

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

ผลของอุณหภูมิต่อคุณลักษณะของลำพ่นน้ำมันเชื้อเพลิงความเร็วสูง Effect of ambient temperature on characteristics of high speed fuel jets

วุฒิชัย สิทธิวงษ์*, วิระพันธ์ สีหนาม, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, อนิรุตต์ มัทธจักร์ และชัยเดช เกษมนิมิตรพร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี 34190

E-mail: sittiwong@hotmail.com, โทรศัพท์: 043 353 309, โทรสาร: 043 353 308

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะลำพ่นเชื้อเพลิงความเร็วสูง (High speed fuel jets) ของน้ำมันดีเซล และน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ ภายใต้อุณหภูมิห้องทดสอบ 30°C และ 150°C ลำพ่นเชื้อเพลิงความเร็วสูงเกิดจากการกระแทกของลูกปืนที่มีความเร็วประมาณ 800 m/s หัวฉีดที่ใช้ในการทดลองจะเป็นแบบทรงกรวย (Conical nozzle) มุม 30° ขนาดคอขวด (Orifice) 0.7 mm การศึกษาคุณลักษณะของลำพ่นจะใช้วิธีการถ่ายภาพด้วยกล้องวิดีโอความเร็วสูง (high speed video camera) ร่วมกับเทคนิคชาโดว์กราฟ (Shadowgraph technique) จากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิสูง (150°C) ลำพ่นน้ำมันดีเซลและน้ำมันสบู่ดำมีความเร็วประมาณ 1,200 m/s และ 1,300 m/s ซึ่งมีความเร็วที่ต่ำกว่ากรณีห้องทดสอบอุณหภูมิ 30°C (1,400 m/s และ 2,000 m/s) นอกจากนี้ยังเกิดการระเหิดตัวของเม็ดเชื้อเพลิงดีเซลขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อห้องทดสอบมีอุณหภูมิสูง

คำหลัก: ลำพ่นเชื้อเพลิงความเร็วสูง, กล้องวิดีโอความเร็วสูง, เทคนิคชาโดว์กราฟ

Abstract

This study investigates on effects of temperature in the test chamber on characteristics of high speed diesel fuel jets and jatropha curcas oil jets. The high speed fuel jets are injected into the test chamber in which the temperature is varied the range at 30°C and 150°C . The high speed liquid jets are generated by the projectile impact driven method. In the experiment, projectile velocities of around 800 m/s and conical nozzle with 30° cone angle and 0.7 mm orifice diameter were used. High speed video camera and optical system with shadowgraph technique were used to capture the characteristics of the jets. From experimental results, it was found that at high temperature condition (150°C) the maximum average diesel fuel and jatropha curcas oil jets velocity were around 1,200 m/s and 1,300 m/s respectively, and these were much lower than those at the 30°C (1,400 m/s and 2,000 m/s). In addition, intensive atomization of high speed diesel jets could be observed from the experimental result at higher temperature inside test chamber.

Keywords: High speed diesel fuel jet, High speed video camera, Shadowgraph technique

1. บทนำ

คุณลักษณะของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดด้วยความดันและความเร็วสูง สามารถที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์ ซึ่งได้พิสูจน์และยอมรับกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะกับเครื่องยนต์ดีเซล เช่น ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบการฉีดเชื้อเพลิง Common rail สามารถสร้างความดันในการฉีดเชื้อเพลิงได้สูงถึง 2000 บาร์ [1,2] เหตุผลที่ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์สูงขึ้น เกิดจากความดันในการฉีดเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นทำให้เชื้อเพลิงแตกตัว (Fuel atomization) ทำให้การผสมกันของเชื้อเพลิงและอากาศดีขึ้น ประสิทธิภาพการเผาไหม้จึงเพิ่มขึ้น ซึ่งได้มีการพิสูจน์จากงานวิจัยด้านพฤติกรรมและคุณลักษณะของสเปรย์น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งการทดลองและทางทฤษฎี [3-8]

การฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูงจนกระทั่งความเร็วของเชื้อเพลิงมีความเร็วที่สูงเหนือความเร็วเสียง ทำให้เกิด Mach wave ขึ้นรอบๆ ลำพุ่งของเชื้อเพลิง [3,9] ขนาดของเม็ดน้ำมันมีขนาดเล็กลง [10,11] เมื่อมี Shock wave เกิดขึ้น อุณหภูมิด้านหลังของ Shock wave จนถึงส่วนหัวของลำพุ่งจะสูงขึ้นกว่าปกติมาก [12] นอกจากนี้การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงของลำพุ่งทำให้เกิดเหนียวนำอากาศรอบๆ ลำพุ่งเข้าหาแกนของลำพุ่ง [13] ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิง

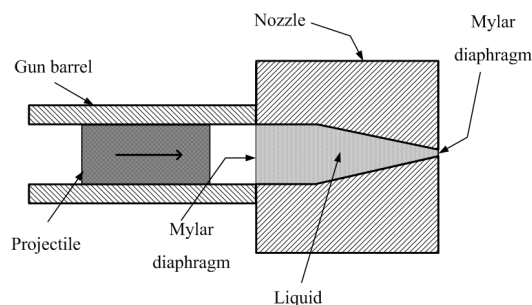
ในการนำเชื้อเพลิงทดแทนที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างและคุณสมบัติทางความร้อนที่ต่ำกว่าเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมมาฉีดด้วยความเร็วสูง น่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ให้สูงขึ้นได้ ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจ การศึกษานี้จึงทำการศึกษาพฤติกรรมและคุณลักษณะของลำพุ่งเชื้อเพลิงความเร็วสูง (สูงกว่าความเร็วเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ปัจจุบัน, ~700 m/s ที่บรรยากาศ) โดยใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมกับเชื้อเพลิงทดแทนที่ได้จากพืชพลังงานและเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องทดสอบเพื่อศึกษาคุณลักษณะของลำพุ่งเชื้อเพลิงที่คุณสมบัติต่างกันและผลของอุณหภูมิที่มีต่อลำพุ่งเชื้อเพลิง ผลการทดลอง

ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยเทคนิคที่เรียกว่า Shadowgraph technique ร่วมกับกล้องวิดีโอความเร็วสูง (High speed video camera, HSVC)

2. การทดลอง

2.1 วิธีการกำเนิดลำพุ่งและอุปกรณ์

การศึกษานี้จะกำเนิดลำพุ่งของน้ำมันดีเซลและน้ำมันที่ได้จากเมล็ดสบู่ดำให้มีความเร็วสูงเหนือเสียง (Supersonic) โดยวิธีการที่เรียกว่า “Projectile impact driven method” [14] ด้วยวิธีการนี้ ลูกปืน (Projectile) จะถูกขับให้มีความเร็วสูงไปกระแทกน้ำมันที่ถูกบรรจุอยู่ในหัวฉีด น้ำมันจะฉีดออกมาด้วยความเร็วที่สูง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วิธีการกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูงด้วยการกระแทก

การศึกษานี้ได้ออกแบบ สร้างเครื่องมือที่ให้ชื่อว่า “Horizontal single stage powder gun” หรือ HSSPG ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย

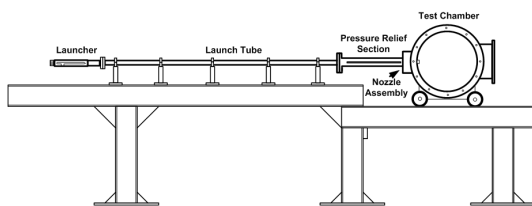
1. ชุดปล่อยลูกปืน (Launcher) โดยหลักการการทำงานของชุดปล่อยลูกปืนจะจุดชนวนจากเข็มแทงชนวน (Firing pin) กระแทกชนวนหรือแก้ว (Primer) ที่อยู่ส่วนท้ายของปลอกบรรจุดินปืน (Cartridge) ที่ภายในบรรจุดินปืนไว้ และส่วนหน้าจะปิดด้วยลูกปืนหรือโปรเจกไทล์ทำจากอะคริลิก (Acrylic) สีใส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm. ยาว 15 mm. มวล 0.98 g ดินขับชนิดดินควันน้อย (Smokeless powder) ปริมาณ 3 g จะเผาไหม้และขับลูกปืนให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง (ความเร็วเฉลี่ยของลูกปืน 700 m/s)

2. ท่อส่งลูกปืน (Launch tube) ทำหน้าที่เหมือน

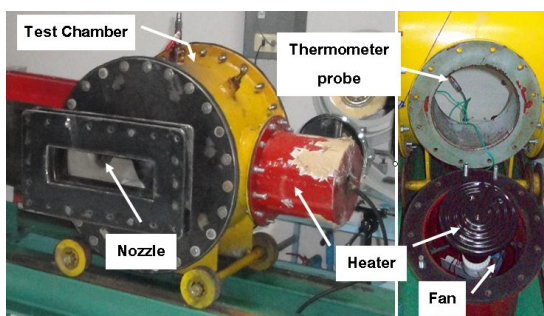
ลำกล้องปืน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm. ยาว 1.5 m.

3. ท่อระบายความดัน (Pressure relief section) ทำหน้าที่ระบายแรงอัดอากาศที่อยู่ส่วนหน้าของลูกปืน เพื่อลดแรงต้านและแรงอัดภายในท่อส่ง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm. ยาว 360 mm. ทำช่องระบายอากาศขนาด 3 mm. เป็นแนวยาวตลอดทั้ง 4 ด้าน

4. ห้องทดสอบ (Test chamber) เป็นส่วนที่ลำพุงจะฉีดเข้าไปและเป็นบริเวณที่จะทำการควบคุมตัวแปรในการทดลอง มีลักษณะเป็นถังทรงกลมมีช่องหน้าต่าง ปิดด้วยแผ่นอะคริลิกใสหนา 25 mm. เพื่อให้สามารถมองผ่านทะลุได้ 2 ด้านเพื่อใช้ในการเก็บผลการทดลองด้วยภาพถ่ายวิดีโอ ภายในถังทดสอบจะติดตั้งตัวทำความร้อน (Heater) ขนาด 1,000 watt กับพัดลมหมุนเวียนอากาศจำนวน 2 ตัวไว้ส่วนท้าย และหัววัดเพื่อควบคุมอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3



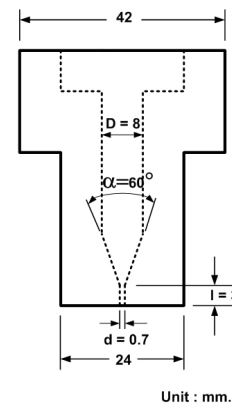
รูปที่ 2 เครื่องกำเนิดลำพุงความเร็วสูง หรือ HSSPG



