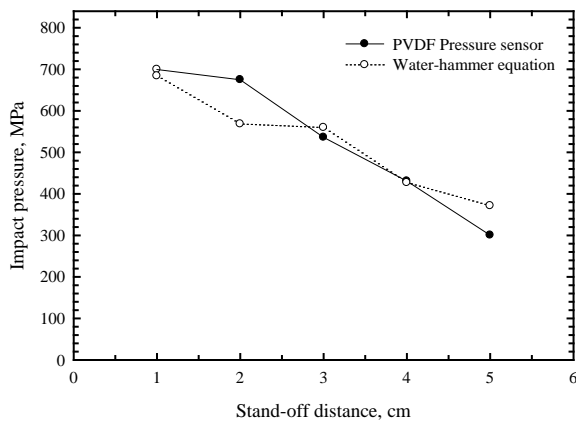


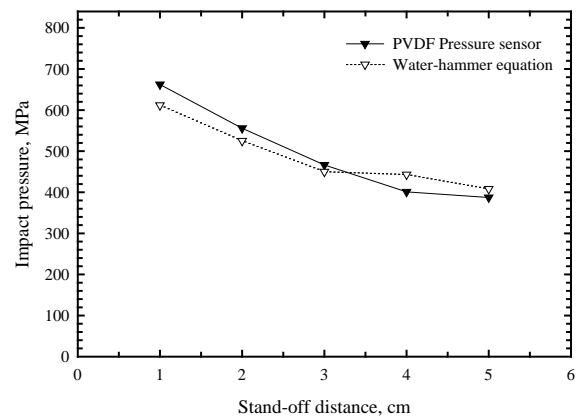
บทที่ 4

ผลการทดลอง

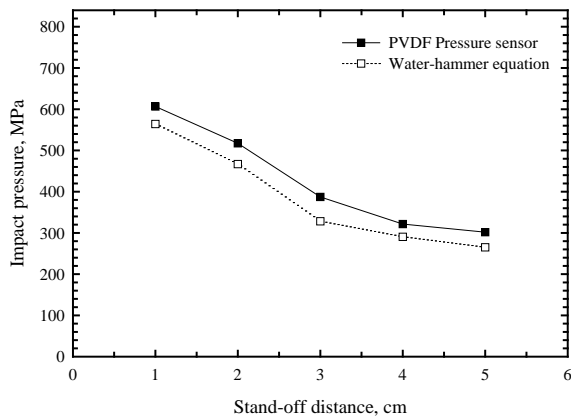
4.1. การเปรียบเทียบความดันกระแทกจากชุดวัดความดันกระแทกกับสมการ Water hammer กรณีฉีดในอากาศ



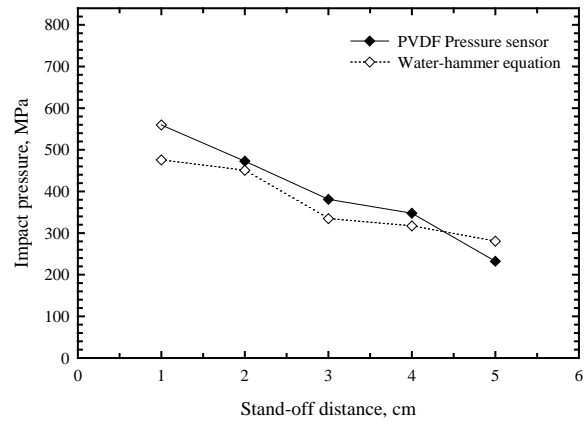
(a) ลำพุ่งน้ำ (water jet)



(b) ลำพุ่งน้ำมันดีเซล (diesel jet)

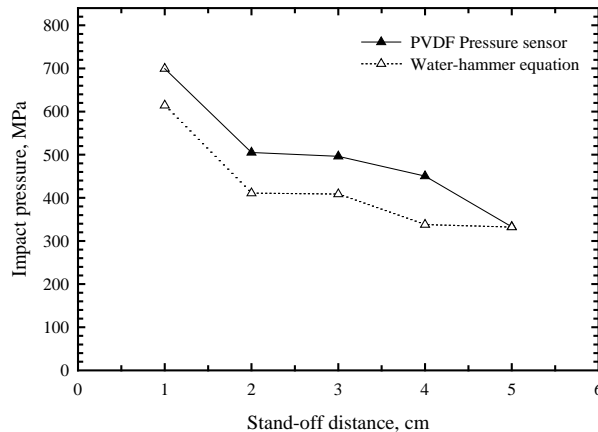


(c) ลำพุ่งน้ำมันก๊าด (kerosene jet)



(d) ลำพุ่งน้ำมันแก๊สโซลีน (gasoline jet)

