

การแตกตัวของน้ำมันตุงด้วยความร้อนร่วมกับคาร์บอนกัมมันต์ และตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

Thermal and Catalytic Cracking of Tung Oil using Activated Carbon and Fe/Activated Carbon Catalyst in a Batch Reactor

ภาณุวัฒน์ จำปาศรี¹ ปิยะนาถ สมมณี² อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ¹ และ ธารพงษ์ วิจิตตานต์³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

² สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

⁴ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Email : p.jumpasri@gmail.com, kspiyana@kmitl.ac.th, kwanchal@kmitl.ac.th, tharap@sc.chula.ac.th



บทคัดย่อ

น้ำมันพืชที่ไม่ใช้บริโภคเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวเพื่อเป็นพลังงานทางเลือกทดแทนน้ำมันดิบจากฟอสซิลซึ่งมีปริมาณสำรองลดลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแตกตัวของน้ำมันตุงซึ่งเป็นน้ำมันที่ไม่ใช้บริโภคด้วยความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะภายใต้ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาการแตกตัว ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา (คาร์บอนกัมมันต์ (AC) ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์ (Fe/AC)) อัตราส่วนของเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์ 1 และ 5 wt% (1-wt% Fe/AC และ 5-wt% Fe/AC) อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันตุง 0.5 และ 1.5 wt% (0.05 และ 0.15 กรัมของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันตุง 10 กรัม) อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 390, 415 และ 440 °C และเวลาทำปฏิกิริยา 30, 45 และ 60 นาที ผลการศึกษาพบว่าได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุดที่อุณหภูมิ 390 °C และเวลา 30 นาที เมื่อใช้คาร์บอนกัมมันต์ต่อน้ำมันตุง 0.5 wt% และ 1-wt% Fe/AC ต่อน้ำมันตุง 0.5 wt% ในกรณี AC ต่อน้ำมันตุง 0.5 wt% วิเคราะห์ส่วนที่เป็นแก๊ส ผลิตภัณฑ์ของเหลว และของแข็งได้ 12.36, 84.95 และ 2.69 wt% ตามลำดับ ส่วนกรณีของ 1-wt% Fe/AC ต่อน้ำมันตุง 0.5 wt% ได้ 6.58, 89.63 และ 3.79 wt% ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแตกตัวด้วยแก๊สโครมาโทกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น (Simulated Distillation Gas Chromatograph) ตามมาตรฐาน ASTM D2887 ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแตกตัวด้วยคาร์บอนกัมมันต์ประกอบด้วยเนฟทา 7.76 เคโรซีน 8.22 แก๊สออยล์เบา 26.97 แก๊สออยล์หนัก 5.08 และกากน้ำมันหนัก (Long Residue) 36.92 wt% สำหรับองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแตกตัวด้วย 1-wt% Fe/AC ประกอบด้วยเนฟทา 12.06 เคโรซีน 10.88 แก๊สออยล์เบา 25.68 แก๊สออยล์หนัก 9.06 และกากน้ำมันหนัก 31.95 wt%

Abstract

Non edible oils are one of attractive raw materials to synthesize liquid fuels which are potential alternative energy as the petroleum reserve is decreasing. This research aims to study

parameters that affect thermal and catalytic cracking of Tung oil, a non edible oil, in a batch reactor at a constant hydrogen pressure of 1 barg to determine the optimum conditions. The influences of several parameters were investigated: types of catalysts (AC, Fe/AC), the ratio of Fe on activated carbon 1-wt% and 5-wt% (1-wt% Fe/AC และ 5-wt% Fe/AC), the ratio of catalyst to Tung oil of 0.5 and 1.5 wt% (0.05 and 0.15 g catalyst : 10 g Tung oil), reaction temperature of 390, 415 and 440 °C and reaction time of 30, 45 and 60 minutes. The maximum liquid product was achieved at 390 °C and 30 mins by using activated carbon to Tung oil 0.5 wt%, and 1-wt% Fe/AC to Tung oil 0.5 wt%. As a result, gas, liquid and solid fractions were found to be 12.36, 84.95 and 2.69 wt%, respectively when 0.5 wt% activated carbon was used. In the case of 1-wt% Fe/AC to Tung oil 0.5 wt%, gas, liquid and solid fractions were 6.58, 89.63 and 3.79 wt%, respectively. The compositions in liquid product were analyzed by the simulated distillation gas chromatograph based on ASTM D2887. By using the activated carbon, the cracked liquid product consisted of naphtha 7.76, kerosene 8.22, light gas oils 26.97, heavy gas oils 5.08 and long residue 36.92 wt%. For 1-wt% Fe/AC, liquid product consisted of naphtha 12.06, kerosene 10.88, light gas oils 25.68, heavy gas oils 9.06 and long residue 31.95 wt%.

