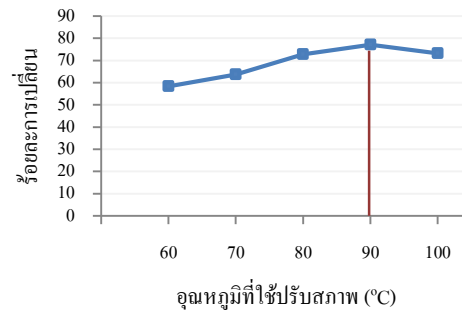
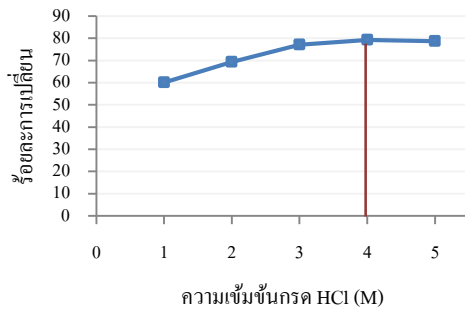


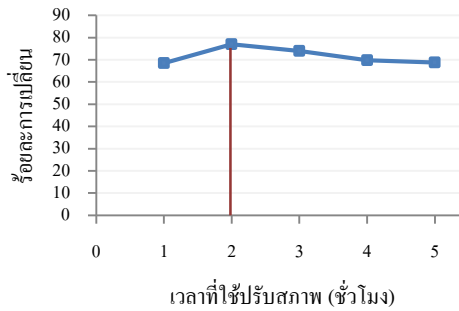
สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับสภาพจากช่วง
 อุณหภูมิ 60-100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ให้ค่าร้อยละ
 การเปลี่ยนดีที่สุดจะอยู่ที่ 90 องศาเซลเซียส (77.00%)

(ภาพที่ 2 (ข)) และสภาวะสุดท้าย คือ เวลา ซึ่งศึกษา
 ในช่วง 1-5 ชั่วโมง พบว่าค่าร้อยละการเปลี่ยนดีที่สุด
 คือ ที่เวลา 2 ชั่วโมง (77.00%) (ภาพที่ 2 (ค))



(ก)

(ข)



(ค)

ภาพที่ 2 แสดงค่าร้อยละการเปลี่ยนของไบโอดีเซล เมื่อใช้ปฏิกิริยาที่ปรับสภาพด้วยสภาวะที่แตกต่างกันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ก) ผลของความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ปรับสภาพ (ข) ผลของอุณหภูมิขณะปรับสภาพ (ค) ผลของเวลาที่ใช้ปรับสภาพ

การวิเคราะห์ความแรงของเบส

การวิเคราะห์หาความแรงของเบสของปฏิกิริยา
 ขาวหลังการปรับสภาพด้วยสภาวะที่เหมาะสมแล้ว
 ด้วยวิธี Hammett indicator โดยใช้อินดิเคเตอร์ 4 ชนิด
 พบว่า เมื่อใช้โบรโมไทมอลบลู ($H_7 = 7.2$) เป็นอินดิ
 เคเตอร์ สารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้า ใช้ฟีนอล์ฟทาเลิน
 ($H_9 = 9.8$) สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู ใช้ 2,4-ไดไน
 โตรอะนาลีน ($H_{15} = 15.0$) สีของสารละลายไม่เกิดการ
 เปลี่ยนแปลง (สารละลายมีสีเหลือง) และ 4-ไนโตรอะ
 นาลีน ($H_{18.4} = 18.4$) สีของสารละลายไม่เปลี่ยนแปลง
 เช่นเดียวกัน (สารละลายมีสีเหลือง) ซึ่งแสดงว่าปฏิกิริยา

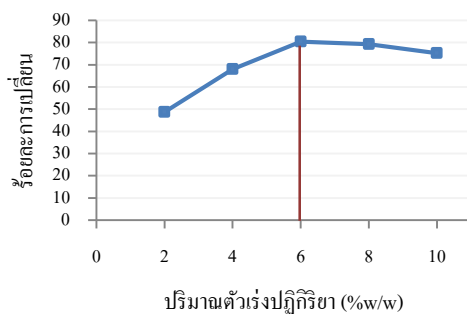
หลังการปรับสภาพมีช่วงความแรงของเบสมากกว่า 9.8
 แต่น้อยกว่า 15.0

