
การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดูกปลาหมึก
Biodiesel Production from Palm Oil Using Cuttlebone as Catalyst

จักรพงษ์ ไชยบุรี* และ พนิดา สุมานะตระกูล
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

Chakkramong Chaiburi* and Panita Sumanatrakul
Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University

บทคัดย่อ

ความท้าทายเพื่อศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์จากกระดูกปลาหมึกสำหรับผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของเมทานอลและน้ำมันปาล์มและเป็นการเพิ่มมูลค่าของกระดูกปลาหมึก ผลจากการทดลอง พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์จากกระดูกปลาหมึกเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 ต่อน้ำหนักน้ำมันปาล์ม ทุกอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์จะให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลในรูปของเมทิลเอสเทอร์สูงถึง 100 โดยควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล กระดูกปลาหมึก ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

Abstract

A major challenge for investigate to used of heterogeneous catalysts prepare from cuttlebone for biodiesel production via the transesterification reaction of methanol with palm oil and adding value of cuttlebone. The result is found that, using cuttlebone calcined at 800°C and catalyst loading is 5% of weight of palm oil, all the molar ratio of methanol to refined palm oil obtained purity of methyl ester as 100%. The optimum condition is controlled the temperature of reaction as 60°C for 3 h.

Keywords : Biodiesel, Cuttlebone, Heterogeneous Catalyst, Transesterification

*Corresponding author. E-mail: chakkramong@tsu.ac.th, kchakkramong@yahoo.com

บทนำ

ไบโอดีเซล หมายถึง สารประกอบโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (Mono-Alkyl Ester) ซึ่งเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) ของน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (Alcohol) เช่น เมทานอล และมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดหรือเบส จะได้ผลผลิตเป็นเอสเทอร์ (Ester) ซึ่งก็คือน้ำมันไบโอดีเซลและผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้กลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งเราจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์นี้ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไบโอดีเซลชนิดเอสเทอร์นี้มีคุณภาพที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด เพราะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ดังแสดงในภาพที่ 1

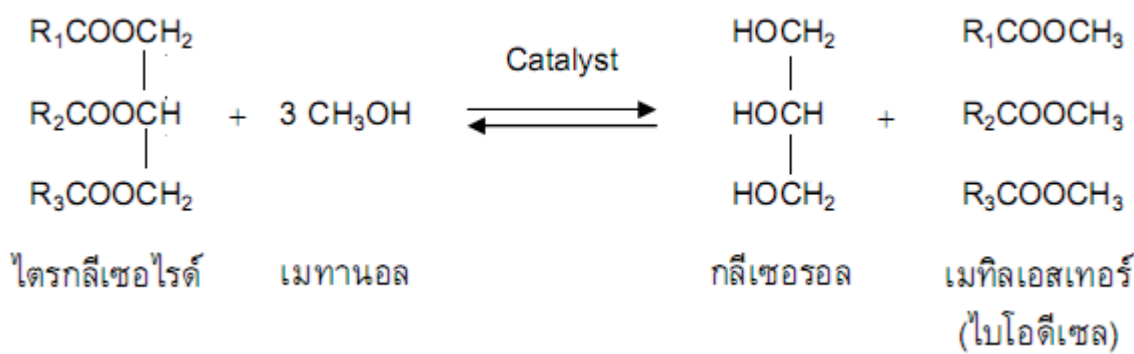
ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ กรด เบส และเอนไซม์ การผลิตไบโอดีเซลในระดับอุตสาหกรรมนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ชนิดเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เนื่องจากเร่งปฏิกิริยาได้เร็วและมีราคาถูก อย่างไรก็ตามการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์กลายเป็นเนื้อเดียวกับสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกทำได้ยาก ต้องใช้น้ำปริมาณมากและทำการล้างผลิตภัณฑ์หลายขั้นตอนก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณมาก และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย เพื่อเป็นการลดปัญหาดังกล่าวจึงมีการศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

