

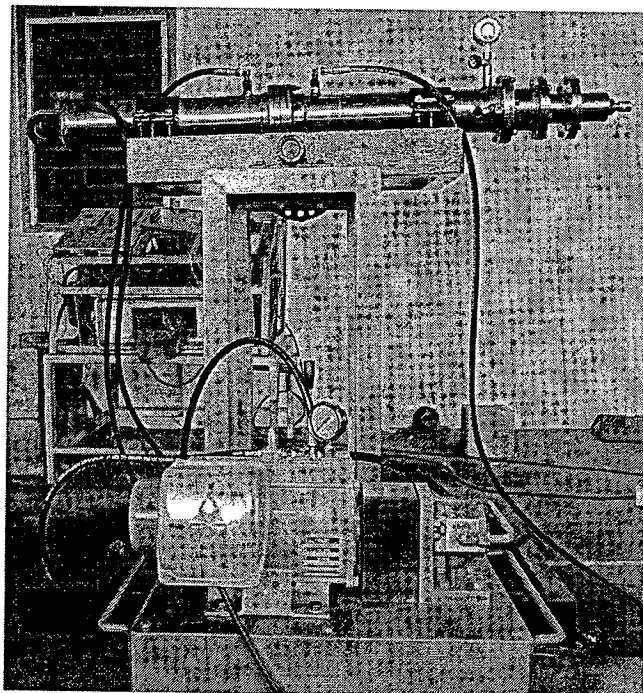
บทที่ 6

คุณลักษณะการนำส่งยาด้วยอุปกรณ์ขับเคลื่อนจากแก๊สแรงดันสูง: Med-jet NFIS

บทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาคุณลักษณะของลำพุงที่สร้างขึ้นจากอุปกรณ์นำส่งยาต้นแบบ Med-jet NFIS โดยนำเสนอในเทอมของความเร็วและความดันของลำพุงที่วัดได้จาก หลักการตัดแสงของวัตถุ และ แผ่น PVDF ตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดเครื่องมือวัดและหลักการทำงานของเครื่องต้นแบบ ได้กล่าวไว้แล้วอย่างละเอียดในบทที่ 4 แต่ก่อนที่จะอภิปรายผลนั้น เริ่มแรกจะได้กล่าวถึง เงื่อนไขและรูปแบบการศึกษาลำพุงความเร็วสูง จาก Med-jet NFIS เสียก่อน

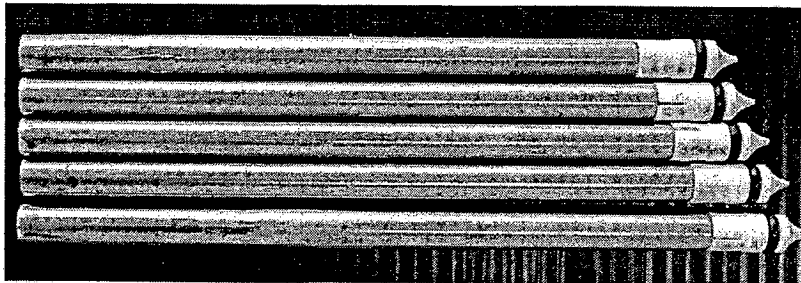
6.1 เงื่อนไขและรูปแบบการศึกษา

Med-jet NFIS ที่แสดงในรูปที่ 6.1 เป็นชุดต้นแบบของอุปกรณ์นำส่งยาด้วยลำพุงความเร็วสูง โดยอาศัยต้นกำลังจากระบบไฮดรอลิก และใช้แก๊สแรงดันสูงขับเคลื่อน ให้ดันของเหลวพุงออกมาจากหัวฉีด ด้วยความเร็ว เป็นชุดต้นแบบที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับการศึกษาทดลองเป็นหลัก เพื่อเป็นการเก็บข้อมูลพื้นฐาน ก่อนการพัฒนาและออกแบบอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้งานจริงในอนาคต ซึ่งหลักการทำงาน และส่วนประกอบที่สำคัญได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 ดังนั้น ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะรูปแบบการศึกษาและวิธีการกำหนดเงื่อนไขการทดลอง เท่านั้น โดยจะไม่กล่าวถึงรายละเอียดของชุดทดลองและเครื่องมือวัดทั้งหมด



