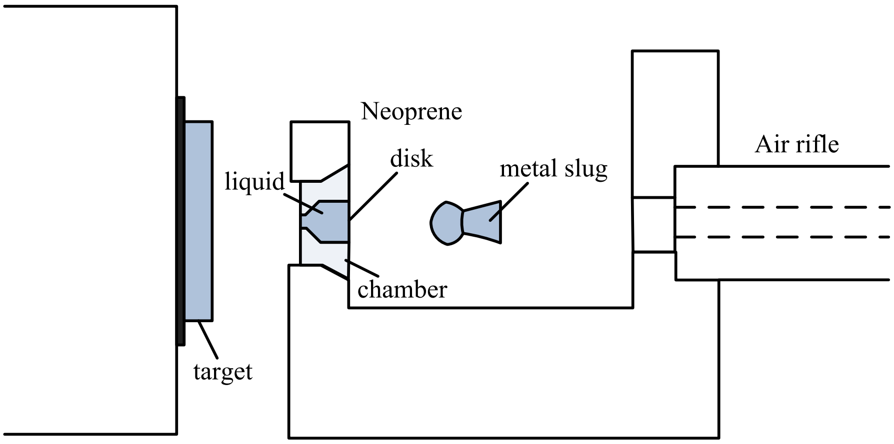
บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีทำการทดลอง

3.1 ชุดทดลอง Horizontal Single State Gas Gun (HSSGG)

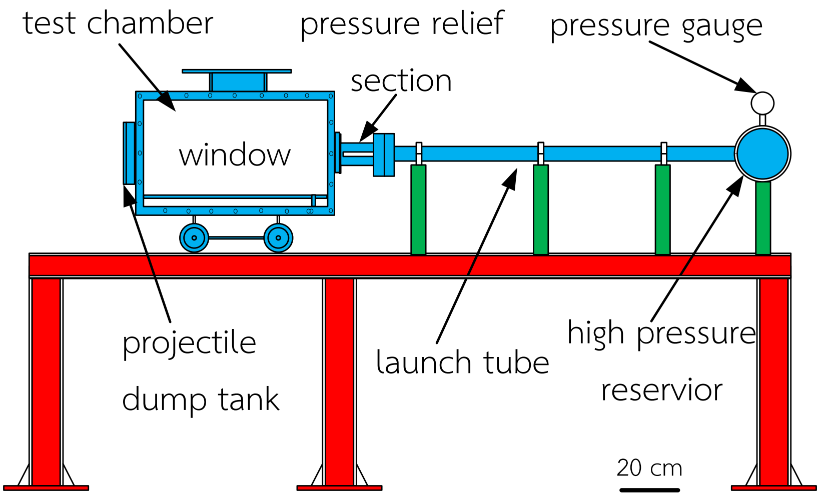
ในการศึกษานี้การผลิตลำพุ่งความเร็วสูงจะใช้เทคนิคที่เรียกว่า impact driven method หรือ Bowden and Brunton method ดังรูปที่ 3.1 [37] ซึ่งเรียกตามหลักการในการผลิตลำพุ่งจากการยิงกระสุนปืนความเร็วสูง (high-speed projectile) เข้าไปกระแทกกับของเหลวซึ่งบรรจุอยู่ในหัวฉีด (nozzle) โมเมนต์ตัมของกระสุนปืนจะทำให้ความดันของของเหลวมีค่าสูงขึ้นจนกระทั่งความดันประมาณ GPa จากนั้นของเหลวก็จะฉีดออกมาจากหัวฉีดด้วยความเร็วสูง ซึ่งเป็นการฉีดลำพุ่งจากการกระแทกของกระสุนนั้นเอง ซึ่งจะเห็นได้ว่า กระสุนปืนความเร็วสูงมีความจำเป็นสำหรับการผลิตลำพุ่งด้วยเทคนิค ซึ่งในการศึกษานี้จะยิงกระสุนปืนความเร็วสูงหรือผลิตลำพุ่งความเร็วสูงจากชุดทดลองที่เรียกว่า Horizontal Single Stage Gas Gun (HSSGG) ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 Impact driven method หรือ Bowden and Brunton method [37, 38]

