



การศึกษาจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มและเมทานอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมคาร์บอเนตบนตัวรองรับเซรามิกริงค์

รัชชัย บัวทิพย์^{1*}, อรรถโส ขาวจิตร²

¹ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 80161

โทร 086-2725846 E-mail: np_121133@hotmail.com

² สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 80161

โทร 081-6767244 โทรสาร 075-672399 E-mail: kattaso@wu.ac.th

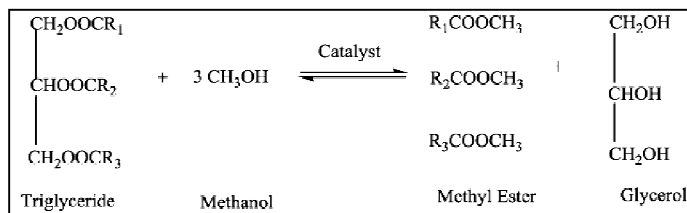
บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มและเมทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมคาร์บอเนตบนตัวรองรับเซรามิกริงค์ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวด้วยวิธีเคลือบฝังตัวแบบแห้งจากสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 25, 35, 45 และ 50 โดยน้ำหนัก ภาพถ่ายแสดงสัณฐานวิทยาจากการส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงพบการกระจายตัวของผลึกโซเดียมคาร์บอเนตที่สม่ำเสมอบนพื้นผิวเซรามิกริงค์ซึ่งมีความเป็นรูพรุน ผลการทดลองประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันปาล์มและเมทานอลที่สัดส่วน 18:1 โดยโมล และมีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมัน ควบคุมอุณหภูมิคงที่ 64 องศาเซลเซียส ที่อัตราการกวน 600 รอบ/นาที พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถเพิ่มร้อยละผลได้ของน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับระบบควบคุมที่ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยร้อยละผลได้จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มที่เข้าใกล้ค่าคงที่หรือลดลงเล็กน้อยที่เวลาของการเกิดปฏิกิริยามากกว่า 5 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมคาร์บอเนตบนตัวรองรับเซรามิกริงค์ (ร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก) สามารถให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%Conversion) สูงสุดที่ร้อยละ 96.11 ที่ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง อันดับของปฏิกิริยาเทียบกับน้ำมันและเมทานอล คือ 0.75, 0 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ไบโอดีเซล; ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน; โซเดียมคาร์บอเนตบนตัวรองรับเซรามิกริงค์

1. บทนำ

จากวิกฤตการณ์น้ำมันที่แพงขึ้นในปัจจุบันและภาวะการณ์ขาดแคลนน้ำมันซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงมีแนวโน้มว่าในอนาคตอันใกล้ของเราจะมีปริมาณน้ำมันไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชากรทั่วโลกเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการประกอบกิจกรรมต่างๆ ดังนั้นในขณะนี้หลายประเทศทั่วโลก รวมทั้งหลายหน่วยงานในประเทศไทยกำลังตื่นตัวในการหาแหล่งพลังงานแหล่งใหม่เพื่อทดแทนน้ำมันที่กำลังจะหมดไป ทั้งนี้เนื่องจากมีแหล่งทรัพยากรธรรมชาติด้านพลังงานน้อย นักวิจัยใหม่ๆจึงคิดค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนพลังงานจากปิโตรเลียมที่กำลังลดลง โดยแหล่งพลังงานที่เป็นที่สนใจและกล่าวถึงมากที่สุดในขณะนี้คือ น้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันพืชชนิดต่างๆหรือน้ำมันสัตว์และเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับดีเซล โดยในปัจจุบันวัตถุดิบหลักในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลคือ ปาล์มน้ำมัน เพราะปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายสามารถที่จะนำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยผ่านกระบวนการปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเมทานอลปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 1 (Ayhan , 2003) และตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูงเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ (Biodiesel) สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous) คือ โซเดียมคาร์บอเนตบนตัวรองรับเซรามิกริงค์มีข้อดีคือช่วยลดความซับซ้อนในการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์และลดขั้นตอนการทำบริสุทธิ์ไบโอดีเซลปัจจุบันพบว่างานวิจัยหลายงานจึงมุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยได้ทำการวิจัยผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากน้ำมันสบู่ดำด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โพแทสเซียมไนเตรดที่ความเข้มข้นต่างๆบนอนุภาคนา พบว่าได้ปริมาณไบโอดีเซลสูงสุกร้อยละ 91.3 (นิดา, 2006) มีนักวิจัยได้ใช้โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K₂CO₃) บนตัวรองรับอะลูมินา (Al₂O₃) พบว่าสามารถให้ร้อยละไบโอดีเซลสูงถึง 90 ภายในเวลาเพียง 5 นาทีที่ภาวะปกติ (สิตา, 2006) มีนักวิจัยได้ใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ที่ใช้กับน้ำมันถั่วเหลืองโดยการให้ความร้อนจากไมโครเวฟ ผลการศึกษาพบว่าสามารถให้ไบโอดีเซลสูงสุกร้อยละ 96.6 (Ming-Chien, 1967)



