รีไซเคิลเปลือกไข่ที่เหลือทิ้งให้เป็นแคลเซียมอินทรีย์อนุภาคนาโน โดยกระบวนการที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

RECYCLE WASTE EGGSHELLS TO ORGANIC CALCIUM NANO PARTICLE BY A PROCESS THAT REDUCES GREENHOUSE GAS EMISSIONS

กัญญาวีร์ ยีวันโซ๊ะ

จุฑาทิพ เพ็ญจวัฒนะ

ธนภรณ์ รุ้งสุวรรณ

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RECYCLE WASTE EGGSHELLS TO ORGANIC CALCIUM NANO PARTICLE BY A PROCESS THAT REDUCES GREENHOUSE GAS EMISSIONS

KANYAWEE YEEWANSOH
JUTATIP PENJAWATTANA
TANAPORN ROUNGSUWAN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG ACADEMIC YEAR 2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	รีไซเคิลเปลือกไข่ที่เหลือทิ้งให้เป็นแคลเซียมอินทรีย์อนุภาคนาโน โดยกระบวนการที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกัญญาวีร์ ยีวันโซ๊ะ รหัสนักศึกษา 63050307 นางสาวจุฑาทิพ เพ็ญจวัฒนะ รหัสนักศึกษา 63050312 นางสาวธนภรณ์ รุ้งสุวรรณ รหัสนักศึกษา 63050323
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต เคมีสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2566
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร บรรจง บุญชม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2566

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ภิเษก รุ่งโรจน์ชัยพร ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการ	
รศ.ดร.บรรจง บุญชม กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ รีไซเคิลเปลือกไข่ที่เหลือทิ้งให้เป็นแคลเซียมอินทรีย์อนุภาคนาโน โดยกระบวนการที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ชื่อนักศึกษา นางสาวกัญญาวีร์ ยีวันโซ๊ะ รหัสนักศึกษา 63050307
นางสาวจุฑาทิพ เพ็ญจวัฒนะ รหัสนักศึกษา 63050312
นางสาวธนภรณ์ รุ้งสุวรรณ รหัสนักศึกษา 63050323

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต เคมีสิ่งแวดล้อม

ภาควิชา เคมี

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา 2566

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร บรรจง บุญชม

บทคัดย่อ

ขยะจากเปลือกไข่ไก่เป็นผลพลอยได้สำคัญจากอาหารและอุตสาหกรรมและชุมชนจากมุมมองของปัญหาสิ่งแวดล้อมการจัดการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และด้านความประหยัดเป็นที่ต้องการอย่างมากในการแปลงสิ่งตกค้างเหล่านี้ให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมูลค่าสูงสำหรับใช้งานในอุตสาหกรรมในโครงงานพิเศษนี้ขยะจากเปลือกไข่จะถูกทำความสะอาดและบดเป็นผงละเอียดส่วนหนึ่งนำไปเผาเพื่อความบริสุทธิ์ และใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียม สารประกอบแคลเซียมอินทรีย์ทั้งสามประเภท แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมซิเตรท และแคลเซียมแลคเตท ถูกเตรียมขึ้นด้วยปฏิกิริยาง่ายรวดเร็วต้นทุนต่ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกไข่และความเข้มข้นที่เหมาะสมของกรดอะซิติก กรดแลคติก และกรดซิตริก ตามลำดับ สารประกอบแคลเซียมอินทรีย์ที่ผลิตได้ จะถูกตรวจด้วยเทคนิค TGA FTIR XRD XRF และ FE-SEM การวิเคราะห์ทางเคมียืนยันความบริสุทธิ์ของสารประกอบแคลเซียมอินทรีย์ที่ผลิตได้ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

คำสำคัญ : แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมออกไซด์ แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท แคลเซียมซิเตรท และเปลือกไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title Recycle waste eggshells to organic calcium nano particle
By a process that reduces greenhouse gas emissions
Students. Miss Kanyawee Yeewansoh Student ID 63050307
Miss Jutatip Penjawattana Student ID 63050312
Miss Tanaporn Roungsuwan Student ID 63050323
Degree Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department Chemistry
School Science
University King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year 2023
Advisor Assoc. Prof. Dr.Banjong Boonchom

Abstract

Eggshell waste is a significant byproduct derived from food, industry, and community sources. The management of this waste from an environmental perspective, as well as its potential for high-value product conversion, is of great interest. In this special project, eggshell waste is cleaned and finely ground into a powder, which is then used as a precursor for the preparation of three types of organic calcium compounds: calcium acetate, calcium lactate and calcium citrate. These compounds are prepared using simple and cost-effective reactions that are environmentally friendly. The purity of the produced organic calcium compounds is confirmed through various chemical analysis techniques, including TGA, FTIR, XRD, XRF, and FE-SEM. The utilization of these organic calcium compounds can lead to added value in industrial applications. The obtained results provide a promising approach for the future utilization and benefit of eggshell waste.

Keywords: Calcium Carbonate ,Calcium oxide, Calcium acetate, Calcium Lactate , Calcium citrate and egg shell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีอันเนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกๆท่านขอขอบพระคุณ รศ.ดร.บรรจง บุญชม ที่คอยชี้แนะส่งเสริมแนวทางและคอยให้คำปรึกษาในการทำโครงงานพิเศษและนอกจากนี้ ยังให้กำลังใจและดูแลเป็นอย่างดี ทำให้โครงงานพิเศษนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ภิเษก รุ่งโรจน์ชัยพร และ ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ที่เข้าร่วมเป็นคณะกรรมการสอบ โครงงานพิเศษนี้เค้าทำให้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขโครงงานพิเศษให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวกในการทำโครงงานพิเศษให้ลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อนเพื่อนน้องน้องสาขาเคมีสิ่งแวดล้อมทางวิทยาศาสตร์ทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆตลอดการทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการสาขาวิชาเคมีที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำในการจัดการด้าน การเงินทำให้โครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และคนในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจเป็นแรงผลักดัน แรงบันดาลใจ และคอยสนับสนุนทางด้านการศึกษามาตลอดทำให้กลุ่มของผู้จัดทำสามารถทำโครงการฉบับนี้ประสบความสำเร็จ

กัญญาวีร์ ยีวันโซ๊ะ
จุฑาทิพ เพ็ญจวัฒนะ
ธนภรณ์ รุ้งสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ก
Abstract ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฌ
คำศัพท์เฉพาะ ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 3
1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5
2.1.1 แคลเซียมอะซิเตท 5
2.1.2 แคลเซียมแลคเตท 6
2.1.3 แคลเซียมซิเตรท 8
2.1.4 แคลเซียมคาร์บอเนต 9
2.2 เปลือกไข่ 9
2.3 ก๊าซเรือนกระจก 10
2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHGs Emission Factor: EF) 10
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมสารประกอบแคลเซียมทั้ง 3 ชนิด 11
บทที่3 วิธีการดำเนินงานวิจัย
3.1 สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือ 13
3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ 13
3.1.2 สารเคมี 13
3.2 การเตรียมสารตั้งต้น 14
3.2.1 การเตรียมแคลเซียมจากเปลือกไข่ไก่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.1.1 การเตรียมสารละลายกรดให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม 14
3.2.2 การสังเคราะห์สารแคลเซียม 3 ชนิด 15
3.2.2.1 การเตรียมแคลเซียมอะซิเตท 15
3.2.2.2 การเตรียมแคลเซียมแลคเตท 15
3.2.2.3 การเตรียมแคลเซียมซิเตรท 16
3.3 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางเคมีด้วยเทคนิคต่างๆ 18
3.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (XRF) 18
3.3.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน เอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะ ภายในโมเลกุล (FTIR) 18
3.3.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยโมเลกุลสมบัติ ทางความร้อน (TGA) 19
3.3.4 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้าง (XRD) 19
3.3.5 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา (FE-SEM) 19

บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 ร้อยละผลผลิต 21
4.2 วิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบ 21
4.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (XRF) 21
4.2.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน เอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะ ภายในโมเลกุล (FTIR) 23
4.2.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยโมเลกุลสมบัติ ทางความร้อน (TGA) 28
4.2.4 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้าง (XRD) 32
4.3 เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ทางกายภาพ 35
4.3.1 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา (FE-SEM) 34
4.4 ประเมินค่าการปลดปล่อย carbon emissions 39
4.4.1 ค่าการปลดปล่อย carbon emissions $CaCO_3$ ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่ 39
4.4.2 ค่าการปลดปล่อย carbon emissions CaO จากการทดลอง 40
4.4.3 ค่าการปลดปล่อย carbon emissions ของสารละลายกรดที่ใช้ 40
4.4.4 ค่าการปลดปล่อย carbon emissions จากขั้นตอนการทดลองผลิต $CaCO_3$ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 ค่าการปลดปล่อย carbon emissions จากขั้นตอนการทดลองผลิต CaO..... 41
4.4.6 ค่าการปลดปล่อย carbon emissions จากขั้นตอนการทดลองผลิตแร่หิน..... 41

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย..... 42
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 42
เอกสารอ้างอิง..... 44
ภาคผนวก..... 45
ภาคผนวก ก..... 46
ภาคผนวก ข..... 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 3.1 ชื่อย่อ 17
ตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นร้อยละผลผลิตสารตั้งต้นที่ได้จากแคลเซียมคาร์บอเนต
และแคลเซียมออกไซด์ 21
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่างทั้ง 8 ตัว 22
ตารางที่ 4.3 ระบุพีคที่พบจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์
การดูดกลืนแสงรังสีอินฟาเรด 27
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor)
ที่นำมาใช้ในการคำนวณ 39
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการปลดปล่อย carbon emissions
จากประเมินกระบวนการทั้งหมด 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 2.1 โครงสร้างแคลเซียมอะซิเตท (Calcium acetate).....5
รูปที่ 2.2 โครงสร้างแคลเซียมแลคเตท (Calcium lactate).....6
รูปที่ 2.3 โครงสร้างแคลเซียมซิเตรท (Calcium citrate) 8
รูปที่ 2.4 โครงสร้างแคลเซียมคาร์บอเนต.....9
รูปที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ 9
รูปที่ 3.1 แคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์ 13
รูปที่ 4.1 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสง
รังสีอินฟาเรดช่วง 4000-500 cm^{-1} ของ R-CO , R-CC 22
รูปที่ 4.2 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสง
รังสีอินฟาเรดช่วง 4000-500 cm^{-1} ของ CO-AC , CC-AC 23
รูปที่ 4.3 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสง
รังสีอินฟาเรดช่วง 4000-500 cm^{-1} ของ CO-LT , CC-LT 24
รูปที่ 4.4 พันธะในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสง
รังสีอินฟาเรดช่วง 4000-500 cm^{-1} ของ CO-CT , CC-CT 25
รูปที่ 4.5 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ R-CC 27
รูปที่ 4.6 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CC-AC,CO-AC 28
รูปที่ 4.7 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CC-LT,CO-LT 29
รูปที่ 4.8 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CC-CT,CO-CT 30
รูปที่ 4.9 แสดงการเลี้ยวเบนของผลิตภัณฑ์ CC-AC,CO-AC ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่
และ calcium ethanoate hydrate ที่เป็นสารมาตรฐานเพื่อเทียบกับ
ผลิตภัณฑ์ที่ได้ 31
รูปที่ 4.10 แสดงการเลี้ยวเบนของผลิตภัณฑ์ CC-LT,CO-LT ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่และcalcium
2-hydroxypropanoate pentahydrate ที่เป็นสารมาตรฐานเทียบกับ
ผลิตภัณฑ์ที่ได้ 32
รูปที่ 4.11 แสดงการเลี้ยวเบนของผลิตภัณฑ์ CC-CT,CO-CT ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่
และ calcium 2-hydroxypropane-1,2,3-tricarboxylate ที่เป็นสารมาตรฐานเพื่อเทียบ
กับผลิตภัณฑ์ที่ได้..... 33
รูปที่ 4.12 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด)
(FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ R-CC 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 4.13 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ R-CO 34
รูปที่ 4.14 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CC-AC 35
รูปที่ 4.15 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CO-AC 35
รูปที่ 4.16 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CC-LT 36
รูปที่ 4.17 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CO-LT 36
รูปที่ 4.18 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CC-CT 37
รูปที่ 4.19 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CO-CT 37
รูปที่ ก-1 เดินทางไปรับเปลือกไข่ 5 กก. จากร้านปูกะเอ จังหวัดฉะเชิงเทรา 46
รูปที่ ก-2 นำเปลือไข่ไก่ มาทำความสะอาดโดยการแช่ Sodium hypochlorite 3% และล้างออกด้วยน้ำสะอาด 46
รูปที่ ก-3 นำเปลือกไข่ไก่บดด้วยเครื่องบด 47
รูปที่ ก-4 ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช 47
รูปที่ ก-5 เติมเอทานอล 99.9% 10 มล. จากนั้น เติมกรดที่แตกต่างกันในแต่ละบีกเกอร์ 1.เติมกรดอะซิติก 2.กรดซิตริก 3.กรดแลคติกคนให้ผสมกันด้วย hotplate stirrer ความเร็ว 150 รอบต่อนาที จน ทำปฏิกิริยากันจนหมด 48
รูปที่ ก-6 นำบีกเกอร์ที่ตัวอย่างทำปฏิกิริยาเรียบร้อยแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 80°C 24 ชั่วโมง.....48
รูปที่ ก-7 นำไปบดให้ละเอียดด้วยโกร่งบดยา 49
รูปที่ ก-8 จะได้แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท แคลเซียมซิเตรท ที่มาจากแคลเซียมคาร์บอเนต แบ่งใส่ถุงซิปล็อคดังรูป เพื่อส่งวิเคราะห์ 49
รูปที่ ก-9 ในส่วนที่สองนำ แคลเซียมคาร์บอเนตไปเผาให้ได้แคลเซียมออกไซด์ 50
รูปที่ ก-10 เติมเอทานอล 99.9% 30 มล. จากนั้น เติมกรดที่แตกต่างกันในแต่ละบีกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.เติมกรดอะซิติก 2.กรดซิตริก 3.กรดแลคติกคนให้ผสมกันด้วย hotplate stirrer ความเร็ว 150 รอบต่อนาที จนทำปฏิกิริยากันจนหมดนำไปบดให้ละเอียดด้วยโกร่งบดยา 50
รูปที่ ก-11 นำไปกรอง และล้างด้วยเอทานอล 99% 20 มล. 3 รอบ บนเครื่องกรองสุญญากาศ 51
รูปที่ ก-12 อบให้แห้งแล้วนำไปบดด้วยโกร่งบดยาให้ละเอียด 51
รูปที่ ก-13 แบ่งใส่ถุงซิปล็อคเพื่อส่งวิเคราะห์ 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง คำศัพท์เฉพาะ

คำศัพท์	นิยาม
XRF	X-ray fluorescence เทคนิคการตรวจสอบองค์ประกอบธาตุ
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectrometer เทคนิคการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน เอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุล
TGA	Thermogravimetric Analysis เทคนิควิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อนหรือการสลายตัวทางความร้อน
XRD	X-ray diffractometer เทคนิคการตรวจสอบโครงสร้างและขนาดของผลึก
FE-SEM	Field Emission Scanning Electron Microscope ตรวจสอบสัญฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

โครงการวิจัยเรื่อง “การรีไซเคิลเปลือกไข่ที่เหลือทิ้งให้เป็นแคลเซียมอินทรีย์อนุภาคนาโน โดยกระบวนการที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก” ได้เกิดขึ้นมาจากเปลือกไข่ ที่เกิดจากอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร เหลือทิ้งในปริมาณมหาศาลสะสมทุกๆปี หลายแสนตัน นำมาซึ่งการตั้งสมมุติฐานและออกแบบการดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยคาดหวังว่าการนำเปลือกไข่ที่กลายเป็นขยะเหล่านั้นจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ และเพิ่มมูลค่าด้วยหลักการว่าเปลือกไข่ มีองค์ประกอบเคมีหลักๆ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) หรือหินปูน ซึ่งมักถูกใช้เป็นสารตั้งต้นราคาถูกในภาคอุตสาหกรรมในการนำไปใช้ผลิตสารประกอบแคลเซียมรูปอื่นๆ ที่มีราคาสูงกว่า และมีการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมที่เฉพาะเจาะจงเพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้พวกเราสนใจจะศึกษา โดยในบทนี้จะอธิบายรายละเอียดต่างๆ ประกอบด้วย ที่มาและความสำคัญของโครงงาน วัตถุประสงค์ ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ดังต่อไปนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อาหารเป็นปัจจัยหลักในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ประชากรทุกคนในโลกบริโภคอาหารที่หลากหลายตามวัฒนธรรมของตนเอง ซึ่งอาหารเหล่านั้นล้วนแต่เกิดมาจากวัตถุดิบที่หลากหลาย เช่น ไข่ไก่ คนทั่วโลกบริโภคไข่ในปริมาณมากต่อปี ซึ่งไข่สามารถนำมาแปรรูปและประกอบอาหารได้หลากหลาย เช่น เค้ก ขนมปัง เป็นต้น ทั้งหมดนี้ล้วนแต่เป็นอาหารที่แปรรูปมาจากไข่ทั้งสิ้น ไข่เป็นอาหารที่มีประโยชน์ ซึ่งการที่ผู้คนบริโภคไข่เป็นจำนวนมากส่งผลให้มีเปลือกไข่เหลือทิ้งจำนวนมากด้วยเช่นกัน โดยภายในเปลือกไข่หนึ่งใบประกอบด้วยสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) หรือหินปูน

การเพิ่มขึ้นของเกษตรกรเลี้ยงไก่ และการนำไข่ไก่ไปใช้ในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ อุตสาหกรรมแปรรูป และร้านอาหาร ก่อให้เกิดขยะเปลือกไข่ไก่จำนวนมหาศาล มูลค่าตลาดเบเกอรี่อยู่ที่ 30,000 ล้านบาท จากสถิติเกษตรการเลี้ยงไก่ไข่ ปี 2565 พบว่ามีเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่ไข่ 151,325 ราย จำนวนไก่ไข่ 66,986,334 ตัว โดยมีการรวบรวมเป็นสถิติรายปีพบว่า เรามีขยะเปลือกไข่ราว 250,000 ตัน/ปี และมักใช้การฝังกลบในการกำจัดขยะ ซึ่งต้องนำไปฝังรวมกับขยะอื่นๆ โดยปกติแล้วจะถูกทิ้งโดยการฝังกลบซึ่งเป็นการทิ้งอย่างไม่เหมาะสม ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมร้ายแรงทั้งทางน้ำ ดิน และอากาศ ส่งผลให้ระบบนิเวศน์เสียหาย โดยเฉพาะในประเทศไทย เมื่อเวลาผ่านไปการสลายตัวของจุลินทรีย์ปรากฏขึ้น และก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกจำนวนมากอย่างต่อเนื่อง (CO_2 , NO_x, NH_3 และ H_2S) โดยพื้นที่ 1 ตร.ม. ฝังเปลือกไข่ได้ประมาณ 2,000 ฟอง และใช้ระยะเวลา 20

เอกสารนี้ [illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันเพื่อย่อยสลาย ปัญหาร้ายแรงที่น่ากังวลในปัจจุบันของเสียจากเปลือกไข่ไก่เป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญที่ต้องแก้ไข และวิธีการที่ดีที่สุดในการแก้ไขปัญหานี้คือ การรีไซเคิลเนื่องจากการรีไซเคิลสามารถลดปริมาณของเสียและเพิ่มวัสดุที่มีคุณค่า ซึ่งในส่วนของเปลือกไข่ไก่นั้นมีแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) อยู่ประมาณ ร้อยละ 96.20 แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่พบในเปลือกโลกประมาณ 5.4% โดยมวล พบอยู่ในรูปของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ที่เป็น องค์ประกอบของหินปูน หินงอก หินย้อย เปลือกหอย เปลือกไข่

โดยปกติแล้ว $CaCO_3$ เกิดขึ้นตามธรรมชาติจาก 2 แหล่ง คือ แหล่งธรรมชาติที่ไม่มีชีวิต (หินปูน หินคาร์บอเนต และแร่) และแหล่งที่มีชีวิต (เปลือกไข่และเปลือกอื่นๆ) $CaCO_3$ ที่ได้จากสิ่งไม่มีชีวิตมีปริมาณที่จำกัด และไม่สามารถหมุนเวียนได้ นอกจากนี้ กระบวนการผลิตผง $CaCO_3$ รายงานการปล่อย CO_2 โดย IPCC.2006 พบว่าประมาณ 0.0366 kg CO_2e/ kg $CaCO_3$ ที่ถูกผลิตจากเปลือกไข่ไก่ที่ได้จากแหล่งมีชีวิตเกิดขึ้นทุกวันโดยสะสมปริมาณมหาศาล ซึ่งมีปริมาณมากและหมุนเวียนได้ไม่จำกัด การใช้ $CaCO_3$ จากสิ่งมีชีวิตทดแทนสิ่งไม่มีชีวิตจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การกำจัดเศษเปลือกไข่ และการลดปริมาณใช้จากแหล่งแร่แคลเซียม ส่งผลดีต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จนถึงขณะนี้ผง $CaCO_3$ ที่ผ่านการเปลี่ยนรูปจากเปลือกไข่ไก่ได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ตัวอย่างเช่น มีการใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก เป็นส่วนประกอบสำคัญในกระดาษ สีและสารเคลือบ ยาง กาว มักถูกเติมลงในพลาสติกเพื่อลดต้นทุนการผลิต เนื่องจาก $CaCO_3$ มีต้นทุนต่ำและมีปริมาณมาก จึงกลายเป็นหนึ่งใน additive สำหรับพลาสติกที่ได้รับความนิยมมากที่สุด นอกจากนี้ยังใช้เป็นสิ่งทดแทนหินปูนสำหรับมวลรวมคอนกรีตและวัสดุทดแทน เป็นส่วนผสมของทราย ปูนซีเมนต์ และปูนเม็ด อย่างไรก็ตาม $CaCO_3$ เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมสารประกอบขั้นสูงอื่นๆ เช่น แคลเซียมอะซิเตท ($Ca(CH_3COO)_2$) แคลเซียมแลคเตท ($C_6H_{10}CaO_6$) แคลเซียมซิเตรท ($Ca_3(C_6H_5O_7)_2$)

ปัจจุบันมีการกระจายตัวของร้านเบเกอรี่อย่างแพร่หลาย ซึ่งไข่ไก่เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการทำเบเกอรี่ และทำให้มีเปลือกไข่ไก่เหลือทิ้งจำนวนมากเช่น ร้านปูกะเอ ในจังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นหนึ่งปัจจัยที่ทำให้จำนวนของขยะเปลือกไข่มากขึ้น เพราะทางร้านปูกะเอใช้ไข่ไก่ปริมาณหลายกิโลกรัมต่อวัน การกำจัดเปลือกไข่ของร้านปูกะเอนั้นจะมีผู้รับซื้อเปลือกไข่ไก่จำนวนมากนี้ไปทำการกำจัดทิ้ง ซึ่งวิธีการกำจัดที่ง่ายที่สุดคือการฝังกลบ โดยการฝังกลบนั้นส่งผลให้เกิดก๊าซเรือนกระจกจำนวนมากอย่างต่อเนื่อง (CO_2 , NO_x , NH_3 และ H_2S) จึงเป็นวิธีที่ไม่ส่งผลดีต่อโลกใบนี้

จากที่กล่าวมาข้างต้นทางเราจึงได้สนใจที่จะนำเปลือกไข่เหลือทิ้งของร้านปูกะเอ มาทำการแปรรูปให้เป็น $CaCO_3$ เพื่อเปลี่ยนเป็น แคลเซียมอะซิเตท ($Ca(CH_3COO)_2$) แคลเซียมแลคเตท ($C_6H_{10}CaO_6$) แคลเซียมซิเตรท ($Ca_3(C_6H_5O_7)_2$) ซึ่งประโยชน์ของแคลเซียมเหล่านี้คือ มีการใช้เกลือแคลเซียมในอุตสาหกรรมรมอาหาร เช่น เบเกอรี่ ขนมปัง เครื่องดื่ม อาหารแช่แข็ง อาหารกระป๋อง ผักและผลไม้ ฯลฯ โดยบทบาทของเกลือแคลเซียม คือ ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) โดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา

เพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส (texture properties) ของผักและผลไม้ ทำหน้าที่เป็น firming agent สารกันบูด (Preservatives) ตัวควบคุมความเป็นกรดด่าง (Acidity/Basicity regulators) สารต้านการแข็งตัว (Anticaking agents) สารต้านการเกิดโฟม (Antifoaming agents) ลดและป้องกันการเกิดฟองในอาหาร สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) สารเติมเพิ่มปริมาณ (Bulking agents) สารเพิ่มความชื้น (Humectants) ป้องกันอาหารจากการทำให้แห้ง สารรักษาความเสถียร (Stabilizers) สารที่เพิ่มความหนืด (thickeners) และสารที่เป็นเจล (Gelling agents) เหมือนวุ้นหรือ เพคติน (ที่ใช้ในแยม) เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสังเคราะห์สารแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมออกไซด์ แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท และแคลเซียมซิเตรท จากเปลือกไข่ไก่

2. เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมออกไซด์ แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท และแคลเซียมซิเตรท

3. เพื่อประเมินและคำนวนค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรรมวิธีการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมออกไซด์ แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท และแคลเซียมซิเตรท

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1. วัตถุดิบที่นำมาศึกษาคือ เปลือกไข่ไก่เหลือทิ้ง จากร้านปูกะเอ จังหวัดฉะเชิงเทรา

2. ศึกษาเอกลักษณ์ทางเคมี โดยการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ เอกซ์เรย์ดิฟเฟรคชัน (XRD Technique), การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน เอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุล (FTIR spectroscopy), การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุแคลเซียมด้วยเทคนิค (XRF Technique), เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุแคลเซียม การวิเคราะห์เชิงความร้อน (TGA), เพื่อวิเคราะห์ปริมาณอะซิเทต แลคเทต และซิเทรต ไอออน ที่สูญหายในโครงสร้าง และการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM)

3. ประเมินค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ แคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้มาจากการสังเคราะห์เปลือกไข่ไก่เปรียบเทียบกับค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ แคลเซียมคาร์บอเนตที่มาจากเหมืองแร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ผลิตภัณฑ์แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมออกไซด์ แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท และแคลเซียมซิเตรท จากเปลือกไข่ไก่

2. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าต่อไป

3. ทราบค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแคลเซียมคาร์บอเนตที่สังเคราะห์ได้มาจากเปลือกไข่ไก่ และแคลเซียมจากกรดทั้งสามตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

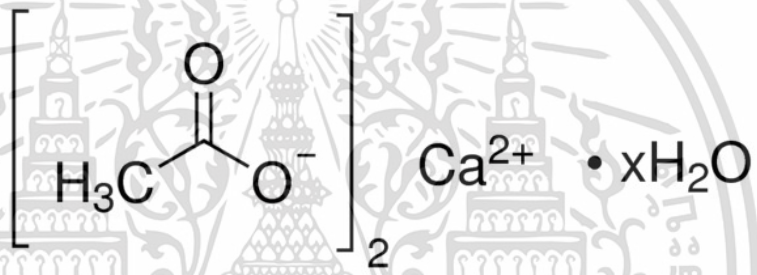
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย เรื่อง การรีไซเคิลเปลือกไข่ที่เหลือทิ้งให้เป็นแคลเซียมอินทรีย์อนุภาคนาโน โดยกระบวนการที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมุ่งไปที่เทคนิคการสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียม 3 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท แคลเซียมซิเตรท ทั้งจากงานวิจัยต่างๆ และข้อมูลเบื้องต้นของวัตถุดิบที่ใช้เป็นแหล่งสารตั้งต้นแคลเซียม คือ เปลือกไข่ไก่ โดยสรุปรายละเอียดที่น่าสนใจดังนี้

แคลเซียมอะซิเตท (Calcium acetate)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างแคลเซียมอะซิเตท (Calcium acetate)

เป็นสารประกอบทางเคมีที่มีสูตร ($Ca(CH_3COO)_2$) เป็นเกลือแคลเซียมของกรดอะซิติกอยู่ในรูปปราศจากน้ำจะไม่เสถียร มักจะทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศเกิดเป็น Calcium acetate monohydrate $Ca(CH_3COO)_2 \cdot H_2O$ แคลเซียมอะซิเตทมักใช้เป็นสารเติมแต่งอาหารโดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์นมบางชนิด นอกจากนี้ยังใช้ในวงการแพทย์เป็นยาควบคุมระดับฟอสเฟตในเลือดของผู้ป่วยโรคไต อีกทั้งแคลเซียมอะซิเตทยังใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ในการผลิตสิ่งทอ

การผลิตแคลเซียมอะซิเทต มีสารตั้งต้น 2 ชนิด คือ กรดอะซิติก และสารประกอบที่เป็นแหล่งของแคลเซียม ที่หาง่ายและมีราคาถูก เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ราคาถูกด้วย ซึ่งมักจะใช้เป็น แคลเซียมคาร์บอเนต ที่ได้มาจาก หินปูน หินอ่อน เปลือกไข่ และแคลเซียมออกไซด์

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

$$CaO(s) + 2CH_3COOH(aq) \longrightarrow Ca(CH_3COO)_2(aq) + H_2O(s)$$

ปัจจัยเรื่องความเข้มข้นของกรดอะซิติก ความบริสุทธิ์ของแหล่งแคลเซียม สภาพกรด-เบส อุณหภูมิ และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา จะส่งผลต่อร้อยละผลผลิตแคลเซียมอะซิเตท

กรดอะซิติก หรือกรดน้ำส้ม มีชื่อทางเคมีว่า กรดเอทาโนอิก (Ethanoic acid) เป็นกรดอินทรีย์ ประเภท กรดคาร์บอกซิลิก สูตรเคมีเป็น CH_3COOH เป็นของเหลวไม่มีสี มักพบใน

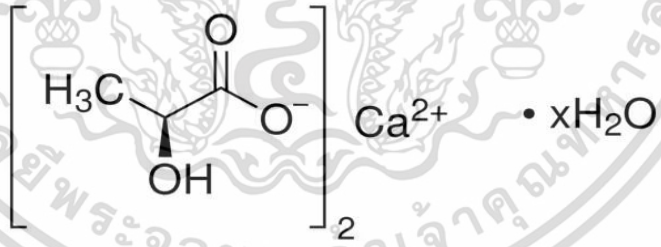
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำส้มสายชู ทำให้มีรสเปรี้ยวและมีกลิ่นฉุน การผลิตกรดอะซิติกโดยทั่วไปผ่าน การผลิตกรดน้ำส้ม (Acetic acid) ด้วยการหมักในระดับอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุดิบที่สำคัญ คือ แป้งมัน ข้าว หรือ น้ำผลไม้

ตัวอย่างการการสังเคราะห์ แคลเซียมอะซิเตท จากเปลือกไข่ (LI Yan-Po, 2010) ทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติก ที่มีความเข้มข้น 6 โมลต่อลิตร อุณหภูมิและระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา เท่ากับ 79.38 ºC และ 5.98 ชั่วโมง ตามลำดับ อัตราส่วนเปลือกไข่ต่อกรดอะซิติกเท่ากับ 1 ต่อ 5 ร้อยละผลผลิต คือ 98.48 แล้วยังได้ทำการเพิ่มความบริสุทธิ์ของแคลเซียมอะซิเตท ด้วยการแปรรูปเปลือกไข่ไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งทำให้อุณหภูมิและระยะเวลาของปฏิกิริยาน้อยกว่าเดิม คือ 65°C และ 15 นาที ตามลำดับ แล้วได้สารมีความบริสุทธิ์ถึง 99.79% โดยกรรมวิธีการผลิตนี้ เนื่องจากเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างของแข็งและของเหลวที่มากกว่าหลายเท่า จึงทำให้เมื่อกระบวนการเสร็จสิ้นจะได้ผลิตภัณฑ์แคลเซียมอะซิเตทที่เป็นของแข็งผสมอยู่กับของเหลวที่เป็นน้ำดังปฏิกิริยาเบื้องต้น

(Somkiat Seesanong et al. (2023)) การสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตททางชีวภาพจากของเสียจากเปลือกหอยนางรมที่มีต้นทุนต่ำ และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยนำเปลือกหอยนางรมทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติก ที่มีความเข้มข้น 8,10,12 โมลต่อลิตร อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 37°C 42°C 58°C ตามลำดับ อัตราส่วนเปลือกไข่ต่อกรดอะซิติกเท่ากับ 1 ต่อ 2 ระยะเวลาในการทำให้แห้งเท่ากับ 30,24,18 ตามลำดับพบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะใช้ระยะเวลาในการเกิดผลิตภัณฑ์จะน้อยลง ร้อยละผลผลิต คือ 89,93,93 ตามลำดับ

แคลเซียมแลคเตท (Calcium lactate)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างแคลเซียมแลคเตท (Calcium lactate)

เป็นสารประกอบของเกลือชนิดหนึ่ง มีสูตรเคมี เป็น $Ca(CH_3CHOHCOO)_2$ มีชื่อทางเคมีว่า แคลเซียม 2-ไฮดรอกซีโพรพาโนเอท (Calcium 2-hydroxypropanoate) ถ้าอยู่ในรูปของสารประกอบที่มีน้ำในโครงผลึก คือ แคลเซียมแลคเตทเพนตระไฮเดรต $Ca(CH_3CHOHCOO)_2 \cdot 5H_2O$ เกิดจากปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดแลคติกกับแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide) อุตสาหกรรมอาหารใช้เป็นสารเติมแต่งอาหาร ใช้ในการปรับปรุงความคงตัว และผิวสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ ช่วยให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์เยลลี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตแคลเซียมแลคเตท มีสารตั้งต้น 2 ชนิด คือ กรดแลคติก และสารประกอบที่เป็นแหล่งของแคลเซียม ในการผลิตมักจะใช้ แคลเซียมคาร์บอเนต ที่ได้จากหินปูน หินอ่อน เปลือกไข่ และแคลเซียมออกไซด์ ที่มีราคาถูก ดังปฏิกิริยา

$CaCO_3(s) + 2CH_3CHOHCOOH(aq) \longrightarrow Ca(CH_3CHOHCOO)_2 + 5H_2O(s) + CO_2(g)$

$CaO(s) + 2CH_3CHOHCOOH(aq) \longrightarrow Ca(CH_3CHOHCOO)_2 + 5H_2O(s)$

ปัจจัยเรื่องความเข้มข้นของกรดแลคติก ความบริสุทธิ์ของแหล่งแคลเซียม สภาพกรด-เบส อุณหภูมิและระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา มีความซับซ้อน

กรดแลคติก หรือกรดน้ำนม (Milk acid) เป็นกรดอินทรีย์ มีสูตรเคมีเป็น $CH_3CH(OH)COOH$ ชื่อในระบบทางเคมี อ่านว่า กรด 2-ไฮดรอกซีโพรพาโนอิก (2-Hydroxypropanoic acid) เป็นของเหลวไม่มีสี ละลายน้ำได้ดี มีทั้งเกิดขึ้นจากธรรมชาติและสังเคราะห์ด้วยฝีมือมนุษย์เอง

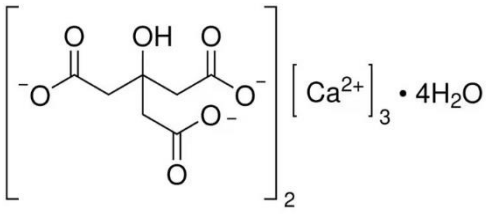
การใช้จุลินทรีย์จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกรดแลคติคได้จะอยู่ในกลุ่ม แลคโตบาซิลลัส (Lactobacillus) ด้วยกระบวนการหมักน้ำตาลกลูโคสด้วยจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิมากกว่า 40°C ทำให้ได้ผลผลิต คือ กรดแลคติก เอทานอล กีเซอรอล และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ตัวอย่างการเตรียมแคลเซียมแลคเตท จากเปลือกไข่ จากงานวิจัยของ วิจิตรา แดงปรก ปิยวรรณ ศุภิทิตพัฒนา (2550) เริ่มโดยการผลิตเปลือกไข่ผงเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบวิธีการ คือ นำเปลือกไข่มาทำการล้างด้วยทำความสะอาด แยกส่วนเยื้อเปลือกไข่ (shell membrane) และสิ่งสกปรกต่างๆ ออกไป แล้วนำไปอบให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 37°C จนกระทั่งเปลือกไข่แห้งสนิท แล้วนำมาบดเป็นผงละเอียดโดยใช้เครื่องบด ก็จะได้เปลือกไข่ผง 100 กรัม ไปทำปฏิกิริยากับกรดแลคติก 200 มล. น้ำกลั่น 2800 มล. กวนข้ามคืน 14,000 รอบ/นาที ให้ความร้อน 75°C จากนั้นนำไปกรองทำให้แห้งจะได้แคลเซียมแลคเตทจากเปลือกไข่ 210 กรัม (Daengprok และคณะ, 2002)

(Somkiat Seesanong et al. (2023)) การแปลงของเสียจากเปลือกหอยสองฝาเป็นแคลเซียมแลคเตทอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนต่ำ โดยนำเปลือกหอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยนางรม มาทำปฏิกิริยากับกรดแลคติกโดยเตรียมที่ความเข้มข้น 6,8,10 โมล/ลิตร ตามลำดับ เตรียมผงแคลเซียมจากเปลือกหอยสองฝา 100 กรัม อัตราส่วนโมลของแข็งต่อของเหลว 1 ต่อ 2 ปั่นผสมด้วยความเร็ว 250 รอบ/นาทีจนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หมดไป ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นที่สูงขึ้นทำให้ร้อยละผลผลิตลดลงความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง คือ 6 โมล/ลิตร ได้ร้อยผลผลิตสูงสุดคือ 97, 95, 95 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมซิเตรท (Calcium citrate)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีแคลเซียมซิเตรท (Calcium citrate)

เป็นสารประกอบของเกลือแคลเซียมของกรดซิตริก มีสูตรเคมีเป็น ($Ca_3(C_6H_5O_7)_2$) ถ้าอยู่ในรูปของสารประกอบที่มีน้ำในโครงผลึก คือ Tricalcium Dicitrate Tetrahydrate $Ca_3(C_6H_5O_7)_2 \cdot 4H_2O$ โดยทั่วไปจะใช้เป็นสารเติมแต่งอาหาร มักใช้เป็นสารกันบูด แต่บางครั้งก็ใช้เพื่อเพิ่มรสชาติ ในแง่นี้คล้ายกับโซเดียมซิเตรท แคลเซียมซิเตรทยังพบได้ในอาหารเสริมแคลเซียมบางชนิด เป็นสารปรับความเป็นกรด สารปรับปรุงความคงตัว

การผลิตแคลเซียมซิเตรท ผลิตได้จากสารตั้งต้นสองชนิดคือ กรดซิตริก และสารประกอบที่เป็นแหล่งของแคลเซียมโดยที่ถูกเลือกใช้ในการผลิตมักจะใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ดังปฏิกิริยา

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

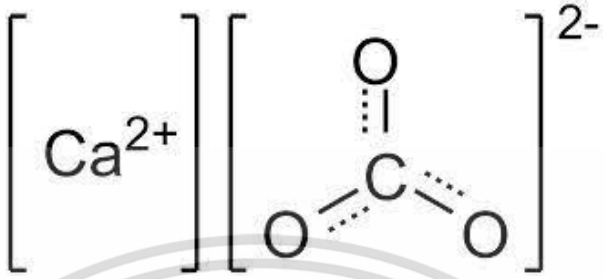
กรดซิตริก มาจาก 2 แหล่ง คือ เกิดขึ้นในธรรมชาติจากผลไม้ และสังเคราะห์ด้วยฝีมือมนุษย์เอง โดยการสังเคราะห์ กรดซิตริกพบได้ตามธรรมชาติโดยทั่วไปในผักและผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว โดยเฉพาะพืชตระกูลมะนาว สับปะรด และส้ม ซึ่งมีสัดส่วนกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบสูง ในระยะแรกแรกการผลิตกรดซิตริกทำโดยคันมะนาวโดยตรง เพื่อให้ได้น้ำมะนาว ซึ่งจะมีส่วนประกอบกรดซิตริกประมาณร้อยละ 7-9 แต่ในปัจจุบันมีโรงงานผลิตกรดซิตริกจำนวนน้อยกว่า 100 โรงงานทั่วโลก ซึ่งนิยมผลิตด้วยวิธีการสังเคราะห์กรดซิตริกจากน้ำตาลกลูโคส ผ่านวิธีไกลโคไลซีส (glycolysis Pathway) ได้เป็นสารออกซาโลอะซิเตท (Oxaloacetate) แล้วสะสมเป็นกรดซิตริก โดยจุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในการผลิตแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เชื้อรา Aspergillus Niger และยีสต์ (Cadida Lypolitica) วัสดุที่ใช้มักจะเป็นสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เช่น กากน้ำตาล และแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น

ตัวอย่างการผลิตแคลเซียมซิเตรทจาก Green consumers newsletter on March 2015 ได้นำเปลือกไข่มาทำปฏิกิริยากับน้ำมะนาว โดยน้ำมะนาวคั้นสดนำไปต้มที่ 62.8°C 30 นาที หรือ 77°C 15 นาที โดยปฏิกิริยาจะทำที่อุณหภูมิต่ำคือเก็บไว้ในตู้เย็นเป็นเวลาประมาณ 44-48 ชั่วโมง และงานวิจัยของ Yiding Yu และคณะ(2013) เตรียมจากเปลือกไข่ที่บดให้มีขนาดอนุภาค 180 เมชโดยการเตรียม เริ่มด้วยเตรียมเปลือกไข่ บดและทำให้แห้ง คัดขนาด 180 เมช เติมน้ำในอัตราส่วนน้ำต่อเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไข่ 10 ต่อ 1 ปั่นผสม 10 นาที และน้ำไปปั่นอีก 20 นาที ที่ควบคุมอุณหภูมิ 120°C ค่อยนำไปผลิตด้วยเทคนิค PEF ที่ควบคุมตัวแปร 2.0 % กรดซิตริก ความเข้มสนามไฟฟ้า 15 KV/cm

แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมคาร์บอเนต



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีแคลเซียมคาร์บอเนต

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดหินแคลไซต์ (Calcite) จนได้เป็นผง โดยหินแคลไซต์เป็นแร่คาร์บอเนตที่เสถียรที่สุดในกลุ่มแร่ที่มีสูตรโครงสร้างเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) มีความวาวคล้ายแก้ว โปร่งใสถึงโปร่งแสง โดยปกติมีสีขาวหรือไม่มีสี

2.2 เปลือกไข่ไก่

เปลือกไข่ไก่ (Egg shells) ไข่ไก่ 1 ฟองมีน้ำหนักประมาณ 40-60 กรัม มีองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ

1. เปลือกไข่ มีประมาณ 10% มีองค์ประกอบ 3 ชั้น คือ เยื่อชั้นโปร่ง (Mammillary layer) เปลือกชั้นนอก (Spongy layer) เป็นส่วนที่มีความแข็งแรง เนื่องจากมีสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต (หินปูน) ประมาณ 96.48% แมกนีเซียม 0.4% ฟอสเฟต 0.5% สารอินทรีย์อื่น ๆ 3% เชื่อมระหว่างชั้นโปร่งกับเปลือกนอกสุดด้วยรูพรุนเล็ก ๆ ด้านในเปลือกไข่ จะเป็นชั้นเคลือบผิวไข่ (Cuticle layer) จะมี เยื่อหุ้มบางๆ 2 ชั้น ชั้นนอกที่ติดเปลือก (shell membrane) ชั้นในที่ติดกับไข่ขาว (egg membrane)

2. ไข่ขาว มีสัดส่วนมากถึง 59.50% ของไข่ มีองค์ประกอบหลักคือน้ำ ประมาณ 88%

3. ไข่แดง คนไทยนิยมบริโภคอย่างกว้างขวาง มีราคาถูก และสามารถหาซื้อได้ง่ายรวมทั้งสามารถนำมาประกอบอาหารทั้งคาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element	Weight (%)			
	Natural hen egg shell	Boiled hen egg shell	Natural duck egg shell	Boiled duck egg shell
$CaCO_3$	96.48	96.48	96.48	95.99
S	2.31	3.59	1.24	1.92
Mg	0.404	0.440	0.996	0.927
P	0.501	0.469	0.508	0.481
Al	-	-	-	0.309
K	-	-	0.0839	0.00957
Sr	0.0737	0.0734	0.118	0.093

รูปที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่

(ที่มา : Removal of lead from battery manufacturing wastewater by egg shell https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60234-4)

ประโยชน์ของเปลือกไข่ คือ เป็นส่วนผสมในคอนกรีตมวลเบา เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมสารประกอบแคลเซียมซิลิเกต เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฮดรอกซีอะพาไทต์ ใช้ดูดซับสารต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และฟอสฟอรัสในอากาศและในน้ำ ใช้ผลิตตัวเร่งปฏิกิริยา เปลือกไข่ไล่มด เปลือกไข่บดเป็นอาหารสัตว์ เปลือกไข่ซักผ้า สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ใช้ในการรับประทานเพื่อเพิ่มแคลเซียม เป็นเครื่องในการทำความสะอาด ใช้เป็นปุ๋ยใส่ต้นไม้ ใช้แทนยาฆ่าแมลง เป็นต้น

2.3 ก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซที่เป็นองค์ประกอบของบรรยากาศโลกห่อหุ้มโลกไว้เสมือนเรือนกระจก ก๊าซเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิของโลกให้คงที่ ซึ่งอาจแบ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกตามธรรมชาติและก๊าซเรือนกระจกจากภาคอุตสาหกรรม โดยองค์ประกอบที่สำคัญของก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซีเอฟซี (CFC_s) ไฮโดรฟลูโรคาร์บอน คาร์บอน (HFC_s) เพอร์ฟลูโรคาร์บอน (PFC_s) และซัลเฟอร์เฮกซาฟลูออร์ไรด์ (SF_6)

ปรากฏการณ์เรือนกระจก คือ การที่โลกถูกห่อหุ้มด้วยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นองค์ประกอบของบรรยากาศโลกก๊าซเหล่านี้ดูดคลื่นรังสีความร้อนไว้ในเวลากลางวัน แล้วค่อยๆ แผ่รังสีความร้อนออกมาในเวลากลางคืน ทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศโลกไม่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันหากไม่มีก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ จะทำให้อุณหภูมิในตอนกลางวันนั้นร้อนจัด และในตอนกลางคืนนั้นหนาวจัด

2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHGs Emission Factor: EF)

เป็นค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตหรือการบริการ ที่คิดรวมค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Climate Change) อาทิ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(HFC_s) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC_s) ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) และก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3) ทั้งนี้ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกนี้ มีความสำคัญต่อการประเมินคาร์บอนฟุตพรินต์ ฉลากด้านสิ่งแวดล้อม

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) เปิดเผยถึงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้พลังงาน ปี 2565 พบว่าภาคการขนส่ง มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO_2 อยู่ที่ 79.6 ล้านตัน CO_2 ภาคอุตสาหกรรม มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO_2 อยู่ที่ 66.5 ล้านตัน CO_2 ภาคการผลิตไฟฟ้า มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซ CO_2 อยู่ที่ 87.9 ล้านตัน CO_2 ภาคเศรษฐกิจอื่น ๆ ได้แก่ ภาคธุรกิจและครัวเรือน จะมาจากการใช้น้ำมันสำเร็จรูปเพียงอย่างเดียว มีการปล่อยก๊าซ CO_2 จากการใช้น้ำมันสำเร็จรูปในภาคเศรษฐกิจอื่น ๆ รวม 13.7 ล้านตัน CO_2

โดยการคำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกใช้แนวทางการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากคู่มือ 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories เป็นหลัก โดยศึกษาวิธีการและข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่ระบุไว้ในคู่มือ IPCC 2006 สำหรับองค์ประกอบที่สำคัญในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ 1ข้อมูลกิจกรรม (Activity data) และ 2.ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor)

วิธีการคำนวณก๊าซเรือนกระจก CO_2

$kgCO_2$= จำนวนหน่วยที่ใช้ × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องการเตรียมสารประกอบแคลเซียมทั้ง 3 ชนิด

Lian (2002) ได้เตรียมแคลเซียมแลคเทตจากเปลือกไข่ โดยสภาวะการเตรียมคือ เผาเปลือกไข่ที่ 900°C 110 นาที เติมน้ำ 50ml. ต่อเถ้าที่ได้ 4g จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยากับกรดแลคติก 14ml. 13M และเก็บไว้ที่ 80°C หลังจากนั้นนำมากรองแยกตะกอน และทำให้แห้งได้ร้อยละผลผลิต 75.6% มีความบริสุทธิ์ 88.1%

Sheng และคณะ (2003) เตรียมแคลเซียมซิเทรต จากเปลือกไข่ 3g ทำปฏิกิริยากับ น้ำ 30 ml. ของ 2M กรดซิตริก ควบคุมอุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ร้อยละผลผลิต 95%

Eric Ryan Sacia (2009) ใช้กรดอะซิติก ความเข้มข้น 0.50 M, 2.0 M, 5.0 M ,50% มาทำปฏิกิริยากับเปลือกไข่ไก่ที่ถูกเผาที่แล้วจนกลายไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ โดยใช้ระยะเวลาตั้งแต่ 15 นาทีขึ้นไป ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ใช้ เมื่อทำปฏิกิริยาเสร็จสิ้น ก็นำมาแยกตะกอนที่ได้ ด้วยการกรอง แล้วนำตะกอนไปทำให้แห้งด้วยการอบที่ 125°C

Xiong (2012) ทำการเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไปเป็นแคลเซียมซิเตรทด้วยการทำปฏิกิริยาระหว่างเปลือกไข่บดขนาด 200 เมช กับกรดซิตริก 15% ที่อุณหภูมิ 60°C ได้ร้อยละผลผลิต 98% และความบริสุทธิ์ 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Do linska และคณะ (2016) ผลิตแคลเซียมซิเทรตจากเปลือกไข่ ด้วยการทำปฏิกิริยาระหว่างเปลือกไข่กับกรดซิตริก ที่ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Boonchom และคณะ (2017) การผลิตสารประกอบแคลเซียมอินทรีย์จากเปลือกหอยและเปลือกไข่เพื่อการใช้งานต่างๆ

Seesanong และคณะ (2023) การสังเคราะห์แคลเซียมอะซิเตทที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากเปลือกหอยนางรมด้วยต้นทุนที่ต่ำ และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Seesanong และคณะ (2023) การแปลงของเสียจากเปลือกหอยสองฝาเป็นแคลเซียมแลคเตทอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ชุดเครื่องแก้ว
2. Hot plate stirrer
3. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius)
4. pH meter (Metrom)
5. ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ
6. เครื่องอบ Oven (Fisher Scientific)
7. เตาเผา
8. เครื่องปั่น
9. โกร่งบดยา
10. Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)
11. X-Ray powder diffractometer (XRD), Bruker AXS, D8 Advance, Germany
12. X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)
13. Thermogravimetric analysis (TGA)
14. Field Emission ScanningElectron Microscope (FE-SEM)

3.1.2 สารเคมี

1. เอทานอล (99.9% Ethanol)
2. กรดอะซิติก (99% Acetic acid)
3. กรดแลคติก (88% Lactic acid)
4. กรดซิตริก (99% Citric acid)
5. โซเดียมไฮเปอร์คลอไรด์ 6% (sodium hypochlorite)
6. water (Deionized water ,DI)
7. เปลือกไข่ไก่บด จากร้านปูกะเอ จังหวัดฉะเชิงเทรา (R-CC)
8. เปลือกไข่ไก่เผา จากร้านปูกะเอ จังหวัดฉะเชิงเทรา (R-CO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

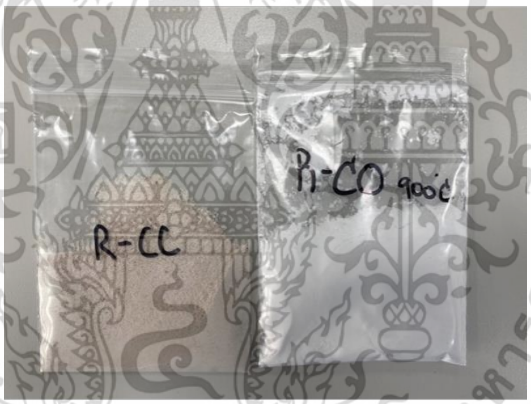
3.2 การเตรียมสารตั้งต้น

3.2.1 การเตรียมแคลเซียมจากเปลือกไข่ไก่

นำเปลือกไข่ไก่ จากร้านปูกะเอ มาล้างทำความสะอาดโดยแช่โซเดียมไฮเปอร์คลอไรต์ 6% w/w 500 มล. เจือจางด้วยน้ำDI ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 จะได้เป็นโซเดียมไฮเปอร์คลอไรต์ 3% ปริมาตร 1000 มล. ต่อเปลือกไข่ไก่ 1 กก. แช่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำDI 1000 มล. 3 ครั้ง แล้วนำไปอบให้แห้ง และบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น และคัดขนาดที่ 100 เมช แบ่งเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 ปริมาณ 500 กรัม จะได้ผงของแคลเซียมคาร์บอเนตที่บดได้ เก็บบรรจุใส่ถุงภาชนะเพื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นต่อไป R-CC คือแคลเซียมคาร์บอเนตบด ที่ผลิตจากเปลือกไข่ไก่ (Chicken egg)

ส่วนที่ 2 นำผงแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 500 กรัม ไปเผาในเตาเผาด้วยอุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเก็บใส่ถุงภาชนะบรรจุเพื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นต่อไป
R-CO คือแคลเซียมคาร์บอเนตบดนำไป เผาที่ 900°C ได้เป็นแคลเซียมออกไซด์ที่ผลิตจากเปลือกไข่ (Chicken egg)



รูปที่ 3.1 แคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์

3.2.1.1 การเตรียมสารละลายกรดให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม

กรดที่ใช้ในการทดลองมี 3 ชนิด คือ กรดอะซิติก 99% กรดแลคติก 88% และ กรดซิตริก 99% ดังนั้นการเตรียมความเข้มข้นของกรดให้เหมาะสม เพื่อนำไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนต เพื่อจะทำให้ได้ปฏิกิริยาที่ง่ายและรวดเร็ว ได้มาซึ่งผลผลิตที่แห้งเร็วที่สุด

การเตรียมกรดอะซิติก 50% ชั่งกรดอะซิติก 99% 505 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 1000 กรัม ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เรียกสารนี้ว่า AC-50

การเตรียมกรดแลคติก 50% ชั่งกรดแลคติก 88% 568.18 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 1000 กรัม ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เรียกสารนี้ว่า LT-50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมกรดซิตริก 50% ชั่งกรดซิตริก 99% 505 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้มีน้ำหนักรวมเท่ากับ 1000 กรัม ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เรียกสารนี้ว่า CT-50

3.2.2 การสังเคราะห์สารแคลเซียม 3 ชนิด

3.2.2.1 การเตรียมแคลเซียมอะซิเตท

$$CaCO_3(s) + 2CH_3COOH\ (aq.) \longrightarrow Ca(CH_3COO)_2{\bullet}H_2O(s) + CO_2(g)$$

$$CaO(s) + 2CH_3COOH\ (aq.) \longrightarrow Ca(CH_3COO)_2{\bullet}H_2O(s)$$

วิธีการเตรียม

1. ชั่งสาร R-CC (s) 10.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มล.

2. เติมเอทานอล 99.9% 10.00 มล.

3. ค่อยๆเติมกรด AC-50 ปริมาตร 23.00 มล. ลงในบีกเกอร์ ข้อ1) จะมีฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นให้คนอย่างสม่ำเสมอด้วย Hotplate stirrer ความเร็วรอบ 100-150/นาที จากนั้นเติมสาร AC-50 ลงไปเรื่อยๆจนกว่าปริมาณสาร AC-50 หมด

4. เมื่อเติม AC-50 หมดแล้วคนเบาๆ แล้วนำสารข้อ3) ตั้งทิ้งไว้ให้สารทำปฏิกริยากันเอง จนปริมาณก๊าซฟูขึ้นมา คนให้ยุบ รอจนแห้ง และอบด้วยอุณหภูมิ 60°C เวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งและอบต่อเป็นเวลา 72 ชั่วโมงและชั่งอีกครั้ง จะได้เป็น CC-AC นำผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปบดให้ละเอียดด้วยโกร่งบดยา และนำมาล้างด้วยเอทานอล 99.9% 20.00 มล. 3 ครั้ง บนเครื่องกรองดูดความชื้นจากนั้นนำไปอบที่ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำออกมาบดอีกครั้ง และแบ่งในถุงซิปล็อคเพื่อส่งตรวจ

5. ทำการทดลองแบบเดียวกันนี้อีกสองครั้ง เพื่อหาร้อยละผลผลิต

6. นำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพ ด้วยเทคนิค FTIR ,XRD ,XRF, TGA and FE-SEM

สำหรับการเตรียม CO-AC โดยสารตั้งต้น R-CO ทำด้วยกระบวนการที่คล้ายกัน ปรับเปลี่ยนปริมาณสารตั้งต้น R-CO เป็น 10.00 กรัม เอทานอล 99.9% เป็น 30.00 มล. และ AC 50% ปริมาตร 41.00 มล. ทั้ง 3 ซ้ำ และหาร้อยละผลผลิต

3.2.2.2 การเตรียมแคลเซียมแลคเตท

$$CaCO_3(s) + 2C_3H_6O_3(aq.) \longrightarrow Ca_3(C_6H_5O_7)_2{\bullet}5H_2O(s) + CO_2(g)$$

$$CaO(s) + 2C_3H_6O_3(aq.) \longrightarrow Ca(CH_3H_5O_3)_2{\bullet}5H_2O(s)$$

วิธีการเตรียม

1. ชั่งสาร R-CC(s) 10.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มล.

2. เติมเอทานอล 99.9% 10.00 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่อยๆเติมกรด LT-50 ปริมาตร 30 มล. ลงในบีกเกอร์ ข้อ1) จะมีฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นให้คนอย่างสม่ำเสมอด้วย hotplate stirrer ความเร็วรอบ 100-150/นาที จากนั้นเติมสาร LT-50 ลงไปเรื่อย ๆจนกว่าปริมาณสาร LT-50 หมด

4. เมื่อเติม LT-50 หมดแล้วคนเบาๆ แล้วนำสารข้อ3) ตั้งทิ้งไว้ให้สารทำปฏิกริยากันเอง จนปริมาณก๊าซฟูขึ้นมา คนให้ยุบ รอจนแห้ง และอบด้วยอุณหภูมิ 60°C เวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งและอบต่อเป็น 72 ชั่วโมงและชั่งอีกครั้ง จะได้เป็น CC-LT นำผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปบดให้ละเอียดด้วย โกร่งบดยา และนำมาล้างด้วยเอทานอล 99.9% 20 มล. 3 ครั้ง บนเครื่องกรองดูดความชื้น จากนั้นนำไปอบที่ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำออกมาบดอีกครั้ง และแบ่งในถุงซิปล็อคเพื่อส่งตรวจ

5. ทำการทดลองแบบเดียวกันนี้อีกสองครั้ง เพื่อหาร้อยละผลผลิต

6. นำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพ ด้วยเทคนิค FTIR ,XRD ,XRF, TGA and FE-SEM

สำหรับการเตรียม CO-LT โดยสารตั้งต้น R-CO ทำด้วยกระบวนการที่คล้ายกัน ปรับเปลี่ยนปริมาณสารตั้งต้น R-CO เป็น 10.00 กรัม เอทานอล 99.9% เป็น 30.00 มล. และประมาณ LT 50% ปริมาตร 53.00 มล. ทั้ง 3 ซ้ำ และหาร้อยละผลผลิต

3.2.2.3 การเตรียมแคลเซียมซิเตรท

$$3CaCO_3(s) + 2C_6H_8O_7(aq.) \longrightarrow Ca_3(CH_3CH(OH)CO_2)_2 \bullet 4H_2O(s) + CO_2(g)$$

$$3CaO(s) + 2C_6H_8O_7(aq.) \longrightarrow Ca_3(CH_3CH(OH)CO_2)_2 \bullet 4H_2O(s)$$

วิธีการเตรียม

1. ชั่งสาร R-CC (s) 10.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มล.

2. เติมเอทานอล 99.9% 10.00 มล.

3. ค่อยเติมกรด CT-50 ปริมาตร 20.00 มล. ลงในบีกเกอร์ ข้อ1) จะมีฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นให้คนอย่างสม่ำเสมอด้วย hotplate stirrer ความเร็วรอบ 100-150/นาที จากนั้นเติมสาร CT-50 ลงไปเรื่อย ๆจนกว่าปริมาณสาร CT-50 หมด

4. เมื่อเติม CT-50 หมดแล้วคนเบาๆ แล้วนำสารข้อ3) ตั้งทิ้งไว้ให้สารทำปฏิกริยากันเอง จนปริมาณก๊าซฟูขึ้นมา คนให้ฟองยุบ รอจนแห้ง และอบด้วยอุณหภูมิ 60°C เวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งและอบต่อเป็นเวลา 72 ชั่วโมงและชั่งอีกครั้ง จะได้เป็น CC-CT นำผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปบดให้ละเอียดด้วย โกร่งบดยา และนำมาล้างด้วยเอทานอล 99.9% 20 มล. 3 ครั้ง บนเครื่องกรองดูดความชื้น จากนั้นนำไปอบที่ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำออกมาบดอีกครั้ง และแบ่งในถุงซิปล็อคเพื่อส่งตรวจ

5. ทำการทดลองแบบเดียวกันนี้อีกสองครั้ง เพื่อหาร้อยละผลผลิต

6. นำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพด้วยเทคนิค FTIR ,XRD ,XRF ,TGA and FE-SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการเตรียม CO-CT โดยสารตั้งต้น R-CO ทำด้วยกระบวนการที่คล้ายกัน ปรับเปลี่ยนปริมาณสารตั้งต้น R-CO เป็น 10.00 กรัม เอทานอล 99.9% เป็น 30.00 มล. และ CT 50% ปริมาตร 37.00 มล. ทั้ง3ซ้ำ และหาร้อยละผลผลิต

ตาราง 3.1 ชื่อย่อ

คำศัพท์	นิยาม
AC-50	กรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล
LT-50	กรดแลคติกความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล
CT-50	กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล
R-CC	แคลเซียมคาร์บอเนตบด ผลิตจากเปลือกไข่ไก่ (Chicken egg)
R-CO	แคลเซียมคาร์บอเนตบดที่นำไปเผา ผลิตจากเปลือกไข่ไก่ (Chicken egg) เป็นแคลเซียมออกไซด์
CC-AC	แคลเซียมอะซิเตท ผลิตจากเปลือกไข่ไก่ (Chicken egg)
CC-LT	แคลเซียมแลคเตท ผลิตจากเปลือกไข่ไก่ (Chicken egg)
CC-CT	แคลเซียมซิเตรท ผลิตจากเปลือกไข่ไก่ (Chicken egg)
CO-AC	แคลเซียมอะซิเตท ผลิตจากเปลือกไข่ไก่ (Chicken egg) จากการเผา
CO-LT	แคลเซียมแลคเตท ผลิตจากเปลือกไข่ไก่ (Chicken egg) จากการเผา
CO-CT	แคลเซียมซิเตรท ผลิตจากเปลือกไข่ไก่ (Chicken egg) จากการเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางเคมีด้วยเทคนิคต่างๆ

3.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (X-ray Fluorescence Spectrometer)

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้งหมด 8 ตัวอย่าง โดยสารตั้งต้น คือ แคลเซียมคาร์บอเนต (คือ R-CC,CC-AC,CC-CT,CC-LT) และ แคลเซียมคาร์บอเนตที่นำไปเผา (คือ R-CO,CO-AC,CO-CT,CO-LT) มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเพื่อยืนยันผลองค์ประกอบที่ได้

ขั้นตอนก่อนการส่งตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่าง

1. นำสารตัวอย่าง ใส่ถุงซิปล็อคสำหรับเตรียมวิเคราะห์ โดยลักษณะของสารตัวอย่างจะมีลักษณะเป็นผงละเอียด

2. กรอกข้อมูลก่อนการส่งวิเคราะห์โดยระบุว่า ต้องการวิเคราะห์ธาตุ

3. นำสารตัวอย่างทั้ง 8 ตัวอย่าง ส่งตรวจวิเคราะห์

3.3.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่น เอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุล (Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้งหมด 8 ตัวอย่าง โดยสารตั้งต้น คือ (R-CC,CC-AC,CC-CT,CC-LT) และ R-CO,CO-AC,CO-CT,CO-LT) เพื่อนำมาวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน เอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุล

ขั้นตอนก่อนการตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่าง

1. นำสารตัวอย่าง แบ่งใส่ถุงซิปล็อคสำหรับเตรียมวิเคราะห์ โดยลักษณะของสารตัวอย่างมีลักษณะเป็นผงละเอียด

2. นำสารตัวอย่างใส่โกร่งบดยาผสมเข้ากับโพแทสเซียมโบร์ไมด์ โดยให้ตัวอย่างมีความเข้มข้นประมาณ 0.001 เปอร์เซ็นต์ และบดให้ละเอียดโดยให้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

3. ใส่ตัวอย่างที่บดแล้วลงในแม่พิมพ์ และนำไปอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิก ทิ้งไว้ 7-8 นาที

4. ถอดตัวประกอบแม่พิมพ์ออก ตัวอย่างจะติดอยู่ที่แม่พิมพ์ มีลักษณะเป็นวงกลมใส และตัวอย่างจะกระจายตัวอยู่บนโพแทสเซียมโบรไมด์

5. นำตัวอย่างเข้าเครื่องวิเคราะห์ และอ่านค่ากราฟที่ได้

3.3.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis หรือ TGA)

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้งหมด 7 ตัวอย่าง โดยสารตั้งต้น คือ แคลเซียมคาร์บอเนต (คือ R-CC,CC-AC,CC-CT,CC-LT) และ แคลเซียมคาร์บอเนตที่นำไปเผา (คือ CO-AC,CO-CT,CO-LT) ใช้ในการตรวจหาคุณสมบัติเฉพาะของสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนก่อนการส่งตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่าง

1. นำสารตัวอย่าง ใส่ถุงซิปล็อคสำหรับเตรียมวิเคราะห์ โดยลักษณะของสารตัวอย่างจะมีลักษณะเป็นผงละเอียด

2. กรอกข้อมูลก่อนการส่งวิเคราะห์

3. นำสารตัวอย่างทั้ง 7 ตัวอย่าง ส่งตรวจวิเคราะห์

3.3.4 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้าง XRD (X-Ray Diffractormeter)

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้งหมด 8 ตัวอย่าง โดยสารตั้งต้น คือ แคลเซียมคาร์บอเนต (คือ R-CC,CC- AC,CC-CT,CC-LT) และ แคลเซียมคาร์บอเนตที่นำไปเผา (คือ R-CO,CO-AC,CO-CT,CO-LT) เพื่อนำมาวิเคราะห์

ขั้นตอนก่อนการส่งตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่าง

1. นำสารตัวอย่าง ใส่ถุงซิปล็อคสำหรับเตรียมวิเคราะห์ โดยลักษณะของสารตัวอย่างจะมีลักษณะเป็นผงละเอียด

2. กรอกข้อมูลก่อนการส่งวิเคราะห์

3. นำตัวอย่างทั้ง 8 ตัวอย่าง ส่งตรวจวิเคราะห์

3.3.5 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา (Field Emission Scanning Electron Microscopes)

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้งหมด 8 ตัวอย่าง โดยสารตั้งต้น คือ แคลเซียมคาร์บอเนต (คือ R-CC,CC-AC,CC-CT,CC-LT) และ แคลเซียมคาร์บอเนตที่นำไปเผา (คือ R-CO,CO-AC,CO-CT,CO-LT) เพื่อนำมาวิเคราะห์สันฐานวิทยา และตรวจสอบลักษณะผิวภายนอกของสารตัวอย่าง ตรวจสอบการเรียงตัวของผลึกด้วยระบบรับสัญญาณเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ

ขั้นตอนก่อนการส่งตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่าง

1. นำสารตัวอย่าง ใส่ถุงซิปล็อคสำหรับเตรียมวิเคราะห์ โดยลักษณะของสารตัวอย่างจะมีลักษณะเป็นผงละเอียด

2. กรอกข้อมูลก่อนการส่งวิเคราะห์

3. นำสารตัวอย่างทั้ง 8 ตัวอย่าง ส่งตรวจวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้คิดค้นการสังเคราะห์สารประกอบด้วย 3 ชนิด คือ แคลเซียมอะซิเตท ($Ca(CH_3COO)_2$) แคลเซียมแลคเตท ($C_6H_{10}CaO_6$) แคลเซียมซิเตรท ($Ca_3(C_6H_5O_7)_2$) จากแคลเซียมคาร์บอเนต และจากแคลเซียมออกไซด์ ที่ผลิตจากเปลือกไข่ไก่ โดยใช้กรดอะซิติก 50% กรดแลคติก 50% และกรดซิตริก 50% ตามลำดับ มาทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นที่ได้มาจากเปลือกไข่ไก่ คือ แคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์ โดยการนำเปลือกไข่ไก่มาทำการล้างเยื่อและส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ด้วยโซเดียมไฮโปครอไรด์ 3% นำไปบดและกรองผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช และนำแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้แบ่งเป็นสองส่วน นำส่วนนึงไปเผาที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ได้แคลเซียมออกไซด์ที่บริสุทธิ์ขึ้น นำสารตั้งต้นทั้งสองมาแยกทำการทดลองกับกรดทั้ง 3 ตัว โดยใส่ปริมาณที่แตกต่างกันตามการคำนวน ทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ จะได้แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท แคลเซียมซิเตรท ที่ผลิตจาก แคลเซียมคาร์บอเนต และได้แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท แคลเซียมซิเตรทที่ผลิตจาก แคลเซียมออกไซด์ นำตัวอย่างที่ได้ทั้งหมดไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการชั่งน้ำหนัก อบด้วย 80°C ต่ออีก 24 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำหนักคงที่ เมื่อได้น้ำหนักที่คงที่แล้ว บันทึกน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณร้อยละผลผลิต นำทั้งหมดไปบดให้ละเอียดด้วยโกร่งบดยา และนำแคลเซียมทั้ง 6 ตัวที่ได้จากสารตั้งต้นที่ได้จากเปลือกไข่ไก่ นำมาล้างด้วยเอทานอล 99% 3 ซ้ำ บนเครื่องกรองสุญญากาศ นำไปอบ 60°C 24 ชั่วโมง เพื่อให้แห้ง และนำมาบดอีกครั้ง จะได้ผลิตภัณฑ์แคลเซียมทั้งหมด 8 ตัว รวมสารตั้งต้น จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ ได้แก่ ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟูออเรสเซนส์ (X-ray Fluorescence Spectrometry,XRF) ตรวจสอบพันธะภายในโมเลกุล โดยวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน เอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุล (Fourier transform Infrared Spectroscopy, FTIR) ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometry, XRD) วิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis,TGA) และตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM) ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ ที่ได้ รวมถึงการนำแคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท แคลเซียมซิเตรท วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเทียบกับตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์ที่ ไม่ได้ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยา ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟูออเรสเซนส์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) เพื่อยืนยันองค์ประกอบที่เกิดขึ้นรวมทั้งวิเคราะห์สารปนเปื้อนในตัวอย่างวิเคราะห์

4.1 ร้อยละผลผลิต

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตของสารตัวอย่างที่เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่าง เปลือกไข่ไก่กับกรดอะซิติก 50% กรดแลคติก 50% และกรดซิตริก 50% โดยมวล

สารตัวอย่าง	ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา-สิ้นสุด (นาที)	อุณหภูมิของระบบขณะเกิดปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)	pH ของระบบขณะเกิดปฏิกิริยา	ร้อยละผลผลิต (%)
CC-AC	120	28.3	3.10	74.81
CC-LT	30	32.8	3.22	75.94
CC-CT	60	31.5	2.46	84.97
CO-AC	10	48.9	4.88	71.28
CO-LT	2	55.8	3.85	75.61
CO-CT	4	50.8	3.37	72.31

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า ร้อยละผลผลิตของ สารตั้งต้นที่ได้จากแคลเซียมคาร์บอเนต (R-CC) และแคลเซียมออกไซด์ (R-CO) มีค่า 71.28-84.97%

4.2 วิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

4.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเอกซ์เรย์ฟูออเรสเซนส์ (X-ray Fluorescence Spectrometry , XRF) ของตัวอย่าง แคลเซียมคาร์บอเนต (R-CC) เพื่อวิเคราะห์หาสารตัวอย่างที่จะได้เป็นผล แคลเซียมอะซิเตท (CC-AC) แคลเซียมแลคเตท (CC-LT) แคลเซียมซิเตรท (CC-CT) และแคลเซียมออกไซด์ (R-CO) เพื่อวิเคราะห์หาสารตัวอย่างที่จะได้เป็นผล แคลเซียมอะซิเตท (CO-AC) แคลเซียมแลคเตท (CO-LT) และแคลเซียมซิเตรท (CO-CT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่าง R-CC, R-CC, CC-AC, CC-CT, CC-LT,R-CO,CO-AC, CO-LT, CO-CT

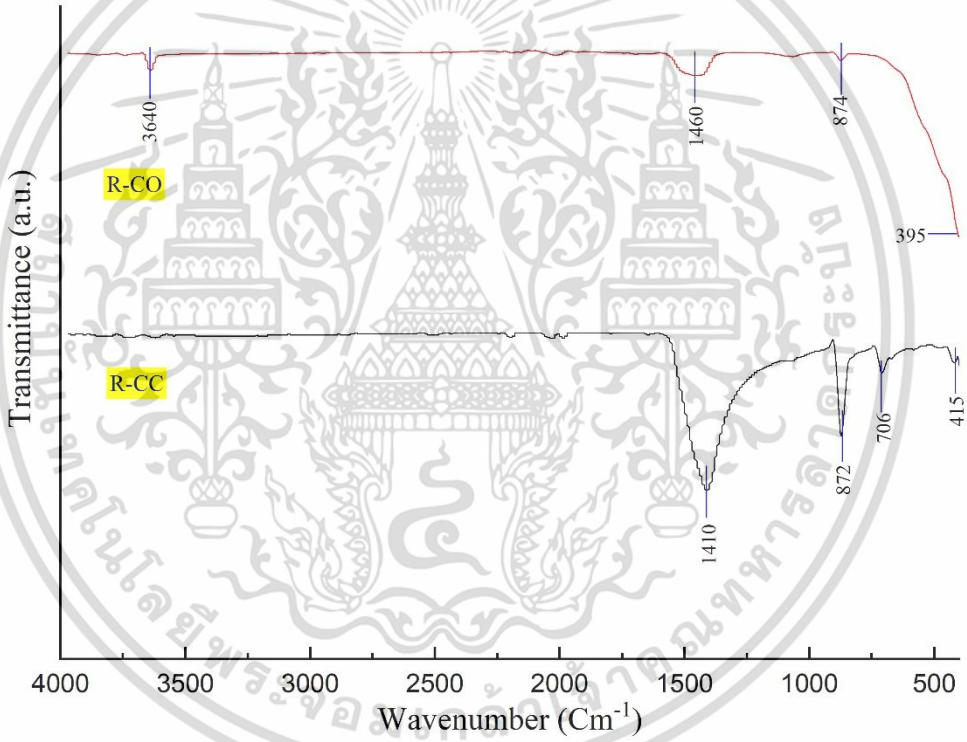
องค์ประกอบ	สารตัวอย่าง							
	R-CC	R-CO	CC-AC	CO-AC	CC-LT	CO-LT	CC-CT	CO-CT
Calcium oxide (CaO)	98.1	98.5	98.1	98.4	98.7	98.4	98.4	98.7
Magnesium oxide (MgO)	0.824	0.886	0.553	0.245	0.543	0.861	0.737	0.610
Phosphorus pentoxide (P_2O_5)	0.340	0.319	0.951	1.03	0.248	0.292	0.244	0.255
Sodium oxide (Na_2O)	0.250	0.116	0.128	0.0566	0.163	0.145	0.232	0.144
Sulfur oxide (SO_3)	0.188	0.126	0.193	0.0873	0.125	0.108	0.144	0.112
Aluminum oxide (Al_2O_3)	0.0344	0.0068	0.0102	0.0165	0.0131	0.0147	0.0354	0.0164
Silicon oxide (SiO_2)	0.0537	0.0104	0.0143	0.0221	0.0363	0.0283	0.0503	0.0377
Chloride (Cl)	0.0506	0.0070	0.0200	-	0.0447	-	0.0330	0.0111
Potassium oxide (K_2O)	0.0506	0.0206	0.0242	0.0109	0.0366	0.0214	0.0449	0.0271
Iron (III) oxide (Fe_2O_3)	0.0112	0.0154	-	0.0310	-	0.0377	-	0.0641

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ฟูออเรสเซนส์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) ดังตารางที่ 4.2 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่างที่เตรียมทั้งหมด 8 ตัวอย่าง พบแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณ (98.1-98.7%) และตัวอย่างจากแคลเซียมออกไซด์ 4 ตัวอย่าง ประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ในส่วนที่ (98.4-98.7%) และสิ่งปนเปื้อน (Na_2O,MgO,Al_2O_3,$SiO_2P_2O_5$,Cl,K_2O,MnO,Fe_2O_3และ SrO) ไม่เกิน 2%

4.2.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน เอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุล (FTIR)

ผลการตรวจสอบพันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟาเรดของพันธะ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)

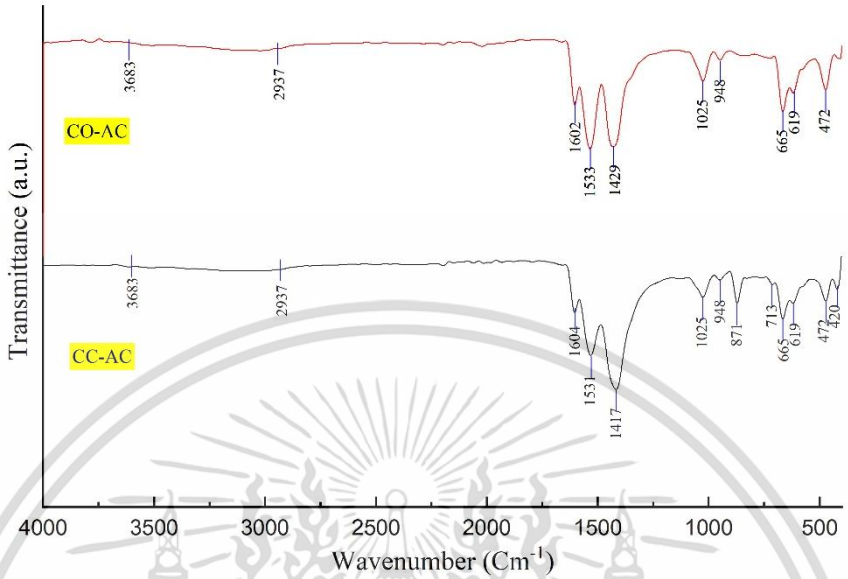


รูปที่ 4.1 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟาเรดช่วง 4000-500 cm^{-1} ของ R-CO , R-CC

จากการพิจารณารูปที่ 4.1 สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ R-CO และ R-CC ด้วย FT-IR พบว่าปรากฏ peak ที่สำคัญดังนี้ R-CO ที่ตำแหน่ง 3640 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น O-H , ที่ตำแหน่ง 1460 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-O , ที่ตำแหน่ง 874 cm^{-1}เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-O และ R-CC มี peak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

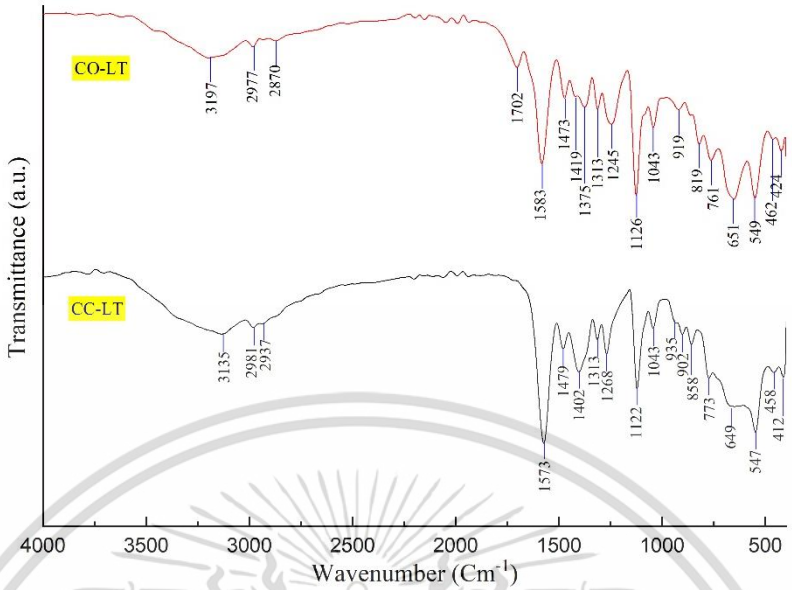
ตำแหน่งตรงกัน คือ ที่ตำแหน่ง 1410 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-O , ที่ตำแหน่ง 872 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-C



รูปที่ 4.2 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟาเรดช่วง 4000-500 cm^{-1} ของ CO-AC , CC-AC

จากการพิจารณาภาพที่ 4.2 สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ CO-AC และ CC-AC ด้วย FT-IR พบว่า ปรากฏ peak ที่สำคัญดังนี้ CO-AC ที่ตำแหน่ง 1025 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-CH_3 , ที่ตำแหน่ง 1533 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C=O , ที่ตำแหน่ง 1429 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-O , ที่ตำแหน่ง 2937 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-H , ที่ตำแหน่ง 1602 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชั่น H-O-H, ที่ตำแหน่ง 948 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-C , ที่ตำแหน่ง 472 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด(Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น Ca-O และ CC-AC , ที่ตำแหน่ง 1531 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C=O , ที่ตำแหน่ง 1417 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-O , ที่ตำแหน่ง 2937 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-H , ที่ตำแหน่ง 1604 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชั่น H-O-H, ที่ตำแหน่ง 948 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-C , ที่ตำแหน่ง 472 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น Ca-O

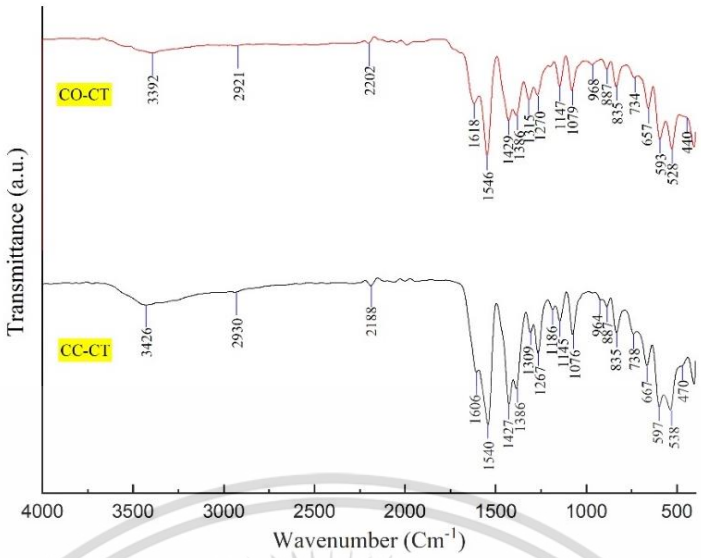
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟาเรดช่วง 4000-500 cm^{-1} ของ CO-LT , CC-LT

จากการพิจารณาภาพที่ 4.3 สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ CO-LT และ CC-LT ด้วย FT-IR พบว่าปรากฏ peak ที่สำคัญดังนี้ CO-LT ที่ตำแหน่ง 1126 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-CH_3 , ที่ตำแหน่ง 1583 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C=O , ที่ตำแหน่ง 1419 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-O , ที่ตำแหน่ง 2977 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-H ,ที่ตำแหน่ง 1702 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชั่น H-O-H, ที่ตำแหน่ง 919 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-C , ที่ตำแหน่ง 424 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด(Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น Ca-O และ CC-LT, ที่ตำแหน่ง 1573 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C=O , ที่ตำแหน่ง 1402 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-O , ที่ตำแหน่ง 2981 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-H , ที่ตำแหน่ง 1723 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชั่น H-O-H, ที่ตำแหน่ง 935 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-C , ที่ตำแหน่ง 412 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น Ca-O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 พันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟาเรดช่วง 4000-500 cm^{-1} ของ CO-CT , CC-CT

จากการพิจารณาภาพที่ 4.2 สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ CO-CT และ CC-CT ด้วย FT-IR พบว่า ปรากฏ peak ที่สำคัญดังนี้ CO-CT ที่ตำแหน่ง 1079 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-CH_3 , ที่ตำแหน่ง 1546 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C=O , ที่ตำแหน่ง 1429 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-O , ที่ตำแหน่ง 2921 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-H , ที่ตำแหน่ง 1618 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชั่น H-O-H, ที่ตำแหน่ง 968 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-C , ที่ตำแหน่ง 440 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น Ca-O และ CC-CT ที่ตำแหน่ง 1267 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-CH_3 , ที่ตำแหน่ง 1540 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C=O , ที่ตำแหน่ง 1427 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-O , ที่ตำแหน่ง 2930 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-H ,ที่ตำแหน่ง 1606 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชั่น H-O-H, ที่ตำแหน่ง 964 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น C-C , ที่ตำแหน่ง 470 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด (Stretching) ของหมู่ฟังก์ชั่น Ca-O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

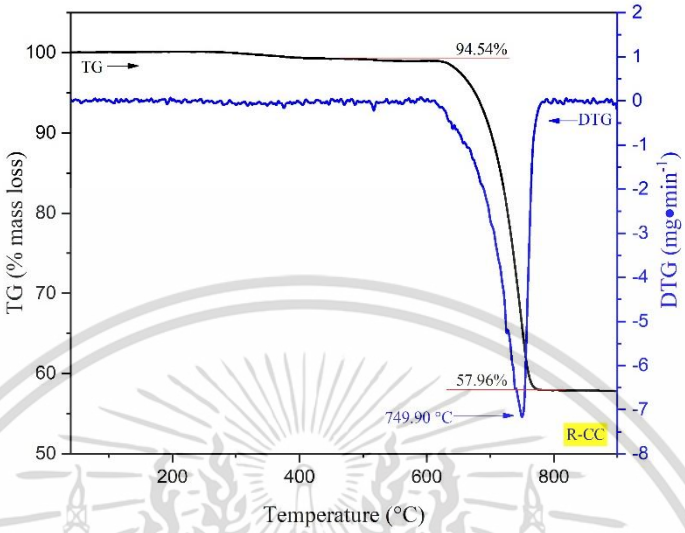
ตารางที่ 4.3 ระบุพีคที่พบจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนแสงรังสีอินฟาเรด

ชนิดพีค	สารตัวอย่าง							
	R-CC	R-CO	CC-AC	CO-AC	CC-LT	CO-LT	CC-CT	CO-CT
O-H stretching	-	3640	3683	3683	3135	3197	3426	3392
C-H stretching	-	-	2937	2937	2981	2977	2930	2921
H-O-H bending	-	-	1604	1602	1723	1702	1606	1618
C=O stretching	-	-	1531	1533	1573	1583	1540	1546
C-O stretching	1410	1460	1417	1429	1402	1419	1427	1429
C-C Stretching	872	874	948	948	935	919	964	968
Ca-O Stretching	415	395	472	472	412	424	470	440

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (TGA)

ตรวจวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อน Thermogravimetric analysis (TGA) ผลลัพธ์ของ TG และ DTG ของสารประกอบ



รูปที่ 4.5 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ R-CC

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

แคลเซียมคาร์บอเนต R-CC ที่สังเคราะห์จากเปลือกไข่ไก่ ที่แสดงดังรูปที่ 4.5 เส้นกราฟได้รับการวัดและบันทึกในช่วงอุณหภูมิ 30-900°C พบว่าเส้นโค้ง TG ของ R-CC มีการสลายตัวทางความร้อน 1 ช่วง

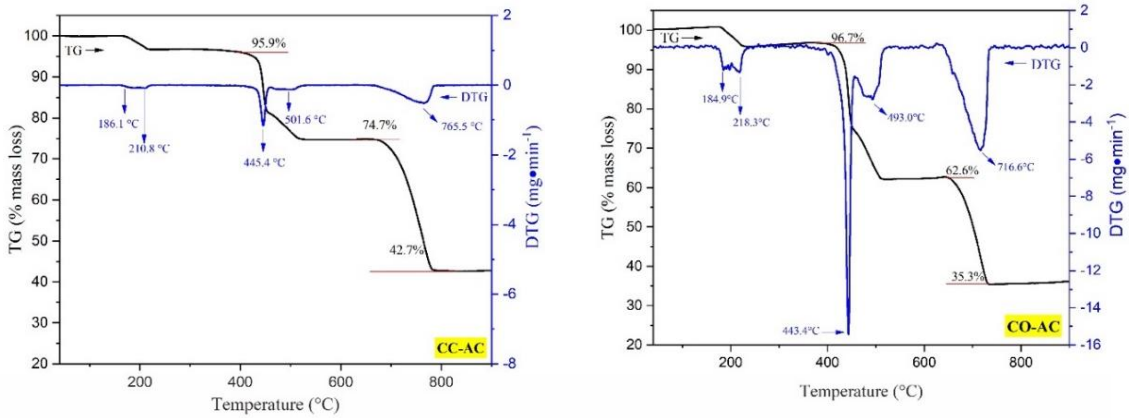
1. Decarbonization 600-700°C

สอดคล้องกันพีค DTG ของ R-CC ที่ 749.0°C

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

โดยตัวอย่าง R-CC มีการสูญเสียมวลโดยรวมอยู่ที่ 42.04% ในขณะที่มวลคงเหลืออยู่ที่ 57.96%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CC-AC,CO-AC

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

แคลเซียมอะซิเตท CC-AC ที่สังเคราะห์จาก แคลเซียมคาร์บอเนต R-CC และแคลเซียมอะซิเตท CO-AC ที่สังเคราะห์จากแคลเซียมออกไซด์ R-CO ที่แสดงดังรูปที่ 4.6 เส้นกราฟได้รับการวัดและบันทึกในช่วงอุณหภูมิ 30-900°C พบว่าเส้นโค้ง TG ของ CC-AC และ CO-AC มีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงความร้อนของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ตัว

1. Dehydration 170-220 °C

สอดคล้องกันพีค DTG ของ CC-AC ที่ 186.1 ถึง 210.8°C และของ CO-AC ที่ 184.9 ถึง 218.3°C

$$Ca(CH_3COO)_2 \bullet H_2O(s) \longrightarrow Ca(CH_3COO)_2(s) + H_2O(g)$$

2. Deacetonation 442-446°C

สอดคล้องกันพีค DTG ของ CC-AC ที่ 445.4°C และของ CO-AC ที่ 443.4°C

$$Ca(CH_3COO)_2(s) \longrightarrow CaCO_3(s) + CH_3COCH_3(g)$$

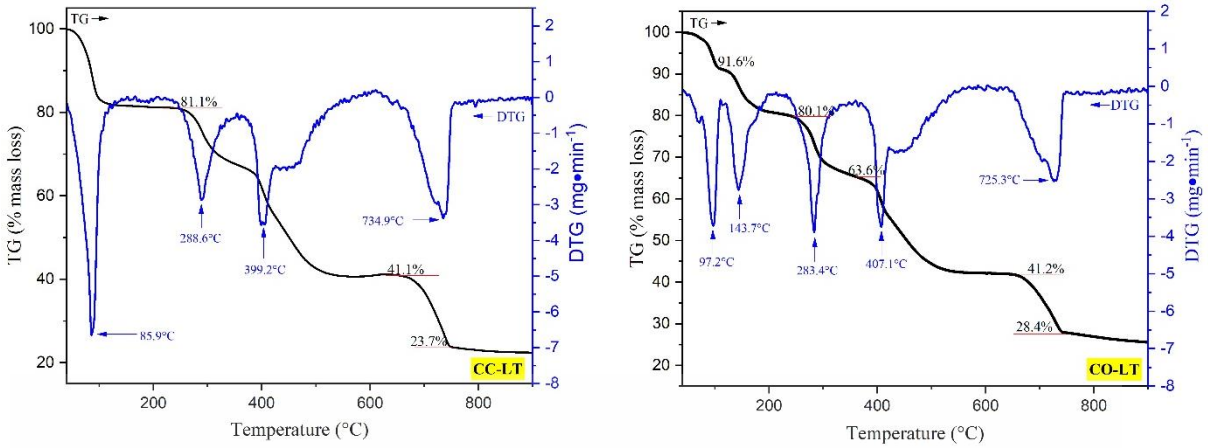
3. Decarbonization 716.6-765.5°C

สอดคล้องกันพีค DTG ของ CC-AC ที่ 765.5°C และของ CO-AC ที่ 716.6°C

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

โดยตัวอย่าง CC-AC มีการสูญเสียมวลโดยรวมอยู่ที่ 57.26% ในขณะที่มวลคงเหลืออยู่ที่ 42.74% และตัวอย่าง CO-AC มีการสูญเสียมวลโดยรวมอยู่ที่ 64.62% ในขณะที่มวลคงเหลืออยู่ที่ 35.38%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CC-LT,CO-LT

$$CaCO_3(s) + 2(CH_3CHOHCCOOH)\ (aq) \longrightarrow Ca(CH_3CHOHCOO)_2 \bullet 5H_2O(s) + CO_2(g)$$

แคลเซียมแลคเตท CC-LT ที่สังเคราะห์จาก แคลเซียมคาร์บอเนต R-CC และ แคลเซียมอะซิเตท CO-LT ที่สังเคราะห์จากแคลเซียมออกไซด์ R-CO ที่แสดงดังรูปที่ 4.7 เส้นกราฟได้รับการวัดและบันทึกในช่วงอุณหภูมิ 30-900°C พบว่าเส้นโค้ง TG ของ CC-LT และ CO-LT มีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงความร้อนของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ตัว

1. Dehydration 85.9-288.6°C

สอดคล้องกับ พีค DTG ของ CC-LT ที่ 85.9 °C และของ CO-LT ที่ 97.2°C และ 143.7°C และสอดคล้องกับ พีค DTG ของ CC-LT ที่ 288.6°C และของ CO-LT ที่ 283.4°C

$$Ca(CH_3CHOHCOO)_2 \bullet 5H_2O(s) \longrightarrow Ca(CH_3CHOHCOO)_2(s) + 5H_2O(g)$$

2. Ethyl-lactate elimination 399.2-407.1°C

สอดคล้องกับ พีค DTG ของ CC-LT ที่ 399.2°C และของ CO-LT ที่ 407.1°C

$$Ca(CH_3CHOHCOO)_2(s) \longrightarrow CaCO_3(s) + CH_3CHOHCOOC_2H_5(g)$$

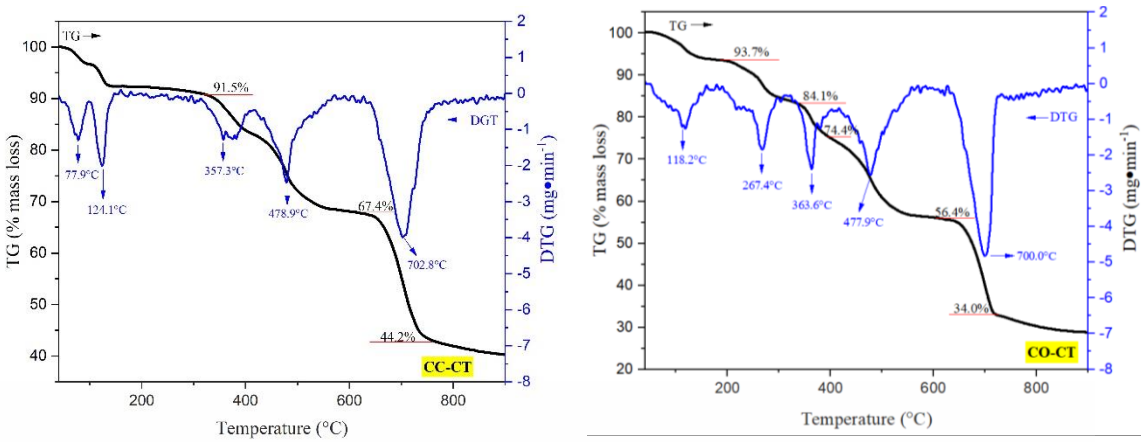
3. Decarbonization 725.3-734.9°C

สอดคล้องกับ พีค DTG ของ CC-LT ที่ 734.9°C และของ CO-LT ที่ 725.3°C

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

โดยตัวอย่าง CC-LT มีการสูญเสียมวลโดยรวมอยู่ที่ 76.3% ในขณะที่มวลคงเหลืออยู่ที่ 23.7% และตัวอย่าง CO-LT มีการสูญเสียมวลโดยรวมอยู่ที่ 71.6% ในขณะที่มวลคงเหลืออยู่ที่ 28.4%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CC-CT,CO-CT

$$3CaCO_3(s) + 2C_6H_8O_7(aq) \longrightarrow Ca_3(C_6H_5O_7)_2 \bullet 4H_2O(s) + CO_2(g)$$

แคลเซียมซิเตรท CC-CT ที่สังเคราะห์จาก แคลเซียมคาร์บอเนต R-CC และแคลเซียมซิเตรท CO-CT ที่สังเคราะห์จากแคลเซียมออกด์ R-CO ที่แสดงดังรูปที่ 4.8 เส้นกราฟได้รับการวัดและบันทึกในช่วงอุณหภูมิ 30-900°C พบว่าเส้นโค้ง TG ของ CC-CT และ CO-CT มีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงความร้อนของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ตัว

1. Dehydration 60-270°C

สอดคล้องกับ พีค DTGของ CC-CT ที่ 77.9°C และของ CO-CT ที่ 118.2°C และสอดคล้องกับ พีค DTGของ CC-CT ที่ 124.1°C และของ CO-CT ที่ 267.4°C

$$Ca_3(C_6H_8O_7)_2 \bullet 4H_2O(s) \longrightarrow Ca_3(C_6H_5O_7)_2(s) + 4H_2O(g)$$

2. Decomposition of $(C_6H_5O_7)_2$ 357.3-478.9°C

สอดคล้องกับ พีค DTGของ CC-CT ที่ 357.3-478.9°C และของ CO-CT ที่ 363.6-477.9°C

$$Ca_3(C_6H_5O_7)_2(s) \longrightarrow 3CaCO_3(s) + (C_6H_5O_7)_2(g)$$

3. Decarbonization 700.0-702.8°C

สอดคล้องกับ พีค DTGของ CC-CT ที่ 702.8°C และของ CO-CT ที่ 700.0°C

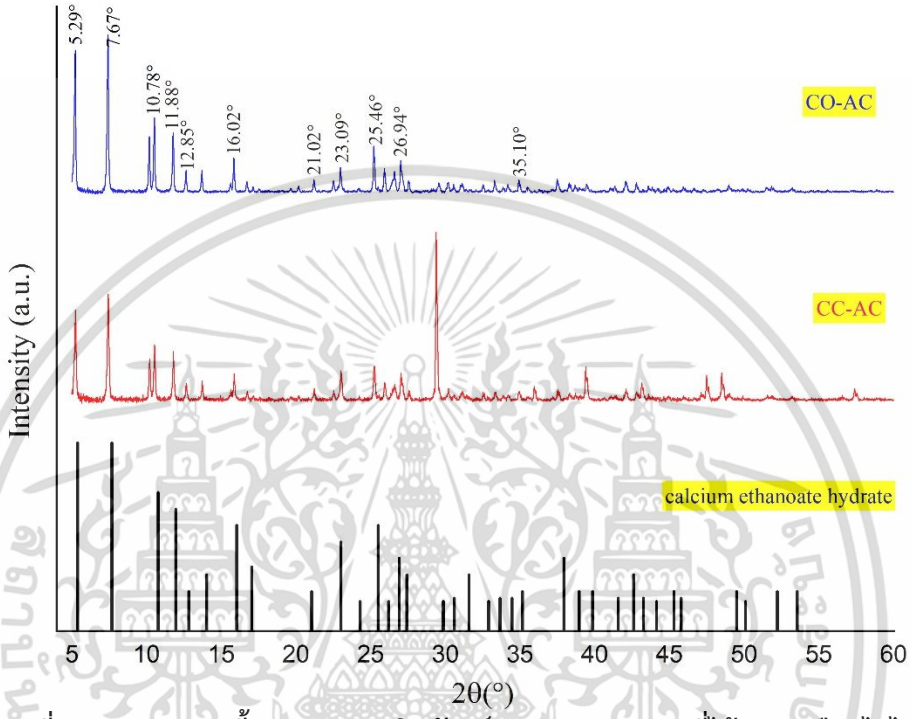
$$CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s) + CO_2(g)$$

โดยตัวอย่าง CC-CT มีการสูญเสียมวลโดยรวมอยู่ที่ 55.8% ในขณะที่มวลคงเหลืออยู่ที่ 44.2% และตัวอย่าง CO-CT มีการสูญเสียมวลโดยรวมอยู่ที่ 66.0% ในขณะที่มวลคงเหลืออยู่ที่ 34.0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 โครงสร้างและขนาดของโครงผลึก

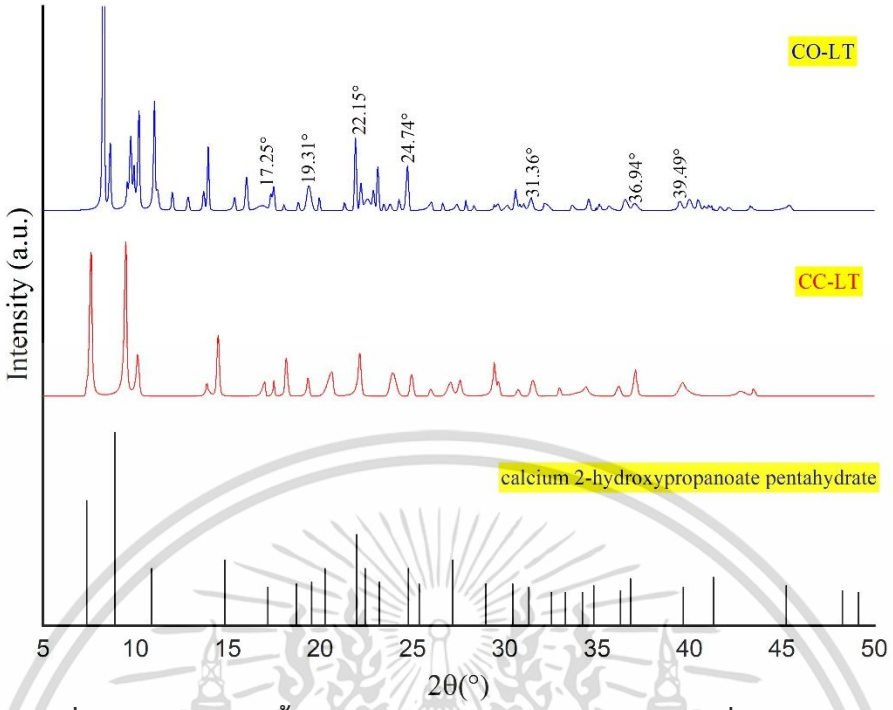
ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer,XRD) ได้ถูกตรวจสอบยืนยันลักษณะโครงสร้างด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ผลการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 ตัวอย่าง



รูปที่ 4.9 แสดงการเลี้ยวเบนของผลิตภัณฑ์ CC-AC,CO-AC ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่ และ calcium ethanoate hydrate (PDF Card No.: 00-004-0060) ที่เป็นสารมาตรฐานเพื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้

สรุปผลเอกลักษณ์ทางผลึกและโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer ,XRD) การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CC-AC,CO-AC ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่ โดยสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบตำแหน่งพีคที่ 2θ(มุมของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในจุดเข้มข้นสูงสุดที่เห็นได้ชัดเท่ากับ 5.29°, 7.67°, 10.78°, 11.88°, 12.85° , 16.02°, 21.02° , 23.09° , 25.46° , 26.94° และ 35.10° การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่นั้นตรงกัน โดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล calcium ethanoate hydrate (PDF Card No.: 00-004-0060) พบว่าตรงกับฐานข้อมูล พบพีคที่เด่นชัดของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตำแหน่ง 30° บ่งบอกถึงปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากยังมีคาร์บอเนตหลงเหลืออยู่โดยอ้างอิงจาก Xiaobin Li (2016) Thermodynamic and XRD analysis of reaction behaviors of gangue minerals in roasting mixture of scheelite and calcium carbonate for Ca_3WO_6 preparation

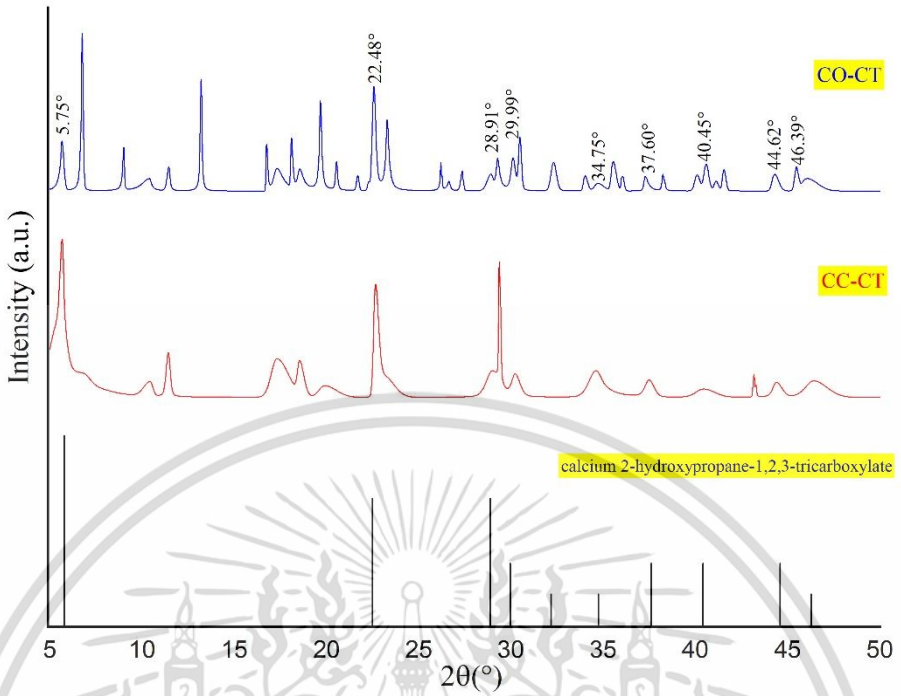
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงการเลี้ยวเบนของผลิตภัณฑ์ CC-LT,CO-LT ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่ และ calcium 2-hydroxypropanoate pentahydrate (PDF Card No.: 00-029-1596) ที่เป็นสารมาตรฐานเพื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้

สรุปผลเอกลักษณ์ทางผลึกและโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer ,XRD) การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CC-LT,CO-LT ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่ โดยสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบตำแหน่งพีคที่ 2θ(มุมของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์) ในจุดเข้มข้นสูงสุดที่เห็นได้ชัดเท่ากับ 17.25°, 19.31°, 22.15°, 24.74°, 31.36° , 36.94° และ 39.49° การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่นั้นตรงกัน โดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล calcium 2-hydroxypropanoate pentahydrate (PDF Card No.: 00-029-1596) พบว่าตรงกับฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงการเลี้ยวเบนของผลิตภัณฑ์ CC-CT,CO-CT ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่ และ calcium 2-hydroxypropane-1,2,3-tricarboxylate (PDF Card No.: 00-025-1568) ที่เป็นสารมาตรฐานเพื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้

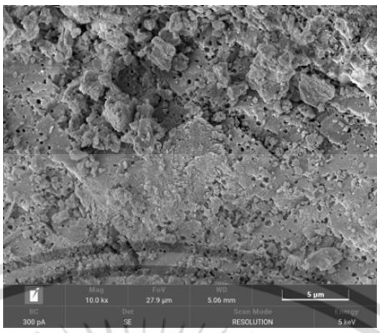
สรุปผลเอกลักษณ์ทางผลึกและโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer ,XRD) การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CC-CT,CO-CT ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่ โดยสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบตำแหน่งพีคที่ 2θ(มุมของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์) ในจุดเข้มข้นสูงสุดที่เห็นได้ชัดเท่ากับ 5.75°, 22.48°, 28.91°, 29.99°, 34.75°, 37.60°, 40.45°, 44.62° และ 46.39° การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่นั้นตรงกัน โดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล calcium 2-hydroxypropane-1,2,3-tricarboxylate (PDF Card No.: 00-025-1568) พบว่าตรงกับฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ทางกายภาพ

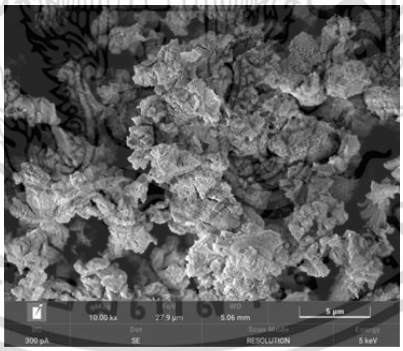
4.3.1 รูปร่างทางสัณฐานวิทยา

ตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM)



รูปที่ 4.12 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ R-CC

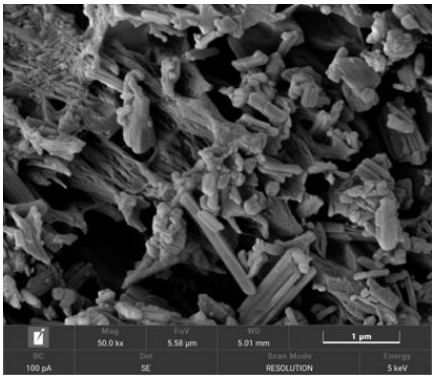
ใช้เทคนิค (Field Emission Scanning Electron Microscope ,FE-SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ R-CC แสดงไว้ดังภาพที่ 4.12 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ R-CC โดยใช้กำลังขยาย 100000 เท่า พบสารตัวอย่างขนาดระหว่าง 300 ถึง 600 นาโนเมตร มีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่



รูปที่ 4.13 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ R-CO

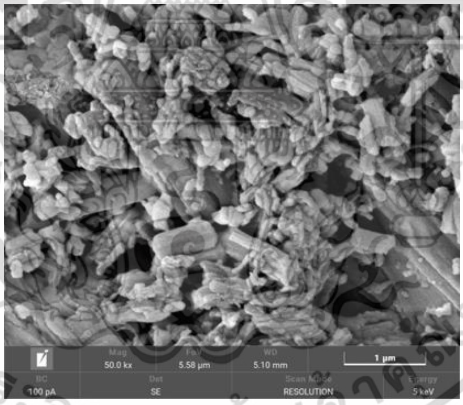
ใช้เทคนิค (Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ R-CO แสดงไว้ดังภาพที่ 4.13 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ R-CO โดยใช้กำลังขยาย 100000 เท่า พบสารตัวอย่างขนาดระหว่าง 300 ถึง 600 นาโนเมตร มีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CC-AC

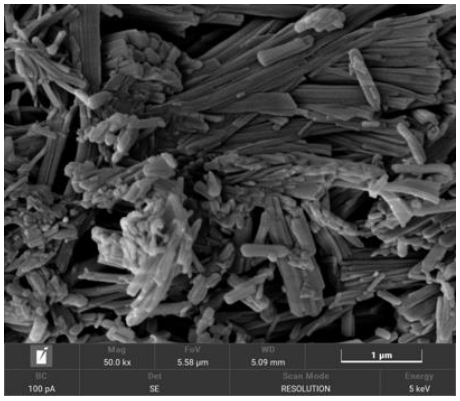
ใช้เทคนิค (Field Emission Scanning Electron Microscope ,FE-SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CC-AC แสดงไว้ดังภาพที่ 4.14 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CC-AC โดยใช้กำลังขยาย 100000 เท่า พบสารตัวอย่างระหว่าง 125 ถึง 250 นาโนเมตร มีลักษณะเป็นก้อนขนาดเล็กและมีบางส่วนเป็นแท่ง



รูปที่ 4.15 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CO-AC

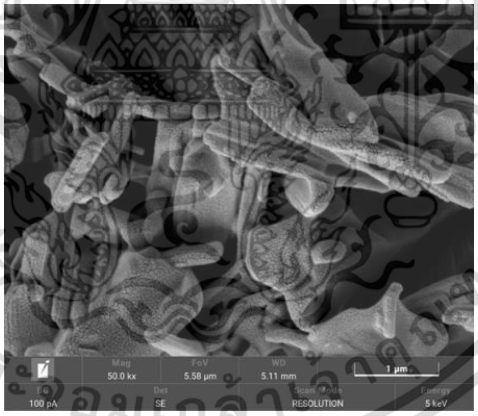
ใช้ทคนิค (Field Emission Scanning Electron Microscope ,FE-SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CO-AC แสดงไว้ดังภาพที่ 4.15 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CO-AC โดยใช้กำลังขยาย 100000 เท่า พบสารตัวอย่างระหว่าง 125 ถึง 200 นาโนเมตร มีลักษณะเป็นก้อนขนาดเล็กบางส่วนเป็นแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CC-LT

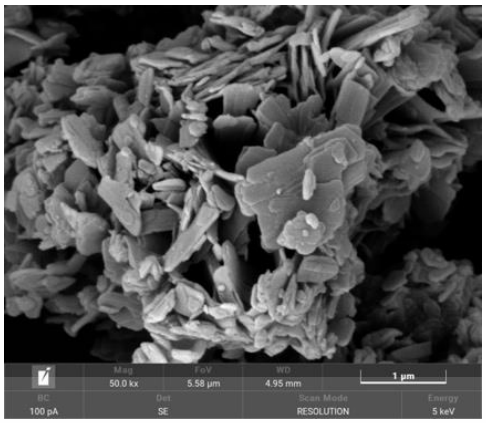
ใช้เทคนิค (Field Emission Scanning Electron Microscope ,FE-SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CC-LT แสดงไว้ดังภาพที่ 4.16 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CC-LT โดยใช้กำลังขยาย 100000 เท่า พบสารตัวอย่างขนาดระหว่าง 125 ถึง 200 นาโนเมตร มีลักษณะเป็น แท่งเหลี่ยมจับตัวกัน



รูปที่ 4.17 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CO-LT

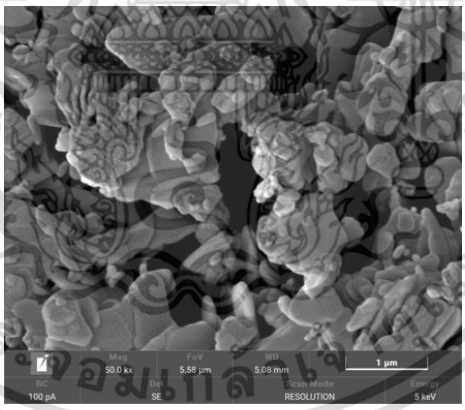
ใช้เทคนิค (Field Emission Scanning Electron Microscope ,FE-SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CO-LT แสดงไว้ดังภาพที่ 4.17 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CO-LT โดยใช้กำลังขยาย 100000 เท่า พบสารตัวอย่างขนาดระหว่าง 200 ถึง 350 นาโนเมตร มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมจับตัวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CC-CT

ใช้เทคนิค (Field Emission Scanning Electron Microscope ,FE-SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CC-CT แสดงไว้ดังภาพที่ 4.18 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CC-CT โดยใช้กำลังขยาย 100000 เท่า พบสารตัวอย่างขนาดระหว่าง 125 ถึง 250 นาโนเมตร มีลักษณะเป็นเหลี่ยมจับตัวเป็นก้อนอยู่ติดกัน



รูปที่ 4.19 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CO-CT

ใช้เทคนิค (Field Emission Scanning Electron Microscope ,FE-SEM) เพื่อสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ CO-CT แสดงไว้ดังภาพที่ 4.19 รูปสัณฐานวิทยา (การสแกนภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยใช้เทคนิคเคลือบทองในการเตรียมตัวอย่าง) ของ CO-CT โดยใช้กำลังขยาย 100000 เท่า พบว่าสารตัวอย่างมีขนาดอนุภาคขนาดระหว่าง 125 ถึง 250 นาโนเมตร มีลักษณะเป็นเหลี่ยมจับตัวเป็นก้อนอยู่ติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ประเมินค่าการปลดปล่อย carbon emissions

วิธีการคำนวณก๊าซเรือนกระจก CO_2

$kgCO_2$= จำนวนหน่วยที่ใช้ × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor)

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor)ที่นำมาใช้ในการคำนวณ

Activity data	Emission factor ($kgCO_2$)
Sodium hypochlorite (NaOCl) 6% (w/w)	0.34845 $kgCo_2e/L$
DI water	0.0020 Kg CO_2 e/L
ไฟฟ้า	0.5821 $kgCO_2e/kw$
กรดอะซิติก (CH_3COOH), 99%	2.6987 kg CO_2 e/L
กรดแลคติค ($CH_3(CHOHCOOH)$), 88%	2.5389 kg CO_2 e/L
กรดซิตริก ($C_6H_8O_7$), 99%	27.28 กก. CO_2 e/L
เอทานอล (C_2H_6O), 99%	0.3129 kg CO_2e /L

4.4.1 ประเมินค่าการปลดปล่อย carbon emissions $CaCO_3$ ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่

1. เปลือกไข่เหลือทิ้งจากแผนกเศษอาหารของร้านเบเกอรี่ ปูกะเอ สาขา2 บ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา ประเทศไทย การปล่อย CO_2 ในการขนส่งของเสียจากเปลือกไข่เหลือทิ้งคำนวณได้เท่ากับ 35 km × 0.005 t × 0.0536 Kg CO_2e/t kg/1000 การปล่อย CO_2 ได้รับการประเมินที่ 0.00000938 Kg CO_2e/kg

2. เนื้อเยื่อเปลือกไข่ที่เหลือถูกเอาออกด้วย Sodium hypochlorite (NaOCl) 6% (w/w) คิดเป็นการปล่อยค่า EF อยู่ที่ 0.34845 $kgCo_2$ e/L ถูกเจือจางด้วยน้ำDI 0.5L เพื่อให้ได้ NaOCl 3% (w/w) การปล่อย CO_2 ได้รับการประเมินที่ 0.15723 kgCo2 e/L (อัตราส่วนมวลของเปลือกไข่ต่อสารละลายเท่ากับ 1 ต่อ 1)

3. จากนั้นเปลือกไข่จะถูกแช่ในน้ำDIสามครั้งเพื่อให้กระบวนการทำความสะอาดเสร็จสมบูรณ์ (น้ำDIประมาณ 3 ลิตร) (EFน้ำDI= 0.0020 Kg CO_2 e/L) การปล่อย CO_2 ได้รับการประเมินที่ 0.00598 $kgCo_2e/L$

4. เปลือกไข่ที่ทำความสะอาดแล้วจะถูกทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง บดจนได้ผง $CaCO_3$ที่ได้มาจากเปลือกไข่ (การใช้ไฟฟ้า การปล่อย EF= 1 kwh × 0.6093 $kgCO_2e/kw$ × 1 kg/100 kg h = 0.018279 $KgCO_2$ e/kw)

จากกระบวนการผลิต $CaCO_3$ ที่ได้มาจากเปลือกไข่ไก่ (การขนส่ง การใช้สารเคมีและน้ำ DI และไฟฟ้า) คาดว่าจะอยู่ที่ประมาณ 0.18149 $kgCO_2$ e/kg เกือบจะเป็นปัจจัยการปล่อย $CaCO_3$ (Food grade EF = 0.30 $kgCO_2$ e/kg)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ประเมินค่าการปลดปล่อย carbon emissions CaO จากการทดลอง

กระบวนการผลิต CaO โดยการนำ $CaCO_3$ ที่ได้มาจากข้างต้น 1kg ไปเผาด้วยอุณหภูมิ 900°C 2ชั่วโมง (การใช้ไฟฟ้า การปล่อย CO_2 = 15 kwh × 2hr × 0.5821 kgCO_2e/kw × 1 kg/100 kgh = 0.17463 KgCO_2e/kw) การปล่อย CO_2 ได้รับการประเมินที่ 0.3561 kgCO_2 e/kg

4.4.3 ประเมินค่าการปลดปล่อย carbon emissions ของสารละลายกรดที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ตัว

1. แคลเซียมอะซิเตท ด้วย กรดอะซิติก (CH_3COOH), 99%, d = 1.05 Kg/L ใช้เป็นรีเอเจนต์เพื่อเตรียมแคลเซียมอะซิเตท ซึ่งปัจจุบันมีการปล่อย CO_2 อยู่ที่ 2.5702 Kg CO_2 e/Kg หรือ 2.6987 kg CO_2 e/L ก่อนที่จะเตรียมแคลเซียมอะซิเตท กรดอะซิติกบริสุทธิ์ (99% w/w) จะถูกเจือจางโดยใช้น้ำDIเป็นตัวทำละลาย เพื่อให้ได้กรดแลกติกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล (การปล่อย CO_2ของกรดกรดอะซิติกได้รับการประเมินที่ 1.3639 kg CO_2 e/L)

2. แคลเซียมแลคเตท ด้วย กรดแลคติค ($CH_3(CHOHCOOH)$), 88%, d = 1.209 Kg/L ใช้เป็นรีเอเจนต์เพื่อเตรียมแคลเซียมแลคเตต ซึ่งปัจจุบันมีการปล่อย CO_2 อยู่ที่ 2.1 Kg CO_2 e/Kg หรือ 2.5389 kg CO_2 e/L ก่อนที่จะเตรียมแคลเซียมแลคเตท กรดแลกติกบริสุทธิ์ (88% w/w)จะถูกเจือจางโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย เพื่อให้ได้กรดแลกติกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล. (การปล่อย CO_2ของกรดแลคติค ได้รับการประเมินที่ 1.4434 kg CO_2 e/L)

3. แคลเซียมซิเตรท ด้วย กรดซิตริก ($C_6H_8O_7$), 99%, d = 1.24 Kg/L ใช้เป็นรีเอเจนต์เพื่อเตรียมแคลเซียมซิเตรท ซึ่งปัจจุบันมีการปล่อย CO_2 อยู่ที่ 22 Kg CO_2 e/Kg หรือ 27.28 กก. CO_2 e/L ก่อนที่จะเตรียมแคลเซียมซิเตรท กรดซิตริกบริสุทธิ์ (99% w/w) จะถูกเจือจางโดยใช้น้ำDIเป็นตัวทำละลาย เพื่อให้ได้กรดซิตริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล. (การปล่อย CO_2ของกรดซิตริก ได้รับการประเมินที่ 13.7787 kg CO_2 e/L)

4.4.4 ประเมินค่าการปลดปล่อย carbon emissions ขั้นตอนการทดลองในการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์จาก $CaCO_3$

1. การใช้ไฟฟ้า(Hotplate Stirrer และ อบแห้ง การปล่อย CO_2 การปล่อย CO_2ของขั้นตอนการทดลองได้รับการประเมินที่ 0.0212 KgCO_2e/kw)

2. การใช้ Ethanol 99% d=0.79 kg/L (EF=0.3962 Kg CO_2e /kg หรือ 0.3129 kg CO_2e /L) ในการทดลองและในการล้างตะกอนปริมาตร 0.12L (การปล่อย CO_2 ได้รับการประเมินที่ 0.0375 kg CO_2 e /L)

จากขั้นตอนการทดลองในการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์จาก $CaCO_3$ การปล่อย CO_2ของขั้นตอนการทดลองได้รับการประเมินที่ 0.0587 kg CO_2 e/L เมื่อนำไปประเมินค่าการปลดปล่อย carbon emissions สารละลายกรดที่ใช้ในการทดลอง จะได้ค่าการปลดปล่อย carbon emissions ของผลิตภัณฑ์ดังนี้ CC-AC=1.4226 kg CO_2 e/kg ,CC-LT=1.5021 ,CC-CT=13.8374

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 ประเมินค่าการปลดปล่อย carbon emissions ขั้นตอนการทดลองในการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์จาก CaO

1. การใช้ไฟฟ้า(Hotplate Stirrer และ อบแห้ง (การปล่อย CO_2ของขั้นตอนการทดลองได้รับการประเมินที่ 0.0212 KgCO_2e/kw)

2. การใช้ Ethanol 99% d=0.79 kg/L (EF=0.3962 Kg CO_2e /kg หรือ 0.3129 kg CO_2e /L) ในการทดลองและในการล้างตะกอนปริมาตร 0.18L (การปล่อย CO_2 ได้รับการประเมินที่ 0.0563 kg CO_2 e /L)

จากขั้นตอนการทดลองในการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์จาก CaO การปล่อย CO_2 ของขั้นตอนการทดลองได้รับการประเมินที่ 0.0587 kg CO_2e/kg เมื่อนำไปประเมินค่ากับการปลดปล่อย carbon emissions สารละลายกรดและขั้นตอนที่ใช้ในการทดลอง จะได้ค่าการปลดปล่อย carbon emissions ของผลิตภัณฑ์ดังนี้ CO-AC=1.7975 kg CO_2e/kg ,CO-LT=1.8770 kg CO_2e/kg ,CO-CT=14.2123 kg CO_2e/kg

4.4.6 ประเมินค่าการปลดปล่อย carbon emissions ขั้นตอนการทดลองในการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์จากแร่หิน

จากขั้นตอนการทดลองในการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์จาก $CaCO_3$ จากแร่หินขั้นตอนการทดลองได้รับการประเมินที่ 0.30 kg CO_2e/kg เมื่อนำไปประเมินกับค่าการปลดปล่อย carbon emissions สารละลายกรดและขั้นตอนที่ใช้ในการทดลอง จะได้ค่าการปลดปล่อย carbon emissions ของผลิตภัณฑ์ดังนี้ minerals-$CaCO_3$-AC=1.7226 kg CO_2e/kg , minerals-$CaCO_3$-LT=1.8021 kg CO_2e/kg , minerals-$CaCO_3$-CT=14.1374 kg CO_2e/kg

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการปลดปล่อย carbon emissions จากประเมินกระบวนการทั้งหมด

การสังเคราะห์ $CaCO_3$ จากเปลือกไข่ไก่	carbon emissions (kgCO_2e/kg)
การขนส่ง	0.000009
ล้างเยื่อด้วยNaOCl 3% 1L	0.1572
แช่น้ำDI 3L	0.0060
ค่าไฟฟ้าในการอบแห้งและบดละเอียด	0.0183
ผลรวมค่าการปลดปล่อยคาร์บอน $CaCO_3$ จากเปลือกไข่ไก่	**0.1815**

เปรียบเทียบค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากสารตั้งต้นทั้ง 3 วิธี	carbon emissions (kgCO_2e/kg)
CaO จากการเผา	0.3561
$CaCO_3$ จากแร่ธรรมชาติ	0.30
$CaCO_3$ จากเปลือกไข่ไก่	0.1815

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การอ้างอิงเอกสารนี้ต้องได้รับการยอมรับเป็นลายลักษณ์อักษรจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าการปลดปล่อย carbon emissions จาก $CaCO_3$ ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่ น้อยกว่า $CaCO_3$ จากแร่ธรรมชาติประมาณ 0.1185(kgCO2e/kg)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากโครงงานพิเศษเรื่อง“รีไซเคิลเปลือกไข่ที่เหลือทิ้งให้เป็นแคลเซียมอินทรีย์อนุภาคนาโน โดยกระบวนการที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก“เปลือกไข่ไก่ที่ถูกทิ้งเป็นขยะจากอุตสาหกรรมอาหาร ทำให้เกิดขยะปริมาณมากขึ้นจำนวนมหาศาล และหากการกำจัดขยะจำพวกนี้ไม่ถูกวิธี อาจเกิดผลกระทบและผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมจำนวนมาก เช่นการผังกลบที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น จึงได้ทำการวิจัยเพื่อสังเคราะห์สารตั้งต้นแคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมออกไซด์มาทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติก กรดแลคติก และกรดซิตริก เพื่อให้ได้เป็น แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท และแคลเซียมซิเตรท ตามลำดับ และนำแคลเซียมทั้งสามไปใช้ประโยชน์ต่อๆไป ยังสามารถลดปริมาณขยะจากเปลือกไข่ได้ และสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้อีกด้วย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยการผลิตแคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท และแคลเซียมซิเตรท ที่สังเคราะห์จากเปลือกไข่ไก่ เป็นสารตั้งต้น 2 ชนิด คือ แคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมออกไซด์ เพื่อนำมาผลิตเป็นแคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท และแคลเซียมซิเตรท โดยทำการทดลองนำเปลือกไข่ไก่ที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว นำไปตากให้แห้ง จากนั้นบดให้ละเอียดเป็นผง และร่อนด้วยตะแกรง 100 เมช จะได้สารตั้งต้นแคลเซียมคาร์บอเนต และแบ่งไปเผาได้เป็นแคลเซียมออกไซด์ นำสารตั้งต้นทั้ง 2 ชนิดไปทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติก กรดแลคติก และกรดซิตริก ที่มีความเข้มข้น 50% โดยมวล จะได้แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท และแคลเซียมซิเตรท จากการทดลองของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้ง 6 ตัวนั้น (CC-AC,CO-AC,CC-LT,CO-LT,CC-CT,CO-CT) ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 120นาที, 10นาที, 30นาที, 2นาที, 60นาที, 4นาที ตามลำดับ ร้อยละผลผลิตมีค่าเท่ากับ 74.81%, 71.28%, 75.94%, 75.61%, 84.97%, 73.31% ตามลำดับ แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีโดยวิธีต่างๆดังนี้

1. ตรวจสอบองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ (XRF) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า มีสารประกอบหลักที่เป็น CaO และมีการปนเปื้อนของสารอื่นไม่เกิน 2%

2. ตรวจสอบรูปแบบการการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน เอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุล (FTIR) ผลการวิเคราะห์พบพันธะของผลิตภัณฑ์ แคลเซียมอะซิเตท มีลักษณะคล้ายแคลเซียมอะซิเทตโมโนไฮเดรต แคลเซียมแลคเตท มีลักษณะคล้ายแคลเซียมแลคเตทเพนตระไฮเดรต และแคลเซียมซิเตรท มีลักษณะคล้ายแคลเซียมซิเตรทเทตระไฮเดรต ไม่ว่าสารตั้งต้นจะเป็น CaO หรือ $CaCO_3$ จะมีสเปกตรัมที่คล้ายกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตรวจสอบโครงสร้างของผลึก ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ผลการวิเคราะห์บ่งชี้และยืนยันได้ว่า การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จากผลิตภัณฑ์ทั้ง6 ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่นั้นมีพีคที่เด่นชัดตรงกัน โดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดยืนยันได้ว่ามีสารประกอบเกิดขึ้นจริง CC-AC พบพีคที่เด่นชัดของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตำแหน่ง 30° บ่งบอกถึงปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากยังมีคาร์บอเนตหลงเหลืออยู่

4. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (TGA) ผลการวิเคราะห์พบว่าพีค TG และ DTG คล้ายกันเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างเหมือนกัน สอดคล้องกับการสลายตัวของแคลเซียมอะซิเตทโมโนไฮเดรต แคลเซียมแลคเตทเพนตระไฮเดรต และไตรแคลเซียมไดซิเตรทเตตตระไฮเดรต

5. ตรวจสอบรูปร่างสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) รูปร่างทางสัณฐานวิทยาพบว่า R-CC และ R-CO มีขนาดที่ใกล้เคียงกันมีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ CC-AC และCO-AC เป็นก้อนขนาดเล็กปนกับส่วนที่เป็นแท่ง CC-LT และ CO-LT มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมจับตัวกันโดยที่ CC-LT มีขนาดที่เล็กกว่าCO-LT และ CC-CT และ CO-CT มีขนาดใกล้เคียงกันมีลักษณะเหลี่ยมจับตัวเป็นก้อนติดกัน

สำหรับการประเมินค่าการปลดปล่อย carbon emissions พบว่า เมื่อเทียบกับการเตรียมสารประกอบแคลเซียมจากแร่แคลเซียมคาร์บอเนต ในการเตรียมสารประกอบแคลเซียมจากเปลือกไข่ที่เหลือทิ้งสามารถโดยกระบวนการที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้จริง และยังเป็นการรีไซเคิลเปลือกไข่ที่เหลือทิ้งเพื่อใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มระยะเวลาในการปั่นกวน CC-AC ให้นานขึ้นเนื่องจากกรดอะซิติกเกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่ากรดแลคติก และกรดซิตริก เพื่อให้ปฏิกิริยาสมบูรณ์ไม่หลงเหลือแคลเซียมคาร์บอเนต

2. ควรศึกษาความเข้มข้นกรดชนิดต่างๆที่เหมาะสมเพิ่มเติม

3. ควรเก็บ CaO ในโถดูดความชื้นหากสัมผัสกับกับความชื้นในอากาศจะกลายเป็น $Ca(OH)_2$ ได้ง่าย

4. สามารถลดค่า carbon emissions ลงได้อีกได้จากการกรองผลิตภัณฑ์แบบลดความดันแล้วเปลี่ยนจากใช้เตาอบแห้งเป็นการตากแดดและใช้โถดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

A.Prihanto et al. (2023). Rapid synthesis of monocalcium phosphate using calcium carbonate extracted from green mussel shells and phosphoric acid solution. [Online]. Available : https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.315

Boonchom et al. (2017) Production of organic calcium compounds from shells and egg shells for various applications. [Online]. Available : https://opac.lib.kmitl.ac.th/catalog/BibItem.aspx?BibID=b00265188

Chen X, Zhang Y ., Zhao Y.-E. (2010). (Bio-chemical Engineering College of Beijing Union University, Beijing 100023); Study on preparation of calcium lactate from eggshell by hydrothermal synthesis[J];China Food Additives;2010-01.

Lian X. (2002). Study of the Technological Calcium Lactate from Eggshells [J];Meat Research;2002-02

Li.,MA M., CAl Z. (2008). Study on the Transformation of Calcium Carbonate into Organic Calcium from Eggshell[J];Sichuan Food and Fermentation; 05.

motlhalalamme et al. (2023). Bio-synthesized calcium carbonate ($CaCO_3$) nanoparticles: Their anti-fungal properties and application as nanofertilizer on Lycopersicon esculentum growth and gas exchange measurements [Online]. Available : https://doi.org/10.1016/j.plana.2023.100050

Nongnuch et al. (2021) Simple recycling of biowaste eggshells to various calcium phosphates for specific industries [Online]. Available : https://www.nature.com/articles/s41598-021-94643-1#auth-Nongnuch-Laohavisuti-Aff1

Rauf Khan et al. (2019). Agar and egg shell derived calcium carbonate and calcium hydroxide nanoparticles: Synthesis, characterization, and applications [Online]. Available : https://doi.org/10.1016/j.cplett.2019.136662

Sinha et al. (2021). Calcium oxide (CaO) nanomaterial (Kukutanda twak Bhasma) from egg shell: Green synthesis, physical properties and antimicrobial behavior [Online]. Available : https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.072

Somkiat Seesanong et al. (2023). Efficient, Green, and Low-Cost Conversion of Bivalve-Shell Wastes to Value-Added Calcium Lactate [Online]. Available : https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02042

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Somkiat Seesanong et al. (2023). Bio-green synthesis of calcium acetate from oyster shell waste at low cost and reducing the emission of greenhouse gases[Online]. Available : https://doi.org/10.1186/s42834-023-00187-6

Victor Hugo Jacks Mendes dos Santos et al. (2021). Application of Fourier Transform infrared spectroscopy (FTIR) coupled with multivariate regression for calcium carbonate (CaCO3) quantification in cement [Online]. Available : https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125413

Wang W.B., Zhao Y.Q., Sun H. (2012) Study on preparation of calcrete from egg shell. App Chem Indus 41:557-8

Xiong X.-X.,Si W.-D.,Wang P.,Wang X.-Q. (2012).(Beijing Deqingyuan Agricultural Technology Co,Ltd.,Chinese National Egg Engineering Research Center,Bejjing 100081);Transforming calcium carbonate in eggshell to calcium citrateU];Food Science and Technology;2012

Xiaobin Li (2016) Thermodynamic and XRD analysis of reaction behaviors of gangue minerals in roasting mixture of scheelite and calcium carbonate for Ca_3WO_6 preparation

Zeng X, MA M. H. (2010). (Subsidiary Research Center of National Eggs Processing/College of Food Science and Technology.Huazhong Agricultural University,Wuhan 430070),Technologic Research on Transforming Calcium Carbonate in Eegshell to Calcium CitrateUJ]:Scientia Agricultura Sinica:2010-05

Zhao J. Song K (1997). (Department of Fine Chemeical Engineering,Xian Jiaotong University, 710049),Preparation of calcium lactate from egg shells/]: MODERN CHEMICALINDUSTRY;1997-01.

กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2565). สถิติเกษตรการเลี้ยงไก่ไข่ ปี2565 [Online] Available : https://ict.dld.go.th/webnew/images/stories/stat_web/yearly/2565/province/T6-1-Chick.pdf

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2556). องค์ประกอบของเปลือกไข่ [Online] Available : https://kukr.lib.ku.ac.th/db/CSC/search_detail/dowload_digital_file/353823/89091

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (2564). การพัฒนากระบวนการผลิตแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่เหลือทิ้งอุตสาหกรรมด้วยเตาเผาแบบหมุน http://202.28.34.124/dspace/bitstream/123456789/1539/1/61011752002.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) การปล่อยก๊าซ CO_2 [Online] Available : https://www.eppo.go.th/index.php/th/graph-analysis/item/19298-news-170366-01

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะและของเสีย [Online] Available : https://ghgreduction.tgo.or.th/th/download-less/download/373/495/32.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ภาพประกอบในการทดลอง

รูปที่ ก-1 เดินทางไปรับเปลือกไข่ 5 กก. จากร้านปูกะเอ จังหวัดฉะเชิงเทรา

รูปที่ ก-2 นำเปลือกไข่ไก่ มาทำความสะอาดโดยการแช่ Sodium hypochlorite 3% และล้างออกด้วยน้ำสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก-3 นำเปลือกไข่ไก่บดด้วยเครื่องบด

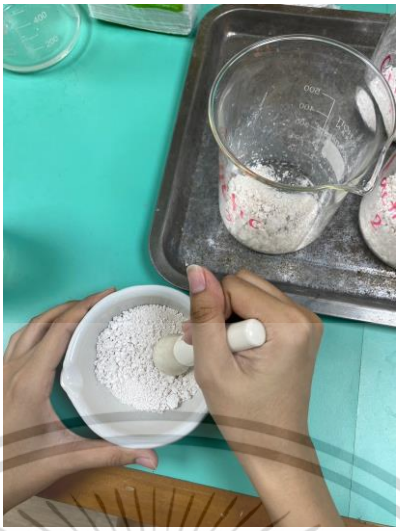
รูปที่ ก-4 ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

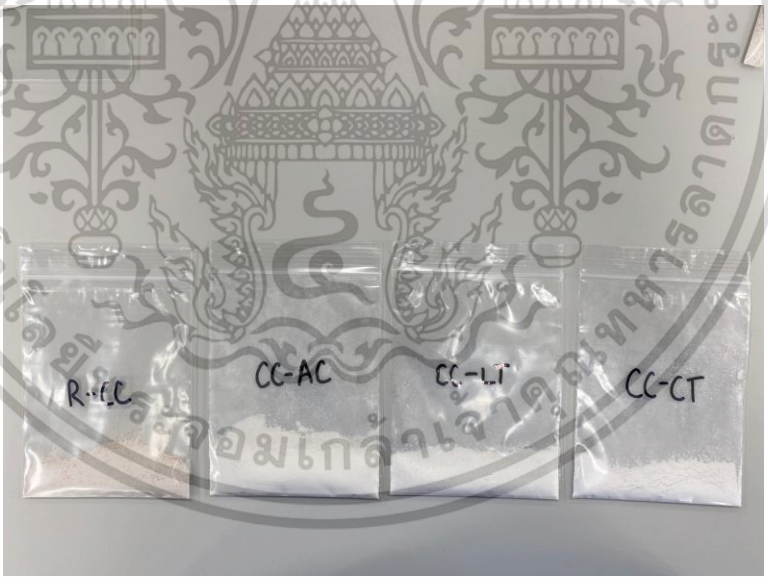
รูปที่ ก-5 เติมเอทานอล 99.9% 10 มล. จากนั้น เติมกรดที่แตกต่างกันในแต่ละบีกเกอร์ เติมกรดอะซิติก กรดซิตริก และกรดแลคติกคนให้ผสมกันด้วย hotplate stirrer ความเร็ว 150 รอบต่อนาที จนทำปฏิกิริยากันจนหมด

รูปที่ ก-6 นำบีกเกอร์ที่ตัวอย่างทำปฏิกิริยาเรียบร้อยแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 80°C 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



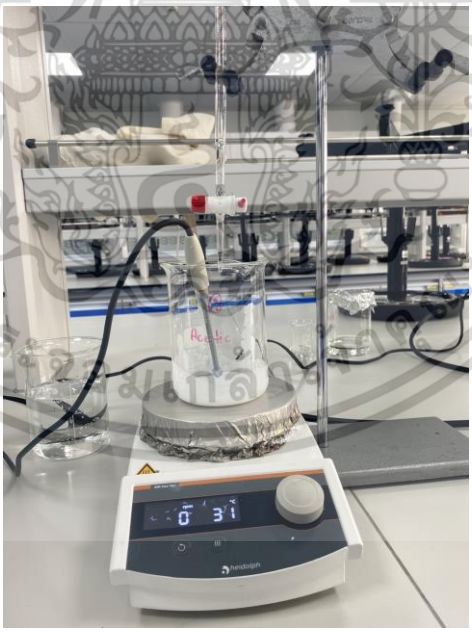
รูปที่ ก-7 นำไปบดให้ละเอียดด้วยโกร่งบดยา



รูปที่ ก-8 จะได้แคลเซียมอะซิเตท แคลเซียมแลคเตท แคลเซียมซิเตรท ที่มาจากแคลเซียมคาร์บอเนต แบ่งใส่ถุงซิปล็อคดังรูป เพื่อส่งวิเคราะห์

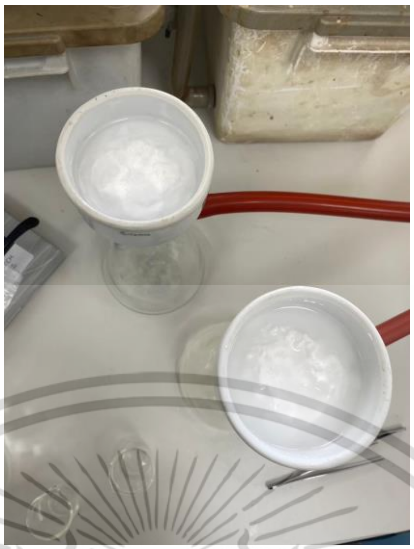
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก-9 ในส่วนที่สองนำ แคลเซียมคาร์บอเนตไปเผาให้ได้แคลเซียมออกไซด์



รูปที่ ก-10 เติมเอทานอล 99.9% 30 มล. จากนั้น เติมกรดที่แตกต่างกันในแต่ละบีกเกอร์ 1.เติมกรดอะซิติก 2.กรดซิตริก 3.กรดแลคติกคนให้ผสมกันด้วย hotplate stirrer ความเร็ว 150 รอบต่อนาที จน ทำปฏิกิริยากันจนหมด นำไปบดให้ละเอียดด้วยโกร่งบดยา

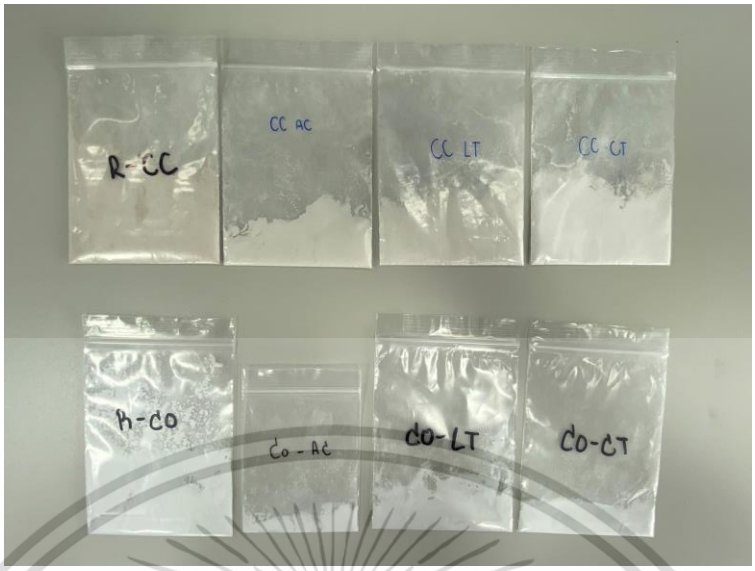
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-11 นำไปกรองด้วยเอทานอล 99% 20 มล. 3 รอบ บนเครื่องกรองสุญญากาศ

รูปที่ ก-12 อบให้แห้งแล้วนำไปบดด้วยโกร่งบดยาให้ละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-13 แบ่งใส่ถุงซิปล็อคเพื่อส่งวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข-1 คำนวณเจือจางความเข้มข้นของกรด

1.1 การเตรียมกรดอะซิติก 99% => 50%

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$0.9985\ V_1 = 0.5(1000)$$

$$V_1 = \frac{0.5 \times 1000}{0.9985} = 500.75$$

ดังนั้น ต้องเติมกรดอะซิติก 99% 500.75 ml ปรับด้วยขวดปรับปริมาตร 1000 ml จะได้กรดอะซิติกเข้มข้น 50%

1.2 การเตรียมกรดแลคติก

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$0.88\ V_1 = 0.5(1000)$$

$$V_1 = \frac{0.5 \times 1000}{0.88} = 568.181$$

ดังนั้น ต้องเติมกรดแลคติก 88% 568.181 ml ปรับด้วยขวดปรับปริมาตร 1000 ml จะได้กรดแลคติกเข้มข้น 50%

1.3 การเตรียมกรดซิตริก

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$0.99\ V_1 = 0.5(1000)$$

$$V_1 = \frac{0.5 \times 1000}{0.99} = 505.05$$

ดังนั้น ต้องเติมกรดซิตริก 99% 505.05 ml ปรับด้วยขวดปรับปริมาตร 1000 ml จะได้กรดซิตริกเข้มข้น 50%

ข-2 การเตรียมสารประกอบแคลเซียม

2.1 การเตรียมแคลเซียมอะซิเตท

2.1.1 การเตรียมแคลเซียมอะซิเทตจากสารตั้งต้นแคลเซียมคาร์บอเนต

จากสมการ $CaCO_3(s) + 2CH_3COOH(aq.) \longrightarrow Ca(CH_3COO)_2 \cdot H_2O(s) + CO_2(g)$

Acetic acid มีมวลโมเลกุล = 60.052 g/mol

สารละลายกรดอะซิติก 99% w/w มีค่าความหนาแน่น = 1.05 g/cm^3

50% w/w $2CH_3COOH$ ความเข้มข้น $= \frac{50g}{100g\ Sol} \times \frac{1mol}{60.052g/mol} \times \frac{1.05g/cm3}{1ml} = 0.0087 \times \frac{1000ml}{1L} = 8.7424\ M$

1 mol $CaCO_3$ ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Acetic 2 mol

การทดลองใช้ $CaCO_3$ 10g $(\frac{1mol}{100g}) = 0.1$ mol

ต้องใช้ Acetic acid 0.1 mol $\times \frac{2mol\ Acetic\ acid}{1molCaCo3} = 0.2$ mol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.2 mol Acetic acid = $\frac{(8.7424\text{mol/l})\ V}{1000\text{ml}}$ = 22.8770 ml = 23 ml

2.1.2 การเตรียมแคลเซียมอะซิเตทจากสารตั้งต้นแคลเซียมออกไซด์

จากสมการ $CaO(s)+ 2CH_3COOH(aq.) \longrightarrow Ca(CH_3COO)_2 \cdot H_2O(s)+CO_2(g)$

Acetic acid มีมวลโมเลกุล = 60.052 g/mol

สารละลายกรดอะซิติก 99% w/w มีค่าความหนาแน่น = 1.05 g/cm^3

50% w/w $2CH_3COOH$ ความเข้มข้น = $\frac{50\text{g}}{100\text{g Sol}} X \frac{1\text{mol}}{60.052\text{g/mol}} X \frac{1.05\text{g/cm3}}{1\text{ml}}$ = 0.0087 x $\frac{1000\text{ml}}{1\text{L}}$ = 8.74 M

1 mol CaO ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Acetic 2 mol

การทดลองใช้ CaO 10 g ($\frac{1\text{mol}}{56.0774\text{ g}}$) = 0.1783 mol

ต้องใช้ Acetic acid 0.1783 mol x $\frac{2\text{mol Acetic acid}}{1\text{molCaO}}$ = 0.3566 mol

0.1782 mol Acetic acid = $\frac{(8.742\text{mol/l})\ V}{1000\text{ml}}$ = 40.7916 ml = 41 ml

2.2 การเตรียมแคลเซียมแลคเตท

2.2.1 การเตรียมแคลเซียมแลคเตทจากสารตั้งต้นแคลเซียมคาร์บอเนต

จากสมการ $CaCO_3(s) + 2C_3H_6O_3(aq.) \longrightarrow Ca_3(C_6H_5O_7)_2 \cdot 5H_2O(s) + CO_2(g)$

Lactic acid 88% w/w มีมวลโมเลกุล = 90.08 g/mol มีค่าความหนาแน่น = 1.209 g/cm^3

50% w/w $C_3H_6O_3$ ความเข้มข้น = $\frac{50\text{g}}{100\text{g Sol}} X \frac{1\text{mol}}{90.08\text{ g/mol}} X \frac{1.209\text{g/ml}}{1\text{ml}}$ =0.00671 x $\frac{1000\text{ml}}{1\text{L}}$ =6.7107 M

1 mol $CaCO_3$ ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Lactic acid 2 mol

การทดลองใช้ $CaCO_3$ 10g ($\frac{1\text{mol}}{100\text{g}}$) = 0.1 mol

ต้องใช้ Lactic acid 0.1 mol x $\frac{2\text{mol lactic acid}}{1\text{molCaCo3}}$=0.2 mol

0.2 mol Lactic acid = $\frac{(6.7107\text{mol/l})V}{1000\text{ml}}$ =29.8031 ml =30 ml

2.2.2 การเตรียมแคลเซียมแลคเตทจากสารตั้งต้นแคลเซียมออกไซด์

จากสมการ $CaO (s) + 2C_3H_6O_3 (aq.) \longrightarrow Ca(CH_3H_5O_3)_2 \cdot 5H_2O (s)$

Lactic acid 88% w/w มีมวลโมเลกุล = 90.08 g/mol มีค่าความหนาแน่น = 1.209 g/cm^3

50% w/w $C_3H_6O_3$ ความเข้มข้น = $\frac{50\text{g}}{100\text{g Sol}} X \frac{1\text{mol}}{90.08\text{ g/mol}} X \frac{1.209\text{g/ml}}{1\text{ml}}$ =0.00671 x $\frac{1000\text{ml}}{1\text{L}}$ =6.7107 M

1 mol CaO ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Lactic acid 2 mol

การทดลองใช้ CaO 10 g ($\frac{1\text{mol}}{56.0774\text{g}}$) = 0.1783 mol

ต้องใช้ Lactic acid 0.1783 mol x $\frac{2\text{mol lactic acid}}{1\text{molCaO}}$ = 0.3566 mol

0.3566 mol Lactic acid = $\frac{(6.7107\text{mol/l})V}{1000\text{ml}}$ = 53.1390 ml = 53 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การเตรียมแคลเซียมซิเตรท

2.3.1 การเตรียมแคลเซียมซิเตรทจากสารตั้งต้นแคลเซียมคาร์บอเนต

จากสมการ $3CaCO_3\ (s) + 2C_6H_8O_7\ (aq.) \longrightarrow Ca_3(C_6H_5O_7)_2 \bullet 4H_2O\ (s) + CO_{2\ (g)}$

Citrate acid 99% w/w มีมวลโมเลกุล = 192.124 g/mol มีค่าความหนาแน่น = 1.05 g/cm^3

50% w/w $C_6H_8O_7$ ความเข้มข้น $= \frac{50g}{100g\ Sol} X \frac{1mol}{192.124g/mol} X \frac{1.24g/cm3}{1ml} = 0.0032 \times \frac{1000ml}{1L}$ 3.2271 M

3 mol $CaCO_3$ ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Citrate acid 2 mol

การทดลองใช้ $CaCO_3$ 10g $(\frac{1mol}{100g}) = 0.1$ mol

ต้องใช้ citrate acid 0.1 mol $\times \frac{2mol\ Citrate\ acid}{3molCaCo3} = 0.066mol$

0.066 mol citrate acid $= \frac{(3.227mol/l)\ V}{1000ml} = 20.4524$ ml = 20 ml

2.3.2 การเตรียมแคลเซียมซิเตรทจากสารตั้งต้นแคลเซียมออกไซด์

จากสมการ $3CaO\ (s) + 2C_6H_8O_7\ (aq.) \longrightarrow Ca_3(C_6H_5O_7)_2 \bullet 4H_2O\ (s)$

Citrate acid 99% w/w มีมวลโมเลกุล = 192.124 g/mol มีค่าความหนาแน่น = 1.05 g/cm^3

50% W/w $C_6H_8O_7$ ความเข้มข้น $= \frac{50g}{100g\ Sol} X \frac{1mol}{192.124g/mol} X \frac{1.24g/cm3}{1ml} = 0.0032 \times \frac{1000ml}{1L}$ 3.2271 M

3 mol CaO ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Citrate acid 2 mol

การทดลองใช้ CaO 10 g $(\frac{1mol}{56.0774\ g}) = 0.1783$ mol

ต้องใช้ Citrate acid 0.1783 mol $\times \frac{2mol\ Citrate\ acid}{3molCaCo3} = 0.1189$ mol

0.1189 mol citrate $= \frac{(3.227mol/l)\ V}{1000ml} = 36.8454$ ml =37 ml

ข-3 คำนวณร้อยละผลผลิต

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

3.1แคลเซียมอะซิเตท

3.1.1 แคลเซียมอะซิเตทจากแคลเซียมคาร์บอเนต

ร้อยละผลผลิต $= \frac{13.86\ (g)}{18.53\ (g)} \times 100 = 74.81$

3.1.2 แคลเซียมอะซิเตทจากแคลเซียมออกไซด์

ร้อยละผลผลิต $= \frac{11.80(g)}{16.55(g)} \times 100 = 71.27$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แคลเซียมแลคเตท

3.2.1 แคลเซียมแลคเตทจากแคลเซียมคาร์บอเนต

ร้อยละผลผลิต = $\frac{12.30\ (g)}{16.2\ (g)}$ X 100 =75.94

3.2.2 แคลเซียมแลคเตทจากแคลเซียมออกไซด์

ร้อยละผลผลิต = $\frac{21.95\ (g)}{28.965\ (g)}$ X 100 = 75.60

3.3แคลเซียมซิเตรท

3.3.1 แคลเซียมซิเตรทจากแคลเซียมคาร์บอเบต

ร้อยละผลผลิต = $\frac{17.01\ (g)}{20.02\ (g)}$ X 100 = 84.96

3.3.2 แคลเซียมซิเตรทจากแคลเซียมออกไซด์

ร้อยละผลผลิต = $\frac{13.15\ (g)}{17.87\ (g)}$ X 100 =73.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 29 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ 2566

ข้าพเจ้า นางสาว กัญญาวีร์ ยีวันโซ๊ะ รหัสประจำตัว 63050307
นางสาว จุฑาทิพ เพ็ญจวัฒนะ รหัสประจำตัว 63050312
นางสาว ธนภรณ์ รุ้งสุวรรณ รหัสประจำตัว 63050323

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี ขอรับรองว่าโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา เรื่อง

ชื่อภาษาไทยรีไซเคิลเปลือกไข่ที่เหลือทิ้งให้เป็นแคลเซียมอินทรีย์อนุภาคนาโน โดยที่ช่วยลดการปล่อยเรือนกระจก

ชื่อภาษาอังกฤษ Recycle waste eggshell s to organic calcium nano particle by a process that reduces greenhouse gas emissions

ปีการศึกษา 2566

เป็นผลงานวิจัยที่มิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 0.00% หรือโปรแกรม Turnitin.....%

ลงชื่อ.....กัญญาวีร์ ยีวันโซ๊ะ.....	ลงชื่อ.....จุฑาทิพ เพ็ญจวัฒนะ.....	ลงชื่อ.....ธนภรณ์ รุ้งสุวรรณ.....
(นางสาว กัญญาวีร์ ยีวันโซ๊ะ)	(นางสาว จุฑาทิพ เพ็ญจวัฒนะ)	(นางสาว ธนภรณ์ รุ้งสุวรรณ)
นักศึกษา	นักศึกษา	นักศึกษา

ข้าพเจ้า รศ.ดร บรรจง บุญชม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา ได้ตรวจสอบโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....	ลงชื่อ.....	ลงชื่อ.....
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้