

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๘
กิตติกรรมประกาศ	๙
สารบัญ	๗
รายการตาราง	๑๑
รายการรูปประกอบ	๑๒
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	2
2. หลักการและทฤษฎี	4
2.1 ของไหล	4
2.1.1 สมบัติทางกายภาพของของไหล	5
2.1.2 ธรรมชาติของของไหล	8
2.1.3 อัตราการไหลและความเร็วของของไหล	9
2.1.4 สมการพื้นฐานสำหรับการไหลของของไหล	10
2.1.5 การวัดอัตราการไหลของของไหล	17
2.2 ปრაกฏการณ์คือปเปเตอร์ของแสง	28
2.3 การแทรกสอดกันของแสง	31
2.4 หลักการและเทคนิคของ LDA	33
2.4.1 การใช้วิธีลำแสงอ้างอิง	33
2.4.2 การใช้วิธีลำแสงเดี่ยว	34
2.4.3 การใช้วิธีลำแสงคู่	35
2.5 การวัดโดยใช้วิธีลำแสงคู่	35

2.6	แบบจำลองรีวการแทรกสอดของแสง	37
2.7	สมบัติของลำแสงเกาส์เซียน	39
2.7.1	สมบัติเฉพาะเชิงเรขาคณิตของลำแสงเกาส์เซียน	39
2.7.2	การส่งผ่านของลำแสงเกาส์เซียน	42
2.8	ขนาดของห้วงแห่งการวัด	43
2.9	อนุภาคแขวนลอยภายในของไหล	45
3.	การดำเนินการวิจัย	48
3.1	การออกแบบชุดการทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลของของไหลโดยใช้ วิธีเลเซอร์ดีอปเพลอร์ชนิดลำแสงคู่	48
3.2	การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของของไหลกับความถี่ ดีอปเพลอร์	51
3.3	การทดสอบสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรกับความถี่ ดีอปเพลอร์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของชุดการทดลองที่สร้างขึ้น	52
4.	ผลการทดลอง	53
4.1	การจัดสร้างชุดการทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลของของไหลโดยใช้ วิธีเลเซอร์ดีอปเพลอร์ชนิดลำแสงคู่	53
4.2	การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความถี่ดีอปเพลอร์	58
4.3	การทดสอบสมการความสัมพันธ์	72
5.	สรุปผลการทดลอง	80
5.1	สรุปผลการทดลอง	80
5.2	ข้อเสนอแนะ	81
	เอกสารอ้างอิง	82
	ภาคผนวก	84
	ก รายละเอียดของหัววัดแสงชนิดซิลิกอนแอมพลิไฟด์ (THORLABS, PDA8A)	85
	ประวัติผู้วิจัย	87

รายการตาราง

ตาราง	หน้า	
2.1	อนุภาคและสมบัติบางประการของอนุภาค	46
4.1	บันทึกผลการทดลองแสดงปริมาณน้ำภายในกระบอกตวงที่เวลาต่างๆ ณ ระดับอัตราการไหล Q_1	60
4.2	บันทึกผลการทดลองแสดงปริมาณน้ำภายในกระบอกตวงที่เวลาต่างๆ ณ ระดับอัตราการไหล Q_2	61
4.3	บันทึกผลการทดลองแสดงปริมาณน้ำภายในกระบอกตวงที่เวลาต่างๆ ณ ระดับอัตราการไหล Q_3	62
4.4	บันทึกผลการทดลองแสดงปริมาณน้ำภายในกระบอกตวงที่เวลาต่างๆ ณ ระดับอัตราการไหล Q_4	63
4.5	บันทึกผลการทดลองแสดงปริมาณน้ำภายในกระบอกตวงที่เวลาต่างๆ ณ ระดับอัตราการไหล Q_5	64
4.6	บันทึกผลการทดลองแสดงอัตราการไหลที่แต่ละระดับอัตราการไหล	67
4.7	บันทึกผลการทดลองแสดงอัตราการไหลกับความถี่คือปเพลอร์จากภาพสัญญาณที่แต่ละระดับอัตราการไหล	71
4.8	บันทึกผลการทดลองแสดงปริมาณน้ำภายในกระบอกตวงที่เวลาต่างๆ ณ ระดับอัตราการไหล U_1	73
4.9	บันทึกผลการทดลองแสดงปริมาณน้ำภายในกระบอกตวงที่เวลาต่างๆ ณ ระดับอัตราการไหล U_2	74
4.10	บันทึกผลการทดลองแสดงปริมาณน้ำภายในกระบอกตวงที่เวลาต่างๆ ณ ระดับอัตราการไหล U_3	75
4.11	บันทึกผลการทดลองแสดงอัตราการไหลของแต่ละระดับอัตราการไหลที่ได้จากการสุ่มปรับวาล์ว	77
4.12	บันทึกผลการทดลองแสดงอัตราการไหลกับความถี่คือปเพลอร์จากภาพสัญญาณที่แต่ละระดับอัตราการไหลจากการสุ่มปรับวาล์ว	79
4.13	บันทึกผลการทดลองแสดงอัตราการไหลของแต่ละระดับอัตราการไหลจากการสุ่มปรับวาล์วที่หาจากวิธีการจับเวลาเทียบกับอัตราการไหลที่คำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์	79

