การศึกษาการกวนในถังปฏิกรณ์เพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโค

A Study of Stirring in Reactor for Biodiesel Production from Beef Tallow

ภัทรพงศ์ เอี่ยมสะอาด รัตนชัย ไพรินทร์[2] และเก้ากันยา สุดประเสริฐ[1]
[1]สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
[2]คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140 E-mail: motec_seasonone@hotmail.com*

Patarapong Aiemsa-ard* Rattanachai Pairintra Kaokanya Sudaprasert
Division of Energy Technology, School of Energy Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi,
126 Pracha-uthit Road, Bangmod, Thung Khru District, Bangkok 10140 Thailand E-mail: motec_seasonone@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโค โดยมุ่งเน้นให้ได้ไบโอดีเซลที่มีปริมาณและคุณภาพที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะ ขนาด 5 ลิตร ทดลองใช้ใบพัดกวน 2 ชนิดคือ กังหัน 6 ใบแบบติดบนจานและกังหัน 4 ใบเอียง 45 องศา ทำการทดลองที่ความเร็วรอบ 600 900 และ 1200 รอบต่อนาที และทำการเก็บตัวอย่างออกจากถังปฏิกรณ์จำนวน 5 มิลลิลิตร ทุกๆ เวลา 5, 10, 15, 20, 30 และ 60 นาที โดยเปลี่ยนภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่างๆ เช่น อัตราส่วนโดยโมลแอลกอฮอล์ต่อโมลน้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา จากนั้นศึกษาคุณภาพของไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองในภาวะต่างๆ เช่น ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ เป็นต้น แล้วนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบมาตรฐานไบโอดีเซลของกรมธุรกิจพลังงาน จากการทดลองพบว่าภาวะที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนโดยโมลแอลกอฮอล์ต่อโมลน้ำมัน 6:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียสและเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที โดยใช้ใบพัดกวนแบบกังหัน 4 ใบเอียง 45 องศา ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ใช้เวลากวน 5 นาที ได้ เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ร้อยละ 97.40 ซึ่งจะได้ไบโอดีเซลจากไขมันโคที่มีคุณภาพและผ่านมาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงดีเซลได้

คำสำคัญ: การกวนในถังปฏิกรณ์/ไขมันโค/ไบโอดีเซล/
ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

Abstract

The objective of this research is to study the biodiesel production from beef tallow. There are two type of blades used in batch reactor which can contain 5 liters of biodiesel. The first blade is six-flat blade and the second is four-blade 45º inclined. The blade speed are set at 600, 900 and 1200 respectively. The reactor temperature is set at 50 C, molar ratio of methanol to oil is 6:1 and amount of catalysis is 0.5% (w/v). In order to investigate the quantity and quality, biodiesel was sampled from reactor at every 5 min. start from 5, 10, 15, 20, 30 and 60 min. four-blades 45º inclined gave better result that the six-flat blade. The results showed that the most suitable condition were blade speed at 1200 rpm, reaction time at 5 min. The purity of biodiesel was 97.04% which passed the standard of community biodiesel.

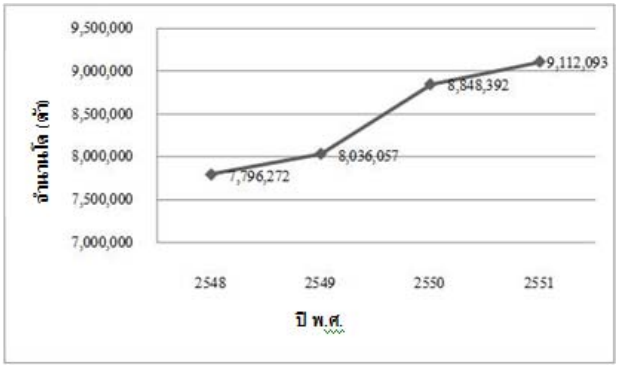
Keyword: Beef tallow/Biodiesel/Transesterification/
Stirring in reactor.

1. บทนำ

ไบโอดีเซลเป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบันนี้ เนื่องมาจากสถานการณ์ราคาน้ำมันปิโตรเลียมที่ผันผวนอย่างต่อเนื่อง มีแนวโน้มจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งสวนทางกับน้ำมันปิโตรเลียมที่กำลังลดจำนวนลง แต่ปริมาณความต้องการกลับเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยในปัจจุบันนี้น้ำมันที่ใช้กับเครื่องยนต์ในประเทศนั้นเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอยู่ในรูปของน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูป และราคาค่อนข้างสูง ประเทศไทยมีการใช้น้ำมันเบนซินประมาณ 20 ล้านลิตรต่อวัน และน้ำมันดีเซลประมาณ 50-55 ล้านลิตรต่อวัน [1] จะเห็นได้ว่าปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลมีมากกว่าน้ำมันเบนซินอยู่มากถึง 2.75 เท่า ซึ่งเชื้อเพลิงหลักๆ ที่เหมาะสมอย่างยิ่งที่จะช่วยลดปริมาณมลภาวะและลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศคือไบโอดีเซล ซึ่งไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตโดยนำพืชน้ำมัน ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจนได้เป็นสารเอสเทอร์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและ

สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ ซึ่งการผลิตจะต้องนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่าทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) หรือเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล เช่น ชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ อุณหภูมิ อัตราการกวน ความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้น ปริมาณของน้ำที่มีอยู่พืชน้ำมันและไขมันสัตว์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลควรเป็นแหล่งทรัพยากรที่สามารถผลิตทดแทนได้ในธรรมชาติ ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลจึงควรใช้วัตถุดิบที่มีมูลค่าต่ำ ไม่สามารถนำมารับประทานได้ มีปริมาณวัตถุดิบมาก สกัดน้ำมันได้ง่ายและได้ปริมาณน้ำมันมาก

จากการสำรวจในปัจจุบัน (พ.ศ.2552) พบว่ามีจำนวนโรงฆ่าสัตว์ใหญ่ทั้งหมด (โค กระบือ แพะ แกะ หมู) ประมาณ 5,000 แห่ง โดยในหนึ่งปีจะมีการฆ่าโคประมาณ 2 ล้านตัว และมีอัตราการเลี้ยงสัตว์เพิ่มขึ้นจำนวนมากในทุกปี



รูปที่ 1 จำนวนโคต่อปี

จากรูปที่ 1 จะแสดงให้เห็นว่าจำนวนโคเพิ่มขึ้นมากในแต่ละปี จาก พ.ศ. 2548–2551 เพิ่มขึ้นถึง 16.87 เปอร์เซ็นต์ คนไทยมีอัตราการบริโภคประมาณ 3.4 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (ประมาณ 214,330 ตันต่อปี) และมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทุกปี โดยโคที่เหมาะสมแก่การบริโภคจะมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 400 กิโลกรัม จะมีไขมันเฉลี่ยประมาณ 40 กิโลกรัมแล้วแต่น้ำหนักของโค คิดเป็น 10% ของน้ำหนักโคทั้งตัว[2] ซึ่งไขมันโคจากโรงฆ่าสัตว์เหล่านี้มีเป็นจำนวนมาก จึงเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมกับการผลิตไบโอดีเซลเพราะไม่นิยมนำมารับประทานและประกอบอาหารมากนัก เนื่องจากไขมันสัตว์เหล่านี้ไม่สามารถสลายตัวได้ดีในร่างกายมนุษย์ ทำให้เกิดโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ และมีกลิ่นเหม็น ราคาไขมันโคที่ตลาดสดเพียงกิโลกรัมละ 10 บาท (ตลาดอุดมผล ลาดกระบัง) ซึ่งราคาถูกมากเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ

โดยการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าไขมันโคสกัดน้ำมันออกมาง่ายโดยการเจียว (rendering) ให้ความร้อน น้ำมันที่ได้จะมีค่ากรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ประมาณ 0.35% เทียบกับน้ำมันจากไขมันไก่ 2%[3] และสบู่ดำที่มีค่ากรดไขมันอิสระประมาณ 4.8 เปอร์เซ็นต์[4] โดยค่ากรดไขมันอิสระต่ำกว่า 3% จะทำให้ผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้ง่าย ไขมันโคหาซื้อได้ทั่วๆ ไปจากตลาดสดและโรงฆ่าสัตว์ จึงมีความเป็นไปได้และเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล เพราะ 1. ราคาไขมันโคถูก 2. มีปริมาณมาก 3. การสกัดน้ำมันออกมาง่ายและรวดเร็วกว่าสกัดน้ำมันออกจากพืชทำให้ต้นทุนในการสกัดน้ำมันต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการสกัดน้ำมันและค่ากรดไขมันอิสระของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	ปริมาณน้ำมันจากการสกัดลิตรต่อกิโลกรัม	ค่ากรดไขมันอิสระ (%)
ไขมันไก่	0.72	0.63
ไขมันหมู	0.72	2
ไขมันโค	0.70	0.35
เมล็ดยางพารา	0.42	12-15
สบู่ดำ	0.35	4.8

