การแปรรูปขยะเปลือกหอยและเปลือกไข่ชนิดต่างๆ เป็นยิปซัม

PREPARATION OF GYPSUM FROM SEASHELLS AND EGGSHELLS

ปนัดดา พลแสน

ศลิษา ปัญนะ

ศศิพิมพ์ วิสุกรรม

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2565

PREPARATION OF GYPSUM FROM SEASHELLS AND EGGSHELLS

PANADDA PHONSAEN

SALISA PANNA

SASIPIM WISUKRAM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR

THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIROMENTAL CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ACADEMIC YEAR 2022

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การแปรรูปขยะเปลือกหอยและเปลือกไข่ชนิดต่างๆ เป็นยิปซัม PREPARATION OF GYPSUM FROM SEASHELLS AND EGGSHELLS
ชื่อนักศึกษา	นางสาว ปนัดดา พลแสน รหัสนักศึกษา 62050407 นางสาว ศลิษา ปัญนะ รหัสนักศึกษา 62050447 นางสาว ศศิพิมพ์ วิสุกรรม รหัสนักศึกษา 62050448
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต เคมีสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.บรรจง บุญชม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2565

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการ	
รศ.ดร.บรรจง บุญชม กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การแปรรูปขยะเปลือกหอยและเปลือกไข่ชนิดต่างๆ เป็นยิปซัม
ชื่อนักศึกษา นางสาว ปนัดดา พลแสน รหัสนักศึกษา 62050407
นางสาว ศลิษา ปัญนะ รหัสนักศึกษา 62050447
นางสาว ศศิพิมพ์ วิสุกรรม รหัสนักศึกษา 62050448
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา เคมี
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2565
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.บรรจง บุญชม

บทคัดย่อ

ปัญหาหลักของขยะที่เพิ่มขึ้นในประเทศไทยก็คือขยะจำพวก เปลือกหอย เปลือกไข่ และยังมีการนำเข้าแร่ธาตุจำพวกยิปซัมจากต่างประเทศ มีต้นทุนในการนำเข้ามหาศาล โครงงานพิเศษนี้จึงมีการศึกษาเตรียมยิปซัมขึ้นโดยเลือกเตรียมจากเปลือกหอยและเปลือกไข่ชนิดต่างๆ 6 ชนิด ได้แก่ เปลือกไข่ไก่, เปลือกไข่เป็ด, เปลือกหอยแครง, เปลือกหอยแมลงภู่, เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยตลับ โดยเตรียมจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเปลือกหอยและเปลือกไข่ที่ถูกบดละเอียดกับกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 50% โดยมวล จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมซัลเฟต(ยิปซัม) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปคำนวณร้อยละผลผลิต พบว่าตัวอย่าง CAS – EC, CAS – ED, CAS – CG, CAS – MP, CAS – NR และ CAS – TR มีค่าเท่ากับ 84.73, 87.74, 79.27, 83.04, 91.28 และ 84.42% ตามลำดับและผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าเมื่อดูลักษณะเฉพาะของหมู่ฟังก์ชั่นด้วยเทคนิค FT-IR พบพันธะของสารประกอบซัลเฟต และผลวิเคราะห์ XRD ยืนยันได้ว่า สารประกอบแคลเซียมซัลเฟตมีการก่อตัวสารประกอบเป็น Calcium sulfate 2 ประเภท ได้แก่ Calcium sulfate Anhydrite[$CaSO_4$] และ Calcium sulfate dihydrate [$CaSO_4 \cdot 2H_2O$] และรูปร่างทางสัณฐานวิทยาพบว่ามีการจับตัวเป็นแท่งเหลี่ยมๆ เป็นกลุ่มก้อน ซึ่งโครงงานนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะสามารถช่วยแก้ไขปัญหาขยะจำพวกเปลือกหอย เปลือกไข่และสามารถนำไปใช้ในด้านอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์สูงสุด และยังสามารถพัฒนาแร่ที่สามารถผลิตขึ้นเองได้ในประเทศอีกด้วย

คำสำคัญ : เปลือกไข่ไก่, เปลือกไข่เป็ด, เปลือกหอยแครง, เปลือกหอยแมลงภู่, เปลือกหอยนางรม, เปลือกหอยตลับ, แคลเซียมซัลเฟต(ยิปซัม), แคลเซียมซัลเฟตแอนไฮไดรต์[$CaSO_4$], แคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต [$CaSO_4 \cdot 2H_2O$], กรดซัลฟิวริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	PREPARATION OF GYPSUM FROM SEASHELLS AND EGGSHELLS
Students	Miss Panadda Phonsaen Student ID 62050407
	Miss Salisa Panna Student ID 62050447
	Miss Sasipim Wisukram Student ID 62050448
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
School	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2022
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Banjong Boonchom

Abstract

The main problem of increasing waste in Thailand is waste such as seashells, eggshells, and minerals such as gypsum from abroad. There is a huge cost of importing. This special project therefore studied the preparation of gypsum by choosing to prepare from 6 different types of seashells and eggshells: chicken egg shell, duck egg shell, cockle shell, mussel shell, oyster shells and casserole shells prepared by reaction between finely ground shells and eggshells with 50% concentrated sulfuric acid by mass to obtain calcium sulfate(gypsum), then take the product to calculate the yield percentage. It was found that the samples CAS – EC, CAS – ED, CAS – CG, CAS – MP, CAS – NR and CAS – TR were 84.73, 87.74, 79.27, 83.04, 91.28 and 84. 42%, respectively, and the results of chemical composition analysis showed that when looking at the functional group characteristics by FT-IR technique, bonds of sulfate compounds were found. The XRD analysis confirmed that calcium sulfate compounds were formed into two types of calcium sulfate, calcium sulfate anhydrite [$CaSO_4$] and calcium sulfate dihydrate [$CaSO_4 \bullet 2H_2O$]. This project hopes that it can help solve the problem of waste shells and eggshells that can be used in industry for maximum benefit. Also, able to develop minerals that can be produced in the country as well

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords: chicken eggshell, duck eggshell, cockle shell, mussel shells, oyster shells, clamshells, calcium sulfate (Gypsum), Calcium sulfate Anhydrite [CaSO4], Calcium sulfate dihydrate [CaSO4•2H2O], Sulfuric acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อันเนื่องมากจากความกรุณา และความร่วมมือของทุก ๆ ท่าน ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.บรรจง บุญชม ที่คอยชี้แนะส่งเสริมแนวทาง และคอยให้คำปรึกษาในการทำโครงงานพิเศษ และนอกจากนี้ยังให้กำลังใจ และดูแลเป็นอย่างดี ทำให้โครงงานพิเศษนี้จนสำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ และ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ที่เข้าร่วมเป็นคณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษนี้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำ และเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขโครงงานพิเศษให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวก ในการทำโครงงานพิเศษให้ลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อน ๆ น้อง ๆ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ทุกคน ที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดการทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการสาขาวิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำในการจัดการด้านการเงิน ทำให้โครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้กลุ่มผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และคนในครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจเป็นแรงผลักดัน แรงบันดาลใจ และคอยสนับสนุนทางด้านการศึกษาตลอดมา ทำให้กลุ่มของผู้วิจัยสามารถทำโครงงานพิเศษฉบับนี้ประสบความสำเร็จ

ปนัดดา พลแสน
ศลิษา ปัญนะ
ศศิพิมพ์ วิสุกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ก

Abstract ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูป ..... ฌ

คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 องค์ประกอบของเปลือกไข่ 4

2.1.1 เปลือกไข่ไก่ 4

2.1.2 เปลือกไข่เป็ด 5

2.1.3 เปลือกหอยแครง 5

2.1.4 เปลือกหอยแมลงภู่ 7

2.1.5 เปลือกหอยนางรม 8

2.1.6 เปลือกหอยตลับ 10

2.2 แร่ยิปซัม 11

2.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของแร่ยิปซัม 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2 การผลิตและการใช้ประโยชน์ 12
2.2.3 แหล่งแร่และปริมาณสำรอง 13
2.2.4 ปัญหาของแร่ยิปซัม 14
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 17
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ 17
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 17
3.1.2 วัสดุและสารเคมี 17
3.2 การเตรียมสารตั้งต้น 18
3.2.1 การเตรียมแคลเซียมจากเปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ และเปลือกหอยตลับ 18
3.2.2 การเตรียมความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 50% โดยปริมาตร 18
3.3 การทดลอง 18
3.3.1 การเตรียมสารตัวอย่างแคลเซียมซัลเฟต 18
3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี 19
3.4.1 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้าง XRD (X-Ray Diffractometer) 19
3.4.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา (Scanning Electron Microscope) 19
3.4.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันขององค์ประกอบภายในโมเลกุล (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) 19
3.4.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (X-ray Fluorescence Spectrometer) 19
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 20
4.1 ร้อยละผลผลิต 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 วิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบ 22
4.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกตัวอย่าง 22
4.2.2 รูปแบบการสั่นของพันธะจากการดูดกลืนของรังสีอินฟารด 24
4.2.3 โครงสร้าง และขนาดของโครงผลึก 30
4.3 เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ทางกายภาพ 34
4.3.1 รูปร่างทางสัณฐานวิทยา 34
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 41
5.1 สรุปผลการวิจัย 41
5.2 ข้อเสนอแนะ 42
เอกสารอ้างอิง 43
ภาคผนวก 46
ภาคผนวก ก 47
ภาคผนวก ข 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่..... 4

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตของสารตัวอย่างที่เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่าง เปลือกไข่ไก่, เปลือกไข่เป็ด, เปลือกหอยแครง, เปลือกหอยแมลงภู่, เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยตลับกับกรดซัลฟิวริก 50% โดยมวล..... 21

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่าง 22

ตารางที่ 4.3 ระบุพีคที่พบจากการวิเคราะห์แคลเซียมซัลเฟตด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟารด..... 27

ตารางที่ 4.4 ระบุพีคที่พบจากการวิเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟารด..... 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 2.1 เปลือกไข่ไก่ 5

รูปที่ 2.2 เปลือกไข่เป็ด 5

รูปที่ 2.3 เปลือกหอยแครง 7

รูปที่ 2.4 เปลือกหอยแมลงภู่ 8

รูปที่ 2.5 เปลือกหอยนางรม 9

รูปที่ 2.6 เปลือกหอยตลับ 10

รูปที่ 4.1 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสง รังสีอินฟราเรดช่วง 4000 – 450 cm^{-1} ของ CAS - EC (a), CAS - ED (b) และCAS - CG (c) 24

รูปที่ 4.2 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืน แสงรังสีอินฟราเรดช่วง 4000 – 450 cm^{-1} ของ CAS - MP (d), CAS - NR (e) และCAS - TR (f) 25

รูปที่ 4.3 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืน แสงรังสีอินฟราเรดช่วง 4000 – 450 cm^{-1} ของ CAC - EC (g), CAC – ED (h) และCAC - CG (i) 25

รูปที่ 4.4 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืน แสงรังสีอินฟราเรดช่วง 4000 – 450 cm^{-1} ของ CAC - MP (j), CAC – NR (k) และCAC - TR (l) 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 4.5 รูปการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผลิตภัณฑ์ CAS - EC (a), CAS - ED (b), CAS - CG (c), CAS - MP (d), CAS - NR (e)และCAS - TR (f) 30

รูปที่ 4.6 รูปการเลี้ยวเบนของของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง CAC - EC (g), CAC – ED (h), CAC - CG (i), CAC - MP (j), CAC – NR (k)และCAC - TR (l) 32

รูปที่ 4.7 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS – EC 34

รูปที่ 4.8 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS – ED..... 34

รูปที่ 4.9 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS - MP..... 35

รูปที่ 4.10 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS - CG..... 35

รูปที่ 4.11 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS - NR..... 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 4.12 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
แบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง)
ของ CAS - TR 36

รูปที่ 4.13 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
แบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง)
ของ CAC - EC 37

รูปที่ 4.14 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
แบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง)
ของ CAC - ED 37

รูปที่ 4.15 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
แบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง)
ของ CAC - CG 38

รูปที่ 4.16 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
แบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง)
ของ CAC - NR 38

รูปที่ 4.17 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
แบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง)
ของ CAC - TR 39

รูปที่ 4.18 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
แบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง)
ของ CAC - MP 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ ก.1 นำเปลือกหอย และเปลือกไข่ชนิดต่าง ๆบดละเอียดด้วยครกหิน 47

รูปที่ ก.2 นำเปลือกหอย และเปลือกไข่ชนิดต่าง ๆ ที่บดแล้ว ไปร่อนผ่านตะแกรง 100 mesh ... 47

รูปที่ ก.3 เติมกรดซัลฟิวริกจากเข้มข้น 50% โดยมวล ปริมาตร 10.1 ml ลง $CaCO_3$10 g 48

รูปที่ ก.4 คนให้ H_2SO_4 และ $CaCO_3$ ผสมกัน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทั่วถึง
หลังปฏิกิริยาสมบูรณ์ให้นำไปอบแห้ง 48

รูปที่ ก.5 หลังจากอบแห้งแล้วนำมาบดละเอียดด้วยโกร่งบดยา
และแบ่งใส่ถุงซิปล็อคเพื่อส่งวิเคราะห์..... 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
CAS – EC	สารประกอบแคลเซียมซัลเฟตที่ได้จากเปลือกไข่ไก่
CAS – ED	สารประกอบแคลเซียมซัลเฟตที่ได้จากเปลือกไข่เป็ด
CAS – CG	สารประกอบแคลเซียมซัลเฟตที่ได้จากเปลือกหอยแครง
CAS – MP	สารประกอบแคลเซียมซัลเฟตที่ได้จากเปลือกหอยแมลงภู่
CAS – NR	สารประกอบแคลเซียมซัลเฟตที่ได้จากเปลือกหอยนางรม
CAS – TR	สารประกอบแคลเซียมซัลเฟตที่ได้จากเปลือกหอยตลับ
CAC – EC	สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตตั้งต้นที่ได้จากเปลือกไข่ไก่
CAC – ED	สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตตั้งต้นที่ได้จากเปลือกไข่เป็ด
CAC – CG	สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตตั้งต้นที่ได้จากเปลือกหอยแครง
CAC – MP	สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตตั้งต้นที่ได้จากเปลือกหอยแมลงภู่
CAC – NR	สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตตั้งต้นที่ได้จากเปลือกหอยนางรม
CAC – TR	สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตตั้งต้นที่ได้จากเปลือกหอยตลับ
XRF	เทคนิคการตรวจสอบองค์ประกอบธาตุ
XRD	เทคนิคการตรวจสอบโครงสร้างและขนาดของผลึก
FT-IR	เทคนิคการตรวจสอบรูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี การสั่นแบบฟูเรียร์แทรนสฟอร์มอินฟารด
SEM	ตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากประชากรที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ทุกวันนี้กรุงเทพมหานคร สร้างขยะกว่าวันละ 10,000 ตัน จะต้องใช้งบประมาณ 12,000 – 13,000 ล้านบาทต่อปี และหนึ่งในปัญหาหลักของขยะที่เพิ่มขึ้นในประเทศก็คือขยะจำพวก **เปลือกหอย เปลือกไข่** ที่เกิดจากอุตสาหกรรมอาหารหรือการบริโภคที่เพิ่มสูงขึ้นของประชากรในประเทศไทย หอยทะเลเป็นทรัพยากรสัตว์น้ำอีกประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นอาหารโปรตีนราคาถูกกว่าสัตว์น้ำทะเลประเภทอื่น ซึ่งเป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย และเพิ่มมากขึ้นทุกๆปี จึงมีการพัฒนาและส่งเสริมการเพาะเลี้ยงหอยทะเลมากขึ้นตั้งแต่ปี 2523 เป็นต้นมา กรมประมงจึงได้จัดให้มีการสำรวจสถิติการเลี้ยงหอยทะเลโดยวิธีการสำรวจด้วยตัวอย่างเป็นประจำทุกปี (กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2558) ขยะจำพวกเปลือกหอยเป็นขยะจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลหลังเราบริโภคเนื้อไปเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ในแต่ละปีมีเปลือกหอยจำนวน 7 ล้านตันที่ถูกทิ้ง และส่วนใหญ่ก็จะถูกนำไปฝังกลบ เปลือกหอยเป็นขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มันจึงเป็นมลพิษสำหรับทั้งบนบกและในน้ำ แถมค่าใช้จ่ายในการกำจัดพวกมันก็ค่อนข้างสูง (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2563) เปลือกหอยประกอบด้วยสารจำพวกแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ ส่วนที่เหลือเป็นสารอื่น ๆ เช่น แคลเซียมฟอสเฟต แมกนีเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมฟอสเฟต แมกนีเซียมซิลิเกต โปรตีนประเภทคอนไคโอลิน (conchiolin) (จดหมายข่าวราชบัณฑิตยสถาน, 2539) และในบรรดาเศษอาหารเหลือทั้งหมด **"เปลือกไข่"** ก็จะเป็นเศษอาหารที่พบได้มากพอๆกับเปลือกหอย ซึ่งส่วนใหญ่มาจากอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร นับเฉลี่ยทั่วโลกคิดเป็น 50,000 ตันต่อปี เปลือกไข่ที่ถูกทิ้งทำให้เกิดก๊าซมีเทน ที่เกิดจากการทับถมของเปลือกไข่จำนวนมากที่เป็นส่วนประกอบกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซเรือนกระจกตัวการของปัญหาโลกร้อน ส่วนบริเวณหลุมฝังกลบ ก็ยังนำมาสู่ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ส่งกลิ่นเน่าเหม็น ทำให้แหล่งน้ำและพื้นดินบริเวณใกล้เคียงปนเปื้อน ซึ่งในประเทศไทยต้องเสียค่าใช้จ่ายไปกับหลุมฝังกลบขยะปีละเกือบสิบล้านบาทต่อปี (ALTV4, 2564) องค์ประกอบหลักๆองเปลือกไข่ คือ สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมฟอสเฟตและเนื่องจากกรุงเทพมหานคร มีการนำเข้าแร่ธาตุจำพวกยิปซัมจากต่างประเทศโดยในปี 2546 ประเทศไทยมีการนำเข้าแร่ยิปซัม 353 ตัน หรือ มูลค่า 4 ล้านบาท มีค่าใช้จ่ายในการผลิต และต้นทุนในการนำเข้าเป็นจำนวนมหาศาล ซึ่งแร่ยิปซัม($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) เกิดจากการตกตะกอนของน้ำทะเลเนื่องจากน้ำทะเลระเหยตัวออกไปจึงมีการสะสมตัวเป็นชั้น เหมือนเกลือหิน นอกจากนี้ยังพบเกิดอยู่ร่วมกับแร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกิดจากน้ำร้อนอื่น ๆ เช่นในสายแร่ทองคำ สังกะสี ตะกั่ว และทองแดงเป็นต้น ลักษณะของแร่ยิปซัมนิดซาตินสปาร์มีเนื้อเป็นเสี้ยนๆ มีความวาวคล้ายใยไหม และแร่ยิปซัมนิดอลาบาสเตอร์ มีเนื้อเป็นมวลเม็ดอัดแน่น สีขาว