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

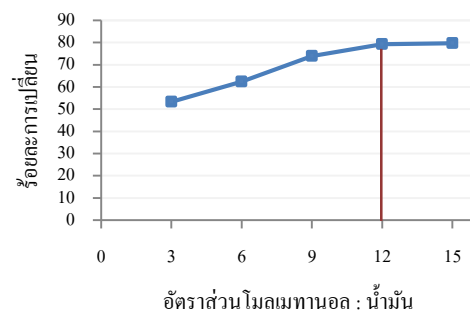
โดยพิจารณาจากสภาวะที่ทำให้ได้ไบโอ
 ดีเซลหรือผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเค
 ชันมีค่าร้อยละการเปลี่ยนดีที่สุด โดยการทดลองจะใช้
 ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาที่ปรับสภาพด้วยสภาวะที่
 เหมาะสมแล้ว กล่าวคือ ปรับสภาพโดยการใส่กรด
 ไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 90
 องศาเซลเซียส และเวลาในการปรับสภาพเป็น 2
 ชั่วโมง ซึ่งสภาวะที่มีการศึกษามี 4 สภาวะได้แก่ ร้อย

ละ โดยมวลของปูนขาวที่ปรับสภาพแล้วต่อน้ำมัน
 ปาล์ม โอเลอิน อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน
 ปาล์ม โอเลอิน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการ
 เกิดปฏิกิริยา ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อ
 เปลี่ยนแปลงร้อยละโดยมวลของปูนขาวที่ปรับสภาพ
 แล้วต่อน้ำมันปาล์ม โอเลอิน ในช่วงร้อยละ 2-10
 ปริมาณของปูนขาวที่ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนดีที่สุดจะ
 อยู่ที่ร้อยละ 6 (80.39%) (ภาพที่ 3 (ก)) สำหรับ
 อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม โอเลอินที่

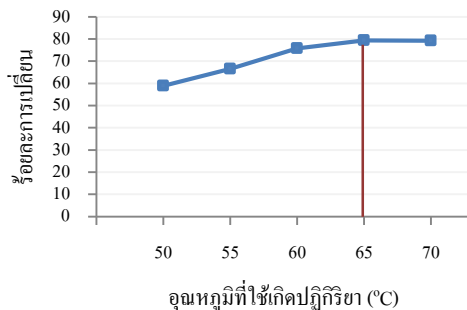
ทำการทดลองในช่วง 3:1-15:1 พบว่าที่อัตราส่วน 12:1
 จะให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนดีที่สุด (79.30%) (ภาพที่ 3
 (ข)) ส่วนอุณหภูมิที่ทำให้ได้ค่าร้อยละการเปลี่ยนดี
 ที่สุดจะอยู่ที่ 65 องศาเซลเซียส (79.30%) จากการศึกษา
 ระหว่างช่วงอุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3
 (ค)) และสำหรับเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเมื่อ
 เปลี่ยนแปลงในช่วง 1-3 ชั่วโมง พบว่าที่เวลา 2 ชั่วโมง
 จะให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนดีที่สุด (79.23%) (ภาพที่ 3
 (ง))



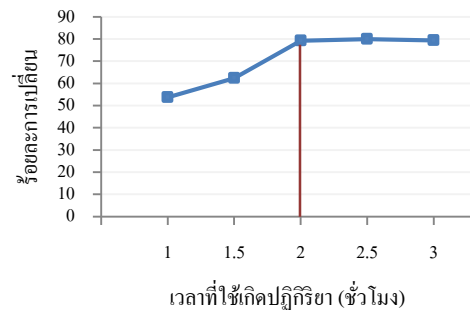
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 3 แสดงค่าร้อยละการเปลี่ยนของ ไบโอดีเซล เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยสภาวะที่ต่างกัน (ก) ผล
 ของร้อยละ โดยมวลของปูนขาวที่ปรับสภาพแล้วต่อน้ำมันปาล์ม โอเลอิน (ข) ผลของอัตราส่วน โมลของเมทา
 นอลต่อน้ำมันปาล์ม โอเลอิน (ค) ผลของอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา (ง) ผลของเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้ปูนขาว
 ที่ปรับสภาพด้วยสภาวะที่เหมาะสมแล้วมาเป็นตัวเร่ง
 ปฏิกิริยา เมื่อทำปฏิกิริยาด้วยสภาวะที่เหมาะสม คือ
 ร้อยละ โดยมวลของปูนขาวต่อน้ำมันปาล์ม โอเลอินเป็น
 ร้อยละ 6 อัตราส่วน โมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม

โอเลอิน 12:1 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และใช้เวลา
 ในการเกิดปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง พร้อมกวนด้วยอัตราเร็ว
 300 รอบต่อนาที พบว่าไบโอดีเซลที่ได้จากปฏิกิริยานี้มี
 ค่าร้อยละการเปลี่ยนเป็น 81.11 และร้อยละความ
 บริสุทธิ์เป็น 99.08

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยใช้ปูนขาวเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเชื้อกระดาษเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งปูนขาวที่ใช้ในการวิจัยนี้จำเป็นต้องมีการปรับสภาพด้วยสภาวะที่เหมาะสมก่อนจึงจะสามารถนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลได้ โดยการปรับสภาพจะใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการปรับสภาพนาน 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง จะได้ปูนขาวที่ปรับสภาพพร้อมใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งปูนขาวที่ปรับสภาพนี้เมื่อวิเคราะห์หาความแรงของเบสโดยใช้วิธี Hammett indicator พบว่าความแรงของเบสจะอยู่ในช่วงมากกว่า 9.8 แต่น้อยกว่า 15.0 ($9.8 < H_+ < 15.0$) และผลการศึกษาลักษณะของพื้นผิวโดยใช้เทคนิค SEM พบว่า พื้นผิวของปูนขาวที่ปรับสภาพแล้วจะมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ แต่บางส่วนมีลักษณะคล้ายกับแท่งผลึกแทรกอยู่ในโครงสร้าง ส่วนผลการวิเคราะห์หาค่าประจุที่มีในปูนขาวทั้งก่อนและหลังการปรับสภาพโดยใช้เทคนิค XRF พบว่า องค์ประกอบหลักจะเป็นโลหะออกไซด์ โดยแคลเซียมออกไซด์จะมีปริมาณมากที่สุด แต่ในปูนขาวหลังการปรับสภาพจะมีร้อยละโดยมวลของแคลเซียมออกไซด์มากกว่าก่อนการปรับสภาพ ซึ่งสารที่เป็นองค์ประกอบหลักในปูนขาวนี้เองที่ทำให้ปูนขาวสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลได้

การผลิตไบโอดีเซลในการวิจัยนี้ พบว่า เมื่อใช้ปริมาณปูนขาวต่อปริมาณของน้ำมันปาล์มโอเลอินเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการเปลี่ยนก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น และสภาวะที่ทำให้ได้ค่าร้อยละการเปลี่ยนดีที่สุดคือ การใช้ปูนขาวร้อยละ 6 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของปูนขาวมากขึ้นเป็นร้อยละ 8 และร้อยละ 10 ค่าร้อยละการเปลี่ยนของเมทิลเอสเทอร์จะมีค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากถ้ามีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้นจะเกิดการแยกเฟส ทำให้

ปฏิกิริยาเกิดได้ไม่สมบูรณ์ สำหรับการเพิ่มอัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มโอเลอินจะทำให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วน 12:1 จะมีค่าร้อยละการเปลี่ยนดีที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับที่อัตราส่วน 15:1 ค่าร้อยละการเปลี่ยนจะมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าที่อัตราส่วน 15:1 นี้ปริมาณเมทานอลมีมากเกินไปที่จะใช้เกิดปฏิกิริยา จึงทำให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนไม่เปลี่ยนแปลง ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนของไบโอดีเซลเพิ่มตาม แต่ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสจะเป็นอุณหภูมิที่ทำให้ได้ค่าร้อยละการเปลี่ยนดีที่สุด และถึงแม้จะเพิ่มอุณหภูมิเป็น 70 องศาเซลเซียสก็ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนที่ใกล้เคียงกัน และสำหรับการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา พบว่าจะทำให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนเพิ่มตาม แต่ถ้าทำปฏิกิริยาที่เวลา 2 ชั่วโมงจะเป็นเวลาที่ทำให้ได้ค่าร้อยละการเปลี่ยนดีที่สุด และเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นก็ไม่มีผลต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของไบโอดีเซล ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากปฏิกิริยาสามารถเกิดได้สมบูรณ์ภายในเวลา 2 ชั่วโมงแล้ว

เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันเพื่อผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ปูนขาวที่ปรับสภาพแล้ว และทำปฏิกิริยาคด้วยสภาวะที่เหมาะสม จะทำให้ได้ไบโอดีเซลที่มีค่าร้อยละการเปลี่ยนเป็น 81.11 และร้อยละความบริสุทธิ์เป็น 99.08 โดยผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าปูนขาวเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเชื้อกระดาษสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโอเลอินได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นทางเลือกในการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ลดค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบ และใช้เป็นแหล่งผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาได้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สกว.) สถาบันส่งเสริม

การสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) และ
ได้รับความอนุเคราะห์ปูนขาวสำหรับการวิจัยจาก
บริษัทฟีนิกซ์ พัลฟ แอนด์ เพเพอร์ จำกัด (มหาชน)
อำเภอป่าพอง จังหวัดขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย.

กรุงเทพฯ: [ม.ป.พ.]; 2554.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการพัฒนาอุตสาหกรรม

กรรมเชิงนิเวศน์. กรุงเทพฯ: [ม.ป.พ.]; 2555.

กาญจนา นานะพินธุ, สมชาย นานะพินธุ, ดาริวรรณ

เศรษฐีธรรม, วรางคณา สังกิติสวัสดิ์,

จารุวรรณ นิพพานนท. การจัดการกากของเสีย

และมลพิษที่เกิดขึ้นจากการประกอบอาชีพ

อุตสาหกรรมในครัวเรือนภาคตะวันออกเฉียง

เหนือ. ว. วิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2547;

9(1): 29-38.

เกตนันธนิภา วันชัย, เพชรไพลิน ปรางบาง. การผลิต

ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ KI/CaO/

Al₂O₃ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วารสาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2558; 23(5):

774-82.

คิสพล เชาวรัตน์. การนำกากปูนขาวจากอุตสาหกรรม

ผลิตเชื้อกระดาษมาใช้ในงานปูนก่อและปูน

ฉาบ [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร

มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม].

ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย

ขอนแก่น; 2547.

พฤกษ์ ตัญตรีรัตน์. การดักตะกอนโลหะหนักด้วยกาก

ปูนขาวจากโรงงานผลิตเชื้อกระดาษ

[วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม]. ขอนแก่น:

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2546.

Cho YB, Seo G, Chang DR. Transesterification of

tributylin with methanol over calcium

oxidecatalysts prepared from various

precursors. Fuel Process Technol 2009; 90:

1252-8.

Fukuda H, Kondo A, Noda H. Biodiesel Fuel

Production by Transesterification of Oils. J

Bioscience and Bioengineering 2001; 92(5):

405-16.

Hsieh L, Kumar U, Jeffery CS Wu. Continuous

production of biodiesel in a packed-bed

reactor using shell-core structural

Ca(C₃H₇O₃)₂/CaCO₃ catalyst. Chemical

Engineering J 2010; 158: 250-6.

Jiang J, Duanmu C, Yang Y, Chen J. Synthesis and

characterization of high siliceous ZSM-5

zeolite from acid-treated palygorskite.

Powder Technology 2014; 251: 9-14.

Liu X, He H, Wang Y, Zhu S, Piao X.

Transesterification of soybean oil to biodiesel

using CaO as a solid base catalyst. Fuel

2008; 87: 216-21.

Ma F, Hanna MA. Biodiesel Production. Bioresource

Technology 1999; 70: 1-15.

Viriya-empikul N, Krasae P, Puttasawat B, Yoosuk

B, Chollacoop N, Faungnawakij K. Waste

shell of mollusk and egg as biodiesel

production catalysts. Bioresource

Technology 2009; 101: 3765-7.