

การรีไซเคิลขยะเปลือกไข่ไก่ไปเป็นผลิตภัณฑ์แคลเซียมขั้นสูง

RECYCLING EGGHELL WASTE TO ADVANCED
CALCIUM PRODUCTS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี - คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2561
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RECYCLING EGGSHELL WASTE TO ADVANCED
CALCIUM PRODUCTS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)

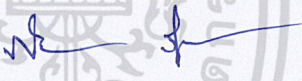
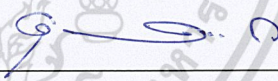
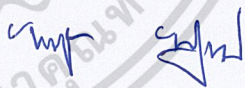
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2018
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การรีไซเคิลขยะเปลือกไข่ไก่ไปเป็นผลิตภัณฑ์แคลเซียมขั้นสูง Recycling eggshell waste to advanced calcium products
ชื่อนักศึกษา	นางสาวปรีชญา วีระภัทรานนท์ รหัสนักศึกษา 58050643 นางสาวปวีรศา สังข์แก้ว รหัสนักศึกษา 58050647 นางสาวอรุณวรรณ ยอดทอง รหัสนักศึกษา 58050701
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต เคมีสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.บรรจง บุญชม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2561

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

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การรีไซเคิลขยะเปลือกไข่ไก่ไปเป็นผลิตภัณฑ์แคลเซียมชั้นสูง
ชื่อนักศึกษา	นางสาวปริญญา วีระภัทรานนท์ รหัสนักศึกษา 58050643 นางสาวปวีริศา สังสีแก้ว รหัสนักศึกษา 58050647 นางสาวอรุณวรรณ ยอดทอง รหัสนักศึกษา 58050701
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.บรรจง บุญชม

บทคัดย่อ

เปลือกไข่เป็นของเสียจำนวนมากที่ได้จากอุตสาหกรรมอาหารและชุมชน มีการผลิตเป็นจำนวน 105596 ตันต่อปีในประเทศไทยซึ่งยากต่อการกำจัดทั้งในอดีตจนถึงปัจจุบัน โครงการวิจัยนี้มีการนำเปลือกไข่มาแปรรูปเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งถูกนำมาเป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตโมโนแคลเซียมฟอสเฟต โมโนไฮดรต และไดแคลเซียมฟอสเฟตดีไฮดรต แคลเซียมคาร์บอเนตจะนำมาผ่านกรรมวิธีล้างทำความสะอาดและบดเป็นผงจนได้ขนาด 50 เมช จากนั้นนำแคลเซียมคาร์บอเนตไปเผาโดยให้ความร้อนอยู่ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้แคลเซียมออกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนตถูกใช้ในการทำปฏิกิริยาของกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 70% ด้วยการปั่นกวนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิโดยรอบเพื่อผลิตเป็นโมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮดรต โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮดรตที่ถูกเตรียมขึ้นถูกนำไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตกผลึกใหม่ โดยละลายน้ำในอัตราส่วน 1:3 หลังจากนั้นจะเกิดเป็นของเหลวและของแข็ง ของเหลวถูกแยกออกจากของแข็งและนำไปทำให้แห้งโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียสเพื่อให้ได้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮดรตบริสุทธิ์ ส่วนของแข็งทำให้แห้งโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ได้ไดแคลเซียมฟอสเฟตดีไฮดรต นอกเหนือจากนี้กรรมวิธีการเตรียมแคลเซียมฟอสเฟตเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮดรตและแคลเซียมออกไซด์ โดยใช้เวลาในการผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง ท้ายที่สุดตัวอย่างทั้งหมดที่เตรียมไว้จะถูกนำไปตรวจสอบทางคุณสมบัติทางกายภาพเพื่อหาความหนาแน่น เชนดี สัณฐานวิทยา(รูปร่าง) โครงสร้าง และคุณสมบัติทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR TGA XRF และ XRD

คำสำคัญ : โมโนแคลเซียมฟอสเฟต ไดแคลเซียมฟอสเฟต เปลือกไข่ไก่ แคลเซียมคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Recycling eggshell waste to advanced calcium products
Students	Miss Parichaya Weerapattranon Student ID 58050643 Miss Pawarisa Sangseekaew Student ID 58050647 Miss Aroonwan Yogthong Student ID 58050701
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2018
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Banjong Boonchom

Abstract

Eggshells are enormous waste from food of community and industry produced about 105596 ton per year in Thailand which need very hard to disposal at the past and present. This project brings eggshells to transform to calcium carbonate and calcium oxide, which were used as raw materials for production of monocalcium phosphate monohydrate and dicalcium phosphate dehydrate. Calcium carbonate was prepared by washing and crushing eggshells to become size of 50 mesh. Calcium oxide was prepared from heating of calcium carbonate at 900 °C for 3 hrs. Calcium carbonate were used to react with 70% w/w phosphoric acid by continuous stirring at ambient temperature for production of monocalcium phosphate monohydrate. The obtained monocalcium phosphate monohydrate was recrystallized to purify by dissolving with water in the ratio 1 :3 and then liquid and solid were occurred. The liquid was removed from solid and dried at not over 100 °C to get pure monocalcium phosphate monohydrate. The solid was dried at open air to get dicalcium phosphate dehydrate. Additionally, dicalcium phosphate were prepared by another process as a reaction of monocalcium phosphate monohydrate and calcium oxide with good mixing at room temperature. Finally, all prepared samples were checked chemical and physical

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

properties as density, shade color, morphology, structure, and chemical content by using FTIR, TGA, XRF, and XRD techniques

Keywords : Monocalcium Phosphate Monohydrate, Dicalcium Phosphate Dehydrate, Eggshell, Calcium Carbonate, Calcium Oxide



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกๆท่าน ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.บรรจง บุญชมที่คอยชี้แนะแนวทาง ให้คำปรึกษาในการทำโครงการพิเศษ นอกจากนี้ยังให้กำลังใจและการดูแลเป็นอย่างดีทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงมาได้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร และ รศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ที่เข้าร่วมเป็นคณะกรรมการสอบโครงการพิเศษนี้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปแก้ไขโครงการพิเศษให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ทุกคน ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดการทำโครงการพิเศษ

สุดท้ายนี้กลุ่มผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และคนในครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจเป็นแรงผลักดัน แรงบันดาลใจ และคอยสนับสนุนทางการศึกษาตลอดมา ทำให้กลุ่มของผู้วิจัยสามารถทำโครงการพิเศษฉบับนี้ประสบความสำเร็จ

ปริญญา วีระภัทรานนท์

ปวีศา สังสีแก้ว

อรุณวรรณ ยอดทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	3
1.5 สมมุติฐานงานวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เปลือกไข่.....	5
2.1.1 อุตสาหกรรมไข่โลก.....	5
2.1.2 องค์ประกอบของเปลือกไข่.....	7
2.1.3 โครงสร้างของไข่ไก่.....	8
2.1.4 หน้าที่เปลือกไข่.....	9
2.1.5 องค์ประกอบทางเคมีของไข่.....	11
2.2 เทคโนโลยีการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกไข่	13
2.2.1 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate ; CaCO_3).....	13
2.2.2 แคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide : CaO).....	16
2.2.3 โมโนแคลเซียมฟอสเฟต (monocalcium phosphate ; MCP).....	18
2.2.4 ไดแคลเซียมฟอสเฟต (Dicalcium phosphate ; DCP).....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	22
2.3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	22
2.3.2 X-ray Fluorescence (XRF).....	23
2.3.3 X-ray Diffractometer (XRD).....	24
2.3.4 Fourier Transform InfraRed Spectrometer (FTIR).....	25
2.3.5 Thermogravimetric Thermal Analyzer (TGA).....	27
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	28
3.1 สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือ	29
3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	29
3.1.2 สารเคมี.....	29
3.2 การเตรียมสารประกอบแคลเซียม.....	30
3.2.1 การเตรียมสารตั้งต้น	30
3.2.2 กระบวนการเตรียมสารประกอบแคลเซียม.....	30
3.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมโดยการไทเทรตกับสารละลาย EDTA	31
3.2.4 การหาความหนาแน่นของสารตัวอย่าง.....	32
3.3 การตรวจสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพ	32
3.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (X-Ray Fluorescence Spectrometer).....	32
3.3.2 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้าง (X-Ray diffractometer).....	32
3.3.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันขององค์ประกอบภายในโมเลกุล (FTIR).....	32
3.3.4 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน (Thermogravimetric Analyzer)	33
3.3.6 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ.....	33
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	34
4.1 ผลผลิตร้อยละและผลผลิตจากการทดลองและทฤษฎี.....	34
4.2 ผลการตรวจวิเคราะห์ทางเคมี.....	35
4.2.1 องค์ประกอบของธาตุ.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 โครงสร้างและขนาดของผลึก	36
4.2.3 รูปแบบของการสั่น.....	37
4.2.4 เอกลักษณะการสลายตัว TGA.....	39
4.3 เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ทางกายภาพ	44
4.3.1 รูปร่างทางสัณฐานวิทยา.....	44
4.3.2 ค่า pH อุณหภูมิ ความหนาแน่น และเสียดสี.....	46
4.3.3 สมการทางเคมี.....	47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	48
5.1 สรุปผลการวิจัย	48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	51
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก ก	52
ภาคผนวก ข	55
ภาคผนวก ค	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สัตว์ส่วนไข่ขาว ไข่แดง และเปลือกไข่ของสัตว์ปีกแต่ละชนิด.....	7
2.2 สัตว์ส่วนต่างๆของไข่ไก่.....	8
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของไข่.....	11
2.4 องค์ประกอบทางเคมีของไข่ไก่ (ค่าเฉลี่ย กรัมต่อไข่ 1 ฟอง).....	12
2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่.....	12
2.6 แสดงสมบัติทางกายภาพของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	14
4.1 ผลผลิตร้อยละและผลผลิตจากการทดลองและทฤษฎี.....	34
4.2 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่.....	35
4.3 แสดงค่าความหนาแน่นและเฉื่อยดสีของสารประกอบแคลเซียม.....	46
ข-1 ผลผลิตและต้นทุนของการผลิต CaCO_3 CaO MCP MCP-P DCP DCP-M.....	55
ข-2 แสดงการหาความหนาแน่นของสารประกอบแคลเซียม.....	55
ข-3 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตจากขยะจากเปลือกไข่ไก่.....	56
ข-4 แสดงปริมาณองค์ประกอบของธาตุแคลเซียมคาร์บอเนตจากขยะจากเปลือกไข่ไก่.....	56
ข-5 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารประกอบแคลเซียมออกไซด์จากขยะจากเปลือกไข่ไก่.....	56
ข-6 แสดงปริมาณองค์ประกอบของธาตุแคลเซียมออกไซด์จากขยะจากเปลือกไข่ไก่.....	56
ข-7 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารประกอบโมโนแคลเซียมฟอสเฟตจากขยะจากเปลือกไข่.....	57
ข-8 แสดงปริมาณองค์ประกอบของธาตุโมโนแคลเซียมฟอสเฟตจากขยะจากเปลือกไข่ไก่.....	57
ข-9 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารประกอบโมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์เปลือกไข่ไก่.....	57
ข-10 แสดงปริมาณองค์ประกอบของธาตุโมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์จากขยะจากเปลือกไข่.....	57
ข-11 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารประกอบไดแคลเซียมฟอสเฟตจากขยะจากเปลือกไข่ไก่.....	58
ข-12 แสดงปริมาณองค์ประกอบของธาตุไดแคลเซียมฟอสเฟตจากขยะจากเปลือกไข่ไก่.....	58
ข-13 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารประกอบไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ผสมระหว่างแคลเซียมออกไซด์กับโมโนแคลเซียมที่บริสุทธิ์จากขยะจากเปลือกไข่ไก่.....	58
ข-14 แสดงปริมาณองค์ประกอบของธาตุไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ผสมระหว่างแคลเซียมออกไซด์กับโมโนแคลเซียมที่บริสุทธิ์จากขยะจากเปลือกไข่ไก่.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ข-15 แสดงผลการหาความเข้มข้นของ EDTA ด้วยสารละลายมาตรฐาน CaCO_3 ด้วยเทคนิคการไทเทรต (Titration).....	59
ข-16 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมด้วยสารละลาย EDTA โดยเทคนิคการไทเทรต.....	59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของไข่ไก่.....	9
2.2 เปลือกไข่ผ่าตามด้านขวาง.....	11
2.3 แสดงโครงสร้างผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO ₃).....	13
2.4 รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิค FTIR ของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	15
2.5 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	16
2.6 รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิค FTIR ของแคลเซียมออกไซด์.....	17
2.7 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ XRD ของแคลเซียมออกไซด์.....	18
2.8 รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิค FTIR ของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต.....	19
2.9 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ XRD ของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต.....	20
2.10 รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิค FTIR ของไดแคลเซียมฟอสเฟต.....	21
2.11 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ XRD ของไดแคลเซียมฟอสเฟต.....	22
2.12 แสดงส่วนประกอบและหลักการทำงานของ SEM.....	23
2.13 องค์ประกอบต่างๆของเครื่อง XRF ชนิด Wavelength Dispersive System.....	24
2.14 หลักการทำงานของเครื่อง XRD	25
2.15 ส่วนประกอบของเครื่อง FTIR.....	26
2.16 หลักการทำงานของเครื่อง FTIR แบบ Michelson Interferometer.....	26
2.17 หลักการทำงานของเครื่อง TGA.....	27
3.1 (ก) เปลือกไข่ไก่ภายหลังการปั่นด้วยเครื่องปั่นและใช้ตะแกรงร่อนขนาด 50 เมช (ข) ผงเปลือกไข่ไก่ผสมกับกรดฟอสฟอริก (ค) ส่วนผสมของผงเปลือกไข่ไก่กับกรดฟอสฟอริกที่แห้งแล้ว.....	30
4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CaCO ₃ CaO MCP MCP-P DCP DCP-M.....	36
4.2 รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด ของ CaCO ₃ CaO MCP MCP-P DCP DCP-M.....	37
4.3 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไก่.....	39
4.4 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต ; MCP.....	40
4.5 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์ ; MCP-P.....	41
4.6 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของไดแคลเซียมฟอสเฟต ; DCP.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.7 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของไดแคลเซียมฟอสเฟตผสม ; DCP-M.....	43
4.8 รูปสัณฐานวิทยาของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไก่.....	44
4.9 รูปสัณฐานวิทยาของแคลเซียมออกไซด์	44
4.10 รูปสัณฐานวิทยาของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต	45
4.11 รูปสัณฐานวิทยาของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์.....	45
4.12 รูปสัณฐานวิทยาของไดแคลเซียมฟอสเฟต.....	45
4.13 รูปสัณฐานวิทยาของไดแคลเซียมฟอสเฟต (โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่บริสุทธิ์ผสมกับแคลเซียมออกไซด์).....	46
ค-1 เมดสีของขยะจากขยะเปลือกไข่ไก่บด	61
ค-2 เมดสีของ MCP	61
ค-3 เมดสีของ MCP-P	62
ค-4 เมดสีของ DCP.....	62
ค-5 เมดสีของ CaO.....	63
ค-6 เมดสีของ DCP-P.....	63
ค-7 รูปสัณฐานวิทยาของ CaCO ₃ จากขยะเปลือกไข่ กำลังขยาย 1,000x, 5,000x และ 15,000x..	64
ค-8 รูปสัณฐานวิทยาของ CaO กำลังขยาย 1,000x, 5,000x และ 15,000x.....	64
ค-9 รูปสัณฐานวิทยาของ MCP กำลังขยาย 1,000x, 5,000x และ 15,000x.....	65
ค-10 รูปสัณฐานวิทยาของ MCP-P กำลังขยาย 1,000x, 5,000x และ 15,000x.....	65
ค-11 รูปสัณฐานวิทยาของ DCP กำลังขยาย 1,000x, 5,000x และ 15,000x.....	66
ค-12 รูปสัณฐานวิทยาของ DCP-P กำลังขยาย 1,000x, 5,000x และ 15,000x.....	66
ค-13 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CaCO ₃ ที่ได้จากขยะเปลือกไข่ไก่บด.....	67
ค-14 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CaO.....	67
ค-15 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ MCP.....	68
ค-16 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ MCP-P.....	68
ค-17 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ DCP.....	69
ค-18 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ DCP-M.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

ค-19	รูปแบบการสันของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสันแบบฟูเรียร์แทรนสฟอร์มอินฟราเรดของ CaCO_3 ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่.....	70
ค-20	รูปแบบการสันของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสันแบบฟูเรียร์แทรนสฟอร์มอินฟราเรดของ CaO	71
ค-21	รูปแบบการสันของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสันแบบฟูเรียร์แทรนสฟอร์มอินฟราเรดของ MCP.....	72
ค-21	รูปแบบการสันของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสันแบบฟูเรียร์แทรนสฟอร์มอินฟราเรดของ MCP-P.....	73
ค-21	รูปแบบการสันของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสันแบบฟูเรียร์แทรนสฟอร์มอินฟราเรดของ DCP.....	74
ค-21	รูปแบบการสันของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสันแบบฟูเรียร์แทรนสฟอร์มอินฟราเรดของ DCP-M.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

P-70	กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยมวล
CaCO ₃	แคลเซียมคาร์บอเนตผลิตจากเปลือกไข่ไก่
CaO	แคลเซียมออกไซด์
MCP	โมโนแคลเซียมฟอสเฟต
MCP-P	โมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์
DCP	ไดแคลเซียมฟอสเฟต
DCP-M	ไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้จากการผสมระหว่าง แคลเซียมออกไซด์และ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไข่เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในกระบวนการผลิตอาหารทั้งในระดับครัวเรือนและในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากไข่มีราคาถูกกว่าเนื้อสัตว์และอุดมไปด้วยสารอาหาร ได้แก่ โปรตีน 16.68% ไขมัน 13.26% เกลือแร่ 1.09% วิตามินบี 0.58% รวมทั้งวิตามินอี เอ และดี นอกจากนี้ไข่ยังสามารถนำมาปรุงอาหารเพื่อใช้บริโภคโดยตรงได้หลายชนิด เช่น ไข่เจียว ไข่ดาวและไข่ตุ๋น หรือใช้เป็นวัตถุดิบร่วมกับวัตถุดิบอื่นๆในการผลิตขนมไทยชนิดต่างๆ โดยไข่ไก่เป็นที่นิยมนำมาบริโภคมากกว่าไข่เป็ด ไข่ห่าน และไข่นกกระทา โดยในปี พ.ศ. 2559 ประเทศไทยมีการผลิตไข่ไก่เพื่อป้อนให้กับผู้บริโภคและอุตสาหกรรมอาหารสูงและมากกว่า 14,915 ล้านฟอง จึงเป็นสาเหตุให้ในแต่ละปีมีเปลือกไข่ถูกทิ้งเป็นจำนวนมาก และถูกกำจัดโดยการทิ้งให้เทศบาลนำไปฝังกลบ ซึ่งบริเวณที่ฝังกลบเปลือกไข่ยังนำมาซึ่งปัญหาต่างๆทางสิ่งแวดล้อมตามมามากมาย เช่น เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงวันและเป็นที่อยู่อาศัยของหนู ส่งกลิ่นเหม็นเนื่องจากเกิดแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

เมื่อพิจารณาถึงไข่พบว่า ไข่นิยมนำมาแปรรูปเป็นอาหารคาวและหวานที่ใช้บริโภคในชีวิตประจำวันของคนไทยมากมายรวมถึงผลิตภัณฑ์ไข่แปรรูปในระดับอุตสาหกรรมซึ่งส่วนใหญ่เป็นสินค้าวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอาหารอีกทอดหนึ่ง หากพิจารณาถึงเปลือกไข่พบว่าไข่ไก่ 1 ฟอง จะมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 60 กรัม โดยเปลือกจะมีปริมาณเป็น 11% ของน้ำหนัก ซึ่งเท่ากับ 6.6 กรัม จากข้อมูลของสมาคมผู้ผลิต ผู้ค้าและส่งออกไข่ไก่ในปี 2555 - 2559 การผลิตไข่ไก่ของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 5.98 ต่อปี ตามความต้องการบริโภคที่เพิ่มขึ้น โดยในปี 2559 มีปริมาณการผลิตไข่ไก่ 14,915.82 ล้านฟอง เพิ่มขึ้นจาก 13,724.42 ล้านฟอง ของปี 2558 ร้อยละ 8.68 และในปี 2560 ประเทศไทยสามารถผลิตไข่ไก่ได้ถึง 16,470 ล้านฟอง ทำให้เกิดขยะจากเปลือกไข่รวมทั้งสิ้น 105,596 ตันต่อปี ซึ่งบางส่วนถูกนำไปแปรรูปเป็นอาหารสัตว์ ประดิษฐ์งานศิลปะ และส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุเหลือทิ้ง ดังนั้นการนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาเพิ่มมูลค่าที่มากกว่าการแปรรูปเป็นอาหารสัตว์ จะเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ได้มากขึ้นกว่าเดิม

จากบทบาทสำคัญของแคลเซียมต่อร่างกาย ซึ่งแคลเซียมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการหดและขยายตัวของหลอดเลือด การทำงานของกล้ามเนื้อและอื่นๆอีกมากมาย จึงส่งผลให้มีการใช้เกลือแคลเซียมในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมแคลเซียมและอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทยมีความต้องการใช้ปริมาณมากในแต่ละปี โดยมีโรงงานผลิตในประเทศค่อนข้างน้อยมากๆ ส่วนใหญ่อาศัยการนำเข้าจากต่างประเทศ ราคาสารเหล่านี้จึงสูง ผู้วิจัยจึงนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไก่เหลือทิ้งมาแปรรูปเป็นแคลเซียมผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม คือ โมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งโม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

แคลเซียมฟอสเฟตใช้เป็นสารเติมแต่งอาหารและวัสดุชีวภาพโดยข้อมูลจากเว็บไซต์ www.alibaba.com ยกตัวอย่างราคา โมโนแคลเซียมฟอสเฟตราคาไม่ต่ำกว่า 32 บาทต่อกิโลกรัม และไดแคลเซียมฟอสเฟตราคาไม่ต่ำกว่า 30 บาทต่อกิโลกรัม โดยต้องมีการสั่งซื้อขั้นต่ำมากกว่า 1 ตัน และยังไม่รวมค่าขนส่ง

จากที่กล่าวมาข้างต้น ความสำคัญของแคลเซียมมีความต้องการใช้งานสารประกอบแคลเซียมรูปแบบต่างๆในอุตสาหกรรมมีหลากหลายมากมาย เนื่องจากแคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่พบในเปลือกโลก โดยพบอยู่ในรูปของสารประกอบ CaCO_3 ซึ่งในเปลือกไข่มี CaCO_3 เป็นองค์ประกอบหลักถึง 98% และแคลเซียมยังถือเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อร่างกายมนุษย์ สัตว์ พืช และสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงสกัดแคลเซียมออกมาแล้วนำไปแปรรูปเป็นสารประกอบแคลเซียม 2 ชนิด ได้แก่ ไดแคลเซียมฟอสเฟตและโมโนแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งประโยชน์ของสารประกอบแคลเซียมทั้ง 2 ชนิด คือ เป็นแร่ธาตุอาหารสัตว์ นำมาผสมกับวัตถุดิบอย่างอื่นหรืออาจจะรวมกับวิตามินต่างๆ เพื่อให้ได้ราคาถูกโดยอาศัยวัตถุดิบเหลือทิ้งไร้ราคา และยังเป็นปัญหาในการกำจัดรวมถึงยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด ซึ่งเมื่อสิ้นสุดโครงการวิจัย คาดว่าจะได้กรรมวิธีการผลิตเกลือแคลเซียมที่สะดวก ง่ายและรวดเร็ว สามารถผลิตในประเทศโดยใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหากรรมวิธีการผลิตสารประกอบแคลเซียมในรูปไดแคลเซียมฟอสเฟตและโมโนแคลเซียมฟอสเฟตจากวัตถุดิบแคลเซียมที่เป็นขยะเหลือทิ้งคือ เปลือกไข่ไก่
2. เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบทางกายภาพ การหาความหนาแน่น เจดสีที่ปรากฏ SEM และทางเคมีด้วยเทคนิค TGA FTIR XRF และ XRD
3. เพื่อลดปัญหาขยะจากเปลือกไข่ไก่ที่สามารถนำไปแปลงเป็นแคลเซียมผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. แปรรูปเปลือกไข่ไก่เหลือทิ้งให้เป็นสารประกอบแคลเซียมทั้ง 2 ชนิด คือ ไดแคลเซียมฟอสเฟตและโมโนแคลเซียมฟอสเฟต
2. ศึกษาเอกลักษณ์ทางเคมี โดยการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ เอกซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD Technique) และ สเปกโทรสปีการสั้นด้วย FTIR (FTIR spectroscopy) การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิค (XRF Techniques) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัส และการวิเคราะห์เชิงความร้อน(TGA) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไอออนต่างๆ ที่สูญหายในโครงสร้าง และการวิเคราะห์ทางกายภาพ ขนาดอนุภาคด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

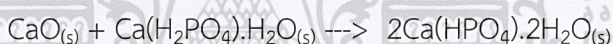
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

การเตรียมสารประกอบแคลเซียม

ทำการเตรียมสารประกอบไดแคลเซียมฟอสเฟตและโมโนแคลเซียมฟอสเฟต

1. ชั่งผงเปลือกไข่ไก่ที่เตรียมได้ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต จำนวน 1 กิโลกรัมใส่ถังพลาสติก
2. ผสมกับกรดฟอสฟอริกในสัดส่วน 1 : 3 โดยค่อยๆเทกรดฟอสฟอริกลงไป จะมีฟองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ให้คนอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นปล่อยให้ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะได้สารประกอบโมโนแคลเซียมฟอสเฟต
3. เมื่อแห้งทำการตกลึกใหม่ ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างผลึกซ้ำอีกครั้งในสถานะของแข็ง ทำให้ผลึกมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยนำไปละลายด้วยน้ำกลั่น และตั้งทิ้งไว้ให้สารตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แยกส่วนที่เป็นของเหลวออกจากตะกอนที่ไม่ละลาย ส่วนที่ตกตะกอน คือ ไดแคลเซียมฟอสเฟต นำตะกอนไปตากในภาชนะเคลือบดินเผาโดยตั้งทิ้งไว้ให้แห้งเองตามธรรมชาติที่อุณหภูมิห้อง และส่วนที่ละลายน้ำ คือ โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่บริสุทธิ์
4. จากนั้นนำสารละลายโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 100°C เพื่อให้เกิดผลึก
5. นำแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้ข้างต้นผสมกับโมโนแคลเซียมฟอสเฟตตามสัดส่วนโมล 56 : 252 กรัมจะได้สารประกอบไดแคลเซียมฟอสเฟต ดังสมการ



ตรวจสอบด้วยวิธีวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี

โดยใช้ 6 ตัวอย่าง คือสารตั้งต้น 2 ชนิด ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์ และผลิตภัณฑ์สารประกอบแคลเซียมที่ผลิตได้ 4 ชนิด คือ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต โมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์ ไดแคลเซียมฟอสเฟต และไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้จากการผสมระหว่างแคลเซียมออกไซด์กับโมโนแคลเซียมฟอสเฟต โดยนำไปตรวจสอบความหนาแน่น เหนือสีที่ปรากฏ การเผาไหม้ SEM FTIR XRF XRD และ TGA

