

การเตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ
จากเปลือกหอย เพื่อผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียม

PREPARATION OF CALCIUM ACETATE-EDTA COMPOUND
FROM SHELLS TO PRODUCE CALCIUM FOLIAR FERTILIZER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2565

KMITL-2022-SC-M-012-136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION OF CALCIUM ACETATE-EDTA COMPOUND
FROM SHELLS TO PRODUCE CALCIUM FOLIAR FERTILIZER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENT CHEMISTRY
DEPARTMENT OF CHEMISTRY SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG
2022
KMITL-2022-SC-M-012-136

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	การเตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อิตีทีเอทจากเปลือกหอย เพื่อผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียม
ชื่อนักศึกษา	จิณณพัต แซ่ลิ่ม
รหัสประจำตัว	62605056
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
พ.ศ.	2565
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์.ดร.บรรจง บุญชม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมอิตีทีเอทจากเปลือกหอย 6 ชนิด ได้แก่ เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยเชลล์ โดยกระบวนการ คือการนำผงเปลือกหอยละเอียดแต่ละชนิดมาทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติก (8 M, 10M และ 12M) และอิตีทีเอ (0.5M, 0.75M และ 1M) เพื่อศึกษาสภาวะการเตรียมที่เหมาะสม จากนั้น ได้นำสารตัวอย่างที่เตรียมได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ด้วยเทคนิค เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) เอกซ์เรย์ดิฟแฟกชัน (XRD) พูเรียแทรนเฟอร์มอินฟราเรด (FTIR) การวิเคราะห์เชิงความร้อนเทอร์โมกราวิเมตรี (TGA) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สภาวะการเตรียมที่ต้องการ ได้แก่ ระยะเวลาการเตรียมที่สั้น ร้อยละผลผลิตสูง และความสามารถการละลายสูง เพื่อเลือกความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหมาะสม (เปลือกหอยและกรด)ในการเตรียม จากนั้นสภาวะดังกล่าวที่ได้ จะถูกนำมาใช้เพื่อเตรียมสารประกอบทวิแคลเซียมอะซิเตท-อิตีทีเอ แล้วทำการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีด้วยเทคนิคที่กล่าวมาก่อนนี้ สุดท้าย ได้นำเอาผงสารประกอบทวิแคลเซียมอะซิเตท-อิตีทีเอ มาละลายน้ำเพื่อผลิตปุ๋ยน้ำที่มีร้อยละ 5 CaO แล้วทำการวิเคราะห์ค่า pH, การนำไฟฟ้า และหาปริมาณแคลเซียม

คำสำคัญ: เปลือกหอย, แคลเซียมอะซิเตท, แคลเซียมอิตีทีเอ, แคลเซียมอะซิเตท-อิตีทีเอ, ปุ๋ยน้ำ

Thesis Title	Preparation of calcium acetate-EDTA compound from shells to produce calcium foliar fertilizer
Student Name	Jinnaput Saelim
Student ID	62605056
Degree	Master of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
Year	2022
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Banjong Boonchom

Abstract

In this work, calcium acetate and calcium EDTA compounds had been synthesized from 6 types of shells: clam shells, cockle shells, golden apple snail shells, mussel shells, oyster shells and scallop shells. By process, each type of fine shell powder was reacted with acetic acid (8 M, 10M and 12M) and EDTA (0.5M, 0.75M and 1M) to study the optimum preparation conditions. After that, all the prepared samples were analyzed for chemical and physical properties by X-ray fluorescence (XRF) and X-ray diffraction (XRD) Fourier transform infrared (FTIR), thermogravimetric analysis (TGA), and scanning electron microscope (SEM). Preferred preparation conditions include a shorter preparation time and maximum yield percentage with high solubility to select the appropriate concentration of substances (shells and acids) in the preparation. Then a selected condition was used to prepare the binary calcium acetate-EDTA compound and then the physical and chemical properties were examined by the a forementioned techniques. Finally, the binary calcium acetate-EDTA compound powder were dissolved by water to produce a liquid fertilizer containing 5% CaO and then lead to analyze pH, conductivity and calcium content.

Keywords: Shells, Calcium acetate, Calcium EDTA, Calcium acetate-EDTA, Liquid fertilizer

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายๆ ท่านด้วยกัน ซึ่งผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.บรรจง บุญชม อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ให้ความรู้ ตลอดจนเสนอแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาอันเป็นประโยชน์ สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ รวมทั้งช่วยตรวจสอบ และขัดเกลาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และ รศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการ สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้คำแนะนำในเรื่องของความถูกต้อง ความเป็นระเบียบเรียบร้อยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ ทำให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทุก ๆ ที่เอื้ออำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ในการทำวิจัย และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ในทุก ๆ ด้าน

และสุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้าอีกทั้งพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จิณณพัต แซ่ลิ่ม

Acknowledgements

This thesis was completed completely due to the support from many people together, I would like to thank everyone for helping as follows.

Firstly, I appreciate Assoc. Prof. Dr. Banjong Boonchom, Lecturer of Department of Chemistry, Faculty of Science. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. Thesis advisors who provide assistance, advice, knowledge, as well as suggest useful solutions to problems for this thesis including helping to check and enhance this thesis making this thesis more complete

Next, I would like to thank Asst. Prof. Dr. Phisek Rungrojchaiporn Lecturer at Department of Chemistry Faculty of Science King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang and Assoc. Prof. Dr. Chalor Jarusutthirak Lecturer at Department of Environmental Technology and Management, Faculty of Environment Kasetsart University to advise accuracy and orderliness of this thesis including recommendations for doing thesis making this thesis more complete.

Moreover, I would like to thank science laboratories staff for facilitating the use of research equipment and assisted in preparation of this thesis in every area.

Finally, thanks to my family, brothers and sisters, and my friends for always supporting, giving me advice, and encouraging me to do research which made me complete this thesis successfully.

Jinnaput Saelim

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศภาษาไทย	ค
กิตติกรรมประกาศภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เปลือกหอย (Shells)	4
2.1.1 เปลือกหอยตลับ (Clam shells)	5
2.1.2 เปลือกหอยแครง (Cockle shells)	6
2.1.3 เปลือกหอยเซอริ้ (Golden apple snail shells)	7
2.1.4 เปลือกหอยแมลงภู่ (Mussel shells)	8
2.1.5 เปลือกหอยนางรม (Oyster shells)	9
2.1.6 เปลือกหอยเชลล์ (Scallop shells)	10
2.2 การสังเคราะห์สารประกอบ	11
2.2.1 แคลเซียมอะซิเตท (Calcium acetate)	11
2.2.2 แคลเซียมอีดีทีเอ (Calcium edta)	13
2.2.2 แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ (Calcium acetate-edta)	14
2.3 ปุ๋ย	14
2.3.1 ปุ๋ยทางใบ	15
2.3.1 การนำเข้าปุ๋ยในไทย	16
2.3.2 ความสำคัญของแคลเซียมต่อพืช	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	18
3.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง	18
3.1.1 สารเคมี	18

3.1.2	วัสดุและอุปกรณ์	18
3.1.3	เครื่องมือวิเคราะห์	19
3.2	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	19
3.2.1	การเตรียมผงเปลือกหอย	19
3.2.2	การเตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด	20
3.2.3	การเตรียมสารประกอบแคลเซียมอิตีทีเอ จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด	21
3.2.4	การเตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อิตีทีเอ จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด	22
3.2.5	การวิเคราะห์ร้อยละการละลายของสารประกอบแคลเซียม	23
3.2.6	การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบ	23
3.2.6.1	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันขององค์ประกอบภายในโมเลกุล (Fourier Transform Infared (FT-IR) spectroscopy)	23
3.2.6.2	การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (X-ray fluorescence)	23
3.2.6.3	การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้าง (X-Ray Diffraction)	24
3.2.6.4	การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน(Thermogravimetric Analysis)	24
3.2.6.5	การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา (Scanning Electron Microscopy)	24
3.2.7	การเตรียมสารละลายปุ๋ยน้ำแคลเซียม 5%	24
3.2.8	การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่แน่นอนของสารละลายปุ๋ยน้ำแคลเซียม 5%	24
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล		25
4.1	การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตท	26
4.1.1	ศึกษาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอะซิเตท	26
4.1.2	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมอะซิเตทด้วยเทคนิค XRF	28
4.1.3	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทด้วยเทคนิค FTIR	35
4.1.4	การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทด้วยเทคนิค XRD	37
4.1.5	การวิเคราะห์การสลายตัวด้วยความร้อนของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทด้วยเทคนิค TGA	38
4.1.6	การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	40
4.2	การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอิตีทีเอ	42
4.2.1	ศึกษาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอิตีทีเอ	42
4.2.2	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมอิตีทีเอด้วยเทคนิค XRF	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอด้วยเทคนิค FTIR	51
4.2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอด้วยเทคนิค XRD	53
4.2.5 การวิเคราะห์การสลายตัวด้วยความร้อนของสารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอด้วยเทคนิค TGA	54
4.2.6 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของสารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	56
4.3 การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ	58
4.3.1 ศึกษาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ	58
4.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอด้วยเทคนิค XRF	59
4.3.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอด้วยเทคนิค FTIR	60
4.3.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอด้วยเทคนิค XRD	61
4.3.5 การวิเคราะห์การสลายตัวด้วยความร้อนของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอด้วยเทคนิค TGA	62
4.3.6 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	64
4.4 การเตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ	65
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	67
5.1 สรุปผลการวิจัย	67
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	72

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่พบในเปลือกหอยแต่ละชนิด	4
2.2 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้า ส่งออกปุ๋ยธาตุรองและธาตุเสริมของประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ.2561-2564	16
3.1 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตท	20
3.2 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์แคลเซียมอิดีทีเอ	21
3.3 ความแรงในการทำปฏิกิริยาและปริมาตรของกรดอะซิติกและสารละลายไดโซเดียมอิดีทีเอ สำหรับเตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อิดีทีเอ	22
4.1 ศึกษาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอะซิเตท จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด	26
4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CL-AC8, CL-AC10 และ CL-AC12	28
4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CK-AC8, CK-AC10 และ CK-AC12	29
4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ GA-AC8, GA-AC10 และ GA-AC12	30
4.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ MS-AC8, MS-AC10 และ MS-AC12	31
4.6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ OT-AC8, OT-AC10 และ OT-AC12	32
4.7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ SC-AC8, SC-AC10 และ SC-AC12	33
4.8 ระบุพิกัดที่พบจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR	36
4.9 ศึกษาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอิดีทีเอ จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด	42
4.10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CL-EDTA0.5, CL-EDTA0.75 และ CL-EDTA1	44
4.11 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CK-EDTA0.5, CK-EDTA0.75 และ CK-EDTA1	45
4.12 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ GA-EDTA0.5, GA-EDTA0.75 และ GA-EDTA1	46
4.13 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ MS-EDTA0.5, MS-EDTA0.75 และ MS-EDTA1	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.14 ผลการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ OT-EDTA0.5, OT-EDTA0.75 และ OT-EDTA1	48
4.15 ผลการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ SC-EDTA0.5, SC-EDTA0.75 และ SC-EDTA1	49
4.16 พิกของหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบคลเคลเซียมอิตีที่เอที่พบจากการวิเคราะห์ด้วย FT-IR	52
4.17 ศึกษาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของ แคลเซียมอะซิเตท-อิตีที่เอจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด	58
4.18 ผลการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CL-CA10-EDTA0.5, CK-CA10-EDTA0.5, GA-CA10-EDTA0.5, MS-CA10-EDTA0.5, OT-CA10-EDTA0.5 และ SC-CA12-EDTA0.5	59
4.19 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของปุ๋ยน้ำแคลเซียมที่เตรียมโดยใช้ แคลเซียมอะซิเตท-อิตีที่เอจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด	65
4.20 ต้นทุนสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียม	66



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เปลือกหอยตลับ (Clam shells)	5
2.2 เปลือกหอยแครง (Cockle shells)	6
2.3 เปลือกหอยเซอรี (Golden apple snail shells)	7
2.4 เปลือกหอยแมลงภู (Mussel shells)	8
2.5 เปลือกหอยนางรม (Oyster shells)	9
2.6 เปลือกหอยเชลล์ (Scallop shells)	10
2.7 โครงสร้างแคลเซียมอะซิเตท	12
2.8 โครงสร้างทางเคมีของแคลเซียมอิดีทีเอซีเลต	13
2.9 ปุ๋ยน้ำแคลเซียมที่ขายตามท้องตลาด	17
4.1 รูปแบบการดูดกลืนอินฟราเรดของ CL-AC10, CK-AC10, MS-AC10, GA-AC10, OT-AC10 และ SC-AC12	35
4.2 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CL-AC10, CK-AC10, MS-AC10, GA-AC10, OT-AC10 และ SC-AC12	37
4.3 ร้อยละของน้ำหนักที่เหลือของ CL-AC10, CK-AC10, MS-AC10, GA-AC10, OT-AC10 และ SC-AC12	38
4.4 อัตราการสลายตัวของ CL-AC10, CK-AC10, MS-AC10, GA-AC10, OT-AC10 และ SC-AC12	38
4.5 ลักษณะสัญญาณวิทยาของ CL-CA10 (a), CK-CA10 (b), GA-CA10 (c), MS-CA10 (d), OT-CA10 (e) และ SC-CA12 (f)	40
4.6 รูปแบบการดูดกลืนอินฟราเรดของ CL-EDTA0.5, CK-EDTA0.5, GA-EDTA0.5, MS-EDTA0.5, OT-EDTA0.5 และ SC-EDTA0.5	51
4.7 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CL-EDTA0.5, CK-EDTA0.5, GA-EDTA0.5, MS-EDTA0.5, OT-EDTA0.5 และ SC-EDTA0.5	53
4.8 ร้อยละของน้ำหนักที่เหลือของ CL-EDTA0.5, CK-EDTA0.5, GA-EDTA0.5, MS-EDTA0.5, OT-EDTA0.5 และ SC-EDTA0.5	54
4.9 อัตราการสลายตัวของ CL-EDTA0.5, CK-EDTA0.5, GA-EDTA0.5, MS-EDTA0.5, OT-EDTA0.5 และ SC-EDTA0.5	54
4.10 ลักษณะสัญญาณวิทยาของ CL-EDTA0.5 (a), CK-EDTA0.5 (b), GA-EDTA0.5 (c), MS-EDTA0.5 (d), OT-EDTA0.5 (e), SC-EDTA0.5 (f)	56
4.11 รูปแบบการดูดกลืนอินฟราเรดของ CL-CA10-EDTA0.5, CK-CA10-EDTA0.5, GA-CA10-EDTA0.5, MS-CA10-EDTA0.5, OT-CA10-EDTA0.5 และ SC-CA12-EDTA0.5	60

4.12 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CL-CA10-EDTA0.5, CK-CA10-EDTA0.5, GA-CA10-EDTA0.5, MS-CA10-EDTA0.5, OT-CA10-EDTA0.5 และ SC-CA12-EDTA0.5	61
4.13 ร้อยละของน้ำหนักที่เหลือของ CL-CA10-EDTA0.5, CK-CA10-EDTA0.5, GA-CA10-EDTA0.5, MS-CA10-EDTA0.5, OT-CA10-EDTA0.5 และ SC-CA12-EDTA0.5	62
4.14 อัตราการสลายตัวของ CL-CA10-EDTA0.5, CK-CA10-EDTA0.5, GA-CA10-EDTA0.5, MS-CA10-EDTA0.5, OT-CA10-EDTA0.5 และ SC-CA12-EDTA0.5	62
4.15 ลักษณะสัณฐานวิทยาของ CL-CA10-EDTA0.5 (a), CK-CA10-EDTA0.5 (b), GA-CA10-EDTA0.5 (c), MS-CA10-EDTA0.5 (d), OT-CA10-EDTA0.5 (e), SC-CA12-EDTA0.5 (f)	64



คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
FTIR	เทคนิค Fourier Transform Infrared spectroscopy
XRD	เทคนิค X-ray diffraction
XRF	เทคนิค X-ray fluorescence
TGA	เทคนิคการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนด้วย Thermogravimetric analysis
SEM	เทคนิคการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
CL-AC8	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยตลับที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 8 M
CL-AC10	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยตลับที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M
CL-AC12	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยตลับที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 12 M
CK-AC8	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครงที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 8 M
CK-AC10	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครงที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M
CK-AC12	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครงที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 12 M
GA-AC8	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 8 M
GA-AC10	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M
GA-AC12	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 12 M
MS-AC8	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแมลงภูที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 8 M
MS-AC10	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแมลงภูที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M
MS-AC12	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแมลงภูที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 12 M
OT-AC8	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยนางรมที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 8 M
OT-AC10	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยนางรมที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OT-AC12	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยนางรมที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 12 M
SC-CA8	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชลล์ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 8 M
SC-CA10	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชลล์ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M
SC-CA12	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชลล์ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 12 M
CL-EDTA0.5	แคลเซียมอีดีทีเอจากเปลือกหอยตลับที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 0.5 M
CL-EDTA0.75	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยตลับที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 0.75 M
CL-EDTA1	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยตลับที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 1 M
CK-EDTA0.5	แคลเซียมอีดีทีเอจากเปลือกหอยแครงที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 0.5 M
CK-EDTA0.75	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครงที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 0.75 M
CK-EDTA1	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแครงที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 1 M
GA-EDTA0.5	แคลเซียมอีดีทีเอจากเปลือกหอยเชอรี่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 0.5 M
GA-EDTA0.75	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 0.75 M
GA-EDTA1	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชอรี่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 1 M
MS-EDTA0.5	แคลเซียมอีดีทีเอจากเปลือกหอยแมลงภู่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 0.5 M
MS-EDTA0.75	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแมลงภู่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 0.75 M
MS-EDTA1	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแมลงภู่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 1 M
OT-EDTA0.5	แคลเซียมอีดีทีเอจากเปลือกหอยนางรมที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 0.5 M
OT-EDTA0.75	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยนางรมที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 0.75 M
OT-EDTA1	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยนางรมที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 1 M
SC-EDTA0.5	แคลเซียมอีดีทีเอจากเปลือกหอยเชลล์ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 0.5 M
SC-EDTA0.75	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชลล์ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 0.75 M
SC-EDTA1	แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยเชลล์ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอีดีทีเอ 1 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CL-AC10-EDTA0.5	แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอจากเปลือกหอยตลับที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M และอีดีทีเอ 0.5 M
CK-AC10-EDTA0.5	แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอจากเปลือกหอยแครงที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M และอีดีทีเอ 0.5 M
GA-AC10-EDTA0.5	แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอจากเปลือกหอยเชอร์รี่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M และอีดีทีเอ 0.5 M
MS-AC10-EDTA0.5	แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอจากเปลือกหอยแมลงภู่ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M และอีดีทีเอ 0.5 M
OT-AC10-EDTA0.5	แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอจากเปลือกหอยนางรมที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M และอีดีทีเอ 0.5 M
SC-AC12-EDTA0.5	แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอจากเปลือกหอยเชลล์ที่สังเคราะห์ด้วยกรดอะซิติก 10 M และอีดีทีเอ 0.5 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แนวโน้มสถานการณ์ในปี 2562 ไทยมีการนำเข้าหอยหลากหลายชนิดปริมาณ 15,700 ตัน ตลาดหลักในการ นำเข้า ได้แก่ นิวซีแลนด์ 25.63%, จีน 17.93%, ญี่ปุ่น 15.26%, ฝรั่งเศส 8.28%, ชิลี 7.87% และประเทศอื่นๆ 25.03% โดยในประเทศไทยเองก็มีปริมาณหอยที่เพาะเลี้ยงต่อปีกว่า 100,000 ตัน โดยแบ่งเป็นหอยแมลงภู่ 58% หอยแครง 28% หอยนางรม 13% และอีก 1% เป็นหอยเชอร์รี่ หอยเชลล์ หอยตลับ และอื่นๆ(ศศิพันธุ์ ณ สงขลา และคณะ, 2541) แม้จะมีการนำเข้าเปลือกหอยเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ แต่จากแนวโน้มอุตสาหกรรมประมงที่เติบโตขึ้นทุกปีก็ยังส่งผลให้ปัญหาปริมาณขยะเปลือกหอยที่เพิ่มขึ้นยังคงสะสมต่อไป(ศศิพันธุ์ ณ สงขลา และคณะ, 2541) จึงทำให้เปลือกหอยกองสะสมทุกวัน แม้จะมีการนำเปลือกหอยไปใช้ประโยชน์โดยการแปรรูปเป็นสารประกอบแคลเซียมในอุตสาหกรรมต่างๆ (Chilakala et al., 2021), (Zahra et al., 2021) เนื่องจากเปลือกหอยชนิดต่างๆมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) สูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ก็ตาม (Se-Young, 2010) แต่ปริมาณของเปลือกหอยก็ยังไม่ลดน้อยลง กลายเป็นขยะ เกิดเป็นแหล่งของพาหะเชื้อโรค ก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์

