

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเชลล์เป็นตัวเร่ง
ปฏิกิริยา

Synthesis of Biodiesel by Using Calcium Oxide from Scallop as Catalyst



โดย

นางสาวจินตนา รัตน์ศิริพันธุ์

นางสาวจิรประภา เผ่าพัลลภ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

เรื่อง การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเชลล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

โดย นางสาวจินตนา รัตน์ศิริพันธุ์ และนางสาวจิรประภา เผ่าพัลลภ

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ



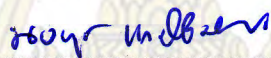
.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา เลิศปรัชญา)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)



.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.นงนุช เหมืองสิน)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี



.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่ 21 เดือน พ.ค พ.ศ. 58

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ

ดีมาก

ดี

พอใช้

อโครงการ	การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเชลล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา		
ชื่อนิสิตในโครงการ	1. นางสาวจินตนา รัตน์ศิริพันธุ์	เลขประจำตัว	5433067323
	2. นางสาวจิรประภา เผ่าพัลลภ	เลขประจำตัว	5433069623
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา		

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเชลล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของเมทานอลและน้ำมันปาล์มโดยพบว่าเปลือกหอยเชลล์บดละเอียดที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง สามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลคือใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 12:1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งจะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงถึงร้อยละ 97.24 และจากการเปรียบเทียบแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเชลล์กับแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า และเปลือกหอยที่ผ่านการสกัด พบว่าแคลเซียมออกไซด์จากทั้งสามชนิดให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เป็นร้อยละ 97.24, 99.33 และ 96.00 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้าจะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด และจากการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลไทย พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชลล์มีค่ามากกว่าค่าต่ำสุดตามที่มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลกำหนดไว้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเชลล์มีประสิทธิภาพดีเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำสำคัญ: ไบโอดีเซล, เปลือกหอยเชลล์, ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน, ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์

Title Synthesis of Biodiesel by Using Calcium Oxide from Scallop as Catalyst

Student names 1. Miss JintanaRatkerephan ID.5433067323

2. Miss JiraphaPhaopanlop ID.5433069623

Advisor Associate Professor Dr.SomchaiPengpreecha

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic year 2014

Abstract

The purpose of this research was to examine the use of calcium oxide from scallop as heterogeneous catalyst in biodiesel production by transesterification of methanol and palm oil. It was found that mashed scallop that was roasted at 800 degree Celsius for 8 hours can be use as catalyst. The optimum condition for biodiesel production was the use of catalyst 5% w/w and the ratio of methanol and palm oil was 12:1 at 60 degree Celsius for 3 hours that gave the amount of methyl ester 97.24%. The comparison of the amount of methyl ester from the use of calcium oxide from scallop, commercial calcium carbonate and extracted shell as catalysts showed that calcium oxide from three catalysts gave the amount of methyl ester as 97.24%, 99.33% and 96.0% respectively and catalyst from commercial calcium carbonate gave the most amount of methyl ester. The catalyst form scallop gave the amount of methyl ester above the requirement of Thai biodiesel standard. In conclusion, calcium oxide from scallop is a good effective catalyst for biodiesel production.

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Keywords: Biodiesel, Scallop shell, Transesterification, Calciumoxide

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยตลอดจนความช่วยเหลือและเอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการพร้อมทั้งเครื่องมือและสารเคมีในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีรวมทั้งตรวจทานการเขียนรายงานฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา เลิศปรัชญาและรองศาสตราจารย์ ดร.นงนุช เหมือนสิน ที่ให้เกียรติมาเป็นกรรมการในการสอบงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณนายตฤ เจริญสุขพลอยผลนางสาวปาณิสรา มงคลชูนางสาวกนกนันท์ วัฒนศักดิ์ภูบาลนางสาวอภิชญา เทียงตรง และนายเทพบดินทร์ เชื้อประเสริฐที่คอยให้คำแนะนำคอยให้การช่วยเหลือและสอนทักษะต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัยนี้จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณโครงการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ฝ่ายวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยประจำปีการศึกษา 2557 ที่ให้ทุนสนับสนุนสำหรับการทำวิจัย



คณะผู้วิจัย

นางสาวจินตนา รัตน์ศิริพันธุ์

นางสาวจิริประภา เผ่าพัลลภ

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญรูปภาพประกอบ	ช
สารบัญตารางประกอบ	ฅ
สารบัญภาคผนวก	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
วิธีการทดลอง	3 บทที่ 2
ทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	8 บทที่ 3 ผลการ
สรุปผลการทดลอง	13 บทที่ 4
	22
เอกสารอ้างอิง	23
ภาคผนวก	24
ประวัติผู้วิจัย	36

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
1. สมการแสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์	1
2. สมการแสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์	4
3. แสดงลักษณะของเปลือกหอยเซลล์	5
4. แสดงภาพชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์	10
5. แสดงภาพลักษณะผลการทดสอบด้วย TLC	11
6. แสดงภาพลักษณะการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลกับกลีเซอรอล	11
7. แสดงภาพลักษณะของเปลือกหอยเซลล์ก่อนทำการเผาที่อุณหภูมิ 800°C	13
8. แสดงภาพลักษณะของเปลือกหอยเซลล์หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C	13
9. แสดงภาพลักษณะของแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้าก่อนทำการเผาที่อุณหภูมิ 800°C	14
10. แสดงภาพลักษณะของแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้าหลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 800°C	14
11. แสดงภาพลักษณะของเปลือกหอยสกัดก่อนทำการเผาที่อุณหภูมิ 800°C	14
12. แสดงภาพลักษณะของเปลือกหอยสกัดหลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 800°C	14
13. แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบสารด้วยเทคนิคXRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเซลล์	15
14. แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบสารด้วยเทคนิคXRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า	15
15. แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบสารด้วยเทคนิคXRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยสกัด	16
16. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา	17
17. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์และเวลาในการทำปฏิกิริยา	18

รูปที่

หน้า

18. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์และอัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อ น้ำมันปาล์ม

20

19. แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จาก เปลือกหอยเชลล์, แคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า และเปลือกหอยสกัด

21



สารบัญตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
1.แสดงปริมาณ CaO ในเปลือกหอยเซลล์	5
2. แสดงลักษณะทางกายภาพก่อนและหลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 800°Cของเปลือกหอยเซลล์, แคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้าและเปลือกหอยสกัด	13
3. แสดงสภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเพื่อศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา	16
4.แสดงสภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเพื่อศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	18
5.แสดงสภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง เมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม	19
6. แสดงสภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา จากเปลือกหอยเซลล์, แคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้าและเปลือกหอยสกัด	20



สารบัญภาคผนวก

หน้า

ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	25
ภาคผนวก ข การคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์	26
- รูปที่ ข1 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซล ของน้ำมันปาล์มด้วยแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเชลล์	26
ภาคผนวก ค ผล $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	27
- รูปที่ ค1 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชลล์เป็น 1%wt.	27
- รูปที่ ค2 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชลล์เป็น 3%wt.	28
- รูปที่ ค3 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชลล์เป็น 5%wt.	28
- รูปที่ ค4 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 2 ชั่วโมง	29
- รูปที่ ค5 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 3 ชั่วโมง	30
- รูปที่ ค6 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 4 ชั่วโมง	30
- รูปที่ ค7 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 6:1	31
- รูปที่ ค8 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 9:1	32
- รูปที่ ค9 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 12:1	32
- รูปที่ ค10 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชลล์	33

- รูปที่ ค11แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาจากแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า	34
- รูปที่ ค12แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยสกัด	34
ภาคผนวก ง มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลไทย	35
- ตารางที่1 แสดงคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน	35



อธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

°C	degree Celsius
g	gram
mL	milliliter
mm	millimeter
%	percent
$^1\text{H-NMR}$	proton nuclear magnetic resonance
TLC	thin layer chromatography
XRD	X-ray Diffraction



ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

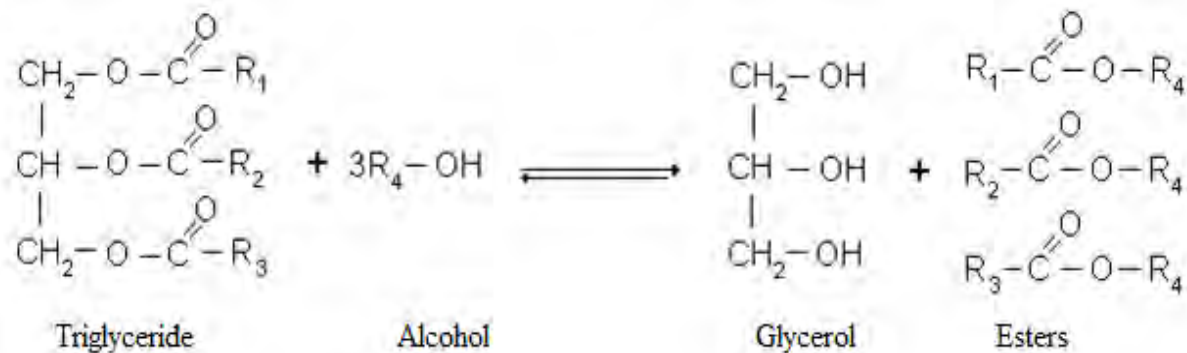
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและและที่สำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมและด้านการขนส่งในประเทศไทยเป็นไปอย่างกว้างขวาง ทำให้มีความต้องการใช้น้ำมันเพิ่มสูงขึ้นตามมา ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันที่ใช้ได้มาจากเชื้อเพลิงจากแหล่งธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งมีการคาดการณ์ว่าจะหมดลงในอนาคต กอปรกับปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น เช่น มลพิษทางอากาศ ภาวะโลกร้อน เป็นต้น เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาเหล่านี้ จึงหาพลังงานทางเลือกใหม่ที่จะสามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ ซึ่งไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นตัวเลือกหนึ่งที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายต่อมา เนื่องจากไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้จากทรัพยากรหมุนเวียนตามธรรมชาติ เช่น น้ำมันจากพืชหรือไขมันจากสัตว์ และยังสามารถสลายตัวได้เองจากกระบวนการทางชีวภาพซึ่งช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซหลายชนิด เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ก๊าซมีเทน (CH₄), และสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม¹

ไบโอดีเซลสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (Transesterification reaction) ระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ (เมทานอลหรือเอทานอล) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรดหรือเบสภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ดังสมการ



รูปที่ 1 สมการแสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์²

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ โดยทั่วไปจะนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogenous catalyst) เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพราะมีราคาถูกและให้ผลผลิตไบโอดีเซลสูง แต่มีข้อเสียคือตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะละลายเป็นเนื้อเดียวกับสารตั้งต้น ในขั้นตอนการแยกออกจากไบโอดีเซลจึงทำได้ยาก ต้องใช้น้ำล้างในปริมาณมาก ซึ่งการกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาออกจะก่อให้เกิดสบู่ในระบบจากปฏิกิริยาซาโปนิฟิเคชัน (Saponification reaction) ของเบสกับกรดไขมันอิสระ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม³ ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงหันมาศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบอวิวิธพันธ์ (Heterogenous catalyst) ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันแทน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบอวิวิธพันธ์นี้จะไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับสารตั้งต้น ทำให้สามารถแยกออกจากไบโอดีเซลได้ง่ายโดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการล้างน้ำ จึงช่วยลดปัญหาการเกิดสบู่ซึ่งก่อให้เกิดน้ำเสียส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้นอกจากนี้ยังสามารถนำ

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้กลับมาใช้ซ้ำได้อีกด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ที่นิยมใช้กันมากเช่น แคลเซียมออกไซด์ (CaO), แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และสังกะสีออกไซด์ (ZnO) เป็นต้น

เนื่องจากเปลือกหอยชนิดต่าง ๆ มีแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ และสามารถพบได้มากในธรรมชาติ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลของตัวเร่งปฏิกิริยานี้กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้าและเปลือกหอยสกัด โดยสนใจแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเซลล์มากกว่าเปลือกหอยชนิดอื่น เนื่องจากเปลือกหอยเซลล์มีลักษณะบาง ในขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำได้ง่าย จึงได้ทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานี้ขึ้นมาใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่การผลิตไบโอดีเซลต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเซลล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1.2.2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากเปลือกหอยเซลล์

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากเปลือกหอยเซลล์กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากแคลเซียมคาร์บอเนตและเปลือกหอยสกัดตามมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลไทย

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเซลล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้

1.3.2 ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากเปลือกหอยเซลล์

1.3.3 ได้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเซลล์ที่มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลตามมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลไทย

1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุภกร และคณะ (2013)⁴ ศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยแมลงภู่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 80°C ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 3 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ซึ่งให้ปริมาณไบโอดีเซลร้อยละ 91.0 และสามารถนำมาใช้ซ้ำได้อีกครั้ง โดยพบว่ายังคงให้ร้อยละการเปลี่ยนไปเป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่สูง

อาชาไนย และคณะ (2013)⁵ ได้นำแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยแมลงภู่, เปลือกหอยแครง, และเปลือกหอยเชลล์ มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 65°C ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าให้ปริมาณไบโอดีเซลร้อยละ 95.0 ทั้ง 3 ชนิด และสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ถึง 4 ครั้ง โดยที่ประสิทธิภาพลดลงเล็กน้อย

ศิริวัฒนา และคณะ (2013)⁶ ศึกษาผลของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยแครงและเปลือกปูทะเลในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ในการผลิตไบโอดีเซล โดยแปรปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1, 2 และ 3 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ที่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเมทานอล และใช้สัดส่วนโมลของเมทานอลกับน้ำมันเป็น 12:1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์โดยตัวเร่งแคลเซียมออกไซด์ที่ผลิตจากเปลือกปูทะเลให้ปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่มากกว่าแคลเซียมออกไซด์ที่ผลิตจากเปลือกหอยแครงเล็กน้อย และสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้งานซ้ำได้จำนวน 1 ครั้ง

1.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.5.1 ความหมายและประเภทของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (Biodiesel) หมายถึงน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการนำน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันปรุงอาหารที่ใช้แล้วไปผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Tranesterification) โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลหรือเอทานอลและใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อทำการเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจากไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (Mono Alkyl Ester) ของกรดไขมัน ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันหรือเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและไดกลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้เนื่องจากเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้นี้มีลักษณะคล้ายน้ำมันดีเซล ดังนั้นจึงเรียกเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันนี้ว่าไบโอดีเซล⁷

ปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตสารเอสเทอร์มีอยู่ 2 กระบวนการได้แก่

- Esterification ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้กรดเป็นสารเร่งปฏิกิริยา
- Transesterification ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ใช้เบสเป็นสารเร่งปฏิกิริยา

ประเภทของไบโอดีเซลมีอยู่ 3 ประเภทใหญ่ คือ

1. ไบโอดีเซลที่ใช้น้ำมันของพืชหรือไขมันจากสัตว์ เช่น น้ำมันปาล์ม, น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันหมู และอื่น ๆ แต่เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 11-17 เท่า และเกิดเป็นไขที่อุณหภูมิต่ำทำให้ยากต่อการป้อนเข้าสู่ห้องเผา และทำให้หัวฉีดน้ำมันฉีดน้ำมันเป็นฝอยยาก และเกิดการสันดาป ทำให้เกิดการจุด

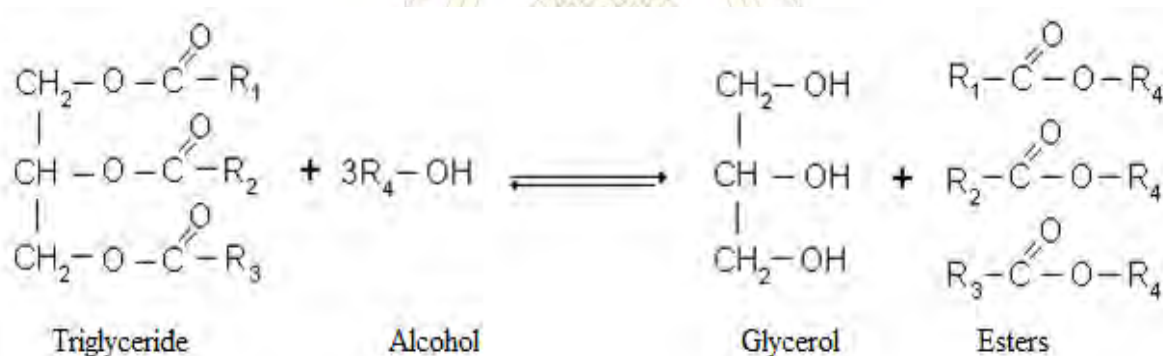
ระเบิดยาก ส่งผลให้เครื่องยนต์ติดยากและหลงเหลือคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด ผนังลูกสูบแหวน และวาล์ว ซึ่งจากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้น้ำมันพืชไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับเครื่องยนต์โดยตรง

2. ไบโอดีเซลแบบลูกผสมเป็นการผสมน้ำมันจากพืชหรือน้ำมันจากสัตว์กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซล เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชและได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด แต่เนื่องจากน้ำมันก๊าดมีราคาค่อนข้างสูง การนำมาใช้ผสมกับน้ำมันพืชจึงใช้ได้ในปริมาณน้อย ซึ่งน้ำมันผสมที่ได้นั้นมีผลเสียต่อเครื่องยนต์จากปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

3. ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ เป็นความหมายของ “ไบโอดีเซลที่แท้จริง” และเป็นที่ยอมรับในสากลมีการใช้อย่างทั่วไปเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติเหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุดทำให้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ โดยน้ำมันมีความคงตัวมากขึ้นสามารถนำไปเติมในเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิด ทั้งเติมโดยตรงและผสมลงในน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ ในปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในระบบขนส่งมวลชนเนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีราคาไม่ต่างจากน้ำมันดีเซลมากนัก นอกจากนี้ยังเผาไหม้ได้อย่างหมดจดไม่มีเขม่าควันหลงเหลือให้เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย⁸

1.5.2 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ เป็นปฏิกริยาการเปลี่ยนหมู่อัลคิล (Alkyl) หรือ -OR ในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) โดยทำปฏิกริยากับแอลกอฮอล์ และมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกริยา ซึ่งจะได้กลีเซอรอล (Glycerol) และอัลคิลเอสเทอร์ (Alkyl Ester) เป็นผลิตภัณฑ์ ดังสมการ



รูปที่ 2 สมการแสดงปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์²

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5.3 หอยเชลล์^๑



รูปที่ 3 แสดงลักษณะของเปลือกหอยเชลล์^๑

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Amusium Pleuronectes*

ชื่อสามัญภาษาไทย: หอยพัด

ชื่อสามัญภาษาอังกฤษ: Radiated Scollop

ชื่อวงศ์: Mollusca

ลักษณะทั่วไป: ลักษณะของหอยพัด ทรวดทรงของหอยทะเลชนิดนี้มีลักษณะแผ่กว้างเกือบเป็นรูปวงกลม ฤดูกาลพัดไบताल เปลือกแบนและบาง ฝาเปลือกแต่ละข้างมีขนาดเท่ากัน ผิวภายนอกของเปลือกมีลักษณะเนียนเรียบซีกซ้ายมีสีแดงม่วง สีฟ้าสดใสอยู่บนเปลือกฤดูกาลเป็นประกายรัศมีประมาณ 12 คู่ มีเส้นกล้ามเนื้อยึดฝาขนาดใหญ่ แหล่งที่พบ: อาศัยอยู่ในทะเลซึ่งมีระดับน้ำค่อนข้างลึกและมีพื้นเป็นทรายพบในฝั่งอ่าวไทย เช่น บริเวณเกาะช้าง เกาะกูด จังหวัดตราด แนวชายฝั่งจังหวัดระยอง และฝั่งทะเลอันดามันเช่น จังหวัดพังงา

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณ CaO ในเปลือกหอยเชลล์

Compound	Concentration (wt.%)		
	Mussel shell	Cockle shell	Scallop shell
CaO	98.367	99.170	97.529
Na ₂ O	0.937	0.438	0.565
SO ₃	0.293	0.117	1.568
P ₂ O ₅	0.163	0.096	0.204
SrO	0.158	0.132	0.107
ZrO ₂	0.046	—	0.027
Cl	0.037	—	—
Fe ₂ O ₃	—	0.026	—

1.5.4 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

1.5.4.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์จะมีสถานะเป็นของเหลวเช่นเดียวกับสารตั้งต้นทำให้รวมเป็นเนื้อเดียวกัน จึงมีข้อเสียในขั้นตอนการล้างผลิตภัณฑ์เนื่องจากแยกออกจากไบโอดีเซลได้ยาก ต้องใช้น้ำล้างในขั้นตอนการล้างมาก ซึ่งจะเกิดสบู่ที่เป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้แบ่งออกเป็นสองแบบ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสและตัวเร่งปฏิกิริยากรด ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส ได้แก่ NaOH, KOH, NaOCH₃ และ CH₃OK เป็นตัวเร่งที่นิยมใช้กันมากเพราะมีประสิทธิภาพสูงและให้ผลิตภัณฑ์ในปริมาณมากในระยะเวลาสั้น แต่มีข้อจำกัด คือ น้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระในระบบต้องไม่มีหรือมีปริมาณน้อยมาก เพราะน้ำจะทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง และกรดไขมันอิสระจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาแซพอนิฟิเคชันหรือมีสบู่เกิดขึ้น ทำให้ยากต่อการเพิ่มคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตได้¹⁰ ตัวเร่งปฏิกิริยากรด ได้แก่ H₂SO₄ นิยมนำไปใช้กับน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระมาก มีข้อเสีย คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำ จึงต้องใช้เวลาในการผลิตไบโอดีเซลนานมาก ปัจจุบันน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระมากจึงนิยมใช้กระบวนการผลิตแบบสองขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือ การทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นการลดปริมาณกรดไขมันอิสระให้มีความน้อยลง ส่วนขั้นที่สอง คือ การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งจะใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1.5.4.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์จะมีสถานะเป็นของแข็ง ตัวอย่างตัวเร่งชนิดเบส เช่น MgO, BaO, CaO เป็นต้น และชนิดกรด เช่น Fe₂(SO₄), ZrO₂/SO₄²⁻, ZnO เป็นต้น¹⁰ โดยตัวเร่งชนิดนี้จะไม่ละลายรวมเป็นเนื้อเดียวกับสารตั้งต้น ซึ่งช่วยแก้ปัญหาการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลได้ อีกทั้งยังสามารถกรองแยกตัวเร่งออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายและนำกลับมาใช้ซ้ำได้ ซึ่งถือว่าเป็นข้อได้เปรียบกว่าตัวเร่งชนิดอื่น ๆ ด้วย

1.5.4.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอนไซม์

เอนไซม์ที่นิยมใช้คือ เอนไซม์ไลเปส ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการต่าง ๆ เช่น ไฮโดรไลซิสของกลีเซอรอล แอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) และแอซิดไลซิส (Acidolysis) ข้อดีของการใช้เอนไซม์ คือ ปฏิกิริยามีความจำเพาะสูง ทำให้แยกออกกลีเซอรอลได้ง่ายและได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกด้วย แต่ก็มีข้อจำกัด คือ มีราคาแพง จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตขนาดใหญ่¹¹

1.5.5 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

1.5.5.1 ผลของน้ำหรือความชื้น

การที่มีน้ำหรือความชื้นอยู่ในน้ำมันจะมีผลต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้ เนื่องจากความชื้นจะทำให้เกิดไฮโดรลิซิสของน้ำมันและเกิดสบู่ขึ้น ซึ่งสบู่ที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง นอกจากนี้ยังทำให้น้ำมันไบโอดีเซลมีความหนืดสูงขึ้น มีลักษณะเป็นเจล และยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลด้วย¹²

1.5.5.2 ผลของอัตราส่วนแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันมีผลต่อปริมาณของเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น โดยตามทฤษฎีสัดส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันจะเท่ากับ 3:1¹² แต่เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ในทางปฏิบัติจึงต้องใช้ปริมาณแอลกอฮอล์ให้มากเกินไป เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้าได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลมากขึ้นและช่วยลดเวลาในการทำปฏิกิริยาได้

1.5.5.3 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ กล่าวคือปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำและสูงเกินไปจะทำให้ได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ลดลง ดังนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจะมีค่าคงที่ค่าหนึ่งเท่านั้น นอกจากนี้ถ้าปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีค่ามากจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เกินมาไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันทำให้เกิดปฏิกิริยาแซพอนิฟิเคชันหรือการเกิดสบู่ขึ้นได้¹²

1.5.5.4 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะแปรผันโดยตรงกับเวลา นั่นคือถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น ปริมาณเอสเทอร์ที่ได้ก็จะมากขึ้นเช่นกัน โดยในตอนต้นปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นค่อนข้างช้า เนื่องจากการผสมและการกระจายตัวของแอลกอฮอล์ในน้ำมัน ต่อมาปฏิกิริยาจะเกิดได้เร็ว จากนั้นจะค่อนข้างคงที่แม้ว่าจะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น¹³

1.5.5.5 ผลของการกวนผสม

เนื่องจากไขมันที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลนั้นไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องมีการกวนผสมในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อให้เนื้อสารสัมผัสกัน ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจึงจะเกิดและได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซล¹⁴

บทที่ 2

วิธีการทดลอง

2.1 วัสดุดิบ

1. น้ำมันปาล์มโพลีเอทิลีนจากเนื้อปาล์มผ่านกรรมวิธี (ตราหยก; บริษัทลำสูง (ประเทศไทย)จำกัด มหาชน)
2. เปลือกหอยเชลล์
3. เปลือกหอยสกัดจากห้องปฏิบัติการ

2.2 สารเคมี

1. Methanol, CH₃OH (Analytical grade; Merck)
2. Calcium carbonate (Analytical grade; Sigma-Aldrich)
3. Sodium Sulfate Anhydrous, Na₂SO₄ (Analytical grade; Carlo Erba)
4. DI Water
5. Hexane (Analytical grade; Carlo Erba)
6. Ethyl acetate, CH₃COOC₂H₅ (Analytical grade; Lab-Scan)
7. Chloroform-D₁ (Merck)

2.3 อุปกรณ์

1. Round bottom flask
2. Beaker
3. Thermometer
4. Desiccators
5. Stirring rod
6. Separating funnel
7. Erlenmeyer flask
8. pH paper
9. Dropper
10. Sieve (100 meshes)
11. Reflux condenser
12. Filter paper: Whatman #1 (125 mm)

13. Funnel
14. Cylinder
15. Magnetic stirrer
16. ถ้วยสังกะสีใส่ทราย
17. แผ่นทินเลเยอร์โครมาทีกราฟี (TLC silica gel 60 F254)

2.4 เครื่องมือ

1. Hot plate magnetic stirrer (IKA C-MAG HS7)
2. เครื่องชั่งไฟฟ้า (Mettler Toledo; ML 1502E)
3. X-ray Diffractometer, XRD (Perkin Elmer)
4. Nuclear Magnetic Resonance Spectrophotometer, NMR (YH 400;Bruker)
5. Oven (MEMMERT UM500, BEC, Thailand)
6. เตาเผา
7. Safety Laboratory Hood (Asian chemical and engineering Co.,Ltd, Thailand)

2.5 ขั้นตอนการศึกษา

2.5.1 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

1) เปลือกหอยเซลล์

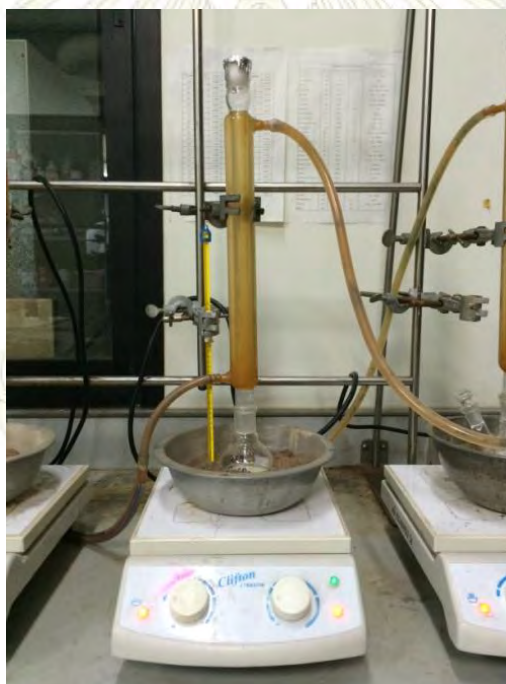
นำเปลือกหอยเซลล์ที่ได้มาล้างน้ำให้สะอาด จากนั้นนำมาตากแดดให้แห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียด และร่อนผ่าน Sieve (100 meshes) แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของสารตัวอย่างด้วยเครื่อง XRD

