

บทความวิจัย

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันสบู่ดำ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมออกไซด์/ฟอจาไซด์

อำนาจ คำหล้า และ ไพศาล คงกาญจนาย*

บทคัดย่อ

ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซล ด้วยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันสบู่ดำกับเมทานอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ คือ โปแตสเซียมออกไซด์/ฟอจาไซด์ ที่เตรียมจาก 20, 25, 30, 35 wt% KNO_3 ด้วยเทคนิคการฝังตัวแบบแห้ง ทดลองด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (batch reactor) ที่มีชุดรีฟลักซ์ช่วยควบแน่นไอของเมทานอล จากผลการศึกษาด้วยโปรแกรมออกแบบการทดลองพบว่า ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ ชนิดของตัวเร่ง ปริมาณตัวเร่ง และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา เมื่อทดลองสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยการแปรค่าปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัย พบว่า สภาวะการทดลองที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล คือ การใช้ตัวเร่งที่เตรียมจาก 20 wt% โปแตสเซียมไนเตรท/ฟอจาไซด์ ด้วยปริมาณการใช้ 9% โดยน้ำหนักใช้เมทานอลตั้งต้น 30 เท่าของน้ำมันสบู่ดำ ทำปฏิกิริยาที่ 64.7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พร้อมการกวนด้วยความเร็ว 600 รอบต่อนาที น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ 90% มีความหนาแน่น 0.89 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนืด 6.1 เซนติสโตกส์ และจุดวาบไฟ 176 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยรวมใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน

คำสำคัญ: ไบโอดีเซล สบู่ดำ โปแตสเซียมออกไซด์ ฟอจาไซด์

Transesterification of *Jatropha* Oil Using K_2O /Faujasite Catalyst

Umnart Khamlar and Paisan Kongkachuicha*

ABSTRACT

Methyl ester (biodiesel) was synthesized by transesterification of *Jatropha curcus* Linn. oil with methanol using heterogeneous acid catalysts: K_2O /Faujasite having 20, 25, 30, 35 wt% KNO_3 . The catalysts were prepared by a dry impregnation technique. The reactions were carried out in a batch reactor that equipped with a reflux set for methanol recovery. The result from the design of experiment showed that the main factors that affected the yield of methyl ester were type of catalyst, amount of catalyst used, and molar ratio of methanol to oil. After conducting several experiments by varying those factors, it was found that the maximum yield of methyl ester of 90% was obtained by using 20 wt% KNO_3 /Faujasite with the following condition: molar ratio of methanol 1 to 30 of *Jatropha* oil and methanol, 9 wt% of catalyst used, reaction temperature of 64.7 °C for 8 h with stirring of 600 rpm. Furthermore, the obtained product has the density of 0.89 g/cm³, the viscosity of 6.1 mm²/s and the flash point of 176 °C. Which properties are close to the standard values.

