

การผลิตปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตจากเปลือกหอยนางรม

SUPERPHOSPHATE FERTILIZERS PRODUCTION
FROM OYSTER SHELLS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ :
ปีการศึกษา 2561

SUPERPHOSPHATE FERTILIZERS PRODUCTION
FROM OYSTER SHELLS



CHAOWARED SEANGARUN

YOK

WONGCHOMPOO

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
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2018

หัวข้อโครงการพิเศษ การผลิตปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตจากเปลือกหอยนางรม
Superphosphate Fertilizers Production
from Oyster Shells

ชื่อนักศึกษา นายเชาวเรศ แสงอรุณ รหัสนักศึกษา 58050608
นางสาวหยก วงษ์ชมภู รหัสนักศึกษา 58050697



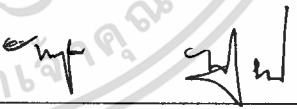
ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.บรรจง บุญชม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี
สิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2561

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

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การผลิตปุ๋ยซุเปอร์ฟอสเฟตจากเปลือกหอยนางรม
ชื่อนักศึกษา	นายเขาวเรศ แสงอรุณ รหัสนักศึกษา 58050608 นางสาวหยก วงษ์ชมภู รหัสนักศึกษา 58050697
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.บรรจง บุญชม

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการดูแลสิ่งแวดล้อมโดยการกำจัดขยะจากเปลือกหอยนางรมที่ถูกสะสมไม่ต่ำกว่า 209,090.687 ตันต่อปี โดยนำมาเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตปุ๋ยซุเปอร์ฟอสเฟต 3 สูตร คือ ปุ๋ยซิงเกิลซุเปอร์ฟอสเฟต ปุ๋ยดับเบิลซุเปอร์ฟอสเฟต และปุ๋ยทริเปิลซุเปอร์ฟอสเฟต โดยคิดค้นกรรมมาวิธีการผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างเปลือกหอยนางรมกับความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่%(w/v) ที่ 10 , 20 , 30 , 40 , 50, 60 ,70 เมื่อผลิตได้ทั้ง 7 สูตร จึงนำมาตรวจสอบวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีด้วยเทคนิค FTIR, XRF, XRD, TGA และ SEMตามลำดับ โดยทั้ง 7 ตัวอย่างนั้นถูกยืนยันด้วยสมบัติทางกายภาพและเคมีว่ามีปริมาณ P_2O_5 อยู่ 56.60% ซึ่งเป็นปุ๋ยทริเปิลซุเปอร์ฟอสเฟตตามองค์ประกอบทางทฤษฎี ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของกรดที่เหมาะสมมีผลต่อการได้ผลิตภัณฑ์ที่รวดเร็ว ปริมาณฟอสเฟตเยอะ ผู้ศึกษาพบว่าความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่60 %(w/v) ให้กรรมมาวิธีการผลิตที่เสร็จสิ้นสมบูรณ์รวดเร็วที่สุด และ ให้ผลิตภัณฑ์ร้อยละผลผลิตมากที่สุด จากนั้นจึงได้เลือกความเข้มข้นที่ 60 %(w/v) มาทำปฏิกิริยากับเปลือกหอยนางรมบด เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยซิงเกิลซุเปอร์ฟอสเฟต และปุ๋ยดับเบิลซุเปอร์ฟอสเฟต ซึ่งเราจะใส่กรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 60 %(w/v) ทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันความเข้มข้น 50 %(w/v) แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF จะได้ปุ๋ยซิงเกิลซุเปอร์ฟอสเฟตมีปริมาณ P_2O_5 อยู่ 33.70% ปุ๋ยดับเบิลซุเปอร์ฟอสเฟตมีปริมาณ P_2O_5 อยู่ 65.54% ซึ่งโครงการพิเศษนี้หวังว่าจะช่วยแก้ไขปัญหาล้างสิ่งแวดล้อมและนำไปใช้ในด้านอุตสาหกรรมเกษตรให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Superphosphate Fertilizers Production from Oyster Shells		
Students	Mr Chaowared Seangarun	Student ID 58050608	
	Miss Yok Wongchompoo	Student ID 58050697	
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2018		
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Banjong Boonchom		

Abstract

This special project study about the environmental issues from oyster shell waste accumulated over 209,090.687 tons/year. Oyster shell was used material to produce 3 types of superphosphate fertilizers which are single superphosphate fertilizers, double superphosphate fertilizers and triple superphosphate fertilizers. The production process is the reaction between grinded oyster shells and the different phosphoric concentrations%(w/v) at 10, 20, 30, 40, 50, 60 , 70 and All obtained samples were analyzed for physical and chemical properties by FTIR, XRF, XRD, TGA and SEM techniques. The Seven prepared samples were obtained. The P_2O_5 content was found to be 56.60% for all , which are acknowledged as Triple Superphosphate fertilizer referred by the theory. The different phosphoric concentration affect to time and % yield of production. the concentration of 60%(w/v) phosphoric acid illustrates the greater time concentration and has the highest amount of product. The 60%(w/v) phosphoric acid reacting was selected to react with shell powder for producing single superphosphate fertilizers and double superphosphate fertilizers, And then 50%(w/v) H_2SO_4 concentration was added. Then, The P_2O_5 analyzed by the XRF technique contents were and found to be fertilizers contain 33.70% for single superphosphate, and fertilizers contain 65.54% for double superphosphate. this special project could solve environment problems, and could apply with agricultural industries beneficially.

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาหรือสิทธิในข้อมูลเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords : Phosphoric Acid, Sulfuric Acid, Superphosphate fertilizers, Oyster Shells



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อันเนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกๆท่าน ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.บรรจง บุญชมที่คอยชี้แนะแนวทางส่งเสริมและให้คำปรึกษาในการทำโครงการพิเศษ นอกจากนี้ยังให้กำลังใจและการดูแลเป็นอย่างดีทำให้โครงการพิเศษนี้จนสำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี

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

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการทำโครงการพิเศษให้ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆน้องๆ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ทุกคน ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดการทำโครงการพิเศษ

สุดท้ายนี้กลุ่มผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และคนในครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจเป็นแรงผลักดัน แรงบันดาลใจ และคอยสนับสนุนทางด้านการศึกษาตลอดมา ทำให้กลุ่มของผู้วิจัยสามารถทำโครงการพิเศษฉบับนี้ประสบความสำเร็จ

เชาวเรศ แสงอรุณ
หยก วงษ์ชมพู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.1 เปลือกหอย.....	4
2.1.2 หอยนางรม.....	5
2.1.3 ปู.....	11
2.1.4 เครื่องมือ	14
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินวิจัย.....	18
3.1 วัสดุอุปกรณ์	18
3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	18
3.1.2 สารเคมี	18
3.2 การเตรียมสารประกอบฟอสเฟต	19
3.2.1 การเตรียมสารตั้งต้น	19
3.2.2 การเตรียมสารตัวอย่างโมโนแคลเซียมฟอสเฟตเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมจะ นำไปใช้ผลิตปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต.....	20
3.2.2 การทำปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต.....	21
3.3 การตรวจสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ.....	22
3.3.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันขององค์ประกอบภายในโมเลกุล (Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy).....	22

3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (X-Ray Fluorescence Spectrometer)	22
3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน (Thermogravimetric Analyzer).....	22
3.3.4 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้าง (X-Ray diffractometer).....	22
3.3.5 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา.....	23
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	24
4.1 ผลผลิตร้อยละและผลผลิตจากการทดลองและทฤษฎี.....	24
4.2 เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ทางเคมี	25
4.2.1 วิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบ	25
4.2.2 รูปแบบการสั่นของพันธะจากการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด	27
4.2.3 โครงสร้างและขนาดของโครงผลึก.....	30
4.2.4 เอกลักษณ์การสลายตัว TGA	31
4.3 เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ทางกายภาพ	39
4.3.1 รูปร่างทางสัณฐานวิทยา	39
4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและต้นทุนสารเคมีของปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตทั้ง 3 ชนิด ที่สังเคราะห์ได้	43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปผลการวิจัย	45
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก ก.....	50
ภาคผนวก ข	58
ภาคผนวก ค	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณสัตว์น้ำจากการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง จำแนกตามประเภทการเลี้ยง ปี 2545-2560.....	9
3.1 แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ต้องใช้ในการเตรียมสารตัวอย่างโมนอแคลเซียมฟอสเฟต.....	20
4.1 ผลผลิตจากการทดลอง.....	25
4.2 ผลการวิเคราะห์สารประกอบทางเคมีของสารตัวอย่าง SP-P10, SP-P20, SP-P30, SP-P40, SP-50, SP-P60 และ SP-P70.....	26
4.3 ระบุพืชที่พบจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ได้ดังนี้.....	28
4.4 ผลการวิเคราะห์สารประกอบทางเคมีของปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต	43
4.5 ผลผลิตและต้นทุนสารเคมีของการผลิตปุ๋ยซิงเกิลซูเปอร์ฟอสเฟต ดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต และทริเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต.....	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

ภาพที่	หน้า
2.1 วัฏจักรแคลเซียมคาร์บอเนต.....	6
2.2 เปลือกหอยนางรม.....	8
2.2 กระบวนการทำปุ๋ยซูปเปอร์ฟอสเฟต.....	12
4.2 IR Spectra ของ SP-P10, SP-P20, SP-P30, SP-P40, SP-P50, SP-P60 และ SP-P70.....	27
4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ SP-P10, SP-P20, SP-P30, SP-P40, SP-P50, SP-P60 และ SP-P70.....	30
4.3 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ SP-P10.....	31
4.4 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ SP-P20.....	32
4.5 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ SP-P30.....	33
4.6 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ SP-P40.....	34
4.7 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ SP-P50.....	35
4.8 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ SP-P60.....	36
4.9 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ SP-P70.....	37
4.10 รูปสัณฐานวิทยาของ SP-P10.....	39
4.11 รูปสัณฐานวิทยาของ SP-P20.....	40
4.12 รูปสัณฐานวิทยาของ SP-P30.....	40
4.13 รูปสัณฐานวิทยาของ SP-P40.....	41
4.14 รูปสัณฐานวิทยาของ SP-P50.....	41
4.15 รูปสัณฐานวิทยาของ SP-P60.....	42
4.16 รูปสัณฐานวิทยาของ SP-P70.....	42
ก-1 IR Spectrum ของสารตั้งต้น CaCO_3 จากเปลือกหอยนางรม.....	50
ก-2 IR Spectrum ของ SP-P10.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก-3 IR Spectrum ของ SP-P20.....	51
ก-4 IR Spectrum ของ SP-P30.....	51
ก-5 IR Spectrum ของ SP-P40.....	52
ก-6 IR Spectrum ของ SP-P50.....	52
ก-7 IR Spectrum ของ SP-P60.....	53
ก-8 IR Spectrum ของ SP-P70.....	53
ก-9 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ SP-P10.....	54
ก-10 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ SP-P20.....	54
ก-11 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ SP-P30.....	55
ก-12 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ SP-P40.....	55
ก-13 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ SP-P50.....	56
ก-14 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ SP-P60.....	56
ก-15 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ SP-P70.....	57
ก-16 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CC.....	57
ข-1 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง.....	58
ข-2 สารตัวอย่าง $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ที่ได้จากการทดลอง.....	58
ข-3 ผง $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ หลังตากแห้งเรียบร้อยแล้ว.....	59
ข-4 ปุ๋ย Single Superphosphate (หมายเลข 8) Double Superphosphate (หมายเลข 9) และ Triple Superphosphate (หมายเลข 10) ที่ได้จากการทดลอง.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
CC	แคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกหอยนางรม
SP-P10	สารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตที่ใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก
SP-P20	สารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตที่ใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก
SP-P30	สารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตที่ใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 30% โดยน้ำหนัก
SP-P40	สารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตที่ใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 40% โดยน้ำหนัก
SP-P50	สารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตที่ใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก
SP-P60	สารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตที่ใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 60% โดยน้ำหนัก
SP-P70	สารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตที่ใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 70% โดยน้ำหนัก
SSP	ปุ๋ยซิงเกิลซูเปอร์ฟอสเฟต
DSP	ปุ๋ยดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต
TSP	ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต
XRF	เทคนิคการตรวจสอบองค์ประกอบธาตุ
XRD	เทคนิคการตรวจสอบโครงสร้างและขนาดของผลึก
FT-IR	เทคนิคการตรวจสอบรูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี การสั่นแบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด
TGA	เทคนิควิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อน
SEM	ตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หอยนางรมเป็นหนึ่งในหอยที่มีการเพาะเลี้ยงมากทั่วโลกรวมทั้งในประเทศไทย ปัจจุบันในประเทศไทยมีฟาร์มเลี้ยงหอยนางรมประมาณ 945 ราย เนื้อที่ ประมาณ 4,491.49 ไร่ เนื่องจากเป็นหอยที่มีปริมาณเปลือกมากถึง 80-90% ของน้ำหนักทั้งหมด ทำให้การทิ้งเปลือกหอยนางรมสร้างขยะจำนวนมากให้กับประเทศ ซึ่งจากสถิติของกรมประมงพบว่า 20 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยมีปริมาณหอยนางรมจากการเพาะเลี้ยงชายฝั่งไม่ต่ำกว่า 10,000 ตันต่อปี จากสถิติล่าสุดของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในปี 2560 มีการปริมาณการเลี้ยงหอยนางรมถึง 20,909.687 ตัน ก่อให้เกิดขยะสะสมถึง 5,227.42 ตัน เปลือกหอยนางรมเหล่านี้ถูกทิ้งเป็นจำนวนมากบริเวณแหล่งชุมชนที่อยู่ติดทะเลและมีแหล่งเพาะเลี้ยงหอยนางรมส่งผลให้เกิดกลิ่นเหม็น เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของสัตว์ที่เป็นพาหะนำโรคต่างๆ ในปัจจุบันจะมีการนำเปลือกหอยกลับมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ รวมถึงมีงานวิจัยเพื่อนำเปลือกหอยนางรมไปใช้ประโยชน์มากมาย เช่น การนำเปลือกหอยนางรมมาแปรรูปใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ การนำเปลือกหอยนางรมเหลือทิ้งมาผลิตเป็นสารดูดซับสำหรับการใช้กำจัดไอออนโลหะหนักและฟอสเฟตในน้ำเสีย หรือการสกัดแคลเซียมออกไซด์มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาสังเคราะห์สารอินทรีย์ต่างๆ แต่ปัญหาขยะสะสมที่เกิดขึ้นจากเปลือกหอยนางรมเหล่านี้ก็ยังคงเหลืออยู่

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่มีการส่งออกสินค้าเกษตรมากเป็นอันดับต้นๆของโลก โดยสินค้าที่มีมูลค่าการส่งออกสูงสุดคือ ข้าว ยางพารา และมันสำปะหลัง มูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตรในปี 2561 สูงถึง 742,465.09 ล้านบาท ในปัจจุบันมีจำนวนครัวเรือนที่ขึ้นทะเบียนเกษตรกรกว่า 7 ล้านครัวเรือน ทำให้มีความต้องการใช้ปุ๋ยจำนวนมาก เพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตให้เพียงพอต่อการส่งออก โดยจากข้อมูลของกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่าในปี 2561 มูลค่าการนำเข้าปุ๋ยในประเทศไทยสูงถึง 58,757 ล้านบาท ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตเป็นปุ๋ยเคมีที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุหลักที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช องค์ประกอบหลักคือสารประกอบของฟอสฟอรัสในรูปโมโนแคลเซียมฟอสเฟต ถูกใช้เป็นปุ๋ยรองพื้นในการทำเกษตรกรรม รวมถึงใช้เป็นแม่ปุ๋ยในการผลิตปุ๋ยเคมีสูตรต่างๆ โดยปกติแล้วในอุตสาหกรรมนั้นปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตจะผลิตโดยการนำหิน

ฟอสเฟตมาทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก ผ่านกระบวนการจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นปุ๋ยซูเปอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอสเฟต ซึ่งปุ๋ยซุเปอร์ฟอสเฟตนี้มีการจำหน่ายโดยทั่วไปอยู่ 3 ชนิดคือ ซิงเกิลซุเปอร์ฟอสเฟต ดับเบิลซุเปอร์ฟอสเฟตและทริเบิลซุเปอร์ฟอสเฟต ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยยังต้องมีการนำเข้า บางส่วนจากต่างประเทศ

เนื่องจากเปลือกหอยนางรมมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูงถึงร้อยละ 96 จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สารประกอบแคลเซียมต่างๆ รวมถึงปุ๋ยซุเปอร์ฟอสเฟตด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองเพื่อศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ปุ๋ยซุเปอร์ฟอสเฟตจากเปลือกหอยนางรม เพื่อช่วยลดการนำเข้าปุ๋ยจากต่างประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้เปลือกหอยนางรม รวมถึงลดปริมาณขยะที่เกิดจากเปลือกหอยนางรมลง ซึ่งเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของกรดฟอสฟอริกสำหรับการใช้ผลิตปุ๋ยซิงเกิลซุเปอร์ฟอสเฟต ดับเบิลซุเปอร์ฟอสเฟตและทริเบิลซุเปอร์ฟอสเฟต
- 2) เพื่อศึกษากระบวนการผลิตและต้นทุนในการแปรรูปเปลือกหอยนางรมเป็นปุ๋ยซิงเกิลซุเปอร์ฟอสเฟต ดับเบิลซุเปอร์ฟอสเฟตและทริเบิลซุเปอร์ฟอสเฟต เพื่อเพิ่มมูลค่าในอุตสาหกรรมเกษตร

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) วิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมที่ผลิตจากสารตั้งต้นคือเปลือกหอยนางรมซึ่งถูกบดและกรองจนมีขนาดเล็กกว่า 50 เมช ทำปฏิกิริยาแทนที่กับกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 10% 20% 30% 40% 50% 60% และ 70% โดยน้ำหนัก ด้วยเทคนิค TGA, FTIR, XRD, XRF และ SEM เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ผลิตปุ๋ยซุเปอร์ฟอสเฟต
- 2) ผลิตปุ๋ยซุเปอร์ฟอสเฟต 3 แบบ ได้แก่ ซิงเกิลซุเปอร์ฟอสเฟต ดับเบิลซุเปอร์ฟอสเฟต และทริเบิลซุเปอร์ฟอสเฟต โดยใช้จากสารตั้งต้นคือเปลือกหอยนางรมซึ่งถูกบดและกรองจนมีขนาดเล็กกว่า 50 เมช นำมาทำปฏิกิริยาแทนที่กับกรดฟอสฟอริกและกรดซัลฟิวริก แล้วนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF รวมถึงคำนวณต้นทุนสารเคมีที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรต้น : ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้

ตัวแปรตาม : ร้อยละผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิของระบบขณะเกิดปฏิกิริยา สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบที่สังเคราะห์ได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้ทราบผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบแคลเซียมที่ผลิตจากเปลือกหอยนางรมโดยใช้กรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 10% 20% 30% 40% 50% 60% และ 70% โดยน้ำหนัก และวิเคราะห์ผลที่ได้เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมจะนำมาใช้ในการผลิตปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตได้

2) สามารถผลิตปุ๋ยซิงเกิลซูเปอร์ฟอสเฟต ดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟตและทริเบิลซูเปอร์ฟอสเฟตซึ่งมีต้นทุนต่ำ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเกษตร และทราบปริมาณองค์ประกอบทางเคมีรวมถึงปริมาณสารที่ปนเปื้อนอยู่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เปลือกหอย

