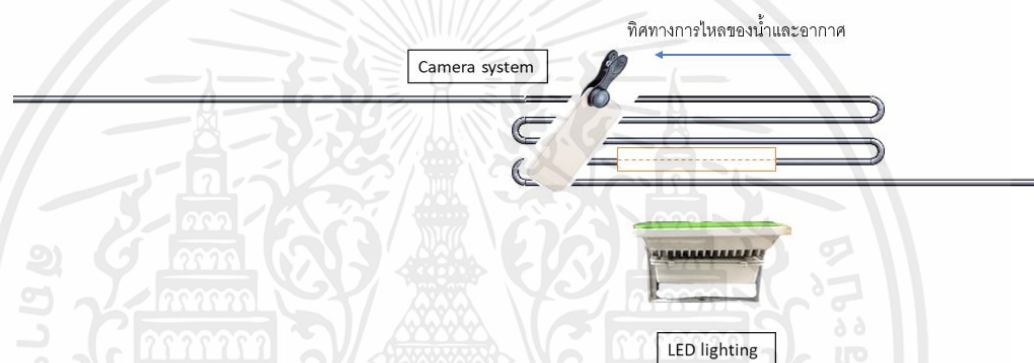


รูปที่ 4.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 5

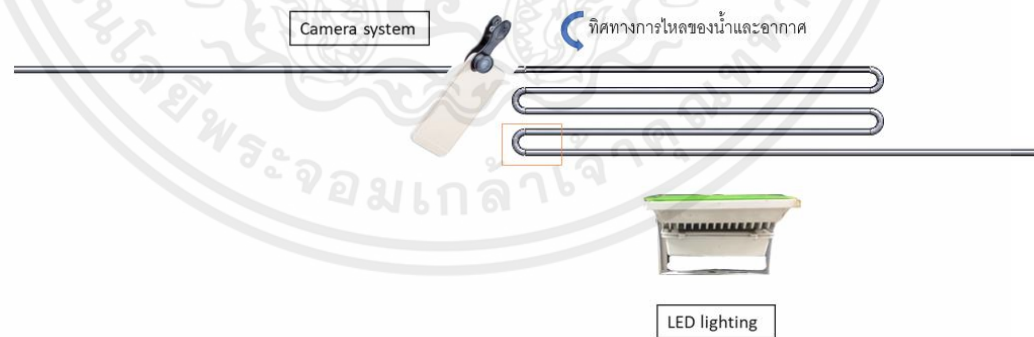
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 6

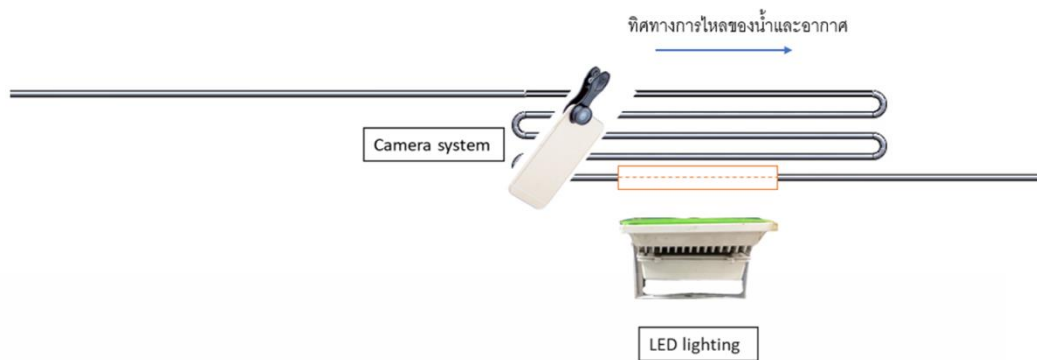


รูปที่ 4.8 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 7



รูปที่ 4.9 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 8

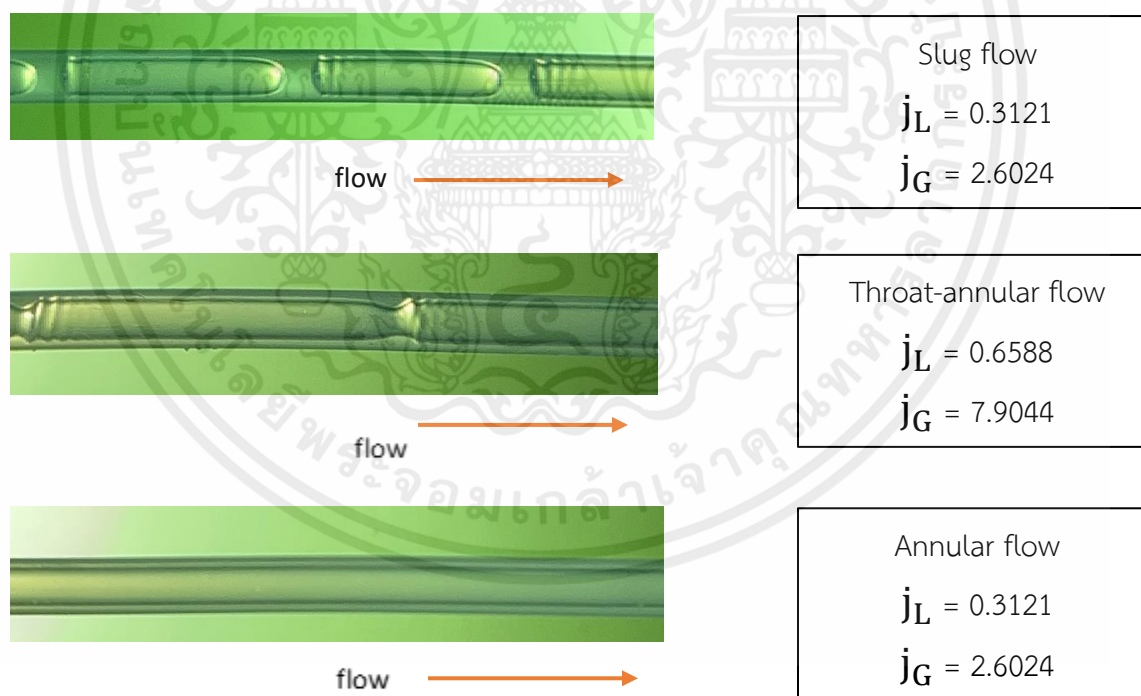
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์การบันทึกผลการทดลอง ตำแหน่งที่ 9

รูปแบบการไหลในแนวนอน

ตำแหน่งที่ 1 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในเส้นตรงที่มีความยาว 180 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของห้องผสม



รูปที่ 4.11 รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่1 (ดังรูปที่4.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณเส้นตรงก่อนเข้าโค้ง ที่ความยาว 180 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 1 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)
3. Annular flow : เกิดขึ้นลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลางท่อ ต่อเนื่องตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

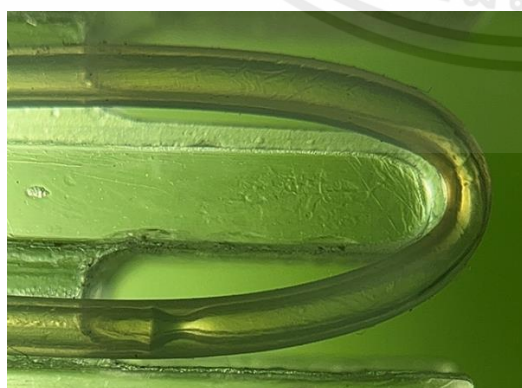
ตำแหน่งที่ 2 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในส่วนโค้ง ที่ความยาว 235 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



Slug flow

$$j_L = 0.5376 \text{ m/s}$$

$$j_G = 2.3574 \text{ m/s}$$

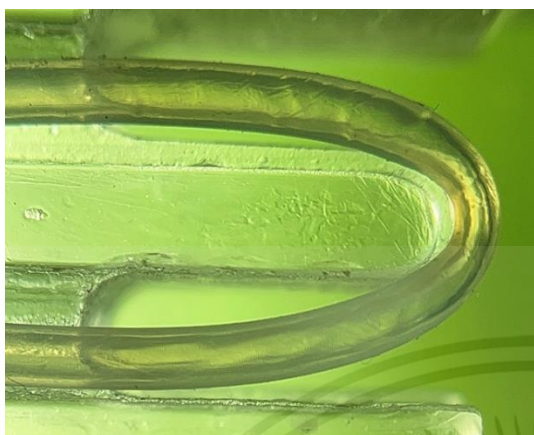


Throat-annular flow

$$j_L = 0.6041 \text{ m/s}$$

$$j_G = 6.8574 \text{ m/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Annular flow

$$j_L = 0.3730 \text{ m/s}$$

$$j_G = 9.1373 \text{ m/s}$$

flow

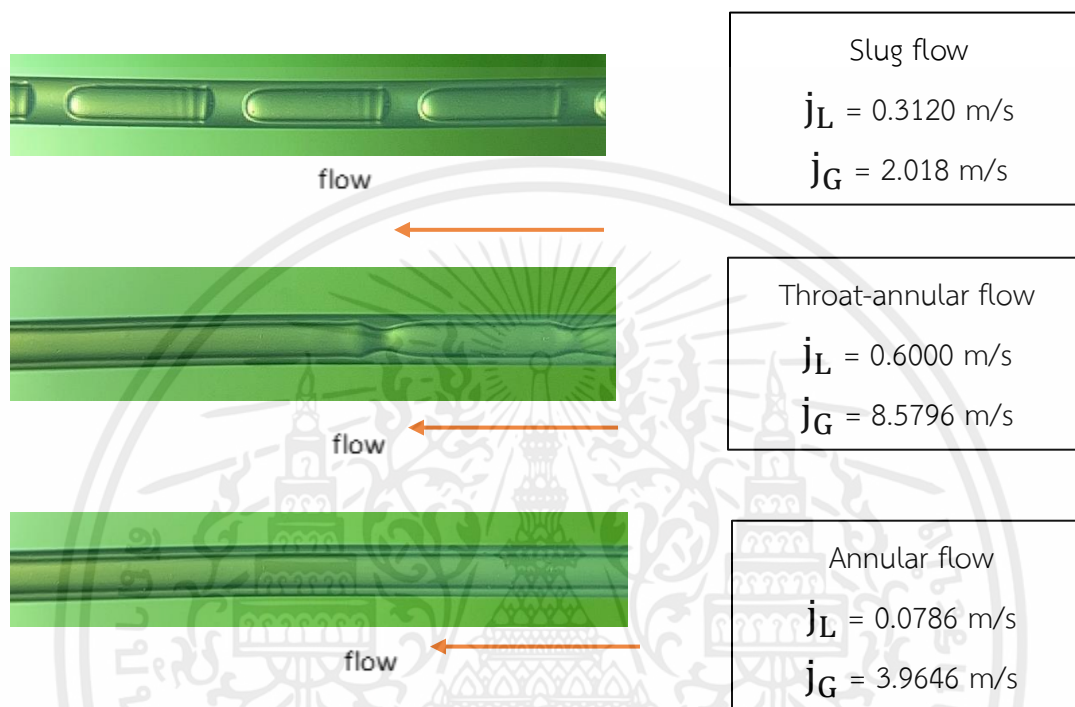


รูปที่ 4.12 รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 2 (ดังรูปที่ 4.3)

จากรูปที่ 4.12 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณส่วนโค้ง ที่ความยาว 235 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 2 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความเร็วของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)
3. Annular flow : เกิดขึ้นลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลางท่อ ต่อเนื่องตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 3 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในเส้นตรงหลังเข้าโค้งที่ความยาว 289 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



รูปที่ 4.13 รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่3 (ดังรูปที่4.4)

จากรูปที่ 4.13 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณเส้นตรงหลังเข้าโค้ง ที่ความยาว 235 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 3 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

3. Annular flow : เกิดขึ้นลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลางท่อ ต่อเนื่องตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 4 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในส่วนโค้ง ที่มีความยาว 344 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของห้องผสม



Slug flow

$$j_L = 0.0817 \text{ m/s}$$

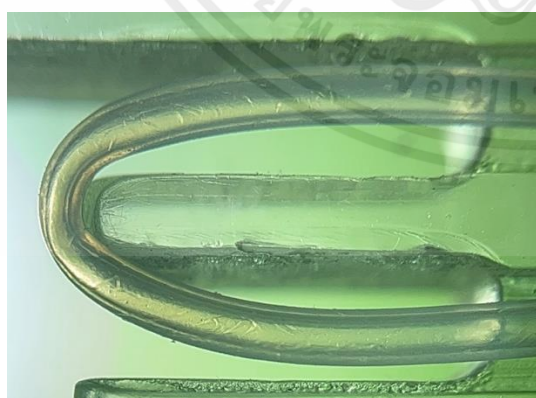
$$j_G = 1.6078 \text{ m/s}$$



Throat-annular flow

$$j_L = 0.7424 \text{ m/s}$$

$$j_G = 7.3958 \text{ m/s}$$



Annular-rivulet flow

$$j_L = 0.6000 \text{ m/s}$$

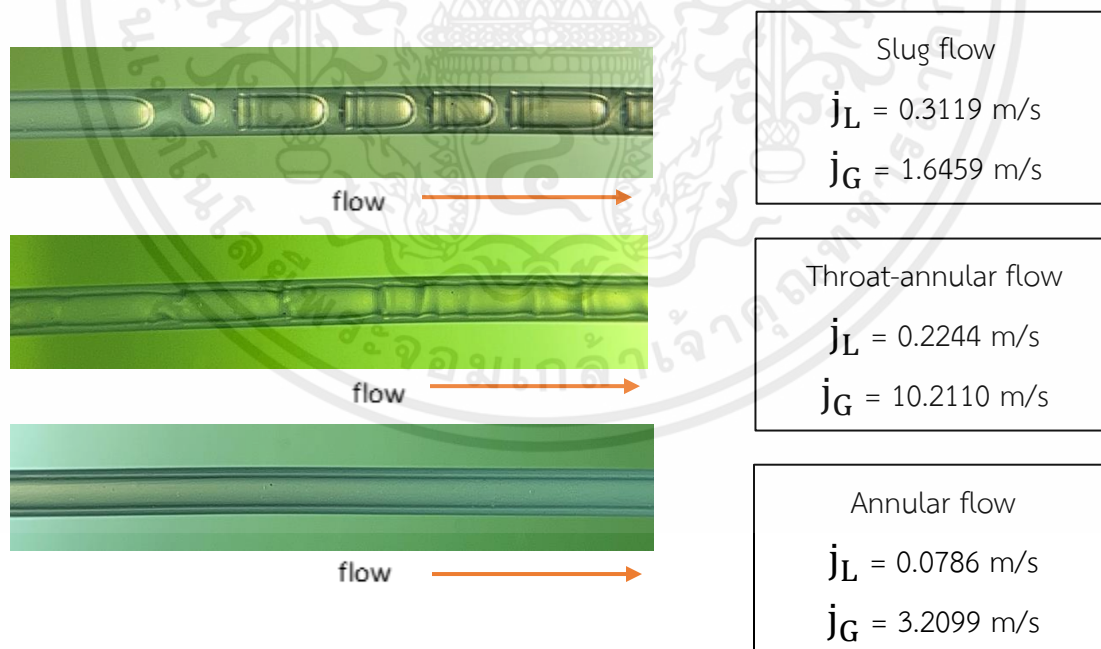
$$j_G = 8.6794 \text{ m/s}$$

รูปที่ 4.14 รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่4 (ดังรูปที่4.5)

จากรูปที่ 4.14 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในส่วนโค้ง ที่ความยาว 344 มิลลิเมตร วัดจากความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 4 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)
3. Annular flow : เกิดขึ้นลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลางท่อ ต่อเนื่องตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 5 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในเส้นตรงหลังเข้าโค้ง ที่ความยาว 399 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



รูปที่ 4.15 รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 5 (ดังรูปที่ 4.6)

จากรูปที่ 4.15 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณเส้นตรงหลังเข้าโค้ง ที่ความยาว 399 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 5 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอขวด (Throat)
3. Annular flow : เกิดขึ้นลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลางท่อ ต่อเนื่องตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 6 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในส่วนโค้ง ที่ความยาว 454 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



flow →

Slug flow

$$j_L = 0.1535 \text{ m/s}$$

$$j_G = 1.3129 \text{ m/s}$$



Throat-annular flow

$$j_L = 0.4532 \text{ m/s}$$

$$j_G = 8.0599 \text{ m/s}$$



Annular flow

$$j_L = 0.1483 \text{ m/s}$$

$$j_G = 9.9876 \text{ m/s}$$

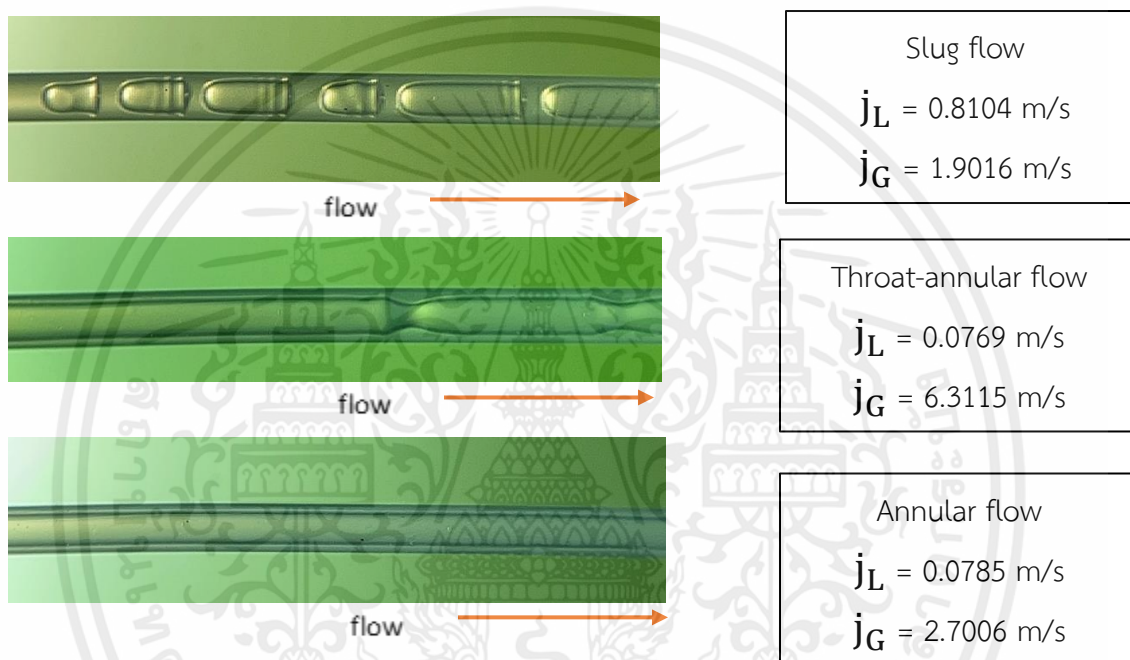
รูปที่ 4.16 รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 6 (ดังรูปที่ 4.7)

จากรูปที่ 4.16 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในส่วนโค้ง ที่ความยาว 454 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 5 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

3. Annular flow : เกิดขึ้นลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลางท่อ ต่อเนื่องตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 7 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในเส้นตรงหลังเข้าโค้ง ที่ความยาว 508 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



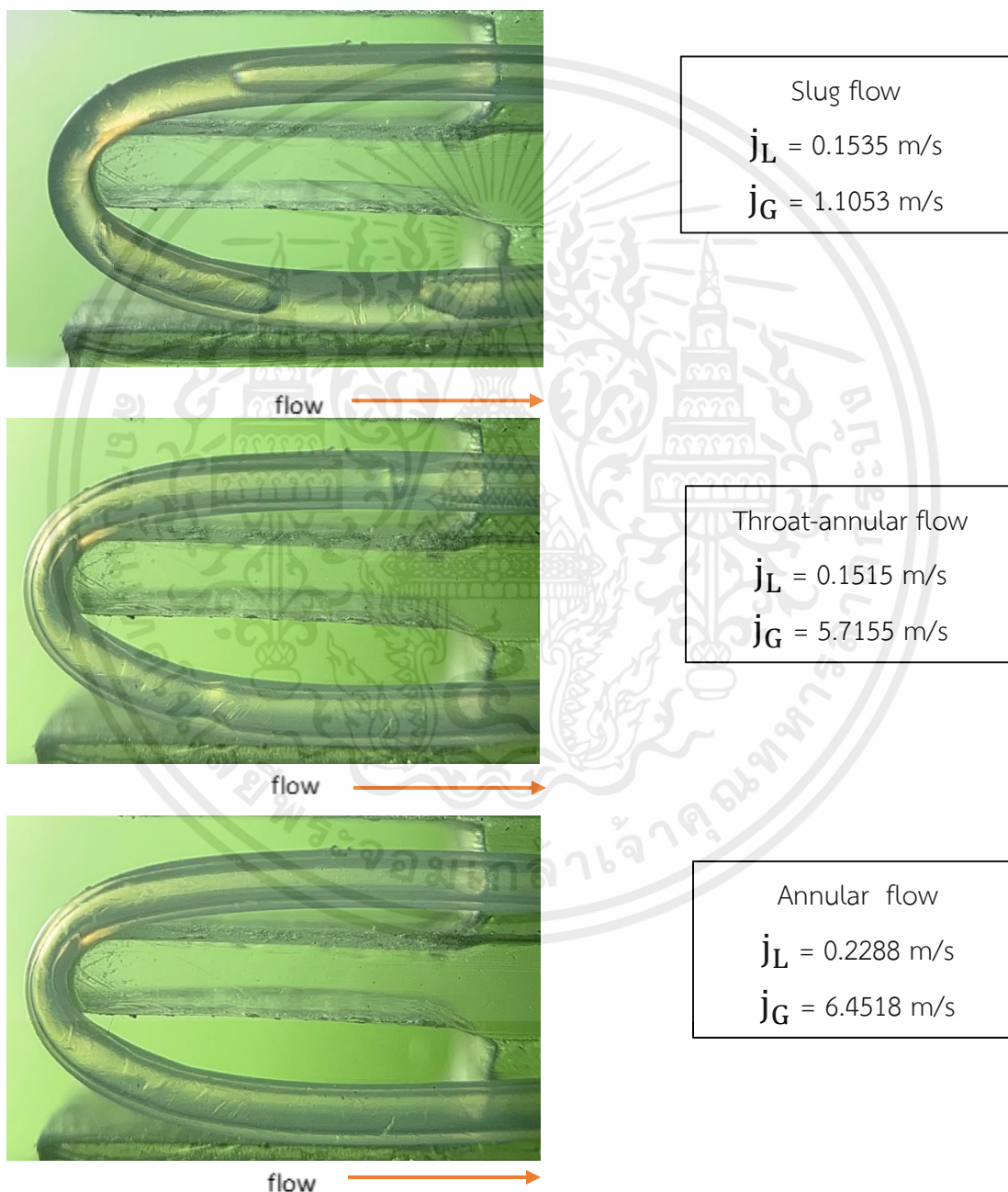
รูปที่ 4.17 รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 7 (ดังรูปที่4.8)

จากรูปที่ 4.17 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณเส้นตรงหลังเข้าโค้ง ที่ความยาว 508 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 7 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

3. Annular flow : เกิดขึ้นลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลางท่อ ต่อเนื่องตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 8 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในส่วนโค้ง ที่มีความยาว 563 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของห้องผสม

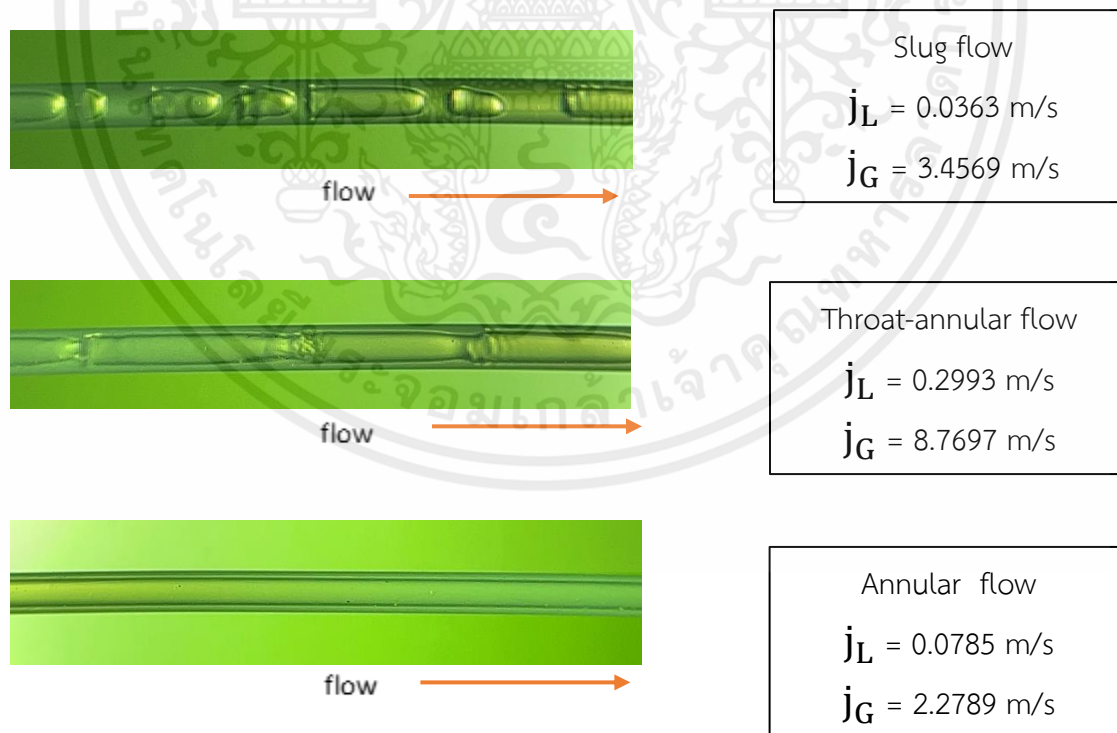


รูปที่ 4.18 รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 8 (ตั้งรูปที่ 4.9)

จากรูปที่ 4.18 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในส่วนโค้ง ที่ความยาว 563 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 8 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)
3. Annular flow : เกิดขึ้นลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลางท่อ ต่อเนื่องตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 9 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในเส้นตรงหลังเข้าโค้ง ที่ความยาว 618 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



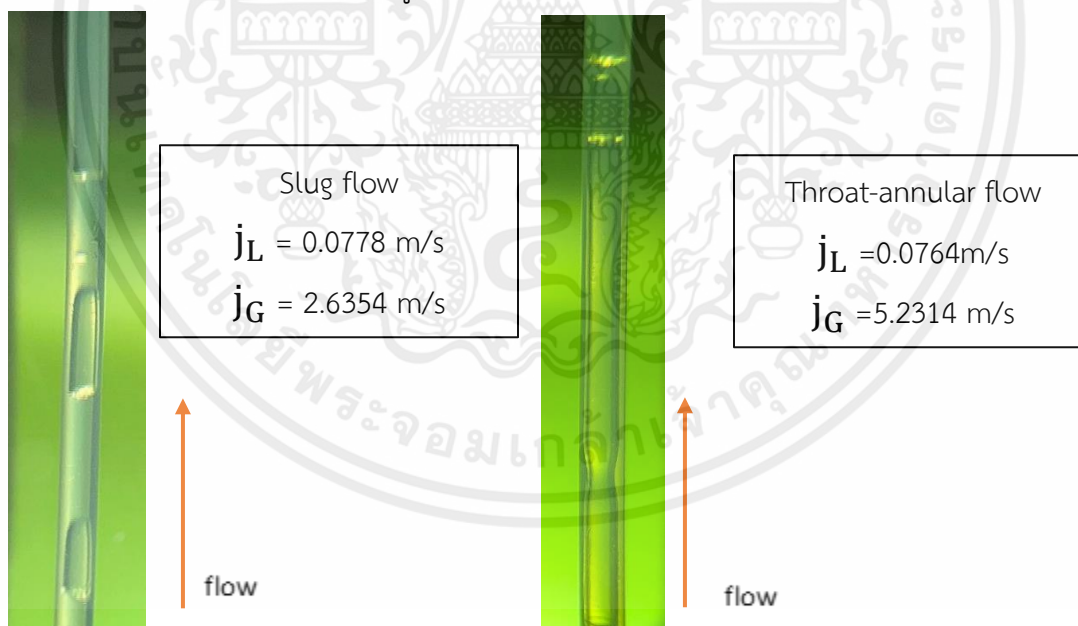
รูปที่ 4.19 รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 9 (ดังรูปที่ 4.10)

จากรูปที่ 4.19 รูปแบบการไหลที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณเส้นตรงหลังเข้าโค้ง ที่ความยาว 618 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 9 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)
3. Annular flow : เกิดขึ้นลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลางท่อ ต่อเนื่องตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

4.1.3 รูปแบบการไหลในแนวตั้ง

ตำแหน่งที่ 1 รูปแบบการไหลในแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในเส้นตรงที่มีความยาว 180 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม

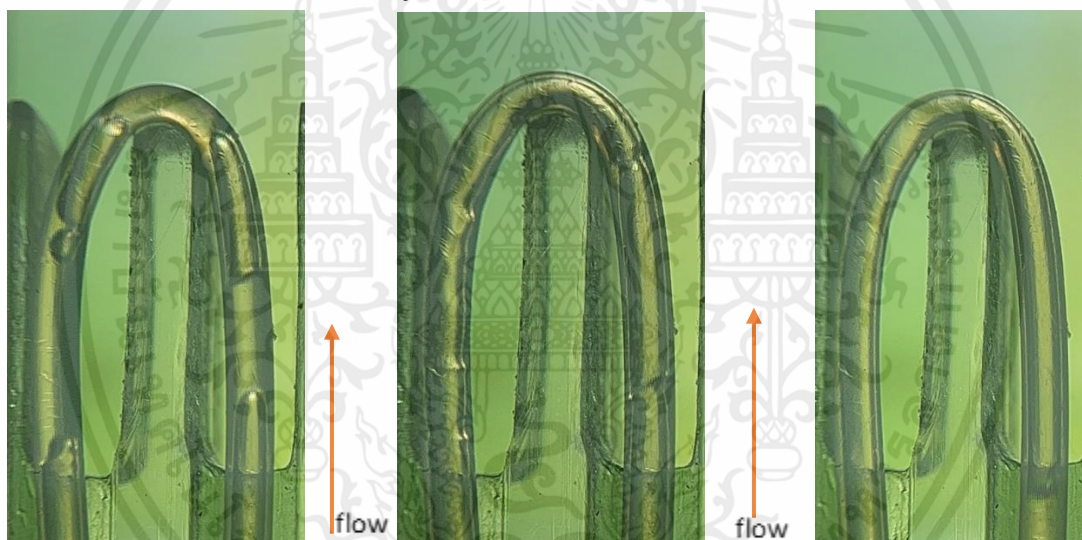


รูปที่ 4.20 รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 1 (ดังรูปที่ 4.2)

