

อัตราส่วนของเอทานอลและเอทิลอะซิเตสต่อการสเปรย์และสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล

Ratio of Ethanol and Ethyl Acetate on Spray and Diesel Engine Performance

เอกชัย สุธีรศักดิ์* เจริญ ชินวานิชย์เจริญ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

Ekkachai Sutheerasak * Charoen Chinwanitcharoen
Faculty of Engineering, Burapha University, Muang, Chonburi, 20131, Thailand
Tel : 08-2453-3848 E-mail: ekkachai@eng.buu.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ เพื่อตรวจสอบคุณลักษณะการสเปรย์ และสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรงสี่สูบและสี่จังหวะที่ติดตั้งภายในรถยนต์แบบกระบะ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลและเอทิลอะซิเตทในอัตราส่วนต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล โดยทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,000 ถึง 3,000 รอบต่อนาที ณ ภาระงานสูงสุด ผลการทดสอบพบว่า การผสมของเอทานอลร้อยละ 2 ถึง 5 และเอทิลอะซิเตทร้อยละ 3 ถึง 5 มีเสถียรภาพของน้ำมันดีที่สุด คุณลักษณะการสเปรย์ และประสิทธิภาพทางความร้อนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและพลังงานเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม การเพิ่มเอทานอลและเอทิลอะซิเตท ทำให้ค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนลดลงร้อยละ 3.29 และ 9.96 และการผสมเอทานอลมากกว่าร้อยละ 10 ส่งผลให้มุมสเปรย์ลดลง 5.5 องศา ความยาวจริงของสเปรย์สั้นลง 36.62 มิลลิเมตร และความดันของการฉีดลดลงร้อยละ 2.98 ประสิทธิภาพทางความร้อนลดลงร้อยละ 18.56 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 46 แต่อุณหภูมิของแก๊สไอเสียและการปล่อยควันดำลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

คำหลัก น้ำมันดีเซล เอทานอล เอทิลอะซิเตท
คุณลักษณะการสเปรย์ สมรรถนะของเครื่องยนต์

Abstract

The aim of this study is to investigate the spray characteristics and performance of diesel engine, direct injection, four cylinders and four strokes, within a pick-up automobile by using diesel- ethanol-

ethyl acetate blends, compared with diesel fuel. In testing, the engine speed adjusts from 1,000 to 3,000 rpm. The results show that blended diesel fuel with ethanol from 2 to 5% and ethyl acetate from 3 to 5% are the best fuel solubility, spray characteristics and thermal efficiency similar to diesel fuel, and fuel and energy consumption increased slightly. However, addition of ethanol and ethyl acetate decreases the density and heating value 3.29% and 9.96%. Blending ethanol over 10 percent shows that spray angle decreases 5.5 degree, real spray tip penetration decreases 36.62 mm, and fuel injection pressure decreases 2.98%. The thermal efficiency decreases 18.56%, the fuel consumptions increase 46% comparing with diesel fuel, but the exhaust gas temperature and black smoke release are lower than diesel fuel.

Keywords: diesel fuel, ethanol, ethyl acetate, spray characteristics, engine performance

1. บทนำ

ในปัจจุบัน เครื่องยนต์ดีเซล ถูกใช้เป็นต้นกำลังภายในรถยนต์ เพื่อการคมนาคมขนส่ง เนื่องจากมีกำลังงานสูง ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าบำรุงรักษาต่ำ อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์ประเภทนี้ มีการปล่อยสารมลพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสีย (เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และสารละอองขนาดเล็ก) จำนวนมาก ทำให้เกิดฝนกรด เกิดหมอกปนควัน และกลิ่นเหม็นต่างๆ

รวมทั้งปัญหาและโรคภัยต่างๆ ที่ทำลายระบบทางเดินหายใจและสุขภาพของมนุษย์ จึงมีความจำเป็นจะต้องค้นหาแหล่งเชื้อเพลิงทดแทน [1-5]

เอทานอล เป็นเชื้อเพลิงทดแทนประเภทหนึ่ง ผลิตจากพืชเกษตรกรรมภายในประเทศ มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ และลดการปล่อยสารมลพิษจากแก๊สไอเสีย ส่วนการใช้ไขมันดีเซลผสมเอทานอลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้น มีการศึกษาและวิจัยอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2513 (ค.ศ. 1970) จนถึงปัจจุบัน โดยงานวิจัยที่ [2] ถึง [5] ได้สรุปว่า การใช้ไขมันดีเซลผสมเอทานอลโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์และไม่มีความซับซ้อนนั้นคือการใช้วิธีอิมัลชัน (Emulsion) ซึ่งเป็นกระบวนการผสมน้ำมันที่ใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ในการผสม และวิธีการนี้ สามารถยืดเวลาในการผสมของน้ำมันดีเซลกับเอทานอล เพิ่มเลขซีเทน ลดการปล่อยสารมลพิษ และไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ โดยเรียกน้ำมันที่ผลิตขึ้นว่า น้ำมันดีโซฮอล (Diesohol)

ขณะที่ตัวแปรที่กำหนดคุณภาพของเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้นคือ เลขซีเทน ซึ่งเป็นตัววัดคุณภาพการจุดระเบิด การเผาไหม้ และสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยงานวิจัยของ Li และคณะ [6] และ Kass และคณะ [7] ตรวจสอบเลขซีเทนของน้ำมันดีเซลผสมเอทานอลที่ใช้วิธีผสมตรง พบว่า มีเลขซีเทนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 7.1 หน่วย เนื่องจากเอทานอลมีเลขซีเทนต่ำ เมื่อผสมกับน้ำมันดีเซล ทำให้เลขซีเทนลดลง และมีการจุดระเบิดล่าช้า Al-Hassan และคณะ [8] และเอกชัย สุธีร์ศักดิ์ และคณะ [9] ตรวจสอบเสถียรภาพของน้ำมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลโดยวิธีผสมตรง พบว่า การใช้แอนไฮดริสเอทานอลร้อยละ 5 ผสมน้ำมันดีเซลมีการแยกชั้นหลังจากเวลา 80 ชั่วโมง แต่การใช้แอนไฮดริสเอทานอลร้อยละ 10 ผสมน้ำมันดีเซลมีการแยกชั้นอย่างรวดเร็วในเวลา 2 ชั่วโมง

Kumar และคณะ [2] นำเสนอผลการสเปรย์ การเผาไหม้ สมรรถนะ และการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลจากบทความวิจัยต่างๆ พบว่า การใช้ไขมันดีเซลผสมเอทานอลโดยตรง ทำให้จังหวะการฉีดล่าช้า ความดันของการฉีดลดลง ความล่าช้าการจุดระเบิดเพิ่มขึ้น ระยะเวลาการเผาไหม้นานขึ้น ค่า *BSFC* เพิ่มขึ้น และ *BTE* ลดลง มีการน็อกของเครื่องยนต์มาก

ขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของเอทานอลมากขึ้น เพราะว่าเลขซีเทนและค่าความร้อนต่ำกว่า และเสถียรภาพของน้ำมันผสมสั้นกว่า ดังนั้น ควรใช้วิธีอิมัลชัน โดยการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ เพื่อเพิ่มเลขซีเทน และความเสถียรภาพของน้ำมัน รัญญธร อิสราชีวะ [10] ศึกษาเสถียรภาพของน้ำมันจากการผสมน้ำมันดีเซล เอทิลอะซิเตท และเอทานอลที่ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95.0 ถึง 99.9 ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่า การใช้แอนไฮดริสเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.5 เหมาะสมในการผสมกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด และไม่ก่อให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันระหว่างการผสม Gnanamoorthi และ Devaradjane [11] ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง หนึ่งสูบ สี่จังหวะที่ใช้ไขมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลร้อยละ 10 ถึง 50 และเอทิลอะซิเตทคงที่ร้อยละ 3 เทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่า การใช้ไขมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลร้อยละ 10 ถึง 30 ให้ค่า *BTE* เพิ่มขึ้นร้อยละ 8 และค่า *BSFC* เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ขณะที่การปล่อยปริมาณสารมลพิษ CO , NO_x และควันดำลดลง แต่การใช้ไขมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลมากกว่าร้อยละ 30 ทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์แย่ลงและมีการปล่อยสารมลพิษเพิ่มขึ้น Kumar และคณะ [12] ตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ และภาระงานสูงสุด เมื่อใช้ไขมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลและเอทิลอะซิเตทในอัตราส่วน 80:13:7 และ Gomasta และ Mahla [3] ตรวจสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้ไขมันดีเซลผสมแอนไฮดริสเอทานอลร้อยละ 20 และเอทิลอะซิเตทร้อยละ 7 เทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่า มีค่า *BTE* ลดลงร้อยละ 6 และค่า *BSFC* เพิ่มขึ้นร้อยละ 4 ขณะที่การปล่อยปริมาณ CO ลดลงร้อยละ 41 และปริมาณควันดำลดลง แต่ปริมาณ CO_2 เพิ่มขึ้นร้อยละ 66

