

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันไข่ไก่ โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

ธีรวัช สิงหศิริ^{1,*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

*Email: theethawat88@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันไข่ไก่ที่มีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.45 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยวิธีออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง ทำการวางแผนการทดลองด้วยวิธี Box-Behnken Design ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย ได้แก่ เวลาการทำปฏิกิริยา (60, 90 และ 120 นาที) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.5, 1.0 และ 1.5 ร้อยละโดยน้ำหนัก) และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน (3:1, 6:1 และ 9:1) จากรูปแบบสมการที่ได้พบว่า เวลาการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน มีอิทธิพลต่อค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์อย่างมีนัยสำคัญ $R^2 = 99.58\%$ และ $R^2\text{-adj} = 98.82\%$ สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลพบว่า เวลาการทำปฏิกิริยามีค่าเริ่มต้น 81.82 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.40 ร้อยละโดยน้ำหนัก และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมันเท่ากับ 7.48:1 โดยสภาวะดังกล่าวสามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 99.80 น้ำมันไข่ไก่มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ เนื่องจากมีค่าเมทิลเอสเทอร์สูงกว่า ร้อยละ 96.5 ตามมาตรฐานของ ASTM 6751

คำสำคัญ

ไบโอดีเซล ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน การออกแบบการทดลอง พื้นผิวตอบสนอง

OPTIMIZATION OF BIODIESEL PRODUCTION FROM CHICKEN FAT USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

Theethawat Singhasiri^{1,}*

*¹Science Program in Environmental Science , Faculty of Science,
Udon Thani Rajabhat University.*

**Email: theethawat88@gmail.com*

ABSTRACT

Biodiesel production from chicken fat containing 0.45% FFA using sodium hydroxide as catalyst was studied under different conditions. Methyl ester was used as indicator. Box-Behnken Design was used for experimental design with three factors: reaction time (60, 90 and 120 min), amount of sodium hydroxide as catalyst concentration (0.5, 1.0 and 1.5 %w/w) and methanol to oil ratio (3:1, 6:1 and 9:1) was investigated to find the optimal conditions. Reaction time, amount of sodium hydroxide as catalyst concentration and methanol to oil ratio were the significant factor influence on methyl ester. The second order polynomial regression model obtained was fitted enough with R^2 of 99.58% and R^2 -adj of 98.82%. The methyl ester of biodiesel by sodium hydroxide as catalyst was obtained optimum at 99.80% with methanol to oil ratio of 7.48:1w/w under the catalyst concentration of 1.40 % w/w and reaction time was used in reaction is 81.82 minutes, respectively. The physical and chemical properties for biodiesel production from chicken fat had a reasonable agreement with ASTM 6751 biodiesel standard.

KEYWORDS

transesterification, optimal condition, response surface methodology, statistical experimental design