จากรูปที่ 4.20 รูปแบบการไหลในแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณเส้นตรง ก่อนเข้าโค้ง ที่ความยาว 180 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 1 พบทั้งหมด 2 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

ตำแหน่งที่ 2 รูปแบบการไหลในแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในส่วนโค้ง ที่ความยาว 235 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



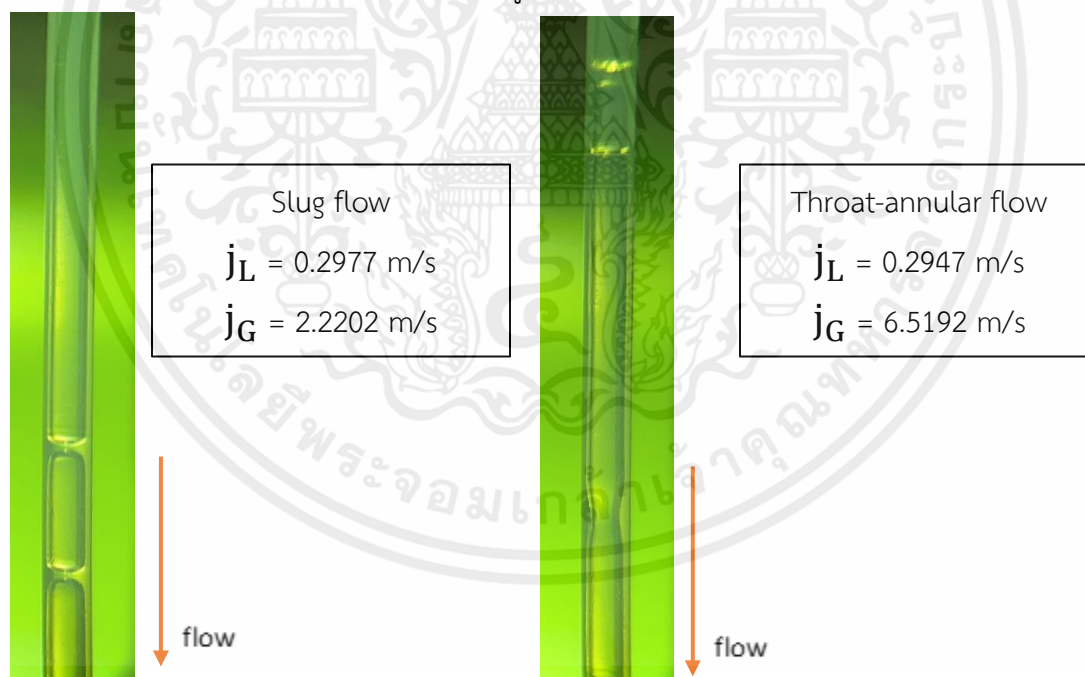
<p>Slug flow</p> <p>$j_L = 0.1529 \text{ m/s}$</p> <p>$j_G = 2.3738 \text{ m/s}$</p>	<p>Throat-annular flow</p> <p>$j_L = 0.1489 \text{ m/s}$</p> <p>$j_G = 5.8875 \text{ m/s}$</p>	<p>Annular flow</p> <p>$j_L = 0.2888 \text{ m/s}$</p> <p>$j_G = 10.1965 \text{ m/s}$</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

รูปที่ 4.21 รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 2 (ตั้งรูปที่ 4.3)

จากรูปที่ 21 รูปแบบการไหลแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณส่วนโค้ง ที่ความยาว 235 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 2 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)
3. Annular flow : เกิดขึ้นลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลางท่อ ต่อเนื่องตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 3 รูปแบบการไหลแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในเส้นตรงหลังเข้าโค้งที่ความยาว 289 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม

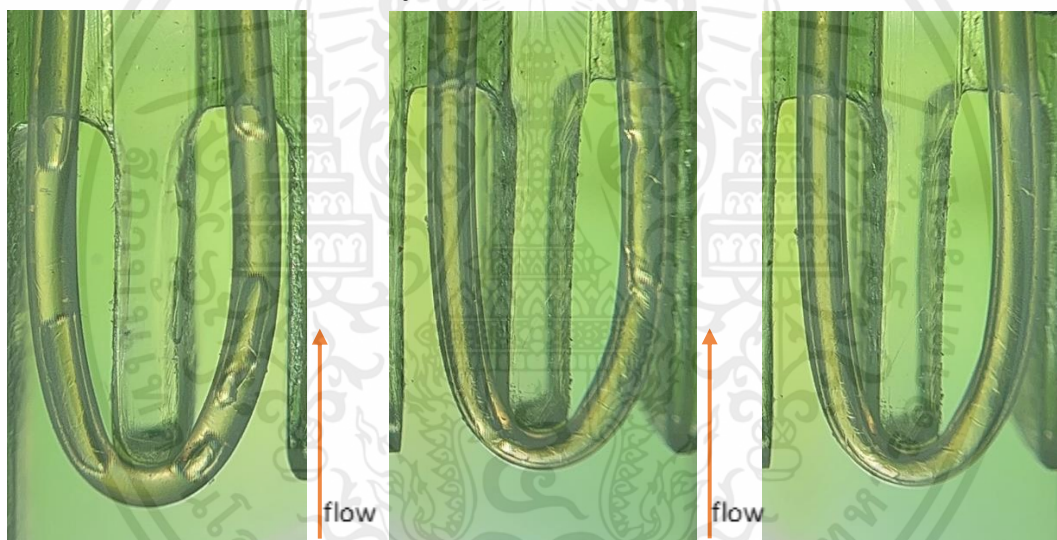


รูปที่ 4.22 รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 3 (ดังรูปที่ 4.4)

จากรูปที่ 4.22 รูปแบบการไหลแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณเส้นตรง หลังเข้าโค้ง ที่ความยาว 235 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 3 พบทั้งหมด 2 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

ตำแหน่งที่ 4 รูปแบบการไหลแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในส่วนโค้ง ที่ความยาว 344 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



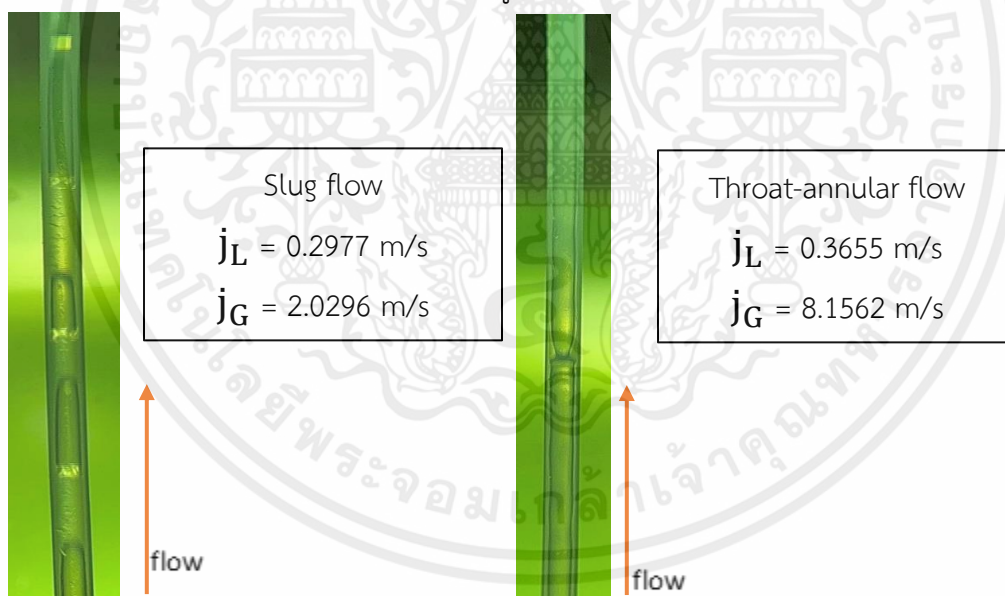
<p>Slug flow</p> <p>$j_L = 0.2977 \text{ m/s}$</p> <p>$j_G = 2.1207 \text{ m/s}$</p>	<p>Throat-annular flow</p> <p>$j_L = 0.2947 \text{ m/s}$</p> <p>$j_G = 3.3419 \text{ m/s}$</p>	<p>Annular flow</p> <p>$j_L = 0.2887 \text{ m/s}$</p> <p>$j_G = 10.1424 \text{ m/s}$</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

รูปที่ 4.23 รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่4 (ดังรูปที่4.5)

จากรูปที่ 4.23 รูปแบบการไหลแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในส่วนโค้ง ที่ความยาว 344 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 4 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)
3. Annular flow : เกิดขึ้นลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลางท่อ ต่อเนื่องตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 5 รูปแบบการไหลแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในเส้นตรงหลังเข้าโค้ง ที่ความยาว 399 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



รูปที่ 4.24 รูปแบบการไหลแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 5 (ดังรูปที่ 4.6)

จากรูปที่ 4.24 รูปแบบการไหลแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณเส้นตรงหลังเข้าโค้ง ที่ความยาว 399 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 5 พบทั้งหมด 2 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

ตำแหน่งที่ 6 รูปแบบการไหลแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในส่วนโค้ง ที่ความยาว 454 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



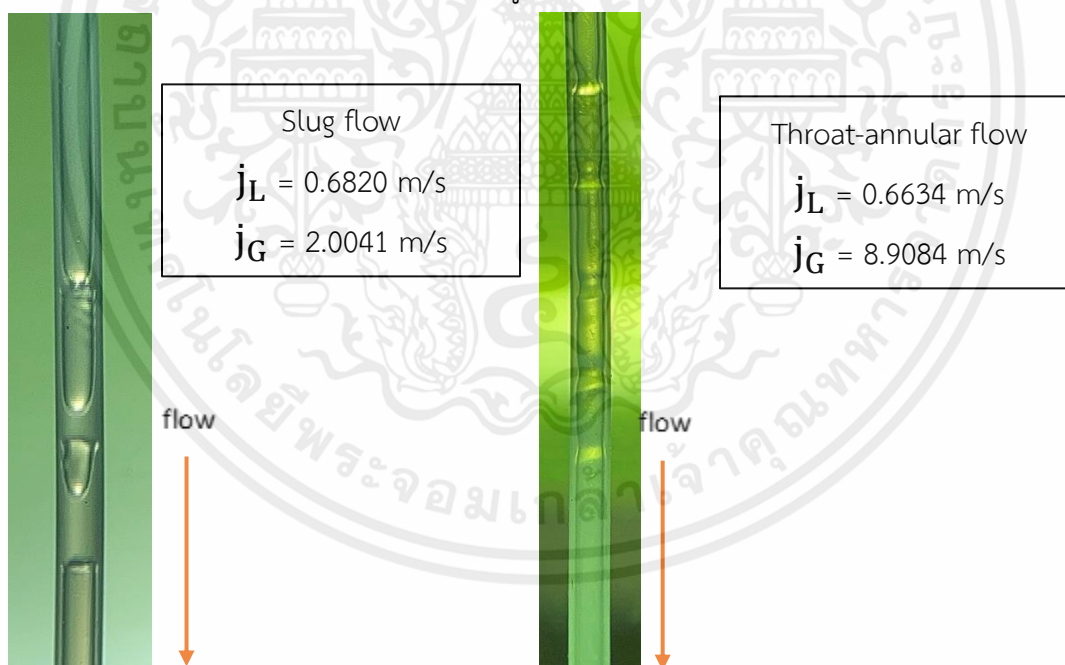
<p>Slug flow</p> <p>$j_L = 0.4391 \text{ m/s}$</p> <p>$j_G = 1.9765 \text{ m/s}$</p>	<p>Throat-annular flow</p> <p>$j_L = 0.4257 \text{ m/s}$</p> <p>$j_G = 8.9913 \text{ m/s}$</p>	<p>Annular flow</p> <p>$j_L = 0.4236 \text{ m/s}$</p> <p>$j_G = 9.9388 \text{ m/s}$</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------

รูปที่ 4.25 รูปแบบการไหลแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 6 (ดังรูปที่ 4.7)

จากรูปที่ 4.16 รูปแบบการไหลแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในส่วนโค้ง ที่ความยาว 454 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 5 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)
3. Annular flow : เกิดขึ้นลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลางท่อ ต่อเนื่องตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 7 รูปแบบการไหลแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในเส้นตรงหลังเข้าโค้ง ที่ความยาว 508 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม

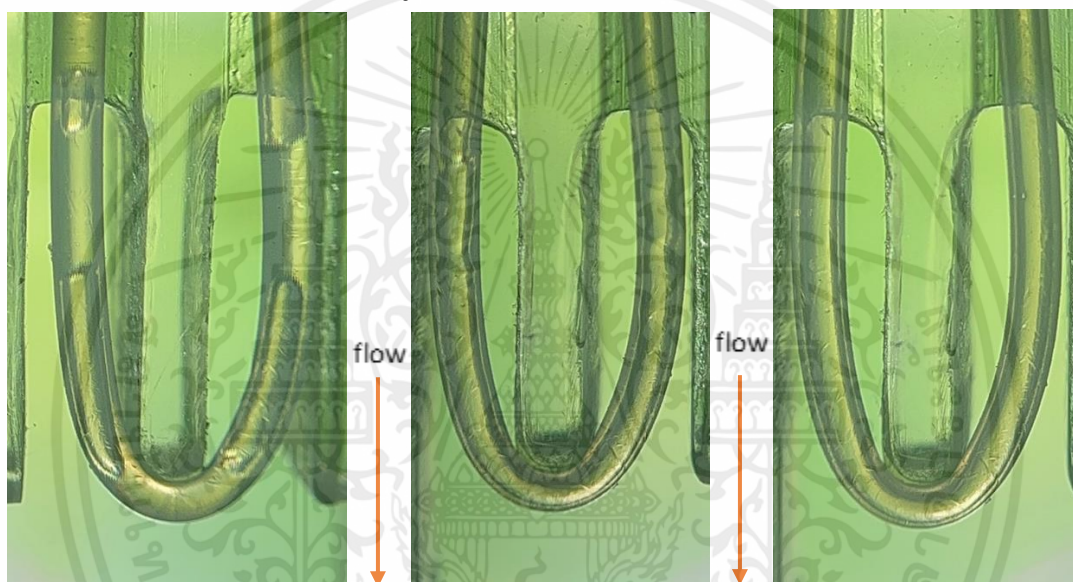


รูปที่ 4.26 รูปแบบการไหลแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 7 (ตั้งรูปที่4.8)

จากรูปที่ 4.26 รูปแบบการไหลแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณเส้นตรงหลังเข้าโค้ง ที่ความยาว 508 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 7 พบทั้งหมด 2 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow : เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

ตำแหน่งที่ 8 รูปแบบการไหลแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในส่วนโค้ง ที่ความยาว 563 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



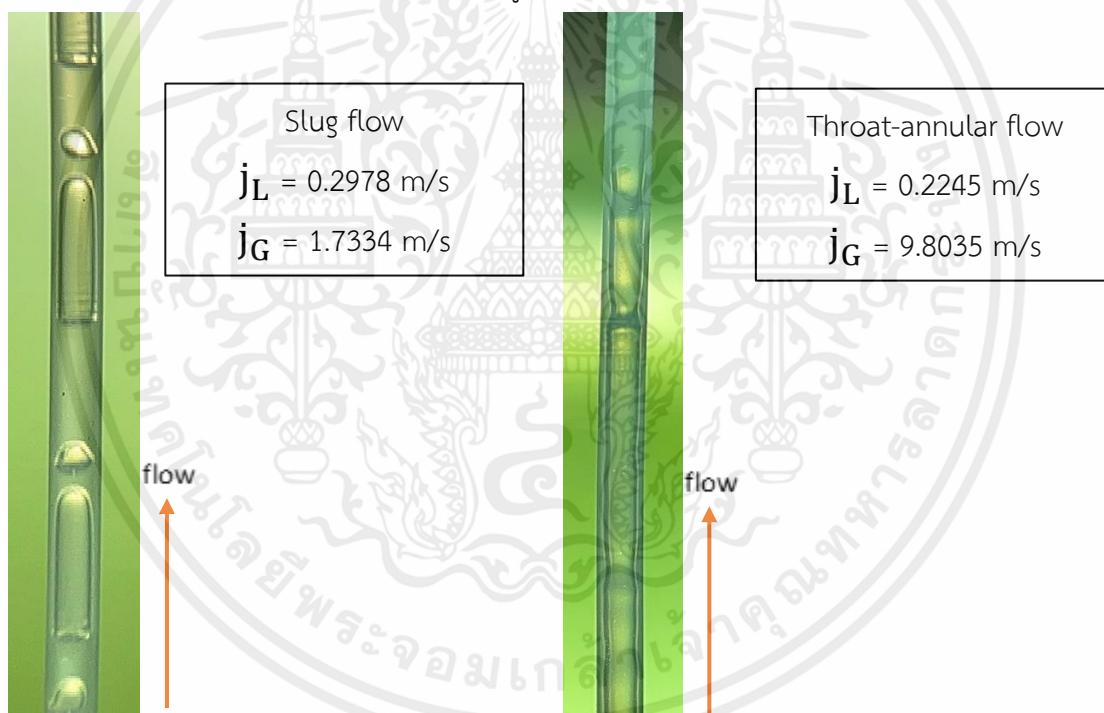
Slug flow $j_L = 0.5107 \text{ m/s}$ $j_G = 1.9351 \text{ m/s}$	Throat-annular flow $j_L = 0.4999 \text{ m/s}$ $j_G = 8.0893 \text{ m/s}$	Annular flow $j_L = 0.4236 \text{ m/s}$ $j_G = 10.1125 \text{ m/s}$
-----------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------

รูปที่ 4.27 รูปแบบการไหลแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 8 (ดังรูปที่ 4.9)

จากรูปที่ 4.27 รูปแบบการไหลแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในส่วนโค้ง ที่ความยาว 563 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 8 พบทั้งหมด 3 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow : เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow: เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)
3. Annular flow: เกิดขึ้นลักษณะการไหลของของเหลวเป็นฟิล์มบางๆ แล้วมีแก๊สไหลอยู่ตรงกลางท่อ ต่อเนื่องตามความยาวท่อ โดยอาจจะมีของเหลวบางส่วนหลุดออกมาจากผิวหน้าไหลไปตามกระแสของอากาศ

ตำแหน่งที่ 9 รูปแบบการไหลแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในเส้นตรงหลังเข้าโค้ง ที่ความยาว 618 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม



รูปที่ 4.28 รูปแบบการไหลแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 9 (ดังรูปที่ 4.10)

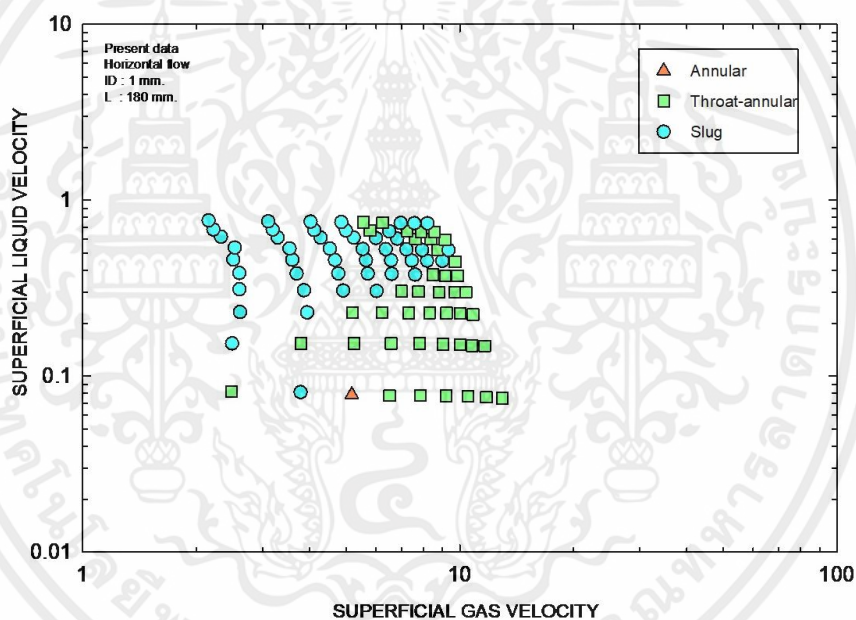
จากรูปที่ 4.28 รูปแบบการไหลแนวตั้งที่พบเห็นในการทดลองนี้เป็นการไหลในบริเวณเส้นตรงหลังเข้าโค้ง ที่ความยาว 618 มิลลิเมตร วัดความยาวจากเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องผสม ในตำแหน่งที่ 9 พบทั้งหมด 2 รูปแบบการไหล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. Slug flow: เกิดจากการรวมตัวของฟองอากาศ ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ มีลักษณะคล้ายหัวกระสุน (Slug) และระหว่างฟองอากาศที่เป็นแท่งขนาดใหญ่อาจมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นอยู่
2. Throat-annular flow: เกิดจากการไหลแบบหัวกระสุน (Slug flow) เมื่อความเร็วของเฟสอากาศไหลเร็วขึ้นที่ทำให้ฟองอากาศแบบหัวกระสุนไหลมาชนกันอย่างต่อเนื่อง เกิดลักษณะเป็นคอคอด (Throat)

4.1.4 แผนที่รูปแบบการไหล (Flow pattern map)

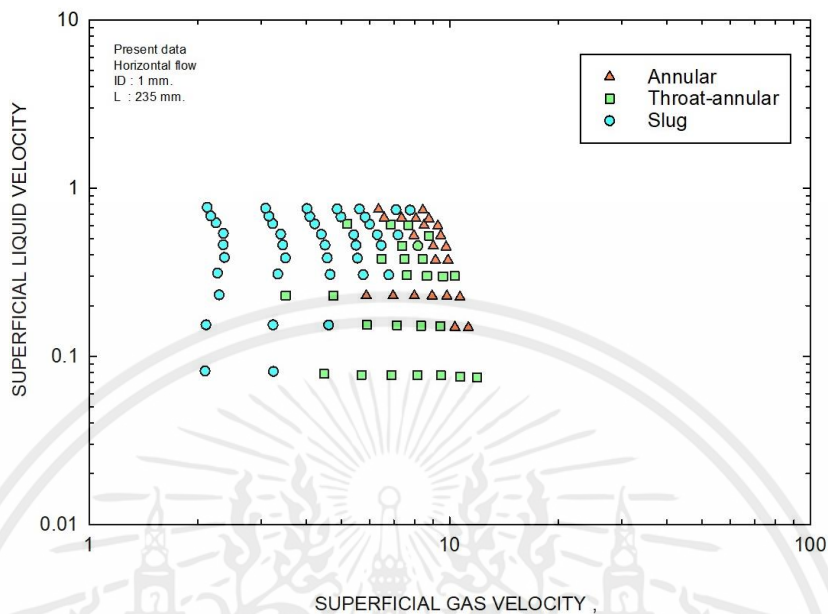
รูปแบบการไหลในแนวนอน

ตำแหน่งที่ 1



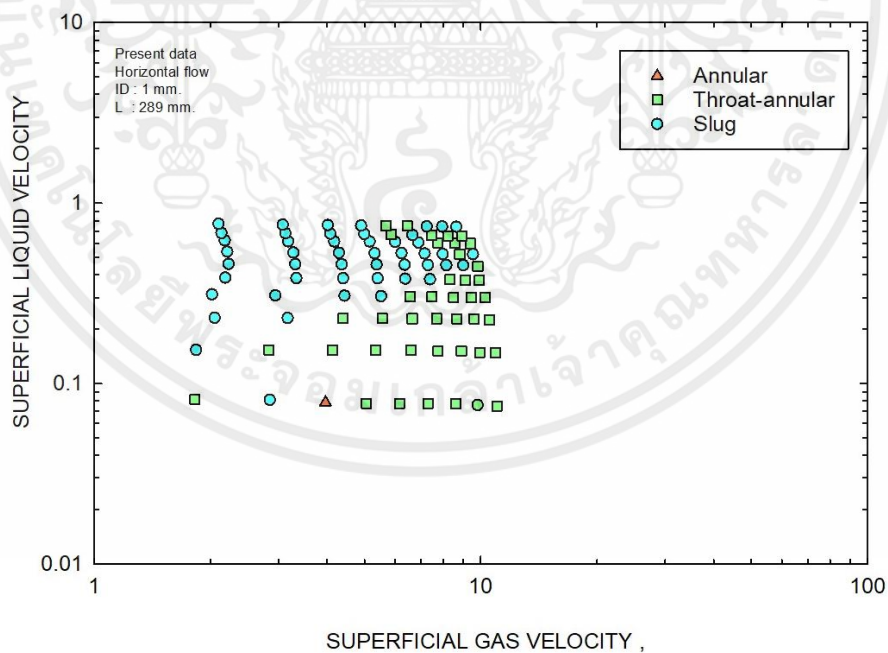
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 1

ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 2

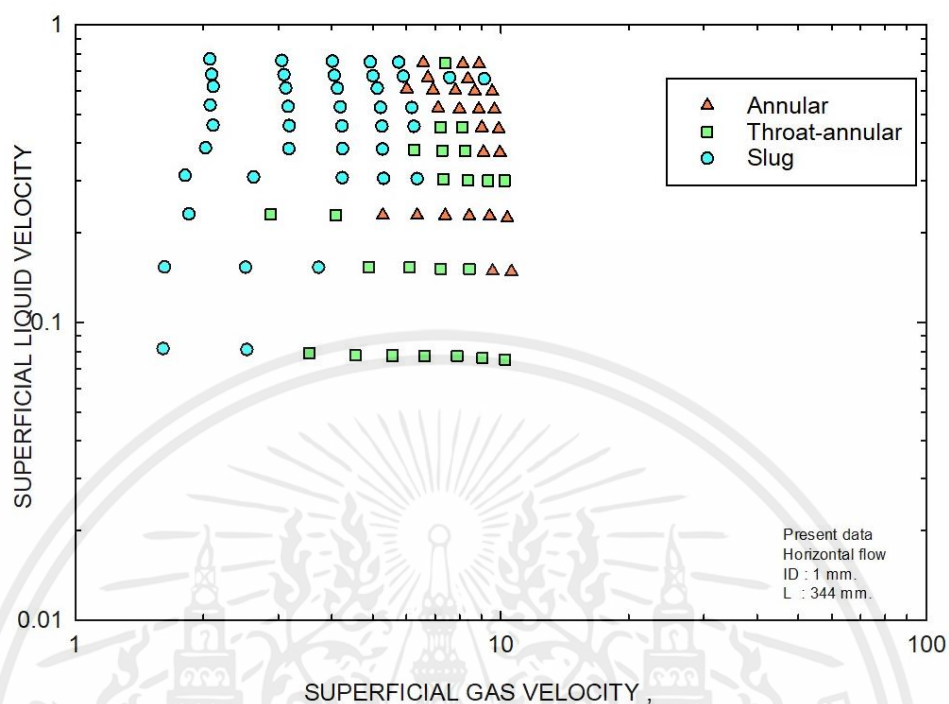
ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 3

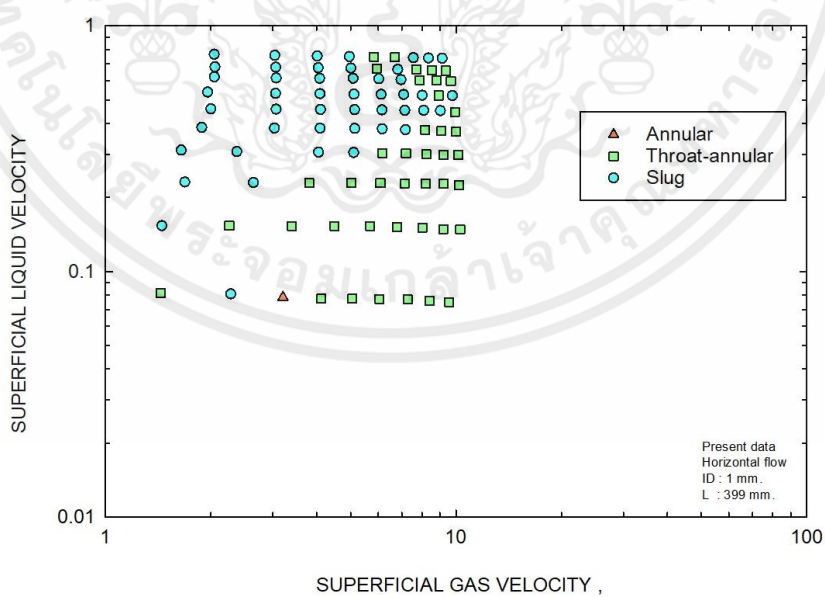
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่ 4



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 4

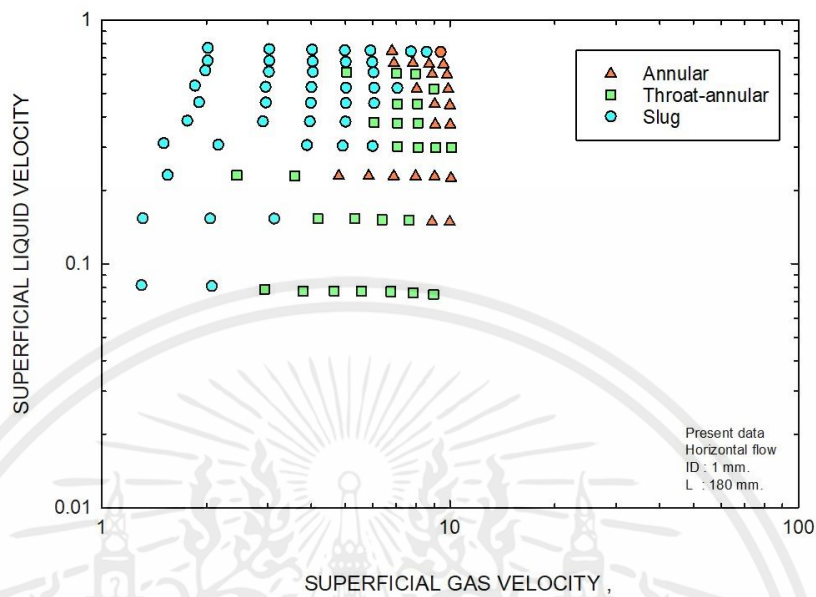
ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 5

