

ผลของรูปร่างลูกกระสุนปืนที่มีต่อพฤติกรรมของคลื่นในของแข็ง Effect of Projectile Shape on Wave Behavior in Solid

วุฒิชัย สิทธิวงษ์^{1*}, วิระพันธ์ สีหานาม² และ กุลเชษฐ์ เพียรทอง²

Wuttichai Sittiwong^{1*}, Wirapan Seehanam² and Kulachate Pianthong²

¹สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของคลื่นในของแข็งที่เกิดจากกระแทกของลูกกระสุนปืน การทดลองนี้ใช้ Polymethyl methacrylate (PMMA) รับแรงกระแทกจากลูกกระสุนปืนที่มีรูปร่างต่างกัน 3 แบบ คือ ลูกกระสุนปืนทรงกระบอกหัวตัด (P.std) ลูกกระสุนปืนทรงกระบอกหัวมนรัศมี 4 mm (แบบ P.r4) และลูกกระสุนปืนทรงกระบอกหัวกรวยมุม 30° (P.30) ขับด้วยดินปืนขับปริมาณ 3 g เท่ากัน ผลการทดลองบันทึกด้วยกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง (High Speed Video Camera, HSVC) ร่วมกับเทคนิคซาร์โดว์กราฟ (Shadowgraph technique) ได้ความเร็วกระแทกของลูกกระสุนปืนเฉลี่ยที่ 600 m/s 780 m/s และ 250 m/s ตามลำดับ ผลที่วิเคราะห์ได้จากภาพถ่ายทั้ง 3 กรณี คือ คลื่นอัด (Compression wave) เกิดขึ้นเมื่อแผ่น PMMA ถูกกระแทกจากลูกกระสุนปืน คลื่นอัด หรือ Longitudinal waves เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันกับการกระแทก เมื่อคลื่นอัดชนขอบด้านหน้าและด้านข้างจะเกิดคลื่นสะท้อนขึ้น ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นสะท้อนจากขอบด้านข้างวัสดุจะเปลี่ยนทิศเป็นตั้งฉากกับแนวคลื่นอัด คลื่นอัดเกิดขึ้นมากกว่า 1 คลื่นเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อคลื่นสะท้อนเคลื่อนที่สวนทางกับคลื่นอัดเกิดการอัดตัวของคลื่น พฤติกรรมที่เกิดขึ้นของคลื่นกลในกรณีลูกกระสุนปืนแบบ P.30 จะแตกต่างจากลูกกระสุนปืนแบบ P.std และ P.r4

คำสำคัญ : ลูกกระสุนปืน กล้องถ่ายภาพความเร็วสูง เทคนิคซาร์โดว์กราฟ คลื่นอัด

Abstract

The aim of this research is to study mechanical wave behavior created by a high velocity projectile impact on a solid surface. For this study the target used was polymethyl methacrylate (PMMA). In addition three projectiles of various shapes which included flat shape (P.std), round nose (P.r4) and 30° (P.30) boat tail shapes and 3 grams of smokeless gun powder were used consistently. The results from this study were recorded using the high speed video camera with shadowgraph technique. The data from analysis of 3 cases indicate that the average projectile velocity on impact is 600 m/s 780

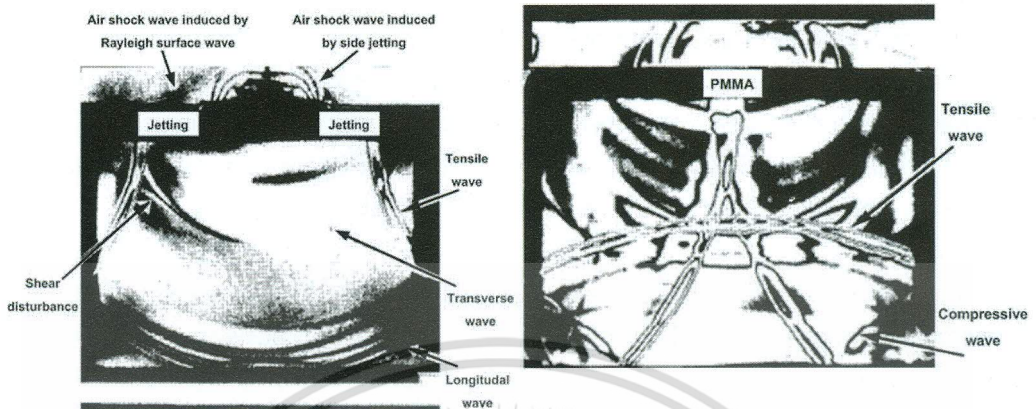
*E-mail address: sittiwong@gmail.com โทรศัพท์ : 0865842004 โทรสาร : 0 441 53093

m/s and 250 m/s respectively. The data also indicates a compression wave or longitudinal wave is created upon projectile impact on the PMMA surface and travels in the same direction as the projectile upon impact. As the compression wave travel through the solid surface, a reflex wave will developed, at lateral corner and travels through the PMMA material at a shape angle to the compression wave. Farther analysis of recorded data also indicated that multiple compression waves are created all traveling in the same direction and that when the reflex waves travel in the opposite direction as the compression wave pressure develops within the compressed waves. In addition, when comparing data from the difference projectile shapes, it is found that compression shock wave behavior differ between from P.30 and that of P.std and P.r4.

Keywords: Projectile, High speed video camera, Shadowgraph technique, Compression wave

1. บทนำ

พฤติกรรมเคลื่อนที่ของวัตถุหรือของเหลวความเร็วสูงชนผิววัตถุทำให้เกิดความเสียหาย เช่น การเสียหายของอากาศยานชนเมฆฝน [1-4] ความเสียหายของระบบท่อและใบพัดของโรงต้นกำลัง [5] เป็นต้น เนื่องจากความดันที่เกิดขึ้นจากความเร็วมืดค่าสูงมาก [6] แต่อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากวัตถุหรือของเหลวความเร็วสูงก็มีมาก เช่น การตัดโลหะ [7] การตัดหิน [8] ทางการแพทย์ ทางการป้องกันการเกิดอาชญากรรมจากผู้ก่อการร้าย ทางการทหาร กรณีของวัตถุหรือลูกกระสุนปืนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง มุมของคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นสามารถใช้เป็นข้อมูล เพื่อหาตำแหน่งของผู้ยิง และบอกชนิดของอาวุธปืนที่ใช้ได้ [9] ในช่วง 5 ปีนี้มีกลุ่มนักวิจัยในอินเดีย [10-12] ทำการทดลองและจำลองด้วย ไฟไนต์อีลิเมนต์ซอฟต์แวร์เพื่อศึกษาพฤติกรรมความเสียหายของวัตถุ การต้านทานการกระแทกของวัสดุจากการกระแทกของ Projectile ทรงกระบอกความเร็วเริ่มต้นที่ใช้ทดลองประมาณ 120 m/s เปลี่ยนแปลงรูปร่างส่วนหัว เปลี่ยนแปลงขนาด Projectile เปลี่ยนแปลงขนาดเป้ายิงและจำนวนชั้นของเป้ายิง จากผลการทดลองพอสรุปได้ว่า รูปทรงของ Projectile มีผลต่อความเร็วของ Projectile รูปทรงของหัว Projectile มีผลต่อความเร็วกระแทก (Impact velocity) คือ Projectile ที่มีหน้าตัดเรียบกับโค้งเล็กน้อย (Nose shape) จะมีความเร็วกระแทกสูงกว่า Projectile ทรงกรวย ในปี 1995 Obara และคณะ [13] ทำการทดลองเพื่อศึกษากลไก (Mechanisms) ของการกระแทกของลำฟุ้ง (Liquid jet impact) ลงบนผิวของเหลวและผิวของแข็ง หาความสัมพันธ์ที่ทำให้เกิดความเสียหายจาก Cavitation (Cavitation damage) และการกัดกร่อนจากฝน (Rain erosion) ขนาดของลำฟุ้งที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm ความเร็วประมาณ 600 m/s กระแทกลงบนผิวน้ำ และ Polymethyl-methacrylate (PMMA) วางห่างจากหัวฉีด 15 mm ผลการทดลองการเกิดขึ้นของคลื่นกระแทก (Shock wave) จากการกระแทกของลำฟุ้งที่ผิว การสะท้อนของคลื่นกระแทกกระหว่างของเหลวกับของเหลวและของเหลวกับของแข็ง การปลดปล่อยคลื่นกระแทก และความเสียหายจะถูกบันทึกและอธิบายด้วยภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง (High Speed Video Camera, HSVC) กรณีลำฟุ้งกระแทกลงบนแผ่น PMMA หนา 5.9 mm ความเสียหายเกิดขึ้นลึกลงไปใผิวนิวส์ต Compressive wave เคลื่อนที่อยู่ภายในนิวส์ต Release waves สร้าง Tensile stress และ Ring crack ขึ้น