1. บทนำ

จากวิกฤตการณ์ราคาน้ำมันของโลกที่สูงขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากทั่วโลกมีความต้องการใช้พลังงานมากขึ้น แต่ทรัพยากรปิโตรเลียมลดลง รวมทั้งประเทศไทยมีอัตราการใช้พลังงานทุกประเภทเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันดีเซล โดยในปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยใช้น้ำมันดีเซลจำนวน 17,956 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2555 จำนวน 17,695 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ หรือคิดเป็นร้อยละ 1.45 [1] ประเทศไทยจึงได้ส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทน เพื่อช่วยบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำมัน ซึ่งไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนที่ได้รับความสนใจเนื่องจากไบโอดีเซลสามารถสังเคราะห์ได้ง่ายจากน้ำมันพืช และไขมันสัตว์ นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [8] การผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันสามารถสังเคราะห์ได้ง่ายจากผลผลิตทางการเกษตร และไขมันสัตว์ อาทิ ปาล์ม ทานตะวัน สบู่ดำ น้ำมันเหลือใช้ และไขมันสัตว์ ได้แก่ หมู วัว ไก่ โดยเฉพาะไก่ ซึ่งเป็นสัตว์เศรษฐกิจสำคัญของประเทศ ในปี 2555 อุตสาหกรรมไก่มีการเลี้ยงไก่เนื้อรวมทั้งสิ้นประมาณ 1,264 ล้านตัวต่อปี คิดเป็นผลผลิตไก่เนื้อราว 1.830 ล้านตันต่อปี [2] ในกระบวนการแปรรูปไก่จะมีส่วนที่เป็นของเสียชนิดไขมันไก่อยู่ประมาณร้อยละ 4 หรือ 73,200 ตันต่อปี และเมื่อนำมาสกัดเป็นน้ำมันจะได้ปริมาณน้ำมันประมาณร้อยละ 77 หรือ 56,364 ตัน [4] ซึ่งมีจำนวนมากและน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ควรส่งเสริมในการนำมาเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซล ซึ่งนอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่า และส่งเสริมให้มีการนำของเหลือทิ้งมาทำให้เกิดประโยชน์ทางด้านพลังงานแล้ว ยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุขได้อีกด้วย ทั้งนี้ไข่ไก่และน้ำมันไก่เมื่อถูกปล่อยทิ้งลงสู่แม่น้ำจะก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ โดยน้ำที่มีคราบน้ำมันหรือไขมันเจือปนในปริมาณมากจะเป็นอุปสรรคต่อการถ่ายเทออกซิเจนและแสงแดดลงสู่แหล่งน้ำ ส่งผลให้เกิดการเน่าเสียของน้ำตามมา และสามารถส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์และพืชน้ำนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศในการบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้น นอกจากนี้หากประชาชนนำมาบริโภคแล้ว อาจไม่เป็นผลดีต่อสุขภาพและนำไปสู่การเกิดโรคกับร่างกายได้ [3] ดังนั้นน้ำมันไข่ไก่จากอุตสาหกรรมแปรรูปไก่เนื้อ เป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจสามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

วัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในการศึกษานี้ คือ ไข่ไก่จากโรงงานชำแหละเนื้อไก่ ตลาดหนองบัว จังหวัดอุดรธานี โดยนำไข่ไก่ 3 กิโลกรัม มาสกัดน้ำมันด้วยวิธีการเจียวในกระทะไฟฟ้า ด้วยอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น(ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส) กรองด้วยผ้าขาวบาง และนำไปชั่งปริมาณน้ำมันไข่ไก่ นำไปทดสอบ %FFA ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.45 และนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล [4]

2.2 การออกแบบการทดลอง

ออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลด้วยโปรแกรม MINITAB Release 16.1.0 โดยเลือกการออกแบบแบบ Box – Behnken [9] โดยมีตัวแปร (variable) ที่มีอิทธิพลต่อการผลิตไบโอดีเซลจำนวน 3 ตัวแปรได้แก่ เวลาการทำปฏิกิริยา (T) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ (M) และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน (C) โดยเวลาในการทำปฏิกิริยามี 3 ระดับคือ 60 90 และ 120 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์มี 3 ระดับคือ 0.5 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันมี 3 ระดับคือ 3:1 6:1 และ 9:1 ดังแสดงในตารางที่ 1 และเมื่อใช้โปรแกรม MINITAB ออกแบบจะได้ตารางที่ 2 ซึ่งสามารถออกแบบการทดลองได้ทั้งหมด 15 การทดลอง นำไปวิเคราะห์ปริมาณร้อยละเมทิล

เอสเทอร์ของไบโอดีเซล จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้ multiple regression analysis เมื่อได้ค่าประมาณและค่าทดสอบสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของร้อยละเมทิลเอสเทอร์มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการหาพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response surface methodology) เพื่อสร้างรูปแบบสมการลำดับที่ 2 โดยรูปแบบของสมการแสดงดัง สมการดังต่อไปนี้

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + \varepsilon \quad (1)$$

- เมื่อ Y = ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันไข่ไก่
 b_i = สัมประสิทธิ์เชิงเส้นตรงของตัวแปร
 b_{ii} = สัมประสิทธิ์เชิงเส้นโค้งของตัวแปร
 b_{ij} = สัมประสิทธิ์ของปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร
 ε = สัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง

ตารางที่ 1 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรของการออกแบบแบบ Box – Behnken

ตัวแปร	รหัส	ระดับ		
		-1	0	+1
เวลาการทำปฏิกิริยา (นาที)	T	60	90	120
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	M	0.5	1.0	1.5
อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน	C	3:1	6:1	9:1