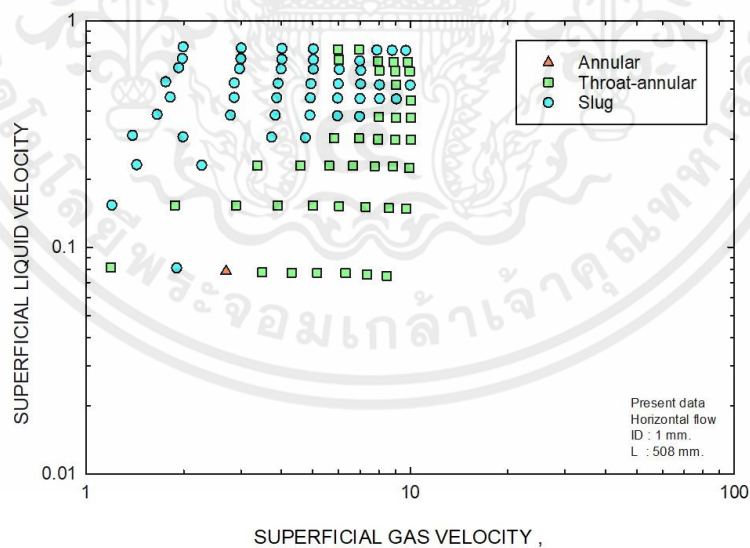
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่ 6



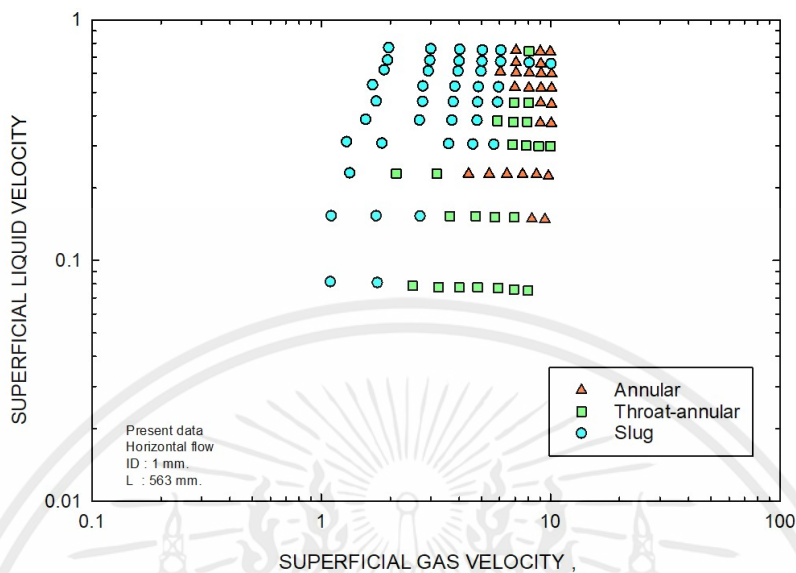
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 6

ตำแหน่งที่ 7



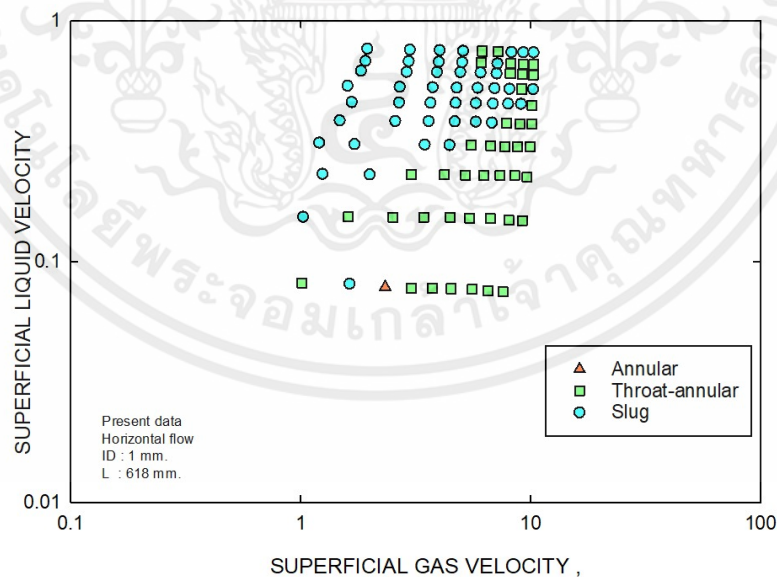
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 7

ตำแหน่งที่ 8



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 8

ตำแหน่งที่ 9

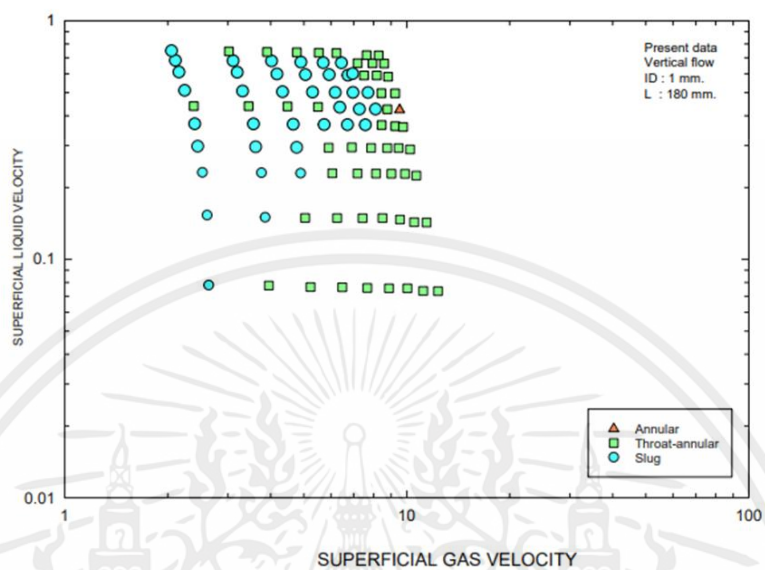


รูปที่ 4.37 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

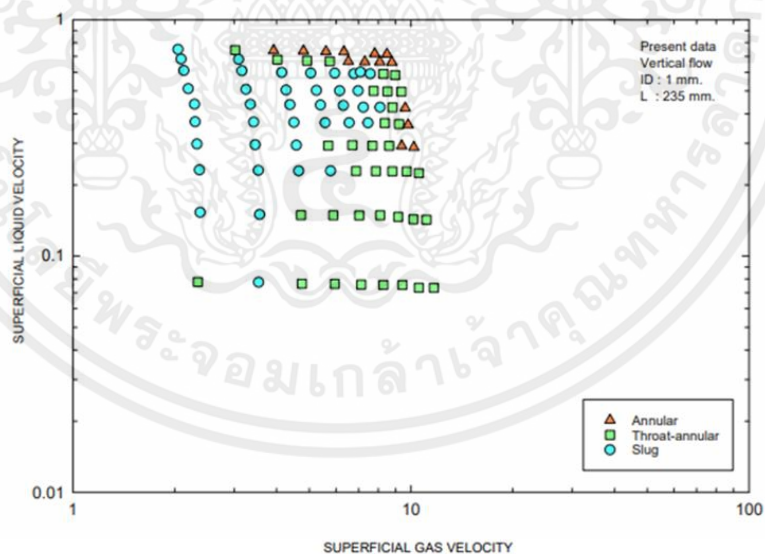
รูปแบบการไหลในแนวตั้ง

ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 1

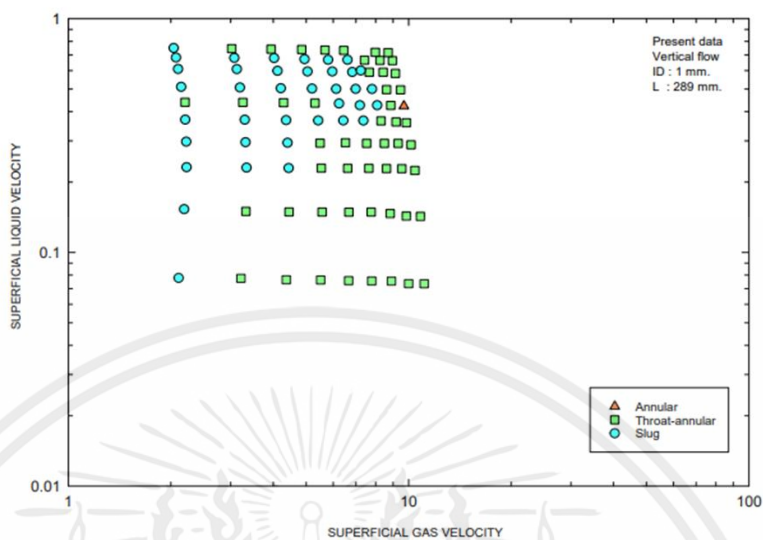
ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 2

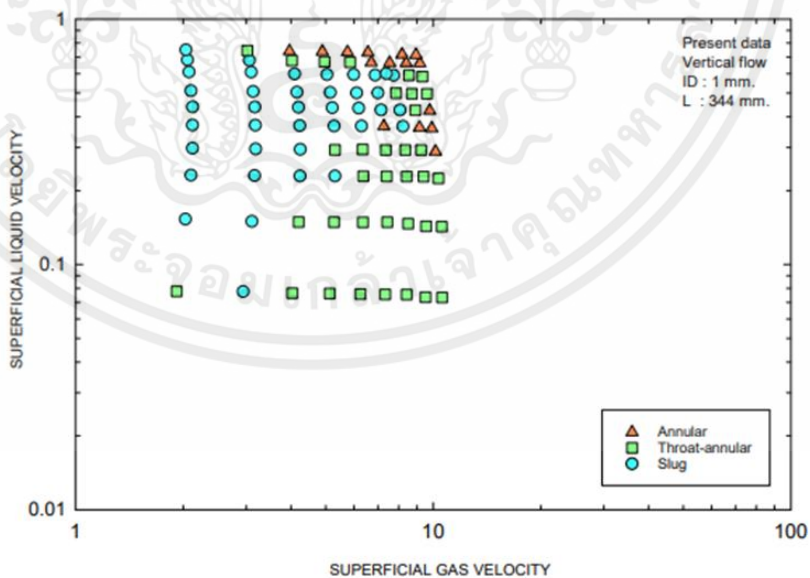
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 3

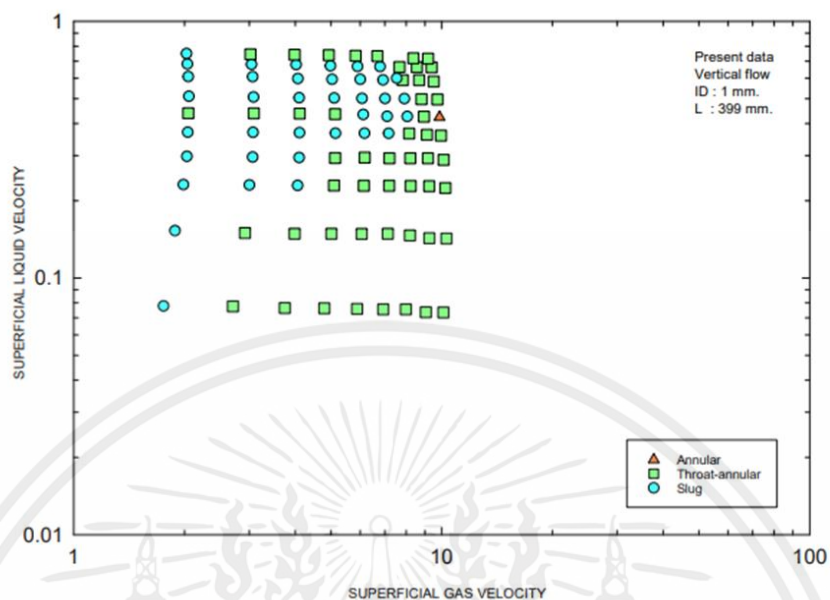
ตำแหน่งที่ 4



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 4

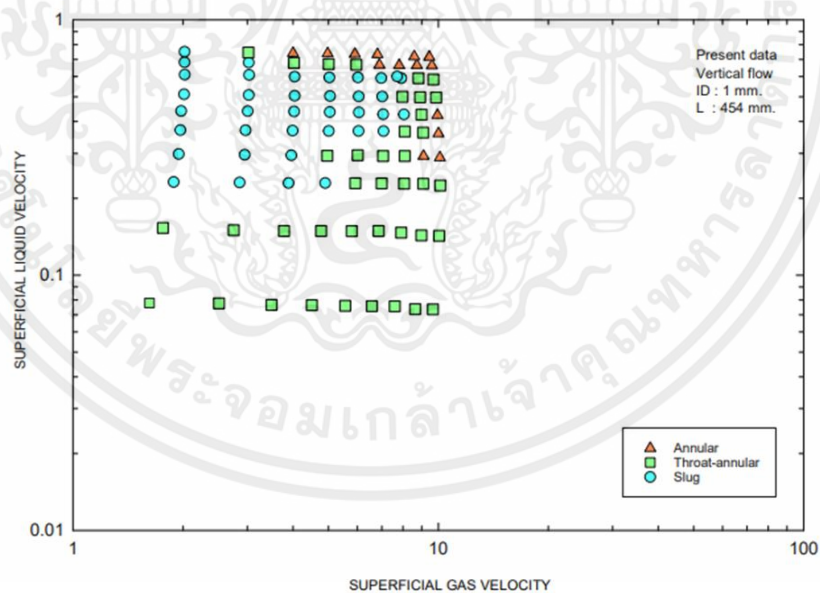
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่ 5



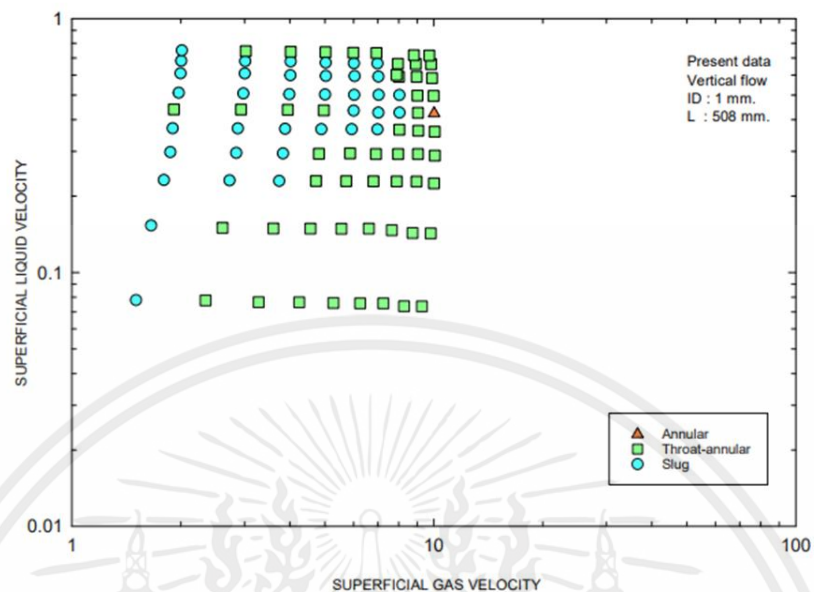
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 5

ตำแหน่งที่ 6



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 6

ตำแหน่งที่ 7



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 7

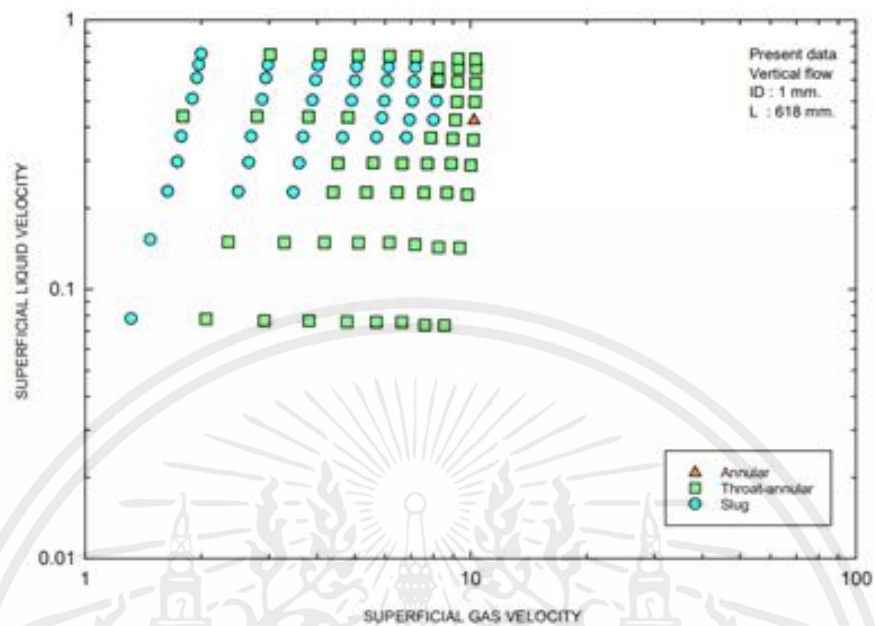
ตำแหน่งที่ 8



รูปที่ 4.45 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 8

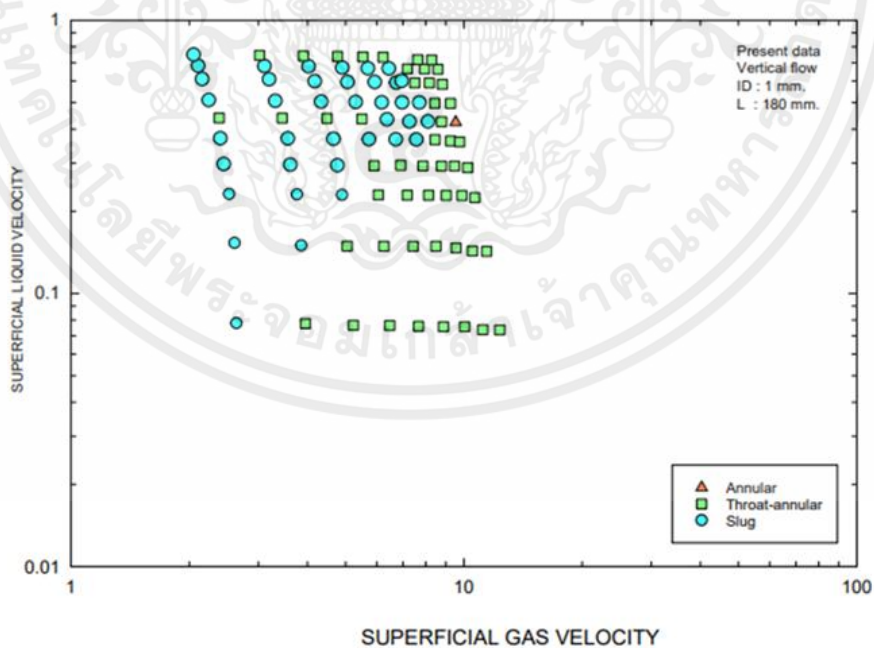
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่ 9



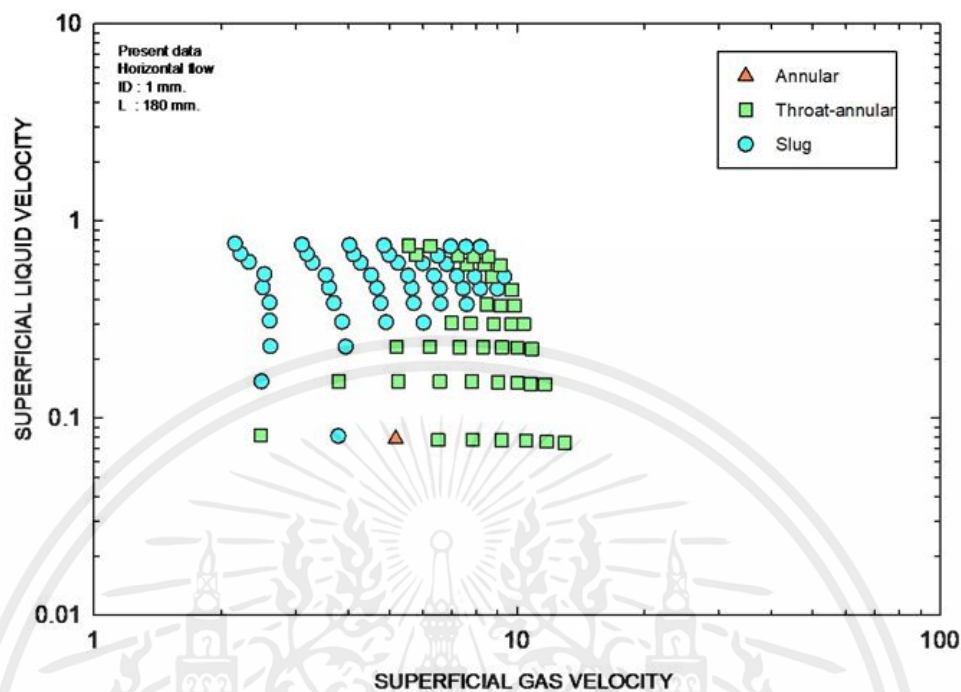
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงแผนที่รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 9

กราฟแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลทั้งสองทิศทาง



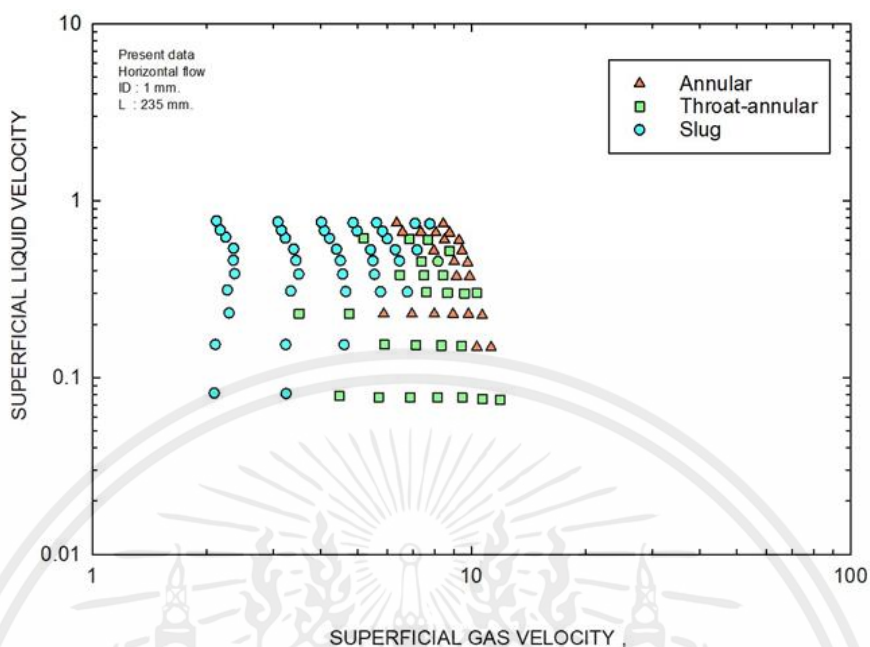
รูปที่ 4.47 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.48 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 1

จากรูปที่ 4.47 และ 4.48 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันตกภายในท่อของการไหลระหว่างแนวนอนและแนวตั้งในตำแหน่งที่ 1 ที่ความยาว 180 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อความเร็วเฟส ของอากาศมากขึ้นค่าความดันก็จะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเร็วเฟสของอากาศมีผลต่อค่าความดันภายในท่อ และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสองทิศทางที่มีช่วงความเร็วเฟสของน้ำใกล้เคียงพบว่าค่าความดันตกภายในท่อของการไหลในแนวตั้งมีค่าสูงกว่าในแนวนอน



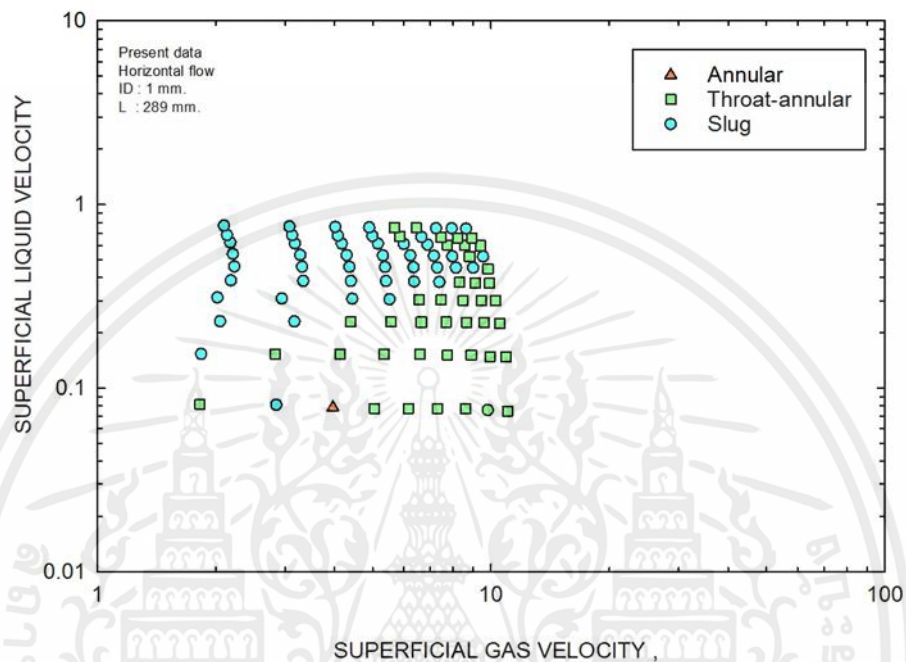
รูปที่ 4.49 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 2



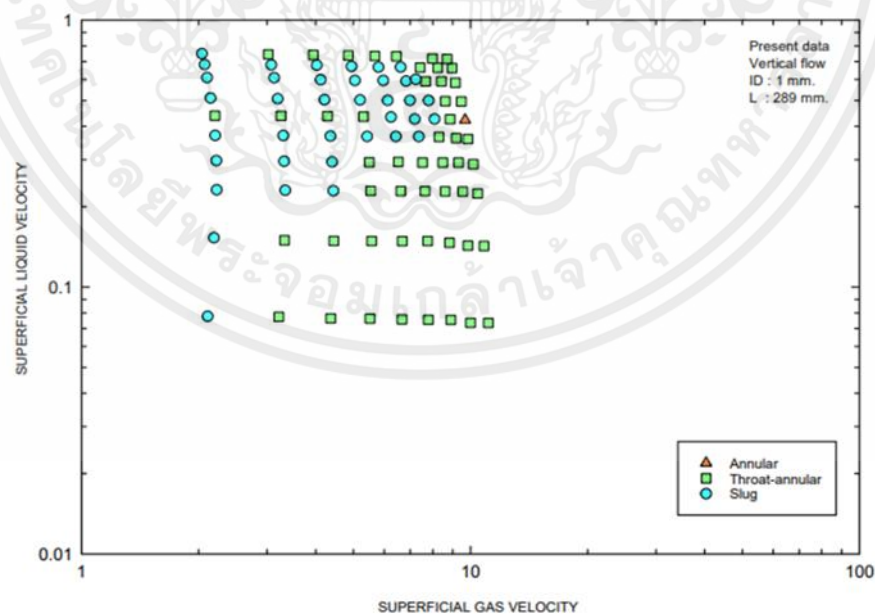
รูปที่ 4.50 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 2

จากรูปที่ 4.49 และ 4.50 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันลดภายในท่อของการไหลระหว่างแนวนอน และแนวตั้งในตำแหน่งที่ 2 ที่ความยาว 235 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อความเร็วเฟส ของอากาศมากขึ้นค่าความ

ต้นก็จะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเร็วเฟสของอากาศมีผลต่อค่าความดันภายในท่อ และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสองทิศทางที่มีช่วงความเร็วเฟสของน้ำใกล้เคียงพบว่าค่าความดันลดภายในท่อของการไหลในแนวตั้งมีค่าสูงกว่าในแนวนอน



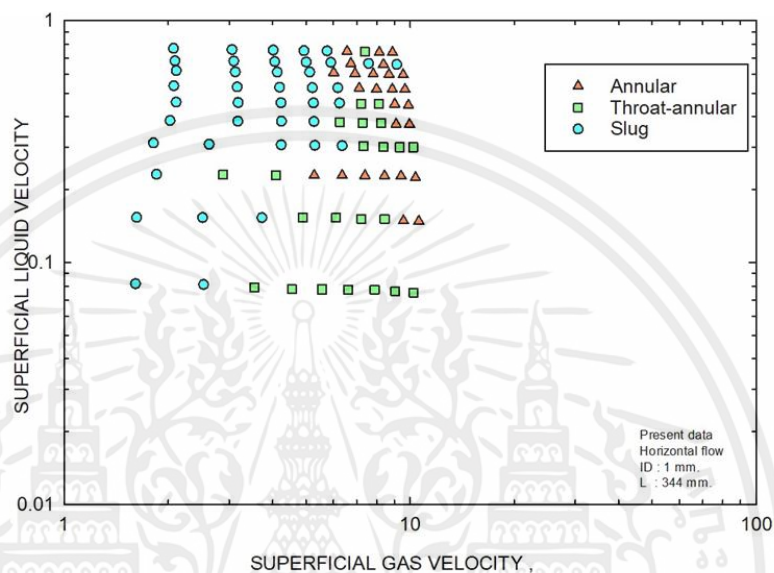
รูปที่ 4.51 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 3



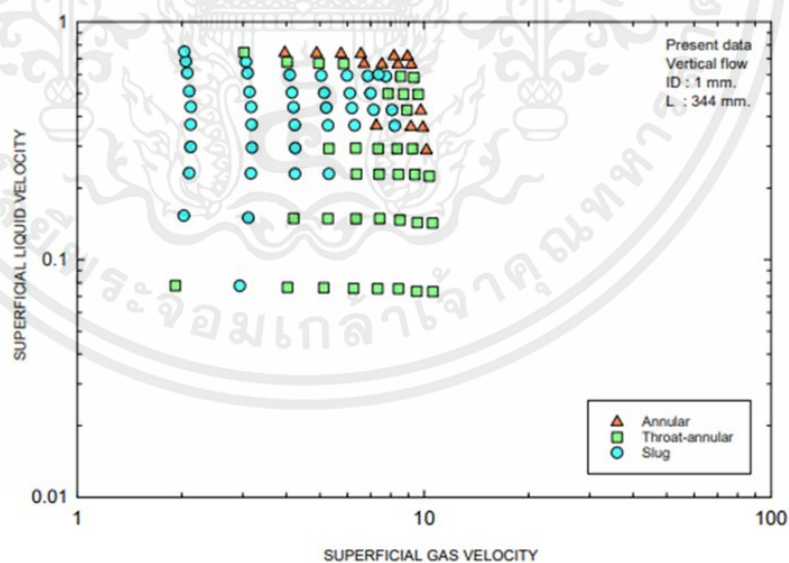
รูปที่ 4.52 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.51 และ 4.52 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันตกภายในท่อของการไหลระหว่างแนวนอนและแนวตั้งในตำแหน่งที่ 3 ที่ความยาว 289 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อความเร็วเฟส ของอากาศมากขึ้น ค่าความดันก็จะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเร็วเฟสของอากาศมีผลต่อค่าความดันภายในท่อ และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสองทิศทางที่มีช่วงความเร็วเฟสของน้ำใกล้เคียงพบว่าค่าความดันตกภายในท่อของการไหลในแนวตั้งมีค่าสูงกว่าในแนวนอน