รูปที่ 1. คลื่นกระแทกใน PMMA [14]

ในปีเดียวกัน Shi และคณะ [14] ทำการทดลองเกี่ยวกับปรากฏการณ์ของการกระแทกของของเหลวความเร็วสูงบนของแข็งในช่วงความเร็วระดับ Hypersonic ที่กำเนิดด้วยเครื่องมือที่ชื่อว่า Single stage powder gun และวัดความดันกระแทกด้วย Polyvinylidenedifluoride (PVDF) Piezo film ส่วนลำพุ่งที่กระแทกบนวัสดุจะถูกบันทึกภาพต่อเนื่องด้วย Holographic interferometry ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 1 หลังจากนั้น Shi และ Field [15] กำเนิดลำพุ่งน้ำความเร็ว 450 m/s กระแทกลงบนแผ่น PMMA เพื่อศึกษา Stress wave ลำดับพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของคลื่น (Step change) ความเสียหายของผิววัสดุด้วย HSVC (5×10^5 fps) ผลการทดลองสรุปว่า การแพร่กระจายของ Stress wave ในของแข็งไม่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของผิววัสดุเท่านั้นแต่ยังขึ้นอยู่กับสภาพของการสัมผัสกันของของเหลวที่ติดกับของแข็งด้วย

จากงานวิจัยที่ผ่านมา ทั้งการวิจัยที่ศึกษาความเสียหายของวัสดุโดยเปลี่ยนรูปร่างของหัว Projectile วัสดุรับแรง หรือพฤติกรรมของ Stress wave ในของแข็งซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำที่ผิววัสดุ การศึกษาพฤติกรรมของ Compression wave และ Shear wave ที่เป็นคลื่นกล (Mechanical waves) และพฤติกรรมการกระแทกของวัตถุความเร็วสูง เช่น ลูกกระสุนปืนกับเครื่องป้องกัน จะเป็นประโยชน์ต่อการป้องกันความเสียหายหรือเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการทำลาย และยังมีส่วนที่ยังคงต้องศึกษาเพิ่มเติมคือความสัมพันธ์ของคลื่นกลภายในของแข็งกับรูปทรงของแข็งความเร็วสูงที่มากกระแทก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในวัสดุที่รับแรงกระแทกจากวัตถุความเร็วสูงที่มีรูปทรงส่วนหัวที่กระแทกต่างกันซึ่งเป็นงานวิจัยที่ยังไม่มีผู้ศึกษา โดยเฉพาะในประเทศไทย

2. เครื่องมือและวิธีการทดลอง

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ศึกษาพฤติกรรมของคลื่นกล (Compression wave และ Shear wave) ที่เกิดขึ้นในวัสดุจากการกระแทกของลูกกระสุนปืนความเร็วสูงที่มีรูปทรงส่วนหัวที่แตกต่างกัน ความเร็วกระแทกคงที่ และเพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัตถุหลังการกระแทก ป้องกันวัสดุทดลองเสียหาย วัสดุที่รับแรงกระแทกของลูกกระสุนปืนและกระสุนปืนจึงใช้วัสดุชนิดเดียวกัน คือ PMMA

2.1 วัสดุรับแรงกระแทก

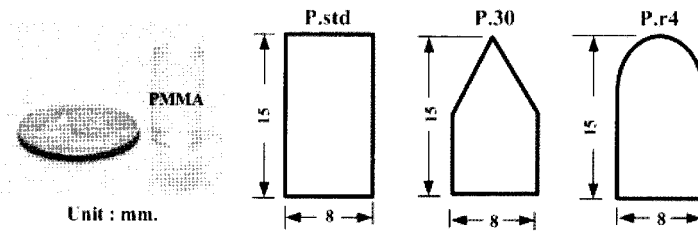
พฤติกรรมของคลื่นกลเป็นการถ่ายเทพลังงานในตัวกลางทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของตัวกลาง ซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าหรือเครื่องมือทั่วไป ประกอบกับเทคนิคการบันทึกภาพจึงจำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีสีใส จึงจะสามารถเห็นพฤติกรรมของคลื่นกลเมื่อวัสดุรับแรงกระแทก ดังนั้น การทดลองนี้จึงใช้วัสดุ PMMA สีใสในการรับแรงกระแทก PMMA ที่ใช้ผลิตจากบริษัท มัลฟอร์ด พลาสติก (ประเทศไทย) มีความหนา 25 mm (ด้านรับแรงกระแทก) มีสมบัติดังตารางที่ 1

2.2 ลูกกระสุนปืน

ลูกกระสุนปืนความเร็วสูงที่ใช้ในการทดลองเป็นลูกกระสุนปืนทรงกระบอกทำจาก PMMA ชนิดเดียวกับวัสดุรับแรงกระแทกสาเหตุเพื่อป้องกันการเสียหายของวัสดุรับแรงกระแทกจากการกระแทกซึ่งจะไม่สามารถศึกษาผลของความเสียหายของผิวหน้าตัดรับแรงกระแทกต่อไปได้ ลูกกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm ยาว 15 mm รูปทรง 3 แบบ (ดังรูปที่ 2) ลูกกระสุนปืน P.std (ลูกกระสุนปืนทรงกระบอกหัวตัดเรียบ) เทียบได้กับลูกกระสุนปืน แบบ Flat nose soft point เช่น ลูกกระสุนปืน .44 Mag++P ลูกกระสุนปืน P.r4 (ลูกกระสุนปืนทรงกระบอกหัวโค้งมน รัศมีโค้ง 4 mm) เป็นลูกกระสุนปืนแบบ Round nose soft point เช่น ลูกกระสุนปืน .45 ACP หรือ 9 mm เป็นต้น และลูกกระสุนปืน P.30 (ลูกกระสุนปืนทรงกระบอกหัวทรงกรวยมุม 30°) เป็นลูกกระสุนปืนแบบ Boat tail เช่น ลูกกระสุนปืน Rifle 308 Win. เหล่านี้เป็นรูปทรงของลูกกระสุนปืนที่ใช้งานกับอาวุธปืนสั้นและปืนยาวชนิด Rifle เป็นต้น รูปทรงส่วนหัวมีผลต่อการเจาะทะลุวัสดุ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาพฤติกรรมของคลื่นกลที่เกิดจากรูปทรงของลูกกระสุนปืนที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการป้องกันการเสียหายหรือออกแบบวัสดุป้องกันการกระแทกขงลูกกระสุนปืน และเป็นองค์ความรู้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อพิสูจน์หลักฐานชนิดของกระสุนปืนและทิศทางการได้ในอนาคตต่อไป

