

การสังเคราะห์แคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอย  
โดยใช้พีเอชที่ต่างกัน

SYNTHESIS OF CALCIUM AMMONIUM PHOSPHATE  
FROM SHELL USING DIFFERENT pH

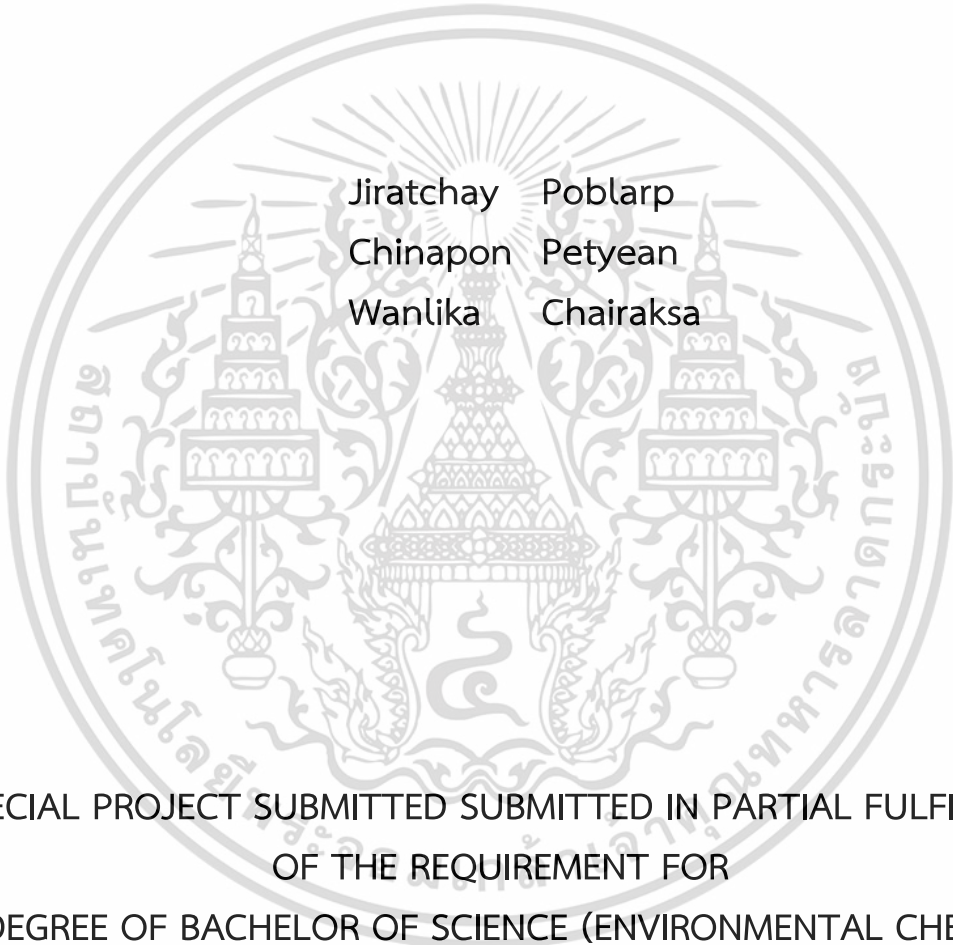


จิรัชยา พบลาก  
ชินาภรณ์ เพ็ชรเขียน  
วัลลิกา ใจรักษา

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SYNTHESIS OF CALCIUM AMMONIUM PHOSPHATE FROM SHELL USING DIFFERENT pH



Jiratchay Poblarp  
Chinapon Petyean  
Wanlika Chairaksa

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE KING  
MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์แคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยโดยใช้พีเอชที่ต่างกัน		
ชื่อนักศึกษา	นางสาว จิรัชยา	พบลภ	รหัสนักศึกษา 62050375
	นางสาว ชินาภรณ์	เพชรเย็น	รหัสนักศึกษา 62050381
	นางสาว วัลลิกา	ใจรักษา	รหัสนักศึกษา 62050443
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2565		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.บรรจง บุญชม		

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการผลิตปุ๋ยแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตด้วยกรดฟอสฟอริกและแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม โดยสารตั้งต้นที่ใช้ คือ แคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม โดยการหาค่า pH ที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ด้วยเทคนิคที่ง่าย สะดวก และไม่ก่อให้เกิดอันตรายในระหว่างการเตรียม โดยใช้สัดส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนต กรดฟอสฟอริก และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์อยู่ที่ 1:1:1 โมล การทดลองในครั้งนี้ค่า pH ที่ทำการทดลองจะอยู่ในช่วง pH 5, pH 7 และ pH 9 ตามลำดับ โดยการวิเคราะห์ได้ข้อสรุปว่า ร้อยละผลผลิตของเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม มีผลผลิตอยู่ที่ 76.79 - 85.62 % รูปสัณฐานวิทยามีลักษณะเป็นพื้นผิวขรุขระซ้อนทับกันอย่างไม่มีการเรียง มีขนาดที่ไม่แน่นอน และเกาะกลุ่มรวมกันเป็นก้อน อีกทั้ง FT-IR พบว่ามีตำแหน่งการสั่นสะเทือนของสารประกอบฟอสเฟต สารประกอบไฮเดรต สารประกอบแอมโมเนียมเล็กน้อยและความชื้นรวมด้วย รวมถึง XRD พบว่าตรงกับฐานข้อมูลโดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล Brushite (ไดเบสิคแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต)  $[\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$  และตรงกับฐานข้อมูลแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตเฮปตะไฮเดรต  $[\text{CaNH}_4\text{PO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}]$  และ TGA พบว่ามีการสลายตัวของน้ำในโครงผลึกแคลเซียมฟอสเฟตและแคลเซียมคาร์บอเนตตามตำแหน่งในช่วงความร้อนต่างๆและ ซึ่งยืนยันได้ว่าปุ๋ยที่จัดทำขึ้นมีสารประกอบฟอสเฟต ไฮเดรต สารประกอบแอมโมเนียมเล็กน้อย ซึ่งโครงการนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะสามารถช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อในทางด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร

**คำสำคัญ :** แคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต , เปลือกหอยแมลงภู่ , เปลือกหอยแครง , เปลือกหอยนางรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Synthesis of calcium ammonium phosphate from shell using different pH
<b>Students</b>	Miss Jiratchaya Poblarp Student ID 62050375 Miss Chinaporn Petyean Student ID 62050381 Miss Wanlika Chairaksa Student ID 62050443
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
<b>Department</b>	Chemistry
<b>School</b>	Science
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
<b>Academic Year</b>	2022
<b>Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Banjong Boonchom

### Abstract

This special project was to study the production of calcium ammonium phosphate fertilizer with phosphoric acid and ammonium hydroxide from mussel shells, cockle shell and oyster shells. The starting material used is calcium carbonate from mussel shells, cockle shell and oyster shells by finding. The pH that is suitable for the new synthesis with a technique that is easy, convenient and does not cause any harm during preparation. Using the ratio of calcium carbonate, phosphoric acid and ammonium hydroxide was 1:1:1 mol. The pH of this experiment was in the range of pH 5, pH 7 and pH. 9, respectively, by analyzing the conclusion that Yield percentage of mussel shells cockle shell and oyster shells The yield was 76.79 - 85.62 %. The morphology was rough surface overlapping shapelessly. uncertain size Moreover, FT-IR found vibrational locations of phosphate compounds. Hydrate Compound Minor ammonium compounds and total moisture, including XRD, were found to match the Brushite (dibasic calcium phosphate dihydrate)  $[\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_2]$  database and to the  $[\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_2]$  database. Calcium ammonium phosphate heptahydrate  $[\text{CaNH}_4\text{PO}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})_7]$  and TGA showed a water decomposition in the calcium pyrophosphate lattice and calcium carbonate lattice at different heats and temperature ranges. It was confirmed that the prepared fertilizer contained trace amounts of phosphate, hydrate, and ammonium compounds. This project hopes that it can help reduce environmental problems. And can be used to benefit in agriculture and agro-industry.

**Keywords:** calcium ammonium phosphate, mussel shells, cockle shells, oyster shells

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาและความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือดังนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.บรรจง บุญชม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่คอยให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงการพิเศษ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินการ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน และ ผศ.ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ช่วยชี้แนะถึงข้อบกพร่อง ให้คำแนะนำและตรวจสอบโครงการพิเศษเพื่อให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ การดูแลให้ความรู้ในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สอนทักษะในการปฏิบัติงาน ให้ความอำนวยความสะดวกในเรื่องของการเบิก-จ่ายอุปกรณ์เครื่องแก้วและสารเคมีตลอดจนระยะเวลาในการดำเนินงานโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณศูนย์ให้บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ประจำคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจวิเคราะห์ผลการวิจัย ทำให้ผ่านลุล่วงได้เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณบุคลากรห้องธุรการภาควิชาเคมี ที่ให้การช่วยเหลือด้านการจัดการเอกสารต่างๆ และด้านการเงิน ทำให้ผ่านลุล่วงได้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา ครอบครัว เพื่อนๆ และรุ่นพี่ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และผู้ที่เกี่ยวข้อง ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาในการดำเนินโครงการพิเศษ

จิรัชยา                      พบลาก  
ชินาภรณ์                เพ็ชรเขียน  
วัลลิกา                    ใจรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป .....	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขต .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>3</b>
2.1 เปลือกหอย.....	3
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอย .....	3
2.2.1 เปลือกหอยแมลงภู่ม.....	3
2.2.2 เปลือกหอยแครง .....	4
2.2.3 เปลือกหอยนางรม.....	5
2.3 ปุ๋ย.....	5
2.3.1 วัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยและสารปรับปรุงดิน .....	6
2.4 ร้อยละผลผลิต.....	7
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....</b>	<b>9</b>
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี .....	9
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	9
3.1.2 วัสดุและสารเคมี.....	10
3.2 การเตรียมสารตั้งต้น.....	10
3.2.1 การเตรียมแคลเซียมจากเปลือกหอยแมลงภู่ม เปลือกหอยแครง เปลือก หอยนางรม.....	10
3.2.2 การเตรียมกรดฟอสฟอริก 10% W/W (ความเข้มข้น 1 โมลาร์).....	10
3.2.3 การเตรียมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 10 % W/V (ความเข้มข้น 1 โมลาร์)...	10
3.2.4 การเตรียมกรดไฮโดรคลอริก 10 % W/V (ความเข้มข้น 1 โมลาร์).....	10
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
3.3.1 การเตรียมสารตัวอย่างแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต.....	11
3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี .....	12
3.4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน เอกลักษณะรูปแบบการสั่นของพันธะภายใน โมเลกุล (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)	12
3.4.2 การวิเคราะห์เอกลักษณะทางโครงสร้างและขนาดผลึก (X-ray Diffractometer, XRD) .....	12
3.4.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทาง ความร้อน(Thermogravimetric Analysis, TGA) .....	12
3.4.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM).....	13
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล .....</b>	<b>14</b>
4.1 การศึกษาร้อยละผลผลิต .....	14
4.2 ผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือต่างๆ .....	15
4.2.1 การวิเคราะห์เอกลักษณะรูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลด้วย เทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์แทรנסฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR).	15
4.2.2 การวิเคราะห์เอกลักษณะทางโครงสร้างและขนาดผลึกด้วยเทคนิคการ เลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD).....	20
4.2.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์มัลกราวิเมทรี (TGA).....	22
4.2.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	28
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>33</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	33
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	33
เอกสารอ้างอิง .....	34
ภาคผนวก.....	36
ภาคผนวก ก.....	37
ภาคผนวก ข.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตของสารตัวอย่างที่เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรมของ pH 5 pH 7 และ pH 9 .....	14
4.2 ระบุพีคที่พบจากการวิเคราะห์แคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตด้วยเทคนิควิเคราะห์การ ดูดกลืนแสงรังสีอินฟราเรดของ pH 5 pH 7 และ pH 9 .....	18
4.3 การสลายตัวด้วยความร้อนใน pH 5 .....	23
4.2 การสลายตัวด้วยความร้อนใน pH 7 .....	25
4.2 การสลายตัวด้วยความร้อนใน pH 9 .....	27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.2.1 เปลือกหอยแมลงภู่ม้วน.....	3
2.2.2 เปลือกหอยแครง .....	4
2.2.3 เปลือกหอยนางรม .....	5
2.3 ปู่ย .....	5
4.1 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟราเรดช่วง 4,000 – 400 cm <sup>-1</sup> ของเปลือกหอยแมลงภู่ม้วน เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรมที่ pH 5 .....	15
4.2 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟราเรดช่วง 4,000 – 400 cm <sup>-1</sup> ของเปลือกหอยแมลงภู่ม้วน เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรมที่ pH 7 .....	16
4.3 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟราเรดช่วง 4,000 – 400 cm <sup>-1</sup> ของเปลือกหอยแมลงภู่ม้วน เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม ที่ pH 9 .....	17
4.4 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเปลือกหอยแมลงภู่ม้วน เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรมที่ pH 5 .....	20
4.5 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเปลือกหอยแมลงภู่ม้วน เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรมที่ pH 7 .....	20
4.6 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเปลือกหอยแมลงภู่ม้วน เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรมที่ pH 9 .....	21
4.7 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภู่ม้วน เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรมที่ pH 5 .....	22
4.8 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภู่ม้วน เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรมที่ pH 7 .....	24
4.9 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภู่ม้วน เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรมที่ pH 9 .....	26
4.10 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภู่ม้วนที่ pH 5 (a) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และ (b) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	28
4.11 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแครงที่ pH 5 (a) ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ (b) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	29
4.12 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยนางรมที่ pH 5 (a) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และ (b) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.13 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภูที่ pH 7 (a) ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ (b) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	30
4.14 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแครงที่ pH 7 (a) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และ (b) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	30
4.15 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยนางรมที่ pH 7 (a) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และ (b) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	31
4.16 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภูที่ pH 9 (a) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และ (b) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	31
4.17 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแครงที่ pH 9 (a) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และ (b) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	32
4.18 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยนางรมที่ pH 9 (a) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และ (b) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	32
ก-1 นำเปลือกหอย 3 ชนิด ไปล้างทำความสะอาด .....	36
ก-2 นำเปลือกหอยแมลงภู เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรมบดเป็นผงด้วยครกหิน .....	36
ก-3 เปลือกหอยแมลงภู เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรมบดเป็นผงอย่างละเอียดด้วยครกหิน.....	37
ก-4 นำเปลือกหอย 3 ชนิด ไปร่อนตะแกรง ขนาด 50 เมช .....	37
ก-5 ชั่งตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอย 3 ชนิด มาอย่างละ 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร ชนิดละ 3 ใบ .....	37
ก-6 ปิดเตปรดฟอสฟอริก .....	38
ก-7 เติมกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ลงในบีกเกอร์ทั้ง 9 ใบ .....	38
ก-8 เติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ลงในบีกเกอร์เปลือกหอยชนิดละ 1 ใบ เก็บไว้ทำขั้นตอนการปรับ pH ให้เป็น 5 ส่วนบีกเกอร์ที่เหลือทั้ง 6 ใบ ไม่เติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เก็บไว้ทำขั้นตอนการปรับ pH ให้เป็น 7 และ 9 .....	38
ก-9 นำบีกเกอร์ทั้ง 9 ใบ ไปผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นกวนมอเตอร์จนพองแก๊สหมดไป.....	39
ก-10 นำไปปรับ pH สารละลายให้เป็น 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก และปรับ pH สารละลายให้เป็น 7 และ 9 ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ โดยการไทเทรต แล้วพักทิ้งไว้ 5 นาที .....	39
ก-11 นำไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศหลังปรับค่า pH แล้ว.....	39
ก-12 นำตัวอย่างสารละลายแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 คืน.....	40

