

การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้เปลือกหอย  
นางรมและเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล

ADSORPTION OF CARBON DIOXIDE IN AIR USING  
OYSTER SHELL AND OYSTER SHELL TREATED WITH  
ETANOL



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADSORPTION OF CARBON DIOXIDE IN AIR USING  
OYSTER SHELL AND OYSTER SHELL TREATED WITH  
ETANOL



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงวนเวลาหรับการเขงานเพอการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาดเินาไปเซประยชนดานการค้ำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อิกทั้งห้ามมิให้ดัดแเอนหรือสงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2023

หัวข้อโครงการพิเศษ การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล  
Adsorption of Carbon Dioxide in Air using Oyster Shell and Oyster Shell Treated with Ethanol

ชื่อนักศึกษา นายภัทรพล ไชยศิลา รหัสนักศึกษา 63050343  
นางสาวมะลิวัลย์ สมบัติวงษ์ รหัสนักศึกษา 63050346  
นางสาวสุมาลี ยิ้มละมุล รหัสนักศึกษา 63050362

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

คณะ

วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)



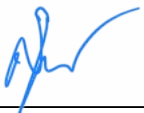
ปีการศึกษา

2566

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2566

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.กสินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ประธานกรรมการ	
ดร.ปรางทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็ญกร กรรมการ	ปรางทิพย์ ฤ. 
รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้เปลือกหอยนางรมและเปลือกหอยนางรมที่ปรับด้วยเอทานอล		
ชื่อนักศึกษา	นายภัทรพล	ไชยศิลา	รหัสนักศึกษา 63050343
	นางสาวมะลิวัลย์	สมบัติวงษ์	รหัสนักศึกษา 63050346
	นางสาวสุมาลี	ยิ้มละมูล	รหัสนักศึกษา 63050362
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2566		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน		

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้เปลือกหอยนางรมและเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล โดยบดเปลือกหอยนางรมเบ้ผง จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วปรับสภาพด้วยเอทานอลโดยการนำไปแช่ที่ความเข้มข้น 60% , 70% และ 80% เป็นเวลา 5 นาที ศึกษาคุณลักษณะของเปลือกหอยนางรม ได้แก่ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด , เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์, ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ และศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเปลือกหอยนางรม โดยเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนเกินด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จากนั้นนำไปไทเทรตด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ คำนวณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บนเปลือกหอยนางรม จากผลการศึกษาพบว่า การเผาเปลือกหอยที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปแคลไซน์ ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ปรับสภาพ มีค่าเท่ากับ 93.23% รองลงมาคือเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% มีค่าเท่ากับ 65.70% เปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 60% มีค่าเท่ากับ 41.70% และเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 80% มีค่าเท่ากับ 14.36% ตามลำดับ

เอกสารนี้ **คำสำคัญ** : เปลือกหอยนางรม, การดูดซับ, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย มุ่งสู่อนาคตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Adsorption of Carbon Dioxide in Air using Oyster Shell and Oyster Shell Treated with Ethanol	
<b>Students</b>	Mr. Pattarapol Chaisila	Student ID 63050343
	Miss Maliwan Sombatwong	Student ID 63050346
	Miss Sumalee Yimlamoon	Student ID 63050362
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)	
<b>Department</b>	Chemistry	
<b>School</b>	Science	
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
<b>Academic Year</b>	2566	
<b>Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Suwannee Junyapoon	

### Abstract

This special project studied adsorption efficiency of carbon dioxide in air using oyster shell and oyster shell treated with ethanol. Oyster shell used as an adsorbent was crushed and then calcined at 700°C for 2 hours. After that, it was treated with ethanol 60% , 70% and 80% for 5 mins. Characterizations of oyster shell and treated oyster shell were examined such as SEM, XRD, Iodine number. Adsorption efficiency of CO<sub>2</sub> in air using oyster shell and oyster shell treated with ethanol was investigated. Carbon dioxide gas was sampled through the adsorbent column at flow rate 100 ml/min for 15 mins. The excess CO<sub>2</sub> was trapped into 0.1 M NaOH solution, then titrated with 0.1 M HCl using phenolphthalein as indicator. Adsorbed CO<sub>2</sub> concentrations on oyster shell and treated oyster shell were calculated. The experimental results showed that calcinate CaCO<sub>3</sub> was found when oyster shell was calcinated at 700°C. Adsorption efficiency of carbon dioxide using oyster shell was 93.23% which is higher than oyster shell treated with ethanol 70% (65.70%), ethanol 60% (41.70%), ethanol 80% (14.36%), respectively.

**Keywords :** Oyster shells, Adsorption, Carbon dioxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ สามารถดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา และติดตามงานอยู่ตลอด รวมถึงช่วยตรวจสอบข้อมูลและปรับปรุง ตลอดจนแก้ไขปัญหา ข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.กลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และ ดร.ปรางทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็ญกรอ คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้ให้ข้อเสนอแนะและให้คำแนะนำในการแก้ไขโครงการพิเศษให้สมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.บรรจง บุญชม ที่ให้ความอนุเคราะห์เปลือกองยนางรมที่ใช้ในการศึกษานี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย การเบิกเครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมี รวมถึงให้คำปรึกษาต่างๆ ในระหว่างการทำโครงการพิเศษอย่างเต็มที่

ขอขอบพระคุณพนักงานทำความสะอาดที่คอยดูแลความสะอาดและความเรียบร้อยของห้องปฏิบัติการหลังจากใช้งานเสร็จ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และคนในครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจและสร้างแรงผลักดันให้ในการทำโครงการพิเศษนี้ และรวมถึงเพื่อนๆ และรุ่นพี่ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำคอยช่วยเหลือทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ภัทรพล	ไชยศิลา
มะลิวัลย์	สมบัติวงษ์
สุมาลี	ยิ้มละมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป .....	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 คาร์บอนไดออกไซด์ .....	3
2.1.1 คุณสมบัติ.....	3
2.1.2 สาเหตุที่ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์.....	3
2.1.3 ผลกระทบที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์.....	3
2.1.4 วิธีกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	4
2.2 หอยนางรม .....	5
2.2.1 โครงสร้างของเปลือกหอย.....	6
2.2.2 องค์ประกอบในเปลือกหอย.....	7
2.3 กระบวนการดูดซับ .....	11
2.3.1 พฤติกรรมการดูดซับ .....	11
2.3.2 ประเภทของสารดูดซับ.....	12
2.3.3 ขั้นตอนการดูดซับ .....	12
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	13
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....</b>	<b>16</b>
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	16
3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 วัสดุและสารเคมี	17
3.2 การเตรียมเปลือกหอยนางรม .....	17
3.2.1 การทำความสะอาดเปลือกหอยนางรม .....	17
3.2.2 การปรับสภาพเปลือกหอยนางรมด้วยเอทานอล .....	17
3.3 การปรับสภาพเปลือกหอยนางรมด้วยเอทานอล .....	18
3.3.1 การเตรียมสารเคมี .....	18
3.3.2 วิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุดูดซับ (เปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่าน การปรับสภาพและเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล เข้มข้น 60%, 70% และ 80%) .....	19
3.3.3 การเตรียมคอลัมน์บรรจุตัวดูดซับ .....	20
3.3.4 การทดลองการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูดซับ .....	21
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล .....</b>	<b>24</b>
4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเปลือกหอยนางรมด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) .....	24
4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกหอยนางรมด้วยเทคนิค การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD) .....	27
4.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านการดูดซับด้วยค่าไอโอดีนนัมเบอร์ .....	30
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>33</b>
เอกสารอ้างอิง .....	34
ภาคผนวก .....	40
ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง .....	41
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง .....	43
ภาคผนวก ค การคำนวณทางสถิติ .....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	เปอร์เซ็นต์ของธาตุที่มีอยู่ในเปลือกหอยนางรม .....	8
2.2	ข้อมูลพีคของการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD data) ของ ..... แคลเซียมออกไซด์, แคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ของหอยทากยักษ์แอฟริกาที่สภาวะอุณหภูมิต่าง ๆ	10
3.1	สภาวะของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron ..... microscope, SEM)	19
3.2	สภาวะของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD).....	20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การทำงานของระบบ Direct Air Capture Technology ของบริษัท ..... 4 Climeworks สวิตเซอร์แลนด์ ร่วมกับบริษัท Carbfix และบริษัท ON Power ของไอซ์แลนด์	4
2.2 หอยนางรมชนิดต่าง ๆ..... 6	6
2.3 โครงสร้างของเปลือกหอย..... 7	7
2.4 The lime cycle..... 9	9
2.5 ขั้นตอนการดูดซับ..... 13	13
3.1 แผนผังระบบทดลอง..... 22	22
4.1 ลักษณะสัญญาณวิทยาของเปลือกหอยนางรม วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์..... 25 อิเล็กตรอนิกส์แบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า (ก) ผงเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพก่อนการดูดซับก๊าซ CO <sub>2</sub> (ข) ผงเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพหลังการดูดซับก๊าซ CO <sub>2</sub> (ค) ผงเปลือกหอยนางรมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% ก่อนการดูดซับก๊าซ CO <sub>2</sub> (ง) ผงเปลือกหอยนางรมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% หลังการดูดซับก๊าซ CO <sub>2</sub>	25
4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเปลือกหอยนางรมวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ..... 28 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ผงเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ก) ก่อนการดูดซับก๊าซ CO <sub>2</sub> (ข) หลังการดูดซับก๊าซ CO <sub>2</sub> และผงเปลือกหอยนางรมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% (ค) ก่อนการดูดซับก๊าซ CO <sub>2</sub> (ง) หลังการดูดซับก๊าซ CO <sub>2</sub> (จ) ฐานข้อมูล JCPDS หมายเลข 47-1743	28
4.3 ความสัมพันธ์ค่าการดูดซับไอโอดีนกับชนิดของตัวดูดซับ..... 30	30
4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดูดซับ (ก) เปอร์เซ็นต์การกำจัด..... 31 (ข) ปริมาณการดูดซับ	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ก๊าซเรือนกระจกเป็นกลุ่มก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อน หรือรังสีอินฟราเรดได้ดี จึงมีความสำคัญในการรักษาอุณหภูมิของโลกให้คงที่ ประกอบด้วยก๊าซ 7 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF<sub>6</sub>) และก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF<sub>3</sub>) ก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดจะมีค่าครึ่งชีวิตที่แตกต่างกัน เมื่อก๊าซเรือนกระจกสะสมในบรรยากาศมากเกินไป จะกักเก็บรังสีความร้อนไว้มากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้น (องค์การบริหารส่วนตำบลเกาะสะบ้า 2554)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส จัดเป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจกที่มีความเข้มข้นในบรรยากาศสูง โดยส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล จำพวกน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติในกระบวนการอุตสาหกรรม และการจราจร ถึงแม้ว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีความจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของพืช แต่ถ้าหากมนุษย์ได้รับก๊าซชนิดนี้เข้าไปในร่างกายปริมาณมาก จะทำให้เกิดอาการหายใจเร็ว การเต้นของหัวใจเร็ว เวียนศีรษะ อาเจียน จนถึงหมดสติได้ (คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2564) ดังนั้น การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศจึงเป็นสิ่งจำเป็น เช่น การใช้พลังงานหมุนเวียน การใช้ยานพาหนะที่มีคาร์บอนต่ำ เทคโนโลยีในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีหลายวิธี การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีความนิยม (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2564) วัสดุดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) วัสดุดูดซับทางเคมี (Chemical adsorbents) เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)<sub>2</sub>) โซเดียมคาร์บอเนต (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> วัสดุดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorbents) เช่น ซีโอไลท์ (Zeolite) ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

โครงการพิเศษนี้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้เปลือกหอยนางรมและเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล โดยแปรค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่ 50%, 60% และ 70%

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศด้วยเปลือกหอย

นางรมและเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) วัสดุดูดซับในการศึกษานี้ ใช้เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 50%, 60% และ 70% เตรียมโดยนำมาเปลือกหอยนางรมมาล้างทำความสะอาดแล้วจึงอบให้แห้ง จากนั้น ทำการบดเปลือกหอยนางรมผ่านเครื่องบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช นำผงเปลือกหอยนางรมที่ร่อนผ่านตะแกรงแล้วมาเผาด้วยเตาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้เกิด Calcination เตรียมเปลือกหอยนางรมปรับสภาพด้วยเอทานอล 50%, 60% และ 70% โดยแช่ผงเปลือกหอยที่ผ่านการ Calcination แล้ว จำนวน 30 กรัมลงในเอทานอล ความเข้มข้น 50%, 60% และ 70% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปั่นกวนด้วย Magnetic stirrer ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จากนั้น นำไปประเหยเอทานอลออกโดยการอังด้วยไอน้ำ จนแห้ง นำไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

2) ศึกษาคุณลักษณะของเปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 50%, 60% และ 70% ดังนี้

- วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของวัสดุดูดซับ ด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

- วิเคราะห์พื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับ ด้วยการวัดค่าการดูดซับไอโอดีนหรือไอโอดีนนัมเบอร์

3) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ในอากาศโดยใช้เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 50%, 60% และ 70% โดยเตรียมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยเติมโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 20 กรัม ลงในกรดอะซิติกเข้มข้น 200 มิลลิลิตร ใช้ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคลผ่านขวดดูดแรนขนาด 2 ลิตร ที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที ผ่านคอลัมน์ที่บรรจุวัสดุดูดซับจำนวน 5 กรัม จากนั้น ดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนเกินด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ความเข้มข้นประมาณ 0.1 นอร์มอล จากนั้นนำไปไทเทรตกับไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) ความเข้มข้นประมาณ 0.1 นอร์มอล โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ ทำการทดลองเช่นเดียวกันโดยไม่ใช้วัสดุดูดซับ นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัดก๊าซ  $\text{CO}_2$  (% removal)

4) คำนวณความสามารถในการดูดซับก๊าซ  $\text{CO}_2$  ของวัสดุดูดซับแต่ละชนิด เปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้โปรแกรม ANOVA

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้วัสดุดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพและราคาถูก
- 2) ใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้ง
- 3) ลดสภาวะโลกร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

#### 2.1.1 คุณสมบัติ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO<sub>2</sub>) เป็นก๊าซในบรรยากาศ ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และออกซิเจน 2 อะตอม ต่อหนึ่งโมเลกุล เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่ติดไฟ มวลโมเลกุลเท่ากับ 44.01 กรัมต่อโมล จุดเดือด -78.5 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นที่ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.799 กรัมต่อลิตร สามารถละลายน้ำได้ โดยปกติเป็นก๊าซที่ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเคมี ไม่กัดกร่อน แต่สามารถทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของโลหะและไฮโดรเจนได้ผลผลิตเป็นคาร์บอนและไบคาร์บอเนต (ไพศาล, 2551)

#### 2.1.2 สาเหตุที่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ในโรงงานอุตสาหกรรม และการจราจรต่างๆ จากการรายงานของ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 เป็นต้นมา พบว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดพลังงานความร้อนสะสมในบรรยากาศของโลกมากที่สุด โดยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าก๊าซชนิดอื่นๆ (ปานทิพย์, 2554)

#### 2.1.3 ผลกระทบของคาร์บอนไดออกไซด์

การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน โดยมีการทำนายไว้ว่าในอีก 20 ปีข้างหน้า อุณหภูมิของโลกจะเพิ่มสูงขึ้นทุกปี นอกจากนี้ ภาวะโลกร้อนยังส่งผลให้พืชและสัตว์ต้องมีการปรับตัวเปลี่ยนแปลง มิเช่นนั้นอาจจะต้องถึงขั้นสูญพันธุ์ได้ เมื่อโลกร้อนขึ้นจะก่อให้เกิดสภาพแบบร้อนชื้นที่เหมาะสมต่อการฟักตัวของเชื้อโรคและศัตรูพืช ส่วนแบคทีเรียในอากาศจะเพิ่มมากขึ้นกว่าปกติและมีโอกาสในการแพร่ระบาดมาสู่มนุษย์ก็จะมีสูงขึ้นด้วย (จรัญ และคณะ 2555) หากทำการรักษาด้วยยาปฏิชีวนะความรุนแรงของโรคจะทุเลาลง แต่ถ้าปล่อยไว้เป็นเวลานานก็มีโอกาสทำให้เสียชีวิตสูงถึงร้อยละ 60 อีกทั้งสภาวะโลกร้อนยังส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงภูมิประเทศและภูมิอากาศ โดยเฉพาะแถบขั้วโลกซึ่งมีภูเขาน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ รวมทั้งก้อนน้ำแข็งจะละลายอย่างรวดเร็ว ทำให้ระดับน้ำทะเลบริเวณขั้วโลกเพิ่มขึ้นและไหลลงสู่มหาสมุทร ทำให้เกิดน้ำท่วมได้ทุกทวีป และบริเวณที่มีภูมิประเทศอยู่ในระดับต่ำอาจถึงขั้นสูญหายจากแผนที่โลกก็เป็นได้ นอกจากนี้ ภาวะโลกร้อนยังทำให้สัตว์น้ำเสียชีวิตเพราะระบบนิเวศน์ที่เปลี่ยนไป ในส่วนของทวีปยุโรป

นอกจากนี้ และยุโรปใต้ที่มีภูมิประเทศและพื้นที่แบบลาดเอียงจะเกิดความแห้งแล้งในหลายพื้นที่ ทำให้เกิดปัญหาไม่ต่ำกว่านี้ ทุกสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุทกภัยเพิ่มขึ้นเนื่องจากธารน้ำแข็งบริเวณยอดเขาสูงปกคลุมด้วยหิมะละลายจนหมด ส่วนในทวีปเอเชียชั้นอนุภูมิภาคจะสูงขึ้นในฤดูกาลแล้งอาจมีน้ำท่วม ผลผลิตทางเกษตรจะลดลง ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น (สุดารัตน์, 2555)

#### 2.1.4 วิธีกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

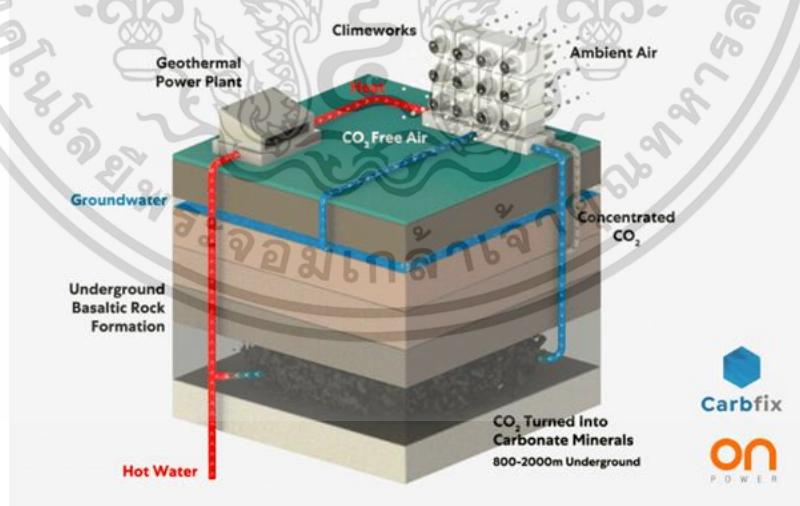
วิธีกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีดังนี้

เทคโนโลยีการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศโดยตรง (Direct Air Capture Technology) เป็นนวัตกรรมที่ออกแบบมาสำหรับดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรง เพื่อลดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้พลังงานหมุนเวียน พลังงานจากของเสีย หรือความร้อนเหลือทิ้งอื่น ๆ เป็นแหล่งพลังงานเท่านั้น หลักการทำงาน มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) อากาศจะถูกดูดเข้าไปในใบพัดที่อยู่ภายในโมดูลาร์ CO<sub>2</sub> Collector อากาศที่ถูกดูดเข้าไปจะผ่านตัวกรองที่อยู่ภายใน CO<sub>2</sub> Collector ซึ่งตัวกรองนี้จะทำหน้าที่ดักจับอนุภาคคาร์บอนไดออกไซด์เอาไว้

2) เมื่อตัวกรองที่เต็มไปด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง จะทำการปิดใบพัดและบานเกล็ดของ CO<sub>2</sub> Collector จากนั้นให้ความร้อนแก่ตัวกรองจนมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

3) ตัวกรองจะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาหลังจากได้รับความร้อน โดยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้ถูกรวบรวมและกักเก็บหรือแปรสภาพเพื่อใช้ในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป



รูปที่ 2.1 การทำงานของระบบ Direct Air Capture Technology ของบริษัท Climeworks

สวีตเซอร์แลนด์ ร่วมกับบริษัท Carbfix และบริษัท ON Power ของไอซ์แลนด์

เอกสารนี้เพิ่ม: Net Zero Techup ับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

