

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

กระบวนการและต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ จากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม

Procedure and cost for production of Various Fuels Derived from Mixed Crude Palm Oil

ปริญญา หม่อมมพิบูลย์¹, ธีระยุทธ หลีวิจิตร^{1*}, กำพล ประทีปชัยกูร¹, จีระศักดิ์ เพ็ชรเจริญ² และ กฤตพจน์ เทพธร¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

² สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.เมือง จ.สงขลา 90000

E-mail: parinyaz@hotmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของบทความนี้ คือ เปรียบเทียบกระบวนการผลิตและต้นทุน ของเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม (MCPO) 4 ชนิด ได้แก่ ชนิดลดยางเหนียว (DgMCPO) ชนิดลดยางเหนียวและลดกรด (Dg-aMCPO) ชนิดเอสเทอร์รีไฟน์ (EMCPO) และชนิดเมทิลเอสเทอร์ (ME) พบว่า เชื้อเพลิงที่ควรศึกษาและพัฒนา คือ EMCPO เนื่องจาก ต้นทุนการผลิตราคาต่ำ ปริมาณการได้ค่านสูง และมีความเป็นไปได้ที่สามารถลดสัดส่วน CH_3OH ในกระบวนการผลิต ที่สำคัญคุณภาพเชื้อเพลิงดีกว่า DgMCPO เพราะมีส่วนผสมของ ME ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง FFA และ CH_3OH โดย EMCPO สามารถเพิ่มศักยภาพการใช้งานด้วยการผสมดีเซล และมีความเหมาะสมที่จะพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลต้นทุนต่ำ

คำหลัก: เชื้อเพลิงทดแทนดีเซล ไบโอดีเซล น้ำมันปาล์มดิบหีบรวม

Abstract

The objectives of this research were to compare the procedure and cost for production of 4 fuels derived from mixed crude palm oil (MCPO) including degummed MCPO (D_gMCPO), degummed and deacidified MCPO (D_{g-a}MCPO), esterified MCPO (EMCPO), and methyl esters (ME); it found that: the fuel will can the research and the development are EMCPO. Because; which have low cost production, high yield, possibility will reduce amount of CH_3OH , fuel property are better than DgMCPO. Because; ME derived from reacting between FFA and CH_3OH . The EMCPO to increase the potentiality by blending diesel and to be proper improve the low cost diesel alternative fuel.

Keywords: Alternative fuel, Biodiesel, Mixed Crude Palm Oil

1. บทนำ

ในยุคปัจจุบัน อัตรา การเพิ่มประชากร การใช้ยานพาหนะ และการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม มีแนวโน้มสูงขึ้น ทำให้ความต้องการใช้ดีเซลมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น บนพื้นฐานของแหล่งสำรองน้ำมันดิบที่มีอยู่จำกัด ส่งผลให้ราคาดีเซลปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานในการขนส่ง 22,897 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ [1] โดยเฉพาะดีเซลมีความต้องการใช้ 5,305 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ [1]

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ สามารถให้ปริมาณน้ำมันสูงถึง 0.6 - 0.8 ตัน/ไร่/ปี [2] มีมากทางภาคใต้ของประเทศไทย สามารถปลูกหมุนเวียนหรือหาทดแทนได้ง่าย และมีศักยภาพสูงเมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่นทั้งด้านการผลิตและราคา โดยน้ำมันปาล์มสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลได้ [3,4] สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมและนำเข้าดีเซล การใช้น้ำมันปาล์มทดแทนดีเซล ส่งผลต่อการพัฒนาประเทศที่ยั่งยืน เพิ่มความมั่นคงทางพลังงาน ส่งผลดีต่อระบบเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยการใช้ น้ำมันปาล์มทดแทนดีเซลช่วยลด CO₂ ในชั้นบรรยากาศ และช่วยลดภาวะโลกร้อน [2-7]

ปาล์มน้ำมันประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนเมล็ดในกับส่วนเยื่อเส้นใย ส่วนเมล็ดใน เมื่อหีบได้น้ำมันที่เรียกว่า kernel oil ส่วนเยื่อข้างนอกหรือส่วนเยื่อเส้นใย เมื่อหีบได้น้ำมันจากเส้นใยที่เรียกว่าน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil: CPO) ในโรงงานขนาดใหญ่ หีบน้ำมันสองส่วนแยกกัน เพราะน้ำมันเมล็ดในมีราคาสูง แต่ในโรงงานขนาดเล็ก คริวเรือนและกลุ่มเกษตรกร นิยมหีบรวมกัน ได้น้ำมันที่เรียกว่าน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม (Mixed Crude Palm Oil: MCPO)

