

# ผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมของลำพุงน้ำมันสบู่น้ำมันดีเซลความเร็วสูง

วุฒิชัย ลิทธิวงษ์<sup>1\*</sup> วิระพันธ์ สีหามาม<sup>2</sup> และกุลเชษฐ์ เพียรทอง<sup>2</sup>

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อพฤติกรรมของลำพุงความเร็วสูงน้ำมันสบู่น้ำมันดีเซล การทดลองจะใช้น้ำมันสบู่น้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ลำพุงกำเนิดด้วยวิธี Projectile Impact Driven (PID) ถูกฉีดเข้าไปในห้องทดสอบที่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็น 30, 100 และ 150°C พฤติกรรมของลำพุงและคลื่นกระแทกถูกบันทึกด้วยกล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวความเร็วสูงร่วมกับเทคนิคชาร์โดว์กราฟ จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิมีผลกับความเร็วและพฤติกรรมของลำพุงน้ำมันสบู่น้ำมันดีเซลแตกต่างกัน คือ ที่อุณหภูมิห้องทดสอบ 30, 100 และ 150°C ความเร็วเริ่มต้นของลำพุงเป็น 1,600 m/s 800 m/s และ 1,400 m/s ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าที่อุณหภูมิ 150°C ลำพุงน้ำมันสบู่น้ำมันดีเซลมีความเร็วเฉลี่ยสูงกว่ากรณีห้องทดสอบมีอุณหภูมิ 30°C และ 100°C เนื่องจากลำพุงน้ำมันสบู่น้ำมันดีเซลเกิดการระเหย (atomization) ที่อุณหภูมิ 150°C

**คำสำคัญ :** น้ำมันสบู่น้ำมันดีเซล, ลำพุงความเร็วสูง, วิธี Projectile impact driven, คลื่นกระแทก, กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวความเร็วสูง, เทคนิคชาร์โดว์กราฟ

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

\* ผู้ติดต่อ, อีเมล: sittiwong@gmail.com รับเมื่อ 10 เมษายน 2558 ตอบรับเมื่อ 8 ตุลาคม 2558

## **Effect of Test Chamber Temperature on High Speed Jatropha Oil Blends with Diesel Fuel Behaviors**

**Wuttichai Sittiwong<sup>1\*</sup> Wirapan Seehanam<sup>2</sup> and Kulachate Pianthong<sup>2</sup>**

### **Abstract**

The purpose of this research is to study effect of test chamber temperature on high speed jatropha oil blends with diesel fuel behaviors. In the experiment, jatropha oil blend with diesel fuel ratio of 50/50 by volume was used, the high speed liquid jets were generated by using the projectile impact driven (PID) method. The liquid jets were injected into the varied test chamber conditions at 30, 100 and 150°C. The high speed liquid jets and shock wave behavior were recorded by the high speed video camera with shadowgraph technique. From experimental results, it was found that at 30, 100 and 150°C of test chamber temperatures the maximum velocity is around 1,600 m/s 800 m/s and 1,400 m/s, respectively. In addition, it was found that the liquid jet average velocity at 150°C is much higher than that of 30°C and 100°C, because the atomization of jatropha oil blend was occurred at 150°C

**Keywords :** Jatropha oil, Projectile impact driven method, Shockwave, High speed video camera, Shadowgraph technique

---

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan.

<sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University.

\* Corresponding author, E-mail: [sittiwong@gmail.com](mailto:sittiwong@gmail.com) Received 2 March 2015, Accepted 8 October 2015

## 1. บทนำ

ในปัจจุบัน น้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมลพิษที่เกิดจากเครื่องยนต์สันดาปภายในยังคงเป็นปัญหาที่สำคัญ [1-6] ทำให้ภาคธุรกิจยานยนต์มีการพัฒนาเพื่อตอบสนองผู้บริโภค และแก้ปัญหาหาค่าน้ำมันเชื้อเพลิงกับปัญหามลพิษ ด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพระบบส่งจ่ายเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ในเครื่องยนต์เพิ่มทางเลือกให้ยานยนต์สามารถใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงได้หลากหลาย พัฒนาระบบส่งจ่ายกำลังหรือแม้กระทั่งผลิตยานยนต์ที่เหมาะสมกับการใช้งาน ทำให้อัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อระยะทาง หรืออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันลดลง

เครื่องยนต์ดีเซลถูกใช้เป็นตัวนำกำลังหลักอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นภาคขนส่ง ภาคเกษตรกรรม ภาคการผลิตและอุตสาหกรรม การสันดาปของเครื่องยนต์ดีเซลเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นควัน Particulate Matter (PM) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) [2, 7-10] หนึ่งในวิธีการแก้ปัญหา คือ การใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือก ทดแทนเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม น้ำมันไบโอดีเซลผลิตจากแหล่งวัตถุดิบที่เรียกว่า Renewable Source หรือวัตถุดิบที่ไม่มีวันหมด สามารถผลิตขึ้นได้ ไบโอดีเซลเป็น mono-alkyl ester ที่ได้จากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ [1, 8-12] มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลแต่ไม่มีพิษ "ไม่ไวไฟ" เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมกว่า ค่าซีเทน (cetane number) สูง มีส่วนประกอบของออกซิเจนร้อยละ 10-11 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ช่วยลดมลพิษเมื่อเผาไหม้ [10-14] และที่สำคัญยังได้จากการเกษตร

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันพืช (vegetable oils) กับเครื่องยนต์ Compression Ignition (C.I.) คือค่าความหนืด (viscosity) ของน้ำมันค่าความหนืดที่สูงเกิดจากขนาดของโมเลกุลและโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช อัตราการระเหยตัวต่ำ (low volatility) ค่าความหนืดที่สูง (สูงกว่าน้ำมันดีเซลไม่น้อยกว่า 10 เท่า) จะมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ เนื่องจากน้ำมันไม่แตกตัว (atomization) การผสมกับอากาศจึงทำได้ยาก การเผาไหม้ (combustion) เชื้อเพลิงจึงไม่สมบูรณ์ ปัญหาต่อเนื่องกับระบบฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ และการทำงานของเครื่องยนต์ในระยะยาว คือการบำรุงรักษาที่เกิดจากยางเหนียว (gum) ของที่สะสมในระบบฉีดเชื้อเพลิง แหวนลูกสูบ และน้ำมันหล่อลื่น ดังนั้น การลดความหนืดของน้ำมันที่ได้จากพืชหรือน้ำมันไบโอดีเซลจึงมีความจำเป็นอย่างมากกับเครื่องยนต์ วิธีการลดความหนืดทำได้หลายวิธี เช่น การอุ่นน้ำมัน (pre-heat) ขบวนการทางเคมี หรือ Transesterification ขบวนการ Cracking การผสมน้ำมันหรือทำให้เจือจางด้วยน้ำมันชนิดอื่นๆ และขบวนการ Pyrolysis [2-3, 5-7, 10-12, 15]

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซล แบ่งเป็น 4 กลุ่มหลักคือ

1. น้ำมันพืชกินได้ เช่น น้ำมันถั่ว น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันทานตะวัน เป็นต้น
2. น้ำมันพืชกินไม่ได้ เช่น สนุ่นดำ (jatropha) Mahua (Madhuca Indica seed) เมล็ดขางพารา เป็นต้น
3. น้ำมันจากการใช้งานแล้ว
- และ 4. น้ำมันจากไขมันสัตว์ [2]

สนุ่นดำเป็นวัตถุดิบในกลุ่มที่ 2 ที่น่าสนใจเนื่องจากสามารถผลิตได้และนำมาใช้ประโยชน์โดยไม่มี