จักรพงษ์ ไชยบุรี และคณะ ได้ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งที่เป็นเบส SrO และ KF/SrO โดยนำไปใช้งานได้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เพื่อผลิตไบโอดีเซล อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง จำนวนตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2 4 6 8 และ 10 โดยน้ำหนักที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 6:1 9:1 12:1

15:1 และ 18:1 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา KF/SrO ที่อัตราส่วนโดยโมล 12:1 และจำนวนตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 4 ให้ผลการทดลองดีที่สุด (จักรพงษ์ ไชยบุรี และคณะ, 2555)

Galen และคณะได้ทำการศึกษาทดลองเปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ ระหว่างการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ (metal catalyst) ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) ซิงค์คาร์บอเนต (ZnCO₃) นิกเกิล (nickel) พาเลเดียม (palladium) และซิงค์ออกไซด์ (ZnO) กับ ซีโอไลต์ (Zeolite) โดยให้ปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิ 60 120 และ 150 องศาเซลเซียส โดยนำตัวเร่งปฏิกิริยามาทำให้ร้อนก่อนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ก่อนจะนำไปใช้ในการเร่งปฏิกิริยาจากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 60 ไปเป็น 150 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ผลที่ได้ของเมทิลเอสเทอร์จะเพิ่มด้วยเช่นกัน โดยจะพบว่าซิงค์ออกไซด์ ให้เปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นสารประกอบโลหะตัวอื่นคือร้อยละ 80 ในขณะที่ซีโอไลต์มีการจัดเรียงตัวที่ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะทำให้เกิดการแพร่ผ่านรูพรุนที่ดีกว่า งานวิจัยสรุปว่าซีโอไลต์ให้ Conversion เท่ากันที่อุณหภูมิต่ำกว่า (Galen *et al.*, 2004)

Gryglewicz ได้ศึกษาทำการทดลองเพื่อทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดเรพ (Rapeseed Oil) ไปเป็นเมทิลเอสเทอร์งานวิจัยนี้พบว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดเรพกับเมทานอลสามารถถูกเร่งปฏิกิริยาได้โดยใช้เบสออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น แบเรียมไฮดรอกไซด์ (Ba(OH)₂) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแคลเซียมเมทอกไซด์ (Ca(OCH₃)₂) จากการศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบเรียมไฮดรอกไซด์ (Ba(OH)₂) เมื่อทำปฏิกิริยากับเมทานอลแล้วจะเกิดเป็นสารประกอบแบเรียม



ภาพที่ 1 สมการเคมีสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์

เมทาออกไซด์ ($\text{Ba}(\text{OCH}_3)_2$) ซึ่งมีความเป็นพิษ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแคลเซียมเมทาออกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OCH}_3)_2$) นั้นมีความน่าสนใจที่ราคาถูกแต่พบว่าให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ต่ำ ดังนั้นจึงต้องมีการกระตุ้นโดยอาศัยคลื่นอัลตราโซนิก (Ultra-sonic) ช่วยให้การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมเมทาออกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OCH}_3)_2$) และใช้สารเตตระไฮโดรฟูแรน (THF) ในปริมาณร้อยละ 10 เป็นตัวทำละลายร่วม สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยจะให้ร้อยละโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สูงถึงประมาณร้อยละ 90-93 และผลที่ได้ก็ใกล้เคียงกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Gryglewicz, 1999)

Yang และคณะได้ศึกษาทดลองใช้ Al_2O_3 , ZrO_2 และ ZnO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันถั่วเหลืองต่อเมทานอล 1:12 ที่ 65 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง พบว่าตัวรองรับทั้งสามชนิดไม่ให้เกิดผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ แต่เมื่อเติมแคลเซียมไนเตรตบนตัวรองรับเป็น $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2/\text{ZrO}_2$ และ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2/\text{ZnO}$ พบว่าได้ร้อยละของไบโอดีเซล 49, 7 และ 2 ตามลำดับ เนื่องจาก $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ช่วยเพิ่มความแรงของเบสบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยา จึงเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันขึ้น (Yang *et al.*, 2007)