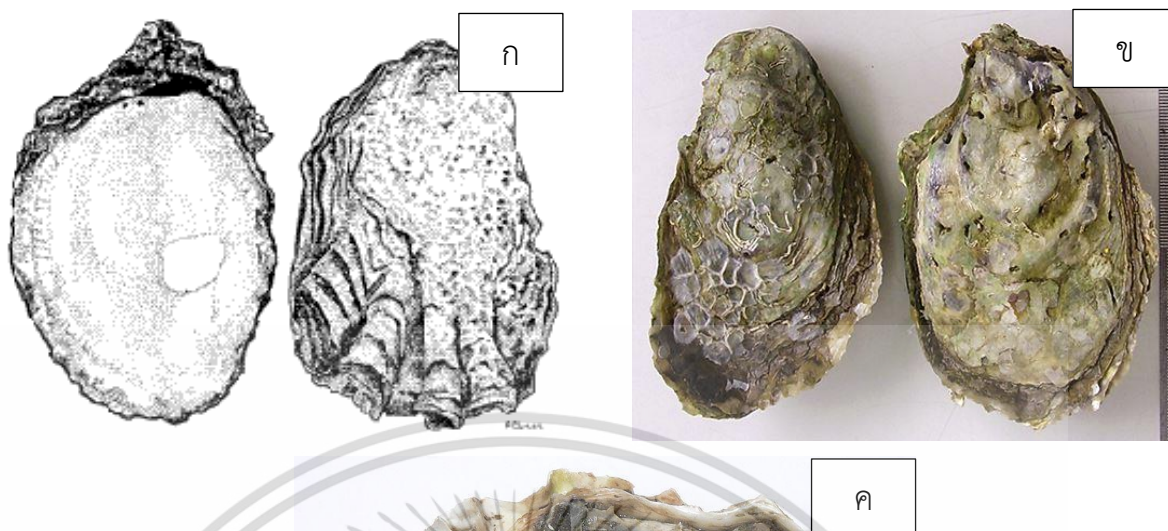
## 2.2 หอยนางรม (วันทนา, 2539)

หอยนางรมจัดอยู่ใน Phylum Mollusca, Class Lamellibranchiata, Family Ostreidae มีการเพาะเลี้ยงหอยนางรมตามชายฝั่งทะเลตะวันออกของไทย ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด ภาคใต้ฝั่งอ่าวไทยพบการเลี้ยงหอยนางรมใน 6 จังหวัด ได้แก่ ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี สงขลา ปัตตานี และนราธิวาส ส่วนภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามันพบการเลี้ยงหอยนางรมใน จังหวัดกระบี่ ระนอง ภูเก็ต หอยนางรมอาศัยอยู่ทั่วไปในพื้นที่น้ำเค็มหรือน้ำกร่อย คือบริเวณที่มีทั้งน้ำจืดและน้ำเค็มไหลมารวมกัน ทำให้น้ำบริเวณนั้นมีความกร่อย และเต็มไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสัตว์น้ำที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแพลงก์ตอน ซึ่งเป็นอาหารของหอยนางรม และสัตว์น้ำทั่วไป หอยนางรมมีพฤติกรรมชอบอาศัยเกาะตามโขดหิน หรือรากไม้หลายชนิด ในประเทศไทยมีการเลี้ยงหอยนางรมมากกว่า 50 ปีมาแล้ว ส่วนใหญ่บริเวณภาคใต้ มีการจำหน่ายไม่แพร่หลาย เนื่องจากมีผลผลิตไม่เพียงพอ สามารถแบ่งพันธุ์หอยนางรมที่พบในประเทศไทยเชิงพาณิชย์ออกได้เป็น 3 ชนิด (รูปที่ 2.2) ดังนี้

(ก) หอยนางรมพันธุ์เล็กหรือหอยนางรมปากจีบ (*Saccostrea commercialis*) เป็นหอยนางรมที่มีขนาดเล็ก หอยนางรมพันธุ์นี้มีการเลี้ยงกันมากทางภาคตะวันออกของประเทศไทย

(ข) หอยตะโกรมครามขาว (*Crassostrea belcheri*) เป็นหอยนางรมที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในสามพันธุ์ มีการเลี้ยงกันมากทางภาคใต้และภาคตะวันออกของประเทศไทย ได้แก่บริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี อ่าวเขาย้อย จังหวัดกระบี่ บ้านคึกโคร จังหวัดพังงา บ้านนาทับ จังหวัดสงขลา และอ่าวคุ่มกระเบน จังหวัดจันทบุรี เป็นต้น

(ค) หอยตะโกรมครามดำ (*Crassostrea lugubris*) เป็นหอยนางรมที่มีขนาดใหญ่เป็นอันดับที่สองในสามพันธุ์ พบมากที่อ่าวคุ่มกระเบน จังหวัดจันทบุรี อ่างศิลา จังหวัดชลบุรี อ่าวช่อง จังหวัดตราด คลองบางนางรม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และคลองกำพวน จังหวัดระนอง เป็นต้น



รูปที่ 2.2 หอยนางรมชนิดต่าง ๆ

ที่มา: รูปภาพ ก. FAO (2009)

รูปภาพ ข. Devakie (2019)

รูปภาพ ค. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2019)

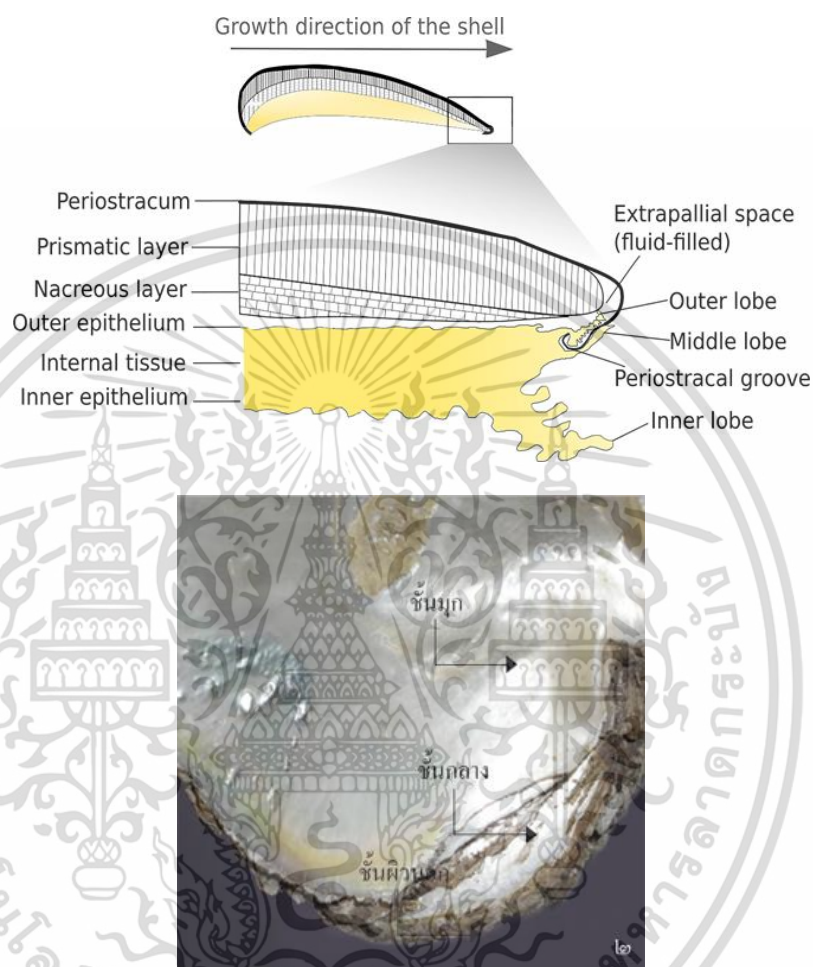
### 2.2.1 โครงสร้างของเปลือกหอย

เปลือกหอยแบ่งออกเป็น 3 ชั้น (รูปที่ 2.2) คือ

1. ชั้นนอกสุด หรือชั้นผิววนอก (periostracum layer) สารส่วนใหญ่เป็นโปรตีนประเภทคอนโคโอลิน เป็นชั้นที่บางและหลุดง่าย สังกัดได้จากหอยที่ตายแล้วและเปลือกที่ถูกทิ้งอยู่ตามชายหาด หรือหอยที่ยังมีชีวิตแต่เปลือกถูกคลื่นซัดหรือทรายขัดสี เปลือกชั้นนี้อาจหลุดหายไปจนไม่เหลือให้เห็น
2. ชั้นกลาง หรือชั้นผนังแคลเซียม (prismatic layer) ประกอบด้วยผลึกรูปต่าง ๆ กันของสารประกอบแคลเซียม ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแคลไซต์ (calcite) เป็นชั้นที่หนาและแข็งแรงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชั้นในสุด เรียกชั้นนุก (nacreous layer) ประกอบด้วยผืนึกรูปต่าง ๆ กันของสารประกอบแคลเซียม ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอะราโกไนต์ (aragonite) เป็นชั้นที่เรียกมีความหนาบางแตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของหอย ทำให้เปลือกมีสีขาวขุ่นและเป็นมันแวววาวแตกต่างกัน



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเปลือกหอย

ที่มา : Victoria (2022)

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ (2552)

### 2.2.2 องค์ประกอบในเปลือกหอย

แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเปลือกหอย ที่เหลือเป็นสารอื่น ๆ เช่น แคลเซียมฟอสเฟต แมกนีเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมฟอสเฟต แมกนีเซียมซิลิเกต โพรตีนประเภทคอนโคโอลิน (conchinolin) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปอร์เซนต์ของธาตุที่มีอยู่ในเปลือกหอยนางรม

Chemical composition (%)	Oyster shells
CaO	98.22
K <sub>2</sub> O	0.55
SiO <sub>2</sub>	0.45
SrO	NA
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06
SO <sub>3</sub>	NA
MgO	0.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12
Na <sub>2</sub> O	0.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16
Cl	NA
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NA
NiO	NA
MnO	NA
ZnO	NA

ที่มา: ปรับปรุงจาก Ramakrishna *et al.* (2018)

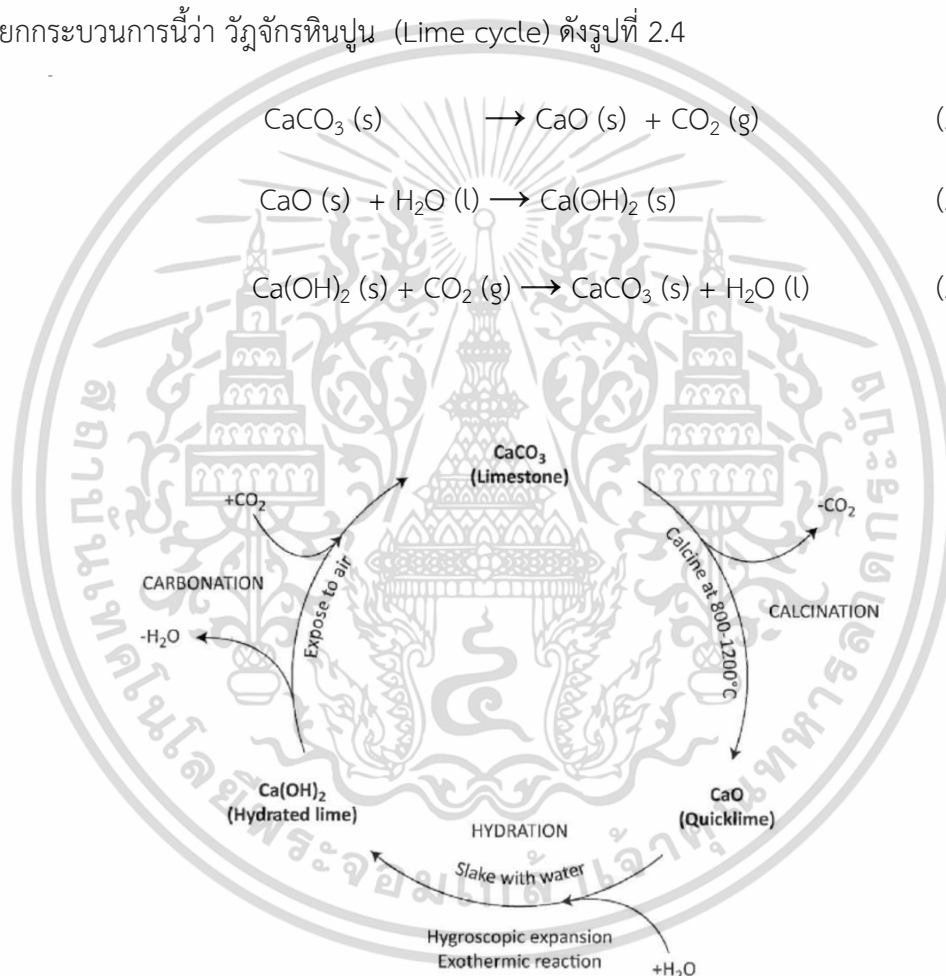
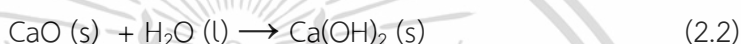
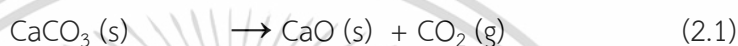
- แคลเซียมคาร์บอเนตหรือหินปูน มีสูตรทางเคมีคือ CaCO<sub>3</sub> เป็นอนินทรีย์สารที่เกิดจากการทับถมของตะกอนคาร์บอเนตในแหล่งน้ำธรรมชาติ มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่ละลายน้ำ มีสมบัติเฉพาะไม่เป็นพิษและความเสถียรทางเคมี จึงนิยมนำไปใช้เป็นวัตถุดิบพื้นฐานที่สำคัญในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ใช้เป็นตัวเติมในอุตสาหกรรมพลาสติก ยาง กระจก และสี แคลเซียมคาร์บอเนตยังใช้เป็นสารที่ควบคุมในการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กกล้าและวัตถุที่ทำจากเหล็ก แคลเซียมคาร์บอเนตมีโครงสร้างผลึก 3 แบบ คือ แคลไซต์อะราโกไนต์ และวาเทอร์ไรต์ซึ่งแคลไซต์เป็นโครงสร้างผลึกที่เสถียรที่สุดและวาเทอร์ไรต์จะมีความเสถียรน้อยที่สุด เมื่อแคลเซียมคาร์บอเนตได้รับความร้อนสูงจนถึงจุดที่สามารถหลอมละลายจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ซึ่งจะสามารถดูดความชื้นในอากาศได้ดีและยังสามารถเปลี่ยนเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้โดยวัฏจักรของแคลเซียมคาร์บอเนตนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไป (สุภกร, 2558)

ในธรรมชาติพบวัสดุหลายชนิดที่มีส่วนประกอบหลักเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต เช่น ปะการัง เปลือกไข่ เปลือกหอย ซึ่งมีรายงานว่าเปลือกหอยจะประกอบด้วยสารจากพวกแคลเซียมคาร์บอเนตมากถึงร้อยละ 95-99 และมีโปรตีนเป็นสารเชื่อมต่อประมาณร้อยละ 0.1-5.0 โดยน้ำหนัก โดยเปลือกหอยจะมีชั้นผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต (prismatic layer) ซึ่งเป็นชั้นที่แข็งแรงที่สุดประกอบด้วยสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแคลไซต์ (สุภกร, 2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วัฏจักรหินปูน (Lime cycle)

ในธรรมชาติเปลือกหอยส่วนใหญ่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) เมื่อเผาเปลือกหอยที่อุณหภูมิสูงกว่า 825 องศาเซลเซียส แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) จะถูกเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) โดยปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ออกมา ดังแสดงในสมการที่ 2.1 (Abanades *et. al.* 2005) เรียกกระบวนการนี้ว่า Calcination เมื่อแคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) ทำปฏิกิริยากับน้ำ (Hydration) จะเกิดเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) ดังแสดงในสมการที่ 2.2 เมื่อแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับ  $\text{CO}_2$  ที่อุณหภูมิช่วง 600-650 องศาเซลเซียส กลายเป็น  $\text{CaCO}_3$  เรียกกระบวนการนี้ว่า Carbonation (Himanshu *et al.*, 2002) ดังแสดงในสมการที่ 2.3 เรียกกระบวนการนี้ว่า วัฏจักรหินปูน (Lime cycle) ดังรูปที่ 2.4



รูปภาพที่ 2.4 The lime cycle

ที่มา: Razali (2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิในการเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ในเปลือกหอยชนิดต่าง ๆ ไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของเปลือกหอยนั้น ๆ ตัวอย่างการ Calcination ของหอยทากยักษ์แอฟริกาที่สภาวะอุณหภูมิต่าง ๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** ข้อมูลพีคของการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD data) ของแคลเซียมออกไซด์, แคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ของหอยทากยักษ์แอฟริกาที่สภาวะอุณหภูมิต่าง ๆ

Sample	Decomposition temperature	Compound	2 $\theta$				
JCPDS data	-	CaO	32.2°	37.3°	58.3°	64.1°	67.3°
		CaCO <sub>3</sub>	29.4°	39.4°	43.2°	47.4°	48.5°
		Ca(OH) <sub>2</sub>	28.6°	34.1°	47.1°	50.8°	-
Achatina fulica shell	900 °C	CaO	-	-	-	64.7°	-
		CaCO <sub>3</sub>	29.4°	39.4°	43.2°	47.5°	-
		Ca(OH) <sub>2</sub>	28.6°	34.1°	47.1°	50.8°	48.5°
	800 °C	CaO	32.4°	-	-	64.7°	-
		CaCO <sub>3</sub>	29.4°	39.5°	43.2°	47.5°	-
		Ca(OH) <sub>2</sub>	-	-	47.2°	-	48.5°
	700 °C	CaO	32.6°	-	-	64.8°	-
		CaCO <sub>3</sub>	29.6°	39.6°	43.3°	47.7°	-
		Ca(OH) <sub>2</sub>	-	-	47.3°	-	48.7°
	600 °C	CaO	32.4°	-	-	64.7°	-
		CaCO <sub>3</sub>	29.4°	39.4°	43.2°	47.5°	-
		Ca(OH) <sub>2</sub>	-	-	47.1°	-	48.5°
	Shell before decomposition	CaO	32.6°	37.9°	-	-	-
		CaCO <sub>3</sub>	29.8°	-	43.5°	-	-
		Ca(OH) <sub>2</sub>	-	34.1°	47.1°	50.2°	48.8°

ที่มา: Lesbani *et al.* (2013)

แคลเซียมออกไซด์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กและเหล็กกล้า แคลเซียมออกไซด์จะดึงสารเจือปนต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตเหล็ก และป้องกันการสึกของผนังอิฐทนไฟในเตาหลอมเหล็ก อุตสาหกรรมก่อสร้าง แคลเซียมออกไซด์เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตอิฐมวลเบา ใช้สำหรับปรับสภาพดินและเป็นส่วนผสมในซีเมนต์และมอร์ตาร์ การบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม สารปรับสภาพความเป็นกรดและใช้สำหรับการตกตะกอนและในด้านของอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร ใช้เป็นสารเพิ่มแร่ธาตุแคลเซียมในอาหารสัตว์ เพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับสัตว์ เป็นต้น (Goldenlime, 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 กระบวนการดูดซับ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสารหรือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวร่วม (Interface) ระหว่างวัฏภาค (Phase) การดูดซับจะเกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างสาร 2 สถานะ โดยที่มีวัฏภาคหนึ่งเป็นของแข็งเสมอ เช่น แก๊สกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง ซึ่งมีการสัมผัสกันโดยตรงและอาศัยการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารที่ต้องการแยก โดยโมเลกุลที่ถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ที่สัมผัสโดยตรงกับสารดูดซับ (Adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิว (Surface free energy) ต่ำจะถูกดูดซับได้ แต่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับ

ในกระบวนการแยก สารตัวดูดซับจะถูกบรรจุอยู่ในคอลัมน์ เมื่อมีของไหลไหลผ่านตัวดูดซับ จะเกิดการดูดซับ สารถูกดูดซับจะแยกออกจากของไหล และเมื่อตัวดูดซับอิ่มตัวไปด้วยสารถูกดูดซับ จนกระทั่งไม่สามารถดูดซับต่อไปได้ตัวดูดซับจะต้องทำการคายซับ (Desorption) ให้สารถูกดูดซับคายออกจากตัวดูดซับเพื่อสามารถนำตัวดูดซับกลับมาใช้งานใหม่ได้โดยตัวดูดซับจะทำหน้าที่ดูดซับและถูกนำไปคายซับเป็นวัฏจักรของการดูดซับ (ชาติยา, 2562)

### 2.3.1 พฤติกรรมการดูดซับ (สุพัตรา, 2561)

พฤติกรรมการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับสามารถจำแนกได้ 4 ประเภท ดังนี้

1) การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซับโดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน ๆ และเป็นแรงที่ไม่กำหนดทิศทาง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) หรือพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีทิศทางและยังพบว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากตัวดูดซับจะทำได้ง่ายและการดูดซับอาจเกิดขึ้นกันแบบหลายชั้น (multilayer)

2) การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) เป็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นระหว่างตัวถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับโดยเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น ส่งผลให้มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมและกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมใหม่เป็นสารประกอบใหม่ขึ้นมา ซึ่งพันธะระหว่างอะตอมมักจะแข็งแรงมีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องและมีการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer)

3) การดูดซับแลกเปลี่ยน (exchange adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงข้าม หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่อยู่บนผิวของตัวดูดซับด้วยไอออนของตัวถูกดูดซับ

4) การดูดซับแบบเจาะจง (specific adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันนัลอยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไป พฤติกรรมการดูดซับชนิดนี้จะมีพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซับที่เกิดขึ้นจะเป็นการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมี การดูดซับแลกเปลี่ยน หรือการดูดซับแลกเปลี่ยนหรือการดูดซับแบบเจาะจง ขึ้นอยู่กับชนิดของคู่ตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับนั้น

**2.3.2 ประเภทของสารดูดซับ** สารที่มีอำนาจดูดโมเลกุลต่าง ๆ มาติดผิวได้มีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) ประเภทสารอินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูก (bone char) ซิลิกาที่กระตุ้น (activated silica) เป็นต้น สารดูดซับประเภทนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตร/กรัม มีข้อเสียคือสามารถจับโมเลกุลของคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด การใช้ประโยชน์จึงมีข้อจำกัด

2) ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นสารดูดซับที่ดีกว่าสารอินทรีย์ชนิดอื่น เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1000 ตารางเมตร/กรัม ถ่านกัมมันต์ที่ใช้และเสื่อมแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การทำรีเจนเนอเรชันต้องเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงมาก ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และต้องมีคาร์บอนบางส่วนสูญเสียไป เนื่องจากขณะเผาไหม้ปนกลายเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้

3) ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ที่มีประจุบนพื้นผิว สามารถดูดจับกับวัตถุอื่น ๆ ที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมา เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ เป็นประเภทเรียกว่า Macroporous resin หรือ Adsorbent resin เช่น Styrene divinylbenzene (SDVB) Resin และ Phenolformaldehyde (PF) resin เป็นต้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตร/กรัม ซึ่งต่ำกว่าของ activated carbon แต่มีข้อดีกว่า คือ สามารถฟื้นฟูอำนาจได้ง่ายและรีเจนเนอเรชันมักเป็นสารราคาถูก เช่น เกลือแกง สำหรับในประเทศไทยความเหมาะสมในการใช้เรซินดูดซับมากกว่า activated carbon เมื่อคำนึงถึงข้อจำกัดในการรีเจนเนอเรชัน

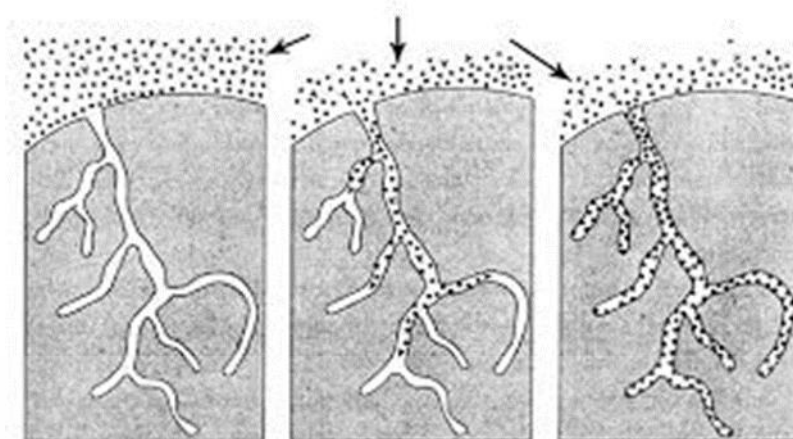
**2.3.3 ขั้นตอนการดูดซับ** มีขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน (รูปที่ 2.5) ดังนี้

1) การแพร่ภายนอก (External diffusion) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) จะเคลื่อนที่ไปเกาะติดที่ผิวนอกของสารดูดซับ (Adsorbent)

2) การแพร่ภายใน (Intraparticle diffusion หรือ Pore diffusion) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะฟุ้งกระจายเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

3) การดูดซับ (Adsorption) เป็นระยะที่เกิดการเกาะติดกันบนผิวในรูพรุนระหว่างตัวถูกดูดซับและพื้นผิวของตัวดูดซับ อาจจะมีทั้งการเกาะติดบนผิวด้วยแรงทางฟิสิกส์, เคมีหรือแรงทั้งสองชนิดพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการดูดซับ  
ที่มา: จักรกฤษณ์ (2552)

#### 2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (ชาติยา, 2562) ได้แก่

1) ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ (Size and surface area) อัตราของการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ ทำให้ตัวดูดซับที่มีลักษณะเป็นผงมีอัตราในการดูดซับสูงกว่าสารดูดซับที่มีลักษณะเป็นเกล็ด พื้นที่ผิวของสารดูดซับส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) นั่นคือ ตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวสูงกว่าจะให้ค่าความสามารถในการดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวดต่ำกว่า

2) ขนาดของตัวดูดซับบนผิวของสารดูดซับ ตัวดูดซับที่มีขนาดของอนุภาคเล็กจะถูกดูดซับได้เร็วกว่าตัวดูดซับที่มีขนาดของอนุภาคใหญ่ ส่วนใหญ่การดูดซับจะเกิดภายในรูพรุนของตัวดูดซับ และจะเกิดได้ดีเมื่อตัวดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของตัวดูดซับ

3) อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิมีผลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ นั่นคือ อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ และจะลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูง และจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำเนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction)

4) ความเร็วในการผสม (Mixing speed) อัตราเร็วในการดูดซับ ขึ้นอยู่กับการแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม Film diffusion หรือการแพร่ผ่านรูพรุน Pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนในระบบอันเกิดจากความเร็วในการผสมของของไหลในระบบ ถ้าระบบมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มที่ล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามาก ทำให้โมเลกุลของตัวดูดซับเคลื่อนที่เข้าไปหาตัวดูดซับได้ยาก ทำให้ Film diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้าม ถ้าระบบมีความปั่นป่วนสูง ฟิล์มที่ล้อมรอบตัวดูดซับจะไม่สะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนา เป็นผลให้โมเลกุลของตัวดูดซับสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่เข้าไปหาตัวดูดซับได้ง่ายขึ้นและเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน ทำให้ Pore diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

5) ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดึงออกจากน้ำและไปเกาะติดกับผิวของของแข็ง ซึ่งสารที่ละลายน้ำได้ หรือแตกตัวเป็นไอออนจะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่น จึงยากต่อการดูดซับ ส่วนสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อยจะสามารถเกาะติดบนผิวของตัวดูดซับได้ดี แต่ทั้งนี้ยังมีสารที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิดที่เกาะติดผิวตัวดูดซับได้ยากเช่นกัน

6) ค่าพีเอช (pH) ค่า pH มีอิทธิพลต่อการแตกตัวของตัวถูกดูดซับเป็นไอออน หรือมีอิทธิพลต่อการละลายน้ำของตัวถูกดูดซับ ทำให้ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับแตกต่างกัน

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุพัทธา (2561) ศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของขยะเปลือกหอยแครงเพื่อให้ได้ช่วงอุณหภูมิ การเผาแคลไซต์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักเชิงความร้อน (TGA) หลังจากนั้นนำขยะ เปลือกหอยแครงวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรเมตรี (XRF) เปลือกหอยแครงที่ใช้ในการทดลองมีสารประกอบแคลเซียมออกไซด์มากถึง 98.10% ขยะ เปลือกหอยแครงที่เผาแคลไซต์แล้วสามารถดูดซับ CO<sub>2</sub> ในช่วงอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ถึง 800 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า พฤติกรรมดูดซับ CO<sub>2</sub> ของผงแคลเซียมออกไซด์จากขยะ เปลือกหอยแครงด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) พบว่าผงแคลเซียมออกไซด์ดูดซับ คาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนจาก แคลเซียมออกไซด์ไปเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต สามารถยืนยันได้ว่า CaO ที่ได้จากเปลือกหอยแครง สามารถนำไปใช้งานเป็นวัสดุดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี

Cormie et. al. (2021) ได้ศึกษาการเติมเอทานอลลงในผงเปลือกไข่ที่ผ่านการเผาแคลไซต์ โดยแปรค่าความเข้มข้นของเอทานอลที่ 70%, 80% และ 90% และนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์กับแคลเซียมคาร์บอเนต จากการทดลองพบว่า ผงเปลือกไข่ที่ไม่ผ่านการ บำบัดด้วยเอทานอลมีปริมาตรรูพรุนน้อยกว่า ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับ คาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าผงเปลือกไข่ที่ผ่านการบำบัดด้วยเอทานอล และผงเปลือกไข่ที่ผ่านการ บำบัดด้วยความเข้มข้นเอทานอลที่ 70% มีปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด

สร้อยพัทธา (2557) ศึกษาคุณสมบัติของแคลเซียมออกไซด์จากวัสดุทางทะเล 3 ชนิด คือ กระดองปลาหมึก เปลือกหอยแมลงภู่และเปลือกหอยนางรม ภายใต้สภาวะออกซิเจนหรือไนโตรเจน เอกสารนี้โดยศึกษาการสลายตัวด้วยเครื่อง TGA (Thermal gravimetric analysis) พบว่า สภาวะบรรยากาศ ไม่มีผลต่ออัตราการศึกษาการสลายตัวสูงสุดของกระดองปลาหมึกและเปลือกหอยแมลงภู่ แต่ในขณะที่

เปลือกหอยนางรมมีอัตราการย่อยสลายสูงสุดภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน แคลเซียมออกไซด์ถูกเตรียมจากวัสดุทางทะเลที่กระบวนการแคลซิเนชันภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ  $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  โดยการเพิ่มอุณหภูมิ  $850\text{ }^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะตรวจพบโครงสร้างของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ปนอยู่กับโครงสร้างของแคลเซียมออกไซด์ วัสดุทางทะเลทั้ง 3 ชนิดให้แคลเซียมออกไซด์และไอโซโทมในการดูดซับและการคายซับชนิด IUPAC III สำหรับวัสดุทางทะเลทุกชนิด

**รณธรม์ (2555)** ศึกษาการเตรียมแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์ สูงมากกว่า 95% จากเปลือกหอยนางรมเพื่อใช้ในการผลิตผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ พบว่าที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ และทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีโครงสร้างทางเคมีใกล้เคียงกับธรรมชาติมากที่สุด ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมทางเคมี โดยนำผงแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์สูงทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เกิดการตกตะกอนร่วมทางเคมี เป็นเวลา 10 ชั่วโมง อบแห้งผงตะกอนที่ได้แล้วแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส สภาวะที่เหมาะสม คือ แคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) รุ่น QUANTA 250 บริษัท FEI Company ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่อง X-ray diffraction, XRD รุ่น Smart Lab บริษัท Rigaku Corporation ประเทศญี่ปุ่น
3. เครื่องบดละเอียด ขนาด 300 กรัม ยี่ห้อ Spring Green Evolution บริษัท สปริงกรีนอีโวลูชัน จำกัด ประเทศไทย
4. เครื่องบดละเอียด ยี่ห้อ Bosco บริษัท Bosco Engineering ประเทศไทย
5. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) รุ่น UN55 บริษัท Memmert ประเทศเยอรมนี
6. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น ML204/01 บริษัท Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
7. ตะแกรงร่อนขนาด (Sieve) 200 mesh มาตรฐาน ASTM E11 ประเทศสหรัฐอเมริกา
8. ป้อนอัตราการไหล รุ่น PCXR8 บริษัท SKC ประเทศสหรัฐอเมริกา
9. เครื่องวัดอัตราการไหล MesaLabs Bios Defender 520 DryCal รุ่น 520+H ยี่ห้อ Mesa labs บริษัท ไอโซเทค อินสตรูเมนต์ (ไทยแลนด์) จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา
10. เตาเผาอุณหภูมิสูง รุ่น L9/12P บริษัท ซวโซติ จำกัด ประเทศไทย
11. Magnetic Stirrers รุ่น C-MAG HS 7 Series ยี่ห้อ IKA บริษัท ITS (Thailand) Co., LTD. ประเทศไทย
12. เครื่องอังน้ำ (Water Bath)
13. โถดูดความชื้น (Desiccator)
14. คอลัมน์แก้ว
15. ท่อสายยาง (Tygon)
16. ครุชีเบล
17. บิวเรต (Burette)
18. หลอดแก้วนำก๊าซ
19. พาราฟิล์ม ยี่ห้อ Parafilm M ประเทศสหรัฐอเมริกา
20. เครื่องแก้วต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สำเนาไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22. จุกยางเบอร์ 8, 13 และ 14

### 3.1.2 วัสดุและสารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) Analytical reagents grade, VWR Chemicals, France
2. กรดอะซิติก (CH<sub>3</sub>COOH) Analytical reagents grade, Carlo Erba reagents, France
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) A.C.S. – For analysis, Carlo Erba reagents, France
4. โซเดียมคาร์บอเนต (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) A.C.S. – For analysis, Carlo Erba reagents, France
5. โซเดียมไทโอซัลเฟต Laboratory grade, Fisher Chemical, United Kingdom
6. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) Analytical reagents grade, Carlo Erba reagents, France
7. โพแทสเซียมไอโอไดด์ A.C.S. – For analysis, Carlo Erba reagents, France
8. โพแทสเซียมไอโอเดต Analytical grade, Carlo Erba reagents, France
9. เอทิลแอลกอฮอล์ 95 % Commercial grade, L pure 95 โดยองค์การสุรา กรมสรรพสามิตม ประเทศไทย
10. ไอโอดีน Analytical grade, Fisher Chemical, United Kingdom
11. ฟีนอล์ฟทาลีน A.C.S. – For analysis, Carlo Erba reagents, France
12. น้ำแข็ง

## 3.2 การเตรียมเปลือกหอยนางรม

### 3.2.1 การทำความสะอาดเปลือกหอยนางรม

1. เปลือกหอยนางรม ได้รับความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร. บรรจง บุญชม นำเปลือกหอยนางรมมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด เพื่อกำจัดเนื้อเยื่อและดินโคลนที่ติดมากับเปลือกหอยนางรม
2. นำเปลือกหอยนางรมที่ล้างสะอาดแล้ว มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง
3. บดเปลือกหอยนางรมในข้อ 2 ด้วยเครื่องบดละเอียด แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 200 เมช
4. จากนั้น นำเปลือกหอยนางรมที่บดแล้วไป Calcination โดยเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง

### 3.2.2 การปรับสภาพเปลือกหอยนางรมด้วยเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้เพื่อการพาณิชย์  
 ไม่ว่ากล่าวถึงลิขสิทธิ์ของเอกสารนี้

1. เตรียมสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์, 70 เปอร์เซ็นต์ และ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยปิเปตสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ 64 มิลลิลิตร, 74 มิลลิลิตร

และ 84 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสารละลาย ด้วยน้ำกลั่น

2. นำผงเปลือกหอยนางรมที่ผ่านการเผาจากข้อ 3.2.1 ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์, 70 เปอร์เซ็นต์ และ 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์

3. คนสารละลายด้วยเครื่องกวนสาร (Magnetic stirrers) ที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

4. จากนั้น นำไประเหยสารละลายเอทานอล โดยใช้เครื่องอังไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

5. อบให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator)

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมสารเคมี

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) โดยชั่งผงโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต มา 5.9640 กรัม ละลายน้ำ และปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น คำนวณความเข้มข้นที่แน่นอน จากสมการที่ 3.1

$$\frac{\text{น้ำหนัก KHP (g)}}{\text{MW ของ KHP (g)}} = \text{ความเข้มข้น (M)} \times \text{ปริมาตร (ml)} \quad (3.1)$$

2. เตรียมอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยชั่งฟีนอล์ฟทาลีนมา 0.5 กรัม ละลายด้วยเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 60 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3. เตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นประมาณ 0.1 M และหาความเข้มข้นที่แน่นอน (Standardization) ดังนี้

3.1 เตรียมสต็อกโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์มาประมาณ 250 กรัม ละลายน้ำ 500 มิลลิลิตร

3.2 ปิเปตสารละลายในข้อ 3.1 จำนวน 8 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นแล้ว

3.3 ไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเข้มข้น 0.1168 M มา 20 มิลลิลิตร แล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนถึงจุดยุติ สีอินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนจากสีใส

เป็นสีชมพูอ่อน คำนวณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากสมการที่ 3.2

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_{\text{NaOH}}(\text{M}) \times V_{\text{NaOH}}(\text{ml}) = C_{\text{KHP}}(\text{M}) \times V_{\text{KHP}}(\text{ml}) \quad (3.2)$$

4. เตรียมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นประมาณ 0.1 M และหาความเข้มข้นที่แน่นอน (Standardization) ดังนี้

4.1 ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 มา 9 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบด้วยน้ำกลั่น

4.2 ไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดไฮโดรคลอริก โดยปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกจากข้อ 4.1 มา 20 มิลลิลิตร และหยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากข้อ 3 จนถึงจุดยุติ สีอินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนจากสีใสเป็นสีชมพูอ่อน คำนวณความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรคลอริก จากสมการที่ 3.3

$$C_{\text{HCL}}(\text{M}) \times V_{\text{HCL}}(\text{ml}) = C_{\text{NaOH}}(\text{M}) \times V_{\text{NaOH}}(\text{ml}) \quad (3.3)$$

**3.3.2 วิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุดูดซับ (เปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลเข้มข้น 60%, 70% และ 80%)**

1. วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของวัสดุดูดซับด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) โดยวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลเข้มข้น 70% ก่อนและหลังการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้สภาวะของเครื่อง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

MODE	High vacuum
Detector	SEM
HV (kV)	10.00
WD (mm)	4.9
mag	10000 x
det	ETD
HFW ( $\mu\text{m}$ )	82.9

2. วิเคราะห์พฤติกรรมเกิดการเกิดเฟสของเปลือกหอยนางรมด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD) โดยวิเคราะห์พฤติกรรมเกิดการเกิดเฟสของเปลือกหอยนางรมก่อนและหลังการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ปรับสภาพ และเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลเข้มข้น 70% โดยใช้สภาวะของเครื่อง ดังแสดงในตารางที่ 3.2 การนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สภาวะของเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD)

Control	Setting	Control	Setting
X-Ray generator	20 kV, 30 mA	Scan speed/Durati...	10.00 °/min
Filter	K $\beta$ filter 1D for Cu	Step width	0.01 °
Selection slit	BB	Scan axis	$\theta/2\theta$
Diffacted beam ...	None	Scan range	5 ~ 100 °
Detector	D/teX Ultra 250	Incident slit box	1/2deg
Optics attribute	BB	Length-limiting slit	10 mm
Scan mode	1D(scan)	Receiving slit box ...	Open

3. วิเคราะห์พื้นที่ผิวการดูดซับของวัสดุดูดซับ ด้วยการวัดค่าไอโอดีนนัมเบอร์ โดยวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D4607-86 (จันทิมา, 2559) (ดูรายละเอียดการเตรียมสารเคมีในภาคผนวก ก) ดังนี้

1. ทำการซึ่งผงเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลเข้มข้น 60%, 70% และ 80% มาตัวอย่างละประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมกรดไฮโดรคลอริก 5% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่แล้วนำไปต้มให้เดือดเป็นเวลา 30 วินาที และรอให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง
3. ทำการเติมสารละลายไอโอดีนปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน
4. นำสารละลายที่ได้มากรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42
5. เปิดสารละลายที่ผ่านการกรองแล้วมาปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
6. ทำการไทเทรตสารละลายในข้อที่ 5. โดยใช้โซเดียมไทโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนทำการไทเทรตจนได้สีเหลืองชาแล้วจึงเติมอินดิเคเตอร์น้ำแป้งลงไป 2-3 หยด จากนั้นทำการไทเทรตต่อจนสารละลายใสไม่มีสี จดบันทึกปริมาตรโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้เพื่อนำไปคำนวณค่าการดูดซับจำเพาะ ดังสมการ 3.4

$$A = \frac{[y - (2.2 \times z \times v)]}{m} \quad (3.4)$$

โดยที่ A คือ ค่าปริมาณการดูดซับไอโอดีนของเปลือกหอยนางรม (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$C_1$  คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)

$C_2$  คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มัล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$y$  คือ น้ำหนักทั้งหมดของไอโอดีนในสารละลาย ณ จุดเริ่มต้น (มิลลิกรัม)

โดยหาได้จาก  $y = C_2 \times 12693.0$

$z$  คือ น้ำหนักของไอโอดีนในสารละลายที่ทำปฏิกิริยา ณ จุดสมดุล (มิลลิกรัม) กับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 1 มิลลิเมตร โดยหาได้จาก  $z = C_1 \times 126.93$