เปลือกหอย หรือ ฝาหอย หรือ กาบหอย คือ สสารที่เป็นของแข็งที่ห่อหุ้มลำตัวภายนอกของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในไฟลัมมอลลัสคา หรือที่นิยมเรียกกันติดปากว่า หอย มีลักษณะแตกต่างกันออกไป ซึ่งหอยจะใช้เป็นเครื่องอำพรางอันตรายจากสัตว์อื่น เป็นสัญลักษณ์สื่อสารระหว่างกัน และช่วยควบคุมอุณหภูมิภายในเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของกระแส น้ำ เปลือกหอยเป็นสิ่งที่ติดตัวกับหอยมา นับตั้งแต่ยังเป็นตัวอ่อนและฟักออกมาจากไข่ โดยไม่ต้องลอกคราบเหมือนสัตว์ในไฟลัมอาร์โธพอด หรือ ครัสเตเชียน โดยขนาดจะใหญ่ขึ้นไปตามขนาดของตัวหอย เปลือกหอยประกอบด้วยสารจำพวก แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ ส่วนที่เหลือเป็นสารอื่น ๆ เช่น แคลเซียมฟอสเฟต, แมกนีเซียมคาร์บอเนต, แมกนีเซียมฟอสเฟต, แมกนีเซียมซิลิเกต, โปรตีนประเภทคอนไคโอลิน เปลือกหอยแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ

1. ชั้นนอกสุด เรียกว่า ชั้นผิวนอก (Periostracum layer) ประกอบด้วยสารส่วนใหญ่เป็น โปรตีนประเภทคอนไคโอลิน เป็นชั้นที่บางและหลุดง่าย ซึ่งจะสังเกตได้จากหอยที่ตายแล้วและเปลือกที่ถูกทิ้งอยู่ตามชายหาด หรือหอยที่ยังมีชีวิตแต่เปลือกถูกคลื่นซัดหรือทรายซัดสี เปลือกชั้นนี้อาจหลุดหายไปจนไม่เหลือให้เห็น

2. ชั้นกลาง เรียกว่า ชั้นผืนึกแคลเซียม (Prismatic layer) ประกอบด้วยผลึกรูปต่าง ๆ กันของสารประกอบแคลเซียมซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแคลไซต์ เป็นชั้นที่หนาและแข็งแรงที่สุด

3. ชั้นในสุด เรียกว่า ชั้นมุก (Nacreous layer) ประกอบด้วยผลึกรูปต่าง ๆ กันของสารประกอบแคลเซียมซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอะราโกไนต์ เป็นชั้นที่เรียบมีความหนาบางแตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของหอย ทำให้เปลือกมีสีชาวชุ่นและเป็นมันแวววาวแตกต่างกัน

เปลือกหอยมีรูปร่างของเปลือกไม่เหมือนกัน แตกต่างออกไปตามแต่ละชั้น, อันดับ, วงศ์, สกุล และ ชนิด เช่น หอยแปดเกล็ด หรือ ลิ่นทะเล มีเปลือกขนาดเล็กจำนวน 8 แผ่น เรียงซ้อนเหลื่อมกันคล้ายกระเบื้องมุงหลังคาจากหัวถึงท้ายตัว ส่วนหอยฝาซิโบราณมีเปลือกรูปคล้ายฝาชี ส่วนที่เป็นยอดแหลมเยื้องไปทางด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

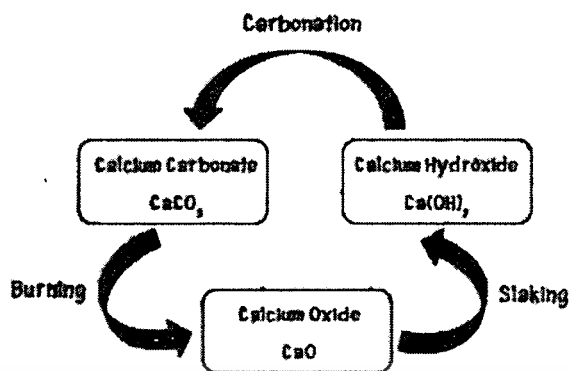
สีของเปลือกหอยได้รับอิทธิพลมาจากสิ่งแวดล้อมและอาหารที่หอยกินเข้าไป สีบนเปลือกหอยเกิดจากเม็ดสี ซึ่งเม็ดสีนั้นได้จากอาหารที่หอยกินเข้าไป เม็ดสีแต่ละชนิดต่างก็ให้สีสันแตกต่างกันไป เช่น เม็ดสีคาโรทีนอยด์ ให้สีเหลืองถึงส้ม, เมลานินให้สีน้ำตาลถึงดำ, อินดิโกยดีให้สีน้ำเงินและแดง, พอร์ไฟรินให้สีแดง สีม่วงในเปลือกหอยม่วง เกิดจากการที่กินแมงกะพรุนเรือใบที่มีสีน้ำเงินม่วงเป็นอาหาร ลายบนเปลือกจะถูกสร้างขึ้นในช่วงเวลาเดียวกับการสร้างเปลือก โดยที่เม็ดสีจะเคลื่อนตัวไปตามเนื้อเยื่อสร้างเปลือกตลอดเวลา ถ้าเม็ดสีแสดงผลจะทำให้เปลือกมีสีสันไปตามเม็ดสีนั้น แต่ถ้าเม็ดสีมีการแสดงผลเป็นช่วง ๆ ผลที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกับการทำงานของเครื่องพิมพ์ภาพ ก่อให้เกิดสีสันและลวดลายต่าง ๆ

2.1.2 หอยนางรม

หอยนางรม (Oyster) เป็นสัตว์ในวงศ์ Ostreidae เป็นหอยทะเลสองฝา มีกาบหนาแข็ง ซึ่งฝาททั้งสองมีขนาดไม่เท่ากัน กาบบนจะใหญ่และแบนกว่าก่าล่าง เป็นหนึ่งในหอยที่มีการเพาะเลี้ยงเป็นอันดับต้นๆของประเทศไทย มีสารอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารอย่างมาก เพราะเป็นแหล่งของ วิตามินนานาชนิด ทั้งวิตามินA วิตามินB1วิตามินB2 วิตามินB3 วิตามินC และวิตามินD ธาตุเหล็ก ไอโอดีน สังกะสี ทองแดง แมกนีเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส และแมงกานีส โคคิวเทิน โอมะก้า 3 และคอลลาเจน และเปลือกหอยนางรมประกอบไปด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตถึงร้อยละ 96

แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) มีสูตรเคมี CaCO_3 ส่วนประกอบทางเคมีประกอบด้วย CaO ร้อยละ 56 และ CO_2 ร้อยละ 44 มีความแข็ง 3 ความถ่วงจำเพาะ 2.71 สลายตัวเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 825 องศา ลักษณะทางกายภาพแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นผงสีขาวไม่ละลายน้ำแต่ละลายน้ำได้เมื่อมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำที่มี CaCO_3 ละลายน้ำอยู่เรียกว่า น้ำกระด้างและจะตกตะกอนเมื่อเสีย CO_2 ออกไปเป็นต้น แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารประกอบที่มีลักษณะต่างกันหลายอย่าง แต่ละลักษณะจะมีชื่อเรียก โดยเฉพาะชื่อของแร่ที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต เรียกว่า แร่แคลไซต์ (Calcite) หรือแคลสปาร์ (Calspar) ซึ่งเป็นรูปแบบที่ธรรมดาที่สุดของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ผลึกของแคลไซต์ มีหลายชนิดทำให้มีชื่อเรียกแตกต่างกัน เช่น ด็อกทูลสปาร์ ไอโซแลนด์สปาร์ เนลเฮดสปาร์ และชาตินสปาร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 วัฏจักรแคลเซียมคาร์บอเนต

2.1.2.1 สายพันธุ์ของหอยนางรม

หอยนางรมที่มีการเพาะกันทั่วโลกนั้นมีอยู่แค่ 5 สายพันธุ์หลักเท่านั้น คือ

1. สายพันธุ์ Eastern Oyster (*Crassostrea virginica*) ถิ่นกำเนิดอยู่ที่อ่าวเม็กซิโก
2. สายพันธุ์ Olympia Oyster (*Ostrea lurida*) ถิ่นกำเนิดอยู่ที่ชายฝั่งแปซิฟิกของอเมริกาเหนือ
3. สายพันธุ์ Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*) ถิ่นกำเนิดอยู่ที่ฝั่งแปซิฟิกของประเทศญี่ปุ่น
4. สายพันธุ์ Kumamoto (*Crassostrea sikamea*) ถิ่นกำเนิดอยู่ที่ฝั่งแปซิฟิกทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศญี่ปุ่น
5. สายพันธุ์ European Flat (*Ostrea edulis*) ถิ่นกำเนิดอยู่แถวปากแม่น้ำเบลงริมฝั่งแอตแลนติกในแคว้นบริตานี

2.1.2.2 แหล่งที่เพาะเลี้ยงหอยนางรมในโลก

แหล่งเพาะหอยนางรมที่ใหญ่ที่สุดในโลกคือฝรั่งเศส แหล่งเพาะชื่อดังของฝรั่งเศสมี 5 แห่งเป็นแหล่งผลิตที่มาจากแถบชายฝั่งแอตแลนติกและยังมีแหล่งผลิตที่อยู่ในทะเลเมดิเตอร์เรเนียนที่เกาะคอร์ซิกา

1. แหล่งเพาะหอยจากปากแม่น้ำเบลงริมชายฝั่งแอตแลนติกในเขตบริตานี เหมาะกับหอยนางรมพันธุ์ยุโรปแบนแพลต ซึ่งหาทานยากและมีน้อยคือมีแค่ไม่ถึง 10% ของหอยนางรมในฝรั่งเศสทั้งหมด เนื่องจากเพาะเลี้ยงยากต้องปล่อยแบบธรรมชาติถ้าได้ระบบนิเวศไม่เหมาะก็ไม่มีผลผลิต แต่ที่ปากแม่น้ำเบลงมันเป็นน้ำกร่อยและมีความเย็นจากมหาสมุทรแอตแลนติก เช่นหอยนางรมเบลง (Belon) หอยโกโลวส์ Gauloise

2. แหล่งเพาะหอยจากเมืองกันกาวส์ในแถบแคว้นบริตานีติดกับนอร์มอนด์ อยู่บริเวณอ่าวมง แซงค์มิเชลนี่แหละครับ ซึ่งมีคลื่นลมค่อนข้างแรงทำให้หอยมีการพัฒนาเปลือกมันค่อนข้าง

แข็งแรง น้ำมีอุณหภูมิค่อนข้างเย็นจัด มีระบบน้ำขึ้นลงตามธรรมชาติที่ทำให้บริเวณน้ำตื้นได้แดดตีไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพลงตอนและสารอาหารที่ดี เช่น หอยนางรมซาร์สกาญา (Tsarskaya) หอยนางรมเกือกม้า (Pied de cheval) หอยนางรมมัวร์เกิน (Muirgen)

3.แหล่งเพาะหอยนางรมจาก มาแรงน์ และเกาะโอเลรง เป็นแหล่งใหญ่ที่สุดของฝรั่งเศส เพราะมีภูมิประเทศเหมาะมากอยู่ปากแม่น้ำซูด Seudre ที่นี่เคยเป็นบริเวณที่ทำนาเกลือมาก่อน แล้วปรับมาเป็นฟาร์มเพาะหอยนางรม ทำให้น้ำแถบนี้มีไอโอดีนที่เหมาะสม เป็นสายพันธุ์แปซิฟิก จากญี่ปุ่นที่นำเข้ามาเมื่อปี 1967 ก่อนหน้านั้นทำสายพันธุ์ยุโรปเย็น แพลตแต่มีปัญหาโดนปรสิดทำให้เสียหาย เช่น หอยฟิน เดอ แคลร์ (Fine de Claire) หอย ลา สเปนเชียลเดอแคลร์ La Spéciale de Claire ฟิน เดอ แคลร์ แวต์ (Fine de Claire vert)

4.แหล่งเพาะหอยที่เกาะ Corsica ของฝรั่งเศสในทะเลเมดิเตอร์เรเนียนซึ่งที่เกาะนี้มีชายฝั่งทะเลแนวชายฝั่งตะวันออก ที่เว้าเข้ามาต่อเนื่องกับทะเลสาบเกิดน้ำกร่อยที่ยอดเยียมจึงเกิด – Etang de Diana และ Etang d’Urbinu – หอยนางรมมีรสชาติที่หาตัวจับยาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3 แหล่งที่เพาะเลี้ยงหอยนางรมในประเทศไทย

พบโดยทั่วไปตามบริเวณน้ำตื้นชายฝั่งทะเล ปากแม่น้ำลำคลอง ที่สุราษฎร์ธานี แหล่งที่เลี้ยงหอยนางรมใหญ่ที่สุด คือบริเวณอ่าวที่ตำบลท่าทอง อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี นอกจากนี้ก็มีการเลี้ยงที่บริเวณ แหลมซุย อำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปัจจุบันในประเทศไทยมีฟาร์มเลี้ยงหอยนางรมประมาณ 945 ราย เนื้อที่ ประมาณ 4,491.49 ไร่



ภาพที่ 2.2 เปลือกหอยนางรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสัตว์น้ำจากการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง จำแนกตามประเภทการเลี้ยง ปี 2545-2560

ปริมาณ (Unit) : ตัน (Ton)

ปี Year	หอยแครง Bloody Cockle	หอยแมลงภู่ Green Mussel			หอยนางรม Oyster
	เพาะเลี้ยง Culture	รวม Total	เพาะเลี้ยง Culture	ปักโป๊ะ Bamboo Stake Trap	
2545(2002)	80,750.10	291,022.84	210,264.12	80,758.72	11,145.15
2546(2003)	67,358.69	263,946.14	194,849.18	69,096.96	26,639.56
2547(2004)	69,495.44	261,712.51	193,196.79	68,515.72	27,549.60
2548(2005)	56,852.80	270,676.71	194,237.97	76,438.74	19,106.72
2549(2006)	65,665.98	229,746.34	162,482.78	67,263.56	18,703.59
2550(2007)	55,671.42	228,249.41	164,068.91	64,180.50	22,650.58
2551(2008)	65,851.51	203,213.67	132,936.66	70,277.01	16,675.02
2552(2009)	81,959.75	193,625.08	157,245.15	36,379.93	26,203.79
2553(2010)	40,978.17	123,879.58	95,417.43	28,462.15	10,758.31
2554(2011)	51,736.24	126,616.30	84,385.43	42,230.87	8,376.52
2555(2012)	66,528.34	103,203.46	65,973.36	37,230.10	16,128.41
2556(2013)	71,325.06	127,919.33	84,689.46	43,229.87	17,594.59
2557(2014)	53,716.86	117,013.47	74,340.68	42,672.79	12,838.53
2558(2015)	58,990.94	115,543.64	75,853.41	39,690.23	19,870.42
2559(2016)	44,846.19	86,673.32	49,307.68	37,365.64	14,407.42
2560(2017)	25,861.57	50,472.39	47,749.39	2,723.00	21,921.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.4 งานวิจัยและประโยชน์ของเปลือกหอยนางรม

1.ด้านการแพทย์ เปลือกหอยที่เป็นของแข็งห่อหุ้มจะมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบใหญ่ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) หรือหินปูน เมื่อนำไปเผาจะกลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) กับ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แคลเซียมออกไซด์หรือที่เรียกว่าปูนขาวนั้น คือยาที่มีส่วนช่วยลดกรดใน กระเพาะอาหาร และแก้ท้องอืดท้องเฟ้อได้หากนำปูนขาวมาผสมกับผงขมิ้นชันซึ่งมีสารสีเหลืองคือ Curcuminoids ผสมน้ำลงไปจะได้ปูนแดง (Calcium Curcuminates) ที่ใช้รับประทานกับหมาก ฤทธิ์ ยาที่ได้จะมีสรรพคุณแก้ไอเสบ

2.ด้านก่อสร้าง เปลือกหอยจะมีแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นองค์ประกอบ เมื่อนำไปเผาใน ความร้อนเหมาะสมแล้วบดให้ละเอียด จะได้แคลเซียมออกไซด์ หรือปูนขาว (CaO) เป็นองค์ประกอบ โครงสร้างผลึกอยู่ 99-100%...ลักษณะโครงสร้างดังกล่าวใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ที่ได้จากการระเบิด หินภูเขา ด้วยคุณสมบัตินี้ที่วิจัยจึงนำเอาเปลือกหอยและปูนซีเมนต์มาทดสอบแทรกต่าง ปรากฏว่า คุณสมบัติใกล้เคียงกันมาก เลยเกิดแนวคิดเอาเปลือกหอยมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ และช่วยกำจัดขยะ ได้อีกทาง เพราะจากการเลี้ยงหอยของชาวบ้าน จะมีขยะเปลือกหอยปีละ 10,000 ตัน

2.1.2.5 ปฏิกริยาเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนต

แคลเซียมคาร์บอเนตได้รับความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ปุ๋ย

ในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 ปุ๋ยหมายถึงสิ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดินเพื่อบำรุงการเจริญเติบโตแก่พืช หรือสารที่ใส่ลงในดินเพื่อให้ธาตุอาหารแก่พืช โดยพืชต้องการธาตุอาหาร 16 ชนิด ได้แก่ ออกซิเจน ไฮโดรเจน คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม กำมะถัน แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี แมงกานีส ทองแดง โบรอน โมลิบดีนัม และคลอรีน ในจำนวนนี้ออกซิเจน ไฮโดรเจน คาร์บอน(โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม หรือเรียกว่าธาตุอาหารหลัก) พืชได้รับจากน้ำและอากาศ

ส่วนไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม พืชต้องการในปริมาณมากเมื่อเทียบกับธาตุอื่น ๆ (ซึ่งถูกจัดเป็นธาตุอาหารหลักหรือธาตุปุ๋ย) และในดินมักมีไม่เพียงพอต่อการเพาะปลูก จึงมีความจำเป็นต้องเพิ่มเติมธาตุเหล่านี้โดยการให้ปุ๋ย

ธาตุหลัก (Primary Macronutrients) คือ ธาตุที่พืชต้องการมากและมีอยู่ในดินน้อย ในการทำเกษตรกรรมมักเติมลงไปในรูปแบบของปุ๋ย ได้แก่

-ไนโตรเจน (N) ช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนแก่พืช ช่วยให้พืชสีเขียวเร่งการเจริญเติบโตทางใบและต้น

- ฟอสฟอรัส (P) ส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากพืช ช่วยเร่งการออกดอก ผล และการสร้างเมล็ดพืช รวมทั้งเพิ่มความต้านทานต่อโรคพืช

- โพแทสเซียม (K) ช่วยสังเคราะห์และเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลในพืชจากใบไปสู่ผลและหัวของพืชหัว ช่วยให้พืชต้านทานโรคและแมลงได้ดีขึ้น ควบคุมระบบหายใจและการเปิดปิดปากใบของพืช

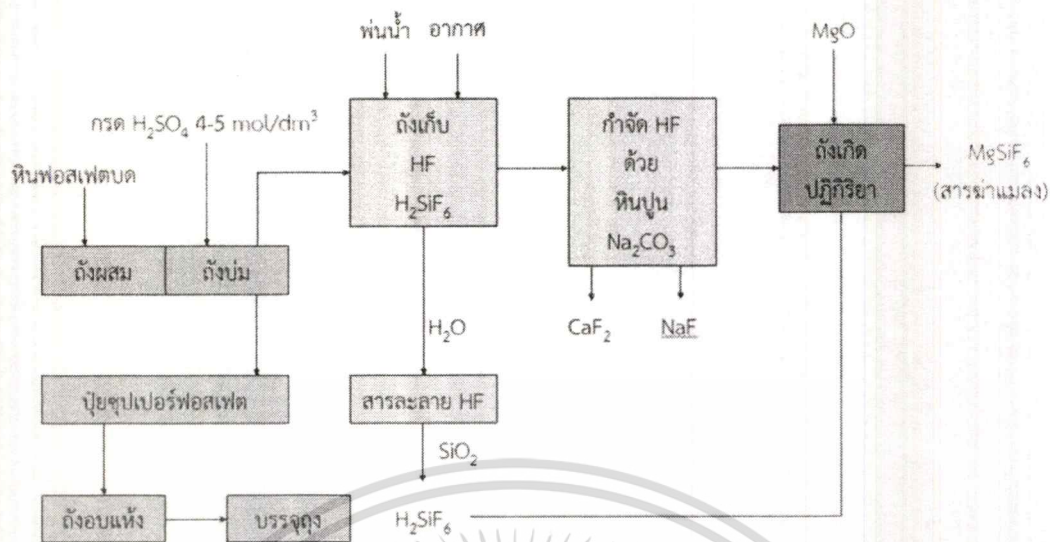
โดยอาจแบ่งชนิดของปุ๋ยเคมีได้เป็น

1) ปุ๋ยเชิงเดี่ยว (Straight fertilizer) เป็นปุ๋ยเคมีที่มีธาตุอาหารหลักเพียงธาตุเดียว เช่นปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ที่มีธาตุไนโตรเจนเพียงธาตุเดียว หรือปุ๋ยสูตร 46-0-0

