บทความวิจัย

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาผสมโลหะออกไซด์และโพแทสเซียมบนตัวรองรับ NaY ซีโอไลต์

Biodiesel Production from Soybean Oil Using Metal Oxided and Potassium Composited Catalyst Support on NaY Zeolite

จตุพร ธีระกุล[1*]

Jatuporn Theerakul[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันน้ำมันถั่วเหลืองกับเมทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นเตรียมด้วยวิธีทำให้เอิบชุ่ม ซึ่งจะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์และโพแทสเซียมบนตัวรองรับซีโอไลต์โซเดียมวาย ซึ่งจะศึกษาถึงผลของระยะเวลา ร้อยละของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา และอุณหภูมิของปฏิกิริยาโดยเปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลง (% conversion) ของน้ำมันถั่วเหลืองไปเป็นเมทิลเอสเทอร์นั้นวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี ผลการวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มปัจจัยทั้ง 3 จะส่งผลให้เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันถั่วเหลืองไปเป็นเมทิลเอสเทอร์สูงขึ้น โดยได้ภาวะที่เหมาะสมคือ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 15 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล ซีโอไลต์โซเดียมวาย น้ำมันถั่วเหลือง

[1]นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ม.ธรรมศาสตร์ ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121

[*] Corresponding author : E-mail : tery@rocketmail.com Tel. 02-5644440 ext. 2411-12

จากงานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 21 ประจำปี 2554

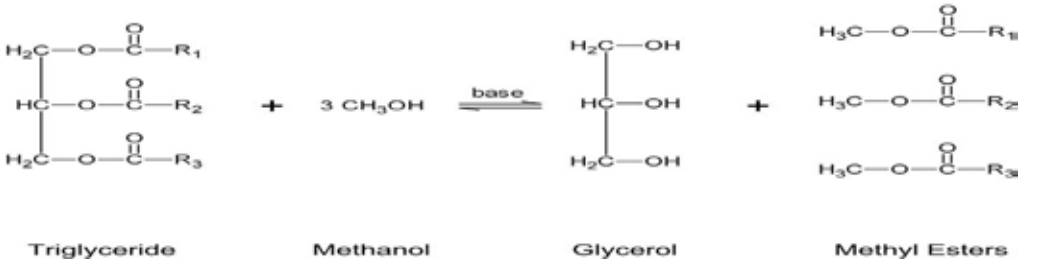
Abstracts

Biodiesel is produced by the transesterification of soybean oil with alcohol such as methanol under the presence of an alkali catalyst. Transesterification of soybean oil with methanol was investigated under heterogenous catalysis system. This research developed the KOH/NaY catalyst to produce methylester (biodiesel) from soybean oil. The catalyst was prepared by the impregnation method. Reaction parameters such as reaction time, KOH loading(wt%), and temperature of reaction were investigated. The conversion of soybean oil was determined by 1H-NMR spectrometer .The effect of increase reaction time, temperature of reaction and KOH loading(wt%) enhanced the conversion to biodiesel. The optimized temperature of reaction, KOH loading(wt%) and reaction time were 70 ^{o}C, 15%KOH loading and 8 h respectively.

Keywords: Biodiesel, NaY, Soybean Oil

คำนำ

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงดีเซลจัดเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์ชนิดหนึ่งซึ่งได้จากน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่ากระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification Process) การเปลี่ยนน้ำมันพืชไปเป็นไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชไปเป็นเมทิลเอสเทอร์นั้นเป็นวิธีที่ดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากไบโอดีเซลชนิดเอสเทอร์นี้ มีคุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด มีลักษณะเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน เรียกว่า Fatty Acid Methyl Ester การเรียกชื่อประเภทของไบโอดีเซลขึ้นกับชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น เมทิลเอสเทอร์ เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เมทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยาหรือเอทิลเอสเทอร์เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เอทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนน้ำมันพืชมาเป็นไบโอดีเซลนั้น เป็นการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันพืช (ไตรกลีเซอไรด์) โดยมีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตผลเป็นเอสเทอร์และผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้เป็นกลีเซอรอล แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน

จากงานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 21 ประจำปี 2554

อย่างไรก็ตามวิธีการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous) จะประสบปัญหาหลายประการทำให้ลดประสิทธิภาพในการผลิต เช่น เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสและ saponification ในระหว่างการผลิตซึ่งเห็นได้จากการเกิดสบู่ และในขั้นตอนการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากไบโอดีเซลต้องใช้น้ำเป็นปริมาณมาก ทำให้เกิดน้ำเสียที่เกิดจากการทำความสะอาดตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการใหม่เพื่อลดข้อเสียดังกล่าว วิธีการนั้นคือ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous) แทนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์เพื่อลดปัญหาต่างๆ ข้างต้น และตัวเร่งปฏิกิริยายังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous) ทำได้โดยการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาเบสบนตัวรองรับของแข็ง เช่น อะลูมินา ซีโอไลต์ [1]ซีโอไลต์โซเดียมวาย นิยมใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเพราะขนาดรูพรุนเปิดที่ใหญ่และมีพื้นที่ผิวมาก ความเสถียรของตัวรองรับซีโอไลต์ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและ Si/Al Ratio ซึ่งซีโอไลต์โซเดียมวายมี Si/Al Ratio ประมาณ 2-4 ทำให้มีความเสถียรมากกว่า NaX ซึ่งมี Si/Al Ratio ประมาณ 1-1.5 [2] ในงานวิจัยนี้ จะศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บนตัวรองรับซีโอไลต์โซเดียมวายเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาวัดได้จากค่าการเปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลือง โดยศึกษาถึงอิทธิพลของสภาวะต่าง ๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใส่ลงบนตัวรองรับ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใส่ลงในปฏิกิริยา

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาเตรียมโดยนำซีโอไลต์โซเดียมวาย ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อกำจัดน้ำที่ผิวออกให้หมด จากนั้นบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาเบสบนตัวรองรับโดยนำซีโอไลต์โซเดียมวายที่เตรียมได้มาแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ (ความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้จะอยู่ในช่วง 5-15 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก) เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ100องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

2.การเร่งปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน

2.1 นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณโพแทสเซียมไฮ ดรอกไซด์ 2.5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก 0.8 กรัม ผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง 16 กรัม และเมธานอล 9.1 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด100 มิลลิลิตรนำมาต่อกับเครื่องควบแน่นและให้ความร้อนโดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่70องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ดังภาพที่ 2 หลังจากเสร็จสิ้นปฏิกิริยานำผลิตภัณฑ์มา กรองตัวเร่งปฏิกิริยา ออกจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว เสร็จแล้วนำไปทำให้แห้งโดยเติม แอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต และวิเคราะห์ต่อโดยเทคนิคโปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติก เรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปีโดยใช้ CDCl3 เป็นตัว ทำละลาย เพื่อหาค่าการเปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งพิจารณาจากอัตราส่วน ของสัญญาณที่ตำแหน่ง 3.68 ppm (เป็นของหมู่เมทอกซีของเมทิล-เอสเทอร์) และ 2.30 ppm (เป็นของแอลฟาคาร์บอน ของหมู่เมธิลีนในกรดไขมัน) [3] ทดลองเปลี่ยนอุณหภูมิให้เพิ่มขึ้นในช่วง 60-70 องศาเซลเซียส และเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้มากขึ้นเป็น 6-8 ชั่วโมงเพื่อดูค่าการเปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลือง

2.2 เพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาให้เพิ่มขึ้นเป็น 5เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นและทำซ้ำตามข้อ2.1

2.3 เปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยา ทรานเอสเทอริฟิเคชันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในซีโอไลต์โซเดียมวาย อยู่ในช่วง 5-15 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ทดลองซ้ำตามข้อ 2.1 และ 2.2

3. การเร่งปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันด้วยซีโอไลต์โซเดียมวาย (NaY)

3.1 นำซีโอไลต์โซเดียมวายไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อกำจัดน้ำที่ผิวออกให้หมด ทิ้งไว้ให้เย็น

3.2 นำซีโอไลต์โซเดียมวาย 0.8 กรัม ผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง 16 กรัม และเมธานอล 9.1 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 100 มิลลิลิตรทำตามข้อ 2.1 โดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง

ภาพที่ 2 ภาพแสดงการต่ออุปกรณ์เพื่อทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1.การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ NaY/KOH ที่เตรียมได้ จะมีความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อยู่ในช่วง 5-15 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จะมีสีขาวเหมือนสีของซีโอไลต์โซเดียมวาย ดังภาพที่ 3 และ 4

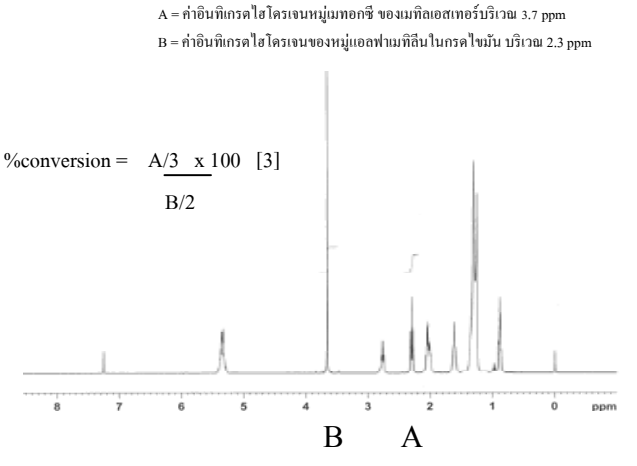
ภาพที่ 3 ซีโอไลต์ NaY

จากงานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 21 ประจำปี 2554

ภาพที่ 4 ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ NaY/KOH

2. ผลของการนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปใช้ในปฏิกิริยาทราน เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองเพื่อผลิตไบโอดีเซล

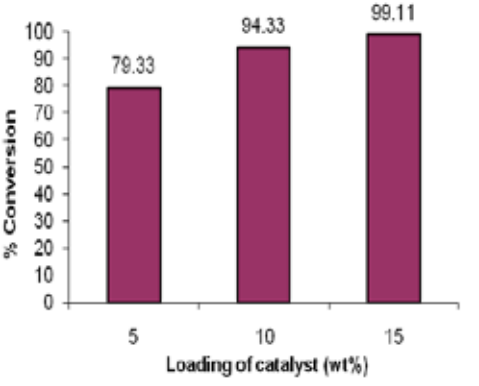
จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปีเพื่อหาค่าการเปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเปลี่ยนน้ำมันถั่วเหลืองเป็นไบโอดีเซลได้สเปคตรัมแสดงดังภาพที่ 5 และ ไบโอดีเซลที่ได้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองจะมีสีเหลืองใส ลักษณะดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 สเปคตรัมแสดงค่าการเปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลือง ด้วยเทคนิค 1H-NMR

ภาพที่ 6 ไบโอดีเซลที่ได้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลือง

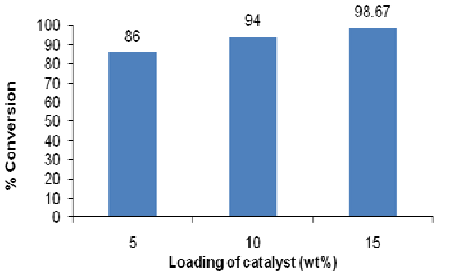
ผลการวิจัยพบว่าเมื่อควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาให้อยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง และใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 2.5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อยู่5-15เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก(%KOH/NaY)พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อยู่ 15 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนัก (15% KOH/NaY)จะมีเปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลง (% conversion) สูงสุด ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แผนภูมิแสดง % conversion ของน้ำมันถั่วเหลืองเมื่อควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาให้อยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง

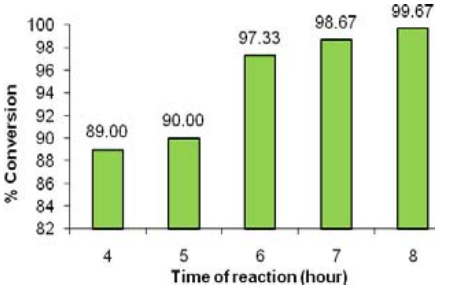
จากผลการวิจัยเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาให้เท่ากับ 5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อยู่ 15 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก (15% KOH/NaY) จะมีเปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลง(% conversion)ที่สูงขึ้นแสดงว่าปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากขึ้นจะส่งผลให้น้ำมันถั่วเหลืองเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ได้สูงขึ้น ดังภาพที่ 8

จากงานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 21 ประจำปี 2554



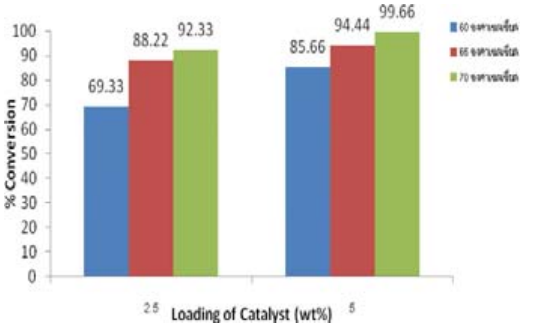
ภาพที่ 8 แผนภูมิแสดง % conversion ของน้ำมันถั่วเหลืองเมื่อควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาให้อยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง

เมื่อทำการเปลี่ยนเวลาการทำปฏิกิริยาเป็น 4-8 ชั่วโมงโดยควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาให้อยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของสารตั้งต้นและใช้ตัวเร่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 15 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก (15% KOH/NaY) พบว่าที่8ชั่วโมงจะมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง(% conversion)สูงสุด แสดงว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้มากขึ้นน้ำมันถั่วเหลืองจะเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ได้มากขึ้น ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แผนภูมิแสดง % conversion ของน้ำมันถั่วเหลืองเมื่อควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาให้อยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 15% (15% KOH/NaY)

ผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยานั้นแสดงดังภาพที่ 10 เมื่อควบคุมระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาให้เท่ากับ 8 ชั่วโมง และแบ่งการทดลองเป็น 2 กลุ่มตามปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือ 2.5 และ 5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น ผลการวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นน้ำมันถั่วเหลืองจะเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ได้มากขึ้นทั้ง 2 กลุ่ม



ภาพที่ 10 แผนภูมิแสดง % conversion ของน้ำมันถั่วเหลืองเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิของปฏิกิริยาให้อยู่ในช่วง 60-70 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมงและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 15% (15% KOH/NaY) โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 2.5 และ 5 % โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น

3. ผลของการนำซีโอไลต์โซเดียมวาย (NaY) ไปใช้ในปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองเพื่อผลิตไบโอดีเซล

เพื่อเป็นการทดสอบว่าซีโอไลต์โซเดียมวายที่ไม่ได้บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยานั้นสามารถเร่งปฏิกิริยาได้หรือไม่ ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าซีโอไลต์โซเดียมวายสามารถเร่งปฏิกิริยาได้น้อยมากคิดเป็นเปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลง (% conversion) เท่ากับ 0.05 จึงไม่น่าจะมีผลต่อปฏิกิริยามากนัก

สรุปผลการวิจัย

การนำตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ NaY/KOH มาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอลนั้น สามารถเปลี่ยนให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ได้ ซึ่งตรวจสอบได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโปรตอนนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี เห็นได้จากผลการวิจัยที่แสดงถึงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง (% conversion) ของเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นถึง 99.66 เปอร์เซนต์ เมื่อใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 15 เปอร์เซนต์ (15 % KOH/NaY) โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 5 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น นอกจากนี้ผลการวิจัยยังพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาได้แก่ อุณหภูมิ เวลา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือเมื่อเพิ่มปัจจัยทั้ง 3 ให้เพิ่มขึ้นปฏิกิริยาจะเกิดได้มากขึ้น ซึ่งผลการวิจัยที่ได้จะมีประโยชน์ในการศึกษาพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไป

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2552

จากงานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 21 ประจำปี 2554

เอกสารอ้างอิง

[1] จตุพร วิทยาคุณ และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. (2547). **การเร่งปฏิกิริยาพื้นฐานและการประยุกต์.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[2] Xie, W., Huang, X., and Li, H. (2007). Soybean oil methyl esters preparation using NaX zeolites loaded with KOH as a heterogeneous catalyst. **Bioresource Technology**. 98, 936-939.

[3] Monteiro, M.R., Ambrozin, A.R.P., Lião, L.M., and Ferreira, A.G. (2009). Determination of biodiesel blend levels in different diesel samples by 1H NMR. **Fuel. 88,** 691-696.