$v$  คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิเมตร)

$m$  คือ น้ำหนักของเปลือกหอยนางรม

2.2 คือ สัดส่วนของสารละลายทั้งหมด ณ จุดเริ่มต้นต่อปริมาตรสารละลายที่นำมาไทเทรต (Dilution factor)

### 3.3.3 การเตรียมคอลัมน์บรรจุตัวดูดซับ

1. ชั่งน้ำหนักเปลือกหอยนางรมบด ประมาณ 5 กรัม
2. ชั่งน้ำหนักของสำลีที่ใช้อุดส่วนบนและส่วนปลาย
3. บรรจุตัวดูดซับลงในคอลัมน์โดยใส่สำลีลงไปปลายสุดของคอลัมน์ แล้วตามด้วยเปลือกหอยที่ทำกรซังมาในข้อ 1 และปิดท้ายด้วยสำลีส่วนบน
4. ทำเช่นเดียวกันสำหรับคอลัมน์บรรจุเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 60 เปอร์เซ็นต์, 70 เปอร์เซ็นต์ และ 80 เปอร์เซ็นต์
5. สำหรับคอลัมน์วิเคราะห์ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้น โดยบรรจุสำลีเปล่า 1.3 กรัม วัดอัตราการไหลขาออกให้มีค่าใกล้เคียงกันกับอัตราการไหลขาออกของคอลัมน์บรรจุเปลือกหอยนางรม

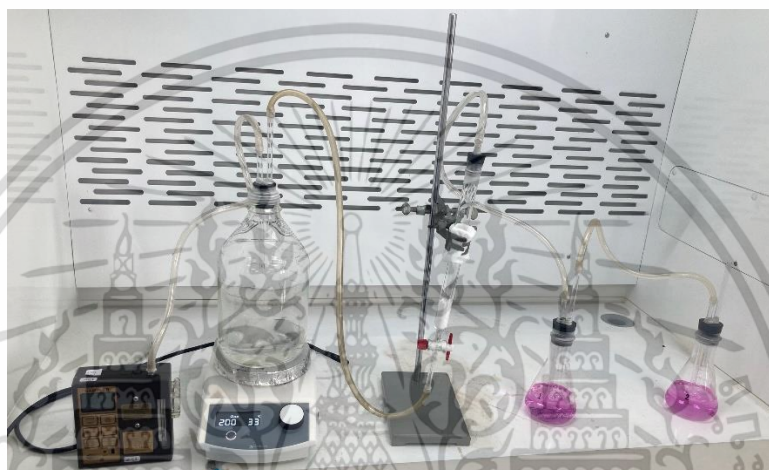
### 3.3.4 การทดลองการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูดซับ

#### 3.3.4.1 การเตรียมระบบการทดลอง (รูปที่ 3.1) ดังนี้

1. คอลัมน์แก้วที่บรรจุวัสดุดูดซับ ถูกยึดโดยใช้แทนจับยึดไว้ (burette clamp) ปิดปากคอลัมน์ด้วยจุกยางดำเบอร์ 8 ที่เจาะรู 1 รู เสียบหลอดแก้วนำก๊าซเข้าไปในจุกยาง แล้วต่อเข้ากับท่อ Tygon ส่วนปลายด้านล่างของคอลัมน์ต่อเข้ากับท่อ Tygon พันด้วยพาราฟิล์มทุกข้อต่อ
2. ปลายสายไทกอนที่ต่อกับด้านล่างของคอลัมน์ ต่อเข้ากับขวดดูแรน (Duran) ขนาด 2 ลิตร ปิดปากขวดดูแรนด้วยจุกยางดำเบอร์ 13 ที่เจาะรู 2 รู เสียบหลอดแก้วนำก๊าซเข้าไปในจุกยางทั้ง 2 รู แล้วต่อเข้ากับท่อ Tygon พันด้วยพาราฟิล์มทุกข้อต่อ
3. ปลายสายไทกอนที่ต่อเข้ากับขวดดูแรน (Duran) ขนาด 2 ลิตร ในข้อ 2 ถูกต่อเข้ากับขวดดูแรนขนาด 2 ลิตร ที่ตั้งอยู่บนเครื่องปั่นกวน (Magnetic stirrer) ปิดปากขวดดูแรนด้วยจุกยางดำเบอร์ 13 ที่เจาะรู 2 รู เสียบหลอดแก้วนำก๊าซเข้าไปในจุกยางทั้ง 2 รู แล้วต่อเข้ากับท่อ Tygon ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล พันด้วยพาราฟิล์มทุกข้อต่อ
4. ส่วนปลายสาย Tygon ด้านบนของคอลัมน์ถูกต่อเข้ากับขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิเมตร ที่บรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 2 ใบ (ใบที่ 1 และใบที่ 2) ปิดปากขวดรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชมพูด้วยจุกยางดำเบอร์ 14 ที่เจาะรู 2 รู เสียบหลอดแก้วนำก๊าซเข้าไปในจุกยางทั้ง 2 รู แล้วต่อเข้ากับท่ออย่าง Tygon พันด้วยพาราฟิล์มทุกข้อต่อ หลอดแก้วนำก๊าซขาเข้าให้จุ่มอยู่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนหลอดแก้วนำก๊าซขาออกให้อยู่เหนือสารละลาย



รูปที่ 3.1 แผนผังระบบทดลอง

### 3.3.4.2 การทดลองประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนี้

1. เปิดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมจากข้อ 3.3.1 มา 150 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ทั้ง 2 ใบ จากนั้นหยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด ปิดปากขวดด้วยจุกยางดำที่เจาะรู 2 รู แล้วสอดแท่งแก้วเข้าไปทั้ง 2 รู โดยแท่งแก้วด้านที่ต่อกับคอลัมน์จะต้องจุ่มลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และปลายแท่งแก้วอีกด้านหนึ่งให้อยู่เหนือสารละลาย และต่อเข้ากับขวดรูปชมพู่ใบที่ 2 โดยให้ปลายแท่งแก้วจุ่มอยู่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

2. ติดตั้งคอลัมน์ที่บรรจุเปลือกหอยที่ไม่ได้ปรับสภาพ จากนั้น วัดอัตราการไหลของบีเอ็มเก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหล (Bios Defender 520) จำนวน 3 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยอัตราการไหล

3. ต่ออุปกรณ์ตามข้อ 3.3.4.1 เติมกรดอะซิติกเข้มข้น (conc.) 99.8% มา 200 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดจุ่มขนาด 2 ลิตร และใส่ Magnetic bar ลงไป ชั่งผงโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 20 กรัม ใส่ลงในขวดจุ่มใบที่ 2 แล้วปิดปากขวดด้วยจุกยางดำทันที จากนั้น พันพารา

ฟิล์มเพื่อป้องกันการรั่วไหล เปิดเครื่องปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซเดียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดักจับในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

4. วัดอัตราการไหลขาออกของแต่ละตัวอย่าง จำนวน 10 ซ้ำ
5. ปิเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้ง 2 ใบ มา 20 มิลลิลิตร โดยแยกขวดที่ 1 และขวดที่ 2 นำไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกที่เตรียมจากข้อ 3.3.1 จนถึงจุดยุติ สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีใส
6. นำปริมาตรกรดที่ใช้ในขวดรูปชมพู่ใบที่ 1 และใบที่ 2 ไปคำนวณหาความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อใช้หาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซับด้วยวัสดุดูดซับ
7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 อีก 2 ซ้ำ
8. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-7 แต่เปลี่ยนวัสดุดูดซับจากเปลือกหอยนางรมที่ไม่ปรับสภาพเป็นเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลเข้มข้น 60%, 70%, 80%
9. วัดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นโดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-7 แต่บรรจุสำลีเปล่าแทนเปลือกหอยโดยปรับอัตราการไหลขาออกให้เท่ากับคอลัมน์ที่บรรจุเปลือกหอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ในอากาศ โดยใช้เปลือกหอยนางรมที่ไม่ปรับสภาพและเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลที่มีความเข้มข้น 60%, 70% และ 80% ได้ผลการศึกษาดังนี้

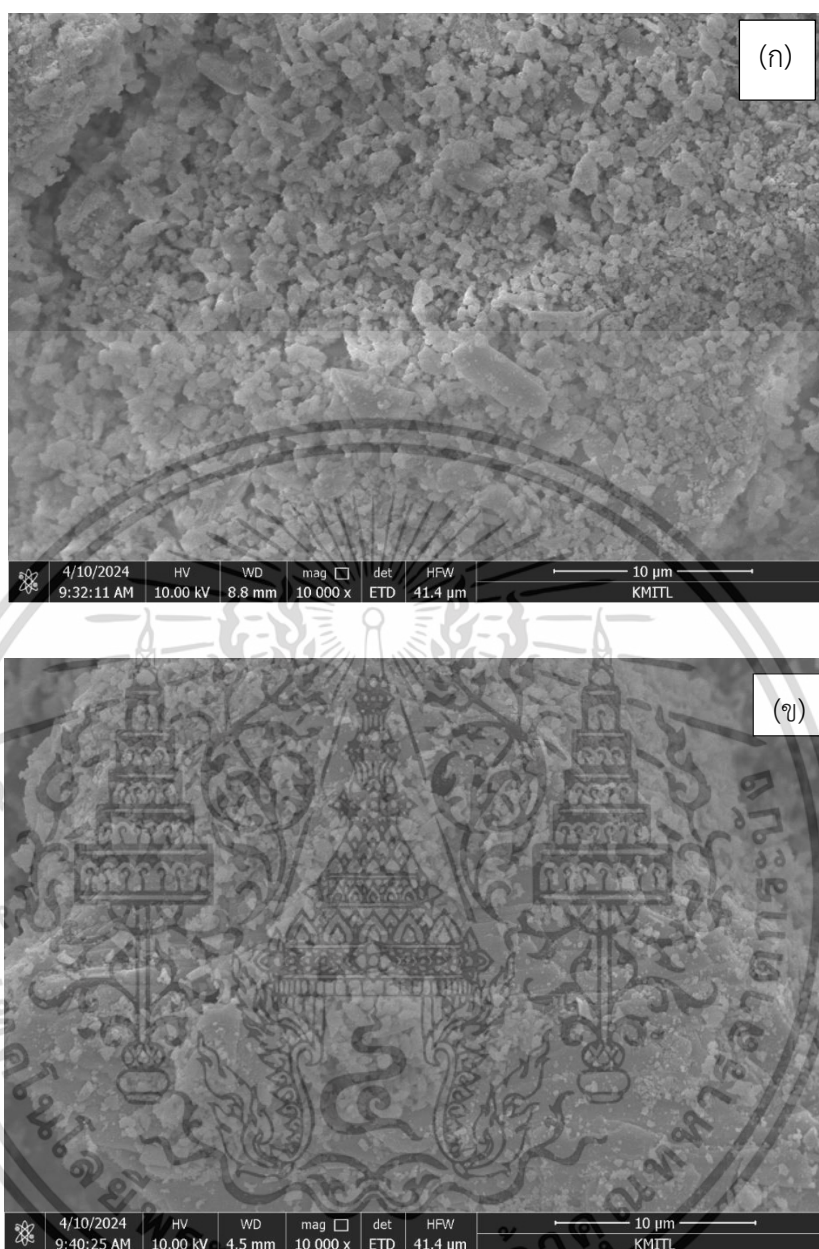
#### 4.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ปรับสภาพและเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลเข้มข้น 60%, 70% และ 80%

##### 4.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยนางรมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยนางรมที่ไม่มีการปรับสภาพและเปลือกหอยนางรมที่มีการปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% ทั้งก่อนและหลังการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1

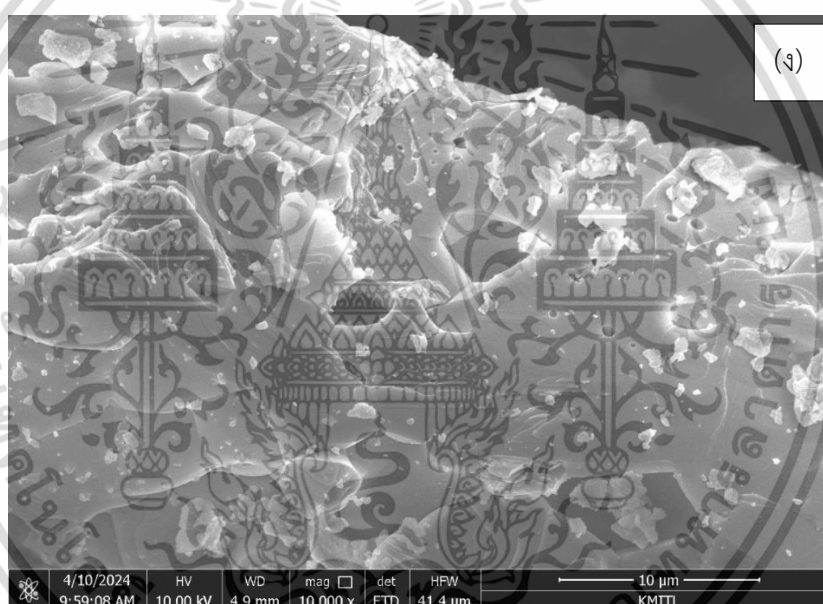
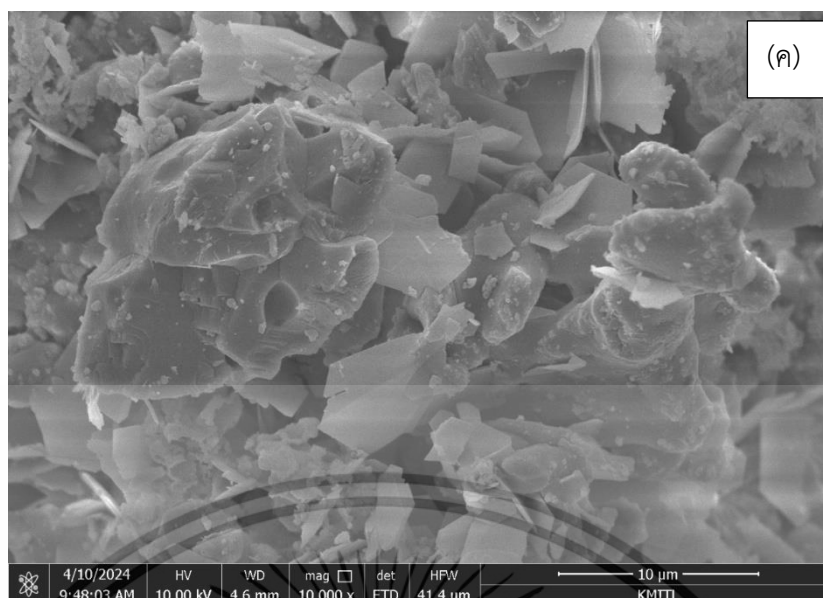
จากผลการศึกษาพบว่า พื้นผิวของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอล มีรูปร่างไม่แน่นอน ค่อนข้างกลม เกะก้างเป็นกลุ่ม (รูปที่ 4.1 ก) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของสุพัตรา (2561) ที่พบว่าการเผาเปลือกหอยแครงที่อุณหภูมิ 700 °C พื้นผิวของเปลือกหอยแครงจะถูกเปลี่ยนจากรูปร่างแผ่นเรียบตัวหลายชั้นซึ่งเป็นรูปร่างที่พบทั่วไปในเปลือกหอย ไปเป็นรูปร่างไม่แน่นอน แต่ค่อนข้างกลม เกะก้างเป็นกลุ่ม และมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น รูปที่ 4.1 ข แสดงพื้นผิวของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพหลังจากผ่านการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าเปลือกหอยนางรมจะมีรูปร่างกลมลดลงและมีพื้นที่ผิวเรียบเพิ่มมากขึ้น ส่วนพื้นผิวของเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% ก่อนการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีรูปร่างเป็นแผ่นเรียบตัวหลายชั้น (รูปที่ 4.1 ค) หลังจากผ่านการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าพื้นผิวของเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% มีพื้นผิวเป็นแผ่นลดลง (รูปที่ 4.1 ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ลักษณะโครงสร้างสีฐานวิทยาของเปลือกหอยนางรม วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า (ก) ผงเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพก่อนการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub> (ข) ผงเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพหลังการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub> (ค) ผงเปลือกหอยนางรมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% ก่อนการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub> (ง) ผงเปลือกหอยนางรมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% หลังการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 (ต่อ) ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานวิทย์ของเปลือกหอยนางรม วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า (ก) ผงเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพก่อนการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub> (ข) ผงเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพหลังการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub> (ค) ผงเปลือกหอยนางรมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% ก่อนการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub> (ง) ผงเปลือกหอยนางรมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% หลังการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub>

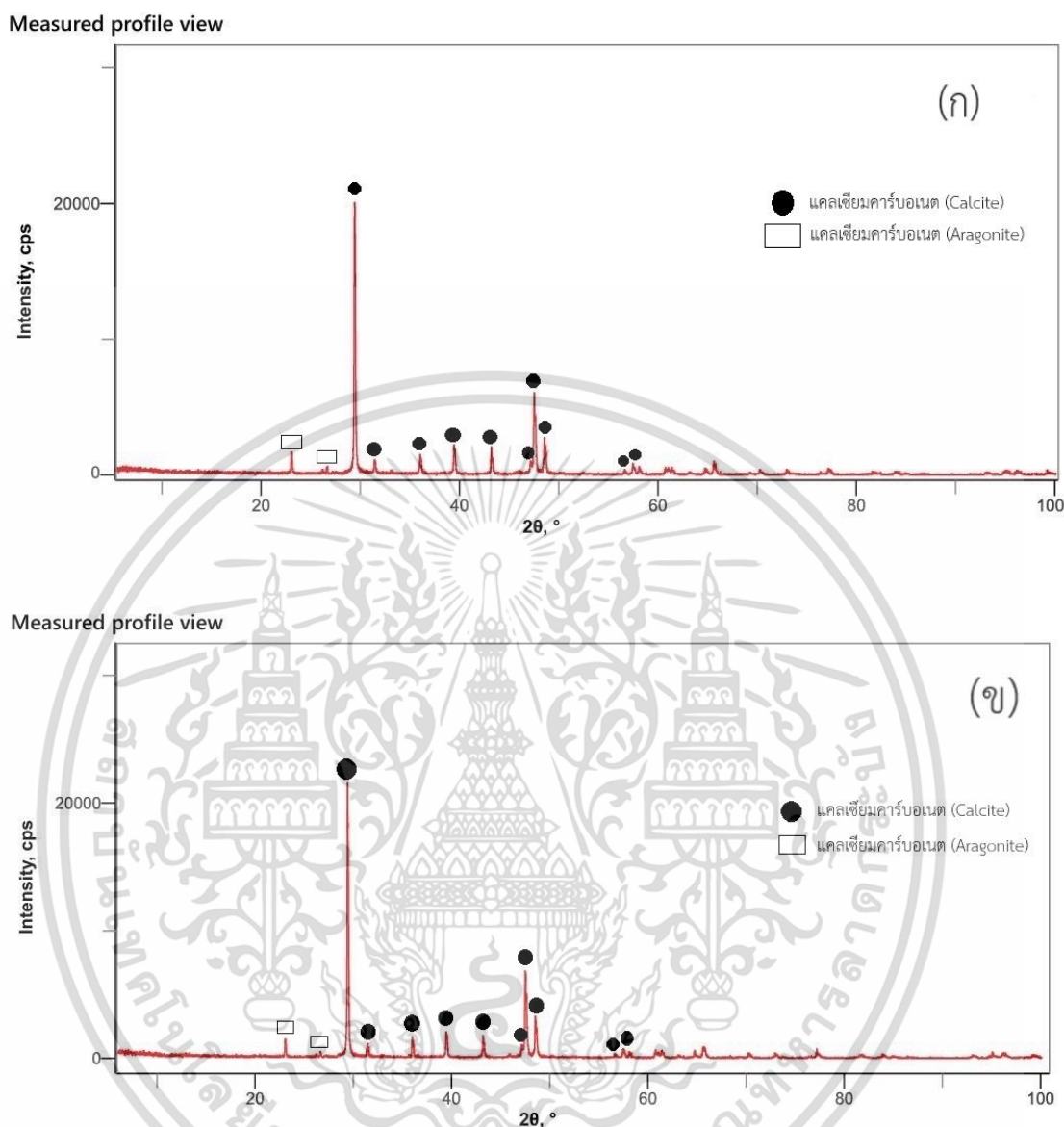
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกหอยนางรมด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD)

การวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอล และเปลือกหอยนางรมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% ทั้งก่อนและหลังการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข 1)