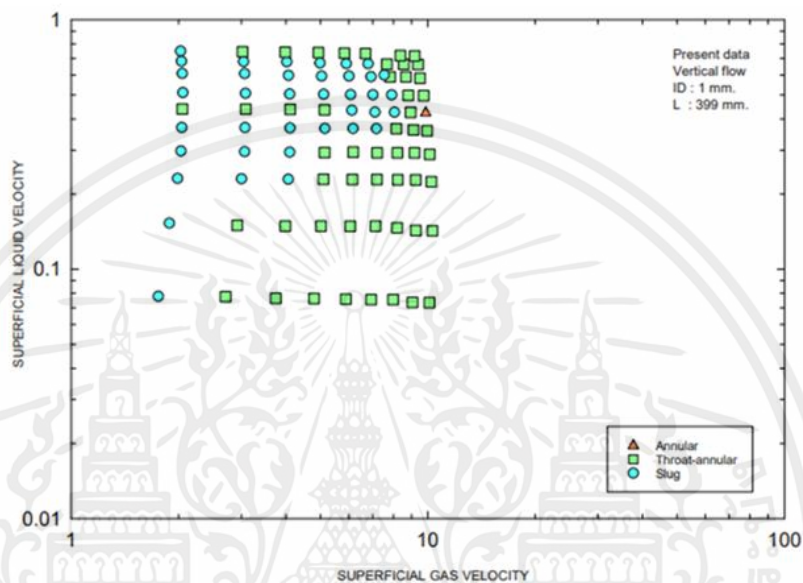


รูปที่ 4.53 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 4

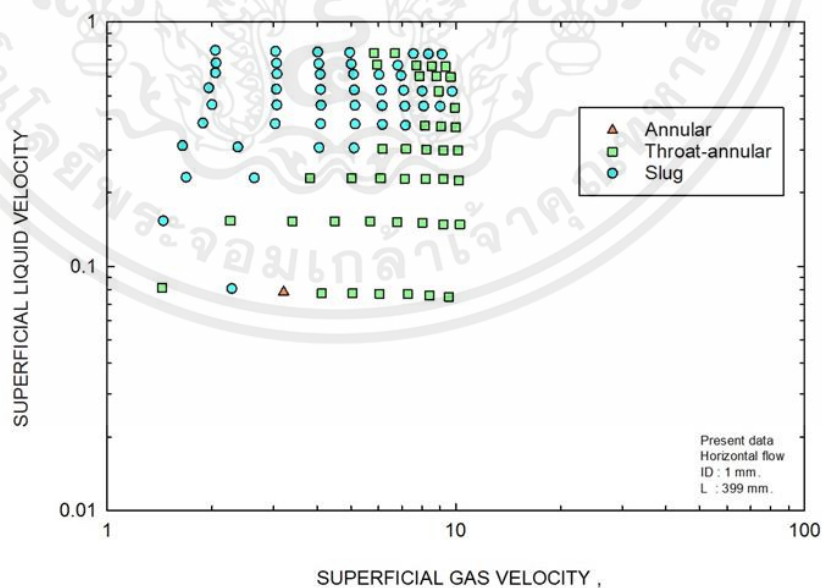


รูปที่ 4.54 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 4

จากรูปที่ 4.53 และ 4.54 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันตกภายในท่อของการไหลระหว่างแนวนอนและแนวตั้งในตำแหน่งที่ 4 ที่ความยาว 344 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อความเร็วเฟส ของอากาศมาก ขึ้นค่าความดันก็จะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเร็วเฟสของอากาศมีผลต่อค่าความดันภายในท่อ และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสองทิศทางที่มีช่วงความเร็วเฟสของน้ำใกล้เคียงพบว่าค่าความดันตกภายในท่อของการไหลในแนวตั้งมีค่าสูงกว่าในแนวนอน

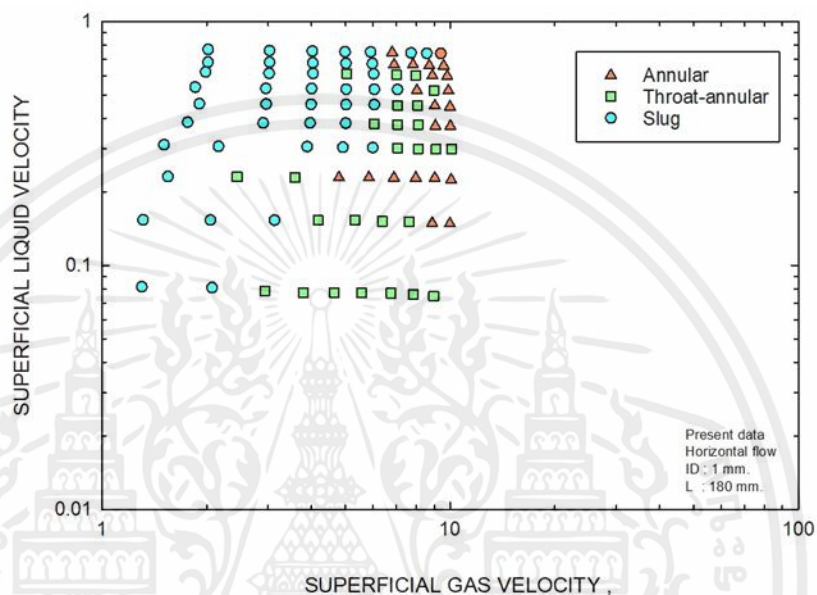


รูปที่ 4.55 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 5

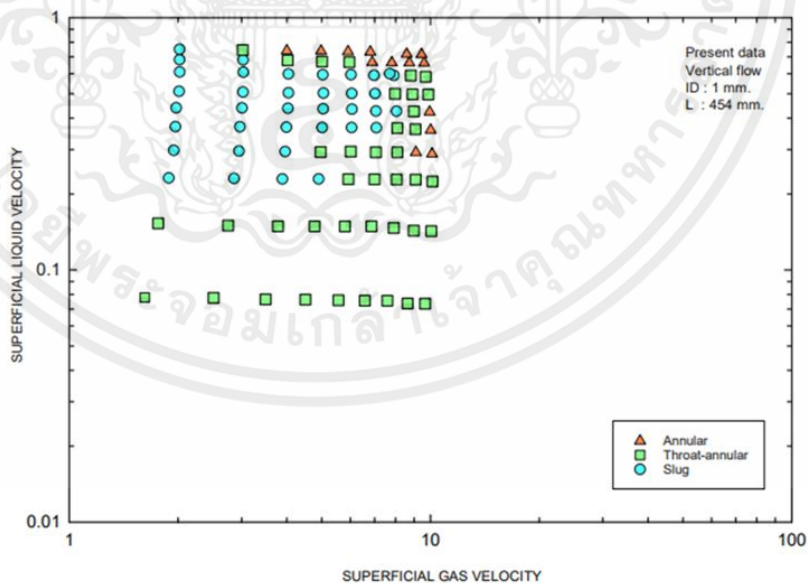


รูปที่ 4.56 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 5

จากรูปที่ 4.55 และ 4.56 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันตกภายในท่อของการไหลระหว่าง
 แนวนอนและแนวตั้งในตำแหน่งที่ 5 ที่ความยาว 399 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อความเร็วเฟส ของอากาศมาก
 ขึ้นค่าความดันก็จะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเร็วเฟสของอากาศมีผลต่อค่าความดันภายในท่อ
 และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสองทิศทางที่มีช่วงความเร็วเฟสของน้ำใกล้เคียงพบว่าค่าความดันตกภายในท่อ
 ของการไหลในแนวตั้งมีค่าสูงกว่าในแนวนอน

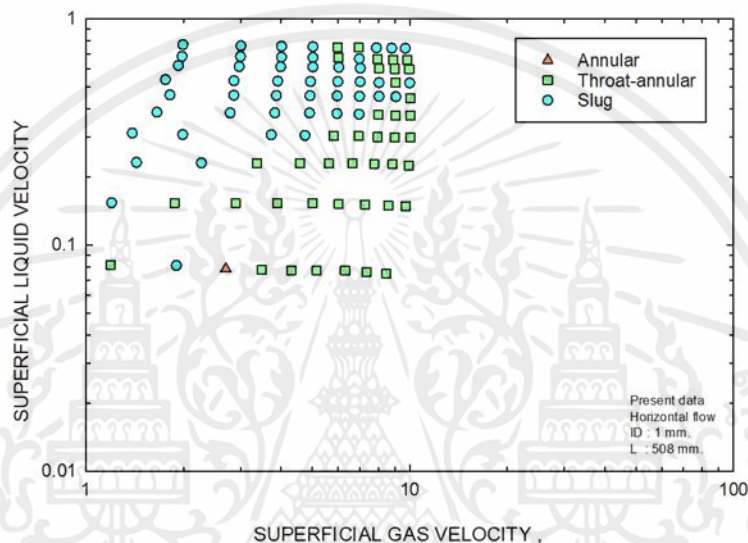


รูปที่ 4.57 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 6

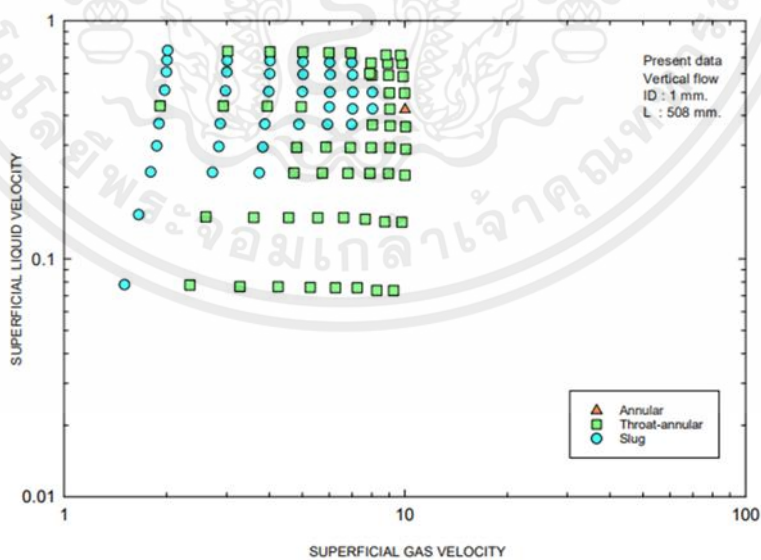


รูปที่ 4.58 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 6

จากรูปที่ 4.57 และ 4.58 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันตกภายในท่อของการไหลระหว่าง แนวนอนและแนวตั้งในตำแหน่งที่ 6 ที่ความยาว 454 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อความเร็วเฟส ของอากาศมาก ขึ้นค่าความดันก็จะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเร็วเฟสของอากาศมีผลต่อค่าความดันภายในท่อ และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสองทิศทางที่มีช่วงความเร็วเฟสของน้ำใกล้เคียงพบว่าค่าความดันตกภายในท่อ ของการไหลในแนวตั้งมีค่าสูงกว่าในแนวนอน

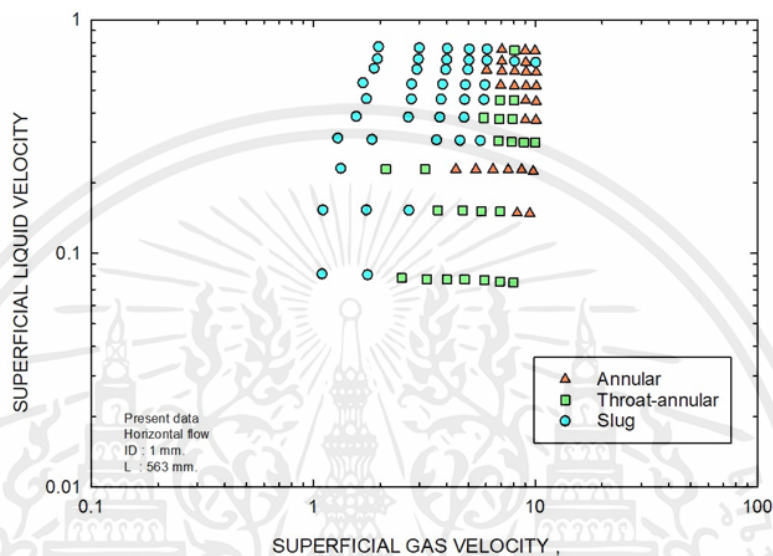


รูปที่ 4.59 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 7

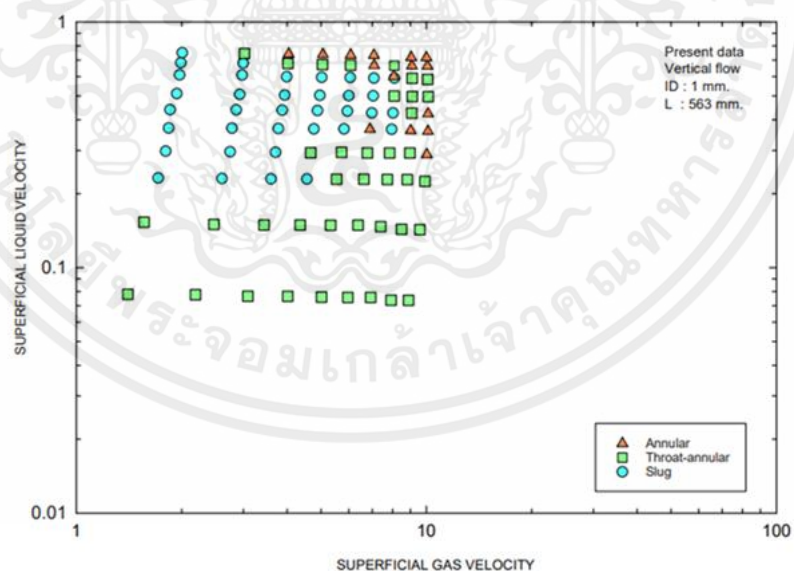


รูปที่ 4.60 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 7

จากรูปที่ 4.59 และ 4.60 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันตกภายในท่อของการไหลระหว่างแนวนอนและแนวตั้งในตำแหน่งที่ 7 ที่ความยาว 508 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อความเร็วเฟส ของอากาศมาก ขึ้นค่าความดันก็จะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเร็วเฟสของอากาศมีผลต่อค่าความดันภายในท่อ และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสองทิศทางที่มีช่วงความเร็วเฟสของน้ำใกล้เคียงพบว่าค่าความดันตกภายในท่อของการไหลในแนวตั้งมีค่าสูงกว่าในแนวนอน



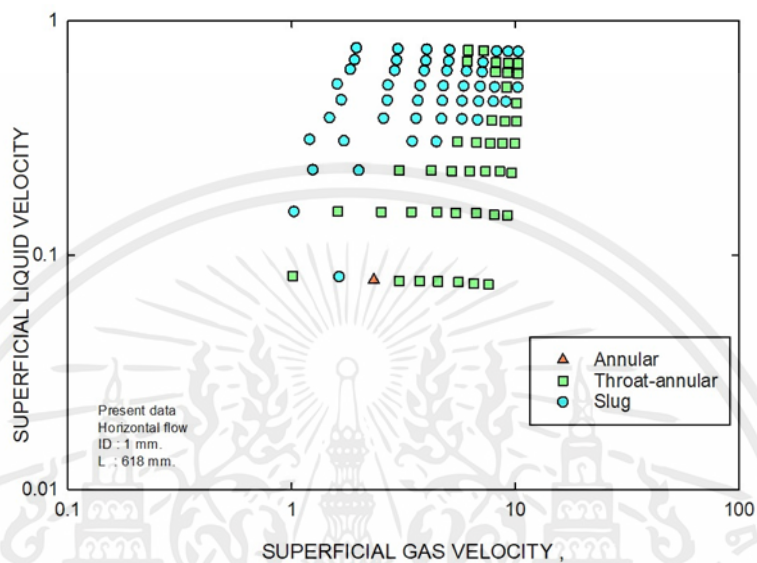
รูปที่ 4.61 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 8



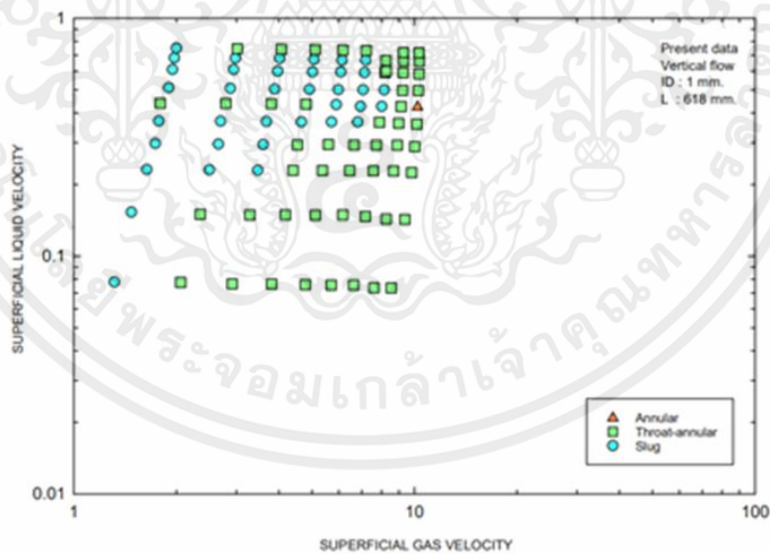
รูปที่ 4.62 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 8

จากรูปที่ 4.61 และ 4.62 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันตกภายในท่อของการไหลระหว่างแนวนอนและแนวตั้งในตำแหน่งที่ 8 ที่ความยาว 563 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อความเร็วเฟส ของอากาศมาก

ชั้นค่าความดันก็จะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเร็วเฟสของอากาศมีผลต่อค่าความดันภายในท่อ และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสองทิศทางที่มีช่วงความเร็วเฟสของน้ำใกล้เคียงพบว่ค่าความดันลดภายในท่อของการไหลในแนวตั้งมีค่าสูงกว่าในแนวนอน



รูปที่ 4.63 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวนอน ตำแหน่งที่ 9



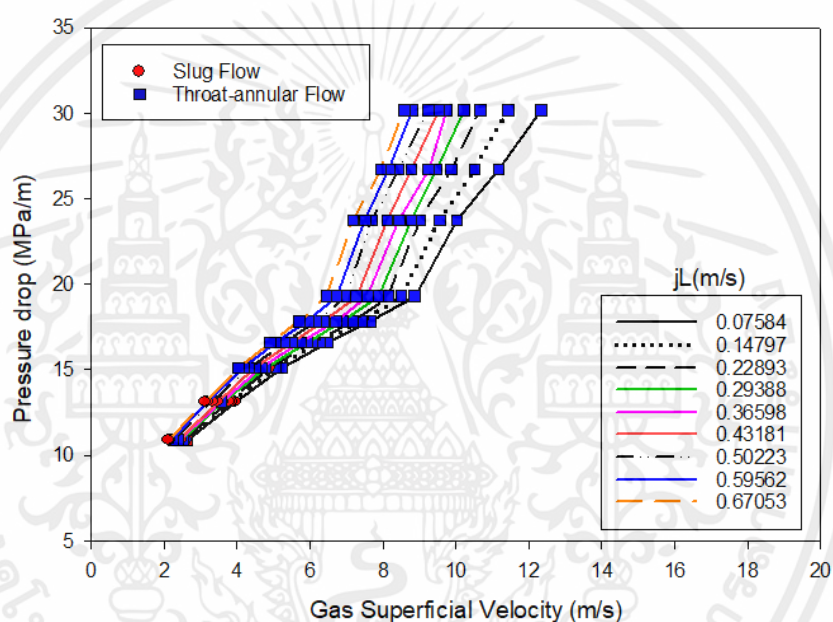
รูปที่ 4.64 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการไหลในแนวตั้ง ตำแหน่งที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.63 และ 4.64 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันตกภายในท่อของการไหลระหว่าง แนวนอนและแนวตั้งในตำแหน่งที่ 9 ที่ความยาว 618 มิลลิเมตร พบว่าเมื่อความเร็วเฟส ของอากาศมากขึ้น ค่าความดันก็จะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความเร็วเฟสของอากาศมีผลต่อค่าความดันภายในท่อ และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสองทิศทางที่มีช่วงความเร็วเฟสของน้ำใกล้เคียงพบว่าค่าความดันตกภายในท่อ ของการไหลในแนวตั้งมีค่าสูงกว่าในแนวนอน

4.1.5 ความดันตก (Pressure Drop)

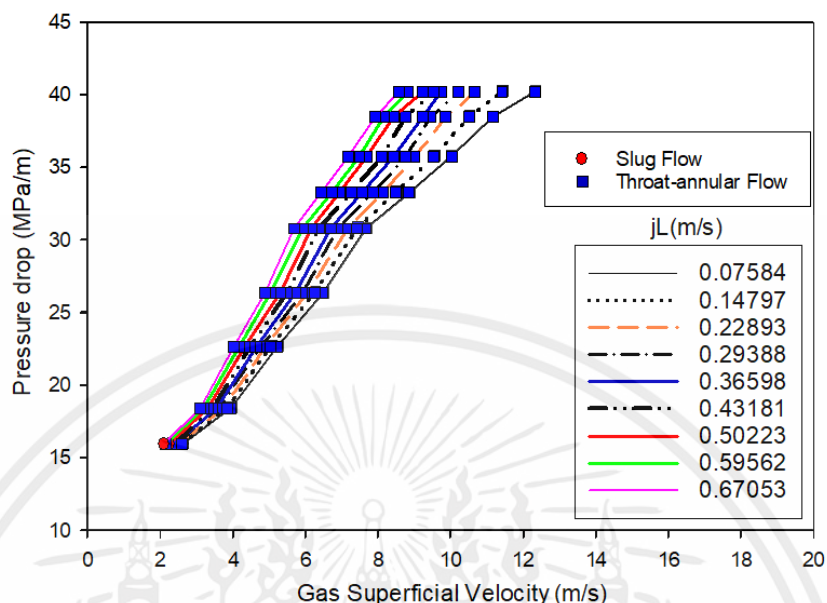
รูปแบบการไหลในแนวนอน ระหว่างค่าความดันตกและอัตราการไหลของอากาศ



รูปที่ 4.65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศและค่าความดันตกภายในท่อที่เกิดขึ้นในแนวนอน

จากราฟรูปที่ 4.65 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศและค่าความดันตกภายในท่อที่เกิดขึ้นในแนวนอน สังเกตได้ว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของของเหลวและแก๊สในปริมาณต่ำไม่ส่งผลต่อความดันตกและถ้าอัตราการไหลของอากาศและของเหลวมีค่าสูงขึ้นค่าความดันตกจะสูงขึ้นเช่นกัน จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของอากาศมีผลต่อความดันตก

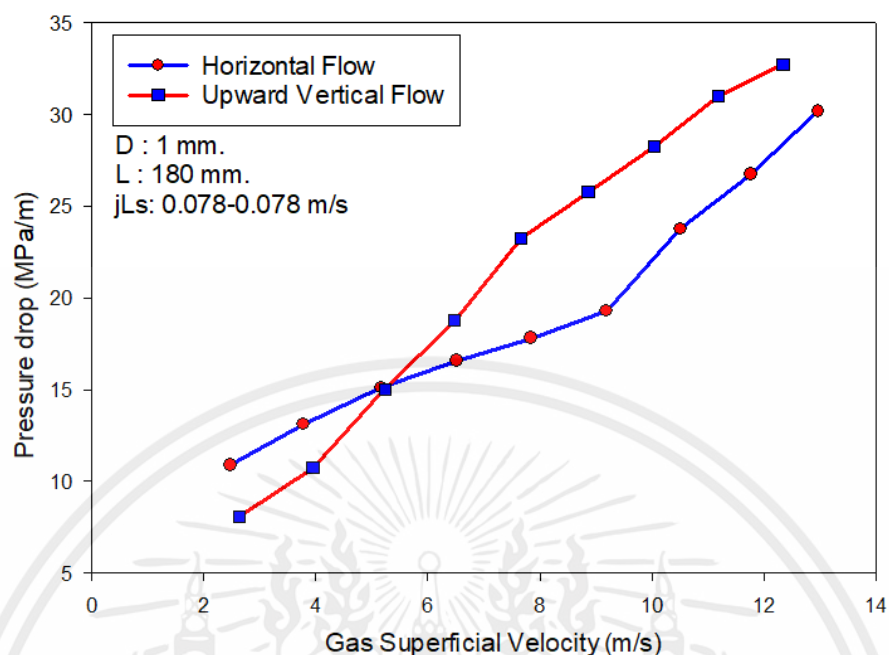
รูปแบบการไหลในแนวตั้ง ระหว่างค่าความดันลดและอัตราการไหลของอากาศ



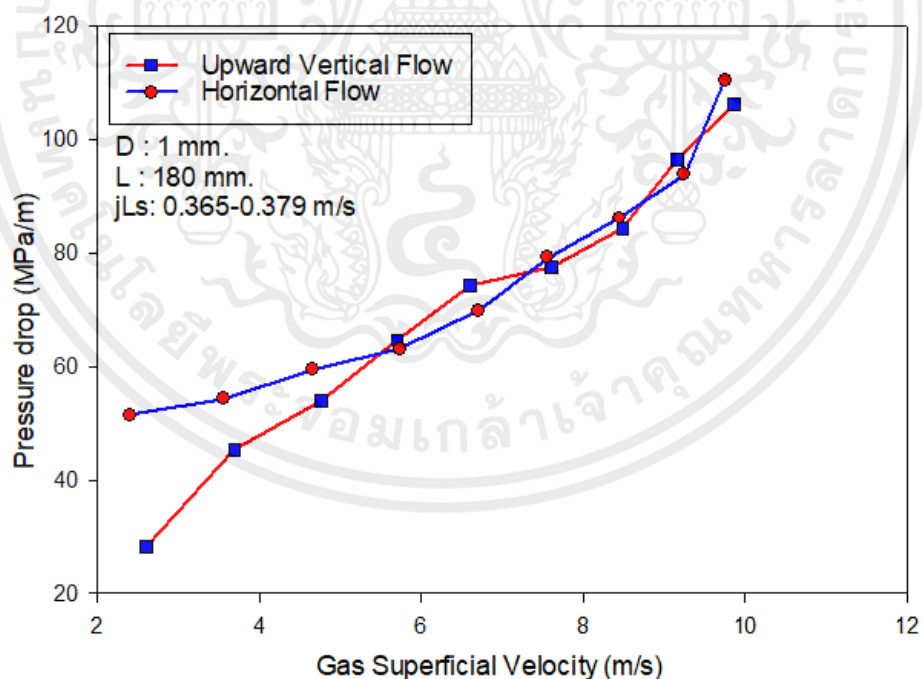
รูปที่ 4.66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศและค่าความดันลดภายในท่อที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง

จากกราฟรูปที่ 4.66 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศและค่าความดันลดภายในท่อที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง สังเกตได้ว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของของเหลวและแก๊สในปริมาณต่ำไม่ส่งผลต่อความดันลดและถ้าอัตราการไหลของอากาศและของเหลวมีค่าสูงขึ้นค่าความดันลดจะสูงขึ้นเช่นกัน จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลอากาศมีผลต่อความดันลด

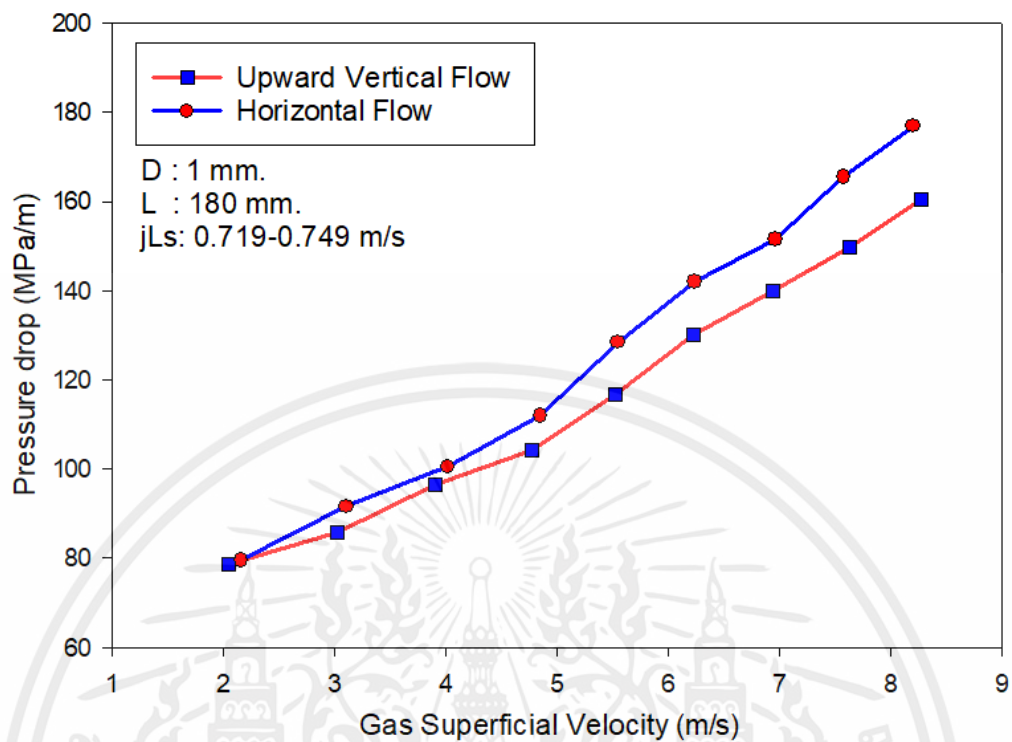
สรุปได้ว่าการศึกษาค่าความดันลดภายในท่อเซอร์เพนไทน์ ทั้งการไหลในแนวนอนและแนวตั้ง ที่ดูในกราฟรูปที่ 4.65 และ 4.66 จะสังเกตได้ว่าอัตราการไหลของอากาศมีผลต่อความดันลดทั้งแนวตั้งและแนวนอน



รูปที่ 4.67 กราฟเปรียบเทียบความดันตกกับความเร็วผิวเผินของแก๊สในทิศทางการไหลแนวตั้งและแนวนอน ในช่วงความเร็วผิวเผินของของเหลวในช่วง 0.078-0.078 m/s



รูปที่ 4.68 กราฟเปรียบเทียบความดันตกกับความเร็วผิวเผินของแก๊สในทิศทางการไหลแนวตั้งและแนวนอน ในช่วงความเร็วผิวเผินของของเหลวในช่วง 0.365-0.379 m/s



รูปที่ 4.69 กราฟเปรียบเทียบความดันตกกับความเร็วผิวเผินของแก๊สในทิศทางการไหลแนวตั้งและแนวนอน ในช่วงความเร็วผิวเผินของของเหลวในช่วง 0.719-0.749 m/s