ผลกระทบต่อผู้บริโภค เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ สบู่ดำมีคุณสมบัติที่ดีกว่า เช่น ค่าซิเทนสูงกว่า ความหนาแน่นน้อยกว่า มีส่วนประกอบของออกซิเจนสูง ความเป็นกรดต่ำ ความเสถียรของการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนดี และเมื่อน้ำมันถูกเก็บไว้ ความหนืด ความหนาแน่น ความเป็นกรดไขมันอิสระไม่เปลี่ยนแปลง ไม่มิกลิน ไม่เปลี่ยนสี คุณสมบัติการเป็นสารหล่อลื่นดี จึงเหมาะสมที่จะถูกเลือกมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล [1, 3, 8-10, 14-18]

นอกจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากเมล็ดสบู่ดำเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงกับเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้ว การผสมน้ำมันสบู่ดำกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อลดความหนืดและอื่นๆ ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้นจึงมีนักวิจัยได้ศึกษาและทดลองกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เช่น K. Pramanik [3] ศึกษาผลของความหนืดของน้ำมันสบู่ดำด้วยการผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อลดค่าความหนืดให้เหมาะสมกับเครื่องยนต์ดีเซล และทำการเปรียบเทียบผลกับน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ยังศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของน้ำมันสบู่ดำผสมประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ได้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการใช้น้ำมันพืช พบว่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (fuel consumption) และอุณหภูมิของแก๊สไอเสียลดลง ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency) ได้จากเชื้อเพลิงสบู่ดำผสมร้อยละ 50 โดยปริมาตร เป็นที่ยอมรับได้ ผลของสมบัติและการทดสอบเครื่องยนต์พบว่าสามารถใช้น้ำมันสบู่ดำในอัตราส่วนร้อยละ 40-50 โดยไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์หรืออุณหภูมิน้ำมันเลย หลังจากนั้นในปี 2012 I.R. Ejilab และคณะ [18] ทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพและมลพิษที่เกิดจากการใช้น้ำมันสบู่ดำผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อลดความหนืด

ของน้ำมันสบู่ดำกับเครื่องยนต์ดีเซลหนึ่งสูบ ลีจิงหวะระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ทำการทดลองที่ความเร็วรอบคงที่ ผลการทดลองที่ได้ เช่น ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ประสิทธิภาพเบรก  $\text{CO}_2$  และ  $\text{NO}_x$  ที่ได้จากรน้ำมันผสมเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากรน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งพอสรุปได้ว่า หากค่าความเข้มข้นของเชื้อเพลิงผสมสูงขึ้น สมรรถนะและผลทางมลพิษที่ได้จะต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล หลังจากนั้นอีก 2 ปี R. Kumar and A. K. Dixit [12] ทำการศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลที่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการอัดเพื่อใช้น้ำมันสบู่ดำผสมในอัตราส่วนต่างๆ (B0-B40) ผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนการอัดจาก 16.5:1 เป็น 18.5:1 ค่าความล่าช้า (delay period) ลดลงร้อยละ 21.26 ค่า  $\text{CO}$  ลดลงร้อยละ 14.8 และ  $\text{NO}_x$  ลดลงร้อยละ 22.84 จากน้ำมันสบู่ดำผสมดีเซล B40 และในปี 2014 A. Datta, S. Palit และ B.K. Mandal [16] ศึกษาสมรรถนะและมลพิษที่เกิดจากการผสมน้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดจากสบู่ดำผสมกับน้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยการอัด (compression ignition) จากผลการทดลองพบว่าค่า bsfc (brake specific fuel consumption) ลดลงเมื่อเพิ่มไบโอดีเซลในส่วนผสม

จากงานวิจัยที่ผ่านมา นอกจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกเพื่อลดการใช้พลังงานและมลพิษที่เกิดจากการสันดาปของเครื่องยนต์แล้ว ยังเป็นที่ยอมรับว่าการฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูงเป็นอีกวิธีการที่จะเพิ่มสมรรถนะเครื่องยนต์และช่วยลดมลพิษ เช่น ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิง Common rail ที่สร้างความดันและฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูงกว่าอดีตถึง 10 เท่า สาเหตุเพราะความดันฉีดมีผลต่อการแตกตัวของเชื้อเพลิงเกิดการเหนียวนำอากาศทำให้เกิดการผสมกับเชื้อเพลิงได้ดี

ขึ้น จึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูงเกิดขึ้นมากมาย แต่มีเพียงบางกลุ่มที่ศึกษาพฤติกรรมของลำพ่นน้ำมันและคลื่นกระแทก หรือ Shock wave ที่ความดันสูงระดับ GPa [19-27] โดยเฉพาะน้ำมันไบโอดีเซล

จากวิธีการแก้ปัญหาความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซล และข้อดีของการฉีดน้ำมันที่ความดันสูงดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันสบู่ดำกับน้ำมันดีเซลภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของห้องทดสอบให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นและศึกษาผลของความดันและอุณหภูมิที่มีต่อการแตกตัวของน้ำมันสบู่ดำในสภาวะของห้องทดสอบจริงต่อไป

**2. วิธีการดำเนินการวิจัย**

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัย การทดลองฉีดเชื้อเพลิงความเร็วสูงที่ทำเน็ดจากวิธีการถ่ายเทโมเมนตัมที่เรียกว่า Projectile Impact Driven (PID) และน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดลองผสมมีสมบัติแตกต่างกัน คือ น้ำมันสบู่ดำ (jatropha, J) ผสมน้ำมันดีเซล (diesel, D) เป็นน้ำมันสบู่ดำผสมน้ำมันดีเซล (jatropha diesel, J-D) อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร

พฤติกรรมของลำพ่นน้ำมันเชื้อเพลิงความเร็วสูงถูกอธิบายลักษณะการแตกตัว และความเร็วเฉลี่ยที่ถูกฉีดเข้าไปในห้องทดสอบที่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 3 ค่า คือ อุณหภูมิ 30, 100 และ 150°C ถูกบันทึกด้วยกล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวความเร็วสูง (High Speed Video Camera, HSVC) ร่วมกับเทคนิคชาร์โดว์กราฟ (shadowgraph)

**2.1 สมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ทดลอง**

งานวิจัยนี้ใช้น้ำมันสบู่ดำ (J) ผสมกับน้ำมันดีเซล (D) ในอัตราส่วน 50:50 (J-D) โดยปริมาตร คุณสมบัติของน้ำมันดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 1

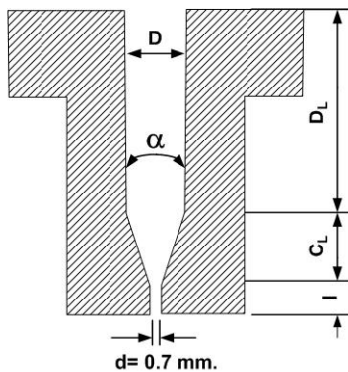
**ตารางที่ 1** สมบัติของน้ำมันดีเซลและน้ำมันสบู่ดำ [1, 3, 6-7, 12-19, 28-29]

สมบัติ	J	D
Density (kg/m <sup>3</sup> )	917±1	841
Kinematic viscosity		
at 40°C (cSt)	35.9	2.57
Flash point (°C)	230	72
Boiling point (°C)	286	248
Oxygen (% w/w)	1 1.06	1.18
Cetance number	45-55	40-45

