บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย

5.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง

จากการรายงานผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง ตามที่แสดงในตาราง 4.1 แล้วนั้น ได้นำผลการทดสอบที่ได้ไปเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลชุมชนสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (TBS; Thai biodiesel standards for agricultural engines) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ (TMES; Thai Methyl ester standards) และน้ำมันดีเซล (TDS; Thai diesel standards) ซึ่งประกาศโดยกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน [37-39] ดังแสดงในตาราง 5.1 จะเห็นได้ว่า น้ำมัน CB100 มีค่าความหนืดสูงที่สุด แต่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซลชุมชน และไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ แม้ว่าจะมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของดีเซลก็ตาม ส่วนน้ำมัน B3 และ B0 ผ่านเกณฑ์การยอมรับทั้ง 3 มาตรฐาน

ความหนาแน่นของน้ำมัน CB100 มีค่าสูงกว่าน้ำมัน B3 และ B0 โดยมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซลชุมชน และไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ที่จำกัดให้อยู่ในช่วง 860-900 kg/m^3

สมบัติการไหลในสภาวะที่เย็นเป็นตัวบ่งบอกถึงการนำไปใช้ในทางการค้า สมบัติที่สำคัญของการไหลในสภาวะเย็นของไบโอดีเซลคือ ค่าจุดขุ่นตัว และค่าจุดไหลเท โดยค่าทั้งสองนี้ไมมีการกำหนดมาตรฐานไว้ในประกาศกรมธุรกิจพลังงานของไบโอดีเซลชุมชนและไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ แต่ได้มีมาตรฐานของน้ำมันดีเซลซึ่งกำหนดค่าจุดไหลเทไว้ที่ $\leq$10 °C ค่านี้ต้องมีค่าน้อย เพื่อทำให้น้ำมันสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำ โดยค่าทั้งสองนี้ของน้ำมัน CB100 จะสูงกว่าน้ำมัน B3 และ B0 การอุดตันที่อุณหภูมิต่ำอาจเป็นปัญหาสำหรับการสตาร์ทเครื่องในภาวะอากาศเย็นเนื่องจากจะทำให้มอเตอรไมทำงาน อากาศเย็นจะทำให้มีความหนืดสูงจนกลายเป็นของแข็ง แต่สำหรับการใช้งานในประเทศไทยที่อุณหภูมิแวดล้อมสูงกว่า 30 °C จึงมีแนวโน้มที่จะไม่เป็นปัญหาสำหรับการนำไปใช้งาน อีกทั้งถ้าต้องการนำไปใช้ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 °C การใส่สารเติมแต่งลงไปเพื่อเพิ่มการไหลของไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่ำ เช่น เมทาครีเลตโพลีเมอร์ แวซ์อัลคีเลต ฟีนอล ฯลฯ ก็สามารถช่วยลดปัญหาด้านนี้ได้ ในส่วนของจุดไหลเทที่ได้จากการวิเคราะห์นั้น เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซลที่ได้กำหนดไว้ คือ $\leq$ 10 °C พบว่า น้ำมันทุกชนิดผ่านเกณฑ์ข้อกำหนด

ในด้านของความปลอดภัยในการขนส่งและการเก็บรักษา พบว่า น้ำมัน CB100 มีจุดวาบไฟสูงถึง 150 °C ขณะที่น้ำมัน B3 และ B0 มีจุดวาบไฟเท่ากับ 57 และ 56 °C แสดงให้เห็นว่าน้ำมัน CB100 มีอัตราการระเหยเป็นไอต่ำ จึงง่ายต่อการขนส่งและการเก็บรักษา ซึ่งตามมาตรฐานน้ำมันได้กำหนดให้จุดวาบไฟของไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าดีเซล โดยไบโอดีเซลชุมชนและไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ถูกกำหนดให้มีค่ามาตรฐานเท่ากันคือ ≥120 °C ส่วนน้ำมันดีเซล คือ ≥52 °C

