

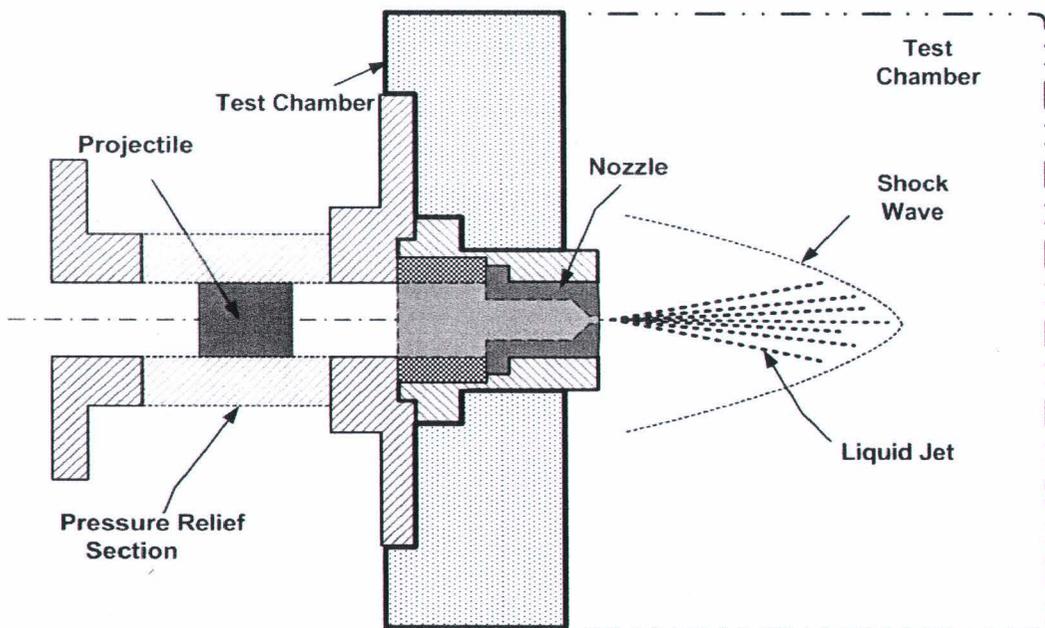
บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

ในการศึกษาคุณลักษณะของลำพุ่งความเร็วสูงนั้น จำเป็นจะต้องรู้ถึงประสิทธิภาพของชุดทดลองที่จะใช้ในการผลิตลำพุ่งความเร็วสูง ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับชุดทดลองดังต่อไปนี้

3.1 การสร้างลำพุ่งความเร็วสูงด้วยวิธี Projectile impact driven

การวิจัยนี้จะกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูงโดยใช้หลักการการถ่ายเทโมเมนตัมจากลูกปืนที่มีความเร็วสูงไปยังของเหลวที่ถูกบรรจุในหัวฉีด ของเหลวที่อยู่ในหัวฉีดจะถูกกระแทกและฉีดออกมาด้วยความเร็วสูง ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า projectile impact driven ซึ่งเป็นวิธีการที่คิดค้นโดย Bowden และ Bruntun ดังรูปที่ 3.1



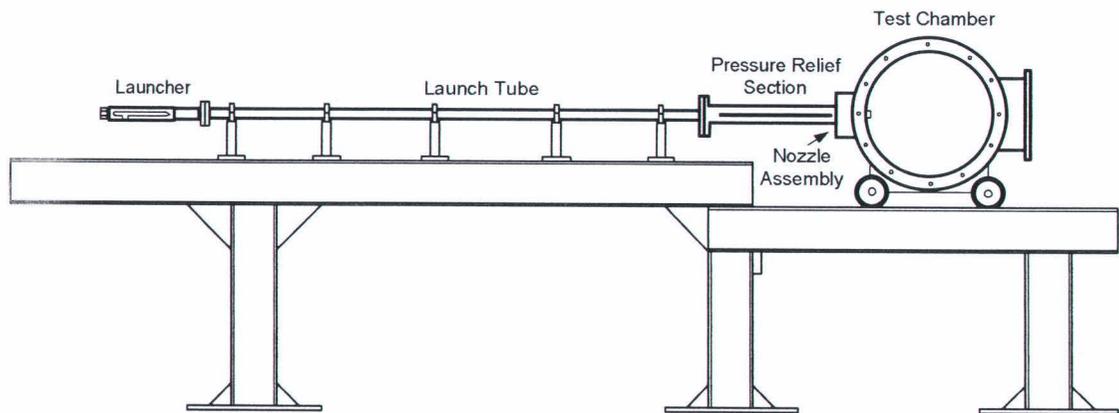
รูปที่ 3.1 การสร้างลำพุ่งความเร็วสูง

ด้วยวิธีการของ Bowden และ Bruntun นี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบ สร้าง ทดสอบ และปรับปรุงชุดกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูงที่เรียกว่า Horizontal Single Stage Powder Gun (HSSPG) ด้วยวิธีนี้ ลูกปืนจะถูกขับจากการระเบิดของดินปืนภายในปลอกลูกปืน (cartridge) ของตัวส่ง (launcher) ด้วย

ความเร็วสูงไปตามท่อส่งลูกปืนหรือลำกล้องปืน (launch Tube) เข้ากระแทกของเหลวที่ถูกบรรจุในหัวฉีดส่วนปลายของท่อส่งลูกปืน เมื่อของเหลวในหัวฉีดถูกกระแทกด้วยความเร็วสูง โมเมนตัมจากลูกปืนจะส่งถ่ายไปยังของเหลวและฉีดออกมาในห้องทดสอบ (test chamber) ด้วยความเร็วที่สูง

3.2 ชุดกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูง (Horizontal Single Stage Powder Gun)

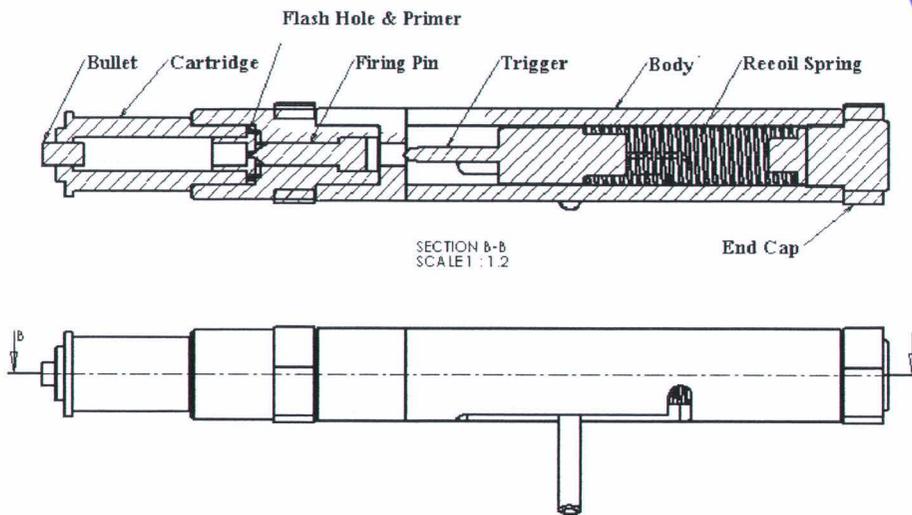
ชุดทดลองที่ใช้ในการทดลองผลิตลำพุ่งความเร็วสูงประกอบด้วย 5 ส่วนที่สำคัญ คือ ตัวส่งลูกปืน (launcher หรือ powder gun) ท่อส่งลูกปืน (launch tube หรือ gun barrel) ท่อปล่อยแรงดัน (pressure relief section) หัวฉีดและส่วนประกอบ (nozzle assembly) และห้องทดสอบ (test chamber) ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 The Horizontal Single Stage Powder Gun (HSSPG)