2) ปุ๋ยเชิงผสม (Mixed fertilizer) เป็นปุ๋ยเคมีที่มีการผสมของปุ๋ยเคมีเชิงเดี่ยวมากกว่าหนึ่งชนิดเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ธาตุอาหารตามที่ต้องการ เช่น ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ที่เป็นการผสมแม่ปุ๋ยทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

โดยในงานวิจัยชิ้นนี้จะทำการศึกษากับปุ๋ยทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยซิงเกิลซูเปอร์ฟอสเฟต ปุ๋ยดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต กระบวนการทำปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตจะแสดงในภาพที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 กระบวนการทำปุ๋ยซุเปอร์ฟอสเฟต

2.1.3.1 ปุ๋ยซิงเกิลซุเปอร์ฟอสเฟต

ปุ๋ยซิงเกิลฟอสเฟต (normal หรือ ordinary หรือ single super phosphate) ผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างหินฟอสเฟตและกรดซัลฟิวริก ได้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรตกับแคลเซียมซัลเฟต มีฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ประมาณ 16-20% สูตร 0-20-0 มีแคลเซียม 9-21% และกำมะถัน 10-12% แต่เนื่องจากปุ๋ยฟอสเฟตชนิดนี้มีประโยชน์ต่ำ จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมนัก ต้นทุนทั่วไปอยู่ที่ 5500 บาทต่อตัน

2.1.3.2 ปุ๋ยดับเบิลซุเปอร์ฟอสเฟต

(double superphosphate) เนื่องจากเป็นปุ๋ยที่มีฟอสเฟตมากกว่าแบบแรกเป็น 2 เท่า จึงเรียกว่า double ซึ่งหมายถึงเพิ่มขึ้นสองเท่า ผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างหินฟอสเฟตและกรดฟอสฟอริกซึ่งเกรดไม่สูงมาก ได้ปุ๋ยฟอสเฟตที่มีประโยชน์ 20-40% สูตร 0-40-0 องค์ประกอบคือโมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรตกับแคลเซียมซัลเฟตเช่นเดียวกัน ต้นทุนทั่วไปอยู่ที่ 8700 บาทต่อตัน

2.1.3.3 ปุ๋ยทริเปิลซุเปอร์ฟอสเฟต

(triple superphosphate , TSP) triple นั้น หมายถึง 3 เท่า แต่ปุ๋ยชนิดนี้ มีฟอสเฟตมากกว่าปุ๋ยแบบที่ 2 เพียงแค่ 2.3 เท่า เท่านั้น ผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างหินฟอสเฟตและกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูง องค์ประกอบคือโมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต มีฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ 45-48% สูตรโดยทั่วไปคือ 0-46-0 ปุ๋ยชนิดนี้ได้รับความนิยมอย่างสูงในปัจจุบัน จัดอยู่ในประเภทปุ๋ย

ฟอสเฟตเข้มข้น (concentrated superphosphate) ผลิตจากปฏิกิริยาระหว่างหินฟอสเฟตและกรดฟอสฟอริกกับกรดซัลฟิวริก ต้นทุนทั่วไปอยู่ที่ 9400 บาทต่อตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การควบคุมของกรมวิชาการเกษตร ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.4 แหล่งผลิตปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตในเอเชีย

1) Cangzhou City เคมี JunchiWeiye จำกัด

ที่อยู่: No.61 East Yongji Road, Cangzhou City, Hebei Province ประเทศจีน

2) Kingeta Group Co., Ltd.

ที่อยู่: 9 Floor, Zheng-Jia Building, No.7 Jian-Guo Road, Chao-Yang District, Beijing, China

2.1.3.5 ความต้องการใช้และการผลิตปุ๋ยเคมีในตลาดโลก

จากกระแสสุขภาพและความตื่นตัวในการหันมาบริโภคพืชมากขึ้นทำให้หลายประเทศมีการเพาะปลูกพืชเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การใช้ปุ๋ยเพิ่มขึ้นตามไปด้วยโดยเฉพาะปุ๋ยเคมีที่มีธาตุอาหารช่วยในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต พบว่าปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีโลก (N+P+K) เพิ่มขึ้นจาก 155 ล้านตันธาตุอาหารในปี 2551 เป็น 184 ล้านตันธาตุอาหารในปี 2557 หรือเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3.0% ต่อปี และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นต่อเนื่องในช่วงปี 2558-2562 ในอัตราเฉลี่ย 1.5% ต่อปี ส่วนปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 171 ล้านตันธาตุอาหาร เป็น 193 ล้านตันธาตุอาหารในช่วงเวลาเดียวกันหรือเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.2% ต่อปี และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นต่อเนื่องในอัตราเฉลี่ย 3.0% ต่อปีในช่วงปี 2558-2562 โดยปุ๋ยประเภทไนโตรเจน (N) มีสัดส่วนการบริโภคและการผลิตสูงที่สุดกว่า 60% และมีจีนเป็นทั้งผู้บริโภคและผู้ผลิตปุ๋ยเคมีเพื่อการเกษตรรายใหญ่ที่สุดของโลก มีสัดส่วนการบริโภคราว 28% และส่วนแบ่งการผลิต 30%

2.1.3.6 ความต้องการใช้ปุ๋ยเคมีในประเทศไทย

ความต้องการใช้ปุ๋ยเคมีในประเทศไทยเฉลี่ยประมาณปี ละ 5-6 ล้านตัน ซึ่งหากจำแนกการใช้ปุ๋ยเคมีตามข้อมูลของ IFA ในปี 2553-2557 การใช้ปุ๋ยประเภทไนโตรเจน (N: สัดส่วน 64%), ฟอสฟอรัส (P: สัดส่วน 19%), และโพแทสเซียม (K: สัดส่วน 17%) มีอัตราการเติบโตรวมกันเฉลี่ยที่ 7.4% ต่อปี เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนหรือปุ๋ยยูเรียเป็นปุ๋ยเคมีมาตรฐาน ที่เกษตรกรใช้ในช่วงแรกของการเพาะปลูกที่ต้องเร่งการเจริญเติบโต โดยพืชเศรษฐกิจที่มีปริมาณการใช้ปุ๋ยมากที่สุด ได้แก่ ข้าว คิดเป็น 42% ของปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีทั้งหมด (แบ่งเป็นข้าวนาปี 30% และข้าวนาปรัง 12%) ซึ่งเป็นไปตามสัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกพืชของไทยที่มีพื้นที่ปลูกข้าวทั่วประเทศสูงกว่า 80 ล้านไร่ รองลงมา ได้แก่ ยางพารา (22%), อ้อยโรงงาน (10%), ปาล์มน้ำมัน (9%), มันสำปะหลัง (5%), ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (5%) และพืชอื่นๆ (7%) แต่หากพิจารณาอัตราการใช้ปุ๋ยต่อไร่แล้ว ปาล์มน้ำมันและข้าวนาปรังจะมีอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ อ้อย ยางพารา และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตามลำดับ ดังนั้นทิศทางการขยายพื้นที่เพาะปลูกในกลุ่มพืชเศรษฐกิจต่างๆ เหล่านี้จะทำให้ความต้องการใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันผู้ผลิตปุ๋ยเคมีในประเทศที่จดทะเบียนกับกรมพัฒนาธุรกิจมี 1,070 ราย ส่วนใหญ่เป็นผู้ผลิตรายกลางและเล็ก (SME) จำนวน 1,047 ราย คิดเป็นสัดส่วน 98.8% อีก 13 ราย (สัดส่วน 1.2%) ที่เป็นผู้ผลิตรายใหญ่ เมื่อพิจารณาด้านรายได้ผู้ผลิตรายใหญ่มีส่วนแบ่งรายได้รวมกันเกือบ 60% ส่วนหนึ่งเนื่องจากรายใหญ่เข้าไปมีส่วนร่วมในการจำหน่ายปุ๋ยเคมีให้แก่ภาครัฐผ่านวิธีการประมูลราคาและมีการใช้กลยุทธ์ส่งเสริมการขายอย่างมาก ทำให้มีความได้เปรียบกว่ารายกลางและเล็กในตลาด นอกจากนี้ รายกลางและรายเล็กยังมีข้อจำกัดในการขยายขนาดของการผลิตเพราะเมื่อผลิตในปริมาณมากจะมีผลต่อคุณภาพปุ๋ยที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้ส่วนใหญ่จะขาดโอกาสในการเข้าประมูลและมีผลจำกัดช่องทางรายได้

2.1.4 เครื่องมือ

2.1.4.1 X-ray fluorescence spectrometry (XRF)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในตัวอย่าง วัดโดยใช้ปริมาณรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง

วิธีการวิเคราะห์

เมื่อรังสีเอกซ์ปฐมภูมิจากหลอดรังสีเอกซ์พุ่งเข้าชนสารตัวอย่างจะเป็นผลให้อิเล็กตรอนวงในสุด (K-shell) ของอะตอมภายในสารตัวอย่างหลุดออกจากอะตอมในรูปของโฟโตอิเล็กตรอนทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในวงอิเล็กตรอนนั้น ซึ่งสภาวะนี้อะตอมจะไม่เสถียร อะตอมจะกลับสู่สภาวะที่เสถียรขึ้นโดยการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนวงนอกเข้ามาแทนที่ช่องว่าง ซึ่งในการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจะมีการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ ซึ่งปรากฏนี้เรียกว่า ‘ฟลูออเรสเซนซ์’ พลังงานของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่ปลดปล่อยออกมาจะมีค่าที่แตกต่างกัน ขึ้นกับความแตกต่างของระดับพลังงานเริ่มต้นของอิเล็กตรอนวงนอกที่ เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานกับระดับพลังงานของช่องว่างที่เกิดจากรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ รังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่เกิดจากปรากฏการณ์ฟลูออเรสเซนซ์จะเป็นรังสีเอกซ์ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของธาตุแต่ละชนิด ดังนั้นเทคนิค XRF จึงใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบ ของสารตัวอย่าง

2.1.4.2 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์วัสดุที่เป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์เพื่อตรวจวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบของโมเลกุลรวมกับเทคนิคอื่น โดยอาศัยหลักการของการดูดกลืนคลื่นรังสีช่วงกลางอินฟราเรด (Middle infrared region) ประมาณ 400 - 4000 cm^{-1} เมื่อโมเลกุลได้รับ

พลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่น (Stretching) หรือการหมุน (Bending) ของพันธะเคมีในโมเลกุล จะเกิดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดขึ้น การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดนี้สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า FT-IR ซึ่งเป็นการวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ผ่านตัวอย่างแล้วเปรียบเทียบกับรังสีอินฟราเรดที่ผ่านตัวอย่างที่ไม่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ซึ่งการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ผ่านตัวอย่างแล้วจะน้อยกว่ารังสีอินฟราเรดที่ผ่านตัวอย่างที่ไม่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรด การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ผ่านตัวอย่างแล้วจะน้อยกว่ารังสีอินฟราเรดที่ผ่านตัวอย่างที่ไม่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรด การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ผ่านตัวอย่างแล้วจะน้อยกว่ารังสีอินฟราเรดที่ผ่านตัวอย่างที่ไม่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรด

(Bending) ของพันธะโควาเลนซ์ในโมเลกุล จะทำให้โมเลกุลดงกล่าวเกิดการดุดกลืนแสง และมีการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) ของโมเลกุล จากนั้นเครื่องมือจะวัดค่าความเข้มแสงต่อความถี่หรือความยาวคลื่น (Wavenumber) ได้ผลเป็นสเปกตรัม ซึ่งในแต่ละพันธะของหมู่ฟังก์ชันจะแสดงค่าความยาวคลื่นเฉพาะต่างกัน

วิธีการวิเคราะห์

จะทำการยิงอินฟราเรดไปที่สารตัวอย่าง โดยแต่ละหมู่ฟังก์ชันก็จะเกิดการสั่นที่ wave number ต่างๆ กัน เครื่องก็จะ detect ค่าการดุดกลืนหรือส่องผ่านเอาไปพลอตกราฟกับ wave number และบางครั้งหมู่ฟังก์ชันต่างกันก็อาจเกิดพีคที่ wave number ใกล้เคียงกันก็ได้ จึงต้องดูรูปร่างพีคประกอบด้วย

2.1.4.3 Thermogravimetric Analysis (TGA)

เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุโดยเฉพาะพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อนโดยการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง เทคนิคนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับแก๊สหรือระเหยของน้ำ การตกผลึก (crystallization) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนเฟส การแตกตัวของวัสดุ (decomposition) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน หรือ ปริมาณสารสัมพันธ์ (stoichiometry)

วิธีการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกวางบนจานขนาดเล็ก ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง โดยที่ทั้งหมดจะอยู่ในเตาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ บรรยากาศภายในอาจจะเป็นแก๊สเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน หรือแก๊สที่มีความว่องไว เช่น อากาศ หรือ ออกซิเจน โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด โดยน้ำหนักที่หายไปนั้นเกิดมาจากการระเหย การย่อยสลาย หรือการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ

2.1.4.4 X-Ray Diffractometer (XRD)

เป็นเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน หรือ เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์(XRD)เป็นเทคนิคที่นำรังสีเอ็กซ์(X-ray)มาใช้วิเคราะห์และระบุชนิดสารประกอบ โครงสร้างผลึกของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative)และเชิงปริมาณ (Quantitative)

วิธีการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์อาศัยหลักการของการยิงรังสีเอ็กซ์ไปกระทบที่ชิ้นงาน ทำให้เกิดการเลี้ยวเบน และสะท้อนออกมาที่มุมต่างๆกันโดยมีหัววัดสัญญาณ (Detector) เป็นตัวรับข้อมูล องค์ประกอบและโครงสร้างของสารจะมีองค์ประกอบในการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ในมุมที่แตกต่างกันออกไปขึ้นกับองค์ประกอบ รูปร่าง และลักษณะผลึกซึ่งผลที่ได้จึงสามารถบ่งชี้ชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและสามารถนำมาใช้ใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้นๆได้นอกจากนั้นแล้วยังสามารถศึกษาและวิเคราะห์ ปริมาณความเป็นผลึก ขนาดของผลึก ความสมบูรณ์ของผลึก และความเค้นของสารประกอบในสารตัวอย่าง และเมื่อวิเคราะห์กับอุปกรณ์เสริม เช่น อุปกรณ์ให้ความเย็น-ร้อน ก็จะสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกในขณะสภาวะทดสอบเปลี่ยนไป

2.1.4.5 Scanning Electron Microscope (SEM)

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง นิยมนำมาตรวจสอบลักษณะผิวภายนอกของตัวอย่าง ตรวจสอบการเรียงตัวของผลึกด้วยระบบการรับสัญญาณเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงตัวอย่างจากการดึง โดย Energy Dispersive Spectrometry (EDS) เครื่องตรวจวัดรังสีเอ็กซ์ ใน SEM ทำให้สามารถทำการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้เพิ่มเติม

วิธีการวิเคราะห์

นำตัวอย่างวางเข้าไปในห้องกักเก็บตัวอย่างจากนั้นจะทำการยิงอิเล็กตรอนโดยปืนยิงอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วแคโทดไปแอโนด ซึ่งลำแสงที่ได้จะเป็นลำแสงอิเล็กตรอนที่กระเจิงซึ่งไม่เป็นที่ต้องการในกระบวนการดังกล่าว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า หรือ Electromagnetic lens เพื่อที่จะทำให้ลำแสงอิเล็กตรอนโฟกัสเป็นจุดเดียวกันและทำให้มีความเข้มข้นอิเล็กตรอนมากขึ้น นอกจากนี้ยังมี Electromagnetic deflection ซึ่งเอาไว้ควบคุมทิศทางลำแสงอิเล็กตรอน สำหรับเครื่องตรวจจับอิเล็กตรอนนั้นจะมี SE detector ซึ่งเครื่องนี้จะตรวจจับอิเล็กตรอนชั้นทุติยภูมิ หรือ อิเล็กตรอนที่สะท้อนกลับมา ซึ่งข้อมูลนั้นจะถูกประมวลผลและฉายที่จอมอนิเตอร์และเครื่องจะนำตัวอย่างมาสแกนเป็นจุดๆต่อกันจนเกิดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

B. Boonchom และคณะ(2019) วิธีที่ง่ายที่สุดในการสังเคราะห์โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรตโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตที่มีวิภาคแตกต่างกันจากเปลือกหอยแมลงภู่ แคลเซียมคาร์บอเนตที่มีวิภาคแตกต่างกันจะถูกเตรียมด้วยวิธีที่รวดเร็ว สะดวก ต้นทุนน้อยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งใช้แค่กระบวนการบดเปลือกหอยแมลงภู่ แคลเซียมคาร์บอเนตจะถูกผสมกับวาเทอร์ไรต์ 87.75% ออราโกไนท์ 4.40% และแคลไซต์ 7.85% ซึ่งจะถูกใช้เป็นครั้งแรกในการผลิต โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต ซึ่งเตรียมโดยผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนตที่สังเคราะห์และกรดฟอสฟอริกในสารละลายอะซิโตนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรต จะถูกจำแนกโดยเทคนิค TG/DTG XRD FTIR และ SEM เป็นวิธีที่ประหยัดและคาดว่าจะถูกใช้ในอุตสาหกรรมสำหรับการสังเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนต และ โมโนแคลเซียมฟอสเฟตโมโนไฮเดรตในปริมาณมากจากเปลือกหอยแมลงภู่และหวังว่าจะเป็นทางเลือกในการกำจัดและเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกหอยแมลงภู่เพื่อลดปัญหาขยะปริมาณมากในอนาคต

Sronsri C. และ Boonchom B.(2018) การสังเคราะห์ การจำแนก เทคนิคการวิเคราะห์การสั่นของโมเลกุล และการวิเคราะห์ปัจจัยกลุ่มของวัสดุฟอสเฟตผสมโลหะบางส่วนวิธีการตกตะกอนถูกใช้ในการสังเคราะห์ฟอสเฟตไฮเดรตที่ถูกเติมโลหะบางส่วนแต่ว่ากระบวนการแตกตัวทางความร้อนของสารตั้งต้นดังกล่าวถูกใช้กับสารประกอบ $Mn_{1.8}Mg_{0.2}P_2O_7$ และ $LiMn_{0.9}Mg_{0.1}PO_4$ ภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันออกไป ในการที่จะจำแนกจุดยอดของเส้นกราฟการแตกตัวทางความร้อน(TGA)จะใช้เทคนิคการแทนค่าฟังก์ชันการปลดปล่อยย้อนกลับ และจุดยอดนั้นจะใช้ในการหาค่าความชันนอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงมุมพันธะของน้ำก็ถูกเก็บข้อมูลเช่นเดียวกัน