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
ก-13 นำมาบดละเอียดด้วยครกยา .....	40
ก-14 ทำการแบ่งสารตัวอย่างแต่ละชนิดลงในถุงซิปล็อค เพื่อทำการส่งตรวจวิเคราะห์สมบัติทาง กายภาพและทางเคมีของสารแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต .....	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
FTIR	การวิเคราะห์เอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด
XRD	การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึกวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
SEM	การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
TGA	การวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์มัลกราวิเมตรี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เปลือกหอย มีองค์ประกอบทางเคมีหลักๆ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต หรือหินปูน ปริมาณเปลือกหอยในประเทศไทย จากหอยหลายๆชนิด โดยปริมาณการบริโภคและการส่งออกปริมาณมากในแต่ละปี ซึ่งหอยบางชนิดกลายเป็นหอยเศรษฐกิจที่มีการเพาะเลี้ยง เช่น หอยนางรม หอยแครง และหอยแมลงภู่ เป็นต้น โดยจังหวัดในแถบชายฝั่งทะเลมีการเพาะเลี้ยงเป็นอาชีพหลัก เช่น สมุทรสงคราม สมุทรสาคร สุราษฎร์ธานี ชุมพร เพชรบุรี สมุทรปราการ ฯลฯ โดยมีพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยทะเลประมาณ 80,977.72 ไร่ โดยหอยแครงมีการเพาะเลี้ยงมากที่สุด 55,450.77 ไร่ รองลงมาคือหอยนางรมและหอยแมลงภู่ มีพื้นที่เพาะเลี้ยง 6,119.43 ไร่ และ 19,407.52 ไร่ โดยมีผลผลิตรวมจำนวน 98,910.97 ตัน ประกอบด้วย หอยแมลงภู่ 52,067.29 ตัน หอยแครง จำนวน 33,526.27 ตัน และหอยนางรม 13,317.41 ตัน มูลค่ารวม 4,189.00 ล้านบาท หอยแครง 3,321.95 ล้านบาท หอยแมลงภู่ 587.12 ล้านบาทและหอยนางรม 279.93 ล้านบาท (กรมประมง, 2564) และจากปริมาณเนื้อหอยทั้งสามชนิดที่รายงานการผลิตนี้ จะเห็นได้ว่า เมื่อเนื้อหอยถูกใช้ไป สิ่งที่จะเหลืออยู่นั้นก็คือเปลือกหอย ซึ่งโดยปริมาณแล้วเปลือกหอยจะมีน้ำหนักมากกว่าเนื้อหอย 70% ดังนั้นจึงคาดคะเนปริมาณเปลือกหอยได้ว่า มีไม่ต่ำกว่า 7 แสนตันต่อปี ด้วยเหตุนี้ปริมาณเปลือกหอยที่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากจึงกลายเป็นขยะสะสมเพิ่มปริมาณมากขึ้นทุกวัน จึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมส่งกลิ่นเหม็นรบกวน อันเป็นผลมาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่ติดอยู่กับเปลือกหอย เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค เมื่อฝนตกเชื้อโรคต่างๆ จะถูกชะล้างสู่พื้นดิน ส่งผลให้ดินสูญเสียความชุ่มชื้น การดูดซึมของน้ำ และอาจส่งผลทำให้น้ำในบริเวณนั้นเกิดความสกปรก ซึ่งเป็นผลทำให้ประชากรในชุมชนมีปัญหาสุขภาพตามมา และยังทำให้ทัศนียภาพในบริเวณนั้นเกิดความเสียหาย รวมไปถึงการวางแผนการพัฒนาพื้นที่ของหน่วยงานภาครัฐ (Houet al., 2016) ในผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ในทางการเกษตรมีความต้องการใช้แคลเซียมหลากหลายรูปแบบ เช่น การใช้เปลือกหอยบดเป็นวัสดุทดแทนในการผลิตปุ๋ยและสารปรับปรุงดิน ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน ฟอสฟอรัสที่มีอยู่ ความเข้มข้นของไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ ค่า pH ของดินและสถานะของธาตุอาหารในดิน ช่วยปรับปรุงดินที่เป็นกรด เพิ่มการกักเก็บน้ำ ช่วยเพิ่มความเข้มข้นของมวลชีวภาพของจุลินทรีย์และกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสารเคมีในดิน ค่า pH ของดิน และคุณสมบัติทางชีวภาพที่ดีจะส่งผลให้ผลผลิตพืชผลมีปริมาณเติบโตของพืชเพิ่มขึ้น (Ray Bradley, 2018) ตามท้องตลาดราคาปุ๋ยต่อกิโลกรัมจะอยู่ที่ประมาณ 20-30 บาท คาดว่าเป็นราคาที่ค่อนข้างถูก สามารถช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายของเกษตรกร แต่ถึงแม้ว่าพื้นที่เพาะปลูกขนาดใหญ่จะสามารถจ่ายค่าใช้จ่ายเหล่านี้ได้ แต่ฟาร์มขนาดเล็กก็ยังประสบปัญหาในการซื้อปุ๋ยราคาแพงเหล่านี้อยู่ และปุ๋ยส่วนใหญ่จะให้แต่ธาตุอาหารหลักหลัก คือ N, P และ K ในขณะที่ไม่ให้อาหารรองที่สำคัญอย่างเช่น Ca และ Mg เป็นต้น ซึ่งได้รับการยกย่องว่าเป็นธาตุอาหารรองที่สำคัญมากกว่าร้อยละ (Lohit Sharma et al., 2019)

ในงานวิจัยครั้งนี้จึงนำเปลือกหอยซึ่งเป็นวัสดุทดแทนมาสังเคราะห์และศึกษาผลของ pH ที่ส่งผลต่อโครงสร้างผลึกของสารประกอบที่ได้ เพื่อให้ได้แคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอย

และความสำคัญของงานนี้อยู่ที่การสร้างปุ๋ยเป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งจะรวมทั้งธาตุอาหารหลัก N และ P และธาตุอาหารรองคือ Ca ในหน่วยผลึกเดียวกันโดยใช้กลไกทางเคมีในการผลิต และทั้งนี้จะช่วยทางภาคอุตสาหกรรมลดต้นทุนการผลิตปุ๋ยได้ เพราะเป็นการผลิตในระบบบรายเดียว โดยไม่ต้องแยกเป็นระบบสองรายผลิตให้เปลืองค่าใช้จ่ายจากการซื้อเครื่องผลิตเพิ่ม ซึ่งเมื่อสิ้นสุดโครงการวิจัยคาดว่า จะสามารถนำของเสียจากเปลือกหอยมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งการเกษตรและอุตสาหกรรม โดยลดความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นการประหยัดต้นทุนของภาคอุตสาหกรรมทรัพยากรธรรมชาติให้มีมูลค่าอย่างสูงสุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม
- 2) เพื่อศึกษาการเตรียมแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยนางรม
- 3) เพื่อศึกษาผลของ pH ที่มีการสังเคราะห์โครงสร้างขึ้นมาใหม่ของแคลเซียมคาร์บอเนต เพื่อให้ได้แอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) วัตถุประสงค์ที่นำมาศึกษา คือ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม
- 2) ศึกษาผลของ pH ที่มีผลต่อสารตั้งต้นที่ pH 5, 7 และ 9
- 3) ศึกษาลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต โดยมีสารตั้งต้นคือ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม ซึ่งผ่านการบดและกรองมีขนาดเล็กกว่า 100 Mesh และทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ด้วยเทคนิค FT-IR, XRD, TGA และ SEM เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติต่างๆ

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต โดยมีสารตั้งต้น จากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม
- 2) สามารถนำเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรมมาเป็นทางเลือกในการเพิ่มมูลค่าได้โดยการแปรรูปเป็นสารประกอบในด้านการเกษตรกรรม และด้านอุตสาหกรรม
- 3) ลดปริมาณขยะของเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม และลดปัญหาสิ่งแวดล้อม
- 4) สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตทางภาคอุตสาหกรรมสำหรับผู้ประกอบการขนาดเล็ก (SME) ได้
- 5) ได้สารประกอบที่มีทั้ง แคลเซียม(Ca), แอมโมเนียม(N), ฟอสฟอรัส(P) ในการผลิตเพียงครั้งเดียว ซึ่งเป็นทั้งธาตุอาหารหลักและรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เปลือกหอย

เปลือกหอยประกอบด้วยสารจำพวกแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ ส่วนที่เหลือเป็นสารอื่น ๆ เช่น แคลเซียมฟอสเฟต แมกนีเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมฟอสเฟต แมกนีเซียมซิลิเกต โพรตีน ประเภทคอนโคไอลิน (conchinolin) เปลือกหอยแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ

ชั้นนอกสุด เรียก ชั้นผิวนอก (periostracum layer) ประกอบด้วยสารส่วนใหญ่เป็นโพรตีน ประเภทคอนโคไอลิน เป็นชั้นที่บางและหลุดง่าย ซึ่งจะสังเกตได้จากหอยที่ตายแล้วและเปลือกที่ถูกทิ้ง อยู่ตามชายหาด หรือหอยที่ยังมีชีวิตแต่เปลือกถูกคลื่นซัดหรือทรายขัดสี เปลือกชั้นนี้อาจหลุดหายไป จนไม่เหลือให้เห็น

ชั้นกลาง เรียก ชั้นผนังแคลเซียม (prismatic layer) ประกอบด้วยผลึกรูปต่าง ๆ กันของสารประกอบแคลเซียมซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแคลไซต์ (calcite) เป็นชั้นที่หนาและแข็งแรงที่สุด

ชั้นในสุด เรียก ชั้นนุ้ก (nacreous layer) ประกอบด้วยผนังรูปต่าง ๆ กันของสารประกอบแคลเซียมซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอะราโกไนต์ (aragonite) เป็นชั้นที่เรียบมีความหนาบางแตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของหอย ทำให้เปลือกมีสีขาวนวลและเป็นมันแวววาวแตกต่างกัน (วันทนา,2541)

### 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอย

ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยชนิดต่างๆ ทั่วไป พบว่า เปลือกชนิดต่างๆจะมีปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต( $\text{CaCO}_3$ ) อยู่ในช่วงร้อยละ 96-98% โดยมีปริมาณแคลเซียม( $\text{CaO}$ ) ประกอบอยู่ในช่วง 53-55% และธาตุชนิดอื่นๆ อยู่ในช่วง 0-2% ขึ้นอยู่กับชนิดเปลือกหอย เช่น

#### 2.2.1 เปลือกหอยแมลงภู่



รูปที่ 2.2.1 เปลือกหอยแมลงภู่

ที่มา : kaset.today

เอกสารนี้เป็นเอกสารชื่อสามัญ Green mussel ชื่อวิทยาศาสตร์ *Perna viridis* ลักษณะ เปลือกค่อนข้างเรียวยาว ด้านหน้าไม่กว้างหัวเป็นมุมแหลม ด้านท้ายมนกลมคล้ายรูปช้อน ขนาดของฝาทั้งสองเท่ากัน บนเปลือกมีลายเป็นวงๆ

ซ้อนกันสี่เหลี่ยมด้านในเปลือกเป็นสี่เหลี่ยม นอกจากนี้ ทางด้านล่างระหว่างฝาทั้งสอง จะมีกลุ่มขน คล้ายเส้นด้าย (Byssal threads หรือ byssus) สีน้ำตาลปนดำ จำนวนหลายร้อยเส้น ยึดติดกับ substratum เปลือกมีขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ มีความกว้าง 30 - 68 มิลลิเมตร ยาว 62 - 170 มิลลิเมตร และหนา 18 - 45 มิลลิเมตร พบยึดเกาะเสาไม้ หิน หรือวัสดุอื่นๆที่อยู่ในน้ำ ประโยชน์ของเปลือกหอยแมลงภู่นำไปบดเป็นอาหารสัตว์และผสมยาเป็นยาสมุนไพร นอกจากนี้ พบปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแมลงภู่นิตต่างๆ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$  95.6%) แคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$  53.38%) ซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$  0.73%) อะลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.13%) ไอเอิร์นออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.05%) แมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{MgO}$  0.03%) โพแทสเซียมออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$  0.02%) โซเดียมออกไซด์ ( $\text{Na}_2\text{O}$  0.44%) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ( $\text{SO}_3$  0.34%) คลอรีน ( $\text{Cl}$  0.02%) และซัลเฟต ( $\text{SO}_4$  0.11%) (วันทนา,2541) (ภูษิตและคณะ,2555)

### 2.2.2 เปลือกหอยแครง



รูปที่ 2.2.2 เปลือกหอยแครง  
ที่มา : thaicrudedrug

ชื่อสามัญ Cockle, ark shell ชื่อวิทยาศาสตร์ *Anadara granosa* ลักษณะ เปลือกค่อนข้างกลม โป่ง หนา แข็งแรง ฝาทั้งสองเท่ากัน มีสันโค้งตามแนวรัศมีจากด้านบนของเปลือกมาถึงขอบเปลือกทั้งสองด้านประมาณ 20 สัน เห็นเด่นชัด โดยที่ร่องระหว่างสันจะกว้างกว่าความกว้างของสัน และมีซี่สันลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ อยู่ห่างๆกันตลอดสัน ขอบเปลือกเป็นหยักลูกคลื่น ตัวเปลือกมีสี ขาวปนดำ เปลือกมีขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ มีความกว้าง 28 - 52 มิลลิเมตร ยาว 23 - 45 มิลลิเมตร และหนา 20 - 40 มิลลิเมตร พบฝังตัวอยู่ตามหาดเลนหรือโคลนละเอียด ประโยชน์ของเปลือกหอยแครงสามารถนำไปเผาทำเป็นปูนขาว และนำไปผสมยาเป็นยาสมุนไพร นอกจากนี้ พบปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแครงชนิดต่างๆ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$  97.13%) แคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$  54.24%) ซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$  0.98%) อะลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.17%) ไอเอิร์นออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.06%) แมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{MgO}$  0.02%) โพแทสเซียมออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$  0.01%) โซเดียมออกไซด์ ( $\text{Na}_2\text{O}$  0.37%) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ( $\text{SO}_3$  0.13%) คลอรีน ( $\text{Cl}$  0.01%) และซัลเฟต ( $\text{SO}_4$  0.7%) (วันทนา,2541) (ภูษิตและคณะ,2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 เปลือกหอยนางรม