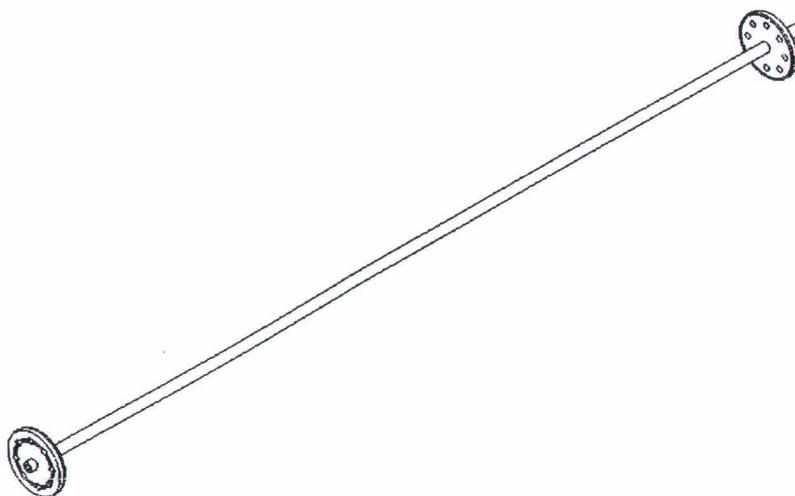
รายละเอียดของชุดทดลองยิงกระสุนความเร็วสูงมีส่วนประกอบดังนี้

ตัวส่งลูกปืน (launcher หรือ powder gun) คือ ชุดส่งลูกปืนที่ใช้แรงขับจากการระเบิดของดินปืนชนิดแข็ง (Solid propellant) ที่จุดการเผาไหม้ด้วยเข็มแทงฉนวน กระบอกบรรจุดินปืนสามารถบรรจุดินปืนได้สูงสุด 7 g ดังแสดงในรูปที่ 3.3



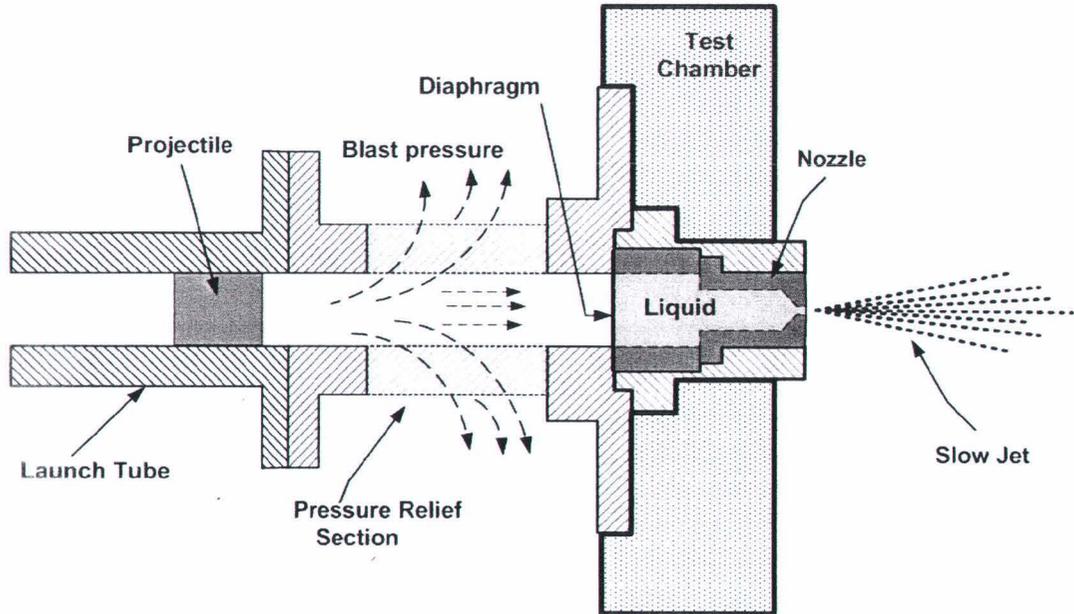
รูปที่ 3.3 Gun powder chamber

ท่อส่งลูกปืน คือ ท่อส่งลูกปืนหรือลำกล้องของปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm ยาว 1500 mm ปลายด้านหนึ่งยึดติดกับตัวส่งลูกปืน และปลายอีกด้านยึดติดกับท่อปล่อยแรงดัน (Pressure relief section) ดังรูปที่ 3.4



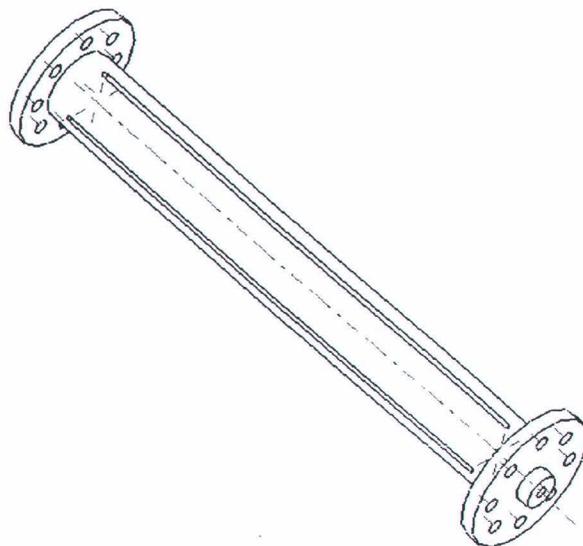
รูปที่ 3.4 Launch Tube

ท่อปล่อยแรงดัน ถูกติดตั้งไว้ส่วนปลายท่อส่งลูกปืน ทำหน้าที่ระบายแรงอัดของอากาศหรือคลื่นลม (blast wave) ที่อยู่ข้างหน้าลูกปืน เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศที่อัดตัวมีดล้าพุ่งก่อนที่ลูกปืนจะกระแทกของเหลวในหัวฉีด เป็นสาเหตุของการเกิดล้าพุ่งซ้ำ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 Generation of slow jet caused by a precursor blast wave