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ [2-3] และ [10-12] นำเสนอการผสมเอทิลอะซิเตทในอัตราส่วนคงที่ เพื่อเพิ่มเลขซีเทน และลดการปล่อยสารมลพิษจากแก๊สไอเสีย เนื่องจากเอทิลอะซิเตทมีราคาประหยัดกว่า และสามารถหาได้ง่ายกว่า แต่ไม่ได้นำเสนอการแยกชั้นเมื่อปรับอัตราส่วนผสม และผลกระทบต่อสเปรย์เชื้อเพลิง และสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ขับเคลื่อนภายในรถยนต์เมื่อ

ใช้น้ำมันดีเซลผสมแอนไฮไดรส์เอทานอลและเอทิลอะซิเตทในอัตราส่วนต่างๆ ดังนั้น งานวิจัยนี้ นำเสนอผลของการเพิ่มส่วนผสมของแอนไฮไดรส์เอทานอลและเอทิลอะซิเตทต่อคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง และตรวจสอบการสเปรย์เชื้อเพลิง และสมรรถนะของเครื่องยนต์ภายในรถยนต์แบบกระบอกที่ขับเคลื่อนตำแหน่งเกียร์สูงสุด

2. วิธีการวิจัย

2.1 น้ำมันเชื้อเพลิง

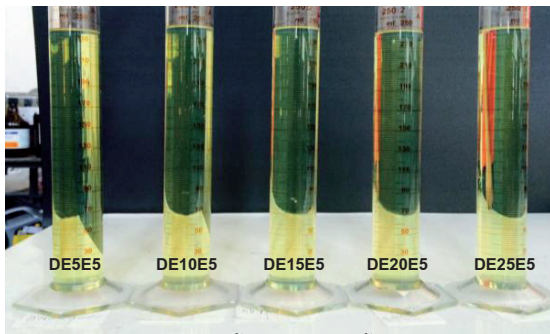
เอทานอลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นแอนไฮไดรส์เอทานอลหรือเอทานอลที่ปราศจากน้ำ ซึ่งมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 และเอทิลอะซิเตทมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.6 ซึ่งเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ผสมกับน้ำมันดีเซลโดยกระบวนการอิมัลชัน (Emulsion) และใช้เครื่องอิเล็กโตรแมกเนติก (Electromagnetic Machine) ในกระบวนการผสม กำหนดความเร็วรอบการกวนผสมที่ 800 rpm เวลา 30 min และอุณหภูมิการผสม 40 °C ส่วนการผสมน้ำมันดีเซล:เอทานอล:เอทิลอะซิเตทนั้น แบ่งออกเป็นน้ำมันกลุ่ม A คือน้ำมันดีเซลผสมเอทานอลร้อยละ 5-25 และเอทิลอะซิเตทคงที่ร้อยละ 5 (DE5E5, DE10E5, DE15E5, DE20E5 และ DE25E5) และน้ำมันกลุ่ม B คือน้ำมันดีเซลผสมเอทานอลร้อยละ 2-14 และเอทิลอะซิเตทร้อยละ 3-11 (DE2E3, DE5E5, DE8E7, DE11E9 และ DE14E11) โดยศึกษาและประยุกต์จากเฟสไดอะแกรมของงานวิจัย Hansen และคณะ [5] หลังจากนั้น ทำการทดสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันทั้งสองกลุ่ม ได้แก่ เสถียรภาพของน้ำมัน ค่าความร้อน และความหนาแน่นของเชื้อเพลิงโดยเทียบกับน้ำมันดีเซล

ขณะที่เสถียรภาพของน้ำมันทั้งสอง ตรวจสอบจากการผสมเป็นเนื้อเดียวกันและการแยกชั้นของน้ำมัน ผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบการผสมและการแยกชั้นของน้ำมันทั้งสอง โดยรูปที่ 1 (ก) แสดงการผสมเป็นเนื้อเดียวกันของน้ำมันกลุ่ม A และต่อมารูป (ข) แสดงผลของการแยกชั้นของน้ำมันกลุ่ม A พบว่า น้ำมัน DE5E5 และ DE10E5 มีสีเหลืองใสและยังผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนน้ำมัน DE15E5 จะมีสีเหลืองขุ่น ซึ่งแสดงว่าเสถียรภาพของน้ำมันกำลังจะหมดไป [5] และน้ำมัน DE20E5 และ DE25E5 เห็นชั้นของเอ

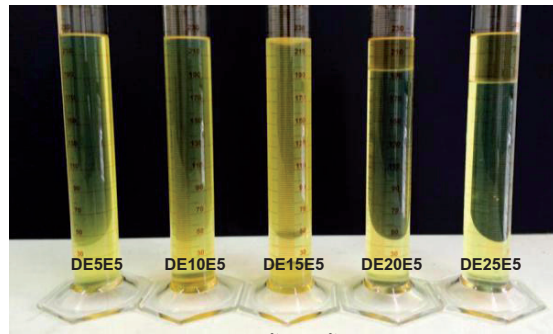
ทานอลลอยอยู่ด้านบนของน้ำมันดีเซล ทั้งนี้สาเหตุมาจากน้ำมันดีเซลเป็นสารไม่มีขั้ว ส่วนเอทานอลเป็นสารมีขั้ว เมื่อใช้เอทิลอะซิเตทในอัตราส่วนคงที่ในการลดแรงตึงผิว ทำให้เสถียรภาพของน้ำมันลดลง

ในรูปที่ 1 (ค) แสดงการผสมของน้ำมันกลุ่ม B และต่อมารูป (ง) แสดงการแยกชั้นของน้ำมันกลุ่ม B พบว่า น้ำมันกลุ่ม B มีสีคล้ายคลึงกับน้ำมันกลุ่ม A และน้ำมัน DE8E7, DE11E9 และ DE14E11 เห็นชั้นของเอทานอลลอยอยู่ด้านบนของน้ำมันดีเซลน้อยกว่าน้ำมันกลุ่ม A ขณะที่เปรียบเทียบระหว่างน้ำมัน DE25E5 กับน้ำมัน DE14E11 พบว่า มีปริมาณเอทานอลลดลงร้อยละ 18.3 แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มเอทิลอะซิเตทสามารถละลายขั้วของน้ำมัน ทำให้การผสมของน้ำมันดีขึ้น ต่อมาตรวจสอบระยะเวลาในการผสมกันของน้ำมันทั้งสอง โดยการบรรจุน้ำมันทั้งสอง ในกระบอกแก้วที่มีการปิดฝาอย่างสนิท และวางไว้ในห้องทดสอบ ผลลัพธ์ที่ได้ดังตารางที่ 1 พบว่า น้ำมันกลุ่ม A มีเวลาในการแยกชั้นรวดเร็วกว่าน้ำมันกลุ่ม B ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hansen และคณะ [5] โดยน้ำมัน DE2E3 และ DE5E5 ใช้กับรถยนต์ได้ เนื่องจากมีเสถียรภาพของน้ำมันดีกว่า

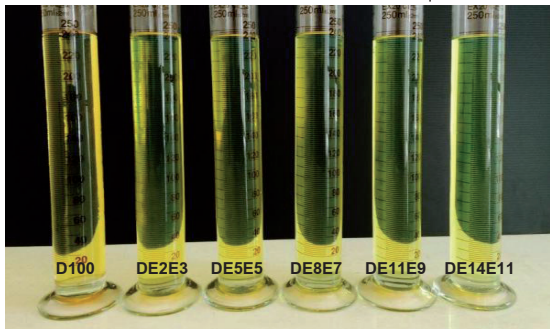
หลังจากนั้น นำน้ำมันทั้งสองกลุ่มนี้ ไปตรวจสอบที่ห้องปฏิบัติการภาควิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงหาจากอัตราส่วนของน้ำหนักน้ำมันที่ให้ออกมาต่อปริมาตรของน้ำมันที่บรรจุภายในกระบอกแก้วขนาด 250 ml ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า น้ำมันกลุ่ม A ให้ค่าความหนาแน่นลดลงร้อยละ 0.73 ถึง 3.29 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล แต่น้ำมันกลุ่ม B ให้ค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและสูงกว่าน้ำมันกลุ่ม A ส่วนการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้น อ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM D240 โดยค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ได้เป็นค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value, LHV) ผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า น้ำมันกลุ่ม A ให้ค่า LHV ลดลงร้อยละ 0.88 ถึง 9.96 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ขณะที่น้ำมันกลุ่ม B ให้ค่า LHV ลดลงร้อยละ 0.13 ถึง 9.25 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ดังนั้น น้ำมัน DE2E3 และ DE5E5 ให้ค่าความหนาแน่นและความร้อนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด



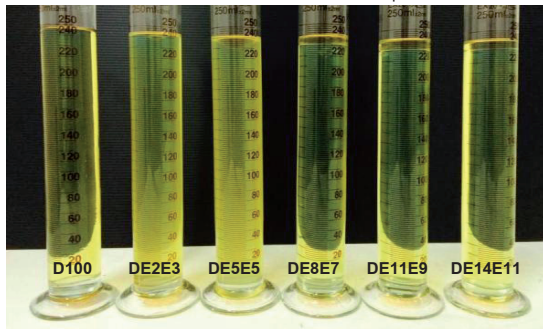
(ก) การผสมเป็นเนื้อเดียวกันของน้ำมันกลุ่ม A



