การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยเชลล์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรม

SYNTHESIS OF CALCIUM COMPOUNDS FROM SCALLOP SHELL FOR USING INDUSTIES

ชนาภา มาคะมาตร
วรารัตน์ นิ่มนวล
อรพรรณ วานิชคาม

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SYNTHESIS OF CALCIUM COMPOUNDS FROM SCALLOP SHELL FOR USING INDUSTIES

CHANAPHA MAKHAMART
VARARAT NIMNUAL
ORRAPHAN WANITCHAKHAM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยเชลล์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรม Synthesis of calcium compounds from scallop shell for using industies
ชื่อนักศึกษา	นางสาว ชนาภา มาคะมาตร รหัสนักศึกษา 58050599 นางสาว วรารัตน์ นิ่มนวล รหัสนักศึกษา 58050677 นางสาว อรพรรณ วานิชคาม รหัสนักศึกษา 58050699
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.บรรจง บุญชม

คณะวิทยาศาตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ภิเษก รุ่งโรจน์ชัยพร กรรมการ	
รศ.ดร.บรรจง บุญชม กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสาตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยเชลล์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรม

ชื่อนักศึกษา นางสาว ชนาภา มาคะมาตร รหัสนักศึกษา 58050599
นางสาว วรารัตน์ นิ่มนวล รหัสนักศึกษา 58050677
นางสาว อรพรรณ วานิชคาม รหัสนักศึกษา 58050699

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา เคมี

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.)

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.บรรจง บุญชม

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ศึกษาเกี่ยวกับการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากเปลือกหอยเชลล์เหลือทิ้ง ซึ่งในปัจจุบันหอยเชลล์เป็นที่นิยมในการบริโภค จึงเกิดปัญหาเปลือกหอยเชลล์เหลือทิ้งในอุตสาหกรรมอาหารและชุมชน แม้จะมีการนำเปลือกหอยเชลล์ไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อย่างอื่นแล้ว เช่น นำไปเป็นของสะสม หรือนำมาใช้เป็นเครื่องประดับตกแต่ง แต่ปริมาณเปลือกหอยเชลล์เหลือทิ้งก็ยังมีมาก จึงได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอย เพื่อลดปัญหาขยะและเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกหอยเชลล์เหลือทิ้งโดยนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยนำเปลือกหอยเชลล์ที่ล้างสะอาดและตากให้แห้งไปบดเป็นผงขนาด 50 เมชขึ้นไป เพื่อเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียม 3 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเทต แคลเซียมแลคเทต และแคลเซียมซิเทรต ไปผสมกับกรดที่มีความเข้มข้นต่างกัน คือ กรดอะซิติก กรดแลคติก กรดซิตริก ที่ความเข้มข้น 40% 50% 60% และ 70% จนได้สารประกอบแคลเซียมทั้งหมด 12 ตัวอย่าง สารตัวอย่างทั้งหมดจะถูกตรวจวิเคราะห์เอกลักษณ์ของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค FTIR, XRF, XRD, TGA และ SEM โครงงานพิเศษนี้ถูกเตรียมขึ้นด้วยวิธีที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก มีต้นทุนต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังได้สารประกอบแคลเซียมราคาถูกเพื่อไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆต่อไป

คำสำคัญ : เปลือกหอยเชลล์, แคลเซียมอะซิเทต, แคลเซียมแลคเทต, แคลเซียมซิเทรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Synthesis of calcium compounds from scallop for using Industries		
Students	Miss Canapha	Makhamart	Student ID 58050599
	Miss Vararat	Nimnial	Student ID 58050677
	Miss Orraphan	Wanitchakham	Student ID 58050699
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Academic Year 2018		
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Banjong Boonchom		

Abstract

This special project study about the environmental issues from scallop shell waste. At present, scallop are popular in consumption, Therefore the problem of scallop shell waste in industry and community. Even though the shell waste are processed into other products such as invention are collectibles and jewelry, But the scallop shell waste still have many. The researchers therefore studied the synthesis of calcium compounds from scallop shell waste to reduce waste and add value to scallop shell waste for use in the industry. In this special project, The cleaned and dried scallop shell waste were crushed into a powder of 50 mesh or more to be substrate to the synthesis of three calcium compounds is calcium acetate, calcium lactate and calcium citrate by mixing with the acid that has different concentrations is acetic acid, lactic acid and citric acid at 40%, 50%, 60% and 70% until the total of 12 calcium compounds. All samples were analyzed for the identity of samples by FTIR, XRF, XRD, TGA and SEM techniques. This special project is prepared in an easy, not complicated, low-cost and no environmental impact, It also gets cheap calcium compounds product to be use in the industry.

Keywords : Scallop shell waste , Calcium acetate , Calcium lactate , Calcium citrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำอย่างดียิ่ง จากอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย รศ.ดร. บรรจง บุญชม ที่ได้ให้ข้อคิดเห็น ข้อแนะนำ ตลอดจนการแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภิเษก รุ่งโรจน์ชัยพร และ รศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ที่เข้าร่วมเป็นคณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษนี้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปแก้ไขโครงงานพิเศษให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณชัชชัย ลัทธิลักขณา คุณณัฐพล ไกรธรรม เจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้ออำนวยเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์เอกลักษณ์ของสาร ด้วยเทคนิค FT-IR, XRF, XRD, TGA และ SEM อีกทั้งให้งบประมาณการวิจัยในครั้งนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจและแรงผลักดันในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆในสาขาวิชาเคมี สิ่งแวดล้อมทุกๆคนที่ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จไปด้วยดี

ชนาภา มาคะมาตร
วรารัตน์ นิ่มนวล
อรพรรณ วานิชคาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญภาพ ..... ช
คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ฌ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3
2.1.1 แคลเซียมอะซิเทต(Calcium acetate : CA) 3
2.1.2 แคลเซียมแลคเทต (Calcium Lactate : CL) 4
2.1.3 แคลเซียมซิเทรต (Calcium citrate : CC) 4
2.1.4 กรดซิตริก (citric acid) 5
2.1.5 หอยในทะเลไทย 6
2.1.6 หอยเชลล์ 8
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 14
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย 14
3.2 สารเคมีและอุปกรณ์ 15
3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ 15
3.2.2 สารเคมี 15
3.3 การเตรียมสารประกอบแคลเซียมรูปต่างๆ 16
3.3.1 การเตรียมสารตั้งต้น 16
3.3.2 การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียม 3 ชนิด 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีด้วยเทคนิคต่างๆ 19
3.4.1 การวิเคราะห์ชนิดของธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง 19
3.4.2 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน 19
3.4.3 การวิเคราะห์รูปแบบการสั่นขององค์ประกอบย่อยภายในโมเลกุล 19
3.4.4 การวิเคราะห์ทางโครงสร้าง 19
3.4.5 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา 19
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 20
4.1 การศึกษาร้อยละผลผลิต 20
4.2 ผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ 21
4.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบ 21
4.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน 23
4.2.3 การวิเคราะห์เอกลักษณ์รูปแบบการสั่น 30
4.2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) 34
4.2.5 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (SEM) 38
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 42
5.1 สรุปผลการวิจัย 42
5.2 ข้อเสนอแนะ 43
เอกสารอ้างอิง **44**
ภาคผนวก ก **46**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 แสดงผลร้อยละผลผลิต เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาก่อนสารตัวอย่างแห้ง ราคาต้นทุนของผลผลิตที่ผลิตได้ 20

4.2 แสดงปริมาณองค์ประกอบของธาตุในสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ในสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยเชลล์ ด้วยเทคนิค XRF 22

4.3 แสดงสเปกตรัมการสั่นของ CC-S 30

4.4 แสดงสเปกตราการสั่นของ CAAC-40, CAAC-50, CAAC-60 และ CAAC-70 31

4.5 แสดงสเปกตราการสั่นของ CALT-40, CALT-50, CALT-60 และ CALT-70 32

4.6 แสดงสเปกตราการสั่นของ CACT-40, CACT-50, CACT-60, CACT-70 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ส่วนประกอบของหอยเชลล์... 9

2.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแคลเซียมอะซิเทต เป็นเวลา 1 วัน.................................. 11

2.3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแคลเซียมแลคเทต เป็นเวลา 1-7 วัน.............................. 12

2.4 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแคลเซียมซิเทรต... 12

3.1 แผนภาพการผลิตสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยเชลล์... 14

4.1 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CC-S... 23

4.2 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CAAC-40, CAAC-50, CAAC-60 และ CAAC-70.. 24

4.3 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CALT-40, CALT-50, CALT-60 และ CALT-70.. 26

4.4 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CACT-40, CACT-50, CACT-60 และ CACT-70.. 28

4.5 สเปกตรัมการสั่นของ CC-S ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (FT-IR) 30

4.6 สเปกตราการสั่นของ CAAC-40, CAAC-50, CAAC-60 และ CAAC-70 ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (FT-IR).. 31

4.7 สเปกตราการสั่นของ CALT-40, CALT-50, CALT-60 และ CALT-70 ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (FT-IR).. 32

4.8 สเปกตราการสั่นของ CACT-40, CACT-50, CACT-60 และ CACT-70 ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (FT-IR).. 33

4.9 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ CC-S... 34

4.10 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ CAAC-40, CAAC-50, CAAC-60 และ CAAC-70............ 35

4.11 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ CALT-40, CALT-50, CALT-60 และ CALT-70............... 36

4.12 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ CACT-40, CACT-50, CACT-60 และ CACT-70............. 37

4.13 รูปสัณฐานวิทยาของ CC-S... 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.14 รูปสัณฐานวิทยาของ CAAC-40, CAAC-50, CAAC-60 และ CAAC-70 39

4.15 รูปสัณฐานวิทยาของ CALT-40, CALT-50, CALT-60 และ CALT-70 40

4.16 รูปสัณฐานวิทยาของ CACT-40, CACT-50, CACT-60 และ CACT-70 41

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
CC-S	แคลเซียมคาร์บอเนต จากเปลือกหอยเชลล์
AC-50	กรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล
AC-60	กรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยมวล
AC-70	กรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยมวล
LT-40	กรดแลคติกความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล
LT-50	กรดแลคติกความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล
LT-60	กรดแลคติกความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยมวล
LT-70	กรดแลคติกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยมวล
CT-40	กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล
CT-50	กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล
CT-60	กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยมวล
CT-70	กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยมวล
CaAC-40	แคลเซียมอะซิเทตผลิตจากเปลือกหอยเชลล์และกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล
CaAC-50	แคลเซียมอะซิเทตผลิตจากเปลือกหอยเชลล์และกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล
CaAC-60	แคลเซียมอะซิเทตผลิตจากเปลือกหอยเชลล์และกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยมวล
CaAC-70	แคลเซียมอะซิเทตผลิตจากเปลือกหอยเชลล์และกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยมวล
CaLT-40	แคลเซียมแลคเทตผลิตจากเปลือกหอยเชลล์และกรดแลคติกความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล
CaLT-50	แคลเซียมแลคเทตผลิตจากเปลือกหอยเชลล์และกรดแลคติกความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล
CaLT-60	แคลเซียมแลคเทตผลิตจากเปลือกหอยเชลล์และกรดแลคติกความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยมวล
CaLT-70	แคลเซียมแลคเทตผลิตจากเปลือกหอยเชลล์และกรดแลคติกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยมวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์ (ต่อ)

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
CaCT-40	แคลเซียมซิเทรตผลิตจากเปลือกหอยเชลล์และกรดซิเทรตความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยมวล
CaCT-50	แคลเซียมซิเทรตผลิตจากเปลือกหอยเชลล์และกรดซิเทรตความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล
CaCT-60	แคลเซียมซิเทรตผลิตจากเปลือกหอยเชลล์และกรดซิเทรตความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยมวล
CaCT-70	แคลเซียมซิเทรตผลิตจากเปลือกหอยเชลล์และกรดซิเทรตความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยมวล
FT-IR	เทคนิคการตรวจสอบรูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี การสั่นแบบฟูเรียร์แทรนสฟอร์มอินฟาเรด
XRF	เทคนิคการตรวจสอบองค์ประกอบธาตุ
XRD	เทคนิคการตรวจสอบโครงสร้างและขนาดของผลึก
TGA	เทคนิควิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อน
SEM	ตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบบส่องกราด

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารที่เกิดจากการทับถมของตะกอนคาร์บอเนต มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่เป็นพิษ และมีความเสถียรทางเคมี จึงเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมต่างๆ ในวัสดุธรรมชาติที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกบหลัก ได้แก่ เปลือกไข่ เปลือกหอย ซึ่งเปลือกหอยเชลล์มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตถึงร้อยละ 89.33 (ณ สงขลา และ คณะ,กองฟิสิกส์ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ,2541) ปี 2560 ผลผลิตหอยทั้งหมดมีปริมาณ 219,820 ตัน ใกล้เคียงกับปี2559 (-0.006% เมื่อเทียบกับปี 2559) โดยแบ่งเป็นผลผลิตจากการจับจากธรรมชาติ 21,620 ตัน (9.84%) และจากการเพาะเลี้ยง 198,200 ตัน (90.16%)

โดยปี 2560 ไทยนำเข้าสินค้าหอยและผลิตภัณฑ์ปริมาณ 15,701 ตัน ตลาดหลักในการนำเข้า ได้แก่ นิวซีแลนด์ 25.63% จีน 17.93% ญี่ปุ่น 15.26% ฝรั่งเศส 8.28% ชิลี 7.87% และประเทศอื่น ๆ 25.03% ในช่วง 9 เดือนแรกของปี 2560 สถานการณ์การค้าสินค้าหอยสองฝาในภาพรวมของโลกมีแนวโน้มใกล้เคียงกับช่วงเดียวกันของปีก่อน ยกเว้นหอยแมลงภู่ที่มีการส่งออกและน้าเข้าเพิ่มขึ้น โดยคาดว่าการค้าสินค้าหอยสองฝาจะมีแนวโน้มที่ดีขึ้นในอนาคต เนื่องจากผลผลิตที่จะออกสู่ตลาดจะมีปริมาณมากขึ้น อีกทั้งผู้บริโภคยังคงมีความต้องการบริโภคหอยสองฝาจ้านวนมาก ในส่วนของไทยผลผลิตหอยสองฝาส่วนใหญ่ยังคงบริโภคในประเทศเป็นหลัก จึงทำให้เปลือกหอยกองสะสมทุกๆวัน มีไม่ต่ำกว่า 50 ตัน/วันในแต่ละพื้นที่ กลายเป็นขยะ ที่เป็นแหล่งของพาหะเชื้อโรค มีกลิ่นเหม็น และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แม้จะมีการนำเปลือกหอยไปใช้ประโยชน์ เช่น นำมาทำเป็นอิฐบล็อก ปูนขาว เครื่องประดับตกแต่งหรือของสะสม แต่ปริมาณของเปลือกหอยก็ยังไม่ลดน้อยลง

หอยเชลล์จัดเป็นหอยสองฝา (Bivalves) ซึ่งเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มีการเพาะเลี้ยงจำนวนมากมายทั่วโลก มีมูลค่าการค้าปีหนึ่ง ๆ กว่าพันล้านดอลลาร์สหรัฐฯ โดยผลผลิตหอยสองฝาทั้งหมดแต่ละปีมีประมาณ 11 ล้านตัน จึงทำให้มีปริมาณเปลือกหอยที่เหลือทิ้งจากร้านอาหารต่างๆ เป็นจำนวนมากในพื้นที่โดยที่ไม่ได้เกิดประโยชน์ หนึ่งในอาหารที่ได้รับความนิยมในการบริโภคคือหอยเชลล์ ซึ่งแหล่งที่พบหอยเชลล์มากที่สุดคือจังหวัดระยอง สงขลา และสมุทรสงคราม (นักระนาด,สวาลีติด,2537) ด้วยเหตุนี้โครงงานพิเศษนี้จึงได้แนวคิดที่จะนำเปลือกหอยเชลล์มาทำให้มีมูลค่าทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นและช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยจะนำมาสังเคราะห์เป็นสารประกอบแคลเซียมเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการวิจัยคาดว่าจะได้กรรมวิธีการผลิตสารประกอบแคลเซียม 3 ชนิด ได้แก่ แคลเซียมอะซิเทต แคลเซียมแลคเทต แคลเซียมซิเทรต ที่ผลิตจากเปลือกหอยเชลล์เหลือทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตสารประกอบแคลเซียม 3 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเทต แคลเซียมแลคเทต แคลเซียมซิเทตร จากเปลือกหอยเชลล์เหลือทิ้ง

2) ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบแคลเซียม 3 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเทต แคลเซียมแลคเทต แคลเซียมซิเตรท

3) นำสารประกอบแคลเซียมที่ผลิตได้จากเปลือกหอยเชลล์เหลือทิ้งไปใช้เป็นวัตถุดิบต้นทุนต่ำในการผลิตสารประกอบแคลเซียมเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาตัวแปรที่เหมาะสม คือ ตัวแปรต้น คือ ความเข้มข้นของกรดที่เข้าทำปฏิกิริยาความเข้มข้นร้อยละ 40 50 60 70 โดยมวล ตัวแปรตาม คือ ลักษณะทางกายภาพและเคมี ตัวแปรควบคุม คือ เปลือกหอยเชลล์ที่ผ่านการบดและกรองผ่านตะแกรงที่มีขนาด 50 เมชขึ้นไป

2) ตรวจวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี โดยนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ ได้แก่

- ตรวจสอบปริมาณน้ำในโครงผลึกด้วยเทคนิควิเคราะห์สมบัติทางความร้อนThermogravimetric Analysis (TGA)

- วิเคราะห์เอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิค Fourier transform infrared (FT-IR)

- วิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบ ด้วยเทคนิคX-ray fluorescence (XRF)

- วิเคราะห์โครงสร้างผลึก ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer ,XRD)

- วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของสาร ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning eletron microscope ,SEM)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้วิธีการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียม 3 ชนิด คือแคลเซียมอะซิเทต แคลเซียมแลค-เทต แคลเซียมซิเทรต จากเปลือกหอยเชลล์เหลือทิ้ง

2) ได้ข้อมูลทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมทั้ง 3 ชนิด คือ แคลเซียมอะ-ซิเทต แคลเซียมแลคเทต แคลเซียมซิเทรต

3) เพื่อเพิ่มมูลค่าและลดปริมาณขยะจากเปลือกหอยเชลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมุ่งเน้นไปที่เทคนิคการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียม 3 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเทต แคลเซียมแลคเทต แคลเซียมซิเทรต จากงานวิจัยที่เคยมี และข้อมูลเบื้องต้นของเปลือกหอยเชลล์ โดยสรุปรายละเอียดที่น่าสนใจดังนี้

2.1.1 แคลเซียมอะซิเทต(Calcium acetate : CA)

แคลเซียมอะซิเทต(Calcium acetate : CA) มีสูตรเคมีคือ Ca $(CH_3COO)_2$มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 158.17 แคลเซียมอะซิเทตที่ปราศจากน้ำ (Anhydrous form) จะไม่เสถียร จะทำปฏิกิริยากับอากาศได้ง่าย กลายเป็นรูปสารประกอบที่มีน้ำในโครงผลึก (Hydrous form) คือ แคลเซียมอะซิเทตโมโนไฮเดรต Ca $(CH_3COO)_2$ H_2O แคลเซียมอะซิเทตในอุตสาหกรรมมีประโยชน์หลายอย่าง เช่น มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรียบางชนิด, ยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์, ประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตของเรซิ่นสำหรับหมึกพิมพ์, สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มการผลิตไขมันนม, ใช้ในการผลิตจาระบีหล่อลื่นในอุณหภูมิสูงและตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตโพลีเอสเตอร์, เป็นยาฆ่าเชื้อในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และสารเติมแต่งแร่ นอกจากนี้มันยังสามารถใช้ในอุตสาหกรรมยาและอาหาร

แคลเซียมอะซิเทตสามารถเตรียมได้โดยการแช่แคลเซียมคาร์บอเนต

$$CaCO_3\ (s) + 2CH_3COOH\ (aq) \longrightarrow Ca\ (CH_3COO)_2\ (aq) + H_2O\ (l) + CO_2\ (g) \quad (2.1)$$

$$Ca\ (OH)_2 + 2CH_3COOH\ (aq) \longrightarrow Ca\ (CH_3COO)_2\ (aq) + 2H_2O\ (l) \quad (2.2)$$

จากการสังเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตที่กล่าวมาข้างต้นนั้น พบว่ามีอุปสรรคที่ส่งผลต่อร้อยการผลิตแคลเซียมอะซิเทต ได้แก่ เรื่องความบริสุทธิ์ของแหล่งแคลเซียม สภาพความเป็นด่าง ความเข้มข้นของกรดอะซิติก อุณหภูมิ และระยะเวลาการเข้าทำปฏิกิริยา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 แคลเซียมแลคเทต (Calcium Lactate : CL)

แคลเซียมแลคเทต (Calcium Lactate : CL) มีสูตรทางเคมีคือ $Ca(CH_5O_3)_2.5H_2O$ เป็นเกลือของกรดแลคติกในรูปของผลึกสีขาว สามารถละลายได้ในน้ำ โดยมีความสามารถในการละลายประมาณ 9 กรัม/100 กรัม และละลายได้เล็กน้อยในเอทานอล (96 เปอร์เซ็นต์) แคลเซียมแลคเทตมีปริมาณเชิงโมลเท่ากับ 218.22 กรัม/โมล ความหนาแน่นเท่ากับ 1.49 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

แคลเซียมแลคเทตถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น เป็นสารเพิ่มความคงตัวหรือสารช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ สังเคราะห์ผงฟูและสารที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ซึ่งแสดงให้เห็นการละลายการดูดซึมที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับเกลือแคลเซียมอินทรีย์ชนิดอื่นและใช้ทดแทนอัลบูมินในไข่ได้มากถึง 20 เปอร์เซ็น แคลเซียมยังนำมาเป็นอาหารเสริมในสูตรยาหรือนมสำหรับบุคคลที่รับแคลเซียมไม่เพียงพอ นอกจากนั้นยังสามารถนำมารักษาโรคกระดูกต่างๆและฟันผุได้เป็นอย่างดี

2.1.3 แคลเซียมซิเทรต (Calcium citrate : CC)

แคลเซียมซิเทรต (Calcium citrate : CC) จะมีลักษณะเป็นผงผลึกขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีคุณสมบัติในการละลายในน้ำเย็น โดยมีสูตรโมเลกุลเป็น $Ca_3(C_6H_5O_7)_2$ มีปริมาตรเชิงโมลเท่ากับ 498.46 กรัม/โมล ความหนาแน่นเท่ากับ 1.63 ก./ลบ.ซมและมีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 120 °C ซึ่งแคลเซียมซิเทรตจะเป็นเกลือแคลเซียมของกรดซิตริก ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อชดเชยข้อด้อยของแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อกินเข้าไปจะสามารถดูดซึมได้น้อย มีอาการท้องอืดและไม่สบายท้อง แต่แคลเซียมซิเทรตจะสามารถกินได้ในตอนที่ท้องว่าง ดูดซึมได้ง่ายกว่า แต่ก็จะมีคุณสมบัติในการช่วยบำรุงรักษาร่างกายได้นั่นเอง คือมีการป้องกันและรักษาอาการขาดเกลือหรือเกลือแคลเซียมของร่างกาย รวมถึงช่วยรักษาโรคกระดูกพรุนอีกด้วยแคลเซียมซิเทรตด้วย

การผลิตแคลเซียมซิเทรตเป็นตัวกลางในการแยกกรดซิตริกจากกระบวนการหมักซึ่งกรดซิตริกผลิตทางอุตสาหกรรม กรดซิตริกในน้ำจะถูกทำให้เป็นกลางโดยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดการตกตะกอนของแคลเซียมซิเทรตที่ไม่ละลายน้ำ จากนั้นจะถูกกรองออกจากน้ำที่เหลือและล้างเพื่อให้แคลเซียมซิเทรตสะอาด

$$3Ca(OH)_2(s) + 2C_6H_8O_7\,(l) \longrightarrow Ca_3(C_6H_5O_7)_2(s) + 6H_2O(l) \qquad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 กรดซิตริก (citric acid)

กรดซิตริก (citric acid) เป็นกรดอินทรีย์ (organic acid) เป็นกรดอ่อน (weak acid) มีสูตรโมเลกุล $C_6H_{10}O_8$ พบตามธรรมชาติในอาหารหลายชนิดได้แก่ พืชตระกูลส้ม (citrus) เช่น ส้ม มะนาว และผลไม้หลายชนิด สามารถผลิตได้จากน้ำผลไม้หรือการหมักแป้ง และน้ำตาล นิยมใช้ประโยชน์ในด้านอาหาร เช่น ใช้เพื่อปรับภาวะความเป็นกรดโดยใช้ปรับค่าความเป็นกรดด่างของอาหาร,ปรุงแต่งกลิ่นรส (flavoring agent) ปรับให้อาหารมีรสเปรี้ยว ใช้ในเครื่องปรุงรส,ใช้เป็นสารกันหืน (antioxidant),ใช้เป็นสารกันเสีย (preservative),ใช้เป็นสารจับโลหะ (chelating agent),ใช้เป็นสารทำความสะอาด (cleaning agent) นอกจากนั้นยังใช้ใน ยา เครื่องสำอาง และการเกษตร รวมถึงอุตสาหกรรมบางชนิด

1.อุตสาหกรรมอาหาร

ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มรสเปรี้ยวของอาหารและช่วยป้องกันการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของผักหรือผลไม้แปรรูป เนื่องจาก สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดี ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ช่วยให้เอนไซม์ทำงานได้ช้าลง รวมถึงช่วยปรับสมดุลความเป็นกรด-ด่าง อาหารที่มีการเติมกรดซิตริก ได้แก่ แยม เยลลี่ อาหารกระป๋อง อาหารดอง และเครื่องดื่ม เป็นต้น

2.อุตสาหกรรมยา

ยาบางชนิดจำเป็นต้องใช้กรดซิตริกเป็นส่วนผสมเพื่อควบคุมความเป็นกรด-ด่าง หรือใช้เป็นตัวทำละลาย ช่วยให้ยามีการแตกตัว และกระจายตัวได้ดีขึ้น และใช้ป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของยา นอกจากนี้ ยังใช้ผสมในยาบางชนิดเพื่อให้เกิดฟองฟู่ และช่วยเพิ่มรสให้ทานง่าย โดยอาจใช้ร่วมกับคาร์บอเนต

3. อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอาง กรดซิตริกจะถูกใช้เพื่อป้องกันการออกซิไดซ์ ปรับความเป็นกรด-ด่าง หรือเป็นบัฟเฟอร์ (Buffer) ในเครื่องสำอาง เช่น ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาเซทผม ครีมบำรุงผม และครีมทาผิว ทำหน้าที่ช่วยให้ส่วนผสมผสานกันได้ดี และทำให้เกิดความแวววาว

4. อุตสาหกรรมอื่นๆ

กรดซิตริกในรูปของโซเดียมซิเทรตถูกใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตผงซักฟอก เพื่อใช้แทนสารฟอสเฟต, ใช้เป็นสารบัฟเฟอร์ในอุตสาหกรรมการถ่ายภาพ, กรดซิตริกถูกใช้เป็นส่วนผสมของสารทำความสะอาด น้ำยาเติมหม้อต้มน้ำ (Boiler) รวมถึงใช้ทำความสะอาดโลหะ ล้างสนิม ล้างหมึกพิมพ์ น้ำและสี รวมถึงนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ด้านการเกษตร

ใช้เป็นส่วนผสมของปุ๋ยน้ำหรือฮอร์โมนพืช ทำหน้าที่ละลายไขที่เคลือบผิวใบ ช่วยให้สารถูกดูดซึมผ่านใบมากขึ้น, ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำหมักชีวภาพสำหรับการฉีดพ่น เพื่อยับยั้งการเติบโตของเชื้อราหรือเชื้อจุลินทรีย์ในพืช, ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์หรือใช้เป็นอาหารเสริมแก่สัตว์ เพื่อเพิ่มความเป็นกรดในกระเพาะอาหาร ช่วยให้อาหารย่อยได้ง่ายขึ้น และช่วยเพิ่มการดูดซึมสารอาหาร รวมถึงยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ ปัจจุบัน การผลิตกรดซิตริก นิยมใช้กระบวนการหมักน้ำตาลกลูโคสกับจุลินทรีย์ ผ่านกระบวนการไกลโคไลซีส (Glycolysis Pathway) จนได้สารออกซาโลอะซิเทต (Oxaloacetate) ก่อนสะสม และเปลี่ยนเป็นกรดซิตริก โดยจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ ได้แก่ เชื้อรา Aspergillus niger และ ยีสต์ Candida Lypolitica มนุษย์สามารถรับประทานกรดซิตริกหรือใช้เป็นส่วนผสมของอาหารได้ แต่หากรับประทานมากเกินไปหรือมีความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดอาการข้างเคียง คือ เกิดการคลื่นไส้ อาเจียน และท้องอืด เนื่องจาก เกิดก๊าซในกระเพาะอาหาร และลำไส้มาก รวมถึงความเป็นกรดอาจทำให้เกิดอาการท้องร่วงได้ง่าย ส่วนความเป็นพิษต่อสัตว์ พบการทดลองได้มีการทดลองให้กรดซิตริกแก่หนูทดลองใน 3 ทาง คือ การให้ทางปาก การฉีดใต้ผิวหนัง และการฉีดเข้าเส้นเลือด พบว่าอาการของผลข้างเคียงที่หนูทดลองแสดงออก ได้แก่ อาการสั่นอย่างรุนแรง และมีอาการตัวเขียว จนถึงอาการเสียชีวิต กรดซิตริกอาจมีผลต่อพืชด้วย โดยทำให้ค่า pH ในดินหรือน้ำลดลง มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น มีผลต่อการดูดซึมน้ำ การดูดซึมแร่ธาตุ และการคายน้ำของพืช

2.1.5 หอยในทะเลไทย

หอยเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังกลุ่มใหญ่ โดยมีจำนวนชนิดมากกว่าหนึ่งแสนชนิด ลักษณะเด่นของหอย ได้แก่ มีเนื้อนุ่ม และมีเปลือกห่อหุ้มเนื้อนุ่มนั้นไว้ภายใน หอยมีอยู่ทั้งบนบก ในทะเล และในน้ำจืด เช่น ในแม่น้ำ ลำธาร ห้วย คลอง บึง หอยส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในทะเลมีมากมายหลายชนิด แบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ดังภาพที่ 2.4 หอยที่พบบ่อยและควรรู้จัก ได้แก่ พวกหอยกาบเดี่ยว และพวกหอยกาบคู่ หอยกาบเดี่ยวมีเปลือกต่อเป็นชิ้นเดียวกัน เช่น หอยฝาชี หอยทับทิม หอยนมสาว ส่วนหอยกาบคู่มีเปลือกแยกกันเป็นสองกาบหรือสองฝา และมีบานพับสำหรับเปิดหรือปิด ให้อ้าหรือหุบได้ ตัวอย่างเช่น หอยเสียบ หอยตลับ หอยลาย หอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยเชลล์

ประโยชน์ของหอยทะเลนั้นมีมาก อันดับแรกคือ ใช้เป็นอาหารทั้งของมนุษย์และสัตว์ หอยที่นิยมใช้เป็นอาหาร เพราะมีรสชาติดีมักเป็นหอยกาบคู่ ได้แก่ หอยแครง หอยแมลงภู่ หอยนางรม หอยเชลล์ หอยหวาน หอยกะพงส่วนหอยที่เปลือกมีรูปร่าง ลักษณะ และสีสันงดงาม เหมาะสำหรับใช้เป็นเครื่องประดับ หรือเก็บสะสมไว้ดูเล่น

เปลือกหอยประกอบด้วย 3 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.ชั้นนอกสุด เรียก ชั้นผิวนอก (periostracum layer) ประกอบด้วยสารส่วนใหญ่เป็นโปรตีนประเภทคอนไคโอลิน เป็นชั้นที่บางและหลุดง่าย ซึ่งจะสังเกตได้จากหอยที่ตายแล้วและเปลือกที่ถูกทิ้งอยู่ตามชายหาด

2.ชั้นกลาง เรียก ชั้นผนึกแคลเซียม (prismatic layer) ประกอบด้วยผลึกรูปต่าง ๆ กันของสารประกอบแคลเซียมซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแคลไซต์ (calcite) เป็นชั้นที่หนาและแข็งแรงที่สุด

3.ชั้นในสุด เรียก ชั้นมุก (nacreous layer) ประกอบด้วยผนึกรูปต่าง ๆ กันของสารประกอบแคลเซียมซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอะราโกไนต์ (aragonite) เป็นชั้นที่เรียบมีความหนาบางแตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของหอย ทำให้เปลือกมีสีขาวขุ่นและเป็นมันแวววาวแตกต่างกัน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หอยจัดแบ่งเป็น 2 ประเภท

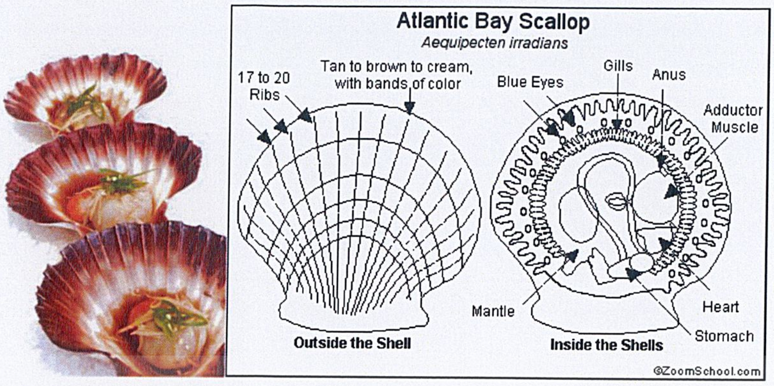
1. หอยกาบเดี่ยว มีเปลือกติดต่อเป็นชิ้นเดียวกัน ส่วนมากเปลือกจะมีลักษณะเวียนเป็นเกลียวรอบแกนกลางที่เรียกว่า แกนเปลือก (columella) หอยเริ่มสร้างเปลือกจากจุดยอด (apex) ก่อน เปลือกที่เวียนไปครบ ๑ รอบ เรียกว่า ๑ วงเกลียว วงเกลียวแรกมีขนาดเล็กที่สุด วงเกลียวสุดท้าย (last whorl) หรือ วงเกลียวตัว (body whorl) มีขนาดใหญ่ที่สุดและมีช่องเปลือก (aperture) อันเป็นบริเวณที่หอยยื่นหัวและตีนออกมาและเป็นทางให้น้ำและอากาศผ่านเข้าออกด้วย

2.หอยกาบคู่ มีเปลือกเป็นกาบ ๒ กาบประกบเข้ากันและเปิดปิดได้คล้ายบานพับ เปลือกทั้ง ๒ ข้าง อาจมีรูปร่างเหมือนกันหรือคล้ายคลึงกัน เปลือกอาจมีรูปกลม รี สามเหลี่ยม หรือรูปอื่น ๆ เปลือกทั้ง ๒ ข้างยึดติดกันด้วยเอ็นยึด (ligament) ซึ่งเป็นสารจำพวกโปรตีน บริเวณที่ยึดติดกันเรียกบานพับ (hinge) ส่วนใหญ่บริเวณนี้มักมีแง่สบเปลือก (tooth) ซึ่งมีจำนวนและขนาดแตกต่างกันไปแล้วแต่กลุ่มของหอย เช่น หอยแครงมีแง่สบเปลือกขนาดเล็กไล่เลี่ยกันเรียงเป็นแถว หอยกระปุกมีแง่สบเปลือกแง่กลาง (cardinal tooth) สั้นกว่าแง่สบเปลือกแง่ข้าง (lateral tooth) หอยปิดและเปิดกาบโดยอาศัยกล้ามเนื้อยึดเปลือก (adductor muscle) ซึ่งอาจมีกล้ามเนื้อมัดเดียว เช่น หอยพัด หรือ หอยเชลล์ หรือมีกล้ามเนื้อ ๒ มัด เช่น หอยแครง หอยลาย รอยกล้ามเนื้อยึดเปลือก (adductor muscle scar) ผิวด้านนอกของเปลือกหอยกาบคู่บางพวกเรียบเป็นมัน บางพวกมีหนาม สัน และร่องซึ่งมีลักษณะเป็นแนวรัศมีหรือแนวขนานกับขอบเปลือก บริเวณด้านข้างขั้วเปลือกของหอยบางพวก เช่น หอยพัด มีแผ่นลักษณะเป็นปีก (wing; ear) แผ่ออกไป

2.1.6 หอยเชลล์

หอยเชลล์ หรือ หอยพัด (Scallop) เป็นหอยฝาคู่อาศัยอยู่ในทะเล หอยเชลล์พบได้ทุกมหาสมุทรของโลก หอยเชลล์จำนวนมากเป็นแหล่งอาหารราคาสูง ทั้งเปลือกสีสว่าง ทำให้มีค่าสำหรับนักสะสมหอย สามารถว่ายน้ำได้เพื่อเปลี่ยนที่อยู่อาศัย เพื่อการหลบหนีศัตรู ส่วนที่ใช้เป็นอาหารคือ กล้ามเนื้อยึดเปลือก (adductor muscle) ซึ่งเป็นอวัยวะที่หอยเชลล์ว่ายน้ำ และทำหน้าที่ในการเปิดและปิดเปลือก ดังนั้นข้างในเปลือกของหอยมีแผลเป็นที่เป็นลักษณะเฉพาะ เป็นจุดยึดสำหรับกล้ามเนื้อนี้ กล้ามเนื้อปิดฝาของหอยเชลล์ใหญ่กว่าและพัฒนากว่ากล้ามเนื้อปิดฝาของหอยนางรม ซึ่งส่วนประกอบของหอยจะเป็นดังภาพที่ 2.1 แหล่งที่พบหอยเชลล์ในประเทศไทยส่วนมากพบในจังหวัดระยอง สงขลา และสมุทรสงคราม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของหอยเชลล์

แม้ว่าในทะเลไทยจะมีหอยเชลล์อยู่หลายชนิด แต่มีเพียงชนิดเดียว ที่มีความสำคัญเชิงพาณิชย์ คือ หอยเชลล์รูปพระจันทร์ (Asian moon scallop) ที่อาศัยในบริเวณที่เป็นพื้นทราย หรือทรายปนโคลนทั้งทางฝั่งทะเลอันดามันและด้านอ่าวไทย มีการทำการประมง โดยใช้เครื่องมืออวนลาก นอกจากนี้ ยังมีการนำเข้าหอยเชลล์ชนิดอื่น จากต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย ที่มีการทำฟาร์มขนาดใหญ่ ในประเทศไทยมีการทดลองเพาะ และเลี้ยงหอยเชลล์ชนิด ซีเนเทอร์ (Senatorial scallop) แต่ยังอยู่ในระยะเริ่มต้น ผลผลิตที่ได้มีจำนวนไม่มากนัก จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยต่อไป

2.1.6.1 การเพาะพันธุ์หอยเชลล์

การเพาะพันธุ์หอย ไม่ว่าเราต้องการจะนำหอยไปเลี้ยงต่อด้วยวิธีหว่านหรือวิธีเลี้ยงแบบใช้กระชัง ก่อนที่จะได้ลูกหอยที่มีขนาดพอเหมาะสำหรับการนำไปเลี้ยง ลักษณะการดำรงชีวิตของหอยเชลล์ในธรรมชาติจะวางตัวอยู่บนพื้นผิวทะเลที่เป็นโคลนหรือทราย โดยมีบางชนิดที่วางตัวอยู่บนพื้นระยะหนึ่งแล้วจึงยึดตัวติดกับวัสดุใต้น้ำเมื่อมีอายุมากขึ้น

2.1.6.2 รูปแบบการเลี้ยงหอยเชลล์

- การเลี้ยงแบบหว่านลูกหอย

หลังอนุบาลหอยจนมีขนาดโตพอที่จะปล่อยลงเลี้ยงในธรรมชาติ นำไปหว่านลงพื้นที่ที่มีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของหอยเชลล์ ทิ้งไว้ประมาณ2-3 ปีจึงจับขาย ในระหว่างเลี้ยงมีการสุ่มตรวจสอบดูอัตราการเจริญเติบโตของหอยเป็นระยะๆ ดังนั้นการเลี้ยงแบบหว่านจึงทำแบบหมุนเวียนกันไปเรื่อยๆ