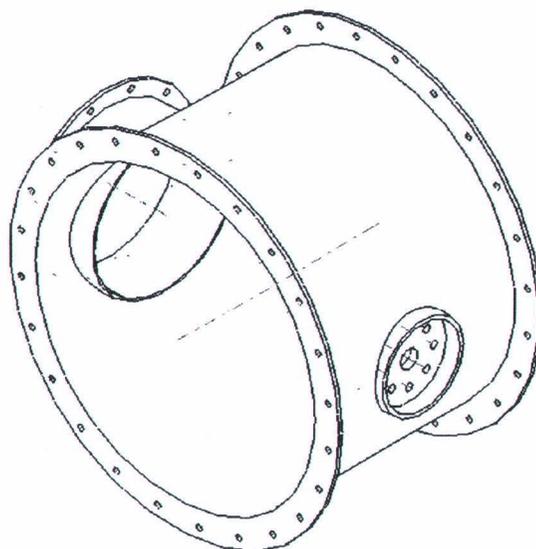
รูปที่ 3.6 แสดง ท่อปล่อยแรงดันซึ่งมีลักษณะเป็นท่อส่งที่เจาะช่องระบายอากาศขนาด 4 mm ยาวตลอดท่อส่งทั้งสองด้าน



รูปที่ 3.6 Pressure relief section

ส่วนประกอบ (nozzle assembly) คือ ส่วนที่อยู่ระหว่างท่อปล่อยแรงดัน กับห้องทดสอบ ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ประกอบกับหัวฉีด

ห้องทดสอบ เป็นห้องที่ลำพุ่งความเร็วสูงถูกฉีดเข้ามา ถูกสร้างให้เป็นถึงกลมขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 400 mm กว้าง 300 mm ด้านหนึ่งของส่วนโค้งยึดกับท่อปล่อยแรงดัน ฝาด้านข้างทั้งสองปิดด้วยแผ่น Polymethyl methacrylate (PMMA) สีใส ความหนา 20 mm เพื่อใช้สำหรับดูพฤติกรรมและคุณลักษณะของลำพุ่ง ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 Test Chamber

3.3 การปรับเทียบความเร็วลูกปืน (Ballistic calibration)

ลูกปืนที่ถูกขับจากแรงระเบิดของดินปืนในปลอกลูกปืนเพื่อใช้ขับลำพุ่งให้เกิดความเร็วสูงได้ตามที่ตั้งวัตถุประสงค์ไว้จะ เป็นการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ดินปืนเป็นพลังงานจลน์ แต่พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ได้ทั้งหมด จะสูญเสียพลังงานไปกับความร้อนที่ผนังห้องเผาไหม้ แก๊สที่รั่วระหว่างลูกปืนกับผนังปลอกลูกปืน และแรงเสียดทานระหว่างลูกปืนกับทอส่ง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม พลังงานของลูกปืนที่ปลายทอส่ง (Muzzle energy) สามารถพอหาได้จาก

$$E = 0.5mv^2 \quad (3.1)$$

เมื่อ E คือ พลังงานจลน์

m เป็นมวลของลูกปืน (g)

v เป็นความเร็วของลูกปืน (m/s)

การเพิ่มหรือลดพลังงานจลน์จะมีผลโดยตรงต่อความเร็วของลูกปืนและลำฟุ้งของเหลว ซึ่งจากสมการ 3.1 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มหรือลดพลังงานจลน์จะทำได้โดยการเปลี่ยนแปลง

(a) มวลหรือความหนาแน่นของลูกปืน

(b) ความเร็วของลูกปืน : ชนิดของดินปืน ปริมาณของดินปืน

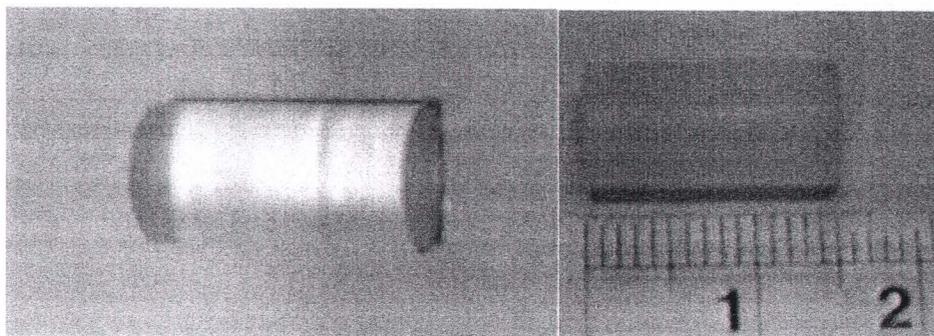
ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้มวลของลูกปืนที่ค่าเดียวแต่จะทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของดินปืนในปลอกลูกปืนเพื่อเปรียบเทียบหาความเร็วของลูกปืนกับลำฟุ้ง โดยจะเพิ่มปริมาณดินปืนที่ทำการทดลองจาก 3 g ถึง 7 g ที่มีค่าความร้อนของดินปืนตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 Main propellant combinations

Notation	Main propellant	heating value
SP1	SLP	2,101.10 cal/g
SP2	BP	1,097.45 cal/g

SP : solid propellant, SLP : smokeless powder, BP: black powder

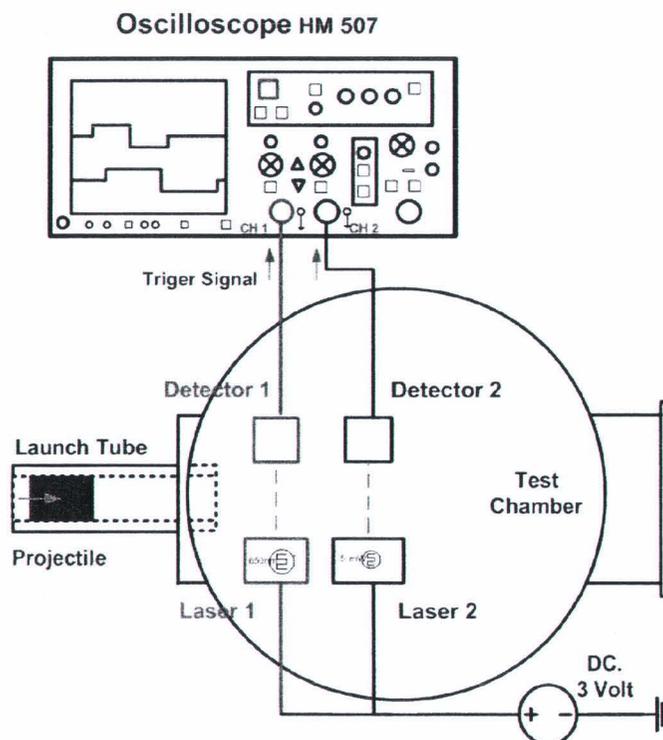
ส่วนของลูกปืนหรือ Projectile ที่ใช้ในการทดลองทำจาก high density polyethylene (HDPE) และ polymethyl methacrylate (PMMA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm ยาว 15 mm ที่ความหนาแน่น 0.95 g/cm^3 และ 1.1 g/cm^3 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 projectiles made from PMMA and HDPE

3.4 การวัดความเร็วของลูกปืนและลำฟุ้ง (Ballistic calibration)

ในการทดลอง ความเร็วของลูกปืนจะถูกวัดโดยวิธีการที่เรียกว่าหลักการตัดแสงเลเซอร์ (Laser beam interruption) ซึ่งวิธีการวัดและเครื่องมือจะแสดงดังรูปที่ 3.9