รูปที่ 3 ห้องทดสอบและอุปกรณ์

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณลักษณะของลำพุงของเหลว โดยเฉพาะความเร็วของลำพุง คือ รูปร่างภายในของหัวฉีด ได้แก่ ขนาด

ของคอคอดหรือรูฉีด (d) อัตราส่วนของความยาวรูฉีดต่อขนาดรูฉีด (l/d) และมุมภายใน (α) ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4 [12,15-17] ดังนั้นในการศึกษานี้เลือกหัวฉีดที่สามารถให้ความเร็วของลำพุงได้สูงสุด [12,17] เป็นหัวฉีดรูปทรงกรวย (Conical nozzle) ขนาดคอคอด 0.7 mm. อัตราส่วน l/d เป็น 4.2 และปริมาตรความจุ 1.5 cc. ดังแสดงในรูปที่ 4

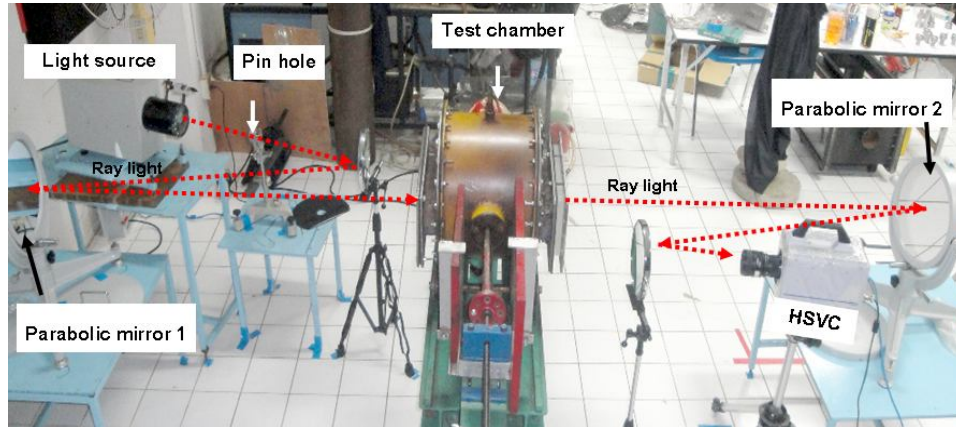


Unit : mm.

รูปที่ 4 รูปร่างของหัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง

2.2 การถ่ายภาพลำพุงความเร็วสูง

ปัญหาประการหนึ่งของการศึกษาคุณลักษณะลำพุงของเหลวความเร็วสูงที่ทำได้น่าคือการมองไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของลำพุง ซึ่งเป็นการไหลแบบอัดตัว (Compressible fluid flow) ด้วยตาเปล่า หรือถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพทั่วไปได้ การศึกษานี้ใช้เทคนิคที่เรียกว่า Shadowgraph technique ที่ทำให้สามารถมองเห็นพฤติกรรมของลำพุง shock wave ได้ชัดเจน ร่วมกับ HSVC ที่สามารถถ่ายภาพวัตถุความเร็วสูง โดยอุปกรณ์สำหรับการจัดระบบวิเคราะห์ผลด้วยภาพ (Visualization setup) ประกอบไปด้วยกระจกผิวโค้ง (Parabolic mirror) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm. ความยาวโฟกัส 1500 cm. จำนวน 2 บาน แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) ชนิด Xenon 3500 lumens /4300 K พร้อมเลนส์รวมแสง (Convex lens) และ HSVC ยี่ห้อ Photron รุ่น FASTCAM SA5



รูปที่ 5 การจัดวางอุปกรณ์ถ่ายภาพความเร็วสูงด้วยเทคนิคฮาโดว์กราฟ

โดยการศึกษาที่ตั้งความเร็วและรายละเอียดของการถ่ายภาพเป็น 30,000 fps และความเร็วชัตเตอร์ (Shutter speed) หน้าทีรวมแสงเข้าหาตำแหน่งโฟกัสของกล้องถ่ายภาพ 1/1,000,000 second จัดวางไว้ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยหลักการทำงานเบื้องต้น เริ่มจากแหล่งกำเนิดแสงทำหน้าที่กำเนิดแสงผ่านกระจกผิวโค้งตัวที่ 1 ทำหน้าที่ให้แสงที่กระจายเคลื่อนที่ในแนวนานผ่านห้องทดสอบแล้วไปตกกระทบที่กระจกผิวโค้งตัวที่ 2 ที่ทำหน้าที่รวมแสงเข้าหาตำแหน่งโฟกัสของกล้องวิดีโอความเร็วสูง

2.3 วิธีการทดลอง

การทดลองนี้วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณลักษณะของลำพุ่งความเร็วสูงของน้ำมันดีเซลและน้ำมันสบูดำ ที่มีคุณสมบัติตามตารางที่ 1 ให้ความเร็วของลำพุ่งสูงกว่าความเร็วของเชื้อเพลิงที่ฉีดในระบบฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ในปัจจุบัน การทดลองภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องทดสอบแบ่งเป็น 4 กรณี คือ

1. ลำพุ่งน้ำมันดีเซลถูกฉีดเข้าไปในห้องทดลองอุณหภูมิ 30°C
2. ลำพุ่งน้ำมันสบูดำถูกฉีดเข้าไปในห้องทดลองอุณหภูมิ 30°C
3. ลำพุ่งน้ำมันดีเซลถูกฉีดเข้าไปในห้องทดลองอุณหภูมิ 150°C