ตารางที่ 1. สมบัติของ Polymethyl-methacrylate

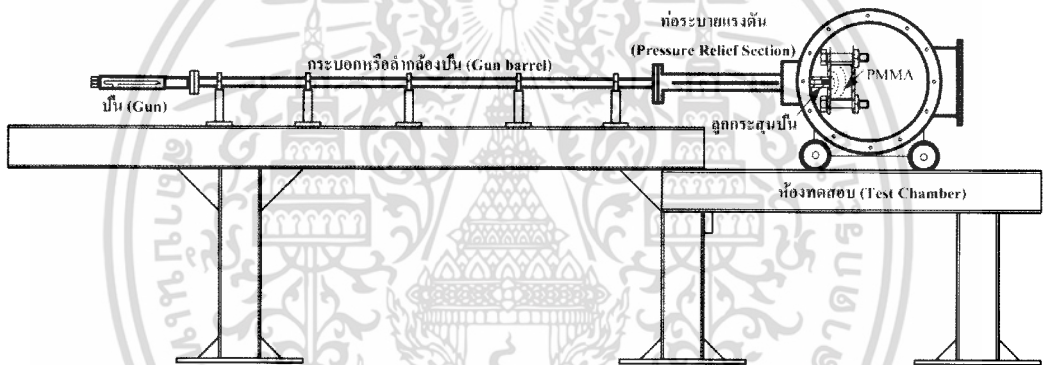
สมบัติ	ค่า	หน่วย
Specific density	1.16	-
Tensile strength	7000	psi
Compression strength	11500	psi
Young's modulus	1800-3100	Mpa
Poission ratio	0.35-0.4	-
Melting point	212	deg. F
Hardness	R120	-
Coefficient of expansion	0.000055	-



รูปที่ 2. รูปทรงลูกกระสุนปืน

2.3 วิธีการยิงลูกกระสุนปืน

ลูกกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลองมีความเร็วเริ่มต้นในระดับ Supersonic ความเร็วเริ่มต้นสูงสุดที่ Mach 2 ด้วยเครื่องยิงที่เรียกว่า Horizontal single stage powder gun (HSSPG) แสดงในรูปที่ 3

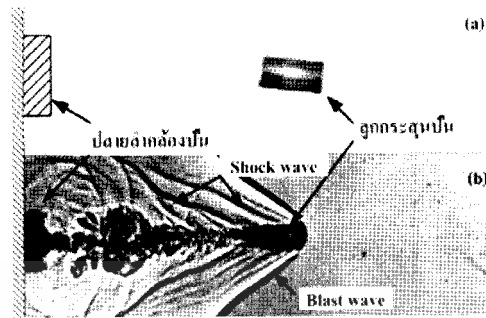


รูปที่ 3. Horizontal Single Stage Powder Gun (HSSPG)

HSSPG ใช้หลักการเดียวกับปืน (Gun) ที่ใช้ดินปืน (Powder gun) จุดฉนวนจากเข็มแทงฉนวน เพาใหม่ดินปืนในปลอกกระสุนปืน (Cartridge) ขับดันลูกกระสุนปืนให้เคลื่อนที่ออกมาตามกระบอกปืน ดินปืนที่ใช้สำหรับการทดลองเป็นดินปืนชนิดดินขี้ฉุนน้อย (Smokeless powder) ปริมาณ 3 g

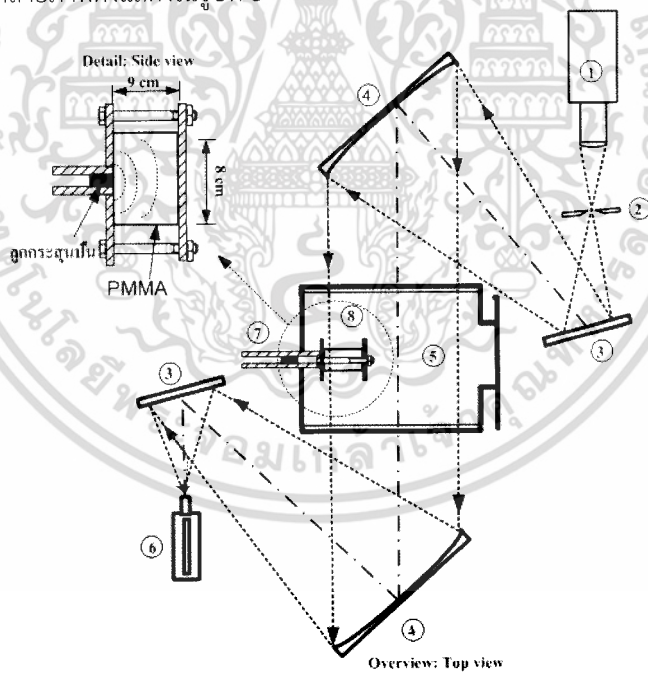
2.4 เทคนิคการถ่ายภาพลูกกระสุนปืนและพฤติกรรมของคลื่นกล

เนื่องจากลูกกระสุนปืนมีความเร็วสูงในระดับ Supersonic จึงไม่สามารถวัดความเร็วของลูกกระสุนปืนด้วยเครื่องมือทั่วไป การทดลองนี้จึงใช้กล้องถ่ายภาพความเร็วสูง (High speed video camera, HSVC) HSVC ที่ใช้ยี่ห้อ Photron รุ่น FASTCAM-SA5 ความเร็วของการถ่ายภาพในการทดลองนี้ตั้งค่าไว้ที่ 30,000 f/s และ 100,000 f/s (ความเร็วสูงสุดของกล้อง 10^6 f/s) เพื่อให้เห็นพฤติกรรมเคลื่อนที่ของลูกกระสุนปืน แต่พฤติกรรมของอากาศที่เกิดขึ้นรอบๆ ลูกกระสุนปืนไม่สามารถมองเห็นด้วย HSVC เพียงอย่างเดียว จึงต้องใช้เทคนิคการโดว์กราฟมาช่วย ดังรูปที่ 4(a) เป็นภาพที่ได้จากการถ่ายด้วย HSVC และ รูปที่ 4(b) เป็นภาพจาก HSVC ร่วมกับเทคนิคการโดว์กราฟ จะเห็นรายละเอียดของพฤติกรรมของสภาวะอากาศรอบๆ ลูกกระสุนปืนได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 4. ภาพถ่ายลูกกระสุนปืน (a) ด้วย HSVC (b) HSVC ร่วมกับเทคนิคชาร์โดว์กราฟ