เมื่อพิจารณาถึงค่าความร้อน น้ำมัน CB100 จะมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมัน B3 และ B0 สำหรับค่าซีเทน (cetane number) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการจุดติดไฟ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้แม้จะไม่ได้ทำการทดสอบ แต่พบการรายงานค่าซีเทนกรณีน้ำมันไบโอดีเซลชุมชนของเทศบาลเมืองลำพูน ซึ่งมีการใช้วัตถุดิบและมีขั้นตอนการผลิตเช่นเดียวกับน้ำมันไบโอดีเซลชุมชนจากเทศบาลตำบลอุโมงค์ที่ใช้ในการทดสอบนี้ จึงสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงได้ โดยมีค่าซีเทนเท่ากับ 67.8 [12] และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของไบโอดีเซลชุมชนและไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ พบว่าอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนด ซึ่งกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 47 และ 51 ตามลำดับ

ค่าความหนืดของน้ำมัน CB100 นอกจากจะผ่านเกณฑ์ตามข้อกำหนดคุณภาพมาตรฐานของไบโอดีเซลชุมชน และไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ที่ประกาศโดยกรมธุรกิจพลังงานแล้วนั้น เมื่อนำไปเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของประเทศอื่นๆ พบว่า น้ำมัน CB100 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา จีน ไต้หวัน อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น เกาหลี มาเลเซีย และอินเดียด้วย อีกทั้งค่าความหนาแน่นก็เช่นเดียวกัน เพียงแต่ทางสหรัฐอเมริกาไม่มีข้อกำหนดค่าความหนาแน่นเท่านั้นเอง [12]

ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมัน CB100 โดยนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ไปเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น จึงสรุปได้ว่าน้ำมัน CB100 ของเทศบาลตำบลอุโมงค์ เป็นน้ำมันไบโอดีเซลชุมชนที่ค่อนข้างมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี

ตาราง 5.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง และเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงจากประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

สมบัติทางกายภาพ	น้ำมันเชื้อเพลิง			เกณฑ์มาตรฐาน		
และเคมี	CB100	B3	B0	TBS[1]	TMES[2]	TDS[3]
ความหนืด (cSt)	4.672 ± 0.003	3.103 ± 0.002	3.102 ± 0.002	1.9-8.0	3.5-5.0	1.8-4.1
ความหนาแน่น (kg/m^3)	880.0 ± 0.0	840.0 ± 0.0	827.0 ± 0.0	860-900	860-900	-
จุดขุ่นตัว (°C)	17.0 ± 1.15	6.0 ± 1.15	7.0 ± 1.15	-	-	-
จุดไหลเท (°C)	7.0 ± 1.15	-6.0 ± 1.15	-8.0 ± 1.15	-	-	≤10
จุดวาบไฟ (°C)	150.0 ± 6.66	57.0 ± 3.79	56.0 ± 4.58	≥120	≥120	≥52
ค่าความร้อน (MJ/kg)	46.38 ± 3.84	49.76 ± 1.02	49.08 ± 2.93	-	-	-

[1] TBS; ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลชุมชนสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร [37] (ภาคผนวก ก)

[2] TMES; ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน [38] (ภาคผนวก ก)

[3] TDS; ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล [39] (ภาคผนวก ก)

5.2 ปริมาณอนุภาคไอเสียจากการเผาไหม้กับน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ

จากผลการทดสอบปริมาณเฉลี่ยของอนุภาคไอเสียที่ได้จากการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิง CB100, B3 และ B0 ดังตาราง 4.2 นั้น พบว่า น้ำมัน CB100 สามารถลดปริมาณอนุภาคไอเสียขนาด PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณอนุภาคไอเสียของน้ำมัน B0 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของผู้อื่นจำนวนมาก สรุปได้ดังตาราง 5.2

จากผลการทดสอบปริมาณอนุภาคไอเสียซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยต่างๆ ดังแสดงผลสรุปในตาราง 5.2 นั้น พบว่า มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณอนุภาคไอเสียเหมือนกัน นอกจากนี้ ธนียา และคณะ ได้รายงานการลดลงของปริมาณมลพิษอื่นๆ ด้วย ได้แก่ CO, CO_2, HC และ NO_x มีเพียง NO_2 เท่านั้นที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น [12]

