

การศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศของ น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากปาล์ม

A Study of Palm Bio-Diesel Stoichiometric Air to Fuel Ratio

รักษิต ฐิตพัฒน์พงศ์^{1*}, สุบงกช โตไพบุลย์², นวรงค์ ชลคุป²

¹หน่วยปฏิบัติการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

112 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทรศัพท์ 0 2564 6900 โทรสาร 0 2564 6901 *อีเมลล์ raksit.thitipatanapong@nectec.or.th

²ห้องปฏิบัติการวิจัยเชื้อเพลิงชีวภาพ, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501 อีเมลล์ subongkk@mtec.or.th

บทคัดย่อ

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ในการพาณิชย์และมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ การใช้พลังงานจากน้ำมันดีเซลนั้นเท่ากับเกือบครึ่งหนึ่งของปริมาณพลังงานที่ใช้ในประเทศ เครื่องยนต์ดีเซลทำงานด้วยการจุดระเบิดด้วยการอัดที่สามารถเผาไหม้โดยไม่ขึ้นกับอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง ได้ทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดสูงและประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายในประเภทอื่นๆ อีกทั้งยังมีความสามารถในการใช้เชื้อเพลิงทดแทนที่ได้จากผลิตผลทางการเกษตรประเภทต่างๆได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์ดีเซลได้ถูกออกแบบมาให้ทำงานเหมาะสมกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม

ในกรณีของประเทศไทยที่มีนโยบายให้ใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากไขมันปาล์มเป็นหลัก พบว่าไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการเผาไหม้ (Stoichiometric Air to Fuel Ratio) มาก่อน อีกทั้งยังพบว่ามีเพียง 3 ประเทศในโลก(ไต้หวัน, มาเลเซีย และ อินโดนีเซีย) ที่ใช้ปาล์มเป็นวัตถุดิบในการผลิตจากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของตัวอย่างน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากปาล์มพบว่าอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงเท่ากับ 12.48 จากวิเคราะห์เพื่อหาค่าอัตราส่วนผสมพบว่าการปรับแต่งบ่มจ่ายเชื้อเพลิงแรงดันสูงให้จ่ายเชื้อเพลิงสูงขึ้นได้อีกร้อยละ 13 โดยปริมาตรจะทำให้มีพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลชีวภาพสูงขึ้นกว่าน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมร้อยละ 3

Abstract

Nowadays, the oil price becomes a major concern in transportation sector. In Thailand, around 50 million liters of diesel fuel is consumed each day that is approximately 50% of petroleum product. The compression ignition engine or diesel engine plays a important role in Thailand's economy. Also, it has ability to consume variety of alternative fuel without modification. This engine is designed to combust the fuel independently from

stoichiometry air-to-fuel ratio.

In Thailand, the bio-diesel is designated to be produced from palm. There is no information about AFR_{sto} (stoichiometric air-to-fuel ratio) for combustion. Also, only 3 countries (which are Thailand, Malaysia and Indonesia) use palm oil as raw material for bio-diesel. From chemical formulation analysis, the AFR_{sto} palm methyl ester was 12.48. Furthermore, this AFR_{sto} could be used for engine modified recommendation that 13 percent of fuel volume could be increased to operate at same AFR, and stoichiometric combustion energy of palm methyl ester was 3 percent higher energy than diesel fuel.

1. บทนำ

เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine) มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศโดยเป็นกำลังหลักในภาคขนส่งโดยมีการใช้น้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดแบบการอัด (Compression Ignition, CI) เกือบครึ่งหนึ่งของปริมาณน้ำมันที่ใช้ในประเทศซึ่งเป็นการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศเป็นหลัก[1] ส่งผลต่อเสถียรภาพทางด้านราคาและต้นทุนการดำเนินการ แม้ว่าจะมีการส่งเสริมให้ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed Natural Gas, CNG) ในรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ขนาดใหญ่โดยการดัดแปลงเครื่องยนต์ให้ทำงานในระบบจุดระเบิดด้วยประกายไฟฟ้า (Spark Ignition, SI) กลับพบข้อจำกัดในการพึ่งพาพลังงานฟอสซิลจากแหล่งเดียว, ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ที่ลดลง และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล[2]