Keywords

thermal cracking, catalytic cracking, Tung oil, activated carbon, liquid fuel

1. คำนำ

ปัญหาวิกฤตการณ์พลังงานโลกและราคาน้ำมันจากปิโตรเลียมที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้หลายประเทศตระหนักถึงความมั่นคงทางพลังงานและการหาแหล่งพลังงานทดแทนต่างๆ ที่มีศักยภาพและยั่งยืน เช่น เชื้อเพลิงชีวภาพ พลังงานจากชีวมวล และเชื้อเพลิงเหลวสังเคราะห์ เนื่องจากประเทศไทยนำเข้าพลังงานมากกว่า 64% กระทรวงพลังงานจึงกำหนดให้พลังงานทดแทนเป็นวาระแห่งชาติในแผน 15 ปี (พ.ศ. 2551-2565) [1] โดยทั่วไปการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวประเภทไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชทำโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) การแตกโมเลกุลด้วยความร้อน (Thermal cracking or pyrolysis) การแตกโมเลกุลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking) หรือการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา

(Thermal cracking and Catalytic cracking) สารตั้งต้นที่ใช้กับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เช่น น้ำมันพืชที่ใช้บริโภคและไม่ใช้บริโภค น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำคือ 60 - 80 องศาเซลเซียส แต่มีข้อจำกัดที่ต้องเสียเวลาแยกตัวเร่งปฏิกิริยาสารละลายต่างซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ออกจากไบโอดีเซลที่ได้ นอกจากนั้นยังต้องแยกและล้างผลพลอยได้คือกลีเซอรอล ทำให้ต้องบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นอีก การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันที่ใช้บริโภคเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ราคาอาหารปรับตัวสูงขึ้น [2] ดังนั้นจำเป็นต้องพิจารณาแหล่งของวัตถุดิบ และแบ่งสัดส่วนของการใช้น้ำมันที่ใช้บริโภคและไม่ใช้บริโภคให้เหมาะสมสำหรับการบริโภคหรือการใช้เป็นพลังงาน น้ำมันพืชมีองค์ประกอบหลัก คือ ไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและ

ไม่อึดตัว สามารถแตกโมเลกุลของน้ำมันพืชได้แก๊สไฮโดรคาร์บอน แก๊สซิน โครซีน และแก๊สออกซิลเบา และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ [3] เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชกับชีวมวลของแข็งที่มีองค์ประกอบของลิโนเซลลูโลส พบว่าน้ำมันพืชเหมาะสมที่จะใช้สังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลว เพราะการแตกโมเลกุลของของเหลวใช้อุณหภูมิต่ำกว่า นอกจากนี้ของเหลวที่ได้จากการแตกโมเลกุลจะมีสภาพเป็นกลาง มีค่าความร้อนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม เพราะมีออกซิเจนในโครงสร้างน้อย เนื่องจากออกซิเจนทำให้ค่าความร้อนของของเหลวลดลง [4] งานที่ผ่านมาของคณะวิจัยศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากชีวมวล ขยะพลาสติก น้ำมันพืชใช้แล้ว และน้ำมันที่ไม่ใช้บริโภค เช่น น้ำมันตุง (Tung Oil) น้ำมันสบู่ดำ น้ำมันเมล็ดเรพ ต้นน้ำมันตุงเป็นพืชโตเร็ว มีอายุยืน และให้ผลผลิตได้เร็ว ตั้งแต่อายุ 3 - 4 ปี ประมาณ 300 - 450 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าผลผลิตจากต้นสบู่ดำ 1 - 2 เท่า ธนาทิพย์ ศรีสูงค์ [5] ศึกษาการแตกตัวของน้ำมันตุงที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ได้ผลิตก๊าซของเหลวประมาณ 40 wt% ซึ่งมีเนฟทาเป็นองค์ประกอบประมาณ 20 wt% แต่เนื่องจากได้ผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลวต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทดลองใช้คาร์บอนกัมมันต์และตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์เพื่อเพิ่มผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว เพราะจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาของ Tran Tan Viet และคณะ [6] พบว่าคาร์บอนกัมมันต์สามารถแตกโมเลกุลของกากจากกันหอกลิ้นสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 นาที ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนที่ความดัน 3.45 MPa ได้ค่าการแปลงผันประมาณ 70 wt% นอกจากนี้จะหาภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาการแตกตัว ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา (คาร์บอนกัมมันต์ (AC) ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก

บนคาร์บอนกัมมันต์ (Fe/AC)) อัตราส่วนของเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์ อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันตุง อุณหภูมิและเวลาทำปฏิกิริยา