(ข) การแยกชั้นของน้ำมันกลุ่ม A



(ค) การผสมเป็นเนื้อเดียวกันของน้ำมันกลุ่ม B



(ง) การแยกชั้นของน้ำมันกลุ่ม B

รูปที่ 1 การตรวจสอบการผสมเป็นเนื้อเดียวกันของน้ำมันเชื้อเพลิง

ตารางที่ 1 การตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง

น้ำมันกลุ่ม A		Diesel	DE5E5	DE10E5	DE15E5	DE20E5	DE25E5
	ระยะเวลาในการแยกชั้น	-	24 (days)	5 (days)	15 (hr)	7 (hr)	4 (hr)
	ค่าความหนาแน่น ณ 32 °C, kg/m ³	820	814	804	799	796	793
	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง, MJ/kg	44.028	43.139	42.905	41.695	40.569	39.644
น้ำมันกลุ่ม B		-	DE2E3	DE5E5	DE8E7	DE11E9	DE14E11
	ระยะเวลาในการแยกชั้น	-	ไม่แยกชั้น	24 (days)	16 (days)	9 (days)	7 (days)
	ค่าความหนาแน่น ณ 32 °C, kg/m ³	-	816	814	809	800	796
	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง, MJ/kg	-	43.972	42.139	42.144	41.585	39.955

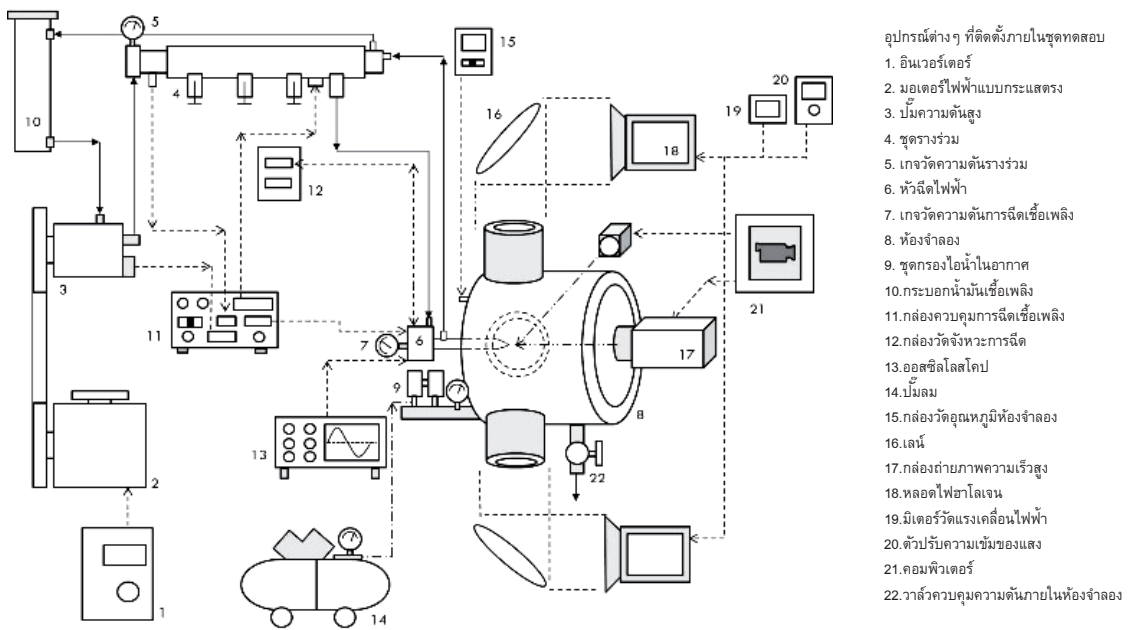
2.2 การทดสอบการสเปรย์เชื้อเพลิง

ในการทดสอบการสเปรย์นั้น มีการตรวจสอบรูปร่างของสเปรย์เชื้อเพลิง มุมสเปรย์ (spray angle, θ) ความยาวจริงของสเปรย์ (real spray tip penetration, $x_{t,r}$) และความดันของการฉีดเชื้อเพลิง (fuel injection pressure, p_{inj}) โดยมีอุปกรณ์และวิธีการทดสอบดังนี้

2.2.1 อุปกรณ์การทดสอบการสเปรย์เชื้อเพลิง

ในรูปที่ 2 แสดงแผนภาพการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ภายในชุดทดสอบการฉีดเชื้อเพลิง โดยดัดแปลงระบบฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ TOYOTA รุ่น VIGO ให้ควบคุมความดันและจังหวะการฉีดเชื้อเพลิง (หมายเลข 11) และตรวจสอบความดันภายในรางร่วม (common-rail pressure, p_{cr}) ซึ่งเป็นความดันของน้ำมันที่อยู่ในรางร่วม

(หมายเลข 4) โดยบันทึกจากค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากเครื่องหมายเลข 11 และนำมาสอบเทียบเป็นค่า p_{cr} ซึ่งอ่านจากเกจวัดความดันหมายเลขที่ 5 ซึ่งค่า p_{cr} นี้เกิดจากปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูง (หมายเลข 3) ผลักดันน้ำมันให้เข้าไปอยู่ในท่อรางร่วม เมื่อค่า p_{cr} เหมาะสม น้ำมันจะถูกส่งไปยังหัวฉีดเล็กๆ บนหัวฉีด (หมายเลข 6) โดยมีเซ็นเซอร์ตรวจจับความดันของการฉีดเชื้อเพลิงอยู่ด้านบนของหัวฉีดต่อกับกล่องแสดงผลหมายเลขที่ 12 โดยเทียบกับเกจวัดความดันหมายเลขที่ 7 และค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อ่านได้จากออสซิลโลสโคป (หมายเลข 13) และนำค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อ่านได้เทียบกับกล่องหมายเลขที่ 12 เป็นค่า p_{inj}



รูปที่ 2 ชุดทดสอบการสเปรย์เชื้อเพลิง

ขณะที่การควบคุมการทำงานของระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วมนี้ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า (หมายเลข 2) ซึ่งมีความเร็วรอบสูงสุด 1400 rpm ขนาด 10 hp ต่อกับอินเวอร์เตอร์ (หมายเลข 1) ที่ปรับความถี่สูงสุด 50 Hz เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังในการขับปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูง (หมายเลข 3) เพื่อส่งเชื้อเพลิงเข้าไปในรางร่วม (หมายเลข 4) และส่งเชื้อเพลิงไปที่หัวฉีด (หมายเลข 6) ซึ่งหัวฉีดที่ใช้เป็นหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์แบบ 6 รู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.02 mm ต่อเข้ากับห้องจำลองการฉีดเชื้อเพลิง (หมายเลข 8) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm ความยาว 30 cm และความหนา 2.5 cm ซึ่งสามารถเพิ่มความดันของอากาศภายในห้องจำลองได้สูงสุด 2.0 MPa ขณะที่การควบคุมและตรวจสอบอัตราการไหลของเชื้อเพลิงใช้กระบอกเชื้อเพลิงขนาด 1000 ml (หมายเลข 10) ต่อทางเข้าปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูง (หมายเลข 3)

2.2.2 วิธีการทดสอบการสเปรย์เชื้อเพลิง

ในการทดสอบการฉีดเชื้อเพลิงนั้น เริ่มต้นจากการอัดอากาศเข้าไปในห้องจำลองที่ความดัน 1 MPa โดยใช้ปั๊มอัดอากาศ (หมายเลข 14) อัดอากาศเข้าชุดกรองอากาศ (หมายเลข 9) และตรวจสอบความดันของอากาศจากเกจวัดความดัน ส่วนอุณหภูมิภายในห้องจำลองตรวจสอบจากเครื่องวัดอุณหภูมิ (หมายเลข 15) ต่อมา

ปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์คงที่ 10 Hz เพื่อให้มอเตอร์ขับปั๊มเชื้อเพลิง เพื่อผลักดันน้ำมันเข้าไปอยู่ในท่อรางร่วมและตรวจสอบค่า p_{cr} จากเครื่องหมายเลข 11 และเกจวัดความดันหมายเลขที่ 5 เมื่อค่า p_{cr} เหมาะสม กดปุ่มด้านบนเครื่องหมายเลข 11 เพื่อส่งน้ำมันไปยังหัวฉีด หลังจากนั้น ทำการบันทึกค่าความดันและแรงเคลื่อนไฟฟ้าของค่า p_{cr} และค่า p_{inj} เทียบกับการเคลื่อนที่ของความถี่จากเครื่องออสซิลโลสโคป (หมายเลข 13) ส่วนการวัดอัตราการไหลของน้ำมันนั้น ใช้ปริมาณน้ำมันคงที่ 20 ml และบันทึกเวลาที่ใช้ไปโดยจับเวลาผ่านนาฬิกาจับเวลา ซึ่งแสดงความละเอียด 0.01 sec ขณะที่การบันทึกภาพสเปรย์เชื้อเพลิง ใช้การบันทึกวิดีโอจากกล้องถ่ายรูปดิจิทัลแบบ DSLR รุ่น D750-Nikon (หมายเลข 17) ที่ใช้เซนเซอร์รับภาพแบบ CMOS Sensor EXPEED 4 Image Processor มีความละเอียดของภาพ 24.3 ล้านพิกเซล ความเร็วชัตเตอร์ 30-1/4000 sec บันทึกวิดีโอ 60 f/s และถ่ายภาพต่อเนื่อง 6.5 f/s โดยต่อกับเลนส์ Nikon AF-S 24-120mm f/4G ED VR และการจัดแสงใช้หลอดไฟแบบสปอร์ตไลท์ (หมายเลข 18) ขนาด 150 W แบบปรับแสงได้จำนวน 2 ชุด (หมายเลข 20) โดยมีการปรับมุมการฉายแสงของหลอดไฟผ่านเลนส์หมายเลขที่ 16 เข้าไปจุดศูนย์กลางของหัวฉีดในห้องจำลองการฉีดเชื้อเพลิง (หมายเลข 8)