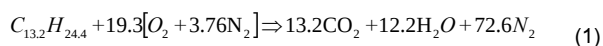
เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ชนิดสันดาปภายในที่ใช้การจุดระเบิดด้วยการอัดตัวของอากาศในห้องเผาไหม้จนถึงอุณหภูมิติดไฟของเชื้อเพลิงซึ่งถูกฉีดเข้ามาด้วยความดันในจังหวะที่เหมาะสม ผลที่ได้คือเชื้อเพลิงสามารถเผาไหม้ได้ในอัตราส่วนผสมกับอากาศที่แปรผัน

ตามภาระของเครื่องยนต์ได้ ทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพและสมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ต้องควบคุมอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศให้คงที่ตลอดย่านการทำงานเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ การที่เครื่องยนต์แบบจุดระเบิดด้วยการอัดสามารถทำงานกับอัตราส่วนการเผาไหม้ที่ไม่ขึ้นกับอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ ในทางปฏิบัติแล้วแทบไม่พบความแตกต่างในการทำงานของเครื่องยนต์เมื่อประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงชีวภาพได้นับเป็นข้อได้เปรียบต่อการใช้เชื้อเพลิงทดแทนที่มีค่าอัตราส่วนทางทฤษฎีการเผาไหม้ที่เปลี่ยนไปจากปิโตรเลียมดีเซล

สำหรับในประเทศไทยซึ่งนโยบายในการใช้ประโยชน์จากน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มเป็นหลัก[3] อย่างไรก็ตามก็ยังไม่เคยมีรายงานเกี่ยวกับองค์ประกอบดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากปาล์มซึ่งส่งผลต่ออัตราส่วนของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องยนต์และเป็นข้อมูลในการปรับแต่งระบบจัดการเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ได้อย่างเหมาะสม ในการศึกษานี้จะได้ทำการนำเสนอวิธีการประเมินอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศเพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์(Stoichiometric Air to Fuel Ratio) ของดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากปาล์ม อีกทั้งการนำไปประยุกต์เพื่อใช้ปรับแต่งเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิง

2. สมดุลการเผาไหม้

โดยทั่วไปแล้วเครื่องยนต์ดีเซลใช้หลักการเผาไหม้เช่นเดียวกับการเผาไหม้อื่นๆ ตามที่แสดงในสมการที่ (1) ที่เป็นการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ($C_{13.2}H_{24.4}$) กับอากาศ[4] เพื่อให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์น้ำมันดีเซล 1 โมเลกุลต้องใช้อากาศจำนวน 19.3 โมเลกุลที่ประกอบด้วยออกซิเจน 1 ส่วนและไนโตรเจน 3.76 ส่วน ดังนั้นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์น้ำมันดีเซล 1 โมล(ที่มีมวล 182.8 g) ใช้อากาศจำนวน 19.3 โมล(ที่มีมวล 2649.50 g.) ซึ่งเท่ากับอัตราส่วนโดยมวลของอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F) เท่ากับ 14.5 หรืออาจจะเรียกค่านี้ได้ว่าค่าทางทฤษฎี (Stoichiometric Combustion)



หนึ่งโดยทั่วไปแล้วการวัดอัตราการเผาไหม้จะใช้วิธีการเปรียบเทียบซึ่งจะได้ค่าเชิงสัมพันธ์ในเชื้อเพลิงแต่ละชนิดตามสมการที่ (2) ซึ่งค่าที่ได้สามารถประเมินได้โดยง่ายคือ ส่วนผสมทางทฤษฎี ($\lambda \approx 1$), กรณีที่เชื้อเพลิงมากกว่าอากาศ ($\lambda > 1$) และ กรณีที่เชื้อเพลิงน้อยกว่าอากาศ ($\lambda < 1$)