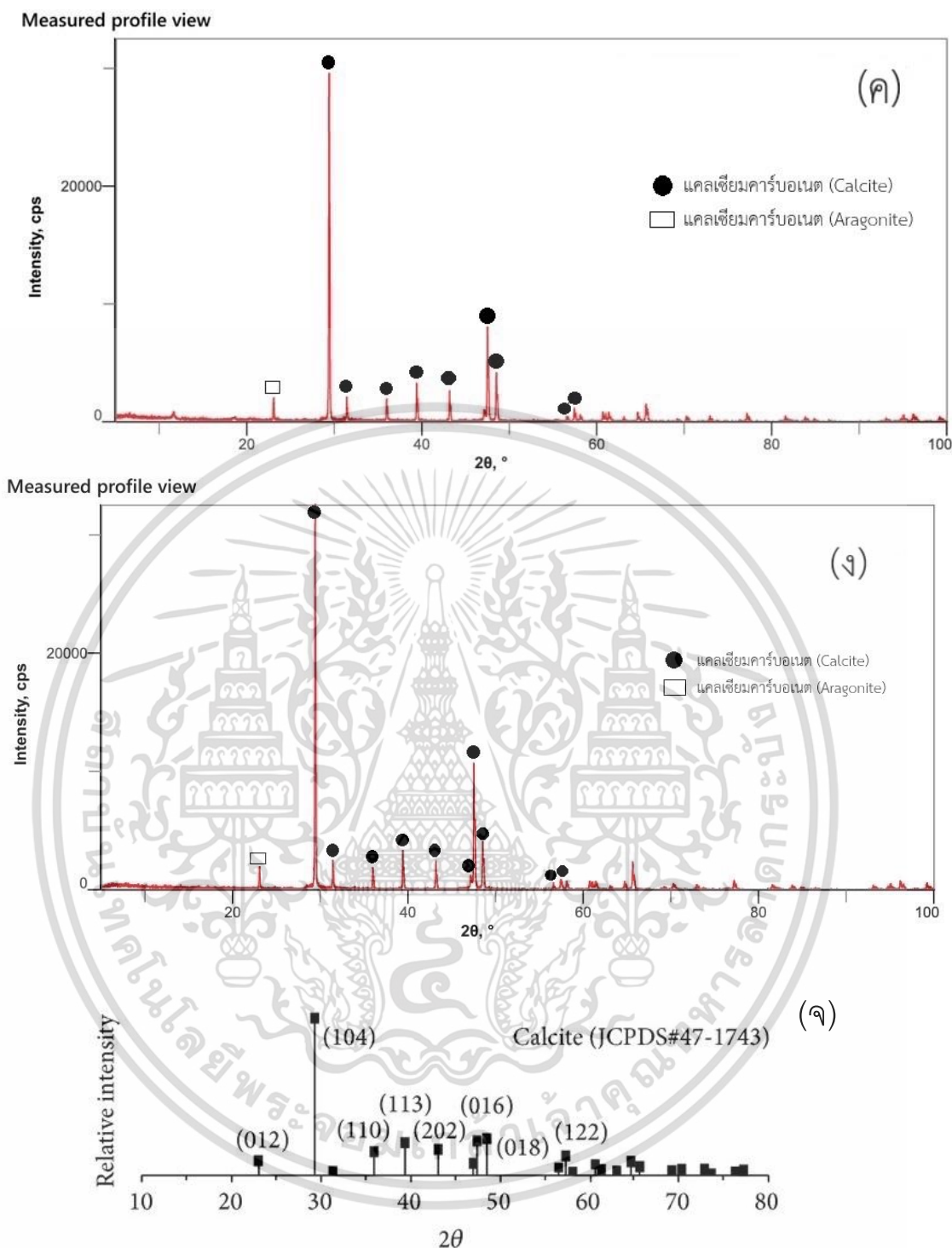
รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ( $2\theta$ ) ของผงเปลือกหอยนางรมที่ไม่ปรับสภาพก่อนการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบพีคที่  $23.050^\circ$ ,  $26.607^\circ$ ,  $29.394^\circ$ ,  $31.425^\circ$  และ  $47.471^\circ$  ตามลำดับ (รูปที่ 4.2 (ก)) ผงเปลือกหอยนางรมที่ไม่ปรับสภาพหลังการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบพีคที่  $23.060^\circ$ ,  $26.622^\circ$ ,  $29.392^\circ$ ,  $31.428^\circ$ ,  $35.983^\circ$  และ  $47.472^\circ$  (รูปที่ 4.2 (ข)) ผงเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% ก่อนดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบพีคที่  $23.029^\circ$ ,  $29.378^\circ$ ,  $31.410^\circ$ ,  $35.952^\circ$  และ  $47.467^\circ$  (รูปที่ 4.2 (ค)) ผงเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% หลังดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบพีคที่  $23.038^\circ$ ,  $29.388^\circ$ ,  $31.416^\circ$ ,  $35.963^\circ$ ,  $39.392^\circ$  และ  $47.478^\circ$  (รูปที่ 4.2 (ง)) จากการเปรียบเทียบตำแหน่งการเลี้ยวเบนต่างๆ ซึ่งมุมการเลี้ยวเบน (มุม  $2\theta$ ) กับโครงสร้างผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) โดยใช้ฐานข้อมูล JCPDS หมายเลข 47-1743 (Render *et al.*, 2016) มุมการเลี้ยวเบน หรือมุม  $2\theta$  ที่ใช้ในการพิจารณา คือ  $29.4^\circ$ ,  $39.4^\circ$ ,  $43.2^\circ$ ,  $47.4^\circ$  และ  $48.5^\circ$  ตามลำดับ พบว่าผงเปลือกหอยนางรมที่ไม่ปรับสภาพและผงเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% มีรูปแบบ XRD spectrum เป็นการเรียงตัวของโครงผลึกรูปแบบเฟสโรมโบฮีดรอลซึ่งตรงกับรูปแบบของแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปแคลไซต์ (Calcite) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เสถียรที่สุดเป็นส่วนใหญ่และพบโครงผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปอะราโกไนต์ (Aragonite) เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสที่ใช้ในการเผาไม่สูงพอที่จะเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตให้เป็นแคลเซียมออกไซด์ และแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปอะราโกไนต์ (Aragonite) บางส่วนในเปลือกหอยนางรมยังไม่ถูกแคลไซน์ นอกจากนี้ ยังไม่พบโครงสร้างของแคลเซียมออกไซด์ในเปลือกหอยนางรม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุพัทธรา (2561) ที่พบว่า XRD spectrum ของเปลือกหอยแครงที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จะพบแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปแคลไซต์ โดยการเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยแครงให้เป็นแคลเซียมออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแคลไซน์ที่ 950 องศาเซลเซียส

ความเข้มของพีค (Intensity) ที่ประมาณ  $29.3^\circ$  ของเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% สูงกว่าของผงเปลือกหอยนางรมที่ไม่ปรับสภาพมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ เอทานอลมีส่วนช่วยทำให้การเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปอะราโกไนต์ (Aragonite) ให้อยู่ในรูปแคลไซต์ (Calcite) ได้ดีขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเปลือกหอยนางรมวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ผงเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ก) ก่อนการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub> (ข) หลังการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub> และผงเปลือกหอยนางรมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% (ค) ก่อนการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub> (ง) หลังการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub> (จ) ฐานข้อมูล JCPDS หมายเลข 47-1743\*  
ที่มา: \* Render *et. al.* (2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



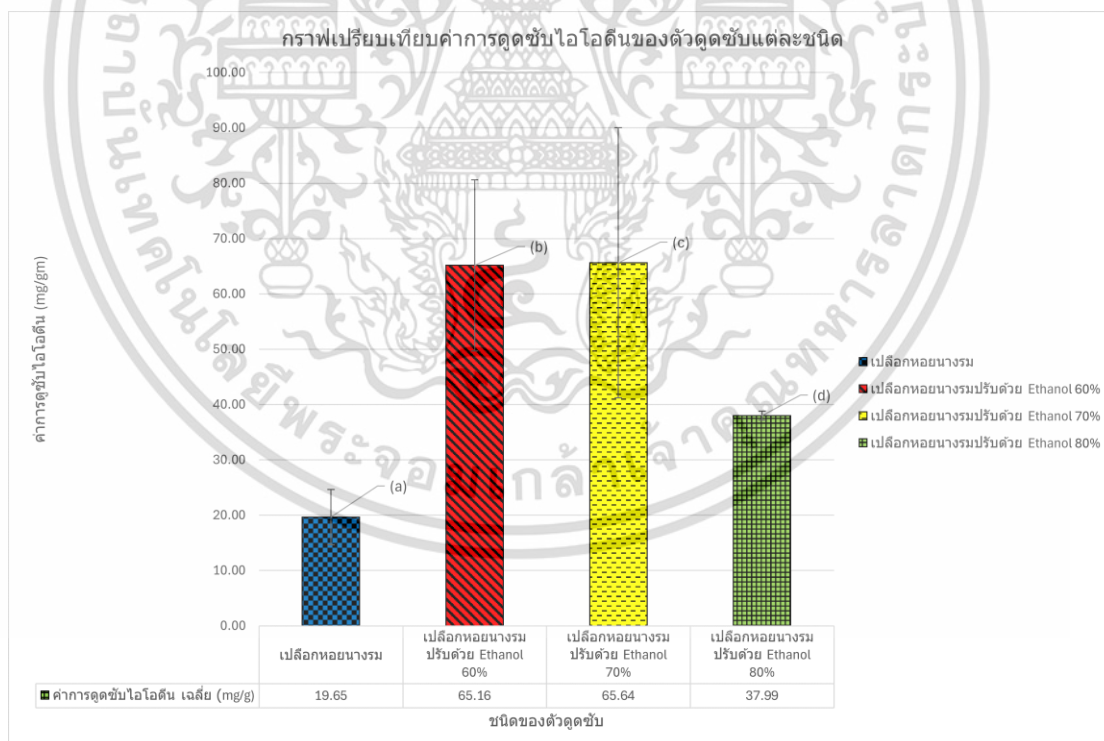
รูปที่ 4.2 (ต่อ) รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเปลือกหอยนางรมวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ผงเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ก) ก่อนการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub> (ข) หลังการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub> และผงเปลือกหอยนางรมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% (ค) ก่อนการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub> (ง) หลังการดูดซับก๊าซ CO<sub>2</sub> (จ) ฐานข้อมูล JCPDS หมายเลข 47-1743\*

\* Rander *et. al.* (2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านการดูดซับด้วยค่าไอโอดีนนมเบอร์

ผลการศึกษาพบว่าค่าไอโอดีนนมเบอร์ของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ปรับสภาพมีค่า  $19.651 \pm 4.976$  มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลที่มีความเข้มข้น 60%, 70%, และ 80% มีค่าเท่ากับ  $65.163 \pm 21.096$ ,  $65.636 \pm 24.415$ , และ  $37.989 \pm 0.804$  มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดในตาราง ข.1 ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย One-way ANOVA พบว่า ค่าไอโอดีนนมเบอร์ของเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 60 % และ 70% ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าไอโอดีนนมเบอร์ของเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 80 % และเปลือกหอยนางรมที่ไม่ปรับสภาพ ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตาราง ค. 1.ภาคผนวก ค.) ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากเอทานอลทำให้เปลือกหอยนางรมมีอนุภาคขนาดเล็กลง (Particle size) และเพิ่มโครงสร้างรูพรุน (Porous structure) ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น (A. mt *et al* 2011) ทำให้แนวโน้มในการดูดซับไอโอดีนมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ที่ความเข้มข้นเอทานอล 80% อาจทำให้พื้นที่ผิวของแคลเซียมคาร์บอเนตในหอยนางรมมีรูพรุนขนาดใหญ่มากขึ้น ส่งผลให้มีความสามารถการดูดซับไอโอดีนลดลง



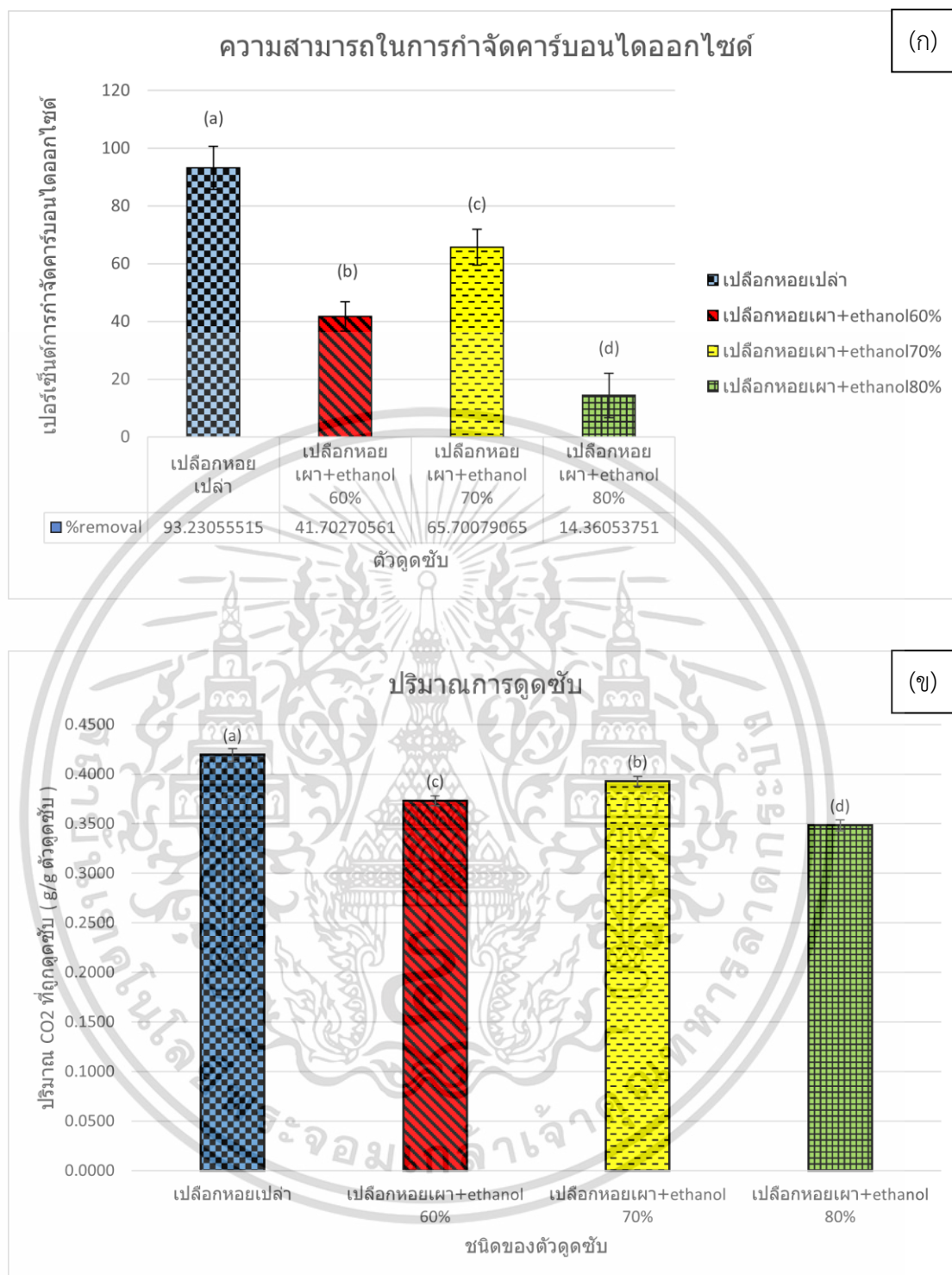
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ค่าการดูดซับไอโอดีนกับชนิดของตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

เปอร์เซ็นต์การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ปรับสภาพ เปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 60%, 70% และ 80% มีค่าเท่ากับ 93.23%, 41.70%, 65.70% และ 14.36% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ก) (ดูรายละเอียดในตาราง..ภาคผนวก ข) ในขณะที่ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปริมาณตัวดูดซับของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ปรับสภาพด้วยเอทานอล และเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 60%, 70% และ 80% มีค่าเท่ากับ  $0.4194 \pm 0.0062$ ,  $0.3731 \pm 0.0050$ ,  $0.3928 \pm 0.0049$  และ  $0.3484 \pm 0.0055$  กรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตาราง ข... ภาคผนวก ข) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย One-way ANOVA พบว่า ความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ปรับสภาพและเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 60%, 70%, 80% แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ดูรายละเอียดในตาราง ค.2 ภาคผนวก ค) โดยเปลือกหอยนางรมที่ไม่ปรับสภาพสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 70%, 60% และ 80% ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้ไม่สอดคล้องกับค่าไอโอดีนัมเบอร์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลมีพื้นผิวเป็นรูพรุนขนาดเล็ก ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถหลุดรอดออกไปได้ เมื่อปรับสภาพด้วยเอทานอล 80% จะมีรูพรุนขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ไม่ดี ในขณะที่ เปลือกหอยนางรมไม่ปรับสภาพมีพื้นที่ผิวขรุขระจึงสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บนพื้นผิวได้ดีกว่า จากผลการวิจัยพบว่าผงเปลือกหอยที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ไม่ปรากฏแคลเซียมออกไซด์ ดังนั้นจึงไม่เกิดปฏิกิริยา Carbo-nation ระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับแคลเซียมออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4 4** ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดูดซับ (ก) เปอร์เซ็นต์การกำจัด  
(ข) ปริมาณการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้เปลือกหอยนางรมบดเป็นผง เเผาะที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จากนั้น ปรับสภาพเปลือกหอยนางรมด้วยเอทานอล 60%, 70% และ 80% และไม่ปรับสภาพด้วยเอทานอล สรุปผลได้ดังนี้

- แคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยนางรมถูกเปลี่ยนเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตในรูป Calcite ยังไม่ปรากฏแคลเซียมออกไซด์
- เปลือกหอยไม่ปรับสภาพ สามารถกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้เท่ากับ 93.23% คิดเป็น  $0.4194 \pm 0.0062$  g/g ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือ เปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 70% มีค่าเท่ากับ 65.70% คิดเป็น  $0.3928 \pm 0.0049$  g/g เปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 60% มีค่าเท่ากับ 41.70% คิดเป็น  $0.3731 \pm 0.0050$  g/g และเปลือกหอยนางรมที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล 80% มีค่าเท่ากับ 14.36% คิดเป็น  $0.3484 \pm 0.0055$  g/g