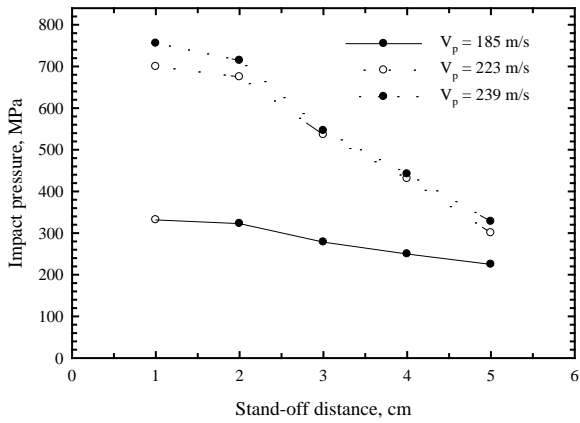
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบความดันกระแทกของลำพุ่งที่วัดจากชุดวัดความดันกับสมการ Water hammer ที่ความเร็วกระแทกของกระสุนเท่ากับ 223 m/s กรณีฉีดในอากาศ



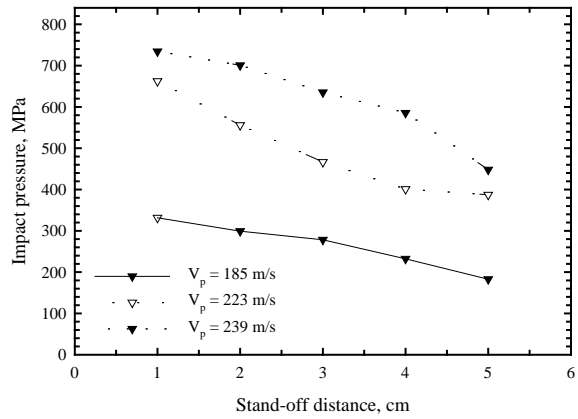
(d) ลำพุ่งแอลกอฮอล์ (alcohol jet)

รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบความดันกระแทกของลำพุ่งที่วัดจากชุดวัดความดันกับสมการ Water hammer ที่ความเร็วของกระสุนเท่ากับ 223 m/s กรณีฉีดในอากาศ (ต่อ)

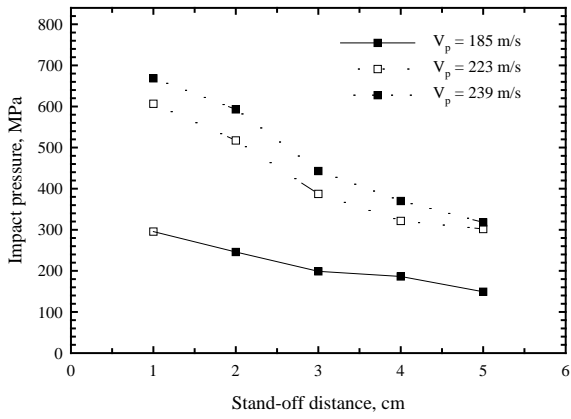
รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบความดันกระแทกของลำพุ่งที่วัดจากชุดวัดความดัน (PVDF pressure sensor) กับสมการ Water hammer ที่ความเร็วของกระสุนเท่ากับ 223 m/s (จากอากาศอัดความดัน 8 bar) กรณีฉีดในอากาศ และเมื่อพิจารณาในรูปที่ 4.1a ลำพุ่งน้ำ (water jet) พบว่า เมื่อระยะห่างจากหัวฉีด (stand-off distance) เพิ่มมากขึ้นความดันกระแทก (impact pressure) ของลำพุ่งน้ำมีค่าลดลงทั้งที่วัดได้จากชุดวัดความดันกระแทกและสมการ Water hammer เนื่องจากความเร็วของลำพุ่งจะมีค่าลดลงเมื่อเคลื่อนที่ห่างออกไป ซึ่งเป็นพฤติกรรมปกติทั่วไป โดยเป็นในลักษณะเดียวกันทั้ง 4 ชนิดของลำพุ่งคือ ลำพุ่งน้ำมันดีเซล (diesel jet) ลำพุ่งน้ำมันก๊าด (kerosene jet) ลำพุ่งน้ำมันแก๊สโซลีน (gasoline jet) และลำพุ่งแอลกอฮอล์ (alcohol jet) ดังแสดงในรูปที่ 4.1b-d ตามลำดับ โดยความดันกระแทกที่วัดโดยชุดวัดความดันกระแทกจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 699.55, 662.37, 606.60, 559.50 และ 699.55 MPa ที่ระยะห่างจากหัวฉีด 1 cm สำหรับลำพุ่งน้ำ (water jet) ลำพุ่งน้ำมันดีเซล (diesel jet) ลำพุ่งน้ำมันก๊าด (kerosene jet) ลำพุ่งน้ำมันแก๊สโซลีน (gasoline jet) และลำพุ่งแอลกอฮอล์ (alcohol jet) ตามลำดับ และมีค่าความดันกระแทกต่ำสุดเท่ากับ 300.48, 387.24, 301.72, 232.32 และ 332.71 MPa ที่ระยะห่างจากหัวฉีด 5 cm ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ความดันกระแทกที่วัดได้จากชุดวัดความดันจะใกล้เคียงกับที่คำนวณจากสมการ Water hammer แต่ส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งความแตกต่างกันนี้อาจเนื่องจากในสมการ Water hammer ไม่ได้พิจารณาถึงผลของพฤติกรรมต่างๆ ไปของลำพุ่งเช่น การแตกตัวเป็นฝอยละออง (break-up and atomization) การสเปรย์ เป็นต้น จึงทำให้เกิดความแตกต่างกันเล็กน้อยดังรูป ดังนั้นชุดวัดความดันให้ค่าการวัดความดันที่ถูกต้องใกล้เคียงกับทฤษฎีของ Water hammer โดยผลการพิจารณาจากนี้ต่อไปจะใช้เพียงผลการวัดความดันกระแทกจากชุดวัดความดันเพื่อใช้ในการแสดงผลและอธิบายอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ เท่านั้น