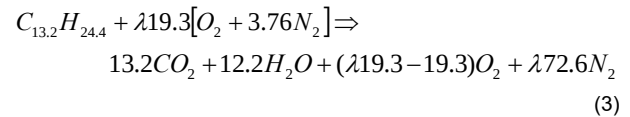
$$\lambda = \frac{A/F_{act}}{A/F_{sto}} \quad (2)$$

act = actual

sto = stoichiometric

อย่างไรก็ดีเครื่องยนต์ดีเซลสามารถทำการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้โดยไม่ต้องมีการควบคุมอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศให้

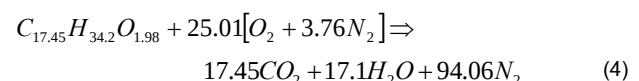
คงที่และในทางปฏิบัติเครื่องยนต์ดีเซลจะทำงานระหว่าง $1.6 < \lambda < 4.0$ ซึ่งค่า λ ที่ต่ำกว่า 1.6 อาจส่งผลต่อปริมาณควันดำจากการเผาไหม้ที่สูงขึ้น สำหรับการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลสามารถเขียนออกมาเป็นสมการได้ใน (3)



สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลแล้วจะเห็นได้ว่าการปรับเปลี่ยนโครงการทางเคมีของเชื้อเพลิงจะไม่ส่งผลต่อการทำงานในเชิงการเผาไหม้มากเท่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ที่ต้องทำงานด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศให้คงที่

3. องค์ประกอบของดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากปาล์ม (PME: Palm Methyl Ester)

น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากปาล์มจะเป็นส่วนประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid) รวมตัวเข้ากับเมทานอลได้เป็น เมทิลเอสเทอร์ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีก็ขึ้นอยู่กับสภาวะและพันธุ์ปาล์มแต่ละชนิด แต่เพื่อให้สามารถทำการประเมินอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศที่เหมาะสมจำในการศึกษานี้ได้นำตัวอย่างน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากปาล์มในระดับอุตสาหกรรมที่ใช้ส่งให้กับผู้ค้าน้ำมันตามมาตรา 7 จากผลการทดสอบด้วยวิธีการก๊าซโครมาโทกราฟี (ภาคผนวก) จะได้ค่าเฉลี่ยของโครงสร้างทางเคมีซึ่งจะใช้เป็นตัวแทนของน้ำมันดีเซลชีวภาพคือ $C_{17.45}H_{34.2}O_{1.98}$ และจากตัวแทนโครงสร้างทางเคมีนี้สามารถนำประเมินปริมาณอากาศที่ใช้เผาไหม้โดยสมบูรณ์ตามสมการที่ (3)



จากสมการที่ (4) จะเห็นได้ว่าตัวแทนน้ำมันดีเซลชีวภาพจากปาล์มจำนวน 1 โมล ต้องใช้อากาศจำนวน 25.01 โมลเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์หรืออัตราส่วนระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง (A/F_{sto}) เท่ากับ 12.48 โดยมวล อาจสามารถกล่าวได้ว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลชีวภาพนี้ใช้อากาศในการเผาไหม้น้อยกว่ากรณีที่ใช้ดีเซลจากปิโตรเลียม

4. การประยุกต์ใช้

4.1 การประเมินอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

ในเบื้องต้นจากสมการสมดุลการเผาไหม้ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม (PME) ซึ่งแตกต่างจากดีเซลปิโตรเลียม ในการทดสอบเครื่องยนต์อัตราสิ้นเปลืองสามารถประเมินได้สมดุลของคาร์บอนที่มีในไอเสียที่สามารถย้อนไปถึงปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ การใช้ปริมาณคาร์บอนของดีเซลปิโตรเลียมในการประเมินอัตราสิ้นเปลืองในการทดสอบน้ำมันดีเซลชีวภาพจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดโดยสิ้นเชิง

