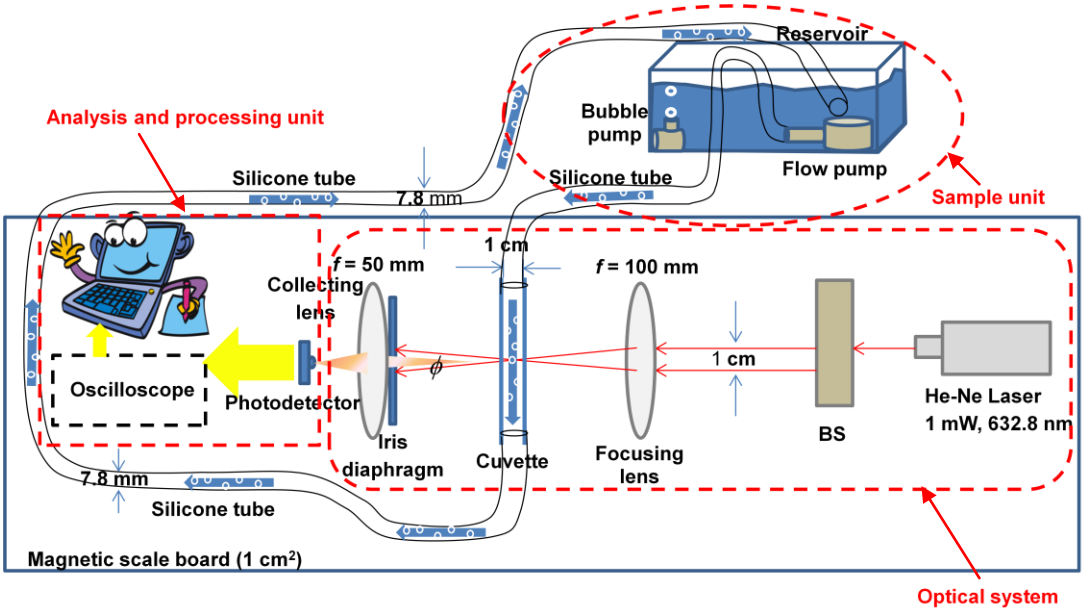
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างชุดการทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลของของไหลโดยใช้วิธีเลเซอร์ด็อปเพลอร์ ซึ่งเลือกใช้เทคนิคการจัดวางอุปกรณ์ด้วยวิธีเลเซอร์ด็อปเพลอร์ชนิดลำแสงคู่ โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งมีรายละเอียดและวิธีการดำเนินการวิจัย คือ การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในชุดการทดลอง ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ระบบทางแสง (Optical system) ระบบของไหลตัวอย่าง (Sample unit) และระบบวิเคราะห์และประมวลผล (Analysis and processing unit) แล้วทำการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตร (ซึ่งวัดด้วยวิธีการจับเวลา) กับความถี่ด็อปเพลอร์ของสัญญาณแสงที่วิเคราะห์ได้จากระบบประมวลผล และทดสอบสมการความสัมพันธ์ที่ได้ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการวัด ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 การออกแบบชุดการทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลของของไหลโดยใช้วิธีเลเซอร์ด็อปเพลอร์ชนิดลำแสงคู่

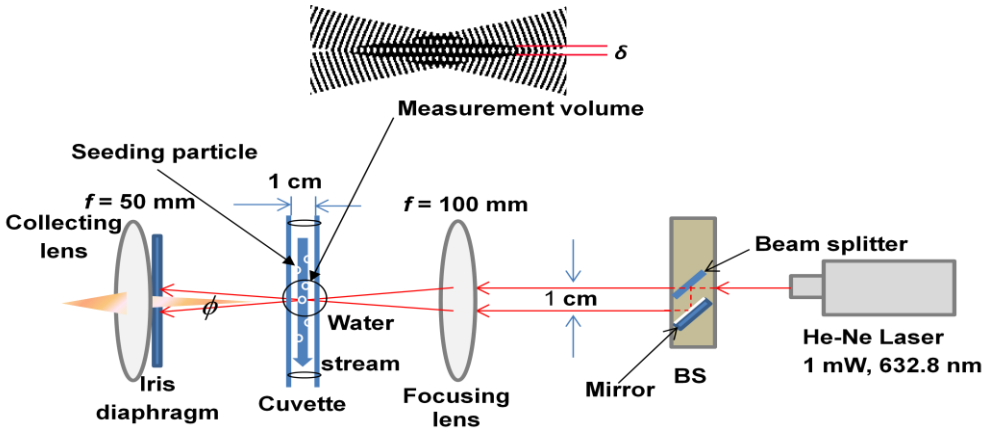
ชุดการทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลของของไหลโดยใช้วิธีเลเซอร์ด็อปเพลอร์ชนิดลำแสงคู่นี้ ถูกออกแบบขึ้นภายใต้เงื่อนไข คือ เลือกใช้อุปกรณ์ที่สามารถจัดหาได้ง่าย มีราคาถูก และเป็นครุภัณฑ์มาตรฐานภายในห้องปฏิบัติการ ระบบการวัดที่ออกแบบนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ระบบทางแสง ระบบของไหลตัวอย่าง และระบบวิเคราะห์และประมวลผล ดังแสดงในรูปที่ 3.1