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันตุงก่อนการแตกตัวตามมาตรฐาน ASTM D2887 ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น

2.2 วิเคราะห์อุณหภูมิการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันตุงด้วย Thermogravimetric analyzer (TGA)

2.3 เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา 1-wt% Fe/AC และ 5-wt% Fe/AC [7]

2.4 วิเคราะห์ลักษณะสมบัติของคาร์บอนกัมมันต์และตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์ ได้แก่ ปริมาตรรูพรุนด้วยวิธี Barrett, Joyner และ Halenda (BJH method) ขนาดรูพรุนด้วยวิธี Dubinin และ Astakhov (DA method) และพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธี Brunauer, Emmett และ Teller (BET Method)

2.5 หาภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวจากการแตกตัวของน้ำมันตุงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ 70 มิลลิลิตร ภายใต้ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา (คาร์บอนกัมมันต์ (AC) ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์ (Fe/AC)) อัตราส่วนของเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์ 1 และ 5 wt% (1-wt% Fe/AC และ 5-wt% Fe/AC) อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันตุง 0.5 และ 1.5 wt% (0.05 และ 0.15 กรัมของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันตุง 10 กรัม) อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 390, 415 และ 440 °C และเวลาทำปฏิกิริยา 30, 45 และ 60 นาที

2.6 วิเคราะห์แก๊ส ผลิตภัณฑ์ของเหลว และของแข็งที่ได้จากการแตกตัว และองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D2887

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบของน้ำมันตุงก่อนการแตกตัวตามมาตรฐาน ASTM D2887 ซึ่งกากน้ำมันหนักสูงถึง 72.50 wt% สำหรับอุณหภูมิการแตกตัวด้วยความร้อนที่วิเคราะห์ด้วย TGA อยู่ในช่วง 300 - 450 °ซ และแตกตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 430.48 °ซ ดังนั้นในการทดสอบการแตกตัวของน้ำมันตุงด้วยคาร์บอนกัมมันต์และตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาที่อุณหภูมิ 390-440 °ซ สมบัติทางกายภาพของคาร์บอนกัมมันต์และตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของคาร์บอนกัมมันต์และตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิวรูพรุน ¹ (ตารางเมตร/กรัม)	ปริมาตรรูพรุน ² (ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม)	ขนาดรูพรุน ³ (อังสตรอม)	ลักษณะรูพรุน ⁴
Activated Carbon	466.5	0.0863	15.20	Micropore
1-wt% Fe/AC	549.0	0.0978	14.80	Micropore
5-wt% Fe/AC	613.4	0.1293	15.20	Micropore

หมายเหตุ : 1. BET Method 2. BJH Method 3. DA Method 4. ตามระบบ IUPAC

3.1 การแตกตัวของน้ำมันตุงด้วยคาร์บอนกัมมันต์

3.1.1 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ต่อน้ำมันตุงต่อปริมาณแก๊ส ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลว

จากภาพที่ 1 จะเห็นว่าทั้งในกรณีการแตกตัวที่ใช้ความร้อนร่วมกับคาร์บอนกัมมันต์ และที่ใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว (ไม่มีคาร์บอนกัมมันต์) กากน้ำมันหนัก (Long Residue) ในน้ำมันตุงจะแตกตัวเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลว องค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแตกตัวโดยใช้คาร์บอนกัมมันต์จะมีเนฟทาสูงกว่าเมื่อใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว อธิบายได้ว่าคาร์บอนกัมมันต์มีสมบัติเป็น molecular sieve จึงช่วยคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดโมเลกุลประมาณขนาดรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ได้ [8] และจากงานวิจัยของ Federico และคณะ [9] พบว่าโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน C₅ - C₈ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุล 4.30 - 7.08 อังสตรอม แสดงว่า

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของน้ำมันตุงก่อนการแตกตัวและการกระจายตัวตามคาบจุดเดือดของสาร

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก (wt%)
เนฟทา (Naphtha) IBP ≤ 200 °C	3.20
เคโรซีน (Kerosene) 200 °C ≤ 250 °C	0.40
แก๊สออยล์เบา (Light Gas Oils) 250 °C ≤ 350 °C	1.40
แก๊สออยล์หนัก (Heavy Gas Oils) 350 °C ≤ 370 °C	22.50
กากน้ำมัน (Long Residue) 370 °C ≤ FBP	72.50