2) CaCO₃ ทางการค้าและเปลือกหอยสกัด

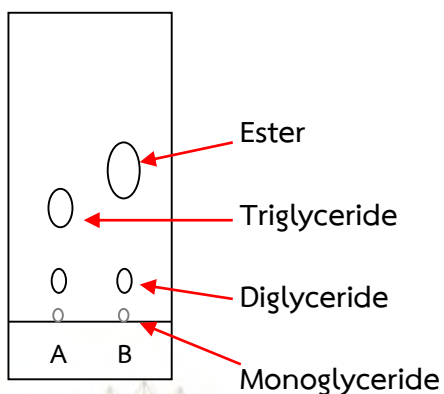
นำ CaCO₃ ทางการค้าและเปลือกหอยสกัด มาบดให้ละเอียด และร่อนผ่าน Sieve (100 meshes) แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของสารตัวอย่างด้วยเครื่อง XRD

2.5.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

ติดตั้งชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์ โดยใช้ hot plate และถ้วยสังกะสีใส่ทรายเพื่อเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน ระหว่างทำปฏิกิริยา นำน้ำมันปาล์มยี่ห้อมรกตผสมกับเมทานอลในอัตราส่วนโดยโมล 12:1 (น้ำมันปาล์ม 20.0 g และ ปริมาณเมทานอล 11.47 ml) โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันคือร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยน้ำหนัก(น้ำหนัก ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 0.2 g, 0.6g และ 1.0 g ตามลำดับ) ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C โดยใช้ magnetic stirrer คน ส่วนผสมให้เข้ากันตลอดเวลาทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดการทำปฏิกิริยานำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปตรวจสอบ ด้วย TLC ว่าเกิดไบโอดีเซลจริง จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากน้ำมัน จากนั้น เทไบโอดีเซลที่ได้ใส่กรวยแยก และเติม Hexane 20.0 ml แล้วล้างด้วยน้ำ DI อุ่น โดยเทน้ำ DI อุ่นใส่ในกรวยแยก แล้วเขย่า จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ของเหลวแยกชั้น ไชชั้นน้ำและชั้นสบู่ทิ้ง แล้วล้างด้วยน้ำ DI อุ่นซ้ำจนไบโอดีเซลที่ได้มีสี เหลืองใส จากนั้นวัดค่า pH ของไบโอดีเซลที่ได้ ซึ่งควรมีค่าใกล้เคียง 7 จากนั้นนำไปวัด NMR เพื่อคำนวณหา เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (%conversion) จากพื้นที่ใต้กราฟ



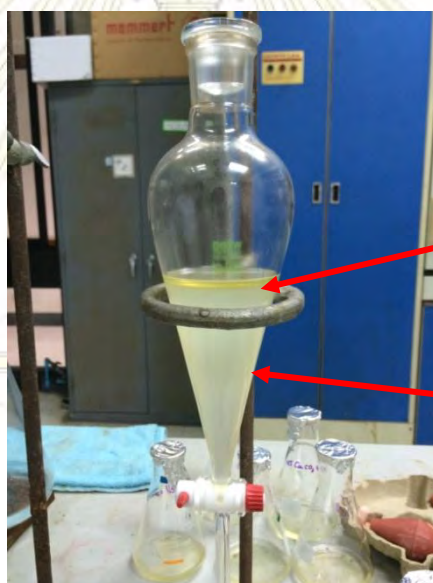
รูปที่ 4 แสดงภาพชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์



รูปที่ 5 แสดงภาพลักษณะผลการทดสอบด้วย TLC

A คือ สารตั้งต้น (น้ำมันปาล์ม)

B คือ ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล)



รูปที่ 6 แสดงภาพลักษณะการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลกับกลีเซอรอล

2.5.3 ศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ติดตั้งชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์ โดยใช้ hot plate และถ้วยสังกะสีใส่ทรายเพื่อเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน ระหว่างทำปฏิกิริยานำน้ำมันปาล์มยี่ห้อมรกตผสมกับเมทานอลในอัตราส่วนโดยโมล 12:1 (น้ำมันปาล์ม 20.0 g และ ปริมาณเมทานอล 11.47 ml) โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก(น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1.0 g) ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C โดยใช้ magnetic stirrer คนส่วนผสมให้เข้ากันตลอดเวลาทำปฏิกิริยาเป็นเวลาแตกต่างกันคือ 2, 3 และ 4 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดการทำปฏิกิริยานำผลิตภัณฑ์ไปตรวจสอบด้วย TLC ว่าเกิดไบโอดีเซลจริง

จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากรวม น้ำมัน จากนั้นเทไปโอดีเซลที่ได้ใส่กรวยแยก และเติม Hexane 20.0 ml แล้วล้างด้วยน้ำ DI อุณหภูมิโดยเทน้ำ DI อุณหภูมิใส่ในกรวยแยก แล้วเขย่า จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ของเหลวแยกชั้น ไชชั้นน้ำและชั้นสบู่ทิ้ง แล้วล้างด้วยน้ำ DI อุณหภูมิซ้ำจนไปโอดีเซลที่ได้มีสีเหลืองใส จากนั้นวัดค่า pH ของไปโอดีเซลที่ได้ ซึ่งควรมีค่าใกล้เคียง 7 จากนั้นนำไปวัด NMR เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (%conversion) จากพื้นที่ใต้กราฟ

2.5.4 ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ติดตั้งชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์ โดยใช้ hot plate และถ้วยสังกะสีใส่ทรายเพื่อเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน ระหว่างทำปฏิกิริยานำน้ำมันปาล์มที่ห่อหมกผสมกับเมทานอลในอัตราส่วนโดยโมลที่แตกต่างกันคือ 6:1, 9:1 และ 12:1 (น้ำหนักน้ำมันปาล์ม 20.0 g และปริมาณเมทานอลเป็น 5.70 ml, 8.60 ml, 11.47 ml ตามลำดับ) ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1.0 g) ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C โดยใช้ magnetic stirrer คนส่วนผสมให้เข้ากันตลอดเวลาทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดการทำปฏิกิริยานำผลิตภัณฑ์ไปตรวจสอบด้วย TLC ว่าเกิดไปโอดีเซลจริง จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากรวม น้ำมัน จากนั้นเทไปโอดีเซลที่ได้ใส่กรวยแยก และเติม Hexane 20.0 ml แล้วล้างด้วยน้ำ DI อุณหภูมิ โดยเทน้ำ DI อุณหภูมิใส่ในกรวยแยก แล้วเขย่า จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ของเหลวแยกชั้น ไชชั้นน้ำและชั้นสบู่ทิ้ง แล้วล้างด้วยน้ำ DI อุณหภูมิซ้ำจนไปโอดีเซลที่ได้มีสีเหลืองใส จากนั้นวัดค่า pH ของไปโอดีเซลที่ได้ ซึ่งควรมีค่าใกล้เคียง 7 จากนั้นนำไปวัด NMR เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (%conversion) จากพื้นที่ใต้กราฟ

2.5.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา คือ เปลือกหอยเชลล์, CaCO_3 ทางการค้า และเปลือกหอยสกัด

ติดตั้งชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์ โดยใช้ hot plate และถ้วยสังกะสีใส่ทรายเพื่อเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน ระหว่างทำปฏิกิริยานำน้ำมันปาล์มที่ห่อหมกผสมกับเมทานอลในอัตราส่วนโดยโมล 12:11 (น้ำมันปาล์ม 20.0 g และปริมาณเมทานอล 11.47 ml) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากสารต่างชนิดกันคือ เปลือกหอยเชลล์, CaCO_3 ทางการค้า และเปลือกหอยสกัด ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1.0 g) ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C โดยใช้ magnetic stirrer คนส่วนผสมให้เข้ากันตลอดเวลาทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดการทำปฏิกิริยานำผลิตภัณฑ์ไปตรวจสอบด้วย TLC ว่าเกิดไปโอดีเซลจริง จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากรวม น้ำมัน จากนั้นเทไปโอดีเซลที่ได้ใส่กรวยแยก และเติม Hexane 20.0 ml แล้วล้างด้วยน้ำ DI อุณหภูมิ โดยเทน้ำ DI อุณหภูมิใส่ในกรวยแยก แล้วเขย่า จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ของเหลวแยกชั้น ไชชั้นน้ำและชั้นสบู่ทิ้ง แล้วล้างด้วยน้ำ DI อุณหภูมิซ้ำจนไปโอดีเซลที่ได้มีสีเหลืองใส จากนั้นวัดค่า pH ของไปโอดีเซลที่ได้ ซึ่งควรมีค่าใกล้เคียง 7 จากนั้นนำไปวัด NMR เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (%conversion) จากพื้นที่ใต้กราฟ

บทที่ 3

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

3.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเชลล์, แคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า และเปลือกหอยสกัด

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะทางกายภาพก่อนและหลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 800°C ของเปลือกหอยเชลล์,

ชนิดของสารที่ใช้เตรียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	ลักษณะทางกายภาพ	
	ก่อนทำการเผาที่อุณหภูมิ 800°C	หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 800°C
เปลือกหอยเชลล์	ผงของแข็งละเอียด สีขาว	ผงของแข็งละเอียด สีขาว
แคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า	ผงของแข็งละเอียด สีขาว	ผงของแข็งละเอียด สีขาว
เปลือกหอยสกัด	ผงของแข็งละเอียด สีขาว	ผงของแข็งละเอียด สีขาวอมเหลือง

แคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า และเปลือกหอยสกัด



รูปที่ 7



รูปที่ 8

รูปที่ 7 แสดงภาพลักษณะของเปลือกหอยเชลล์ก่อนทำการเผาที่อุณหภูมิ 800°C

รูปที่ 8 แสดงภาพลักษณะของเปลือกหอยเชลล์หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 800°C



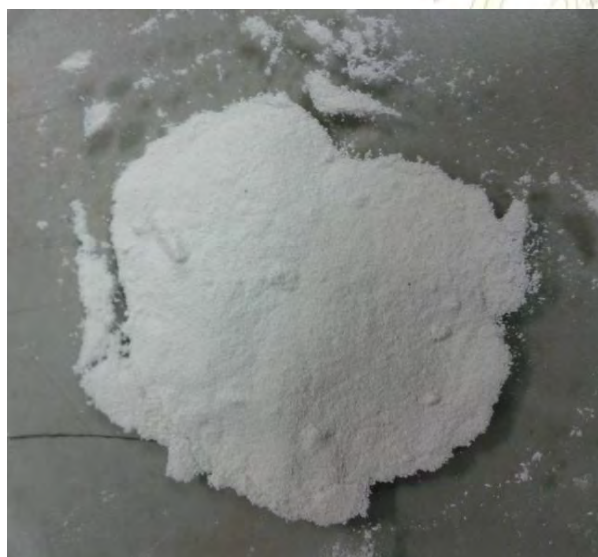
รูปที่ 9



รูปที่ 10

รูปที่ 9 แสดงภาพลักษณะของเคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้าก่อนทำการเผาที่อุณหภูมิ 800°C

รูปที่ 10 แสดงภาพลักษณะของเคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้าหลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 800°C