ธาตุแคลเซียม เป็นธาตุอาหารรองของพืช เสริมสร้างโครงสร้างของเซลล์ของพืช ช่วยให้เซลล์ติดต่อกัน ช่วยเชื่อมผนังเซลล์ ให้เป็นรูปร่างและขนาด ใหญ่เป็นไปตามลักษณะของพืชแต่ละชนิด มีหน้าที่โดยตรงเกี่ยวกับโครงสร้างของผลไม้ มีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการเจริญเติบโต และการออกดอกของพืช ช่วยป้องกันผลร่วง ผลแตก ช่วยเพิ่มการติดผล ส่งผลให้ผลผลิตสูงขึ้น ช่วยให้สีของเนื้อและสีผิวของผลสดใส ช่วยลดการเกิดเนื้อของผลแข็งกระด้าง และในบางงานวิจัยได้มีการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการถูกดูดซึมและเคลื่อนย้ายในเซลล์พืชของแคลเซียม พบว่าเมื่อนำมาผลิตปุ๋ยในรูปปุ๋ยน้ำแคลเซียมทางใบสำหรับพืช ปุ๋ยที่ได้มีความสามารถในการละลายสูงและเคลื่อนย้ายในเซลล์พืชได้ดีกว่า สารประกอบแคลเซียมในรูปอื่น (Wongsaenmai et al., 2018) ดังนั้นแคลเซียมจึงเป็นธาตุอาหารที่พืชมีความต้องการปริมาณมากและอย่างต่อเนื่อง

แคลเซียมอะซิเตท ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) นั้นโดยทั่วไปถูกนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้านไม่ว่าจะเป็น ยาลดปริมาณฟอสเฟตในเลือดในทางการแพทย์ (Nolan C et al., 2003) ใช้เตรียมปุ๋ยน้ำทางใบสำหรับพืช (Lakaew et al., 2020) ส่วนแคลเซียมอีดีทีเอ (Ca-EDTA) ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการใช้เตรียมปุ๋ยน้ำทางใบสำหรับพืช เนื่องจากอีดีทีเอเป็นสารคีเลตจะรวมตัวกับแคลเซียมซึ่งเป็นสารที่มีผลต่อการดูดดึงธาตุอาหารในพืช (Speight, 2017) โดยสารคีเลตจะเข้าล้อมรอบประจุบวกและไม่ยอมให้สารอื่นเข้ามา

สร้างพันธะกับประจุบวกเหล่านี้ จึงทำให้ประจุบวกที่มีสารคีเลตล้อมรอบอยู่ในสภาพสารละลายได้นาน ทำให้พืชสามารถดูดดึงนำไปใช้ได้ง่ายขึ้น (Razuvaev et al., 1971)

โดยประเทศไทยมีการนำเข้าสินค้าด้านการเกษตรต่างๆจากต่างประเทศจำนวนมาก รวมทั้งปุ๋ยเคมี โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560-2564 ประเทศไทยมีการนำเข้าปุ๋ยเคมีรวมทุกสูตรกว่า 5 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่ากว่าประมาณ 40,000-70,000 ล้านบาท โดยเป็นปุ๋ยธาตุรองและธาตุเสริมกว่า 6 หมื่นตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 600-1,100 ล้านบาท(กฤษฎา และคณะ, 2553) การผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากเปลือกหอยจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะช่วยลดการนำเข้าปุ๋ยจากต่างประเทศ และให้เกษตรกรได้ใช้ปุ๋ยในราคาที่ถูกลง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำขึ้น เพื่อวิจัยการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอินทรีย์เชิงเดี่ยว 2 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมอิตีเอ และสารแคลเซียมอินทรีย์เชิงคู่ 1 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเตท-อิตีเอ จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยเชลล์และเปลือกหอยตลับ เพื่อช่วยลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม และยังเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าขยะเหลือทิ้งอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอินทรีย์เชิงเดี่ยว 2 ชนิด ได้แก่ แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมอิตีเอ และสารแคลเซียมอินทรีย์เชิงคู่ 1 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเตท-อิตีเอ
2. ตรวจสอบวิเคราะห์สารประกอบแคลเซียมที่เตรียมได้ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ต่างๆ เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบที่สังเคราะห์ได้และศึกษาผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบ
3. ผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อิตีเอ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.ศึกษากรรมวิธีการผลิตสารประกอบแคลเซียมอินทรีย์เชิงเดี่ยว 2 ชนิด ได้แก่ แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมอิตีเอ และสารแคลเซียมอินทรีย์เชิงคู่ 1 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเตท-อิตีเอ จากเปลือกหอย 6 ชนิด เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกเชอรี่ เปลือกหอยเชลล์และเปลือกหอยตลับ โดยใช้ความแรงของกรดอะซิติกที่ 8M 10M และ 12M และใช้ความแรงของสารละลายไดโซเดียมอิตีเอที่ 0.5M 0.75M และ 1M

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

3.ทดลองผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อิตีเอที่เตรียมได้โดยใช้เปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด รวมถึงคำนวณต้นทุนสารเคมีที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากตัวอย่างแต่ละตัวอย่าง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้กระบวนการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียม จากเปลือกหอย ทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรมและเปลือกหอยเชลล์
2. ได้กระบวนการผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียมเพื่อช่วยลดการนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศ และลดค่าใช้จ่ายแก่เกษตรกร
3. ลดปริมาณขยะจากเปลือกหอยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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(CaCO_3) พบในรูปโครงสร้างที่ต่างกันไม่ว่าจะเป็นอะราโกไนต์(aragonite) และแคลไซต์(calcite)

เปลือกหอยประกอบด้วย 3 ชั้น

1. ชั้นนอกสุด (periostracum layer) จะประกอบด้วยสารโปรตีนประเภทคอนโคโอลิน ชั้นนี้จะ เป็นชั้นที่บางและหลุดง่าย
2. ชั้นกลาง (prismatic layer) เป็นชั้นที่ประกอบด้วยผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตที่อยู่ในรูปผลึกแคลไซต์ (calcite) เป็นรูปร่างต่างๆ ชั้นนี้จะมีความหนาแน่นมากที่สุด
3. ชั้นในสุด (nacreous layer) เป็นชั้นที่ประกอบด้วยผลึกแคลเซียมซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอะราโกไนต์(aragonite) ซึ่งเป็นชั้นที่เรียบและบาง ความหนาของชั้นนี้จะแตกต่างกัน ตามชนิดของหอย เมื่อถูกแสงแดดจะเกิดประกายเป็นสีรุ้ง มันวาว (ศศิพันธุ์ ณ สงขลา และคณะ, 2541)

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่พบในเปลือกหอยแต่ละชนิด

ชนิดของเปลือกหอย	% CaCO_3
หอยตลับ	85%
หอยแครง	88%
หอยเชอรี่	88%
หอยแมลงภู่	91%
หอยนางรม	86%
หอยเชลล์	89%

ที่มา : ศศิพันธุ์ ณ สงขลาและคณะ, กองฟิลิกส์ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2541

2.1.1 เปลือกหอยตลับ (Clam shells)

หอยตลับ หรือ หอยหวาน หอยตลับลาย หอยขาว ชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า clam ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Meretrix meretrix* เป็นสัตว์น้ำชนิดหนึ่งที่มีค่าทางเศรษฐกิจในด้านการบริโภค เปลือกหนา ผิวเปลือกมีลักษณะมันเงา มีสีและลวดลายต่างกัน ตั้งแต่สีขาวเรียบ สีครีม ลายสีน้ำตาลอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีน้ำตาลเข้ม ซึ่งหอยตลับเป็นหอยฝาคู่พบมากตามหาดทรายโดยจะฝังตัวในแนวระดับน้ำลด สามารถพบทั้งชายฝั่งอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามัน เช่น จังหวัดตราด จันทบุรี ระยอง เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี และ ทางฝั่งอันดามัน แถบจังหวัดสมุทรสงคราม ชลบุรี(วันทนา อยู่สุข และคณะ, 2552)

ทำการศึกษารายละเอียดประกอบทางเคมีของเปลือกหอยตลับ และพบว่าประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต 98.82% โดยอยู่ในรูปผลึกอะราโกไนท์ 92.67% และแคลไซต์ 7.33% (Chilakala et al., 2021)



รูปที่ 2.1 เปลือกหอยตลับ (แหล่งท่องเที่ยวและของดี จังหวัดชุมพร, 2565)

2.1.2 เปลือกหอยแครง (Cockle shells)

หอยแครง ชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า cockle ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Tegillarca granosa* เป็นหอยจำพวกหอยสองฝา ลักษณะค่อนข้างกลม ขนาดความยาวประมาณ 6-7 เซนติเมตร สีของเปลือกชั้นไม่แน่นอน อาจมีสีขาวหรือสีแดงปนดำหรือสีแดงปนน้ำตาล เป็นสัตว์เศรษฐกิจในประเทศไทย นิยมบริโภคทั้งในรูปของหอยสดและแปรรูป ในส่วนของเปลือกใช้ทำเครื่องประดับของชำร่วย หรือ บดผสมลงในอาหารไก่เพื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมในอาหารสัตว์ (จอม ปัทมคันธิน, 2555)

ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแครง พบว่าประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปผลึกอะราโกไนท์ถึง 98.10% และเมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 950 °C จะเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบแคลเซียมออกไซด์ทั้งหมด จากนั้นเมื่อทดสอบการดูดซับแคลเซียมออกไซด์พบว่าสารประกอบที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิ 700 °C สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีที่สุด (Wongsaenmai et al., 2018)



รูปที่ 2.2 เปลือกหอยแครง (จอม ปัทมคันธิน, 2555)

2.1.3 เปลือกหอยเชอรี (Golden apple snail shells)

หอยเชอรี หรือ หอยโข่งอเมริกาใต้ หรือ หอยเป่าชื่อน้ำจืด มีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Golden apples nail ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Pomacea canaliculata* เป็นหอยน้ำจืดจำพวกหอยฝาเดียว มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ สามารถแบ่งได้ 2 พวก ได้แก่ พวกที่มีเปลือกสีเหลืองปนน้ำตาล เนื้อและหนวดสีเหลือง และพวกมีเปลือกสีเขียวเข้มปนดำ และมีสีดำจาง ๆ พาดตามความยาว เนื้อและหนวดสีน้ำตาลอ่อน หอยเชอรีสามารถเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว หอยชนิดนี้เป็นสัตว์เศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมอย่างสูงด้วยรสชาติที่อร่อย (ศูนย์วิจัย และประเมินความเสี่ยงด้านอาหารปลอดภัย, 2554) จึงส่งผลให้พบเปลือกหอยเหลือทิ้งจำนวนมาก หอยเชอรีพบมากตามแหล่งน้ำทุกประเภทที่มีลักษณะน้ำนิ่งหรือไหลค่อย และชอบอาศัยในระดับน้ำตื้นๆ และสามารถทนต่อน้ำสกปรกได้ดี (ปีพมา แซ่กิม, 2543)

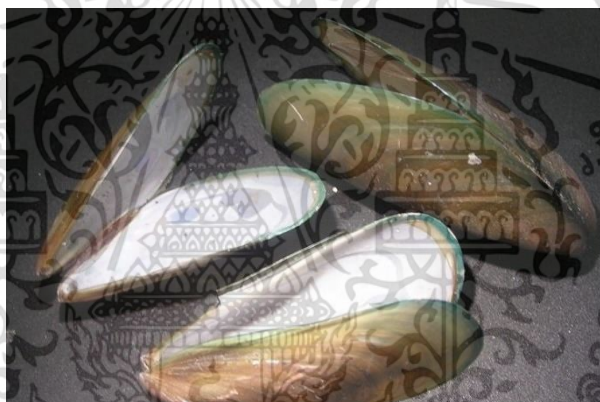
ได้ทำการศึกษารายละเอียดของเปลือกหอยเชอรี พบว่าผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมจากหอยเชอรีนั้นประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตถึง 97% ในรูปผลึกอะราโกไนท์ และสามารถนำมาเตรียมเป็นสารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตได้โดยใช้กระบวนการผลิตที่ง่าย รวดเร็ว และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Wongsaenmai et al., 2018)



2.1.4 เปลือกหอยแมลงภู่ (Mussel shells)

หอยแมลงภู่มิชื่อภาษาอังกฤษว่า Mussel ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Perna viridis* เป็นหอยสองฝา สีของเปลือกเปลี่ยนไปตามแหล่งที่อยู่อาศัย ถ้าอยู่ใต้น้ำตลอดเวลาจะมีสีเขียวอมดำ ถ้าอยู่บริเวณน้ำขึ้นน้ำลง ถูกแดดบ้าง เปลือกจะออกเหลือง เปลือกด้านนอกมีสีเขียว ส่วนท้ายจะกว้างกว่าส่วนหน้า ขนาดความยาวของเปลือกหอยที่สามารถสืบพันธุ์ได้มีความยาวตั้งแต่ 2.13 เซนติเมตรขึ้นไป มีความยาวตั้งแต่ 4-20 เซนติเมตร เป็นหอยที่กระจายพันธุ์ทั่วไปในทะเลแถบอินโดแปซิฟิก (ทวิช กล้าแท้, 2560)

ผลผลิตของหอยแมลงภู่มากส่วนใหญ่นำมาใช้ในการทำฟาร์ม โดยผู้เลี้ยงจะปักหลักไม้ เช่น ไม้รวก หรืออาจใช้เชือกแขวนทำราว เพื่อให้ลูกหอยเกาะ แหล่งที่เลี้ยงมักเป็นปากแม่น้ำ และบริเวณที่เป็นน้ำกร่อยในไทย พบมากที่ จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ และปัตตานี (วันทนา อยู่สุข และคณะ, 2552)



รูปที่ 2.4 เปลือกหอยแมลงภู่ (วันทนา อยู่สุข และคณะ, 2552)

ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยแมลงภู่ และพบว่าประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต 96.82% โดยอยู่ในรูปผลึกอะราโกไนท์ 24.78% และแคลไซต์ 72.04% ซึ่งทำให้เป็นสารตั้งต้นที่เหมาะสมสำหรับนำมาสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมที่มีความบริสุทธิ์สูงโดยใช้ต้นทุนต่ำ (Chilakala et al., 2021)

2.1.5 เปลือกหอยนางรม (Oyster shells)

หอยนางรม หรือ หอยอีรม มีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Oyster ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Crassostrea belcheri* เป็นหอยทะเลกาบสองฝา มีกาบหนาแข็ง ซึ่งฝาทั้งสองมีขนาดไม่เท่ากัน บางชนิดมีสีน้ำตาลหรือสีเทา กาบบนจะใหญ่และแบนกว่ากาบล่าง ส่วนกาบล่างที่มีลักษณะโค้งเว้านี้ จะเป็นส่วนที่มีตัวหอยติดอยู่ ด้านที่มีเนื้อฝังอยู่จะเว้าลึกลงไปคล้ายรูปถ้วย หรือจาน และยึดติดกับวัตถุแข็ง เช่น ก้อนหิน ไม้หลัก หรือเปลือกหอยที่จมอยู่ในทะเล ส่วนฝาปิดอีกด้านหนึ่งแบนบาง ขนาดความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร

หอยนางรม เป็นอาหารทะเลที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เป็นอาหารที่จัดได้ว่ามีคุณค่าทางโภชนาการสูง ส่วนเปลือกหอยสามารถใช้ทำปูนขาวซึ่งใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง การเกษตรกรรม อุตสาหกรรมหลายประเภท ในไทยพบมากที่ จังหวัดชลบุรี ระยอง จันทบุรี สุราษฎร์ธานี ตรัง (Liu W. et al., 2010)

ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยนางรมพบว่าประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต 95.37% โดยอยู่ในรูปผลึกอะราโกไนท์ 2.71% และแคลไซต์ 92.66% (Chilakala et al., 2021)



รูปที่ 2.5 เปลือกหอยนางรม (ทวิช กล้าแท้, 2560)

2.1.6 เปลือกหอยเชลล์ (Scallop shells)

หอยเชลล์ หรือ หอยพัด ชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า scallop จัดอยู่ในวงศ์ *Pectinidae* หอยเชลล์พบได้ทั่วมหาสมุทรของโลก หอยเชลล์จำนวนมากเป็นแหล่งอาหารราคาสูง เปลือกมีสีสว่าง รูปทรงคล้ายพัด บางตัวมีเปลือกลักษณะแบบร่องเว้าแผ่ออกจากศูนย์กลาง ทำให้มีค่าสำหรับนักสะสม หอยเชลล์อาศัยในบริเวณที่เป็นพื้นทราย หรือทรายปนโคลนทั้งทางฝั่งทะเลอันดามันและด้านอ่าวไทย นอกจากนี้ยังมีการนำเข้าหอยเชลล์ชนิดอื่นจากต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย จังหวัดที่พบในไทย ได้แก่ ระยอง สงขลา และสมุทรสงคราม



รูปที่ 2.6 เปลือกหอยเชลล์ (จินทนา อยู่สุข และคณะ, 2552)

ได้ศึกษาการเตรียมแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคนาโน โดยจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยเชลล์ และพบว่าประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต 97.41% โดยอยู่ในรูปผลึกอะราโกไนต์ 3.24% และแคลไซต์ 94.17% และเมื่อนำมาให้ความร้อนเป็นแคลเซียมออกไซด์และทำการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปจะได้สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคนาโนในรูปผลึกอะราโกไนต์ทั้งหมด (Chilakala et al., 2021)

2.2 การสังเคราะห์สารประกอบ

2.2.1 แคลเซียมอะซิเตท (Calcium acetate)

แคลเซียมอะซิเตท มีสูตรเคมี คือ $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ เรียกอีกชื่อว่า แคลเซียมเอทานอยด์ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 158.17 กรัม แคลเซียมอะซิเตทที่ปราศจากน้ำ ในรูปแอนไฮดรัสจะไม่เสถียร สามารถทำปฏิกิริยากับอากาศได้ง่าย กลายเป็นรูปสารประกอบที่มีน้ำในโครงผลึกในรูปของโมโนไฮเดรต คือ แคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรต $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{H}_2\text{O}$

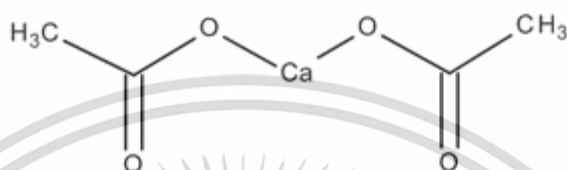
แคลเซียมอะซิเตทในด้านการเกษตร ผสมในสารกำจัดแมลง ยากำจัดเชื้อราและเชื้อจุลินทรีย์ในผักผลไม้ เพื่อช่วยในการควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อราที่สร้างความเสียหายให้กับผักผลไม้ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

จากงานวิจัยของ (Zhang Xiaoyan et al., 2015) ได้สังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่ โดยนำเปลือกไข่ที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วมาบดให้มีความละเอียดของผงเท่ากับ 0.12-0.15 มิลลิเมตร จากนั้นนำลงไปผสมกับน้ำ แล้วใส่กรดอะซิติกลงไป ภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติ ใช้เวลาประมาณ 2.5-3.0 ชั่วโมง จากนั้นทำให้สารมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ต่ำกว่า 12.0 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์คือแคลเซียมอะซิเตท