Keywords: biodiesel, *Jatropha*, potassium oxide, Faujasite

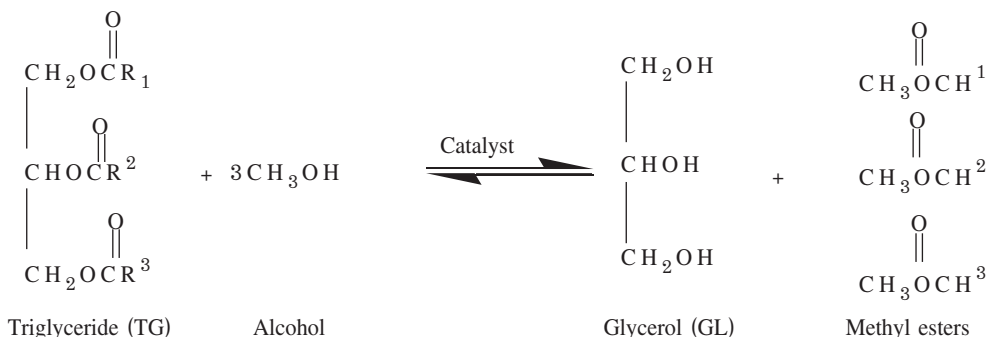
บทนำ

ไบโอดีเซล (biodiesel) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ หรือน้ำมันสัตว์มาสกัดเอา ยางเหนียวและสิ่งสกปรกออก (degumming) จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ปฏิกริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification) โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เอทานอลหรือเมทานอล และตัวเร่งปฏิกริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงเพื่อเปลี่ยนโครงสร้าง ของน้ำมันจากไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) เป็นอัลคิลเอสเทอร์ (alkyl esters) หรือไบโอดีเซล และ ไดกลีเซอรอล (glycerol) เป็นผลพลอยได้ ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง ฯลฯ [1] ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 วัตถุประสงค์ของกระบวนการดังกล่าวคือ ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันในเรื่อง ความหนืดให้เหมาะสมกับการใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซล และเพิ่มค่าซีเทน (cetane number) โดยปฏิกริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนี้สามารถใช้ตัวเร่งปฏิกริยาได้ทั้งแบบกรดและต่าง ตัวอย่างตัวเร่งปฏิกริยาแบบกรด เช่น กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และไฮโดรคลอริก (HCl) ในการผลิตไบโอดีเซลซึ่งมีข้อดี คือ เป็นตัวเร่งที่มี ราคาถูก และสามารถทำให้เกิดปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (esterification) เพราะสามารถเปลี่ยนกรดไขมัน อิสระในน้ำมันให้เป็นเอสเทอร์ได้ แต่ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่ได้จากปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน คือ น้ำ ซึ่งน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกริยาที่เป็นกรดลดลงอย่างมาก ทำให้เอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกริยาทรานส์- เอสเทอร์ฟิเคชันลดลง [2] สำหรับตัวเร่งปฏิกริยาชนิดต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ (KOH) ตัวเร่งปฏิกริยาชนิดนี้ให้อัตราการเกิดปฏิกริยาเคมีที่เร็ว แต่มีข้อจำกัด คือทำให้ระบบมีความไวต่อน้ำและกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน โดยทำให้เกิดสบู่ของเอสเทอร์และลดประสิทธิภาพของ ตัวเร่งปฏิกริยาลง ปัญหาสำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การแยกกลีเซอรอลออกจากเอสเทอร์ทำได้ยาก [3] ดังนั้นจึงมีการใช้ตัวเร่งปฏิกริยาแบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous) ทดแทนตัวเร่งปฏิกริยาแบบเอกพันธ์ (homogeneous) เพราะว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกริยาแบบวิวิธพันธ์ มีข้อดีกว่าตัวเร่งปฏิกริยาแบบเอกพันธ์ตรง ที่สามารถแยกตัวเร่งปฏิกริยาออกได้ง่าย สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [4]

งานวิจัยนี้ศึกษาแนวทางการนำน้ำมันสบู่ดำ (Jatropha) มาดัดแปลงเพื่อเป็นเชื้อเพลิงทดแทน น้ำมันดีเซล เนื่องจากน้ำมันสบู่ดำเป็นผลผลิตจากการเกษตรที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ ขยายพันธุ์ง่าย และเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว วิธีการสกัดเอาน้ำมันออกสามารถทำได้ง่าย ประสิทธิภาพของพลังงานเป็นที่ น่าพอใจ สามารถหาได้ในชนบท จึงเป็นที่น่าสนใจสำหรับการนำมาใช้เป็นสารเสริมน้ำมันดีเซล [5] โดยนำมา ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็น เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่เรียกว่า “ไบโอดีเซล” โดยทั่วไปแล้วกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน นิยมใช้ต่างเป็นตัวเร่ง ปฏิกริยา เนื่องจากให้ผลผลิตสูงกว่าตัวเร่งปฏิกริยาชนิดอื่น สำหรับตัวเร่งปฏิกริยาที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เนื่องจากมีความเป็นด่างสูง ซึ่ง ตัวเร่งปฏิกริยาดังกล่าวมีสถานะเป็นของเหลวเช่นเดียวกับกับน้ำมันและแอลกอฮอล์ จึงเรียกว่า ตัวเร่ง ปฏิกริยาแบบเอกพันธ์ (homogeneous catalyst) ซึ่งตัวเร่งปฏิกริยาชนิดดังกล่าว แม้จะให้ผลผลิตสูงแต่ มีข้อเสียในกระบวนการผลิต คือ จำเป็นต้องมีกระบวนการล้าง เพื่อแยกตัวเร่งปฏิกริยาส่วนที่เหลือออกจาก ผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำ ทำให้เกิดน้ำเสียจำนวนมาก และการเกิดปฏิกริยาข้างเคียง คือ ปฏิกริยาสะปอนนิฟิเคชัน

