ME-NETT23
The 23rd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand

TSF-030232

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23
4 – 7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่

ความดันกระแทกของลำพุ่งความเร็วสูง

Impact pressure of high-speed water jets

วุฒิชัย สิทธิวงษ์*, วิระพันธ์ สีหานาม, กุลเชษฐ์ เพียรทอง และ อนิรุตต์ มัทธุจักร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190
อีเมล์: sittiwong@hotmail.com โทร 0-433-53380 โทรสาร 0-433-53333

บทคัดย่อ

การศึกษาลำพุ่งของไหลความเร็วสูง (High-Speed Liquid Jet) และหยดน้ำที่พุ่งชนผิววัสดุมีความสำคัญในงานอุตสาหกรรมหลายด้าน เช่น การตัดด้วยลำพุ่ง การทำความสะอาดผิววัสดุ การฉีดเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ เป็นต้น การกระแทกจากของไหลความเร็วสูงสามารถที่จะทำให้เกิดความเสียหายหรือการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรในโครงสร้างของวัสดุได้ ดังเช่นการเกิดความเสียหายของเครื่องบินที่บินด้วยความเร็วสูงในเวลาที่ฝนตก ซึ่งเป็นการกัดเซาะจากน้ำฝน การกัดเซาะจากน้ำฝน หรือ “Rain erosion” เป็นปัญหาที่มาของการวิจัยในด้านการพุ่งชนด้วยความเร็วสูง

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อปรับเทียบและวัดความดันกระแทก (Impact pressure) ลำพุ่งของน้ำความเร็วสูงที่ระดับความเร็วเหนือเสียง โดยลำพุ่งความเร็วสูงจะใช้วิธีกำเนิดขึ้นด้วยการส่งถ่ายโมเมนตั้มของลูกกระสุนปืน (projectile) ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงเข้ากระแทกน้ำที่บรรจุอยู่ในชุดหัวฉีด ความเร็วของลำพุ่งที่ใช้ในการทดลองจะมีความเร็วอยู่ในช่วง 1,240 – 2,290 เมตรต่อวินาที โดยกำเนิดจากเครื่องมือทดลองที่สร้างขึ้นจากหลักการทำงานของปืนที่ขับด้วยดินปืนซึ่งจะถูกเรียกว่า “Horizontal Single Stage Powder Gun (HSSPG)” กับหัวฉีด 3 แบบ ที่มีขนาดรูฉีด 0.7 มิลลิเมตร แต่มีรูปทรงภายในแตกต่างกัน ลำพุ่งความเร็วสูงของน้ำจะพุ่งเข้ากระแทกแผ่นอะคริ ลิกแล้ววัดแรงกระแทกของลำพุ่งโดยใช้เปียโซอิเล็กทริกฟิล์ม (Piezoelectric polyvinyliden fluoride (PVDF) film) จากผลการทดลองพบว่า ความดันกระแทกมีค่าสูงสุดประมาณ 3.4 GPa ที่ระยะ 3 เซนติเมตรจากปลายหัวฉีด และที่ระยะจากปลายหัวฉีดเพิ่มขึ้น ความดันกระแทกจะลดลงเนื่องจากแรงต้านของอากาศ (aerodynamic drag) การแตกตัวของแกนลำพุ่ง และการเป็นฝอยละอองของลำพุ่ง

คำหลัก: ลำพุ่งความเร็วสูง, ความดันกระแทก, เปียโซอิเล็กทริกฟิล์ม.

Abstract

The study of high-speed liquid jet and its droplets striking on the solid surface has important application in many industrial areas, such as jet cutting technology, jet cleaning, fuel injection, and combustion. High speed liquid impact can cause damage or permanently deform of structure materials. Such damage can occur on the surface of aircraft during high-speed flight in the rain. This “rain erosion” problem began to attract researchers in the field of impact engineering.