รูปที่ 6.1 ชุดต้นแบบของอุปกรณ์นำส่งยาด้วยลำพุงความเร็ว Med-jet NFIS

คุณลักษณะของลำฟุ้งที่จะทำการทดลอง คือ ความเร็วและความดันของลำฟุ้ง ด้วยใช้หลักการตัดแสงของวัตถุ และแผ่น PVDF วัดค่าดังกล่าวตามลำดับ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของของเหลวในหัว ณ ที่นี้ ใช้น้ำบริสุทธิ์เป็นสารทำงาน ทำได้โดยเปลี่ยนความของแท่งกด เพื่อรักษาระยะห่างระหว่างแท่งกดกับลูกสูบขับให้คงที่ ใช้แท่งกด 5 ขนาดเพื่อปรับปริมาตร 0.1 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 ml (ขนาดสั้นสุดสำหรับปริมาตร 0.5 ml และยาวสุดสำหรับ 0.1 ml)



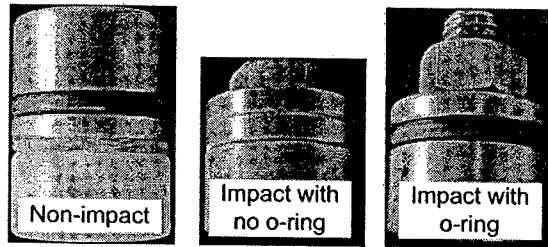
รูปที่ 6.2 แท่งกด ขนาดต่างๆ

เพื่อศึกษาอิทธิพลของลักษณะการขับของลูกสูบบนแท่งกด ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีลูกสูบขับ 3 ลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 6.2 ซึ่งลูกสูบขับมีน้ำหนักเท่ากัน คือ 43 g และมีรายละเอียดดังนี้

แบบที่ 1 คือ ลูกสูบยาวแบบมีโอริง ใช้สำหรับการขับแท่งกดโดยให้ลูกสูบติดกับแท่งกดก่อนการทำงาน ทำให้ไม่มีการกระแทกของลูกสูบบนแท่งกด (Non-impact) และก๊าซแรงดันสูงจะขับลูกสูบต่อเนื่อง ไม่มีการรั่วไหลออกเพราะมีโอริงกันรั่วด้านข้าง เพื่อทำการศึกษา อิทธิพลของแรงดันขับเคลื่อนที่และต่อเนื่อง ที่มีต่อลำฟุ้ง

แบบที่ 2 คือ ลูกสูบขับแบบสั้นไม่มีโอริง (Impact with no o-ring) ใช้สำหรับขับแท่งกด ซึ่งก่อนทำงาน ลูกสูบและแท่งกด จะมีระยะห่างกัน 10 mm และ เมื่ออุปกรณ์เริ่มทำงานในช่วงแรก ลูกสูบขับจะวิ่งเพิ่มความเร็วตามระยะห่างนี้ ก่อนจะชนแท่งกดและขับของไหล ทั้งนี้แรงดันก๊าซจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการรั่วไหลออกทางด้านข้างของลูกสูบ (เพราะไม่มีโอริงเหมือนแบบที่ 1) เพื่อทำการศึกษาคูณลักษณะของลำฟุ้ง ที่กำเนิดจากการกระแทก และความดันก๊าซที่ลดลงต่อเนื่อง

แบบที่ 3 คือ ลูกสูบขับแบบสั้นมีโอริง (Impact with o-ring) หลักการทำงานจะคล้ายแบบที่ 2 แต่ลูกสูบจะมี โอริง สำหรับกันก๊าซรั่วไหล หลังการกระแทกบนแท่งกด เพื่อทำการศึกษากรณีการกระแทกและมีแรงดันขับเคลื่อนต่อเนื่อง