Kim และคณะได้ทำการศึกษากาการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ โดยได้ทำการทดลองโดยใช้ $\text{Na}/\text{NaOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ร่วมกับบีนอร์มอลเฮกเซน (n-hexane) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายร่วม (Co-Solvent) ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และให้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ $\text{Na}/\text{NaOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ในการเร่งปฏิกิริยาร่วมกับตัวทำละลายร่วมที่สถานะเดียวกันจะให้ร้อยละผลได้สูงเมื่อเทียบกับการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Kim *et al.*, 2004)

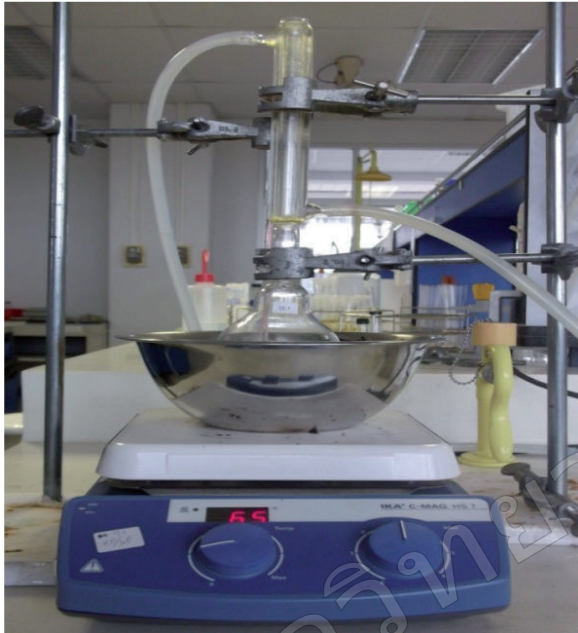
Ngamcharussrivichai และคณะได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดในปาล์มกับเมทานอล โดยได้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแคลเซียมจากธรรมชาติ ได้แก่ หินปูน กระจกหมีก dolomite hydroxyapatite และ dicalcium phosphate ทำการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และให้เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอล 1:30 จากการทดลองพบว่า dolomite ให้ผลการทดลองดี ให้ร้อยละของไบโอดีเซล 98 (Ngamcharussrivichai *et al.*, 2010)

เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะแตกต่างกับสารที่ทำปฏิกิริยา สามารถแยกสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่ายตัวเร่งปฏิกิริยามีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และอาจนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่ายกว่า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่มีประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาอีกด้วย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้สนใจตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งที่เป็นเบสมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่น จึงสนใจตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์จากกระดองปลาหมึก เป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่กระดองปลาหมึก ซึ่งกระดองปลาหมึก องค์ประกอบส่วนใหญ่ประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ ($\text{H}_2=26.5$) (Liu *et al.*, 2008) ซึ่งมีความเป็นเบสสูง และอาจนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องในอนาคต

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดองปลาหมึก โดยนำกระดองปลาหมึกมาล้างให้สะอาด อบแห้ง ทำการอบ และเผา (Calcination) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
2. การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันโดยชั่งตัวอย่างน้ำมันให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 10 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่เติม 2-propanol 50 ml ลงไปในตัวอย่างน้ำมันที่เตรียมไว้ และเติม Phenolphthalein 2-5 หยดเข้าไปให้เข้ากันนำมาให้ความร้อนบนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ทำการไทเทรตขณะร้อนด้วย 0.1 N NaOH จนได้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู จดบันทึกปริมาตร 0.1 N NaOH ที่ใช้ไปในการไทเทรตคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ
3. การดูลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการเตรียมจะมีลักษณะเป็นผงนำมาตรวจลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) และวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) ซึ่งประกอบอยู่ในเครื่อง SEM
4. ศึกษาโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการเตรียมนำมาตรวจลักษณะโครงสร้าง
5. การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์