MCPO เป็นของเหลวเหนียวข้น เป็นกรดประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ (TG) สูงถึง 90-98% และมี ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ

(FFA) ผสมเล็กน้อย [7] โดย MCPO มีคุณสมบัติบางส่วนแตกต่างจากดีเซล เช่น ความหนืด ความหนาแน่น จุดวาบไฟ จุดไหลเท จุดขุ่น และการเป็นไข

ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นจากการใช้ MCPO ทดแทนดีเซล ได้แก่ 1. ความหนืดสูง ส่งผลให้หัวฉีดฉีดเชื้อเพลิงไม่แตกตัว ประสิทธิภาพการผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงต่ำลง เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในเครื่องยนต์ บัมน้ำมันสูบน้ำมันได้ยาก เกิดคราบเหนียวเกาะตามผิวท่อขัดขวางการไหล และเมื่อเชื้อเพลิงมีค่าการระเหยต่ำ จะสตาร์ทเย็นได้ยาก [6-9] 2. การเป็นไข เกิดขึ้นที่สภาวะบรรยากาศ และเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา เมื่อเครื่องยนต์หยุดเดินระยะหนึ่ง เชื้อเพลิงจะเกิดการเป็นไข ส่งผลให้เกิดการอุดตันภายในท่อหรือทางเดินน้ำมัน ด้วยเหตุนี้ จึงต้องปรับปรุง MCPO ให้อยู่ในช่วงการใช้งานที่เหมาะสม

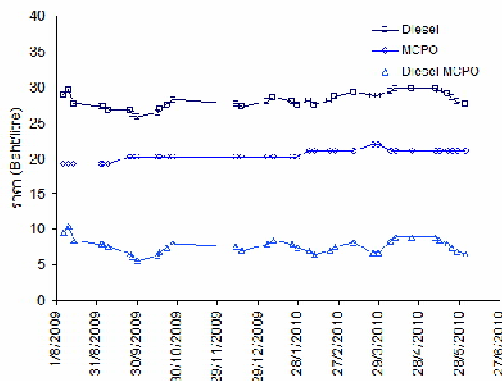
การปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิง ทำได้หลายวิธี เช่น การลดกัม การลดกรด (การทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน) การแยกไข การอุ่นน้ำมัน การทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน การทำปฏิกิริยา ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน และการผสมดีเซล [5-7,10-12]

จากการค้นคว้างานวิจัยต่างๆ พบว่า ยังไม่มีการวิเคราะห์กระบวนการผลิตและต้นทุนของเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลจาก MCPO ซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการสร้างความรู้ในการพัฒนาคุณสมบัติเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล

วัตถุประสงค์ของบทความนี้ คือ เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตระหว่างเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล และปริมาณการได้คืน (%yield) จากเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลชนิดต่างๆ ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม (MCPO) 4 ชนิด ได้แก่ ชนิดลดยางเหนียว (DgMCPO) ชนิดลดยางเหนียวและลดกรด (Dg-aMCPO) ชนิดเอสเทอร์ริไฟน์ (EMCPO) และชนิดเมทิลเอสเทอร์ (ME) โดยสามารถใช้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลต้นทุนต่ำต่อไป

2. แนวโน้มราคาดีเซล และ MCPO

ในรอบปีที่ผ่านมา ตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2552 ถึง 1 มิถุนายน พ.ศ. 2553 ดีเซล มีราคาขายเฉลี่ย 28.10 บาท/ลิตร อ้างอิงจาก การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) [13] ส่วน MCPO มีราคาขายเฉลี่ย 20.47 บาท/ลิตร อ้างอิงจาก หจก. รุ่งเรือง กิจน้ำมันพืช อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา โดยคิดเป็นผลต่างราคาเฉลี่ย 7.64 บาท/ลิตร ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ราคา ดีเซล MCPO และผลต่างราคา [13]