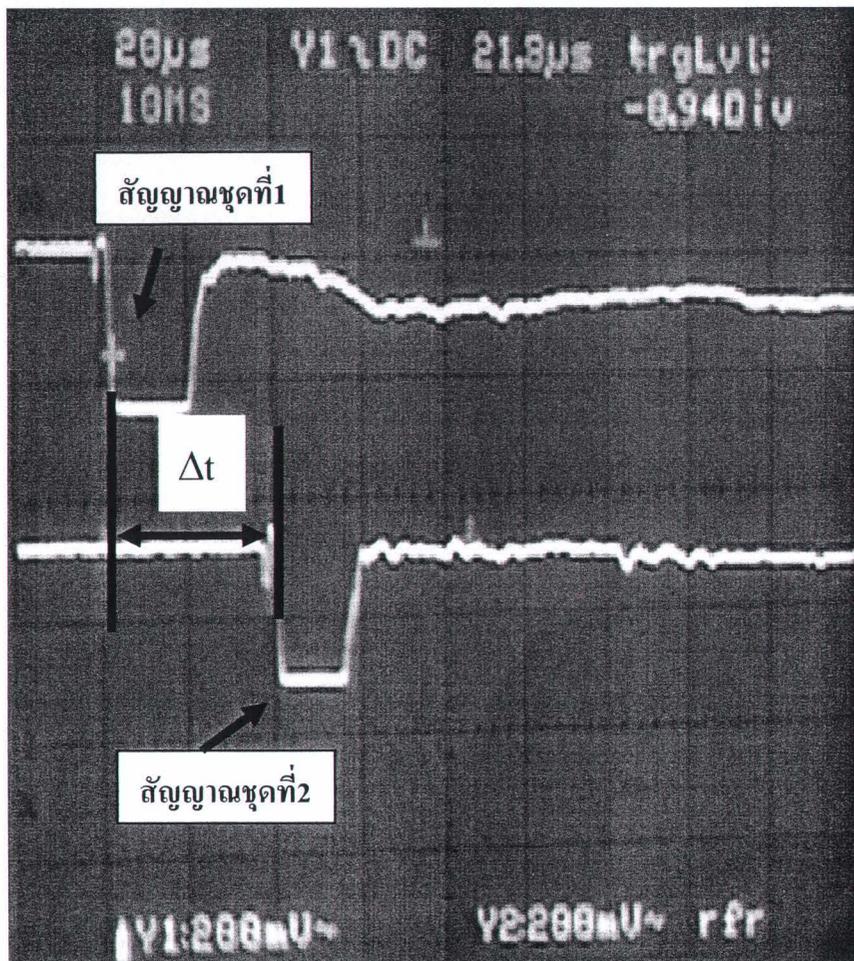


รูปที่ 3.9 วิธี Laser beam interruption

ตามรูปที่ 3.9 หลักการตัดแสงเลเซอร์ จะประกอบด้วย

- Digital Oscilloscope แบบ 2 channel
- Laser diode ขนาด กำลัง 3.2 mW ความยาวคลื่นแสง 650 nm
- ตัวจับสัญญาณแสง (Photo detector)

โดยที่ Oscilloscope และ Sensor สามารถวัดความเร็วได้โดยการต่อสัญญาณจากตัวจับสัญญาณแสง (photo detector) เข้ากับออสซิลโลสโคปสองช่องสัญญาณ (dual trace oscilloscope) ใช้กับ ตัวจับสัญญาณแสง 1 กับ 2 โดยในการทดลองครั้งนี้ได้จัดวางระยะห่างของเซ็นเซอร์ ชุด 1 กับชุดที่ 2 ไว้ที่ระยะ 33 mm เมื่อลูกปืนตัดแสงเลเซอร์ทั้งสอง ความเข้มแสงที่จับสัญญาณลดลง Oscilloscope จะจับสัญญาณไฟฟ้าที่ลดลงได้ และได้เวลาที่ลูกปืนวิ่งตัดชุดเซ็นเซอร์ (sensor) ทั้ง 2 ดังรูปที่ 3.10



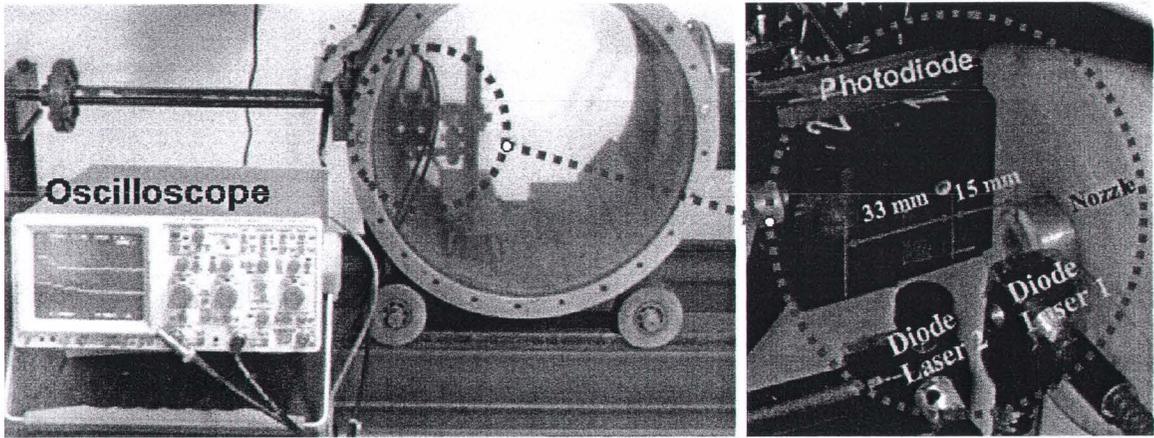
รูปที่ 3.10 สัญญาณลดลงเมื่อลูกปืนวิ่งผ่านชุดชุดเซ็นเซอร์ ที่วัดได้โดย Oscilloscope

จากเวลาที่ลูกปืนวิ่งผ่านชุดเซ็นเซอร์ ทั้งสองที่วัดได้จาก Oscilloscope และระยะห่างของชุดเซ็นเซอร์ทั้งสอง สามารถหาความเร็วเฉลี่ยของลูกปืนได้จาก

$$v_p = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0.033}{\Delta t} \quad (3.2)$$

เมื่อ Δs ระยะห่างของชุดเซ็นเซอร์ ทั้งสองซึ่งกรณีนี้เป็น 0.033 m และ Δt เป็นเวลาที่ลูกปืนวิ่งตัดชุดเซ็นเซอร์ทั้งสอง