รูปที่ 2.2.3 เปลือกหอยนางรม  
ที่มา : whiteoyster111

ชื่อสามัญ Oyster ชื่อวิทยาศาสตร์ *Crassostrea belcheri* ลักษณะ เปลือกค่อนข้างแบนกว้าง บาง ฝาทั้งสองเกือบกลมหรือรูปไข่ ฝาล่างที่มีเนื้ออยู่จะลึกกว่าฝาปิดเปิดด้านบน ฝาบวมมีลักษณะคล้ายเกล็ดเป็นแผ่นเรียบซ้อนกัน เปลือกชั้นนอกสีขาว ส่วนภายในมีสีขาวหรือขาวแกมเขียวเป็นชั้นหนา มี lines of growth เป็นสันสีขาว ที่บริเวณบานพับมีเอ็นอยู่ตรงกลางสีน้ำตาล เปลือกโดยทั่วไปมีความกว้าง 70 - 80 มิลลิเมตร ยาว 90 - 100 มิลลิเมตร และหนา 20 - 30 มิลลิเมตร พบยึดเกาะก้อนหิน เสาปูน รากต้นไม้ที่แช่น้ำอยู่ หรือวัสดุทุกชนิดที่อยู่ในระดับที่น้ำท่วมถึง โดยฝาหนึ่งเชื่อมติดไว้ ประโยชน์ของเปลือกหอยนางรมสามารถนำไปบดเป็นส่วนผสมปูนขาว หรือส่วนผสมของยาสมุนไพร นอกจากนี้ พบปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยนางรมชนิดต่างๆ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$  96.8%) แคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$  53.59%) ซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$  1.01%) อะลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.14%) ไอเอิร์นออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.07%) แมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{MgO}$  0.46%) โพแทสเซียมออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$  0.02%) โซเดียมออกไซด์ ( $\text{Na}_2\text{O}$  0.23%) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ( $\text{SO}_3$  0.75%) คลอรีน ( $\text{Cl}$  0.01%) และซัลเฟต ( $\text{SO}_4$  0.43%) (วันทนา,2541) (ภูษิตและคณะ,2555)

## 2.3 ปุ๋ย



รูปที่ 2.3 ปุ๋ย  
ที่มา : สมเกียรติและคณะ,2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นตำรับหรืออินทรีย์เพื่อบำรุงและสร้างความเติบโตแก่พืช ซึ่งปุ๋ยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ ปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยที่ได้จากธาตุอินทรีย์หรืออินทรีย์สังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิง

ผสมและปุ๋ยเชิงประกอบแต่ไม่รวมถึงปุ๋ยขาว ดินมาร์ล ยิปซัม ส่วนปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่ได้จากอินทรีย์วัตถุซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ บด หมัก ร่อน หรือวิธีการอื่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด และสุดท้ายปุ๋ยชีวภาพเป็นการที่ใช้จุลินทรีย์มาใช้ปรับปรุงดินทางชีวภาพ ทางกายภาพ ทางชีวเคมี และการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ตลอดจนการปลดปล่อยธาตุอาหารจากพืชจากอินทรีย์วัตถุ ธาตุอาหารพืช คือ ธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในดิน ที่มีความจำเป็นต่อการ เจริญเติบโตและให้ผลผลิตพืช มีจำนวน 14 ธาตุ แบ่งตามปริมาณที่พืชต้องการ ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ธาตุอาหารหลัก เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมาก และมัก พบขาดแคลนในดินทั่วไป มี 3 ธาตุ คือ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และ โพแทสเซียม (K) กลุ่มที่ 2 ธาตุอาหารรอง เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณมาก เช่นเดียวกับกับธาตุอาหารหลัก มี 3 ธาตุ คือ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และ กำมะถัน (S) ในอดีตมักไม่พบว่าขาด แต่ปัจจุบันเมื่อเกษตรกรหันมาใช้ปุ๋ยและยาต่าง ๆ มากขึ้น มีผลทำให้ดินมีสภาพเป็นกรด จึงส่งผลให้ธาตุรองลดน้อยลง และกลุ่มที่ 3 จุลธาตุ เป็นธาตุที่พืชต้องการปริมาณน้อย แต่พืชไม่สามารถขาดธาตุเหล่านี้ได้ มี 8 ธาตุ เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) โบรอน (B) คลอรีน (Cl) นิกเกิล (Ni) และโมลิบดีนัม (Mo) โดยธาตุทั้ง 8 ธาตุนี้ ไม่มี ไม่ได้ ทำให้พืชขาด แต่ถ้ามีมากเกินไปจะส่งผลเกิดภาวะความเป็นพิษแก่พืชได้เช่นกัน จึงต้องใช้ให้ได้ปริมาณที่เหมาะสม

### 2.3.1 วัตถุประสงค์ในการผลิตปุ๋ยและสารปรับปรุงดิน

จากแคลเซียมจากธรรมชาติ ได้แก่ เปลือกหอยบดและแร่หินปูน คือ ปูนขาว ปูนมาร์ล และแร่หินโดโลไมต์ ซึ่งปกติจะใช้เป็นสารปรับปรุงดินอยู่แล้ว ช่วยให้ปรับสภาพดินที่เป็นกรด และปลดปล่อยธาตุแคลเซียมแก่พืช โดยแอมโมเนียมฟอสเฟตเป็นปุ๋ยที่ให้ทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ปุ๋ยชนิดนี้ละลายน้ำดี มีผลตกค้างเป็นกรด และยังมีปุ๋ยชนิดนี้ 3 ชนิด คือ โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต:  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  นิยมเรียกทั่วไปว่า แมพ (MAP) มีไนโตรเจนร้อยละ 18 มีฟอสเฟตร้อยละ 46  $\text{P}_2\text{O}_5$  มีปฏิกิริยาเป็นกรด (pH = 4.6) เป็นแม่ปุ๋ยที่นิยมใช้ในการทำปุ๋ยผสมสูตรอื่นๆ หรือมีสูตร 18-46-0 ส่วนไดแอมโมเนียมฟอสเฟต:  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  เรียกทั่วไปว่า แดพ (DAP) ไนโตรเจนร้อยละ 18 มีฟอสเฟตร้อยละ 46  $\text{P}_2\text{O}_5$  มีปฏิกิริยาเป็นด่าง (pH = 7.3) มีสูตร 18-46-0 และแอมโมฟอส : (monoammoniumphosphate + ammonium sulfate) ไนโตรเจนร้อยละ 16 มีฟอสเฟตร้อยละ 20  $\text{P}_2\text{O}_5$  มีสูตร 16-20-0 จากที่กล่าวมานั้นแม่ปุ๋ยไม่ได้นำมาทำปุ๋ยน้ำ เนื่องจากเกิดการตกตะกอนของเปลือกหอย ซึ่งปกติมักนำมาใช้เป็นแม่ปุ๋ยสำหรับปุ๋ยอัดเม็ด ดังนั้นผลิตภัณฑ์ควรผสมเป็นปุ๋ยเม็ด หรือถ้าต้องการใช้จริงๆ สามารถใช้กับพืชได้โดยให้ทางดิน แต่ถ้าต้องการผสมปุ๋ยน้ำควรใช้รูปแบบอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ร้อยละผลผลิต (% Yield)

ร้อยละผลผลิต (% Yield) คือ การคำนวณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งมีปริมาณออกมาในรูปผลผลิตร้อยละ (Percent yield) โดยคำนวณจากสมการ

$$\text{ร้อยละผลผลิต (\% Yield)} = \frac{\text{ค่าที่ได้จริง(g)}}{\text{ค่าทางทฤษฎี(g)}} \times 100 \dots\dots\dots (2.4)$$

ค่าที่ได้จริง (g) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง

ค่าทางทฤษฎี (g) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคำนวณตามสมการเคมี เกิดจากปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ ผลผลิตร้อยละจะไม่ถึงร้อยเปอร์เซ็นต์เนื่องจากการทำการทดลอง จะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง อาจจะทำให้เกิดสารชนิดอื่นๆ ได้ นอกจากนี้สารตั้งต้นอาจจะมีสารชนิดอื่นปนอยู่ด้วย

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Lohit Sharma et al., 2019) ได้ศึกษาการสังเคราะห์ปุ๋ยที่รวมทั้งธาตุอาหารหลัก N และ P และธาตุอาหารรอง Mg และ Ca ของพืชที่จะต้องได้รับอย่างครบถ้วน และลดต้นทุนในการซื้อปุ๋ยราคาแพงของฟาร์มขนาดเล็กที่ยังประสบปัญหาการซื้อปุ๋ยแพง จึงได้ศึกษา การเตรียมธาตุอาหารรองเป็น แคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ( $\text{CaNH}_4\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) และแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) โดยใช้โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) และศึกษาคุณสมบัติของสารประกอบด้วยวิธี Thermogravimetric analysis (TGA), Differential scanning calorimetry (DSC), Raman spectroscopy และ Dynamic vapor sorption (DVS) ผลลัพธ์ของ TGA แสดงให้เห็นว่า Ca-struvite มีความทนทานทางความร้อนมากที่สุด รองลงมาคือ Ca และ Mg เกือบคู่เชิงซ้อนและ Mg-struvite การสลายตัวของตัวอย่างที่มีการปลดปล่อย  $\text{NH}_3$  ถูกทำเครื่องหมายด้วยจุดสูงสุดในโปรไฟล์ DSC ที่  $190^\circ\text{C}$  สำหรับทั้งสองเท่าเชิงซ้อนและไหล DSC แบบกว้างที่  $186^\circ\text{C}$  ถูกสังเกตสำหรับสตรูวิต์รามานสเปกโทรสโกปีแสดงการมีอยู่ของแถบ  $\text{PO}_4^{3-}$  ที่บิดเบี้ยวเนื่องจากการโปรตอนของสปีซีฟอสเฟตและสภาพแวดล้อมที่มีผล ผูกพันหลายอย่าง การวัดด้วย DVS แสดงให้เห็นว่าสารประกอบเหล่านี้ถูกแยกออกจากกันที่สภาวะ ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงมาก ( $\sim 90\%$ ) ซึ่งในบางกรณีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในเฟสของผลิตภัณฑ์ที่โดดเด่น

(Somkiat et al., 2022) ได้ศึกษาแคลเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตโมโนไฮเดรต ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) โดยทำการเตรียมทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (TSP) ที่ได้มาจากเปลือกหอยนางรมเป็นวัสดุตั้งต้น กระบวนการสีเขียวนี้หรือเรียกว่ากระบวนการ ผลิตภัณฑ์เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นการผลิตปุ๋ยที่สำคัญ และส่งเสริมการพัฒนาสังคมที่ยั่งยืน TSP ที่ได้ จากเปลือกหอยนำไปละลายในน้ำกลั่นและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30, 50 และ  $80^\circ\text{C}$  จะได้ผงที่ไม่ละลายน้ำและการละลาย TSP จากนั้นนำสารละลาย TSP ไปทำให้แห้งและตกผลึกใหม่อีกครั้ง (RCP30, RCP50 และ RCP80) ได้รับการยืนยันว่าเป็น ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) ในทางกลับกันการที่ไม่ละลายน้ำ (NSP30, NSP50 และ NSP80) พบว่าอัตราไม่ว่าการตกผลึกเป็น 51%, 49.6% และ 46.3% ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ของการที่ละลายได้ คือ 98.72%,

99.16% และ 96.63% ตามลำดับ RCP30 แสดงขนาด ของแผ่นรูปร่างที่แตกต่างกัน ขณะที่ RCP50 และ RCP80 แสดงการแข็งตัวของแผ่นผลึกที่จับตัวกัน เป็นก้อน การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ยืนยันการก่อตัวของทั้ง NSP และ RCP สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดยืนยันลักษณะการสั่นสะเทือนของ  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  ที่มีอยู่ใน  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  และ  $(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$  การคายน้ำด้วยความร้อน 3 ขั้นตอนของ  $(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$  (Physisorbed Water, Polycondensation, Repolycondensation) ที่ได้รับ  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  และ  $\text{CaH}_2\text{P}_2\text{O}_7$  เป็นผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายด้วยความร้อนจากขั้นตอนที่ 1 และ 2 ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายคือ  $\text{CaP}_2\text{O}_6$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR) รุ่น IRtracer-100 บริษัท SHIMADZU ประเทศญี่ปุ่น
2. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซเรย์ (X-Ray Diffractometer, XRD) รุ่น Smart Lab บริษัท Rigaku Corporation ประเทศญี่ปุ่น
3. เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก (Thermogravimetric Analyzer, TGA) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Pyris
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น QUANTA 250 บริษัท FEI ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum filtration apparatus) รุ่น EYELA A-1000S บริษัท Jeiotech ประเทศเกาหลี
6. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น Five Easy Plus บริษัท Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
7. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Digital balance) รุ่น MS-TS Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
8. เครื่องกวนมอเตอร์ (Magnetic stirrer) รุ่น HTS-1003 บริษัท Laboratory & Medical Supplies ประเทศญี่ปุ่น
9. ตะแกรงร่อน ขนาด 50 เมช (Sieve No.50) ASTM E11 ประเทศอังกฤษ
10. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 Diameter 70 mm made in china
11. กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ (Universal indicator) บริษัท Merck KGaA, 64271 Darmstadt, Germany
12. ตู้อบ (Hot air Oven)
13. แท่งแม่เหล็กสำหรับกวน (Magnetic bar)
14. โกร่งบดสาร (Mortar and pestle)
15. ตู้ดูดควัน (Hood)
16. บริภัณฑ์เครื่องแก้วและอุปกรณ์พลาสติกๆ สำหรับห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 วัสดุและสารเคมี