รูปที่ 1: ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นสรุปได้ว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการใช้ตัวเร่งเบสชนิดของแข็ง โดยน้ำมันที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวจะไม่ต้องผ่านการล้างน้ำ จึงเป็นการลดปัญหาน้ำเสียที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ยังสามารถแยกออกจากน้ำมันไบโอดีเซลได้ง่ายโดยการกรอง รวมทั้งยังสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์นั้นกลับมาใช้งานซ้ำได้ ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมคาร์บอเนตบนตัวรองรับเซรามิกริงค์ โดยคุณสมบัติของตัวรองรับเซรามิกริงค์แบบมีรูพรุนเป็นวัสดุที่ใช้สำหรับกรองน้ำในตู้ปลาที่มีความเป็นรูพรุนสูง เพื่อต่อยอดปฏิกิริยาที่ต้องการ มีความแข็งแรงทนทานต่อการกระแทก ทนต่อการกัดกร่อน และไม่เปลี่ยนโครงสร้างเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ อีกทั้งข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้สามารถหาได้ง่าย ราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูงสำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยวิธีการเคลือบฝังตัวแบบแห้ง (Dry impregnation) อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลดังกล่าว

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1. สารเคมี

เมทานอล 99.9% ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล, กรดซัลฟิวริก 98% ใช้สำหรับกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน, ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ใช้เป็นสารเพื่อหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม, ฟีนอล์ฟทาลีนใช้เป็นอินดิเคเตอร์, เฮกเซน 99% ใช้เป็นตัวละลายน้ำมันปาล์ม, เมทิลปาล์มมีเตท >97% ใช้เป็นสารมาตรฐานในการตรวจเทียบปริมาณไบโอดีเซล, โซเดียมไฮดรอกไซด์ >97% ใช้หาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม, โซเดียมคาร์บอเนต 99.9% ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา, เซรามิกริงค์ใช้เป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา, น้ำมันปาล์มใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลองค์ประกอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1: แสดงองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม (Barnwal, 2005)

Fatty acid	Systematic name	Structure	Formula	%
Myristic	Tetradecanoic	14:0	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0.2
Palmitic	Hexadecanoic	16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	45.0
Stearic	Octadecanoic	18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	4.5
Oleic	Cis-9-Octadecanoic	18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	40.2
Linoleic	Cis-9,cis-12-Octadecatrionic	18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	10.1

2.2. วิเคราะห์กรดไขมันอิสระ

น้ำมันปาล์มตัวอย่าง 5 กรัม ไอโซโพรพิล 25 มิลลิลิตร และหยดฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 3-5 หยด เขย่ารวมกันในขวดรูปชมพู่เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล บิวเรทพร้อมเปิดไล่อากาศออกเพื่อให้พร้อมใช้งาน จุดค่าเริ่มต้นเอาไว้หยดสารละลายต่างในขวดรูปชมพู่พร้อมเขย่าให้เข้ากันหยดจนกว่าน้ำมันจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูหรือสีม่วง อ่านจุดสิ้นสุดของบิวเรทไว้สูตรที่ใช้คำนวณแสดงดังสมการที่ 1 (Hong, 2005)

$$\text{\%FFA} = \frac{\text{สารละลายต่างที่ใช้ไป} \times \text{ความเข้มข้นของสารละลายต่าง} \times \text{มวลโมเลกุลของกรดไขมัน}}{\text{น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง}} \times 100 \quad (1)$$