สาเหตุที่การใช้น้ำมันไบโอดีเซล แสดงผลการลดลงของปริมาณอนุภาคไอเสียได้ มีผู้ศึกษาอธิบายว่า ในน้ำมันไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดี จึงทำให้การเผาไหม้ในกระบอกสูบเป็นไปอย่างสมบูรณ์ [22, 40, 41]

ในภาพ 4.1 ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น น้ำมันเชื้อเพลิงทุกชนิดที่ใช้ในการทดสอบมีปริมาณอนุภาคไอเสีย PM_{10} มากกว่า $PM_{2.5}$ โดยน้ำมัน CB100, B3 และ B0 มีปริมาณอนุภาคไอเสียขนาด PM_{10} สูงกว่า $PM_{2.5}$ คิดเป็นร้อยละ 34, 41 และ 68 ตามลำดับ

ตาราง 5.2 สรุปผลงานวิจัยที่ทำการศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่ออนุภาคไอเสียและมลพิษอื่น จากการเผาไหม้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ไบโอดีเซล

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล	เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ	ความเร็วรอบเครื่อง	อนุภาคไอเสีย	มลพิษอื่นๆ	ผลเมื่อเปรียบเทียบกับ B0	ประเทศ/อ้างอิง
เมล็ดเรพ (Rapeseed)	- เครื่องยนต์ดีเซลรุ่น MAN - ระบบฉีดน้ำมันตรง (direct injection; DI) - 4 จังหวะ - 6 ลูกสูบ	1,000-2,100 rpm	น้ำมันไบโอดีเซลมีปริมาณอนุภาคไอเสียน้อยกว่า โดย B70 และ B100 สามารถลดปริมาณฝุ่นลงได้ร้อยละ 45 และ 60 ตามลำดับ	-CO ของ B5, B20, B70 และ B100 ลดลงร้อยละ 12, 25, 31 และ 35 ตามลำดับ -HC มีปริมาณน้อยในน้ำมันทุกชนิด -โดยไบโอดีเซลมีน้อยกว่าดีเซลปิโตรเลียม	ในกระบวนการเผาไหม้น้ำมัน การจุดติดระเบิดของไบโอดีเซลจะช้ากว่าดีเซลปิโตรเลียม แต่ไม่ต่างกับค่ามาตรฐานของน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมมากนัก	ตุรกี Buyukkaya [42]
น้ำมัน Mahua (ละมุดอินเดีย) (*Madhuca indica*)	- เครื่องยนต์ดีเซลรุ่น Kirloskar - ระบบฉีดน้ำมันตรง (DI) - 4 จังหวะ - 1 ลูกสูบ	1,500 rpm	ลดลงร้อยละ 11 โดยประมาณ	CO, HC, NO_x ลดลงร้อยละ 58, 63 และ 4	น้ำมันไบโอดีเซลมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ได้สมบูรณ์กว่าจึงปลดปล่อยมลพิษน้อยกว่าดีเซลปิโตรเลียม เหมาะที่จะใช้เป็นพลังงานทดแทนกับเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในกรณีศึกษานี้	อินเดีย Puhan *et al.* [43]

ตาราง 5.2 (ต่อ)

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล	เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ	ความเร็วรอบเครื่อง	อนุภาคไอเสีย	มลพิษอื่นๆ	ผลเมื่อเปรียบเทียบกับ B0	ประเทศ/อ้างอิง
น้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว	- เครื่องยนต์ดีเซล Land Rover รุ่น TDI-110 Turbo–Inter Cooler - ระบบฉีดน้ำมันตรง (DI) - 4 ลูกสูบ	1,750-4,400 rpm	ลดลงร้อยละ 22.46	CO_2, CO, และ NO_x ลดลงร้อยละ 8.05, 17.13 และ 1.45 ตามลำดับ	เป็นน้ำมันที่สามารถใช้กับเครื่องยนต์โดยไม่ต้องผ่านการดัดแปลงเครื่องยนต์ และมีราคาถูกกว่าน้ำมันดีเซล ปิโตรเลียม	ตุรกี Utlu and Kocak [44]
น้ำมันไบโอดีเซลชุมชนที่ผลิตโดยใช้น้ำมันใช้แล้วเป็นวัตถุดิบ	- เครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร รุ่น Yanmar TF75LM - 4 จังหวะ - 1 สูบนอน - ระบายความร้อนด้วยน้ำ	1,800 rpm	ลดลงร้อยละ 70.3-93.0	CO_2, CO, NO_x, pyrene และ benzo*[a]*pyrene ลดลงร้อยละ 45, 50, 45, 90 และ 95 ตามลำดับ NO_2 เพิ่มขึ้นร้อยละ 25	การใช้น้ำมันไบโอดีเซลชุมชนช่วยลดมลพิษในอากาศและลดความเสี่ยงต่อการสัมผัสสาร PAHs	ไทย ธนียา และคณะ [12]

ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลนั้นมีส่วนประกอบของสารพิษหลายร้อยชนิด ทั้งในสถานะก๊าซและฝุ่นขนาดเล็กผสมปะปนกันอยู่ ซึ่งอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 10 และ 2.5 ไมครอนนี้ สามารถเข้าไปสู่ระบบทางเดินหายใจและปอดได้เป็นอย่างดี จึงอาจก่อให้เกิดความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจได้ เนื่องจากในอนุภาคฝุ่นมีสารหลายชนิดที่เป็นสารก่อมะเร็งและ/สารก่อกลายพันธุ์ เช่น PAHs และ NPAHs ดังนั้น การใช้น้ำมันไบโอดีเซลสามารถช่วยลดมลพิษในอากาศส่งผลดีต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไบโอดีเซลถูกเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ ไม่มีปริมาณกำมะถัน จึงทำให้ไอเสียที่ออกจากเครื่องยนต์มีปริมาณเขม่าควันดำ ก๊าซเรือนกระจก ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน น้อยกว่าไอเสียจากการใช้น้ำมันดีเซลปิโตรเลียม

5.3 ฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของสารสกัดอนุภาคไอเสีย

สำหรับผลการทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของสารสกัดอนุภาคไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลจากการใช้น้ำมัน CB100, B3 และ B0 ทดสอบด้วยเชื้อแบคทีเรีย *S. thyphimurium* สายพันธุ์ TA100 ทั้งในสภาวะที่มีเอนไซม์และไม่มีเอนไซม์จากตับหนู พบว่าสารสกัดจากอนุภาคไอเสียของน้ำมันทั้ง 3 ชนิดไม่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์แบบ base substitution ที่ระดับความเข้มข้นของสารสกัดสูงสุด 100 µl/plate ทั้งที่เป็นการออกฤทธิ์แบบโดยตรง (direct-acting mutagenicity) และโดยอ้อม (indirect-acting mutagenicity) ที่ต้องผ่านการกระตุ้นด้วยเอนไซม์ในระบบเมแทบอลิซึมก่อน แต่พบว่าสารสกัด B3-$DEPM_{10}$ และ B0-$DEPM_{10}$ ในสภาวะที่ไม่ต้องการเอนไซม์กระตุ้น เริ่มแสดงฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ หรือที่เรียกว่ามีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์แบบอ่อนๆ (weak mutagenic activity)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากยังไม่เคยมีการรายงานเรื่องฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์จากอนุภาคไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรขนาดเล็กที่ทดสอบด้วยน้ำมันไบโอดีเซลชุมชนในประเทศไทยมาก่อน แต่พบว่ามีการรายงานฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของอนุภาคไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ (heavy duty diesel engine) ในประเทศต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น Burger *et al.* และ Krahl *et al.* ประเทศเยอรมัน ซึ่งทำการเปรียบเทียบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์โดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับดีเซลปิโตรเลียม ผลการศึกษารายงานว่า พบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ในอนุภาคไอเสียจากน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมสูงกว่าไบโอดีเซล [9, 29, 30]