รูปที่ 11



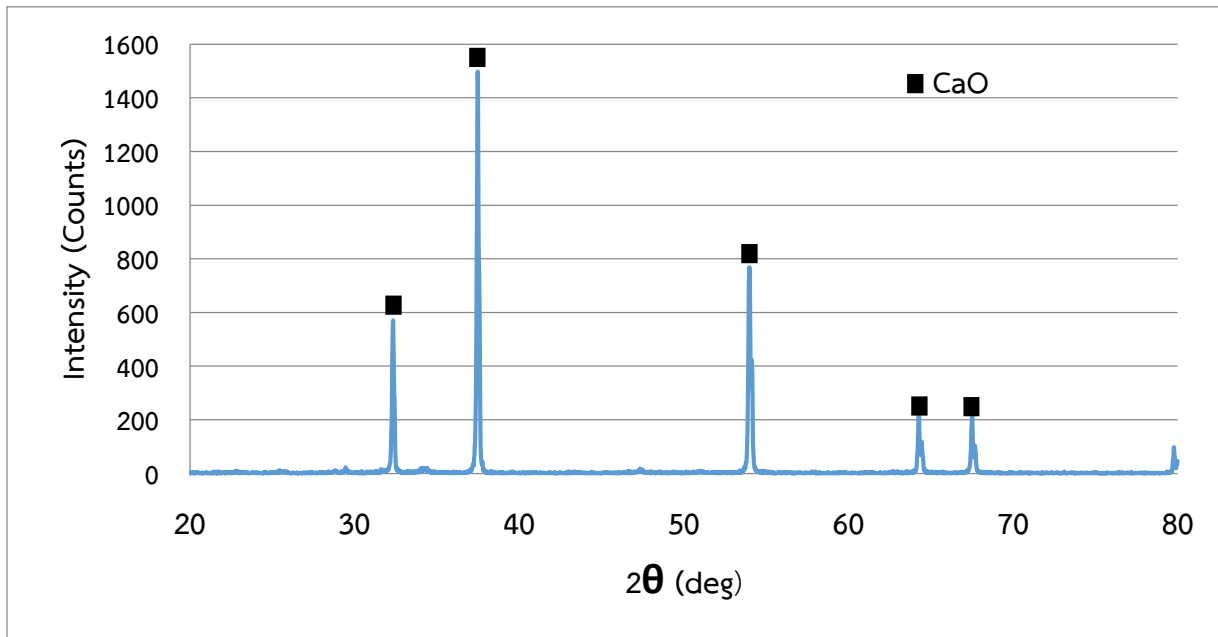
รูปที่ 12

รูปที่ 11 แสดงภาพลักษณะของเปลือกหอยสดก่อนทำการเผาที่อุณหภูมิ 800°C

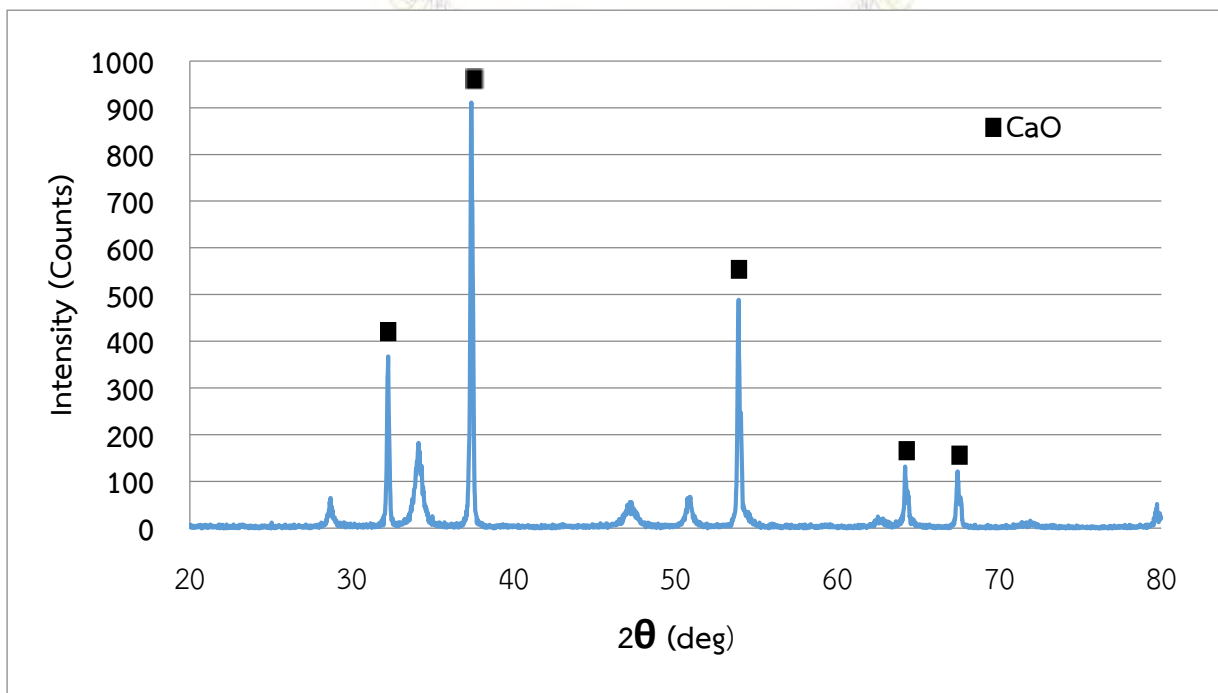
รูปที่ 12 แสดงภาพลักษณะของเปลือกหอยสดหลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 800°C

3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบสารของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคการกระจายของรังสีเอกซ์ (XRD)

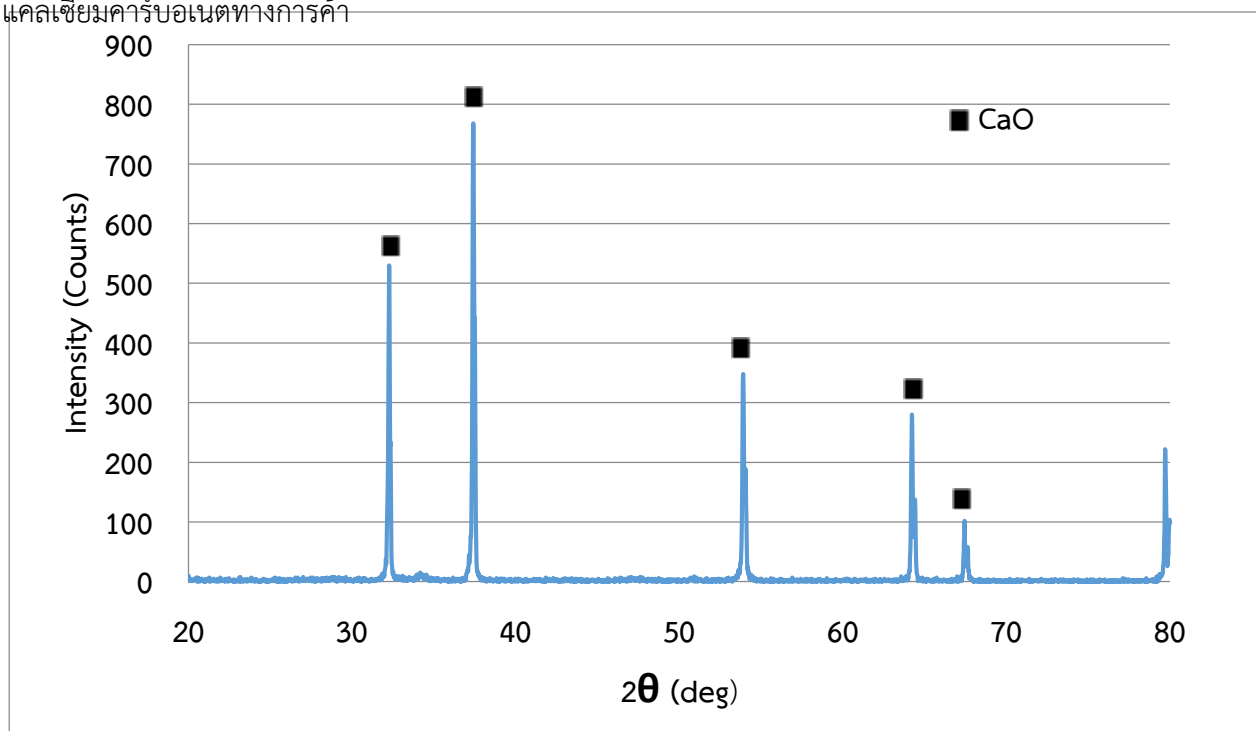
จากการศึกษาองค์ประกอบสารของตัวเร่งปฏิกิริยาจากของเปลือกหอยเซลล์, แคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า และเปลือกหอยสกัดด้วยเทคนิค XRD ซึ่งมีแหล่งกำเนิดรังสี X-ray เป็น Cu กำลังไฟ 40kV 30mA โดยศึกษาตั้งแต่ 20-80 องศา อัตราการเพิ่ม 10 องศา ให้ผลแสดงดังรูปที่ 13, 14 และ 15



รูปที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบสารด้วยเทคนิค XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเซลล์



รูปที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบสารด้วยเทคนิค XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า



รูปที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบสารด้วยเทคนิค XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยสกัด

โดยพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากสารทั้ง 3 ชนิด มีพีคขึ้นที่ตำแหน่ง 32°, 38°, 54°, 64° และ 67° สอดคล้องกับตำแหน่งพีคของ CaO ทางการค้า⁴ซึ่งเป็นผลมาจากการนำสารแต่ละชนิดไปเผาที่อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงดังสมการ $\text{CaCO}_3(\text{s}) \longrightarrow \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$ และทำให้รูปแบบโครงสร้างผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตเปลี่ยนเป็นโครงสร้างผลึกของแคลเซียมออกไซด์¹⁵ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากสารทั้ง 3 ชนิด ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800°C เป็นแคลเซียมออกไซด์ซึ่งสามารถนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลได้

3.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเซลล์

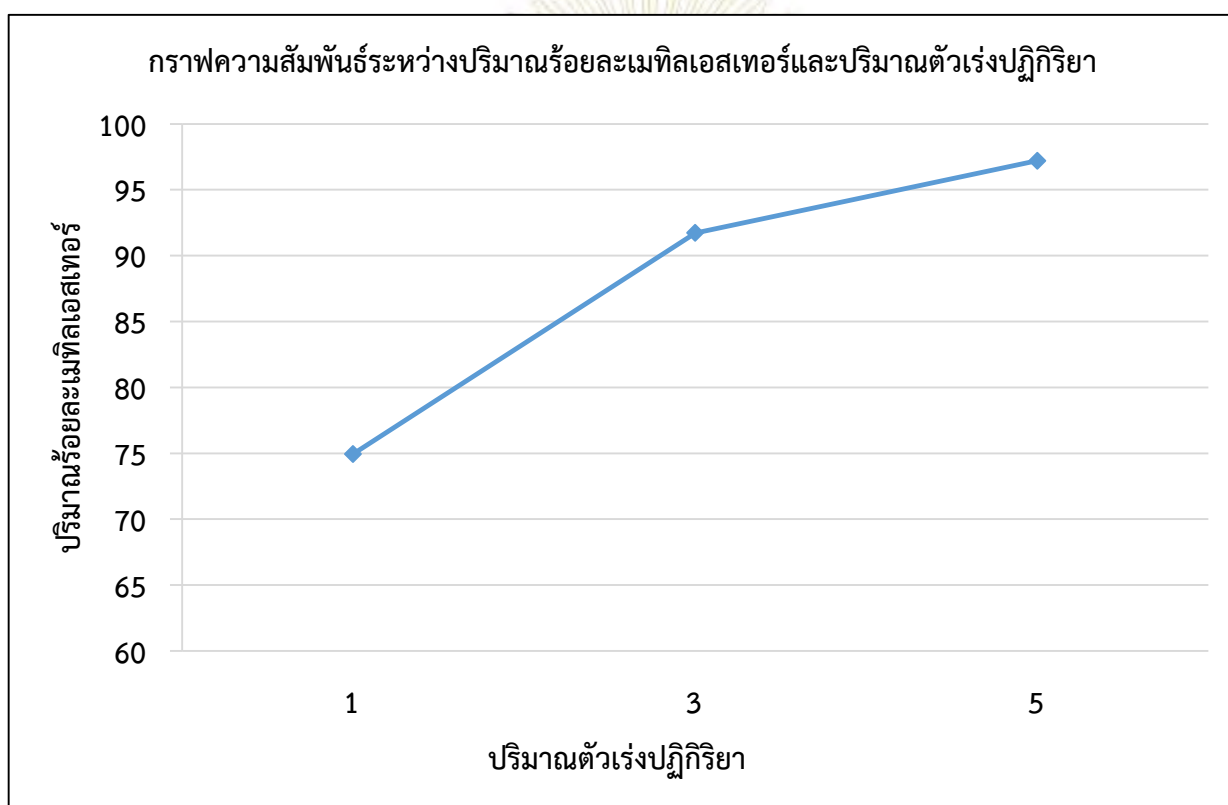
3.3.1 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 3 แสดงสถานะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

การทดลองที่	อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม	เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (°C)	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt.)
1	12:1	3	60	1

2	12:1	3	60	3
3	12:1	3	60	5

จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้สภาวะการทดลองตามตารางที่ 3 ซึ่งจะใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้ผลแสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

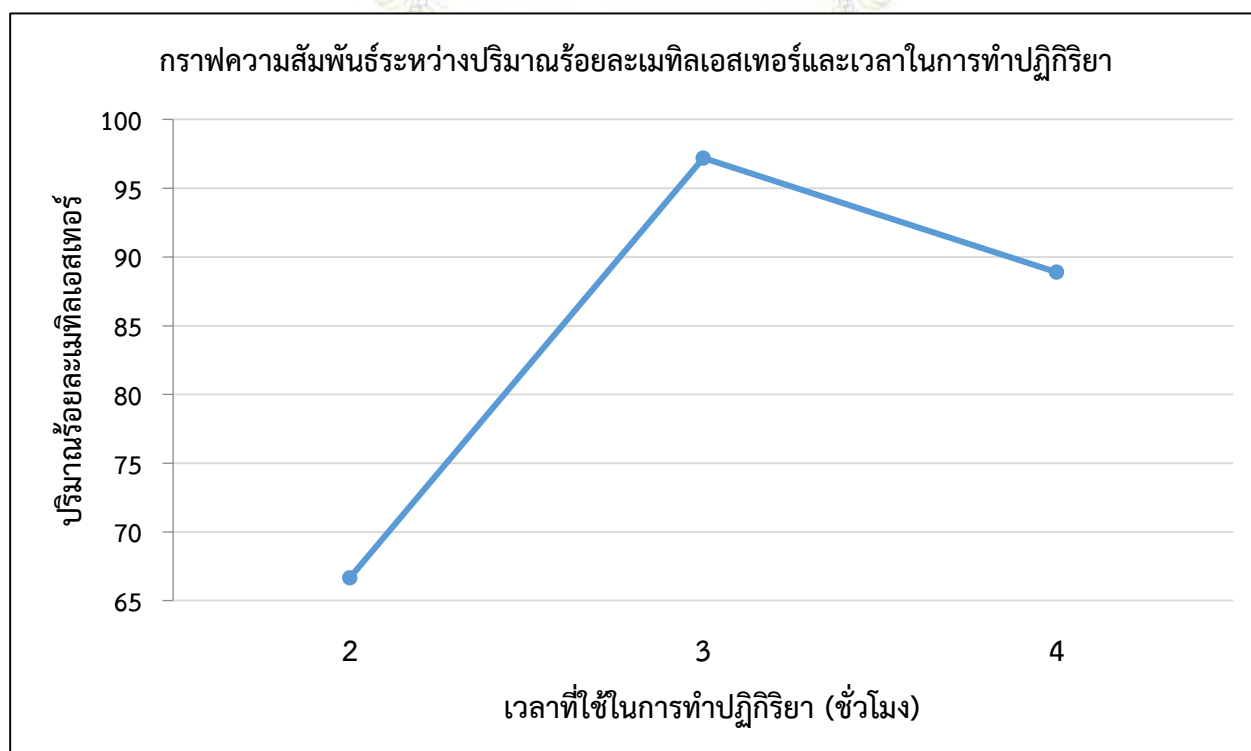
จากรูปที่ 16 จะเห็นว่ากราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้น โดยเมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 1% wt. จะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ 74.95% และเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 3% wt. และ 5% wt. ปริมาณเมทิลเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นเป็น 91.72% และ 97.24% ตามลำดับ ซึ่งการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 5% wt. ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด ทั้งนี้เป็นผลมาจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากขึ้นจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาได้ จึงช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เกิดดีขึ้นและทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์มากขึ้นด้วย

การทดลองที่	อัตราส่วนโดยโมล ระหว่างเมทานอลต่อ น้ำมันปาล์ม	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา (%wt.)	อุณหภูมิที่ใช้ใน การทำปฏิกิริยา (°C)	เวลาที่ใช้ใน การทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)
1	12:1	5	60	2
2	12:1	5	60	3
3	12:1	5	60	4