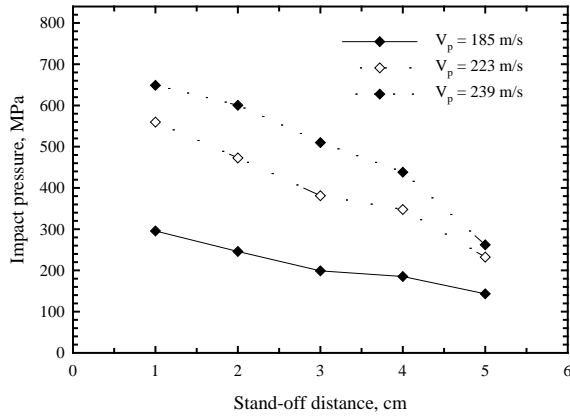
(a) ลำพุ่งน้ำ (water jet)



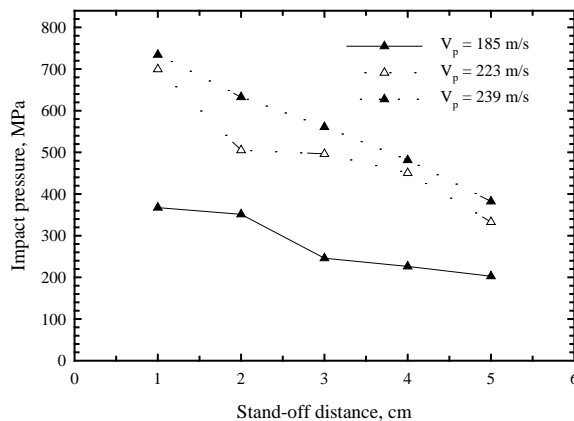
(b) ลำพุ่งน้ำมันดีเซล (diesel jet)



(c) ลำพุ่งน้ำมันก๊าด (kerosene jet)



(d) ลำพุ่งน้ำมันแก๊สโซลีน (gasoline jet)



(d) ลำพุ่งแอลกอฮอล์ (alcohol jet)

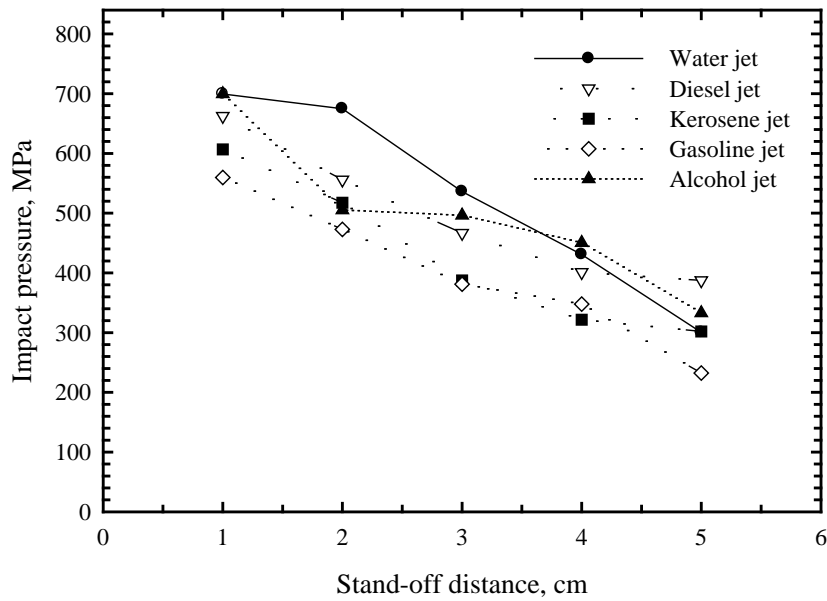
รูปที่ 4.2 อิทธิพลของความเร็วของกระสุนปืนต่อความดันกระแทกของลำพุ่งกรณีฉีดในอากาศ