This study focuses on an experiment of the calibration and measurement of an impact pressure of high-speed water jets. The high-speed water jets were generated by using the momentum exchange from the impact of a high velocity projectile on liquid package contained in the nozzle. Water jet velocities ranging from 1240 m/s to 2291 m/s were generated by a horizontal single stage powder gun (HSSPG) with three difference nozzle curve angles and 0.7 mm orifice diameter. The impact pressure on polymethyl methacrylate (PMMA) caused by water jets impact was measured using a piezoelectric polyvinylidenedifluoride (PVDF) film. The maximum impact pressure of about 3.4 GPa at stand-off distance 3 cm was obtained. However, at more than 3 cm stand-off distance, the impact pressure significantly decreases because of aerodynamic drag, jet core break-up, and atomization of the water jet.

Key words: high-speed water jets, impact pressure, PVDF.

1. บทนำ

ปรากฏการณ์การกระแทกของของเหลวที่มีความเร็วสูงเกิดขึ้นในงานอุตสาหกรรมหลายด้านไม่ว่าจะเป็นการสร้างเพื่อใช้ประโยชน์หรือเป็นปัญหาที่เกิดโดยไม่ต้องการ เช่น เทคโนโลยีการตัดและการทำความสะอาดผิววัสดุด้วยน้ำ การฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูงและ เครื่องยนต์ สแครมเจ็ท (Scramjets) งานเหมืองแร่และอุโมงค์ การกัดกร่อนกังหันไอน้ำ การกัดกร่อนผิววัสดุที่เคลื่อนที่ผ่านน้ำ เนื่องจากหยดน้ำที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงเมื่อกระแทกลงบนผิววัสดุหรือวัตถุความเร็วสูงเคลื่อนที่ผ่านหยดน้ำจะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับผิวของวัสดุ อย่างเช่นเครื่องบินที่เคลื่อนที่ผ่านฝน หยดน้ำที่กลั่นตัวในระบบกังหันไอน้ำชิ้นส่วนของระบบฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูง [1-3] เป็นต้น Worthing (1908) [4] ทำการศึกษาทางกายภาพของหยดน้ำที่กระแทกบนผิววัสดุโดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพความเร็วสูง การเกิดการเสียรูปในของแข็งที่ถูกกระแทกจากลำพุ่งความเร็วสูงจะเกิดขึ้น 5 แบบคือ การเสียหายที่ผิวเป็นวงกลม การเสียหายใต้ผิววัสดุ การเสียรูปในวงกว้าง การเสียรูปจากแรงเฉือนในพื้นที่ที่ถูกกระแทกและการเสียรูปจากการสะท้อนและการเกิดจากคลื่นสั่นสะเทือน (Stress wave) โดยการเกิดความเสียหายในแต่ละแบบนี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุและความเร็วของลำพุ่งที่เข้ากระแทก ส่วนการใช้งานลำพุ่งของน้ำครั้งแรกเพื่อใช้ในการตัดถ่านหินในสหภาพโซเวียต อเมริกาและโปรแลนด์ ใช้ความดันเพียง 30 MPa [3-5]

จากการศึกษาด้านการกระแทกของลำพุ่งความเร็วสูงบนผิววัสดุ เช่น การกระแทกบนอลูมิเนียม กระจก อะคริลิค มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเสียหายของผิววัสดุ ศึกษาความดันกระแทก (Impact Pressure) หรือการคำนวณค้อนน้ำ (Water hammer)

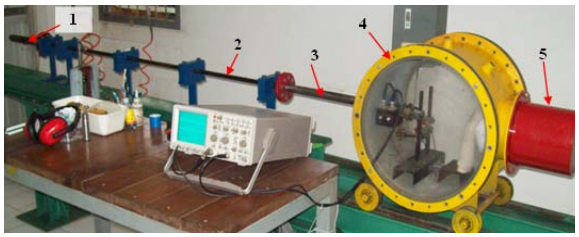
จากความเร็วของลำพุ่งที่ 2-3 เท่าของความเร็วเสียง เท่านั้น [6-10] การศึกษากระแทกของลำพุ่งที่ความดันสูงในระยะต่าง ๆ จากหัวฉีด (Stand-off Distance) ยังมีน้อยมาก และยังไม่พบในประเทศไทย