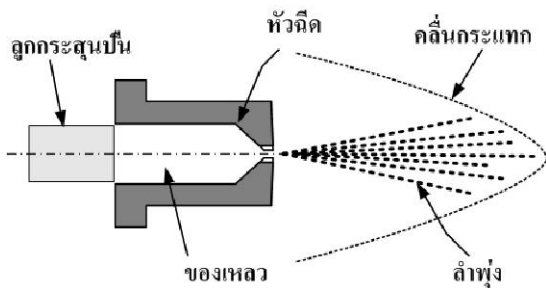
**2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง**

การทดลองใช้หัวฉีดรูปทรงกรวยขนาดรูฉีดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) 0.7 mm มุมกรวย (α) 30° ห้องบรรจุน้ำมัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 8 mm ปริมาตรบรรจุ 1.5 cm<sup>3</sup> อัตราส่วน l/d เป็น 4.2 mm ดังรูปที่ 1 [30-32]

ในรูปที่ 2 วิธี PID เป็นวิธีพิเศษที่ใช้หลักการการถ่ายเทโมเมนตัมของวัตถุความเร็วสูง ในการทดลองนี้ใช้ลูกกระสุนปืนที่ทำจาก Polymethyl methacrylate (PMMA) ทรงกระบอกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm ยาว 15 mm มวล 0.92 g ถูกขับด้วยดินปืนขับชนิดดินค่วนน้อย (smokeless powder) ปริมาณ 3 g ความเร็วของลูกกระสุนปืนเฉลี่ยประมาณ 800 m/s เพื่อกระแทกของเหลวที่บรรจุในหัวฉีดให้เกิดลำพ่นความเร็วสูง [30-32]



รูปที่ 1 รูปร่างหัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง [30-32]



รูปที่ 2 วิธีกำเนิดลำพู่ [30-32]

การทดลองศึกษาพฤติกรรมของลำพู่ น้ำมันเชื้อเพลิงนี้ เชื้อเพลิงจะถูกฉีดด้วยความเร็วสูงกว่าความเร็วเสียงในตัวกลางที่ระดับ Supersonic จะทำให้เกิดคลื่นกระแทก หรือ Shock wave ขึ้นรอบๆ ลำพู่ พฤติกรรมของลำพู่และคลื่นกระแทกไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือเครื่องมือทั่วไปได้ การทดลองจึงใช้กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวกว้างความเร็วสูงร่วมกับเทคนิคชาร์โดว์กราฟ (shadowgraph) ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งประกอบด้วย

แหล่งกำเนิดแสง (light source) จากหลอดไฟซีนอน (HID xenon) ค่าความส่องสว่าง 3,500 lumen รูเข็ม (pin hole) กระจกเงาแผ่นเรียบ (plane mirror) 2 บาน ขนาด

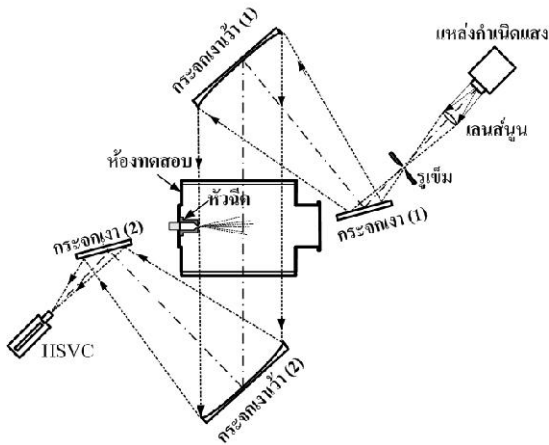
เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm กระจกเงาเว้า (parabolic mirror) 2 บาน เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm ทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง ให้เคลื่อนที่ในแนวขนาน และรวมแสงจากขนานเป็นรวมสู่จุดรวมแสงของกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวกว้างความเร็วสูง (HSVC) ยี่ห้อ Photron รุ่น FASTCAM SA5 ถ่ายภาพเคลื่อนไหวได้สูงสุด 1,000,000 f/s การทดลองนี้ใช้ความเร็ว 30,000 f/s ความละเอียด 1,024x240 พิกเซล

จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าความเร็วของลำพู่ของเหลวมีความเร็วสูงกว่าความเร็วเสียงในตัวกลาง ทำให้ไม่สามารถมองเห็นหรือศึกษาพฤติกรรมของลำพู่ได้ด้วยวิธีหรือเครื่องมือทั่วไปได้จึงต้องใช้ HSVC ประกอบกับพฤติกรรมของตัวกลางที่เกิดขึ้นเป็นการถ่ายเทพลังงานทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นซึ่งไม่สามารถใช้ HSVC เพียงอย่างเดียวได้จึงมีความจำเป็นต้องใช้เทคนิคชาร์โดว์กราฟช่วย

เทคนิคชาร์โดว์กราฟอาศัยหลักการการหักเหของแสงเมื่อผ่านตัวกลางที่มีความแตกต่างของความหนาแน่น เมื่อแสงผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน แสงจะหักเหทำให้เกิดเงาขึ้น

### 2.3 ผลของลำพู่ น้ำมันดีเซลความเร็วสูง

ผลที่ได้จากการทดลองจะทำการศึกษาพฤติกรรมและเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยของ W.Sittiwong และคณะ [27] ที่ทำการฉีดน้ำมันดีเซล และผลของสปู่ค่าในงานวิจัยของ W.Sittiwong [30] ที่สภาวะห้องทดสอบอุณหภูมิ 30, 100 และ 150°C โดยใช้วิธีการและสภาวะเริ่มต้นเหมือนกัน ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5

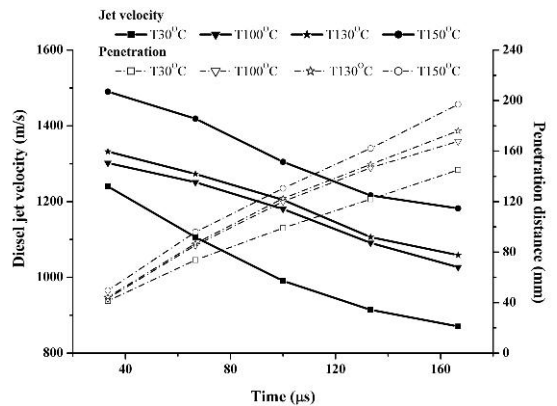


รูปที่ 3 การจัดวางกล้องถ่ายภาพความเร็วสูงกับอุปกรณ์เทคนิคชาร์โคว์กราฟ

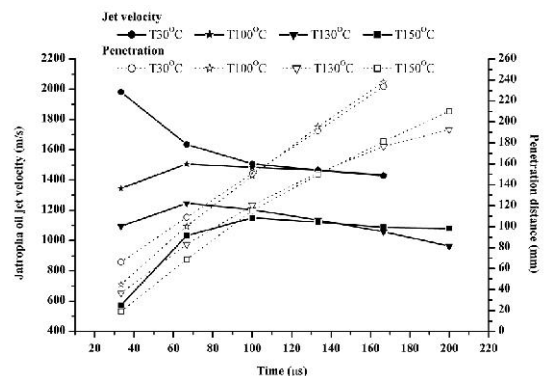
ในรูปที่ 4 แสดงความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ของลำพ่นน้ำมันดีเซลความเร็วสูง [27] จากผลการทดลองของงานวิจัยทั้งสองคือลำพ่นน้ำมันดีเซลและสปูดำ พบว่าอุณหภูมิห้องทดสอบมีผลต่อลำพ่นความเร็วสูงของของเหลวทั้งสอง คือ กรณีน้ำมันดีเซล (รูปที่ 4) ความเร็วเริ่มต้นสูงสุดประมาณ 1,500 m/s เกิดขึ้นในกรณีห้องทดสอบมีอุณหภูมิ 150°C และความเร็วเริ่มต้นต่ำสุดประมาณ 1,200 m/s เกิดขึ้นในกรณีห้องทดสอบมีอุณหภูมิ 30°C ความเร็วสุดท้ายที่วัดได้สูงสุดและต่ำสุดเกิดขึ้นกับกรณีสภาวะห้องทดสอบอุณหภูมิสูงและต่ำตามลำดับ นอกจากนี้ พอสรุปได้ว่าอุณหภูมิของห้องทดสอบแปรผันตรงกับความเร็วของลำพ่นน้ำมันดีเซลอย่างชัดเจน