รูปที่ 6.3 ลักษณะของลูกสูบขั้วที่ใช้ขั้วแบ่งกด

ทั้งนี้เพื่อให้ผลการทดลองสามารถนำมาเปรียบเทียบ กับอุปกรณ์ Cool.Click ของบทที่ผ่านมาได้ ดังนั้น หัวฉีดที่ใช้ในการทดลองจึงเป็นหัวฉีดสำเร็จรูปอันเดียวกันกับของ Cool.Click ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางคอขวดเท่ากับ 0.17 mm นอกจากนี้แล้ว เนื่องจาก Med-jet NFIS ใช้อากาศที่ถูกอัดด้วยกระบอกไฮดรอลิก ขั้วลูกสูบและแท่งกด เพื่อขับหรือสร้างลำพุ่งความเร็วสูง ดังนั้นระดับความดันที่ใช้จำเป็นต้องเป็นความดันเสมือนกับแรงกดของสปริงในอุปกรณ์ Cool.Click ซึ่งมีวิธีการคำนวณความดันดังกล่าวดังนี้

กรณี Cool.Click

สปริงของ Cool.Click มีค่าคงที่เท่ากับ 17.8 kN/m
 มีระยะขยุบในการฉีด (ทุกครั้งจะเท่ากัน) เท่ากับ 30 mm
 ดังนั้น จากแรงกดเริ่มแรกตามแนวแกนแท่งกดมีค่าเท่ากับ

$$F \times \Delta x = 17.8 \text{ kN/m} \times 0.03 \text{ m} = 0.534 \text{ kN}$$

กรณี Med-jet NFIS

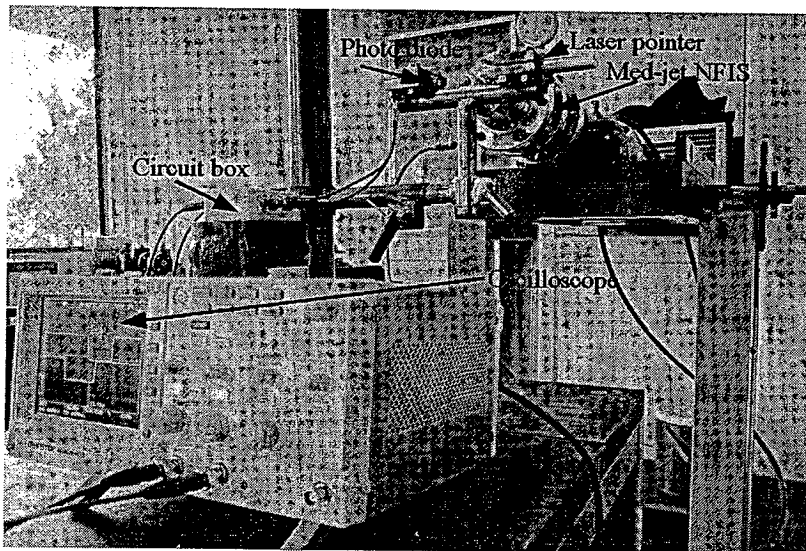
เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบขั้วเท่ากับ 20 mm
 เมื่อต้องใช้แรงกดเริ่มแรกเท่ากับของ Cool.Click จะได้แรงดันเทียบเท่าดังนี้

$$\frac{F \times \Delta x}{A} = \frac{0.534 \text{ kN} \times 1,000 \times 4}{\pi \times 0.02^2 \text{ mm}} = 17.0 \text{ bar}$$