เนื่องจากความดันกระแทกจากลำพุ่งความเร็วสูงเป็นความดันจลน์ (Dynamics Pressure) และมีค่าความดันสูงในระดับเมกกะปาสคาล(MPa) - จิกกะปาสคาล (GPa) ทำให้การวัดทำได้ยาก ด้วยเหตุนี้ที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จึงได้ สร้าง ชุดทดลอง กำเนิดลำพุ่งความเร็วสูงระดับจิกกะปาสคาล (GPa) จากการกระแทก (1) และเครื่องวัดความดันจลน์จากเปียโซอิเล็กทริกฟิล์ม เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและพัฒนาระบบฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูงต่อไป

2. เครื่องมือและวิธีการทดลอง

2.1 ชุดกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูง

การทดลองจะกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูงที่ความเร็วเหนือเสียง (ระดับ Supersonic ถึง Hypersonic) จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นและทำการปรับเทียบ โดยชุดทดลองนี้เรียกว่า “Horizontal Single - Stage Powder Gun (HSSPG)” ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ส่วนหลัก คือ ชุดปล่อยลูกกระสุนปืน (Launcher) ท่อส่งลูกกระสุนปืน (Launch Tube) ท่อระบายความดัน (Pressure Relief Section) และห้องทดสอบ (Test Chamber) ถังเก็บ (Drum Tank) ดังแสดงในรูปที่ 1



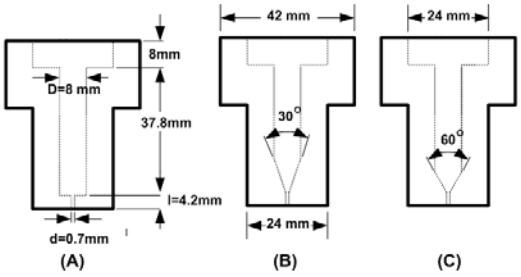
รูปที่ 1 ชุดกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูง: 1.ชุดปล่อยลูก - กระสุนปืน 2.ท่อส่งลูกกระสุนปืน 3.ท่อระบายความดัน 4.ห้องทดสอบ และ 5.ถังเก็บ

การกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูงจะอาศัยหลักการการส่งถ่ายโมเมนตั้ม (Projectile Impact Driven Method) จากลูกกระสุนปืน (หรือ Projectile) ไปกระแทกกับของเหลวที่ถูกบรรจุในชุดหัวฉีดด้วยความเร็วสูง ของเหลวในชุดหัวฉีดก็จะถูกฉีดอกมาด้วยความเร็วสูง ซึ่งหลักการทำงานและรายละเอียดของชุดกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูงได้นำเสนอไว้โดยวุฒิชัยและคณะแล้ว [11]

2.2 หัวฉีด

ปัจจัยที่มีผลต่อการกำเนิดลำพุ่งให้มีคุณลักษณะที่ต้องการ เช่น ความเร็วของลำพุ่งที่กำเนิดได้ การแตกตัว (Atomization) ของลำพุ่ง ความสามารถของลำพุ่งในการเหนี่ยวนำ เป็นต้น นอกจากความเร็วของลูกกระสุนปืนที่กระแทกแล้ว รูปทรงของหัวฉีด (Nozzle Geometry) ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณลักษณะของลำพุ่งที่กำเนิดได้ [12-14]

ในการทดลองนี้จะใช้หัวฉีดที่มีรูปทรงต่างกันสามแบบเพื่อศึกษาความเร็วของลำพุ่ง (Water Jets Tip) และความดันกระแทกที่ระยะต่าง ๆจากปลายหัวฉีด หัวฉีดทั้งสามแบบจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางห้องบรรจุของเหลว (D) 8 mm ขนาดรูหัวฉีด (d) 0.7 mm และ ความยาวรูฉีด (l) เป็น 4.2 mm ซึ่งความยาวรูฉีดจะถูกกำหนดในเทอมของอัตราส่วนของความยาวรูฉีดต่อขนาดรูฉีด (l/d) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบหัวฉีด (2) และในส่วนที่แตกต่างกันคือ หัวฉีด A เป็นหัวฉีดทรงกระบอก (Cylindrical nozzle หรือ Step nozzle) หัวฉีด B เป็นหัวฉีดทรงกรวยมุม 30° และหัวฉีด C เป็นหัวฉีดทรงกรวยมุม 60° (Conical nozzle) ดังแสดงในรูปที่ 2