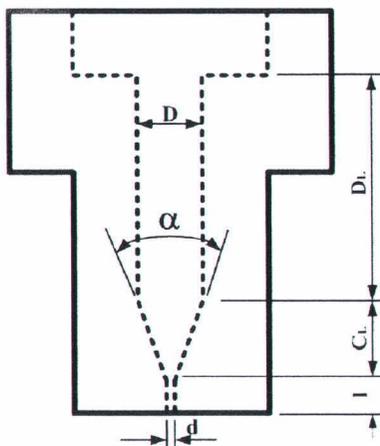
ในกรณีของการวัดความเร็วของลำพู่ยังคงใช้หลักการตัดแสงเลเซอร์ โดยที่ Laser ตัวที่ 1 วางห่างจากหัวฉีด 15 mm และตัวที่ 2 วางห่างจากตัวที่ 1 เป็นระยะ 33 mm ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 Liquid jet velocity measurement arrangement

3.5 รูปร่างของหัวฉีด (Nozzle geometries)

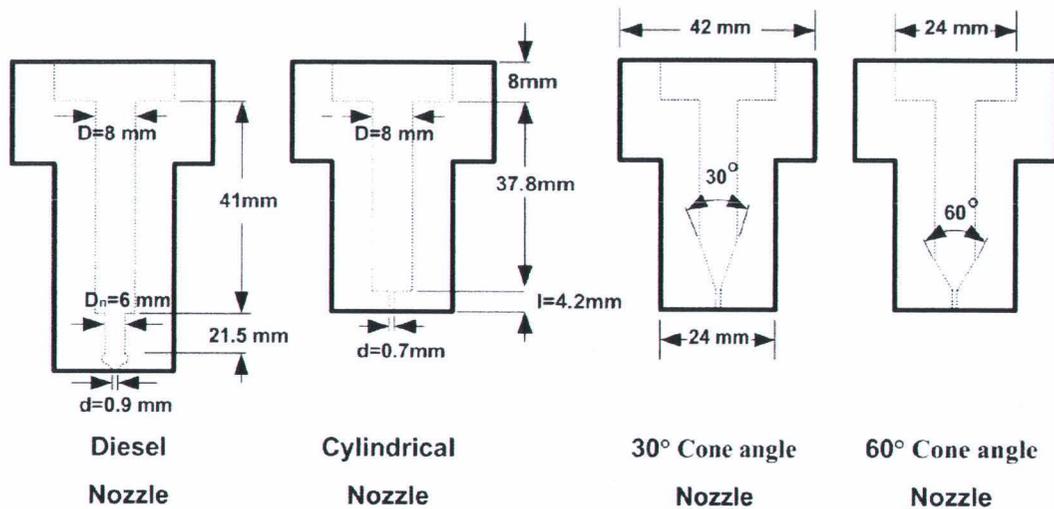
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการออกแบบหัวฉีดเพื่อใช้สำหรับการทดลอง ซึ่งหัวฉีดเป็นส่วนที่มีผลต่อคุณลักษณะของลำพู่เป็นอย่างมาก ในการวิจัยนี้หัวฉีดที่ใช้จะเป็นหัวฉีดชนิดรูเดี่ยว (Single hole) ดังรูปที่ 3.12



Nozzle Configuration					
Nozzle type	D (mm)	d (mm)	l (mm)	l/d	α (°)
A	0.8	0.7	4.2	6	30
B	0.8	0.7	4.2	6	60
C	0.8	0.7	4.2	6	180
D	0.8 / 0.6	0.9	0	0	56

รูปที่ 3.12 โครงร่างของหัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง

ลักษณะรูปร่างของหัวฉีดที่ใช้ในการทดลองจะเป็นชนิดรูเดี่ยว (Single-hole) แบ่งเป็น 4 กลุ่ม มีขนาดของรูฉีด (Orifice diameter) มุมภายใน ที่แตกต่างกันดังรูปที่ 3.13



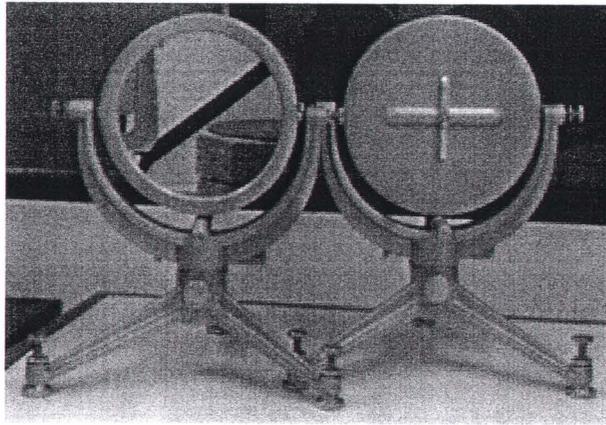
รูปที่ 3.13 รูปทรงของหัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง

3.6 ระบบถ่ายภาพลำพุ่งความเร็วสูง (Visualization of high-speed liquid jets)

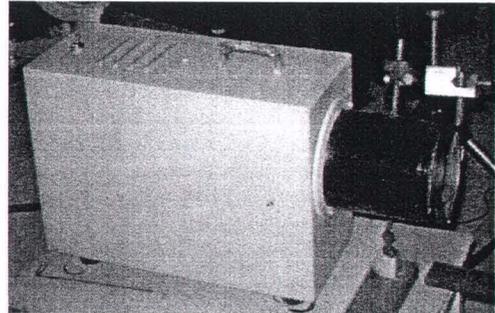
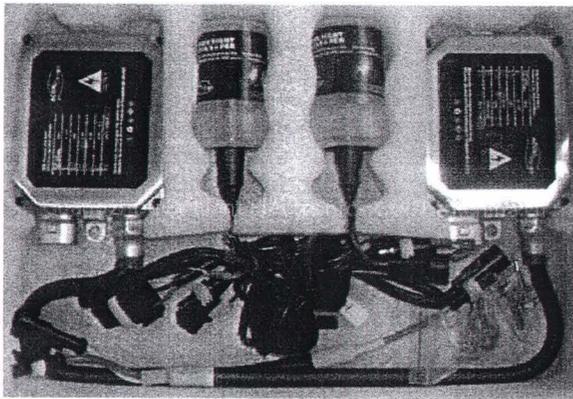
เทคนิคที่ใช้สำหรับการถ่ายภาพของลำพุ่งความเร็วสูงเพื่อให้มองเห็นพฤติกรรมของลำพุ่งความเร็วสูงมีหลายเทคนิค เช่น Schlieren technique, shadowgraph technique เป็นต้น เทคนิคเหล่านี้หากใช้ร่วมกับกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงแล้วไม่เพียงแต่จะเห็นภาพลำพุ่งความเร็วสูงแล้ว ยังเห็นพฤติกรรมของคลื่นช็อคกิ้ง ที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าหรือกล้องถ่ายภาพได้

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้เทคนิค Shadowgraph และการจัดวางอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพเป็นแบบระบบ Z-type shadowgraph ซึ่งประกอบด้วยกระจกเว้า (parabolic mirrors) จำนวน 2 แผ่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 mm และความยาวโฟกัส 1500 mm ดังแสดงรูปที่ 3.14 แหล่งกำเนิดแสง (Light source) xenon 35 W 6000k ดังแสดงรูปที่ 3.15 และ กล้องถ่ายภาพความเร็วสูงที่มีความสามารถในการบันทึกภาพที่ 7,500 f/s (1024 pixels x 1024 pixels) ถึง 1,000,000 f/s ดังแสดงรูปที่ 3.16