รูปที่ 3.2 แสดงแผนภาพชุดยิงกระสุน horizontal single stage gas gun (HSSGG) โดยมีส่วนประกอบหลักคือ ถังเก็บความดัน (high pressure reservoir) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7.62 cm และยาว 21 cm มีปริมาตรภายใน 9.58×10^{-4} m^3 ทำมาจากเหล็ก ซึ่งทำหน้าที่ในการบรรจุแก๊สที่ใช้เป็นต้นกำลังในการขับกระสุนปืน โดยถูกต่อเข้ากับเลาปืน (launch tube) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 mm และยาว 1.1 m ทำมาจากท่อไร้ตะเข็บ (seamless pipe) โดยอีกด้านต่อเข้ากับท่อระบายความดัน (pressure relief section) ซึ่งถูกออกแบบให้ช่วยลดแรงอัดอากาศหรือ blast wave ที่อยู่ส่วนหน้าของกระสุนที่ถูกอัดในเลาปืน เพื่อลดแรงต้านและแรงอัดภายใน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 mm ความยาว 15 cm เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm จำนวน 4 รูตามแนวยาว และเจาะจำนวน 3 แถวตามเส้นรอบวงของท่อ โดยต่อเข้ากับห้องทดสอบ (test chamber) ซึ่งเป็นห้องปิด (ไม่เป็นระบบปิดอย่างสมบูรณ์) รูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 40 cm x 50 cm x 60 cm ทำมาจากเหล็ก และใช้ High Density Polythylene

(HDPE) ทำเป็นหน้าต่างทั้งสองด้านเพื่อใช้ในการสังเกตและตรวจสอบพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในการทดลอง ด้านปลายของห้องทดสอบมี projectile dump tank ซึ่งใช้หยุดการเคลื่อนที่ของกระสุน โดยกระสุนปืน (projectile) ที่ใช้ในการศึกษานี้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกทำมาจาก Polymethyl methacrylate (PMMA) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.9 mm สูง 15 mm โดยมีน้ำหนัก 1.4 g ดังรูปที่ 3.3



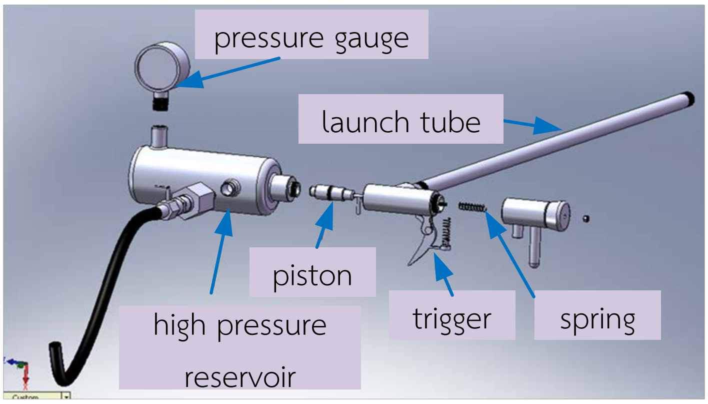
รูปที่ 3.2 แผนภาพ horizontal single stage gas gun

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างกระสุน (projectile) ที่ใช้ในการทดลอง

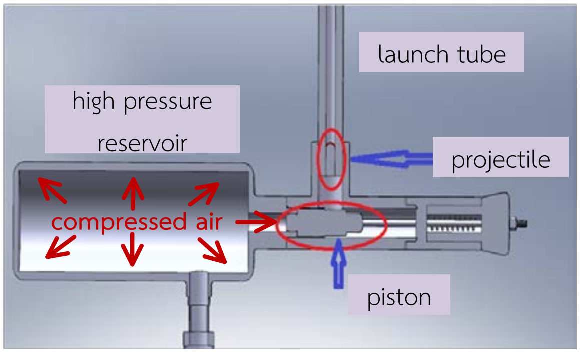
ในการทดลองนี้ใช้อากาศอัด (compressed air) จากปั๊มลม (air compressor) เป็นต้นกำลังในการขับดันกระสุน โดยจะถูกบรรจุเข้าไปภายในถังเก็บความดัน (high pressure reservoir) ก่อนการทดลองหรือการยิงในแต่ละครั้ง โดยส่วนประกอบของกลไกการยิงกระสุนที่ต่อเข้ากับถังเก็บความดันแสดงดังรูปที่ 3.4