3.3.2 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ 4 แสดงสถานะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาสำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้สภาวะการทดลองตามตารางที่ 4 ซึ่งจะใช้เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน



พบว่าเมื่อนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์และเวลาในการทำปฏิกิริยา จะได้ผลแสดงดังรูปที่ 17

รูปที่ 17 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์และเวลาในการทำปฏิกิริยา

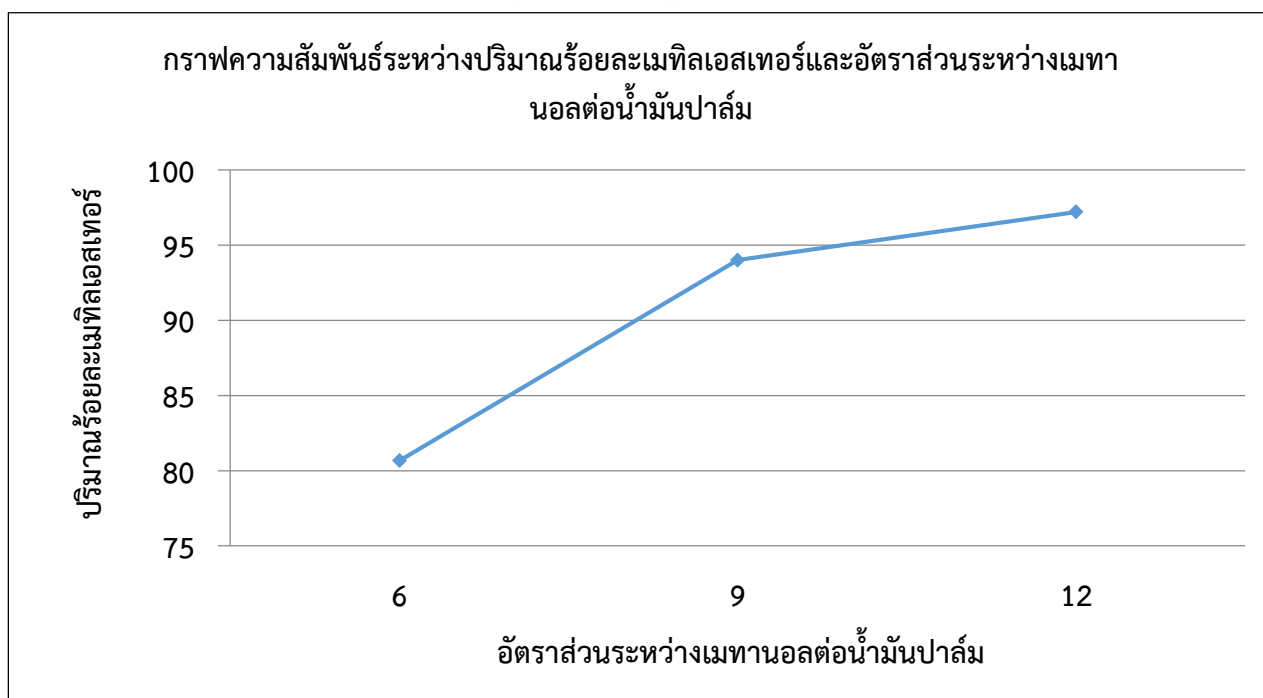
จากรูปที่ 17 จะเห็นว่า ลักษณะกราฟที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในตอนแรกโดยเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 2 ชั่วโมง จะเกิดเมทิลเอสเทอร์ 66.67% และเมื่อเพิ่มเป็น 3 ชั่วโมง จะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากที่สุดคือเท่ากับ 97.24% จากนั้นกราฟมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 4 ชั่วโมง ซึ่งพบว่า ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีค่าเท่ากับ 88.89% ทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยานานขึ้น การผสมและการกระจายตัวของเมทานอลในน้ำมันปาล์มก็จะดีขึ้น จึงช่วยให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นด้วย แต่จากกราฟเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 4 ชั่วโมง พบว่ากราฟมีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องมาจากการที่มีน้ำหรือความชื้นมารบกวนการเกิดปฏิกิริยาในระหว่างการทดลอง

3.3.3 ผลของอัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 5 แสดงสภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม

การทดลองที่	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt.)	เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (°C)	อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม
1	5	3	60	6:1
2	5	3	60	9:1
3	5	3	60	12:1

จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้สภาวะการทดลองตามตารางที่ 5 ซึ่งจะใช้อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ต่างกัน พบว่า เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์และอัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม จะได้ผลแสดงดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์และอัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม

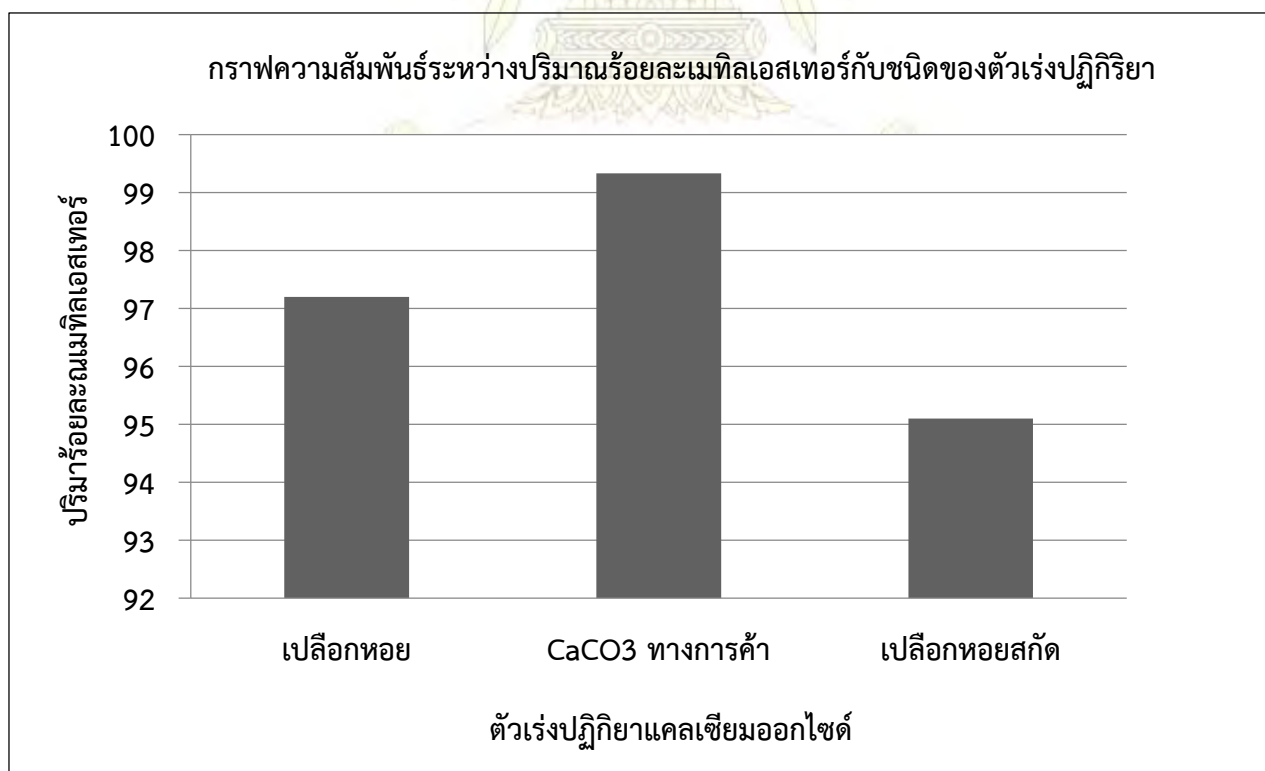
จากรูปที่ 18 จะเห็นว่า ลักษณะกราฟที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มในการทำปฏิกิริยามากขึ้น โดยจากการใช้อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 จะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 80.67% และเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 9:1 และ 12:1 พบว่าให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเป็น 90.4% และ 97.24% ตามลำดับ โดยที่อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 12:1 จะให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากกฎการสมดุล หากเพิ่มอัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มในปริมาณที่มากพอ จะทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดไปข้างหน้าได้ดีขึ้น จึงได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากขึ้นด้วย

3.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชลล์กับตัวเร่งปฏิกิริยาจาก CaCO_3 ทางการค้าและเปลือกหอยสกัด

ตารางที่ 6 แสดงสถานะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเซลล์, CaCO_3 ทางการค้าและเปลือกหอยสกัด

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ($^{\circ}\text{C}$)
เปลือกหอยเซลล์	12:1	5	3	60
แคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า	12:1	5	3	60
เปลือกหอยสกัด	12:1	5	3	60

จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเซลล์กับตัวเร่งปฏิกิริยาจาก CaCO_3 ทางการค้า และเปลือกหอยสกัดในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้สภาวะการทดลองตามตารางที่ 6 พบว่า เมื่อสร้าง CaCO_3 ทางการค้า ว่าปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้ผลแสดงดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากเปลือกหอยเซลล์, CaCO_3 ทางการค้า และเปลือกหอยสกัด

จากรูปที่ 19 พบว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากเปลือกหอยเชลล์, CaCO_3 ทางการค้า และเปลือกหอยสกัดในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีค่าเท่ากับ 97.24%, 99.33% และ 96.0% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจาก CaCO_3 ทางการค้าให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลไทย พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชลล์มีค่ามากกว่าค่าต่ำสุดตามที่มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลกำหนดไว้ซึ่งต้องไม่ต่ำกว่า 96.5% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเชลล์มีประสิทธิภาพดีเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน



บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

4.1 สรุปผลการทดลอง

จากการนำเปลือกหอยเชลล์ไปเผาที่อุณหภูมิ 800°C โดยการทดสอบด้วยเทคนิค XRD พบว่าสามารถเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมออกไซด์ได้ และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชลล์ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ ใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 12:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 5% wt. ที่อุณหภูมิ 60°C และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ซึ่งจะสามารถให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงถึง 97.24% และจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชลล์, CaCO_3 ทางการค้า และเปลือกหอยสกัด พบว่า ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มีค่าเท่ากับ 97.24%, 99.33% และ 96.0% ตามลำดับ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จาก CaCO_3 ทางการค้าให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด และจากมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลไทย พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชลล์มีค่ามากกว่าค่าต่ำสุดตามที่มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลไทยกำหนดไว้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเชลล์มีประสิทธิภาพดีเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

4.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัยในขั้นตอนต่อไป

1. ควรเก็บตัวเร่งปฏิกิริยาให้ปราศจากความชื้น เพราะหากตัวเร่งปฏิกิริยาสัมผัสกับอากาศซึ่งมีความชื้นจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพลดลง
2. อาจเพิ่มประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอย โดยทำการสกัดก่อนนำมาใช้ในการเร่งปฏิกิริยา
3. วิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้เพิ่มเติม เช่น ศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM, ศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในการใช้ซ้ำ เป็นต้น

4. วิเคราะห์คุณภาพไบโอดีเซลอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น ค่าความหนืดของไบโอดีเซล, ค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซล เป็นต้น
5. ทำการทดลองในระบบสเกลที่ใหญ่ขึ้น



เอกสารอ้างอิง

1. Gerpen, J.V.. Biodiesel Processing and Production. *Fuel Processing Technology*, **2005**, *86*, 1097-1107.
2. Saengprachum, N.; Poothongkam, J.; Pengprecha, S.. Glycerin Removal in Biodiesel Purification Process by Adsorbent from Rice Husk. *International Journal of Small Craft Technology*. **2013**, *2*, 474-478.
3. Schuchardt, U.; Sercheli, R.; Vargas, R.M.. Transesterification of Vegetable Oils: A Review. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. **1998**, *9*, 199-210.
4. Supakorn, B.; Pacharaporn, T.; Somluck, R.; Paween, H.; Jakkrit, C.; Siwaporn, M.S.. The Synthesis of Waste Mussel Shell for the Biodiesel Preparation. *Science and Technology*. **2013**, *6*, 526-532.
5. Achanai, B.; Nattawut, C.; Vorrada, L.; Phatsakon, W.; Sarinthip, T.. Calcium Oxide Derived from Waste Shells of Mussel, Cockle, and Scallop as the Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production. *The ScientificWorld Journal*. **2013**, *2013*, 1-7.
6. Siriwattana, H.; Rattanachai, P.; Kanit, K.. Comparison of Biodiesel Production Using CaO of Cockle Shell and Mud Crab Shell Catalysts. *Agricultural Science*. **2013**, *2*, 553-556.
7. PSU Biodiesel – สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน. <http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/wahtis.php>(accessed Apr 16, 2015).
8. คณะกรรมการการพลังงานสภาผู้แทนราษฎร.พลังงานทดแทนเอทานอลและไบโอดีเซล. (2554) พิมพ์ครั้งแรก.บริษัทแปลนกราฟิคจำกัด.
9. หอยเชลล์ หอยพัด หอยพัดราชา. <http://www.aquatoyou.com/index.php/2013-02-21-02-30-41/2013-05-11-06-31-54/713-amusium-pleuronectes> (accessed Apr 16, 2015).

10. Hoekman, S.A.; Brocha, A.; Robbinsa, C.; Cenicerosa E.; Natarajanb, M.. Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **2012**, *16*, 143-169.
11. FukudaA, H.; Kondo, A.; Noda, H.. Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. *Journal of Biosciencen and Bioengineering*. **2001**, *92*, 405-416.
12. Agarwal, A.K.. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*. **2007**, *33*, 233–271.
13. Freedman, B.; Pryde, E.H.; Mounts, T.L.. Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. *Journal of the American Oil Chemists Society*. **1984**, *61*, 1638-1643.
14. Meher, L.C.; Vidya, S.D.; Naik, S.D.. Technical aspects of biodiesel production by transesterification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **2006**, *10*, 248-268
15. Navarro, C.R.; Agudo, E.R.; Luque, A.; Navarro, A.R.; Huertas, M.R.. Thermal decomposition of calcite: Mechanisms of formation and textural evolution of CaO nanocrystals. *American Mineralogist*. **2009**, *94*, 578-593.