4. ลำพุ่งน้ำมันสบูดำถูกฉีดเข้าไปในห้องทดลองอุณหภูมิ 150°C

ตารางที่ 1 คุณสมบัติมาตรฐานน้ำมันดีเซลกับน้ำมันสบูดำของประเทศไทย

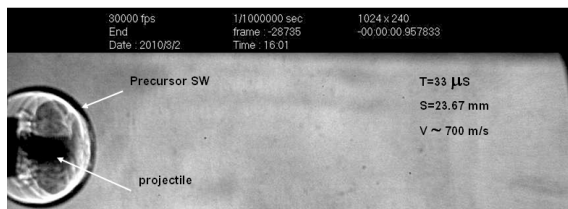
คุณสมบัติ	น้ำมันดีเซล	น้ำมันสบูดำ
Density (g/ml), at 20°C	0.84	0.92
Viscosity (cSt), at 20°C	1.8-5.0	50.7
Specific gravity, at 20°C	0.82-0.90	0.918
Surface tension (N/m), at 20°C	0.025	-
Flash point (°C)	>52	110

การทดลองเริ่มจากควบคุมอุณหภูมิห้องทดสอบแล้วกำเนิดลำพุ่งน้ำมันให้ฉีดเข้าไปภายในห้องทดสอบโดยการจุดชนวนดินขับลูกปืน ในส่วนของระบบ Optical ทั้งแหล่งกำเนิดแสงและกล้องถ่ายภาพวิดีโอความเร็วสูง จะทำงานก่อนที่จะจุดชนวนดินขับ โดยเปิดแหล่งกำเนิดแสงจนแสงสว่างถึงจุดสูงสุด (ประมาณ 3 ms) แสงจะส่องผ่านห้องทดสอบบริเวณที่ต้องการ ปลายทางของแสงอยู่ที่ HSVC เริ่มบันทึกภาพ จุดชนวนดินขับ สิ้นเสียงระเบิดจากชุดปล่อยลูกปืนหยุดการบันทึกภาพทันที นำผลการทดลองที่ได้จากภาพวิดีโอมาวิเคราะห์

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ความเร็วของลูกปืน

ความเร็วของลูกปืนเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลโดยตรงกับความเร็วของลำพุ่ง ในการทดลองจะใช้ปริมาณดินขับ 3 g ซึ่งเป็นปริมาณของดินขับต่ำสุดของชุดปล่อยลูกปืนกับปลอกบรรจุดินปืนขนาด 7.5 g ทำได้ หากลดปริมาณดินขับลงแรงขับที่เกิดขึ้นภายในปลอกบรรจุดินขับไม่สามารถขับเคลื่อนลูกปืนได้ ความเร็วของลูกปืนได้จาก ระยะที่ลูกปืนเคลื่อนที่ได้ในเวลา 33 μ s (30,000 fps) แล้วคำนวณหาความเร็วได้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 6 ลูกปืนมีความเร็ว 700 m/s ซึ่งเป็นความเร็วที่ได้จากระยะการเคลื่อนที่ที่สามารถวัดได้ 23.67 mm. จากปลายลำกล้อง ที่เวลา 33 μ s

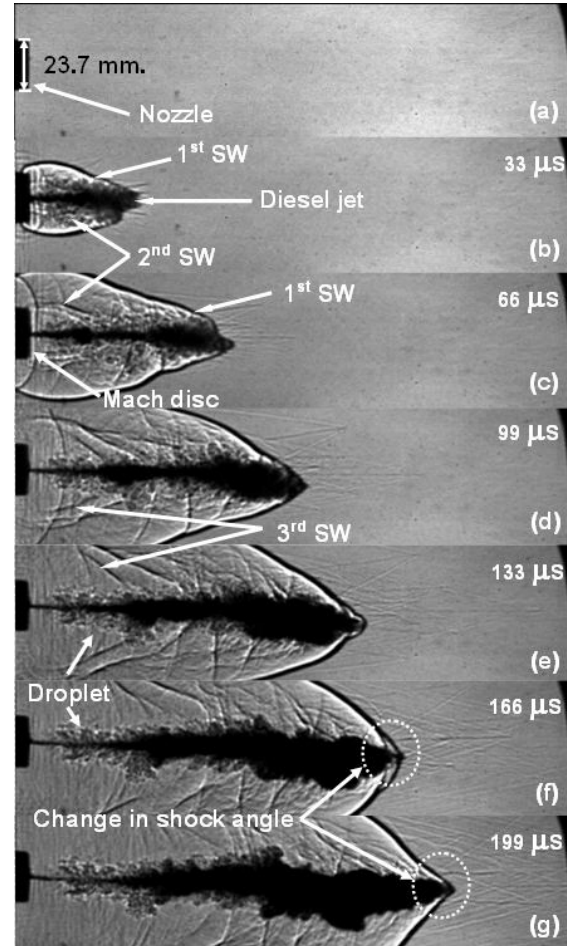


รูปที่ 6 ลูกกระสุนความเร็วสูง (Mach ~2)