จากรูปที่ 4(b) มองเห็นคลื่นกระแทกเกิดขึ้นรอบๆ ลูกกระสุนปืนได้อย่างชัดเจน และในกรณีเดียวกันกับคลื่นกลในของแข็งจะไม่สามารถมองเห็นพฤติกรรมดังกล่าวได้ด้วยตาเปล่าหรือกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงเพียงอย่างเดียวได้ จึงต้องใช้เทคนิคชาร์โดว์กราฟร่วมด้วย แต่หลักการของเทคนิคชาร์โดว์กราฟอาศัยหลักการการหักเหของแสงผ่านตัวกลาง ดังนั้นวัสดุของแข็งที่ใช้ในการทดลองจึงใช้แผ่น PMMA สีใส โดยจัดวางขึ้นทดลองกับชุดถ่ายภาพดังแสดงในรูปที่ 5



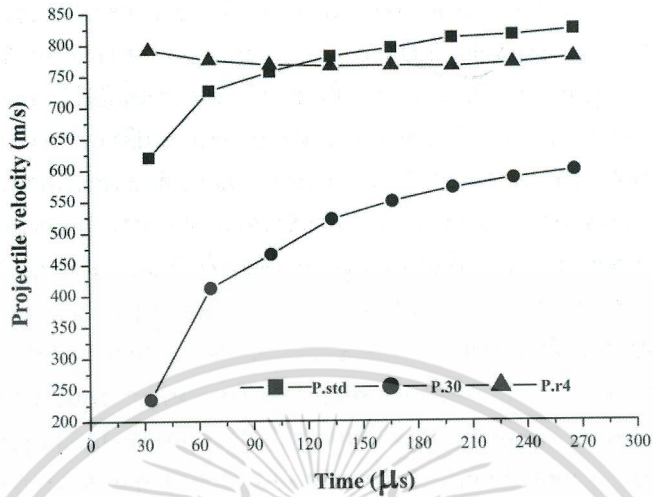
รูปที่ 5. การจัดวางชุดทดลองและอุปกรณ์เทคนิคชาร์โดว์กราฟ

รูปที่ 5 แสดงการจัดวางชุดทดลองและอุปกรณ์ของเทคนิคชาร์โดว์กราฟ ซึ่งประกอบด้วย หมายเลข 1 แหล่งกำเนิดแสงชนิด High-intensity discharge xenon lamps แสงสีขาว 4,300 K ค่าความส่องสว่าง 3,500 lm. หมายเลข 2 รูเข็ม (Pin hold) แบบปรับได้ ทำหน้าที่ตัดแสงเพื่อให้ได้ภาพที่คมชัด หมายเลข 3 กระจกเงาแผ่นเรียบ (Plane mirror) จำนวน 2 บาน ทำหน้าที่สะท้อนเปลี่ยนทิศทางของแสง หมายเลข 4 กระจกเงาเว้า (Parabolic mirror) จำนวน 2 บาน ทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงจากแนวรัศมีเป็นแนวขนาน และจากแนวขนานกับมารวมแสงเข้าสู่รับแสงของกล้องถ่ายภาพ หมายเลข 5 ห้องทดสอบ (Test chamber) เป็นพื้นที่ที่ใช้สังเกตพฤติกรรมที่เกิดขึ้นกับแผ่น PMMA ที่ถูกกระแทกจากลูกกระสุนปืนและป้องกันอันตรายจากการทดลอง หมายเลข 6 กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวความเร็วสูง ยี่ห้อ Photron รุ่น FASTCAM-SA5 ที่สามารถถ่ายภาพเคลื่อนไหวได้สูงสุด 1,000,000 f/s การทดลองนี้ใช้ความเร็ว 30,000 f/s Picture element 1,024x240 pixel สำหรับถ่ายภาพลูกกระสุนปืน และ 100,000 f/s ที่ 320x192 pixel สำหรับถ่ายภาพพฤติกรรมของคลื่นกลใน PMMA เนื่องจากลักษณะรูปทรงและการทดลองแตกต่างกัน หมายเลข 7 ล้อลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ยาว 1.5 m ทำหน้าที่เป็นท่อส่งลูกกระสุนปืน ปลายของล้อลูกปืนเจาะร่องขนาด 4 mm ยาว 360 mm ทั้ง 4 ด้านของล้อลูกปืน เพื่อระบายแรงอัดอากาศด้านหน้าลูกกระสุนปืน และสุดท้ายหมายเลข 8 (ภาพด้านข้าง) ชิ้นทดลองเป็นแผ่น PMMA สีใสถูกยึดติดกับปลายล้อลูกปืน ลูกกระสุนปืนที่ถูกยิงออกมาจะกระแทกชิ้นทดลอง(หนา 23mm)

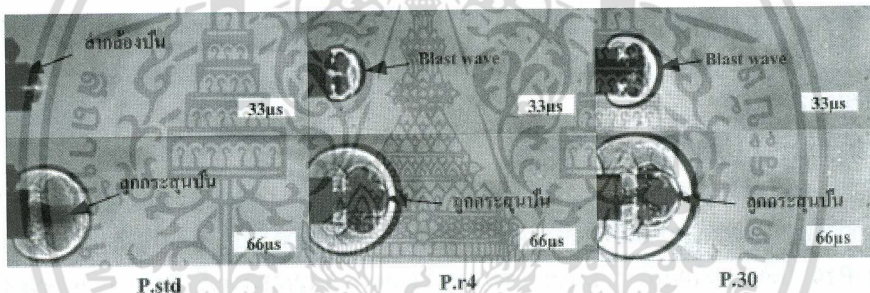
3. ผลการทดลอง

3.1 ความเร็วของลูกกระสุนปืน

ลูกกระสุนปืนที่ทำจาก PMMA สีใส 3 แบบ ถูกยิงด้วย HSSPG บันทึกผลการทดลองและคำนวณหาความเร็วจากภาพถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวที่ 33 $\mu\text{s}/\text{f}$ ได้ความเร็วดังรูปที่ 6 รูปทรงของลูกกระสุนปืนแบบ P.std กับ P.r4 มีลักษณะใกล้เคียงกันมาก แต่ความเร็วเริ่มต้นของลูกกระสุนปืนแบบ P.r4 จะสูงกว่าและค่อนข้างจะคงที่ในช่วงเวลาเริ่มต้นถึง 266 μs ผลเป็นเช่นนี้ เนื่องจากสัมประสิทธิ์ของแรงต้านอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic drag coefficient, Cd 0.82) ของลูกกระสุนปืนแบบ P.std ซึ่งเป็นทรงกระบอกจะสูงกว่าค่า Cd ของลูกกระสุนปืนแบบ P.r4 (0.295) ที่เป็นลูกกระสุนปืนแบบหัวโค้ง แต่อย่างไรก็ตามความเร็วเฉลี่ยของลูกกระสุนปืนทั้ง 2 แบบ อยู่ที่ประมาณ 770 m/s ซึ่งแตกต่างจากความเร็วของลูกกระสุนปืนแบบ P.30 ที่ต่ำมากถึงแม้ค่า Cd จะต่ำกว่า (~0.5) รูปทรงกระบอก แต่แนวโน้มของความเร็วเพิ่มขึ้น ความเร็วเริ่มต้นที่ประมาณ 250 m/s ความเร็วเฉลี่ยประมาณ 500 m/s ผลเป็นเช่นนี้ เนื่องจากผิวสัมผัสด้านข้างของลูกกระสุนปืนกับกระบอกปืนหรือล้อลูกปืนที่ป้องกันแรงดันขับเคลื่อนปืนขับในล้อลูกปืนเหลือน้อยทำให้แรงดันขับร้าวผ่านผิวด้านข้างของลูกกระสุนปืน แรงดันขับจึงต่ำ ถึงแม้ว่าระยะการอัดลูกกระสุนปืนในปลอกกระสุนปืนจะเท่ากันทุกกรณี ซึ่งสังเกตเห็นได้ชัดในรูปที่ 7 ที่ทำการเปรียบเทียบภาพถ่ายของลูกกระสุนปืนทั้ง 3 กรณี เห็นชัดเจนว่า Blast wave กรณีรูปกระสุนปืนแบบ P.30 และแรงระเบิดของดินปืนหลัง Blast wave เกิดขึ้นมากกว่ากรณีอื่นๆ