กรุงเทพมหานครนำเข้าแร่ยิปซัมมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆนอกเหนือจากการผลิตปูนซีเมนต์และยิปซัมยังใช้ทำแผ่นฝ้าเพดานกันความร้อน ทำปูนปลาสเตอร์สำหรับทำแม่พิมพ์เซรามิก และงานตกแต่งภายในอาคาร เป็นส่วนผสมทำปูนซีเมนต์เพื่อให้ปูนแข็งตัวช้า ใช้ทำปุ๋ย ทำชอล์กเขียนกระดาน ทำแป้งนวล และยิปซัมนิดซาตินสปาร์และอลาบาสเตอร์นำมาแกะสลักหรือใช้ทำเครื่องประดับเพราะมีเนื้ออ่อนง่ายต่อการแกะสลัก (SWS, ม.ป.ป) และนอกจากนี้ยังมีการใช้ประโยชน์จากแร่ยิปซัมอื่น ๆด้วย เช่น ใช้เป็นตัวปรับสภาพดินเพื่อการเกษตรกรรม (ทีเคเค.เฟอร์ติไลเซอร์, 2559), เป็นตัวช่วยเติมธาตุอาหารรองให้ดินและพืช (ทีเคเค.เฟอร์ติไลเซอร์, 2559), ใช้ในการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือกำจัดก๊าซไอเสีย (Susan V. Fisk, 2562), ใช้ในการช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน (Susan V. Fisk, 2562), ใช้ปรับปรุงคุณภาพดินเปรี้ยวและลดความเป็นพิษของอลูมิเนียม (CalSiSoil, 2562), ใช้ในการเพิ่มความชื้นในดิน (CalSiSoil, 2562), ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น น้ำถั่วเหลือง, เต้าหู้ (Yotsawat S, 2557) และยิปซัมใช้เป็นส่วนผสมในผักกระป๋อง แป้งขนมปังขาว ไอศกรีม บลูชีส และอาหารอื่น ๆ(Gypsum Association, ม.ป.ป), ใช้ในการหมักเครื่องดื่ม และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ (formula Saint-Gobain, ม.ป.ป), ใช้เป็นสารเติมแต่งสีสำหรับยาและเครื่องสำอาง และยังเป็นส่วนผสมหลักในยาสีฟัน (Gypsum Association, ม.ป.ป) เป็นต้น

ถึงแม้ประเทศไทยจะมีการพบแหล่งแร่ยิปซัมใน 5 จังหวัด พิจิตร, นครสวรรค์, สุราษฎร์ธานี, นครศรีธรรมราชและเลย แต่แร่ยิปซัมที่ผลิตได้ในประเทศจะเหลือใช้ในประเทศเพียงร้อยละ20-30 อีกร้อยละ 70 – 80 จะส่งออกภายนอกประเทศในรูปของแร่ดิบ (ประหยัด และสรรเสริญ, 2549) จึงทำให้แร่ยิปซัมภายในประเทศไม่เพียงพอต่อการใช้ที่เพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี

งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ขยะจำพวกเปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด เปลือกหอยแครง หอยแมลงภู่ หอยนางรม และหอยตลับ ซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติ นำมาสังเคราะห์เป็นแร่ยิปซัมเพื่อลดปริมาณขยะเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากมีขยะเปลือกไข่และเปลือกหอยเพิ่มขึ้นในทุก ๆปี และไม่สามารถกำจัดทิ้งได้ทั้งหมด ทำให้เกิดการทับถมของขยะ

อีกทั้งประเทศไทยมีการนำเข้าแร่ยิปซัมจากต่างประเทศเป็นจำนวนมหาศาล และราคาของแร่ยิปซัมมีราคาสูง ผู้จัดทำเห็นถึงปัญหาจึงเริ่มทำการวิจัยเพื่อลดปริมาณขยะที่เพิ่มสูงขึ้นและลดปริมาณการนำเข้าแร่ยิปซัมจากต่างประเทศ ทั้งยังเป็นการช่วยส่งเสริมให้มีการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดมูลค่ามากขึ้น และยังสามารถพัฒนาแร่ที่สามารถผลิตขึ้นเองได้ในประเทศอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาการนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่และเปลือกหอยชนิดต่างๆ มาแปรรูปเป็นแคลเซียมซัลเฟต

2) เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของแคลเซียมซัลเฟตจากเปลือกไข่และเปลือกหอยชนิดต่างๆ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) สารตั้งต้นที่นำมาใช้ในการทดลอง คือ เปลือกไข่ไก่ เปลือกไข่เป็ด เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยตลับ

2) วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมซัลเฟตด้วยเทคนิค FT-IR, XRD, XRF และ SEM

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้ทราบผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของแคลเซียมเซียมซัลเฟตที่เตรียมจากสารตั้งต้น คือเปลือกไข่และเปลือกหอยชนิดต่างๆ

2) สามารถลดปริมาณและสร้างมูลค่าเพิ่มจากการใช้ขยะเปลือกไข่ และขยะเปลือกหอยชนิดต่างๆ ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

3) สามารถลดปริมาณและค่าใช้จ่ายสำหรับการนำเข้าของแร่ยิปซั่มจากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 องค์ประกอบของเปลือกไข่

แร่ธาตุ	% (โดยน้ำหนัก)	
	เปลือกไข่ไก่	เปลือกไข่เป็ด
$CaCO_3$	99	96.5
S	0.1	1.2
Mg	0.5	0.1
P	0.2	0.5
K	-	0.0839

(ที่มา : ดัดแปลงมาจาก http://www.sptn.dss.go.th)

2.1.1 เปลือกไข่ไก่

“ไข่ไก่” มีเปลือกหุ้มทั้งฟอง ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Gallus gallus domesticus* เป็นอาหารโปรตีนที่ทรงคุณค่า เป็นที่นิยมบริโภคอย่างกว้างขวาง มีราคาถูก และสามารถหาซื้อได้ง่าย รวมทั้งสามารถนำมาประกอบอาหารทั้งคาวและหวานได้อย่าง หลากหลาย ส่วนประกอบของไข่ 1 ฟอง ประกอบด้วย 3 ส่วน ส่วนแรกคือเปลือกไข่ มีประมาณ 10% ซึ่งเป็น สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต และที่เปลือกไข่จะมีรูพรุน เล็ก ๆ 100-200 รูต่อตารางเซนติเมตร เพื่อให้อากาศผ่านเข้าในฟองไข่ในขณะที่มีกระบวนการฟักออกเป็นตัว โดยเมื่อไข่ไก่ออกมาใหม่ๆ จะมีเมือกเคลือบอยู่ด้านนอก ซึ่งใช้เป็นหลักการในการตรวจสอบความสดใหม่ของไข่ไก่ได้ แต่เมื่อไข่ไก่ออกมาไม่นานนัก เมือกที่เคลือบเปลือกไข่ไว้จะแห้ง เพื่อปิดรูที่เปลือกไข่ ป้องกันจุลินทรีย์เข้าไปในฟองไข่ นอกจากนี้ด้านในของเปลือกไข่ยังมีเนื้อเยื่อสีขาว 2 ชั้น ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันจุลินทรีย์ เข้าไปในฟองไข่เช่นเดียวกัน ส่วนที่สองจะเป็นในส่วนของไข่ขาว และส่วนสุดท้ายคือไข่แดง (ผศ.ดร.กานดา ล้อแก้วมณ, 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 เปลือกไข่ไก่

(ที่มา : https://decor.mthai.com)

2.1.2 เปลือกไข่เป็ด

ไข่มีเปลือกหุ้มทั้งฟอง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Anas platyrhucus* มีลักษณะเป็นรูปรี ด้านหนึ่งมีลักษณะป้านและอีกด้านหนึ่งมีลักษณะแหลมมน ผิวเปลือกเรียบ เปลือกไข่เป็ดมีสีแตกต่างกันตั้งแต่สีขาวสีน้ำเงินจนถึงสีเขียวอ่อน ไข่เป็ดประกอบด้วยแคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุอื่นๆ ยังรวมถึงวิตามิน A (ดีสำหรับดวงตาและผิวหนัง), B6 (ช่วยเกี่ยวกับโรคประสาท), B12 (มีประโยชน์สำหรับโรคโลหิตจาง, เส้นโลหิตตีบ, โรคสะเก็ดเงิน) ไข่เป็ดยังมีโฟเลตสูงอีกด้วย (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2548)

รูปที่ 2.2 เปลือกไข่เป็ด

(ที่มา: https://sites.google.com)

2.1.3 เปลือกหอยแครง

หอยแครง (ark shell) จัดเป็นหอยทะเลที่นิยมรับประทานมากชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีเนื้อมาก เนื้อนุ่มเหนียว ให้รสหวาน และสามารถปรุงได้ง่าย นิยมนำมาลวกรับประทาน และใช้ประกอบอาหาร รวมถึงแปรรูปเป็นอาหารต่างๆ อาทิ หอยแครงดอง หอยแครงอบแห้ง เป็นต้น นอกจากนั้นยังเป็นหอยที่พบมากในชายฝั่งของประเทศไทย สามารถเลี้ยงง่าย แพร่พันธุ์ได้จำนวนมาก และเติบโตเร็ว มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Anadara granosa* ชื่ออังกฤษ cockle, ark shell ลักษณะทั่วไปของหอยแครง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นหอยสองฝา ที่มีขนาด และลักษณะของฝาทั้งด้านบน และด้านล่างเหมือนกัน ลำตัวถูกหุ้มด้วยเปลือกหินปูนหนา และแข็ง เปลือกมีสีน้ำตาลอมดำ แต่หากอยู่ในน้ำตื้น จะมีสีเป็นสีขาว เปลือกหุ้มมีลักษณะค่อนข้างกลม แผ่นเปลือกโค้งเป็นรูปครึ่งวงกลม บนแผ่นเปลือกมีสันนูน ด้านละ 20 อัน ขนาดหอยใหญ่ได้ถึง 7 ซม. ภายในเปลือกเป็นลำตัวของหอย ตัวหอยมีสีน้ำตาลแดง คล้ายเลือดมนุษย์ เพราะมีสารฮีโมโกลบิล มีกล้ามเนื้อยึดเปลือกแน่น ส่วนหัวที่เห็นไม่ชัด มีเหงือกขนาดใหญ่ไว้สำหรับหายใจ และช่วยในการกรองอาหาร มีการผสมพันธุ์ภายนอกตัว เมื่อระยะตัวอ่อนจะเป็นแพลงก์ตอนขนาดเล็ก และค่อยเติบโตสร้างเปลือกจนกลายเป็นรูปร่างหอย แหล่งอาศัย และการแพร่กระจายของหอยแครง จะพบการแพร่กระจาย และอาศัยมากบริเวณชายฝั่งที่มีโคลน ห่างจากฝั่งออกไปประมาณ 1-3 กม. อาศัยในระดับความลึกตั้งแต่ 1-3 เมตร โดยจะฝังตัวในโคลนลึกลงไปประมาณ 1-25 ซม. ซึ่งขึ้นกับฤดูกาล และระดับน้ำขึ้นน้ำลง หากน้ำลดจะฝังตัวลงลึก เพื่อป้องกันแดด หากน้ำขึ้นจะฝังตัวตื้นๆ พบมากในจังหวัดเพชรบุรี ชลบุรี สุราษฎร์ธานี และปัตตานี (pasusat.com, ม.ป.ป)

เปลือกหอยแครง กว่าร้อยละ 95 จะประกอบด้วย แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) ส่วนที่เหลือจะเป็น แคลเซียมฟอสเฟต, แมกนีเซียมฟอสเฟต, แมกนีเซียมซิลิเกต, แมกนีเซียมคาร์บอเนต, โปรตีนประเภทคอนไคโอลิน (conchiolin) เปลือกหอยแครง แบ่งเป็น 3 ชั้น ได้แก่

1. ชั้นนอกสุด (Periostracum layer)

ชั้นนี้ประกอบด้วยสารหลัก คือโปรตีนประเภทคอนไคโอลิน ที่ทำให้เปลือกด้านนอกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำ ซึ่งเป็นชั้นบาง ๆ และหลุดได้ง่าย

2. ชั้นกลาง (Prismatic layer)

เป็นชั้นที่ประกอบด้วยผลึกของแคลเซียมที่อยู่ในรูปผลึกแคลไซท์ (calcite) เป็นส่วนมาก ร่วมกับสารอื่น ๆ ชั้นนี้จะหนา และแข็งมากที่สุด

3. ชั้นในสุด/ชั้นมุก (Nacreous layer)

เป็นชั้นที่ประกอบด้วยผลึกของแคลเซียมในรูปผลึกอราโกไนท์ (aragonite) มีสีขาวขุ่น เรียงตัวเป็นระเบียบ และเป็นมันวาว

แคลเซียมคาร์บอเนต($CaCO_3$) จากเปลือกหอยแครงถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมมากมาย

– อุตสาหกรรมกระดาษ ทำให้กระดาษมีสีขาว และเรียบเนียน

– อุตสาหกรรมพลาสติก เพื่อทำให้พลาสติกแข็งแรง หรือเพื่อทำให้เกิดสีขาว

– อุตสาหกรรมสี เพื่อให้สีขาว และการยึดเกาะที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

– อุตสาหกรรมทางการแพทย์ โดยเป็นสารให้แคลเซียมแก่ร่างกาย หรือใช้รักษาโรคเกี่ยวกับระบบหัวใจ

รูปที่ 2.3 เปลือกหอยแครง

(ที่มา : https://pixabay.com/th/photos)

2.1.4 เปลือกหอยแมลงภู่

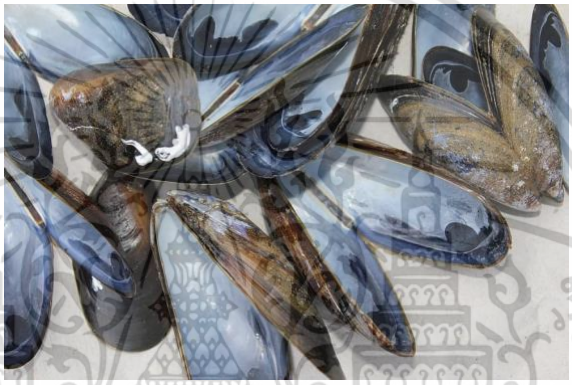
หอยแมลงภู่ (Green mussel) เป็นหอยที่อาศัยได้ทั้งอยู่ในน้ำเค็ม และน้ำกร่อย ปัจจุบันเป็นหอยที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศ และต่างประเทศ เนื่องจากมีเนื้อหอยมาก เนื้อหอยรับประทานได้เกือบทั้งหมด เนื้อมีความนุ่ม หวาน และอร่อย ไม่มีเศษดินในลำไส้ ชื่อวิทยาศาสตร์ *Perna viridis Lineaus* ชื่อสามัญ Greenmussel วงศ์ Mytilidae ลักษณะเปลือกทั้งสองมีขนาดเท่ากัน เปลือกด้านนอกมีสีเขียว ส่วนท้ายจะกว้างกว่าส่วนหน้า มีซังยึดเกาะกับวัสดุ ขนาดของหอยที่สามารถสืบพันธุ์ได้มีความยาวตั้งแต่ 2.13 เซนติเมตร ส่วนขนาดของหอยที่ตลาดที่ต้องการมีความยาวตั้งแต่ 5 เซนติเมตรขึ้นไป การกินอาหารของหอยแมลงภู่ เนื่องจากเป็นสัตว์น้ำที่เคลื่อนที่ไปได้ช้ามาก จึงจัดอยู่ในจำพวกที่เกาะอยู่กับที่ ดังนั้นอาหารส่วนใหญ่จึงเป็นแพลงก์ตอนจำพวกพืช และสัตว์ขนาดเล็กตลอดจนชิ้นส่วนขนาดเล็กสิ่งเน่าเปื่อยจากพืช และสัตว์ที่ลอยอยู่ในน้ำแพลงก์ตอนที่เป็นอาหารได้แก่ ตัวอ่อนของสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ ไดโนแฟลกเจลเลตบางชนิด รวมทั้งโปโตซัว