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพเปลือกหอยนางรม เช่น อุณหภูมิ ชนิดของสารเคมี ระยะเวลา
2. ควรศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับของเปลือกหอยนางรม เช่น อุณหภูมิ ปริมาณตัวดูดซับ ระยะเวลาในการดูดซับ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
3. ควรนำมาประยุกต์ใช้ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงแรงงาน. ม.ป.ป. ทฤษฎีการดูดซับ (Theory of Adsorption) (6,11,17,31). [online].  
เข้าถึงได้จาก <http://nlrc.mol.go.th/research/IBISsr6/02IBISsr6.pdf>. สืบค้นเมื่อวันที่ 14  
มกราคม 2567
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2019. หอยตะไกรกรมดำ (Crassostrea lugubris). [online].  
เข้าถึงได้จาก  
<https://www.facebook.com/DMCRTH/photos/a.368707123176791/368707289843441/?type=3>. สืบค้นเมื่อวันที่ 28 เมษายน 2567
- เกศศิริ เหล่าวิชระสุวรรณ. 2551. การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่  
เตรียมจากฟางข้าว แกลบ และขานอ้อยโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก. (คณะ  
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้า)
- คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2021. ทำความรู้จักอันตรายจาก  
คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide). [online]. เข้าถึงได้จาก  
<https://www.sci.psu.ac.th/news/2021/07/get-to-know-carbon-dioxide/>. สืบค้นเมื่อ  
วันที่ 14 มกราคม 2567
- จารุวรรณ เจริญชัยเพชร, พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์, และ เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ. 2561. การ  
ปรับปรุงความสามารถในการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวดูดซับโพแทสเซียม  
คาร์บอเนตบนแกมมา-อะลูมินาที่เตรียมด้วยวิธีอิมเพกชันในสถานะเบส. [online]. เข้าถึงได้  
จาก [http://www.buuconference.buu.ac.th/tiche2018/reg/  
getfile.php?name=paper140&file=file/TICHE2018/paper140.pdf](http://www.buuconference.buu.ac.th/tiche2018/reg/getfile.php?name=paper140&file=file/TICHE2018/paper140.pdf). สืบค้นเมื่อวันที่ 18  
มีนาคม 2567.
- จันทิมา ชั่งสิริพร, พรศิริ แก้วประดิษฐ์, และ พฤกระยา พงศ์ยี่หล้า. 2559. การผลิตถ่านกัมมันต์จาก  
ถ่านไม้ยางพาราที่ได้จากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลสำหรับงานเครื่องกรองน้ำ. (ภาควิชาวิศวกรรม  
เคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
- จิระศักดิ์ เพ็งคุณ. 2557. การศึกษาทดลองการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยถ่านกัมมันต์และดูด  
ซึมโดยน้ำ. (ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล,  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
- ชาติยา ตรีพูนสุข. 2562. การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้โพแทสเซียมคาร์บอเนตบนตัวรองรับ  
แกมมา-อะลูมินาและการฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับของแข็งในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไชน์เบด.  
(ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเคมีเทคนิค, ภาควิชาเคมีเทคนิค, คณะวิทยาศาสตร์,  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- ธนธรณ์ ปวงแก้ว. 2555. การเตรียมแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์สูงจากเปลือกหอยแครงเพื่อการผลิตผงไฮดรอกซีอะพาไทต์. (วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).
- นิพนธ์ ศรีบุญเรือง. 2536. กระบวนการดูดซับ (Adsorption). [online]. เข้าถึงได้จาก <https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/8406/6/Chapter2.pdf>. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มกราคม 2567
- นิรนาม. ม.ป.ป. วัสดุดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide Scavenger). [online]. เข้าถึงได้จาก [https://packaging.oie.go.th/new/admin\\_control\\_new/html-demo/file\\_technology\\_/9163825470.pdf](https://packaging.oie.go.th/new/admin_control_new/html-demo/file_technology_/9163825470.pdf). สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มีนาคม 2567
- นุสรรา จริยะสกุลโรจน์. 2566. DAC เทคโนโลยีดักจับและกักเก็บคาร์บอน. [online]. เข้าถึงได้จาก <https://petromat.org/home/direct-air-capture/>. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มีนาคม 2567
- บริษัท ไทยโพลีเคมีคอล จำกัด. ม.ป.ป. CALCIUM OXIDE. [online]. เข้าถึงได้จาก <https://thaipolychemicals.weebly.com/calcium-oxide.html>. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 มกราคม 2567
- บริษัท ฮีโร่ไซน์ มาร์เก็ตติ้ง จำกัด. แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO<sub>3</sub>). [online]. เข้าถึงได้จาก [https://www.herosignmarketing-th.com/%E0%B9%81%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A2%E0%B8%A1%E0%B8%84%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B9%80%E0%B8%99%E0%B8%95\\_Und\\_\(CaCo3\)/5fe8b1e55ede32001204e527](https://www.herosignmarketing-th.com/%E0%B9%81%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A2%E0%B8%A1%E0%B8%84%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B9%80%E0%B8%99%E0%B8%95_Und_(CaCo3)/5fe8b1e55ede32001204e527). สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มกราคม 2567
- ปานทิพย์ อ้วนวานิช. 2554. สาเหตุการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. ตำราการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. (ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง).
- เพ็ญวิภา บัลลังก์โพธิ์. 2560. หอยนางรม...หอยสารพัดประโยชน์. [online]. เข้าถึงได้จาก [http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss\\_knowledge/BST1\\_07\\_2560\\_Oysters.pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_knowledge/BST1_07_2560_Oysters.pdf). สืบค้นเมื่อวันที่ 12 มกราคม 2567
- ไพโรศาล จิตธรรม. 2551. การตรวจหาปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> และ CO ในระบบปิดด้วยเครื่อง Gas Chromatography และ CO<sub>2</sub>, CO sensor. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาเคมีวิเคราะห์, ภาควิชาเคมี, มหาวิทยาลัยศิลปากร).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ม.ป.ป. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน. [online]. เข้าถึงได้จาก [https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2556/mat40256mk\\_ch2.pdf](https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2556/mat40256mk_ch2.pdf). สืบค้นเมื่อวันที่ 12 มกราคม 2567
- มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2552. ลักษณะของหอยทะเล. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน เล่มที่ 34 เรื่องที่ 5 หอยทะเลในไทย
- รศ.ดร.จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ. 2552. อุปกรณ์ควบคุมมลพิษชนิดก๊าซและไอ. สุขศาสตร์  
อุตสาหกรรม: การควบคุม.
- รศ.ดร.จรัญ บุญกาญจน์, ผศ.ดร. จันทิมา ชั่งสิริ, และ สุदारัตน์ ถิ่นจะนะ. 2555. การดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ซีตากรันที่ได้จากกระบวนการผลิตเหล็กกล้า. (คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)
- รองศาสตราจารย์วันทนา อยู่สุข. 2539. เปลือกหอย. จดหมายข่าวราชบัณฑิตยสถาน ปีที่ ๖ ฉบับที่ ๕๖.  
วันทนา อยู่สุข. 2541. หอยทะเล. ( ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพมหานคร)
- คันศนีย์ รักไทยเจริญชีพ. 2558. ประโยชน์ของ XRD เพื่อการวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์. (กรมวิทยาศาสตร์บริการ).
- ศศิพันธุ์ ณ สงขลา, อุษณีย์ สันตติวงศ์ไชย, สุรพงษ์ พิมพ์จันทร์, ชาญชัย อัครวินิจกุลชัย, และ สมพร จงศ์คำ. 1998. การวิเคราะห์ธาตุในเปลือกหอยโดยวิธีนิวเคลียร์. (กองฟิสิกส์, สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ).
- สุदारัตน์ โอภาชาติ. 2555. ผลของการเผาต่อการสูญเสีย คาร์บอนเหนือพื้นดินในป่าเต็งรังผสมสน ณ โครงการหลวงบ้านวัดจันทร์ จังหวัดเชียงใหม่. ครงงานวิจัยพัฒนา. (ภาควิชาวนวัฒนวิทยา, คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.)
- สุพัตรา วงศ์แสนใหม่. 2561. การสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์จากขยะเปลือกหอยแครงสำหรับการประยุกต์ใช้งานเป็นวัสดุดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์. (มหาวิทยาลัยแม่โจ้).
- สุพัตรา วงศ์แสนใหม่. 2566. การพัฒนาวัสดุดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากผงแบเรียมออกไซด์ไทเทเนต. (มหาวิทยาลัยแม่โจ้).
- สุภกร บุญยีน, มณฑา มาลัยทอง, อภิสิทธิ์ โพธิ์แก้ว, เบญญา เชิดศิริฎกร, อิศรพงษ์ เชื้อสันเทียะ. 2558. การสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอย. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สร้อยญา ธนสัมฤทธิ์. 2551. การดูดซับซัลไฟด์ไอออนในน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์. [online]. เข้าถึงได้จาก  
จาก  
[https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr\\_es/index.php?/BKN/search\\_detail/result/352728](https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr_es/index.php?/BKN/search_detail/result/352728).  
สืบค้นเมื่อวันที่ 21 เมษายน 2567.
- สร้อยพัทธา สร้อยสุวรรณ, วิลาสินี วิสัยจร, จิราพร พรหมจรรย์. 2557. โครงการการดูดซับ  
คาร์บอนไดออกไซด์ของแคลเซียมออกไซด์จากวัสดุธรรมชาติ. (มหาวิทยาลัยบูรพา).  
สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. ม.ป.ป. วัตถุประสงค์ดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide  
Scavenger) .[online]. เข้าถึงได้จาก [https://packaging.oie  
.go.th/new/admin\\_control\\_new/html-demo/file\\_technology/9163825470.pdf](https://packaging.oie.go.th/new/admin_control_new/html-demo/file_technology/9163825470.pdf).  
สืบค้นเมื่อวันที่ 2 มกราคม 2567
- สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2564 8วิธีกู้โลก ลดคาร์บอน ลดโลกร  
ร้อน [online] เข้าถึงได้จาก <https://erdi.cmu.ac.th/?p=2631>. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มกราคม  
2567
- องค์การบริหารส่วนตำบลเกาะสะบ้า 2554 ก๊าซเรือนกระจก คืออะไร, [online] เข้าถึงได้จาก  
<https://kohsaba.go.th/networknews/detail/242419>. สืบค้นเมื่อวันที่ 28 เมษายน 2567
- A. Mt, S. Yusup, Enhancement of calcium oxide (CaO) for carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)  
capture, SENRA Acad. Publ. 5 (2011) 1391–1397.
- Abanades, J. C., Antony, E. J., Wang, J., and Oakey, J. E. 2005. Fluidized Bed  
Combustion Systems Intergrating CO<sub>2</sub> Capture with CaO. Environ. Sci. Tech.  
39:2861-2866.
- Analytice Societe de Service Analytique. 2020. ASTM D4607: Determination of Iodine  
Value on Carbonaceous Particles in the Laboratory. [online]. เข้าถึงได้จาก  
<https://www.analytice.com/en/>. สืบค้นเมื่อวันที่ 2 เมษายน 2567
- Cormie, M., Arencibia, A., Sanz, R., Sanz, P.E., Erans., M. 2021. Etanol-treated eggshell-  
derived sorbents for direct air capture. Department of Chemical. Journal of CO<sub>2</sub>  
Utilization. 77, 10.1016/j.jcou.2023.102616.
- Daniele, V. and Taglieli, G. 2011. Ca(OH)<sub>2</sub> nanoparticle characterization: microscopic  
investigation of their application on natural stones. WIT Transactions on  
Engineering Sciences. 72, 55-66, 10.2495/MC110051.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Devakie Nair. 2019. *Crassostrea iredalei* (slipper oyster). เข้าถึงได้จาก <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/abs/10.1079/cabicompendium.87324>. สืบค้นเมื่อวันที่ 28 เมษายน 2567
- FAO. 2009. *Saccostrea commercialis*. In Cultured aquatic species fact sheets.
- Goldenlime. 2013. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) หรือปูนไฮเดรต. [online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.goldenlime.co.th/hydrated>. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 มกราคม 2567
- Herzog, H.J.. 2023. Carbon Capture. เข้าถึงได้จาก <https://climate.mit.edu/explainers/carbon-capture>. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มีนาคม 2567
- Himanshu, G., Fan, L.S. 2002. Carbonation-Calcination Cycle Using High Reactivity CalciumOxide for Carbon Dioxide Separation from Flue Gas. *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 41, No. 16, 2002.
- Howard J. Herzog. 2023. Carbon Capture. เข้าถึงได้จาก <https://climate.mit.edu/explainers/carbon-capture>. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มีนาคม 2567
- Lesbani, A., Tamba, P., Mohadi, R. and Fahmariyanti, F. 2013. Preparation of calcium oxide from *Achatina fulica* as catalyst for production of biodiesel from waste cooking oil. *Indonesian Journal of Chemistry*. 13(2), 179-180, 10.22146/ijc.21302.
- Li, Z.S., Fang, F., Tang, X., Cai, N. 2012. Effect of Temperature on the Carbonation Reaction of CaO with CO. *Energy & Fuels*. 26. 10.1021/ef201543n.
- Louis, V., Besseau, L., and Lartaud, F. 2022. Step in Time: Biomineralisation of Bivalve's Shell. *Frontiers in Marine Science*. 9, 10.3389/fmars.2022.906085.
- Net Zero Techup. 2022. Direct Air Capture. [online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.blockdit.com/posts/63693dad5be5450cc96ff800>. สืบค้นเมื่อวันที่ 28 เมษายน 2567
- Orazi, V., Juan, A., Gonzalez, E., Marchetti, J., Jasen, P.V. 2020. DFT study of ethanol adsorption on CaO (001) surface. *Applied Surface Science*. 500, 10.1016/j.apsusc.2019.144254.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- PCC Greenline. 2022. ผลกระทบของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อชีวิตพืช. [online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.products.pcc.eu/th/blog/%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%97%E0%B8%9A%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%84%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B9%84%E0%B8%94%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%81/>. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2567
- Ramakrishna, C., T. Thenepalli, S. Y. Nam, C. Kim and J. W. Ahn. 2018. Extraction of precipitated calcium carbonate from oyster shell waste and its applications. *Journal of Energy Engineering*. 27(1): 51-58
- Razali, N. (2017). Utilization of cockle shells as partial binder replacement. *Journal of Engineering and Technology*. 8.
- Render, D., Samuel, T., King, H., Vig, M., Jeelani, S., Babu, R. J. and Rangari, V. 2016. Biomaterial-Derived Calcium Carbonate Nanoparticles for Enteric Drug Delivery. *Journal of Nanomaterials*. 2016. 1-8. 10.1155/2016/3170248.
- RISC. 2023. การดักจับ CO<sub>2</sub> ในอากาศแบบเชิงพาณิชย์ ปัจจุบันทำได้แค่ไหน. [online]. เข้าถึงได้จาก <https://risc.in.th/th/knowledge/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%94%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%9A-co2-%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A8%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B9%80%E0%B8%8A%E0%B8%B4%E0%B8%87%E0%B8%9E%E0%B8%B2%E0%B8%93%E0%B8%B4%E0%B8%8A%E0%B8%A2%E0%B9%8C-%E0%B8%9B%E0%B8%B1%E0%B8%88%E0%B8%88%E0%B8%B8%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%B3%E0%B9%84%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B9%81%E0%B8%84%E0%B9%88%E0%B9%84%E0%B8%AB%E0%B8%99>. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มีนาคม 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### การเตรียมสารเคมีและวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

#### วิธีวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนของเปลือกหอยนางรม

การวิเคราะห์หาความสามารถในการดูดซับเปลือกหอยนางรมและเปลือกหอยนางรมที่ปรับด้วยเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 60%, 70%, และ 80% ตามมาตรฐาน ASTM D4607-86 มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

#### การเตรียมสารเคมีในการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน

1. เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต โดยชั่งผงโพแทสเซียมไอโอเดตมา 3.5667 กรัม แล้วละลายด้วยน้ำกลั่นจากนั้นปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

2. เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5% โดยทำการตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมา 70 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 550 มิลลิลิตร

3. อินดิเคเตอร์น้ำแป้ง เตรียมโดยชั่งแป้งมา  $1 \pm 0.5$  กรัม แล้วละลายด้วยน้ำกลั่นทำการคนให้เข้าที่จากนั้นเติมน้ำแป้งลงในน้ำต้มเดือดปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ต้มเดือดนาน 5 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นแล้วจึงเก็บใส่ภาชนะ

4. เตรียมสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เข้มข้นประมาณ 0.1 N เตรียมโดยชั่งโซเดียมไทโอซัลเฟตมา 24.82 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นประมาณ 75 มิลลิลิตรและเติมโซเดียมคาร์บอเนต  $0.1 \pm 0.01$  กรัม จากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

5. ทำการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตมา 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่และเติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2 กรัม พร้อมเขย่าให้ละลายจึงทำการเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5% ปริมาตร 5 มิลลิลิตรและเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นจะทำการไทเทรตโดยจะไทเทรตจนได้สีเหลืองชาจึงเติมน้ำแป้งลงไป 2-3 หยด และทำการไทเทรตจนสารละลายใสไม่มีสี จดบันทึกปริมาณสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตเพื่อนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

6. สารละลายไอโอดีนเข้มข้นประมาณ 0.1 N ทำการเตรียมโดยชั่งไอโอดีนมา 12.7 กรัม และชั่งโพแทสเซียมไอโอไดด์มา 19.1 กรัม เทผสมลงในบีกเกอร์และค่อยๆเติมน้ำกลั่นลงไปพร้อมคอยคนให้ละลาย หยุดเติมน้ำกลั่น เมื่อสารละลายมีปริมาตรถึง 50-60 มิลลิลิตร แล้วคนต่อจนผลึกไอโอดีนละลายจนหมด จากนั้นจึงทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

7. การไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน ทำโดยปิเปตสารละลายไอโอดีนมาปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่แล้วทำการไทเทรตด้วยสารละลาย

โซเดียมไทโอซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นแล้ว โดยไทเทรตจนได้สีเหลืองชา จึงทำการเติมอินดิเคเตอร์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำแป้งลงไป 2-3 หยด แล้วจึงไทเทรตต่อจนสารละลายใสไม่มีสี จดบันทึกปริมาณสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตเพื่อนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ผลการทดลอง

ตาราง ข.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนของเปลือกหอยนางรม

	น้ำหนักเปลือกหอย (g)	ปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ (ml)	ค่าไอโอดีนนมเบอร์ (mg/g)	ค่าไอโอดีนนมเบอร์เฉลี่ย (mg/g)
เปลือกหอยนางรม	2.0604	36.20	14.91	19.6512
	2.0267	35.50	24.84	
	2.0380	35.90	19.20	
เปลือกหอยนางรม ปรับสภาพด้วย เอทานอล 60%	2.0241	33.80	48.39	65.1634
	2.0503	32.30	68.26	
	2.0952	31.40	78.83	
เปลือกหอยนางรม ปรับสภาพด้วย เอทานอล 70%	2.0866	34.50	37.55	65.6357
	2.0886	31.20	81.76	
	2.0925	31.50	77.60	
เปลือกหอยนางรม ปรับสภาพด้วย เอทานอล 80%	2.0426	34.50	38.40	37.9892
	2.0326	34.50	38.54	
	2.0787	34.60	37.07	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข.2 การทดลองการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ตาราง ข.2.1 ตารางบันทึกน้ำหนักและอัตราการไหลเข้าและอัตราการไหลออก

ตัวอย่าง	ซ้ำ	น้ำหนัก สำลีสบน	น้ำหนัก สำลีสล่าง	น้ำหนักสาร ดูดซับ (g)	Flow in (ml/min)	Flow out (ml/min)
สำลีสเปล่า	1			1.3528	441.10	104.42
	2			1.3546	406.50	103.50
	3			1.3557	401.20	109.98
เปลือกหอยเปล่า	1	1.2100	0.1618	5.0886	1106.20	106.33
	2	0.7009	0.1608	5.0788	1101.50	107.74
	3	0.5184	0.1683	5.0263	1096.20	104.91
เปลือกหอยเผา+ ethanol 60%	1	0.5134	0.1656	5.0013	1102.23	112.87
	2	0.5156	0.1622	5.0124	1108.49	109.45
	3	0.5124	0.1709	5.0155	1112.45	111.23
เปลือกหอยเผา+ ethanol 70%	1	0.5305	0.1717	5.0862	1110.20	125.11
	2	0.5127	0.1871	5.1430	1114.30	117.92
	3	0.5406	0.1778	5.2895	1112.80	121.98
เปลือกหอยเผา+ ethanol 80%	1	0.5143	0.1655	5.0248	1110.97	109.78
	2	0.5109	0.1712	5.0499	1099.37	112.54
	3	0.5144	0.1723	5.0723	1107.67	115.80

จะนำผลการทดลองที่ได้ไปหาปริมาณการดูดซับโดยใช้วิธีการไทเทรตโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH 0.0966M) ที่ดักจับอากาศที่ไหลผ่านตัวดูดซับด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl 0.1001M) เพื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกำจัด (%removal) แต่ต้องทราบค่าอื่นที่จำเป็นก่อนจะนำไปคำนวณ โดยต้องคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

### การคำนวณปริมาตรอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $Q$  = อัตราการไหล (L/m)

$T$  = ระยะเวลาที่เก็บอากาศ (min)

ตาราง ข.2.2 ตารางคำนวณปริมาตรอากาศ

ตัวอย่าง	ซ้ำ	ปริมาตร อากาศ (L)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
สำลีเปล่า	1	1.5663		
	2	1.5525		
	3	1.6497	1.5895	0.0526
เปลือกหอยเปล่า	1	1.5950		
	2	1.6161		
	3	1.5737	1.5949	0.0212
เปลือกหอยเผา+ethanol 60%	1	1.6931		
	2	1.6418		
	3	1.6685	1.6678	0.0257
เปลือกหอยเผา+ethanol 70%	1	1.8767		
	2	1.7688		
	3	1.8297	1.8251	0.0541
เปลือกหอยเผา+ethanol 80%	1	1.6467		
	2	1.6881		0.0278
	3	0.2113	0.2359	0.0641

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน

ตาราง ข.2.3 ตารางบันทึกอุณหภูมิและความดัน ก่อนเก็บอากาศและหลังเก็บอากาศ

ตัวอย่าง	ซ้ำ	T ก่อน	T หลัง	Temp เฉลี่ย (C)	Temp เฉลี่ย (K)	P ก่อน (kPa)	P หลัง (kPa)	Pressure เฉลี่ย (kPa)
สำลีเปล่า	1	30.5	30.5	30.5	303.65	100.2	100.2	100.2
	2	30.5	30.5	30.5	303.65	100.2	100.2	100.2
	3	30.5	30.5	30.5	303.65	100.2	100.2	100.2
เปลือกหอยเปล่า	1	30.5	30.5	30.5	303.65	100.2	100.2	100.2
	2	30.5	30.5	30.5	303.65	100.2	100.2	100.2
	3	30.5	30.5	30.5	303.65	100.2	100.2	100.2
เปลือกหอยเผา+ ethanol 60%	1	30.5	30.5	30.5	303.65	100.3	100.3	100.3
	2	30.5	30.5	30.5	303.65	100.3	100.3	100.3
	3	30.5	30.5	30.5	303.65	100.3	100.3	100.3
เปลือกหอยเผา+ ethanol 70%	1	30.5	30.5	30.5	303.65	100.2	100.2	100.2
	2	30.5	30.5	30.5	303.65	100.2	100.2	100.2
	3	30.5	30.5	30.5	303.65	100.2	100.2	100.2
เปลือกหอยเผา+ ethanol 80%	1	30.5	30.5	30.5	303.65	100.3	100.3	100.3
	2	30.5	30.5	30.5	303.65	100.3	100.3	100.3
	3	30.5	30.5	30.5	303.65	100.3	100.3	100.3