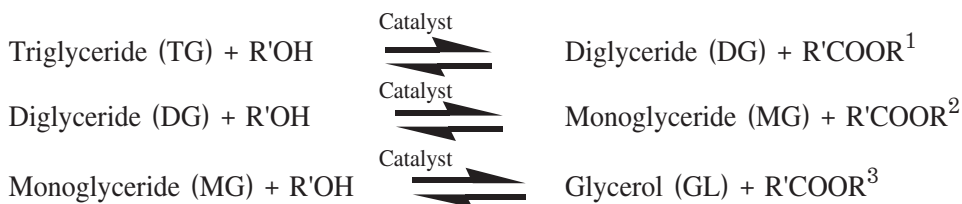
(saponification) ที่ตัวเร่งปฏิกิริยาบางส่วนไปรวมตัวกับกรดไขมันอิสระที่เหลือเกิดเป็นสบู่ ซึ่งยากในการแยกออก งานวิจัยนี้จึงศึกษาแนวทางการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ (heterogeneous catalyst) ซึ่งจะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับสารตั้งต้นเพื่อกำจัดปัญหาการเกิดสบู่และน้ำเสียจากในกระบวนการล้าง เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์นี้ สามารถแยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายโดยการกรอง จึงถือว่าเป็นกระบวนการผลิตที่ไม่ต้องผ่านขั้นตอนการล้าง ซึ่งเป็นการลดขั้นตอนในการผลิต [6] และต้นทุนของการผลิตไบโอดีเซลได้อีกทางหนึ่ง

ในงานวิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งที่สามารถใช้แทนตัวเร่งที่เป็นสารละลายกรดหรือด่าง โดยเลือกใช้ K_2O เป็นตัวเร่งและใช้ฟอจาไซต์เป็นตัวรองรับ โดยมุ่งหวังว่าจะได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับกระบวนการผลิตที่ใช้สารละลายกรดหรือด่างเป็นตัวเร่ง



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ [7]

หมายเหตุ: R = อัลคิลกรุป (-CH₃)



รูปที่ 2 กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแต่ละขั้นตอนจนได้กลีเซอรอลและเอสเทอร์ [7]

หมายเหตุ: R = อัลคิลกรุป (-CH₃)

วิธีการทดลอง

การเตรียมตัวเร่ง

งานวิจัยนี้ใช้สารละลาย KNO_3 เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมและใช้ฟอจาไซต์เป็นตัวรองรับ โดยฟอจาไซต์มีพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุน เป็น $420 \text{ m}^2/\text{g}$ และ 20 \AA ตามลำดับ โดยเตรียมตัวเร่งที่มีปริมาณ KNO_3 แตกต่างกัน คือ 20, 25, 30, 35% โดยใช้วิธีการทำจุ่มชุ่มแบบแห้ง [8] (dry impregnation or incipient wetness impregnation) จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปอบแห้งที่ 393 K เป็นเวลา 15 ชั่วโมง

เมื่อเสร็จจากกระบวนการข้างต้นแล้ว นำสารที่ได้ไปทำการคัลไลต์ที่ 773 K เป็นเวลา 4 ชั่วโมง สุดท้ายจะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 20, 25, 30, 35 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$ ตามลำดับ

การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

การวิเคราะห์ตัวเร่งหลังจากการคัลไลต์โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) โดยใช้ Philips X'Pert ภาควิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้รังสี $\text{Cu K}\alpha$, ช่วง 2 θ ระหว่าง 5-70 องศาเรเดียน ซึ่งอัตราเร็วเป็น 2.5 องศาเรเดียน/นาที ข้อมูลประมวลผลโดย DiffracPlus software การวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวด้วยวิธี BET Nitrogen Adsorption (Autosorb I, Quantachrome) หลังจากการคัลไลต์ด้วยเครื่อง Autosorb ผลิตโดย Quantachrome รุ่น Autosorb 1