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยเป็นการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับลักษณะรูปแบบการไหล และความดันลดในช่องทางการไหลสำหรับการไหลแบบสองสถานะคือน้ำและอากาศ ภายใต้สภาวะที่ไม่มีการมีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องในท่อเซอร์เพนไทน์ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร โดยมีการปรับทิศทางการไหลทั้งแนวนอนและแนวตั้ง ซึ่งมีผลสรุปได้ดังนี้

- 1.ในการทดลองนี้พบรูปแบบการไหลการไหลทั้งหมด 3 รูปแบบการไหล ได้แก่ Slug flow, Throat-annular flow และ Annular flow การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลจะขึ้นอยู่กับความเร็วเฟสของน้ำและอากาศ
- 2.พบรูปแบบการไหลแบบ Throat-annular flow เป็นรูปแบบการไหลที่พบมากที่สุดในทิศทางการไหลแนวนอนและแนวตั้ง
- 3.การเปลี่ยนทิศทางการวางท่อเซอร์เพนไทน์ไม่มีผลต่อการเกิดลักษณะรูปแบบการไหล

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ

1. ควรเพิ่มขนาดของปั๊มลดเพื่อเก็บลมให้มากขึ้น เนื่องจากปั๊มลมมีขนาดเล็กทำให้เก็บลมไม่ได้มากเกิดการปั๊มลมเป็นระยะ จึงต้องมารับค่าโรตารีเมตรใหม่ตลอดในช่วงที่เก็บผลและบันทึกภาพ ทำให้การเก็บผลไม่ต่อเนื่อง
2. ควรเปลี่ยนโรตารีเมตรให้เป็นแบบดิจิตอลหรือป้อนค่าที่เราต้องการเป็นปุ่มกด

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(3), 748-760.
- [2] 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.
- [3] Malhotra, S., Deshpande, A., & Ghosh, S. (2017). " Air–water flow through a single serpentine mini channel–flow distribution and pressure drop. " **International Journal of Multiphase Flow**, 96, 48-55.
- [4] Zhu, Guangyu, Xingtuan Yang, Shengyao Jiang, and Hongye Zhu. "Intermittent gas-liquid two-phase flow in helically coiled tubes." **International Journal of Multiphase Flow** 116 (2019): 113-124.
- [5] Moradi, H., Bagheri, A., Shafaei, M., & Khorasani, S. (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, 113621.
- [6] Ferraris, D. L., & Marcel, C. P. (2020). "Two-phase flow frictional pressure drop prediction in helical coiled tubes. " **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 162, 120372.
- [7] Zhu, H., Li, Z., Yang, X., Zhu, G., Tu, J., & Jiang, S. (2017). " Flow regime identification for upward two-phase flow in helically coiled tubes. " **Chemical Engineering Journal**, 308, 606-618.
- [8] Saffari, H., Moosavi, R., Nouri, N. M., & Lin, C. X. (2014). "Prediction of hydrodynamic entrance length for single and two-phase flow in helical coils. " **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, 86, 9-21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางก.1 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.478081355	0.081779199	10.89108911	Throat-annular flow
150	3.780655926	0.081161917	13.11881188	Slug flow
200	5.168444259	0.078711947	15.0990099	Annular flow
250	6.509627262	0.077594454	16.58415842	Throat-annular flow
300	7.845848206	0.077509311	17.82178218	Throat-annular flow
350	9.187206373	0.077379469	19.30693069	Throat-annular flow
400	10.50642229	0.077075086	23.76237624	Throat-annular flow
450	11.76486231	0.076012935	26.73267327	Throat-annular flow
500	12.96254754	0.075095527	30.1980198	Throat-annular flow

ตารางก.2 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.488043561	0.153660603	11.13861386	Slug flow
150	3.790672837	0.153528632	12.37623762	Throat-annular flow
200	5.238067081	0.153317905	18.31683168	Throat-annular flow
250	6.571191909	0.153294491	22.77227723	Throat-annular flow
300	7.812178461	0.153260434	28.71287129	Throat-annular flow
350	9.020371521	0.151702329	32.42574257	Throat-annular flow
400	10.01587705	0.151202118	40.84158416	Throat-annular flow
450	10.78283789	0.148979904	52.22772277	Throat-annular flow
500	11.64957174	0.148445636	59.40594059	Throat-annular flow

ตารางก.3 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.611847787	0.231423213	17.82178218	Slug flow
150	3.937362944	0.230507933	21.03960396	Slug flow
200	5.185887865	0.229513896	29.95049505	Throat-annular flow
250	6.221959601	0.229481968	42.32673267	Throat-annular flow
300	7.317817151	0.229120113	47.27722772	Throat-annular flow
350	8.306255039	0.228973242	53.46534653	Throat-annular flow
400	9.217423062	0.228519859	60.89108911	Throat-annular flow
450	10.0422258	0.228266561	69.30693069	Throat-annular flow
500	10.83939539	0.224569256	77.22772277	Throat-annular flow

ตารางก.4 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.602423566	0.312095561	16.33663366	Slug flow
150	3.860711329	0.307738403	14.35643564	Slug flow
200	4.905489126	0.306471911	46.28712871	Slug flow
250	6.011915081	0.304945735	51.23762376	Slug flow
300	7.000969159	0.304219896	58.91089109	Throat-annular flow
350	7.762345382	0.303100275	72.27722772	Throat-annular flow
400	8.795588323	0.300233107	74.5049505	Throat-annular flow
450	9.710054654	0.299441284	79.7029703	Throat-annular flow
500	10.385735	0.299632854	90.59405941	Throat-annular flow

ตารางก.5 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.600672789	0.38593311	28.21782178	Slug flow
150	3.692081379	0.383695995	45.2970297	Slug flow
200	4.758178968	0.383551253	53.96039604	Slug flow
250	5.700218984	0.382704087	64.6039604	Slug flow
300	6.597276567	0.380882042	74.25742574	Slug flow
350	7.608128094	0.377895675	77.47524752	Slug flow
400	8.487652358	0.377670048	84.15841584	Throat-annular flow
450	9.15666577	0.373102162	96.53465347	Throat-annular flow
500	9.862307659	0.372401867	106.1881188	Throat-annular flow

ตารางก.6 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.505455714	0.460026086	40.59405941	Slug flow
150	3.593687596	0.458408382	52.22772277	Slug flow
200	4.665692613	0.457290889	58.66336634	Slug flow
250	5.638462428	0.456435208	67.32673267	Slug flow
300	6.569012319	0.455671056	75.24752475	Slug flow
350	7.455373575	0.453546755	82.92079208	Slug flow
400	8.185785698	0.453370085	94.8019802	Slug flow
450	8.991602257	0.452026965	102.2277228	Slug flow
500	9.720111526	0.44694184	111.1386139	Throat-annular flow

ตารางก.7 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.530537919	0.537697167	36.13861386	Slug flow
150	3.533294086	0.531709534	54.95049505	Slug flow
200	4.520820713	0.529991787	65.84158416	Slug flow
250	5.525128822	0.527624831	72.02970297	Slug flow
300	6.359475831	0.526975621	84.15841584	Slug flow
350	7.219431367	0.525828328	92.32673267	Slug flow
400	7.938804763	0.521745754	104.2079208	Slug flow
450	8.714841626	0.521007144	112.1287129	Throat-annular flow
500	9.341693163	0.520532476	124.5049505	Slug flow

ตารางก.8 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.324844687	0.620419317	58.66336634	Slug flow
150	3.28754374	0.613650503	74.5049505	Slug flow
200	4.274438914	0.612245655	81.93069307	Slug flow
250	5.229793225	0.612137098	88.36633663	Slug flow
300	5.984249326	0.609514715	102.970297	Slug flow
350	6.822778711	0.604231634	110.3960396	Slug flow
400	7.622372414	0.602690558	117.5742574	Throat-annular flow
450	8.388585646	0.600108617	125.2475248	Throat-annular flow
500	9.143955635	0.597105221	132.1782178	Throat-annular flow

ตารางก.9 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.219345571	0.681570666	71.78217822	Slug flow
150	3.188397257	0.680099827	83.66336634	Slug flow
200	4.108377524	0.676302479	93.56435644	Slug flow
250	4.985862816	0.673584311	102.7227723	Slug flow
300	5.781708737	0.671387639	113.8613861	Throat-annular flow
350	6.49973974	0.665204178	126.4851485	Slug flow
400	7.23894306	0.665016865	135.8910891	Throat-annular flow
450	7.90444611	0.658788704	147.2772277	Throat-annular flow
500	8.565099337	0.65805648	157.6732673	Throat-annular flow

ตารางก.10 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.155453584	0.767401294	79.45544554	Slug flow
150	3.10329245	0.758556511	91.58415842	Slug flow
200	4.017753866	0.754860831	100.4950495	Slug flow
250	4.847576196	0.750547119	111.8811881	Slug flow
300	5.546093306	0.749088524	128.4653465	Throat-annular flow
350	6.239223056	0.746926153	142.0792079	Throat-annular flow
400	6.964175195	0.74253389	151.4851485	Slug flow
450	7.575792274	0.740017035	165.5940594	Slug flow
500	8.20221055	0.739125291	176.980198	Slug flow

ตารางก.11 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.097378067	0.081664257	10.89108911	Slug flow
150	3.243288131	0.081046975	13.11881188	Slug flow
200	4.481737526	0.078597005	15.0990099	Throat-annular flow
250	5.68664924	0.077479512	16.58415842	Throat-annular flow
300	6.89367147	0.077394369	17.82178218	Throat-annular flow
350	8.125015225	0.077264527	19.30693069	Throat-annular flow
400	9.452911313	0.076960143	23.76237624	Throat-annular flow
450	10.68986877	0.075897993	26.73267327	Throat-annular flow
500	11.89841969	0.074980584	30.1980198	Throat-annular flow

ตารางก.12 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.109138168	0.153545661	11.13861386	Slug flow
150	3.23786426	0.15341369	12.37623762	Slug flow
200	4.612605536	0.153202963	18.31683168	Slug flow
250	5.891332889	0.153179549	22.77227723	Throat-annular flow
300	7.140825177	0.153145492	28.71287129	Throat-annular flow
350	8.328808696	0.151587387	32.42574257	Throat-annular flow
400	9.422625375	0.151087176	40.84158416	Throat-annular flow
450	10.3375745	0.148864962	52.22772277	Annular flow
500	11.2730287	0.148330693	59.40594059	Annular flow

ตารางก.13 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.294872409	0.23130827	17.82178218	Slug flow
150	3.506876157	0.23039299	21.03960396	Throat-annular flow
200	4.756910864	0.229398954	29.95049505	Throat-annular flow
250	5.869964533	0.229367025	42.32673267	Annular flow
300	6.963293818	0.229005171	47.27722772	Annular flow
350	7.977016637	0.2288583	53.46534653	Annular flow
400	8.934978461	0.228404917	60.89108911	Annular flow
450	9.820618143	0.228151619	69.30693069	Annular flow
500	10.67439924	0.224454314	77.22772277	Annular flow

ตารางก.14 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.270693261	0.311980619	16.33663366	Slug flow
150	3.334705837	0.307623461	14.35643564	Slug flow
200	4.660273699	0.306356969	46.28712871	Slug flow
250	5.755477424	0.304830793	51.23762376	Slug flow
300	6.770673001	0.304104954	58.91089109	Slug flow
350	7.611936735	0.302985333	72.27722772	Throat-annular flow
400	8.642030359	0.300118165	74.5049505	Throat-annular flow
450	9.581060684	0.299326342	79.7029703	Throat-annular flow
500	10.32651651	0.299517912	90.59405941	Throat-annular flow

ตารางก.15 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.373734302	0.385818168	28.21782178	Slug flow
150	3.50168204	0.383581053	45.2970297	Slug flow
200	4.572664761	0.383436311	53.96039604	Slug flow
250	5.54818162	0.382589145	64.6039604	Slug flow
300	6.48071839	0.3807671	74.25742574	Throat-annular flow
350	7.49382233	0.377780733	77.47524752	Throat-annular flow
400	8.402705045	0.377555106	84.15841584	Throat-annular flow
450	9.137306173	0.37298722	96.53465347	Annular flow
500	9.892389238	0.372286924	106.1881188	Annular flow

ตารางก.16 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.35591771	0.459911144	40.59405941	Slug flow
150	3.445290901	0.458293439	52.22772277	Slug flow
200	4.510868643	0.457175946	58.66336634	Slug flow
250	5.503407935	0.456320266	67.32673267	Slug flow
300	6.458409194	0.455556114	75.24752475	Slug flow
350	7.374165408	0.453431813	82.92079208	Throat-annular flow
400	8.160201059	0.453255143	94.8019802	Throat-annular flow
450	9.000794863	0.451912023	102.2277228	Annular flow
500	9.772846515	0.446826897	111.1386139	Annular flow

ตารางก.17 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.357370568	0.537582225	36.13861386	Slug flow
150	3.400042146	0.531594592	54.95049505	Slug flow
200	4.405915763	0.529876845	65.84158416	Slug flow
250	5.416864023	0.527509889	72.02970297	Slug flow
300	6.295828032	0.526860679	84.15841584	Slug flow
350	7.186080205	0.525713386	92.32673267	Slug flow
400	7.95508859	0.521630812	104.2079208	Annular flow
450	8.766090032	0.520892202	112.1287129	Throat-annular flow
500	9.445200489	0.520417533	124.5049505	Annular flow

ตารางก.18 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.247698224	0.620304375	58.66336634	Annular flow
150	3.230148088	0.613535561	74.5049505	Annular flow
200	4.224795677	0.612130712	81.93069307	Annular flow
250	5.19245361	0.612022156	88.36633663	Throat-annular flow
300	5.992697527	0.609399773	102.970297	Annular flow
350	6.857436488	0.604116692	110.3960396	Throat-annular flow
400	7.685451626	0.602575616	117.5742574	Throat-annular flow
450	8.483928867	0.599993675	125.2475248	Annular flow
500	9.271114775	0.596990279	132.1782178	Annular flow

ตารางก.19 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.175370748	0.681455718	71.78217822	Slug flow
150	3.155366325	0.679984885	83.66336634	Slug flow
200	4.092498195	0.676187537	93.56435644	Slug flow
250	4.992256821	0.673469369	102.7227723	Slug flow
300	5.820227796	0.671272697	113.8613861	Slug flow
350	6.576670368	0.665089236	126.4851485	Annular flow
400	7.348832081	0.664901923	135.8910891	Annular flow
450	8.052693421	0.658673762	147.2772277	Annular flow
500	8.750454807	0.657941538	157.6732673	Annular flow

ตารางก.20 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.126410181	0.767286467	79.45544554	Slug flow
150	3.087528644	0.758441799	91.58415842	Slug flow
200	4.018142025	0.754746233	100.4950495	Slug flow
250	4.875533976	0.750432636	111.8811881	Slug flow
300	5.615823919	0.748974156	128.4653465	Slug flow
350	6.346422613	0.746811898	142.0792079	Annular flow
400	7.103199276	0.742419749	151.4851485	Slug flow
450	7.754839052	0.739903008	165.5940594	Slug flow
500	8.417376448	0.739011377	176.980198	Annular flow

ตารางก.21 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.822483728	0.081664257	10.89108911	Throat-annular flow
150	2.846108472	0.081046975	13.11881188	Slug flow
200	3.964562223	0.078597005	15.0990099	Annular-rivulet flow
250	5.058728847	0.077479512	16.58415842	Throat-annular flow
300	6.159716434	0.077394369	17.82178218	Throat-annular flow
350	7.296732332	0.077264527	19.30693069	Throat-annular flow
400	8.605682701	0.076960143	23.76237624	Throat-annular flow
450	9.809811861	0.075897993	26.73267327	Throat-annular flow
500	11.01093907	0.074980584	30.1980198	Throat-annular flow

ตารางก.22 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.834796497	0.153545661	11.13861386	Slug flow
150	2.832325227	0.15341369	12.37623762	Throat-annular flow
200	4.128586926	0.153202963	18.31683168	Throat-annular flow
250	5.348078145	0.153179549	22.77227723	Throat-annular flow
300	6.585203438	0.153145492	28.71287129	Throat-annular flow
350	7.74576313	0.151587387	32.42574257	Throat-annular flow
400	8.904775324	0.151087176	40.84158416	Throat-annular flow
450	9.934789182	0.148864962	52.22772277	Throat-annular flow
500	10.92628524	0.148330693	59.40594059	Throat-annular flow

ตารางก.23 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.050542059	0.23130827	17.82178218	Slug flow
150	3.166920262	0.23039299	21.03960396	Slug flow
200	4.399593204	0.229398954	29.95049505	Throat-annular flow
250	5.56107768	0.229367025	42.32673267	Throat-annular flow
300	6.64711864	0.229005171	47.27722772	Throat-annular flow
350	7.678205999	0.2288583	53.46534653	Throat-annular flow
400	8.674017746	0.228404917	60.89108911	Throat-annular flow
450	9.612353481	0.228151619	69.30693069	Throat-annular flow
500	10.51721801	0.224454314	77.22772277	Throat-annular flow

ตารางก.24 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.018121111	0.311980619	16.33663366	Slug flow
150	2.941258018	0.307623461	14.35643564	Slug flow
200	4.442251993	0.306356969	46.28712871	Slug flow
250	5.52413038	0.304830793	51.23762376	Slug flow
300	6.5588433	0.304104954	58.91089109	Throat-annular flow
350	7.469827762	0.302985333	72.27722772	Throat-annular flow
400	8.496392895	0.300118165	74.5049505	Throat-annular flow
450	9.457703484	0.299326342	79.7029703	Throat-annular flow
500	10.26902807	0.299517912	90.59405941	Throat-annular flow

ตารางก.25 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.186413579	0.385818168	28.21782178	Slug flow
150	3.332929111	0.383581053	45.2970297	Slug flow
200	4.404078372	0.383436311	53.96039604	Slug flow
250	5.406597706	0.382589145	64.6039604	Slug flow
300	6.370218097	0.3807671	74.25742574	Slug flow
350	7.384887868	0.377780733	77.47524752	Slug flow
400	8.320940402	0.377555106	84.15841584	Throat-annular flow
450	9.118378046	0.37298722	96.53465347	Throat-annular flow
500	9.922102948	0.372286924	106.1881188	Throat-annular flow

ตารางก.26 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.225503702	0.459911144	40.59405941	Slug flow
150	3.31105123	0.458293439	52.22772277	Slug flow
200	4.368540903	0.457175946	58.66336634	Slug flow
250	5.376958726	0.456320266	67.32673267	Slug flow
300	6.353381621	0.455556114	75.24752475	Slug flow
350	7.296136716	0.453431813	82.92079208	Slug flow
400	8.135236714	0.453255143	94.8019802	Slug flow
450	9.009838635	0.451912023	102.2277228	Slug flow
500	9.825182367	0.446826897	111.1386139	Throat-annular flow

ตารางก.27 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.208957675	0.537582225	36.13861386	Slug flow
150	3.278642104	0.531594592	54.95049505	Slug flow
200	4.29864434	0.529876845	65.84158416	Slug flow
250	5.314617639	0.527509889	72.02970297	Slug flow
300	6.234564888	0.526860679	84.15841584	Slug flow
350	7.153633862	0.525713386	92.32673267	Slug flow
400	7.97114147	0.521630812	104.2079208	Slug flow
450	8.816996457	0.520892202	112.1287129	Throat-annular flow
500	9.549081983	0.520417533	124.5049505	Slug flow

ตารางก.28 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.176778444	0.620304375	58.66336634	Slug flow
150	3.175712897	0.613535561	74.5049505	Slug flow
200	4.17716425	0.612130712	81.93069307	Slug flow
250	5.156308026	0.612022156	88.36633663	Slug flow
300	6.001015363	0.609399773	102.970297	Slug flow
350	6.8918084	0.604116692	110.3960396	Slug flow
400	7.74840799	0.602575616	117.5742574	Throat-annular flow
450	8.57967093	0.599993675	125.2475248	Throat-annular flow
500	9.399450332	0.596990279	132.1782178	Throat-annular flow

ตารางก.29 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.133858538	0.681455718	71.78217822	Slug flow
150	3.123595081	0.679984885	83.66336634	Slug flow
200	4.077026552	0.676187537	93.56435644	Slug flow
250	4.998550548	0.673469369	102.7227723	Slug flow
300	5.858549129	0.671272697	113.8613861	Throat-annular flow
350	6.653994818	0.665089236	126.4851485	Slug flow
400	7.460018077	0.664901923	135.8910891	Throat-annular flow
450	8.203756811	0.658673762	147.2772277	Throat-annular flow
500	8.940414621	0.657941538	157.6732673	Throat-annular flow

ตารางก.30 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.098646364	0.767286467	79.45544554	Slug flow
150	3.07220649	0.758441799	91.58415842	Slug flow
200	4.0185232	0.754746233	100.4950495	Slug flow
250	4.903298964	0.750432636	111.8811881	Slug flow
300	5.686013928	0.748974156	128.4653465	Throat-annular flow
350	6.455318435	0.746811898	142.0792079	Throat-annular flow
400	7.245203747	0.742419749	151.4851485	Slug flow
450	7.939059824	0.739903008	165.5940594	Slug flow
500	8.63990333	0.739011377	176.980198	Slug flow

ตารางก.31 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.607847574	0.081664257	10.89108911	Slug flow
150	2.530481853	0.081046975	13.11881188	Slug flow
200	3.547601525	0.078597005	15.0990099	Throat-annular flow
250	4.547315389	0.077479512	16.58415842	Throat-annular flow
300	5.557106206	0.077394369	17.82178218	Throat-annular flow
350	6.610376063	0.077264527	19.30693069	Throat-annular flow
400	7.885818256	0.076960143	23.76237624	Throat-annular flow
450	9.050887524	0.075897993	26.73267327	Throat-annular flow
500	10.23350607	0.074980584	30.1980198	Throat-annular flow

ตารางก.32 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.62015563	0.153545661	11.13861386	Slug flow
150	2.511887831	0.15341369	12.37623762	Slug flow
200	3.729941575	0.153202963	18.31683168	Slug flow
250	4.888910787	0.153179549	22.77227723	Throat-annular flow
300	6.101647344	0.153145492	28.71287129	Throat-annular flow
350	7.230247648	0.151587387	32.42574257	Throat-annular flow
400	8.432744901	0.151087176	40.84158416	Throat-annular flow
450	9.555578221	0.148864962	52.22772277	Annular flow
500	10.59438146	0.148330693	59.40594059	Annular flow

ตารางก.33 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.849935809	0.23130827	17.82178218	Slug flow
150	2.882333135	0.23039299	21.03960396	Throat-annular flow
200	4.086917413	0.229398954	29.95049505	Throat-annular flow
250	5.278187613	0.229367025	42.32673267	Annular flow
300	6.353298708	0.229005171	47.27722772	Annular flow
350	7.396028073	0.2288583	53.46534653	Annular flow
400	8.423441378	0.228404917	60.89108911	Annular flow
450	9.409120255	0.228151619	69.30693069	Annular flow
500	10.36181408	0.224454314	77.22772277	Annular flow

ตารางก.34 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.812752345	0.311980619	16.33663366	Slug flow
150	2.625723073	0.307623461	14.35643564	Slug flow
200	4.240208686	0.306356969	46.28712871	Slug flow
250	5.306865462	0.304830793	51.23762376	Slug flow
300	6.356295277	0.304104954	58.91089109	Slug flow
350	7.330439793	0.302985333	72.27722772	Throat-annular flow
400	8.353019119	0.300118165	74.5049505	Throat-annular flow
450	9.335284882	0.299326342	79.7029703	Throat-annular flow
500	10.21112929	0.299517912	90.59405941	Throat-annular flow

ตารางก.35 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.023753747	0.385818168	28.21782178	Slug flow
150	3.176988517	0.383581053	45.2970297	Slug flow
200	4.244685961	0.383436311	53.96039604	Slug flow
250	5.269631809	0.382589145	64.6039604	Slug flow
300	6.261478899	0.3807671	74.25742574	Throat-annular flow
350	7.277144186	0.377780733	77.47524752	Throat-annular flow
400	8.239281284	0.377555106	84.15841584	Throat-annular flow
450	9.099179841	0.37298722	96.53465347	Annular flow
500	9.952550966	0.372286924	106.1881188	Annular flow

ตารางก.36 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.106724398	0.459911144	40.59405941	Slug flow
150	3.184668385	0.458293439	52.22772277	Slug flow
200	4.232522529	0.457175946	58.66336634	Slug flow
250	5.25400441	0.456320266	67.32673267	Slug flow
300	6.249863299	0.455556114	75.24752475	Slug flow
350	7.2183424	0.453431813	82.92079208	Throat-annular flow
400	8.109966593	0.453255143	94.8019802	Throat-annular flow
450	9.019068586	0.451912023	102.2277228	Annular flow
500	9.879066769	0.446826897	111.1386139	Annular flow

ตารางก.37 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.075848394	0.537582225	36.13861386	Slug flow
150	3.163592787	0.531594592	54.95049505	Slug flow
200	4.194625975	0.529876845	65.84158416	Slug flow
250	5.21437076	0.527509889	72.02970297	Slug flow
300	6.17338081	0.526860679	84.15841584	Slug flow
350	7.120886473	0.525713386	92.32673267	Annular flow
400	7.987558361	0.521630812	104.2079208	Annular flow
450	8.869456983	0.520892202	112.1287129	Annular flow
500	9.657262731	0.520417533	124.5049505	Annular flow

ตารางก.38 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.109002527	0.620304375	58.66336634	Slug flow
150	3.122123808	0.613535561	74.5049505	Slug flow
200	4.129742262	0.612130712	81.93069307	Slug flow
250	5.120006734	0.612022156	88.36633663	Slug flow
300	6.009511003	0.609399773	102.970297	Annular flow
350	6.927172845	0.604116692	110.3960396	Annular flow
400	7.813599392	0.602575616	117.5742574	Annular flow
450	8.679433138	0.599993675	125.2475248	Annular flow
500	9.533866979	0.596990279	132.1782178	Annular flow

ตารางก.39 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.093175153	0.681455718	71.78217822	Slug flow
150	3.091886494	0.679984885	83.66336634	Slug flow
200	4.061388186	0.676187537	93.56435644	Slug flow
250	5.004977158	0.673469369	102.7227723	Slug flow
300	5.89810235	0.671272697	113.8613861	Slug flow
350	6.734642943	0.665089236	126.4851485	Annular flow
400	7.576775669	0.664901923	135.8910891	Slug flow
450	8.363557272	0.658673762	147.2772277	Annular flow
500	9.142561922	0.657941538	157.6732673	Slug flow

ตารางก.40 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.071103891	0.767286467	79.45544554	Slug flow
150	3.056756131	0.758441799	91.58415842	Slug flow
200	4.018911509	0.754746233	100.4950495	Slug flow
250	4.931905083	0.750432636	111.8811881	Slug flow
300	5.759330602	0.748974156	128.4653465	Slug flow
350	6.570140624	0.746811898	142.0792079	Annular flow
400	7.395795731	0.742419749	151.4851485	Throat-annular flow
450	8.135912353	0.739903008	165.5940594	Annular flow
500	8.878980306	0.739011377	176.980198	Annular flow

ตารางก.41 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.438440646	0.081664257	10.89108911	Slug flow
150	2.277871369	0.081046975	13.11881188	Slug flow
200	3.209999637	0.078597005	15.0990099	Throat-annular flow
250	4.129811102	0.077479512	16.58415842	Throat-annular flow
300	5.061896612	0.077394369	17.82178218	Throat-annular flow
350	6.042040513	0.077264527	19.30693069	Throat-annular flow
400	7.277090415	0.076960143	23.76237624	Throat-annular flow
450	8.400957515	0.075897993	26.73267327	Throat-annular flow
500	9.558615138	0.074980584	30.1980198	Throat-annular flow

ตารางก.42 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.450474129	0.153545661	11.13861386	Slug flow
150	2.256587039	0.15341369	12.37623762	Slug flow
200	3.401501642	0.153202963	18.31683168	Slug flow
250	4.502354329	0.153179549	22.77227723	Throat-annular flow
300	5.684248967	0.153145492	28.71287129	Throat-annular flow
350	6.779069958	0.151587387	32.42574257	Throat-annular flow
400	8.008238704	0.151087176	40.84158416	Throat-annular flow
450	9.204251872	0.148864962	52.22772277	Annular flow
500	10.28204746	0.148330693	59.40594059	Annular flow

ตารางก.43 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.685082749	0.23130827	17.82178218	Slug flow
150	2.644676131	0.23039299	21.03960396	Throat-annular flow
200	3.81573592	0.229398954	29.95049505	Throat-annular flow
250	5.022685373	0.229367025	42.32673267	Annular flow
300	6.084354418	0.229005171	47.27722772	Annular flow
350	7.133855308	0.2288583	53.46534653	Annular flow
400	8.186935905	0.228404917	60.89108911	Annular flow
450	9.214302979	0.228151619	69.30693069	Annular flow
500	10.21093583	0.224454314	77.22772277	Annular flow

ตารางก.44 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.645320634	0.311980619	16.33663366	Slug flow
150	2.371329443	0.307623461	14.35643564	Slug flow
200	4.055744578	0.306356969	46.28712871	Slug flow
250	5.10604395	0.304830793	51.23762376	Slug flow
300	6.165882539	0.304104954	58.91089109	Slug flow
350	7.196158527	0.302985333	72.27722772	Throat-annular flow
400	8.214403813	0.300118165	74.5049505	Throat-annular flow
450	9.215994907	0.299326342	79.7029703	Throat-annular flow
500	10.15387975	0.299517912	90.59405941	Throat-annular flow

ตารางก.45 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.883620433	0.385818168	28.21782178	Slug flow
150	3.03498795	0.383581053	45.2970297	Slug flow
200	4.096428031	0.383436311	53.96039604	Slug flow
250	5.139433997	0.382589145	64.6039604	Slug flow
300	6.156389736	0.3807671	74.25742574	Throat-annular flow
350	7.172499203	0.377780733	77.47524752	Throat-annular flow
400	8.159209344	0.377555106	84.15841584	Throat-annular flow
450	9.080062308	0.37298722	96.53465347	Annular flow
500	9.983186431	0.372286924	106.1881188	Annular flow

ตารางก.46 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.999981629	0.459911144	40.59405941	Slug flow
150	3.067578882	0.458293439	52.22772277	Slug flow
200	4.104718498	0.457175946	58.66336634	Slug flow
250	5.136547551	0.456320266	67.32673267	Slug flow
300	6.14966423	0.455556114	75.24752475	Slug flow
350	7.142189531	0.453431813	82.92079208	Throat-annular flow
400	8.084852977	0.453255143	94.8019802	Throat-annular flow
450	9.028317466	0.451912023	102.2277228	Annular flow
500	9.933545469	0.446826897	111.1386139	Annular flow