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโค ซึ่งมีมูลค่าต่ำ โดยจะทำการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโค ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) ซึ่งจะใช้เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากนั้นจะทำการศึกษาผลของการกวนของไขมันโคกับสารเคมีในถังปฏิกรณ์ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญในการผลิต เนื่องจากในการผลิตไบโอดีเซลนั้น การที่จะทำให้สารตั้งต้นทำปฏิกิริยากันได้ดีนั้นจำเป็นต้องมีการกวนที่เหมาะสม โดยใบพัดที่ใช้ในการกวนผสมก็จะมีพฤติกรรมการไหลหลักๆ คือ พฤติกรรมการไหลตามแนวรัศมี และพฤติกรรมการไหลตามแนวแกน เกษตรกรส่วนใหญ่มักจะกวนผสมไบโอดีเซลโดยไม่คำนึงถึงระยะเวลาในการกวนผสม การกวนผสมที่ไม่เหมาะสม ในกรณีที่ระยะเวลาในการกวนผสมน้อยเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้น้อยหรือใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน ตรงกันข้ามหากกวนผสมนานเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นอีกด้วย เพราะฉะนั้นเพื่อให้น้ำมันโคและสารเคมีแพร่เข้าหากันเพื่อทำปฏิกิริยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดพลังงาน และได้ไบโอดีเซลที่ผ่านมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน จะต้องมีการศึกษาการกวนในถังปฏิกรณ์ เพื่อที่จะทำให้น้ำมันโคกับสารเคมีผสมกันและทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณ คุณภาพและระยะเวลาในการผลิตของไบโอดีเซล

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

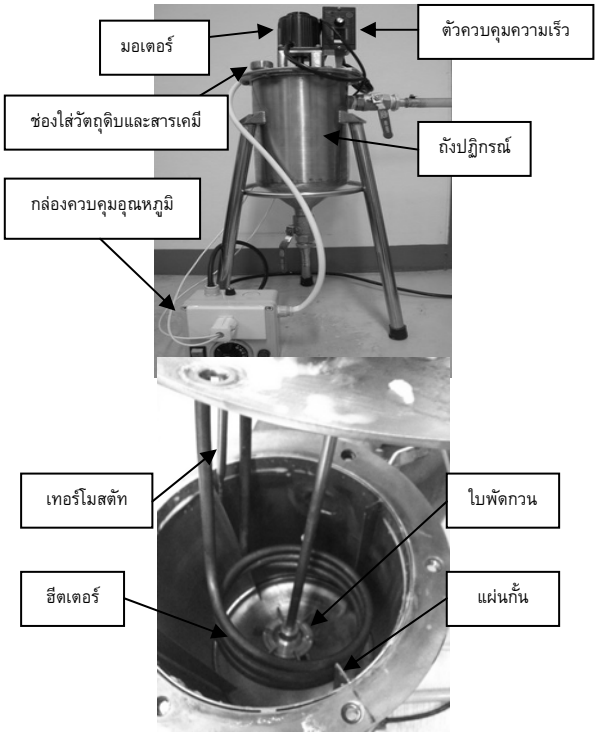
วัตถุดิบหลักสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในการศึกษานี้ได้แก่ น้ำมันจากไขมันโค เมทานอล โซเดียมไฮดรอกไซด์

2.2 อุปกรณ์การทดลอง

วัตถุดิบที่ใช้คือไขมันโค จากตลาดสดอุดมผล (ลาดกระบัง) สกัดน้ำมันโดยวิธีการเจียว (rendering) และออกแบบสร้างถังปฏิกรณ์แบบกะ (batch reactor) ขนาด 5 ลิตร ใช้วัสดุเป็นสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ติดตั้งชุดกวนด้านบนถังปฏิกรณ์ซึ่งสามารถถอดเปลี่ยนใบพัดกวนได้ โดยใช้ใบพัดกวน 2 ชนิด คือ ใบพัดกวนแบบกังหัน 4 ใบเอียง 45 องศา และใบพัดกวนแบบกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน ดังรูปที่ 2 ซึ่งมีพฤติกรรมการไหลแนวแกนและแนวรัศมี ตามลำดับ โดยใช้หลักการออกแบบถังปฏิกรณ์และใบพัดกวนตามมาตรฐาน[6] ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 6 เซนติเมตร ใช้

วัสดุสแตนเลสเช่นกัน ใช้มอเตอร์ขนาด 60 วัตต์ ความเร็วรอบสูงสุด 1450 รอบต่อนาที ใช้ตัวควบคุมความเร็ว (speed control) ฮีตเตอร์ให้ความร้อนและเทอร์โมสตัทควบคุมอุณหภูมิ 30-110 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3