3.2 ผลของลำพุ่งที่อุณหภูมิห้องทดสอบ 30°C

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงพฤติกรรมของลำพุ่งน้ำมันดีเซลและน้ำมันสปูดำ ปริมาณ 1.5 cc. ที่ฉีดออกจากหัวฉีดทรงกรวย ขนาดรูฉีด 0.7 mm. เข้าไปในห้องทดสอบที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 30°C จากภาพถ่ายที่ได้จากเทคนิคซาโดว์กราฟ กับ HSVC ทุกๆ 33 μ s (30,000 f/s)

ในรูปที่ 7 แสดงภาพลำพุ่งของน้ำมันดีเซล ภาพ Shock wave และรายละเอียดอื่นๆ อย่างชัดเจน ของการทดลองกรณีนี้ที่ 1 จะเห็นว่าในช่วงต้น (รูป 7(a-e)) ลำพุ่งจะมีขนาดส่วนหัวที่โตกว่าส่วนหางซึ่งเป็นพฤติกรรมของของเหลวที่เคลื่อนที่โดยมีแรงต้าน (Drag force) กับผลของการกระจายตัวของความดันภายในซึ่งเป็นผลทำให้หัวของลำพุ่ง (jet tip) แยกออก



รูปที่ 7 ลำพุ่งน้ำมันดีเซลในห้องทดสอบอุณหภูมิ 30°C

ในช่วงท้าย (รูป 7(g)) ส่วนหัวของลำพุ่งจะกลับมาเรียบแหลมอีกครั้ง แสดงว่าความเร็วของลำพุ่งไม่คงที่ (เป็น Pulse jet) ซึ่งเกิดขึ้นภายในหัวฉีดจากการที่ลูกปืนไม่สามารถขับน้ำมันดีเซลออกมาได้ในครั้งเดียว จึงเกิดการสะสมความดันภายในซึ่งเห็นได้ชัดจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงมุมของ shock wave และการเกิด shock wave ขึ้นมากกว่า 1 shock

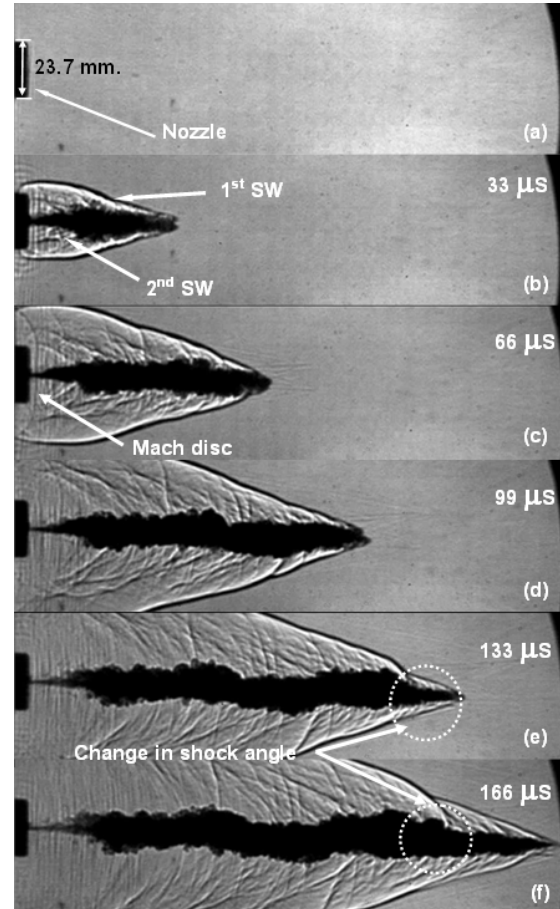
จากรูปสามารถมองเห็นการแตกตัวของเม็ดน้ำมัน (Droplet atomization) ขึ้นอย่างหนาแน่นบริเวณผิวลำพุ่งอย่างชัดเจนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาเริ่มต้น (66 μ s) เนื่องจากแรงเสียดทาน (Shear force) ของผิวน้ำมันกับอากาศ ความสามารถในการแตกตัวของน้ำมันนอกจากความเร็วของลำพุ่งที่ทำให้เกิดแรงเสียด

ทานที่ผิวแล้วยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของเหลว โดยเฉพาะค่าความตึงผิว (Surface tension) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ การแตกตัวของเม็ดน้ำมันจะลดลงเหลือเพียงบริเวณหางของลำพุ่ง (ใกล้หัวฉีด) เมื่อเวลาในการฉีดเพิ่มขึ้น สาเหตุเกิดจากในช่วงปริมาณน้ำมันฉีดออกมา ความหนาแน่นของน้ำมันสูงกว่าส่วนหาง และความดันภายในลดลงจึงทำให้น้ำมันกระจายตัวได้ยากกว่าในส่วนหางซึ่งมีปริมาณน้ำมันที่น้อยกว่า และความดันยังสูงกว่า

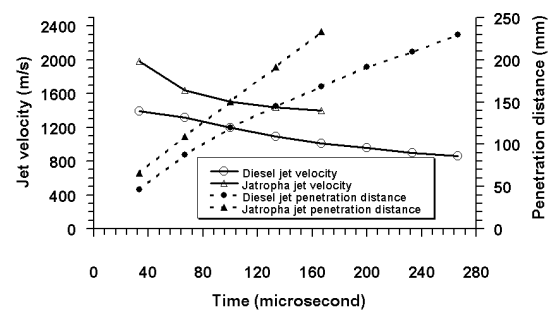
รูปที่ 8 เป็นภาพลำพุ่งน้ำมันสปูดำในห้องทดสอบที่ควบคุมอุณหภูมิ 30°C จะเห็นว่ารูปร่างของลำพุ่งและ shock wave (Oblique shock wave) เรียวแหลมตั้งแต่หัวลำพุ่งจนถึงส่วนหาง แต่มองไม่เห็นการแตกตัวของเม็ดน้ำมัน ซึ่งพอจะสรุปได้ในเบื้องต้นว่าเกิดจากคุณสมบัติของน้ำมันสปูดำที่มีความหนาแน่น ค่าความหนืดและแรงตึงผิวสูงมาก (เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล) จึงทำให้การแตกตัวของน้ำมัน และอากาศเข้าแทรกในลำพุ่งทำได้ยาก