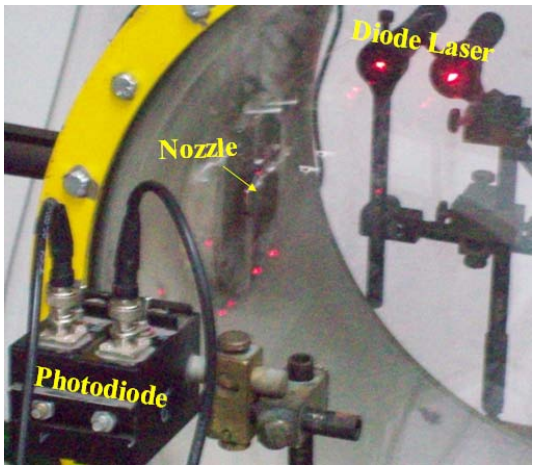


รูปที่ 2 หัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง

2.3 การวัดความเร็วของลำพุ่ง

การวัดความเร็วของลำพุ่งของเหลวใช้หลักการ

"การตัดเลย์เซอร์ของวัตถุ (laser beam interruption method)" หรือ "Time of Flight Method" โดยใช้ไดโอดกำเนิดแสงเลย์เซอร์และไดโอดรับแสง จำนวน 2 ชุด โดยไดโอดชุดแรกวางห่างจากหัวฉีด 15 mm และไดโอดทั้งสองชุดวางห่างกัน 33 mm ไดโอดรับแสงจะต่อสายสัญญาณเข้ากับ ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เพื่ออ่านสัญญาณไฟฟ้าจากไดโอดรับแสงและแสดงผลบนหน้าจอ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 หัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง

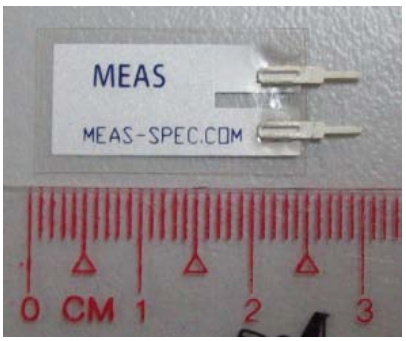
การวัดความเร็วของ ลำพุ่งของเหลว นั้นจะวัดจากเวลาที่ส่วนหัวของลำพุ่งของของเหลว ตัดแสงเลย์เซอร์ของ ตัวที่หนึ่งกับเลย์เซอร์ตัวที่สอง ที่แสดงวัดได้ออสซิลโลสโคป แล้วจึง คำนวณ ความเร็วเฉลี่ยของ ลำพุ่ง (v_j) ดังสมการ

$$v_j = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (1)$$

2.4 การวัดความดันกระแทกของลำพุ่ง

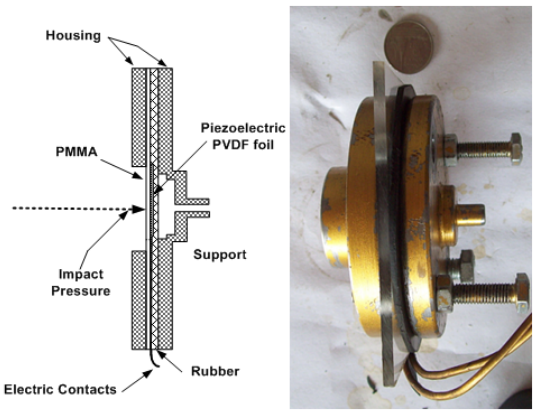
ลำพุ่งของเหลวที่ถูกกำเนิดจาก HSSPG เป็นแรงดันแบบจังหวะพัลส์ (Pulse) ที่ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นความดันจลน์ (Dynamic Pressure) หรือ ค้อนน้ำ (Water hammer) ซึ่งไม่สามารถใช้เครื่องวัดความดันซึ่งจะเป็นความดันสถิต (Static Pressure) วัดได้ นอกจากนี้ค่าความดันที่สูงยังเป็นปัญหาต่อการวัดและความเสียหายของเครื่องมือวัด