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากปาล์ม

ชนิดของกรดไขมัน	โครงสร้างทางเคมี			ร้อยละ	Molar Basis			Fraction			Molecular	
	C	H	O		C	H	O	C	H	O	Weight	Fraction
Lauric acid methyl ester	13	26	2	0.099985	156	26	32	0.1560	0.0260	0.0320	214	0.2140
Myristic acid methyl ester	17	34	2	0.795752	204	34	32	1.6233	0.2708	0.2546	270	2.1485
Palmitic acid methyl ester	17	34	2	63.13098	204	34	32	128.7872	21.4645	20.2019	270	170.4537
Palmitoleic acid methyl ester	17	32	2	0.092877	204	32	32	0.1895	0.0297	0.0297	268	0.2489
Stearic acid methyl ester	18	36	2	4.453848	216	36	32	9.6203	1.6034	1.4252	284	12.6489
Oleic acid methyl ester	19	36	2	25.46669	228	36	32	58.0640	9.1680	8.1493	296	75.3814
Linoleic acid methyl ester	19	34	2	4.702908	228	34	32	10.7226	1.5990	1.5049	294	13.8265
Linolenic acid methyl ester	19	32	2	0.053426	228	32	32	0.1218	0.0171	0.0171	292	0.1560
Arachidic acid methyl ester	21	42	2	0.058332	252	42	32	0.1470	0.0245	0.0187	326	0.1902
Others				1.15								
Average	17.45	34.20	1.98					209	34	32		275

4.2 การชดเชยพลังงานของดีเซลชีวภาพ

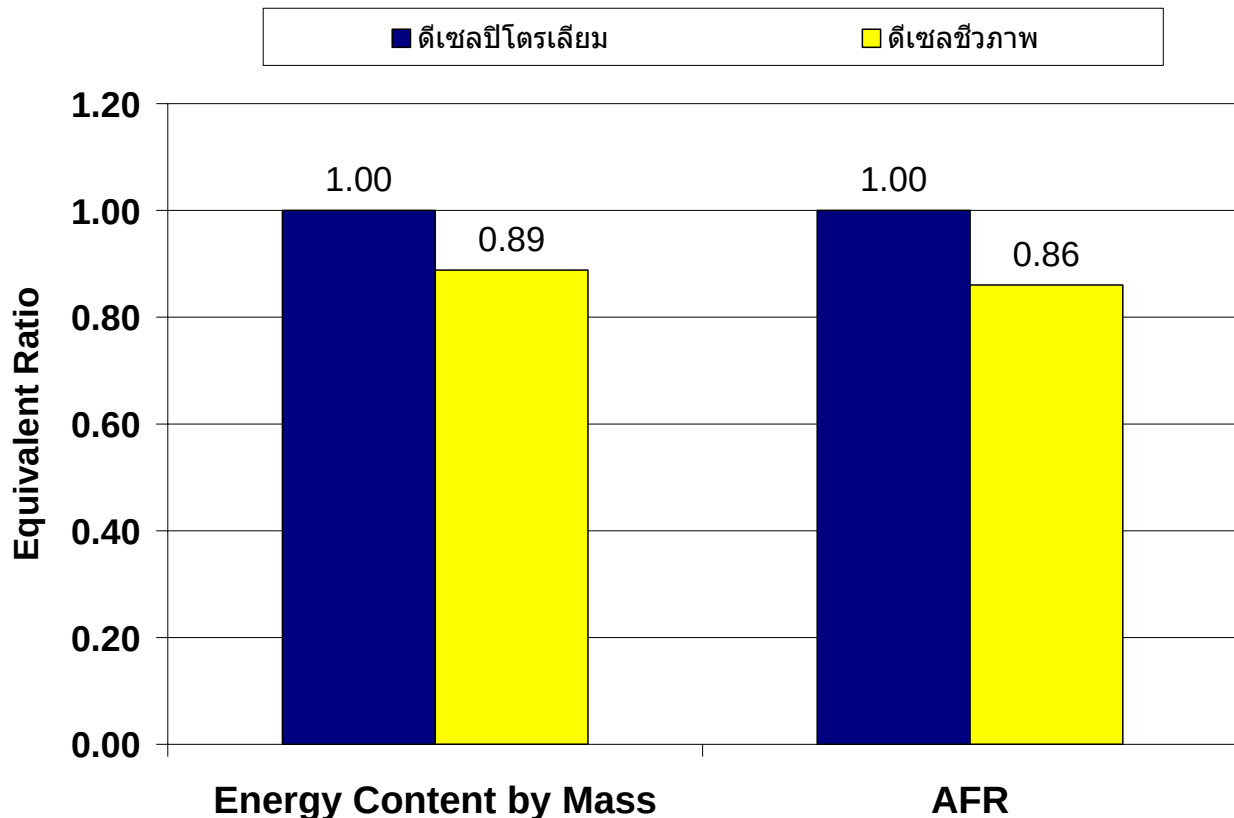
ทั้งนี้ใช้คุณสมบัติอื่นๆของตัวเชื้อเพลิงที่นำมาเปรียบเทียบจากตารางที่ 2 โดยใช้เครื่องมือที่แสดงในภาคผนวก [5] เมื่อนำค่าที่ได้มาทำการเปรียบเทียบในลักษณะค่าสมมูลของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดในรูปที่ 1 พบว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพมีปริมาณพลังงานต่อมวลน้อยกว่าน้ำมันดีเซลปิโตรเลียมร้อยละ 11 ในขณะที่เดียวกันน้ำมันดีเซลชีวภาพต้องการอากาศเพื่อทำการเผาไหม้น้อยกว่าร้อยละ 14