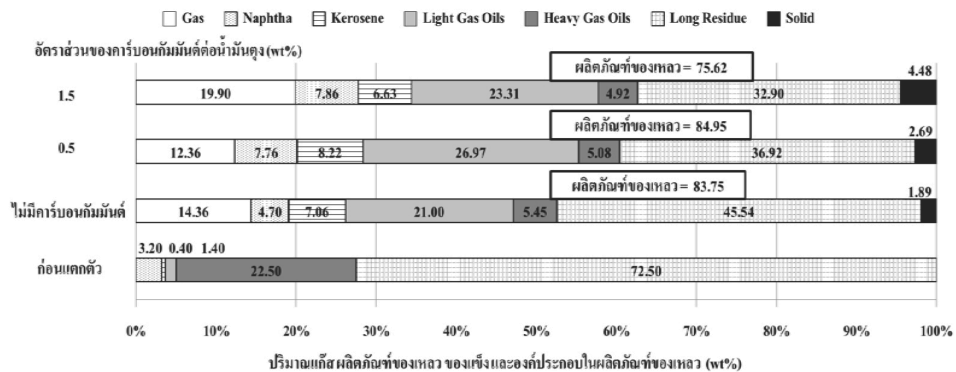
คาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ซึ่งมีขนาดรูพรุน 15.20 อังสตรอม เหมาะสมในการคัดเลือกผ่านผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมันตุง

เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของคาร์บอนกัมมันต์ต่อน้ำมันตุงจาก 0.5 เป็น 1.5 wt% กากน้ำมันหนักในน้ำมันตุงจะแตกตัวเป็นแก๊สและของแข็งได้มากขึ้น ส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวลดลง เพราะคาร์บอนกัมมันต์จะช่วยให้การแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชเช่นเดียวกับ HZSM-5 ทำให้ได้ heavy oxygenated hydrocarbons เช่น สารประกอบคีโตนและอัลดีไฮด์ ซึ่งจะแตกตัวต่อเป็นแก๊ส CO₂, CO แก๊สไฮโดรคาร์บอน สำหรับของแข็ง คาดว่า เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนหนักตามที่อธิบายโดย Katikaneni และคณะ [10] ดังนั้นสรุปได้ว่าคาร์บอนกัมมันต์ต่อน้ำมันตุง 0.5 wt% เหมาะสมสำหรับการแตกตัวของน้ำมันตุงมากกว่า เมื่อใช้คาร์บอนกัมมันต์ต่อน้ำมันตุง 1.5 wt%

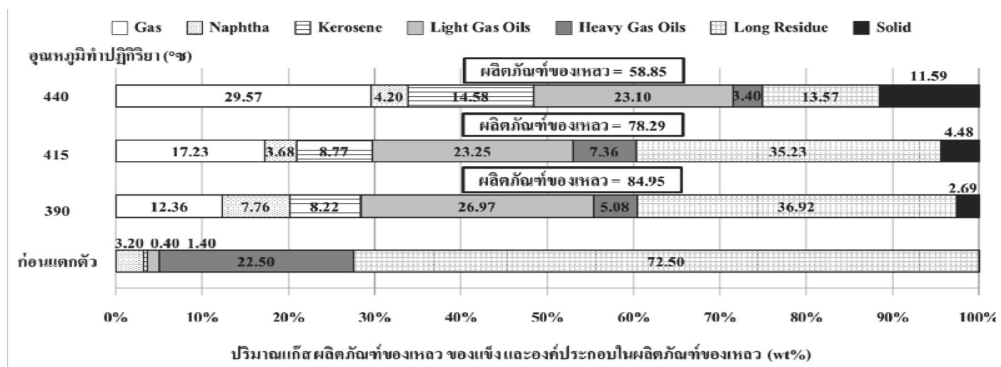
3.1.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อปริมาณแก๊ส ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลว

การแตกตัวของน้ำมันตุงที่ 390, 415 และ 440 °ซ ด้วยอัตราส่วนของคาร์บอนกัมมันต์ต่อน้ำมันตุง 0.5 wt% เวลา 30 นาที ดังภาพที่ 2 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณแก๊สและของแข็งจะเพิ่มขึ้น ส่วนผลิตภัณฑ์ของเหลวลดลง คาดว่าเมื่ออุณหภูมิสูง ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแตกตัวจากน้ำมันหนักจะแตกตัวต่อเป็นแก๊สต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ยังเกิด carbonaceous hydrocarbons สะสมบนผิว

ของคาร์บอนกัมมันต์ร่วมกับของแข็งจาก ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนหนัก ทั้งนี้จากงานวิจัยของ Carlos Costa และคณะ [11] ซึ่งศึกษาการแตกตัวพอลิเอทิลีนด้วยคาร์บอนกัมมันต์ ตั้งแต่ 450-700 °ซ ยังพบว่าสาเหตุที่ผลิตภัณฑ์ของเหลวลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพราะคาร์บอนกัมมันต์เกิดการเสื่อมสภาพ (Deactivation) จากการสะสมของคาร์บอน ดังนั้นในงานวิจัยนี้อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการแตกตัวของน้ำมันตุง คือ 390 °ซ ผลิตภัณฑ์ของเหลว ที่ได้ทั้งหมด 84.95 wt% ประกอบด้วยแนฟทา เคโรซีน แก๊สออยล์เบา และแก๊สออยล์หนัก 7.76, 8.22, 26.97 และ 5.08 wt%