การผสมพันธุ์ของหอยแมลงภู่ ด้วยหอยแมลงภู่มีทั้งเพศแยก และมีสองเพศอยู่ในตัวเดียวกัน มีการผสมพันธุ์ภายนอกลำตัว การดูลักษณะเพศจะดูสีที่ปรากฏบริเวณลำตัวและที่เยื่อหุ้มลำตัวหอย เพศผู้จะมีสีครีมหรือขาว ส่วนเพศเมียจะมีสีส้ม หอยมีช่วงฤดูผสมพันธุ์อยู่ 2 ช่วง ในรอบ 1 ปี คือ ช่วงระหว่างพฤษภาคม-สิงหาคม และช่วงระหว่าง พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ แหล่งที่อยู่อาศัยของหอยแมลงภู่จะชอบเกาะตามโขดหินและตามไม้ไผ่บริเวณชายฝั่งทะเล ห่างฝั่งประมาณ 1,000-3,000 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแพร่กระจายในประเทศไทย มีหอยแมลงภู่แพร่กระจายอยู่ทั่วไปแทบทุกจังหวัดชายฝั่งทะเล ทั้งชายฝั่งทะเลอ่าวไทย และชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดที่เลี้ยงหอยแมลงภู่กันมาก และให้ผลผลิตเป็นปริมาณมากได้แก่ ชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ และปัตตานี ส่วนจังหวัดอื่น ๆก็เลี้ยงกันไม่มากนัก แต่จะเก็บผลผลิตจากแหล่งเกิดหอยธรรมชาติเสียส่วนใหญ่ (nbr12465, 2560)

เปลือกของหอยแมลงภู่มีองค์ประกอบทางเคมี คือ แคลเซียมออกไซด์ 95.7%, โพแทสเซียมออกไซด์ 0.5%, ซิลิกอนไดออกไซด์ 0.9%, สตรอนเซียมออกไซด์ 0.4%, เฟอริกออกไซด์ 0.7%, ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ 0.7%, แมกนีเซียมออกไซด์ 0.6%และอลูมิเนียมออกไซด์ 0.4% (https://www.researchgate.net)



รูปที่ 2.4 เปลือกหอยแมลงภู่

(ที่มา : https://www.pikist.com/free-photo-sbiod/th)

2.1.5 เปลือกหอยนางรม

หอยนางรมจัดอยู่ใน Phylum Mollusca, Class Lamellibranchiate, Family Ostreidae มีการเพาะเลี้ยงหอยนางรมตามชายฝั่งทะเลตะวันออกของไทย ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด ภาคใต้ฝั่งอ่าวไทยพบการเลี้ยงหอยนางรมใน 6 จังหวัด ได้แก่ ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี สงขลา ปัตตานี และนราธิวาส ส่วนภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน พบการเลี้ยงหอยนางรมในจังหวัด กระบี่ ระนอง ภูเก็ต หอยนางรมอาศัยอยู่ทั่วไปในพื้นที่น้ำเค็มหรือน้ำกร่อย คือบริเวณที่มีทั้งน้ำจืดและน้ำเค็มไหลมารวมกันทำให้น้ำบริเวณนั้นมีความกร่อย และเต็มไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสัตว์น้ำที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือแพลงก์ตอน ซึ่งเป็นอาหารของหอยนางรม และสัตว์น้ำทั่วไปหอยนางรมมีพฤติกรรมชอบอาศัยเกาะตามโขดหิน หรือรากไม้หลายชนิดในประเทศไทยมีการเลี้ยงหอยนางรมมากกว่า 50 ปีมาแล้ว ส่วนใหญ่บริโภคสด มีการจำหน่ายไม่แพร่หลายเนื่องจากมีผลผลิตไม่เพียงพอ สามารถแบ่งพันธุ์หอยนางรมที่พบในประเทศไทยเชิงพาณิชย์ออกได้เป็น 3 ชนิด ด้วยกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) หอยนางรมพันธุ์เล็กหรือหอยนางรมปากจีบ (Saccostrea commercialism) เป็นหอยนางรมที่มีขนาดเล็ก หอยนางรมพันธุ์นี้มีการเลี้ยงกันมากทางภาคตะวันออกของประเทศไทย

(2) หอยตะโกรมกรามขาว (Crassostrea belcheri) เป็นหอยนางรมที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในสามพันธุ์ มีการเลี้ยงกันมากทางภาคใต้และภาคตะวันออกของไทย ซึ่งได้แก่ บริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัด สุราษฎร์ธานี อ่าวเขายั่ว จังหวัดกระบี่ บ้านคีกไคร จังหวัดพังงา บ้านนาทับจังหวัดสงขลา และ อ่าวคุ้มกระเบน จังหวัดจันทบุรี เป็นต้น

(3) หอยตะโกรมกรามดำ (Crassostrea lugubris) เป็นหอยนางรมที่มีขนาดใหญ่เป็นอันดับที่สองในสามพันธุ์ พบมากที่อ่าวคุ้มกระเบนจังหวัดจันทบุรี อ่างศิลาจังหวัดชลบุรี อ่าวช่องจังหวัดตราด คลองบางนางรมจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และคลองกำพวน จังหวัดระนองเป็นต้น

ลักษณะของหอยนางรม เป็นหอยสองฝา ทั่วไปฝาทั้งสองมีขนาดไม่เท่ากัน ฝาข้างซ้ายมีขนาดใหญ่ ฝาทั้งสองเปิดปิดได้ด้วยมัดกล้ามเนื้อมัดเดียว เปลือกแบ่งเป็น 3 ชั้น ชั้นในสุดบางมีสีคล้ายมุกและเรืองแสงชั้นนอกสุดมีลักษณะเป็นแผ่นบางมักจะหลุดลอกออกบ่อย ๆ ชั้นกลางเป็นส่วนประกอบหลักของเปลือกหอยคล้ายชอล์ก เปลือกของหอยนางรมเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อม หอยนางรมที่เติบโตบนวัตถุแข็งเปลือกจะมีจำนวนร่องมาก แต่ถ้าเจริญในน้ำที่มีความเค็มสูง เปลือกจะแข็งกว่าหอยที่อยู่ในที่มีความเค็มต่ำ จะสืบพันธุ์วางไข่เมื่ออายุประมาณ 1 ปี จำนวนไข่มีปริมาณแตกต่างกันตามท้องที่และชนิดของหอย ฤดูวางไข่โดยทั่วไปจะวางไข่ตลอดปี แต่จะมากในเดือนที่ก่อนหรือหลังฝนตก (วันทนา, 2539)

เปลือกหอยนางรมมีมีองค์ประกอบทางเคมี คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ 1.01%, อลูมิเนียมออกไซด์ 0.14%, เฟอริกออกไซด์ 0.17%, แมกนีเซียมออกไซด์ 0.46%, โพแทสเซียมออกไซด์ 0.02%, โซเดียมออกไซด์ 0.23%, ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ 0.75%, คลอไรด์ 0.01%, ซัลเฟต 0.43%และแคลเซียมคาร์บอเนต96.8% (https://www.researchgate.net)

รูปที่ 2.5 เปลือกหอยนางรม

(ที่มา : https://dnetworkshop.co.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 เปลือกหอยตลับ

หอยตลับ (Hard clam, (Meretrix caste Gmelin, 1791)) หรือที่ชาวท้องถิ่นเรียกวา หอยกระปุก มีลักษณะของรูปร่างเป็นรูปสามเหลี่ยม ตรงกลางนูนออก เปลือกหนาผิวด้านนอกมีลักษณะมัน วาวสีน้ำตาลอมเขียว ถึงน้ำตาลเข้ม ไม่มีลาย ส่วนด้านในของเปลือกมีสีขาวงาช้าง มีเส้นเวาของขอบกล้ามเนื้อตื้น ไม่มีส่วนยื่นแหลม มีขนาด 3 - 9 เซนติเมตร เป็นหอยทะเลสองฝาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ภายในประเทศนิยมบริโภคเป็นอาหารใน รูปแบบอาหารสด และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศเป็นปริมาณมากซึ่งในพื้นที่จังหวัดสมุทรสงคราม พบหอยตลับมากบริเวณปากแม่น้ำแม่กลอง และพบกระจายเล็กน้อยในพื้นที่อื่น ๆ ชาวประมงพื้นบ้านทำการประมงหอยหอยตลับด้วยวิธีเก็บด้วยมือเปล่า และใช้คราดแบบเดินคราด หรือยืนคราดบนเรือ นำมาจำหน่ายสร้างรายได้ให้แก่ชุมชนที่อาศัยอยู่ชายฝั่งทะเล

เปลือกหอยตลับมีองค์ประกอบทางเคมี คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ 0.84%, อลูมิเนียมออกไซด์ 0.14%, เฟอริกออกไซด์ 0.06%, แมกนีเซียมออกไซด์ 0.08%, โพแทสเซียมออกไซด์ 0.03%, โซเดียมออกไซด์ 0.39%, ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ 0.16%, คลอไรด์ 0.02%, ซัลเฟต 0.06%และแคลเซียมคาร์บอเนต98.8% (https://www.researchgate.net)

รูปที่ 2.6 เปลือกหอยตลับ

(ที่มา : https://talaadthai.com/product/12-06-03-enamel-venus-shell)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แร่ยิปซัม

ยิปซัม (อังกฤษ: Gypsum) ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) หรือเรียกว่าเกลือจืด คือแคลเซียมซัลเฟตซึ่งมีน้ำรวมอยู่ด้วย (dihydrate) โดยประกอบด้วยซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) 46.5% แคลเซียมออกไซด์ (CaO) 32.6% และน้ำ(H_2O) 20.9% แต่ในเชิงพาณิชย์จะต้องมีไฮดรัสแคลเซียมซัลเฟตประมาณ 95% (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่) ยิปซัมเป็นแร่อโลหะที่มีความเปราะมากมีสีขาว ไม่มีสีหรือสีเทา มักมีสีเหลือง แดง หรือน้ำตาล เป็นมลทินปนอยู่ มีความวาวคล้ายแก้ว มุก หรือไหม ความแข็ง 2 ความถ่วงจำเพาะ 2.7 เนื้อแร่โปร่งใสจนกระทั่งโปร่งแสง อาจเรียกชื่อต่างกันออกไปตามลักษณะของเนื้อแร่ คือ ชนิดซาตินสปาร์ (satin spar) เป็นแร่ยิปซัมลักษณะที่เป็นเนื้อเสี้ยน มีความวาวคล้ายไหม ชนิดอะลาบาสเทอร์ (alabaster) มีเนื้อเป็นมวลเม็ดอัดกันแน่น และชนิดซีลีไนต์ (selenite) ใสไม่มีสี เนื้อแร่เป็นแผ่นบางโปร่งใส เกิดจากแร่ที่ตกตะกอนในแอ่งที่มีการระเหยของน้ำสูงมากและต่อเนื่อง ทำให้น้ำส่วนที่เหลือมีความเข้มข้นสูงขึ้น ถึงจุดที่แร่กลุ่มที่เรียกว่า “อีแวพอไรต์ (evaporites) ” จะสามารถตกตะกอนออกมาตามลำดับความสามารถในการละลาย (solubility) ซึ่งโดยทั่วไปเริ่มจากพวกคาร์บอเนต (carbonates) ซัลเฟต (sulphates) และเฮไลด์ (halides) การกำเนิดแร่ยิปซัมของไทยมีเนื้อเป็นเกล็ดเล็กๆ สมานแน่น เรียกว่า “อะลาบาสเตอร์ (alabaster) ” ซึ่งมิได้เกิดจากการตกตะกอนทับถมกันในสภาพการณ์ปฐมภูมิจากการระเหยของน้ำ แต่เกิดจากการเติมน้ำ (rehydration) ให้กับช่วงบนสุดของมวลแอนไฮไดรต์ จนเกิดการเปลี่ยนแปลง ชนิดแร่ยิปซัมในประเทศไทยมีประวัติที่ค่อนข้างซับซ้อน และการศึกษาธรณีวิทยาแหล่งแร่พบว่า เคยผ่านการเปลี่ยนแปลงชนิดแร่ไปมา ระหว่างยิปซัมกับแอนไฮไดรต์ ($CaSO_4$) หลายครั้ง (Utha-Aroon and Ratanajarurak, 1996) ก่อนจะมีสภาพเช่นในปัจจุบัน (ชยันต์ พิเชียรสุนทร และ วิเชียร จีรวงศ์, 2556)

2.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของแร่ยิปซัม

แร่ยิปซัม สามารถละลายได้ในกรดเกลือโดยไม่เกิดฟองฟู่ ลักษณะเด่นของแร่คือมีความแข็งเพียง 2 ตามมาตราความแข็งของโมห์ (Mohs’ scale of hardness) จึงสามารถใช้เล็บมือขีดเป็นรอยได้ ความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.2-2.4 โดยปกติแร่จะใสหรือมีสีขาว แต่อาจจะมีสีอื่นได้ตามชนิดและปริมาณของมลทินที่ปนอยู่ แร่ยิปซัมมีหลายรูปแบบแต่ที่พบโดยทั่วไปมักพบเป็นแบบเนื้อแน่น มีรูปผลึกเฉพาะ เช่น เป็นผลึกใส เป็นแผ่นบางโปร่งใส เรียกว่า เซเลไนต์ (Selenite) ส่วนยิปซัมที่พบเป็นมวลอัดแน่น เรียกว่า อะลาบาสเตอร์ (Alabaster) และชนิดเป็นเส้นใยเรียกว่า ซาทินสปาร์ (Satin spar)

แร่อีกชนิดหนึ่งคือ แร่แอนไฮไดรต์ (Anhydrite) คือ แคลเซียมซัลเฟตซึ่งไม่มีน้ำ มีสูตรเคมี คือ $CaSO_4$ประกอบด้วย SO_3 58.8% และ CaO 41.2% เนื่องจากไม่มีน้ำจึงทำให้แร่แอนไฮไดรต์หนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่า และมีความแข็งมากกว่า โดยมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.7-3.0 มีความแข็งประมาณ 3-3.5 และไม่เกิดฟองฟู่กรดเช่นเดียวกับแร่ยิปซัม

ยิปซัมที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติจัดอยู่ในกลุ่มของ แร่อีแวพอไรต์ (Evaporite) ซึ่งเป็นกลุ่มแร่ที่ตกผลึกจากน้ำทะเล (brine) โดยเกิดสะสมตัวในแอ่งระเหยขนาดใหญ่ (Evaporite basin) บริเวณชายฝั่งทะเลในเขตภูมิอากาศแห้งแล้ง หรือในทะเลสาบชายทะเล (Lagoonal basin) ซึ่งจากสภาวะแวดล้อมดังกล่าวนี้เมื่อน้ำทะเลเกิดการะเหยออกไปจากแหล่งสะสม ตัวเป็นจำนวนมาก ทำให้น้ำที่เหลือมีความเข้มข้นสูงสุดขึ้นจนถึงจุดที่แร่กลุ่มนี้สามารถตก ผลึกออกมาได้

2.2.2 การผลิตและการใช้ประโยชน์

1) ยิปซัมดิบ (Raw gypsum)

1.1) ยิปซัมส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตปูนซิเมนต์ ยิปซัมจะถูกเติมลงไปในปูนเม็ด (clinker) ประมาณ 3 – 5% ของน้ำหนักปูน ก่อนจะนำไปบดและบรรจุถุง หน้าที่ของยิปซัมคือเป็นตัวหน่วง (Retarder) เพื่อชะลอการแข็งตัวของปูนซิเมนต์ และทำให้ปูนจับตัวกับวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ เช่น กรวด ทราย ได้ดีมีกำลังอัดสูง

1.2) ใช้ผลิตกรดกำมะถัน แอมโมเนียซัลเฟต

1.3) ใช้เป็นตัวเพิ่มออกซิเจน (oxidizing agent) ในอุตสาหกรรมเครื่องแก้ว

1.4) ใช้ผลิตชอล์ก ดินสอสี และหัวไม้ขีดไฟ

1.5) ยิปซัมที่มีความบริสุทธิ์สูง สามารถนำไปใช้ในการทำรูปแกะสลัก และใช้ในการตกแต่งภายใน

1.6) ใช้ในงานด้านทันตกรรม

1.7) ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ โดยทำให้กระบวนการหมักเบียร์เป็นไปอย่างดี และเบียร์ที่ได้มีความใส

1.8) ใช้เป็นตัวปรับคุณภาพดินเพื่อการเกษตรกรรม โดยการบดยิปซัมแล้วโปรยลงดินโดยตรง หรือนำไปผสมในน้ำที่ใช้รดแปลงเพาะปลูก แคลเซียมจากยิปซัมสามารถเข้าแทนที่อนุมูลของโซเดียมในดิน ทำให้ความเค็มลดลง สามารถนำกลับไปใช้เพาะปลูกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 แหล่งแร่และปริมาณสำรอง