กรณีน้ำมันสปูดำ มีผลแตกต่างจากน้ำมันดีเซลอย่างสิ้นเชิง คือ ความเร็วเริ่มต้นสูงสุดประมาณ 2,000 m/s เกิดขึ้นในกรณีห้องทดสอบมีอุณหภูมิ 30°C และความเร็วลดลงอย่างต่อเนื่องและความเร็วเริ่มต้นต่ำสุดเพียง 600 m/s

โดยประมาณ เกิดขึ้นในกรณีห้องทดสอบมีอุณหภูมิสูงสุด (150°C) และที่อุณหภูมิห้องทดสอบสูงกว่า 30°C ความเร็วเริ่มต้นแปรผกผันกับอุณหภูมิห้องทดสอบ คือ ที่อุณหภูมิสูงความเร็วต่ำ และมีความเร็วสูงขึ้นระดับหนึ่งแล้วมีแนวโน้มต่ำลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4 ความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ของลำพ่นน้ำมันดีเซลความเร็วสูง [27]



รูปที่ 5 ความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ของลำพ่นน้ำมันสปูดำความเร็วสูง [30]

**2.4 สมบัติน้ำมันสบู่อัดผสม และผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดของน้ำมันสบู่อัดผสม**

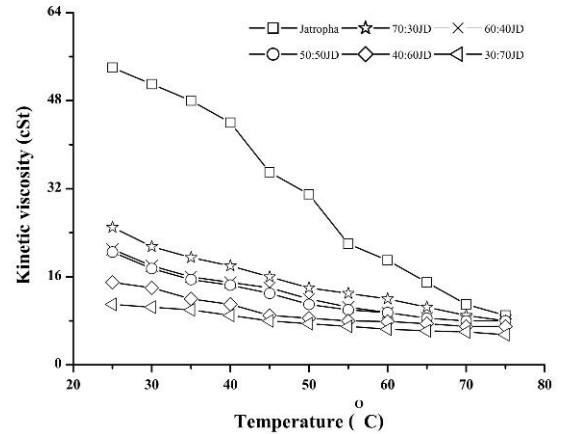
จากงานวิจัยของ K. Pramanik [3] ผสมน้ำมันสบู่อัดกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ C.I. สมบัติของน้ำมันที่ทำการผสมแสดงให้เห็นดังตารางที่ 2 ซึ่งพอสรุปได้ว่าค่าความหนืดของน้ำมันสบู่อัดลดลงเมื่อเพิ่มน้ำมันดีเซลในส่วนผสม ที่ส่วนผสมน้ำมันสบู่อัดต่อน้ำมันดีเซล (J-D) อัตราส่วน 70:30 โดยปริมาตรพบว่าค่าความหนืดและความหนาแน่นยังคงสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาก ที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ค่าความหนืดของน้ำมันสบู่อัดลดลงจาก 52.76 cSt เป็น 17.48 cSt และค่าความหนาแน่น จาก 0.932 g/cc เป็น 0.88 g/cc ดังรายละเอียดในตารางที่ 2 นอกจากนี้ที่อุณหภูมิ 30°C ยังแสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อน้ำมันสบู่อัดและน้ำมันสบู่อัดผสมน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิ 25°C ถึง 75°C ดังรูปที่ 6

**ตารางที่ 2** สมบัติของน้ำมันสบู่อัดผสมน้ำมันดีเซล [3]

% of JD oil (v/v)	Density (g/cc) 30°C	Viscosity (cSt) 30°C
70/30	0.900	23.447
60/40	0.890	19.222
50/50	0.853	17.481
40/60	0.880	13.953
30/70	0.871	9.848
20/80	0.862	6.931

จากผลการทดลองดังรูปที่ 6 พอสรุปได้ว่าค่าความหนืดของ J-D ที่ 50:50 โดยปริมาตรใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิระหว่าง 50°C ถึง 60°C และที่อัตราส่วน

J-D เป็น 40:60 โดยปริมาตร ค่าความหนืดจะใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิ 45°C



**รูปที่ 6** ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าความหนืดของน้ำมันสบู่อัดและน้ำมันสบู่อัดผสม [3]

**3. ผลการทดลองและอภิปรายผล**

พฤติกรรมการเคลื่อนที่และการแตกตัวของลำฟุ้งน้ำมันสบู่อัดผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตรจะพิจารณาจากละอองน้ำมันที่เห็นจากภาพที่ถ่ายได้ด้วยกล้องถ่ายภาพเคลื่อนที่ ความเร็วสูง และเทคนิคชาร์โด้กราฟ ลำฟุ้งน้ำมันสบู่อัดผสมน้ำมันดีเซลจะถูกวัดระยะการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป จากการทดลอง 3 ซ้ำ ก่อนทำการวัดจะปรับเทียบสเกลที่ใช้วัดจากขนาดหัวฉีดที่วัดได้จากรูปกับขนาดหัวฉีดจริง แล้วกำหนดให้เป็นสเกลมาตรฐานในการวัดระยะการเคลื่อนที่ของลำฟุ้งในแต่ละกรณี ทำให้เกิดความถูกต้องในการวัดและระยะการเคลื่อนที่ของลำฟุ้งต่อเวลาของแต่ละเฟรม (33 μs) จะได้ความเร็วเฉลี่ยของลำฟุ้ง