ภาพที่ 1 ปริมาณแก๊ส ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแตกตัวของน้ำมันตุงด้วยความร้อนร่วมกับคาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 390 °ซ และเวลา 30 นาทีเปรียบเทียบกับก่อนการแตกตัว



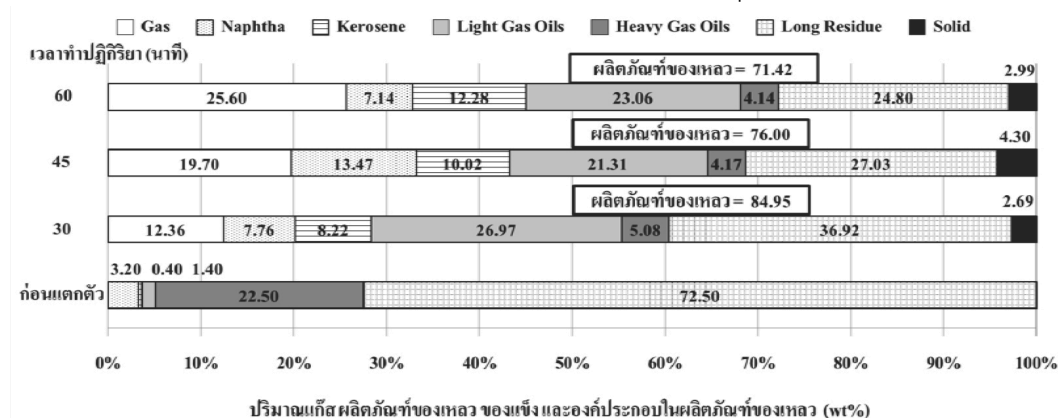
ภาพที่ 2 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณแก๊ส ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแตกตัวของน้ำมันตุงด้วยความร้อนร่วมกับคาร์บอนกัมมันต์ที่อัตราส่วนของคาร์บอนกัมมันต์ต่อน้ำมันตุง 0.5 wt% เวลา 30 นาที

กรณีผลของเวลาในภาพที่ 3 พบว่าเมื่อเวลาทำปฏิกิริยานานขึ้น กากน้ำมันหนักและผลิตภัณฑ์ของเหลวจะแตกตัวเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กได้มากขึ้น จะเห็นว่าปริมาณแก๊สที่ได้สูงขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้เวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม คือ 30 นาที

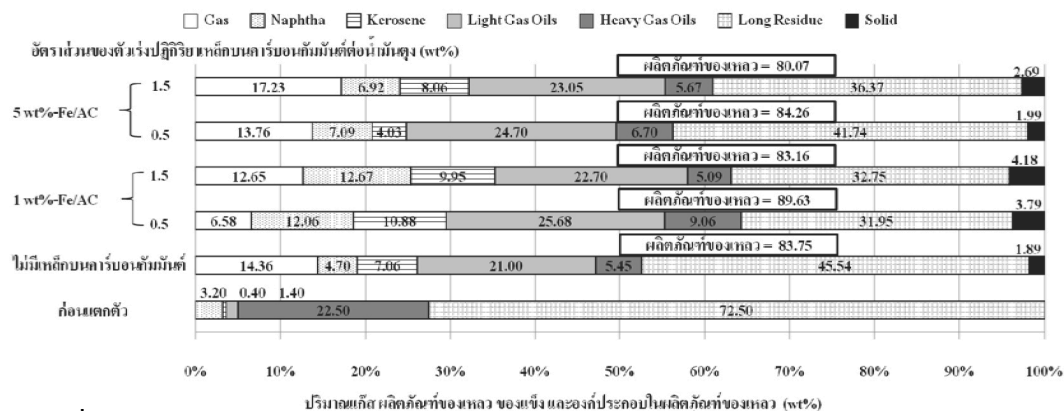
3.2 การแตกตัวของน้ำมันตุงด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์

3.2.1 ผลของเปอร์เซ็นต์เหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์และอัตราส่วนของน้ำมันหนักของเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์ต่อน้ำมันตุงต่อปริมาณแก๊ส ผลิตภัณฑ์ของเหลวของแข็ง และองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลว

ภาพที่ 4 เมื่อใช้ 1-wt% Fe/AC และอัตราส่วนของเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์ต่อน้ำมันตุง 0.5 wt% ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงที่สุด (ปริมาณเนฟทาในผลิตภัณฑ์ของเหลวใกล้เคียงกับเมื่ออัตราส่วนของเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์ต่อน้ำมันตุง 1.5 wt%) พบว่าเมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์สูงขึ้น (5-wt% Fe/AC) รวมทั้งอัตราส่วนของเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์ต่อน้ำมันตุงที่สูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ของเหลวจะแตกตัวต่อเป็นแก๊สเพิ่มขึ้น ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมคือใช้ 1-wt% Fe/AC และอัตราส่วนของเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์ต่อน้ำมันตุง 0.5 wt%



ภาพที่ 3 ผลของเวลาต่อปริมาณแก๊ส ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลว จากการแตกตัวของน้ำมันตุงด้วยความร้อนร่วมกับคาร์บอนกัมมันต์ที่อัตราส่วนของคาร์บอนกัมมันต์ต่อน้ำมันตุง 0.5 wt% ที่อุณหภูมิ 390 °ซ

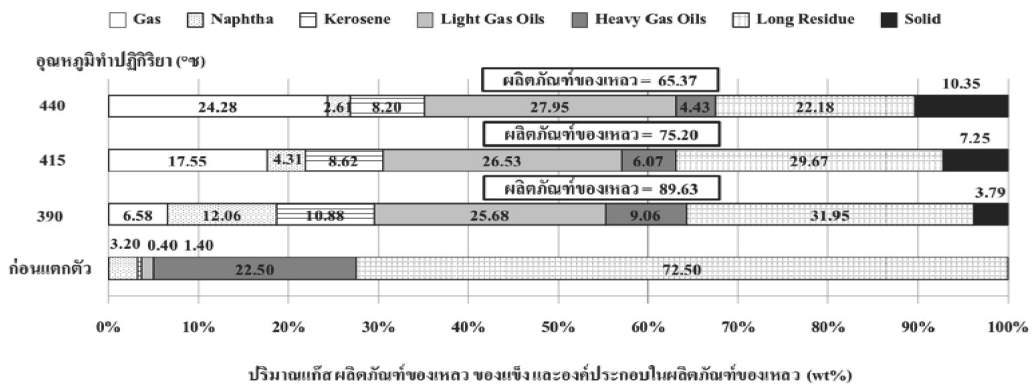


ภาพที่ 4 ปริมาณแก๊ส ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแตกตัวของน้ำมันตุงด้วยความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 390 °ซ และเวลา 30 นาที

3.2.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อปริมาณแก๊ส ผลผลิตก๊าซของเหลว ของแข็ง และองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลว

ภาพที่ 5 แสดงการแตกตัวของน้ำมันตุงด้วยความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา 1-wt% Fe/AC อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยา 1-wt% Fe/AC ต่อน้ำมันตุง 0.5 wt% ที่เวลา 30 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นผลผลิตก๊าซของเหลวที่ได้ลดลง และปริมาณแก๊สเพิ่มขึ้น เพราะกรดไขมันและกลีเซอรอล

ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชจะแตกตัวเป็นแก๊ส CO_2 และแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Tani H. และคณะที่ศึกษาการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชเป็นดิสทิลเลตกลาง (Middle-distillate Hydrocarbon) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา MgO [3] ดังนั้นสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการแตกตัวของน้ำมันตุงด้วยความร้อนร่วมกับ 1-wt% Fe/AC คือ 390°C ผลผลิตก๊าซของเหลวที่ได้สูงที่สุดมีองค์ประกอบแนฟทา เครโซลีน และแก๊สออยล์หนักสูง

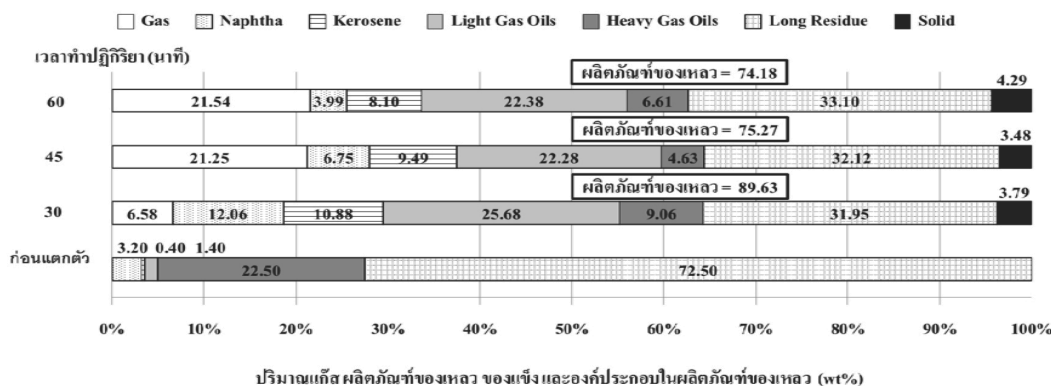


ภาพที่ 5 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณแก๊ส ผลผลิตก๊าซของเหลว ของแข็ง และองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแตกตัวของน้ำมันตุงด้วยความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา 1-wt% Fe/AC อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยา 1-wt% Fe/AC ต่อน้ำมันตุง 0.5 wt% ที่เวลา 30 นาที