จากงานวิจัยของ (Li Yan-PO et al., 2010) สังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่ โดยทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติก ที่มีความเข้มข้น 6 โมลต่อลิตร อุณหภูมิและระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา เท่ากับ 79.38 องศาเซลเซียส และ 5.98 ชั่วโมง ตามลำดับ อัตราส่วนเปลือกไข่ต่อกรดอะซิติกเท่ากับ 1:5 ร้อยละผลผลิตคือ 98.48 และได้ทำการเพิ่มความบริสุทธิ์ของแคลเซียมอะซิเตท ด้วยการแปรรูปเปลือกไข่ไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งทำให้อุณหภูมิและระยะเวลาของปฏิกิริยาน้อยกว่าเดิม คือ 65 องศาเซลเซียสและ 15 นาที ตามลำดับ สารที่ได้จะมีความบริสุทธิ์ถึงร้อยละ 99.79

จากงานวิจัยของ (Yu May et al., 2019) ได้ทำการศึกษาการเตรียมแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด และไข่ห่าน โดยนำเปลือกไข่ทั้ง 3 ชนิดมาทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติก 5% จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกไข่และสารประกอบที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมด พบว่าเปลือกไข่ทั้ง 3 ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปผลึกแคลไซต์ จากนั้นเมื่อนำสังเคราะห์เป็นแคลเซียมอะซิเตทพบว่าปริมาณแคลเซียมในเปลือกไข่สัมพันธ์กับร้อยละผลผลิตที่เพิ่มขึ้น โดยแคลเซียมอะซิเตทสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนต กับสารละลายกรดอะซิติก

ตามปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



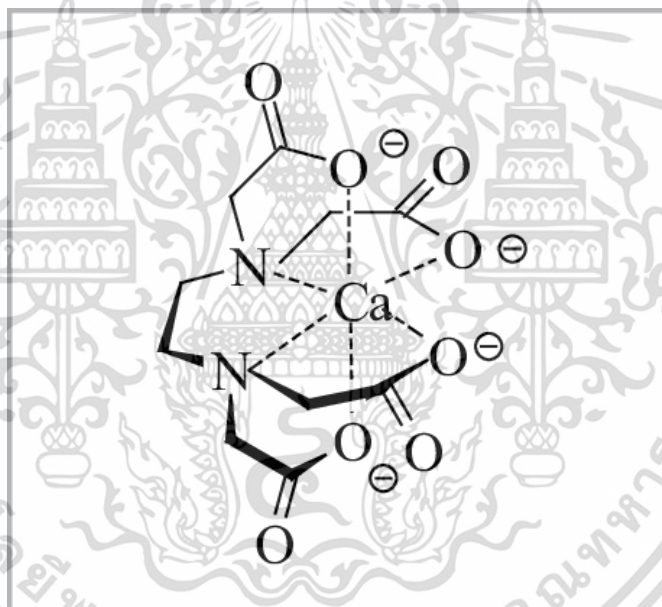
รูปที่ 2.6 โครงสร้างแคลเซียมอะซิเตท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 แคลเซียมอีดีทีเอ (Calcium EDTA)

แคลเซียมอีดีทีเอ Calcium EDTA มีสูตรเคมี คือ Ca-EDTA มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 410.24 กรัม มีลักษณะเป็นผงสีขาวละลายน้ำได้ดี มีค่า pH : 6.0-7.0 เมื่อใส่ลงไปนในสารผสมที่มีน้ำอยู่แล้ว จะทำหน้าที่ ดักจับไอออนที่เป็นโลหะหนักออกจากน้ำ ใช้กันอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารเพื่อช่วย ถนอมสีและกลิ่นของอาหารได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความเสถียรในอุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรม เครื่องสำอาง เช่น ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด แชมพู ยาสระผม อุตสาหกรรมกระดาษ และในทางด้าน เกษตรกรรม สามารถฉีดพ่นเพื่อช่วยแก้ไขและป้องกันปัญหาการขาดธาตุอาหารรองของพืช

ปฏิกิริยาการเตรียมดังด้านล่าง



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของแคลเซียมอีดีทีเอคีเลต

2.2.3 แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ (Calcium acetate-EDTA)

คือ สารประกอบทางเคมีที่เป็นเกลือของกรดอะซิติกกับอีดีทีเอ โดยเป็นสารประกอบแคลเซียมเชิงคู่ที่มีการจับกับอะซิเตทไอออน (CH_3COO^-) และอีดีทีเอไอออน (EDTA)

ประโยชน์ของแคลเซียมอะซิเตทในด้านการเกษตร ได้แก่ ผสมในสารกำจัดแมลง ยากำจัดเชื้อรา และเชื้อจุลินทรีย์ในผักผลไม้ เพื่อช่วยในการควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อราที่สร้างความเสียหายให้กับผักผลไม้ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

ประโยชน์ของแคลเซียมอีดีทีเอในด้านการเกษตร ได้แก่ ช่วยในการปรับสมดุลธาตุอาหารให้แก่พืช ช่วยในการดูดซับธาตุอาหารในพืชได้อย่างรวดเร็ว ลดการสูญเสียสารอาหาร ละลายน้ำได้เร็ว ลดโอกาสเสี่ยงในการตกค้างในดิน ไม่เป็นพิษ สามารถย่อยสลายได้ง่าย แล้วยังช่วยป้องกันไม่ให้ธาตุอาหารแคลเซียมจับกับไอออนตัวอื่น ส่งผลให้พืชได้รับประโยชน์จากแคลเซียมได้อย่างเต็มที่

2.3 ปุ๋ย

ปุ๋ย หมายถึง สารที่ใส่ลงในดินเพื่อให้ธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตแก่พืช โดยธาตุอาหารที่พืชต้องการ ประกอบด้วย

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) (สำนักกรมควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2021)

2.3.1 ปุ๋ยทางใบ

ปุ๋ยทางใบ หมายถึง ปุ๋ยที่เป็นสารละลายแล้วฉีดพ่นทางใบเพื่อให้ธาตุอาหารแก่พืช เนื่องจากรากพืชสัมผัสอยู่กับอนุภาคดินและสารละลายของดินโดยตรง รากจึงดูดธาตุอาหารได้ตลอดเวลาส่วนใบพืชอยู่ในอากาศ จะมีโอกาสดูดธาตุอาหารได้เฉพาะจากสารละลายที่มาสัมผัสใบเท่านั้น ใบจึงได้รับธาตุอาหาร ตามธรรมชาติจากน้ำฝนและน้ำค้าง การฉีดพ่นปุ๋ยทางใบให้แก่พืชเป็นการช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารได้มากขึ้นและเร็วขึ้น

ปุ๋ยน้ำ หรือ ปุ๋ยเหลว คือปุ๋ยที่ได้จากการละลายแม่ปุ๋ยในน้ำให้ได้สัดส่วนเป็นปุ๋ยสูตรต่าง ๆ โดยที่แม่ปุ๋ยจะถูกละลายได้ทั้งหมด วิธีใช้ปุ๋ย คือ นำปุ๋ยมาเจือจางด้วยน้ำในอัตราที่พอเหมาะแล้วนำไปฉีดพ่นพืชได้ทันที

ข้อดีของการใช้ปุ๋ยทางใบ

1. ช่วยให้พืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว หลังจากการย้ายที่ปลูก
2. ใช้กับอาการขาดธาตุอาหารในระยะแรก ๆ ได้ดี
3. ใช้ผสมกับการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคแมลง และควบคุมวัชพืชได้เป็นการประหยัดแรงงาน
4. ใช้กับพืชที่ปลูกในดินที่มีปัญหา เช่น ดินเค็ม ดินเปรี้ยวจัด ดินทรายจัด ดินเหนียวจัด
5. พืชสามารถดูดธาตุอาหารโดยทางใบได้มากกว่า และเร็วกว่าการดูดทางราก ต้นไม้จึงใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารได้เร็ว
6. ช่วยให้พืชฟื้นตัวเร็ว หลีกเลี่ยงชะงักเนื่องจากกระทบแล้งหรือถูกโรคแมลงทำลาย
7. ปุ๋ยน้ำ มีความสม่ำเสมอของเนื้อปุ๋ยมากกว่าปุ๋ยชนิดแข็งและปุ๋ยเกล็ด มีปริมาณเนื้อปุ๋ยรวมสูงกว่าปุ๋ยเม็ดทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการขนส่งมากกว่า
8. ปุ๋ยน้ำผลิตง่ายและเปลี่ยนแปลงปรับปรุงสูตรได้ง่าย จึงผลิตได้หลายสูตรกว่าปุ๋ยชนิดแข็ง
9. ง่ายต่อการขนส่งและการใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การนำเข้าปุ๋ยในไทย

จากข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติที่ทำการสำรวจลักษณะการทำงานของประชากร ปี 2564 พบว่ามีผู้ประกอบอาชีพเกษตรกรรวม 12.3 ล้านคน (34%) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดของผู้ประกอบอาชีพในประเทศไทย ซึ่งส่งผลให้มีการนำเข้าสินค้าด้านการเกษตรต่างๆจากต่างประเทศจำนวนมาก รวมทั้งปุ๋ยเคมี โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2564 ประเทศไทยมีการนำเข้าปุ๋ยเคมีรวมทุกสูตรกว่า 5 ล้านตันต่อปี คิดเป็นมูลค่ากว่าประมาณ 50,000-70,000 ล้านบาท โดยเป็นปุ๋ยธาตุรองและธาตุเสริมกว่า 6 หมื่นตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 800-1,100 ล้านบาท (กฤษฎา ธงศิลา และคณะ, 2553)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้า ส่งออกปุ๋ยธาตุรองและธาตุเสริมของประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ. 2561-2564

ปี	ปุ๋ยธาตุรองและธาตุเสริม			
	นำเข้า		ส่งออก	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2561	61,373	870	36,157	590
2562	42,070	671	4,297	110
2563	84,860	969	5,203	144
2564	96,265	1,100	3,739	102

ที่มา : ข้อมูลนำเข้าปุ๋ยเคมี, สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2565

จากตารางที่ 2.1 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้า ส่งออกปุ๋ยธาตุรองและธาตุเสริมของประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ.2561-2564 แสดงให้เห็นว่า ประเทศไทยมีอัตราการนำเข้าสูงกว่า การส่งออกค่อนข้างสูง ดังนั้นถ้าประเทศเราเองสามารถส่งเสริมการผลิตปุ๋ยธาตุอาหารรองไว้ใช้เองได้ จะสามารถช่วยลดปริมาณการนำเข้า แล้วยังสามารถเพิ่มอัตราการส่งออก ส่งผลให้มีเงินหมุนเวียนภายในประเทศมากขึ้นอีกด้วย

2.3.2 ความสำคัญและประโยชน์ของแคลเซียมต่อพืช

ธาตุแคลเซียม เป็นธาตุอาหารรองของพืช เสริมสร้างโครงสร้างของเซลล์ของพืช ช่วยให้เซลล์ติดต่อกัน ช่วยเชื่อมผนังเซลล์ ให้เป็นรูปร่างและขนาด ใหญ่เป็นไปตามลักษณะของพืชแต่ละชนิด มีหน้าที่โดยตรงเกี่ยวกับโครงสร้างของผลไม้ มีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการเจริญเติบโต และการออกดอกของพืช ช่วยป้องกันผลร่วง ผลแตก ช่วยเพิ่มการติดผล ช่วยให้สีของเนื้อและสีผิวของผลสดใส ช่วยลดการเกิดเนื่อของผลแข็งกระด้าง แถมยังมีบทบาทที่เกี่ยวข้องกับการย่อยธาตุไนโตรเจน เป็นตัวช่วยลดการหายใจของพืช ซึ่งเป็นตัวช่วยเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบไปสู่ผล ซึ่งพืชต้องการอย่างต่อเนื่อง มีผลต่อเซลล์ ผิวผลไม้แข็งแรง ทำให้การเกิดความเสียหายในการขนส่งน้อย และช่วยในการยืดอายุการเก็บได้นานขึ้นกว่าปกติ ดังนั้นแคลเซียมจึงเป็นธาตุอาหารที่พืชมีความต้องการปริมาณมากและอย่างต่อเนื่อง

แคลเซียมมีส่วนสำคัญช่วยให้เมมเบรน ทำหน้าที่ได้อย่างปกติ นอกจากนี้ ยังช่วยในการยึดตัวของเซลล์ขณะผสมเกสรเพื่อนำเชื้อสปีพันธุ์เพศผู้เข้าไปผสมเกิดได้เร็วขึ้น ช่วยในการเคลื่อนย้าย และสะสมของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนในพืช เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างในลำต้น กิ่ง และใบ ช่วยเพิ่มการติดผล ป้องกันผลร่วง และแตก

การให้สารละลายแคลเซียมด้วยการพ่นทางใบสามารถเพิ่มปริมาณแคลเซียมในช่อดอกได้ และทำให้การติดผลของมะม่วงเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดินที่เป็นด่างจะมีปริมาณแคลเซียมมากเกินไป และดินที่เป็นด่างมักมีฟอสฟอรัสสูงซึ่งจะทำให้แคลเซียมรวมตัวกับฟอสฟอรัสเป็นแคลเซียมฟอสเฟตทำให้พืชนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ไม่ได้



รูปที่ 2.8 ปุ๋ยน้ำแคลเซียมที่ขายตามท้องตลาด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

1. ผงแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอย 6 ชนิด ได้แก่ เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรมและเปลือกหอยเซลล์
2. กรดอะซิติก 99.85% w/w
3. ไดโซเดียมอีดีทีเอ
4. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water or DI)

3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 500 mL, 1000 mL
2. แท่งแก้วคนสาร
3. ชุดปั่นกวนด้วยแม่เหล็ก
4. เครื่องชั่งสารเคมีความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. กระจกบด
6. ตะแกรงร่อนขนาด 50 Mesh (Sieve No.50)
7. เครื่องบด (Pulverizer)
8. ชุดกรองแบบลดความดัน

3.1.3 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

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การเตรียมผงเปลือกหอย

1. นำเปลือกหอยตลับ มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออนสะอาด นำไปตากให้แห้ง
2. นำเปลือกหอยตลับที่ปราศจากสารปนเปื้อน ไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช ซึ่งผงเปลือกหอยตลับที่ได้มีลักษณะเป็นผงสีขาว
3. เมื่อได้ผงเปลือกหอยตลับขนาดที่ต้องการแล้ว เก็บใส่ถุงซิปล็อค เพื่อนำไปเป็นสารตั้งต้นในขั้นตอนต่อไป
4. ทำการทดลองข้อ 1-3 อีกครั้งโดยใช้ผงเปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยเซลล์

3.2.2 การเตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

1. ชั่งผงเปลือกหอยตลับ 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 500 มิลลิลิตร จำนวน 3 บีกเกอร์
2. เติมกรดอะซิติก 8M 10M และ 12M ปริมาตรดังตารางที่ 3.1 ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ เมื่อเกิดฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ปั่นกวนจนกระทั่งฟองก๊าซหมด
3. นำไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 50 °C จนน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักที่ได้
4. นำตัวอย่างที่ได้ไปบดให้เป็นผง เก็บใส่ซองกันความชื้นเพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ต่อไป
5. ทำการทดลองข้อ 1-3 อีกครั้งโดยใช้ผงเปลือกหอยแครง เปลือกหอยเขอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยเชลล์
6. นำสารตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์สมบัติ ด้วยเทคนิค XRF และคำนวณร้อยละผลผลิตที่ได้จากความแรงในการทำปฏิกิริยาที่ต่างกันของกรดอะซิติก ร้อยละการละลายและบันทึกเวลาในการทำปฏิกิริยาของสาร
7. นำสารตัวอย่างที่วิเคราะห์ว่ามีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด เมื่อพิจารณาจากการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF การให้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุด เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และความสามารถในการละลายดี ไปตรวจวิเคราะห์สมบัติ ด้วยเทคนิค XRD, FTIR, TGA และ SEM ต่อไป

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตท

ผงเปลือกหอย		ปริมาณการใช้สารละลายกรดอะซิติก		
จำนวนโมล	ปริมาณ (g)	ความแรงในการทำปฏิกิริยา (M)	จำนวนโมล	ปริมาตรที่ใช้ (mL)
0.1	10	8	0.2	25
0.1	10	10	0.2	20
0.1	10	12	0.2	17

3.2.3 การเตรียมสารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอ จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

1. ชั่งผงเปลือกหอยตลับ 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 500 มิลลิลิตร จำนวน 3 บีกเกอร์
2. เทสารละลายไดโซเดียมอีดีทีเอ 0.5M 0.75M และ 1M ปริมาตรดังตารางที่ 3.2 ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ เมื่อเกิดฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ปั่นกวนจนกระทั่งฟองก๊าซหมด
3. นำสารตัวอย่างที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน
4. นำผงที่ได้ไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 50 °C จนน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักที่ได้
5. นำตัวอย่างที่ได้ไปบดให้เป็นผง เก็บใส่ซองกันความชื้นเพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ต่อไป
6. ทำการทดลองข้อ 1-5 อีกครั้งโดยใช้ผงเปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยเซลล์
7. นำสารตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์สมบัติ ด้วยเทคนิค XRF และคำนวณร้อยละผลผลิตที่ได้จากความแรงในการทำปฏิกิริยาที่ต่างกันของสารละลายไดโซเดียมอีดีทีเอ และบันทึกเวลาในการทำปฏิกิริยาของสาร
8. นำสารตัวอย่างที่วิเคราะห์ว่ามีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด เมื่อพิจารณาจากการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF การให้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุด เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และความสามารถในการละลายดี ไปตรวจวิเคราะห์สมบัติ ด้วยเทคนิค XRD, FTIR, TGA และ SEM ต่อไป

ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์แคลเซียมอีดีทีเอ

ผงเปลือกหอย		ปริมาณการใช้สารละลายไดโซเดียมอีดีทีเอ		
จำนวนโมล	ปริมาณ (g)	ความแรงในการทำปฏิกิริยา (M)	จำนวนโมล	ปริมาตรที่ใช้ (mL)
0.2	10	0.5	0.1	100
0.2	10	0.75	0.1	66.67
0.2	10	1	0.1	50

3.2.4 การเตรียมสารประกอบเชิงคู่แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

เมื่อนำตัวอย่างแคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมอีดีทีเอ จากตารางที่ 3.1 และ 3.2 ไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ แล้วเลือกความแรงที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ด้วยวิธีการดังนี้

1. ชั่งผงเปลือกหอยตลับ 10.00 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตร ชนิดละ 1 ใบ
2. เติสารละลายกรดอะซิติกสลับกับการเติสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ โดยใช้ความแรงในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมตามปริมาตรดังตารางที่ 3.2.1 และ 3.2.2 ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ ปั่นจนจนกระทั่งไม่มีฟองก๊าซเกิดขึ้น
3. นำสารตัวอย่างที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน
4. นำไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 50 °C จนน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักที่ได้
5. ทำการทดลองข้อ 1-4 อีกครั้งโดยใช้ผงเปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชอรี เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยเซลล์
6. จากนั้นนำสารตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF, XRD, FTIR, TGA และ SEM

ตารางที่ 3.3 ความแรงในการทำปฏิกิริยาและปริมาตรของกรดอะซิติกและสารละลายโซเดียมอีดีทีเอ สำหรับเตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ

ชนิดเปลือกหอย	สารละลายกรดอะซิติก		สารละลายโซเดียมอีดีทีเอ	
	ความแรงในการทำปฏิกิริยา (M)	ปริมาตร (mL)	ความแรงในการทำปฏิกิริยา (M)	ปริมาตร (mL)
หอยตลับ	10	10	0.5	100
หอยแครง	10	10	0.5	100
หอยเชอรี	10	10	0.5	100
หอยแมลงภู่	10	10	0.5	100
หอยนางรม	10	10	0.5	100
หอยเซลล์	12	8	0.5	100

3.2.5 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

3.2.6 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบ

3.2.6.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันขององค์ประกอบภายในโมเลกุล (Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy)

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

3.2.6.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (X-ray fluorescence)

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

3.2.6.3 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้าง (X-ray Diffraction)

นำสารตัวอย่างทั้ง 18 ตัวอย่างมาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer โดย Scan method ที่ใช้ คือ Start angle 10° และ Stop angle 60°

3.2.6.4 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis)