ลดปริมาณกรดไขมันอิสระโดยผ่านกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันใช้สัดส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเท่ากับ 15:1 ร่วมกับกรดซัลฟิวริกร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิคงที่ 64 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้แยกชั้นในกรวยแยกไขชั้นล่างออกเพื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

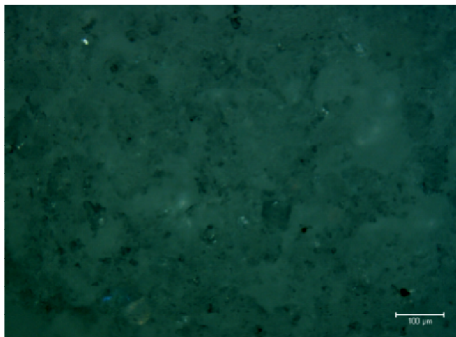
ต่อไป (รั้วชัย, 2013) ซึ่งค่าที่ได้ควรจะมีค่าน้อยกว่า 1% (Kusdiana, 2001) เพราะสามารถเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสอย่างสมบูรณ์ได้

2.3. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

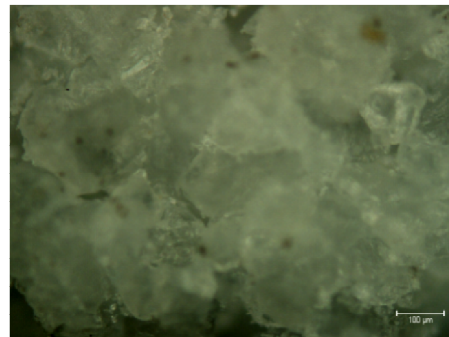
ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสที่ใช้ในการศึกษานี้เตรียมด้วยวิธีเคลือบฝังตัวแบบแห้ง (Dry impregnation) ภายหลังจากการเผา (Calcinations) ตัวรองรับ(เซรามิกริงค์) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่อาจปนเปื้อนอยู่ นำมาผสมในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่างๆทำการระเหยตัวทำละลาย (น้ำ) ออกจนหมด นำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมงตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จะนำไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น (Disiccator) ก่อนนำมาทดสอบปฏิกิริยา (ศิตา, 2006)

2.4. การศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยา

ภาพถ่ายแสดงสัณฐานวิทยา (Morphology) ของตัวเร่งปฏิกิริยาจากการส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ที่กำลังขยาย 100 ไมโครเมตรพบการกระจายตัวของผลึกโซเดียมคาร์บอเนตที่สม่ำเสมอบนพื้นผิวเซรามิกริงค์ซึ่งมีความเป็นรูพรุนดังแสดงรูปที่ 2



(ซ้าย)

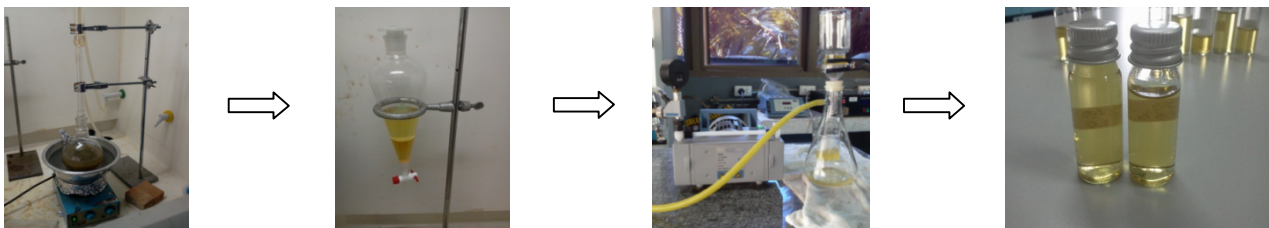


(ขวา)

รูปที่ 2: ภาพแสดงสัณฐานวิทยาของพื้นผิวเซรามิกริงค์ (ซ้าย) แสดงพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมคาร์บอเนตบนตัวรองรับเซรามิกริงค์ (45 wt%)

