

การเตรียมแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครงด้วยวิธีอย่างง่าย
เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในการผลิตแผ่นพอลิไวไนลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น

มฤณดา แสงสว่าง

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ปีการศึกษา 2560

PREPARATION OF CALCIUM CARBONATE FROM COCKLE SHELL BY A SIMPLE METHOD
AS FILLER FOR FABRICATION OF FLEXIBLE POLYVINYLCHLORIDE SHEET

Marunat Sangsawang

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology

Graduate School

Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2017

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเตรียมแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครง
ด้วยวิธีอย่างง่ายเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในการผลิตแผ่น
พอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น

โดย

มณนาถ แสงสว่าง

สาขาวิชา

เทคโนโลยีวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร.ดอน แก้วดก

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ณ เอียดเอื้อ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร.ดอน แก้วดก)

มณูนาถ แสงสว่าง : การเตรียมแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครงด้วยวิธีอย่างง่าย
เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในการผลิตแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น. อาจารย์ที่ปรึกษา :
ดร.ดอน แก้วดก, 68 หน้า

หอยแครงเป็นที่นิยมมากในเมนูอาหารทะเลทั้งในร้านอาหารและในครัวเรือน เมื่อบริโภค
ส่วนเนื้อหอยแครงแล้วส่วนเปลือกหอยจะกลายเป็นขยะ งานวิจัยนี้จึงศึกษาการผลิตแคลเซียม
คาร์บอเนตความบริสุทธิ์สูงจากเปลือกหอยแครงที่เทียบเท่ากับแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์
เพื่อเป็นทางเลือกของแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตความบริสุทธิ์สูง และยังศึกษาการ
นำแคลเซียมคาร์บอเนตความบริสุทธิ์สูงไปใช้เป็นสารตัวเติมพลาสติกคือพอลิไวนิลคลอไรด์
ชนิดยืดหยุ่น ในด้านคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางความร้อน งานวิจัยนี้ทำการทดลองโดย
เก็บเปลือกหอยแครงจากร้านอาหารทะเล นำมาล้างทำความสะอาดและต้ม จากนั้นเผาเปลือกหอย
ให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 5 ชั่วโมง
เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแคลเซียมออกไซด์ แล้วนำไปละลายในน้ำกลั่นได้เป็น
แคลเซียมไฮดรอกไซด์แล้วทำปฏิกิริยากับโซเดียมคาร์บอเนตเพื่อตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนต
จากนั้นนำแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้ไปใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น
เพื่อเปรียบเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ ที่ปริมาณสารตัวเติม 5 10 15 และ 20 phr
(phr คือ part per hundred resin) และนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)
Particle size measurement และ Scanning Electron Microscopy (SEM) ผลการวิจัยพบว่า
อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแคลเซียมออกไซด์และ
แคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์สูงใกล้เคียงกับแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์จึง
สามารถใช้เปลือกหอยแครงเป็นแหล่งวัตถุดิบแคลเซียมได้ และแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้
มีอนุภาคขนาดเล็ก มีโครงสร้างผลึกแบบแคลไซต์เช่นเดียวกับแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์
แต่ดูดซับพลาสติกไซเซอร์มากกว่า เมื่อนำไปใช้เป็นสารตัวเติมพลาสติกคือพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิด
ยืดหยุ่นพบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิด
ยืดหยุ่นเช่นความต้านทานแรงดึง การยืด การหดตัวหลังได้รับความร้อนและความแข็งคล้ายกับ
แคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ ดังนั้นสามารถใช้แคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากเปลือกหอยแครง
เป็นสารตัวเติมในพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นเทียบเท่ากับแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ได้

บัณฑิตวิทยาลัย
สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม
ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

MARUNAT SANGSAWANG : PREPARATION OF CALCIUM CARBONATE FROM COCKLE SHELL BY A SIMPLE METHOD AS FILLER FOR FABRICATION OF FLEXIBLE POLYVINYLCHLORIDE SHEET, ADVISOR : PH.D. DON KAEWDOOK, 68 PP.