Supakorn Boonyuen และคณะ (2014) การสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอย โดยเตรียมตัวอย่างของเปลือกหอยแมลงภู่ หอยหวาน และหอยแครงในรูปแบบผง นำไปเผาในช่วงอุณหภูมิ 500, 700 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง บดและกรองผ่านตะแกรงคัดกรองขนาด 100 ไมโครเมตร พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่สะสมอยู่ในเปลือกหอยมีการเปลี่ยนแปลงเป็นแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวด้วยการนำมาวิเคราะห์ด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์(XRD) กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด(SEM) ผลการวิเคราะห์พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยทุกชนิดประกอบด้วยโครงสร้างออราโกไนต์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนไปเป็นโครงสร้างแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 500-700 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมออกไซด์อย่างสมบูรณ์ ส่วนการเผาเปลือกหอยแมลงภู่จะเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ได้ดีกว่าเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยหวาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) ครกหินและสาก (Stone mortar and Pestle)
- 2) ตะแกรงร่อนขนาด 50 Mesh (Sieve No.50)
- 3) ชุดเครื่องแก้ว
- 4) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius), Scaltex SBC -31
- 5) โถดูดความชื้น (Desicator)
- 6) เครื่องบด (Pulverizer)
- 7) Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR), Spectrum GX, Perkin-Elmer
- 8) Thermogravimetric/differential thermal analyzer (TG-DTA), Pyris Diamond TG/DTA, Perkin Elmer apparatus และ Alumina pan
- 9) X-ray powder diffractometer (XRD), Bruker AXS, D8 Advance, Germany
- 10) Scanning electron microscope (SEM), LEO SEM VPI450
- 11) X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

3.1.2 สารเคมี

- 1) กรดฟอสฟอริก (85% Phosphoric acid, H_3PO_4) เกรดวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท SUNWAY CORPORATION ประเทศเกาหลีใต้
- 2) กรดซัลฟิวริก (98% H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ จัดจำหน่ายโดยบริษัท เอเชียเอ็นไอเอนติฟิค จำกัด
- 3) น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมสารตั้งต้น

3.2.1 การเตรียมแคลเซียมจากเปลือกนางรมที่มีขนาดเล็กกว่า 50 เมช

นำเปลือกหอยนางรมมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด แล้วนำไปตากให้แห้ง จากนั้นนำไปบดและกรองผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช จะได้สารตั้งต้นแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีขาว (CC) บรรจุถุงที่ได้ลงในซองและนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อนำไปเป็นสารตั้งต้นในขั้นตอนต่อไป

3.2.2 การเตรียมความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก

- 1) เติมน้ำกลั่นลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร จำนวน 7 ใบ ใบละ 100 มิลลิลิตร
- 2) ปีเปตกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 85% ปริมาณ 118, 236, 353, 471, 589, 706 และ 824 มิลลิลิตร เติมลงในขวดปรับปริมาตรแต่ละใบ
- 3) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวมเท่ากับ 1000 มิลลิลิตร ปิดฝาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น จะกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้น 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% และ 70% ตามลำดับ

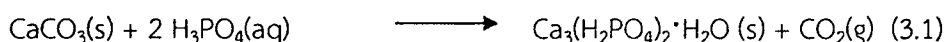
3.2.3 การเตรียมความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก

การเตรียมกรดซัลฟิวริก 50% (H_2SO_4 -50%) ตวงกรดซัลฟิวริก 98% 510 มิลลิลิตร เติมลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรรวมเท่ากับ 1000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารตัวอย่างโมโนแคลเซียมฟอสเฟตเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมจะนำไปใช้ผลิตปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต



จากสมการเคมีต้องใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 1 โมล จึงจะทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริก 2 โมลพอดี ดังนั้น จึงทำการเตรียมตัวอย่าง 7 ตัวอย่างด้วยการนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยนางรมมาซึ่งใส่บีกเกอร์ บีกเกอร์ละ 50 กรัม แล้วเติมกรดฟอสฟอริกดังตารางที่ 3.1 จากนั้นค่อยๆคน พร้อมทั้งจดบันทึกอุณหภูมิระหว่างเกิดปฏิกิริยา จนกระทั่งไม่มีฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น แสดงว่าปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้ว

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณสารตั้งต้นที่ต้องใช้ในการเตรียมสารตัวอย่างโมโนแคลเซียมฟอสเฟต

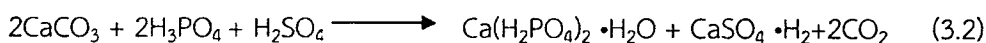
ตัวอย่าง	ปริมาณสารตั้งต้น		
	CaCO ₃ (s)	H ₃ PO ₄ (l)	
	น้ำหนัก (g.)	ความเข้มข้น (%โดยน้ำหนัก)	ปริมาตร (ml)
SP-P10	50	10%	824
SP-P20	50	20%	706
SP-P30	50	30%	589
SP-P40	50	40%	471
SP-P50	50	50%	353
SP-P60	50	60%	236
SP-P70	50	70%	118

เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดนำสารตัวอย่างทั้ง 7 ไปตั้งทิ้งไว้จนแห้ง ชั่งน้ำหนักจนน้ำหนักของสารตัวอย่างคงที่ จดบันทึกน้ำหนักที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทำปุ๋ยซุบเปอร์ฟอสเฟต

3.3.2.1 การทำปุ๋ยซิงเกิลซุบเปอร์ฟอสเฟต



วิธีการเตรียม

1. ชั่งสาร $\text{CC}(\text{s})$ 50.00 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร จำนวน 1 บีกเกอร์
2. เติมกรดฟอสฟอริก 60% ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ เมื่อเกิดฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ให้ใช้แท่งแก้วคนจนกระทั่งฟองก๊าซหมดหมดให้เติม H_2SO_4 ปริมาณ 43 มิลลิลิตร ไปเรื่อยๆพร้อมใช้แท่งแก้วคนจนกว่าปริมาณของกรดจะหมด บันทึกอุณหภูมิของปฏิกิริยา
3. ตั้งบีกเกอร์ทิ้งไว้จนน้ำหนักรวมที่ จะได้ผงสีน้ำตาลขุ่น บันทึกน้ำหนักที่ได้
4. นำสารตัวอย่างไปหาร้อยละผลผลิต
5. นำสารตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์สมบัติ ด้วยเทคนิค, XRF, XRD, FTIR, TGA และ SEM

3.2.2.2 การทำปุ๋ยดับเบิลซุบเปอร์ฟอสเฟต

1. ชั่งสาร $\text{CC}(\text{s})$ 50.00 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร จำนวน 1 บีกเกอร์
2. เติมกรดฟอสฟอริก 60% ปริมาณ 29 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ เมื่อเกิดฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ให้ใช้แท่งแก้วคนจนกระทั่งฟองก๊าซหมดหมดให้เติม H_2SO_4 ปริมาณ 38 มิลลิลิตร ไปเรื่อยๆพร้อมใช้แท่งแก้วคนจนกว่าปริมาณของกรดจะหมด บันทึกอุณหภูมิของปฏิกิริยา
3. ตั้งบีกเกอร์ทิ้งไว้จนน้ำหนักรวมที่ จะได้ผงสีน้ำตาลขุ่น บันทึกน้ำหนักที่ได้
4. นำสารตัวอย่างไปหาร้อยละผลผลิต
5. นำสารตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์หาคุณสมบัติ ด้วยเทคนิค XRF , XRD , FTIR , TGA และ

SEM

3.2.2.3 การทำปุ๋ยทริปเบิลซุบเปอร์ฟอสเฟต

1. ชั่งสาร $\text{CC}(\text{s})$ 50.00 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร จำนวน 1 บีกเกอร์
2. เติมกรดฟอสฟอริก 60% ปริมาณ 59 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ เมื่อเกิดฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ให้ใช้แท่งแก้วคนจนกระทั่งฟองก๊าซหมดหมดให้เติม H_2SO_4 ปริมาณ 22 มิลลิลิตร ไปเรื่อยๆพร้อมใช้แท่งแก้วคนจนกว่าปริมาณของกรดจะหมด บันทึกอุณหภูมิของปฏิกิริยา
3. ตั้งบีกเกอร์ทิ้งไว้จนน้ำหนักรวมที่ จะได้ผงสีน้ำตาลขุ่น บันทึกน้ำหนักที่ได้
4. นำสารตัวอย่างไปหาร้อยละผลผลิต
5. นำสารตัวอย่างไปตรวจวิเคราะห์หาคุณสมบัติ ด้วยเทคนิค, XRF , XRD , FTIR , TGA และ

SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ

3.3.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันขององค์ประกอบภายในโมเลกุล (Fourier Transform Infared (FT-IR) spectroscopy)

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้ง 7 ตัวอย่างที่ใช้เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% และ 70% (SP-P10 , SP-P20 , SP-P30 , SP-P40 , SP-P50 , SP-P60 , SP-P70) เพื่อนำมาวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพันธะในโมเลกุล โดยมีขั้นตอนดังนี้ นำสารตัวอย่างมาผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์(KBr) ในอัตราส่วน 1:10 ใส่แม่พิมพ์เพื่อนำไปอัดเป็นแผ่นด้วยเครื่องไฮดรอลิก ที่ใช้เวลาประมาณ 2 นาที จะได้ตัวอย่างลักษณะเป็นแผ่นวงกลมสีขุ่น จากนั้นนำแผ่นตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR โดยกำหนดการวัดค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในช่วง wave number 4000 ถึง 400 cm^{-1}

3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (X-Ray Fluorescence Spectrometer)

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้ง 7 ตัวอย่างที่ใช้เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% และ 70% (SP-P10 , SP-P20 , SP-P30 , SP-P40 , SP-P50 , SP-P60 , SP-P70) มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF) เพื่อวิเคราะห์หาสารตัวอย่างที่ให้ปริมาณฟอสเฟตสูงสุด รวมถึงเมื่อสังเคราะห์ปุ๋ยซึ่งเกิดซูปเปอร์ฟอสเฟตได้แล้ว นำตัวอย่างปุ๋ยซึ่งเกิดซูปเปอร์ฟอสเฟต ดับเบิลซูปเปอร์ฟอสเฟต และทริปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเพื่อยืนยันผลองค์ประกอบที่ได้และสารปนเปื้อนที่เป็นอันตรายต่อการใช้ในทางเกษตรกรรม

3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis)

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้ง 7 ตัวอย่างที่ใช้เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% และ 70%(SP-P10 , SP-P20 , SP-P30 , SP-P40 , SP-P50 , SP-P60 , SP-P70) มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA (Thermogravimetric Analysis) โดยใช้สภาวะแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 30-900 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำในโครงสร้างและกลไกการสลายตัวที่เกิดขึ้น จากน้ำหนักที่หายไปในแต่ละช่วงอุณหภูมิ

3.3.4 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางโครงสร้าง (X-Ray Diffractometer)

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้ง 7 ตัวอย่างที่ใช้เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% และ 70% (SP-P10 , SP-P20 , SP-P30 , SP-P40 , SP-P50 , SP-P60 , SP-P70) โดยน้ำหนักมาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer โดย Scan method ที่ใช้ คือ Start angle $^{\circ}10$ องศา และ Stop angle $^{\circ}60$ องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา

งานวิจัยนี้มีสารตัวอย่างทั้ง 7 ตัวอย่างที่ใช้เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% และ 70% (SP-P10 , SP-P20 , SP-P30 , SP-P40 , SP-P50 , SP-P60 , SP-P70) โดยนำหั่นก้ามมาวิเคราะห์สัณฐานและตรวจสอบลักษณะผิวภายนอกของตัวอย่าง ตรวจสอบการเรียงตัวของผลึกด้วยระบบการรับสัญญาณเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับด้วย เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองการสังเคราะห์ปุ๋ยแคลเซียมฟอสเฟตโดยใช้กรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างกันเพื่อหาวิธีการสังเคราะห์ที่ให้ปริมาณผลผลิตมากที่สุด จากนั้นจึงทำสังเคราะห์ปุ๋ยการเติมกรดซัลฟิวริกซึ่งทำให้ปุ๋ยนั้นมีทั้งธาตุหลักและธาตุรองเพื่อให้พืชได้ธาตุอาหารครบถ้วนขึ้น โดยสารตั้งต้นที่ใช้คือแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยนางรม โดยนำหอยนางรมมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช แล้วจึงนำผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้มาทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริก จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาคำนวณหาร้อยละผลผลิตที่ได้ และนำมาวิเคราะห์สมบัติด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ ได้แก่ ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) ตรวจสอบปริมาณน้ำในโครงสร้างด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิจาน (Thermogravimetric Analysis, TGA) ตรวจสอบพันธะภายในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีโดยวิเคราะห์รูปแบบการสั่นด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD) และตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ต่างๆที่ได้ รวมถึงการนำปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) เพื่อยืนยันองค์ประกอบที่เกิดขึ้นรวมทั้งวิเคราะห์สารปนเปื้อนที่เป็นอันตรายต่อการใช้งานในทางเกษตรกรรม

4.1 ร้อยละผลผลิตของสารประกอบโมโนแคลเซียมฟอสเฟต

ปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนตกับกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 20 30 40 50 60 และ 70 โดยน้ำหนัก จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นโดยผลิตภัณฑ์ โดยมีร้อยละผลผลิตและปริมาณฟอสเฟตที่เกิดขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลผลิตจากการทดลอง

สารตัวอย่าง	ระยะเวลาที่สารตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่	อุณหภูมิของระบบขณะเกิดปฏิกิริยา	ร้อยละผลผลิต (%)	ปริมาณ P_2O_5 ที่เกิดขึ้น (%)
SP-P10	48 ชั่วโมง	33 °C	10.36	41.4
SP-P20	24 ชั่วโมง	33 °C	28.01	60.4
SP-P30	20 ชั่วโมง	34 °C	82.48	74.1
SP-P40	17 ชั่วโมง	34 °C	80.10	77.2
SP-P50	7 ชั่วโมง	35 °C	84.04	76.4
SP-P60	4 ชั่วโมง	37 °C	94.62	77.4
SP-P70	1 ชั่วโมง	38 °C	71.77	61.8

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าผลผลิตและปริมาณฟอสเฟตที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดที่ใช้เพิ่มขึ้น จนกระทั่งที่ความเข้มข้น 70% ผลผลิตที่ได้จึงลดลง ซึ่งการที่ร้อยละผลผลิตและปริมาณฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 70% ลดลงอาจมีสาเหตุจากปริมาตรกรดฟอสฟอริกที่น้อยเกินไปทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับเนื้อสารจนสมบูรณ์ทั่วบีกเกอร์ได้

4.2 การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

จากปฏิกิริยาการเตรียมทำปุ๋ยฟอสเฟต โดยใช้สารตั้งต้นเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมจากเปลือกหอยนางรม มาทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริก โดยเมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดลงแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมฟอสเฟต ที่มีลักษณะเป็นผง เพื่อหาความเข้มข้นของฟอสฟอริกที่เหมาะสมที่สุด สำหรับสังเคราะห์ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต

4.2.1 วิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) ได้ผลดังนี้

4.2.1.1) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่าง SP-P10, SP-P20, SP-P30, SP-P40, SP-50, SP-P60 และ SP-P70 เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นที่เหมาะสมจะใช้ทำปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่าง SP-P10, SP-P20, SP-P30, SP-P40, SP-50, SP-P60 และ SP-P70

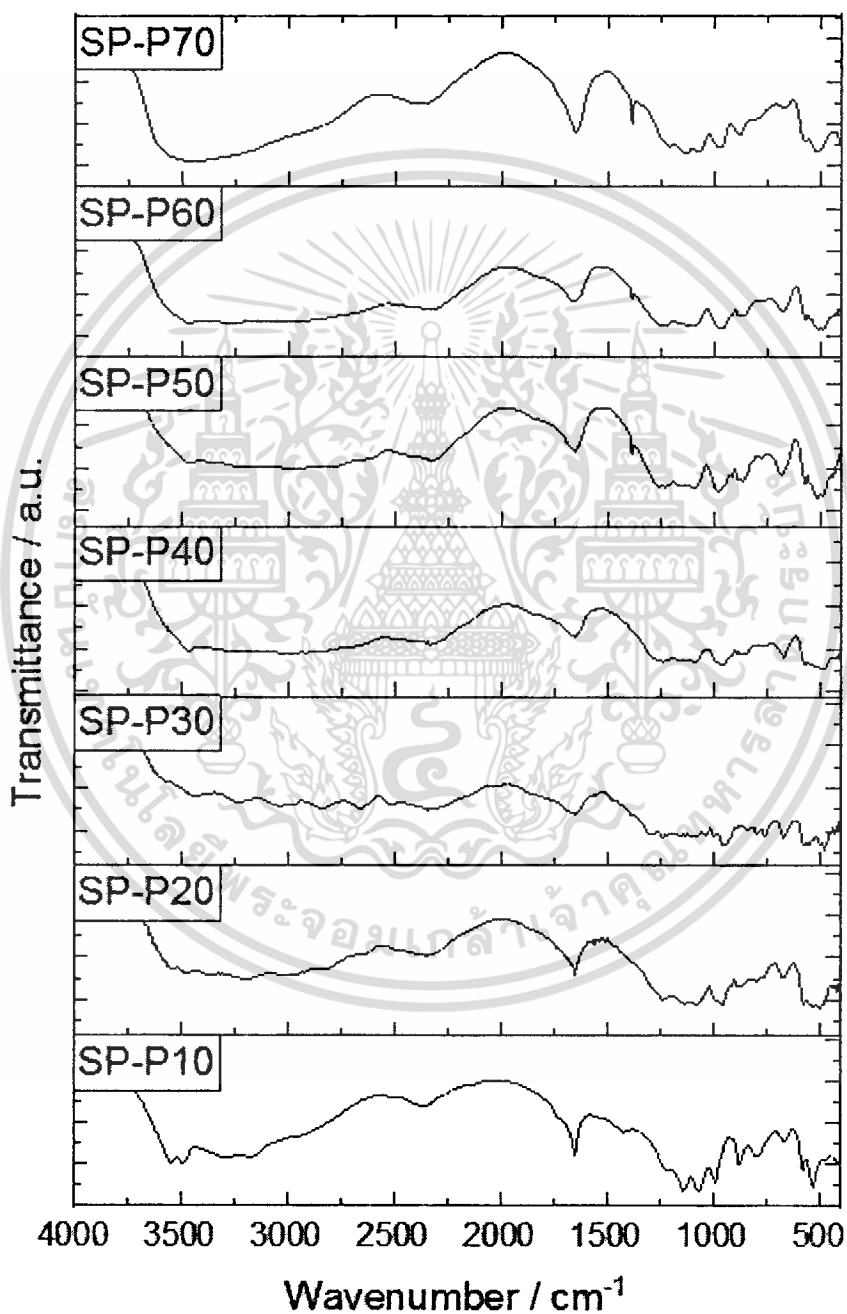
ตัวอย่าง	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
SP-P10	1.91	18.9	41.4	0.712	0.268	35.7	0.942
SP-P20	2.69	10.8	60.4	0.630	0.193	24.7	0.502
SP-P30	2.22	3.12	74.1	0.432	-	19.7	0.431
SP-P40	1.23	2.53	77.2	0.417	-	18.2	0.354
SP-P50	0.494	2.99	76.4	0.429	-	19.3	0.340
SP-P60	0.571	2.48	77.4	0.403	-	18.7	0.337
SP-P70	0.723	5.37	61.8	0.602	0.107	31.0	0.458

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) ผลการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 3 ช่วงอย่างเห็นได้ชัด ได้แก่ SP-P10 และ SP-P20 ปริมาณกรดที่ใช้มีมากจึงไม่สามารถทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตเกิดปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริกจนทั่วได้ปริมาณ P₂O₅ ที่ได้จึงมีน้อย SP-P30, SP-P40, SP-P50 และ SP-P60 แคลเซียมคาร์บอเนตเกิดปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริกได้เกือบหมด สารตั้งต้นส่วนใหญ่เกิดปฏิกิริยากันสมบูรณ์ทำให้ได้อัตราส่วน P₂O₅ สูง ส่วน SP-P70 นั้นกรดฟอสฟอริกที่ใช้มีปริมาณน้อยเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยากันสมบูรณ์จนทั่วได้ปริมาณ P₂O₅ ที่ได้จึงลดลง ดังนั้นช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมของกรดฟอสฟอริกในการใช้สังเคราะห์ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตควรอยู่ระหว่าง 30-60%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 รูปแบบการสั่นของพันธะจากการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด

ผลการตรวจสอบพันธะภายในโมเลกุลโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพันธะ (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR)



ภาพที่ 4.1 IR Spectra ของ SP-P10, SP-P20, SP-P30, SP-P40, SP-P50, SP-P60 และ SP-P70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ระบุพิกัดที่พบจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR ได้ดังนี้

Wavenumber (cm ⁻¹)							ชนิดพิกัดที่พบ
SP-P10	SP-P20	SP-P30	SP-P40	SP-P50	SP-P60	SP-P70	
3488	3472	3418	3465	3463	3466	3464	O-H stretching
1650	1651	1656	1657	1657	1656	1650	O-H bending
1209	1233	1296	1239	1255	1238	1382	P-OH stretching
1066	1077	1079	1088	1089	1088	1073	PO ₄ stretching
990	958	948	957	979	963	969	P-O stretching
873	875	833	865	858	856	880	P-O(H) stretching
662, 576	667, 571	667, 579	670, 568	681, 568	674, 568	669, 572	Characteristic bands of PO ₄ ³⁻
528	490	478	487	512	493	516	Ca-O stretching

มีการพบพิกัดของ CaO ที่ 528 490 478 487 512 493 และ 516 cm⁻¹ ในตัวอย่างที่ใช้กรดฟอสฟอริก 10% 20% 30% 40% 50% 60% และ 70% ตามลำดับ และมีการพบพิกัดที่เป็นเอกลักษณ์ของฟอสเฟตในตัวอย่างที่ใช้ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก 10% โดยน้ำหนักพบพิกัดที่ 576 และ 662 cm⁻¹ ที่ 20% โดยน้ำหนักพบพิกัดที่ 574 และ 667 cm⁻¹ ที่ 30% โดยน้ำหนักพบพิกัดที่ 579 และ 667 cm⁻¹ ที่ 40% โดยน้ำหนักพบพิกัดที่ 568 และ 670 cm⁻¹ ที่ 50% โดยน้ำหนักพบพิกัดที่ 568 และ 681 cm⁻¹ ที่ 60% โดยน้ำหนักพบพิกัดที่ 568 และ 674 cm⁻¹ ที่ 70% โดยน้ำหนักพบพิกัดที่ 572 และ 669 cm⁻¹ พบพิกัดของ P-O(H) stretching ที่ 873 875 833 865 858 856 และ 880 cm⁻¹ ในตัวอย่างที่ใช้กรดฟอสฟอริก 10% 20% 30% 40% 50% 60% และ 70% ตามลำดับ พบพิกัดของ P-O stretching ที่ 990 958 948 957 979 963 และ 969 cm⁻¹ ในตัวอย่างที่ใช้กรดฟอสฟอริก 10% 20% 30% 40% 50% 60% และ 70% ตามลำดับ พบพิกัดของ PO₄ stretching ที่ 1066, 1077, 1079, 1088, 1089, 1088 และ 1073 ในตัวอย่างที่ใช้กรดฟอสฟอริก 10% 20% 30% 40% 50% 60% และ 70% ตามลำดับ พบพิกัดของ P-OH stretching ที่ 1209 1233 1296 1239 1255 1238 และ 1382 cm⁻¹ ในตัวอย่างที่ใช้กรดฟอสฟอริก 10% 20% 30% 40% 50% 60% และ 70% ตามลำดับ พบพิกัดของ O-H bending ที่ 1650 1651 1656 1657 1657 1656 และ 1650 cm⁻¹ ในตัวอย่างที่ใช้กรดฟอสฟอริก 10% 20% 30% 40% 50% 60% และ 70% ตามลำดับ รวมถึงยังพบพิกัด O-H stretching ของพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลผลึกของ Ca(H₂PO₄)₂·H₂O ที่ 3488 3472 3418

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3465 3463 3466 และ 3464 cm^{-1} ในตัวอย่างที่ใช้กรดฟอสฟอริก 10% 20% 30% 40% 50% 60% และ 70% ตามลำดับ

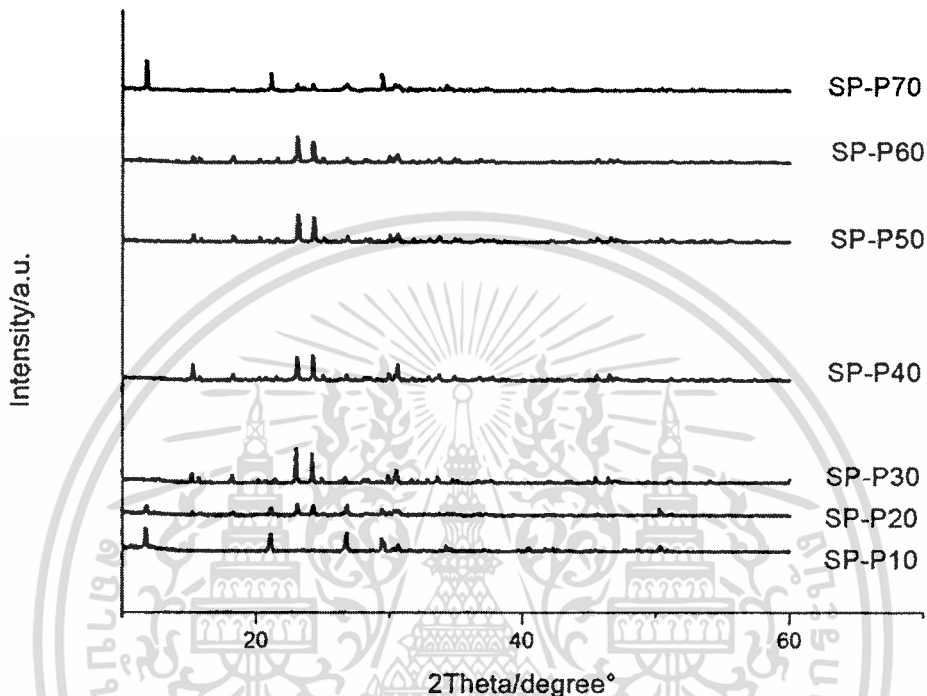
จากผลการวิเคราะห์รูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์แทรนสฟอร์มอินฟราเรด (Vibration spectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) แสดงให้เห็นว่าในสารตัวอย่างทั้ง 7 ตัวอย่างพบพันธะของสารประกอบฟอสเฟตที่สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น (Kyung Hee Park et al.) และมีการพบพันธะของสารปนเปื้อนเล็กน้อย พบพิกัดแปลกปลอมมากในสารตัวอย่าง SP-P10 SP-P20 และ SP-P70 ตัวอย่างที่มีพิกัดสมบูรณ์และการปนเปื้อนน้อยคือ SP-P30, SP-P40, SP-P50 และ SP-P60 ดังนั้นช่วงความเข้มข้นกรดฟอสฟอริกที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตคือ 30-60%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 โครงสร้างและขนาดของโครงสร้างผลึก

ตรวจสอบเอกลักษณ์ทางโครงสร้างและขนาดผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD)



ภาพที่ 4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ SP-P10, SP-P20, SP-P30 , SP-P40, SP-P50 , SP-P60 , SP-P70

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD) การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ SP-P10 ทำมุมที่ 11.88° , 20.88° , 26.64° การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ SP-P20 ทำมุมที่ 7.76° , 11.72° , 23.04° , 24.28° , 26.92° , 50.4° การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ SP-P30 ทำมุมที่ 23.04° , 24.04° การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ SP-P40 ทำมุมที่ 15.2° , 23.0° ,การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ SP-P50 ทำมุมที่ 23.16° , 24.36° การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ SP-P60 ทำมุมที่ 23.16° , 24.36° และการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ SP-P70 ทำมุมที่ 11.52° , 21.26°

เมื่อนำสารตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractioion , XRD) พบว่าสารตัวอย่าง SP-P30, SP-P40, SP-P50 และ SP-P60 มีการเลี้ยวเบนรังสีภายใน

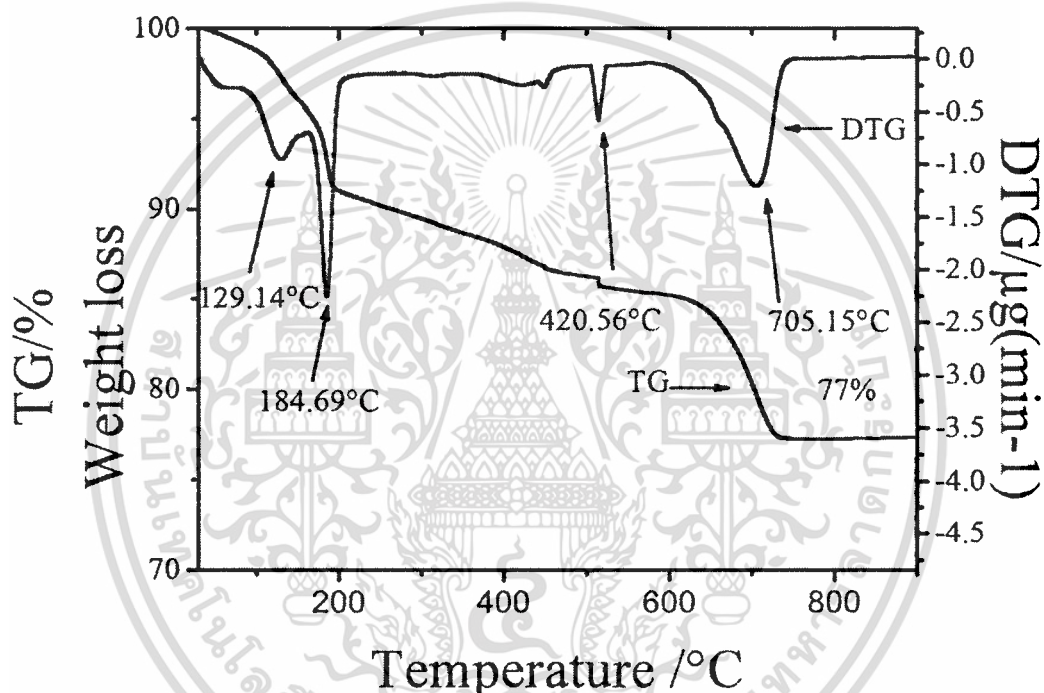
โครงสร้างผลึกใกล้เคียงกันมาก แต่สารตัวอย่างที่ใช้กรดเข้มข้น SP-P10 SP-P20 และ SP-P70 พบการเลี้ยวเบนรังสีภายในโครงสร้างผลึกของสารเจือปนแตกต่างไปจากสารตัวอย่างที่เหลือ ดังนั้นที่ช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นไปอนภาวดีให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก 30-60% จึงเป็นช่วงที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้สังเคราะห์ปุ๋ย ซุปเปอร์ฟอสเฟต

4.2.4 เอกลักษณะการสลายตัว TGA

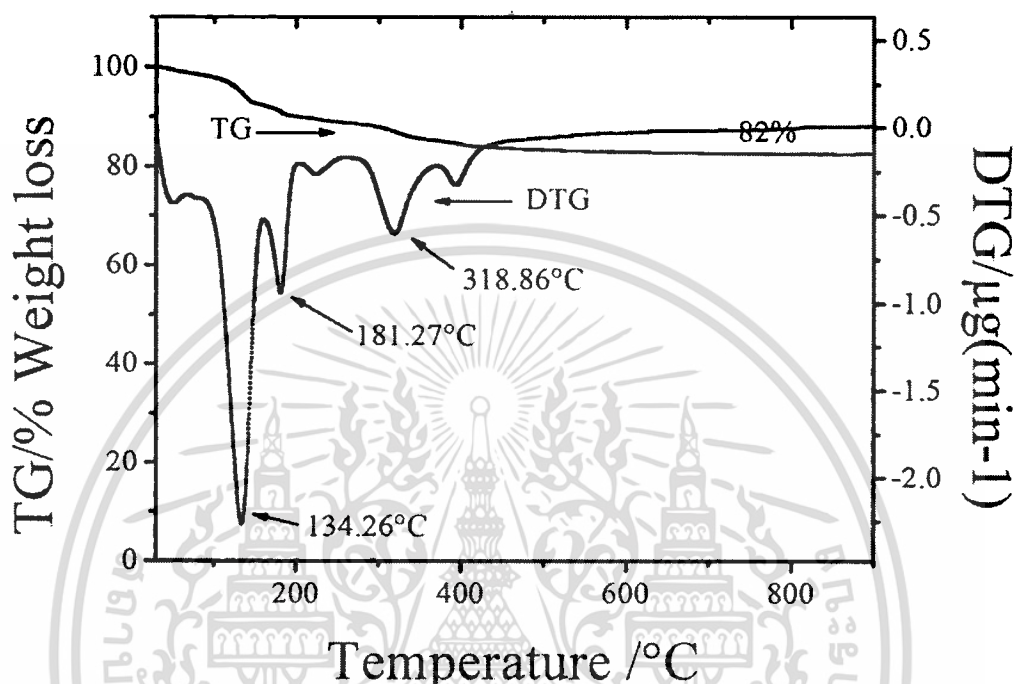
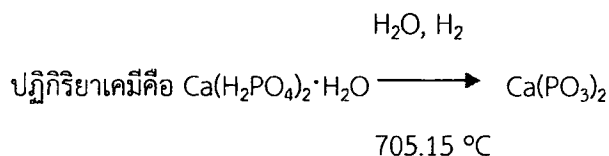
ตรวจสอบปริมาณน้ำในโครงผลึกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)



ภาพที่ 4.3 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ SP-P10

ผลการยืนยันเอกลักษณ์ของไดแคลเซียมฟอสเฟตในความเข้มข้น 10% การสลายตัวทางความร้อน 4 ช่วง มีการสูญเสียมวลเล็กน้อยในช่วง 100-200 °C (-2.247%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 129.14 °C และ 184.69 °C จากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 400-500 °C (-0.248%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 420.56 °C และจากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 700-800 °C (-1.211%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 705.15 °C มีสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ร้อยละ 77

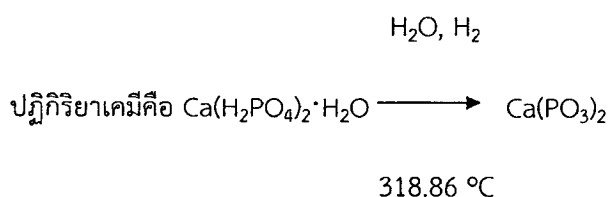
เอกสารนี้ปฏิบัติภายใต้ภาพที่ 4.3 สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



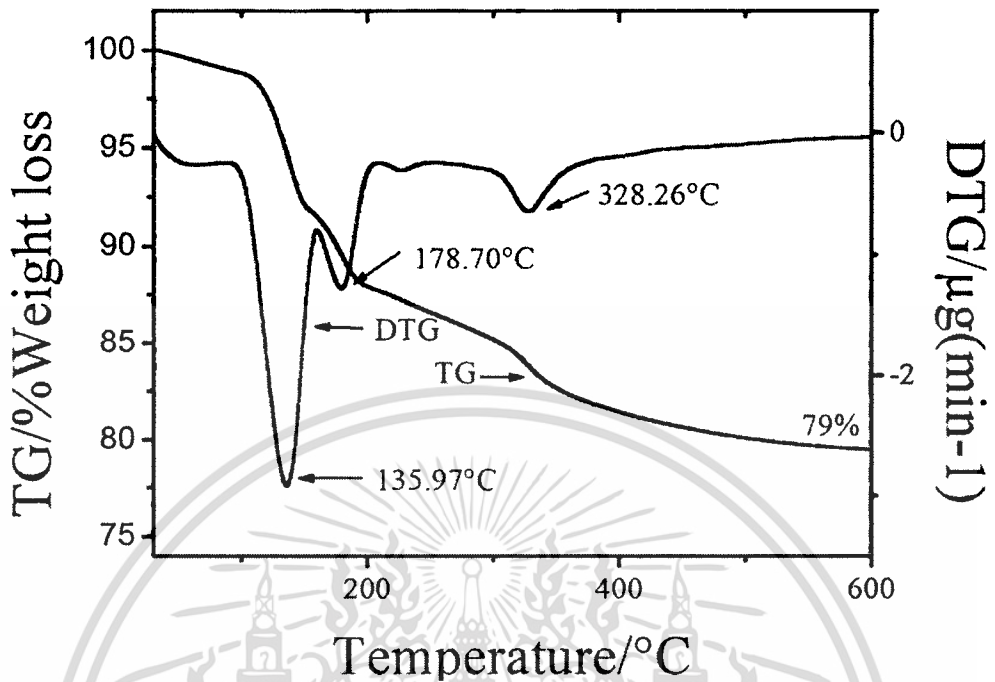
ภาพที่ 4.4 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ SP-P20

ผลการยืนยันเอกลักษณ์ของโดแคลเซียมฟอสเฟตในความเข้มข้น 20% การสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง มีการสูญเสียมวลมากในช่วง 100-200 °C (-2.264 %) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 134.26 °C และ 181.27 °C จากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 300-400 °C (-0.941%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 318.86 °C (-0.602%) มีสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ร้อยละ 82

ปฏิกิริยาเคมีภาพที่ 4.4



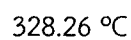
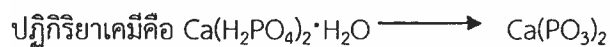
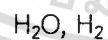
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



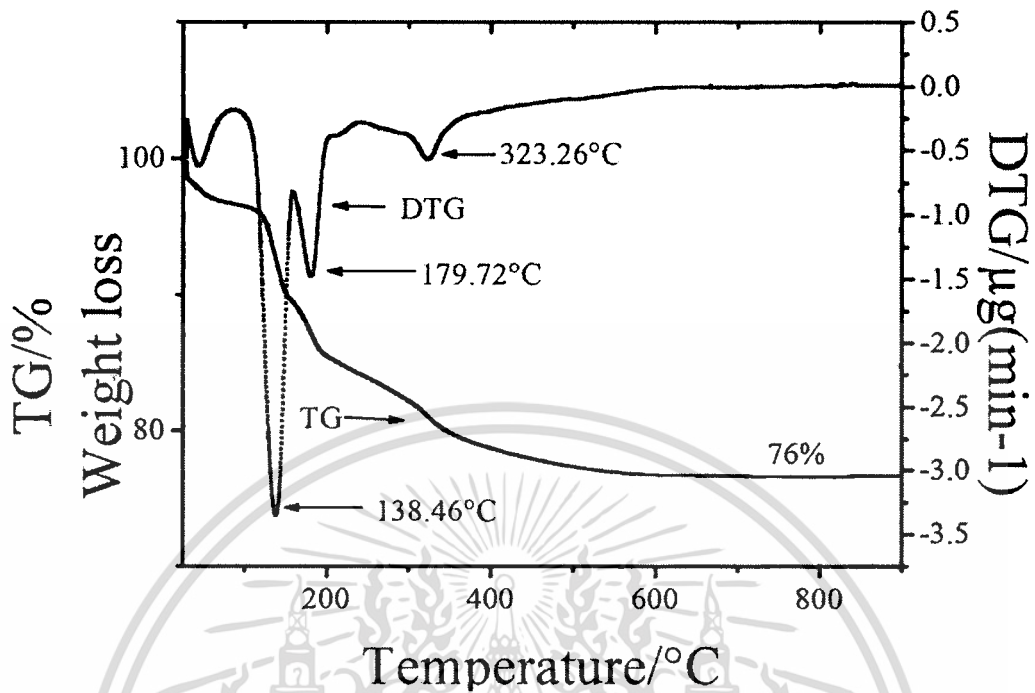
ภาพที่ 4.5 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ SP-P30

ผลการยืนยันเอกลักษณ์ของไดแคลเซียมฟอสเฟตในความเข้มข้น 30% การสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง มีการสูญเสียมวลมากในช่วง 100-200 °C (-2.919%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 135.97 °C และ 178.70 °C จากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 300-400 °C (-0.647%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 328.26 °C มีสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ร้อยละ 79

ปฏิกิริยาเคมีภาพที่ 4.5



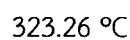
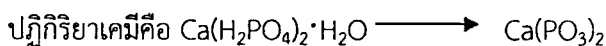
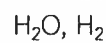
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



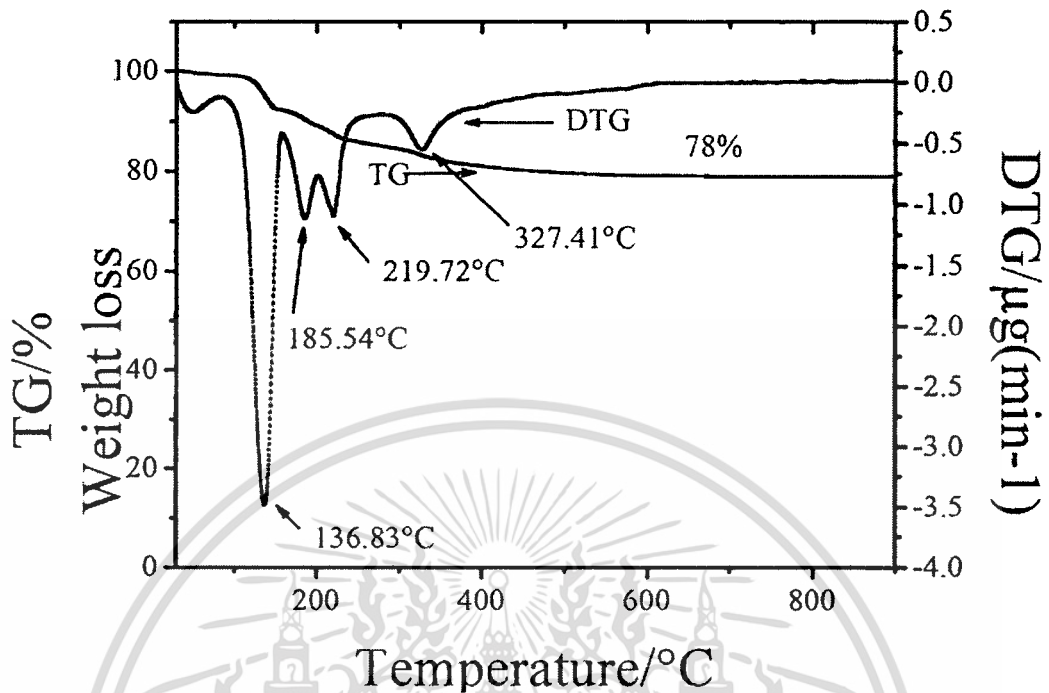
ภาพที่ 4.6 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ SP-P40

ผลการยืนยันเอกลักษณ์ของไดแคลเซียมฟอสเฟตในความเข้มข้น 40% การสลายตัวทางความร้อน 3 ช่วง มีการสูญเสียมวลมากในช่วง 100-200 °C (-3.355%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 138.46 °C และ 179.72 °C จากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 300-400 °C (-0.572%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 323.26 °C มีสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ร้อยละ 76

ปฏิกิริยาเคมีภาพที่ 4.6



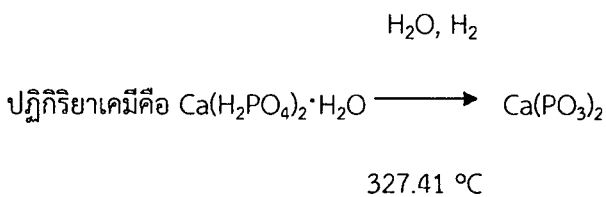
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



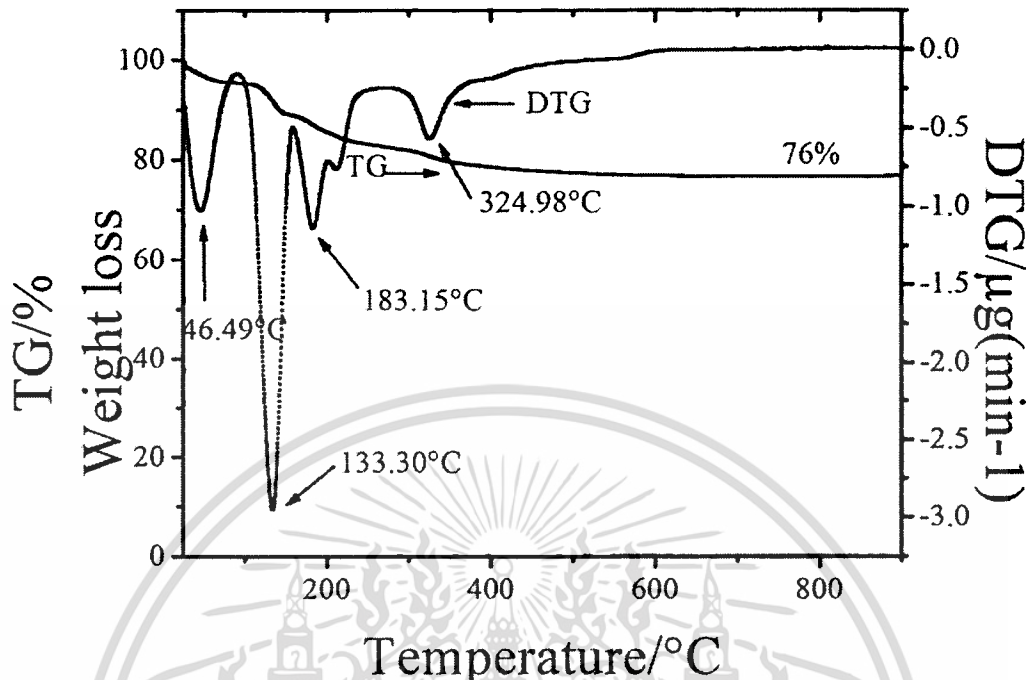
ภาพที่ 4.7 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ SP-P50

ผลการยืนยันเอกลักษณ์ของไดแคลเซียมฟอสเฟตในความเข้มข้น 50% การสลายตัวทางความร้อน 4 ช่วง มีการสูญเสียมวลมากในช่วง 100-200 °C (-3.483%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 136.83 °C และ 185.54 °C จากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 200-300 °C (-1.092%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 219.72 °C จากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 300-400 °C (-0.550%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 327.41 °C มีสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ร้อยละ 78

ปฏิกิริยาเคมีภาพที่ 4.7



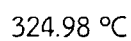
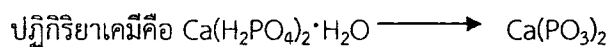
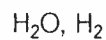
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



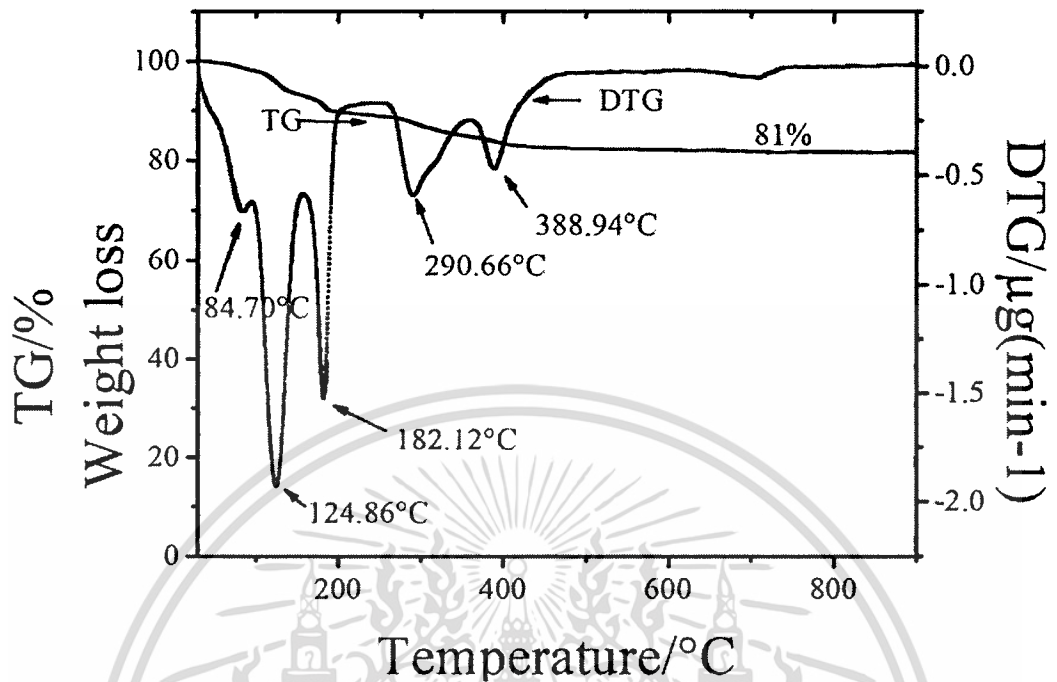
ภาพที่ 4.8 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ SP-P60

ผลการยืนยันเอกลักษณ์ของไดแคลเซียมฟอสเฟตในความเข้มข้น 60% การสลายตัวทางความร้อน 4 ช่วง มีการสูญเสียมวลเล็กน้อยในช่วง 25-100°C (-1.028%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 46.49 °C และจากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 100-200 °C (-2.946%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 133.30 °C และ 183.15 °C จากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 300-400 °C (-0.573%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 324.98 °C มีสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ร้อยละ 76

ปฏิกิริยาเคมีภาพที่ 4.8



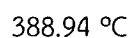
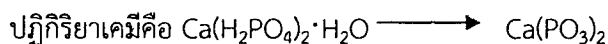
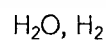
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 เทอร์โมแกรมของ SP-P70

ผลการยืนยันเอกลักษณ์ของไดแคลเซียมฟอสเฟตในความเข้มข้น 70% การสลายตัวทางความร้อน 5 ชั่วโมง มีการสูญเสียมวลเล็กน้อยในช่วง 0-100 °C (-0.665%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 84.70°C และจากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 100-200°C (-1.930%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 124.86 °C และ 182.12 °C และจากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 200-300 °C (-0.590%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 290.66 °C จากนั้นสูญเสียมวลอีกในช่วง 300-400 °C (-0.469%) สอดคล้องกับพีค DTG ที่ 388.94 °C มีสารอนุพันธ์สุดท้ายเหลืออยู่ร้อยละ 81

ปฏิกิริยาเคมีภาพที่ 4.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อน (TGA) เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของสารตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงอุณหภูมิต่างๆ พบว่าสารทั้ง 7 ตัว มีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวต่างกัน โดยแบ่งเป็น 3 ช่วงดังนี้ SP-P10 พบการสลายตัวที่อุณหภูมิ 600-700 °C ของ CaCO_3 บางส่วนซึ่งเกิดจากการที่สารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยากับกรดไม่หมด ส่วน SP-P20, SP-P30, SP-P40, SP-P50 และ SP-P60 พบการสลายตัวแบ่งเป็น 3 ช่วงที่อุณหภูมิลikeเดียวกัน และสุดท้าย SP-P70 พบการสลายตัวในช่วงสุดท้ายแบ่งเป็น 2 ช่วงอาจเกิดจากการที่สารแห้งเร็วเกินไป ทำให้สารประกอบเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ ดังนั้นกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 20-60% จึงเป็นช่วงที่เหมาะสมจะนำมาผลิตปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ทางกายภาพ

จากปฏิกิริยาการเตรียมทำปุ๋ยฟอสเฟต โดยใช้สารตั้งต้นเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมจากเปลือกหอยนางรม มาทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริก โดยเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลงแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นไดแคลเซียมฟอสเฟต ที่มีลักษณะเป็นผง เพื่อหาความเข้มข้นของซัลฟิวริกที่เหมาะสมที่สุด แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก จะได้ผลิตภัณฑ์เป็น ปุ๋ยฟอสเฟต โดยการทดลองจะใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 1 กิโลกรัมผสมกับกรดฟอสฟอริกในอัตราส่วนที่เหมาะสม แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก ในอัตราส่วน 8:2

4.3.1 รูปร่างทางสัณฐานวิทยา

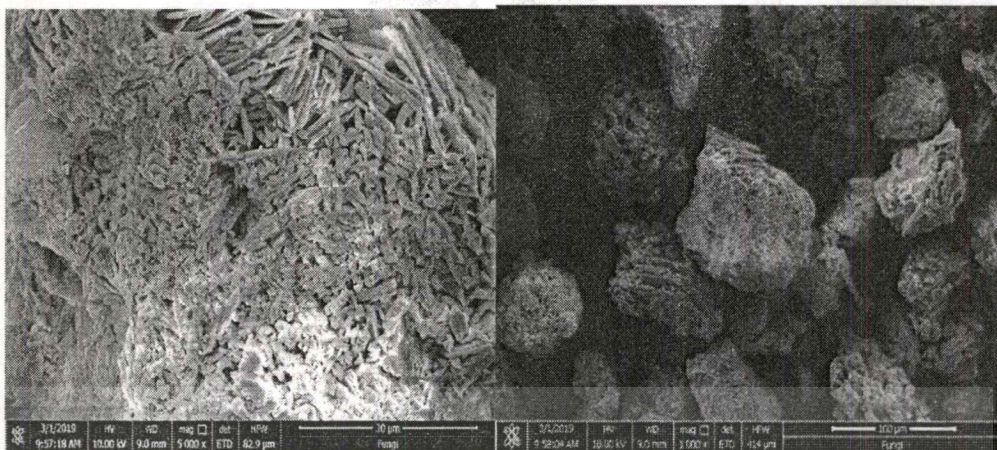
ตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(Scanning electron microscope, SEM)



ภาพที่ 4.10 รูปร่างสัณฐานวิทยาของ SP-P10

ผลเอกลักษณ์ทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) พบว่าไดแคลเซียมฟอสเฟตมีลักษณะเป็นแผ่นขนาดเล็ก มีหลายรูปร่าง เกาะตัวกันเป็นแผ่น ขนาด 30 และ 100 ไมโครเมตร แสดงในภาพที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 รูปสัณฐานวิทยาของ SP-P20

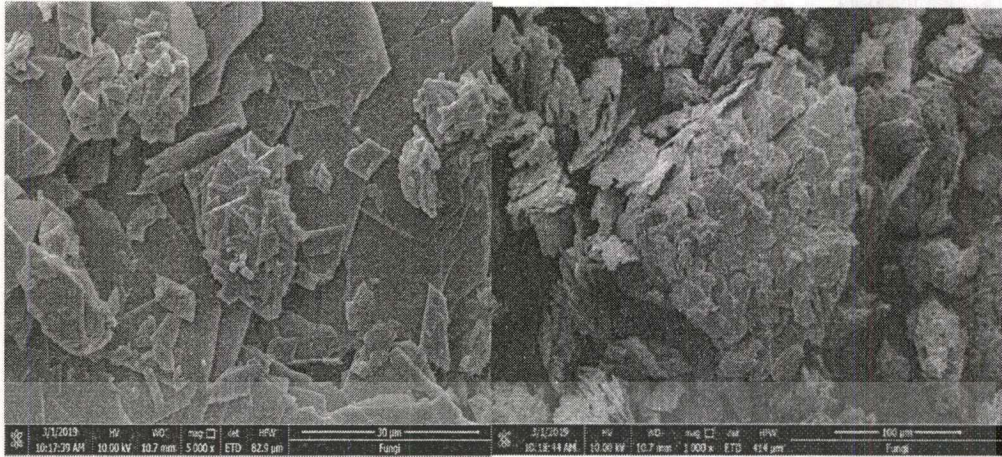
ผลเอกลักษณ์ทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) พบว่าไดแคลเซียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแผ่นเรียวยาวขนาดเล็ก เกาะตัวกันเป็นแผ่น ขนาด 30 และ 100 ไมโครเมตร แสดงในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.12 รูปสัณฐานวิทยาของ SP-P30

ผลเอกลักษณ์ทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) พบว่าไดแคลเซียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ ขอบแหลม เกาะตัวกันเป็นกลุ่ม ขนาด 30 และ 100 ไมโครเมตร แสดงในภาพที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 รูปสัณฐานวิทยาของ SP-P40

ผลเอกลักษณ์ทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) พบว่าไดแคลเซียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมมีขนาดใหญ่ ขอบแหลม เกะตัวกันเป็นกลุ่ม ขนาด 30 และ 100 ไมโครเมตร แสดงในภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.14 รูปสัณฐานวิทยาของ SP-P50

ผลเอกลักษณ์ทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) พบว่าไดแคลเซียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่

ขอบแหลม เกะตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ขนาด 30 และ 100 ไมโครเมตร แสดงในภาพที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อรู้เห็นให้รีบแจ้งไปยังเจ้าหน้าที่ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 รูปสัณฐานวิทยาของ SP-P60

ผลเอกลักษณ์ทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) พบว่าไดแคลเซียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ขอบแหลม เกาะตัวกันเป็นกลุ่ม ขนาด 30 และ 100 ไมโครเมตร แสดงในภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.16 รูปสัณฐานวิทยาของ SP-P70

ผลเอกลักษณ์ทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) พบว่าไดแคลเซียมฟอสเฟต มีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ เกาะตัวกันเป็นกลุ่ม ขนาด 30 และ 100 ไมโครเมตร แสดงในภาพที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope , SEM) สารตัวอย่าง SP-P10 และ SP-P20 มีลักษณะเป็นแผ่นเรียวย่อยเล็กหลายรูปร่าง สารตัวอย่าง SP-P30, SP-P40, SP-P50 และ SP-P60 มีลักษณะเป็นทรงเหลี่ยม มีการจับตัวเป็นก้อนดี และสารตัวอย่าง SP-P70 มีการจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่ ดังนั้นความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่เหมาะสมจะนำมาใช้ผลิตปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตคือช่วง 30-60%

4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและต้นทุนสารเคมีของปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตทั้ง 3 ชนิดที่สังเคราะห์ได้

เมื่อประเมินจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ รวมถึงการวิเคราะห์ร้อยละผลิตภัณฑ์และปริมาณฟอสเฟตที่เกิดขึ้น ได้ข้อสรุปว่ากรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 60% โดยน้ำหนักมีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ผลิตปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต เนื่องจากมีร้อยละผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นรวมถึงปริมาณฟอสเฟตมากที่สุด จึงทำการทดลองสังเคราะห์ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตโดยใช้กรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 60% และเมื่อนำปุ๋ยซิงเกิลซูเปอร์ฟอสเฟต ดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟตและทริเบิลซูเปอร์ฟอสเฟตที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคำนวณต้นทุนสารเคมีที่ใช้ได้ผลดังนี้

4.4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตทั้ง 3 แบบ

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยซิงเกิลซูเปอร์ฟอสเฟต ดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟตและทริเบิลซูเปอร์ฟอสเฟตด้วยเครื่อง XRF ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์สารประกอบทางเคมีของปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต

ตัวอย่าง	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CoO
SSP	0.95	0.985	2.40	2.55	33.70	41.34	0.10	17.54	0.395	-
DSP	5.60	2.05	-	1.70	65.54	12.6	0.14	12.00	0.413	-
TSP	3.16	1.50	1.90	1.90	56.6	21.90	0.15	12.33	0.437	0.108

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง XRF แสดงให้เห็นว่าในปุ๋ยซิงเกิลซูเปอร์ฟอสเฟตและทริเบิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีปริมาณฟอสเฟตสูงกว่าปริมาณทางทฤษฎีไม่มาก ส่วนในปุ๋ยดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟตพบฟอสเฟตจำนวนมากเกินไป อาจเกิดจากการที่สารเป็นของแข็งทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ส่งไปวิเคราะห์มีสัดส่วนฟอสเฟตและซัลเฟตที่คลาดเคลื่อนไปได้ นอกจากนี้ยังมีการพบสารโลหะหนักบางชนิดปนเปื้อนเล็กน้อย

ตารางที่ 4.5 ผลผลิตและต้นทุนสารเคมีของการผลิตปุ๋ยซิงเกิลซูเปอร์ฟอสเฟต ดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต และทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

ตัวอย่าง	CaCO ₃		H ₃ PO ₄		H ₂ SO ₄		ต้นทุนรวม (บาท)	ผลผลิตทางทฤษฎี (g.)	ต้นทุนต่อกิโลกรัม (บาท/kg.)
	น้ำหนัก (g.)	ต้นทุน (บาท)	ปริมาตร (ml.)	ต้นทุน (บาท)	ปริมาตร (ml.)	ต้นทุน (บาท)			
SSP	50	0.35	20.07	0.629	39.65	0.237	1.216	80.006	15.199
DSP	50	0.35	30.05	0.941	34.5	0.206	1.497	85.98	17.411
TSP	50	0.35	60.11	1.883	19.00	0.114	2.347	103.96	22.576

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยซิงเกิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีต้นทุนต่ำที่สุด และทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีต้นทุนสูงที่สุดคือ 15.199 และ 22.576 บาท/กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยเรื่อง “การผลิตปุ๋ยซุบเปอร์ฟอสเฟตจากเปลือกหอยนางรม” เปลือกหอยนางรม นั้นถูกทิ้งเป็นขยะจากอุตสาหกรรมประมงและอาหารเป็นจำนวนมาก จึงได้มีงานวิจัยเพื่อคัดค้านกระบวนการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าและลดปริมาณขยะเปลือกหอยนางรมที่เกิดขึ้นในประเทศไทยแต่ก็ยังคงมีเปลือกหอยนางรมที่เป็นขยะเหลือทิ้งอยู่ และเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการทำเกษตรกรรมอย่างแพร่หลาย ทำให้ต้องมีการนำเข้าปุ๋ยหรือสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ปุ๋ยเข้ามาจากต่างประเทศเป็นจำนวนมากซึ่งปุ๋ยเหล่านี้ก็มีการขายให้เกษตรกรในราคาแพง ผู้วิจัยเล็งเห็นประโยชน์ในจุดนี้และดำเนินการวิจัยเพื่อแปรรูปเปลือกหอยนางรมที่เหลือทิ้งเป็นขยะเหล่านี้ไปเป็นปุ๋ยซุบเปอร์ฟอสเฟตเพื่อใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรม ลดการนำเข้าปุ๋ยจากต่างประเทศ และลดต้นทุนของเกษตรกรอีกทางหนึ่งด้วย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยการผลิตปุ๋ยซุบเปอร์ฟอสเฟตจากเปลือกหอยนางรมเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร ได้มีการทำการทดลองโดยนำเปลือกหอยนางรมมาบดเป็นผงและคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงขนาด 50 เมช แล้วนำผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกหอยนางรมมาทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% และ 70% เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ผลิตปุ๋ยซุบเปอร์ฟอสเฟต จนได้สารประกอบแคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตทั้ง 7 ตัวอย่าง ได้แก่ SP-P10, SP-P20, SP-P30, SP-P40, SP-P50, SP-P60 และ SP-P70 แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีโดยวิธีการต่างๆ ได้แก่ วิเคราะห์อุณหภูมิของการสลายตัวด้วยเทคนิควิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อน (TGA) ตรวจสอบองค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) ตรวจสอบรูปแบบการสั่นของพันธะในโมเลกุลด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีการสั่นแบบฟูเรียร์แทรานสฟอร์มอินฟราเรด (Vibration spectroscopy; Fourier Transform Infrared, FTIR) ตรวจสอบโครงสร้างและขนาดของผลึก ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD) และตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) โดยผลการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ได้ข้อสรุปว่ากรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 60% โดยน้ำหนักมีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ผลิตปุ๋ยซุบเปอร์ฟอสเฟต

จากนั้นจึงทำการผลิตปุ๋ยซุบเปอร์ฟอสเฟตโดยใช้กรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 60% โดยน้ำหนักและมีการเติมกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนักเพื่อปรับปริมาณฟอสเฟตและเพิ่มซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นธาตุรองที่มีประโยชน์ต่อพืชลงไปด้วย จนได้สารประกอบ 3 ตัว ได้แก่ SSP, DSP และ TSP แล้วนำสารตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปตีประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเครื่อง XRF แสดงให้เห็นว่า SSP และ TSP มีปริมาณฟอสเฟตสูงกว่าปริมาณทางทฤษฎี ซึ่งจากงานวิจัยของ Jinshan Lu et al. พบว่าในเปลือกหอยนางรมเองก็มีการพบโมเลกุลฟอสเฟตเจือปนอยู่ด้วยจึงทำให้ปริมาณฟอสเฟตที่เกิดขึ้นสูงขึ้น ส่วนในปุ๋ยดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟตพบปริมาณฟอสเฟตมากเกินไป อาจเกิดจากการที่สารเป็นของแข็งทำให้ตัวอย่างที่ส่งไปวิเคราะห์มีสัดส่วนฟอสเฟตและซิลิเกตที่คลาดเคลื่อนไปได้ นอกจากนี้ยังมีการพบสารโลหะหนักบางชนิดปนเปื้อนในปุ๋ยเล็กน้อย อันเนื่องมาจากการที่หอยนางรมดูดซับไว้ในขณะที่ยังมีชีวิต แต่พบในระดับที่น้อยมากไม่เป็นอันตรายต่อการนำไปใช้เป็นปุ๋ยทางการเกษตร จึงสรุปได้ว่าสามารถนำเปลือกหอยนางรมมาผลิตเป็นปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตเพื่อเพิ่มมูลค่าและนำไปใช้ในทางเกษตรกรรมได้ เป็นการช่วยลดปริมาณขยะเปลือกหอยนางรมและลดต้นทุนการซื้อปุ๋ยของเกษตรกรอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้เปลือกหอยนางรม โดยการนำไปผลิตปุ๋ยปุ๋ยซิงเกิลซูเปอร์ฟอสเฟต ดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟตและทริปเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรได้ จึงควรมีการนำงานวิจัยนี้ไปต่อยอดโดยการวิจัยสถานะด้านอื่นๆด้วยเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตจากเปลือกหอยนางรมรวมถึงวิเคราะห์สารตั้งต้นเพื่อยืนยันปริมาณของสารปนเปื้อนที่มีอยู่เดิมในเปลือกหอยนางรมด้วย และพัฒนาต่อยอดเพื่อเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์และลดปริมาณขยะจากเปลือกหอยนางรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2015. สถิติการเลี้ยงหอยทะเลประจำปี 2556. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ดร. บรรจง บุญชม และ ดร. ภิเชก รุ่งโรจน์พรชัย. (2560). การผลิตสารประกอบแคลเซียมอินทรีย์จากเปลือกหอยและเปลือกไข่เพื่อการใช้งานต่างๆ(การศึกษาอิสระ). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นายสุพจิต สุขกันตะ, นางสาวภัทรภร ศรีขำนิ, นางสาวพรพรรณ เพ็องอักษร, นายฤทธิพร คมขุนทด, นางสาววิชุดา กัลยาศิริ, นายพรเทพ กลีบสำเภา, นางสาวจรรยา मुखพรหม, นายศุภเดช นิยมทอง. (2559). รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทย ปี พ.ศ.2559. สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 1 – 16 กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

Anonymous. IR Spectrum Table & Chart. [Online]. Available : <https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/biology/ir-spectrum-table.html>.

Jinshan Lu, Xinquan Cong, Yingde Li, Yong Hao, Chunlei Wang. 2018. Scalable recycling of oyster shells into high purity calcite powders by the mechanochemical and hydrothermal treatments. *jclepro*.172: 1978-1985.

Kyung Hee Park, Seok-Jae Kim, Woon-Young Lee, Ho-Jun Song, Yeong-Joon Park. 2017. Hydrothermal fabrication and characterization of calcium phosphate anhydrous/chitosan composites. *Ceramint*.43: 2786-2790.

Shih-Ching Wua, Hsueh-Chuan Hsu, Shih-Kuang Hsu, Chien-Pei Tseng, Wen-Fu Ho. 2017. Preparation and characterization of hydroxyapatite synthesized from oyster shell powders. *apt*.28: 1154-1158.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S. Seesanong, C. Laosinwattana, B. Boonchom. 2019. A simple rapid route to synthesize monocalcium phosphate monohydrate using calcium carbonate with different phases derived from green mussel shells. JMESC: 113-118.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

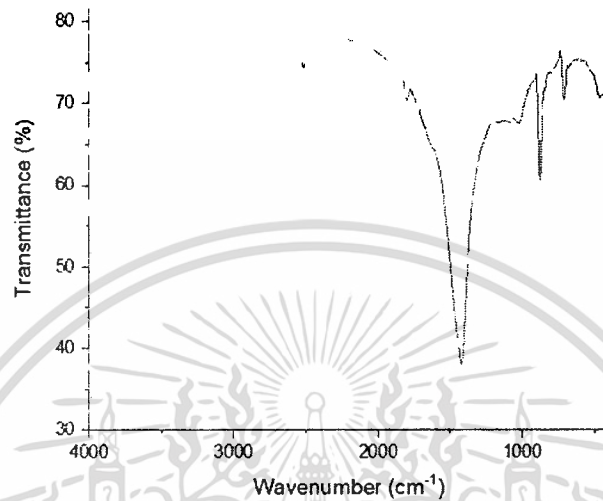


ภาคผนวก

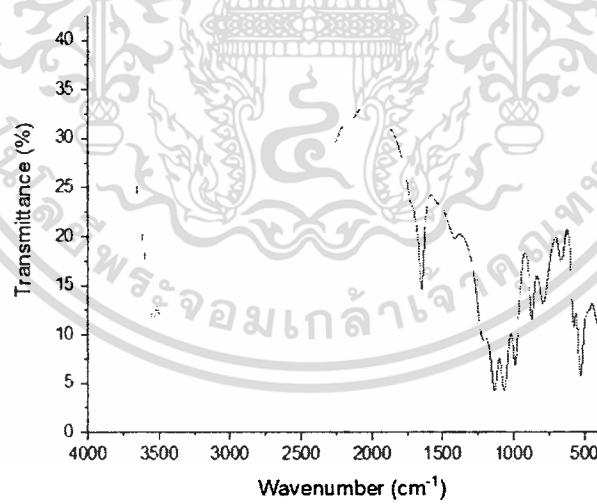
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ FT-IR ของสารตั้งต้นและตัวอย่าง SP-P10, SP-P20, SP-P30, SP-P40, SP-P50, SP-P60 และ SP-P70

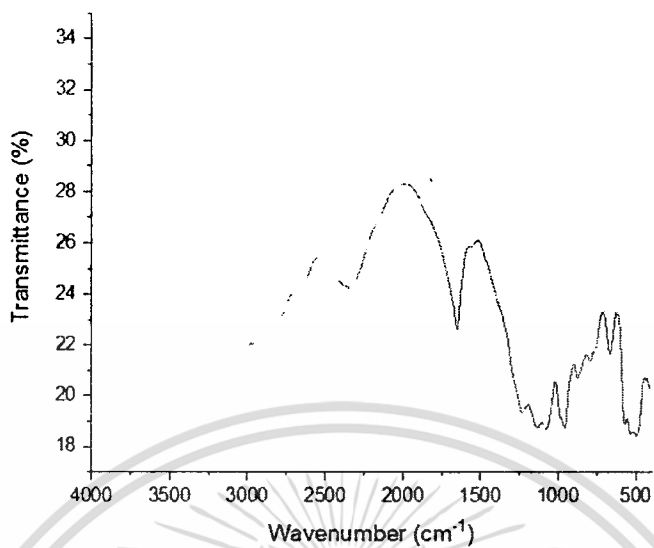


รูปที่ ก-1 IR Spectrum ของสารตั้งต้น CaCO₃ จากเปลือกหอยนางรม

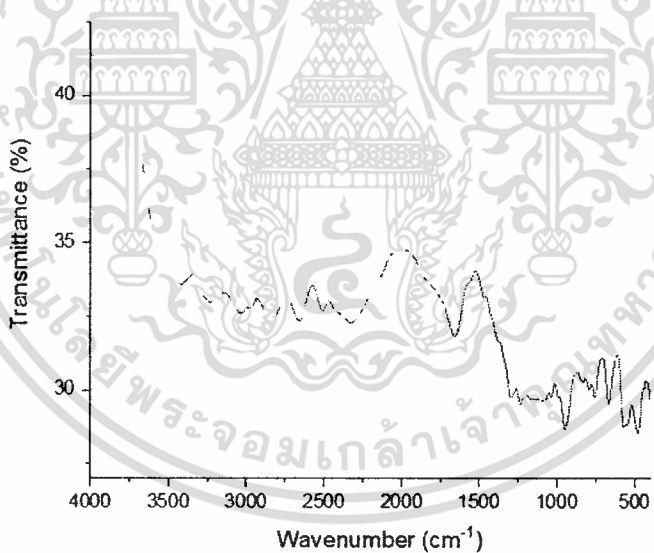


รูปที่ ก-2 IR Spectrum ของ SP-P10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

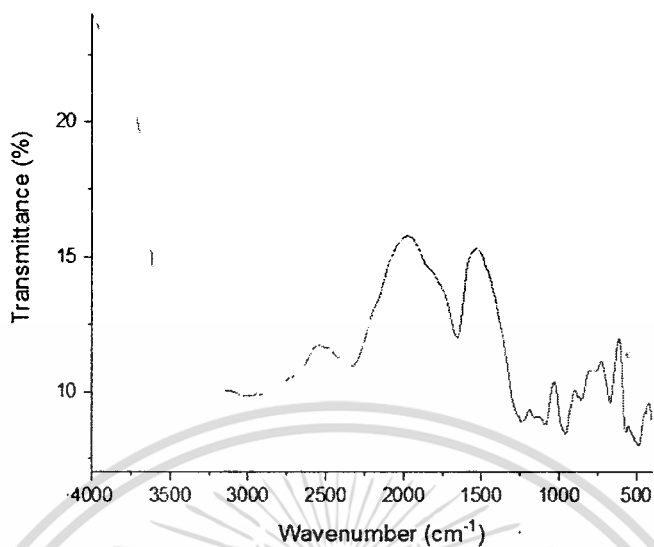


รูปที่ ก-3 IR Spectrum ของ SP-P20

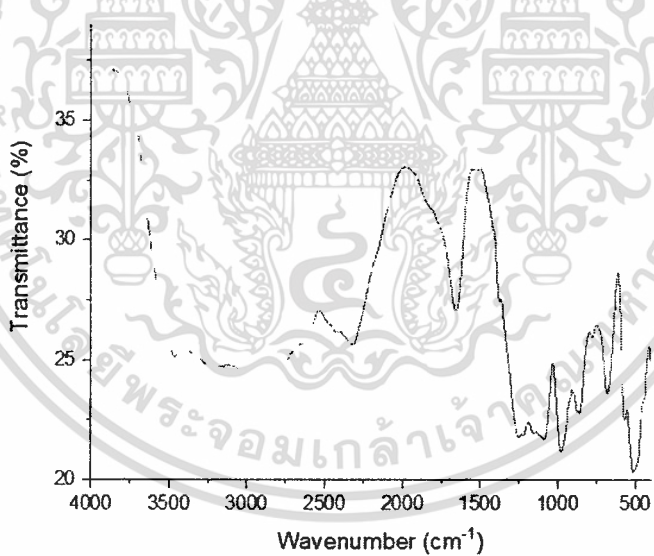


รูปที่ ก-4 IR Spectrum ของ SP-P30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

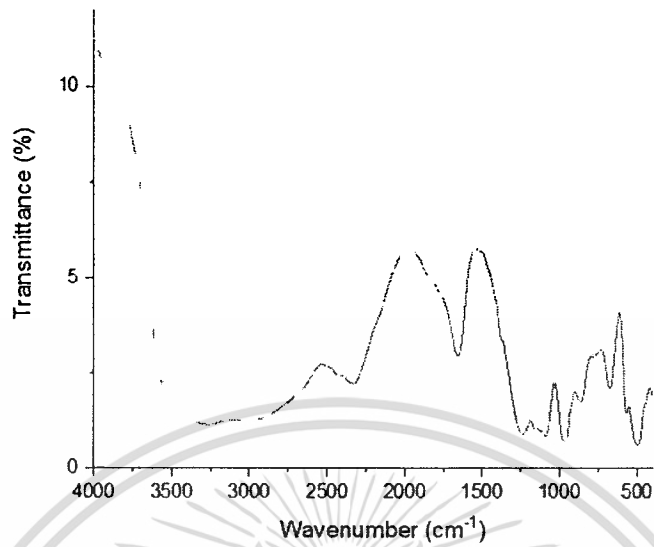


รูปที่ ก-5 IR Spectrum ของ SP-P40

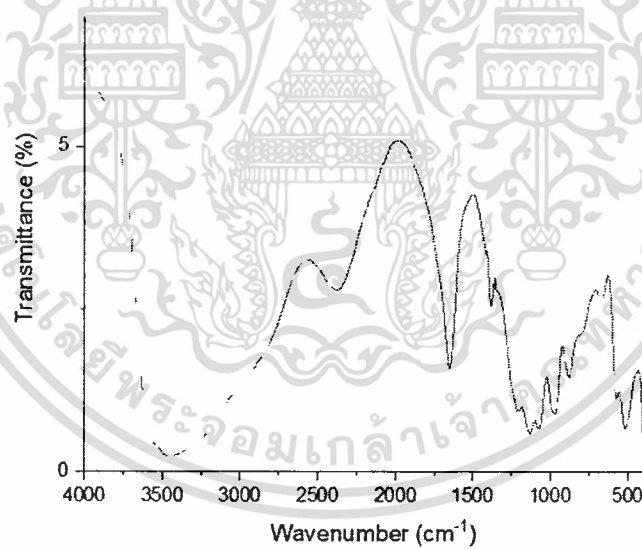


รูปที่ ก-6 IR Spectrum ของ SP-P50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



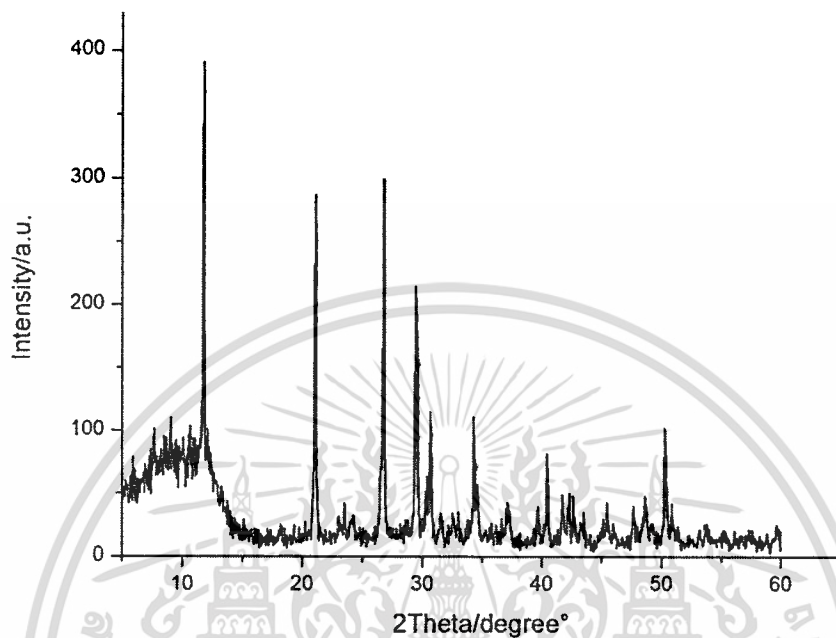
รูปที่ ก-7 IR Spectrum ของ SP-P60



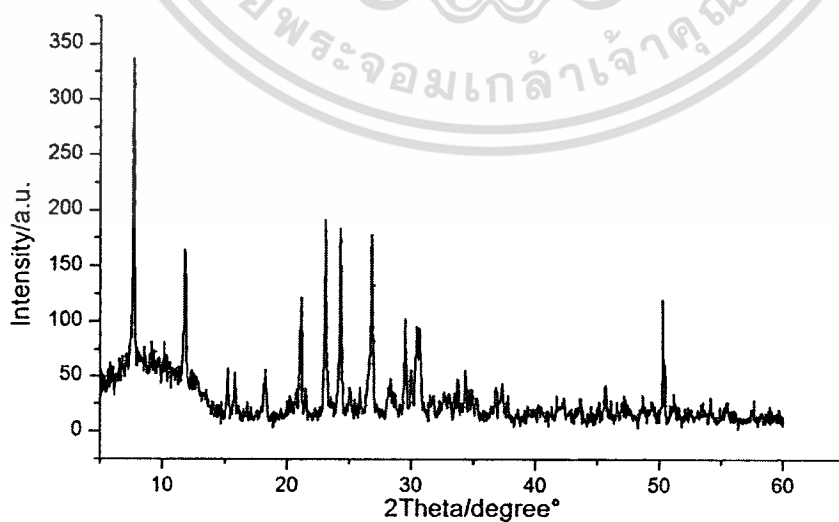
รูปที่ ก-8 IR Spectrum ของ SP-P70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