ตารางที่ 2 ตารางการออกแบบการทดลองแบบ Box – Behnken

การทดลองที่	เวลา (นาท) (T)	ปริมาณตัวเร่ง NaOH (ร้อยละ) (M)	อัตราส่วนโดยโมล (C)
1	120	0.5	6
2	90	1.0	6
3	90	0.5	3
4	90	1.5	6
5	60	1.5	9
6	60	1.5	3
7	120	1.5	3
8	90	0.5	9
9	120	1.5	9
10	60	1.5	6
11	120	1.5	6
12	60	0.5	6
13	90	1.5	9
14	90	1.5	6
15	90	1.5	3

2.3 การเตรียมไบโอดีเซล

ซึ่งน้ำมันไข่ไก่ 100 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนจนกระทั่งน้ำมันมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ละลายเมทานอลและ NaOH ตามปริมาณในแต่ละการทดลองของการออกแบบการทดลอง แล้วนำใส่ลงไปในน้ำมันไข่ไก่ ทำการกวนผสมด้วย magnetic stirrer และเริ่มจับเวลาในแต่ละการทดลอง เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเทใส่ลงในกรวยแยกเพื่อแยกเอากลิเซอรอลซึ่งอยู่ชั้นล่างออกให้เหลือแต่ไบโอดีเซล แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นที่อุ่น (50 องศาเซลเซียส) โดยตรวจสอบด้วยค่าพีเอชเท่ากับตอนก่อนล้างไบโอดีเซล นำไบโอดีเซลมากำจัดน้ำด้วย Na_2SO_4 หลังจากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง นำไปวิเคราะห์ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

2.4 การวิเคราะห์ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

ฉีดตัวอย่างไบโอดีเซลที่จะวิเคราะห์ปริมาตร 1 ไมโครลิตร เข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Thermo Finnigan, Italy) โดยใช้แคปิลารีคอล์ม ZB-5MS เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร อุณหภูมิของคอลัมน์ 280 องศา

เซลล์เชื้อเพลิง อุณหภูมิของ detector 250 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของ injector 260 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สตัวพา (ฮีเลียม) 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตัวตรวจวัดแบบ FID split ratio เท่ากับ 1:50

3. ผลและอภิปรายผล

3.1 การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

จากการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันไข่ไก่ที่สภาวะต่างๆ ตามตารางแบบ Box – Behnken Design ได้ผลร้อยละเมทิลเอสเทอร์ แสดงดังตารางที่ 3 เมื่อนำค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันไข่ไก่ มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้ multiple regression analysis จากโปรแกรม MINITAB ได้ค่าประมาณและการทดสอบสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของร้อยละเมทิลเอสเทอร์ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันไข่ไก่

การทดลองที่	เวลา (นาท) (T)	ปริมาณตัวเร่ง NaOH (ร้อยละ) (M)	อัตราส่วนโดยโมล (C)	FAME (%)
1	120	0.5	6	90.7
2	90	1.0	6	96.4
3	90	0.5	3	73.4
4	90	1.0	6	96.8
5	60	1.0	9	95.4
6	60	1.0	3	75.9
7	120	1.0	3	78.6
8	90	0.5	9	92.5
9	120	1.0	9	94.3
10	60	1.5	6	96.4
11	120	1.5	6	94.2
12	60	0.5	6	83.4
13	90	1.5	9	96.5
14	90	1.0	6	95.7
15	90	1.5	3	83.5

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-21.0125	6.57415	-3.196	0.024
T	0.8046	0.10367	7.761	0.001
M	46.8	5.01136	9.339	0.000
C	14.7375	0.83523	17.645	0.000
T*T	-0.0031	0.00052	-5.908	0.002
M*M	-9.4	1.8787	-5.003	0.004
C*C	-0.8306	0.05219	-15.915	0.000
T*M	-0.1583	0.03008	-5.263	0.003
T*C	-0.0106	0.00501	-2.105	0.089
M*C	-1.0167	0.30083	-3.38	0.020

$$S = 0.902497 \quad R^2 = 99.58\% \quad R^2(\text{adj}) = 98.82\%$$

จากตารางที่ 4 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละเมทิลเอสเทอร์กับปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งได้แก่ เวลาการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน ได้ดังสมการที่ (2)

$$\begin{aligned} \%FAME = & 0.8046T + 46.8 M + 14.7375 C - 0.0031T^2 - 9.4M^2 - 0.8306C^2 \\ & - 0.1583T*M - 0.0106 T*C - 1.0167M*C - 21.0125 \end{aligned} \quad (2)$$