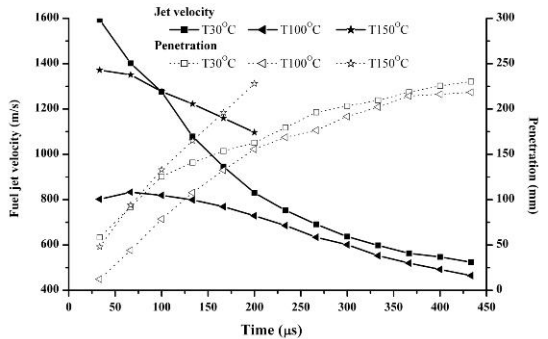


**3.1 ผลของอุณหภูมิต่อความเร็วของลำพุงน้ำมันสปูดำผสมน้ำมันดีเซล**

การทดลอง ศึกษาพฤติกรรมของน้ำมันสปูดำผสมน้ำมันดีเซล ที่สภาวะห้องทดสอบอุณหภูมิ 30, 100 และ 150°C ด้วยวิธีเดียวกันกับ W.Sittiwong [27, 30] จากผลของความเร็วในรูปที่ 7 จะเห็นว่าความเร็วเริ่มต้นของลำพุงน้ำมันผสมสูงสุด (~ 1,600 m/s) เกิดขึ้น ในกรณีห้องทดสอบมีอุณหภูมิต่ำ เช่นเดียวกับกับกรณีของน้ำมันสปูดำ (รูปที่ 5) แต่ที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วเริ่มต้นของลำพุงต่ำมาก (~ 800 m/s) และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ประมาณ 800 m/s แล้วลดลงอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับกับกรณี 150°C ความเร็วเริ่มต้นสูงแล้วจึงต่ำลงอย่างต่อเนื่อง ความเร็วเริ่มต้นประมาณ 1,400 m/s และความเร็วต่ำสุดประมาณ 1,100 m/s อย่างไรก็ตามความเร็วของลำพุงเริ่มต้นที่อุณหภูมิสูงจะสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ แต่เนื่องจากความเร็วของลำพุง น้ำมัน สปูดำ ผสมกับ น้ำมัน ดีเซล ที่ อุณหภูมิห้องทดสอบ 150°C มีความเร็วสูงและต่อเนื่อง หากเทียบกันกับกรณี ที่ห้องทดสอบอุณหภูมิ 30°C ที่ความเร็วเริ่มต้นสูงกว่าแต่ความเร็วลดลงมาก หากเปรียบเทียบความเร็วของลำพุงในช่วงเวลาที่ 200 μs จะเห็นว่าจากความเร็วเริ่มต้น กรณีอุณหภูมิห้องทดสอบ 30°C ความเร็วเริ่มต้นประมาณ 1,600 m/s เป็น 900 m/s กรณีอุณหภูมิห้องทดสอบ 100°C ความเร็วเริ่มต้นประมาณ 800 m/s เป็น 500 m/s และกรณีอุณหภูมิห้องทดสอบ 150°C ความเร็วเริ่มต้นประมาณ 1,400 m/s เป็น 1,100 m/s ซึ่งเป็นความเร็วที่สูงกว่ากรณีอื่นๆ ทำให้ผลการทดลองที่บันทึกได้มีจำนวนข้อมูลที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ เนื่องจากห้องทดสอบและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสามารถศึกษาพฤติกรรมของลำพุงได้ระยะประมาณ 250 mm ซึ่งเห็นได้ชัดจากค่า Penetration ของ

ลำพุงในรูปที่ 7 ระยะการเคลื่อนที่สูงสุดของลำพุงที่บันทึกได้ที่ประมาณ 250 mm ในกรณีที่ห้องทดสอบมีอุณหภูมิ 150°C และ ประมาณ 230 mm ในกรณีที่ห้องทดสอบมีอุณหภูมิ 30°C และ 100°C

จากกราฟในรูปที่ 7 พอสรุปได้ว่า ที่อุณหภูมิห้องทดสอบ 30°C พฤติกรรมความเร็วของลำพุงน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันสปูดำเหมือนกรณีน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิสูง (รูปที่ 4) และ ที่อุณหภูมิ 100°C พฤติกรรมของความเร็วลำพุงเหมือนกรณีน้ำมันสปูดำที่อุณหภูมิสูง (รูปที่ 5) ส่วนกรณีห้องทดสอบมีอุณหภูมิสูง ความเร็วเริ่มต้นของลำพุงน้ำมันสปูดำผสมน้ำมันดีเซลเหมือนกับกรณีลำพุงน้ำมันดีเซลคือ อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อความเร็วเริ่มต้นของลำพุง แต่แนวโน้มของความเร็วเหมือนกับกรณีลำพุงน้ำมันสปูดำคือ ความเร็วของลำพุงลดลงอย่างต่อเนื่อง



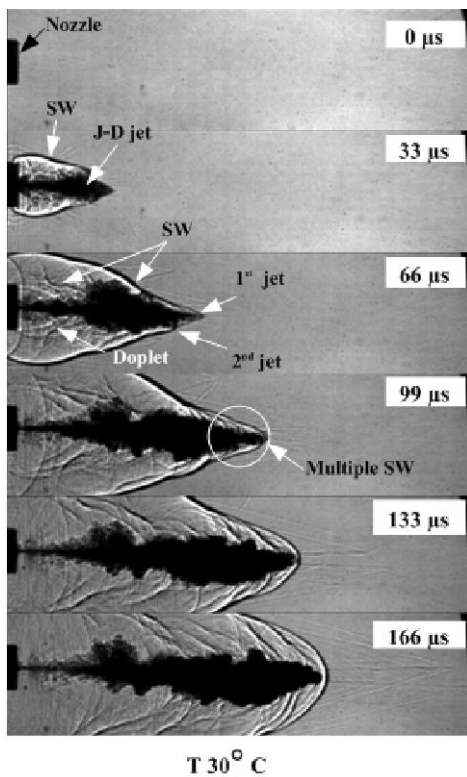
รูปที่ 7 ความเร็วของลำพุงน้ำมันสปูดำผสมน้ำมันดีเซล

**3.2 ผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมของลำพุงน้ำมันสปูดำผสมน้ำมันดีเซล**

ผลที่ได้จากการทดลองเป็นภาพถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวความเร็วสูงร่วมกับเทคนิคชาร์โคว์กราฟ ด้วยวิธีการนี้ทำให้มองเห็นพฤติกรรมของลำพุงน้ำมันสปูดำผสมน้ำมันดีเซล (J-D jet) และคลื่นกระแทก

(SW) ได้อย่างชัดเจน ภาพที่ถ่ายได้จะแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของลำพุงและคลื่นกระแทก ทุกๆ 33  $\mu\text{s}$  จากการทดลองทั้ง 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 ห้องทดสอบมีอุณหภูมิ 30°C กรณีที่ 2 ห้องทดสอบมีอุณหภูมิ 100°C และ กรณีที่ 3 ห้องทดสอบมีอุณหภูมิ 150°C

ในรูปที่ 8 ลำพุงน้ำมันสปูค่าผสมน้ำมันดีเซลที่สภาวะห้องทดสอบ 30°C ห้องทดสอบมีค่าความหนาแน่นของอากาศประมาณ 1.16  $\text{kg/m}^3$



รูปที่ 8 ลำพุงน้ำมันสปูค่าผสมน้ำมันดีเซลที่สภาวะห้องทดสอบ 30°C

ที่ 33  $\mu\text{s}$  แรก ภาพที่ได้มองเห็นลำพุงและคลื่นกระแทกได้อย่างชัดเจน ส่วนหัวของลำพุง (jet tip) จะ

โตกว่าส่วนแกนลำพุง (core jet) ส่วนของคลื่นกระแทก (SW) เกิดขึ้นตั้งแต่ส่วนหัวของลำพุง จนถึงส่วนหาง นั้นก็แสดงว่าที่สภาวะอุณหภูมิห้องทดสอบ 30°C ลำพุงมีความเร็วเหนือความเร็วเสียงในตัวกลาง ที่สภาวะนี้ SW กับ J-D jet เคลื่อนที่ติดกับ SW (attached SW) และ jet tip เคลื่อนที่นำ SW นั้นแสดงว่าความเร็วเริ่มต้นของลำพุงสูงมาก เมื่อเวลาเปลี่ยนไปยังคงมองเห็น SW หรือ 1<sup>st</sup> SW และการแตกตัวของเม็ดน้ำมัน (droplet) ที่บริเวณรอบๆ ลำพุงได้อย่างชัดเจน

ที่เวลา 66  $\mu\text{s}$  ความเร็วของลำพุงยังคงสูง (สังเกตจากรูปร่างของลำพุงและ SW) และเกิด 2<sup>nd</sup> jet (สังเกตจาก 1<sup>st</sup> jet ในเวลาที่ 33  $\mu\text{s}$ ) และบริเวณส่วนหางของ jet เกิด multiple SW นั้นแสดงว่าที่ core jet เกิด multiple jet เช่นกัน ซึ่งสาเหตุหลักคือวิธีการกำเนิดลำพุงทำให้เกิดพฤติกรรมกระถ่ายเทโมเมนตัมและ reflect ภายในหัวฉีดตาม GAS theory [30]