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	แสดงความแตกต่างระหว่างของเหลวและแก๊ส	5
2.2	แสดงรูปแบบการไหลแบบปั่นป่วนและการไหลแบบราบเรียบ	8
2.3	แสดงลำการไหลที่ถูกควบคุมปริมาตร	10
2.4	แสดงลำการไหลของปริมาตรควบคุมที่เวลา t และ $t + dt$	14
2.5	แสดงทิศทางการไหลของปริมาตรควบคุมที่เวลา t และ $t + dt$	16
2.6	แสดงอุปกรณ์การวัดอัตราการไหลแบบท่อปีโตด	18
2.7	แสดงตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้หลักการของท่อปีโตดวัดความเร็วของของไหล	19
2.8	แสดงอุปกรณ์วัดการไหลแบบท่อเวนจูรี	20
2.9	แสดงโครงสร้างอุปกรณ์วัดการไหลแบบแผ่นออริฟิซ	21
2.10	แสดงการวัดการไหลโดยใช้แผ่นออริฟิซ	22
2.11	แสดงอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของของไหลแบบหัวฉีด	24
2.12	แสดงเครื่องวัดการไหลแบบก้าน	25
2.13	แสดงเครื่องวัดการไหลแบบแม่เหล็กไฟฟ้า	26
2.14	แสดงปรากฏการณ์ดีอปเพลอร์ของแสงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดแสง	28
2.15	แสดงปรากฏการณ์ดีอปเพลอร์ของแสงในระบบการวัดของ LDA	30
2.16	แสดงการรวมกันของคลื่นแสง 2 ขบวน	31
2.17	แสดงการจัดวางอุปกรณ์สำหรับวิธีลำแสงอ้างอิง	33
2.18	แสดงการจัดวางอุปกรณ์สำหรับวิธีลำแสงเดี่ยว	34
2.19	แสดงการจัดวางอุปกรณ์สำหรับวิธีลำแสงคู่	35
2.20	แสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคตัดผ่านหัวแห่งการวัด	36
2.21	แสดงการเกิดรีวการแทรกสอดและสัญญาณส่งเป็นชุดอย่างรวดเร็ว (Burst signal)	38
2.22	แสดงสมบัติเฉพาะเชิงเรขาคณิตของลำแสงเกาส์เซียน	40
2.23	แสดงการส่งลำแสงเกาส์เซียนผ่านเลนส์	43
2.24	แสดงรูปทรงและขนาดของหัวแห่งการวัด	44
2.25	แสดงตัวอย่างและขนาดของอนุภาคที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน	46
3.1	แสดงแผนผังของชุดการทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลของของไหล	48
3.2	แสดงแผนผังของระบบ LDA จากมุมมองด้านบน	49