2.5. การทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ตัวเร่งที่สังเคราะห์ที่ได้ถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างน้ำมันปาล์มกับเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ โดยใช้ขวดกันกลม 3 คอนขนาด 250 มิลลิลิตร ติดตั้งเครื่องกวนและเครื่องควบแน่น ควบคุมอุณหภูมิด้วยอ่างน้ำร้อน สัดส่วนโดยโมลของเมทานอลกับน้ำมันปาล์ม 18:1 (Prafulla, 2011) ผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันที่ความเข้มข้นร้อยละ 25, 35, 45 และ 50 โดยน้ำหนัก ควบคุมอุณหภูมิคงที่ 64 องศาเซลเซียสที่เวลาต่างๆกันแสดงขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลดังรูปที่ 3 ทั้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอลด้วยกรวยแยก จากนั้นนำไปกรองตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเครื่องกรองแบบสูญญากาศ



รูปที่ 3: ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันในระบบปฏิกรณ์แบบกะ

2.6. การวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์

การวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี : Thermo Finnigan Trace GC รุ่น AS2000 เป็นเทคนิคสำหรับการแยกสารตัวอย่างที่เป็นสารผสมเหมาะสมกับสารที่สามารถระเหยเป็นก๊าซได้เมื่อถูกความร้อนโดยอาศัยหลักการพาผ่านเข้าไปยังคอลัมน์โดยใช้ปริมาณน้ำมันตัวอย่าง 0.2 มิลลิลิตรผสมกับเฮกเซน 2 มิลลิลิตรใส่ในขวด vial เขย่าให้เข้ากันจากนั้นนำไปฉีดเข้าเครื่องก๊าซโครมาโต

กราฟพี โดยใช้สารมาตรฐานเมทิลปาล์มมิเตท (Methyl palmitate) ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%conversion) สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟเทียบกับสเปกตรัมของสารอ้างอิง (Su, 2010) สำหรับสูตรที่ใช้คำนวณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ แสดงดังสมการที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

$$C_{methyl_palmitate} = \frac{Area_{sample} \times Conc_{std.} \times V_{Hexane}}{Area_{std.} \times V_{sample} \times 1000 \times MW_{std.}} \quad (2)$$

$$C_{reacted_palmitic} = \frac{C_{methylpalm\ itate}}{3} \quad (3)$$

$$\% Conversion = \left(\frac{C_{18:0_used}}{C_{18:0_feed}} \right) \times 100 \quad (4)$$

2.7. โมเดลศึกษาจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริเคชันระหว่างน้ำมันปาล์มกับเมทานอล โดยมีกรณีต่างๆดังตารางที่ 2 (Prafulla, 2011)

Rate Law	Nomenclature
$r = -kC_{triglyceride}^{\alpha} C_{methanol}^{\beta}$ $-\frac{dC_{Triglyceride}}{dt} = kC_{Triglyceride}^{\alpha} C_{Methanol}^{\beta}$ $C_A = C_{A0}(1-X)$ $C_B = C_{A0}(\theta_B - 3X)$ $\theta_B = \frac{C_{B0}}{C_{A0}}$	<p>α reaction order w.r.t. triglyceride</p> <p>β reaction order w.r.t. methanol</p> <p>C_{A0} initial concentration of triglyceride (g/L)</p> <p>C_{B0} initial concentration of methanol (g/L)</p> <p>C_A concentration of triglyceride after time t (g/L)</p> <p>C_B concentration of methanol after time t (g/L)</p> <p>θ_B ratio of C_{B0} to C_{A0}</p> <p>k rate constant (min)</p> <p>x conversion (%)</p>

ตารางที่ 2: แสดงโมเดลกรณีศึกษาจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริเคชัน

กรณีศึกษา	โมเดล
กรณีที่ 1 : $\alpha=0, \beta=0$	$C_{A0} X = kt$
กรณีที่ 2 : $\alpha=1, \beta=0$	$\ln \left[\frac{1}{1-X} \right] = kt$
กรณีที่ 3 : $\alpha=0, \beta=1$	$-\frac{1}{3} \left[\ln \frac{\theta_B - 3X}{\theta_B} \right] = kt$
กรณีที่ 4 : $\alpha=1, \beta=1$	$\frac{1}{(\theta_B - 3)} \ln \left[\frac{(\theta_B - 3X)}{(1-X)\theta_B} \right] = kC_{A0}t$
กรณีที่ 5 : $\alpha=2, \beta=0$	$\frac{X}{(1-X)^2} = kC_{A0}t$
กรณีที่ 6 : $\alpha=0, \beta=2$	$\frac{X}{(\theta_B - 3X)\theta_B} = kC_{A0}t$
กรณีที่ 7 : $\alpha=2, \beta=1$	$\frac{1}{(\theta_B - 3)} \left\{ \frac{X}{1-X} - \frac{3}{(\theta_B - 3)} \ln \left[\frac{(\theta_B - 3X)}{(1-X)\theta_B} \right] \right\} = kC_{A0}^2t$
กรณีที่ 8 : $\alpha=1, \beta=2$	$\frac{1}{(3 - \theta_B)} \left\{ \frac{3X}{(\theta_B - 3X)\theta_B} - \frac{1}{(3 - \theta_B)} \ln \left[\frac{(1-X)\theta_B}{(\theta_B - 3X)} \right] \right\} = kC_{A0}^2t$
กรณีที่ 9 : $\alpha=0.75, \beta=0$	$\frac{1}{0.25} C_{A0}^{0.25} (1 - (1-X)^{0.25}) = kt$



3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1. ปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตบนตัวรองรับ

หลังจากผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มลดลงเหลือ 0.19% ซึ่งเป็นไปตามงานวิจัยของ (Kusdiana, 2001) สามารถเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสอย่างสมบูรณ์ได้ ผลจากการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณของโซเดียมคาร์บอเนตที่ถูกเคลือบลงบนพื้นผิวของตัวรองรับ (เซรามิกริงค์) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3: แสดงปริมาณของโซเดียมคาร์บอเนตที่ถูกเคลือบลงบนพื้นผิวของตัวรองรับเซรามิกริงค์

สารผสมเริ่มต้น (100 กรัม)			สารผสมสุดท้าย (100 กรัม)			%Na ₂ CO ₃ load
ปริมาณ	Na ₂ CO ₃ (g)	Ceramic ring (g)	ปริมาณ	Na ₂ CO ₃ (g) + Ceramic ring (g)	Na ₂ CO ₃ ที่เหลือ (g)	
25%	25	75	25%	94.67	5.33	(94.67-75)/75 = 26.23
35%	35	65	35%	90.16	9.84	(90.16-65)/65 = 38.71
45%	45	55	45%	82.81	17.19	(82.81-55)/55 = 50.57
50%	50	50	50%	75.72	24.28	(75.72-50)/50 = 51.44

3.2. ปริมาณเมทิลเอสเทอร์

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟีในการวิเคราะห์หาร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%Conversion) พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ขึ้นมามีประสิทธิภาพในการเพิ่มร้อยละเมทิลเอสเทอร์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับระบบควบคุมที่ไม่มีการเติมตั้งเร่งปฏิกิริยาโดยร้อยละเมทิลเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มที่เข้าใกล้ค่าคงที่หรือลดลงเล็กน้อยที่เวลาของการเกิดปฏิกิริยามากกว่า 5 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมคาร์บอเนตบนตัวรองรับเซรามิกริงค์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก สามารถให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุดที่ 96.11 ที่ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง

3.3. กรณีศึกษาจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันปาล์มกับเมทานอล