จากรูปร่างของลำพุ่ง รูปร่างของ Shock wave (มุมของ Shock wave) และเปรียบเทียบที่เวลาเดียวกันกับกรณีน้ำมันดีเซลจะเห็นได้ว่าระยะการเคลื่อนที่ของน้ำมันสปูดำเคลื่อนที่ได้ระยะทางมากกว่า แสดงว่าลำพุ่งของสปูดำมีความเร็วที่สูงกว่าลำพุ่งของน้ำมันดีเซล

จากรูปที่ 9 ความเร็วเฉลี่ยสูงสุดของลำพุ่งน้ำมันดีเซลอยู่ที่ประมาณ 1,400 m/s ต่ำสุดที่ประมาณ 600 m/s และน้ำมันสปูดำเป็น 2,000 m/s กับ 1,400 m/s ตามลำดับ ส่วนระยะที่ลำพุ่งเคลื่อนที่ (Penetration distance) สูงสุด (230 mm) ลำพุ่งน้ำมันดีเซลจะใช้เวลา 266 μ s และ 166 μ s สำหรับน้ำมันสปูดำ ซึ่งจะเห็นว่าน้ำมันสปูดำมีความเร็วสูงกว่าน้ำมันดีเซลเนื่องจากน้ำมันสปูดำไม่แตกตัว ความดันที่สะสมภายในจึงยังคงสูงกว่า และแรงต้าน (Drag force) น้อยกว่า



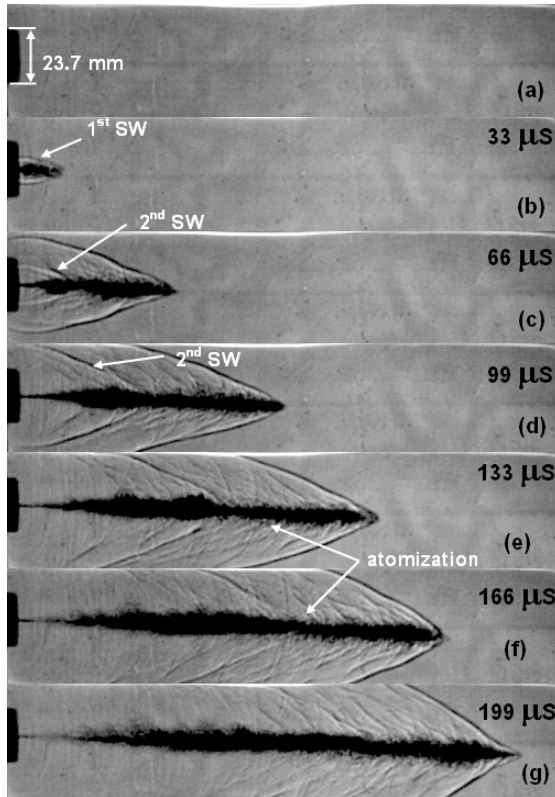
รูปที่ 8 ลำพุ่งน้ำมันสปูดำในห้องทดสอบอุณหภูมิ 30°C



รูปที่ 9 ความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ของลำพุ่งน้ำมันดีเซลและน้ำมันสปูดำในห้องทดสอบอุณหภูมิ 30°C

3.3 ผลของลำพุงที่อุณหภูมิห้องทดสอบ 150°C

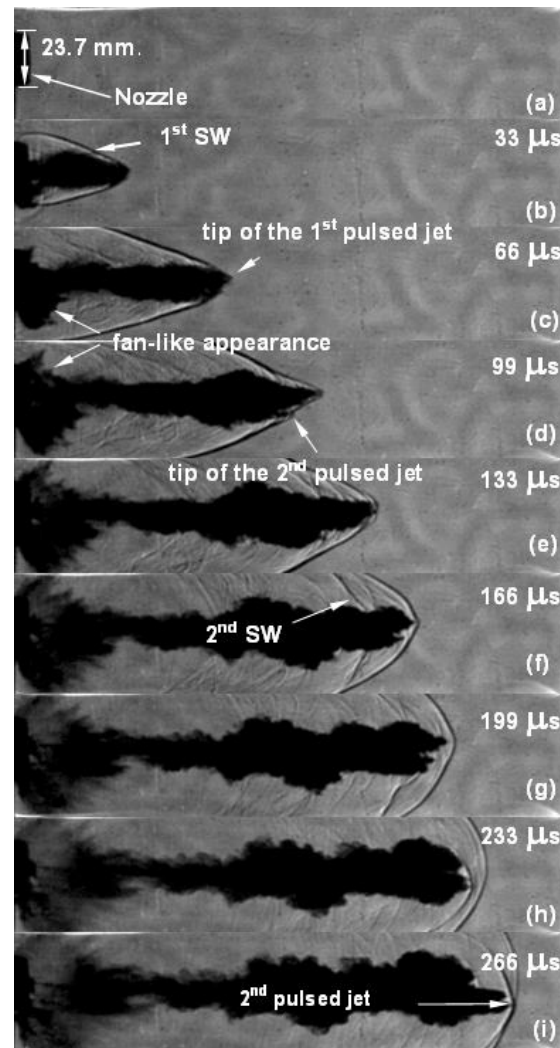
เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในห้องทดสอบเป็น 150°C ผลปรากฏว่าลำพุงของน้ำมันดีเซลมีรูปร่างที่เปลี่ยนไปจากกรณีที่ 1 (30°C) มาก ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ลำพุงน้ำมันดีเซลในห้องทดสอบอุณหภูมิ 150°C