ภาพที่ 6 แสดงผลของเวลาต่อการแตกตัวของน้ำมันตุงด้วยความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา 1-wt% Fe/AC ที่อุณหภูมิ 390°C พบว่าเมื่อเวลาทำปฏิกิริยานานขึ้น กากน้ำมันหนักและผลผลิตก๊าซของเหลวจะแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กและแก๊สมากขึ้น ผลผลิตก๊าซของเหลวจึงลดลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที ได้ผลผลิตก๊าซของเหลวสูงที่สุด 89.63 wt% โดยมีองค์ประกอบแนฟทา เครโซลีน แก๊สออยล์เบา และแก๊สออยล์หนักสูงสุด

จากตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของธนาทิพย์ ศรีสุวงศ์ [5] ที่ศึกษาการแตกตัวของน้ำมันตุงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กออกไซด์ สังเกตได้

ว่าที่เวลาทำปฏิกิริยาใกล้เคียงกัน คาร์บอนกัมมันต์ และ 1-wt% Fe/AC ในงานวิจัยนี้ สามารถแตกโมเลกุลของน้ำมันตุงได้ผลผลิตก๊าซของเหลวสูงกว่าอย่างชัดเจน และมีปริมาณแก๊สออยล์เบาในผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงกว่า ส่วนงานวิจัยของกรกช จันทร์โสภาค [12] ศึกษาการแตกตัวของไขวัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 5-wt% Fe/AC ส่วนใหญ่กรดไขมันของไขวัว คือ $\text{C}_{18:1}$, $\text{C}_{18:0}$ และ $\text{C}_{16:0}$ มีมวลโมเลกุลเบากว่าน้ำมันตุง ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมัน Eleostearic ($\text{C}_{18:3}$) [13, 14] กรดไขมันของไขวัวจึงแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น แก๊สไฮโดรคาร์บอนได้ง่าย ดังนั้นจึงได้ผลผลิตก๊าซของเหลวต่ำกว่าในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 6 ผลของเวลาปริมาณแก๊ส ผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็ง และองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลว จากการแตกตัวของน้ำมันตุงด้วยความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา 1-wt% Fe/AC อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยา 1-wt% Fe/AC ต่อน้ำมันตุง 0.5 wt% อุณหภูมิ 390 °ซ

4. สรุปผล

น้ำมันตุงเป็นวัตถุดิบทางเลือกที่มีศักยภาพและควรใช้สำหรับสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลว เพราะน้ำมันตุงเป็นน้ำมันที่ไม่ใช้บริโภค เมื่อแตกตัวโดยใช้คาร์บอนกัมมันต์ และ 1-wt% Fe/AC ได้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงประมาณ 85-90 wt% องค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ต้องการคือเนฟทา ส่วนแก๊สออยล์เบาและแก๊สออยล์หนักสามารถนำไปใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซล ต้นน้ำมันตุงดูแลง่าย และให้น้ำมันสูงประมาณ 41 wt% [15] ดังนั้นเป็นไปได้ที่ต้นน้ำมันตุงจะเป็นพืชเศรษฐกิจในอนาคต ภาวะที่เหมาะสม

จากงานวิจัยนี้ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุด คือ อุณหภูมิ 390 °ซ และเวลา 30 นาที ในกรณีที่ใช้คาร์บอนกัมมันต์ เมื่ออัตราส่วนของคาร์บอนกัมมันต์ต่อน้ำมันตุง 0.5 wt% และ 1-wt% Fe/AC เมื่ออัตราส่วนของเหล็กบนคาร์บอนกัมมันต์ต่อน้ำมันตุง 0.5 wt% พบว่าในการแตกตัวด้วยคาร์บอนกัมมันต์ได้แก๊ส ผลิตภัณฑ์ของเหลว และของแข็ง 12.36, 84.95 และ 2.69 wt% ส่วนกรณีของ 1-wt% Fe/AC ได้แก๊ส ผลิตภัณฑ์ของเหลว และของแข็ง 6.58, 89.63 และ 3.79 wt% การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำปฏิกิริยาที่ 440 °ซ และเวลา 60 นาที เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวลดลง (เนฟทาลดลงเล็กน้อย) และแก๊สเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลกับงานวิจัยที่ศึกษาการแตกตัวของน้ำมันที่ไม่ใช่บริโภคน้ำมัน