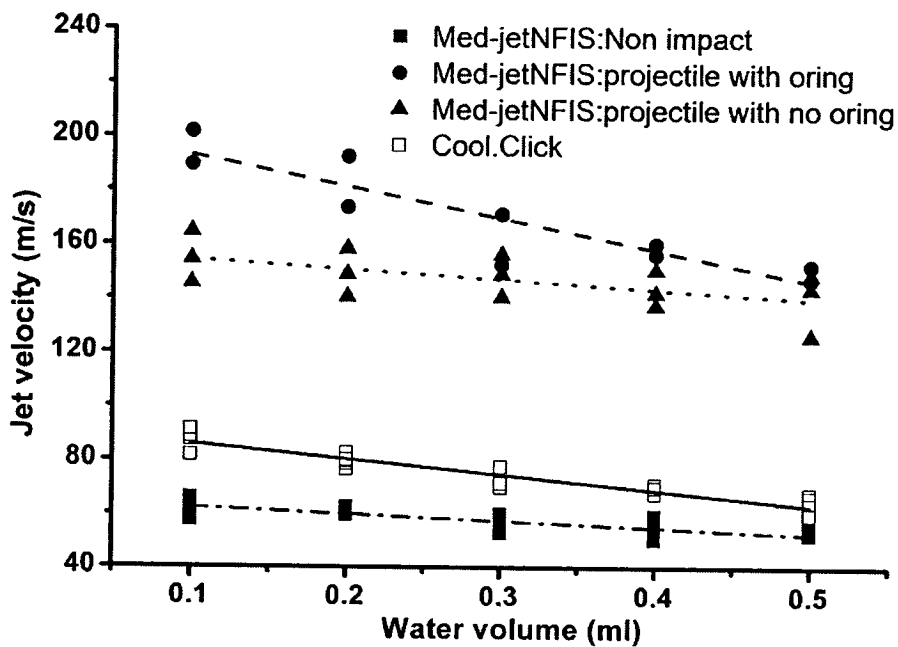
นั่นหมายความว่า ระดับความดันก๊าซหรือความดันแตกของแผ่น ไดอะแฟรมที่ต้องการที่ ต้องการ คือ 17 bar จากการ ปรับเทียบความดันแตกของแผ่นไดอะแฟรมในบทที่ 4 (รายละเอียดอธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1.2 และรูปที่ 4.8) พบว่าทองเหลืองแบบ 2 หนา 0.0254 mm (0.001 นิ้ว) ให้ความดันใกล้เคียงที่สุด ดังนั้นในการทดลองจึงใช้แผ่นทองเหลืองขนาดนี้เป็นแผ่นไดอะแฟรมทุกการทดลอง

6.2 ความเร็วออกของลำพู่

ดั่งเช่นการศึกษาในอุปกรณ์นำส่งยาด้วยลำพู่ที่มีขายในท้องตลาด รุ่น Cool. Click จากบทที่ผ่านมา ชุดต้นแบบ Med-jet NFIS ก็ได้ทำการทดสอบความเร็วของลำพู่เช่นเดียวกัน โดยเปลี่ยนแปลงปริมาตรของของไหลและวิธีการขับเคลื่อน แล้วใช้หลักการตัดแสงของวัตถุ วัดความเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 6.4 โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.4 การวัดความเร็วออกของลำพู่ด้วยหลักการตัดแสงของวัตถุ



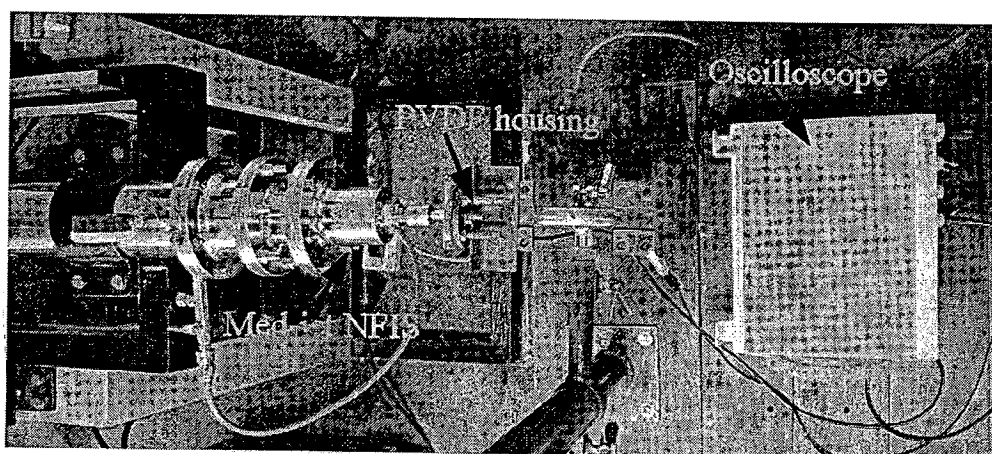
รูปที่ 6.5 ความเร็วออกของลำพู่จาก Med-jet NFIS