ลำพุงน้ำมันดีเซลและ shock wave มีรูปร่างเรียวยาวแหลมมาก ซึ่งพอจะสรุปได้ว่าลำพุงมีความเร็วสูงกว่ากรณีอุณหภูมิต่ำ และการแตกตัวของน้ำมันมีให้เห็นตลอดลำพุงมีลักษณะเป็นละอองที่เล็กขึ้น แสดงว่าอุณหภูมิทำให้น้ำมันระเหยตัวได้ดีขึ้น สังเกตรูปที่ 9(f-g) จะเห็นว่าส่วนหางของลำพุงขาดหายซึ่งอาจจะเกิดจากการระเหยตัวของน้ำมันที่แกนของลำพุง

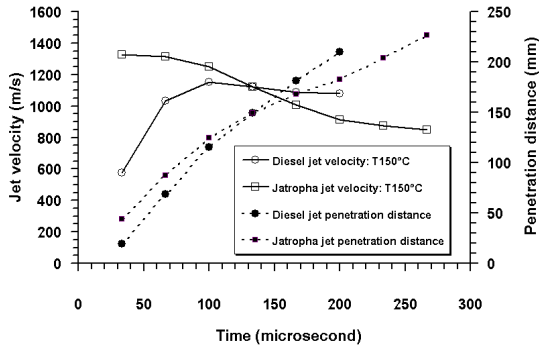
กรณีที่ 3 ลำพุงของน้ำมันสปูดำในห้องทดสอบที่อุณหภูมิ 150°C จะมีรูปร่างและพฤติกรรมเหมือนกับกรณีที่ 1 คือส่วนหัวของลำพุงโต ลำพุงเป็นพัลส์อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 ลำพุงน้ำมันสปูดำในห้องทดสอบอุณหภูมิ 150°C

ส่วนปรากฏการณ์ของการแตกตัวของน้ำมันรอบแกนของลำพุงไม่ปรากฏให้เห็น แต่สิ่งที่เกิดขึ้นคือการกระจายตัวของน้ำมันมีรูปร่างเหมือนพัด (Fan-like) ที่บริเวณทางออกของหัวฉีดซึ่งโดยปกติพฤติกรรมนี้จะเกิดในกรณีที่อัตราส่วนของ l/d ของหัวฉีดต่ำ แต่กรณีนี้ น้ำจะเกิดจากความหนาแน่นระหว่างน้ำมันสปูดำ (ที่มีค่าสูงอยู่แล้ว) ถูกอัดตัวอยู่ภายในหัวฉีดกับความหนาแน่นของอากาศภายในถังทดสอบมีความแตกต่างกันสูงมาก ความหนาแน่นของอากาศในห้องทดสอบต่ำลงมาจาก 1.168 kg/m^3 (ที่ 30°C) เหลือ 0.835

kg/m³ (ที่ 150°C) และค่าความหนาแน่นของน้ำมันลดลงเมื่อถูกฉีดออกในห้องทดสอบที่อุณหภูมิสูง เป็นผลให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว



รูปที่ 12 ความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ของลำพ่นน้ำมันดีเซลและน้ำมันสบู่ดำในห้องทดสอบอุณหภูมิ 150°C

จากรูปที่ 12 แสดงให้เห็นถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ของลำพ่นอย่างชัดเจน คือ ความเร็วเฉลี่ยสูงสุดของลำพ่นน้ำมันดีเซลอยู่ที่ประมาณ 1,200 m/s ต่ำสุดที่ประมาณ 570 m/s และน้ำมันสบู่ดำเป็น 1,300 m/s กับ 900 m/s ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของความเร็วตลอดการเคลื่อนที่ของลำพ่นของน้ำมันทั้ง 2 ชนิด ไม่ต่างกันมากนัก ความเร็วของน้ำมันดีเซลเริ่มต้นค่อนข้างต่ำ ซึ่งสาเหตุเกิดจากความหนาแน่นของอากาศในห้องทดสอบต่ำ แรงต้านเริ่มต้นจึงต่ำ ความหนืดของน้ำมันลดลง การสะสมความดันภายในหัวฉีดจึงต่ำทำให้เกิดลำพ่นที่มีความเร็วต่ำ (Slow jet) ขึ้น และปริมาณของน้ำมันที่ถูกฉีดออกมาในช่วงแรกมีน้อยทำให้เกิดการระเหยตัวง่าย เมื่อเวลาผ่านไปความดันภายในที่เกิดจากการกระแทกของลูกปืนเริ่มสูงขึ้น ปริมาณน้ำมันที่ฉีดออกมามากขึ้นความเร็วของลำพ่นจึงเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันน้ำมันสบู่ดำมีค่าความหนาแน่นและความหนืดที่สูงกว่ามากความดันภายในจึงสูงกว่าเป็นผลให้ความเร็วเริ่มต้นสูง แต่ความเร็วจะเริ่มลดลงเนื่องจากการกระจายของน้ำมันเกิดขึ้นจากผลของความแตกต่างของความหนาแน่นของลำพ่นกับ