4.2 อิทธิพลของความเร็วในการกระแทกของกระสุนปืนกรณีฉีดในอากาศ

รูปที่ 4.2 อิทธิพลของความเร็วของกระสุนปืนต่อความดันกระแทกของลำพุ่งกรณีฉีดในอากาศ พบว่าเมื่อความเร็วของกระสุนปืนที่ใช้ในการผลิตลำพุ่งมีค่าสูงมากขึ้น ความดันกระแทกของลำพุ่งก็มีค่ามากขึ้นทุกชนิดของลำพุ่งและทุกระยะห่างจากหัวฉีดดังรูปที่ 4.2a-d เนื่องจากว่า เมื่อความเร็วของกระสุนปืนมากขึ้นจะทำให้มีพลังงานโมเมนตัม (momentum energy) สูงขึ้น และเมื่อกระสุนกระแทกกับของเหลวที่บรรจุในหัวฉีดจะทำให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัมดังกล่าวไปยังของเหลวส่งผลให้ของเหลวมีความเร็วที่ฉีดออกจากหัวฉีดที่ความเร็วสูงขึ้น จึงส่งผลให้เกิดความดันกระแทกสูงขึ้นไปด้วยดังสมการ Water hammer ดังนั้นความเร็วของกระสุนที่ใช้ในการผลิตลำพุ่งจะเป็นตัวแปรหลักที่สำคัญต่อความดันกระแทกของลำพุ่ง โดยความดันกระแทกสูงสุดมีค่าเท่ากับ 755.32, 734.25, 668.56, 648.74 และ 734.25 MPa ที่ความเร็วกระสุนปืน (V_p) เท่ากับ 239 m/s (จากอากาศอัดความดัน 10 bar) ระยะห่างจากหัวฉีดเท่ากับ 1 cm สำหรับลำพุ่งน้ำ (water jet) ลำพุ่งน้ำมันดีเซล (diesel jet) ลำพุ่งน้ำมันก๊าด (kerosene jet) ลำพุ่งน้ำมันแก๊สโซลีน (gasoline jet) และลำพุ่งแอลกอฮอล์ (alcohol jet) ตามลำดับ และมีความดันกระแทกต่ำสุดเท่ากับ 224.88, 182.75, 149.28, 143.08 และ 202.58 MPa ที่ระยะ 5 cm ความเร็วกระสุนปืน (V_p) เท่ากับ 185 m/s (จากอากาศอัดความดัน 5 bar) ตามลำดับ

4.3 อิทธิพลของชนิดของเหลวของลำพุ่งกรณีฉีดในอากาศ

รูปที่ 4.3 แสดงอิทธิพลของชนิดของเหลวของลำพุ่งต่อความดันกระแทกที่ความเร็วของกระสุนเท่ากับ 223 m/s (จากอากาศอัดความดัน 8 bar) กรณีฉีดในอากาศ โดยการทดลองแต่ละระยะห่างจากหัวฉีดจะทดลองซ้ำกันไม่น้อยกว่าสามครั้งและหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมด ซึ่งพบว่า เมื่อระยะห่างจากหัวฉีดเพิ่มขึ้นความดันกระแทกจะมีค่าลดลงโดยจะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันทุกลำพุ่ง เพราะเมื่อระยะห่างจากหัวฉีดเพิ่มขึ้นความเร็วของลำพุ่งจะมีค่าลดลงเนื่องจากผลของแรงต้านทางพลศาสตร์ (Aerodynamic drag) และเมื่อพิจารณาจากทุกระยะห่างจากหัวฉีดจะพบว่าลำพุ่งน้ำจะมีค่าสูงที่สุดที่ทุกระยะห่างจากหัวฉีด (ยกเว้นที่ 4 และ 5 cm) เนื่องจากผลของความหนาแน่นของน้ำมีค่าสูงที่สุดดังแสดงในตารางที่ 4.1 และลำพุ่งน้ำมันแก๊สโซลีนจะมีค่าต่ำที่สุดที่ทุกระยะห่างจากหัวฉีด (ยกเว้นที่ 4 cm) เนื่องจากผลของน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันแก๊สโซลีนมีค่าต่ำที่สุด โดยลำพุ่งน้ำจะมีค่าความดันกระแทกสูงที่สุดเท่ากับ 699.55 MPa ที่ระยะห่างจากหัวฉีด 1 cm และลำพุ่งน้ำมันแก๊สโซลีนจะมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 232.32 MPa ที่ระยะห่างจากหัวฉีด 5 cm ส่วนความดันกระแทกของลำพุ่งน้ำมันดีเซล ลำพุ่งน้ำมันก๊าด และลำพุ่งแอลกอฮอล์ จะมีค่าอยู่ระหว่างความดันกระแทกของลำพุ่งน้ำและลำพุ่งแก๊สโซลีนอย่างไม่มีนัยสำคัญกัน อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติทางกายภาพของลำพุ่งทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกันในทุกๆ คุณสมบัติทั้งน้ำหนักโมเลกุล ความหนาแน่น ความหนืดจลน์ และความตึงผิว ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้จะมีผลต่อคุณลักษณะของลำพุ่งความเร็วสูงเมื่อฉีดในอากาศทั้งสิ้น



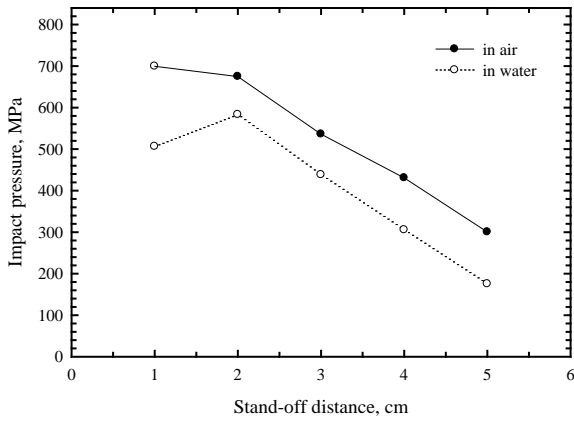
รูปที่ 4.3 อิทธิพลของชนิดของเหลวของลำพุ่งต่อความดันกระแทกที่ความเร็วของกระสุนเท่ากับ 223 m/s กรณีฉีดในอากาศ