โดยที่ T = เวลาการทำปฏิกิริยา

M = ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์

C = อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ดังตารางที่ 4 พบว่า แบบจำลอง Full Quadratic มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่า เวลาการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมันมีความสัมพันธ์กับค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

การวิเคราะห์ความแปรปรวน(Analysis of varian; ANOVA) ดังตารางที่ 5 ทำให้ทราบเวลาการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมันมีผลต่อค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น $R^2 = 99.58\%$ ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มีการปรับแก้ $R^2\text{-adj}$ มีค่าเป็น 98.82% นั่นคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมันจะส่งผลต่อคุณภาพของร้อยละเมทิลเอสเทอร์

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source of Variance	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	958.352	958.352	106.484	130.73	0.000
Linear	3	688.818	294.443	98.148	120.50	0.000
Square	3	234.059	234.059	78.020	95.79	0.000
interaction	3	35.475	35.475	11.825	14.52	0.007
Residual Error	5	4.073	4.073	0.815		
Lack-of-Fit	3	3.453	3.453	1.151	3.71	0.219
Pure Error	2	0.620	0.620	0.310		

การทดสอบความสมบูรณ์ของแบบจำลอง (Lack of fit) แสดงดังตารางที่ 5 พิจารณาได้จากค่าสถิติ P ของร้อยละเมทิลเอสเทอร์จากไขไก่ มีค่าเท่ากับ 0.219 ซึ่งค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มีความสมบูรณ์กับข้อมูล ($P\text{-Lack of fit} > 0.05$) ที่ระดับนัยสำคัญ 99.58% หรือสมการที่ได้มีความแม่นยำเพียงพอในการพยากรณ์ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลจากไขไก่

3.2 อิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์

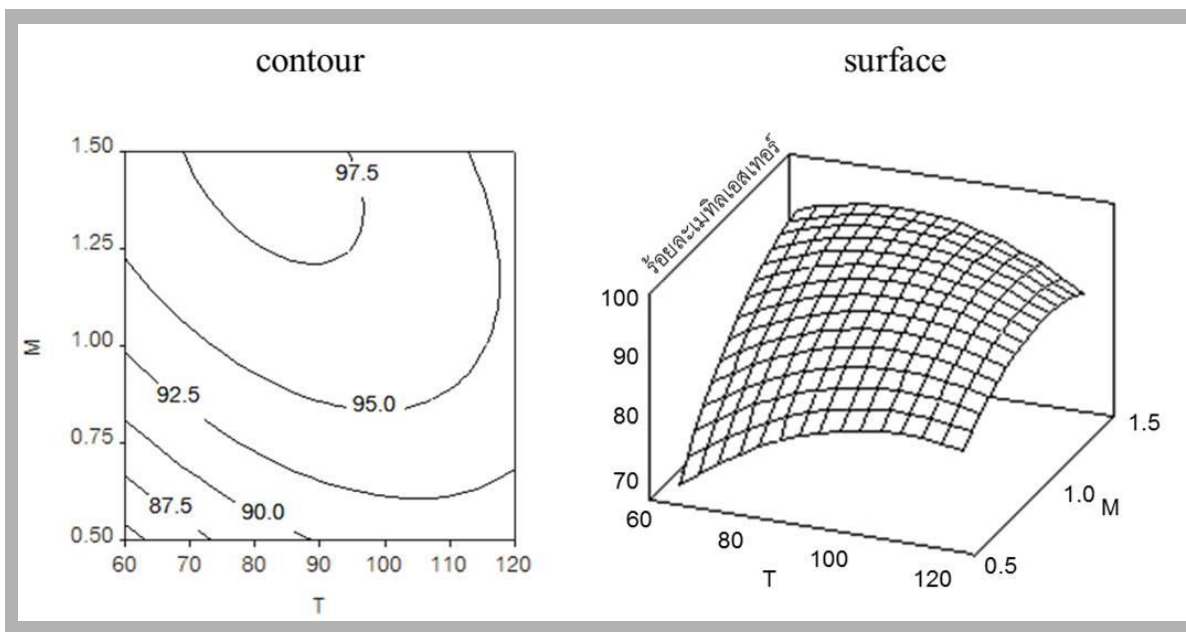
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากสมการที่ (2) สามารถนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย ด้วยพื้นที่ตอบสนองและ contour plots โดยกำหนดให้ค่าของปัจจัยหนึ่งอยู่ที่ระดับ 0 หรือกลาง (ตารางที่ 1) ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์กับเวลาการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมันแสดงดังในรูปที่ 1 และ 2