เครื่องวัดความดันถูกออกแบบและสร้างโดยใช้เปียโซอิเล็กทริกฟิล์ม (Piezoelectric film) หรือ polyvinyliden fluoride (PVDF) ฟิล์ม ซึ่งอาศัยหลักการการกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากการสั่น หรือโก่งตัวทันทีทันใด ดังนั้นจึงสามารถใช้งานกับความดันกระแทกได้ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4 เป็น PVDF ฟิล์มที่ใช้สำหรับสร้างเครื่องวัดความดันกระแทกในการศึกษานี้



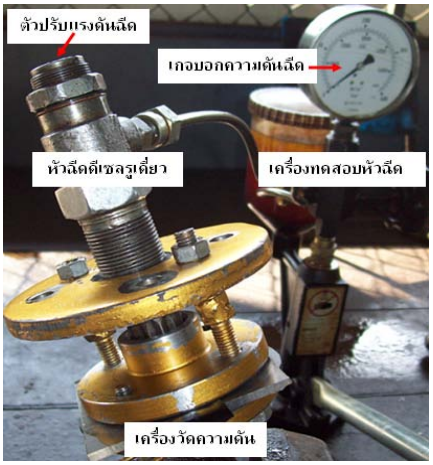
รูปที่ 4 เปียโซอิเล็กทริกฟิล์ม (Piezoelectric film)

เครื่องวัดความดันถูกสร้างให้ PVDF ฟิล์ม ถูกติดตั้งภายในเรือนโลหะ เครื่องวัดความดันจะประกอบไปด้วย ส่วนหน้าของเรือนโลหะจะเป็นแผ่นอะคริลิคหนา 6 mm ทำหน้าที่รับแรงกระแทกจากลำพุ่ง ส่วนที่สองเป็น PVDF ฟิล์ม มีความหนา 28 μm ซึ่งจะต่อสายสัญญาณกับ ออสซิลโลสโคป และส่วนที่สามเป็นแผ่นยางหนา 1.8 cm ทำหน้าป้องกันความเสียหายจากกระแทกของ PVDF กับเรือนโลหะส่วนหลัง ดังแสดงในรูป 5



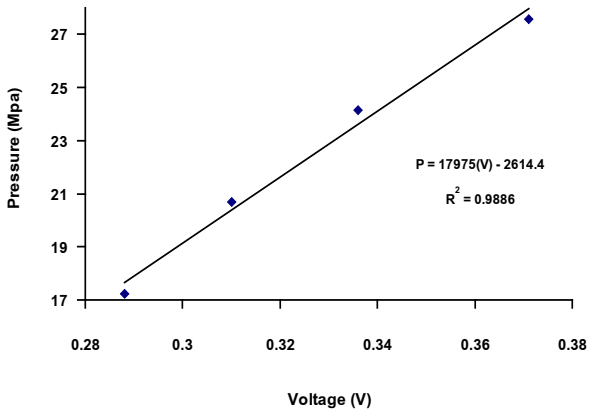
รูปที่ 5 ส่วนประกอบของเครื่องวัดความดัน

การปรับเทียบเครื่องวัดความดันโดยใช้ความดันกระแทกจากเครื่องทดสอบหัวฉีดและหัวฉีดดีเซลแบบปรับความดันฉีดได้ โดยยึดหัวฉีดเข้ากับเครื่องวัดความดันดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ชุดปรับเทียบความดัน

การปรับเทียบความดันจะทำโดยปรับความดันฉีดที่ตัวปรับแรงดันของหัวฉีดดีเซล จากนั้นฉีดเชื้อเพลิงดีเซลกระแทกลงบนเครื่องวัด เมื่อเครื่องวัดถูกกระแทกจากเชื้อเพลิงที่ฉีด PVDF ฟิล์มจะโก่ง ตัวทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าส่งไปยัง ออสซิลโลสโคป ความดันที่ใช้สำหรับการปรับเทียบจะถูกสร้างขึ้นจากเครื่องทดสอบหัวฉีดและหัวฉีดดีเซลจากความดัน 17.2 – 27.6 MPa (2,500 – 4,000 psi) ผลที่ได้จากการปรับเทียบแสดงไว้ในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนภาพความดันกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากเครื่องวัดความดัน PVDF ฟิล์ม