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของของเหลวที่ใช้ในการทดลอง

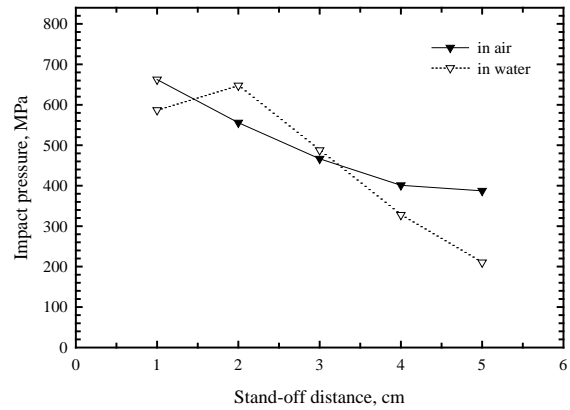
ชนิดของ ของเหลว	น้ำหนักโมเลกุล (g/mol)	ความหนาแน่น ที่ 20° (Kg/m ³)	ความหนืดจลน์ ที่ 20° (cSt)	ความตึงผิว ที่ 20° (N/m)	ความร้อนแฝง (KJ/Kg)
น้ำ	18	998	1.003	0.0728	2,257 (at 100°C)
น้ำมันดีเซล	198	840	1.8 – 4.0	0.0244	267.49 (at 170°C)
น้ำมันก๊าด	170	810	1.5 – 2.5	0.0235	314.01 (at 117.8°C)
น้ำมันแก๊สโซลีน	32	785.1	1.6	0.0220	896 (at 90°C)
แอลกอฮอล์	114	750	0.5	0.0200	318.66 (at 90°C)

4.4 การเปรียบเทียบความดันกระแทกในอากาศและน้ำ

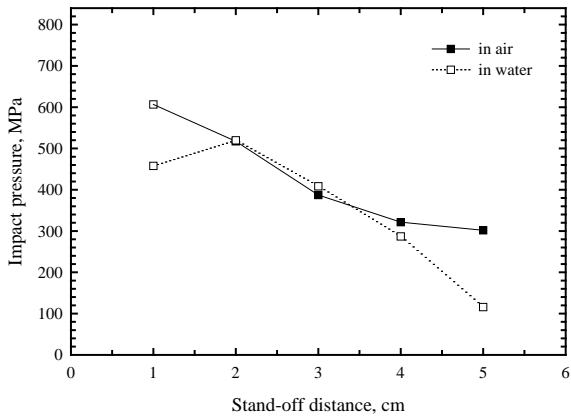
รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบความดันกระแทกของลำพุ่งเมื่อฉีดในอากาศและน้ำ ที่ความเร็วของกระสุนเท่ากับ 223 m/s พบว่า เมื่อระยะห่างจากหัวฉีดเพิ่มขึ้นความดันกระแทกทั้งเมื่อฉีดในอากาศและในน้ำ



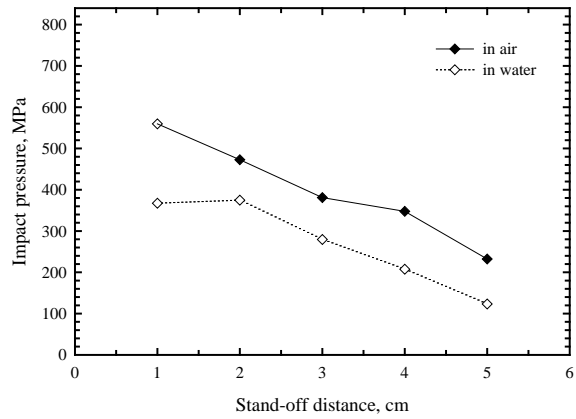
(a) ลำพุ่งน้ำ (water jet)



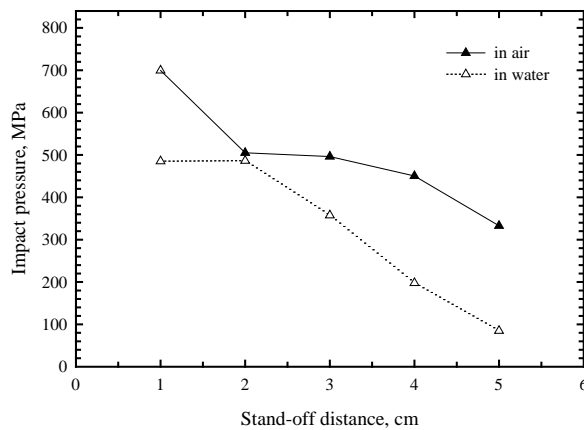
(b) ลำพุ่งน้ำมันดีเซล (diesel jet)



(c) ลำพุ่งน้ำมันก๊าด (kerosene jet)



(d) ลำพุ่งน้ำมันแก๊สโซลีน (gasoline jet)



(d) ลำพุ่งแอลกอฮอล์ (alcohol jet)