3.2.1 อิทธิพลของเวลาการทำปฏิกิริยาและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการทำปฏิกิริยากับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยกำหนดให้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมันมีค่าเท่ากับ 6:1 แสดงดังรูปที่ 1 พบว่า ร้อยละเมทิลเอสเทอร์มีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาการทำปฏิกิริยาและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 97.5 ในสภาวะที่มีเวลาการทำปฏิกิริยาเริ่มต้นประมาณ 70 – 95 นาที และเวลาการทำปฏิกิริยาหลังจาก 95 นาทีเริ่มมีค่าคงที่และลดลง ในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเกิดค่อนข้างช้ามาก เนื่องจากผลกระทบของการกวนผสมและแพร่กระจายระหว่างกันของเมทานอลกับน้ำมัน แต่ระยะเวลาต่อมากปฏิกิริยาจะดำเนินไปได้อย่างรวดเร็วจนทำให้ได้เมทิลเอสเทอร์สูงสุด แต่หากใช้เวลานานมากเกินไปอัตราการผลิตคืนกลับของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นผลทำให้เมทิลเอสเทอร์ลดลง [11,12]

ค่า %FFA เป็นค่าที่มีผลโดยตรงต่อปริมาณการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่ง %FFAของน้ำมันไขไก่ที่ใช้ในการวิจัยมีเท่ากับร้อยละ 0.45 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สูงจนเกินไป และเพียงพอสำหรับใช้

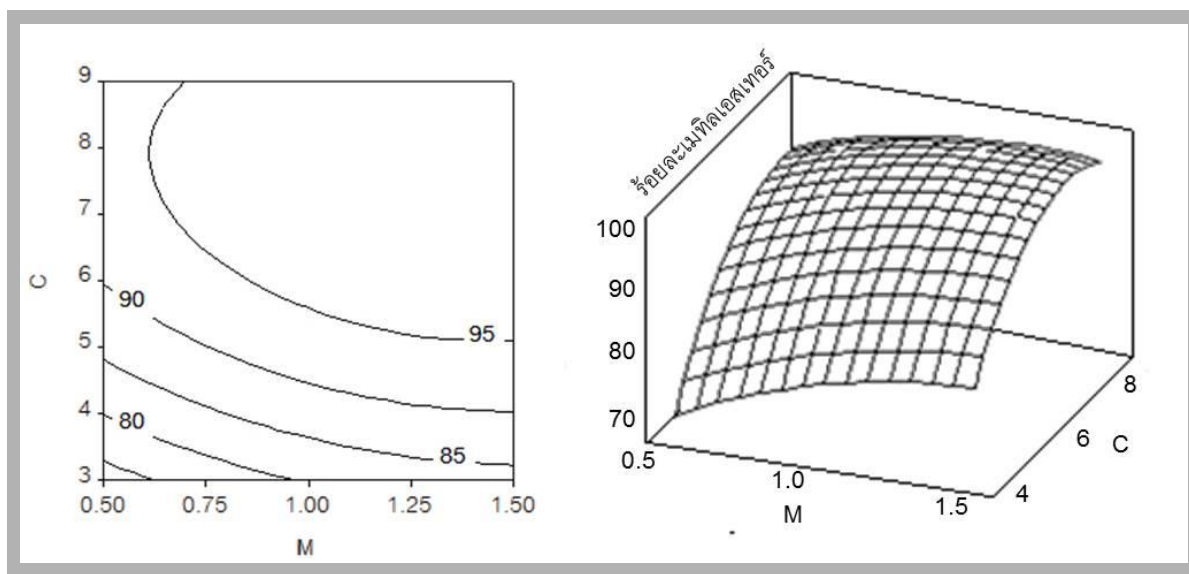
ในปฏิกิริยา โดยเมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น พบว่า ร้อยละเมทิลเอสเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อการเร่งให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเกิดได้เร็วขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งทำให้เกิดเมทิลเอสเทอร์ได้มากขึ้น แต่จะเพิ่มมากขึ้นจนถึงปริมาณการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ค่าหนึ่งและจะเริ่มลดลง [5,8] ทั้งนี้เนื่องจากการมีปริมาณไฮดรอกไซด์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมากเกินไปจะทำให้เกิดสบู่ [7] และก่อให้เกิดอิมัลชันสูงขึ้น จึงส่งผลให้ได้เมทิลเอสเทอร์ในปริมาณที่ต่ำ [4,10]