- การเลี้ยงแบบแขวนหู (Ear-strung culture)

เมื่อลูกพันธุ์หอยถูกนำไปเลี้ยงต่ออีก2-3 เดือน เพื่อให้ได้ขนาดโตขึ้นอีก โดยนำไปเลี้ยงต่อในถุงอวนไข่มุกจนลูกหอยมีขนาดเปลือกยาวถึง 50 มม.จากนั้นจึงนำลูกหอยขึ้นไปเจาะรูเปลือกตรง

บริเวณหูของเปลือกแล้วนำไปร้อยเป็นพวงด้วยเชือกที่เหนียวและแข็งแรงเพื่อนำไปเลี้ยงในทะเลโดยการแขวนลงไปในแนวดิ่ง

- การเลี้ยงแบบใช้กระชังรูปกรวย (cylindrical cage culture)

วิธีนี้เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายและเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในบรรดาการเลี้ยงแบบแขวนเพราะเมื่อลูกหอยในกระชังเจริญเติบโตและมีขนาดใหญ่ขึ้น คนเลี้ยงจะคอยแยกหอยโตออกไปเลี้ยงในกระชังใหม่ เพื่อช่วยลดอัตราความหนาแน่นอย่างเหมาะสม

2.1.6.3 ปฏิกิริยาการย่อยสลายเปลือกหอย

สารประกอบคาร์บอเนตเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดจะให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

$$CaCO_3 + 2HCl \longrightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2 \qquad (2.4)$$

ปฏิกิริยาการสลายตัวของหินปูน มี 2 ประเภท ดังนี้

1) การสลายตัวของหินปูนด้วยความร้อน

ปฏิกิริยาการสลายตัวของหินปูน ($CaCO_3$) ด้วยความร้อนให้ CO_2 และปูนขาว(CaO)

$$CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s) + CO_2(g) \qquad (2.5)$$

2) ปฏิกิริยาระหว่างกรดกับคาร์บอเนต

ปฏิกิริยาระหว่างหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนตกับกรดกำมะถัน(H2SO4) หรือกรดดินประสิว (HNO3) ซึ่งมีอยู่ในฝนกรด เกิดเป็นแคลเซียมซัลเฟต (CaSO4) หรือแคลเซียมไนเตรต Ca(NO3)2 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2)

$$CaCO_3(s) + H_2SO_4(aq) \longrightarrow CaSO_4(s) + CO_2(g) + H_2O(l) \qquad (2.6)$$

คุณค่าทางโภชนาการของหอยเชลล์

หอยเชลล์ เป็นหอยที่มีแคลลอรี่ต่ำ และ มีโปรตีนสูง (มากกว่า 80%) การกินหอยเชลล์ 1 ขีด (100 กรัม) จะได้รับโปรตีนถึง 20 กรัม แต่ได้รับพลังงานเพียง 95 กิโลแคลลอรี่เท่านั้น

การนำไปใช้ประโยชน์ของหอยเชลล์

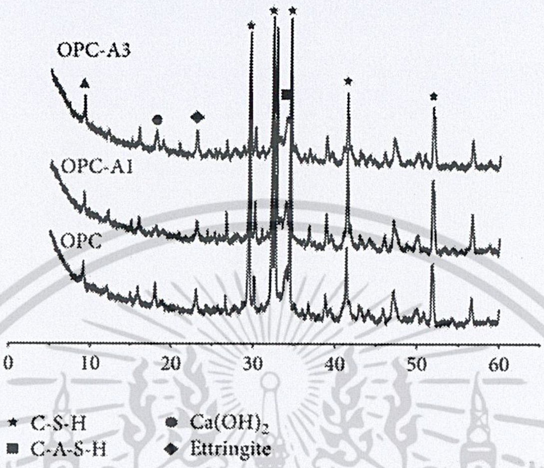
เนื้อหอยเชลล์กลมสีขาวนวล มีติ่งสีส้ม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางครึ่งนิ้วขึ้นไป เนื้อนุ่ม รสหวาน มีกรดกลูตามิกอิสระ (free glutamic acid) มีทั้งแบบมีเปลือกและแบบที่แกะเปลือกออก เนื่องจากเนื้อหอยเชลล์สดมีกลิ่นคาว การปรุงอาหารจะต้องล้างด้วยน้ำผสมน้ำส้มสายชูเจือจาง หรือเติมไวน์ขาวลงไปเล็กน้อยก่อนอบ หรือเติมไวน์ขาวเล็กน้อยลงในน้ำที่ใช้ลวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปรรูปเพื่อการถนอมอาหาร (food preservation) ของหอยเชลล์ทำได้หลายแบบ ยกตัวอย่างเช่น เนื้อหอยเชลล์แช่เยือกแข็ง (freezing) , การทำแห้ง (dehydration) เนื้อหอยเชลล์ยังนำมาทำหอยเชลล์แห้ง หรือชาวจีนเรียกว่า "กังป๋วย" ,บรรจุกระป๋อง (canning) เป็นต้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

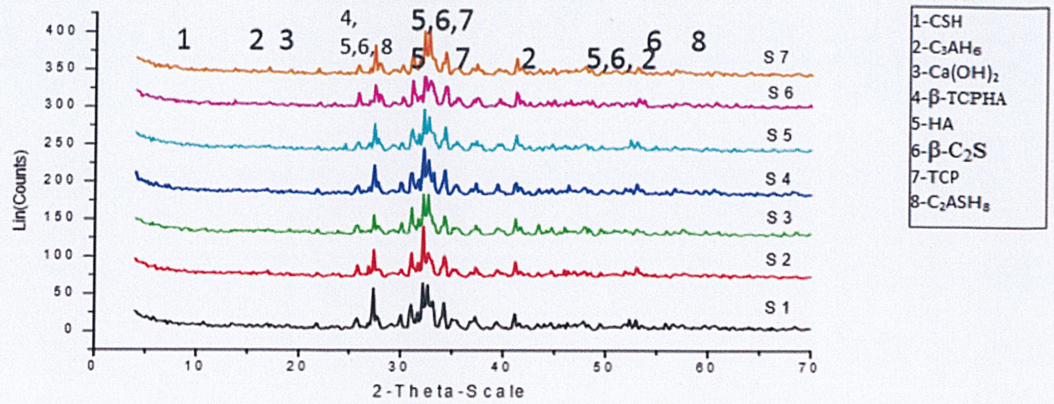
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมสารประกอบแคลเซียมทั้ง 3 ชนิด



ภาพที่2.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแคลเซียมอะซิเทต เป็นเวลา 1 วัน

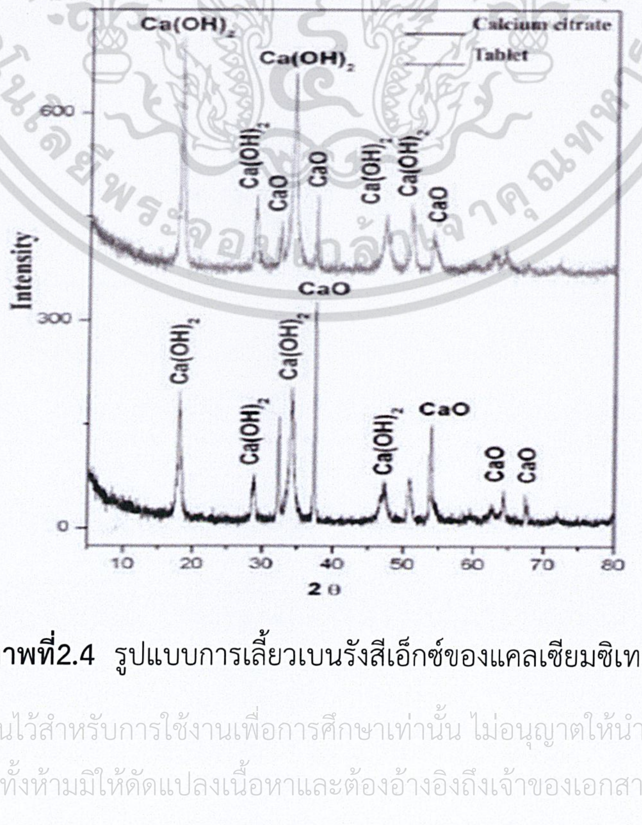
Zhang Xiaoyan งานวิจัยการสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเทตจากเปลือกไข่ โดยนำเปลือกไข่ที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วมาบดให้มีความละเอียดของผงเท่ากับ 0.12-0.15 มิลลิเมตร จากนั้นนำลงไปกวนกับน้ำ แล้วใส่กรดอะซิติกลงไป ภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติ ใช้เวลาประมาณ 2.5-3.0 ชั่วโมง จากนั้นทำให้สารมีค่าความเป็นกรดด่าง(pH)ต่ำกว่า 12.0 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์คือแคลเซียมอะซิเทต ภาพที่2.1 การผลิตแคลเซียมอะซิเทตยังเป็นที่สนใจในเรื่องต้นทุนต่ำ จากการสังเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า วัตถุดิบหลักที่เกี่ยวข้อง คือ กรดอะซิติกและแหล่งแคลเซียม ซึ่งแหล่งแคลเซียมที่ประหยัดต้นทุนในการสังเคราะห์หาได้จากแหล่งธรรมชาติ เช่น เปลือกหอย เปลือกไข่ เพราะมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบในปริมาณมากกว่า 80% กรดอะซิติกนั้นจะแตกต่างกันไปตามแต่ละโรงงานการผลิตแคลเซียมอะซิเทต ซึ่งความเข้มข้นต่างๆส่งผลต่อตัวแปรที่จะทำให้เกิดตะกอนแคลเซียมอะซิเทต เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง(pH) และระยะเวลาในการเข้าทำปฏิกิริยา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่2.3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแคลเซียมแลคเทต เป็นเวลา 1-7 วัน

(Saranya et al., 2017) งานวิจัยการสังเคราะห์แคลเซียมแลคเทตจากเปลือกกุ้ง อธิบายขั้นตอนไว้ว่า ให้นำเปลือกกุ้งผสมกับกรดแลคติกในอัตราส่วนน้ำหนักต่อปริมาตรเป็น 1:40 โดยความเข้มข้นของกรดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่าการละลาย (pKa) เพื่อให้ได้อัตราส่วนโมลาร์ของกรดกับแคลเซียมเท่ากับ 2:1 สกัดด้วยความร้อนที่ 70±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นส่วนผสมถูกทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิห้อง ก่อนที่จะทำการกำจัดเปลือกที่เหลือโดยใช้เครื่องกรอง หลังจากนั้นปรับ pH ให้เป็นกลาง (pH=7.0)โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ลงไปล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น และเข้าเตาอบเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60±2 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมแลคเทต ภาพที่2.2



ภาพที่2.4 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแคลเซียมซิเทรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Liu Wei Zhou (2010) งานวิจัยการสังเคราะห์แคลเซียมซิเทรต จากเปลือกหอยนางรม อธิบายขั้นตอนไว้ว่า นำเปลือกหอยที่ล้างสะอาดแล้วไปอบให้แห้งที่ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 4-5 ชั่วโมง จะได้ผงแคลเซียมออกไซด์ นำผงแคลเซียมออกไซด์ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก(HCl) เข้มข้น 20% เพื่อให้ได้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ นำสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ทำปฏิกิริยากับสารละลายไตร-แคลเซียมซิเทรต และนำไปต้มที่อุณหภูมิ 70-1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 10-20 นาที จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยากับโซเดียมซิเทรต ในอัตราส่วนโมลเท่ากับ 3:2 ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ล้างด้วยน้ำกลั่น 2-3 ครั้ง ทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 70-100 องศาเซลเซียส ถูกกรองและอบแห้งเพื่อให้ได้ผงสีขาวของแคลเซียมซิเทรต

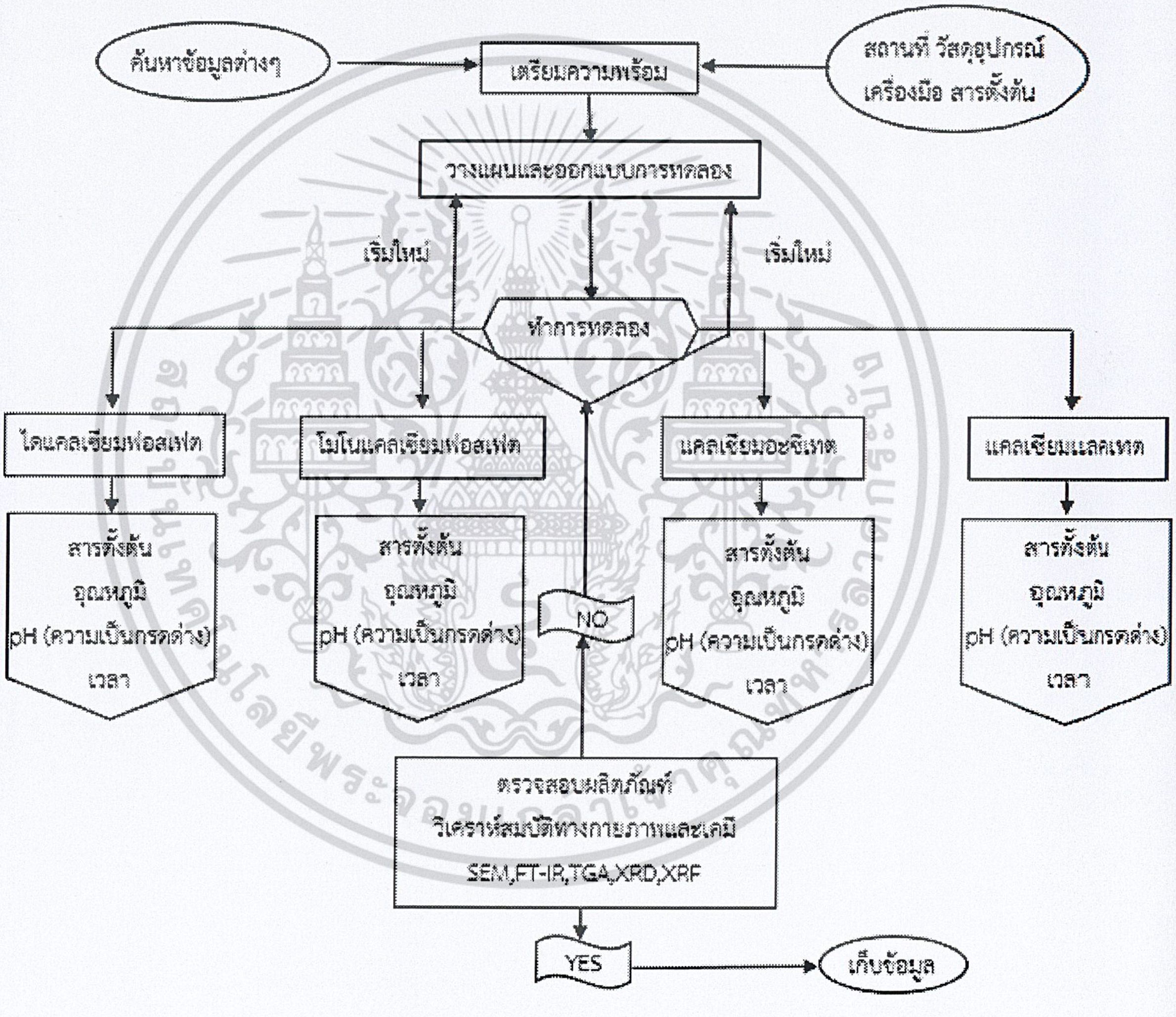
วิจิตรา แดงปรก (2550) งานวิจัยการสังเคราะห์แคลเซียมแลคเทตจากเปลือกไข่ สามารถเตรียมได้ดังนี้ คือ นำเปลือกไข่ที่ล้างสะอาดแล้ว มาทำการบดให้เป็นผงขนาดเล็ก และทำการละลายผงเปลือกไข่จำนวน 100 กรัม ในกรดแลกติกจำนวน 200 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 2,800 มิลลิลิตร โดยสัดส่วนของเปลือกไข่ผงต่อกรดแลกติกได้จากการคำนวณจากสมการเคมีคือ แคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกไข่ผงจำนวน 1 โมล จะสามารถทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดแลกติกจำนวน 2 โมล ในการทดลองพบว่าปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในผงเปลือกไข่เท่ากับ 90% และความเข้มข้นของกรดแลกติคคือ 88.1% เมื่อผสมแล้วจึงทำการกวนเป็นเวลามากกว่า 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเอาสารผสมที่ได้ไปโฮโมจีไนซ์ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นจึงนำความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้เกลือแคลเซียมสามารถละลายได้ดี นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำสารละลายใสไปทำแห้งโดยวิธีการทำแห้งแบบระเหิด (Freeze-drying) สุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์แคลเซียมแลคเทต จากการสังเคราะห์แคลเซียมแลคเทตที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า วัตถุดิบหลักที่เกี่ยวข้อง คือ กรดแลคเทตและแหล่งแคลเซียม ซึ่งแหล่งแคลเซียมที่ประหยัดต้นทุนในการสังเคราะห์หาได้จากแหล่งธรรมชาติ เช่น เปลือกหอย เปลือกไข่ ส่วนกรดแลคติกนั้นจะแตกต่างกันไปตามแต่ละโรงงานการผลิตแคลเซียมแลคเทต ซึ่งความเข้มข้นต่างๆส่งผลต่อตัวแปรที่จะทำให้เกิดตะกอนแคลเซียมแลคเทต เช่น อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเข้าทำปฏิกิริยา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยการผลิตสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยเชลล์เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ 1. การเตรียมความพร้อม 2. การออกแบบการทดลองและทดลอง 3. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ แปรผลข้อมูล 4. การวิเคราะห์ข้อมูลและเก็บข้อมูล



ภาพที่ 3.1 แผนภาพการผลิตสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยเชลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.การเตรียมความพร้อม คือ

- การเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมทั้ง 3 ที่เคยมีมา และข้อมูลสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบแคลเซียม โดยค้นคว้าจากข้อมูลวิจัยในประเทศและต่างประเทศ นอกจากนั้นยังต้องมีการเตรียมความพร้อมด้านข้อมูลของสารตั้งต้น คือ เปลือกหอยเชลล์ อีกด้วย

- เตรียมความพร้อมด้านอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมทั้ง 4 ชนิด และ จัดเตรียมเครื่องมือเครื่องแก้วให้เหมาะสมกับการทดลอง

2.การออกแบบการทดลอง และการทดลอง เป็นการนำความรู้และข้อมูลที่ได้ศึกษามาออกแบบการทดลอง โดยกำหนดตัวแปรที่จะนำไปใช้ คือ ชนิดของสารตั้งต้น ความเข้มข้นของสารตั้งต้น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา จากนั้นจึงทำการทดลอง

3. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ แปรผลข้อมูล

4. การวิเคราะห์ข้อมูลและเก็บข้อมูล

3.2 สารเคมีและอุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ชุดเครื่องแก้ว

2. โถดูดความชื้น (Desicator)

3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorisius), Scaltec SBC -31

4. pH meter (Metorm)

5. ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ (Suction pump)

6. ตู้อบ (Oven)

7. Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR), Spectrum GX,Perkin-Elmer

8. Thermogravimetric/differential thermal analyzer (TG-DTA), Pyris Diamond TG/DTA, Perkin Elmer apparatus และ Alumina pan

9. X-ray powder differactometer (XRD), Bruker AXS, D8 Advance, Germany

10. Scanning electron microscope (SEM), LEO SEM VPI450

11. X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

3.2.2 สารเคมี

1. กรดอะซิติก 99 % (Acetic acid 99%) Merck.

2. กรดแลกติก 88% (Lactic acid 88%) Merk.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กรดซิตริก99% (Citric Acid 99%)Merk.

3.3 การเตรียมสารประกอบแคลเซียมรูปต่างๆ

3.3.1 การเตรียมสารตั้งต้น

3.3.1.1 การเตรียมแคลเซียมจากเปลือกหอยเชลล์ที่มีขนาด 50 เมซขึ้นไป

นำเปลือกหอยเชลล์มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด แล้วนำไปตากให้แห้ง จากนั้นนำไปบดและคัดขนาดไม่ต่ำกว่า 50 เมซ ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีขาว เมื่อได้ผงแคลเซียมคาร์บอเนตแล้ว นำไปเก็บใส่ถุงภาชนะเพื่อนำไปเป็นสารตั้งต้นในขั้นตอนต่อไป

3.3.1.2 การเตรียมสารละลายกรดให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม

- การเตรียมกรดอะซิติก 40% (AC-40) ชั่งกรดอะซิติก 99% 404 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 1000 กรัม ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

- การเตรียมกรดอะซิติก 50% (AC-50) ชั่งกรดอะซิติก 99% 505 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 1000 กรัม ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

- การเตรียมกรดอะซิติก 60% (AC-60) ชั่งกรดอะซิติก 99% 606 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 1000 กรัม ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

- การเตรียมกรดอะซิติก 70% (AC-70) ชั่งกรดอะซิติก 99% 707 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 1000 กรัม ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

- การเตรียมกรดแลคติก 40% (LT-40) ชั่งกรดแลคติก 88% 455 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 1000 กรัม ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

- การเตรียมกรดแลคติก 50% (LT-50) ชั่งกรดแลคติก 88% 568 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 1000 กรัม ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

- การเตรียมกรดแลคติก 60% (LT-60) ชั่งกรดแลคติก 88% 682 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 1000 กรัม ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

- การเตรียมกรดแลคติก 70% (LT-40) ชั่งกรดแลคติก 88% 796 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 1000 กรัม ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

- การเตรียมกรดซิตริก 40% (CT-40) ชั่งกรดซิตริก 99% 404 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 1000 กรัม ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

- การเตรียมกรดซิตริก 50% (CT-50) ชั่งกรดซิตริก 99% 505 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 1000 กรัม ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเตรียมกรดซิตริก 60% (CT-60) ชั่งกรดซิตริก 99% 606 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 1000 กรัม ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

- การเตรียมกรดซิตริก 70% (CT-70) ชั่งกรดซิตริก 99% 707 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 1000 กรัม ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

3.3.2 การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียม 3 ชนิด

3.3.2.1 การเตรียมแคลเซียมอะซิเทต

$$\text{CC-S(s)} + \text{AC (aq.)} \longrightarrow Ca(CH_3COO)_2.2H_2O(s) + CO_2(g) \qquad (3.1)$$

วิธีการเตรียม

1. ชั่งสาร CC-S(s) 10.00 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 500 มิลลิลิตร จำนวน 4 บีกเกอร์

2. เติมกรด AC-40 จำนวน 29 มิลลิลิตร , AC-50 จำนวน 24 มิลลิลิตร , AC-60 จำนวน 19 มิลลิลิตรและ AC-70 จำนวน 16 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ข้อที่ 1) จะเกิดฟองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ให้ใช้แท่งแก้วคน เมื่อฟองหมดไปให้เติมกรด AC-40 , AC-50 , AC-60 และ AC-70 ลงไปเรื่อยๆ พร้อมใช้แท่งแก้วคนจนกว่าปริมาณของกรดจะหมด

3. นำสารในข้อ 2) ตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง โดย บีกเกอร์ AC-40, AC-50 ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง AC-60 ใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง AC-70 ใช้เวลาประมาณ 10 ชั่วโมง จะได้ผงสีขาวขุ่น

4. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1) ถึง ข้อ 3) อีกสองครั้ง เพื่อหาร้อยละผลผลิต

5. นำสารตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์หาคุณสมบัติ ด้วยเทคนิค TGA , XRF , XRD , FTIR และ SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 การเตรียมแคลเซียมแลคเทต

$$CC\text{-}S(s) + LT(aq.) \longrightarrow Ca(C_6H_5O_7)_2.H_2O(s) + CO_2(g) \quad (3.2)$$

วิธีการเตรียม

1. ชั่งสาร CC-S(s) 10.00 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 500 มิลลิลิตร จำนวน 4 บีกเกอร์

2. เติมกรด LT-40 จำนวน 37 มิลลิลิตร , LT-50 จำนวน 30 มิลลิลิตร , LT-60 จำนวน 25 มิลลิลิตรและ LT-70 จำนวน 21 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ข้อที่ 1) จะเกิดฟองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ให้ใช้แท่งแก้วคน เมื่อฟองหมดไปให้เติมกรด LT-40 , LT-50 , LT-60 และ LT-70 ลงไปเรื่อยๆ พร้อมใช้แท่งแก้วคนจนกว่าปริมาณของกรดจะหมด

3. นำสารในข้อ 2) ตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง โดยบีกเกอร์ LT-40 ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง LT-50 ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง LT-60 ใช้เวลาประมาณ 45 นาที LT-70 ใช้เวลาประมาณ 30 นาที จะได้ผงสีขาวขุ่น

4. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1) ถึง ข้อ 3) อีกสองครั้ง เพื่อหาร้อยละผลผลิต

5. นำสารตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์หาคุณสมบัติ ด้วยเทคนิค TGA , XRF , XRD , FTIR และ SEM

3.3.2.3 การเตรียมแคลเซียมซิเทรต

$$CC\text{-}S(s) + CT(aq.) \longrightarrow Ca_3(CH_3CH(OH)CO_2).3H_2O(s) + CO_2(g) \quad (3.3)$$

วิธีการเตรียม

1. ชั่งสาร CC-S(s) 10.00 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร จำนวน 4 บีกเกอร์

2. เติมกรด CT-40 จำนวน 19 มิลลิลิตร, CT-50 จำนวน 16 มิลลิลิตร , CT-60 จำนวน 13 มิลลิลิตรและ CT-70 จำนวน 11 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ข้อที่ 1) จะเกิดฟองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ให้ใช้แท่งแก้วคน เมื่อฟองหมดไปให้เติมกรด CT-40 , CT-50 , CT-60 และ CT-70 ลงไปเรื่อยๆ พร้อมใช้แท่งแก้วคนจนกว่าปริมาณของกรดจะหมด

3. นำสารในข้อ 2) ตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง โดยบีกเกอร์ CT-40 ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง CT-50 ใช้เวลาประมาณ 45 นาที CT-60 ใช้เวลาประมาณ 30 นาที CT-70 ใช้เวลาประมาณ 20 นาที จะได้ผงสีขาวขุ่น

4. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1) ถึง ข้อ 3) อีกสองครั้ง เพื่อหาร้อยละผลผลิต

5. นำสารตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์หาคุณสมบัติ ด้วยเทคนิค TGA , XRF , XRD , FTIR และ SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีด้วยเทคนิคต่างๆ

3.4.1 การวิเคราะห์ชนิดของธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง

นำสารตัวอย่างทั้ง 13 ชนิดในงานวิจัย มาวิเคราะห์ชนิดของธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง ด้วยเทคนิค X-Ray fluorescence (XRF)

3.4.2 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้งหมด 13 ชนิด คือ แคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยเชลล์ (CC-S) และสารประกอบ คือ แคลเซียมอะซิเทต (CaAC-40, CaAC-50,CaAC-60 และ CaAC-70) แคลเซียมแลคเทต (CaLT-40,CaLT-50,CaLT-60 และ CaLT-70) แคลเซียมซิเทรต (CaCT-40,CaCT-50,CaCT-60 และ CaCT-70) โดยนำไปศึกษาความเสถียรของวัสดุในแต่ละช่วงอุณหภูมิ กลไกการสลายตัวของสารและอุณหภูมิสูงสุดที่ที่สารสลายตัวอย่างสมบูรณ์ ด้วยเครื่อง TGA (Thermogravimetric Analysis) มีขั้นตอนดังนี้ นำสารตัวอย่างใส่ลงในแผ่น Alumina pan โดยกำหนดสภาวะของการวิเคราะห์ คือ ใช้สภาวะแก๊สไนโตรเจน ช่วงอุณหภูมิในการวิเคราะห์ 30-900 องศาเซลเซียส ข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำในโครงผลึก วิเคราะห์จากเทอร์โมแกรมของ TG

3.4.3 การวิเคราะห์รูปแบบการสั่นของององค์ประกอบย่อยภายในโมเลกุล

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้งหมด 13 ชนิด คือ แคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยเชลล์ (CC-S) และสารประกอบ คือ แคลเซียมอะซิเทต (CaAC-40, CaAC-50,CaAC-60 และ CaAC-70) แคลเซียมแลคเทต (CaLT-40,CaLT-50,CaLT-60 และ CaLT-70) แคลเซียมซิเทรต (CaCT-40,CaCT-50,CaCT-60 และ CaCT-70) โดยนำไปศึกษาการสั่นของสเปกตรัม ด้วยเครื่อง FT-IR Perkin Elmer Spectrum GX Spectrophotometer มีขั้นตอนดังนี้ นำสารตัวอย่างบดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกับ KBr และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยมีอัตราส่วน sample : KBr เป็น 1 : 10 ใส่ตัวอย่างที่บดแล้วลงในแม่พิมพ์ และนำไปอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิก ทิ้งไว้ 1-2 นาที จากนั้นถอดตัวประกบแม่พิมพ์ออก ตัวอย่างจะติดอยู่ที่แม่พิมพ์ มีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมใส นำตัวอย่างเข้าเครื่อง FT-IR เพื่อวิเคราะห์การสั่น ทำการบันทึกสเปคตรัมการสั่น โดยกำหนดสภาวะการวิเคราะห์ คือ บันทึกความยาวคลื่นในช่วง 4000-370 cm^{-1}

3.4.4 การวิเคราะห์ทางโครงสร้าง

นำสารตัวอย่างทั้ง 13 ชนิด มาวิเคราะห์โครงสร้างผลึก ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractrometer และคำนวณขนาดผลึกด้วยสมการ Scherrer จากการเปรียบเทียบ XRD patterns ของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน โดย Scan method ที่ใช้ คือ Start angle °5 องศา และ Stop angle °60 องศา

3.4.5 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา

นำสารตัวอย่างทั้ง 13 ชนิดมาวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยนำตัวอย่างมาเคลือบทองก่อนนำไปวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียม 3 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเทต แคลเซียมแลค-เทต และแคลเซียมซิเทรต จากเปลือกหอยเชลล์ซึ่งมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ ด้วยวิธีที่ง่าย รวดเร็ว โดยนำเปลือกหอยเชลล์มาบดให้มีขนาดไม่ต่ำกว่า 50 เมช มาทำปฏิกิริยากับกรด 3 ชนิด คือ กรดอะซิตริก กรด แลคติก และกรดซิตริก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 50 60 และ 70 โดยมวล ได้ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 12 ชนิด ใช้เทคนิคการเตรียมที่เรียกว่า "การทำปฏิกิริยาระหว่างของแข็งกับของเหลวแบบปฏิกิริยาแทนที่" โดยรายละเอียดในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ประกอบด้วย ร้อย-ละผลผลิต ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ตรวจสอบด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA) ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟูออเรสเซนต์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) ตรวจสอบเอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์แทรนสฟอร์มอินฟาเรด (Vibrational spectroscopy; Fourier transform infrared, FTIR) ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer, XRD) และตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

4.1 การศึกษาร้อยละผลผลิต

การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียม 3 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเทต แคลเซียมแลคเทต และแคลเซียมซิเทรต จากเปลือกหอยเชลล์ซึ่งมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ โดยนำเปลือกหอยเชลล์มาบดให้มีขนาดไม่ต่ำกว่า 50 เมช 100 กรัม ทำปฏิกิริยากับกรด 3 ชนิด คือ กรดอะซิตริก กรดแลคติก และกรดซิตริก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 50 60 และ 70 โดยมวล ร้อยละผลผลิตจากการทดลองและทฤษฎีแสดงไว้ใน**ตารางที่ 4.1**

ตารางที่ 4.1 แสดงผลร้อยละผลผลิต เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาก่อนสารตัวอย่างแห้ง ราคาต้นทุนของผลผลิตที่ผลิตได้

สารประกอบแคลเซียม	%ความเข้มข้นของกรด	ร้อยละผลผลิต (%)	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)	ราคาต้นทุน* (บาท / กก.)
$Ca(CH3COO)_2.2H_2O$	CaAC-40	85.04	24	35	4.72
	CaAC-50	83.98	24	35	4.88
	CaAC-60	87.05	12	36	4.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(แคลเซียมอะซิเทตไดไฮเดรต)	CaAC-70	86.85	10	37	4.56
$C_6H_{10}CaO_6.H_2O$ (แคลเซียมแลคเทตโมโนไฮเดรต)	CaLT-40	92.68	3	36	4.68
	CaLT-50	93.49	2	37	4.63
	CaLT-60	89.86	0.45	37	4.63
	CaLT-70	90.49	0.30	39	4.55
$Ca_3(C_6H_5O_7)_2.3H_2O$ (แคลเซียมซิเทรตไตรไฮเดรต)	CaCT-40	89.69	1	45	2.48
	CaCT-50	84.49	0.45	47	2.62
	CaCT-60	87.39	0.30	47	2.55
	CaCT-70	87.35	0.20	48	2.52

หมายเหตุ* : ราคาต้นทุนของสารประกอบแคลเซียมคิดเฉพาะค่าสารเคมีเท่านั้น

จากตารางสรุปได้ว่าแคลเซียมอะซิเทตไดไฮเดรต ทั้ง 4 ตัวอย่าง มีร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วง83.98-87.05% เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของ CaAC-40 และ CaAC-50 ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง CaAC-60 ใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง และ CaAC-70 ใช้เวลาประมาณ 10 ชั่วโมง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาก่อนสารตัวอย่างแห้ง อยู่ในช่วง 35-37 องศาเซลเซียส โดยทั้ง 4 ตัวอย่างมีราคาต้นทุนของสารประกอบแคลเซียม (คิดเฉพาะค่าสารเคมีเท่านั้น) ราคาประมาณ 5 บาท/กิโลกรัม แคลเซียมแลคเทตโมโนไฮเดรต ทั้ง4ตัวอย่าง มีร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วง89.86-93.49% เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของ CaLT-40 ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง CaLT-50 ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง CaLT-60 ใช้เวลาประมาณ 45 นาที และ CaLT-70 ใช้เวลาประมาณ 30 นาที อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาก่อนสารตัวอย่างแห้ง อยู่ในช่วง 36-39 องศาเซลเซียส โดยทั้ง 4 ตัวอย่างมีราคาต้นทุนของสารประกอบแคลเซียม (คิดเฉพาะค่าสารเคมีเท่านั้น) ราคาประมาณ 5 บาท/กิโลกรัม แคลเซียมซิเทรตไตรไฮเดรต ทั้ง4ตัวอย่าง มีร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วง 84.49-89.69% เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของ CaCT-40 ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง CaCT-50 ใช้เวลาประมาณ 45 นาที CaCT-60 ใช้เวลาประมาณ 30 นาที และ CaCT-70 ใช้เวลาประมาณ 20 นาที อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาก่อนสารตัวอย่างแห้ง อยู่ในช่วง 45-48 องศาเซลเซียส โดยทั้ง 4 ตัวอย่างมีราคาต้นทุนของสารประกอบแคลเซียม (คิดเฉพาะค่าสารเคมีเท่านั้น) ราคาประมาณ 3 บาท/กิโลกรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่าสารประกอบแคลเซียมทั้ง 3 ชนิด เมื่อใช้ความเข้มข้นมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะน้อยลง แต่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาก่อนสารตัวอย่างแห้งจะสูงขึ้นตามความเข้มข้น

4.2 ผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ

ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียม 3 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเทต แคลเซียมแลคเทต และแคลเซียมซิเทรต จากแหล่งแคลเซียม คือ ผงเปลือกหอยเชลล์เหลือทิ้ง ได้ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 12 ชนิดได้นำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีด้วยเทคนิคต่างๆ ดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบ

จากการนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งหมดไปตรวจปริมาณธาตุองค์ประกอบด้วยเครื่องเอกซ์ฟูออเรสเซนต์ (XRF) ทำให้ทราบปริมาณแคลเซียมที่เป็นองค์ประกอบ สรุปไว้ใน**ตารางที่ 4.2**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณองค์ประกอบของธาตุในสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ในสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยเชลล์ ด้วยเทคนิค XRF

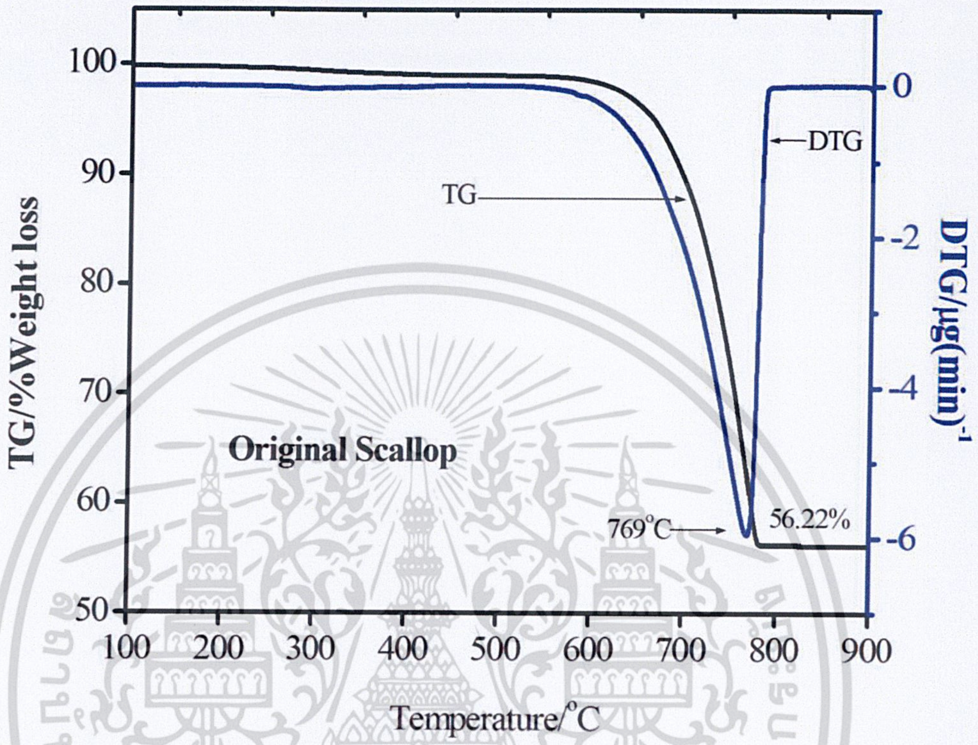
ชนิดของสารประกอบแคลเซียม	%Ca	%O	%Na	Mg	%S	%P	%K	%Al	%Si
CC-S	34.0	40.4	0	0.145	1.59	5.81	1.60	8.48	7.93
CaAC-40	60.8	29.7	5.89	2.22	1.06	0	0	0	0
CaAC-50	61.1	29.7	5.43	2.56	1.09	0	0	0	0
CaAC-60	65.4	29.4	2.90	1.21	1.02	0	0	0	0
CaAC-70	61.7	29.5	5.25	2.14	0.999	0	0	0	0
CaLT-40	69.5	29.2	0	0	0.605	0	0	0	0
CaLT-50	69.2	29.3	0	0	0.656	0	0	0	0
CaLT-60	27.3	42.3	0.827	0.238	1.82	5.26	0	15.3	6.83
CaLT-70	21.2	45.2	0	0	2.39	10.8	1.63	8.35	9.95
CaCT-40	28.3	42.3	0	0.123	2.72	5.36	1.35	11.4	8.41
CaCT-50	30.6	41.0	0	0	2.00	5.45	2.09	11.8	6.81
CaCT-60	29.9	41.7	0	0	3.05	4.45	1.61	11.1	8.05
CaCT-70	37.7	38.5	0	0.170	1.14	7.38	2.51	11.5	0

จากตารางแสดงปริมาณองค์ประกอบของธาตุในสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ในสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยเชลล์ ด้วยเทคนิค XRF พบว่า CC-S มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 34.0% CaAC-40 มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 60.8%, CaAC-50 มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 61.1%, CaAC-60 มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 65.4%, CaAC-70 มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 61.7%, CaLT-40 มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 69.5%, CaLT-50 มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 69.2%, CaLT-60 มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 27.3%, CaLT-70 มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 21.2%, CaCT-40 มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 28.3%, CaCT-50 มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 30.6%, CaCT-60 มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 29.9%, CaCT-70 มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 37.7% จะเห็นได้ว่ามีสารปนเปื้อนอื่นเกิดขึ้น ซึ่งมาจากแหล่งที่มาของเปลือกหอยเชลล์และสภาวะในการทดลอง เช่น เปอร์เซ็นต์อลูมิเนียมเกิดจากภาชนะที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

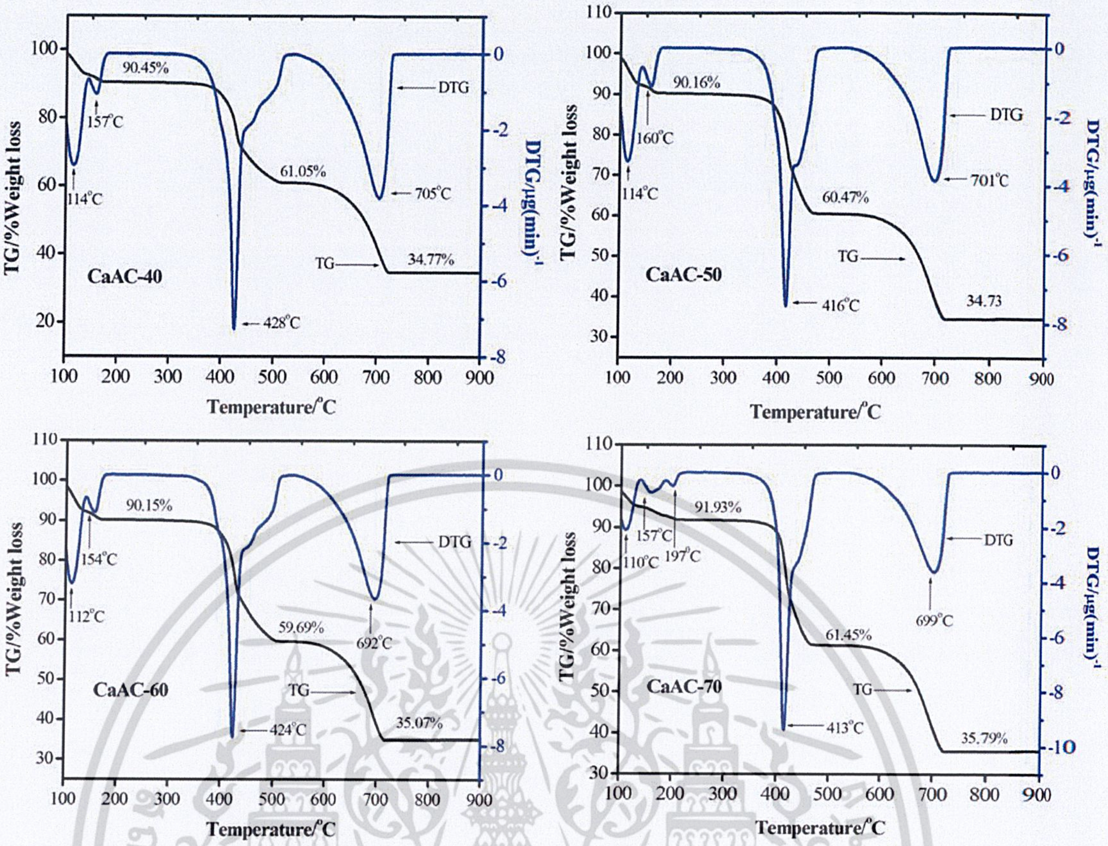
นำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเปลือกหอยทั้ง 12 ชนิด และ สารตั้งต้น (CC-S) ที่เป็นแหล่งแคลเซียมซึ่งได้จากเปลือกหอยเชลล์ ไปทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเทอร์มัลกราวิเมทรี (TGA) เทอร์โมแกรมที่วิเคราะห์ได้ แสดงในภาพที่ 4.1-4.4



ภาพที่ 4.1 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CC-S

ผลการยืนยันเอกลักษณ์ของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกหอยเชลล์ (CC-S) ด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงความร้อน (TGA) แสดงในภาพที่ 4.1 อธิบายได้ดังนี้ คือ สารตัวอย่างชนิด CC-S จากกราฟ TG ที่แสดงช่วงอุณหภูมิและมวลที่สูญหาย และ พีค DTG พบว่ามีการสลายตัวทางความร้อน 1 ช่วง คือ 600-800 °C (-43.78) DTG พีค 769.24 °C คือช่วงการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นเหลือมวลแคลเซียมอยู่ร้อยละ 56.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CaAC-40, CaAC-50, CaAC-60 และ CaAC-70

ผลการยืนยันเอกลักษณ์ของแคลเซียมอะซิเทตไฮเดรตที่สังเคราะห์จากเปลือกหอยเชลล์กับกรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 40 (CaAC-40), 50 (CaAC-50), 60 (CaAC-60) และ 70 (CaAC-70) โดยมวล ด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงความร้อน (TGA) แสดงในภาพที่ 4.2 อธิบายได้ดังนี้

$$Ca(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O \longrightarrow Ca(CH_3COO)_2 + 2H_2O \quad (4.2)$$

$$Ca(CH_3COO)_2 \longrightarrow CaCO_3 + CH_3COCH_3 + CH_3COCH_3 \text{ (Acetone)} \quad (4.3)$$

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2 \quad (4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

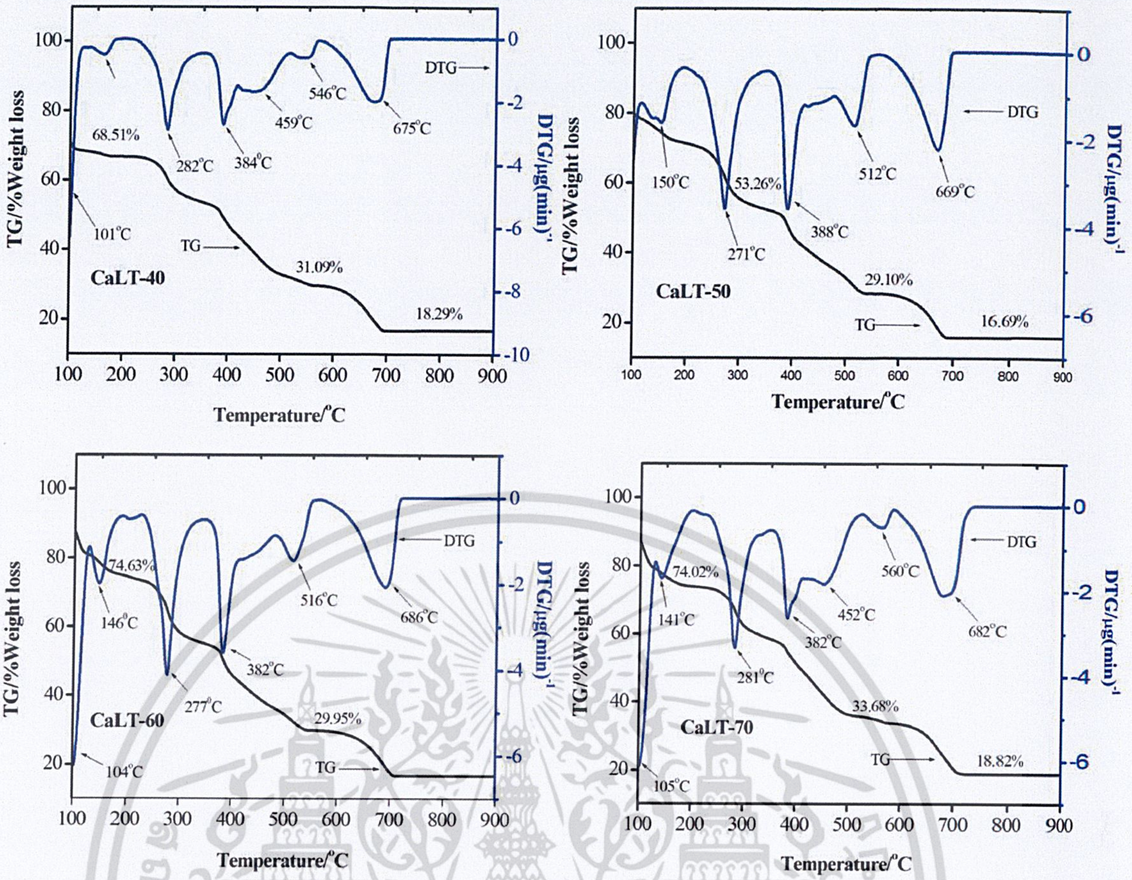
สารตัวอย่างชนิด CaAC-40 จากกราฟ TG ที่แสดงช่วงอุณหภูมิและมวลที่สูญหาย และ พีค DTG พบว่ามีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง คือ 100-200 °C (-9.55%) DTG พีค 115.13 และ 151.84 °C คือช่วงการระเหยน้ำออกจากแคลเซียมอะซิเทตไดไฮเดรต, 300-500 °C (-29.40%) DTG พีค 426.69 °C คือช่วงการสลายตัวเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต, 500-750 °C (-26.29%) DTG พีค 702.50 °C คือช่วงการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ ร้อยละ 34.77

สารตัวอย่างชนิด CaAC-50 จากกราฟ TG ที่แสดงช่วงอุณหภูมิและมวลที่สูญหาย และ พีค DTG พบว่ามีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง คือ 50-200 °C (-9.84%) DTG พีค 115.13 และ 151.54 °C คือช่วงการระเหยน้ำออกจากแคลเซียมอะซิเทตไดไฮเดรต, 300-500 °C (-29.69%) DTG พีค 415.63 °C คือช่วงการสลายตัวเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต, 600-750 °C (-25.74%) DTG พีค 696.55 °C คือช่วงการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ ร้อยละ 34.73

สารตัวอย่างชนิด CaAC-60 จากกราฟ TG ที่แสดงช่วงอุณหภูมิและมวลที่สูญหาย และ พีค DTG พบว่ามีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง คือ 50-200 °C (-9.85%) DTG พีค 112.57 และ 142.37 °Cคือช่วงการระเหยน้ำออกจากแคลเซียมอะซิเทตไดไฮเดรต, 350-500 °C (-30.46%) DTG พีค 423.39 °C คือช่วงการสลายตัวเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต, 600-750 °C (-24.62%) DTG พีค 694.84 °C คือช่วงการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ ร้อยละ 35.07

สารตัวอย่างชนิด CaAC-70 จากกราฟ TG ที่แสดงช่วงอุณหภูมิและมวลที่สูญหาย และ พีค DTG พบว่ามีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง คือ 50-200 °C (-8.07%) DTG พีค 108.32 และ 147.87 °C คือช่วงการระเหยน้ำออกจากแคลเซียมอะซิเทตไดไฮเดรต, 350-500 °C (-30.48%) DTG พีค 413.92 °C คือช่วงการสลายตัวเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต, 600-750 °C (-25.66%) DTG พีค 700.80 °C คือช่วงการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ ร้อยละ 35.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CaLT-40, CaLT-50, CaLT-60 และ CaLT-70

ผลการยืนยันเอกลักษณ์ของแคลเซียมแลคเทตโมโนไฮเดรตที่สังเคราะห์จากเปลือกหอยเชลล์กับกรดแลคติกที่ความเข้มข้น 40 (CaLT-40), 50 (CaLT-50), 60 (CaLT-60) และ 70 (CaLT-70) โดยมวล ด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงความร้อน (TGA) แสดงในภาพที่ 4.3 อธิบายได้ดังนี้

$$C_6H_{10}CaO_6 \cdot 2H_2O \longrightarrow C_6H_{10}CaO_6 + H_2O \quad (4.5)$$

$$C_6H_{10}CaO_6 \longrightarrow CaCO_3 + CH_3COCH_2COOC_2H_5 \text{ (Ethyl acetoacetate)} \quad (4.6)$$

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2 \quad (4.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

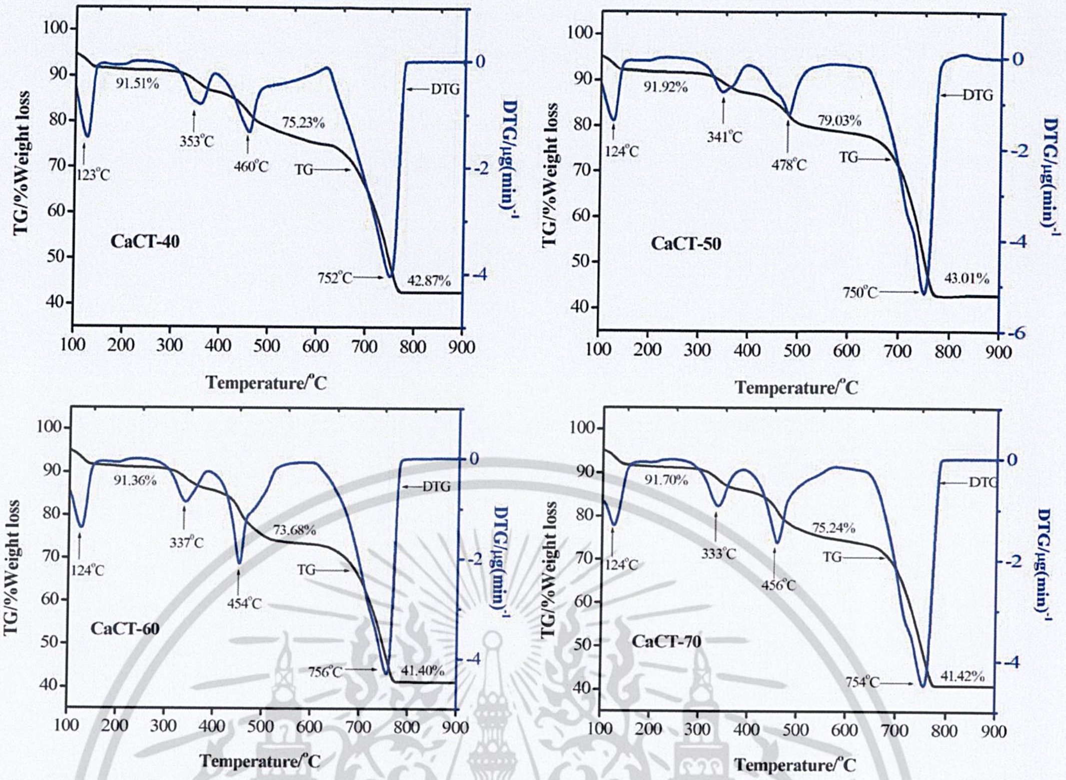
สารตัวอย่างชนิด CaLT-40 จากกราฟ TG ที่แสดงช่วงอุณหภูมิและมวลที่สูญหาย และ พีค DTG พบว่ามีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง คือ 20-200 °C (-31.85%) DTG พีค 91.47 และ 160.35 °C คือช่วงการระเหยของน้ำออกจากแคลเซียมแลคเทตโมโนไฮเดรต, 200-500 °C (-37.07%) DTG พีค 281.76 และ386.81 °C คือช่วงที่เกิดการสลายตัวเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต, 600-700 °C (-12.80%) DTG พีค 671.82 °C คือช่วงการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ ร้อยละ 18.29

สารตัวอย่างชนิด CaLT-50 จากกราฟ TG ที่แสดงช่วงอุณหภูมิและมวลที่สูญหาย และ พีค DTG พบว่ามีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง คือ 20-300 °C (-46.75%) DTG พีค 81.14,152.60 และ 272.29 °C คือช่วงการระเหยของน้ำออกจากแคลเซียมแลคเทตโมโนไฮเดรต, 350-550 °C (-24.16%) DTG พีค 379.71 และ 505.36 °C คือช่วงที่เกิดการสลายตัวเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต, 600-700 °C (-12.41%) DTG พีค 629.97 °C คือช่วงการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ ร้อยละ 16.69

สารตัวอย่างชนิด CaLT-60 จากกราฟ TG ที่แสดงช่วงอุณหภูมิและมวลที่สูญหาย และ พีค DTG พบว่ามีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง คือ 20-200 °C (-25.37%) DTG พีค 77.32 และ 135.84 °C คือช่วงการระเหยของน้ำออกจากแคลเซียมแลคเทตโมโนไฮเดรต, 200-550 °C (-44.68%) DTG พีค 258.41, 382.80 และ 513.81 °C คือช่วงที่เกิดการสลายตัวเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต, 600-700 °C (-13.03%) DTG พีค 643.32 °C คือช่วงการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ ร้อยละ 16.92

สารตัวอย่างชนิด CaLT-70 จากกราฟ TG ที่แสดงช่วงอุณหภูมิและมวลที่สูญหาย และ พีค DTG พบว่ามีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง คือ 20-200 °C (-25.98%) DTG พีค 75.14 และ 135.49 °C คือช่วงการระเหยของน้ำออกจากแคลเซียมแลคเทตโมโนไฮเดรต, 250-550 °C (-40.34%) DTG พีค 265.63, 374.11, 451.33 และ 545.17 °C คือช่วงที่เกิดการสลายตัวเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต, 600-700 °C (-174.86%) DTG พีค 635.24 °C คือช่วงการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ ร้อยละ 18.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CaCT-40, CaCT-50, CaCT-60 และ CaCT-70

สรุปผลการยืนยันเอกลักษณ์ของแคลเซียมซิเทรตไตรไฮเดรต ที่สังเคราะห์จากเปลือกหอยเชลล์กับกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 40 (CaCT-40), 50 (CaCT-50), 60 (CaCT-60) และ 70 (CaCT-70) โดยมวล ด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงความร้อน (TGA) แสดงในภาพที่ 4.4 อธิบายได้ดังนี้

$$C_6H_{10}CaO_6 \cdot 3H_2O \longrightarrow Ca_3(C_6H_5O_6)_2 + 3H_2O \quad (4.8)$$

$$Ca_3(C_6H_5O_6)_2 \longrightarrow 3CaCO_3 + C_9H_{10}O_5 \quad (4.9)$$

$$3CaCO_3 \longrightarrow 3CaO + 3CO_2 \quad (4.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารตัวอย่างชนิด CaCT-40 จากกราฟ TG ที่แสดงช่วงอุณหภูมิและมวลที่สูญหาย และ พีค DTG พบว่ามีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง คือ 30-200 °C (-8.49%) DTG พีค 50.47 และ 110.88 °C คือช่วงการระเหยของน้ำออกจากแคลเซียมซิเทรตไตรไฮเดรต, 300-500 °C (-16.28%) DTG พีค 331.93 และ428.91 °C คือช่วงการสลายตัวเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต, 600-800 °C (-32.36%) DTG พีค 690.76 °C คือช่วงการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ ร้อยละ 42.87

สารตัวอย่างชนิด CaCT-50 จากกราฟ TG ที่แสดงช่วงอุณหภูมิและมวลที่สูญหาย และ พีค DTG พบว่ามีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง คือ 30-200 °C (-8.08%) DTG พีค 42.87 และ 110.46 °C คือช่วงการระเหยของน้ำออกจากแคลเซียมซิเทรตไตรไฮเดรต, 300-500 °C (-12.89%) DTG พีค 327.74 และ446.91 °C คือช่วงการสลายตัวเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต, 600-800 °C (-36.02%) DTG พีค 700.33 °C คือช่วงการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ ร้อยละ 42.99

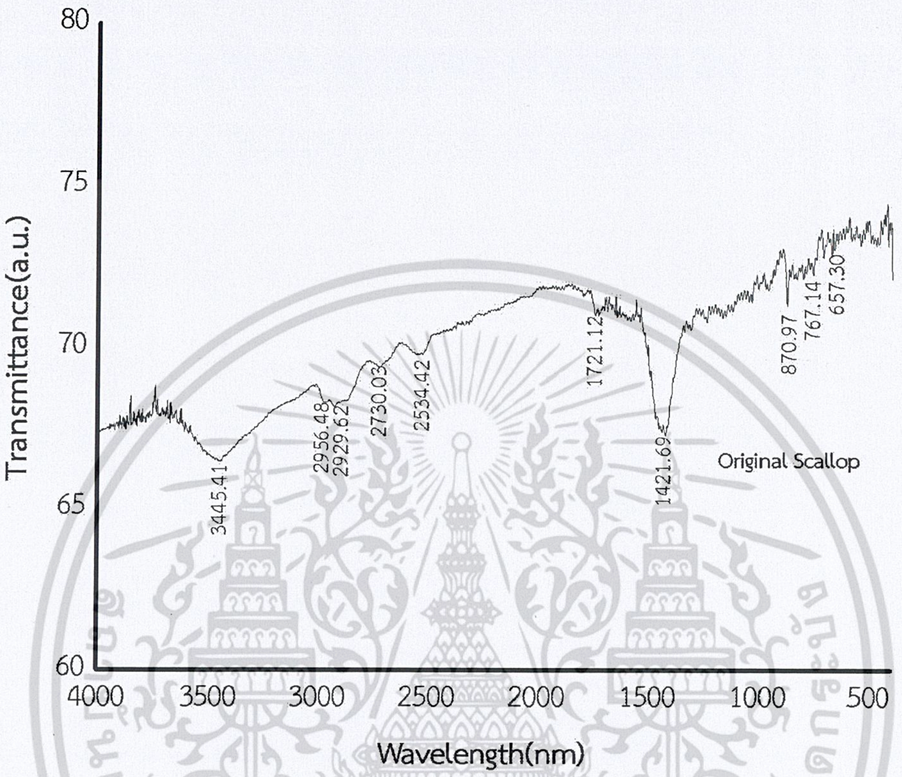
สารตัวอย่างชนิด CaCT-60 จากกราฟ TG ที่แสดงช่วงอุณหภูมิและมวลที่สูญหาย และ พีค DTG พบว่ามีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง คือ 30-200 °C (-8.65%) DTG พีค 42.46 และ 112.36 °C คือช่วงการระเหยของน้ำออกจากแคลเซียมซิเทรตไตรไฮเดรต, 300-500 °C (-17.68%) DTG พีค 315.01 และ433.15 °C คือช่วงการสลายตัวเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต, 600-800 °C (-32.28%) DTG พีค 693.72 °C คือช่วงการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ ร้อยละ 41.40

สารตัวอย่างชนิด CaCT-70 จากกราฟ TG ที่แสดงช่วงอุณหภูมิและมวลที่สูญหาย และ พีค DTG พบว่ามีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง คือ 30-200 °C (-8.31%) DTG พีค 43.50 และ 114.51 °C คือช่วงการระเหยของน้ำออกจากแคลเซียมซิเทรตไตรไฮเดรต, 300-500 °C (-16.46%) DTG พีค 310.24 และ433.02 °C คือช่วงการสลายตัวเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต, 600-800 °C (-33.83%) DTG พีค 700.07 °C คือช่วงการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ ร้อยละ 41.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การวิเคราะห์เอกลักษณ์รูปแบบการสั่น

นำสารผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 12 ชนิด และสารตั้งต้น ไปตรวจวิเคราะห์เอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี แสดงผลวิเคราะห์ดังภาพที่ 4.5-4.8

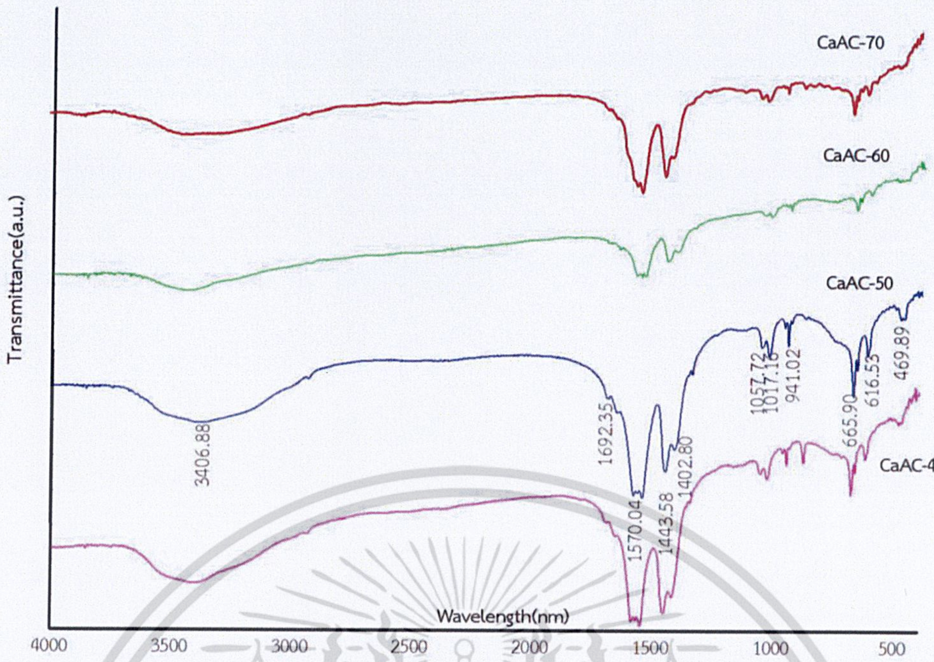


ภาพที่ 4.5 สเปกตรัมการสั่นของ CC-S ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (FT-IR)

ตารางที่ 4.3 แสดงสเปกตรัมการสั่นของ CC-S

ความถี่ (cm^{-1})	สเปกตรัมการสั่น
3,445	การสั่นของน้ำ
1,422 - 2,956	การสั่นของ CO_3^{-2}
657 - 871	การสั่นของ Ca-O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



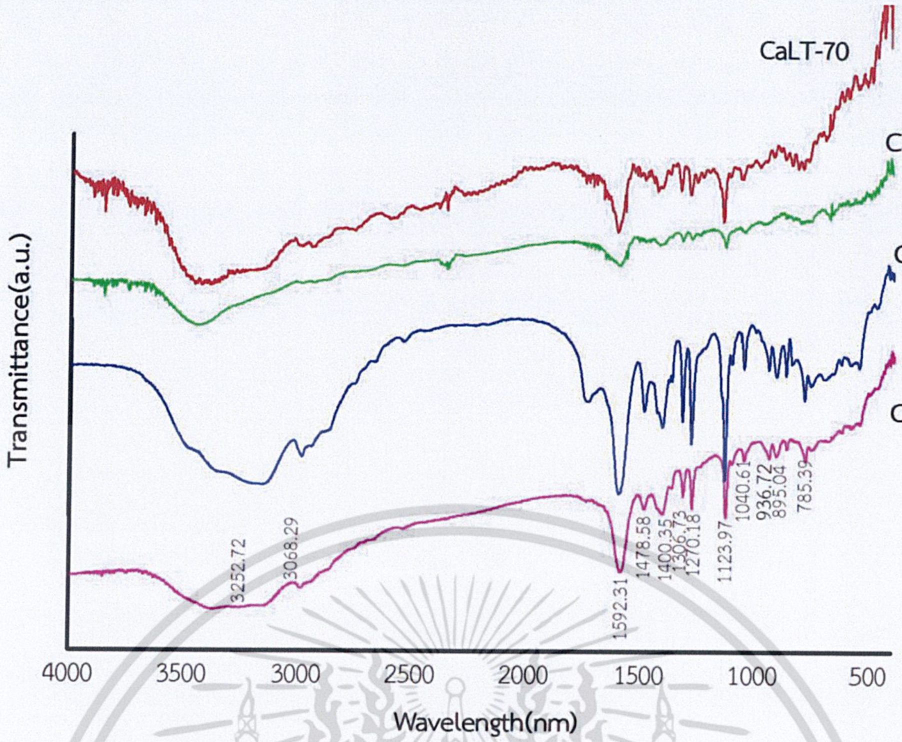
ภาพที่ 4.6 สเปกตราการสั่นของ CaAC-40, CaAC-50, CaAC-60 และ CaAC-70 ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (FT-IR)

ตารางที่ 4.4 แสดงสเปกตราการสั่นของ CaAC-40, CaAC-50, CaAC-60 และ CaAC-70

ความถี่ (cm^{-1})	สเปกตราการสั่น
3,407	การสั่นของน้ำ
1,570 และ 1,692	การสั่นแบบสมมาตรของ C=O (ν_{as}C=O)
1403 และ 1444	การสั่นการโค้งงอแบบสมมาตรของ CH_3 ($\delta_{as}CH_3$)
941 ,1,017 และ 1,058	การสั่นของ C-C
617 และ 666	การสั่นแบบยืดหดของพันธะ O-C-O
470	การสั่นของ Ca-O

ซึ่งตำแหน่งพีคทั้งหมดที่กล่าวมาในข้างต้นเป็นเอกลักษณ์การสั่นของ แคลเซียมอะซิเทตไดไฮเดรต (Anthony et al., 2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



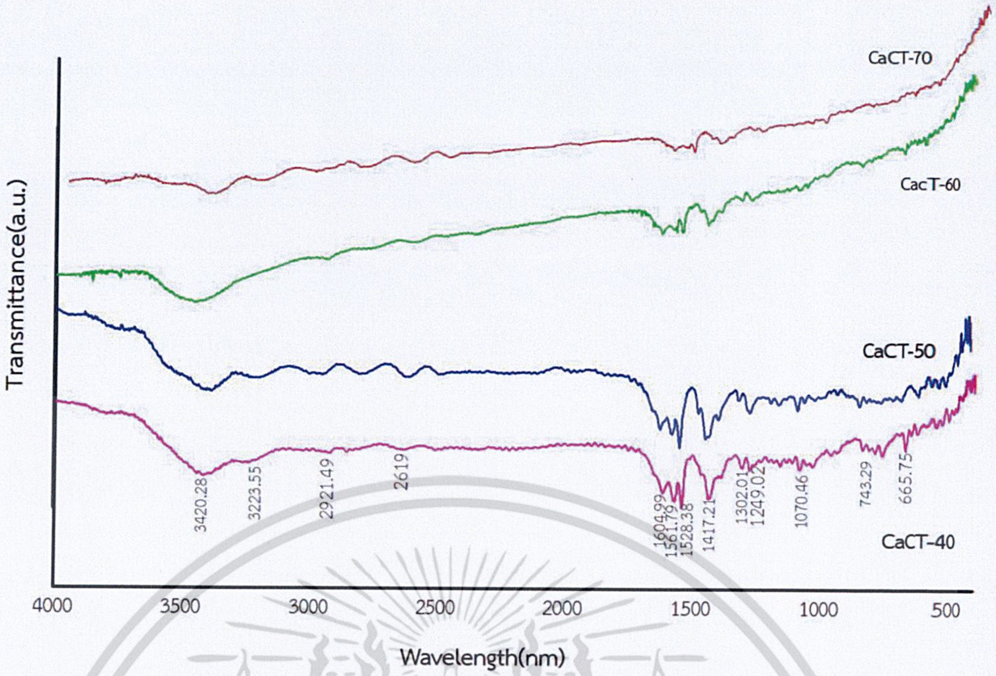
ภาพที่ 4.7 สเปกตราการสั่นของ CaLT-40, CaLT-50, CaLT-60 และ CaLT-70 ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (FT-IR)

ตารางที่ 4.5 แสดงสเปกตราการสั่นของ CaLT-40, CaLT-50, CaLT-60 และ CaLT-70

ความถี่ (cm^{-1})	สเปกตราการสั่น
3253	การสั่นของน้ำ
3,068	การสั่นของ C-H
1,479 และ 1,592	การสั่นแบบไม่สมมาตรและสมมาตรของ C=O
1,307 และ 1,400	การสั่นการโค้งงอแบบสมมาตรของ CH_3 ($\square_{as}CH_3$)
1,041 , 1124 และ 1,270	การสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-O-C
895 และ 937	การสั่นแบบไม่สมมาตรและสมมาตรของ C-OH
758	การสั่นของ Ca-O

ซึ่งตำแหน่งพีคทั้งหมดที่กล่าวมาในข้างต้นเป็นเอกลักษณ์การสั่นของแคลเซียมแลคเทตโมโนไฮเดรต (Hwang et al., 2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 สเปกตราการสั่นของ CaCT-40, CaCT-50, CaCT-60 และ CaCT-70 ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (FT-IR)

ตารางที่ 4.6 แสดงสเปกตราการสั่นของ CaCT-40, CaCT-50, CaCT-60, CaCT-70

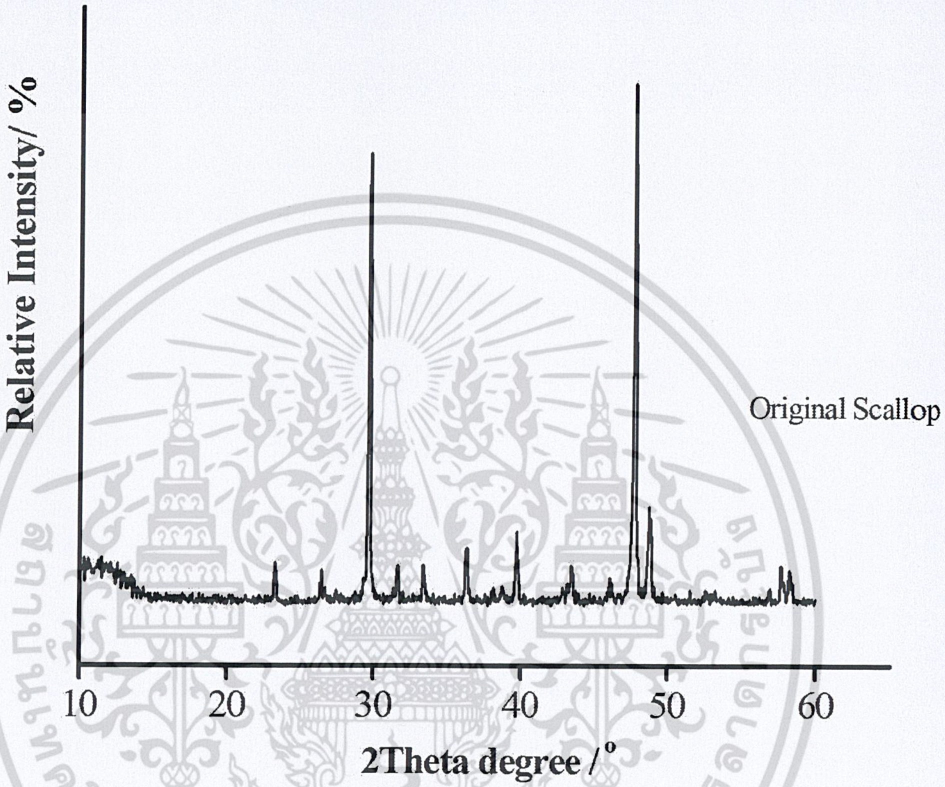
ความถี่ (cm^{-1})	สเปกตราการสั่น
3,224 และ 3420	การสั่นของน้ำ
2,921 และ 2619	พีคการสั่นของ C-H
1,528 , 1,562 และ 1,605	การสั่นแบบไม่สมมาตรและสมมาตรของ O=C-O
1,417	การสั่นแบบสมมาตรของ O=C-O
1,249 และ 1,302	การสั่นของของพันธะ O-H
1,070	การสั่นแบบยืดหดของ C-OH
743	การสั่นของ CH_2
666	การสั่นของ Ca-O

ที่ตำแหน่งพีคทั้งหมดที่กล่าวมาในข้างต้นเป็นเอกลักษณ์การสั่นของแคลเซียมซิเทรตไตรไฮเดรต(Jorge E. et al., 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

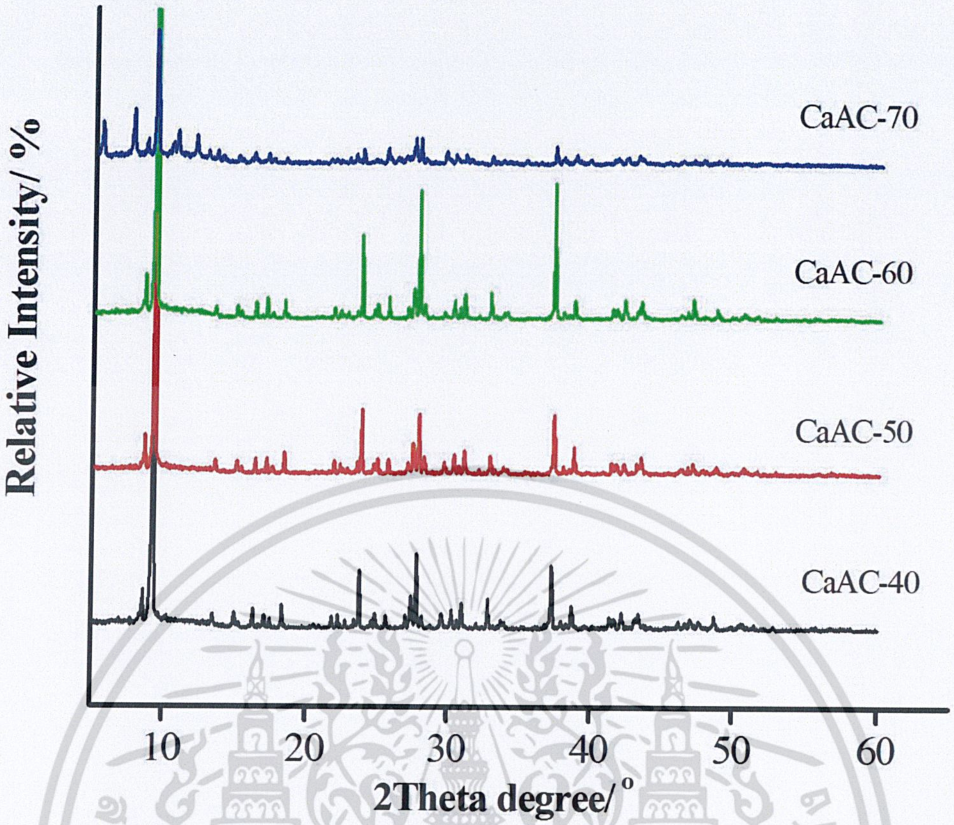
สารในงานวิจัยนี้ ได้แก่ สารตั้งต้น และ สารผลิตภัณฑ์ คือ แคลเซียมอะซิเทต แคลเซียมแลคเทต แคลเซียมซิเทรต โดยใช้กรดความเข้มข้นต่างกันในการสังเคราะห์ ได้ถูกนำไปตรวจวิเคราะห์โครงสร้างผลึก ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 4.9 - 4.12



ภาพที่ 4.9 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ CC-S

จากกราฟรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยเชลล์ พบตำแหน่งการหมุนเลี้ยวเบนของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)

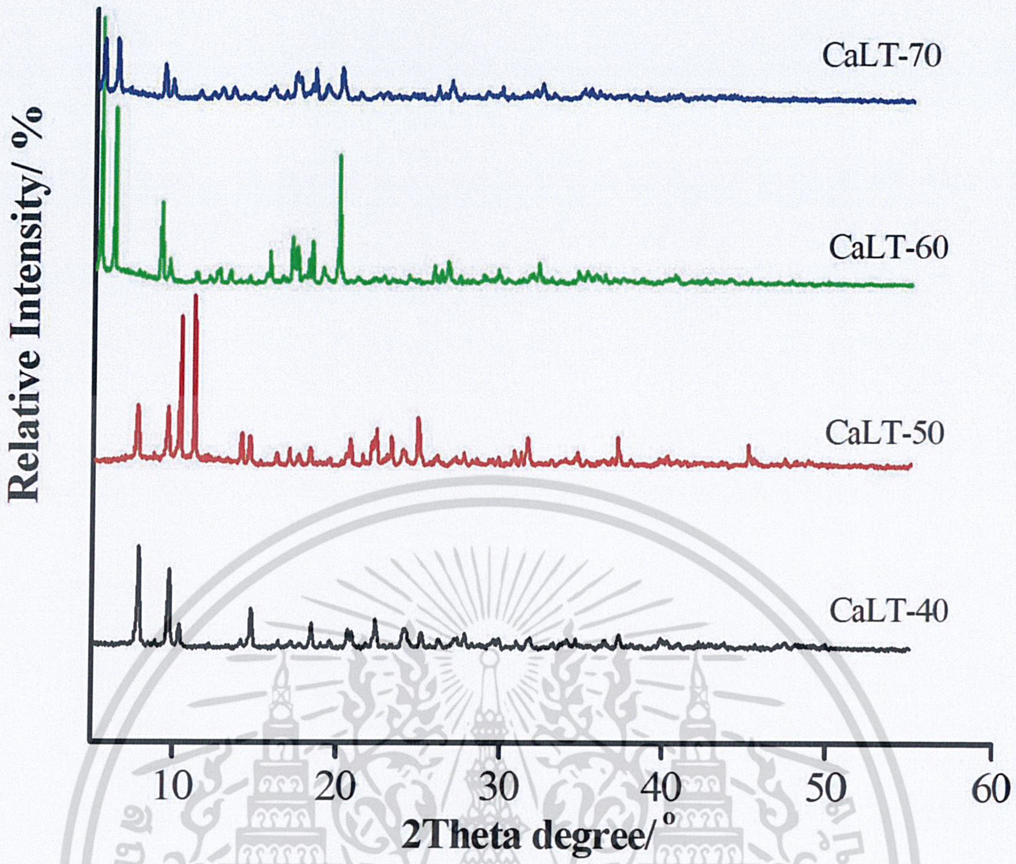
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ CaAC-40, CaAC-50, CaAC-60 และ CaAC-70

จากกราฟรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแคลเซียมอะซิเทต มีรูปแบบเหมือนกัน โดย พบตำแหน่งการหมุนเลี้ยวเบนของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต($3CaO.2SiO_2.3H_2O$), แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (($Ca(OH)_2$), แคลเซียมอลูมิเนียมซิลิเกตไฮเดรตเจล ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของแคลเซียมอะซิเทต ดังแสดงในภาพที่ 2.2

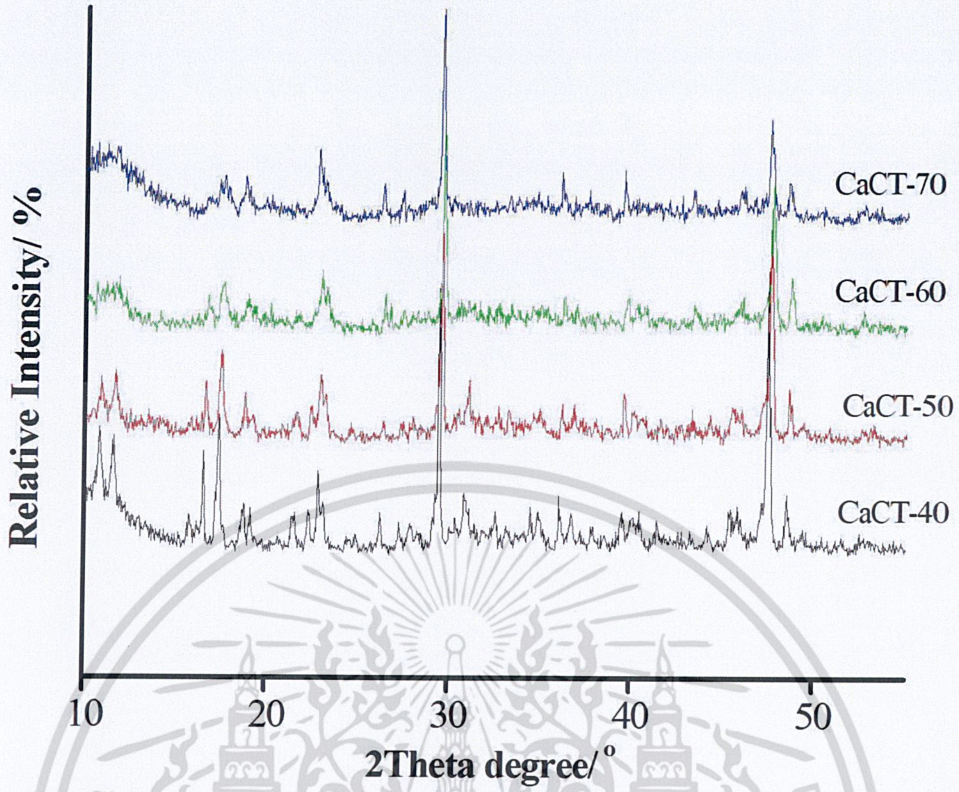
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ CaLT-40, CaLT-50, CaLT-60 และ CaLT-70

จากกราฟรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแคลเซียมแลคเทต มีรูปแบบเหมือนกัน โดย พบตำแหน่งการหมุนเลี้ยวเบนของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต($3CaO.2SiO_2.3H_2O$), แคลเซียมไฮดรอกไซด์(($Ca(OH)_2$)แคลเซียมอลูมิเนียมซิลิเกตไฮเดรตเจล ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของแคลเซียมแลคเทต ดังแสดงในภาพที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



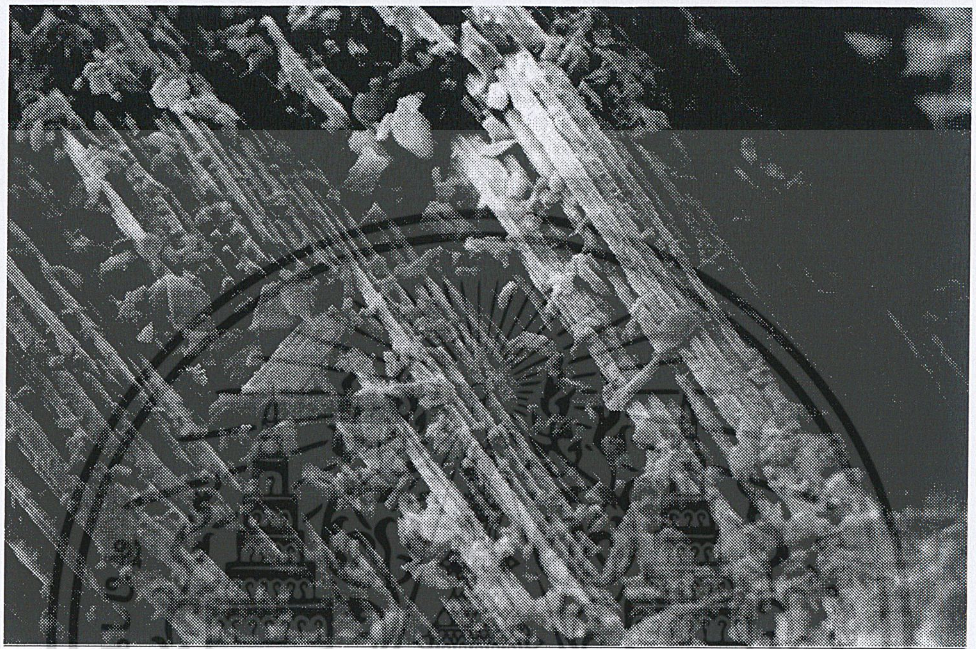
ภาพที่ 4.12 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ CaCT-40, CaCT-50, CaCT-60 และ CaCT-70

จากกราฟรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแคลเซียมแลคเทต มีรูปแบบเหมือนกัน โดย พบพีคของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และ แคลเซียมไฮดรอกไซด์(($Ca(OH)_2$) ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของแคลเซียมซิเทรต ดังแสดงในภาคผนวก ข ภาพที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (SEM)

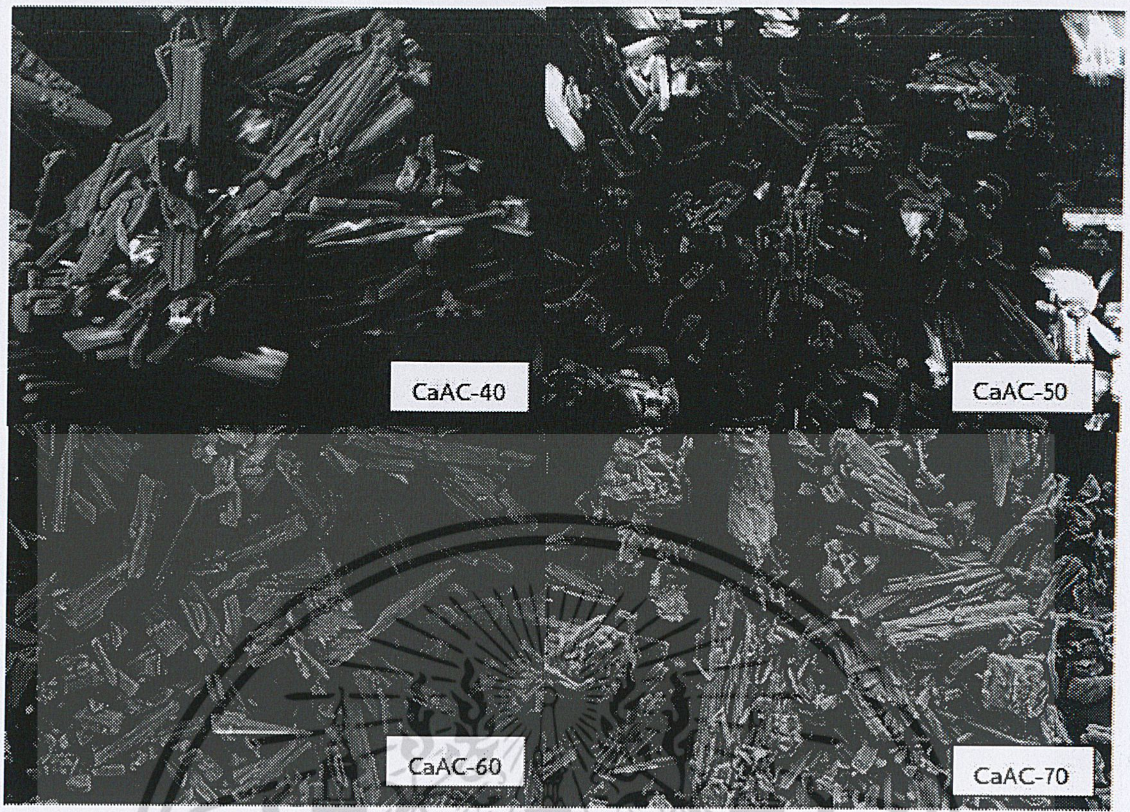
จากการนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งหมดและสารตั้งต้นไปวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (SEM) ทำให้ทราบลักษณะทางสัณฐานวิทยา แสดงดังภาพที่ 4.13 - 4.16



ภาพที่ 4.13 รูปสัณฐานวิทยาของ CC-S

ผลเอกลักษณ์ทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) กำลังขยาย 20,000 เท่า พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกหอยเชลล์ มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมยาว เกาะรวมกัน ขนาดประมาณ 5 ไมโครเมตร แสดงในภาพที่ 4.13

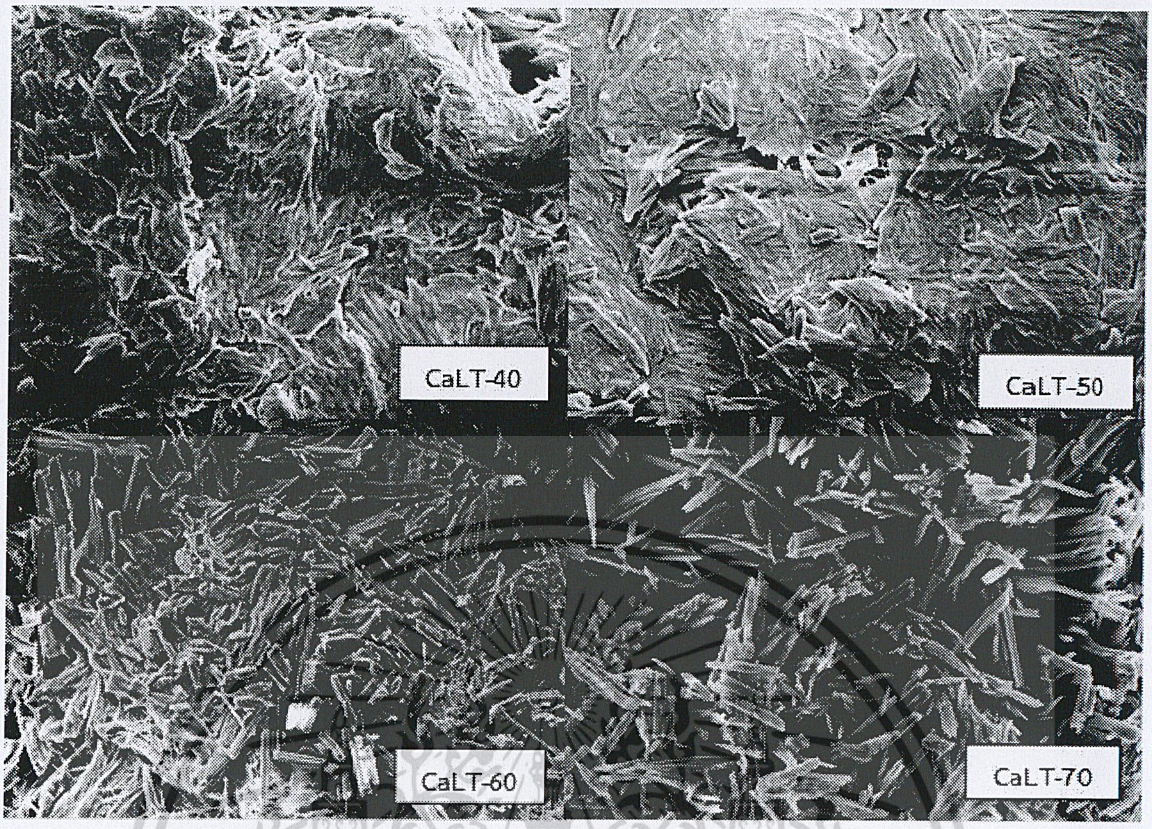
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 รูปสัณฐานวิทยาของ CaAC-40, CaAC-50, CaAC-60 และ CaAC-70

ผลเอกลักษณ์ทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) กำลังขยาย 2,000 เท่า พบว่าแคลเซียมอะซิเทตไดไฮเดรตทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่ได้จากนำแคลเซียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 40, 50, 60 และ 70 โดยมวล มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมยาว เกาะรวมกันเป็นกลุ่ม ขนาดประมาณ 50 ไมโครเมตร แสดงในภาพที่ 4.14

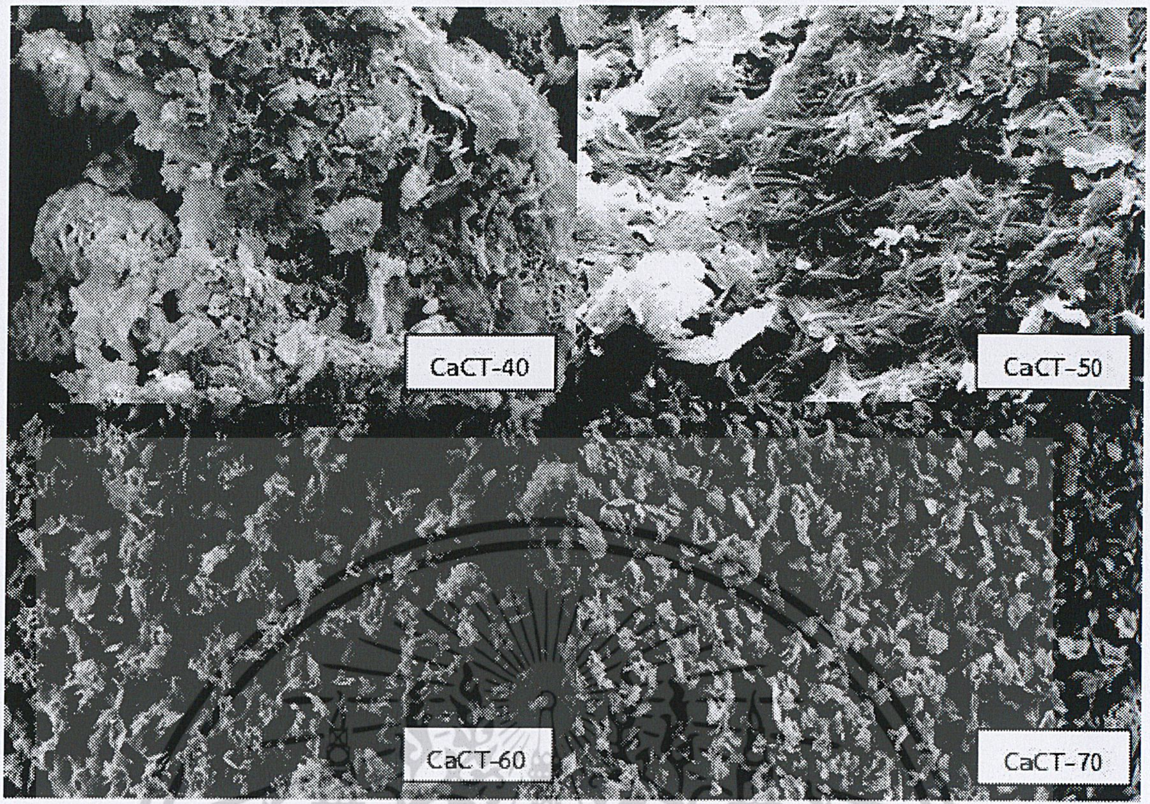
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 รูปสัณฐานวิทยาของ CaLT-40, CaLT-50, CaLT-60 และ CaLT-70

ผลเอกลักษณ์ทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) กำลังขยาย 2,000 เท่า พบว่าแคลเซียมแลคเทตโมโนไฮเดรต ทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่ได้จากนำแคลเซียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยากับกรดแลคติกที่มีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 40, 50, 60 และ 70 โดยมวล มีลักษณะรูปร่างและขนาดแตกต่างไปตามความเข้มข้นของกรดที่เข้าทำปฏิกิริยา ตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยากับกรดแลคติกเข้มข้นร้อยละ 40 และ 50 โดยมวล พบว่ามีลักษณะคล้ายกัน คือ เป็นแผ่นบางวางซ้อนทับกัน ไร้รูปทรง มีขนาดประมาณ 50 ไมโครเมตร ตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยากับกรดแลคติกเข้มข้นร้อยละ 60 โดยมวล มีลักษณะแท่งรูปร่างเหลี่ยมจับรวมกันเป็นก้อนอย่างไร้ระเบียบ มีขนาดประมาณ 50 ไมโครเมตร ตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยากับกรดแลคติกเข้มข้นร้อยละ 70 โดยมวล ลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยม เรียงกันแบบไร้ระเบียบ ไม่จับตัวเป็นก้อนหนา มีขนาดประมาณ 30 ไมโครเมตร แสดงในภาพที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 รูปสัณฐานวิทยาของ CaCT-40, CaCT-50, CaCT-60 และ CaCT-70

ผลเอกลักษณ์ทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) กำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่าแคลเซียมซิเทรตไตรไฮเดรต ทั้ง4 ตัวอย่าง ที่ได้จากนำแคลเซียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยากับกรดซิตริกที่มีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 40, 50, 60 และ 70 โดยมวล มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาแตกต่างกันออกไปตามความเข้มข้นที่ทำปฏิกิริยา ตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยากับกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 40 60 และ 70 โดยมวล มีลักษณะคล้ายกัน คือ รูปร่างเหมือนทรงกลมคล้ายดอกเข็ม เกาะรวมกันเป็นก้อน ขนาด 10 ไมโครเมตร ส่วนตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยากับกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล มีลักษณะคล้ายเส้นทรงสีเหลี่ยมซ้อนทับกัน พื้นผิวเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัย เรื่อง “การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมจากเปลือกหอยเชลล์เพื่อใช้ในอุสาหกรรมอาหาร” ได้คิดค้นหาวิธีการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียม 3 ชนิด ได้แก่ แคลเซียมอะซิเทต แคลเซียมแลคเทต และแคลเซียมซิเทรต โดยสารตั้งต้นคือแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกหอยเชลล์ ซึ่งขยะจากเปลือกหอยเชลล์ นับว่าเป็นหาทางสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากจากอุตสาหกรรมอาหาร บ้านเรือน และชุมชน งานวิจัยนี้จึงนำเปลือกหอยเชลล์มาเพิ่มมูลค่า และนำไปใช้ไปโยชน์ทางอุตสาหกรรมอาหารได้อีก ในการทดลองจะนำเปลือกหอยที่ล้างสะอาดมาบดให้เป็นผงขนาดมากกว่า 50 เมซ ทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติก กรดแลคติก กรดซิ-ตริก ที่มีความเข้มข้น 4 ระดับ คือ 40%, 50%, 60% และ70% ปั่นกวนผสมโดยใช้เวลาไม่นาน จากนั้นปล่อยให้แห้ง โดยไม่อาศัยเครื่องอบ จะได้สารผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 12 ตัวอย่าง เป็นแคลเซียมอะซิเทต 4 ตัวอย่าง แคลเซียมแลคเทต 4 ตัวอย่าง และแคลเซียมซิเทรต 4 ตัวอย่าง โดยร้อยละผลผลิตของแคลเซียมอะซิเทตอยู่ในช่วง 83.98-87.05 และจากการคำนวณราคาต้นทุนพบว่าในช่วง 4.56-4.88 บาทต่อกิโลกรัม ร้อยละผลผลิตของแคลเซียมแลคเทตอยู่ในช่วง 89.86-93.49 และจากการคำนวณราคาต้นทุนพบว่าในช่วง 4.55-4.68 บาทต่อกิโลกรัม ร้อยละผลผลิตของแคลเซียมซิเทรตอยู่ในช่วง 84.49-89.69 และจากการคำนวณราคาต้นทุนพบว่าในช่วง 2.48-2.62 บาทต่อกิโลกรัม จะเห็นได้ว่าการวิธีการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมในการวิจัยนี้ เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่ายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ด้วยเทคนิคต่างๆ คือ ตรวจสอบปริมาณธาตุองค์ประกอบ ด้วยเทคนิคเอกซ์ฟูออเรสเซนต์ (XRF) พบว่าแคลเซียมอะซิเทตมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่วงร้อยละ 60.80-65.40, แคลเซียมแลคเทตมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่วงร้อยละ 21.20-69.50, แคลเซียมซิเทรตมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่วงร้อยละ 28.30-37.70 ตรวจสอบปริมาณน้ำในโครงผลึก ด้วยเทคนิควิเคราะห์สมบัติทางความร้อนเทอร์มัลกราวิเมทรี(TGA) เทคนิคTGA พบว่าสารประกอบแคลเซียมทั้ง 3ชนิด มีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 คือการระเหยน้ำออกจากสารประกอบแคลเซียม ช่วงที่ 2 คือช่วงการสลายตัวเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ช่วงที่ 3 คือช่วงการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ได้เป็นแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งบ่งบอกได้ว่าเป็นสารประกอบแคลเซียมทั้ง 3 วิเคราะห์เอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (FT-IR) พบว่าสเปกตราการสั่นทั้งหมดเป็นเอกลักษณ์ของแคลเซียมอะซิเทต, แคลเซียมแลคเทต และแคลเซียมซิเทรต และจากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ตำแหน่งหมุนเลี้ยวเบนเป็นเอกลักษณ์ของสารประกอบแคลเซียมทั้ง 3 ชนิด จากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของสารด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าสารตัวอย่างทั้ง 12 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามความเข้มข้นของกรดที่เข้าทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการส่งตรวจสารประกอบแคลเซียมเกรดการค้าด้วย เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติกับสารประกอบแคลเซียมที่ผลิตขึ้นได้ งานวิจัยนี้อาจเป็นแนวทางต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้ เนื่องจากใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ง่าย แต่ควรระวังการปนเปื้อนจากแหล่งที่มาของเปลือกหอย และภาชนะที่ใช้ควรเป็นพลาสติก เพื่อลดโอกาสการปนเปื้อนของสารประกอบแคลเซียมกับภาชนะ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

จิตรลดา ศรีตระกูล. 2560 "สถานการณ์การผลิตและการค้าสินค้าหอยสองฝาปี 2560." [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2562, สืบค้นจาก : https://www.fisheries.go.th

ปัตตะ ฮาแว, พนิตา สุมานะตระกูล, ชัยรัตน์ ศิริพัธนะ, และ นิติธร ชูศรี. 2558. "การสังเคราะห์อนุภาคนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครงด้วยเทคนิค การขยายตัวอย่างรวดเร็วของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต." *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ.* 18(2) : 31-45.

วิจิตรา แดงปรก และปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา. 2550. **โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียมจากเปลือกไข่**. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2561. **เปลือกหอย**. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: https://th.wikipedia.org.

สยามเคมี. ม.ป.ป. **แคลเซียมคาร์บอเนต/หินปูน**. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: https://www.siamchemi.com.

ตุลฮาบ หวังสุข. ม.ป.ป. **หอยเชลล์ (สแกลล็อป)**. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง สงขลา [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2562, สืบค้นจาก: http://www.nicaonline.com

สุภกร บุญยืน. 2558. "การสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอย." วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ศศิพันธุ ณ สงขลา, สุรพงษ พิมพจันทร, ชาญชัย อัศววินิจกุลชัย และ สมพร จองคำ. ม.ป.ป. "การวิเคราะห์ธาตุในเปลือกหอยโดยวิธีการวาวรังสีเอกซ์."

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.

Omari, M. Rashid,I.S. Qinnat, N.A. Jaber, A.M. Badwan, A.A. 2016. "Calcium Carbonate."

Souza, S. Araújo, E. Morais Santos, E. Silva, M. Martinez-Huitle, C. and Fernandes, N. 2013. "Determination of calcium in tablets containing calcium citrate using thermogravimetry (TG)." Braz. J. Therm. Anal. (2013) : 17 - 22

Sun, T. Meng, L. Yi, W. and Cheng, Q. 2012. "Method for producing calcium lactate by taking duck egg shell as raw material." Guangxi Institute of Technology.

Yiding, Y. Jingbo, L. and Songyi,L. 2013. "Optimized Preparation of Eggshells Calcium Citrate(ESCC) by PEF Technology and its Accumulation in Mice Bone." 2013 *4th*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International Conference on Food Engineering and Biotechnology. 2013(50) : 136-141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ก-1 การคำนวณเจือจางความเข้มข้นของกรด

1) กรดอะซิติก

-กรดอะซิติก เข้มข้น 40%

กรดอะซิติก 99 กรัม ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

ดังนั้น กรดอะซิติก 40 กรัม ในสารละลาย =(40×1000)/99 = 404.04 กรัมต่อลิตร

-กรดอะซิติก เข้มข้น 50%

กรดอะซิติก 99 กรัม ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

ดังนั้น กรดอะซิติก 50 กรัม ในสารละลาย =(50×1000)/99 = 505.05 กรัมต่อลิตร

-กรดอะซิติก เข้มข้น 60%

กรดอะซิติก 99 กรัม ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

ดังนั้น กรดอะซิติก 60 กรัม ในสารละลาย = 606.06 กรัมต่อลิตร

-กรดอะซิติก เข้มข้น 70%

กรดอะซิติก 99 กรัม ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

ดังนั้น กรดอะซิติก 70 กรัม ในสารละลาย =(70×1000)/99 =707.07 กรัมต่อลิตร

2.) กรดแลคติก

-กรดแลคติก เข้มข้น 40%

กรดแลคติก 88 กรัม ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

ดังนั้น กรดแลคติก 40 กรัม ในสารละลาย =(40×1000)/88 = 454.55 กรัมต่อลิตร

-กรดแลคติก เข้มข้น 50%

กรดแลคติก 88 กรัม ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

ดังนั้น กรดแลคติก 50 กรัม ในสารละลาย =(50×1000)/88 = 568.18 กรัมต่อลิตร

-กรดแลคติก เข้มข้น 60%

กรดแลคติก 88 กรัม ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

ดังนั้น กรดแลคติก 60 กรัม ในสารละลาย =(60×1000)/88 = 681.82 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-กรดแลคติก เข้มข้น 70%

กรดแลคติก 88 กรัม ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

ดังนั้น กรดแลคติก 70 กรัม ในสารละลาย =(70×1000)/88 = 795.46 กรัมต่อลิตร

3) กรดซิตริก

-กรดซิตริก เข้มข้น 40%

กรดซิตริก 99 กรัม ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

ดังนั้น กรดซิตริก40 กรัม ในสารละลาย =(40×1000)/99 = 404.04 กรัมต่อลิตร

-กรดซิตริก เข้มข้น 50%

กรดซิตริก 99 กรัม ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

ดังนั้น กรดซิตริก 50 กรัม ในสารละลาย =(50×1000)/99 = 505.05 กรัมต่อลิตร

-กรดซิตริก เข้มข้น 60%

กรดซิตริก 99 กรัม ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

ดังนั้น กรดซิตริก 60 กรัม ในสารละลาย =(60×1000)/99 = 606.06 กรัมต่อลิตร

-กรดซิตริก เข้มข้น 70%

กรดซิตริก 99 กรัม ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

ดังนั้น กรดซิตริก 70 กรัม ในสารละลาย =(70×1000)/99 = 707.07 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-2 การเตรียมสารประกอบแคลเซียม

1)แคลเซียมอะซิเทต

-แคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับกรดอะซิติก เข้มข้น 40%

(99×10)/(60.05 g/mol)×1.05 g/ml = 17.31 mol/ml

กรดอะซิติก เข้มข้น 99% ใช้ปริมาตร 17.31 mol/ml

กรดอะซิติก เข้มข้น 40% จะใช้ปริมาตร = 7 mol/ml

แคลเซียมคาร์บอเนต 1 โมล ใช้กรดอะซิติก 2 โมล

ดังนั้น ถ้าใช้ กรดอะซิติก 7 mol/ml จะใช้กรดอะซิติก 29 ml ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม

-แคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับกรดอะซิติก เข้มข้น 50%

(99×10)/(60.05 g/mol)×1.05 g/ml = 17.31 mol/ml

กรดอะซิติก เข้มข้น 99% ใช้ปริมาตร 17.31 mol/ml

กรดอะซิติก เข้มข้น 50% จะใช้ปริมาตร = 8.74 mol/ml

แคลเซียมคาร์บอเนต 1 โมล ใช้กรดอะซิติก 2 โมล

ดังนั้น ถ้าใช้กรดอะซิติก 8.74 mol/mlจะใช้กรดอะซิติก 24mlผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม

-แคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับกรดอะซิติก เข้มข้น 60%

(99×10)/(60.05 g/mol)×1.05 g/ml = 17.31 mol/ml

กรดอะซิติก เข้มข้น 99% ใช้ปริมาตร 17.31 mol/ml

กรดอะซิติก เข้มข้น 60% จะใช้ปริมาตร = 10.49 mol/ml

แคลเซียมคาร์บอเนต 1 โมล ใช้กรดอะซิติก 2 โมล

ดังนั้น ถ้าใช้กรดอะซิติก 10.49 mol/ml จะใช้กรดอะซิติก 19 ml ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-แคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับกรดอะซิติก เข้มข้น 70%

(99×10)/(60.05 g/mol)×1.05 g/ml = 17.31 mol/ml

กรดอะซิติก เข้มข้น 99% ใช้ปริมาตร 17.31 mol/ml

กรดอะซิติก เข้มข้น 70% จะใช้ปริมาตร = 12.24 mol/ml

แคลเซียมคาร์บอเนต 1 โมล ใช้กรดอะซิติก 2 โมล

ดังนั้น ถ้าใช้ กรดอะซิติก 12.24 mol/ml จะใช้กรดอะซิติก 16 ml ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม

2)แคลเซียมแลคเทต

-แคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับกรดแลคติก เข้มข้น 40%

(88×10)/(90.08 g/mol)×1.21 g/ml = 11.81 mol/ml

กรดแลคติก เข้มข้น 88% ใช้ปริมาตร 11.81 mol/ml

กรดแลคติก เข้มข้น 40% จะใช้ปริมาตร = 5.37 mol/ml

แคลเซียมคาร์บอเนต 1 โมล ใช้กรดแลคติก 2 โมล

ดังนั้น ถ้าใช้ กรดแลคติก 5.37 mol/ml จะใช้กรดแลคติก 37 ml ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม

-แคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับกรดแลคติก เข้มข้น 50%

(88×10)/(90.08 g/mol)×1.21 g/ml = 11.81 mol/ml

กรดแลคติก เข้มข้น 88% ใช้ปริมาตร 11.81 mol/ml

กรดแลคติก เข้มข้น 50% จะใช้ปริมาตร = 6.71 mol/ml

แคลเซียมคาร์บอเนต 1 โมล ใช้กรดแลคติก 2 โมล

ดังนั้น ถ้าใช้ กรดแลคติก 6.71 mol/ml จะใช้กรดแลคติก 30 ml ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-แคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับกรดแลคติก เข้มข้น 60%

$$(88 \times 10)/(90.08\ g/mol) \times 1.21\ g/ml = 11.81\ mol/ml$$

กรดแลคติก เข้มข้น 88% ใช้ปริมาตร 11.81 mol/ml

กรดแลคติก เข้มข้น 60% จะใช้ปริมาตร = 8.05 mol/ml

แคลเซียมคาร์บอเนต 1 โมล ใช้กรดแลคติก 2 โมล

ดังนั้น ถ้าใช้ กรดแลคติก 8.05 mol/ml จะใช้กรดแลคติก 25 ml ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม

-แคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับกรดแลคติก เข้มข้น 70%

$$(88 \times 10)/(90.08\ g/mol) \times 1.21\ g/ml = 11.81\ mol/ml$$

กรดแลคติก เข้มข้น 88% ใช้ปริมาตร 11.81 mol/ml

กรดแลคติก เข้มข้น 70% จะใช้ปริมาตร = 9.39 mol/ml

แคลเซียมคาร์บอเนต 1 โมล ใช้กรดแลคติก 2 โมล

ดังนั้น ถ้าใช้ กรดแลคติก 9.39 mol/ml จะใช้กรดแลคติก 21 ml ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม

3)แคลเซียมซิเทรต

-แคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับกรดซิตริก เข้มข้น 40%

$$(99 \times 10)/(192.12\ g/mol) \times 1.67\ g/ml = 8.58\ mol/ml$$

กรดซิตริก เข้มข้น 99% ใช้ปริมาตร 8.58 mol/ml

กรดซิตริก เข้มข้น 40% จะใช้ปริมาตร = 3.47 mol/ml

แคลเซียมคาร์บอเนต 1 โมล ใช้กรดซิตริก 2 โมล

ดังนั้น ถ้าใช้ กรดซิตริก 3.47 mol/ml จะใช้กรดซิตริก 19 ml ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-แคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับกรดซิตริก เข้มข้น 50%

(99×10)/(192.12 g/mol)×1.67 g/ml = 8.58 mol/ml

กรดซิตริก เข้มข้น 99% ใช้ปริมาตร 8.58 mol/ml

กรดซิตริก เข้มข้น 50% จะใช้ปริมาตร = 4.33 mol/ml

แคลเซียมคาร์บอเนต 1 โมล ใช้กรดซิตริก 2 โมล

ดังนั้น ถ้าใช้ กรดซิตริก 4.33 mol/ml จะใช้กรดซิตริก 16 ml ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม

-แคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับกรดซิตริก เข้มข้น 60%

(99×10)/(192.12 g/mol)×1.67 g/ml = 8.58 mol/ml

กรดซิตริก เข้มข้น 99% ใช้ปริมาตร 8.58 mol/ml

กรดซิตริก เข้มข้น 60% จะใช้ปริมาตร = 5.20 mol/ml

แคลเซียมคาร์บอเนต 1 โมล ใช้กรดซิตริก 2 โมล

ดังนั้น ถ้าใช้ กรดซิตริก 5.20 mol/ml จะใช้กรดซิตริก 13 ml ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม

-แคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับกรดซิตริก เข้มข้น 70%

(99×10)/(192.12 g/mol)×1.67 g/ml = 8.58 mol/ml

กรดซิตริก เข้มข้น 99% ใช้ปริมาตร 8.58 mol/ml

กรดซิตริก เข้มข้น 70% จะใช้ปริมาตร = 6.07 mol/ml

แคลเซียมคาร์บอเนต 1 โมล ใช้กรดซิตริก 2 โมล

ดังนั้น ถ้าใช้ กรดซิตริก 6.07 mol/ml จะใช้กรดซิตริก 11 ml ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-3 ราคาต้นทุน

กรดอะซิติก 99% ราคา 40บาท/กิโลกรัม

-กรดอะซิติกเข้มข้น 40% ใช้กรดอะซิติกเข้มข้น 99% จำนวน 404 กรัม

ดังนั้น = 404กรัม*40บาท/1000 = 16.16 บาท

-กรดอะซิติกเข้มข้น 50% ใช้กรดอะซิติกเข้มข้น 99% จำนวน 505 กรัม

ดังนั้น = 505กรัม*40บาท/1000 = 20.20 บาท

-กรดอะซิติกเข้มข้น 60% ใช้กรดอะซิติกเข้มข้น 99% จำนวน 606 กรัม

ดังนั้น = 606กรัม*40บาท/1000 = 24.24 บาท

-กรดอะซิติกเข้มข้น 70% ใช้กรดอะซิติกเข้มข้น 99% จำนวน 707 กรัม

ดังนั้น = 707กรัม*40บาท/1000 = 28.28 บาท

กรดแลคติก 88% ราคา 27บาท/กิโลกรัม

-กรดแลคติกเข้มข้น 40% ใช้กรดแลคติกเข้มข้น 88% จำนวน 465 กรัม

ดังนั้น = 465กรัม*27บาท/1000 = 12.56 บาท

-กรดแลคติกเข้มข้น 50% ใช้กรดแลคติกเข้มข้น 88% จำนวน 568 กรัม

ดังนั้น = 568กรัม*27บาท/1000 = 15.34 บาท

-กรดแลคติกเข้มข้น 60% ใช้กรดแลคติกเข้มข้น 88% จำนวน 682 กิโลกรัม

ดังนั้น = 682กรัม*27บาท/1000 = 18.41 บาท

-กรดแลคติกเข้มข้น 70% ใช้กรดแลคติกเข้มข้น 88% จำนวน 796 กรัม

ดังนั้น = 796กรัม*27บาท/1000 = 21.50 บาท

กรดซิตริก 99% ราคา 32บาท/กิโลกรัม

-กรดซิตริกเข้มข้น 40% ใช้กรดซิตริกเข้มข้น 99% จำนวน 404กรัม

ดังนั้น = 404กรัม*32บาท/1000 = 12.90 บาท

-กรดซิตริกเข้มข้น 50% ใช้กรดซิตริกเข้มข้น 99% จำนวน 505กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น = 505กรัม*32บาท/1000 = 16.16 บาท

-กรดซิตริกเข้มข้น 60% ใช้กรดซิตริกเข้มข้น 99% จำนวน 606กรัม

ดังนั้น = 606กรัม*32บาท/1000 = 19.40 บาท

-กรดซิตริกเข้มข้น 70% ใช้กรดซิตริกเข้มข้น 99% จำนวน 707กรัม

ดังนั้น = 707กรัม*32บาท/1000 = 22.62 บาท

แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ราคา 3บาท/กิโลกรัม

ใช้แคลเซียม 10 กรัม จะเท่ากับ 10*3/1000 = 0.03 บาท

ราคาต้นทุน CaAC-40 = (29.00*16.16)/100 +0.03 = 4.72 บาท/กิโลกรัม

ราคาต้นทุน CaAC-50 = (24.00*20.20)/100 +0.03 = 4.88 บาท/กิโลกรัม

ราคาต้นทุน CaAC-60 = (19.00*24.24)/100 +0.03 = 4.64 บาท/กิโลกรัม

ราคาต้นทุน CaAC-70 = (16.00*28.28)/100 +0.03 = 4.56 บาท/กิโลกรัม

ราคาต้นทุน CaLT-40 = (37.00*12.56)/100 +0.03 = 4.68 บาท/กิโลกรัม

ราคาต้นทุน CaLT-50 = (30.00*15.34)/100 +0.03 = 4.63 บาท/กิโลกรัม

ราคาต้นทุน CaLT-60 = (25.00*18.41)/100 +0.03 = 4.63 บาท/กิโลกรัม

ราคาต้นทุน CaLT-70 = (21.00*21.50)/100 +0.03 = 4.55 บาท/กิโลกรัม

ราคาต้นทุน CaCT-40 = (19.00*12.90)/100 +0.03 = 2.48 บาท/กิโลกรัม

ราคาต้นทุน CaCT-50 = (16.00*16.16)/100 +0.03 = 2.62 บาท/กิโลกรัม

ราคาต้นทุน CaCT-60 = (13.00*19.40)/100 +0.03 = 2.55 บาท/กิโลกรัม

ราคาต้นทุน CaCT-70 = (11.00*22.62)/100 +0.03 = 2.52 บาท/กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้