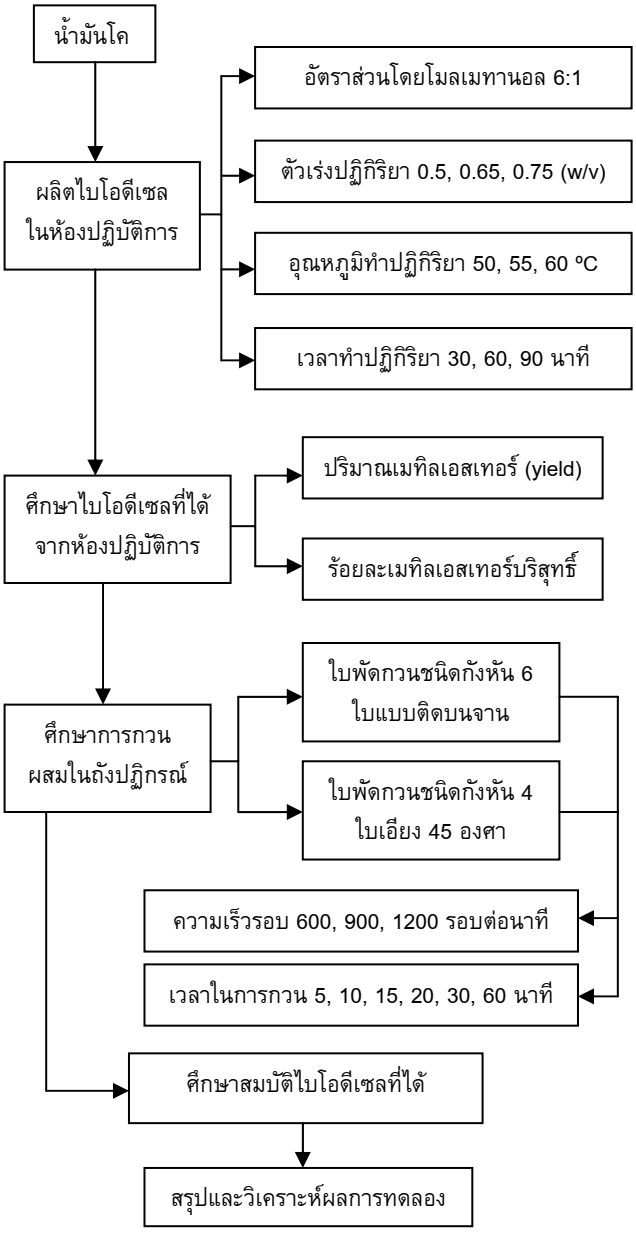
รูปที่ 2 ใบพัดกวนที่ใช้ในการทดลอง แบบกังหัน 4 ใบเอียง 45 องศา (ซ้าย) และกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน (ขวา)



รูปที่ 3 ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองในห้องปฏิบัติการนั้น เริ่มทำการสกัดน้ำมันจากไขมันโคโดยวิธีการเจียว (rendering) นำน้ำมันโคที่ได้มาทดลองผลิตไบโอดีเซลปริมาตร 5 มิลลิลิตรในห้องปฏิบัติการ ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ โดยศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลต่างๆ กำหนดอัตราส่วนโดยโมลแอลกอฮอล์ 6 : 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.5, 0.65 และ 0.75 เวลาทำปฏิกิริยา 30, 60 และ 90 นาที และอุณหภูมิทำปฏิกิริยา 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส ปล่อยให้แยกกลีเซอรีน 48 ชั่วโมง ศึกษาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (yield) และร้อยละเมทิลเอสเทอร์บริสุทธ์ จากนั้นนำภาวะที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการมาใช้ในการทดลองในถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้น โดยทดลองใช้น้ำมันโคปริมาตร 5000 มิลลิลิตร โดยเปลี่ยนทั้งใบกวน 2 ชนิด คือ กังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน และกังหัน 4 ใบเอียง 45 องศา ทำการทดลองกวนที่ความเร็ว 600, 900 และ 1200 รอบต่อนาที โดยทำการเก็บตัวอย่างออกจากถังปฏิกรณ์ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ที่เวลา 5, 10, 15, 20, 30 และ 60 นาที ปล่อยให้แยกกลีเซอรีน 48 ชั่วโมง จากนั้นศึกษาสมบัติต่างๆ ของไบโอดีเซลและวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขั้นตอนการทดลอง

2.3 การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ด้วยเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase: isooctane: toluene: acetic acid, 65:35:0.15 v/v)

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดลองผลิตไบโอดีเซลในห้องปฏิบัติการ

จากงานวิจัยของ M.E. da Cunha และคณะ พบว่าไขมันโคมีไขมันชนิดต่างๆ เป็นองค์ประกอบดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบไขมันชนิดต่างๆ ในน้ำมันโค[5]