จากรูปที่ 7 ได้สมการความสัมพันธ์ของความดันกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า

$$P = 17{,}975\ (V) - 2614.4 \qquad (2)$$

เมื่อ P = ความดัน (psi)

V = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)

ในการทดลอง เมื่อลำพุ่งของเหลวความเร็วสูงกระแทกลงบนเครื่องวัด แผ่น PVDF ฟิล์มโก่งตัว ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น และส่งสัญญาณไปที่ออสซิลโลสโคป ได้สัญญาณไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 8 เมื่อนำค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าแทนลงในสมการที่ 2 ก็จะได้ความดันกระแทก

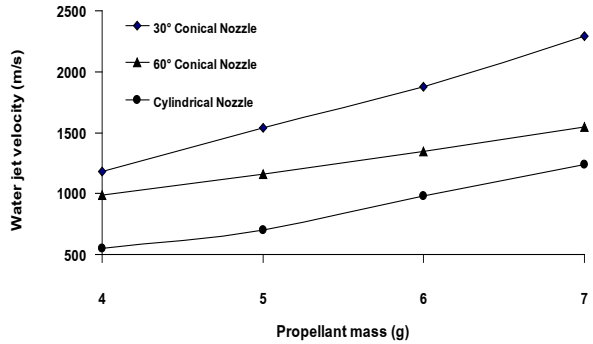
รูปที่ 8 แรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก PVDF ฟิล์ม เมื่อถูกกระแทกด้วยความดันจากลำพุ่งของน้ำ

3. ผลการศึกษา

3.1 ความเร็วลำพุ่งของน้ำ

ในเบื้องต้น ความเร็วของลำพุ่งจะถูกเปลี่ยนแปลงตามความเร็วของลูกกระสุนปืน โดยการเพิ่มปริมาณดินปืนขับ การทดลองหาความเร็วของลำพุ่งจากหัวฉีดทั้งสามแบบข้างต้น ที่ปริมาณดินปืนขับ 4-7 กรัม (ความเร็วของลูกกระสุนปืนเฉลี่ย 956-1,358 m/s) พบว่าทุกๆค่าการทดลองของปริมาณดินปืนจากหัวฉีด B ได้ค่าความเร็วสูงที่สุด และความเร็วสูงสุดของลำพุ่งของน้ำมีค่า 2,292 m/s ที่ปริมาณดินปืนขับ 7 กรัม (ความเร็วของลูกกระสุนปืน 1,358 m/s) ส่วนความเร็วต่ำสุดของลำพุ่งได้จากหัวฉีด A ที่ความเร็ว

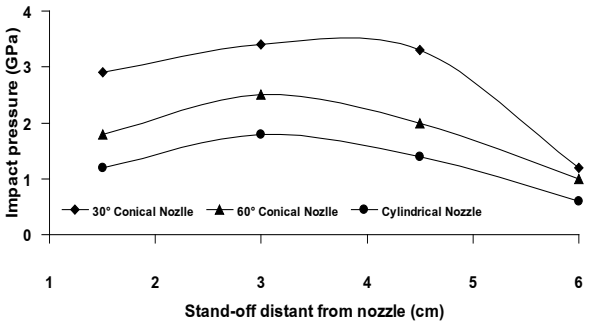
552 m/s จากปริมาณดินปืนขับ 4 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลจากรูปทรงหัวฉีดและปริมาณดินปืนขับที่มีต่อความเร็วของลำพุ่งของน้ำ

3.2 แรงดันกระแทก

ที่ความเร็วสูงสุดของลำพุ่งของน้ำจากหัวฉีด (A) (B) และหัวฉีด (C) มีค่า 1,240 2,292 และ 1,549 m/s ตามลำดับ ใช้ทดลองหาค่าความดันกระแทกที่ระยะ 1.5, 3, 4.5 และ 6 cm พบว่าที่หัวฉีด B มีความดันสูงกว่าหัวฉีด A และ C ในทุกตำแหน่ง หัวฉีด A มีค่าความดันกระแทกต่ำที่สุดในทุกตำแหน่งการวัด และหัวฉีดทั้งสามแบบจะค่าความดันกระแทกสูงสุดที่ระยะ 3 cm จากหัวฉีด ค่าความดันกระแทกสูงสุดของหัวฉีด A มีค่า 1.8 GPa ค่าความดันกระแทกสูงสุดของหัวฉีด B มีค่า 3.4 GPa และค่าความดันกระแทกสูงสุดของหัวฉีด C มีค่า 2.5 GPa ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลของความดันกระแทกที่ระยะต่างๆ