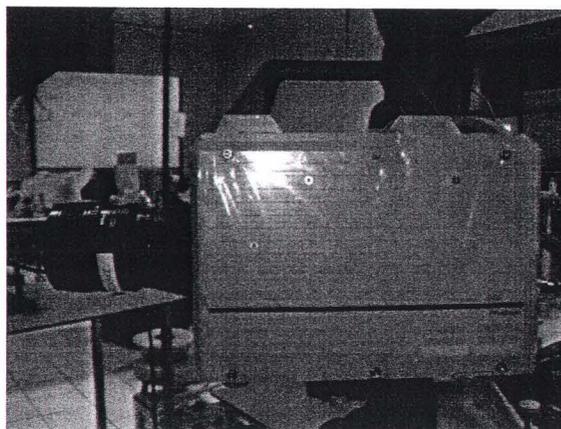
การจัดวางอุปกรณ์แบบ Z-type shadowgraph system โดยจัดวางกระจกทั้งสองบานแรกในระยะโฟกัสจากแหล่งกำเนิดแสง เป็นมุมไม่เกิน 3° โดยให้ลำแสงขนานกันผ่าน test chamber และกระจกวางห่างจากห้องทดสอบ เท่ากับ โฟกัสของกระจก วางกระจกบานที่สองรับลำแสงจากบานแรกในอีกด้านของห้องทดสอบ ในตำแหน่งเดียวกับกระจกบานแรก ลำแสงจากกระจกบานที่สองจะรวมกันที่ตำแหน่งโฟกัสของกล้องวิดีโอความเร็วสูงดังรูปที่ 3.17



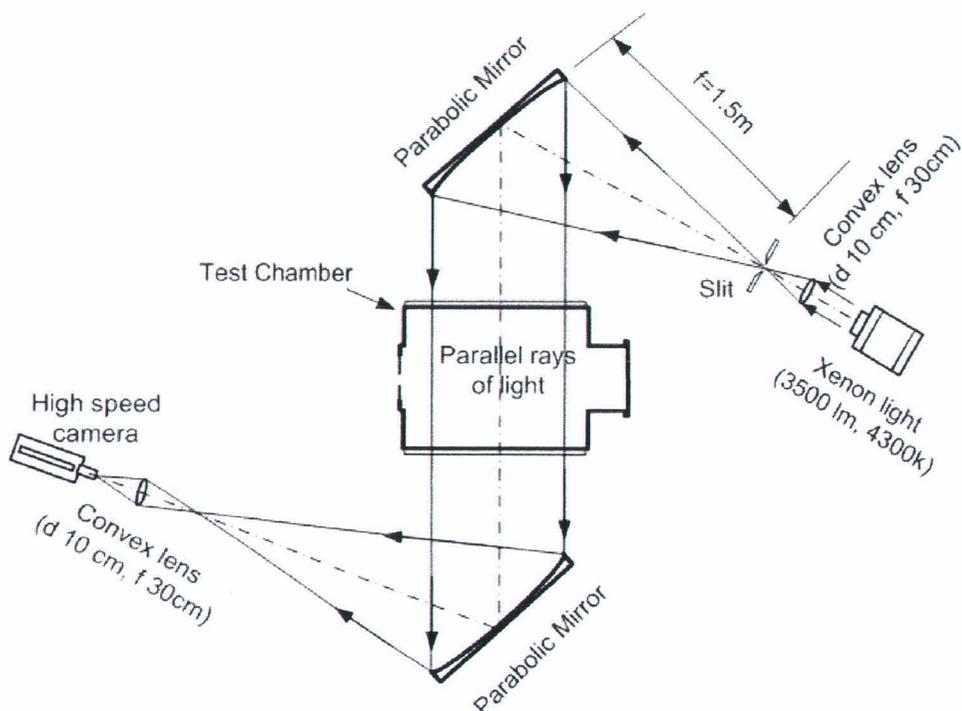
รูปที่ 3.14 Parabolic mirrors



รูปที่ 3.15 Light Source



รูปที่ 3.16 กล้องวิดีโอความเร็วสูง

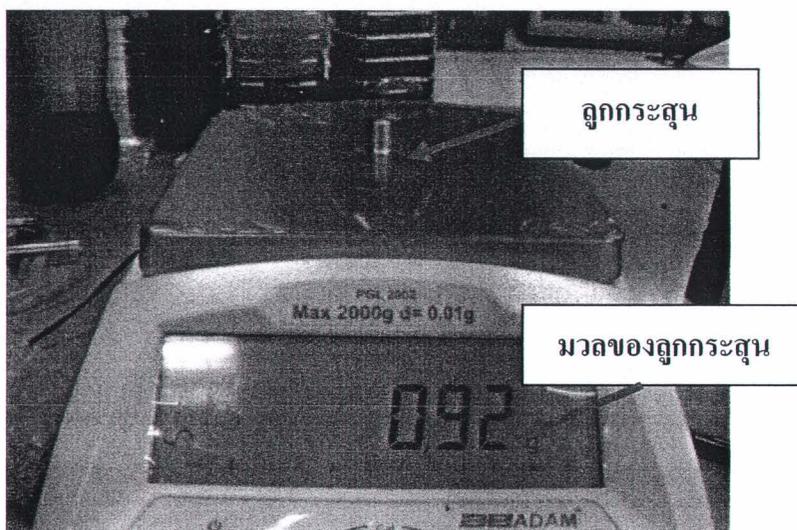


รูปที่ 3.17 Z-type shadowgraph system

3.7 วิธีการทดลอง

การทดลองยิงกระสุนความเร็วสูงเพื่อที่จะผลิตลำพุ่งความเร็วสูงนั้นในแต่ละขั้นตอนการทดลองผู้ทำการทดลองต้องคำนึงถึงความรอบคอบและความละเอียดสูงดังนั้นในการทดลองแต่ละครั้งจึงมีขั้นตอนดังนี้

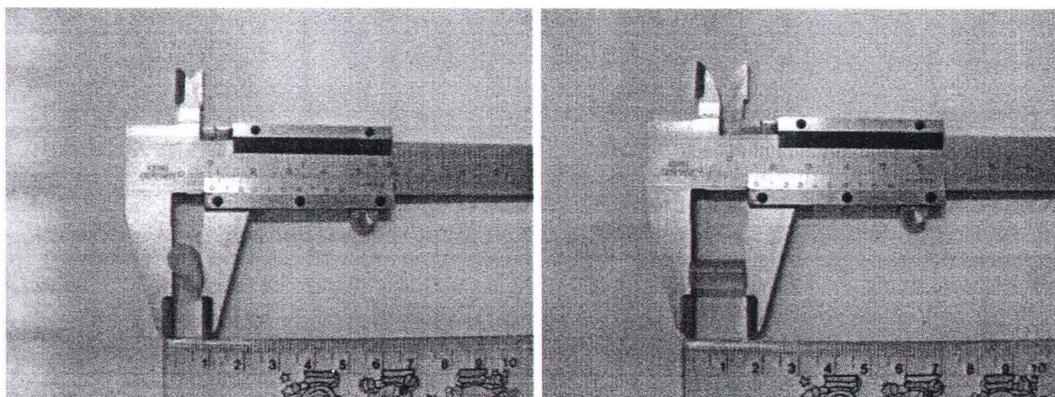
1) การชั่งมวลของกระสุนและการวัดขนาดของลูกกระสุน เนื่องจากมวลของลูกกระสุนและขนาดของลูกกระสุนที่แตกต่างกันนั้นอาจมีผลทำให้ความเร็วของลูกกระสุนที่ได้จากการยิงมีความแตกต่างดังนั้นในการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องมีการชั่งและการวัดลูกกระสุนทุกครั้ง โดยในการทดสอบจะให้กระสุนที่ทำมาจาก PMMA ซึ่งมีลักษณะทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm ยาว 15 mm