ภาคผนวก



ภาคผนวก

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

สภาวะการทดลองที่ใช้ในการคำนวณ

ปริมาณการใช้น้ำมันปาล์ม 20.0 กรัมต่อ 1.0 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60°C อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ปริมาณการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม

มวลโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันปาล์ม 847.0 กรัม/โมล

มวลโมเลกุล

ของเมทานอล 32.0 กรัม/โมล

ความหนาแน่นของ

เมทานอล 0.7918 กรัม/ลิตร

การคำนวณหาปริมาณเมทานอลสำหรับการทำปฏิกิริยา

$$m_{\text{MeOH}} = \frac{20.0 \times 6 \times 32}{847.0 \times 0.7918} = 5.7$$

ดังนั้นจะต้องใช้เมทานอลสำหรับการทำปฏิกิริยา 5.7 มิลลิลิตร

การคำนวณหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

$$g_{\text{Catalyst}} = 20.0 \times \frac{1}{100} = 0.2$$

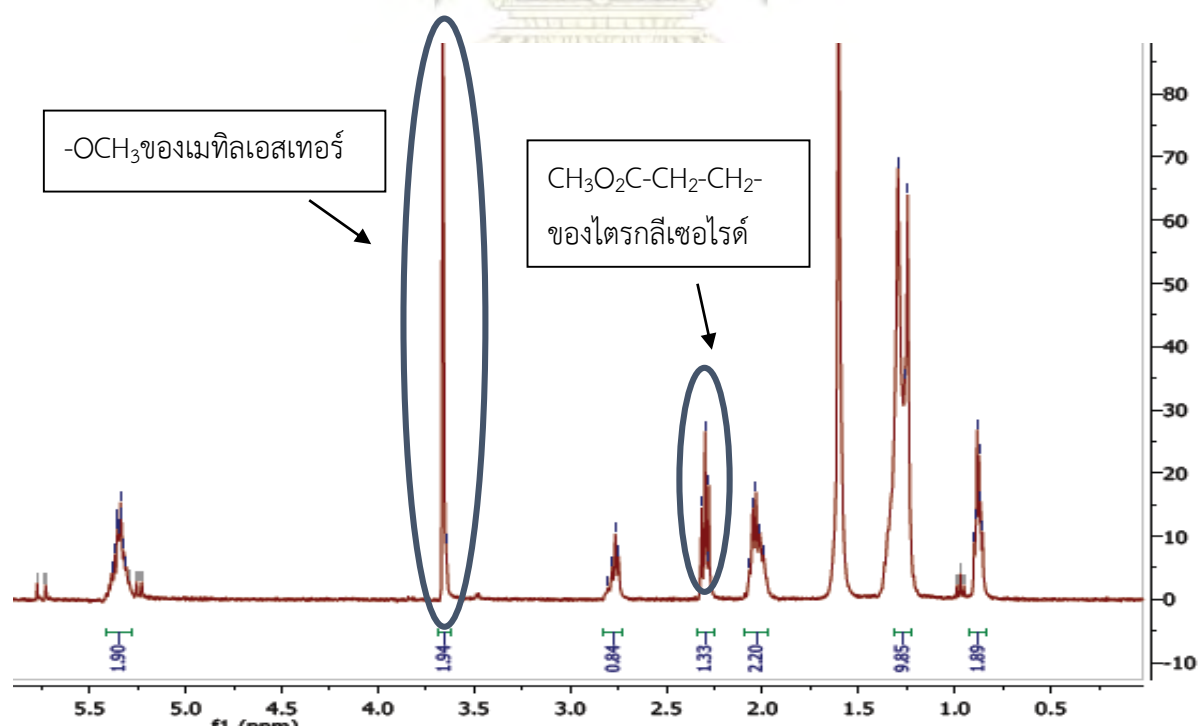
ดังนั้นจะต้องใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.2 กรัม



ภาคผนวก ข

การคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์



รูปที่ ข1 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลของน้ำมันปาล์มด้วยแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกหอยเชลล์

จากการวิเคราะห์ผลด้วย $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมจะพบว่ามีพีคของเมทิลเอสเทอร์ปรากฏที่ตำแหน่ง 3.7ppm และพีคของ α -methylene ปรากฏที่ตำแหน่ง 2.3 ppm ดังรูปที่ ข1

สูตรการคำนวณหาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%conversion)

$$\begin{aligned} \%conversion &= \frac{\frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารผลิตภัณฑ์}}{\text{จำนวนโปรตอนของสารผลิตภัณฑ์}}}{\frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของสารตั้งต้น}}{\text{จำนวนโปรตอนของสารตั้งต้น}}} \times 100 \\ &= \frac{1.94}{\frac{3}{2}} \times 100 \\ &= 97.24\% \end{aligned}$$

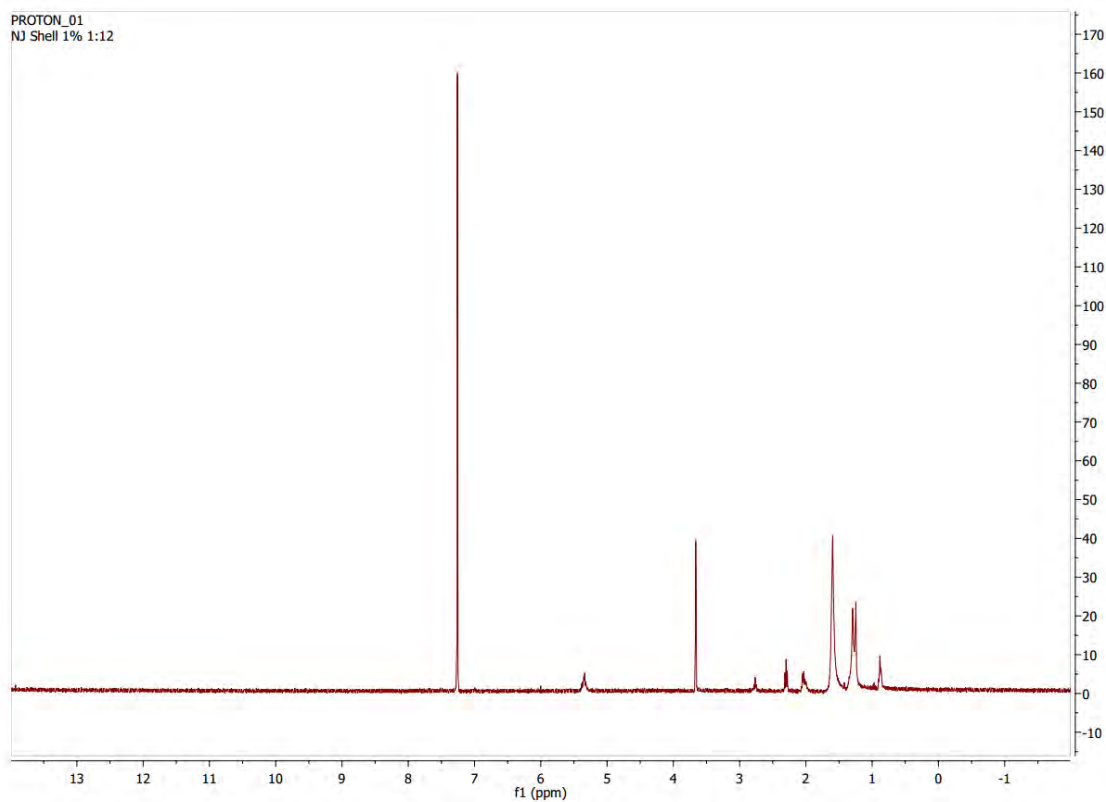
ดังนั้นปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นเป็น 97.24%

ภาคผนวก ค

ผล $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

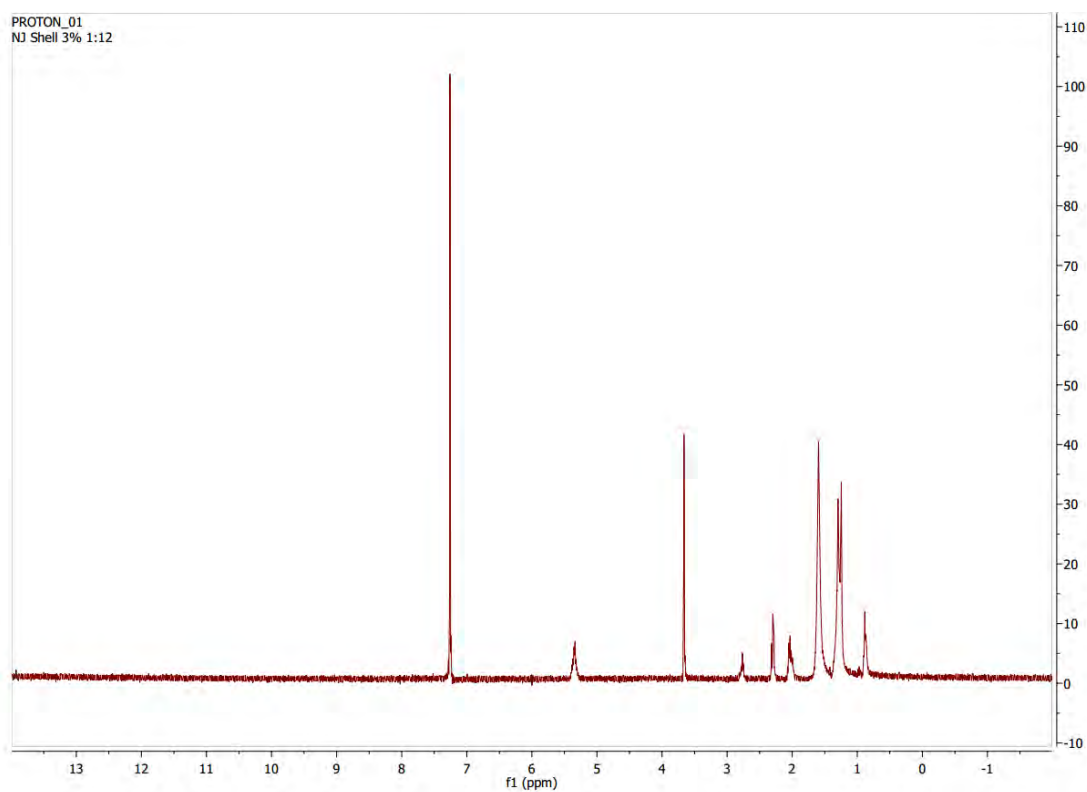
ผล $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันคือ 1% wt., 3%wt. และ 5%wt. อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 12:1 เวลา 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60°C

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

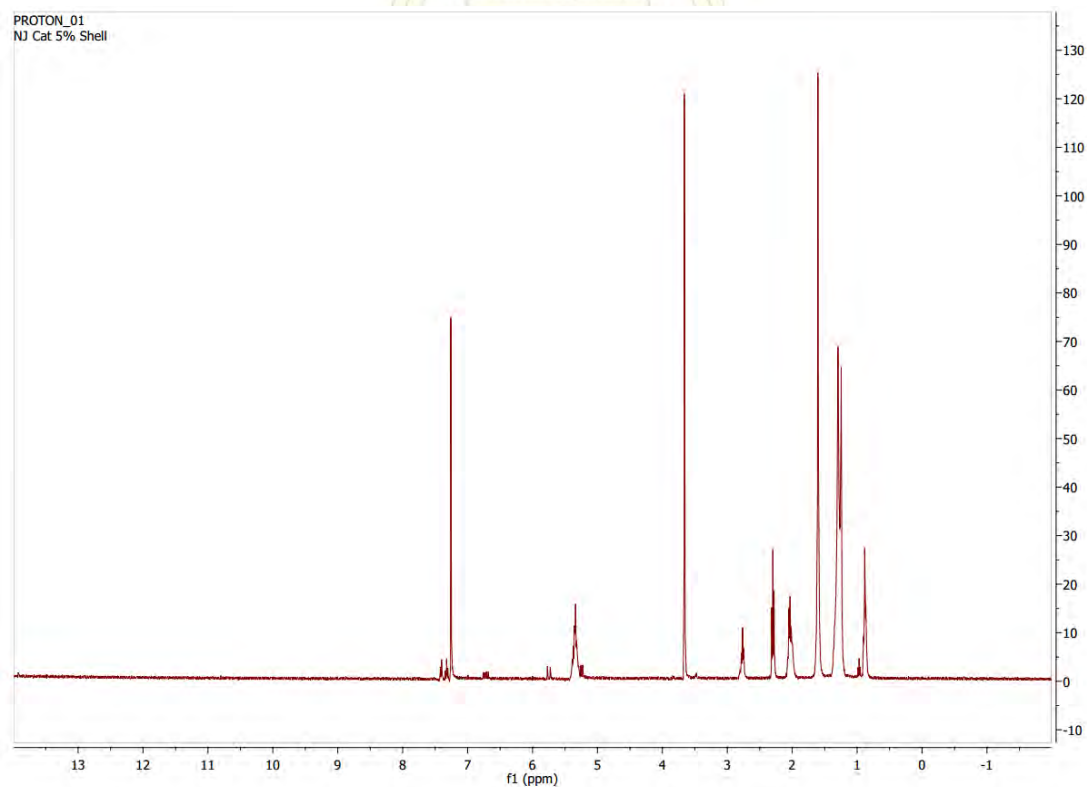


รูปที่ ค1แสดง $^1\text{H-NMR}$ ขสเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชลล์เป็น 1%wt.