1.5 สมมุติฐานงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมุติฐานว่าจะทำการผลิตสารประกอบแคลเซียม 2 ชนิด คือโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียมฟอสเฟตจากเปลือกไข่ไก่เหลือทิ้งที่มีองค์ประกอบทางเคมีหลักคือแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีวันหมด โดยมุ่งหวังจะค้นหากิจกรรมวิธีที่ง่าย สะดวกรวดเร็ว ต้นทุนต่ำ ที่จะเป็นไปได้ที่สุด เพื่อประโยชน์แก่การนำเอาผลงานวิจัยไปต่อยอดในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงกรรมวิธีในการผลิตแคลเซียมจากขยะเปลือกไข่ไก่ให้เป็นแคลเซียมผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม คือ ไดแคลเซียมฟอสเฟต และโมโนแคลเซียมฟอสเฟต
2. ได้ทราบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกไข่ จากการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR TGA XRF SEM และ XRD
3. ได้ลดขยะจากเปลือกไข่และสามารถเพิ่มมูลค่าจากวัตถุดิบเหลือทิ้งได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย เรื่อง การใช้ขยะรีไซเคิลขยะเปลือกไข่ไก่ไปเป็นแคลเซียมผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม โดยจะเน้นการแปรรูปเปลือกไข่ไก่ไปเป็นสารประกอบแคลเซียม 2 ชนิด ได้แก่ ไตแคลเซียมฟอสเฟต และ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต ทั้งจากงานวิจัยและสิทธิบัตรที่มีการจดในอดีต และข้อมูลเบื้องต้นของวัตถุดิบ จะถูกอธิบายในหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 เปลือกไข่

2.1.1 อุตสาหกรรมไข่โลก

ไข่เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในกระบวนการผลิตอาหารทั้งในระดับครัวเรือนและในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากไข่มีราคาถูกกว่าเนื้อสัตว์และอุดมไปด้วยสารอาหาร ได้แก่ โปรตีน 16.68% ไขมัน 13.26% เกลือแร่ 1.09% วิตามินบี 0.58% รวมทั้งวิตามินอี เอ และดี นอกจากนี้ไข่ยังสามารถนำมาปรุงอาหารเพื่อใช้บริโภคโดยตรงได้หลายชนิด เช่น ไข่ลวก ไข่เจียว ไข่ดาว ไข่ต้ม และไข่ตุ๋น หรือใช้เป็นวัตถุดิบร่วมกับวัตถุดิบอื่นๆในการผลิตขนมไทยชนิดต่างๆเช่น ฝอยทอง สังขยา ทองหยิบ ทองหยอด และเบเกอรี่ในบรรดาไข่ชนิดต่างๆ โดยที่ผ่านมามีปี 2555 - 2559 การผลิตไข่ไก่ของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (กรมศุลกรกร 2560)

2.1.1.1 การผลิต

ปี 2555 - 2559 การผลิตไข่ไก่ของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 5.98 ต่อปี ตามความต้องการ บริโภคที่เพิ่มขึ้น โดยในปี 2559 มีปริมาณการผลิตไข่ไก่ 14,915.82 ล้านฟอง เพิ่มขึ้นจาก 13,724.42 ล้านฟอง ของปี 2558 ร้อยละ 8.68 เนื่องจากเกษตรกรมีการจัดการเลี้ยงไก่ไข่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

2.1.1.2 การตลาด

2.1.1.2.1 ความต้องการบริโภค ปี 2555 - 2559 การบริโภคไข่ไก่เฉลี่ยทั้งประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 6.13 ต่อปี โดย ในปี 2559 มีปริมาณการบริโภคไข่ไก่ 14,823.24 ล้านฟอง เพิ่มขึ้นจาก 13,534.98 ล้านฟอง ของปี 2558 ร้อยละ 9.52 เนื่องจากไข่ไก่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับอาหารโปรตีนชนิดอื่น และสามารถปรุงอาหารได้ง่าย ประกอบกับ ภาครัฐและภาคเอกชนมีการณรงค์ส่งเสริมการบริโภคไข่ไก่เพื่อกระตุ้นการบริโภคไข่ไก่ให้เพิ่มขึ้น

2.1.1.2.2 การส่งออก การส่งออกไข่ไก่แบ่งออกเป็น การส่งออกไข่ไก่สด และผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่ 1) การส่งออกไข่ไก่สดปี 2555 - 2559 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกไข่ไก่สด

มีแนวโน้มลดลงในอัตราร้อยละ 8.59 ต่อปี และร้อยละ 1.84 ต่อปี ตามลำดับ โดยในปี 2559 การส่งออกไข่ไก่สดมีปริมาณ 92.58 ล้านฟอง มูลค่า 319.42 ล้านบาท ลดลงจากปริมาณ 189.45 ล้านฟอง มูลค่า 587.70 ล้านบาท ของปี 2558 ร้อยละ 51.13 และร้อยละ 45.65 ตามลำดับ เนื่องจากระดับราคาไข่ไก่ในประเทศอยู่ในระดับสูง และไม่มีกิจกรรมการส่งออก เพื่อระบายผลผลิต ตลาดส่งออกที่สำคัญ คือ ฮองกง ซึ่งมีสัดส่วนการส่งออกประมาณร้อยละ 98 ของปริมาณ การส่งออกไข่ไก่สดทั้งหมด 2) การส่งออกผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่ ปี 2555 - 2559 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในอัตรา ร้อยละ 6.82 ต่อปี และร้อยละ 11.94 ต่อปี ตามลำดับ โดยในปี 2559 มีการส่งออกผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่ปริมาณ 4,356.92 ตัน มูลค่า 425.41 ล้านบาท ปริมาณลดลงจาก 4,564.13 ตัน ของปี 2558 ร้อยละ 4.54 แต่มูลค่าเพิ่มขึ้น จาก 411.28 ล้านบาท ของปี 2558 ร้อยละ 3.44 ผลิตภัณฑ์ที่ส่งออกมาที่สุด คือ ไข่เหลวรวม ตลาดส่งออก ที่สำคัญ คือ ญี่ปุ่น ซึ่งมีสัดส่วนการส่งออกร้อยละ 56.76 ของปริมาณการส่งออกไข่เหลวรวมทั้งหมด

2.1.1.2.3 การนำเข้า ปี 2555 - 2559 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 8.71 ต่อปี และร้อยละ 10.35 ต่อปี ตามลำดับ โดยในปี 2559 มีการนำเข้าผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่ปริมาณ 2,614.19 ตัน มูลค่า 717.71 ล้านบาท ปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 2,453.31 ตัน ของปี 2558 ร้อยละ 6.56 แต่มูลค่าลดลงจาก 739.98 ล้านบาท ของปี 2558 ร้อยละ 3.01 โดยผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจะใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในประเทศและส่งออก ผลิตภัณฑ์ที่นำเข้ามามากที่สุด คือ ไข่ขาวผง โดยนำเข้าจากประเทศอิตาลีมากที่สุด คิดเป็น ร้อยละ 30.03 ของปริมาณนำเข้าไข่ขาวผงทั้งหมด รองลงมาได้แก่ ฝรั่งเศส และอินเดีย

2.1.1.2.4 ราคา 1) ราคาที่เกษตรกรขายได้ปี 2555 - 2559 ราคาไข่ไก่ที่เกษตรกรขายได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 1.90 ต่อปี โดยในปี 2559 ราคาไข่ไก่ที่เกษตรกรขายได้เฉลี่ยฟองละ 3.00 บาท เพิ่มขึ้นจากฟองละ 2.69 บาท ของปี 2558 ร้อยละ 11.52 เนื่องจากราคาไข่ไก่ปรับตัวตามต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการชะลอการนำเข้า พ่อแม่พันธุ์ไก่ไข่จากประเทศที่มีการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดนกในปี 2558 ส่งผลให้ราคาลูกไก่ไข่และไก่ไข่สาวปรับตัวสูงขึ้น 2) ราคาส่งออกปี 2555-2559 ราคาส่งออกไข่ไก่สดและผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตรา ร้อยละ 7.39 ต่อปี และร้อยละ 4.79 ต่อปีตามลำดับ โดยในปี 2559 ราคาส่งออกไข่ไก่สดเฉลี่ยฟองละ 345 บาท เพิ่มขึ้นจากฟองละ 3.10 บาท ของปี 2558 ร้อยละ 11.21 และราคาส่งออกผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่เฉลี่ยตันละ 97,641 บาท เพิ่มขึ้นจากตันละ 90,112 บาท ของปี 2558 ร้อยละ 8.36 3) การนำเข้าปี 2555-2559 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 8.71 ต่อปี และร้อยละ 10.35 ต่อปี ตามลำดับ โดยในปี 2559 มีการนำเข้าผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่ปริมาณ 2,614.19 ตัน มูลค่า 717.71 ล้านบาท ปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 2,453.31 ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในนามของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เพื่อประโยชน์ในการศึกษา วิจัย และเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารแก่สาธารณชนโดยไม่หวังกำไร หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลที่มีอยู่ ณ วันที่พิมพ์เอกสารนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของปี 2558 ร้อยละ 6.56 แต่มูลค่าลดลงจาก 739.98 ล้านบาท ของปี 2558 ร้อยละ 3.01 โดยผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจะใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ ในประเทศและส่งออก ผลิตภัณฑ์ที่นำเข้ามามากที่สุด คือไข่ขาวผง โดยนำเข้าจากประเทศอิตาลีมากที่สุด คิดเป็น ร้อยละ 30.03 ของปริมาณนำเข้าไข่ขาวผงทั้งหมด รองลงมาได้แก่ ฝรั่งเศส และอินเดีย

ประเทศไทยมีการผลิตไข่ไก่เพื่อป้อนให้กับผู้บริโภคและอุตสาหกรรมอาหารสูงและมากกว่า 14,823.24 ล้านฟอง จึงเป็นสาเหตุให้ในแต่ละปีมีเปลือกไข่ถูกทิ้งเป็นจำนวนมาก และถูกกำจัดโดยการทิ้งให้เทศบาลนำไปฝังกลบนอกจากไม่ได้ใช้ประโยชน์จากเปลือกไข่แล้ว ยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดการขนส่ง และอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมาอีกด้วย การใช้ประโยชน์จากเปลือกไข่ในรูปแบบเปลือกไข่ตากแห้งบด ละเอียดวิธีหนึ่งที่ยั่งยืนต่อการนำไปใช้แต่เปลือกไข่บดนำไปใช้ประโยชน์ได้ไม่มากนัก จึงจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีการแปรรูปเปลือกไข่วิธีอื่นมาช่วยเพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จาก เปลือกไข่ได้มากขึ้น

2.1.2 องค์ประกอบของเปลือกไข่

เปลือกไข่เป็นพวกหินปูนแข็งเรียบติดแน่นอยู่กับเยื่อหุ้มไข่ชั้นนอกจะแยกเปลือกไข่ออกจากเยื่อนี้ได้ยาก ความหนาของเปลือกมักขึ้นอยู่กับขนาดของไข่ ไข่ใหญ่มีเปลือกหนากว่าไข่เล็กทั้งนี้ ย่อมแล้วแต่ไก่แต่ละตัว พันธุ์ อาหาร และฤดูกาลอีกด้วย ไก่พื้นเมือง ไก่ป่า มีเปลือกไข่หนากว่าไก่ พันธุ์แท้ต่างๆ หรือไก่สายพันธุ์ใหม่โครงสร้างของไข่ทั้งฟองของสัตว์ปีกต่างๆ รวมทั้งเป็ด ไก่ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ไข่แดง ไข่ขาว และเปลือกไข่ มีสัดส่วนใกล้เคียงกันทุกฟองอาจประมาณได้ว่าไข่ไก่ฟองหนึ่งๆ จะมีไข่ขาวอยู่ 6 ส่วน ไข่แดง 3 ส่วน และเปลือก 1 ส่วน จะมีปริมาณต่างกันตามขนาด และชนิดของสัตว์ปีก (อินทรีย์ ศรีสุข, 2560) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตาราง 2.1 สัดส่วนไข่ขาว ไข่แดง และเปลือกไข่ของสัตว์ปีกแต่ละชนิด

ชนิด	น้ำหนัก (กรัม)	ไข่ขาว (%)	ไข่แดง(%)	เปลือกไข่(%)
ไข่ห่าน	200	52.5	35.1	12.4
ไข่เป็ด	80	52.6	35.4	12.0
ไข่ไก่	58	55.8	31.9	12.3
ไข่นกพิราบ	17	74.0	17.9	8.1

ไข่ไก่เป็นแหล่งเริ่มต้นที่ช่วยให้ชีวิตลูกไก่ได้เจริญเติบโตขึ้นมา ธรรมชาติจึงได้สร้างสรรค์ แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใดอย่างอื่น
 ละครองค์ประกอบในไข่นั้นให้มีหน้าที่เฉพาะอย่าง และสำคัญต่อการที่จะเป็นสิ่งที่ช่วยประคับประคอง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห่อเลี้ยงชีวิตลูกอ่อนให้เจริญเติบโตขึ้นได้โดยปกติ และปลอดภัยภายในฟองไข่ เซลล์ต้นกำเนิดของชีวิตใหม่อยู่ที่ฐานเชื้อลูกไก่ตรงจุดนี้ของไข่ที่มีเชื้อตัวผู้ผสมแล้ว จะเป็นจุดเริ่มต้นของไข่โกทที่จะเจริญเป็นลูกอ่อน หรือเอมบริโออยู่ชิดกับ ไข่แดง ซึ่งเป็นแหล่งคลังของอาหารต่างๆ เอมบริโอนี้บางคนเรียกว่า เชื้อลูกไก่ ไข่ขาวมีลักษณะกึ่งของเหลว มีหน้าที่โดยธรรมชาติในการป้องกันการกระทบกระเทือน ป้องกันความร้อนหนาวแก่เชื้อลูกไก่ ทั้งไข่ขาว และไข่แดงเป็นอาหารห่อเลี้ยงชีวิตใหม่ไปจนกว่า ชีวิตนั้นจะเจริญเติบโตจนสมบูรณ์ออกจากไข่ ชั้นนอกของไข่ได้แก่เปลือก เปลือกเป็นเสมือนเกราะป้องกันการกระทบกระเทือนแก่ลูกไก่ เป็นที่ช่วยเก็บรักษาอาหารกับน้ำสำหรับลูกไก่ ในไข่ที่กำลังฟักตัวอยู่ ดังแสดงสัดส่วนในตารางที่ 2.2

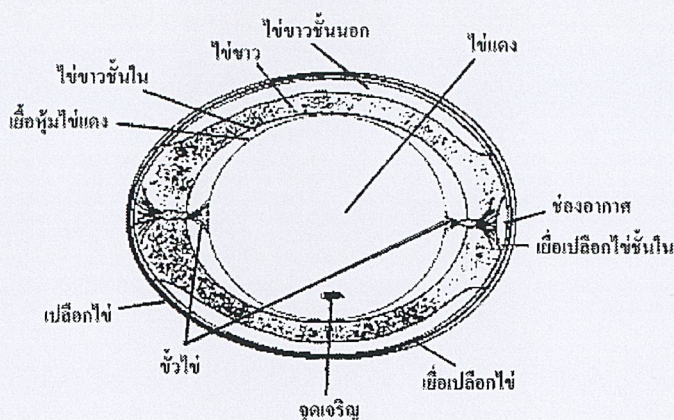
ตารางที่ 2.2 สัดส่วนต่างๆของไข่ไก่

ส่วนต่างๆ	น้ำหนัก (กรัม)	สัดส่วนจากไข่1ฟอง (%)
1. ไข่ขาว	32.9	55.8
2. ไข่ขาวเหลวชั้นนอก	7.6	23.2
3. ไข่ขาวชั้นตอนกลาง	18.9	57.3
4. ไข่ขาวเหลวตอนกลาง	5.5	16.8
5. ไข่ขาวที่เป็นขี้และเยื่อหุ้มไข่แดง	0.9	2.7
6. ไข่แดง	18.7	31.9
7. เปลือกกับเยื่อเปลือก	6.	12.3
8. เปลือก	6.2	96.9
9. เยื่อใต้เปลือก	0.2	3.1
10. ทั้งฟอง	58.0	100

2.1.3 โครงสร้างของไข่ไก่

ลักษณะภายในของไข่ไก่ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ เปลือกไข่ (Eggshell) ไข่ขาว (Egg white) และไข่แดง (Egg yolk) แต่ละส่วนจะมีปริมาณร้อยละ 9-11 ร้อยละ 60-63 และร้อยละ 28-29 ตามลำดับ ซึ่งน้ำหนักของไข่แต่ละฟองจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพันธุ์ และอายุของแม่ไก่ส่วนที่อยู่ใต้เปลือกไข่ทั้งหมดนอกจากเยื่อหุ้มไข่จะใช้เป็นอาหาร เมื่อคิดหักจำนวนของเปลือก และเยื่อติดเปลือกแล้วจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 89 ของน้ำหนักไข่ไม่มีเปลือก ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไขไก่อ

2.1.4 หน้าที่เปลือกไข่

2.1.4.1 หน้าที่ของเปลือกไข่โดยธรรมชาติต้องทนรับน้ำหนักแม่ไก่เวลากฟักไข่ และมีความบางพอที่ลูกไก่จะเจาะดินออกไปจากเปลือกนี้ได้ เปลือกไข่ยังต้องโปร่งพอที่จะให้เชื้อลูกไก่ได้อากาศมาหายใจ และต้องหนาพอที่จะป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ไม่ให้เข้าไปในไข่ได้ และยังมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้ความชื้นหนีหายได้ง่าย นอกจากนี้ โดยธรรมชาติเปลือกไข่ยังต้องมีสารอนินทรีย์ ต่างๆ มากพอที่จะเป็นแร่ธาตุไปหล่อเลี้ยงเชื้อลูกไก่ให้เติบโตได้อีกด้วย

2.1.4.2 ถ้าเปลือกไข่แบนก็ไม่มี ความแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักกดทับหรือแรงกระทบกระเทือนธรรมชาติได้สร้างให้เปลือกไข่โค้งติดกับเยื่อหุ้มไข่ และโค้งลดหลั่นกันเป็นรัศมีจากศูนย์กลางไข่ด้วยการเรียงตัวของผลึกธาตุปูน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 พวก พวกหนึ่งมีประมาณ 1/5 เป็นโครงสร้างของเปลือกประกอบด้วยอินทรีย์สารที่ทำหน้าที่เชื่อมระหว่างเซลล์เป็นโปรตีนแบบเดียวกับ ฟังซีต และกระดูกที่ประสานโยงยึดกัน พวกที่สองเป็นส่วนประกอบของอนินทรีย์สารต่างๆ มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต มีอยู่มากที่ด้านนอกเคลือบคลุมเป็นเนื้อพื้น (matrix) ของเปลือก ทั้งสองพวกนี้สร้างมาจากท่อไข่ส่วนล่าง (Uterus)

2.1.4.3 เปลือกไข่ประกอบด้วยชั้นสำคัญ 2 ชั้น คือ เปลือกชั้นนอก เรียกว่า Spongy layer กับเปลือกชั้นใน เรียกว่า Mammillary layer ชั้นนอกเป็นแคลเซียมในรูปผลึกของหินปูน (Calcite) ตั้งตรงทางแกนยาวของผลึกกับผิวเปลือก เป็นชั้นที่แข็งแรงที่สุด และแน่นที่สุด ชั้นในนั้นเป็นสารประกอบของแมกนีเซียมกับฟอสเฟต แร่ธาตุต่างๆ เหล่านี้ไม่อยู่ในรูปผลึก เวลาไปราวก็จะราวถึงภายในด้วย

2.1.4.4 เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นนี้เป็นชั้นนอกที่ฉาบติดกับเปลือกชั้นในเป็นชั้นที่ผนิกันแน่นและมีรูเล็ก ๆ จำนวนมากเชื่อมโยงจากชั้นในมาเปิดที่ชั้นนี้เป็นรูพรุนแบบฟองน้ำแต่

แข็งแรงมากเปลือกชั้นนอกนี้ให้ความเป็นรูปทรงและความแข็งแรงแก่เปลือกไข่ จากภาพขยายที่ดูด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เอ็กซ์เรย์ จะเห็นว่าความแน่น และแกร่งของชั้นนี้มีมากที่ผิวด้านนอก เคลือบแร่ต่าง ๆ ที่เป็นเนื้อหาของ
 ไม่ว่างกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

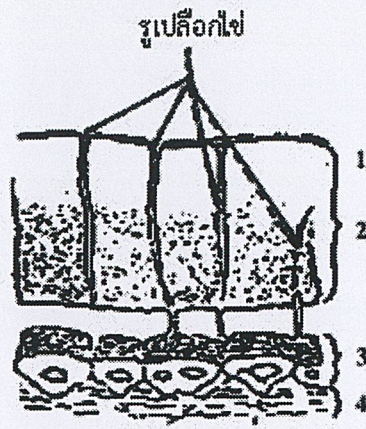
ชั้นนี้มีลักษณะเป็นผลึกเล็ก ๆ ส่วนประกอบของชั้นนี้เมื่อย้อมด้วยสีโปรตีนจะเห็นว่ามันมีไม่ทั่วผิว เปลือกแต่จะมีมากขึ้นตอนติดกับเปลือกชั้นใน สีนี้ทำให้เห็นเปลือกชั้นนอกนี้แบ่งออกเป็น 3 ชั้นตามลักษณะของเส้นใยโปรตีน (Main fiber) คือ ชั้นที่อยู่ข้างในมีเส้นใยโปรตีนมากกว่าชั้นกลางชั้นนอกนั้นมีเส้นใยโปรตีนน้อยที่สุด

2.1.4.5 เปลือกชั้นใน เป็นชั้นที่บางของเปลือกอยู่ติดกับเยื่อหุ้มไขชั้นนอกประกอบด้วยปุ่มพื้นเปลือกลักษณะหยาบ ๆ (Mammilla) ที่มีรูปร่างต่างๆตั้งแต่ทรงรูปไข่ถึงทรงกลม ปุ่มเหล่านี้มีผลึกเป็นชั้นเดียวอยู่ติดกับเยื่อหุ้มไข ปลายปุ่มผายออกไปเปิดที่เยื่อหุ้มไขชั้นในเป็นทางผ่านของอากาศให้กระจายไปทั่วเปลือกชั้นนี้ไปสู่บริเวณปลายปุ่มพื้นเปลือก ซึ่งปุ่มพื้นเปลือกประกอบด้วยเกลือแร่ที่ไม่เป็นผลึกกระจายอยู่รอบผิวพื้นโปรตีนของเปลือก (Granular matrix material) ในไขต่างๆ ผิวพื้นโปรตีนเหล่านี้มีลักษณะคล้ายผาซีเรียงรายอยู่ได้ปุ่มหินปูน ขนาด และรูปร่างของปุ่มพื้นเปลือก และการเรียงตัวของพื้นเปลือกจะแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์ปีก ความหนาของเปลือกชั้นในประมาณ 0.11 มิลลิเมตร หรือเป็นเนื้อที่ประมาณ 1/3 ของความหนาของผิวพื้นไขทั้งฟอง ความสูงของแต่ละปุ่มเหล่านี้แล้วแต่ความหนาของเปลือกชั้นใน เส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละปุ่มประมาณ 0.096 - 0.144 มิลลิเมตร

2.1.4.6 เยื่อเปลือกไข (Membranes) เยื่อหุ้มไขแบ่งออกเป็น 2 ชั้นกระชับติดกับเปลือกไขจนเป็นรูปทรงเช่นเดียวกัน ชั้นแรกเป็นเยื่อชั้นในล้อมรอบไขขาวส่วนนอก ที่ส่วนหัวท้ายไม่มีเส้นใยมิวซินของไขขาวชั้นมาเชื่อมติดอยู่ เรียกว่า Ligamenta albuminis อีกชั้นหนึ่งจะเป็นเยื่อชั้นนอกอยู่ระหว่างเยื่อชั้นในกับเปลือก ชั้นนี้ผลึกแน่นกับเปลือกชั้นใน โดยทั่วไปเยื่อชั้นใน และนอกมีสิ่งเชื่อมติดกันยกเว้นที่ส่วนบ่านอันจะเกิดเป็นช่องอากาศของไข (Air cell) เมื่อไขนั้นอายุมากขึ้น

2.1.4.7 รูเปลือก (Pores) มีลักษณะเป็นรูปร่างต่างๆ ตั้งแต่รูปไข่ถึงกลม รูเปลือกเชื่อมโยงจากภายนอกเข้าไปถึงเยื่อเปลือกไข ขนาดของรูมีขนาดต่างๆตั้งแต่เห็นได้ด้วยตาเปล่าไปจนถึงขนาดเล็กมากต้องดูด้วยกล้องขยาย รูเหล่านี้ไม่เป็นระยะ และไม่มีความสม่ำเสมอ รูเหล่านี้เชื่อมโยงระหว่างเปลือกชั้นนอกกับระบบเชื่อมโยงของช่องอากาศที่เปลือกชั้นใน ตอนที่รูนี้เริ่มผ่านเปลือกชั้นนอกออกมานั้นจะมีขนาดเล็กที่สุดแล้วมาเปิดกว้างเป็นแฉกผายออกที่ผิวของเปลือกชั้นนอกในไขใหม่บางรูที่ปากรูตัน หรือถูกอุดด้วยนวลไข ฉะนั้นการขัดสีผิวไขจึงเป็นเหตุให้ปากรูถูกเปิดมากขึ้น ทำให้น้ำในไขระเหยออกง่ายขึ้น และจุลินทรีย์จากภายนอกเข้าทำลายไข่ได้สะดวกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เปลือกไข่ผ่าตามหน้าตัดด้านข้างขยายใหญ่จากของจริง

จากภาพขยายของเปลือกไข่ เริ่มลำดับจากข้างบนลงไปจะมีส่วนต่างๆดังนี้

- 1) เคลือบผิวไข่ (Cuticle)
- 2) เปลือกชั้นนอก (Spongy layer) ประกอบด้วยผิวพื้นเปลือกและปากรูพื้นเปลือก
- 3) เปลือกชั้นใน (Mammillary layer)
- 4) เยื่อเปลือกไข่ (Shell membrane)

2.1.5 องค์ประกอบทางเคมีของไข่

น้ำเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในไข่ เมื่อระเหยน้ำออกให้หมดส่วนวัตถุแห้งที่ปรากฏ นั้นจะประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ และอินทรีย์สารอีกเล็กน้อย ดังแสดงตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของไข่

ส่วนต่างๆ	เปอร์เซ็นต์ทั้งหมด	น้ำ (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)
ไข่ทั้งฟอง	100	65.5	11.8	11.0	11.7
ไข่แดง	31	48.0	17.5	32.5	2.0
ไข่ขาว	58	88.0	11.0	0.2	0.8
เปลือก	11	-	-	-	-

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นว่าไข่ทั้งฟองมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เกลือแร่ หรือเถ้า ประมาณเกือบเท่าๆกัน ไขมันในไข่จะรวมถึง True fats, Phosphorus, Nitrogen และ Sugar-containing lipids และ Sterols ไขมันเกือบทั้งหมดในไข่จะอยู่ในไข่แดงโดยส่วนใหญ่จะเป็น Lipoproteins นอกจากนี้ คาร์โบไฮเดรตอาจพบเป็นส่วนประกอบเล็กน้อยในไข่ไก่ มีปริมาณเฉลี่ย 0.5 กรัม ต่อไข่ 1 ฟอง ดังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 โดยอยู่ในไข่แดงร้อยละ 40 คาร์โบไฮเดรตนั้นจะอยู่ในรูปของน้ำตาลอิสระ และ รูปที่จับกับโปรตีน และไขมันชนิดต่างๆ