ตารางก.47 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.957869408	0.537582225	36.13861386	Slug flow
150	3.05634403	0.531594592	54.95049505	Slug flow
200	4.095522736	0.529876845	65.84158416	Slug flow
250	5.117835677	0.527509889	72.02970297	Slug flow
300	6.113385944	0.526860679	84.15841584	Slug flow
350	7.088437534	0.525713386	92.32673267	Slug flow
400	8.004043014	0.521630812	104.2079208	Annular flow
450	8.922545517	0.520892202	112.1287129	Throat-annular flow
500	9.767922707	0.520417533	124.5049505	Annular flow

ตารางก.48 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.045319695	0.620304375	58.66336634	Slug flow
150	3.070313302	0.613535561	74.5049505	Slug flow
200	4.083384919	0.612130712	81.93069307	Slug flow
250	5.084213003	0.612022156	88.36633663	Throat-annular flow
300	6.018030731	0.609399773	102.970297	Slug flow
350	6.962902098	0.604116692	110.3960396	Throat-annular flow
400	7.87989708	0.602575616	117.5742574	Throat-annular flow
450	8.781542659	0.599993675	125.2475248	Annular flow
500	9.672183847	0.596990279	132.1782178	Annular flow

ตารางก.49 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.054014055	0.681455718	71.78217822	Slug flow
150	3.060815205	0.679984885	83.66336634	Slug flow
200	4.045869331	0.676187537	93.56435644	Slug flow
250	5.011420314	0.673469369	102.7227723	Slug flow
300	5.938193279	0.671272697	113.8613861	Slug flow
350	6.817270004	0.665089236	126.4851485	Annular flow
400	7.697246144	0.664901923	135.8910891	Annular flow
450	8.529706894	0.658673762	147.2772277	Annular flow
500	9.354062	0.657941538	157.6732673	Annular flow

ตารางก.50 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.044274984	0.767286467	79.45544554	Slug flow
150	3.041460397	0.758441799	91.58415842	Slug flow
200	4.019299892	0.754746233	100.4950495	Slug flow
250	4.96084694	0.750432636	111.8811881	Slug flow
300	5.834562696	0.748974156	128.4653465	Slug flow
350	6.689121521	0.746811898	142.0792079	Annular flow
400	7.552780721	0.742419749	151.4851485	Slug flow
450	8.342775185	0.739903008	165.5940594	Slug flow
500	9.131664943	0.739011377	176.980198	Annular flow

ตารางก.51 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.30132927	0.081664257	10.89108911	Slug flow
150	2.071117831	0.081046975	13.11881188	Slug flow
200	2.931069084	0.078597005	15.0990099	Throat-annular flow
250	3.782524806	0.077479512	16.58415842	Throat-annular flow
300	4.647724607	0.077394369	17.82178218	Throat-annular flow
350	5.563694732	0.077264527	19.30693069	Throat-annular flow
400	6.75560669	0.076960143	23.76237624	Throat-annular flow
450	7.838114809	0.075897993	26.73267327	Throat-annular flow
500	8.967233778	0.074980584	30.1980198	Throat-annular flow

ตารางก.52 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.312965177	0.153545661	11.13861386	Slug flow
150	2.048394343	0.15341369	12.37623762	Slug flow
200	3.126222206	0.153202963	18.31683168	Slug flow
250	4.172447222	0.153179549	22.77227723	Throat-annular flow
300	5.320300562	0.153145492	28.71287129	Throat-annular flow
350	6.380893189	0.151587387	32.42574257	Throat-annular flow
400	7.624423577	0.151087176	40.84158416	Throat-annular flow
450	8.87784354	0.148864962	52.22772277	Annular flow
500	9.987601985	0.148330693	59.40594059	Annular flow

ตารางก.53 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.547206741	0.23130827	17.82178218	Slug flow
150	2.443224916	0.23039299	21.03960396	Throat-annular flow
200	3.578302814	0.229398954	29.95049505	Throat-annular flow
250	4.790777298	0.229367025	42.32673267	Annular flow
300	5.837255002	0.229005171	47.27722772	Annular flow
350	6.88963312	0.2288583	53.46534653	Annular flow
400	7.963348488	0.228404917	60.89108911	Annular flow
450	9.027389497	0.228151619	69.30693069	Annular flow
500	10.06438839	0.224454314	77.22772277	Annular flow

ตารางก.54 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.506202835	0.311980619	16.33663366	Slug flow
150	2.161875741	0.307623461	14.35643564	Slug flow
200	3.886661046	0.306356969	46.28712871	Slug flow
250	4.919867162	0.304830793	51.23762376	Slug flow
300	5.98654621	0.304104954	58.91089109	Slug flow
350	7.066708376	0.302985333	72.27722772	Throat-annular flow
400	8.08031395	0.300118165	74.5049505	Throat-annular flow
450	9.099715136	0.299326342	79.7029703	Annular flow
500	10.09726857	0.299517912	90.59405941	Annular flow

ตารางก.55 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.761637184	0.385818168	28.21782178	Slug flow
150	2.905138167	0.383581053	45.2970297	Slug flow
200	3.958177246	0.383436311	53.96039604	Slug flow
250	5.015514706	0.382589145	64.6039604	Slug flow
300	6.054769862	0.3807671	74.25742574	Throat-annular flow
350	7.070821135	0.377780733	77.47524752	Throat-annular flow
400	8.080678754	0.377555106	84.15841584	Throat-annular flow
450	9.061024938	0.37298722	96.53465347	Annular flow
500	10.01401108	0.372286924	106.1881188	Annular flow

ตารางก.56 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.903534037	0.459911144	40.59405941	Slug flow
150	2.958794016	0.458293439	52.22772277	Slug flow
200	3.984406507	0.457175946	58.66336634	Slug flow
250	5.024227511	0.456320266	67.32673267	Slug flow
300	6.052627289	0.455556114	75.24752475	Slug flow
350	7.067626699	0.453431813	82.92079208	Throat-annular flow
400	8.059894417	0.453255143	94.8019802	Throat-annular flow
450	9.037585336	0.451912023	102.2277228	Annular flow
500	9.988628353	0.446826897	111.1386139	Annular flow

ตารางก.57 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.852579698	0.537582225	36.13861386	Slug flow
150	2.956128506	0.531594592	54.95049505	Slug flow
200	4.000994285	0.529876845	65.84158416	Slug flow
250	5.024809984	0.527509889	72.02970297	Slug flow
300	6.054545953	0.526860679	84.15841584	Slug flow
350	7.056282985	0.525713386	92.32673267	Slug flow
400	8.02059585	0.521630812	104.2079208	Annular flow
450	8.976273407	0.520892202	112.1287129	Throat-annular flow
500	9.881148126	0.520417533	124.5049505	Annular flow

ตารางก.58 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.985370033	0.620304375	58.66336634	Slug flow
150	3.02019428	0.613535561	74.5049505	Slug flow
200	4.038056769	0.612130712	81.93069307	Slug flow
250	5.048916263	0.612022156	88.36633663	Throat-annular flow
300	6.02657465	0.609399773	102.970297	Slug flow
350	6.999001834	0.604116692	110.3960396	Throat-annular flow
400	7.947329456	0.602575616	117.5742574	Throat-annular flow
450	8.886083324	0.599993675	125.2475248	Annular flow
500	9.814573186	0.596990279	132.1782178	Annular flow

ตารางก.59 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.016291371	0.681455718	71.78217822	Slug flow
150	3.030362192	0.679984885	83.66336634	Slug flow
200	4.030468622	0.676187537	93.56435644	Slug flow
250	5.017880082	0.673469369	102.7227723	Slug flow
300	5.978832954	0.671272697	113.8613861	Slug flow
350	6.901949746	0.665089236	126.4851485	Annular flow
400	7.821609467	0.664901923	135.8910891	Annular flow
450	8.702591742	0.658673762	147.2772277	Annular flow
500	9.575579315	0.657941538	157.6732673	Annular flow

ตารางก.60 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.018132267	0.767286467	79.45544554	Slug flow
150	3.026316978	0.758441799	91.58415842	Slug flow
200	4.01968835	0.754746233	100.4950495	Slug flow
250	4.99013048	0.750432636	111.8811881	Slug flow
300	5.911786264	0.748974156	128.4653465	Slug flow
350	6.812491227	0.746811898	142.0792079	Annular flow
400	7.716574644	0.742419749	151.4851485	Slug flow
450	8.560431803	0.739903008	165.5940594	Slug flow
500	9.399153043	0.739011377	176.980198	Annular flow

ตารางก.61 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.189964783	0.081664257	10.89108911	Throat-annular flow
150	1.901650665	0.081046975	13.11881188	Slug flow
200	2.700663671	0.078597005	15.0990099	Annular flow
250	3.494044014	0.077479512	16.58415842	Throat-annular flow
300	4.302118869	0.077394369	17.82178218	Throat-annular flow
350	5.162419222	0.077264527	19.30693069	Throat-annular flow
400	6.311538854	0.076960143	23.76237624	Throat-annular flow
450	7.354350684	0.075897993	26.73267327	Throat-annular flow
500	8.453720575	0.074980584	30.1980198	Throat-annular flow

ตารางก.62 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.201162119	0.153545661	11.13861386	Slug flow
150	1.878257057	0.15341369	12.37623762	Throat-annular flow
200	2.896105311	0.153202963	18.31683168	Throat-annular flow
250	3.892418487	0.153179549	22.77227723	Throat-annular flow
300	5.005629707	0.153145492	28.71287129	Throat-annular flow
350	6.032981616	0.151587387	32.42574257	Throat-annular flow
400	7.281771631	0.151087176	40.84158416	Throat-annular flow
450	8.579135216	0.148864962	52.22772277	Throat-annular flow
500	9.714468223	0.148330693	59.40594059	Throat-annular flow

ตารางก.63 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.432156135	0.23130827	17.82178218	Slug flow
150	2.27321692	0.23039299	21.03960396	Slug flow
200	3.372278951	0.229398954	29.95049505	Throat-annular flow
250	4.583017057	0.229367025	42.32673267	Throat-annular flow
300	5.613426035	0.229005171	47.27722772	Throat-annular flow
350	6.66559056	0.2288583	53.46534653	Throat-annular flow
400	7.755397448	0.228404917	60.89108911	Throat-annular flow
450	8.851107952	0.228151619	69.30693069	Throat-annular flow
500	9.924541052	0.224454314	77.22772277	Throat-annular flow

ตารางก.64 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.390748112	0.311980619	16.33663366	Slug flow
150	1.989355661	0.307623461	14.35643564	Slug flow
200	3.733828397	0.306356969	46.28712871	Slug flow
250	4.749827628	0.304830793	51.23762376	Slug flow
300	5.820338063	0.304104954	58.91089109	Throat-annular flow
350	6.94406428	0.302985333	72.27722772	Throat-annular flow
400	7.952853933	0.300118165	74.5049505	Throat-annular flow
450	8.988369315	0.299326342	79.7029703	Throat-annular flow
500	10.04229748	0.299517912	90.59405941	Throat-annular flow

ตารางก.65 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.656323903	0.385818168	28.21782178	Slug flow
150	2.788023379	0.383581053	45.2970297	Slug flow
200	3.831227656	0.383436311	53.96039604	Slug flow
250	4.899527811	0.382589145	64.6039604	Slug flow
300	5.95820939	0.3807671	74.25742574	Slug flow
350	6.973757911	0.377780733	77.47524752	Slug flow
400	8.005032926	0.377555106	84.15841584	Throat-annular flow
450	9.042411207	0.37298722	96.53465347	Throat-annular flow
500	10.04446103	0.372286924	106.1881188	Throat-annular flow

ตารางก.66 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.817480976	0.459911144	40.59405941	Slug flow
150	2.859240966	0.458293439	52.22772277	Slug flow
200	3.872951729	0.457175946	58.66336634	Slug flow
250	4.918628219	0.456320266	67.32673267	Slug flow
300	5.960288527	0.455556114	75.24752475	Slug flow
350	6.995918824	0.453431813	82.92079208	Slug flow
400	8.035539116	0.453255143	94.8019802	Slug flow
450	9.046703229	0.451912023	102.2277228	Slug flow
500	10.04330731	0.446826897	111.1386139	Throat-annular flow

ตารางก.67 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.759669296	0.537582225	36.13861386	Slug flow
150	2.863929517	0.531594592	54.95049505	Slug flow
200	3.912335783	0.529876845	65.84158416	Slug flow
250	4.936708121	0.527509889	72.02970297	Slug flow
300	5.997867404	0.526860679	84.15841584	Slug flow
350	7.024995617	0.525713386	92.32673267	Slug flow
400	8.036914469	0.521630812	104.2079208	Slug flow
450	9.029657684	0.520892202	112.1287129	Throat-annular flow
500	9.994898062	0.520417533	124.5049505	Slug flow

ตารางก.68 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.929833788	0.620304375	58.66336634	Slug flow
150	2.972553307	0.613535561	74.5049505	Slug flow
200	3.994521273	0.612130712	81.93069307	Slug flow
250	5.014734858	0.612022156	88.36633663	Slug flow
300	6.034986861	0.609399773	102.970297	Slug flow
350	7.034811252	0.604116692	110.3960396	Slug flow
400	8.014668125	0.602575616	117.5742574	Throat-annular flow
450	8.991173444	0.599993675	125.2475248	Throat-annular flow
500	9.95851218	0.596990279	132.1782178	Throat-annular flow

ตารางก.69 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.980578699	0.681455718	71.78217822	Slug flow
150	3.001046713	0.679984885	83.66336634	Slug flow
200	4.01546157	0.676187537	93.56435644	Slug flow
250	5.024238621	0.673469369	102.7227723	Slug flow
300	6.019278566	0.671272697	113.8613861	Throat-annular flow
350	6.987161773	0.665089236	126.4851485	Slug flow
400	7.947684366	0.664901923	135.8910891	Throat-annular flow
450	8.879289945	0.658673762	147.2772277	Throat-annular flow
500	9.803519299	0.657941538	157.6732673	Throat-annular flow

ตารางก.70 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.99310732	0.767286467	79.45544554	Slug flow
150	3.01159489	0.758441799	91.58415842	Slug flow
200	4.020069819	0.754746233	100.4950495	Slug flow
250	5.0192199	0.750432636	111.8811881	Slug flow
300	5.98962073	0.748974156	128.4653465	Throat-annular flow
350	6.938126836	0.746811898	142.0792079	Throat-annular flow
400	7.884452542	0.742419749	151.4851485	Slug flow
450	8.78547062	0.739903008	165.5940594	Slug flow
500	9.677475104	0.739011377	176.980198	Slug flow

ตารางก.71 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.094560429	0.081664257	10.89108911	Slug flow
150	1.755360227	0.081046975	13.11881188	Slug flow
200	2.500467073	0.078597005	15.0990099	Throat-annular flow
250	3.242193427	0.077479512	16.58415842	Throat-annular flow
300	3.999228342	0.077394369	17.82178218	Throat-annular flow
350	4.809141806	0.077264527	19.30693069	Throat-annular flow
400	5.915493543	0.076960143	23.76237624	Throat-annular flow
450	6.919381731	0.075897993	26.73267327	Throat-annular flow
500	7.987822965	0.074980584	30.1980198	Throat-annular flow

ตารางก.72 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.105299483	0.153545661	11.13861386	Slug flow
150	1.73175575	0.15341369	12.37623762	Slug flow
200	2.694122276	0.153202963	18.31683168	Slug flow
250	3.643369975	0.153179549	22.77227723	Throat-annular flow
300	4.721220554	0.153145492	28.71287129	Throat-annular flow
350	5.715574804	0.151587387	32.42574257	Throat-annular flow
400	6.96304783	0.151087176	40.84158416	Throat-annular flow
450	8.294873398	0.148864962	52.22772277	Annular flow
500	9.451216749	0.148330693	59.40594059	Annular flow

ตารางก.73 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.331325234	0.23130827	17.82178218	Slug flow
150	2.12277179	0.23039299	21.03960396	Throat-annular flow
200	3.185476012	0.229398954	29.95049505	Throat-annular flow
250	4.389149233	0.229367025	42.32673267	Annular flow
300	5.402434017	0.229005171	47.27722772	Annular flow
350	6.451897309	0.2288583	53.46534653	Annular flow
400	7.554470433	0.228404917	60.89108911	Annular flow
450	8.678500989	0.228151619	69.30693069	Annular flow
500	9.786043253	0.224454314	77.22772277	Annular flow

ตารางก.74 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.290032279	0.311980619	16.33663366	Slug flow
150	1.839817321	0.307623461	14.35643564	Slug flow
200	3.590045142	0.306356969	46.28712871	Slug flow
250	4.588310618	0.304830793	51.23762376	Slug flow
300	5.660278115	0.304104954	58.91089109	Slug flow
350	6.823448994	0.302985333	72.27722772	Throat-annular flow
400	7.827101717	0.300118165	74.5049505	Throat-annular flow
450	8.87772811	0.299326342	79.7029703	Throat-annular flow
500	9.986920291	0.299517912	90.59405941	Throat-annular flow

ตารางก.75 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.561260991	0.385818168	28.21782178	Slug flow
150	2.67806338	0.383581053	45.2970297	Slug flow
200	3.710033189	0.383436311	53.96039604	Slug flow
250	4.786780584	0.382589145	64.6039604	Slug flow
300	5.862976099	0.3807671	74.25742574	Throat-annular flow
350	6.877598758	0.377780733	77.47524752	Throat-annular flow
400	7.929428374	0.377555106	84.15841584	Throat-annular flow
450	9.023531226	0.37298722	96.53465347	Annular flow
500	10.07566583	0.372286924	106.1881188	Annular flow

ตารางก.76 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.737480153	0.459911144	40.59405941	Slug flow
150	2.764502625	0.458293439	52.22772277	Slug flow
200	3.765665082	0.457175946	58.66336634	Slug flow
250	4.815540792	0.456320266	67.32673267	Slug flow
300	5.869091656	0.455556114	75.24752475	Slug flow
350	6.924363485	0.453431813	82.92079208	Throat-annular flow
400	8.010883634	0.453255143	94.8019802	Throat-annular flow
450	9.056008904	0.451912023	102.2277228	Annular flow
500	10.09961766	0.446826897	111.1386139	Annular flow

ตารางก.77 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.674152508	0.537582225	36.13861386	Slug flow
150	2.775753067	0.531594592	54.95049505	Slug flow
200	3.825985317	0.529876845	65.84158416	Slug flow
250	4.850094816	0.527509889	72.02970297	Slug flow
300	5.941219782	0.526860679	84.15841584	Slug flow
350	6.99341278	0.525713386	92.32673267	Annular flow
400	8.053603685	0.521630812	104.2079208	Annular flow
450	9.084687265	0.520892202	112.1287129	Annular flow
500	10.11347855	0.520417533	124.5049505	Annular flow

ตารางก.78 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.87637446	0.620304375	58.66336634	Slug flow
150	2.925550663	0.613535561	74.5049505	Slug flow
200	3.951134059	0.612130712	81.93069307	Slug flow
250	4.980392961	0.612022156	88.36633663	Slug flow
300	6.043579028	0.609399773	102.970297	Annular flow
350	7.071662449	0.604116692	110.3960396	Annular flow
400	8.084437049	0.602575616	117.5742574	Annular flow
450	9.100795972	0.599993675	125.2475248	Annular flow
500	10.1095225	0.596990279	132.1782178	Annular flow

ตารางก.79 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.945482085	0.681455718	71.78217822	Slug flow
150	2.971765711	0.679984885	83.66336634	Slug flow
200	4.000291052	0.676187537	93.56435644	Slug flow
250	5.030731498	0.673469369	102.7227723	Slug flow
300	6.06103958	0.671272697	113.8613861	Slug flow
350	7.076142222	0.665089236	126.4851485	Annular flow
400	8.080341666	0.664901923	135.8910891	Slug flow
450	9.066792032	0.658673762	147.2772277	Annular flow
500	10.04711278	0.657941538	157.6732673	Slug flow

ตารางก.80 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.968248959	0.767286467	79.45544554	Slug flow
150	2.996746685	0.758441799	91.58415842	Slug flow
200	4.020458426	0.754746233	100.4950495	Slug flow
250	5.04919872	0.750432636	111.8811881	Slug flow
300	6.071032027	0.748974156	128.4653465	Slug flow
350	7.070943663	0.746811898	142.0792079	Annular flow
400	8.063118129	0.742419749	151.4851485	Throat-annular flow
450	9.027173877	0.739903008	165.5940594	Annular flow
500	9.978421885	0.739011377	176.980198	Annular flow

ตารางก.81 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.013318529	0.081664257	10.89108911	Throat-annular flow
150	1.629969699	0.081046975	13.11881188	Slug flow
200	2.327902746	0.078597005	15.0990099	Annular flow
250	3.024208566	0.077479512	16.58415842	Throat-annular flow
300	3.736182543	0.077394369	17.82178218	Throat-annular flow
350	4.501118849	0.077264527	19.30693069	Throat-annular flow
400	5.566216751	0.076960143	23.76237624	Throat-annular flow
450	6.532991601	0.075897993	26.73267327	Throat-annular flow
500	7.57059573	0.074980584	30.1980198	Throat-annular flow

ตารางก.82 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.023607192	0.153545661	11.13861386	Slug flow
150	1.606454635	0.15341369	12.37623762	Throat-annular flow
200	2.518476222	0.153202963	18.31683168	Throat-annular flow
250	3.424274695	0.153179549	22.77227723	Throat-annular flow
300	4.467392864	0.153145492	28.71287129	Throat-annular flow
350	5.429897417	0.151587387	32.42574257	Throat-annular flow
400	6.671055146	0.151087176	40.84158416	Throat-annular flow
450	8.028844946	0.148864962	52.22772277	Throat-annular flow
500	9.201856493	0.148330693	59.40594059	Throat-annular flow

ตารางก.83 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.243758463	0.23130827	17.82178218	Slug flow
150	1.991003964	0.23039299	21.03960396	Slug flow
200	3.018282253	0.229398954	29.95049505	Throat-annular flow
250	4.211017494	0.229367025	42.32673267	Throat-annular flow
300	5.20672855	0.229005171	47.27722772	Throat-annular flow
350	6.251480093	0.2288583	53.46534653	Throat-annular flow
400	7.363691739	0.228404917	60.89108911	Throat-annular flow
450	8.512497328	0.228151619	69.30693069	Throat-annular flow
500	9.65135775	0.224454314	77.22772277	Throat-annular flow

ตารางก.84 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.202918758	0.311980619	16.33663366	Slug flow
150	1.711188586	0.307623461	14.35643564	Slug flow
200	3.456924958	0.306356969	46.28712871	Slug flow
250	4.43741707	0.304830793	51.23762376	Slug flow
300	5.508785888	0.304104954	58.91089109	Throat-annular flow
350	6.706952237	0.302985333	72.27722772	Throat-annular flow
400	7.705264439	0.300118165	74.5049505	Throat-annular flow
450	8.769777633	0.299326342	79.7029703	Throat-annular flow
500	9.932150493	0.299517912	90.59405941	Throat-annular flow

ตารางก.85 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.476517852	0.385818168	28.21782178	Slug flow
150	2.576447944	0.383581053	45.2970297	Slug flow
200	3.596271177	0.383436311	53.96039604	Slug flow
250	4.67910568	0.382589145	64.6039604	Slug flow
300	5.770739245	0.3807671	74.25742574	Slug flow
350	6.78405536	0.377780733	77.47524752	Slug flow
400	7.855238573	0.377555106	84.15841584	Throat-annular flow
450	9.00472992	0.37298722	96.53465347	Throat-annular flow
500	10.10706511	0.372286924	106.1881188	Throat-annular flow

ตารางก.86 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.66422525	0.459911144	40.59405941	Slug flow
150	2.675841072	0.458293439	52.22772277	Slug flow
200	3.664162222	0.457175946	58.66336634	Slug flow
250	4.716685789	0.456320266	67.32673267	Slug flow
300	5.780643489	0.455556114	75.24752475	Slug flow
350	6.854257085	0.453431813	82.92079208	Slug flow
400	7.98637899	0.453255143	94.8019802	Slug flow
450	9.065333742	0.451912023	102.2277228	Slug flow
500	10.156563	0.446826897	111.1386139	Throat-annular flow

ตารางก.87 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.596562423	0.537582225	36.13861386	Slug flow
150	2.692844102	0.531594592	54.95049505	Slug flow
200	3.743364277	0.529876845	65.84158416	Slug flow
250	4.766468326	0.527509889	72.02970297	Slug flow
300	5.88563218	0.526860679	84.15841584	Slug flow
350	6.962112652	0.525713386	92.32673267	Slug flow
400	8.070362359	0.521630812	104.2079208	Slug flow
450	9.140391693	0.520892202	112.1287129	Throat-annular flow
500	10.23490653	0.520417533	124.5049505	Slug flow

ตารางก.88 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.825797107	0.620304375	58.66336634	Slug flow
150	2.880011312	0.613535561	74.5049505	Slug flow
200	3.908679234	0.612130712	81.93069307	Slug flow
250	4.946518225	0.612022156	88.36633663	Slug flow
300	6.052195696	0.609399773	102.970297	Slug flow
350	7.108901762	0.604116692	110.3960396	Slug flow
400	8.155431339	0.602575616	117.5742574	Throat-annular flow
450	9.213124582	0.599993675	125.2475248	Throat-annular flow
500	10.26518315	0.596990279	132.1782178	Throat-annular flow

ตารางก.89 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.911607664	0.681455718	71.78217822	Slug flow
150	2.943050572	0.679984885	83.66336634	Slug flow
200	3.985234733	0.676187537	93.56435644	Slug flow
250	5.037241178	0.673469369	102.7227723	Slug flow
300	6.103384109	0.671272697	113.8613861	Throat-annular flow
350	7.167418208	0.665089236	126.4851485	Slug flow
400	8.217502587	0.664901923	135.8910891	Throat-annular flow
450	9.262383832	0.658673762	147.2772277	Throat-annular flow
500	10.30312012	0.657941538	157.6732673	Throat-annular flow

ตารางก.90 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.944003034	0.767286467	79.45544554	Slug flow
150	2.982044175	0.758441799	91.58415842	Slug flow
200	4.020847109	0.754746233	100.4950495	Slug flow
250	5.079537808	0.750432636	111.8811881	Slug flow
300	6.154686915	0.748974156	128.4653465	Throat-annular flow
350	7.208944768	0.746811898	142.0792079	Throat-annular flow
400	8.250068761	0.742419749	151.4851485	Slug flow
450	9.282552708	0.739903008	165.5940594	Slug flow
500	10.2986869	0.739011377	176.980198	Slug flow

ตารางก.91 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.63540093	0.07785839	20.2970297	Slug flow
150	3.94922128	0.07760297	22.77227723	Throat-annular flow
200	5.23146599	0.07648547	26.98019802	Throat-annular flow
250	6.47357266	0.07637053	30.69306931	Throat-annular flow
300	7.66464766	0.07588096	35.14851485	Throat-annular flow
350	8.86447971	0.07560212	37.62376238	Throat-annular flow
400	10.0352941	0.07559148	40.0990099	Throat-annular flow
450	11.1748002	0.07368004	42.82178218	Throat-annular flow
500	12.33827	0.07354806	44.55445545	Throat-annular flow

ตารางก.92 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.60768867	0.15311356	27.97029703	Slug flow
150	3.85402286	0.14999523	33.41584158	Slug flow
200	5.04377676	0.1490842	38.86138614	Throat-annular flow
250	6.25516326	0.14901609	41.08910891	Throat-annular flow
300	7.42319939	0.14879259	44.05940594	Throat-annular flow
350	8.48814596	0.14898203	49.25742574	Throat-annular flow
400	9.55054415	0.1468109	53.21782178	Throat-annular flow
450	10.5150859	0.14322003	58.66336634	Throat-annular flow
500	11.4281885	0.14276451	64.35643564	Throat-annular flow

ตารางก.93 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.52723861	0.23142321	38.36633663	Slug flow
150	3.76003962	0.23050793	40.59405941	Slug flow
200	4.89441885	0.2295139	46.78217822	Slug flow
250	6.05407131	0.22948197	49.5049505	Throat-annular flow
300	7.17217807	0.22912011	52.72277228	Throat-annular flow
350	8.12576232	0.22897324	60.14851485	Throat-annular flow
400	9.00947749	0.22851986	68.06930693	Throat-annular flow
450	9.87706041	0.22826656	75	Throat-annular flow
500	10.6698075	0.22456926	82.92079208	Throat-annular flow

ตารางก.94 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.44801522	0.29786615	46.78217822	Slug flow
150	3.61538294	0.29599302	50.74257426	Slug flow
200	4.76439171	0.29457753	53.71287129	Slug flow
250	5.90922378	0.29371121	55.69306931	Throat-annular flow
300	6.90173595	0.29486488	62.62376238	Throat-annular flow
350	7.86507178	0.29307264	68.81188119	Throat-annular flow
400	8.76658337	0.29300878	75.4950495	Throat-annular flow
450	9.45811016	0.29298962	87.37623762	Throat-annular flow
500	10.2240038	0.28889854	95.54455446	Throat-annular flow

ตารางก.95 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.39965833	0.36994338	51.48514851	Slug flow
150	3.56164008	0.3694304	54.20792079	Slug flow
200	4.65370036	0.36815114	59.40594059	Slug flow
250	5.73385057	0.36681866	63.11881188	Slug flow
300	6.70976395	0.36672926	69.8019802	Slug flow
350	7.56444482	0.36624182	79.20792079	Slug flow
400	8.43903643	0.36567775	86.13861386	Throat-annular flow
450	9.24839477	0.36190382	93.81188119	Throat-annular flow
500	9.75003503	0.35898344	110.3960396	Throat-annular flow

ตารางก.96 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.3833444	0.43910449	53.46534653	Throat-annular flow
150	3.44586598	0.43860641	62.87128713	Throat-annular flow
200	4.48004417	0.43746337	69.30693069	Throat-annular flow
250	5.4968275	0.4355796	74.25742574	Throat-annular flow
300	6.37230749	0.43380438	83.91089109	Slug flow
350	7.27012922	0.4263821	90.34653465	Slug flow
400	8.10512135	0.42607559	97.77227723	Slug flow
450	8.77009537	0.42571373	110.1485149	Throat-annular flow
500	9.52732972	0.42360007	117.8217822	Throat-annular flow

ตารางก.97 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหล ของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.24248139	0.51072621	69.05940594	Slug flow
150	3.31180247	0.5073865	73.26732673	Slug flow
200	4.33268192	0.50401487	78.46534653	Slug flow
250	5.30193316	0.50244612	84.40594059	Slug flow
300	6.17578167	0.50087737	93.06930693	Slug flow
350	6.96070555	0.500507	103.7128713	Slug flow
400	7.69824658	0.49990462	114.6039604	Slug flow
450	8.4289786	0.49757172	124.009901	Throat-annular flow
500	9.24172514	0.49663728	128.7128713	Throat-annular flow