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

นำน้ำมันสุญุดำที่ปรับสภาพแล้วและเมทานอล อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันสุญุดำ (น้ำหนักโมเลกุล = 880.623 g/mol) ต่อเมทานอล คือ 1: 6, 1: 21 และตัวเร่งปฏิกิริยา 20, 25, 30, 35 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$ โดยที่ปริมาณตัวเร่งที่ใช้ในปฏิกิริยาคือ 2, 5, 8% โดยน้ำหนักของน้ำมันสุญุดำ บรรจุลงในขวดแก้ว 2 คอ ขนาด 250 มิลลิลิตรที่มีชุดรีฟลักซ์ติดอยู่ด้านบน ดังรูปที่ 3 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 64.7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง [9] ความเร็วรอบการกวน 600 รอบต่อนาที เมื่อครบเวลาทำการปิดเครื่องกวนสารและลดอุณหภูมิลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ทำการกรองแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออก นำผลิตภัณฑ์ที่กรองแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกแล้วมาบรรจุในกรวยแยก เพื่อแยกเอาน้ำมันไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลซึ่งอยู่ทางด้านล่างของกรวยแยก ล้างน้ำมันไบโอดีเซลด้วยน้ำกลั่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส [3] แยกน้ำซึ่งอยู่ด้านล่างของกรวยแยกออก ทำซ้ำประมาณ 5-6 ครั้ง จนน้ำกลั่นใสไม่มีสิ่งเจือปน แล้วใช้โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) 25% โดยน้ำหนักของไบโอดีเซล ตูดความชื้นออก ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซล

จากนั้นนำไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) และคุณสมบัติทางกายภาพที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 3 ชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์

การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล

ทำการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (methyl ester yield or FAME) ในไบโอดีเซลที่ได้ โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph, GC) (Shimadzu รุ่น GC 2010) และสมบัติอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความหนาแน่น (density) ความหนืด (viscosity) จุดวาบไฟ (flash point) และ จุดหมอก (cloud point)

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในน้ำมันไบโอดีเซล มีสูตรคำนวณ คือ

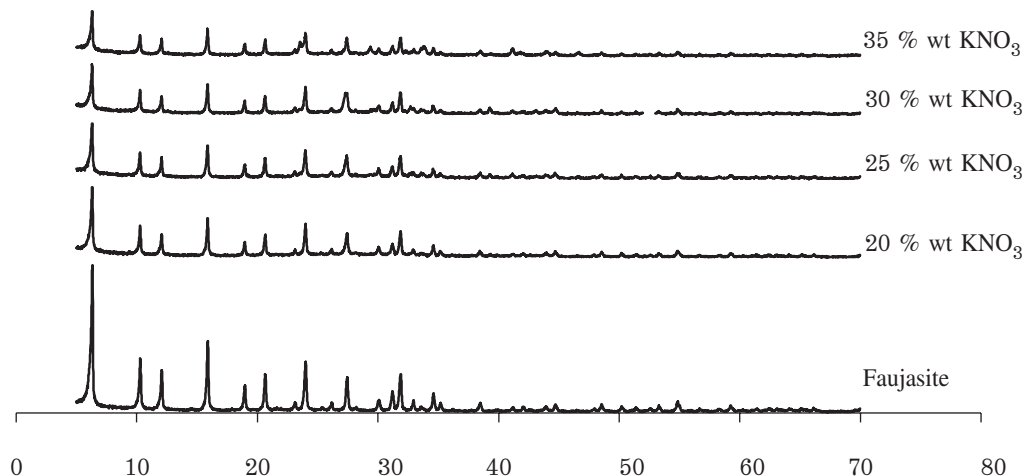
$$C = \frac{(\sum A) - A_{EI}}{A_{EI}} \times \frac{C_{EI} \times V_{EI}}{W} \times 100$$

โดยที่ $\sum A$ = ผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟตั้งแต่ C8: 0 ถึง C18: 2
 A_{EI} = พื้นที่ใต้กราฟของ C8: 0
 C_{EI} = ความเข้มข้นของ C8: 0 ที่ใช้ (mg/l)
 V_{EI} = ปริมาตร C8:0 ที่ใช้ (μ l)
 W = น้ำหนักไบโอดีเซล (mg)

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ได้ pattern ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 XRD Pattern ของตัวเร่ง KNO_3 /Faujasite เทียบกับฟอจาไซต์