ที่เวลา 99  $\mu\text{s}$  มองเห็น multiple SW ที่ jet tip และส่วนหางยังเห็น droplet ได้อย่างชัดเจน J-D jet และ SW ยังเป็น attached SW แต่น้อยมากเมื่อเทียบกับที่เวลา 33  $\mu\text{s}$  แสดงว่าความเร็วของลำพุงลดลง

ในช่วงเวลา 133  $\mu\text{s}$  ถึง 166  $\mu\text{s}$  นั้น J-D jet กับ SW ไม่เคลื่อนที่ติดกัน (detached SW) แสดงว่าลำพุงมีความเร็วลดลงอย่างต่อเนื่อง

พอสรุปได้ว่า ที่สภาวะอุณหภูมิห้องทดสอบ 30°C การแตกตัวของเม็ดน้ำมันเกิดขึ้นมากในช่วงเวลาแรก สาเหตุจากความเร็วและปริมาณน้ำมันที่ฉีดออกมาทำให้เกิดการแตกตัวได้ง่ายกว่า เมื่อเวลาผ่านไปความเร็วลำพุงลดลงและปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความเร็วของลำพุงลดลงอย่างต่อเนื่อง สาเหตุประการหนึ่งคือแรงต้านการเคลื่อนที่ (drag force) ที่เกิดจาก

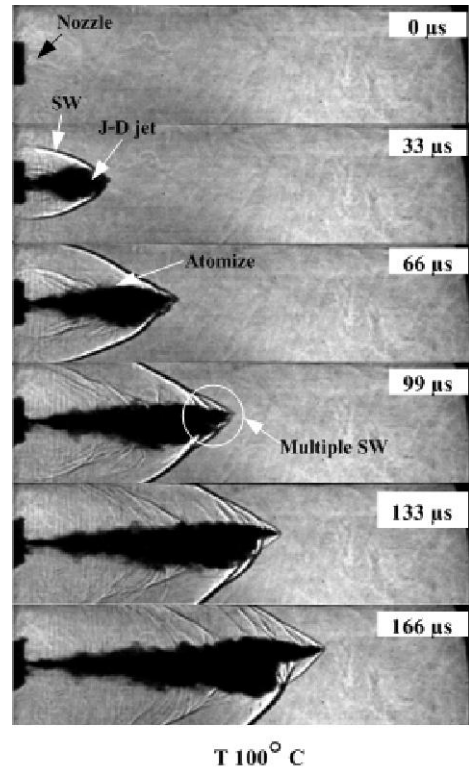
ความหนาแน่นของอากาศและค่าความหนืดของน้ำมัน  
 สบู่ดำผสม ซึ่งแนวโน้มของความเร็วเป็นเช่นเดียวกันกับ  
 กรณีของน้ำมันดีเซล กับน้ำมันสบู่ดำ ในรูปที่ 4 และ  
 รูปที่ 5 แต่ความเร็วเริ่มต้นสูงกว่ากรณีของน้ำมันสบู่ดำ  
 ในรูปที่ 5 นั้นเป็นสาเหตุจากสมบัติของน้ำมันสบู่ดำ  
 เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการผสมกับน้ำมันดีเซล

กรณีที่ 2 ลำพุงน้ำมันสบู่ดำผสมน้ำมันดีเซลที่สภาวะ  
 ห้องทดสอบ 100°C ห้องทดสอบมีค่าความหนาแน่น  
 ของอากาศ 0.94 kg/m<sup>3</sup> ดังรูปที่ 9 ที่สภาวะนี้ ความคมชัด  
 ของภาพจะต่ำกว่ากรณีแรกเนื่องจากความหนาแน่นของอากาศ  
 ต่ำกว่า

ที่ 33 μs แรก J-D jet กับ SW เกิดขึ้นพร้อมกันเป็น  
 attached SW แต่ jet tip เคลื่อนที่นำ SW ไม่มากเมื่อ  
 เทียบกับกรณีที่ 1 นั้นแสดงว่าความเร็วของลำพุงน่าจะ  
 ต่ำกว่ากรณีที่ 1 และมองไม่เห็นการกระจายของเม็ด  
 น้ำมันรอบๆ ลำพุง แต่มองเห็น 2<sup>nd</sup> SW เกิดขึ้น บริเวณ  
 ส่วนหาง

ที่ 66 μs ส่วนหางของ J-D jet เกิด multiple SW ขึ้น  
 และเกิดละอองน้ำมันรอบๆ แกนลำพุงในเฉพาะส่วน  
 หางนั้นแสดงว่าเม็ดน้ำมันระเหยตัวเพราะอุณหภูมิห้อง  
 ทดสอบ นอกจากนี้ รูปร่างของลำพุงยังมีขนาดโตตั้งแต่  
 ส่วนหัวถึงหาง เมื่อเทียบกับกรณีที่ 1 อย่างชัดเจน เหตุ  
 จากอุณหภูมิทำให้ลำพุงมีความหนาแน่นลดลงเมื่อ  
 เคลื่อนที่เกิดแรงต้านทำให้ core jet โดยเฉพาะ jet tip  
 ขยายตัวออกเป็นผลทำให้แรงต้านการเคลื่อนที่สูง  
 ความเร็วของลำพุงจึงต่ำ ถึงแม้ว่าความหนาแน่นของ  
 อากาศจะต่ำกว่ากรณีแรก อย่างไรก็ตาม ความเร็วที่เวลา  
 สุดท้ายที่นำเสนอ (ที่ 166 μs) SW ยังเป็น attached SW  
 แสดงให้เห็นว่าความเร็วของ J-D jet ยังสูง

ที่ 99 μs เกิด Multiple SW ขึ้นอย่างชัดเจน แสดงว่า  
 ลำพุงเกิดขึ้นมากกว่า 1 ลำพุง การเกิดของลำพุงเป็นแบบ  
 pulse ซึ่งสาเหตุเกิดจากการสะสมความดันภายในหัวฉีด  
 น้ำมันสบู่ดำผสมไม่สามารถฉีดออกมาได้ต่อเนื่อง

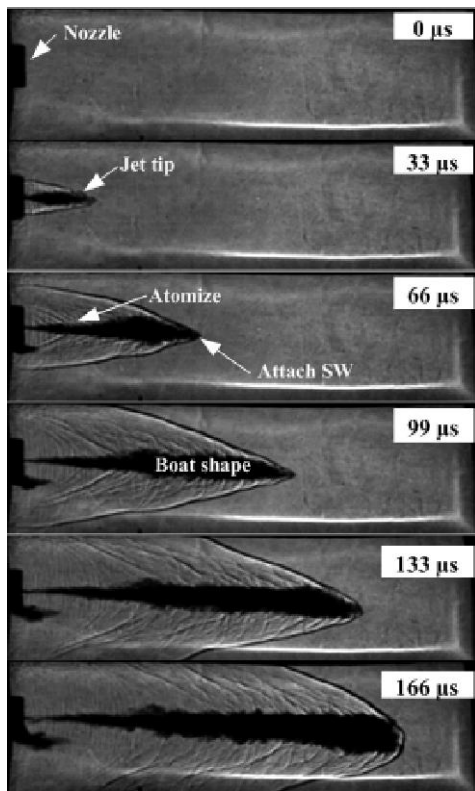


รูปที่ 9 ลำพุงน้ำมันสบู่ดำผสมน้ำมันดีเซลที่สภาวะห้อง  
 ทดสอบ 100°C

หากเปรียบเทียบผลการทดลองนี้กับกรณีของน้ำมัน  
 ดีเซล และน้ำมันสบู่ดำในรูปที่ 4 และ รูปที่ 5 ความเร็ว  
 ของลำพุงกรณีน้ำมันผสมมีแนวโน้มเหมือนกับน้ำมัน  
 สบู่ดำแต่มีค่าต่ำกว่ามาก เนื่องจากลำพุงของน้ำมันสบู่ดำ  
 เกิดการแตกตัวออกเพราะสมบัติของน้ำมันดีเซลแต่ไม่