2.2.3 การวิเคราะห์ภาพวีดีโอ

หลังจากการบันทึกภาพการสเปรย์เชื้อเพลิงภายในห้องจำลองนั้น จะนำภาพวีดีโอไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมการตัดภาพที่เวลาการฉีดคงที่ 0.8 วินาที และนำภาพถ่ายการสเปรย์เชื้อเพลิงทุกภาพมาปรับขนาดให้เท่ากันที่อัตราส่วน 1:2 จากนั้นลากเส้นแกนสเปรย์ที่ความยาวของสเปรย์ (x_i) คงที่ 50 mm เส้นความยาวด้านบนและล่างของสเปรย์ และเส้นตัดกับเส้นทั้งสามและบันทึกค่าระยะความกว้างของสเปรย์จากโปรแกรมเพื่อนำไปคำนวณมุมสเปรย์ (θ) โดยคำนวณจากสมการ [13-14] ตามสมการที่ (1)

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left(\frac{w}{2x_i} \right) \quad (1)$$

โดยที่ w = ความกว้างของสเปรย์ที่ขยายออกไป ที่ระยะ $x_i = 50$ mm

x_i = ความยาวของสเปรย์ที่ฉีดพุ่งออกจากหัวฉีด โดยกำหนดให้ความยาวของสเปรย์คงที่ 50 mm และเริ่มนับจากสเปรย์ถูกฉีดจากรูของหัวฉีด

2.3 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล

2.3.1 อุปกรณ์การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

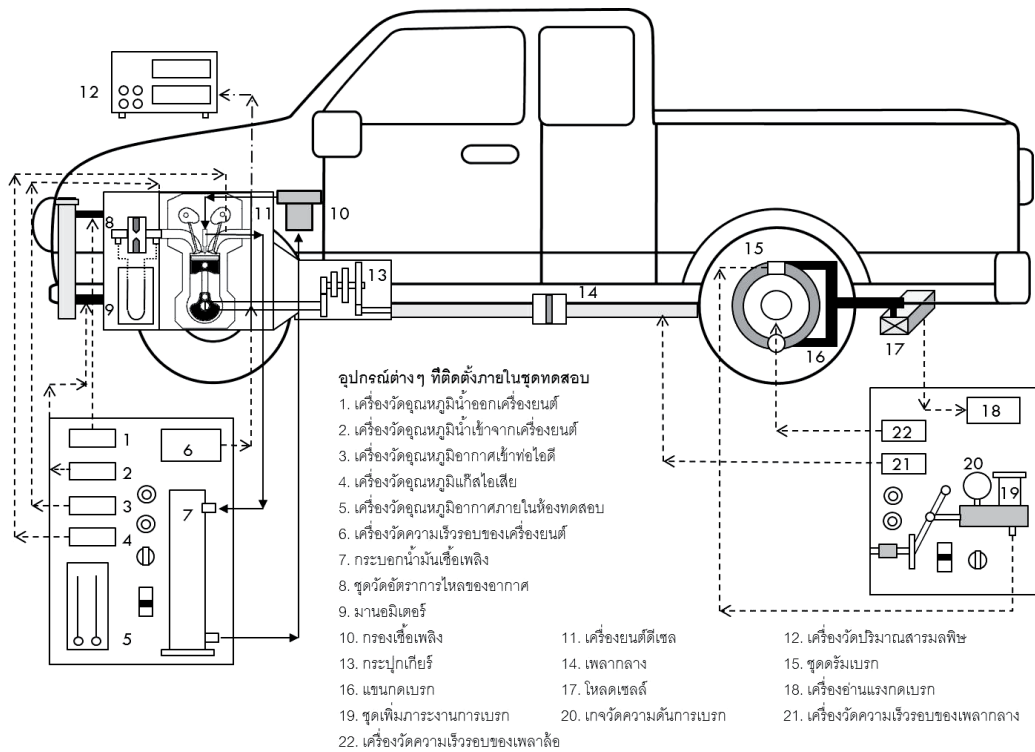
ในรูปที่ 3 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อจัดทำเป็นชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ภายในรถยนต์แบบกระเบของบริษัทฟอร์ด รุ่น Ranger โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระเบิดเชื้อเพลิงโดยตรง 4 สูบ 4 จังหวะ ขนาดความจุ 2,500 cc ต่อกับระบบขับเคลื่อนล้อหลังที่ใช้เกียร์แบบกลไก 5 เกียร์ ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2 โดยส่วนหน้าของรถยนต์นั้นเครื่องยนต์ต่อกับหม้อน้ำของรถยนต์ และติดตั้งชุดวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชุดวัดอัตราการไหลของอากาศก่อนเข้าท่อไอดีด้วยแผ่นออโรฟิสต่อกับมาตรเมตร (หมายเลข 8) และติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (ชนิดของไส้แบบ K ขนาดของไส้ 0.65 mm และมีอุณหภูมิใช้งานสูงสุด 1300 °C) ต่อกับเครื่องควบคุมอุณหภูมิ LT400-101000 เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศเข้าท่อไอดี (หมายเลข 3) อุณหภูมิของแก๊สไอเสีย (หมายเลข 4) และอุณหภูมิทางเข้าและออกของระบบหล่อเย็น (หมายเลข 1 และ 2)

การวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และเพลาท้ายใช้เครื่องแสดงผลแบบดิจิตอล รุ่น PM digital indicator RPM meter ที่มีความเที่ยงตรงในการวัด $\pm 0.05\%$ (หมายเลข 6) ซึ่งต่อกับ Proximity switch ของบริษัท AECO ที่มีระยะตรวจจับ 0-35 mm ความไวในการทำงาน 10 Hz และ ระยะทำซ้ำ $< 10\%$ SN นอกจากนี้ มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลเชื้อเพลิงโดยใช้กระบอกเชื้อเพลิง (หมายเลข 7) ขนาด 500 ml และสุดท้ายมีการตรวจสอบปริมาณควันดำโดยบันทึกจากเครื่องวัดควันดำ EKOS exhaust gas analyzer รุ่น 9000 (หมายเลข 12) ซึ่งมีค่าความหนาแน่นของความทึบแสง (Opacity density) 0 – 9.99 K(m⁻¹) หรือ K/m

ส่วนการเพิ่มภาระงานของเครื่องยนต์นั้น มีการดัดแปลงชุดระบบเบรกของรถยนต์ จากการใช้แม่ปั๊มเบรกของรถยนต์ (หมายเลข 19) ต่อเข้ากับชุดตรัมเบรก (หมายเลข 15) ของล้อหลัง เพื่อทำเป็นไดนาโมมิเตอร์แบบความเสียดทาน โดยอ่านค่าแรงดันเบรกจากเกจวัดความดัน (หมายเลข 20) และค่าแรงบิดหรือทอร์กจากเครื่องอ่านน้ำหนักที่มีความละเอียด 0.001 kg ซึ่งต่อกับโหลดเซลล์แบบ Shear beam compression ขนาด 5 ตัน (หมายเลข 17) ที่ติดตั้งกับแกนกดเบรก (หมายเลข 16) และชุดตรัมเบรกล้อหลังของรถยนต์ฟอร์ด

2.3.2 วิธีการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์นั้น เริ่มต้นจากการอุ่นเครื่องยนต์เป็นเวลา 15 นาที โดยไม่มีการเข้าเกียร์ ต่อมาทำการทดสอบตามสภาวะการทดสอบที่ได้แสดงในตารางที่ 2 โดยเริ่มต้นจากการทดสอบการใช้น้ำมันดีเซล (D100) เป็นเชื้อเพลิง หลังจากนั้น เปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันกลุ่ม A ได้แก่ น้ำมัน DE5E5, DE10E5, DE15E5, DE20E5 และ DE25E5 และน้ำมันกลุ่ม B ได้แก่ DE2E3, DE5E5, DE8E7, DE11E9 และ DE14E11 โดยทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,000-3,000 rpm ณ ภาระงานสูงสุดจากแรงกดของชุดตรัมเบรก และทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ข้อมูลความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เพลากลาง และเพลาท้าย ทอร์กที่ล้อของรถยนต์ อัตราการไหลของน้ำมัน และอุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศเข้าท่อร่วมไอดี อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น และอุณหภูมิแก๊สไอเสีย และนำไปคำนวณสมรรถนะของเครื่องยนต์