รูป 6.5 แสดงความเร็วออกของลำพุ่งที่กำเนิดจาก Med-jet NFIS ที่ปริมาตรของเหลวต่างๆ โดยเทียบกับผลของ Cool.Click ด้วย พบว่า เมื่อปริมาตรเพิ่มขึ้น ความเร็วจะลดลง การจับด้วยการกระแทกของลูกสูบที่มีโวลิจจะให้ค่าความเร็วออกสูงสุด 160 – 200 m/s และจะมีค่าน้อยสุดกับกรณีไม่มีการกระแทก เนื่องจากความเร็วที่วัดได้เป็นความเร็วออกจากหัวฉีดหรือความเร็วเริ่มของลำพุ่ง ทำให้หากปริมาตรลดลง มวลของเหลวที่รับพลังงานจากลูกสูบและแท่งกดมีน้อย พลังงานต่อหน่วยจึงมีมาก ของเหลวจึงมีความดันฉีดสูง ลำพุ่งที่ออกจากหัวฉีดจึงเร็วขึ้นด้วย นอกจากนี้การกระแทกแท่งกดก่อนที่จะจับทำให้ เกิดการเคลื่อนที่ของคลื่น ชอคค์ในหัวฉีด และสะสมความดันขึ้นที่บริเวณใกล้ทางออก ลำพุ่งที่ถูกฉีดออกมามีความเร็วสูงกว่ากรณีไม่มีการกระแทก

เมื่อทำการเปรียบเทียบแนวโน้มกราฟความเร็วออกกับปริมาตรน้ำ พบว่า ความชันของกราฟมีน้อย เมื่อลูกสูบปิดการรั่วไหลด้วยโวลิจและไม่มีการกระแทก หมายความว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วออกมีน้อย เมื่อปริมาตรของเหลวเพิ่มขึ้น เมื่อลูกสูบถูกจับด้วยความดันก๊าซคงที่นั่นเอง ซึ่งหากเทียบกรณีดังกล่าวกับการจับด้วยสปริงของ Cool. Click พบว่าความเร็วออกจะช้ากว่า แต่ความชันของกราฟมีน้อย เนื่องจากความดันของก๊าซลดลงน้อยมาก เพราะปริมาตรของห้องอัดก๊าซมีขนาดใหญ่มาก เมื่อเทียบกับปริมาตรที่ก๊าซขนาดตัวเพื่อจับลูกสูบ ซึ่งต่างจากสปริงที่แรงจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อตัวมันขยายตัว