Cockles are one of phylum mollusca, when consuming cockles, the shells have to be removed before consuming, causing lots of wastes. This study aims to produce high purity of calcium carbonate (CaCO_3) from cockle shells and investigate the effect of CaCO_3 from the cockle shell in polyvinylchloride (PVC) flexible sheet focusing on its physical properties. The experiment was performed by bringing barks of shells; cleaning them in boiling water, then going through the desiccation process at 800 and 900 °C in order to remove all organic substances and crushing them thoroughly. The resultants became a calcium oxide powder. Calcium oxide was dissolved with distilled water then reacted with sodium carbonate, which resulted in CaCO_3 powder. After that, filler in PVC flexible sheet at 5, 10, 15 and 20 part per hundred resin (phr) was compared with commercial CaCO_3 . The results showed that cockle shells were successfully in producing CaCO_3 which can be used as calcium source with elemental analysis X-Ray fluorescence spectrometer (XRF) and the result showed CaCO_3 content 97.68% and median particle size (D_{50}) 10.3 μm . That CaCO_3 from the cockle shell indicated mechanical properties as tensile strength and elongation thermal heating shrinkage after aging and slightly increased hardness similar to commercial grade.

Graduate School
Field of Engineering of Technology
Academic Year 2017

Student's Signature.....

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาและความช่วยเหลือของ ดร.ดอน แก้วดก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลามามอบโอกาสและให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา แนวทางการศึกษาค้นคว้า สืบค้นข้อมูล แนวทางในการทำวิจัย แนะนำการใช้อุปกรณ์ ที่มีอยู่ในสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ตลอดจนการเขียนวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ณ์ เอียดเอื้อ (สถาบันพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นประธานคณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำแนวทางการทำวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์ (สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น) ที่กรุณาให้คำแนะนำแนวทางการทำวิจัย ช่วยเหลือเอื้อเฟื้อสถานที่ แนะนำการใช้อุปกรณ์ที่มี อยู่ในสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น และกรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบป้องกัน วิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ (สถาบันเทคโนโลยีไทย- ญี่ปุ่น) ที่กรุณาให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ และกรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการ สอบป้องกันวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. สุรัสวดี จามิกรณ์ (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณาให้ คำแนะนำแนวทางการทำวิจัย เอื้อเฟื้อสถานที่ แนะนำการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่ในสถาบัน เทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยนามพลาสติกส์ จำกัด มหาชน (TNPC) ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสารเคมี พอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์ แคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้โอกาสในการศึกษาและขอบคุณอาจารย์ เพื่อนๆ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งที่กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามใน ณ ที่นี้ ผู้เขียนมีความซาบซึ้งใน ความกรุณาอันดีจากทุกท่านและขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

มฤณาท แสงสว่าง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	3
2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับหอยแครง.....	4
2.2 แคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในอุตสาหกรรม.....	6
2.3 การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิไวนิลคลอไรด์.....	7
2.4 วัสดุคอมโพสิต.....	8
2.5 พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride,PVC).....	8
2.6 พลาสติไซเซอร์(plasticizer).....	9
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	20
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	20
3.2 วัสดุและสารเคมี.....	22

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	22
	3.4 วิธีการทดลอง.....	23
	3.5 การวิเคราะห์.....	28
4	ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	30
	4.1 การเผาเปลือกหอยแครง.....	30
	4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้.....	36
	4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก.....	37
	4.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้.....	38
	4.5 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้.....	39
	4.6 การวิเคราะห์การดูดซับพลาสติกไซเซอร์ แคลเซียมคาร์บอเนตผลิตได้.....	40
	4.7 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น.....	40
	4.8 การทดสอบ Tensile strength และ Elongation.....	41
	4.9 การทดสอบ Thermal Heat Shrinkage และ Weight loss.....	45
	4.10 การทดสอบ Hardness.....	47
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	48
	5.1 สรุปผลการวิจัย.....	48
	5.2 ข้อเสนอแนะ.....	48
	บรรณานุกรม.....	50
	ภาคผนวก.....	53
	ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก.....	57
	ภาคผนวก ข. การทดสอบ Tensile strength และ Elongation.....	55
	ภาคผนวก ค. การทดสอบ Thermal Heat Shrinkage และ Weight loss.....	60
	ภาคผนวก ง. การทดสอบ Hardness.....	63