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

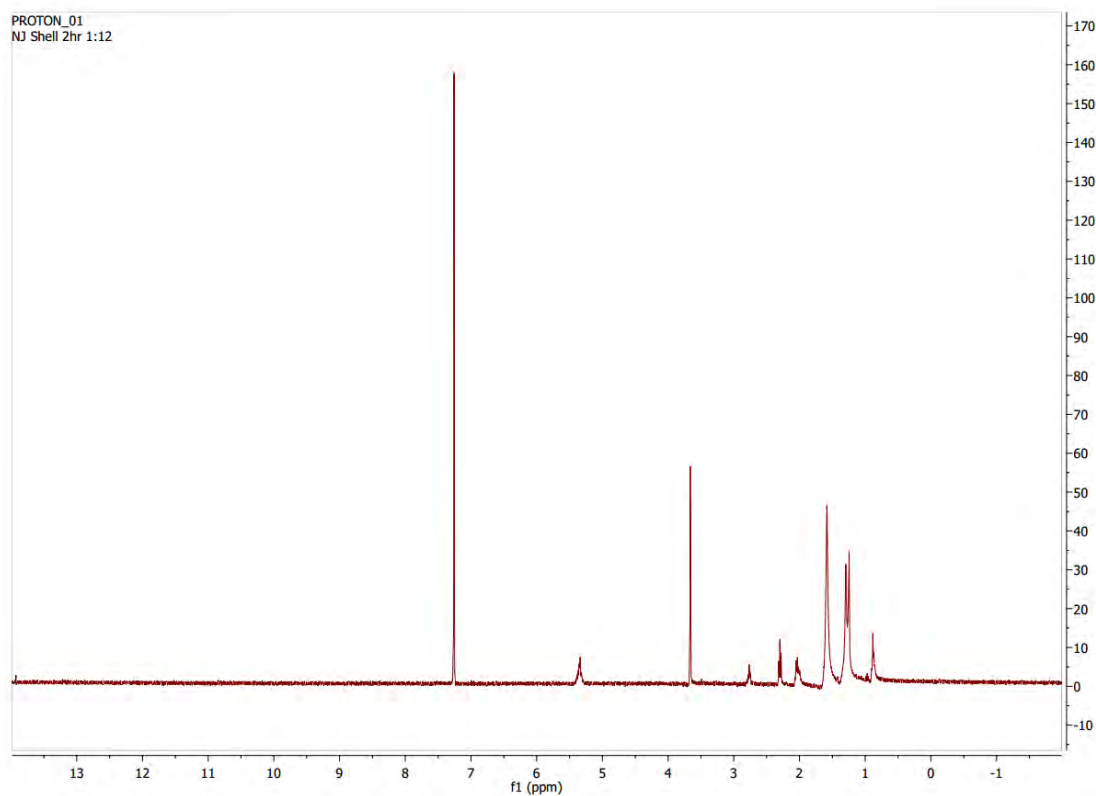


รูปที่ ค2 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชลล์เป็น 3%wt.

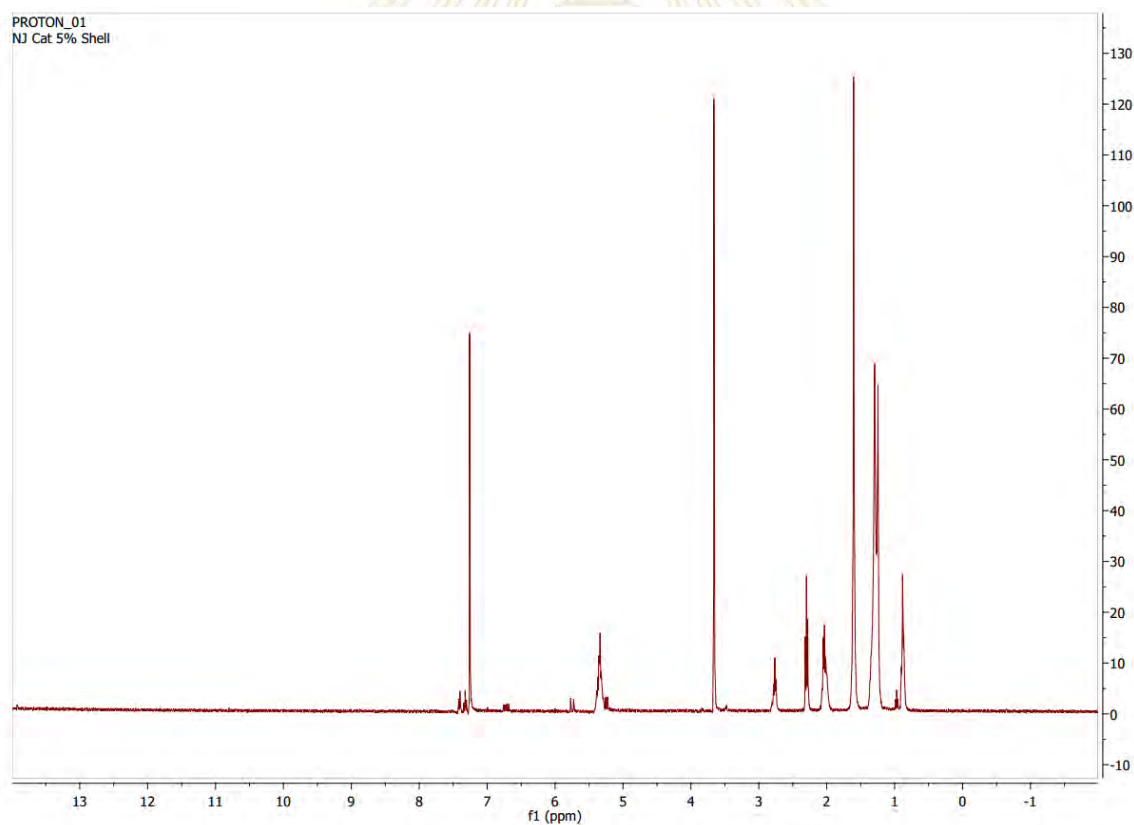


รูปที่ ค3 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเชลล์เป็น 5%wt.

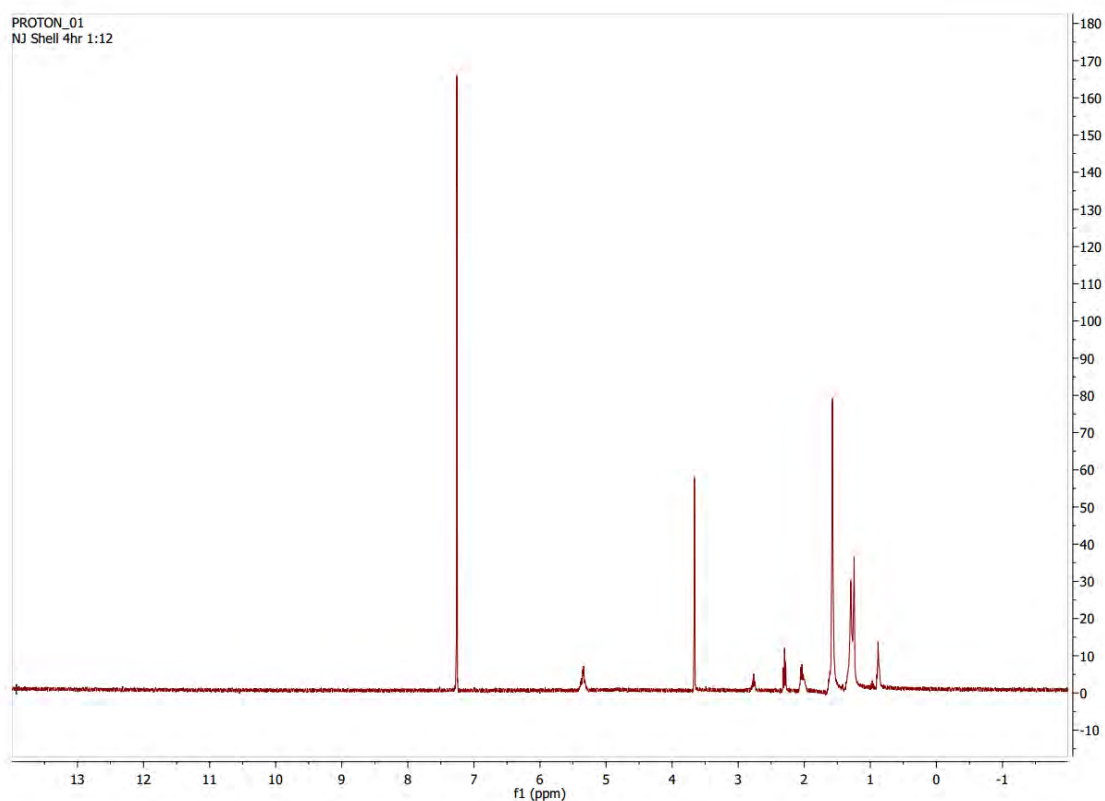
ผล $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมที่ได้จากการสังเคราะห์ไปโอติเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกันคือ 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt. อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 12:1 และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60°C



รูปที่ ค4 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 2 ชั่วโมง

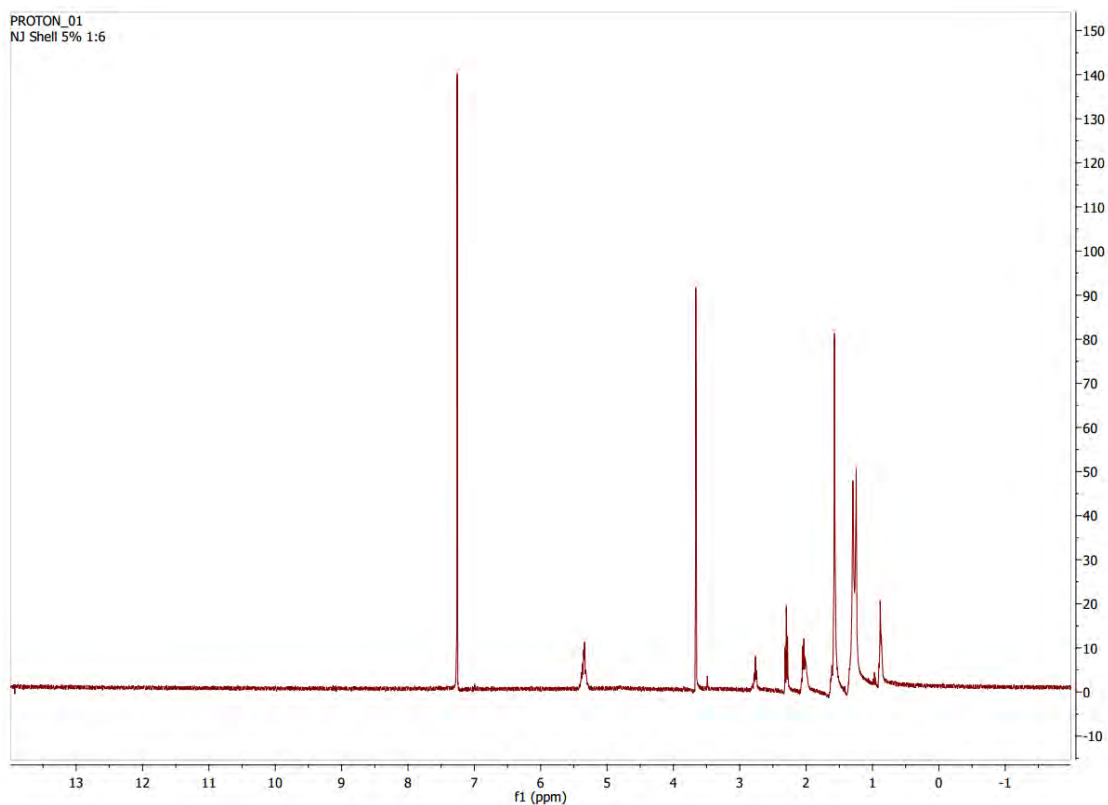


รูปที่ ค5แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 3 ชั่วโมง



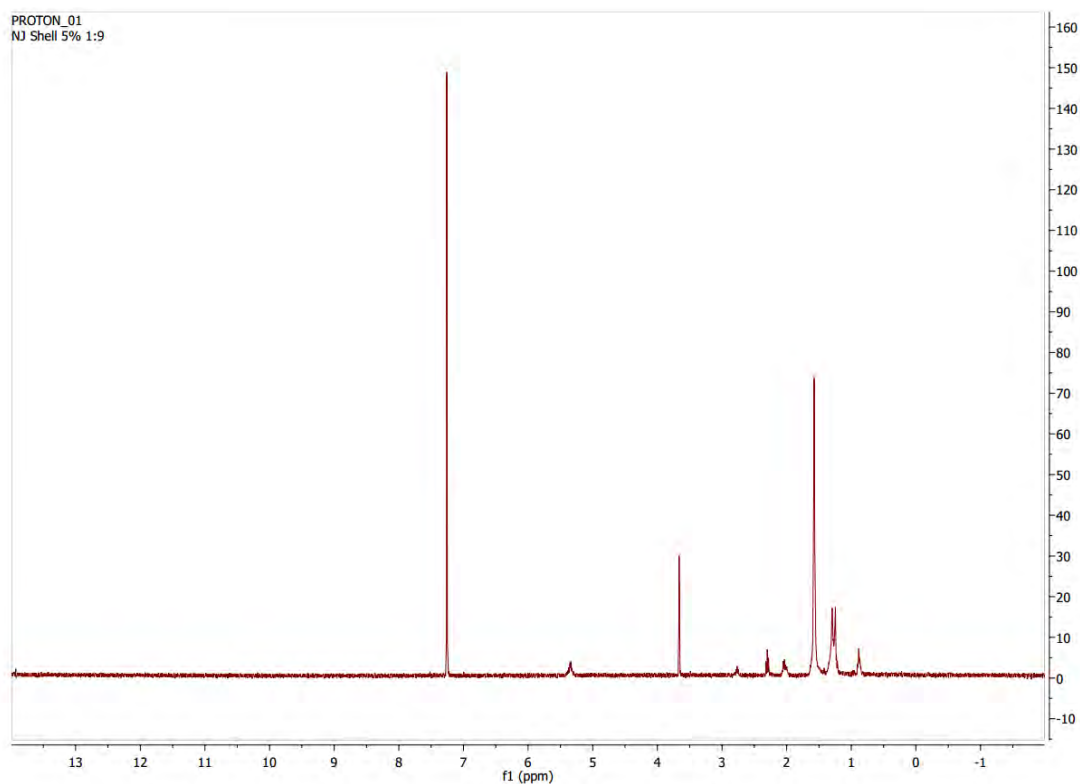
รูปที่ ค6แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 4 ชั่วโมง

ผล $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มแตกต่างกันดังนี้ 6:1, 9:1 และ 12:1 มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt. เวลา 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60°C

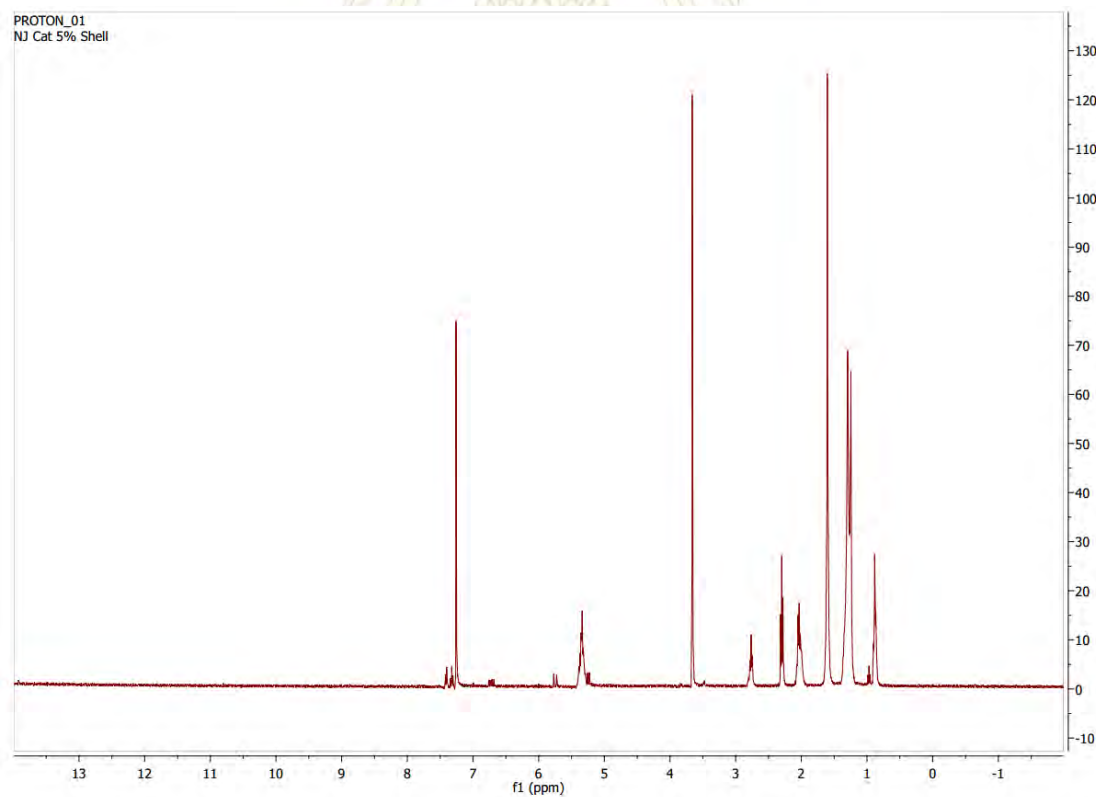


รูปที่ ค7 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 6:1

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

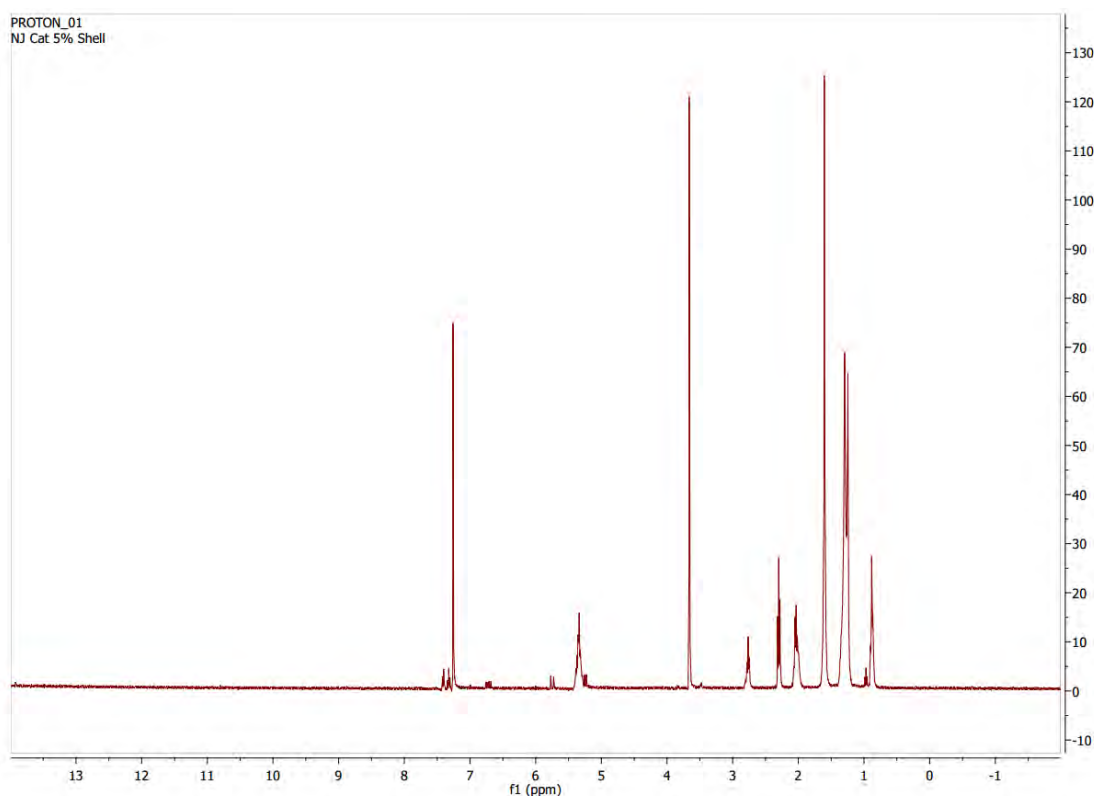


รูปที่ ค8 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 9:1



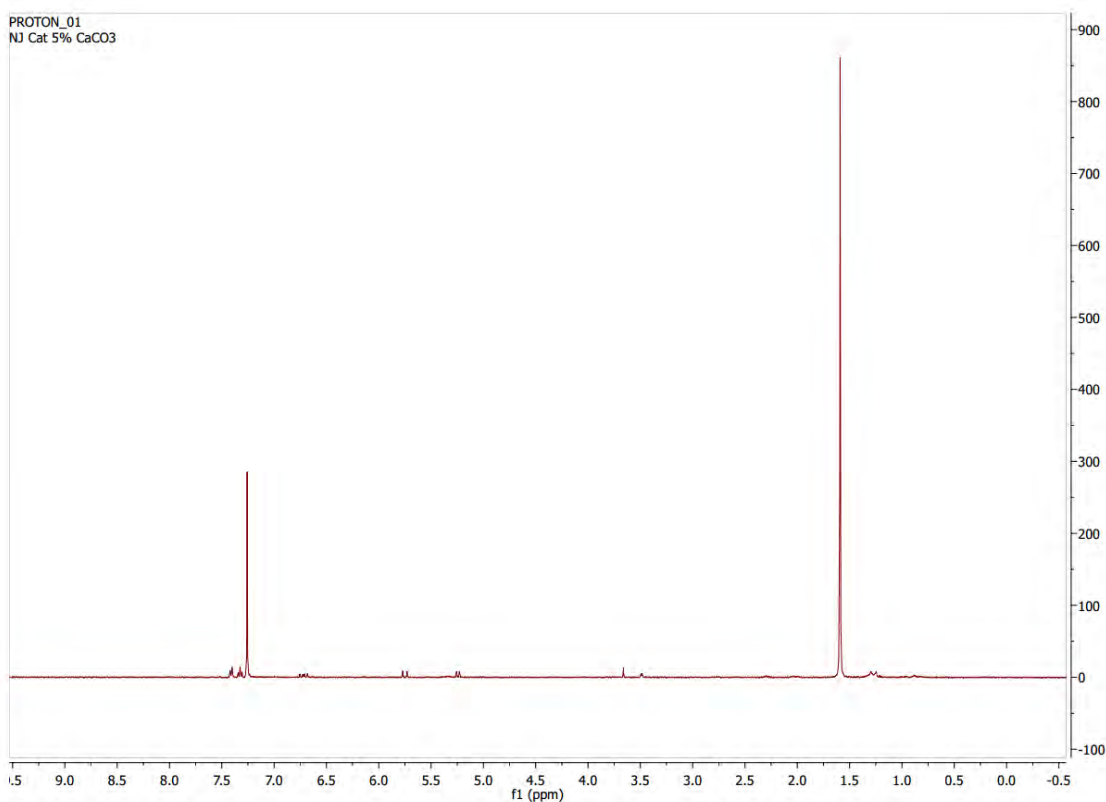
รูปที่ ค9 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 12:1

ผล $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากสารแต่ละชนิด ใช้อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 12:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 5%wt. เวลา 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60°C

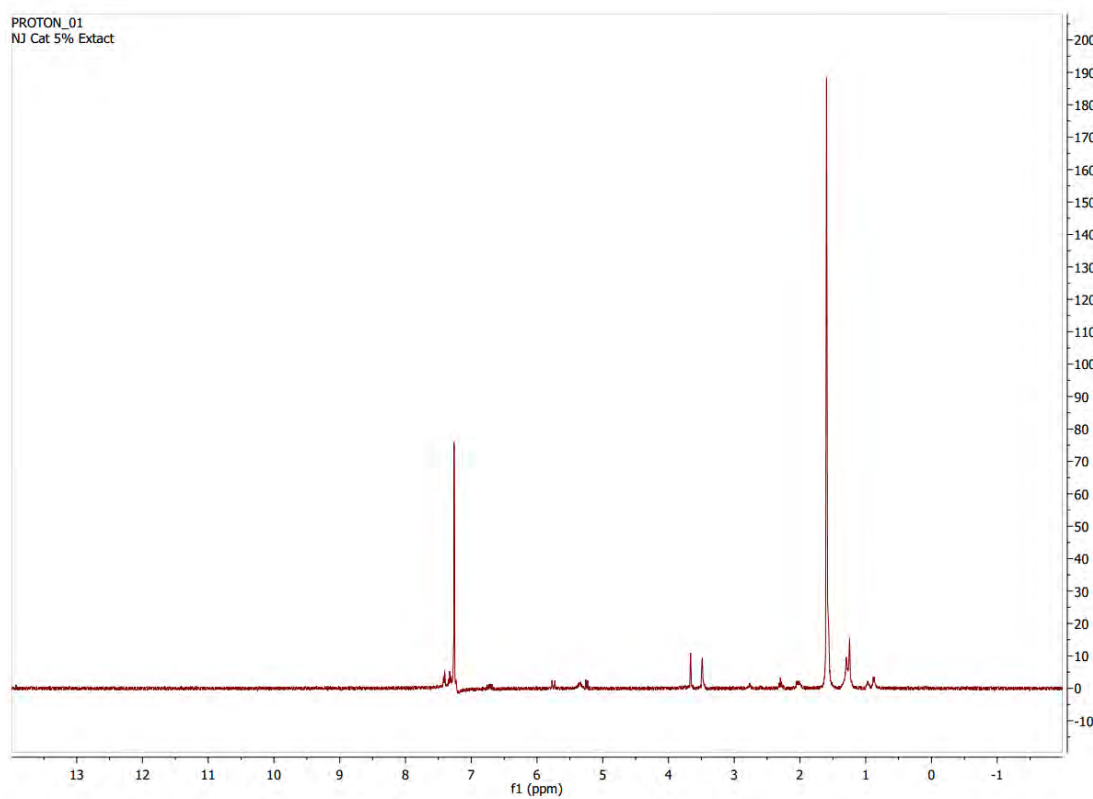


รูปที่ 10 แสดง $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยเซลล์

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค11แสดง ¹H-NMR สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากแคลเซียมคาร์บอเนตทางการค้า



รูปที่ ค12แสดง ¹H-NMR สเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยสกัด

ภาคผนวก ง

มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลไทย

ตารางที่ 1 แสดงคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

Biodiesel (Methyl Ester) Standards and Specifications Premium Rev.1 25/2/2009				
No.	Properties	Unit	Limit	Test Method
1	Methyl Ester	% wt	96.5 min.	EN 14103
2	Density at 15 C	kg/m ³	860 min 900 max	ASTM D1298
3	Viscosity at 40 C	cSt	3.5 min 5.0 max.	ASTM D 445
4	Flash Point	°C	120 min.	ASTM D 93
5	Sulphur	%wt	0.001 max.	ASTM D 2622
6	Carbon Residue on 10% distillation residue	%wt	0.3 max.	ASTM D 4530.
7	Cetane Number		51 min.	ASTM D 613
8	Sulfated Ash	%wt	0.02 max.	ASTM D 874
9	Water	%wt	0.05 max.	EN ISO 12937
10	Total Contaminate	%wt	0.0024 max.	EN 12662
11	Copper Strip Corrosion		no.1 max.	ASTM D 130
12	Oxidation Stability at 110 C	hours	10 min.	EN 14112
13	Acid Value	mg KOH/g	0.5 max.	ASTM D 664
14	Iodine Value	g Iodine/100g	120 max.	EN 14111
15	Linolenic Acid Methyl Ester	%wt	12 max.	EN 14103
16	Methanol	%wt	0.2 max.	EN 14110
17	Monoglyceride	%wt	0.8 max.	EN 14105
18	Diglyceride	%wt	0.2 max.	EN 14105
19	Triglyceride	%wt	0.2 max.	EN 14105
20	Free glycerin	%wt	0.02 max.	EN 14105
21	Total glycerin	%wt	0.25 max	EN 14105
22	Group I metals (Na+K)	mg/kg	5 max	EN 14108 and EN 14109
	Group II metals (Ca+Mg)	mg/kg	5 max	pr EN 14538
23	Phosphorus	%wt	0.001 max	ASTMD 4951
24	Additive	%wt	In approval of Director of Department of Energy Business	
25	Cloud Point	°C	16 max.	ASTMD 2500-05
26	Cold Filter plugging	°C	12 max.	DIN EN 116
27	Appearance		Bright & Clear	

ที่มา: MOE Specification and Customer Special Requirement

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวจินตนา รัตน์ศิริพันธ์ เกิดเมื่อวันที่ 11 พฤษภาคม พ.ศ.2536 ที่จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษา ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สายสามัญ แผนก วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนราชวินิตบางแก้ว เมื่อปี การศึกษา 2554 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2554

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้หลังจากจบการศึกษาปริญญาตรี 19/73 ถ.กิ่งแก้ว ต.บางพลีใหญ่ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ 10540

นางสาวจิรประภา เผ่าพัลลภ เกิดเมื่อวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ.2534 ที่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาระดับ มัธยมศึกษาตอนปลาย สายสามัญ แผนก วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนอุดรพิทยานุกูล เมื่อปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ ปีการศึกษา 2554

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้หลังจากจบการศึกษาปริญญาตรี 126/13 ถ.อุดรคุษฎี ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ. อุดรธานี 41000