ปัจจุบันบริษัทน้ำมันภายในประเทศ ได้นำไบโอดีเซล (ME) บางส่วน ผสมในดีเซล โดยเรียกชื่อเชื้อเพลิงตามสัดส่วนการผสม เช่น B2 B5 B20 เป็นการลดราคาดีเซลให้ต่ำลง และลดค่าใช้จ่ายส่วนหนึ่งจากการนำเข้าดีเซลจากต่างประเทศ สามารถช่วยเหลือเกษตรกร และผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม ถ้าสามารถผลิตเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลที่มีราคาต่ำลง และสามารถผสมในดีเซลได้มากขึ้น โดยมีความเหมาะสมสำหรับใช้งานในเครื่องยนต์ จะเป็นประโยชน์แก่เกษตรกร และผู้บริโภคมากขึ้น

3. วัตถุดิบและกระบวนการผลิต

3.1 วัตถุดิบ

MCPO ชื้อจาก หจก. รุ่งเรือง กิจน้ำมันพืช อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา มี FFA ≈ 15 g of NaOH/l of oil สารเคมีเกรดการค้า ได้แก่ กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 85 wt.% กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 98 wt.%

เมทิลแอลกอฮอล์ (CH_3OH) 98 wt.% และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) 99 wt.%

3.2 การเตรียมเชื้อเพลิง

นำ MCPO ผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลชนิดต่างๆ ได้ดังตารางที่ 1

4. การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต

และปริมาณการได้คืน (%yield)

ของเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลที่ผลิตจาก MCPO

1. DgMCPO คือ MCPO ที่ผ่านการลดยางเหนียว สามารถลด Viscosity น้ำมันลงเล็กน้อย ผลิตง่าย ใช้เวลาผลิตน้อย %yield $\approx 98\%$ ของปริมาณ MCPO เริ่มต้น

2. Dg-aMCPO คือ DgMCPO ที่ผ่านการทำปฏิกิริยา Saponification เพื่อลดกรด ขั้นตอนนี้เป็น การผลิตต่อจาก DgMCPO วิธีการนี้ %yield $\approx 55\%$ ของปริมาณ DgMCPO เริ่มต้น

3. EMCPO คือ MCPO ที่ผ่านการทำปฏิกิริยา Esterification โดยกระบวนการนี้ ยางเหนียว น้ำ และกรดซัลฟิวริกที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะถูกแยก ออก FFA และ TG บางส่วนถูกเปลี่ยนเป็น ME ความเป็นกรดของน้ำมันลดลงจนเกือบเป็นกลาง ความหนืดของน้ำมันที่ได้ต่ำกว่า Dg-aMCPO ที่สำคัญ %yield $\approx 96\%$ ของปริมาณ MCPO เริ่มต้น มากกว่าการผลิต Dg-aMCPO เนื่องจากไม่มีการสูญเสีย FFA ใช้เวลาในการผลิตน้อย และมีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ไม่สูงมาก

4. ME คือ EMCPO ที่ผ่านการทำปฏิกิริยา Transesterification เป็นน้ำมันที่มีคุณภาพใกล้เคียง ดีเซลมากที่สุด ขั้นตอนนี้เป็น การผลิตต่อจาก EMCPO %yield $\approx 97\%$ ของปริมาณ EMCPO เริ่มต้น

การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต ของเชื้อเพลิง ทดแทนดีเซลที่ผลิตจาก MCPO 4 ชนิด แสดงดัง ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลชนิดต่างๆ ที่ผลิตจาก MCPO [10-12]