สามารถระเหยได้เนื่องจากสมบัติของน้ำมันสบูดำ ลำพุ่งจึงมีขนาดที่ใหญ่กว่าทำให้เกิดแรงดันการเคลื่อนที่สูงกว่า

กรณีที่ 3 รูปที่ 10 ลำพุ่งน้ำมันสบูดำผสมน้ำมันดีเซลที่สภาวะห้องทดสอบ 150°C ห้องทดสอบมีค่าความหนาแน่นของอากาศ 0.83 kg/m<sup>3</sup>



T 150° C

รูปที่ 10 ลำพุ่งน้ำมันสบูดำผสมน้ำมันดีเซลที่สภาวะห้องทดสอบ 150°C

กรณีนี้ ภาพโดยรวมจะเห็นว่าลำพุ่งมีรูปร่างเรียวยาว ส่วน core jet เล็กกว่ากรณีอื่นๆ มองเห็นการเกิดการระเหยตัวของน้ำมันดีเซลรอบ core jet อย่างชัดเจน เนื่องจากสมบัติของน้ำมันดีเซลที่มีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำมัน

สบูดำและความหนาแน่นของอากาศซึ่งเป็นแรงดันที่มีค่าต่ำ รูปร่างที่เป็น arrow dynamics และค่าความหนืดของลำพุ่งเอง ทำให้ความเร็วของลำพุ่งเริ่มต้นสูงและสูงอย่างต่อเนื่อง เมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ

เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองนี้กับกรณีของน้ำมันดีเซล และน้ำมันสบูดำในรูปที่ 4 และ รูปที่ 5 ความเร็วของลำพุ่งกรณีน้ำมันผสมมีแนวโน้มเหมือนกับน้ำมันดีเซล แต่ความเร็วต่ำกว่าเล็กน้อย ซึ่งแตกต่างจากกรณีห้องทดสอบอุณหภูมิ 100°C เนื่องจากลำพุ่งของน้ำมันสบูดำเกิดการระเหยตัวเพราะสมบัติของน้ำมันดีเซล ลำพุ่งจึงมีขนาดรูปทรงเรียวยาว ทำให้เกิดแรงดันการเคลื่อนที่ที่ต่ำ ความเร็วของลำพุ่งจึงสูง

#### 4. สรุปผล

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมของลำพุ่งความเร็วสูงของน้ำมันสบูดำผสมน้ำมันดีเซล การทดลองทำการผสมน้ำมันสบูดำกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร เพื่อลดความหนาแน่นและความหนืดของน้ำมันสบูดำ จาก 0.917 g/cc เป็น 0.853 g/cc และ 35 cSt เป็น 17.481 cSt ตามลำดับ ลำพุ่งความเร็วสูงที่กำเนิดด้วยวิธี projectile impact driven ที่ความเร็วกระแทกของลูกกระสุนปืนประมาณ 800 m/s จะถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ที่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 3 ค่า คือ อุณหภูมิ 30°C 100°C และ 150°C พฤติกรรมที่เกิดขึ้นถูกบันทึกด้วยกล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวความเร็วสูงร่วมกับเทคนิคชาร์โดว์กราฟผลการทดลองที่ได้พอสรุปได้ดังตารางที่ 3

เมื่อวิเคราะห์จากภาพถ่ายจะเห็นได้ชัดเจนว่า ที่อุณหภูมิห้องทดสอบ 30°C ส่วนหัวของลำพุ่งน้ำมันสบูดำผสมมีรูปทรงค่อนข้างเรียวยาวแหลมทำให้แรงดันการ

เคลื่อนที่ของลำฟุ้งต่ำถึงแม้ว่าค่าความหนาแน่นของอากาศในห้องทดสอบจะสูงกว่ากรณีอื่น

ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่น้ำมันเริ่มกระจายตัวออกแต่เกิดการระเหยตัวต่ำ

**ตารางที่ 3** ผลของอุณหภูมิห้องทดสอบที่มีต่อความเร็วของลำฟุ้งน้ำมันผสมและสมบัติของห้องทดสอบ

$T_{test}$ (°C)	$V_{initial}$ (m/s)	$V_{finally}$ (m/s)	$\rho_{air}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$V$ (cSt)
30	1,600	520	1.16	~ 24
100	800	460	0.94	< 8
150	1,400	1,100	0.83	< 8

กรณีอุณหภูมิห้องทดสอบ 100°C รูปทรงส่วนหัวของลำฟุ้งขยายตัวออก สาเหตุเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของลำฟุ้งลดลง แรงภายในแกนลำฟุ้งโดยเฉพาะส่วนหัวเมื่อเกิดแรงดันจะทำให้แกนลำฟุ้งแตกออก ส่วนหัวของลำฟุ้งจึงโตขึ้น ทำให้ความเร็วของลำฟุ้งต่ำ

กรณีอุณหภูมิห้องทดสอบ 150°C อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เม็คน้ำมันที่แตกออกกระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ประกอบกับค่าความหนาแน่นของอากาศห้องทดสอบต่ำจึงทำให้ความเร็วของลำฟุ้งสูงกว่ากรณีอื่นและสูงอย่างต่อเนื่อง ความเร็วปลายจึงสูงกว่ากรณีอื่นๆ ด้วย

กรณีห้องทดสอบอุณหภูมิ 100°C และ 150°C ความเร็วและพฤติกรรมของลำฟุ้งแตกต่างกันมากถึงแม้ว่าค่าความหนาแน่นของอากาศที่มีผลต่อแรงดันจะแตกต่างกันไม่มากนัก ความเร็วของลำฟุ้งกรณีที่ห้องทดสอบอุณหภูมิ 100°C จะต่ำกว่ากรณีที่ห้องทดสอบอุณหภูมิ 150°C เช่นเดียวกับผลการทดลองกรณีน้ำมันดีเซล [7] สาเหตุเนื่องจากพฤติกรรมของลำฟุ้งทำให้เกิดแรงดัน

**5. กิตติกรรมประกาศ**

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนด้านทุนวิจัย และขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.อนิรุตต์ มีทรจักร สำหรับข้อเสนอแนะในการวิจัย

**6. เอกสารอ้างอิง**

[1] Y. Liang, L.Y. Zhou, Z.Y. Wang, J. Guo and F.Q. Luo, “Experimental Investigation on the Combustion Characteristics of a Diesel Engine Fueled with Jatropha Curcas Oil”, IEEE 11, 2011, pp. 395-399.

[2] K. Niraj, Varun and C. Sant ram, “Performance and emission characteristics of biodiesel from difference origins: Areview”, Renewable and Sustainable Energy Review 21, 2013, pp. 633-658.

[3] K. Pramanik, “Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine”, Renewable Energy 28, 2003, pp. 239-248.

[4] A. Sary, L. Khaled and T. Mohand, “Experimental Investigation on the Combustion, performance and pollutant emissions of biodiesel from animal fat residues on a direct injection diesel engine”, Energy 69, 2014, pp. 826-836.