รูปที่ 6. ความเร็วของลูกกระสุนปืน



รูปที่ 7. พฤติกรรมของลูกกระสุนปืน

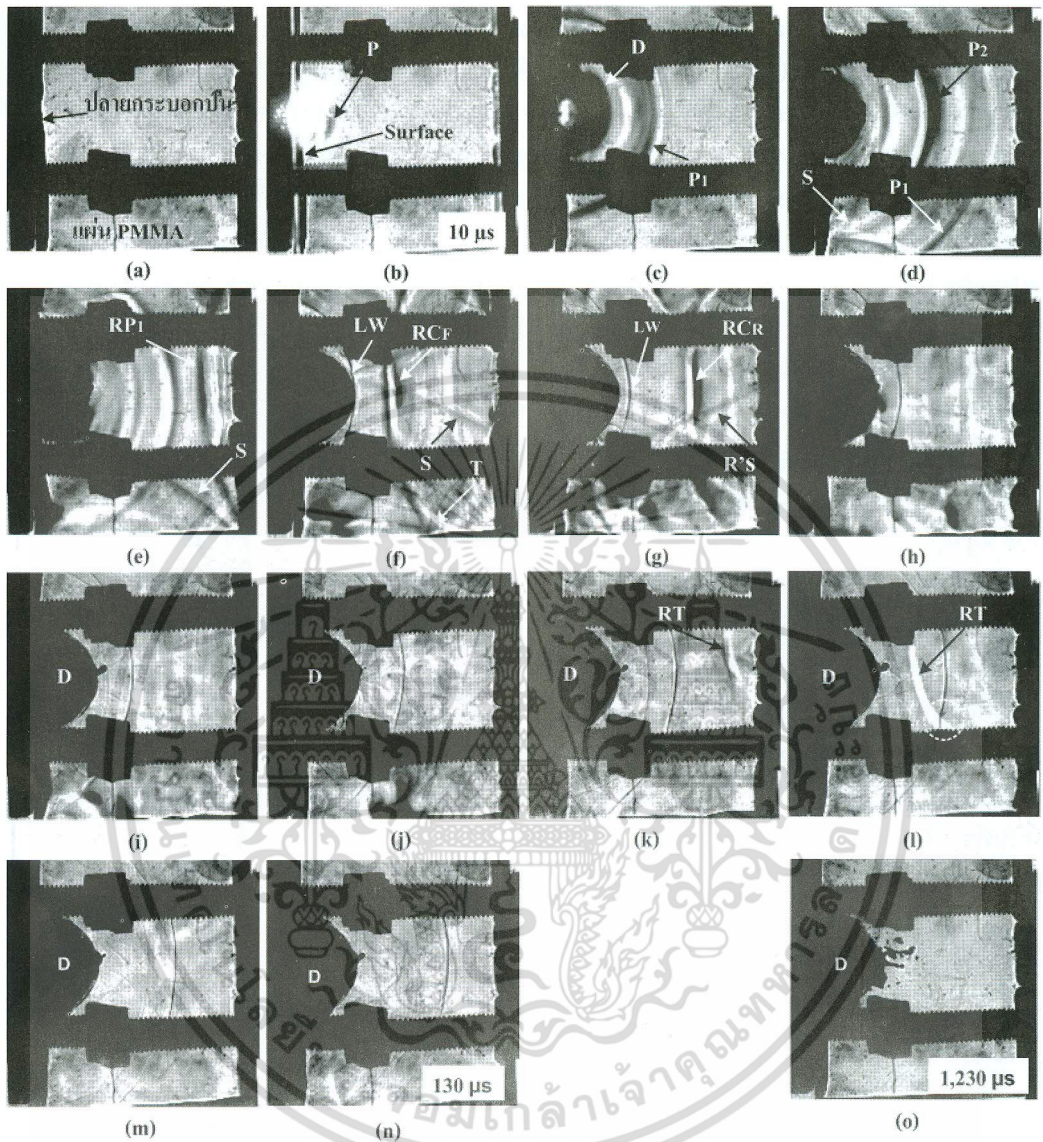
3.2 การกระแทกของลูกกระสุนปืนความเร็วสูงบนผิว PMMA

รูปที่ 8 ภาพถ่ายต่อเนื่องของพฤติกรรมของคลื่นในแผ่น PMMA จากการกระแทกของลูกกระสุนปืนแบบ P.std ความเร็วกระแทกเฉลี่ยประมาณ 600 m/s บนแผ่น PMMA ที่เปลี่ยนแปลงทุกๆ 10 μs จาก 0-130 μs (รูปที่ 8 (a)-รูปที่ 8 (n)) กับภาพสุดท้ายรูปที่ 8(o) เวลา 1,230 μs จากรูปที่ 8(a) แผ่น PMMA ถูกยึดติดกับปลายกระบอกปืนที่อยู่ทางด้านซ้ายด้วยโบลท์ (Bolt) ด้านบนและด้านล่างภายนอก (ไม่เกี่ยวข้องกับเนื้อวัสดุ PMMA) รูปที่ 8(b) ที่เวลา 10 μs แรก เกิด Primary wave หรือ Pulse wave (P) ที่เป็น Compression wave เกิดขึ้น ต่อเนื่องในรูปที่ 8(c) Compression wave (หรือ Longitudinal waves) P1 เคลื่อนที่ตามแนวแรงกระแทกของลูกปืนจากซ้ายไปขวาอย่างชัดเจน เกิดความเสียหายในเนื้อวัสดุ (D) รูปที่ 8(d) ส่วนหัวของ P1 เคลื่อนที่ใกล้ผิววัสดุด้านขวา ส่วนหางชนผิวด้านล่างและสะท้อนกลับในทิศตามขวางกับแรงกระทำเริ่มต้น กลายเป็น Shear wave (S) (หรือ Transverse wave) อัดกับส่วนหางของ P2 ที่เป็นคลื่นกล (Mechanical waves) ชุดที่ 2 แต่ไม่พบการเกิดการอัดตัวของคลื่น หรือ Compressed waves เนื่องจากทิศทางของคลื่น P1 กับ S ไม่อยู่ในแนวแกนเดียวกัน