Designation	Acid name	% composition	Molecular weight acid
C14:0	Miristic	2.72	228
C15:0	Pentadecanoic	0.86	242
C16:1	Palmitoleic	2.02	254
C16:0	Plamitic	25.33	256
C17:0	Heptadecanoic	1.67	270
C18:2	Linoleic	0.75	280
C18:1 (cis)	Oleic	29.87	282
C18:1 (trans)	Elaidic	1.82	282
C18:0	Stearic	34.70	284
C20:0	Arachidic	0.28	312
Mass ratio of saturated and unsaturated		1.90	
Average molecular weight (amw)	273.5	858.5	287.6

จากตารางที่ 2 พบว่าไขมันโคมีค่ามวลโมเลกุลเฉลี่ย 858.5 และสามารถคำนวณค่าไอโอดีน ค่าสปอนนิฟิเคชัน ค่าดัชนีซีเทน ค่าความร้อนของการเผาไหม้ ดังสมการต่อไปนี้

1. สมการหาค่าไอโอดีน

$$\text{IV ของเมทิลเอสเทอร์} = \sum IV_x(\%X) \quad (1)$$

โดย

$$IV_x = \frac{(126.9 \times 2) \times 100 \times \text{จำนวนพันธะคู่}}{MW_x}$$

IV_x = ค่า IV ของเมทิลเอสเทอร์กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในลิปิด

MW_x = น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) ของเมทิลเอสเทอร์กรดไขมัน

2. สมการหาค่าสปอนนิฟิเคชัน

$$\text{SN เมทิลเอสเทอร์} = \sum SN_x(\%X) \quad (2)$$

โดย

$$SN_x = \frac{56 \times 1000}{MW}$$

SN_x = ค่า SN ของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของลิปิด

MW = น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

3. สมการหาดัชนีซีเทน

$$CI = 43.3 + \frac{5458}{SN} - 0.225\ IV \quad (3)$$

เมื่อ IV = ค่าไอโอดีนของเมทิลเอสเทอร์

SN = ค่าสปอนนิฟิเคชันของเมทิลเอสเทอร์

4. สมการหาค่าความร้อนของการเผาไหม้

$$HO = \left[\frac{1896000}{SN} - 0.618IV - 1600\right]\frac{SN}{168000} \quad \text{Mcal/kg} \quad (4)$$

เมื่อ IV = ค่าไอโอดีนของเมทิลเอสเทอร์

SN = ค่าสปอนนิฟิเคชันของเมทิลเอสเทอร์

เมื่อคำนวณค่าจากตารางที่ 2 ลงแทนในสมการที่ (1), (2), (3), (4) ก็จะได้ค่าสมบัติของน้ำมันโค ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติของน้ำมันโค

สมบัติของน้ำมันโค	ค่าที่ได้
ค่าไอโอดีน	31.89
ค่าสปอนนิฟิเคชัน	205.35
ดัชนีซีเทน	62.7
ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (kJ/kg)	38,956

จากตารางที่ 3 พบว่าน้ำมันจากไขมันโคมีค่าไอโอดีนที่ค่อนข้างต่ำเพียง 31.89 กรัมไอโอดีน/100กรัม แสดงว่าน้ำมันโคมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบน้อย ค่าสปอนิฟิเคชัน 205.35 ค่าดัชนีซีเทนซึ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการจุดระเบิดในเครื่องยนต์ 62.7 ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลซึ่งมีค่าประมาณ 60 และค่าความร้อนของการเผาไหม้ 38,956 kJ/kg ซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลอยู่ 16.8%

ผลการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคในห้องปฏิบัติการโดยใช้ภาวะต่างๆ ที่กำหนดในหัวข้อ 2.2 ซึ่งจะแสดงปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (yield) ดังแสดงในตารางที่ 4

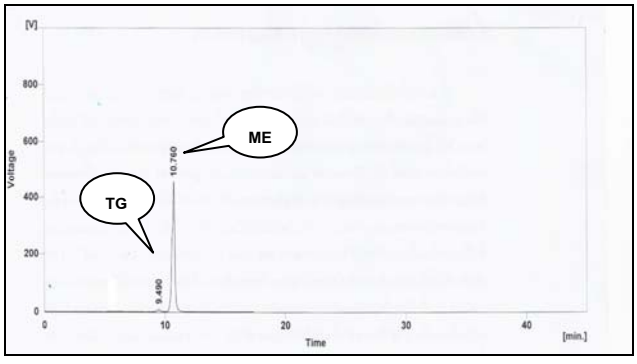
ตารางที่ 4 แสดงปริมาณเมทิลเอสเทอร์จากไขมันโค (อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อโมลน้ำมันโค 6:1)