จากการทำเหมืองในช่วง 45 ปีที่ผ่านมาทำให้ปริมาณของแร่ในแต่ละแหล่งเปลี่ยนแปลงไปมาก ตั้งแต่เริ่มมีการทำเหมืองแร่ยิปซัมมาจังหวัดสุราษฎร์ธานีผลิตแร่ออกได้มากที่สุดรองลงมาเป็น นครศรีธรรมราช นครสวรรค์ และพิจิตร ส่วนที่จังหวัดเลยนั้น กรมทรัพยากรธรณีเพิ่งสำรวจพบใหม่เมื่อ พ.ศ. 2538 และมีการสำรวจเพิ่มเติมใน พ.ศ. 2540 ทำให้สามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่ศักยภาพของแหล่งแร่ได้ชัดเจนขึ้น จากการประเมินล่าสุดโดยกองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี ได้ประเมินปริมาณสำรองคงเหลือในแต่ละพื้นที่ เป็นดังนี้

จังหวัดพิจิตร – นครสวรรค์	98 ล้านตัน
จังหวัดสุราษฎร์ธานี	47 ล้านตัน
จังหวัดนครศรีธรรมราช	21 ล้านตัน

สำหรับแร่ยิปซัมที่จังหวัดเลยนั้น การเจาะสำรวจในขั้นกึ่งรายละเอียดชี้ว่า มีปริมาณสำรองแร่ที่เป็นไปได้ไม่น้อยกว่า 35 ล้านตัน นอกจากนี้ยังมีโอกาสพบแร่เพิ่มเติมในพื้นที่ใกล้เคียงสูงอีกด้วย ดังนั้น จึงคิดเป็นปริมาณทรัพยากรแร่ยิปซัมคงเหลือทั้งประเทศประมาณ 200 ล้านตัน

ตลาดแร่ยิปซัมที่สำคัญของไทยได้แก่กลุ่มประเทศเอเชียแปซิฟิก โดยเฉพาะ ประเทศญี่ปุ่น เคยมีสัดส่วนการนำเข้ามากกว่าร้อยละ 50 ของแร่ยิปซัมที่ส่งออก แต่เนื่องจากผลกระทบจากภาวะเศรษฐกิจถดถอยในทั่วโลก และประเทศญี่ปุ่นมีการกระจายการนำเข้าแร่ยิปซัมจากหลายประเทศมากขึ้น ได้แก่ เม็กซิโก โมร็อกโค และออสเตรเลีย ซึ่งอยู่ห่างจากตลาดญี่ปุ่นในระยะทางใกล้เคียงกับประเทศไทย ตลาดส่งออกแร่ยิปซัมรองลงมา ได้แก่ อินโดนีเซีย มาเลเซีย ไต้หวัน เวียดนาม เกาหลีใต้ และฟิลิปปินส์ การตัดราคาระหว่างผู้ขายด้วยกันเองทำให้ราคาแร่ยิปซัมของไทยมีราคาลดลง ราคาแร่ยิปซัมที่ส่งออกจึงอยู่ที่ระดับราคาประมาณ 8 เหรียญสหรัฐ ทำให้ประเทศได้รับประโยชน์จากการขายทรัพยากรในมูลค่าที่ค่อนข้างต่ำทั้งที่กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ได้กำหนดราคาการส่งออกไว้ที่ 11 เหรียญสหรัฐ นับตั้งแต่ปี 2542 - 2545 เป็นต้นมา การส่งออกลดลงเหลือร้อยละ 72 - 68 ของยิปซัมที่ผลิตทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ปัญหาของแร่ยิปซัม

ปัญหาส่วนใหญ่คือยิปซัมมีราคาส่งออกค่อนข้างต่ำ เนื่องจากผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะส่งออกแร่ยิปซัมในราคาต่ำกว่าประกาศของกรมทรัพยากรธรณี เพื่อตัดราคาขายอันจะเพิ่มส่วนแบ่งในตลาดของตนเอง ดังนั้นเพื่อให้เป็นไปตานโยบายของรัฐบาล กรมทรัพยากรธรณีได้กำหนดมาตรการไม่อนุญาตส่งออกแร่ยิปซัมที่ทำการซื้อขายภาย หลังจากวันที่ 1 มิถุนายน 2538 ในราคาที่ต่ำกว่า 17 เหรียญสหรัฐต่อเมตริกตัน ส่วนคำขอส่งออกแร่ยิปซัมที่มีราคาต่ำกว่าระดับราคานี้ จะพิจารณาเป็นราย ๆ และส่งเสริมให้มีการใช้แร่ยิปซัมภายในประเทศมากขึ้น ด้วยการสนับสนุนให้มีการใช้ยิปซัมบอร์ดในอาคารบ้านเรือนและสถานที่ราชการ ส่วนมาตรการในระยะยาวคือส่งเสริมให้มีการเพิ่มมูลค่าแร่ในอุตสาหกรรมต่อ เนื่องอื่นที่อาจทำได้ เช่น อุตสาหกรรมผลิตปูนพลาสเตอร์ การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ แทนที่จะขายในรูปแร่ดิบ (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่,2552)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 (กงกิจ ยิ่งเจริญกิจขจร และทวิช กล้าแท้) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์จากเปลือกหอยนางรมบดในผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกประสาน โดยการนำเปลือกหอยนางรมบด (OSW) มาทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน ในการผลิตอิฐ บล็อกประสาน โดยอัตราส่วนวัสดุเชื่อมผสาน (ปูนซีเมนต์และเปลือกหอยนางรมบด) ต่อดินลูกรังใน อัตราส่วน 1:6, 1:7 และ 1:8 แทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักของ วัสดุประสาน เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 7, 14, 28, 56 และ 90 วัน รวมถึงทดสอบการดูดกลืนน้ำที่อายุ 28 วัน กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน อิฐบล็อกประสาน (602/2547) จากผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานจากเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา ที่อายุการบ่ม 28 วัน ทุกอัตราส่วนผสมมีค่ากำลังรับแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน อิฐบล็อกประสาน (602/2547) ชนิดไม่รับน้ำหนัก ในขณะอิฐบล็อกประสานที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 0 และร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ในอัตราส่วน 1:6 ที่อายุการบ่มที่ 90 วัน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ ชุมชนอิฐบล็อกประสาน (602/2547) ชนิดรับน้ำหนัก ในเชิงเศรษฐศาสตร์อิฐบล็อกประสานที่มี OPC เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว มีต้นทุนการผลิตอยู่ระหว่าง 4.47-4.93 บาทต่อก้อนในขณะที่อิฐบล็อกประสานซึ่งทำการแทนที่ OPC ด้วย OSW ที่อัตราส่วนร้อยละ 10-50 มีต้นทุนผลิตเพียง 3.65- 4.72 บาทต่อก้อนเท่านั้น

2.3.2 (Nuchnapa Tangboriboon and Wanitcha Unjan,2017) แคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรตเกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่างเปลือกไข่เป็ดและกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิห้อง (25องศาเซลเซียส) และเมื่อนำแคลเซียม ซัลเฟตได้ไฮเดรตไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสจะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต หรือ ปูนปลาสเตอร์ หลักจากนั้นเมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส , 800 องศาเซลเซียส และ 900 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนเป็น แอนไฮไดรต์ หรือ แคลเซียมซัลเฟต

องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่เป็ดดิบและเปลือกไข่เป็ดเผา เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF ผลที่ได้คือ เปลือกไข่เป็ดดิบประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นหลัก คิดเป็น 98.101% โดยน้ำหนักและสารประกอบออกไซด์อื่นๆ คิดเป็น 1.899% โดยน้ำหนัก ในขณะที่เปลือกไข่เป็ดที่เผาแล้วประกอบด้วย แคลเซียมออกไซด์ คิดเป็น 97.805 โดยน้ำหนักและสารประกอบออกไซด์อื่นๆ เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ , โซเดียมออกไซด์, โพแทสเซียมออกไซด์และซิลิคอนไดออกไซด์ เป็นต้น คิดเป็น 2.195% โดยน้ำหนัก

2.3.3 (Lailan Ni'mah, Fidelis Boy Manurung, Eka Pramita) : 2017 ในการสร้างคอนกรีตน้ำหนักเบาจำเป็นต้องเพิ่มยิปซัม การวิจัยนี้ดำเนินการโดยกระบวนการเผาเปลือกหอยและเปลือกไข่เพื่อให้ได้องค์ประกอบ แคลเซียมออกไซด์ในการทำคอนกรีตมวลเบา แคลเซียมออกไซด์สามารถผลิตได้จากการย่อยสลายของแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งอยู่ในเปลือกหอยและเปลือกไข่ ขั้นตอนในการสังเคราะห์แคลเซียมออกไซด์ คือ การนำเปลือกหอยและเปลือกไข่ที่ล้างแล้ว ตากแห้งและนำไปอบด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นบดให้มีขนาด 355 ไมครอน จำนวน 500 กรัมและเผาที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะได้แคลเซียมคาร์บอเนต เพื่อนำมาทำปฏิกิริยากับ กรดซัลฟิวริกและน้ำ เพื่อสังเคราะห์ยิปซัม ยิปซัมที่ได้นำมาตรวจวิเคราะห์โดยการทดสอบ SEM เพื่อสังเกตพื้นผิวของวัสดุและ XRD เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างสาร สำหรับทำยิปซัมโดยผสมเปลือกไข่, เปลือกหอย, กรดซัลฟิวริก, น้ำ ที่ในอัตราส่วนต่างๆ 40: 0: 20: 40 ; 30: 10: 20: 40 ; 20: 20: 20: 40 ; 10: 30: 20: 40และ 0: 40: 20: 40 เพื่อให้ได้คอนกรีตมวลเบาโดยผสมยิปซั่ม ปูนขาว โฟม และ น้ำ โดยมีอัตราส่วน 30: 15: 5: 50: 30 ผลลัพธ์ที่ได้ คือส่วนประกอบที่ดีที่สุดของยิปซั่มที่มาจากเปลือกไข่ และเปลือกไข่ ในตัวอย่าง BRG3 ที่มีอัตราส่วนเปลือกไข่ 20% เปลือกหอย 20% กรดซัลฟิวริก 20% และ น้ำ 40% ให้ผลลัพธ์ 269.9 กรัมจากมวลรวม 450 กรัม สำหรับองค์ประกอบที่ดีที่สุดของคอนกรีตมวลเบาที่ทำจากยิปซั่มดิบนั้นพบได้ในตัวอย่าง BRG3 ที่มีการดูดซึมน้ำ 5.08% และกำลังรับแรงอัด 16.840 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การดูดซึมน้ำที่น้อยที่สุดคือ 2.18%

2.3.4 (M. Sophia, N. Sakthieswaran), 2562 ทำการวิจัยการนำขยะจากการเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น เปลือกหอยสังข์ เปลือกหอยเชลล์ กระดูกหมึก และเปลือกไข่ นำเปลือกไข่และเปลือกหอยชนิดต่างๆ มาบด และเติมในปูนปลาสเตอร์ยิปซัม ใช้ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% และ 15%) แล้วนำไปตรวจสอบด้วยเทคนิค FTIR เพื่อตรวจสอบการศึกษาทางกล ความร้อน และความทนทาน ผลการศึกษาพบว่าปูนยิปซัมมีคุณสมบัติทางกลเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการระบายความร้อนดีขึ้น ค่าความแข็งแรงของปูนยิปซัมไม่เสื่อมสภาพ ปูนปลาสเตอร์ยิปซัมที่มีความเสถียรสูงและกะทัดรัดแม้ในอัตราส่วนน้ำต่อสารยึดเกาะต่ำ ความหนาแน่นที่ลดลงของปูนปลาสเตอร์ผสมได้รับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา

พิสูจน์แล้วว่าเหมาะสำหรับปูนปลาสเตอร์น้ำหนักเบาเชิงพาณิชย์ และต้านทานการดูดซึมน้ำได้เป็นอย่างดี เนื่องจากการทดแทนด้วยเปลือกชนิดต่าง ๆ การเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างรูพรุนก็ตรวจสอบด้วยภาพ SEM โดยทำการศึกษาปูนยิปซัม 4 ชนิดที่แตกต่างกัน ได้แก่ GE, GC, GCB และGS เฮมิไฮเดรตที่เป็นสารยึดเกาะในยิปซัม ถูกแทนที่ด้วยผงเปลือกหอย ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน 6 ระดับคือ 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% และ 15% โดยน้ำหนักของสารยึดเกาะยิปซัมละถูกตั้งชื่อว่า GE1-GE6, GC1- GC6, GCB1-GCB6 และ GS1-GS6 อย่างไรก็ตาม ค่าการดูดซึมน้ำไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่จะใช้สำหรับการใช้งานภายนอกหรือก่อสร้าง แต่สามารถนำมาใช้ในการตกแต่งภายในได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) ครกหิน และสาก (Stone mortar and Pestle)

2) ตะแกรงร่อน ขนาด 100 mesh

3) เครื่องอบ (Oven)

4) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Digital balance)

5) ชุดเครื่องแก้ว

6) ถาดอะลูมิเนียม

7) Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) IRTracer-100 SHIMADZU

8) X-ray Diffractometer (XRD) ยี่ห้อ Bruker AXS รุ่น D8 Advance

9) X-ray fluorescence (XRF) ยี่ห้อ Bruker AXS รุ่น SRS 3400

10) Scanning Electron Microscope (SEM) ยี่ห้อ FEI รุ่น QUANTA 250

3.1.2 วัสดุและสารเคมี

1) เปลือกไข่ 2 ชนิด ได้แก่ เปลือกไข่ไก่ และเปลือกไข่เป็ด

2) เปลือกหอย 4 ชนิด ได้แก่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยตลับ

3) กรดซัลฟิวริก (98% Sulfuric acid, H_2SO_4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมสารตั้งต้น

3.2.1 การเตรียมแคลเซียมจากเปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ และเปลือกหอยนางรม

ขัดเอาเนื้อที่ติดเปลือกทั้ง 6 ชนิดออก และล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า นำเปลือกไข่ไก่ที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว นำไปตากให้แห้ง หลังจากนั้นนำมาบดเป็นผงละเอียดด้วยครกหิน และทำวิธีเดียวกันกับเปลือกไข่เป็ด เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ และเปลือกหอยนางรม โดยแยกออกเป็น 6 ชนิด และนำไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด100 mesh ชนิดละ 10 กรัม จะได้สารตั้งต้นแคลเซียมคาร์บอเนต

3.2.2 การเตรียมความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 50% โดยปริมาตร

ปิเปตต์กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 98% ปริมาตร 51 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้กรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 50% โดยปริมาตร

3.3 การทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารตัวอย่างแคลเซียมซัลเฟต

อัตราส่วนระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) คือ 1:1 ในสมการ (3.1) ซึ่งทำปฏิกิริยากันพอดี ดังนั้น จึงทำการเตรียมตัวอย่าง 6 ตัวอย่าง ด้วยการนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไก่ เปลือกไข่เป็ด เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ และเปลือกหอยนางรมมาชั่งใส่บีกเกอร์แยกกันอย่างละ 10 กรัม ทั้ง 6 ใบ แล้วเติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 50% โดยปริมาตร ปริมาตร 10.50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบ เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดนำสารตัวอย่างทั้ง 6 ชนิด มาอบด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนสารตัวอย่างแห้งสนิท ชั่งน้ำหนักของสารตัวอย่างที่คงที่ และจดบันทึกน้ำหนักที่ได้

$$CaCO_3(s) + H_2SO_4(aq) \longrightarrow CaSO_4 \bullet 2H_2O\,(s) + CO_2\,(g) + H_2O \quad (3.1)$$

(trueplookpanya.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

3.4.1 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้าง XRD (X-Ray Diffractometer)

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้งหมด 6 ชนิด โดยมีสารตั้งต้น คือ เปลือกไข่ไก่ เปลือกไข่เป็ด เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยตลับ เพื่อวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของปูนยิปซัมสมที่มีเปลือกไข่และเปลือกหอยแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นต่างกัน และวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง

3.4.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา (Scanning Electron Microscope)

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้งหมด 6 ชนิด โดยมีสารตั้งต้น คือ เปลือกไข่ไก่ เปลือกไข่เป็ด เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยตลับ เพื่อวิเคราะห์สัณฐานวิทยา และตรวจสอบลักษณะผิวของสารตัวอย่าง ตรวจสอบการเรียงตัวของผลึก

3.4.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันขององค์ประกอบภายในโมเลกุล (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้งหมด 6 ตัวอย่าง โดยมีสารตั้งต้น คือ เปลือกไข่ไก่ เปลือกไข่เป็ด เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยตลับ โดยจะนำสารตั้งต้นข้างต้นมาสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมซัลเฟต(ยิปซัม) โดยนำสารตัวอย่างใส่โกร่งบดผสมเข้ากับโพแทสเซียมโบรไมด์(KBr) ในอัตราส่วน 1:100 ตามลำดับ บดสารให้ละเอียดโดยให้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ใส่ตัวอย่างที่บดแล้วลงในแม่พิมพ์ และนำไปอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิก จากนั้นนำมาวิเคราะห์หมู่ฟังกชันของพันธะในโมเลกุล ด้วยเครื่อง FT-IR โดยกำหนดการวัดค่าการดูดกลืนรังสีอินฟาเรดในช่วง wave number 4000 ถึง 400 cm^{-1}

3.4.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (X-ray Fluorescence Spectrometer)