รูปที่ 1 Contour plot และ surface plot แสดงอิทธิพลของเวลาการทำปฏิกิริยา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์

3.2.2 อิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์กับอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน โดยกำหนดให้เวลาการทำปฏิกิริยา มีค่าเท่ากับ 90 นาที แสดงดังรูปที่ 2 พบว่า ร้อยละเมทิลเอสเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้น โดยร้อยละเมทิลเอสเทอร์มีค่าสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 95 เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.52 – 1.50 และ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมันเท่ากับ 5:1 – 9:1 ทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ [13] การใช้เมทานอลปริมาณที่สูงขึ้นทำให้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันถูกผลักไปข้างหน้ามากขึ้น มีผลทำให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เพิ่มสูงขึ้นด้วย [6,14] แต่ปริมาณของเมทานอลที่สูงเกินไปนั้นส่งผลต่อการแยกเฟสของเมทิลเอสเทอร์และน้ำ และน้ำที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวหลักปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันให้ผันกลับมากขึ้น ส่งผลทำให้เมทิลเอสเทอร์ลดลง [15-17]

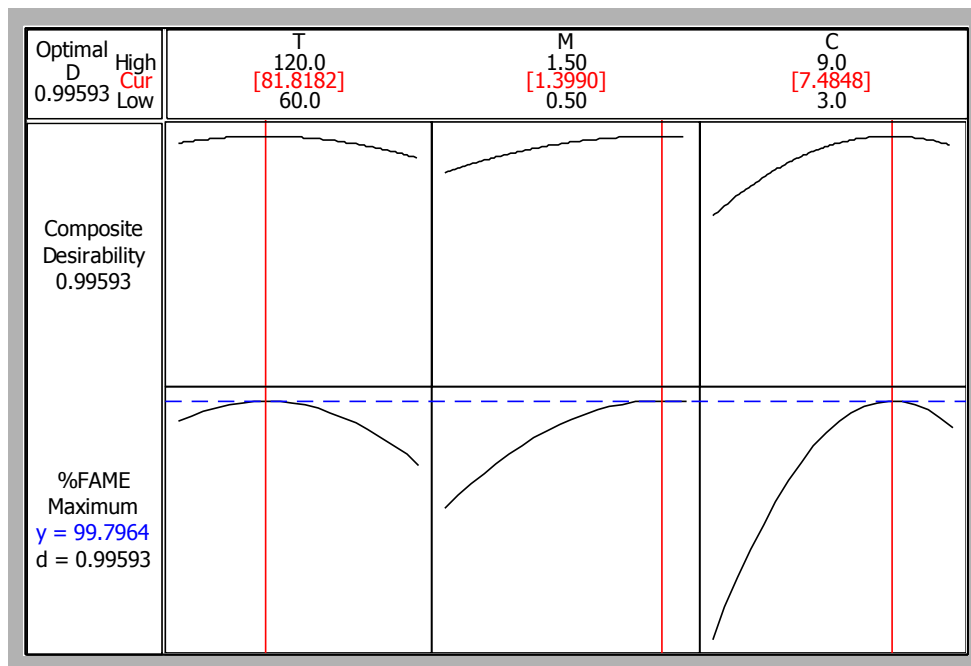


รูปที่ 2 Contour plot และ surface plot แสดงอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน

3.2.3 การหาค่าสภาวะที่เหมาะสม

เมื่อนำสมการที่ (2) ศึกษาค่าสภาวะที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม MINITAB จะได้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันไข่ไก่ แสดงดังรูปที่ 3 เป็นดังนี้