ตัวอย่างที่	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%w/v)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (ºC)	ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (%v/v)
1	0.5	30	50	91.5
2			55	92
3			60	90
4		60	50	91.5
5			55	92
6			60	90.5
7		90	50	92
8			55	93.5
9			60	91
10	0.65	30	50	84
11			55	85
12			60	87.5
13		60	50	86
14			55	86
15			60	88
16		90	50	86
17			55	84.5
18			60	88

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณเมทิลเอสเทอร์จากไขมันโค (อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อโมลน้ำมันโค 6:1) (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%w/v)	เวลา (min)	อุณหภูมิ (ºC)	ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (%v/v)
19	0.75	30	50	78
20			55	81.5
21			60	86
22		60	50	81.5
23			55	82.5
24			60	90
25		90	50	84
26			55	83
27			60	87

จากตารางที่ 4 พบว่าที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.5 (w/v) ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากกว่าร้อยละ 90 ทั้งหมด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.65 และ 0.75 (w/v) ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ต่ำลง เนื่องจากการเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินความจำเป็น ทำให้เกิดสบู่และทำให้เกิดเจล ส่งผลให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ต่ำ และพบว่าภาวะที่จะได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่มากที่สุดคือ อัตราส่วนโดยโมลแอลกอฮอล์ต่อโมลน้ำมันโค 6:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 55 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 90 นาที ซึ่งจะได้เมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 93.5 แต่ภาวะดังกล่าวใช้อุณหภูมิที่สูงและใช้เวลาทำปฏิกิริยาที่นาน ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ภาวะที่ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เหมาะสม และประหยัดพลังงานคือใช้อัตราส่วนโดยโมลแอลกอฮอล์ต่อโมลน้ำมันโค 6:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส และเวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที ซึ่งภาวะนี้จะช่วยประหยัดพลังงานและเวลาเป็นอย่างมาก ซึ่งได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 91.5 เมื่อไปทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่าค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันโคร้อยละ 97.59 ดังแสดงในรูปที่ 5



Component	ระยะเวลาคงค้าง (นาที)	ร้อยละองค์ประกอบ
Triglyceride	9.490	2.41
Methyl Ester	10.760	97.59

รูปที่ 5 กราฟวิเคราะห์ร้อยละเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ที่ได้จากไบโอดีเซลห้องปฏิบัติการ โดยเครื่อง HPLC

3.2 ผลการทดลองการกวนในถังปฏิกรณ์

จากหัวข้อ 3.1 ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะนำภาวะดังกล่าวมาใช้ในการทดลองการกวนในถังปฏิกรณ์ ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5

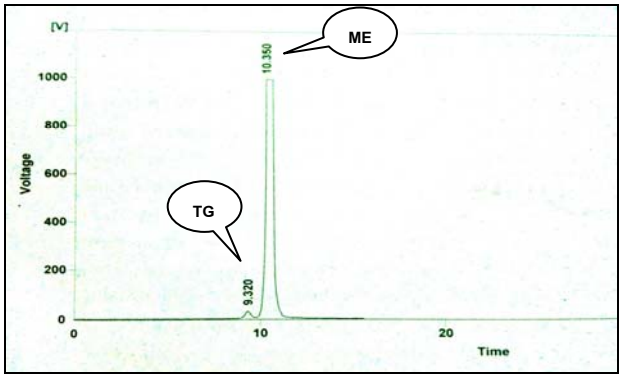
ตารางที่ 5 แสดงเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์จากไขมันโคจากถังปฏิกรณ์

ตัวอย่างที่	ชนิดใบพัดกวน	ความเร็วรอบ (rpm)	เวลาในการกวน (min)	ร้อยละเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ (%v/v)
1	กังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน	600	5	94.7
2			10	95.2
3			15	96.8
4			20	97.9
5			30	98
6			60	99.1
7		900	5	95
8			10	96.1
9			15	97.7
10			20	98.4
11			30	99
12			60	99.2
13		1200	5	95.9
14			10	96.9
15			15	98.7
16			20	99.3
17			30	99.4
18			60	99.5
19	กังหัน 4 ใบ เอียง 45 องศา	600	5	สารตั้งต้นไม่สามารถทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้
20			10	
21			15	
22			20	
23			30	
24			60	
25		900	5	87.1
26			10	93
27			15	93.5
28			20	94.6
29			30	95.5
30			60	96
31		1200	5	97.4
32			10	97.7
33			15	98.2
34			20	98.7
35			30	99.1
36			60	99.2