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

ภาคผนวก จ. Certificate..... 65

ประวัติย่อผู้วิจัย..... 68



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน.....	3
2.1 ปริมาณผลผลิตหอยแครงเลี้ยงในปี พ.ศ. 2547 – 2556.....	4
2.2 สรุปรงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
2.3 สรุปรการเตรียมวัสดุ/การเตรียมวัสดุก่อนเผาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.4 สรุปรการเผาวัสดุจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.5 สรุปรการละลายแคลเซียมออกไซด์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
3.1 สูตรการผสมพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์.....	26
4.1 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแครงที่ 800 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง.....	33
4.2 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแครงที่ 800 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง.....	33
4.3 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแครงที่ 900 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง.....	34
4.4 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแครงที่ 900 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง.....	34
4.5 เปอร์เซนต์น้ำหนักที่หายไปและลักษณะทางกายภาพของเปลือกหอยแครงหลังเผา....	35
4.6 องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากเปลือกหอยแครง ที่เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง.....	36
4.7 ขนาดอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้ (CCS) และเชิงพาณิชย์ (CCM).....	39
ข-1 ผลการทดสอบ Tensile strength ของชิ้นงานพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น.....	58
ข-2 ผลการทดสอบ Elongation ของชิ้นงานพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น.....	59
ค-1 ผลการทดสอบ Thermal Heat Shrinkage ชิ้นงานพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น..	61
ค-2 ผลการทดสอบเปอร์เซนต์ที่หายไปของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น.....	62
ง-1 ผลการทดสอบ Hardnessของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น.....	64

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 แสดงอวัยวะภายในของหอยกาบคู่.....	5
2.2 ลักษณะอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต.....	7
2.3 โครงสร้างของพอลิไวนิลคลอไรด์.....	9
3.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	20
3.2 เปลือกหอยแครง.....	24
3.3 เตาเผาไฟฟ้า.....	24
3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการละลายและตกตะกอน/ตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้.....	26
3.5 เครื่อง two roll mill และชิ้นงานขณะที่กำลังรีดชิ้นงานด้วยเครื่อง two roll mill....	27
3.6 ชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นที่เติม CCS และ CCM โดยวางชิ้นงานบนพื้นหลังสีดำ.....	27
4.1 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแครงที่ 800 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง.....	31
4.2 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแครงที่ 800 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง.....	31
4.3 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแครงที่ 900 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง.....	32
4.4 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแครงที่ 900 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง.....	32
4.5 ลักษณะทางกายภาพของผงเปลือกหอยแครงหลังเผาเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากเปลือกหอยแครง.....	35
4.6 แสดงกราฟเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปหลังเผาเปลือกหอยแครงที่ 800 และ 900 องศาเซลเซียสเทียบกับเวลาที่ใช้เผาเปลือกหอยแครง.....	35
4.7 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD).....	37
4.8 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกหอยแครงตามธรรมชาติ CCS CCM.....	38
4.9 แสดงการกระจายของขนาดอนุภาคของ CCS และ CCM.....	39
4.10 การดูดซับพลาสติกไฮเซอร์ของแคลเซียมคาร์บอเนต CCS และ CCM.....	40
4.11 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นที่เติมสารตัวเติม 5 phr.....	41
4.12 ผลการทดสอบ Tensile strength ของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นในแนวตามเครื่องจักร.....	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.13 ผลการทดสอบ Tensile strength ของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น ในแนวตามขวางเครื่องจักร.....	43
4.14 ผลการทดสอบ Elongation ของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น ในแนวตามเครื่องจักร.....	44
4.15 ผลการทดสอบ Elongation ของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น ในแนวตามขวางเครื่องจักร.....	44
4.16 เพอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นที่ใช้ CCS และ CCM เป็นสารตัวเติมหลังจากได้รับความร้อนในตู้อบ.....	46
4.17 เพอร์เซ็นต์ที่หายไปของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นที่ใช้ CCS และ CCM เป็นสารตัวเติมหลังจากได้รับความร้อนในตู้อบ.....	46
4.18 ผลการทดสอบ Hardness.....	47
ก-1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเปลือกหอยแครงหลังเผา.....	55
ก-2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้.....	56