	ธนาทิพย์ ศรีสูงศักดิ์ [5]		กรรช จันทรโสภณพิศ [12]	งานวิจัยนี้	
วัตถุดิบ	น้ำมันตุง		ไขวัว	น้ำมันตุง	
เครื่องปฏิกรณ์	แบบกะ		แบบกะ	แบบกะ	
ตัวเร่งปฏิกิริยา	CaO	MgO	5-wt% Fe/AC	AC	1-wt% Fe/AC
พื้นที่ผิวทั้งหมด (m ² /g)	8.10	89.00	-	466.50	549.00
อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อวัตถุดิบ (wt%)	2.5	2.5	0.75	0.5	0.5
อุณหภูมิทำปฏิกิริยา (°C)	440	402	400	390	390
เวลาทำปฏิกิริยา (นาที)	38	30	69.51	30	30
ปริมาณวัตถุดิบ (กรัม)	20	20	20	10	10
ความดันของแก๊สไฮโดรเจน (barg)	1	1	1	1	1
ผลได้ของผลิตภัณฑ์ของเหลว (wt%)	37.55	38.83	68.14	84.95	89.63
แนฟทาในผลิตภัณฑ์ของเหลว (wt%)	19.16	21.43	33.68	7.76	12.06
เคโรซีนในผลิตภัณฑ์ของเหลว (wt%)	11.58	8.37	9.22	8.22	10.88
แก๊สไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลว (wt%)	5.71	8.01	21	26.97	25.68

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์การเรียนรู้และบริการวิชาการเครือข่ายแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ทำวิจัย ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนทุนวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Renewable Energy Development Plan: REDP. [Online]. 2013 May 1. Available from: http://www.eppo.go.th/ccep/download/REDP_15_yrs.pdf.

[2] Mitchell, D., (2008). A note on rising food price. World Bank Policy Research Working Paper Series.

[3] Tani, H., Hasegawa, T., Shimouchi, M.,

Asami, K., and Fujimoto, K., (2011). “Selective catalytic decarboxy cracking of triglyceride to middle-distillate hydrocarbon”. *Catalyst Today*, Vol. 164 pp 410-414.

[4] Maher, K.D. and Bressler, D.C., (2007) “Pyrolysis of triglyceride materials for the production of renewable fuels and chemicals.” *Bioresource Technology*, Vol. 98, pp 2351 - 2368.

[5] ธนาทิพย์ ศรีสูงศักดิ์. (2554). การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันตุงเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส. ปรินซ์นิพนธ์วิทยาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] Tran, T.V., Jae-Hyuk, L., Jae, W.R., Ik-Sung, A. and Chang-Ha, L., (2012). “Hydrocracking of vacuum residue with activated carbon in

supercritical hydrocarbon solvents”. *Fuel*, Vol. 94. pp 556-562.

[7] ประชาธรรณันต์ แต่ภักดี. (2547). การแตกตัวพอลิพโรฟิลีน พอลิสไตรีนและน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[8] Xijun, H., Qiao, S., and Do, D.D., (1999). “Multicomponent adsorption kinetics of gases in activated carbon : Effect of pore size distribution”. *Langmuir*, Vol. 15. pp 6428-6437.

[9] Federico, J.C., Georgina, C.L., (2004). “Molecular size evaluation of linear and branched paraffins from the gasoline pool by DFT quantum chemical calculations”. *Fuel*, Vol. 83. pp 2183-2188.

[10] Katikaneni, S.P.R, Adijaye, J.D., Idem, R.O., and Bakhshi, N.N., (1996). “Catalytic conversion of canola oil over potassium-impregnated HZSM-5 catalysts: C-2 – C-4 olefin production and model reaction studies”. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 35. pp 3332-3346.

[11] Yovana, S.G., Carlos, C., M., Carmen, M., and Pedro, R., (2011). “Thermal and catalytic degradation of polyethylene wastes in the presence of silica gel, 5A molecular sieve and activated carbon”. *Journal of Hazardous Materials*, Vol.187 pp 101-112.

[12] กรกช จันทรโสภาพิศ. (2552). การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของไขวัวบนเหล็ก/ถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[13] Danian, Z., Milford, A.H., (1996). “Preparation and properties of methyl esters of beef tallow”. *Bioresource Technology*, Vol. 57 pp 137-142.

[14] Axtell, B.L., (1992). Minor oil crops from research by Fairman RM. Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.

[15] Yi-Hung, C., Jhih-Hong, C., Ching-Yuan, C., and Chia-Chi, C., (2010). “Biodiesel production from tung (*Vernicia montana*) oil and its blending properties in different fatty acid compositions”. *Bioresource Technology*, Vol. 101 pp 9521-9526.