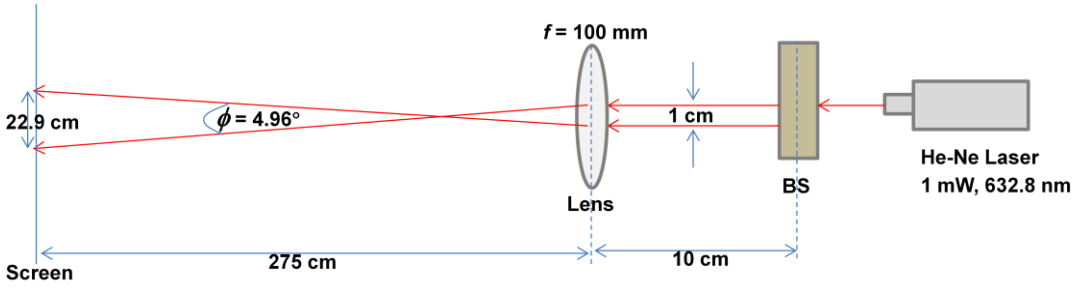
รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังของชุดการทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลของของไหล

จากรูปที่ 3.1 อุปกรณ์ทางแสงทุกชนิดจะถูกติดตั้งบนกระดานแม่เหล็ก (Magnetic scale board) แสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน (He-Ne Laser) ที่มีความยาวคลื่น 632.8 nm กำลัง 1 mW จากแหล่งกำเนิดแสงจะถูกส่งผ่านไปยังตัวแยกลำแสงที่มีกระจกสะท้อนลำแสงในตัว เพื่อแบ่งลำแสงออกเป็นสองลำที่มีความเข้มแสงเท่ากันและขนานกัน ให้ไปตกกระทบบนเลนส์ที่มีความยาวโฟกัส 100 mm (Focusing lens) เพื่อรวมแสงให้ไปตัดกันด้วยมุมระหว่างลำแสง ϕ ที่จุดกึ่งกลางภายในเซลล์ (Cell) หรือท่อโปร่งแสงทรงสี่เหลี่ยม (Cuvette) ซึ่งมีของไหลที่ต้องการทราบอัตราการไหลไหลผ่าน ตำแหน่งที่ลำแสงทั้งสองลำตัดกันที่จุดกึ่งกลางภายในเซลล์นี้ จะเกิดเป็นห้วงแห่งการวัด ซึ่งมีของไหลจากระบบของไหลตัวอย่างไหลผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยภายในบริเวณดังกล่าวนี้จะเกิดริ้วของการแทรกสอดของแสงขึ้น เมื่อมีอนุภาคเคลื่อนที่ผ่านจะทำให้เกิดการกระเจิงของแสง เป็นผลให้ความถี่ของริ้วแสงมีค่าเปลี่ยนไป จากนั้นใช้ไอริสไดอะแฟรม (Iris diaphragm) กั้นลำแสงให้เหลือเฉพาะแสงที่กระเจิงจากจุดตัดไปตกกระทบลงบนเลนส์ที่มีความยาวโฟกัส 50 mm (Collecting lens) เท่านั้น เพื่อรวมแสงให้ไปตกลงบนหัววัดแสง

ในงานวิจัยนี้จะจัดวางอุปกรณ์ทางแสงโดยให้ระดับของลำแสงเลเซอร์ขนานกับกระดานแม่เหล็ก และสูงจากแนวระดับเป็นระยะ 13.8 cm กำหนดให้แหล่งกำเนิดแสงอยู่ห่างจากตัวแยกลำแสงเป็นระยะ 2.5 cm ระยะห่างระหว่างลำแสงขนานหลังจากผ่านตัวแยกลำแสงมีค่าเท่ากับ 1 cm และมุมระหว่างลำแสง ϕ เท่ากับ 4.96° โดยวิธีการวัดมุม ϕ นี้แสดงดังรูปที่ 3.3