3.3 แรงดันกระแทกทางทฤษฎี

การศึกษากลไกการเสียรูปของผิววัสดุภายใต้แรงแรงกระแทกของของไหลที่มีความเร็วสูงเป็นผลที่เกิดจากความดันกระแทกที่เกิดจากของไหลเคลื่อนที่แล้วหยุดอย่างฉับพลันจากสิ่งกีดขวาง โดยใช้สมการพื้นฐานของสมการค้อนน้ำ (Water Hammer) สมการที่ใช้คือ

$$P = \rho CV \qquad (3)$$

เมื่อ P เป็นความดัน (N/m^2) ρ เป็นความหนาแน่นของของไหลความเร็วสูง (kg/m^3) C เป็นความเร็วเสียงของของไหลความเร็วสูง (Sound of Speed, m/s) และ V เป็นความเร็วของของไหลความเร็วสูง (m/s) [2, 4-7, 10, 15, 16]

นำผลของความเร็วลำพุ่งของน้ำที่ค่าสูงสุดจากหัวฉีดทั้งสามในรูปที่ 4 แทนสมการที่ 3 เพื่อหาความดันกระแทกหรือค้อนน้ำเปรียบเทียบกับความดันกระแทกที่ได้จากการทดลองที่ระยะการวัดของชุดวัดความเร็ว 1.5 - 4.8 cm ได้ผลเปรียบเทียบกันดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลความดันกระแทกจากการคำนวณและการทดลองที่ความเร็วลำพุ่งของน้ำสูงสุดของหัวฉีดสามแบบ

วิธีการ \ รูปร่างหัวฉีด		Step Nozzle (GPa)	30°Conical Nozzle (GPa)	60°Conical Nozzle (GPa)
การคำนวณ (1.5 - 4.8 cm.)		**1.9**	**3.57**	2.57
การทดลอง	ระยะ **3 cm.**	**1.8**	**3.4**	2.5
	ระยะ 4.5 cm.	1.4	3.3	2

4. อภิปรายผลการศึกษา

การทดสอบความดันกระแทกของลำพุ่งของน้ำที่ความเร็วสูง เพื่อสร้างและปรับเทียบเครื่องวัดความดันจลน์ที่ความดันสูงมากๆ ศึกษาปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อความดันกระแทกที่เกิดขึ้นจากลำพุ่งความเร็วสูงมากๆ หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของลำพุ่งของน้ำกับความดันกระแทกและความดันกระแทกที่ระยะต่างๆ ของลำพุ่งจากหัวฉีดที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเร็วของลูกกระสุนปืน

ที่ทำหน้าที่ขับดันลำพุ่งมีผลต่อความเร็วของลำพุ่ง ความเร็วของลำพุ่งมีผลโดยตรงต่อความดันกระแทกของลำพุ่ง ส่วนความดันกระแทกของลำพุ่งที่ใกล้หัวฉีดไม่ได้มีค่ามากที่สุดแต่จะเพิ่มขึ้นหากระยะเพิ่มขึ้นจนถึงระยะหนึ่งจึงลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งต้องทำการศึกษาต่อไปถึงความมีนัยสัมพันธ์กับความเร็วของลำพุ่งของน้ำที่ระยะต่างๆ รูปร่างภายในมีผลโดยตรงต่อความเร็วของลำพุ่ง เครื่องวัดความดัน PVDF ฟิล์มสามารถวัดความดันจลน์ได้ผลที่น่าพอใจเมื่อเปรียบเทียบกับความดันที่ได้จากการคำนวณ

แต่อย่างไรก็ตามลำพุ่งของน้ำที่ความเร็วสูงจะทำให้เกิดคลื่นกระแทก (Shock Wave) ขึ้น ในเบื้องต้นเชื่อว่าจะสามารถใช้เครื่องวัดความดัน PVDF ฟิล์มที่สร้างขึ้นทำการศึกษาพฤติกรรมในเบื้องต้นได้ ซึ่งจะได้ทำการศึกษาเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อไป