ตารางก.98 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหล ของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.15743494	0.60933592	79.7029703	Slug flow
150	3.19379378	0.60841212	83.41584158	Slug flow
200	4.17177569	0.59841428	89.35643564	Slug flow
250	5.05360867	0.59463184	98.76237624	Slug flow
300	5.93200627	0.59432958	106.1881188	Slug flow
350	6.7310177	0.59100477	114.8514851	Slug flow
400	7.49644298	0.59052585	123.7623762	Throat-annular flow
450	8.16391855	0.59037046	135.6435644	Throat-annular flow
500	8.80958635	0.58359101	146.7821782	Throat-annular flow

ตารางก.99 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.10621945	0.68205171	86.38613861	Slug flow
150	3.10638934	0.68003171	91.33663366	Slug flow
200	4.02546376	0.67838634	100	Slug flow
250	4.90297551	0.67111305	108.4158416	Slug flow
300	5.69864711	0.66715819	119.0594059	Slug flow
350	6.44058317	0.66648131	130.4455446	Slug flow
400	7.18019984	0.66436127	139.8514851	Throat-annular flow
450	7.93411423	0.66343109	147.029703	Throat-annular flow
500	8.58397093	0.66183254	157.9207921	Throat-annular flow

ตารางก.100 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่1 ระยะ 180 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.05250932	0.74919484	94.55445545	Slug flow
150	3.01877386	0.74493127	100.4950495	Throat-annular flow
200	3.90065615	0.74107308	110.3960396	Throat-annular flow
250	4.76836739	0.73870451	117.8217822	Throat-annular flow
300	5.52890483	0.73494918	129.950495	Throat-annular flow
350	6.22344781	0.73252374	143.3168317	Throat-annular flow
400	6.94639102	0.600211	152.7227723	Throat-annular flow
450	7.62848485	0.71845746	162.6237624	Throat-annular flow
500	8.27294508	0.71645223	173.2673267	Throat-annular flow

ตารางก.101 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.34030523	0.07774345	20.2970297	Throat-annular flow
150	3.54063274	0.07748803	22.77227723	Annular-rivulet flow
200	4.75711242	0.07637053	26.98019802	Throat-annular flow
250	5.95016752	0.07625559	30.69306931	Throat-annular flow
300	7.12401377	0.07576602	35.14851485	Throat-annular flow
350	8.28484544	0.07548718	37.62376238	Throat-annular flow
400	9.42713362	0.07547654	40.0990099	Throat-annular flow
450	10.5522415	0.07356509	42.82178218	Throat-annular flow
500	11.6870151	0.07343312	44.55445545	Throat-annular flow

ตารางก.102 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.3783888	0.15299862	27.97029703	Slug flow
150	3.56737256	0.14988028	33.41584158	Slug flow
200	4.72625822	0.14896926	38.86138614	Throat-annular flow
250	5.887482	0.14890115	41.08910891	Throat-annular flow
300	7.02527219	0.14867765	44.05940594	Throat-annular flow
350	8.10211544	0.14886709	49.25742574	Throat-annular flow
400	9.16885909	0.14669596	53.21782178	Throat-annular flow
450	10.1661586	0.14310508	58.66336634	Throat-annular flow
500	11.1204594	0.14264957	64.35643564	Throat-annular flow

ตารางก.103 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.36570669	0.23130827	38.36633663	Slug flow
150	3.53562183	0.23039299	40.59405941	Slug flow
200	4.65355304	0.22939895	46.78217822	Slug flow
250	5.78092286	0.22936703	49.5049505	Slug flow
300	6.88080639	0.22900517	52.72277228	Throat-annular flow
350	7.86999918	0.2288583	60.14851485	Throat-annular flow
400	8.80012706	0.22840492	68.06930693	Throat-annular flow
450	9.70872302	0.22815162	75	Throat-annular flow
500	10.5535859	0.22445431	82.92079208	Throat-annular flow

ตารางก.104 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.32754267	0.29775121	46.78217822	Slug flow
150	3.45866348	0.29587808	50.74257426	Slug flow
200	4.57709398	0.29446259	53.71287129	Slug flow
250	5.69190597	0.29359626	55.69306931	Throat-annular flow
300	6.70330937	0.29474994	62.62376238	Throat-annular flow
350	7.68785814	0.2929577	68.81188119	Throat-annular flow
400	8.62077846	0.29289384	75.4950495	Throat-annular flow
450	9.38437186	0.29287468	87.37623762	Annular flow
500	10.1965145	0.28878359	95.54455446	Annular flow

ตารางก.105 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.29812514	0.36982844	51.48514851	Slug flow
150	3.42392258	0.36931546	54.20792079	Slug flow
200	4.50328123	0.36803619	59.40594059	Slug flow
250	5.57202707	0.36670372	63.11881188	Slug flow
300	6.56477919	0.36661432	69.8019802	Slug flow
350	7.46107636	0.36612688	79.20792079	Slug flow
400	8.36618533	0.36556281	86.13861386	Throat-annular flow
450	9.21402766	0.36178888	93.81188119	Throat-annular flow
500	9.79956244	0.35886849	110.3960396	Annular flow

ตารางก.106 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.28887481	0.43898955	53.46534653	Slug flow
150	3.3477082	0.43849146	62.87128713	Slug flow
200	4.38118042	0.43734843	69.30693069	Slug flow
250	5.39971164	0.43546465	74.25742574	Slug flow
300	6.30741411	0.43368944	83.91089109	Slug flow
350	7.22753316	0.42626716	90.34653465	Slug flow
400	8.09370375	0.42596064	97.77227723	Slug flow
450	8.81362743	0.42559879	110.1485149	Throat-annular flow
500	9.6071708	0.42348513	117.8217822	Annular flow

ตารางก.107 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.19247612	0.51061127	69.05940594	Slug flow
150	3.25048776	0.50727156	73.26732673	Slug flow
200	4.27097489	0.50389992	78.46534653	Slug flow
250	5.24979511	0.50233118	84.40594059	Slug flow
300	6.15005889	0.50076243	93.06930693	Slug flow
350	6.97321264	0.50039206	103.7128713	Slug flow
400	7.75206885	0.49978968	114.6039604	Throat-annular flow
450	8.52075471	0.49745678	124.009901	Throat-annular flow
500	9.3587601	0.49652234	128.7128713	Throat-annular flow

ตารางก.108 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.12877432	0.60922097	79.7029703	Slug flow
150	3.16014215	0.60829718	83.41584158	Slug flow
200	4.14468365	0.59829934	89.35643564	Slug flow
250	5.04929306	0.59451689	98.76237624	Slug flow
300	5.95009982	0.59421464	106.1881188	Slug flow
350	6.77881133	0.59088983	114.8514851	Slug flow
400	7.57734244	0.59041091	123.7623762	Slug flow
450	8.28717007	0.59025552	135.6435644	Throat-annular flow
500	8.97352446	0.58347606	146.7821782	Throat-annular flow

ตารางก.109 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.08839251	0.68193677	86.38613861	Slug flow
150	3.09012955	0.67991677	91.33663366	Slug flow
200	4.02476975	0.6782714	100	Throat-annular flow
250	4.92327361	0.67099811	108.4158416	Throat-annular flow
300	5.74935605	0.66704325	119.0594059	Throat-annular flow
350	6.5261898	0.66636637	130.4455446	Annular flow
400	7.29851406	0.66424633	139.8514851	Annular flow
450	8.08234011	0.66331615	147.029703	Annular flow
500	8.77029128	0.6617176	157.9207921	Annular flow

ตารางก.110 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 235 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.045793	0.74908002	94.55445545	Slug flow
150	3.01906551	0.74481656	100.4950495	Throat-annular flow
200	3.92047037	0.74095848	110.3960396	Annular flow
250	4.80832734	0.73859003	117.8217822	Annular flow
300	5.60140928	0.73483482	129.950495	Annular flow
350	6.33276084	0.73240948	143.3168317	Annular flow
400	7.08745435	0.60009686	152.7227723	Annular flow
450	7.80322106	0.71834344	162.6237624	Annular flow
500	8.48322037	0.71633832	173.2673267	Annular flow

ตารางก.111 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.10850114	0.07774345	20.2970297	Slug flow
150	3.21414202	0.07748803	22.77227723	Slug flow
200	4.36823245	0.07637053	26.98019802	Throat-annular flow
250	5.51256599	0.07625559	30.69306931	Throat-annular flow
300	6.66260464	0.07576602	35.14851485	Throat-annular flow
350	7.78504893	0.07548718	37.62376238	Throat-annular flow
400	8.89771676	0.07547654	40.0990099	Throat-annular flow
450	10.0049885	0.07356509	42.82178218	Throat-annular flow
500	11.1111927	0.07343312	44.55445545	Throat-annular flow

ตารางก.112 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.18937269	0.15299862	27.97029703	Slug flow
150	3.32459532	0.14988028	33.41584158	Throat-annular flow
200	4.45114226	0.14896926	38.86138614	Throat-annular flow
250	5.56624453	0.14890115	41.08910891	Throat-annular flow
300	6.67401076	0.14867765	44.05940594	Throat-annular flow
350	7.75580412	0.14886709	49.25742574	Throat-annular flow
400	8.822674	0.14669596	53.21782178	Throat-annular flow
450	9.84539416	0.14310508	58.66336634	Throat-annular flow
500	10.8340333	0.14264957	64.35643564	Throat-annular flow

ตารางก.113 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.2260148	0.23130827	38.36633663	Slug flow
150	3.33990421	0.23039299	40.59405941	Slug flow
200	4.43906806	0.22939895	46.78217822	Slug flow
250	5.53570331	0.22936703	49.5049505	Throat-annular flow
300	6.6168813	0.22900517	52.72277228	Throat-annular flow
350	7.63408086	0.2288583	60.14851485	Throat-annular flow
400	8.60383737	0.22840492	68.06930693	Throat-annular flow
450	9.54893693	0.22815162	75	Throat-annular flow
500	10.4419146	0.22445431	82.92079208	Throat-annular flow

ตารางก.114 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.22026486	0.29775121	46.78217822	Slug flow
150	3.31747249	0.29587808	50.74257426	Slug flow
200	4.40699614	0.29446259	53.71287129	Slug flow
250	5.49354833	0.29359626	55.69306931	Throat-annular flow
300	6.51928615	0.29474994	62.62376238	Throat-annular flow
350	7.52146779	0.2929577	68.81188119	Throat-annular flow
400	8.48226728	0.29289384	75.4950495	Throat-annular flow
450	9.31308436	0.29287468	87.37623762	Throat-annular flow
500	10.1696684	0.28878359	95.54455446	Throat-annular flow

ตารางก.115 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.20646374	0.36982844	51.48514851	Slug flow
150	3.29869157	0.36931546	54.20792079	Slug flow
200	4.36476625	0.36803619	59.40594059	Slug flow
250	5.42179273	0.36670372	63.11881188	Slug flow
300	6.4283997	0.36661432	69.8019802	Slug flow
350	7.36229943	0.36612688	79.20792079	Slug flow
400	8.2958722	0.36556281	86.13861386	Throat-annular flow
450	9.180533	0.36178888	93.81188119	Throat-annular flow
500	9.84868134	0.35886849	110.3960396	Throat-annular flow

ตารางก.116 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.20313597	0.43898955	53.46534653	Throat-annular flow
150	3.25662768	0.43849146	62.87128713	Throat-annular flow
200	4.28826926	0.43734843	69.30693069	Throat-annular flow
250	5.30764319	0.43546465	74.25742574	Throat-annular flow
300	6.24497376	0.43368944	83.91089109	Slug flow
350	7.18619441	0.42626716	90.34653465	Slug flow
400	8.08252499	0.42596064	97.77227723	Slug flow
450	8.85679051	0.42559879	110.1485149	Throat-annular flow
500	9.68687292	0.42348513	117.8217822	Throat-annular flow

ตารางก.117 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.14550325	0.51061127	69.05940594	Slug flow
150	3.19245724	0.50727156	73.26732673	Slug flow
200	4.21207626	0.50389992	78.46534653	Slug flow
250	5.19959311	0.50233118	84.40594059	Slug flow
300	6.1250114	0.50076243	93.06930693	Slug flow
350	6.98553613	0.50039206	103.7128713	Slug flow
400	7.80564979	0.49978968	114.6039604	Slug flow
450	8.61282755	0.49745678	124.009901	Throat-annular flow
500	9.4765873	0.49652234	128.7128713	Throat-annular flow

ตารางก.118 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.10136612	0.60922097	79.7029703	Slug flow
150	3.12778522	0.60829718	83.41584158	Slug flow
200	4.11842436	0.59829934	89.35643564	Slug flow
250	5.04506308	0.59451689	98.76237624	Slug flow
300	5.9679721	0.59421464	106.1881188	Slug flow
350	6.82640095	0.59088983	114.8514851	Slug flow
400	7.65848794	0.59041091	123.7623762	Throat-annular flow
450	8.41185574	0.59025552	135.6435644	Throat-annular flow
500	9.14052843	0.58347606	146.7821782	Throat-annular flow

ตารางก.119 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.07118088	0.68193677	86.38613861	Slug flow
150	3.07433015	0.67991677	91.33663366	Slug flow
200	4.02408859	0.6782714	100	Slug flow
250	4.94336682	0.67099811	108.4158416	Slug flow
300	5.80002874	0.66704325	119.0594059	Slug flow
350	6.61248325	0.66636637	130.4455446	Slug flow
400	7.41853294	0.66424633	139.8514851	Throat-annular flow
450	8.23335985	0.66331615	147.029703	Throat-annular flow
500	8.96126447	0.6617176	157.9207921	Throat-annular flow

ตารางก.120 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 289 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.03924143	0.74908002	94.55445545	Slug flow
150	3.01935191	0.74481656	100.4950495	Throat-annular flow
200	3.94012117	0.74095848	110.3960396	Throat-annular flow
250	4.84821774	0.73859003	117.8217822	Throat-annular flow
300	5.67446965	0.73483482	129.950495	Throat-annular flow
350	6.44388794	0.73240948	143.3168317	Throat-annular flow
400	7.23164026	0.60009686	152.7227723	Throat-annular flow
450	7.98274735	0.71834344	162.6237624	Throat-annular flow
500	8.7003381	0.71633832	173.2673267	Throat-annular flow

ตารางก.121 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.91528195	0.07774345	20.2970297	Throat-annular flow
150	2.93818698	0.07748803	22.77227723	Annular-rivulet flow
200	4.0324842	0.07637053	26.98019802	Throat-annular flow
250	5.12841519	0.07625559	30.69306931	Throat-annular flow
300	6.25028841	0.07576602	35.14851485	Throat-annular flow
350	7.33439611	0.07548718	37.62376238	Throat-annular flow
400	8.41631359	0.07547654	40.0990099	Throat-annular flow
450	9.50302265	0.07356509	42.82178218	Throat-annular flow
500	10.5802476	0.07343312	44.55445545	Throat-annular flow

ตารางก.122 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.02542648	0.15299862	27.97029703	Slug flow
150	3.10908827	0.14988028	33.41584158	Slug flow
200	4.20201304	0.14896926	38.86138614	Throat-annular flow
250	5.27319607	0.14890115	41.08910891	Throat-annular flow
300	6.35060245	0.14867765	44.05940594	Throat-annular flow
350	7.43224244	0.14886709	49.25742574	Throat-annular flow
400	8.49595515	0.14669596	53.21782178	Throat-annular flow
450	9.53884913	0.14310508	58.66336634	Throat-annular flow
500	10.5570825	0.14264957	64.35643564	Throat-annular flow

ตารางก.123 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.09973229	0.23130827	38.36633663	Slug flow
150	3.16164726	0.23039299	40.59405941	Slug flow
200	4.2400239	0.22939895	46.78217822	Slug flow
250	5.30644226	0.22936703	49.5049505	Slug flow
300	6.36809866	0.22900517	52.72277228	Throat-annular flow
350	7.40790245	0.2288583	60.14851485	Throat-annular flow
400	8.41271408	0.22840492	68.06930693	Throat-annular flow
450	9.39150922	0.22815162	75	Throat-annular flow
500	10.3305788	0.22445431	82.92079208	Throat-annular flow

ตารางก.124 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.12071001	0.29775121	46.78217822	Slug flow
150	3.18504352	0.29587808	50.74257426	Slug flow
200	4.24627036	0.29446259	53.71287129	Slug flow
250	5.30524183	0.29359626	55.69306931	Throat-annular flow
300	6.3419588	0.29474994	62.62376238	Throat-annular flow
350	7.35924022	0.2929577	68.81188119	Throat-annular flow
400	8.34569277	0.29289384	75.4950495	Throat-annular flow
450	9.24158151	0.29287468	87.37623762	Throat-annular flow
500	10.1424701	0.28878359	95.54455446	Annular flow

ตารางก.125 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.12032773	0.36982844	51.48514851	Slug flow
150	3.18022003	0.36931546	54.20792079	Slug flow
200	4.23217934	0.36803619	59.40594059	Slug flow
250	5.27688144	0.36670372	63.11881188	Slug flow
300	6.29519876	0.36661432	69.8019802	Slug flow
350	7.26434604	0.36612688	79.20792079	Annular flow
400	8.22546159	0.36556281	86.13861386	Slug flow
450	9.14666747	0.36178888	93.81188119	Annular flow
500	9.8992186	0.35886849	110.3960396	Annular flow

ตารางก.126 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.12216962	0.43898955	53.46534653	Slug flow
150	3.16881766	0.43849146	62.87128713	Slug flow
200	4.19760272	0.43734843	69.30693069	Slug flow
250	5.21704207	0.43546465	74.25742574	Slug flow
300	6.18263523	0.43368944	83.91089109	Slug flow
350	7.14457341	0.42626716	90.34653465	Slug flow
400	8.07117092	0.42596064	97.77227723	Slug flow
450	8.90118967	0.42559879	110.1485149	Throat-annular flow
500	9.76942198	0.42348513	117.8217822	Annular flow

ตารางก.127 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.09968532	0.51061127	69.05940594	Slug flow
150	3.13544398	0.50727156	73.26732673	Slug flow
200	4.15373366	0.50389992	78.46534653	Slug flow
250	5.14943889	0.50233118	84.40594059	Slug flow
300	6.09970894	0.50076243	93.06930693	Slug flow
350	6.99813268	0.50039206	103.7128713	Slug flow
400	7.86098976	0.49978968	114.6039604	Throat-annular flow
450	8.70867364	0.49745678	124.009901	Throat-annular flow
500	9.59968593	0.49652234	128.7128713	Throat-annular flow

ตารางก.128 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.07416647	0.60922097	79.7029703	Slug flow
150	3.09550319	0.60829718	83.41584158	Slug flow
200	4.09201864	0.59829934	89.35643564	Slug flow
250	5.04076205	0.59451689	98.76237624	Slug flow
300	5.98628605	0.59421464	106.1881188	Slug flow
350	6.87556366	0.59088983	114.8514851	Slug flow
400	7.74294239	0.59041091	123.7623762	Slug flow
450	8.54276723	0.59025552	135.6435644	Throat-annular flow
500	9.3171384	0.58347606	146.7821782	Throat-annular flow

ตารางก.129 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.05393971	0.68193677	86.38613861	Slug flow
150	3.05840338	0.67991677	91.33663366	Slug flow
200	4.02339505	0.6782714	100	Throat-annular flow
250	4.96400143	0.67099811	108.4158416	Throat-annular flow
300	5.85256632	0.66704325	119.0594059	Throat-annular flow
350	6.70275258	0.66636637	130.4455446	Annular flow
400	7.54490107	0.66424633	139.8514851	Annular flow
450	8.3930902	0.66331615	147.029703	Annular flow
500	9.16451745	0.6617176	157.9207921	Annular flow

ตารางก.130 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 344 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.03261152	0.74908002	94.55445545	Slug flow
150	3.01964366	0.74481656	100.4950495	Throat-annular flow
200	3.9603394	0.74095848	110.3960396	Annular flow
250	4.88953302	0.73859003	117.8217822	Annular flow
300	5.75086851	0.73483482	129.950495	Annular flow
350	6.56115502	0.73240948	143.3168317	Annular flow
400	7.38465442	0.60009686	152.7227723	Annular flow
450	8.17429344	0.71834344	162.6237624	Annular flow
500	8.93320666	0.71633832	173.2673267	Annular flow

ตารางก.131 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหล ของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.754502552	0.077743453	20.2970297	Slug flow
150	2.705870377	0.077488026	22.77227723	Throat-annular flow
200	3.744664238	0.076370533	26.98019802	Throat-annular flow
250	4.79431659	0.076255591	30.69306931	Throat-annular flow
300	5.886030586	0.075766022	35.14851485	Throat-annular flow
350	6.933062201	0.075487181	37.62376238	Throat-annular flow
400	7.984328487	0.075476538	40.0990099	Throat-annular flow
450	9.049019275	0.073565093	42.82178218	Throat-annular flow
500	10.09773044	0.073433123	44.55445545	Throat-annular flow

ตารางก.132 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหล ของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.884323203	0.152998621	27.97029703	Slug flow
150	2.919819601	0.149880284	33.41584158	Throat-annular flow
200	3.979293091	0.148969261	38.86138614	Throat-annular flow
250	5.009460836	0.148901147	41.08910891	Throat-annular flow
300	6.057088862	0.148677648	44.05940594	Throat-annular flow
350	7.134596707	0.14886709	49.25742574	Throat-annular flow
400	8.192570134	0.146695961	53.21782178	Throat-annular flow
450	9.250816789	0.143105084	58.66336634	Throat-annular flow
500	10.2939382	0.142649572	64.35643564	Throat-annular flow

ตารางก.133 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.987008684	0.23130827	38.36633663	Slug flow
150	3.001454033	0.23039299	40.59405941	Slug flow
200	4.058063658	0.229398954	46.78217822	Slug flow
250	5.095415708	0.229367025	49.5049505	Throat-annular flow
300	6.137345689	0.229005171	52.72277228	Throat-annular flow
350	7.194740565	0.2288583	60.14851485	Throat-annular flow
400	8.229897391	0.228404917	68.06930693	Throat-annular flow
450	9.239188152	0.228151619	75	Throat-annular flow
500	10.22159208	0.224454314	82.92079208	Throat-annular flow

ตารางก.134 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.029699933	0.297751209	46.78217822	Slug flow
150	3.062781469	0.295878078	50.74257426	Slug flow
200	4.096855591	0.294462587	53.71287129	Slug flow
250	5.129416932	0.293596263	55.69306931	Throat-annular flow
300	6.174022765	0.294749942	62.62376238	Throat-annular flow
350	7.203862933	0.292957696	68.81188119	Throat-annular flow
400	8.213446582	0.292893839	75.4950495	Throat-annular flow
450	9.171168238	0.292874682	87.37623762	Throat-annular flow
500	10.11541691	0.288783594	95.54455446	Throat-annular flow

ตารางก.135 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.040664209	0.36982844	51.48514851	Slug flow
150	3.069963201	0.369315457	54.20792079	Slug flow
200	4.107410047	0.368036194	59.40594059	Slug flow
250	5.13951474	0.366703717	63.11881188	Slug flow
300	6.167405788	0.366614317	69.8019802	Slug flow
350	7.168964905	0.366126878	79.20792079	Slug flow
400	8.156236128	0.36556281	86.13861386	Throat-annular flow
450	9.113050864	0.361788876	93.81188119	Throat-annular flow
500	9.950277192	0.358868495	110.3960396	Throat-annular flow

ตารางก.136 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.046943421	0.438989547	53.46534653	Throat-annular flow
150	3.085618632	0.438491464	62.87128713	Throat-annular flow
200	4.110690712	0.437348429	69.30693069	Throat-annular flow
250	5.129482154	0.435464655	74.25742574	Throat-annular flow
300	6.121528949	0.433689437	83.91089109	Slug flow
350	7.103431754	0.426267156	90.34653465	Slug flow
400	8.059848696	0.425960643	97.77227723	Slug flow
450	8.946036211	0.425598788	110.1485149	Throat-annular flow
500	9.853390065	0.42348513	117.8217822	Throat-annular flow

ตารางก.137 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.055783395	0.510611267	69.05940594	Slug flow
150	3.080431364	0.507271559	73.26732673	Slug flow
200	4.096985225	0.503899923	78.46534653	Slug flow
250	5.100242979	0.502331176	84.40594059	Slug flow
300	6.074614666	0.500762429	93.06930693	Slug flow
350	7.010774752	0.50039206	103.7128713	Slug flow
400	7.917120022	0.499789678	114.6039604	Slug flow
450	8.806676947	0.497456778	124.009901	Throat-annular flow
500	9.726024695	0.496522341	128.7128713	Throat-annular flow

ตารางก.138 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.047661943	0.60922097	79.7029703	Slug flow
150	3.063880726	0.60829718	83.41584158	Slug flow
200	4.065949369	0.59829934	89.35643564	Slug flow
250	5.036468345	0.59451689	98.76237624	Slug flow
300	6.00471275	0.59421464	106.1881188	Slug flow
350	6.925439641	0.59088983	114.8514851	Slug flow
400	7.82928026	0.59041091	123.7623762	Throat-annular flow
450	8.677817813	0.59025552	135.6435644	Throat-annular flow
500	9.500707616	0.58347606	146.7821782	Throat-annular flow

ตารางก.139 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหล ของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.036983214	0.68193677	86.38613861	Slug flow
150	3.042640781	0.67991677	91.33663366	Slug flow
200	4.022701758	0.6782714	100	Slug flow
250	4.984809035	0.67099811	108.4158416	Slug flow
300	5.906064393	0.66704325	119.0594059	Slug flow
350	6.795520624	0.66636637	130.4455446	Slug flow
400	7.675648943	0.66424633	139.8514851	Throat-annular flow
450	8.559140825	0.66331615	147.029703	Throat-annular flow
500	9.377204489	0.6617176	157.9207921	Throat-annular flow

ตารางก.140 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 399 มิลลิเมตร

อัตราการไหล ของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.026024586	0.74908002	94.55445545	Slug flow
150	3.019935479	0.74481656	100.4950495	Throat-annular flow
200	3.980766201	0.74095848	110.3960396	Throat-annular flow
250	4.931558504	0.73859003	117.8217822	Throat-annular flow
300	5.829352665	0.73483482	129.950495	Throat-annular flow
350	6.682769304	0.73240948	143.3168317	Throat-annular flow
400	7.544283804	0.60009686	152.7227723	Throat-annular flow
450	8.375257829	0.71834344	162.6237624	Throat-annular flow
500	9.178883718	0.71633832	173.2673267	Throat-annular flow

ตารางก.141 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.61862609	0.07785839	20.2970297	Throat-annular flow
150	2.50759947	0.07760297	22.77227723	Throat-annular flow
200	3.49519358	0.07648547	26.98019802	Throat-annular flow
250	4.50108631	0.07637053	30.69306931	Throat-annular flow
300	5.56189154	0.07588096	35.14851485	Throat-annular flow
350	6.57337114	0.07560212	37.62376238	Throat-annular flow
400	7.5945235	0.07559148	40.0990099	Throat-annular flow
450	8.63641763	0.07368004	42.82178218	Throat-annular flow
500	9.65730455	0.07354806	44.55445545	Throat-annular flow

ตารางก.142 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.76159968	0.15311356	27.97029703	Throat-annular flow
150	2.75227244	0.14999523	33.41584158	Throat-annular flow
200	3.77899446	0.1490842	38.86138614	Throat-annular flow
250	4.77085009	0.14901609	41.08910891	Throat-annular flow
300	5.78950806	0.14879259	44.05940594	Throat-annular flow
350	6.85987316	0.14898203	49.25742574	Throat-annular flow
400	7.91010543	0.1468109	53.21782178	Throat-annular flow
450	8.97966928	0.14322003	58.66336634	Throat-annular flow
500	10.043593	0.14276451	64.35643564	Throat-annular flow

ตารางก.143 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.88577151	0.23142321	38.36633663	Slug flow
150	2.8567112	0.23050793	40.59405941	Slug flow
200	3.89107838	0.2295139	46.78217822	Slug flow
250	4.90053142	0.22948197	49.5049505	Slug flow
300	5.92273096	0.22912011	52.72277228	Throat-annular flow
350	6.993503	0.22897324	60.14851485	Throat-annular flow
400	8.05485729	0.22851986	68.06930693	Throat-annular flow
450	9.09172922	0.22826656	75	Throat-annular flow
500	10.114881	0.22456926	82.92079208	Throat-annular flow

ตารางก.144 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.9461798	0.29786615	46.78217822	Slug flow
150	2.94955881	0.29599302	50.74257426	Slug flow
200	3.95759841	0.29457753	53.71287129	Slug flow
250	4.96487247	0.29371121	55.69306931	Throat-annular flow
300	6.01475124	0.29486488	62.62376238	Throat-annular flow
350	7.05491102	0.29307264	68.81188119	Throat-annular flow
400	8.08532618	0.29300878	75.4950495	Throat-annular flow
450	9.10181984	0.29298962	87.37623762	Annular flow
500	10.0885076	0.28889854	95.54455446	Annular flow

ตารางก.145 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.96677005	0.36994338	51.48514851	Slug flow
150	2.96709531	0.3694304	54.20792079	Slug flow
200	3.98978675	0.36815114	59.40594059	Slug flow
250	5.0091184	0.36681866	63.11881188	Slug flow
300	6.044698	0.36672926	69.8019802	Slug flow
350	7.07605603	0.36624182	79.20792079	Slug flow
400	8.08816614	0.36567775	86.13861386	Throat-annular flow
450	9.07968046	0.36190382	93.81188119	Throat-annular flow
500	10.0018652	0.35898344	110.3960396	Annular flow

ตารางก.146 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.97686785	0.43910449	53.46534653	Slug flow
150	3.00667671	0.43860641	62.87128713	Slug flow
200	4.02730475	0.43746337	69.30693069	Slug flow
250	5.04481283	0.4355796	74.25742574	Slug flow
300	6.06161874	0.43380438	83.91089109	Slug flow
350	7.06276121	0.4263821	90.34653465	Slug flow
400	8.0485582	0.42607559	97.77227723	Slug flow
450	8.99133694	0.42571373	110.1485149	Throat-annular flow
500	9.93881407	0.42360007	117.8217822	Annular flow

ตารางก.147 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.01367974	0.51072621	69.05940594	Slug flow
150	3.02731589	0.5073865	73.26732673	Slug flow
200	4.04176649	0.50401487	78.46534653	Slug flow
250	5.05197817	0.50244612	84.40594059	Slug flow
300	6.04972602	0.50087737	93.06930693	Slug flow
350	7.02346258	0.500507	103.7128713	Slug flow
400	7.97405763	0.49990462	114.6039604	Throat-annular flow
450	8.90691112	0.49757172	124.009901	Throat-annular flow
500	9.85573322	0.49663728	128.7128713	Throat-annular flow