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้งหมด 6 ตัวอย่าง โดยมีสารตั้งต้น คือ เปลือกไข่ไก่ เปลือกไข่เป็ด เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยตลับ โดยจะนำสารตั้งต้นข้างต้นมาสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมซัลเฟต(ยิปซัม) จากนั้นนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ เพื่อวิเคราะห์หาสารตัวอย่างที่มีแคลเซียม และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเพื่อยืนยันผลองค์ประกอบที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตแคลเซียมซัลเฟตจากเปลือกไข่ไก่, ไข่เป็ด, หอยแครง, หอยแมลงภู่, หอยนางรม และหอยตลับ โดยใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 50% โดยปริมาตร เพื่อหาการสังเคราะห์ที่ให้ปริมาณผลผลิตมากที่สุด ดังนั้นจึงทำการสังเคราะห์ด้วยการเติมกรดซัลฟิวริก โดยสารตั้งต้นที่ใช้คือแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไก่, ไข่เป็ด, หอยแครง, หอยแมลงภู่, หอยนางรม และหอยตลับ โดยนำเปลือกทั้ง 6 ชนิด ตำและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช แล้วจึงนำผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้มาแบ่งทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกตัวอย่างละ 3 บีกเกอร์ และนำไปอบด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการชั่งน้ำหนัก เมื่อสารตัวอย่างทั้ง 6 ชนิดได้น้ำหนักที่คงที่แล้ว นำสารตัวอย่างทั้ง 6 ชนิดไปบดเป็นผงละเอียดด้วยครกบดยา จากนั้นทำการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาคำนวณหาร้อยละผลผลิตที่ได้ และนำมาวิเคราะห์สมบัติด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ ได้แก่ ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟูออเรสเซนส์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) ตรวจสอบพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี โดยวิเคราะห์รูปแบบการสั่นด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟาเรด (Fourier transform Infrared Spectroscopy, FTIR) ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometry, XRD) และตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ ที่ได้ รวมถึงการนำแคลเซียมซัลเฟตมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเทียบกับตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟูออเรสเซนส์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) เพื่อยืนยันองค์ประกอบที่เกิดขึ้นรวมทั้งวิเคราะห์สารปนเปื้อนในตัวอย่างวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ร้อยละผลผลิต

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตของสารตัวอย่างที่เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่าง เปลือกไข่ไก่, เปลือกไข่เป็ด, เปลือกหอยแครง, เปลือกหอยแมลงภู่, เปลือกหอยนางรมและเปลือกหอยตลับกับกรดซัลฟิวริก 50% โดยมวล

สารตัวอย่าง	ระยะเวลในการเกิดปฏิกิริยา (นาที)	ร้อยละผลผลิต (%)	น้ำหนักสารตั้งต้น (กรัม)
CAS – EC	01:02.7	84.73	10.04
CAS – ED	00:45.1	87.74	10.05
CAS – CG	03:15.1	79.27	10.05
CAS – MP	01:01.6	83.04	10.05
CAS – NR	00:46.4	91.28	10.24
CAS – TR	07:15.7	84.42	10.07

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า ร้อยละผลผลิตของ CAS – EC (เปลือกไข่ไก่), CAS – ED (เปลือกไข่เป็ด), CAS – CG (เปลือกหอยแครง), CAS – MP (เปลือกหอยแมลงภู่), CAS – NR (เปลือกหอยนางรม) และ CAS – TR (เปลือกหอยตลับ) มีค่า 79.27-91.28%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

4.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกเรย์ฟูออเรสเซนส์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) ของตัวอย่าง CAS – EC, CAS – ED, CAS – CG), CAS – MP, CAS – NR และ CAS – TR เพื่อวิเคราะห์หาสารตัวอย่างที่จะได้เป็นผลแคลเซียมซัลเฟต และตัวอย่าง CAC – EC, CAC – ED, CAC – CG, CAC – MP, CAC – NR และ CAC – TR เพื่อวิเคราะห์หาสารตัวอย่างที่จะได้เป็นผลแคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่าง CAS – EC, CAS – ED, CAS – CG, CAS – MP, CAS – NR, CAS – TR, CAC – EC, CAC – ED, CAC – CG, CAC – MP, CAC – NR และ CAC – TR

Component	Sample					
	CAS- EC	CAS - ED	CAS – CG	CAS – MP	CAS – NR	CAS – TR
Na_2O	0.101	0.0739	0.300	0.444	0.320	0.651
MgO	0.764	0.288	0.0354	0.0699	0.258	0.0853
Al_2O_3	0.0619	0.0241	0.0738	0.0925	0.135	0.167
SiO_2	0.168	0.0528	0.184	0.265	0.357	0.400
P_2O_5	0.339	0.401	0.0145	0.111	0.0647	0.0200
SO_3	58.8	59.4	57.1	58.7	55.9	58.4
Cl	-	-	0.0058	-	-	-
K_2O	0.0509	0.0258	0.0133	0.0245	0.0192	0.0580
CaO	39.7	39.7	42.1	40.0	42.8	39.9
Fe_2O_3	0.0328	0.0294	0.0448	0.0680	0.0412	0.161
Br	-	-	-	0.0130	-	0.0057
CuO	-	-	-	-	-	-
SrO	0.0194	0.0329	0.141	0.222	0.112	0.132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

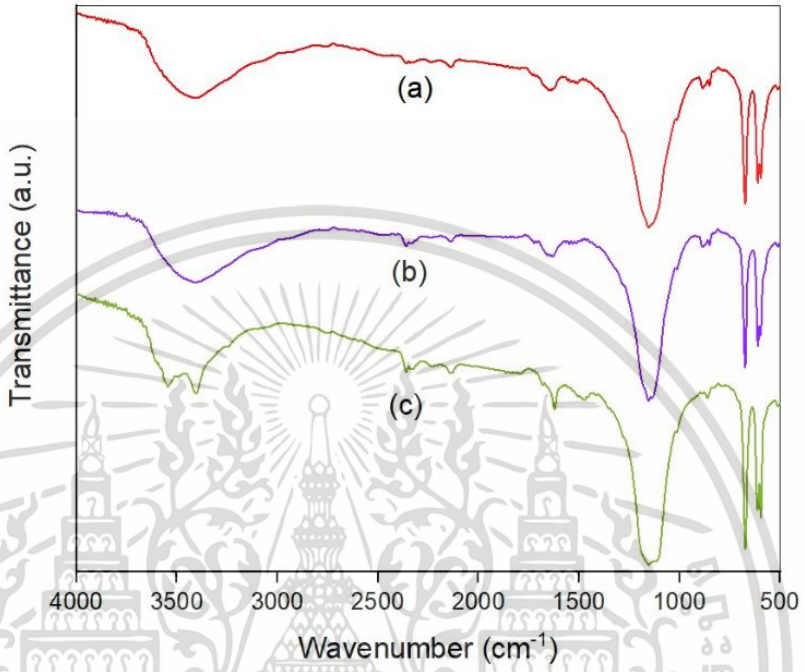
Component	Sample					
	CAC – EC	CAC – ED	CAC – CG	CAC – MP	CAC – NR	CAC – TR
Na_2O	0.205	0.172	0.643	0.867	0.579	0.978
MgO	0.926	0.371	0.0769	0.152	0.506	0.141
Al_2O_3	0.131	0.0436	0.133	0.237	0.293	0.417
SiO_2	0.355	0.126	0.350	0.599	0.744	0.957
P_2O_5	0.507	0.618	0.0390	0.202	0.136	0.0325
SO_3	0.644	1.08	0.124	0.626	0.641	0.256
Cl	0.0211	0.0138	0.0342	0.0629	0.0204	0.0798
K_2O	0.0953	0.0500	0.0186	0.0412	0.0294	0.0917
CaO	97.0	97.4	98.1	96.3	96.6	96.3
MnO	-	-	0.0237	0.0211	-	-
Fe_2O_3	0.0671	0.0339	0.104	0.171	0.120	0.334
Br	-	-	-	0.0363	-	0.0131
CuO	-	0.0119	-	-	-	-
SrO	0.0596	0.106	0.387	0.694	0.289	0.404

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ฟูออเรสเซนส์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) ดังตารางที่ 4.2 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่างที่เตรียมทั้งหมด 12 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นสารตัวอย่างยิปซัม 6 ตัวอย่าง และแคลเซียมคาร์บอเนต 6 ตัวอย่าง ตัวอย่างยิปซัม 6 ตัวอย่าง ประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ในสัดส่วนที่มาก (39.7-42.8%) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO3) (55.9- 59.4%) ตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนต 6 ตัวอย่างประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ในสัดส่วนที่มาก (96.3-98.1%) และสิ่งปนเปื้อนเล็กน้อย (Na_2O, MgO, Al_2O_3, SiO_2, P_2O_5, Cl, K_2O, MnO, Fe_2O_3, Br, CuO และ SrO) ปริมาณสิ่งปนเปื้อนในตัวอย่าง CAS – TR มีปริมาณมาก และปริมาณสิ่งปนเปื้อนในตัวอย่าง CAS - ED และ CAS - CG มีปริมาณน้อยมาก ในส่วนตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณสิ่งปนเปื้อนในตัวอย่าง CAC - MP และ CAC - TR มีปริมาณมาก และปริมาณสิ่งปนเปื้อนในตัวอย่าง CAC - ED มีปริมาณน้อยกว่า ผลลัพธ์เช่นนี้สามารถบ่งชี้ได้ว่า หลังจากทำให้ตกผลึกใหม่สามารถชะล้างสิ่งปนเปื้อนออกได้บางส่วน หรือทำให้สิ่งปนเปื้อนบางตัวสามารถละลายน้ำได้ ซึ่งวิเคราะห์ได้จากปริมาณสิ่งปนเปื้อนที่พบได้ ดังนั้นสารแคลเซียมซัลเฟตความบริสุทธิ์สูงที่สุดได้แก่ ตัวอย่าง CAS - ED และ CAS – CG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

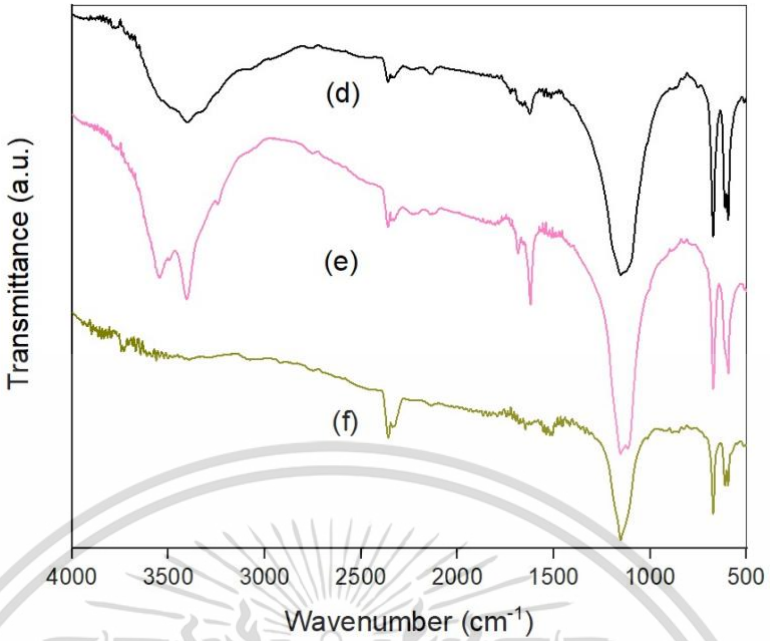
4.2.2 รูปแบบการสั่นของพันธะจากการดูดกลืนรังสีอินฟาเรด

ผลการตรวจสอบพันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟาเรดของพันธะ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR)

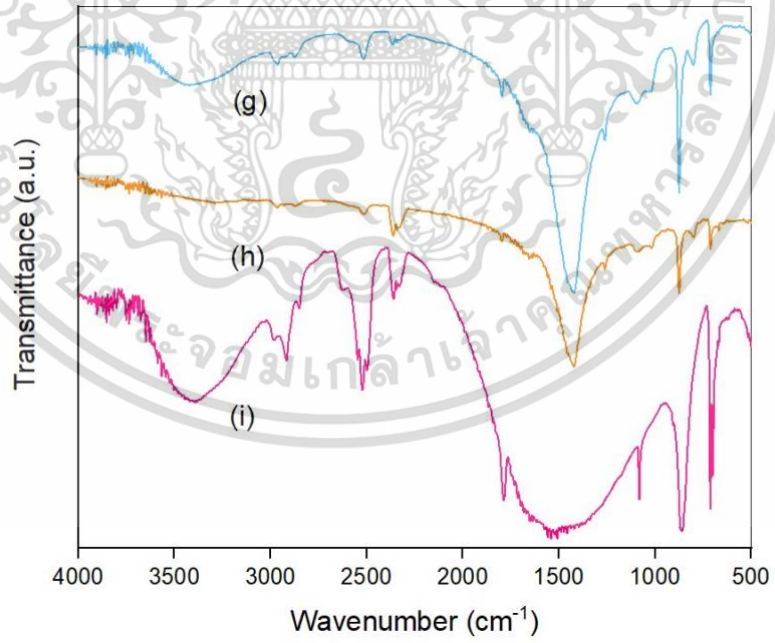


รูปที่ 4.1 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟราเรดช่วง 4000 – 450 cm^{-1} ของ CAS - EC (a), CAS - ED (b)และCAS - CG (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

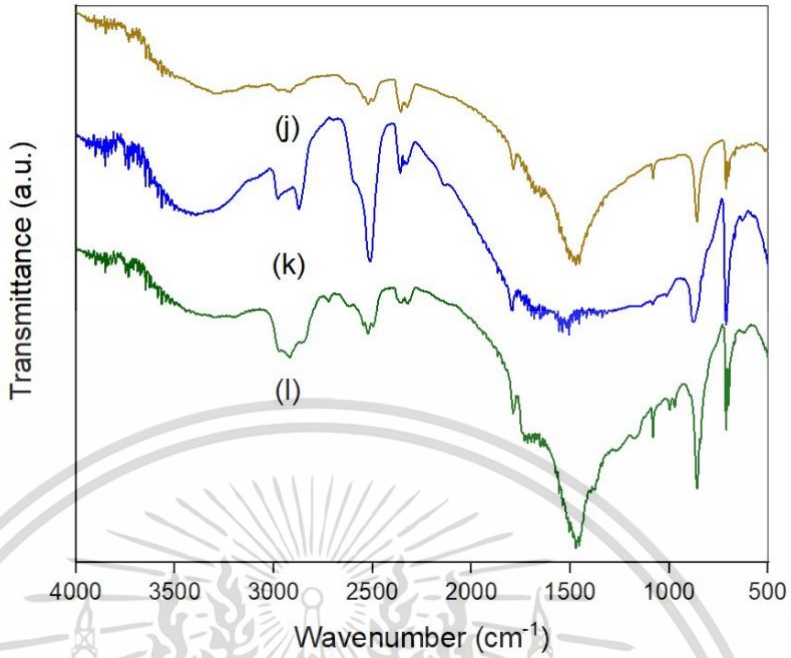


รูปที่ 4.2 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟราเรดช่วง 4000 – 450 cm^{-1} ของ CAS - MP (d), CAS - NR (e)และCAS - TR (f)



รูปที่ 4.3 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟราเรดช่วง 4000 – 450 cm^{-1} ของ CAC - EC (g), CAC – ED (h)และCAC - CG (i)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟราเรดช่วง 4000 – 450 cm^{-1} ของ CAC - MP (j), CAC – NR (k)และCAC - TR (l)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ระบุพีคที่พบจากการวิเคราะห์แคลเซียมซัลเฟตด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟาเรด

ตัวอย่าง	ชนิดพีค (cm^{-1})			
	O-H stretching	O-H bending	S-O bending	S=O bending
CAS – EC	3418	1643	673	1153
CAS – ED	3418	1635	675	1155
CAS – CG	3406, 3545	1622, 1682	673	1153
CAS – MP	3402	1624	673	1152
CAS – NR	3406, 3545	1622	673	1153
CAS – TR	2359	1647	673	1153

สรุปผลการยืนยันรูปแบบการสั่นของหน่วยย่อยภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์แทรนส์ฟอร์ม อินฟราเรด(Vibration Spectroscopy; Fourier Transform Infrared, FT-IR) รูปการสั่นของแคลเซียมซัลเฟตที่เตรียมได้จากเปลือกหอยและเปลือกไข่ทั้งหมด 6 ชนิด แสดงในตารางที่ 4.3 พบพีคตรงตำแหน่งต่างๆ คือ ที่ตำแหน่ง 3418 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ในตัวอย่าง CAS – ECและCAS – ED ตามลำดับ ที่ตำแหน่ง 3406 และ 3545 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ในตัวอย่าง CAS – CGและCAS – NR ตามลำดับ ที่ตำแหน่ง 3402 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ในตัวอย่าง CAS – MP ที่ตำแหน่ง 2359 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ในตัวอย่าง CAS – TR ที่ตำแหน่ง 1643 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ในตัวอย่าง CAS – EC ที่ตำแหน่ง 1635 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ในตัวอย่าง CAS – ED ที่ตำแหน่ง 1622 และ 1682 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ในตัวอย่าง CAS – CG ที่ตำแหน่ง 1622 cm^{-1} ที่ตำแหน่ง 1624 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ในตัวอย่าง CAS –MP ที่ตำแหน่ง 1622 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ในตัวอย่าง CAS – NR ที่ตำแหน่ง 1647 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ในตัวอย่าง CAS – TR ที่ ที่ตำแหน่ง 673 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน S-O ในตัวอย่าง CAS – EC, CAS – CG, CAS – MP, CAS – NRและ CAS – TR ตามลำดับ ที่ตำแหน่ง 675 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน S-O ในตัวอย่าง CAS – ED ที่

เอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ตำแหน่ง 1153 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน S=O ในตัวอย่าง CAS – EC, CAS – CG, CAS – NRและ CAS – TR ตามลำดับ ที่ตำแหน่ง 1155 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน S=O ในตัวอย่าง CAS – EDและที่ตำแหน่ง 1152 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน S=O ในตัวอย่าง CAS – MP

ตารางที่ 4.4 ระบุพีคที่พบจากการวิเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟาเรด

ตัวอย่าง	ชนิดพีค (cm^{-1})			
	O-H stretching	C=O stretching	CO_3 stretching	CO_3 bending
CAC – EC	3429	1651	1420	876
CAC – ED	-	1655	1422	876
CAC – CG	3566	1786	1508	862
CAC – MP	3545	1651	1472	874
CAC – NR	3392	1791	1456	878
CAC – TR	3153	1789	1456	874

สรุปผลการยืนยันรูปแบบการสั่นของหน่วยย่อยภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์แทรนส์ฟอร์ม อินฟราเรด(Vibration Spectroscopy; Fourier Transform Infrared, FT-IR) รูปการสั่นของแคลเซีย,คาร์บอเนตที่เตรียมได้จากเปลือกหอยและเปลือกไข่ทั้งหมด 6 ชนิด แสดงในตารางที่ 4.4 พบพีคตรงตำแหน่งต่างๆ คือ ที่ตำแหน่ง 3429 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ในตัวอย่าง CAC – EG ที่ตำแหน่ง 3566 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ในตัวอย่าง CAC – CG ที่ตำแหน่ง 3545 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ในตัวอย่าง CAC – MP ที่ตำแหน่ง 3392 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ในตัวอย่าง CAC – NR ที่ตำแหน่ง 3153 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H ในตัวอย่าง CAC – TR ที่ตำแหน่ง 1651 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน C=O ในตัวอย่าง CAC – EC และ CAC – MP ที่ตำแหน่ง 1655 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน C=O ในตัวอย่าง CAC – ED ที่ตำแหน่ง 1786 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน C=O ในตัวอย่าง CAC – CG ที่ตำแหน่ง 1791 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบ

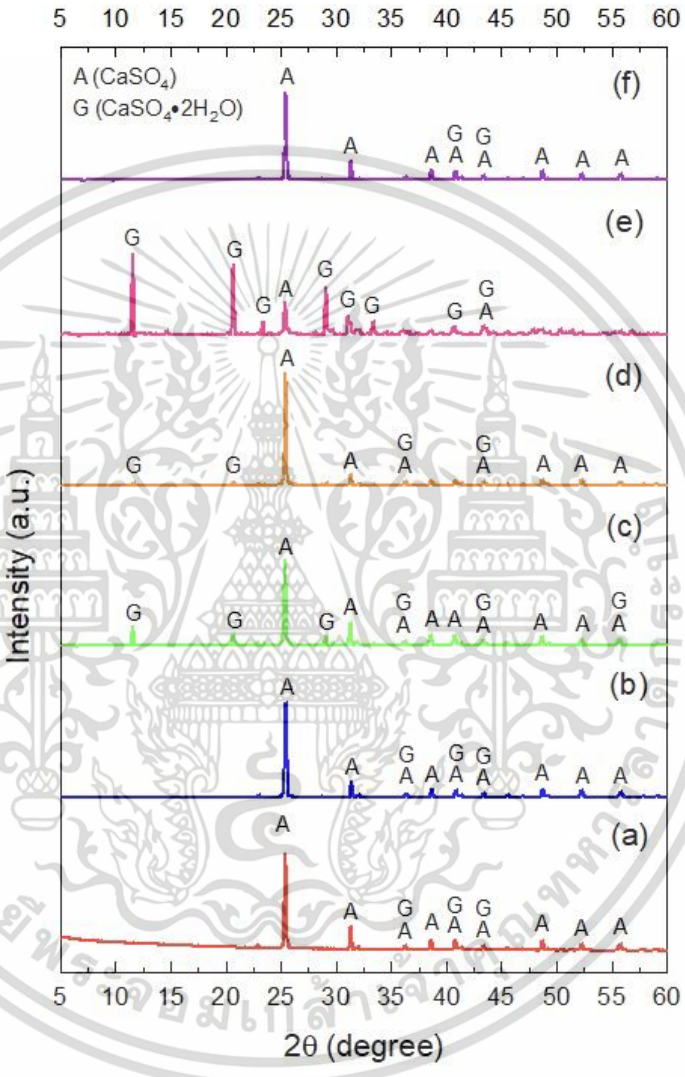
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน C=O ในตัวอย่าง CAC – NR ที่ตำแหน่ง 1789 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน C=O ในตัวอย่าง CAC – TR ที่ตำแหน่ง 1420 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน CO_3 ในตัวอย่าง CAC – EC ที่ตำแหน่ง 1422 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน CO_3 ในตัวอย่าง CAC – EDที่ตำแหน่ง 1508 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน CO_3 ในตัวอย่าง CAC – CG ที่ตำแหน่ง 1472 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน CO_3 ในตัวอย่าง CAC – MP ที่ตำแหน่ง 1456 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน CO_3 ในตัวอย่าง CAC – NR และ CAC – TR ตามลำดับ ที่ตำแหน่ง 876 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน CO_3 ในตัวอย่าง CAC – EC และ CAC – ED ตามลำดับ ที่ตำแหน่ง 874 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน CO_3 ในตัวอย่าง CAC – MP และ CAC – TR ตามลำดับ ที่ตำแหน่ง 862 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน CO_3 ในตัวอย่าง CAC – CG และที่ตำแหน่ง 878 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน CO_3 ในตัวอย่าง CAC – NR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 โครงสร้างและขนาดของโครงผลึก

ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้าง ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer, XRD)



รูปที่ 4.5 รูปการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผลิตภัณฑ์ CAS - EC (a), CAS - ED (b), CAS - CG (c), CAS - MP (d), CAS - NR (e)และCAS - TR (f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer, XRD) การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ CAS - EC พบพีค Gypsum [$CaSO_4$•$2H_2O$] ทั้งหมด 2 พีค ได้แก่ 36.27° (1 3 -2) และ 43.33° (2 4 -2) พบพีค Anhydrite [$CaSO_4$] ทั้งหมด 9 พีค ได้แก่ 25.41° (020), 31.34° (012), 36.27° (200), 38.61° (022), 40.79° (122), 43.33° (131), 48.66° (302), 52.20° (400)และ 55.72° (322)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ CAS - ED พบพีค Gypsum [$CaSO_4$•$2H_2O$] ทั้งหมด 2 พีค ได้แก่ 36.32° (1 3 -2) และ 43.39° (2 4 -2) พบพีค Anhydrite [$CaSO_4$] ทั้งหมด 9 พีค ได้แก่ 25.47° (020), 31.39° (012), 36.32° (220), 38. 68° (202), 40.85° (212), 43.39° (131), 48.72° (032), 52.28° (040), 55.77° (232)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ CAS - CG พบพีค Gypsum[$CaSO_4$•$2H_2O$] ทั้งหมด 6 พีค ได้แก่ 11.61°(020), 20.70°(021), 29.09°(041) ,36.25°(1 3 -2), 43.29°(2 4 -2) และ 55.68°(261) พบพีค Anhydrite[$CaSO_4$] ทั้งหมด 9 พีค ได้แก่ 25.39°(200), 31.31 °(102), 36.25°(220), 38.59(022)°, 40.74°(122), 43.29°(131), 48.63°(302), 52.19°(040), 55.68°(322)

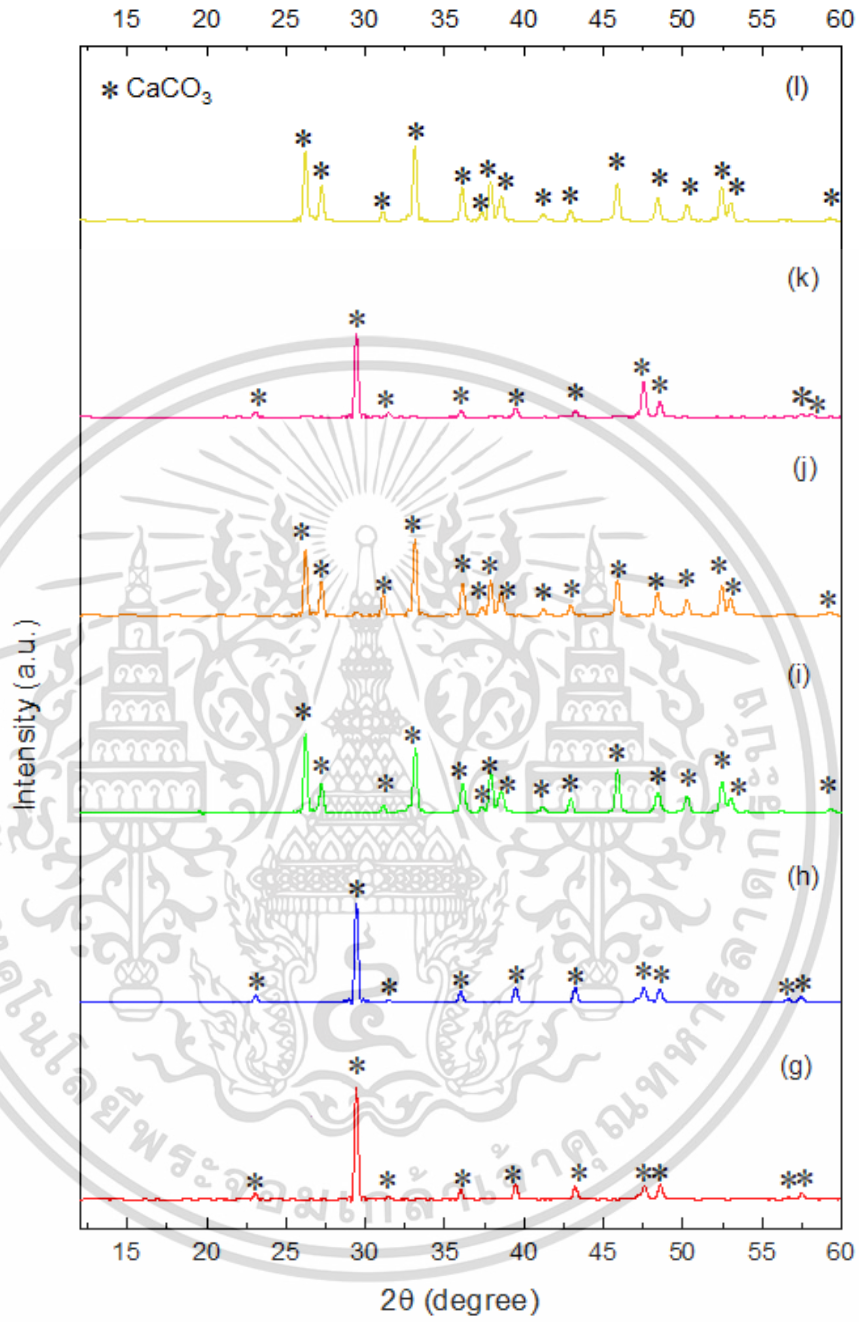
การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ CAS - MP พบพีค Gypsum [$CaSO_4$•$2H_2O$] ทั้งหมด 4 พีค ได้แก่ 11.64° (020), 20.74° (021), 36.26° (1 3 -2) และ 43.32° (240) พบพีค Anhydrite [$CaSO_4$] ทั้งหมด 7 พีค ได้แก่ 25.43° (020), 31.34° (012), 36.26° (220), 43.32(131) 48.67° (032),52.22° (400), และ 55.71° (232)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ CAS - NR พบพีค Gypsum [$CaSO_4$•$2H_2O$] ทั้งหมด 8 พีค ได้แก่ 11.61° (020), 20.70°(021), 23.35° (130), 29.09°(041), 31.08° (2 2 -1), 33.34° (150), 40.62°(151) และ 43.30° (2 4 -2) พบพีค Anhydrite [$CaSO_4$] ทั้งหมด 2 พีค ได้แก่ 25.40° (200) และ 43.30°(131)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ CAS - TR พบพีค Gypsum [$CaSO_4$•$2H_2O$] ทั้งหมด 1 พีค ได้แก่ 43.34° (2 4 -2) พบพีค Anhydrite [$CaSO_4$] ทั้งหมด 8 พีค ได้แก่ 25.44° (020), 31.36° (012), 38. 63°(202), 40.80° (122), 43.34°(131), 48.68° (302), 52.23°(400), 55.70° (322

โดย Gypsum [$CaSO_4$•$2H_2O$] เทียบกับฐานข้อมูล DB Card Number: 00-033-0311 และ Anhydrite [$CaSO_4$] เทียบกับฐานข้อมูล DB Card Number: 01-080-6363 โดยผลของ XRD ยืนยันได้ว่า สารประกอบส่วนใหญ่เป็น Calcium sulfate ประเภท Anhydrite [CaSO4] และ ยังพบ Calcium sulfate dihydrate [CaSO4•2H2O]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 รูปการณ์เลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง CAC - EC (g), CAC – ED (h), CAC - CG (i), CAC - MP (j), CAC – NR (k)และCAC - TR (l)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer, XRD) การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง CAC - EC พบพีค $CaCO_3$ ในรูป Calcite ทั้งหมด 11 พีค ได้แก่ 23.06° (012), 29.39°(104), 31.44° (006) 35.97°(110), 39.41° (113), 43.17°(202), 47.52° (018), 48.53° (116), 56.58° (211), 57.43° (122)และ 58.05° (1 0 10)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง CAC – ED พบพีค $CaCO_3$ ในรูป Calcite ทั้งหมด 10 พีค ได้แก่ 23.08° (012), 29.41°(104), 31.43° (006) 35.99° (110), 39.42° (113), 43.18° (202), 47.49° (018), 48.50° (116), 56.59° (211) และ 57.40° (122)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง CAC - CG พบพีค $CaCO_3$ ในรูป Aragonite ทั้งหมด 16 พีค ได้แก่ 26.22° (111), 27.24° (021), 31.13° (002), 33.12° (012), 36.09° (102), 37.31° (031), 37.88° (112), 38.53° (130), 41.14° (211), 42.90° (220), 45.85° (221), 48.35° (202),50.24° (132), 52.42° (113), 52.99° (023) และ 59.23° (311)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง CAC - MP พบพีค $CaCO_3$ ในรูป Aragonite ทั้งหมด 16 พีค ได้แก่ 26.21° (111), 27.23° (021), 31.09° (002), 33.11° (012), 36.08° (102), 37.29° (031), 37.85° (112), 38.60° (022), 41.16° (211), 42.91°(220), 45.84°(221), 48.35°(202),50.21°(132), 52.39°(113), 52.97° (023) และ 59.22°(311)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง CAC – NR พบพีค $CaCO_3$ ในรูป Calcite ทั้งหมด 10 พีค ได้แก่ 23.06° (012), 29.40° (104), 31.42° (006), 35.99° (110), 39.43° (113), 43.19° (202), 47.50° (018), 48.51° (116), 57.43° (122) และ 58.08° (1 0 10)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง CAC - TR พบพีค $CaCO_3$ ในรูป Aragonite ทั้งหมด 16 พีค ได้แก่ 26.21°(111), 27.23°(021), 31.08°(002), 33.10°(012), 36.06°(102), 37.27°(031), 37.84°(112), 38.60°(022), 41.16°(211), 42.92°(220), 45.85°(221), 48.38°(202),50.23°(132), 52.38°(113), 52.98° (023) และ 59.20°(311)

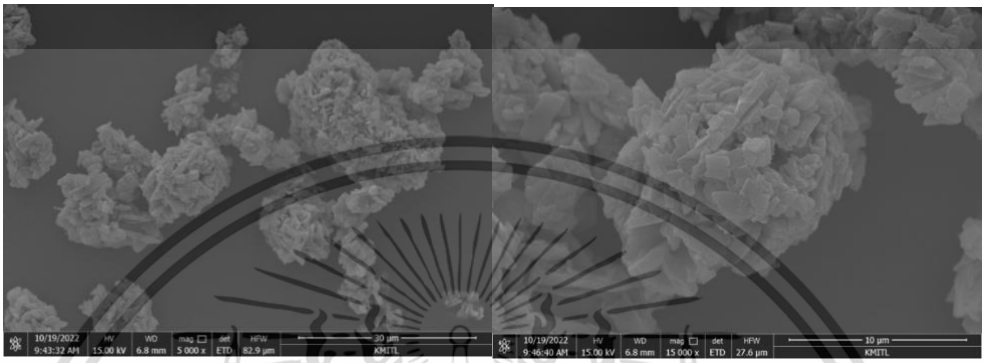
จากข้อมูลยืนยันได้ว่าสารตัวอย่าง CAC - EC, CAC – ED และ CAC – NR เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตในรูป Calciteโดยเทียบกับฐานข้อมูล DB Card Number: 01-083-4604 ส่วนสารตัวอย่าง CAC - CG, CAC - MP และ CAC - TR เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตในรูป Aragonite เทียบกับฐานข้อมูล DB Card Number: 01-075-9982