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
3.3 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ทางแสง (จากมุมมองด้านบน) เพื่อทำการคำนวณหาค่ามุมระหว่างลำแสงที่ตัดกัน	50
3.4 แสดงแผนผังของระบบของไหลตัวอย่าง	50
3.5 แสดงการอ่านค่าความถี่ค็อปเพลอร์จากสัญญาณพัลส์	51
4.1 แสดงอุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับช่วยในการจัดวางการชดเชยการหักเหให้มีความชัดที่ชัดเจนมั่นคง และสะดวกในการปรับเปลี่ยนตำแหน่ง	54
4.2 แสดงการจัดวางตัวแยกลำแสงและเลเซอร์พร้อมทั้งปั๊มปรับยัดตัวแยกลำแสงและปั๊มปรับกระจกสะท้อนลำแสงสำหรับการจัดลำแสงขนาน	54
4.3 แสดงการจัดอุปกรณ์เพื่อให้ได้ลำแสงที่ขนานกันและห่างกันเป็นระยะ 1.0 cm	55
4.4 แสดงการจัดอุปกรณ์เพื่อทำการคำนวณหาค่ามุมระหว่างลำแสงที่ตัดกัน	55
4.5 แสดงเซลล์ที่เชื่อมต่อเข้ากับสายยาง	56
4.6 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ของระบบทางแสง	56
4.7 แสดงระบบของไหลตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วย ระบบหมุนเวียนน้ำ และระบบเติมฟองอากาศ	57
4.8 แสดงรูปร่างแทรกสอดของแสงจากห้วงแห่งการวัดบนฉากที่ระยะห่าง 4 m	57
4.9 แสดงการติดตั้งชุดการทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลของของไหลโดยใช้วิธีเลเซอร์ค็อปเพลอร์	58
4.10 แสดงอุปกรณ์เพื่อใช้ในการวัดอัตราการไหลด้วยวิธีจับเวลา	59
4.11 แสดงการปรับอัตราการไหลด้วยวาล์วทั้ง 5 ระดับ จากช้าที่สุด (Q_1) ถึงเร็วที่สุด (Q_5)	59
4.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำภายในกระบอกตวงเทียบกับเวลา ณ ระดับอัตราการไหล Q_1	64
4.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำภายในกระบอกตวงเทียบกับเวลา ณ ระดับอัตราการไหล Q_2	65
4.14 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำภายในกระบอกตวงเทียบกับเวลา ณ ระดับอัตราการไหล Q_3	65
4.15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำภายในกระบอกตวงเทียบกับเวลา ณ ระดับอัตราการไหล Q_4	66

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.16 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำภายในกระบอกตวงเทียบกับเวลา ณ ระดับอัตราการไหล Q_5	66
4.17 แสดงการบันทึกค่าสัญญาณจากหัววัดแสงลงสู่ฮาร์ดดิสก์	67
4.18 แสดงค่าสัญญาณจากหัววัดแสงขณะปราศจากอนุภาคเคลื่อนที่ตัดผ่านหัวแห่งการวัด เมื่อแกน x เป็นแกนของเวลา (ms) และแกน y เป็นแกนของความเข้มแสง (a.u.)	68
4.19 แสดงค่าสัญญาณจากหัววัดแสงขณะมีอนุภาคเคลื่อนที่ตัดผ่านหัวแห่งการวัด เมื่อแกน x เป็นแกนของเวลา (ms) และแกน y เป็นแกนของความเข้มแสง (a.u.)	68
4.20 แสดงภาพสัญญาณที่บันทึกได้ที่ระดับอัตราการไหล Q_1 เมื่อแกน x เป็นแกนของเวลา (ms) และแกน y เป็นแกนของความเข้มแสง (a.u.)	69
4.21 แสดงภาพสัญญาณที่บันทึกได้ที่ระดับอัตราการไหล Q_2 เมื่อแกน x เป็นแกนของเวลา (ms) และแกน y เป็นแกนของความเข้มแสง (a.u.)	69
4.22 แสดงภาพสัญญาณที่บันทึกได้ที่ระดับอัตราการไหล Q_3 เมื่อแกน x เป็นแกนของเวลา (ms) และแกน y เป็นแกนของความเข้มแสง (a.u.)	70
4.23 แสดงภาพสัญญาณที่บันทึกได้ที่ระดับอัตราการไหล Q_4 เมื่อแกน x เป็นแกนของเวลา (ms) และแกน y เป็นแกนของความเข้มแสง (a.u.)	70
4.24 แสดงภาพสัญญาณที่บันทึกได้ที่ระดับอัตราการไหล Q_5 เมื่อแกน x เป็นแกนของเวลา (ms) และแกน y เป็นแกนของความเข้มแสง (a.u.)	71
4.25 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความถี่คอปเพลอร์	72
4.26 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำภายในกระบอกตวงเทียบกับเวลา ณ ระดับอัตราการไหล U_1	75
4.27 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำภายในกระบอกตวงเทียบกับเวลา ณ ระดับอัตราการไหล U_2	76
4.28 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำภายในกระบอกตวงเทียบกับเวลา ณ ระดับอัตราการไหล U_3	76
4.29 แสดงภาพสัญญาณที่บันทึกได้ที่ระดับอัตราการไหล U_1 เมื่อแกน x เป็นแกนของเวลา (ms) และแกน y เป็นแกนของความเข้มแสง (a.u.)	77

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.30 แสดงภาพสัญญาณที่บันทึกได้ที่ระดับอัตราการใช้ไฟ U_2 เมื่อแกน x เป็นแกนของเวลา (ms) และแกน y เป็นแกนของความเข้มแสง (a.u.)	78
4.31 แสดงภาพสัญญาณที่บันทึกได้ที่ระดับอัตราการใช้ไฟ U_3 เมื่อแกน x เป็นแกนของเวลา (ms) และแกน y เป็นแกนของความเข้มแสง (a.u.)	78