สูตรการคำนวณ 
$$\frac{P_1 \times V_1}{T_1} = \frac{P_2 \times V_2}{T_2}$$

โดยที่  $P_1$  = ความดันบรรยากาศ (kPa)

$V_1$  = ปริมาตรอากาศ (L)

$T_1$  = อุณหภูมิ (K)

$P_2$  = ความดันบรรยากาศที่สภาวะมาตรฐาน (kPa)

$V_2$  = ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สภาวะมาตรฐาน (K) การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะคำนวณสูตรนี้ได้ต้องทราบอุณหภูมิ และความดันก่อนเก็บอากาศและหลังเก็บอากาศ โดยได้มีการบันทึกไว้ดังตาราง ข.4

ตาราง ข.2.4 คำนวณปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน

ตัวอย่าง	ซ้ำ	ปริมาตรอากาศที่ สภาวะมาตรฐาน (L)	ค่าเฉลี่ย	S.D.
สำลีเปล่า	1	1.5209		
	2	1.5075		
	3	1.6018	1.5434	0.0511
เปลือกหอยเปล่า	1	1.5487		
	2	1.5692		
	3	1.5280	1.6456	0.0206
เปลือกหอยเผา+ethanol 60%	1	1.6456		
	2	1.5957		
	3	1.6217	1.6210	0.0249
เปลือกหอยเผา+ethanol 70%	1	1.8222		
	2	1.7175		
	3	1.7766	1.7721	0.0525
เปลือกหอยเผา+ethanol 80%	1	1.6005		
	2	1.6408		
	3	1.6883	1.6432	0.0439

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การไทเทรตหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ตาราง ข.2.5 ตารางบันทึกผลการไทเทรต

ตัวอย่าง	ซ้ำ	ขวดที่ 1 ปริมาตร HCl เริ่มต้น (ml)	ขวดที่ 1 ปริมาตร HCl สิ้นสุด (ml)	ขวดที่ 1 ปริมาตร HCl ที่ ใช้ (ml)	ขวดที่ 2 ปริมาตร HCl เริ่มต้น (ml)	ขวดที่ 2 ปริมาตร HCl สิ้นสุด (ml)	ขวดที่ 2 ปริมาตร HCl ที่ ใช้ (ml)
ลำลีเปล้า	1	0	5.9	5.9	0	6.9	6.9
	2	0	5.8	5.8	0	7.8	7.8
	3	0	5.5	5.5	0	6.7	6.7
เปลือกหอย เปล้า	1	0	18.7	18.7	0	19.5	19.5
	2	0	18.4	18.4	0	19.3	19.3
	3	0	16.0	16.0	0	18.7	18.7
เปลือกหอย เผา+ ethanol 60%	1	0	10.5	10.5	0	12.0	12.0
	2	0	11.0	11.0	0	13.5	13.5
	3			9.5			
		0	9.5		0	12.0	12.0
เปลือกหอย เผา+ ethanol 70%	1	0	14.6	14.6	0	15.1	15.1
	2	0	12.6	12.6	0	14.2	14.2
	3			13.1			
		0	13.1		0	15.9	15.9
เปลือกหอย เผา+ ethanol 80%	1	0	6.5	6.5	0	8.0	8.0
	2	0	6.0	6.0	0	8.0	8.0
	3			8.0			
	0	8.0		0	9.0	9.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การคำนวณหาความเข้มข้น NaOH ที่ทำปฏิกิริยากับ HCl ที่เหลือ

$$\text{สูตรการคำนวณ } C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

โดยที่  $C_1$  = ความเข้มข้นของ NaOH (M)

$V_1$  = ปริมาตรของ NaOH (ml)

$C_2$  = ความเข้มข้นของ HCl (M)

$V_2$  = ปริมาตร HCl ที่ใช้ไทเทรต (ml)

ตาราง ข 2.6 ตารางคำนวณหาความเข้มข้น NaOH ที่ทำปฏิกิริยากับ HCl ที่เหลือในขวดที่ 1

ตัวอย่าง	ซ้ำ	ขวดที่ 1 ความเข้มข้น NaOH ที่ทำปฏิกิริยากับ HCl ที่เหลือ (M)	ขวดที่ 1 ความเข้มข้น NaOH ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับ CO <sub>2</sub> (M)	ขวดที่ 1 จำนวนโมล NaOH ที่ทำปฏิกิริยากับ CO <sub>2</sub> (M)
สำลีเปล่า	1	0.0295	0.0671	0.0013
	2	0.0290	0.0676	0.0014
	3	0.0275	0.0691	0.0014
เปลือกหอยเปล่า	1	0.0936	0.0030	0.0001
	2	0.0921	0.0045	0.0001
	3	0.0801	0.0165	0.0003
เปลือกหอยเผา+ ethanol 60%	1	0.0526	0.0440	0.0009
	2	0.0551	0.0415	0.0008
	3	0.0475	0.0491	0.0010
เปลือกหอยเผา+ ethanol 70%	1	0.0731	0.0235	0.0005
	2	0.0631	0.0335	0.0007
	3	0.0656	0.0310	0.0006
เปลือกหอยเผา+ ethanol 80%	1	0.0325	0.0641	0.0013
	2	0.0300	0.0666	0.0013
	3	0.0400	0.0566	0.0011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข 2.7 ตารางคำนวณหาความเข้มข้น NaOH ที่ทำปฏิกิริยากับ HCl ที่เหลือในขวดที่ 2

ตัวอย่าง	ซ้ำ	ขวดที่ 2 ความเข้มข้น NaOH ที่ทำปฏิกิริยากับ HCl ที่เหลือ (M)	ขวดที่ 2 ความเข้มข้น NaOH ที่ทำปฏิกิริยากับ CO <sub>2</sub> (M)	ขวดที่ 2 จำนวนโมล NaOH ที่ใช้ทำปฏิกิริยากับ CO <sub>2</sub> (M)
สำลีเปล่า	1	0.0345	0.0621	0.0012
	2	0.0390	0.0576	0.0012
	3	0.0335	0.0631	0.0013
เปลือกหอยเปล่า	1	0.0976	-0.0010	0.0000
	2	0.0966	0.0000	0.0000
	3	0.0936	0.0030	0.0001
เปลือกหอยเผา+ ethanol 60%	1	0.0601	0.0365	0.0007
	2	0.0676	0.0290	0.0006
	3	0.0601	0.0365	0.0007
เปลือกหอยเผา+ ethanol 70%	1	0.0756	0.0210	0.0004
	2	0.0711	0.0255	0.0005
	3	0.0796	0.0170	0.0003
เปลือกหอยเผา+ ethanol 80%	1	0.0400	0.0566	0.0011
	2	0.0400	0.0566	0.0011
	3	0.0450	0.0516	0.0010

หลังจากทราบค่าจำนวนโมล NaOH ที่ใช้ทำปฏิกิริยาของขวด1 และขวด 2 แล้ว จะนำค่ามารวมกัน และนำไปคูณกับ Dilution Factor จะได้ค่าดังตาราง ข.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข 2.8 ผลรวมของขวดที่1และขวด2 คูณกับ Dilution Factor

ตัวอย่าง	ซ้ำ	จำนวนโมล NaOH ทำปฏิกิริยากับ CO <sub>2</sub> ขวดที่ 1+ 2	จำนวนโมล NaOH ทำ ปฏิกิริยากับ CO <sub>2</sub> ขวดที่ 1+2 (คูณ dilution factor)
ลำลีเปล่า	1	0.0026	0.0194
	2	0.0025	0.0188
	3	0.0026	0.0198
เปลือกหอยเปล่า	1	0.0000	0.0003
	2	0.0001	0.0007
	3	0.0004	0.0029
เปลือกหอยเผา+ ethanol 60%	1	0.0016	0.0121
	2	0.0014	0.0106
	3	0.0017	0.0128
เปลือกหอยเผา+ ethanol 70%	1	0.0009	0.0067
	2	0.0012	0.0089
	3	0.0010	0.0072
เปลือกหอยเผา+ ethanol 80%	1	0.0024	0.0181
	2	0.0025	0.0185
	3	0.0022	0.0162

ปริมาณ CO<sub>2</sub> ที่ดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ

หาได้จาก

$$\text{ปริมาณ CO}_2 \text{ ที่ดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ} = \frac{\text{มวลของ CO}_2 \text{ g}}{\text{มวลของตัวดูดซับ g}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ค่าที่ได้จากการคำนวณได้จากตาราง ข.9  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข 2.9 ตารางแสดงปริมาณ CO<sub>2</sub> ที่ดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ

ตัวอย่าง	ซ้ำ	จำนวนโมลของ CO <sub>2</sub> (mol)	มวลของ CO <sub>2</sub> (g)	มวลเฉลี่ยของ CO <sub>2</sub> (g)	S.D.
สำลีเปล่า	1	0.0097	0.4261		
	2	0.0094	0.4129		
	3	0.0099	0.4361	0.4250	0.0116
เปลือกหอยเปล่า	1	0.0002	0.0066		
	2	0.0003	0.0149		
	3	0.0015	0.0644	0.0287	0.0313
เปลือกหอยเผา+ ethanol 60%	1	0.0060	0.2659		
	2	0.0053	0.2329		
	3	0.0064	0.2825	0.2604	0.0252
เปลือกหอยเผา+ ethanol 70%	1	0.0033	0.1470		
	2	0.0044	0.1949		
	3	0.0036	0.1586	0.1668	0.0250
เปลือกหอยเผา+ ethanol 80%	1	0.0090	0.3981		
	2	0.0092	0.4063		
	3	0.0081	0.3568	0.3871	0.0265

### ความเข้มข้นของ CO<sub>2</sub> ที่ทำปฏิกิริยากับ NaOH

หาได้จาก

$$\text{ความเข้มข้นของ CO}_2 \text{ ที่ทำปฏิกิริยากับ NaOH} = \frac{\text{มวลของ (CO}_2\text{) g}}{\text{ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน L}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงในตาราง ข.10  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข 2.10 ค่าความเข้มข้นของ CO<sub>2</sub> ที่ทำปฏิกิริยากับ NaOH

ตัวอย่าง	ซ้ำ	ความเข้มข้นของ CO <sub>2</sub> ที่ทำปฏิกิริยากับ NaOH (g/L)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO <sub>2</sub> ที่ทำปฏิกิริยากับ NaOH (g/L)	ความเข้มข้นของ CO <sub>2</sub> ที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ (g/L)
สำลีเปล่า	1	0.2802		
	2	0.2739		
	3	0.2722	0.2755	
เปลือกหอยเปล่า	1	0.0043		0.2712
	2	0.0095		0.2660
	3	0.0422	0.0186	0.2333
เปลือกหอยเผา+ ethanol 60%	1	0.1616		0.1138
	2	0.1460		0.1295
	3	0.1742	0.1606	0.1013
เปลือกหอยเผา+ ethanol 70%	1	0.0807		0.1948
	2	0.1135		0.1620
	3	0.0893	0.0945	0.1862
เปลือกหอยเผา+ ethanol 80%	1	0.2487		0.0267
	2	0.2476		0.0278
	3	0.2113	0.2359	0.0641

ปริมาณ CO<sub>2</sub> ที่ถูกดูดซับ

$$\text{หาได้จาก ปริมาณ CO}_2 \text{ ที่ถูกดูดซับ} = \frac{(C_0 - C_1) \text{ g}}{\text{น้ำหนักของตัวดูดซับ g}}$$

โดยที่ C<sub>0</sub> = มวลคาร์บอนไดออกไซด์ของสำลี (g)C<sub>1</sub> = มวลคาร์บอนไดออกไซด์ของเปลือกหอย (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ค่าที่คำนวณแสดงดังตาราง ข.11  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข 2.11 ตารางคำนวณปริมาณ CO<sub>2</sub> ที่ถูกดูดซับ

ตัวอย่าง	ซ้ำ	น้ำหนักสารดูดซับ (g)	มวลของ CO <sub>2</sub> (g)	ปริมาณ CO <sub>2</sub> ที่ถูกดูดซับ (g/g ตัวดูดซับ)	เฉลี่ย	S.D.
สำลีเปล่า	1	1.3528	0.4261			
	2	1.3546	0.4129			
	3	1.3557	0.4361			
เปลือกหอยเปล่า	1	5.0886	0.0066	0.4237		
	2	5.0788	0.0149	0.4221		
	3	5.0263	0.0644	0.4122	0.4194	0.0062
เปลือกหอยเผา+ ethanol 60%	1	5.0013	0.2659	0.3719		
	2	5.0124	0.2329	0.3786		
	3	5.0155	0.2825	0.3687	0.3731	0.0050
เปลือกหอยเผา+ ethanol 70%	1	5.0862	0.1470	0.3961		
	2	5.1430	0.1949	0.3871		
	3	5.2895	0.1586	0.3951	0.3928	0.0049
เปลือกหอยเผา+ ethanol 80%	1	5.0248	0.3981	0.3458		
	2	5.0499	0.4063	0.3446		
	3	5.0723	0.3568	0.3547	0.3484	0.0055

### เปอร์เซ็นต์การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์

คำนวณจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกำจัด} = \frac{[C_0 - C_1]}{C_0} \times 100$$

โดยที่ C<sub>0</sub> = ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ของสำลี

C<sub>1</sub> = ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ของเปลือกหอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข 2.12 คำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์

ตัวอย่าง	ซ้ำ	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ CO <sub>2</sub> ที่ทำปฏิกิริยากับ NaOH (g/L)	%removal
สำลีเปล่า	1		
	2		
	3	0.2755	
เปลือกหอยเปล่า	1		
	2		
	3	0.0186	93.2305
เปลือกหอยเผา+ ethanol 60%	1		
	2		
	3	0.1606	41.7027
เปลือกหอยเผา+ ethanol 70%	1		
	2		
	3	0.0945	65.7007
เปลือกหอยเผา+ ethanol 80%	1		
	2		
	3	0.2359	14.3605

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### การคำนวณทางสถิติ

ค 1. การคำนวณ One way-ANOVA ของการศึกษาพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับด้วยวิธีไอโอดีนนัมเบอร์

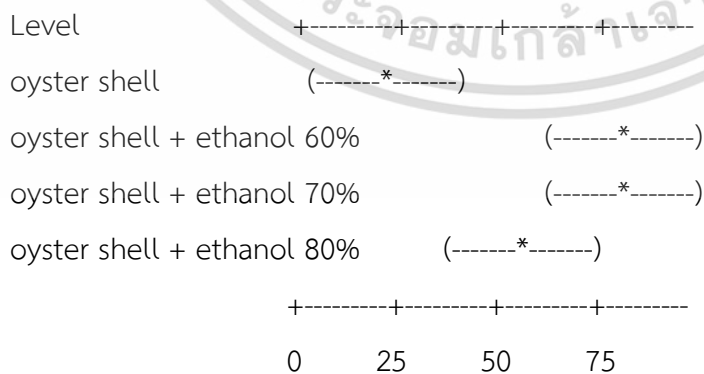
#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Adsorbent	3	4519	1506	7.00	0.013
Error	8	1721	215		
Total	11	6240			

S = 14.67 R-Sq = 72.42% R-Sq(adj) = 62.08%

Level	N	Mean	StDev
oyster shell	3	19.65	4.98
oyster shell + ethanol 60%	3	65.16	15.46
oyster shell + ethanol 70%	3	65.64	24.41
oyster shell + ethanol 80%	3	37.99	0.80

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

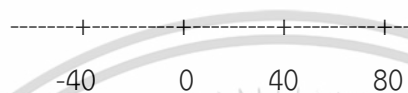


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



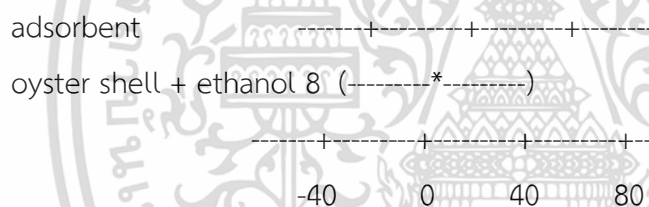
adsorbent	Lower	Center	Upper
oyster shell + ethanol 7	-37.89	0.47	38.83
oyster shell + ethanol 8	-65.53	-27.17	11.18

adsorbent	-----+-----+-----+-----+
oyster shell + ethanol 7	(-----*-----)
oyster shell + ethanol 8	(-----*-----)



adsorbent = oyster shell + ethanol 70% subtracted from:

adsorbent	Lower	Center	Upper
oyster shell + ethanol 8	-66.00	-27.65	10.71



Normplot of Residuals for iodine adsorption

One-way ANOVA: iodine adsorption versus adsorbent

Source	DF	SS	MS	F	P
adsorbent	3	4519	1506	7.00	0.013
Error	8	1721	215		

Total 11 6240  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S = 14.67 R-Sq = 72.42% R-Sq(adj) = 62.08%

Level	N	Mean	StDev
oyster shell	3	19.65	4.98
oyster shell + ethanol 6	3	65.16	15.46
oyster shell + ethanol 7	3	65.64	24.41
oyster shell + ethanol 8	3	37.99	0.80

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



Pooled StDev = 14.67

Grouping Information Using Tukey Method

adsorbent	N	Mean	Grouping
oyster shell + ethanol 70%	3	65.64	A
oyster shell + ethanol 60%	3	65.16	A
oyster shell + ethanol 80%	3	37.99	A B
oyster shell	3	19.65	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 Means that do not share a letter are significantly different.

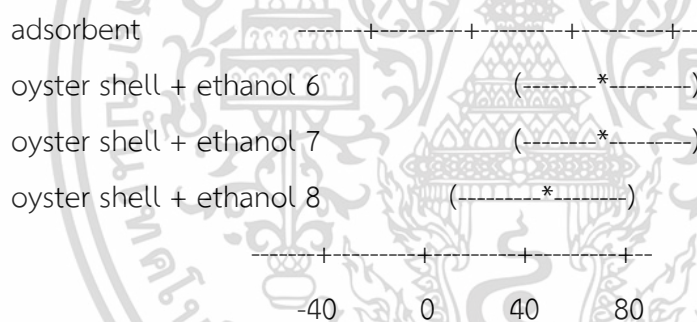
Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals

All Pairwise Comparisons among Levels of adsorbent

Individual confidence level = 98.74%

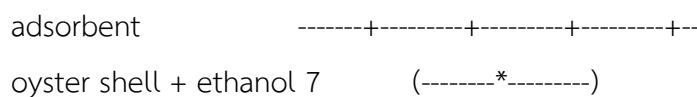
adsorbent = oyster shell subtracted from:

adsorbent	Lower	Center	Upper
oyster shell + ethanol 6	7.15	45.51	83.87
oyster shell + ethanol 7	7.63	45.98	84.34
oyster shell + ethanol 8	-20.02	18.34	56.70



adsorbent = oyster shell + ethanol 60% subtracted from:

adsorbent	Lower	Center	Upper
oyster shell + ethanol 7	-37.89	0.47	38.83
oyster shell + ethanol 8	-65.53	-27.17	11.18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดก็ตามที่จำเป็นต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

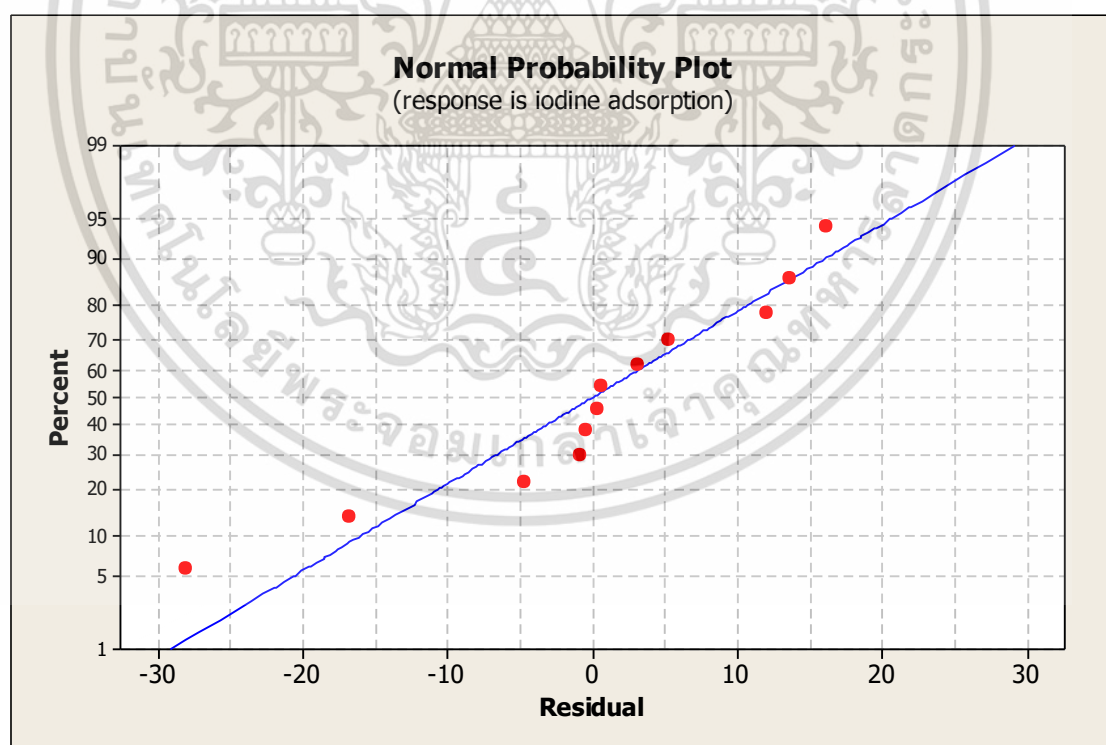
-40      0      40      80

adsorbent = oyster shell + ethanol 70% subtracted from:

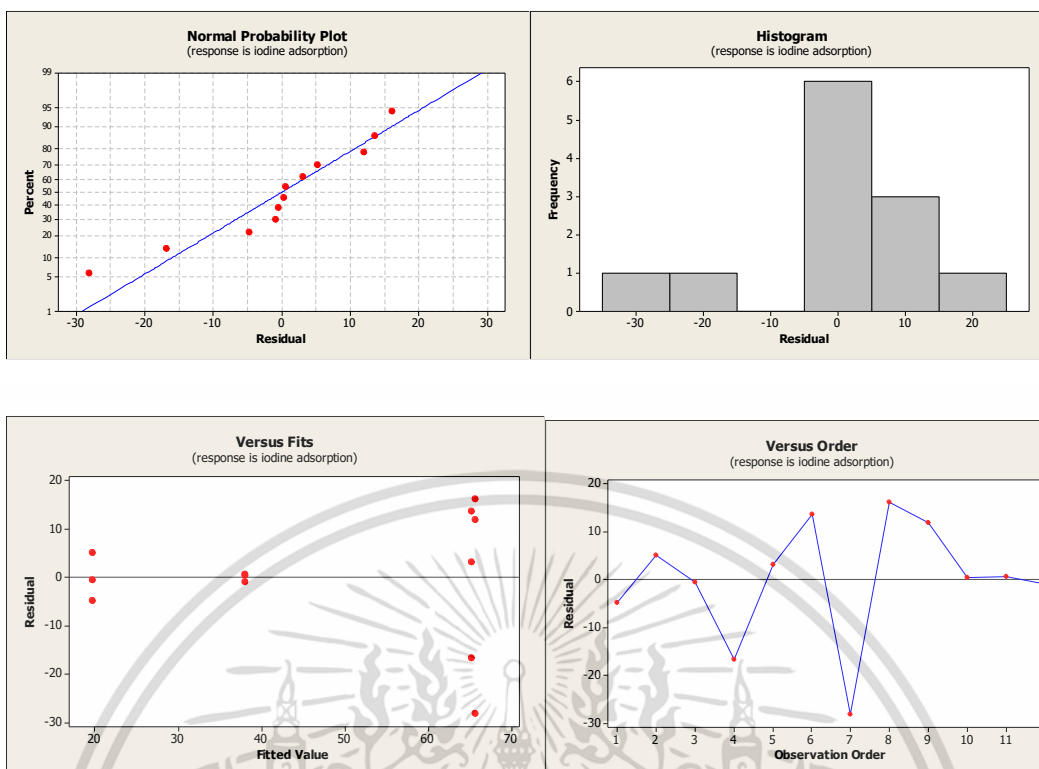
adsorbent	Lower	Center	Upper
oyster shell + ethanol 8	-66.00	-27.65	10.71

adsorbent	Lower	Center	Upper
oyster shell + ethanol 8	-66.00	-27.65	10.71

Residual Plots for iodine adsorption



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ค 2. การคำนวณ One way-ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูดซับ

### Method

Null hypothesis All means are equal

Alternative hypothesis Not all means are equal

Significance level  $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis. **Factor Information**

Factor	Levels Values
--------	---------------

adsorbent	4 Crushed shell, Crushed shell+Alc 60%, Crushed shell+Alc 70%, Crushed shell+Alc 80%
-----------	--

### Analysis of Variance

เอกสารนี้เป็น Source ที่สงวน DF สำ Adj SS ใช้ Adj MS F-Value P-Value บัญญัติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

adsorbent	3	0.008145	0.002715	91.43	0.000
Error	8	0.000238	0.000030		
Total	11	0.008383			

### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	sq(pred)
0.0054493	97.17%	96.10%	93.62%

### Means

adsorbent	N	Mean	StDev	95% CI
Crushed shell	3	0.41936	0.00623	(0.41211, 0.42662)
Crushed shell+Alc 60%	3	0.37306	0.00503	(0.36581, 0.38032)
Crushed shell+Alc 70%	3	0.39279	0.00491	(0.38553, 0.40004)
Crushed shell+Alc 80%	3	0.34837	0.00552	(0.34112, 0.35563)

Pooled StDev = 0.00544933

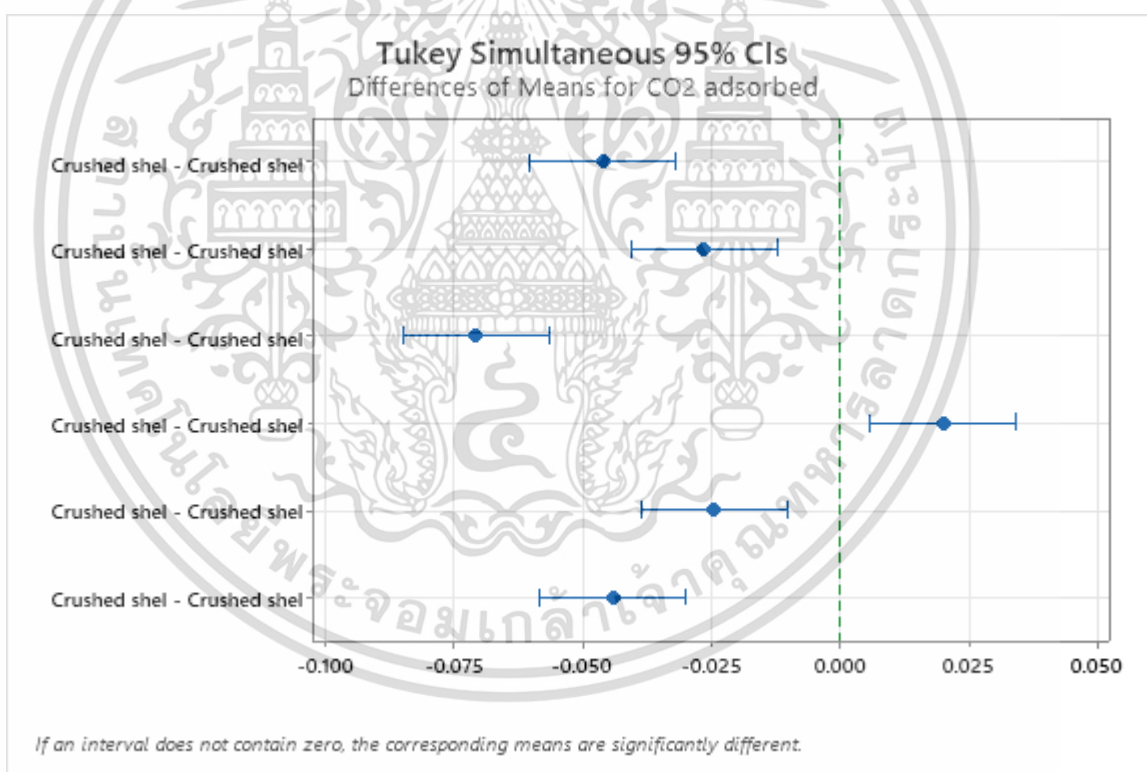
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Tukey Pairwise Comparisons

### Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

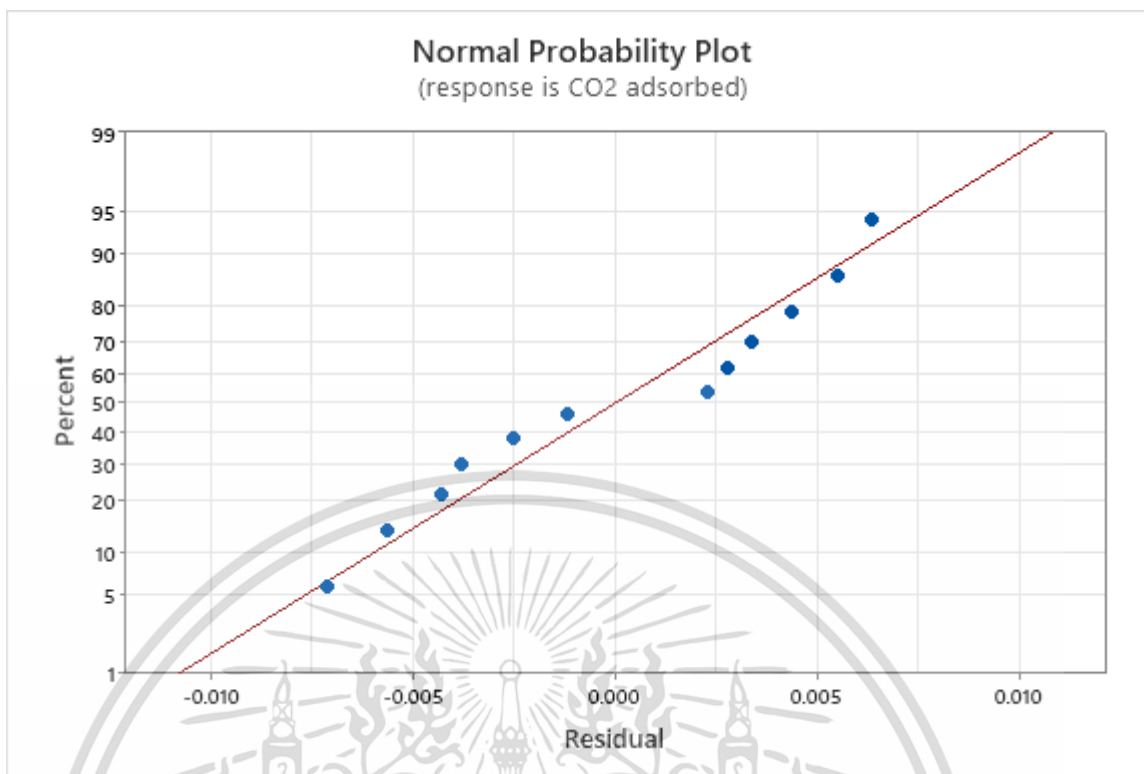
adsorbent	N	Mean	Grouping
Crushed shell	3	0.41936	A
Crushed shell+Alc 70%	3	0.39279	B
Crushed shell+Alc 60%	3	0.37306	C
Crushed shell+Alc 80%	3	0.34837	D

Means that do not share a letter are significantly different.

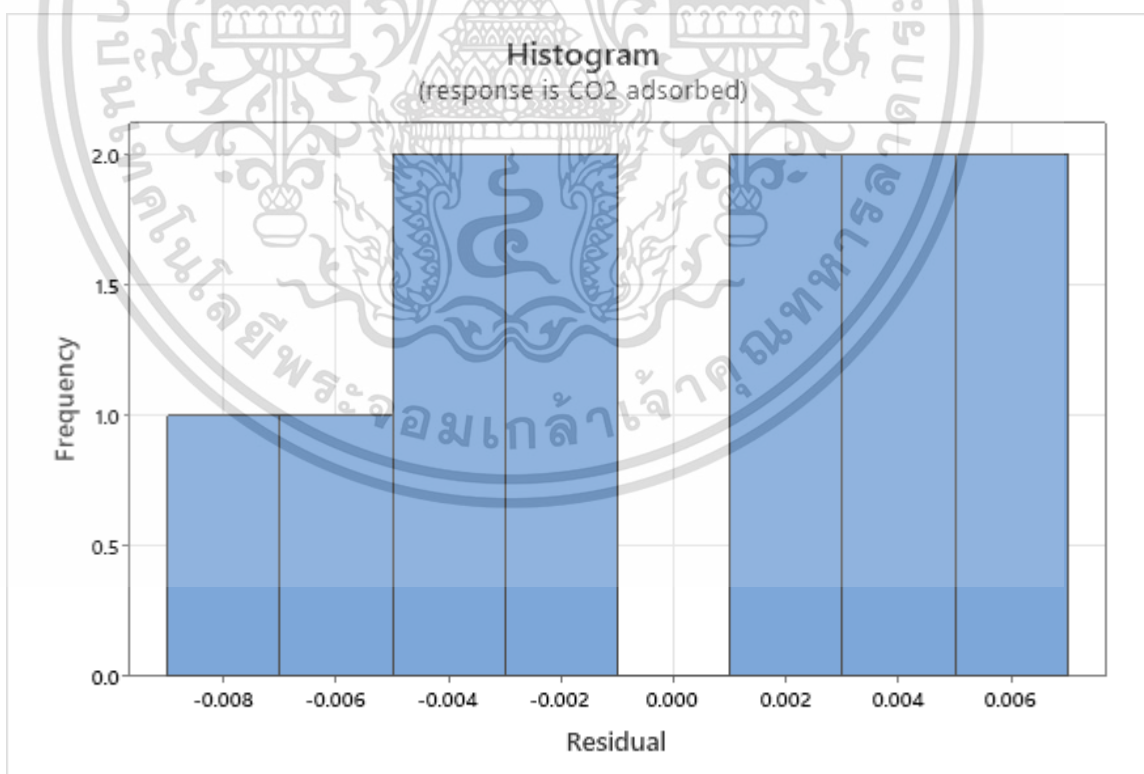


รูปภาพ 1 กราฟ Tukey Simultaneous 95% CIs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

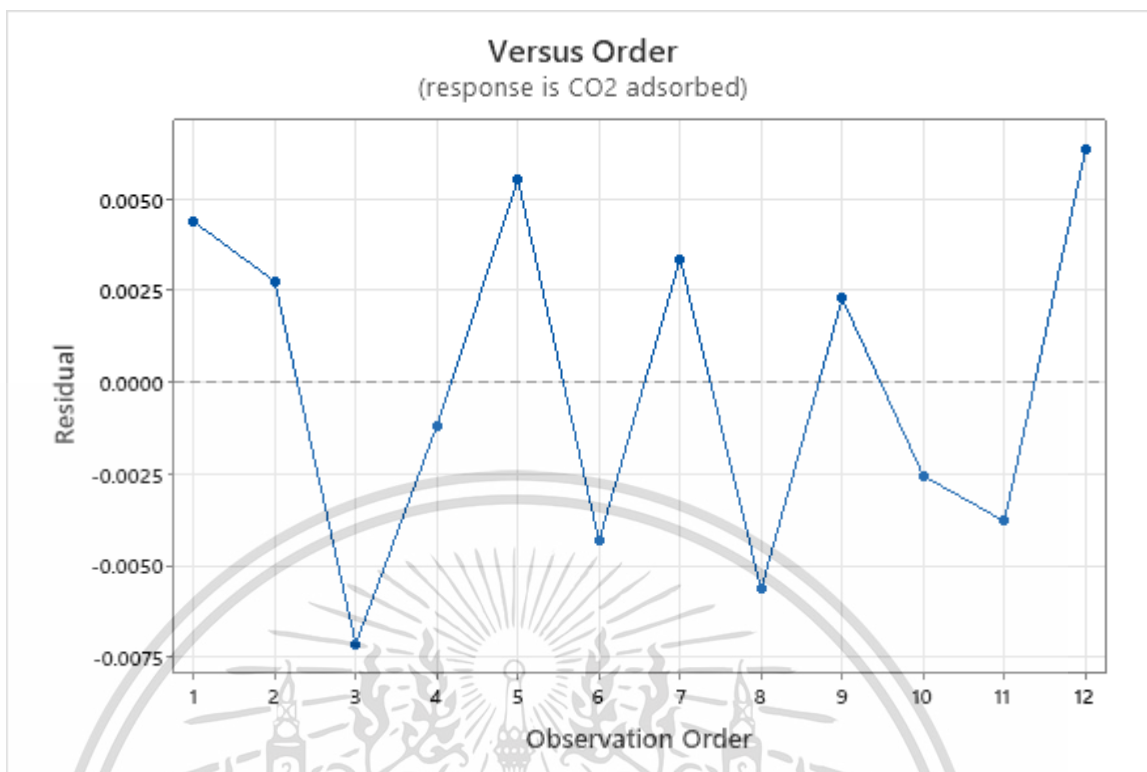


รูปภาพ 2 กราฟ normal probability plot



รูปภาพ 3 กราฟ histogram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปภาพ 4.5 กราฟ versus fits เมื่อผู้ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพ 4 กราฟ versus order

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้วิจัยคนที่ 1

ชื่อ-นามสกุล นายภัทรพล ไชยศิลา  
วัน เดือน ปีเกิด 14 กุมภาพันธ์ 2545  
ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2559 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น  
โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ๒ จังหวัดกรุงเทพมหานคร  
พ.ศ. 2562 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย  
โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ๒ จังหวัดกรุงเทพมหานคร  
สาย วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์  
กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรการศึกษาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) ชั้นปีที่ 4 คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม  
ที่อยู่ปัจจุบัน 59/559 ซอยนวมินทร์ 92 ถนนนวมินทร์ แขวงนวลจันทร์  
เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร 10230  
E-mail pattarapolchaisila@gmail.com  
เบอร์โทรศัพท์ 0801046878

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้วิจัยคนที่ 2

ชื่อ-นามสกุล นางสาวมะลิวัลย์ สมบัติวงษ์

วัน เดือน ปีเกิด 21 กันยายน 2544

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2559 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น  
โรงเรียนมัธยมวัดหนองจอก จังหวัดกรุงเทพมหานคร  
พ.ศ. 2562 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย  
โรงเรียนมัธยมวัดหนองจอก จังหวัดกรุงเทพมหานคร  
สาย วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์  
กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรการศึกษาวิทยาศาสตร์  
บัณฑิต (วท.บ.) ชั้นปีที่ 4 คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม

ที่อยู่ปัจจุบัน 555/124 ลิลลี่พอร์ติ ถนนประชาพัฒนา แขวงทับยาว  
เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10520

E-mail [NannyMaliwan27725@gmail.com](mailto:NannyMaliwan27725@gmail.com)

เบอร์โทรศัพท์ 0922499981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้วิจัยคนที่ 3

ชื่อ-สกุล นางสาวสุมาลี ยิ้มละมุล  
 วัน เดือน ปีเกิด 3 พฤศจิกายน 2544  
 ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2559 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น  
 โรงเรียนเสนาไห้ วิลลวิทยานุกูล จังหวัดสระบุรี  
 พ.ศ. 2562 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย  
 โรงเรียนเสนาไห้ วิลลวิทยานุกูล จังหวัดสระบุรี  
 สาย วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์  
 กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรการศึกษาวิทยาศาสตร์  
 บัณฑิต (วท.บ.) ชั้นปีที่ 4 คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม  
 ที่อยู่ปัจจุบัน 38/1 หมู่ 6 ตำบล ไก่เสา อำเภอนองแสง จังหวัดสระบุรี 18170  
 E-mail [sumalee27307@gmail.com](mailto:sumalee27307@gmail.com)  
 เบอร์โทรศัพท์ 0909879389

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่.....1.....เดือน.....พฤษภาคม....พ.ศ...2567..

ข้าพเจ้า นายภัทรพล	ไชยศิลา	รหัสประจำตัว	63050343
นางสาวมะลิวัลย์	สมบัติวงษ์	รหัสประจำตัว	63050346
นางสาวสุมาลี	ยิ้มละมูล	รหัสประจำตัว	63050362

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง  
ชื่อภาษาไทย การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้เปลือกหอยและเปลือกหอยนางรมที่ปรับด้วยเอทานอล

ชื่อภาษาอังกฤษ ADSORPTION OF CARBON DIOXIDE IN AIR USING OYSTER SHELL AND OYSTER SHELL  
TREATED WITH ETHANOL

ปีการศึกษา 2566

เป็นผลงานวิจัยที่มิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้  
แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์.....4.02.....% หรือโปรแกรม Turnitin.....%

ลงชื่อ..... ลงชื่อ..... ลงชื่อ.....

( นายภัทรพล ไชยศิลา )

(นางสาวมะลิวัลย์ สมบัติวงษ์ )

(นางสาวสุมาลี ยิ้มละมูล)

นักศึกษา

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า รศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของนักศึกษาข้างต้น  
แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ปรึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงหรือเผยแพร่ข้อมูลข้างอึ่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
อาจารย์ที่ปรึกษา