

การผลิตสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท  
จากเปลือกหอย เพื่อผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียม

PRODUCTION OF CALCIUM ACETATE-LACTATE COMPOUND  
FROM SHELLS FOR LIQUID CALCIUM FERTILIZER PRODUCTION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2565

KMITL-2022-SC-M-012-112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRODUCTION OF CALCIUM ACETATE-LACTATE COMPOUND  
FROM SHELLS FOR LIQUID CALCIUM FERTILIZER PRODUCTION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE  
DEGREE MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY SCHOOL OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2022

KMITL-2022-SC-M-012-112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การผลิตสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยนาชชนิด  
เพื่อผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียม

ชื่อนักศึกษา              ชาวเรศ แสงอรุณ

รหัสประจำตัว            62605057

ปริญญา                    วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชา                    เคมี

พ.ศ.                        2565

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์    รศ.ดร.บรรจง บุญชม

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอย 6 ชนิด ได้แก่ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเซวรี เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรมและเปลือกหอยเซลล์ โดยนำผงเปลือกหอยที่เตรียมได้มาทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติก 8 M, 10 M และ 12 M เพื่อเตรียมแคลเซียมอะซิเตทและกรดแลคติก 6 M, 8 M และ 10 M เพื่อเตรียมแคลเซียมแลคเตท แล้วนำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ โดยใช้เทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), Thermogravimetric analysis (TGA) และ Scanning electron microscope (SEM) รวมถึงวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดต่อสมบัติต่างๆของสารตัวอย่างและหาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยแต่ละชนิด จากนั้นเตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด โดยใช้ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดซึ่งได้จากผลการทดลองก่อนหน้า จากนั้นนำสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท มาเตรียมเป็นปุ๋ยน้ำ 10% CaO แล้วนำปุ๋ยน้ำที่ได้ไปวิเคราะห์ค่า pH, การนำไฟฟ้า และหาปริมาณแคลเซียมในสารละลายโดยเทคนิค Atomic absorption spectroscopy (AAS)

**คำสำคัญ:** เปลือกหอย; แคลเซียมอะซิเตท; แคลเซียมแลคเตท; แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท; ปุ๋ยน้ำ

<b>Thesis Title</b>	Production of calcium acetate-lactate compound from various shells for liquid calcium fertilizer production
<b>Student Name</b>	Chaowared Seangarun
<b>Student ID</b>	62605057
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Department</b>	Chemistry
<b>Year</b>	2022
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Banjong Boonchom

### Abstract

This research aimed to synthesize calcium compounds from shells included cockle shells, clam shells, golden apple snail shell, mussel shells, oyster shells and scallop shells. The prepared shell powders were mixed with 8 M, 10 M and 12 M acetic acid and 6 M, 8 M to prepared calcium acetate and mixed with 10 M lactic acid to prepared calcium lactate. The prepared samples were analyzed by Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), thermogravimetric analysis (TGA) and scanning electron microscope (SEM) technique, moreover solubility of samples were measure. The results show the effect of acid concentration was on various properties of the samples and determine the optimum concentration for the preparation of calcium compounds from each shell. The calcium acetate-lactate was then prepared from the 6 shells using the optimal concentration obtained from the previous experimental results. The liquid fertilizers were then prepared as 10% CaO using calcium acetate-lactate from 6 shells. The obtained liquid fertilizers were analyzed for pH, conductivity and determination of calcium content by atomic absorption spectroscopy (AAS).

**Keywords:** shells; calcium acetate; calcium lactate; calcium acetate-lactate; liquid fertilizer

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ข้าพเจ้าต้องขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจง บุญชม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาแนะนำแนวทางในการทำวิจัยและคอยให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์มีความถูกต้องและสำเร็จสมบูรณ์ ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้ ตั้งแต่เริ่มเรียนรู้จนถึงปัจจุบันนี้

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนตลอดการทำงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และเพื่อนของข้าพเจ้าทุกคน ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีให้กันเสมอมา

เชาวเรศ แสงอรุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Acknowledgements

I would like to take this opportunity to recognize some of the individual who have assisted me through my graduate education. I wish to show gratitude to my thesis advisor, Associate Professor Dr. Banjong Boonchom, for his valuable advice, throughout the duration of this research study.

I am grateful to the Scientific Instruments Center, School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for supporting TGA, FTIR, XRD, XRF and SEM instruments.

I also would like to thank to all professor and supporting staff of School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for their advice and laboratory support.

Moreover, I would like to gratefully thank to my dad, mom and all my best friends for invaluable encouragement and every supporting.

Chaowared Seangarun

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
กิตติกรรมประกาศภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 เปลือกหอย (Shells)	4
2.1.1 เปลือกหอยแครง (Cockle shells)	4
2.1.2 เปลือกหอยตลับ (Clam shells)	5
2.1.3 เปลือกหอยเซอรี (Golden apple snail shells)	6
2.1.4 เปลือกหอยแมลงภู (Mussel shells)	6
2.1.5 เปลือกหอยนางรม (Oyster shells)	7
2.1.6 เปลือกหอยเชลล์ (Scallop shells)	8
2.2 การสังเคราะห์สารประกอบ	9
2.2.1 แคลเซียมอะซิเตท (Calcium acetate)	9
2.2.2 แคลเซียมแลคเตท (Calcium lactate)	10
2.2.2 แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท (Calcium acetate-lactate)	11
2.3 ปู๋ย	12
2.3.1 การนำเข้าปู๋ย	12
2.3.2 ความสำคัญและประโยชน์ของแคลเซียมต่อพืช	13
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	<b>14</b>
3.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 สารเคมี	14
3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์	14
3.1.3 เครื่องมือวิเคราะห์	14
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	15
3.2.1 การเตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด	15
3.2.2 การเตรียมสารประกอบแคลเซียมแลคเตท จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด	15
3.2.3 การเตรียมสารประกอบเชิงคู่แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด	16
3.2.4 การวิเคราะห์ร้อยละการละลายของสารประกอบแคลเซียม	19
3.2.5 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบ	19
3.2.5.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันขององค์ประกอบภายในโมเลกุล (Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy)	19
3.2.5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (X-ray fluorescence)	19
3.2.5.3 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้าง (X-Ray Diffraction)	19
3.2.5.4 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis)	19
3.2.5.5 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา (Scanning Electron Microscopy)	19
3.2.6 การเตรียมสารละลายปุ๋ยน้ำแคลเซียม 5%	20
3.2.7 การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่แน่นอนของสารละลายปุ๋ยน้ำแคลเซียม 5%	20
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล</b>	<b>21</b>
4.1 การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตท	21
4.1.1 ผลการสังเคราะห์สารประกอบ	21
4.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมอะซิเตทด้วยเทคนิค XRF	22
4.1.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทด้วยเทคนิค FTIR	28
4.1.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทด้วยเทคนิค XRD	30
4.1.5 การวิเคราะห์การสลายตัวด้วยความร้อนของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทด้วยเทคนิค TGA	32
4.1.6 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	35
4.2 การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมแลคเตท	39
4.2.1 ผลการสังเคราะห์สารประกอบ	39
4.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมแลคเตทด้วยเทคนิค XRF	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมแลคเตทด้วยเทคนิค FTIR	46
4.2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมแลคเตทด้วยเทคนิค XRD	47
4.2.5 การวิเคราะห์การสลายตัวด้วยความร้อนของสารประกอบแคลเซียมแลคเตทด้วยเทคนิค TGA	49
4.2.6 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของสารประกอบแคลเซียมแลคเตทด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	53
4.3 การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท	56
4.2.1 ผลการสังเคราะห์สารประกอบ	56
4.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมแลคเตทด้วยเทคนิค XRF	57
4.2.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมแลคเตทด้วยเทคนิค FTIR	59
4.2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมแลคเตทด้วยเทคนิค XRD	61
4.2.5 การวิเคราะห์การสลายตัวด้วยความร้อนของสารประกอบแคลเซียมแลคเตทด้วยเทคนิค TGA	62
4.2.6 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของสารประกอบแคลเซียมแลคเตทด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	63
4.4 การเตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท	64
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	<b>66</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	67
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>68</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>72</b>
ภาคผนวก ก	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีของประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ.2560-2564	12
3.1 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตท	15
3.2 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์แคลเซียมแลคเตท	16
3.3 ความเข้มข้นและปริมาตรของกรดอะซิติกและกรดแลคติก สำหรับเตรียมสารประกอบ แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท	16
3.4 ค่าย่อแทนตัวอย่างสารประกอบที่สังเคราะห์	17
4.1 ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอะซิเตท จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด	21
4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CK-CA8 CK-CA10 และ CK-CA12	23
4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CL-CA8 CL-CA10 และ CL-CA12	24
4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ GA-CA8 GA-CA10 และ GA-CA12	25
4.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ MS-CA8 MS-CA10 และ MS-CA12	26
4.6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ OS-CA8 OS-CA10 และ OS-CA12	27
4.7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ SC-CA8 SC-CA10 และ SC-CA12	28
4.8 แสดงตำแหน่งพีคที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR และรูปแบบการสั่นของ หมู่ฟังก์ชันของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด	30
4.9 ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมแลคเตท จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด	39
4.10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CK-CL6 CK-CL8 และ CK-CL10	40
4.11 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CL-CL6 CL-CL8 และ CL-CL10	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่	หน้า
4.12 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ GA-CL6 GA-CL8 และ GA-CL10	42
4.13 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ MS-CL6 MS-CL8 และ MS-CL10	43
4.14 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ OS-CL6 OS-CL8 และ OS-CL10	44
4.15 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ SC-CL6 SC-CL8 และ SC-CL10	45
4.16 แสดงตำแหน่งพิกที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR และรูปแบบการสั่นของ หมู่ฟังก์ชันของแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยทิ้ง 6 ชนิด	47
4.17 ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของสารประกอบ แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทิ้ง 6 ชนิด	57
4.18 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของสารประกอบ แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทิ้ง 6 ชนิด	58
4.19 แสดงตำแหน่งพิกที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR และรูปแบบการสั่นของ หมู่ฟังก์ชันของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทิ้ง 6 ชนิด	60
4.20 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของปุ๋ยน้ำแคลเซียมที่เตรียมโดยใช้ แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทิ้ง 6 ชนิด	64
4.21 ต้นทุนสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียม 5% CaO จากสารประกอบ แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เปลือกหอยแครง (Cockle shells)	5
2.2 เปลือกหอยตลับ (Clam shells)	5
2.3 เปลือกหอยเซอริ่ (Golden apple snail shells)	6
2.4 เปลือกหอยแมลงภู่ (Mussel shells)	7
2.5 เปลือกหอยนางรม (Oyster shells)	8
2.6 เปลือกหอยนางรม (Oyster shells)	8
2.7 โครงสร้างทางเคมีของแคลเซียมอะซิเตท	9
2.8 โครงสร้างทางเคมีของแคลเซียมแลคเตท	10
2.9 โครงสร้างทางเคมีของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท	11
2.10 ปุ๋ยน้ำแคลเซียม	13
4.1 แสดงรูปแบบการดูดกลืนอินฟราเรดของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเซอริ่เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยเชลล์	30
4.2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเซอริ่ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยเชลล์ และไฟล์มาตรฐานของ calcium acetate monohydrate (JCPDS #00-010-0776)	32
4.3 TG และ DTG ของ CK-CA8, CK-CA10 และ CK-CA12	33
4.4 TG และ DTG ของ CL-CA8 CL-CA10 และ CL-CA12	34
4.5 TG และ DTG ของ GA-CA8 GA-CA10 และ GA-CA12	34
4.6 TG และ DTG ของ MS-CA8 MS-CA10 และ MS-CA12	34
4.7 TG และ DTG ของ OS-CA8 OS-CA10 และ OS-CA12	35
4.8 TG และ DTG ของ SC-CA8 SC-CA10 และ SC-CA12	35
4.9 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ CK-CA8 CK-CA10 และ CK-CA12	36
4.10 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ CL-CA8 CL-CA10 และ CL-CA12	37
4.11 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ GA-CA8 GA-CA10 และ GA-CA12	37
4.12 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ MS-CA8 MS-CA10 และ MS-CA12	38
4.13 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ OS-CA8 OS-CA10 และ OS-CA12	38
4.14 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ SC-CA8 SC-CA10 และ SC-CA12	39
4.15 แสดงรูปแบบการดูดกลืนอินฟราเรดของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเซอริ่เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยเชลล์	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
4.16 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเซอริ้ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยเซลล์ และไฟล์มาตรฐานของ calcium acetate monohydrate (JCPDS #00-010-0776)	49
4.17 TG และ DTG ของ CK-CA8, CK-CA10 และ CK-CA12	50
4.18 TG และ DTG ของ CL-CA8 CL-CA10 และ CL-CA12	51
4.19 TG และ DTG ของ GA-CA8 GA-CA10 และ GA-CA12	51
4.20 TG และ DTG ของ MS-CA8 MS-CA10 และ MS-CA12	52
4.21 TG และ DTG ของ OS-CA8 OS-CA10 และ OS-CA12	52
4.22 TG และ DTG ของ SC-CA8 SC-CA10 และ SC-CA12	53
4.23 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ CK-CA8 CK-CA10 และ CK-CA12	54
4.24 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ CL-CA8 CL-CA10 และ CL-CA12	55
4.25 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ GA-CA8 GA-CA10 และ GA-CA12	55
4.26 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ MS-CA8 MS-CA10 และ MS-CA12	56
4.27 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ OS-CA8 OS-CA10 และ OS-CA12	56
4.28 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ SC-CA8 SC-CA10 และ SC-CA12	57
4.29 แสดงรูปแบบการดูดกลืนอินฟราเรดของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเซอริ้ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรมและเปลือกหอยเซลล์	60
4.30 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเซอริ้ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยเซลล์	62
4.31 TG และ DTG ของการสลายตัวด้วยความร้อนของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด	63
4.32 สัณฐานวิทยาของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเซอริ้ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยเซลล์	64
4.33 ปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
FT-IR	เทคนิค Fourier Transform Infrared spectroscopy
XRD	เทคนิค X-ray diffraction
XRF	เทคนิค X-ray fluorescence
TGA	เทคนิคการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนด้วย Themogravimetric analysis
SEM	เทคนิคการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญที่ควรได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน หนึ่งในสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมคือขยะจากเปลือกหอย ซึ่งปัจจุบันปัญหาจากปริมาณขยะเปลือกหอยที่เหลืออยู่นั้นยังคงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหลายประเทศ เช่น การปนเปื้อนในดินและในแหล่งน้ำสูญเสียทัศนียภาพ เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคหรือพาหะนำโรค เป็นต้น โดยในประเทศไทยมีปริมาณหอยที่เพาะเลี้ยงต่อปีกว่า 100,000 ตัน โดยแบ่งเป็นหอยแมลงภู่ 58% หอยแครง 28% หอยนางรม 13% และอีก 1% เป็น หอยเชอร์รี่ หอยเชลล์ หอยตลับ และอื่นๆ<sup>[1]</sup> แม้จะมีการนำเปลือกหอยเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ แต่จากแนวโน้มอุตสาหกรรมประมงที่เติบโตขึ้นทุกปีก็ยังส่งผลให้ปัญหาปริมาณขยะเปลือกหอยที่เพิ่มขึ้นยังคงสะสมต่อไป<sup>[1]</sup> เนื่องจากเปลือกหอยชนิดต่างๆ นั้นมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตสูงกว่า 90%<sup>[2,3]</sup> จึงได้มีการวิจัยเพื่อนำเปลือกหอยมาแปรรูปเป็นสารประกอบแคลเซียมในอุตสาหกรรมต่างๆ<sup>[3,4]</sup> ซึ่งการผลิตสารประกอบแคลเซียมโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต( $\text{CaCO}_3$ ) จากเปลือกหอยเหลือทิ้งชนิดต่างๆ แทนที่แคลเซียมจากแหล่งแร่หรือภาคอุตสาหกรรมนั้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง นอกจากนี้ยังเป็นการลดมลพิษด้านสิ่งแวดล้อมและลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอีกด้วย<sup>[3,11,13]</sup>

ธาตุแคลเซียม (Ca) เป็นธาตุอาหารรองของพืช ช่วยเสริมสร้างเซลล์ ช่วยในการแบ่งเซลล์และเสริมสร้างโครงสร้างของเซลล์ของพืช มีบทบาทที่สำคัญในระยะเวลาเจริญเติบโตและการออกดอกของพืช นอกจากนี้ยังเพิ่มการดูดซึมสารอาหาร ส่งผลให้ผลผลิตสูงขึ้นอีกด้วย<sup>[5]</sup> จึงเป็นหนึ่งในธาตุที่จำเป็นต่อพืชอย่างมาก ซึ่งสารประกอบแคลเซียมแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายและความสามารถในการถูกดูดซึมโดยพืชที่ไม่เท่ากัน จึงได้มีการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการถูกดูดซึมและเคลื่อนย้ายในเซลล์พืช โดยธาตุแคลเซียมในรูปแบบแคลเซียมอะซิเตทและแคลเซียมแลคเตทนั้นพบว่าเมื่อนำมาผลิตปุ๋ยในรูปปุ๋ยน้ำแคลเซียมทางใบสำหรับพืช ปุ๋ยที่ได้มีความสามารถในการละลายสูงและเคลื่อนย้ายในเซลล์พืชได้ดีกว่าสารประกอบแคลเซียมในรูปอื่น<sup>[5,6]</sup> นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยยืนยันว่าการใช้แคลเซียมอะซิเตทในรูปปุ๋ยน้ำยังช่วยให้พืชลดการดูดซึมโลหะหนักที่เป็นอันตราย<sup>[7]</sup> และช่วยลดการสูญเสียผลผลิตของพืช<sup>[8]</sup> ส่วนแคลเซียมแลคเตทยังช่วยยืดอายุให้ผลของพืชที่ได้จากการเก็บเกี่ยวนั้นสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานขึ้นอีกด้วย<sup>[5]</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสำหรับการเตรียมแคลเซียมอะซิเตท ( $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ) นั้นโดยทั่วไปสังเคราะห์จากสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบแคลเซียมในรูปต่างๆ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต( $\text{CaCO}_3$ ) หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติก( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )<sup>[9,10]</sup> ซึ่งถูกนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นยาลดปริมาณฟอสเฟตในเลือดในทางการแพทย์<sup>[11]</sup> ใช้เตรียมน้ำทางใบสำหรับพืช<sup>[12]</sup> เป็นตัวดูดซับ  $\text{SO}_2$  และ  $\text{NO}_x$ <sup>[13]</sup> และใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสารประกอบอื่นๆ<sup>[14]</sup> ส่วนแคลเซียมแลคเตท ( $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{CHOHCOO})_2$ ) นั้นโดยทั่วไปสังเคราะห์จากสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบแคลเซียมในรูปต่างๆ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต( $\text{CaCO}_3$ ) หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ทำปฏิกิริยากับกรดแลคติก( $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$ )<sup>[15,16]</sup> ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นยาสำหรับมนุษย์ในการรักษาภาวะแคลเซียมในเลือดต่ำ<sup>[17]</sup> เป็นสารเติมแต่งในอุตสาหกรรมอาหาร<sup>[18]</sup> รวมถึงใช้เพื่อให้ยืดอายุของผลไม้ และผัก<sup>[19]</sup>

เนื่องจากประเทศไทยมีประชากรประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก มีการผลิตเพื่อบริโภคเองภายในประเทศและมีการส่งออกสินค้าทางการเกษตรเป็นอันดับต้นๆ ของโลก จากข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติที่ทำการสำรวจลักษณะการทำงานของประชากร ปี 2557 ประเทศไทยมีผู้ประกอบอาชีพ 38.07 ล้านคน ผู้ประกอบอาชีพเกษตรกรรม(เกษตรกร) 12.3 ล้านคน (34%) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดของผู้ประกอบอาชีพในประเทศไทย ซึ่งส่งผลให้มีการนำเข้าสินค้าด้านการเกษตรต่างๆจากต่างประเทศจำนวนมาก รวมทั้งปุ๋ยเคมี โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560-2564 ประเทศไทยมีการนำเข้าปุ๋ยเคมีรวมทุกสูตรกว่า 5 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่ากว่าประมาณ 40,000-70,000 ล้านบาท โดยเป็นปุ๋ยธาตุรองและธาตุเสริมกว่า 6 หมื่นตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 600-1,100 ล้านบาท<sup>[20]</sup> การผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากเปลือกหอยจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะช่วยลดการนำเข้าปุ๋ยจากต่างประเทศและให้เกษตรกรได้ใช้ปุ๋ยในราคาที่ถูกลง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำขึ้น เพื่อสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอินทรีย์เชิงเดี่ยว 2 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตท รวมถึงสารประกอบแคลเซียมอินทรีย์เชิงคู่ 1 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท เพื่อลดต้นทุนสารตั้งต้นโดยใช้แหล่งแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยเขอรี่ เปลือกหอยเชลล์และเปลือกหอยตลับ จากนั้นจึงนำมาทดลองผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียมเพื่อหากระบวนการที่ให้ผลผลิตสูงที่สุด ได้สารประกอบที่มีปริมาณแคลเซียมมากที่สุด และมีความสามารถในการละลายสูงที่สุด ซึ่งนอกจากจะทำให้เกษตรกรได้ใช้ปุ๋ยในราคาถูก ยังเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอินทรีย์เชิงเดี่ยว 2 ชนิด ได้แก่ แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตท และสารประกอบแคลเซียมอินทรีย์เชิงคู่ 1 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท จากเปลือกหอย 6 ชนิด ได้แก่ เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกเชอริ เปลือกหอยเซลล์และเปลือกหอยตลับ

2. ตรวจสอบวิเคราะห์สารประกอบแคลเซียมที่เตรียมได้ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ต่างๆ เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบที่สังเคราะห์ได้และศึกษาผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบ

3. ผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษากรรมวิธีการผลิตสารประกอบแคลเซียมอินทรีย์เชิงเดี่ยว 2 ชนิด ได้แก่ แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมแลคเตท และสารประกอบแคลเซียมอินทรีย์เชิงคู่ 1 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท จากเปลือกหอย 6 ชนิด เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกเชอริ เปลือกหอยเซลล์และเปลือกหอยตลับ โดยใช้ความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ 6M 8M และ 10M และใช้ความเข้มข้นของกรดแลคติกที่ 6M 8M และ 10M

2. ตรวจสอบวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมที่เตรียมได้ทั้งหมด ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ต่างๆ คือ XRF, XRD, FTIR, SEM, TGA และ Solubility

3. ทดลองผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทที่เตรียมได้โดยใช้เปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด รวมถึงคำนวณต้นทุนสารเคมีที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากตัวอย่างแต่ละตัวอย่าง

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้กระบวนการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียม จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกเชอริ เปลือกหอยเซลล์และเปลือกหอยตลับ

2. ได้กระบวนการผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียมเพื่อช่วยลดการนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศ และลดค่าใช้จ่ายแก่เกษตรกร

3. ลดปริมาณขยะจากเปลือกหอยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เปลือกหอย (Shells)

คือโครงสร้างแข็งภายนอกร่างกายของพวกสัตว์ในไฟลัมมอลลัสคา(Mollusca) เรียกโดยทั่วไปว่า มอลลัสก์ (mollusk) เช่น หอยกาบคู่ (clams) หอยกาบเดี่ยว (snail) หอยงาช้าง (tusk shell) ซึ่งปัจจุบันพบสัตว์ในไฟลัมนี้มากกว่า 150,000 สปีชีส์ โดยมีองค์ประกอบหลักคือแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ซึ่งพบในรูปโครงสร้างที่ต่างกันไม่ว่าจะเป็นอะราโกไนต์(aragonite) และแคลไซต์(calcite)

#### 2.1.1 เปลือกหอยแครง (Cockle shells)

หอยแครงมีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า cockle ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Anadara granosa* เป็นหอยสองฝาลักษณะค่อนข้างกลม เปลือกหนา ส่วนใหญ่จะอาศัยอยู่ตามบริเวณชายฝั่งทะเลที่เป็นหาดโคลนและเลน สีของเปลือกชั้นนอกไม่แน่นอน อาจจะมีสีขาวหรือสีแดงปนดำหรือสีแดงปนน้ำตาล มีความยาวประมาณ 6-7 เซนติเมตร

เปลือกหอยแครง แบ่งเป็น 3 ชั้น ได้แก่

1. ชั้นนอกสุด (periostracum layer) ชั้นนี้ประกอบด้วยสารหลัก คือโปรตีนประเภทคอนไคโอลิน ที่ทำให้เปลือกด้านนอกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำ ซึ่งเป็นชั้นบางๆ และหลุดได้ง่าย
2. ชั้นกลาง (prismatic layer) เป็นชั้นที่ประกอบด้วยผลึกของแคลเซียมที่อยู่ในรูปผลึกแคลไซต์ (calcite) เป็นส่วนมาก ร่วมกับสารประกอบอื่นๆ ชั้นนี้จะหนา และแข็งมากที่สุด
3. ชั้นในสุด/ชั้นนุก (nacreous layer) เป็นชั้นที่ประกอบด้วยผลึกของแคลเซียมในรูปผลึกอะราโกไนต์ (aragonite) มีสีขาวขุ่น เรียงตัวเป็นระเบียบ และเป็นมันวาว

Wongsaenmai S. ได้ทำการศึกษองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแครง พบว่าประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปผลึกอะราโกไนต์ถึง 98.10% และเมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 950 °C จะเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบแคลเซียมออกไซด์ทั้งหมด จากนั้นเมื่อทดสอบการดูดซับแคลเซียมออกไซด์พบว่าสารประกอบที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิ 700 °C สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีที่สุด<sup>[21]</sup>



รูปที่ 2.1 เปลือกหอยแครง (Cockle shells)

ที่มา : <https://pixabay.com/th/photos/หอยแครง-เปลือก-หอย-อาหารทะเล-3812939>

### 2.1.2 เปลือกหอยตลับ (Clam shells)

หอยตลับมีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า clam ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Meretrix meretrix* เปลือกหอยตลับมีรูปร่างคล้ายรูปไข่ ซึ่งมีหลายชนิด เช่น หอยตลับลาย เปลือกเป็นลายละเอียดสีเหลืองบนพื้นขาว หอยตลับเหลือง เปลือกสีน้ำตาลแดง มีลายเป็นเส้นขนานกับขอบเปลือก หอยตลับเปลือกจะหนา ผิวเปลือกเป็นมันเงาสวยงาม มีสีและลวดลายต่างๆ กัน ตั้งแต่สีขาวเรียบ สีครีมลายสีน้ำตาลอ่อน ไปจนถึงสีน้ำตาลเข้ม เป็นหอยฝาคู่พบมากตามหาดทรายโดยจะฝังตัวในแนวระดับน้ำลด สามารถพบทั้งชายฝั่งอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามัน

Chitakala R. และคณะ ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยตลับ และพบว่าประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต 98.82% โดยอยู่ในรูปผลึกอะราโกไนท์ 92.67% และแคลไซต์ 6.15%<sup>[3]</sup>



รูปที่ 2.2 เปลือกหอยตลับ (Clam shells)

ที่มา : <http://www.lamae.chumphon.mju.ac.th/animalDetail.aspx?animalID=9>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 เปลือกหอยเซอรี (Golden apple snail shells)

หอยเซอรีมีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Golden apple snail ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Pomacea canaliculata* เดิมเป็นหอยน้ำจืดที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำทวีปอเมริกาใต้ ในประเทศไทยนำเข้ามารั้งแรกจากประเทศญี่ปุ่นและไต้หวัน ซึ่งนิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายราวก่อนปี พ.ศ. 2530 ต่อมาได้มีผู้คิดจะเลี้ยงเพาะขยายพันธุ์เป็นสัตว์เศรษฐกิจเพื่อการบริโภค แต่ทว่าไม่ได้รับความนิยมนิจงปล่อยให้แหล่งน้ำธรรมชาติ จนกลายเป็นปัญหาชนิดพันธุ์ต่างถิ่นในปัจจุบันเปลือกหอยเซอรีมีลักษณะวงรี สีเหลืองอมน้ำตาลหรือสีเขียวเข้มปนดำ และมีสีดำจาง ๆ พาดตามความยาว

Seesanong S. และคณะ ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยเซอรี พบว่าผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมจากหอยเซอรีนั้นประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตถึง 97% ในรูปผลึกอะราโกไนท์ และสามารถนำมาเตรียมเป็นสารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตได้โดยใช้กระบวนการผลิตที่ง่าย รวดเร็ว และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม<sup>[22]</sup>



รูปที่ 2.3 เปลือกหอยเซอรี (Golden apple snail shells)

ที่มา : <https://mgronline.com/local/detail/9650000026185>

### 2.1.4 เปลือกหอยแมลงภู (Mussel shells)

หอยแมลงภูมีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Mussel ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Perna viridis* เป็นหอยสองฝา สีของเปลือกเปลี่ยนไปตามสภาพการอยู่อาศัย กล่าวคือ ถ้าอยู่ใต้น้ำตลอดเวลาจะมีสีเขียวอมดำ ถ้าอยู่บริเวณน้ำขึ้นน้ำลง ถูกแดดบ้างเปลือกจะออกเหลือง เปลือกด้านนอกมีสีเขียว ขนาดของเปลือกหอยมีความยาวตั้งแต่ 4-20 เซนติเมตร เป็นหอยที่กระจายพันธุ์ทั่วไปในทะเลแถบอินโดแปซิฟิก

Chilakala R. และคณะ ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแมลงภู และพบว่าประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต 96.82% โดยอยู่ในรูปผลึกอะราโกไนท์ 24.78% และแคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซท์ 72.04% ซึ่งทำให้เป็นสารตั้งต้นที่เหมาะสมสำหรับนำมาสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมที่มีความบริสุทธิ์สูงโดยใช้ต้นทุนต่ำ<sup>[3]</sup>



รูปที่ 2.4 เปลือกหอยแมลงภู (Mussel shells)

ที่มา : <https://stock.adobe.com/ee/search?k=mussel+shell>

### 2.1.5 เปลือกหอยนางรม (Oyster shells)

หอยนางรมมีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Oyster ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Crassostrea belcheri* เป็นหอยทะเลกาบสอง 2 ฝา มีกาบหนาแข็ง ซึ่งฝาทั้งสองมีขนาดไม่เท่ากัน บางชนิดมีสีน้ำตาล หรือสีเทา กาบบนจะใหญ่และแบนกว่าก่าบล่าง ส่วนก่าบล่างที่มีลักษณะโค้งเว้านี้ จะเป็นส่วนที่มีตัวหอยติดอยู่ ด้านที่มีเนื้อฝังอยู่จะเว้าลึกลงไปคล้ายรูปถ้วย หรือจาน และยึดติดกับวัตถุแข็ง เช่น ก้อนหิน ไม้หลัก หรือเปลือกหอยที่จมอยู่ในทะเล ส่วนฝาปิดอีกด้านหนึ่งแบนบาง ขนาดความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร โดยเมื่อ Chilakala R. และคณะได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยนางรมพบว่าประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต 95.37% โดยอยู่ในรูปผลึกอะราโกไนท์ 2.71% และแคลไซต์ 92.66%<sup>[3]</sup>

Yao X. L. และคณะได้ศึกษาการนำเปลือกหอยนางรมมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย พบว่าสามารถบำบัด ammonia nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) ได้ถึง 93.7% และลดปริมาณ chemical oxygen demand (COD) ได้ถึง 85.1% เมื่อ hydraulic retention time (HRT) สูงกว่า 4 ชั่วโมง บำบัด total phosphorus (TP) ได้ถึง 90.6% ที่  $\text{pH}=10$ <sup>[23]</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 เปลือกหอยนางรม (Oyster shells)

ที่มา : <https://www.discovermagazine.com/technology/oyster-shells-inspire-scientists-to-create-glass-thats-much-harder-to>

### 2.1.6 เปลือกหอยเชลล์ (Scallop shells)

หอยเชลล์มีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Scallop จัดอยู่ในวงศ์ *Pectinidae* พบได้ทุกมหาสมุทรของโลก หอยเชลล์จำนวนมากเป็นแหล่งอาหารราคาสูง หอยเชลล์มีฝาปิดกล่อมเนื้ออยู่ตรงกลาง ข้างในเปลือกของหอยมีแผลเป็นกลางอันเป็นลักษณะเฉพาะ เป็นจุดยึดสำหรับกล้ามเนื้อ เปลือกมีสีสว่าง รูปทรงคล้ายพัด พร้อมกับแบริ่งเว้าแผ่ออกจากศูนย์กลาง

Chilakala R. และคณะได้ศึกษาการเตรียมแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคนาโน โดยจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยเชลล์ และพบว่าประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต 97.41% โดยอยู่ในรูปผลึกอะราโกไนท์ 3.24% และแคลไซต์ 94.17% และเมื่อนำมาให้ความร้อนเป็นแคลเซียมออกไซด์และทำการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปจะได้สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคนาโนในรูปผลึกอะราโกไนท์ทั้งหมด<sup>[3]</sup>



รูปที่ 2.6 เปลือกหอยนางรม (Oyster shells)

ที่มา : <https://www.amazon.co.uk/Scallop-Shells-Extra-10-13cm-Scallops/dp/B01LZS1QBW>

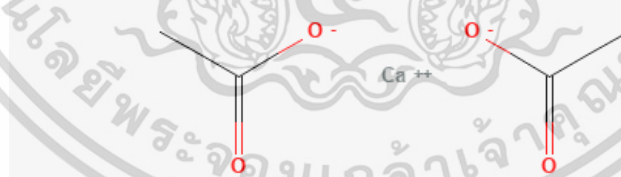
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การสังเคราะห์สารประกอบ

### 2.2.1 แคลเซียมอะซิเตท (Calcium acetate)

แคลเซียมอะซิเตท คือ สารประกอบทางเคมีที่เป็นเกลือของกรดอะซิติก มีสูตรเคมี คือ  $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  เรียกอีกชื่อว่า calcium ethanoate ปกติจะพบในรูปโมโนไฮเดรท  $(\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$  ส่วนรูปแอนไฮไดรสนั้นพบน้อยมาก

จากงานวิจัยของ Yu May และคณะได้ทำการศึกษาการเตรียมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด และไข่ห่าน โดยนำเปลือกไข่ทั้ง 3 ชนิดมาทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติก 5% จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกไข่และสารประกอบที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมดพบว่าเปลือกไข่ทั้ง 3 ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปผลึกแคลไซต์ จากนั้นเมื่อนำสังเคราะห์เป็นแคลเซียมอะซิเตทพบว่าปริมาณแคลเซียมในเปลือกไข่สัมพันธ์กับร้อยละผลผลิตที่เพิ่มขึ้น โดยแคลเซียมอะซิเตทสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนต กับสารละลายกรดอะซิติก<sup>[24]</sup> ตามปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



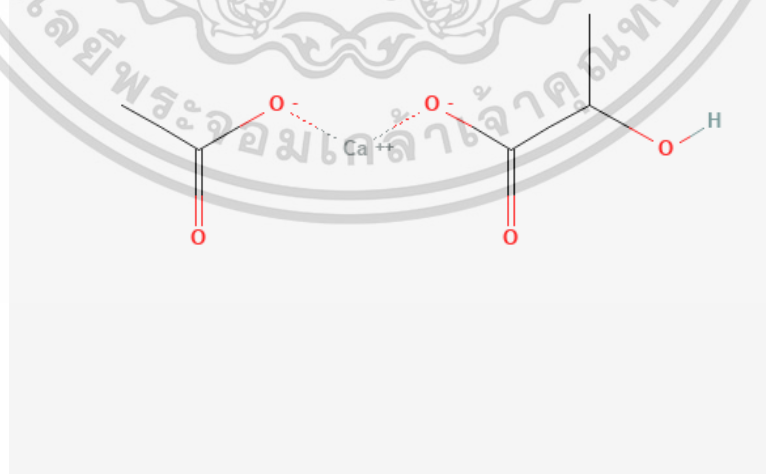
รูปที่ 2.7 โมเลกุล Calcium acetate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2 แคลเซียมแลคเตท (Calcium Lactate)

แคลเซียมแลคเตท คือ สารประกอบทางเคมีที่เป็นเกลือของกรดแลคติก มีสูตรเคมีคือ  $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{CHOHCOO})_2$  ปกติจะพบในรูปแบบไฮเดรตต่างๆ โดยที่พบมากที่สุดคือ  $(\text{Ca}(\text{CH}_3\text{CHOHCOO})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$  โดยปกติมักใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและการแพทย์

Yu Wang และคณะทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมแลคเตท ขนาดอนุภาคนาโนโดยการตกตะกอนทางเคมี เพื่อเพิ่มผลผลิตและความบริสุทธิ์ของสารตัวอย่างโดยใช้อัตราส่วน กรดแลคติก:แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็น 1.35:1 โดยใช้  $\text{Ca}(\text{OH})_2$   $0.46 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  และกรดแลคติก  $6 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา  $50^\circ\text{C}$  เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 30 นาที ความเร็วในการผสม 50 รอบต่อนาที โดยเติมแอลกอฮอล์ในปริมาตรต่อสารผสมทั้งหมดเป็น 1:1 ซึ่งทำให้เกิดสารประกอบแคลเซียมแลคเตทโดยมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิต 85% และมีความบริสุทธิ์ 98% ซึ่งสูงกว่างานวิจัยที่มีมาก่อนหน้า และภาพจากเครื่อง TEM แสดงให้เห็นว่าอนุภาคสารประกอบที่ได้มีขนาดประมาณ 100 นาโนเมตร โดยสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนต กับสารละลายกรดแลคติก<sup>[25]</sup> ตามปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

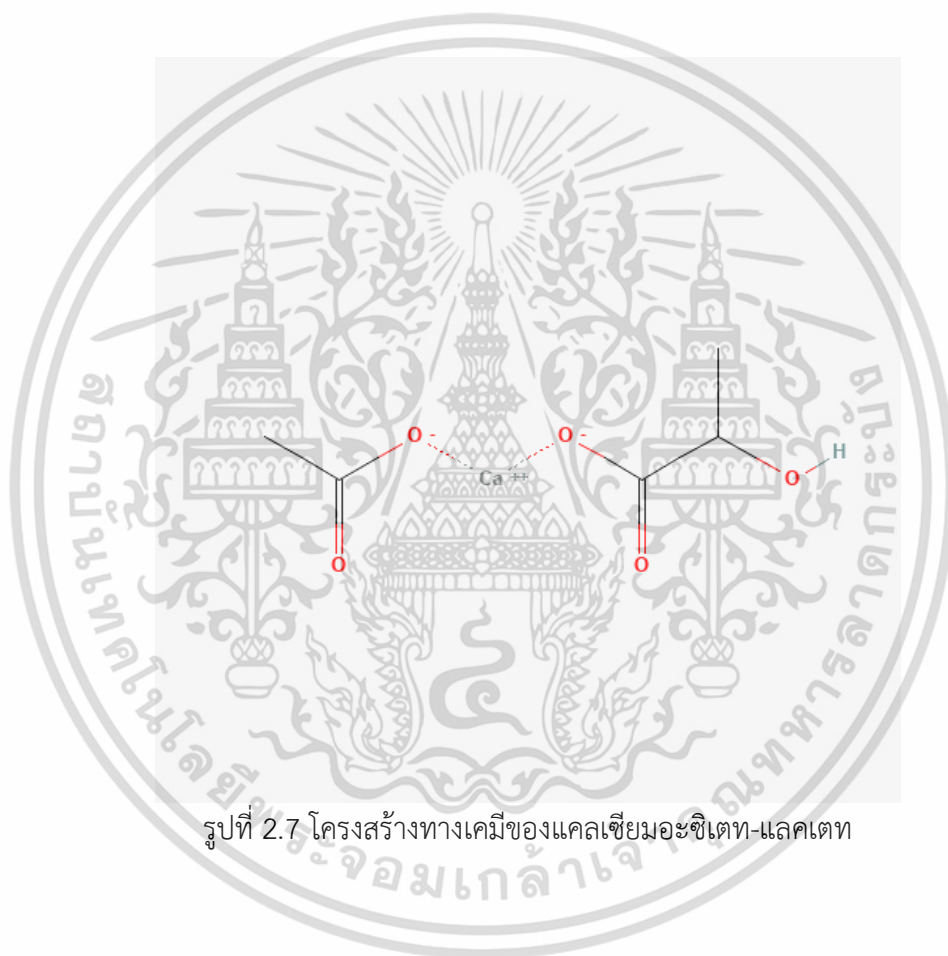
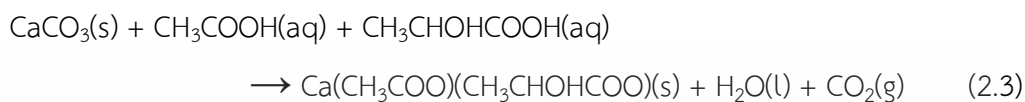


รูปที่ 2.8 โมเลกุล Calcium Lactate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1 แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท (Calcium acetate-lactate)

แคลเซียมอะซิเตท คือ สารประกอบทางเคมีที่เป็นเกลือของกรดอะซิติกกับกรดแลคติก มีสูตรเคมี คือ  $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})(\text{CH}_3\text{CHOHCOO})$  โดยเป็นสารประกอบแคลเซียมเชิงคู่ที่มีการจับกับอะซิเตทไอออน ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) และแลคเตทไอออน ( $\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^-$ ) อย่างละ 1 โมเลกุล ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นไปดังปฏิกิริยาที่ (2.3)



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ปุ๋ย

ปุ๋ย หมายถึง สารที่ใส่ลงในดินเพื่อให้ธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตแก่พืช โดยธาตุอาหารที่พืชต้องการประกอบด้วย ธาตุหลัก 3 ชนิด ได้แก่ ไนโตรเจน(N) ฟอสฟอรัส(P) และโพแทสเซียม(K) ซึ่งพืชต้องการในปริมาณมากเมื่อเทียบกับธาตุอื่นๆ และในดินมักมีไม่เพียงพอต่อการเพาะปลูก จึงมีความจำเป็นต้องเพิ่มเติมธาตุเหล่านี้โดยการให้ปุ๋ย นอกจากนี้ยังมีธาตุรอง 3 ชนิด แคลเซียม(Ca) แมกนีเซียม(Mg) และกำมะถัน(S) และธาตุเสริม ได้แก่ เหล็ก(Fe) แมงกานีส(Mn) โบรอน(B) โมลิบดีนัม(Mo) ทองแดง(Cu) สังกะสี(Zn) คลอรีน(Cl) และนิกเกิล(Ni)

### 2.4.1 การนำเข้าปุ๋ย

ประเทศไทยมีลักษณะภูมิศาสตร์ที่ความเหมาะสมในการทำเกษตรกรรม มีประชากรประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก มีการผลิตเพื่อบริโภคเองภายในประเทศและมีการส่งออกสินค้าทางการเกษตรเป็นอันดับต้นๆ ของโลก จากข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติที่ทำการสำรวจลักษณะการทำงานของประชากร ปี 2557 ประเทศไทยมีผู้ประกอบอาชีพ 38.07 ล้านคน ผู้ประกอบอาชีพเกษตรกรรม(เกษตรกร) 12.3 ล้านคน (34%) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดของผู้ประกอบอาชีพในประเทศไทย ซึ่งส่งผลให้มีการนำเข้าสินค้าด้านการเกษตรต่างๆจากต่างประเทศจำนวนมาก รวมทั้งปุ๋ยเคมี โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560-2564 ประเทศไทยมีการนำเข้าปุ๋ยเคมีรวมทุกสูตรกว่า 5 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่ากว่าประมาณ 40,000-70,000 ล้านบาท โดยเป็นปุ๋ยธาตุรองและธาตุเสริมกว่า 6 หมื่นตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 600-1,100 ล้านบาท<sup>[20]</sup>

ตารางที่ 2.1 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีของประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ.2560-2564

ปี	ปุ๋ยธาตุรองและธาตุเสริม		รวมทั้งหมด	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2560	63,676	896	5,813,694	57,684
2561	61,373	870	5,619,658	58,603
2562	42,070	671	5,022,101	50,970
2563	84,860	969	5,141,068	46,342
2564	96,265	1,106	5,520,883	70,102

ที่มา : ข้อมูลนำเข้าปุ๋ยเคมี, สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, [https://www.doa.go.th/ard/?page\\_id=312](https://www.doa.go.th/ard/?page_id=312)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 ความสำคัญและประโยชน์ของแคลเซียมต่อพืช

1. พืชใช้แคลเซียมในการแบ่งเซลล์ที่ส่วนของยอดและปลายรากทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี เมื่อส่วนปลายรากแข็งแรงสามารถดูดน้ำและอาหารได้เต็มที่
2. แคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ และทำหน้าที่เชื่อมให้ผนังเซลล์ข้างเคียงประสานกัน ผนังเซลล์จึงมีความแข็งแรง เซลล์จำนวนมากเชื่อมติดกันกลายเป็นเนื้อเยื่อและอวัยวะของพืช ทำให้ลำต้นพืชแข็งแรงและช่วยรักษาโครงสร้างของผนังเซลล์
3. แคลเซียมมีบทบาทควบคุมให้รากพืชเจริญเติบโตมีทิศทางการงอขึ้นด้านกรเจริญเติบโตของเซลล์ (gravity) ของโลก และส่งเสริมการทำหน้าที่ของออกซินด้านการเจริญเติบโตของเซลล์
4. แคลเซียมควบคุมการดูดน้ำของเซลล์พืช โดยปรับความเข้มข้นขององค์ประกอบในแนวคิวโอลลของเซลล์ให้พอเหมาะ เอื้อต่อการดูดน้ำเข้ามาใช้ประโยชน์ นอกจากนี้แคลเซียมยังมีบทบาททางอ้อมในการควบคุมการเปิดและปิดปากใบ
5. แคลเซียมไอออนเป็นตัวนำรหัสที่สองในการส่งข่าวสารให้ระบบส่วนกลางทราบภาวะของสิ่งแวดล้อมภายนอกซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ เช่น อุณหภูมิ แสง ความแห้งแล้ง ความเค็มและการเข้าทำลายของเชื้อโรค รวมทั้งกระตุ้นให้พืชป้องกันอันตรายจากสิ่งเหล่านั้นอย่างเหมาะสม นอกจากนี้แคลเซียมยังช่วยเพิ่มความต้านโรคพืชและซ่อมแซมบาดแผลที่เกิดขึ้น
6. แคลเซียมมีบทบาทต่อการเกิดดอกและผล แคลเซียมส่งเสริมให้มีการปฏิสนธิในดอก หลังจากการถ่ายเรณูโดยเหนียวน้ำให้หลอดเรณูยึดตัว เพื่อส่งเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ไปจนถึงรังไข่ ทำให้เกิดการปฏิสนธิกับเซลล์ไข่ในอวุล จึงมีการพัฒนาผลและเมล็ด
7. แคลเซียมช่วยเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และน้ำตาล มาสะสมที่ผล ระหว่างการเจริญเติบโตของผล ทำให้ผลเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์และลดปัญหาการหลุดร่วงของผลได้
8. แคลเซียมกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสในเมล็ดซึ่งทำหน้าที่ย่อยแป้งอันเป็นอาหารสะสมในเอนโดสเปิร์มให้เป็นน้ำตาลโมลกุลเล็ก เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในการงอกของเมล็ดและเป็นโครงสร้างคาร์บอนสำหรับสังเคราะห์สารอินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 2.9 ปุ๋ยน้ำแคลเซียมที่ขายตามท้องตลาด

ที่มา : <https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/fertiliser/micronutrient/yaravita-stopit>  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการวิจัย

ในบทนี้จะเป็นการเตรียมสารประกอบเชิงเดี่ยวแคลเซียมแลคเตท แคลเซียมอะซิเตท และสารประกอบเชิงคู่แคลเซียมอะซิเตท-แคลเซียมแลคเตท รวมถึงวิธีการนำไปเคราะห์สมบัติทางการภาพและทางเคมี

#### 3.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง

##### 3.1.1 สารเคมี

1. ผงแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอย 6 ชนิด ได้แก่ เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยเชลล์และเปลือกหอยตลับ
2. กรดอะซิติก 99.85% w/w
3. กรดแลคติก 88% w/w
4. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water or DI)

##### 3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์

1. บีกเกอร์ 600 ml.
2. แท่งแก้วคนสาร
3. ชุดปั่นกวนด้วยแม่เหล็ก
4. เครื่องชั่งสารเคมีความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. กระจกตวง
6. ตะแกรงร่อนขนาด 50 Mesh (Sieve No.50)
7. เครื่องบด (Pulverizer)

##### 3.1.2 เครื่องมือวิเคราะห์

- 1) Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR), Spectrum GX, Perkin-Elmer
- 2) Thermogravimetric/differential thermal analyzer (TG-DTA), Pyris Diamond TG/DTA, Perkin Elmer apparatus และ Alumina pan
- 3) X-ray powder diffractometer (XRD), Bruker AXS, D8 Advance, Germany
- 4) X-ray fluorescence (XRF), Rigaku super mini 200
- 5) Scanning electron microscope (SEM), LEO SEM VPI450

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 3.2.1 การเตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

1. ชั่งผงเปลือกหอยนางรม 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 600 มิลลิลิตร จำนวน 3 บีกเกอร์
2. เติมกรดอะซิติก 8 M 10 M และ 12 M ปริมาตรดังตารางที่ 3.1 ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ เมื่อเกิดฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ปั่นกวนจนกระทั่งฟองก๊าซหมด
3. นำไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 50 °C จนน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักที่ได้
4. นำตัวอย่างที่ได้ไปบดให้เป็นผง เก็บใส่ซองกันความชื้นเพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ต่อไป
5. ทำการทดลองข้อ 1-3 อีกครั้งโดยใช้ผงเปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกเซอรี เปลือกหอยเชลล์และเปลือกหอยตลับ
6. นำสารตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์สมบัติ ด้วยเทคนิค XRF, XRD, FTIR, TGA และ SEM

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตท

Calcium carbonate (CaCO <sub>3</sub> )		Acetic acid (CH <sub>3</sub> COOH)		
mol	g	M	mol	mL
0.1	10	8	0.2	25
0.1	10	10	0.2	20
0.1	10	12	0.2	17

#### 3.2.2 การเตรียมสารประกอบแคลเซียมแลคเตท จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

1. ชั่งผงเปลือกหอยนางรม 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 600 มิลลิลิตร จำนวน 3 บีกเกอร์
2. เติมกรดแลคติก 6 M 8 M และ 10 M ปริมาตรดังตารางที่ 3.2 ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ เมื่อเกิดฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ปั่นกวนจนกระทั่งฟองก๊าซหมด
3. นำไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 50 °C จนน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักที่ได้
4. นำตัวอย่างที่ได้ไปบดให้เป็นผง เก็บใส่ซองกันความชื้นเพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ต่อไป
5. ทำการทดลองข้อ 1-3 อีกครั้งโดยใช้ผงเปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกเซอรี เปลือกหอยเชลล์และเปลือกหอยตลับ
6. นำสารตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์สมบัติ ด้วยเทคนิค XRF, XRD, FTIR, TGA และ SEM

ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์แคลเซียมแลคเตท

Calcium carbonate (CaCO <sub>3</sub> )		Lactic acid (CH <sub>3</sub> CHOHCOOH)		
mol	g	M	mol	mL
0.1	10	6	0.2	33
0.1	10	8	0.2	25
0.1	10	10	0.2	20

### 3.2.3 การเตรียมสารประกอบเชิงคู่แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

เมื่อนำตัวอย่าง Calcium acetate และ Calcium lactate จาก 3.2.1 และ 3.2.2 ไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ แล้วจึงนำความเข้มข้นที่ดีที่สุดที่ใช้ในการสังเคราะห์ Calcium acetate และ Calcium lactate ซึ่งเป็นไปดังตารางที่ 3.3 มาใช้สังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท ด้วยวิธีการดังนี้

1. ชั่งผงเปลือกหอยแต่ละชนิด 10.00 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 600 มิลลิลิตร ชนิดละ 1 ใบ
2. เทกรดอะซิติกโดยใช้ความเข้มข้นและปริมาตรดังตารางที่ 3.3 ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ ปั่นจนจนกระทั่งไม่มีฟองก๊าซเกิดขึ้น
3. เติมกรดแลคติกโดยใช้ความเข้มข้นและปริมาตรดังตารางที่ 3.3 ลงในบีกเกอร์แต่ละใบและปั่นจนจนกระทั่งฟองก๊าซหมด นำไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 50 °C จนน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักที่ได้
6. บดตัวอย่างและกรองด้วยตะแกรง 50 เมช จากนั้นนำสารตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF, XRD, FTIR, TGA และ SEM

ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นและปริมาตรของกรดอะซิติกและกรดแลคติก สำหรับเตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท

ชนิดเปลือกหอย	Acetic acid		Lactic acid	
	Conc. (M)	V. (mL)	Conc. (M)	V. (mL)
หอยแครง (Cockle shells)	10	10	6	18
หอยตลับ (Clam shells)	10	10	6	18
หอยเชอร์รี่ (Golden apple snail shells)	10	10	6	18
หอยแมลงภู่ (Mussel shells)	10	10	6	18
หอยนางรม (Oyster shells)	10	10	6	18
หอยเชลล์ (Scallop shells)	12	8	6	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 การวิเคราะห์ร้อยละการละลายของสารประกอบแคลเซียม

1. ชั่งน้ำหนักของแคลเซียมที่เตรียมได้ประมาณ 1 g
2. นำไปละลายในน้ำกลั่น 100 ml
3. เขย่าด้วยความเร็ว 30-40 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำสารละลายกรองผ่านกระดาษกรองวัตแมน (Whatman filter paper) เบอร์ 5
5. นำกระดาษกรองอบไล่ความชื้นจนน้ำหนักของกระดาษกรองคงที่ นำมาทำการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักของกระดาษกรอง

ตารางที่ 3.4 ค่าย่อแทนตัวอย่างสารประกอบที่สังเคราะห์

ค่าย่อ	คำอธิบาย
CK-CA8	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครงที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 8 M
CK-CA10	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครงที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M
CK-CA12	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครงที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 12 M
CL-CA8	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยตลับที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 8 M
CL-CA10	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยตลับที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M
CL-CA12	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยตลับที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 12 M
GA-CA8	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 8 M
GA-CA10	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M
GA-CA12	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 12 M
MS-CA8	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแมลงภู่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 8 M
MS-CA10	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแมลงภู่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M
MS-CA12	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแมลงภู่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 12 M
OC-CA8	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยนางรมที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 8 M
OC-CA10	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยนางรมที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M
OC-CA12	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยนางรมที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 12 M
SC-CA8	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเซลล์ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 8 M
SC-CA10	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเซลล์ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M
SC-CA12	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเซลล์ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 12 M
CK-CL6	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครงที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 6 M
CK-CL8	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครงที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 8 M
CK-CL10	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครงที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 10 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ	คำอธิบาย
CL-CL6	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยตลับที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 6 M
CL-CL8	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยตลับที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 8 M
CL-CL10	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยตลับที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 10 M
GA-CL6	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยเชอร์รี่ที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 6 M
GA-CL8	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยเชอร์รี่ที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 8 M
GA-CL10	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยเชอร์รี่ที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 10 M
MS-CL6	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแมลงภู่ที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 6 M
MS-CL8	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแมลงภู่ที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 8 M
MS-CL10	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแมลงภู่ที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 10 M
OC-CL6	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยนางรมที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 6 M
OC-CL8	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยนางรมที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 8 M
OC-CL10	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยนางรมที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 10 M
SC-CL6	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยเซลล์ที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 6 M
SC-CL8	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยเซลล์ที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 8 M
SC-CL10	แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยเซลล์ที่สังเคราะห์ด้วยแลคติก 10 M
CK-CAL	แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยแครงที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M และกรดแลคติก 6 M
CL-CAL	แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยตลับที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M และกรดแลคติก 6 M
GA-CAL	แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยเชอร์รี่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M และกรดแลคติก 6 M
MS-CAL	แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยแมลงภู่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M และกรดแลคติก 6 M
OS-CAL	แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยนางรมที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M และกรดแลคติก 6 M
SC-CAL	แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยเซลล์ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 12 M และกรดแลคติก 6 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.5 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบ

#### 3.2.5.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันขององค์ประกอบภายในโมเลกุล (Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy)

นำสารตัวอย่างทั้ง 18 ตัวอย่างมาวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพันธะในโมเลกุล โดยมีขั้นตอนดังนี้ นำสารตัวอย่างมาผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) ในอัตราส่วน 1:10 ใส่แม่พิมพ์เพื่อนำไปอัดเป็นแผ่นด้วยเครื่องไฮดรอลิก ที่ไว้ประมาณ 2 นาที จะได้ตัวอย่างลักษณะเป็นแผ่นวงกลมสีขุ่น จากนั้นนำแผ่นตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR โดยกำหนดการวัดค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ในช่วง wave number 4000 ถึง 400  $\text{cm}^{-1}$

#### 3.2.5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (X-ray fluorescence)

นำสารตัวอย่างทั้ง 18 ตัวอย่างมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM/EDX) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในตัวอย่าง วัดโดยใช้ปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง

#### 3.2.5.3 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้าง (X-ray Diffraction)

นำสารตัวอย่างทั้ง 18 ตัวอย่างมาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer โดย Scan method ที่ใช้ คือ Start angle  $^{\circ}10$  องศา และ Stop angle  $^{\circ}60$  องศา

#### 3.2.5.4 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis)

นำสารตัวอย่างทั้ง 18 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA (Thermogravimetric Analysis) โดยใช้สภาวะแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 30-900 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำในโครงสร้างผลึก และกลไกการสลายตัวที่เกิดขึ้น จากน้ำหนักที่หายไปในแต่ละช่วงอุณหภูมิ

#### 3.2.5.5 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา (Scanning Electron Microscopy)

นำสารตัวอย่างทั้ง 18 ตัวอย่างมาวิเคราะห์สัณฐานและตรวจสอบลักษณะผิวภายนอกของตัวอย่าง ตรวจสอบการเรียงตัวของผลึกด้วยระบบการรับสัญญาณเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิง กลับด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

### 3.2.6 การเตรียมสารละลายปุ๋ยน้ำแคลเซียม 5% CaO

1. ชั่งแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท 23.21 กรัม เติมลงในบีกเกอร์ เติมน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 70 มิลลิลิตร
2. ปั่นกวนด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman #5
4. เติมลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออนจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
5. เก็บใส่ขวดเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมที่แน่นอนต่อไป

### 3.2.7 การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่แน่นอนของสารละลายปุ๋ยน้ำแคลเซียม 5% CaO

1. นำสารละลายแคลเซียม 5% มาเจือจาง 10 เท่า จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาเจือจางอีก 10 เท่า และสุดท้ายนำมาเจือจางอีก 5 เท่า เพื่อให้ความเข้มข้นของตัวอย่างทั้ง 6 อยู่ระหว่าง 1-100 ppm
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมความเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 ppm จากสารละลายมาตรฐาน 1,000 ppm สำหรับทำกราฟมาตรฐาน
3. วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในสารละลายมาตรฐานทั้ง 5 ตัวอย่าง แล้วนำไปสร้างกราฟมาตรฐาน ด้วยเครื่อง Flame atomic absorption spectroscopy
4. นำสารละลายแคลเซียมจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด ที่เจือจางแล้วมาวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม
5. คำนวณหาปริมาณแคลเซียมที่แน่นอนโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตท

##### 4.1.1 ผลการสังเคราะห์สารประกอบ

เมื่อหาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด โดยใช้ความเข้มข้นของกรดอะซิติก 8, 10 และ 12 M ได้แล้วนั้น ร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกันในเปลือกหอยแต่ละชนิด เพื่อหาความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแต่ละชนิด ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

สารตัวอย่าง	ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด (นาที)	ร้อยละผลผลิต (%)	ร้อยละการละลาย (%)
CK-CA8	67	87.79	93.79
CK-CA10	32	92.90	99.06
CK-CA12	17	90.84	98.98
CL-CA8	46	86.88	98.26
CL-CA10	30	92.89	98.64
CL-CA12	16	92.25	91.43
GA-CA8	76	91.58	94.24
GA-CA10	48	92.24	96.03
GA-CA12	31	91.69	94.39
MS-CA8	49	85.14	95.10
MS-CA10	43	92.28	95.56
MS-CA12	25	93.41	93.71
OS-CA8	79	88.91	97.30
OS-CA10	52	92.91	97.59
OS-CA12	38	93.40	96.56
SC-CA8	104	83.67	93.32
SC-CA10	65	88.24	93.77
SC-CA12	50	88.58	94.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลึกลับ ร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายของแคลเซียมอะซิเตทถูกแสดงในตารางที่ 4.1 ตัวอย่างที่เตรียมจากเปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ และเปลือกหอยนางรม จะมีร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายสูงสุดที่ตัวอย่างที่ใช้กรดอะซิติกเข้มข้น 10 M ส่วนตัวอย่างที่เตรียมจากเปลือกหอยเชลล์ จะมีร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายสูงสุดที่ตัวอย่างที่ใช้กรดอะซิติกเข้มข้น 12 M ซึ่งร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายของสารประกอบที่เตรียมได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ใช้เพิ่มขึ้นจนสูงสุดที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม จากนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นไปอีก ปฏิกิริยาคายความร้อนที่สูงจะส่งผลให้สารละลายกรดบางส่วนระเหยไปจนร้อยละการละลายและร้อยละผลผลิตจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้า<sup>[26]</sup> จึงได้ข้อสรุปว่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่เหมาะสมจะนำไปใช้เตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ และเปลือกหอยนางรม เพื่อให้ได้ร้อยละผลผลิตและความสามารถในการละลายสูงที่สุดคือ 10 M ส่วนความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่เหมาะสมจะนำไปใช้เตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชลล์คือ 12 M

#### 4.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมอะซิเตทด้วยเทคนิค XRF

องค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดถูกวิเคราะห์โดยเทคนิค X-ray fluorescence ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นไปดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CK-CA8, CK-CA10 และ CK-CA12

Elements	Chemical contents / %		
	CK-CA8	CK-CA10	CK-CA12
CaO	95.1	96.2	94.6
Na <sub>2</sub> O	1.41	0.932	1.69
MgO	0.190	0.138	0.184
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.431	0.342	0.465
SiO <sub>2</sub>	1.06	0.862	1.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0489	0.0403	0.0495
SO <sub>3</sub>	0.170	0.110	0.177
Cl	0.0205	0.0125	0.0184
K <sub>2</sub> O	0.0217	0.0179	0.0223
TiO <sub>2</sub>	0.109	0.109	0.141
MnO	0.0722	0.0451	0.0569
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.926	0.777	1.02
SrO	0.404	0.391	0.403

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CL-CA8, CL-CA10 และ CL-CA12

Elements	Chemical contents / %		
	CL-CA8	CL-CA10	CL-CA12
CaO	96.6	96.4	97.0
Na <sub>2</sub> O	1.34	1.42	0.892
MgO	0.0955	0.102	0.0801
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.202	0.198	0.195
SiO <sub>2</sub>	0.498	0.515	0.515
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0132	0.0131	0.0151
SO <sub>3</sub>	0.220	0.246	0.190
Cl	0.0485	0.0491	0.0334
K <sub>2</sub> O	0.0133	0.0120	0.0143
TiO <sub>2</sub>	-	0.0795	-
MnO	0.0198	-	0.0194
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.468	0.441	0.497
ZnO	0.0077	-	-
Br	0.0151	0.0157	0.0204
SrO	0.507	0.489	0.496

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ GA-CA8, GA-CA10 และ GA-CA12

Elements	Chemical contents / %		
	GA-CA8	GA-CA10	GA-CA12
CaO	95.5	95.6	95.2
Na <sub>2</sub> O	0.638	0.544	0.722
MgO	0.126	0.128	0.135
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.587	0.568	0.620
SiO <sub>2</sub>	1.37	1.37	1.51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.106	0.0968	0.116
SO <sub>3</sub>	0.0779	0.0787	0.0849
Cl	0.0148	0.0162	0.0202
K <sub>2</sub> O	0.0627	0.0650	0.0634
TiO <sub>2</sub>	0.121	0.104	0.109
MnO	0.143	0.142	0.151
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.14	1.14	1.10
ZnO	0.0186	0.0185	0.0176
SrO	0.103	0.107	0.107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ MS-CA8, MS-CA10 และ MS-CA12

Elements	Chemical contents / %		
	MS-CA8	MS-CA10	MS-CA12
CaO	93.3	94.3	93.6
Na <sub>2</sub> O	1.17	1.02	1.16
MgO	0.273	0.214	0.263
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.587	0.478	0.548
SiO <sub>2</sub>	1.57	1.28	1.45
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.155	0.143	0.172
SO <sub>3</sub>	0.501	0.444	0.512
Cl	0.0646	0.0542	0.0561
K <sub>2</sub> O	0.0303	0.0298	0.0295
TiO <sub>2</sub>	0.180	0.101	0.156
MnO	0.0370	0.0266	0.0385
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.39	1.11	1.11
Br	0.0480	0.0317	0.0303
SrO	0.745	0.730	0.731
BaO	-	-	0.144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ OS-CA8, OS-CA10 และ OS-CA12

Elements	Chemical contents / %		
	OS-CA8	OS-CA10	OS-CA12
CaO	89.2	89.2	90.0
Na <sub>2</sub> O	1.36	1.31	1.34
MgO	1.05	0.995	1.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.01	1.03	0.955
SiO <sub>2</sub>	3.84	4.03	3.27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.187	0.180	0.212
SO <sub>3</sub>	1.02	0.971	1.02
Cl	0.617	0.560	0.568
K <sub>2</sub> O	0.169	0.158	0.146
TiO <sub>2</sub>	0.0965	0.105	0.0905
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	0.0317
MnO	0.0723	0.0569	0.0648
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.984	0.979	0.845
CuO	-	0.0114	-
ZnO	0.0101	0.0115	0.0115
Br	0.0145	0.0148	0.0124
SrO	0.419	0.410	0.427

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ SC-CA8, SC-CA10 และ SC-CA12

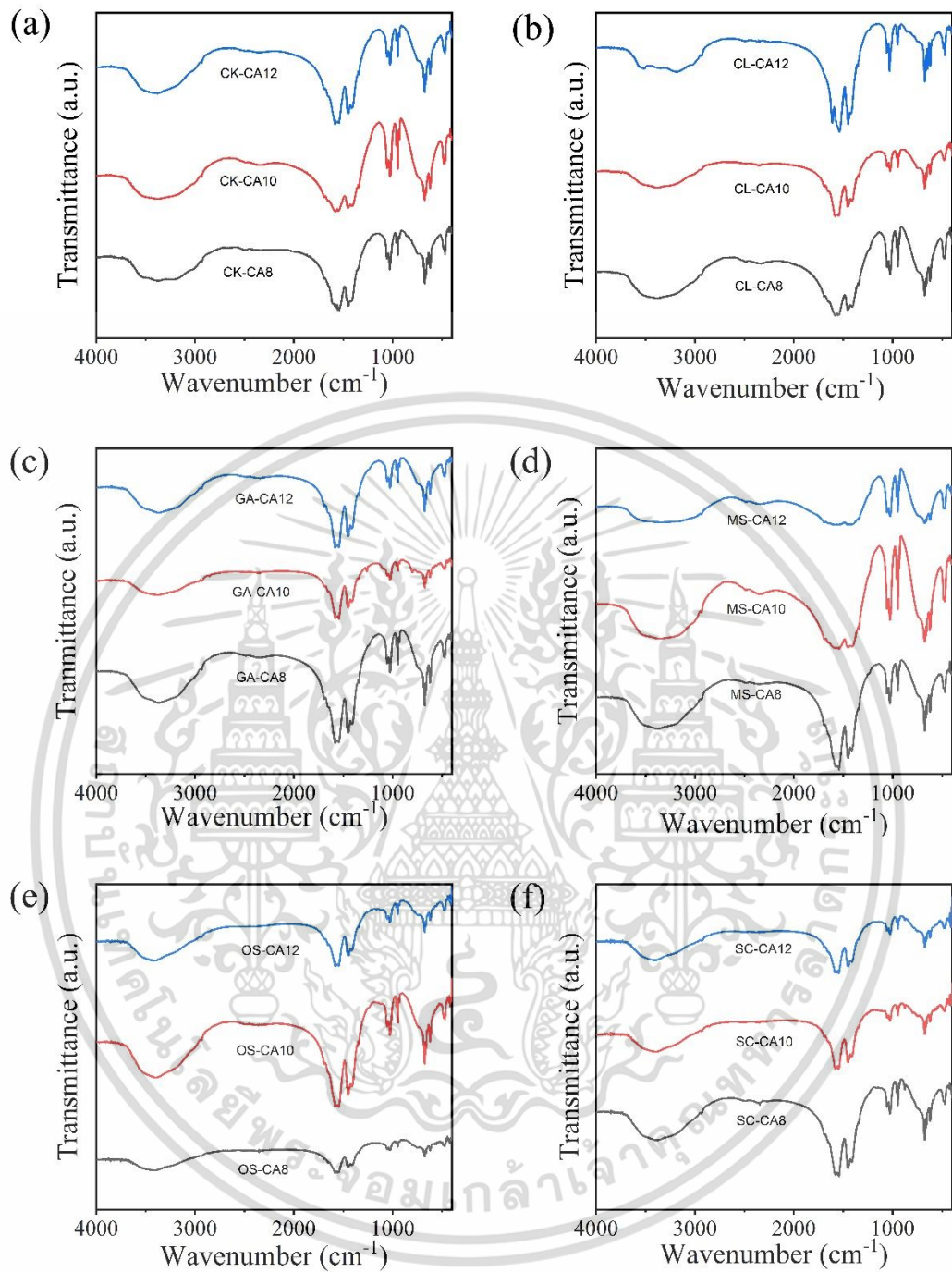
Elements	Chemical contents / %		
	SC-CA8	SC-CA10	SC-CA12
CaO	97.1	96.5	96.6
Na <sub>2</sub> O	0.554	0.721	0.654
MgO	0.354	0.376	0.397
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0414	0.0418	0.0385
SiO <sub>2</sub>	0.122	0.125	0.116
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.140	0.145	0.150
SO <sub>3</sub>	1.30	1.57	1.51
K <sub>2</sub> O	0.0126	0.0140	0.0130
MnO	-	0.0249	0.0232
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0311	0.0345	0.0412
SrO	0.383	0.418	0.415

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดด้วยเทคนิค X-ray fluorescence พบว่ามีองค์ประกอบหลักคือ CaO โดยแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง (ตารางที่ 4.2) เปลือกหอยตลับ (ตารางที่ 4.3) เปลือกหอยเชอรี่ (ตารางที่ 4.4) เปลือกหอยแมลงภู่ (ตารางที่ 4.5) เปลือกหอยนางรม (ตารางที่ 4.6) และเปลือกหอยเชลล์ (ตารางที่ 4.7) จะมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด เมื่อใช้กรดอะซิติกเข้มข้น 10, 12, 10, 10, 12 และ 8 M ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบสารเจือปนอื่นๆหลายชนิดได้แก่ Na<sub>2</sub>O, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>3</sub>, Cl, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO, Br และ SrO โดยไม่พบธาตุที่เป็นอันตรายต่อการใช้ในพืชตามที่ US EPA บัญญัติ (Cr, Cd, Cu, Pb, Hg, Ni, and Se)<sup>[31]</sup> ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมอะซิเตทที่สังเคราะห์ได้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียมสำหรับพืช

#### 4.1.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทด้วยเทคนิค FTIR

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดถูกวิเคราะห์โดยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นไปตามรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบการดูดกลืนอินฟราเรดของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง(a) เปลือกหอยตลับ(b) เปลือกหอยเชอรี่(c) เปลือกหอยแมลงภู่(d) เปลือกหอยนางรม(e)และเปลือกหอยเชลล์(f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงตำแหน่งพีกที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR และรูปแบบการสั่นของหมู่ฟังก์ชันของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

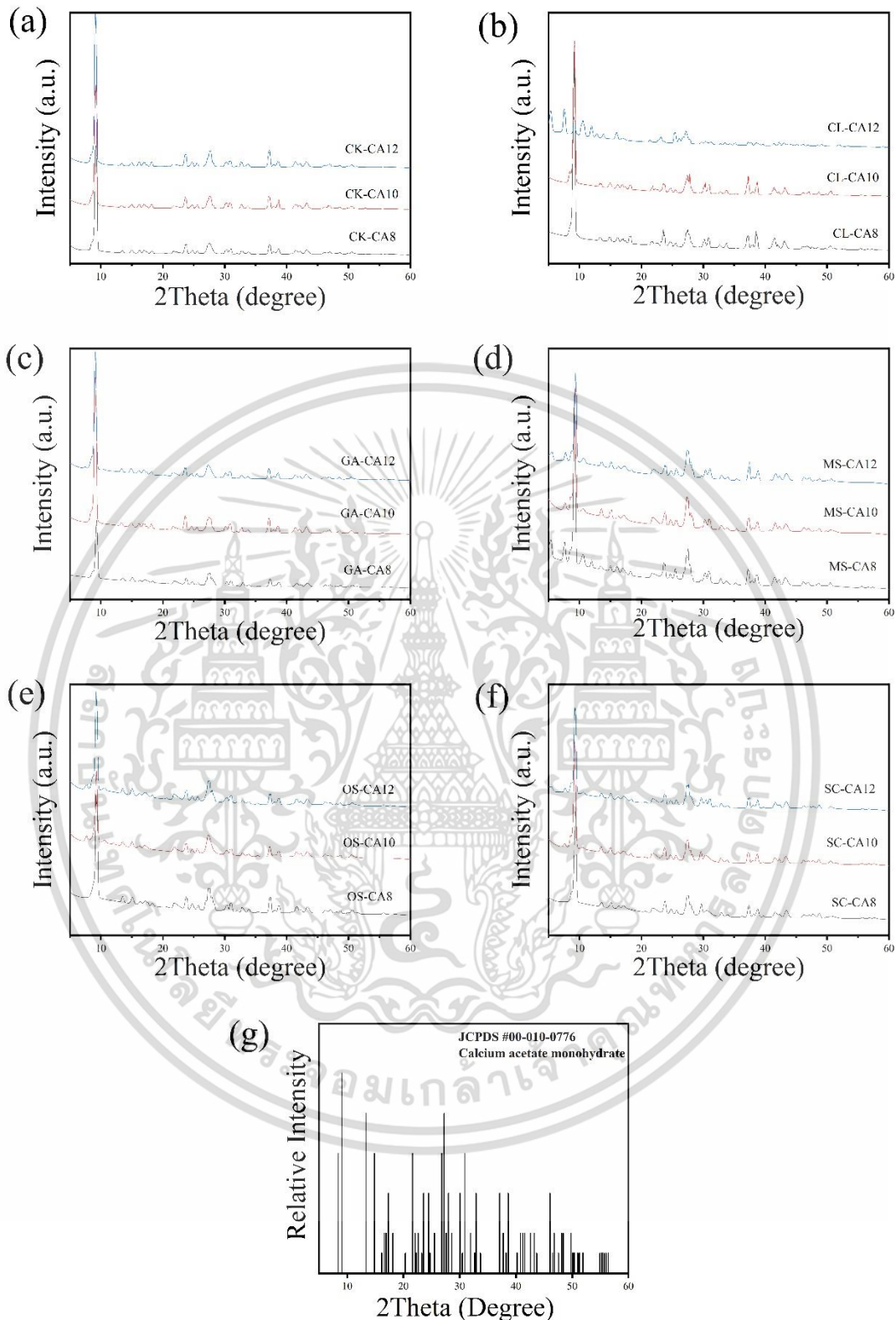
รูปแบบการสั่น	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )
O-H stretching	3384
C-H stretching of CH <sub>3</sub>	2934
C=O stretching of carbonyl group	1687
Asymmetric stretching vibration of C-O	1542
Symmetric stretching vibration of C-O	1450
In plane bending vibration of CH <sub>3</sub>	1056
Symmetric C-C stretching vibration	946
Out of plane stretching of O-C-O group	676
Out of plane bending of O-C-O group	621
Ca-O Stretching	470

จากรูปที่ 4.1 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ Calcium acetate ที่สังเคราะห์จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด โดยใช้กรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 8, 10 และ 12 M ตำแหน่งพีกการสั่นของหมู่ฟังก์ชันทั้งหมดเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบพีกการสั่นแบบ stretching ของหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ที่ตำแหน่งประมาณ 3384 cm<sup>-1</sup> พบพีกการสั่นแบบ stretching และ bending ของพันธะ C-H ที่ตำแหน่ง 2934 และ 1056 cm<sup>-1</sup> พบพีกการสั่นแบบ stretching ของพันธะ C=O ที่ตำแหน่ง 1687 cm<sup>-1</sup> พบพีกการสั่นแบบ stretching ของพันธะ C-O ทั้งแบบอสมมาตรและแบบสมมาตร ที่ตำแหน่ง 1542 และ 1450 cm<sup>-1</sup> ตามลำดับ พบพีกการสั่นแบบ Stretching ของพันธะ C-C ที่ตำแหน่ง 946 cm<sup>-1</sup> พบพีกการสั่นแบบ stretching และ bending ของพันธะ O-C-O ที่ตำแหน่ง 676 และ 621 cm<sup>-1</sup> ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบพีกของ Ca-O ที่ตำแหน่ง 470 cm<sup>-1</sup> ซึ่งพีกที่เกิดขึ้นของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตททั้งหมดที่เตรียมได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้า<sup>[26]</sup> ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าตัวอย่างทั้ง 18 ตัวอย่าง มีส่วนประกอบของแคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรท (Ca(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O)

#### 4.1.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทด้วยเทคนิค XRD

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด ถูกวิเคราะห์โดยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นไปตามรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

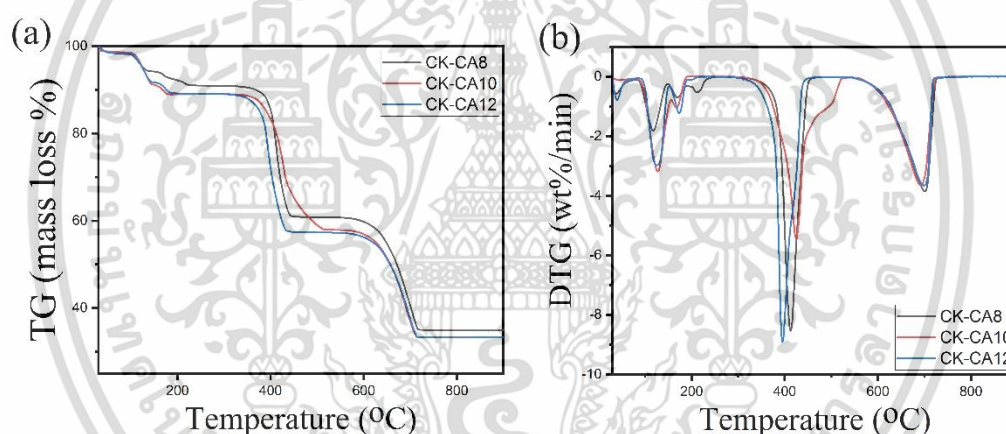


รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง(a) เปลือกหอยตลับ(b) เปลือกหอยเชอรี่(c) เปลือกหอยแมลงภู่(d) เปลือกหอยนางรม(e) เปลือกหอยเชลล์(f) และไฟล์มาตรฐานของ calcium acetate monohydrate (JCPDS #00-010-0776)

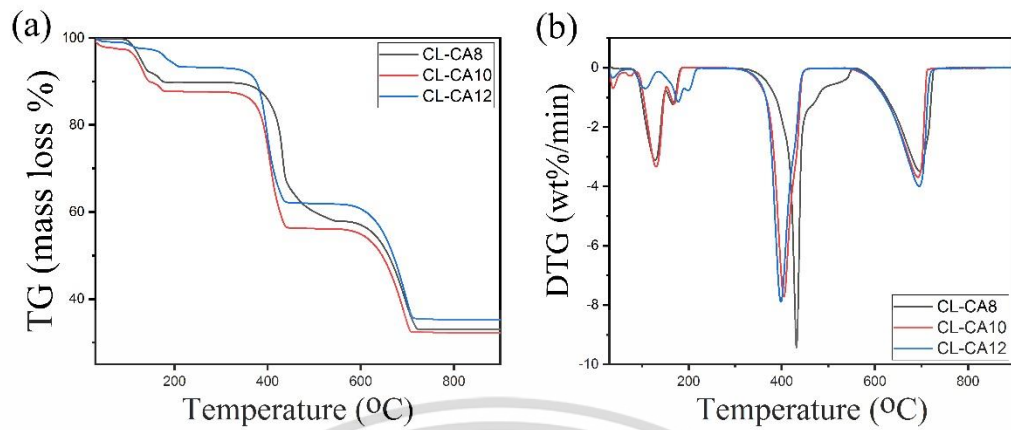
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมอะซิเตทที่สังเคราะห์จากเปลือกหอย ทั้ง 6 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าทั้งตัวอย่างทั้ง 18 ตัวอย่าง เกิดพีคบนตำแหน่ง  $2\theta = 9.28^\circ$ ,  $13.58^\circ$ ,  $15.22^\circ$ ,  $16.32^\circ$ ,  $17.18^\circ$ ,  $21.82^\circ$ ,  $23.88^\circ$ ,  $24.74^\circ$ ,  $25.64^\circ$ ,  $27.36^\circ$ ,  $30.92^\circ$ ,  $32.92^\circ$ ,  $37.38^\circ$ ,  $38.76^\circ$ ,  $41.62^\circ$  และ  $43.34^\circ$  ซึ่งสอดคล้องกับสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรต ( $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) (JCPDS No.00-010-0776) ยกเว้น CL-CA12 ที่พบพีคของแคลเซียมอะซิเตทเฮมิไฮเดรต ( $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ) (JCPDS No.00-019-0199) รวมอยู่ด้วย ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผล FTIR ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทที่สังเคราะห์ได้เป็นแคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรต

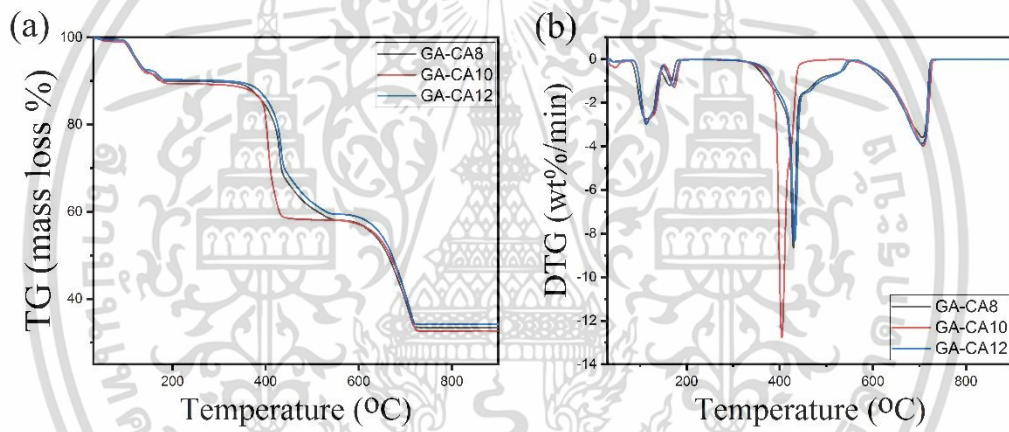
#### 4.1.5 การวิเคราะห์การสลายตัวด้วยความร้อนของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทด้วยเทคนิค TGA



รูปที่ 4.3 TG (a) และ DTG (b) ของ CK-CA8, CK-CA10 และ CK-CA12



รูปที่ 4.4 TG (a) และ DTG (b) ของ CL-CA8, CL-CA10 และ CL-CA12

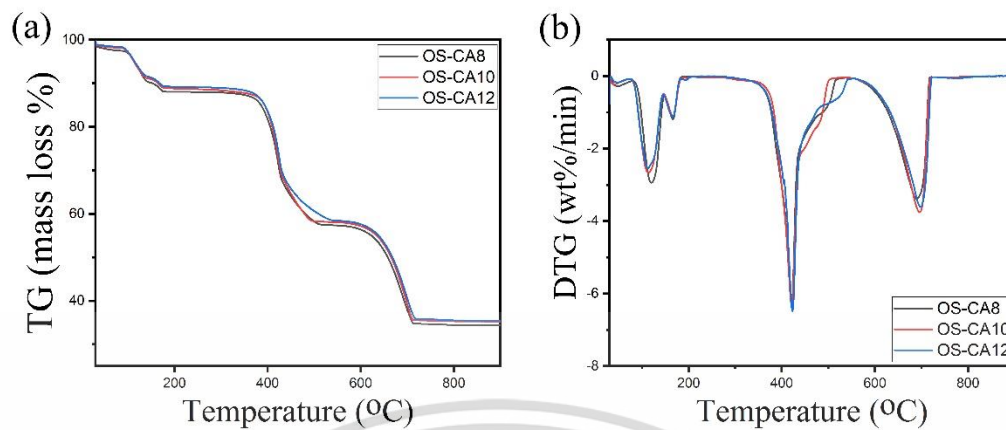


รูปที่ 4.5 TG (a) และ DTG (b) ของ GA-CA8, GA-CA10 และ GA-CA12

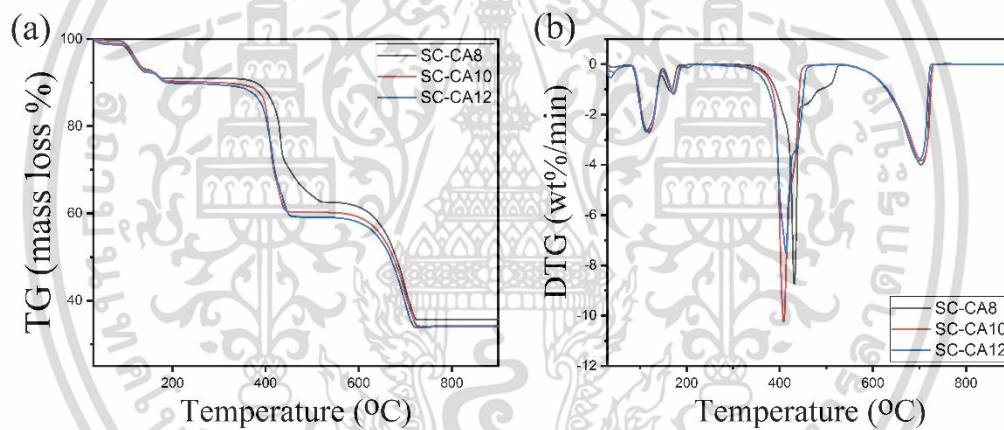


รูปที่ 4.6 TG (a) และ DTG (b) ของ MS-CA8, MS-CA10 และ MS-CA12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 TG (a) และ DTG (b) ของ OS-CA8, OS-CA10 และ OS-CA12



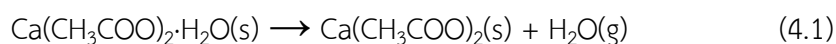
รูปที่ 4.8 TG (a) และ DTG (b) ของ SC-CA8, SC-CA10 และ SC-CA12

การสลายตัวทางความร้อนของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง (รูปที่ 4.3) เปลือกหอยตลับ (รูปที่ 4.4) เปลือกหอยเชอรี่ (รูปที่ 4.5) เปลือกหอยแมลงภู่ (รูปที่ 4.6) เปลือกหอยนางรม (รูปที่ 4.7) และเปลือกหอยเชลล์ (รูปที่ 4.8) เกิดการสลายตัวทางความร้อนขึ้น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกพบว่าการหลุดออกของน้ำในโครงผลึก (Dehydration) ดังปฏิกิริยาที่ 4.1 ที่อุณหภูมิ 30-200 °C สูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 10.00-11.00% ซึ่งใกล้เคียงกับสัดส่วนของน้ำหนัก  $H_2O$  ในแคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรต ส่วนการสลายตัวขั้นที่ 2 นั้นเกิดการสลายตัวของ  $Ca(CH_3COO)_2$  เกิดเป็น  $CaCO_3$  ดังปฏิกิริยาที่ 4.2 ที่อุณหภูมิ 200-470 °C สูญเสียน้ำหนักไป 33.00-35.00% ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำหนักโมเลกุลของ  $CH_3COCH_3$  ต่อน้ำหนักของแคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรต และสุดท้ายการสลายตัวจาก

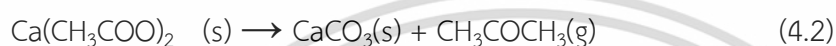
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\text{CaCO}_3$  เป็น  $\text{CaO}$  ดังปฏิกิริยาที่ 4.3 เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 470-720 °C และสูญเสียน้ำหนักไป 21.00-25.00% ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำหนักโมเลกุล  $\text{CO}_2$  ต่อน้ำหนักของแคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรต

กระบวนการ Dehydration (30–200 °C)



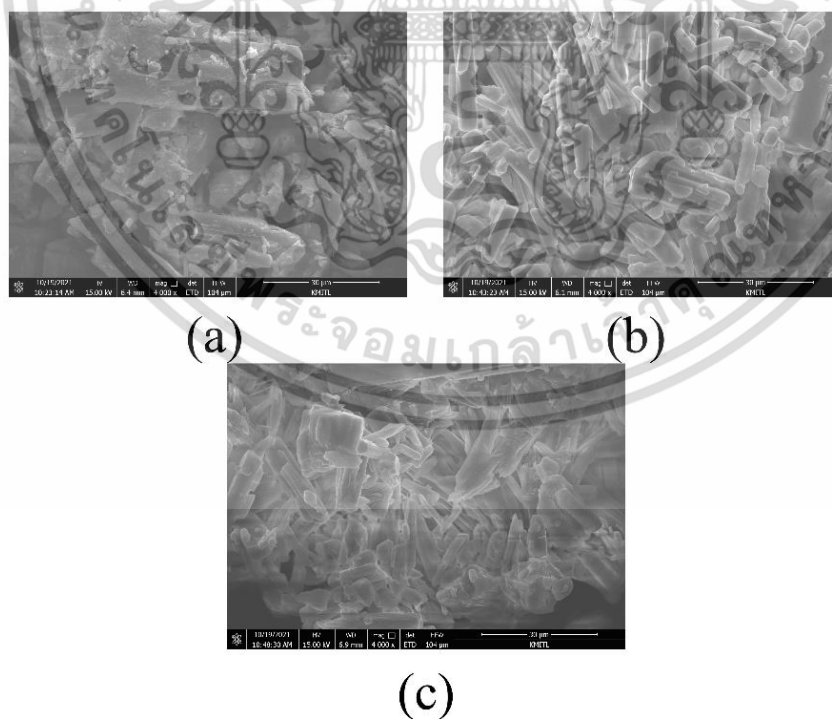
กระบวนการ Deacetonation (200–470 °C)



กระบวนการ Decarbonization (470–720 °C)

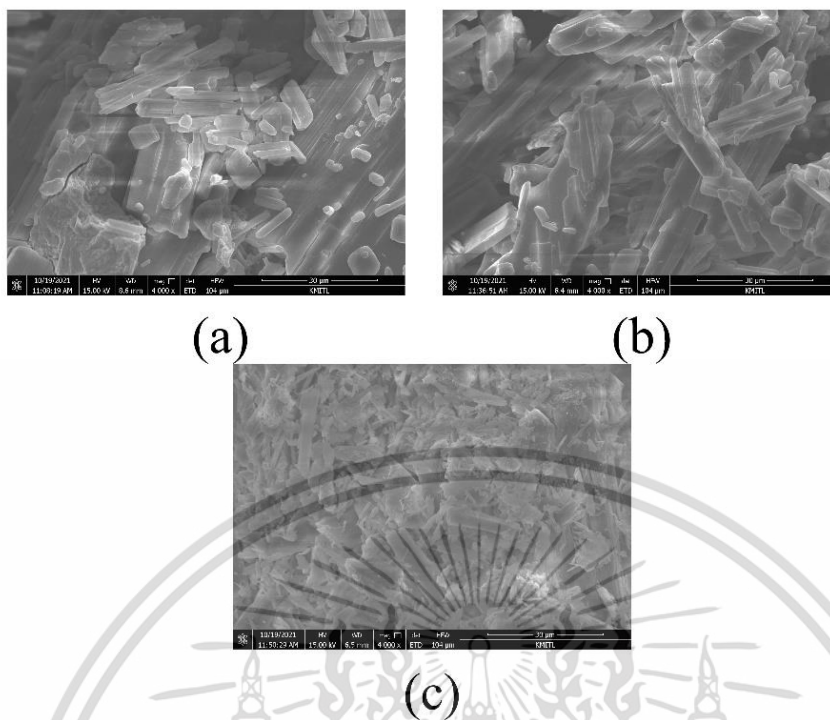


#### 4.1.6 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

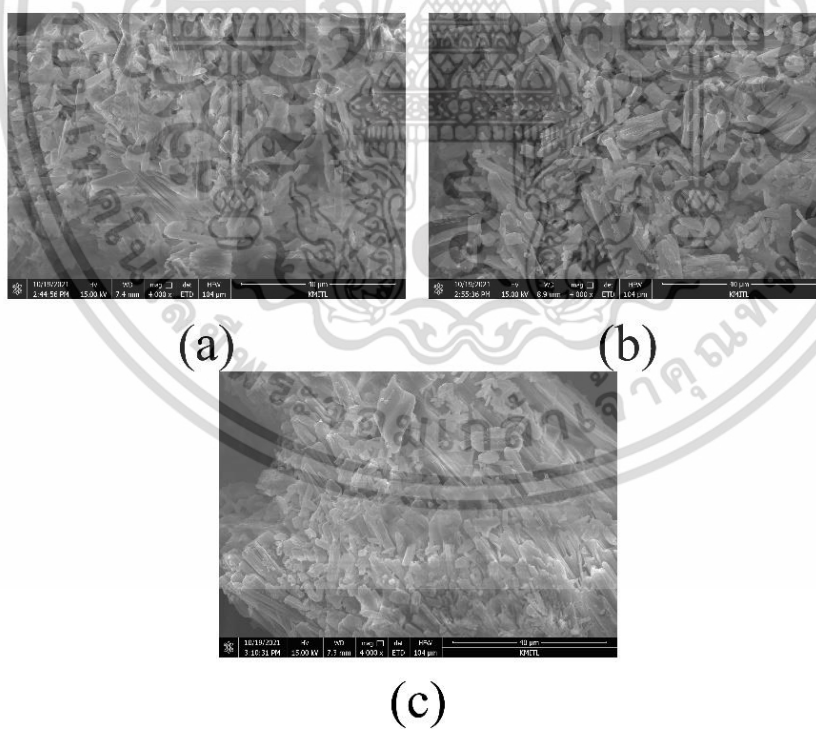


รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ CK-CA8 (a), CK-CA10 (b) และ CK-CA12 (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

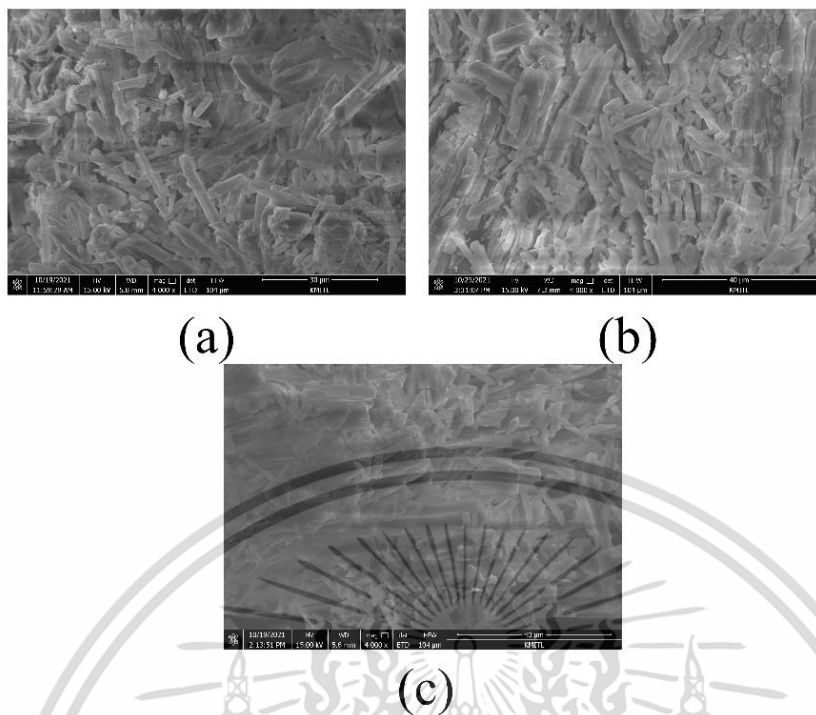


รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ CL-CA8 (a), CL-CA10 (b) และ CL-CA12 (c)

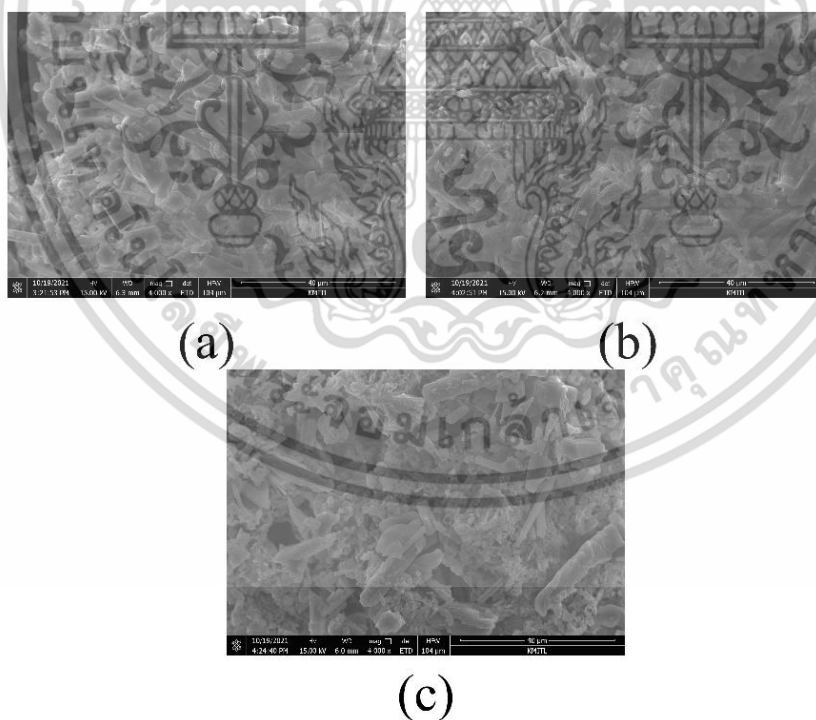


รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ GA-CA8 (a), GA-CA10 (b) และ GA-CA12 (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

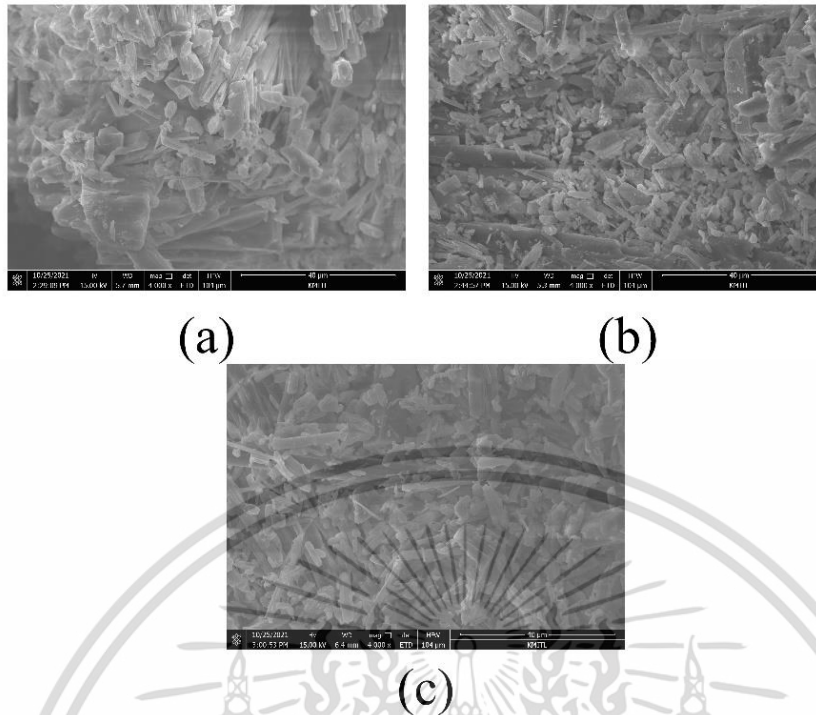


รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ MS-CA8 (a), MS-CA10 (b) และ MS-CA12 (c)



รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ OS-CA8 (a), OS-CA10 (b) และ OS-CA12 (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ SC-CA8 (a), SC-CA10 (b) และ SC-CA12 (c)

รูปที่ 4.9 - 4.14 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง (รูปที่ 4.9) เปลือกหอยตลับ (รูปที่ 4.10) เปลือกหอยเชอรี่ (รูปที่ 4.11) เปลือกหอยแมลงภู่ (รูปที่ 4.12) เปลือกหอยนางรม (รูปที่ 4.13) และเปลือกหอยเชลล์ (รูปที่ 4.14) ซึ่งพบว่าสัณฐานวิทยาของตัวอย่าง ทั้ง 18 ตัวอย่างมีการจับตัวเป็นผลึกทรงแท่งลักษณะใกล้เคียงกัน ขนาดตั้งแต่ 5-30 ไมโครเมตร และมีการจับตัวเป็นก้อนบางส่วน โดยพบผลึกที่จับตัวเป็นก้อนใหญ่ได้มากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดลดลง โดยเฉพาะตัวอย่างที่สังเคราะห์โดยใช้กรดอะซิติกเข้มข้น 12 M นั้นพบการจับตัวเป็นก้อนผลึกขนาดใหญ่ได้น้อยมาก จากลักษณะสัณฐานวิทยาที่ได้แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของกรดที่ลดลงส่งผลต่อการจับตัวของผลึกแคลเซียมอะซิเตทเป็นอย่างมาก

## 4.2 การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมแลคเตท

### 4.2.1 ผลการสังเคราะห์สารประกอบ

เมื่อหาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด โดยใช้ความเข้มข้นของกรดแลคติก 6, 8 และ 10 M ได้แล้วนั้นร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกันในเปลือกหอยแต่ละชนิด เพื่อหาความเข้มข้นของกรดแลคติกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสังเคราะห์แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแต่ละชนิด

ตารางที่ 4.9 ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

สารตัวอย่าง	ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด (นาที)	ร้อยละผลผลิต (%)	ร้อยละการละลาย (%)
CK-CL6	125	87.83	97.75
CK-CL8	107	83.55	94.16
CK-CL10	82	80.59	90.14
CL-CL6	137	86.48	96.62
CL-CL8	116	83.97	93.74
CL-CL10	93	81.31	90.92
GA-CL6	157	85.35	94.56
GA-CL8	134	83.68	92.48
GA-CL10	105	79.96	88.41
MS-CL6	152	85.28	95.49
MS-CL8	125	84.77	93.83
MS-CL10	99	78.12	89.71
OS-CL6	195	88.19	95.61
OS-CL8	153	88.16	93.41
OS-CL10	110	80.61	91.34
SC-CL6	238	87.83	96.29
SC-CL8	165	84.07	93.49
SC-CL10	118	79.17	90.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายของแคลเซียมแลคเตทถูกแสดงในตารางที่ 4.9 ตัวอย่างที่เตรียมจากเปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเซอรี เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรมและเปลือกหอยเชลล์ จะมีร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายสูงสุดที่ตัวอย่างที่ใช้กรดแลคติกเข้มข้น 6 M ซึ่งมีร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายของสารประกอบที่เตรียมได้สูงที่สุด ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้าซึ่งใช้กรดแลคติกเข้มข้น 40% w/w หรือประมาณ 6 M<sup>[32]</sup> จึงได้ข้อสรุปว่าความเข้มข้นของกรดแลคติกที่เหมาะสมจะนำไปใช้เตรียมสารประกอบแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดเพื่อให้ได้ร้อยละผลผลิตและความสามารถในการละลายสูงที่สุดคือ 6 M

#### 4.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมแลคเตทด้วยเทคนิค XRF

องค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดถูกวิเคราะห์โดยเทคนิค X-ray fluorescence ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นไปดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CK-CL6, CK-CL8 และ CK-CL10

Elements	Chemical contents / %		
	CK-CL6	CK-CL8	CK-CL10
CaO	94.9	94.2	94.2
Na <sub>2</sub> O	0.758	0.792	0.745
MgO	0.188	0.193	0.180
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.559	0.682	0.652
SiO <sub>2</sub>	1.54	1.81	1.77
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0477	0.0449	0.0571
SO <sub>3</sub>	0.163	0.168	0.141
Cl	0.0156	0.0166	0.0156
K <sub>2</sub> O	0.0230	0.0278	0.0319
TiO <sub>2</sub>	0.202	0.189	0.202
MnO	0.0868	0.0811	0.0940
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.14	1.30	1.45
SrO	0.417	0.468	0.490

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CL-CL6, CL-CL8 และ CL-CL10

Elements	Chemical contents / %		
	CL-CL6	CL-CL8	CL-CL10
CaO	96.6	96.4	96.1
Na <sub>2</sub> O	1.02	0.733	0.765
MgO	0.0852	0.109	0.0891
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.209	0.317	0.284
SiO <sub>2</sub>	0.574	0.824	0.798
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0130	0.0238	0.0246
SO <sub>3</sub>	0.205	0.239	0.243
Cl	0.0432	0.0402	0.0415
K <sub>2</sub> O	0.0157	0.0129	0.0171
TiO <sub>2</sub>			0.148
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.583	0.601	0.683
Br	0.0143	0.0184	0.0195
SrO	0.646	0.599	0.643
BaO			0.165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ GA-CL6, GA-CL8 และ GA-CL10

Elements	Chemical contents / %		
	GA-CL6	GA-CL8	GA-CL10
CaO	95.8	95.0	94.6
Na <sub>2</sub> O	0.386	0.421	0.350
MgO	0.114	0.125	0.123
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.517	0.714	0.722
SiO <sub>2</sub>	1.29	1.76	1.81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0608	0.0896	0.101
SO <sub>3</sub>	0.0845	0.0988	0.103
Cl	0.0168	0.0182	0.0191
K <sub>2</sub> O	0.0587	0.0718	0.0737
TiO <sub>2</sub>		0.154	0.155
MnO	0.170	0.155	0.183
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.17	1.26	1.46
ZnO	0.0246	0.0240	0.0292
SrO	0.131	0.128	0.136
TeO <sub>2</sub>	0.128		
BaO			0.160

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ MS-CL6, MS-CL8 และ MS-CL10

Elements	Chemical contents / %		
	MS-CL6	MS-CL8	MS-CL10
CaO	92.3	92.2	92.2
Na <sub>2</sub> O	1.14	1.14	0.919
MgO	0.277	0.298	0.269
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.809	0.856	0.772
SiO <sub>2</sub>	2.23	2.45	2.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.170	0.173	0.173
SO <sub>3</sub>	0.643	0.527	0.558
Cl	0.0645	0.0562	0.0576
K <sub>2</sub> O	0.0299	0.0326	0.0414
TiO <sub>2</sub>	0.198	0.231	0.217
MnO	0.0415	0.0383	0.0487
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.19	1.15	1.63
NiO		0.0144	
BrO	0.0357	0.0413	0.0459
SrO	0.853	0.820	0.891

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ OS-CL6, OS-CL8 และ OS-CL10

Elements	Chemical contents / %		
	OS-CL6	OS-CL8	OS-CL10
CaO	87.5	85.5	86.4
Na <sub>2</sub> O	0.776	0.887	0.677
MgO	2.24	2.99	1.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.995	1.72	1.32
SiO <sub>2</sub>	4.67	4.52	6.32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.132	0.165	0.145
SO <sub>3</sub>	0.936	1.34	1.15
Cl	0.765	0.780	0.510
K <sub>2</sub> O	0.155	0.202	0.211
TiO <sub>2</sub>	0.117	0.126	0.127
MnO	0.120	0.117	0.107
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.04	1.14	1.33
CuO			0.0144
ZnO		0.0183	0.0153
Br	0.0152	0.0172	0.0199
SrO	0.502	0.454	0.506

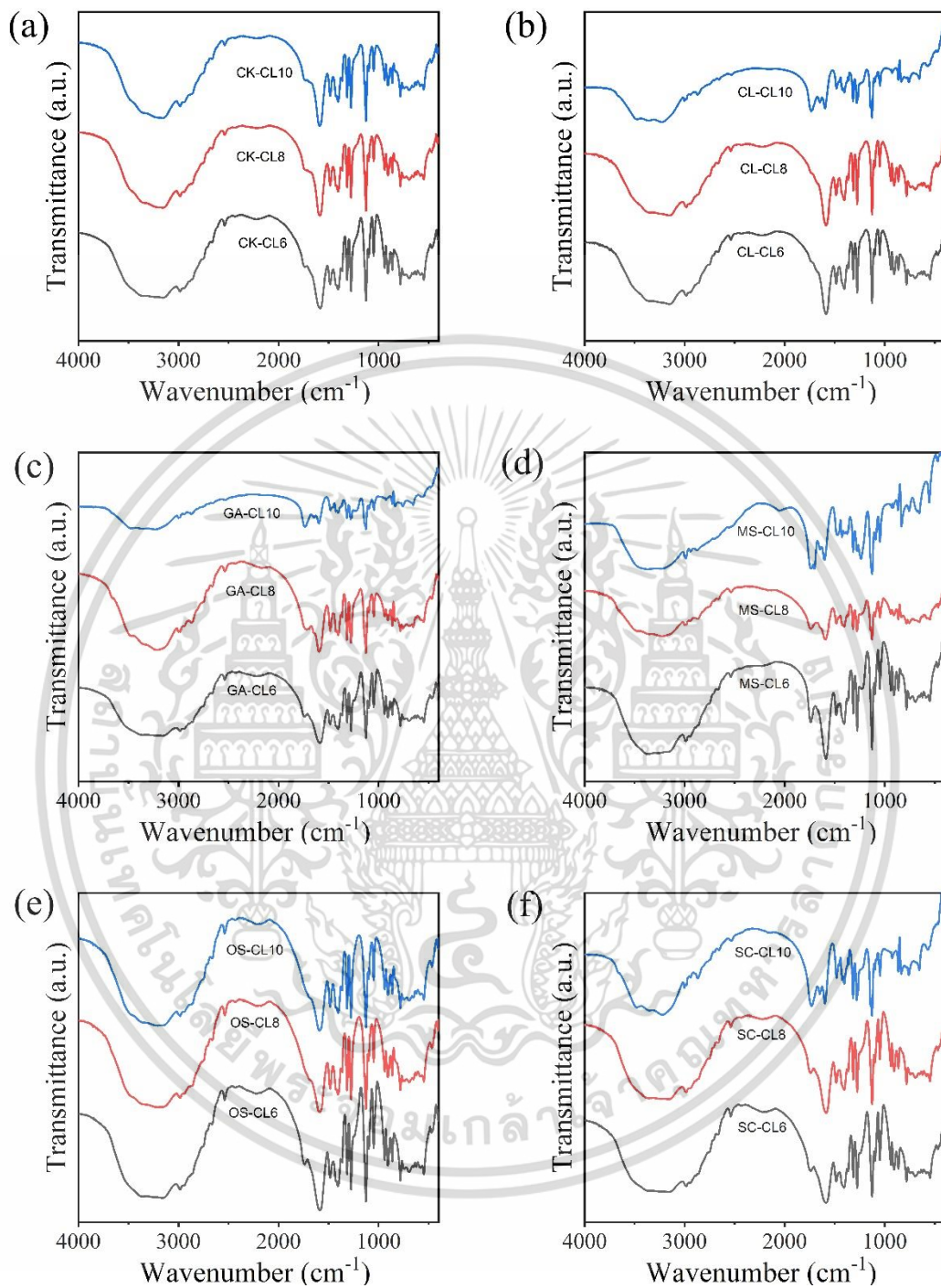
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ SC-CL6, SC-CL8 และ SC-CL10

Elements	Chemical contents / %		
	SC-CL6	SC-CL8	SC-CL10
CaO	97.8	97.6	97.4
Na <sub>2</sub> O	0.433	0.347	0.327
MgO	0.283	0.228	0.214
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0500	0.0722	0.0671
SiO <sub>2</sub>	0.151	0.217	0.203
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0696	0.0632	0.0931
SO <sub>3</sub>	0.558	0.923	1.13
Cl			0.0062
K <sub>2</sub> O	0.0303	0.0242	0.0251
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0549	0.0411	0.0588
SrO	0.520	0.502	0.520

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอย ทั้ง 6 ชนิดด้วยเทคนิค X-ray fluorescence พบว่ามีองค์ประกอบหลักคือ CaO โดยแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครง (ตารางที่ 4.10) เปลือกหอยตลับ (ตารางที่ 4.11) เปลือกหอยเชอรี่ (ตารางที่ 4.12) เปลือกหอยแมลงภู่ (ตารางที่ 4.13) เปลือกหอยนางรม (ตารางที่ 4.14) และเปลือกหอยเชลล์ (ตารางที่ 4.15) จะมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด เมื่อใช้กรดอะซิติกเข้มข้น 6 M นอกจากนี้ยังพบสารเจือปนอื่นๆหลายชนิดได้แก่ Na<sub>2</sub>O, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>3</sub>, Cl, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO, Br และ SrO โดยไม่พบธาตุที่เป็นอันตรายต่อการใช้ในพืชตามที่ US EPA บัญญัติ (Cr, Cd, Cu, Pb, Hg, Ni, and Se)<sup>[31]</sup> ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมแลคเตทที่สังเคราะห์ได้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียมสำหรับพืช

### 4.2.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมแลคเตทด้วยเทคนิค FTIR



รูปที่ 4.15 แสดงรูปแบบการดูดกลืนอินฟราเรดของแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครง(a) เปลือกหอยตลับ(b) เปลือกหอยเชอรี่(c) เปลือกหอยแมลงภู่(d) เปลือกหอยนางรม(e)และเปลือกหอยเชลล์(f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

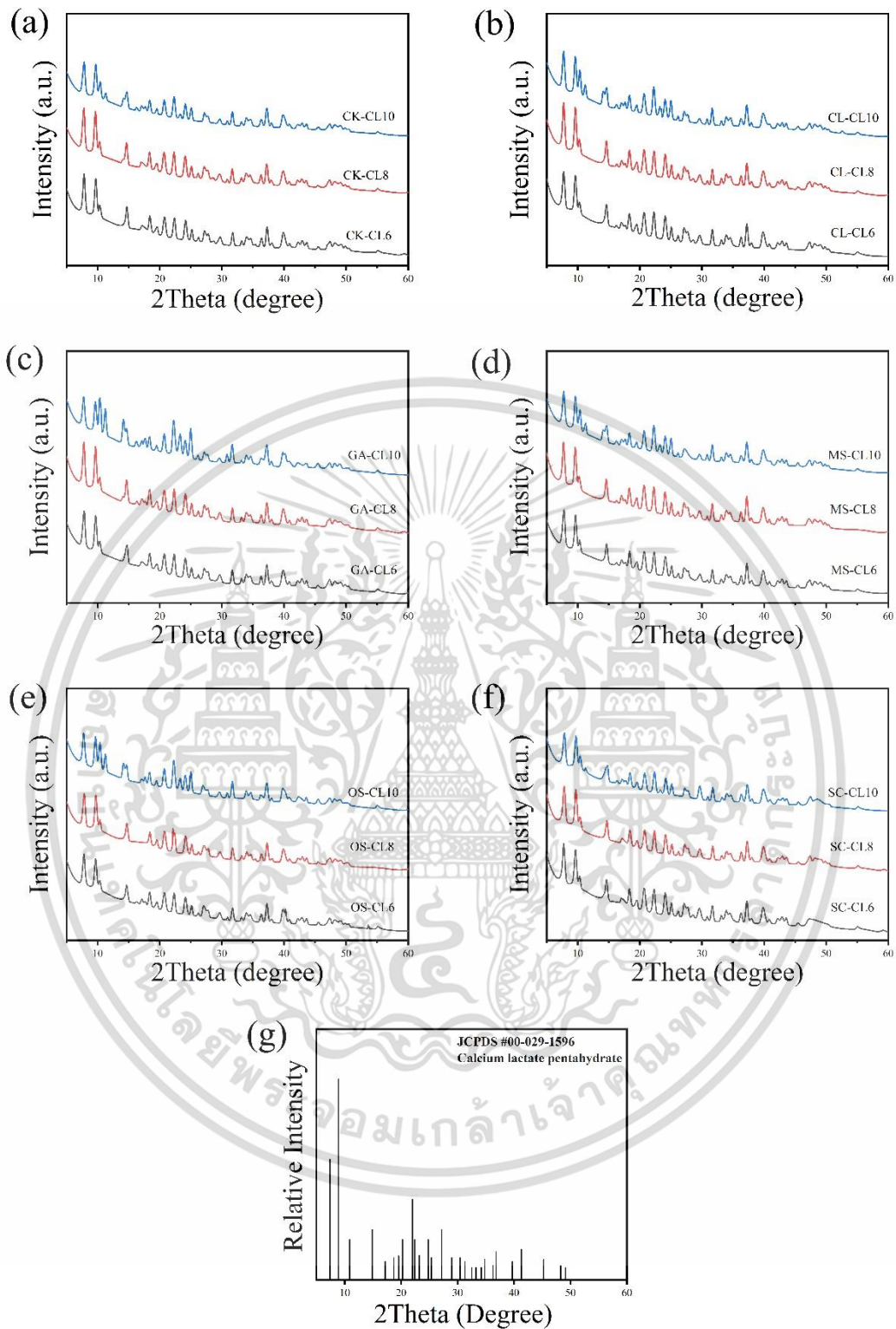
ตารางที่ 4.16 แสดงตำแหน่งพีคที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR และรูปแบบการสั่นของหมู่ฟังก์ชันของแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

รูปแบบการสั่น	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )
O-H stretching	3250
C-H stretching of CH <sub>3</sub>	2986
C=O stretching	1587, 1484
C-H bending	1314
C-O-C stretching	1126
In plane bending vibration of CH <sub>3</sub>	1049
C-C stretching	906
C-O-O bending	781
Ca-O Stretching	473

จากรูปที่ 4.15 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของแคลเซียมแลคเตทที่สังเคราะห์จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด โดยใช้กรดแลคติกที่ความเข้มข้น 6, 8 และ 10 M ตำแหน่งพีคการสั่นของหมู่ฟังก์ชันทั้งหมดเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4.16 พบพีคการสั่นแบบ stretching ของหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ที่ตำแหน่ง 3250 cm<sup>-1</sup> พบพีคการสั่นแบบ stretching และ bending ของพันธะ C-H ที่ตำแหน่ง 2986 และ 1314 cm<sup>-1</sup> พบพีคการสั่นแบบ stretching ของพันธะ C=O ที่ตำแหน่ง 1587-1484 cm<sup>-1</sup> พบพีคการสั่นแบบ stretching ของพันธะ C-O-C ที่ตำแหน่ง 1126 cm<sup>-1</sup> พบพีคการสั่นแบบ stretching ในพันธะ C-C ของ C-CH<sub>3</sub> และ C-COO<sup>-</sup> ที่ตำแหน่ง 1049 และ 906 cm<sup>-1</sup> ตามลำดับ พบพีคการสั่นแบบ bending ของพันธะ C-O-O ที่ตำแหน่ง 781 cm<sup>-1</sup> นอกจากนี้ยังพบพีคของ Ca-O ที่ตำแหน่ง 473 cm<sup>-1</sup> ซึ่งพีคที่เกิดขึ้นของสารประกอบแคลเซียมแลคเตททั้งหมดที่เตรียมได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้า<sup>[25]</sup> ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าตัวอย่างทั้ง 18 ตัวอย่าง มีส่วนประกอบของแคลเซียมแลคเตทเพนตะไฮเดรท(Ca(CH<sub>3</sub>CHOHCOO)<sub>2</sub>·5H<sub>2</sub>O)

#### 4.2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมแลคเตทด้วยเทคนิค XRD

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด ถูกวิเคราะห์โดยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นไปตามรูปต่อไปนี้

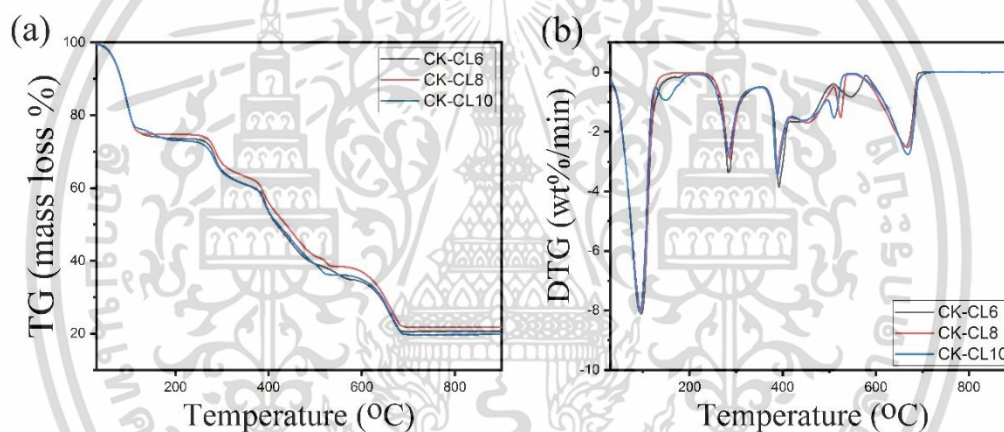


รูปที่ 4.16 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครง(a) เปลือกหอยตลับ(b) เปลือกหอยเชอรี่(c) เปลือกหอยแมลงภู่(d) เปลือกหอยนางรม(e) เปลือกหอยเชลล์(f) และไฟล์มาตรฐานของ calcium lactate pentahydrate (JCPDS #00-029-1596)

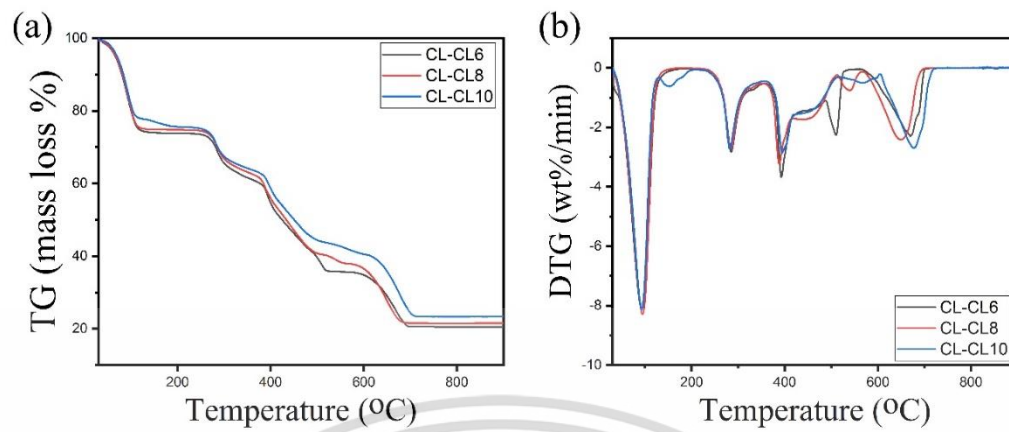
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมแลคเตทที่สังเคราะห์จากเปลือกหอย ทั้ง 6 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 4. พบว่าทั้งตัวอย่างทั้ง 18 ตัวอย่าง เกิดพีคบนตำแหน่ง  $2\theta = 7.80^\circ$ ,  $9.64^\circ$ ,  $10.30^\circ$ ,  $14.64^\circ$ ,  $17.06^\circ$ ,  $18.36^\circ$ ,  $19.56^\circ$ ,  $20.72^\circ$ ,  $22.32^\circ$ ,  $24.12^\circ$ ,  $25.14^\circ$ ,  $29.70^\circ$ ,  $31.66^\circ$ ,  $33.94^\circ$ ,  $34.56^\circ$ ,  $36.32^\circ$ ,  $37.24^\circ$ ,  $39.88^\circ$ ,  $45.46^\circ$ ,  $48.18^\circ$  และ  $49.10^\circ$  ซึ่งสอดคล้องกับ สารประกอบแคลเซียมแลคเตทเพนตะไฮเดรท ( $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{CHOHCOO})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) (JCPDS No.00-029-1596) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผล FTIR ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทที่สังเคราะห์ได้เป็นแคลเซียมแลคเตทเพนตะไฮเดรท

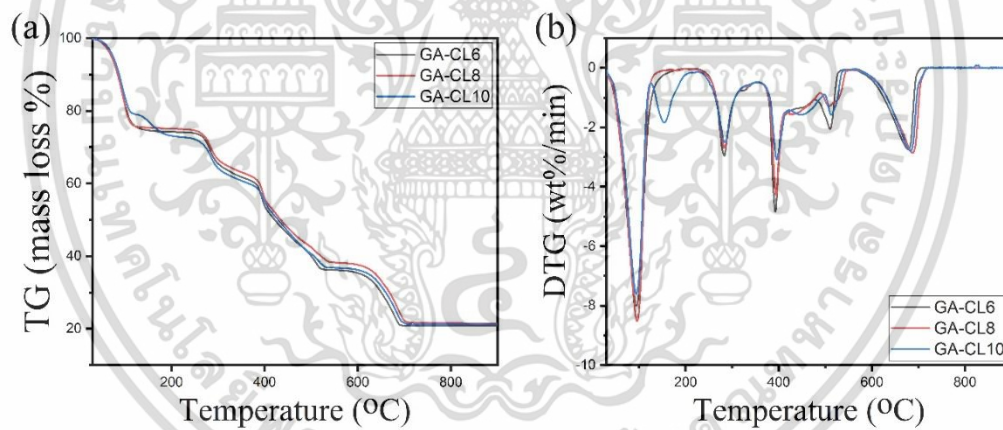
#### 4.2.5 การวิเคราะห์การสลายตัวด้วยความร้อนของสารประกอบแคลเซียมแลคเตทด้วยเทคนิค TGA



รูปที่ 4.17 TGA (a) และ DTG (b) ของ CK-CL6, CK-CL8 และ CK-CL10

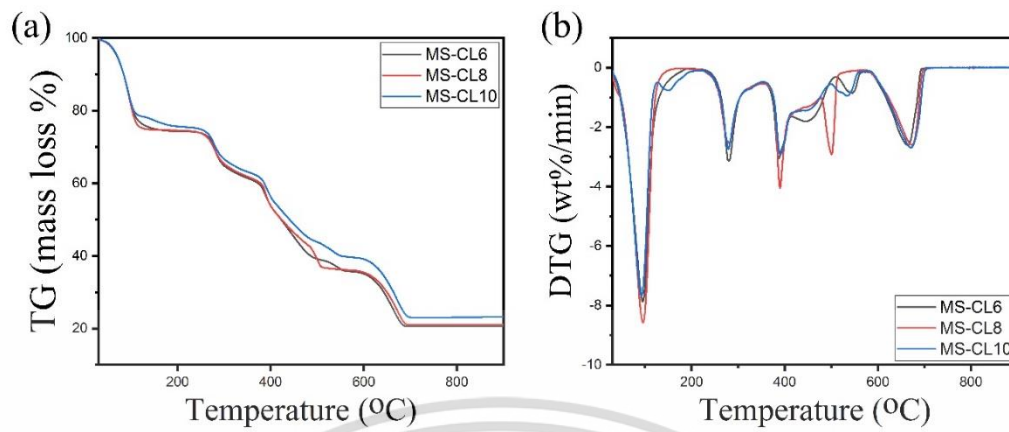


รูปที่ 4.18 TG (a) และ DTG (b) ของ CL-CL6, CL-CL8 และ CL-CL10

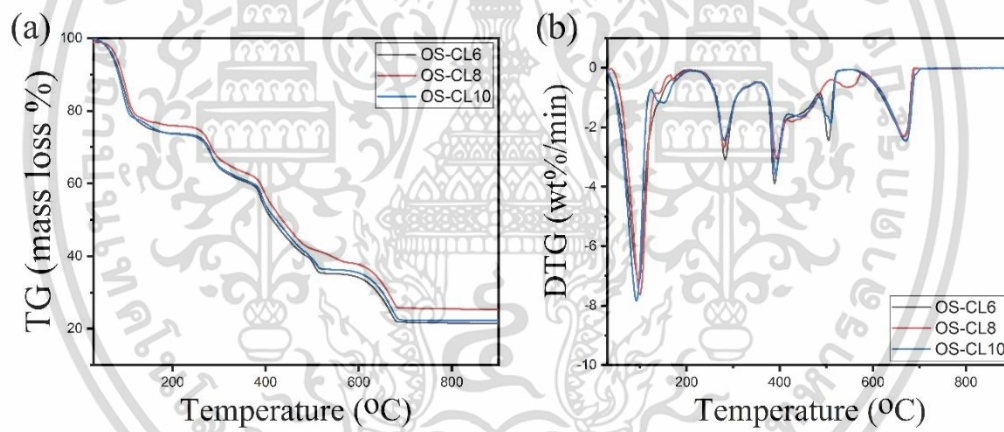


รูปที่ 4.19 TG (a) และ DTG (b) ของ GA-CL6, GA-CL8 และ GA-CL10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

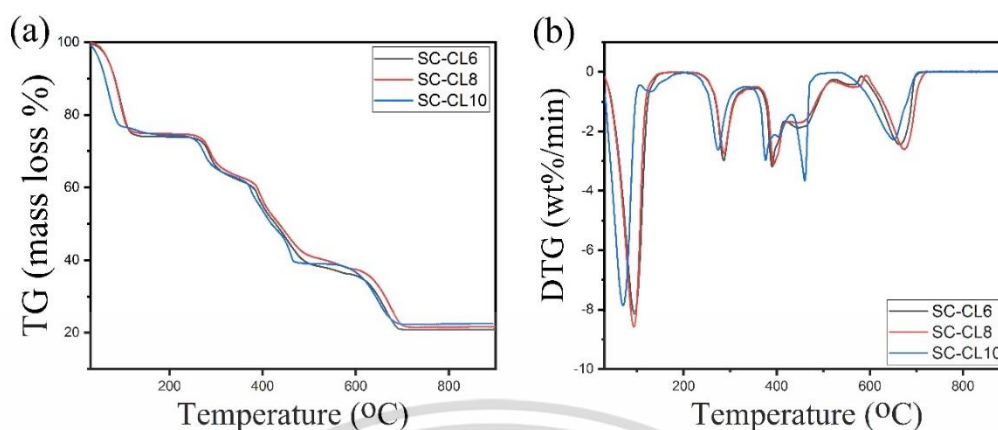


รูปที่ 4.20 TG (a) และ DTG (b) ของ MS-CL6, MS-CL8 และ MS-CL10



รูปที่ 4.21 TG (a) และ DTG (b) ของ OS-CL6, OS-CL8 และ OS-CL10

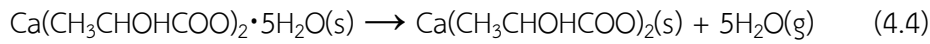
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



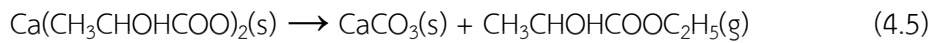
รูปที่ 4.22 TG (a) และ DTG (b) ของ SC-CL6, SC-CL8 และ SC-CL10

การสลายตัวทางความร้อนของแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครง (รูปที่ 4.17) เปลือกหอยตลับ (รูปที่ 4.18) เปลือกหอยเชอรี่ (รูปที่ 4.19) เปลือกหอยแมลงภู่ (รูปที่ 4.20) เปลือกหอยนางรม (รูปที่ 4.21) และเปลือกหอยเชลล์ (รูปที่ 4.22) เกิดการสลายตัวทางความร้อนขึ้น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกพบว่าการหลุดออกของน้ำในโครงผลึก (Dehydration) ดังปฏิกิริยาที่ 4.4 ที่อุณหภูมิ 30-170 °C สูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 25.00-28.00% ซึ่งใกล้เคียงกับสัดส่วนของน้ำหนัก  $H_2O$  5 โมเลกุล ในแคลเซียมแลคเตทเพนตะไฮเดรท ส่วนการสลายตัวขั้นที่ 2 นั้นเกิดการสลายตัวของ  $Ca(CH_3COO)_2$  เกิดเป็น  $CaCO_3$  ดังปฏิกิริยาที่ 4.5 ที่อุณหภูมิ 170-480 °C สูญเสียน้ำหนักไป 35.00-39.00% ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำหนักโมเลกุลของ  $CH_3COCH_3$  ต่อน้ำหนักของแคลเซียมแลคเตทเพนตะไฮเดรท และสุดท้ายการสลายตัวจาก  $CaCO_3$  เป็น  $CaO$  ดังปฏิกิริยาที่ 4.6 ซึ่งเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 480-690 °C และสูญเสียน้ำหนักไป 13.00-16.00% ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำหนักโมเลกุล  $CO_2$  ต่อน้ำหนักของแคลเซียมแลคเตทเพนตะไฮเดรท โดยตัวอย่างที่ใช้ความเข้มข้นของกรดแลคติก 10 M จะพบว่า น้ำหนักการสลายตัวในขั้นตอน Dehydration ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของกรดแลคติกที่สูงเกินไปส่งผลให้แคลเซียมแลคเตทเกิดการจับตัวกับโมเลกุลของน้ำ ( $H_2O$ ) ในโครงผลึกได้น้อยลง

กระบวนการ Dehydration (30–170 °C)



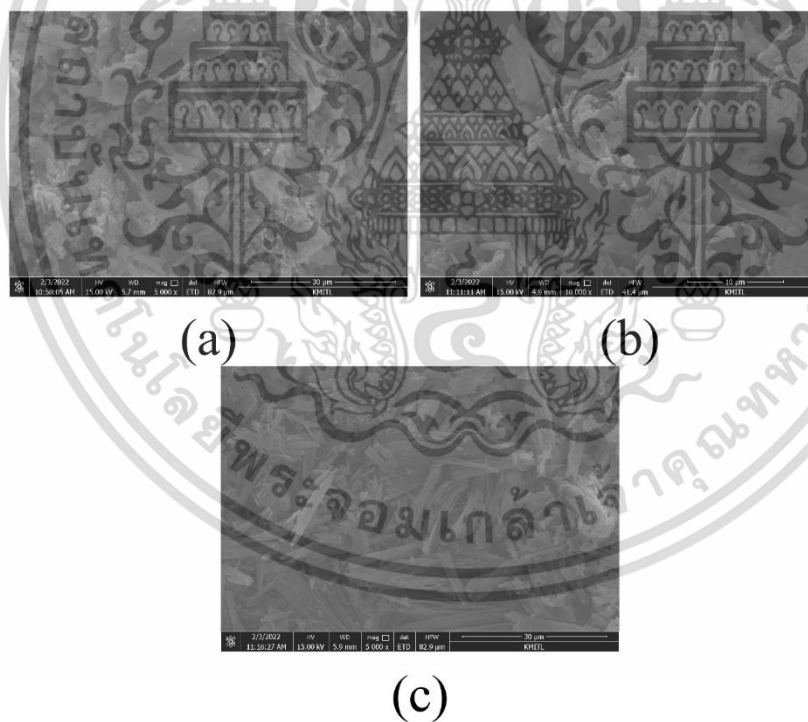
การหลุดออกของ ethyl lactate (170–480 °C)



กระบวนการ Decarbonization (480–690 °C)

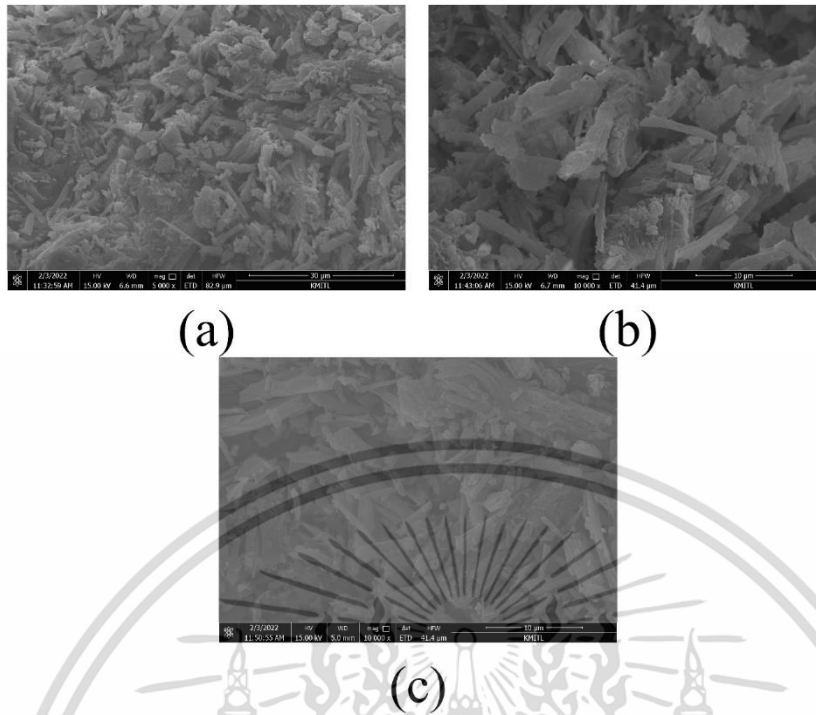


#### 4.2.6 การวิเคราะห์พื้นฐานวิทยาของสารประกอบแคลเซียมแลคเตตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

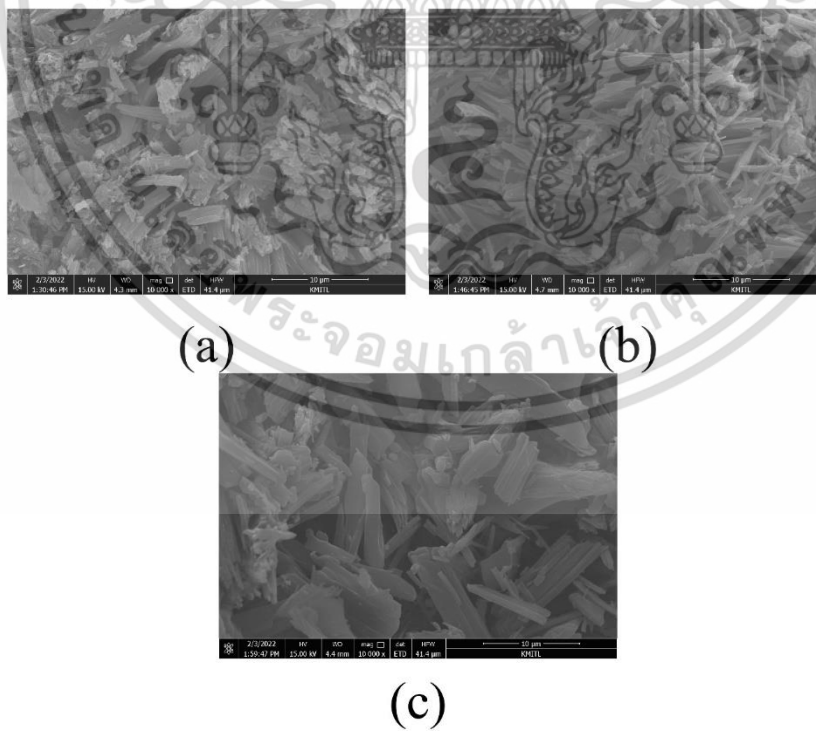


รูปที่ 4.23 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นฐานวิทยาของ CK-CL6 (a), CK-CL8 (b) และ CK-CL10 (c)

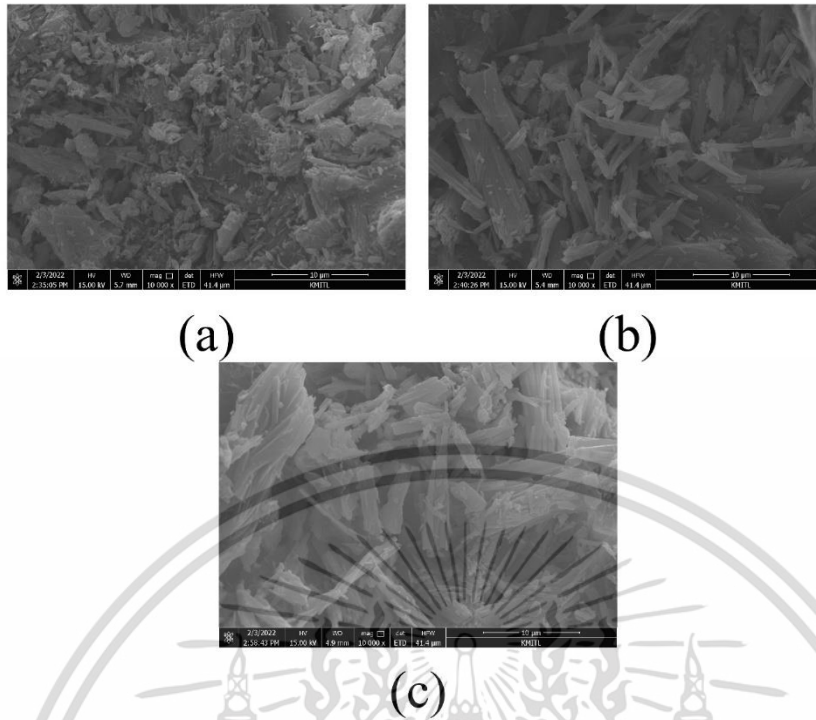
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



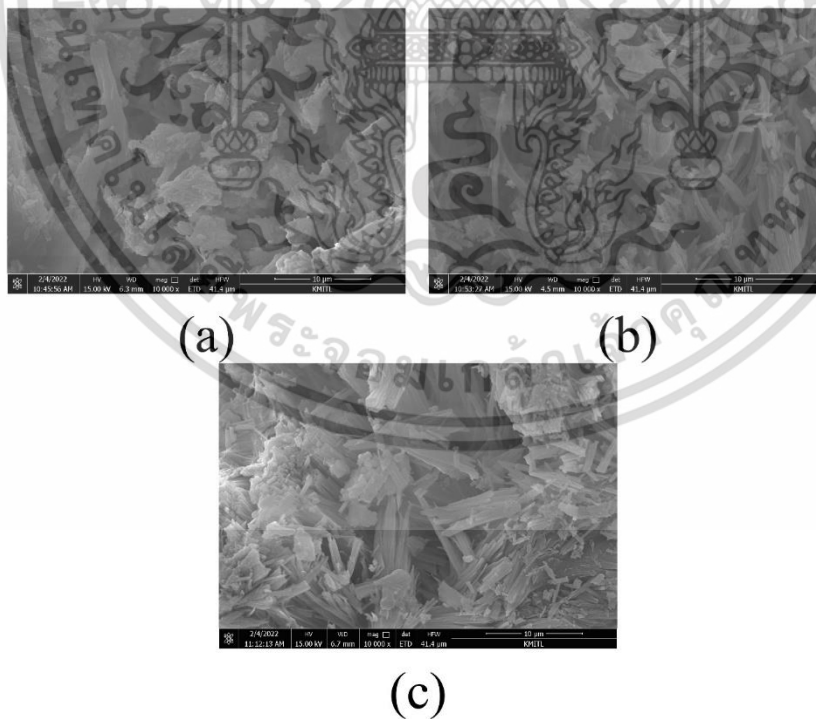
รูปที่ 4.24 แสดงผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ CL-CL6 (a), CL-CL8 (b) และ CL-CL10 (c)



รูปที่ 4.25 แสดงผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ GA-CL6 (a), GA-CL8 (b) และ GA-CL10 (c)  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

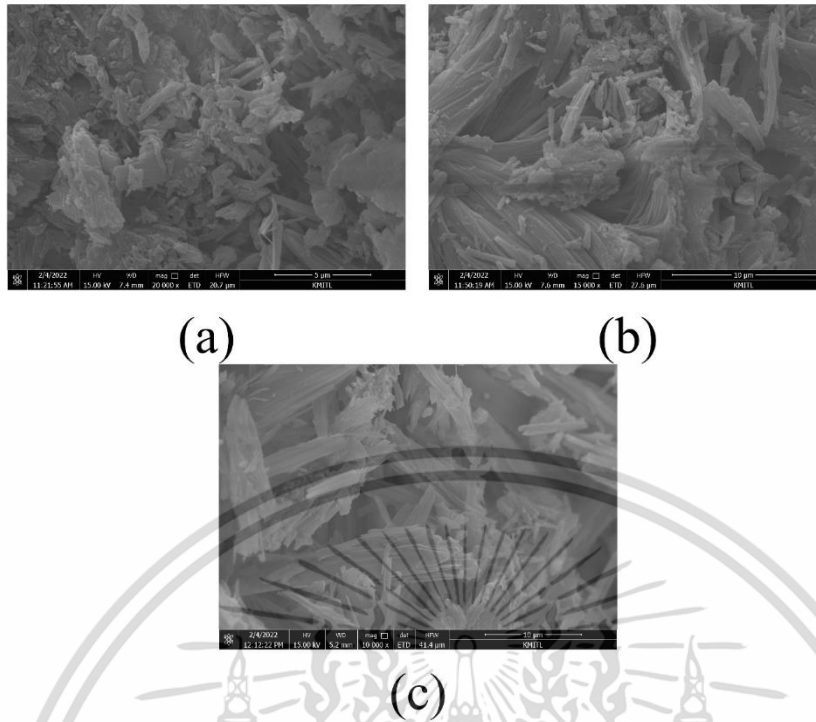


รูปที่ 4.26 แสดงผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ MS-CL6 (a), MS-CL8 (b) และ MS-CL10 (c)



รูปที่ 4.27 แสดงผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ OS-CL6 (a), OS-CL8 (b) และ OS-CL10 (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 แสดงผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ SC-CL6 (a), SC-CL8 (b) และ SC-CL10 (c)

รูปที่ 4.23 – 4.28 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง (รูปที่ 4.23) เปลือกหอยตลับ (รูปที่ 4.24) เปลือกหอยเชอรี่ (รูปที่ 4.25) เปลือกหอยแมลงภู่ (รูปที่ 4.26) เปลือกหอยนางรม (รูปที่ 4.27) และเปลือกหอยเชลล์ (รูปที่ 4.28) ซึ่งพบว่าสัณฐานวิทยาของตัวอย่างทั้ง 18 ตัวอย่างมีการจับตัวเป็นผลึกลักษณะเป็นแท่งขนาดตั้งแต่ 2 ไมโครเมตร จนถึงเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร และมีการจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่บางส่วน โดยเฉพาะตัวอย่างที่ใช้ความเข้มข้นของกรดแลคติก 6 และ 8 M จะพบผลึกที่มีการจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่จำนวนมาก ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าหากความเข้มข้นของกรดแลคติกที่ใช้ลดลงจะส่งผลต่อการจับตัวของผลึกแคลเซียมแลคเตทให้มีการจับตัวกันมากขึ้น

### 4.3 การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท

#### 4.3.1 ผลการสังเคราะห์สารประกอบ

เมื่อได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมของกรดอะซิติกและกรดแลคติกแล้ว นำความเข้มข้นที่ได้มาสังเคราะห์สารประกอบเชิงคู่แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด โดยระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของสารประกอบที่ได้เป็นไปดังตารางที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

สารตัวอย่าง	ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด (นาที)	ร้อยละผลผลิต (%)	ร้อยละการละลาย (%)
CK-CAL	15	97.47	97.02
CL-CAL	16	94.13	94.41
GA-CAL	19	94.74	94.01
MS-CAL	20	95.27	95.63
OS-CAL	22	89.53	95.24
SC-CAL	26	96.44	95.08

จากตารางที่ 4.17 เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทที่เตรียมจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด พบว่าสามารถเรียงลำดับร้อยละผลผลิตจากมากไปน้อยได้เป็น หอยแครง หอยเชลล์ หอยแมลงภู่ หอยเชอรี่ หอยตลับ และหอยนางรม นอกจากนี้ตัวอย่างจากหอยแครงยังมีร้อยละการละลายสูงที่สุด ดังนั้นเมื่อนำเปลือกหอยแต่ละชนิดมาเตรียมน้ำแคลเซียมจากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทนั้น ที่ปริมาณแคลเซียมเท่ากันปริมาณแคลเซียมจากหอยแครงจะมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด

#### 4.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทด้วยเทคนิค XRF

องค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด ถูกวิเคราะห์โดยเทคนิค X-ray fluorescence ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นไปดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

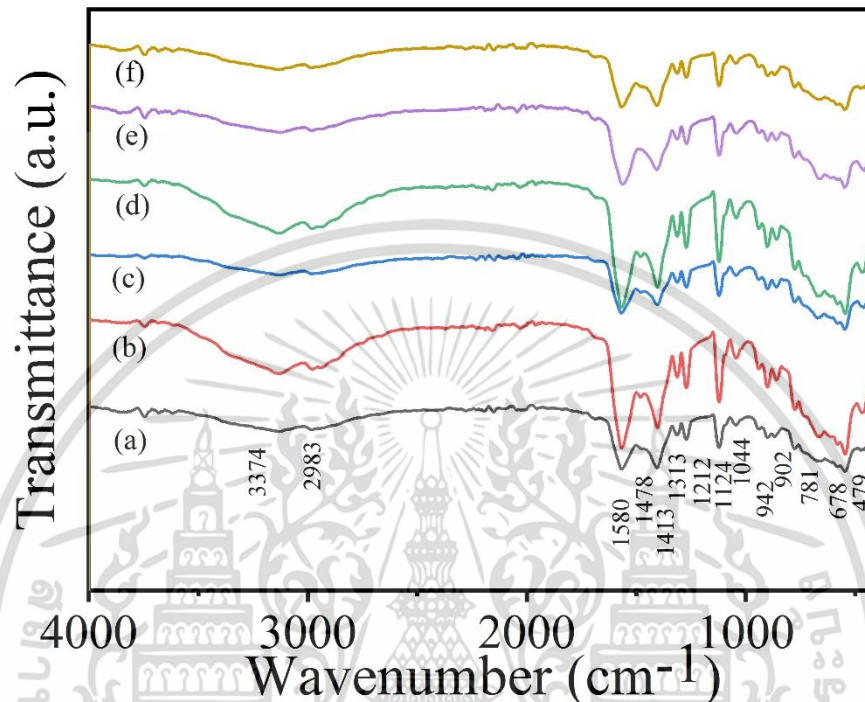
Elements	CK-CAL	CL-CAL	GA-CAL	MS-CAL	OS-CAL	SC-CAL
CaO	94.8	96.9	96.2	94.4	88.3	96.8
Na <sub>2</sub> O	0.928	0.945	0.396	1.05	1.17	0.468
MgO	0.181	0.0760	0.0930	0.203	1.23	0.520
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.507	0.172	0.443	0.381	0.945	0.0487
SiO <sub>2</sub>	1.36	0.488	1.15	1.08	4.06	0.155
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0800	0.0325	0.116	0.191	0.204	0.163
SO <sub>3</sub>	0.159	0.221	0.0795	0.465	1.05	1.34
Cl	0.0174	0.0402	0.0163	0.0530	1.02	
K <sub>2</sub> O	0.0234	0.0127	0.0577	0.0257	0.182	0.0283
TiO <sub>2</sub>	0.198		0.117	0.125	0.115	
MnO	0.0633		0.147	0.0342	0.0915	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.22	0.534	1.07	1.15	1.15	0.0391
ZnO			0.0179		0.0130	
Br		0.0150		0.0414	0.0185	
Rb <sub>2</sub> O					0.0059	
SrO	0.426	0.542	0.110	0.786	0.457	0.457
TeO <sub>2</sub>						

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดด้วยเทคนิค X-ray fluorescence พบว่ามีองค์ประกอบหลักคือ CaO โดยแคลเซียมแลคเตทจากเปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยเซลล์ มีปริมาณ CaO เป็นองค์ประกอบ 94.8, 96.9, 96.2, 94.4, 88.3 และ 96.8% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบสารเจือปนอื่นๆหลายชนิดได้แก่ Na<sub>2</sub>O, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>3</sub>, Cl, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO, Br และ SrO โดยไม่พบธาตุที่เป็นอันตรายต่อการใช้ในพืชตามที่ US EPA บัญญัติ (Cr, Cd, Cu, Pb, Hg, Ni, and Se) ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทที่สังเคราะห์ได้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียมสำหรับพืช โดยเมื่อพิจารณาจากปริมาณแคลเซียมแล้วแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทที่เตรียมจากเปลือกหอยเซลล์ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุดเมื่อนำมาเตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียมจะใช้ต้นทุนต่ำที่สุด ในปุ๋ยน้ำที่กำหนดให้มีปริมาณแคลเซียมเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทด้วยเทคนิค

FTIR



รูปที่ 4.29 รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบการดูดกลืนอินฟราเรดของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยแครง(a) เปลือกหอยตลับ(b) เปลือกหอยเชอรี่(c) เปลือกหอยแมลงภู่(d) เปลือกหอยนางรม (e)และเปลือกหอยเชลล์(f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 แสดงตำแหน่งพิกที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR และรูปแบบการสั่นของหมู่ฟังก์ชันของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

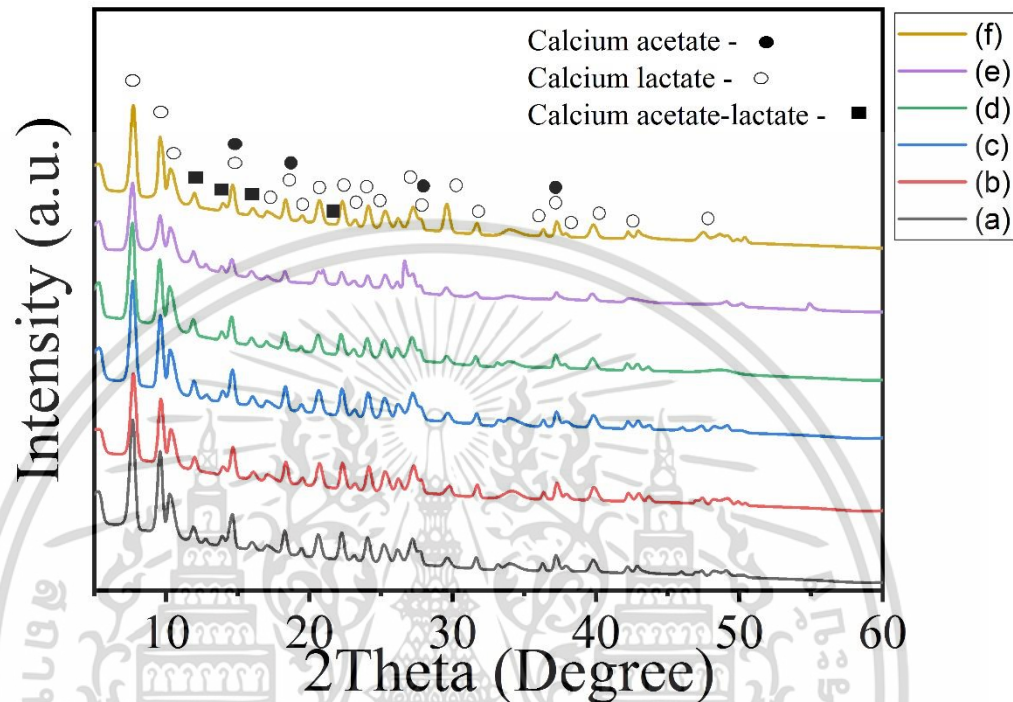
รูปแบบการสั่น	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )
O-H stretching	3374
C-H stretching of CH <sub>3</sub>	2983
C=O asymmetric stretching	1580
C=O symmetric stretching	1478
CH <sub>3</sub> asymmetric bending	1413
C-H bending	1313, 1272
C-O-C stretching	1124
C-O-C stretching	1044
C-C Symmetric stretching (acetate group)	942
C-C Symmetric stretching (lactate group)	902
C-O-O bending	781
Out of plane stretching of O-C-O group	678
Ca-O Stretching	479

จากรูปที่ 4.29 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด ตำแหน่งพิกและรูปแบบการสั่นของพันธะทั้งหมดเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4.19 มีการพบพิกของทั้งอะซิเตทไอออน (CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>) และแลคเตทไอออน (CH<sub>3</sub>CHOHCOO<sup>-</sup>) ทั้งหมด พบพิกการสั่นแบบ stretching ของหมู่ไฮดรอกซิล (OH-) ที่ตำแหน่ง 3365 cm<sup>-1</sup> พบพิกการสั่นแบบ stretching ของพันธะ C-H ที่ตำแหน่ง 2983 cm<sup>-1</sup> พบพิกการสั่นแบบ asymmetric stretching และ symmetric stretching ของพันธะ C-H ที่ตำแหน่ง 1580 และ 1478 cm<sup>-1</sup> พบพิกการสั่นแบบ bending ของพันธะ C-H ที่ตำแหน่ง 1313 และ 1272 cm<sup>-1</sup> พบพิกการสั่นแบบ bending ของพันธะ C-O-O ที่ตำแหน่ง 781 cm<sup>-1</sup> พบพิกการสั่นแบบ Out of plane stretching ของพันธะ O-C-O ที่ตำแหน่ง 678 cm<sup>-1</sup> พบพิกของ Ca-O ที่ตำแหน่ง 470 cm<sup>-1</sup> นอกจากนี้มีการพบพิกที่เป็นเอกลักษณ์ของอะซิเตทไอออน (CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>) ได้แก่ พิกของ C-O-C stretching และ C-C stretching ที่ตำแหน่ง 1124 และ 942 cm<sup>-1</sup> และมีการพบพิกที่เป็นเอกลักษณ์ของแลคเตทไอออน (CH<sub>3</sub>CHOHCOO<sup>-</sup>) ได้แก่ พิกของ C-O-C stretching และ C-C stretching ที่ตำแหน่ง 1044 และ 902 cm<sup>-1</sup> จากพิกที่เกิดขึ้นทั้งหมดทำให้สามารถยืนยันได้ว่าตัวอย่างทั้งสามเป็น Ca(CH<sub>3</sub>COO)(CH<sub>3</sub>CHOHCOO).xH<sub>2</sub>O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.3.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทด้วยเทคนิค

XRD

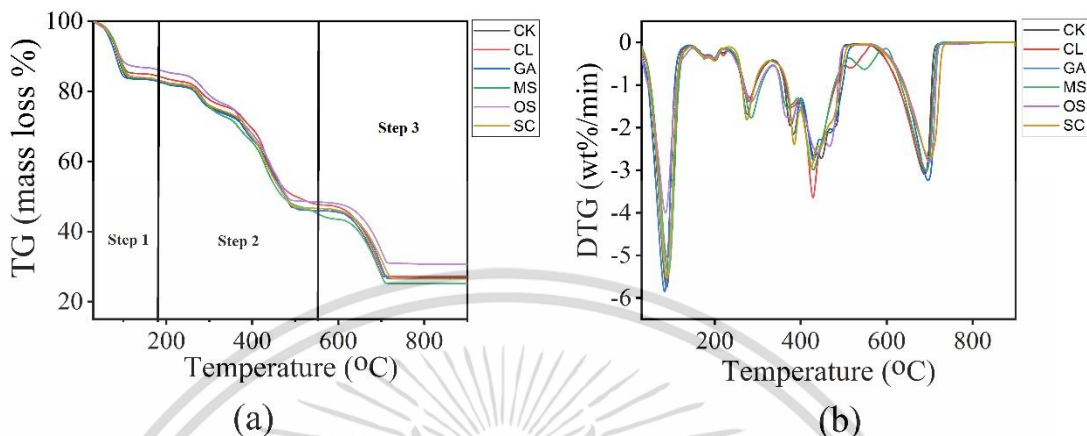


รูปที่ 4.30 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยแครง (a) เปลือกหอยตลับ (b) เปลือกหอยเชอรี่ (c) เปลือกหอยแมลงภู่ (d) เปลือกหอยนางรม (e) เปลือกหอยเชลล์ (f)

จากผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทที่สังเคราะห์จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 4.30 พบว่าทั้งตัวอย่างทั้ง 18 ตัวอย่าง เกิดพีคของ calcium acetate (JCPDS No.00-010-0776) บนตำแหน่ง  $2\theta = 17.04^\circ, 18.28^\circ, 27.74^\circ$  และ  $37.18^\circ$  และเกิดพีคของ calcium lactate (JCPDS No.00-029-1596) บนตำแหน่ง  $2\theta = 7.66^\circ, 9.56^\circ, 10.24^\circ, 14.58^\circ, 17.04^\circ, 18.28^\circ, 19.44^\circ, 20.60^\circ, 22.22^\circ, 24.04^\circ, 25.22^\circ, 26.10^\circ, 27.18^\circ, 27.74^\circ, 29.60^\circ, 31.62^\circ, 33.14^\circ, 33.96^\circ, 37.18^\circ, 37.84^\circ, 39.76^\circ, 42.28^\circ,$  และ  $42.90^\circ$  นอกจากนี้ยังพบพีคบนตำแหน่ง  $2\theta = 11.90^\circ, 13.90^\circ, 15.98^\circ$  และ  $23.12^\circ$  ซึ่งเป็นพีคที่ไม่พบในไฟล์มาตรฐานสารประกอบทั้งสองข้างต้น จึงยืนยันได้ว่าสารประกอบที่สังเคราะห์ได้นั้นบางส่วนเกิดเป็นโครงสร้างใหม่ของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท ( $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})(\text{CH}_3\text{CHOHCOO})$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

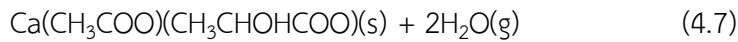
#### 4.3.5 การวิเคราะห์การสลายตัวด้วยความร้อนของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทด้วยเทคนิค TGA



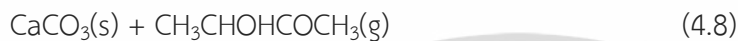
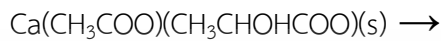
รูปที่ 4.31 TG (a) และ DTG (b) ของการสลายตัวด้วยความร้อนของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

การสลายตัวด้วยความร้อนของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกทั้ง 6 ชนิด เกิดการสลายตัวทางความร้อนขึ้น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกพบว่าการหลุดออกของน้ำในโครงผลึก (Dehydration) ดังปฏิกิริยาที่ 4.7 ที่อุณหภูมิ 30-170 °C สูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 15.00-17.00% ซึ่งใกล้เคียงกับสัดส่วนของน้ำหนัก  $H_2O$  2 โมเลกุล ในแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทไดไฮเดรท ส่วนการสลายตัวขั้นที่ 2 นั้นเกิดการสลายตัวของ  $(C_2H_4OHCOO)$  และ  $(CH_3COO)$  เกิดเป็น  $CaCO_3$  ดังปฏิกิริยาที่ 4.8 ที่อุณหภูมิ 170-550 °C สูญเสียน้ำหนักไป 37.00-39.00% ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำหนักโมเลกุลของ  $CH_3COCH_3$  ต่อน้ำหนักของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทไดไฮเดรท และสุดท้ายการสลายตัวจาก  $CaCO_3$  เป็น  $CaO$  ดังปฏิกิริยาที่ 4.9 ซึ่งเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 550-730 °C และสูญเสียน้ำหนักไป 17.00-20.00% ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำหนักโมเลกุล  $CO_2$  ต่อน้ำหนักของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทไดไฮเดรท ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทเกิดการจับตัวกับน้ำในโครงผลึกกลายเป็นแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทไดไฮเดรท  $(Ca(CH_3COO)(CH_3CHOHCOO) \cdot 2H_2O)$  โดยตัวอย่างที่ใช้ความเข้มข้นของกรดแลคติก 10 M จะพบว่าน้ำหนักการสลายตัวในขั้นตอน Dehydration ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของกรดแลคติกที่สูงเกินไปส่งผลให้แคลเซียมแลคเตทเกิดการจับตัวกับโมเลกุลของน้ำ ( $H_2O$ ) ในโครงผลึกได้น้อยลง

กระบวนการ Dehydration (30–170 °C)



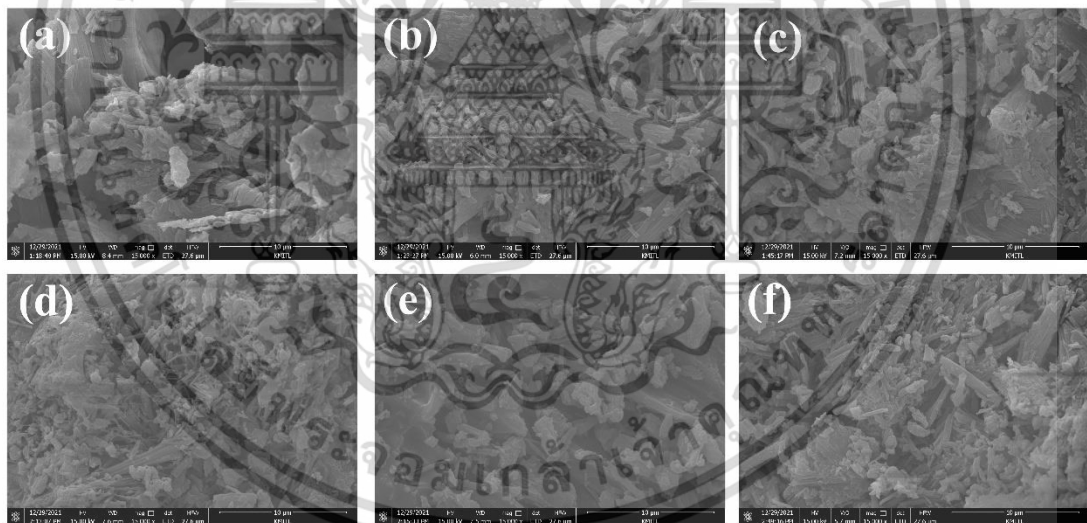
การหลุดออกของ acetoin (170–550 °C)



กระบวนการ Decarbonization (550–730 °C)



#### 4.3.6 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)



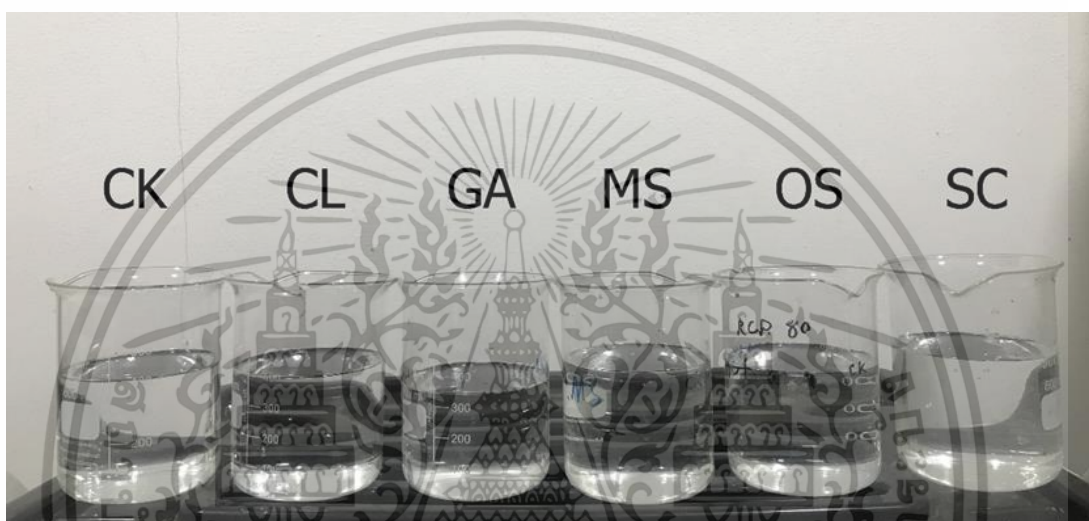
รูปที่ 4.32 สัณฐานวิทยาของแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยแครง(a) เปลือกหอยตลับ(b) เปลือกหอยเซอรี(c) เปลือกหอยแมลงภู่(d) เปลือกหอยนางรม(e) เปลือกหอยเชลล์(f)

รูปที่ 4.32 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกทั้ง 6 ชนิด พบว่า สัณฐานวิทยาของตัวอย่างทั้ง 18 ตัวอย่างมีการจับตัวเป็นผลึกลักษณะเป็นแท่งขนาดตั้งแต่ 2 ไมโครเมตร จนถึงเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร และมีการจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่บางส่วน โดยเฉพาะ ตัวอย่างที่เตรียมจากหอยแครง หอยเซอรี และหอยนางรม จะพบผลึกที่มีการจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่จำนวนมาก ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้สารตั้งต้นจากเปลือกหอยต่างชนิดกัน ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเอกซอสานนี้เป็นเอกซอสานที่สวมนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตต่างกันจะส่งผลต่อสัญญาณวิทยาของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทที่สังเคราะห์ได้

#### 4.4 การเตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท

แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทถูกนำไปเตรียมเป็นสารละลายแคลเซียม 5% CaO สำหรับใช้เป็นปุ๋ยน้ำ และสารละลายที่เตรียมได้ถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ได้แก่ เจดสี pH การนำไฟฟ้า และปริมาณแคลเซียมที่แน่นอน



รูปที่ 4.33 ปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท

ตารางที่ 4.20 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของปุ๋ยน้ำแคลเซียมที่เตรียมโดยใช้แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

Samples	Color	pH	Conductivity (mS/cm)	Ca content (% CaO)
CK-CAL	ใส	6.15	39.8	4.67
CL-CAL	ใส	6.14	40.1	4.74
GA-CAL	ใส	6.21	37.7	4.56
MS-CAL	ใส	6.23	36.5	4.53
OS-CAL	ใส	6.26	38.8	4.44
SC-CAL	ใส	6.17	39.1	4.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 แสดงผลการวิเคราะห์ปุ๋ยน้ำแคลเซียมโดยใช้แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด ผลการวิเคราะห์พบว่าตัวอย่างสารละลายที่มีปริมาณแคลเซียมจากมากไปน้อย คือ CL-CAL, SC-CAL, CK-CAL, GA-CAL, MS-CAL และ OS-CAL โดยมีปริมาณ 4.74%, 4.67%, 4.65%, 4.56%, 4.53% และ 4.44% ตามลำดับ ซึ่งผลการวิเคราะห์ Conductivity และ pH แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณแคลเซียมในสารละลายสูงขึ้นจะส่งผลให้สารละลายที่ได้นั้นมีค่า Conductivity ที่สูงขึ้น ในขณะที่ pH จะลดลง

ตารางที่ 4.21 ต้นทุนสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียม 5% CaO จากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท

ตัวอย่าง	Calcium Carboante		Acetic acid 99.85%		Lactic acid 88%		ต้นทุน (บาท/ ลิตร)
	น้ำหนัก (กรัม)	ต้นทุน (บาท)	ปริมาตร (mL)	ต้นทุน (บาท)	ปริมาตร (mL)	ต้นทุน (บาท)	
CK-CAL	10	0.12	5.77	0.36	14.92	1.79	2.03
CL-CAL	10	0.12	5.77	0.36	14.92	1.79	2.03
GA-CAL	10	0.11	5.77	0.36	14.92	1.79	2.02
MS-CAL	10	0.10	5.77	0.36	14.92	1.79	2.01
OS-CAL	10	0.07	5.77	0.36	14.92	1.79	1.98
SC-CAL	10	0.13	5.77	0.36	14.92	1.79	2.04

ตารางที่ 4.21 แสดงต้นทุนสารเคมีต่อลิตรที่ใช้ในการเตรียมปุ๋ยน้ำ 5% CaO จากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท 23.21 กรัม ซึ่งจากต้นทุนของเปลือกหอยที่ต่างกันส่งผลให้การเตรียมสารละลายปุ๋ยน้ำ 5% CaO โดยใช้เปลือกหอยเซลล์นั้น มีต้นทุนสูงที่สุด การเตรียมสารละลายปุ๋ยน้ำ 5% CaO โดยใช้เปลือกหอยนางรมนั้น มีต้นทุนต่ำที่สุด แต่จากผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในสารละลายดังตารางที่ 4.55 ก็แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยน้ำ 5% ที่เตรียมจากเปลือกหอยนางรมนั้น มีปริมาณแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้จริงต่ำที่สุดอีกด้วย ซึ่งผลการคำนวณที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ต่อยอดในการหาต้นทุนรวมสำหรับผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียมในกระบวนการอุตสาหกรรมต่อไป

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการทดลองนี้ผู้ทดลองได้แบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการเตรียมและการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทและแคลเซียมแลคเตท โดยทำการศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของกรดอะซิติกและกรดแลคติกต่อร้อยละผลผลิตความสามารถในการละลาย ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา รวมถึงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารประกอบที่สังเคราะห์ได้ เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมแคลเซียมอะซิเตทและแคลเซียมแลคเตท แล้วทำการเตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทโดยใช้ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด ส่วนที่สองคือการนำสารประกอบที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้งานโดยนำสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด ไปเตรียมสารละลายปุ๋ยน้ำ 5% CaO จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ pH, การนำไฟฟ้า และปริมาณแคลเซียมที่แน่นอนในสารละลาย

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ความเข้มข้นของกรดอะซิติกและกรดแลคติกนั้นส่งผลต่อร้อยละผลผลิต ความสามารถในการละลาย ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา รวมถึงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทและแคลเซียมแลคเตทที่สังเคราะห์ได้ โดยผลการวิเคราะห์แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเซอรี เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรมและเปลือกหอยเซลล์ พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด คือ 10M, 10M, 10M, 10M, 10M และ 12M ตามลำดับ ซึ่งร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายของสารประกอบที่เตรียมได้ จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ใช้เพิ่มขึ้นจนถึงสูงสุดที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม จากนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นไปอีกร้อยละการละลายและร้อยละผลผลิตจะลดลงอย่างมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้า<sup>[3,19]</sup> ส่วนผลการวิเคราะห์แคลเซียมแลคเตทจาก เปลือกหอยแครง เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเซอรี เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรมและเปลือกหอยเซลล์ พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด คือ 6M, 6M, 6M, 6M, 6M และ 6M ตามลำดับ ซึ่งร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายของสารประกอบที่เตรียมได้ทั้งหมดสูงสุดที่สารประกอบที่เตรียมโดยใช้กรดแลคติก 6M ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้า<sup>[20]</sup>

จากนั้นเมื่อทำการสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท โดยใช้ความเข้มข้นที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลอง ผล XRD และ FTIR ที่ได้ยืนยันว่าสารประกอบที่ได้มีการผสมระหว่างสารประกอบเชิงเดี่ยวแคลเซียมอะซิเตทและแคลเซียมแลคเตท กับสารประกอบเชิงคู่แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท ซึ่งพบพีค XRD เฉพาะตัวของสารประกอบเชิงคู่ที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งไม่พบในสารประกอบแคลเซียมอะซิ

เตทหรือแคลเซียมแลคเตท จึงสามารถยืนยันได้ว่าเกิดสารประกอบเชิงคู่แคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท ( $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})(\text{CH}_3\text{CHOHCOO})\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ขึ้นจริง

เมื่อนำสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตท มาเตรียมสารละลายป้อนน้ำ 10% CaO พบว่า ตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมในสารละลายมากที่สุดคือสารละลายป้อนน้ำจาก เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเชลล์ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ และเปลือกหอยนางรม ตามลำดับ และเมื่อปริมาณแคลเซียมในสารละลายสูงขึ้นจะส่งผลให้สารละลายที่ได้นั้นมีค่า Conductivity ที่สูงขึ้น ในขณะที่ pH จะลดลง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทดสอบตัวแปรอื่นๆ เช่น pH หรือ อุณหภูมิ เพื่อให้สามารถสังเคราะห์สารประกอบที่มีความบริสุทธิ์และความสามารถในการละลายสูงขึ้นอีก

5.2.2 ควรมีการพัฒนากระบวนการสังเคราะห์เพื่อให้ได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น



## References

1. กลุ่มสถิติการประมง, กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง. 2021. สถิติฟาร์มเลี้ยงหอยทะเล ประจำปี 2563. ฉบับที่ 8/2564.
2. ศศิพันธุ์ ฦ สงขลา, อุษณีย์ สันตติวงศ์ไชย, สุรพงษ์ พิมพ์จันทร์, ชาญชัย อัครวินิกุลชัย และ สมพร จอคำ. การวิเคราะห์ธาตุในเปลือกหอยโดยวิธีนิวเคลียร์. 581-589.
3. Chilakala, R. Thannaree, C. Shin, E. J. Thenepalli, T. and Ahn, J. W. Sustainable Solutions for Oyster Shell Waste Recycling in Thailand and the Philippines. *Recycling*. 4(35).
4. Se-Young, J. Yong-Jin, J. Taeg-Kyu, K. and Ji-Hyung S. 2010. "Effects of Water-Soluble Calcium Supplements Made from Eggshells and Oyster Shells on the Calcium Metabolism of Growing Rats" *J Food Sci Nutr*. 15 : 78-82.
5. Zahra, G. Masoud, N. Taher, B. and Mohammad, E. R. 2021. "Calcium lactate and salicylic acid foliar application influence eggplant growth and postharvest quality parameters." *Acta agriculturae Slovenica*, 117(2) : 1-10.
6. Borchert, R. 1986. "Calcium acetate induces calcium uptake and formation of calcium-oxalate crystals in isolated leaflets of *Gleditsia triacanthos* L." *Planta*. 168(4) : 571-578.
7. Treesubuntorn, C. and Thiravetyan, P. 2019. Calcium acetate-induced reduction of cadmium accumulation in *Oryza sativa*: Expression of auto-inhibited calcium-ATPase and cadmium transporters. *Plant Biology*. 21 : 862-872.
8. Akhtar, N. Yamaguchi, M. Inada, H. Hoshino, D. Kondo, T. Fukami, M. and Izuta, T. 2010. Effects of ozone on growth, yield and leaf gas exchange rates of four Bangladeshi cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). *Environ Pollut*. 158(9) : 2970-2976.
9. Dionysiou, D. Tsianou, M. and Botsaris, G. 2000. "Extractive crystallization for the production of calcium acetate and magnesium acetate from carbonate sources." *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 39(11) : 4192-4202.
10. Jiang, X. Li, G. and Wu, Z. 2010. "Deicing and corrosive performances of calcium acetate deicer made from bamboo-vinegar." *International Journal of Chemical and Molecular Engineering*, 4(5) : 303-309.
11. Nolan C. R. and Qunibi W. Y. (2003). Calcium salts in the treatment of hyperphosphatemia in hemodialysis patients. *Current Opinion in Nephrology and Hypertension*. 12(4): 373-379.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. Lakaew K., Akeprathumchai S., Thiravetyan P. (2020). Foliar spraying of calcium acetate alleviates yield loss in rice (*Oryza sativa* L.) by induced anti-oxidative defence system under ozone and heat stresses. *Ann Appl Biol.* 178: 414-426.
13. Steciak J., Levendis Y. A. and Wise D. L. (1995). Effectiveness of calcium magnesium acetate as dual SO<sub>2</sub> -NO<sub>x</sub> emission control agent. *AIChE Journal.* 41(3). 712-722.
14. Safronova T. V., Mukhin E. A., Putlyaev V. I. Knotko A.V., Evdokimov P.V., Shatalova T.B., Filippov Ya.Yu., Sidorov A.V. and Karpushkin E.A. (2017). Amorphous calcium phosphate powder synthesized from calcium acetate and polyphosphoric acid for bioceramics application. *Ceramics International.* vol. 43(1): 1310-1317.
15. Lee, Y. K. and Kim, S. D. 2003. "Preparation and characteristics of calcium lactate from black snail." *Prev. Nutr. Food Sci.* 8 : 166-172.
16. Kim, J. M. Chang, S. M. Kim, I. H. Koo, Y. M. Hong, H. and Kim, W. S. 2009. "Drowning-out crystallization of calcium lactate for crystal size control." *Korean Chem. Eng. Res.* 47 : 740-746.
17. Vitor, D. S. Rafael, P. S. Odilon, M. O. Luana F. O. Fabiana, B. B. Tobias, R. Joao Paulo, L. F. G. Antonio, H. L. and Guilherme, G. A. 2014. The effects of two different doses of calcium lactate on blood pH, bicarbonate, and repeated high-intensity exercise performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 24(3) : 286-295.
18. Lu J. Y., Carter E. and Chung R. A. (1980) Use of calcium salts for soybean curd preparation. *Journal of Food Science.* 45(1): 32-34.
19. Tsuruma, A. Nomoto, Y..Nishio, M. Ishikawa, M. and Sawai, J. (2020). Efficacy of sorbitol coated heated scallop-shell powder for the antimicrobial treatment of fresh vegetables. *Food Control.* 110(10) : 69-72.
20. สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร. 2021 ข้อมูลการนำเข้าปุ๋ยเคมี พ.ศ. 2564. ฉบับที่ 1/2564.
21. Wongsanmai, S. 2018. Characterization of calcium oxide derived from cockle shells for carbon dioxide capture. *Journal of Science and Technology* 10(1) : 32-36.
22. Seesanong, S. Laosinwattana, C. Chaiseeda, K. and Boonchom, B. 2019. "A Simple and Rapid Transformation of Golden Apple Snail (*Pomacea canaliculata*) Shells to

Calcium Carbonate, Monocalcium and Tricalcium Phosphates.” *Asian Journal of Chemistry*. 31(11) : 2522-2526.

23. Yao, X. L. Tong, O. Y. Dong, X. Y. Xiao, Y. W. 2010. Study of municipal wastewater treatment with oyster shell as biological aerated filter medium. *Desalination*. 254(3) : 149-153.

24. Yu May, Ohn Mar Nyein, Nan Non Khan, Comparative study on the characteristics of eggshell wastes for preparation of calcium acetate, *J. Myanmar Acad. Arts Sci*; 2019; 17 (1): 335-353.

25. Wang, Y. Huang, L. and Wu, J. 2012. Optimization of Conditions for Calcium Lactate Nano-particle production by Chemical Precipitation. *Advanced Materials Research*. 481 : 314-317.

26. Thongkam, M. Saelim, J. Boonchom, B. Seesanong, S. Chaiseeda, K. Laohavisuti, N. Bunya-atichart, K. Boonmee, W. and Taemchuay D. 2021. “Simple and Rapid Synthesis of Calcium Acetate from Scallop Shells to Reduce Environmental Issues.” *Adsorption Science & Technology*. 2021 : 9.

27. Rylander, K. Pérez, J. E. and Gómez J. A. 1996. “Status of the green mussel, *Perna viridis* (Linnaeus, 1758) (Mollusca: Mytilidae), in north-eastern Venezuela.” *Caribbean Marine Studies*. 5: 86-87.

28. Pianhanuruk E. and Kamkit C. 2017. “Preparation of Nano Calcium Carbonate from Cockle Shells as filler in Natural Rubber.” *สงขลา : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*.

29. ฟาริส บุตรรักษ์. 2550. “การเลี้ยงหอยตลับ (*Meretrix sp.*) ด้วยความหนาแน่นแตกต่างกัน.” *ปัญหาพิเศษ สาขาวิชาการประมง (การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ)*, มหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร.

30. Seesanong, S. Laosinwattana, C. and Boonchom, B. 2019. “A simple rapid route to synthesize monocalcium phosphate monohydrate using calcium carbonate with different phases derived from green mussel shells.” *J. Mater. Environ. Sci*. 10(2) : 113-118.

31. Dudka, S. and Miller, W. P. 1999. “Accumulation of potentially toxic elements in plants and their transfer to human food chain.” *J. ENVIRON. SCI. HEALTH*. 34(4) : 681-708.

32. Seesanong, S. Wongchompoo, Y. Boonchom, B. Sronsri, C. Laohavisuti, N. Chaiseeda, K. and Boonmee, W. 2022. “Economical and Environmentally Friendly Track of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Biowaste Recycling of Scallop Shells to Calcium Lactate.” ACS Omega 2022. 7 : 14756-14764.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### ก-1 การคำนวณเจือจางความเข้มข้นของกรด

#### 1) กรดอะซิติก

นำกรดอะซิติก 99.85% w/w หรือ 17.32 M มาเจือจางให้เป็น 8 10 และ 12 M

- กรดอะซิติก เข้มข้น 8 M

ดังนั้น ต้องเติมกรดอะซิติก 17.32 M  $= \frac{8 \times 1000}{17.32} = 458$  มิลลิลิตร ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

- กรดอะซิติก เข้มข้น 10 M

ดังนั้น ต้องเติมกรดอะซิติก 17.32 M  $= \frac{10 \times 1000}{17.32} = 572$  มิลลิลิตร ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

- กรดอะซิติก เข้มข้น 12 M

ดังนั้น ต้องเติมกรดอะซิติก 17.32 M  $= \frac{12 \times 1000}{17.32} = 687$  มิลลิลิตร ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

#### 2) กรดแลคติก

นำกรดแลคติก 88% w/w หรือ 13.40 M มาเจือจางให้เป็น 6 8 และ 10 M

- กรดอะซิติก เข้มข้น 6 M

ดังนั้น ต้องเติมกรดแลคติก 13.40 M  $= \frac{6 \times 1000}{13.40} = 509$  มิลลิลิตร ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

- กรดอะซิติก เข้มข้น 8 M

ดังนั้น ต้องเติมกรดแลคติก 13.40 M  $= \frac{8 \times 1000}{13.40} = 678$  มิลลิลิตร ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

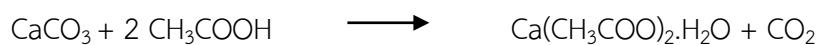
- กรดอะซิติก เข้มข้น 10 M

ดังนั้น ต้องเติมกรดแลคติก 13.40 M  $= \frac{10 \times 1000}{13.40} = 848$  มิลลิลิตร ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก-2 การเตรียมสารประกอบแคลเซียม

### 1) แคลเซียมอะซิเตท



จาก  $\text{CaCO}_3$  MW = 100 g/mol

1 mol  $\text{CaCO}_3$  ทำปฏิกิริยาพอดีกับ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  2 mol

ดังนั้น การทดลองใช้  $\text{CaCO}_3$  10 g  $\times$  (1 mol/100 g) = 0.1 mol

$$\text{ต้องใช้ } \text{CH}_3\text{COOH } 0.1 \text{ mol} * \frac{2 \text{ mol } \text{H}_3\text{PO}_4}{1 \text{ mol } \text{CaCO}_3} = 0.2 \text{ mol}$$

$$0.2 \text{ mol } \text{H}_3\text{PO}_4 = \frac{\left(17.32 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right) V}{1000}$$

$$V = 11.55 \text{ mL}$$

ถ้าต้องใช้  $\text{H}_3\text{PO}_4$  17.32% w/w 68.45 mL

$$\text{จะต้องใช้ } \text{CH}_3\text{COOH } 8 \text{ M} = X = \frac{17.32}{8} * 11.55 = 25.01 \text{ mL}$$

$$\text{จะต้องใช้ } \text{CH}_3\text{COOH } 10 \text{ M} = X = \frac{17.32}{10} * 11.55 = 20.00 \text{ mL}$$

$$\text{จะต้องใช้ } \text{CH}_3\text{COOH } 12 \text{ M} = X = \frac{17.32}{12} * 11.55 = 16.67 \text{ mL}$$

### 1) แคลเซียมแลคเตท



จาก  $\text{CaCO}_3$  MW = 100 g/mol

1 mol  $\text{CaCO}_3$  ทำปฏิกิริยาพอดีกับ  $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$  2 mol

ดังนั้น การทดลองใช้  $\text{CaCO}_3$  10 g  $\times$  (1 mol/100 g) = 0.1 mol

$$\text{ต้องใช้ } \text{CH}_3\text{CHOHCOOH } 0.1 \text{ mol} * \frac{2 \text{ mol } \text{H}_3\text{PO}_4}{1 \text{ mol } \text{CaCO}_3} = 0.2 \text{ mol}$$

$$0.2 \text{ mol } \text{CH}_3\text{CHOHCOOH} = \frac{\left(13.40 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right) V}{1000}$$

$$V = 14.93 \text{ mL}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าต้องใช้  $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$  17.32% w/w 68.45 mL

จะต้องใช้  $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$  6 M =  $X = \frac{13.40}{6} * 14.93 = 33.34$  mL

จะต้องใช้  $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$  8 M =  $X = \frac{13.40}{8} * 14.93 = 25.01$  mL

จะต้องใช้  $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$  10 M =  $X = \frac{13.40}{10} * 14.93 = 20.00$  mL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้