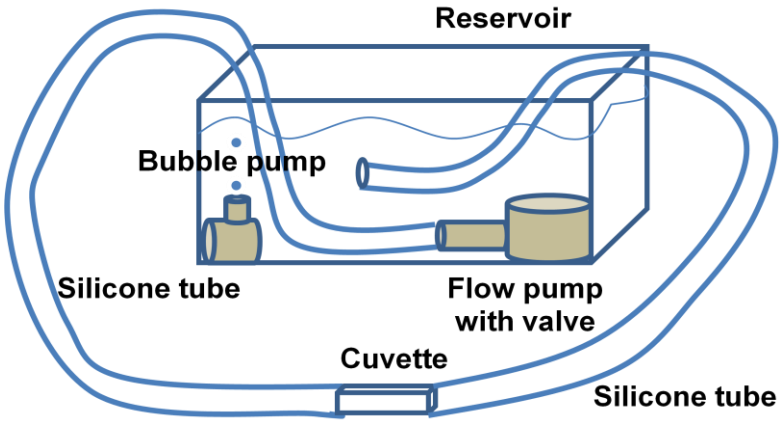


รูปที่ 3.2 แสดงแผนผังของระบบ LDA จากมุมมองด้านบน



รูปที่ 3.3 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ทางแสง (จากมุมมองด้านบน) เพื่อทำการคำนวณหาค่ามุมระหว่างลำแสงที่ตัดกัน

สำหรับระบบของไหลตัวอย่าง ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ระบบหมุนเวียนน้ำที่สามารถปรับอัตราการไหลได้ด้วยวาล์ว และระบบเติมฟองอากาศ ดังแผนผังในรูปที่ 3.4 ในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำประปาที่มีอุณหภูมิ $26\pm1^{\circ}C$ เป็นของไหลตัวอย่าง โดยในน้ำประปาจะมีฟองอากาศซึ่งถูกสร้างขึ้นจากปั๊มลมเติมฟองอากาศ (Bubble pump) และจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกระเจิงแสงด้วยความเร็วที่เท่ากับความเร็วในการไหลของน้ำ อัตราการไหลของน้ำสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยใช้ปั๊มควบคุมการไหลและวาล์ว (Flow pump with valve)



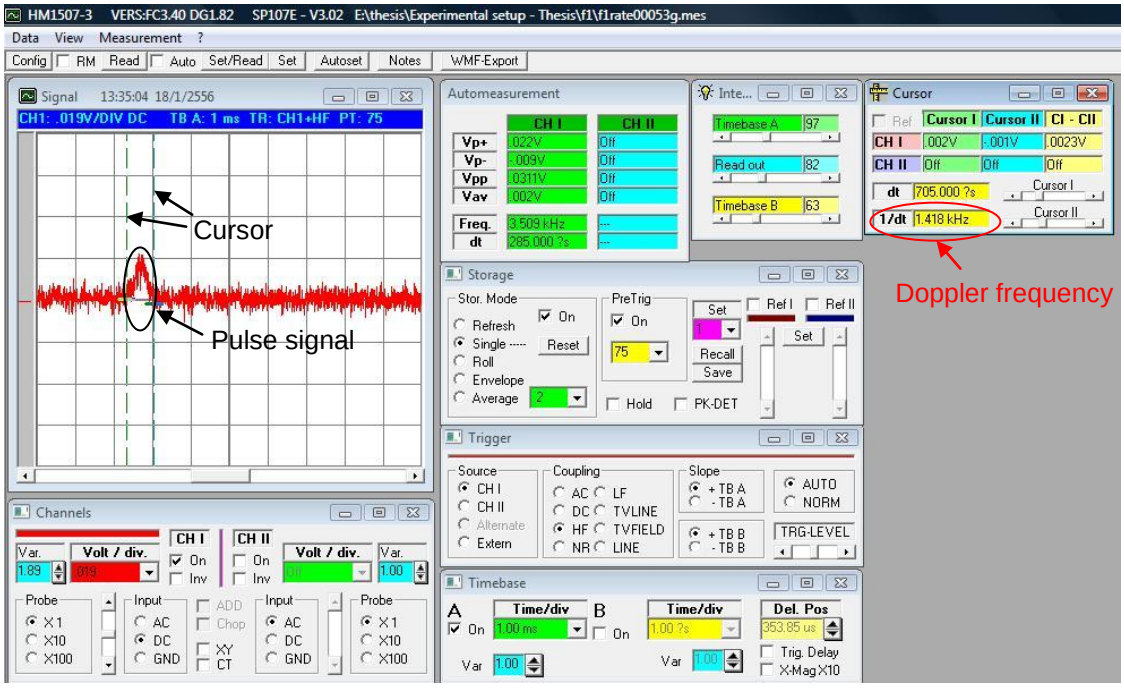
รูปที่ 3.4 แสดงแผนผังของระบบของไหลตัวอย่าง