ตารางที่ 1 พื้นที่ผิวจำเพาะแบบ BET ของตัวเร่งปฏิกิริยา

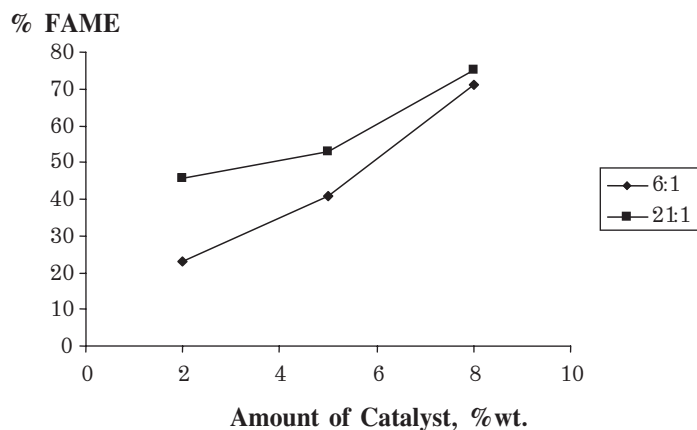
ตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g)	ขนาดรูพรุน (\AA)
Faujasite	420	20
$\text{K}_2\text{O}/\text{Faujasite}$ ที่ 20 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$	380	17
$\text{K}_2\text{O}/\text{Faujasite}$ ที่ 25 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$	366	14
$\text{K}_2\text{O}/\text{Faujasite}$ ที่ 30 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$	270	14
$\text{K}_2\text{O}/\text{Faujasite}$ ที่ 35 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$	257	14

จาก pattern ที่ได้ พบ peak หลักที่ปรากฏในทุกตัวอย่างเป็น peak ของผลึก Faujasite ไม่พบ peak ของผลึก K_2O หรือ KNO_3 แสดงว่า K_2O ที่ได้จากการแตกตัวของ KNO_3 ที่ 500 องศาเซลเซียส ยังอยู่ในรูปอสัณฐาน สำหรับความสูงของ peak ที่ลดลงในตัวอย่างที่มี KNO_3 เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณผลึก Faujasite น้อยลงตามสัดส่วนของตัวเร่งที่เตรียมได้

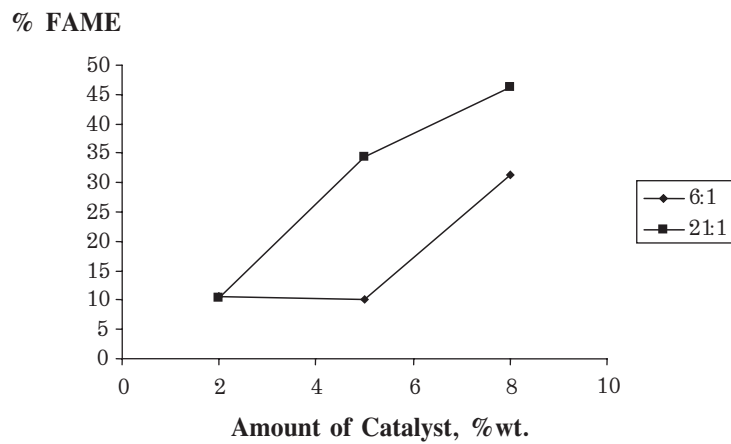
เมื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวด้วยวิธี BET Nitrogen Adsorption (Autosorb I, Quantachrome) (ตารางที่ 1) พบว่า การ load KNO_3 ลงบนพื้นผิวของ Faujasite มีผลให้พื้นที่ผิวโดยรวมของตัวเร่งลดลง และมีขนาดรูพรุนลดลงด้วยเช่นกัน คาดว่าเนื่องจาก KNO_3 ไปเกาะตามรูพรุนของ Faujasite