รูปที่ 3 ชุดทดสอบสมรรถนะของรถยนต์

ตารางที่ 2 ข้อมูลของรถยนต์และสภาวะการทดสอบ

ข้อมูลของรถยนต์ที่ใช้ในการวิจัย	
1. ข้อมูลของเครื่องยนต์	
รุ่น	FORD Ranger 2009 Single cab
ระบบฉีดเชื้อเพลิง	Direct injection
จำนวนกระบอกสูบ (Cyl)	4
กระบอกสูบ x ช่วงชัก (mm)	96 x 102
ปริมาตรกระบอกสูบ (cc)	2,497 cc
อัตราส่วนอัด	18:1
กำลังงานสูงสุด (hp) / ความเร็วรอบ (rpm)	115 / 3,200
แรงบิดสูงสุด (N-m) / ความเร็วรอบ (rpm)	380 / 1,800
2. ระบบส่งกำลัง	
ระบบขับเคลื่อน	ล้อหลัง
ระบบเกียร์	กระปุกเกียร์แบบกลไก 5 เกียร์
สภาวะการทดสอบ	
รายการ	สภาวะที่กำหนด
ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm) เชื้อเพลิงที่ทดสอบ	1,000 - 3,000±50 D100/ น้ำมันกลุ่ม A/ น้ำมันกลุ่ม B
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ภาระงาน	80±5 °C แรงดันเบรกสูงสุด
ปริมาณเชื้อเพลิง	20 ml

2.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

สมรรถนะของเครื่องยนต์ [13, 15] นั้นจะพิจารณาจากกำลังงานของเครื่องยนต์ (Engine power, P_e) ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption, $BSFC$) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (Brake Specific Energy Consumption, $BSEC$) และประสิทธิภาพทางความร้อน (Thermal efficiency, BTE) โดยคำนวณตามสมการที่ (2)-(6)

$$\tau_w = \frac{\eta_i i_g i_f \tau_e}{100} \quad (2)$$

$$P_e = 2\pi \tau_e N_e \quad (3)$$

$$BSFC = \frac{\dot{m}_f}{P_e} \quad (4)$$

$$BSEC = LHV * BSFC \quad (5)$$

$$BTE = \frac{P_e}{\dot{m}_f LHV} \quad (6)$$

เมื่อ τ_w = ทอร์กที่ล้อของรถยนต์ (N.m)
 τ_e = ทอร์กของเครื่องยนต์ยนต์ (N.m)
 η_t = ประสิทธิภาพการส่งกำลัง (%) โดยที่
 ประสิทธิภาพการส่งกำลังของรถยนต์แบบกะบะใช้กระปุก
 เกียร์แบบกลไกร้อยละ 85 [16]
 i_g = อัตราทดของเกียร์ที่
 i_f = อัตราทดของเฟืองท้าย
 N_e = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)
 $\dot{m}_f$ = อัตราการไหลของน้ำมัน (kg/sec)
 LHV = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง
 (MJ/kg)

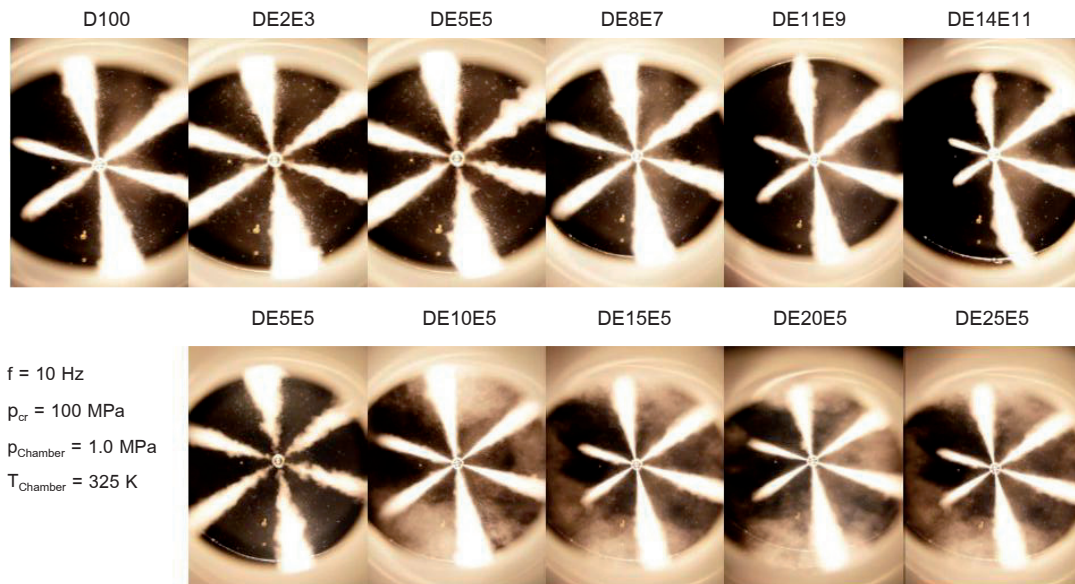
3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการวิจัยการสเปรย์เชื้อเพลิง

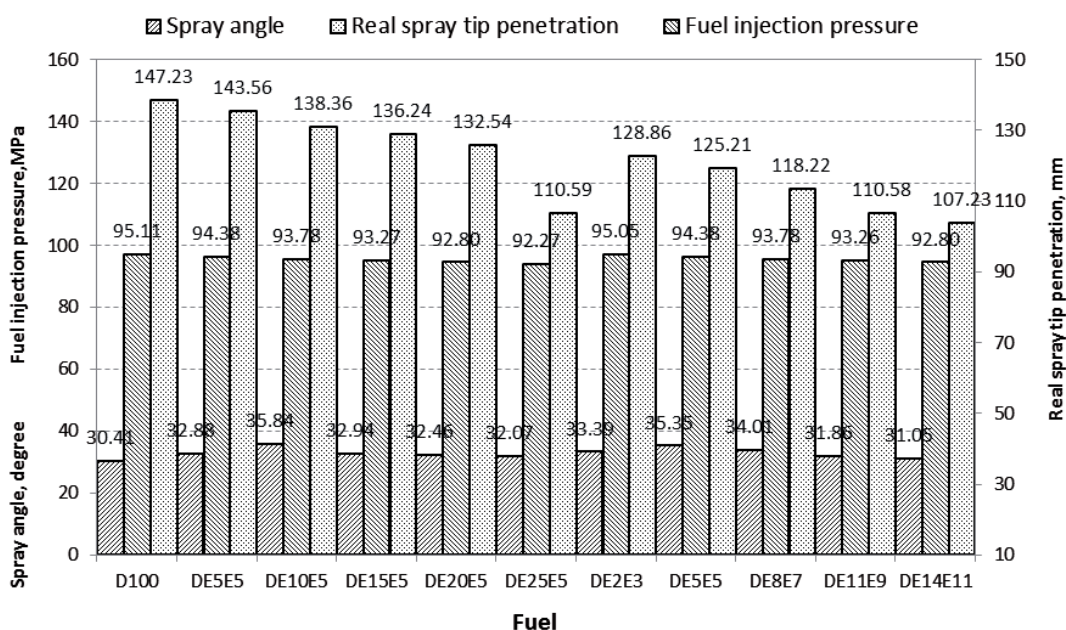
ในรูปที่ 4 แสดงผลการสเปรย์เชื้อเพลิงของน้ำมัน
 ทั้งสองกลุ่มเทียบกับน้ำมันดีเซล ซึ่งทำการปรับอัตราส่วน
 ของภาพเป็น 1:10 โดยน้ำมันที่ทดสอบจะถูกฉีดออกจาก
 หัวฉีดเข้าไปในห้องจำลอง ณ ความดัน 1.0 MPa และ
 อุณหภูมิ 325 K ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า การสเปรย์น้ำมันดี
 โซลทั้งสองกลุ่มนั้น ทำให้ความยาวจริงของสเปรย์สั้น

กว่าน้ำมันดีเซล แต่รูปกรวยของสเปรย์น้ำมันดีโซลล์ทั้ง
 สองกลุ่มกว้างกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากน้ำมันดีโซลล์มี
 เอทานอลผสมอยู่ ซึ่งกระตุ้นการแตกกระจายของหยด
 เชื้อเพลิงจากแกนของเหลว หรือแกนของสเปรย์ที่ออก
 จากรูหัวฉีดได้ง่ายกว่า และระเหยกลายเป็นไอเชื้อเพลิง
 รวดเร็วกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของที่
 [17] ถึง [20]