รีฟิเคชัน ที่อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่อัตราส่วนโดยโมลต่าง ๆ 6:1 12:1 และ 18:1 มาทำการทดลองกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมไว้ โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ดังภาพที่ 2



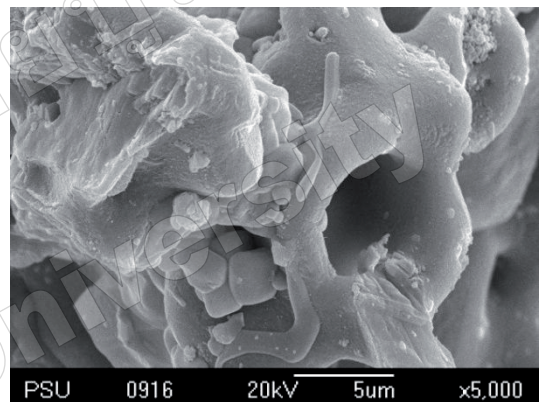
ภาพที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์รีฟิเคชัน

6. การวิเคราะห์หาองค์ประกอบเมทิลเอสเทอร์ในน้ำมันไบโอดีเซล นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์รีฟิเคชัน

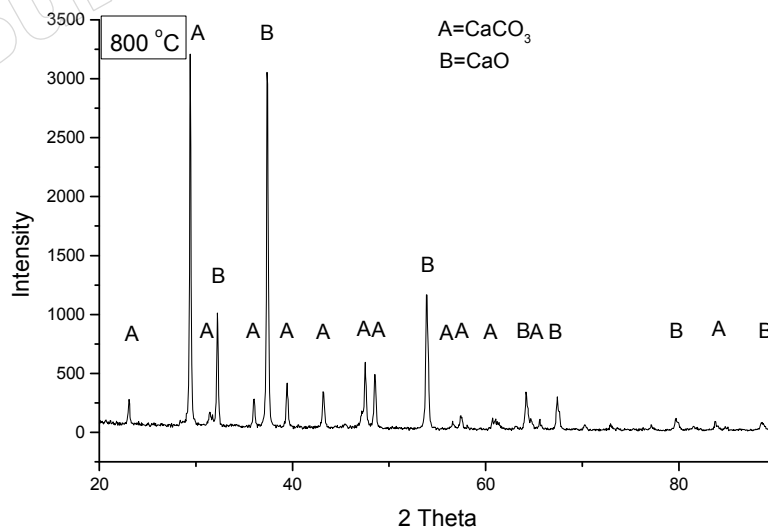
ส่วนที่เป็นชั้นของน้ำมัน ไปล้างด้วยน้ำ รอกการแยกชั้น และนำชั้นน้ำมันที่ได้ไปเติมโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสเพื่อดูดน้ำที่ยังแยกออกมาไม่หมดในชั้นน้ำมัน ในอัตราส่วนโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสต่อชั้นน้ำมันเท่ากับ 0.25 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำน้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบเมทิลเอสเทอร์ในน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้เครื่อง Thin Layer Chromatography – Flame Ionization Detector (TLC – FID)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ได้เท่ากับ 0.48 mgKOH/g โดยไม่เกินค่ามาตรฐาน 0.50 mgKOH/g เป็นมาตรฐาน DIN ของเยอรมนี และ ASTM (American Society of Testing and Materials) ของสหรัฐอเมริกา



ภาพที่ 3 รูปถ่าย SEM โครงสร้างภายนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดองปลาหมึกโดยเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส กำลังขยาย 5000 เท่า



ภาพที่ 4 ผล XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดองปลาหมึก เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง

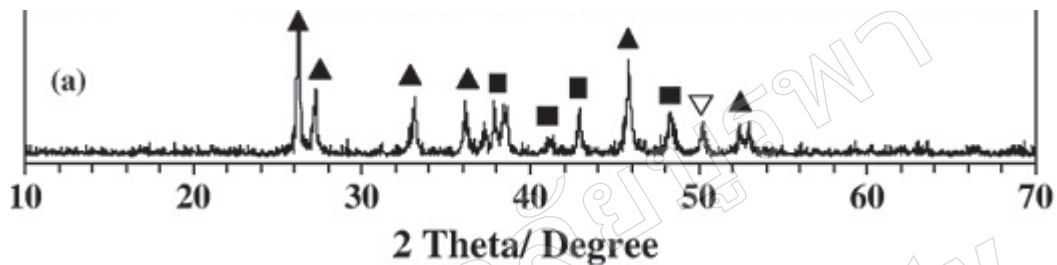
การวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเครื่อง SEM ผลปรากฏดังภาพที่ 3 เป็นการศึกษาลักษณะโครงสร้างภายนอกของตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดองปลาหมึก ที่กำลังขยาย 5000 เท่า ซึ่งจะเห็นอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยามีลักษณะเป็นรูพรุนทั่วไปของพื้นที่ผิว อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบของกลุ่มคาร์บอนในกระดองหมึกสลายตัวที่ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (Ngamcharussrivichai *et al.*, 2010) ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงเกิดรูพรุนขึ้นได้ (Boro *et al.*, 2011) ดังแสดงปฏิกิริยาดังนี้



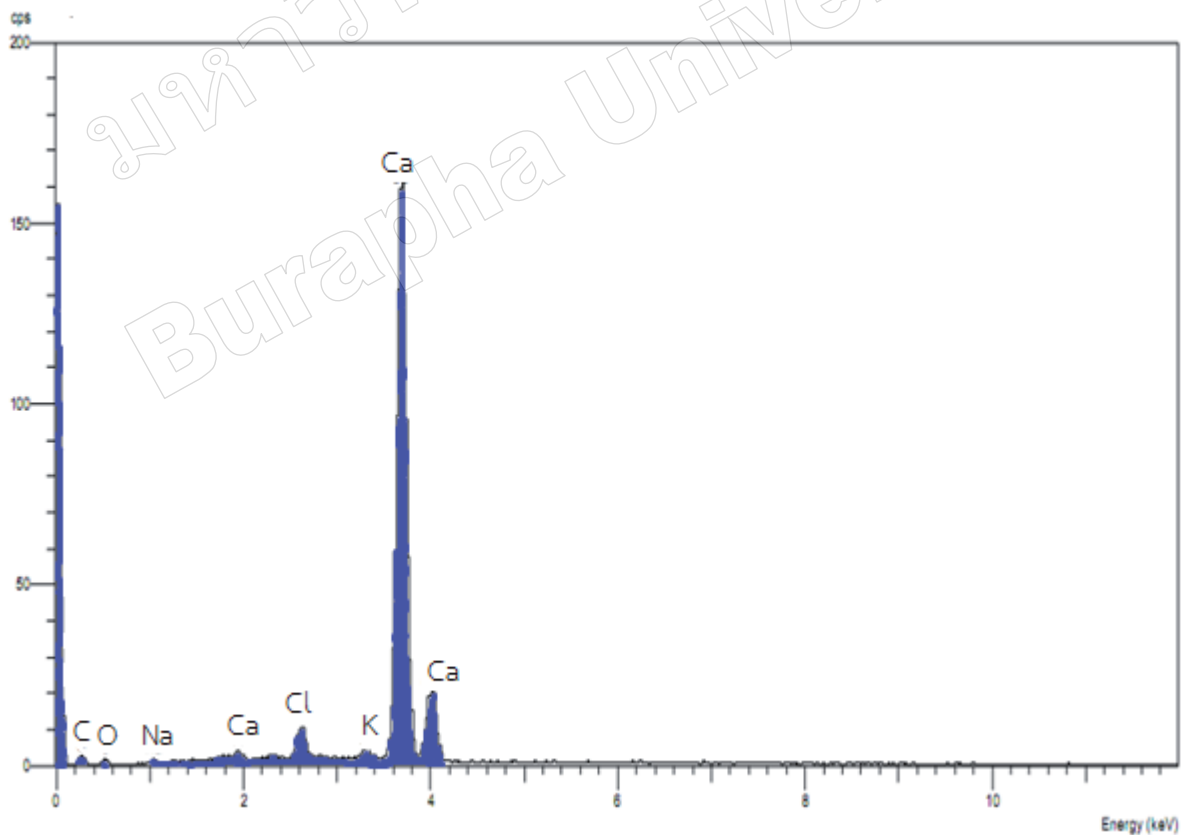
ส่วนผลการศึกษาโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง XRD แสดงดังภาพที่ 4