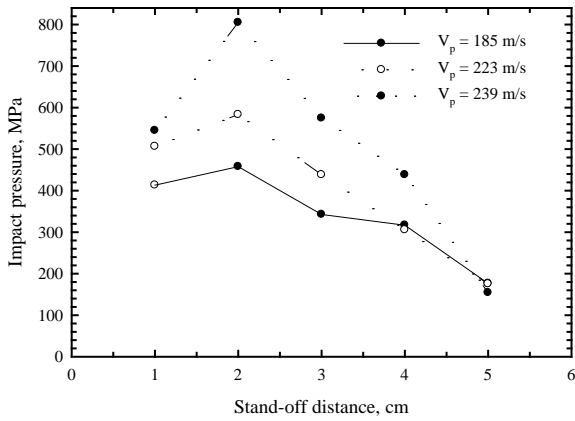
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบความดันกระแทกของลำพุ่งเมื่อฉีดในอากาศและน้ำที่ความเร็วของกระสุนเท่ากับ

223 m/s

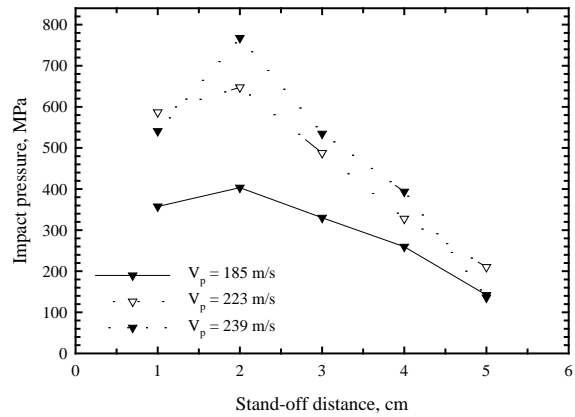
จะมีค่าลดลงโดยจะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันทุกลำพุ่ง เพราะเมื่อระยะห่างจากหัวฉีดเพิ่มขึ้นความเร็วของลำพุ่งจะมีค่าลดลงเนื่องจากผลของแรงต้านทางพลศาสตร์ (Aerodynamic drag) และแรงต้านทานของน้ำ (Hydrodynamic drag) และเมื่อพิจารณาที่ทุกลำพุ่งและทุกระยะห่างจากหัวฉีดพบว่า ลำพุ่งที่ฉีดในอากาศจะมีความดันกระแทกสูงกว่าเมื่อฉีดในน้ำ เนื่องมาจาก แรงต้านทานของน้ำ (Hydrodynamic drag) จะมีค่าสูงกว่าแรงต้านทางพลศาสตร์ (Aerodynamic drag) (จาก $Drag = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 A$ ซึ่ง ρ ของน้ำมีค่าเป็น 1,000 เท่าของอากาศ) จึงส่งผลทำให้ความเร็วของลำพุ่งเมื่อฉีดในน้ำจะมีความเร็วช้ากว่าเมื่อฉีดในอากาศ (ยกเว้นลำพุ่งน้ำมันดีเซลที่ระยะ 2 และ 3 cm) และเมื่อพิจารณาลำพุ่งเมื่อฉีดในน้ำที่ระยะห่างจากหัวฉีด 1 cm พบว่า มีความดันกระแทกต่ำกว่าที่ระยะ 2 cm อันเนื่องมาจาก ลำพุ่งเมื่อฉีดในน้ำจะต้องการระยะห่างจากหัวฉีดพอสมควรในการเร่งความเร็ว ซึ่งแตกต่างจากการฉีดในอากาศ จึงทำให้ความดันสูงสุดของลำพุ่งเมื่อฉีดในน้ำเกิดขึ้นที่ระยะห่าง 2 cm แทนที่จะเป็นที่ระยะ 1 cm เช่นเดียวกับกรณีที่ฉีดในอากาศ

