บทที่ 5
สรุป

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาคุณลักษณะลำพุ่งเชื้อเพลิงเหลวความเร็วสูงและความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้กับหัวฉีดของเครื่องยนต์โดยทำการทดลอง ได้มีการศึกษาคุณลักษณะของชุดทดลองยิงกระสุนความเร็วสูงเพื่อปรับเทียบความเร็ว ผลิตลำพุ่งที่มีความเร็วสูงกว่าความเร็วของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดได้ในปัจจุบัน (ประมาณ 700 m/s) เล็กน้อย (สูงกว่า 700 m/s) ในกรณีที่ฉีดภายในสภาวะบรรยากาศ ใช้หัวฉีดที่มีรูปร่างต่างๆ และหัวฉีดที่ใช้ในเครื่องยนต์ โดยเน้นความเร็วของลำพุ่งที่สูงกว่าเครื่องยนต์เล็กน้อย ศึกษาคุณลักษณะของลำพุ่งด้วย วิธีลำแสงเลย์เซอร์และกล้องวีดีโอความเร็วสูง นอกจากนี้ยังพยายามที่จะสร้างอุณหภูมิและความดันในห้องทดสอบให้มีลักษณะเช่นเดียวกับห้องเผาไหม้ด้วย ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองศึกษาสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 ปริมาณดินขับกับความเร็วของลูกปืนและลำพุ่ง

จากการทดลอง ชุดทดลองยิงกระสุนความเร็วสูงได้ตามที่ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ โดยการเพิ่มหรือลดความเร็วของลูกปืนด้วยการเพิ่มปริมาณดินขับ จาก 2 - 7 g ซึ่งจะได้ความเร็วของลูกปืนที่ด้วยการทดลองยิงกระสุนความเร็วสูง เพื่อให้เหมาะสมกับการผลิตลำพุ่งความเร็วสูงพบว่า ชุดทดลองสามารถผลิตความเร็วกระสุนได้สูงสุดประมาณ 1,200 m/s ที่ปริมาณดินปืน 7 g ด้วยกล้องวีดีโอความเร็วสูง และความเร็วกระสุนได้สูงสุดประมาณ 1,300 m/s ในกรณีของหลักการตัดลำแสงเลย์เซอร์ในการทดลองกำเนิดลำพุ่งทั้งหมดจะใช้ดินขับ 3 g (800 m/s) เพื่อให้ลำพุ่งมีความเร็วสูงกว่าในเครื่องยนต์จริงเล็กน้อย

5.1.2 ปริมาณดินปืนและรูปทรงของหัวฉีดกับความเร็วของลำพุ่ง

จากผลการศึกษาที่ดินขับ 3 g กับหัวฉีดรูปทรงต่างดังที่กล่าวมาในบทที่ 4 พบว่าหัวฉีดที่มีมุม 30 ° กำเนิดลำพุ่งเชื้อเพลิงได้ความเร็วสูงที่สุด ซึ่งในกรณีของของเหลวทดสอบเป็นน้ำความเร็วของลำพุ่งสูงถึง 2,200 m/s และ 1,500 m/s กับ 1,200 m/s ในกรณีหัวฉีดมุม 60° และ Step nozzle ของดินขับ 7 g ตามลำดับ

จากผลของความเร็วของลำพุ่งที่วัดได้จากหัวฉีดรูปทรงต่างๆ จึงเลือกใช้หัวฉีดที่มีขนาด Orifice 0.7 mm มุม 30° และ l/d 4.2 mm ในการทดลอง

5.1.3 คุณลักษณะของลำพุ่งความเร็วสูง

5.1.3.1 ความเร็วของลำพุ่งเชื้อเพลิงต่างๆ ที่อุณหภูมิบรรยากาศ (30°C) และความดันบรรยากาศ เปรียบเทียบผลของความเร็วของลำพุ่งเชื้อเพลิง 4 ชนิด คือ ดีเซล (Diesel) ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว (bio-diesel) สบู่ดำ (jatropha curcas oil) และ E95 (ethanol 95%) โดยภาพถ่ายกล้องวิดีโอความเร็วสูงร่วมกับ Z-type shadowgraph system

ผลการทดลองพบว่าลำพุ่งของน้ำมันเชื้อเพลิงจากสบู่ดำมีความเร็วสูงที่สุด (~2,000 m/s) ความเร็วสูงสุดของน้ำมันดีเซลมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 1,400 m/s ความเร็วสูงสุดของไบโอดีเซลประมาณ 1,400 m/s ส่วนความเร็วสูงสุดของลำพุ่งเชื้อเพลิงที่มีค่าต่ำสุดคือ E95 ประมาณ 900 m/s ผลของความเร็วที่แตกต่างกันเนื่องจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