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ได้ค้นพบว่าการใช้น้ำมัน
 กลุ่ม A (น้ำมัน DE15E5 ถึง DE25E5) และน้ำมันกลุ่ม B
 (น้ำมัน DE11E9 และ DE14E11) มีรูปร่างของสเปรย์ที่
 ตรงกันข้ามกับงานวิจัยของ Han และคณะ [17] และ
 งานวิจัยของ Kim และคณะ [18] นั่นคือ ความยาวจริง
 ของสเปรย์ที่ฉีดพุ่งออกจากหัวฉีดสั้นลงและรูปกรวยของ
 สเปรย์แคบลง ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการผสมเอทานอลและ
 เอทิลอะซิเตทในน้ำมันดีเซลตามสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้
 ค่าความหนืดและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงลดลง [20-
 22] ส่งผลให้ความดันในการยกเข็มหัวฉีดลดลง และ
 น้ำมันมีความสามารถในการอัดตัวได้มากขึ้น ทำให้
 จังหวะการฉีดล่าช้าลง และปริมาณของน้ำมันออกจาก
 เข็มหัวฉีดลดลง [14, 20, 23]



รูปที่ 4 ภาพการสเปรย์ของเชื้อเพลิงที่ฉีดพุ่งเข้าไปในห้องจำลองที่ความดันอากาศคงที่



รูปที่ 5 การตรวจสอบคุณลักษณะของการฉีดเชื้อเพลิง

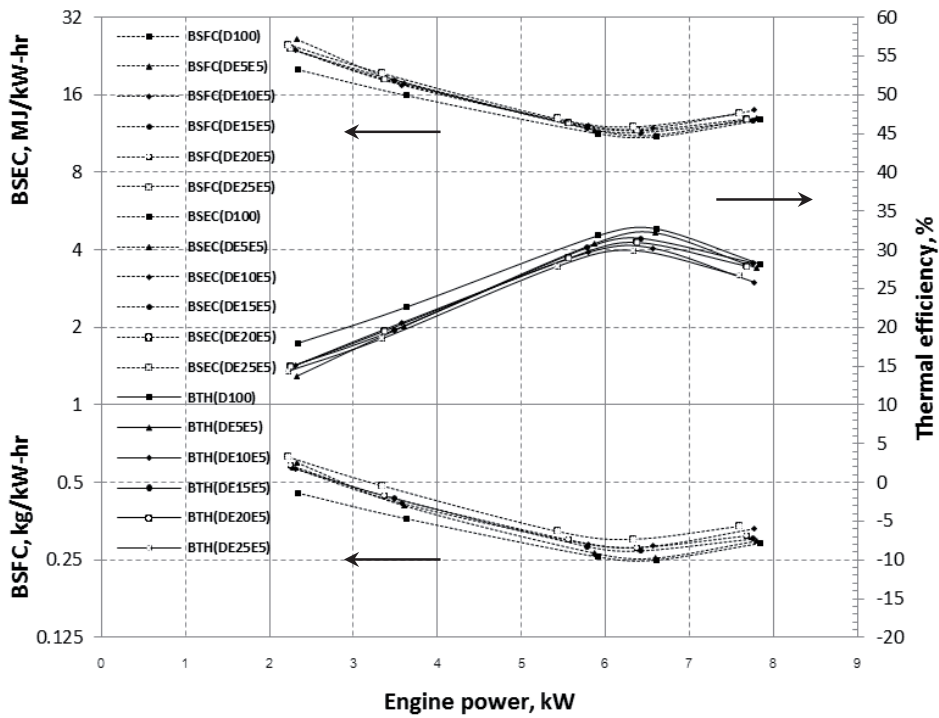
ในรูปที่ 5 แสดงผลการตรวจสอบคุณลักษณะการสเปรย์เชื้อเพลิง ได้แก่ มุมสเปรย์ (θ) ความยาวจริงของสเปรย์ ($x_{t,r}$) และความดันของการฉีดเชื้อเพลิง (p_{inj}) ของน้ำมันกลุ่ม A และกลุ่ม B เทียบกับน้ำมันดีเซลพบว่า การใช้น้ำมัน DE5E5 ถึง DE10E5 ทำให้มุม θ เพิ่มขึ้น 17.85 องศา แต่การใช้น้ำมัน DE15E5 ถึง DE25E5 ทำให้มุม θ ลดลง 5.50 องศาเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ขณะที่การใช้น้ำมัน DE2E3 ถึง DE5E5 ทำให้มุม θ เพิ่มขึ้น 16.28 องศา แต่การใช้น้ำมัน DE8E7 ถึง DE14E11 ทำให้มุม θ ลดลง 2.13 องศา ขณะที่การวัดค่า $x_{t,r}$ จากอัตราส่วนของภาพ 1:10 พบว่า การใช้น้ำมันกลุ่ม A มีค่า $x_{t,r}$ ลดลง 3.65-36.62 mm และการใช้น้ำมันกลุ่ม B มีค่า $x_{t,r}$ ลดลง 18.35-39.98 mm เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ จากผลลัพธ์ของมุมสเปรย์และความยาวจริงของสเปรย์นี้แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมันกลุ่ม B นั้น มีมุมสเปรย์และความยาวจริงของสเปรย์มากกว่าการใช้น้ำมันกลุ่ม A

เนื่องจากเอทานอลและเอทิลอะซิเตทอยู่ในกลุ่มแอลกอฮอล์ โดยน้ำมันกลุ่ม A นั้น มีปริมาณของแอลกอฮอล์มากกว่าน้ำมันกลุ่ม B ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ปริมาณแอลกอฮอล์จำนวนมากผสมกับน้ำมันดีเซล ทำให้การสเปรย์เชื้อเพลิงแยกลง อย่างไรก็ตาม เมื่อ

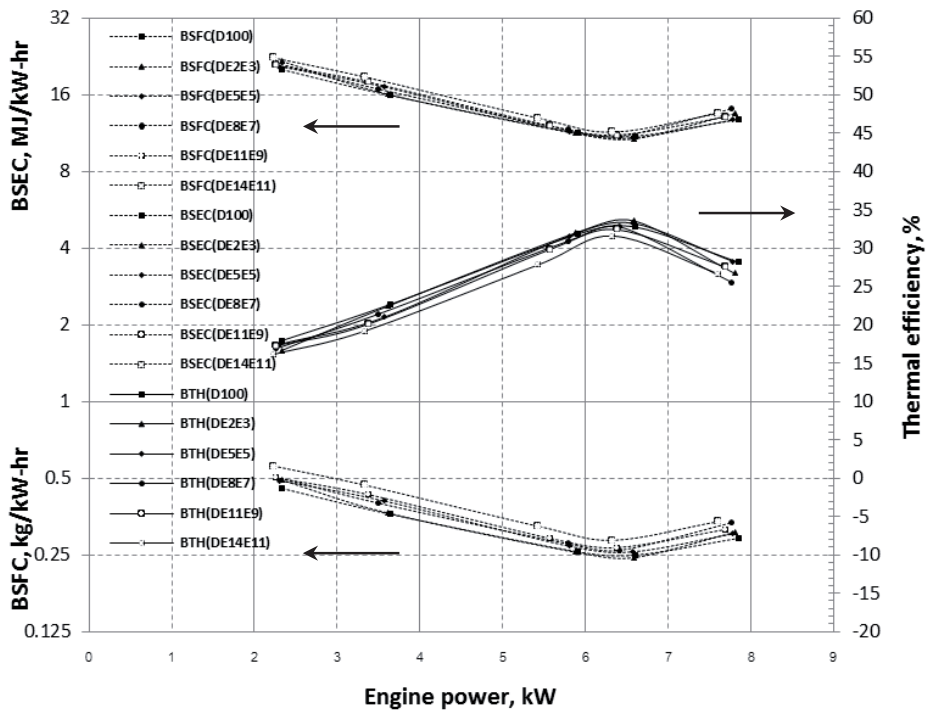
ตรวจสอบค่า p_{inj} ของน้ำมันดีเซลทั้งสองแบบพบว่าการใช้น้ำมันกลุ่ม A นั้น มีค่า p_{inj} ลดลงร้อยละ 0.76-2.98 และการใช้น้ำมันกลุ่ม B มีค่า p_{inj} ลดลงร้อยละ 0.05-2.43 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อเปรียบเทียบค่า p_{inj} ของน้ำมันกลุ่ม A และกลุ่ม B พบว่า น้ำมันกลุ่ม B มีค่า p_{inj} สูงกว่าน้ำมันกลุ่ม A เพราะน้ำมันกลุ่ม A มีปริมาณของเอทานอลมากกว่าน้ำมันกลุ่ม B ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ [1], [9], [19] และ [22] นำเสนอว่า การผสมเอทานอลในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของน้ำมันลดลง แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อความดันภายในรางร่วม เพราะความดันภายในรางร่วมมีค่าไม่ถึงตามที่กำหนดจะไม่มีการส่งน้ำมันไปยังหัวฉีด แต่ความดันของการฉีดเชื้อเพลิงลดลง เนื่องจากความดันในการอัดน้ำมันเพื่อยกเข้มน้ำมันในหัวฉีดลดลง เพราะค่าความหนาแน่นลดลง ทำให้ความสามารถในการอัดตัวได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันของน้ำมันลดลง และเกิดความล่าช้าในการเอาชนะแรงกดของสปริงบนเข็มหัวฉีด ทำให้การเริ่มต้นของการฉีดน้ำมันช้าลง