ขั้นตอนการผลิต	DgMCPO	Dg-aMCPO	EMCPO	ME
1. กวนทำปฏิกิริยา นาน 90 นาที - วัตถุดิบ - อุณหภูมิ (°C)	1. MCPO 2. H ₂ SO ₄ (0.25 vol.% of MCPO) 3. น้ำ (2.25 vol.% of MCPO) 80	1. DgMCPO 2. NaOH (16.9+1 = 17.9 g of NaOH/l of D _g MCPO) 3. น้ำ (10 vol.% of D _g MCPO) 80	1. MCPO 2. H ₂ SO ₄ (2 vol.% of MCPO) 3. CH ₃ OH (20 vol.% of MCPO) 60	1. EMCPO 2. NaOH (0.9 + 5 = 5.9 g of NaOH/l of EMCPO) 3. CH ₃ OH (23 vol.% of MCPO) 60
2. ปล่อยให้เย็นตัวและแยกชั้น เป็นเวลา 120 นาที - ชั้นบน - ชั้นล่าง	DgMCPO สารละลายกับยางเหนียว	Dg-aMCPO น้ำสบู่	EMCPO กลีเซอรอลและยางเหนียว	ME กลีเซอรอล
3. กรองด้วยตะแกรง 4. นำไปล้างน้ำ 5. อุ่นไล่ไอน้ำที่ 100 °C 6. ไตเตรท FFA (g of NaOH/l of oil) 7. TLC/FID มี ME (wt.%)	16.9 -	3.4 -	0.9 ≈23	0.1 >99

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ต้นทุนราคาเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล 1 ลิตร

วัตถุดิบ (unit)	ราคา/หน่วย (baht)	จำนวนหน่วยที่ใช้ในการผลิต				ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงแต่ละชนิด (baht)			
		DgMCPO	Dg-aMCPO	EMCPO	ME	DgMCPO	Dg-aMCPO	EMCPO	ME
MCPO (L)	21.00	1	1	1	1	21.00	21.00	21.00	21.00
H ₃ PO ₄ (L)	54.00	0.0025	0.0025	-	-	0.14	0.14	-	-
H ₂ SO ₄ (kg)	29.14	-	-	0.002	0.002	-	-	0.06	0.06
CH ₃ OH (L)	20.00	-	-	0.2	0.392	-	-	4.00	7.84
NaOH (kg)	10.00	-	0.02	-	0.0072	-	0.20	-	0.07
น้ำประปา (L)	13.00	1.53	1.62	1.5	1.5	0.02	0.02	0.02	0.02
ไฟฟ้า (kWh)	1.80	0.2369	0.2845	0.1987	0.2585	0.43	0.51	0.36	0.47
ต้นทุนรวม (baht)						21.59	21.87	25.44	29.46
ปริมาณการได้คืน (%yield)						0.98	0.54	0.96	0.93
ราคาต้นทุน (baht/L)						22.03	40.50	26.50	31.68

- หมายเหตุ 1. NaOH ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระจากการไตเตรท
2. กระบวนการผลิตน้ำมัน 1 ลิตร ไม่สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายแรงงานได้ เนื่องจากคน 1 คน สามารถผลิตน้ำมันได้ปริมาณสูง
3. อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับกิจการขนาดเล็ก อ้างอิงจาก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [14]

จากตารางที่ 2 พบว่า MCPO เป็นวัตถุดิบหลักที่มีค่าใช้จ่ายสูง ส่วนในกระบวนการผลิต EMCPO และ ME ใช้ CH₃OH เป็นวัตถุดิบที่มีค่าใช้จ่ายรองลงมา ซึ่งในขั้นตอนการผลิต EMCPO จากตารางที่ 1 ใช้

CH₃OH 20 vol.% ของ MCPO เมื่อนำ EMCPO วัดด้วย TLC/FID พบว่ามี ME สูงถึง 23 wt.% คาดว่า CH₃OH บางส่วน ไปทำปฏิกิริยากับ TG ได้เป็น ME ซึ่งหน้าที่หลักของปฏิกิริยา Esterification คือการ

เปลี่ยน FFA เป็น ME ดังนั้นในกระบวนการผลิต EMCPO มีความเป็นไปได้ที่สามารถลดสัดส่วน CH_3OH ได้ และเมื่อวิเคราะห์ราคาเชื้อเพลิงทดแทน ดีเซล 1 ลิตร พบว่า ราคาผลิต ME 1 ลิตร สูงกว่า ราคาดีเซลเฉลี่ย ตัวแปรที่มีผลต่อราคา คือ สัดส่วนการใช้ CH_3OH อย่างมีนัยสำคัญ โดยทั่วไปในระบบการผลิตขนาดใหญ่ สามารถลดสัดส่วนการใช้ CH_3OH จากการควบคุม CH_3OH บางส่วนที่ระเหยขณะทำปฏิกิริยา เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เป็นการลดต้นทุนราคาผลิต ME ให้ต่ำลง