ในส่วนของระบบวิเคราะห์และประมวลผลนั้น ในงานวิจัยนี้เลือกใช้หัววัดแสงชนิดซิลิกอนแอมพลิ-ไฟด์ (Si Amplified photodetector) เพื่อรับสัญญาณแสงที่กระเจิงจากห้วงแห่งการวัด มาเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนให้กับออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ที่เชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์พกพา คอมพิวเตอร์จะบันทึกค่าสัญญาณไฟฟ้าเพื่อใช้ในการหาค่าความถี่ด็อปเพลอร์จากสัญญาณแสง ซึ่งระบบนี้มีส่วนสำคัญมากในการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรจากวิธีการจับเวลากับความถี่ด็อปเพลอร์ของสัญญาณแสงในหัวข้อที่ 3.2

3.2 การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของของไหลกับความถี่ด็อปเพลอร์

ในการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรกับความถี่ด็อปเพลอร์ของสัญญาณแสง เริ่มจากทำการวัดอัตราการไหล (ด้วยวิธีการจับเวลา) ของน้ำ 5 ระดับ ที่ได้จากการปรับวาล์วซึ่งต่ออยู่กับปั๊มควบคุมการไหล วิธีการจับเวลาจะใช้นาฬิกาจับเวลา (Stopwatch) และกระบอกตวง (Measuring cylinder) ขนาด 250 mL ที่อัตราการไหลของน้ำแต่ละระดับ ให้น้ำไหลเข้าสู่กระบอกตวง บันทึกค่าปริมาตรของน้ำภายในกระบอกตวงที่ตวงได้ในช่วงเวลาที่ต่างกันของอัตราการไหลแต่ละระดับ แล้วนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำในกระบอกตวงกับช่วงเวลา ซึ่งค่าความชันของกราฟก็คืออัตราการไหลเชิงปริมาตรของของไหลนั่นเอง หลังจากนั้นปรับอัตราการไหลของน้ำที่แต่ละระดับ แล้วหาความถี่ด็อปเพลอร์ที่สัมพันธ์กับอัตราการไหลนั้นๆ ซึ่งวิเคราะห์ได้จากระบบวิเคราะห์และประมวลผล

เนื่องจากการวิเคราะห์หาค่าความถี่ด็อปเพลอร์จากออสซิลโลสโคปโดยตรงกระทำได้ยาก เพราะสัญญาณพัลส์นั้นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงต้องบันทึกค่าสัญญาณจาก หัววัดแสงลงในฮาร์ดดิสก์ก่อนนำกลับมาวิเคราะห์หาค่าความถี่ด็อปเพลอร์ในภายหลัง โดยใช้โปรแกรม SP107E โหลดไฟล์ที่มีสัญญาณพัลส์ (Pulse signal) ซึ่งถูกบันทึกไว้ขึ้นมา เลื่อนเคอร์เซอร์ (Cursor) ทั้งสองมาครอบให้พอดีกับความกว้างของสัญญาณพัลส์ แล้วอ่านค่าความถี่ด็อปเพลอร์จากโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เพื่อนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรเทียบกับความถี่ด็อปเพลอร์ของสัญญาณแสง



รูปที่ 3.5 แสดงการอ่านค่าความถี่ด็อปเพลอร์จากสัญญาณพัลส์

3.3 การทดสอบสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรกับความถี่ด็อปเพลอร์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของชุดการทดลองที่สร้างขึ้น

หลังจากที่ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตรกับความถี่ด็อปเพลอร์ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 แล้ว ทำการสุ่มปรับอัตราการไหลขึ้นมาอีก 3 ค่า เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของชุดการทดลองสำหรับวัดอัตราการไหลของของไหลที่สร้างขึ้น โดยวัดอัตราการไหลด้วยวิธีการจับเวลาเปรียบเทียบกับอัตราการไหลที่คำนวณจากสมการความสัมพันธ์ด้วยความถี่ด็อปเพลอร์ที่วัดได้ แล้วนำไปหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error) เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้อง โดยใช้สมการ

$$\%\text{error} = \frac{\left|\text{Experimental result} - \text{Theoretical result}\right|}{\text{Theoretical result}} \times 100\% \qquad (3.1)$$

เมื่อ %error คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

Experimental result คือ อัตราการไหลที่คำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์

และ Theoretical result คือ อัตราการไหลที่หาจากวิธีการจับเวลา