5. สรุปผลการศึกษา

งานทดลองนี้ ออกแบบ สร้างและปรับเทียบเครื่องวัดความดันจลน์จาก PVDF ฟิล์ม เพื่อใช้วัดความดันที่เกิดจากลำพุ่งของน้ำความเร็วสูง ศึกษาความดันกระแทกของลำพุ่งของน้ำที่ความเร็วสูง ความสัมพันธ์ของความดันกระแทกที่เกิดจากรูปร่างของหัวฉีดสามแบบ ความสัมพันธ์ของความดันกระแทกกับความเร็วสูงสุดของลำพุ่งความเร็วสูง

จากการศึกษานี้พบว่าความดันกระแทกของลำพุ่งความเร็วสูงมีผลโดยตรงจากความเร็วของลำพุ่ง และความเร็วของลำพุ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของหัวฉีดและความเร็วในการกระแทกของลูกกระสุนปืนหรือตัวขับลำพุ่งด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] A.S. Vlasov, E.L. Zilberbrand, A.A. Kozhushko, A.I. Kozachuk and A.B. Sinani (2002). Behavior of Strengthened Glass Under High-Velocity Impact, Strength of Material, Vol. 34(3), pp. 266-268.

[2] J.E.Field (1966). Stress waves, deformation and fracture caused by liquid impact, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 260(6), pp. 86-93.

[3] S.J.Leach and G.L.Walker (1966). The application of high speed liquid jets to cutting, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 266, pp. 295-310.

[4] J.H.Brunton (1966). The physics of impact and deformation: Single Impact, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 260(1110), pp. 79-85.

[5] F.P.Bowden, F.R.S., and J.H.Brunton (1961). The deformation of solid by liquid impact at supersonic speeds, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 263(10-15), pp. 433-450.

[6] N.K.Bourne, T.Obara and J.E.Field (1997). High-speed Photography and Stress Gauge Studies of Jet Impact Upon Surfaces, The Royal Society, Vol. 355, pp. 607-623.

[7] N.K.Bourne (2005). On Impacting Liquid Jets and Drops onto Polymethylmethacrylate Targets, The Royal Society, Vol. 461, pp. 1129-1145.

[8] Yoshiaki YAMAUCHI, Hitoshi SOYAMA and Yasunori ADACHI (1995). Suitable Region of High-Speed Submerged Water Jets for Cutting and Peening, JSME, Vol. 38 (1), pp. 31-38.

[9] N.K.Bourne, T.Obara and J.E.Field (1996). The impact and penetration of a water surface by a liquid jet, The Royal Society, Vol. 452, pp.1497-1502.

[10] H.H. Shi, Kazuyoshi Takayama and Nobuo Nagayasu (1995). The measurement of impact pressure and solid surface response in liquid solid impact up to hypersonic range, WEAR, Vol. 186-187, pp. 352-359.

[11] วุฒิชัย สิทธิวงษ์, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, วิระพันธ์ สีหานาม และ อนิรุตน์ มัทธุจักร (2008). การปรับเทียบ

ชุดกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูง , การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย , มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี.

[12] K.Pianthong, S.Zakrzewski, M.Behnia and B.E.Milton (2002). Supersoic liquid jets: Their generation and shock wave characteristics, Shock Waves, Vol.7(11), pp. 457-66.

[13] H.H. Shi, Motoyuki Itoh (1966). Design and Experiment of a Small High-Speed Liquid Jet Apparatus, Jpn.J.Appl.Phys, pp. 35(4157-4165).

[14] M.V. Hopson, S.K. Treadway (2008). Testing and computational analysis of pressure transducers in water filled tank impaced by hypervelocity projectile, Impact Engineering, Vol. 35(12), pp. 121-139.

[15] N.L.Hancox, J.H.Brunton (1966). The Physics of Impact and Deformation: Multiple Impact, The Royal Society, Vol 260, pp. 121-39.

[16] F.P.Bowden, F.R.S. and J.E.Field (1964). The brittle fracture of solid by liquid impact, by solid impact, and by shock, The Royal Society, Vol. 282, pp. 331-352.