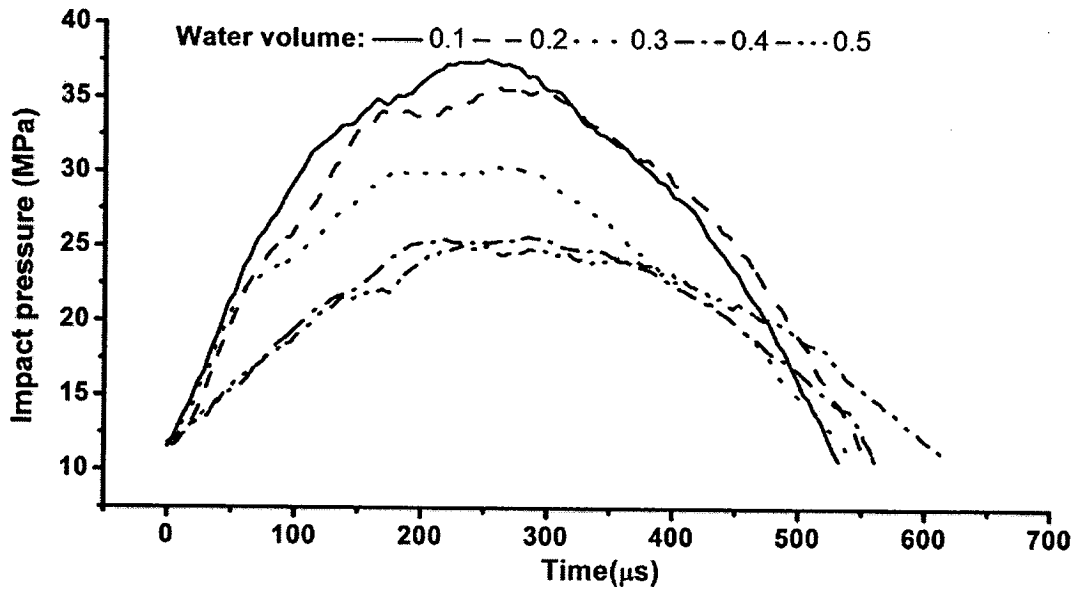
6.3 ความดันกระแทกของลำพุ่ง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงความดันกระแทกของลำพุ่งที่กำเนิดจาก Med-jet NFIS ด้วยการวัดจากแผ่น PVDF ซึ่งรายละเอียดของเครื่องมือวัด และการปรับเทียบข้อมูลได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 หัวข้อ 4.2.2 ซึ่งการติดตั้งเครื่องมือวัดแสดงในรูปที่ 6.6 โดยมีเงื่อนไขในการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อที่ผ่านมา คือ เปลี่ยนปริมาตรหัวฉีด และลักษณะการจับแท่งกด



รูปที่ 6.6 การวัดความดันด้วยแผ่น PVDF (ภาพถ่ายมุมมองด้านบน)

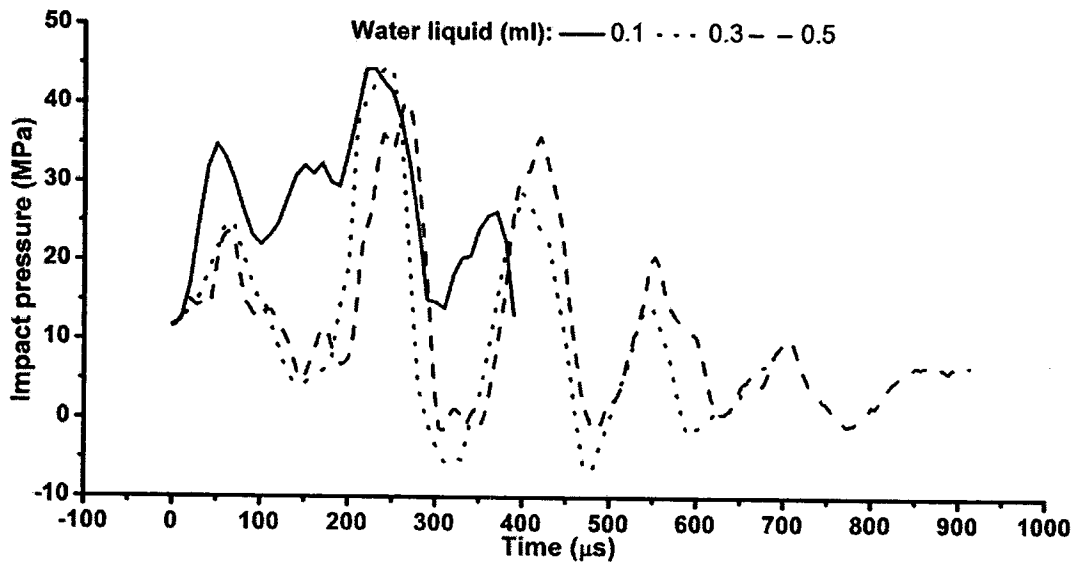
รูปที่ 6.7 แสดงความดันกระแทกที่ได้จากการวัดด้วยแผ่น PVDF ของลำพุ่งที่ขับโดยไม่มี การกระแทก ที่ปริมาตรของเหลวต่างๆ พบว่า ความกระแทกสูงสุด มีค่าประมาณ 37 MPa ที่ ปริมาตรของเหลวน้อยที่สุด 0.1 ml และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 23 MPa ที่ 0.5 ml ซึ่งเมื่อของเหลวใน หัวฉีดมีปริมาตรมาก ความดันกระแทกจะลดต่ำลง แต่ช่วงเวลาระแทกจะนานขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก ความเร็วลำพุ่งที่ลดลง (จากผลการทดลองในหัวข้อที่ผ่านมา) และมวลของเหลวที่เพิ่มขึ้น ทำให้ โมเมนตัมของลำพุ่งที่ออกจากหัวฉีดมีน้อยกว่ากรณีที่ฉีดของเหลวปริมาตรน้อยๆ