ตารางก.148 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.02182625	0.60933592	79.7029703	Slug flow
150	3.03289781	0.60841212	83.41584158	Slug flow
200	4.04021016	0.59841428	89.35643564	Slug flow
250	5.03218195	0.59463184	98.76237624	Slug flow
300	6.02325324	0.59432958	106.1881188	Slug flow
350	6.97604452	0.59100477	114.8514851	Slug flow
400	7.91756527	0.59052585	123.7623762	Slug flow
450	8.81720695	0.59037046	135.6435644	Throat-annular flow
500	9.69165569	0.58359101	146.7821782	Throat-annular flow

ตารางก.149 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.0203044	0.68205171	86.38613861	Slug flow
150	3.02703982	0.68003171	91.33663366	Slug flow
200	4.0220087	0.67838634	100	Throat-annular flow
250	5.00579181	0.67111305	108.4158416	Throat-annular flow
300	5.96054953	0.66715819	119.0594059	Throat-annular flow
350	6.89089258	0.66648131	130.4455446	Annular flow
400	7.81100827	0.66436127	139.8514851	Annular flow
450	8.73189442	0.66343109	147.029703	Annular flow
500	9.59999801	0.66183254	157.9207921	Annular flow

ตารางก.150 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 454 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.0194802	0.74919484	94.55445545	Slug flow
150	3.02022735	0.74493127	100.4950495	Throat-annular flow
200	4.00140481	0.74107308	110.3960396	Annular flow
250	4.97431267	0.73870451	117.8217822	Annular flow
300	5.91000866	0.73494918	129.950495	Annular flow
350	6.8089771	0.73252374	143.3168317	Annular flow
400	7.71096688	0.600211	152.7227723	Annular flow
450	8.58635266	0.71845746	162.6237624	Annular flow
500	9.43845591	0.71645223	173.2673267	Annular flow

ตารางก.151 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหล ของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.50424852	0.07785839	20.2970297	Slug flow
150	2.33930497	0.07760297	22.77227723	Throat-annular flow
200	3.28061196	0.07648547	26.98019802	Throat-annular flow
250	4.24610746	0.07637053	30.69306931	Throat-annular flow
300	5.27659677	0.07588096	35.14851485	Throat-annular flow
350	6.25477026	0.07560212	37.62376238	Throat-annular flow
400	7.24714189	0.07559148	40.0990099	Throat-annular flow
450	8.26635555	0.07368004	42.82178218	Throat-annular flow
500	9.26072954	0.07354806	44.55445545	Throat-annular flow

ตารางก.152 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหล ของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.65572509	0.15311356	27.97029703	Slug flow
150	2.60548121	0.14999523	33.41584158	Throat-annular flow
200	3.60103134	0.1490842	38.86138614	Throat-annular flow
250	4.55770454	0.14901609	41.08910891	Throat-annular flow
300	5.54883691	0.14879259	44.05940594	Throat-annular flow
350	6.60997817	0.14898203	49.25742574	Throat-annular flow
400	7.65110571	0.1468109	53.21782178	Throat-annular flow
450	8.7284833	0.14322003	58.66336634	Throat-annular flow
500	9.8093699	0.14276451	64.35643564	Throat-annular flow

ตารางก.153 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.79593321	0.23142321	38.36633663	Slug flow
150	2.72756786	0.23050793	40.59405941	Slug flow
200	3.73998005	0.2295139	46.78217822	Slug flow
250	4.72316893	0.22948197	49.5049505	Throat-annular flow
300	5.72613631	0.22912011	52.72277228	Throat-annular flow
350	6.80658369	0.22897324	60.14851485	Throat-annular flow
400	7.89009551	0.22851986	68.06930693	Throat-annular flow
450	8.95146006	0.22826656	75	Throat-annular flow
500	10.0122558	0.22456926	82.92079208	Throat-annular flow

ตารางก.154 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.87060576	0.29786615	46.78217822	Slug flow
150	2.84625364	0.29599302	50.74257426	Slug flow
200	3.82978614	0.29457753	53.71287129	Slug flow
250	4.81327666	0.29371121	55.69306931	Throat-annular flow
300	5.86617278	0.29486488	62.62376238	Throat-annular flow
350	6.91454078	0.29307264	68.81188119	Throat-annular flow
400	7.96336529	0.29300878	75.4950495	Throat-annular flow
450	9.03474514	0.29298962	87.37623762	Throat-annular flow
500	10.0622266	0.28889854	95.54455446	Throat-annular flow

ตารางก.155 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.89924715	0.36994338	51.48514851	Slug flow
150	2.87259102	0.3694304	54.20792079	Slug flow
200	3.88067693	0.36815114	59.40594059	Slug flow
250	4.88737374	0.36681866	63.11881188	Slug flow
300	5.92888072	0.36672926	69.8019802	Slug flow
350	6.98714986	0.36624182	79.20792079	Slug flow
400	8.0224302	0.36567775	86.13861386	Throat-annular flow
450	9.0471537	0.36190382	93.81188119	Throat-annular flow
500	10.0530384	0.35898344	110.3960396	Throat-annular flow

ตารางก.156 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.91258249	0.43910449	53.46534653	Throat-annular flow
150	2.93300358	0.43860641	62.87128713	Throat-annular flow
200	3.94866192	0.43746337	69.30693069	Throat-annular flow
250	4.96435899	0.4355796	74.25742574	Throat-annular flow
300	6.00392782	0.43380438	83.91089109	Slug flow
350	7.02328069	0.4263821	90.34653465	Slug flow
400	8.03750371	0.42607559	97.77227723	Slug flow
450	9.0362626	0.42571373	110.1485149	Throat-annular flow
500	10.0241383	0.42360007	117.8217822	Throat-annular flow

ตารางก.157 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.9739864	0.51072621	69.05940594	Slug flow
150	2.97691857	0.5073865	73.26732673	Slug flow
200	3.98898093	0.50401487	78.46534653	Slug flow
250	5.00547145	0.50244612	84.40594059	Slug flow
300	6.02548752	0.50087737	93.06930693	Slug flow
350	7.03596448	0.500507	103.7128713	Slug flow
400	8.03076243	0.49990462	114.6039604	Slug flow
450	9.00756775	0.49757172	124.009901	Throat-annular flow
500	9.98649394	0.49663728	128.7128713	Throat-annular flow

ตารางก.158 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.9970868	0.60933592	79.7029703	Slug flow
150	3.00308186	0.60841212	83.41584158	Slug flow
200	4.01525402	0.59841428	89.35643564	Slug flow
250	5.02798058	0.59463184	98.76237624	Slug flow
300	6.04156836	0.59432958	106.1881188	Slug flow
350	7.02645401	0.59100477	114.8514851	Slug flow
400	8.00620385	0.59052585	123.7623762	Throat-annular flow
450	8.9584881	0.59037046	135.6435644	Throat-annular flow
500	9.88674971	0.58359101	146.7821782	Throat-annular flow

ตารางก.159 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.00419244	0.68205171	86.38613861	Slug flow
150	3.01187739	0.68003171	91.33663366	Slug flow
200	4.02132847	0.67838634	100	Slug flow
250	5.02656565	0.67111305	108.4158416	Slug flow
300	6.015031	0.66715819	119.0594059	Slug flow
350	6.98717132	0.66648131	130.4455446	Slug flow
400	7.94863304	0.66436127	139.8514851	Throat-annular flow
450	8.90842872	0.66343109	147.029703	Throat-annular flow
500	9.82928649	0.66183254	157.9207921	Throat-annular flow

ตารางก.160 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 508 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.01309581	0.74919484	94.55445545	Slug flow
150	3.02051397	0.74493127	100.4950495	Throat-annular flow
200	4.02187744	0.74107308	110.3960396	Throat-annular flow
250	5.0170169	0.73870451	117.8217822	Throat-annular flow
300	5.99139953	0.73494918	129.950495	Throat-annular flow
350	6.93761561	0.73252374	143.3168317	Throat-annular flow
400	7.88194396	0.600211	152.7227723	Throat-annular flow
450	8.80422475	0.71845746	162.6237624	Throat-annular flow
500	9.70799957	0.71645223	173.2673267	Throat-annular flow

ตารางก.161 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.40325361	0.07785839	20.2970297	Throat-annular flow
150	2.18962928	0.07760297	22.77227723	Throat-annular flow
200	3.08754686	0.07648547	26.98019802	Throat-annular flow
250	4.01448252	0.07637053	30.69306931	Throat-annular flow
300	5.01461113	0.07588096	35.14851485	Throat-annular flow
350	5.96052319	0.07560212	37.62376238	Throat-annular flow
400	6.92454054	0.07559148	40.0990099	Throat-annular flow
450	7.92067718	0.07368004	42.82178218	Throat-annular flow
500	8.88894727	0.07354806	44.55445545	Throat-annular flow

ตารางก.162 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.56021735	0.15311356	27.97029703	Throat-annular flow
150	2.47123805	0.14999523	33.41584158	Throat-annular flow
200	3.436214	0.1490842	38.86138614	Throat-annular flow
250	4.35933733	0.14901609	41.08910891	Throat-annular flow
300	5.32344214	0.14879259	44.05940594	Throat-annular flow
350	6.3735014	0.14898203	49.25742574	Throat-annular flow
400	7.40418186	0.1468109	53.21782178	Throat-annular flow
450	8.48669106	0.14322003	58.66336634	Throat-annular flow
500	9.58177854	0.14276451	64.35643564	Throat-annular flow

ตารางก.163 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.71282309	0.23142321	38.36633663	Slug flow
150	2.60750736	0.23050793	40.59405941	Slug flow
200	3.59768753	0.2295139	46.78217822	Slug flow
250	4.55524998	0.22948197	49.5049505	Slug flow
300	5.53887828	0.22912011	52.72277228	Throat-annular flow
350	6.62620177	0.22897324	60.14851485	Throat-annular flow
400	7.72906996	0.22851986	68.06930693	Throat-annular flow
450	8.81297366	0.22826656	75	Throat-annular flow
500	9.90984888	0.22456926	82.92079208	Throat-annular flow

ตารางก.164 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.79943607	0.29786615	46.78217822	Slug flow
150	2.74821777	0.29599302	50.74257426	Slug flow
200	3.70782296	0.29457753	53.71287129	Slug flow
250	4.6681028	0.29371121	55.69306931	Throat-annular flow
300	5.72220331	0.29486488	62.62376238	Throat-annular flow
350	6.77719899	0.29307264	68.81188119	Throat-annular flow
400	7.84287085	0.29300878	75.4950495	Throat-annular flow
450	8.96743697	0.29298962	87.37623762	Throat-annular flow
500	10.0355992	0.28889854	95.54455446	Annular flow

ตารางก.165 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.83507876	0.36994338	51.48514851	Slug flow
150	2.78233053	0.3694304	54.20792079	Slug flow
200	3.77551483	0.36815114	59.40594059	Slug flow
250	4.76931091	0.36681866	63.11881188	Slug flow
300	5.81539354	0.36672926	69.8019802	Slug flow
350	6.89886481	0.36624182	79.20792079	Annular flow
400	7.9565663	0.36567775	86.13861386	Slug flow
450	9.01426329	0.36190382	93.81188119	Annular flow
500	10.1057003	0.35898344	110.3960396	Annular flow

ตารางก.166 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.8512667	0.43910449	53.46534653	Slug flow
150	2.86158712	0.43860641	62.87128713	Slug flow
200	3.87165839	0.43746337	69.30693069	Slug flow
250	4.88501095	0.4355796	74.25742574	Slug flow
300	5.94628654	0.43380438	83.91089109	Slug flow
350	6.98352021	0.4263821	90.34653465	Slug flow
400	8.02627569	0.42607559	97.77227723	Slug flow
450	9.08248407	0.42571373	110.1485149	Throat-annular flow
500	10.1125618	0.42360007	117.8217822	Annular flow

ตารางก.167 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.93513493	0.51072621	69.05940594	Slug flow
150	2.92728408	0.5073865	73.26732673	Slug flow
200	3.93661655	0.50401487	78.46534653	Slug flow
250	4.9589755	0.50244612	84.40594059	Slug flow
300	6.000999	0.50087737	93.06930693	Slug flow
350	7.04874373	0.500507	103.7128713	Slug flow
400	8.08935238	0.49990462	114.6039604	Throat-annular flow
450	9.11245424	0.49757172	124.009901	Throat-annular flow
500	10.1232917	0.49663728	128.7128713	Throat-annular flow

ตารางก.168 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.97250391	0.60933592	79.7029703	Slug flow
150	2.97331041	0.60841212	83.41584158	Slug flow
200	3.99015067	0.59841428	89.35643564	Slug flow
250	5.02370861	0.59463184	98.76237624	Slug flow
300	6.0603375	0.59432958	106.1881188	Slug flow
350	7.07855145	0.59100477	114.8514851	Slug flow
400	8.09854755	0.59052585	123.7623762	Slug flow
450	9.10711691	0.59037046	135.6435644	Throat-annular flow
500	10.0936996	0.58359101	146.7821782	Throat-annular flow

ตารางก.169 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.98804416	0.68205171	86.38613861	Slug flow
150	2.99658952	0.68003171	91.33663366	Slug flow
200	4.02063589	0.67838634	100	Throat-annular flow
250	5.04790218	0.67111305	108.4158416	Throat-annular flow
300	6.0715548	0.66715819	119.0594059	Throat-annular flow
350	7.08803851	0.66648131	130.4455446	Annular flow
400	8.09388277	0.66436127	139.8514851	Annular flow
450	9.095724	0.66343109	147.029703	Annular flow
500	10.0743606	0.66183254	157.9207921	Annular flow

ตารางก.170 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 563 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.00663456	0.74919484	94.55445545	Slug flow
150	3.02080595	0.74493127	100.4950495	Throat-annular flow
200	4.04294567	0.74107308	110.3960396	Annular flow
250	5.06127232	0.73870451	117.8217822	Annular flow
300	6.07663485	0.73494918	129.950495	Annular flow
350	7.0737308	0.73252374	143.3168317	Annular flow
400	8.06406152	0.600211	152.7227723	Annular flow
450	9.03779875	0.71845746	162.6237624	Annular flow
500	9.99883444	0.71645223	173.2673267	Annular flow

ตารางก.171 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.31496703	0.07785839	20.2970297	Slug flow
150	2.05795519	0.07760297	22.77227723	Throat-annular flow
200	2.91594267	0.07648547	26.98019802	Throat-annular flow
250	3.80682066	0.07637053	30.69306931	Throat-annular flow
300	4.77741034	0.07588096	35.14851485	Throat-annular flow
350	5.69271715	0.07560212	37.62376238	Throat-annular flow
400	6.62943592	0.07559148	40.0990099	Throat-annular flow
450	7.60274918	0.07368004	42.82178218	Throat-annular flow
500	8.54586407	0.07354806	44.55445545	Throat-annular flow

ตารางก.172 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.47512711	0.15311356	27.97029703	Slug flow
150	2.35015039	0.14999523	33.41584158	Throat-annular flow
200	3.28582356	0.1490842	38.86138614	Throat-annular flow
250	4.1775172	0.14901609	41.08910891	Throat-annular flow
300	5.11564375	0.14879259	44.05940594	Throat-annular flow
350	6.15336046	0.14898203	49.25742574	Throat-annular flow
400	7.17269766	0.1468109	53.21782178	Throat-annular flow
450	8.25793375	0.14322003	58.66336634	Throat-annular flow
500	9.36450859	0.14276451	64.35643564	Throat-annular flow

ตารางก.173 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.6370649	0.23142321	38.36633663	Slug flow
150	2.49757074	0.23050793	40.59405941	Slug flow
200	3.46582558	0.2295139	46.78217822	Slug flow
250	4.39886088	0.22948197	49.5049505	Throat-annular flow
300	5.36347997	0.22912011	52.72277228	Throat-annular flow
350	6.45513367	0.22897324	60.14851485	Throat-annular flow
400	7.57448556	0.22851986	68.06930693	Throat-annular flow
450	8.67870697	0.22826656	75	Throat-annular flow
500	9.80951564	0.22456926	82.92079208	Throat-annular flow

ตารางก.174 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 4 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.73348339	0.29786615	46.78217822	Slug flow
150	2.65671048	0.29599302	50.74257426	Slug flow
200	3.5933881	0.29457753	53.71287129	Slug flow
250	4.53142977	0.29371121	55.69306931	Throat-annular flow
300	5.58513126	0.29486488	62.62376238	Throat-annular flow
350	6.64520692	0.29307264	68.81188119	Throat-annular flow
400	7.72596848	0.29300878	75.4950495	Throat-annular flow
450	8.90112426	0.29298962	87.37623762	Throat-annular flow
500	10.0091123	0.28889854	95.54455446	Throat-annular flow

ตารางก.175 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 5 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.77510468	0.36994338	51.48514851	Slug flow
150	2.69756945	0.3694304	54.20792079	Slug flow
200	3.6759019	0.36815114	59.40594059	Slug flow
250	4.65681756	0.36681866	63.11881188	Slug flow
300	5.70616937	0.36672926	69.8019802	Slug flow
350	6.81278294	0.36624182	79.20792079	Slug flow
400	7.89177508	0.36567775	86.13861386	Throat-annular flow
450	8.98161115	0.36190382	93.81188119	Throat-annular flow
500	10.1589168	0.35898344	110.3960396	Throat-annular flow

ตารางก.176 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 6 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.79376025	0.43910449	53.46534653	Throat-annular flow
150	2.79356587	0.43860641	62.87128713	Throat-annular flow
200	3.79760073	0.43746337	69.30693069	Throat-annular flow
250	4.80815953	0.4355796	74.25742574	Throat-annular flow
300	5.88974152	0.43380438	83.91089109	Slug flow
350	6.94420738	0.4263821	90.34653465	Slug flow
400	8.01507899	0.42607559	97.77227723	Slug flow
450	9.12918083	0.42571373	110.1485149	Throat-annular flow
500	10.2025593	0.42360007	117.8217822	Throat-annular flow

ตารางก.177 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 7 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.89778327	0.51072621	69.05940594	Slug flow
150	2.87927757	0.5073865	73.26732673	Slug flow
200	3.88560916	0.50401487	78.46534653	Slug flow
250	4.91333539	0.50244612	84.40594059	Slug flow
300	5.97670872	0.50087737	93.06930693	Slug flow
350	7.06156948	0.500507	103.7128713	Slug flow
400	8.14880352	0.49990462	114.6039604	Slug flow
450	9.21981216	0.49757172	124.009901	Throat-annular flow
500	10.2638893	0.49663728	128.7128713	Throat-annular flow

ตารางก.178 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวตั้ง ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 8 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

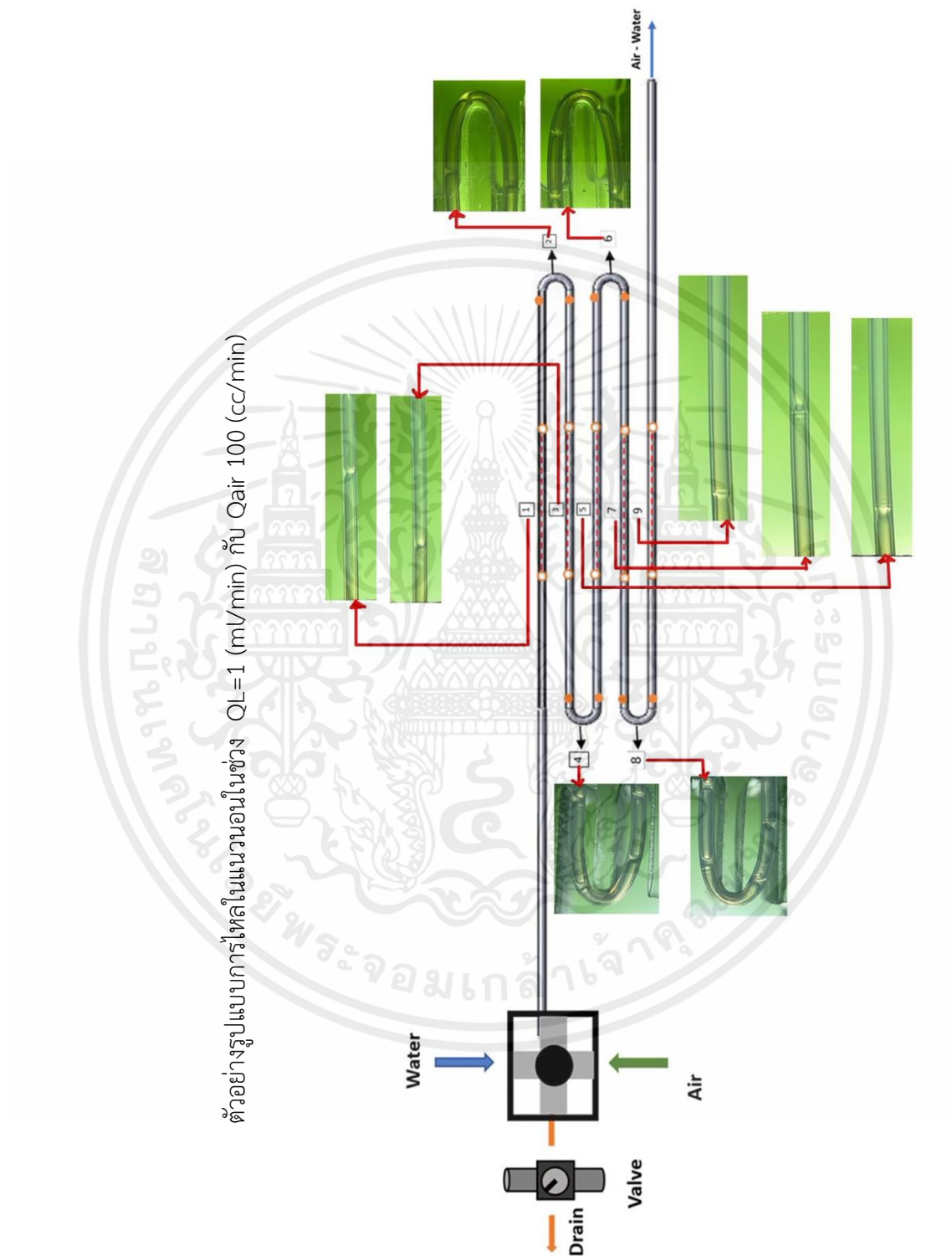
อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.94851886	0.60933592	79.7029703	Slug flow
150	2.94412344	0.60841212	83.41584158	Slug flow
200	3.96535926	0.59841428	89.35643564	Slug flow
250	5.0194439	0.59463184	98.76237624	Slug flow
300	6.07922362	0.59432958	106.1881188	Slug flow
350	7.13142721	0.59100477	114.8514851	Slug flow
400	8.19304628	0.59052585	123.7623762	Throat-annular flow
450	9.26076068	0.59037046	135.6435644	Throat-annular flow
500	10.3094986	0.58359101	146.7821782	Throat-annular flow

ตารางก.179 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 9 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	1.97215402	0.68205171	86.38613861	Slug flow
150	2.98145607	0.68003171	91.33663366	Slug flow
200	4.01994354	0.67838634	100	Slug flow
250	5.06942062	0.67111305	108.4158416	Slug flow
300	6.129151	0.66715819	119.0594059	Slug flow
350	7.19186061	0.66648131	130.4455446	Slug flow
400	8.24453977	0.66436127	139.8514851	Throat-annular flow
450	9.291064	0.66343109	147.029703	Throat-annular flow
500	10.3319682	0.66183254	157.9207921	Throat-annular flow

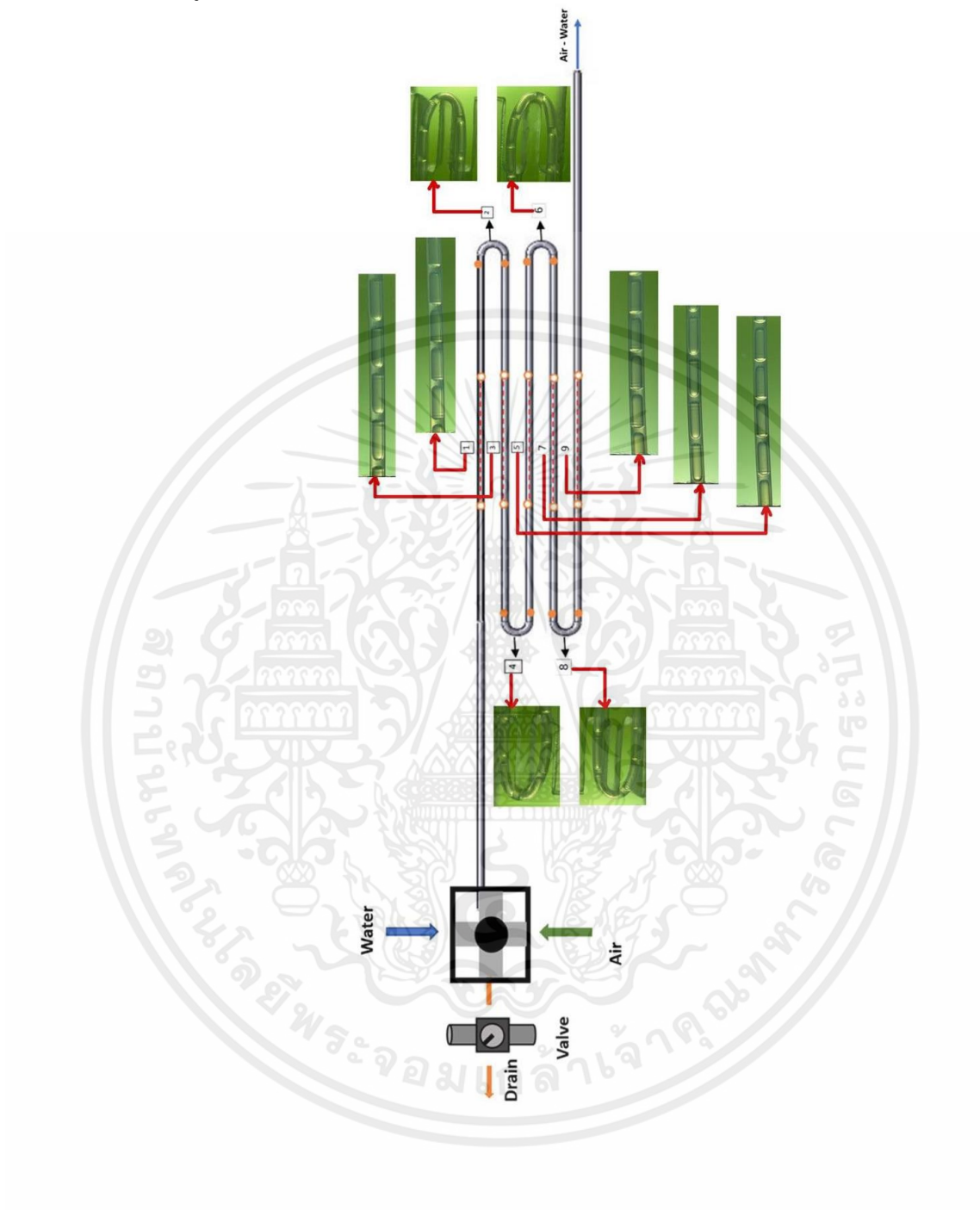
ตารางก.180 ผลการทดลองการไหลแบบสองสถานะภายในท่อเซอร์เพนไทน์ในแนวนอน ทิศทางอัตราการไหลของน้ำ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 618 มิลลิเมตร

อัตราการไหลของอากาศ (cc/min)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	ΔP	Flow pattern
100	2.00021464	0.74919484	94.55445545	Slug flow
150	3.02109799	0.74493127	100.4950495	Throat-annular flow
200	4.06423578	0.74107308	110.3960396	Throat-annular flow
250	5.10631544	0.73870451	117.8217822	Throat-annular flow
300	6.16433034	0.73494918	129.950495	Throat-annular flow
350	7.215294	0.73252374	143.3168317	Throat-annular flow
400	8.25479402	0.600211	152.7227723	Throat-annular flow
450	9.28410381	0.71845746	162.6237624	Throat-annular flow
500	10.3076333	0.71645223	173.2673267	Throat-annular flow



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างรูปแบบการไหลในแนวตั้งในช่วง $Q_L=3$ (ml/min) กับ $Q_{air}= 100$ (cc/min)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาวมณฑิชา เผือกผ่อง
 วัน เดือน ปีเกิด 22 สิงหาคม พ.ศ.2543
 ภูมิลำเนา จังหวัด ชุมพร
 ที่อยู่ 123 หมู่ 3 ตำบล สลุย
 อำเภอ ท่าแซะ
 จังหวัด ชุมพร 86140
 E-mail 62201079@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

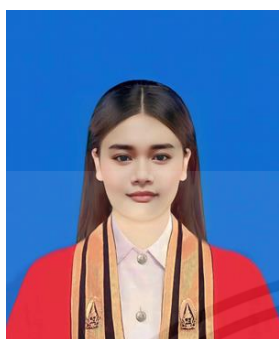
-สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต)
 ปีการศึกษา 2561 จากโรงเรียนหงส์เจริญวิทยาคม
 จังหวัดชุมพร

-สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จาก
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

-ผ่านการฝึกงานในหน่วยงานทางวิศวกรรมครบวงจรที่
 จำหน่าย ออกแบบ ผลิต ติดตั้ง สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร
 จากบริษัท เมคคานิคัลแอนด์ ฟู้ด โพรเซส เอ็นจิเนียริง จำกัด
 จังหวัดฉะเชิงเทรา

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาวสาวิตรี บุญธรรม
 วัน เดือน ปีเกิด 1 ธันวาคม พ.ศ. 2543
 ภูมิลำเนา จังหวัดชุมพร
 ที่อยู่ 462 หมู่ 4 ตำบล สองพี่น้อง
 อำเภอ ท่าแซะ
 จังหวัด ชุมพร 86140
 E-mail 62201096@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

-สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต)
 ปีการศึกษา 2561 จากโรงเรียนหงส์เจริญวิทยาคม
 จังหวัดชุมพร

-สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จาก
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

-ผ่านการฝึกงานในหน่วยงานทางวิศวกรรมครบวงจรที่
 จำหน่าย ออกแบบ ผลิต ติดตั้ง สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร
 จากบริษัท เมคคานิคัลแอนด์ ฟู้ด โพรเซส เอ็นจิเนียริง จำกัด
 จังหวัดฉะเชิงเทรา

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายสิทธิโชค บุญเกื้อ
 วัน เดือน ปีเกิด 21 กรกฎาคม พ.ศ.2543
 ภูมิลำเนา จังหวัดนครศรีธรรมราช
 ที่อยู่ 327/1 หมู่4 ตำบลกำแพงเขา
 อำเภอ เมือง
 จังหวัด นครศรีธรรมราช 80280
 E-mail 62201097@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

-สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต)
 ปีการศึกษา 2561 จากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย
 นครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช

-สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จาก
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

-ผ่านการฝึกงานในงานควบคุมคุณภาพการผลิต
 หน่วยงาน ซีเทค ออโต้ พาร์ท จำกัด