รูปที่ 8 แถวที่ 2 ภาพแรก (e) ที่เวลา 40 μs Compression wave (P1) เคลื่อนที่ถึงผิววัสดุ ด้านหน้าแล้วสะท้อนกลับ (Reflex) เป็น RP1 และ S ที่เกิดจาก P1 ขยายตัวขึ้น ในขณะที่ P2 ยังคงเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแต่ระยะทางที่เคลื่อนที่น้อยลงเมื่อเทียบจากรูปที่ 8(d) และส่วนหางของ P2 สะท้อนกลับ (ทางด้านบน) รูปที่ 8(f) RP1 ชนกับ P2 ที่มีทิศทางเคลื่อนที่สวนทางกันทำให้เกิดการอัดตัวของคลื่น (เป็น Compressed wave, C) จากภาพ RCF เป็น Reflex compression wave ที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Font) ทิศทางเดียวกับ RP1 และบริเวณใกล้ส่วนหางของ RC เกิด Tensile wave ขึ้น ส่วน Shear wave ที่เกิดขึ้นเป็นรูปทรงกรวย (Conical wave shape) และส่วน PMMA ที่บริเวณลูกกระสุนเป็นกระแทกแผ่น PMMA เกิด wave (Last wave, LW) บางๆแต่คมชัดขึ้น รูปที่ 8(g) RCF กลับกลายเป็น RCR (Reflex compression wave (Rear)) ที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับ P1 ซึ่งสรุปได้ว่า คลื่นอัด (C) เคลื่อนที่กลับไปมา ระยะระหว่าง RCF กับ RCR คือ ช่วงคลื่น (Wavelength) ของ Longitudinal wave ในเวลา 10 μs นอกจากนี้ ในรูปที่ 8(f) และรูปที่ 8(g) บริเวณด้านหลัง RCF (ด้านขวาของ RCF) เกิด Tensile waves ขึ้นชัดเจน ในทางกลับกันกับ RCR บริเวณด้านหลัง RCR (ด้านซ้ายของ RCR) ก็เกิด Tensile waves ขึ้นเช่นกัน รูปที่ 8(h) Strong wave อ่อนตัวลงมากคงเหลือตามขอบบนและล่างของชิ้นทดสอบที่ยังมีสิ่งเหลือค้าง และ Last wave (LW) ที่ยังคงเคลื่อนที่ต่อเนื่อง

รูปที่ 8 แถวที่ 3 Strong wave สลายตัว คงเหลือบริเวณขอบของชิ้นงาน อธิบายได้ว่าคลื่นกลจะสลายตัวที่ผิวหรือขอบเป็นจุดสุดท้าย และอาจเกิด Love wave ขึ้นที่ผิวซึ่งต้องพิสูจน์ นอกจากนี้ รูปที่ 8(k) และรูปที่ 8(l) เกิด Tensile wave (Relief tensile wave, RT) ชัดเจน

รูปที่ 8 แถวที่ 4 ยังคงมีการสั่นตัวหรือการเคลื่อนที่ของคลื่นอื่นๆ ในเนื้อวัสดุจนถึงรูปที่ 8(n) หากพิจารณาจากภาพ ตั้งแต่รูปที่ 8(i) จนถึงรูปที่ 8(n) วัสดุหยุดความเสียหาย (ที่เวลา 130 μs) จนภาพสุดท้ายที่บันทึกไว้ (1,230 μs) ยังมีความเสียหายของ PMMA เกิดขึ้นเพิ่มเติม จากภาพที่บันทึกไว้ทั้งหมดพบว่า ความเสียหายจะเริ่มต้นใหม่อีกครั้งที่เวลา 260 μs



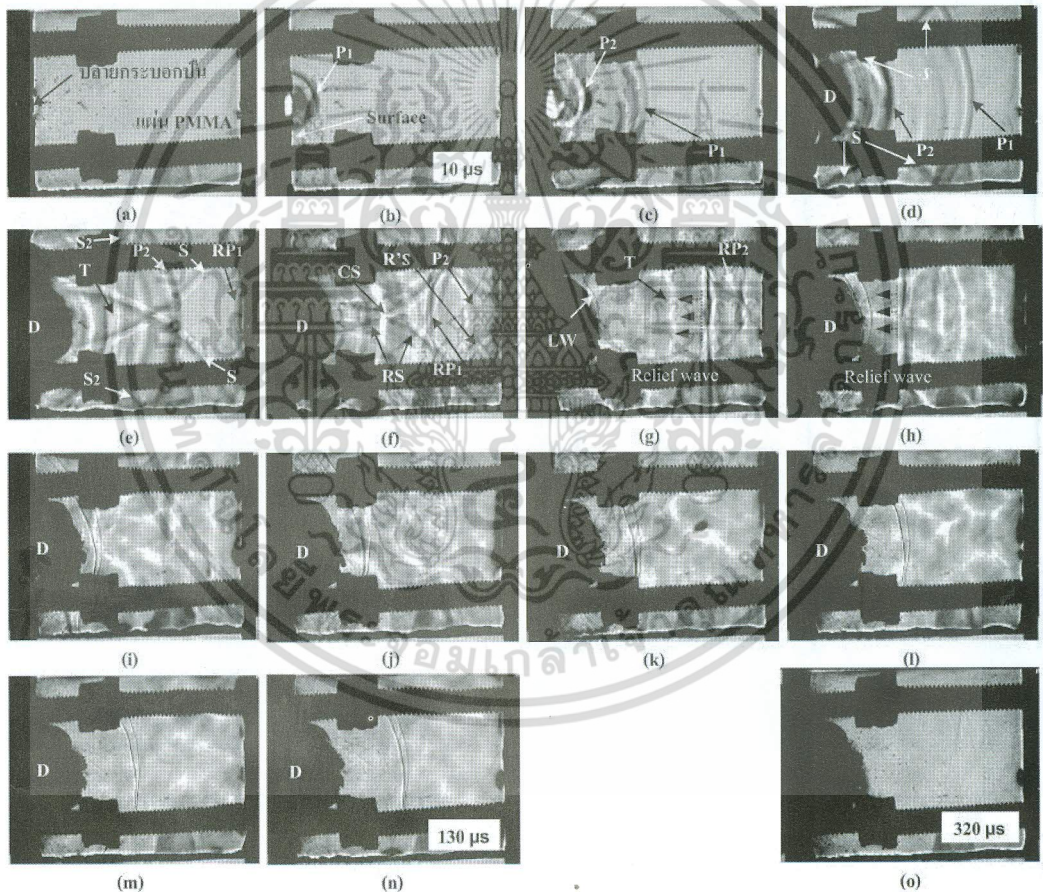
รูปที่ 8. พฤติกรรมของคลื่นในแผ่น PMMA จากการกระแทกของลูกกระสุนปืนแบบ P.std

รูปที่ 9 ภาพถ่ายต่อเนื่องพฤติกรรมของคลื่นในแผ่น PMMA จากการกระแทกของลูกกระสุนปืนแบบ P.r4 ความเร็วกระแทกเฉลี่ยประมาณ 800 m/s บนแผ่น PMMA ที่เปลี่ยนแปลงทุกๆ 10 μ s จาก 0-130 μ s (รูปที่ 9(a)-รูปที่ 9(n)) กับภาพสุดท้ายรูปที่ 9(o) เวลา 320 μ s

รูปที่ 9(b) ที่เวลา 10 μ s แรก เกิด P1 (Primary wave หรือ Pulse wave) และความเสียหายขึ้นภายในแผ่น PMMA รูปที่ 9(c) ด้านหลัง P1 เกิดคลื่นซ้อนขึ้นพร้อม P1 สาเหตุของการเกิดคือ Multiple