ก่อนการทดลองหรือการยิงกระสุน ในรูปที่ 3.5a ลูกสูบ (piston) จะถูกติดตั้งให้ปิดช่องผ่านของอากาศอัดจากถังเก็บความดัน (high pressure reservoir) โดยมีกลไกล็อกตำแหน่งของลูกสูบให้หยุดนิ่งไม่ให้การเคลื่อนที่ก่อนการยิงกระสุน จากนั้นทำการติดตั้งกระสุนปืนที่ปลายเลาปืนด้านที่ต่อกับชุดกลไกการยิง จากนั้นจึงจ่ายอากาศอัดเข้าไปยังถังเก็บความดัน ตามความดันที่ต้องการทดสอบ การยิงกระสุนจะเริ่มจากการกดไกปืน (trigger) ดังรูปที่ 3.5b ซึ่งจะเป็นการปลดล็อกกลไกล็อกการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ความดันของอากาศอัด (หรือเรียกว่า driving pressure) จะขับดันลูกสูบให้เปิดช่องทางออกของถังเก็บความดัน เพื่อเพิ่มความเร็วในการเปิดช่องทางออกของอากาศอัดที่ถังเก็บความดัน จึงได้ออกแบบและติดตั้งคอยล์สปริง (spring) (ดังรูปที่ 3.4) เพื่อช่วยให้ลูกสูบเปิดช่องทางออกของอากาศอัดให้รวดเร็วยิ่งขึ้น จากนั้นอากาศอัด

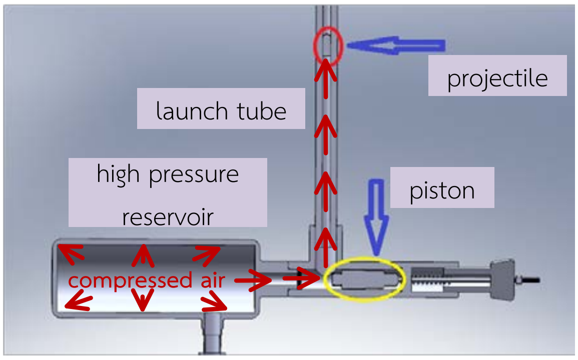
ดังกล่าวจะขับดันกระสุนให้เคลื่อนที่ออกจากเลาปืนเข้าไปยังห้องทดสอบเพื่อตรวจวัดความเร็วของกระสุนหรือศึกษาพฤติกรรมต่างๆ ต่อไป



รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบของกลไกการยิงกระสุน



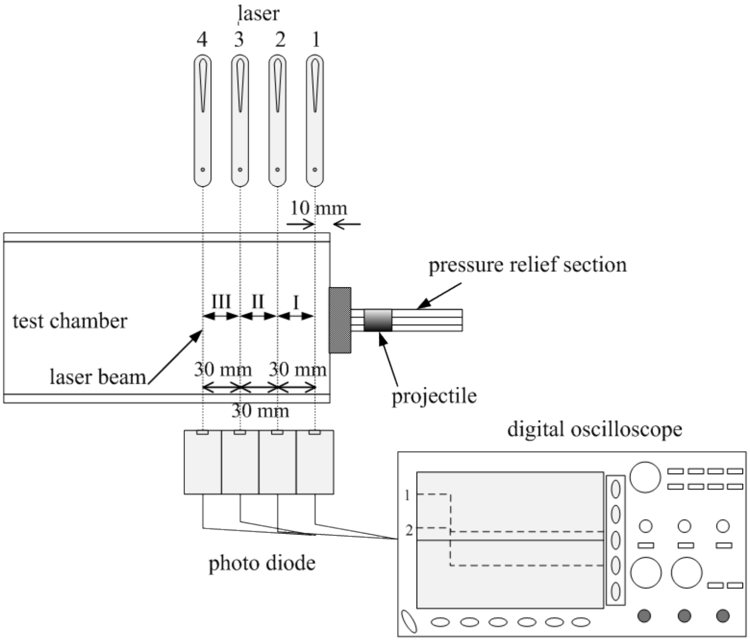
(a) ก่อนการยิง



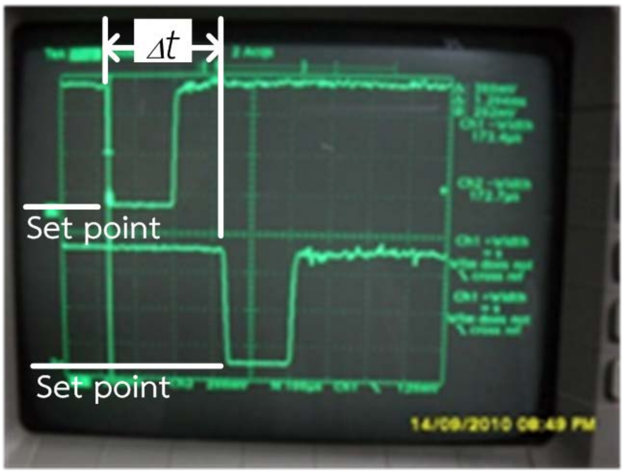
(b) หลังการยิง

รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการยิงกระสุน

3.2. การวัดความเร็วของกระสุนปืน



รูปที่ 3.6 ไดอะแกรมการวัดความเร็วของกระสุนปืน



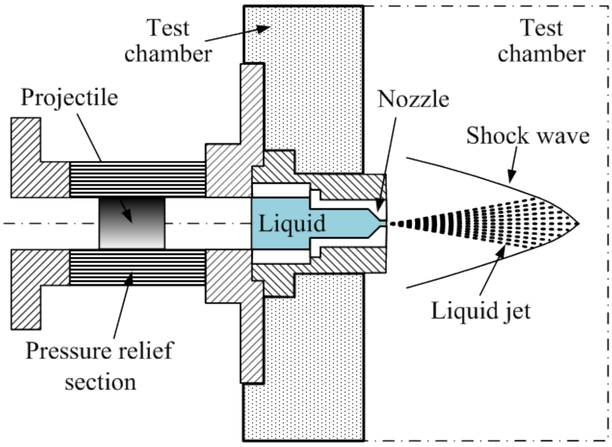
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการแสดงผลของ digital oscilloscope ในการวัดความเร็วของกระสุนปืน

การวัดความเร็วของกระสุนปืนจะใช้หลักการที่เรียกว่า การตัดเลเซอร์ของวัตถุ (laser beam interruption) หรือ time of flight method ซึ่งเป็นวิธีการหาระยะเวลาแตกต่างที่กระสุนปืนรบกวนลำแสงเลเซอร์ (laser beam) ชุดที่ 1 และชุดที่ 2 โดยในการศึกษานี้ลำแสงของเลเซอร์มีระยะห่างกัน 30 mm ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งใช้ photo diode จะทำหน้าที่เป็นตัวรับลำแสงเลเซอร์ โดยการทดลองนี้จะใช้เลเซอร์และ photo diode จำนวน 2 ชุดในแต่ละระยะ (range) โดยทำการวัด 3 ระยะ (range) คือ ระยะ I จะใช้เลเซอร์ชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ระยะ II จะใช้เลเซอร์ชุดที่ 2 และชุดที่ 3 และระยะ III จะใช้เลเซอร์ชุดที่ 3 และชุดที่ 4 ดัง