ผลการวิเคราะห์ไบโอดีเซล

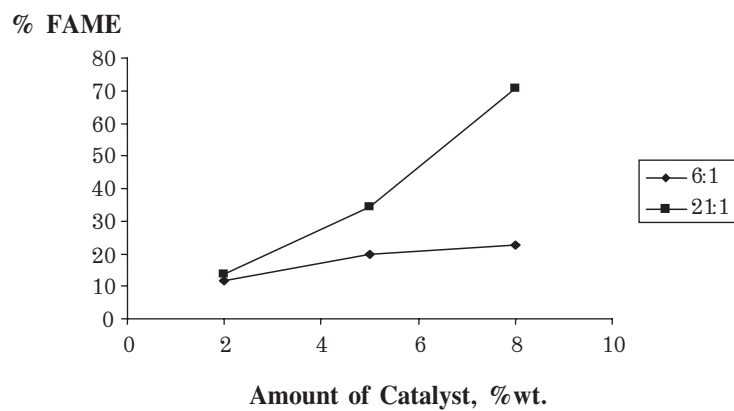
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด $\text{K}_2\text{O}/\text{Faujasite}$ โดยศึกษาผลของตัวแปร 3 ตัวหลัก คือ ปริมาณ KNO_3 บนฟอจาไซต์ (20, 25, 30, 35 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$) ปริมาณตัวเร่งที่ใช้ทำปฏิกิริยาและอัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสุญุดำ โดยที่อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยา คือ 64.7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาทีความดันบรรยากาศ หลังจากผ่านขั้นตอนต่างๆ ตามที่กล่าวมาข้างต้นจนได้ไบโอดีเซล จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ด้วย GC ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 5-10 ซึ่งแสดงผลเฉพาะการใช้ตัวเร่งในปริมาณ 2, 5 และ 8% โดยน้ำหนัก



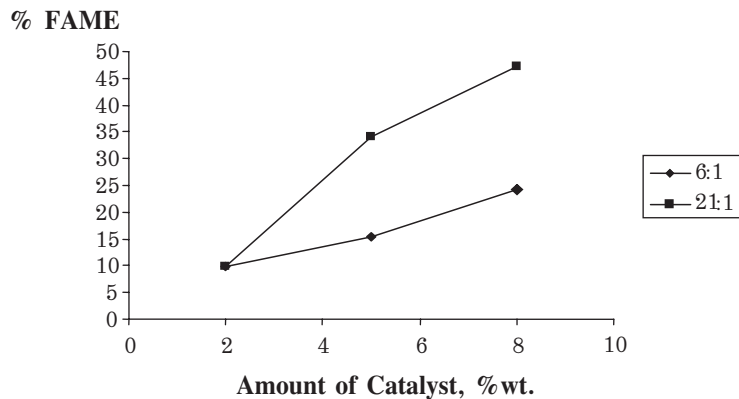
รูปที่ 5 ผลของปริมาณตัวเร่งที่ใช้ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด 20 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันสุญุดำเท่ากับ 6 : 1 และ 21 : 1



รูปที่ 6 ผลของปริมาณตัวเร่งที่ใช้ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด 25 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันสุญุดำเท่ากับ 6 : 1 และ 21 : 1

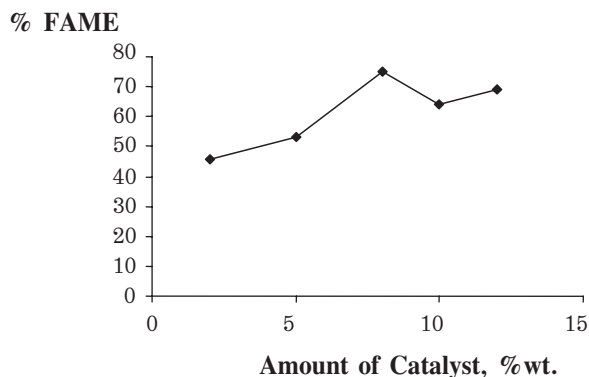


รูปที่ 7 ผลของปริมาณตัวเร่งที่ใช้ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด 30 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันสุญุดำเท่ากับ 6 : 1 และ 21 : 1