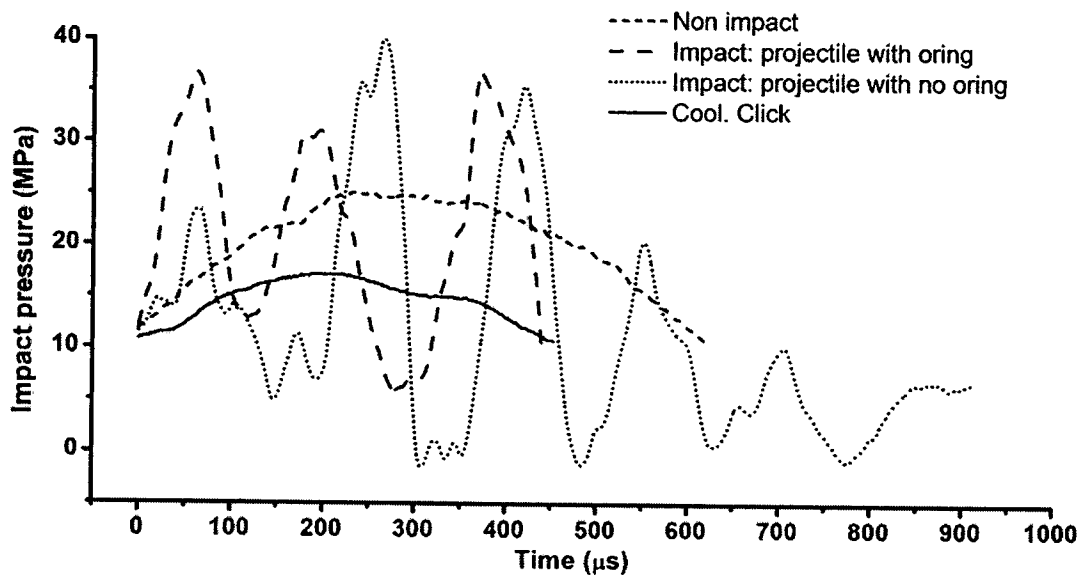
รูปที่ 6.7 ความดันกระแทก ของลำพุ่งที่ขับ โดยไม่มี การกระแทก

กราฟความดันกระแทกของลำพุ่งที่ขับด้วยการกระแทกลูกสูบแบบไม่มีโอริง แสดงดังรูปที่ 6.8 พบว่า แนวโน้มของกราฟค่อนข้าง ปั่นป่วน ขึ้นลงตลอดการฉีด เช่นเดียวกับกรณีที่ผ่านมาเมื่อ ปริมาณของเหลวในหัวฉีดเพิ่มขึ้น ระยะเวลาการฉีดจะเพิ่มขึ้นตามด้วย การสั่นของกราฟความดัน เกิดขึ้นเนื่องจาก ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการสะท้อนของคลื่น ชอคค์ในหัวฉีด ดังที่เกิดขึ้นกับ การสร้างลำพุ่งความเร็วสูงด้วยการกระแทก ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 เนื่องจาก การกระแทกในช่วงเริ่ม ฉีด และความดันหลังลูกสูบลดลงอย่างต่อเนื่อง ของกรณีนี้ เกิดขึ้นคล้ายกับกรณีดังกล่าว