1. เปลือกหอย 3 ชนิด ได้แก่ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม
2. กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid,  $H_3PO_4$ ) ความเข้มข้น 85 % W/W เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศฝรั่งเศส
3. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide,  $NH_4OH$ ) ความเข้มข้น 30 % W/V เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba, ประเทศฝรั่งเศส
4. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) ความเข้มข้น 37% W/V เกรดวิเคราะห์ บริษัท Loba Chemie, ประเทศอินเดีย
5. น้ำปราศจากไอออน (Drionized water)

## 3.2 การเตรียมสารตั้งต้น

### 3.2.1 การเตรียมแคลเซียมจากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยนางรม

ชั่งเอาเนื้อหอยที่ติดเปลือกหอยทั้ง 3 ชนิด ออกให้หมด แล้วนำเปลือกมาล้างทำความสะอาดเพื่อนำสิ่งสกปรกให้หมด เช่น เศษเนื้อหอย ตะไคร่น้ำ ที่ติดมากับเปลือกหอย นำเปลือกหอยทั้ง 3 ชนิดที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว ให้เอาไปตากให้แห้งสนิท หลังจากนั้นบดละเอียดให้เป็นผงด้วยครกหิน แล้วนำมาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 50 เมช แล้วจะได้แคลเซียมคาร์บอเนต จากนั้นนำแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้ใส่ในภาชนะ เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

### 3.2.2 การเตรียมกรดฟอสฟอริก 10% W/W (ความเข้มข้น 1 โมลาร์)

ปิเปตกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 14.615 โมลาร์ (85% W/W) ปริมาณ 68 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดปรับปริมาตร (ทำในตู้ดูดควัน) ปิดฝาให้สนิทและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น จะได้กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์ หลังจากนั้นให้เก็บไว้ในขวดสีชาเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

### 3.2.3 การเตรียมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 10% W/V (ความเข้มข้น 1 โมลาร์)

ปิเปตแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 30% W/V มาปริมาณ 33 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดปรับปริมาตร (ทำในตู้ดูดควัน) จะได้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 10% W/V จากนั้นให้เก็บไว้ในขวดสีชาเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

### 3.2.4 การเตรียมกรดไฮโดรคลอริก 10% W/V (ความเข้มข้น 1 โมลาร์)

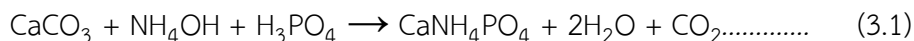
ปิเปตกรดไฮโดรคลอริก 37% W/V ปริมาณ 270 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดปรับปริมาตร (ทำในตู้ดูดควัน) ปิดฝาให้สนิท และตั้งทิ้งไว้ให้เย็น จะได้กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 10% W/V หลังจากนั้นให้เก็บไว้ในขวดสีชาเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.3.1 การเตรียมสารตัวอย่างแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต

จากสมการเกิดแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต



จะสังเกตได้ว่า แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) กรดฟอสฟอริก ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) ทำปฏิกิริยาพอดีกันที่อัตราส่วน 1:1:1 จึงทำการเตรียมตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยนางรม แล้วปรับ pH ให้เป็น pH 5, pH 7 และ pH 9 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกหอยแมลงภู่มา 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร จำนวน 3 ใบ และทำเช่นเดียวกันกับเปลือกหอยแครง เปลือกหอยนางรม จะได้แคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครง 3 ใบ และจากเปลือกหอยนางรมจำนวน 3 ใบ

2. ขั้นตอนปรับ pH ให้เป็น 5

2.1 นำบีกเกอร์ใบที่ 1 ที่ใส่แคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแมลงภู่มาเติมกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ลงไปในบีกเกอร์ แล้วนำมาผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นกวนมอเตอร์ (Magnetic stirrer) จากนั้นเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 10% W/V ปริมาณ 28.52 ml (ทำในตู้ดูดควัน) แล้วนำมาปั่นกวนด้วยเครื่องกวนมอเตอร์จนฟองแก๊สหมดไป

2.2 จากนั้นปรับ pH สารละลายให้เป็น 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) แล้วพักทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อให้ตกตะกอน

2.3 ทำเช่นเดียวกันกับบีกเกอร์ใบที่ 1 ของเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยนางรม

3. ขั้นตอนปรับ pH ให้เป็น 7 และ 9 ตามลำดับ

3.1 นำบีกเกอร์ใบที่ 2 และ 3 ที่ใส่แคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแมลงภู่มาเติมกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร แล้วนำมาปั่นกวนด้วยเครื่องกวนมอเตอร์

3.2 จากนั้นนำมาปรับ pH สารละลายให้เป็น 7 และ 9 ตามลำดับ ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ แล้วทิ้งไว้ 5 นาทีเพื่อให้ตกตะกอน

2.3 ทำเช่นเดียวกันกับบีกเกอร์ใบที่ 2 และ 3 ของเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยนางรม

4. นำสารละลายที่ปรับ pH แล้วไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ เพื่อแยกสารตัวอย่างส่วนที่ละลายน้ำและตะกอนที่ไม่ละลายน้ำออกจากกัน ซึ่งจะได้แคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตที่มีความบริสุทธิ์สูง

5. โดยจะนำส่วนของตะกอนที่ไม่ละลายน้ำไว้บนฟรอยด์ที่เตรียมไว้ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 คืน

6. บดสารตัวอย่างที่อบแล้วด้วยโกร่งบดสาร

7. แบ่งสารตัวอย่างแต่ละส่วนใส่ถุงซิปล็อค และระบุชื่อสารตัวอย่างแต่ละส่วนก่อนส่งวิเคราะห์ โดยลักษณะของสารตัวอย่างจะมีลักษณะเป็นผงละเอียด จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

การวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้งหมด 9 ตัวอย่าง

#### 3.4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันเอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุล (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)

1. ผสมตัวอย่างเข้ากับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) ในโถรงบดสาร โดยให้ตัวอย่างมีความเข้มข้นประมาณ 0.01 เปอร์เซ็นต์ และบดสารให้ละเอียดโดยให้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

2. ใส่ตัวอย่างที่บดแล้วลงในแม่พิมพ์ และนำไปอัดไฮดรอลิก ให้มีความดันประมาณ 60 นาที่ ทั้งไว้ 1-2 นาที

3. ถอดตัวประกอบแม่พิมพ์ออก ตัวอย่างจะติดอยู่ที่แม่พิมพ์ มีลักษณะเป็นวงกลมใสและตัวอย่างจะกระจายอยู่บนโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วนำตัวอย่างเข้าเครื่อง FT-IR เพื่อตรวจวิเคราะห์ โดยกำหนดการวัดค่าการดูดกลืนแสงอินฟราเรดอยู่ในช่วง 4000 ถึง 400

4. อ่านค่ากราฟที่ได้ ทำซ้ำทั้ง 9 ตัวอย่าง

#### 3.4.2 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึก (X-ray Diffractometer, XRD)

เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) เป็นเทคนิคที่นำรังสีเอกซ์ (X-ray) มาใช้วิเคราะห์และระบุชนิดสารประกอบ โครงสร้างผลึกของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative) และเชิงปริมาณ (Quantitative) เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์อาศัยหลักการของการยิงรังสีเอกซ์ไปกระทบที่ชิ้นงาน ทำให้การเลี้ยวเบนและสะท้อนออกมาที่มุมต่างๆกัน โดยมีหัววัดสัญญาณ (Detector) เป็นตัวรับข้อมูล องค์ประกอบและโครงสร้างของสารจะมีองค์ประกอบในการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ในมุมที่แตกต่างออกไปขึ้นกับองค์ประกอบ รูปร่าง และลักษณะผลึก ซึ่งผลที่ได้จึงสามารถบ่งชี้ชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและสามารถนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้นๆ ได้นอกจากนั้นแล้วยังสามารถศึกษาและวิเคราะห์ ปริมาณความเป็นผลึก ขนาดของผลึก ความสมบูรณ์ของผลึก โดยการวิจัยนี้ระบุ Scan method ที่ใช้ คือ Start angle 5 องศา และ Stop angle 60 องศา

#### 3.4.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตรี (Thermogravimetric Analysis, TGA)

วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุ จะนิยมใช้ในการวิเคราะห์ความเสถียรของพอลิเมอร์ เมื่อสารตัวอย่างในรูปของแข็งได้รับความร้อน จะทำการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง เครื่องนี้ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของสารตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับก๊าซ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ หรือการระเหยของน้ำ หรือการที่มีโมเลกุลของน้ำอยู่ในโมเลกุล การแตกตัวของวัสดุ หรือการตกผลึกที่เกิดจากการเปลี่ยนเฟส โดยการวิจัยนี้กำหนดอัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิที่ใช้ 30-900 องศาเซลเซียส สภาวะแก๊สที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 3.4.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอน ฉายหรือส่องกราดไปบนผิวของตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบให้ได้ข้อมูลของลักษณะพื้นผิวปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรืออาจบันทึกภาพที่บนแผ่นฟิล์มได้ นิยมนำมาตรวจสอบลักษณะผิวภายนอกของตัวอย่าง ตรวจสอบการเรียงตัวของผลึกด้วยระบบการรับสัญญาณเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Back scattered electron) ปริมาณตัวอย่างที่ต้องเตรียมเพื่อทำการวิเคราะห์เป็นแบบผง ใช้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ถ้าชิ้นงานตัวอย่างไม่นำไฟฟ้าอาจต้องมีการเคลือบผิวตัวอย่างด้วยทองหรือคาร์บอน โดยมีค่า HV อยู่ที่ 10 Kv กำลังขยาย 500-5,000 เท่า และสเกล 2-20  $\mu\text{m}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการผลิตปุ๋ยแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตด้วยกรดฟอสฟอริก และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม โดยสารตั้งต้นที่ใช้ คือ แคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม โดยการหาค่า pH ที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ด้วยเทคนิคที่ง่าย สะดวก และไม่ก่อให้เกิดอันตรายในระหว่างการผลิตโดยใช้สัดส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนต กรดฟอสฟอริก และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์อยู่ที่ 1:1:1 โมล การทดลองในครั้งนี้ค่า pH ที่ทำการทดลองจะอยู่ในช่วง pH 5, pH 7 และ pH 9 จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาคำนวณหาร้อยละของผลผลิตและนำไปวิเคราะห์เพื่อยืนยันคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีด้วยเทคนิคต่างๆ คือ ตรวจสอบเอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์แทรנסฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR) ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ตรวจสอบปริมาณน้ำในโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เชิงความร้อน (TGA) และตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ซึ่งผลการศึกษาที่ได้เป็นดังนี้

#### 4.1 การศึกษาร้อยละผลผลิต

จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต โดยใช้สารตั้งต้นเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมจากเปลือกหอย มาทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 10 % (W/W) และแอมโมเนียมไดออกไซด์ 10% (W/W) โดยปรับให้มีค่า pH ที่ 5, 7 และ 9 ตามลำดับ โดยเมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดลงแล้วนำไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศก่อนนำไปทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วเมื่อน้ำหนักสารคงที่ จะได้ผลิตภัณฑ์ เปลือกหอยแมลงภู่ที่ pH 5, pH 7 และ pH 9 ตามลำดับ เปลือกหอยแครงที่ pH 5, pH 7 และ pH 9 ตามลำดับ เปลือกหอยนางรมที่ pH 5, pH 7 และ pH 9 ตามลำดับ โดยแต่ละการทดลองใช้สารตั้งต้นแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมมาจากเปลือกหอยทั้งสามชนิด ตัวอย่างละ 10 กรัม โดยร้อยละผลผลิตจากการทดลองกับทุกชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงร้อยละผลผลิตแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยทั้ง 3 ชนิด

สารตัวอย่าง	น้ำหนักสารตั้งต้น (กรัม)	เปลือกหอยแมลงภู่ (%)	เปลือกหอยแครง (%)	เปลือกหอยนางรม (%)
pH 5	10.00	82.03	85.62	79.93
pH 7	10.00	78.95	80.20	76.79
pH 9	10.00	82.67	81.76	80.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าร้อยละผลผลิตแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม มีผลผลิตอยู่ที่ 76.79 - 85.62 %

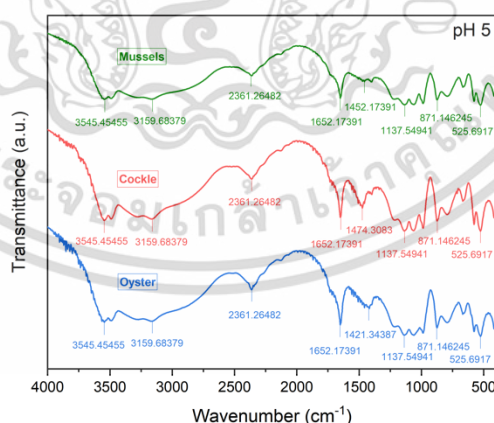
สรุปได้ว่าแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยที่ช่วง pH 5 มีร้อยละผลผลิตแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตมากที่สุด คือ เปลือกหอยแครง (85.62%) ที่ช่วง pH 7 มีร้อยละผลผลิตแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตมากที่สุด คือ เปลือกหอยแครง (80.20%) และที่ช่วง pH 9 มีร้อยละผลผลิตแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตมากที่สุด คือ เปลือกหอยแมลงภู่ (82.67%)

## 4.2 ผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือต่างๆ

ขั้นตอนการเตรียมแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตที่มาจากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยนางรม ได้ผงผลิตภัณฑ์แคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตมีจำนวน 9 ตัวอย่าง โดยส่วนที่ 1 เป็นตัวอย่างที่ช่วง pH 5 ซึ่งแบ่งเป็น 3 ตัวอย่าง(เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยนางรม) ส่วนที่ 2 เป็นตัวอย่างที่ช่วง pH 7 แบ่งเป็น 3 ตัวอย่าง(เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยนางรม) และส่วนที่ 3 เป็นตัวอย่างที่ช่วง pH 9 อีก 3 ตัวอย่าง(เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยนางรม) ได้นำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพด้วยเทคนิคต่างๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 4.2.1 การวิเคราะห์เอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR)

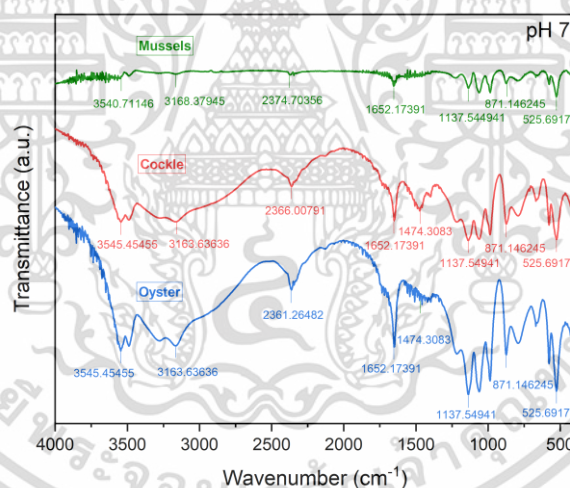
ปริมาณองค์ประกอบของธาตุของสารตั้งต้นที่ใช้ผลิตและผงผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นได้ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัยนี้ ได้ถูกนำไปตรวจวิเคราะห์เอกลักษณ์ของการสั่นพันธะด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR) ผลการวิเคราะห์ แสดงในรูป 4.1-4.3



รูปที่ 4.1 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟราเรดช่วง  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$  ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยนางรม ที่ pH 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

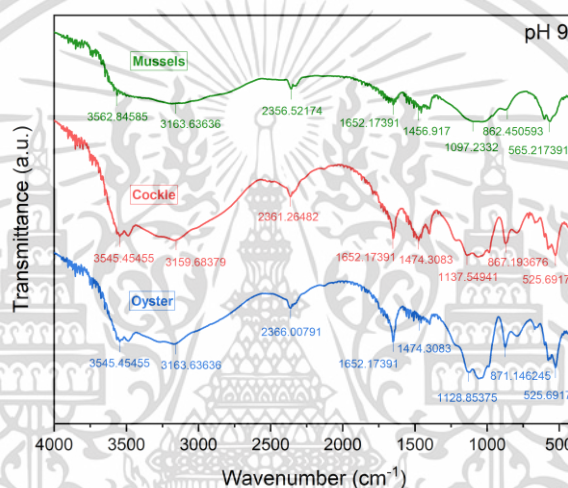
จากการพิจารณาภาพที่ 4.1 สเปกตรัมของตัวอย่างในช่วง pH 5 ของ ด้วย FT-IR พบว่า ปรากฏ peak ที่สำคัญดังนี้ เปลือกหอยแมลงภู ที่ตำแหน่ง  $3545.45\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H , ที่ตำแหน่ง  $1652.17\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของ หมู่ฟังก์ชัน H-O-H , ที่ตำแหน่ง  $1137.54$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน P-O , ที่ ตำแหน่ง  $871.14\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของ  $\text{CO}_3$  , ที่ตำแหน่ง  $525.69\text{ cm}^{-1}$  เป็นการ สั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-P-O(H) ส่วนผลิตภัณฑ์อื่นๆ จะเห็น peak ที่ตำแหน่งตรงกัน ทุกตำแหน่ง คือ เปลือกหอยแครง ที่ตำแหน่ง  $3545.45\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของ หมู่ฟังก์ชัน O-H , ที่ตำแหน่ง  $1652.17\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน H-O-H , ที่ตำแหน่ง  $1137.54$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน P-O , ที่ตำแหน่ง  $871.14\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของ  $\text{CO}_3$  , ที่ตำแหน่ง  $525.69\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-P-O(H) เปลือกหอยนางรม ที่ตำแหน่ง  $3545.45\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H , ที่ตำแหน่ง  $1652.17\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของ หมู่ฟังก์ชัน H-O-H , ที่ตำแหน่ง  $1137.54$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน P-O , ที่ ตำแหน่ง  $871.14\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของ  $\text{CO}_3$  , ที่ตำแหน่ง  $525.69\text{ cm}^{-1}$  เป็นการ สั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-P-O(H) ซึ่งทั้งเปลือกหอยแมลงภู เปลือกหอยแครง และ เปลือกหอยนางรม มี peak ที่ตรงกันทุก peak



รูปที่ 4.2 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟราเรดช่วง  $4000 - 400\text{ cm}^{-1}$  ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเปลือกหอยแมลงภู เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยนางรม ที่ pH 7

จากการพิจารณาภาพที่ 4.2 สเปกตรัมของตัวอย่างในช่วง pH 7 ของ ด้วย FT-IR พบว่า ปรากฏ peak ที่สำคัญดังนี้ เปลือกหอยแมลงภู ที่ตำแหน่ง  $3540.71\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H , ที่ตำแหน่ง  $1652.17\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของ หมู่ฟังก์ชัน H-O-H , ที่ตำแหน่ง  $1137.54$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน P-O , ที่ ตำแหน่ง  $871.14\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของ  $\text{CO}_3$  , ที่ตำแหน่ง  $525.69\text{ cm}^{-1}$  เป็นการ สั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-P-O(H) ส่วนผลิตภัณฑ์อื่นๆ จะเห็น peak ที่ตำแหน่งตรงกัน

ทุกตำแหน่ง คือ เปลือกหอยแครง ที่ตำแหน่ง  $3545.45\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H, ที่ตำแหน่ง  $1652.17\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน H-O-H, ที่ตำแหน่ง  $1137.54$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน P-O, ที่ตำแหน่ง  $871.14\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของ  $\text{CO}_3$ , ที่ตำแหน่ง  $525.69\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-P-O(H) เปลือกหอยนางรม ที่ตำแหน่ง  $3545.45\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H, ที่ตำแหน่ง  $1652.17\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน H-O-H, ที่ตำแหน่ง  $1137.54$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน P-O, ที่ตำแหน่ง  $871.14\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของ  $\text{CO}_3$ , ที่ตำแหน่ง  $525.69\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-P-O(H) ซึ่งทั้งเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม มี peak ที่ตรงกันทุก peak



รูปที่ 4.3 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟราเรดช่วง  $4000 - 400\text{ cm}^{-1}$  ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยนางรม ที่ pH 9

จากการพิจารณาภาพที่ 4.3 สเปกตรัมของตัวอย่างในช่วง pH 9 ของ ด้วย FT-IR พบว่าปรากฏ peak ที่สำคัญดังนี้ เปลือกหอยแมลงภู่ ที่ตำแหน่ง  $3562.84\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H, ที่ตำแหน่ง  $1652.17\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน H-O-H, ที่ตำแหน่ง  $1097.23\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน P-O, ที่ตำแหน่ง  $862.45\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของ  $\text{CO}_3$ , ที่ตำแหน่ง  $565.21\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-P-O(H) ส่วนผลิตภัณฑ์อื่นๆ จะเห็น peak ที่ตำแหน่งตรงกันทุกตำแหน่ง คือ เปลือกหอยแครง ที่ตำแหน่ง  $3545.45\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H, ที่ตำแหน่ง  $1652.17\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน H-O-H, ที่ตำแหน่ง  $1137.54$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน P-O, ที่ตำแหน่ง  $867.19\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของ  $\text{CO}_3$ , ที่ตำแหน่ง  $525.69\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-P-O(H) เปลือกหอยนางรม ที่ตำแหน่ง  $3545.45\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน O-H, ที่ตำแหน่ง  $1652.17\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending)

ของหมู่ฟังก์ชัน H-O-H, ที่ตำแหน่ง  $1128.85 \text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชัน P-O, ที่ตำแหน่ง  $871.14 \text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของ  $\text{CO}_3$ , ที่ตำแหน่ง  $525.69 \text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน O-P-O(H) ซึ่งทั้งเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม มี peak ที่ตรงกันทุก peak

สรุปได้ว่ากราฟที่ pH 5 ทั้งสามพิศสอดคล้องกันกับการดูดกลืนแสงรังสีอินฟราเรดของ  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Somkiat et al., 2022 ได้ศึกษาแคลเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตโมโนไฮเดรต ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) การวิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟราเรดยืนยันลักษณะการสั่นสะเทือนของ  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  ที่มีอยู่ใน  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ยืนยันได้ว่าพิศทั้งสามของ pH 5 จะสอดคล้องกันและผลที่ได้ตรงกับงานวิจัยนี้ และ pH 7 ทั้งสามพิศก็เช่นเดียวกัน และใน pH 9 มีเพียงเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยนางรมยังคงมีพิศตรงกับ pH 5 และ pH 7 แบบเดิมอยู่ แต่ว่าเปลือกหอยแมลงภู่ต่างออกไป พิศช่วงเลขคลื่นที่  $3,000\text{-}3,400 \text{ cm}^{-1}$  จะมีทั้งแอมโมเนียม ( $\text{NH}_3$ ) เล็กน้อย, ไฮเดรต ( $\text{H}_2\text{O}$ ) และความชื้นรวมด้วย ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Ayman M. Ibrahim et al., 2023

ตารางที่ 4.2 ระบุพิศที่พบจากการวิเคราะห์แคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟราเรด

Vibration mode	Wavenumber ( $\text{cm}^{-1}$ )		
	pH 5		
	Mussels	Cockle	Oyster
O-H Stretching	3545.45 และ 2361.26	3545.45 และ 2361.26	3545.45 และ 2361.26
H-O-H Bending	1652.17	1652.17	1652.17
$\text{CO}_3$ Stretching	1452.17	1474.30	1421.34
P-O Stretching	1137.54	1137.54	1137.54
$\text{CO}_3$ Bending	871.14	871.14	871.14
O-P-O(H) Bending	525.69	525.69	525.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

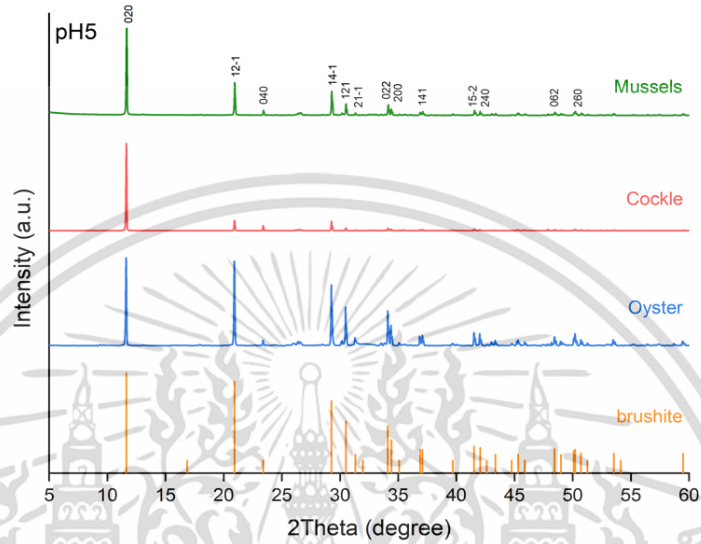
Vibration mode	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )		
	pH 7		
	Mussels	Cockle	Oyster
O-H Stretching	3540.71 และ 2374.70	3545.45 และ 2366.00	3545.45 และ 2361.26
H-O-H Bending	1652.17	1652.17	1652.17
CO <sub>3</sub> Stretching	-	1474.30	1474.30
P-O Stretching	1137.54	1137.54	1137.54
CO <sub>3</sub> Bending	871.14	871.14	871.14
O-P-O(H) Bending	525.69	525.69	525.69

Vibration mode	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )		
	pH 9		
	Mussels	Cockle	Oyster
O-H Stretching	3562.84 และ 2356.52	3545.45 และ 2361.26	3545.45 และ 2366.01
H-O-H Bending	1652.17	1652.17	1652.17
CO <sub>3</sub> Stretching	1456.23	1474.30	1474.30
P-O Stretching	1097.23	1137.54	1128.85
CO <sub>3</sub> Bending	862.45	867.19	871.19
O-P-O(H) Bending	565.21	525.69	525.69

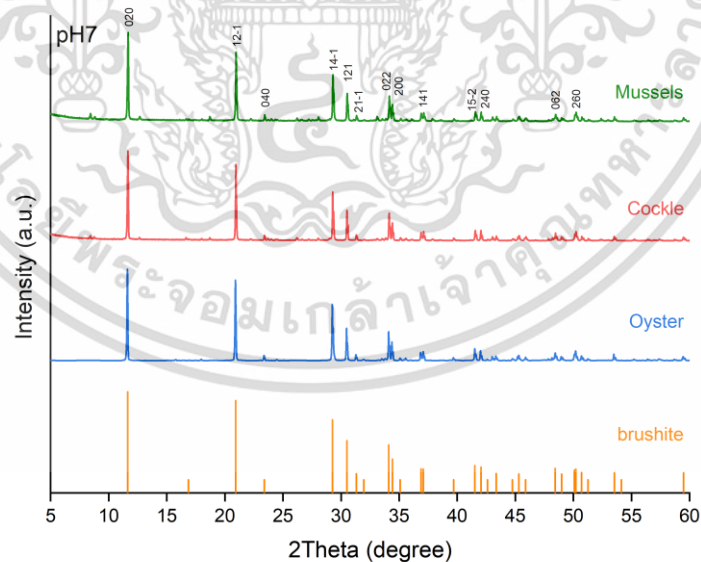
เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD)

เอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึกของสารตั้งต้นที่ใช้ผลิตได้และผงผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นได้ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัยนี้ ได้ถูกตรวจสอบยืนยันลักษณะทางโครงสร้างด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ แสดงไว้ในรูปที่ 4.4-4.6

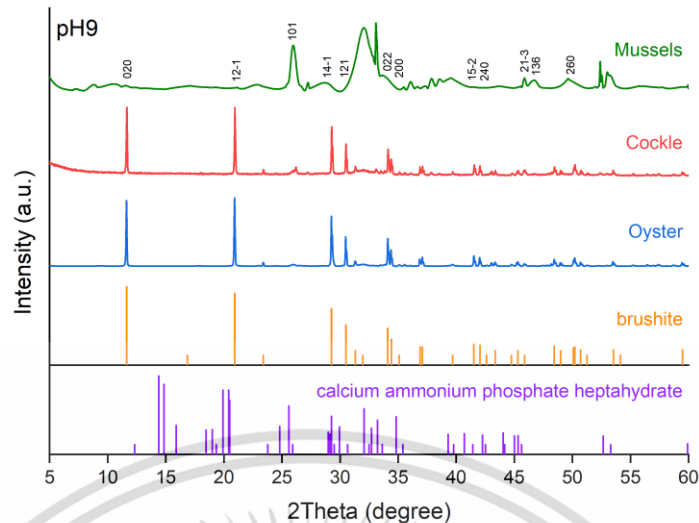


รูปที่ 4.4 รูปการเลี้ยวเบนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยนางรม และ brushite ที่เป็นสารมาตรฐานเพื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้ ในช่วงที่ pH 5



รูปที่ 4.5 รูปการเลี้ยวเบนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยนางรม และ brushite ที่เป็นสารมาตรฐานเพื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้ ในช่วงที่ pH 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 รูปการเลี้ยวเบนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเปลือกหอยแมลงภู๋ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยนางรม และ brushite ที่เป็นสารมาตรฐานเพื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้ ในช่วงที่ pH 9

สรุปผลเอกลักษณ์ทางผลึกและโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD) การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตช่วง pH 5 ที่เตรียมได้จาก เปลือกหอยแมลงภู๋ แสดงในรูป 4.4 โดยสามารถสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบตำแหน่งพีคที่  $2\theta$  (มุมของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์) ในจุดเข้มข้นสูงสุดที่เห็นได้ชัดเท่ากับ  $29.25^{\circ}(14-1)$   $34.0^{\circ}(022)$   $36.86^{\circ}(141)$   $41.52^{\circ}(15-2)$  และ  $50.19^{\circ}(260)$  การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยนางรมนั้นตรงกัน โดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล brushite (ไดเบสิคแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต) พบว่าตรงกับฐานข้อมูล

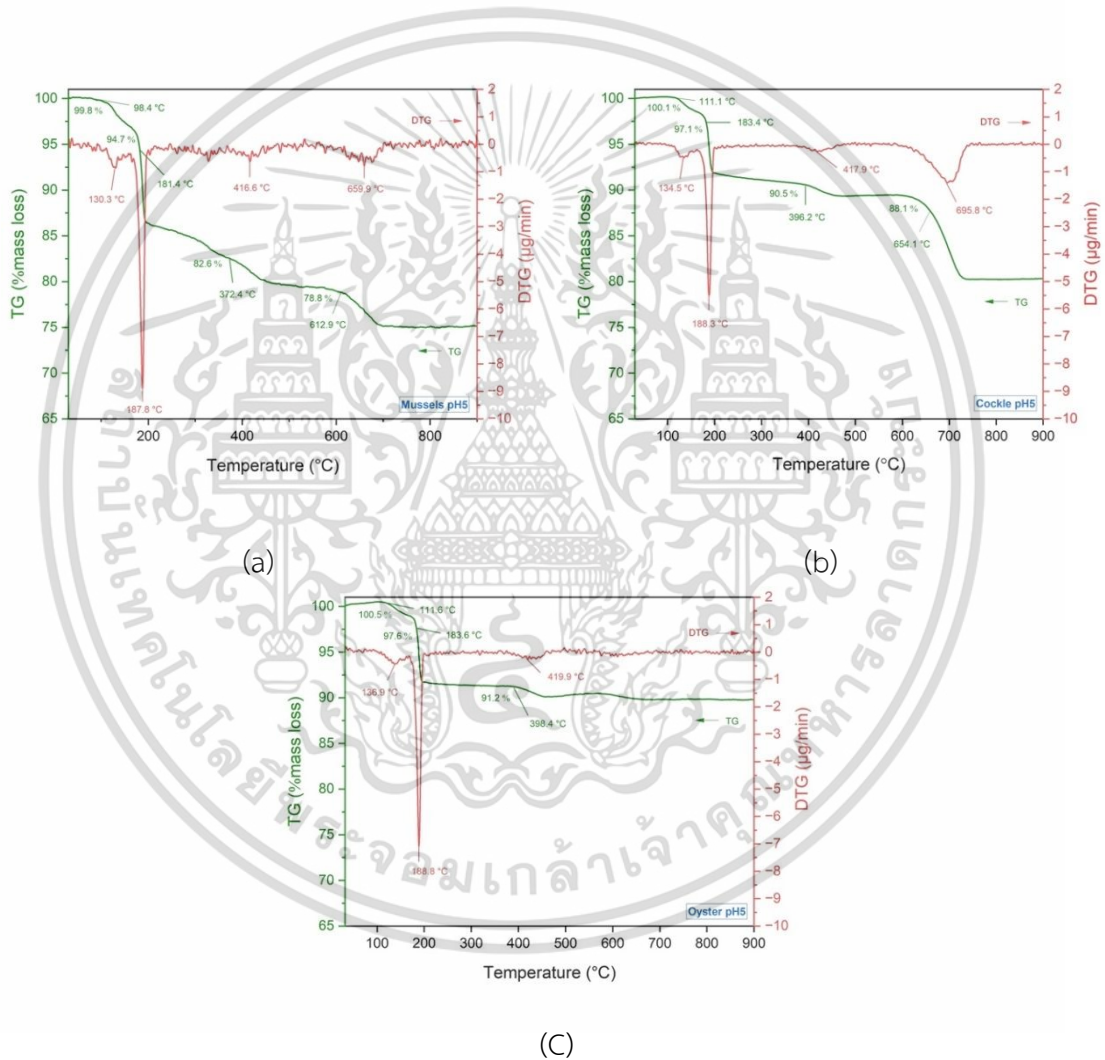
สรุปผลเอกลักษณ์ทางผลึกและโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD) การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตช่วง pH 7 ที่เตรียมได้จาก เปลือกหอยแมลงภู๋ แสดงในรูป 4.5 โดยสามารถสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบตำแหน่งพีคที่  $2\theta$  (มุมของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์) ในจุดเข้มข้นสูงสุดที่เห็นได้ชัดเท่ากับ  $29.30^{\circ}(14-1)$   $34.15^{\circ}(022)$   $36.90^{\circ}(141)$   $41.56^{\circ}(15-2)$  และ  $50.19^{\circ}(260)$  การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยนางรมนั้นตรงกัน โดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล brushite (ไดเบสิคแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต) พบว่าตรงกับฐานข้อมูล

สรุปผลเอกลักษณ์ทางผลึกและโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD) การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตช่วง pH 9 ที่เตรียมได้จาก เปลือกหอยแมลงภู๋ แสดงในรูป 4.6 โดยสามารถสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบตำแหน่งพีคที่  $2\theta$  (มุมของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์) ในจุดเข้มข้นสูงสุดที่เห็นได้ชัดเท่ากับ  $29.28^{\circ}(14-1)$   $34.13^{\circ}(022)$   $41.55^{\circ}(15-2)$  และ  $50.21^{\circ}(260)$  การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยนางรมนั้นตรงกัน โดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล brushite (ไดเบสิคแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต) พบว่าตรงกับฐานข้อมูล แต่เปลือกหอยแมลงภู๋จะพบตำแหน่งที่  $2\theta$  เท่ากับ  $31.91^{\circ}$  ซึ่งพีคตรงกับฐานข้อมูล แคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตเฮปตะไฮเดรต  $[\text{CaNH}_4\text{PO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}]$  (Lohit Sharma, Daniyal Kiani, 2019) อย่างไรก็ตามต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ของ XRD บ่งชี้และยืนยันได้ว่าการมีก่อตัวของไดเบสิคแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต  $[Ca(HPO_4)_7 (H_2O)_7]$  และมีการก่อตัวของแคลเซียมแอมโมเนียมเฮปตะไฮเดรต  $[CaNH_4PO_4 (H_2O)_7]$  ที่ช่วง pH 9 ยืนยันได้ว่ามีแอมโมเนียมฟอสเฟต  $(NH_4PO_4)$  เกิดขึ้นจริง (Lohit Sharma, Daniyal Kiani, 2019)

**4.2.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์มัลกราวิเมตรี (TGA)**

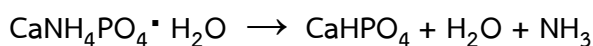
จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA แสดงการสลายตัวด้วยความร้อน ใน pH 5 7 และ 9 ด้วยเปลือกหอยทั้ง3ชนิด คือ เปลือกหอยแมลงภู่ (Mussels) เปลือกหอยแครง (Cockle) และ เปลือกหอยนางรม (Oyster) ได้ผลวิเคราะห์ดังต่อไปนี้



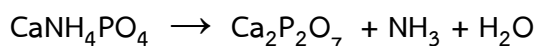
**รูปที่ 4.7 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจาก เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยนางรมที่ pH 5**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

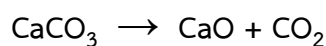
สมการการสลายตัวในช่วงความร้อน 100 - 200°C



สมการการสลายตัวในช่วงความร้อน 300 - 500°C



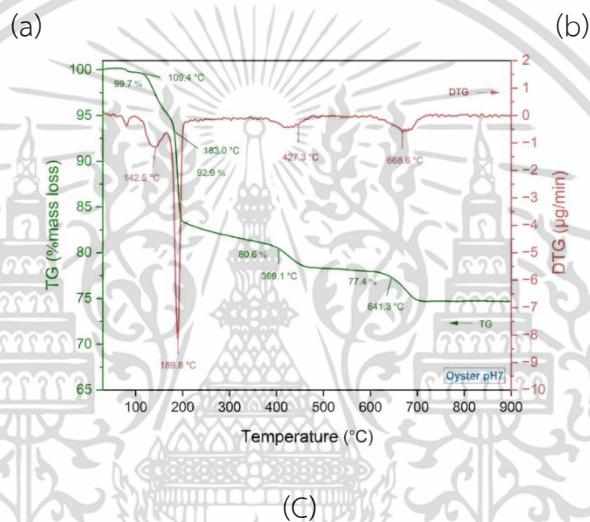
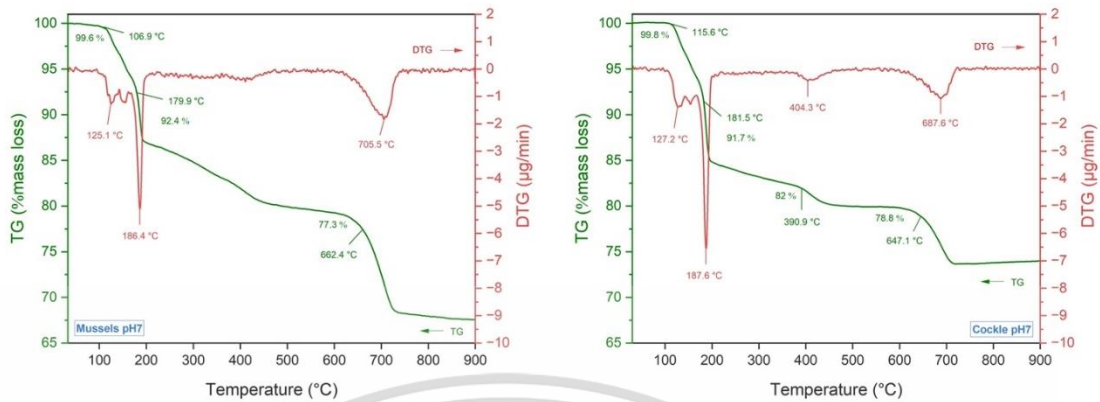
สมการการสลายตัวในช่วงความร้อน 600 - 700°C



ตารางที่ 4.3 การสลายตัวด้วยความร้อนแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตใน pH 5

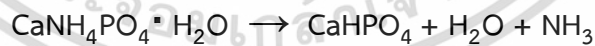
ชนิด	ช่วงความร้อน	TGA	DTG
Mussels	100 - 200°C	98.4°C, 181.4°C	130.3°C, 187.8°C
	300 - 500°C	372.4°C	416.6°C
	600 - 700°C	612.9°C	659.9°C
Cockle	100 - 200°C	111.1°C, 183.4°C	134.5°C, 188.3°C
	300 - 500°C	396.2°C	417.9°C
	600 - 700°C	654.1°C	695.8°C
Oyster	100 - 200°C	111.6°C, 183.6°C	136.9°C, 188.8°C
	300 - 500°C	398.4°C	419.9°C
	600 - 700°C	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

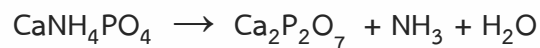


รูปที่ 4.8 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยนางรมที่ pH 7

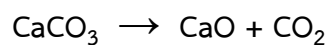
สมการการสลายตัวในช่วงความร้อน 100 - 200°C



สมการการสลายตัวในช่วงความร้อน 300 - 500°C



สมการการสลายตัวในช่วงความร้อน 600 - 700°C

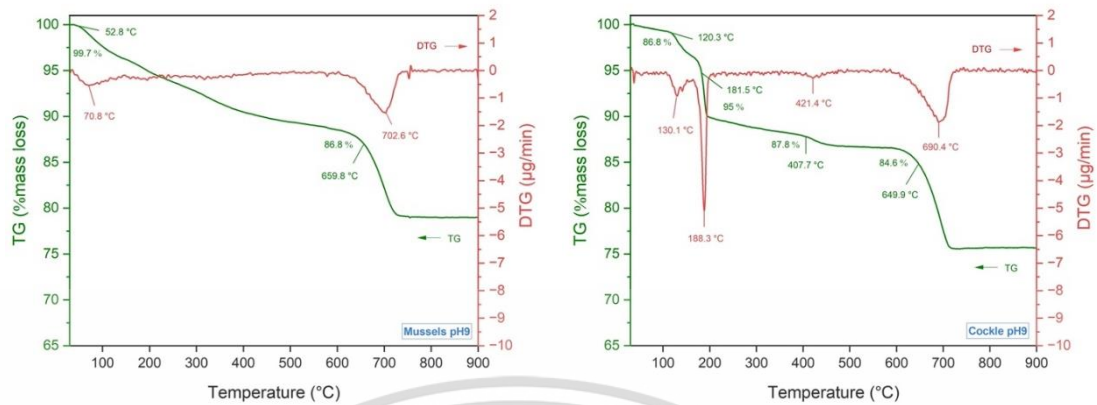


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การสลายตัวด้วยความร้อนแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ใน pH 7

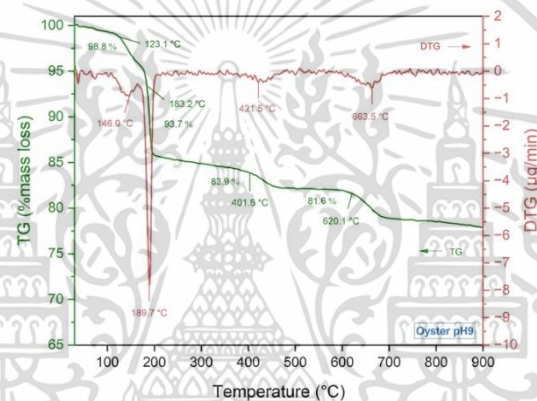
ชนิด	ช่วงความร้อน	TGA	DTG
Mussels	100 - 200°C	106.9°C, 179.9°C	125.1°C, 186.4°C
	300 - 500°C	402.9°C	410.8°C
	600 - 700°C	662.4°C	705.5°C
Cockle	100 - 200°C	115.6°C, 181.5°C	127.2°C, 187.6°C
	300 - 500°C	390.9°C	404.3°C
	600 - 700°C	647.1°C	687.6°C
Oyster	100 - 200°C	109.4°C, 183°C	142.5°C, 189.8°C
	300 - 500°C	399.1°C	427.3°C
	600 - 700°C	641.3°C	668.6°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)

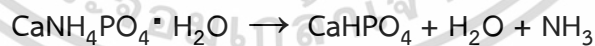
(b)



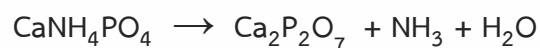
(c)

รูปที่ 4.9 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยนางรม ที่ pH 9

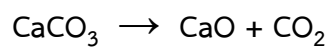
สมการการสลายตัวในช่วงความร้อน 50 - 200°C



สมการการสลายตัวในช่วงความร้อน 400 - 500°C



สมการการสลายตัวในช่วงความร้อน 600 - 700°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

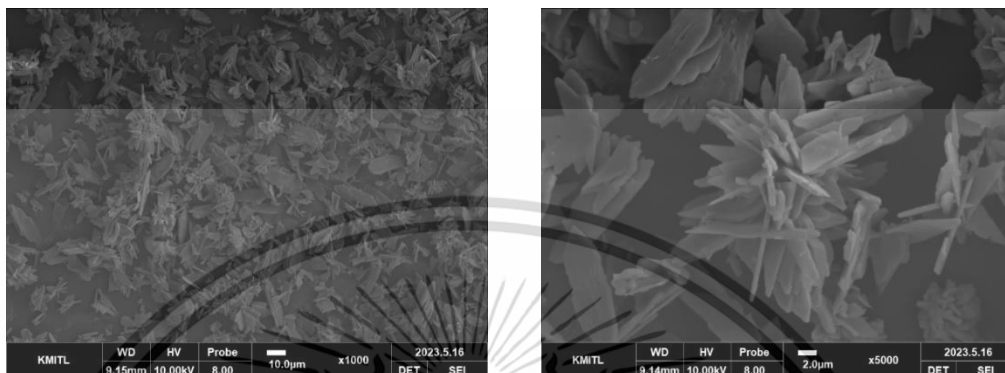
ตารางที่ 4.5 การสลายตัวด้วยความร้อนของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ใน pH 9

ชนิด	ช่วงความร้อน	TGA	DTG
Mussels	50 - 200°C	52.8°C	70.8°C
	300 - 500°C	403.2°C	421.7°C
	600 - 700°C	659.8°C	702.6°C
Cockle	100 - 200°C	120.3°C, 181.5°C	130.1°C, 188.3°C
	300 - 500°C	407.7°C	421.4°C
	600 - 700°C	649.9°C	690.4°C
Oyster	100 - 200°C	123.1°C, 183.2°C	146°C, 189.7°C
	300 - 500°C	401.6°C	421.5°C
	600 - 700°C	620.1°C	663.5°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

รูปร่างสัณฐานวิทยาของสารตั้งต้นที่ใช้ผลิตได้และผงผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นได้ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัยนี้ ได้นำผงผลิตบางส่วนไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยมีรูปร่างสัณฐานวิทยาดังแสดงในรูปที่ 4.10-4.18



(a)

(b)

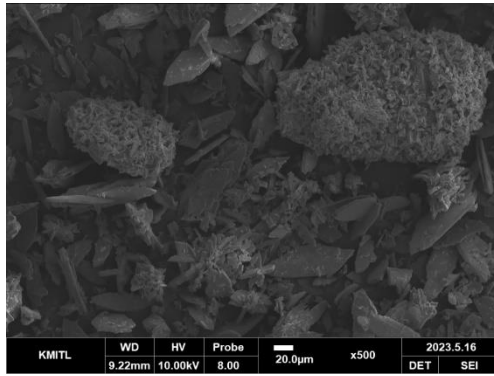
รูปที่ 4.10 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

แบบส่องกราด (SEM) ที่ช่วง pH 5 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภู

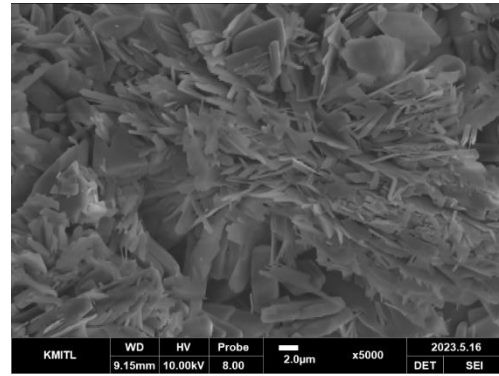
(a) เปลือกหอยแมลงภูที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (b) เปลือกหอยแมลงภูที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

สรุปผลรูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ 10 Kv ที่ช่วง pH 5 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภูที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่า รูปร่างสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยแมลงภูที่เตรียมได้จากแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายกระจกรวมกลุ่มกัน และมีขนาดที่ไม่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



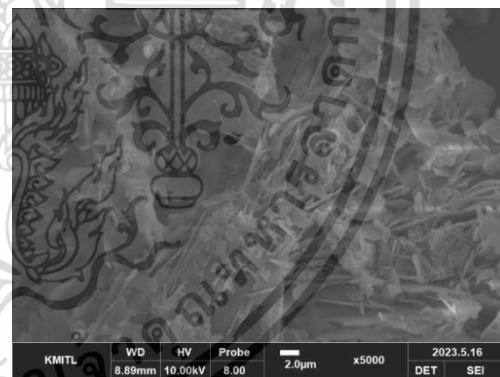
(b)

รูปที่ 4.11 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ช่วง pH 5 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแครง (a) เปลือกหอยแครงที่กำลังขยาย 500 เท่า (b) เปลือกหอยแครงที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

สรุปผลรูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ 10 Kv ที่ช่วง pH 5 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแครงที่กำลังขยาย 500 เท่า และที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่า รูปร่างสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยแครงที่เตรียมได้จากแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นพื้นผิวขรุขระซ้อนทับกันอย่างไม่มีรูปร่าง ขนาดที่ไม่แน่นอน และเกาะกลุ่มรวมกันเป็นก้อน



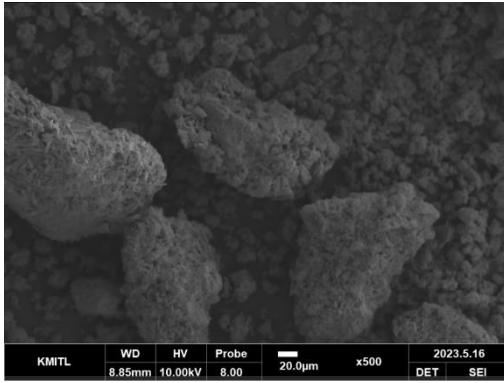
(a)



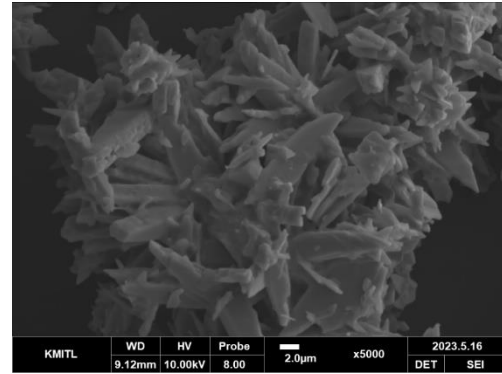
(b)

รูปที่ 4.12 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ช่วง pH 5 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยนางรม (a) เปลือกหอยนางรมที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (b) เปลือกหอยนางรมที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

สรุปผลรูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ 10 Kv ที่ช่วง pH 5 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยนางรมที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่า รูปร่างสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยนางรมที่เตรียมได้จากแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายกระจกรวมกลุ่มกัน และมีขนาดที่ไม่แน่นอน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 4.13 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ช่วง pH 7 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภู (a) เปลือกหอยแมลงภูที่กำลังขยาย 500 เท่า (b) เปลือกหอยแมลงภูที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

สรุปผลรูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ 10 Kv ที่ช่วง pH 7 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภูที่กำลังขยาย 500 เท่า และที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่า รูปร่างสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยแมลงภูที่เตรียมได้จากแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายกระจกรวมกลุ่มกัน และมีขนาดที่ไม่แน่นอน



(a)

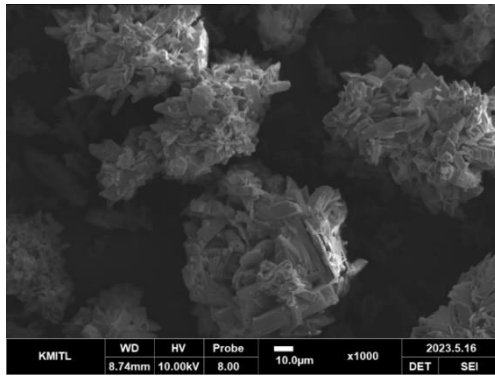


(b)

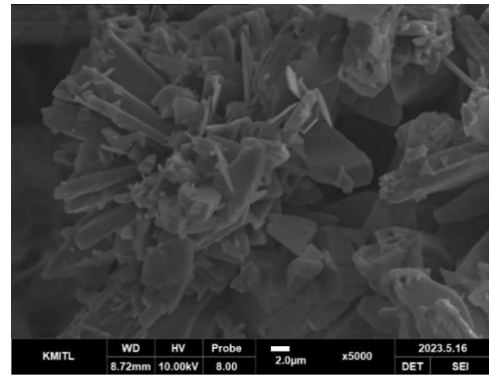
รูปที่ 4.14 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ช่วง pH 7 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแครง (a) เปลือกหอยแครงที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (b) เปลือกหอยแครงที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

สรุปผลรูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ 10 Kv ที่ช่วง pH 7 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแครงที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่า รูปร่างสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยแครงที่เตรียมได้จากแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายกระจกรวมกลุ่มกัน และมีขนาดที่ไม่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



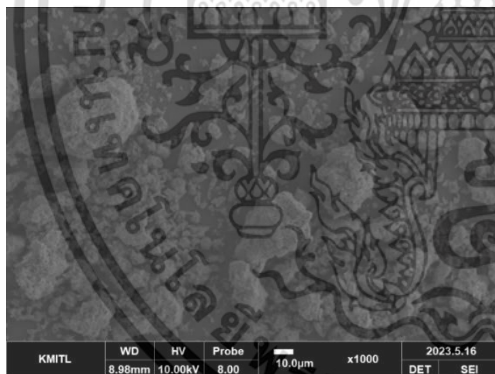
(a)



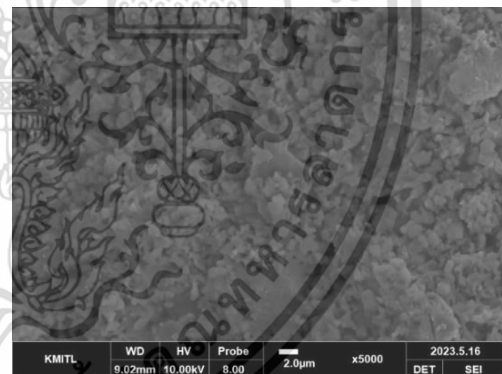
(b)

รูปที่ 4.15 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ช่วง pH 7 แคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตของเปลือกหอยนางรม (a) เปลือกหอยนางรมที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (b) เปลือกหอยนางรมที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

สรุปผลรูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ 10 Kv ที่ช่วง pH 7 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยนางรมที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่า รูปร่างสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยนางรมที่เตรียมได้จากแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายกระจกรวมกลุ่มกัน และมีขนาดที่ไม่แน่นอน



(a)

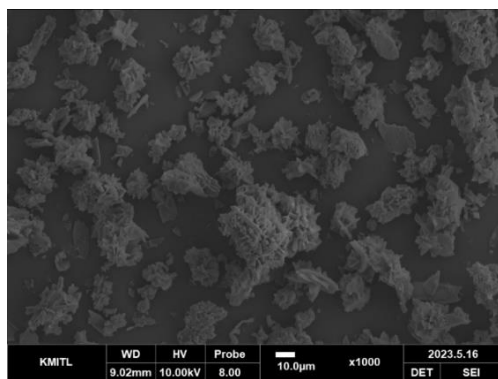


(b)

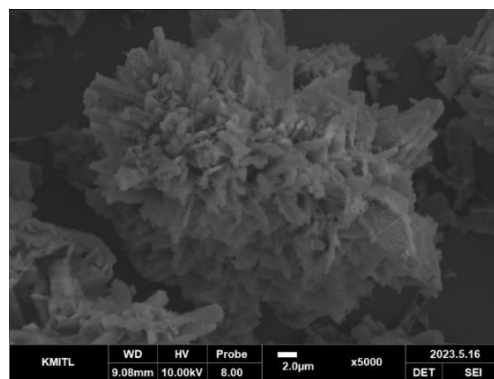
รูปที่ 4.16 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ช่วง pH 9 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภู (a) เปลือกหอยแมลงภูที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (b) เปลือกหอยแมลงภูที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

สรุปผลรูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ 10 Kv ที่ช่วง pH 9 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภูที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่า รูปร่างสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยแมลงภูที่เตรียมได้จากแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นพื้นผิวขรุขระซ้อนทับกันอย่างไม่มีการเรียงตัว มีขนาดที่ไม่แน่นอน และเกาะกลุ่มรวมกันเป็นก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 4.17 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ช่วง pH 9 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแครง (a) เปลือกหอยแครงที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (b) เปลือกหอยแครงที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

สรุปผลรูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ 10 Kv ที่ช่วง pH 9 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแครงที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่า รูปร่างสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยแครง ที่เตรียมได้จากแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมซ้อนทับกัน ผลึกใรรูปร่างที่มีพื้นผิวขรุขระเกาะกลุ่มรวมกันเป็นก้อน



(a)



(b)

รูปที่ 4.18 รูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ช่วง pH 9 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยนางรม (a) เปลือกหอยนางรมที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (b) เปลือกหอยนางรมที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

สรุปผลรูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ 10 Kv ที่ช่วง pH 9 ของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยนางรมที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และที่กำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่า รูปร่างสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยนางรมที่เตรียมได้จากแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายกระจกขอบมนรวมกลุ่มกัน และมีขนาดที่ไม่เอกสารนี้แน่นอน สารที่สวมนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของ pH ต่อการการตกผลึกใหม่แคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตที่สังเคราะห์จากเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแครง และการวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกหอย เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเปลือกหอยมาเป็นปุ๋ยแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต พบว่าการตรวจวิเคราะห์เอกลักษณ์รูปแบบการสั่นพ้องภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR) พบว่าตำแหน่งที่แสดงให้เห็น คือ การสั่นสะเทือนของสารประกอบฟอสเฟต สารประกอบไฮเดรต สารประกอบแอมโมเนียมเล็กน้อยและความชื้นรวมด้วยที่ช่วง pH 9 การตรวจวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ยืนยันได้ว่าการก่อตัวของไดเบสิคแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต  $[\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_2]$  และมีการก่อตัวของแคลเซียมแอมโมเนียมเฮปตะไฮเดรต  $[\text{CaNH}_4\text{PO}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})_7]$  ที่ช่วง pH 9 ยืนยันได้ว่ามีแอมโมเนียมฟอสเฟต  $(\text{NH}_4\text{PO}_4)$  เกิดขึ้นจริง การวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์มัลกราวิเมทรี (TGA) สรุปได้ว่า ผลการสลายตัวของแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยทั้ง 3 ชนิด พบว่า มีการสลายตัวของน้ำในโครงผลึกแคลเซียมไฟโรฟอสเฟตและแคลเซียมคาร์บอเนตตามตำแหน่งในช่วงความร้อนต่างๆ และยังพบว่าการสลายตัวแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ pH 9 นั้นมีแนวโน้มเกิดแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต อ้างอิงจากค่า Xrd การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) สรุปได้ว่า ที่ช่วง pH 5 เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยนางรม มีลักษณะพื้นผิวขรุขระ เกาะกลุ่มรวมกันเป็นก้อน ที่ช่วง pH 7 พบว่ามีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายกระจกรวมกลุ่มกัน และมีขนาดที่ไม่แน่นอน และที่ช่วง pH 9 พบว่ามีลักษณะเป็นพื้นผิวขรุขระซ้อนทับกันอย่างไม่มีรูปร่าง มีขนาดที่ไม่แน่นอน และเกาะกลุ่มรวมกันเป็นก้อน ดังนั้นในการทดลองนี้สรุปว่า pH 9 เป็นช่วง pH ที่พบสารประกอบแอมโมเนียมฟอสเฟตมากที่สุด

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการตกผลึกใหม่ด้วยกรดฟอสฟอริกเพิ่มเติม เช่น ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ หรือการทิ้งระยะเวลาการบ่มกวน
2. หากตัวอย่างสารตั้งต้นมีปริมาณความชื้นมาก ควรใช้อะซิโตนในการไล่ความชื้น เพื่อลดระยะเวลาในการอบสารให้แห้ง
3. ควรนำสารละลายส่วนใสนำไปตรวจวัดว่ามีแคลเซียมคาร์บอเนตหรือไม่
4. ควรล้างแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตให้ pH เป็นกลาง
5. ควรทดลองที่จำนวนโมลสารเคมี
6. ควรทำการทดลอง 3 ซ้ำ เพื่อประเมินความคลาดเคลื่อนขณะทำการศึกษการสังเคราะห์แคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต

7. หลังการอบควรเก็บสารตัวอย่างไว้ในเดซิเคเตอร์นั้น ไม่นำมาตากให้แห้งไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- Junxiong Zhan, Jinshan Lu, Di Wang, 2021, “Review of shell waste reutilization to promote sustainable shellfish aquaculture”, School of Materials Science and Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang, China
- ศรัริรัตน์ เสี่ยงสาย, 2561, “ผลกระทบและการจัดการขยะเปลือกหอยจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่ ตำบลแหลมใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม”. สาขาวิชาการจัดการภาครัฐและภาคเอกชน แผน ก แบบ ก2, มหาวิทยาลัยศิลปากร
- รติกร สมิตไมตรี, จินตนา สและน้อย, กังสดาลย์บุญปราบ. 2019. “องค์ประกอบของสารสีในเนื้อหอยและปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) Pigment Profiles in Meat and Calcium Carbonate Content Deposited in Green Mussel (*Perna viridis*).” (Online). เข้าถึงได้ที่: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/189996>
- กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2021. “สถิติการเลี้ยงหอยประจำปี 2564.” (Online). เข้าถึงได้ที่: [https://www4.fisheries.go.th/local/file\\_document/20220721143342\\_1\\_file.pdf](https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20220721143342_1_file.pdf)
- Sichuan Kangze Hongyun International Trade Co., LTD. 2022. “MAP ปุ๋ยโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟตสำหรับพืช”, (Online). เข้าถึงได้ที่: <https://thai.phosphate-salt.com/sale14383213-map-fertilizer-mono-ammonium-phosphate-for-plants.html>
- PAKPHOOM GROUP (THAILAND) CO., LTD. 2019. “การขายส่งปุ๋ยและเคมีภัณฑ์ทางการเกษตร.”, (Online). เข้าถึงได้ที่: <https://data.creden.co/company/general/0195562003481>
- Peng Dong, Muhammad Riaz Ahmad, Bing Chen, Muhammad Junaid Munir, Syed Minhaj Saleem Kazmi. 2021. “Preparation and study of magnesium ammonium phosphate cement from waste lithium slag”. (Online). เข้าถึงได้ที่: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621025841>
- Lohit Sharma, Daniyal Kiani, Kenneth Honer, and Jonas Baltrusaitis. 2019. “Mechanochemical Synthesis of Ca- and Mg-Double Salt Crystalline Materials Using Insoluble Alkaline Earth Metal Bearing Minerals”. Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Lehigh University, B336 Iacocca Hall, 111 Research Drive, Bethlehem, Pennsylvania 18015, United States
- Hong Bo Wu, Man Nin Chan, Chak K. Chan, 2007, “FTIR Characterization of Polymorphic Transformation of Ammonium Nitrate”. Department of Chemical Engineering, Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Kowloon, Hong Kong, China
- Somkiat Theesavanong, Chaowared Seangarun, Banjong Boonchom, Chuchai Sronsri, Nongnuch Laohavisuti, Kittichai Chaiseeda and Wimonmat Boonmee, 2022, “ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลีเกิ้ลทํายี่สิบแปดชั่วโมง”

**“Recrystallization of Triple Superphosphate Produced from Oyster Shell Waste for Agronomic Performance and Environmental Issues”**,

Department of Plant Production Technology, School of Agricultural Technology, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, (in Thai)

บรรจง บุญชม, เซษรฐา รัตนพันธ์, 2558, “คู่มือการผลิตปุ๋ยและสารปรับปรุงดินจากแคลเซียมธรรมชาติเพื่อเพาะปลูกข้าว”, ศูนย์เรียนรู้การจัดการขยะและน้ำเสียชุมชน คณะวิทยาศาสตร์, หน่วยวิจัยวัสดุฟอสเฟตและพลังงานเชื้อเพลิงทางเลือก คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บรรจง บุญชม, ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร, 2560, “การผลิตสารประกอบแคลเซียมอินทรีย์จากเปลือกหอยและเปลือกไข่เพื่อการใช้งานต่างๆ”, ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วรุณทิพย์ ฉัตรจุกามณี, 2017, “การสังเคราะห์โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรตอย่างง่ายและรวดเร็วจากเปลือกหอยทราย”. สาขาวิชาเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

สมเกียรติ สีสนอง, บรรจง บุญชม, จำรูญ เล้าสินวัฒนา, 2558, “การผลิตสารปรับปรุงดินและแม่ปุ๋ยเพื่อผลิตปุ๋ยผสมแก้อ้อย”. โครงการจัดการความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีจากผลงานวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

ภาพประกอบในขั้นตอนการทดลอง

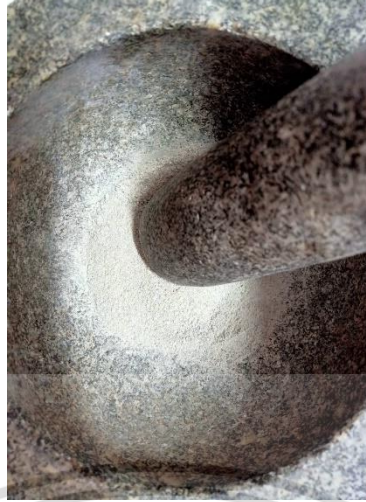


รูปที่ ก-1 นำเปลือกหอย 3 ชนิด ไปล้างทำความสะอาด



รูปที่ ก-2 นำเปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม  
บดเป็นผงด้วยครกหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-3 เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยนางรม  
บดเป็นผงอย่างละเอียดด้วยครกหิน



รูปที่ ก-4 นำเปลือกหอย 3 ชนิด ไปร่อนตะแกรง ขนาด 50 เมช



รูปที่ ก-5 ชั่งตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอย 3 ชนิด มาอย่างละ 10 กรัม  
ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร ชนิดละ 3 ใบ

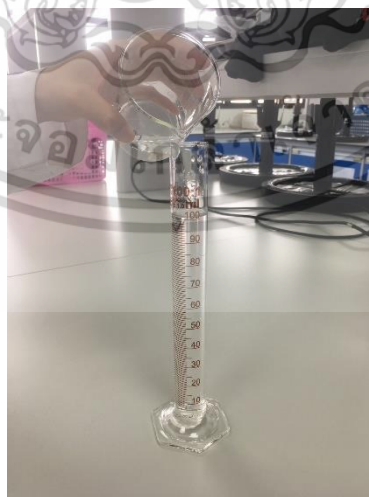
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุที่บ่งชี้ถึงเนื้อหา และต้องยื่นฟ้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-6 ปิเปตกรดฟอสฟอริก



รูปที่ ก-7 เติมกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ลงในบีกเกอร์ทั้ง 9 ใบ



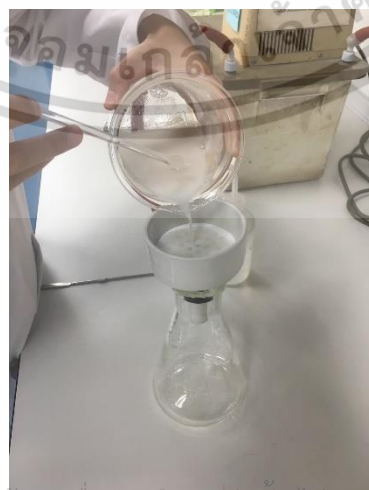
รูปที่ ก-8 เติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ลงในบีกเกอร์เปลือกหอยชนิดละ 1 ใบ เก็บไว้ทำขั้นตอนการปรับ pH ให้เป็น 5 ส่วนบีกเกอร์ที่เหลือทั้ง 6 ใบ ไม่เติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เก็บไว้ทำขั้นตอนการปรับ pH ให้เป็น 7 และ 9



รูปที่ ก-9 นำบีกเกอร์ทั้ง 9 ใบ ไปผสมให้เข้ากันด้วย  
เครื่องปั่นกวนมอเตอร์จนฟองแก๊สหมดไป



รูปที่ ก-10 นำไปปรับ pH สารละลายให้เป็น 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก และปรับ pH สารละลาย  
ให้เป็น 7 และ 9 ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ โดยการไทเทรต แล้วพักทิ้งไว้ 5 นาที



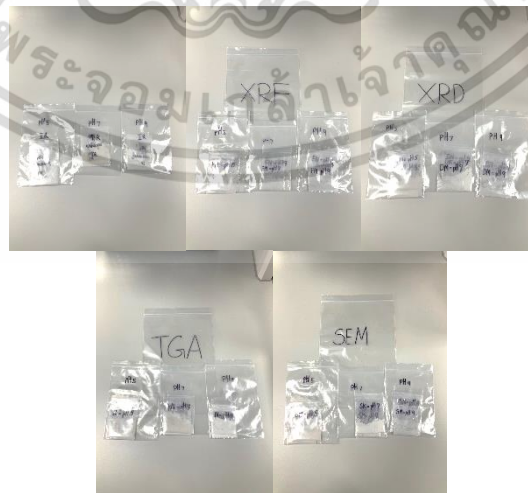
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ ก-11 นำไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศหลังปรับค่า pH แล้ว



รูปที่ ก-12 นำตัวอย่างสารละลายแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 คืน



รูปที่ ก-13 นำมาบดละเอียดด้วยครกยา



รูปที่ ก-14 ทำการแบ่งสารตัวอย่างแต่ละชนิดลงในถุงซิปล็อค เพื่อทำการส่งตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต

ไม่่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่รับผิดชอบในกรณีที่ส่งเอกสารไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### การคำนวณ

ข-1 การเตรียมสารละลาย

1) การเตรียมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 85% เป็น 10%

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

เมื่อ

$C_1$  = ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น

$V_1$  = ปริมาณของสารละลายเริ่มต้น

$C_2$  = ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการ

$V_2$  = ปริมาณของสารละลายที่ต้องการ

2) ร้อยละผลผลิต

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \frac{\text{ค่าที่ได้จริง(g)}}{\text{ค่าทางทฤษฎี(g)}} \times 100$$

เมื่อ ร้อยละผลผลิต = ผลที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีในรูปผลผลิตร้อยละ

ค่าที่ได้จริง = ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

ค่าทางทฤษฎี = ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณตามสมการเคมี

ตัวอย่างการคำนวณ

ข-2 การเตรียมกรดฟอสฟอริกจากความเข้มข้น(14.695 โมลาร์) 85 %w/w เป็น 10%w/w (ความเข้มข้น 1 โมลาร์)

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$14.695V_1 = 1M (1000 \text{ ml})$$

$$1M (1000 \text{ ml})$$

$$V_1 = \frac{1000}{14.615}$$

$$V_1 = 68 \text{ ml}$$

ดังนั้น ต้องเติมกรดฟอสฟอริก 10% = 68 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ข-3 การเตรียมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จากความเข้มข้น 30 % เป็น 10% (ความเข้มข้น 1 โมลาร์)

$$\text{NH}_4\text{OH } 10\% , \text{ MW} = 35.05$$

$$M = 10 \times \frac{\frac{10}{100}}{35.05}$$

$$M = 0.02852 \text{ mol}$$

$$0.02852 \text{ mol เป็น } 1 \text{ mol/L}$$

$$M = 0.02852 \text{ mol} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ mol}}$$

$$M = 28.52 \text{ ml}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ต้องเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 10% = 28.52 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยขวด ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ข-4 การเตรียมกรดไฮโดรคลอริกจากความเข้มข้น 37 % เป็น 10% (ความเข้มข้น 1 โมลาร์)

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$37V_1 = 1M (1000 \text{ ml})$$

$$V_1 = \frac{1M (1000 \text{ ml})}{37}$$

$$V_1 = 270 \text{ ml}$$

ดังนั้น ต้องเติมกรดฟอสฟอริก 10% = 270 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ข-5 การคำนวณร้อยละผลผลิตแคลเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตของตัวอย่างจากเปลือกหอย เช่น ที่ช่วง pH 5 น้ำหนักสารละลายเปลือกหอยแมลงภู่ มีน้ำหนักจริง 12.55 กรัม มีค่าทางทฤษฎี 15.30 กรัม

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \frac{\text{ค่าที่ได้จริง(g)}}{\text{ค่าทางทฤษฎี(g)}} \times 100$$

$$= \frac{12.55 \text{ (g)}}{15.30 \text{ (g)}} \times 100$$

$$= 82.03 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