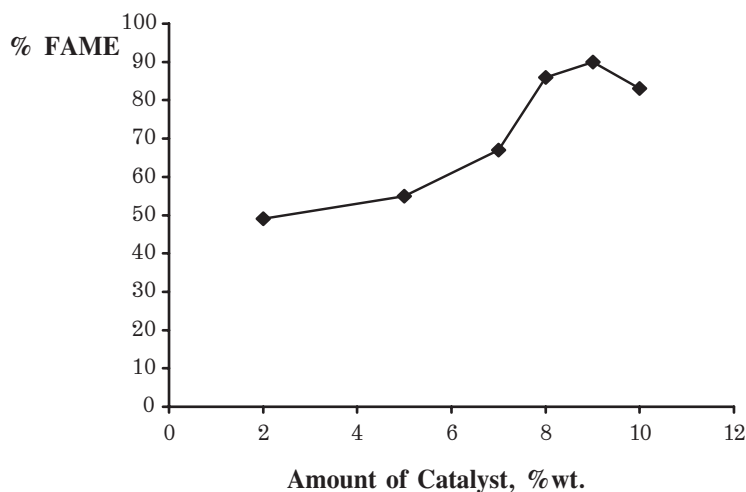
รูปที่ 8 ผลของปริมาณตัวเร่งที่ใช้ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด 35 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำเท่ากับ 6:1 และ 21:1

จากผลการทดลองพบว่า สำหรับทุกตัวเร่งที่ใช้เมื่อเพิ่มปริมาณการใช้จาก 2 เป็น 8% โดยน้ำหนัก มีผลให้เกิดปฏิกิริยาได้เมทิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น และการเพิ่มอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำจาก 6 เท่าเป็น 21 เท่า มีผลเชิงบวกเช่นเดียวกัน เพราะการเพิ่มเมทานอลซึ่งเป็นทั้งสารตั้งต้นของปฏิกิริยาและทำหน้าที่เป็นตัวเจือจางลดความหนืดของน้ำมันสบู่ดำทำให้เกิดการสัมผัสกันของสารตั้งต้นกับตัวเร่งได้มากขึ้น การเกิดปฏิกิริยาจึงดีขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบผลได้ในทุกแบบที่ทดลองพบว่า แบบที่ใช้ตัวเร่ง 20 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$ ปริมาณร้อยละ 8 ของน้ำหนักสบู่ดำ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำ 21 เท่า ให้เมทิลเอสเทอร์สูงสุด คือ 75.2% ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 20 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$ ในการทดลองต่อมา โดยทำการเพิ่มปริมาณตัวเร่งในการทำปฏิกิริยาให้มากขึ้น ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 10 ซึ่งพบว่า การเพิ่มปริมาณจาก 8% โดยน้ำหนักเป็น 10 และ 12 กลับให้ผลเชิงลบ คือ ได้เมทิลเอสเทอร์ลดลง คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากปริมาณตัวเร่งที่มากขึ้นส่งผลทำให้ความหนืดของของผสมระหว่างสารตั้งต้นและตัวเร่งเพิ่มมากขึ้น ทำให้การสัมผัสกันของสารตั้งต้นและตัวเร่งลดลง การเกิดปฏิกิริยาจึงลดลงตามไปด้วย (ไม่สามารถเพิ่มความเร็วรอบให้มากกว่า 800 รอบ/นาที ด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือ)



รูปที่ 9 ผลของปริมาณตัวเร่งที่ใช้ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด 20 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันสุญุดำเท่ากับ 21 : 1

เพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องความหนืดที่เพิ่มขึ้นจึงได้ทดลองซ้ำโดยเพิ่มปริมาณเมทานอลเป็น 30 เท่า ปรากฏว่าได้ผลดีขึ้น สามารถสังเคราะห์ไบโอดีเซลได้สูงสุดโดยมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเป็นไบโอดีเซล 90% เมื่อใช้ตัวเร่ง 20 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$ ในปริมาณ 9% ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 10 จากนั้นนำไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2 เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน ซึ่งพบว่าโดยรวมแล้วมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน ถึงแม้ว่าบางด้านยังต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อย แต่ก็มีความเป็นไปได้สูงในการขยายผลเพื่อผลิตไบโอดีเซลในระดับที่มีขนาดกำลังการผลิตมากขึ้น ซึ่งอาจมุ่งเป้าในการผลิตเพื่อใช้ในชุมชนมากกว่าที่จะใช้ในรถยนต์เชิงพาณิชย์ทั่วไป



รูปที่ 10 ผลของปริมาณตัวเร่งที่ใช้ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด 20 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันสุญุดำเท่ากับ 30 : 1