4.5 อิทธิพลของความเร็วในการกระแทกของกระสุนปืนกรณีฉีดในน้ำ

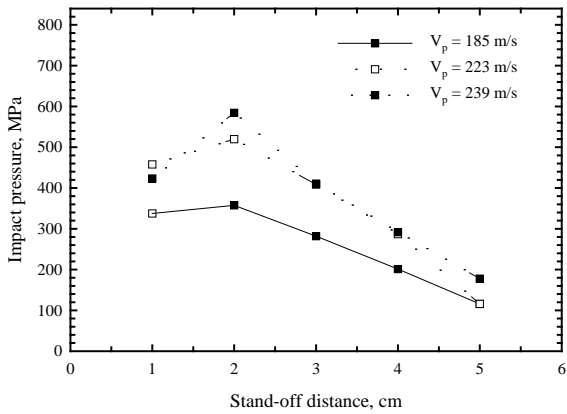
รูปที่ 4.5 อิทธิพลของความเร็วการกระแทกของกระสุนปืนต่อความดันกระแทกของลำพุ่งในน้ำ พบว่า เมื่อความเร็วของกระสุนปืนที่ใช้ในการผลิตลำพุ่งมีค่าสูงมากขึ้น ความดันกระแทกของลำพุ่งก็มีค่ามากขึ้นทุกชนิดของลำพุ่งและทุกระยะห่างจากหัวฉีดดังรูปที่ 4.5a-d เนื่องจากว่า เมื่อความเร็วของกระสุนมากขึ้นจะทำให้มีพลังงานโมเมนตัม (momentum energy) สูงขึ้น และเมื่อกระสุนปืนกระแทกกับของเหลวที่บรรจุในหัวฉีดจะทำให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัมดังกล่าวไปยังของเหลวส่งผลให้ของเหลวมีความเร็วที่ฉีดออกจากหัวฉีดที่ความเร็วสูงขึ้น จึงส่งผลให้เกิดความดันกระแทกสูงขึ้นไป ดังนั้น ความเร็วของกระสุนปืนที่ใช้ในการผลิตลำพุ่งจะเป็นตัวแปรหลักที่สำคัญต่อความดันกระแทกของลำพุ่ง และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วของกระสุนปืนใดๆ ก็พบว่า ความดันกระแทกจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะห่างจากหัวฉีดจาก 1 ไป 2 cm ด้วยเหตุผลเดียวกับที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา และความดันกระแทกจะมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากหัวฉีดเพิ่มขึ้นจาก 2 ไป 5 cm ซึ่งเป็นพฤติกรรมปกติดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว แต่มีประเด็นที่น่าสนใจคือ เมื่อความเร็วของกระสุนปืนสูงขึ้น ความชันของความดันที่ระยะ 1 ไป 2 cm และจาก 2 ไป 5 cm จะมีความชันมากขึ้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วของกระสุนปืนสูงขึ้นจะทำให้ความเร็วของลำพุ่งซึ่งมีผลต่อความดันกระแทกมีค่าสูงขึ้น แต่ก็จะมีอัตราการลดลงของความเร็วหรือความดันกระแทกของลำพุ่งมากขึ้นด้วยเช่นกัน โดยความดันกระแทกสูงสุดมีค่าเท่ากับ 804.89, 767.71, 584.29, 726.81 และ 595.44 MPa ที่ความเร็วกระสุน (V_p) เท่ากับ 239 m/s ระยะห่างจากหัวฉีดเท่ากับ 2 cm สำหรับลำพุ่งน้ำ (water jet) ลำพุ่งน้ำมันดีเซล (diesel jet) ลำพุ่งน้ำมันก๊าด (kerosene jet) ลำพุ่งน้ำมันแก๊สโซลีน (gasoline jet) และลำพุ่งแอลกอฮอล์ (alcohol jet) ตามลำดับ และมีความดันกระแทกต่ำสุดเท่ากับ 176.55, 141.85, 115.82, 89.80 และ 110.86 MPa ที่ระยะ 5 cm ความเร็วกระสุน (V_p) เท่ากับ 185 m/s ตามลำดับ



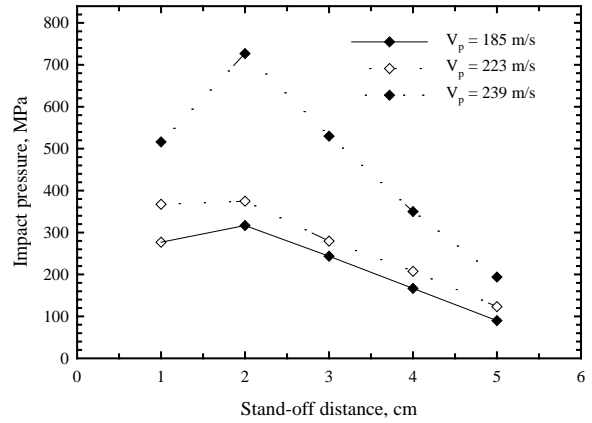
(a) ลำพุ่งน้ำ (water jet)



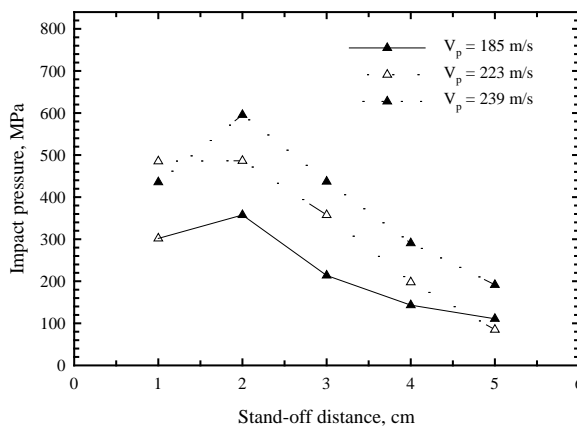
(b) ลำพุ่งน้ำมันดีเซล (diesel jet)



(c) ลำพุ่งน้ำมันก๊าด (kerosene jet)