- [5] T. Daho, G. Vaitilingom, S.K. Ouiminga, B. Piriou, A.S. Zongo, S. Ouoba and J. Kouliadiati, "Influence of engine load and fuel droplet size on performance of a CI engine fueled with cottonseed oil and its blends with diesel fuel", *Applied Energy* 111, 2013, pp. 1046-1053.
- [6] S. Savariraj, T. Ganapathy and C. G. Saravanan, "Experimental Investigation of Performance and Emission Characteristics of Mahua Biodiesel in Diesel Engine", *ISRN Renewable Energy*, 2011, pp. 1-6.
- [7] D.H. Qi, C.F. Lee, C.C. Jia, P.P. Wang and S.T. Wu, "Experimental investigations of combustion and emission characteristics", *Energy Conversion and Management* 77, 2014, pp. 227-232.
- [8] K.M. Rahnam, M. Mashud, Md. Roknuzzaman and A. Al Galib, "Biodiesel from Jatropha Oil as Alternative Fuel for Diesel Engine", *IJMME-IJENS* 10(3), 2003, pp.1-6.
- [9] H.G. How, H.H. Masjuki, M.A. Kalam and Y.H. Teoh, "An investigation of the engine performance, emissions and combustion characteristics of coconut biodiesel in a high-pressure common-rail diesel engine", *Energy* 69, 2014, pp. 749-759.
- [10] H.R. Acevedo-Gamboa and E.G. Florez-Serrano, "Particle Matter from a diesel engine fueled with jatropha curcas oil biodiesel and ultra-low sulphur diesel", *CT&F* 5(1), 2012, pp. 83-92.
- [11] H.J. Berchmans and S. Hirata, "Biodiesel production from crude Jatropha curcas L. seed oil with a high content of free fatty acids", *Bioresource Technology* 99, 2008, pp. 1716-1721.
- [12] R. Kumar and A. K. Dixit, "Combustion and Emission Characteristics of Variable Compression Ignition Engine Fueled with Jatropha curcas Ethyl Ester Blends at Different Compression Ratio", *Hindawi Publishing Corporation Journal of Renewable Energy*, 2014, pp. 1-12.
- [13] M.J. Abedin, H.H. Masjuki, M.A. Kalam, A. Sanjid, S.M. Ashrafur Rahman and I.M. Rizwanul Fattah, "Performance, emissions, and heat losses of palm and jatropha biodiesel blends in a diesel engine" *Industrial Crops and Products* 59, 2014, pp. 96-104.
- [14] E. Akbar, Z. Yaakob, S.K. kamarudin, M. Ismail and J. Salimon, "Characteristics and Composition of Jatropha Curcas Oil Seed from Malaysia and its Potential as Biodiesel Feedstock" *European Journal of Scientific Research* 29(3), 2009, pp. 396-403.
- [15] Y.V. Hanumantha Rao, R.S. Voleti, V.S. Hariharan, A.V. Sitarama Raju and P. Nageswara red, "Use of Jatropha Oil Methyl Ester and Its Blends as an Alternative Fuel in Diesel Engine" *Journal of the brazilian society of mechanical sciences & engineering*. 31(3), 2009, pp. 253-260.

- [16] A. Datta, S. palit and B.K. Mandal, “An experimental study on the performance and emission characteristics of a CI engine fuelled with Jatropha biodiesel and its blends with diesel”, *Journal of Mechanical Science and Technology* 28(5), 2014, pp. 1961-1966.
- [17] I.R. Ejiloh, A.A. Asere, A.B. Adisa and A. Ejila, “The Effect of diesel fuel-Jatropha curcas oil methyl ester blend on the performance of a variable speed compression ignition engine”, *Australian Journal of Agricultural Engineering* 1(3), 2010, pp. 80-85.
- [18] B. De, P.K. Bose and R.S. Panua, “An Experimental Investigation on Performance and Emissions Characteristics of Jatropha Oil Blends with Diesel in Direct Injection Compression Ignition Engine”, *Journal of the Institution of Engineers (India)*. 93(3), 2012, pp. 203-208.
- [19] V. Chalatlou, M.M. Roy, A. Dutta and S. Kumar, “Jatropha oil production and experimental investigation of its use as an alternative fuel in a DI diesel engine”, *Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels* 2(5), 2011, pp. 76-85.
- [20] I. Celikten, “An experimental investigation of the effect of the injection pressure on engine performance and exhaust emission in indirect injection diesel engines”, *Applied Thermal Engineering* 23, 2003, pp. 2051-2060.
- [21] A. Matthujak, S.H.R. Hosseini, K. Takayama, M. Sun and P. Voinovich, “High speed jet formation by impact acceleration method”, *Shock Waves* 16, 2007, pp. 405-419.
- [22] T. Nakahira, M. Komori, T. Nishida and K. Tujimura, “A study of shock wave generation around high pressure fuel spray in a diesel engine” In *Proceeding of the 18<sup>th</sup> International Symposium on Shock wave*, 1991, pp. 21-26.
- [23] T. Nakahira, M. Komori, T. Nishida, and K. Tsujimura. “The Shock Wave Generation Around the Diesel Fuel Spray with High Pressure Injection”, *SAE* 101(3), 1992, pp. 741-746.
- [24] K. Pianthong, S. Zakrzewski, B.E. Milton and M. Behnia. “Supersonic liquid jets: Their generation and shock wave characteristics”, *Shock Waves* 11, 2000, pp. 457-466.
- [25] K. Pianthong, K. Takayama, B.E. Milton and M. Behnia, “Multiple pulsed hypersonic liquid diesel fuel jets driven by projectile impact”, *Shock Waves* 4(1-2), 2005, pp. 73-82.
- [26] W. Sittiwong, W. Sehanam, K. Pianthong, and A. Matthujak, “Effect of stand-off distance on impact pressure of high speed water jets”, In *Proceedings of the 10th Asian International Conference on Fluid Machinery*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2009, pp. 67-77.

- [27] W. Sittiwong, K. Pianthong, W. Seehanam, B. E. Milton and K. Takayama, "Effects of chamber temperature and pressure on the characteristics of high speed diesel jets", Shock wave, 2012, pp. 215-223.
- [28] I.R. Ejilah, A.A. Asere, A. Adisa and A. Ejila, "The effect of diesel fuel-jatropha curcas oil methyl ester blend on the performance of a variable speed compression ignition engine", Australian Journal of Agricultural Engineering. 1(3), 2010, pp. 80-85.
- [29] M. Mofijur, H.H Masjuki, M.A. Kalam and A.E. Atabani, "Evaluation of biodiesel blending, engine performance and emissions characteristics of Jatropha curcas methyl ester: Malaysian perspective", Energy, 2013, pp. 1-9.
- [30] W. Sittiwong, "Characteristic of fuel spray under pulsed high pressure injection", Doctor Thesis, Mechanical of engineering, Faculty of engineering, Ubonratchathani University, Thailand. 2011.
- [31] W. Sittiwong, K. Pianthong, W. Seehanam, A.Matthujak and C. Kasamnimitporn, "Effects of temperature on the high speed liquid jets behaviors", Journal of Science & Technology, Ubon Ratchathani University 13(2) , 2011, pp. 33-43. (in Thai)
- [32] W. Sittiwong, W. Seehanam, and K. Pianthong, "Effects of Nozzle Orifice Diameter on High Speed Water-Jet Shock Wave and Mechanical Wave Behaviors", UBU Engineering Journal 8(1) , 2012, pp. 15-25. (in Thai)