5. สรุป

จากข้อมูลการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต และ ปริมาณการได้คืน ของเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลที่ผลิตจาก MCPO เชื้อเพลิงที่ควรศึกษาและพัฒนา คือ EMCPO เนื่องจากต้นทุนการผลิตราคาต่ำ ปริมาณการได้คืนสูง และมีความเป็นไปได้ที่สามารถลดสัดส่วน CH_3OH ในกระบวนการผลิต ที่สำคัญคุณภาพเชื้อเพลิงดีกว่า DgMCPO เพราะมีส่วนผสมของ ME ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง FFA และ CH_3OH โดย EMCPO สามารถเพิ่มศักยภาพการใช้งานด้วยการผสมดีเซล และมีความเหมาะสมที่จะพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลต้นทุนต่ำ แต่ทั้งนี้ควรมีการวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิงเพิ่มเติมด้วย เช่น ความหนืด ความหนาแน่น การเกิดไข ฯลฯ เนื่องจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีคุณภาพการนำไปใช้ทดแทนดีเซลไม่เท่ากัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายบรมศักดิ์ วิทยประการ น.ส. สุจิตรา แสงสี นายณยานันท์ ชังธาดา และ น.ส. วดีนา ปรีชาตินันท์ ที่ช่วยเก็บข้อมูล ขอขอบคุณทุนโครงการนักศึกษาปริญญาตรี จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2552). วารสารนโยบายพลังงาน, 83, มกราคม-มีนาคม 2552, หน้า 30.

[2] ศิวะพงศ์ เพ็ชรสงค์ (2550). Biodiesel พลังงานทางเลือก, บริษัท มิตรภาพการพิมพ์และสตีวดีโอ จำกัด กรุงเทพมหานคร,

[3] Leevijit, T. Tongurai, C. Prateepchaikul, G. and Wisutmethanggoon, W. (2008). 6-stage continuous reactor for palm methyl ester production. *Bioresource Technology*, vol. 99, January 2008, pp. 214 – 221.

[4] Prateepchaikul, G. Somnuk, K. and Allen, M. (2009). Design and testing of continuous acid - catalyzed esterification reactor for high free fatty acid mixed crude palm oil, *Fuel Processing Technology*, vol. 90, June 2009, pp. 784 – 789.

[5] Balat, M. and Balat, H. (2008). A critical review of bio-diesel as a vehicular fuel, *Energy Conversion and Management*, vol. 49, October 2008, pp. 2727 – 2741.

[6] Ramadhas, A.S. Jayaraj, S. and Muraleedharan, C. (2004). Use of vegetable oils as I.C. engine fuels - A review, *Renewable Energy*, vol. 29, April 2004, pp. 727 – 742.

[7] Srivastava, A. and Prasad, R. (2000). Triglycerides-based diesel fuel, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 4, June 2000, pp. 111 – 133.

[8] Lepera, M.E. (1982). *Hydrocarbon Processing*, vol. 61, pp. 139 - 142.

[9] ปริญญา หม่อมพิบูลย์, วีระยุทธ หลีวิจิตร, กำพล ประทีปชัยกุล และ จีระศักดิ์ เพ็ชรเจริญ (2553). ความหนืดของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบหีบรวม, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 8, 21 – 22 เมษายน 2553, หน้า 791 – 796.

- [10] ชีรวัฒน์ อภิชาติ (2545). การทดสอบการใช้ น้ำมันปาล์มทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลทางการเกษตร, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [11] สวิทชาติ ญาณแก้ว (2547). การทดสอบใช้น้ำมันปาล์มลดกัมลัดกรด และเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์ม ทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรกลทางการเกษตร, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [12] Jansri, S. Prateepchaikul, G. and Ratanawilai, B. (2007). Acid-Catalyzed Esterification : A technique for Reducing Hight Free Fatty Acid in Mixed Crude Palm Oil, Kasetsart Journal Natural Science, vol. 41 (3), July – September 2007, pp. 555 – 560.
- [13] การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) (2553). แหล่งที่มา <http://www.pttplc.com/en/news-energy-fact-oil-price-bangkok.aspx>, เข้าดูเมื่อวันที่ 01/06/2553.
- [14] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) (2553). แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html#4>, เข้าดูเมื่อวันที่ 01/06/2553.