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ประเมินในการชดเชยพลังงาน

น้ำมัน	HV (kJ/kg)	A/F _{sto}	sp. Weight
Diesel [4]	43,000	14.50	0.83
PME	38,200	12.48	0.85

ในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นถูกกำหนดปริมาณเชื้อเพลิงจากปั๊มจ่ายเชื้อเพลิงแรงดันสูงซึ่งจะกำหนดขอบเขตมิให้จ่ายเชื้อเพลิงมากเกินไปกว่าจุดหนึ่ง (เช่น $\lambda > 1.6$) โดยที่เป็นการกำหนดปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิง ดังนั้นเมื่อนำน้ำมันดีเซลชีวภาพมาประยุกต์ใช้โดยที่ไม่ทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ปริมาตรการจ่ายเชื้อเพลิงสูงสุดก็ยังคงเดิมซึ่งได้แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4 ซึ่งเปรียบเทียบเมื่อเชื้อเพลิงเผาไหม้กับอากาศจำนวน 1 กก.

อย่างไรก็ตามความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลชีวภาพก็สูงกว่าส่งผลให้ปริมาณเชื้อเพลิงในหน่วยของมวลเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ปริมาตรการจ่ายเท่ากัน



รูปที่ 1 ค่าสมมูลของเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลปิโตรเลียม

จากการวิเคราะห์ด้วยการเปรียบเทียบด้วยค่าสมมูลในส่วนของปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ต่อหน่วยของอากาศในรูปที่ 2 พบว่าเมื่อไม่ได้ทำการดัดแปลงป้อนจ่ายเชื้อเพลิงแรงดันสูงมวลของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ถูกส่งเข้าสู่ห้องเผาไหม้สูงขึ้นร้อยละ 2 ในขณะที่การปรับแต่งให้ได้ค่าทางทฤษฎีการเผาไหม้เทียบเท่ากับเมื่อใช้น้ำมันดีเซลปิโตรเลียมนั้นต้องทำการเพิ่มเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพอีกร้อยละ 16 โดยมวล หรือคิดเป็นร้อยละ 13 โดยปริมาตร