เวลาการทำปฏิกิริยา (T)	= 81.82 นาที
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ (M)ร้อยละ	= 1.40
อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน (C)	= 7.48:1
โดยได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุดร้อยละ	= 99.80



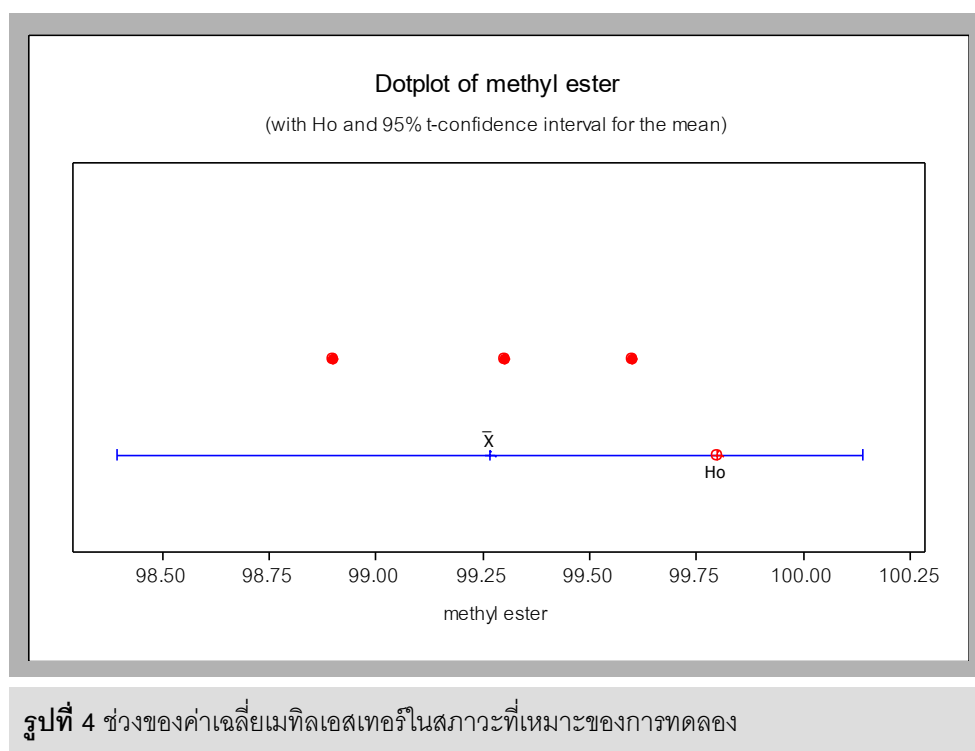
รูปที่ 3 สภาวะที่เหมาะสม (optimization chart) ของเวลาการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน ที่มีผลต่อค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์

3.2.4 การยืนยันค่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีทางสถิติ

เพื่อทำการยืนยันสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลที่มีปริมาณสูงสุด จึงได้ทำการทดลองผลิตไบโอดีเซลตามสภาวะที่เหมาะสมจำนวน 3 การทดลอง เพื่อทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยโดยโปรแกรม MINITAB แสดงดังตารางที่ 6 โดยจะได้ค่าสถิติ $T = -2.63$ และ $T_{\alpha/2} = 4.303$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายอมรับสมมติฐานหลักได้ ($H_0 = 99.8$) นั่นคือค่าเฉลี่ยของร้อยละเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันไข่ไก่ คือ ร้อยละ 99.8 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยในการทดลองเพื่อยืนยันสภาวะที่เหมาะสม พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่นนี้มีช่วงของค่าเฉลี่ยเมทิลเอสเทอร์ในช่วงร้อยละ 98.394 ถึง 100.139 โดยร้อยละเมทิลเอสเทอร์จากการทดลองซ้ำมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณทางสถิติ ซึ่งช่วงความเชื่อมั่นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการทดสอบค่าเฉลี่ย

Variable	N	Mean	St Dev	SE Mean	95% CI	T	P
experiment	3	99.267	0.351	0.203	(98.394, 100.139)	-2.63	0.119