ตุ๊กกระสุน

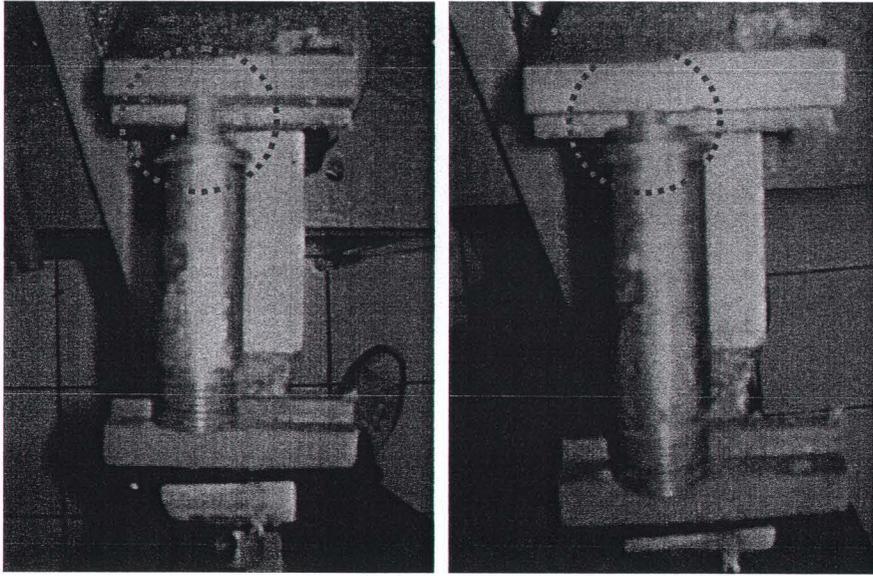
มวลของตุ๊กกระสุน

รูปที่ 3.18 มวลของตุ๊กปืน



รูปที่ 3.19 ขนาดของตุ๊กปืน

2) การบรรจุลูกปืน เมื่อทำการวัดขนาดและชั่งมวลของกระสุนแล้ว จะเป็นขั้นตอนในการบรรจุลูกกระสุน โดยในการบรรจุไม่สามารถบรรจุกระสุนเข้ากับปลอกกระสุนได้โดยง่าย ดังนั้นจึงต้องมีเครื่องช่วยบรรจุลูกกระสุนโดยการอัด โดยอัดให้เหลือกระสุนพ้นจากปลอกกระสุน 5 mm



(a) ก่อนการบรรจุกระสุน

(b) หลังจากการบรรจุกระสุน

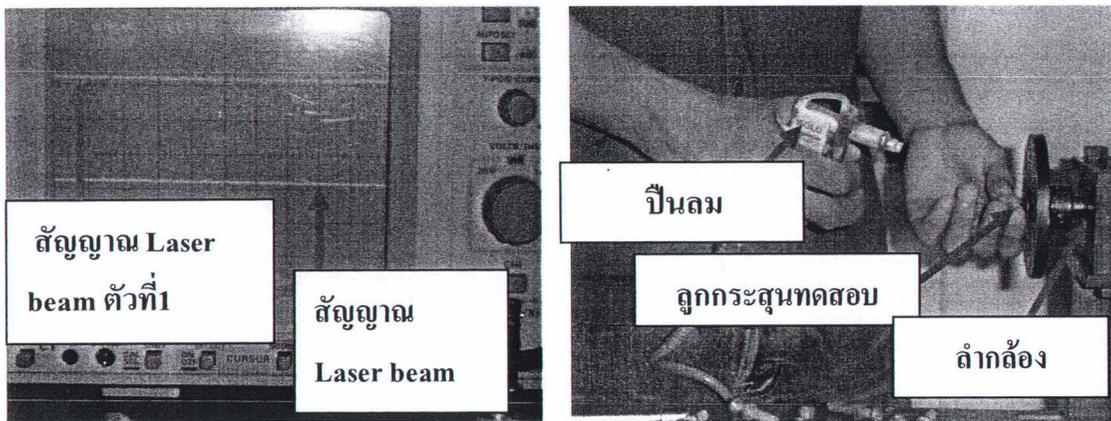
รูปที่ 3.20 บรรจุลูกกระสุน

3) การบรรจุดินปืน หลังจากบรรจุกระสุนเสร็จแล้วจะเป็นขั้นตอนการบรรจุดินปืนโดยการชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลและใส่หัวจุกระเบิด (primer) โดยการติดด้วยเทปใส



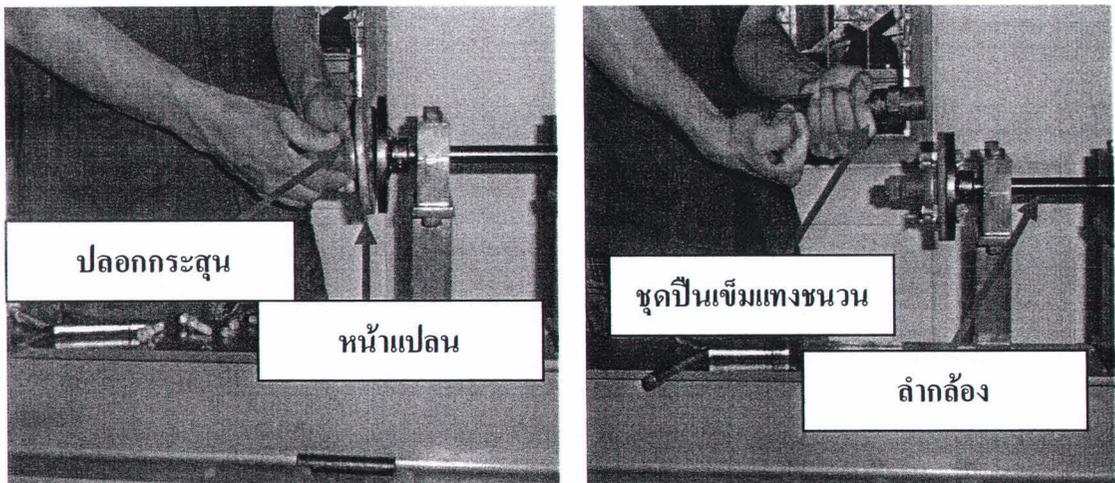
รูปที่ 3.21 บรรจุดินปืนและหัวจุกระเบิด (primer)