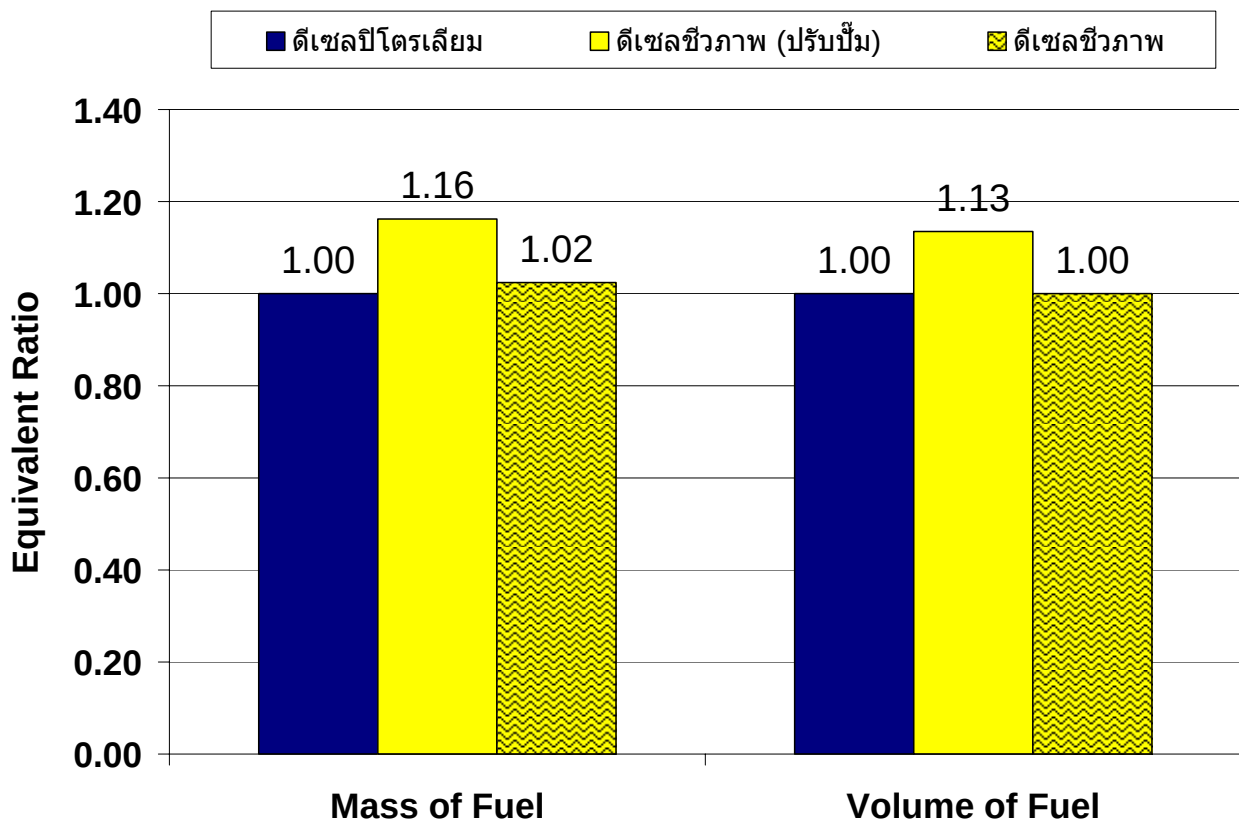
เมื่อพิจารณาถึงพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่ออากาศหนึ่งหน่วยตามที่แสดงในรูปที่ 3 พบว่าค่าสมมูลในด้านพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพที่ไม่ได้ทำการปรับป้อนจ่ายเชื้อเพลิงแรงดันสูงจะให้พลังงานน้อยกว่ากรณีที่ใช้ใช้น้ำมันดีเซลปิโตรเลียมร้อยละ 9 ในขณะที่การปรับแต่งป้อนจ่ายเชื้อเพลิงจะให้พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้น้อยสูงกว่าร้อยละ 3

จากการวิเคราะห์โครงสร้างของน้ำมันดีเซลชีวภาพแสดงให้เห็นว่าการที่เครื่องยนต์ที่ใช้ใช้น้ำมันนี้มีสมรรถนะลดลงมิได้เกิดจากตัวเชื้อเพลิงเองแต่เกิดจากการที่เครื่องยนต์ไม่ได้รับการปรับแต่งให้เหมาะสมกับ