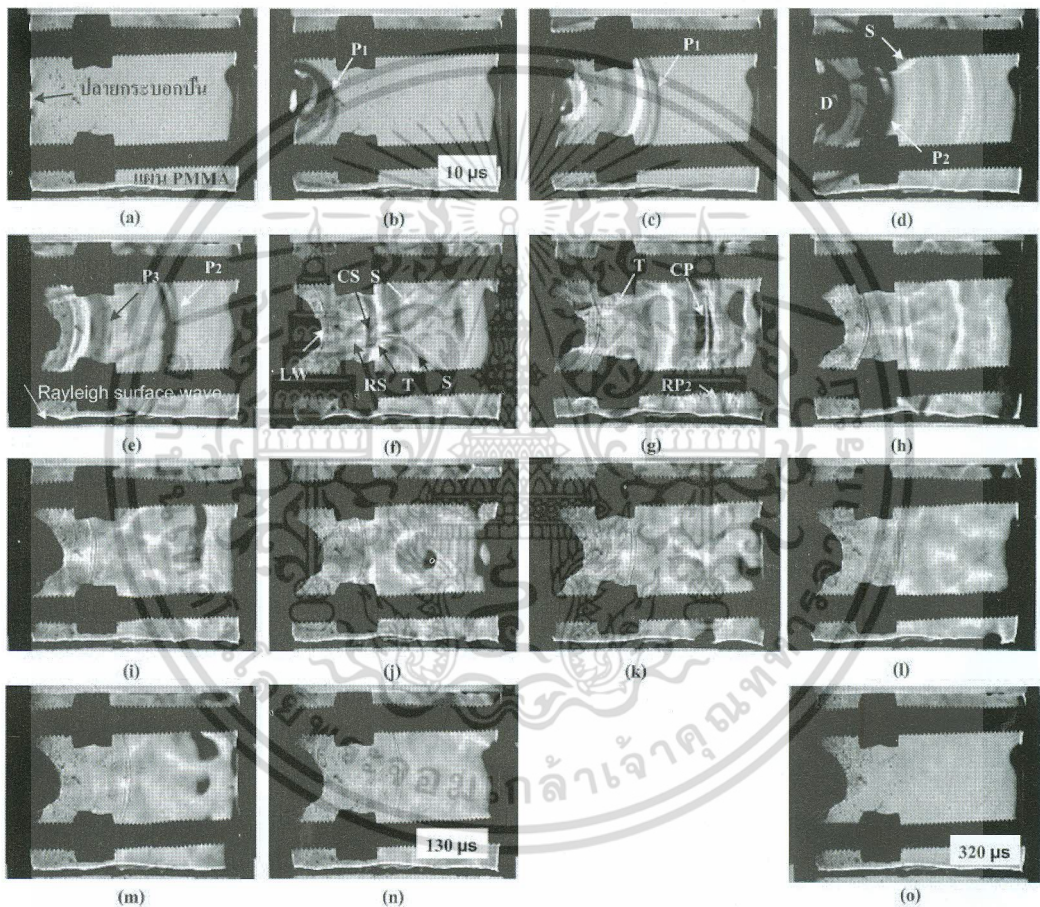
pulse Impact ที่เกิดขึ้นเร็วมาก เช่นเดียวกับการเกิด P2 แต่ใช้เวลามากกว่า หลังจากนั้นในรูปที่ 9(d) P1 ส่วนทางขนขอบด้านบนและล่างของ PMMA สะท้อนกลับในทิศตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของแรงกระทำ (S)

รูปที่ 9(e) การสะท้อนกลับของ S จากขอบด้านบนและด้านล่างมาตัดกันเกิดขึ้นได้รวดเร็วและชัดเจนกว่า กรณี P.std สาเหตุเนื่องจากความเร็วระลอกของกรณี P.r4 สูงกว่า ในขณะที่เดียวกันส่วนทางของ P2 สะท้อนกลับเป็น S2 และเริ่มเกิด RP1 ขึ้น พิจารณารูปที่ 9(f) ส่วนทางของ S หรือ Shear wave (ด้านซ้าย) ที่เกิดในรูปที่ 9(e) เคลื่อนที่กลับทิศทางการเคลื่อนที่ก่อนจะชนผิวด้านบนและล่างของแผ่น PMMA (RS) สาเหตุเกิดจาก S2 เคลื่อนที่สวนทางกับ S1 ทำให้เกิดการอัดตัวของ S (CS) หากพิจารณาในส่วนของ Diamond wave เกิดจาก P2, R's และ RP1 และสลายตัวเป็น Dish wave ในรูปที่ 9(g) และ รูปที่ 9(h) เคลื่อนที่ตามทิศทาง RP1 และ RP2



รูปที่ 9. พฤติกรรมของคลื่นในแผ่น PMMA จากการกระทบของลูกกระสุนปืนแบบ P.r4

แถวที่ 3 รูปที่ 9(i) ถึงรูปที่ 9(l) การเคลื่อนที่ของ LW ที่เกิดในช่วงเวลาที่ 60 μ s ยังเคลื่อนตัวไปข้างหน้าอย่างต่อเนื่อง การเคลื่อนไหวของคลื่นกลในวัสดุยังเห็นได้ชัด สังเกตจากความแตกต่างของสีในภาพ (ขาว-ดำ) กรณีของภาพถ่ายในรูปที่ 9(m) ถึงรูปที่ 9(o) ยังมีความแตกต่างของสีในแผ่น PMMA โดยเฉพาะบริเวณด้านล่างของภาพเช่นเดียวกับกับกรณี P.std ที่ด้านล่างและด้านบนถูกปล่อยอิสระ สังเกตเห็นได้ว่า PMMA หยุดการเสียหาย แต่ในรูปที่ 9(o) ไม่ชัดเจนเนื่องจากควันของดินปืนขับที่เคลื่อนที่ผ่าน PMMA ที่แตกเสียหายออกมา



รูปที่ 10. พฤติกรรมของคลื่นในแผ่น PMMA จากการกระแทกของลูกกระสุนปืนแบบ P.30

รูปที่ 10 ภาพถ่ายต่อเนื่องพฤติกรรมของคลื่นในแผ่น PMMA จากการกระแทกของลูกกระสุนปืนแบบ P.30 ความเร็วกระแทกเฉลี่ยประมาณ 250 m/s บนแผ่น PMMA ที่เปลี่ยนแปลงทุกๆ 10 μ s จาก 0-130 μ s (รูปที่ 10(a)-รูปที่ 10(n)) กับภาพสุดท้ายรูปที่ 10(o) เวลา 320 μ s ช่วงต้นไม่แตกต่างกันในพฤติกรรมที่เกิดขึ้น แต่ระยะเวลาการเกิดขึ้นของ P1 กับ P2 แตกต่างกันกับ 2 กรณีแรก (จากรูป 10(b) ถึง รูปที่

10(d)) และจากรูปที่ 10(d) การเกิดขึ้นของ P2 รุนแรงมาก ในเวลาเดียวกัน S จาก P1 เกิดขึ้น และรูปทรงของรอยเสียหายของ PMMA เป็นทรงกรวยมากกว่า 2 กรณีแรกที่มีรูปทรงเหมือนดอกเห็ด (Mushroom)