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ทางกายภาพ

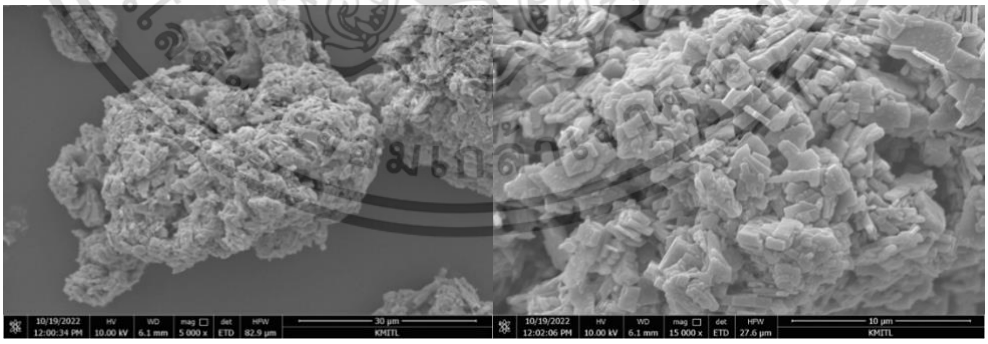
4.3.1 รูปร่างทางสัณฐานวิทยา

ตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)



รูปที่4.7รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS – EC

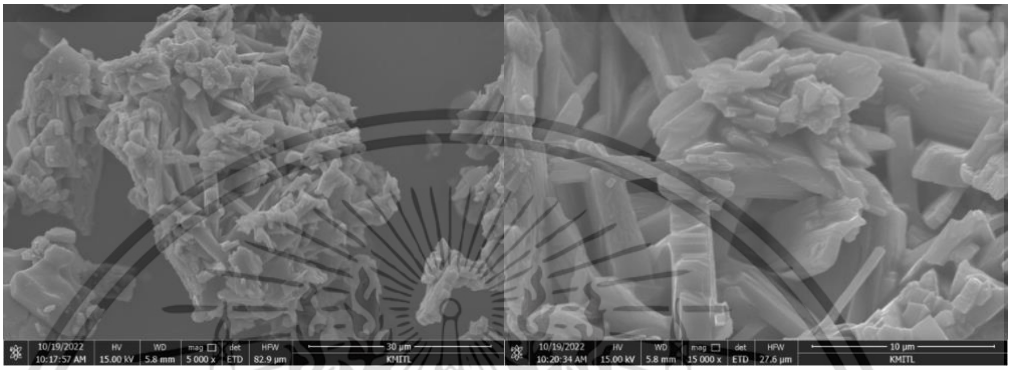
ใช้เทคนิค (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CAS - EC แสดงไว้ดังภาพที่ 4.7 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS - EC โดยใช้กำลังขยาย 5000 และ 15000เท่า พบสารตัวอย่างขนาดประมาณ 30 ไมโครเมตร พบว่าที่กำลังขยาย 5000 เท่า มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมอยู่จับตัวกัน และเมื่อดูภาพกำลังขยาย 15000 เท่า จะพบว่ามีลักษณะเหลี่ยมเป็นชั้นจับตัวเป็นก้อนติดกัน



รูปที่4.8 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS – ED

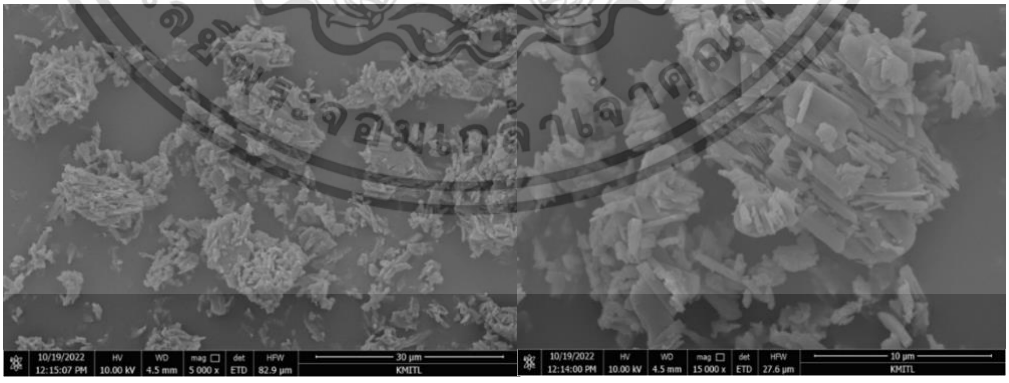
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เทคนิค (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CAS – ED แสดงไว้ดังภาพที่ 4.8 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS – ED โดยใช้กำลังขยาย 5000 และ 15000เท่า พบสารตัวอย่างขนาดประมาณ 30 ไมโครเมตร พบว่าที่กำลังขยาย 5000 เท่า มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมเล็กๆจับตัวกัน เป็นก้อนและเมื่อดูภาพกำลังขยาย 15000 เท่า จะพบว่ามีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมจับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่



รูปที่4.9 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS – MP

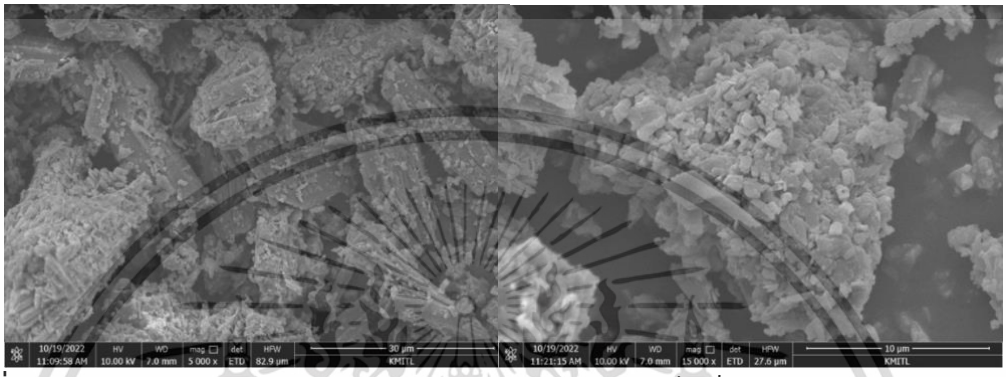
ใช้เทคนิค (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CAS - MP แสดงไว้ดังภาพที่ 4.9 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS - MP โดยใช้กำลังขยาย 5000 และ 15000เท่า พบสารตัวอย่างขนาดประมาณ 30 ไมโครเมตร พบว่าที่กำลังขยาย 5000 เท่า มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมจับตัวกันเป็นก้อนและเมื่อดูภาพกำลังขยาย 15000 เท่า จะพบว่ามีลักษณะเป็นเหลี่ยมเป็นจับตัวอยู่ติดกัน



รูปที่4.10 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS - CG

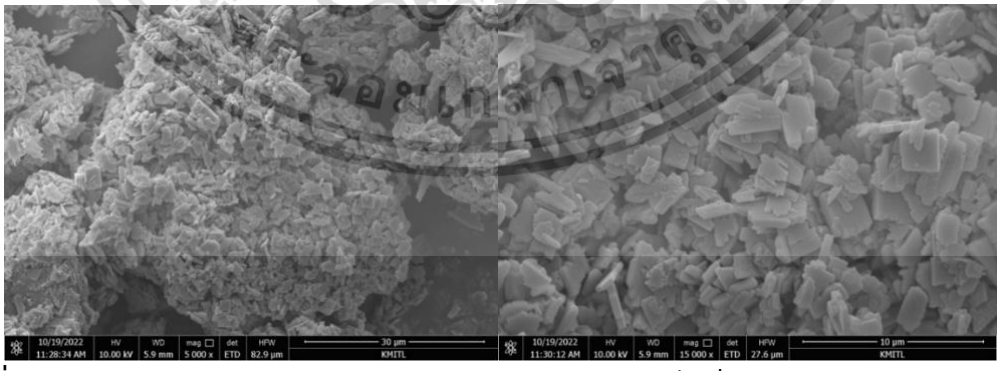
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เทคนิค (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CAS - CG แสดงไว้ดังภาพที่ 4.10 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS - CG โดยใช้กำลังขยาย 5000 และ 15000เท่า พบสารตัวอย่างขนาดประมาณ 30 ไมโครเมตรพบว่าที่กำลังขยาย 5000 เท่า มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมจับตัวกันเป็นก้อนเป็นกลุ่มๆกระจายกัน และเมื่อดูภาพกำลังขยาย 15000 เท่า จะพบว่ามีลักษณะเป็นเหลี่ยมเป็นชั้นติดกัน



รูปที่4.11 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS – NR

ใช้เทคนิค (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CAS - NR ไว้ดังภาพที่ 4.11 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS - NR โดยใช้กำลังขยาย 5000 และ 15000เท่า พบตัวอย่าง ขนาดประมาณ 30 ไมโครเมตร พบว่าที่กำลังขยาย 5000 เท่า มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมจับตัวกันเป็นก้อนอยู่ติดกัน และเมื่อดูภาพกำลังขยาย 15000 เท่า จะพบว่ามีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมจับตัวเป็นก้อนเดียวกัน

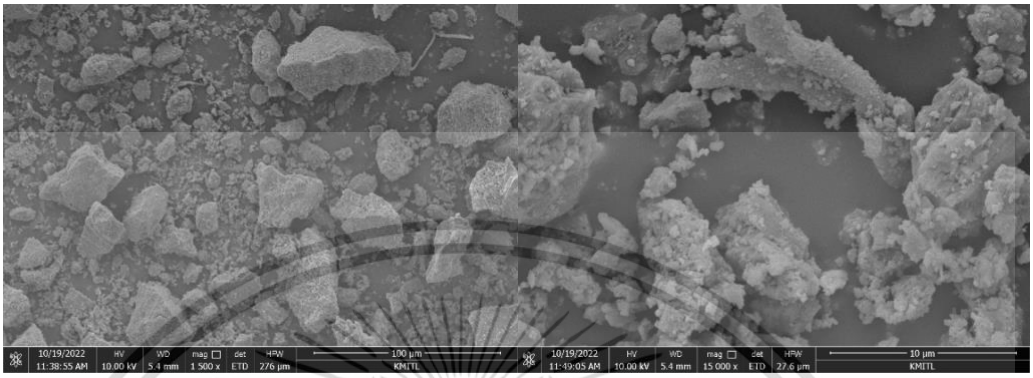


รูปที่4.12 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS - TR

ใช้เทคนิค (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CAS - TR แสดงไว้ดังภาพที่ 4.12 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ

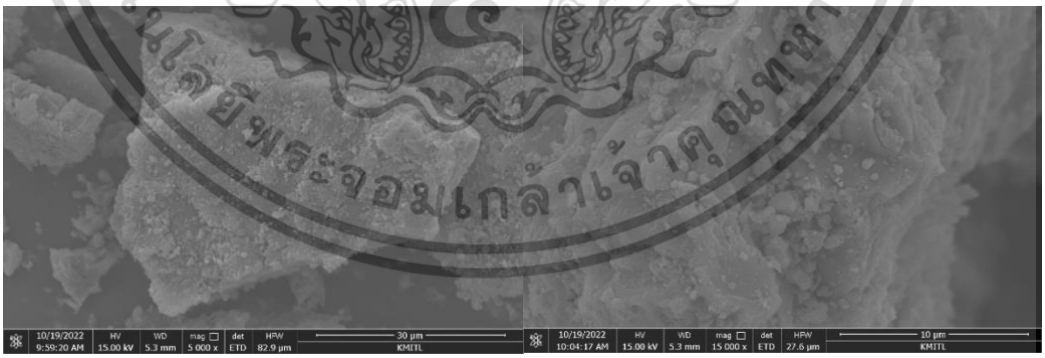
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAS - TR โดยใช้กำลังขยาย 5000 และ 15000เท่า พบตัวอย่าง ขนาดประมาณ 30 ไมโครเมตร พบว่าที่กำลังขยาย 5000 เท่า มีลักษณะเป็นเหลี่ยมเล็กๆจับตัวกันเป็นก้อน และเมื่อดูภาพกำลังขยาย 15000 จะพบว่ามีลักษณะเป็นเหลี่ยมจับตัวติดกัน



รูปที่ 4.13 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAC - EC

ใช้เทคนิค (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CAC - EC แสดงไว้ดังภาพที่ 4.13 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAC - EC โดยใช้กำลังขยาย 1500 และ 15000เท่า พบสารตัวอย่างขนาดประมาณ 100 ไมโครเมตร พบว่าที่กำลังขยาย 1500 เท่า มีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมอยู่กระจายกันและเมื่อดูภาพกำลังขยาย 15000 เท่า จะพบว่ามีการจับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่อยู่กระจายกัน

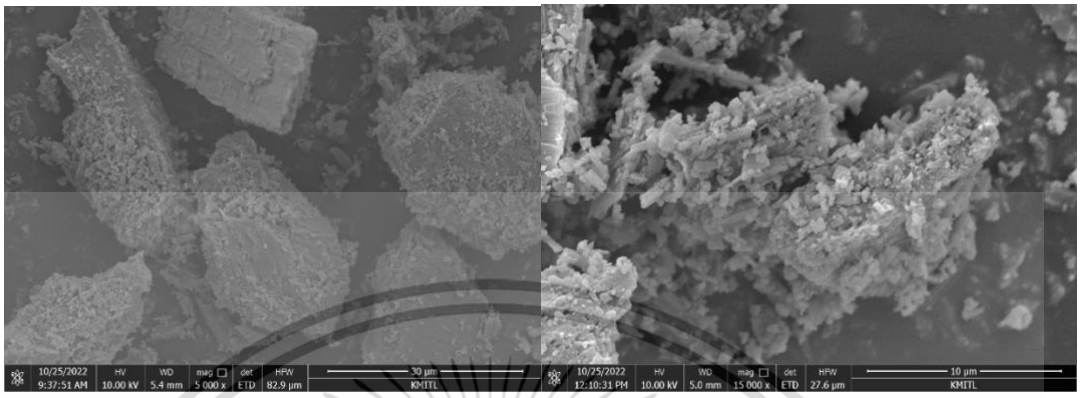


รูปที่ 4.14 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAC - ED

ใช้เทคนิค (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CAC - ED แสดงไว้ดังภาพที่ 4.14 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAC - ED โดยใช้กำลังขยาย

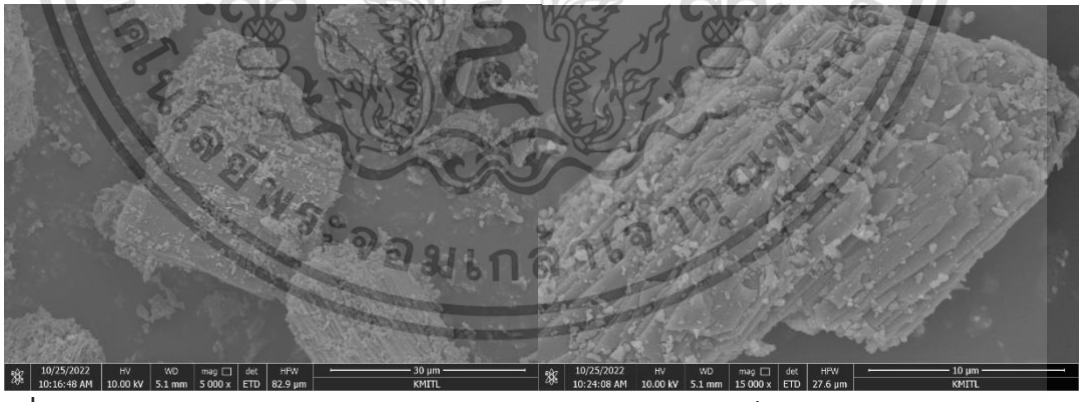
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5000 และ 15000เท่า พบสารตัวอย่างขนาดประมาณ 30 ไมโครเมตร พบว่าที่กำลังขยาย 5000 เท่า มีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมขนาดใหญ่และเมื่อดูภาพกำลังขยาย 15000 เท่า จะพบว่ามีลักษณะเหลี่ยมเป็นชั้นอยู่ติดกัน



รูปที่ 4.15 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAC - CG

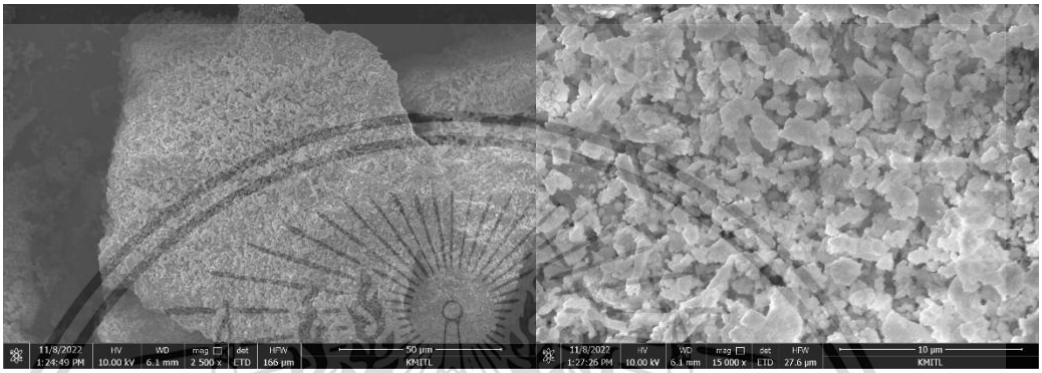
ใช้เทคนิค (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CAC - CG แสดงไว้ดังภาพที่ 4.15 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAC - CG โดยใช้กำลังขยาย 5000 และ 15000เท่า พบสารตัวอย่างขนาดประมาณ 30 ไมโครเมตร พบว่าที่กำลังขยาย 5000 เท่า มีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมอยู่กระจายกันและเมื่อดูภาพกำลังขยาย 15000 เท่า จะพบว่ามีลักษณะเหลี่ยมจับตัวเป็นก้อนอยู่ติดกัน