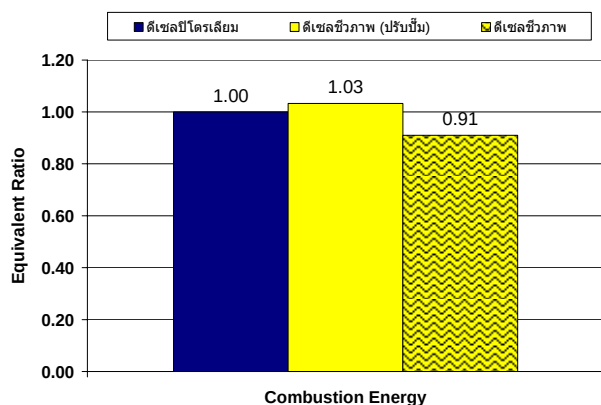
เชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งเมื่อใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทดแทนสามารถปรับเพิ่มการจ่ายเชื้อเพลิงให้สูงขึ้นได้อีก ซึ่งจะส่งผลให้ค่าพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ใกล้เคียงกับการเผาไหม้น้ำมันดีเซลปิโตรเลียม แต่จะส่งผลถึงอัตราสิ้นเปลืองที่สูงขึ้น

ตารางที่ 4 พลังงานงานที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงกับอากาศ
จำนวน 1 กก.

Case	AFR (WOT)	Mass of Fuel (g.)	Volume of Fuel (cc)	Combustion Energy (kJ)
Diesel $\lambda=1.6$	23.2	43.10	52	1,853
PME w/o modification ($\lambda=1.67$)	22.7	44.14	52	1,668
PME w $\lambda=1.6$	20.0	50.10	59	1,914



รูปที่ 2 ค่าสมมูลของการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงกับอากาศ

5. สรุป

น้ำมันดีเซลชีวภาพก็เป็นทางเลือกที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้เป็นอย่างดี สำหรับประเทศไทยน้ำมันดีเซลชีวภาพนั้นผลิตมาจากไขมันปาล์มเป็นหลัก ซึ่งมีเพียงประเทศในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เท่านั้นที่ใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็น PME (Palm Methyl Ester) ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันดีเซลชีวภาพทำให้สามารถวิเคราะห์อัตราส่วนที่เหมาะสมในการเผาไหม้กับอากาศ (A/F_{sto}) ซึ่งเท่ากับ 12.48 ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการทดสอบอัตราสิ้นเปลืองด้วยวิธีการสมดุลคาร์บอน อีกทั้งชี้ให้เห็นถึงประเด็นที่สามารถนำมาปรับแต่งระบบป้อนจ่ายเชื้อเพลิงโดยให้จ่ายเชื้อเพลิงสูงขึ้นอีกร้อยละ 13 โดยปริมาตรซึ่งจะไม่ทำให้มลพิษเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังทำให้มีสมรรถนะใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. "ข้อมูลพลังงาน" สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน , http://www.eppo.go.th/info/2petroleum_stat.htm .
2. รักษิต วุฒิพัฒน์พงศ์, "น้ำมันดีเซลสังเคราะห์: พลังงานทางเลือกในภาคขนส่ง?" การประชุมสัมมนาวิชาการสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ ครั้งที่ 3, สมาคมวิศวกรรมยานยนต์แห่งประเทศไทย (TSAE), 2550
3. Samai Jai-In, "Biofuel Program in Thailand", National Metal and Materials Technology Center, 2007
4. Bernard J. Challen, 1999, Diesel Engine Reference Book, Butterworth-Heinemann.
5. รายงานความก้าวหน้าโครงการการศึกษาผลกระทบของน้ำมันสบู่ดำสำหรับเครื่องจักรกลเกษตรและใช้ไบโอดีเซลสำหรับรถยนต์ขนส่งขนาดเล็ก (MT-B-49-END-07-012-I), ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550

ภาคผนวก

อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ที่ใช้วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและคุณสมบัติที่จำเป็นในการศึกษา ประกอบด้วย รูป ก เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี ที่ใช้วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันดีเซลชีวภาพตามมาตรฐาน EN14103, รูป ข เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ที่ใช้วัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM D 240 และรูป ค เป็นเครื่องวัดความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM D 4052



รูป ก Gas Chromatography



รูป ข Bomb Calorimeter



รูป ค Density Meter