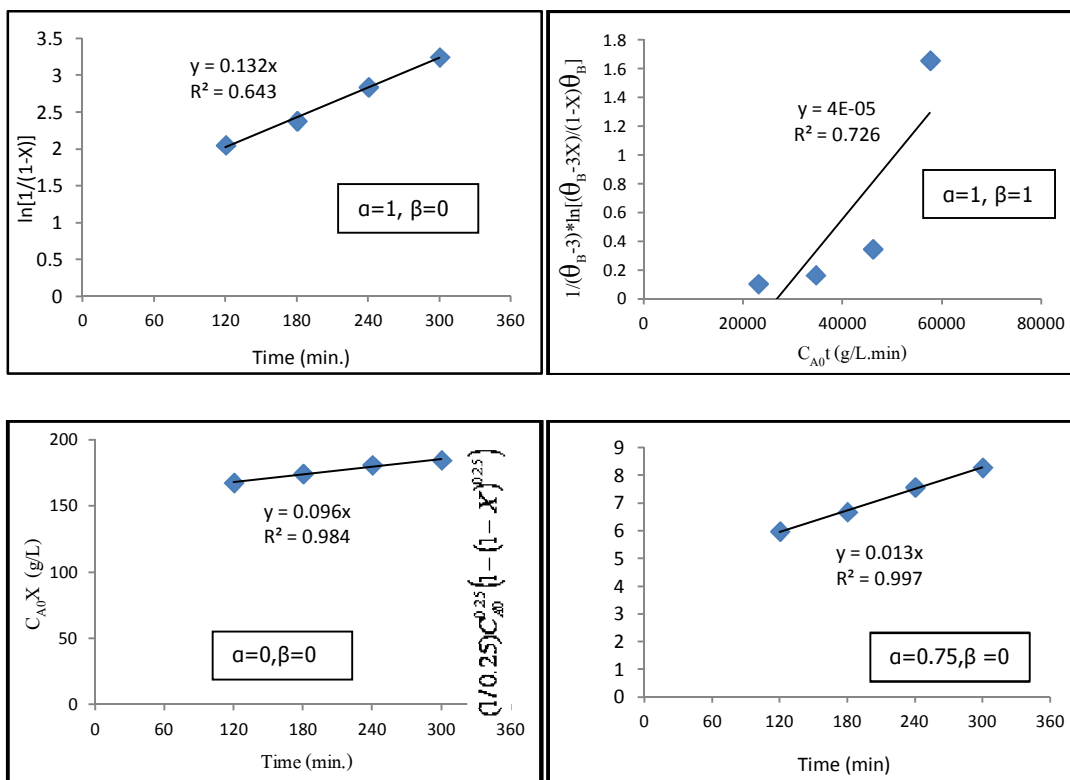
ผลการทดลองร้อยละเมทิลเอสเทอร์จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟีและอัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate law) ดังตารางที่ 4 และตัวอย่างโมเดลการศึกษาแสดงผลดังรูปที่ 4 โดยใช้หลักการความคลาดเคลื่อนกำลังสองต่ำสุด (Least square method) ซึ่งโมเดลที่เหมาะสมที่สุดให้ค่า R²=0.997

ตารางที่ 4: แสดงผลการทดลองร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%conversion) และอัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate law)

Sample 0.2ml	GC results			Rate Law		
	concentration of methy ester 10 ⁴ (mg/L)	concentration of reacted fatty acid 10 ⁻² (mol/L)	%conversion (X)	Case	R ²	Rate constant (k)
Haxane 2ml						
Std# C16:0	200	0.02	-	Case 1: α=0, β=0	0.984	0.096 (g/L).min ⁻¹
120 min	16.75	20.64	87.17	Case 2 : α=1, β=0	0.643	0.132 min ⁻¹
180 min	17.43	21.48	90.74	Case 3: α=0, β=1	0.809	0.01 min ⁻¹

ตารางที่ 4: แสดงผลการทดลองร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%conversion) และอัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate law) ต่อ

Sample	GC results			Rate Law		
0.2ml						
Haxane 2ml						
240 min	18.09	22.29	94.16	Case 4: $\alpha=1, \beta=1$	0.726	0.00004 (g/L).min ⁻¹
300 min	18.46	22.76	96.11	Case 5: $\alpha=2, \beta=0$	0.958	0.0005 (g/L).min ⁻¹
360 min	18.36	22.62	95.55	Case 6: $\alpha=0, \beta=2$	0.608	0.011 (g/L).min ⁻¹
420 min	17.71	21.83	92.18	Case 7: $\alpha=2, \beta=1$	0.674	0.00005 (g/L) ² .min ⁻¹
480 min	16.23	20.00	84.47	Case 8: $\alpha=1, \beta=2$	0.604	0.001 (g/L) ² .min ⁻¹
Esterified Oil#1	19.21	23.68	-	Case 9: $\alpha=0.75, \beta=0$	0.997	0.013 (g/L) ^{0.25} min ⁻¹



รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างโมเดลกรณีศึกษาจลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

จากตารางที่ 4 กรณี $\alpha=0.75, \beta=0$ เป็นกรณีที่ทำให้ค่า $R^2 = 0.997$ ซึ่งเป็นค่าที่มีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นอันดับของปฏิกิริยาที่เหมาะสมกับระบบนี้คือ อันดับของปฏิกิริยาเทียบกับน้ำมันปาล์มและเมทานอล คือ 0.75, 0 ตามลำดับ

4. สรุปผลการวิจัย

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มและเมทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมคาร์บอเนตบนตัวรองรับเซรามิกริงค์ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ขึ้นมีประสิทธิภาพในการเพิ่มร้อยละเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์



ปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับระบบควบคุมที่ไม่มีการเติมตั้งเร่งปฏิกิริยาโดยร้อยละเมทิลเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มที่เข้าใกล้ค่าคงที่หรือลดลงเล็กน้อยที่เวลาของการเกิดปฏิกิริยามากกว่า 5 ชั่วโมง การศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมคาร์บอเนตบนตัวรองรับเซรามิกริงค์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก สามารถให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุดที่ 96.11 ที่ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง ผลการศึกษาจากลนพลศาสตร์ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันปาล์มกับเมทานอลพบว่า ชุดการทดลองที่ 9 มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบปฏิกิริยาที่ทำการศึกษาโดยจากสมการดังกล่าวเมื่อทำการสร้างกราฟพบว่า จะได้ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ $0.013 \text{ (g/L)}^{0.25} \cdot \text{min}^{-1}$ และค่า $R^2 = 0.997$

5. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ayhan D. 2003, "Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterification and other methods a survey", *Energy Conversion and Management*, 44, 2093–2109.
- [2] นิดา เดชาตวงศ์ ณ อยุธยา, 2551, "การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสุปุด้าโดยใช้โพแทสเซียมไนเตรตบนตัวรองรับอลูมินาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] ศิดา เบ็ญจพรกุลพงศ์, 2549, "Heterogeneous catalytic transesterification of palm kernel oil", การประชุมวิชาการเทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, วันที่ 25-26 มกราคม พ.ศ.2549.
- [4] Ming-Chien H, Chin-Chiuan L, Yung-Hung C, 2011, "Microwave irradiation-assisted transesterification of soybean oil to biodiesel catalyzed by nanopowder calcium oxide". *Fuel*, 90, 1963-1967.
- [5] Barnwal and Sharma, 2005, "Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India". *Renewable and Sustainable Energy*, 9, 363-378.
- [6] Hong R, Chun I, 2005, "Kinetics of adsorption of free fatty acids from water-degummed and alkali-refined soy oil using regenerated clay". *Separation and Purification Technology*, 44, 258–265.
- [7] ธวัชชัย บัวทิพย์, 2556, "Process Development of Biodiesel production from Palm Oil Using Na_2CO_3 Catalysts with microwave - aiding heating", การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการวลัยลักษณ์วิจัยครั้งที่ 5, วันที่ 1-2 สิงหาคม พ.ศ. 2556 อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีและพัฒนานวัตกรรม มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.
- [8] Kusdiana and Saka, 2001, "Kinetics of transesterification in rapeseed oil to biodiesel fuel as treated in supercritical methano", *Fuel*, 80, 693–698.
- [9] Prafulla, P., Veera, G., Saireddy, P and Shuguang, D., 2011, "Transesterification kinetics of Camelina sativa oil on metal oxide catalysts under conventional and microwave heating conditions", *Chemical Engineering Journal*, 168, 1296–1300.
- [10] Su, Z., Yuan-Gang, Z., Yu-jie, F., Meng, L., Dong-Yang, Z., and Thomas, E ., 2010, "Rapid microwave – assisted transesterification of yellow horn oil to biodiesel using a heteropolyacid solid catalyst", *Bioresource Technology*, 101, 931-936.