เมื่อเปรียบเทียบกราฟความดันกระแทกจากการขับด้วยวิธีต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.9 พบว่า การขับลูกสูบแบบ ไม่มีโอริงให้ความดันกระแทกสูงสุด (ประมาณ 40 MPa) แต่กราฟก็สั่นมากที่สุด และใช้เวลาฉีดนาน (ประมาณ 950 μs) ที่สุดเช่นเดียวกัน ขณะที่ลำพุ่งที่สร้างด้วยแบบลูกสูบมีโอริง และไม่กระแทกกับของ Cool.Click กราฟค่อนข้างราบเรียบ เนื่องไม่มีการกระแทกก่อนขับ และ แรงกดจากก๊าซและสปริงลดลงน้อยมากระหว่างขับ ทำให้การสั่นของลูกสูบเพราะการสะท้อนของ คลื่นชอคค์ในหัวฉีดมีน้อย



รูปที่ 6.8 ความดันกระแทก ของลำพู่ที่ขับเคลื่อนด้วยการกระแทกลูกสูบแบบ ไม่มีไอลิง

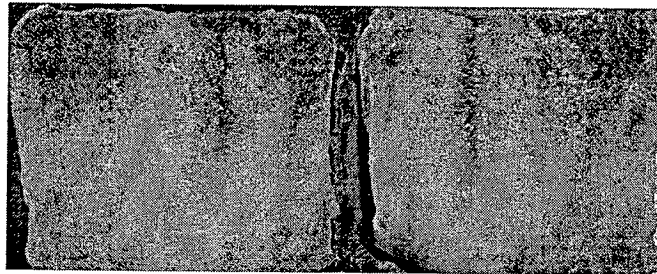


รูปที่ 6.9 เปรียบเทียบความดันกระแทกของลำพู่ที่ ปริมาตรของเหลว 0.5 ml

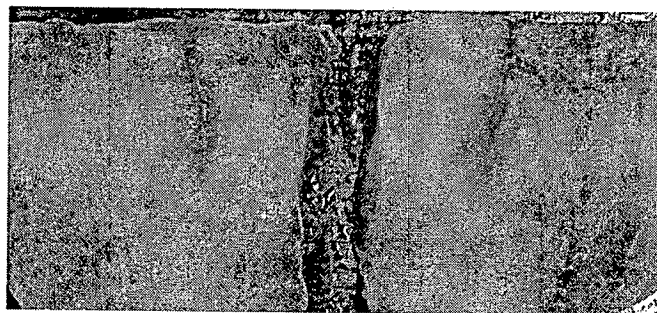
6.4 การกระจายลำพู่ในเนื้อหมู

เพื่อเป็นการตรวจสอบการทำงานจริงของอุปกรณ์ Med-jet NFIS เราได้ทำการฉีดทดสอบในเนื้อหมู ขอบแบบไม่มีการกระแทก ดังแสดงในรูปที่ 6.10 โดยทำการฉีดที่ปริมาตรของเหลว 0.2 และ 0.4 ml พบว่า (ในเบื้องต้น) ลำพู่สามารถเจาะทะลุผ่านเนื้อหมูได้เช่นเดียวกับอุปกรณ์ที่มีขายในท้องตลาด (Cool.Click) ความลึกของรูจะไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจากความเร็วออกและกำลังของลำพู่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่มีข้อสังเกตว่า รูเจาะมีความลึกมากกว่าฉีดด้วย

Cool.Click ทั้งที่ ลำฟุ้งมีความเร็วออกและกำลังน้อยกว่า หมายความว่า ความลึกที่เพิ่มขึ้นจากการฉีดด้วย Med-jet NFIS เกิดขึ้นจากกำลังของอนุภาคที่ตามลำฟุ้งออกมามีค่าสูงนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าลำฟุ้งกระจายน้อยเมื่อเทียบกับการฉีดด้วย Cool.Click (ในรูป 5.21)



(a)



(b)

รูปที่ 6.10 การกระจายของลำฟุ้งในเนื้อหมูจากการฉีดด้วย Med-jet NFIS ที่ปริมาณน้ำ (a) 0.2 ml และ (b) 0.4 ml