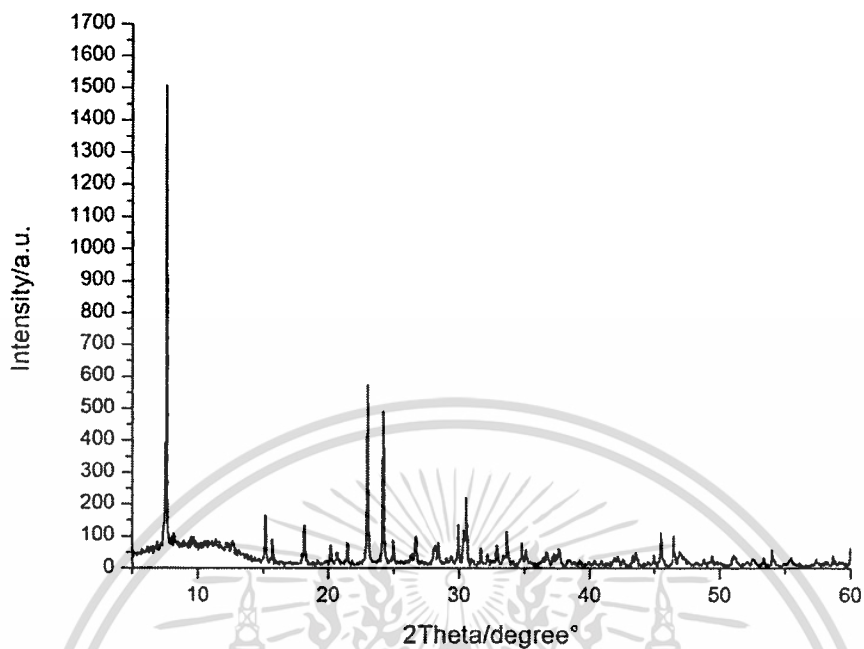
ผลการวิเคราะห์ XRD ของตัวอย่าง SP-P10, SP-P20, SP-P30, SP-P40, SP-P50, SP-P60 และ SP-P70



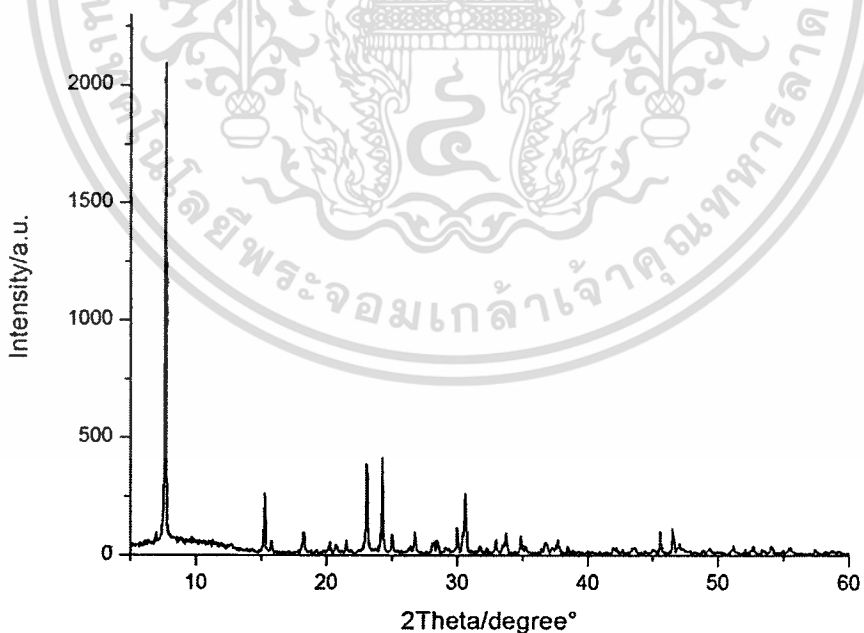
รูปที่ ก-9 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ SP-P10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในวงการศึกษาเท่านั้น ซึ่งอาจนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

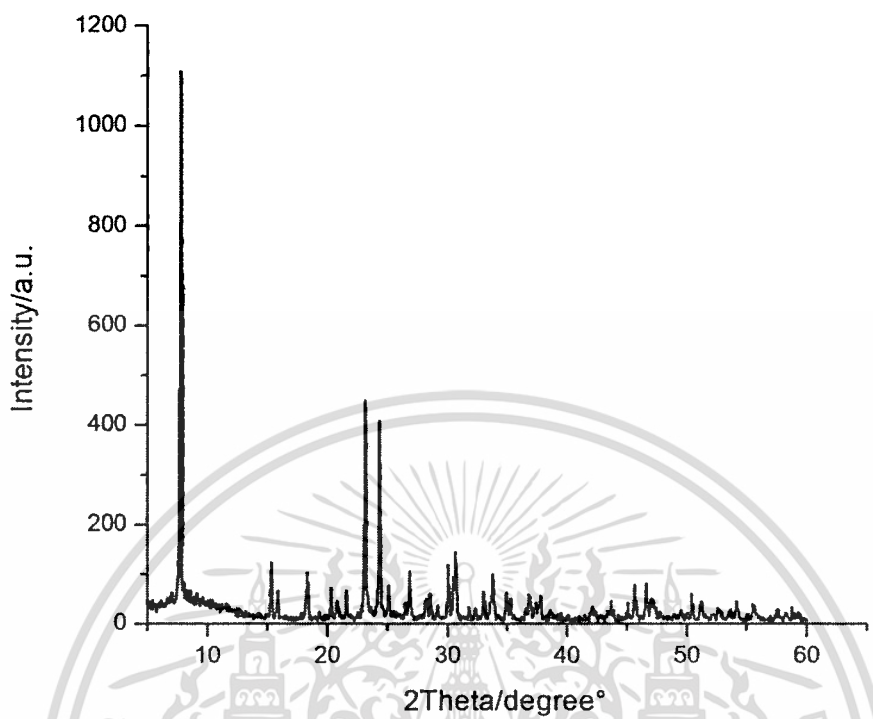


รูปที่ ก-11 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ SP-P30

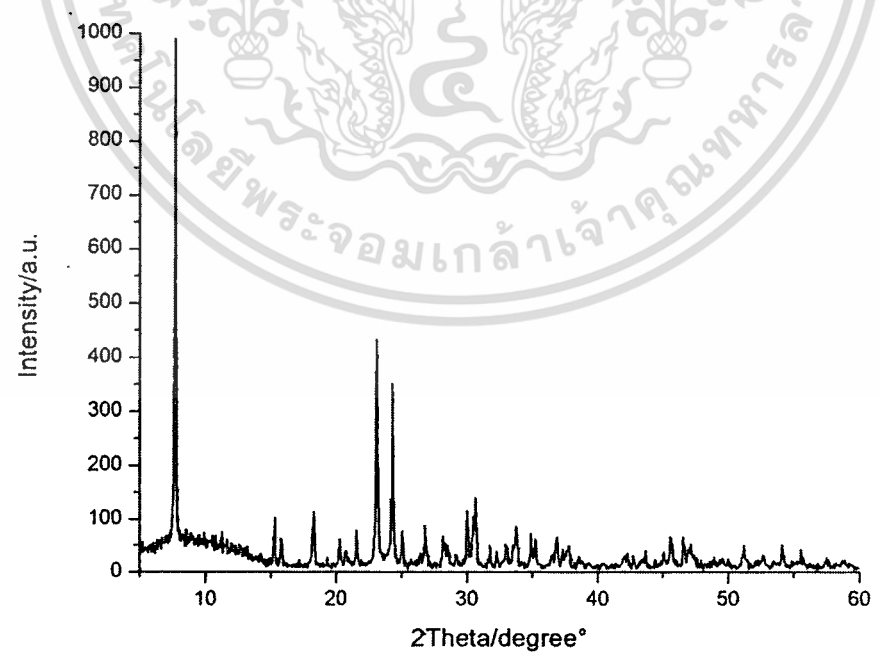


รูปที่ ก-12 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ SP-P40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

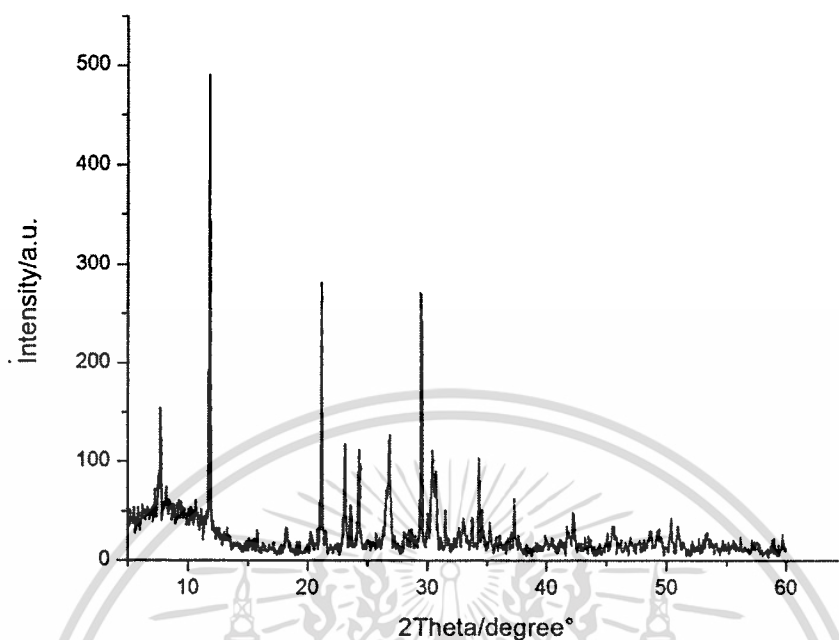


รูปที่ ก-13 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ SP-P50



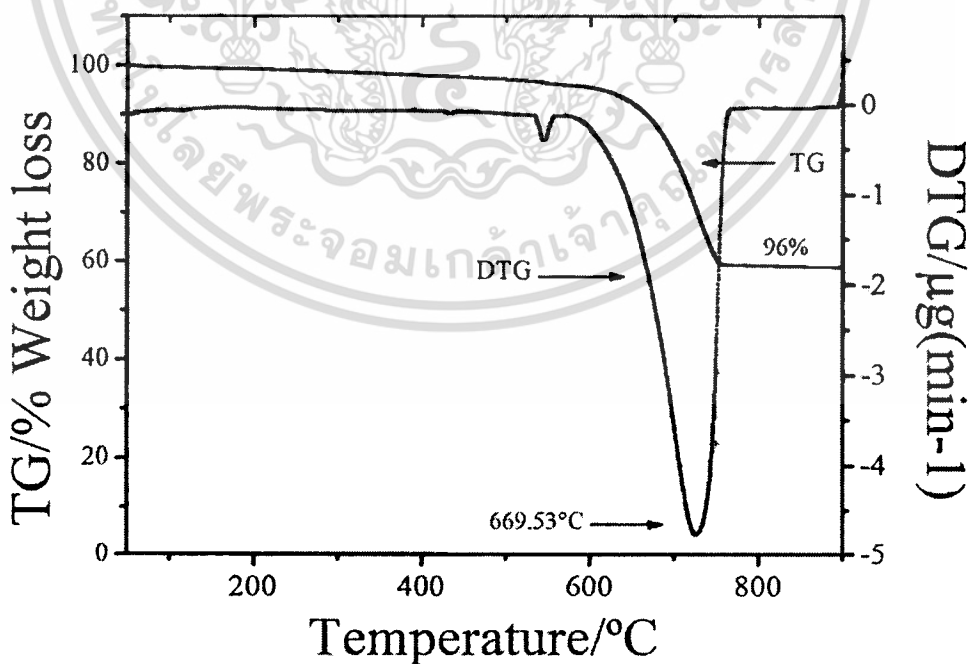
รูปที่ ก-14 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ SP-P60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-15 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ SP-P70

ผลการวิเคราะห์ TGA ของผงแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยนางรม (CC)

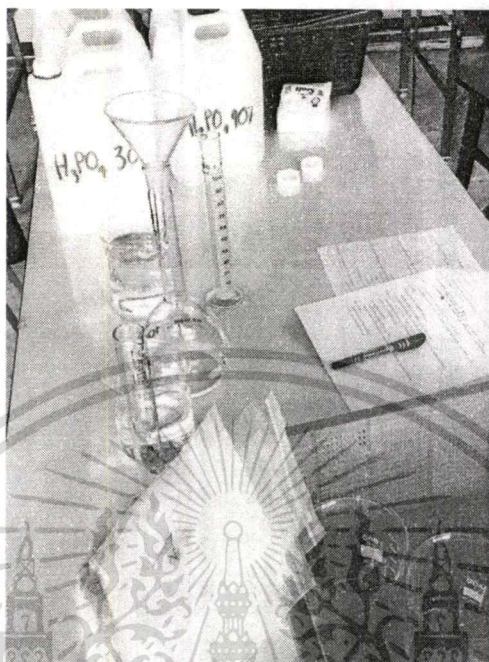


ภาพที่ ก-16 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ CC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ภาพประกอบในขั้นตอนการทดลอง



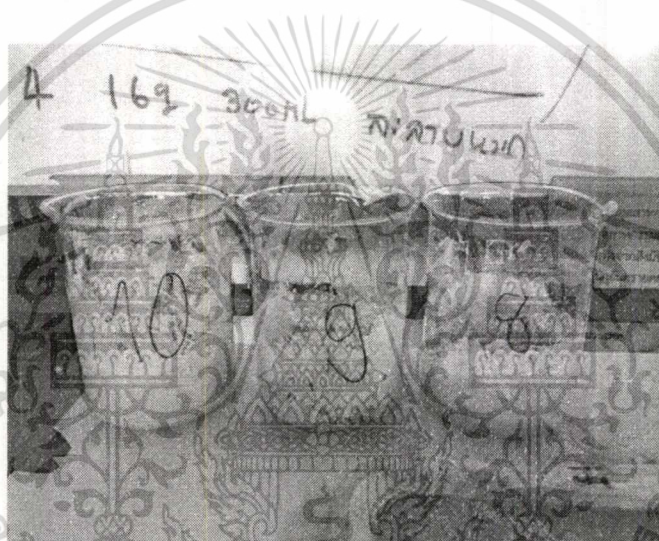
รูปที่ ข-1 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ ข-2 สารตัวอย่าง $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-3 ผง $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ หลังตากแห้งเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ ข-4 บူး Single Superphosphate (หมายเลข 8) Double Superphosphate (หมายเลข 9) และ Triple Superphosphate (หมายเลข 10) ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ค-1 การคำนวณเจือจางความเข้มข้นของกรด

1) กรดฟอสฟอริก

-กรดฟอสฟอริก เข้มข้น 10%

ดังนั้น ต้องเติมกรดฟอสฟอริก 85% $= \frac{10 \times 1000}{85} = 117.65$ mL ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

-กรดฟอสฟอริก เข้มข้น 20%

ดังนั้น ต้องเติมกรดฟอสฟอริก 85% $= \frac{20 \times 1000}{85} = 235.29$ mL ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

-กรดฟอสฟอริก เข้มข้น 30%

ดังนั้น ต้องเติมกรดฟอสฟอริก 85% $= \frac{30 \times 1000}{85} = 352.94$ mL ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

-กรดฟอสฟอริก เข้มข้น 40%

ดังนั้น ต้องเติมกรดฟอสฟอริก 85% $= \frac{40 \times 1000}{85} = 470.59$ mL ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

-กรดฟอสฟอริก เข้มข้น 50%

ดังนั้น ต้องเติมกรดฟอสฟอริก 85% $= \frac{50 \times 1000}{85} = 588.24$ mL ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

-กรดฟอสฟอริก เข้มข้น 60%

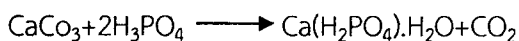
ดังนั้น ต้องเติมกรดฟอสฟอริก 85% $= \frac{60 \times 1000}{85} = 705.88$ mL ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

-กรดฟอสฟอริก เข้มข้น 70%

ดังนั้น ต้องเติมกรดฟอสฟอริก 85% $= \frac{70 \times 1000}{85} = 823.53$ mL ในสารละลาย 1000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-2 การเตรียมสารประกอบแคลเซียม



จาก H_3PO_4 MW = 98 g/mol และ สารละลาย 85% w/w 1.685 g/mol

$$85\% \text{ w/w } \text{H}_3\text{PO}_4 \text{ ความเข้มข้น} = \frac{85 \text{ g } \text{H}_3\text{PO}_4}{100 \text{ g sol.}} * \frac{1 \text{ mol}}{98 \text{ g}} = \frac{0.867 \text{ mol}}{59.347 \text{ mL}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = 14.609 \text{ M}$$

1 mol CaCO_3 ทำปฏิกิริยาพอดีกับ H_3PO_4 2 mol

ดังนั้น การทดลองใช้ CaCO_3 50 g x (1 mol/100 g) = 0.5 mol

ต้องใช้ H_3PO_4 0.5 mol * $\frac{2 \text{ mol } \text{H}_3\text{PO}_4}{1 \text{ mol } \text{CaCO}_3} = 1 \text{ mol}$

$$1 \text{ mol } \text{H}_3\text{PO}_4 = \frac{\left(14.609 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right) V}{1000}$$

$$V = 68.45 \text{ mL}$$

ถ้าต้องใช้ H_3PO_4 85% w/w 68.45 mL

$$\text{จะต้องใช้ } \text{H}_3\text{PO}_4 \text{ 70\%} = X = \frac{85}{70} * 68.45 = 83.12 \text{ mL}$$

$$\text{จะต้องใช้ } \text{H}_3\text{PO}_4 \text{ 60\%} = X = \frac{85}{60} * 68.45 = 96.97 \text{ mL}$$

$$\text{จะต้องใช้ } \text{H}_3\text{PO}_4 \text{ 50\%} = X = \frac{85}{50} * 68.45 = 116.37 \text{ mL}$$

$$\text{จะต้องใช้ } \text{H}_3\text{PO}_4 \text{ 40\%} = X = \frac{85}{40} * 68.45 = 145.46 \text{ mL}$$

$$\text{จะต้องใช้ } \text{H}_3\text{PO}_4 \text{ 30\%} = X = \frac{85}{30} * 68.45 = 193.94 \text{ mL}$$

$$\text{จะต้องใช้ } \text{H}_3\text{PO}_4 \text{ 20\%} = X = \frac{85}{20} * 68.45 = 290.91 \text{ mL}$$

$$\text{จะต้องใช้ } \text{H}_3\text{PO}_4 \text{ 10\%} = X = \frac{85}{10} * 68.45 = 581.83 \text{ mL}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้