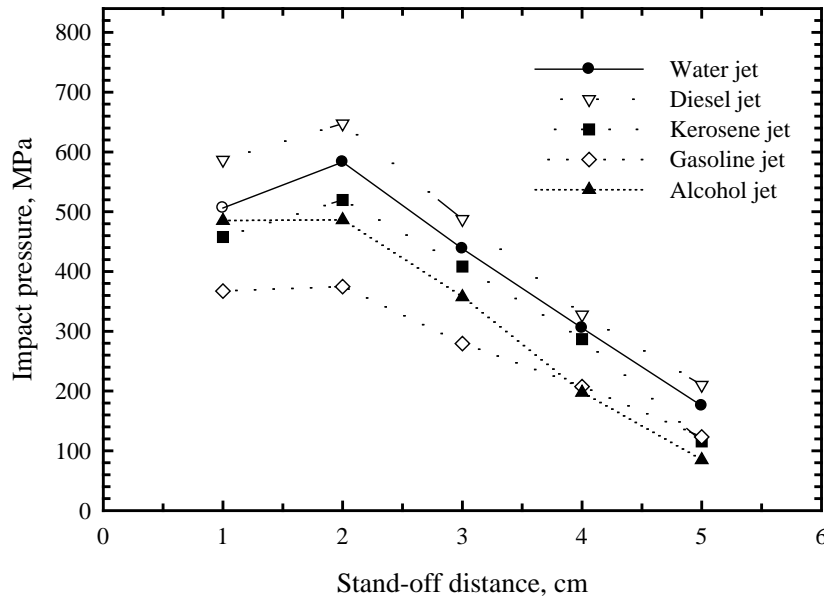
(d) ลำพุ่งน้ำมันแก๊สโซลีน (gasoline jet)



(d) ลำพุ่งแอลกอฮอล์ (alcohol jet)

รูปที่ 4.5 อิทธิพลของความเร็วการกระแทกของกระสุนปืนต่อความดันกระแทกของลำพุ่งในน้ำ

4.6 อิทธิพลของชนิดของเหลวของลำพุ่งกรณีฉีดในน้ำ



รูปที่ 4.6 อิทธิพลของชนิดของเหลวของลำพุ่งต่อความดันกระแทกในน้ำที่ความเร็วกระแทกของกระสุนปืน เท่ากับ 223 m/s กรณีฉีดในน้ำ

รูปที่ 4.6 แสดงอิทธิพลของชนิดของเหลวของลำพุ่งต่อความดันกระแทกที่ความเร็วของกระสุนปืน เท่ากับ 223 m/s กรณีฉีดในน้ำ พบว่า เมื่อระยะห่างจากหัวฉีดเพิ่มขึ้นความดันกระแทกจะมีค่าลดลงโดยจะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันทุกลำพุ่ง ยกเว้นที่ระยะห่างจากหัวฉีดจาก 1 ไป 2 cm ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ผ่านมา เพราะเมื่อระยะห่างจากหัวฉีดเพิ่มขึ้นความเร็วของลำพุ่งจะมีค่าลดลงเนื่องจากผลของแรงต้านของน้ำ (Hydrodynamic drag) และเมื่อพิจารณาจากทุกระยะห่างจากหัวฉีดจะพบว่าลำพุ่งดีเซลจะมีค่าสูงที่สุดที่ทุกระยะห่างจากหัวฉีด เนื่องจากผลของน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันดีเซลมีค่าสูงที่สุดดังแสดงในตารางที่ 4.1 และลำพุ่งน้ำมันแก๊สโซลีนจะมีค่าต่ำที่สุดที่ทุกระยะห่างจากหัวฉีด เนื่องจากผลของน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันแก๊สโซลีนมีค่าต่ำที่สุด โดยลำพุ่งน้ำจะมีค่าความดันกระแทกสูงที่สุดเท่ากับ 583.05 MPa ที่ระยะห่างจากหัวฉีด 2 cm และลำพุ่งน้ำมันแก๊สโซลีนจะมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 123.26 MPa ที่ระยะห่างจากหัวฉีด 5 cm ส่วนความดันกระแทกของลำพุ่งน้ำ ลำพุ่งน้ำมันก๊าด และลำพุ่งแอลกอฮอล์ จะมีค่าอยู่ระหว่างความดันกระแทกของลำพุ่งน้ำมันดีเซลและลำพุ่งแก๊สโซลีนอย่างไม่มีนัยสำคัญกัน อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติทางกายภาพของลำพุ่งทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกันในทุกๆ คุณสมบัติทั้งน้ำหนักโมเลกุล ความหนาแน่น ความหนืดจลน์ และความตึงผิว โดยเฉพาะลำพุ่งแอลกอฮอล์ที่มีลักษณะความดันกระแทกที่แตกต่างจากลำพุ่งชนิดอื่น และเมื่อพิจารณาที่ระยะห่างจากหัวฉีดช่วงระยะ 1 ไป 2 cm และช่วงระยะ 2 ไป 5 cm พบว่า ความชันของความดันกระแทกในแต่ละระยะของลำพุ่งจะมีความชันน้อยลง เมื่อความดันค่าความดันกระแทกของลำพุ่งมีค่าต่ำลงคือ ความชัน

ของช่วงระยะ 1 ไป 2 cm และ ช่วงระยะ 2 ไป 5 cm ของลำพุ่งน้ำมันดีเซลจะมีความชันสูงที่สุด โดยมีค่าความดันกระแทกสูงที่สุด รองลงมาคือ ความชันของลำพุ่งน้ำ ลำพุ่งน้ำมันก๊าด น้ำมันแก๊สโซลีน และ แอลกอฮอล์ ตามลำดับ ด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา