

การเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ในการสังเคราะห์โซลคีตอล

INCREASING THE SURFACE AREA OF ACTIVATED  
CARBON IN SYNTHESIS OF SOLKETAL



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2565  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INCREASING THE SURFACE AREA OF ACTIVATED  
CARBON IN SYNTHESIS OF SOLKETAL



THANAKORN TEEKASUNG

RATIYAPORN SUWANNAHONG

SOPIDA

KAWSUK

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR

THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ACADEMIC YEAR 2022  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ในการสังเคราะห์โซลคีตอล  
Increasing the Surface Area of Activated Carbon in Synthesis  
of Solketal

ชื่อนักศึกษา นายธนากร ทีฆะสังข์ รหัสนักศึกษา 62050292  
นางสาวรัตติยาภรณ์ สุวรรณหงษ์ รหัสนักศึกษา 62050322  
นางสาวโสภิตา แก้วสุข รหัสนักศึกษา 62050351


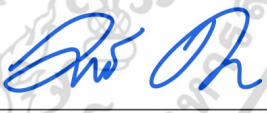

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2565

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี  
อุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2565

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ประธานกรรมการ	
รศ.ดร.มนตรี ทองคำ กรรมการ	
ผศ.ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ในการสังเคราะห์โซลคีดอล		
ชื่อนักศึกษา	นายธนากร	ทีฆะสังข์	รหัสนักศึกษา 62050292
	นางสาวรัตติยาภรณ์	สุวรรณหงษ์	รหัสนักศึกษา 62050322
	นางสาวโสภิตา	แก้วสุข	รหัสนักศึกษา 62050351
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2565		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร		

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีคาร์บอนเซชันจนได้ผลิตภัณฑ์เป็นสีดำ มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆได้เป็นอย่างดี เนื่องจากถ่านเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน และสามารถเพิ่มปริมาตรของรูพรุนให้สูงขึ้นได้ในขั้นตอนการกระตุ้น การเตรียมถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งได้ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการเตรียมให้เป็นถ่าน และขั้นตอนของการกระตุ้น โดยขั้นตอนการกระตุ้นสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะใหญ่คือการกระตุ้นทางกายภาพ และการกระตุ้นทางเคมี ในช่วงแรกของผลิตถ่านกัมมันต์จะใช้ถ่านหินมาใช้เป็นวัตถุดิบ แต่ภายหลังถ่านหินมีราคาสูง อีกทั้งเป็นวัสดุที่ใช้แล้วหมดไปจึงมีการนำวัตถุดิบจากธรรมชาติมาใช้ในการผลิตเพื่อลดต้นทุน และสามารถปลูกทดแทนได้ งานวิจัยนี้ได้มีผลผลิตมีการผลิตถ่านกัมมันต์จากพืชผลการเกษตร เป็นการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งในงานวิจัยนี้เราเน้นไปที่ผลิตถ่านกัมมันต์จากกลบข้าว เนื่องจากการเพิ่มมูลค่าให้พืชผลทางการเกษตรของไทยได้ประโยชน์สูงสุด และต้องการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะให้ค่าพื้นที่ผิวที่สูงอีกด้วย

**คำสำคัญ :** ถ่านกัมมันต์ ,พื้นที่ผิว ,กลบข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Increasing the Surface Area of Activated Carbon in Synthesis of Solketal		
<b>Students</b>	Mr.Thanakorn Teekasung	Student ID 62050292	
	Miss Ratiyaporn Suwannahong	Student ID 62050322	
	Miss Sopida Kaewsuk	Student ID 62050351	
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
<b>Department</b>	Chemistry		
<b>School</b>	Science		
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
<b>Academic Year</b>	2022		
<b>Advisor.</b>	Asst. Prof. Dr. Pesak Rungrojchaipon		

### Abstract

At present, activated carbon is a product produced by carbonization process using natural raw materials with carbon as the main component. It is black and has good absorption performance, because activated carbon is a porous structure material. The preparation of activated carbon can be divided into two stages : Carbonization and Activation. Activation can be divided into two major characteristics : physical activation and Chemical activation. In the early days of activated carbon production, coal used as raw materials but later coal was very expensive. In addition natural raw materials are used in production to reduce costs and replace planting. This research is to produce activated carbon from crops to increase the value of agricultural products. In this study we focus on the production of activated carbon from rice husk, because it adds value to the best interests of Thai crops. It is hoped that the research will provide catalysts with high surface area.

**Keywords :** activated carbon ,surface area ,rice husk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือและความร่วมมือของบุคคลหลายๆ ฝ่าย

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ได้เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล และ รศ.ดร.มนตรี ทองคำ ผู้เป็นคณะกรรมการให้กับโครงการพิเศษนี้ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำถึงประเด็นต่างๆ ในการศึกษา และชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบ และแก้ไขเพิ่มเติมเพื่อให้โครงการพิเศษเล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณท่านคณาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา พร้อมทั้งให้คำแนะนำต่างๆ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวกช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือต่างๆ เพื่อตรวจวิเคราะห์ผลของตัวอย่างในโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณบิดา มารดาที่ให้โอกาสได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดู และอบรมสั่งสอนเป็นกำลังใจสำคัญ รวมทั้งเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณตนเอง และผู้ร่วมทำโครงการพิเศษที่มีความมุ่งมั่น ตั้งใจ ให้ความร่วมมือ และให้การช่วยเหลือเป็นอย่างดีมาโดยตลอดเพื่อให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณเพื่อนๆ รวมถึงบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ณ ที่นี้ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ธนากร ชีวะสังข์

รัตติยาภรณ์ สุวรรณหงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์ .....	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขต .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 ก्लीเซอรอล .....	4
2.1.1 กระบวนการสังเคราะห์ก्लीเซอรอล.....	4
2.1.2 การนำก्लीเซอรอลไปใช้ประโยชน์.....	6
2.2 แอซีโตน.....	6
2.2.1 กระบวนการสังเคราะห์แอซีโตน.....	7
2.2.2 การนำแอซีโตนไปใช้ประโยชน์.....	7
2.3 โพลีคีตอล .....	8
2.3.1 กระบวนการสังเคราะห์โพลีคีตอล.....	9
2.3.2 การนำโพลีคีตอลไปใช้ประโยชน์.....	9
2.4 กลไกการสังเคราะห์โพลีคีตอลจากก्लीเซอรอลและแอซีโตน.....	10
2.5 ถ่านกัมมันต์.....	11
2.5.1 ประเภทของถ่านกัมมันต์.....	12
2.5.2 วิธีการกระตุ้นถ่านกัมมันต์.....	13
2.5.3 โครงสร้างและสมบัติพื้นผิวทางเคมีของถ่านกัมมันต์ .....	14
2.5.4 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์.....	16
2.5.5 ลักษณะรูพรุนของถ่านกัมมันต์.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.6 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์.....	19
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>32</b>
3.1 วัสดุอุปกรณ์.....	32
3.2 สารเคมี.....	33
3.3 เครื่องมือวิเคราะห์.....	34
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	35
3.5 การทำความสะอาดถ่านแกลบ.....	36
3.6 การกระตุ้นแกลบ.....	36
3.7 การปรับปรุงถ่านกัมมันต์ด้วยสารกระตุ้นต่างๆ.....	37
3.8 การวิเคราะห์หาค่าการดูดซับเมทิลีนบลู.....	38
3.9 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันกรดรวมด้วยวิธี Boehm Titration.....	38
3.10 การสังเคราะห์โซลคิตอล.....	40
3.11 การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์.....	40
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....</b>	<b>41</b>
4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	41
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ชนิดของธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง (XRF).....	41
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางอณูฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope).....	42
4.1.3 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว (BET).....	43
4.1.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณและชนิดของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการไทเทรตของ Boehm Titration).....	43
4.1.5 ผลการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับเมทิลีนบลู.....	45
4.1.6 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากแกลบ (TGA).....	47
4.1.7 ผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ (FTIR).....	49
4.1.8 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางอณูฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	50
4.2 ผลการสังเคราะห์โซลคิตอล.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย มอนต์เซอร์รัต กรุงเทพมหานคร ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 ผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ (FTIR).....	52
4.2.2 ผลการหาค่าร้อยละการเปลี่ยนกลีเซอรอล ค่าร้อยละการเลือกเกิด เป็นโซลคีสตอล และค่าร้อยละผลผลิตของโซลคีสตอลด้วยเครื่อง แก๊สโครมาโตกราฟพร้อมตัวตรวจวัด FID (GC-FID).....	55
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b> .....	<b>58</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	58
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	59
เอกสารอ้างอิง .....	60
ภาคผนวก.....	67
ภาคผนวก ก.....	68
ภาคผนวก ข.....	78
ภาคผนวก ค.....	89
ภาคผนวก ง.....	99
ภาคผนวก จ.....	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงฟังก์ชันและลักษณะเนื้อสัมผัสของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากของเสียทางการเกษตรต่างๆ และการกระตุ้นด้วย KOH .....	20
2. การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงฟังก์ชันและลักษณะเนื้อสัมผัสของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากของเสียทางการเกษตรต่างๆ และการกระตุ้นด้วย H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> .....	23
3. การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงฟังก์ชันและลักษณะเนื้อสัมผัสของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากของเสียทางการเกษตรต่างๆ และการกระตุ้นด้วย ZnCl <sub>2</sub> .....	26
4. การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงฟังก์ชันและลักษณะเนื้อสัมผัสของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากของเสียทางการเกษตรต่างๆ และการกระตุ้นด้วย NaOH .....	29
5. การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงฟังก์ชันและลักษณะเนื้อสัมผัสของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากของเสียทางการเกษตรต่างๆ และการกระตุ้นด้วย CuCl <sub>2</sub> .....	31
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของ RH ก่อนและหลังการบำบัดที่กำหนดโดย XRF (mass %) .....	41
4.2 สมบัติทางพื้นผิวและความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากถ่านแกลบ .....	43
4.4 ผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของโซลคิตอลที่สังเคราะห์ได้เปรียบเทียบกับโซลคิตอลมาตรฐาน .....	54
ก.1 สภาพะที่สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ GC-FID .....	77
ข.1 ข้อมูลจากผลการทดลองการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์หลังเผา .....	78
ข.2 ข้อมูลจากผลการทดลองการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันกรดรวมโดยใช้ Boehm titration วิธีทางตรง (Direct Titration) .....	79
ข.3 ข้อมูลจากผลการทดลองการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันกรดแก่โดยใช้ Boehm titration วิธีทางตรง (Direct Titration) .....	83
ข.8 ข้อมูลจากการวิเคราะห์หาค่า Response factor ของโซลคิตอล โดยใช้ GC-FID .....	87
ข.9 ข้อมูลจากการวิเคราะห์หาอัตราส่วนของกลีเซอรอลในสารตั้งต้น (Feed) โดยใช้ GC-FID .....	87
ข.10 ข้อมูลจากการวิเคราะห์หาอัตราส่วนของโซลคิตอลและกลีเซอรอล ในผลิตภัณฑ์ (Product) โดยใช้ GC-FID .....	88
ข.11 ข้อมูลจากการวิเคราะห์หาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกลีเซอรอล ค่าร้อยละการเลือกเกิดของโซลคิตอล และค่าร้อยละผลผลิตของโซลคิตอล โดยใช้ GC-FID .....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.1 ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาความเข้มข้นที่แน่นอน.....	89
ค.2 ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ ไอโอดีน .....	89
ค.3 ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาเบงคส์ของสารละลายไอโอดีน.....	90
ค.4 ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต.....	91
ค.5 ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต.....	92
ค.6 ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกใช้ในการไทเทรต.....	92



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของกลีเซอรอล.....	4
2.2 ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ .....	5
2.3 ปฏิกริยาสaponifiเคชันของไตรกลีเซอไรด์ .....	5
2.4 ปฏิกริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์.....	5
2.5 โครงสร้างของแอสีโทน .....	7
2.6 ปฏิกริยาดีไฮโดรจีเนชันของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์.....	7
2.7 โครงสร้างของโซลคิตอล.....	8
2.8 ปฏิกริยาระหว่างกลีเซอรอลและแอสีโทน .....	9
2.9 ปฏิกริยาระหว่างกลีเซอรอลและแอสีโทน .....	9
2.10 กลไกการเกิดปฏิกริยาอะซีเตไลเซชันของกลีเซอรอลและแอสีโทน .....	11
2.11 แบบจำลองโครงสร้างการดูดซับของถ่านกัมมันต์ .....	12
2.12 ประเภทของถ่านกัมมันต์ .....	13
2.13 ลำดับการผลิตของถ่านกัมมันต์ .....	14
2.14 โครงสร้างผลึกแกรไฟต์แบบเฮกซะโกนอล .....	15
2.15 หมู่ฟังก์ชันต่างๆบนถ่านกัมมันต์.....	16
4.1 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแกลบ (RH) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ที่กำลังขยาย 10 เท่า.....	42
4.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแกลบที่ทำความสะอาดแล้ว (RH-Treated) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ที่กำลังขยาย 10 เท่า .....	43
4.3 ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 30 mg/L.....	45
4.4 ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 30 mg/L.....	46
4.5 TGA thermogram ของแกลบ.....	47
4.6 TGA thermogram ของตัวเร่งปฏิกริยาถ่านกัมมันต์จากแกลบที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก (AC-KOH/H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) ที่อัตราส่วน 1:1 600 °C และตัวเร่งปฏิกริยาถ่านกัมมันต์จากแกลบที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก (AC-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) ที่อัตราส่วน 1:4 800 °C.....	47
4.7 TGA thermogram ของตัวเร่งปฏิกริยาถ่านกัมมันต์จากแกลบที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก (AC-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ).....	48
4.8 FTIR spectrum ของตัวเร่งปฏิกริยาถ่านกัมมันต์จากแกลบ.....	49

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแกลบที่ทำความสะอาดแล้ว (RH-Treated) ที่กำลังขยาย (A) 200 เท่า (B) 500 เท่า (C) 1000 เท่า (D) 5000 เท่า.....	50
4.10 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของคอปเปอร์คลอไรด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก (AC-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) ที่อัตราส่วน 1:4 800 °C ที่กำลังขยาย (A) 200 เท่า (B) 500 เท่า (C) 1000 เท่า (D) 5000 เท่า .....	51
4.11 FTIR spectrum ของโซลคิตอลและกลีเซอรอลมาตรฐาน .....	52
4.12 FTIR spectrum เปรียบเทียบโซลคิตอลที่สังเคราะห์ได้จากกลีเซอรอล และแอซีโทน (S-Reactant) และโซลคิตอลที่สังเคราะห์ได้โดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากแกลบที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์ และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก (AC-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ).....	53
4.13 กราฟแสดงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ที่มีผลร้อยละการเปลี่ยนกลีเซอรอล คาร์บอนไดออกไซด์เกิดเป็นโซลคิตอล และคาร์บอนไดออกไซด์ของโซลคิตอล.....	56
4.14 กราฟแสดงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ที่มีผลร้อยละการเปลี่ยนกลีเซอรอล คาร์บอนไดออกไซด์เกิดเป็นโซลคิตอล และคาร์บอนไดออกไซด์ของโซลคิตอล.....	56
ง.1 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแกลบ (RH-KOH 1:1 600 °C) โดยใช้ กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ที่กำลังขยาย 10 เท่า .....	99
ง.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแกลบ (RH-KOH 1:4 800 °C) โดยใช้ กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ที่กำลังขยาย 10 เท่า .....	99
ง.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแกลบ (RH-KOH 1:4 600 °C) โดยใช้ กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ที่กำลังขยาย 10 เท่า .....	100
ง.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแกลบ (RH-KOH 1:4 800 °C) โดยใช้ กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ที่กำลังขยาย 10 เท่า .....	100
ง.5 FTIR spectrum ของแกลบข้าว (RH) และแกลบที่ทำความสะอาดแล้ว (RH-Treated) .....	101
ง.6 FTIR spectrum ของแกลบที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (RH-KOH).....	101
ง.7 FTIR spectrum ของแกลบที่ถูกกระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์ (RH-CuCl <sub>2</sub> ).....	102
ง.8 FTIR spectrum ของแกลบที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ).....	102
ง.9 TGA thermogram ของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากแกลบ.....	103
ง.10 TGA thermogram ของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากแกลบ.....	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง.11 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก (AC-KOH/H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) ที่อัตราส่วน 1:1 600 °C ที่กำลังขยาย (A) 200 เท่า (B) 500 เท่า (C) 1000 เท่า (D) 5000 เท่า .....	104
ง.12 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก (AC-KOH/H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) ที่อัตราส่วน 1:4 800 °C ที่กำลังขยาย (A) 200 เท่า (B) 500 เท่า (C) 1000 เท่า (D) 5000 เท่า .....	105
ง.13 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของคอปเปอร์คลอไรด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก (AC-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) ที่อัตราส่วน 1:4 600 °C ที่กำลังขยาย (A) 200 เท่า (B) 500 เท่า (C) 1000 เท่า (D) 5000 เท่า .....	106
ง.14 โครมาโตแกรมของกลีเซอรอล.....	107
ง.15 โครมาโตแกรมของกลีเซอรอลและโซลคิตอลสำหรับใช้ ในการหาค่า Response factor .....	107
ง.16 โครมาโตแกรมของกลีเซอรอลและเอทานอลสำหรับใช้เป็นสารตั้งต้น (Feed).....	108
ง.17 โครมาโตแกรมของโซลคิตอล (Product) ที่สังเคราะห์จากกลีเซอรอลและแอซีโตน .....	108
ง.18 โครมาโตแกรมของโซลคิตอล (Product) ที่สังเคราะห์จากกลีเซอรอลและแอซีโตน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์ และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก (AC-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ).....	109
จ.1 ปั่นเกลบให้มีขนาดเล็กด้วยเครื่องปั่น .....	110
จ.2 เผาเกลบก่อนนำไปทำความสะอาด.....	110
จ.3 การทำความสะอาดเกลบสำหรับใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา .....	111
จ.4 การปรับปรุงถ่านกัมมันต์ด้วยกรดซัลฟิวริก .....	111
จ.5 ถ่านเกลบหลังเผา .....	112
จ.6 การหาค่าการดูดซับเมทิลีนบลู.....	112
จ.7 การหาหมู่ฟังก์ชันกรดรวมโดยใช้ Boehm Titration.....	113
จ.8 การหาหมู่ฟังก์ชันกรดแก่โดยใช้ Boehm Titration.....	113
จ.9 การจัดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor).....	114
จ.10 การจัดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ .....	114
จ.11 การจัดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับแยกผลิตภัณฑ์.....	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
RH	แกลบข้าว
RH-Treated	แกลบที่ทำความสะอาดแล้ว
RH-KOH	แกลบที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
RH-CuCl <sub>2</sub>	แกลบที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	แกลบที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก
AC-KOH/H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ถ่านแกลบที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก
AC-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ถ่านแกลบที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก
S-commercial	โซลคิตตอลมาตรฐาน
S-Reactant	โซลคิตตอลที่ได้จากกลีเซอรอลกับแอสีโตน โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
S-CuCl <sub>2</sub> //H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	โซลคิตตอลที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านแกลบที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก
Conversion (%)	ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกลีเซอรอล
Selectivity (%)	ค่าร้อยละการเลือกเกิดของโซลคิตตอล
Yield (%)	ค่าร้อยละผลผลิตของโซลคิตตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและโครงสร้างที่มีรูพรุนมาก สามารถประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรม เช่น การบำบัดน้ำเสีย และมีความสามารถในการขจัดมลพิษที่หลากหลายรวมทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในของเหลวหรือแก๊ส นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์เมื่อใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ปัจจุบันมีการนำของเสียทางการเกษตรมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตถ่านกัมมันต์ ชีวมวลที่เป็นของเสียทางการเกษตร เช่น แกลบ กะละมะพร้าว กะลาปาล์ม กากกาแฟ ถิกนิน และสารชีวมวลอื่นๆ ซึ่งในประเทศไทย ขี้วานับเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศ ทั้งด้านการบริโภค และเป็นสินค้าเกษตรส่งออกอันดับหนึ่งของประเทศไทย นอกจากนี้ยังพบว่าส่วนที่เหลือใช้จากการผลิตข้าวสาร นั่นก็คือ แกลบ เนื่องจากแกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีปริมาณมากมายนานาชาติ ซึ่งนำไปสู่ปัญหาทางการจัดการและวิธีการกำจัดทิ้ง ซึ่งโดยทั่วไปแกลบจะถูกกำจัดทิ้งโดยวิธีการเผาซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ดังนั้นจึงได้นำแกลบมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ปัจจุบันพบว่าแกลบนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ เช่น นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง การใช้แกลบเพื่อเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐ และซีเมนต์ เป็นต้น [1]

แกลบนอกจากจะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบแล้ว ยังมีองค์ประกอบที่เป็นธาตุคาร์บอนอยู่ด้วย คุณสมบัติที่สำคัญอีกข้อหนึ่งของแกลบคือ เมื่อนำแกลบไปเผาโดยมีการควบคุมอุณหภูมิในระหว่างเผาแล้วพบว่า โครงสร้างจะเป็นรูพรุน และมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 35% โดยน้ำหนัก จึงทำให้แกลบมีคุณสมบัติที่จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อนำไปผลิตถ่านกัมมันต์ได้ [2]

การผลิตถ่านกัมมันต์มีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 2 กระบวนการคือ กระบวนการเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นถ่านกัมมันต์โดยการให้ความร้อน (Carbonization) และกระบวนการกระตุ้น (Activation) เพื่อกระตุ้นให้ถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมากขึ้น

ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงทำการทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตถ่านกัมมันต์จากของเสียทางการเกษตร ด้วยการหาวิธีที่จะผลิตถ่านกัมมันต์ให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น และเพื่อให้ใช้ประโยชน์จากของเสียทางการเกษตรให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษากระบวนการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากถ่านแกลบเพื่อให้มีพื้นที่ผิวที่สูงขึ้นด้วยวิธีการสังเคราะห์ทางเคมี
- 2) เพื่อศึกษากระบวนการสังเคราะห์โซลคิตอลจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับแอสีโทน โดยใช้หมู่ฟังก์ชันกรดในถ่านกัมมันต์จากแกลบเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1) วิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการแช่ด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่
  - 1.1 วิเคราะห์พื้นที่ผิวปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ (BET)
  - 1.2 วิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเครื่องมือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (TGA)
- 2) วิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดด้วยวิธีการต่างๆ
  - 2.1 วิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเครื่องมือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง
  - 2.2 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเพื่อตรวจสอบองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ (FT-IR)
  - 2.3 วิเคราะห์พื้นที่ผิวปริมาตรรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด (BET)
  - 2.4 วิเคราะห์หาค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene blue Adsorption)
  - 2.5 วิเคราะห์ปริมาณและชนิดของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์โดยวิธีการไทเทรตของโบห์ม (Boehm titration method)
- 3) วิเคราะห์หาผลผลิตของโซลคิตอลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับแอสีโทนด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่
  - 3.1 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเพื่อตรวจสอบว่าสารที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาที่สภาวะต่าง ๆ เพื่อยืนยันว่าเป็นโซลคิตอลด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)
  - 3.2 วิเคราะห์หาผลผลิตของโซลคิตอลที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาที่สภาวะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ด้วยเครื่อง Gas Chromatography - Flame Ionization Detector (GC-FID)  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิเคราะห์ชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง เพื่อยืนยันว่าเลขมวลของสารที่สังเคราะห์ได้เป็นโพลีคีตอลด้วยเครื่อง Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC-MS)

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถเปลี่ยนกลีเซอรอลดิบให้กลายเป็นโพลีคีตอลได้โดยตรง เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกลีเซอรอลดิบ สามารถลดต้นทุนการผลิต และเป็นทางออกที่ดีในการลดปริมาณกลีเซอรอลดิบที่มีอยู่มากเกินไป

2) ทราบถึงวิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์จากถ่านแกลบให้มึพื้นที่ผิวสูงขึ้น



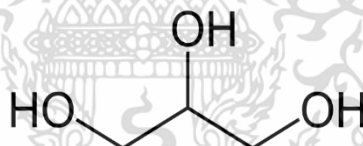
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 กลีเซอรอล (Glycerol)

กลีเซอรอล (Glycerol) หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กลีเซอริน (Glycerin) เป็นชื่อที่มาจากคำในภาษากรีก ว่า glykys หมายถึงความหวาน กลีเซอรอลถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ.1779 โดย Carl W. Scheele จาก การทดลองปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชัน (Saponification) ในการสกัดน้ำมันมะกอก กลีเซอรอลมีลักษณะเป็นของเหลวใสหนืด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีพิษ มีรสหวานเล็กน้อย กลีเซอรอลเป็น สารจำพวกโพลีไฮดรอลิกแอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohol) ที่มีสูตรโมเลกุลคือ  $C_3H_8O_3$  มีน้ำหนักโมเลกุล 92.09 กรัมต่อโมล และมีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3-โพรเพนไตรออล (1,2,3-propanetriol) จากภาพโครงสร้างของกลีเซอรอลดังแสดงในรูปที่ 2.1 พบว่ากลีเซอรอล ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ซึ่งใน 2 หมู่เป็นของไฮดรอกซิลปฐมภูมิ (Primary hydroxyl) และหมู่ไฮดรอกซิลทุติยภูมิ (Secondary hydroxyl) 1 หมู่ ด้วยคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล พบว่า กลีเซอรอลละลายได้ดีทั้งในน้ำและแอลกอฮอล์แต่ละลายในตัวทำละลายจำพวกเฮโลเจน เช่น คลอโรฟอร์ม [3]



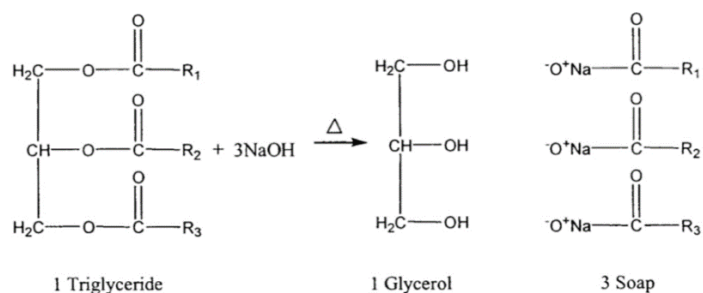
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของกลีเซอรอล [3]

#### 2.1.1 กระบวนการสังเคราะห์กลีเซอรอล

กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติทางเคมีที่หลากหลายสามารถนำไปเป็นสารตั้งต้นหรือ สารเติมแต่งเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้หลากหลาย เช่น การผลิตสบู่ การผลิตยา การผลิตเครื่องสำอาง โดยในกระบวนการสังเคราะห์กลีเซอรอลสามารถสังเคราะห์ได้จาก 3 กระบวนการหลัก [4] ดังนี้

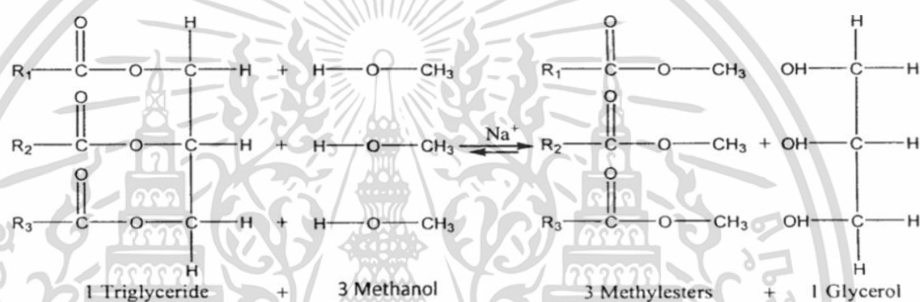
1. กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) เป็นปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์ กับไตรกลีเซอไรด์โดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นกลีเซอรอลกับเมทิลเอสเทอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



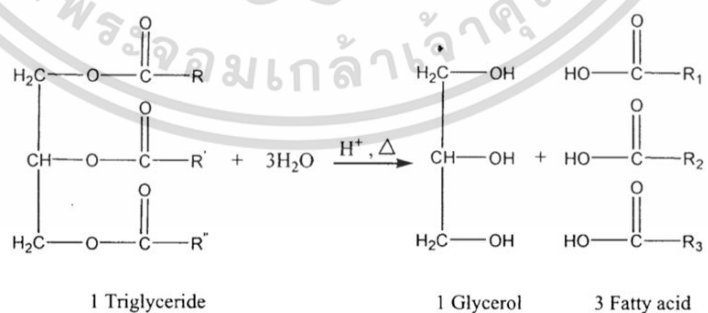
รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ [5]

2. กระบวนการสaponification (Saponification) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากไขมันหรือน้ำมันทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดเป็นกลีเซอรอลกับสบู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาสaponification ของไตรกลีเซอไรด์ [6]

3. กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของน้ำมันจากพืชและไขมันจากสัตว์ โดยมีกรดหรือเบสเจือจางเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นกลีเซอรอลกับกรดไขมัน ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 การนำกลีเซอรอลไปใช้ประโยชน์

เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล จึงทำให้กลีเซอรอลเป็นที่นิยมในการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้แก่

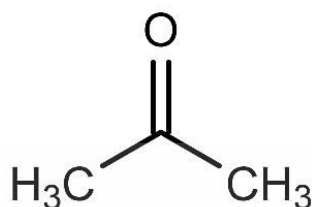
1. ด้านอุตสาหกรรมเคมี จะใช้กลีเซอรอลเป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตสารประกอบ โพลีออล (Polyol) ที่ใช้ในการผลิตโฟม และใช้เป็นตัวทำละลายเนื่องจากคุณสมบัติที่สามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำและแอลกอฮอล์
2. ด้านอุตสาหกรรมพลาสติก จะใช้กลีเซอรอลเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความอ่อนตัวและยืดหยุ่นสูง [8]
3. ด้านอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม จะใช้กลีเซอรอลเป็นสารเพิ่มความหวาน (Sweetener) และใช้ทดแทนน้ำตาลได้มักพบมากใน ลูกอม สุรา นอกจากนี้ยังใช้เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร (Food additive) เช่น สารเก็บความชื้น (Humectant) สารที่ทำให้ข้นหนืด (Thickening agent) และสารเพิ่มความคงตัว (Emulsifier) เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารแห้งอีกด้วย [4],[9]
4. ด้านอุตสาหกรรมทางการแพทย์ จะใช้กลีเซอรอลเป็นยาเหน็บทวาร ยาระบาย ยาเฉพาะที่สำหรับปัญหาทางผิวหนังหลายชนิด เช่น โรคผิวหนัง ผื่น แผลไฟลวก แผลกดทับ และบาดแผลจากของมีคม นอกจากนี้กลีเซอรอลถูกนำไปใช้เพื่อรักษาโรคเหงือกได้ เนื่องจากสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องและเป็นสารที่ไม่มีพิษ
5. ด้านอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง จะใช้กลีเซอรอลในอุตสาหกรรมสบู่อะโลชั่น เนื่องจากมีคุณสมบัติเหมือนมอยซ์เจอร์ไรเซอร์ ป้องกันผิวไม่ให้แห้ง สามารถดูดซับความชื้นเมื่อสัมผัสกับอากาศ ทำให้ผิวมีความชุ่มชื้น และยังปลอดภัยต่อผิวหนัง รวมไปถึงการนำกลีเซอรอลไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ในห้องน้ำและสุขอนามัยต่างๆ ในครัวเรือน เช่น ยาสีฟัน ยาสระผม น้ำยาบ้วนปาก เป็นต้น [4]

### 2.2 แอซีโตน (Acetone)

แอซีโตน (Acetone) เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคีโตน แอซีโตนมีลักษณะเป็นของเหลวใสไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว ระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย ติดไฟง่าย ผสมกับน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เบนซิน คลอโรฟอร์ม เอทานอล และอีเทอร์ ได้ทุกสัดส่วน [10] แอซีโตนเป็นสารตัวทำละลายที่มีสูตรโมเลกุลคือ  $C_3H_6O$  มีน้ำหนักโมเลกุล 58.08 กรัมต่อโมล และมีชื่อทางเคมีว่า

2-โพรพานอน (2-propanone) โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอนเป็นแกนกลาง 3 อะตอม ไฮโดรเจน และหมู่คาร์บอนิล มีโครงสร้างโมเลกุลดังแสดงในรูปที่ 2.5 แอซีโตนถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ.1905 ไม่ผ่านการใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ติดแบคทีเรียและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Schardinger จากกระบวนการหมักของแบคทีเรียในสภาวะไม่มีไฮโดรเจน โดยสามารถผลิตได้จากแบคทีเรียในกลุ่ม Cl. acetobutylicum และ Cl. beijerinckii ซึ่งเป็นวิธีที่มีต้นทุนการผลิตสูง ปัจจุบันเอซีโตนส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาใช้จึงได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางปิโตรเลียมซึ่งเป็นวิธีที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ [11]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเอซีโตน [12]

### 2.2.1 กระบวนการสังเคราะห์เอซีโตน

ในทางอุตสาหกรรมเอซีโตนสามารถสังเคราะห์ได้โดยปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน (Dehydrogenation) โดยมี Isopropyl alcohol เป็นสารตั้งต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชันของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ [11]

### 2.2.2 การนำเอซีโตนไปใช้ประโยชน์

เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเอซีโตน จึงทำให้เอซีโตนเป็นที่นิยมในการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้แก่

1. ในห้องปฏิบัติการ นิยมใช้เอซีโตนสำหรับเป็นตัวทำละลายในการเตรียมสารเคมีหรือใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับการสกัดสารอินทรีย์จากพืชหรือสัตว์

2. ในภาคอุตสาหกรรม นิยมใช้เอซีโตนเป็นตัวทำละลายในกระบวนการผลิต ในภาคอุตสาหกรรม เช่น น้ำมันขัดเงา กาว แลคเกอร์ เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมเคมี ผลิตภัณฑ์

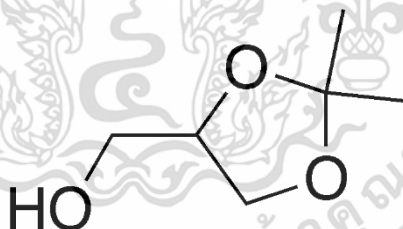
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมึกพิมพ์ และอุตสาหกรรมพลาสติก เช่น เรซิน Bisphenol A สำหรับเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกหลายชนิด เช่น โพลีคาร์บอเนต โพลียูรีเทน และเรซิน

3. ประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น ใช้สำหรับการชะล้าง และเป็นสารไล่น้ำ [12]

### 2.3 โซลคีตอล (Solketal)

โซลคีตอล (Solketal) หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Isopropylidene glycerol โซลคีตอล จัดเป็นอนุพันธ์ของกลีเซอรอล มีประสิทธิภาพที่จะใช้เป็นสารเติมแต่งเชื้อเพลิงเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของไบโอดีเซลมีชื่อทางเคมีว่า 2,2-dimethyl-1,3-dioxolane-4-methanol สูตรโมเลกุลคือ  $C_6H_{12}O_3$  มีน้ำหนักโมเลกุล 132.16 กรัมต่อโมล และมีโครงสร้างโมเลกุลดังแสดงในรูปที่ 2.7 โซลคีตอลเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภท คีโตนที่ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ในสภาวะกรดมีลักษณะของเหลวใสไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความหนืดต่ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นตัวทำละลาย และสารตั้งต้นที่มีจุดเดือดค่อนข้างสูง สามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำ แอลกอฮอล์ อีเทอร์ ไปจนถึงไฮโดรคาร์บอน [13] โซลคีตอลถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ.1895 โดยนักเคมี ชาวเยอรมัน Emil Fischer ในระหว่างการวิจัยเกี่ยวกับปฏิกิริยาน้ำตาลกับแอลดีไฮด์และคีโตน อีกทั้งโซลคีตอลมีความเป็นพิษต่ำ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย ได้แก่ ตัวทำละลายในสารเคมี สารเติมแต่งเชื้อเพลิง สารลดแรงตึงผิว และเป็นส่วนประกอบของน้ำยาฆ่าเชื้อต่างๆ [14]

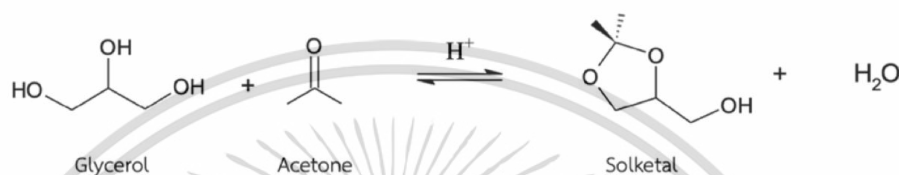


รูปที่ 2.7 โครงสร้างของโซลคีตอล [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

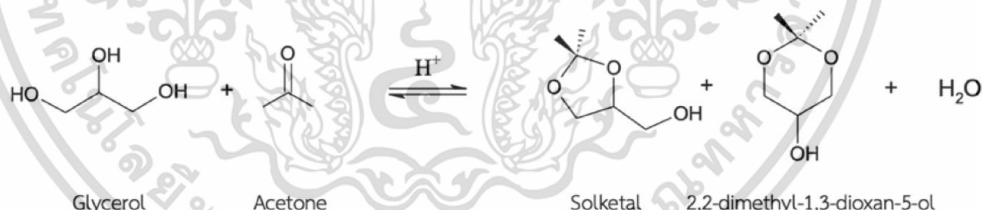
### 2.3.1 กระบวนการสังเคราะห์โซลคีตอล

จากงานวิจัยของ Mota, C.J.A. และคณะ [16] ได้กล่าวถึงปฏิกิริยาแอซีทัลไลเซชัน (Acetalization) ระหว่างกลีเซอรอลกับแอซีโตนโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous catalysts) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ในปฏิกิริยานี้จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นโซลคีตอลและผลิตภัณฑ์ข้างเคียง คือน้ำ ข้อดีของปฏิกิริยานี้คือมีความจำเพาะในการเกิดโซลคีตอลสูง และใช้อุณหภูมิต่ำในการทำปฏิกิริยาต่ำ



รูปที่ 2.8 แสดงปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับแอซีโตน [16]

จากงานวิจัยของ Comejo, A. และคณะ [17] ได้กล่าวถึงปฏิกิริยาแอซีทัลไลเซชัน (Acetalization) ระหว่างกลีเซอรอลกับแอซีโตนโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous catalysts) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ในปฏิกิริยานี้จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นโซลคีตอล ผลิตภัณฑ์ร่วมคือ 2,2-dimethyl-1,3-dioxan-5-ol และน้ำ



รูปที่ 2.9 แสดงปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลกับแอซีโตน [17]

### 2.3.2 การนำโซลคีตอลไปใช้ประโยชน์

โซลคีตอลสามารถนำไปใช้งานต่างๆ ได้มากมาย ซึ่งประเภทการใช้งานของโซลคีตอลสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. ใช้เป็นสารเติมแต่งเชื้อเพลิง โซลคีตอลสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของ

เครื่องยนต์ เพิ่ม ค่าออกเทน ทำให้สามารถลดการปล่อยอนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ หรือควันทำได้ เพิ่มคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมัน ลดจุดเยือกแข็งของน้ำมัน ซึ่งเป็นผลดีไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ลดแบคทีเรียและต้องอ่างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาใช้

สำหรับน้ำมันที่ใช้ในรถยนต์เมืองหนาว ลดการก่อตัวของเจลเชื้อเพลิงในน้ำมัน ซึ่งเป็นสาเหตุของการน็อคของเครื่องยนต์ [18]

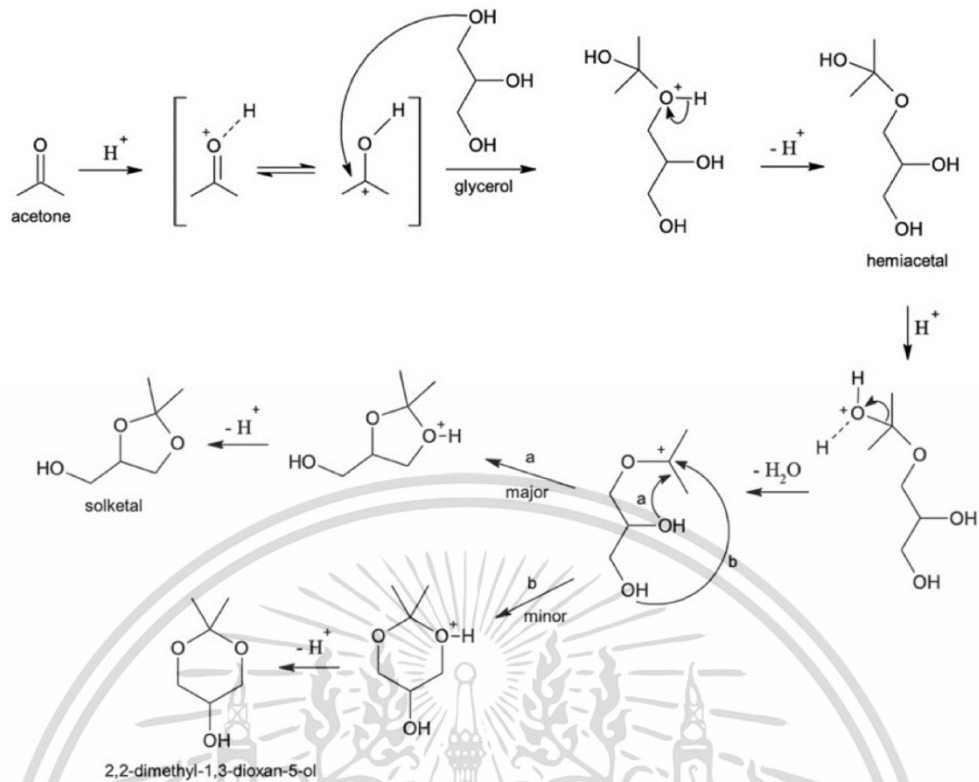
2. ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับสารเคมี โพลีคีตอลเป็นตัวทำละลายอเนกประสงค์ที่สามารถแปลงเป็นสารเคมีได้หลากหลายชนิด เช่น สี สารเคลือบ หมึกพิมพ์ กาว เรซิน และด้วยคุณสมบัติที่ไม่อันตรายของโพลีคีตอล ทำให้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง [19]

3. ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ (plasticizers) ในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ เพื่อลดจุดหลอมเหลวที่ทำให้เกิดการไหลของเม็ดพลาสติก ปรับปรุงคุณสมบัติของเม็ดพลาสติกทำให้เม็ดพลาสติกมีความอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น สะดวกต่อการดึง รีด ฉาบ หรือหล่อแบบ

## 2.4 กลไกการสังเคราะห์โพลีคีตอลจากกลีเซอรอลและแอซีโตน

กลไกการสังเคราะห์โพลีคีตอลจากกลีเซอรอลเริ่มจากการเติมโปรตอน (Protonation) ให้กับออกซิเจนอะตอมของหมู่คาร์บอนิลที่อยู่ในรูปแอซีโตนเกิดเป็นออกโซเนียม (Oxonium) จากนั้นเกิดการเรโซแนนซ์ของออกโซเนียมเกิดเป็นคาร์บีนียมไอออน (Carbenium ion) และไฮดรอกซิลปฐมภูมิ (Primary hydroxyl) ที่ทำหน้าที่เป็นนิวคลีโอไฟล์ (Nucleophile) จะเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์บีนียมไอออน (Carbenium ion) ที่ทำหน้าที่เป็นอิเล็กโตรไฟล์ (Electrophile) และมีการขจัดโปรตอนออกเกิดเป็นเฮมิแอซีทัล (Hemiacetal) จากนั้นเกิดการเติมโปรตอนและขจัดน้ำออกจากโมเลกุลเกิดเป็นคาร์บีนียมไอออนทุติยภูมิอีกรูปแบบหนึ่ง ในระหว่างการทำปฏิกิริยามีนิวคลีโอฟิลิก (Nucleophilic) สองตำแหน่งภายในโมเลกุล โดยมาจากหมู่ไฮดรอกซิลปฐมภูมิและไฮดรอกซิลทุติยภูมิ จากนั้นทำการขจัดโปรตอนเพื่อทำให้เกิดเป็นโพลีคีตอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลัก และมีผลิตภัณฑ์ข้างเคียงคือ 2,2-dimethyl-1,3-dioxan-5-ol ดังแสดงในรูปที่ 2.10 [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

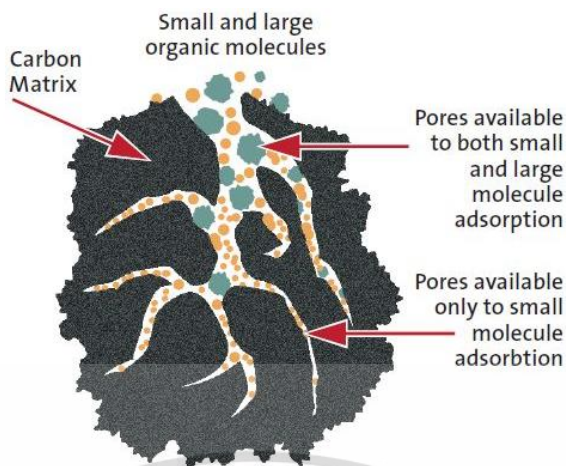


รูปที่ 2.10 กลไกการเกิดปฏิกิริยาอะซีตอะไลเซชันของกลีเซอรอลและแอซีโตน [20]

## 2.5 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์หรือคาร์บอนกัมมันต์ มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Activated carbon หรือ Activated charcoal คือถ่านที่ต้องนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือวิธีทางกายภาพก่อน เพื่อให้โครงสร้างทางกายภาพของถ่านเกิดรูพรุนหรือรอยแตกขนาดเล็กระดับนาโนเมตรจำนวนมาก โดยขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการดูดซับ เมื่อมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากทำให้การดูดซับของโมเลกุลขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้น [21] ดังแสดงในรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แบบจำลองโครงสร้างการดูดซับของถ่านกัมมันต์ [22]

### ประเภทของถ่านกัมมันต์

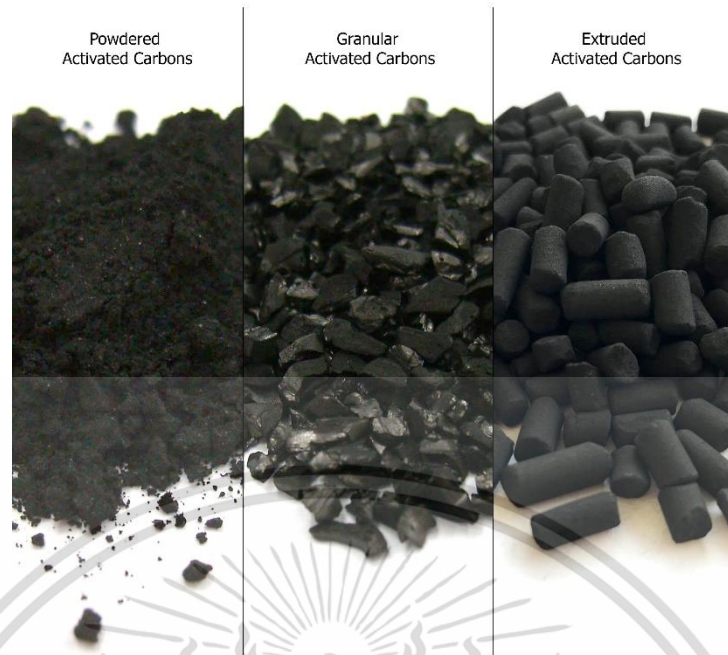
ประเภทของถ่านกัมมันต์แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามรายละเอียดดังนี้ [23]

1. ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powder Activated Carbon, PAC) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ถูกนำมาบด โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.15 ถึง 0.25 มิลลิเมตร ถ่านกัมมันต์แบบผงส่วนใหญ่ใช้งานกับของเหลวโดยผสมลงในของเหลวนั้น และเมื่อมีการดูดซับแล้วจึงแยกถ่านกัมมันต์ชนิดผงออกโดยวิธีตกตะกอนและการกรองแยกออกมา

2. ถ่านกัมมันต์แบบเม็ด (Granular Activated Carbon, GAC) เป็นถ่านที่มีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์แบบผงและพื้นที่ผิวภายนอกมีขนาดเล็ก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.2 ถึง 5 มิลลิเมตร ถ่านกัมมันต์แบบเม็ดเหมาะกับการดูดซับแก๊สและไอระเหยสามารถนำกลับมาฟื้นฟูสภาพ เพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำหลายๆครั้งได้

3. ถ่านกัมมันต์แบบแท่ง (Extruded Activated Carbon, PAC) เป็นถ่านที่นำมาขึ้นรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.8 ถึง 45 มิลลิเมตร ถ่านกัมมันต์แบบแท่งเหมาะกับการใช้งานหนัก การกรองดูดซับแก๊สและสารปนเปื้อนที่ต้องการอัตราการดูดซับสูงๆ และสามารถนำกลับมาใหม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ประเภทของถ่านกัมมันต์ [24]

### วิธีการกระตุ้นถ่านกัมมันต์

การกระตุ้น (Activation) เป็นการทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น อันเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวที่มีความว่องไวมากขึ้น วัตถุประสงค์ของการกระตุ้น [23] ได้แก่

เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (Active surface area) โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไปและเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน

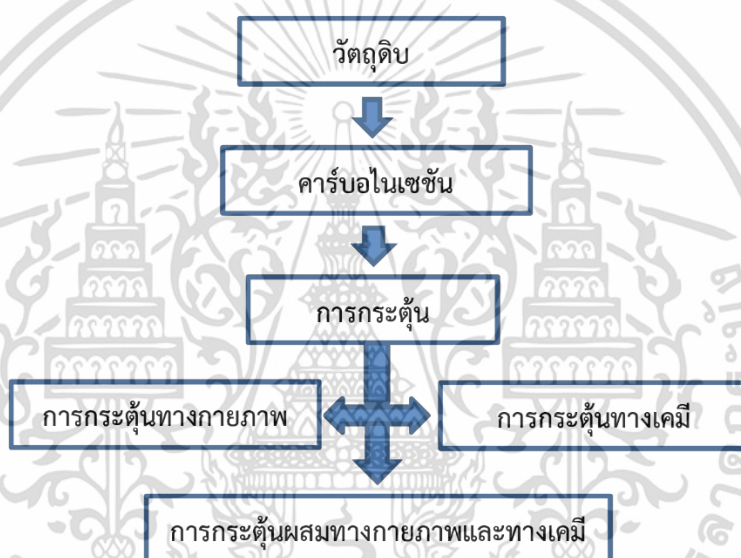
1. เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้พื้นที่ผิวที่มีอยู่แล้ว ซึ่งหมายถึงทำให้อะตอมของคาร์บอนพลังงานศักย์สูงขึ้น โดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่
2. เป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ
3. การเผาสารที่เหลืออยู่ในถ่านและการขยายขนาดของรูพรุนที่เกิดอยู่ในถ่าน

การกระตุ้นถ่านกัมมันต์แบ่งได้เป็น 2 วิธี ตามรายละเอียดดังนี้ [23]

1. การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านได้สูงขึ้นนิยมใช้แก๊สออกซิไดซ์ต่างๆ เช่น ไอน้ำ อิมิตัวยิ่งยวด (steam) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และแก๊สออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) เป็นต้น ซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นค่อนข้างสูงประมาณ 800-1000 องศาเซลเซียส เพราะไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็นไอน้ำร้อนยิ่งยวดเพื่อทำให้สารอินทรีย์ต่างๆสลายไป ทำให้โครงสร้างภายในมีรูพรุนเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก

2. การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) เป็นการกระตุ้นโดยใช้สารเคมี เช่น สังกะสีคลอไรด์ ( $\text{ZnCl}_2$ ) กรดฟอสฟอริก ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) และโพแทสเซียมออกไซด์ ( $\text{KOH}$ ) เป็นต้น ซึ่งสามารถแทรกซึมได้ทั่วถึง ทำให้ส่วนที่ไม่บริสุทธิ์ ละลายหมดไปได้อย่างรวดเร็วโดยใช้อุณหภูมิเผาประมาณ 600-700 องศาเซลเซียส ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยวิธีนี้ ได้แก่ อัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ อุณหภูมิ การกระตุ้น และระยะเวลาการกระตุ้น

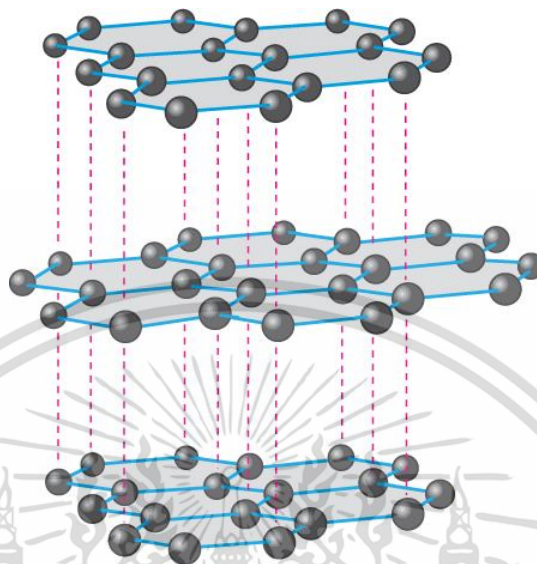


รูปที่ 2.13 ลำดับการผลิตถ่านกัมมันต์ [25]

### โครงสร้างและสมบัติพื้นผิวทางเคมีของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านชนิดหนึ่งที่อยู่ในรูปคาร์บอนอสัณฐาน (Amorphous carbon) ที่โครงสร้างพื้นผิวมีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก โดยทั่วไปแล้วผิวหน้าของถ่านกัมมันต์นั้นจะไม่มีขั้วแต่เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์เกิดขึ้นที่ผิวหน้าและการจัดเรียงของอะตอมอยู่ในลักษณะเฮกซะโกนอล (Hexagonal) ทำให้ผิวหน้าของถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูง โครงสร้างผลึกของแกรไฟต์แบบเฮกซะโกนอลประกอบไปด้วยชั้นอะตอมคาร์บอนที่ยึดโยงกันเป็นระนาบในรูปของวงเบนซีน (Benzene ring) ที่เรียกว่าชั้นแกรไฟต์ (Graphene layer) ซึ่งแต่ละอะตอมจะเกิดพันธะเดี่ยวกับอีก 3 อะตอมในระนาบในลักษณะสมมาตรกัน โดยยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโควาเลนต์ (Covalent

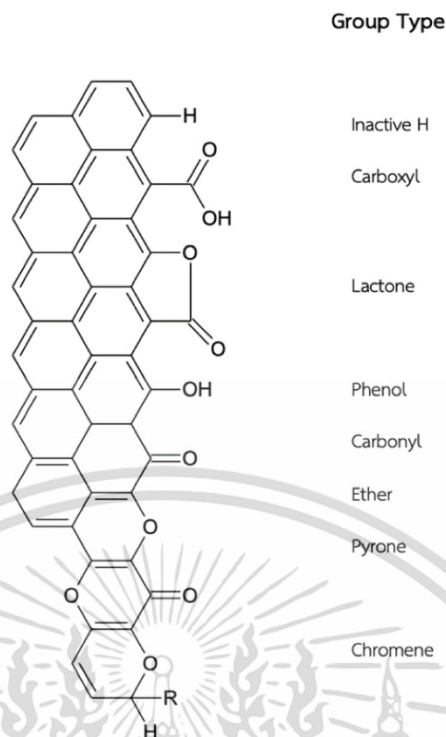
bond) โดยมีแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้น. [26] ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 โครงสร้างผลึกแกรไฟต์แบบเฮกซะโกนอล [27]

นอกจากนี้จากการที่โครงสร้างของถ่านกัมมันต์มีลักษณะคล้ายแกรไฟต์ โดยประกอบไปด้วยชั้นอะตอมคาร์บอนที่ยึดโยงกันเป็นระนาบในชั้นแกรไฟน์แล้วยังมีการเกาะติดของอะตอมต่างชนิดกันหลายชนิด ได้แก่ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ เช่นเดียวกับสารอนินทรีย์ต่างๆ จากพวกโลหะ ออกไซด์และอนุภาคโลหะ อะตอมเหล่านี้พบได้ในรูปของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวทางเคมีของถ่านกัมมันต์ เช่น คาร์บอกซิล แลคโตน ฟีนอล คาร์บอนิล ไพโรน และโครมิน [27] ดังแสดงในรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 หมู่ฟังก์ชันต่างๆบนถ่านกัมมันต์ [28]

### คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

#### 1. คุณสมบัติทางกายภาพ [23]

1.1 ความหนาแน่น (Density) เป็นการทดสอบหาน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อหน่วยปริมาตร โดยปริมาตรในที่นี้หมายถึงปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาคปริมาตรของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ และปริมาตรของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นค่านี้ขึ้นกับขนาดและความพรุนของถ่านกัมมันต์

1.2 พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) เป็นค่ามาตรฐานใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติถ่านกัมมันต์ เนื่องจากสามารถทดสอบเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ทุกชนิด ค่าพื้นที่ผิวที่มีในการรายงานคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการ Brunauer Emmett Teller Surface Analyzer (BET) โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวดูดซับ โดยปกติถ่านกัมมันต์สามารถมีพื้นที่ผิวตั้งแต่ 600-2,500 ตารางเมตรต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ค่าความแข็งค่าการขัดถู (Hardness/Abrasion number) บอกลถึงความต้านทานการสึกกร่อน ความสามารถในการทนต่อแรงเสียดทานสี และสามารถในการคงสภาพได้ของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อกระบวนการล้างวัสดุกรอง (Backwashing) ซึ่งค่านี้จะแตกต่างกันชัดเจนตามชนิดวัสดุดิบและระดับที่ถ่านถูกกระตุ้นทดสอบความแข็งของถ่านด้วย Brinell hardness test

## 2. คุณสมบัติในการดูดซับ [23]

คุณสมบัติในการดูดซับของถ่านกัมมันต์หาได้จากไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption isotherm) ของของเหลวบนถ่านกัมมันต์ เมื่อนำไปดูดซับของเหลวตัวอย่าง ซึ่งมีการดูดซับ 2 แบบตามรายละเอียดดังนี้

2.1 การดูดซับไอโอดีน เป็นวิธีที่ง่ายในการหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยเป็นการหาจำนวนมิลลิกรัมของสารละลายไอโอดีนที่ถูกดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ 1 กรัม ที่จุดซึ่งความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือเท่ากับ 0.02 นอร์มัล ให้อยู่ในช่วง 0.007-0.03 นอร์มัล โมเลกุลของไอโอดีนมีขนาดเท่ากับ 0.54 นาโนเมตร วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนตามมาตรฐาน ASTM D1510-19

2.2 การดูดซับสารเมทิลีนบลู สามารถบอกค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ได้สำหรับโมเลกุลที่ถูกดูดซับมีขนาดใกล้เคียงกับโมเลกุลของเมทิลีนบลู ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงของรูพรุนแบบเมโซพอร์ (Mesoporous pore) คือจะมีขนาดใหญ่กว่า 1.5 นาโนเมตร เนื่องจากเมทิลีนบลูมีขนาดรัศมีเท่ากับ 1.6 นาโนเมตร

## 3. คุณสมบัติทางเคมี [28]

โดยการทดสอบกลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์ เป็นการทดสอบหาลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์ เพื่อนำมาพิจารณาถึงความเหมาะสมในการใช้งานเนื่องจากกลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์มีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุดิบและสภาวะในการกระตุ้น การนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงต้องคำนึงถึงกลุ่มฟังก์ชันบนผิวถ่านกัมมันต์เป็นสำคัญ

## 4. คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ [28]

4.1 ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้กำหนดค่าสารระเหยที่อยู่ในถ่านหินและโค้ก โดยนำมาประยุกต์ใช้กับถ่านกัมมันต์ โดยนำตัวอย่างมาบดให้มีขนาดเล็กกว่า 0.1 นาโนเมตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ปริมาณความชื้น (Moisture content) เป็นการหาปริมาณน้ำที่มีในถ่านกัมมันต์โดยการอบให้แห้งในเตาอบทำการวิเคราะห์โดยบดถ่านกัมมันต์ นำไปทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ (ประมาณ 3 ชั่วโมง) โดยสามารถคำนวณปริมาณความชื้นได้จากน้ำหนักที่หายไป

4.3 ปริมาณเถ้า (Ash) ปริมาณเถ้าในถ่านกัมมันต์อาจมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิสูงและเวลานาน ปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเถ้าโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกอน นอกจากนี้จะเป็นสารประกอบพวกซัลเฟต คาร์บอนเนตและสารประกอบอื่นๆของเหล็ก อะลูมิเนียม แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และโลหะอื่นๆ ซึ่งจะมีสารประกอบเหล่านี้อยู่ในปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ

### ลักษณะรูพรุนของถ่านกัมมันต์

รูพรุนของถ่านกัมมันต์นั้นสามารถจำแนกได้ตามขนาดรัศมีของรูพรุน [23] ได้แก่

1. แมโครพอร์ (Macropores) รัศมีของรูพรุนมากกว่าหรือเท่ากับ 100-200 นาโนเมตร ปริมาตร อยู่ระหว่าง 0.2-0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่น ดังนั้นแมโครพอร์จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับเป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูพรุนที่เล็กกว่า

2. เมโซพอร์ (Mesopores) ขนาดรัศมีอยู่ระหว่าง 1.5-100 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1-0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20-100 ตารางเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารดูดซับที่มีขนาดของรูพรุนเป็นเมโซพอร์ ได้แก่ ซิลิกาเจล (Silica gels) อะลูมินาเจล (Alumina gels) และตัวเร่งปฏิกิริยาอะมิโนซิลิเกต (Aminosilicate catalyst)

3. ไมโครพอร์ (Micropores) ขนาดรัศมีรูพรุนน้อยกว่า 1.5 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2-0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวจำเพาะเป็นจำนวนมากหลายร้อยตารางเมตรต่อกรัม บางครั้งถึง 1500 ตารางเมตรต่อกรัม ไมโครพอร์มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับเนื่องจากมีพื้นที่การดูดซับและพลังงานการดูดซับ (Adsorption energy) มากที่สุด ทำให้การดูดซับเพิ่มมากขึ้นที่ความดันต่างๆ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ซึ่งเชื่อมั่นว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาดหรือที่เรียกว่าการกระจายตัวของรูพรุน (Pore size distribution) จะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้และวิธีการกระตุ้นตัวอย่างของตัวดูดซับที่มีขนาดของรูเป็นไมโครพอร์ คือ ซีโอต์ (Zeolite)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

1. ประเภทใช้กับของเหลว (Liquid phase carbon) [29] ได้แก่
  - 1.1 อุตสาหกรรมน้ำตาล ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบบริสุทธิ์ขึ้น
  - 1.2 อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค ใช้ในการฟอกสีแล้วและแยกเอาสบู่กับเปอร์ออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันได้ด้วย
  - 1.3 อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม ใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อดูดกลิ่นและฟอกสีของผลิตภัณฑ์อาหาร
  - 1.4 อุตสาหกรรมเคมีและยา ใช้ถ่านกัมมันต์ในการผลิตสารเคมีและยาหลายชนิด
  - 1.5 อุตสาหกรรมทำน้ำให้บริสุทธิ์ โดยใช้เป็นตัวดูดกลิ่นและฟอกสี
  - 1.6 อุตสาหกรรมแยกสารที่ต้องการ เช่น การแยกทองหลังการสกัดจากแร่ด้วยวิธีไซยาไนด์ การแยกไอโอดีนออกจากน้ำเกลือที่เกิดในหลุมน้ำมัน (petroleum oilwell brines) ตลอดจนการผลิตวิตามินและฮอร์โมนอีกหลายชนิด
  - 1.7 กระบวนการที่มีการใช้สารเร่ง (Catalytic Process) ถ่านกัมมันต์จะทำหน้าที่เป็นตัวพาและเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของตัวเร่งให้ดีขึ้นด้วย
2. ประเภทที่ใช้ในการดูดแก๊สและไอ (Gas phase carbon) [29] ได้แก่
  - 2.1 อุตสาหกรรมทำหน้าที่ปกป้องกันแก๊สพิษ ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับแก๊สพิษ และไอของสารอินทรีย์
  - 2.2 การนำไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิและจะคายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำๆ
  - 2.3 อุตสาหกรรมปรับอากาศ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดแก๊สพิษในอากาศต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และอะเซทีลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### Preparation of activated carbon

**ตารางที่ 1** การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์และลักษณะเนื้อสัมผัสของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมมาจากของเสียทางการเกษตรต่างๆ และการกระตุ้นด้วย KOH

Precursor	*Weight ratio	Surface area (m <sup>2</sup> /g)	Temperature (°C)	Reaction time (h)	q <sub>max</sub> (mg/g)	adsorbent	Ref.
Rice straw	1:4	1554	800	1	395.3	Methylene blue	[31]
Pomelo peel	1:2	1892.10	800	2.5	680.2	Methyl orange	[32]
Fir wood	1:4	2170	780	1	69	Phenol	[33]
Cane pith	1:5	2207	780	1	684.5	Methylene blue	[34]
Rice husk	1:4	2696	850	1.30	-	-	[35]
Date press cake	1:4	2632.5	750	1.50	546.8	Methylene blue	[36]
Silkworm cocoon waste	1:1	2797	800	3	519	Congo red	[37]
Petroleum coke	1:5	2940	800	1	1121.5	Tetracycline	[38]

q<sub>max</sub> maximum adsorption capacity, \*Weight ratio : Precursor/Activating agent

ในปี ค.ศ. 2009 Basta A. และคณะ [31] ศึกษาผลของการปรับสภาพและจำนวนขั้นตอนในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากฟางข้าวดิบ (Rice straw) ที่ถูกกระตุ้นด้วย KOH ที่มีต่อโครงสร้างและคุณสมบัติการดูดซับของ RS ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการถูกกระตุ้นด้วย KOH ที่อุณหภูมิคงที่ที่ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้พื้นที่ผิวสูงถึง 1554 ตร.ม./กรัม และมีการดูดซับเมทิลีนบลูสูงถึง 395.3 มก./กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ. 2016 Li H. และคณะ [32] ศึกษาการเตรียมตัวอย่างคาร์บอนที่มีรูพรุนจากเปลือกส้มโอ (Pomelo peel) ที่ถูกกระตุ้นด้วย KOH และการเตรียม PCs ได้พื้นที่ผิวสูงถูกใช้เป็นวัสดุดูดซับสำหรับการกำจัดเมทิลออเรนจ์เป็นครั้งแรก และผลการทดลองพบว่า PCs ที่ถูกกระตุ้นด้วย KOH ในอัตราส่วน 1:2 และถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 50 นาที ซึ่งที่อัตราส่วน 1:2 มีประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีที่สุดในกลุ่มตัวอย่างอัตราส่วนน้ำหนักต่างๆ นอกจากนี้แบบจำลองไอโซเทอมของ Langmuir แสดงให้เห็นว่าเหมาะสมกับข้อมูลการทดลองมากกว่าแบบจำลอง Freundlich และกำหนดความสามารถในการดูดซับสูงสุดที่ 680.2 มก./กรัม และมีความพื้นที่ผิวสูงถึง 1892.10 ตรม./กรัม

ใน ค.ศ. 2005 Wu F-C. และคณะ [33] ศึกษาตัวดูดซับคาร์บอนที่มีรูพรุน และถูกเตรียมจากไม้เฟอร์ (Fir wood) ที่ถูกนำมาทำให้เป็นคาร์บอนโดยการถูกกระตุ้นด้วย KOH และกระตุ้นด้วยไอน้ำ คุณสมบัติรูพรุนของคาร์บอนรวมทั้งพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน การกระจายรูพรุน และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนมีลักษณะเฉพาะจากไอโซเทอม N<sub>2</sub> ด้วยอัตราส่วนถ่าน/KOH ที่ต่างกัน ซึ่งที่อัตราส่วน 1:4 จะมีพื้นที่ผิวสูงเท่ากับ 2170 ตรม./กรัม ซึ่งถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 780 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และมีความการดูดซับเมธิลีนบลู 69 มก./กรัม นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพินอลจากน้ำบนคาร์บอนทั้งหมดที่ทำการศึกษาเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี และยังประเมินการแพร่ของอนุภาคที่มีประสิทธิภาพภายในอนุภาคคาร์บอนด้วย

ใน ค.ศ 2006 Tseng R-L. และคณะ [34] ศึกษาตัวดูดซับคาร์บอนที่มีรูพรุน และถูกเตรียมจาก แก่น้อย (Cane pith) และมีการกระตุ้นทางเคมีด้วย KOH และถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 780 องศาเซลเซียส คุณสมบัติของรูพรุนรวมถึงพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน การกระจายขนาดรูพรุน และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ยของถ่านกัมมันต์ถูกจำแนกและได้มาโดยวิธี t-plot ตามไอโซเทอมการดูดซับ N<sub>2</sub> ถ่านกัมมันต์ของแอกน้อยที่มีอัตราส่วน 1:5 แสดงพื้นที่ผิวเท่ากับ 2207 ตรม./กรัมซึ่งสังเกตการณ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เผยให้เห็นสัญญาณวิทยาพื้นผิวของรูปร่างของคาร์บอนในแกนของอ้อยได้รับอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญจากอัตราส่วนถ่าน/KOH และมีความการดูดซับสูงถึง 684.5 มก./กรัม

ใน ค.ศ. 2019 Khu Le Van. และคณะ [35] ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่ได้จากแกลบ โดยถูกกระตุ้นทางเคมีด้วยสารกระตุ้น KOH ได้รับการศึกษาคุณสมบัติและแสดงคุณลักษณะโดย BET, SEM, EDX, FTIR, Boehm Titration, Raman และ TGA พบว่าอัตราส่วนการชุบมีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ปริมาณอัลคาไลไฮดรอกไซด์ทั้งหมดเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อัตราส่วนที่ 1:4 และถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้พื้นที่ผิวสูงถึง 2696 ตรม./กรัม แต่ในงานวิจัยนี้ไม่แสดงค่าการดูดซับของเมธิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์

ใน ค.ศ. 2018 Heidarinejad Z. และคณะ [36] ในการศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับของเมธิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจาก Date Press Cake เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิว 2632.5 ตรม./กรัม โดยถูกกระตุ้นด้วย KOH ที่อัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 50 นาที ข้อมูลความสมดุลในการทดลองของวิธีการกวนสองวิธีเหมาะสมกับแบบจำลอง isothermal Redlich-Peterson ที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติการดูดซับสารเคมีของเมธิลีนบลูที่ AC-DPC พบว่าเมธิลีนบลูสามารถดูดซับแบบชั้นเดียวได้สูงสุดที่ 546.8 มก./กรัม ในการปรากฏตัวของอัลตราซาวด์ความถี่ต่ำ ดังนั้นอัลตราซาวด์ที่ความถี่ต่ำช่วยเพิ่มอัตราการดูดซับและปริมาณการดูดซับของเมธิลีนบลูบน AC-DPC

ใน ค.ศ. 2015 Li J. และคณะ [37] ศึกษาการเตรียมความพร้อมของเส้นใยคาร์บอนที่ได้จากเศษรังไหมโดยมีถูกกระตุ้นด้วย KOH ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่า ACF สังเคราะห์ยังคงรักษาสถณฐานวิทยาของเส้นใยของเสียจากรังไหมและแสดงให้เห็นโครงสร้างกราฟไฟท์ที่มีข้อบกพร่องสูงพบกลุ่มออกซิเจนบนพื้นผิวจำนวนมากบนพื้นผิวของ ACFs ตัวอย่างที่ได้รับแสดงให้เห็นถึงพื้นที่ผิวสูงถึง 2797 ตรม./กรัม นอกจากนี้เราได้ประเมินคุณสมบัติการดูดซับ Congo red ของ ACF ที่เกิดขึ้นเป็นการดูดซับชั้นเดียวซึ่งสอดคล้องกับโมเดล isothermal ของ Langmuir และมีค่าการดูดซับสูงสุดถึง 519 มก./กรัม

ใน ค.ศ. 2015 Zhang D. และคณะ [38] ถ่านกัมมันต์ที่ได้มาจากปิโตรเลียม ถูกเตรียมโดยผ่านกระบวนการกระตุ้น KOH อัตราส่วน 1:5 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แสดงพื้นที่ผิวขนาดใหญ่สูงถึง 2940 ตรม./กรัม นอกจากนี้กลุ่มฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับออกซิเจนยังส่งผลให้ AC มีพื้นที่ผิวที่เป็นกรด เมื่อรวมลักษณะโครงสร้างเข้ากับคุณสมบัติพื้นผิว ACs เหล่านี้ ประสบผลสำเร็จในการกำจัดยาปฏิชีวนะที่ใช้กันทั่วไป (tetracycline) ความสามารถในการดูดซับสูงสุดที่ 1121.5 มก./กรัม

จากตารางที่ 1 เป็นการรวบรวมเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงฟังก์ชันและลักษณะเนื้อสัมผัสของถ่าน กัมมันต์ที่เตรียมจากของเสียทางการเกษตรต่างๆ ที่ถูกกระตุ้นทางเคมีด้วย KOH จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจาก แกลบที่เราต้องการที่จะศึกษานั้นมีพื้นที่ผิวสูงถึง 2696 ตรม./กรัม แต่มีการใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่สูงถึง 850 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับสารตั้งต้นที่มีพื้นที่ผิวสูงที่สุด

คือ ถ่านกัมมันต์ที่ทำจาก Petroluem coke ซึ่งมีพื้นที่ผิว สูงถึง 2940 ตรม./กรัม แต่ใช้อุณหภูมิเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ต่ำกว่าคือ 800 องศาเซลเซียส จากตารางจะเห็นว่าสารตั้งต้นที่ถูกกระตุ้น ด้วย KOH นั้นจะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากในการกระตุ้นเพื่อที่จะได้พื้นที่ผิวที่สูง

**ตารางที่ 2** การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงฟังก์ชันและลักษณะเนื้อสัมผัสของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมมาจากของเสียทางการเกษตรต่างๆ และการกระตุ้นด้วย  $H_3PO_4$

Precursor	*Weight ratio	Surface area (m <sup>2</sup> /g)	Temperature (°C)	Reaction time (h)	q <sub>max</sub> (mg/g)	adsorbent	Ref.
Rice husk	-	1016	500	1	-	-	[40]
Lemon peel	1:2	1158	500	1	90.91	Lead	[41]
Eucalyptus bark	1:1	1239	500	1	427	Methylene blue	[42]
Persian mesquite grain	1:1	1243	600	2	273	Lead	[43]
Pomelo peel	1:2.5	1252	450	1	400	Ciprofloxacin	[44]
Vetiver roots	1:1	1272	600	1	394	Methylene blue	[45]
Bamboo	1:1.5	1335	600	1	183.3	Methylene blue	[46]
Peach stone	1:0.4	1393	500	2	362	Methylene blue	[47]
Acacia mangium	1:0.4	1767	500	1.15	-	-	[48]

q<sub>max</sub> maximum adsorption capacity, \*Weight ratio : Precursor/Activating agent

ใน ค.ศ. 2015 Zhang D. และคณะ [40] ในการศึกษาถ่านกัมมันต์ถูกเตรียมจาก แกลบข้าว โดยมีการบำบัดด้วยเบส และผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมีในการศึกษา การบำบัดด้วยเบส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สามารถกำจัดขึ้นและปรับปรุงพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน การกระตุ้นด้วยสารเคมีมีบทบาทสำคัญในไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลที่แบคทีเรียและต้องอย่างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน Valence state ของฟอสฟอรัสตะเปลี่ยนจาก +5 เป็น 3 ระหว่างกระบวนการกระตุ้นทางเคมีด้วย  $H_3PO_4$  จาก 100 เป็น 800 องศาเซลเซียส ผลลัพธ์พื้นที่ผิวที่ดีที่สุดคือ 1016 ตรม./กรัม ที่สังเกตได้จากอัตราส่วน BTRHR/  $H_3PO_4$  ที่ 1:2 อุณหภูมิในการกระตุ้น 500 องศาเซลเซียส และเวลาในการกระตุ้น 1 ชั่วโมง

ใน ค.ศ. 2014 Mohammadi SZ. และคณะ [41] ในการศึกษาเกี่ยวกับถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงถูกเตรียมโดยการกระตุ้นทางเคมีของเปลือกมะนาวด้วย  $H_3PO_4$  จากนั้นจึงศึกษาพฤติกรรมของสีย้อมสีเขียวมาลาโคด์และไอออน  $Pb(II)$  บนถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ กระบวนการแบทช์ถูกใช้สำหรับการศึกษาพลศาสตร์การดูดซับและการศึกษาสมดุล ข้อมูลการทดลองติดตั้งกับแบบจำลองไอโซเทอมต่างๆตามแบบจำลองของ Langmuir พบว่ามีความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 90.91 มก./กรัม และได้ค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 1158 ตรม./กรัม

ใน ค.ศ. 2008 Patnukao P. และคณะ [42] ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเตรียม Eucalyptus bark โดยการกระตุ้น  $H_3PO_4$  ได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญจากอุณหภูมิของถ่านกัมมันต์และอัตราส่วนนำหนึ่ระหว่างวัตถุดิบกับ  $H_3PO_4$  โดยใช้เวลา 1 ชั่วโมง และอัตราส่วนที่ 1:1 ความสามารถในการดูดซับที่ดีขึ้นจะได้รับที่ 500 องศาเซลเซียส และลดความสามารถในการดูดซับของผลิตภัณฑ์คาร์บอนที่มีปริมาณกรดสูงกว่านี้อาจเป็นเพราะการยุบตัวของโครงสร้างไมโครพอร์ ได้การดูดซับเมทิลีนบลูเท่ากับ 427 มก./กรัม และพื้นที่ผิวเท่ากับ 1239 ตรม./กรัม

ใน ค.ศ. 2016 Lemraski EG. และคณะ [43] ในการศึกษาได้ทำการศึกษาดูดซับ  $Pb(II)$  จากสารละลายในน้ำบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยใช้เมล็ด Persian mesquite ที่ถูกกระตุ้นด้วย  $H_3PO_4$  และมีอัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการดูดซับ  $N_2$  แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์มีค่าพื้นที่ผิว 1243 ตรม./กรัม และค่าการดูดซับ 273 มก./กรัม ซึ่งเมล็ด Persian mesquite มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัด  $Pb(II)$  แสดงว่าสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับที่ดีเยี่ยมในการทำให้น้ำบริสุทธิ์ได้สำเร็จ

ใน ค.ศ. 2016 Sun Y. และคณะ [44] เปลือกส้มโอถูกใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วย  $H_3PO_4$  โครงสร้างรูพรุนและหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดของพื้นผิวของคาร์บอนทั้งสองมีลักษณะเฉพาะโดยการทดลองดูดซับ/ดูดซึมไนโตรเจน โดยวิธี  $NH_3$ -TPD และ FTIR เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการดูดซับของ ciprofloxacin ภายใต้สภาวะที่ต่างกัน ผลการวิจัยพบว่ามีพื้นที่ผิวใหญ่ขึ้นมีค่าเท่ากับ 1252 ตรม./กรัม และความสามารถในการดูดซับคือ 244 มก./กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน ค.ศ. Altenor S. และคณะ [45] รากหญ้าแฝกถูกนำมาใช้ในการเตรียมถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางเคมีที่มีอัตราส่วน 1:1 ด้วย  $H_3PO_4$  โดยการวัดการดูดซับไนโตรเจนที่ 77 K แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนที่มีรูพรุนและขนาดกลางที่มีพื้นที่ผิวสูง 1272 ตรม./กรัม และมีการศึกษาการทำงานบนพื้นผิวต่อการดูดซับเมธิลีนบลูมีค่าเท่ากับ 394 มก./กรัม

ใน ค.ศ. 2010 Liu Q-S. และคณะ [46] ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ถูกกระตุ้นด้วย  $H_3PO_4$  ที่อัตราส่วน 1:1.5 จากการวิเคราะห์โดยใช้สเปกตรัม FTIR และ XPS พบว่ามีรูพรุนมีขนาดเล็กเพิ่มขึ้นในช่วงเริ่มต้น จากนั้นก็ขยายใหญ่ขึ้น การผลึกษาการดูดซับแสดงให้เห็นการดูดซับที่เพิ่มขึ้นของเมธิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์โดยมีค่า 183.3 มก./กรัม และมีพื้นที่ผิว 1335 ตรม./กรัม

ใน ค.ศ. 2008 Attia AA. และคณะ [47] พืชได้ถูกนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตถ่านกัมมันต์และถูกกระตุ้นด้วย  $H_3PO_4$  ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วน 1:0.4 เป็นเวลา 2 ชั่วโมงซึ่งมีค่าพื้นที่ผิว 1393 ตรม./กรัม การดูดซับของเมธิลีนบลูแสดงให้เห็นถึงการดูดซับสีย้อมในปริมาณมากและมีความพรุนเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อความเข้มข้นของสารเคลือบเพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ 362 มก./กรัม

จากตารางที่ 2 เป็นการรวบรวมเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงฟังก์ชันและลักษณะเนื้อสัมผัสของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากของเสียทางการเกษตรต่างๆ ที่ถูกกระตุ้นทางเคมีด้วย  $H_3PO_4$  จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจากแกลบที่เราต้องการที่จะศึกษานั้นมีพื้นที่ผิวสูงเพียง 1016 ตร.ม./กรัม และมีการใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 500 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับสารตั้งต้นที่มีพื้นที่ผิวสูงที่สุดคือถ่านกัมมันต์ที่ทำจาก *Acacia mangiun* ซึ่งมีพื้นที่ผิวสูงถึง 1767 ตรม./กรัม และมีการใช้อุณหภูมิเท่ากับแกลบคือ 500 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าพื้นที่ผิวที่ต่างกันนี้อาจเกิดจากระยะเวลาในการกระตุ้นหรือเป็นผลมาจากสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3** การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงฟังก์ชันและลักษณะเนื้อสัมผัสของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากของเสียทางการเกษตรต่างๆ และการกระตุ้นด้วย  $ZnCl_2$

Precursor	*Weight ratio	Surface area (m <sup>2</sup> /g)	Temperature (°C)	Reaction time (h)	q <sub>max</sub> (mg/g)	adsorbent	Ref.
Rice husk ash	1:2	427	600	1	-	-	[49]
Date stone	1:2	1045	500	1.20	381.7	Methylene blue	[50]
Waste apricot	1:1	1060	500	1	136.9	Methylene blue	[51]
Cashew nut shell	1:1.5	1100	400	2	476	Methylene blue	[52]
Waste potato residue	1:1.5	1357	600	1	540	Methylene blue	[53]
Tea seed shell	1:1	1530	500	1	324.7	Methylene blue	[54]
Entermorpha prolifera	1:1	1688	500	1	146.85	Lead	[55]
Vine shoots	1:1.3	1689	700	2	746.2	Rifampicine	[56]
Fox nutshell	1:2	2869	600	1	75.37	Phenol	[57]

q<sub>max</sub> maximum adsorption capacity, \*Weight ratio : Precursor/Activating agent

ใน ค.ศ. 2021 พัชรภา กิตติมา และคณะ [49] ในการศึกษาถ่านกัมมันต์ถูกเตรียมจาก ถ่านแกลบ เมื่อนำถ่านแกลบไปทำความสะอาดด้วยกรดและเบส ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนลดลง ในขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเพิ่มขึ้น จากนั้นเมื่อนำถ่านแกลบไปกระตุ้นด้วย  $H_3PO_4$  ที่อัตราส่วน 1:2 และอุณหภูมิในการกระตุ้นคือ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนเพิ่มขึ้นในขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางลดลง โดยการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสูงสุดอยู่ที่ 427 ตรม./กรัม มีปริมาตรรูพรุนสูงสุดอยู่ที่ 0.18 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนอยู่ที่ 2.134 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน ค.ศ. 2012 Ahmed MJ. และคณะ [50] การเตรียมถ่านกัมมันต์จากอินทผลัมโดยการกระตุ้นด้วย  $ZnCl_2$  การศึกษาคุณสมบัติของคาร์บอนกล่าวรวมถึงความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูและฟีนอล ฟีนอลถูกดูดซับได้มากกว่าเมทิลีนบลู เมื่อตรวจวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว พบว่ามีพื้นที่ผิวอยู่ที่ 1045 ตรม./กรัม ที่อัตราส่วน 1:2 โดยใช้อุณหภูมิในการกระตุ้น 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 20 นาที และมีค่าการดูดซับเมทิลีนบลูเท่ากับ 381.7 มก./กรัม

ใน ค.ศ. 2006 Basar CA. และคณะ [51] ในการศึกษาถ่านกัมมันต์ถูกเตรียมจากแอสปรีคอตของเสี้ยว โดยถูกกระตุ้นด้วย  $ZnCl_2$  พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ได้เท่ากับ 1060 ตรม./กรัมที่อัตราส่วน 1:1 และถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูมีค่าเท่ากับ 136.9 มก./กรัม

ใน ค.ศ. 2017 Spagnoli AA. และคณะ [52] ถ่านกัมมันต์ถูกเตรียมจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วย  $ZnCl_2$  ด้วยอัตราส่วน 1:1.5 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แสดงพื้นที่ผิวสูงสุดเท่ากับ 1100 ตรม./กรัม ข้อมูลการดูดซับที่สมดุลเหมาะสมที่สุดกับสมการ Langmuir พบความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูเท่ากับ 476 มก./กรัม

ใน ค.ศ. 2015 Zhang Z. และคณะ [53] ในการศึกษาดำเนินการเพื่อเตรียมสารดูดซับถ่านกัมมันต์ที่มีต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพสูงจากกากมันฝรั่ง โดยถูกกระตุ้นด้วย  $ZnCl_2$  ที่อัตราส่วน 1:1.5 ด้วยอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ค่าพื้นที่ผิวสูงถึง 1357 ตรม./กรัม และเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวอย่างคาร์บอนที่เตรียมภายใต้สภาวะจำกัดของออกซิเจนและสภาวะบรรยากาศไนโตรเจน ถ่านกัมมันต์ถูกใช้เพื่อดูดซับเมทิลีนบลู 540 มก./กรัม และผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสำหรับการกำจัดสีย้อมอินทรีย์

ใน ค.ศ. 2013 Gao J-j. และคณะ [54] เปลือกเมล็ดชาซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำมันเมล็ดชาถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์ โดยถูกกระตุ้นด้วย  $ZnCl_2$  ซึ่งได้พื้นที่ผิวเท่ากับ 1530.67 ตรม./กรัม ผลการดูดซับที่สมดุลเป็นไปตามแบบจำลองไอโซเทอร์มของ Langmuir และความสามารถในการดูดซับสูงสุดคือ 324.7 มก./กรัม

ใน ค.ศ. 2010 Li Y. และคณะ [55] ถ่านกัมมันต์ที่ถูกเตรียมจาก *Enteromorpha prolifera* (EP) โดยมี การกระตุ้นด้วย  $ZnCl_2$  ด้วยอัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากการตรวจสอบพบว่า EPAC มีโครงสร้างเป็นรูพรุนที่มีพื้นที่ผิวสูง 1688 ตรม./กรัม การทดลองดูดซับแบบแบทช์ได้ดำเนินการเพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น pH เริ่มต้น ปริมาณดูดซับ เวลาสัมผัสและอุณหภูมิต่อคุณสมบัติการดูดซับไอออน  $Pb(II)$  ซึ่งมีค่าการดูดซับเท่ากับ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

146.85 มก./กรัม การวิเคราะห์ไอโซเทอมบ่งชี้ว่าข้อมูลสามารถแสดงแทนด้วยแบบจำลองไอโซเทอม Freundlich

ใน ค.ศ. 2016 Erdem M. และคณะ [56] การศึกษานี้ทำการเตรียมและกำหนดคุณลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากยอดเถาว์วัลย์โดยการกระตุ้นด้วย  $ZnCl_2$  อัตราส่วน 1:1.3 ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กำหนดให้ค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 1689 ตรม./กรัม และมีความสามารถในการกำจัด rifampicine ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดจะขึ้นอยู่กับเวลาสัมผัส ปริมาณของตัวดูดซับ และความเข้มข้นเริ่มต้นของ rifampicine ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของ rifampicine โดยถ่านกัมมันต์ถูกกำหนดหาตามไอโซเทอมการดูดซับของ Langmuir ซึ่งพบว่ามีค่าเท่ากับ 746.2 มก./กรัม

ใน ค.ศ. 2016 Kumar A. และคณะ [57] Fox nutshell ถูกใช้เป็นสารตั้งต้นใหม่สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงด้วยตัวกระตุ้น  $ZnCl_2$  ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อัตราส่วน 1:2 พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์คือ 2869 ตรม./กรัม ซึ่งใช้เมทิลีนบลูและฟีนอลเป็นตัวดูดซับสำหรับการทดลองไอโซเทอมการดูดซับเชิงทดลองของตัวดูดซับเหล่านี้บนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้ได้รับการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองไอโซเทอมสามแบบ คือ Langmuir Freundlich และ Tempkin การดูดซับของเมทิลีนเพิ่มขึ้นถึง 968.74 มก./กรัม และสำหรับฟีนอลเพิ่มขึ้นจาก 75.37 มก./กรัม

จากตารางที่ 3 เป็นการรวบรวมเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงฟังก์ชันและลักษณะเนื้อสัมผัสของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากของเสียทางการเกษตรต่างๆ ที่ถูกกระตุ้นทางเคมีด้วย  $ZnCl_2$  จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจากแกลบที่เราต้องการที่จะศึกษานั้นมีพื้นที่ผิวสูงเพียง 427 ตร.ม./กรัม และมีการใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 600 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับสารตั้งต้นที่มีพื้นที่ผิวสูงที่สุดคือถ่านกัมมันต์ที่ทำจาก Fox nutshell ซึ่งมีพื้นที่ผิวสูงถึง 2869 ตรม./กรัม แต่มีการใช้อุณหภูมิสูงเท่ากันกับแกลบคือ 600 องศาเซลเซียส จากตารางจะเห็นว่าค่าพื้นที่ผิวที่ต่างกันมากนั้นอาจมีผลมาจากชนิดของสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4** การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงฟังก์ชันและลักษณะเนื้อสัมผัสของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากของเสียทางการเกษตรต่างๆ และการกระตุ้นด้วย NaOH

Precursor	*Weight ratio	Surface area (m <sup>2</sup> /g)	Temperature (°C)	Reaction time (h)	q <sub>max</sub> (mg/g)	adsorbent	Ref.
Macadamia nut shells	1:3	1524	700	1.50	455.33	Tetracycline	[58]
Plum kernels	1:4	1887	780	1	277	Phenol	[59]
Rice husk	1:2	1958	850	3	492.6	Methylene blue	[60]
Rice husk	1:2	2294	800	2	-	-	[61]
Rice husk	1:4	2473	800	2	-	-	[61]
Rice husk	1:3	2841	800	2	413.2	Phenol	[61]
Date press cake	1:3	2025.9	650	1.50	282.2	Cr(VI)	[62]
Cotton linter fibers	1:3	2143	550	1	1340	Oxytetracycline (OTC)	[63]
Guava seeds	1:3	2573.6	750	1.50	570.48	Amoxicillin	[64]
Coconut shell	1:3	2825	700	1.50	916.3	Methylene blue	[65]

q<sub>max</sub> maximum adsorption capacity, \*Weight ratio : Precursor/Activating agent

ใน ค.ศ. 2015 Martins AC. และคณะ [58] ถ่านกัมมันต์ที่ถูกเตรียมจากเปลือกแมคคาเดเมีย ถูก กระตุ้นด้วย NaOH โดยใช้อัตราส่วน 1:3 ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 50 นาที ผลการวิจัยพบว่า ACM ประกอบด้วยรูพรุนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 1524 ตรม./กรัม ใช้ ACM สำหรับการกำจัด tetracycline เพื่อประเมินศักยภาพของถ่านในสถานะตัวดูดซับแบบจำลองไอโซเทอมที่เหมาะสมกับข้อมูล การทดลองที่สุดคือ Tempkin แสดงความสามารถในการดูดซับที่ 455.33 มก./กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน ค.ศ. 2007 Tseng R-L. และคณะ [59] ถ่านกัมมันต์ถูกเตรียมจากเมล็ดลูกพลัมโดยการกระตุ้นด้วย NaOH ที่อัตราส่วน 1:4 ด้วยอุณหภูมิ 780 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และได้พื้นที่ผิวเท่ากับ 1887 ตรม./กรัม ผลของกลไกการเกิดปฏิกิริยา NaOH พบว่าเห็นได้ชัดว่าเป็นเพราะอัตราส่วนการสูญเสียขององค์ประกอบ C, H และ O ในถ่านกัมมันต์และการแปรผันในกลุ่มหน้าที่ของพื้นผิวและคุณสมบัติทางกายภาพ การดูดซับของถ่านกัมมันต์บนฟีนอลมีค่าเท่ากับ 277 มก./กรัม

ใน ค.ศ. 2012 Youssef A. และคณะ [60] การกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียผ่านการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ (ACs) ที่พัฒนาจากของเสียทางการเกษตรเป็นทางเลือกในอุดมคติสำหรับทางเลือกการบำบัดอื่นๆ ที่มีราคาแพง โดยมีการเตรียมจากกลีบที่ถูกระตุ้นด้วย NaOH อัตราส่วน 1:2 ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้พื้นที่ผิวเท่ากับ 1958 ตรม./กรัม และค่าการดูดซับเมทิลีนบลูเท่ากับ 496 มก./กรัม

ใน ค.ศ. 2012 Xiaolan S. และคณะ [61] การศึกษานี้เตรียมถ่านกัมมันต์จากกลีบโดยกระตุ้น ด้วย NaOH ที่เป็นของแข็ง การกระตุ้นแบบแห้งที่อัตราส่วน 1:2, 1:3, 1:4 จะมีพื้นที่ผิวที่สูงคือมีค่าเท่ากับ 2294, 2841, 2473 ตามลำดับซึ่งมีการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง สำหรับการดูดซับฟีนอล ความสามารถในการดูดซับสูงสุดคือ 413.2 มก./กรัม ซึ่งเหมาะสมกับแบบจำลอง Langmuir

ใน ค.ศ. 2018 Norouzi S. และคณะ [62] Date Press Cake (DPC) เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปและอาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมหากไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสม ในการศึกษา DPC ถูกแปลงเป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้ NaOH ที่เป็นของแข็งภายใต้อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 50 นาทีที่อัตราส่วน 1:3 ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมีค่าเท่ากับ 2025.9 ตรม./กรัม ประสบความสำเร็จในการดูดซับ Cr(VI) จากสารละลายในน้ำที่มีความสามารถในการดูดซับสูงสุดสูงถึง 282.8 มก./กรัมโดยรวมแล้ว Date Press Cake ถือได้ว่าเป็นสารตั้งต้นของอุตสาหกรรมเกษตรหมุนเวียนที่อุดมสมบูรณ์และทดแทนได้สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์คุณภาพสูง

ใน ค.ศ. 2012 Sun Y. และคณะ [63] ในการศึกษาเป็นการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเส้นใยสำลี โดยการกระตุ้น NaOH ที่อัตราส่วน 1:3 ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า CLAC มีโครงสร้างรูพรุนเป็นส่วนใหญ่โดยมีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ 2143 ตรม./กรัม และมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัด oxytetracycline พบว่ามีการดูดซับเท่ากับ 1340 มก./กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน ค.ศ. 2016 Pezoti O. และคณะ [64] ในการศึกษาเป็นการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเมล็ดฝรั่ง ที่ถูกกระตุ้นด้วย NaOH มีอัตราส่วน 1:3 ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 50 นาที ได้ค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 2573.6 ตรม./กรัม และมีการนำไปใช้งานในการดูดซับ amoxicillin (AMX) ซึ่งมีค่าการดูดซับเท่ากับ 570.48 มก./กรัม แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการดูดซับ AMX ของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดฝรั่ง และศักยภาพในการกำจัดสารปนเปื้อนอินทรีย์

ใน ค.ศ. 2011 Cazetta AL. และคณะ [65] ในการศึกษาเป็นการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ที่ถูกกระตุ้นด้วย NaOH มีอัตราส่วน 1:3 ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 50 นาที ได้ค่าพื้นที่ผิวเท่ากับ 2825 ตรม./กรัม และมีค่าการดูดซับเมธิลินบลูเท่ากับ 916 มก./กรัม แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนนี้มีพื้นที่ผิวสูงและแสดงให้เห็นว่าเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสำหรับการกำจัดเมธิลินบลูออกจากสารละลายน้ำ

จากตารางที่ 4 เป็นการรวบรวมเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงฟังก์ชันและลักษณะเนื้อสัมผัสของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากของเสียทางการเกษตรต่างๆ ที่ถูกกระตุ้นทางเคมีด้วย NaOH จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจากแกลบที่เราต้องการที่จะศึกษานั้นมีพื้นที่ผิวสูงเพียง 2294-2841 ตรม./กรัม มีการใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นสูงถึง 800 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับสารตั้งต้นที่มีพื้นที่ผิวสูงที่สุดคือ ถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าว ซึ่งมีพื้นที่ผิวสูงถึง 2825 ตรม./กรัม แต่มีการใช้อุณหภูมิน้อยกว่าแกลบคือ 700 องศาเซลเซียส จากตารางค่าพื้นที่ผิวที่ต่างกันนั้นอาจมีผลมาจากชนิดของสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน และจะเห็นว่า NaOH มีการใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่สูงมากเพื่อที่จะได้ค่าพื้นที่ผิวที่สูง

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงฟังก์ชันและลักษณะเนื้อสัมผัสของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากของเสียทางการเกษตรต่างๆ และการกระตุ้นด้วย  $\text{CuCl}_2$

Precursor	*Weight ratio	Surface area ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	Reaction time (h)	$q_{\text{max}}$ (mg/g)	adsorbent	Ref.
Rice husk	1 : 1	1924	500	1.50	359.9	Dyes	[66]

$q_{\text{max}}$  maximum adsorption capacity, \*Weight ratio : Precursor/Activating agent

ใน ค.ศ. 2016 Liu B. และคณะ [66] ในการศึกษาเป็นการใช้แกลบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเกษตร ถูกใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วย  $\text{ZnCl}_2$  -  $\text{CuCl}_2$  ที่อัตราส่วน 1:1 ด้วยอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 50 นาที ได้พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์สูงถึง 1924 ตรม./กรัม และมีค่าการดูดซับสูงสุดที่ 359.9 มก./กรัม

### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 วัสดุอุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์	ยี่ห้อ
กระดาษกรอง เบอร์ 42 และเบอร์ 1	Whatman™
บีกเกอร์ขนาด 50, 100, 250, 600, 3000 mL	DURAN
แท่งแม่เหล็กขนาด 2.5, 5 cm	-
กระบอกตวงขนาด 10, 25, 100 mL	Witeg™
บิวเรตต์ขนาด 50 mL	Witeg™
ปิเปตขนาด 20, 25 mL	Witeg™
ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL	DURAN
ขวดก้นกลมสามคอขนาด 250 mL	Witeg™
คอนเดนเซอร์	-
กระจกนาฬิกา	Kartell®
กระบอกน้ำกลั่น	-
แท่งแก้วคนสาร	-
หลอดหยดและจุกยาง	-
กระดาษทดสอบ pH	Universal Indicator
กรวยแก้ว	-
กรวยแยกสารขนาด 250 mL และฝาปิด	Witeg™
ขวดปรับปริมาตร 100, 250, 500 ,1000 mL	Witeg™
ครุชีเบิล	-
อลูมิเนียมฟอยล์	ตราไดมอนด์
แป้งมันสำปะหลัง	ตราปลาไทย 5 ดาว
เกลบข้าว	-
ควอตซ์ คิวเวท	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 สารเคมี

สารเคมี	ยี่ห้อ
กลีเซอรอล ความเข้มข้น 99.5%	CARLO ERBA Reagents
แอสซิโตน ความเข้มข้น 99.0-100.5%	CARLO ERBA Reagents
กรดซัลฟิวริก (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) ความเข้มข้น 98%	LOBA CHEMIE PVI.LTD
กรดไนตริก (HNO <sub>3</sub> ) ความเข้มข้น 69%	LOBA CHEMIE PVI.LTD
กรดฟอสฟอริก (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) ความเข้มข้น 85%	CARLO ERBA Reagents
กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 34.5%	CARLO ERBA Reagents
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	LOBA CHEMIE PVI.LTD
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	LOBA CHEMIE PVI.LTD
คอปเปอร์คลอไรด์ (CuCl <sub>2</sub> )	LOBA CHEMIE PVI.LTD
โซเดียมไบคาร์บอเนต (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	CARLO ERBA Reagents
ไอโอดีน (I <sub>2</sub> )	CARLO ERBA Reagents
โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)	LOBA CHEMIE PVI.LTD
โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO <sub>3</sub> )	CARLO ERBA Reagents
โซเดียมไฮโอซัลเฟต (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> •5H <sub>2</sub> O)	LOBA CHEMIE PVI.LTD
เอ็น-เอมีลแอลกอฮอล์ (n-Amyl alcohol)	CARLO ERBA Reagents
โทลูอีน (Toluene)	CARLO ERBA Reagents
ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein)	เกรตวิเคราะห์
โซลคิตอล (Solketal) ความเข้มข้น 97%	Acros Organics™
เอทานอล (Ethanol) ความเข้มข้น 99.9%	-
1,4-ไดออกเซน (1,4-dioxane) ความเข้มข้น 99.5%	LOBA CHEMIE PVI.LTD
เมทิลีนบลู (Methylene blue)	CARLO ERBA Reagents

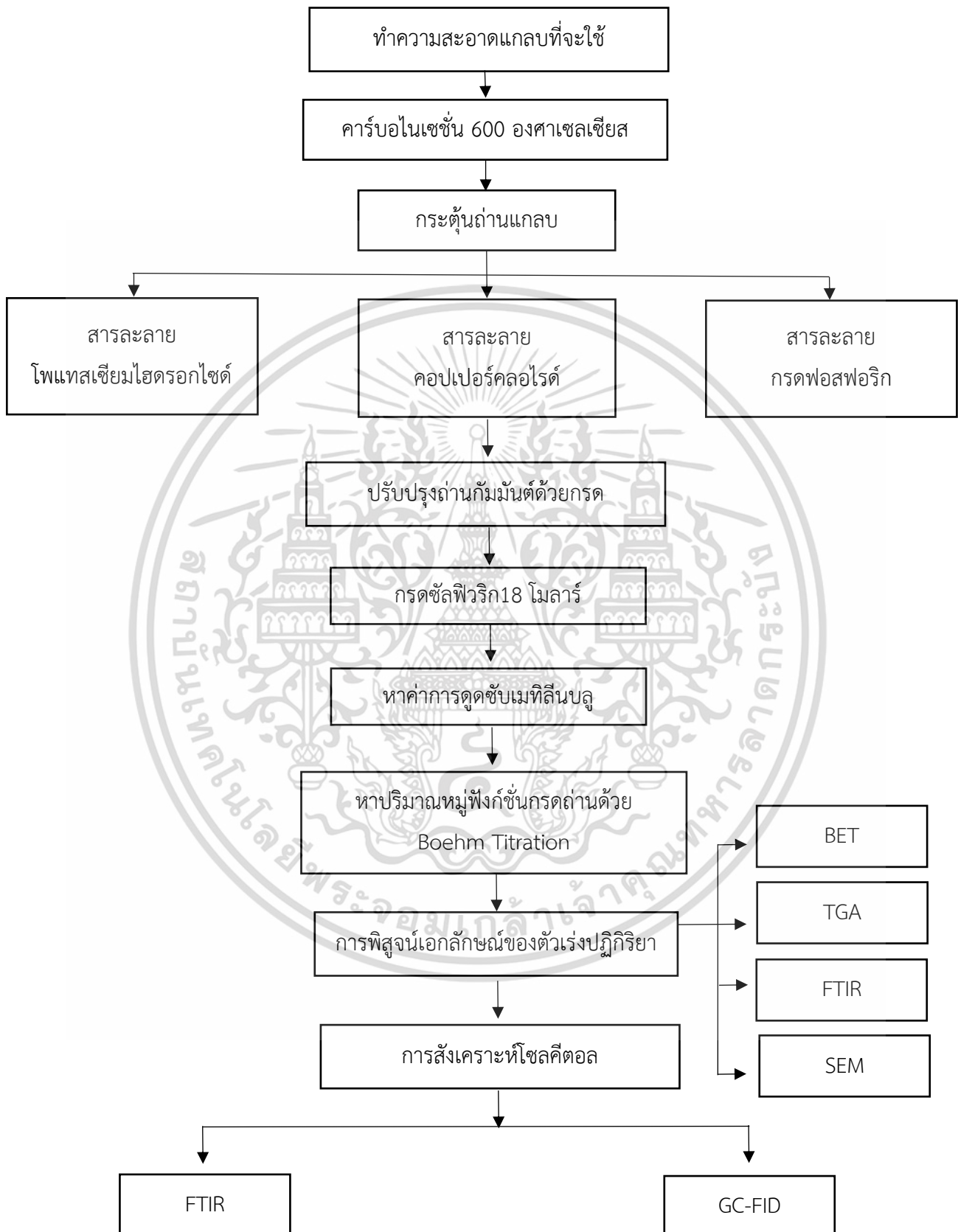
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 เครื่องมือวิเคราะห์

เครื่องมือ	ยี่ห้อ
TGA	TGA/DSC3 <sup>+</sup> HT (METTLER TOLEDO)
FT-IR	IRTracer-100 (SHIMADZU)
BET	QundraSorb Station2
SEM	Quanta 250 (FEI)
GC-FID	CHROMPACK CP-3800 (VARIAN)
OPTICAL MICROSCOPE	CH30 (OLYMPUS)
UV-VIS SPECTROSCOPY	LabTech UV9100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการ  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การทำความสะอาดแกลบ

#### 3.5.1 สารเคมี

3.5.1.1 แกลบ

3.5.1.2 กรดไฮโดรคลอริก

3.5.1.3 โฟแทสเซียมไฮดรอกไซด์

3.5.1.4 น้ำปราศจากไอออน

#### 3.5.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.5.2.1 ชั่งแกลบ 300 กรัม นำไปล้างน้ำ และนำไปเผาที่ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ปริมาณ 1000 มิลลิลิตร

3.5.2.2 ปั่นกวน 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองแบบลดความดันและล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.5.2.3 นำแกลบที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.5.2.4 ชั่งโฟแทสเซียมความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาณ 56 กรัม ละลายในน้ำ 1000 มิลลิลิตร เติมลงแกลบในข้อ 3 นำไปให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นแช่แกลบทิ้งไว้ 1 คืน

3.5.2.5 นำไปกรองแบบลดความดันและทำการล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

### 3.6 การกระตุ้นแกลบ

สารกระตุ้น	อัตราส่วนโดย น้ำหนักสารตั้งต้น	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
Rice husk : KOH	1:1	2	600
	1:4		
	1:1	2	800
	1:4		
Rice husk : H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:1	2	600
	1:4		
	1:1	2	800
	1:4		
Rice husk : CuCl <sub>2</sub>	1:1	2	600
	1:4		
	1:1	2	800
	1:4		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.1 สารเคมี

- 3.6.1.1 แกลบ
- 3.6.1.2 โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์
- 3.6.1.3 คอปเปอร์คลอไรด์
- 3.6.1.4 กรดฟอสฟอริก
- 3.6.1.5 น้ำกลั่นและน้ำปราศจากไอออน

### 3.6.2 ขั้นตอนการทดลอง

- 3.6.2.1 ชั่งแกลบประมาณ 2 กรัม ที่ได้จากข้อ 3.5
- 3.6.2.2 แช่ในสารละลายโพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของแกลบต่อสารก่อกัมมันต์เท่ากับ 1:1 และ 1:4 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรองและอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 3.6.2.3 นำแกลบที่ได้ไปเผาภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 600 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 3.6.2.4 ทำการล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนหลายๆ ครั้ง จนมีค่า pH เท่ากับ 7 หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
- 3.6.2.5 ทำซ้ำโดยเปลี่ยนเป็นสารละลายคอปเปอร์คลอไรด์ และกรดฟอสฟอริกที่สภาวะเดียวกัน
- 3.6.2.6 วิเคราะห์พื้นที่ผิวปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์ (BET)
- 3.6.2.7 วิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเครื่องมือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติความร้อน (TGA)

### 3.7 การปรับปรุงถ่านกัมมันต์ด้วยสารกระตุ้นต่างๆ

#### 3.7.1 สารเคมี

- 3.7.1.1 แกลบ
- 3.7.1.2 กรดซัลฟิวริก
- 3.7.1.3 น้ำปราศจากไอออน

#### 3.7.2 ขั้นตอนการทดลอง

- 3.7.2.1 ชั่งแกลบที่ผ่านการกระตุ้นแล้วจำนวน 0.50 กรัม เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 18 โมลาร์ จำนวน 100 มิลลิลิตร
- 3.7.2.2 ปั่นกวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง อุณหภูมิห้อง
- 3.7.2.3 เติมน้ำปราศจากไอออนลงในข้อ 2 ปริมาณ 300 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำไปกรองแบบลดความดัน

3.7.2.4 นำไปอบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2.5 วิเคราะห์พื้นที่ผิวปริมาตรรูของตัวเร่งปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนที่ถูกระตุ้นด้วยกรด (BET)

### 3.8 การวิเคราะห์หาค่าการดูดซับเมทิลีนบลู

#### 3.8.1 สารเคมี

3.8.1.1 เมทิลีนบลู

3.8.1.2 น้ำปราศจากไอออน

#### 3.8.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.8.2.1 เตรียมสารละลายเข้มข้นโดยการชั่งเมทิลีนบลูจำนวน 2 กรัม และเติมน้ำปราศจากไอออนปริมาณ 2000 มิลลิลิตร

3.8.2.2 เตรียมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 10, 15, 20, 25 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ใส่ในขวดชมพู

3.8.2.3 ชั่งถ่านแลกเปลี่ยนจำนวน 0.1 กรัมใส่ลงในเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้น 10, 15, 20, 25 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

3.8.2.4 หลังจากนั้นนำเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้นต่างๆไปเขย่า 150 รอบต่อนาที่เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.8.2.4 วิเคราะห์ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยเครื่องมือ UV-Vis Spectrophotometer

### 3.9 ศึกษาปริมาณหมู่ฟังก์ชันกรดรวมด้วยวิธี Boehm Titration

#### 3.9.1 สารเคมี

3.9.1.1 ถ่านกัมมันต์

3.9.1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.9.1.3 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก

3.9.1.4 สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต

3.9.1.5 โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต

3.9.1.6 ฟีนอล์ฟทาลีน

3.9.1.7 เมทิลออเรนจ์

#### 3.9.2 ขั้นตอนการทดลอง

i. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

1) เทสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้ลงในบิวเรต

2) ชั่ง KHP ที่ผ่านการอบแล้วที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาประมาณ 2.0000 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น เล็กน้อย จากนั้นเทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และทำการปรับปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ปิเปตสารละลายมาตรฐาน KHP ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นหยดฟีนอล์ฟทาลีน 3-4 หยด
- 4) ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนมีสีชมพูอ่อน
- 5) บันทึกปริมาตรการไทเทรต ทำจนครบ 3 ซ้ำ
- 6) คำนวณหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอน

ii. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ )

- 1) ปิเปตสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นทำการหยดเมทิลออเรนจ์ 3-4 หยด
- 2) ไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนมีสีส้ม
- 3) บันทึกปริมาตรการไทเทรต ทำจนครบ 3 ซ้ำ
- 4) คำนวณหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอน

iii. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

- 1) ปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ จากนั้นทำการหยด ฟีนอล์ฟทาลีน 3-4 หยด
- 2) ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนจนมีสีชมพูอ่อน
- 3) บันทึกปริมาตรการไทเทรต ทำจนครบ 3 ซ้ำ
- 4) คำนวณหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอน ได้จากสมการ

iv. วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันกรดรวม (Total acid site)

- 1) ชั่งถ่านที่เตรียมจากหัวข้อที่ 3.7 มา 0.20 กรัม เติมสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์ ปริมาณ 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่
- 2) นำไปเขย่า 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปกรอง
- 3) แบ่งสารละลายจากที่กรองมา 10 มิลลิลิตร จากนั้นหยดฟีนอล์ฟทาลีน 3-4 หยด
- 4) ไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลาร์ จนกระทั่งถึงจุดยุติ
- 5) ทำซ้ำอีกครั้ง และนำไปคำนวณปริมาณหมู่ฟังก์ชันกรดด้วยสมการ ต่อไปนี้

$$n_{\text{CSF}} = ((n_{\text{HCl}}/n_{\text{B}}) \times [\text{B}] \times V_{\text{B}}) - ([\text{HCl}] \times V_{\text{HCl}} - [\text{NaOH}] \times V_{\text{NaOH}}) \times (V_{\text{B}}/V_{\text{a}})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่ [B] = ความเข้มข้นของเบสที่ผสมกับถ่านกัมมันต์  
 $N_{CSF}$  = ปริมาณของหมู่ฟังก์ชันที่เกาะอยู่บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์  
 $V_a$  = ปริมาณของส่วนแบ่งที่นำมาจาก VB  
 $V_B$  = ปริมาตรของเบสที่ผสมกับถ่านกัมมันต์  
 $V_{HCl}$  = ปริมาตรของกรดที่เติมไปยังส่วนแบ่งที่นำมาจากตัวอย่างตั้งต้น  
 $V_{NaOH}$  = ปริมาตรของไทเทรนต์  
[HCl] = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก  
[NaOH] = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

v. วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันกรดแก่ (Strong acid site)

ทำเช่นเดียวกับกับหัวข้อที่ 4 แต่เปลี่ยนจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.10

โมลาร์ เป็นสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตเข้มข้น 0.05 โมลาร์

### 3.10 สังเคราะห์โซลคิตอล

#### 3.10.1 สารเคมี

3.10.1.1 กลีเซอรอล

3.10.1.2 แอซีโตน

3.10.1.3 ถ่านกัมมันต์

#### 3.10.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.9.2.1 ชั่งกลีเซอรอล 9.2 กรัม และแอซีโตน 23.2 กรัม ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วน 1:4 ลงในขวดก้นกลมแบบสามคอ

3.10.2.2 ชั่งตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ 0.42 กรัม คิดเป็น 5% โดยน้ำหนักของกลีเซอรอล

3.10.2.3 ติดตั้งอุปกรณ์ดังในรูปที่ 3.1 โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

### 3.11 การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์

#### 3.11.1 สารเคมี

3.11.1.1 โซลคิตอล

#### 3.11.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.11.2.1 นำโซลคิตอลที่สังเคราะห์ได้มาแยกตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการกรองผ่านกรวยแก้ว

3.11.2.2 แยกโซลคิตอลกับแอซีโตนโดยใช้กรวยแยกสาร

3.11.2.3 นำสารที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR, GC-FID และ GC-MS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ในการสังเคราะห์โซลคิตอล จากกลีเซอรอลและแอสีโทนให้มีพื้นที่ผิวสูงขึ้น โดยมีถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการสังเคราะห์ทางเคมีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) โดยสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของอนุภาค (BET), วิเคราะห์หาปริมาณและหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการไทเทรตของโบฮีมา (Bohemia Titration Method), วิเคราะห์หาค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene blue Adsorption Number), วิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนของตัวเร่งปฏิกิริยา (TGA), วิเคราะห์ลักษณะทางออสถฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM), วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ (FTIR) พร้อมทั้งวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของโซลคิตอลที่สังเคราะห์ได้ (FTIR), หาค่าร้อยละการเปลี่ยนกลีเซอรอลและการเลือกเกิดเป็นโซลคิตอลด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตแกรมพร้อมตัวตรวจวัด FID (GC-FID)

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยา

##### 4.1.1 ผลการวิเคราะห์ชนิดของธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง (X-ray fluorescence ; XRF)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของ RH ก่อนและหลังการบำบัดที่กำหนดโดย XRF (mass %)

[73]

Chemical Composition (%)	RH (before treatment)	RH (after treatment)
SiO <sub>2</sub>	89.14	59.79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.29	3.22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.28	5.58
CaO	0.95	0.03
MgO	0.42	0.35
Na <sub>2</sub> O	-	1.59
K <sub>2</sub> O	4.79	2.65
SO <sub>3</sub>	1.18	3.56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.31	0.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช. ปล่อยสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในช่องทางใดๆ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

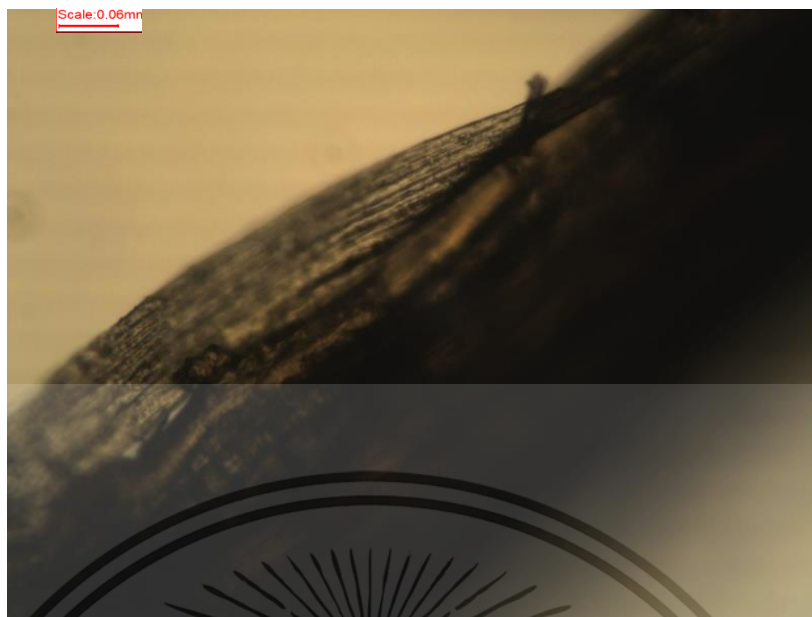
Chemical Composition (%)	RH (before treatment)	RH (after treatment)
Cl	1.28	9.45
MnO	0.16	0.15
WO <sub>3</sub>	0.11	0.86
CoO	0.04	9.56
ZnO	0.03	0.39
CuO	-	2.23
TiO <sub>2</sub>	-	0.40
Pd	-	0.30
Ru	-	-

#### 4.1.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางอณูฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope)



รูปที่ 4.1 การวิเคราะห์อณูฐานวิทยาของแกลบ (RH) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ที่กำลังขยาย 10 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแกลบ (RH-Treated) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ที่กำลังขยาย 10 เท่า

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่า การล้างด้วยน้ำทำให้เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเส้นใยบางส่วนในแกลบเสื่อมสภาพทางเคมีอย่างมาก จึงไม่สามารถทำลายโครงสร้างโดยธรรมชาติของแกลบได้ การบำบัดด้วย KOH จะกำจัด  $\text{SiO}_2$  และเนื่องจากส่วนหนึ่งของ  $\text{SiO}_2$  สัมผัสใกล้ชิดหรือจับตัวกับโมเลกุลอินทรีย์ ซิลิกอนบางส่วนจึงยังคงอยู่ และจากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่า สัณฐานวิทยาของแกลบที่ยังไม่ผ่านการทำความสะอาด (RH) จะมีสิ่งสกปรกที่มาจากกระบวนการผลิตแกลบ หรือองค์ประกอบทางเคมีต่างๆที่อยู่ในแกลบ การปรับปรุงสัณฐานวิทยาด้วย KOH และ HCl จะกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ลดการตกผลึกของเซลลูโลส และกำจัดสารอินทรีย์ออกจากผิวแกลบ แสดงในรูปที่ 4.2 นั้นแสดงว่าองค์ประกอบทางสารเคมีบางส่วนสลายตัวไประหว่างกระบวนการทำความสะอาด

#### 4.1.3 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว (Brunauer Emmett Teller Surface Analyzer; BET)

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางพื้นที่ผิวและความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากถ่านแกลบ

ตัวอย่าง	Weight ratio	$T_A^a$ (°C)	$S_{BET}$ (m <sup>2</sup> /g)	Total acid sites (mmol/g)	Strong acid sites (mmol/g)
RH	-	-	2.60	0.85	0.65
RH-Treated	-	-	97.20	1.10	0.40
RH-KOH	1:1	600		1.42	0.67
RH-KOH	1:4			1.16	0.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามละเมิดตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก๊อปปี้ไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) สมบัติทางพื้นผิวและความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากถ่านแกลบ

ตัวอย่าง	Weight ratio	T <sub>A</sub> <sup>a</sup> (°C)	S <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> /g)	Total acid sites (mmol/g)	Strong acid sites (mmol/g)
RH-KOH	1:1	800	-	1.91	1.13
RH-KOH	1:4		353.50	1.22	0.93
RH-CuCl <sub>2</sub>	1:1	600	357.04	1.62	1.07
RH-CuCl <sub>2</sub>	1:4		-	1.47	1.19
RH-CuCl <sub>2</sub>	1:1	800	-	1.88	0.83
RH-CuCl <sub>2</sub>	1:4		473.30	2.06	1.17
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:1	600	-	1.63	0.62
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:4		-	1.11	0.68
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:1	800	-	1.21	1.17
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:4		-	1.37	1.17
AC-KOH/H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1:4	800	691.22	2.53	1.49
AC-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1:1	600	633.70	2.99	1.72
AC-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1:4	800	701.90	3.42	2.04

\*ค่าพื้นที่ Surface area ของ BET (S<sub>BET</sub>) ที่ไม่ได้ใส่ลงในตาราง เนื่องจากเครื่องตรวจวิเคราะห์มีความชำรุด จึงทำให้ผลวิเคราะห์ S<sub>BET</sub> บางส่วนขาดหายไป

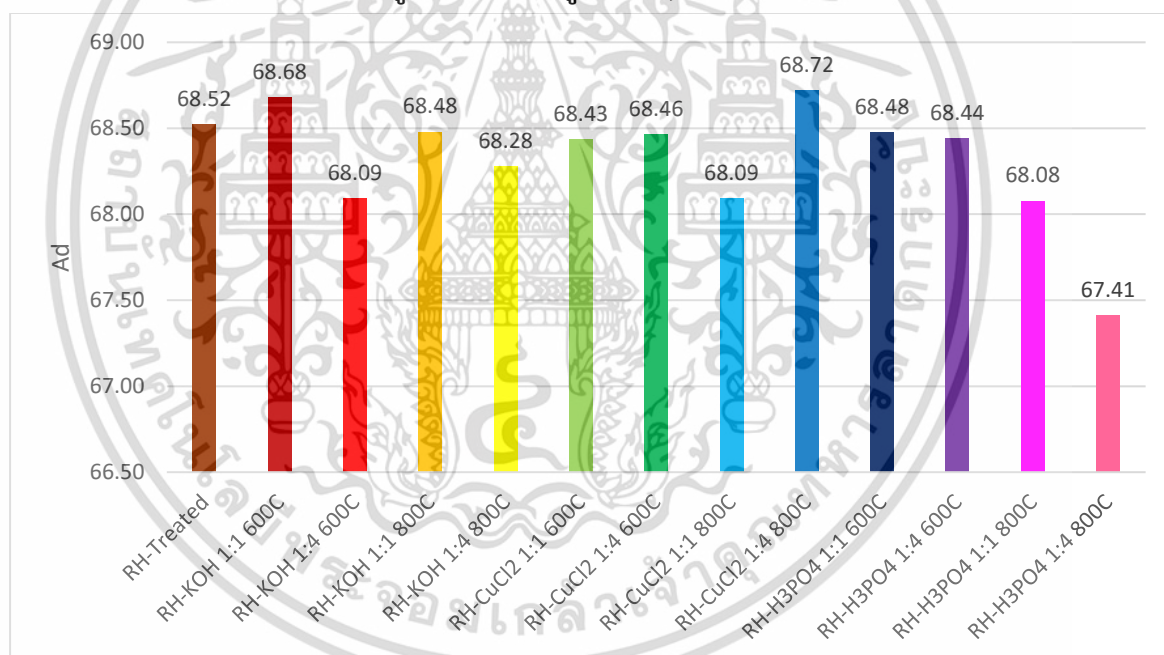
จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 จะเห็นว่าแกลบ (RH) มีพื้นที่ผิว 2.60 ตารางเมตรต่อกรัม และเมื่อนำแกลบไปทำความสะอาดแล้ว (RH-Treated) ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเป็น 97.20 ตารางเมตรต่อกรัม เมื่อนำแกลบไปกระตุ้นด้วยสารเคมีที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ คอปเปอร์คลอไรด์ และกรดฟอสฟอริก ที่สภาวะที่แตกต่างกัน คือใช้อัตราส่วนที่ 1:1 และ 1:4 และใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 600 และ 800 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น โดยการกระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสูงสุดอยู่ที่ 473.30 ตารางเมตรต่อกรัม และเมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์ไปปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก จะเห็นว่าการปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก ส่งผลให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเป็น 701.90 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ผิวที่สูงขึ้น อาจเกิดจากการที่การสูญเสียหมู่ซัลโฟเนต ทำให้รูพรุนมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้พื้นที่ผิวสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณและชนิดของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยวิธีการไทเทรตของโบห์ม (Boehm Titration Method)

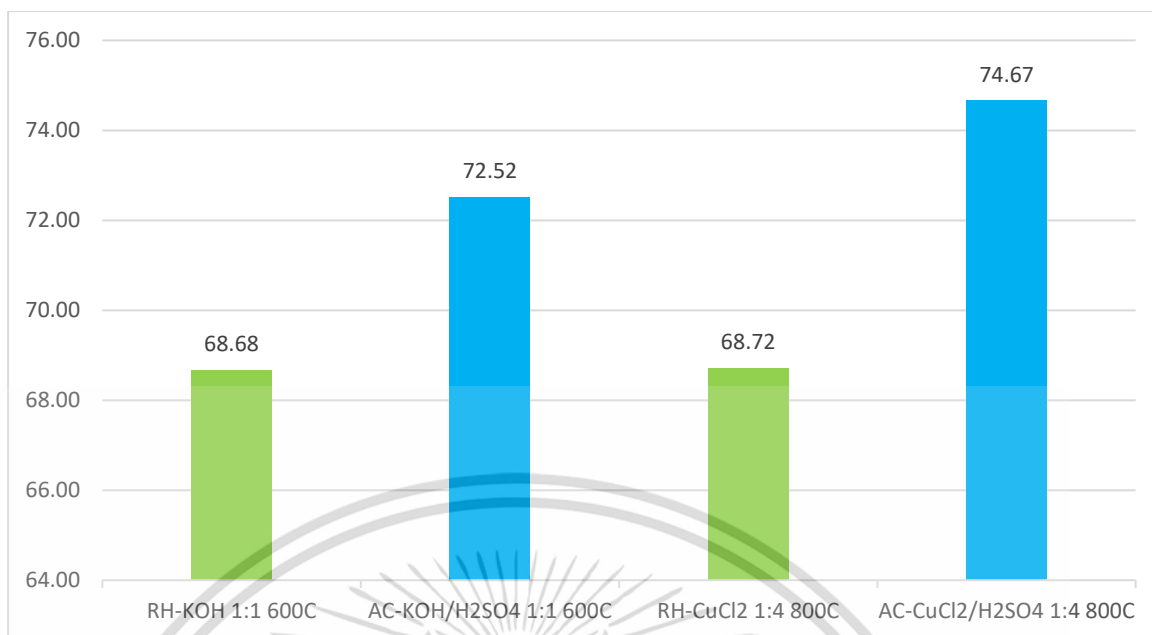
จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 จะเห็นว่าแกลบ (RH) มีปริมาณหมู่ฟังก์ชันกรดรวม 0.85 มิลลิโมลต่อกรัม และเมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และคอปเปอร์คลอไรด์ที่สภาวะที่ต่างกันคือใช้อัตราส่วนที่ 1:1 และ 1:4 และใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 600 และ 800 องศาเซลเซียส ไปปรับปรุงด้วย กรดซัลฟิวริก ส่งผลให้มีปริมาณหมู่ฟังก์ชันกรดบนพื้นผิวสูงขึ้น ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ถูกปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 18 โมลาร์ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของพัชราภา กิติมา และคณะ [52] โดยถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์และถูกปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริกมีปริมาณหมู่ฟังก์ชันกรดบนพื้นผิวสูงสุดอยู่ที่ 3.42 มิลลิโมลต่อกรัม และมีปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดแก่สูงสุดอยู่ที่ 2.04 มิลลิโมลต่อกรัม ซึ่งปริมาณของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะส่งผลให้ถ่านกัมมันต์เกิดความมีขี้เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถดูดซับก๊าซและไอของสารที่มีขี้ได้ดี

#### 4.1.5 ผลการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene blue Adsorption)



รูปที่ 4.3 ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 30 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

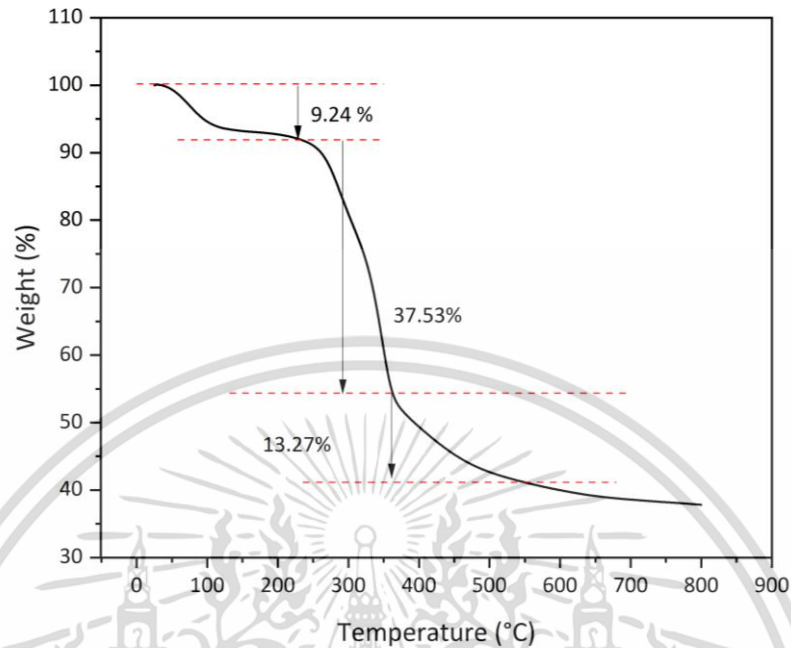


รูปที่ 4.4 ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 30 mg/L

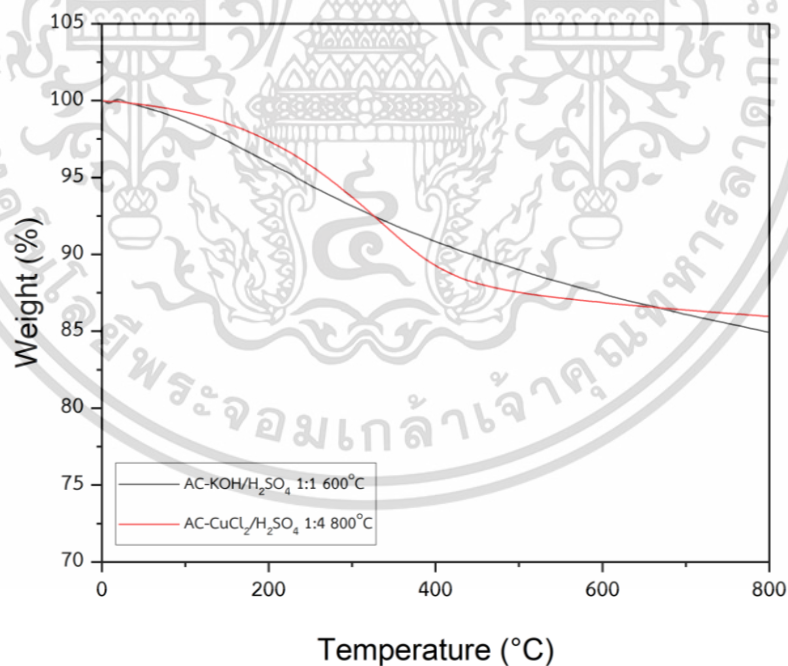
จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากแกลบ (RH) จะมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากนำแกลบไปทำความสะอาด (RH-Treated) เมื่อนำไปกระตุ้นด้วยสารเคมีที่แตกต่างกัน โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ คอปเปอร์คลอไรด์ และกรดฟอสฟอริก ที่สภาวะที่ต่างต่างกัน คือใช้อัตราส่วนที่ 1:1 และ 1:4 และใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 600 และ 800 องศาเซลเซียส พบว่าการนำแกลบไปกระตุ้นด้วยคอปเปอร์ คลอไรด์ที่อัตราส่วน 1:4 และกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูสูงสุดอยู่ที่ 68.72 มิลลิกรัมต่อกรัม แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์มีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากส่งผลให้พื้นที่ผิวสูง และจากรูปที่ 4.4 เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์ไปปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก พบว่ามีค่าการดูดซับเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้นเป็น 74.67 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งคาดว่าเกิดจากการนำถ่านกัมมันต์ไปปรับปรุงด้วยกรดส่งผลทำให้อุณหภูมิเกิดการขยายตัวกว้างขึ้นทำให้พื้นที่ผิวสูงขึ้นจึงเพิ่มความสามารถในการดูดซับ เนื่องจากรูพรุนขนาดเล็กจะถูกใช้เป็นพื้นที่ในการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.6 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากแกลบ (Thermogravimetric Analysis; TGA)



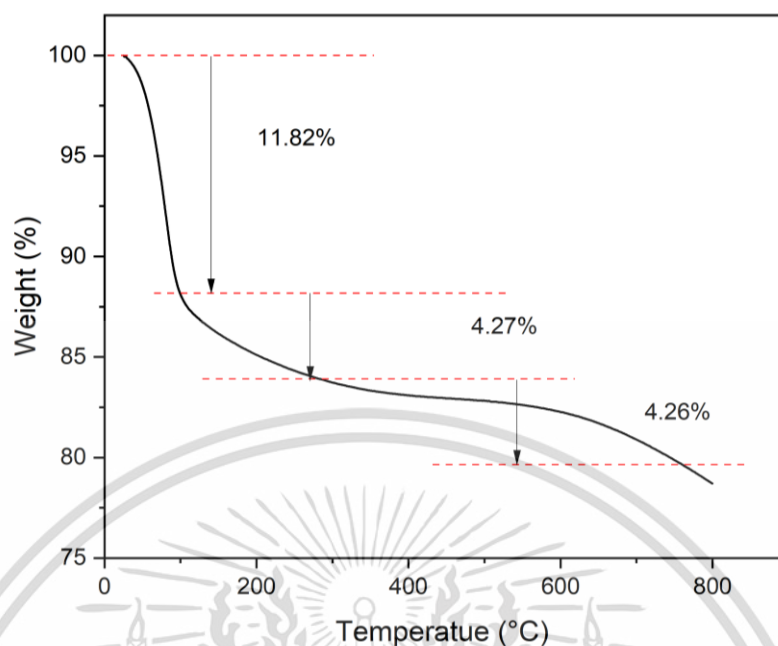
รูปที่ 4.5 TGA thermogram ของแกลบ



รูปที่ 4.6 TGA thermogram ของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากแกลบที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก (AC-KOH/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ที่อัตราส่วน 1:1 600 °C

และตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากแกลบที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก (AC-CuCl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ที่อัตราส่วน 1:4 800 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

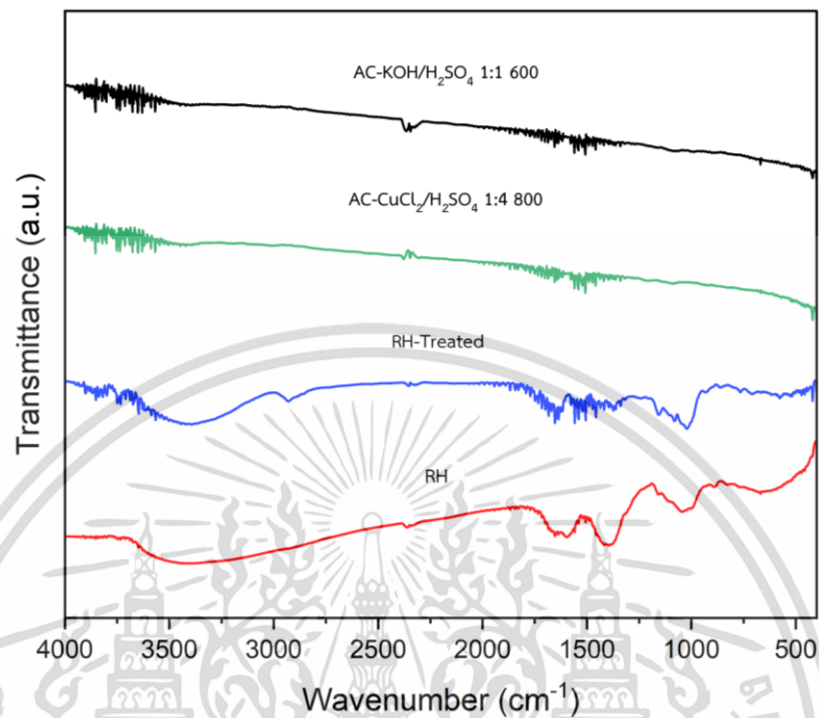


รูปที่ 4.7 TGA thermogram ของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากแกลบที่กระตุ้นด้วย คอปเปอร์คลอไรด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก ( $\text{AC-CuCl}_2/\text{H}_2\text{SO}_4$ )

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากแกลบ (RH) มีการสูญเสียน้ำและ สารประกอบอินทรีย์บางชนิด ที่อุณหภูมิ 30-200 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักที่หายไปในช่วงอุณหภูมินี้ คือ ความชื้นที่อยู่ในตัวอย่าง ดังนั้นก่อนนำตัวอย่างไปใช้เป็นวัสดุคิบในการเตรียมถ่านกัมมันต์ ควรนำ ตัวอย่างไปไล่ความชื้นก่อน และเมื่อนำถ่านกัมมันต์จากแกลบที่กระตุ้นด้วยสารกระตุ้นที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ คอปเปอร์คลอไรด์ และกรดฟอสฟอริก จะเห็นว่าในรูปที่ 4.7 การกระตุ้นแกลบด้วยคอปเปอร์คลอไรด์ พบว่าช่วงที่ 1 ที่น้ำหนักตัวอย่างลดลง ที่ช่วงอุณหภูมิ 30-200 องศาเซลเซียส และในช่วงที่ 2 อุณหภูมิ 250-450 องศาเซลเซียส ซึ่งคาดว่าเกิดจากการสูญเสียมะลิวซิลไฟเฟต ( $\text{SiO}_2$ ) ที่เกิดจากการนำถ่านกัมมันต์ไปปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก และช่วงที่ 3 จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่ากรดซัลฟิวริกส่งผลให้การสลายตัวทางความร้อนของ ถ่านกัมมันต์เปลี่ยนแปลงไป และที่อุณหภูมิ 500-900 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักอย่างมี นัยสำคัญ ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเผาควรร้อยอย่างน้อย 500 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.7 ผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FTIR)

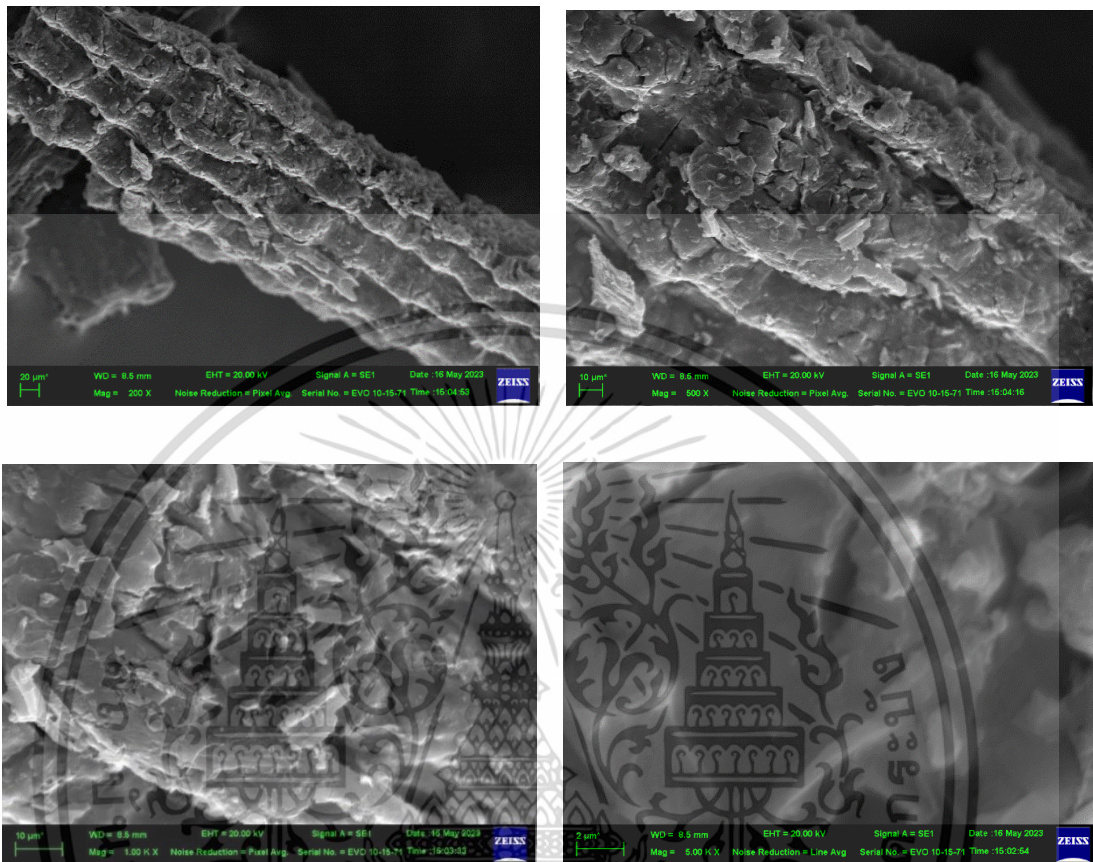


รูปที่ 4.8 FTIR spectrum ของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากแกลบ

จากรูปที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของแกลบ (RH) และถ่านกัมมันต์จากแกลบที่กระตุ้นด้วย สารกระตุ้นแตกต่างกัน 3 ชนิดและปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก จะเห็นว่าในแกลบจะพบพีคการสั่นแบบยืดหดของหมู่ -OH ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $3402\text{ cm}^{-1}$  พบพีคของการสั่นแบบยืดหดของหมู่ C-H และ C=O ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $2927$  และ  $1716\text{ cm}^{-1}$  พบโครงสร้างวงแหวนอะโรมาติกที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1558\text{ cm}^{-1}$  พบพีคการสั่นของพันธะ Si-O-Si ของหมู่ซิลิกาที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1022\text{ cm}^{-1}$  และพบพีคการสั่นของหมู่ Si-H ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $400-800\text{ cm}^{-1}$  [52] ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก (AC-KOH/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) และถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก (AC-CuCl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) พบพีคการสั่นแบบยืดหดของ C-H aliphatic พบพีคการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C=O ของกรดคาร์บอกซิลิกที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1793\text{ cm}^{-1}$  พบพีคการสั่นแบบยืดหดของหมู่ C-H ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1458\text{ cm}^{-1}$  [52] และในถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จะพบทั้งพีคการสั่นของพันธะ C-O ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1043\text{ cm}^{-1}$  และพีคการสั่นของพันธะ S=O ของ หมู่ -SO<sub>3</sub>H ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1089$  และ  $1166\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเกิดจากการปรับปรุงถ่านกัมมันต์ด้วยกรดซัลฟิวริก

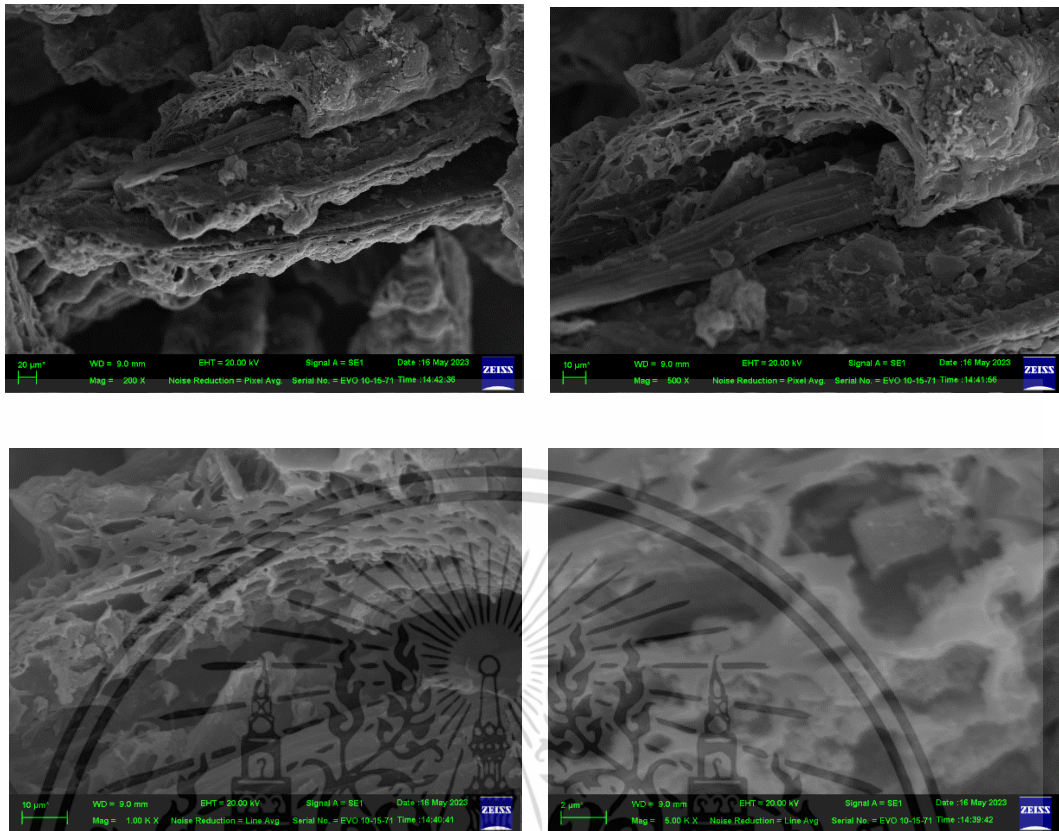
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.8 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางอณูฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)



รูปที่ 4.9 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแกลบที่ทำความสะอาดแล้ว (RH-treated) ที่กำลังขยาย (A) 200 เท่า (B) 500 เท่า (C) 1000 เท่า (D) 5000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากแกลบที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์ คลอไรด์อัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย (A) 200 เท่า (B) 500 เท่า (C) 1000 เท่า (D) 5000 เท่า

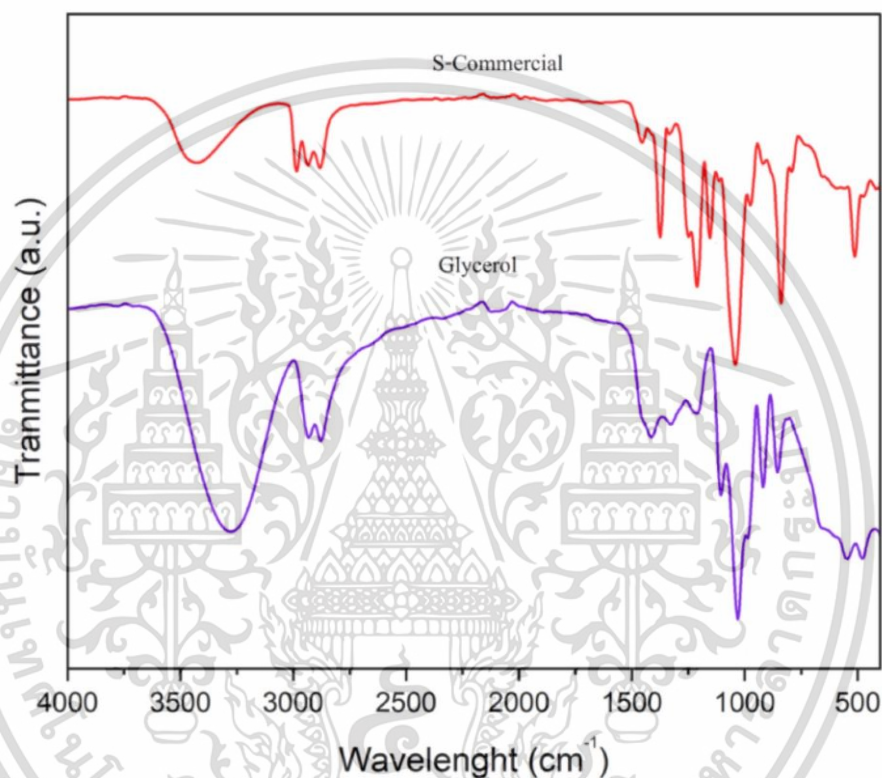
จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าสัณฐานวิทยาของแกลบที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว (RH-treated) จะมีพื้นผิวขรุขระ แต่ไม่มีรูพรุนปรากฏบนพื้นผิวซึ่งแตกต่างจากรูปที่ 4.10 ที่แสดงสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากแกลบที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก ( $\text{AC-CuCl}_2/\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ที่ประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมากแบบกระจายโดยมีทั้ง แมโครพอร์ (Macropores) เมโซพอร์ (Mesopores) และไมโครพอร์ (Micropores) หรือที่เรียกว่า โครงสร้างผสม (Mixed Structure Type) นอกจากนี้ยังมีพื้นที่ผิวขรุขระไม่สม่ำเสมอ มีโพรง มีรอยแตกในพื้นที่ผิวภายนอกและมีรูพรุนสูง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการมีพื้นที่ผิวสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการสังเคราะห์โซลคิตอล

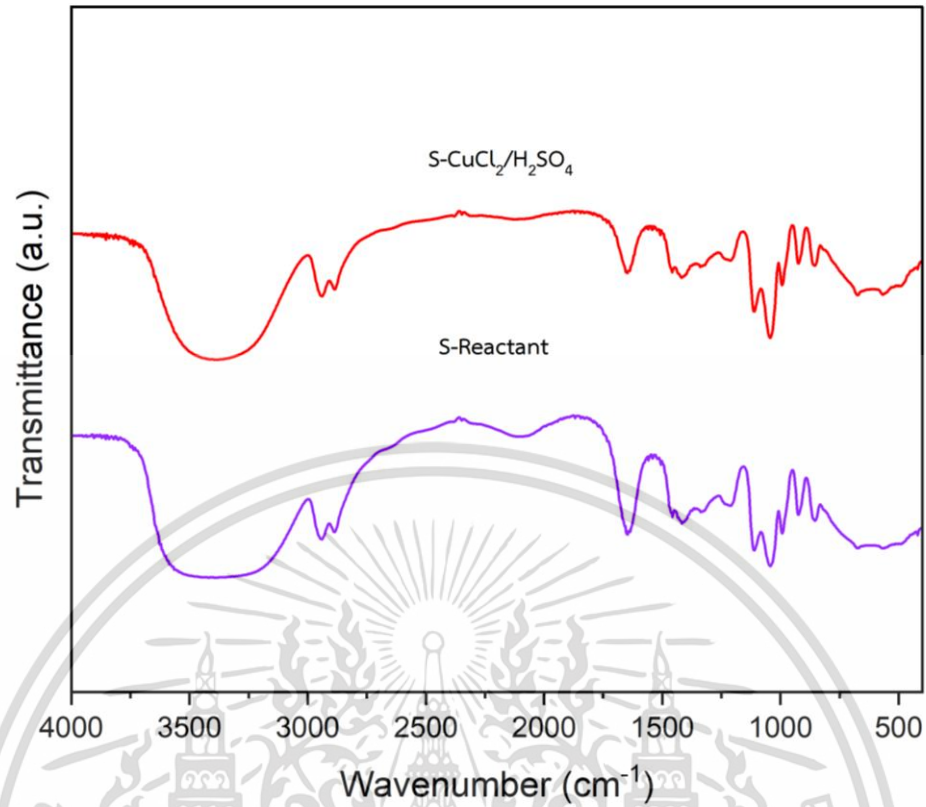
การสังเคราะห์โซลคิตอลโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อแอสีโตนเท่ากับ 1:4 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 5% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์คือ  $\text{AC-CuCl}_2/\text{H}_2\text{SO}_4$

### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของโซลคิตอลที่สังเคราะห์ได้ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FTIR)



รูปที่ 4.11 FTIR spectrum ของโซลคิตอลและกลีเซอรอลมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 FTIR spectrum เปรียบเทียบโซลคิตอลที่สังเคราะห์ได้จากกลีซอรอลและแอซีโตน (S-Reactant) และโซลคิตอลที่สังเคราะห์ได้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากถ่านแกลบที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์ไปปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก (AC-CuCl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของโพลีคีตอลที่สังเคราะห์ได้เปรียบเทียบกับโพลีคีตอลมาตรฐาน

Wave number (cm <sup>-1</sup> ) S-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Wave number (cm <sup>-1</sup> ) S-Reactant	Wave number (cm <sup>-1</sup> ) From Reference (NIST)	Group
675.09	667.37	-	C-H aromatic
852.54	852.54	875	C-H aromatic
923.90	923.90	900	C-H aromatic
993.90	991.41	995	C-O ester conjugation
1111.00	1111.00	1100	C-O ester conjugation
1211.30	1211.30	1200	C-O ester conjugation
1249.50	1249.50	1250	C-O ester conjugation
1330.88	1330.88	-	Methyl groups
1373.32	1373.32	1375	C-H bending methyl group
1458.18	1456.26	1475	C-H bending
-	-	1740	C=O stretching aldehyde
1647.21	1651.07	-	O-H bending
2885.51	2885.51	2800-2900	C-H stretching aldehyde
2939.52	2941.44	2999	C-H stretching
3450	3450	-	O-H stretching
	-	3600-3650	O-H stretching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่า FT-IR ของโซลคิตอลที่สังเคราะห์ได้จากกลีเซอรอลและแอซีโตน โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (S-Reactant) และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากถ่านแกลบที่กระตุ้นด้วย คอปเปอร์คลอไรด์ไปปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก ( $\text{AC-CuCl}_2/\text{H}_2\text{SO}_4$ ) พบว่ามีพีคที่เป็นเอกลักษณ์ของ โซลคิตอลเกิดขึ้นจริงเมื่อเปรียบเทียบกับพีคของโซลคิตอลมาตรฐานโดยปรากฏพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $3450\text{ cm}^{-1}$  เป็นผลมาจากการเปลี่ยนรูปร่างตามแนวแกนของหมู่ฟังก์ชัน -OH ที่เกิดจากพันธะ ออกซิเจนและไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของโซลคิตอล นอกจากนี้ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1373.32\text{ cm}^{-1}$  พบพีคการสั่นแบบบิดงอของพันธะ C-H ที่เป็นหมู่เมทิลของกลุ่มคีโตน อีกทั้งที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $993.90\text{ cm}^{-1}$  พบพีคการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-O ที่อยู่ใน วงแหวนห้าเหลี่ยมซึ่งเป็น พีคเอกลักษณ์ของโซลคิตอล และที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $852.54\text{ cm}^{-1}$  พบพันธะ C-H ของ กลุ่มอะโรมาติกที่อยู่ในโครงสร้างของโซลคิตอล โดยจากการวิเคราะห์สามารถยืนยันได้ว่าโซลคิตอล สามารถเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลและแอซีโตนได้ และสามารถเปลี่ยนกลีเซอรอล เป็นโซลคิตอลได้ดีเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

#### 4.2.2 ผลการหาค่าร้อยละการเปลี่ยนกลีเซอรอลและการเลือกเกิดเป็นโซลคิตอลด้วย เครื่องแก๊สโครมาโตแกรมพร้อมตัวตรวจวัด FID (Gas Chromatograph-Flame Ionization Detector; GC-FID)

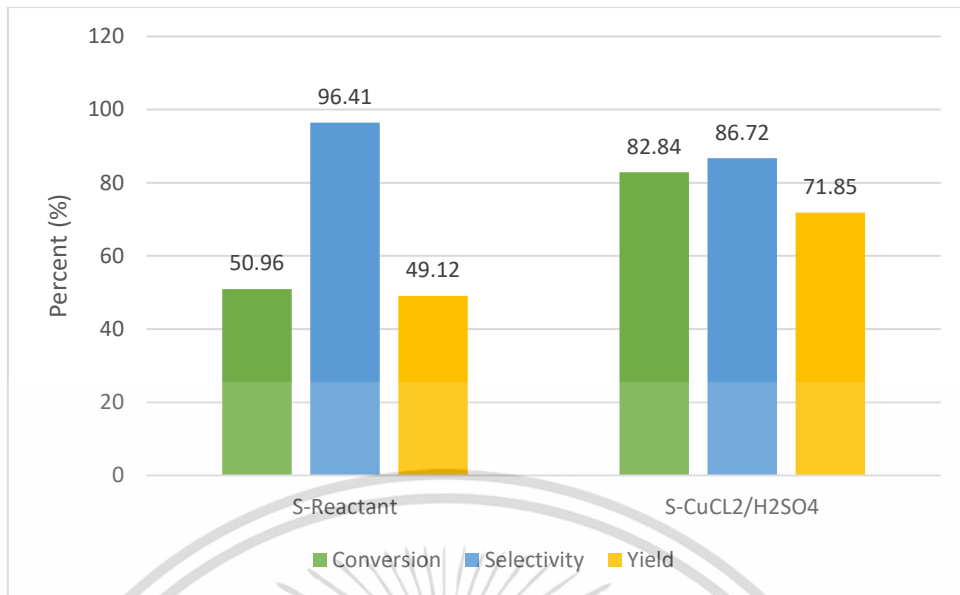
ตารางที่ 4.5 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนกลีเซอรอล ค่าร้อยละการ เลือกเกิดเป็นโซลคิตอล และค่าร้อยละผลผลิตของโซลคิตอล

ตัวอย่าง	Conversion (%)	Selectivity (%)	Yield (%)
S-Reactant	50.96	96.41	49.12
S-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:4 800 °C	82.84	86.72	71.85

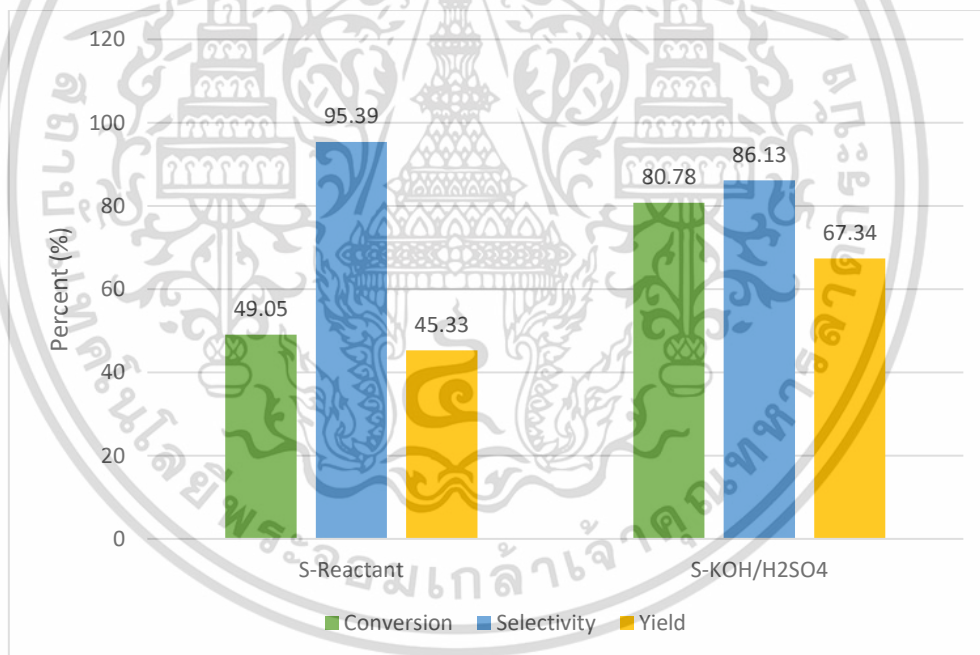
ตารางที่ 4.6 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนกลีเซอรอล ค่าร้อยละการ เลือกเกิดเป็นโซลคิตอล และค่าร้อยละผลผลิตของโซลคิตอล [52]

ตัวอย่าง	Conversion (%)	Selectivity (%)	Yield (%)
S-Reactant	49.05	95.39	45.33
S-KOH/H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:2 600 °C	80.78	86.13	67.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนกลีเซอรอล  
ค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นโซลคีตอล และค่าร้อยละผลผลิตของโซลคีตอล



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนกลีเซอรอล  
ค่าร้อยละการเลือกเกิดเป็นโซลคีตอล และค่าร้อยละผลผลิตของโซลคีตอล [52]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าการสังเคราะห์โซลคิตอลโดยการทำปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอล และแอสีโทนจะมีการเปลี่ยนกลีเซอรอล 50.96% และมีการเลือกเกิดเป็นโซลคิตอล 96.41% ในขณะที่การสังเคราะห์โซลคิตอลจากกลีเซอรอลและแอสีโทนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากเกลบที่ กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก ( $S-CuCl_2/H_2SO_4$ ) มีการเปลี่ยน กลีเซอรอล 82.84% การเลือกเกิดเป็นโซลคิตอลสูงถึง 86.72% และจากตารางที่ 4.6 จะเป็นงานวิจัย ของพัชรภา กิติมา และคณะ [52] จะเห็นว่าจะเห็นว่าการสังเคราะห์โซลคิตอลโดยการทำปฏิกิริยา ระหว่างกลีเซอรอล และแอสีโทนจะมีการเปลี่ยนกลีเซอรอล 49.05% และมีการเลือกเกิดเป็น โซลคิตอล 95.39% ในขณะที่การสังเคราะห์โซลคิตอลจากกลีเซอรอลและแอสีโทนโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากเกลบที่ กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และปรับปรุงด้วย กรดซัลฟิวริก ( $S-KOH/H_2SO_4$ ) มีการเปลี่ยนกลีเซอรอล 80.78% การเลือกเกิดเป็นโซลคิตอลสูงถึง 86.13% ซึ่งจะเห็นว่าการวิจัยนี้จะมีค่าการเปลี่ยนกลีเซอรอล การเลือกเกิดเป็นโซลคิตอลมีค่าเพิ่มขึ้น จากงานวิจัยก่อน ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากอัตราส่วนที่เปลี่ยนแปลงไป การใช้อุณหภูมิที่มีสูงมากขึ้น และสารเร่งปฏิกิริยาอาจจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้สูงขึ้น จึงส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนกลีเซอรอล การเลือกเกิดเป็นโซลคิตอลมีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

1) จากการศึกษาการเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ให้มีพื้นที่ผิวสูง เพื่อใช้ในการสังเคราะห์โซล คีตอลจากกลีเซอรอลและแอซีโตน โดยนำกลีบมากระตุ้นด้วยสารเคมีที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (RH-KOH) คอปเปอร์คลอไรด์ (RH-CuCl<sub>2</sub>) และกรดฟอสฟอริก (RH-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) ที่สภาวะแตกต่างกัน คือใช้อัตราส่วนที่ 1:1 และ 1:4 และใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ 600 และ 800 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์โดยใช้ BET พบว่าการกระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์มีค่าพื้นที่ผิวสูงที่สุด และได้นำกลีบที่กระตุ้นด้วยสารเคมีทั้ง 3 ชนิด ไปวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ พบว่ามีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และได้นำไปวิเคราะห์ความเป็นกรดของตัวเร่งถ่านกัมมันต์โดยใช้วิธี Boehm Titration พบว่ากลีบที่กระตุ้นด้วยสารเคมีที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ส่งผลให้หมู่ฟังก์ชันกรดบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์สูงขึ้น ซึ่งกลีบที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์ (RH-CuCl<sub>2</sub>) มีความเป็นกรดสูงที่สุด จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกลีบที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์ (RH-CuCl<sub>2</sub>) มีความหนาแน่นต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับพื้นที่ผิว (BET) และความเป็นกรดของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิว เมื่อนำไปปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริกก็มีพื้นที่ผิว และความเป็นกรดสูงที่สุดเช่นกัน

2) จากการศึกษาการดูดซับเมทิลีนบลูของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากกลีบ พบว่าถ่านกัมมันต์จากกลีบที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์ (RH-CuCl<sub>2</sub>) ที่อัตราส่วน 1:4 ถูกกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซับเมทิลีนบลูสูงสุด และเมื่อนำถ่านกัมมันต์ไปปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก พบว่าค่าการดูดซับเมทิลีนบลูสูงขึ้น คาดว่าเกิดจากการปรับปรุงด้วยกรด ไปช่วยการขยายตัวของรูพรุนให้กว้างขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้นด้วย

3) จากการวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากกลีบ พบว่ากลีบที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก (AC-CuCl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ส่งผลให้การสลายตัวทางความร้อนของถ่านกัมมันต์เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากมีการสลายตัวของหมู่ซัลโฟเนตที่อุณหภูมิ 250-450 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเผาควรรู้ อย่างน้อย 500 องศาเซลเซียส

4) การสังเคราะห์โซลคีตอลจะใช้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรอลต่อแอซีโตนเท่ากับ 1:4 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 5% โดยน้ำหนักของกลีเซอรอล ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุดสำหรับการสังเคราะห์โซลคีตอลคือตัวเร่งปฏิกิริยา

ถ่านกัมมันต์จากกลีบที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์และปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(AC-CuCl<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) จากการวิเคราะห์โดยใช้ GC-FID พบว่ามีการเปลี่ยนกลีเซอรอล 82.84% มีการเลือกเกิดเป็นโซลคีตอล 86.72% และผลผลิตของโซลคีตอล 71.85%

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1) สามารถนำวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรชนิดอื่น เช่น กะลามะพร้าว กากกาแฟ เปลือกผลไม้ และอื่นๆ มาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อเปรียบเทียบพื้นที่ผิวและประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของถ่านกัมมันต์

2) สามารถใช้ตัวทำละลาย เช่น เอทานอล หรือเมทานอล เพื่อทำให้กลีเซอรอลและแอซีโทนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาคีทัลไลเซชัน (Ketalization)

3) ปัจจัยที่มีผลต่อการกระตุ้นกลีบ ได้แก่ อัตราส่วนของสารเคมี อุณหภูมิ ชนิดของสารเคมี และระยะเวลาในการกระตุ้น

3.1) ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตของโซลคีตอลในขั้นตอนการกระตุ้นกลีบอย่างมาก คือ อุณหภูมิ

3.2) ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตของโซลคีตอลในขั้นตอนการกระตุ้นกลีบและปรับปรุงด้วยกรดซัลฟิวริกอย่างมาก คือ อุณหภูมิ ความเข้มข้น และชนิดของสารเคมี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สุธาทิพย์ ศิริปาณี และคณะ. 2562. “ถ่านกัมมันต์ประสิทธิภาพสูงจากน้ำยางดำ” วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา)
- [2] สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม. 2545. “การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากแกลบ” วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น. : 87-100
- [3] Future Market Insights. 2021. **Solketal Market - Global Industry Analysis 2014 – 2018 and Opportunity Assessment 2019-2029**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.futuremarketinsights.com/reports/solketal-market>.
- [4] Absolute Report. 2021. **Solketal (CAS 100-79-8) Market Size 2021 Research Report Segmented by Manufacturers, Geography Regions, Trends, Opportunities and Forecasts to 2024**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.ktvn.com/story/43667667/solketal>.
- [5] Narin Tunpaiboon. 2564. **แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2564-2566: อุตสาหกรรมไบโอดีเซล**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/Energy-Utilities/Biodiesel/IO/io-biodiesel-21>.
- [6] ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร. 2557. “กลีเซอรอล: การใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตแก๊สไฮโดรเจน.” วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง. 23(2) : 141-159
- [7] บางจากไบโอฟูเอล. **กลีเซอริน**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.bangchakbiofuel.co.th/products/glycerin>.
- [8] Gunawan, E.R. Suhendra, D. Nuansa Windari, B. and Kurniawati, L. 2019. “Enzymatic synthesis of palmitoylethanolamide from ketapong kernel oil.” Journal of Physics: Conference Series. 1321 : 1-6.
- [9] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. **Saponification number**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1614/saponification-number>.
- [10] Lukic, I. Kesic, Z. Zdujic, M. and Skala, D. 2016. “Solid Acids as Catalysts for Biodiesel Synthesis.” Heterogeneous Catalysts: Design, Applications and Research Insights. 21-136
- [11] Marumo. **กลีเซอริน/กลีเซอรอล**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://marumothai.com/article/รอบรู้เรื่อง-กลีเซอริน/>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนูปนนท์. **Glycerol/กลีเซอรอล**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1926/glycerol-กลีเซอรอล>.
- [13] สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตรายกรมควบคุมมลพิษกระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. 2551. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะอะซีโตน (Acetone). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [14] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. แอซีโตน. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://th.wikipedia.org/wiki/แอซีโตน>.
- [15] ประโยชน์ของอาซีโตน (Acetone). [Online]. เข้าถึงได้จาก: <https://resinsjthailand.com/acetone-คืออะไร/>.
- [16] American Chemical Society. 2021. Molecule of the Week Archive Isopropylidene glycerol. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.acs.org/content/acs/en/molecule-of-the-week/archive/i/isopropylidene-glycerol.html>.
- [17] Talebian-Kiakalaieh, A. and Tarighi, S. 2019. "Hierarchical faujasite zeolite-supported heteropoly acid catalyst for acetalization of crude-glycerol to fuel additives." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 79 : 452-464.
- [18] PubChem. Solketal Compound. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Solketal>
- [19] Mota, C.J.A. Da Silva, C.X.A. Rosenbach, N. Costa, J. and Da Silva, F. 2010. "Glycerin Derivatives as Fuel Additives: The Addition of Glycerol/Acetone Ketal (Solketal) in Gasolines." *Energy Fuels*. 24(4) : 2733-2736.
- [20] Cornejo, A. Campoy, M. Barrio, I. Navarrete, B. and Lazaro, J. 2019. "Solketal production in a solvent-free continuous flow process: scaling from laboratory to bench size." *React. Chem. Eng.*
- [21] Nanda, M.R. Zhang, Y. Yuan, Z. Qin, W. Ghaziaskar, H.S. and Xu, C. (Charles). 2016. "Catalytic conversion of glycerol for sustainable production of solketal as a fuel additive: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 56 : 1022-1031.
- [22] ฉวีวรรณ เพ็งพิทักษ์. 2562. **ถ่านกัมมันต์**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : [http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss\\_knowledge/chem-2-62-charcoal.pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_knowledge/chem-2-62-charcoal.pdf).
- [23] ELGA Lab Water. 2021. **Activated Carbon**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.elgalabwater.com/activated-carbon>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- [35] Khu Le Van, Thuy Luong Thi Thu (2019) Preparation of Pore-Size Controllable Activated Carbon from Rice Husk Using Dual Activating Agent and Its Application in Supercapacitor. <https://doi.org/10.1155/2019/4329609>
- [36] Heidarinejad Z, Rahmanian O, Fazlzadeh M, Heidari M (2018) Enhancement of methylene blue adsorption onto activated carbon prepared from Date Press Cake by low frequency ultra- sound. *J Mol Liq* 264:591–599. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.05.100>
- [37] Li J, Ng DH, Song P et al (2015) Preparation and characterization of high surface area activated carbon fibers from silkworm cocoon waste for Congo red adsorption. *Biomass Bioenergy* 75:189–200. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.02.002>
- [38] Zhang D, Yin J, Zhao J et al (2015a) Adsorption and removal of tetracycline from water by petroleum coke-derived highly porous activated carbon. *J Environ Chem Eng* 3:1504–1512. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.05.014>
- [39] Li Y, Zhang X, Yang R, Li G, Hu C (2015) The role of  $H_3PO_4$  in the preparation of activated carbon from NaOH-treated rice husk residue. *RSC Adv* 5:32626–32636. <https://doi.org/10.1039/C5RA04634C>
- [40] Mohammadi SZ, Karimi MA, Yazdy SN et al (2014) Removal of Pb(II) ions and malachite green dye from wastewater by activated carbon produced from lemon peel. *Quim Nova* 37:804–809. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140129>
- [41] Patnukao P, Pavasant P (2008) Activated carbon from Eucalyptus camaldulensis Dehn bark using phosphoric acid activation. *Bioresour Technol* 99:8540–8543. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.10.049>
- [42] Lemraski EG, Sharafinia S (2016) Kinetics, equilibrium and thermo-dynamics studies of  $Pb^{2+}$  adsorption onto new activated carbon prepared from Persian mesquite grain. *J Mol Liq* 219:482–492. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.03.031>
- [43] Sun Y, Li H, Li G et al (2016) Characterization and ciprofloxacin adsorption properties of activated carbons prepared from biomass wastes by  $H_3PO_4$  activation. *Bioresour Technol* 217:239– 244. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.047>

- [44] Altenor S, Carene B, Emmanuel E et al (2009) Adsorption studies of methylene blue and phenol onto vetiver roots activated carbon prepared by chemical activation. *J Hazard Mater* 165:1029–1039.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.133>
- [45] Liu Q-S, Zheng T, Li N et al (2010a) Modification of bamboo-based activated carbon using microwave radiation and its effects on the adsorption of methylene blue. *Appl Surf Sci* 256:3309–3315.  
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2009.12.025>
- [46] Attia AA, Girgis BS, Fathy NA (2008) Removal of methylene blue by carbons derived from peach stones by H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> activation: batch and column studies. *Dyes Pigm* 76:282–289. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2006.08.039>
- [47] Danish, M., Hashim, R., Mohamad Ibrahim, M.N., & Sulaiman, O. (2014). Response surface methodology approach for methyl orange dye removal using optimized *Acacia mangium* wood activated carbon. *Wood Science and Technology*, 48(5), 1085–1105. <https://doi.org/10.1007/s00226-014-0659-7>
- [48] พัชรภา กิติมา, ณัฐนันท์ เรือนคำจันทร์ และสุจินดา แสงสารวัต. 2564. การเปลี่ยนกลีเซอรอลให้เป็นโซลคิตอล. โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต, สาขาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.  
 [Patcharapa Kitima, Natthanan Ruenkhamchan and Sujinda Sangsarawatt. B.Sc. Special Project, Industrial Chemistry Program, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)]
- [49] Ahmed MJ, Theydan SK (2012) Physical and chemical characteristics of activated carbon prepared by pyrolysis of chemically treated date stones and its ability to adsorb organics. *Powder Technol* 229:237–245.  
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.06.043>
- [50] Başar CA (2006) Applicability of the various adsorption models of three dyes adsorption onto activated carbon prepared waste apricot. *J Hazard Mater* 135:232–241. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.11.055>
- [51] Spagnoli AA, Giannakoudakis DA, Bashkova S (2017) Adsorption of methylene blue on cashew nut shell based carbons activated with zinc chloride: the role of surface and structural parameters. *J Mol Liq* 229:465–471.  
<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.12.106>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [52] Zhang Z, Luo X, Liu Y et al (2015b) A low cost and highly efficient adsorbent (activated carbon) prepared from waste potato residue. *J Taiwan Inst Chem Eng* 49:206–211. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.11.024>
- [53] Gao J-j, Qin Y-b, Zhou T et al (2013a) Adsorption of methylene blue onto activated carbon produced from tea (*Camellia sinensis* L.) seed shells: kinetics, equilibrium, and thermodynamics studies. *J Zhejiang Univ Sci B* 14:650–658. <https://doi.org/10.1631/jzus.B12a0225>
- [54] Li Y, Du Q, Wang X et al (2010) Removal of lead from aqueous solution by activated carbon prepared from *Enteromorpha prolifera* by zinc chloride activation. *J Hazard Mater* 183:583–589. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.07.063>
- [55] Erdem M, Orhan R, Şahin M, Aydın E (2016) Preparation and characterization of a novel activated carbon from vine shoots by ZnCl<sub>2</sub> activation and investigation of its rifampicine removal capability. *Water Air Soil Pollut* 227:226. <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2929-5>
- [56] Kumar A, Jena HM (2016) Removal of methylene blue and phenol onto prepared activated carbon from Fox nutshell by chemical activation in batch and fixed-bed column. *J Clean Prod* 137:1246–1259. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.177>
- [57] Martins AC, Pezoti O, Cazetta AL et al (2015) Removal of tetracycline by NaOH-activated carbon produced from macadamia nut shells: kinetic and equilibrium studies. *Chem Eng J* 260:291–299. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.09.017>
- [58] Tseng R-L (2007) Physical and chemical properties and adsorption type of activated carbon prepared from plum kernels by NaOH activation. *J Hazard Mater* 147:1020–1027. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.140>
- [59] Youssef A, Ahmed A, El-Bana U (2012) Adsorption of cationic dye (MB) and anionic dye (AG 25) by physically and chemically activated carbons developed from rice husk. *Carbon Lett* 13:61–72. <https://doi.org/10.5714/CL.2012.13.2.061>
- [60] Xiaolan Song, Ying Zhang, Caimin Chang (2012) Novel Method for Preparing Activated Carbons with High Specific Surface Area from Rice Husk. <https://doi.org/10.1021/ie3012853>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [61] Norouzi S, Heidari M, Alipour V et al (2018) Preparation, characterization and Cr(VI) adsorption evaluation of NaOH-activated carbon produced from Date Press Cake; an agro-industrial waste. *Bioresour Technol* 258:48–56. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.106>
- [62] Sun Y, Yue Q, Gao B et al (2012) Preparation of activated carbon derived from cotton linter fibers by fused NaOH activation and its application for oxytetracycline (OTC) adsorption. *J Colloid Interface Sci* 368:521–527. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.10.067>
- [63] Pezoti O, Cazetta AL, Bedin KC et al (2016) NaOH-activated carbon of high surface area produced from guava seeds as a high-efficiency adsorbent for amoxicillin removal: kinetic, isotherm and thermodynamic studies. *Chem Eng J* 288:778–788. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.12.042>
- [64] Cazetta AL, Vargas AM, Nogami EM et al (2011) NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell: kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption. *Chem Eng J* 174:117–125. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.08.058>
- [65] Liu B, Gu J, Zhou J (2016) High surface area rice husk-based activated carbon prepared by chemical activation with ZnCl<sub>2</sub>–CuCl<sub>2</sub> composite activator. *Environ Prog Sustain Energy* 35:133–140. <https://doi.org/10.1002/ep.12215>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### 1. การเตรียมสารละลายสำหรับการศึกษาหมู่ฟังก์ชันกรดด้วยวิธี Boehm Titration

#### 1.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 โมลาร์

##### 1.1.1 อุปกรณ์

- 1.1.1.1 ปีกเกอร์ขนาด 250 mL 1 ใบ
- 1.1.1.2 ขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 mL 1 ขวด
- 1.1.1.3 กระจกตวงขนาด 100 mL 1 อัน
- 1.1.1.4 แท่งแก้วคนสาร
- 1.1.1.5 กระจกนํ้ากลั่น
- 1.1.1.6 หลอดหยด
- 1.1.1.7 ขวดสีชา

##### 1.1.2 สารเคมี

- 1.1.2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 1.1.2.2 นํ้ากลั่น

##### 1.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

- 1.1.3.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 4.000 กรัม ละลายด้วยนํ้ากลั่น 1000 มิลลิลิตร
- 1.1.3.2 เทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
- 1.1.3.3 ปรับปริมาตรด้วยนํ้ากลั่นจนถึงขีดปรับ
- 1.1.3.4 เทสารละลายเก็บใส่ขวดสีชา

#### 1.2 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.1 โมลาร์

##### 1.2.1 อุปกรณ์

- 1.2.1.1 ขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 mL 1 ขวด
- 1.2.1.2 กระจกตวงขนาด 10 mL 1 อัน
- 1.2.1.3 กระจกตวงขนาด 100 mL 1 อัน
- 1.2.1.4 แท่งแก้วคนสาร
- 1.2.1.5 กระจกนํ้ากลั่น
- 1.2.1.6 หลอดหยด
- 1.2.1.7 ขวดสีชา

##### 1.2.2 สารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 1.2.2.1 กรดไฮโดรคลอริก ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม 1.2.2.2 นํ้ากลั่น นื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

- 1.2.3.1 เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ในกระบอกตวง ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.2.3.2 ตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นประมาณ 8.3333 มิลลิลิตร ลงในกระบอกตวง
- 1.2.3.3 เทขวดลงในขวดปรับปริมาตรที่ใส่น้ำอยู่ อย่างระมัดระวังแล้วแกว่งเบาๆ เพื่อผสม
- 1.2.3.4 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น โดยใช้หลอดหยดใต้น้ำกลั่นไหลลงข้างๆขวดอย่างช้าๆ
- 1.2.3.5 ปล่อยให้กรดเย็นตัวลงที่อุณหภูมิต่ำ
- 1.2.3.6 เทสารละลายเก็บในขวดสีชา

### 1.3 สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0.05 โมลาร์

#### 1.3.1 อุปกรณ์

- 1.3.1.1 ขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 mL 1 ขวด
- 1.3.1.2 กระบอกตวงขนาด 100 mL 1 อัน
- 1.3.1.3 ปีกเกอร์ขนาด 250 mL 1 ใบ
- 1.3.1.4 แท่งแก้วคนสาร
- 1.3.1.5 กระบอกน้ำกลั่น
- 1.3.1.6 หลอดหยด
- 1.3.1.7 ขวดสีชา

#### 1.3.2 สารเคมี

- 1.3.2.1 โซเดียมไบคาร์บอเนต
- 1.3.2.2 น้ำกลั่น

#### 1.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

- 1.3.3.1 ชั่งโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) 4.2000 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร
- 1.3.3.2 เทสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
- 1.3.3.3 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปรับ
- 1.3.3.4 เทสารละลายเก็บในขวดสีชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน

### 2.1 สารละลายไอโอดีน ( $I_2$ ) 0.04728 นอร์มัล

#### 2.1.1 อุปกรณ์

- 2.1.1.1 ขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 mL 1 ขวด
- 2.1.1.2 ปีกเกอร์ขนาด 250 mL 1 ใบ
- 2.1.1.3 ปีกเกอร์ขนาด 50 mL 1 ใบ
- 2.1.1.4 กระจกตวงขนาด 100 mL 1 อัน
- 2.1.1.5 ฟอยล์
- 2.1.1.6 แท่งแก้วคนสาร
- 2.1.1.7 กระจกนํ้ากลั่น
- 2.1.1.8 หลอดหยด
- 2.1.1.9 ขวดสีชา
- 2.1.1.10 แท่งแม่เหล็กขนาด 2.5 cm 1 แท่ง
- 2.1.1.11 เครื่องกวนแม่เหล็กชนิดให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิได้

#### 2.1.2 สารเคมี

- 2.1.2.1 ไอโอดีน
- 2.1.2.2 โพแทสเซียมไอโอไดด์
- 2.1.2.3 นํ้ากลั่น

#### 2.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

- 2.1.3.1 ชั่งไอโอดีน ( $I_2$ )  $6.00 \pm 0.0035$  กรัม ลงในปีกเกอร์ขนาด 50 mL
- 2.1.3.2 เทไอโอดีนที่ชั่งแล้วใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร (ห่อด้วยฟอยล์เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาของไอโอดีนกับแสง) เติมนํ้ากลั่นประมาณ 300 มิลลิลิตร
- 2.1.3.3 ใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร ปิดจุก และปั่นกวนสาร 15 นาที
- 2.1.3.4 ชั่งโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)  $57 + 0.01$  กรัม ลงในปีกเกอร์ขนาด 250 mL เติมนํ้ากลั่นใส่ปีกเกอร์ ใช้แท่งแก้วคนสารละลายจนโพแทสเซียมไอโอไดด์ละลายหมด
- 2.1.3.5 เทสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ลงในขวดปรับปริมาตรที่มีสารละลายไอโอดีนอยู่ ใช้นํ้ากลั่นล้างสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่เหลือในปีกเกอร์
- 2.1.3.6 ปั่นกวนสารต่ออีก 2 ชั่วโมง นำแท่งแม่เหล็กกวนสารออก และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมเห็นสมควรขอคืนเอกสารค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องยืมของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้

## 2.2 สารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) 0.0394 นอร์มัล

### 2.2.1 อุปกรณ์

- 2.2.1.1 ขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 mL 1 ขวด
- 2.2.1.2 ปีกเกอร์ขนาด 100 mL 1 ใบ
- 2.2.1.3 กระจกตวงขนาด 10 mL 1 อัน
- 2.2.1.4 กระจกตวงขนาด 100 mL 1 อัน
- 2.2.1.5 กรวยแก้ว
- 2.2.1.6 กระจกน้ำกลั่น
- 2.2.1.7 หลอดหยด
- 2.2.1.8 ขวดสีชา
- 2.2.1.9 แท่งแม่เหล็กขนาด 2.5 cm 1 แท่ง
- 2.2.1.10 เครื่องกวนแม่เหล็กชนิดให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิได้

### 2.2.2 สารเคมี

- 2.2.2.1 โซเดียมไรโอซัลเฟต
- 2.2.2.2 n-Amyl Alcohol
- 2.2.2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 2.2.2.4 น้ำกลั่น

### 2.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

- 2.2.3.1 เติมน้ำกลั่นประมาณ 200 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร 1 ลิตร
- 2.2.3.2 ชั่งโซเดียมไรโอซัลเฟต 7.8250 กรัม ลงในปีกเกอร์ขนาด 100 mL แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นผ่านกรวยใส่ลงในขวดปรับปริมาตร
- 2.2.3.3 เติม n-Amyl Alcohol 4 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นอีกประมาณ 700 มิลลิลิตร
- 2.2.3.4 เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2-3 เกล็ด
- 2.2.3.5 ใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร ปิดจุก และปั่นกวนสาร 2 ชั่วโมง
- 2.2.3.6 นำแท่งแม่เหล็กกวนสารออก และปรับปริมาตรสารละลายจนถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำกลั่น คว่าขวด 2-3 ครั้ง
- 2.2.3.7 เทสารละลายเก็บในขวดสีชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต ( $KIO_3$ ) 0.0394 นอร์มัล

### 2.3.1 อุปกรณ์

- 2.3.1.1 ตู้อบ
- 2.3.1.2 ขวดปรับปริมาตรขนาด 500 mL 1 ขวด
- 2.3.1.3 กระจกตวงขนาด 100 mL 1 อัน
- 2.3.1.4 ปีกเกอร์ขนาด 250 mL 1 ใบ
- 2.3.1.5 ปีกเกอร์ขนาด 50 mL 1 ใบ
- 2.3.1.6 โถดูดความชื้น
- 2.3.1.7 กระจกนาฬิกา
- 2.3.1.8 กระจกนํ้ากลั่น
- 2.3.1.9 หลอดหยด
- 2.3.1.10 ขวดสีชา

### 2.3.2 สารเคมี

- 2.3.2.1 โพแทสเซียมไอโอเดต
- 2.3.2.2 โพแทสเซียมไอโอไดด์
- 2.3.2.3 นํ้ากลั่น

### 2.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

- 2.3.3.1 อบแห้งโพแทสเซียมไอโอเดต ( $KIO_3$ ) ในปริมาณที่เพียงพอเป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้อุณหภูมิเย็นลงในโถดูดความชื้น
- 2.3.3.2 ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 22.5 กรัม ในนํ้ากลั่นประมาณ 100 มิลลิลิตร ที่บรรจุอยู่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร
- 2.3.3.3 ชั่งโพแทสเซียมไอโอเดต ( $KIO_3$ ) ที่อบแล้ว 0.7027 กรัม ลงในปีกเกอร์ขนาด 50 mL แล้วผสมกับนํ้ากลั่น เติมลงในขวดปรับปริมาตร
- 2.3.3.4 ปรับปริมาตรสารละลายจนถึงขีดบอกปริมาตรด้วยนํ้ากลั่น  
คว่ำขวด 2-3 ครั้ง
- 2.3.3.5 เทสารละลายเก็บในขวดสีชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 กรดซัลฟิวริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ความเข้มข้น 10%

### 2.4.1 อุปกรณ์

- 2.4.1.1 ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 mL 1 ขวด
- 2.4.1.2 กระจกบอกลงขนาด 25 mL 1 อัน
- 2.4.1.3 กระจกบอกลงขนาด 100 mL 1 อัน
- 2.4.1.4 กระจกบอกลงน้ำกลั่น
- 2.4.1.5 หลอดหยด
- 2.4.1.6 ขวดสีชา

### 2.4.2 สารเคมี

- 2.4.2.1 กรดซัลฟิวริก
- 2.4.2.2 น้ำกลั่น

### 2.4.3 ขั้นตอนการทดลอง

- 2.4.3.1 เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ลงในกระจกบอกลง จากนั้นเทใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.4.3.2 ตวงกรดซัลฟิวริกเข้มข้นประมาณ 25 มิลลิลิตร ลงในกระจกบอกลง
- 2.4.3.3 เทกรดลงในขวดปรับปริมาตรที่ใส่น้ำอยู่ อย่างระมัดระวังแล้วแกว่งเบาๆ เพื่อผสม
- 2.4.3.4 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น โดยใช้หลอดหยดให้น้ำกลั่นไหลลงข้างๆ ขวดอย่างช้าๆ
- 2.4.3.5 ปล่อยให้กรดเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
- 2.4.3.6 เทสารละลายเก็บในขวดสีชา

## 2.5 น้ำแป้ง

### 2.5.1 อุปกรณ์

- 2.5.1.1 ปีกเกอร์ขนาด 600 mL 1 ใบ
- 2.5.1.2 ปีกเกอร์ขนาด 100 mL 1 ใบ
- 2.5.1.3 กระจกบอกลงขนาด 100 mL 1 อัน
- 2.5.1.4 แท่งแก้วคนสาร
- 2.5.1.5 ซ้อนตักสาร
- 2.5.1.6 เครื่องกวนแม่เหล็กชนิดให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.2 สารเคมี

- 2.5.2.1 แป้งมัน
- 2.5.2.2 น้ำกลั่น
- 2.5.2.3 โทลูอีน
- 2.5.2.4 พาราฟิล์ม

## 2.5.3 ขั้นตอนการทดลอง

- 2.5.3.1 ต้มน้ำปริมาณ 350 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 600 L ให้เดือด
- 2.5.3.2 ชั่งแป้ง 5 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 mL ผสมน้ำกลั่นปริมาณ 50 มิลลิลิตร และคนให้ละลาย
- 2.5.3.3 เทน้ำแป้งลงในน้ำที่เดือดอย่างช้า ๆ และคนตลอดเวลาจนน้ำแป้งใส
- 2.5.3.4 ปล่อยให้แป้งเย็นลง
- 2.5.3.5 ใส่โทลูอีน 2 หยด ปิดพาราฟิล์มทิ้งไว้ 1 คืน

## 3. การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์ GC-FID

### 3.1 พิกของสารมาตรฐาน (Standard Sample)

#### 3.1.1 อุปกรณ์

- 3.1.1.1 ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 mL
- 3.1.1.2 ขวดสำหรับใส่สารที่จะนำไปตรวจวิเคราะห์ (Vial)
- 3.1.1.3 เข็ม (Syringe) ขนาด 1 ML หรือไมโครปิเปต
- 3.1.1.4 เข็มสำหรับฉีดสารเข้าเครื่อง GC (GC-Syringe) ขนาด 10 ( $\mu$ L)

#### 3.1.2 สารเคมี

- 3.1.2.1 กลีเซอรอล
- 3.1.2.2 แอซีโตน
- 3.1.2.3 เอทานอล
- 3.1.2.4 1,4-dioxane (Internal Standard)
- 3.1.2.5 โซลคิตอลมาตรฐาน

#### 3.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

- 3.1.3.1 นำกลีเซอรอลมาเจือจาง โดยใช้ปริมาณกลีเซอรอล 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตรเจือจางด้วยเอทานอลจนถึงขีดปรับปริมาตร
- 3.1.3.2 นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID ขวดละ 1 ไมโครลิตร
- 3.1.3.3 ทำซ้ำโดยเปลี่ยนเป็นแอซีโตน 1,4-dioxane และโซลคิตอลมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ค่า Response factor

#### 3.2.1 อุปกรณ์

- 3.2.1.1 ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 mL
- 3.2.1.2 ขวดสำหรับใส่สารที่จะนำไปตรวจวิเคราะห์ (Vial)
- 3.2.1.3 เข็ม (Syringe) ขนาด 1 mL หรือไมโครปิเปต
- 3.2.1.4 เข็มสำหรับฉีดสารเข้าเครื่อง GC (GC-Syringe) ขนาด 10 ( $\mu$ l)

#### 3.2.2 สารเคมี

- 3.2.2.1 กลีเซอรอล
- 3.2.2.2 โคลคีตอลมาตรฐาน
- 3.2.2.3 1,4-dioxane (Internal Standard)

#### 3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

- 3.2.3.1 ชั่งกลีเซอรอล 0.1 กรัม ผสมกับโคลคีตอลมาตรฐาน 0.1 กรัม ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นเจือจางด้วย เอทานอลจนถึงขีดปรับปริมาตร
- 3.2.3.2 ปิเปตสารละลายที่เจือจางแล้วมา 0.8 มิลลิลิตร ใส่ในขวด Vial แล้วเติม 1,4-dioxane ที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน 0.2 มิลลิลิตร
- 3.2.3.3 นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID ขวดละ 1 ไมโครลิตร

### 3.3 สารตั้งต้น (Feed)

#### 3.3.1 อุปกรณ์

- 3.3.1.1 ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 mL
- 3.3.1.2 ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3.3.1.3 ขวดสำหรับใส่สารที่จะนำไปตรวจวิเคราะห์ (Vial)
- 3.3.1.4 เข็ม (Syringe) ขนาด 1 mL หรือไมโครปิเปต
- 3.3.1.5 เข็มสำหรับฉีดสารเข้าเครื่อง GC (GC-Syringe) ขนาด 10 ( $\mu$ l)

#### 3.3.2 สารเคมี

- 3.3.2.1 กลีเซอรอล
- 3.3.2.2 เอทานอล
- 3.3.2.3 1,4-dioxane (Internal Standard)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

- 3.3.3.1 ชั่งกลีเซอรอล 18.42 กรัม ผสมกับเอทานอล 36.86 กรัม  
ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วน 1:4 ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3.3.3.2 นำสารที่ผสมแล้วปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด  
10 มิลลิลิตร เจือจางด้วยเอทานอลจนถึงขีดปรับปริมาตร
- 3.3.3.3 ปิเปตสารละลายที่เจือจางแล้วมา 0.8 มิลลิลิตร ใส่ในขวด Vial  
แล้วเติม 1,4-dioxane ที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน 0.2 มิลลิลิตร
- 3.3.3.4 นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC -FID ขวดละ 1 ไมโครลิตร

### 3.4 สารผลิตภัณฑ์ (Product)

#### 3.4.1 อุปกรณ์

- 3.4.1.1 ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 mL
- 3.4.1.2 ขวดสำหรับใส่สารที่จะนำไปตรวจวิเคราะห์
- 3.4.1.3 เข็ม (Syringe) ขนาด 1 mL หรือไมโครปิเปต
- 3.4.1.4 เข็มสำหรับฉีดสารเข้าเครื่อง GC (GC-Syringe) ขนาด 10 ( $\mu$ l)

#### 3.4.2 สารเคมี

- 3.4.2.1 เอทานอล
- 3.4.2.2 1,4-dioxane (Internal Standard)
- 3.4.2.3 ตัวอย่างสารที่สังเคราะห์

#### 3.4.3 ขั้นตอนการทดลอง

- 3.4.3.1 นำสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้มาเจือจาง โดยใช้ปริมาณสาร  
ตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร  
เจือจางด้วยเอทานอลจนถึงขีดปรับปริมาตร
- 3.4.3.2 ปิเปตสารละลายที่เจือจางแล้วมา 0.8 มิลลิลิตร ใส่ในขวด Vial  
แล้วเติม 1,4-dioxane ที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน 0.2 มิลลิลิตร
- 3.4.3.3 นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID ขวดละ 1 ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้ GC-FIR จะใช้สภาวะในกรวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ ก.1

**ตารางที่ ก.1** สภาวะที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ GC-FID

Gas Chromatography	
Detector	FID
Colume	RTx-5
- Colume Material	Polyethylene glycol (PEG)
- Length (m)	30
- Inner Diameter (mm)	0.250
- Film Thickness (µm)	0.250
- Maximum Temperature (° C)	250
Carrier Gas	He
Carrier Gas Flow (mL/min)	1.1
Colume Temperature	
- Initial (° C)	60 (maintained for 4.8 min)
- Final (° C)	260 (maintained for 25.13 min)
- Rate (° C/min)	20
Injector Temperature (° C)	260
Detector Temperature (° C)	50
Analyzed Compounds	Glycerol, Solketal, Ethanol, 1,4-dioxane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลจากผลการทดลองการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์หลังเผา

ตัวอย่าง	น้ำหนักตัวอย่าง	Tapped Density (g/mL)
RH-KOH 1:1 600C	0.8424	1.64
RH-KOH 1:4 600C	0.9141	0.20
RH-KOH 1:1 800C	0.8227	2.03
RH-KOH 1:4 800C	0.8766	0.95
RH-CuCl <sub>2</sub> 1:1 600C	0.8163	2.16
RH-CuCl <sub>2</sub> 1:4 600C	0.9055	0.38
RH-CuCl <sub>2</sub> 1:1 800C	0.8324	1.84
RH-CuCl <sub>2</sub> 1:4 800C	0.9161	0.16
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 1:1 600C	0.7734	3.02
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 1:4 600C	0.7696	3.09
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 1:1 800C	0.8847	0.79
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 1:4 800C	0.8817	0.85

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลจากผลการทดลองการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันกรดรวมโดยใช้ Boehm titration วิธีทางตรง (Direct Titration)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	สเกลบิวเรตเริ่มต้น (mL)	สเกลบิวเรต สิ้นสุด (mL)	ปริมาณ HCl ที่ใช้ (mL)	Total acid sites (mmol/g)
RH	1	0.2045	0.00	11.50	11.50	0.85
	2	0.2045	0.00	11.50	11.50	0.85
					เฉลี่ย	<b>0.85</b>
RH-Treated	1	0.2035	0.00	11.30	11.30	1.05
	2	0.2035	0.00	11.20	11.20	1.15
					เฉลี่ย	<b>1.10</b>
RH-KOH 1:1 600C	1	0.2008	0.00	10.90	10.90	1.47
	2	0.2008	0.00	11.00	11.00	1.37
					เฉลี่ย	<b>1.42</b>
RH-KOH 1:4 600C	1	0.2016	0.00	11.30	11.30	1.16
	2	0.2016	0.00	11.20	11.20	1.16
					เฉลี่ย	<b>1.16</b>
RH-KOH 1:1 800C	1	0.2024	0.00	10.50	10.50	1.86
	2	0.2024	0.00	10.40	10.40	1.96
					เฉลี่ย	<b>1.91</b>

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) ข้อมูลจากผลการทดลองการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันกรดรวมโดยใช้ Boehm titration วิธีทางตรง (Direct Titration)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	สเกลบิวเรตเริ่มต้น (mL)	สเกลบิวเรตสุดท้าย (mL)	ปริมาณ HCl ที่ใช้ (mL)	Total acid sites (mmol/g)
RH-KOH 1:4 800C	1	0.2012	0.00	11.00	11.00	1.36
	2	0.2012	0.00	11.30	11.30	1.07
					เฉลี่ย	<b>1.22</b>
RH-CuCl <sub>2</sub> 1:1 600C	1	0.2011	0.00	10.50	10.50	1.87
	2	0.2011	0.00	11.00	11.00	1.37
					เฉลี่ย	<b>1.62</b>
RH-CuCl <sub>2</sub> 1:4 600C	1	0.2015	0.00	10.80	10.80	1.57
	2	0.2015	0.00	11.00	11.00	1.37
					เฉลี่ย	<b>1.47</b>
RH-CuCl <sub>2</sub> 1:1 800C	1	0.2002	0.00	10.50	10.50	1.88
	2	0.2002	0.00	10.50	10.50	1.88
					เฉลี่ย	<b>1.88</b>
RH-CuCl <sub>2</sub> 1:4 800C	1	0.2023	0.00	10.30	10.30	2.06
	2	0.2023	0.00	10.30	10.30	2.06
					เฉลี่ย	<b>2.06</b>

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) ข้อมูลจากผลการทดลองการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันกรดรวมโดยใช้ Boehm titration วิธีทางตรง (Direct Titration)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	สเกลบิวเรตเริ่มต้น (mL)	สเกลบิวเรต สุดท้าย (mL)	ปริมาณ HCl ที่ใช้ (mL)	Total acid sites (mmol/g)
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 1:1 600C	1	0.2004	0.00	11.00	10.90	1.37
	2	0.2004	0.00	10.50	11.00	1.88
					เฉลี่ย	<b>1.63</b>
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 1:4 600C	1	0.2022	0.00	11.30	11.50	0.86
	2	0.2022	0.00	11.20	11.00	1.36
					เฉลี่ย	<b>1.11</b>
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 1:1 800C	1	0.2028	0.00	10.50	11.30	1.06
	2	0.2028	0.00	10.40	11.00	1.36
					เฉลี่ย	<b>1.21</b>
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 1:4 800C	1	0.2012	0.00	11.00	11.00	1.37
	2	0.2012	0.00	11.30	11.00	1.37
					เฉลี่ย	<b>1.37</b>
AC-KOH/H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:1 800C	1	0.2012	0.00	9.80	9.80	2.58
	2	0.2012	0.00	9.90	9.90	2.48
					เฉลี่ย	<b>2.53</b>

ตารางที่ ข.5 (ต่อ) ข้อมูลจากผลการทดลองการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันกรดรวมโดยใช้ Boehm titration วิธีทางตรง (Direct Titration)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	สเกลบิวเรตเริ่มต้น (mL)	สเกลบิวเรต สิ้นสุด (mL)	ปริมาณ HCl ที่ใช้ (mL)	Total acid sites (mmol/g)
AC-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:4 600C	1	0.2033	0.00	9.40	9.40	2.94
	2	0.2033	0.00	9.30	9.30	3.04
					เฉลี่ย	<b>2.99</b>
AC-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:4 800C	1	0.2017	0.00	9.00	9.00	3.37
	2	0.2017	0.00	8.90	8.90	3.47
					เฉลี่ย	<b>3.42</b>

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลจากผลการทดลองการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันกรดแก่โดยใช้ Boehm titration วิธีทางตรง (Direct Titration)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	สเกลบิวเรตเริ่มต้น (mL)	สเกลบิวเรตสุดท้าย (mL)	ปริมาณ HCl ที่ใช้ (mL)	Total acid sites (mmol/g)
RH	1	0.2100	0.00	5.60	5.60	0.55
	2	0.2100	0.00	5.50	5.20	0.65
					เฉลี่ย	<b>0.60</b>
RH-Treated	1	0.2115	0.00	5.70	5.70	0.45
	2	0.2115	0.00	5.80	5.80	0.36
					เฉลี่ย	<b>0.40</b>
RH-KOH 1:1 600C	1	0.2037	0.00	5.60	5.60	0.57
	2	0.2037	0.00	5.40	5.40	0.77
					เฉลี่ย	<b>0.67</b>
RH-KOH 1:4 600C	1	0.2024	0.00	5.60	5.60	0.58
	2	0.2024	0.00	5.70	5.70	0.48
					เฉลี่ย	<b>0.53</b>
RH-KOH 1:1 800C	1	0.2015	0.00	5.10	5.10	1.08
	2	0.2015	0.00	5.00	5.00	1.18
					เฉลี่ย	<b>1.13</b>

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลจากผลการทดลองการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันกรดแก่โดยใช้ Boehm titration วิธีทางตรง (Direct Titration)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	สเกลบิวเรตเริ่มต้น (mL)	สเกลบิวเรตสุดท้าย (mL)	ปริมาณ HCl ที่ใช้ (mL)	Total acid sites (mmol/g)
RH-KOH 1:4 800C	1	0.2011	0.00	5.20	5.20	0.98
	2	0.2011	0.00	5.30	5.30	0.88
					เฉลี่ย	<b>0.93</b>
RH-CuCl <sub>2</sub> 1:1 600C	1	0.2025	0.00	5.50	5.50	1.07
	2	0.2025	0.00	5.60	5.60	1.07
					เฉลี่ย	<b>1.07</b>
RH-CuCl <sub>2</sub> 1:4 600C	1	0.2005	0.00	5.10	5.10	1.19
	2	0.2005	0.00	5.00	5.00	1.19
					เฉลี่ย	<b>1.19</b>
RH-CuCl <sub>2</sub> 1:1 800C	1	0.2019	0.00	5.30	5.30	0.88
	2	0.2019	0.00	5.40	5.40	0.78
					เฉลี่ย	<b>0.83</b>
RH-CuCl <sub>2</sub> 1:4 800C	1	0.2032	0.00	5.10	5.10	1.17
	2	0.2032	0.00	5.10	5.10	1.17
					เฉลี่ย	<b>1.17</b>

ตารางที่ ข.8 (ต่อ) ข้อมูลจากผลการทดลองการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันกรดแก่โดยใช้ Boehm titration วิธีทางตรง (Direct Titration)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	สเกลบิวเรตเริ่มต้น (mL)	สเกลบิวเรตสุดท้าย (mL)	ปริมาณ HCl ที่ใช้ (mL)	Total acid sites (mmol/g)
RH-CuCl <sub>2</sub> 1:1 800C	1	0.2019	0.00	5.30	5.30	0.88
	2	0.2019	0.00	5.40	5.40	0.78
					เฉลี่ย	<b>0.83</b>
RH-CuCl <sub>2</sub> 1:4 800C	1	0.2032	0.00	5.10	5.10	1.17
	2	0.2032	0.00	5.10	5.10	1.17
					เฉลี่ย	<b>1.17</b>
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 1:1 600C	1	0.2048	0.00	5.50	5.50	0.67
	2	0.2048	0.00	5.70	5.70	0.57
					เฉลี่ย	<b>0.62</b>
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 1:4 600C	1	0.2008	0.00	5.40	5.40	0.78
	2	0.2008	0.00	5.60	5.60	0.58
					เฉลี่ย	<b>0.68</b>
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 1:1 800C	1	0.2025	0.00	5.00	5.00	1.17
	2	0.2025	0.00	5.00	5.00	1.17
					เฉลี่ย	<b>1.17</b>

ตารางที่ ข.9 (ต่อ) ข้อมูลจากผลการทดลองการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันกรดแก่โดยใช้ Boehm titration วิธีทางตรง (Direct Titration)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	สเกลบิวเรตเริ่มต้น (mL)	สเกลบิวเรต สิ้นสุด (mL)	ปริมาณ HCl ที่ใช้ (mL)	Total acid sites (mmol/g)
RH-H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 1:4 800C	1	0.2015	0.00	5.10	5.10	1.08
	2	0.2015	0.00	5.00	5.00	1.18
					เฉลี่ย	1.17
AC-KOH/H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:1 600C	1	0.2009	0.00	4.70	4.70	1.49
	2	0.2009	0.00	4.70	4.70	1.49
					เฉลี่ย	1.49
AC-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:4 600C	1	0.2018	0.00	4.40	4.40	1.79
	2	0.2018	0.00	4.50	4.50	1.69
					เฉลี่ย	1.74
AC-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:4 800C	1	0.2021	0.00	4.20	4.20	1.99
	2	0.2021	0.00	4.10	4.10	2.09
					เฉลี่ย	2.04

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลจากการวิเคราะห์หาค่า Response factor ของโซลคิตอลโดยใช้ GC-FID

ครั้งที่	พื้นที่ใต้พีค				อัตราส่วนของโซลคิตอล (Response factor)
	Ethanol	1,4-dioxane	Solketal	Glycerol	
1	4542170	1281164	87349	30206	2.891776
2	2791852	1286095	88911	27142	3.312651
3	2305749	1249661	89037	27488	3.239122
				เฉลี่ย	3.147897

ตารางที่ ข.11 ข้อมูลจากการวิเคราะห์หาอัตราส่วนของกลีเซอรอลในสารตั้งต้น (Feed) โดยใช้ GC-FID

ครั้งที่	พื้นที่ใต้พีค			อัตราส่วนของกลีเซอรอล
	Ethanol	1,4-dioxane	Glycerol	
1	4507874	1361023	117062	0.086010
2	2699150	1338115	112931	0.084839
			เฉลี่ย	0.085425

ตารางที่ ข.12 ข้อมูลจากการวิเคราะห์หาอัตราส่วนของโซลคิตอลและกลีเซอรอลในสารผลิตภัณฑ์ (Product) โดยใช้ GC-FID

ตัวอย่าง	ครั้งที่	พื้นที่ใต้พีค				อัตราส่วนของ โซลคิตอล	อัตราส่วนของ กลีเซอรอล	อัตราส่วนรวม
		Ethanol	1,4-dioxane	Solketal	Glycerol			
S-Reactant	1	4247853	1228974	158839	51948	0.041736	0.042969	0.084705
	2	4156755	1250891	163465	52957	0.042190	0.040829	0.083019
S-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	4301227	1197084	224955	20844	0.059696	0.017412	0.077108
	2	4268682	1174908	215390	19012	0.059393	0.016182	0.075575

ตารางที่ ข.13 ข้อมูลจากการวิเคราะห์หาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกลีเซอรอล ค่าร้อยละการเลือกเกิดของโซลคิตอล และค่าร้อยละผลผลิตของโซลคิตอล โดยใช้ GC-FID

ตัวอย่าง	ครั้งที่	พื้นที่ใต้พีคของสารตั้งต้น (Feed)			พื้นที่ใต้พีคของผลิตภัณฑ์ (Product)				Conversion (%)	Selectivity (%)	Yield (%)
		Ethanol	1,4- dioxane	Glycerol	Ethanol	1,4- dioxane	Solketal	Glycerol			
S-Reactant	1	4507874	1351023	109962	4247853	1208974	158839	51948	50.04	96.96	48.52
	2	2699150	1349115	108461	4156755	1230891	163465	52957	51.87	95.86	49.72
เฉลี่ย									50.96	96.41	49.12
S-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	4507874	1351023	109962	4301227	1197084	224955	20844	83.50	86.94	72.60
	2	2699150	1349115	108461	4268682	1174908	219539	19012	82.18	86.50	71.09
เฉลี่ย									82.84	86.72	71.85

## ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณค่าการดูดซับไอโอดีน

1. คำนวณการความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ )

$$N = 20(0.0394)/T$$

โดย N = จำนวนกรัมสมมูล

T = ปริมาตรการไทเทรต ( $\text{cm}^3$ )

ตารางที่ ค.1 ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาความเข้มข้นที่แน่นอน

ครั้งที่ 1	สเกลบิวเรตเริ่มต้น (mL)	สเกลบิวเรตสุดท้าย (mL)	ปริมาตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ (mL)
1	0.00	25.3	25.3
2	0.00	25.9	25.9
3	0.00	25.8	25.8
		เฉลี่ย	2.67

$$\text{จาก } N = 20(0.0397)/T$$

$$N = 20(0.0397)/(25.67)$$

$$N = 0.0307$$

ดังนั้น สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.0307 นอร์มัล

2. คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของไอโอดีน ( $\text{I}_2$ )

$$N = (\text{ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตในหน่วยนอร์มัล})T/20$$

โดย N = จำนวนกรัมสมมูล

T = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ (mL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของไอโอดีน

ครั้งที่ 1	สเกลบิวเรตเริ่มต้น (mL)	สเกลบิวเรตสุดท้าย (mL)	ปริมาตร Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ที่ใช้ (mL)
1	0.00	24.3	24.3
2	0.00	23.1	23.1
3	0.00	23.3	23.3
เฉลี่ย			23.57

จาก  $N = (\text{ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตในหน่วยนอร์มัล})T/20$

$$N = (0.0307) (23.57)/20$$

$$N = 0.0362$$

ดังนั้น สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.0362 นอร์มัล

3. คำนวณแบลงค์ของสารละลายไอโอดีน (I<sub>2</sub>)

ตารางที่ ค.3 ปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาแบลงค์ของสารละลายไอโอดีน

ครั้งที่ 1	สเกลบิวเรตเริ่มต้น (mL)	สเกลบิวเรตสุดท้าย (mL)	ปริมาตร Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ที่ใช้ (mL)
1	0.00	22.2	22.0
2	0.00	23.2	23.2
3	0.00	23.6	23.6
เฉลี่ย			22.93

ดังนั้น ค่าแบลงค์ของสารละลายไอโอดีนเฉลี่ย 22.93 มิลลิลิตร

4. คำนวณหาค่า Iodine Number

$$I = [(B-S)/B] \times (V/W) \times N \times 126.91$$

โดย I = จำนวนการดูดซับไอโอดีน กรัมของไอโอดีน/กิโลกรัมของ

ตัวอย่าง เขียนเป็น กรัม/กิโลกรัม

B = ปริมาณของโซเดียมไธโอซัลเฟต (cm<sup>3</sup>) สำหรับแบลงค์

S = ปริมาณของโซเดียมไธโอซัลเฟต (cm<sup>3</sup>) สำหรับตัวอย่าง

V = ปริมาตรที่ปรับเทียบ (calibrate) ของปิเปต 25 cm<sup>3</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$W$  = น้ำหนักของตัวอย่าง (g)

$N$  = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน ( $\text{mg}/\text{cm}^3$ )

$126.91$  = น้ำหนักสมมูลของไอโอดีน ( $\text{mg}/\text{meq}$ )

### ตัวอย่างการคำนวณค่าการดูดซับไอโอดีน

น้ำหนักถ่านตัวอย่าง RH-KOH = 0.5034 กรัม

ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ = 5.7 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{จำนวนการดูดซับไอโอดีน} &= [(22.93-5.7)/22.93] \times (25/0.5034) \times 0.0362 \times 126.91 \\ &= 171.44 \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าการดูดซับไอโอดีนของตัวอย่างถ่านกัมมันต์ RH-KOH เท่ากับ 171.44 มิลลิกรัมต่อกรัม

### ตัวอย่างการคำนวณหาหมู่ฟังก์ชันกรดโดยใช้ Boehm titration

#### 1. คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

$$\frac{g(\text{KHP})}{\text{MW}(\text{KHP})} = \frac{CV}{1000}$$

โดย  $g$  = น้ำหนักของโพแทสเซียมไฮดรเจนพทาเลต (g)

$\text{MW}$  = มวลโมเลกุลของโพแทสเซียมไฮดรเจนพทาเลต ( $\text{g}/\text{mol}$ )

$C$  = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรเจนพทาเลต ( $\text{mol}/\text{L}$ )

$V$  = ปริมาตรของโพแทสเซียมไฮดรเจนพทาเลตที่เตรียม ( $\text{mL}$ )

$$C_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} = C_{\text{KHP}} \times V_{\text{KHP}}$$

โดย  $C_{\text{NaOH}}$  = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{mol}/\text{L}$ )

$V_{\text{NaOH}}$  = ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต ( $\text{mL}$ )

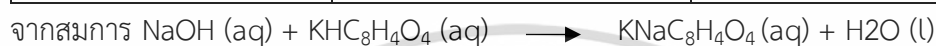
$C_{\text{KHP}}$  = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรเจนพทาเลต ( $\text{mol}/\text{L}$ )

$V_{\text{KHP}}$  = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรเจนพทาเลตที่นำมาไทเทรต ( $\text{mL}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต

ครั้งที่	น้ำหนัก KHP (g)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (mL)
1	2.1112	10.10
2	2.1112	10.10
3	2.1112	10.10
เฉลี่ย	2.1112	10.10



พบว่า 1 mol ของ KHP ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 1 mol ของ NaOH

$$\text{จาก } \frac{g(\text{KHP})}{\text{MW}(\text{KHP})} = \frac{CV}{1000}$$

$$\frac{2.1112}{204.22} = \frac{c(1000)}{1000}$$

$$C_{\text{KHP}} = 0.1034$$

$$C_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} = C_{\text{KHP}} \times V_{\text{KHP}}$$

$$C_{\text{NaOH}} \times 10.10 = 0.1034 \times 10$$

$$C_{\text{NaOH}} = 0.1024$$

ดังนั้น ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.1024 โมลาร์

## 2.คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

$$C_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} = C_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}}$$

โดย  $C_{\text{NaOH}}$  = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (mol/L)

$V_{\text{NaOH}}$  = ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)

$C_{\text{HCl}}$  = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (mol/L)

$V_{\text{HCl}}$  = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่นำมาไทเทรต (mL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต

ครั้งที่	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (mL)
1	9.40
2	9.20
3	9.10
เฉลี่ย	9.23

จาก  $C_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} = C_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}}$   
 $0.1024 \times 9.23 = C_{\text{HCl}} \times 10$   
 $C_{\text{HCl}} = 0.0945$

ดังนั้น ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 0.0945 โมลาร์

### 3. คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ )

$$C_{\text{NaHCO}_3} \times V_{\text{NaHCO}_3} = C_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}}$$

โดย  $C_{\text{NaHCO}_3}$  = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (mol/L)

$V_{\text{NaHCO}_3}$  = ปริมาตรของโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ใช้ในการไทเทรต (mL)

$C_{\text{HCl}}$  = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (mol/L)

$V_{\text{HCl}}$  = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่นำมาไทเทรต (mL)

ตารางที่ ค.6 ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต

ครั้งที่	ปริมาตร HCl ที่ใช้ (mL)
1	5.6
2	5.6
3	5.6
เฉลี่ย	5.63

$$C_{\text{NaHCO}_3} \times V_{\text{NaHCO}_3} = C_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}}$$

$$C_{\text{NaHCO}_3} \times 10 = 0.0945 \times 5.63$$

$$C_{\text{NaHCO}_3} = 0.0532$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ดังนั้น ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตเท่ากับ 0.0532 โมลาร์

#### 4. คำนวณหาหมู่ฟังก์ชันกรดรวม

$$N_{\text{CSF}} = ([\text{B}] \times V_{\text{B}}) - ([\text{HCl}] \times V_{\text{HCl}}) \times (V_{\text{B}}/V_{\text{a}})$$

โดยที่  $N_{\text{CSF}}$  = ปริมาณของหมู่ฟังก์ชันที่เกาะอยู่บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์

$[\text{B}]$  = ความเข้มข้นของเบสที่ผสมกับถ่านกัมมันต์

$V_{\text{B}}$  = ปริมาตรของเบสที่ผสมกับถ่านกัมมันต์

$V_{\text{a}}$  = ปริมาณของส่วนแบ่งที่นำมาจาก  $V_{\text{B}}$

$V_{\text{HCl}}$  = ปริมาตรของกรดที่เติมไปยังส่วนแบ่งที่นำมาจากตัวอย่างตั้งต้น

$[\text{HCl}]$  = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

##### ตัวอย่างการคำนวณหาหมู่ฟังก์ชันกรดรวม

น้ำหนักถ่านตัวอย่าง AC-KOH/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 0.2396 กรัม

ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก = 8.45 มิลลิลิตร

จาก

$$\begin{aligned} N_{\text{CSF}} &= ([\text{B}] \times V_{\text{B}}) - ([\text{HCl}] \times V_{\text{HCl}}) \times (V_{\text{B}}/V_{\text{a}}) \\ &= (0.1 \times 25) - (0.0945 \times 8.45) \times (25/10) \end{aligned}$$

$$N_{\text{CSF}} = 0.5037 \text{ มิลลิโมล}$$

$$N_{\text{CSF}} = 0.5037/0.2396$$

$$N_{\text{CSF}} = 2.10 \text{ มิลลิโมลต่อกรัม}$$

ดังนั้น หมู่ฟังก์ชันกรดรวมของตัวอย่างถ่านกัมมันต์ AC-KOH/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เท่ากับ 2.10 มิลลิโมลต่อกรัม

##### ตัวอย่างการคำนวณหาหมู่ฟังก์ชันกรดแก่

น้ำหนักถ่านตัวอย่าง AC-KOH/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 0.2122 กรัม

ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก = 4.85 มิลลิลิตร

จาก

$$\begin{aligned} N_{\text{CSF}} &= ([\text{B}] \times V_{\text{B}}) - ([\text{HCl}] \times V_{\text{HCl}}) \times (V_{\text{B}}/V_{\text{a}}) \\ &= (0.05 \times 25) - (0.0945 \times 4.85) \times (25/10) \end{aligned}$$

$$N_{\text{CSF}} = 0.1042 \text{ มิลลิโมล}$$

$$N_{\text{CSF}} = 0.1042/0.2122$$

$$N_{\text{CSF}} = 0.49 \text{ มิลลิโมลต่อกรัม}$$

ดังนั้น หมู่ฟังก์ชันกรดแก่ของตัวอย่างถ่านกัมมันต์ AC-KOH/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เท่ากับ 0.49 มิลลิโมลต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า Response factor ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกลีเซอรอล  
ค่าร้อยละการเลือกเกิดของโซลคีตอล และค่าร้อยละผลผลิตของโซลคีตอลโดยใช้ GC-FID

### 1. การหาค่า Response factor

$$\text{Response factor} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีคของโซลคีตอล}}{\text{พื้นที่ใต้พีคของกลีเซอรอล}}$$

### ตัวอย่างการคำนวณหาค่า Response factor

แทนค่าจากตารางที่ ข.6 ข้อมูลการวิเคราะห์หาค่า Response factor ของโซลคีตอลโดยใช้  
GC-FID

ครั้งที่	พื้นที่ใต้พีค				อัตราส่วนของโซล คีตอล (Response factor)
	Ethanol	1,4- dioxane	Solketal	Glycerol	
1	4542170	1281164	87349	30206	2.891776
2	2791852	1286095	89911	27142	3.312651
3	2305749	1249661	89037	27488	3.239122
				เฉลี่ย	3.147897

จาก

$$\text{Response factor} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีคของโซลคีตอล}}{\text{พื้นที่ใต้พีคของกลีเซอรอล}}$$

$$= \frac{87349}{30206}$$

$$\text{Response factor} = 2.891776$$

### 2. คำนวณหาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกลีเซอรอล

$$\text{Conversion (\%)} = \frac{\text{อัตราส่วนของกลีเซอรอลในสารตั้งต้น} - \text{อัตราส่วนของกลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์}}{\text{อัตราส่วนของกลีเซอรอลในสารตั้งต้น}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกลีเซอรอลในสารตัวอย่าง  
S-Reactant

แทนค่าจากตารางที่ ข.7 ข้อมูลจากการวิเคราะห์หาอัตราส่วนของกลีเซอรอลในสารตั้งต้น  
(Feed) โดยใช้ GC-FID

ครั้งที่	พื้นที่ใต้พีค			อัตราส่วนของ กลีเซอรอล
	Ethanol	1,4-dioxane	Glycerol	
1	4507874	1361023	117062	0.086010
2	2699150	1338115	112931	0.084839
			เฉลี่ย	0.085425

การคำนวณหาอัตราส่วนของกลีเซอรอลในสารตั้งต้น

$$\text{จาก อัตราส่วนของโซลคิตอล} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของกลีเซอรอล}}{\text{พื้นที่ใต้พีคของ 1,4-dioxane}}$$

$$= \frac{117062}{1361023}$$

$$\text{อัตราส่วนของกลีเซอรอล} = 0.085$$

แทนค่าจากตารางที่ ข.8 ข้อมูลจากการวิเคราะห์หาอัตราส่วนของโซลคิตอลและกลีเซอรอลใน  
สารผลิตภัณฑ์ (Product) โดยใช้ GC-FID

ตัวอย่าง	ครั้งที่	พื้นที่ใต้พีค				อัตราส่วนของ โซลคิตอล	อัตราส่วนของ กลีเซอรอล
		Ethanol	1,4- dioxane	Solketal	Glycerol		
S-Reactant	1	4247853	1208974	158839	51948	0.041736	0.042969
	2	4156755	1230891	163465	50257	0.042190	0.040829
S-CuCl <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	4301227	1197084	224955	20844	0.059696	0.077108
	2	4268682	1174908	215390	19012	0.059393	0.075575

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาอัตราส่วนของโซลคิตอลในสารผลิตภัณฑ์

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{อัตราส่วนของโซลคิตอล} &= \frac{(\text{พื้นที่ใต้พีคโซลคิตอล/Response factor ของโซลคิตอล})}{\text{พื้นที่ใต้พีคของ 1,4-dioxane}} \\ &= \frac{(158839/3.147897)}{1208974} \end{aligned}$$

$$\text{อัตราส่วนของโซลคิตอล} = 0.041$$

การคำนวณหาอัตราส่วนของกลีเซอรอลในสารผลิตภัณฑ์

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{อัตราส่วนของกลีเซอรอล} &= \frac{(\text{พื้นที่ใต้พีคของกลีเซอรอล/Response factor ของกลีเซอรอล})}{\text{พื้นที่ใต้พีคของ 1,4-dioxane}} \\ &= \frac{(51948/1)}{1208974} \end{aligned}$$

$$\text{อัตราส่วนของกลีเซอรอล} = 0.043$$

การคำนวณหาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกลีเซอรอล

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{Conversion (\%)} &= \frac{\text{อัตราส่วนของกลีเซอรอลในสารตั้งต้น} - \text{อัตราส่วนของกลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์}}{\text{อัตราส่วนของกลีเซอรอลในสารตั้งต้น}} \times 100 \\ &= \frac{0.086010 - 0.042969}{0.086010} \times 100 \end{aligned}$$

$$\text{Conversion (\%)} = 50.04$$

### 3. การคำนวณหาค่าร้อยละการเลือกเกิดของโซลคิตอล

$$\text{Selectivity (\%)} = \frac{\text{อัตราส่วนของโซลคิตอลที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์}}{\text{อัตราส่วนของกลีเซอรอลในสารตั้งต้น} - \text{อัตราส่วนของกลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกลีเซอรอลในสารตัวอย่าง S-

Reactant

จาก

$$\begin{aligned} \text{Selectivity (\%)} &= \frac{\text{อัตราส่วนของโซลคิตอลที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์}}{\text{อัตราส่วนของกลีเซอรอลในสารตั้งต้น} - \text{อัตราส่วนของกลีเซอรอลในผลิตภัณฑ์}} \times 100 \\ &= \frac{0.041736}{0.086010 - 0.042969} \times 100 \end{aligned}$$

$$\text{Selectivity (\%)} = 96.96$$

#### 4. การคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตของโซคิตอล

$$\begin{aligned} \text{จาก Yield (\%)} &= \frac{\text{Conversion(\%)} \times \text{Selectivity (\%)}}{100} \\ &= \frac{50.04 \times 96.96}{100} \\ &= 48.52 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

1. ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางอณูฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope)



รูปที่ ง.1 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแกลบ (RH-KOH 1:1 600 °C) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ที่กำลังขยาย 10 เท่า



เอกสารนี้เป็นรูปที่ ง.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแกลบ (RH-KOH 1:4 800 °C) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ราคาไม่ต่ำกว่าหมื่นใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งแบบใช้แสง (Optical Microscope) ที่กำลังขยาย 10 เท่าครั้งที่มีการนำไปใช้



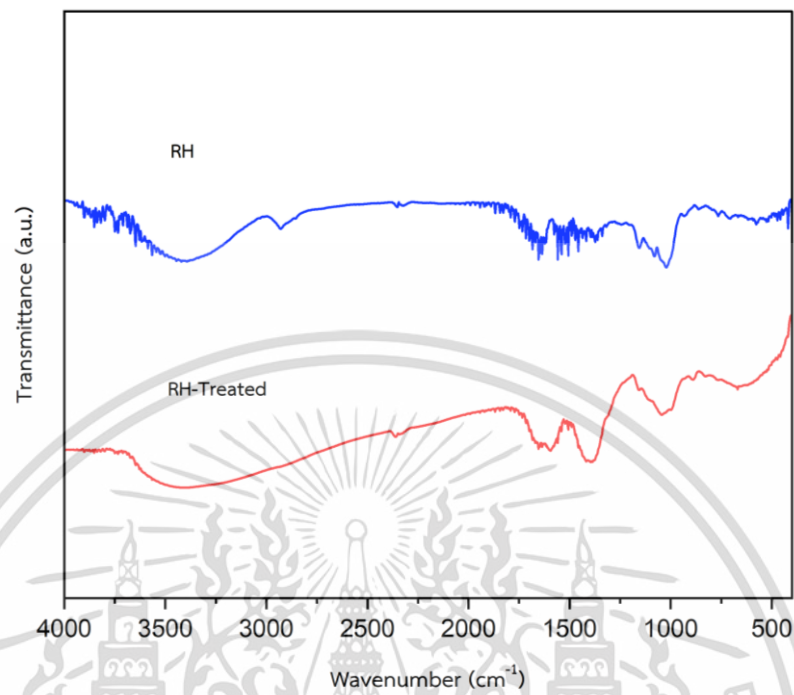
รูปที่ ง.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแคลบ (RH-CuCl<sub>2</sub> 1:4 600 °C) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ที่กำลังขยาย 10 เท่า



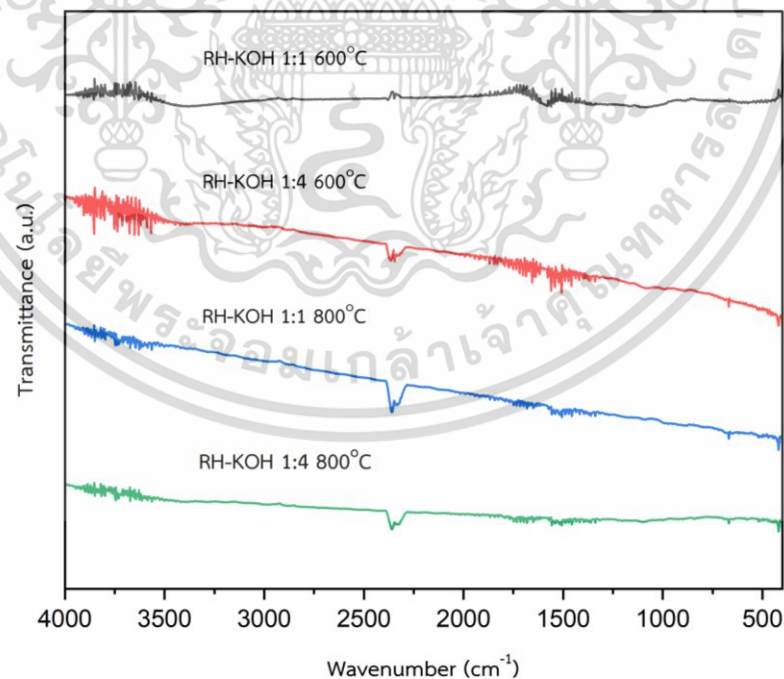
รูปที่ ง.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแคลบ ((RH- CuCl<sub>2</sub> 1:4 800 °C) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ที่กำลังขยาย 10 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FTIR)

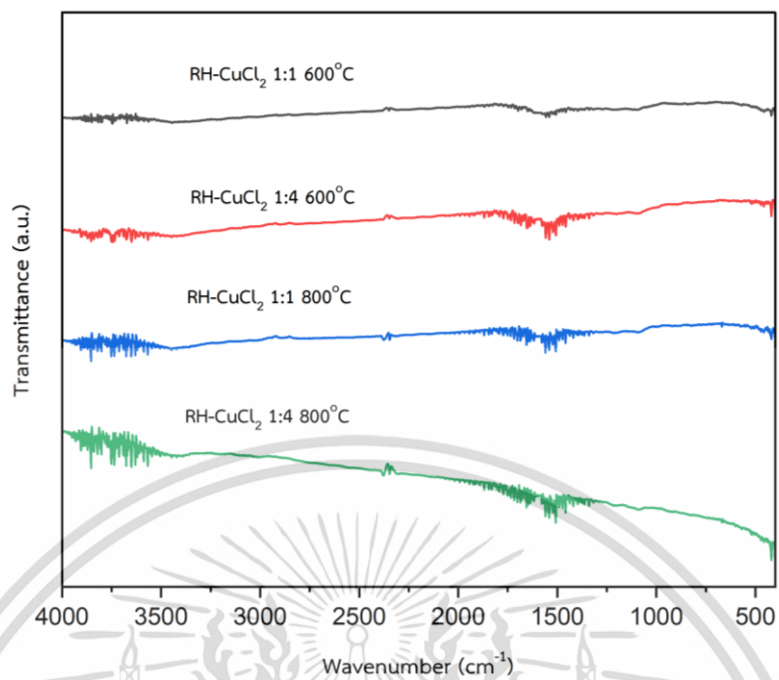


รูปที่ ๓.5 FTIR spectrum ของแกลบข้าว (RH) และแกลบที่ทำความสะอาดแล้ว (RH-Treated)

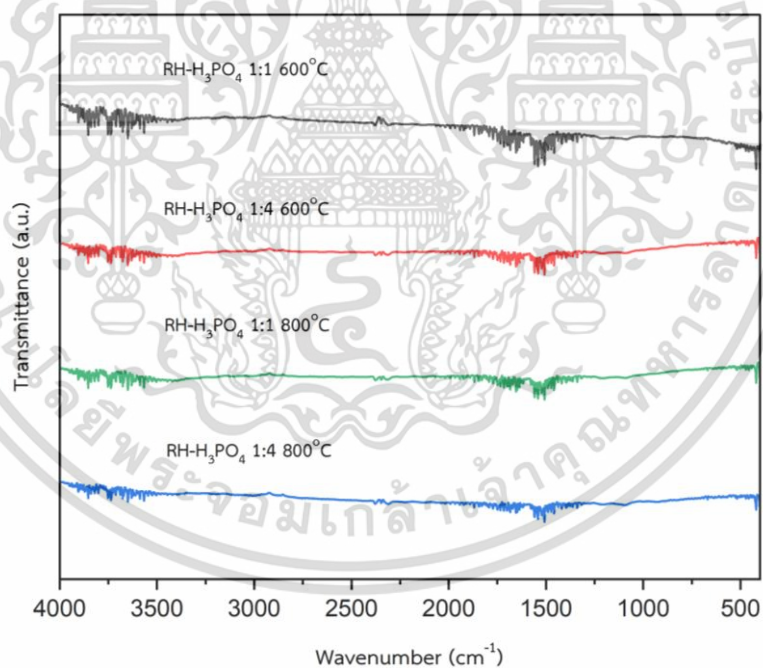


รูปที่ ๓.6 FTIR spectrum ของแกลบที่ถูกกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (RH-KOH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



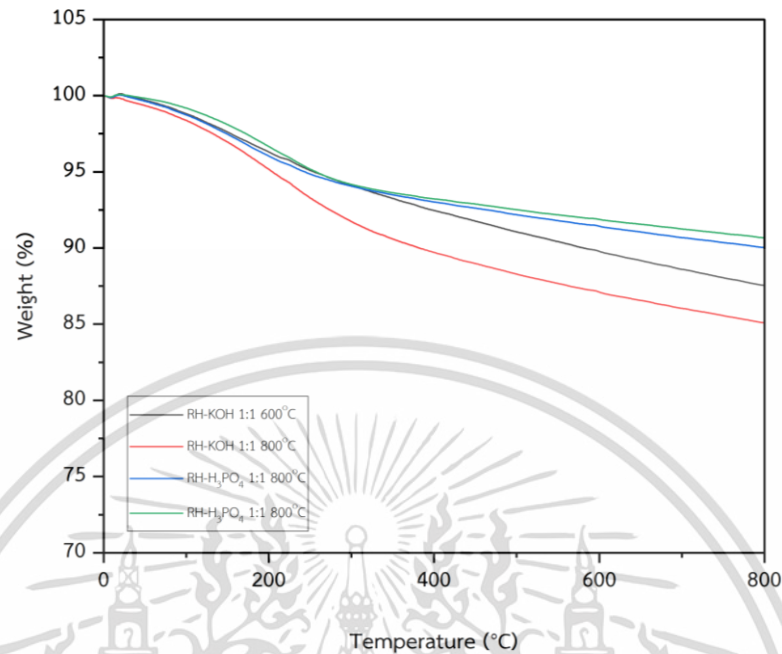
รูปที่ ๗.7 FTIR spectrum ของแกลป์ที่ถูกกระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์ (RH-CuCl<sub>2</sub>)



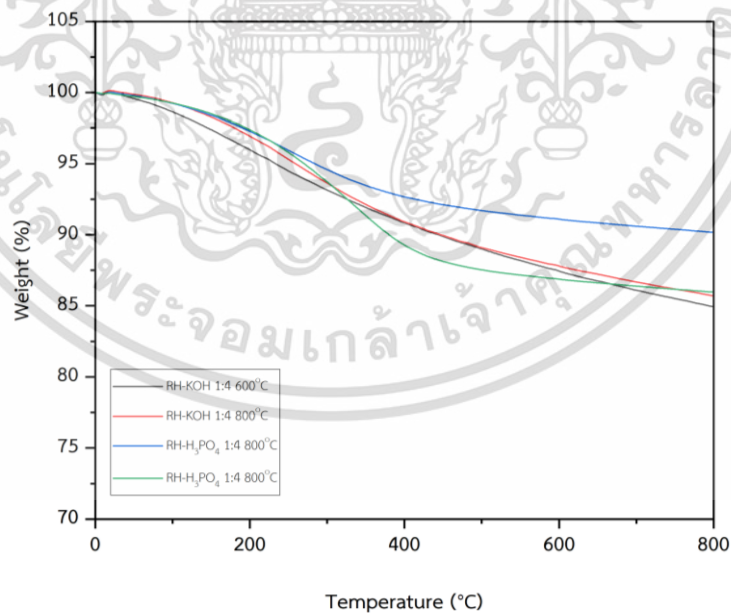
รูปที่ ๗.8 FTIR spectrum ของแกลป์ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (RH-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้จากแคลบ  
(Thermogravimetric Analysis; TGA)



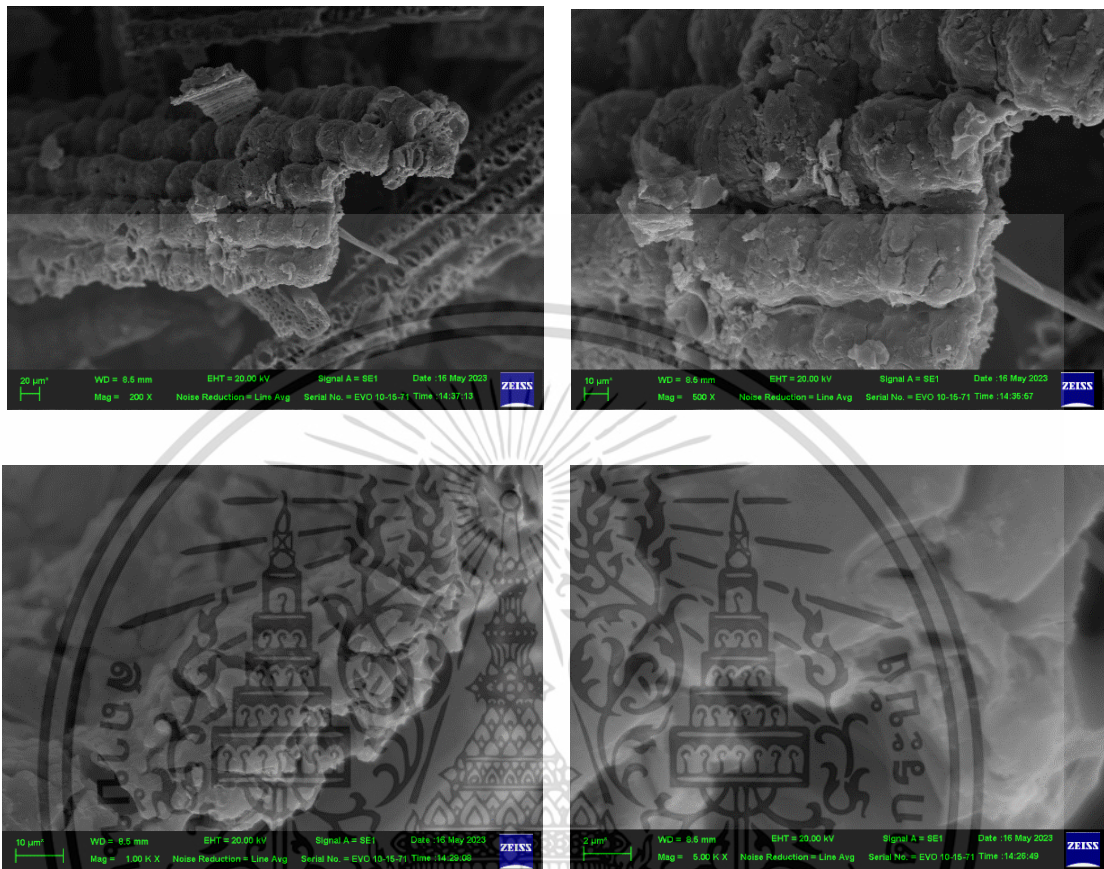
รูปที่ 9.9 TGA thermogram ของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากแคลบ



รูปที่ 10 (ต่อ) TGA thermogram ของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากแคลบ

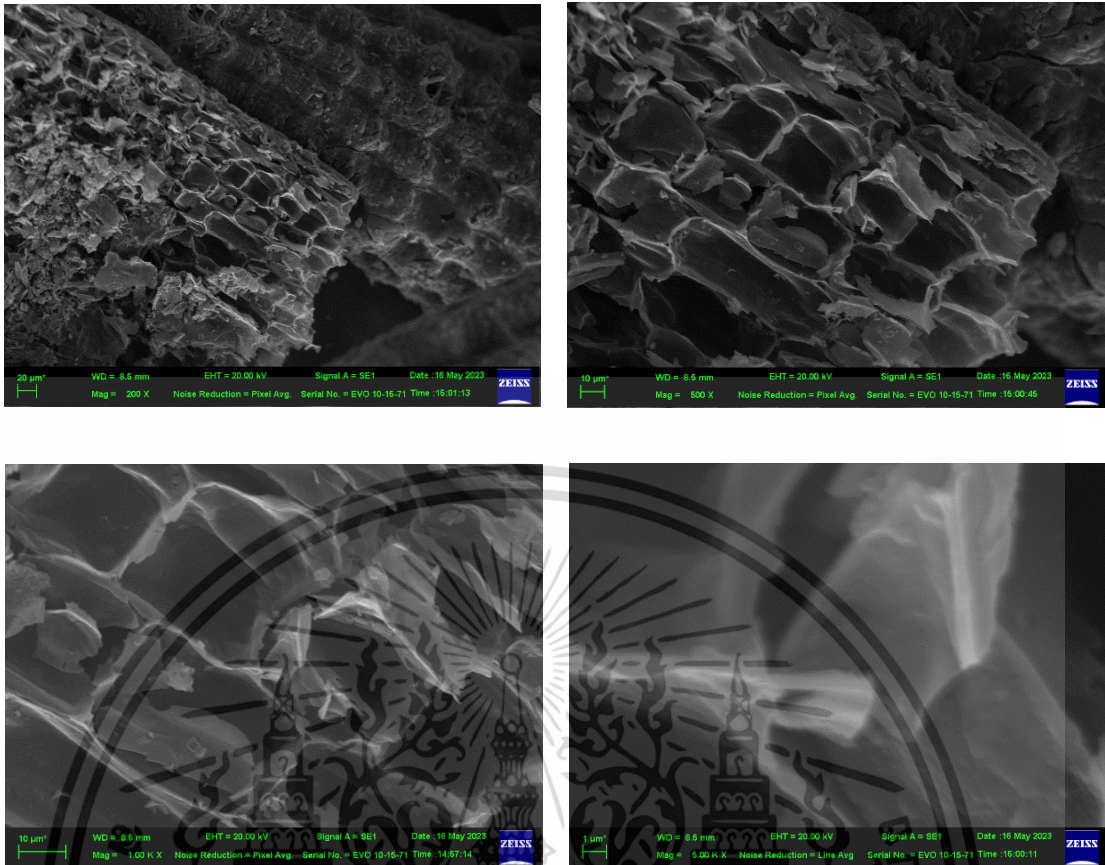
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางอณูฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)



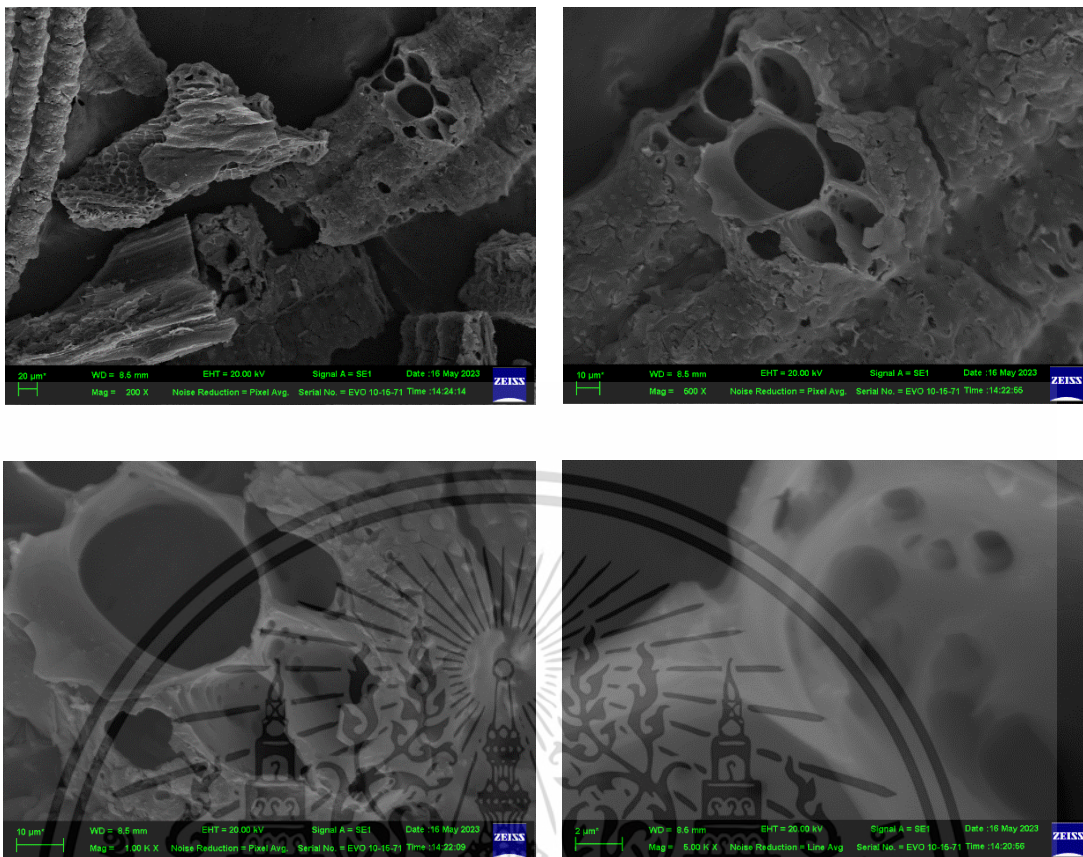
รูปที่ ง.11 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากกลบที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย (A) 200 เท่า (B) 500 เท่า (C) 1000 เท่า (D) 5000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.12 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากเกล็ดที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย (A) 200 เท่า (B) 500 เท่า (C) 1000 เท่า (D) 5000 เท่า

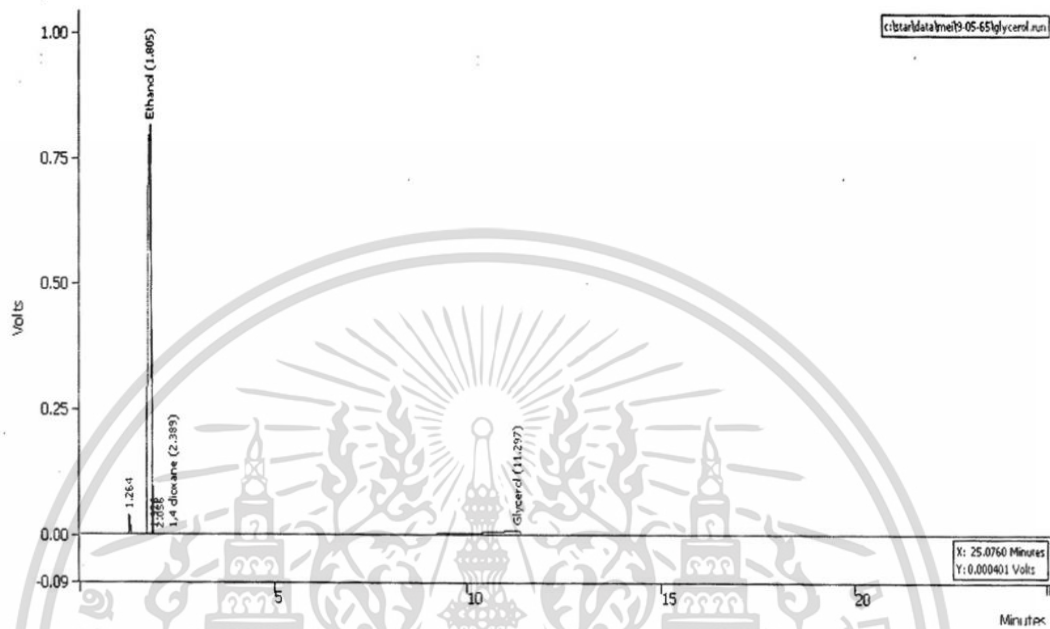
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



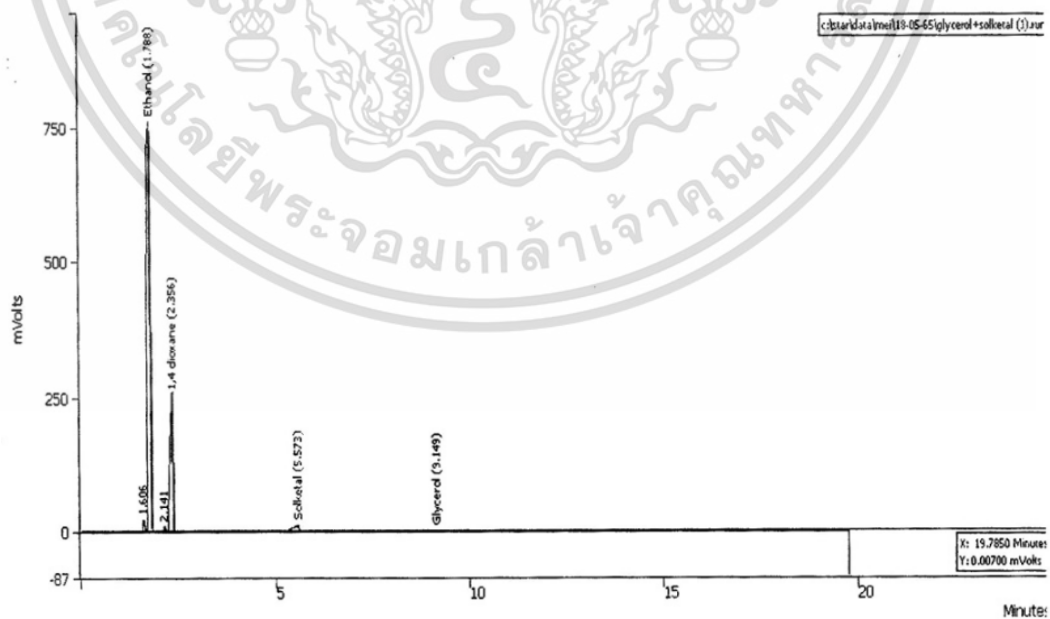
รูปที่ ง.13 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์จากเกล็ดที่กระตุ้นด้วย  
 คอปเปอร์คลอไรด์อัตราส่วน 1:4 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ที่กำลังขยาย  
 (A) 200 เท่า (B) 500 เท่า (C) 1000 เท่า (D) 5000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

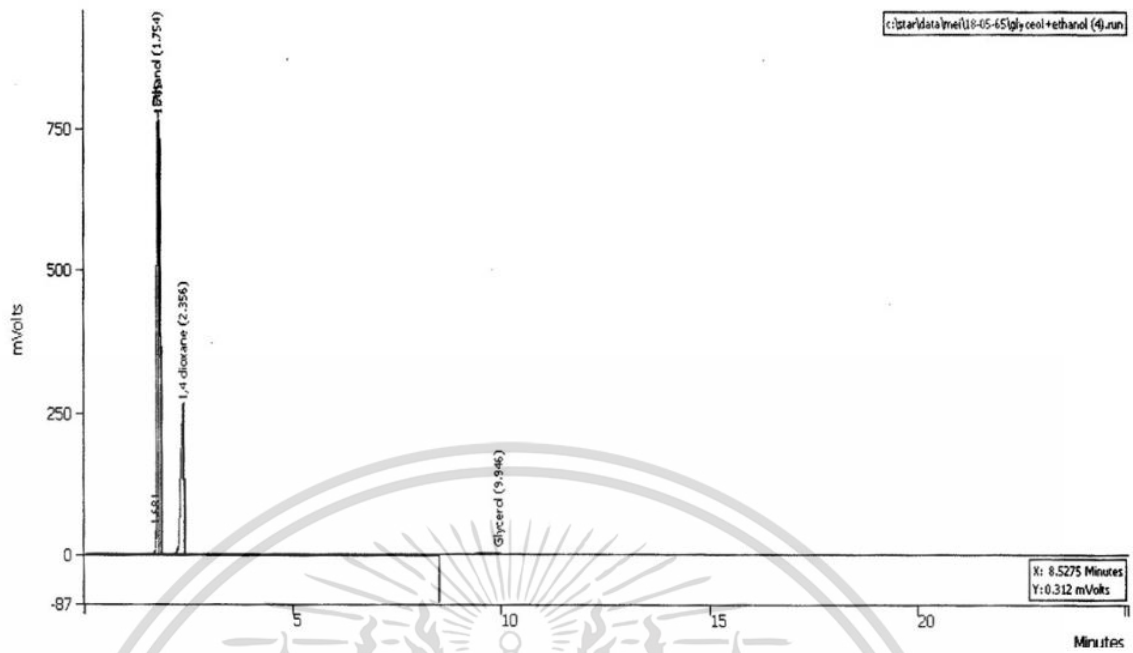
4. ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตแกรมพร้อมตัวตรวจวัด FID (Gas Chromatography - Flame Ionization Detector; GC-FID)



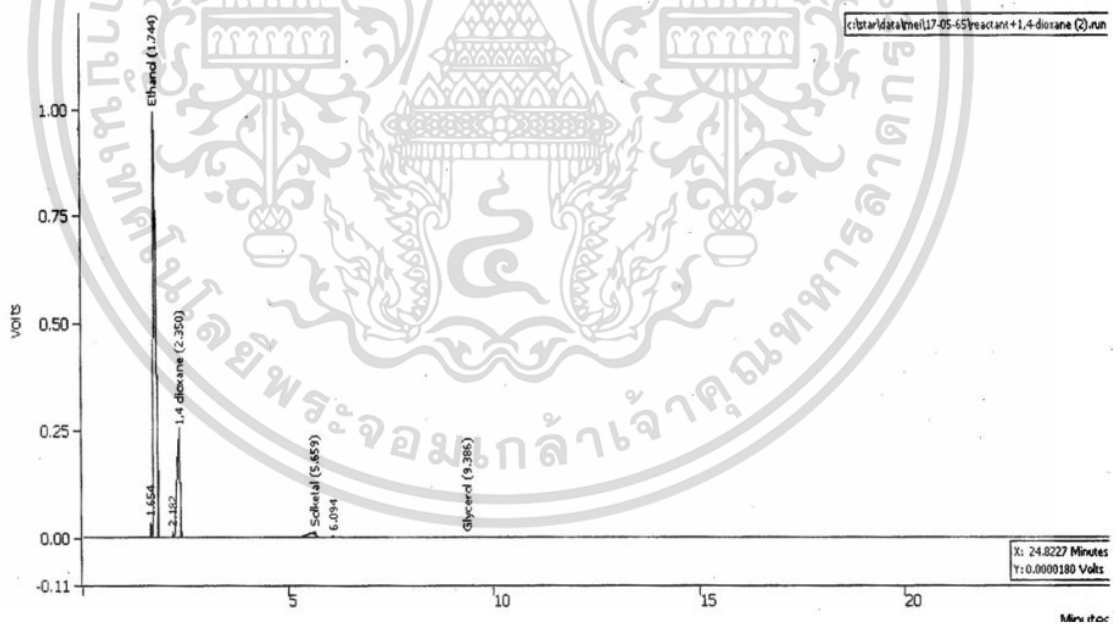
รูปที่ ง.14 โครมาโตแกรมของกลีเซอรอล



รูปที่ ง.15 โครมาโตแกรมของกลีเซอรอลและโซลิตีตอลสำหรับการหาค่า Response factor เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

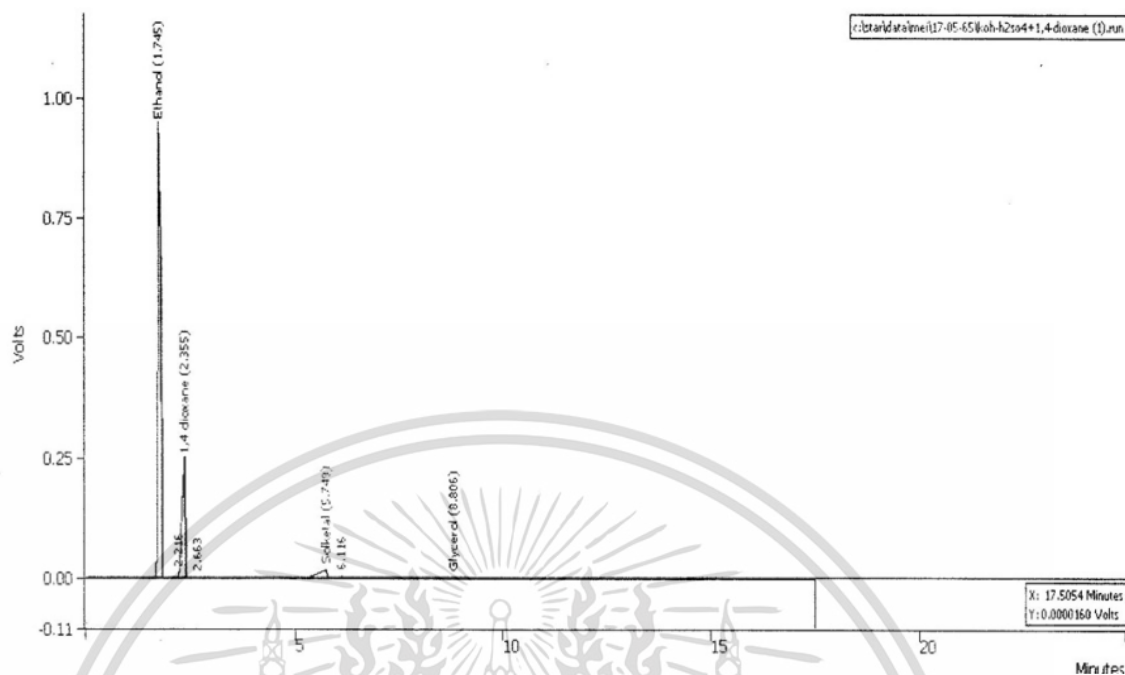


รูปที่ ง.16 โครมาโตแกรมของกลีเซอรอลและเอทานอลสำหรับใช้เป็นสารตั้งต้น (Feed)



รูปที่ ง.17 โครมาโตแกรมของโซลคิตอล (Product) ที่สังเคราะห์จากกลีเซอรอลและเอซีโตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.18 โครมาโตแกรมของไซลคิตอล (Product) ที่สังเคราะห์จากกลีเซอรอลและแอสีโตน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยคอปเปอร์คลอไรด์และปรับปรุงด้วย กรดซัลฟิวริก ( $S-CuCl_2/H_2SO_4$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ



รูปที่ จ.1 ปั่นแกลบให้มีขนาดเล็กด้วยเครื่องปั่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องยี่งอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

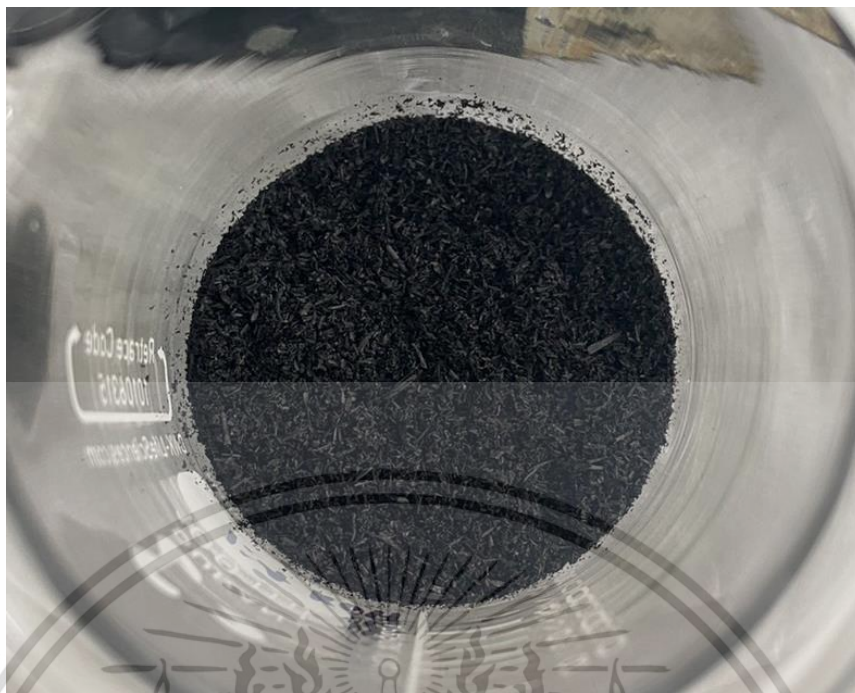


รูปที่ จ.3 การทำความสะอาดเกลบสำหรับใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ จ.4 การปรับปรุงถ่านกัมมันต์ด้วยกรดซัลฟิวริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.5 ถ่านแกลบหลังเผา



รูปที่ จ.6 การหาค่าการดูดซับเมทิลีนบลู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.7 การหาหมู่ฟังก์ชันกรดรวมโดยใช้ Boehm Titration



รูปที่ จ.8 การหาหมู่ฟังก์ชันกรดแก่โดยใช้ Boehm Titration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.9 การจัดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor)

รูปที่ จ.10 การจัดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 20 เดือน มิถุนายน พ.ศ.2565

ข้าพเจ้า นาย ธนากร ทิฆะสังข์ รหัสนักศึกษา 62050292

นางสาว รัตติยาภรณ์ สุวรรณหงษ์ รหัสนักศึกษา 62050322

นางสาว โสภิตา แก้วสุข รหัสนักศึกษา 62050351

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี  
ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ในการสังเคราะห์โซลคีตอล

ชื่อภาษาอังกฤษ Increasing the Surface Area of Activated Carbon in Synthesis of Solketal

ปีการศึกษา 2565

เป็นผลงานวิจัยที่ได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้  
แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา  
ฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 2.97%

ลงชื่อ.....*ธนากร ทิฆะสังข์*.....

ลงชื่อ.....*รัตติยาภรณ์ สุวรรณหงษ์*.....

ลงชื่อ.....*โสภิตา แก้วสุข*.....

(นายธนากร ทิฆะสังข์)

(นางสาวรัตติยาภรณ์ สุวรรณหงษ์)

(นางสาวโสภิตา แก้วสุข)

นักศึกษา

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของนักศึกษาข้างต้น  
แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....*ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร*.....

(ผศ.ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้