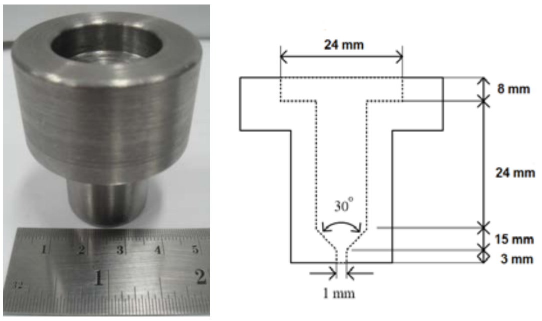
รูป ซึ่งมีหลักการวัดความเร็วคือ หากลำแสงเลเซอร์ไม่ถูกรบกวน photo diode จะรับแสงและจะส่งสัญญาณการรับลำแสงเลเซอร์มายัง digital oscilloscope แต่หากถูกรบกวนหรือมีการบังลำแสงเลเซอร์ไม่ให้ photo diode รับลำแสง สัญญาณที่แสดงผลบน digital oscilloscope จะตกลงมาที่จุดอ้างอิง (set point) โดยการบังแสงเลเซอร์ในการทดลองนี้จะเกิดขึ้นเมื่อกระสุนเคลื่อนที่ผ่าน ดังตัวอย่างการแสดงผลของ digital oscilloscope ในการวัดความเร็วของกระสุนปืนในรูปที่ 3.7

3.3 การผลิตลำพุ่งความเร็วสูง (High-speed jet generation)

ในการศึกษานี้การผลิตลำพุ่งความเร็วสูงจะใช้เทคนิค impact driven method [37] ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.8 โดยที่เทคนิคนี้จะยิงกระสุนปืนความเร็วสูง (high-speed projectile) ในชุดทดลอง Horizontal Single Stage Gas Gun (HSSGG) ซึ่งรายละเอียดรวมถึงสมรรถนะของชุดยิงได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้น โดยในการศึกษานี้ใช้กระสุนปืนที่ทำมาจาก Polymethyl methacrylate (PMMA) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.9 mm สูง 15 mm โดยมีน้ำหนัก 1.4 g ดังรูปที่ 3.3 และหัวฉีดที่ใช้ในการผลิตลำพุ่งความเร็วสูง ทำมาจากเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่บรรจุของเหลว ขนาด D = 10 mm มุม 30° ขนาดของรูหัวฉีด d = 0.1 mm และความยาวของรูหัวฉีด l = 3 mm ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 การผลิตลำพุ่งความเร็วสูง (High-speed liquid jet generation)

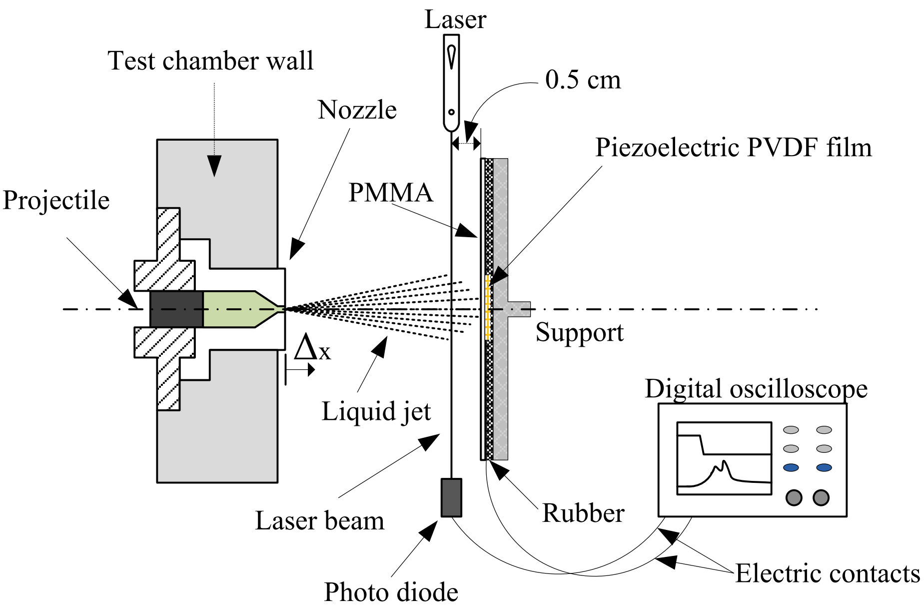


รูปที่ 3.9 รูปทรงของหัวฉีด (Nozzle geometry)