ตาราง 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของไข่ไก่ (ค่าเฉลี่ย กรัมต่อไข่ 1 ฟอง)

ส่วนต่างๆ	น้ำ	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต		ไขมัน	แร่ธาตุ
			น้ำตาลอิสระ	Conjugate Oligosaccharides		
ไข่แดง	18.7	9.1	0.131	0.056	5.83	0.318
ไข่ขาว	28.9	28.9	0.132	0.165	0.002	0.231
เยื่อเปลือก	5.9	0.1	0.25	-	-	5.9
เปลือก			0.15	-	-	
รวม	57.6	38.1	0.263	0.221	5.832	6.449

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่

ชนิดองค์ประกอบ	ปริมาณ (กรัม)	ปริมาณ (%)
น้ำ	0.1	1.6
วัตถุแห้ง	6.0	98.4
อินทรีย์วัตถุ	0.2	3.3
โปรตีน	0.2	3.3
ลิปิด	น้อยมาก	0.03
อนินทรีย์	5.8	95.1
รวม	6.1	100.0

เปลือกไข่ประกอบด้วยแร่ธาตุประมาณร้อยละ 95 ในส่วนนี้จะมีแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าร้อยละ 98 สารอนินทรีย์อื่นๆ เกือบอนินทรีย์ที่อยู่ในเปลือกไข่ส่วนมากจะเป็นคาร์บอเนต และ ฟอสเฟตของแคลเซียม และแมกนีเซียม ผลึก Calcite ที่มีอยู่ในเปลือกไข่จะประกอบด้วยแคลเซียม คาร์บอเนตและผลึก Dolomite จะประกอบด้วยแคลเซียม และแมกนีเซียมคาร์บอเนต โดยโครงสร้าง ของผลึก Dolomite จะแข็งแรงกว่าผลึก calcite เปลือกไข่จะประกอบด้วยสารประกอบเชิงซ้อนของ โปรตีน โพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วย Galactosamine Glucosamine Galactose Fructose Glucose Sialic acids และไขมันปริมาณเล็กน้อยนอกจากนี้เยื่อหุ้มเปลือกไข่ยังประกอบด้วยส่วนที่เป็นเม็ดสี คือ Protoporphyrin ปริมาณเล็กน้อย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเปลือกไข่

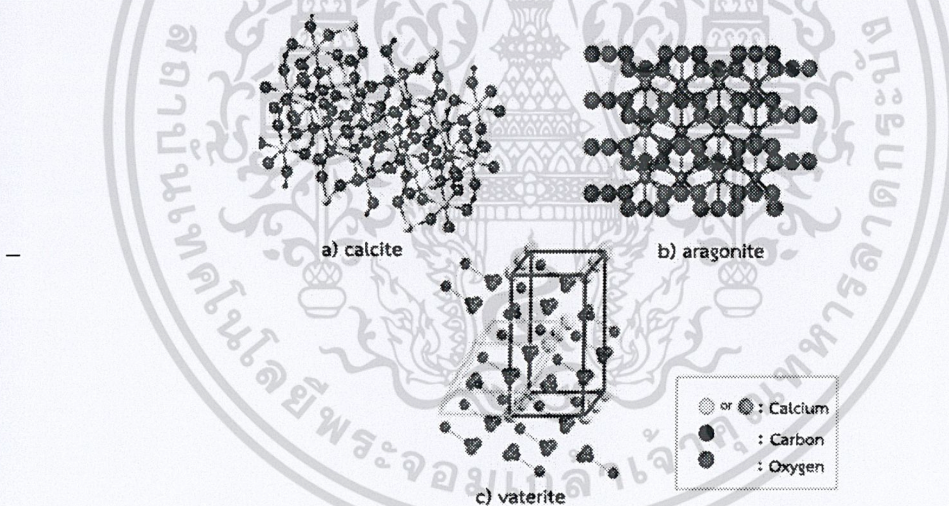
ไก่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ร้อยละ 94 แคลเซียมฟอสเฟตร้อยละ 1 แมกนีเซียมคาร์บอเนต ร้อยละ 1 และสารอินทรีย์ที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอีกร้อยละ 4 ดังนั้นเปลือกไข่จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตเป็นแคลเซียม

2.2 เทคโนโลยีการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกไข่

เทคโนโลยีที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงเปลือกไข่เหลือทิ้งให้อยู่ในรูปที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปเปลือกไข่ ดังนี้

2.2.1 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate; CaCO_3)

แคลเซียมคาร์บอเนตมีสูตรเคมี คือ CaCO_3 เป็นแร่ที่มีอยู่โดยทั่วไปในธรรมชาติ โดยพบว่ามีอยู่ในปริมาณ 5% ของน้ำหนักของเปลือกโลก แคลเซียมคาร์บอเนตประกอบด้วย แคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide; CaO) ร้อยละ 56 และคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide; CO_2) ร้อยละ 44 ลักษณะทางกายภาพ เป็นผงสีขาวไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายน้ำได้เมื่อมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนตโดยทั่วไปมีโครงสร้างผลึก 3 แบบด้วยกัน (ธนาธิป, 2557) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)

โดยชนิดที่มีอยู่มากที่สุดได้แก่ 1. แคลไซต์ (Calcite) โดยเป็น CaCO_3 ที่มีโครงสร้างผลึก เป็นแบบ ромโบเอ็ดรอน (Rhombohedral) 2. อะราโกไนต์ (Aragonite) เป็น CaCO_3 ที่มีโครงสร้างผลึก เป็นออร์โธรอมบิก (orthorhombic) และ 3. วาเทอไรต์ (Vaterite) เป็น CaCO_3 ที่มีโครงสร้างผลึก เป็นแบบเฮกซะโกนอล (hexagonal) ซึ่งโครงสร้างผลึกแบบนี้เป็นแบบที่พบน้อยที่สุด โดยโครงสร้างผลึกทั้ง 3 ชนิดมีสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันดังตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

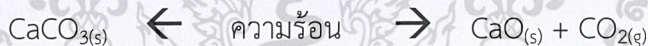
ตารางที่ 2.6 แสดงสมบัติทางกายภาพของแคลเซียมคาร์บอเนต

สมบัติทางกายภาพ	Calcite	Aragonite	Vaterite
Solubility product (K_{sp})	3.6×10^{-9}	6×10^{-9}	$1 \times 10^{-7.74}$
Density (g/cm^3)	2.71	2.93	2.54
Hardness (Mohs Scale)	3	3.5 - 4	3
Refractive index	1.58	1.63	1.65
Coordination number	6	9	6

2.2.1.1 ปฏิกิริยาของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)

ปฏิกิริยาการสลายตัวของหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ด้วยความร้อน จะให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และปูนขาวหรือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) นำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ซึ่งมีปูนขาวเป็นส่วนผสมหลัก ปฏิกิริยาระหว่างหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนตกับกรดกำมะถันหรือกรดดินประสิวซึ่งมีอยู่ในฝนกรด จะเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) หรือแคลเซียมไนเตรต ($\text{Ca(NO}_3)_2$) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ดังสมการ ปฏิกิริยานี้เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้รูปปั้น รูปแกะสลัก ตึกอาคาร บ้านเรือนและสิ่งก่อสร้างที่ทำด้วยหินปูนหรือหินอ่อนเกิดการสึกกร่อน

ปฏิกิริยาการสลายตัวของหินปูนด้วยความร้อน



ปฏิกิริยาระหว่างกรดกับคาร์บอเนต



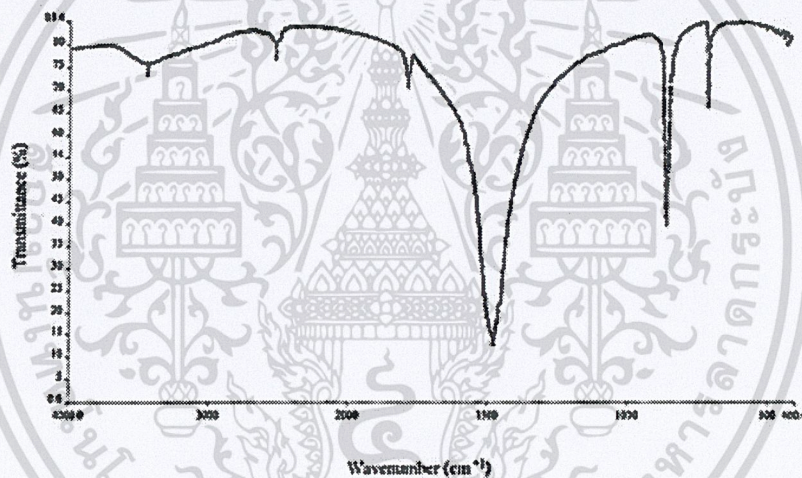
2.2.1.2 การใช้ประโยชน์ของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)

แคลเซียมคาร์บอเนตถูกใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลายๆ ประเภท เนื่องจากมีคุณสมบัติที่บดให้ละเอียดได้ง่าย โดยผงละเอียดของแคลเซียมคาร์บอเนตมีความเสถียรทางเคมีและไม่เป็นพิษ นอกจากนี้คุณสมบัติพิเศษอื่น ๆ เช่น ความขาว การดูดซับน้ำมัน ที่เอื้อประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมพลาสติก และอุตสาหกรรมปุ๋ย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.3 เอกลักษณะเฉพาะตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)

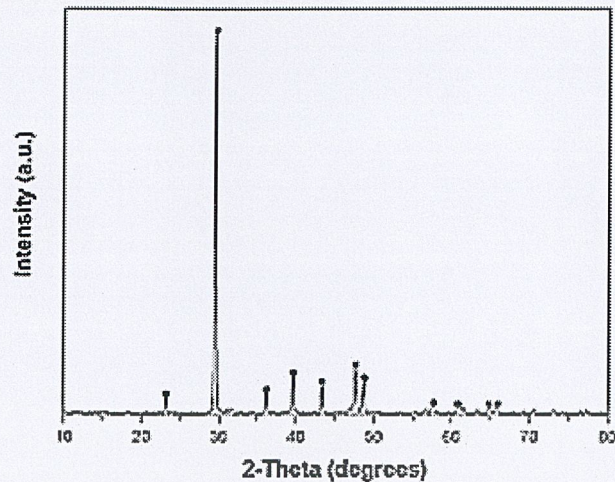
2.2.1.3.1 วิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (Vibrationspectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) ของแคลเซียมคาร์บอเนต จะปรากฏพีคของหมู่ฟังก์ชันที่เกิดจากการ สั่นของโมเลกุลในแคลเซียมคาร์บอเนต โดยตำแหน่งการงอ ของหมู่ฟังก์ชันของ CO_3^{2-} แคลไซด์ ปรากฏในช่วง 1400 cm^{-1} 880 cm^{-1} และ 700 cm^{-1} (calcite in plane bendings V_4 : 700 cm^{-1} calcite out of plane bending, V_2 : 880 cm^{-1}) และตำแหน่งการยึดของหมู่ฟังก์ชันของ CO_3^{2-} ของ แคลไซด์ปรากฏในช่วง 1300 cm^{-1} ซึ่งเห็นได้ว่าตำแหน่งการยึดของ หมู่ฟังก์ชันของ CO_3^{2-} ของแคลไซด์จะมีความแข็งแรงมากกว่าพีคการงอ ของหมู่ฟังก์ชันของ CO_3^{2-} ของแคลไซด์ เนื่องจาก พีคการยึดของหมู่ฟังก์ชันของ CO_3^{2-} ของแคลไซด์จะเห็นได้เด่นชัดในช่วงดังกล่าวมากกว่า (Nu Science, 2006)



รูปที่ 2.4 รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิค FTIR ของแคลเซียมคาร์บอเนต

2.2.1.3.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD) พบว่า การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมคาร์บอเนต มีการระบุตำแหน่งมุมการเลี้ยวเบนและระนาบ (h k l) ที่ตำแหน่ง 29 39 43 47 และ 48 (เปรียบเทียบกับฐานข้อมูล PDF #581108) ซึ่งเปลี่ยนรูปผลึกเป็นแบบแคลไซด์ เป็นรอมโบฮีดรัล โดยมีองศาสูงสุดที่ตำแหน่ง 29°C (Supakorn Boonyuen, 2015) ดังรูปที่ 2.5

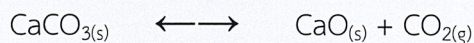
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมคาร์บอเนต

2.2.2 แคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide : CaO)

แคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide : CaO) เป็นที่รู้จักกันทั่วไปว่า ปูนขาว หรือ ปูนเผา หรือ ในรูปของหินตะกอนว่า หินปูน เป็นสารเคมีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น มีฤทธิ์เป็นด่าง กัดกร่อนได้ เป็นผลึกของแข็ง อัลคาไลน์ในอุณหภูมิห้อง มวลโมเลกุล 56.0774 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 3.35 g/cm จุดหลอมเหลว 2572 °C 2845 °K จุดเดือด 2850 °C 3123 °K ความสามารถในการละลายน้ำ 1.19 g/L (25 °C) 0.57 g/L (100 °C) สามารถละลายในกรด กลิเชอรอล และน้ำเชื่อม ไม่สามารถละลายในเมทานอล ไดเอทิลอีเทอร์ ค่าคงที่การแตกตัวของกรด 12.8 ค่าเอนโทรปี 40 J·mol⁻¹ K⁻¹ และค่าเอนทาลปี 635 kJ·mol⁻¹ แคลเซียมออกไซด์จะผลิตจากการเผาวัสดุใดๆ ที่มีส่วนผสมของหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต : CaCO₃) เป็นองค์ประกอบ ณ อุณหภูมิมากกว่า 825 °C เรียกกระบวนการเผานี้ว่า calcination และจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ออกมา แคลเซียมออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับ CO₂ ที่อยู่ในอากาศ โดยอาศัยระยะเวลาที่นานพอควร และจะกลับกลายเป็น CaCO₃ ได้ ดังนั้นการเก็บรักษาต้องระวังไม่ให้อากาศสามารถผ่านเข้าไปในภาชนะที่ใช้จัดเก็บได้



2.2.2.1 การใช้ประโยชน์ของแคลเซียมออกไซด์ (CaO)

ด้านการก่อสร้าง ใช้เป็นส่วนผสมของปูนฉาบ ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินกระจายตัว ใช้เป็นสารตัวเติมในยางแอสฟัลต์สำหรับลาดถนน ด้านการเกษตรใช้ปรับสภาพ

ของดินและน้ำที่เป็นกรดใช้แก้ปัญหาคาตัง ด้านอุตสาหกรรม ใช้ตั้งสารเจือปนในการผลิตเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

คุณภาพสูง ใช้เป็นสารเติมในอุตสาหกรรมยาง เซรามิกส์ กระดาษ ใช้ผลิตโซดาไฟ เป็นต้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกพิมพ์ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของแคลเซียมออกไซด์ (CaO)

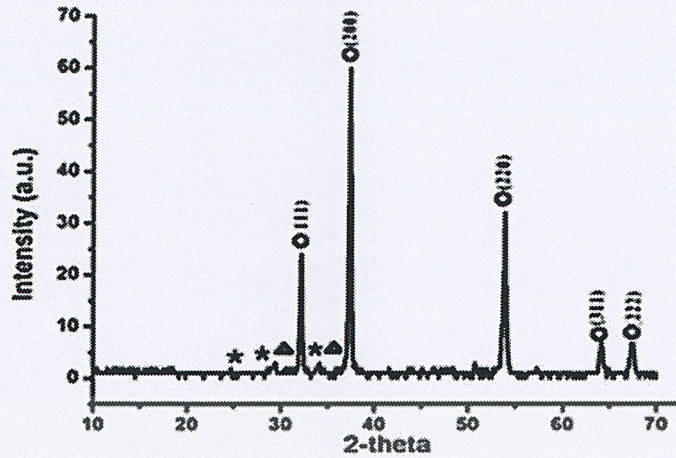
2.2.2.2.1 วิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (Vibrationspectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) ของแคลเซียมออกไซด์ จะปรากฏพีคของหมู่ฟังก์ชันที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุลที่ตำแหน่ง 3647 cm^{-1} เกิดจากการสั่นสะเทือน ของโมเลกุลของน้ำ (หมู่ OH) ตำแหน่งที่ 1475 cm^{-1} เกิดจากการสั่นสะเทือนของโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์(หมู่ C=O) ตำแหน่ง 862 และ 713 cm^{-1} เกิดจากการสั่นสะเทือนของคาร์บอนไดออกไซด์ (Nu Science, 2006) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิค FTIR ของแคลเซียมออกไซด์

2.2.2.2.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD) พบว่า การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมออกไซด์ มีการระบุตำแหน่งมุมการเลี้ยวเบนและระนาบ (h k l) โดยมีองศาสูงสุดที่ตำแหน่ง 32 และ 37°C (Supakorn Boonyuen, 2015) ดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแคลเซียมออกไซด์

2.2.3 โมโนแคลเซียมฟอสเฟต (monocalcium phosphate ; MCP)

โมโนแคลเซียมฟอสเฟต (monocalcium phosphate ; MCP) เป็นสารประกอบของเกลือแคลเซียมของกรดฟอสฟอริก และเป็นสารประกอบอนินทรีย์ ซึ่งรู้จักกันดีในชื่อของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตแอนไฮดรัส มีสูตรทางเคมี คือ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ หรือโมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต มีสูตรทางเคมี คือ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ มวลโมเลกุล 252 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 2.220 g/cm^3 จุดหลอมเหลว 109°C 382 K 228°F จุดเดือด 203°C 476 K 397°F ความสามารถในการละลายน้ำ $2 \text{ g}/100 \text{ ml}$ เป็นของแข็งที่ไม่มีสี มักจะใช้ทำปุ๋ยและนิยมใช้เป็นหมู่หลุดออก โมโนแคลเซียมฟอสเฟตเป็นสารประกอบที่มีความบริสุทธิ์มาก ซึ่งได้มาจากการให้ความร้อน สามารถผลิตได้โดยการนำแคลเซียมคาร์บอเนตมาผสมกับกรดฟอสฟอริก (วรุณทิพย์ ฉัตรจุฑามณี, 2560)

2.2.3.1 ปฏิกริยาของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต (MCP)

ปฏิกริยาของแคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับกรดฟอสฟอริก



ปฏิกริยาการสลายตัวของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตแอนไฮดรัส $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$



ปฏิกริยาการสลายตัวของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$



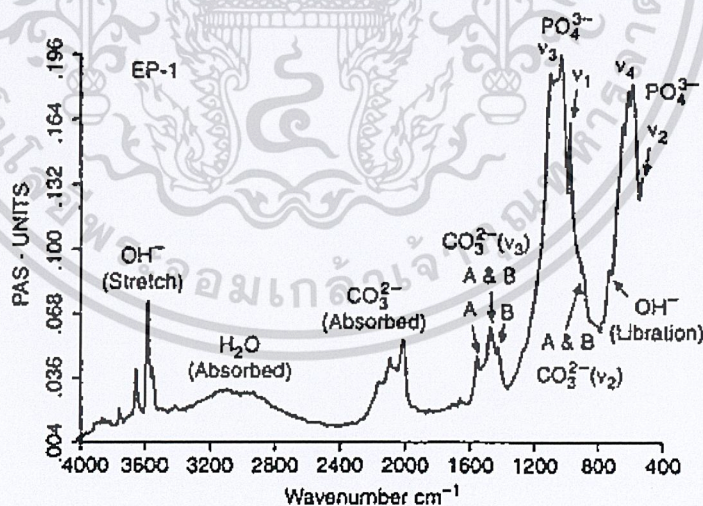
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ได้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 การใช้ประโยชน์ของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต (MCP)

ใช้เป็นสารเติมแต่งอาหารสำหรับสัตว์และนก อาหารที่ประกอบด้วย MCP ให้สัตว์ที่มีแคลเซียมและฟอสฟอรัส ซึ่งส่งเสริมการขึ้นรูปกระดูกแข็งและกระดูก ปรับปรุงฟังก์ชันของชีวิตสัตว์ เฝاملายู และการทำงานของประสาท และระบบสืบพันธุ์ เพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตสารเติมแต่งแร่สารดังกล่าวโดยเฉพาะอย่างยิ่งแนะนำสำหรับให้อาหารสัตว์กินและโมโนแคลเซียมฟอสเฟตเป็นสารประกอบที่มีความปลอดภัยสูง เพราะได้มาจากแหล่งธรรมชาติ ช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้ผลิตภัณฑ์ดีขึ้น และจะช่วยลดเศษอาหารที่อาจเป็นผลมาจากมาจากอาหารที่ไม่อิมตัว

2.2.3.3 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต (MCP)

2.2.3.3.1 วิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (Vibrationspectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) ของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต จะปรากฏพีคของหมู่ฟังก์ชันที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุลที่ตำแหน่ง สเปกตรัมดังนี้ หมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่ 3400 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน (P)O-H stretching ที่ 2800 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน H-O-H stretching ที่ 2300 cm^{-1} และ 1650 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O-H stretching ที่ 1200 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O stretching ที่ 900 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O(H) stretching ที่ 880 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน PO_2 bending 500 cm^{-1} เกิดจากการสั่นสะเทือนของคาร์บอนไดออกไซด์และฟอสเฟตไอออน (Rotner, 2004) ดังรูปที่ 2.8

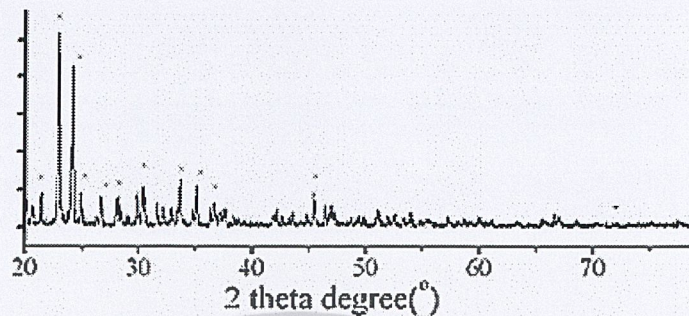


รูปที่ 2.8 รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิค FTIR ของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต

2.2.3.3.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD) พบว่า การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต มีการระบุตำแหน่งหมุนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นจำเป็นต้องใช้เอกสารนี้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลี้ยวเบนและระนาบ (h k l) ที่ตำแหน่ง 7 15 18 20 23 และ 24 °C โดยมีองศาสูงสุดที่ตำแหน่ง 7 23 และ 24°C (Banjong Boonchom, 2009) ดังรูปที่ 2.9



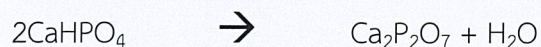
รูปที่ 2.9 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต

2.2.4 ไดแคลเซียมฟอสเฟต (Dicalcium phosphate ;DCP)

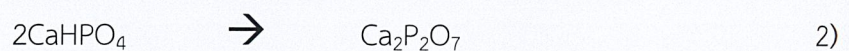
ไดแคลเซียมฟอสเฟต (Dicalcium phosphate; DCP) เป็นสารประกอบของเกลือแคลเซียมของกรดฟอสฟอริก มีสูตรทางเคมี คือ CaHPO_4 คำนำหน้าว่า “ได” ในชื่อสามัญเกิดขึ้นจากการก่อตัวของ HPO_4^{2-} ซึ่งเป็นการกำจัดโปรตอนออก 2 ตัวจากกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในชื่อ ไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟต มีสูตรทางเคมีคือ $\text{Ca}(\text{HPO}_4)$ หรือโมโนแคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต มีสูตรทางเคมีคือ $\text{Ca}(\text{HPO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ มวลโมเลกุล 172 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 2.31 g/cm^3 ความสามารถในการละลายน้ำ 0.02 $\text{g}/100 \text{ ml}$ ไม่มีกลิ่น ใช้เป็นสารเติมแต่งอาหารพบในยาสีฟันบางชนิดทำหน้าที่เป็นสารขัดฟันและวัสดุชีวภาพไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ผลิตจากแคลเซียมคาร์บอเนตนั้นเป็นการนำแคลเซียมคาร์บอเนต มาเติมกรดฟอสฟอริกลงไปจนได้ระดับฟอสฟอรัสตามต้องการ ข้อดีของการนำแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกไข่มาใช้ในการผลิตก็คือลดความเสี่ยงการปนเปื้อนของฟลูออรีนและโลหะหนัก โดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงมากในกระบวนการผลิตจึงลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานความร้อนลงได้

2.2.4.1 ปฏิกริยาของไดแคลเซียมฟอสเฟต (DCP)

ปฏิกริยาการสลายตัวของไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟต $\text{Ca}(\text{HPO}_4)$



ปฏิกริยาการสลายตัวของไดแคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต $\text{Ca}(\text{HPO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

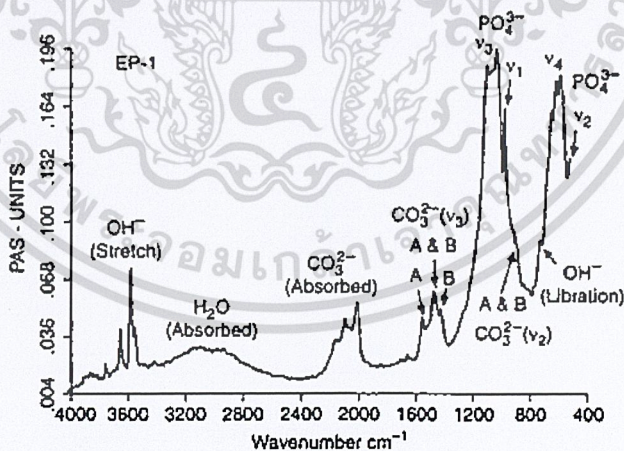
2.2.4.2 การใช้ประโยชน์ของไดแคลเซียมฟอสเฟต (DCP)

ไดแคลเซียมฟอสเฟต ใช้เป็นสารเติมแต่งอาหารซึ่งพบในยาสี่พินบางชนิดเป็นสารขัดและเป็นวัสดุชีวภาพ แหล่งของแคลเซียม และ ฟอสฟอรัส โดยไดแคลเซียมฟอสเฟต เป็นที่ต้องการในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น อาหารสัตว์ ปุ๋ย รวมไปถึงอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งมีต้นทุนการนำเข้าจากต่างประเทศสูง อีกทั้งกรรมวิธีการผลิตก่อนหน้าที่ยังค่อนข้างใช้เวลานาน มีความซับซ้อน ต้องใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย ซึ่งกรรมวิธีการผลิตไดแคลเซียมฟอสเฟต จากเปลือกไข่ไก่สามารถลดต้นทุนการนำเข้า เนื่องจากใช้เปลือกไข่ไก่ที่เป็นของเหลือทิ้งตามธรรมชาติ เป็นกรรมวิธีผลิตที่สะดวกรวดเร็ว ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายตลอดจนมีความปลอดภัยในการผลิต

2.2.4.3 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของไดแคลเซียมฟอสเฟต (DCP)

2.2.4.3.1 วิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปก

โทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (Vibrationspectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) ของไดแคลเซียมฟอสเฟต จะปรากฏพีคของหมู่ฟังก์ชันที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุลที่ตำแหน่งหมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่ 3600 cm^{-1} และ 3400 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน H-O-H stretching ที่ 1600 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน C-O stretching ที่ 1400 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O-H stretching ที่ 1100 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O stretching ที่ 900 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน PO_2 bending 500 cm^{-1} ซึ่งพบว่า (DCP และ DCP-M) มีโหมดฟังก์ชันการสั่นของ คาร์บอเนตไอออน และฟอสเฟต (Rotner, 2004) ดังรูปที่ 2.10