4) การตรวจสอบสัญญาณลำแสงเลเซอร์ และ oscilloscope เมื่อเสร็จขั้นตอนต่างๆที่ผ่านมาแล้วก่อนที่จะทำการประกอบชุดปืนเข้ากับชุดทดลองต้องมีการเช็คสัญญาณลำแสงเลเซอร์ และ oscilloscope ทุกครั้งว่าเครื่องทำงานหรือไม่โดยการยิงกระสุนด้วยปืนลม



รูปที่ 3.22 ตรวจสอบสัญญาณลำแสงเลเซอร์ และ Oscilloscope

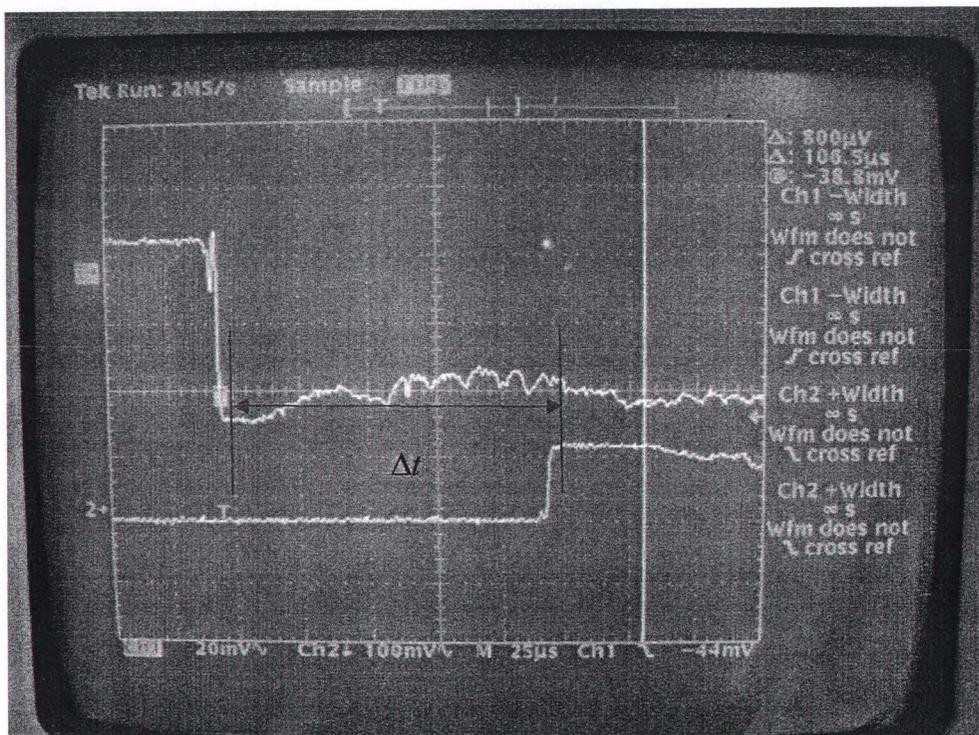
5) ประกอบชุดปืน หลังจากตรวจสอบสัญญาณเรียบร้อยแล้ว จากนั้นก็ทำการประกอบชุดปืนเข้ากับชุดทดลองโดยประกอบปลอกกระสุนเข้ากับหน้าแปลนของลำกล้องก่อนแล้วจึงประกอบชุดปืนที่ใช้ในการจุดชนวน



รูปที่ 3.23 การประกอบชุดปืน

6) การคำนวณความเร็วเมื่อทำการทดลองเรียบร้อยแล้วเซ็นเซอร์ ก็จะสามารถจับสัญญาณของลูกกระสุนหรือลำพุ่งที่ออกจากหัวฉีดได้ โดยสัญญาณจะแสดงบนเครื่อง Oscilloscope และสามารถคำนวณหาความเร็วได้จากสมการ 3.3

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (3.3)$$

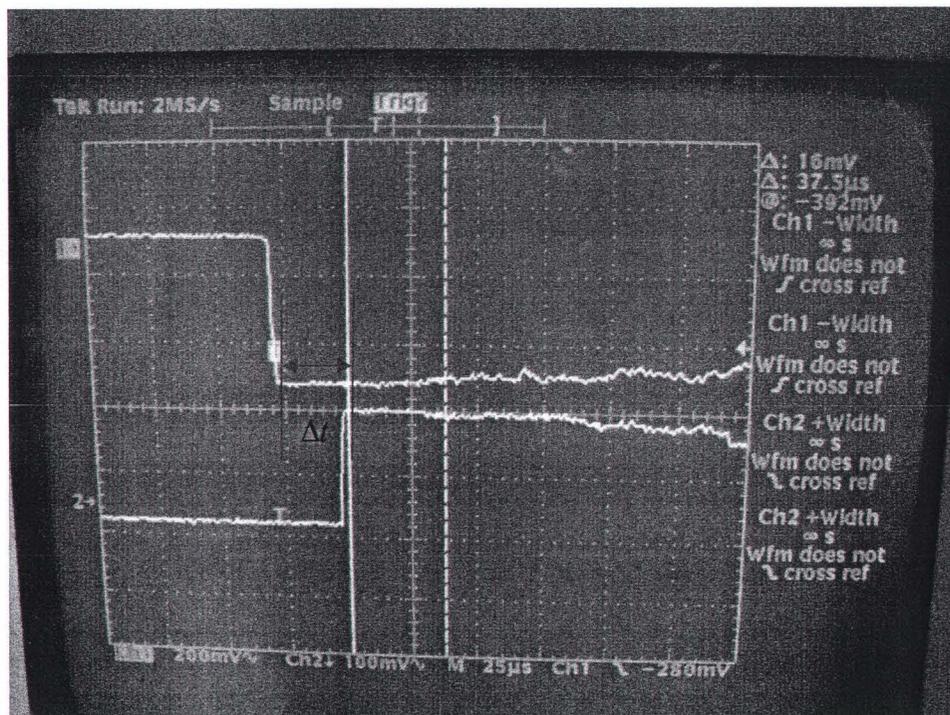


รูปที่ 3.24 สัญญาณที่วัดได้จากลำแสงเลเซอร์ ระยะห่าง 105 mm

ตัวอย่างการคำนวณหาความเร็วของลูกกระสุนจากรูปที่ 3.13

$$\text{จาก } v = \frac{\Delta x}{\Delta t} ; \text{ จะได้ } v = \frac{105 \times 10^3}{(263 - 132.5) \times 10^6} \text{ m/s}$$

$$\therefore v = 804.6 \text{ m/s}$$



รูปที่ 3.25 สัญญาณที่วัดได้จากลำแสงเลเซอร์ ระยะห่าง 33 mm

ตัวอย่างการคำนวณหาความเร็วของลูกกระสุนจากรูปที่ 3.25

$$\text{จาก } v = \frac{\Delta x}{\Delta t} ; \text{ จะได้ } v = \frac{33 \times 10^3}{(216 - 177) \times 10^6} \text{ m/s}$$

$$\therefore v = 846.15 \text{ m/s}$$