3.4 การวัดความดันกระแทก (Impact pressure)

ลำพุ่งความเร็วสูงที่ถูกผลิตโดยชุด Horizontal Single-stage Gas Gun (HSSGG) จะเป็นลำพุ่งแบบ impulsive jet โดยทันทีที่ลำพุ่งกระแทกลงบนพื้นผิวของแข็งใดๆ ความดันกระแทกของลำพุ่งจะมีค่าสูงในเวลาอันสั้น ซึ่งความดันที่เกิดขึ้นเป็นความดันแบบไดนามิค (Dynamic pressure) หรือความดันค้อนน้ำ (water-hammer pressure) ซึ่งจะมีค่าสูงในระดับหลาย MPa ไป จนถึง GPa ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะวัดความดันดังกล่าวโดยใช้วิธีหรือเครื่องมือวัดแบบทั่วไป

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงออกแบบ สร้างและสอบเทียบ ชุดวัดความดันกระแทกดังกล่าวเพื่อให้สามารถการวัดความดันที่มีค่าสูงขนาดนี้ได้ โดยชุดวัดความดันจะประกอบไปด้วย เปียโซอิเล็กทริกฟิล์ม (Piezoelectricpolyvinylideni fluoride film, PVDF) โดยมี Polymethyl Methacrylate (PMMA) หนา 6 mm และยางหนา 8 mm เป็นตัวรองรับ ทั้งหมดประกอบรวมกันและมี PMMA หนา 8 mm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 mm รองรับอีกครั้ง ดังรูปที่ 3.12 โดยตัวตรวจจับความดันกระแทกหลักจะเป็น PVDF ที่มีความยืดหยุ่น มีความหนา 28 μm ฉาบด้วยโพลิเมอร์และมี Ag-ink เป็นชั่วไฟฟ้า



รูปที่ 3.10 การวัดความเร็วและความดันกระแทกของลำพุ่ง

จากดังรูปที่ 3.10 แสดงการติดตั้งชุดวัดความดันกระแทก เมื่อลำพุ่งของของเหลวกระแทกบนพื้นผิวของชุดวัดความดัน PVDF จะแปลงค่าความดันที่ได้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจะถูกบันทึกไว้โดยออสซิโลสโคป (oscilloscope) ดังรูปที่ 3.13 จากนั้นจะนำค่าแรงดันที่ได้ (V) มาทำการคำนวณหาความดันกระแทกจากสมการที่ได้จากการสอบเทียบดังสมการที่ 3.1 โดยในการงานวิจัยนี้การปรับเปลี่ยนระยะการกระแทกของลำพุ่ง (stand-off distance) ทำได้โดยปรับเปลี่ยนระยะของชุดวัดความดัน