จากตารางที่ 5 พบว่าที่ใบพัดกวนชนิดกังหัน 6 ใบแบบติดบนจาน ที่ความเร็วรอบ 600 และ 900 รอบต่อนาที จะต้องใช้เวลาในการกวนผสมนานถึง 15 นาที จึงจะสามารถทำให้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ผ่านมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานที่กำหนดไว้ร้อยละ 96.5 แต่เมื่อเพิ่มความเพิ่มความเร็วรอบที่ 1200 รอบต่อนาที พบว่าใช้เวลาลดลงเหลือ 10 นาที จะได้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ที่ผ่านมาตรฐาน เนื่องจากการผสมที่รุนแรงมากขึ้นจะส่งผลทำให้สารตั้งต้นเป็นเนื้อเดียวกันได้รวดเร็วขึ้น และใบพัดกวนชนิด 4 ใบเอียง 45 องศา ที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ใบพัดชนิดนี้ไม่สามารถทำให้สารตั้งต้นเกิดการผสมได้ และเมื่อเพิ่ม

ความเร็วรอบที่ 900 ใช้เวลาในการกวนผสมนานถึง 60 นาทีแล้ว ก็ยังไม่สามารถทำให้ได้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ที่ผ่านมาตรฐานได้ แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบที่ 1200 รอบต่อนาที พบว่าใช้เวลาในการกวนผสม 5 นาที ก็จะส่งผลให้ได้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ที่ผ่านมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานแล้ว แสดงว่าใบพัดชนิด 4 ใบเอียง 45 องศา ซึ่งมีพฤติกรรมการไหลตามแนวแกน มีประสิทธิภาพในการกวนผสมที่ความเร็วรอบสูงๆ เนื่องจากเมื่อน้ำมันโคและสารละลายโซเดียมเมท็อกไซด์อยู่ในถังปฏิกรณ์จะเกิดการแยกชั้น เพราะมีความหนาแน่นที่ต่างกัน โดยน้ำมันโคจะอยู่ด้านล่างถังปฏิกรณ์ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะอยู่ด้านบนถังปฏิกรณ์ เมื่อใบพัดกวนที่มีลักษณะการไหลตามแนวแกนทำงาน จะทำให้น้ำมันโคด้านก้นถังปฏิกรณ์หมุนวนขึ้นไปด้านบนถังปฏิกรณ์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งอยู่ด้านบนปฏิกรณ์จะหมุนวนลงด้านล่าง ส่งผลให้สารตั้งต้นผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่ายและรวดเร็ว

งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ใบพัดกวนชนิดกังหัน 4 ใบเอียง 45 องศา ใช้ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการกวนนาน 5 นาที จะได้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ร้อยละ 97.40 ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานและระยะเวลาในการผลิตลงได้ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน ที่กำหนดไว้ขั้นต่ำร้อยละ 96.5



Component	ระยะเวลาคงค้าง (นาที)	ร้อยละองค์ประกอบ
Triglyceride	9.240	2.6
Methyl Ester	10.450	97.40

รูปที่ 6 กราฟวิเคราะห์ร้อยละเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ที่ได้จากถังปฏิกรณ์ โดยเครื่อง HPLC

3.3 สมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล

ผลการวิเคราะห์สมบัติของไบโอดีเซลจากไขมันโคเปรียบเทียบกับมาตรฐานเชิงพาณิชย์และมาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน

ตารางที่ 6 สมบัติทางของไบโอดีเซลจากไขมันโคกับมาตรฐานไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์และไบโอดีเซลชุมชน

สมบัติ	ข้อกำหนด		ไบโอดีเซลจากถังปฏิกรณ์
	มาตรฐานเชิงพาณิชย์	มาตรฐานชุมชน	
เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์	ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 96.5	ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 96.5	97.40

ตารางที่ 6 สมบัติทางของไบโอดีเซลจากไขมันโคกับมาตรฐานไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์และไบโอดีเซลชุมชน (ต่อ)

สมบัติ	ข้อกำหนด		ไบโอดีเซลจากถังปฏิกรณ์
	มาตรฐานเชิงพาณิชย์	มาตรฐานชุมชน	
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 ºC (cSt)	3.5-5	1.9-8	5.88
ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 30 ºC (kg/m^3)	860-900	-	865
ไตรกลีเซอไรด์	ไม่สูงกว่า 0.2	-	2.60

จากตารางที่ 6 ไบโอดีเซลจากไขมันโคที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์และไบโอดีเซลชุมชน พบว่าได้เมทิล-เอสเทอร์บริสุทธิ์ร้อยละ 97.40 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านมาตรฐาน แต่ค่าความหนืดที่ได้เกินมาตรฐานไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ที่กำหนดไว้ที่ 3.5-5 cSt. ซึ่งส่งผลให้ไบโอดีเซลที่ได้ยังไม่สามารถใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้ แต่ค่าที่ได้ (5.88 cSt) ยังผ่านมาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน ซึ่งอยู่ในช่วง 1.9-8 cSt. จึงทำให้ไบโอดีเซลที่ได้ สามารถใช้งานกับเครื่องยนต์การเกษตร