5.1.3.2 คุณลักษณะของลำพุ่งน้ำมันดีเซล ที่อุณหภูมิบรรยากาศ (30°C), 100°C, 130°C และ 150°C, ที่ความดันบรรยากาศ พบว่าความเร็วของลำพุ่งที่ความดันบรรยากาศมีค่าสูงสุดประมาณ 1,400 m/s และความเร็วจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่วนในกรณีที่ห้องทดสอบถูกปรับให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ผลของความเร็วของลำพุ่งเริ่มต้นจะเปลี่ยนไป คือความเร็วเริ่มต้นจะมีค่าต่ำและเพิ่มความเร็วขึ้นจนถึงความเร็วสูงสุดที่ทำได้แล้วถึงจะลดลง ในกรณีที่ห้องทดสอบมีอุณหภูมิ 100 °C-150°C ลำพุ่งน้ำมันดีเซลมีความเร็วสูงสุดประมาณ 1100 m/s โดยที่อุณหภูมิยิ่งเพิ่มขึ้นความเร็วเริ่มต้นของลำพุ่งยิ่งลดลง ซึ่งสาเหตุเกิดจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแตกตัวของน้ำมันดีขึ้นความเร็วต้นจึงลดลง

5.1.3.3 คุณลักษณะของลำพุ่งน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิบรรยากาศ (30°C) และที่ความดันบรรยากาศ, 50 psi, 80 psi และ 120 psi ผลการทดลองพบว่าความเร็วเริ่มต้นของลำพุ่งจะสูงและค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง ความเร็วสูงสุดของลำพุ่งจะสูงสุดที่ความดันบรรยากาศประมาณ 1,400 m/s, 1,200 m/s 1,100 m/s และ 1,000 m/s ที่ความดัน 50 psi 100 psi และ 120 psi ตามลำดับ นอกจากนี้ความดันในห้องทดสอบยังมีผลต่อระยะแหวก คือ ความดันเพิ่มขึ้นระยะแหวกลดลง ซึ่งสาเหตุเกิดจากความดันที่สูงขึ้นทำให้เกิดแรงต้าน (Drag force) ยิ่งเคลื่อนไปความเร็วก็จะยิ่งลดลง

5.1.3.4 คุณลักษณะของลำพุ่งน้ำมันเชื้อเพลิงภายใต้การเปลี่ยนอุณหภูมิและความดัน การเปรียบเทียบคุณลักษณะของลำพุ่งน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซล (จากน้ำมันพืชใช้แล้ว) และสบู่ดำ ภายใต้อุณหภูมิและความดันของห้องทดสอบต่างๆ เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและความดัน ซึ่งผลการทดลองที่อุณหภูมิบรรยากาศ (30°C) และความดันบรรยากาศ ลำพุ่งของสบู่ดำมีความเร็วสูงที่สุดประมาณ 2,000 m/s และเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่าเชื้อเพลิงอื่นที่เวลาเดียวกัน ส่วนของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลมีความเร็วของลำพุ่งใกล้เคียงกันประมาณ 1,400 m/s

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ พบว่าความเร็วของลำพุ่งเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดที่ทดสอบเปรียบเทียบกันกับการทดลองที่อุณหภูมิบรรยากาศ (ที่อุณหภูมิ 30°C) 130°C และ 150°C ลดลง โดยเฉพาะความเร็วของลำพุ่งในช่วงเริ่มต้น โดยที่น้ำมันดีเซลจะมีความเร็วเริ่มต้นต่ำสุดที่ประมาณ 800 m/s ที่ทุกๆ อุณหภูมิ

5.1.3.5 คุณลักษณะของลำพุ่งน้ำมันเชื้อเพลิงจากหัวฉีดดีเซลแบบรูเดี่ยว ของลำพุ่งน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซล และสบู่ดำ ภายใต้อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ผลการทดลองพบว่าความเร็วของลำพุ่งทั้ง 3 ชนิดมีความเร็วเฉลี่ยประมาณ 700 m/s ซึ่งต่ำกว่าหัวฉีดชนิดกรวยมุม 30° เนื่องจากหัวฉีดสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลไม่มีส่วนของคอขอดทำให้ไม่เกิดการลีดขับลำพุ่ง ในช่วงที่ถูกกระแทกด้วยลูกปืน และขนาดของรูฉีดขนาดที่โตกว่า

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้ มีปัจจัยหลายอย่างที่อาจทำให้ผลการทดลองนั้นมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากสภาวะในการทดสอบ ที่ยากที่จะควบคุม ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะกับงานวิจัยนี้มีดังนี้