จากภาพที่ 4 แสดงผล XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดองปลาหมึกเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง โครงสร้างที่ได้เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

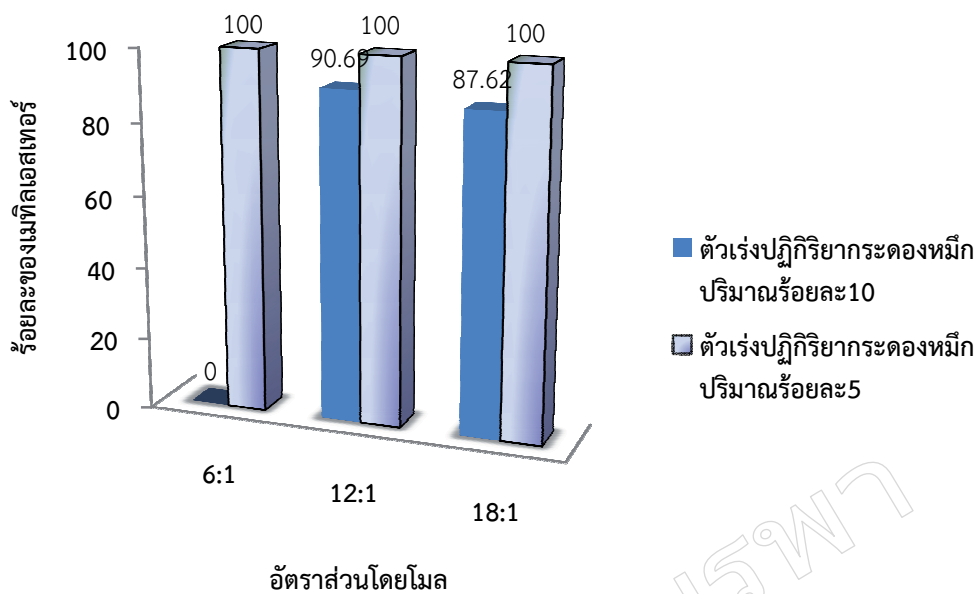
จากภาพที่ 5 เมื่อเทียบกับภาพที่ 4 จะเห็นว่าเวลาในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยานั้นมีผล ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของตัวเร่ง



ภาพที่ 5 ผล XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดองปลาหมึก เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ▲ = aragonite CaCO_3 ■ = calcite CaCO_3 ▽ = $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Ngamcharussrivichai *et al.*, 2010)



ภาพที่ 6 ผล EDX ของตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดองปลาหมึก เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส



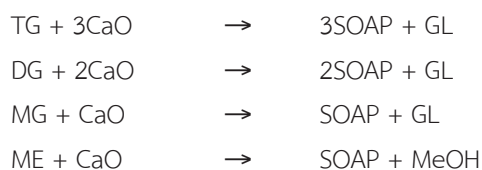
ภาพที่ 7 ผลการเปรียบเทียบร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จากกระดองปลาหมีกที่ปริมาณต่างๆ กัน

ปฏิกิริยา ซึ่งแคลเซียมออกไซด์ (CaO)(H₂O=26.5) (Liu *et al.*, 2008) ซึ่งมีความเป็นเบสสูง จึงส่งผลให้เร่งปฏิกิริยาได้ดี และผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) แสดงผลดังภาพที่ 6 แสดงผลว่ามี Ca K Cl Na C และ O จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณ Ca มีอยู่มากเนื่องจาก Peak ของพลังงานสูงกว่าธาตุอื่นๆ ส่วนผลการทดลองหาร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ในน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เครื่อง Thin Layer Chromatography – Flame Ionization Detector (TLC – FID) แสดงในภาพที่ 7

กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์กับเมทานอลต่อน้ำมันพืชโดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Salamatinia และคณะในปี ค.ศ. 2010 ซึ่งเสนอกลไกการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้โลหะออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Salamatinia, B. *et. al.*, 2010)

จากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดองปลาหมีกเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 ทุกอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงถึง 100 ส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6 : 1 ไม่สามารถหาค่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ได้เนื่องจากผลผลิตที่ได้หลังทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเสร็จแล้วนั้น เกิดเป็นสบู่ของแข็งขึ้นมาผสมรวมกับตัวเร่งปฏิกิริยา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

ร้อยละ 10 ในทุกอัตราส่วนได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ต่ำกว่าปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ เมื่อมีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากเกินพอ ทำให้ปฏิกิริยาย้อนกลับ ทำให้ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ลดต่ำลง หรือเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงขึ้น (ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน) จนกลายเป็นสบู่ ตามปฏิกิริยา ดังนี้



โดย TG DG MG ME CaO SOAP GL MeOH คือ ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ ไบโอดีเซล ตัวเร่งปฏิกิริยา สบู่ กลีเซอรอล และเมทานอล ตามลำดับ

โดยปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากเกินพอ จะสนับสนุนให้เกิดเป็นเกลือของกรดไขมัน (สบู่) ขึ้น ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบลดลง ส่งผลทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันลดลง

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์โดยค่าที่ได้จะไม่เกินค่ามาตรฐานได้เท่ากับ 0.48 mgKOH/g และในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันควรที่จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้อุณหภูมิในการเผา 800 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 ทุกอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอล

ต่อน้ำมันปาล์มได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงถึง 100 โดยการศึกษาจากผลการทดลองของ XRD จากการทดลองพบว่าโครงสร้างที่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EDX

Yang, Z. & Xie, W., (2007), "Soybean oil transesterification over zinc oxide modified with alkali earth metals," *Fuel Processing Technology*, 88, 631-638.

เอกสารอ้างอิง

จักรพงษ์ ไชยบุรี และวิสกฤษ สิงห์อินทร์. (2555). การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา SrO และ KF/SrO. *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 22 ประจำปี 2555*. (หน้า 30). สงขลา : บริษัท มาสเตอร์พีช แอนด์ โครเซพท์ จำกัด.

Boro, J., Thakur, A.J.& Deka, D., (2011). "Solid oxide derived from waste shells of *Turbonilla striatula* as a renewable catalyst for biodiesel production." *Fuel Processing Technology*, 92, 2061-2067

Galen, J.S., Mohanprasad, A.D., Daskocil, E.J., Mankidy, P.J. & Goff, M.J., (2004). "Tranesterification of soybean oil with zeolite and metal catalysts." *Applied Catalysis*, 257, 213-223.

Gryglewicz, S., (1999). "Rapeseed oil methyl esters preparation using heterogeneous catalysts." *Bioresource Technology*, 70, 249-253.

Kim, H.J., Kang, B.S., Kim, M.J., Park, Y.M. & Kim, D.K., (2004). "Transesterification of vegetable oil to biodiesel using heterogeneous base catalyst." *Catalysis Today*, 93, 315-320.

Ngamcharussrivichai, C., Nunthasanti, P., Tanachai, S. & Bunyakiat, K., (2010). "Biodiesel production through transesterification over natural calciums." *Fuel Processing Technology*, 91, 1409-1415.

Salamatinia, B., Mootabadi, H., Bhatia, S. & Abdullah, A. Z., (2010). "Optimization of ultrasonic-assisted heterogeneous biodiesel production from palm oil: A response surface methodology approach." *Fuel Processing Technology*, 91, 441-448.

Liu, X., He, H., Wang, Y., Zhu, S. & Piao, X., (2008). "Transesterification of soy bean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst." *Fuel*, 87, 216-221.