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองผลิตไบโอดีเซลในห้องปฏิบัติการพบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันโคคือ อัตราส่วนโดยโมลแอลกอฮอล์ต่อโมลน้ำมันโค 6 : 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮ-ดรอกไซด์ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที และอุณหภูมิทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 91.5 มีค่าเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ร้อยละ 97.59 โดยพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นจะส่งผลให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ไม่ควรให้ใกล้กับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ เนื่องจากแอลกอฮอล์บางส่วนอาจระเหยกลายเป็นไอ ทำให้แอลกอฮอล์ไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ส่วนเวลาในการทำปฏิกิริยาพบว่า เมื่อให้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่นานขึ้นจะส่งผลให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเช่นกัน และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสม หากใช้ในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้สารตั้งต้นเกิดสบู่และเป็นเจล จะส่งผลให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ต่ำได้

ผลจากการกวนในถังปฏิกรณ์โดยใช้ใบพัดกวนชนิดกังหัน 4 ใบเอียง 45 องศา ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที ที่เวลา 5 นาที จะให้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ร้อยละ 97.40 ซึ่งผลการกวนที่เหมาะสมจะทำให้มีค่าความบริสุทธิ์ที่ต้องการโดยใช้เวลาในการกวนไม่นานจนเกินความจำเป็น และได้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณภาพ เมื่อเปรียบเทียบไบโอดีเซลกับมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานพบว่า ไบโอดีเซลจากไขมันโคยังไม่สามารถใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้ เนื่องจากค่าความหนืดยังเกินมาตรฐาน แต่สามารถใช้งานกับไบโอดีเซลชุมชนได้

5. ข้อเสนอแนะ

5.1 การเลือกวัตถุดิบไขมันโคที่จะนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ควรเลือกไขมันโคที่สดใหม่ และไม่มีกลิ่นเหม็นเน่า เพราะไขมันโคที่เหม็นเน่าจะมีค่ากรดไขมันอิสระที่สูงขึ้น จะทำให้ผลิตไบโอดีเซลได้ยากขึ้น

5.2 จากค่าความหนืดที่เกินมาตรฐานไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ ถ้าจะใช้งานในเชิงพาณิชย์จะต้องมีการลดความหนืดก่อน ซึ่งสามารถนำไบโอดีเซลจากไขมันโคไปผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ ที่เหมาะสม ก็จะทำให้ค่าความหนืดลดลงได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ สาขาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องทุนสนับสนุนในงานวิจัย

ขอขอบคุณคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี (Lab Lipid) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และนางสาวศลิษา ชุมสันเทียะ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่ และอุปกรณ์ในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน.,n.d., **รายงานปริมาณการใช้น้ำมันเดือนพ.ค. 52** [Online], Available : http://www.thaienergynews.com/ShowNewsDetail.asp?ObjectID=4428 [8 มิถุยายน 2552].
2. กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์.,nd., **สถิติข้อมูลการปศุสัตว์** [Online], Available : http://www.dld.go.th/ict/stat_web/yearly/yearly48/index.html [8 มิถุนายน 2552].
3. ชิน ผางนุย, 2551, **การผลิตไบโอดีเซลจากไขไก่ ในระดับชุมชน**, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 10 – 11.
4. พนิดา สามพรานไพบูลย์, 2544,**การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันสัตว์เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล,** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยา ลัยรังสิต, หน้า 12-47.
5. M.E. da Cunha, ., Laiza, C.K., Maria, S.A.M., Candice, S.F., Rosangela, A.J., Suelen, R.A., Maria, R.A.R., Elina, B.C.,2009, “Beef tallow biodiesel produced in a pilot scale”,**Fuel Processing Technology**, Vol. 90, pp. 570-575.
6. ธีรยุทธ หล่อภูมิพันธ์, 2537, **ภาวะที่มีผลต่อการผสมในถังกวนแบบต่อเนื่อง**, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัญฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. บัญญัติ นิยมวาส, 2546, “การคำนวณต้นกำลังขับชุดใบกวนของเหลว”, **เทคนิค เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหการ**, ฉบับที่ 228, ปีที่ 20, หน้า 102-105.
8. Haq, N.B., Muhammad, A.H., Mohammad Q. and Ata, R., 2008, “Biodiesel production from waste tallow”, **Fuel**, Vol. 87, pp. 2961–2966.
9. Ma, F. and Hanna, M.A., 1999, “Biodiesel production: a review”, **Bioresource Technlogy**,Vol. 70, pp. 1-15.
10. Meher, L.C., Vidya, S.D. and Naik, S.N., 2006, “Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** Vol. 10, pp. 248–268.