นอกจากนี้มีการตรวจหาฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ที่อยู่ในอนุภาคฝุ่นในบรรยากาศตามชุมชนเมือง เช่น งานวิจัยของ Vinitketkumnuen *et al.* ซึ่งได้ทำการศึกษาในบริเวณต่างๆ ของจังหวัดเชียงใหม่ ก็สามารถตรวจพบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ตามชุมชนที่มีการจราจรแออัด ซึ่งอนุภาคฝุ่นที่ได้นำไปตรวจสอบนั้น ส่วนใหญ่ก็มาจากไอเสียของรถยนต์ รถโดยสาร ซึ่งเป็นเครื่องยนต์รอบสูงทั้งสิ้น

[32] เมื่อพิจารณาจากเหตุผลในเรื่องชนิดของเครื่องยนต์ ก็อาจจะอนุมานได้ว่า เครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงมีการปลดปล่อยมลพิษได้ในปริมาณมากกว่าเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ ฉะนั้น ประเด็นในเรื่องนี้จึงต้องทำการศึกษาต่อไปอนาคต โดยการทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ของอนุภาคไอเสียจากการเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลชุมชนกับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว

จากภาพ 4.2 พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปริมาณสารสกัดกับจำนวนโคโลนีกลายพันธุ์ คือ เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้นจำนวนโคโลนีกลายพันธุ์ก็เพิ่มขึ้นด้วย เรียกว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารและการตอบสนองต่อสารนั้นๆ (dose response curve) ซึ่งจากความสัมพันธ์ของกราฟที่พบนั้นอาจจะมีความเป็นไปได้ว่า หากเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารสกัดสูงกว่า 100 µl/plate จำนวนโคโลนีกลายพันธุ์ต่อจานเลี้ยงเชื้อที่ทดสอบด้วยสารสกัดอาจจะมีจำนวนสูงเกินกว่า 2 ของจำนวนโคโลนีกลายพันธุ์ต่อจานเลี้ยงเชื้อที่เกิดตามธรรมชาติ (background) ก็ได้ แต่ถึงอย่างไรผลที่ได้ก็คงมีแนวโน้มไม่ต่างจากการทดสอบในครั้งนี้ คือ สารสกัดอนุภาคไอเสียจากน้ำมัน CB100 มีฤทธิ์ทำให้โคโลนีของแบคทีเรียกลายพันธุ์น้อยกว่าสารสกัดอนุภาคไอเสียจากน้ำมัน B3 และ B0 ตามลำดับ ส่วนเหตุผลที่ใช้สารสกัดปริมาณความเข้มข้นสูงสุดที่ 100 µl/plate ในการทดสอบครั้งนี้ เป็นเพราะว่าปริมาณตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลชุมชนมีจำกัด จึงไม่สามารถทำการทดสอบในระดับความเข้มข้นที่สูงกว่านี้ได้ ประกอบกับสถานการณ์ความเป็นจริงของการใช้เครื่องจักรกลในการทำเกษตรกรรมนั้น ระยะเวลาที่ผู้ใช้ได้สัมผัสกับไอเสียจากเครื่องยนต์จะอยู่ในช่วง 4-8 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นการเก็บตัวแทนของอนุภาคไอเสียเป็นเวลา 10 ชั่วโมง จึงน่าจะเพียงพอที่จะสามารถใช้เป็นตัวแทนที่ดีของการทดลองได้

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนโคโลนีกลายพันธุ์ระหว่างสภาวะที่ต้องการเอนไซม์และไม่ต้องการเอนไซม์จากตับหนู พบว่า สารสกัดทุกชนิดที่ทดสอบด้วยสภาวะที่ไม่มีเอนไซม์กระตุ้น จะมีค่าเฉลี่ยของจำนวนโคโลนีกลายพันธุ์สูงกว่าสารสกัดที่ทดสอบด้วยสภาวะที่มีเอนไซม์กระตุ้น แสดงว่า สารสกัดจากน้ำมันทุกชนิดมีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์แบบโดยตรง (direct-acting mutagenicity) โดยสารสกัด $DEPM_{10}$ จะมีฤทธิ์ทำให้แบคทีเรียเกิดการกลายพันธุ์ได้มากกว่าสารสกัดจาก $DEPM_{2.5}$ โดยเฉพาะสารสกัด B0-$DEPM_{10}$ จะเห็นได้ว่ามีฤทธิ์ทำให้แบคทีเรียกลายพันธุ์จำนวนมากที่สุดเท่ากับ 145 โคโลนีต่อจานเลี้ยงเชื้อ แต่ไม่พบว่ามีสารสกัดใดที่สามารถทำให้จำนวนโคโลนีกลายพันธุ์ต่อจานเลี้ยงเชื้อสูงเกิน 2 เท่าของจำนวนโคโลนีกลายพันธุ์ที่เกิดตามธรรมชาติ (background) แสดงว่าสารสกัดจากอนุภาคไอเสียของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด ไม่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ทั้งแบบโดยตรง (direct-acting mutagenicity) และโดยอ้อม (indirect-acting mutagenicity)