จากรูปที่ 10(e) ถึง รูปที่ 10(h) สังเกตเห็นคลื่นผิว (Rayleigh surface wave) เกิดขึ้นที่ขอบด้านล่างของแผ่น PMMA ชัดเจน แต่การเกิดขึ้นเริ่มต้นตั้งแต่เกิดการชนของ P1 ที่ผิวด้านบนและล่างของ PMMA (รูปที่ 10(d)) และเกิด P3 ขึ้น รูปที่ 10(f) เกิดการอัดตัวของ Shear wave (CS) ขึ้นเช่นเดียวกับกรณีลูกกระสุนปืนแบบ P.r4 (รูปที่ 9(f)) และเกิดขึ้นเวลาเดียวกัน (ที่เวลา 50 μ s) แต่ที่แตกต่างคือ CS ที่เกิดขึ้นเป็น DCS (Double compressed shear wave) เกิดจาก S ของ P2 ที่รุนแรงเคลื่อนตัวมาชนกัน หลังจากนั้นเกิด CP ขึ้นจากการอัดตัวของ RP2 กับ P3 (ในรูปที่ 10(f)) แล้วเคลื่อนตัวไปทางซ้าย (ในรูปที่ 10(h)) แสดงว่าแรงอัดของ RP2 สูงกว่า P3

ภาพในแถวที่ 3 และ 4 ของรูปที่ 10 ลักษณะไม่แตกต่างจากกรณีอื่นๆ แต่การเคลื่อนที่ของคลื่นยังคงมีมากกว่ากรณีอื่นๆ เช่น รูปที่ 10(m) และรูปที่ 10(n) บริเวณขอบของวัสดุด้านซ้ายยังคงมีการอัดตัว ส่วนความเสียหายของ PMMA ไม่เปลี่ยนแปลงตั้งแต่เวลาที่ 80 μ s (รูปที่ 10(e))

4. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาพฤติกรรมของคลื่นในแผ่น PMMA ที่เกิดจากกระแทกของลูกกระสุนปืนความเร็วสูง 3 แบบ คือ ลูกกระสุนปืนแบบ P.std (หัวตัดเรียบ) ลูกกระสุนปืนแบบ P.r4 (หัวมนโค้ง) และลูกกระสุนปืนแบบ P.30 (หัวทรงกรวย) ความเร็วกระแทกเฉลี่ยที่ 600 m/s 800 m/s และ 250 m/s ตามลำดับ ผลการทดลองวิเคราะห์ได้จากภาพถ่ายทั้ง 3 กรณีที่ไม่แตกต่างกัน คือ การเกิดขึ้นของคลื่นอัดเกิดขึ้นเมื่อแผ่น PMMA ถูกกระแทกจากลูกกระสุนปืน เคลื่อนที่ในทิศทางการกระแทก (หรือ Longitudinal waves) เมื่อคลื่นอัดเคลื่อนที่ถึงขอบวัสดุเกิดคลื่นสะท้อนทั้งด้านหน้าคลื่นและด้านข้าง กรณีคลื่นอัดสะท้อนด้านข้าง ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นสะท้อนจะเปลี่ยนทิศเป็นตั้งฉากกับแนวแรง (หรือ Transverse waves) กรณีที่คลื่นเกิดขึ้นมากกว่า 1 คลื่น เคลื่อนที่สวนทางกัน (คลื่นอัดกับคลื่นสะท้อน) คลื่นจะอัดตัวกัน และเคลื่อนที่กลับไปมาหรือไปตามคลื่นที่มีแรงอัดสูงกว่า

ความแตกต่างของพฤติกรรมที่เกิดจากชนิดของลูกกระสุนปืนชัดเจนในกรณีลูกกระสุนปืนแบบ P.30 ที่เกิดคลื่นอัดรุนแรงกว่าทั้ง 2 แบบที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ถึงแม้ว่าความเร็วกระแทกของลูกกระสุนปืนแบบ P.std กับ P.r4 จะสูงกว่าแบบ P.30 ก็ตาม สาเหตุเพราะการเจาะเข้าไปในแผ่น PMMA ลูกกระสุนปืนแบบ P.30 นั้นก็แสดงให้เห็นว่ารูปทรงของหัวลูกกระสุนปืนมีผลต่อการเกิดคลื่นกลในวัสดุทดลองมากกว่าความเร็ว และหากความเร็วของลูกกระสุนปืนแบบ P.30 (หัวทรงกรวย) มีความเร็วสูงเท่ากับลูกกระสุนปืนทั้ง 2 ชนิด จะทำให้เกิดคลื่นกลในวัสดุที่รุนแรงซึ่งทำให้เกิดความเสียหายในวัสดุได้สูงกว่า

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Kennedy, C.F., 2000. Damage threshold velocities for liquid impact. *Journal of Materials Science*, 35, 5331-5339.
- [2] Field, F.E., Camus, J.J., Tinguely, M., Obreschkow, D. and Farhat, M., 2012. Cavitation in impacted drops and jets and the effect on erosion damage threshold. *Wear*, 290-291, 154-160.
- [3] Bowden, F.P. and Brunton, J.H., 1961. The deformation of solid by liquid impact at supersonic speed. *Mathematical and Physical Sciences*, 263, 433-450.
- [4] Omid, G., David, M.W., and David W.H., 2012. Multiple liquid impacts on polymeric matrix composites reinforced with carbon nano-tubes. *Wear*, 294- 295, 336-346.
- [5] Shuji, H. and Masaya, K., 2013. Effect of impact angle on liquid droplet impingement erosion. *Wear*, 298-299, 1-7.
- [6] Wuttichai, S., Wirapan, S., Kulachat, P. and Anirut, M., 2009. Effect of stand-off distance on impact pressure of high speed water jets. Proceedings of the 10th Asian International Conference on Fluid Machinery, Kuala Lumpur, Malaysia. pp.10-18.
- [7] Yoshiaki, Y., Hitoshi, S. and Yasunori, A., 1995. Suitable region of high-speed submerged water jets for cutting and peening. *JSME*, 38(1), 31-38.
- [8] Brook, N. and Summers, D.A., 1969. The penetration of rock by high-speed water jets. *Int. J. Rock Mech. Min.Sci*, 6, 249-258.
- [9] Urszula, L. and Krystian, S., 2014. Wavelet based shock wave and muzzle blast classification for different supersonic projectiles. *Expert Systems with Applications*, 41, 5079-5104.
- [10] Gupta, N.K., Iqbal, M.A. and Sekhon, G.S., 2008. Effect of projectile nose shape, impact velocity and target thickness on the deformation behavior of layered plates. *International Journal of Impact Engineering*, 35, 37-60.
- [11] Iqbal, M.A., Gupta, G., Diwakar, A. and Gupta, N.K., 2010. Effect of projectile nose shape on ballistic resistance of ductile targets. *European Journal of Mechanics A/Solids*, 29, 683-694.
- [12] Senthil, K., and Iqbal, M.A., 2014. Effect of projectile diameter on ballistic resistance and failure mechanism of single and layered aluminum plates. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 57, 53-64.
- [13] Obara, T., Bourne, N.K. and Field, J.E., 1995. Liquid-jet impact on liquid and solid surfaces. *WEAR*, 186, 388-394.

- [14] Shi, H.H., Takayama, K. and Nagayasu, N., 1995. The measurement of impact pressure and solid surface response in liquid solid impact up to hypersonic range. *WEAR*, 186, 352-359.
- [15] Shi, H.H. and Fiel, J.E., 2004. Stress wave propagation in solid under high-speed liquid impact. *Science in China Ser.G Physics, Mechanics & Astronomy*. 47(6), 752-766.