ห้องทดสอบ และความดันภายในหัวฉีดลดลง ดังที่ได้กล่าวไปในตอนต้น

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณลักษณะของลำพ่นน้ำมันเชื้อเพลิงความเร็วสูงจากน้ำมันสองชนิด คือน้ำมันดีเซลกับน้ำมันสบู่ดำ ที่มีคุณสมบัติต่างกัน โดยทำการทดลองฉีดน้ำมันดังกล่าวด้วยความเร็วสูงเข้าไปในห้องทดสอบที่มีอุณหภูมิ 30°C กับ 150°C พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อคุณลักษณะของลำพ่นน้ำมันทั้งสองชนิดอย่างชัดเจนทั้งความเร็วและระยะการเคลื่อนที่เมื่อเทียบกับเวลาการเคลื่อนที่ที่สำคัญคือมีผลต่อการแตกตัวของลำพ่นน้ำมัน ซึ่งจะเป็ประโยชน์ต่อการนำไปศึกษาและพัฒนาเพื่อการสันดาปต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สุรินทร์ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Celikten, I. (2003). An experimental investigation of the effect of the injection pressure on engine performance and exhaust emission in indirect injection diesel engines, *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, pp. 2051-2060.
- [2] Baker, R., Semin, A. and Ismail, A.R. (2008). Fuel Injection Pressure Effect on Performance of Diesel Injection Diesel Engines Based on Experiment, *American Journal of Applied Sciences*, vol. 5, pp. 197-202.
- [3] Nakahira, T., Komori, M., Nishida, M. and Tsujimura, K. (1992). The Shock Wave Generation Around the Diesel Fuel Spray with High Pressure Injection, *SAE*, vol. 101(3), pp. 741-746.

- [4] Shi, H.H. and Takayama, K. (1999). Generation of hypersonic liquid fuel jets accompanying self-combustion, *Shock Waves*, vol. 9, pp. 327-332.
- [5] Crua, C. (2002). Combustion Processes in a Diesel Engine, *Doctor's Thesis*, University of Brighton.
- [6] Suh, H.K. and Lee, C.S. (2008). Experiment and numerical analysis of diesel fuel atomization characteristics of a piezo injection system, *Oil & Gas Science and Technology*, vol. 63(2), pp. 239-250.
- [7] Desantes, J.M., Payri, R., Salvador, F.J. and Gil, A. (2005). Development and validation of a theoretical model for diesel spray penetration, *Fuel*, vol. 85, pp. 910-917.
- [8] Pianthong, K., Matthujak, A., Takayama, K., Milton, B.E., and Behnia, M. (2008). Dynamic characteristics of pulsed supersonic fuel sprays, *Shock Waves*, vol. 8(1), pp. 100-110.
- [9] Pianthong, K., Takayama, K., Milton, B.E. and Behnia, M. (2005). Multiple pulsed hypersonic liquid diesel fuel jets driven by projectile impact, *Shock Waves*, vol. 4(1-2), pp. 73-82.
- [10] Wu, K.J., Reitz, R.D. and Bracco, F.V. (1986). Measurements of drop size at the spray edge near the nozzle in atomizing liquid jets, *Phys. Fluids*, vol. 29(4), April 1986, pp. 41-951.
- [11] Nakahira, T., Komori, M., Nishida, N. and Tujimura K. (1991). A study of shock wave generation around high pressure fuel spray in a diesel engine, *In 18th International Symposium on Shock wave*, japan.
- [12] Pianthong, K. (2002). Supersonic Liquid Diesel Fuel Jets, *Doctor of Philosophy*, The University of New South Wales.
- [13] วีระพันธ์ สีหนาม, วุฒิชัย สิทธิวงษ์, กุลเชษฐ์ เพียรทอง และอนิรุตต์ มัทธูจักษ์ (2550). การจำลองคุณลักษณะเบื้องต้นของลำพ่นเชื้อเพลิงความเร็วสูง, *การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21*, ชลบุรี
- [14] วุฒิชัย สิทธิวงษ์, วีระพันธ์ สีหนาม, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, อนิรุตต์ มัทธูจักษ์ และ Eric Yeo (2551). การเปรียบเทียบชุดทดลองสำหรับการศึกษาการกระแทกความเร็วสูง, *การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22*, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
- [15] Shi, HH., Takayama, K., and Onodera, O. (1994). Supersonic Diesel Fuel Injection through a Single-Hole Nozzle in a compact Gas Gun (Part II), *JSME*, vol. 37, pp. 509-516.
- [16] Matthujak, A., Pianthong, K., Sun, M. and Takayama, K. (2007). Experimental study of impact-generated high-speed liquid Jet, *Mechanical Engineering Network of Thailand*, Chonburi, Thailand.
- [17] Sittiwong, W., Seehanam, W., Pianthong, K. and Matthujak, A. (2009). Effect of stand-off distance on impact pressure of high speed liquid jets, *The 10th Asian International Conference on Fluid Machinery*, Kuala Lumpur, Malaysia