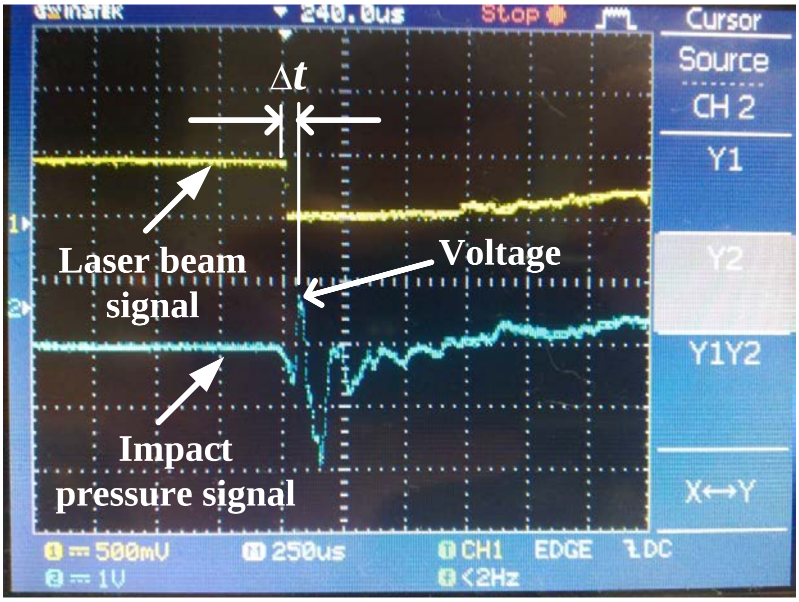
$$P = (17{,}975V \times 2{,}614.4) \times (7.894757 \times 10^{-3}) \qquad (3.1)$$

เมื่อ

P คือ ความดันกระแทกของลำพุ่ง (Impact pressure of the jet, MPa)

V คือ แรงดันไฟฟ้าจากชุดวัดความดันกระแทก

(voltage signal from PVDF pressure sensor, Voltage).



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างสัญญาณการกระแทกของลำพุ่งน้ำในอากาศที่ระยะ 4 cm จากปลายหัวฉีดที่ถูกบันทึกโดยออสซิโลสโคป

3.5 การวัดความเร็วของลำพุ่ง

ในงานวิจัยนี้ความเร็วของลำพุ่งจะถูกวัดด้วยวิธี การตัดเลย์เซอร์ของวัตถุ (laser beam interruption หรือ time of flight method) โดยใช้ไดโอดกำเนิดแสงเลย์เซอร์ยิงตั้งฉากกับเส้นทางของลำพุ่งดังรูปที่ 3.10 โดยแสงเลเซอร์จะอยู่ด้านหน้าของชุดวัดความดัน 5 mm เมื่อลำพุ่งตัดผ่านแสงเลเซอร์แล้วกระแทกที่ชุดวัดความดัน สัญญาณการรบกวนเลย์เซอร์และสัญญาณการกระแทกของลำพุ่งจะถูกบันทึกไว้บนออสซิโลสโคปดังรูปที่ 3.11 จากช่วงเวลาระหว่างสัญญาณการรบกวนเลย์เซอร์และสัญญาณการกระแทกของลำพุ่ง (Δt) จากรูปที่ 3.11 จะสามารถคำนวณความเร็วของลำพุ่ง (V_j) ได้จากสมการที่ 3.2

$$V_j = \frac{\Delta s}{\Delta t} \tag{3.2}$$

เมื่อ

Δs คือ ระยะห่างของเลย์เซอร์และชุดวัดความดัน

Δt คือ เวลาการเคลื่อนที่ที่ระยะห่างของเลย์เซอร์และชุดวัดความดันซึ่งถูกบันทึกได้ที่ออสซิโลสโคปดังรูปที่ 3.11

โดยเทคนิคการวัดความกันกระแทกของลำพุ่งและความเร็วของลำพุ่งแบบนี้ได้ถูกออกแบบ และสร้างขึ้นเฉพาะเพื่องานวิจัยนี้ ทั้งความดันกระแทกและความเร็วของลำพุ่งที่วัดได้เพื่อนำใช้ในการคำนวณความดันกระแทกจากสมการ Water hammer ดังสมการที่ 3.3 [19] จะสามารถวัดได้ในการทดลองเดียวกันซึ่งถือว่าของได้เปรียบของเทคนิคนี้ ดังนั้นความดันที่ได้จากการวัดโดยชุดวัดความดันและจากการคำนวณด้วยสมการ water hammer จึงสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดยตรง

$$P = \rho CV \qquad (3.3)$$

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหลความเร็วสูง (kg/m^3)

C คือ ความเร็วเสียงของของไหลความเร็วสูง (Sound of Speed, m/s)

V คือ ความเร็วของของไหลความเร็วสูง (m/s)