รูปที่ 4.16 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAC - NR

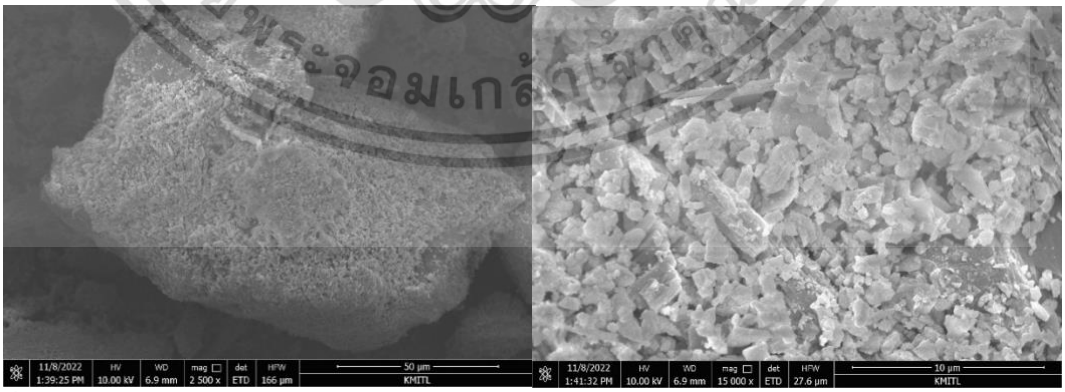
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เทคนิค (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CAC - NR แสดงไว้ดังภาพที่ 4.16 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAC - NR โดยใช้กำลังขยาย 5000 และ 15000เท่า พบสารตัวอย่างขนาดประมาณ 30 ไมโครเมตร พบว่าที่กำลังขยาย 5000 เท่า มีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมขนาดใหญ่อยู่กระจายกันและเมื่อดูภาพกำลังขยาย 15000 เท่า จะพบว่ามีลักษณะเป็นเหลี่ยมจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่อยู่ติดกัน



รูปที่ 4.17 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAC - TR

ใช้เทคนิค (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CAC - TR แสดงไว้ดังภาพที่ 4.17 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAC - TR โดยใช้กำลังขยาย 2500 และ 15000เท่า พบสารตัวอย่างขนาดประมาณ 50 ไมโครเมตร พบว่าที่กำลังขยาย 2500 เท่า มีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมเล็กๆจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่และเมื่อดูภาพกำลังขยาย 15000 เท่า จะพบว่ามีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมจับตัวกัน



รูปที่ 4.18 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAC - MP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เทคนิค (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CAC - MP ไว้ดังภาพที่ 4.18 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CAC - MP โดยใช้กำลังขยาย 2500 และ 15000เท่า พบสารตัวอย่างขนาดประมาณ 50 ไมโครเมตร พบว่าที่กำลังขยาย 2500 เท่า มีลักษณะเป็นก้อนเล็กๆจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่และเมื่อดูภาพกำลังขยาย 15000 เท่า จะพบว่ามีลักษณะเป็นก้อนจับตัวติดกัน

จากการวิเคราะห์รูปสัณฐานวิทยาเมื่อเปรียบเทียบที่กำลังขยาย 1500 และ 15000 เท่าของสารตัวอย่าง CAC – EC แสดงให้เห็นว่ามีการจับตัวกันเป็นก้อนกระจายกัน ที่กำลังขยาย 5000 และ 15000เท่าของสารตัวอย่าง CAC – ED, CAC – CG, CAC – NR, CAS – EC, CAS – ED, CAS – MP, CAS – NR, CAS – CGและCAS – TR แสดงให้เห็นว่ามีลักษณะเป็นเหลี่ยมเป็นแท่งจับตัวติดกันและเมื่อเปรียบเทียบที่กำลังขยาย 2500 และ 15000 เท่าของสารตัวอย่าง CAC – TR และ CAC - MP แสดงให้เห็นว่ามีลักษณะเป็นเหลี่ยมจับตัวติดกันเป็นก้อนขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยเรื่อง "การแปรรูปขยะเปลือกหอยและเปลือกไข่ชนิดต่างๆเป็นยิปซัม" เปลือกหอยชนิดต่างๆ เช่น เปลือกหอยแครง หอยแมลงภู่ หอยนางรม หอยตลับ ยังมีเปลือกจากไข่ไก่และไข่เป็ดนั้นถูกทิ้งเป็นขยะจากอุตสาหกรรมอาหาร ทำให้เกิดขยะปริมาณมากขึ้นจำนวนมหาศาล และหากการกำจัดขยะจำพวกนี้ไม่ถูกวิธี อาจเกิดผลกระทบและผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมจำนวนมาก และต้องการเปรียบเทียบว่าสารตั้งต้นแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดใดที่สามารถเตรียมแคลเซียมซัลเฟตได้ จึงได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาการเตรียมแคลเซียมซัลเฟต จากเปลือกหอยแครง, หอยแมลงภู่, หอยนางรม, หอยตลับ, เปลือกไข่ไก่ และเปลือกไข่เป็ด ด้วยเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการนำเข้าแคลเซียมซัลเฟตหรือยิปซัมเป็นจำนวนมหาศาล จึงทำให้ผู้จัดทำเล็งเห็นประโยชน์จากสิ่งนี้ และดำเนินการวิจัยเพื่อแปรรูป แล้วนำไปต่อยอดจากขยะเปลือกหอยและเปลือกไข่ชนิดต่างๆ นำมาผลิตเป็นแคลเซียมซัลเฟตหรือยิปซัม และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรม และสามารถลดปริมาณขยะของเปลือกหอยแครง, หอยแมลงภู่, หอยนางรม, หอยตลับ, เปลือกไข่ไก่ และเปลือกไข่เป็ดได้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยการผลิตแคลเซียมซัลเฟตจากเปลือกหอยแครง หอยแมลงภู่ หอยนางรม หอยตลับ เปลือกไข่ไก่ และเปลือกไข่เป็ดเพื่อนำมาผลิตเป็นแคลเซียมซัลเฟต และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้มีการทำการทดลองนำเปลือกหอยและเปลือกไข่ที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว แล้วนำไปตากให้แห้ง หลังจากนั้นบดละเอียดเป็นผงด้วยครกหิน โดยแยกออกเป็น 6 ชนิด และร่อนด้วยตะแกรง ขนาด 100 เมช ทั้งหมดชนิดละ 10 กรัม จะได้สารตั้งต้นแคลเซียมคาร์บอเนตแล้วนำมาทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 50% โดยปริมาตร จะได้แคลเซียมซัลเฟต(ยิปซัม) ประกอบด้วย CAS - EC, CAS – ED, CAS – CG, CAS – MP, CAS – NRและCAS – TR แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีโดยวิธีต่าง ๆ ตรวจสอบองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ (XRF) ตรวจสอบรูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี การสั่นแบบฟูเรียร์แทรนสฟอร์มอินฟาเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Vibration spectroscopy; Fourier Transform Infrared FTIR) ตรวจสอบโครงสร้างและขนาดของผลึก ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD) และตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยผลการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ได้ข้อสรุปว่าร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์ CAS - EC, CAS – ED, CAS – CG, CAS – MP, CAS – NRและCAS – TR มีค่าเท่ากับ 84.73, 87.74, 79.27, 83.04, 91.28 และ 84.42% ตามลำดับ สำหรับผลวิเคราะห์หาเอกลักษณ์ทางโครงสร้าง XRF มีสารประกอบหลักเป็น SO และCaO สำหรับลักษณะเฉพาะของหมู่ฟังกชันด้วยเทคนิค FT-IR ผลวิเคราะห์พบพันธะของสารประกอบซัลเฟต และผลวิเคราะห์ XRD บ่งชี้และยืนยันได้ว่า สารประกอบแคลเซียมซัลเฟตมีการก่อตัวสารประกอบเป็น Calcium sulfate ประเภท Anhydrite[CaSO4] เป็นหลัก และ ยังพบ Calcium sulfate dihydrate [$CaSO_4 \bullet 2H_2O$] เล็กน้อย และ รูปร่างทางสัณฐานวิทยาพบว่ามีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมๆจับตัวเป็นกลุ่มก้อน จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ สรุปได้ว่าผลวิเคราะห์ทั้ง 4 เทคนิค ยืนยันได้ว่าเป็นสารแคลเซียมซัลเฟต (ยิปซัม)และสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำเปลือกหอยและเปลือกไข่มาสร้างมูลค่าได้ และสามารถเตรียมเป็นแคลเซียมซัลเฟตได้อีกด้วย ดังนั้นจึงควรมีการนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อาจต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆในการสังเคราะห์ เช่น อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อมต่างๆ และต้องรู้ลักษณะและสมบัติของสารตั้งต้นให้มากขึ้นทั้งทางกายภาพและเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

A. Buasri et al. (2013). **Calcium Oxide Derived from Waste Shells of Mussel, Cockle, and Scallop as the Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production.** The Scientific World Journal, Article ID 460923, 7 p.

admin. (2556). **การบริโภคหอยแมลงภู่นิวซีแลนด์ในประเทศไทยได้รับความนิยมสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ภายหลังจากการลงนามข้อตกลงทางการค้า.** [Online]. Available : https://positioningmag.com/56957

Ben Xu, A. H. et al. (2018). **Vibrational properties of isotopically enriched materials: the case of calcite.** RSC Advances 8(59):33985-33992.

Elisabetta Boaretto, Kristin M Poduska (2013). **Materials Science Challenges in Radiocarbon Dating: The Case of Archaeological Plasters.** JOM: the journal of the Minerals, Metals & Materials Society 65(4).

Cai, G.-B., et al. (2010). **1, 3-Diamino-2-hydroxypropane-N, N, N′, N′-tetraacetic acid stabilized amorphous calcium carbonate: Nucleation, transformation and crystal growth.** CrystEngComm 12(1): 234-241.

Tan, H., Yang, S., Dai, P., Li, W., & Yue, B. (2015). **Preparation and physical characterization of calcium sulfate cement/silica-based mesoporous material composites for controlled release of BMP-2.** International Journal of Nanomedicine, 10, 4341.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rodriguez-Blanco, J. D., et al. (2011). **The kinetics and mechanisms of amorphous calcium carbonate (ACC) crystallization to calcite, via vaterite.** Nanoscale 3(1): 265-271.

Caillahua, M. C. and F. J. Moura (2018). **Technical feasibility for use of FGD gypsum as an additive setting time retarder for Portland cement.** Journal of materials research and technology 7(2): 190-197.

Khouzani, M. F., et al. (2015). **Disordered amorphous calcium carbonate from direct precipitation.** CrystEngComm 17(26): 4842-4849.

Michele Regina Rosa Hamestera, Palova S Balzer, Daniela Becker (2012). **Characterization of Calcium Carbonate Obtained from Oyster and Mussel Shells and Incorporation in Polypropylene.** Materials Research 15(2) :204-208.

N.V. Vagenas, A. Gatsouli, Christos G. Kontoyannis (2002). **Quantitative analysis of synthetic calcium carbonate polymorphs using FT-IR spectroscopy.** Talanta 59(4):831-836.

dos Santos, V. H. J. M., et al. (2021). **Application of Fourier Transform infrared spectroscopy (FTIR) coupled with multivariate regression for calcium carbonate (CaCO3) quantification in cement.** Construction and Building Materials 313: 125413.

Mohammad, W. A. S. B. W., et al. (2017). **A review on seashells ash as partial cement replacement.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wanitcha Unjan, Nuchnapa Tangboriboon (2017). **Bio-calcium sulfate preparation from duck eggshell via chemical reaction process.** International Journal of Current Advanced Research 6(3):2454-2459.

Weindorf, D. C., et al. (2009). **Evaluation of portable X-ray fluorescence for gypsum quantification in soils.** Soil Science 174(10): 556-562.

Zhonghui Xu, et al. (2022). **Preparation of superfine and semi-hydrated flue gas desulfurization gypsum powder by a superheated steam powdered jet mill and its application to produce cement pastes.** Case Studies in Construction Materials 17: e01549.

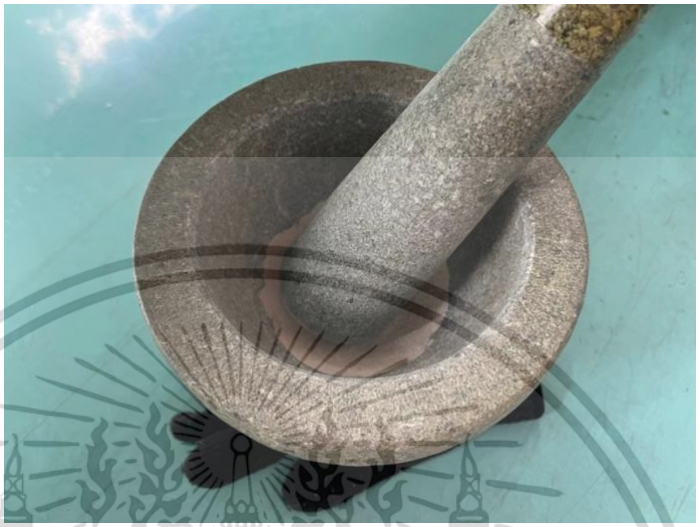
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

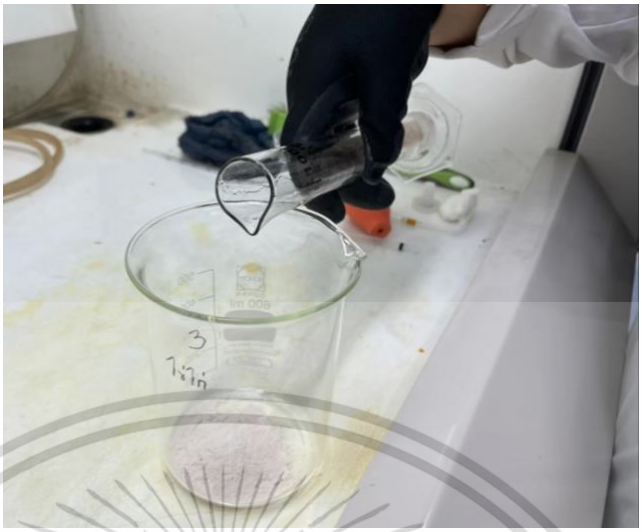
ภาพประกอบในการทดลอง



รูปที่ ก-1 นำเปลือกหอย และเปลือกไข่ชนิดต่างๆบดละเอียดด้วยครกหิน

รูปที่ ก-2 นำเปลือกหอย และเปลือกไข่ชนิดต่างๆ ที่บดแล้ว ไปร่อนผ่านตะแกรง 100 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-3 เติมกรดซัลฟิวริกจากเข้มข้น 50% โดยมวล ปริมาตร 10.1 ml ลง Ca CO_3 10 g

รูปที่ ก-4 คนให้ H_2SO_4 และ $CaCO_3$ ผสมกัน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทั่วถึง หลังปฏิกิริยาสมบูรณ์ให้นำไปอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก-5 หลังจากอบแห้งแล้วนำมาบดละเอียดด้วยโกร่งบดยา และแบ่งใส่ถุงซิปล็อคเพื่อส่งวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข-1 การคำนวณเจือจางความเข้มข้นของกรด

การเตรียมกรดซัลฟิวริกจากเข้มข้น 98% เป็น 50%

$C_1V_1 = C_2V_2$

$0.98V_1 = 0.5(100)$

$V_1 = \frac{\mathbf{0.5x100}}{\mathbf{0.98}}$ = 51 ml

ดังนั้น ต้องเติมกรดซัลฟิวริก 98% มา 51 ml ปรับด้วยขวดปรับปริมาตร 100 ml จะได้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 50%

ข-2 การเตรียมสารประกอบแคลเซียมล

จากสมการเคมี $CaCO_3$ (s) + H_2SO_4 (aq) à $CaSO_4$ (s) + CO_2 (g) + H_2O(l)

จาก H_2SO_4 มีน้ำหนักมวลโมเลกุล = 98 กรัมต่อโมล

สารละลายกรดซัลฟิวริก 98% w/w มีค่าความหนาแน่น = 1.83 g/ml

98% w/w H_2SO_4 ความเข้มข้น = $\frac{\mathbf{1\ mol}}{\mathbf{98\ g}}$ x $\frac{\mathbf{1.83}}{\mathbf{ml}}$ x $\frac{\mathbf{1000\ ml}}{\mathbf{1\ L}}$ = 18.67 M; H_2SO_4 1 L มีความเข้มข้น 18.67 M

1 mol $CaCO_3$ ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 1 mol H_2SO_4 (1:1)

ดังนั้น การทดลองใช้ $CaCO_3$ 10 g x (1 mol/100 g) = **0.1** mol ต้องใช้ H_2SO_4 **0.1** mol

$C_1V_1 = C_2V_2$

0.1(1000) = 18.67(V): v = 5.36 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ml H_2SO_4 50% w/w

$C_1V_1 = C_2V_2$

98% (5.36) = 50%(v): v = 10.50 ml

ต้อง ปิเปตต์กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 50% มา 10.50 ml เพื่อทำปฏิกิริยากับ $CaCO_3$ 10 g จะทำปฏิกิริยากันพอดี

ข-3 ร้อยละผลผลิต

เช่น ยิปซัมจากเปลือกไข่ไก่ ยิปซัมมีค่าทางทฤษฎี = 17.2 กรัม น้ำหนักจริงของยิปซัมจากเปลือกไข่ไก่ = 14.57 กรัม

ร้อยละผลผลิต = $\frac{\text{ค่าจริง } (g)}{\text{ค่าทางทฤษฎี } (g)}$ x 100 = $\frac{14.57g}{17.2\ g}$ x 100 = 84.73%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้