5.2.1 ดินขับ (gunpowder)

ดินขับที่ใช้เป็นชนิดไร้ควัน (Smokeless powder) เป็นดินขับที่ใช้ในลูกกระสุนปืน ไม่สามารถหาซื้อได้ในปริมาณมากๆ ต้องซื้อลูกกระสุนแล้วถอดหัวลุกกระสุนปืนออก ซึ่งเป็นอันตราย ราคาสูงและมีปริมาณที่น้อย แต่มีคุณภาพสูงกว่าดินปืนชนิดดินดำ (Black powder) ซึ่งหาได้ง่ายกว่า แต่คุณภาพไม่คงที่ในแต่ละครั้งที่จัดหาได้ นอกจากนี้การเผาไหม้ดินขับชนิดดินดำยังมีเขม่าหลงเหลือมากกว่าชนิดไร้ควัน ซึ่งต่อไปอาจเลือกวิธีปล่อยลูกปืนด้วยวิธีอื่นที่มีความแม่นยำในการปล่อยลูกปืน เช่น rail gun เป็นต้น

นอจากนี้ ดินขับยังมีความเป็นกรดทำให้วัสดุที่ใช้ถูกกัดกร่อนจึงต้องเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดี เช่น ปลอกลูกปืน (Cartridge) ต้องใช้เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) และทำความสะอาดชุดทดลองอย่างสม่ำเสมอ

ความชื้นมีผลอย่างมากต่อการจุดติดของดินขับ และชนวน (Primer gap) ดังนั้นก่อนการทดลองต้องอุ่นดินปืนด้วยความร้อน ซึ่งต้องคอยรักษาอุณหภูมิเนื่องจากดินขับสามารถติดไฟได้หากให้ความร้อนในเวลานานๆ

5.2.2 หัวฉีด (Nozzle)

หัวฉีดมีผลโดยตรงต่อคุณลักษณะของลำพุ่งความเร็วสูง จำเป็นต้องออกแบบ สร้างให้มีขนาดที่เท่ากันซึ่งทำได้ยากเนื่องจากขนาดของรูฉีด มีขนาดเล็กมาก มุมภายในทำได้ยาก จึงไม่สามารถสร้างหัวฉีดให้มีมุมที่น้อยกว่า 30° ได้ การทดลองจำเป็นต้องใช้หัวฉีดปริมาณมาก เนื่องจากใช้งานหัวฉีดจะมีขนาดของรูฉีดที่โตขึ้น ด้านข้างหรือด้านหน้าของหัวฉีดบวม หากใช้วัสดุที่มีความเหนียวสูง หรือหากใช้วัสดุที่มีความแข็งหรือชุบแข็ง ทำได้ยากและเมื่อใช้งานหัวฉีดก็จะแตก ดังนั้นการสร้างหัวฉีดที่ดีมากจึงมีราคาสูง ดังนั้นจึงต้องใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้งานและการผลิต

5.2.3 ถังทดสอบ (Test chamber)

โดยการใช้งานที่ความดันและอุณหภูมิบรรยากาศ ถังทดสอบจะสามารถใช้งานได้ดี แต่เมื่อเพิ่มความดัน ส่วนหน้าต่างด้านข้างที่ใช้ PMMA ชนิดใส หนา 25 mm จะแตก หรือเสียรูปเนื่องจากความร้อน ทำให้ภาพถ่ายเกิดเงาของแสงที่หักเห หากใช้แผ่น PMMA ในการทดลองเปลี่ยนแปลงความดันของถังทดสอบจึงต้องให้พื้นที่ของแผ่น PMMA มีเท่าที่จำเป็น หรือหากทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังทดสอบต้องทำการทดลองจนแล้วเสร็จ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิภายในลดลงแผ่น PMMA จะเสียรูปไม่สามารถใช้งานได้อีกต้องเปลี่ยนใหม่ทันที

นอกจากแผ่น PMMA แล้วอาจใช้วัสดุใสที่ทนความดันหรืออุณหภูมิได้สูงกว่า เช่น กระจกหรือแผ่นควอส เป็นต้น

5.2.4 ระบบถ่ายภาพ (Visualization)

ชุดถ่ายภาพนอกจากกล้องวีดีโอความเร็วสูงที่มีราคาสูงมากและ ชุดเลนส์และกระจก ยังมีราคาค่อนข้างสูงและหาซื้อยาก และความละเอียดในการดูแลรักษา ปรับตั้ง จำเป็นต้องใช้ประสบการณ์ในการปรับตั้ง และการดูแลความสะอาด ของผิว ชุดเลนส์และกระจก