3.2 ผลการวิจัยสมรรถนะของเครื่องยนต์

ในรูปที่ 6 แสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ขณะขับเคลื่อนเกียร์สูงสุดบนแท่นทดสอบ เมื่อใช้น้ำมันกลุ่ม A และ B เทียบกับน้ำมันดีเซล



(ก) สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีโซฮอล์กลุ่ม A



(ข) สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีโซฮอล์กลุ่ม B

รูปที่ 6 สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีโซฮอล์เทียบกับน้ำมันดีเซล

โดยทดสอบที่ความเร็วรอบ $1,000-3,000 \pm 50$ rpm การทำงานสูงสุดจากแรงกดของชุดตรัมเบรกที่อ่านผ่านโพลดิเชลล์ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า น้ำมันดีโซลล์ทั้งสองแบบนี้ให้ค่า P_e ลดลงเล็กน้อย เนื่องจากค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล การใช้น้ำมันกลุ่ม A (ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก)) มีค่า BTE ลดลง แต่การใช้น้ำมันกลุ่ม B นั้น มีค่า BTE แตกต่างกัน โดยการใช้ น้ำมัน DE2E3 และ DE5E5 ให้ค่า BTE ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gnanamoorthi และ Devaradjane [11] เนื่องจากเอทานอลและเอทิลอะซิเตทเป็นแอลกอฮอล์ซึ่งมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เมื่อผสมกับน้ำมันดีเซล ทำให้อะตอมของออกซิเจนจับกับองค์ประกอบของน้ำมันดีเซล และปรับปรุงเลขซีเทนและปฏิกิริยาการเผาไหม้ ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วงการเผาไหม้แบบควบคุมการผสม (mixing-controlled) ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนดีขึ้น [8]

ในทางตรงกันข้าม การใช้ น้ำมัน DE8E7 ถึง DE14E11 และน้ำมัน DE10E5 ถึง DE25E5 ให้ค่า BTE ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ [8] และ [11] เนื่องจากการเพิ่มผลรวมของเอทานอลและเอทิลอะซิเตสมากกว่าร้อยละ 10 ทำให้ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูงขึ้น นำไปสู่การสูญเสียความร้อนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เลขซีเทนลดลง และนำไปความล่าช้าของการจุดระเบิดยาวขึ้น และต่อมาเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เพิ่มขึ้นในจังหวะการขยายตัว นอกจากนี้ การลดลงของค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนเชื้อเพลิง (ดังแสดงในรูปที่ 2) นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง เพื่อให้กำลังงานของเครื่องยนต์ออกมาใกล้เคียงกัน จากผลกระทบโดยรวมของปัจจัยเหล่านี้จึงนำไปสู่การลดลงของ BTE [3, 8, 11]

ขณะที่การใช้ น้ำมัน DE2E3 และ DE5E5 มีค่า $BSFC$ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเทียบกับน้ำมันดีเซลซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gnanamoorthi และ Devaradjane [11] แต่การใช้ น้ำมัน DE8E7 ถึง DE14E11 และน้ำมัน DE10E5 ถึง DE25E5 นั้น ให้ค่า $BSFC$ เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ [3] และ [12] เพราะว่าแอมไฮดรอสเอทานอลและเอทิลอะซิเตสมีค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล เมื่อ

ใช้น้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรอสเอทานอลและเอทิลอะซิเตสในอัตราส่วนที่เพิ่มสูงขึ้น จะต้องใช้ปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันดีเซล เพื่อให้กำลังงานของเครื่องยนต์ออกมาใกล้เคียงกัน ทำให้มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันดีเซล [8-13] ยิ่งไปกว่านั้น การใช้ น้ำมันดีโซลล์กลุ่ม A และ B นั้น ให้ค่า $BSEC$ มากกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gomasta และ Mahla [3] เนื่องจากค่า BTE ลดลง และค่าความร้อนของน้ำมันดีเซลผสมแอมไฮดรอสเอทานอลและเอทิลอะซิเตทต่ำกว่าน้ำมันดีเซล นำไปสู่การสูญเสียพลังงานเพิ่มขึ้น

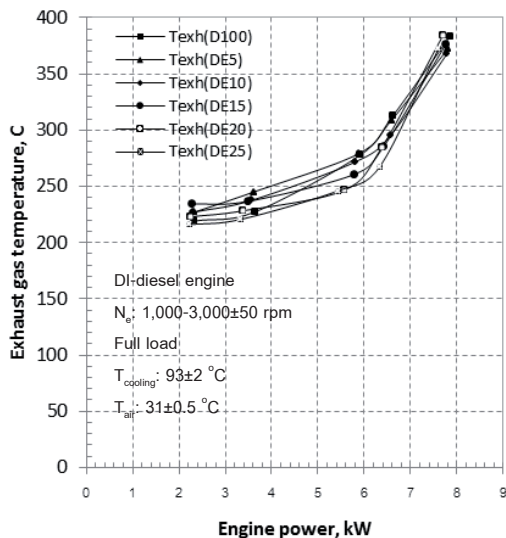
ในรูปที่ 7 แสดงผลของอุณหภูมิแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ (T_{exh}) ที่ใช้สภาวะการทดสอบเดียวกับการทดสอบของสมรรถนะของเครื่องยนต์ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าที่ความเร็วรอบ $1,000-1,500$ rpm การใช้ น้ำมันดีโซลล์กลุ่ม A นั้น ให้ค่า T_{exh} สูงกว่าน้ำมันดีเซล (รูปที่ 7 (ก)) ซึ่งตรงกันข้ามกับการใช้น้ำมันดีโซลล์กลุ่ม B ให้ค่า T_{exh} ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (รูปที่ 7 (ข)) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้น้ำมันดีโซลล์กลุ่ม A นั้น มีส่วนผสมของเอทานอลมากกว่าการใช้ น้ำมันดีโซลล์กลุ่ม B และเอทานอลมีค่าเลขซีเทนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล [2] ทำให้การเคลื่อนที่ของเปลวไฟล่าช้า ส่งผลให้มีการปลดปล่อยความร้อนเพิ่มขึ้นในช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ (late combustion) และมีอุณหภูมิแก๊สไอเสียสูงขึ้นขณะที่วาล์วไอเสียเปิด [13] แต่ใช้น้ำมันดีโซลล์กลุ่ม B มีเอทิลอะซิเตทผสมมาก ทำให้ค่าเลขซีเทนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล [5] และมีการเริ่มต้นของการเผาไหม้รวดเร็วขึ้น ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของเปลวไฟรวดเร็วกว่า และการปลดปล่อยความร้อนลดลงในช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ ส่งผลให้อุณหภูมิแก๊สไอเสียต่ำกว่าน้ำมันดีเซล [2, 5, 13]

นอกจากนี้ น้ำมันดีโซลล์ทั้งสองกลุ่ม มีอัตราส่วนของออกซิเจนในองค์ประกอบที่ผสมแตกต่างกัน และแอมไฮดรอสเอทานอลมีองค์ประกอบของออกซิเจนมากกว่าเอทิลอะซิเตท (ดังแสดงในตารางที่ 1) ดังนั้น การเพิ่มอัตราส่วนของแอมไฮดรอสเอทานอลโดยใช้เอทิลอะซิเตทคงที่ในน้ำมันดีเซล ทำให้มีค่า T_{exh} สูงกว่าน้ำมันดีเซล [14] เมื่อเทียบกับการเพิ่มสัดส่วนของแอมไฮดรอสเอทานอลและเอทิลอะซิเตทที่เหมาะสม ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และขณะที่เผาไหม้มีอุณหภูมิของการเผาไหม้ต่ำลง ทำให้ค่า T_{exh} ลดลง [24-25] ขณะที่ความเร็ว

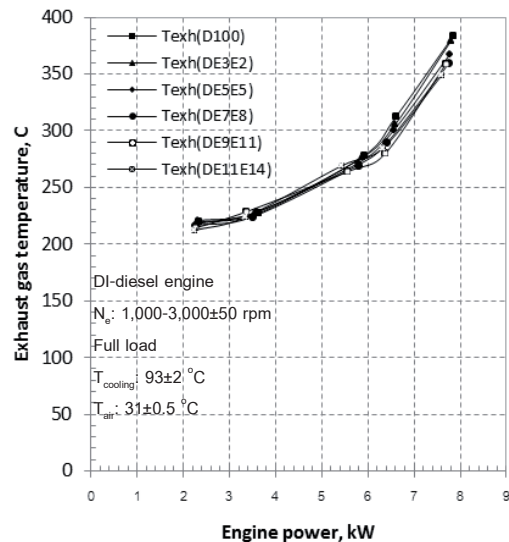
รอบ 2,000-3,000 rpm เมื่อใช้น้ำมันดีเซลทั้งสองแบบนี้ มีค่า T_{exh} ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ [2, 5, 24]

หลังจากนั้น ตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2,500 rpm และใช้น้ำมันกลุ่ม A เทียบกับน้ำมันดีเซลพบว่า กำลังงานเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ขณะที่