จากที่เคยกล่าวไว้ข้างต้นในบทนำซึ่งระบุว่าไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลประกอบไปด้วยสารพิษหลายชนิด ที่สำคัญโดยเฉพาะสารประกอบ PAHs และ NPAHs โดยสารประกอบ PAHs เป็นสารที่

ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์แบบต้องการเอนไซม์มากระตุ้น (indirect-acting mutagenicity) ส่วนสารประกอบ NPAHs จะเป็นสารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์แบบไม่ต้องการเอนไซม์มากระตุ้น (direct-acing mutagenicity) [45, 46] ชนิดของสารที่อยู่ในกลุ่มสารประกอบ NPAHs ที่มีฤทธิ์ทำให้เกิดการกลายพันธุ์แบบ direct-acing mutagenicity อย่างแรง ได้แก่ 1,3-, 1,6-, และ 1,8-dinitropyrene (DNPs) และ 3-Nitrobenzanthrone (NBA) [47, 48] เมื่อพิจารณาผลการทดสอบฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์จากสารสกัดอนุภาคไอเสียของน้ำมันชนิดต่างๆ ที่ได้ในครั้งนี้ จะเห็นว่าในสภาวะ -S9 จะมีจำนวนของโคโลนีกลายพันธุ์ต่อจานเลี้ยงเชื้อมากกว่าในสภาวะ +S9 แสดงว่าสารสกัดไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลของน้ำมันทั้ง 3 ชนิด อาจจะมีสารประกอบพวก NPAHs อยู่ในปริมาณมาก จึงทำให้เกิดการกลายพันธุ์แบบ direct-acing mutagenicity ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของผู้อื่นในประเทศเยอรมัน เช่น Bunger *et al.* พบว่าไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ที่ทดสอบด้วยน้ำมันไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลมีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ต่อเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ TA100 แบบ direct-acting mutagenicity เนื่องจากในไอเสียมีส่วนประกอบของสาร NPAHs อยู่ โดยเฉพาะสาร nitrobenzanthrones ที่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์แบบ direct-acing mutagenicity อย่างแรง [9] ส่วน Yang *et al.* สรุปพบว่าไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลมีปริมาณความเข้มข้นของสาร NPAHs มากกว่า PAHs โดยสารที่ทำให้เกิดการกลายพันธุ์แบบ direct-acting mutagenicity ที่มีฤทธิ์รุนแรงมากที่สุดคือ 1,8-dinitropyrenes รองลงไปคือ 1,3-dinitropyrene, 3-nitrobenzanthrone และ 4-nitropyrene ตามลำดับ [49] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาปริมาณ PAHs และ 1-nitropyrene จากอนุภาคไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร ของ Nunto *et al.* โดยตรวจพบชนิดสารก่อกลายพันธุ์ที่มีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าสารชนิดอื่นๆ อันได้แก่ pyrene, fluoranthene และ 1-nitropyrene มากตามลำดับ [50]

5.4 สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรขนาดเล็ก

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้ทำการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่อกำลังเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อน ดังนี้

5.4.1 ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

จากการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของน้ำมัน CB100, B3 และ B0 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำมันของ CB100 และ B3 กับการใช้น้ำมันของ B0 ผลการทดสอบแสดงค่าเฉลี่ยอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ดังตาราง 4.6 พบว่า การเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมัน CB100 มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 17.73 ส่วนการเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมัน B3 จะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.33 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ B0 เป็นเชื้อเพลิง จากผลการทดสอบได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ วีรชัย และคณะ ซึ่งใช้น้ำมันไบโอ

ดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันใช้แล้วเปรียบเทียบกับดีเซลปิโตรเลียม และนำไปทดสอบสมรรถนะในเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าที่ควบคุมความเร็วรอบคงที่ 1,500 รอบต่อนาที พบว่า การใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.75 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ดีเซลปิโตรเลียมเป็นเชื้อเพลิง [51]

ธรรมศักดิ์ และอนุกูล ศึกษาโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่างๆ (B25, B50, B75 และ B100) มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลปิโตรเลียมอยู่ประมาณร้อยละ 10-15 [11]

Li *et al.* ศึกษาโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่า B100 มีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานมากที่สุด รองลงไปคือ B50 ส่วน B20 ไม่มีความแตกต่างกับ B0 [52]

Capareda *et al.* ศึกษาโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดฝ้ายเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะจะสูงขึ้นเมื่อใช้น้ำมันที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลในปริมาณสูงๆ เช่น B80 และ B100 [53]

ผลของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจากการใช้ไบโอดีเซลเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นนี้ เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซลต้องการเชื้อเพลิงเพื่อสร้างกำลังที่ภาระต่างๆ ให้คงที่ แต่ไบโอดีเซลที่ใช้ในการศึกษานี้มีค่าความร้อนต่ำกว่าดีเซล ดังนั้นเพื่อให้ได้กำลังเท่าเดิมเครื่องยนต์จึงต้องใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมากกว่าดีเซล

นอกจากนี้ ธรรมศักดิ์ และอนุกูล ได้เพิ่มข้อเสนอแนะว่า สำหรับเครื่องยนต์รุ่นใหม่ๆ ซึ่งมีการควบคุมการฉีดน้ำมันด้วยอิเล็กทรอนิกส์ การปรับจังหวะการฉีดน้ำมันในแต่ละช่วงความเร็วรอบอาจจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล หรือเชื้อเพลิงที่ผสมไบโอดีเซลได้ เนื่องจากไบโอดีเซลมีช่วงเวลาที่ล่าช้าในการเผาไหม้สั้นกว่าดีเซล ซึ่งอาจช่วยให้อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของไบโอดีเซลลดลงได้อีก [11]

5.4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ผลของการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน แสดงดังตาราง 4.7 พบว่าน้ำมัน CB100 และ B3 มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าน้ำมัน B0 ร้อยละ 9.81 และ 1.06 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Puhan *et al.* ในประเทศอินเดีย ศึกษาโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากเมล็ด Mahua (ละมุดอินเดีย) (*Madhuca indica*) ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล (Kirlokar) ซึ่งเป็นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (compression ignition) ลูกสูบเดี่ยว 4 จังหวะ ระบบฉีดน้ำมันตรง (direct injection) ด้วยอัตราเร็วคงที่ ผลการทดสอบพบว่า การทำงานเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันไบโอ

ดีเซลไม่แตกต่างจากการใช้น้ำมันดีเซล แต่อัตราการใช้น้ำมันมากกว่าร้อยละ 20 ค่าประสิทธิเชิงภาพความร้อน (thermal efficiency) มีค่าน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซลปิโตรลียมร้อยละ 13 [43]

ไพบูลย์ และคณะ ศึกษาโดยใช้แอลกอฮอล์ชนิดบิวทานอลผสมกับน้ำมันดีเซลโดยตรงในอัตราส่วนร้อยละ 42 โดยปริมาตรของเชื้อเพลิงผสม ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่า ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงกว่าน้ำมันดีเซลเฉลี่ยร้อยละ 12.92 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก พบว่าไม่แตกต่างจากน้ำมันดีเซล [54]

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ส่วนผสมต่างๆ จะลดลงเมื่ออัตราส่วนการผสมของน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น โดยอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่างๆ จะสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนการผสมของน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลปิโตรเลียม