

การสังเคราะห์ไตรอะซีทินจากกลีเซอรอลด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

Synthesis of Triacetin from Glycerol by Microwave Technique



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและไฮโดรคาร์บอน

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-SC-M-015-004

การสังเคราะห์ไตรอะซีทีนจากกลีเซอรอลด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

Synthesis of Triacetin from Glycerol by Microwave Techinque



T145909



นาย อธิภู เอี่ยมเจริญ

Mr. Atipoo Eamcharoen

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 145909  
วัน,เดือน,ปี 27 มี.ค. 2560

b. 12873885  
i. ....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและไฮโดรคาร์บอน

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-SC-M-015-004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Synthesis of Triacetin from Glycerol by Microwave Technique

Mr. Atipoo Eamcharoen

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE  
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN PETROCHEMICAL AND HYDROCARBON

DEPARTMENT OF SCIENCE

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016

KMITL-2016-SC-M-015-004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ “การสังเคราะห์ไตรอะซิทีนจากกลีเซอรอลด้วยเทคนิคไมโครเวฟ”  
“SYNTHESIS OF TRIACETIN FROM GLYCEROL BY MICROWAVE TECHNIQUE”  
ชื่อนักศึกษา นายอธิภู เอี่ยมเจริญ  
รหัสประจำตัว 55651251  
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาปิโตรเคมีและเคมีไฮโดรคาร์บอน)  
ภาควิชา เคมี  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ประธานกรรมการ ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง) ดร.รัศมี แสงศิริมงคล ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกสถาบันฯ ผศ.ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	

วัน/ เดือน/ ปี ที่ 9 พฤศจิกายน พ.ศ.2559 เวลา 13.00-16.00 น.  
สถานที่สอบ ณ ห้อง 502/1 อาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 1

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว  
  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภณี ธีระบริพัฒน์)  
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
วันที่...๙...เดือน...พย.....พ.ศ.....๕๙

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์ไตรอะซิทีนจากกลีเซอรอลด้วยเทคนิคไมโครเวฟ
ชื่อนักศึกษา	นายอริฎ เอี่ยมเจริญ
รหัสประจำตัว	55651251
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	ปิโตรเคมีและไฮโดรคาร์บอน
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร

#### บทคัดย่อ

กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ทำให้กลีเซอรอลมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมากจนเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่นำมาปรับปรุงหรือตัดแปลงเพื่อให้เกิดประโยชน์ โดยการนำเอากลีเซอรอลมาเป็นสารตั้งต้นเพื่อที่จะผลิตสารไตรอะซิทีนซึ่งเป็นสารที่สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน จึงทำการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกลีเซอรอลที่ทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกโดยใช้แอมเบอลิส-15 และเรซินกรองน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อีกทั้งยังนำเอาสารดูดซับน้ำเข้ามาทดลองทั้งซิลิกาเจล ซีโอไลต์ 4A และซีโอไลต์ 13X เข้ามาเพื่อช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างรวดเร็วขึ้นโดยทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาที่ใช้แหล่งให้ความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟ โดยใช้พลังงานของเครื่องไมโครเวฟตั้งแต่ 100-300 วัตต์ ใช้อัตราส่วนกลีเซอรอลต่อกรดอะซิติกเท่ากับ 1:9 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5% โดยน้ำหนักและสารดูดซับน้ำที่มากเกินไปใช้เวลาในการทดลอง 5 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าการใช้อัตราส่วนกลีเซอรอลต่อกรดอะซิติกเท่ากับ 1:9 ด้วยพลังงานไมโครเวฟ 100 วัตต์ จะตรวจพบอุณหภูมิอยู่ในช่วง 110 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และสารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดคือมีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอล 97% มีค่าการเลือกเกิดของโมโน, ไดและไตรอะซิทีน 28.4%, 52.3%, 19.3% ตามลำดับ ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง อีกทั้งเมื่อทำการทดลองต่อเนื่องไปจนถึง 5 ชั่วโมง พบค่าการเลือกเกิดของไตรอะซิทีนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : กรีเซอร์รอล, กรดอะซิติก, แอมเบลลิส-15, เรซินกรองน้ำ, ซิลิกา เจล, ซีโอไลท์ 4A, ซีโอไลท์ 13X, เครื่องไมโครเวฟ, ไตรอะซิทิวกรีเซอร์รอล, ไตรอะซิทีน, การปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Synthesis of Triacetin from Glycerol by Microwave Technique
Student Name	Mr. Atipoo Eamcharoen
Student ID	55651251
Degree	Master of science (in petrochemical and hydrocarbon)
Department	Science
Year	2016
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Pesak Rungrojchaipon

### Abstract

Glycerol is a byproduct of biodiesel that increase everyday due to high demand of used fuel. glycerol has proved to have potential and able to transformed into higher valuable product. The objective of this research intends to prepare triacetyl glycerol (triacetin), which is a derivative of glycerol, as a fuel additive. In this study, we synthesized triacetin from glycerol using microwave irradiation and the reactions were systematic study by varying microwave irradiation power with 100-300 watt. The microwave irradiation time for the reaction was carried out up to 300 minute with over 5% weight of amberlyst-15 or water filter resin as catalyst and molar ratio between acetic acid and glycerol was 9:1. The result for optimal condition at 1 hour show that the glycerol conversion were achieve with higher than 97% and selectivity of 28.4%, 52.3% and 19.3% for mono-, di- and triacetyl glycerol, respectively. The result for optimal condition at 5 hour show that triacetin selectivity is 80%.

**Keywords :** Glycerol, Acetic acid, Amberlysts-15, Water filter resins, Silica gel, Zeolite 4A, Zeolite 13X, Microwave, Triacetyl glycerol, Triacetin, Value-added, Fuel additive



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์หัวข้อ การสังเคราะห์ไตรอะซิทีนจากกลีเซอรอลด้วยเทคนิคไมโครเวฟ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวทุกท่าน ผู้ซึ่งอยู่เบื้องหลัง คอยอบรม สั่งสอน ให้ความอบอุ่นและกำลังใจในการจัดวิทยานิพนธ์มาตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ที่ได้ ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆอย่างใกล้ชิด และเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา จัดสรรอุปกรณ์ที่ จำเป็น รวมถึงการตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มมากขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล และ ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ อาจารย์สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประธานกรรมการ และ กรรมการวิทยานิพนธ์อีกทั้ง ดร.รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรรมการวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและชี้จุดบกพร่องที่ควรแก้ไข ช่วย ตรวจสอบเพิ่มความสมบูรณ์ให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ในภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ซึ่งได้ให้ความรู้ทางวิชาการและความรู้อันเป็นพื้นฐาน ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ นักวิทยาศาสตร์ในภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ความรู้ในเรื่องการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการทำให้ผู้จัดทำดำเนินการทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณเพื่อนๆที่ทุกคนที่ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจเสมอมา

นายอธิฏ เอี่ยมเจริญ

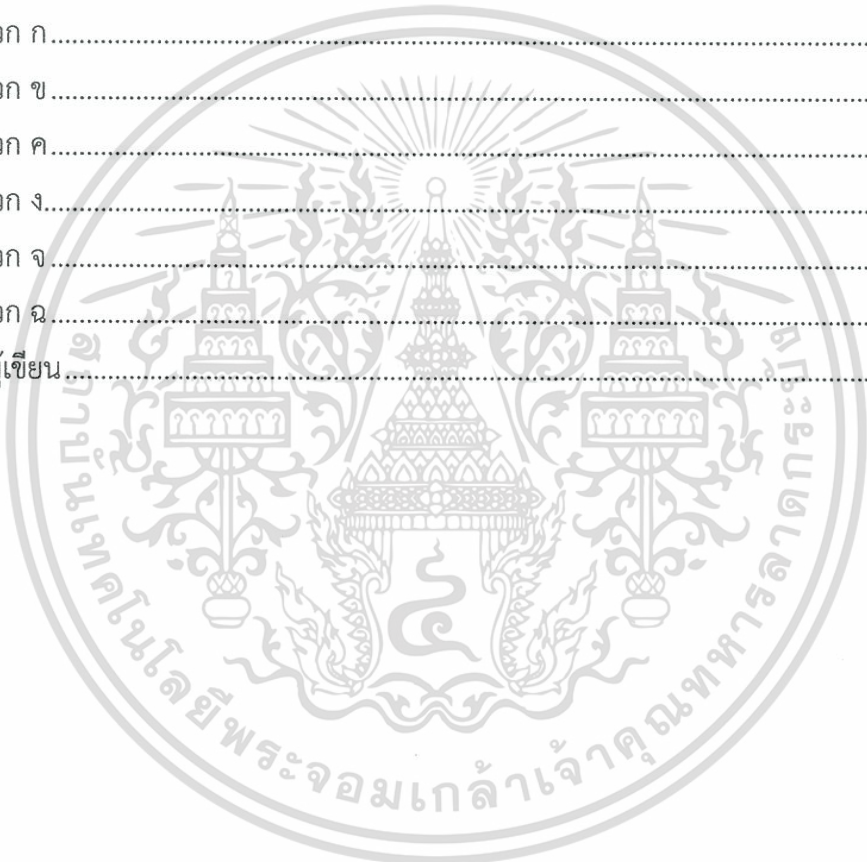
# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย/ปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>6</b>
2.1 กลีเซอรอล.....	6
2.1.1 ข้อแตกต่างของกลีเซอรินกับกลีเซอรอล.....	6
2.1.2 สมบัติของกลีเซอรอล.....	7
2.2 กรดอะซิติก.....	9
2.3 ไตรอะซิทีน.....	10
2.4 แอมเบอร์ลิส-15 (Amberlyst-15).....	12
2.5 เรซินกรองน้ำ (Water filter resin).....	14
2.5.1 ประสิทธิภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่.....	15
2.6 ซีโอไลต์(Zeolite).....	16
2.7 Molecular sieve.....	16
2.7.1 ซีโอไลต์ 4A.....	18
2.7.2 ซีโอไลต์ 13X.....	18
2.8 ซิลิกาเจล (silica gel).....	19
2.9 ปฏิกิริยาอะซิทีวเลชั่น (Acetylation/Esterification).....	20
2.10 เครื่องไมโครเวฟ (Microwave).....	23
2.10.1 ลักษณะเฉพาะของคลื่นไมโครเวฟ.....	25
2.11 เครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ (Microwave reactor).....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 เทคนิคการตรวจวัดโดยใช้ฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy หรือ FTIR).....	29
2.12.1 การวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัม .....	30
2.13 เทคนิคการตรวจวัดโดยใช้แก๊สโครมาโตกราฟีสเปกโทรสโกปีของมวลสาร (Gas Chromatography Mass Spectrometry หรือ GC-MS).....	32
2.13.1 การทำงานของเครื่อง GC-MS.....	34
2.13.2 ข้อดีของเครื่อง GC-MS.....	34
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง(Literature Review) .....	34
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....</b>	<b>38</b>
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	38
3.1.1 อุปกรณ์.....	38
3.1.2 เครื่องมือในการตรวจวัดผลการทดลอง.....	39
3.2 สารเคมี .....	39
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	39
3.3.1 การทดสอบเพื่อวัดอุณหภูมิของสารผสมโดยใช้เครื่องไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า ระหว่าง 100 และ 300 วัตต์.....	39
3.3.2 การเตรียมสารดูดซับน้ำ.....	40
3.3.3 การทดสอบเพื่อวัดความสามารถในการดูดซับน้ำ .....	40
3.3.4 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	40
3.3.5 การศึกษาการสังเคราะห์ไตรอะซิทีน.....	40
3.4 การทำการทดลอง .....	40
3.4.1 การทดสอบเพื่อวัดอุณหภูมิของสารผสมโดยใช้รังสีไมโครเวฟในการ ให้ความร้อน.....	40
3.4.2 การเตรียมสารดูดซับน้ำ.....	41
3.4.3 การทดสอบเพื่อวัดความสามารถในการดูดซับน้ำ .....	41
3.4.4 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	42
3.4.5 การทดลองการสังเคราะห์ไตรอะซิทีน .....	42
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล .....</b>	<b>49</b>
4.1 การศึกษากำลังไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟต่ออุณหภูมิ .....	50
4.2 การตรวจวิเคราะห์โดยใช้ FTIR.....	51
4.3 การทดลองการศึกษาหาตัวเร่งปฏิกิริยาและสารดูดซับน้ำที่เหมาะสมต่อ การสังเคราะห์สารไตรอะซิทีน.....	53
4.4 การศึกษาผลของสารดูดซับน้ำในการทำปฏิกิริยา .....	63

4.5 การศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยา.....	64
4.6 การศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา.....	66
4.7 การศึกษาผลของการทำปฏิกิริยาโดยใช้เครื่องไมโครเวฟและ เครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ .....	71
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>73</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	73
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	74
เอกสารอ้างอิง .....	75
ภาคผนวก.....	81
ภาคผนวก ก.....	81
ภาคผนวก ข.....	83
ภาคผนวก ค.....	84
ภาคผนวก ง.....	84
ภาคผนวก จ.....	87
ภาคผนวก ฉ.....	88
ประวัติผู้เขียน.....	128



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอล.....	7
2.2 ตารางแสดงสมบัติทางกายภาพของแอมเบอลิส-15 .....	12
2.3 ประเภทของแอมเบอลิส .....	14
2.4 ขนาดของซีโอไลท์.....	17
2.5 แสดงปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกัน .....	21
2.6 คลื่นความถี่ของไมโครเวฟ .....	23
2.7 แสดงความถี่ของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า .....	26
2.8 แสดงช่วงความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ .....	31
3.1 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ใช้สารดูดซับน้ำต่างๆใน ช่วงเวลาตั้งแต่ 15-60 นาที.....	45
3.2 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และใช้สารดูดซับน้ำต่างๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 15-60 นาที .....	46
3.3 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ และใช้สารดูดซับน้ำต่างๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 15-60 นาที .....	47
3.4 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X ในช่วงเวลาตั้งแต่ 2-5 ชั่วโมง .....	48
3.5 การทดลองเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และสารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X ช่วงเวลาตั้งแต่ 15-60 นาที.....	48
4.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาและพลังงานกระตุ้น .....	49
4.2 การศึกษาปฏิกิริยา Acetylation ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน .....	62
4.3 การศึกษาปฏิกิริยา Acetylation ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน .....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ปริมาณการผลิตและราคาของกลีเซอรอล(Glycerol) .....	2
1.2 การผลิตกลีเซอรอลที่มีมากขึ้น.....	3
1.3 ราคาของสารเคมีในช่วง 25 กันยายน ค.ศ.2004 ถึง 24 มีนาคม ค.ศ.2005.....	4
1.4 สารเติมแต่งในเชื้อเพลิงทางการค้าทั่วไป.....	4
2.1 โครงสร้างของกลีเซอรอล.....	6
2.2 กลีเซอรอล .....	7
2.3 โครงสร้างของ Acetic acid.....	10
2.4 โครงสร้างของไตรอะซิทีน.....	10
2.5 การเกิดไตรอะซิทีน.....	11
2.6 โครงสร้างของ โมโน, ได, ไตรอะซิทีน .....	11
2.7 โครงสร้างของแอมเบอลิส-15 .....	12
2.8 แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	13
2.9 เรซินกรองน้ำ.....	15
2.10 รูปร่างของซีโอไลต์ .....	17
2.11 รูปร่างซีโอไลต์ 4A.....	18
2.12 รูปร่างซีโอไลต์ 13X .....	18
2.13 รูปร่างของซิลิกาเจล .....	19
2.14 การผลิต TAG ผ่านปฏิกิริยาอะซิทีลชั่น .....	20
2.15 การสังเคราะห์ไตรอะซิทีน .....	21
2.16 รูปร่างและขนาดของผลิตภัณฑ์ .....	22
2.17 ขนาดของสารเมื่อเทียบกับขนาดรูพรุนในซีโอไลต์ .....	22
2.18 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	24
2.19 คลื่นความถี่ของไมโครเวฟ .....	24
2.20 เปรียบเทียบความสามารถในการให้ความร้อนระหว่างเครื่องมือชนิดต่างๆ.....	25
2.21 เปรียบเทียบความสามารถในการให้ความร้อน.....	25
2.22 เครื่องไมโครเวฟ .....	26
2.23 การทดลองด้วยเครื่องไมโครเวฟ.....	28
2.24 เครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ .....	28
2.25 แสดงการสันแบบพื้นฐานของหมู่เมทิลีน.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.26 อินฟราเรด สเปกตรัมของ 2-Pentanone.....	30
2.27 รูปร่างของเครื่อง GC-MS.....	32
2.28 เครื่อง MS ที่ต่อกับ GC.....	33
3.1 เครื่องไมโครเวฟพร้อมขวดแก้วสำหรับวัดอุณหภูมิจากปฏิกิริยา เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้า.....	41
3.2 การทดสอบการดูดซับน้ำโดยใช้เครื่องให้ความร้อนแบบหมุนเพื่อทำการระเหยน้ำ ไปถูกสารดูดซับน้ำทั้ง 3 ชนิด.....	42
3.3 ชุดเครื่องมือในการทดลองด้วยเครื่องไมโครเวฟ โดยใช้ขวดเทฟลอน ที่มีสารชนิดต่างๆอยู่ภายใน.....	43
3.4 ชุดเครื่องมือในการทดลองด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ โดยใช้เครื่องปั่นกวน, แก๊สไนโตรเจน และเครื่องควบแน่นเข้ามาช่วยในการทำปฏิกิริยา.....	44
4.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาอะซิโวลชันของกลีเซอรอล.....	50
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ต่อกำลังไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟ ในการให้ความร้อนกับสารผสมเพื่อหาความเหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา.....	51
4.3 การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแอมโมเนียม-15 และเรซินกรองน้ำ เปรียบเทียบกับสารบริสุทธิ์ โดย (a) ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียม-15 (b) ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ (c) สารไตรอะซิโตน.....	52
4.4 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยไม่ใช้สารดูดซับน้ำ (a) ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (b) ใช้เรซินกรองน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (c) ใช้แอมโมเนียม-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	54
4.5 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยใช้สารดูดซับน้ำเป็นซิลิกา เจล (a) ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (b) ใช้เรซินกรองน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (c) ใช้แอมโมเนียม-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	56
4.6 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 4A (a) ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (b) ใช้เรซินกรองน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (c) ใช้แอมโมเนียม-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	58
4.7 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X (a) ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (b) ใช้เรซินกรองน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (c) ใช้แอมโมเนียม-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	60
4.8 ความสามารถในการดูดซับน้ำของซีโอไลต์ 4A ซีโอไลต์ 13X และซิลิกาเจล ตามลำดับ.....	63
4.9 การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที ใช้แอมโมเนียม-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยไม่ใช้สารดูดซับน้ำ ใช้สารดูดซับเป็น ซิลิกา เจล ซีโอไลต์ 4A และซีโอไลต์ 13X ตามลำดับ.....	64

4.10 การเปรียบเทียบผลของการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที ใช้ซีโอไลต์ 13X เป็นสารดูดซับน้ำ โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ และแอมเบอลิส-15 ตามลำดับ..... 64

4.11 ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา ..... 65

4.12 การทดลองทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยไม่ใช้สารดูดซับน้ำและใช้เวลาตั้งแต่ 15 นาที จนถึง 5 ชั่วโมง ..... 66

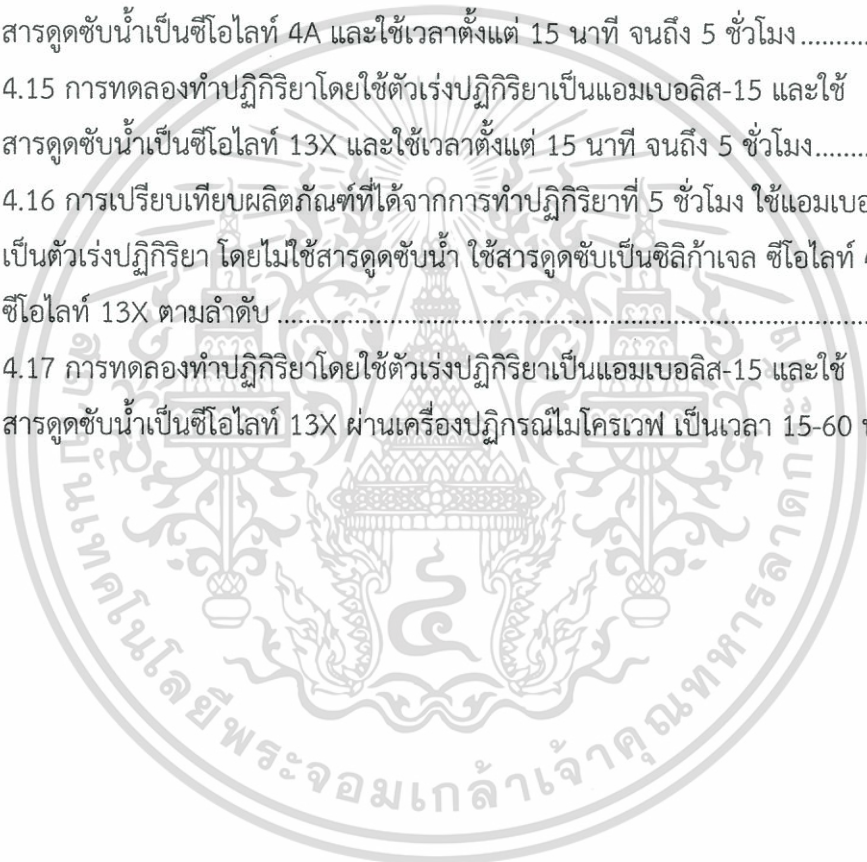
4.13 การทดลองทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และใช้สารดูดซับน้ำเป็นซิลิกาเจลและใช้เวลาตั้งแต่ 15 นาที จนถึง 5 ชั่วโมง..... 67

4.14 การทดลองทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 4A และใช้เวลาตั้งแต่ 15 นาที จนถึง 5 ชั่วโมง..... 67

4.15 การทดลองทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X และใช้เวลาตั้งแต่ 15 นาที จนถึง 5 ชั่วโมง..... 68

4.16 การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาที่ 5 ชั่วโมง ใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยไม่ใช้สารดูดซับน้ำ ใช้สารดูดซับเป็นซิลิกาเจล ซีโอไลต์ 4A และ ซีโอไลต์ 13X ตามลำดับ ..... 69

4.17 การทดลองทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X ผ่านเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ เป็นเวลา 15-60 นาที..... 72



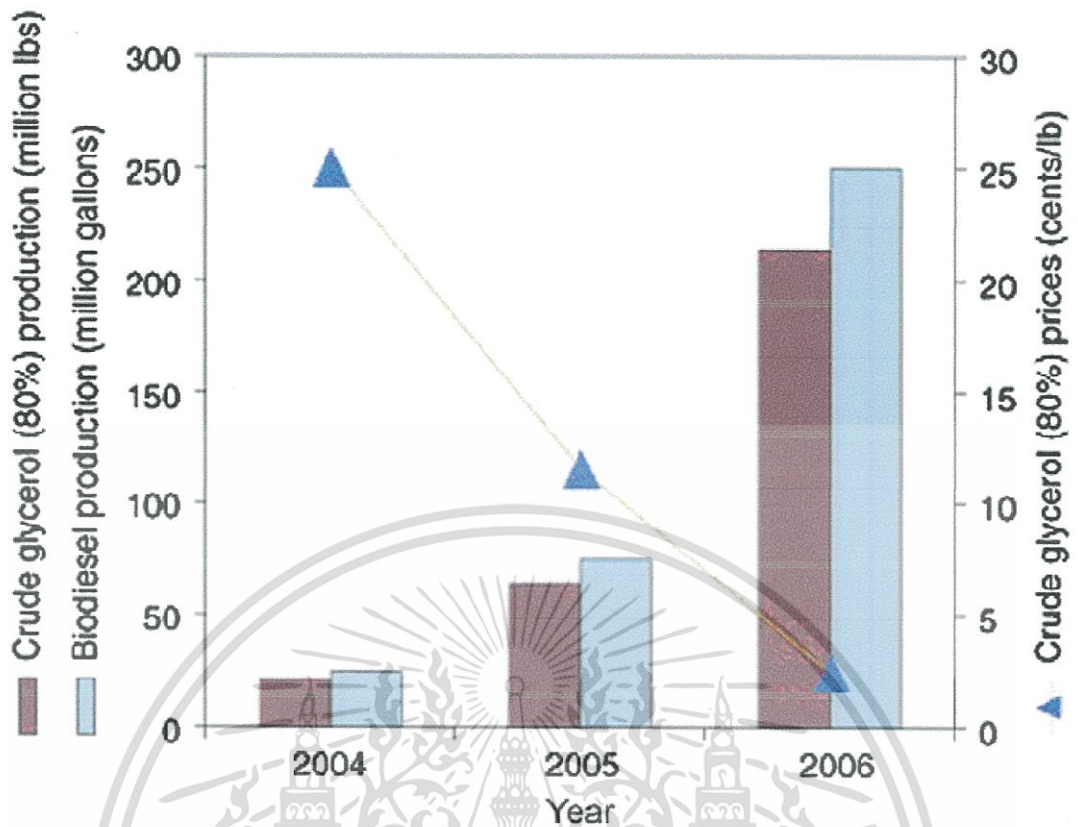
# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

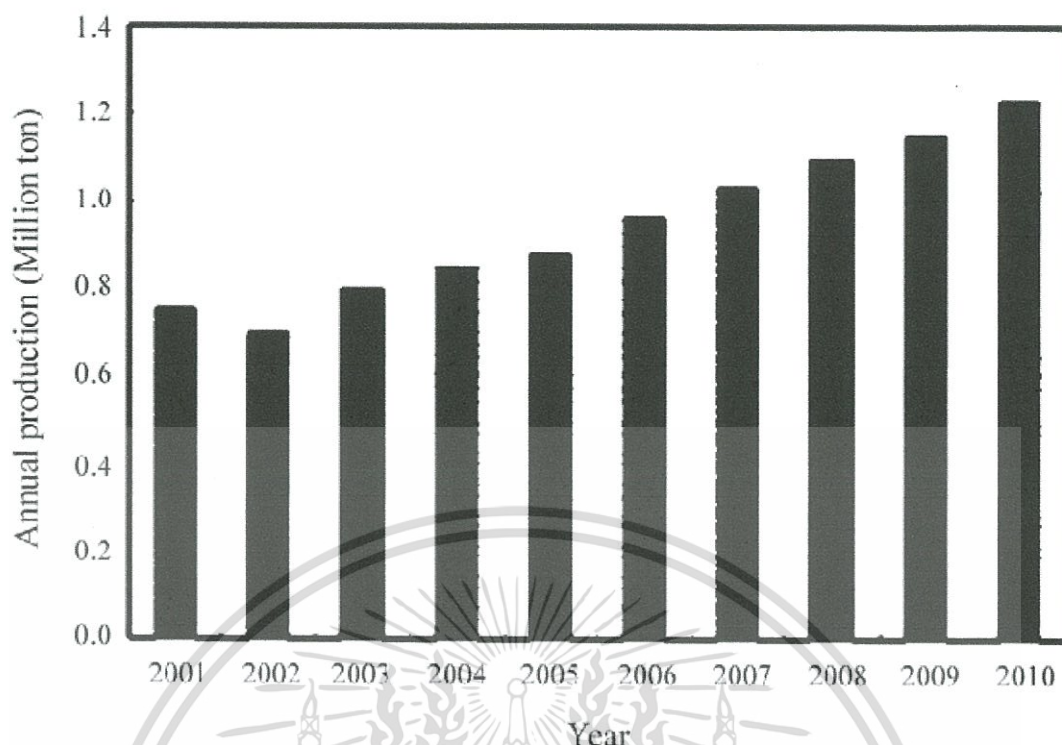
ในปัจจุบันปัญหาพลังงานเป็นปัญหาที่สำคัญทั้งในระดับชาติและระดับโลก ดังนั้นหลายประเทศจึงพยายามค้นคว้าหาแหล่งพลังงานทดแทนใหม่ ประเทศไทยก็เป็นหนึ่งในประเทศที่ประสบปัญหาการขาดแคลนพลังงานและต้องขาดดุลเงินตราต่างประเทศจากการใช้เงินหลายแสนล้านบาทในการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ[1] ความต้องการใช้น้ำมันมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆตามการพัฒนาที่เพิ่มขึ้นของทุกประเทศ ไบโอดีเซล(Biodiesel) เป็นอีกหนึ่งพลังงานทางเลือกใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม[2] และสามารถนำกลับมาใช้โดยการปลูกพืชที่ให้น้ำมัน เช่น ปาล์ม ถั่วเหลือง เป็นต้น เหตุที่ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงจากชีวมวล(Biomass) ที่ย่อยสลายได้(Biodegradable)[3] และเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วไม่ก่อให้เกิดแก๊สมลพิษและการใช้ไบโอดีเซลยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์ในด้านต่างๆเช่น การหล่อลื่น เลขซีเทนสูงและทำให้เครื่องยนต์มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น[4] การผลิตไบโอดีเซลเกิดจากการสังเคราะห์ด้วยการใช้น้ำมันจากพืช หรือไขมันสัตว์และนำมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยจะเรียกว่าเป็นปฏิกิริยา ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน(Transesterification) หรือปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิส(Alcoholysis) คือการแทนที่หมู่ฮัลคิลในแอลกอฮอล์ด้วยหมู่ฮัลคิลจากเอสเทอร์ซึ่งจะมีกระบวนการที่คล้ายกับการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำโดยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชนั้นเป็นการช่วยลดความหนืดของไตรกลีเซอไรด์

เนื่องจากไบโอดีเซลถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายทำให้เกิดปัญหาขึ้นคือการที่กลีเซอรอล(Glycerol) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมจากการผลิตไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน(Tranesterification) หรือปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิส(Alcoholysis) ของน้ำมันพืช[5] ที่ผลิตกลีเซอรอลได้ประมาณ 10% จากการผลิตไบโอดีเซล(Biodiesel) และมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นถึง 28% เนื่องจากประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตที่ดีขึ้น แสดงให้เห็นดังรูปที่ 1.1



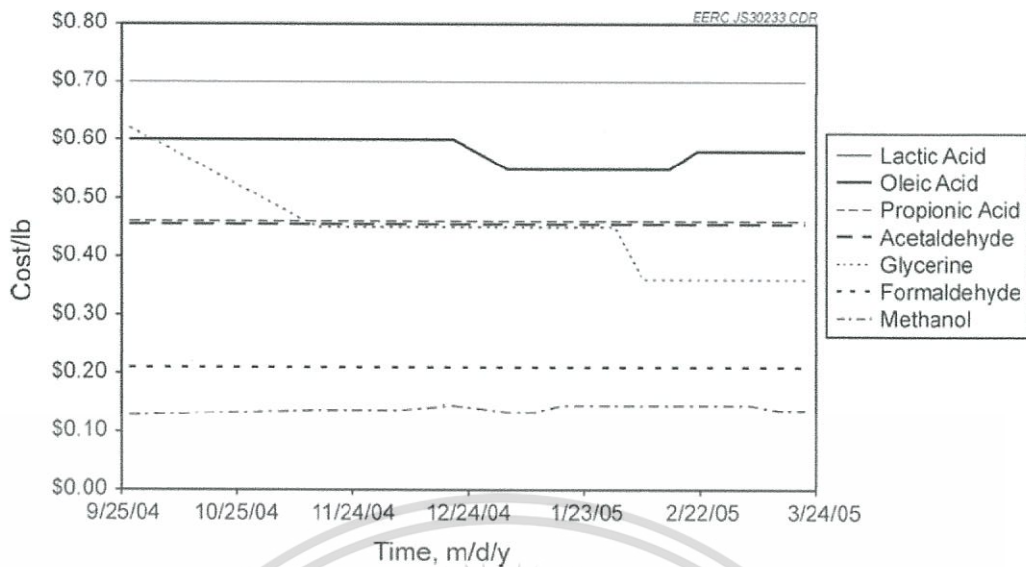
รูปที่ 1.1 ปริมาณการผลิตและราคาของกลีเซอรอล(Glycerol)[5]

มีข้อมูลจากทางยุโรปรายงานว่ามีการผลิตไบโอดีเซลมากถึง 5 ล้านตันต่อเดือนในช่วงปี 2006[6] และอเมริกามีการผลิตถึง 300 ล้านตันต่อปีอีกทั้งมีการเพิ่มกำลังการผลิตขึ้นถึง 600 ล้านตันต่อปี[7] และพบว่าในแคนาดาตั้งเป้าว่าจะผลิตไบโอดีเซล(Biodiesel) ให้ถึง 500 ล้านตันต่อปี[8] และมาเลเซียตั้งเป้าไว้ที่ 500,000 ตันต่อปีจากทั้งหมดที่กล่าวมาทำให้ไบโอดีเซลถูกผลิตมากขึ้นและเกิดกลีเซอรอลจำนวน 10-20% จากการผลิต[1] ซึ่งการที่กลีเซอรอลถูกผลิตออกมามากเกินความต้องการของตลาดดังรูปที่ 1.2 จึงส่งผลทำให้ราคากลีเซอรอลตกลงอย่างรวดเร็ว[9,10] อีกทั้งเมื่อมีการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มซึ่งมีราคาถูกกว่าในอดีตจึงทำให้ราคาของกลีเซอรอลยิ่งลดลงอย่างต่อเนื่อง[10,11]



รูปที่ 1.2 การผลิตกลีเซอรอลที่มีมากขึ้น[5]

เนื่องจากราคาของกลีเซอรอลตกลงมาก ทำให้คนเริ่มหันมามองหาการเพิ่มมูลค่าของกลีเซอรอล ทั้งการแปรรูปและปรับปรุงคุณภาพจากรูปที่ 1.3 เมื่อมองจากมูลค่าทางการตลาดนั้นจะเห็นว่ามูลค่าของกลีเซอรอลมีราคาขายที่สูงเมื่อเทียบกับสารชนิดอื่นในช่วงแรก แต่เมื่อการผลิตกลีเซอรอลมีมากขึ้นในช่วงที่ผ่านมาส่งผลให้ราคานั้นตกลงไปต่ำกว่ากรดโอเลอิก (Oleic acid) ในเวลาต่อมาก็ต่ำกว่ากรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) และอะซีทัลดีไฮด์ (Acetaldehyde) ซึ่งราคาของกลีเซอรอลตกลงอย่างชัดเจนและยังมีแนวโน้มที่ราคาจะตกลงไปเรื่อยๆจนอาจจะต่ำกว่าฟอมอลดีไฮด์ (Formaldehyde) หรือเมทานอล (Methanol) อีกด้วยทำให้ผู้ผลิตมีความต้องการที่จะเพิ่มมูลค่าของกลีเซอรอลโดยนำไปใช้ผลิตเป็นสารชนิดอื่นๆดังเช่นสารเติมแต่งในเชื้อเพลิง (Fuel additives) ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.3 ราคาของสารเคมีในช่วง 25 กันยายน ค.ศ.2004 ถึง 24 มีนาคม ค.ศ.2005[12]



รูปที่ 1.4 สารเติมแต่งในเชื้อเพลิงทางการค้าทั่วไป[13]

งานวิจัยนี้ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับกรดอะซิติก(Acetic acid) ผ่านกระบวนการอะซิทิเลชัน(Acetylation) โดยใช้แอมเบอร์ลิส-15(Amberlyst-15) กับเรซินกรองน้ำ(Water filter resin) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้สารดูดซับน้ำเป็นซิลิกาเจล ซีโอโลท์ 4A ซีโอโลท์ 13X เพื่อที่จะสังเคราะห์เป็นสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงที่เรียกว่าไตรอะซิทีน(Triacetin) โดยที่กระบวนการนี้จะมีผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 3 ตัวคือ โมโน, ได, ไตร อะซิทิลกลีเซอรอล(Mono, di, tri acetyl glycerol) ซึ่งไตรอะซิทิลกลีเซอรอลนั้นมีอีกชื่อหนึ่งว่าไตรอะซิทีน อีกทั้งปฏิกิริยาอะซิทิเลชันจะเกิดน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับและทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพ งานวิจัยนี้จึงนำเอาสารที่ใช้ในการดูดน้ำมาทดลองเพื่อช่วยกำจัดน้ำและการนำเอารังสีไมโครเวฟมาใช้เพื่อให้ความร้อนโดยตรงกับการทดลองทำให้การสูญเสียความร้อนน้อยลงและความร้อนกระจายทั่วถึง จากการศึกษาพบว่า การนำเอารังสีไมโครเวฟมาให้ความร้อนกับสารเคมีสามารถลดเวลาในการทำปฏิกิริยาเคมีอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาความสามารถในการให้ความร้อนของเครื่องไมโครเวฟ
- 2) เพื่อศึกษาความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยา
- 3) เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำ
- 4) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาและทำการเปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมระหว่างเครื่องไมโครเวฟและเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ทำการทดสอบกำลังไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา
- 2) ทำการทดสอบซิลิกาเจล ซีโอไลต์ 4A ซีโอไลต์ 13X เพื่อหาความสามารถในการดูดซับน้ำ
- 3) ทำการเพิ่มสภาวะกรดลงไปในเรซินกรองน้ำเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- 4) ทำการทดลองตัวเร่งปฏิกิริยาแอมเบอลิส-15 และเรซินกรองน้ำ เพื่อค้นหาตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา
- 5) ทำการทดลองสารดูดซับน้ำซิลิกาเจล ซีโอไลต์ 4A ซีโอไลต์ 13X เพื่อค้นหาสารดูดซับน้ำที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา
- 6) ทำการทดลองเป็นเวลา 15 นาทีถึง 5 ชั่วโมง เพื่อค้นหาเวลาที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา
- 7) เพื่อศึกษาค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลและค่าการเลือกเกิดของโมนออะซิทิน(MAG) ไดอะซิทิน(DAG) และไตรอะซิทิน(TAG)
- 8) ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองของเครื่องไมโครเวฟและเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ
- 9) ตรวจวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นโดยเครื่องมือ FTIR และ GC-MS

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เครื่องไมโครเวฟสามารถสังเคราะห์ TAG ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 2) สารดูดซับน้ำช่วยให้เกิดปฏิกิริยาดีขึ้น
- 3) ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินกรองน้ำสามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

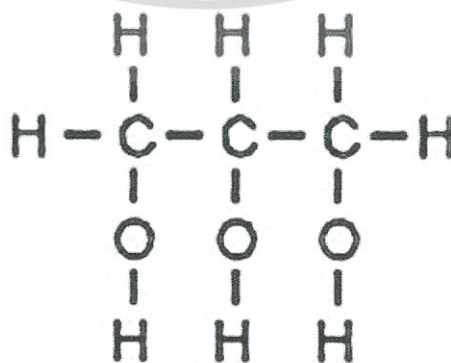
### 2.1 กlycerin

glycerin (Glycerin) หรือ glycerol (Glycerol) มีลักษณะเป็นของเหลวใสหนืดไม่มีสีไม่มีกลิ่นไม่มีพิษมีรสหวานเล็กน้อยและเป็นสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มของโพลีไฮดริคแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง ซึ่งใช้สำหรับเป็นสารตั้งต้นสำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การผลิตสบู่ การผลิตยา การผลิตเครื่องสำอาง เป็นต้น

glycerin หรือ glycerol ถูกค้นพบครั้งแรก เมื่อปี ค.ศ. 1779 โดยนักเคมีชาวสวีเดน ชื่อ Carl W. Scheele จากการทดลองปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันในการสกัดน้ำมันมะกอก glycerin หรือ glycerol มาจากคำว่า glykys แปลว่า “หวาน” โดยในระยะแรกมีการใช้ประโยชน์สำหรับเป็นส่วนผสมของกาว ทำให้กาวมีความเหนียวมากขึ้น รวมถึงส่วนผสมของสีย้อม และน้ำหมึก ต่อมาถูกประยุกต์ใช้สำหรับทำระเบิดไดนาไมท์ในรูปของไตรกลีเซอริน ผสมกับซิลิกา[14]

#### ข้อแตกต่างของ glycerin กับ glycerol

glycerin และ glycerol ถือเป็นสารเดียวกัน แต่ผู้ใช้ทั่วไปมักเรียก glycerin โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึง glycerin จะหมายถึง glycerol แต่มีความบริสุทธิ์น้อยกว่าและมักมีการปนเปื้อนสิ่งต่างๆ เช่น น้ำ สี เป็นต้น และ glycerin จะใช้เรียกสำหรับอ้างอิงถึงสารละลายในทางการค้าของ glycerol ที่มีน้ำเจือปน โดยมี glycerol เป็นองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่ glycerol บริสุทธิ์จะมีความบริสุทธิ์ประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์ และความบริสุทธิ์มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ มักเป็นผลิตภัณฑ์ค้าขายในเชิงพาณิชย์ สำหรับชื่ออื่นนอกเหนือจาก glycerin และ glycerol ได้แก่ propane-1,2,3-triol, 1,2,3-propanetriol, 1,2,3 trihydroxypropane, glyceritol และ glyceryl alcohol ที่มีสูตรโมเลกุลเคมีคือ  $C_3H_8O_3$  โดยโครงสร้างของ glycerol แสดงดังรูปที่ 2.1



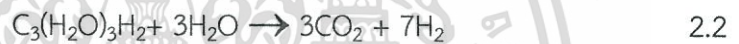
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ glycerol[15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลีเซอรอล (รูปที่ 2.2) ละลายได้ดีในเมทานอล เอทานอล ไอโซเมอร์ของโพรพานอล บิวทานอล เพนทานอลรวมทั้งฟินอล โกลคอล โพรเพนไดออล เอมีนและสารประกอบที่เป็น เฮทเทอโรไซคลิก ไดเอทิลอีเทอร์เอทิลเอสเทอร์และไดออกเซน ไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาวของน้ำมันพืชและสัตว์ และตัวทำละลายจำพวกเฮโลเจน เช่น คลอโรฟอร์ม เป็นต้น ดังนั้นกลีเซอรอลจึงสามารถใช้เป็นตัวทำละลายที่มีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมยา อาหาร และเครื่องสำอาง เป็นต้น[16-19] นอกจากนี้กลีเซอรอลยังสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนกับแอลกอฮอล์ทั่วไปจึงมีการนำกลีเซอรอลไปใช้เป็นแหล่งพลังงานชีวมวล (Biomass energy) โดยใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนหรือที่เรียกว่าแก๊สสังเคราะห์ (Syn gas) ผ่านปฏิกิริยาการสลายตัวจากกลีเซอรอล ดังแสดงในสมการ 2.1



หรืออาจใช้กระบวนการรีฟอร์มมิ่งด้วยไอน้ำ (Steam reforming)[20,21] ดังแสดงในสมการ 2.2



รูปที่ 2.2 กลีเซอรอล[14]

สมบัติของกลีเซอรอล[22]

- สมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	ข้อมูล
สูตรทางเคมี	$\text{CH}_2\text{OH-CHOH-CH}_2\text{OH}$ หรือ $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$
น้ำหนักโมเลกุล	92.09 g/mol
สถานะและสี	ของเหลว ไม่มีสี
ความถ่วงจำเพาะ	1.2605
ค่าดัชนีหักเหแสง	1.4746
จุดหลอมเหลว	17.9 °C
จุดเดือด	290 °C
สมบัติการละลายใน 100 ส่วน	
น้ำ	ละลายดีมาก
แอลกอฮอล์	ละลายดีมาก
อีเทอร์	ไม่ละลาย
ความร้อนของการหลอมเหลวที่ 18.07 °C	47.49 cal/g
ความหนืดของกลีเซอรินบริสุทธิ์	
ความบริสุทธิ์ 100%	10 cP
ความบริสุทธิ์ 50%	25 cP
การแพร่กระจายใน	
i-Amyl alcohol	$0.12 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$
เอทานอล	$0.56 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$
น้ำ	$0.94 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$

### • สมบัติทางเคมี

กลีเซอรอลสามารถทำปฏิกิริยาได้เหมือนกับแอลกอฮอล์ทั่วไป โดยที่หมู่แอลคอกซี (Alkoxy group) ด้านนอกจะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าหมู่ไฮดรอกซิลตรงกลาง ภายใต้สภาวะที่เป็นกลางหรือเบส กลีเซอรอลสามารถทนความร้อนได้ถึง 275 องศาเซลเซียส กลีเซอรอลสามารถดูดความชื้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้กลีเซอรอลยังถูกออกซิไดส์ได้ง่าย โดยที่อะตอมคาร์บอนด้านนอกจะถูกออกซิไดส์ เป็นหมู่คาร์บอกซิลิกและอะตอมคาร์บอนตรงกลางจะเกิดเป็นหมู่คาร์บอนิล ดังนั้นกลีเซอรอลจึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท

### สมบัติของกลีเซอรอล

1. ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของ สี กลิ่น และรส เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน
2. กลีเซอรอลละลายได้ดีในน้ำและแอลกอฮอล์ จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท
3. สามารถเกิดสภาวะลักษณะการเย็นตัวลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง แต่สารนั้นยังไม่แข็งตัว (Super cooling) ได้ และทนต่อสภาวะการแช่เยือกแข็งและการละลาย

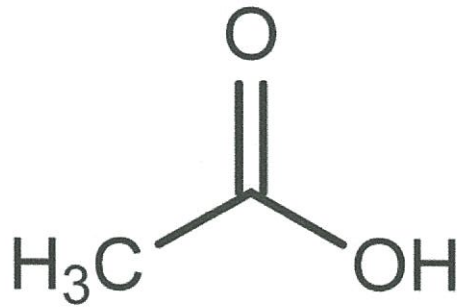
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. มีความหนืด จึงสามารถนำไปใช้เป็นสารช่วยให้ข้น (Thickening) หรือสารเพิ่มเนื้อ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและที่มีลักษณะเป็นเจล
5. มีรสชาติหวานเล็กน้อย โดยค่าความหวานประมาณร้อยละ 55-75 ของระดับความหวาน น้ำตาลซูโครส (ขึ้นกับระดับความเข้มข้นที่ใช้)
6. ไม่มีกลิ่นรุนแรงจึงสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมหวานได้ดี โดยไม่มีผลต่อกลิ่นรส
7. กลีเซอรอลนอกจากเป็นสารที่ใช้เติมในอาหารเพื่อรักษาความชื้น (Humectants) แล้วยังมีสมบัติเป็นตัวพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) จึงช่วยให้ผลิตภัณฑ์คงความนุ่มนวล มีความหยุ่นตัวดี (Flexibility) มีลักษณะเป็นครีม (Creaminess) และยังช่วยยืดอายุของผลิตภัณฑ์อีกด้วย
8. มีความดันไอต่ำและไม่ระเหยที่อุณหภูมิปกติ เป็นสารไม่มีพิษ (Nontoxic) ต่อระบบการย่อยอาหาร ผิวหนังและเนื้อเยื่ออ่อนๆ
9. ไม่มีปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม
10. กลีเซอรอลได้รับอนุญาตจาก GRAS (Generally Recognized As Safe) จากสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ปี ค.ศ.1959 และจัดอยู่ในรายการของสารที่มีสมบัติหลากหลาย

## 2.2 กรดอะซิติก[23]

กรดอะซิติก (Acetic acid) หรือกรดน้ำส้ม เป็นกรดอินทรีย์ (Organic acid) ประเภทกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) มีสูตร  $\text{CH}_3\text{COOH}$  เป็นของเหลวใสไม่มีสี มีกลิ่นฉุน แสบจมูก ระเหยได้ น้ำหนักโมเลกุล 60.05 กรัมต่อโมล จุดเดือด 118 องศาเซลเซียส จุดเยือกแข็งที่ 17 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 1.05 ความดันไอ 11 มม.ของปรอทที่ 20 องศาเซลเซียส ละลายน้ำได้ดี มีความเสถียร กรดอะซิติกบริสุทธิ์ เรียกว่า กรดน้ำส้มล้วน หรือกรดกลาเซียอะซิติก (Glacial acetic acid) กรดชนิดนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน แต่สามารถละลายน้ำเพื่อเป็นกรดอ่อน กรดอะซิติกเจือจางที่มีความเข้มข้น 4-5 เปอร์เซ็นต์ เรียกว่าน้ำส้มสายชู (Vinegar)

กรดอะซิติกอาจเกิดจากกระบวนการหมัก (Fermentation) เอทิลแอลกอฮอล์ ด้วยแบคทีเรียแอซิโตแบคเตอร์ (Acetobacter) หรือจากการสังเคราะห์ทางเคมี การใช้ในอาหารกรดอะซิติกใช้เพื่อปรุงแต่งกลิ่นรสของอาหาร เป็นสารเติมแต่งอาหาร (Food additive) การปรับปรุงความเป็นกรด (Acidity regulator) และเป็นสารกันเสีย (Preservative) โดยควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อีกทั้งยังมีประโยชน์มากในการขจัดตะกรันในท่อน้ำ ในด้านอุตสาหกรรมอาหาร[24] มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของ Acetic acid[25]

### 2.3 ไตรอะซิทีน[26]

ไตรอะเซทิลกลีเซอรอล (Triacetylglycerol)[26] มีอีกชื่อเรียกหนึ่งว่าไตรอะซิทีน (Triacetin), 1,2,3-propanetriyl triacetate, glycerin triacetate มีจุดเดือดที่ 258-260 องศาเซลเซียส มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของไตรอะซิทีน

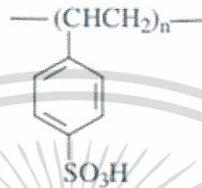
ไตรอะซิทีน(Triacetin) เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันที่มีประสิทธิภาพดีมากอีกทั้งยังเติมได้ทั้งในน้ำมันเบนซินและดีเซลเพื่อลดสถานะเครื่องน็อค, ต้านทานการแข็งตัวและยังช่วยลดความหนืดในน้ำมันอีกด้วย[27] ในการวิจัยนี้จึงนำเอากลีเซอรอลและกรดอะซิติกมาทำปฏิกิริยากันโดยใช้ แอมเบอลิส-15 และเรซินกรองน้ำ (Water filter resin) มาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากเรซินกรองน้ำนั้นมีราคาที่ถูกจึงสามารถลดต้นทุนอย่างมาก[28] และทดลองในสภาวะต่างๆเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

ไตรอะซิทีนเกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกลีเซอรอลกับอะซิติกถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งจะทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.5



## 2.4 แอมเบอร์ลิส-15(Amberlyst-15)[29]

แอมเบอร์ลิส-15 เป็นสารจำพวกเรซินแลกเปลี่ยนประจุ(ion exchange resin) ไม่ละลายในตัวกลาง ลักษณะกลมเป็นเม็ด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-1 มิลลิเมตร มีทั้งสีขาวและสีค่อนข้างเหลือง เม็ดมีรูพรุนทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง สามารถจับและปล่อยไอออนได้ในเวลาเดียวกัน มีความจุการพองตัวต่ำ(low swelling capacity) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่พอที่จะให้กรดไขมันอิสระผ่านเข้าไปยังพื้นที่ผิวภายในได้ มีโครงสร้างดังรูป 2.7 และมีสมบัติตามตารางที่ 2.2



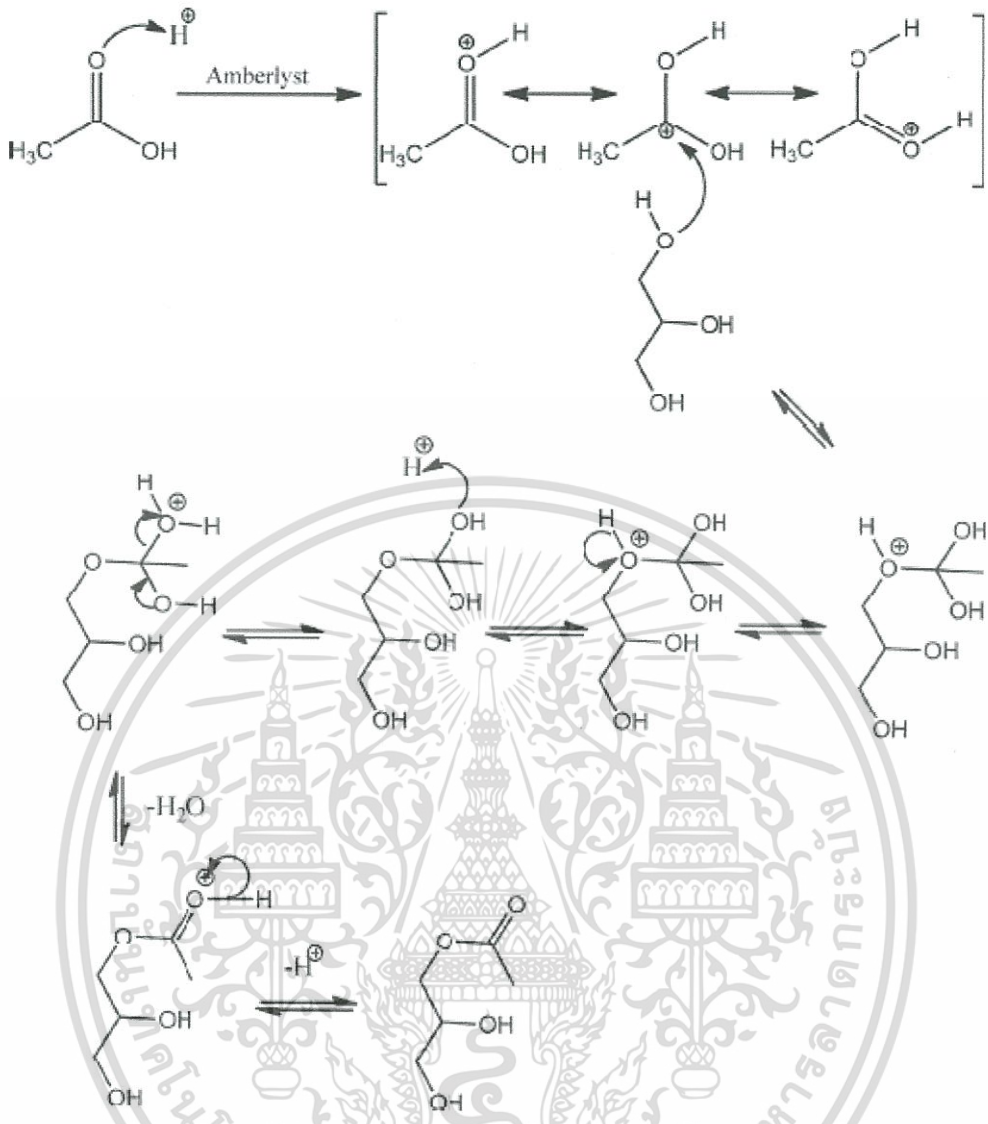
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของแอมเบอร์ลิส-15[30]

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพของแอมเบอร์ลิส-15[30]

สมบัติ	ค่าที่วิเคราะห์ได้
Ionic form as shipped	Hydrogen
Concentration of active sites	$\geq 1.7$ eq/L; $\geq 4.7$ eq/kg
Moisture holding capacity	52 to 57% ( $H^+$ form)
Shipping weight	770 g/L
Particle size	0.600 to 0.850 mm
Average pore diameter	300Å
Total ปริมาตรรูพรุน	0.40 mL/g
Maximum operating temperature	120 °C

รูปที่ 2.8 เมื่อนำเอาตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกลีเซอรอลกับกรดอะซิติกจะพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำปฏิกิริยาที่กรดอะซิติกก่อนจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาขึ้น 3 ขั้นตอนคือ

1. กลีเซอรอลจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกที่เป็นแคทไอออนแล้วจึงเกิดเป็นโมโนอะซิทิน
2. โมโนอะซิทินจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกที่เป็นแคทไอออนแล้วจึงเกิดเป็นไดอะซิทิน
3. ไดอะซิทินจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกที่เป็นแคทไอออนแล้วจึงเกิดเป็นไตรอะซิทิน



รูปที่ 2.8 แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้แอมเบอริสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา[31]

ตารางที่ 2.3 อธิบายตัวเร่งปฏิกิริยาแอมเบอริสชนิดต่างๆ หมู่ฟังก์ชัน ความจุ และอุณหภูมิที่ใช้งาน เพื่อการเลือกใช้ที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ประเภทของแอมเบอริส[32]

ชื่อสาร	รูปร่าง	Functional groups	ความจุ		อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้งาน
			eq/kg	eq/L	°C
Amberlyst-131Wet	เจล	SO <sub>3</sub> H	4.80	1.35	130
Amberlyst-15Dry	เม็ด	SO <sub>3</sub> H	4.70	-	120
Amberlyst-15Wet	เม็ด	SO <sub>3</sub> H	4.70	1.70	120
Amberlyst-16Wet	เม็ด	SO <sub>3</sub> H	4.80	1.70	130
Amberlyst-31Wet	เจล	SO <sub>3</sub> H	4.80	1.35	130
Amberlyst-33	เจล	SO <sub>3</sub> H	4.80	1.35	130
Amberlyst-35Dry	เม็ด	SO <sub>3</sub> H	5.20	-	150
Amberlyst-35Wet	เม็ด	SO <sub>3</sub> H	5.20	1.90	150
Amberlyst-36Dry	เม็ด	SO <sub>3</sub> H	5.40	-	150
Amberlyst-36Wet	เม็ด	SO <sub>3</sub> H	5.40	1.95	150
Amberlyst-39Wet	เม็ด	SO <sub>3</sub> H	5.00	1.15	130
Amberlyst-40Wet	เม็ด	SO <sub>3</sub> H	-	2.20	140
Amberlyst-70	เม็ด	SO <sub>3</sub> H	2.55	0.90	190
Amberlyst-CH10	เม็ด	SO <sub>3</sub> H, Pd	4.80	1.60	130
Amberlyst-CH28	เม็ด	SO <sub>3</sub> H, Pd	4.80	1.60	130

## 2.5 เรซินกรองน้ำ(Water filter resin)[33]

เรซินกรองน้ำเป็นสารจำพวกเรซินแลกเปลี่ยนประจุ(ion exchange resin) โดยทั่วไปแล้วจะใช้ในการทำให้เกิดน้ำบริสุทธิ์ หรือเรียกว่า demineralized water หรือ deionized water หมายถึง น้ำที่ปราศจากเกลือแร่ต่างๆ น้ำบริสุทธิ์ผลิตได้โดยใช้เรซินคือเรซินแบบกรดและเรซินแบบต่าง ซึ่งเรซินนี้อาจจะบรรจุแยกถังหรือในถังเดียวกันเป็นแบบ mixed bed ก็ได้เรซินแบบต่างจะทำหน้าที่กำจัดไอออนลบ สามารถรีเจนเนอเรตด้วยโซดาไฟ ส่วนเรซินแบบกรด จะทำหน้าที่กำจัดไอออนบวกออกจากน้ำ สามารถรีเจนเนอเรตด้วยกรดเกลือ หรือ กรดกำมะถัน น้ำที่ผลิตได้จึงเป็นน้ำที่ปราศจากเกลือแร่ต่าง ๆ และมีรูปร่างดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 เรซินกรองน้ำ[34]

เรซินคือสารประกอบโมเลกุลใหญ่ (polymer) แบบสามมิติ(three dimensional network) ที่ได้จากการรวมตัวกันทางเคมีของสารประกอบโมเลกุลเดี่ยว (monomer) เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน สามารถเปรียบเทียบเรซินได้กับ กรดหรือด่าง ซึ่งมีทั้งอ่อน และ แข็ง ความแตกต่างที่ต้องตระหนักไว้ คือกรดและด่างเป็นของเหลว แต่เรซินเป็นของแข็ง ดังนั้นเรซินเป็นกรดหรือด่างที่เป็นของแข็ง ความแตกต่างอีกประการหนึ่ง คือ ผลปฏิกิริยาที่ได้ สำหรับ ในกรณีของกรด หรือ ด่าง ธรรมดาผลปฏิกิริยาจะยังคงอยู่ในน้ำ แต่ปฏิกิริยาของเรซินนั้นผลปฏิกิริยาที่ได้ยังคงอยู่กับ เรซินนั้น คือผลปฏิกิริยาเป็นของแข็ง จากการที่เรซินเปรียบได้กับ กรด หรือ ด่าง ทำให้มีการแบ่งประเภทของเรซินตามความเป็นกรด หรือ ด่าง ได้ 4 ชนิดดังนี้

- เรซินแบบกรดแก่ (strong acidic cationic resin)
- เรซินแบบกรดอ่อน (weak acidic cationic resin)
- เรซินแบบด่างแก่ (strong basic anionic resin)
- เรซินแบบด่างอ่อน (weak basic anionic resin)

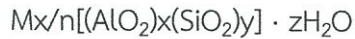
#### ประสิทธิภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่หรือการรีเจนเนอเรชัน(Regeneration)

รีเจนเนอเรชัน หมายถึงการทำให้เรซินที่หมดประสิทธิภาพไปแล้วกลับฟื้นตัวขึ้นมา มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนใหม่อีก การที่เรซินหมดประสิทธิภาพไปอย่างชั่วคราวเป็นเพราะว่าไอออนอิสระส่วนใหญ่ในเรซินถูกนำไปแลกเปลี่ยนกับไอออนอื่นในน้ำจนหมดสิ้นการทำรีเจนเนอเรชันได้แก่การขับไล่ไอออนในเรซินที่แลกมาจากน้ำและเติมไอออนอิสระให้กับเรซินทำให้เรซินกลับสู่สภาพเดิมและมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนอีกครั้งหนึ่งสารเคมีที่ใช้เติมไอออนอิสระให้กับเรซินที่เสื่อมประสิทธิภาพไปแล้วเรียกว่าสารรีเจนเนอเรนต์(regenerant) ตัวอย่างของสารรีเจนเนอเรนต์ ได้แก่ NaCl ซึ่งใช้เติม  $\text{Na}^+$  หรือ  $\text{Cl}^-$  ให้กับเรซินหรือ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ซึ่งใช้เติม  $\text{H}^+$  ให้กับเรซิน หรือ HCl ซึ่งใช้เติม  $\text{H}^+$  ให้กับเรซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ซีโอไลต์(Zeolite)[35]

ซีโอไลต์(Zeolite) เป็นสารประกอบคริสตัลไลน์ (crystalline) ของอลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate) ถูกค้นพบในธรรมชาติครั้งแรกโดยนักธรณีวิทยาชาวสวีเดน[40] และมีสูตรทั่วไปดังนี้



ซีโอไลต์เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กมีความพรุนสูง(microporous molecules) โครงสร้างของซีโอไลต์มีขนาดของช่องว่างหรือโพรงที่สม่ำเสมอช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและสามารถคัดแยกโมเลกุลของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ได้จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมีเช่นในปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนการเกิดอะโรแมติกการเปลี่ยนไอโซเมอร์ เป็นต้น ซีโอไลต์มีทั้งที่พบตามธรรมชาติและที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งสามารถทำได้โดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลการทำปฏิกิริยาต้องใช้ระยะเวลาความดันและอุณหภูมิที่กำหนดภายใต้สภาพไอน้ำอิ่มตัว องค์ประกอบหลักในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ประกอบด้วยอะลูมิเนียมซิลิกอนไอออนบวกและสารเคมีอื่นๆเช่นสารกำหนดโครงสร้าง (template) ซึ่งช่วยในการเลือกเกิดของซีโอไลต์ที่ต้องการเนื่องจากซีโอไลต์มีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์สำคัญหลายประการเช่น สามารถใช้แยกสารไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน[36], ใช้เป็นสารดูดซับน้ำ (adsorbent)[37], ใช้ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือแคตตาไลส(catalyst)[38-43] เป็นต้น

## 2.7 Molecular sieve[44]

Molecular Sieve หรือ ที่เรียกว่า Synthetic Zeolite เป็นสารสังเคราะห์ ที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น ที่ดีมากๆ ภายใต้ ความชื้นสัมพัทธ์ รอบข้าง ในระดับต่ำ (10%-30%) โดยมีประสิทธิภาพ ในการดูดความชื้นประมาณ 22% โดยน้ำหนัก โครงสร้างพิเศษทำให้ซีโอไลต์มีพื้นที่ผิวสัมผัส ประมาณ 700-800 ตารางเมตร ต่อ 1 กรัม และมีแรงดึงดูดความชื้นที่สูงมาก ข้อดีดังกล่าว ทำให้ปัญหาการคายความชื้นน้อยกว่าซิลิกาเจลและมอนต์โมริลโลไนต์ เคลย์ เมื่ออุณหภูมิรอบข้างสูงขึ้น อย่างไรก็ตามซีโอไลต์ยังไม่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานของรัฐ ในการใช้งาน กับ อาหารและยา จึงทำให้สารชนิดนี้ ยังไม่แพร่หลายมากนัก และมีรูปร่างดังรูปที่ 2.10

ตะแกรงโมเลกุลมีหลายหลายรูปแบบสามารถแบ่งแยกได้เป็น 3 ชนิด คือ microporous, mesoporous, macroporous[45]

### Microporous material (<2 nm)

- แก้วที่มีรูพรุน (Porous glass): 10 Å (1 nm)
- แอคทีฟคาร์บอน (Active carbon): 0-20 Å (0-2 nm)
- โคลน (Clays)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mesoporous material (2-50 nm)

Silicon dioxide (ใช้ในการสังเคราะห์ซิลิกาเจล): 24 Å (2.4 nm)

Macroporous material (>50 nm)

ซิลิกาที่มีรูพรุน 200-1000 Å (20-100 nm)



รูปที่ 2.10 ภาพถ่ายของซีโอไลท์[46]

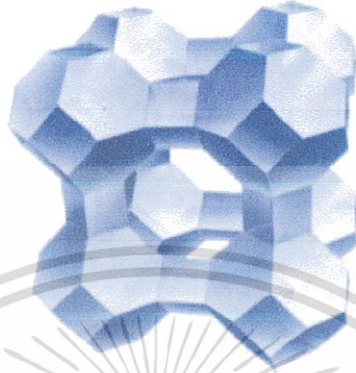
ตารางที่ 2.4 ขนาดของซีโอไลท์[45]

Model	Pore diameter (Ångström)	Bulk density (g/ml)	Adsorbed water (% w/w)	Attrition abrasion water (%)
3Å	3	0.60~0.68	19~20	0.3~0.6
4Å	4	0.60~0.65	20~21	0.3~0.6
5Å-DW	5	0.45~0.50	21~22	0.3~0.6
5Å small oxygen-enriched	5	0.4-0.8	23	0.3~0.5
5Å	5	0.60~0.65	20~21	0.3~0.5
10X	8	0.50~0.60	23~24	0.3~0.6
13X	10	0.55~0.65	23~24	0.3~0.5
13X-AS	10	0.55~0.65	23~24	0.3~0.5
Cu-13X	10	0.50~0.60	23~24	0.3~0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ซีโอไลท์ 4A (Molecular sieve 4A)[47]

มีขนาด 4 อังสตรอม โดยที่มีแคทไอออน(cation) เป็นโซเดียม (Na) มีโครงสร้างเป็นซีโอไลท์ LTA ดังรูปที่ 2.11



*Molecular Sieve Type A*

### รูปที่ 2.11 โครงสร้างซีโอไลท์ 4A (Molecular sieve 4A)[47]

### ซีโอไลท์ 13X (Molecular sieve 13X)[47]

มีขนาด 10 อังสตรอม โดยที่มีแคทไอออน(cation) เป็นโซเดียม (Na) มีโครงสร้างเป็นซีโอไลท์ FAU ดังรูปที่ 2.12



*Molecular Sieve Type X*

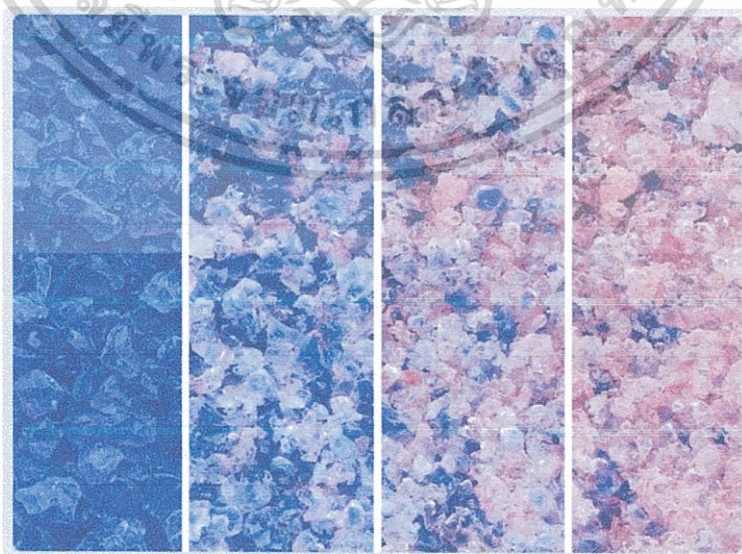
### รูปที่ 2.12 โครงสร้างซีโอไลท์ 13X (Molecular sieve 13X)[47]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 ซิลิกาเจล(silica gel)[44]

เป็นสารสังเคราะห์ในรูปของซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide,  $\text{SiO}_2$ ) มีรูปร่างดังรูปที่ 2.13 มีพื้นที่ผิวมากประมาณ 800 ตารางเมตร ต่อ 1 กรัม การดูดความชื้นของซิลิกาเจล เป็นลักษณะทางกายภาพ (Physical Adsorption) โดยกักเก็บความชื้นไว้ที่โพรงโครงสร้างด้านในซิลิกาเจล ถูกใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในบรรจุภัณฑ์ ยาและอาหาร โดยปกติ ซิลิกาเจล สามารถดูดความชื้นได้ระหว่าง 24-40% โดยน้ำหนักและมีประสิทธิภาพสูงสุด ที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  หากอุณหภูมิสูงกว่านี้ ประสิทธิภาพ ในการดูดความชื้นจะลดลงไปเรื่อยๆ และมีโอกาสที่จะคายความชื้น (Desorption) ออกจากตัวเองเช่นกัน โดยเหตุนี้ การใช้ซิลิกาเจล กับประเทศร้อนชื้น ดังเช่นประเทศไทย จึงต้องระมัดระวังเป็นอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิรอบข้างของบรรจุภัณฑ์สินค้า นอกจากนี้การใช้ซิลิกาเจลในระหว่าง การขนส่งสินค้า ระหว่างประเทศที่มีความผันผวน หรือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของประเทศไทย และประเทศปลายทาง ย่อมมีโอกาสเสี่ยงต่อ การดูดและคายความชื้นของซิลิกาเจลเป็นอย่างยิ่ง

ซิลิกาเจล ที่ใช้งานอยู่ทั่วไปมี 2 ชนิด คือเม็ดสีใสๆขนาด 2-5 มิลลิเมตร และเม็ดสีน้ำเงิน (Indicating Silica Gel) ขนาดเท่าๆ กัน คุณสมบัติของซิลิกาเจลทั้ง 2 ชนิดนี้ แตกต่างกันตรงที่มีการเติม Cobalt Chloride ลงไปทำให้มีสีน้ำเงิน บนเม็ดซิลิกาเจลสีน้ำเงินนี้ จะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีชมพู เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ รอบข้าง สูงขึ้นมากกว่า 40% ซิลิกาเจลชนิดนี้ มีประโยชน์ ในการสังเกต ได้โดยง่ายว่าสินค้ามีโอกาสเสี่ยงต่อความชื้นมากน้อยเพียงไร หากซิลิกาเจลที่ใช้อย่างยังมีสีน้ำเงิน หรือ ไม่เปลี่ยนสีมากนัก แสดงว่าความชื้น รอบข้างถูกซิลิกาเจลดูดไว้ และมีระดับความชื้นสัมพัทธ์ ที่ต่ำในทางตรงกันข้าม หากสีของซิลิกาเจล เปลี่ยนเป็นสีชมพู แสดงว่า ความชื้นรอบข้างนั้น มีปริมาณที่สูงเกินกว่าที่ซิลิกาเจลจะดูด และควบคุมให้อยู่ในระดับที่ต่ำได้

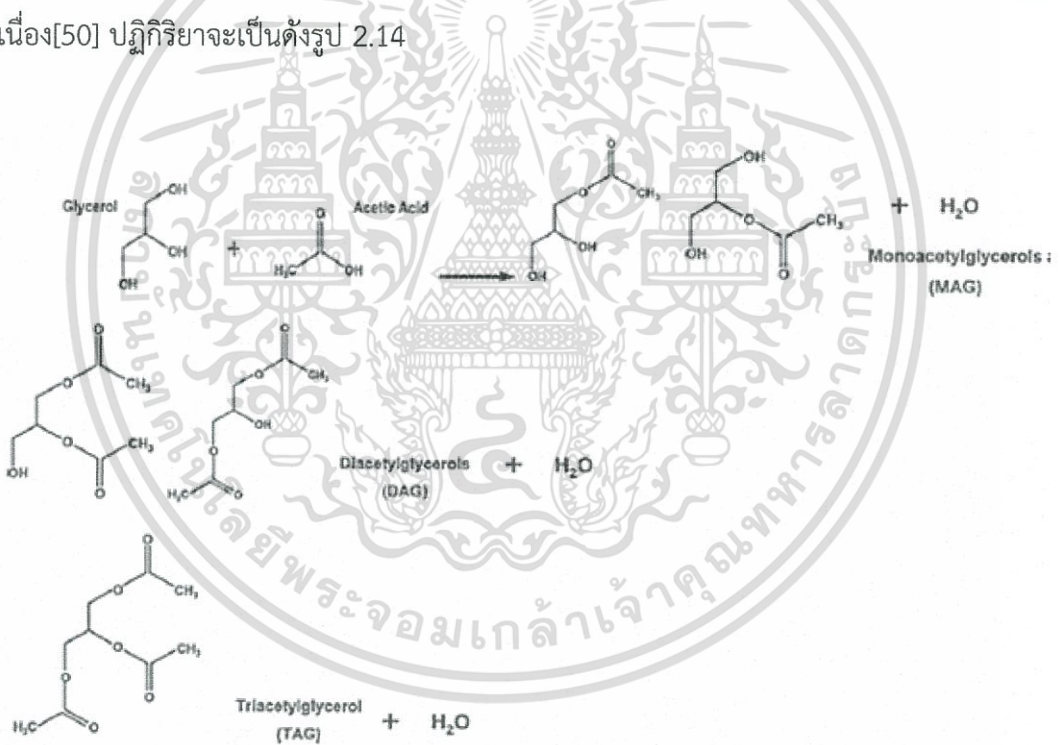


รูปที่ 2.13 ภาพถ่ายของซิลิกาเจล[48]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 ปฏิกิริยาอะซิไทลเลชัน (Acetylation/Esterification)[49]

อะซิไทลเลชันเป็นปฏิกิริยาแทนที่ไฮโดรเจนของหมู่ -OH ด้วยสารหมู่อะซิติก(acetyl group  $\text{CH}_3\text{CO}$ ) ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นกระบวนการที่แอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับกรดคาร์บอกซิลิก กลายเป็นเอสเทอร์โดยที่ Melerero ได้ทำการศึกษเกี่ยวกับปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกลีเซอรอล กับอะซิติกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม 3 ชนิดคือ โมโนอะซิไทลกลีเซอรอล(monoacetylglycerol หรือ MAG) ไดอะอะซิไทลกลีเซอรอล (diacetylglycerol หรือ DAG) และไตรอะอะซิไทลกลีเซอรอล (triacetylglycerol หรือ TAG) ซึ่งต่อมาถูกเรียกว่าไตรอะอะซิทินโดยทำปฏิกิริยาด้วยชุดปฏิกรณ์แบบ Teflon lined stainless stell autoclave ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส และใช้ความเข้มข้นของ กรดอะซิติกต่อกลีเซอรอลเท่ากับ 9 : 1 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่ามีการใช้กลีเซอรอลไปมากกว่า 90% เกิดเป็นไดและไตรอะอะซิไทลกลีเซอรอลมากกว่า 85%[49] ในปีค.ศ. 2008 คณะวิจัยของ Gonc ได้ ทำการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ทั้งซีโอไลต์และแอมเบอิลิสในช่วงอุณหภูมิห้อง พบว่าเมื่อผ่าน ไป 30 นาที ผลการทดลองโดยใช้ซีโอไลต์ให้ผลที่ค่อนข้างแย่ต่างจากแอมเบอิลิสที่ให้ผลดีขึ้นอย่าง ต่อเนื่อง[50] ปฏิกิริยาจะเป็นดังรูป 2.14



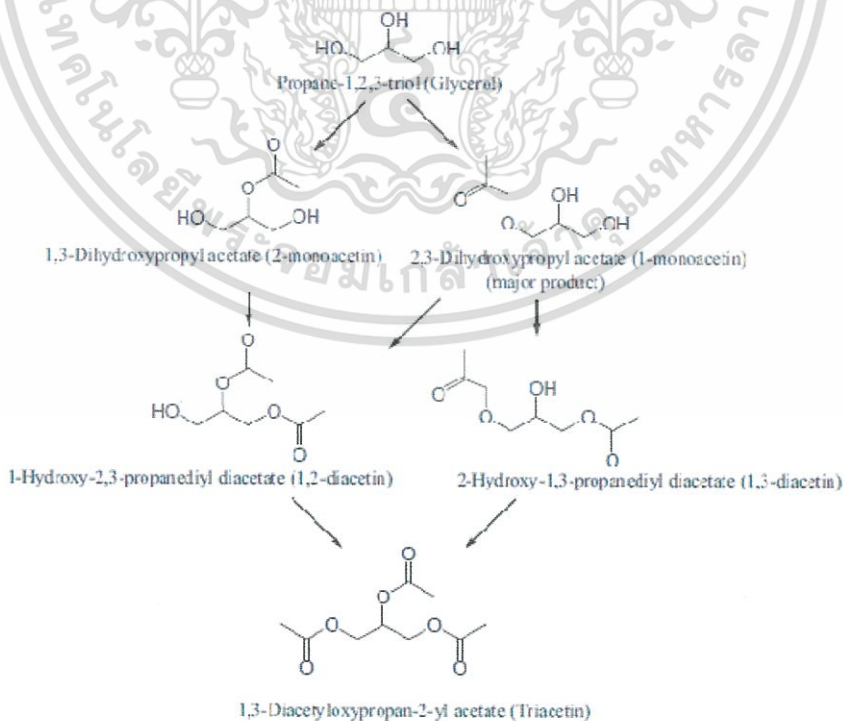
รูปที่ 2.14 การผลิต TAG ผ่านปฏิกิริยาอะซิไทลเลชัน[49]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกัน

ปฏิกิริยา	ตัวเร่งปฏิกิริยา	Glycerol conversion	Selectivity	ประโยชน์	อ้างอิง
Acetylation /Esterification ของ glycerol + acetic acid	Ar-SBA-15 F-SBA-15	90%	DAG+TAG= 85%	1.เพิ่มความ ต้านทานความเย็น 2.ลดความหนืดใน น้ำมัน 3.เพิ่มความสามารถ antiknocking น้ำมันเบนซิน	49
	Amberlyst-15	97%	DAG=54% TAG=13%		50
	Polyseccharide + Starbon-400- SO <sub>3</sub> H	100%	DAG+TAG= 75%		51
	PMo+NaUSY zeolite	68%	DAG=59% TAG=2%		52

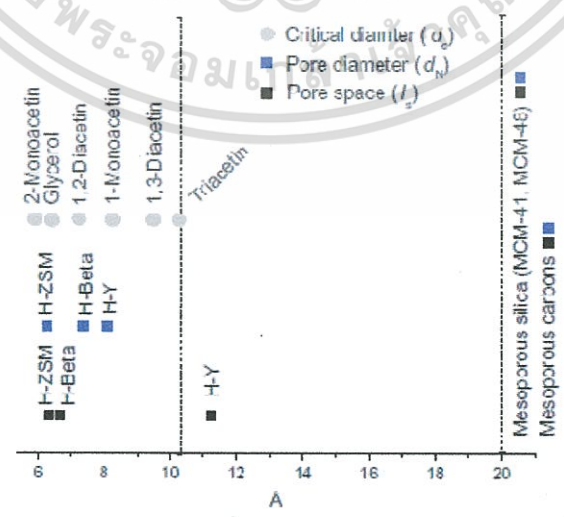
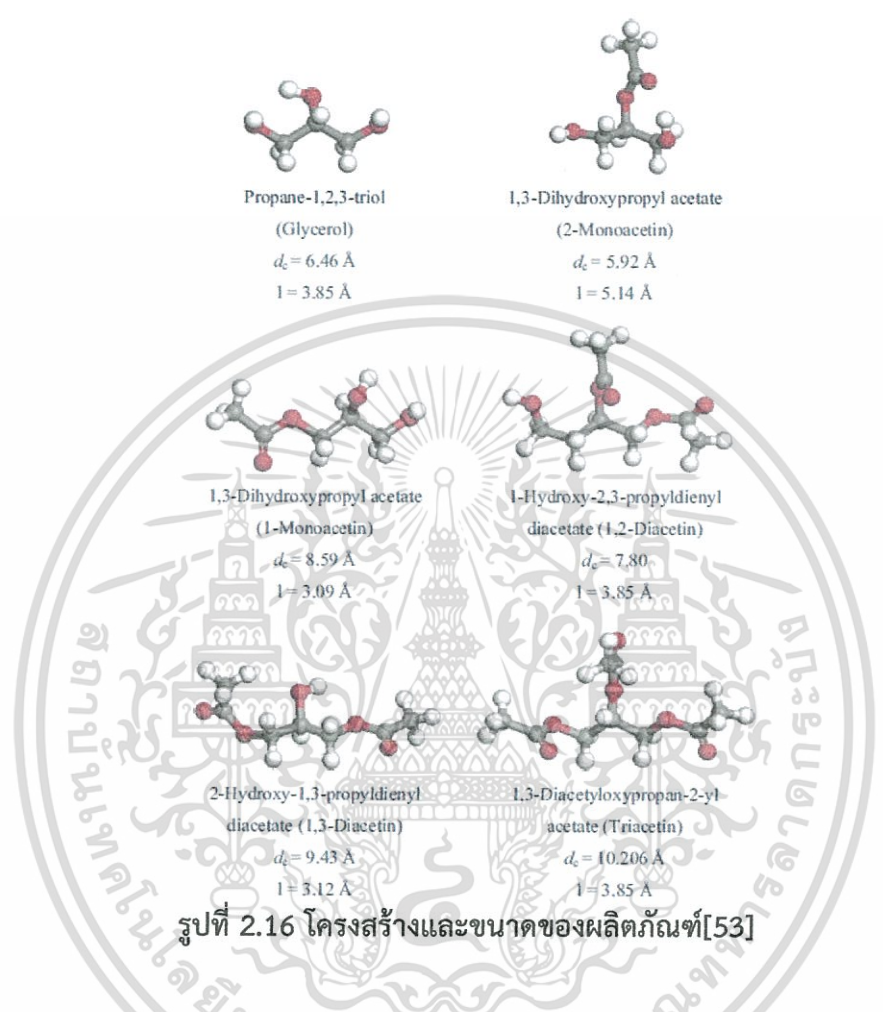
จากตารางที่ 2.5 ในอดีตมีนักวิจัยทำการทดลองเกี่ยวกับปฏิกิริยาอะซิไทเลชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกัน จะเห็นว่าค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลนั้นสูงถึง 90% แต่กลับได้ TAG ที่น้อย เนื่องจากใช้เวลาในการทดลองไม่เพียงพอทำให้ผลิตภัณฑ์ยังไม่เกิดเป็น TAG



รูปที่ 2.15 การสังเคราะห์ไตรอะซิทีน[53]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.15 จะพบว่าก่อนเกิดเป็นไตรอะซิทีนต้องผ่านผลิตภัณฑ์โมโนและไดอะซิทีนที่มีหลายโครงสร้าง ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ดังรูป 2.16 ทำให้ไม่สามารถเข้าไปเกิดในรูพรุนบนซีโอไลต์ได้ดังรูปที่ 2.17 ทำให้เกิดเป็นไตรอะซิทีนเกิดได้ยาก



รูปที่ 2.17 ขนาดของสารเมื่อเทียบกับขนาดรูพรุนในซีโอไลต์[53]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 เครื่องไมโครเวฟ (Microwave)[54]

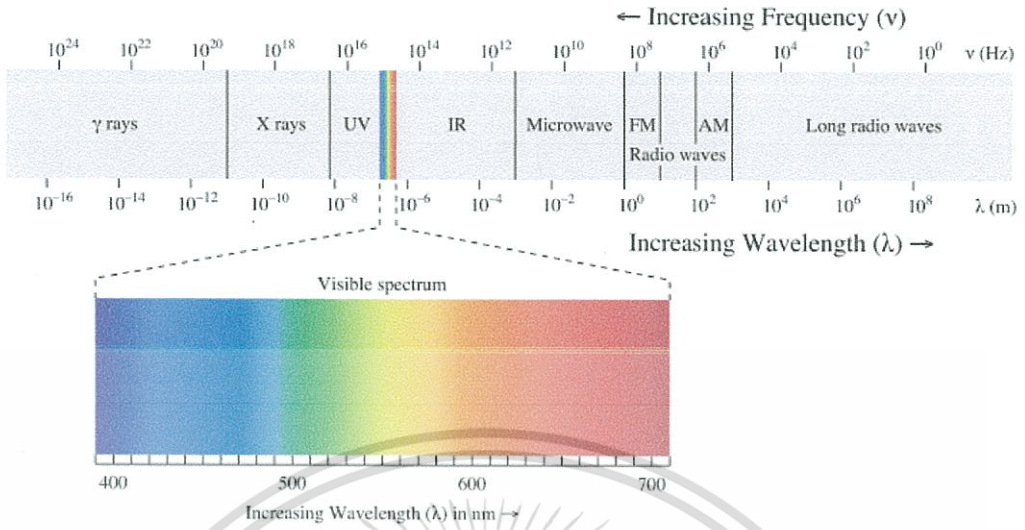
ไมโครเวฟ (Microwave)[54] เป็นคลื่นความถี่วิทยุชนิดหนึ่งที่มีความถี่อยู่ระหว่าง 0.3-300 GHz ส่วนในการใช้งานนั้นส่วนมากนิยมใช้ความถี่ระหว่าง 1-60 GHz เพราะเป็นย่านความถี่ที่สามารถผลิตขึ้นได้ด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.6 และลักษณะของคลื่นวิทยุไมโครเวฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 และ 2.19 เป็นเช่นเดียวกับลักษณะทั่วไปของคลื่น โดยคลื่นวิทยุไมโครเวฟจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

- เดินทางเป็นเส้นตรง
- สามารถหักเหได้ (Refract)
- สามารถสะท้อนได้ (Reflect)
- สามารถแตกกระจายได้ (Diffract)
- สามารถถูกลดทอนเนื่องจากฝน (Attenuate)
- สามารถถูกลดทอนเนื่องจากชั้นบรรยากาศ

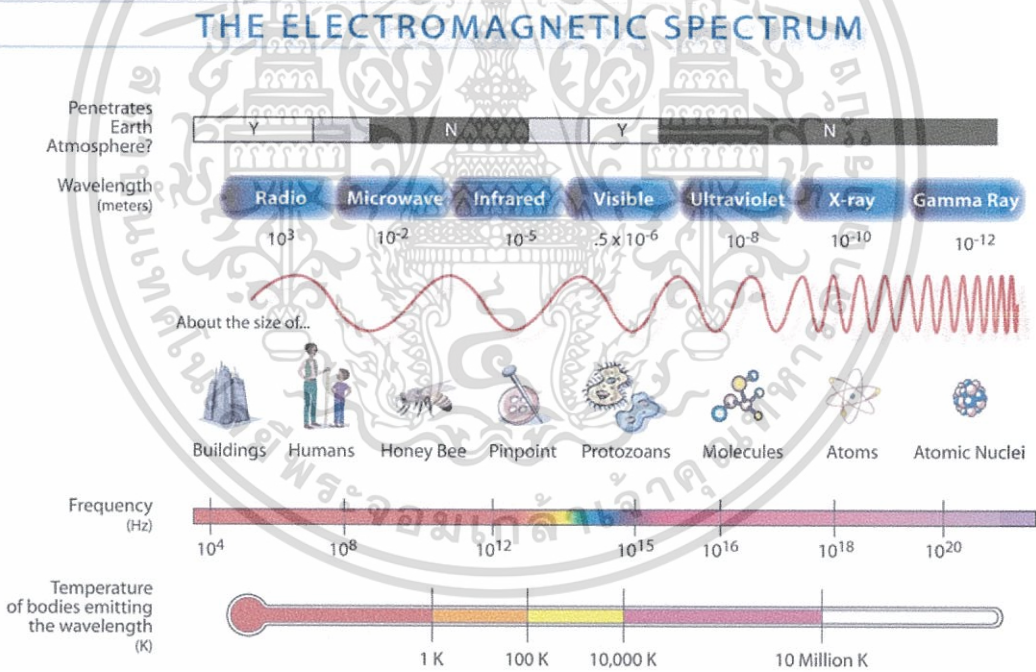
ตารางที่ 2.6 คลื่นความถี่ของไมโครเวฟ

Name	Wavelength	Frequency (Hz)	Photon energy (eV)	Range width (Bel)
Gamma ray	< 0.02 nm	> 15 EHz	> 62.1 keV	infinite
X-ray	0.01 nm – 10 nm	30 EHz – 30 PHz	124 keV – 124 eV	3
Ultraviolet	10 nm – 400 nm	30 PHz – 750 THz	124 eV – 3 eV	1.6
Visible light	390 nm – 750 nm	770 THz – 400 THz	3.2 eV – 1.7 eV	0.3
Infrared	750 nm – 1 mm	400 THz – 300 GHz	1.7 eV – 1.24 meV	3.1
Microwave	1 mm – 1 m	300 GHz – 300 MHz	1.24 meV – 1.24 $\mu$ eV	3
Radio	1 mm – 100,000 km	300 GHz – 3 Hz	1.24 meV – 12.4 feV	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

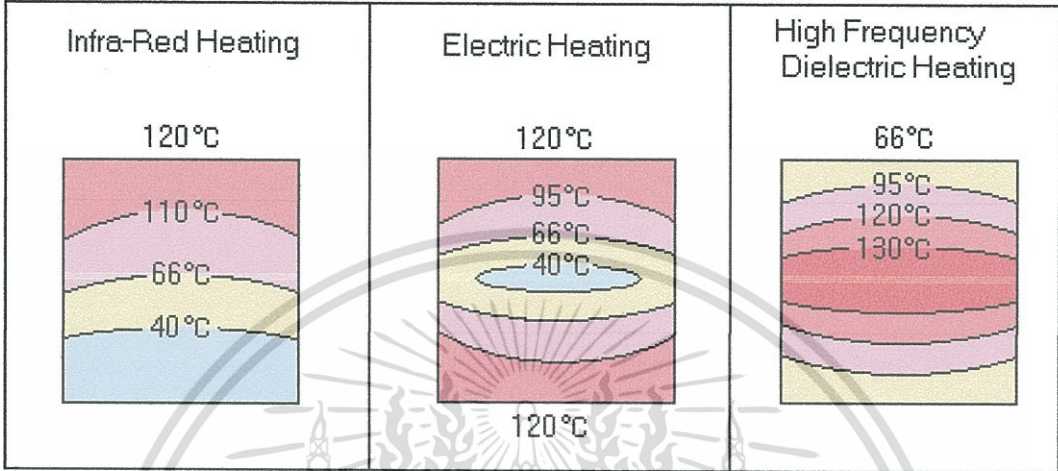


รูปที่ 2.19 คลื่นความถี่ของไมโครเวฟ

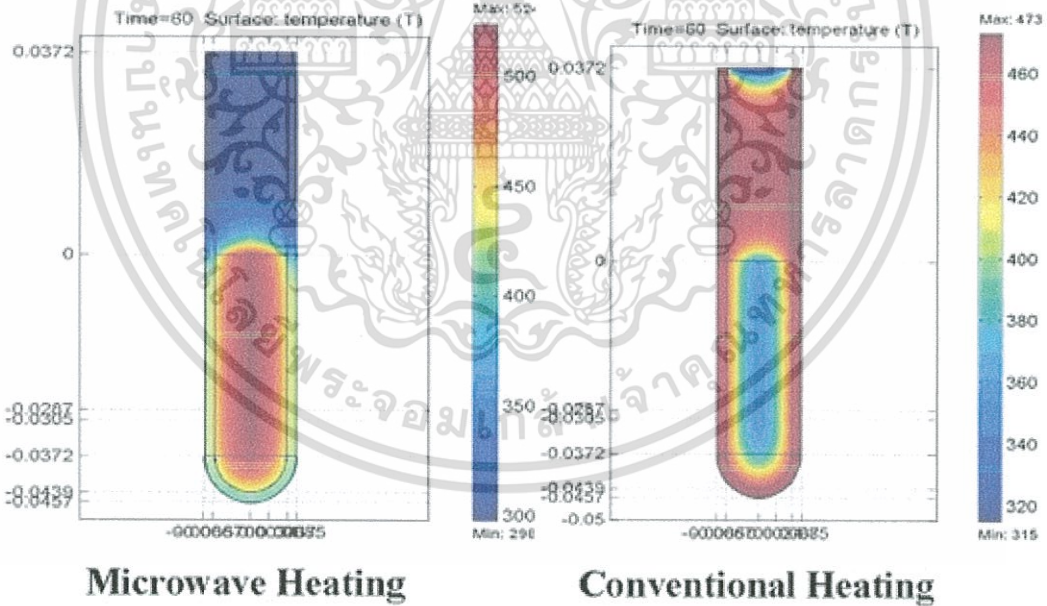
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ลักษณะเฉพาะของคลื่นไมโครเวฟ**

การแผ่ของคลื่นไมโครเวฟในแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ระหว่างคลื่นอินฟราเรดและคลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟมีความยาวคลื่นระหว่าง 1 มิลลิเมตร และ 10 เซนติเมตร หรือ เท่ากับความถี่ 300 GHz ถึง 300 MHz ความถี่นี้ถูกระบุในแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังตารางที่ 2.7 แถบแม่เหล็กไฟฟ้า รวมถึงความถี่ของไมโครเวฟระหว่างความถี่อินฟราเรดและความถี่เรดิโอ



รูปที่ 2.20 เปรียบเทียบความสามารถในการให้ความร้อนระหว่างเครื่องมือชนิดต่างๆ



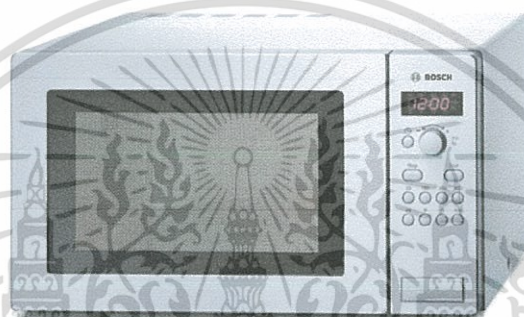
รูปที่ 2.21 เปรียบเทียบความสามารถในการให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 แสดงความถี่ของแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

γ-rays		X-rays	UV	Vis	IR microwaves			Radio waves		
22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	→log Hz

ซึ่งอุปกรณ์ตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่(Radar) และการคมนาคม ใช้คลื่นไมโครเวฟแค่ 4 คลื่น ความถี่ที่สามารถใช้ประโยชน์จากคลื่นความร้อนของคลื่นไมโครเวฟ หนึ่งในนั้นคือ 2.45 GHz ที่ใช้ใน เครื่องไมโครเวฟในครัวเรือน



รูปที่ 2.22 เครื่องไมโครเวฟ[37]

รูปที่ 2.22 เครื่องไมโครเวฟมีส่วนประกอบของไฟฟ้าและแม่เหล็กซึ่งส่วนประกอบนี้จะตั้งฉากกันและกัน ในวัสดุทั้งสองนี้สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อคลื่นไมโครเวฟเนื่องจากส่วนประกอบของไฟฟ้าที่อยู่ข้างใน โพลาริซัทั้งหมด (ขั้วแม่เหล็ก,  $\alpha_t$ ) ประกอบด้วยการเคลื่อนที่ออกของอิเล็กตรอน นิวเคลียสแรงขั้วคู่และโมเมนต์สี่ขั้ว(quadrupoles) ดังสมการ

$$\alpha_t = \alpha_e + \alpha_a + \alpha_d + \alpha_i$$

โดยที่  $\alpha_e$  = ขั้วอิเล็กโทรนิก และการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

$\alpha_a$  = อะตอมของขั้วแม่เหล็ก, ขั้วแม่เหล็กของนิวเคลียส

$\alpha_d$  = การคงตัวของขั้วบวกลบ และโมเมนต์สี่ขั้ว(quadrupoles)

$\alpha_i$  = การแลกเปลี่ยนขั้วแม่เหล็กบนพื้นที่ที่เป็นจุดสัมผัสกัน

วัสดุที่เกิดปฏิกิริยาต่อต้านคลื่นไมโครเวฟ ได้ถูกกำหนดโดยสารที่ไม่ใช่ตัวนำไฟฟ้า ผลรวมของสารที่ไม่ใช่ตัวนำไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นตลอดเวลา( $\epsilon$ ) สามารถเขียนดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\epsilon = \epsilon' - \epsilon''$$

ซึ่ง  $\epsilon'$  = ส่วนประกอบที่แท้จริง  
 $\epsilon''$  = ส่วนประกอบที่สมมุติขึ้น

พื้นที่ส่วนที่แท้จริง หรือส่วนที่สัมพันธ์กันมีตัวแทนของลำดับในพื้นที่ที่มีไฟฟ้า จะสร้างชั้นข้างในวัสดุ ตอนที่พื้นที่ที่มีไฟฟ้าถูกเปิดออกมา พื้นที่ที่สมมุติขึ้นหรือพื้นที่ที่ไม่มีการนำไฟฟ้า จะวัดว่าจะมีพื้นที่แคไหนที่จะรวมตัวกันไปสู่ความร้อน The loss angle  $\delta$  (ค่ามุมที่หายไป) คือ phase ที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่ที่มีกระแสไฟฟ้า และความเข้มของแม่เหล็กในวัสดุ สูตร The loss angle  $\delta$  ดังสมการ

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon'$$

โดยที่  $\tan \delta$  = ค่าการวัดของวัสดุที่จะสามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ปัจจัยที่ลดลงสูงสุด ซึ่งดีมากในการเปลี่ยนแปลงพลังงานของคลื่นไมโครเวฟไปเป็นความร้อน กับ Z-value ที่สูง มีความสามารถสูงในการเปลี่ยนคลื่นไมโครเวฟไปเป็นความร้อน วัสดุที่ไม่นำความร้อน เช่น แก้ว เทพลอน เป็นต้น

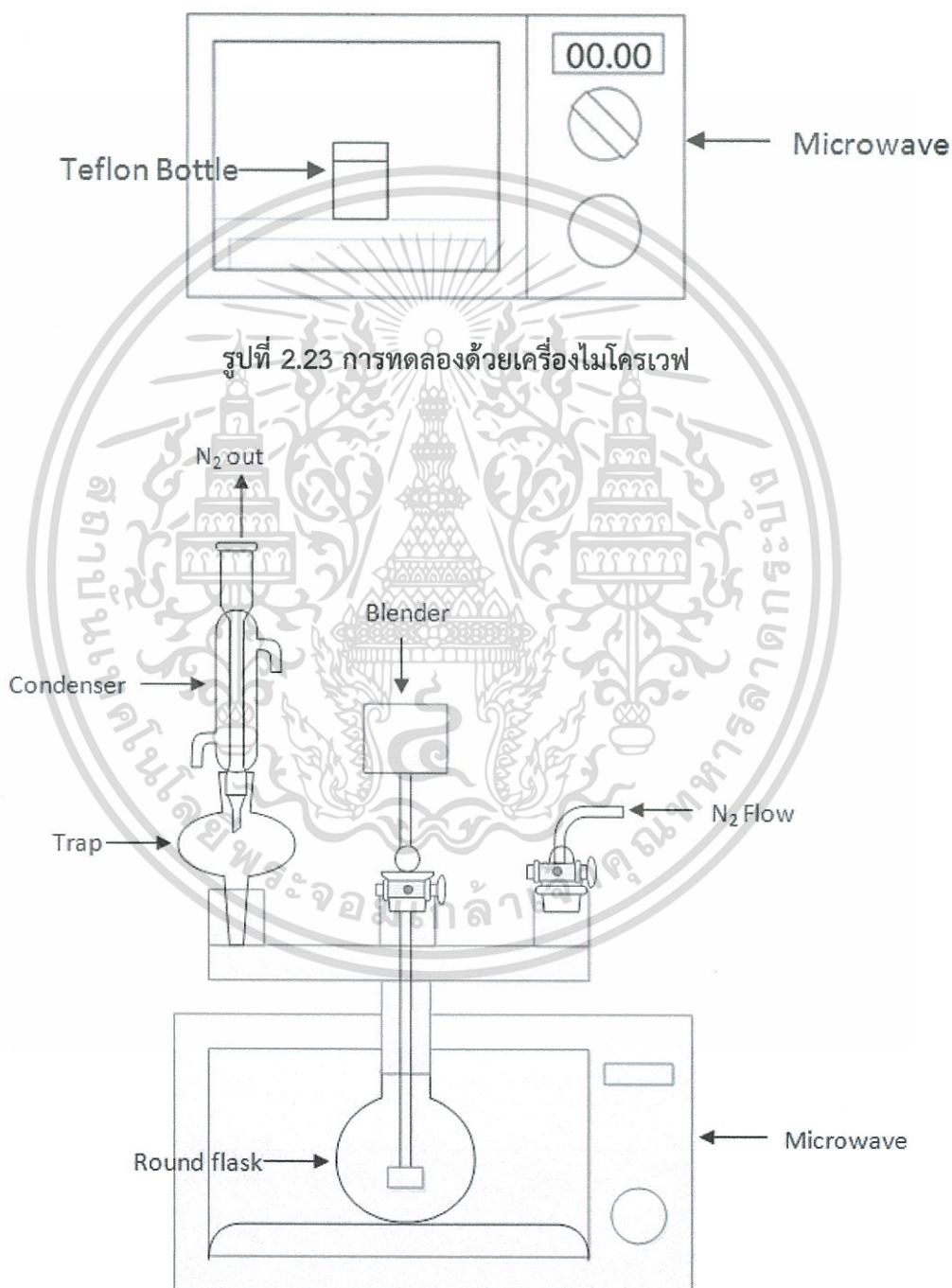
วัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า เช่นเดียวกับอิมพีแดนซ์ของความลึก ซึ่งถูกกำหนดไว้ว่าความลึกที่ถัดเข้าไปในโพรงวัสดุ มีค่าลดลง 1/3 ของค่าเริ่มต้น สูตร การหาค่าของความลึกดังสมการ

$$D_p \propto \lambda \sqrt{\epsilon' / \epsilon''}$$

ดังนั้นวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้าเป็นปัจจัยหลักที่ลดลงจะมีค่าความลึกลดลง (Penetration depth) ความยาวคลื่นและความถี่ มีอิทธิพลสูงต่อค่าความลึก (penetration depth) จากที่กล่าวมาเข้าใจได้ว่าขนาดของตัวอย่าง penetration depth และอัตราความร้อน มีความสัมพันธ์กันและมีคุณสมบัติความร้อนของวัสดุเหมือนกัน

## 2.11 เครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ (Microwave reactor)

การสร้างเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟมีหลักการมาจากการทำการทดลองโดยใช้เครื่องไมโครเวฟมาตรฐานดังรูปที่ 2.23 ที่สามารถทำการทดลองได้เฉพาะระบบปิดจึงนำเอาเครื่องไมโครเวฟมาปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อให้เหมาะสมต่อการทำการทดลองมากขึ้นโดยการนำเอาอุปกรณ์ต่างๆมาต่อพ่วงเพิ่มขึ้นทั้งการบั่นทอน การกลั่น การแยกน้ำและการพ่นแก๊สไนโตรเจน ดังรูปที่ 2.25



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 เทคนิคการตรวจวัดโดยใช้ฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy หรือ FTIR)

อินฟราเรดให้ข้อมูลที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการหาหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ย่านอินฟราเรดในสเปกตรัมของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้ประโยชน์มากที่สุดต่อนักเคมีอินทรีย์คือ ย่านความถี่ระหว่าง 4,000–650  $\text{cm}^{-1}$  ( $\text{cm}^{-1}$  เป็นหน่วยของจำนวนคลื่นต่อวินาที หรือเรียกว่า เลขคลื่น) และความยาวคลื่นระหว่าง 2.5–15 ไมโครเมตร (1 ไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ ) =  $10^{-6}$  เมตร) สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวคลื่นและเลขคลื่น คือ

$$\text{ความยาวคลื่น}(\mu\text{m}) = \frac{10,000}{\text{เลขคลื่น}(\text{cm}^{-1})}$$

อินฟราเรดสเปกตรัม เป็นการพล็อตระหว่างความถี่ (เลขคลื่น,  $\text{cm}^{-1}$ ) หรือความยาวคลื่น, ( $\mu\text{m}$ ) และ Transmittance (T) ดังรูปที่ 2.25 Transmittance เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มของรังสีที่ผ่านสารตัวอย่าง (Transmitted radiation, I) และ ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบสารตัวอย่าง สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีที่ผ่านสารตัวอย่างและความเข้มของรังสีที่ตกกระทบสารตัวอย่าง คือ

$$\text{Transmittance} = \frac{I}{I_0}$$

I = ความเข้มของรังสีที่ผ่านตัวกลาง

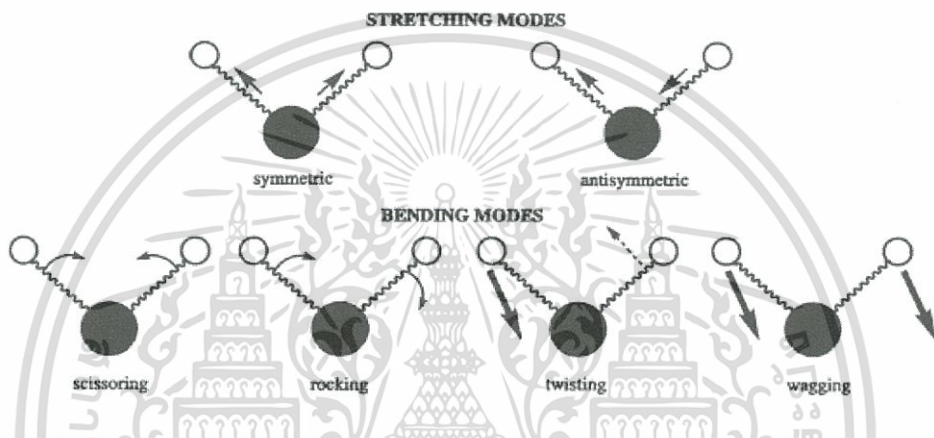
$I_0$  = ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบตัวกลาง

$$\% \text{ Transmittance} = 100 T$$

การอ่านค่าอินฟราเรดสเปกตรัมจะถูกแสดงผลออกมาดังรูป 2.25 และการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดตรงกับพลังงานในช่วง 2-10 กิโลแคลอรีต่อโมล พลังงานของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านนี้ก่อให้เกิดการสั่นแบบยืด(Stretching) และแบบงอ(Bending) ของพันธะในโมเลกุลของสาร การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเป็นขบวนการควอนไทซ์ (Quantized) กล่าวคือเวลาที่สารจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดนั้นความถี่ของรังสีที่ถูกดูดกลืนจะต้องตรงกับความถี่ของการสั่นของพันธะเท่านั้น นอกจากนี้ การสั่นของพันธะทุกประเภทในโมเลกุลมิได้ให้พีคใน IR สเปกตรัมเสมอไปการสั่นของพันธะที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไดโพลโมเมนต์ (Dipole moment) เท่านั้นที่จะมีพีคปรากฏใน IR สเปกตรัม ตัวอย่างเช่น การสั่นของพันธะ C=C ใน RCH=CHR ไม่มีพีคใน IR สเปกตรัม ส่วนการสั่น

ของ C=O ในสารประกอบคาร์บอนิลเกิดพีคที่มีความเข้มสูงใน IR สเปกตรัม โดยทั่วไปแถบที่เกิดในค่าต่ำกว่า 1500  $\text{cm}^{-1}$  เรียกว่าการสั่นแบบยืดของพันธะ C-H และ C-C ซึ่งการสั่นเหล่านี้มักจะให้พีคที่กว้างและต่ำใน IR สเปกตรัม อย่างไรก็ตามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

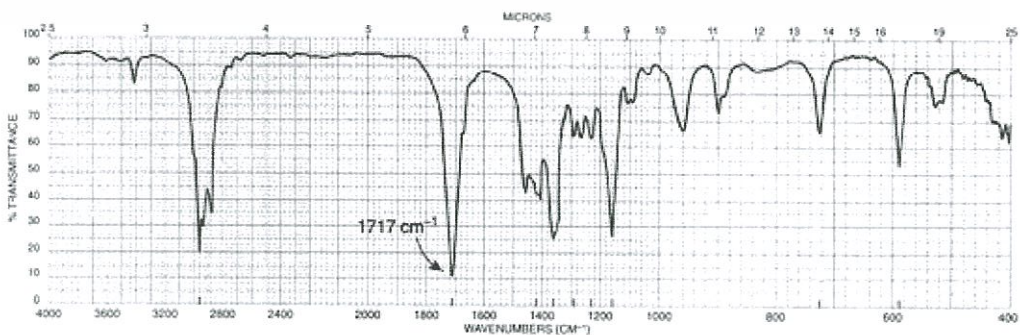
IR สเปกตรัมเกิดจากการสั่นแบบพื้นฐานได้แก่การยืดและการงอยังมีแถบที่มีความเข้มต่ำเกิดที่ความถี่ 2 เท่า 3 เท่า หรือ 4 เท่าของความถี่แบบพื้นฐาน แถบเหล่านี้ เรียกว่า overtone ซึ่งเกิดเมื่อความถี่พื้นฐานมีความเข้มสูง บางครั้งอาจมีแถบเกิดที่ความถี่ที่เป็นผลบวกหรือผลต่างของความถี่แบบพื้นฐาน แถบเหล่านี้เรียกว่า combination bands ถ้า overtone หรือ combination bands เกิดใกล้กับแถบพื้นฐานผลก็คือ ทำให้ความเข้มของแถบพื้นฐานลดลง แต่ไปเพิ่มความเข้มของ overtone และ Combination bands ปรากฏการณ์นี้คือเกิด Fermi resonance และพีคที่พบบางครั้งเรียกว่า Fermi doublet รูปที่ 2.27 แสดงการสั่นแบบพื้นฐานของหมู่  $\text{CH}_2$



รูปที่ 2.25 แสดงการสั่นแบบพื้นฐานของหมู่เมทิลีน[55]

### การวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัม

อินฟราเรดสเปกตรัมมีประโยชน์ในการหาหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุล แต่เนื่องจากมีพีคจำนวนมากในอินฟราเรดสเปกตรัม เราคงไม่สามารถคาดหวังว่าจะรู้ทุกพีคในอินฟราเรดสเปกตรัม ขั้นตอนต่อไปนี้อาจเป็นแนวทางเริ่มต้นในการแปรข้อมูลจากอินฟราเรดสเปกตรัมได้ ดังตารางที่ 2.8 และจะแสดงให้เห็นเป็นกราฟดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 อินฟราเรด สเปกตรัมของ 2-Pentanone[55]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 แสดงช่วงความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ

หมู่ฟังก์ชัน	เลขคลื่น( $\text{cm}^{-1}$ )	ลักษณะ
O-H stretching	3600-3400	3650-3590 $\text{cm}^{-1}$ แอลกอฮอล์อิสระ 3400-2400 $\text{cm}^{-1}$ กรดคาร์บอกซิลิก
N-H stretching	3500-3200	3200-3400 $\text{cm}^{-1}$ 1° เอมีน และเอมีต มี 2 แถบ
=C-H stretching	3300	3300 $\text{cm}^{-1}$ อัลไคน์ที่มีC=Hที่ปลายโซ่
=C-H stretching	3100-3000	อัลคีนและเบนซีน
C-H stretching	3000-2800	หมู่ $\text{CH}_3$ , $\text{CH}_2$ ของอัลเคน
C=N stretching	2250-2225	ไนทริล
C=C stretching	2260-2100	อัลไคน์
C=O stretching	1820-1760 (s)	แอนไฮไดรด์ (s) มี 2 แถบ
C=O stretching	1800	กรดคลอไรด์
C=O stretching	1770	แกมมา-แลกโตน
C=O stretching	1735	เอสเทอร์
C=O stretching	1725	แอลดีไฮด์
C=O stretching	1715	คีโตน
C=O stretching	1710	กรดคาร์บอกซิลิก
C=O stretching	1690-1650	เอไมด์
C=C stretching	1650-1600	อัลคีน
N-H bending	1650-1590	1° เอมีน
N-H bending	1650-1550	2° เอมีน
N-H bending	1620-1590	1° เอมีด
N-H bending	1550-1510	2° เอมีด
C=C stretching	1600,1580,1500 และ 1350	เบนซีนและเบนซีนที่มีหมู่แทนที่ ความเข้มข้นไม่แน่นอน
C-H bending	1465-1450	หมู่ $\text{CH}_2$
C-H bending	1450-1375	หมู่ $\text{CH}_3$
C-F bending	1400-1000	สารประกอบฟลูออไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

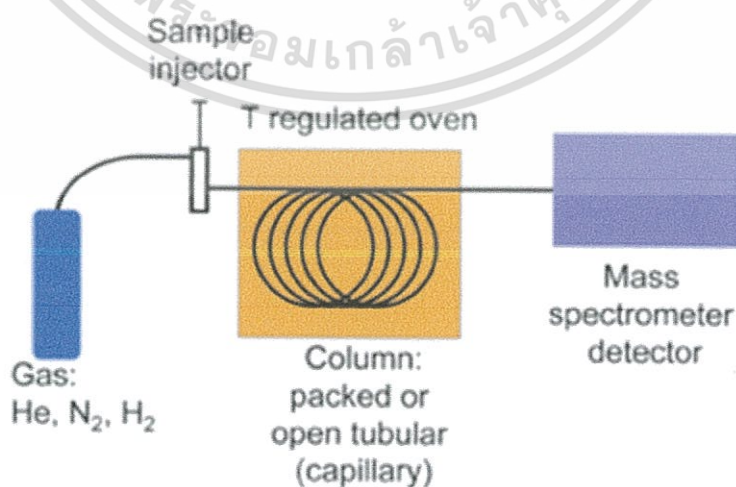
## 2.13 เทคนิคการตรวจวัดโดยใช้แก๊สโครมาโตกราฟีสเปกโทรสโกปีของมวลสาร (Gas Chromatography Mass Spectrometry หรือ GC-MS)[56]

GC-MS เป็นเทคนิคหนึ่งที่เราเริ่มนิยมนำมาใช้เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำนายชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารได้อย่างค่อนข้างแม่นยำโดยอาศัยการเปรียบเทียบ fingerprint ของเลขมวล (mass number) ของสารตัวอย่างนั้น ๆ กับข้อมูลที่มีอยู่ นอกจากนี้เทคนิคนี้ยังมีความสามารถในการวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณ (quantitative analysis) และ เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) ได้อย่างถูกต้อง

เครื่องมือนี้ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่อง GC (Gas chromatography) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการแยกองค์ประกอบของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างให้ออกมาทีละองค์ประกอบก่อนที่จะเข้าสู่ detector และอีกส่วนคือเครื่อง MS (Mass spectrometry) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็น detector ในการตรวจสอบดูว่า องค์ประกอบต่าง ๆ ที่ผ่านออกมาจากเครื่อง GC นั้น มีเลขมวล (mass number) เป็นเท่าไร เพื่อที่จะได้สามารถทำนายได้ว่า สารที่เราสนใจอยู่นั้นประกอบด้วยองค์ประกอบชนิดใดบ้าง และมีปริมาณเท่าไร

GC เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการแยก องค์ประกอบต่าง ๆ ของสารที่เราสนใจซึ่งเทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้กับสารที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถระเหยกลายเป็น gas ได้เมื่อถูกความร้อนและกลไกที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่าง ๆ ในสารตัวอย่างจะอาศัยหลักของความชอบที่แตกต่างกันขององค์ประกอบในตัวอย่างที่มีต่อ phase 2 phase คือ stationary phase และ mobile phase องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง GC สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ ดังรูป 2.27

1. Injector
2. Oven
3. Detector



รูปที่ 2.27 แผนภาพของเครื่อง GC-MS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

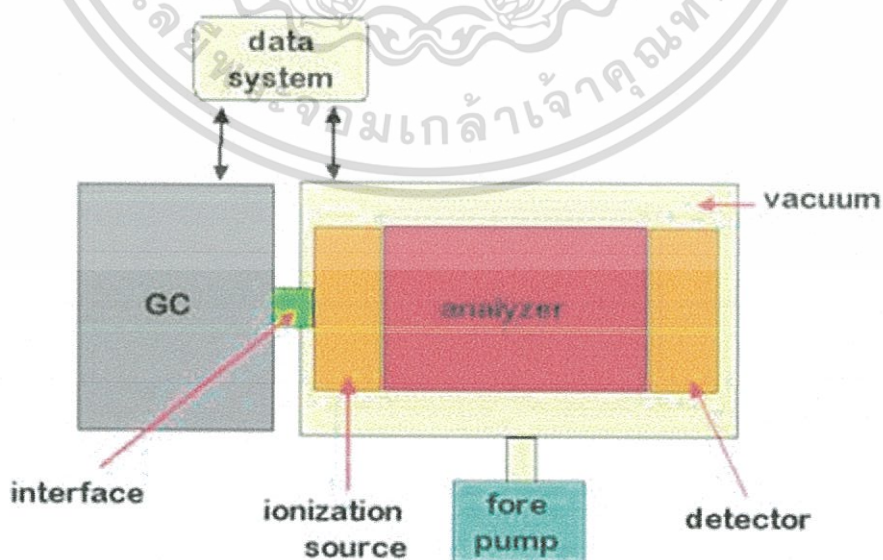
Injector คือ ส่วนที่สารตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าสู่เครื่อง และระเหยเป็น gas พร้อมกับถูกทำให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนที่จะเข้าสู่ column อุณหภูมิที่เหมาะสมของ injector ควรเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้สารตัวอย่างสามารถระเหยได้แต่ต้องไม่ถูกทำให้สลายตัว (decompose)

Oven คือ ส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุ column เอาไว้ และเป็นส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิของ column ให้เปลี่ยนไปตามความเหมาะสมกับสารที่ถูกฉีด ซึ่งอุณหภูมิของ oven นั้นจะสามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 แบบ คือ isocratic temperature และ gradient temperature ซึ่งข้อดีของการทำ gradient temperature คือสามารถใช้กับสารตัวอย่างที่มีจุดเดือดกว้าง (wide boiling range) และยังช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์ลงได้อีกด้วย (analysis time)

Detector คือ ส่วนที่จะใช้สำหรับตรวจวัด องค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ดูว่าสารที่สนใจนั้นมีปริมาณอยู่เท่าไร ซึ่งความสามารถของการตรวจวัดนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของ detector ที่เลือกใช้ ชนิดของ detector ที่ใช้กับเครื่อง GC นั้นมีอยู่หลายอย่าง เช่น

- Thermal Conductivity Detector
- Flame Ionization Detector
- Electron Capture Detector
- Mass Spectrometry

MS เป็น detector ที่ใช้ตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างโดยอาศัยกลไกคือ โมเลกุลขององค์ประกอบที่ถูกแยกออกมาจากสารตัวอย่างโดยเครื่อง GC นั้นจะถูก ionize ในสถานะที่เป็นสุญญากาศ แล้วตรวจวัดออกมาเป็นเลขมวล (mass number) เทียบกับข้อมูลอ้างอิง แล้วแปลผลออกมาเป็นชื่อขององค์ประกอบ ดังรูป 2.28



รูปที่ 2.28 เครื่อง MS ที่ต่อกับ GC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทำงานของเครื่อง GC-MS

เมื่อเตรียมตัวอย่างเสร็จนำมาฉีดเข้าทาง injector ของเครื่อง GC จากนั้นสารก็จะถูกแยกออกเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ เมื่อผ่านเข้าสู่ column ที่อยู่ใน oven แต่มีข้อกำหนดอยู่ว่า ตัวอย่างที่จะนำมาฉีดนั้นจะต้องเป็นสารละลายใสไม่มีตะกอน จากนั้นองค์ประกอบใดที่ถูกแยกออกมาจาก column ก่อนก็จะผ่านเข้าไปในส่วนเครื่อง MS ซึ่งมีสถานะเป็นสุญญากาศก่อน แล้วเข้าไปเจอกับ ion source ซึ่งจะทำหน้าที่ ionize โมเลกุลที่ผ่านเข้ามาให้กลายเป็นประจุ จากนั้นประจุเหล่านั้นก็จะเดินทางผ่านเครื่องคัดเลือกและแยกแยะขนาดของประจุ (mass analyzer) ดูว่าประจุเหล่านั้นประกอบไปด้วยขนาดมวลเท่าใดบ้าง ก่อนที่จะเดินทางเข้าสู่เครื่องตรวจวัดปริมาณประจุ (detector) เพื่อตรวจหาปริมาณของประจุแล้วแปลผลออกมาเป็นปริมาณขององค์ประกอบแต่ละตัวที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง

## ข้อดีของเครื่อง GC-MS

1. สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งแบบทั่วไปและแบบเฉพาะเจาะจง
2. ให้ sensitivity ที่สูง
3. สามารถบ่งชี้ถึงชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้
4. สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและเชิง คุณภาพ

## 2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

Ritwan Masae[57] และคณะศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของกลีเซอรอลซึ่งเกิดผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อที่จะผลิตไตรอะซิetylกลีเซอรอล (triacetyl glycerol) จากกลีเซอรอลและกรดอะซิติกเป็นสารตั้งต้น โดยทำการทดลองชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา, ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา, อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา, ปริมาณของสารตั้งต้น ซึ่งทางคณะศึกษาพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแอมโมเนียมโบรไมด์-15 ให้ผลที่ดีกว่าเรซินกรองน้ำเพียงเล็กน้อย จึงสรุปว่าเรซินกรองน้ำนั้นมีความสามารถที่จะใช้เพื่อทดแทนแอมโมเนียมโบรไมด์ได้ในราคาที่ถูกลงกว่าโดยทำให้เรซินกรองน้ำให้อยู่ในสภาวะกรด อีกทั้งในการวิจัยสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อที่จะผลิตไตรอะซิetylกลีเซอรอลโดยที่ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำอยู่ที่อุณหภูมิ 95 °C ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดอะซิติกต่อกลีเซอรอลอยู่ที่ 9:1 และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5% โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอล 99.7% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG ถึง 16.05% เมื่อเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมโบรไมด์-15 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองอยู่ที่อุณหภูมิ 105 °C ใช้อัตราส่วนระหว่างกรดอะซิติกกับกลีเซอรอลอยู่ที่ 9:1 และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5% โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่ามีค่าการเลือกเกิดของ TAG ถึง 22.05%

S. Kale[31] และคณะทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกลีเซอรอลกับกรดอะซิติก โดยใช้แอมเบอลิสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทดลองใช้อัตราส่วนกลีเซอรอลต่อกรดอะซิติก 1:4, 1:6, 1:8 พบว่ายิ่งใช้อัตราส่วนของกรดอะซิติกที่มากขึ้นยิ่งทำให้ได้ค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลและค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณที่มากขึ้น และเมื่อทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 3%, 5%, 7% พบว่ายิ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้นก็ยิ่งทำให้ค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลและค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณที่มากขึ้น อีกทั้งคณะยังทำการทดลองอัตราส่วนกรดอะซิติกต่อกลีเซอรอลที่ 6:1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5% ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ทราบว่าเมื่อทำปฏิกิริยาถึง 4 ชั่วโมงจะทำให้เกิดค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลได้ถึง 100% แต่มีค่าการเลือกเกิดของ TAG เพียง 45.8% และเมื่อทำปฏิกิริยาต่อไปจึงพบว่าค่าการเลือกเกิดของ TAG จะสูงขึ้นเรื่อยๆไปจนเกือบ 100% ในการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันทำให้เลือกใช้สารดูดซับน้ำเป็นโพลูอินอีกด้วย จึงสรุปการวิจัยนี้ได้ว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจำเป็นต้องใช้สารดูดซับน้ำเพื่อควบคุมปฏิกิริยา, อัตราส่วนของกรด อะซิติกมีผลต่อปฏิกิริยา, ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อปฏิกิริยา, เวลาที่ใช้ในการทำการทดลองมีผลต่อค่าการเลือกเกิดของ TAG

Lakhya Jyoti Konwar[53] และคณะทำการศึกษาการสังเคราะห์ไตรอะซิทีนโดยใช้ อะซิติกแอนไฮไดรด์ผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 100 °C ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5% พบว่าการใช้อะซิติกแอนไฮไดรด์ช่วยทำให้เกิดค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลและค่าการเลือกเกิดของ TAG เกือบ 100% ภายใน 60 นาที และจากการทดลองใช้ซีโอไลต์หลายตัวพบว่าขนาดของรูพรุนที่จะทำให้เกิดไตรอะซิทีนอยู่ที่ประมาณ 10.5 อังสตรอม มีเพียงแคซีโอไลท์วาย (H-Y) เท่านั้นที่มีรูพรุนขนาด 11 อังสตรอมจึงทำให้เกิดเป็นไตรอะซิทีนที่ดีที่สุด

Xiaoyuan Liao[58] และคณะศึกษาการทดลองเพื่อทำการสังเคราะห์ไตรอะซิทีลกลีเซอรอลเพื่อให้ได้ค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลและค่าการเลือกเกิดของ TAG สูง ในงานวิจัยนี้ได้ นำเอาเรซินและซีโอไลต์หลากหลายชนิดมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งได้ผลว่าแอมเบอลิส-35 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุดและสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยานี้คือใช้อัตราส่วนกรดอะซิติกต่อกลีเซอรอลอยู่ที่ 9:1 และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 5% โดยน้ำหนักโดยที่การทดลองจะทำเป็นเวลา 4 ชั่วโมงซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นจึงนำเอาไปเติมอะซิติกแอนไฮไดรด์(acetic anhydride) เพื่อเร่งปฏิกิริยาให้ได้ค่าการเลือกเกิดของ TAG ถึง 100% ในเวลา 15 นาที อีกทั้งยังทดลองนำเอาแอมเบอลิส-35 กลับมาใช้ใหม่อีกครั้งพบว่าสามารถนำกลับมาใช้ได้โดยไม่ทำให้ผลการทดลองด้อยลงอีกด้วย

B. Toukoniitty[59] และคณะศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดโพรพิโอนิก (propionic acid) กับเอทิลแอลกอฮอล์(ethyl alcohol) ผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ion-exchange resin catalyst) ด้วยการให้ความร้อนที่ต่างกันคือ การให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ และเครื่องให้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิที่ 105 °C ความดัน 7 บาร์และมีอัตราส่วนของกรดโพर्फิโอนิก ต่อเอทิลแอลกอฮอล์ตั้งแต่ 1:2 จนถึง 2:1 พบว่าการให้ความร้อนด้วยเครื่องไมโครเวฟมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

**Valter L.C. Gonçalves[50]** และคณะทำการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาอะซิทธิลเลชันของกลีเซอรอลกับกรดอะซิติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็งที่มีสภาวะเป็นกรด(solid acid) ที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อการสังเคราะห์สารและสามารถเปลี่ยนสภาพเป็นโมโน , ได , ไตรเอสเทอร์ ซึ่งพบว่าการเกิดปฏิกิริยาผ่านตัวเร่งที่เป็นเรซินแลกเปลี่ยนประจุเช่น แอมเบอลิส-15 สามารถทำให้เกิดค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลถึง 97% เมื่อเทียบกับตัวแลกเปลี่ยนไอออนชนิดอื่นๆที่เกิดการเปลี่ยนของกลีเซอรอลในปริมาณน้อยกว่า แต่การที่จะทำให้ค่าการเลือกเกิดของสารไตรเอสเทอร์นั้นขึ้นกับระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นซีโอไลท์จะทำให้ค่าการเลือกเกิดของไตรเอสเทอร์ในปริมาณน้อยลงเนื่องจากขนาดรูในซีโอไลท์ที่เล็กไม่สัมพันธ์กับขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ใหญ่ขึ้น

**Leonardo N. Silva[60]** และคณะทำการศึกษาปฏิกิริยาอะซิทธิลเลชันของกลีเซอรอลกับอะซิติกแอนไฮไดรด์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็งที่มีสภาวะเป็นกรดที่ 60 °C พบว่าซีโอไลท์เบต้า, K-10, มอนต์มอริลโลไนต์(Montmorillonite) ได้ค่าการเลือกเกิดของ TAG ถึง 100% ในเวลา 20 นาทีและกับแอมเบอลิส-15 ใช้เวลา 80 นาที แต่ในปฏิกิริยาของกลีเซอรอลกับกรดอะซิติกการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นซีโอไลท์เบตานั้นกลับให้ผลที่ต่ำกว่า

**M. Balaraju[61]** และคณะทำการศึกษาสรุปผลเกี่ยวกับปฏิกิริยาอะซิทธิลเลชันของกลีเซอรอลเกี่ยวกับค่าการเลือกเกิดของ MAG DAG และ TAG ในตัวเร่งปฏิกิริยาหลายตัว พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลและค่าการเลือกเกิดของไตรอะซิทีนคือค่าความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราส่วนของกลีเซอรอลต่อกรดอะซิติกอีกทั้งการใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานานจะเกิดเป็นไตรอะซิทีนในปริมาณมากเช่นกัน

**Katarína Klepačová[62]** และคณะทำการศึกษาเทต-บิวทิลเลชัน(tert-Butylation) ของกลีเซอรอลเกี่ยวกับการทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนประจุต่างๆ ซึ่งพบว่าแอมเบอลิส-35 เป็นเรซินแลกเปลี่ยนประจุที่ดีที่สุดและถึงแม้ว่าแอมเบอลิส-15 จะให้ผลของค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลและค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณที่น้อยกว่าแต่ไม่มากจึงสามารถใช้ทดแทนได้เพื่อลดต้นทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T.R.C. Van Assche[63] และคณะทำการศึกษาการแยกน้ำออกจากอะซิโตไนไตรล์ (acetonitrile) ซึ่งเป็นสารที่แยกออกจากร้อยยากเนื่องจากมีจุดเดือด, ความเข้มข้น, ขนาดและสีใสเหมือนน้ำ งานวิจัยนี้จึงพยายามแยกน้ำออกจากอะซิโตไนไตรล์ด้วยวิธีต่างๆ พบว่าใช้ซีโอไลท์ให้ผลในการแยกที่ดีที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาของสารไตรอะซิทีนโดยใช้เครื่องไมโครเวฟในการสังเคราะห์ ซึ่งการสังเคราะห์สารด้วยเครื่องไมโครเวฟนั้นยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากมาย จึงต้องทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยานี้โดยใช้เครื่องไมโครเวฟ จากนั้นเมื่อได้ศึกษาในการเกิดปฏิกิริยาอะซิทีลเลชัน(acetylation) พบว่าระหว่างการเกิดไตรอะซิทีนนั้นจะมีน้ำเกิดขึ้นมาในระบบซึ่งสามารถที่จะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับทำให้เกิดความคิดที่จะนำเอาน้ำในระบบออกระหว่างที่ทำปฏิกิริยาจึงทำการศึกษาหาสารที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำมาใช้ในระบบและทำการทดลองในตัวเร่งที่ต่างกันทั้งแอมโมเนียมคลอไรด์-15 และเรซินกรองน้ำไปผ่านการตรวจสอบด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานซฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี(Fourier transform infrared spectroscopy หรือ FTIR) เพื่อตรวจสอบการเกิดไตรอะซิทีนและใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีสเปกโทรสโกปีของมวลสาร(Gas Chromatography Mass Spectrometry หรือ GC-MS) เพื่อหาค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลและค่าการเลือกเกิดของสารไตรอะซิทีน

#### 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

##### 3.1.1 อุปกรณ์

1. ชุดเครื่องแก้ว duran บริษัท Schott
2. เครื่องเผา(Furnace) Controller B 170 บริษัท Naber therm ประเทศเยอรมัน
3. เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง รูปแบบ New Classic MF รุ่น ML204/01 บริษัท Mettler - Toledo Group
4. pH meter (Mettler - Toledo) five easy FE 20-I บริษัท Mettler - Toledo Group
5. เทอร์โมมิเตอร์ สเกล 0-200 °C
6. โถดูดความชื้น (Desiccator)
7. เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน(Hot plate stirrer) รุ่น IKA C-MAG HS
8. เครื่องให้ความร้อนแบบหุ้ม(Heating mantle) รุ่น MS-E05
9. เครื่องอบ รุ่น UN30 บริษัท MEMMERT ประเทศญี่ปุ่น
10. เครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์(Refractometer) บริษัท Atago Japan
11. เครื่องไมโครเวฟ รุ่น MS23F301EAW บริษัท Samsung กำลังไฟฟ้า 100-800 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. เครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ ประดิษฐ์จากเครื่องไมโครเวฟ รุ่น MS23F301EAW บริษัท Samsung
13. ขวดแก้ว duran ปริมาตร 100mL บริษัท Schott ประเทศเยอรมัน
14. ขวดเทฟลอน(Teflon) ปริมาตร 500mL บริษัท Cowie
15. ขวดแก้วไวโอล ปริมาตร 20mL บริษัท National scientific ประเทศ USA
16. เครื่องวัดอุณหภูมิ(IR-Thermometer) รุ่น Fluke-561

### 3.1.2 เครื่องมือในการตรวจวัดผลการทดลอง

1. พูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy หรือ FTIR) บริษัท Thermo scientific รุ่น NICOLET6700 ประเทศเยอรมัน
2. แก๊สโครมาโตกราฟีสเปกโทรสโกปีของมวลสาร (Gas Chromatography Mass Spectrometry หรือ GC-MS) บริษัท Ahilent GC รุ่น G1530N MS รุ่น G2573A ประเทศอเมริกา

## 3.2 สารเคมี

1. กลีเซอรอล ความบริสุทธิ์ 100% เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Chemical
2. กรดอะซิติก ความบริสุทธิ์ 99.8% เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents
3. ไตรอะซิติก ความบริสุทธิ์ 99.0% เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka analytical
4. กรดไนตริก ความบริสุทธิ์ 70.0% เกรดวิเคราะห์ บริษัท Loba Chrmiie Pvt,Ltd.
5. แอมโมเนียม-15 บริษัท Fluka analytical
6. เรซินกรองน้ำ บริษัท ดรีจดี จำกัด ประเทศไทย
7. น้ำกลั่นบริสุทธิ์
8. ซีโอไลท์ 4A (Molecular sieve 4A) บริษัท Sigma - Aldrich
9. ซีโอไลท์ 13X (Molecular sieve 13X) บริษัท Sigma - Aldrich
10. ซิลิกาเจล (Silica Gel) -blue size 2-5mm T.N.C.I (1-550) commercial grade บริษัท TIAN-NAM ประเทศไทย

## 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การทดสอบเพื่อวัดอุณหภูมิของสารผสมโดยใช้เครื่องไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 100 และ 300 วัตต์

1. วัดอุณหภูมิที่กำลังไฟฟ้า 100 วัตต์
2. วัดอุณหภูมิที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเตรียมเพื่อใช้งานซีโอไลท์ 4A
2. การเตรียมเพื่อใช้งานซีโอไลท์ 13X
3. การเตรียมเพื่อใช้งานซิลิกาเจล

### 3.3.3 การทดสอบเพื่อวัดความสามารถในการดูดซับน้ำ

1. ทดสอบการดูดน้ำของซิลิกาเจล
2. ทดสอบการคายซับน้ำของซิลิกาเจล
3. ทดสอบการดูดน้ำของซีโอไลท์ 4A
4. ทดสอบการคายซับน้ำของซีโอไลท์ 4A
5. ทดสอบการดูดน้ำของซีโอไลท์ 13X
6. ทดสอบการคายซับน้ำของซีโอไลท์ 13X

### 3.3.4 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

1. การเตรียมเรซินกรองน้ำให้อยู่ในสภาพเป็นกรด

### 3.3.5 การศึกษาการสังเคราะห์ไตรอะซิทีน

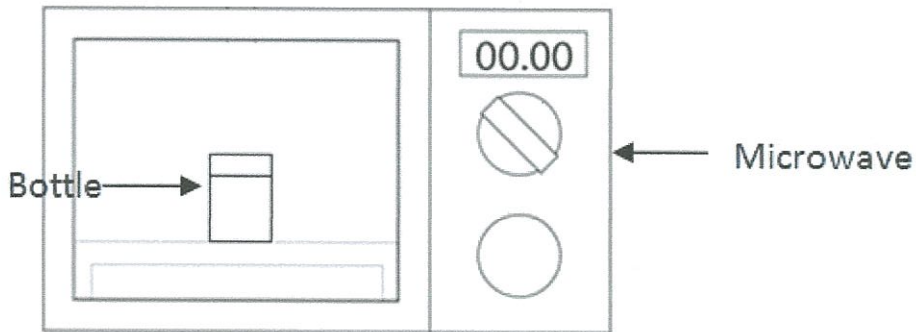
1. การสังเคราะห์ด้วยเครื่องไมโครเวฟโดยใช้สภาวะต่างๆในเวลา 15, 30, 45, 60 นาที
2. การสังเคราะห์ด้วยเครื่องไมโครเวฟเลือกสารมาใช้เวลา 2, 3, 4, 5 ชั่วโมง
3. การสังเคราะห์ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ

## 3.4 การทำการทดลอง

### 3.4.1 การทดสอบเพื่อวัดอุณหภูมิของสารผสมโดยใช้เครื่องไมโครเวฟกำลังไฟฟ้าระหว่าง 100 และ 300 วัตต์

1. ชั่งกลีเซอรอล 0.92 กรัม ผสมกับ กรดอะซิติก 5.40 กรัม คิดเป็นอัตราส่วนโดยโมล คือ 1:9 ลงในขวดแก้ว
2. ชั่งตัวเร่งปฏิกิริยาแอมโมเนียมโบรไมด์-15 0.0463 กรัม คิดเป็น 5% ของกลีเซอรอล ลงในขวดแก้ว
3. ปิดฝาขวดแก้วแล้วจึงนำไปใส่ในเครื่องไมโครเวฟ ดังรูปที่ 3.1
4. เปิดเครื่องไมโครเวฟด้วยกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. ตรวจสอบวัดและบันทึกอุณหภูมิ
6. ทำซ้ำ ข้อ 1 ถึงข้อ 5 โดยเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าในข้อ 4 จาก 100 วัตต์ เป็น 300 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 เครื่องไมโครเวฟพร้อมขวดแก้วสำหรับวัดอุณหภูมิจากปฏิกิริยา เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้า

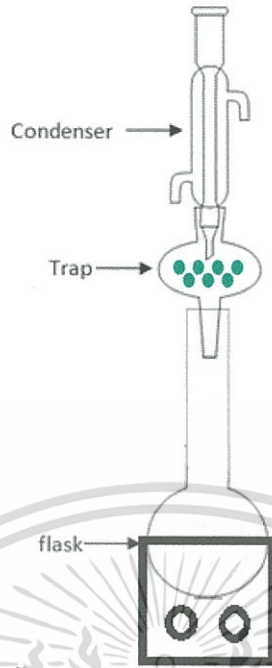
#### 3.4.2 การเตรียมสารดูดซับน้ำ

1. ชั่งสารดูดซับใส่ปิกร์ตามปริมาณที่จะใช้งาน
2. นำสารดูดซับใส่เครื่องอบที่ความร้อน  $300^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
3. นำสารดูดซับที่ร้อนมาตั้งทิ้งไว้ในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้อง

#### 3.4.3 การทดสอบเพื่อวัดความสามารถในการดูดซับน้ำ

1. เปิดเครื่องให้ความร้อนกับน้ำจนเดือดโดยเซ็ทอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.2
2. ชั่งสารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 4A 10.00 กรัม ลงในส่วนที่เรียกว่า Trap
3. ให้ความร้อนจนน้ำระเหยไปถูกดูดซับที่สารเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. นำสารดูดซับน้ำออกมาชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและจดบันทึก
5. จากนั้นเอาสารที่ได้ไปเข้าเครื่องอบที่  $300^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
6. นำสารดูดซับน้ำออกมาชั่งน้ำหนักที่หายไปและจดบันทึก
7. ทำซ้ำข้อ 1 ถึงข้อ 6 โดยเปลี่ยนสารดูดซับน้ำในข้อ 2 เป็นซีโอไลต์ 13X และซิลิกาเจล ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การทดสอบการดูดซับน้ำโดยใช้เครื่องให้ความร้อนแบบหลุมเพื่อทำการระเหยน้ำไปถูกลสารดูดซับน้ำทั้ง 3 ชนิด

#### 3.4.4 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

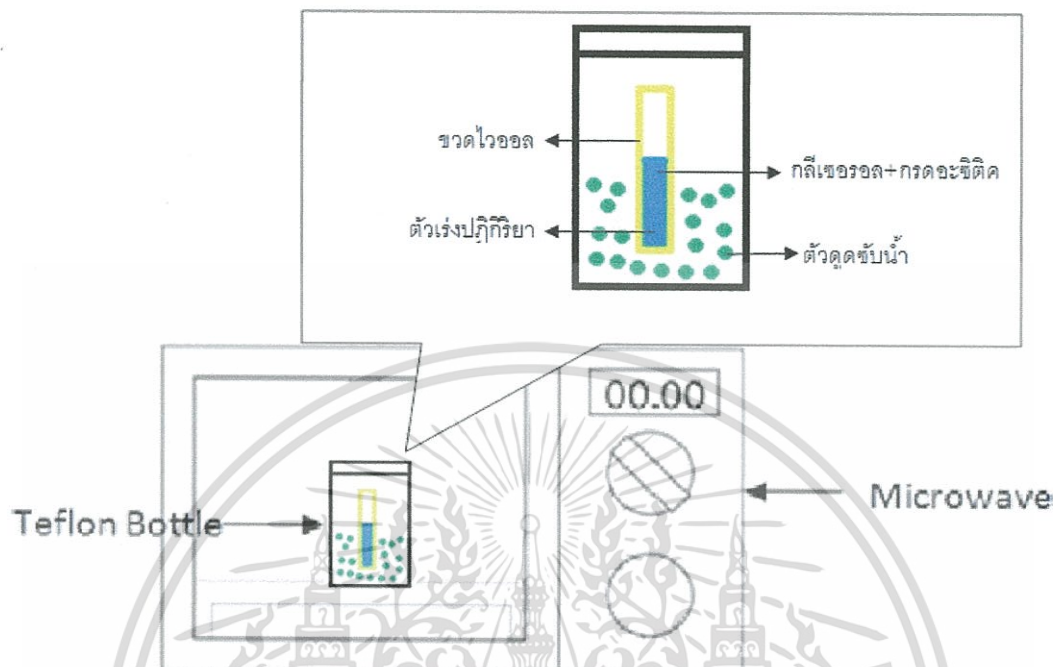
1. ชั่งน้ำหนักเรซินกรองน้ำ 5 กรัม ลงในบีกเกอร์
2. เติมกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาณ 1 ลิตร ลงไปในบีกเกอร์ แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. เทกรดไนตริกทิ้งแล้วนำเอาเรซินกรองน้ำไปล้างกรดส่วนเกินด้วยน้ำกลั่นบริสุทธิ์
4. นำเอาเรซินกรองน้ำไปเข้าเครื่องอบที่ความร้อน  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

#### 3.4.5 การทดลองการสังเคราะห์ไตรอะซิทีน

3.4.5.1. การทดลองการสังเคราะห์ด้วยเครื่องไมโครเวฟโดยใช้สภาวะต่างๆ เป็นเวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที

1. ชั่งกลีเซอรอล 0.92 กรัม ผสมกับ กรดอะซิติก 5.40 กรัม คิดเป็นอัตราส่วนโดยโมล คือ 1:9 ลงในขวดแก้ว
2. ชั่งตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0463 กรัม คิดเป็น 5% ของกลีเซอรอล ลงในขวดแก้ว
3. ชั่งสารดูดซับน้ำ 10.00 กรัม ลงในขวดเพฟลอน
4. นำขวดแก้วที่มีสารผสมใส่ลงในขวดเพฟลอน ปิดขวดแล้วนำเข้าเครื่องไมโครเวฟ ดังรูปที่ 3.3
5. ทำการทดลองตามตารางที่ 3.1
6. นำสารที่ได้ตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีสเปกโทรสโกปี
7. ทำซ้ำข้อ 1 ถึงข้อ 6 โดยเปลี่ยนตารางในข้อที่ 5 เป็น 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

## 8. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งหมดเพื่อหาผลการทดลองที่ดีที่สุด



รูปที่ 3.3 ชุดเครื่องมือในการทดลองด้วยเครื่องไมโครเวฟ โดยใช้ขวดเทฟลอนที่มีสารชนิดต่างๆ อยู่ภายใน

### 3.4.5.2. การทดลองการสังเคราะห์ด้วยเครื่องไมโครเวฟเป็นเวลา 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง

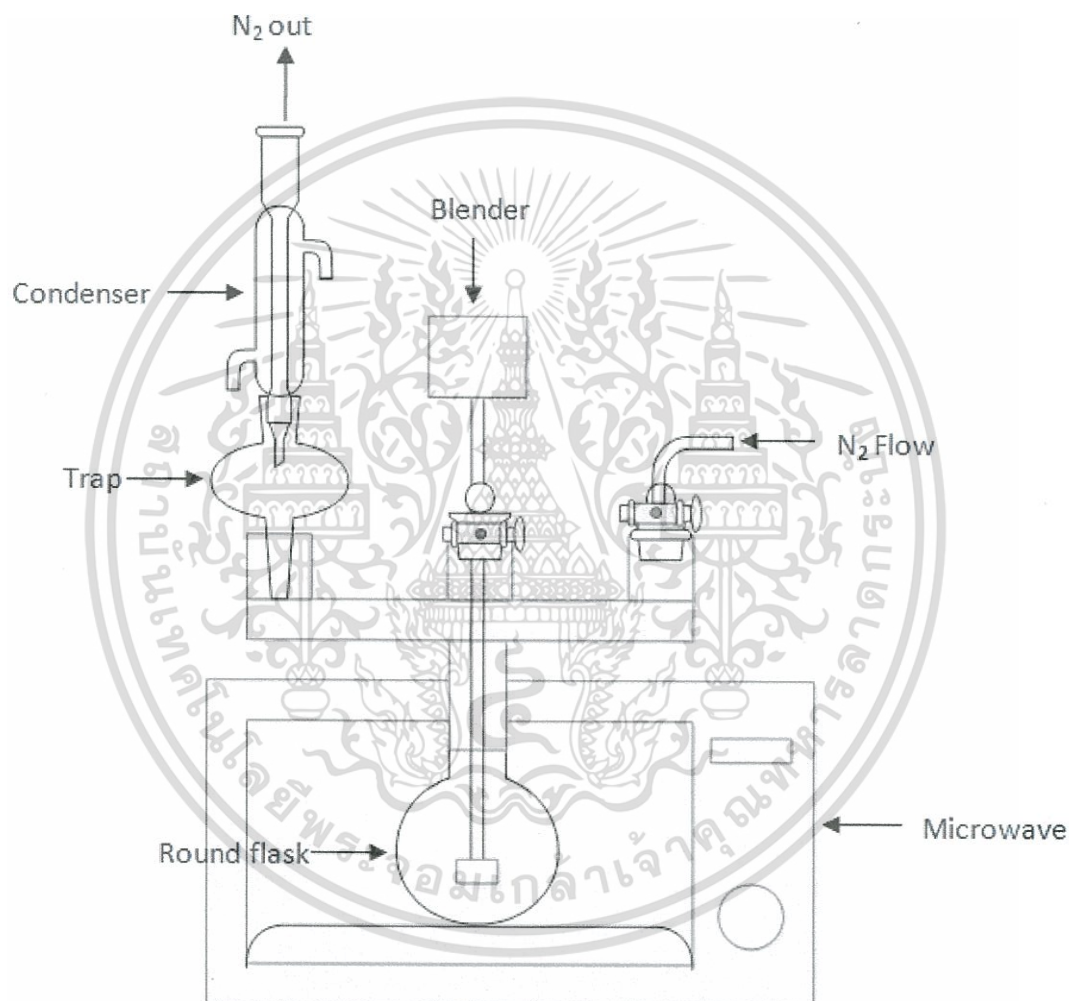
1. ชั่งกลีเซอรอล 0.92 กรัม ผสมกับ กรดอะซิติก 5.40 กรัม คิดเป็นอัตราส่วนโดยโมล คือ 1:9 ลงในขวดแก้ว
2. ชั่งตัวเร่งปฏิกิริยาแอมโมเนียมโบรไมด์-15 0.0463 กรัม คิดเป็น 5% ของกลีเซอรอล ลงในขวดแก้ว
3. ชั่งสารดูดซับน้ำ 10.00 กรัม ลงในขวดเทฟลอน
4. นำขวดแก้วที่มีสารผสมใส่ลงในขวดเทฟลอน ปิดขวดแล้วนำเข้าเครื่องไมโครเวฟ ดังรูปที่ 3.3
5. ทำการทดลองตามตารางที่ 3.4
6. นำสารที่ได้ตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีสเปกโทรสโกปี
7. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งหมดเพื่อหาเวลาที่ดีที่สุด

### 3.4.5.3. การทดลองการสังเคราะห์ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟเป็นเวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที

1. ชั่งกลีเซอรอล 0.92 กรัม ผสมกับ กรดอะซิติก 5.40 กรัม คิดเป็นอัตราส่วนโดยโมล คือ 1:9 ลงในขวดแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชั่งตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0463 กรัม คิดเป็น 5% ของกลีเซอรอล ลงในขวดก้นกลม
3. ชั่งสารดูดซับน้ำ 10.00 กรัม ลงในส่วนของ trap
4. ทำการติดตั้งอุปกรณ์เข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ ดังรูปที่ 3.4
5. ทำการทดลองตามตารางที่ 3.5
6. นำสารที่ได้ตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี่สเปกโทรสโกปี
7. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองกับการใช้เครื่องไมโครเวฟ



รูปที่ 3.4 ชุดเครื่องมือในการทดลองด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ โดยใช้เครื่องปั่นกวน, แก๊สไนโตรเจน และเครื่องควบแน่นเข้ามาช่วยในการทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ใช้สารดูดซับน้ำต่างๆเป็น เวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที

กำลังไฟฟ้า ไมโครเวฟ 100W	ตัวเร่งปฏิกิริยา (5% โดยน้ำหนัก)	สารดูดซับน้ำ	เวลา (นาที)
เครื่องไมโครเวฟ	ไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา	ไม้ไผ่	15
			30
			45
			60
		ซีโอไลท์ 4A	15
			30
			45
			60
		ซีโอไลท์ 13X	15
			30
			45
			60
ซิลิกาเจล	15		
	30		
	45		
	60		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และใช้สารดูดซับน้ำต่างๆ เป็นเวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที

กำลังไฟฟ้า ไมโครเวฟ 100W	ตัวเร่งปฏิกิริยา (5% โดยน้ำหนัก)	สารดูดซับน้ำ	เวลา (นาที)
เครื่องไมโครเวฟ	แอมเบอลิส-15	ไม้ไผ่	15
			30
			45
			60
		ซีโอไลท์ 4A	15
			30
			45
			60
		ซีโอไลท์ 13X	15
			30
			45
			60
ซิลิกาเจล	15		
	30		
	45		
	60		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำและใช้สารดูดซับน้ำต่างๆ เป็นเวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที

กำลังไฟฟ้า ไมโครเวฟ 100W	ตัวเร่งปฏิกิริยา (5% โดยน้ำหนัก)	สารดูดซับน้ำ	เวลา (นาที)
เครื่องไมโครเวฟ	เรซินกรองน้ำ	ไม่ใส่	15
			30
			45
			60
		ซีโอไลท์ 4A	15
			30
			45
			60
		ซีโอไลท์ 13X	15
			30
			45
			60
ซิลิกาเจล	15		
	30		
	45		
			60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมโบรไมด์-15 และใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง

กำลังไฟฟ้า ไมโครเวฟ 100W	ตัวเร่งปฏิกิริยา (5% โดยน้ำหนัก)	สารดูดซับน้ำ	เวลา (ชั่วโมง)
เครื่องไมโครเวฟ	แอมโมเนียมโบรไมด์-15	ไม่ใส่	2
			3
			4
			5
			5
		ซีโอไลท์ 4A	2
			3
			4
			5
			5
		ซีโอไลท์ 13X	2
			3
			4
			5
			5
ซิลิกาเจล	2		
	3		
	4		
	5		
	5		

ตารางที่ 3.5 การทดลองเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมโบรไมด์-15 และสารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที

กำลังไฟฟ้า ไมโครเวฟ 100W	ตัวเร่งปฏิกิริยา (5% โดยน้ำหนัก)	สารดูดซับน้ำ	เวลา (นาที)
เครื่องปฏิกรณ์ ไมโครเวฟ	แอมโมเนียมโบรไมด์-15	ซีโอไลท์ 13X	15
			30
			45
			60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

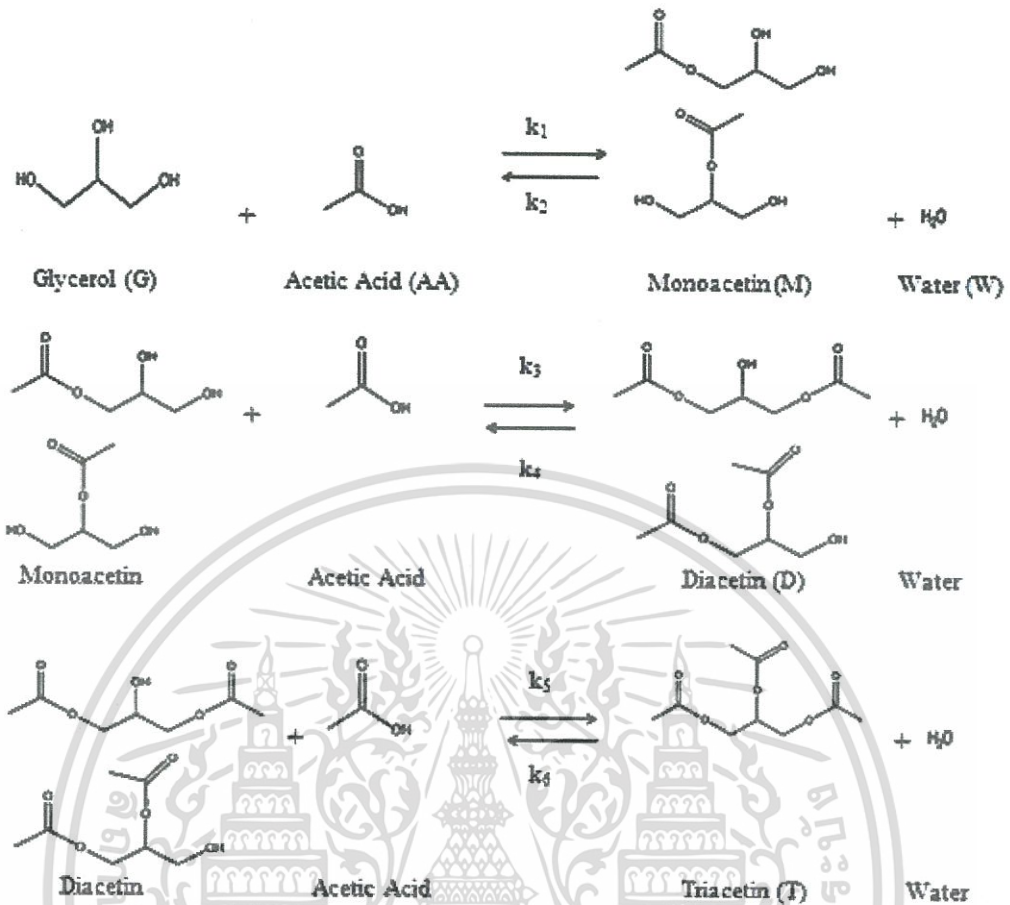
### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ปฏิกิริยาอะซิทธิลเลชันของกลีเซอรอลกับกรดอะซิติกจะเกิดผลิตภัณฑ์เป็นไตรอะซิทีน(TAG) จากสมการดังแสดงในรูปที่ 4.1 จะต้องใช้อัตราส่วนกลีเซอรอลต่อกรดอะซิติกเท่ากับ 1:3 ในการทดลองนี้เลือกใช้อัตราส่วนกลีเซอรอลต่อกรดอะซิติกเป็น 1:9 เนื่องจากต้องการให้กรดอะซิติกมีปริมาณที่มากเกินไป เมื่อพิจารณาจากหลักการทางจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาถือว่าปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 เทียม(pseudo first order) คือมีสารตั้งต้นจำกัดสารเดียวเพื่อช่วยให้เกิด TAG Mufrodi et al.[64] และ Liao et al.[65] และ Limin[66] คำนวณค่าพลังงานกิบส์(gibbs free energy) และพลังงานกระตุ้น(activation energy) จากสมการอาร์เรเนียส พบว่าค่าพลังงานกระตุ้นของ MAG และ DAG น้อยกว่า TAG จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้เกิด TAG น้อย จึงใช้กรดอะซิติกที่มากเกินไปเพื่อช่วยทำให้เกิดเป็น TAG ในปริมาณมากขึ้น อีกทั้งจากตารางที่ 4.1 ค่า  $k_1$   $k_3$  และ  $k_5$  เป็นพลังงานที่ใช้เพื่อผลิตเป็นMAG DAG และTAG ตามลำดับ ค่า  $k_2$   $k_4$  และ  $k_6$  เป็นพลังงานที่ถูกใช้ในการเกิดปฏิกิริยาผันกลับจาก MAG DAG และTAG ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าการเกิดเป็น TAG ต้องใช้พลังงานกระตุ้นสูง อีกทั้งยังเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยาผันกลับ จึงต้องใช้อัตราส่วนของสารตั้งต้นที่มากเกินไปเพื่อช่วยให้เกิดปฏิกิริยาดีขึ้น

ตารางที่ 4.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาและพลังงานกระตุ้น[64]

Reaction Rate constant	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$
$E_a$ cal/mol	9429.40	10782.09	8078.70	15924.92	12372.84	15015.33

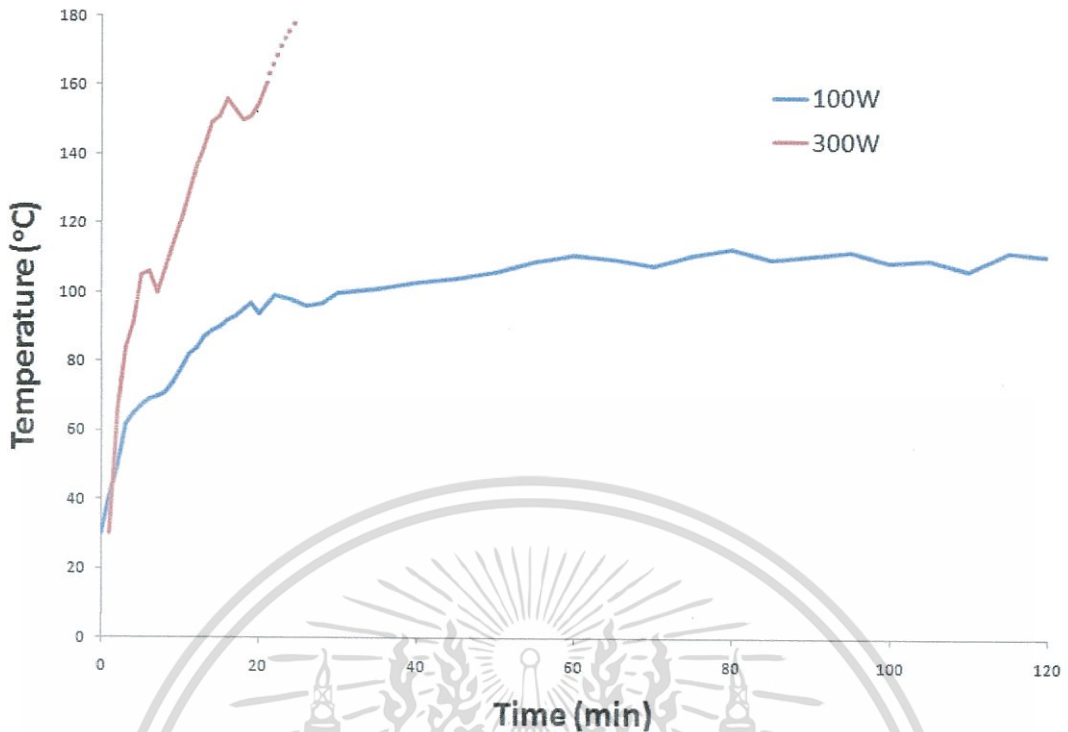
เมื่อพิจารณาจากข้อมูลทางจลนศาสตร์และเทอร์โมไดนามิกที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าน้ำที่ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาอะซิทธิลเลชันดังรูปที่ 4.1 มีส่วนทำให้การเปลี่ยนกลีเซอรอลเป็นไตรอะซิทีน เกิดได้ไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของการดูดซับน้ำ และนำตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนประจุมาใช้ อีกทั้งนำไมโครเวฟมาใช้ในการให้ความร้อน จากนั้นจึงทำการตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง FTIR และตรวจวัดหาปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง GC-MS



รูปที่ 4.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาอะซิทธิลเลชันของกลีเซอรอล[67]

#### 4.1 การศึกษากำลังไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟต่ออุณหภูมิ

เนื่องจากการทดลองสังเคราะห์สารด้วยเครื่องไมโครเวฟยังไม่แพร่หลายมากนัก จึงต้องทำการศึกษา เพื่อเปรียบเทียบการให้กำลังไฟฟ้ระหว่าง 100 และ 300 วัตต์ และค้นหาลำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยานี้ โดยการนำเอากลีเซอรอลและกรดอะซิติกในอัตรา 1:9 มาให้ความร้อนด้วยกำลังไฟฟ้ระหว่าง 100 และ 300 วัตต์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากการศึกษาปฏิกิริยาพบว่าเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนและปฏิกิริยาจะเกิดผ่าน MAG และ DAG ก่อนจึงจะเกิดเป็น TAG ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปฏิกิริยาเกิดได้ดีในอุณหภูมิระหว่าง 90-110 องศาเซลเซียส และตัวเร่งปฏิกิริยาแอมโมลิส-15 จะเสื่อมสภาพเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 120 องศาเซลเซียส[30]

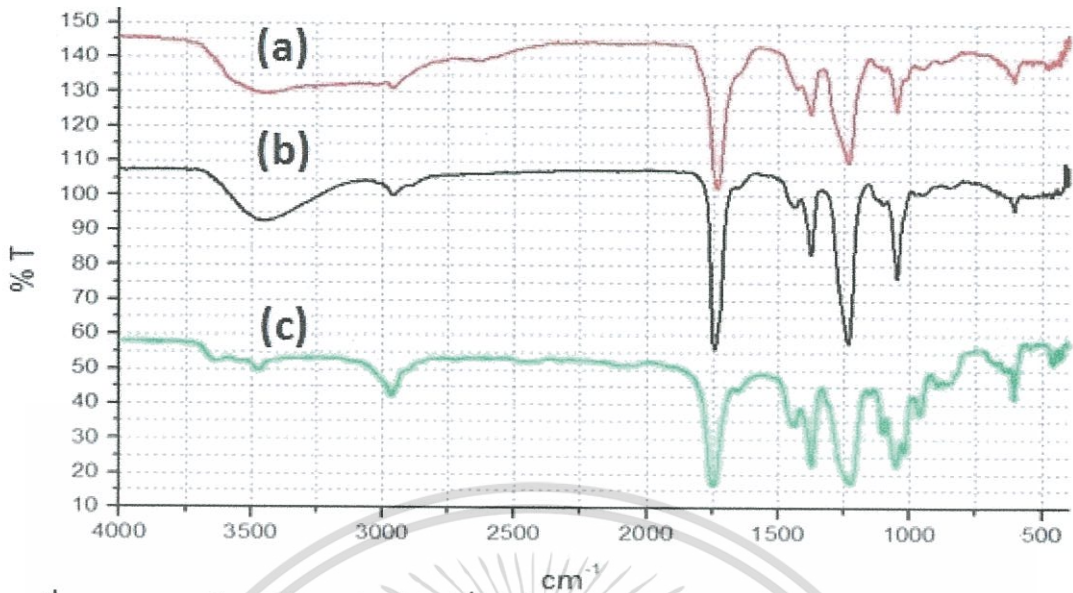


รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ต่อกำลังไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟในการให้ความร้อนกับสารผสมเพื่อหาความเหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา

เมื่อเดินเครื่องไมโครเวฟด้วยกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ พบว่าอุณหภูมิจะคงที่ระหว่าง 90-110 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เวลา 30 นาทีเป็นต้นไป ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาและเป็นอุณหภูมิที่ไม่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแอมเบอลิส-15 งานวิจัยนี้จึงใช้กำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ สำหรับทำปฏิกิริยาและเมื่อทดสอบโดยใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟเป็น 300 วัตต์ พบว่าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 160 องศาเซลเซียส ในเวลา 30 นาที ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ 300 วัตต์ ไม่เหมาะสมในการทำการทดลองในปฏิกิริยานี้ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.2

#### 4.2 การตรวจวิเคราะห์โดยใช้ FTIR

จากการหาหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลของสารผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้และเปรียบเทียบกับสารบริสุทธิ์ไตรอะซิทีนดังรูปที่ 4.3 โดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลระหว่างกลีเซอรอลต่อกรดอะซิติกเท่ากับ 1:9 และให้ความร้อนด้วยเครื่องไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแอมเบอลิส-15 และเรซินกรองน้ำ พบว่าการทำปฏิกิริยาโดยใช้เครื่องไมโครเวฟสามารถทำให้เกิดเป็นสารไตรอะซิทีน



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแอมเบอลิส-15 และเรซินกรองน้ำ เปรียบเทียบกับสารบริสุทธิ์ โดย (a) ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 (b) ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ (c) สารไตรอะซิทีน

การตรวจวัดอินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 รูปที่ 4.3(a) พบแถบสเปกตรัมกว้างที่มีความเข้มสูงบริเวณ  $3300-3500\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ O-H stretching แถบสเปกตรัมในช่วง  $2900\text{ cm}^{-1}$  การสั่นแบบ C-H stretching จาก CH และ  $\text{CH}_2$  แถบสเปกตรัมที่มีความเข้มสูงที่  $1700\text{ cm}^{-1}$  เป็นสเปกตรัมของการสั่นแบบ C=O ซึ่งเป็นหมู่ carbonyl แถบสเปกตรัมช่วง  $1410\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นของ O-H bending สเปกตรัมช่วง  $1300\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ C-O stretching และแถบสเปกตรัมช่วง  $1200-1100\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ C-O-H bending สเปกตรัมช่วง  $850-800\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ C-H bending

อินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ รูปที่ 4.3(b) พบแถบสเปกตรัมกว้างที่มีความเข้มสูงบริเวณ  $3300-3500\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ O-H stretching แถบสเปกตรัมในช่วง  $2900\text{ cm}^{-1}$  การสั่นแบบ C-H stretching จาก CH และ  $\text{CH}_2$  แถบสเปกตรัมที่มีความเข้มสูงที่  $1700\text{ cm}^{-1}$  เป็นสเปกตรัมของการสั่นแบบ C=O ซึ่งเป็นหมู่ carbonyl แถบสเปกตรัมช่วง  $1410\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นของ O-H bending สเปกตรัมช่วง  $1300\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ C-O stretching และแถบสเปกตรัมช่วง  $1200-1100\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ C-O-H bending สเปกตรัมช่วง  $850-800\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ C-H bending

อินฟราเรดสเปกตรัมของสารไตรอะซิทีน รูปที่ 4.3(c) พบแถบสเปกตรัมในช่วง  $2900\text{ cm}^{-1}$  การสั่นแบบ C-H stretching จาก CH และ  $\text{CH}_2$  แถบสเปกตรัมที่มีความเข้มสูงที่  $1700\text{ cm}^{-1}$  เป็นสเปกตรัมของการสั่นแบบ C=O ซึ่งเป็นหมู่ carbonyl แถบสเปกตรัมช่วง  $1410\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นของ O-H bending สเปกตรัมช่วง  $1300\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ C-O stretching และแถบสเปกตรัมช่วง

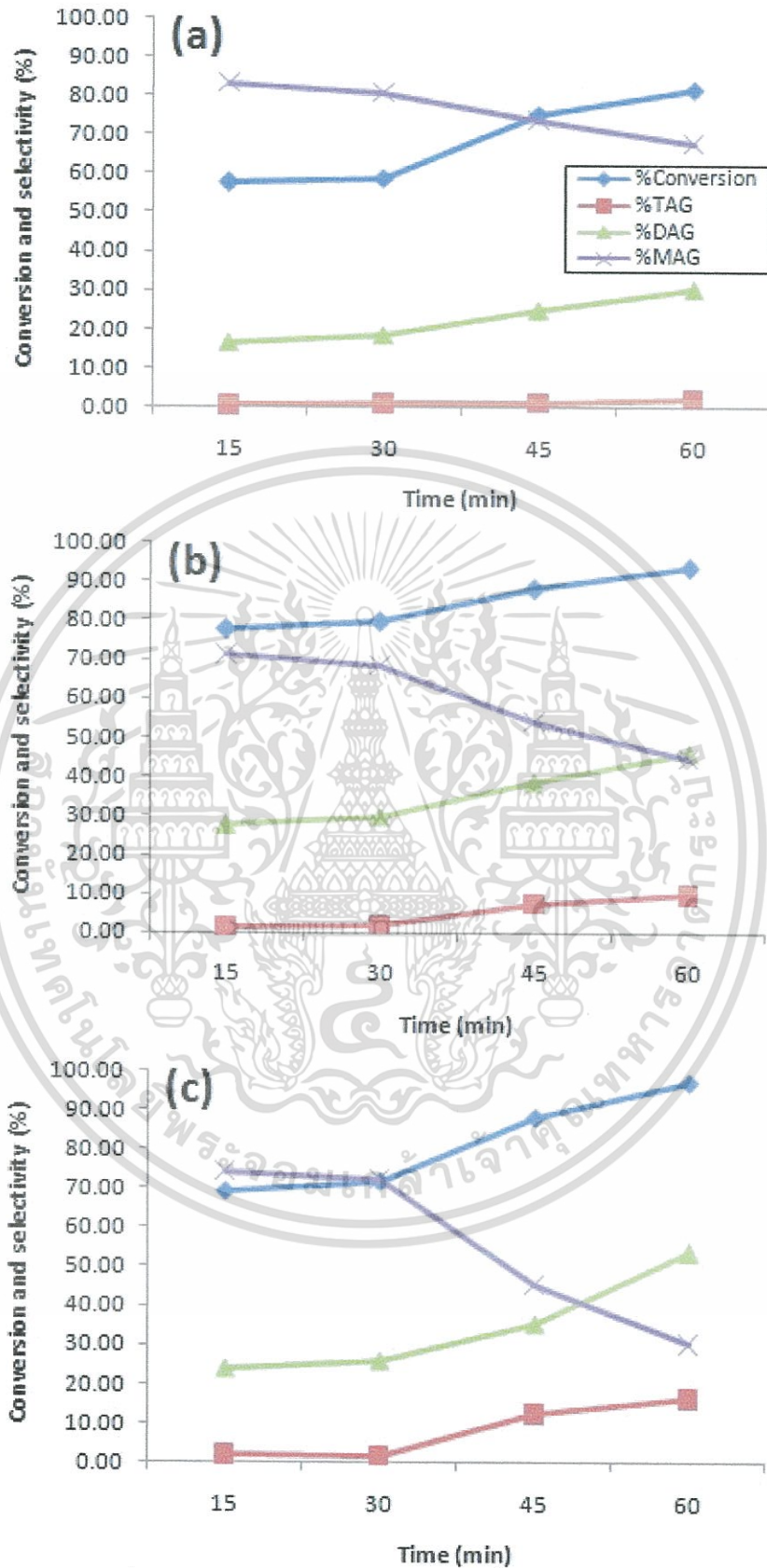
1200-1100  $\text{cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ C-O-H bending สเปกตรัมช่วง 850-800  $\text{cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ C-H bending

เมื่อทำการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของสารทั้ง 3 ชนิดพบว่ามีความใกล้เคียงกันอย่างมาก จึงสามารถยืนยันได้ว่าสารที่สังเคราะห์ได้มีสารไตรอะซิทีนอยู่ แต่ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาแอมเบอลิส-15 รูป 4.3(a) และเรซินกรองน้ำ รูป 4.3(b) พบแถบสเปกตรัมกว้างที่มีความเข้มสูงบริเวณ 3300-3500  $\text{cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ O-H stretching แสดงถึงสารตั้งต้นที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา คือ กลีเซอรอลและกรดอะซิติก อีกทั้งยังคงมีผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ทั้ง MAG DAG และ TAG

เมื่อทำการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของ TAG ที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยของ Claudia V. Lacerda และคณะ[68] พบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกัน จึงสามารถยืนยันได้ว่าสารที่สังเคราะห์ได้เป็น TAG

#### 4.3 การทดลองการศึกษาหาตัวเร่งปฏิกิริยาและสารดูดซับน้ำที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์สารไตรอะซิทีน

จากการศึกษาปฏิกิริยาอะซิทีลเลชันเบื้องต้นพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำการทดลองอยู่ระหว่าง 90-110 องศาเซลเซียส[57] จึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการทำการทดลองด้วยเครื่องไมโครเวฟคือ 100 วัตต์ ซึ่งมีอุณหภูมิคงที่อยู่ระหว่าง 90-110 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ดังรูปที่ 4.2 จึงทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลระหว่างกลีเซอรอลต่อกรดอะซิติกเท่ากับ 1:9 และทำปฏิกิริยาด้วยเครื่องไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในตัวเร่งปฏิกิริยา สารดูดซับน้ำ และเวลาที่แตกต่างกัน เพื่อค้นหาความสามารถในการทำปฏิกิริยาในแต่ละชนิด



รูปที่ 4.4 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยไม่ใช่สารดูดซับน้ำ (a) ไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา (b) ใช้เรซินกรองน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (c) ใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

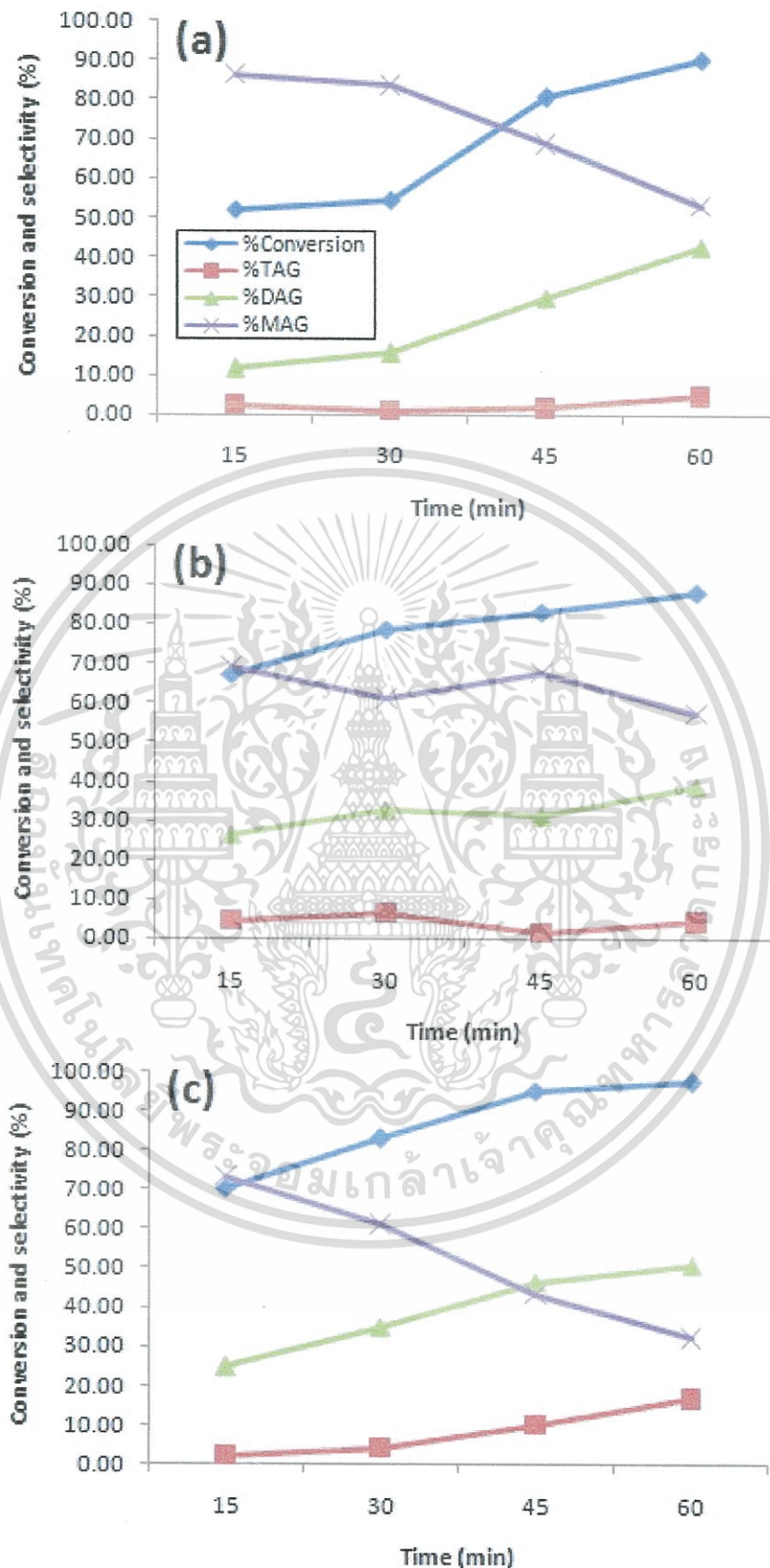
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4(a) การทดลองที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้สารดูดซับน้ำพบว่าที่เวลา 15 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลเพียง 60% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ MAG ในปริมาณมากกว่า 80% และพบค่าการเลือกเกิดของ DAG ต่ำกว่า 20% และพบค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อย จากนั้นที่เวลา 30 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลสูงขึ้นอย่างชัดเจนถึง 80% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ DAG ในปริมาณมากขึ้น

จากรูปที่ 4.4(b) การทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำและไม่ใช้สารดูดซับน้ำพบว่าที่เวลา 15 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอล 80% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ MAG ประมาณ 70% และพบค่าการเลือกเกิดของ DAG ประมาณ 30% และพบค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อย จากนั้นที่เวลา 30 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลสูงขึ้นถึง 90% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ DAG และ TAG ในปริมาณมากขึ้น โดยที่มีค่าการเลือกเกิดของ TAG ถึง 10%

จากรูปที่ 4.4(c) การทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และไม่ใช้สารดูดซับน้ำพบว่าที่เวลา 15 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอล 70% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ MAG ประมาณ 70% และพบค่าการเลือกเกิดของ DAG ประมาณ 30% และพบค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อย จากนั้นที่เวลา 30 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลสูงขึ้นถึง 95% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ DAG และ TAG ในปริมาณมากขึ้น โดยที่มีค่าการเลือกเกิดของ TAG ถึง 15%

จากรูปที่ 4.4 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่าง (a) (b) และ (c) พบว่าการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา(a) ทำให้เกิดสาร TAG ในปริมาณน้อยและการใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (c) ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด โดยเมื่อผ่านเวลาไป 30 นาที แล้วสาร MAG จะถูกเปลี่ยนเป็น DAG และ TAG อย่างรวดเร็ว เนื่องจากการทดสอบอุณหภูมิเบื้องต้นในรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงการเข้าสู่อุณหภูมิที่เหมาะสมเมื่อเวลาผ่าน 30 นาที



รูปที่ 4.5 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยใช้สารดูดซับน้ำเป็นซิลิกาเจล (a) ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (b) ใช้เรซินกรองน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (c) ใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

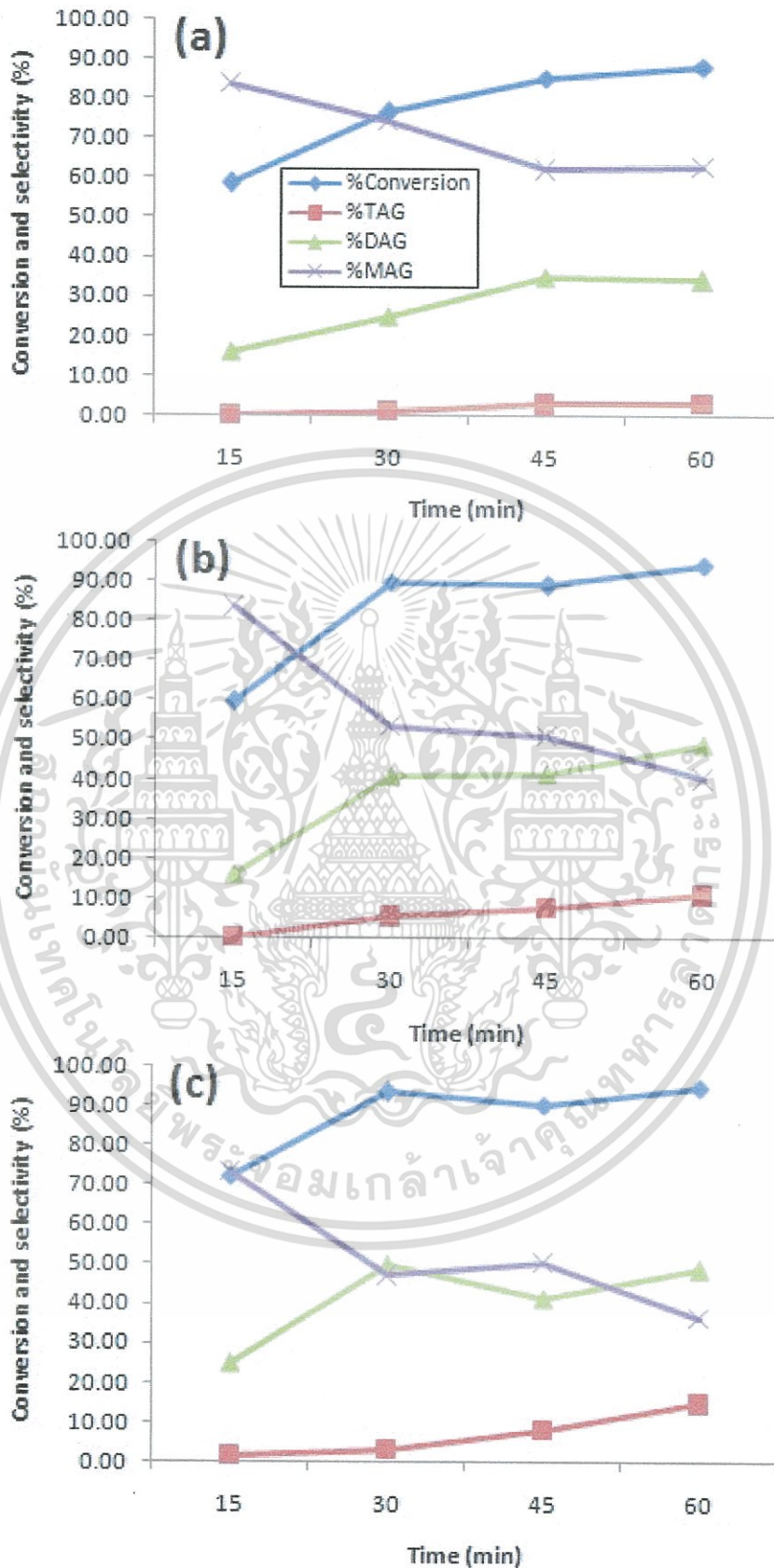
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5(a) การทดลองที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้สารดูดซับน้ำเป็นซิลิกาเจลพบว่าที่เวลา 15 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลเพียง 60% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ MAG ในปริมาณมากกว่า 80% และพบค่าการเลือกเกิดของ DAG ไม่ถึง 20% และพบค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อย จากนั้นที่เวลา 30 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลสูงขึ้นอย่างชัดเจนถึง 80% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ DAG ในปริมาณมากขึ้น จาก MAG ที่ลดลงทำให้ DAG สูงขึ้น จากนั้นจึงพบว่าเวลา 30-45 นาที มีค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อยลงเนื่องจากการที่ซิลิกาเจลเกิดการคายน้ำที่ถูกดูดซับไว้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาผันกลับ

จากรูปที่ 4.5(b) การทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำและสารดูดซับน้ำเป็นซิลิกาเจลพบว่าที่เวลา 15 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอล 80% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ MAG ประมาณ 70% และพบค่าการเลือกเกิดของ DAG ประมาณ 30% และพบค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อย จากนั้นที่เวลา 30 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลสูงขึ้นถึง 90% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ DAG และ TAG ที่คงที่ โดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG ไม่ถึง 5% เนื่องจากที่เวลา 30-45 นาที พบค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อยลงจากการที่ซิลิกาเจลเกิดการคายน้ำที่ถูกดูดซับไว้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานของทั้งการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาและปฏิกิริยาผันกลับ

จากรูปที่ 4.5(c) การทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และสารดูดซับน้ำเป็นซิลิกาเจลพบว่าที่เวลา 15 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอล 70% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ MAG ประมาณ 70% และพบค่าการเลือกเกิดของ DAG ประมาณ 30% และพบค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อย จากนั้นที่เวลา 30 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลสูงขึ้นถึง 95% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ DAG และ TAG ในปริมาณมากขึ้น โดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG ถึง 15%

จากรูปที่ 4.5 เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่าง (a) (b) และ (c) พบว่าการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (a) ทำให้เกิดสาร TAG ในปริมาณน้อยและการใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (c) ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด โดยเมื่อผ่านเวลาไป 30 นาที แล้วสาร MAG จะถูกเปลี่ยนเป็น DAG และ TAG อย่างรวดเร็วและไม่เกิดผลกระทบจากซิลิกาเจล เนื่องจากแอมเบอลิส-15 มีความสามารถบวมน้ำได้จึงไม่เกิดการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาและยังคงใช้ต่อเนื่องได้แม้ประสิทธิภาพจะด้อยลงเล็กน้อยก็ตาม



รูปที่ 4.6 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 4A (a) ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (b) ใช้เรซินกรองน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (c) ใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

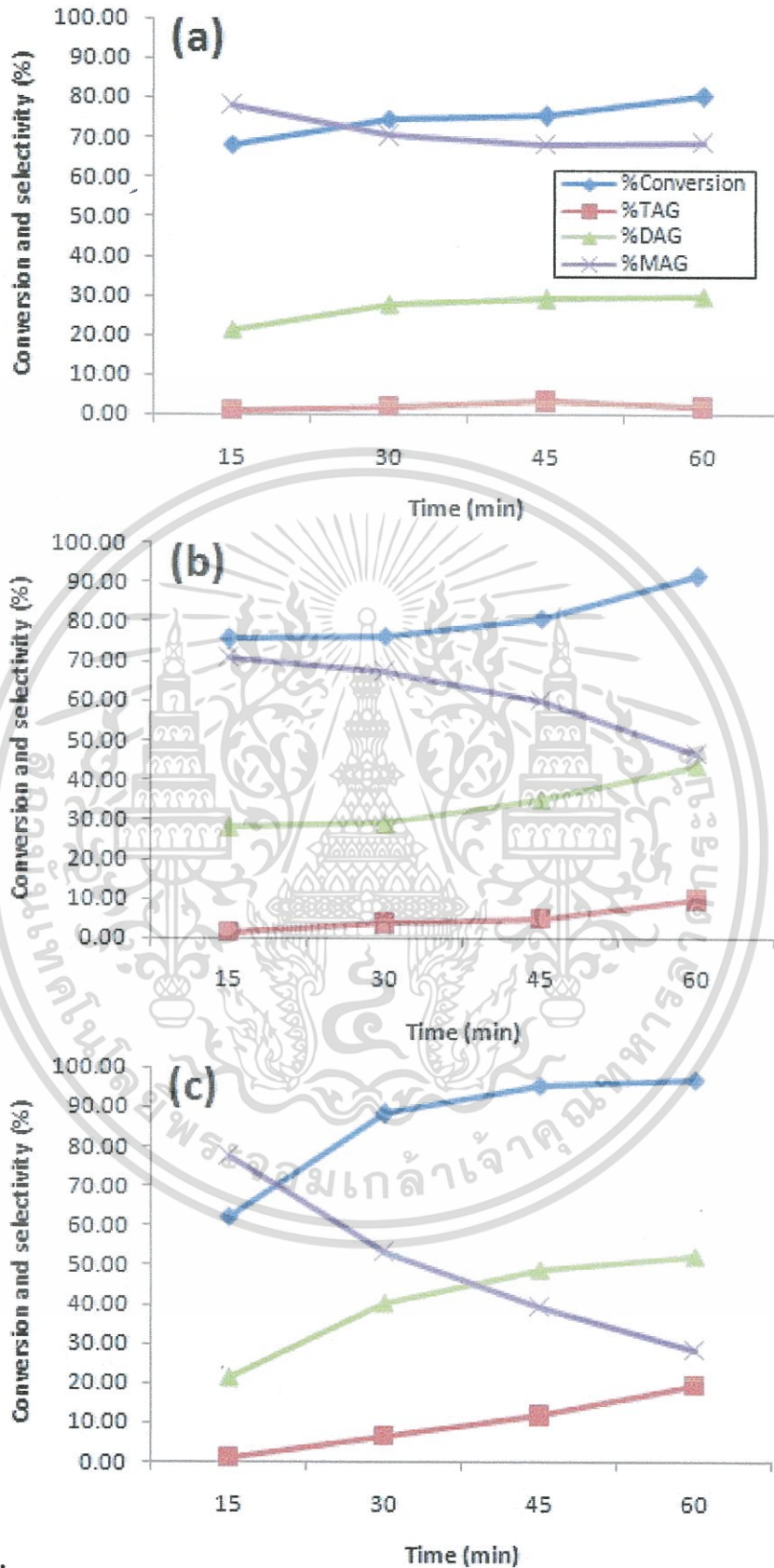
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6(a) การทดลองที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและสารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 4A พบว่าที่เวลา 15 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลเพียง 60% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ MAG ในปริมาณมากกว่า 80% และพบค่าการเลือกเกิดของ DAG ไม่ถึง 20% และพบค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อย จากนั้นที่เวลา 30 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลสูงขึ้นอย่างชัดเจนถึง 80% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ DAG ในปริมาณมากขึ้น

จากรูปที่ 4.6(b) การทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำและสารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 4A พบว่าที่เวลา 15 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอล 60% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ MAG ประมาณ 80% และพบค่าการเลือกเกิดของ DAG ประมาณ 20% และพบค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อย จากนั้นในระยะเวลา 15-30 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลสูงขึ้นถึง 90% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ DAG และ TAG ในปริมาณมากขึ้น โดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG ถึง 10% แสดงถึงความสามารถในการดูดซับน้ำของซีโอไลต์ 4A ทำให้ปฏิกิริยาใน 15-30 นาทีเกิดเร็วขึ้น [67]

จากรูปที่ 4.6(c) การทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และสารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 4A พบว่าที่เวลา 15 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอล 70% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ MAG ประมาณ 70% และพบค่าการเลือกเกิดของ DAG ประมาณ 30% และพบค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อย จากนั้นในระยะเวลา 15-30 นาที โดยมีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลสูงขึ้นถึง 95% มีค่าการเลือกเกิดของ DAG และ TAG ในปริมาณมากขึ้น โดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG ถึง 15% แสดงถึงความสามารถในการดูดซับน้ำของซีโอไลต์ 4A ทำให้ปฏิกิริยาใน 15-30 นาทีเกิดเร็วขึ้น [67]

จากรูปที่ 4.6 เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่าง (a) (b) และ (c) พบว่าการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (a) ทำให้เกิดสาร TAG ในปริมาณน้อยและการใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (c) ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด โดยเมื่อใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 4A พบว่าใช้ระยะเวลาเพียง 15-30 นาที ทำให้สาร MAG จะถูกเปลี่ยนเป็น DAG และ TAG อย่างรวดเร็ว เนื่องจากซีโอไลต์ 4A มีความสามารถในการดูดซับน้ำที่รวดเร็ว จึงทำให้ช่วยเร่งปฏิกิริยาได้อย่างมาก [67]



รูปที่ 4.7 การทดลองเครื่องไมโครเวฟโดยใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X (a) ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (b) ใช้เรซินกรองน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (c) ใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7(a) การทดลองที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและสารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X พบว่าที่เวลา 15 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอล 70% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ MAG ในปริมาณมากกว่า 80% และพบค่าการเลือกเกิดของ DAG ถึง 20% และพบค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อย จากนั้นที่เวลา 30 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลสูงขึ้นถึง 80% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ DAG ในปริมาณมากขึ้น

จากรูปที่ 4.7(b) การทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำและสารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X พบว่าที่เวลา 15 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอล 80% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ MAG ประมาณ 70% และพบค่าการเลือกเกิดของ DAG ประมาณ 30% และพบค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อย จากนั้นที่เวลา 30 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลสูงขึ้นถึง 90% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ DAG และ TAG ในปริมาณมากขึ้น โดยที่มีค่าการเลือกเกิดของ TAG ถึง 10%

จากรูปที่ 4.7(c) การทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และสารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X พบว่าที่เวลา 15 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอล 60% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ MAG ประมาณ 80% และพบค่าการเลือกเกิดของ DAG ประมาณ 20% และพบค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อย จากนั้นในระยะเวลา 15-30 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลสูงขึ้นถึง 95% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ DAG และ TAG ในปริมาณมากขึ้น โดยที่มีค่าการเลือกเกิดของ TAG ถึง 20% แสดงถึงความสามารถในการดูดซับน้ำของซีโอไลต์ 13X ทำให้ปฏิกิริยาใน 60 นาทีเกิด TAG มากขึ้น

จากรูปที่ 4.7 เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่าง (a) (b) และ (c) พบว่าการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (a) ทำให้เกิดสาร TAG ในปริมาณน้อยและการใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา(c) ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด โดยเมื่อใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X พบว่าเมื่อใช้ระยะเวลาในการทำการทดลองถึง 60 นาที ทำให้เกิดสาร TAG ในปริมาณมากขึ้นถึง 20% จึงแสดงว่าซีโอไลต์ 13X เหมาะแก่การใช้ในการทดลองที่ใช้ระยะเวลานาน เนื่องจากโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่จึงทำให้สามารถดูดซับน้ำได้ปริมาณมากแม้ว่าจะดูดซับน้ำได้ไม่รวดเร็วเท่าซีโอไลต์ 4A[63]

ในงานวิจัยของ Valter L.C. Goncalves[50] ซึ่งใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลและกรดอะซิติกเท่ากับ 1:8 เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจากผลการทดลองมีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลเท่ากับ 97% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG เท่ากับ 13% พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการทำปฏิกิริยาโดยใช้เครื่องไมโครเวฟในการให้ความร้อนมีค่าการเลือกเกิดของ TAG ที่สูงกว่าคือ 20% ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.2 การศึกษาปฏิกิริยา Acetylation ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน[67]

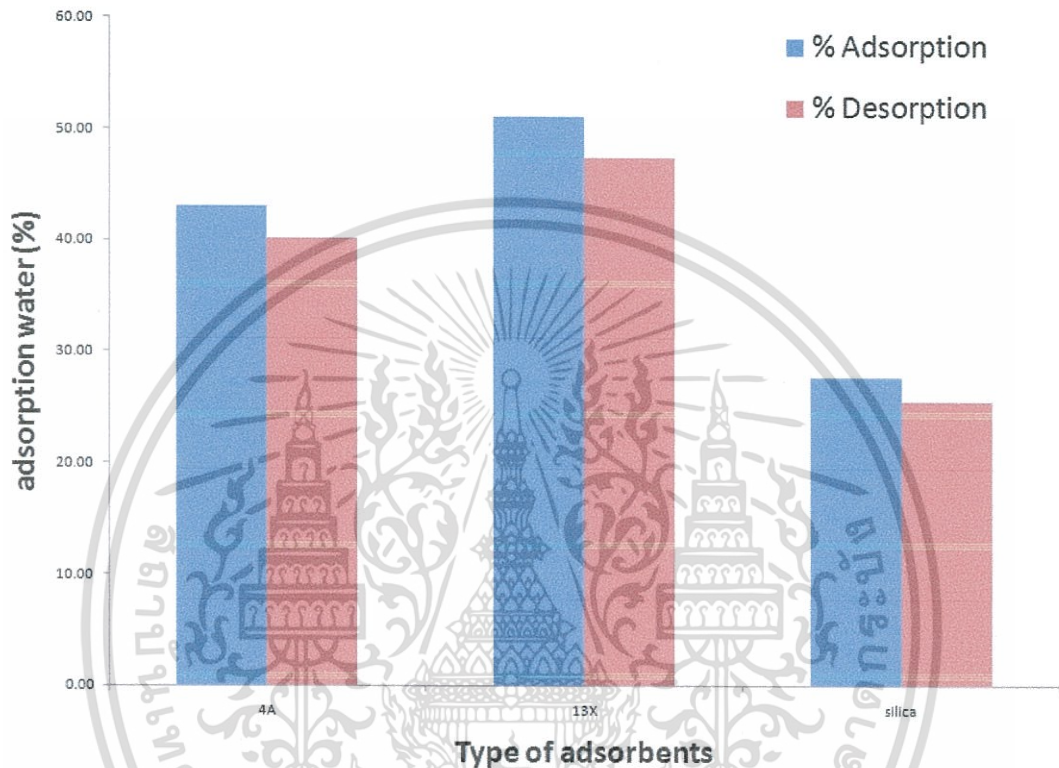
ปฏิกิริยา	ตัวเร่งปฏิกิริยา	Glycerol conversion	Selectivity	Reaction time (hr)	อ้างอิง
Acetylation ของ glycerol + acetic acid (1:8 mol ratio)	PMo+NaUSY zeolite	68%	DAG 59% TAG 2%	1	49
	Zeolite HUSY	30%	DAG 10%	1	50
	Zeolite HZSM-5	10%	DAG 10%	1	50
	Niobic acid	30%	MAG 85%	1	50
	Clay K-10 montmorillonite	95%	DAG 50% TAG 5%	1	50
	Amberlyst-15	97%	DAG 54% TAG 13%	1	50

จากตาราง 4.2 พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 ทำให้มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลและค่าการเลือกเกิดของไตรอะซิทีนในปริมาณมากที่สุด ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนเชิงโมลของกลีเซอรอลและกรดอะซิติกเท่ากับ 1:9 และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยทำการทดลองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่ามีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลและค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณสูงกว่างานวิจัยอื่นเนื่องจากมีจุดแตกต่างกับการทดลองอื่นคือนำเอาเครื่องไมโครเวฟมาใช้ในการให้ความร้อนและนำสารดูดซับน้ำมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

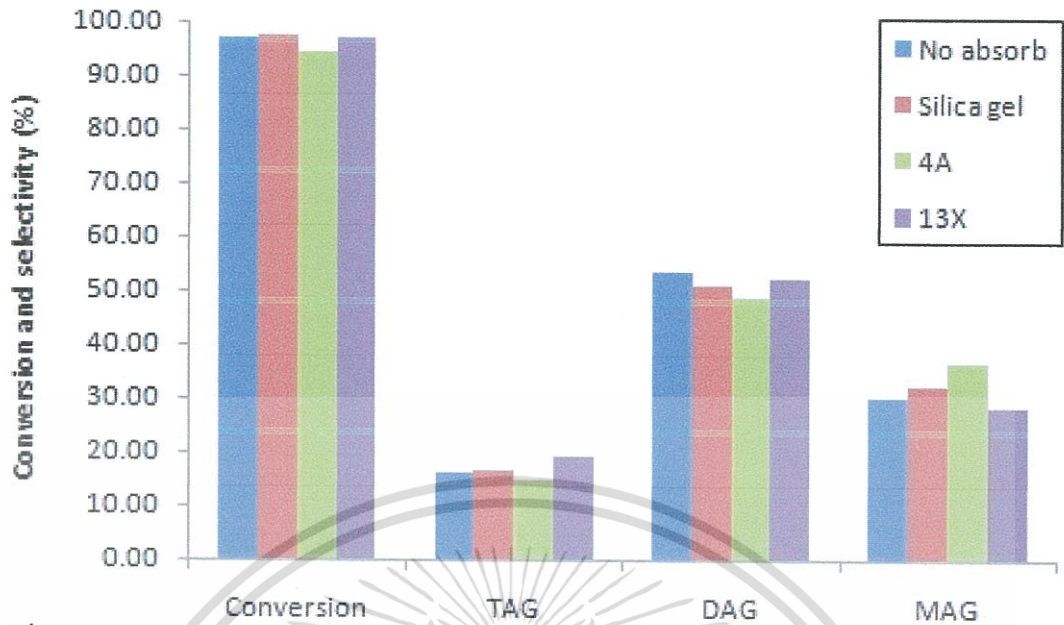
#### 4.4 การศึกษาผลของสารดูดซับน้ำในการทำปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาอะซีทิลเลชันของกลีเซอรอลและกรดอะซีติกจะเกิดผลพลอยได้เป็นน้ำ ซึ่งน้ำจะรบกวนระบบทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพและการเกิดปฏิกิริยาผ่นกลับ จึงต้องทำการศึกษาศารดูดซับน้ำที่จะนำมาใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำปฏิกิริยา



รูปที่ 4.8 ความสามารถในการดูดซับน้ำของซีโอไลต์ 4A ซีโอไลต์ 13X และซิลิกาเจล ตามลำดับ

จากการศึกษาของ T.R.C. Van[67] พบว่าโครงสร้างของซีโอไลต์ 13X มีขนาดใหญ่กว่าจึงสามารถกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างได้มากเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของซีโอไลต์ 13X ที่มีขนาดของปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนมากกว่าซีโอไลต์ 4A และซิลิกาเจล จากนั้นทำการทดลองโดยนำสารดูดซับน้ำไปทำการดูดซับน้ำจนเต็มแล้วนำมาเปรียบเทียบผลการทดลองดังรูปที่ 4.8 พบว่าซีโอไลต์ 13X มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีที่สุดถึง 50% โดยน้ำหนักแม้หลังจากทำการคืนสภาพแล้วยังคงดูดซับน้ำได้ดีกว่าสารดูดซับน้ำอื่นๆ ตามด้วยซีโอไลต์ 4A ที่ดูดซับน้ำถึง 40% โดยน้ำหนักและซิลิกาเจล 30% โดยน้ำหนักตามลำดับ อีกทั้งซีโอไลต์สามารถดูดซับน้ำในการทดลองที่มีอุณหภูมิสูงได้ จึงทดแทนซิลิกาเจลที่ไม่สามารถดูดซับน้ำและทำการคายน้ำออกมาระหว่างที่ทำปฏิกิริยา



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที ใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยไม่ใช้สารดูดซับน้ำ ใช้สารดูดซับเป็นซิลิกาเจล ซีโอไลต์ 4A และซีโอไลต์ 13X ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.9 ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อกรดอะซิติกเท่ากับ 1:9 โดยใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้สารดูดซับน้ำที่ต่างกัน เพื่อแสดงความสามารถในการทำปฏิกิริยาในระยะเวลา 60 นาที พบว่ามีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลไม่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แต่ซีโอไลต์ 13X มีค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณมากที่สุดคือ 20% การทดลองที่ใช้ระยะเวลาเวลานานจำเป็นต้องใช้สารดูดซับน้ำที่มีปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนใหญ่เพื่อช่วยให้เกิดผลิตภัณฑ์มากขึ้น

#### 4.5 การศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยา

จากการศึกษาพบว่าปฏิกิริยาอะซิทธิลเลชันของกลีเซอรอลกับกรดอะซิติก พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจะเข้าทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกเพื่อเกิดเป็นคาร์โบแคทไอออน(carbocation) แล้วกรดอะซิติกที่แตกตัวจึงเข้าทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอล จึงทำการศึกษาค่าตัวเร่งปฏิกิริยาดังรูปที่ 4.10

Catalyst	Area (m <sup>2</sup> /g)	Si/Al molar ratio	Acidity (mmol base/g) <sup>a</sup>	Catalyst loading <sup>b</sup> (g)	Activation temperature <sup>c</sup> (°C)
Amberlyst-15	50	–	4.2 <sup>d</sup>	0.47	150
K-10	240	6.6	0.5	4.0	150
Niobic Acid	187	–	0.3	6.3	300
HZSM-5	374	28	1.2	1.6	300
HUSY	566	2.6 <sup>e</sup> (4.5) <sup>f</sup>	1.9	1.1	300

<sup>a</sup> Measured from *n*-butylamine adsorption at 150 °C.

<sup>b</sup> To achieve 2 mmol of acid sites in each experiments.

<sup>c</sup> Rate = 10 °C/min; time in activation temperature = 2 h.

<sup>d</sup> Informed by the supplier.

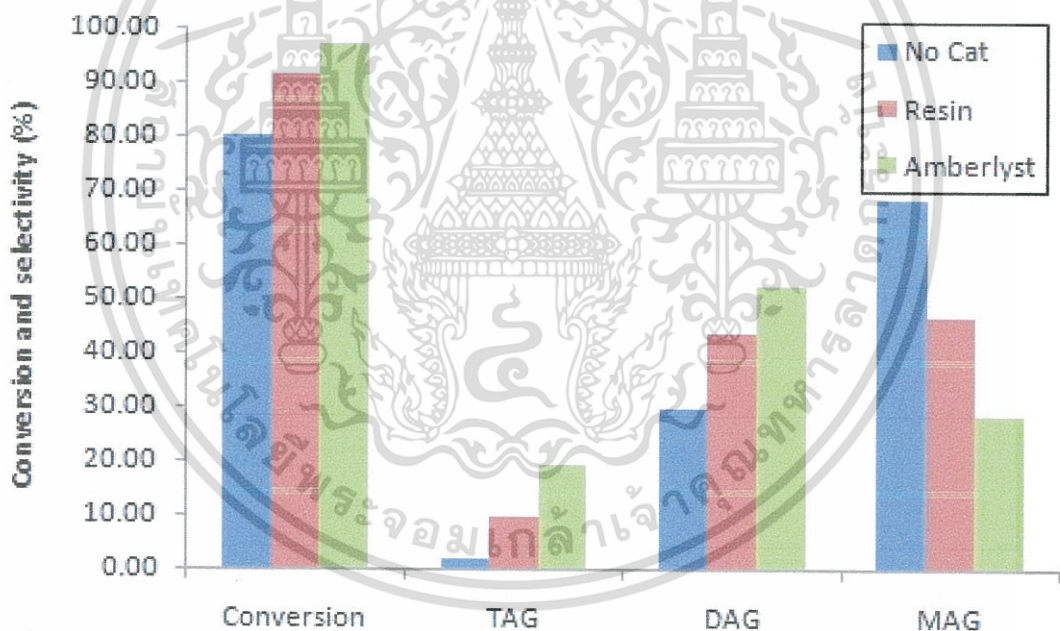
<sup>e</sup> Global Si/Al.

<sup>f</sup> Framework Si/Al.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.10 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา[50] ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 งานวิจัยของ Valter L.C. Goncalves[50] พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแอมเบอลิส-15 มีความเป็นกรดถึง 4.2 mmol base/g และมีพื้นที่ผิว 50 m<sup>2</sup>/g ทำให้ค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลและค่าการเลือกเกิดของ TAG สูงกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นซีโอไลต์ HUSY ที่มีความเป็นกรด 1.9 mmol base/g และมีพื้นที่ผิว 566 m<sup>2</sup>/g แสดงว่าความเป็นกรดมีผลต่อปฏิกิริยาอะซิทธิลเลชันมากกว่าพื้นที่ผิว และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างแอมเบอลิสและซีโอไลต์พบว่าซีโอไลต์มีรูพรุนเล็กจึงทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดเป็นไตรอะซิทธินน้อยเนื่องจากไตรอะซิทธินมีขนาดใหญ่

สารไตรอะซิทธินเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่จึงไม่เหมาะที่จะนำเอาซีโอไลต์มาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากซีโอไลต์มีรูพรุนเล็ก การเข้าไปทำปฏิกิริยาภายในรูพรุนเพื่อให้เกิดเป็นไตรอะซิทธินจึงเกิดขึ้นยาก[56] ในงานวิจัยนี้ได้นำเรซินแลกเปลี่ยนประจุมาใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ได้ เพียงแต่ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเรซินแลกเปลี่ยนประจุมีข้อจำกัดคือ การเสื่อมสภาพเมื่อเจอน้ำและการทำปฏิกิริยาที่ความร้อนสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส



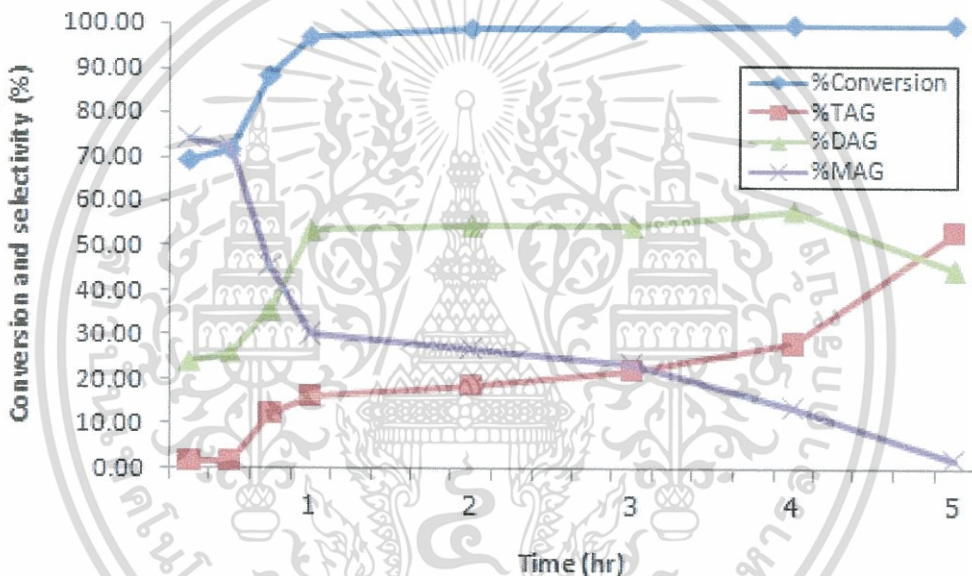
รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบผลของการทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที ใช้ซีโอไลต์ 13X เป็นสารดูดซับน้ำ โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำและแอมเบอลิส-15 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.11 ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อกรดอะซิทธิลเท่ากับ 1:9 โดยใช้ซีโอไลต์ 13X เป็นสารดูดซับน้ำและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำกับแอมเบอลิส-15 เพื่อแสดงถึงความสามารถในการทำปฏิกิริยาในระยะเวลา 60 นาที พบว่าถึงแม้ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ยังคงเกิดปฏิกิริยาได้เช่นกัน โดยมีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลเท่ากับ 80% แม้จะมีค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อย แต่เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลสูงขึ้นโดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณมากขึ้น ซึ่งเห็นได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำที่มีค่า

การเปลี่ยนของกลีเซอรอลเท่ากับ 90% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG 10% อีกทั้งเมื่อใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลสูงขึ้น 95% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG ถึง 20% จึงสามารถสรุปได้ว่าแอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุดในการปฏิกิริยานี้

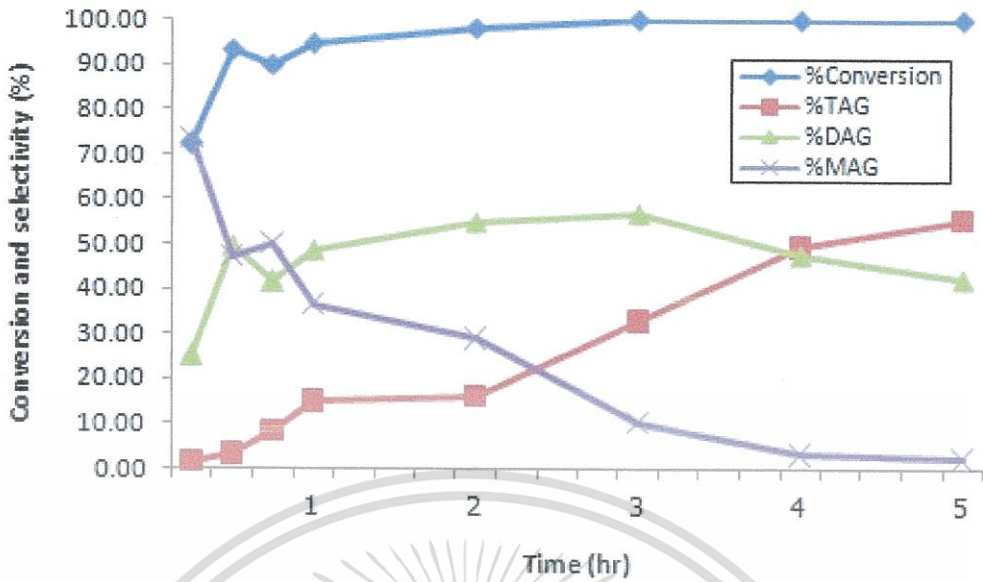
#### 4.6 การศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

หลังจากทำการทดลองทั้งหมดแล้วจึงทราบว่า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เกิดผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่มากที่สุด จึงนำสภาวะที่ดีที่สุดมาทำทดลองต่อคือ ใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อกรดอะซิติกเท่ากับ 1:9 โดยใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X และใช้ระยะเวลาถึง 5 ชั่วโมง



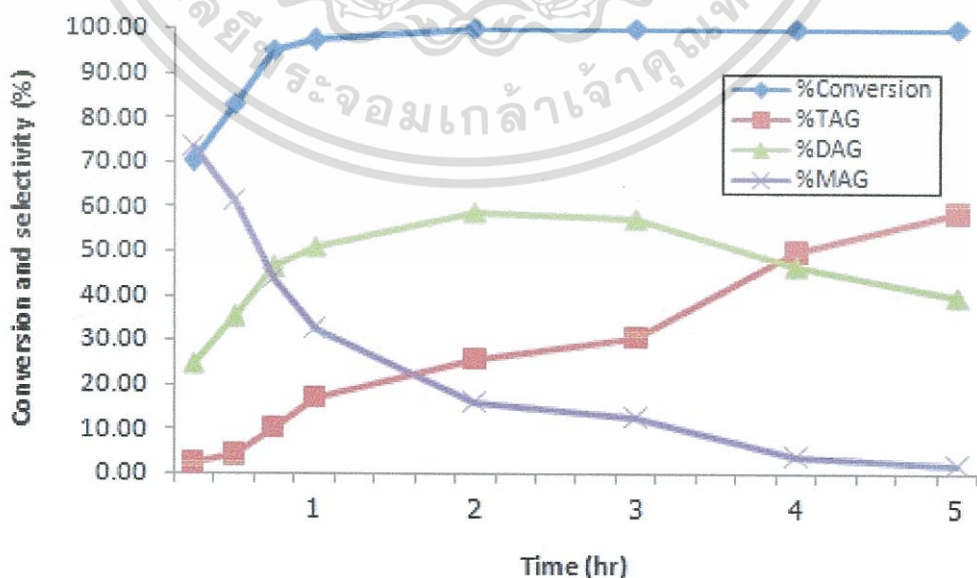
รูปที่ 4.12 การทดลองทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยไม่ใช้สารดูดซับน้ำและใช้เวลาตั้งแต่ 15 นาที จนถึง 5 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.12 พบว่าระยะเวลาที่มีผลต่อค่าการเลือกเกิดของ TAG ที่เพิ่มขึ้นจากค่าการเลือกเกิดของ MAG และ DAG ที่ลดลง ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าค่าการเลือกเกิดของ DAG เท่ากับ 50% และค่าการเลือกเกิดของ MAG ลดลง ในระยะเวลา 4 ชั่วโมง พบว่ามีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลถึง 100% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG เท่ากับ 30% และเมื่อใช้ระยะเวลา 5 ชั่วโมง พบว่าค่าการเลือกเกิดของ DAG จะเริ่มลดลงเพื่อที่จะเกิดเป็น TAG และทำให้มีค่าการเลือกเกิดของ TAG สูงถึง 53% และยังคงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลามากกว่า 5 ชั่วโมง



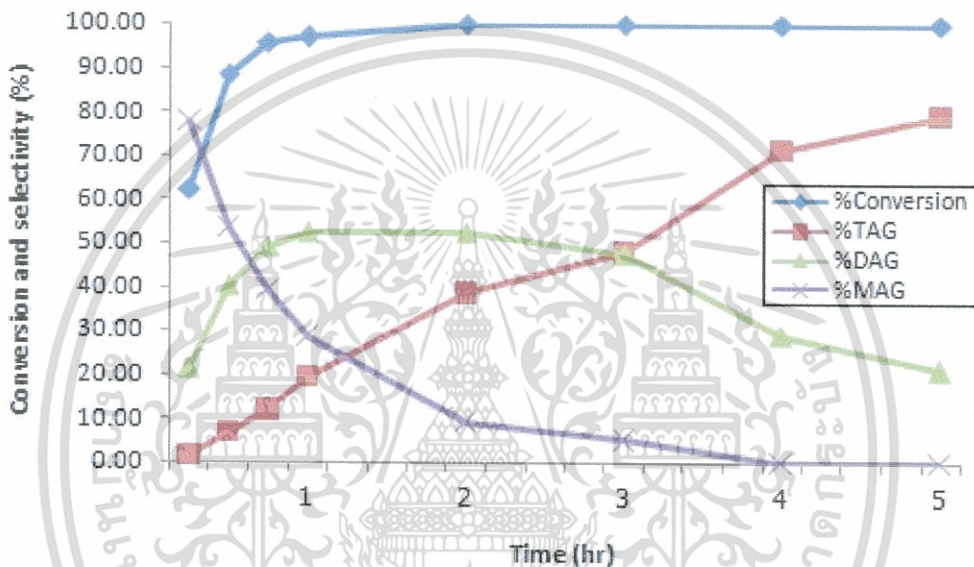
รูปที่ 4.13 การทดลองทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และใช้สารดูดซับน้ำเป็นซิลิกาเจลและใช้เวลาตั้งแต่ 15 นาที จนถึง 5 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.13 พบว่าระยะเวลาที่มีผลต่อค่าการเลือกเกิดของ TAG ที่เพิ่มขึ้นจากค่าการเลือกเกิดของ MAG และ DAG ที่ลดลง ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าค่าการเลือกเกิดของ DAG เท่ากับ 50% และค่าการเลือกเกิดของ MAG ลดลง ในระยะเวลา 3 ชั่วโมง พบว่ามีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลถึง 100% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG เท่ากับ 35% และเมื่อใช้ระยะเวลา 5 ชั่วโมง พบว่าค่าการเลือกเกิดของ DAG จะเริ่มลดลงเพื่อที่จะเกิดเป็น TAG และทำให้มีค่าการเลือกเกิดของ TAG สูงถึง 55% และยังคงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลามากกว่า 5 ชั่วโมง



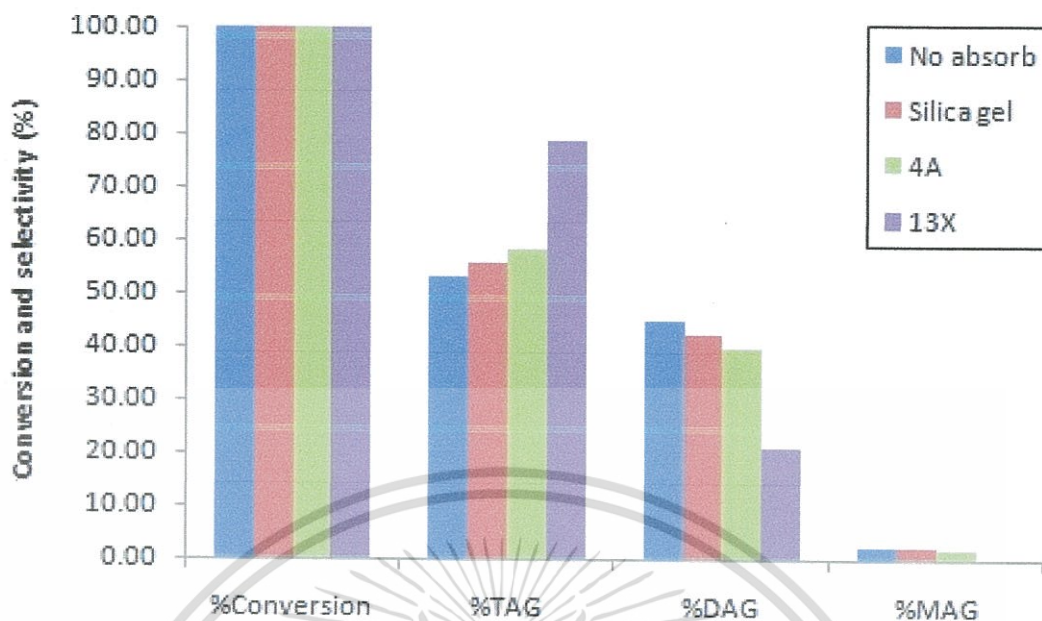
รูปที่ 4.14 การทดลองทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 4A และใช้เวลาตั้งแต่ 15 นาที จนถึง 5 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.14 พบว่าระยะเวลาที่มีผลต่อค่าการเลือกเกิดของ TAG ที่เพิ่มขึ้นจากค่าการเลือกเกิดของ MAG และ DAG ที่ลดลง ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าค่าการเลือกเกิดของ DAG เท่ากับ 50% และค่าการเลือกเกิดของ MAG ลดลง ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง พบว่ามีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลถึง 100% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG เท่ากับ 30% และเมื่อใช้ระยะเวลา 5 ชั่วโมง พบว่าค่าการเลือกเกิดของ DAG จะเริ่มลดลงเพื่อที่จะเกิดเป็น TAG และทำให้มีค่าการเลือกเกิดของ TAG สูงถึง 58% และยังคงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลามากกว่า 5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.15 การทดลองทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X และใช้เวลาตั้งแต่ 15 นาที จนถึง 5 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.15 พบว่าระยะเวลาที่มีผลต่อค่าการเลือกเกิดของ TAG ที่เพิ่มขึ้นจากค่าการเลือกเกิดของ MAG และ DAG ที่ลดลง ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าค่าการเลือกเกิดของ DAG เท่ากับ 50% และค่าการเลือกเกิดของ MAG ลดลง ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง พบว่ามีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลถึง 100% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG เท่ากับ 40% และเมื่อใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง พบว่า MAG ถูกเปลี่ยนเป็น DAG และ TAG จนหมดและค่าการเลือกเกิดของ DAG จะเริ่มลดลงเพื่อที่จะเกิดเป็น TAG และทำให้มีค่าการเลือกเกิดของ TAG สูงถึง 80% ในระยะเวลา 5 ชั่วโมง และยังคงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลามากกว่า 5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาที่ 5 ชั่วโมง ใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยไม่ใช้สารดูดซับน้ำ ใช้สารดูดซับเป็นซิลิกาเจล ซีโอไลต์ 4A และซีโอไลต์ 13X ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.16 ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อกรดอะซิติกเท่ากับ 1:9 โดยใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้สารดูดซับน้ำที่ต่างกัน เพื่อแสดงความสามารถในการทำปฏิกิริยาในระยะเวลา 5 ชั่วโมง พบว่ามีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลเท่ากับ 100% และการใช้สารดูดซับน้ำที่มีปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนใหญ่ขึ้นยิ่งทำให้มีค่าการเลือกเกิดของ TAG เพิ่มขึ้น และจากงานวิจัยนี้ซีโอไลต์ 13X ปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนใหญ่ที่สุดจึงทำให้มีค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณมากที่สุดคือ 80%

ตารางที่ 4.3 การศึกษาปฏิกิริยา Acetylation ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน

ปฏิกิริยา	ตัวเร่งปฏิกิริยา	Glycerol conversion	Selectivity	Reaction time (hr)	อ้างอิง
Acetylation ของ glycerol + acetic acid (1:8 mol ratio)	Amberlyst-15	100%	TAG 83.9%	10	31
	Amberlyst-70	100%	TAG 85.4%	10	31
	Amberlyst-15	97%	DAG 46% TAG 43%	5	66
	Amberlyst-15	93%	DAG 43.2% TAG 38.3%	5	70
	HZSM-5	85%	DAG 25.7% TAG 7.7%	5	70
	HUSY	78%	DAG 20.6% TAG 5.6%	5	70
	Active Carbon	91%	DAG 28% TAG 34%	5	69
	HZSM-5	75%	TAG 2.5%	4	58
	HY	81%	TAG 3.2%	4	58
	Amberlyst-35	99%	DAG 25% TAG 25.9%	4	58
	Amberlyst-15	98%	TAG 25%	4	58
	Amberlyst-15	100%	DAG 54.2% TAG 44.3%	4	31
	Amberlyst-70	100%	DAG 51.7% TAG 45.8%	4	31
	PMo (1.9wt.%) immobilized NaUSY zeolite	68%	DAG 59% TAG 2%	3	71

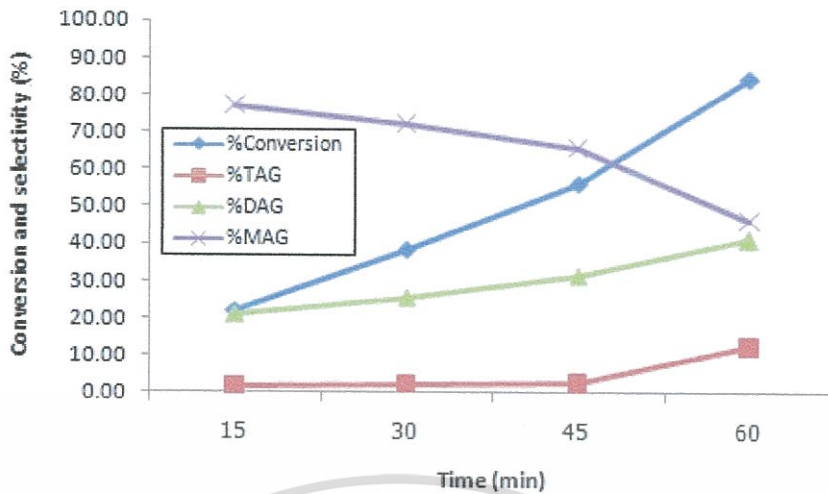
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ S. Kale และคณะ[31] ใช้เวลาในการทำการทดลอง 4 ชั่วโมง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมคลอไรด์-15 มีค่าการเลือกเกิดของไตรอะซิทีนเท่ากับ 44.3% และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมคลอไรด์-70 มีค่าการเลือกเกิดของไตรอะซิทีนเท่ากับ 45.8% และเมื่อใช้เวลาในการทำการทดลองเป็น 10 ชั่วโมง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมคลอไรด์-15 พบว่ามีค่าการเลือกเกิดของไตรอะซิทีนเท่ากับ 83.9% และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมคลอไรด์-70 มีค่าการเลือกเกิดของไตรอะซิทีนเท่ากับ 85.4% จากงานวิจัยของ Xiaoyuan Liao[58] พบว่าเมื่อใช้เวลา 4 ชั่วโมง โดยใช้แอมโมเนียมคลอไรด์-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าการเลือกเกิดของไตรอะซิทีนเท่ากับ 25% และเมื่อใช้แอมโมเนียมคลอไรด์-35 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าการเลือกเกิดของไตรอะซิทีนในปริมาณมากกว่าเพียงเล็กน้อยคือ 25.9% จากงานวิจัยของ Claudia, V. Lacerda[66] และ Limin Zhou[70] ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมคลอไรด์-15 เป็นเวลา 5 ชั่วโมง มีค่าการเลือกเกิดของไตรอะซิทีนเพียง 43% และ 38% ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้พบว่าในระยะเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าการเลือกเกิดของไตรอะซิทีน 70% และในระยะเวลา 5 ชั่วโมง มีค่าการเลือกเกิดของไตรอะซิทีนถึง 80% หากเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่กล่าวมาข้างต้นแล้วจะพบว่าในงานวิจัยนี้มีการใช้เครื่องไมโครเวฟมาให้ความร้อนและใช้สารดูดซับน้ำ ซึ่งมีผลทำให้มีค่าการเลือกเกิดของไตรอะซิทีนมากขึ้น

#### 4.7 การศึกษาผลของการทำปฏิกิริยาโดยใช้เครื่องไมโครเวฟและเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ

จากการศึกษาพบว่า การให้ความร้อนโดยใช้รังสีไมโครเวฟเป็นการให้ความร้อนโดยตรงกับสารและทำให้โมเลกุลเกิดการสั่น ซึ่งช่วยในการทำปฏิกิริยาให้เกิดอย่างรวดเร็วขึ้น[72,73] จึงได้นำเอาเครื่องไมโครเวฟมาใช้ในการทดลองนี้และประดิษฐ์เครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟขึ้นมาเปรียบเทียบความแตกต่างในการเกิดปฏิกิริยา

จึงทำการทดลองโดยนำเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟมาใช้ในการให้พลังงานความร้อน โดยนำเอาสถานะที่ดีที่สุดมาใช้เพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องไมโครเวฟ คือใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อกรดอะซิติกเท่ากับ 1:9 โดยใช้แอมโมเนียมคลอไรด์-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X และใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 4.17 การทดลองทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 และใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X ผ่านเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ เป็นเวลา 15-60 นาที

จากรูปที่ 4.17 พบว่าใน 15-45 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลเพียง 20% และค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณน้อย จากนั้นเมื่อใช้เวลาผ่านไปจนถึง 60 นาที จึงพบค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอล 85% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG เพิ่มขึ้นเป็น 10% เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองโดยใช้เครื่องไมโครเวฟแล้วพบว่าให้ผลการทดลองที่ต่ำกว่า เนื่องมาจากเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟทำการ reflux เพื่อไม่ให้สารหายไปจากระบบ แต่กลับทำให้น้ำบางส่วนย้อนกลับเข้าสู่ระบบ อีกทั้งการกลั่นทำให้ไอของสารเย็นลงแล้วตกกลับลงไปทำให้ระบบสูญเสียความร้อนและเกิดปฏิกิริยาน้อยลงแม้จะมีการพ่นไนโตรเจนเพื่อไล่น้ำออกไปแล้วก็ตามและการเปลี่ยนจากการทดลองที่เป็นระบบปิดเป็นการทดลองระบบเปิดอาจทำให้สารในระบบหายไปจากการพ่นไนโตรเจน อีกทั้งแรงดันของระบบปิดมากกว่าระบบเปิดเนื่องจากเมื่อให้ความร้อนจนสารระเหยแล้วจะทำให้เกิดแรงดันในระบบปิดมากขึ้น จึงทำให้การทดลองโดยใช้เครื่องไมโครเวฟในระบบปิดมีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลในปริมาณมากกว่า 95% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG ถึง 20% ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง

เมื่ออุณหภูมิในระบบลดลงจึงทำให้ระยะเวลา 15-45 นาที มีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลและค่าการเลือกเกิดของ TAG ในปริมาณต่ำ ต้องใช้เวลาถึง 60 นาที จึงจะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนเกิดสารไตรอะซิทีน ปัญหาจึงเกิดจากเครื่องไมโครเวฟที่นำมาใช้ประดิษฐ์เครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟนั้นมีระบบการทำงานที่กำลั้งไฟฟ้า 100 วัตต์ จะทำงานโดยการให้รังสีไมโครเวฟเป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นจะปิดการทำงานเป็นเวลา 20 วินาที แล้วจึงทำงานใหม่อีกครั้ง เมื่อสารที่เย็นตัวตกกลับลงมาจึงทำให้อุณหภูมิในระบบต่ำลงและความร้อนจะขึ้นไปถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมช้าลง

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการสังเคราะห์ไตรอะซิทีนจากกลีเซอรอลที่ทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกโดยผ่านปฏิกิริยาเอาเทอพีเคชันที่มีแอมเบอลิส-15 และเรซินกรองน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อีกทั้งยังนำเอาสารดูดซับน้ำเข้ามาทดลองทั้งซิลิกาเจล ซีโอไลต์ 4A และซีโอไลต์ 13X เข้ามาเพื่อช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างรวดเร็วขึ้นโดยทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาที่ใช้แหล่งให้ความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟ

เมื่อทำการศึกษากำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการใช้แหล่งให้ความร้อนเป็นเครื่องไมโครเวฟ พบว่าความร้อนที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่นำมาใช้ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนกลีเซอรอลต่อกรดอะซิติกเท่ากับ 1:9 ด้วยกำลังไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟ 100 วัตต์ จะตรวจพบอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 90-110 องศาเซลเซียส ตั้งแต่เวลา 30 นาที เป็นต้นไป

เมื่อทำการศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเวลา 60 นาที ทั้งแอมเบอลิส-15 และเรซินกรองน้ำมาใช้พบว่าการใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าการเลือกเกิดของ TAG 20% ในขณะที่การใช้เรซินกรองน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าการเลือกเกิดของ TAG เพียง 10% ฉะนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุดจึงเป็นแอมเบอลิส-15

เมื่อทำการศึกษาผลของสารดูดซับน้ำเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทั้งซิลิกาเจล ซีโอไลต์ 4A และซีโอไลต์ 13X พบว่า การใช้สารดูดซับน้ำที่มีปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนใหญ่มีผลทำให้ค่าการเลือกเกิดของ TAG สูงขึ้นและในงานวิจัยนี้ซีโอไลต์ 13X มีปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนขนาดใหญ่ที่สุด ทำให้มีค่าการเลือกเกิดของ TAG มากที่สุดถึง 80% ในเวลา 5 ชั่วโมง

เมื่อทำการศึกษาผลของเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟเป็นเวลา 60 นาที พบว่ามีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลเท่ากับ 85% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ TAG เท่ากับ 10% ซึ่งน้อยกว่าการใช้เครื่องไมโครเวฟ เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟเกิดปัญหาจากการกลั่นทำให้อุณหภูมิไม่ถึงสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาและการเปลี่ยนเป็นระบบเปิดอาจทำให้สารหายไปจากระบบ

จึงสรุปว่า การใช้เครื่องไมโครเวฟในการให้ความร้อน โดยใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดคือมีค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลเท่ากับ 97% โดยมีค่าการเลือกเกิดของ MAG DAG TAG เท่ากับ 28.4%, 52.3%, 19.3% ตามลำดับ ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง อีกทั้งยังคงมีค่าการเลือกเกิดของ TAG เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องไป

จนถึง 80% ภายในระยะเวลา 5 ชั่วโมง และยังคงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นไปจนถึง 100% โยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้ใช้พลังงานความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกอีกชนิดหนึ่ง จึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติมในส่วนเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟเพื่อเป็นแนวทางที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น จึงควรนำเอาเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟไปปรับปรุงเพิ่มเติม
2. เครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟให้ผลการทดลองที่ไม่พึงพอใจเกิดจากการกลั่นตัวกลับลงมาแล้วทำให้อุณหภูมิจากการทดลองลดลง อันเนื่องมาจากการทำงานของเครื่องไมโครเวฟที่ใช้กำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ ตัวเครื่องจะทำงาน 10 วินาทีจากนั้นจากนั้นจะตัดไฟเป็นเวลา 50 วินาที ซึ่งทำให้อุณหภูมิไม่คงที่และเมื่อสารที่เย็นกลั่นตัวกลับลงมาทำให้อุณหภูมิในระบบต่ำลง จึงควรดัดแปลงเครื่องไมโครเวฟในส่วนนี้
3. การสังเคราะห์ TAG จากการทดลองนี้สามารถสร้างการทดลองให้ต่อเนื่องและแยกผลิตภัณฑ์ออกจากสารตั้งต้นเพื่อให้เกิดความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากยิ่งขึ้น
4. การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากขึ้น และระยะเวลาในการทดลองที่มากขึ้นจะให้ค่าการเปลี่ยนของกลีเซอรอลและค่าการเลือกเกิดของ TAG มากขึ้น
5. การใช้เครื่องไมโครเวฟแบบมาตรฐานในการให้ความร้อนควรจะต้องคำนึงถึงปริมาณสารชนิดของสารและกำลังไฟฟ้าของเครื่องไมโครเวฟ เนื่องจากทำให้เกิดอุณหภูมิที่แตกต่างกัน
6. ควรระมัดระวังการใช้ซีโอไลต์ในเครื่องไมโครเวฟเนื่องจากรังสีไมโครเวฟทำให้ซีโอไลต์เกิดความร้อนสูง
7. การทำการทดลองในระบบปิดควรระมัดระวังไอน้ำที่เกิดขึ้น เนื่องจากทำให้เกิดแรงดันสูง
8. การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินกรองน้ำช่วยให้มีค่าการเลือกเกิดเป็น TAG ได้ถึง 10% ในระยะเวลา 15-ชั่วโมง ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบราคากับแอมเบอลิส 1 จึงเป็นตัวเลือกที่ดีในการลดต้นทุนในการวิจัย
9. การใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดซับน้ำช่วยให้มีค่าการเลือกเกิดเป็น TAG ได้ถึง 55% ในระยะเวลา 15-ชั่วโมง ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบราคากับแอมเบอลิส 5 จึงเป็นตัวเลือกที่ดีในการลดต้นทุนในการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Mohanty, A.K. Misra, M. and Drzal, L.T. 2005. **Journal of Polymers and the Environment**. Volume 10 : 19-26.
- [2] Pramanik, T. and Tripathi, S. 2005. **Biodiesel: clean fuel of the future**. *Hydrocarbon Process*. 84 : 49–54.
- [3] Bournay, L. Casanave, D. Delfort, B. Hillion, G. and Chodorge, J.A. 2005. **New heterogeneous process for biodiesel production: a way to improve the quality and the value of the crude glycerin produced by biodiesel plants**. *Catal Today*. 106 : 190–2.
- [4] Woo, C. 2007. **Clean fuel trends in Asia: contribution of MTBE**. *Hydrocarbon Process*. 86 : 85–8.
- [5] Yazdani, S.S. and Gonzalez, R. 2007. **Anaerobic fermentation of glycerol: a path to economic viability for the biofuels industry**. *Curr Opin Biotechnol*. 18 : 213–9.
- [6] Melero, J.A. Vicente, G. and Morales, G. 2008. **Acid-catalyzed etherification of bio-glycerol and isobutylene over sulfonic mesostructured silicas**. *Appl Catal A*. 346 : 44–51.
- [7] Bowman, M. Hilligoss, D. Rasmussen, S. and Thomas, R. 2006. **Biodiesel: a renewable and biodegradable fuel**. *Hydrocarbon Process*. 85 : 103–6.
- [8] Smith, C. 2004. **Biodiesel revolution gathering momentum**.
- [9] Kenkel, P. and Holcomb, R. 2008. **Feasibility of on-farm or small scale oilseed processing and biodiesel**. *Global Bioenergy Partnership*.
- [10] Paliagro, M. and Rossi, M. 2008. **The future of glycerol: new uses of a versatile raw material**. *RSC Green Chem*. 5 : 212–8.
- [11] Nilles, D. 2006. **Combating the glycerin glut**. *Biodiesel Mag*. 6 : 5–6.
- [12] Kirschner, M. 2006. **Chemical Profile: Propionic Acid**. *Chemical Market Reporter*. 30 : 20–26.
- [13] [Online]. Available : [http://montgomerynews.com/content/articles/2011/06/08/auto/doc4de68550f33\\_712750276941.jpg](http://montgomerynews.com/content/articles/2011/06/08/auto/doc4de68550f33_712750276941.jpg).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] [Online]. Available : <http://www.siamchemi.com/%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%B5%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%99/>.
- [15] [Online]. Available : [http://www.sophon.ac.th/sophon/lms/biology/Chapter2/Picture\\_Chapter2/2.16.jpg](http://www.sophon.ac.th/sophon/lms/biology/Chapter2/Picture_Chapter2/2.16.jpg).
- [16] Claude, S. Heming, M. and Hill, K. 2000. **Development of glycerol market.** Markets and applications. Lipid Tech. Newslett. 105-13.
- [17] Queste, S. Bauduin, P. Touraud, D. Kunz, W. and Aubry, J.M. 2006. **Short chain glycerol 1-monoethers - a new class of green solvosurfactants.** Green Chem. 8 : 822-830.
- [18] Haynes, M.P. Buckley, H.R. Higgins, M.L. and Pieringer, R.A. 1994. **Synergism between the antifungal agents.** Antimicrob. Agents Chemother. 38(7) : 1523-9.
- [19] Claude, S. 1999. **Research of new outlets for glycerol-recent developments in France.** Lipid. 101 : 101-104.
- [20] Cortright, R.D. R.R. Davda, and J.A. Dumesic. 2002. **Hydrogen from catalytic reforming of biomass-derived hydrocarbons in liquid water.** Nature. 418 : 964-967.
- [21] Y. Cui. V. Galvita. L. Rihko-Struckmann. H. Lorenz. and K. Sundmacher. 2009. **Steam reforming of glycerol: The experimental activity of La<sub>1-x</sub>Ce<sub>x</sub>NiO<sub>3</sub> catalyst in comparison to the thermodynamic reaction equilibrium.** Applied Catalysis B: Environmental. 90 : 29-37.
- [22] Pesak Rungrojchaipon. 2014. **Glycerol: Utilization for Hydrogen Production.** Journal of science tadkrabang year 23/2 Month July-December.
- [23] [Online]. Available : <http://thaipolychemicals.blogspot.com/2014/01/acetic-acid.html>.
- [24] [Online]. Available : <http://www.thaiaprochemical.com/%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%94%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%AA%E0%B9%89%E0%B8%A1-%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B8%8B%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%81-%E0%B9%81%E0%B8%AD%E0%B8%8B%E0%B8%B4%E0%B8%84-%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%94%E0%B8%AA%E0%B9%89%E0%B8%A1-acetic-acid/>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [25] [Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%94%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%AA%E0%B9%89%E0%B8%A1>.
- [26] [Online]. Available : <http://en.wikipedia.org/wiki/Triacetin>.
- [27] Andrei, A. Zagorodni. **Ion exchange materials: properties and applications**. The Boulevard. Langford Lane. Kidlington. OX5 1GB. Uk. Pages 2-8.
- [28] W. C. Bauman. and J. Eichhorn. 1947. **Fundamental Properties of a Synthetic Cation Exchange Resin**. J. Am. Chem. Soc. 69(11) : pp 2830–2836.
- [29] F. Dardel. and T. V. Arden. 2008. **Ion Exchangers**. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley-VCH, Weinheim.
- [30] R. Pal. T. Sarkar. and S. Khasnobis. 2012. **Amberlyst-15 in organic synthesis**. ARKIVOC. (i) : 570-609.
- [31] S. Kale. S.B. Umbarkar. M.K. Dongare. R. Eckelt. U. Armbruster. and A. Martin. 2015. **Selective formation of triacetin by glycerol acetylation using acidicion-exchange resins as catalyst and toluene as an entrainer**. Applied Catalysis A: General. 490 : 10–16.
- [32] [Online]. Available : <http://www.amberlyst.com/sac.htm>.
- [33] [Online]. Available : <http://vipwatergroup.lnwshop.com/article/%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%8B%E0%B8%B4%E0%B9%88%E0%B8%99>.
- [34] [Online]. Available : [http://ssggroups.com/storage/5/22344/uploads/images/DSCF2540\\_40120031\\_std.jpg](http://ssggroups.com/storage/5/22344/uploads/images/DSCF2540_40120031_std.jpg).
- [35] Cronstedt, A. F. Acad. and Handl. 1756. Stockholm. 17 : 120.
- [36] Huang, Y. and J. Am. 1996. Chem. Soc. 118(30) : 7233-7234.
- [37] Hansford, R.C. 1966. 5 pp. US 3269934 19660830.
- [38] Song, W. Marcus, D. M. Abubakar, S. M. Jani, E. Haw, J.F. and J. Am. 2003. Chem. Soc. 125(46) : 13964-13965.
- [39] Xu, T. Barich, D.H. Goguen, P.W. Song, W. Wang, Z. Nicholas, J.B. Haw, J.F. and J. Am. 1998. Chem. Soc. 120(16) : 4025-4026.
- [40] Krishnan, V. Ojha, K. and Pradhan, N.C. 2002. Org. Process Res. Dev. 6(2) : 132-

เอกสารนี้เป็น 137 ครที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [41] Pauling, L. and Z. Kristallogr. 1930. 74 : 213-225.
- [42] Glass, J.J. Jahns, R.H. Stevens, R.E. and Am. 1944. Mineral. 29 : 163-191.
- [43] Barrer, R.M. White, E.A.D. and J. 1951. Chem. Soc. 1267-1278.
- [44] [Online]. Available : [http://www.tanapolvanich.com/dry-bag/html/Type\\_of\\_Desiccant\\_Packaging\\_th.htm#1](http://www.tanapolvanich.com/dry-bag/html/Type_of_Desiccant_Packaging_th.htm#1).
- [45] [Online]. Available : [http://en.wikipedia.org/wiki/Molecular\\_sieve](http://en.wikipedia.org/wiki/Molecular_sieve).
- [46] [Online]. Available : <http://www.thaidphoto.com/forums/attachment.php?attachmentid=353266&stc=1&d=1243313010>.
- [47] [Online]. Available : [http://lartpc-docdb.fnal.gov/0000/000084/001/zeolite\\_molecular\\_sieve.pdf](http://lartpc-docdb.fnal.gov/0000/000084/001/zeolite_molecular_sieve.pdf).
- [48] [Online]. Available : [http://www.hysilicagel.com/product\\_en/images/737282\\_1.jpg](http://www.hysilicagel.com/product_en/images/737282_1.jpg).
- [49] Melero, J.A. van, Grieken. R. Morales, G. and Paniagua, M. 2007. Acidic mesoporous silica for the acetylation of glycerol: synthesis of bioadditives to petrol fuel. Energy Fuels. 21 : 1782-91.
- [50] Valter, L.C. Goncalves. Pinto, B.P. Silva, J.C. and Mota, C.J.A. 2008. Acetylation of glycerol catalyzed by different solid acids. Catal Today. 133-135 : 673-7.
- [51] Luque, R. Budarin, V. Clark, J.H. and Macquarrie, D.J. 2008. Glycerol transformations on polysaccharide derived mesoporous materials. Appl Catal B. 82 : 157-62.
- [52] Ferreira, P. Fonseca, I.M. Ramos, A.M. Vital, J. and Castanheiro, J.E. 2009. Esterification of glycerol with acetic acid over dodecamolybdophosphoric acid encaged in USY zeolite. Catal Commun. 10 : 481-4.
- [53] Lakhya, Jyoti, Konwar. Paivi, Maki-Arvela. Pakiza, Begum. Narendra, Kumar. Ashim, Jyoti, Thakur. Jyri-Pekka, Mikkola. Ramesh, Chandra, Deka. and Dhanapati, Deka. 2015. Shape selectivity and acidity effects in glycerol acetylation with acetic anhydride: Selective synthesis of triacetin over Y-zeolite and sulfonated mesoporous carbons. Journal of Catalysis. 329 : 237-247.
- [54] [Online]. Available : [www.nst.or.th/article/article494/article49401.html](http://www.nst.or.th/article/article494/article49401.html).
- [55] [Online]. Available : <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-10.pdf>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [56] [Online]. Available : [http://www.thaitechno.net/t1/knowledge\\_detail.php?id=1230&uid=41046](http://www.thaitechno.net/t1/knowledge_detail.php?id=1230&uid=41046).
- [57] R. Masae. S. Payuhasena. M. Matchika. and P. Rungrojchaipon. 2010. **Producing triacetyl glycerol with glycerol by esterification and using water filter resins.** King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- [58] Xiaoyuan, Liao. 2009. **Producing triacetyl glycerol with glycerol by two steps: Esterification and acetylation.** Fuel Processing Technology Fuel Processing Technology. 90 : 988–993.
- [59] B. Toukoniitty. J.P. Mikkola. K. Erañnen. T. Salmi. and D.Yu. Murzin. 2005. **Esterification of propionic acid under microwave irradiation over an ion-exchange resin.** Catalysis Today. 100 : 431–435
- [60] Leonardo, N. Silva. 2010. **Catalytic acetylation of glycerol with acetic anhydride.** Catalysis Communications. 11 : 1036–1039.
- [61] M. Balaraju. 2010. **Acetylation of glycerol to synthesize bioadditives over niobic acid supported tungstophosphoric acid catalysts.** Fuel Processing Technology. 91 : 249–253.
- [62] Katarína, Klepačová. Dušan, Mravec. and Martin, Bajus. 2005. **tert-Butylation of glycerol catalysed by ion-exchange resins.** Applied Catalysis A: General. 294 : 141–147.
- [63] T.R.C. Van, Assche. T. Remy. G. Desmet. G.V. Baron. and J.F.M. Denayer. 2010. **Adsorptive separation of liquid water/acetonitrile mixtures.** Separation and Purification Technology. 82 : 76–86.
- [64] Mufrodi, Z. Rochmadi, S. and Budiman, A. 2012. **Chemical kinetics for synthesis of triacetin from biodiesel byproduct.** IntJChem. 4 : 101–7.
- [65] Liao, Xiaoyuan. Zhu, Yulei. Wang, Sheng, Guang. and Hongmei, Chen, Y.L. 2010. **Theoretical elucidation of acetylating glycerol with acetic acid and acetic anhydride.** Appl Catal B Environ. 94 : 64–70.
- [66] Limin, Zhou. Tuan-Huy, Nguyen. and Adesoji, A. Adesina. 2012. **The acetylation of glycerol over amberlyst-15: Kinetic and product distribution.** Fuel Processing Technology. 104 : 310–318.
- [67] Atipoo, Eamcharoen. Pesak, Rungrojchaipon. 2016. **The conversion of glycerol to fuel additives.** Journal of science ladkrabang.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [68] Claudia, V. Lacerda. Maria, J. S. Carvalho. Alice, R. Ratton. Itânia, P. Soares. and Luiz, E. P. Borges. 2015. **Synthesis of Triacetin and Evaluation on Motor.** J. Braz. Chem. Soc., Vol. 26, No. 8, 1625-1631.
- [69] M.S. Khayoon. B.H. Hameed. 2011. **Acetylation of glycerol to biofuel additives over sulfated activated carbon catalyst.** Bioresource Technology. 102 : 9229–9235.
- [70] Limin, Zhou. Essam, Al-Zaini. Adesoji, A. Adesina. 2013. **Catalytic characteristics and parameters optimization of the glycerol acetylation over solid acid catalysts.** Fuel. 103 : 617–625.
- [71] Ferreira, P. Fonseca, IM. Ramos, AM. Vital, J. Castanheiro, JE. 2009. **Esterification of glycerol with acetic acid over dodecamolybdophosphoric acid encaged in USY zeolite.** Catal Commun. 10 : 481–4.
- [72] Pornpimol, Bookong. Somsak, Ruchirawat. and Siwarutt, Boonyarattanakalin. 2015. **Optimization of microwave-assisted etherification of glycerol to polyglycerols by sodium carbonate as catalyst.** Chemical Engineering Journal. 275 : 253–261.
- [73] Thanthip, Tawatwachoom. 2014. **Synthesis and characterization of poly (glycerol sebacate) using microwave reactor.** King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

## ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

## Calculation

การคำนวณความสามารถในการดูดซับน้ำของสารดูดซับน้ำ

$$\% \text{ ของน้ำที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวของสาร} = \left( \frac{\text{น้ำหนักหลังดูดซับน้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนดูดซับน้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนดูดซับน้ำ}} \right) \times 100\%$$

การคำนวณ % conversion

$$\% \text{ conversion} = 100\% - \% \text{ ของกลีเซอรอลที่เหลือ}$$

การคำนวณ % selectivity

$$\% \text{ selectivity} = \left( \frac{\% \text{ ของ MAG, DAG, TAG}}{\% \text{ conversion}} \right) \times 100\%$$

คำนวณ molarity

Nitric acid (Nitric acid 70% น้ำหนักโมเลกุล 63 กรัม ความหนาแน่น 1.40 g/L)

$$M = \frac{\% \times 10 \times d}{MW} = \frac{70\% \times 10 \times 1.40 \text{ g/L}}{63 \text{ g/mol}} = 15.56 \text{ mol/L}$$

Sodium hydroxide (น้ำหนักโมเลกุล 40 กรัม) ใช้ 0.1 M

1 M NaOH : 40 g NaOH ในน้ำกลั่น 1 L

0.1 M NaOH : 4 g NaOH ในน้ำกลั่น 1 L

ตารางทดสอบ cation exchange resins[57]

ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยา 1 กรัม ผสมกับน้ำ 100 mL ใส่ขวดเขย่า 10 นาที

จากนั้นทำการไทเทรตด้วย NaOH ความเข้มข้น 0.1 M

คำนวณ cation exchange capacity

$$\frac{\text{ml NaOH} \times N_{\text{NaOH}} \times 10}{\text{sample weight} \times \frac{\% \text{ solid}}{100}} = \frac{\text{meq. of strong acid capacity}}{\text{gram of dry H-form resins}}$$

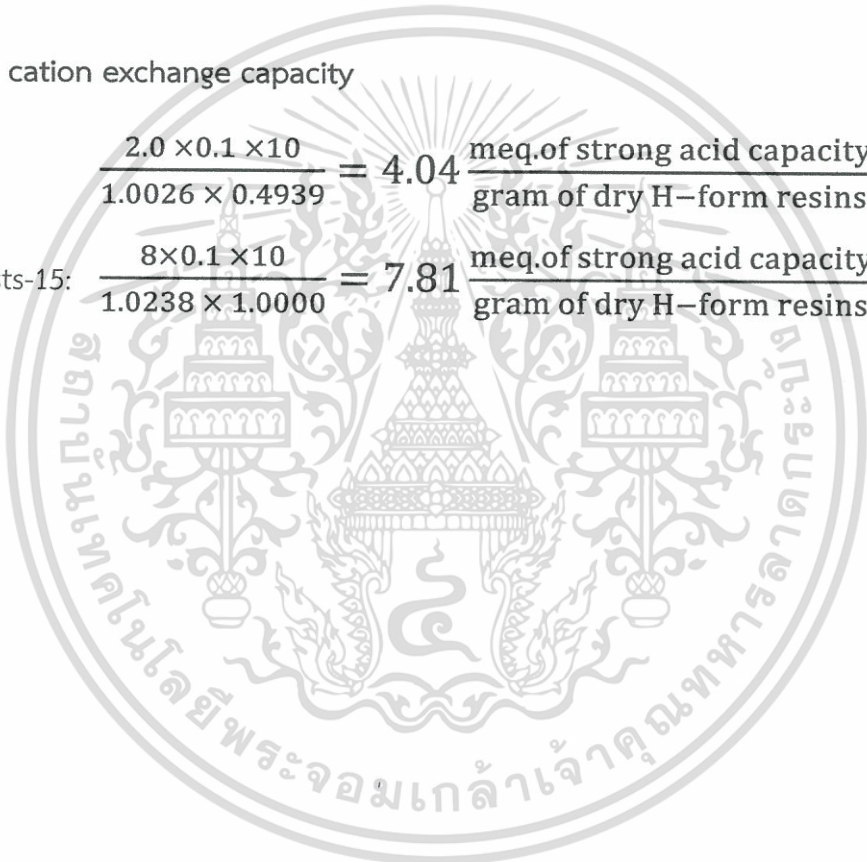
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท ออมเกล้า จำกัด การนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Water filter resins	Amberlysts-15
Weight before dry (g)	3.9942	-
Weight resin after dry (g)	1.9730	-
Sample weight (g)	1.0026	1.0238
Volume of NaOH	2	8
% solids / 100	0.4939	1

คำนวณ cation exchange capacity

Resins: 
$$\frac{2.0 \times 0.1 \times 10}{1.0026 \times 0.4939} = 4.04 \frac{\text{meq. of strong acid capacity}}{\text{gram of dry H-form resins}}$$

Amblysts-15: 
$$\frac{8 \times 0.1 \times 10}{1.0238 \times 1.0000} = 7.81 \frac{\text{meq. of strong acid capacity}}{\text{gram of dry H-form resins}}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

ตารางความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระหว่างเวลาต่อกำลังไฟฟ้า

Time (min)	100W	Time (min)	300W
0	30	0	30
1	41	1	66
2	50	2	84
3	62	3	91
4	65	4	105
5	67	5	106
6	69	6	100
7	70	7	107
8	71	8	114
9	74	9	121
10	78	10	129
11	82	11	137
12	84	12	142
13	87	13	149
14	89	14	151
15	90	15	156
16	92	16	153
17	93	17	150
18	95	18	151
19	97	19	155
20	94	20	161
22	99		
24	98		
26	96		
28	97		
30	100		
35	101		
40	103		
45	104		
50	106		
55	109		
60	111		
65	110		
70	108		
75	111		
80	113		
85	110		
90	111		
95	112		
100	109		
105	110		
110	107		
115	112		
120	111		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### ตารางความสามารถในการดูดซับน้ำของสารดูดซับน้ำ

สารดูดซับน้ำ	น้ำหนักก่อนดูดซับ	น้ำหนักหลังดูดซับ	น้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดซับ	%ของน้ำที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวของสาร
4A	10.0589	14.3914	4.3325	43.07
13X	10.0596	15.1987	5.1391	51.09
silica	9.8225	12.5319	2.7094	27.58
หลังจาก regenerate	น้ำหนักก่อนดูดซับ	น้ำหนักหลังดูดซับ	น้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดซับ	%ของน้ำที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวของสาร
4A	10.3503	14.3914	4.0411	40.17
13X	10.4358	15.1987	4.7629	47.35
silica	10.0304	12.5319	2.5015	25.47

## ภาคผนวก ง

### ตารางของ %conversion และ %selectivity

การทดลองซึ่งไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ระยะเวลาในการทำการทดลอง 60 นาที โดยใช้เครื่องไมโครเวฟในการให้ความร้อน

Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	TAG	DAG	MAG	Glycerol	%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
No Cat	No absorb	15	0.252	9.492	47.837	42.419	57.58	0.44	16.48	83.08
No Cat	No absorb	30	0.519	10.814	47.337	41.331	58.67	0.88	18.43	80.68
No Cat	No absorb	45	0.804	18.912	55.477	24.806	75.19	1.07	25.15	73.78
No Cat	No absorb	60	1.689	24.795	55.268	18.248	81.75	2.07	30.33	67.60
Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	TAG	DAG	MAG	Glycerol	%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
No Cat	Silica gel	15	1.189	5.962	44.905	47.943	52.06	2.28	11.45	86.26
No Cat	Silica gel	30	0.523	8.420	45.562	45.494	54.51	0.96	15.45	83.59
No Cat	Silica gel	45	1.311	23.930	55.347	19.412	80.59	1.63	29.69	68.68
No Cat	Silica gel	60	4.170	38.415	47.765	9.650	90.35	4.62	42.52	52.87
Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	TAG	DAG	MAG	Glycerol	%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
No Cat	4A	15	0.177	9.317	49.049	41.457	58.54	0.30	15.91	83.78
No Cat	4A	30	0.783	18.982	56.651	23.584	76.42	1.02	24.84	74.13
No Cat	4A	45	2.517	29.807	52.918	14.759	85.24	2.95	34.97	62.08
No Cat	4A	60	2.697	30.136	55.302	11.865	88.14	3.06	34.19	62.75
Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	TAG	DAG	MAG	Glycerol	%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
No Cat	13X	15	0.536	14.393	52.963	32.109	67.89	0.79	21.20	78.01
No Cat	13X	30	1.420	20.701	52.423	25.456	74.54	1.90	27.77	70.32
No Cat	13X	45	2.373	21.781	51.035	24.811	75.19	3.16	28.97	67.88
No Cat	13X	60	1.410	23.876	54.962	19.753	80.25	1.76	29.75	68.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองซึ่งใช้เรซินกรองน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ระยะเวลาในการทำการทดลอง 60 นาที โดยใช้เครื่องไมโครเวฟในการให้ความร้อน

Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	TAG	DAG	MAG	Glycerol	%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
Resin	No absorb	15	1.069	21.333	55.146	22.452	77.55	1.38	27.51	71.11
Resin	No absorb	30	1.487	23.571	54.622	20.320	79.68	1.87	29.58	68.55
Resin	No absorb	45	6.477	34.139	47.419	11.965	88.04	7.36	38.78	53.86
Resin	No absorb	60	8.985	42.989	41.628	6.398	93.60	9.60	45.93	44.47

Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	TAG	DAG	MAG	Glycerol	%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
Resin	Silica gel	15	2.981	17.687	46.288	33.044	66.96	4.45	26.42	69.13
Resin	Silica gel	30	5.048	25.699	47.813	21.441	78.56	6.43	32.71	60.86
Resin	Silica gel	45	1.201	25.719	55.953	17.127	82.87	1.45	31.03	67.52
Resin	Silica gel	60	3.675	34.121	50.049	12.155	87.85	4.18	38.84	56.97

Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	TAG	DAG	MAG	Glycerol	%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
Resin	4A	15	0.223	9.608	49.821	40.348	59.65	0.37	16.11	83.52
Resin	4A	30	4.931	36.718	48.063	10.288	89.71	5.50	40.93	53.57
Resin	4A	45	6.920	36.800	45.236	11.044	88.96	7.78	41.37	50.85
Resin	4A	60	10.261	45.984	37.916	5.839	94.16	10.90	48.84	40.27

Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	TAG	DAG	MAG	Glycerol	%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
Resin	13X	15	1.039	21.058	53.492	24.411	75.59	1.37	27.86	70.77
Resin	13X	30	2.708	22.014	51.509	23.770	76.23	3.55	28.88	67.57
Resin	13X	45	3.927	28.373	48.503	19.197	80.80	4.86	35.11	60.03
Resin	13X	60	8.766	40.000	42.776	8.459	91.54	9.58	43.70	46.73

การทดลองซึ่งใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ระยะเวลาในการทำการทดลอง 60 นาที โดยใช้เครื่องไมโครเวฟในการให้ความร้อน

Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	TAG	DAG	MAG	Glycerol	%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
Amberlyst	No absorb	15	1.253	16.676	51.280	30.791	69.21	1.81	24.10	74.09
Amberlyst	No absorb	30	1.270	18.658	51.711	28.361	71.64	1.77	26.04	72.18
Amberlyst	No absorb	45	10.824	31.302	40.052	11.822	88.18	12.28	35.50	45.42
Amberlyst	No absorb	60	15.828	51.929	29.291	2.953	97.05	16.31	53.51	30.18

Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	TAG	DAG	MAG	Glycerol	%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
Amberlyst	Silica gel	15	1.456	17.382	51.294	29.869	70.13	2.08	24.79	73.14
Amberlyst	Silica gel	30	3.304	28.991	50.528	17.177	82.82	3.99	35.00	61.01
Amberlyst	Silica gel	45	9.633	43.981	41.348	5.039	94.96	10.14	46.31	43.54
Amberlyst	Silica gel	60	16.281	49.598	31.405	2.716	97.28	16.74	50.98	32.28

Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	TAG	DAG	MAG	Glycerol	%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
Amberlyst	4A	15	1.182	18.097	52.921	27.800	72.20	1.64	25.07	73.30
Amberlyst	4A	30	2.922	46.450	43.991	6.637	93.36	3.13	49.75	47.12
Amberlyst	4A	45	7.428	37.392	45.216	9.964	90.04	8.25	41.53	50.22
Amberlyst	4A	60	14.094	46.012	34.541	5.353	94.65	14.89	48.61	36.49

Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	TAG	DAG	MAG	Glycerol	%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
Amberlyst	13X	15	0.735	13.222	48.114	37.930	62.07	1.18	21.30	77.52
Amberlyst	13X	30	5.738	35.484	46.990	11.788	88.21	6.50	40.23	53.27
Amberlyst	13X	45	11.271	46.631	37.516	4.583	95.42	11.81	48.87	39.32
Amberlyst	13X	60	18.684	50.632	27.532	3.152	96.85	19.29	52.28	28.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองซึ่งแอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้สารดูดซับน้ำและใช้ระยะเวลาในการทำการทดลอง 5 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องไมโครเวฟในการให้ความร้อน

Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	Time (hr)
Amberlyst	No absorb	120	2
Amberlyst	No absorb	180	3
Amberlyst	No absorb	240	4
Amberlyst	No absorb	300	5

TAG	DAG	MAG	Glycerol
18.347	53.755	26.612	1.287
21.906	53.898	23.103	1.092
28.221	57.986	13.792	0.000
53.281	44.668	2.051	0.000

%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
98.71	18.59	54.46	26.96
98.91	22.15	54.49	23.36
100.00	28.22	57.99	13.79
100.00	53.28	44.67	2.05

การทดลองซึ่งแอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้สารดูดซับน้ำเป็นซิลิกาเจลและใช้ระยะเวลาในการทำการทดลอง 5 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องไมโครเวฟในการให้ความร้อน

Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	Time (hr)
Amberlyst	4A	120	2
Amberlyst	4A	180	3
Amberlyst	4A	240	4
Amberlyst	4A	300	5

TAG	DAG	MAG	Glycerol
15.805	53.973	28.456	1.766
32.908	56.737	10.354	0.000
49.324	47.519	3.157	0.000
55.512	42.254	2.234	0.000

%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
98.23	16.09	54.94	28.97
100.00	32.91	56.74	10.35
100.00	49.32	47.52	3.16
100.00	55.51	42.25	2.23

การทดลองซึ่งแอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 4A และใช้ระยะเวลาในการทำการทดลอง 5 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องไมโครเวฟในการให้ความร้อน

Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	Time (hr)
Amberlyst	Silica gel	120	2
Amberlyst	Silica gel	180	3
Amberlyst	Silica gel	240	4
Amberlyst	Silica gel	300	5

TAG	DAG	MAG	Glycerol
25.590	58.638	15.773	0.000
30.531	57.138	12.331	0.000
49.592	46.649	3.759	0.000
58.437	39.825	1.738	0.000

%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
100.00	25.59	58.64	15.77
100.00	30.53	57.14	12.33
100.00	49.59	46.65	3.76
100.00	58.44	39.83	1.74

การทดลองซึ่งแอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X และใช้ระยะเวลาในการทำการทดลอง 5 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องไมโครเวฟในการให้ความร้อน

Catalyst	Absorb Water	Time (Min)	Time (hr)
Amberlyst	13X	120	2
Amberlyst	13X	180	3
Amberlyst	13X	300	5
Amberlyst	13X	240	4

TAG	DAG	MAG	Glycerol
38.546	52.424	9.030	0
47.650	47.478	4.872	0
71.149	28.851	0.000	0
78.940	21.060	0.000	0

%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
100	38.55	52.42	9.03
100	47.65	47.48	4.87
100	71.15	28.85	0.00
100	78.94	21.06	0.00

การทดลองซึ่งใช้แอมเบอลิส-15 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้สารดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X และใช้ระยะเวลาในการทำการทดลอง 60 นาที โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟในการให้ความร้อน

Catalyst	Absorb Water	Time (min)
Amberlyst	13X	15
Amberlyst	13X	30
Amberlyst	13X	45
Amberlyst	13X	60

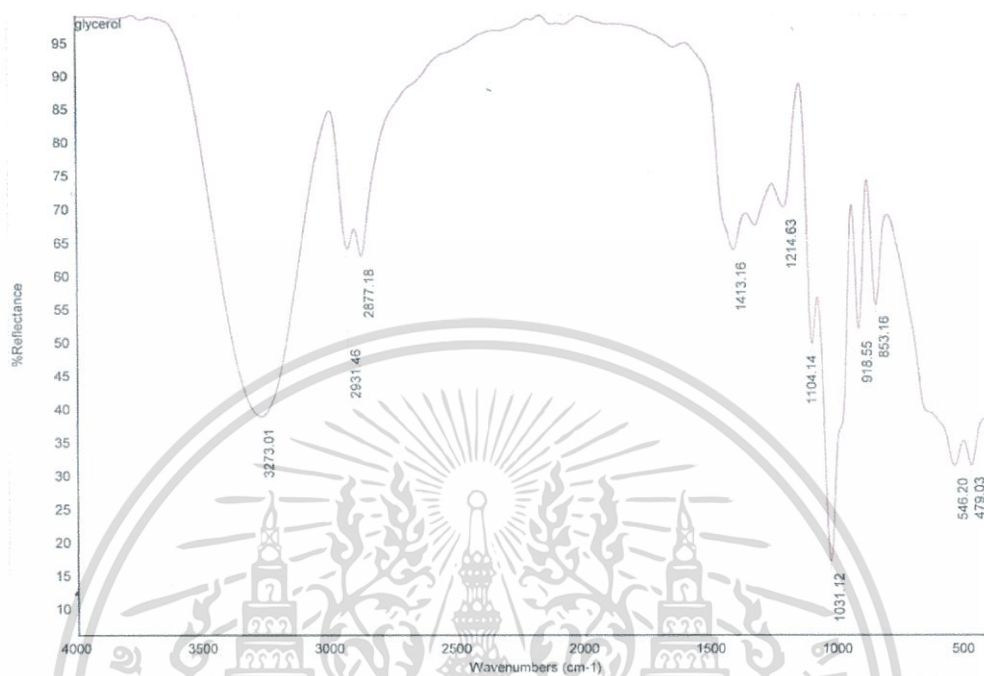
TAG	DAG	MAG	Glycerol
0.374	4.660	17.026	77.939
0.923	9.858	27.808	61.411
1.455	17.803	37.051	43.692
10.491	34.910	39.193	15.406

%Conversion	%TAG	%DAG	%MAG
22.06	1.70	21.12	77.18
38.59	2.39	25.55	72.06
56.31	2.58	31.62	65.80
84.59	12.40	41.27	46.33

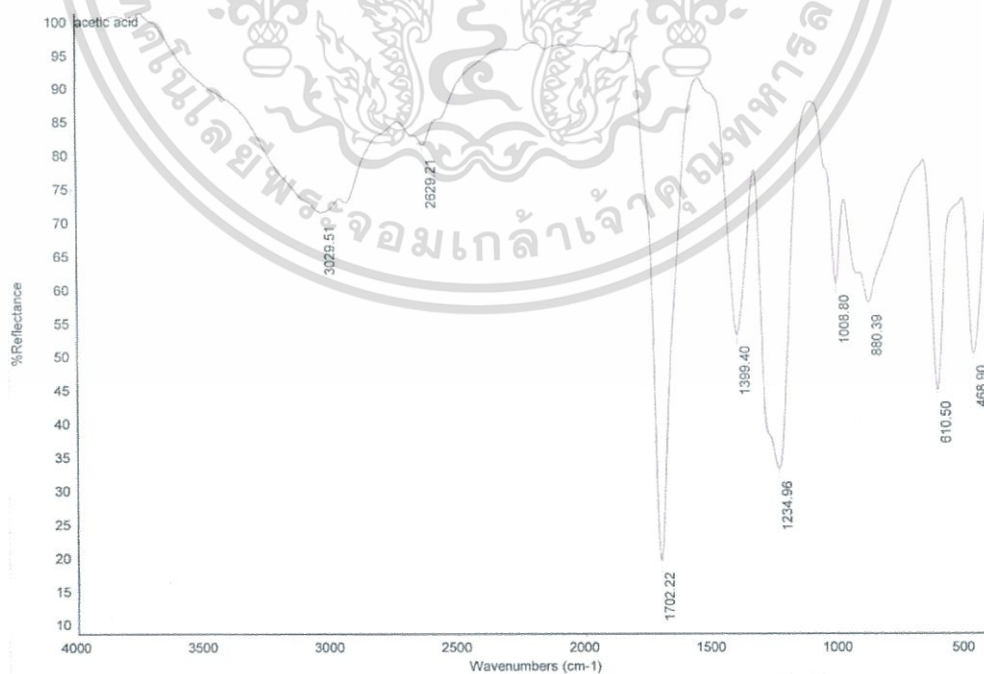
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ

## ข้อมูลดิบ FTIR

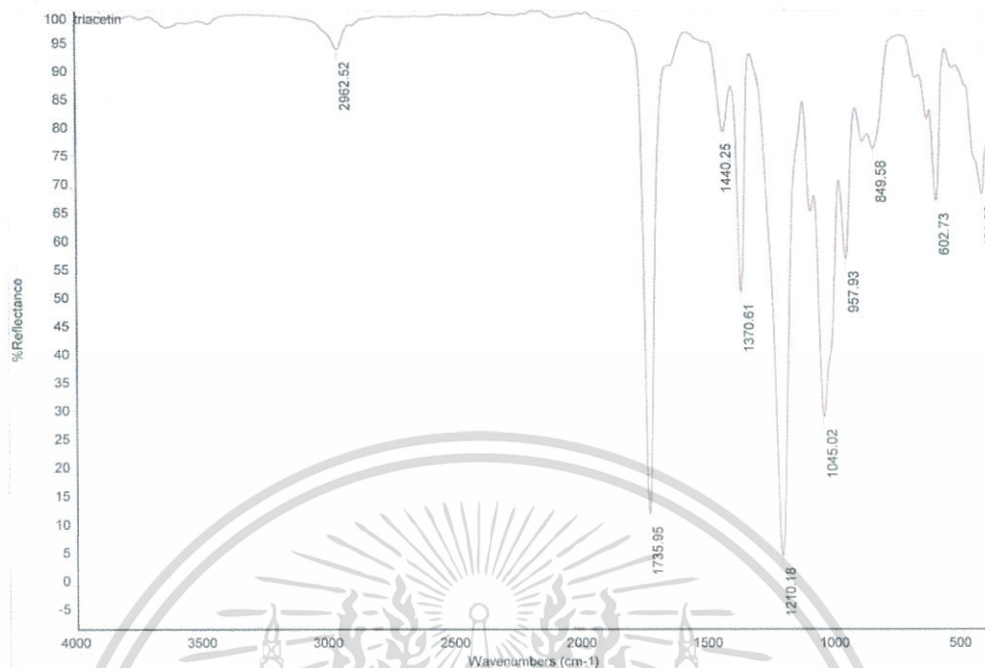


รูปที่จ.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของกลีเซอรอล



รูปที่จ.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของกรดอะซิติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 อินฟราเรดสเปกตรัมของไตรอะซิทีน

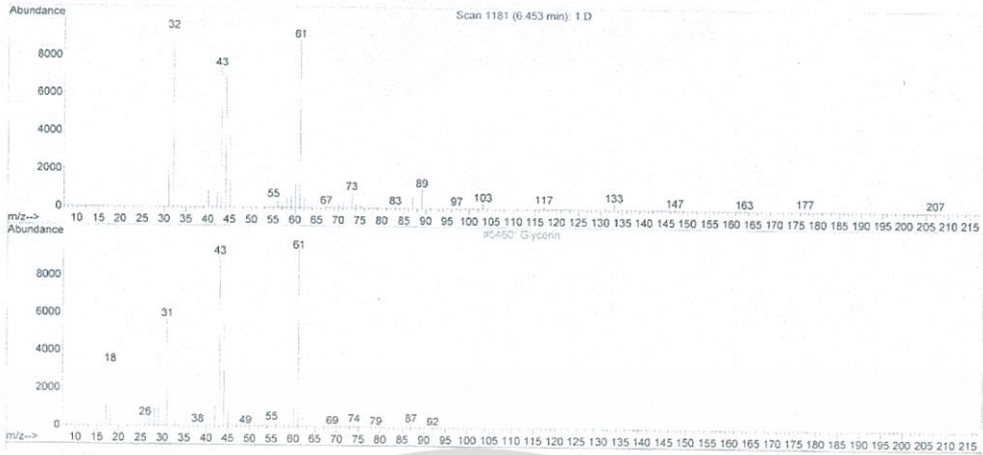
ภาคผนวก ฉ

### ข้อมูลดิบ GC-MS

#### 1. MS data

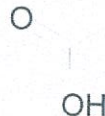
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1  
 Quality : 45  
 ID : Glycerin



รูปที่ 1 ข้อมูล MS ของ Glycerol

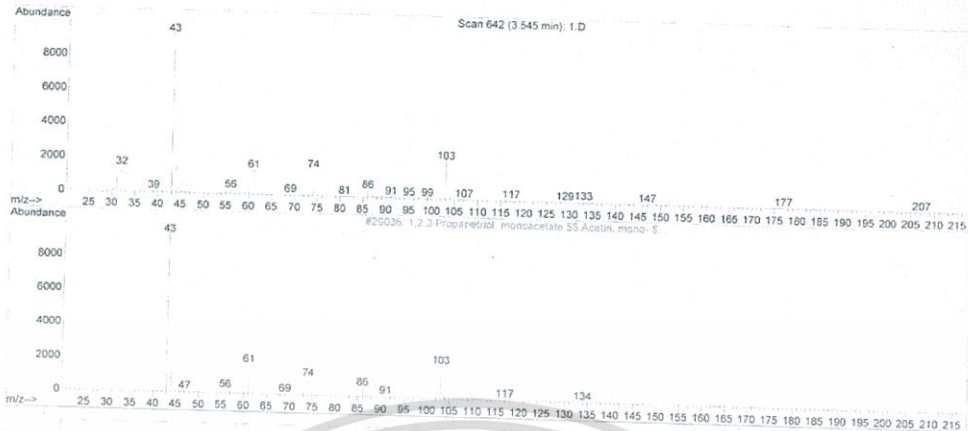
Library Searched : C:\Database\wiley7n.1  
 Quality : 90  
 ID : Acetic acid (CAS) \$\$ Ethylic acid \$\$ Vinegar acid \$\$ Ethanoic acid \$\$ Glacial acetic acid \$\$ Methanecarboxylic acid \$\$ CH<sub>3</sub>COOH \$\$ Component of Aci-Jel \$\$ Acetasol \$\$ Acide acetique \$\$ Acido acetico \$\$ Azijnzuur \$\$ Essigsaeure \$\$ Octowy kwas \$\$ Acetic acid



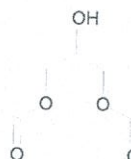
รูปที่ 2 ข้อมูล MS ของ Acetic acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Library Searched : C:\Database\wiley7n.l  
 Quality : 56  
 ID : 1,2,3-Propanetriol, monoacetate \$\$ Acetin, mono- \$\$ Acetin \$\$ Acetoglyceride \$\$ Acetyl monoglyceride \$\$ Glycerin monoacetate \$\$ Glycerol acetate \$\$ Glycerol monoacetate \$\$ Glyceryl acetate \$\$ Glyceryl monoacetate \$\$ Monoacetin \$\$ Myvacet \$\$ Glycerol 1-ace



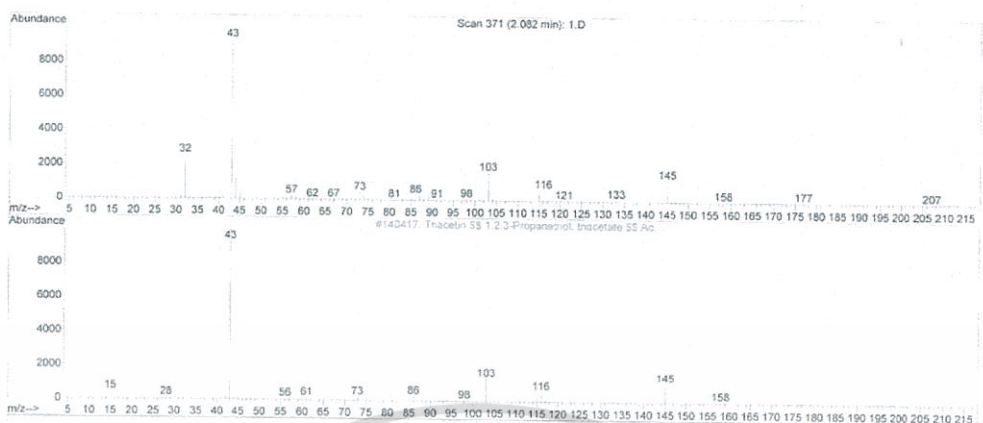
รูปที่ 3 ข้อมูล MS ของ Monoacetin



รูปที่ 4 ข้อมูล MS ของ Diacetin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Library Searched : C:\Database\wiley7n.1  
 Quality : 50  
 ID : Triacetin \$\$ 1,2,3-Propanetriol, triacetate \$\$ Acetin, tri- \$\$ Enzactin \$\$ Funga  
 cetin \$\$ Glycerin triacetate \$\$ Glycerol triacetate \$\$ Glyceryl triacetate \$\$ Gl  
 yped \$\$ Kesscoflex TRA \$\$ Triacetine \$\$ Vanay \$\$ Glycerol triacetate tributyrin  
 \$\$ Kodaflex tri

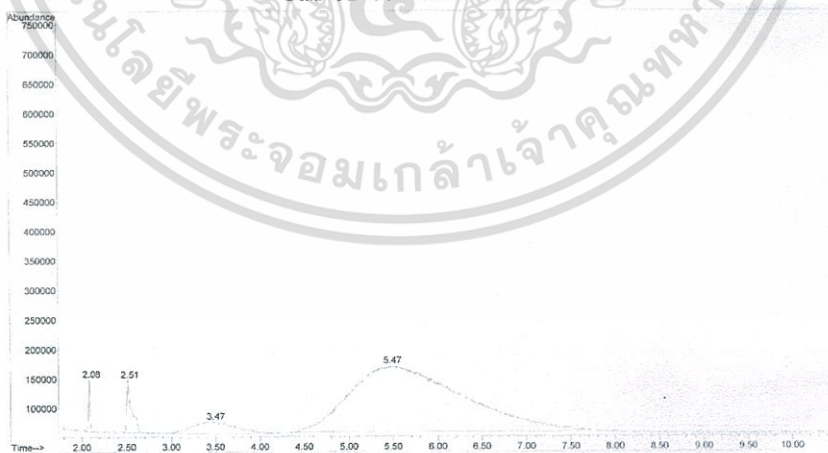


## รูปที่ 5 ข้อมูล MS ของ Triacetin

### 2. GC data

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.082	364	371	381	rM	89348	113486	1.15%	1.036%
2	2.509	442	450	474	rM	90066	338111	3.43%	3.085%
3	3.474	542	629	751	rM 6	20570	658213	6.68%	6.006%
4	5.465	808	998	1398	rM 3	113135	9848937	100.00%	89.873%

Sum of corrected areas: 10958747

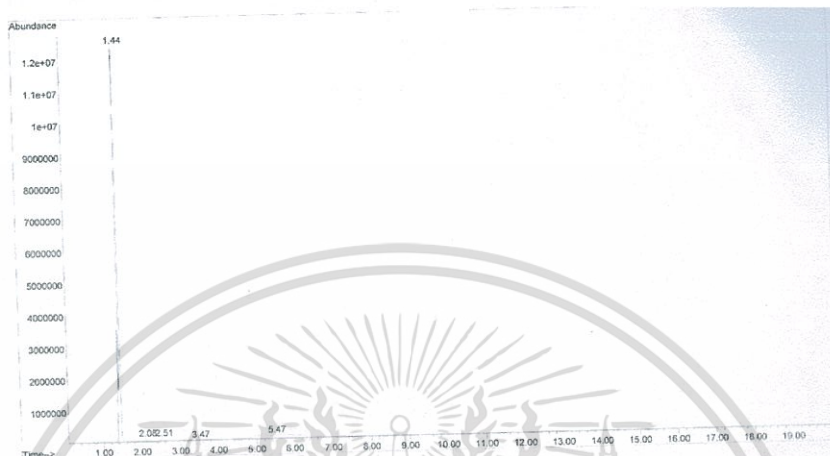


## รูปที่ 6 ข้อมูล GC ของสารผสมที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาและตัด peak acetic acid ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	1.440	225	252	357	rM	12441025	29492859	100.00%	71.946%
2	2.082	358	371	391	rM	93860	166519	0.56%	0.406%
3	2.509	440	450	479	rM	93058	378384	1.28%	0.923%
4	3.474	528	629	753	rM 5	21326	717623	2.43%	1.751%
5	5.465	793	998	1429	rM 3	114943	10237609	34.71%	24.974%

Sum of corrected areas: 40992994



รูปที่ฉ.7 ข้อมูล GC ของสารผสมที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยา

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.074	255	277	296	rM 2	13184211	48189433	100.00%	100.000%

Sum of corrected areas: 48189433

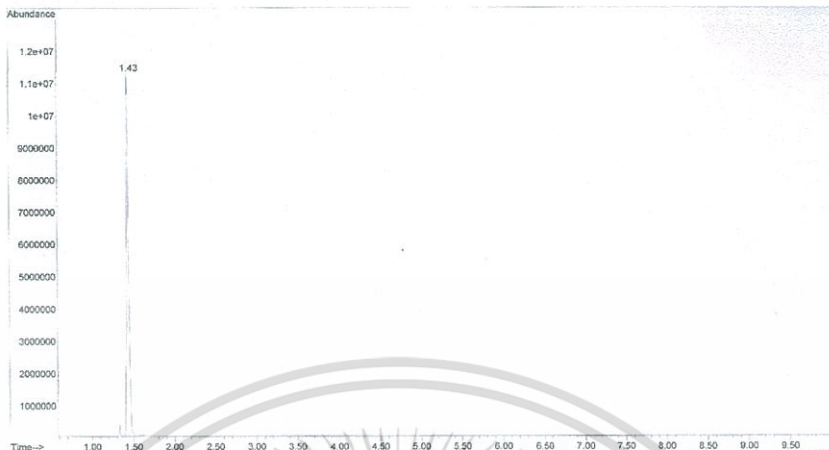


รูปที่ฉ.8 ข้อมูล GC ของสารไตรอะซิทีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	1.432	150	158	195	rM	11260546	20966793	100.00%	100.00%

Sum of corrected areas: 20966793



รูปที่ 9 ข้อมูล GC ของ acetic acid

Peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
2	2.090	276	280	283	rM	43322	49526	0.53%	0.252%
3	2.517	349	359	386	rM	518073	1868791	19.84%	9.492%
4	3.590	462	558	753	rM 4	227070	9417924	100.00%	47.837%
5	6.434	883	1085	1576	rM 4	79383	8351254	88.67%	42.419%

Sum of corrected areas: 19687495



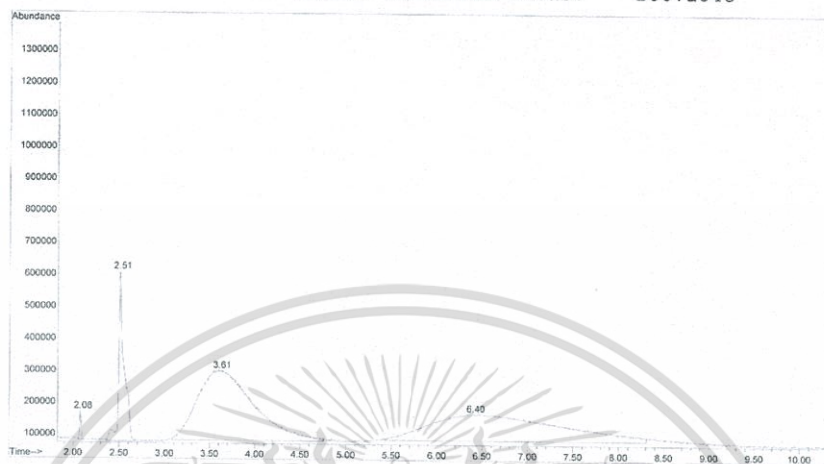
รูปที่ 10 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา

โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.080	274	278	284	rM	91825	104090	1.10%	0.519%
2	2.506	330	357	388	rM	531270	2170464	22.84%	10.814%
3	3.607	464	561	773	rM 4	220835	9501349	100.00%	47.337%
4	6.401	892	1079	1432	rM 3	84326	8295745	87.31%	41.331%

Sum of corrected areas: 20071648

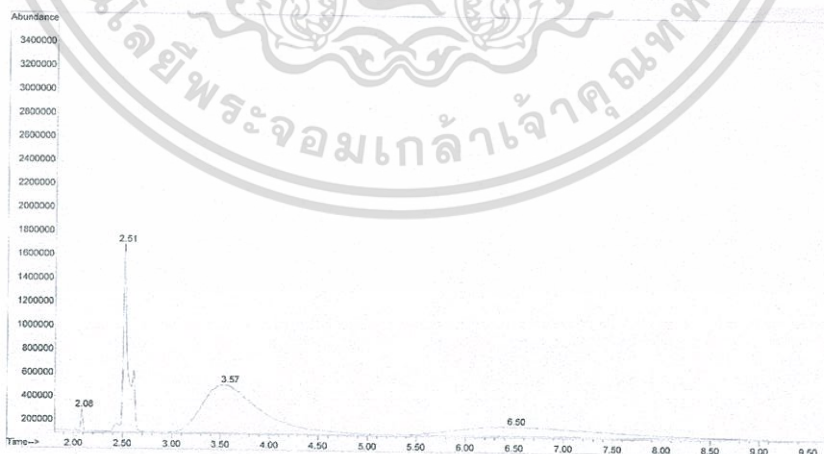


รูปที่ 11 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา

โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นเวลา 30 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.082	367	371	377	rM	187615	250405	1.45%	0.804%
2	2.514	413	451	489	rVB	1590333	5888289	34.09%	18.912%
3	3.572	533	647	917	rBV4	414930	17272347	100.00%	55.477%
4	6.496	995	1189	1630	rM 4	80142	7723444	44.71%	24.806%

Sum of corrected areas: 31134985



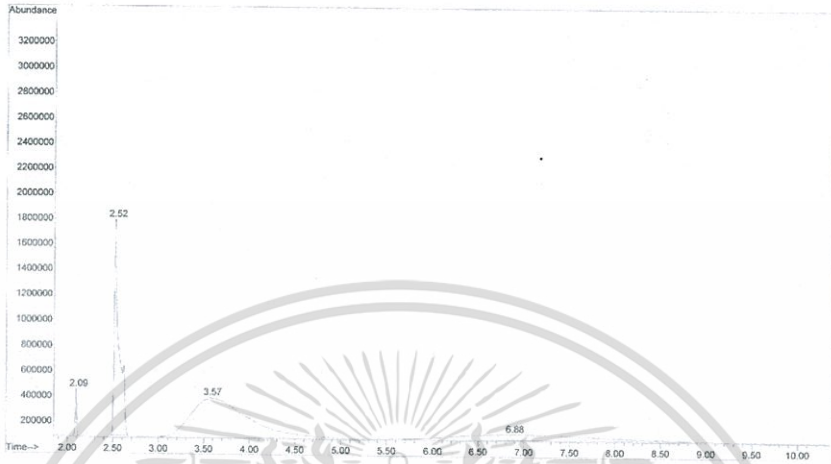
รูปที่ 12 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา

โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นเวลา 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.090	275	280	284	rM	374340	418591	3.06%	1.689%
2	2.517	353	359	385	rM	1705100	6145137	44.86%	24.795%
3	3.569	453	554	804	rM 4	318390	13697386	100.00%	55.268%
4	6.876	944	1167	1523	rM 5	46239	4522441	33.02%	18.248%

Sum of corrected areas: 24783555

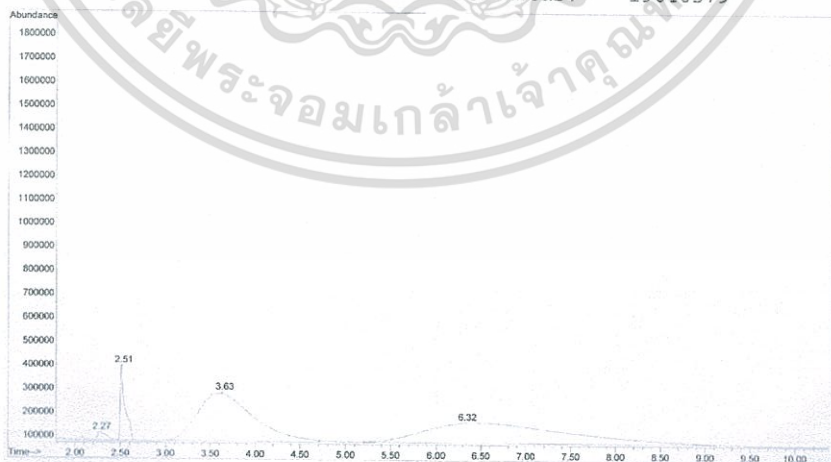


รูปที่ 13 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา

โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นเวลา 60 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.268	302	313	341	rM 2	36871	233671	2.48%	1.189%
2	2.511	350	358	383	rM	320957	1171303	12.44%	5.962%
3	3.633	453	566	765	rM 4	208899	8822354	93.66%	44.905%
4	6.320	855	1064	1581	rM 4	87786	9419251	100.00%	47.943%

Sum of corrected areas: 19646579

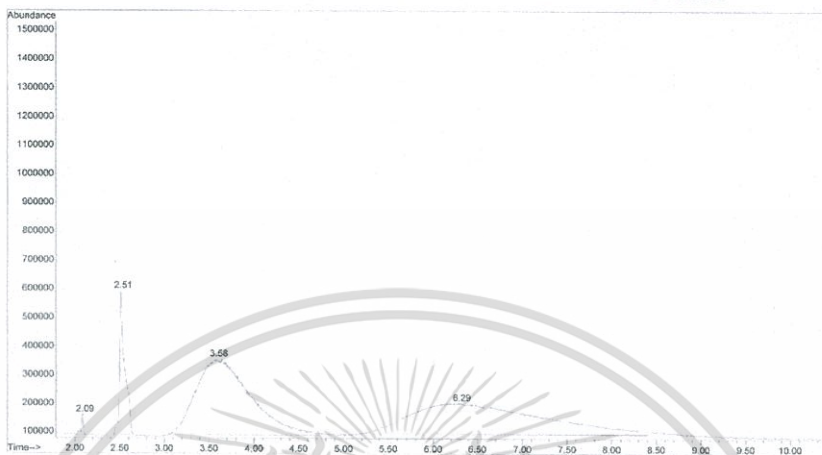


รูปที่ 14 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซิลิกาเจลเป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	266	279	285	rM	74597	127574	1.15%	0.523%
2	2.511	344	358	384	rM	505882	2052327	18.48%	8.420%
3	3.580	458	556	769	rM 4	267904	11105167	100.00%	45.562%
4	6.294	866	1059	1450	rM 3	109850	11088650	99.85%	45.494%

Sum of corrected areas: 24373718



รูปที่ 15 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซิลิกาเจลเป็นเวลา 30 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	275	279	284	rM	299247	317776	2.37%	1.311%
2	2.511	338	358	395	rM	1520607	5802139	43.24%	23.930%
3	3.617	450	563	816	rM 3	307435	13419824	100.00%	55.347%
4	6.973	958	1185	1516	rM 5	48572	4706781	35.07%	19.412%

Sum of corrected areas: 24246520

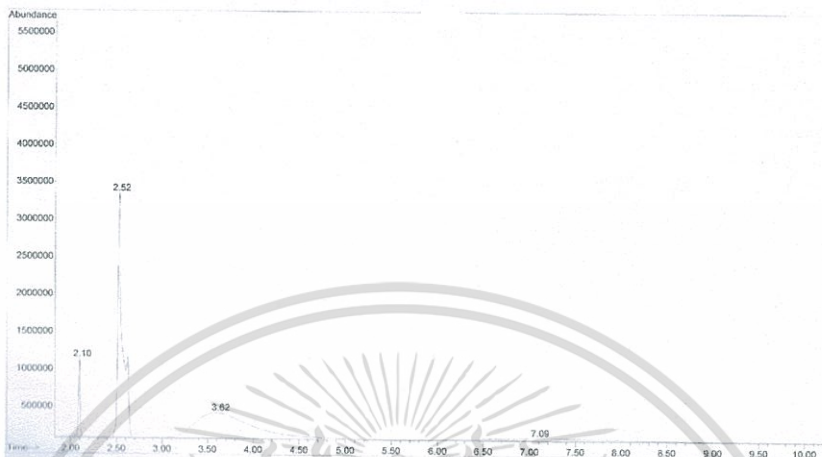


รูปที่ 16 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซิลิกาเจลเป็นเวลา 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.096	271	281	285	rM	1047548	1291202	8.73%	4.170%
2	2.522	348	360	389	rM	3265129	11894273	80.42%	38.415%
3	3.617	457	563	785	rM 4	344751	14789407	100.00%	47.765%
4	7.087	1006	1206	1560	rM 7	30858	2988018	20.20%	9.650%

Sum of corrected areas: 30962900



รูปที่ 17 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซิลิกาเจลเป็นเวลา 60 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.080	274	278	283	rM	39271	42113	0.36%	0.177%
2	2.506	334	357	390	rM	528613	2219010	18.99%	9.317%
3	3.617	451	563	786	rM 3	273860	11682264	100.00%	49.049%
4	6.391	872	1077	1480	rM 5	94880	9874136	84.52%	41.457%

Sum of corrected areas: 23817523

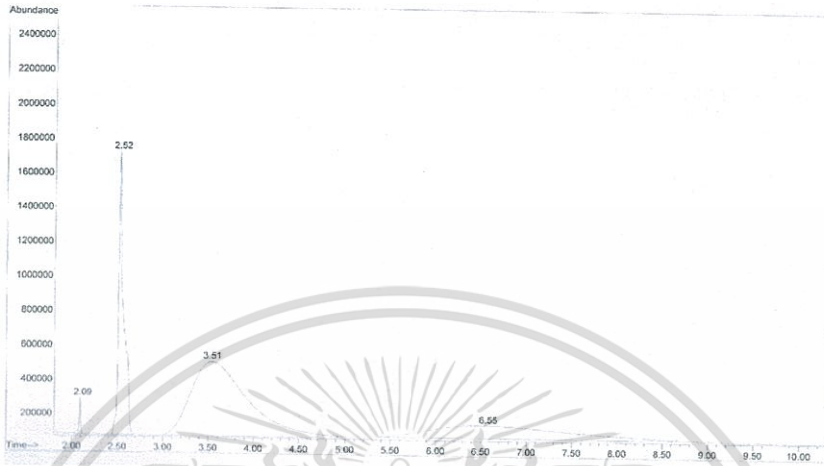


รูปที่ 18 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 4A เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.091	268	280	285	rM	213609	261136	1.38%	0.783%
2	2.517	343	359	389	rM	1651537	6332741	33.51%	18.982%
3	3.515	450	544	804	rM 4	439523	18899308	100.00%	56.651%
4	6.553	900	1107	1488	rM 4	77635	7868042	41.63%	23.584%

Sum of corrected areas: 33361227



รูปที่ฉ.19 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 4A เป็นเวลา 30 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	264	279	284	rM	569791	677993	4.76%	2.517%
2	2.511	341	358	388	rM	2098031	8028315	56.33%	29.807%
3	3.552	454	551	827	rM 3	319883	14253256	100.00%	52.918%
4	7.060	979	1201	1559	rM 5	39476	3975184	27.89%	14.759%

Sum of corrected areas: 26934748

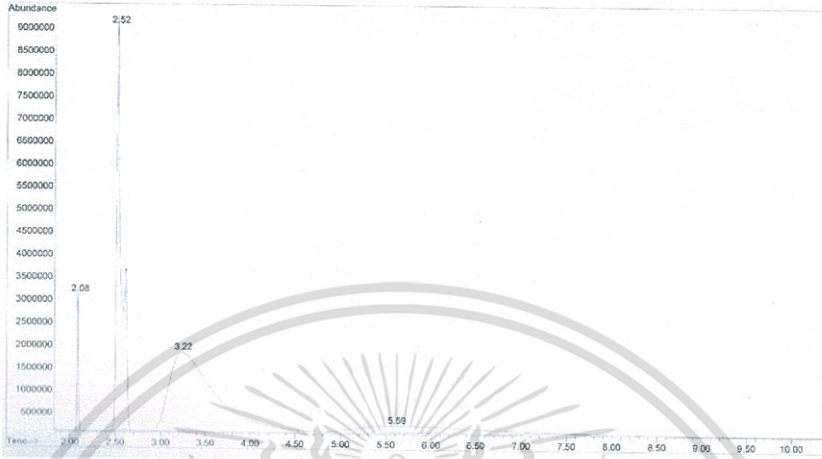


รูปที่ฉ.20 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 4A เป็นเวลา 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	274	279	285	rM	3024443	3058797	4.88%	2.697%
2	2.517	351	359	387	rM	9179132	34182277	54.49%	30.136%
3	3.223	430	490	734	rM 3	1760785	62726429	100.00%	55.302%
4	5.592	788	929	1326	rM 4	151757	13457639	21.45%	11.865%

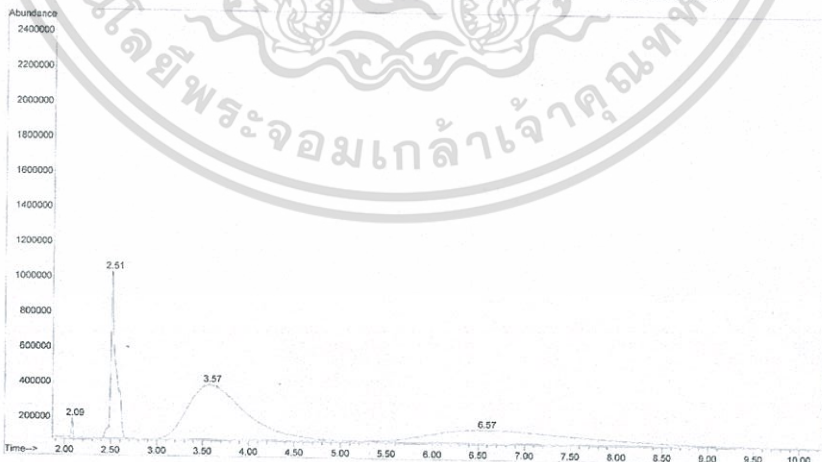
Sum of corrected areas: 113425142



รูปที่ฉ.21 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 4A เป็นเวลา 60 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	272	279	283	rM	113864	137080	1.01%	0.536%
2	2.506	340	357	388	rM	953473	3683973	27.17%	14.393%
3	3.574	451	555	789	rM 3	316937	13556624	100.00%	52.963%
4	6.569	883	1110	1577	rM 4	76993	8218715	60.63%	32.109%

Sum of corrected areas: 25596392

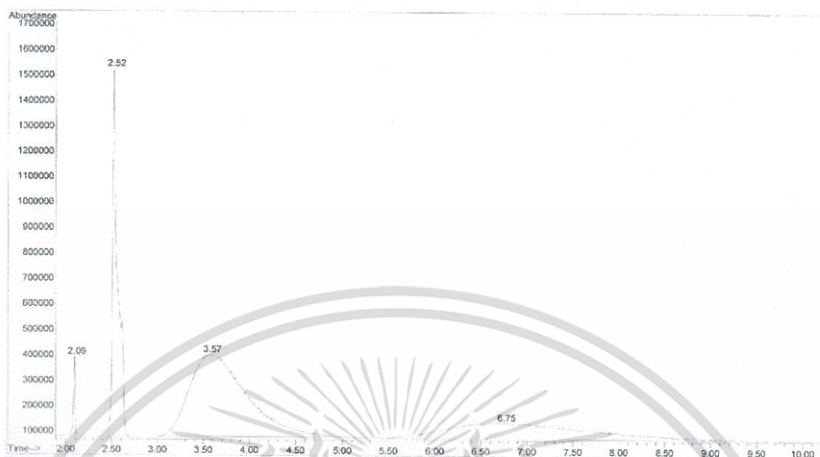


รูปที่ฉ.22 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.091	271	280	286	rM	315938	377801	2.71%	1.420%
2	2.517	349	359	389	rM	1449356	5505810	39.49%	20.701%
3	3.569	458	554	793	rM 4	324773	13942887	100.00%	52.423%
4	6.752	911	1144	1572	rM 4	63048	6770600	48.56%	25.456%

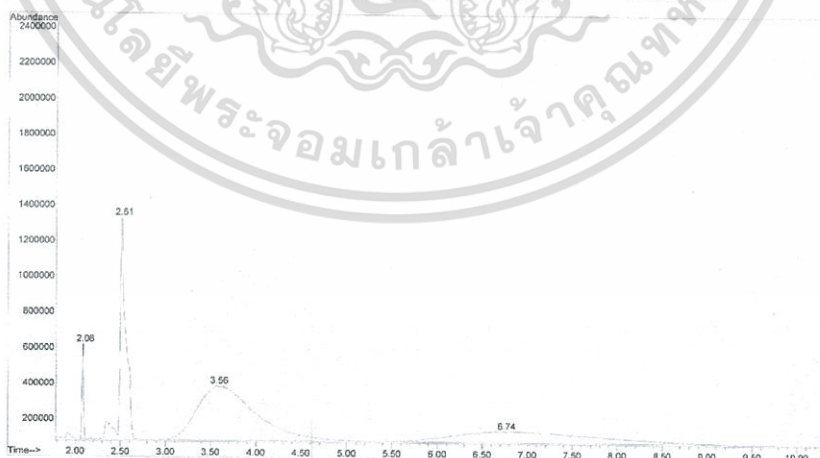
Sum of corrected areas: 26597098



รูปที่ฉ.23 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 30 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.080	273	278	284	rM	533544	632971	4.65%	2.373%
2	2.506	319	357	386	rM	1248625	5809560	42.68%	21.781%
3	3.564	453	553	806	rM 4	308864	13612714	100.00%	51.035%
4	6.742	936	1142	1588	rM 4	62812	6617796	48.61%	24.811%

Sum of corrected areas: 26673041

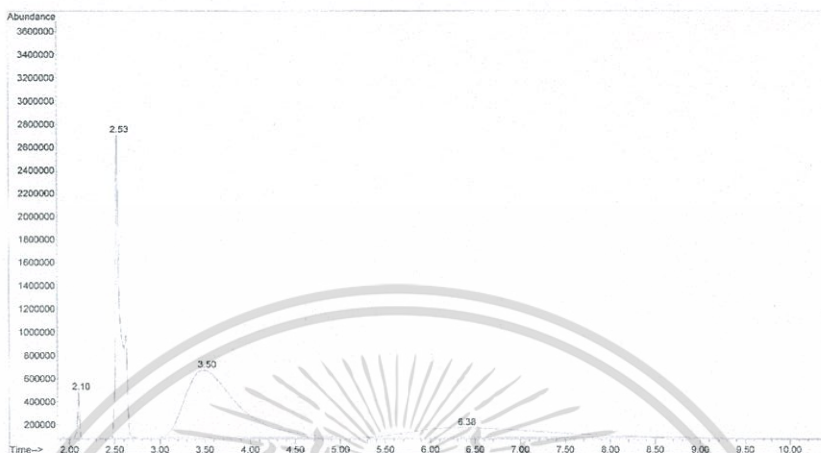


รูปที่ฉ.24 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.101	273	282	288	rM	400906	609412	2.57%	1.410%
2	2.533	351	362	401	rM	2622563	10319990	43.44%	23.876%
3	3.499	451	541	803	rM 3	589458	23756734	100.00%	54.962%
4	6.380	873	1075	1486	rM 4	87330	8538007	35.94%	19.753%

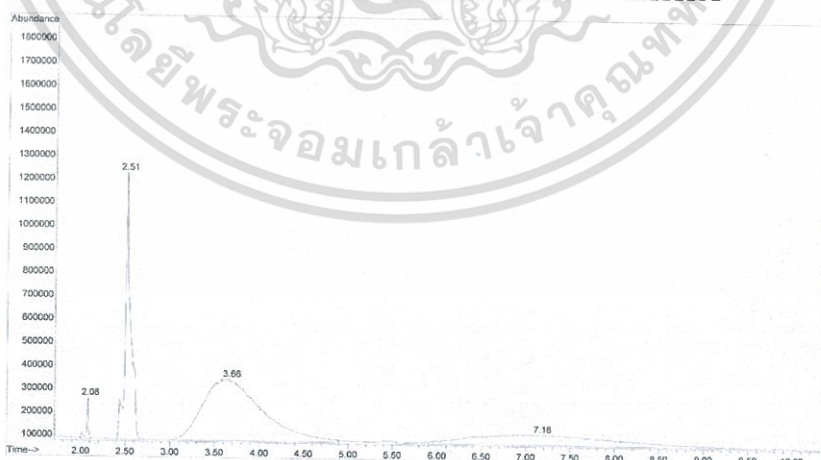
Sum of corrected areas: 43224143



รูปที่ฉ.25 ผลการทดลองของสารผสมที่ไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 60 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.080	263	278	285	rM	177894	236486	1.94%	1.069%
2	2.506	338	357	386	rM	1146040	4719177	38.68%	21.333%
3	3.661	453	571	800	rM 4	267177	12199007	100.00%	55.146%
4	7.157	937	1219	1599	rM 4	45576	4966561	40.71%	22.452%

Sum of corrected areas: 22121231

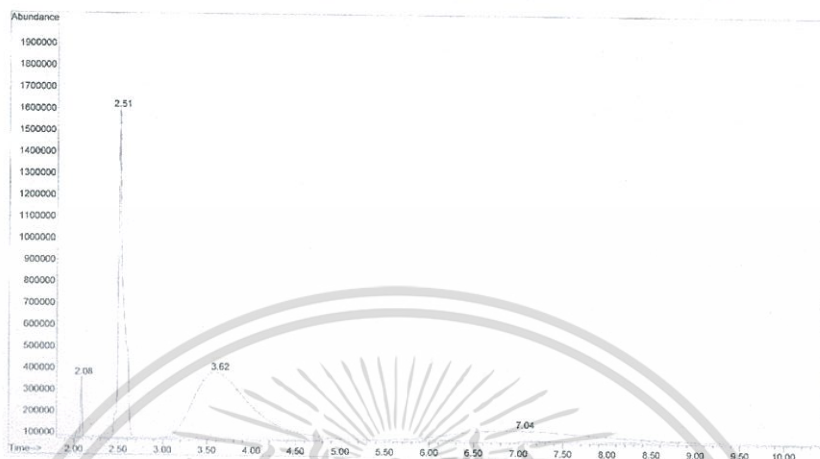


รูปที่ฉ.26 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.080	266	278	284	rM	279614	371838	2.72%	1.487%
2	2.506	342	357	389	rM	1521241	5894300	43.15%	23.571%
3	3.617	451	563	821	rM 4	307856	13659089	100.00%	54.622%
4	7.044	953	1198	1526	rM 4	50900	5081442	37.20%	20.320%

Sum of corrected areas: 25006669



รูปที่ฉ.27 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นเวลา 30 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.090	275	280	286	rM	1693011	2162937	13.66%	6.477%
2	2.522	347	360	396	rM	3299361	11400392	71.99%	34.139%
3	3.563	458	553	782	rM 4	391428	15835132	100.00%	47.419%
4	6.995	960	1189	1515	rM 6	44222	3995722	25.23%	11.965%

Sum of corrected areas: 33394183

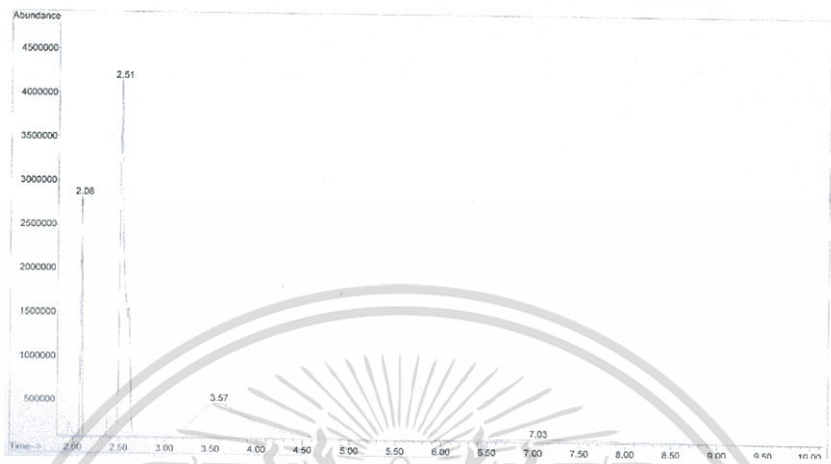


รูปที่ฉ.28 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นเวลา 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	250	279	286	rM	2733570	3746219	20.90%	8.985%
2	2.511	328	358	390	rM	4060703	17924400	100.00%	42.989%
3	3.569	454	554	806	rM 3	395617	17356767	96.83%	41.628%
4	7.027	992	1195	1516	rM 5	29466	2667677	14.88%	6.398%

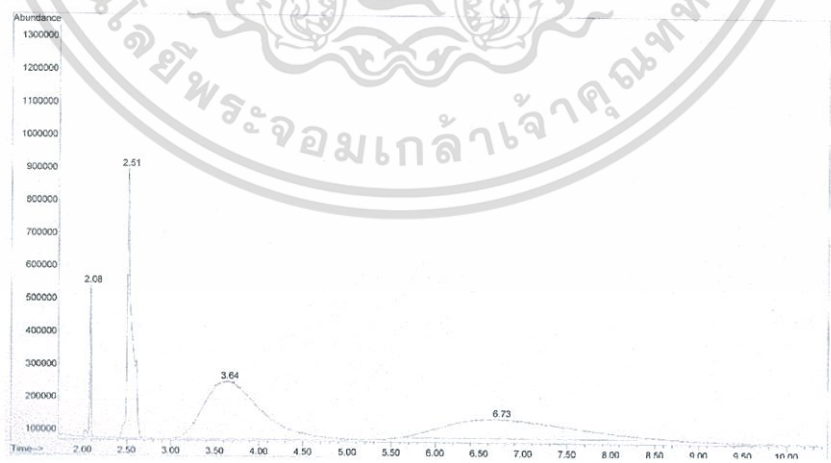
Sum of corrected areas: 41695063



รูปที่ฉ.29 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นเวลา 60 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	263	279	286	rM	465070	509450	6.44%	2.981%
2	2.511	341	358	388	rM	824115	3022340	38.21%	17.687%
3	3.639	456	567	820	rM 3	178766	7909490	100.00%	46.288%
4	6.730	940	1140	1430	rM 4	60964	5646374	71.39%	33.044%

Sum of corrected areas: 17087654

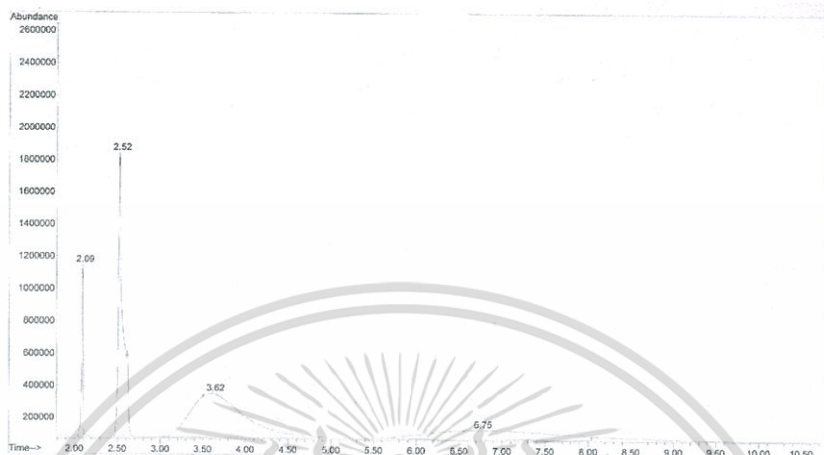


รูปที่ฉ.30 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็น ซิลิกาเจลเป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.090	271	280	285	rM	1071648	1266027	10.56%	5.048%
2	2.517	349	359	388	rM	1764605	6444967	53.75%	25.699%
3	3.617	453	563	794	rM 3	278221	11990996	100.00%	47.813%
4	6.752	953	1144	1382	rM 6	58176	5377119	44.84%	21.441%

Sum of corrected areas: 25079109



รูปที่ 3.1 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซิลิกาเจลเป็นเวลา 30 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	270	279	284	rM	240117	300335	2.15%	1.201%
2	2.511	345	358	389	rM	1588286	6432277	45.96%	25.719%
3	3.639	456	567	815	rM 4	307352	13993874	100.00%	55.953%
4	7.070	968	1203	1572	rM 5	40802	4283346	30.61%	17.127%

Sum of corrected areas: 25009832

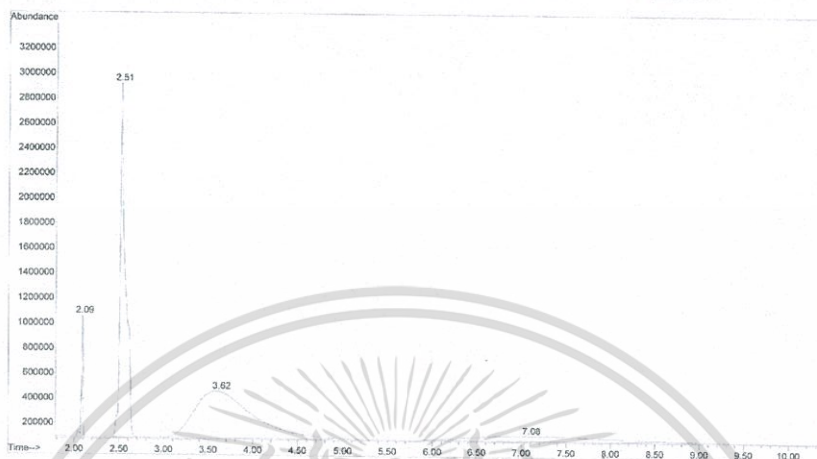


รูปที่ 3.2 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซิลิกาเจลเป็นเวลา 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	268	279	284	rM	971145	1249959	7.34%	3.675%
2	2.511	343	358	393	rM	2839900	11605594	68.17%	34.121%
3	3.617	457	563	797	rM 4	381598	17023339	100.00%	50.049%
4	7.081	983	1205	1538	rM 4	40774	4134260	24.29%	12.155%

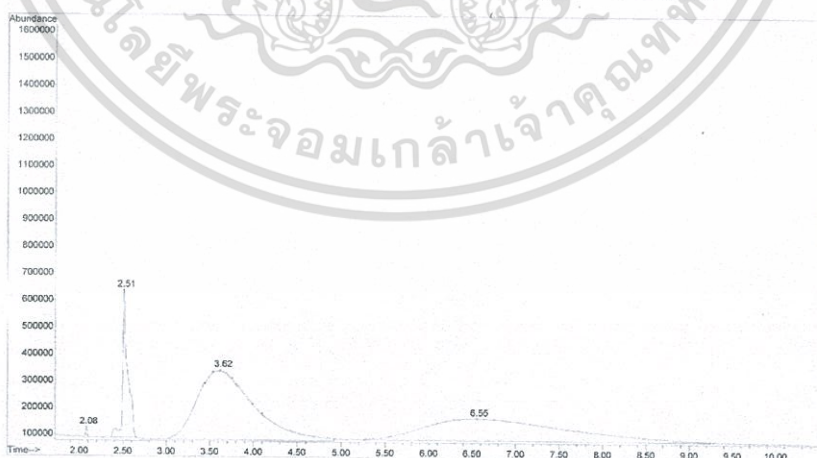
Sum of corrected areas: 34013152



รูปที่ ๓.33 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซิลิกาเจลเป็นเวลา 60 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.080	274	278	284	rM	42995	51936	0.45%	0.223%
2	2.506	331	357	383	rM	552739	2241889	19.29%	9.608%
3	3.623	455	564	805	rM 4	264720	11624884	100.00%	49.821%
4	6.553	863	1107	1605	rM 4	86033	9414379	80.98%	40.348%

Sum of corrected areas: 23333088

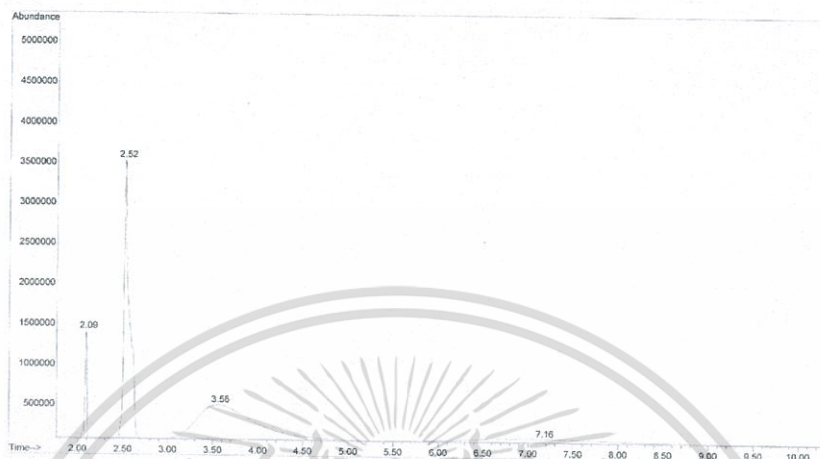


รูปที่ ๓.34 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 4A เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.090	269	280	285	rM	1331139	1926833	10.26%	4.931%
2	2.517	346	359	393	rM	3457232	14348019	76.40%	36.718%
3	3.558	457	552	796	rM 4	429447	18780919	100.00%	48.063%
4	7.157	974	1219	1482	rM 6	42414	4020180	21.41%	10.288%

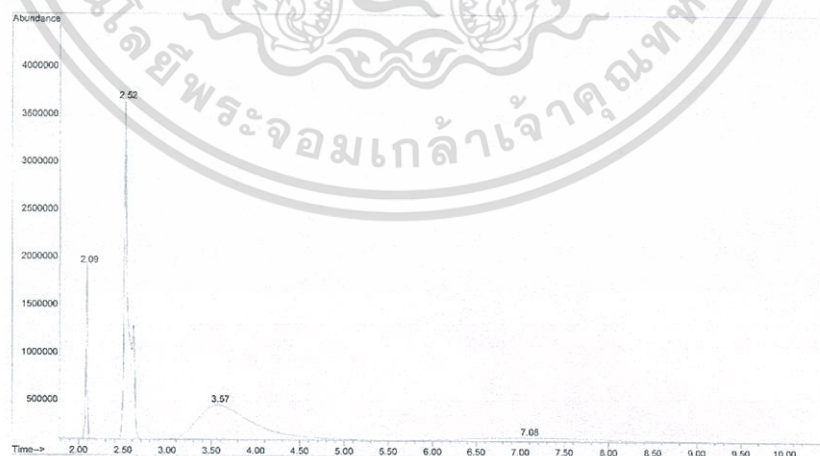
Sum of corrected areas: 39075951



รูปที่ฉ.35 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 4A เป็นเวลา 30 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.090	271	280	286	rM	1821807	2393627	15.30%	6.920%
2	2.522	349	360	391	rM	3551214	12729565	81.35%	36.800%
3	3.574	454	555	845	rM 3	368874	15647869	100.00%	45.236%
4	7.076	963	1204	1580	rM 7	39043	3820431	24.42%	11.044%

Sum of corrected areas: 34591492

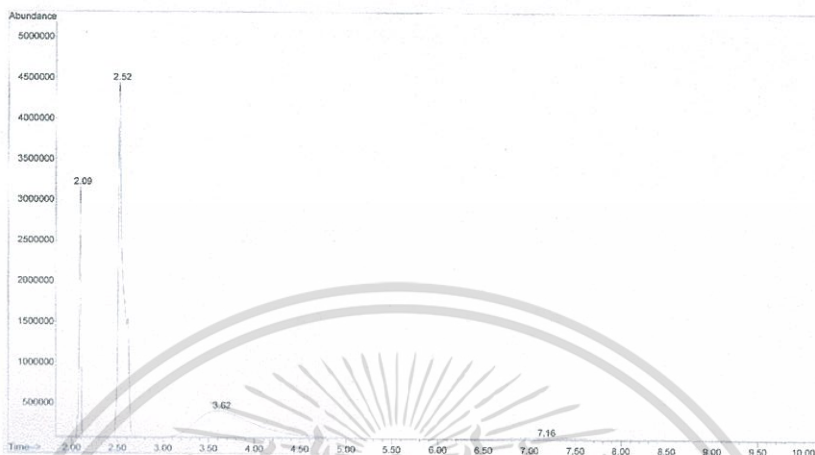


รูปที่ฉ.36 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 4A เป็นเวลา 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.090	271	280	286	rM	3079400	3850523	22.31%	10.261%
2	2.517	349	359	391	rM	4366310	17255748	100.00%	45.984%
3	3.617	461	563	778	rM 3	330271	14228310	82.46%	37.916%
4	7.157	1039	1219	1514	rM 8	23729	2191300	12.70%	5.839%

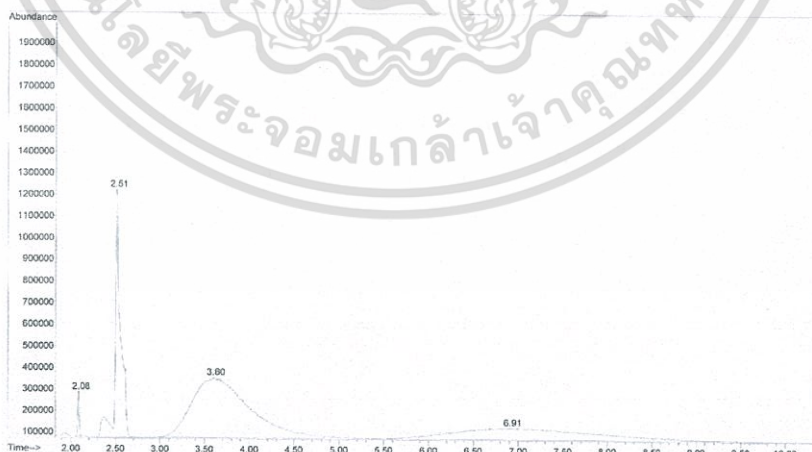
Sum of corrected areas: 37525881



รูปที่ ๓.37 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 4A เป็นเวลา 60 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	274	279	284	rM	209855	239548	1.94%	1.039%
2	2.506	319	357	390	rM	1149789	4854015	39.37%	21.058%
3	3.596	448	559	788	rM 4	281371	12330307	100.00%	53.492%
4	6.909	919	1173	1609	rM 6	53444	5627079	45.64%	24.411%

Sum of corrected areas: 23050949

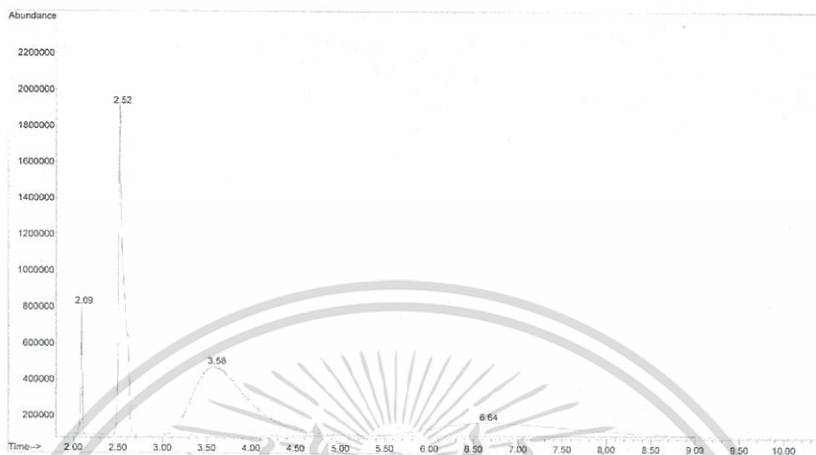


รูปที่ ๓.38 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.090	269	280	286	rM	711649	894640	5.26%	2.708%
2	2.517	348	359	393	rM	1823776	7272094	42.74%	22.014%
3	3.585	452	557	807	rM 4	385821	17015703	100.00%	51.509%
4	6.644	896	1124	1560	rM 4	75372	7852216	46.15%	23.770%

Sum of corrected areas: 33034653



รูปที่ฉ.39 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 30 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.080	273	278	284	rM	1029996	1114743	8.10%	3.927%
2	2.506	320	357	389	rM	1956148	8053963	58.50%	28.373%
3	3.569	454	554	784	rM 3	315676	13768374	100.00%	48.503%
4	6.822	921	1157	1597	rM 5	51326	5449320	39.58%	19.197%

Sum of corrected areas: 28386400

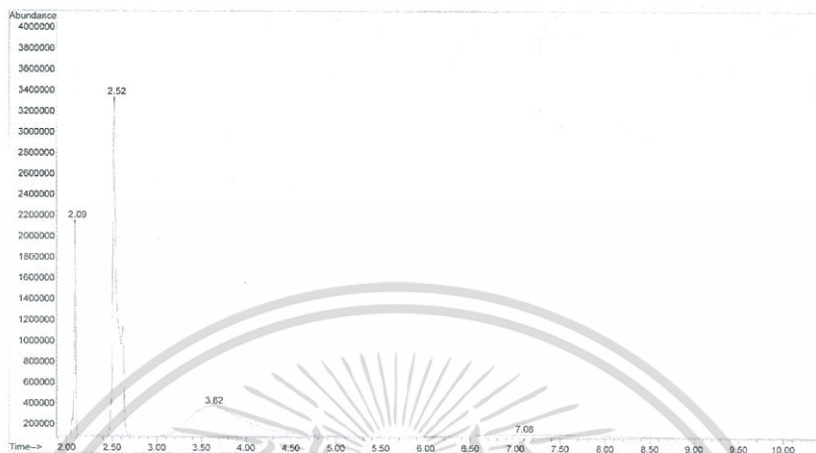


รูปที่ฉ.40 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.090	271	280	287	rM	2067035	2597227	20.49%	8.766%
2	2.522	348	360	390	rM	3254657	11851759	93.51%	40.000%
3	3.617	456	563	824	rM 4	293848	12674384	100.00%	42.776%
4	7.076	1000	1204	1521	rM 7	27917	2506291	19.77%	8.459%

Sum of corrected areas: 29629661



รูปที่ฉ.41 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินกรองน้ำ โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 60 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.091	272	280	284	rM	251551	287937	2.44%	1.253%
2	2.517	349	359	388	rM	1055953	3833273	32.52%	16.676%
3	3.607	454	561	815	rM 4	264302	11787850	100.00%	51.280%
4	6.682	895	1131	1541	rM 5	67071	7077986	60.04%	30.791%

Sum of corrected areas: 22987046

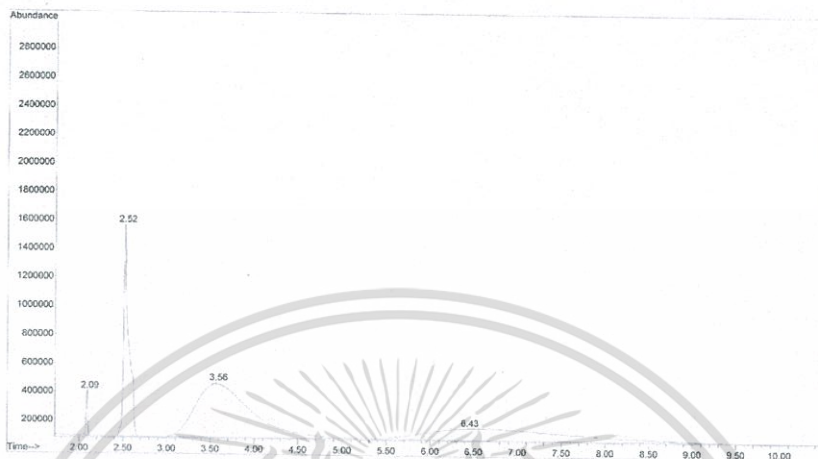


รูปที่ฉ.42 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.090	273	280	284	rM	319064	404715	2.46%	1.270%
2	2.517	345	359	388	rM	1483223	5944323	36.08%	18.658%
3	3.563	450	553	802	rM 4	386800	16474946	100.00%	51.711%
4	6.428	888	1084	1582	rM 4	82275	9035741	54.85%	28.361%

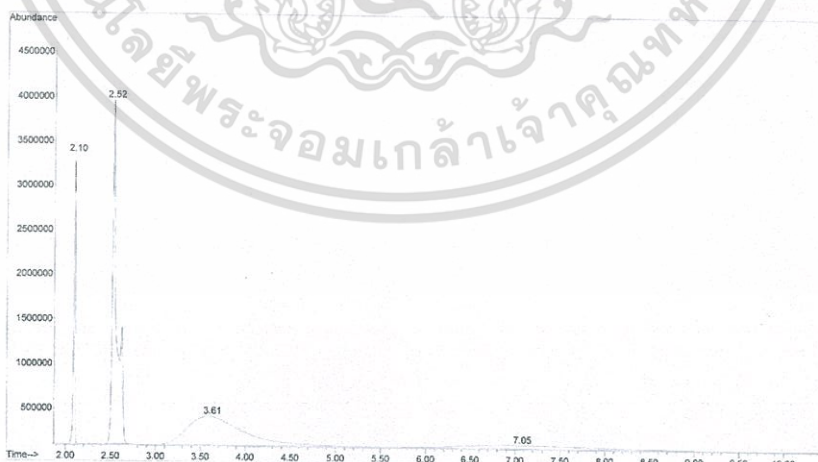
Sum of corrected areas: 31859725



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นเวลา 30 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.096	270	281	286	rM	3259937	3727728	27.03%	10.824%
2	2.522	350	360	389	rM	3866528	12846300	93.13%	37.302%
3	3.607	461	561	811	rM 3	328901	13793428	100.00%	40.052%
4	7.054	950	1200	1559	rM 6	41239	4071286	29.52%	11.822%

Sum of corrected areas: 34438742

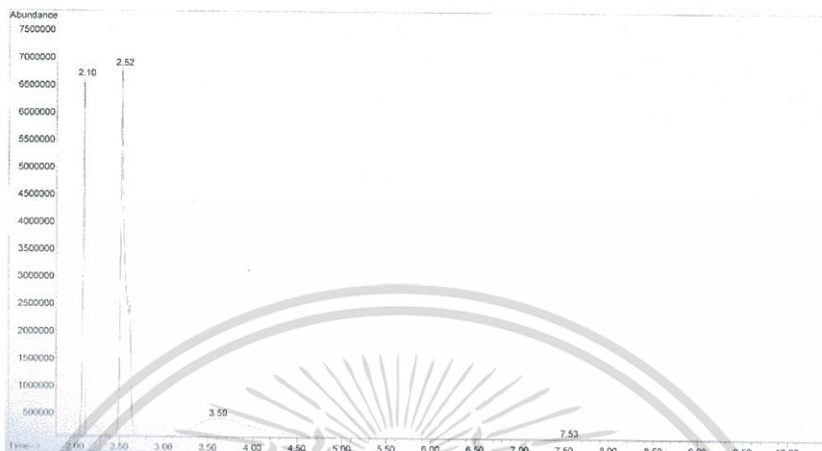


รูปที่ 4.4 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นเวลา 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.096	272	281	286	rM	6538830	8261208	30.48%	15.828%
2	2.522	350	360	390	rM	6723948	27103893	100.00%	51.929%
3	3.590	453	558	806	rM 3	340931	15288036	56.41%	29.291%
4	7.529	1026	1288	1592	rM 7	17930	1541138	5.69%	2.953%

Sum of corrected areas: 52194275



รูปที่ ๔.5 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นเวลา 60 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	269	279	282	rM	306738	349637	2.84%	1.456%
2	2.511	343	358	390	rM	1071662	4174162	33.89%	17.382%
3	3.650	452	569	809	rM 2	276377	12318000	100.00%	51.294%
4	6.795	910	1152	1560	rM 3	69072	7172810	58.23%	29.869%

Sum of corrected areas: 24014609

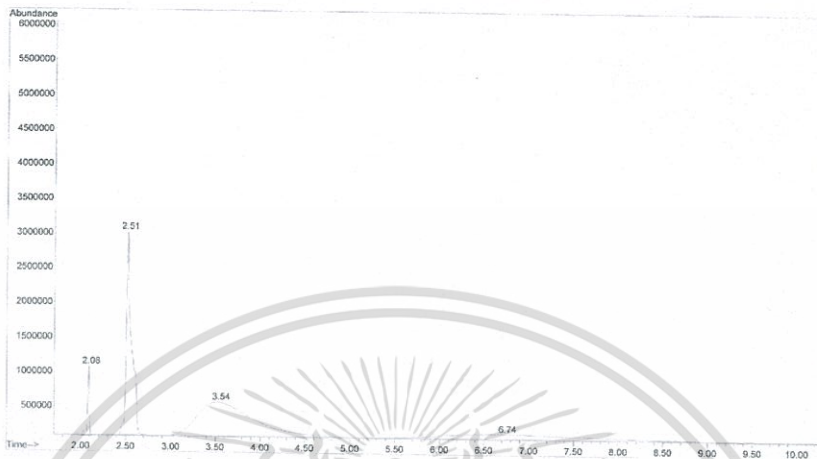


รูปที่ ๔.๖ ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นซิลิกาเจลเป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	265	279	286	rM	1004175	1383558	6.54%	3.304%
2	2.511	340	358	391	rM	2945336	12139955	57.38%	28.991%
3	3.536	449	548	796	rM 4	494711	21158934	100.00%	50.528%
4	6.736	912	1141	1548	rM 4	70005	7192996	34.00%	17.177%

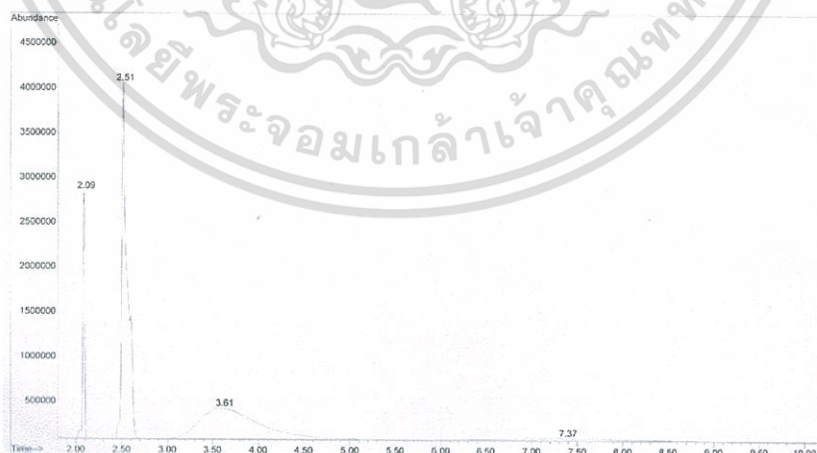
Sum of corrected areas: 41875443



รูปที่ ๔.๗ ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นซิลิกาเจลเป็นเวลา 30 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	266	279	285	rM	2769588	3663689	21.90%	9.633%
2	2.511	343	358	392	rM	3982252	16727782	100.00%	43.981%
3	3.607	453	561	835	rM 4	349278	15726546	94.01%	41.348%
4	7.373	1063	1259	1474	rM 7	23514	1916429	11.46%	5.039%

Sum of corrected areas: 38034446

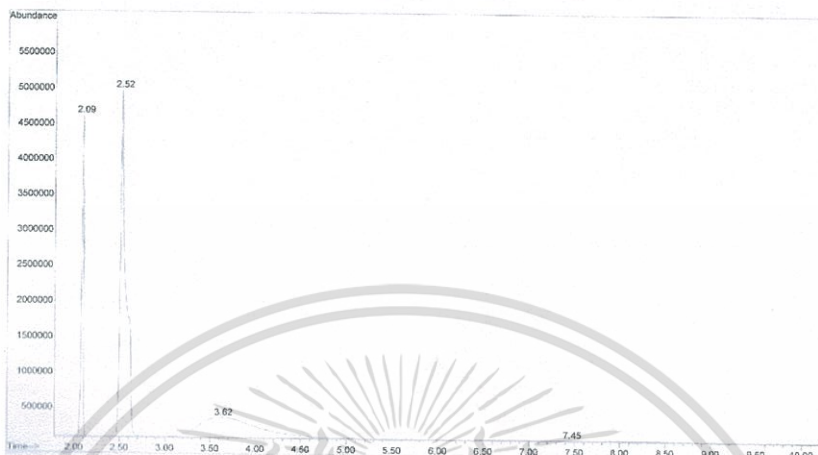


รูปที่ ๔.๘ ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นซิลิกาเจลเป็นเวลา 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.090	271	280	286	rM	4532060	6678494	32.83%	16.281%
2	2.517	350	359	396	rM	4891490	20344536	100.00%	49.598%
3	3.623	455	564	824	rM	286979	12882218	63.32%	31.405%
4	7.448	1081	1273	1538	rM 10	13977	1113881	5.48%	2.716%

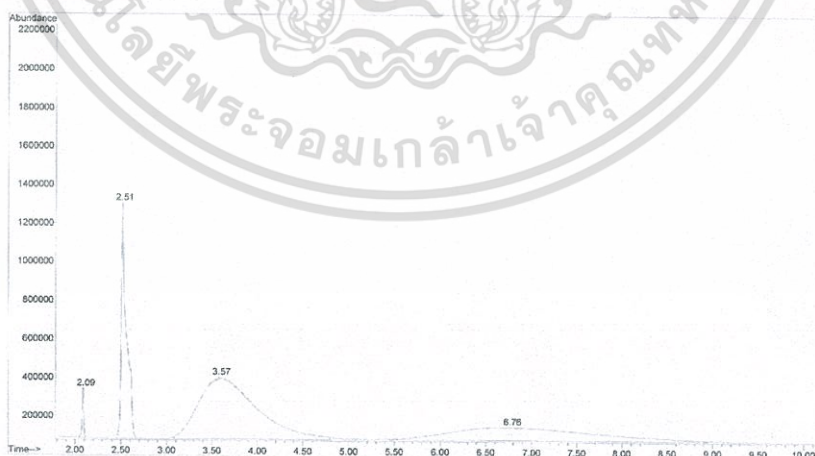
Sum of corrected areas: 41019129



รูปที่ ๔.๔๙ ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมคลอไรด์-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นซิลิกาเจลเป็นเวลา 60 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.090	272	280	284	rM	257752	312747	2.23%	1.182%
2	2.511	347	358	389	rM	1224169	4789497	34.20%	18.097%
3	3.574	464	555	781	rM 3	324013	14005744	100.00%	52.921%
4	6.763	903	1146	1552	rM 4	69683	7357279	52.53%	27.800%

Sum of corrected areas: 26465267

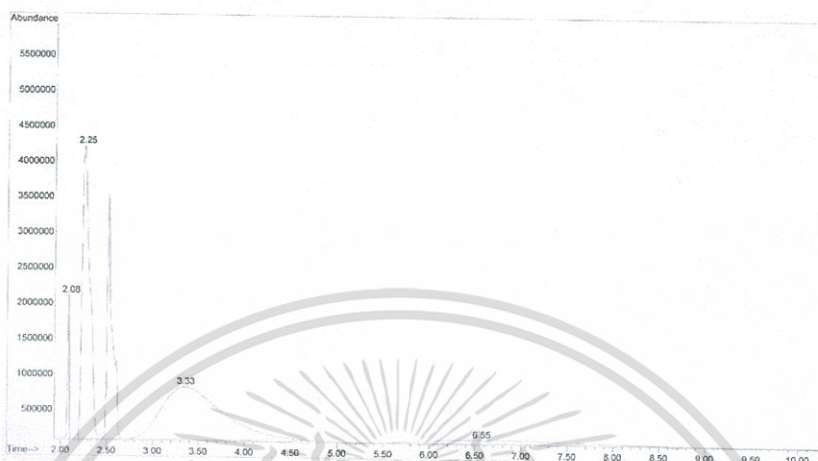


รูปที่ ๔.๕๐ ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมคลอไรด์-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นซีโอไลท์ 4A เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.080	274	278	284	rM	2027151	2334790	6.29%	2.922%
2	2.247	299	309	383	rM	4135519	37119718	100.00%	46.450%
3	3.331	404	510	750	rM 4	759598	35154014	94.70%	43.991%
4	6.547	922	1106	1489	rM 4	55249	5304057	14.29%	6.637%

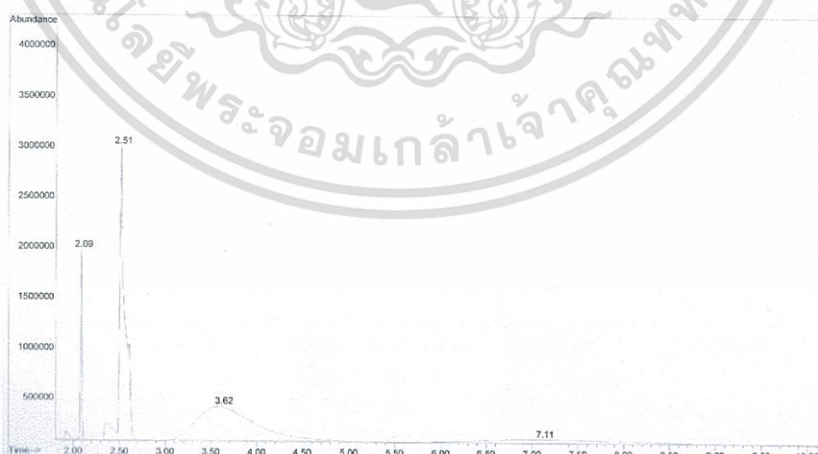
Sum of corrected areas: 79912579



รูปที่ 51 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมเฮกซะโบรไมด์-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 4A เป็นเวลา 30 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	245	279	288	rM	1895790	2413104	16.43%	7.428%
2	2.511	323	358	389	rM	2927716	12146725	82.70%	37.392%
3	3.617	458	563	778	rM 3	344792	14688325	100.00%	45.216%
4	7.114	984	1211	1513	rM 4	34843	3236719	22.04%	9.964%

Sum of corrected areas: 32484873

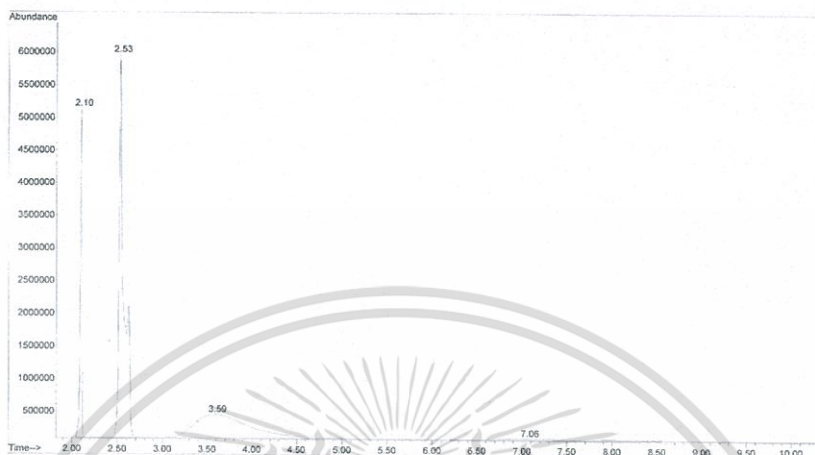


รูปที่ 52 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมเฮกซะโบรไมด์-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 4A เป็นเวลา 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.101	271	282	289	rM	5052584	6458934	30.63%	14.094%
2	2.527	348	361	397	rM	5878302	21086990	100.00%	46.012%
3	3.590	458	558	821	rM 3	371887	15829956	75.07%	34.541%
4	7.060	1042	1201	1477	rM 6	26606	2453098	11.63%	5.353%

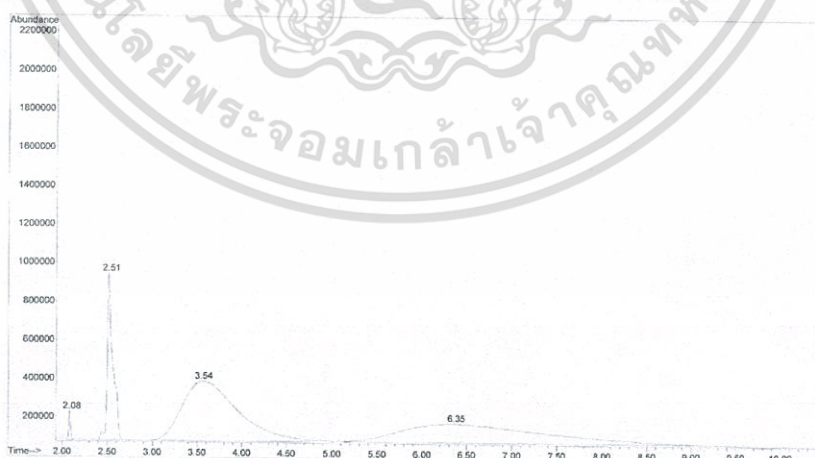
Sum of corrected areas: 45828978



รูปที่ 53 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมเพนทาไฮดรอกซีไดอะซีเตต-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 4A เป็นเวลา 60 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.080	273	278	285	rM	152844	204598	1.53%	0.735%
2	2.511	339	358	386	rM	864978	3682188	27.48%	13.222%
3	3.542	452	549	787	rM 4	312279	13399511	100.00%	48.114%
4	6.353	844	1070	1560	rM 4	99338	10563268	78.83%	37.930%

Sum of corrected areas: 27849565

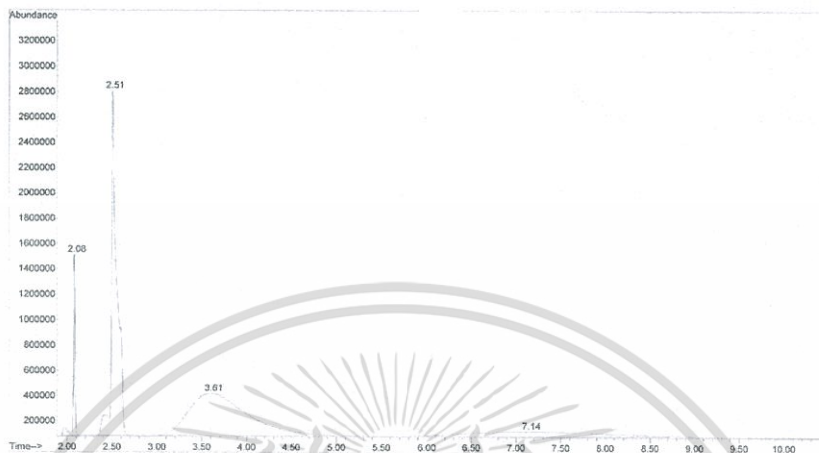


รูปที่ 54 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมเพนทาไฮดรอกซีไดอะซีเตต-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.080	252	278	287	rM	1430824	1871341	12.21%	5.738%
2	2.506	329	357	391	rM	2726034	11571458	75.51%	35.484%
3	3.607	453	561	815	rM 4	338601	15323852	100.00%	46.990%
4	7.141	1001	1216	1509	rM 7	40848	3844099	25.09%	11.788%

Sum of corrected areas: 32610750



รูปที่ฉ.55 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นซีโอไลต์ 13X เป็นเวลา 30 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.090	267	280	285	rM	3686887	4647592	24.17%	11.271%
2	2.517	343	359	393	rM	4790746	19228424	100.00%	46.631%
3	3.585	456	557	803	rM 4	346998	15469855	80.45%	37.516%
4	7.286	1015	1243	1537	rM 6	21565	1889731	9.83%	4.583%

Sum of corrected areas: 41235602

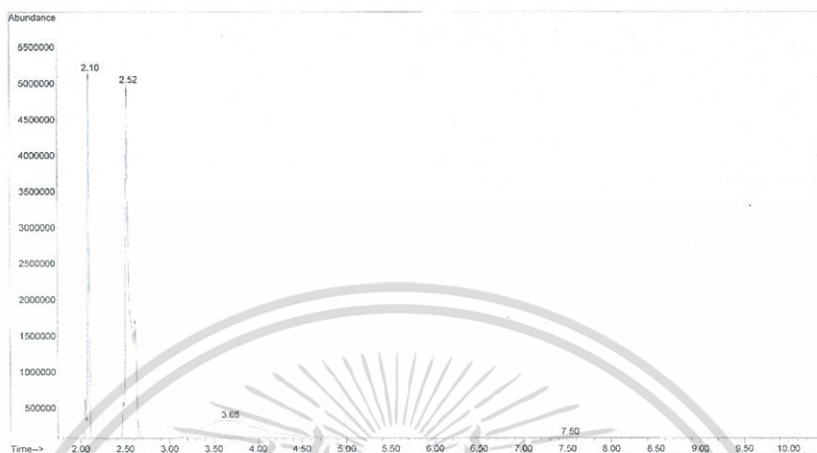


รูปที่ฉ.56 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นซีโอไลต์ 13X เป็นเวลา 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.096	270	281	286	rM	5055760	6716245	36.90%	18.684%
2	2.522	347	360	392	rM	4895598	18200455	100.00%	50.632%
3	3.661	474	571	756	rM 3	242459	9896803	54.38%	27.532%
4	7.502	1083	1283	1475	rM 3	14865	1132918	6.22%	3.152%

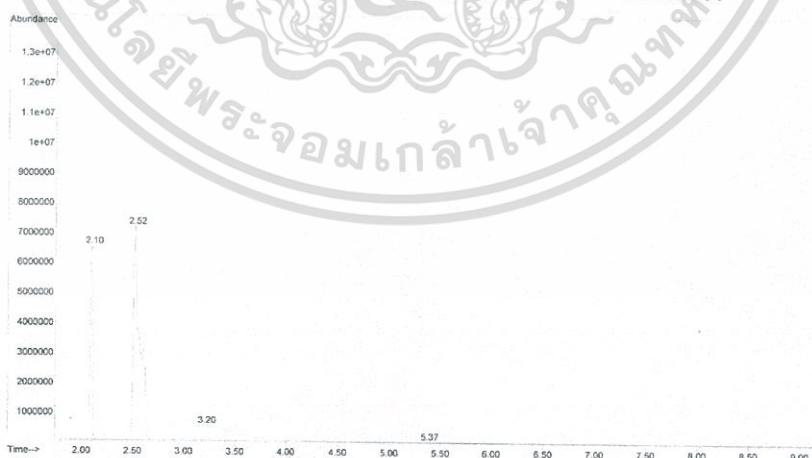
Sum of corrected areas: 35946421



รูปที่ 57 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลต์ 13X เป็นเวลา 60 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.096	273	281	291	rM	6492704	10683360	34.13%	18.347%
2	2.517	352	359	389	rM	7142358	31301236	100.00%	53.755%
3	3.202	424	486	639	rM 3	516730	15495838	49.51%	26.612%
4	5.371	746	888	1035	rM 10	14949	749152	2.39%	1.287%

Sum of corrected areas: 58229586

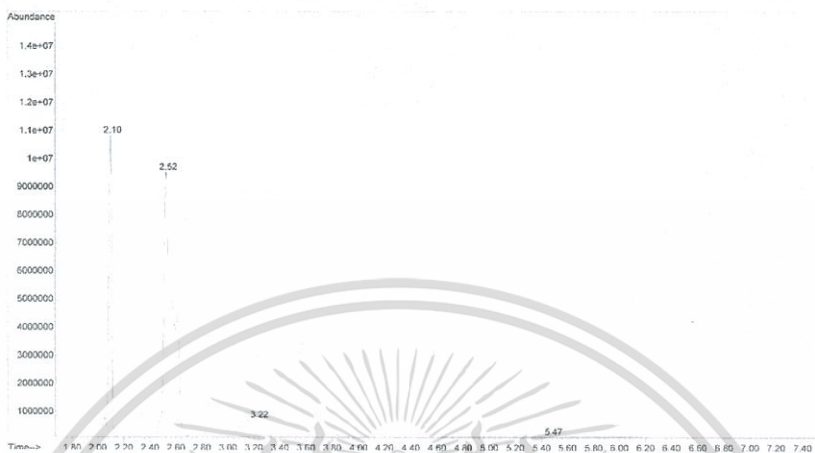


รูปที่ 58 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.096	269	281	290	rM	10757091	17761877	40.64%	21.906%
2	2.522	346	360	392	rM	9441793	43701808	100.00%	53.898%
3	3.223	427	490	647	rM 4	618730	18732289	42.86%	23.103%
4	5.473	751	907	1069	rM 4	15237	885768	2.03%	1.092%

Sum of corrected areas: 81081742



รูปที่ 59 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.096	270	281	288	rM	10190815	15388734	48.67%	28.221%
2	2.517	347	359	387	rM	7726211	31618986	100.00%	57.986%
3	3.256	427	496	635	rM 3	250757	7520718	23.79%	13.792%

Sum of corrected areas: 54528438

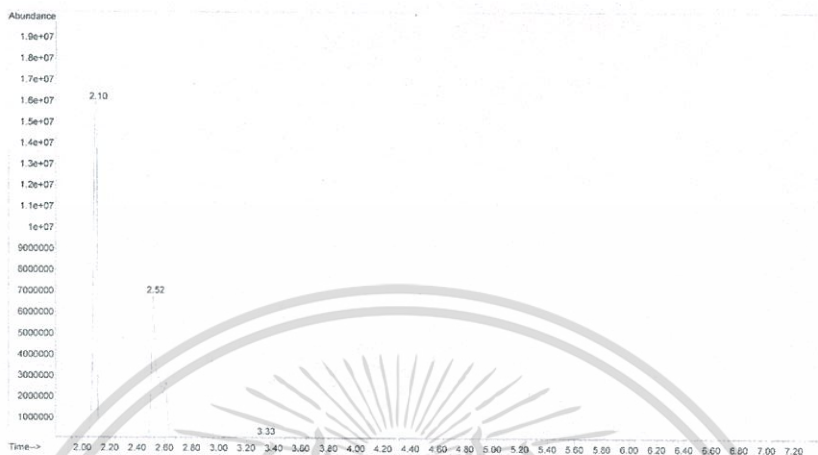


รูปที่ 60 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.096	270	281	310	rM 2	15902557	30325263	100.00%	53.281%
2	2.517	349	359	391	rM	6732903	25422852	83.83%	44.668%
3	3.326	451	509	580	rM 4	48064	1167111	3.85%	2.051%

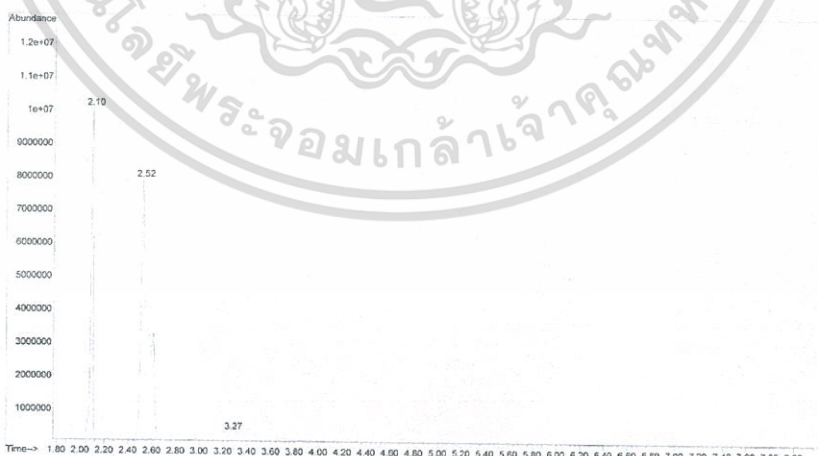
Sum of corrected areas: 56915226



รูปที่ 61 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยไม่ใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.096	271	281	288	rM	10013239	13710842	43.64%	25.590%
2	2.517	347	359	389	rM	7867166	31417778	100.00%	58.638%
3	3.267	430	498	643	rM 3	277473	8450859	26.90%	15.773%

Sum of corrected areas: 53579479

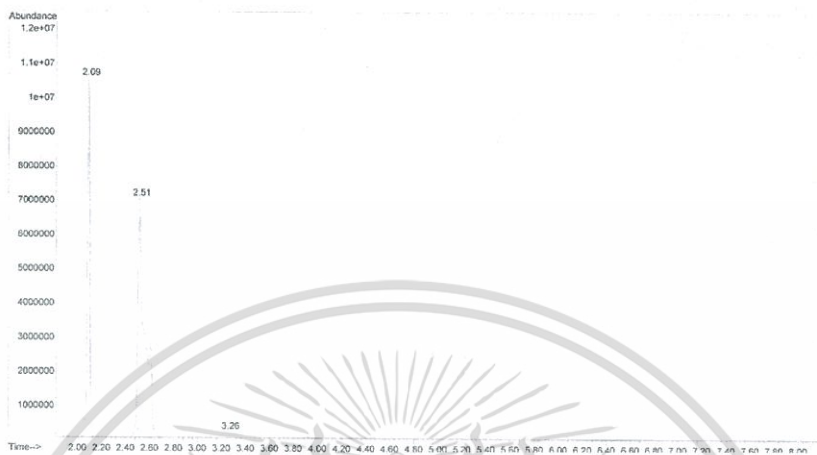


รูปที่ 62 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นซิลิกาเจลเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.090	269	280	288	rM	10515479	14480429	53.43%	30.531%
2	2.511	346	358	394	rM	7003136	27099334	100.00%	57.138%
3	3.256	434	496	640	rM 4	190816	5848122	21.58%	12.331%

Sum of corrected areas: 47427885



รูปที่ 63 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นซิลิกาเจลเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.096	268	281	311	rM	15069723	25110014	100.00%	49.592%
2	2.517	345	359	403	rM	6286453	23619954	94.07%	46.649%
3	3.326	446	509	602	rM 5	67742	1903456	7.58%	3.759%

Sum of corrected areas: 50633424

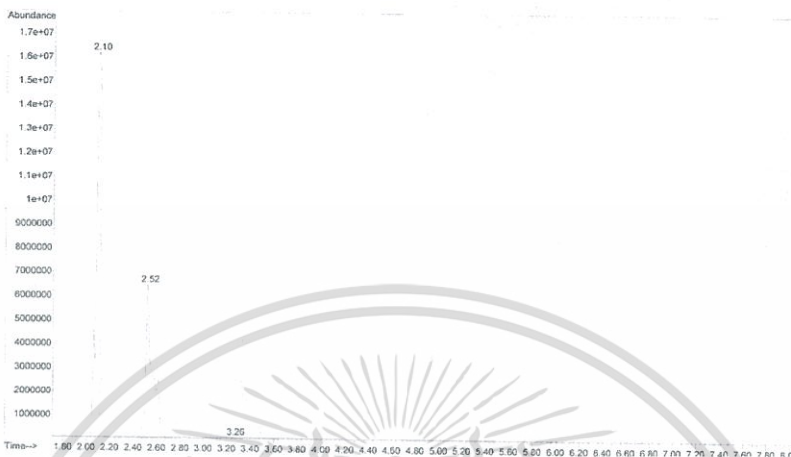


รูปที่ 64 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นซิลิกาเจลเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.096	269	281	319	rM 2	16138111	36334293	100.00%	58.437%
2	2.517	346	359	400	rM	6412353	24761708	68.15%	39.825%
3	3.256	452	496	568	rM 5	44818	1080675	2.97%	1.738%

Sum of corrected areas: 62176676



รูปที่ ๖.๖๕ ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นซิลิกาเจลเป็นเวลา 5 ชั่วโมง

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.090	268	280	286	rM	5475113	7426633	29.28%	15.805%
2	2.511	345	358	388	rM	6330120	25361772	100.00%	53.973%
3	3.234	424	492	649	rM 4	448295	13371448	52.72%	28.456%
4	5.463	752	905	1068	rM 8	14716	829757	3.27%	1.766%

Sum of corrected areas: 46989610

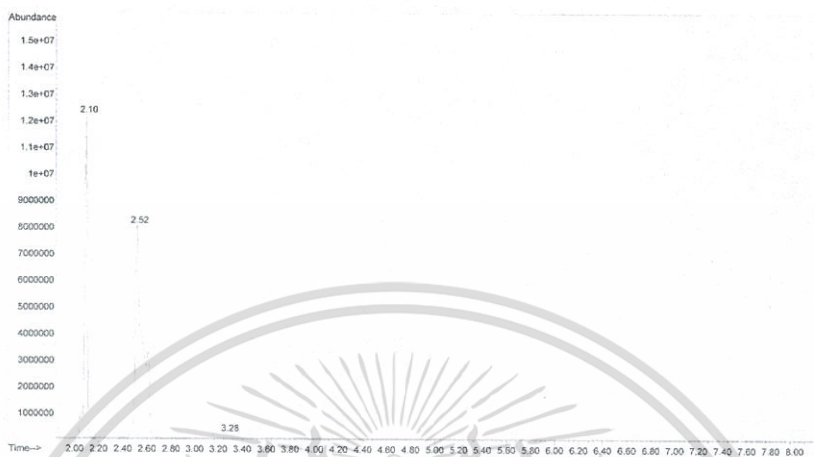


รูปที่ ๖.๖๖ ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นซีโอไลต์ 4A เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.096	257	281	297	rBV	12168625	19584564	58.00%	32.908%
2	2.517	329	359	425	rBV	8016206	33765673	100.00%	56.737%
3	3.277	425	500	677	rVB4	198583	6162076	18.25%	10.354%

Sum of corrected areas: 59512313



รูปที่ 67 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นซีโอไลต์ 4A เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.101	269	282	312	rM	15727635	30690053	100.00%	49.324%
2	2.522	347	360	389	rM	7152316	29566852	96.34%	47.519%
3	3.288	446	502	597	rM 5	77090	1964488	6.40%	3.157%

Sum of corrected areas: 62221393



รูปที่ 68 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำ เป็นซีโอไลต์ 4A เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.096	269	281	312	rM	15875527	36842846	100.00%	55.512%
2	2.517	346	359	404	rM	6641802	28043162	76.12%	42.254%
3	3.261	448	497	582	rM 4	57481	1482558	4.02%	2.234%

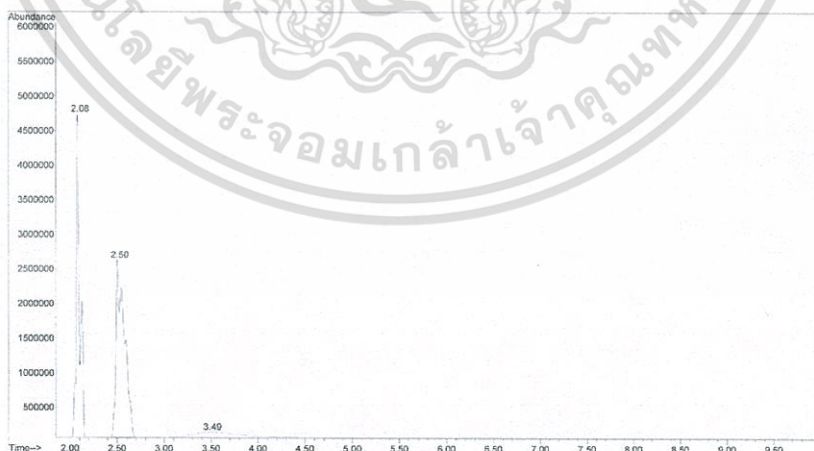
Sum of corrected areas: 66368566



รูปที่ 69 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 4A เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.080	268	278	293	rM	4675137	11784554	73.53%	38.546%
2	2.500	345	356	391	rM	2566662	16027579	100.00%	52.424%
3	3.488	458	539	713	rM 4	79280	2760721	17.22%	9.030%

Sum of corrected areas: 30572854



รูปที่ 70 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.080	263	278	302	rM	5094742	13023987	100.00%	47.650%
2	2.500	341	356	402	rM	2103823	12976728	99.64%	47.478%
3	3.504	464	542	661	rM 4	41201	1331641	10.22%	4.872%

Sum of corrected areas: 27332356



รูปที่ ๗.๗๑ ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.080	266	278	298	rM	9864908	29466394	100.00%	71.149%
2	2.501	344	356	393	rM	2088313	11948469	40.55%	28.851%

Sum of corrected areas: 41414863

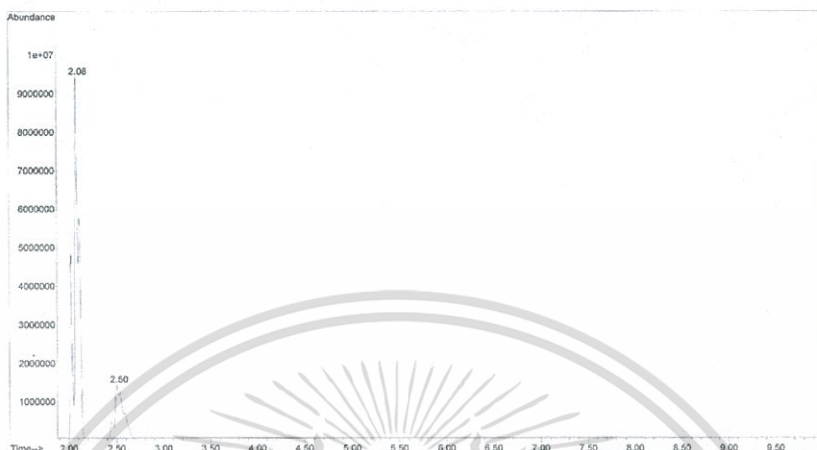


รูปที่ ๗.๗๒ ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.080	262	278	296	rM	9381392	32338453	100.00%	78.940%
2	2.501	340	356	391	rM	1389365	8627667	26.68%	21.060%

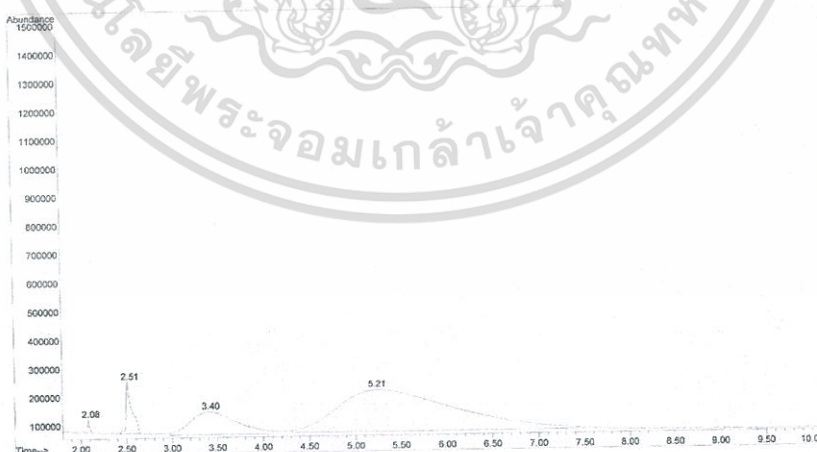
Sum of corrected areas: 40966120



รูปที่ฉ.73 ผลการทดลองของสารผสมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	275	279	288	rM	46980	63029	0.48%	0.374%
2	2.511	343	358	384	rM	182712	784616	5.98%	4.660%
3	3.402	444	523	654	rM 3	82360	2866353	21.84%	17.026%
4	5.214	692	859	1283	rM 4	148993	13121458	100.00%	77.939%

Sum of corrected areas: 16835456

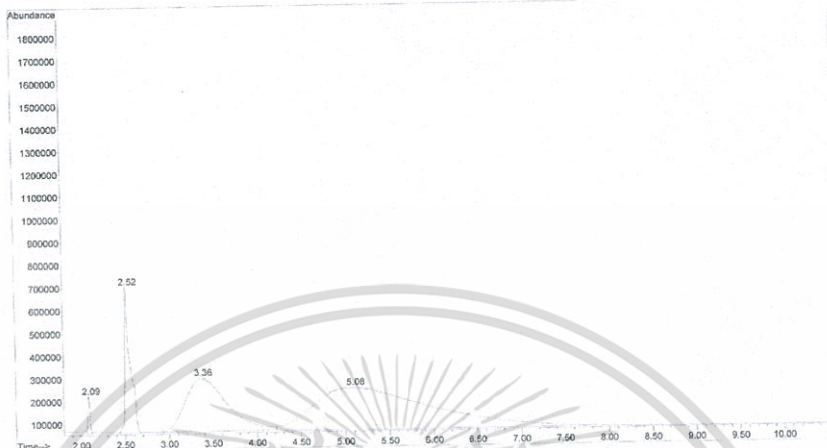


รูปที่ฉ.74 ผลการทดลองของสารผสมใช้เตาปฏิกรณ์ไมโครเวฟในการให้ความร้อนและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.090	274	280	287	rM	161762	255556	1.50%	0.923%
2	2.522	342	360	389	rM	641196	2729601	16.05%	9.858%
3	3.364	432	516	670	rM 4	237136	7700161	45.28%	27.808%
4	5.085	674	835	1325	rM 4	188112	17005070	100.00%	61.411%

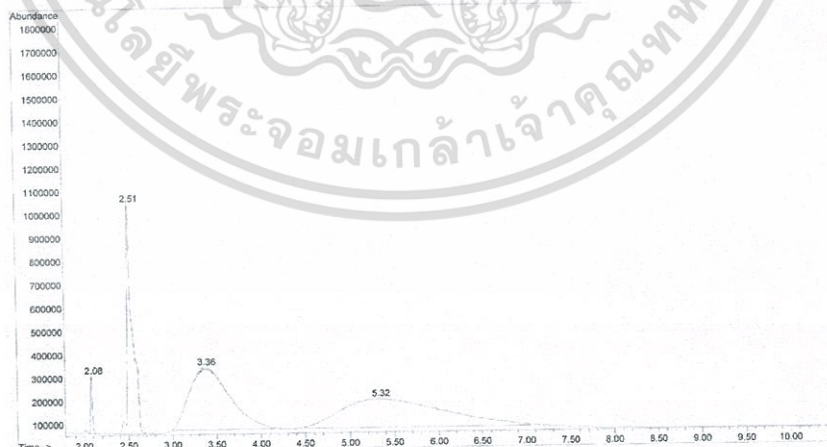
Sum of corrected areas: 27690388



รูปที่ 75 ผลการทดลองของสารผสมใช้เตาปฏิกรณ์ไมโครเวฟในการให้ความร้อนและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 30 นาที

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.085	274	279	286	rM	248220	333508	3.33%	1.455%
2	2.511	336	358	389	rM	987995	4080269	40.75%	17.803%
3	3.364	448	516	662	rM 3	270435	8491804	84.80%	37.051%
4	5.322	726	879	1195	rM 4	125098	10013921	100.00%	43.692%

Sum of corrected areas: 22919502

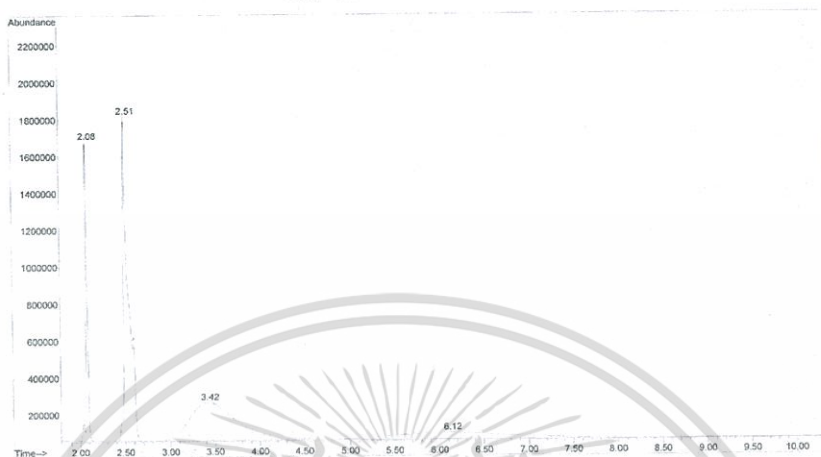


รูปที่ 76 ผลการทดลองของสารผสมใช้เตาปฏิกรณ์ไมโครเวฟในการให้ความร้อนและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

peak #	R.T. min	first scan	max scan	last scan	PK TY	peak height	corr. area	corr. % max.	% of total
1	2.080	262	278	289	rM	1626053	2041920	26.77%	10.491%
2	2.506	341	357	388	rM	1763715	6794605	89.07%	34.910%
3	3.418	437	526	726	rM 4	209351	7628139	100.00%	39.193%
4	6.121	807	1027	1313	rM 4	36506	2998579	39.31%	15.406%

Sum of corrected areas: 19463243



รูปที่จ.77 ผลการทดลองของสารผสมใช้เตาปฏิกรณ์ไมโครเวฟในการให้ความร้อนและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแอมเบอลิส-15 โดยใช้ตัวดูดซับน้ำเป็นซีโอไลท์ 13X เป็นเวลา 60 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายอธิฏ เอี่ยมเจริญ
วัน เดือน ปีเกิด	31 / 07 / 2533
ที่อยู่ปัจจุบัน	99/767 ซอยรามคำแหง150 เขตสะพานสูง แขวงสะพานสูง กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	ปีที่จบ 2555 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีเกรดเฉลี่ย 2.56 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีที่จบ 2559 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและไฮโดรคาร์บอน เกรดเฉลี่ย 3.35 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนการวิจัยของกระทรวงพลังงาน
ผลงานทางวิชาการ	1. Atipoo Eamcharoen, Methree Thiramanus, Nakohn Boonchai. 2011. <b>Microwave synthesis of triacetyl glycerol from glycerol by using water filter resins and Amberlyst-15 as catalyst.</b> King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. 2. Atipoo Eamcharoen, Pesak Rungrojchaipon. 2016. <b>Microwave synthesis of triacetin from glycerol.</b> PACCON Proceedings 2016: Article Content. 15 : 188-192 3. Atipoo Eamcharoen, Pesak Rungrojchaipon. 2016. <b>The conversion of glycerol to fuel additives.</b> Journal of science ladkrabang.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้