รูปที่ 4 ช่วงของค่าเฉลี่ยเมทิลเอสเทอร์ในสภาวะที่เหมาะสมของการทดลอง

4. สรุปผล

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันไข่ไก่ ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken โดยใช้ MINITAB โดยที่เวลาการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมันมีผลต่อค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น R^2 เท่ากับ 99.58% และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มีการปรับแก้ (R^2 -adj) มีค่าเป็น 98.82% และมีสภาวะที่เหมาะสมจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการผลิตไบโอดีเซลดังนี้ เวลาการทำปฏิกิริยามีค่าเริ่มต้น 81.82 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ 1.40 ร้อยละโดยน้ำหนักและอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมันเท่ากับ 7.48:1 โดยได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 99.80 เมื่อทำการทดลองเพื่อยืนยันร้อยละเมทิลเอสเทอร์ พบว่า ค่าเฉลี่ยของเมทิลเอสเทอร์อยู่ในช่วงร้อยละ 98.394 ถึง 100.139 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

บรรณานุกรม

- [1] พัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์, กรม. สถิติพลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2556. [ออนไลน์]. 2556. แหล่งที่มา: www.dede.go.th/dede [19 พฤษภาคม 2557].
- [2] สมาคมผู้ผลิตไก่เพื่อส่งออกไทย. สถิติการส่งออกเนื้อไก่. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.thaipoultry.org/STATISTIC/tabid/248/Default.aspx> [10 มกราคม 2557].

- [3] ศูนย์ปฏิบัติการด้านความปลอดภัยอาหาร, กระทรวงสาธารณสุข. ข่าวสารเตือนภัยภายในประเทศ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.fda.moph.go.th/food_safety/frontend [24 เมษายน 2557].
- [4] ชิน ผางน่วย. การผลิตไบโอดีเซลจากไข่ไก่ในระดับชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2551.
- [5] ทศนีย์ สวัสดิ์พาณิชย์. การหาสภาวะที่เหมาะสมทางสถิติของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสดำด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.
- [6] เพ็ญจิตร์ ศรีนพคุณ, เมธี สายศรีหยุด และ อนุสิษฐ์ ธนะพิมพ์เมธา. การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อร้อยละผลได้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอนจากกรดไขมันปาล์มที่ได้จากการกลั่น. วิศวกรรมสาร มก. 75 : 81-89.
- [7] ปกรณ์ วินะยานุวัติคุณ. 2554. เทคโนโลยีการเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อการผลิตไบโอดีเซล. วารสารวิจัยพลังงาน. 8 : 61-75.
- [8] Demirbas A. 2005. Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and noncatalytic supercritical methanol transesterification methods. Prog Energy Combust Sci 31 : 466–87.
- [9] Myers, R.H. and D.C. Montgomery. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc., U.S.A. 2002.
- [10] Aninidita K., Subrata K.b. and Souti Mukherjee. 2010. Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. Bioresource Technology 101 : 7201–10.
- [11] Viriya-empikul, N., Krasae, P., Puttasawat, B., Yoosuk, B., Chollacoop, N., & Faungnawakij, K. 2010. Waste shells of mollusk and egg as biodiesel production catalysts. Bioresource Technology 101(10): 3765–7.
- [12] Eevera, T., Rajendran, K., & Saradha S. 2009. Biodiesel production process optimization and characterization to assess the suitability of the product for varied environmental conditions. Renew Energy 34 : 762– 5.
- [13] Shu Q., Gao J., Nawaz Z., Liao Y. and Wang D. 2010. Synthesis of biodiesel from waste vegetable oil with large amounts of free fatty acids using a carbonbased solid acid catalyst. Applied Energy 87 : 2589-96.
- [14] Leung, DYC., & Guo, Y. 2006. Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiesel production. Fuel Process Technol 87: 883–90.
- [15] Crabbe, E., Nolasco-Hipolito. C., Kobayashi, G., Sonomoto, K., & Ishizaki, A. 2001. Biodiesel production from crude palm oil and evaluation of butanol extraction and fuel properties. Process Biochemistry 37(1): 65-71.
- [16] Antolin, G., F.V. Tinaut, Y. Briceño, V. Castaño, C. Perez & A.I. Ramirez. 2002. Optimization of biodiesel production by sunflower oil transesterification. Bioresource Technology 83(2): 111-14.
- [17] Meher, L.C., Sager, D.V., & Naik, S.N. 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification- a review. Renew. Sustain Energy Rev 10: 248–268.