นำสารตัวอย่างทั้ง 18 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA (Thermogravimetric Analysis) โดยใช้สถานะแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 30-900 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำในโครงผลึกและกลไกการสลายตัวที่เกิดขึ้น จากน้ำหนักที่หายไปในแต่ละช่วงอุณหภูมิ

3.2.6.5 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา (Scanning Electron Microscopy)

นำสารตัวอย่างทั้ง 18 ตัวอย่างมาวิเคราะห์สัณฐานและตรวจสอบลักษณะผิวภายนอกของตัวอย่าง ตรวจสอบการเรียงตัวของผลึกด้วยระบบการรับสัญญาณเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

3.2.7 การเตรียมสารละลายปุ๋ยน้ำแคลเซียม 5% CaO

1. ชั่งแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ 31.21 กรัม เติมลงในบีกเกอร์ เติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 65 มิลลิลิตร
2. ปั่นกวนที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman #5
4. เติมลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออนจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
5. เก็บใส่ขวดเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมที่แน่นอนต่อไป

3.2.8 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 แล้วนำไปสร้างกราฟมาตรฐานด้วยเครื่อง Flame atomic absorption spectroscopy
4. นำสารละลายแคลเซียมจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด ที่เจือจางแล้วมาวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม
5. คำนวณหาปริมาณแคลเซียมที่แน่นอนโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลาย ของสารประกอบ แคลเซียมอะซิเตท และแคลเซียมอีดีทีเอ จะถูกวิเคราะห์เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาหาความแรงในการทำปฏิกิริยาของสารละลายกรดอะซิติกและสารละลายไดโซเดียมอีดีทีเอที่เหมาะสมในการเตรียมสารประกอบเชิงคู่แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ รวมถึงนำตัวอย่างสารประกอบที่ใช้ความแรงในการทำปฏิกิริยาเหมาะสมที่สุด ไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบเชิงเดี่ยว ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) ตรวจสอบปริมาณน้ำในโครงสร้างด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิตัว (Thermogravimetric Analysis, TGA) ตรวจสอบพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD) และตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับสารประกอบเชิงคู่แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ

4.1 การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตท

4.1.1 ศึกษาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอะซิเตท

การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตท จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด คือ เปลือกหอยดัลล์ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเซอรี เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยเชลล์ ซึ่งมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ โดยนำเปลือกหอยมาบดให้มีขนาด 50 เมช โดยทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดอะซิติก ที่ความแรงในการทำปฏิกิริยา 8M, 10M, และ 12M เมื่อหาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอย 6 ชนิด จะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาความแรงในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยแต่ละชนิด

ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

สารตัวอย่าง	ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด(นาที)	ร้อยละผลผลิต (%)	ร้อยละการละลาย(%)
CL-AC8	46	86.88	98.26
CL-AC10	30	92.89	98.64
CL-AC12	16	92.25	91.43
CK-AC8	67	87.79	93.79
CK-AC10	32	92.90	99.06
CK-AC12	17	90.84	98.56
GA-AC8	76	91.58	94.24
GA-AC10	48	92.24	96.03
GA-AC12	31	91.69	94.39
MS-AC8	49	85.14	95.10
MS-AC10	43	93.41	95.56
MS-AC12	25	92.28	93.71
OT-AC8	79	88.91	97.30
OT-AC10	52	93.40	97.59
OT-AC12	38	92.91	96.56
SC-AC8	104	83.67	93.32
SC-AC10	65	88.24	93.77
SC-AC12	50	88.58	94.44

ตารางที่ 4.1 แสดงระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของ แคลเซียมอะซิเตทจากเตรียมจากเปลือกหอยตลับ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ และเปลือกหอยนางรม จะมีร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายสูงสุดที่ตัวอย่างที่ใช้ความแรงในการทำปฏิกิริยาของสารละลายกรดอะซิติกที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อใช้ความแรงในการทำปฏิกิริยาของสารละลายกรดอะซิติกต่างกัน จากตารางแสดงให้เห็นว่าความแรงในการทำปฏิกิริยาของสารละลายกรดอะซิติกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยตลับ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ และเปลือกหอยนางรม คือ 10M ส่วนตัวอย่างที่เตรียมจากเปลือกหอยเซลล์ จะมีร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายสูงสุดที่ตัวอย่างที่ใช้ความแรงในการทำปฏิกิริยาของสารละลายกรดอะซิติก 12M ซึ่งร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายของสารประกอบที่เตรียมได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อความแรงที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของสารละลายกรดอะซิติกที่ใช้เพิ่มขึ้นจนสูงสุดที่ความแรงในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม จากนั้นเมื่อเพิ่มความแรงในการทำปฏิกิริยาของสารละลายกรดอะซิติกขึ้นไปอีก ปฏิกิริยาคายความร้อนที่สูงจะส่งผลให้สารละลายกรดบางส่วนระเหยไปจนร้อยละการละลายและร้อยละผลผลิตจะลดลง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลให้การผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากเปลือกหอยมีต้นทุนที่ต่ำลง

4.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมอะซิเตทด้วยเทคนิค XRF

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ผลที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 4.2-4.7 ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CL-AC8, CL-AC10 และ CL-AC12

Elements	Chemical contents / %		
	CL-CA8	CL-CA10	CL-CA12
CaO	96.4	97.0	96.6
Na ₂ O	1.36	1.40	0.892
MgO	0.0955	0.102	0.0801
Al ₂ O ₃	0.202	0.198	0.195
SiO ₂	0.498	0.515	0.515
P ₂ O ₅	0.0132	0.0131	0.0151
SO ₃	0.220	0.246	0.190
Cl	0.0485	0.0491	0.0334
K ₂ O	0.0133	0.0120	0.0143
TiO ₂	-	0.0795	-
MnO	0.0198	-	0.0194
Fe ₂ O ₃	0.468	0.441	0.497
ZnO	0.0077	-	-
Br	0.0151	0.0157	0.0204
SrO	0.507	0.489	0.496

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CK-AC8, CK-AC10 และ CK-AC12

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ GA-AC8, GA-AC10 และ GA-AC12

Elements	Chemical contents / %		
	GA-CA8	GA-CA10	GA-CA12
CaO	95.5	95.6	95.2
Na ₂ O	0.638	0.544	0.722
MgO	0.126	0.128	0.135
Al ₂ O ₃	0.587	0.568	0.620
SiO ₂	1.37	1.37	1.51
P ₂ O ₅	0.106	0.0968	0.116
SO ₃	0.0779	0.0787	0.0849
Cl	0.0148	0.0162	0.0202
K ₂ O	0.0627	0.0650	0.0634
TiO ₂	0.121	0.104	0.109
MnO	0.143	0.142	0.151
Fe ₂ O ₃	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-AC8, MS-AC10 และ MS-AC12

Elements	Chemical contents / %		
	MS-CA8	MS-CA10	MS-CA12
CaO	93.3	94.3	93.6
Na ₂ O	1.17	1.02	1.16
MgO	0.273	0.214	0.263
Al ₂ O ₃	0.587	0.478	0.548
SiO ₂	1.57	1.28	1.45
P ₂ O ₅	0.155	0.143	0.172
SO ₃	0.501	0.444	0.512
Cl	0.0646	0.0542	0.0561
K ₂ O	0.0303	0.0298	0.0295
TiO ₂	0.180	0.101	0.156
MnO	0.0370	0.0266	0.0385
Fe ₂ O ₃	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 OT-AC8, OT-AC10 และ OT-AC12

Elements	Chemical contents / %		
	OT-CA8	OT-CA10	OT-CA12
CaO	89.2	89.2	90.0
Na ₂ O	1.36	1.31	1.34
MgO	1.05	0.995	1.06
Al ₂ O ₃	1.01	1.03	0.955
SiO ₂	3.84	4.03	3.27
P ₂ O ₅	0.187	0.180	0.212
SO ₃	1.02	0.971	1.02
Cl	0.617	0.560	0.568
K ₂ O	0.169	0.158	0.146
TiO ₂	0.0965	0.105	0.0905
Cr ₂ O ₃	-	-	0.0317
MnO	0.0723	0.0569	0.0648
Fe ₂ O ₃	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-AC8, SC-AC10 และ SC-AC12

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

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดด้วยเทคนิค X-ray fluorescence พบว่ามีองค์ประกอบหลักคือ CaO โดยแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยตลับจากตารางที่ 4.2 พบว่าCL-CA8 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 96.4 เปอร์เซ็นต์ พบว่าCL-CA10 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 97.0 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าCL-CA12 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 96.6 เปอร์เซ็นต์

เปลือกหอยแครงจากตารางที่ 4.3 พบว่าCK-CA8 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 95.1 เปอร์เซ็นต์ พบว่าCK-CA10 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 96.2 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าCK-CA12 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 94.6 เปอร์เซ็นต์

เปลือกหอยเชอรี่จากตารางที่ 4.4 พบว่าGA-CA8 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 95.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าGA-CA10 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 95.6 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าGA-CA12 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 95.2 เปอร์เซ็นต์

เปลือกหอยแมลงภูจากตารางที่ 4.5 พบว่าMS-CA8 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 93.3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าMS-CA10 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 94.3 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าMS-CA12 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 93.6 เปอร์เซ็นต์

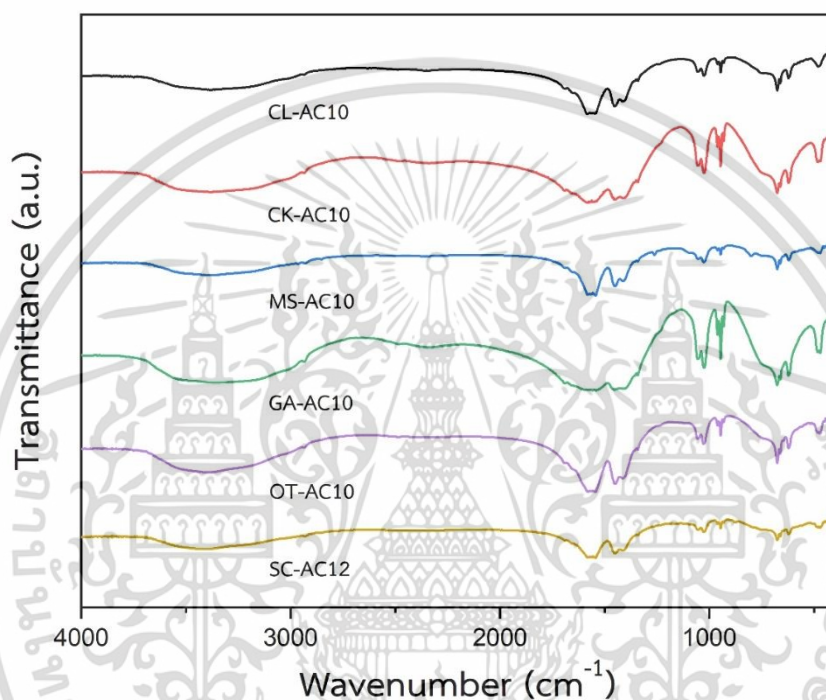
เปลือกหอยนางรมจากตารางที่ 4.6 พบว่าOT-CA8 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 89.2 เปอร์เซ็นต์ พบว่าOT-CA10 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 89.2 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าOT-CA12 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 90.0 เปอร์เซ็นต์

เปลือกหอยเชลล์จากตารางที่ 4.7 พบว่าSC-CA8 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 96.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าGA-CA10 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 96.6 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าGA-CA12 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 97.1 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 4.2 - 4.7 แสดงให้เห็นว่าปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบจากเปลือกทั้ง 6 ชนิด จะมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์สูงที่สุด เมื่อใช้ความแรงในการทำปฏิกิริยาของสารละลายกรดอะซิติก 10, 10, 10, 10, 10 และ 12 M ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบสารเจือปนอื่นๆหลายชนิดได้แก่ Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , SO_3 , Cl , K_2O , TiO_2 , MnO , Fe_2O_3 , ZnO , Br และ SrO ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมอะซิเตทที่สังเคราะห์ได้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เตรียมปูนซีเมนต์ โดยไม่พบธาตุที่เป็นอันตรายต่อการใช้ในพืชตามที่ US EPA บัญญัติ (Cr, Cd, Cu, Pb, Hg, Ni, and Se)

4.1.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทด้วยเทคนิค FTIR

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดถูกวิเคราะห์โดยเทคนิค Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นไปตามรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 รูปแบบการดูดกลืนอินฟราเรดของ CL-AC10, CK-AC10, MS-AC10, GA-AC10, OT-AC10 และ SC-AC10

ตารางที่ 4.8 ระบุพีคที่พบจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ได้ดังนี้

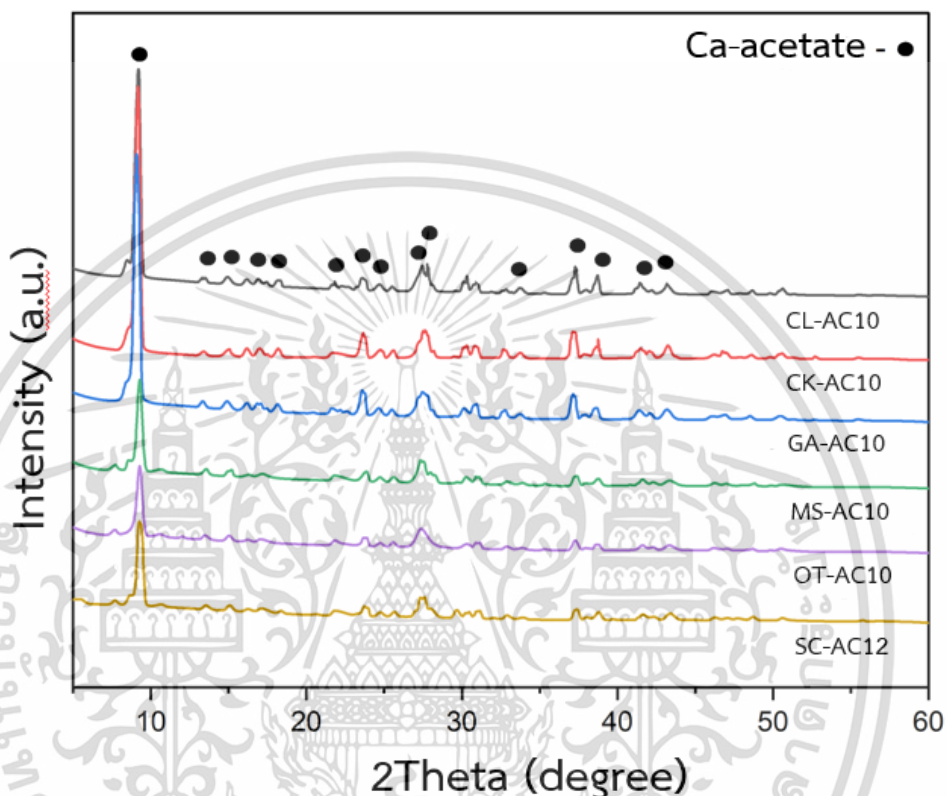
Wavenumber (cm ⁻¹)	รูปแบบการสั่น
3384	O-H stretching
2934	C-H stretching of CH ₃
1687	C=O stretching of carbonyl group
1542	Asymmetric stretching vibration of C-O
1450	Symmetric stretching vibration of C-O
1056	In plane bending vibration of CH ₃
946	Symmetric C-C stretching vibration
676	Out of plane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

จากรูปที่ 4.1 กราฟแสดงรูปแบบการดูดกลืนอินฟราเรดของ CL-AC10, CK-AC10, MS-AC10, GA-AC10, OT-AC10 และ SC-AC10 พบพีคการสั่นแบบ stretching ของหมู่ไฮดรอกซิล (OH⁻) ที่ตำแหน่งประมาณ 3390-3360 cm⁻¹ พบพีคการสั่นแบบ stretching และ bending ของพันธะ C-H ที่ตำแหน่ง 2930 และ 1050 cm⁻¹ พบพีคการสั่นแบบ stretching ของพันธะ C=O ที่ตำแหน่ง 1686 cm⁻¹ พบพีคการสั่นแบบ stretching ของพันธะ C-O ทั้งแบบอสมมาตรและแบบสมมาตร ที่ตำแหน่ง 1548 และ 1450 cm⁻¹ ตามลำดับ พบพีคการสั่นแบบ Stretching ของพันธะ C-C ที่ตำแหน่ง 946 cm⁻¹ พบพีคการสั่นแบบ stretching และ bending ของพันธะ O-C-O ที่ตำแหน่ง 676 และ 622 cm⁻¹ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบพีคของ Ca-O ที่ตำแหน่ง 470 cm⁻¹

จากผลการวิเคราะห์รูปแบบการสั่นทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างทั้งหมดที่เตรียมได้ประกอบไปด้วยหมู่ฟังก์ชันของอะซิเตทไอออน (CH₃COO⁻) จับอยู่กับแคลเซียมไอออน (Ca²⁺) เป็นสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท (Ca(CH₃COO)₂) ซึ่งรูปแบบพีคที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ (Anthony et al., 2007) ที่สังเคราะห์สารประกอบชนิดเดียวกัน ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าสารประกอบที่ได้มีส่วนประกอบของแคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรต (Ca(CH₃COO)₂·H₂O)

4.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตตด้วยเทคนิค XRD

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

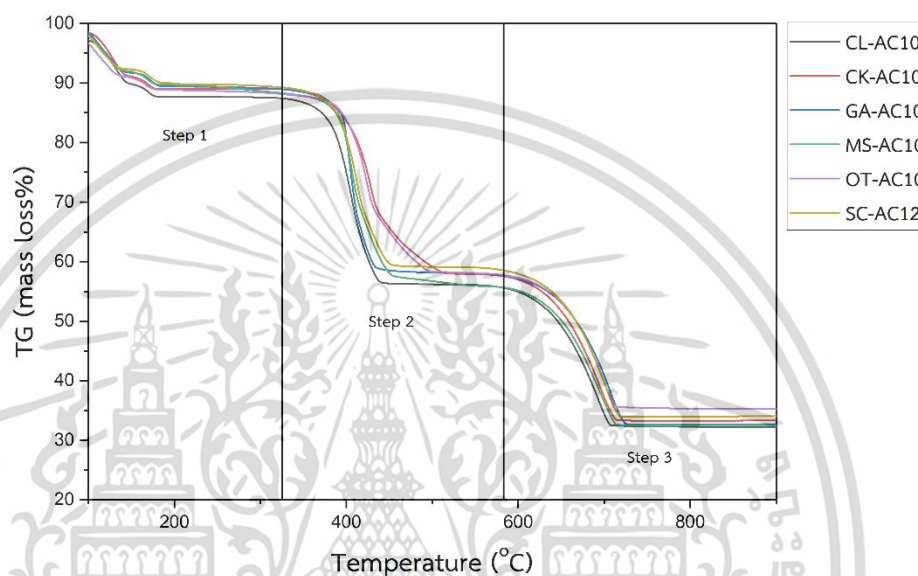


รูปที่ 4.2 แสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CL-AC10, CK-AC10, MS-AC10, GA-AC10, OT-AC10, SC-AC10 และไฟล์มาตรฐานของแคลเซียมอะซิเตตโมโนไฮเดรต (JCPDS#00-010-0776)

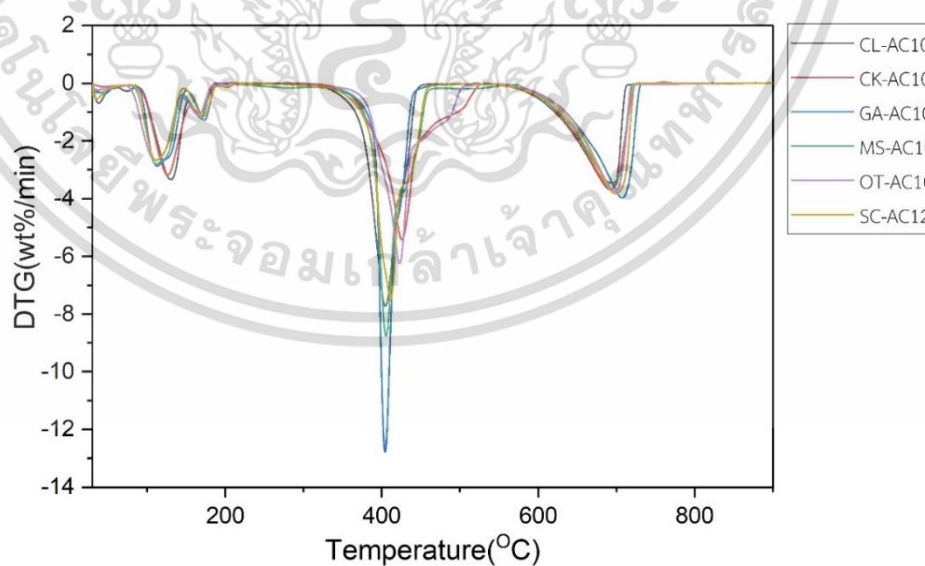
จากรูปที่ 4.2 เมื่อนำตัวอย่างแคลเซียมอะซิเตตจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD) พบว่าสารตัวอย่าง CL-AC10, CK-AC10, MS-AC10, GA-AC10, OT-AC10 และ SC-AC10 มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีภายในโครงสร้างผลึกใกล้เคียงกัน ซึ่งรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ตรงกับไฟล์มาตรฐาน JCPDS#00-010-0776 ของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตต โดยมีการเลี้ยวเบนที่ตำแหน่ง $2\theta = 9.2^{\circ}, 13.5^{\circ}, 15.2^{\circ}, 16.3^{\circ}, 17.1^{\circ}, 21.8^{\circ}, 23.8^{\circ}, 24.7^{\circ}, 25.6^{\circ}, 27.3^{\circ}, 28.3^{\circ}, 32.9^{\circ}, 37.3^{\circ}, 38.7^{\circ}, 41.6^{\circ}$ และ 43.3° ซึ่งสอดคล้องกับสารประกอบแคลเซียมอะซิเตตโมโนไฮเดรต ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (JCPDS No.00-010-0776) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ FTIR ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าสารประกอบแคลเซียมอะซิเตตที่สังเคราะห์ได้เป็นแคลเซียมอะซิเตตโมโนไฮเดรต

4.1.5 การวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทด้วยเทคนิค TGA

ผลการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดถูกวิเคราะห์โดยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นไปตามรูปต่อไปนี้



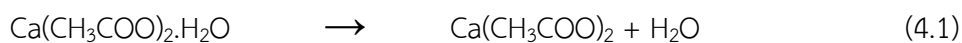
รูปที่ 4.3 ร้อยละของน้ำหนักที่เหลือ (TG) ของ CL-AC10, CK-AC10, MS-AC10, GA-AC10, OT-AC10 และ SC-AC10



รูปที่ 4.4 อัตราการสลายตัว (DTG) ของ CL-AC10, CK-AC10, MS-AC10, GA-AC10, OT-AC10 และ SC-AC1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

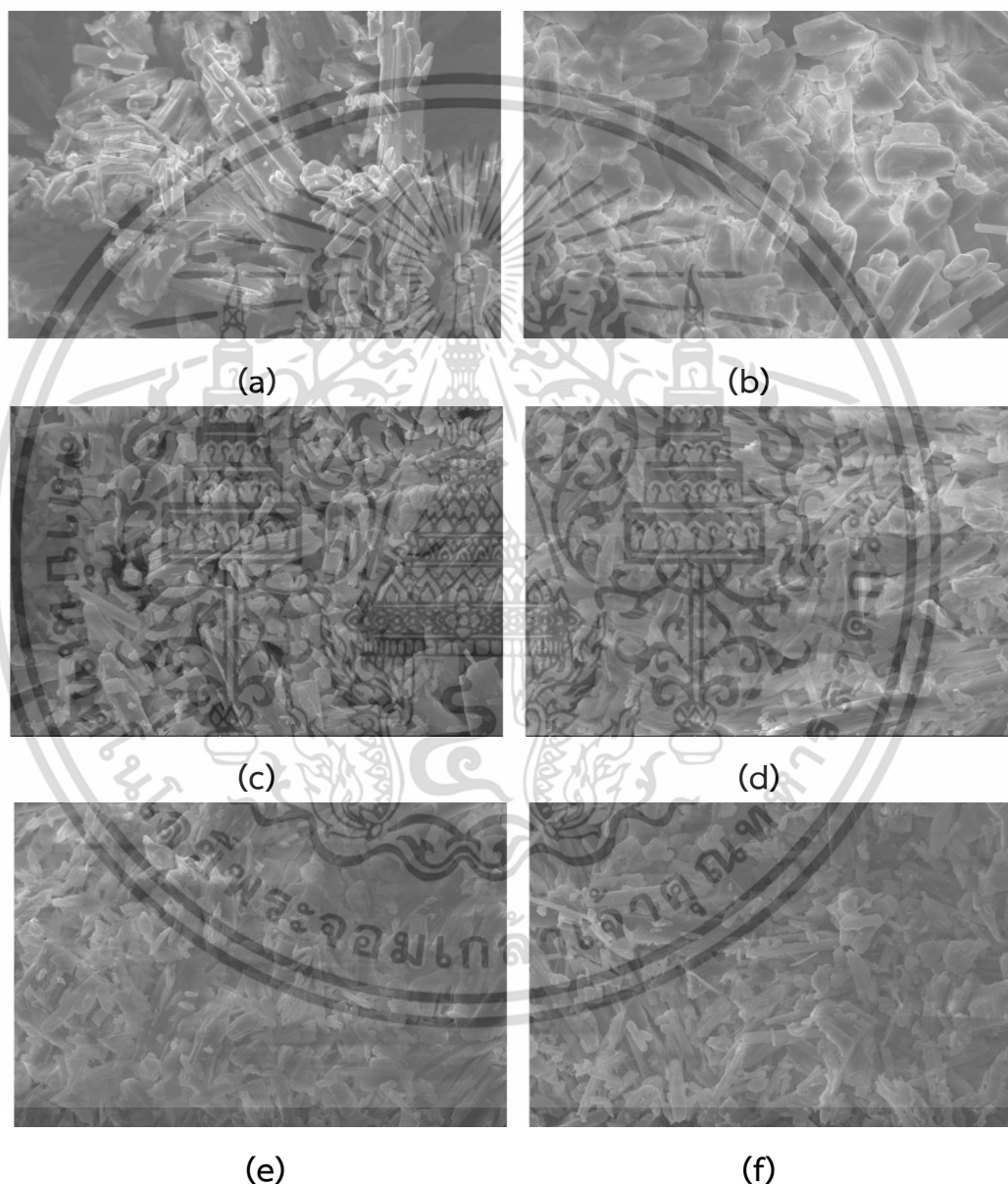
จากรูปที่ 4.3 แสดงร้อยละของน้ำหนักที่เหลือของ CL-AC10, CK-AC10, MS-AC10, GA-AC10, OT-AC10 และ SC-AC10 และรูปที่ 4.4 แสดงอัตราการสลายตัวขณะเกิดการสลายตัวทางความร้อนของ CL-AC10, CK-AC10, MS-AC10, GA-AC10, OT-AC10 และ SC-AC10 การสลายตัวทางความร้อนเกิดขึ้น 3 ขั้นตอน ดังนี้



ขั้นตอนแรกพบว่าเกิดการหลุดออกของน้ำในโครงผลึก (Dehydration) ดังปฏิกิริยาที่ 4.1 ที่อุณหภูมิ 30-200 °C สูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 10.00-11.00% ซึ่งใกล้เคียงกับสัดส่วนของน้ำหนัก H₂O ในแคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรท ส่วนการสลายตัวขั้นที่ 2 นั้นเกิดการสลายตัวของ Ca(CH₃COO)₂ เกิดเป็น CaCO₃ ดังปฏิกิริยาที่ 4.2 ที่อุณหภูมิ 200-470 °C สูญเสียน้ำหนักไป 33.00-35.00% ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำหนักโมเลกุลของ CH₃COCH₃ ต่อน้ำหนักของแคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรท และสุดท้ายการสลายตัวจาก CaCO₃ เป็น CaO ดังปฏิกิริยาที่ 4.3 เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 470-720 °C และสูญเสียน้ำหนักไป 21.00-25.00% ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำหนักโมเลกุล CO₂ ต่อน้ำหนักของแคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรท

4.1.6 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ผลการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดถูกวิเคราะห์โดยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นไปตามรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.5 ลักษณะสัณฐานวิทยาของ CL-CA10 (a), CK-CA10 (b), GA-CA10 (c), MS-CA10 (d), OT-CA10 (e) และ SC-CA12 (f)

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ของตัวอย่างแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยดัลป์ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเซอรี เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยเซลล์ พบว่ามีการจับตัวกันเป็นผลึกลักษณะแท่งยาว ซึ่งมีความยาวประมาณ 10-40 ไมโครเมตร และบางส่วนมีการจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่ โดยพบผลึกที่จับตัวเป็นก้อนใหญ่ได้มากขึ้น เมื่อความแรงในการทำปฏิกิริยาของกรดลดลง และมีการจับตัวเป็นก้อนบางส่วน โดยเฉพาะตัวอย่างที่สังเคราะห์โดยใช้ความแรงในการทำปฏิกิริยาของสารละลายกรดอะซิติก 12M นั้นพบการจับตัวเป็นก้อนผลึกขนาดใหญ่ได้น้อยมาก จากลักษณะสัณฐานวิทยาที่ได้แสดงให้เห็นว่าความแรงในการทำปฏิกิริยาของสารละลายกรดอะซิติกที่ลดลง ส่งผลต่อการจับตัวของผลึกแคลเซียมอะซิเตท



4.2 การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอ

4.2.1 ศึกษาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอีดีทีเอ

การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอ จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด คือ เปลือกหอยดัลล์ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเซอริ้ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยเชลล์ ซึ่งมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ โดยนำเปลือกหอยมาบดให้มีขนาด 50 เมช โดยทำปฏิกิริยากับสารละลายไดโซเดียมอีดีทีเอ ที่ความแรงในการทำปฏิกิริยา 0.5M, 0.75M, และ 1M เพื่อหาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอีดีทีเอ จากเปลือกหอย 6 ชนิด นำมาเปรียบเทียบเพื่อหาความแรงในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุด สำหรับสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอจากเปลือกหอยแต่ละชนิด

ตารางที่ 4.9 ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอีดีทีเอจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

สารตัวอย่าง	ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาสิ้นสุด(นาที)	ร้อยละผลผลิต (%)	ร้อยละการละลาย(%)
CL-EDTA0.5	140	86.88	87.41
CL-EDTA0.75	112	82.89	84.21
CL-EDTA1	95	80.25	81.48
CK-EDTA0.5	137	87.77	88.68
CK-EDTA0.75	105	85.90	86.42
CK-EDTA1	89	80.94	83.45
GA-EDTA0.5	158	85.12	86.52
GA-EDTA0.75	125	82.05	83.29
GA-EDTA1	103	79.97	82.25
MS-EDTA0.5	150	84.96	85.52
MS-EDTA0.75	120	81.54	81.29
MS-EDTA1	98	78.45	80.05
OT-EDTA0.5	160	81.95	84.68
OT-EDTA0.75	129	78.52	82.95
OT-EDTA1	107	76.09	81.11
SC-EDTA0.5	165	86.59	87.85
SC-EDTA0.75	132	83.21	84.52
SC-EDTA1	112	80.45	82.05

ตารางที่ 4.9 แสดงระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลีนสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของ แคลเซียมอีดีทีที่เอจากเตรียมจากเปลือกหอยตลับ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ และเปลือกหอยนางรม จะมีร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายสูงสุดที่ตัวอย่างที่ใช้ความแรงในการทำปฏิกิริยาของสารละลายไดโซเดียมอีดีทีที่เอที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อใช้ความแรงในการทำปฏิกิริยาของสารละลายไดโซเดียมอีดีทีที่เอต่างกัน จากตารางแสดงให้เห็นว่าความแรงในการทำปฏิกิริยาของสารละลายไดโซเดียมอีดีทีที่เอที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเตรียมสารประกอบแคลเซียมอีดีทีที่เอจากเปลือกหอยตลับ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ และเปลือกหอยนางรม คือ 0.5M จะมีร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายสูงสุด ซึ่งร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายของสารประกอบที่เตรียมได้ จะเพิ่มขึ้นเมื่อความแรงที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของสารละลายไดโซเดียมอีดีทีที่เอที่ใช้เพิ่มขึ้นจนสูงสุด ที่ความแรงในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม จากนั้นเมื่อเพิ่มความแรงในการทำปฏิกิริยาของสารละลายไดโซเดียมอีดีทีที่เอขึ้นไปอีก ปฏิกิริยาคายความร้อนที่สูงจะส่งผลให้สารละลายบางส่วนระเหยไปจนร้อยละการละลายและร้อยละผลผลิตจะลดลง



4.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของของแคลเซียมอีดีทีที่เอด้วยเทคนิค XRF

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ผลที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 4.10-4.15 ดังนี้

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CL-EDTA0.5, CL-EDTA0.75 และ CL-EDTA1

Element	Chemical contents / %		
	CL-EDTA0.5	CL-EDTA0.75	CL-EDTA1
CaO	89.7	85.6	84.7
Na ₂ O	8.25	12.6	10.9
MgO	0.0343	0.0291	0.0494
Al ₂ O ₃	0.264	0.175	2.53
SiO ₂	0.138	0.209	0.191
P ₂ O ₅	0.0479	0.0663	0.0450
SO ₃	0.765	0.611	0.615
Cl	0.0150	0.0111	0.0193
K ₂ O	-	0.0098	0.0145
Cr ₂ O ₃	0.0592	0.0289	-
Fe ₂ O ₃	0.314	0.209	0.505
Br	0.0227	0.0200	0.0290
Rb ₂ O	-	-	0.0010
SrO	0.107	0.396	0.105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CK-EDTA0.5, CK-EDTA0.75 และ CK-EDTA1

Element	Chemical contents / %		
	CK-EDTA0.5	CK-EDTA0.75	CK-EDTA1
CaO	90.6	90.3	88.0
Na ₂ O	7.07	8.70	9.84
MgO	0.0487	0.0391	0.0650
Al ₂ O ₃	0.155	0.139	0.309
SiO ₂	0.304	0.164	0.520
P ₂ O ₅	0.0272	0.0218	0.0903
SO ₃	0.186	0.151	0.483
Cl	0.0124	0.0164	0.0164
K ₂ O	0.0090	0.0094	0.0238
Cr ₂ O ₃	0.0538	-	-
Fe ₂ O ₃	0.171	0.113	0.303
MnO	-	-	0.0196
Br	-	-	0.0010
SrO	0.336	0.396	0.105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ GA-EDTA0.5, GA-EDTA0.75 และ GA-EDTA1

Element	Chemical contents / %		
	GA-EDTA0.5	GA-EDTA0.75	GA-EDTA1
CaO	85.3	84.7	84.4
Na ₂ O	7.00	8.99	9.12
MgO	0.136	0.178	0.178
Al ₂ O ₃	1.07	1.38	1.42
SiO ₂	2.22	3.03	3.17
P ₂ O ₅	0.0425	0.0517	0.0554
SO ₃	0.203	0.312	0.327
Cl	0.649	0.113	0.116
K ₂ O	0.100	0.130	0.149
TiO ₂	-	0.129	-
Cr ₂ O ₃	-	-	0.0374
MnO	0.0717	0.0787	0.122
Fe ₂ O ₃	0.586	0.794	0.741
ZnO	0.0184	0.0184	0.0252
Br	-	0.0075	-
SrO	0.107	0.100	0.105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ MS-EDTA0.5, MS-EDTA0.75 และ MS-EDTA1

Element	Chemical contents / %		
	MS-EDTA0.5	MS-EDTA0.75	MS-EDTA1
CaO	88.0	85.3	85.5
Na ₂ O	8.5	8.6	8.9
MgO	0.0649	0.0704	0.0953
Al ₂ O ₃	0.377	0.214	0.397
SiO ₂	0.234	0.372	0.427
P ₂ O ₅	0.554	0.937	0.914
SO ₃	1.34	2.83	2.44
Cl	0.0297	0.0386	0.0451
K ₂ O	0.0101	0.0150	0.0121
Cr ₂ O ₃	-	0.0905	0.0551
Fe ₂ O ₃	0.219	0.728	0.456
Br	0.0897	0.337	0.148
SrO	0.514	0.521	0.549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ OT-EDTA0.5, OT-EDTA0.75 และ OT-EDTA1

Element	Chemical contents / %		
	OT-EDTA0.5	OT-EDTA0.5	OT-EDTA1
CaO	84.1	80.2	83.2
Na ₂ O	8.42	9.2	10.4
MgO	0.824	0.850	0.621
Al ₂ O ₃	2.70	4.29	2.33
SiO ₂	0.9036	0.6850	0.3589
P ₂ O ₅	0.385	0.684	0.409
SO ₃	0.634	0.895	0.659
Cl	0.0366	0.0795	0.0914
K ₂ O	0.271	0.631	0.312
TiO ₂	0.199	0.285	0.126
Cr ₂ O ₃	-	0.0298	-
MnO	0.0274	0.0411	0.0430
Fe ₂ O ₃	1.17	2.06	1.29
ZnO	-	0.0099	-
Br	0.0112	0.0233	0.0155
Rb ₂ O	0.0055	0.0077	-
SrO	0.293	0.363	0.342
Y ₂ O ₃	-	-	0.0056

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ SC-EDTA0.5, SC-EDTA0.75 และ SC-EDTA1

Element	Chemical contents / %		
	SC-EDTA0.5	SC-EDTA0.75	SC-EDTA1
CaO	89.9	88.6	87.7
Na ₂ O	7.63	9.16	9.9
MgO	0.218	0.175	0.181
Al ₂ O ₃	0.0889	0.0511	0.141
SiO ₂	0.287	0.135	0.462
P ₂ O ₅	0.530	0.307	0.313
SO ₃	0.809	1.10	0.930
K ₂ O	0.0095	0.0104	0.0159
Cr ₂ O ₃	0.0622	-	-
Fe ₂ O ₃	0.147	0.0593	0.0879
SrO	0.363	0.354	0.342

จากตารางที่ 4.10-4.15 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดด้วยเทคนิค X-ray fluorescence แสดงให้เห็นว่าสารประกอบที่สังเคราะห์ได้มีองค์ประกอบหลักคือแคลเซียม (CaO) 80-91% นอกจากนี้ยังมีโซเดียมประมาณ 7-13% ซึ่งเป็นโซเดียมที่มาจากสารตั้งต้นอีดีทีเอไดโซเดียม แสดงให้เห็นว่าอีดีทีเอไอออนบางส่วนจับตัวกับโซเดียมกลับมาเช่นเดิม โดยปริมาณโซเดียมที่เกิดขึ้นจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายอีดีทีเอไดโซเดียมลดลง ดังนั้นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอจากการทดลองคือ 0.5M

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดด้วยเทคนิค X-ray fluorescence พบว่ามีองค์ประกอบหลักคือ CaO โดยแคลเซียมอีดีทีเอจากเปลือกหอยกลับจากตารางที่ 4.10 พบว่าCL-EDTA0.5 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 89.7 เปอร์เซ็นต์ พบว่าCL-EDTA0.75 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 85.6 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าCL-EDTA1 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 84.7 เปอร์เซ็นต์

เปลือกหอยแครงจากตารางที่ 4.11 พบว่าCK-EDTA0.5 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 90.6 เปอร์เซ็นต์ พบว่าCK-EDTA0.75 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 90.3 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าCK-EDTA1 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 88.0 เปอร์เซ็นต์

เปลือกหอยเชอรี่จากตารางที่ 4.12 พบว่าGA-EDTA0.5 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 85.3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าGA-EDTA0.75 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 84.7 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าGA-EDTA1 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 84.4 เปอร์เซ็นต์

เปลือกหอยแมลงภู่จากตารางที่ 4.13 พบว่าMS-EDTA0.5 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 88.0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าMS-EDTA0.75 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 85.3 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าMS-EDTA1 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 85.5 เปอร์เซ็นต์

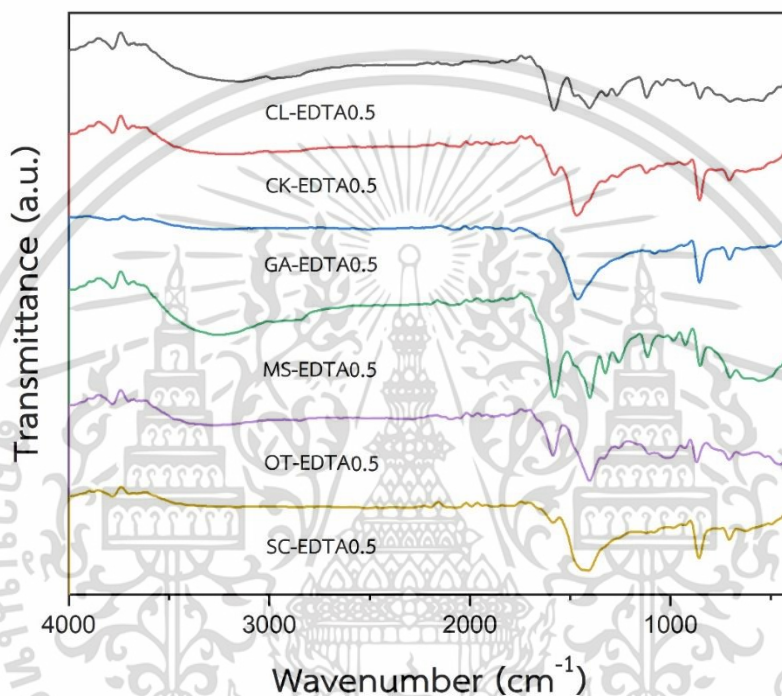
เปลือกหอยนางรมจากตารางที่ 4.14 พบว่าOT-EDTA0.5 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 84.1 เปอร์เซ็นต์ พบว่าOT-EDTA0.75 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 80.2 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าOT-EDTA1 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 83.2 เปอร์เซ็นต์

เปลือกหอยเชลล์จากตารางที่ 4.15 พบว่าSC-EDTA0.5 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 89.9 เปอร์เซ็นต์ พบว่าSC-EDTA0.75 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 88.6 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าSC-EDTA1 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 87.7 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 4.10 - 4.15 แสดงให้เห็นว่าปริมาณแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบจากเปลือกทั้ง 6 ชนิด จะมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์สูงที่สุด เมื่อใช้ความแรงในการทำปฏิกิริยาของสารละลายไดโซเดียมอิดีทีเอ 0.5M นอกจากนี้ยังพบสารเจือปนอื่นๆหลายชนิดได้แก่ Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , SO_3 , Cl , K_2O , TiO_2 , MnO , Fe_2O_3 , ZnO , Br และ SrO ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียมโดยไม่พบธาตุที่เป็นอันตรายต่อการใช้ในพืชตามที่ US EPA บัญญัติ (Cr, Cd, Cu, Pb, Hg, Ni, and Se)

4.2.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมอีดีทีที่เอด้วยเทคนิค FTIR

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดถูกวิเคราะห์โดยเทคนิค Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นไปตามรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.6 รูปแบบการดูดกลืนอินฟราเรดของ CL-EDTA0.5, CK-EDTA0.5, GA-EDTA0.5, MS-EDTA0.5, OT-EDTA0.5 และ SC-EDTA0.5

ตารางที่ 4.16 พีคของหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอที่พบจากการวิเคราะห์ด้วย FTIR

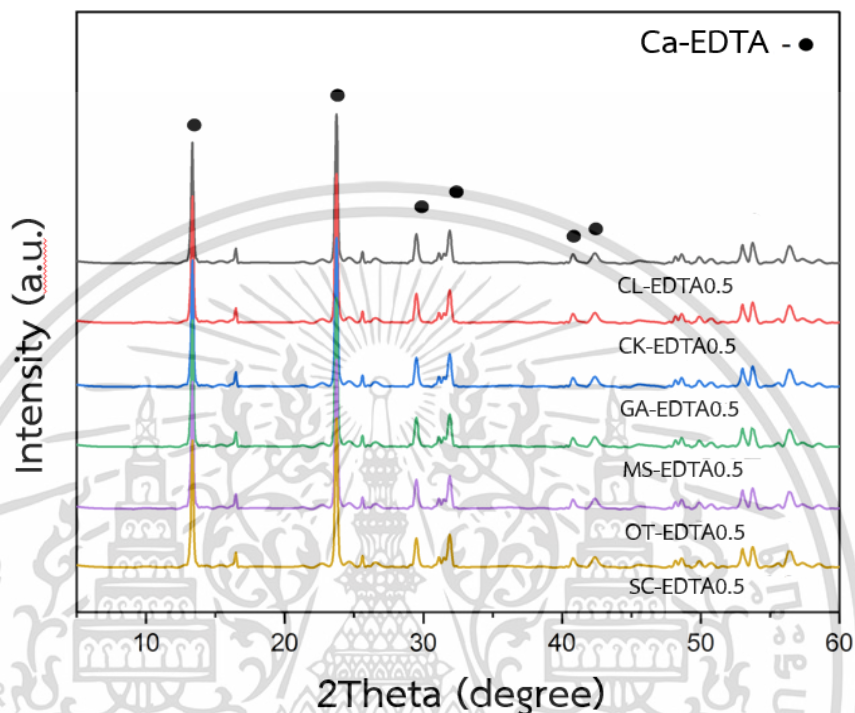
Wavenumber (cm ⁻¹)	รูปแบบการสั่น
3255	O-H stretching
1589	H-O-H bending
1405	Symmetric stretching vibration of C=O-O
1326, 1240	C-H bending
1172	C-N-C stretching
1106	C-N stretching
927	Symmetric C-C stretching
692	Out of plane stretching of O-C-O group
642	Out of plane bending of O-C-O group
518	Ca-O Stretching

จากรูปที่ 4.16 กราฟแสดงรูปแบบการดูดกลืนอินฟราเรดของ CL-EDTA0.5, CK-EDTA0.5, MS-EDTA0.5, GA-EDTA0.5, OT-EDTA0.5 และ SC-EDTA0.5 พบพีคการสั่นแบบ stretching ของหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ที่ตำแหน่งประมาณ 3255 cm⁻¹ พบพีคการสั่นแบบ bending ของพันธะ H-O-H ที่ตำแหน่ง 1589 cm⁻¹ พบพีคการสั่นแบบ stretching ของพันธะ C=O-O ที่ตำแหน่ง 1405 cm⁻¹ พบพีคการสั่นแบบ bending ของพันธะ C-H ที่ตำแหน่ง 1326 และ 1240 cm⁻¹ พบพีคการสั่นแบบ stretching ของพันธะ C-N-C ที่ตำแหน่ง 1172 cm⁻¹ พบพีคการสั่นแบบ stretching ของพันธะ C-N ที่ตำแหน่ง 1106 cm⁻¹ พบพีคการสั่นแบบ stretching ของพันธะ C-C ที่ตำแหน่ง 927 cm⁻¹ พบพีคการสั่นแบบ stretching และ bending ของพันธะ O-C-O ที่ตำแหน่ง 692 และ 642 cm⁻¹ นอกจากนี้ยังพบพีคของ Ca-O ที่ตำแหน่ง 518 cm⁻¹

จากผลการวิเคราะห์รูปแบบการสั่นทั้งหมดแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการสั่นทั้งหมดของสารประกอบที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะใกล้เคียงกัน ตำแหน่งพีคของหมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นเป็นไปดังตารางที่ 4.16 ดังนั้นจึงสามารถยืนยันได้ว่าสารประกอบที่สังเคราะห์ได้เป็นแคลเซียมอีดีทีเอ (Ca-EDTA)

4.2.4 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอด้วยเทคนิค XRD

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดถูกวิเคราะห์โดยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นไปตามรูปต่อไปนี้

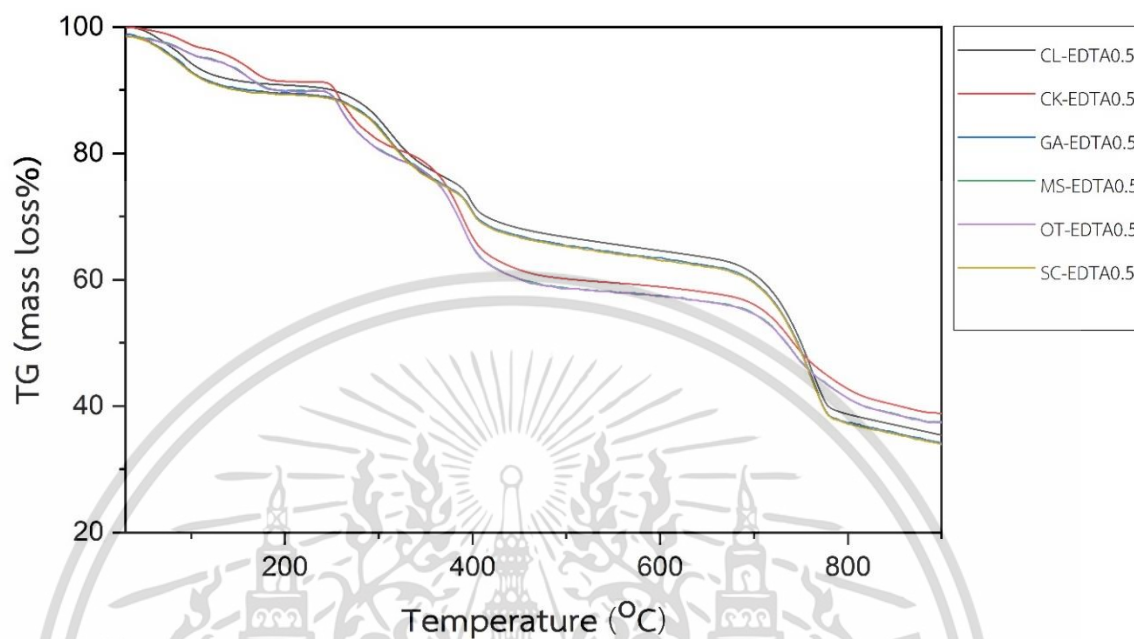


รูปที่ 4.7 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CL-EDTA0.5, CK-EDTA0.5, GA-EDTA0.5, MS-EDTA0.5, OT-EDTA0.5, SC-EDTA0.5 และแคลเซียมเอทิลีนไดเอมีนเตตระโนเอทเฮปตะไฮเดรท

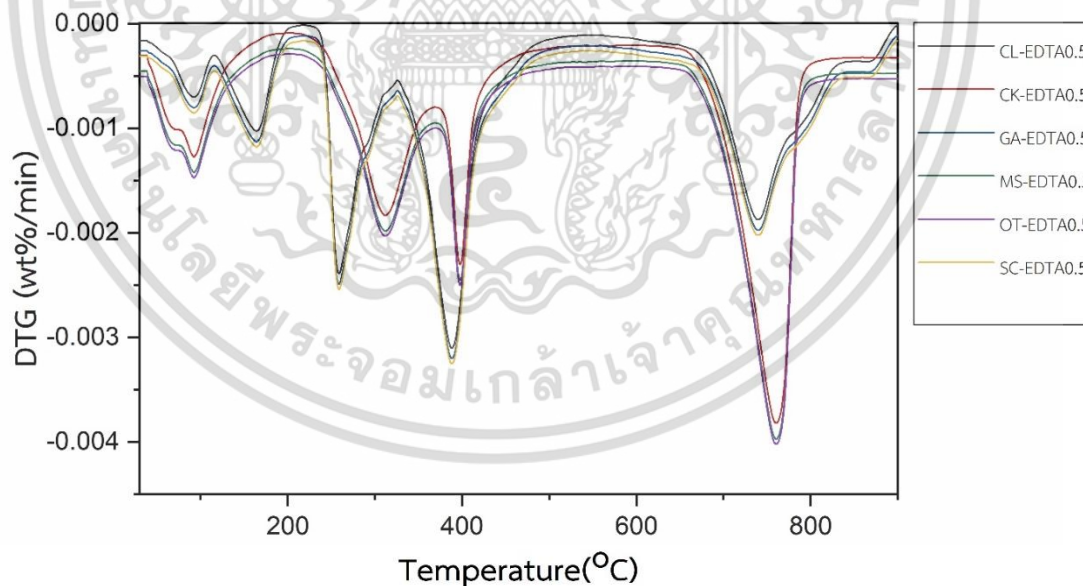
จากรูปที่ 4.7 เมื่อนำตัวอย่างแคลเซียมอีดีทีเอจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD) พบว่าสารตัวอย่าง CL-EDTA0.5, CK-EDTA0.5, GA-EDTA0.5, MS-EDTA0.5, OT-EDTA0.5 และ SC-EDTA0.5 มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีภายในโครงสร้างผลึกใกล้เคียงกัน ซึ่งรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ตรงกับไฟล์มาตรฐาน PDF#00-034-1674 ของสารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอ โดยมีการเลี้ยวเบนที่ตำแหน่ง $2\theta = 13.5^\circ, 24.7^\circ, 29.8^\circ, 32.9^\circ, 41.6^\circ$ และ 43.3° ซึ่งสอดคล้องกับสารประกอบแคลเซียมเอทิลีนไดเอมีนเตตระโนเอทเฮปตะไฮเดรท ($C_{10}H_{12}Ca_2N_2O_8 \cdot 7H_2O$) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ FTIR ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าสารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอที่สังเคราะห์ได้เป็นแคลเซียมเอทิลีนไดเอมีนเตตระโนเอทเฮปตะไฮเดรท

4.2.5 การวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของสารประกอบแคลเซียมอีดีทีที่เอด้วยเทคนิค

TGA



รูปที่ 4.8 ร้อยละของน้ำหนักที่เหลือของ CL-EDTA0.5, CK-EDTA0.5, GA-EDTA0.5, MS-EDTA0.5, OT-EDTA0.5 และ SC-EDTA0.5



รูปที่ 4.9 อัตราการสลายตัวของ CL-EDTA0.5, CK-EDTA0.5, GA-EDTA0.5, MS-EDTA0.5, OT-EDTA0.5 และ SC-EDTA0.5

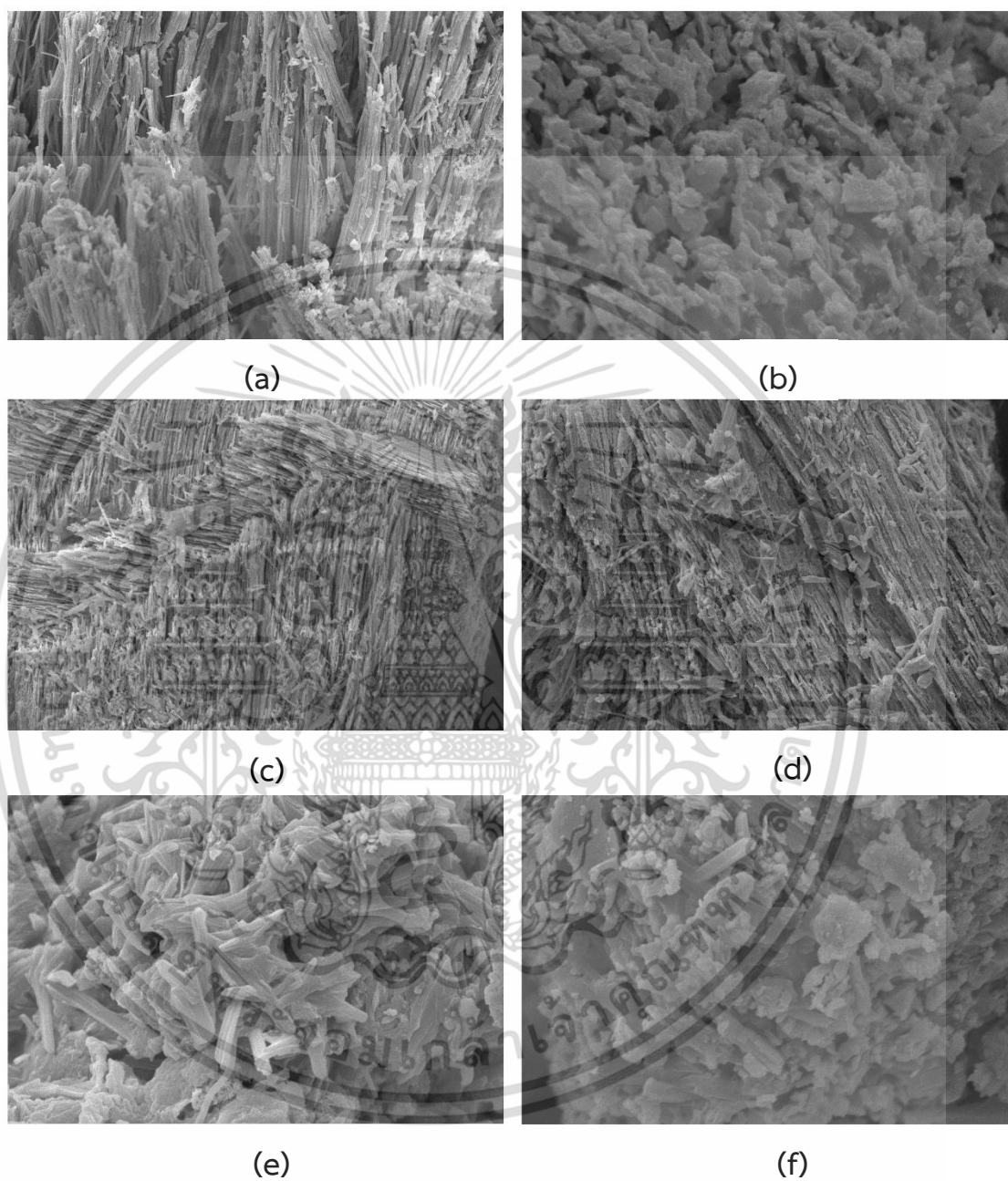
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 แสดงร้อยละของน้ำหนักที่เหลือและรูปที่ 4.9 แสดงอัตราการสลายตัวขณะเกิดการสลายตัวทางความร้อนของ CL-EDTA0.5, CK-EDTA0.5, GA-EDTA0.5, MS-EDTA0.5, OT-EDTA0.5 และ SC-EDTA0.5 ที่อุณหภูมิ 30-900 °C ภายใต้สภาวะก๊าซไนโตรเจนที่อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 10 °C ต่อนาที ซึ่งเกิดการสลายตัวขึ้นดังนี้



ขั้นตอนแรกพบว่าการหลุดออกของน้ำในโครงผลึก (Dehydration) ดังปฏิกิริยาที่ 4.4 ที่อุณหภูมิ 30-210 °C สูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 10.00-11.00% ซึ่งใกล้เคียงกับสัดส่วนของน้ำหนัก H₂O ในแคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรต ส่วนการสลายตัวขั้นที่ 2 นั้นเกิดการสลายตัวของ Ca(CH₃COO)₂ เกิดเป็น CaCO₃ ดังปฏิกิริยาที่ 4.5 ที่อุณหภูมิ 230-450 °C สูญเสียน้ำหนักไป 30.00-35.00% ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำหนักโมเลกุลของ C₃H₃CH₄COOC₃H₅N₂Na ต่อน้ำหนักของแคลเซียมเอทิลีนไดเอมีนเตตระโนเอทเฮปตะไฮเดรตและสุดท้ายการสลายตัวจาก CaCO₃ เป็น CaO ดังปฏิกิริยาที่ 4.6 เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 630-900 °C และสูญเสียน้ำหนักไป 32.00-38.00% ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำหนักโมเลกุล CO₂ ต่อน้ำหนักของแคลเซียมเอทิลีนไดเอมีนเตตระโนเอทเฮปตะไฮเดรต

4.2.6 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของสารประกอบแคลเซียมอีดีทีเอด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)



รูปที่ 4.10 ลักษณะสัณฐานวิทยาของ CL-EDTA0.5 (a), CK-EDTA0.5 (b), GA-EDTA0.5 (c), MS-EDTA0.5 (d), OT-EDTA0.5 (e), SC-EDTA0.5 (f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ของตัวอย่างแคลเซียมฮีทที่เอจากเปลือกหอยตลับ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเซอรี เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยเซลล์ พบว่ามีการจับตัวกันเป็นผลึกลักษณะแท่งยาว ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร และบางส่วนมีการจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่ โดยพบผลึกที่จับตัวเป็นก้อนใหญ่ได้มากขึ้นในตัวอย่างการสังเคราะห์แคลเซียมฮีทที่เอจากเปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเซอรี และเปลือกหอยเซลล์ จากลักษณะสัณฐานวิทยาที่ได้แสดงให้เห็นว่าผลึกที่จับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่สามารถละลายได้ดีกว่า ผลึกโครงสร้างลักษณะแท่งยาว เนื่องจากมีรูพรุนที่พื้นผิวมาก ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 4.9 ที่แสดงถึงร้อยละการละลายที่มากกว่า



4.3 แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ

4.3.1 ศึกษาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ

การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด คือ เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยเชลล์ ซึ่งมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ โดยนำเปลือกหอยมาบดให้มีขนาด 50 เมช โดยทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดอะซิติกที่ความแรงในการทำปฏิกิริยา 8M, 10M, และ 12M ร่วมกับสารละลายไดโซเดียมอีดีทีเอที่ความแรงในการทำปฏิกิริยา 0.5M, 0.75M, และ 1M เพื่อหาระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ จากเปลือกหอย 6 ชนิด นำมาเปรียบเทียบเพื่อหาความแรงในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุด สำหรับสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอจากเปลือกหอยแต่ละชนิด

ตารางที่ 4.17 ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

สารตัวอย่าง	ระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด (นาที)	ร้อยละผลผลิต (%)	ร้อยละการละลาย (%)
CL-CA10-EDTA0.5	67	88.54	91.25
CK-CA10-EDTA0.5	63	90.25	92.58
GA-CA10-EDTA0.5	75	87.23	90.03
MS-CA10-EDTA0.5	82	85.98	89.12
OT-CA10-EDTA0.5	82	84.05	87.78
SC-CA12-EDTA0.5	89	89.23	91.96

จากตารางที่ 4.9 แสดงระยะเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุด ร้อยละผลผลิต และร้อยละการละลายของแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอจากเตรียมจากเปลือกหอยตลับ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ และเปลือกหอยนางรม จะมีร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายสูงสุด โดยตัวอย่างที่เตรียมจากเปลือกหอยแครงมีร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายสูงที่สุดเมื่อเทียบจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดดังตาราง หากนำไปเตรียมสารละลายแคลเซียมที่ปริมาณแคลเซียมเท่ากันจะใช้สารตั้งต้นน้อยที่สุด

4.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของของแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอด้วยเทคนิค XRF

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ผลที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 4.18

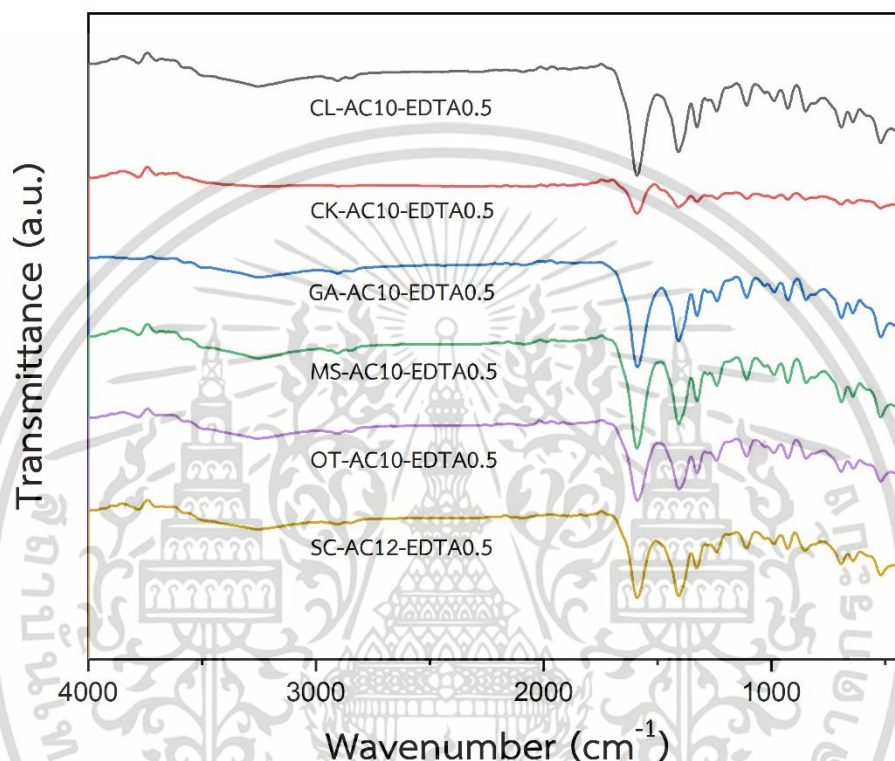
ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ของ CL-CA10-EDTA0.5, CK-CA10-EDTA0.5, GA-CA10-EDTA0.5, MS-CA10-EDTA0.5, OT-CA10-EDTA0.5 และ SC-CA12-EDTA0.5

Elements	CL-CA10-EDTA0.5	CK-CA10-EDTA0.5	GA-CA10-EDTA0.5	MS-CA10-EDTA0.5	OT-CA10-EDTA0.5	SC-CA12-EDTA0.5
CaO	98.3	98.4	98.2	97.9	94.3	97.7
Na ₂ O	1.15	0.927	0.964	1.12	1.63	1.46
Al ₂ O ₃	0.0872	0.0827	0.180	0.118	0.523	0.0553
SiO ₂	0.0347	0.152	0.330	0.186	2.70	0.0316
SO ₃	0.132	0.0539	0.0300	0.152	0.149	0.371
P ₂ O ₅	-	0.0156	0.0114	0.0649	0.0839	0.103
Br	0.0129	-	-	0.0316	0.0091	-
SrO	0.272	0.235	0.0576	0.334	0.279	0.216
K ₂ O	-	0.0090	0.0237	-	0.0587	-
Fe ₂ O ₃	-	0.162	0.202	0.0807	-	-
Cl	-	-	0.0135	0.0099	0.0537	-
MgO	-	-	-	0.0214	0.130	0.0672
MnO	-	-	-	-	0.0396	-

จากองค์ประกอบทางเคมีของ CL-CA10-EDTA0.5, CK-CA10-EDTA0.5, GA-CA10-EDTA0.5, MS-CA10-EDTA0.5, OT-CA10-EDTA0.5 และ SC-CA12-EDTA0.5 ดังแสดงในตารางที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบแคลเซียมที่ได้สอดคล้องกับสารประกอบเชิงเดี่ยวแคลเซียมอะซิเตทและแคลเซียมอีดีทีเอ โดยสารประกอบที่เตรียมจากเปลือกหอยแครงมีปริมาณแคลเซียมสูงที่สุด ดังนั้นเมื่อนำไปเตรียมน้ำที่ปริมาณแคลเซียมเท่ากันจะใช้ปริมาณน้อยที่สุด

4.3.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อิตีที่เอด้วย FTIR

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดถูกวิเคราะห์โดยเทคนิค Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นไปตามรูปต่อไปนี้

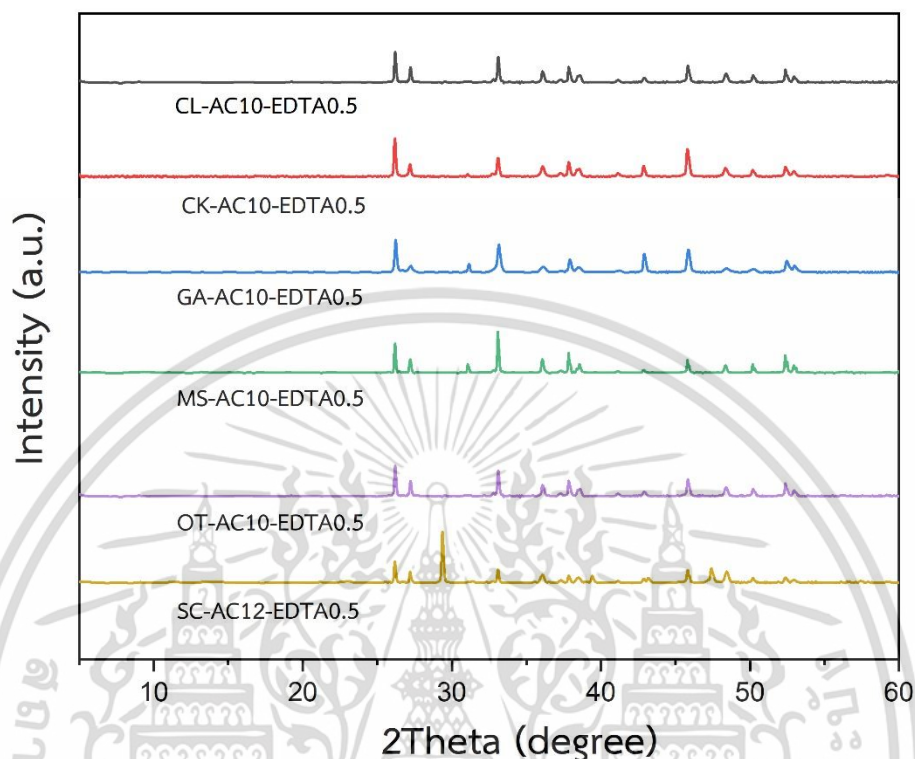


รูปที่ 4.11 รูปแบบการดูดกลืนอินฟราเรดของ CL-CA10-EDTA0.5, CK-CA10-EDTA0.5, GA-CA10-EDTA0.5, MS-CA10-EDTA0.5, OT-CA10-EDTA0.5 และ SC-CA12-EDTA0.5

จากรูปที่ 4.11 กราฟแสดงรูปแบบการดูดกลืนอินฟราเรด CL-CA10-EDTA0.5, CK-CA10-EDTA0.5, GA-CA10-EDTA0.5, MS-CA10-EDTA0.5, OT-CA10-EDTA0.5 และ SC-CA12-EDTA0.5 พบว่ารูปแบบการสั่นทั้งหมดของสารประกอบที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะใกล้เคียงกัน พบพีคของหมู่ฟังก์ชันอะซิเตท (CH_3COO^-) ตำแหน่งใกล้เคียงกับตารางที่ 4.7 และพบพีคของหมู่ฟังก์ชันอิตีที่เอ ($\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_8^{4-}$) ในตำแหน่งใกล้เคียงกับตารางที่ 4.17 ซึ่งรูปแบบพีคที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่าสารประกอบแคลเซียมที่สังเคราะห์ได้มีการจับตัวกับอะซิเตทไอออนและอิตีที่เอไอออน ดังนั้นจึงสามารถยืนยันได้ว่าสารประกอบที่สังเคราะห์ได้มีการจับตัวกันเป็นสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อิตีที่เอ ($\text{Ca}_3(\text{CH}_3\text{COO})_2(\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_8) \cdot x\text{H}_2\text{O}$)

4.3.4 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ ด้วยเทคนิค

XRD

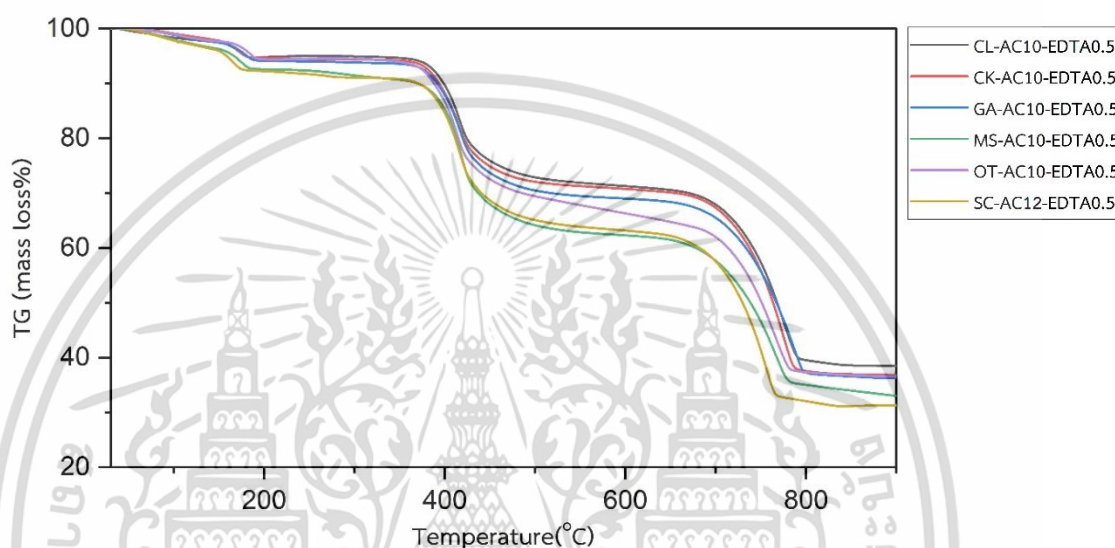


รูปที่ 4.12 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CL-CA10-EDTA0.5, CK-CA10-EDTA0.5, GA-CA10-EDTA0.5, MS-CA10-EDTA0.5, OT-CA10-EDTA0.5 และ SC-CA12-EDTA0.5

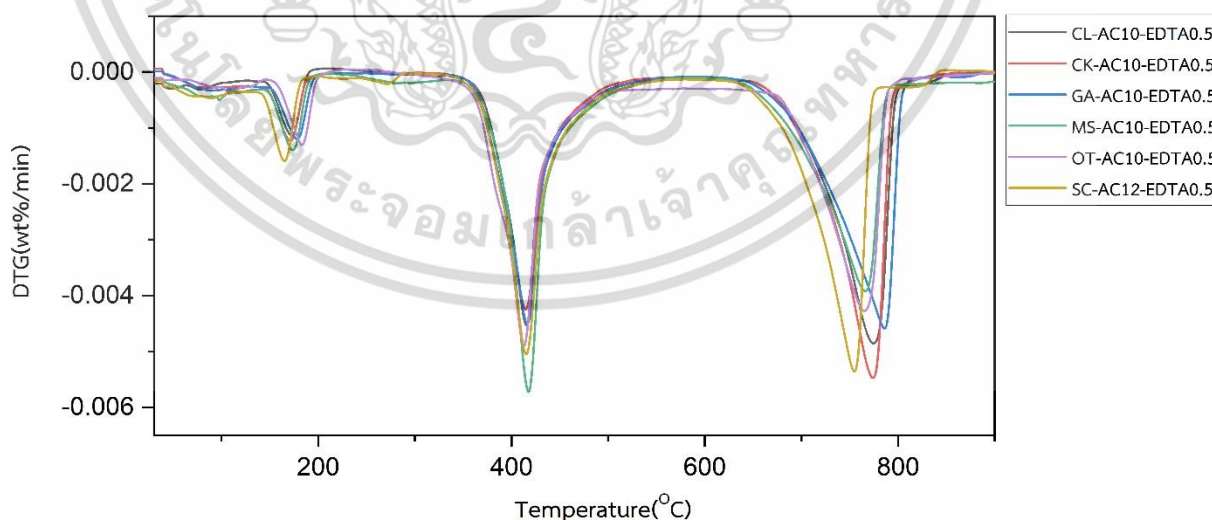
จากรูปที่ 4.12 เมื่อนำตัวอย่างแคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD) พบว่าสารตัวอย่าง CL-CA10-EDTA0.5, CK-CA10-EDTA0.5, GA-CA10-EDTA0.5, MS-CA10-EDTA0.5, OT-CA10-EDTA0.5 และ SC-CA12-EDTA0.5 มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีภายในโครงสร้างผลึกใกล้เคียงกันมากซึ่งรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ตรงกับสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทและแคลเซียมอีดีทีเอ โดยมีการเลี้ยวเบนที่ตำแหน่ง $2\theta = 25.6^\circ, 27.3^\circ, 32.9^\circ, 37.3^\circ, 38.7^\circ$ และ 43.3° ตรงกับไฟล์มาตรฐาน JCPDS#00-010-0776 ของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท และมีการเลี้ยวเบนที่ตำแหน่ง $2\theta = 13.5^\circ, 24.7^\circ, 29.8^\circ, 32.9^\circ, 41.6^\circ$ และ 43.3° ซึ่งสอดคล้องกับสารประกอบแคลเซียมเอทิลีนไดเอมีนเตตระโนเอทเฮปตะไฮเดรต ($C_{10}H_{12}Ca_2N_2O_8 \cdot 7H_2O$) ทำให้ยืนยันได้ว่าตัวอย่างที่เตรียมได้เกิดโครงสร้างของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอขึ้น

4.3.5 การวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ ด้วยเทคนิค TGA

ผลการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดถูกวิเคราะห์โดยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นไปตามรูปต่อไปนี้



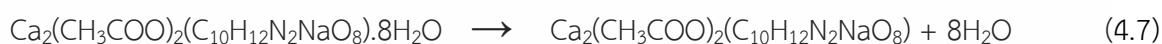
รูปที่ 4.13 ร้อยละของน้ำหนักที่เหลือของ CL-CA10-EDTA0.5, CK-CA10-EDTA0.5, GA-CA10-EDTA0.5, MS-CA10-EDTA0.5, OT-CA10-EDTA0.5 และ SC-CA12-EDTA0.5



รูปที่ 4.14 อัตราการสลายตัวของ CL-CA10-EDTA0.5, CK-CA10-EDTA0.5, GA-CA10-EDTA0.5, MS-CA10-EDTA0.5, OT-CA10-EDTA0.5 และ SC-CA12-EDTA0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

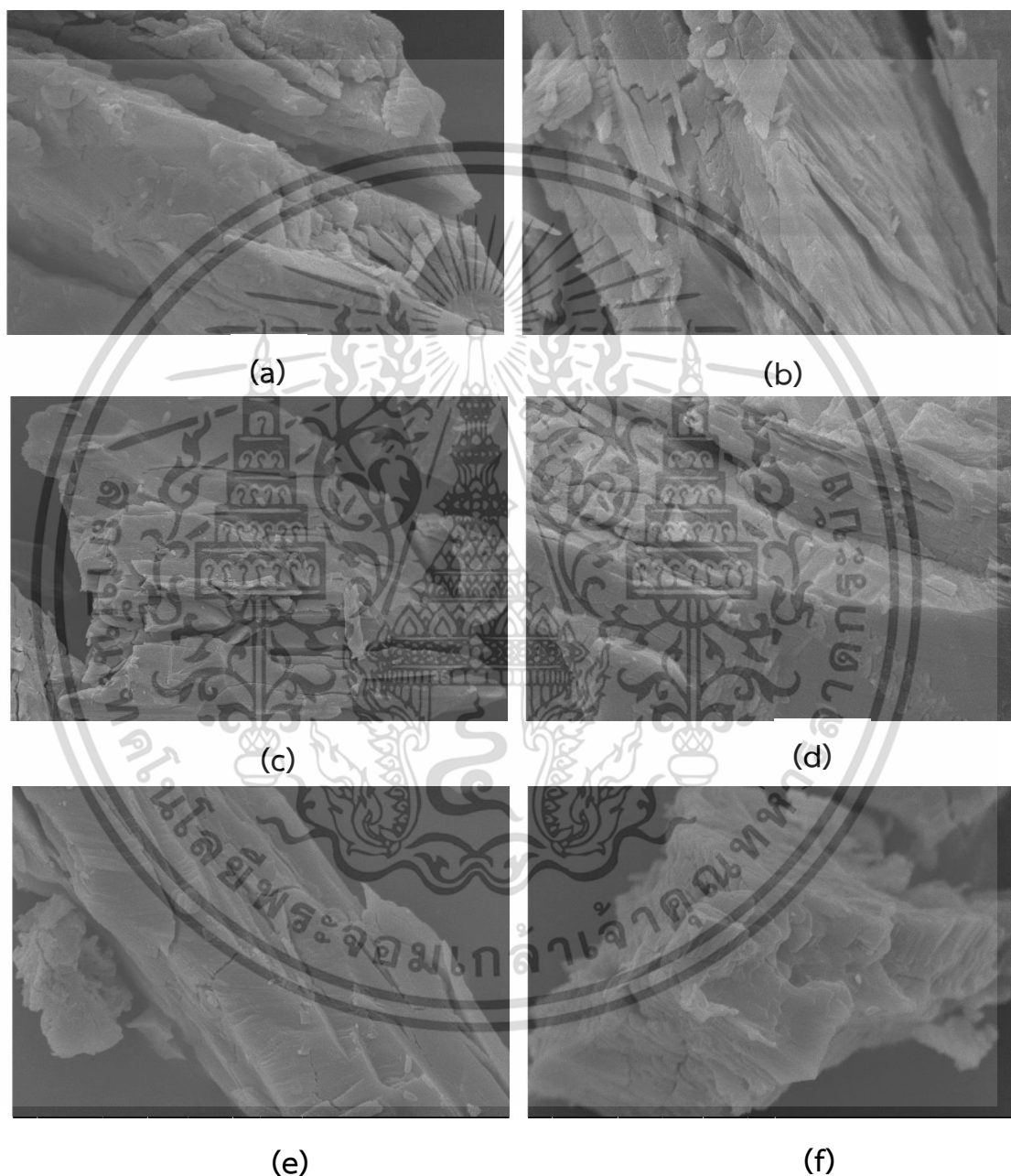
รูปที่ 4.13 แสดงร้อยละของน้ำหนักที่เหลือและรูปที่ 4.14 แสดงอัตราการสลายตัวขณะเกิดการสลายตัวทางความร้อนของ CL-CA10-EDTA0.5, CK-CA10-EDTA0.5, GA-CA10-EDTA0.5, MS-CA10-EDTA0.5, OT-CA10-EDTA0.5 และ SC-CA12-EDTA0.5 การสลายตัวทางความร้อนเกิดขึ้น 3 ขั้นตอนดังนี้



สมการที่ 1 แสดงการหลุดออกของน้ำในโครงผลึกที่อุณหภูมิ 30-200 °C กลายเป็นโมเลกุลแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอที่ปราศจากน้ำในโครงผลึก ส่วนขั้นตอนที่ 2 เป็นการหลุดออกของอะซิเตทไอออนและอีดีทีเอไอออน กลายเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 200-470 °C และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการสลายตัวจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมออกไซด์ที่อุณหภูมิ 470-720 °C

4.3.6 ลักษณะสัณฐานวิทยาของแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ

ผลการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ จากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดถูกวิเคราะห์โดยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นไปตามรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.15 ลักษณะสัณฐานวิทยาของ CL-CA10-EDTA0.5 (a), CK-CA10-EDTA0.5 (b), GA-CA10-EDTA0.5 (c), MS-CA10-EDTA0.5 (d), OT-CA10-EDTA0.5 (e), SC-CA12-EDTA0.5 (f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ของตัวอย่างแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอจากเปลือกหอยตลับ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยเชลล์ พบว่าการจับตัวกันเป็นผลึกลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่ และมีก้อนผลึกขนาดเล็กประมาณ 1 ไมโครเมตร จับอยู่บริเวณพื้นผิวบางส่วน แต่ขนาดที่ได้มีน้อยกว่าสารประกอบเชิงเดี่ยวแคลเซียมอะซิเตทหรือแคลเซียมอีดีทีเอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการสังเคราะห์สารประกอบเชิงคู่ส่งผลให้ขนาดอนุภาคที่เตรียมได้นั้นลดลงสอดคล้องกับคำอธิบายการละลายที่เพิ่มขึ้น

4.4 การเตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียมจากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ

ปุ๋ยน้ำแคลเซียม 5% CaO ถูกเตรียมจากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอที่เตรียมจากเปลือกหอยตลับ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชอรี่ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรม และเปลือกหอยเชลล์ จากนั้นนำปุ๋ยน้ำที่เตรียมได้มาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ได้แก่ pH การนำไฟฟ้า และปริมาณแคลเซียมที่แน่นอน

ตารางที่ 4.19 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของปุ๋ยน้ำแคลเซียมที่เตรียมโดยใช้แคลเซียมอะซิเตท-แคลเซียมจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด

ตัวอย่าง	Conductivity (mS/cm)	pH	Ca content (% CaO)
CL-AC10-EDTA0.5	32.1	6.29	5.32
CK-AC10-EDTA0.5	33.5	6.25	5.35
GA-AC10-EDTA0.5	31.0	6.35	5.22
MS-AC10-EDTA0.5	30.7	6.36	5.21
OT-AC10-EDTA0.5	28.9	6.41	5.13
SC-AC12-EDTA0.75	32.7	6.26	5.34

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการวิเคราะห์ปุ๋ยน้ำแคลเซียมโดยใช้แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิด ซึ่งผลการวิเคราะห์ Conductivity และ pH แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณแคลเซียมในสารละลายสูงขึ้นจะส่งผลให้สารละลายที่ได้มีค่า Conductivity ที่สูงขึ้น ในขณะที่ pH จะลดลง นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในสารละลายโดยใช้ Flame Atomic Absorption Spectroscopy พบว่าตัวอย่างสารละลายที่มีปริมาณแคลเซียมจากมากไปน้อยคือ CL-CA10-EDTA0.5,

CK-CA10-EDTA0.5, GA-CA10-EDTA0.5, MS-CA10-EDTA0.5, OT-CA10-EDTA0.5 และ SC-CA12-EDTA0.5 โดยมีปริมาณ 5.32%, 5.35%, 5.22%, 5.21%, 5.13% และ 5.34% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.20 ต้นทุนสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมปุ๋ยน้ำแคลเซียม 5% CaO จากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ

ตัวอย่าง	ผงเปลือกหอย		Acetic acid 99.85%		Na ₂ EDTA		ต้นทุน (บาท/ ลิตร)
	น้ำหนัก (กรัม)	ต้นทุน (บาท)	ปริมาตร (mL)	ต้นทุน (บาท)	ปริมาตร (mL)	ต้นทุน (บาท)	
CL-AC10-EDTA0.5	10	0.12	5.77	0.36	14.92	3.25	3.73
CK-AC10-EDTA0.5	10	0.12	5.77	0.36	14.92	3.25	3.73
GA-AC10-EDTA0.5	10	0.11	5.77	0.36	14.92	3.25	3.72
MS-AC10-EDTA0.5	10	0.10	5.77	0.36	14.92	3.25	3.71
OT-AC10-EDTA0.5	10	0.07	5.77	0.36	14.92	3.25	3.68
SC-AC12-EDTA0.5	10	0.13	5.77	0.36	14.92	3.25	3.74

หมายเหตุ* : ราคาต้นทุนของสารประกอบแคลเซียมคิดเฉพาะค่าสารเคมีเท่านั้น

ตารางที่ 4.20 แสดงต้นทุนสารเคมีต่อลิตรที่ใช้ในการเตรียมปุ๋ยน้ำ 5% CaO จากสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ 31.21 กรัม ซึ่งจากต้นทุนของเปลือกหอยที่ต่างกันส่งผลให้การเตรียมสารละลายปุ๋ยน้ำ 5% CaO โดยใช้เปลือกหอยเซลล์นั้น มีต้นทุนสูงที่สุด การเตรียมสารละลายปุ๋ยน้ำ 5% CaO โดยใช้เปลือกหอยนางรมนั้น มีต้นทุนต่ำที่สุด แต่จากผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในสารละลายดังตารางที่ 4.18 ก็แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยน้ำ 5 % ที่เตรียมจากเปลือกหอยนางรมนั้น มีปริมาณแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้จริงต่ำที่สุดอีกด้วย ซึ่งผลการคำนวณที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ต่อยอดในการหาต้นทุนรวมสำหรับผลิตปุ๋ยน้ำแคลเซียมในกระบวนการอุตสาหกรรมต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการทดลองนี้ผู้ทดลองได้แบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นการเตรียมและการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทและแคลเซียมอิตีทีเอ โดยทำการศึกษาผลกระทบของความแรงในการทำปฏิกิริยาของกรดอะซิติกและสารละลายไดโซเดียมอิตีทีเอต่อร้อยละผลผลิต ความสามารถในการละลาย ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา รวมถึงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารประกอบที่สังเคราะห์ได้ เพื่อหาความแรงในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมแคลเซียมอะซิเตทและแคลเซียมอิตีทีเอ แล้วทำการเตรียมสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อิตีทีเอโดยใช้ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด ส่วนที่สองคือการนำสารประกอบที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้งานโดยนำสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-แลคเตทจากเปลือกหอยทั้ง 6 ชนิดไปเตรียมสารละลายปุ๋ยน้ำ 5% CaO จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ pH, การนำไฟฟ้า และปริมาณแคลเซียมที่แน่นอนในสารละลาย

5.1 สรุปผลการวิจัย

ความเข้มข้นของกรดอะซิติกและกรดแลคติกนั้นส่งผลต่อร้อยละผลผลิต ความสามารถในการละลาย ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา รวมถึงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทและแคลเซียมอิตีทีเอที่สังเคราะห์ได้ โดยผลการวิเคราะห์แคลเซียมอะซิเตทจากเปลือกหอยตลับ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเซอริ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรมและเปลือกหอยเซลล์ พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด คือ 10M, 10M, 10M, 10M, 10M และ 12M ตามลำดับ ซึ่งร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายของสารประกอบที่เตรียมได้ จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ใช้เพิ่มขึ้นจนสูงสุดที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม จากนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นไปอีกร้อยละการละลายและร้อยละผลผลิตจะลดลงอย่างมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้า ส่วนผลการวิเคราะห์แคลเซียมอิตีทีเอจาก เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเซอริ เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยนางรมและเปลือกหอยเซลล์ พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด คือ 0.5M, 0.5M, 0.5M, 0.5M, 0.5M และ 0.5M ตามลำดับ ซึ่งร้อยละผลผลิตและร้อยละการละลายของสารประกอบที่เตรียมได้ทั้งหมดสูงสุดที่สารประกอบที่เตรียมโดยใช้ไดโซเดียมอิตีทีเอ 0.5M

จากนั้นเมื่อทำการสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตท-อิตีทีเอ โดยใช้ความเข้มข้นที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลอง ผล XRD และ FTIR ที่ได้ยืนยันว่าสารประกอบที่ได้มีการผสมระหว่างสารประกอบเชิงเดี่ยว

แคลเซียมอะซิเตทและแคลเซียมอีดีทีเอ กับสารประกอบเชิงคู่แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ ซึ่งพบที่ค XRD เฉพาะตัวของสารประกอบเชิงคู่ที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งไม่พบในสารประกอบแคลเซียมอะซิเตทหรือแคลเซียมอีดีทีเอ จึงสามารถยืนยันได้ว่าเกิดสารประกอบเชิงคู่แคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอขึ้นจริง

เมื่อนำสารประกอบแคลเซียมอะซิเตท-อีดีทีเอ มาเตรียมสารละลายป้อนน้ำ 5% CaO พบว่าตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมในสารละลายมากที่สุดคือสารละลายป้อนน้ำจาก เปลือกหอยแครง เปลือกหอยเชลล์ เปลือกหอยตลับ เปลือกหอยเซอริ เปลือกหอยแมลงภู่ และเปลือกหอยนางรม ตามลำดับ และเมื่อปริมาณแคลเซียมในสารละลายสูงขึ้นจะส่งผลให้สารละลายที่ได้ นั้นมีค่า Conductivity ที่สูงขึ้น ในขณะที่ pH จะลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทดสอบตัวแปรอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ เพื่อให้สามารถสังเคราะห์สารประกอบที่มีความบริสุทธิ์และความสามารถในการละลายสูงขึ้นอีก

5.2.2 ควรมีการพัฒนากระบวนการสังเคราะห์เพื่อให้ได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. กฤษณา อังศิลา, ขวัญชัย ปานแก้ว, ทิวรัตน์ สินอนันต์, ประเมศร์ อรุณ และวัฒนา ไวยनिया. 2553. หอยทะเล สองฝาบริเวณจังหวัดระยอง. ระยอง : ศูนย์วิจัยพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยฝั่งตะวันออก (ระยอง).
2. กลุ่มสถิติการประมง, กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง. 2021. สถิติฟาร์มเลี้ยงหอยทะเล ประจำปี 2563. ฉบับที่ 8/2564.
- 3.จอม ปัทมคันธิน. 2555. แพนหอยพันธุ์แท้. นนทบุรี : สำนักพิมพ์ชบาเงิน.
4. จักกริช พวงแก้ว, สรณรัชฎ์ กาญจนวณิช, และวิภาพรรณ นาคแพน. 2549. “นักสืบชายหาด”. กรุงเทพฯ : มูลนิธิโลกสีเขียว.
5. ฟาริส บุตรรักษ์. 2550. การเลี้ยงหอยตลับ (*Meretrix sp.*) ด้วยความหนาแน่นแตกต่างกัน. ปัญหาพิเศษ สาขาวิชาการประมง (การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ), มหาวิทยาลัยแม่โจ้-ชุมพร.
6. ทวิช กล้าแท้. 2560. การใช้ประโยชน์จากเปลือกหอยนางรมบดในผลิตภัณฑ์อัฐบดลอกประสาน. วารสาร เทคโนโลยีราชชมงคลศรีวิชัย. 11(2) : 169
7. วันทนา อยู่สุข, ธีระพงศ์ ดั่งดี และสิรินทร์ ช่วงโชติ. 2552 “หอยในทะเลไทย.” สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ. เล่มที่ 35 : 179-182
8. ศศิพันธุ์ ณ สงขลา, อุษณีย์ สันตติวงศ์ไชย, สุรพงษ์ พิมพ์จันทร์, ชาญชัย อัศวินิจกุลชัย และ สมพร จองคำ. การวิเคราะห์ธาตุในเปลือกหอยโดยวิธีนิวเคลียร์. 581-589.
9. ศูนย์วิจัยและประเมินความเสี่ยงทางด้านอาหาร. 2554, 23 กันยายน. คอเลสเตอรอลในหอยนางรม. ไทยรัฐหน้า 7.
10. สำนักงานเกษตรและสหกรณ์. 2563. ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช. วารสารด้านการเกษตร. 63(1) : 8
11. สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร. 2021 ข้อมูลการนำเข้าปุ๋ยเคมี พ.ศ.2564. ฉบับที่ 1/2564.
12. 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.

13. Anthony W.M., L. Frost E.R.W. 2007 A spectroscopic study of the mineral pectate (calcium acetate), *Spectrochimica Acta Part A : Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 67 (3-4), 649-661.
14. 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.
15. Chen, Y., Li, X. & Shen, Z. 2004. Leaching and uptake of heavy metals by ten different species of plants during an EDTA-assisted phytoextraction process. *Chemosphere*, 57(3), 187-196.
16. 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).
17. 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.
18. Farid M., Ali S., Shakoor M., Bharwana S., Rizvi H., Ehsan S., Tauqeer H., Iftikhar U. & Hannan F. 2013. EDTA Assisted Phytoremediation of Cadmium, Lead and Zinc. *Agronomy and Plant Production*, 4(11), 2833-2846.
19. Hadi F., Hussain F. & Hussain M. 2014. Phytoextraction of Pb and Cd; the effect of Urea and EDTA on *Cannabis sativa* growth under metals stress. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 5, 30-39.
20. Ivanov, K., Zapryanova, P., Krustev, S. & Angelova, V. 2017. Application of scanning electron microscopy and x-ray evaluation of the main digestion methods for determination of macroelements in plant tissue. *Agricultural and Biosystems Engineering*, 11(6), 488-493.
21. 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.
22. 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.

23. Liu, W. Zhou, Q. Sang, Y. Wang, X. Hao, Y. and Rao, H. 2010 “Method for preparing calcium citrate with oyster shells and fan shells.” Thesis of Hebei Agricultural University.
24. 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.
25. Notification of The National Environmental Board 2004. The Soil Quality Standard. Handbook of Business Operation in Thailand’s Industrial Estate Version. 2(25) : 170-181.
26. Razuvaev, G.A., Domrachev, G.A., Suvorova, O.N. and Abakumova, L.G. 1971. Synthesis and stability of mixed sandwich chelate transition metal complexes. *Journal of Organometallic Chemistry*. 32(1) : 113-120.
27. Speight, J.G. 2017. Removal of inorganic compounds from the environment. *Environmental inorganic chemistry for engineers*. Oxford: Butterworth-Heinemann : 427-478.
28. 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.
29. Treesubuntorn, C. and Thiravetyan, 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.
30. Wongsanmai, S. 2018. Characterization of calcium oxide derived from cockle shells for carbon dioxide capture. *Journal of Science and Technology* 10(1) : 32-36.
31. Yu May, Ohn Mar Nyein, Nan Non Khan, 2019. Comparative study on the characteristics of eggshell wastes for preparation of calcium acetate, *J. Myanmar Acad. Arts Sci*. 17(1) : 335-353.
32. 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.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ก-1 คำนวณการเตรียมความแรงในการทำปฏิกิริยาของกรด

1) สารละลายกรดอะซิติก

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) สารละลายไดโซเดียมอิตีทีเอ

นำผงไดโซเดียมอิตีทีเอ มาเจือจางให้เป็น 0.5 0.75 และ 1 M

- สารละลายไดโซเดียมอิตีทีเอ 0.5 M

ดังนั้น ต้องชั่งผงไดโซเดียมอิตีทีเอ 0.5 M $= \frac{0.5 \times 372.24 \times 1000}{1000} = 186.12$ กรัม ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

- สารละลายไดโซเดียมอิตีทีเอ 0.75 M

ดังนั้น ต้องชั่งผงไดโซเดียมอิตีทีเอ 0.75 M $= \frac{0.75 \times 372.24 \times 1000}{1000} = 279.18$ กรัม ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

- สารละลายไดโซเดียมออร์เทอ 1 M

ดังนั้น ต้องชั่งผงไดโซเดียมออร์เทอ 1 M = $\frac{1 \times 372.24 \times 1000}{1000} = 372.24$ ในสารละลาย 1000 มิลลิเมตร

ก-2 การเตรียมสารประกอบแคลเซียม

1) แคลเซียมอะซิเตท



จาก CaCO_3 MW = 100 g/mol

1 mol CaCO_3 ทำปฏิกิริยาพอดีกับ CH_3COOH 2 mol

ดังนั้น การทดลองใช้ CaCO_3 10 g \times (1 mol/100 g) = 0.1 mol

ต้องใช้ CH_3COOH $0.1 \text{ mol} \times \frac{2 \text{ mol CH}_3\text{COOH}}{1 \text{ mol CaCO}_3} = 0.2 \text{ mol}$

$$0.2 \text{ mol CH}_3\text{COOH} = \frac{\left(17.32 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right) V}{1000}$$

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

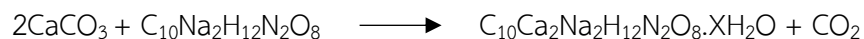
ถ้าต้องใช้ CH_3COOH 17.32% w/w 68.45 mL

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

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

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

2) แคลเซียมอีดีทีเอ



จาก CaCO_3 MW = 100 g/mol

2 mol CaCO_3 ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $\text{C}_{10}\text{Na}_2\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8$ 1 mol

ดังนั้น การทดลองใช้ CaCO_3 10 g \times (1 mol/100 g) = 0.2 mol

ต้องใช้ $\text{C}_{10}\text{Na}_2\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8$ $0.1 \text{ mol} \times \frac{1 \text{ mol } \text{C}_{10}\text{Na}_2\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8}{2 \text{ mol } \text{CaCO}_3} = 0.2 \text{ mol}$

ถ้าต้องใช้ $\text{C}_{10}\text{Na}_2\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8$ 0.5 M = X = $\frac{1000}{0.5} \times \frac{1 \text{ mol } \text{Na}_2\text{EDTA}}{2 \text{ mol } \text{CaCO}_3} \times \frac{1 \text{ mol } \text{CaCO}_3}{100 \text{ g } \text{CaCO}_3} \times 10 \text{ g } \text{CaCO}_3 =$
100 mL

ถ้าต้องใช้ $\text{C}_{10}\text{Na}_2\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8$ 0.75 M = X = $\frac{1000}{0.75} \times \frac{1 \text{ mol } \text{Na}_2\text{EDTA}}{2 \text{ mol } \text{CaCO}_3} \times \frac{1 \text{ mol } \text{CaCO}_3}{100 \text{ g } \text{CaCO}_3} \times 10 \text{ g } \text{CaCO}_3 =$
66.67 mL

ถ้าต้องใช้ $\text{C}_{10}\text{Na}_2\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8$ 1 M = X = $\frac{1000}{1} \times \frac{1 \text{ mol } \text{Na}_2\text{EDTA}}{2 \text{ mol } \text{CaCO}_3} \times \frac{1 \text{ mol } \text{CaCO}_3}{100 \text{ g } \text{CaCO}_3} \times 10 \text{ g } \text{CaCO}_3 =$
50 mL