ค่า BTH ลดลงร้อยละ 2.18-18.56 ค่า $BSFC$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.03-46.00 และค่า $BSEC$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.12-77.30 อุณหภูมิของแก๊สไอเสียต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 1.01-14.41 ส่วนการปล่อยปริมาณควันดำลดลงร้อยละ 5.82-27.40 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ [3] และ [11-12]



(ก) อุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่ใช้น้ำมันดีเซลแบบ A



(ข) อุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่ใช้น้ำมันดีเซลแบบ B

รูปที่ 7 อุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่ใช้น้ำมันดีเซลเทียบกับน้ำมันดีเซล

ขณะที่การใช้น้ำมันกลุ่ม B เทียบกับน้ำมันดีเซลพบว่า กำลังงานเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ค่า BTH ลดลงร้อยละ 0.87-11.75 ค่า $BSFC$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.00-24.87 และค่า $BSEC$ เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.02-53.53 อุณหภูมิของแก๊สไอเสียต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 2.23-8.85 และการปล่อยปริมาณควันดำลดลงร้อยละ 3.43-20.21 จากที่กล่าวมาพบว่า การใช้น้ำมันดีเซลกลุ่ม B ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีกว่าน้ำมันดีเซลกลุ่ม A เพราะว่ามีปริมาณของแอลกอฮอล์ผสมกับน้ำมันดีเซลอย่างเหมาะสม ขณะที่การใช้น้ำมัน DE2E3 และ DE5E5 ให้ค่า BTH ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ค่า $BSFC$ และ $BSEC$ เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่า T_{exh} ลดลงเล็กน้อย เนื่องจากมีความร้อนและความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลนี้ ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ยิ่งไปกว่านั้น การใช้น้ำมัน DE2E3 และ DE5E5 มีการปล่อยปริมาณของควันดำต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่ได้กล่าวมาสามารถสรุปได้ดังนี้

1) น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลร้อยละ 25 และเอทิลอะซิเตทร้อยละ 5 มีคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงต่ำสุด และมีค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนน้อยกว่าร้อยละ 3.29 และ 9.96 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ขณะที่การเพิ่มส่วนผสมของเอทานอลร้อยละ 2 ถึง 5 และเอทิลอะซิเตทร้อยละ 3 ถึง 5 มีค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และเสถียรภาพของน้ำมันดีเซลที่สุด

2) การใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลร้อยละ 10 และเอทิลอะซิเตทร้อยละ 5 เพิ่มมุมสปรี 17.85 องศา แต่การใช้ส่วนผสมของเอทานอลมากกว่าร้อยละ 10 ส่งผลให้มุมสปรีลดลง 5.5 องศา ความยาวจริงของสปรีสั้นลง 36.62 มิลลิเมตร และความดันของการฉีดลดลงร้อยละ 2.98 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

3) การเพิ่มส่วนผสมของเอทานอลและเอทิลอะซิเตท ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนลดลง ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและพลังงานเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิของแก๊สไอเสียและการปล่อยควันดำลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ขณะที่การเพิ่มส่วนผสมของเอทานอลร้อยละ 2 ถึง 5 และเอทิลอะซิเตทร้อยละ 3 ถึง 5 ให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและพลังงานเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนอุณหภูมิของแก๊สไอเสียและการปล่อยปริมาณของควันดำต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การสนับสนุนสำหรับการทำงานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณคุณบุญชู มุ่งกลาง คุณสิทธิพงษ์ คำสุสิน และคุณอุทิศ พันวัน ที่ช่วยเก็บข้อมูล และให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ จนกระทั่งการวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Labeckas, G., Slavinskas, S., Lus, T., Klyus, O., Mažeika, M. Combustion and performance parameters of a diesel engine operating on ethanol-diesel fuel blends. Scientific Journals, Maritime University of Szczecin. 2013; 36(108):102-109.
- [2] Kumar, S., Cho, J.H., Park, J., Moon, I. Advances in diesel-alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013; 22:46-72.
- [3] Gomasta, S., Mahla, S.K. An experimental investigation of ethanol blended diesel fuel on engine performance and emission of a diesel engine. International Journal on Emerging Technologies. 2012; 3(1):74-79.
- [4] Corkwell, K.C., Jackson, M.M., Daly, D.T. Review of exhaust emissions of compression ignition engines operating on E-diesel fuel blends. SAE Technical, series No. 2003-01-3283.
- [5] Hansen, A.C., Zhang, Q., Lyne, P.W.L. Ethanol-diesel fuel blends-a review. Bioresource Technology. 2005; 96:277-285.
- [6] Li, D., Zhen, H., Lu, X., Zhang, W. Yang, J. Physiochemical properties of ethanol-diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines. Renewable Energy. 2005; 30(6):967-976.
- [7] Kass, M.D., Thomas, J.F., Storey, J.M., Domingo, N., Wade, J., Kenreck, G. Emissions from a 5.9 liter diesel engine fueled with ethanol diesel blends. SAE Technical Paper. 2001; 1: 2018-2027.
- [8] Al-Hassan, M., Mujafet, H., Al-Shannag, M. An experimental study on the solubility of a diesel-ethanol blend and on the performance of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel-ethanol blends. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering. 2012; 6(2):147-153.
- [9] เอกชัย สุธีรศักดิ์, เพ็ชรพงษ์ สุกใส, สราวุธ ฤทธิอร่าม, ศรีณย์ โพสาวัง, อติวิชญ์ สิริวิชัยกุล. การตรวจสอบสเปย์เชื้อเพลิงและสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ส่วนผสมดีเซลผสมเอทานอล. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อ. 2558; 8(1): 1-14.
- [10] ธีัญญธร อิศราชีวะ. ผลกระทบของสาร Oxygenated Additive ในลักษณะทางอิมัลชันของการผสมน้ำมันดีเซลกับเอทานอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเคมี วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.
- [11] Gnanamoorthi, V., Devaradjane, G. Effect of diesel-ethanol blends on performance, combustion and exhaust emission of a diesel engine. Internal Journal of Current Engineering and Technology. 2013; 3(1):36-42.

- [12] Kumar, C., Athawe, M., Aghav, Y.V., Babu, M.K.G., Das, L.M. Effects of ethanol addition on performance, emission and combustion of DI diesel engine running at different injection pressures. SAE Technical Paper. 2007; 1:626-638.
- [13] Heywood, J.B. Internal Combustion Engine Fundamental. McGraw -Hill, New York. 1988.
- [14] Desantes, J. M., Pastor, J. V., Oliver. J. M. G. Briceño, F. J. An experimental analysis on the evolution of the transient tip penetration in reacting diesel sprays. Combustion and Flame. 2014; 161:2137-2150.
- [15] Stone, R., Ball, J.K. Automotive Engineering Fundamentals. SAE International. 2004.
- [16] Ryborz, J. Automotive transmissions: fundamental selection, design and application, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1999.
- [17] Han, P.S., Junepyo, C., Hyung J.K., Chang, S.L. Influence of ethanol blends on the combustion performance and exhaust emission characteristics of a four-cylinder diesel engine at various engine loads and injection timings. Fuel. 2011; 90:748-755.
- [18] Kim, Y., Tomita, E., Lee, K. Effects of ethanol added fuel on exhaust emissions and combustion in a PCCI diesel engine. Thermal Science International Scientific Journal. 2015; 1:1-17.
- [19] Garai. A. Spray characterization of single hole ci engine nozzle and hollow cone nozzle using different types of ethanol blended diesel fuel. Master of Engineering in Automobile Engineering, the Faculty of Engineering & Technology, Jadavpur University, Kolkata. 2014.
- [20] Han, P.S., Junepyo, C., Hyung, J.K., Chang, S.L. Effect of early injection strategy on spray atomization and emission reduction characteristics in bioethanol blended diesel fueled engine. Energy. 2012; 39:375-387.
- [21] Satge´ de Caroa, P., Moulounguia, Z., Vaitilingomb, G., Bergec, J.C. 2001. Interest of combining an additive with diesel-ethanol blends for use in diesel engines. Fuel. 2001; 80:565-574.
- [22] Hea, B. Q., Shuaia, S. J., Wanga, J.X., He, H. The effect of ethanol blended diesel fuels on emissions from a diesel engine. Atmospheric Environment. 2003; 37:4965-4971.
- [23] Han, P.S., Junepyo, C., Hyung J.K., Chang, S.L. Influence of ethanol blends on the combustion performance and exhaust emission characteristics of a four-cylinder diesel engine at various engine loads and injection timings. Fuel. 2011; 90:748-755.
- [24] Durga Prasad, S., Venkateswara Rao, G., Sri Rama Murthy, K. Effect of diesel-ethanol blends on performance of a diesel engine at different injection pressures. International Journal of Scientific & Engineering Research. 2013; 4(6):1223-1231.
- [25] Putrasaria, Y., Nura, A., Muharama, A. Performance and emission characteristic on a two cylinder DI diesel engine fuelled with ethanol-diesel blends. Energy Procedia. 2013; 32:21-30.