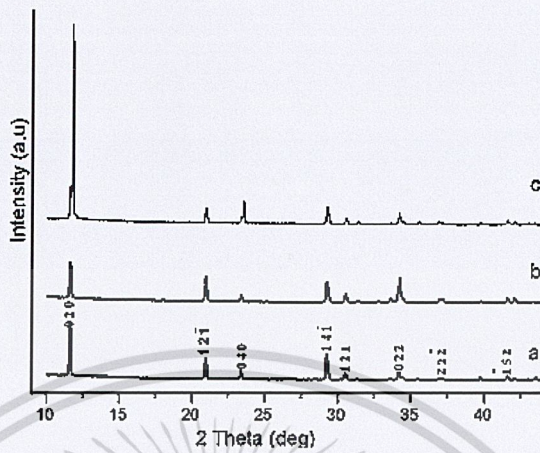


รูปที่ 2.10 รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิค FTIR ของไดแคลเซียมฟอสเฟต

2.2.4.3.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffract

meter, XRD) พบว่า การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไดแคลเซียมฟอสเฟต มีการระบุตำแหน่งมุมการเอกซาร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลี้ยวเบนและระนาบ (h k l) ที่ตำแหน่ง 11 18 21 23 29 และ 30°C โดยมีองศาสูงสุดที่ตำแหน่ง 11 21 และ 29°C (P.kanjana, 2019) ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของไดแคลเซียมฟอสเฟต

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

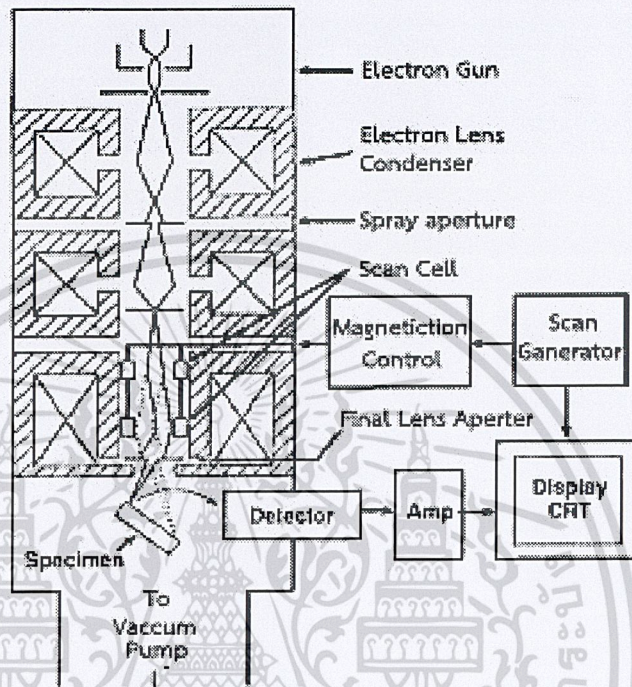
2.3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดหนึ่งถ่ายภาพชิ้นงานโดยอาศัยหลักการการกราดไปบนพื้นผิวตัวอย่างด้วยลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิด (Electron gun) เมื่ออิเล็กตรอนดังกล่าวกระทบกับผิวชิ้นงานที่ประกอบไปด้วยอะตอมต่างๆ จะปล่อยสัญญาณที่สามารถนำไปประมวลผลและให้ข้อมูลเป็นภาพพื้นผิวของวัตถุ องค์ประกอบของพื้นผิว และ คุณสมบัติอื่นๆ เช่น คุณสมบัติการนำไฟฟ้า เป็นต้น

ส่วนประกอบของ SEM ประกอบไปด้วยส่วนบนสุดเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ที่เรียกว่าเป็นอิเล็กตรอน (electron gun) อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตาม คอลลิมน์ ซึ่งมีสภาพสุญญากาศ ด้วยความต่างศักย์เร่ง (Accelerating Voltage) ในช่วง 0-30 KV (บางเครื่องทำได้สูงถึง 50 KV) โดยทิศทางการเคลื่อนที่จะถูกควบคุมด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic lens) 2 ชุดหรือมากกว่า และปริมาณของอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมด้วย แอปเพเจอร์ (aperture) หรือช่องเปิดที่มีลักษณะต่างๆกันตามลักษณะการใช้งาน เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าชุดแรก ที่เรียกว่า เลนส์คอนเดนเซอร์ (Condenser lens) นับว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญที่สุดต่อการควบคุมทัศนศาสตร์อิเล็กตรอน (electron optics) เพราะเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่บีบอิเล็กตรอนที่วิ่งลงมาจากรูของแหล่งกำเนิดให้เป็นลำที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลง ส่วนเลนส์วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์ชุดสุดท้าย จะทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอน (electron beam) ให้ไปตกบนผิวของตัวอย่าง โดยมีสแกนคอยล์ (scan

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

coll) ทำหน้าที่กราดลำอิเล็กตรอนให้ไปบนผิวของตัวอย่างภายในกรอบพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวอย่างบริเวณ ที่ถูกยิงด้วยลำอิเล็กตรอนนี้ จะเกิดสัญญาณ (Signal) ต่างๆ ขึ้นหลายชนิดในเวลาเดียวกัน และ SEM จะมีอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสัญญาณ (Detector) ชนิดต่างๆ เหล่านั้น แล้วส่งไปประมวลผล เป็นภาพแสดงบนจอภาพต่อไป (Ankan Mukhopadhyay, 2015) ดังรูปที่ 2.12



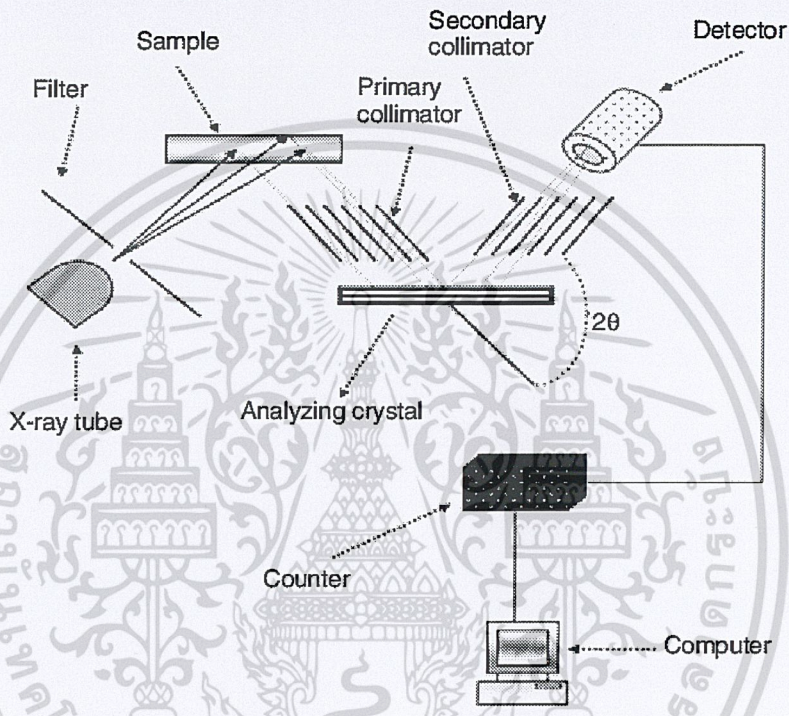
รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบและหลักการทำงานของ SEM

2.3.2 X-ray Fluorescence (XRF) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ ที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบ โดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยสามารถใช้ได้กับงานวิจัยในหลายๆ ด้าน เช่น วัสดุศาสตร์ ธรณีวิทยา สิ่งแวดล้อม ทางการแพทย์ รวมถึงตัวอย่างจากอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เป็นต้น การวิเคราะห์ของเครื่อง XRF จะอาศัยหลักการเรืองรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง โดยจะยิงรังสีเอกซ์เข้าไปในตัวอย่ง ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่างจะดูดกลืนรังสีเอกซ์ แล้วคายพลังงานออกมา โดยพลังงานที่คาย หรือ Fluorescence ออกมานั้น จะมีค่าพลังงานขึ้นกับชนิดของธาตุที่อยู่ในตัวอย่าง

เครื่อง XRF โดยทั่วไปจะมีด้วยกัน 2 แบบ คือ Wavelength Dispersive XRF (WDXRF) และ Energy Dispersive XRF (EDXRF) โดยเครื่อง XRF จะสามารถทำการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่งได้ตั้งแต่ Na - U เรียงตาม Atomic number โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งแบบไม่มี Standard และ มี Standard (ต้องเอา Standard มาเอง) สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ในหลายลักษณะ ทั้ง

ของแข็ง ผง ตัวอย่างที่ขึ้นรูปแล้ว หรือ ตัวอย่างที่เป็นของเหลว ข้อดีของเครื่อง XRF เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่นๆ คือ เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง (ยกเว้นกรณีที่ต้องบดตัวอย่างเพื่อขึ้นรูปเป็นเม็ด) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และให้ผลการทดสอบที่รวดเร็ว และไม่จำเป็นต้องใช้ Standard ในการทดสอบ ข้อเสียของ XRF คือความสามารถในการวิเคราะห์ ตัวอย่างที่มีปริมาณน้อยๆ จะทำได้ยาก โดยเฉพาะธาตุในกลุ่ม Light Element หากมีปริมาณน้อยๆ ผลที่ได้จะไม่ดีเท่าที่ควร อีกทั้ง หากตัวอย่างนั้น ไม่สามารถขึ้นรูปให้เป็นของแข็ง เพื่อทดสอบในสภาพ Low pressure ก็จะทำให้เกิดการดูดกลืนรังสีของอากาศ ภายในห้องใส่ตัวอย่าง ซึ่งมีผลให้ Intensity ของ X-ray ที่ได้ลดลง (James M.Guthrie, 2012) ดังรูปที่ 2.13

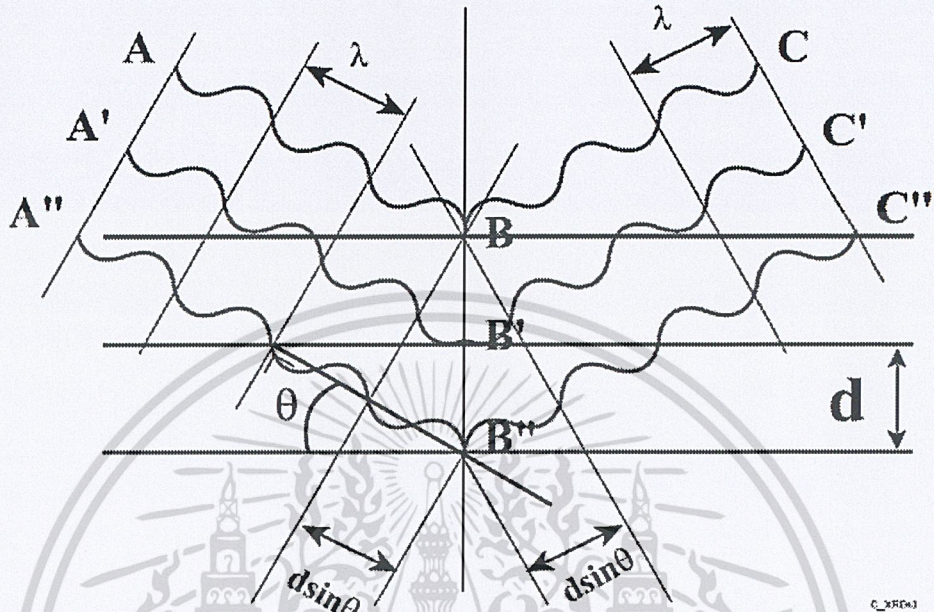


รูปที่ 2.13 องค์ประกอบต่างๆของเครื่อง XRF ชนิด Wavelength Dispersive System

2.3.3 X-ray Diffractometer (XRD) หรือ เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้อีกด้วย ในผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิด จะมีขนาดของ Unit Cell ที่ไม่เท่ากัน ทำให้ Pattern ของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ที่ออกมาไม่เท่ากัน ทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่างๆ กับ Pattern การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ ซึ่งจะช่วยให้เราทราบว่า ในตัวอย่างนั้นๆ มีสารประกอบอะไรอยู่บ้างดังรูปที่ 2.14 ข้อจำกัดของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ก็คือ ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อหาปริมาณ หรือ หาลักษณะของตัวอย่าง ที่เป็น Amorphous ได้ เนื่องจากสารตัวอย่างกลุ่มนี้ จะไม่เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ แต่เราอาจสามารถให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XRD คำนวณหา ปริมาณของส่วนที่เป็น Amorphous ในตัวอย่าง ว่ามีสัดส่วนกี่% ได้โดยใช้การเปรียบเทียบกับปริมาณของสารมาตรฐานที่ทราบค่าแน่นอน (ดร.พงศ์ธร จุฬพันธ์ทอง)



ภาพ 2.14 หลักการทำงานของเครื่อง XRD

2.3.4 Fourier Transform InfraRed Spectrometer (FTIR) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ โดยอาศัยหลักการของการดูดกลืนคลื่นรังสีช่วงกลางอินฟราเรด (Middle infrared region) ประมาณ $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ เมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรด ที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่น (Stretching) หรือ การหมุน (Bending) ของพันธะโควาเลนต์ในโมเลกุล จะทำให้โมเลกุลดังกล่าวเกิดการดูดกลืนแสง IR และมีการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) ของโมเลกุล จากนั้นเครื่องมือจะวัด ค่าความเข้มแสงต่อความถี่หรือความยาวคลื่น (Wave number) ได้เป็นสเปกตรัมที่เรียกว่า “Interferogram” ซึ่งในแต่ละพันธะของหมู่ฟังก์ชันจะแสดงค่าความยาวคลื่นเฉพาะต่างกัน อาทิ C=O ที่ $\sim 1800\text{ cm}^{-1}$ O-H stretching very broad ที่ $\sim 3300\text{-}2500\text{ cm}^{-1}$ N-H stretching ที่ $\sim 3500\text{-}3300\text{ cm}^{-1}$ C=C- Stretching ที่ $\sim 1667\text{-}1613\text{ cm}^{-1}$ C-H Stretching ที่ $\sim 3000\text{-}2840\text{ cm}^{-1}$ เป็นต้น

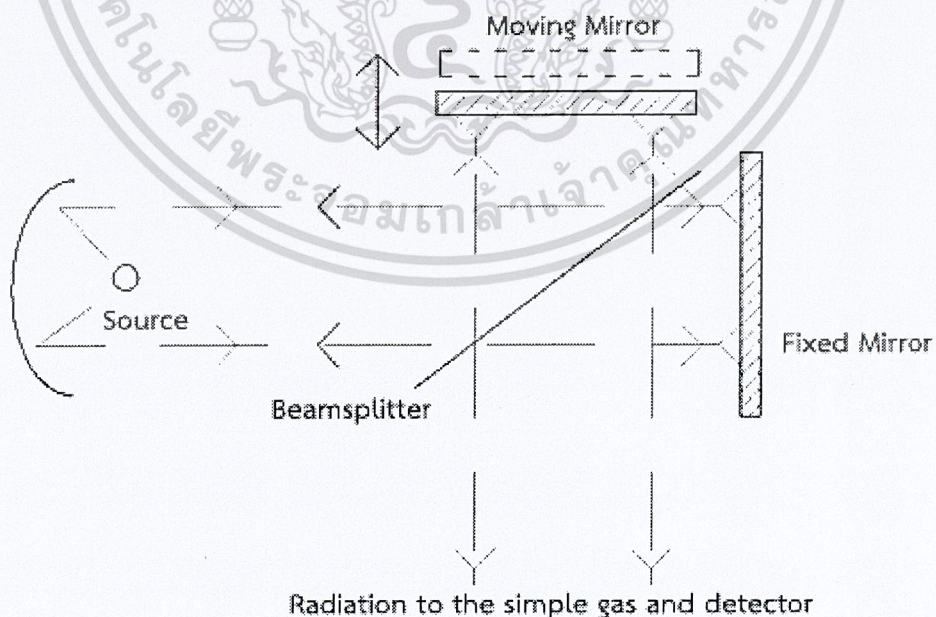
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบของเครื่อง FTIR

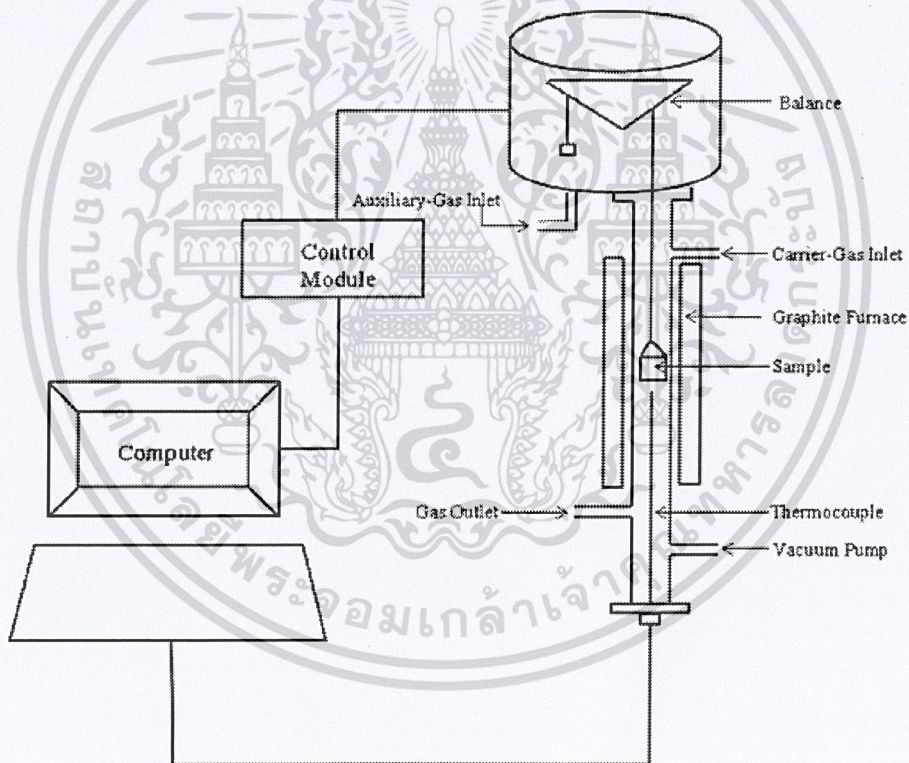
1. แหล่งกำเนิดรังสีของ Infrared Spectrometer คือสารเฉื่อยที่ถูกทำให้ร้อนจนมี อุณหภูมิระหว่าง 1000 - 1800 องศาเซลเซียส
2. ตัวแยกรังสีแบบ Interferometer มีหน้าที่แยกลำรังสีออกทำให้เกิด Path difference ระหว่างลำแสงแล้วทำการรวมสัญญาณการแทรกสอดซึ่งเป็นฟังก์ชันกับ Path difference โดยเครื่องตรวจวัด
3. เครื่องตรวจวัดทำหน้าที่ประมวลผลจากสัญญาณการแทรกสอดที่ส่งผ่านมาจากตัวแยกรังสี

รังสีอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดจะถูกฉายไปยัง Interferometer ซึ่งเครื่อง Gasmet DX4015 FT-IR คือ Michelson Interferometer ซึ่งประกอบด้วยกระจกที่สามารถเคลื่อนที่ได้ กระจกที่ตรึงอยู่กับที่ โดยทั้งสองตั้งฉากซึ่งกันและกัน และตัวแยกแสงซึ่งเป็นอุปกรณ์กึ่งสะท้อนแสง ลำรังสีครึ่งหนึ่งจะทะลุผ่านไปยังกระจกที่ตรึงอยู่กับที่ และอีกครึ่งหนึ่งจะสะท้อนไปยังกระจกสามารถเคลื่อนที่ได้ หลังจากนั้นลำรังสีก็จะสะท้อนจากกระจกกลับมาวมกันที่ตัวแยกแสง เกิดการแทรกสอดขึ้น หลังจากนั้นลำรังสีก็จะผ่านไปยังตัวอย่าง และในที่สุดก็จะตกลงบนเครื่องตรวจวัด (M.D.Mc Cluskey, 2000)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในนามของสำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ นครเชียงใหม่ โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของเครื่อง FTIR แบบ Michelson Interferometer
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 Thermogravimetric Thermal Analyzer (TGA) เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุโดยเมื่อได้รับความร้อนโดยการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วย เครื่องชั่งที่มีความไวสูง เทคนิคนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับแก๊สหรือระเหยของน้ำ การกลั่น (crystallization) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนเฟส การแตกตัวของวัสดุ (decomposition) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน หรือ ปริมาณ สารสัมพันธ์ (stoichiometry) ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกวางบนจานขนาดเล็ก ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง โดยที่ทั้งหมดจะอยู่ในเสาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ บรรยากาศภายในอาจจะเป็นแก๊สเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน หรือแก๊สที่มีความว่องไว เช่น อากาศ หรือ ออกซิเจน โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด โดยน้ำหนักที่หายไปนั้นเกิดมาจากการระเหย การย่อยสลาย หรือการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ (Seshadri, 2012) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.17 หลักการทำงานของเครื่อง TGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(วรุณทิพย์ ฉัตรจุฑามณี, 2560) โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) สามารถสังเคราะห์ได้ง่าย รวดเร็ว เครื่องมือราคาถูกลงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยปฏิกิริยาระหว่าง เปลือกหอยบดและกรดฟอสฟอริกที่อุณหภูมิ ที่เกิดขึ้นเองของปฏิกิริยาเป็นเวลา 25 นาที ได้วิเคราะห์ผลของแข็งที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค XRD และ ATR-FTIR ผล ของ XRD และ ATR-FTIR ยืนยัน ผลของแข็งที่เตรียมได้เป็นผลึกระบบ แอนอติค และปรากฏพีคการสั่นของหมู่ H_2PO_4^- ไอออน และโมเลกุลของ H_2O การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า มีปริมาณแคลเซียม 15.78 % ปริมาณ ฟอสฟอรัส 24.6 % และปริมาณของน้ำ 24.20 % ผลการวิเคราะห์เหล่านี้ยืนยันว่าผลของแข็งที่เตรียมได้เป็น $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

(Supakorn Boonyuen, 2015) การสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอย ในรูปแบบผง นำไปเผาในช่วงอุณหภูมิ 500 700 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง บดและกรองผ่านตะแกรง พบว่า แคลเซียมคาร์บอเนตที่สะสมอยู่ในเปลือกหอยมีการเปลี่ยนแปลงเป็นแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งตรวจสอบการ เปลี่ยนแปลงดังกล่าวด้วยการนำมาวิเคราะห์ด้วย (XRD) (SEM) และ (BET) ผลการวิเคราะห์พบว่าแคลเซียม คาร์บอเนตจากเปลือกหอยทุกชนิดประกอบด้วยโครงสร้างอะราโกไนต์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนไป เป็นโครงสร้างแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 500-700 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส พบว่า แคลเซียมคาร์บอเนตเกิดเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมออกไซด์อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้แคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากเปลือกหอยแครงยังมีความไวต่อความชื้น ซึ่งเปลี่ยนเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้ง่าย

(Banjong Boonchom, 2009) แคลเซียม dihydrogenphosphate monohydrate ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยวิธีการตกตะกอนอย่างรวดเร็วและง่ายต่อการใช้ โดยเตรียม CaCO_3 และ H_3PO_4 ที่อุณหภูมิห้องในอะซิโตนและเอทานอล วิเคราะห์การตกตะกอนด้วยเทคนิค thermoanalytical (TG / DTG / DTA) (SEM) (XRD) และเครื่อง FTIR ผล XRD แสดงลักษณะที่คล้ายกัน ซึ่งแตกต่างจากการวิเคราะห์การสั่น FTIR Spectra เตรียม $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ พฤติกรรมความร้อนและรูปร่างลักษณะของการเตรียม $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ชุดเครื่องแก้ว
2. อุปกรณ์สำหรับไทเทรต
3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
4. pH meter
5. เตาเผา (Furnace)
6. เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาลิเซอร์ (Thermogravimetric Analyzer)
7. เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-Ray diffractometer) รุ่น D8 Advance ยี่ห้อ Bruker AXS
8. เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ (X-Ray Fluorescence Spectrometer) รุ่น SRS 3400 ยี่ห้อ Bruker AXS
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) รุ่น QUANTA 250 ยี่ห้อ FEI
10. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) รุ่น Spectrum GX

3.1.2 สารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอริก (37% Hydrochloric acid, HCl) เกรดวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA ประเทศฝรั่งเศส
2. กรดฟอสฟอริก (70% Phosphoric acid, H₃PO₄) เกรดวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท SUNWAY CORPORATION ประเทศเกาหลีใต้
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (1.0 M Sodium hydroxide, NaOH) เกรดวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท RFCL ประเทศอินเดีย
4. บัฟเฟอร์ พีเอช 10 (buffer pH 10) เกรดวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA ประเทศฝรั่งเศส
5. กรดเอทิลีนไดอามีนเตตราอะซิติก (0.01 M Ethylene diamine tetra-acetic acid, EDTA) เกรดวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท Dissolvine ประเทศจีน
6. อิริโอโครม แบลคที (Eriochrome black T) เกรดวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท Thermo เอกสาร Electron-LLS India Private Ltd ประเทศอินเดีย

จากที่นั่น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เมทิลเรด (Methyl red) เกรดวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA ประเทศฝรั่งเศส
8. เอทานอล (Ethanol 95%) เกรดวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท CARLO ERBA ประเทศฝรั่งเศส
9. เปลือกไข่ไก่บด (แคลเซียมคาร์บอเนตไม่ต่ำกว่าร้อยละ 98.5)

3.2 การเตรียมสารประกอบแคลเซียม

3.2.1 การเตรียมสารตั้งต้น

แคลเซียมคาร์บอเนต

การเตรียมแคลเซียมคาร์บอเนตให้มีขนาด 50 เมชขึ้นไป โดยนำขยะเปลือกไข่ไก่ไปปั่นด้วยเครื่องปั่นและร่อนผ่านตะแกรงเพื่อคัดขนาด 50 เมช และเก็บบรรจุใส่ภาชนะเพื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในขั้นตอนต่อไป ชื่อสารแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้ คือ แคลเซียมคาร์บอเนตบด (50 เมช) ผลิตจากเปลือกไข่ไก่ (egg shell)

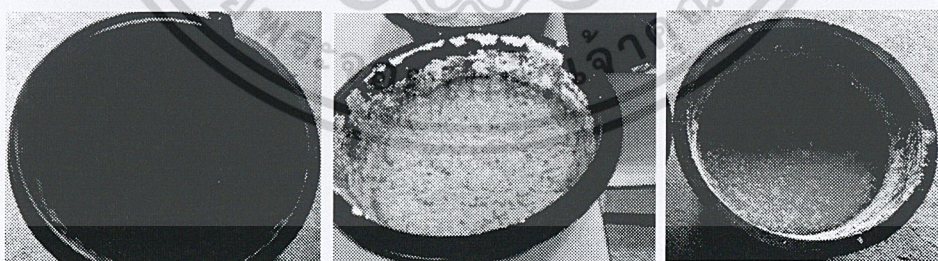
แคลเซียมออกไซด์

เตรียมได้โดยการนำเอาแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากขยะเปลือกไข่ไก่ไปเผาที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ชื่อสารแคลเซียมออกไซด์ที่ผลิตได้ คือ แคลเซียมออกไซด์ (50 เมช) ผลิตจากเปลือกไข่ไก่ (egg shell)

3.2.2 กระบวนการเตรียมสารประกอบแคลเซียม

สารประกอบโมโนแคลเซียมฟอสเฟต

ซึ่งผงขยะเปลือกไข่ไก่ที่เตรียมได้ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต จำนวน 1 กิโลกรัมใส่ถังพลาสติกผสมกับกรดฟอสฟอริกในสัดส่วน 1 : 3 ค่อยๆเทกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) จะมีฟองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ให้คนอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นปล่อยให้ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะได้สารประกอบโมโนแคลเซียมฟอสเฟต



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 3.1 (ก) ขยะเปลือกไข่ไก่ภายหลังการปั่นด้วยเครื่องปั่นและใช้ตะแกรงร่อนขนาด 50 เมช (ข) ผงขยะเปลือกไข่ไก่ผสมกับกรดฟอสฟอริก (ค) ส่วนผสมของผงขยะเปลือกไข่ไก่กับกรดฟอสฟอริกที่แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

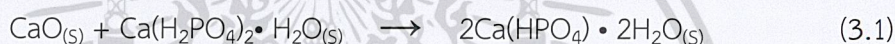
สารประกอบไดแคลเซียมฟอสเฟต

นำโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่ผ่านการปล่อยทิ้งไว้ 24 ชม. มาทำการตกผลึกใหม่ (recrystallization) ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างผลึกซ้ำอีกครั้งในสถานะของแข็ง ทำให้ผลึกมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยนำไปละลายด้วยน้ำ 3 ลิตร และตั้งทิ้งไว้ให้สารตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แยกส่วนที่เป็นของเหลวออกจากตะกอนที่ไม่ละลาย นำตะกอนไปผึ่งในภาชนะคลุมนิยมนโดยตั้งทิ้งไว้ให้แห้งเองตามธรรมชาติที่อุณหภูมิห้อง ส่วนที่ตกตะกอน คือ ไดแคลเซียมฟอสเฟต และส่วนที่ละลายน้ำ คือ โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่บริสุทธิ์

โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่บริสุทธิ์

นำสารละลายโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่ 70 °C เพื่อให้เกิดผลึก ไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ผสมระหว่างโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่บริสุทธิ์กับแคลเซียมออกไซด์

นำแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้ข้างต้นผสมกับโมโนแคลเซียมฟอสเฟตตามสัดส่วนโมล 56 : 252 กรัมจะได้สารประกอบไดแคลเซียมฟอสเฟต ดังสมการเคมีที่ 3.1



3.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมโดยการไทเทรตกับสารละลาย EDTA

นำสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์สารประกอบแคลเซียมที่ต้องการวิเคราะห์ทั้ง 6 ตัวอย่าง คือ CaCO_3 บริสุทธิ์ CaCO_3 CaO MCP DCP DCP-M ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมโดยการไทเทรตกับสารละลาย EDTA โดยการ

1. ชั่งแคลเซียมคาร์บอเนตจากชยะเปลือกไข่ไก่ (CaCO_3) จำนวน 0.0250 กรัม
2. เติมกรดไฮโดรคลอริก (1.0 M HCl) ที่ละลายจนแคลเซียมคาร์บอเนตละลายหมด
3. เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตรและเติมเมทิลเรดจำนวน 2-3 หยด
4. นำมาปรับให้เป็นสารละลายเบสโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (1.0 M NaOH) สารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองฟางข้าว
5. เติมสารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 10 จำนวน 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมอิริโอโครม แบลคที จำนวน 2-3 หยด
6. นำไปไทเทรตกับสารละลาย EDTA (0.01 M EDTA) เมื่อถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนสีจากสีม่วงไปเป็นสีฟ้าอมเขียว
7. นำปริมาตรของสารละลาย EDTA และน้ำหนักของแคลเซียมคาร์บอเนตจากชยะเปลือกไข่ไก่ไปคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย EDTA ได้ทดลองแบบเดียวกันทั้ง 6 ตัวอย่างอย่างละ 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การหาความหนาแน่นของสารตัวอย่าง

นำสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์สารประกอบแคลเซียมที่ต้องการวิเคราะห์ทั้ง 6 ตัวอย่าง คือ CaCO_3 CaO MCP MCP-P DCP DCP-M ทำการหาความหนาแน่นของสารตัวอย่าง โดยการ

1. ใส่สารตัวอย่างลงบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ชั่งบีกเกอร์ที่ใส่สารตัวอย่างไว้ พร้อมบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้
3. จากสูตร $D=m/v$ แทนค่าน้ำหนักที่ชั่งได้หารด้วยปริมาตรที่ใช้ตวง
4. ทำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

นำสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์สารประกอบแคลเซียมที่ต้องการวิเคราะห์ทั้ง 6 ตัวอย่าง คือ CaCO_3 CaO MCP MCP-P DCP DCP-M ทำการตรวจสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพ โดยการ

3.3 การตรวจสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพ

3.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (X-Ray Fluorescence Spectrometer)

นำสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์สารประกอบแคลเซียมที่ต้องการวิเคราะห์ทั้ง 6 ตัวอย่าง ทำการตรวจสอบองค์ประกอบธาตุภายในสารตัวอย่าง ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโกปี โดยจะยิงรังสีเอกซ์เข้าไปในสารตัวอย่าง ธาตุต่างๆที่อยู่ในสารตัวอย่างจะดูดกลืนรังสีเอกซ์ แล้วคายพลังงานออกมา โดยพลังงานที่คาย หรือ Fluorescence ออกมานั้นจะมีค่าพลังงานขึ้นกับชนิดของธาตุที่อยู่ในสารตัวอย่าง ซึ่งข้อมูลการวิเคราะห์จะถูกบันทึกเป็นเทอร์โมแกรมที่แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารตัวอย่างและอุณหภูมิ

3.3.2 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้าง (X-Ray diffractometer)

นำสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์สารประกอบแคลเซียมที่ต้องการวิเคราะห์ทั้ง 6 ตัวอย่าง ทำการตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray) เมื่อลำรังสีตกกระทบอนุภาคของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆกัน มาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสี ที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน ทำการบดสารตัวอย่างให้ละเอียดแล้วใส่ลงใน sample holder และทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray diffractometer (XRD)

3.3.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันขององค์ประกอบภายในโมเลกุล (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer)

นำสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์สารประกอบแคลเซียมที่ต้องการวิเคราะห์ทั้ง 6 ตัวอย่าง โดยทำการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของตัวอย่างที่ความถี่ต่างๆ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละพันธะ ด้วยเทคนิค KBr-pellet มีขั้นตอนดังนี้ ผสมสารตัวอย่างกับ KBr ในโถงบดสาร ในอัตราส่วน sample : KBr เป็น 1:10 โดยบดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นใส่สารตัวอย่างที่บดแล้วลงในโถงบดสาร ไม่ควรบีบอัดเกินไป และต้องล้างโถงบดสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่พิมพ์ และนำไปอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ให้มีความดัน 40 กิโลนิวตัน ทิ้งไว้ 1-2 นาที ถอดตัวประกบแม่พิมพ์ออก สารตัวอย่างจะติดอยู่ที่แม่พิมพ์ มีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมบางๆ สีใส และสารตัวอย่างจะกระจายอยู่บน KBr แล้วนำสารตัวอย่างเข้าเครื่อง FTIR เพื่อทำการบันทึกสเปกตรัมการสั่น โดยกำหนดการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด wave number อยู่ในช่วงประมาณ 4000 ถึง 400 cm^{-1}

3.3.4 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน (Thermogravimetric Analyzer)

นำสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์สารประกอบแคลเซียมที่ต้องการวิเคราะห์ทั้ง 6 ตัวอย่าง ไปศึกษาพฤติกรรมของการสลายตัวทางความร้อน โดยวิเคราะห์มวลสารตัวอย่างที่อุณหภูมิและเวลาที่เปลี่ยนไป โดยสารตัวอย่างนั้นจะถูกควบคุมภายใต้ช่วงอุณหภูมิและสภาวะที่กำหนด ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างจะถูกวางบนจานขนาดเล็ก ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง โดยที่ทั้งหมดจะอยู่ในเตาที่เป็นระบบปิดสามารถควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ น้ำหนักของสารตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด และน้ำหนักที่หายไปนั้นเกิดมาจากการระเหย การย่อยสลาย หรือการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ผลการทดสอบจะถูกแสดงออกมาในรูปแบบกราฟซึ่งมี แกน y แสดง น้ำหนักที่เปลี่ยนไป (weight % หรือ mg) และแกน x แสดงอุณหภูมิหรือเวลาตามที่กำหนด

3.3.5 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

นำสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์สารประกอบแคลเซียมที่ต้องการวิเคราะห์ทั้ง 6 ตัวอย่าง โดยนำมาตรวจวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาค โดยนำตัวอย่างไปเคลือบผิวหน้าด้วยทองคำบริสุทธิ์ด้วยเทคนิคสเปตเตอร์ริง (Sputtering) และนำไปตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3.3.6 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

งานวิจัยนี้มีสารที่เกี่ยวข้อง คือ สารตั้งต้น 2 ชนิด คือแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมออกไซด์ และผลิตภัณฑ์สารประกอบแคลเซียมที่ผลิตได้ 4 ชนิด คือ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต, โมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์, ไดแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้จากการผสมระหว่างแคลเซียมออกไซด์กับโมโนแคลเซียมฟอสเฟต รวมทั้งหมด 6 ตัวอย่าง โดยนำไปตรวจสอบ ความหนาแน่น เมตาสีที่ปรากฏ การเผาไหม้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้คิดค้นการสังเคราะห์สารประกอบ 2 ชนิด คือ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต และ ไดแคลเซียมฟอสเฟต จากแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตมาจากเปลือกไข่ไก่ ด้วยเทคนิคที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว แม่นยำ พร้อมทั้งไม่ก่อให้เกิดอันตราย โดยสารตั้งต้นที่ใช้ คือ แคลเซียมคาร์บอเนตที่มาจากเปลือกไข่ไก่ที่ผ่านการบดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 50 เมช มาทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริกในอัตราส่วนที่เหมาะสม ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต และ ไดแคลเซียมฟอสเฟต โดยรายละเอียดของบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลอง ที่ประกอบด้วย ผลการศึกษาร้อยละผลผลิตและต้นทุนการผลิตเบื้องต้น ผลการวิเคราะห์ เพื่อยืนยันสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้ ตรวจสอบปริมาณแคลเซียมด้วยเทคนิคการไทเทรตกับสารละลาย EDTA (Standardization) ตรวจสอบปริมาณน้ำในโครงสร้างด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA) ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีต่างๆด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) ตรวจสอบเอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (Vibrational spectroscopy; Fourier transform infrared, FTIR) ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD) และตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

4.1 ผลผลิตร้อยละและผลผลิตจากการทดลองและทฤษฎี

ตารางที่ 4.1 ผลผลิตร้อยละและผลผลิตจากการทดลองและทฤษฎี

สารประกอบแคลเซียม	ผลผลิต (g) ทดลอง/ทฤษฎี	ร้อยละผลผลิต(%) ทดลอง/ทฤษฎี
CaCO ₃	1000/1000	100/100
CaO	53.34/56	95/100
MCP	2432/2520	96/100
MCP-P	1024.56/1080	94/100
DCP	665.47/688	96/100
DCP-M	32.1/34.4	93/100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง 4.1 แสดงถึงผลผลิตร้อยละและผลผลิตจากการทดลองและทฤษฎี พบว่า แคลเซียมคาร์บอเนตผลผลิตร้อยละอยู่ที่ร้อยละ 100 แคลเซียมออกไซด์ผลผลิตร้อยละอยู่ที่ร้อยละ 95 โมโนแคลเซียมฟอสเฟตผลผลิตร้อยละอยู่ที่ร้อยละ 96 โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่บริสุทธิ์ผลผลิตร้อยละอยู่ที่ร้อยละ 94 ไดแคลเซียมฟอสเฟตได้ผลผลิตร้อยละอยู่ที่ร้อยละ 96 ไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ผสมระหว่างโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่บริสุทธิ์กับแคลเซียมออกไซด์ได้ผลผลิตร้อยละอยู่ที่ร้อยละ 93

4.2 ผลการตรวจวิเคราะห์ทางเคมี

4.2.1 องค์ประกอบของธาตุ

ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีต่างๆด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF)

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่

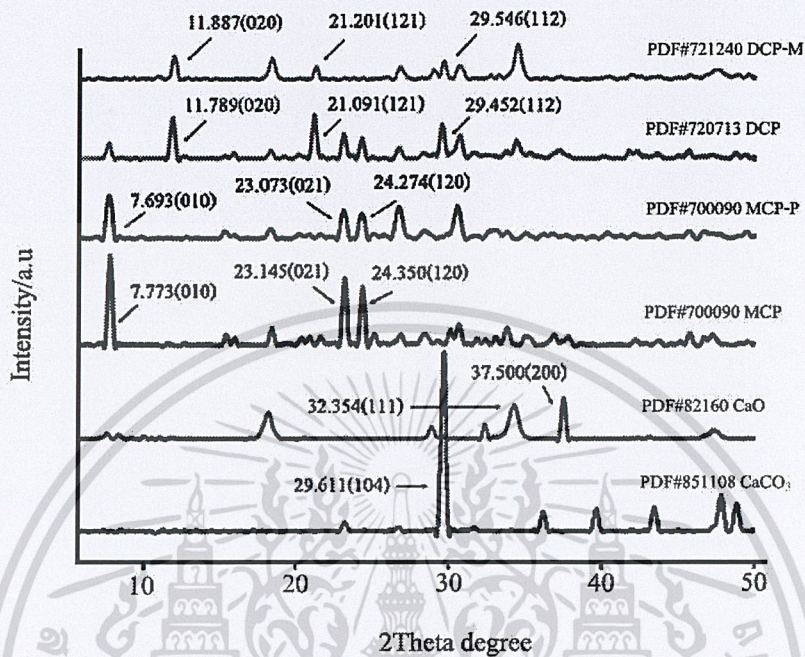
	วัตถุดิบ					
	CaCO ₃	CaO	MCP	MCP-P	DCP	DCP-P
%Ca	66.2	68.4	14.7	13.1	20.9	28.6

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกไข่มีแคลเซียมอยู่ร้อยละ 66.2 แคลเซียมออกไซด์ มีแคลเซียมอยู่ร้อยละ 68.4 โมโนแคลเซียมฟอสเฟตมีแคลเซียมอยู่ร้อยละ 14.7 โมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์มีแคลเซียมอยู่ร้อยละ 13.1 ไดแคลเซียมฟอสเฟตมีแคลเซียมอยู่ร้อยละ 20.9 และไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้จากการผสมระหว่างโมโนแคลเซียมบริสุทธิ์และแคลเซียมออกไซด์มีแคลเซียมอยู่ร้อยละ 28.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 โครงสร้างและขนาดของผลึก

ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray diffractometer, XRD)



รูปที่ 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CaCO₃, CaO, MCP, MCP-P, DCP, DCP-M

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD) พบว่า การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไก่ มีการระบุตำแหน่งมุมการเลี้ยวเบนและระนาบ (h k l) คือ 23.245(012) 29.611(104) 31.735(006) 36.176(110) 39.639(113) 43.435(202) 47.782(018) และ 48.718(116) สอดคล้องกับไฟล์มาตรฐาน PDF หมายเลข 851108 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมออกไซด์ มีการระบุตำแหน่งมุมการเลี้ยวเบนและระนาบ (h k l) คือ 32.354(111) 37.500(200) สอดคล้องกับไฟล์มาตรฐาน PDF หมายเลข 821690 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต มีการระบุตำแหน่งมุมการเลี้ยวเบนและระนาบ (h k l) คือ 7.773(010) 15.331(020) 15.875(001) 18.351(011) 20.322(111) 20.821(021) 23.154(021) 24.350(120) สอดคล้องกับไฟล์มาตรฐาน PDF หมายเลข 700090 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์ มีการระบุตำแหน่งมุมการเลี้ยวเบนและระนาบ (h k l) คือ 7.693(010) 23.073(021) 24.274(120) 26.764(131) สอดคล้องกับไฟล์มาตรฐาน PDF หมายเลข 700090 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไดแคลเซียมฟอสเฟต มีการระบุตำแหน่งมุมการเลี้ยวเบนและระนาบ (h k l) คือ 11.789(020) 18.247(110) 21.091(121)

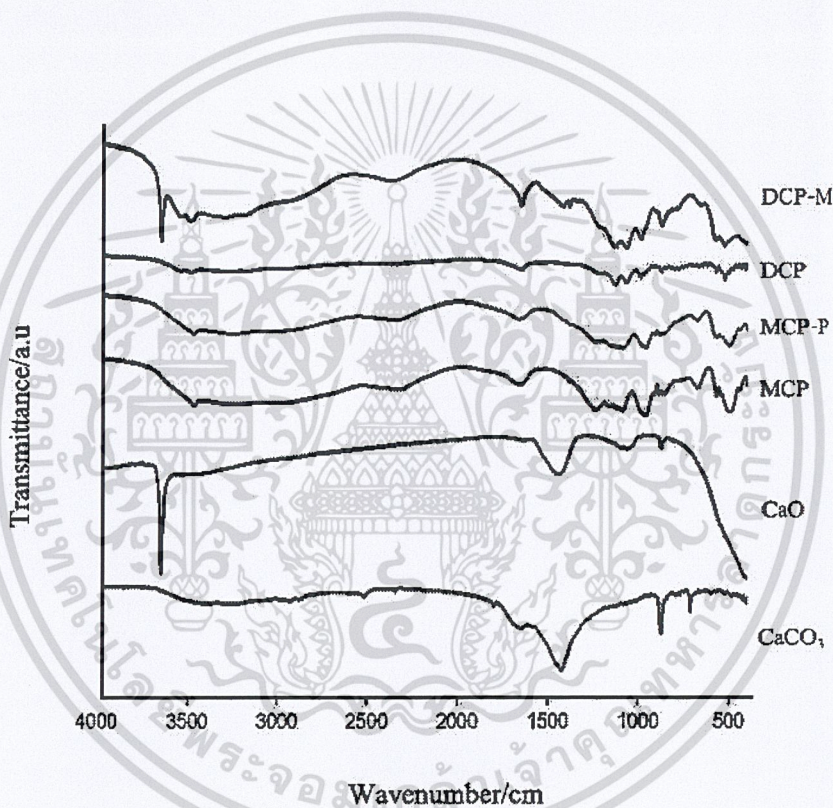
เอกสาร 23.03 (040) 23.540(031) 29.452(112) 30.671(121) สอดคล้องกับไฟล์มาตรฐาน PDF หมายเลข 700090

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

720713 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไดแคลเซียมฟอสเฟตผสม (แคลเซียมออกไซด์และโมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์) มีการระบุตำแหน่งมุมการเลี้ยวเบนและระนาบ (h k l) คือ 11.887(020) 18.229(110) 21.201(121) 24.293(130) 29.546(112) 30.773(121) 34.412(200) สอดคล้องกับไฟล์มาตรฐาน PDF หมายเลข 721240

4.2.3 รูปแบบของการสั่น

ตรวจสอบเอกลักษณ์รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์แทรนสฟอร์มอินฟราเรด (Vibrational spectroscopy; Fourier transform infrared, FTIR)



รูปที่ 4.2 รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์แทรนสฟอร์มอินฟราเรด ของ CaCO_3 , CaO , MCP, MCP-P, DCP, DCP-M

จากรูปที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์แทรนสฟอร์มอินฟราเรด (Vibrationspectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) พบว่า สเปกตรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไก่ (CaCO_3) มีสเปกตรัม

ดังนี้ หมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่ 3440.84 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน C-O stretching ที่ 1420.70 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน C-O bending ที่ 875.07 cm^{-1} สเปกตรัมของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) มีสเปกตรัม

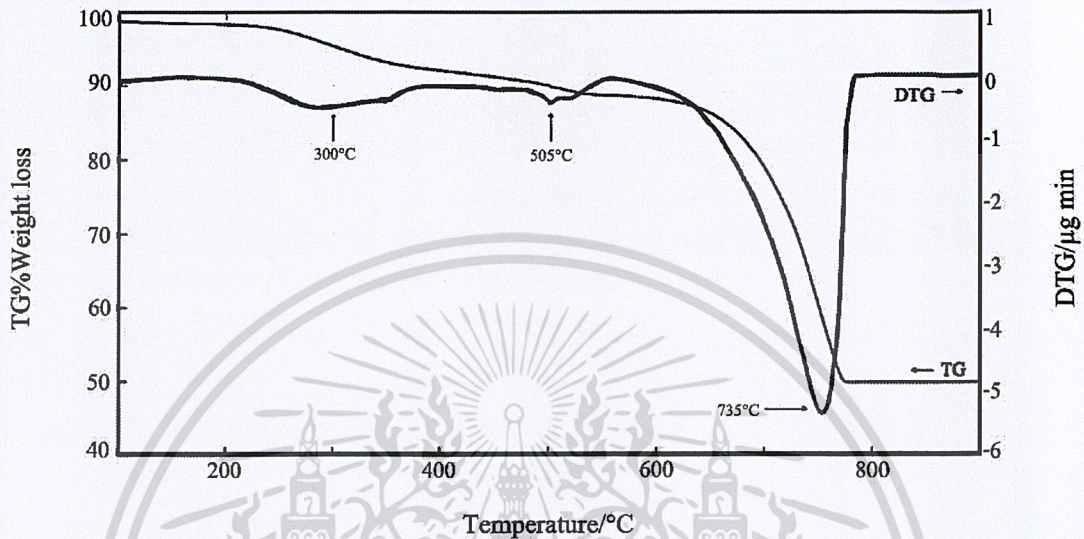
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

ดังนี้ หมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่ 3642.10 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน C-O stretching ที่ 1444.24 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน C-O bending ที่ 870 cm^{-1} ซึ่งพบว่า (CaCO₃ และ CaO) พบโหมดฟังก์ชันการสั่นของ คาร์บอเนตไอออน สเปกตรัมของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต(MCP) มีสเปกตรัมดังนี้ หมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่ 3465.36 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน (P)O-H stretching ที่ 2896.98 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน H-O-H stretching ที่ 2360.11 cm^{-1} และ 1654.97 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O-H stretching ที่ 1239.32 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O stretching ที่ 959.80 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O(H) stretching ที่ 888.41 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน PO₂ bending 504.12 cm^{-1} สเปกตรัมของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์ (MCP-P) มีสเปกตรัมดังนี้ หมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่ 3424.21 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน (P)O-H stretching ที่ 2896.25 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน H-O-H stretching ที่ 2300.12 cm^{-1} และ 1642.31 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O-H stretching ที่ 1150.15 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O stretching ที่ 991.70 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O(H) stretching ที่ 851.31 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน PO₂ bending 498.37 cm^{-1} ซึ่งพบว่า (MCP และ MCP-P) เป็นโหมดฟังก์ชันการสั่นของฟอสเฟตไอออนสเปกตรัมของไดแคลเซียมฟอสเฟต (DCP) มีฟังก์ชันการสั่นดังนี้ หมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่ 3463.94 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน H-O-H stretching ที่ 1655.12 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน C-O stretching ที่ 1400.11 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O-H stretching ที่ 1130.86 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O stretching ที่ 960.42 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน PO₂ bending 500.12 cm^{-1} สเปกตรัมของไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ผสมระหว่างโมโนแคลเซียมบริสุทธิ์และแคลเซียมออกไซด์ (DCP-M) มีฟังก์ชันการสั่นดังนี้ หมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่ 3642.24 cm^{-1} และ 3464.05 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน H-O-H stretching ที่ 1655.15 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน C-O stretching ที่ 1419.65 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O-H stretching ที่ 1100.12 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O stretching ที่ 984.64 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน PO₂ bending 512.25 cm^{-1} ซึ่งพบว่า (DCP และ DCP-M) มีโหมดฟังก์ชันการสั่นของ คาร์บอเนตไอออน และฟอสเฟตไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 เอกลักษณะการสลายตัว TGA

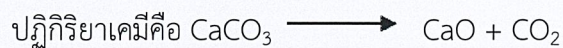
ตรวจสอบปริมาณน้ำในโครงผลึกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เชิงความร้อน
(Thermogravimetric Analysis ; TGA)



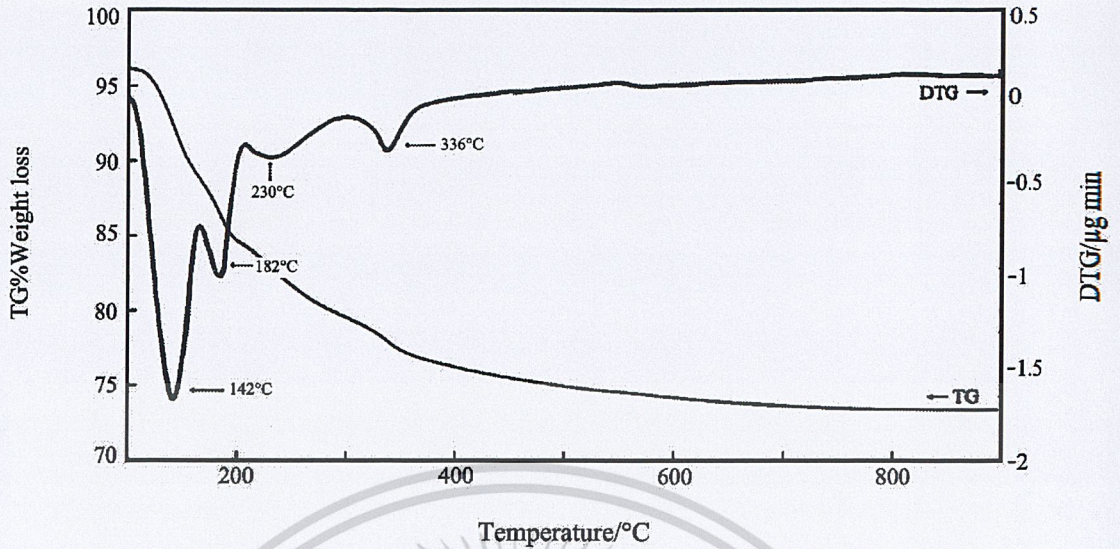
รูปที่ 4.3 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไก่

จากรูปที่ 4.3 แสดงเทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไก่ พบว่ามีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง มีการสูญเสียมวลเล็กน้อยในช่วง 200-400°C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 300 °C และจากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 400-600 °C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 505 °C จากนั้นสูญเสียมวลอย่างมากช่วง 600-800 °C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 753 °C ซึ่งในช่วงแรกอาจเกิดจากการปนเปื้อน เนื่องจากทำความสะอาดเปลือกไข่ไม่หมด มีสารอนุพันธ์สุดท้ายหรือแคลเซียมออกไซด์ เหลืออยู่ร้อยละ 56

ปฏิกิริยาเคมีรูปที่ 4.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



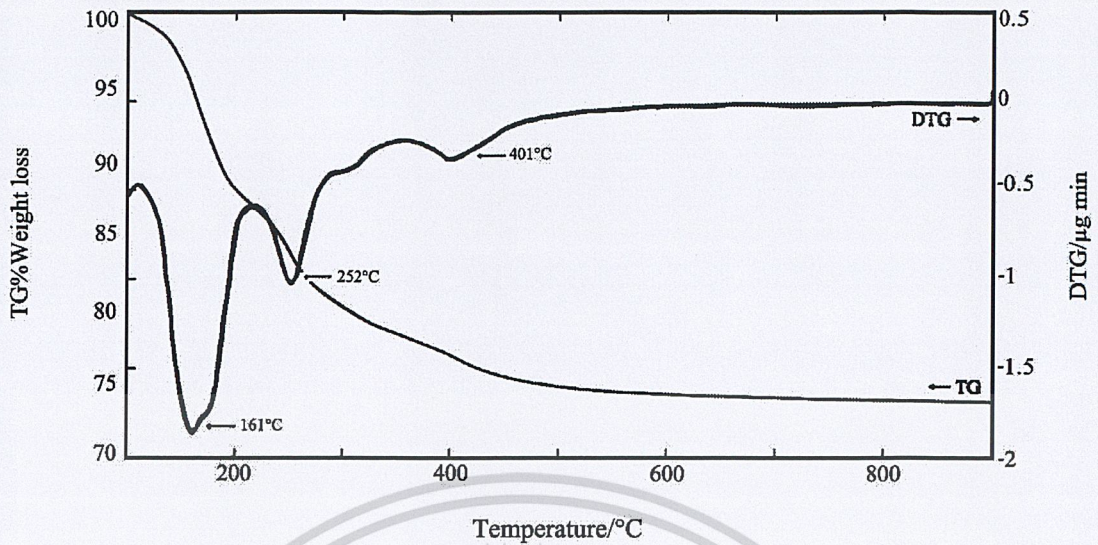
รูปที่ 4.4 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต ; MCP

จากรูปที่ 4.4 แสดงเทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต พบว่า มีการสลายตัวทางความร้อน 4 ช่วง มีการสูญเสียมวลมากในช่วง 100-200°C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 142°C และ 182°C และสูญเสียมวลเล็กน้อยในช่วง 200-300°C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 230°C จากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 300-400°C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 336°C มีสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ร้อยละ 74

ปฏิกิริยาเคมีรูปที่ 4.4



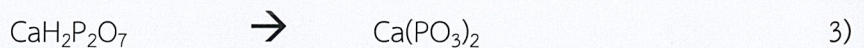
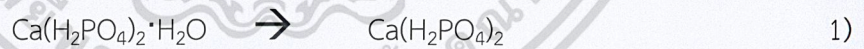
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



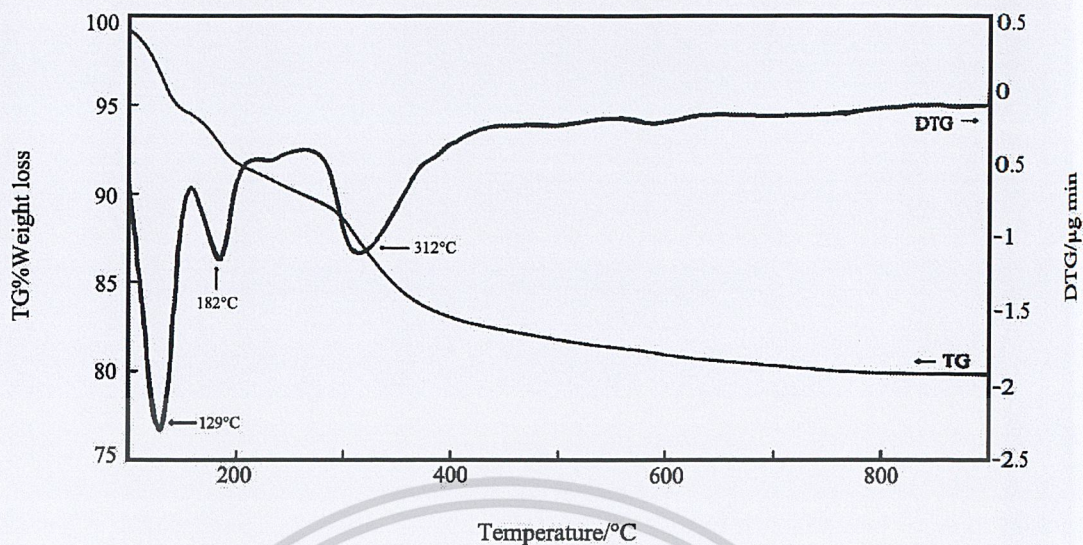
รูปที่ 4.5 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์ ; MCP-P

จากรูปที่ 4.5 แสดงเทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์ พบว่า มีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง มีการสูญเสียมวลมากในช่วง 100-200°C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 161°C และมีการสูญเสียมวลเล็กน้อยในช่วง 200-300°C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 252°C จากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 300-400°C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 401°C มีสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ร้อยละ 74

ปฏิกิริยาเคมีรูปที่ 4.5



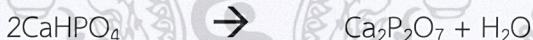
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



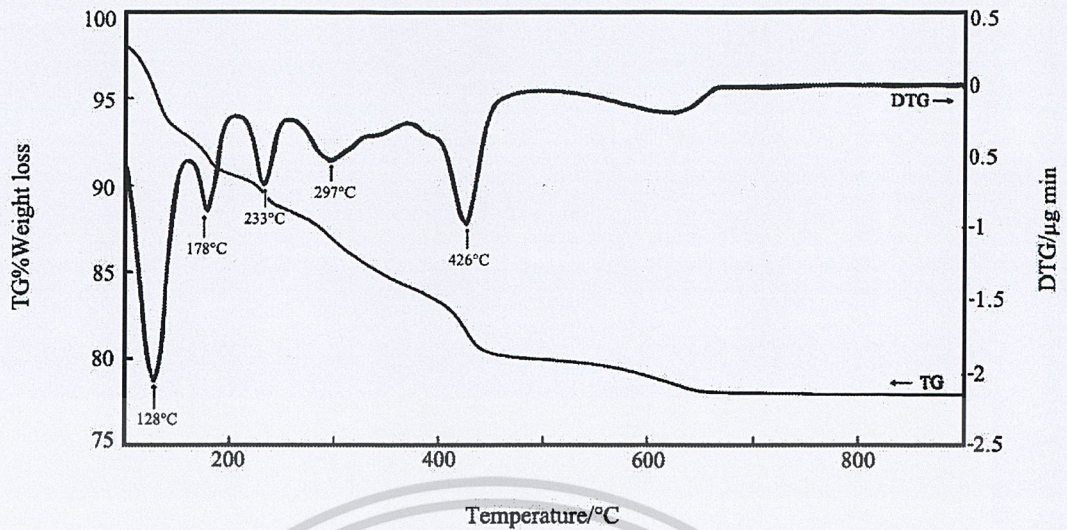
รูปที่ 4.6 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของไดแคลเซียมฟอสเฟต ; DCP

จากรูปที่ 4.6 แสดงเทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของไดแคลเซียมฟอสเฟต พบว่า มีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง มีการสูญเสียมวลมากในช่วง 100-300°C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 129°C และ 182 °C และจากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 300-700°C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 312°C มีสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ร้อยละ 78

ปฏิกิริยาเคมีรูปที่ 4.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของไดแคลเซียมฟอสเฟตผสม ; DCP-M

จากรูปที่ 4.7 แสดงเทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ผสมระหว่างโมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์และแคลเซียมออกไซด์ พบว่า มีการสลายตัวทางความร้อน 6 ช่วง มีการสูญเสียมวลมากในช่วง 100-300°C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 128°C 178°C 233°C และ 297°C และจากนั้นสูญเสียมวลอีกเล็กน้อยในช่วง 300-700°C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 426°C และ 623°C มีสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ร้อยละ 78

ปฏิกิริยาเคมีรูปที่ 4.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ทางกายภาพ

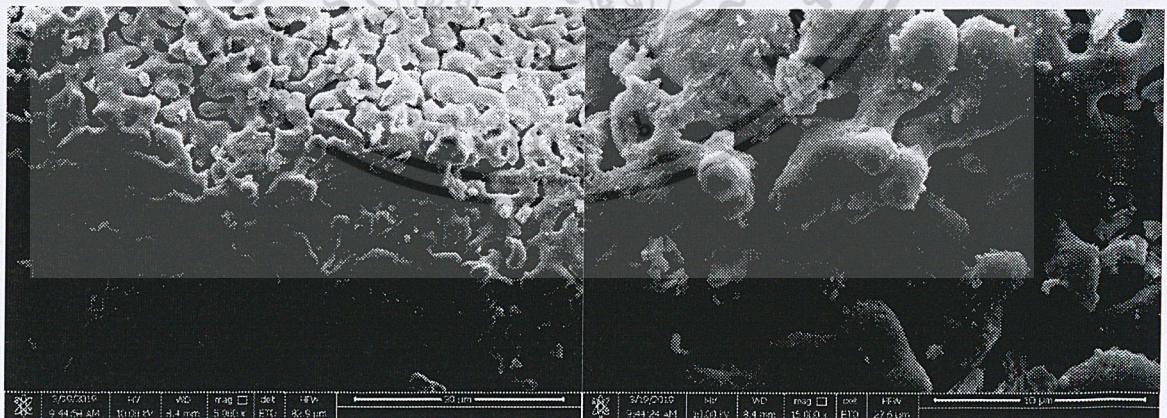
จากปฏิกิริยาการเตรียมสารประกอบแคลเซียม 2 ชนิด คือ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต และ ไดแคลเซียมฟอสเฟต โดยใช้สารตั้งต้นเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมจากเปลือกไข่ไก่ มาทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริก โดยเมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดลงแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นโมโนแคลเซียมฟอสเฟต และไดแคลเซียมฟอสเฟต ที่มีลักษณะเป็นผง โดยการทดลองจะใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 1 กิโลกรัม ผสมกับกรดฟอสฟอริกในอัตราส่วน 3:5 ตามลำดับ และทำซ้ำ 3 ครั้ง

4.3.1 รูปร่างทางสัณฐานวิทยา

ตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

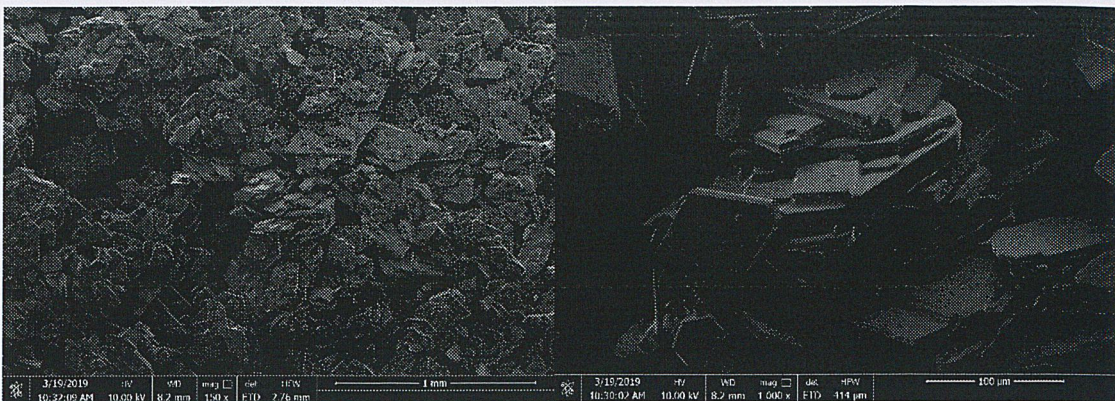


รูปที่ 4.8 รูปร่างสัณฐานวิทยาของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไก่ มีลักษณะเป็นเหลี่ยม บางส่วนมีพื้นผิวเรียบ บางส่วนมีพื้นผิวขรุขระ

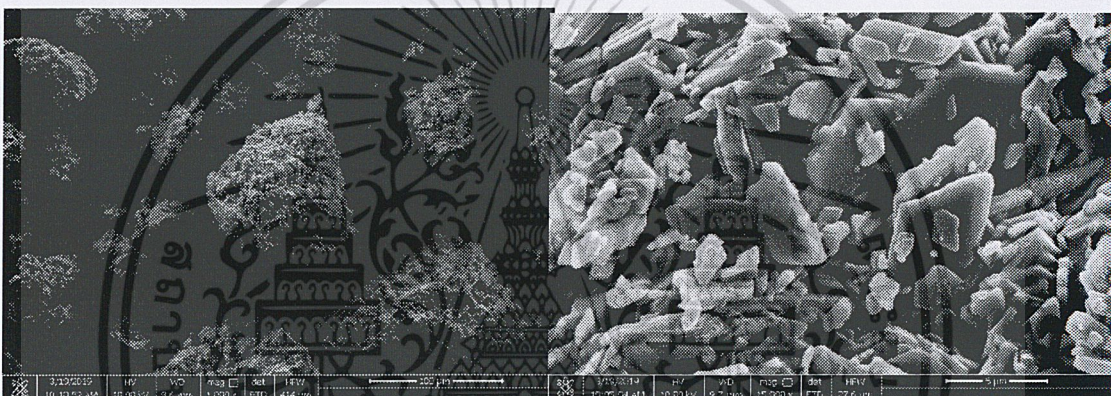


รูปที่ 4.9 รูปร่างสัณฐานวิทยาของแคลเซียมออกไซด์ มีลักษณะไร้รูปร่าง ผิวเรียบต่อกันเหมือนปะการัง

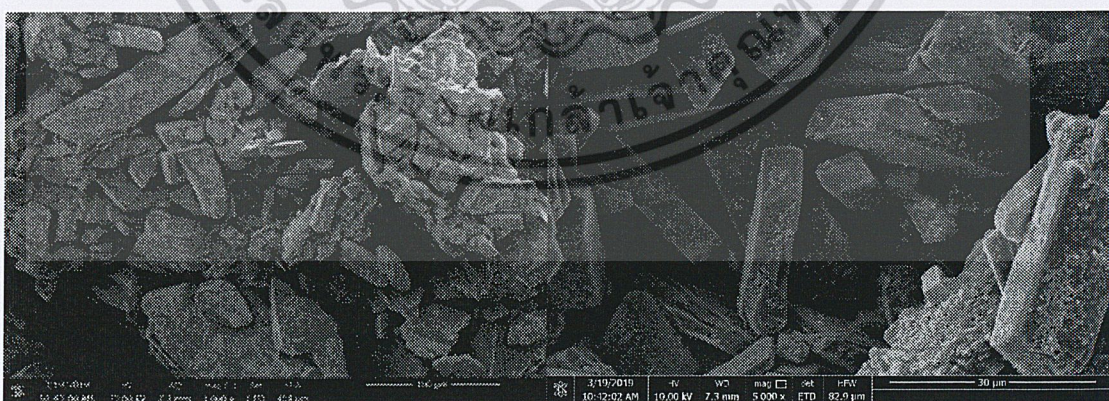
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 รูปสัณฐานวิทยาของโมนโนแคลเซียมฟอสเฟต มีลักษณะหลายเหลี่ยม จับตัวกันเป็นก้อน

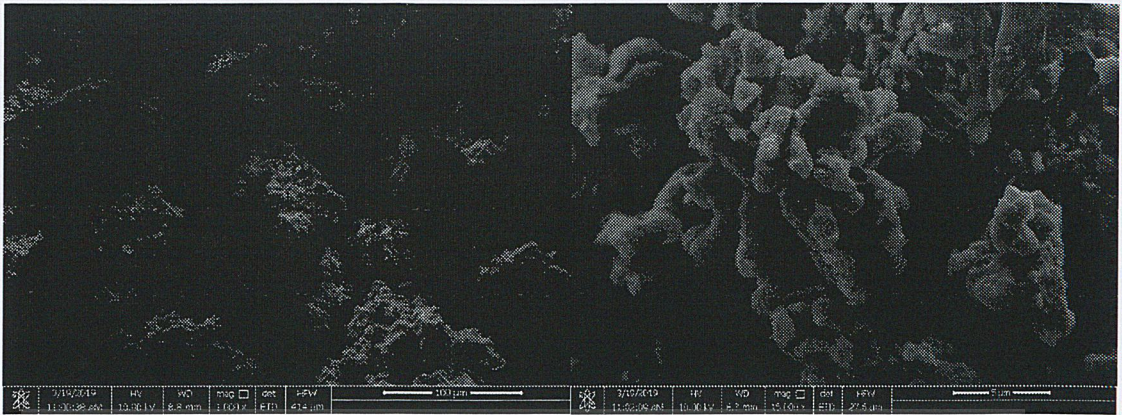


รูปที่ 4.11 รูปสัณฐานวิทยาของโมนโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นแผ่นหนา เป็นก้อน



รูปที่ 4.12 รูปสัณฐานวิทยาของไดแคลเซียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมยาว เชื่อมต่อกันเป็นก้อนแบบหลวมๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 รูปสัณฐานวิทยาของไดแคลเซียมฟอสเฟต (โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่บริสุทธิ์ผสมกับแคลเซียมออกไซด์) มีลักษณะเป็นแผ่นซ้อนทับกัน รูปร่างไม่แน่นอน

จากรูปที่ 4.1-4.6 แสดงผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) พบว่า รูปร่างทางสัณฐานวิทยาของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากเปลือกไข่ มีลักษณะการจับตัวกันเป็นก้อน ที่มีรูปร่างและขนาดต่างกันออกไป รูปร่างของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกไข่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมบางส่วนมีพื้นผิวเรียบบางส่วนมีพื้นผิวขรุขระ รูปร่างของแคลเซียมออกไซด์ มีลักษณะรูปร่าง ผิวเรียบต่อกันเหมือนปะการัง รูปร่างของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นหลายเหลี่ยม ขอบมน จับตัวกันเป็นก้อน รูปร่างของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์ มีลักษณะเป็นแผ่นหนา เห็นขอบเป็นเหลี่ยมอย่างชัดเจน จับตัวกันเป็นก้อน รูปร่างของไดแคลเซียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมยาว เชื่อมต่อกันเป็นก้อนแบบหลวมๆ และรูปร่างของ ไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ผสมโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่บริสุทธิ์ผสมกับแคลเซียมออกไซด์) มีลักษณะเป็นแผ่นซ้อนทับกัน รูปร่างไม่แน่นอน

4.3.2 ค่า pH, อุณหภูมิ, ความหนาแน่น และเฉื่อยตีสี

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความหนาแน่นและเฉื่อยตีสีของสารประกอบแคลเซียม

สารประกอบแคลเซียม	ความหนาแน่น (g/cm ³)	เฉื่อยตีสี
CaCO ₃	2.66	สีครีมเข้ม
CaO	3.33	สีขาวเทา
MCP	2.17	สีน้ำตาลอ่อน
MCP-P	2.14	สีน้ำตาล
DCP	2.32	สีครีม
DCP-M	2.29	สีครีมอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าความหนาแน่นและเฉื่อยดสีของสารประกอบแคลเซียม พบว่า แคลเซียมคาร์บอเนตมีความหนาแน่น 2.66 g/cm³ มีสีครีมเข้ม แคลเซียมออกไซด์มีความหนาแน่น 3.33 g/cm³ มีสีขาวเทา โมโนแคลเซียมฟอสเฟตมีความหนาแน่น 2.17 g/cm³ มีสีน้ำตาลอ่อน โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่บริสุทธิ์มีความหนาแน่น 2.14 g/cm³ มีสีน้ำตาล ไดแคลเซียมฟอสเฟตมีความหนาแน่น 2.32 g/cm³ มีสีครีม ไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ผสมระหว่างโมโนแคลเซียมบริสุทธิ์และแคลเซียมออกไซด์มีความหนาแน่น 2.29 g/cm³ มีสีครีมอ่อน

4.3.3 สมการทางเคมี

แคลเซียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริกได้ผลิตภัณฑ์เป็นโมโนแคลเซียมฟอสเฟตพร้อมกับเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น



โมโนแคลเซียมฟอสเฟตละลายน้ำจะได้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่บริสุทธิ์และเกิดกระบวนการตกผลึกใหม่ (recrystallization)



แคลเซียมคาร์บอเนตเผาที่ 900 °C 2 ชั่วโมง ได้แคลเซียมออกไซด์เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้



แคลเซียมออกไซด์ทำปฏิกิริยากับโมโนแคลเซียมฟอสเฟตจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นไดแคลเซียมฟอสเฟต เกิดกระบวนการเผาไหม้ (Calcination)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยเรื่อง “การรีไซเคิลขยะเปลือกไข่ไปเป็นแคลเซียมผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม” ซึ่งทำการผลิตโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียมฟอสเฟตจากเปลือกไข่ไก่เหลือทิ้ง โดยได้ทำการทดลองนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไก่ไปทำสารประกอบไดแคลเซียมฟอสเฟตและโมโนแคลเซียมฟอสเฟต โดยซึ่งผงเปลือกไข่ไก่ที่เตรียมได้ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต จำนวน 1 กิโลกรัมใส่ถังพลาสติก นำไปผสมกับกรดฟอสฟอริกในสัดส่วน 1 : 3 โดยค่อยๆเทกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 70% ลงไป จะมีฟองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ให้คนอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นปล่อยให้ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะได้สารประกอบโมโนแคลเซียมฟอสเฟต และเมื่อแห้งให้ทำการตกผลึกใหม่ ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างผลึกซ้ำอีกครั้งในสถานะของแข็ง ทำให้ผลึกมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยนำไปละลายด้วยน้ำกลั่น และตั้งทิ้งไว้ให้สารตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แยกส่วนที่เป็นของเหลวออกจากตะกอนที่ไม่ละลาย ส่วนที่ตกตะกอน คือ ไดแคลเซียมฟอสเฟต นำตะกอนไปตากในภาชนะสุญญากาศ โดยตั้งทิ้งไว้ให้แห้งเองตามธรรมชาติที่อุณหภูมิห้อง และส่วนที่ละลายน้ำ คือ โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่บริสุทธิ์ จากนั้นนำสารละลายโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้มาตากทิ้งไว้ให้แห้งเพื่อให้เกิดผลึกและนำแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้ข้างต้นผสมกับโมโนแคลเซียมฟอสเฟตตามสัดส่วนโมล 56 : 252 กรัม จะได้สารประกอบไดแคลเซียมฟอสเฟต

จากนั้นนำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียมฟอสเฟต จากการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR TGA XRF SEM และ XRD รวมถึงตรวจสอบความหนาแน่น เหนือสีที่ปรากฏ และการเผาไหม้ ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ MCP

หาความเข้มข้นของแคลเซียมด้วยเทคนิคการไทเทรต (Standardization) พบว่า มีความเข้มข้น 7.9282 โมล ปริมาตร EDTA ที่ใช้ในการไทเทรต มีค่ามากกว่าปริมาตรทางทฤษฎี พบธาตุที่เป็นไอออนประจุบวกปนเปื้อนอยู่ (อ้างอิงจากตาราง 4.2 ของการวิเคราะห์ทางเทคนิค XRF) สารละลาย EDTA จึงไปจับกับธาตุที่เป็นไอออนประจุบวก ทำให้ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมมีค่าคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีต่างๆด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectroscopy, XRF) พบว่า % โมโนแคลเซียมฟอสเฟตมีแคลเซียมอยู่ 14.7% นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่นประกอบด้วยเช่น ฟอสเฟต และแคลเซียมออกไซด์

ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray diffractometer, XRD) พบว่า การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต มีการระบุตำแหน่งมุมการเลี้ยวเบนและระนาบ (h k l) คือ 7.773(010) 15.331(020) 15.875(001) 18.351(011) 20.322(111) 20.821(021) 23.154(021) 24.350(120) สอดคล้องกับไฟล์มาตรฐาน PDF หมายเลข 700090

วิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์ แทรนสฟอร์มอินฟราเรด (Vibrationspectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) พบว่า สเปกตรัมของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต(MCP) มีสเปกตรัมดังนี้ หมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่ 3465.36 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน (P)O-H stretching ที่ 2896.98 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน H-O-H stretching ที่ 2360.11 cm^{-1} และ 1654.97 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O-H stretching ที่ 1239.32 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O stretching ที่ 959.80 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O(H) stretching ที่ 888.41 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน PO₂ bending 504.12 cm^{-1}

ตรวจสอบปริมาณน้ำในโครงผลึกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis ; TGA) พบว่า $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ มีการสลายตัวทางความร้อน 4 ช่วง มีการสูญเสียมวลมากในช่วง 100-200°C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 142°C และ 182°C และสูญเสียมวลเล็กน้อยในช่วง 200-300°C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 230°C จากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 300-400°C สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 336°C มีสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ร้อยละ 74

ตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) พบว่า รูปร่างของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต มีลักษณะหลายเหลี่ยม จับตัวกันเป็นก้อน

ผลการวิเคราะห์ DCP

หาความเข้มข้นของแคลเซียมด้วยเทคนิคการไทเทรต (Standardization) พบว่า มีความเข้มข้น 14.2629 โมล ปริมาตร EDTA ที่ใช้ในการไทเทรต มีค่ามากกว่าปริมาตรทางทฤษฎี พบธาตุที่เป็นไอออนประจุบวกปนเปื้อนอยู่ (อ้างอิงจากตาราง 4.2 ของการวิเคราะห์ทางเทคนิค XRF) สารละลาย EDTA จึงไปจับกับธาตุที่เป็นไอออนประจุบวก ทำให้ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมมีค่าคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีต่างๆด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectroscopy, XRF) พบว่า ไดแคลเซียมฟอสเฟต มีแคลเซียมอยู่ 20.9% นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่นประกอบด้วยเช่น ฟอสเฟต และแคลเซียมออกไซด์

ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray diffractometer, XRD) พบว่า การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไดแคลเซียมฟอสเฟต มีการระบุตำแหน่งมุมการเลี้ยวเบนและระนาบ (h k l) คือ 11.789(020) 18.247(110) 21.091(121) 23.03 (040) 23.540(031) 29.452(112) 30.671(121) สอดคล้องกับไฟล์มาตรฐาน PDF หมายเลข 720713

วิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์ แทรนสฟอร์มอินฟราเรด (Vibrationspectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) พบว่า สเปกตรัมของไดแคลเซียมฟอสเฟต (DCP) มีฟังก์ชันการสั่นดังนี้ หมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่ 3463.94 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน H-O-H stretching ที่ 1655.12 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน C-O stretching ที่ 1400.11 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O-H stretching ที่ 1130.86 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O stretching ที่ 960.42 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน PO₂ bending 500.12 cm^{-1} ซึ่งพบว่า DCP มีโหมดฟังก์ชันการสั่นของคาร์บอนเตไออน และฟอสเฟตไออน

ตรวจสอบปริมาณน้ำในโครงสร้างด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis ; TGA) พบว่า $\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ มีการสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง มีการสูญเสียมวลมากในช่วง $100\text{--}300^\circ\text{C}$ สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 129°C และ 182°C และจากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง $300\text{--}700^\circ\text{C}$ สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 312°C มีสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ร้อยละ 78

ตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) พบว่า รูปร่างของไดแคลเซียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมยาวเชื่อมต่อกันเป็นก้อนแบบหลวมๆ

จากการนำสารประกอบแคลเซียมไปตรวจวิเคราะห์ตามเทคนิควิธีวิเคราะห์ต่างๆพบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงตามทฤษฎี ซึ่งสามารถนำกรรมวิธีผลิตไปใช้ได้จริงๆ เมื่อประเทศไทยมีขยะจากเปลือกไข่ไก่ที่สามารถนำมาใช้ได้ไม่มีวันหมดและอุตสาหกรรมในประเทศมีความจำเป็นต้องใช้ ซึ่งสารประกอบแคลเซียมทั้ง 2 ชนิด คือโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและไดแคลเซียมฟอสเฟต ส่วนใหญ่ต้องนำเข้าเท่านั้น งานวิจัยนี้ได้คิดค้นกรรมวิธีการผลิตสารประกอบแคลเซียม โดยการผลิตแคลเซียมจากเปลือกไข่ไก่โดยการเติมกรดฟอสฟอริกลงไป เพื่อค้นหากรรมวิธีในการผลิตที่ง่ายสะดวก ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ต้นทุนต่ำ ใช้วัตถุดิบที่หาได้ง่าย และมีปริมาณมากในประเทศ รวมถึงได้

เอกสาร ผลิตแคลเซียมในปริมาณสูง และลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะเปลือกไข่ไก่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรนำงานวิจัยเรื่องนี้ไปต่อยอด เนื่องจากใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ง่าย ช่วยเพิ่มรายได้ให้กับประชาชนที่สนใจและลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาขยะจากเปลือกไข่ไก่ ซึ่งถือเป็นการกำจัดของเสียแบบ Zero waste



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] นราธิป วิทยาการ. 2557. การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากวัสดุเหลือทิ้ง เพื่อเป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตเซรามิกชั้นสูงสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] บรรจง บุญชม และภิเชก รุ่งโรจน์พรชัย. 2560. การผลิตสารประกอบแคลเซียมอินทรีย์จากเปลือกหอยและเปลือกไข่เพื่อการใช้งานต่างๆ(การศึกษาอิสระ). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] วุฒิพร พรหมขุนทอง. 2007. ศึกษาผลของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในอาหารสำหรับปลาตู้กพันธุ์ผสมและปฏิสัมพันธ์ของแร่ธาตุทั้งสองชนิด โดยแคลเซียมและฟอสฟอรัสสามารถนำมาใช้ ประโยชน์ได้ร้อยละ 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
- [4] วิชัย ดำรงโภคภัณฑ์. 2555. เทคโนโลยีการนำเปลือกไข่มาใช้ประโยชน์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [5] สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน(องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2019. X-Ray Diffractometer (XRD) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://www.x-ray-diffractometer-xrd.html>
- [6] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2019. ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ทางความร้อน(Thermogravimetric Thermal Analyzer, TGA). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.sec.psu.ac.th/th/file/procurement/2561/tor/TGA.pdf>
- [7] ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2019. SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=42&id=39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [8] ศันศนีย์ รักไทยเจริญชีพ. 2558. ประโยชน์จาก เอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD) ในงานทดสอบ วัสดุดิบและผลิตภัณฑ์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/
- [9] Candace, D. BlancettaDavid, P. and FettererbKeith, A. 2017. “Accurate virus quantitation using a Scanning Transmission Electron Microscopy (STEM) detector in a scanning electron microscope” ELSEVIER. 248(1) : 136-144
- [10] Decobert, J. Guillamet. R. and Guerault, H. 2013. “Structural characterization of selectively grown multilayers with new high angular resolution and sub-millimeter spot-size x-ray diffractometer” ELSEVIER. 370(1) : 154-156
- [11] Dohiab, H. and Kruita, P. 2018. “Design for an aberration corrected scanning electron microscope using miniature electron mirrors” ELSEVIER. 189(1) : 1-23
- [12] Hirayama, A. Yoshinari, A. 2019. “Development of a new portable X-ray powder diffractometer and its demonstration to on-site analysis of two selected old master paintings from the Rijksmuseum” ELSEVIER. 138(1) : 266-272
- [13] Howellak, A. Stahlfelda, A. and Belmonta, E. 2019 “Gas independence of Miscanthusx giganteus torrefied in nitrogen (N₂) and carbon dioxide (CO₂) using calibrated thermogravimetric analysis” ELSEVIER. 7(1) : 238-231
- [14] Huang, C. 2015. Reactions and phase transformations in Monocalcium Phosphate Monohydrate (MCPM) systems. New Zealand : The University of Auckland.
- [15] Li, J. Hu, J. and Xued, Y. 2019. “Thermogravimetric analysis of the co-combustion of residual petrochemical sludge and municipal sewage sludge” ELSEVIER. 673(1) : 60-67

[17] Mahmoodabadia, M.J. Rasekha, M. and Zohari, T. 2019. “TGA: Team game

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

algorithm” Future Computing and Informatics Journal. 3(2) : 191-199

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สูตรหาความหนาแน่น : $D = MV \text{ (g/cm}^3\text{)}$

สูตรหาผลผลิตร้อยละ : $\% \text{yield} = \frac{\text{ผลที่ได้จริง}}{\text{ผลที่ได้จากทฤษฎี}} \times 100$

สูตรหาจำนวนโมล : $\text{mole} = \frac{\text{g}}{\text{Mw}} \text{ (mol)}$

สูตรหาความเข้มข้นของสารละลาย : $n = \frac{CV}{1000} \text{ (mol/L)}$

สูตรหาความเข้มข้นในหน่วยส่วนในล้านส่วน : $\text{ppm} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย}}{\text{น้ำหนักสารละลาย}} \times 10^6$

สูตรหาการเตรียมสารละลายที่เจือจาง : $C_1V_1 = C_2V_2$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข-1 ผลผลิตและต้นทุนของการผลิต CaCO_3 CaO MCP MCP-P DCP DCP-M

ตัวอย่าง	CaCO_3 จากเปลือกไข่ไก่		P-70		ต้นทุนรวม (บาท)	ผลผลิตทางทฤษฎี (g)	ต้นทุนต่อกิโลกรัม (บาท/Kg)
	น้ำหนัก (g)	ต้นทุนอื่นๆ (บาท)	ปริมาตร (l)	ต้นทุน (บาท)			
CaCO_3	1000	ค่าไฟฟ้าสาร	-	-	1.4	1000	3
CaO	53.34	ค่าเผาสาร	-	-	2	56	3
MCP	2432	-	1.67	15.66	15.66	2520	31.27
MCP-P	1024.56	-	1.67	15.66	15.66	1080	31.27
DCP	665.47	-	1.67	15.66	15.66	688	30
DCP-M	32.1	-	-	-	-	34.4	30

หมายเหตุ : ราคาของสารอ้างอิงจากเว็บไซต์ www.alibaba.com โดยมีเกณฑ์การสั่งซื้อขั้นต่ำและยังไม่รวมค่าขนส่ง

จากตารางที่ ข-1 แสดงให้เห็นว่า MCP มีต้นทุนในการผลิตเท่ากับ DCP คือ 15.66 บาท ซึ่งราคาในท้องตลาดคือ 31.27 และ 30 บาท ตามลำดับ

ตารางที่ ข-2 แสดงการหาความหนาแน่นของสารประกอบแคลเซียม

สารประกอบแคลเซียม	น้ำหนัก (g)	ปริมาตร (cm^3)	ความหนาแน่น (g/cm^3)
CaO	40.00	15	2.66
MCP	50.00	15	3.33
MCP-P	32.60	15	2.17
CaO	32.00	15	2.14
DCP	34.90	15	2.32
DCP-M	34.40	15	2.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตจากขยะจากเปลือกไข่ไก่

MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO
0.2 KCps	0.4 KCps	0.2 KCps	0.5 KCps	0.4 KCps	0.3 KCps	182.4 KCps
0.807 %	2.34 %	0.859 %	2.21 %	0.428 %	0.137 %	92.6 %
Fe ₂ O ₃	CuO	Compton	Rayleigh	Norm.		
2.0 KCps	2.3 KCps					
0.372 %	0.279 %	1.08	1.34	100.10 %		

ตารางที่ ข-4 แสดงปริมาณองค์ประกอบของธาตุแคลเซียมคาร์บอเนตจากขยะจากเปลือกไข่ไก่

O	Mg	Al	P	S	Cl	K
	0.2 KCps	0.4 KCps	0.2 KCps	0.9 KCps	0.4 KCps	0.3 KCps
29.8 %	0.487 %	1.24 %	0.375 %	0.883 %	0.428 %	0.114 %
Ca	Fe	Cu	Compton	Rayleigh	Norm.	
182.4 KCps	2.0 KCps	2.3 KCps				
66.2 %	0.245 %	0.223 %	1.08	1.34	100.00 %	

ตารางที่ ข-5 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารประกอบแคลเซียมออกไซด์จากขยะจากเปลือกไข่ไก่

MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	CaO	CuO
1.0 KCps	0.2 KCps	0.4 KCps	0.5 KCps	412.2 KCps	2.0 KCps
1.07 %	0.623 %	0.808 %	0.634 %	96.5 %	0.126 %
Compton	Rayleigh	Norm.			
1.26	1.44	100.10 %			

ตารางที่ ข-6 แสดงปริมาณองค์ประกอบของธาตุแคลเซียมออกไซด์จากขยะจากเปลือกไข่ไก่

O	Mg	Al	P	S	Ca
	1.0 KCps	0.2 KCps	0.4 KCps	0.5 KCps	412.2 KCps
29.2 %	0.644 %	0.330 %	0.353 %	0.254 %	69.0 %
Compton	Rayleigh	Norm.			
1.26	1.44	100.00 %			

ตารางที่ ข-7 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารประกอบโมโนแคลเซียมฟอสเฟตจากขยะจากเปลือกไข่ไก่

Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	Fe ₂ O ₃
0.2 KCps	0.4 KCps	0.3 KCps	40.4 KCps	91.4 KCps	5.6 KCps
0.928 %	0.592 %	0.759 %	77.3%	20.5 %	0.301 %
Compton	Rayleigh	Norm.			
1.19	1.42	100.00 %			

ตารางที่ ข-8 แสดงปริมาณองค์ประกอบของธาตุโมโนแคลเซียมฟอสเฟตจากขยะจากเปลือกไข่ไก่

O	Na	Mg	Al	P	Ca
	0.2 KCps	0.4 KCps	0.3 KCps	45.1 KCps	91.4 KCps
50.2 %	0.688 %	0.357 %	0.402 %	34.5 %	14.7 %
Fe	Compton	Rayleigh	Norm.		
5.6 KCps					
0.211 %	1.19	0.142	100.00 %		

ตารางที่ ข-9 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารประกอบโมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์จากขยะจากเปลือกไข่ไก่

Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	Fe ₂ O ₃
0.2KCps	0.4KCps	0.2 KCps	29.5 KCps	59.9 KCps	7.2 KCps
1.41	0.756	0.813 %	77.3 %	18.4 %	0.557 %
Au	Compton	Rayleigh	Norm.		
1.6 KCps					
0.147 %	1.18	1.39	100.00 %		

ตารางที่ ข-10 แสดงปริมาณองค์ประกอบของธาตุโมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์จากขยะจากเปลือกไข่ไก่

O	Na	Mg	Al	P	Ca
	0.2 KCps	0.4 KCps	0.2 KCps	29.5 KCps	59.9 KCps
50.3 %	1.04 %	0.456 %	0.430 %	33.7 %	13.1 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ของศูนย์การเรียนรู้เพื่อชุมชนอย่างยั่งยืน อนุญาตให้ใช้ประโยชน์จากเอกสารค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fe	Compton	Rayleigh	Norm.
7.2 KCps			
0.389 %	1.18	1.39	100.00 %

ตารางที่ ข-11 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารประกอบไดแคลเซียมฟอสเฟตจากขยะจากเปลือกไข่ไก่

Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	Ca
0.4 KCps	0.4 KCps	0.2 KCps	28.9 KCps	0.4 KCps	109.8 KCps
2.08 %	0.713 %	0.512 %	65.9 %	0.454 %	29.3 %
Fe ₂ O ₃	Compton	Rayleigh	Norm.		
5.1 KCps					
0.353 %	1.19	1.38	100.00 %		

ตารางที่ ข-12 แสดงปริมาณองค์ประกอบของธาตุไดแคลเซียมฟอสเฟตจากขยะจากเปลือกไข่ไก่

O	Mg	Al	P	S	Cl	K
	0.4 KCps	0.2 KCps	28.9 KCps	0.4 KCps	0.3 KCps	0.6 KCps
47.1 %	0.441 %	0.271 %	28.7 %	0.182 %	0.150 %	0.113 %
Ca	Fe	Compton	Rayleigh	Norm.		
109.8 KCps	5.1 KCps					
20.9 %	0.247 %	1.19	1.38	100.00 %		

ตารางที่ ข-13 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารประกอบไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ผสมระหว่างแคลเซียมออกไซด์กับโมโนแคลเซียมที่บริสุทธิ์จากขยะจากเปลือกไข่ไก่

MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	CaO	Fe ₂ O ₃
0.3 KCps	0.4 KCps	19.6 KCps	0.2 KCps	118.9 KCps	4.9 KCps
0.651 %	1.52 %	56.8 %	0.282 %	40.0 %	0.462 %
CuO	Compton	Rayleigh	Norm.		
2.2 KCps					
0.137 %	1.21	1.43	100.00 %		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-14 แสดงปริมาณองค์ประกอบของธาตุใดแคลเซียมฟอสเฟตที่ผสมระหว่างแคลเซียมออกไซด์กับโมโนแคลเซียมที่บริสุทธิ์จากขยะจากเปลือกไข่ไก่

O	Mg	Al	P	S	Ca
	0.3 KCps	0.4 KCps	19.6 KCps	0.2 KCps	118.9 KCps
44.5 %	0.393 %	0.805 %	24.8 %	0.113 %	28.6 %
Fe	Cu	Compton	Rayleigh	Norm.	
4.9 KCps	2.2 KCps				
0.323 %	0.110 %	1.21	1.43	100.00 %	

ตารางที่ ข-15 แสดงผลการหาความเข้มข้นของ EDTA ด้วยสารละลายมาตรฐาน CaCO_3 ด้วยเทคนิคการไทเทรต (Titration)

ขวดที่	ปริมาณเริ่มต้น (mL)	ปริมาณสิ้นสุด (mL)	ปริมาณที่ใช้ (mL)	จำนวนสารที่ใช้ (g)	ความเข้มข้น EDTA (M)
1	0.00	25.10	25.10	0.0256	0.0101
2	0.00	25.20	25.20	0.0258	0.0102
3	0.00	26.00	25.10	0.0255	0.0101
เฉลี่ย			25.13	0.0256	0.0101

สารละลายแคลเซียมมาตรฐาน 0.0256 g ใช้ปริมาณ EDTA 25.13 M

$$\text{ดังนั้น ความเข้มข้นของ EDTA} = \frac{\text{น้ำหนักแคลเซียมคาร์บอเนต}}{\text{ปริมาณ EDTA}} \times 100 = 0.0101 \text{ M}$$

$$\text{ดังนั้น ความเข้มข้นของสส.แคลเซียมมาตรฐาน} = \frac{\text{ความเข้มข้น EDTA} \times \text{ปริมาณ EDTA}}{\text{น้ำหนักแคลเซียมคาร์บอเนต}} = 9.9145 \text{ M}$$

$$\text{ดังนั้น น้ำหนักของแคลเซียมมาตรฐาน} = \text{ความเข้มข้น} \times \text{มวลโมเลกุล} \times 1000 = 10.2400 \text{ g}$$

ตารางที่ ข-16 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมด้วยสารละลาย EDTA โดยเทคนิคการไทเทรต (Titration)

สารประกอบแคลเซียม	ขวดที่	ปริมาณเริ่มต้น (mL)	ปริมาณสิ้นสุด (mL)	ปริมาณที่ใช้ (mL)	จำนวนสารที่ใช้ (g)	จำนวนโมล (mole)	ความเข้มข้น (g/ml)	น้ำหนักของสาร (g)
CaCO_3	1	0.00	25.30	25.30	0.0257	0.0003	9.9428	10.2800
	2	0.00	25.40	25.40	0.0258	0.0003	9.9434	10.2800
	3	0.00	25.30	25.30	0.0258	0.0003	9.9042	10.3400

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถนำออกจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตจากอธิการบดี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ย				25.33	0.0257	0.0003	9.9301	10.3000
CaO	1	0.00	35.56	35.56	0.0255	0.0005	14.0845	19.1857
	2	0.00	35.60	35.60	0.0256	0.0005	14.0453	19.0050
	3	0.00	36.55	36.55	0.0259	0.0005	14.2539	18.6571
เฉลี่ย				35.57	0.0256	0.0005	14.1276	18.9492
MCP	1	0.00	20.10	20.10	0.0255	0.0001	7.9611	5.1858
	2	0.00	20.00	20.00	0.0258	0.0001	7.8294	5.0986
	3	0.00	22.05	20.05	0.0259	0.0001	7.9942	5.1598
เฉลี่ย				20.05	0.0257	0.0001	7.9282	5.1480
MCP-P	1	0.00	16.10	16.10	0.0255	0.0001	6.3768	3.4624
	2	0.00	18.00	18.00	0.0258	0.0001	7.0465	3.8758
	3	0.00	16.05	16.05	0.0259	0.0001	5.1598	3.0654
เฉลี่ย				16.71	0.0257	0.0001	6.1943	3.4678
DCP	1	0.00	35.6	35.6	0.0256	0.0001	6.7115	6.8372
	2	0.00	37.0	37.0	0.0259	0.0001	14.4285	6.8605
	3	0.00	36.0	36.0	0.0254	0.0001	14.3149	6.8140
เฉลี่ย				36.2	0.0256	0.0001	14.2629	6.8372
DCP-P	1	0.00	31.5	31.5	0.0254	0.0001	12.5255	3.3468
	2	0.00	32.0	32.0	0.0255	0.0001	12.6745	3.3547
	3	0.00	32.0	32.0	0.0259	0.0001	12.4787	3.3636
เฉลี่ย	31.83	0.0256	0.001	12.5595	3.3550			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค



รูปที่ ค-1 เฉดสีของขยะจากขยะเปลือกไข่ไก่บด จะมีสีเข้มสีครีม



รูปที่ ค-2 เฉดสีของ MCP ทิ้งไว้ 1 วันจะมีสีน้ำตาลอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-3 เฉดสีของ MCP-P จะมีสีน้ำตาล



รูปที่ ค-4 เฉดสีของ DCP จะมีสีครีมเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

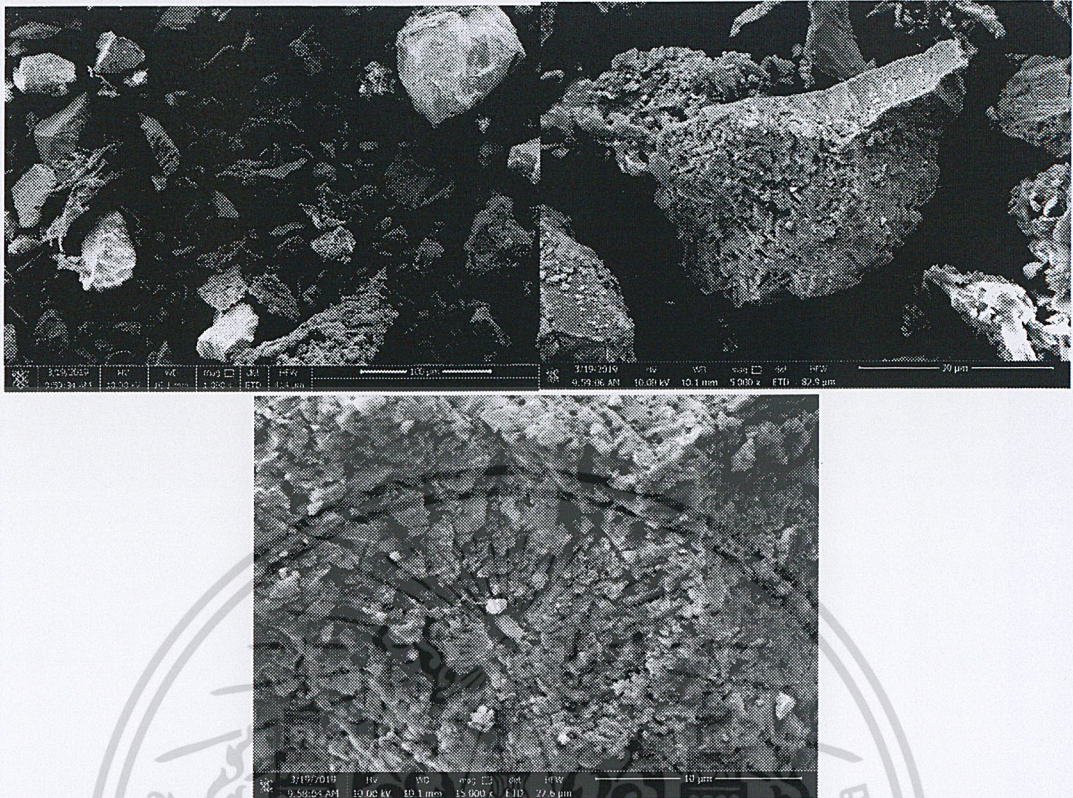


รูปที่ ค-5 เฉดสีของ CaO จะมีสีขาว

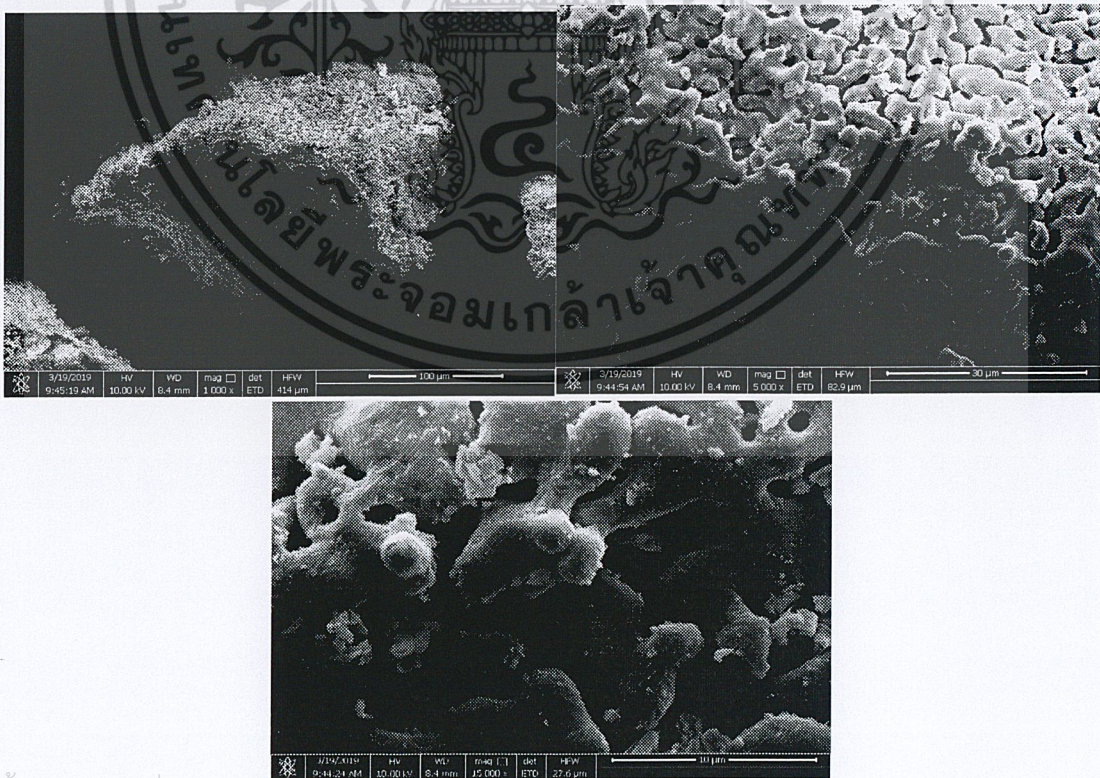


รูปที่ ค-6 เฉดสีของ DCP-P จะมีสีครีมอ่อน

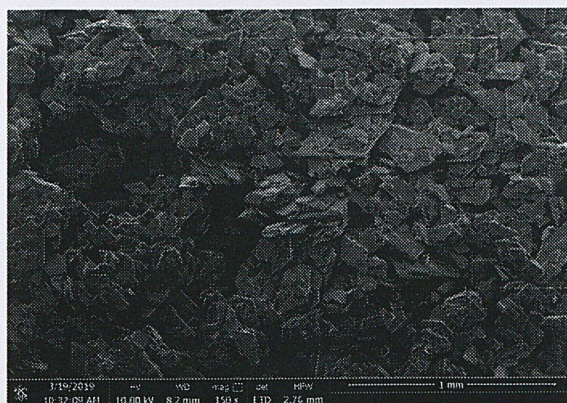
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



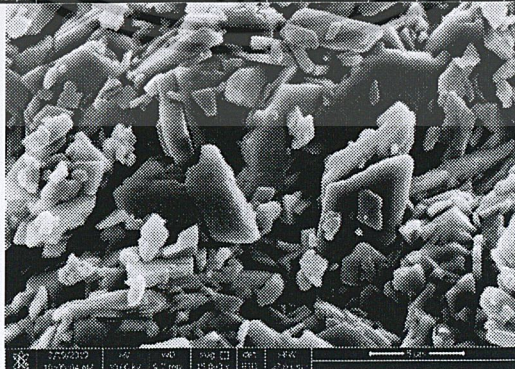
รูปที่ ค-7 รูปสัณฐานวิทยาของ CaCO₃ จากขยะเปลือกไข่ กำลังขยาย 1,000x, 5,000x และ 15,000x



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ ค-8 รูปสัณฐานวิทยาของ CaO กำลังขยาย 1,000x, 5,000x และ 15,000x
ไม่ว่ากรณีใดๆ หวังสน ออกพิมพ์หนังสือให้ติดต่อขอสงวนเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

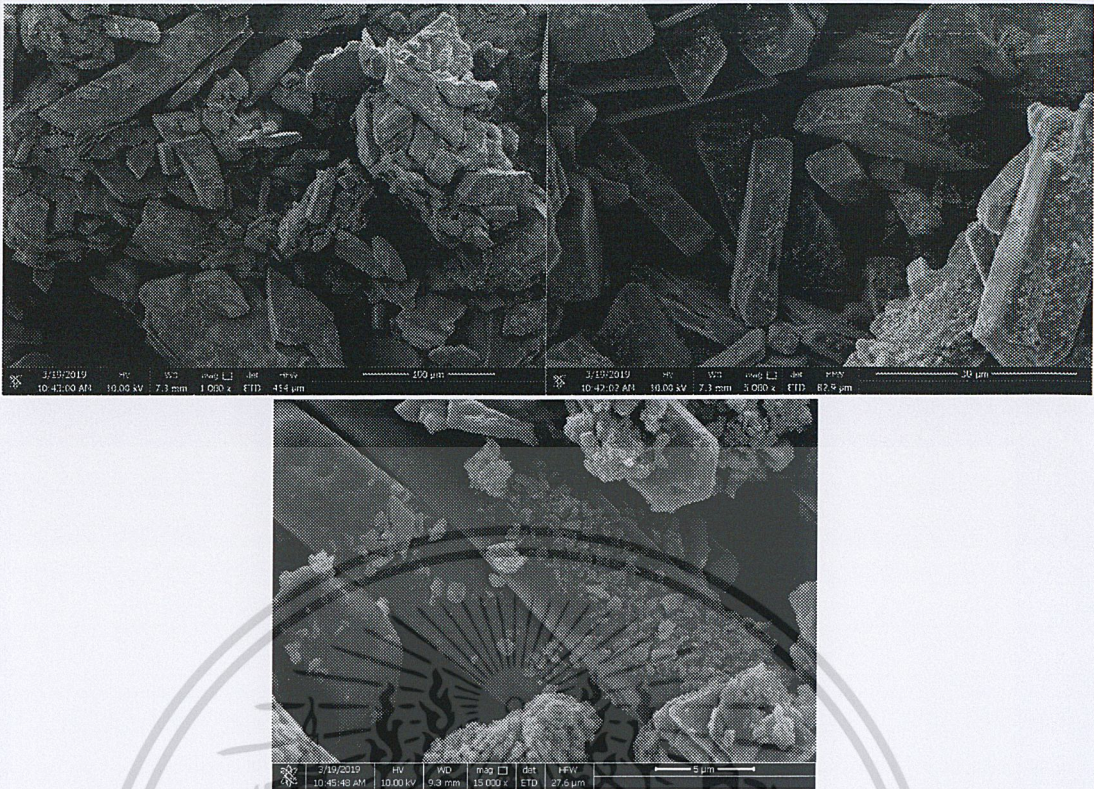


รูปที่ ค-9 รูปสัณฐานวิทยาของ MCP กำลังขยาย 1,000x, 5,000x และ 15,000x

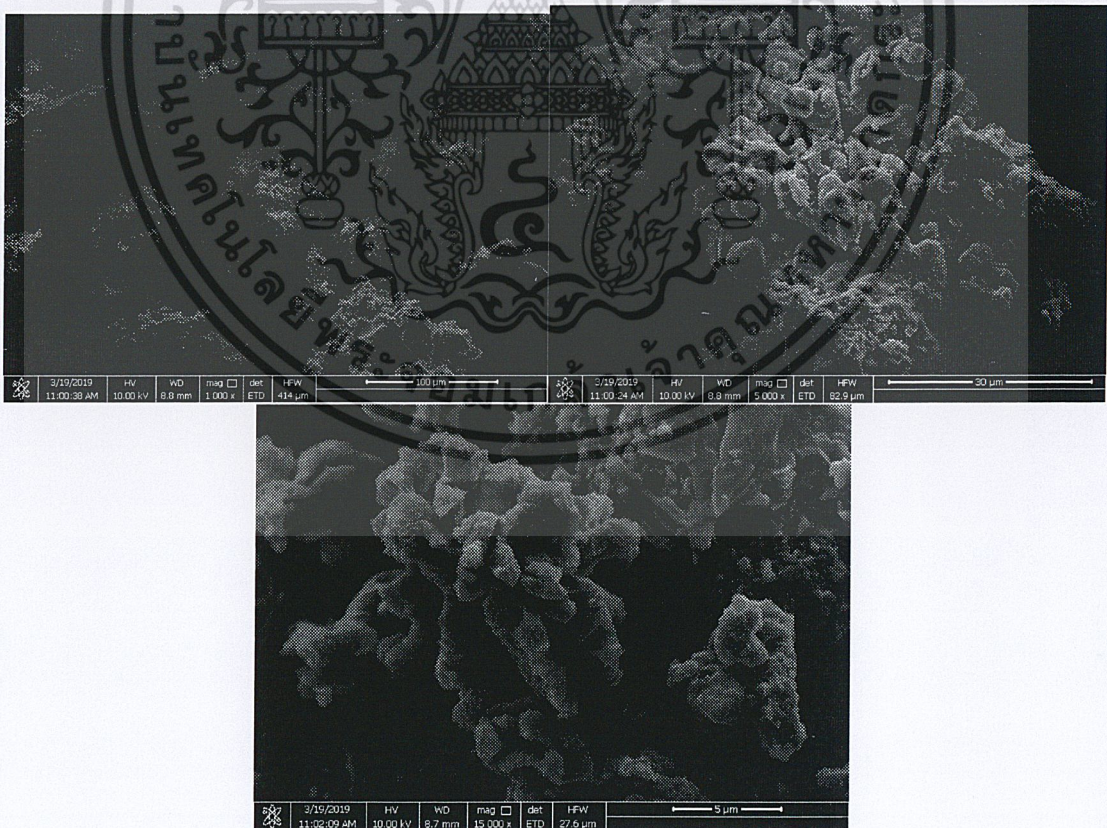


รูปที่ ค-10 รูปสัณฐานวิทยาของ MCP-P กำลังขยาย 1,000x, 5,000x และ 15,000x

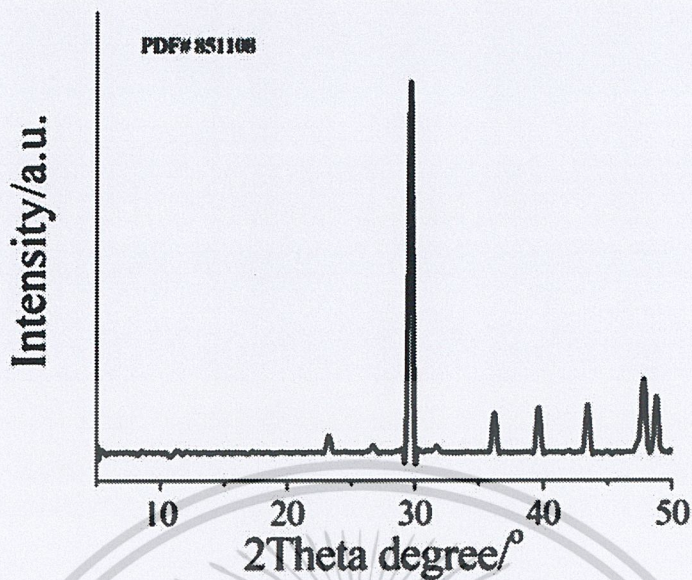
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



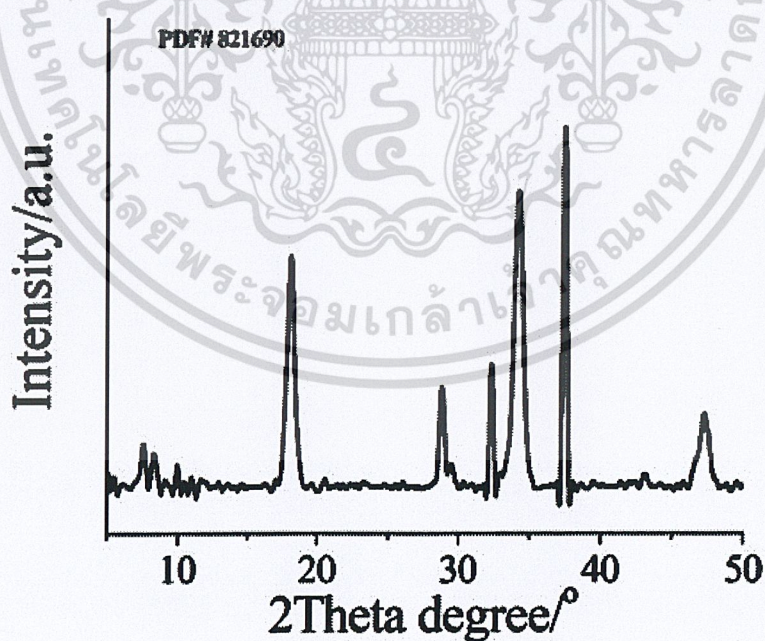
รูปที่ ค-11 รูปสัณฐานวิทยาของ DCP กำลังขยาย 1,000x, 5,000x และ 15,000x



เอกสารนี้เป็นรูปที่ ค-12 รูปสัณฐานวิทยาของ DCP-P กำลังขยาย 1,000x, 5,000x และ 15,000x ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

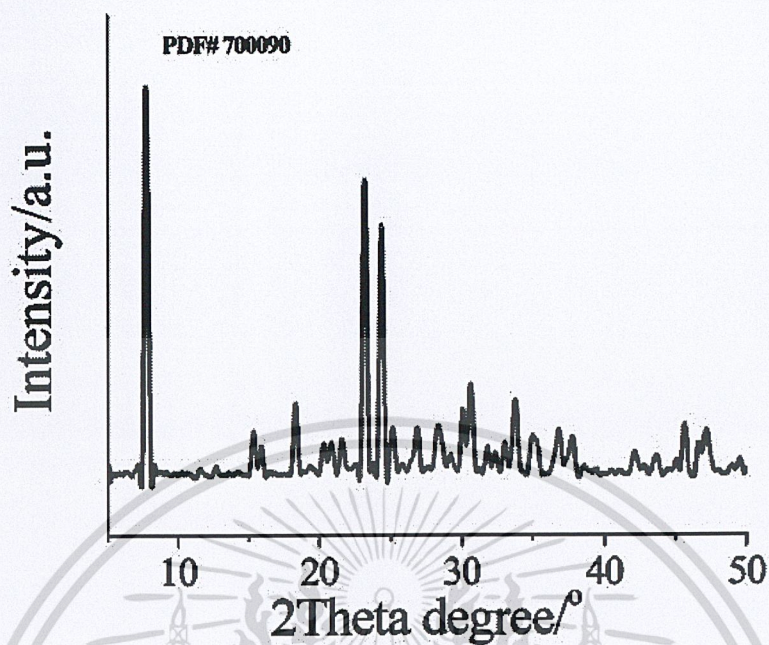


รูปที่ ค-13 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CaCO_3 ที่ได้จากขยะเปลือกไข่ไก่บด

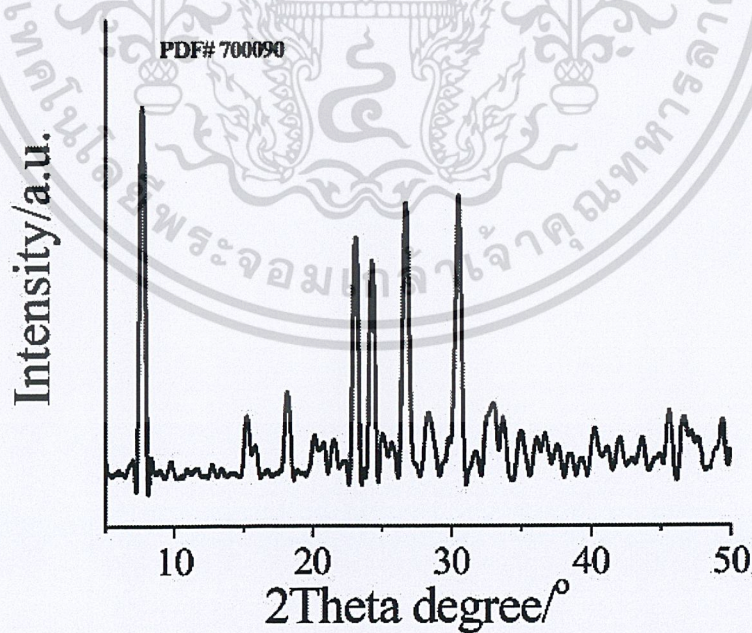


รูปที่ ค-14 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ CaO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

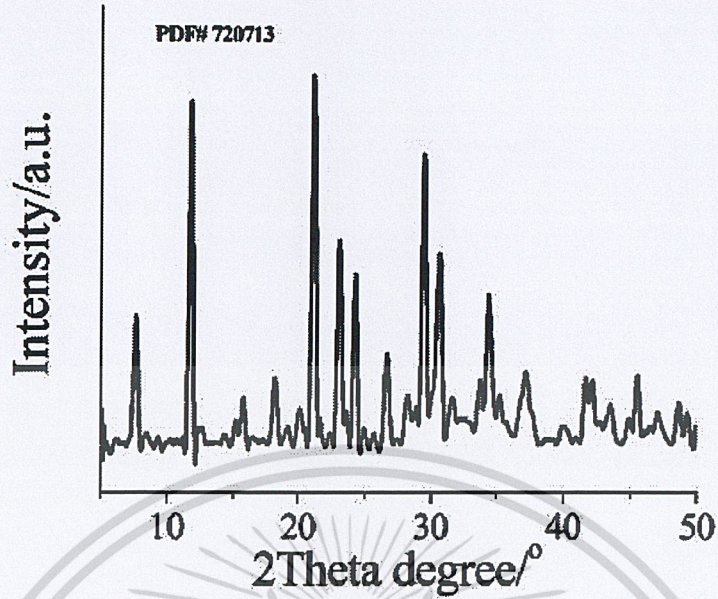


รูปที่ ค-15 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ MCP

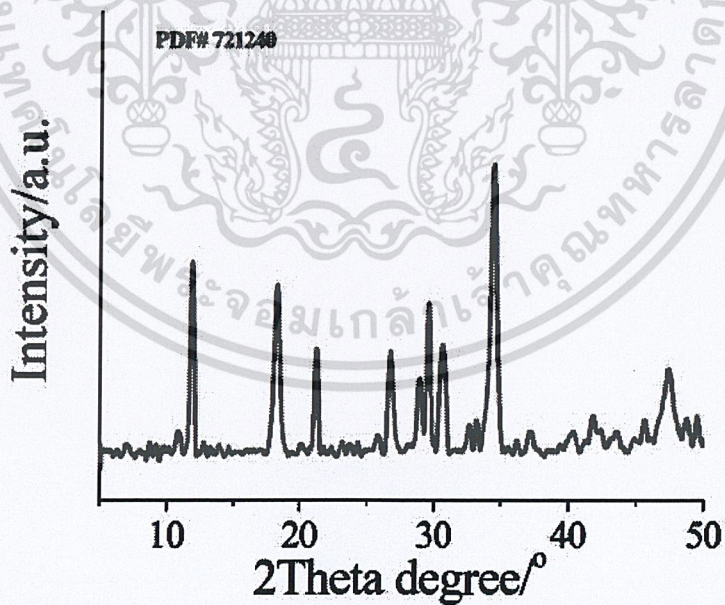


รูปที่ ค-16 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ MCP-P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

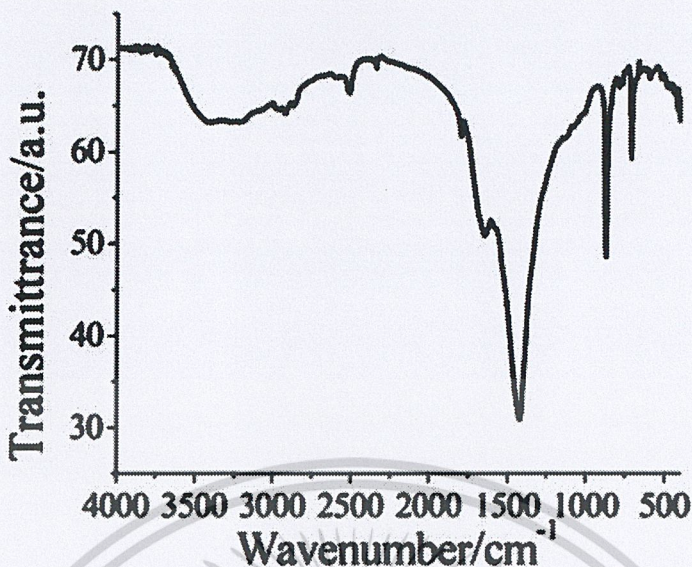


รูปที่ ค-17 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ DCP



รูปที่ ค-18 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ DCP-M

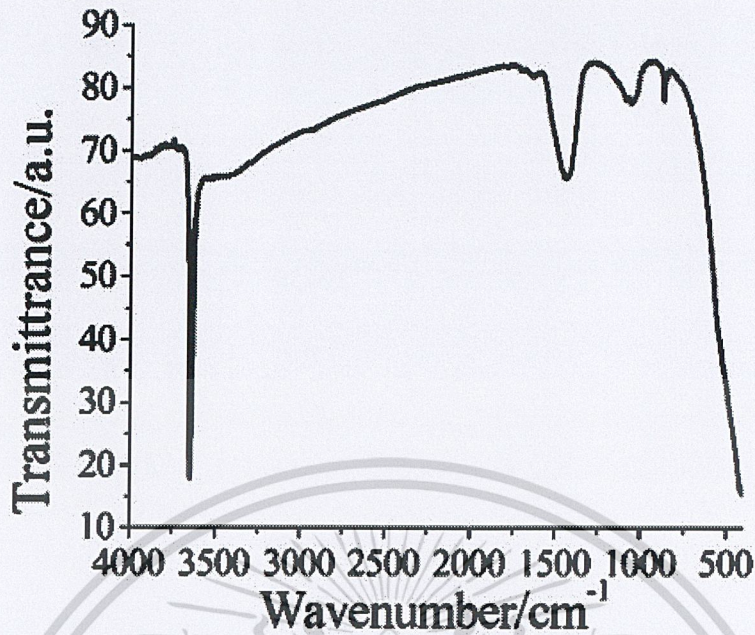
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-19 รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์
 แทรนสฟอร์มอินฟราเรดของ CaCO_3 ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่

วิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์
 แทรนสฟอร์มอินฟราเรด (Vibrationspectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) พบว่า
 สเปกตรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ (CaCO_3) มีสเปกตรัมดังนี้ หมู่ฟังก์ชัน O-H
 stretching ที่ 3440.84 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน C-O stretching ที่ 1420.70 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน C-O
 bending ที่ 875.07 cm^{-1}

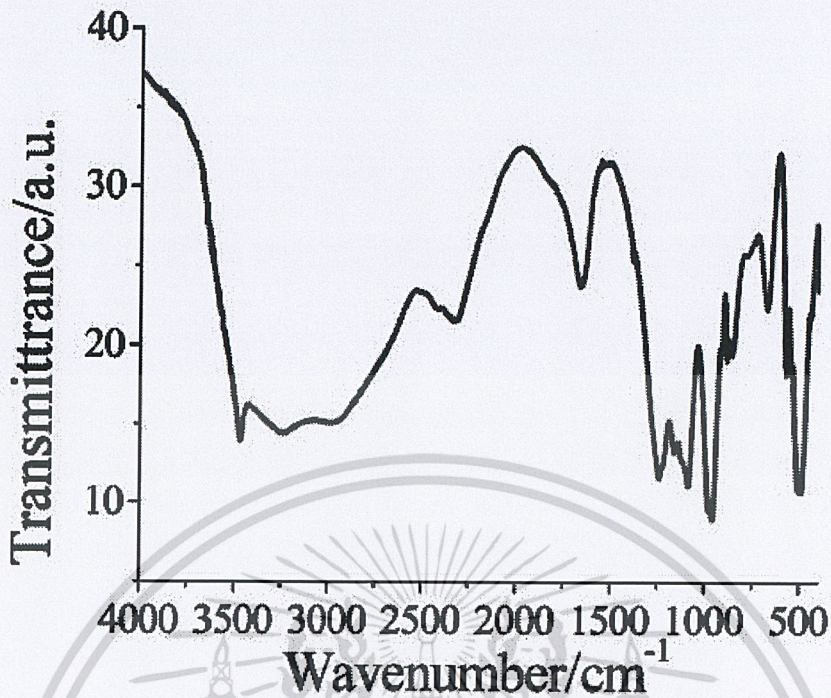
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-20 รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์
แทรนสฟอร์มอินฟราเรดของ CaO

วิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์
แทรนสฟอร์มอินฟราเรด (Vibrationspectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) พบว่า
สเปกตรัมของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) มีสเปกตรัมดังนี้ หมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่ 3642.10
 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน C-O stretching ที่ 1444.24 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน C-O bending ที่ 870 cm^{-1} ซึ่ง
พบว่า (CaCO₃ และ CaO) มีการสั่นช่วง 1444.24 cm^{-1} และ 870 cm^{-1} จึงระบุได้ว่าเป็นโครงสร้าง
ของแคลไซต์ และโหมดฟังก์ชันการสั่นของ คาร์บอเนตไอออน (CO₃²⁻)

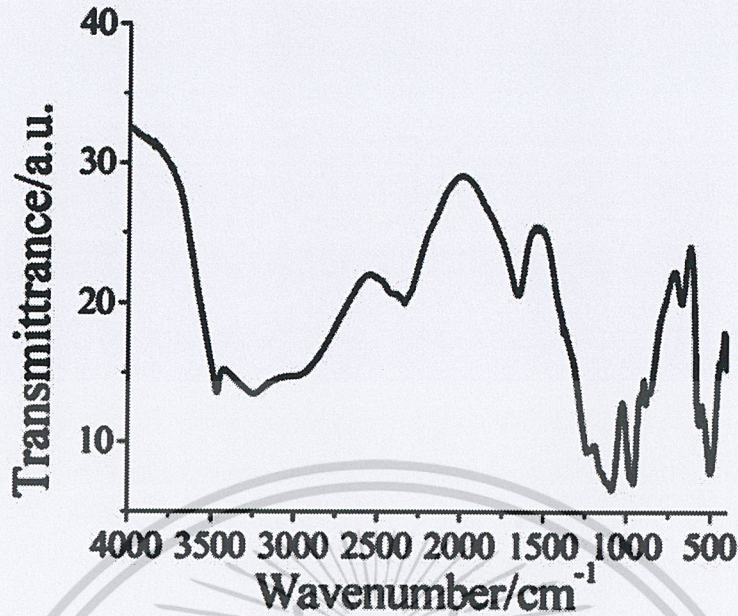
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-21 รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์
แทรนสฟอร์มอินฟราเรดของ MCP

วิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์
แทรนสฟอร์มอินฟราเรด (Vibrationspectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) พบว่า
สเปกตรัมของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต(MCP) มีสเปกตรัมดังนี้ หมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่
3465.36 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน (P) O-H stretching ที่ 2896.98 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน H-O-H stretching ที่
2360.11 cm^{-1} และ 1654.97 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O-H stretching ที่ 1239.32 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-
O stretching ที่ 959.80 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O(H) stretching ที่ 888.41 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน PO_2
bending 504.12 cm^{-1}

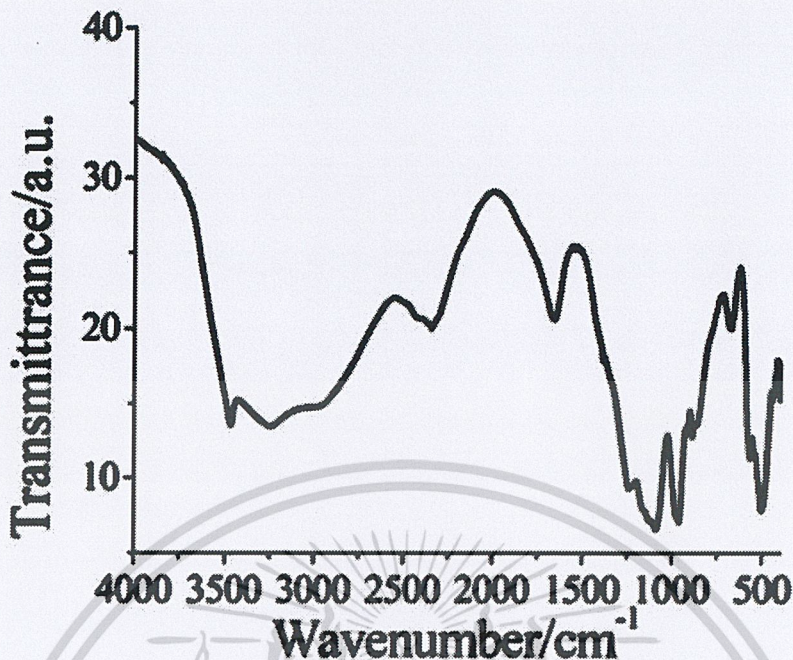
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-22 รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์
แทรนสฟอร์มอินฟราเรดของ MCP-P

วิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์
แทรนสฟอร์มอินฟราเรด (Vibrationspectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) พบว่า
สเปกตรัมของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตบริสุทธิ์(MCP-P)มีสเปกตรัมดังนี้ หมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่
3424.21 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน (P)O-H stretching ที่ 2896.25 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน H-O-H stretching ที่
2300.12 cm^{-1} และ 1642.31 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O-H stretching ที่ 1150.15 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-
O stretching ที่ 991.70 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O(H) stretching ที่ 851.31 cm^{-1} และหมู่ฟังก์ชัน PO_2
bending 498.37 cm^{-1} ซึ่งพบว่า (MCP และ MCP-P) เป็นโมเมนต์ฟังก์ชันการสั่นของฟอสเฟตไอออน

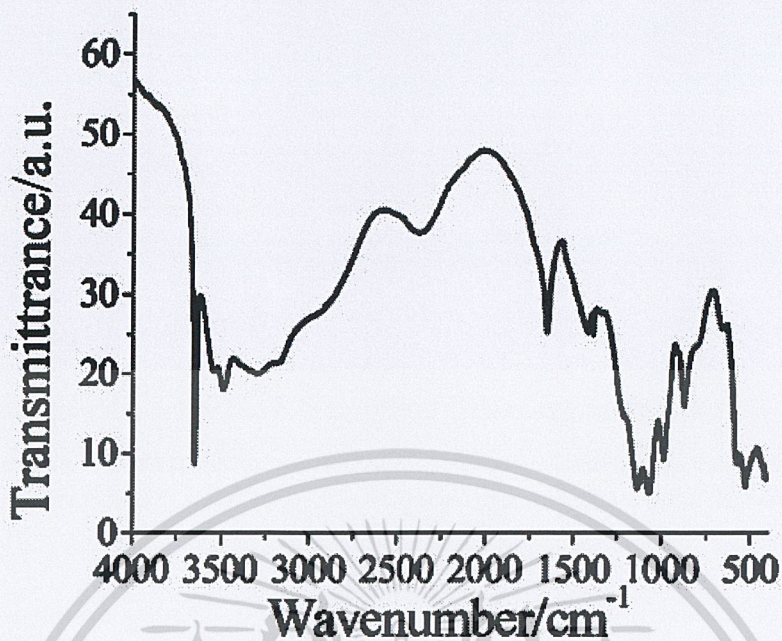
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-23 รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์
แทรนสฟอร์มอินฟราเรดของ DCP

วิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์
แทรนสฟอร์มอินฟราเรด (Vibrationspectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) พบว่า
สเปกตรัมของไดแคลเซียมฟอสเฟต (DCP) มีฟังก์ชันการสั่นดังนี้ หมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่
3463.94 cm⁻¹ หมู่ฟังก์ชัน H-O-H stretching ที่ 1655.12 cm⁻¹ หมู่ฟังก์ชัน C-O stretching ที่
1400.11 cm⁻¹ หมู่ฟังก์ชัน P-O-H stretching ที่ 1130.86 cm⁻¹ หมู่ฟังก์ชัน P-O stretching ที่
960.42 cm⁻¹ และหมู่ฟังก์ชัน PO₂ bending 500.12 cm⁻¹ ซึ่งพบว่า DCP มีโหมดฟังก์ชันการสั่นของ
คาร์บอนไดออกไซด์ และฟอสเฟตไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-24 รูปแบบการสั่นของพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์
แทรนสฟอร์มอินฟราเรดของ DCP-M

วิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์
แทรนสฟอร์มอินฟราเรด (Vibrationspectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) พบว่า
สเปกตรัมของไดแคลเซียมฟอสเฟตที่ผสมระหว่างโมโนแคลเซียมบริสุทรีและแคลเซียมออกไซด์
(DCP-M) มีฟังก์ชันการสั่นดังนี้ หมู่ฟังก์ชัน O-H stretching ที่ 3642.24 cm^{-1} และ 3464.05 cm^{-1}
หมู่ฟังก์ชัน H-O-H stretching ที่ 1655.15 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน C-O stretching ที่ 1419.65 cm^{-1} หมู่
ฟังก์ชัน P-O-H stretching ที่ 1100.12 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน P-O stretching ที่ 984.64 cm^{-1} และหมู่
ฟังก์ชัน PO_2 bending 512.25 cm^{-1} ซึ่งพบว่า DCP-M มีโหมดฟังก์ชันการสั่นของ คาร์บอเนตไอออน
และฟอสเฟตไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้