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้

คุณสมบัติ	ค่าที่วัดได้	ค่ามาตรฐาน*
เมทิลเอสเทอร์ (%wt)	90	≥ 96.5
ความหนาแน่น (density) ที่ 15 °C g/cm ³	0.89	0.86 - 0.90
ความหนืด (viscosity) ที่ 40 °C mm ² /s	6.1	3.5 - 5.0
จุดวาบไฟ (flash point) (°C)	176	≥ 120
จุดหมอก (cloud point) (°C)	9	-

หมายเหตุ :

* ตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน (B 100)

สรุปผลการทดลอง

1. จากผลการศึกษาด้วยโปรแกรมการออกแบบการทดลองพบว่า ปัจจัยหลักที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ คือ ชนิดตัวเร่งที่มีปริมาณ KNO_3 แตกต่างกัน ปริมาณตัวเร่งที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันสุุดำ

2. ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณ 20 wt% $\text{KNO}_3/\text{Faujasite}$ ให้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์สูงสุด คือ 75.2 ในบรรดาตัวเร่งทั้งหมดที่ใช้

3. การเพิ่มปริมาณตัวเร่งไม่เกิน 8% โดยน้ำหนัก ในการทำปฏิกิริยามีผลให้ได้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์มากขึ้น เช่นเดียวกันกับการเพิ่มปริมาณเมทานอลจาก 6 เป็น 21 เท่าของน้ำมันสุุดำตั้งต้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งมากกว่า 8% โดยน้ำหนัก กลับทำให้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ลดลง ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการเพิ่มปริมาณเมทานอล

4. การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยการใช้ $\text{K}_2\text{O}/\text{Faujasite}$ ที่เตรียมจาก 20 wt% KNO_3 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ด้วยปริมาณการใช้ตัวเร่ง 9% โดยน้ำหนัก ใช้เมทานอล 30 เท่าของน้ำมันสุุดำ ทำปฏิกิริยาที่ 64.7 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง และกวนด้วยความเร็ว 600 รอบต่อนาที ให้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 90%

5. ไบโอดีเซลที่ได้ยังมีคุณสมบัติหลักต่ำกว่ามาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน

เอกสารอ้างอิง

1. Methner, V. D. and Naik, S. N. 2004. Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification: A Review. *Reviewable and Sustainable Energy Reviews* 10: 248-268.
2. Kusdiana, D. and Saka, S. 2004. Effects of Water on Biodiesel Fuel Production by Supercritical Methanol Treatment. *Bioresource Technology*. 91: 289-295.
3. Ma, F. and Hanna, M. A. 1999. Biodiesel Production: A Review. *Bioresource Technology* 70: 1-15.
4. Jitputi, J., Kittiyanan, B. Bunyakiat, K., Rangsuwigit, P. and Jenvanitpanjakul, P. 2006. Transesterification of Palm Kernel Oil and Coconut Oil by Different Solid Catalysts. *Chemical Engineering Journal* 116: 61-66.
5. กรมส่งเสริมการเกษตร. 2548. สบู่ดำ. ส่วนส่งเสริมเผยแพร่พืชเศรษฐกิจ. ได้จาก <http://www.doae.go.th/library/html/putsetakit/palmoil.pdf>. 15 กุมภาพันธ์ 2549.
6. Kim, H. J., Kang, B. S., Kim, M. J., Park, Y. M. and Kim, D. K. 2004. Transesterification of Vegetable Oil to Biodiesel Using Heterogeneous Base Catalyst. *Catalysis Today* 93: 315-320.
7. Ebiura, T., Echizen, T., Ishikawa, A., Murai, K. and Baba T. 2005. Selective Transesterification of Triolein with Methanol to Methyl Oleate and Glycerol Using Alumina Load with Alkali Metal Salt As a Solid-Base Catalyst. *Applied Catalyst A* 283: 111-116.
8. Wenlei, X., Hong, P. and Ligong, C. 2006. Transesterification of Soybean Oil Catalyzed by Potassium Loaded on Alumina As a Solid-Base Catalyst. *Applied Catalysis A. General* 300: 67-74.
9. Wenlei, X. and Haitao, L. 2006. Alumina-Supported Potassium Iodide As a Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production from Soybean Oil. *Journal of Molecular Catalysis A Chemical* 255: 1-9.

ได้รับบทความวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2551
ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 24 เมษายน 2551