TNI

TAHT - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หอยแครงเป็นที่นิยมมากในเมนูอาหารทะเลทั้งในร้านอาหารและในครัวเรือน เมื่อบริโภคส่วนเนื้อหอยแครงแล้วส่วนเปลือกหอยจะกลายเป็นขยะ โดยเฉพาะตามร้านอาหารทะเล หรือร้านอาหารที่ขายเฉพาะเมนูหอย เปลือกหอยที่มีส่วนของเลือดและเนื้อของหอยติดอยู่จะถูกทิ้งปะปนกับขยะอื่นๆ เช่น ถาดโฟม ถ้วยน้ำจิ้ม ซ้อนสัมพลาสติก แก้วน้ำพลาสติก ก่อให้เกิดปัญหาขยะที่ผู้บริโภคหรือร้านอาหาร เนื่องจากการบริโภคหอยแครงเน้นที่ความสด การซื้อขายจึงนิยมขายทั้งตัวรวมเปลือกไม่มีการแกะเนื้อหรือต้องขาย เปลือกหอยแครงจึงต้องติดไปจนถึงผู้บริโภคปลายทาง ในปัจจุบันร้านอาหารที่ขายหอยแครงปริมาณมากสามารถสั่งหอยแครงจากจากฟาร์มหอยแครง โดยตรงทำให้มีปริมาณขยะจากเปลือกหอยแครงค่อนข้างคงที่ โดยปริมาณการผลิตหอยแครงประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2547 – 2556 มีการผลิตประมาณ 62,606 ตัน ต่อปี [1] หากมีการนำเปลือกหอยแครงเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ได้จะเป็นการช่วยลดปัญหาขยะและยังเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกหอยแครง

แคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ในปัจจุบันส่วนใหญ่มาจากทรัพยากรแร่เช่น หินปูน หินอ่อน หินซอล์ก ซึ่งจะมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ความขาว ขนาดอนุภาค แตกต่างกันไปตามแหล่งแร่และชนิดของหิน [2] แคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตในประเทศไทยส่วนใหญ่ผลิตจากเหมืองหินปูน ซึ่งต้องมีการระเบิดหน้าดินเพื่อเก็บแร่หินปูน เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อม แต่เปลือกหอยเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูงประมาณ 90% [3, 4, 5] จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายอุตสาหกรรม เช่น พลาสติก กระดาษ ยาง สี สารเคลือบผิว กาว วัสดุอุดกันรั่ว วัสดุก่อสร้าง อาหารและยา ตัวอย่างการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ในอุตสาหกรรมพลาสติกเช่น การใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมหรือฟิลเลอร์ เพื่อช่วยปรับคุณสมบัติของชิ้นงานให้ดีขึ้นและยังสามารถลดต้นทุนการผลิตสินค้าได้ ในอุตสาหกรรมอาหารและยาใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมในเม็ดอาหารหรือเม็ดยา ในผลิตภัณฑ์พลาสติกที่พบได้ทั่วไปในชีวิตประจำวันผลิตจากพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ โดยพอลิไวนิลคลอไรด์มีความแตกต่างจากพลาสติกชนิดอื่นๆ คือ นิยมเติมสารพลาสติกไซเซอร์ในปริมาณมาก เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่ม มีความยืดหยุ่นมากขึ้น ในขณะที่พลาสติกชนิดอื่นๆ ไม่นิยมพลาสติกไซเซอร์ และแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารที่มีความสามารถในการดูดซับ อาจดูดซับสารพลาสติกไซเซอร์ที่เติมลงในพอลิไวนิลคลอไรด์ได้ จึงเป็นกรณีที่น่าสนใจที่ศึกษาถึงผลกระทบนี้ด้วย โดยงานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้วัสดุจากธรรมชาติ

เช่นเส้นใยธรรมชาติ ผงเปลือกไข่ ผงเปลือกหอย เศษแร่ หรือแม้แต่แคลเซียมคาร์บอเนตที่มีความบริสุทธิ์สูงที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติหรือเศษแร่ ส่วนใหญ่จะศึกษาในพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนหรือพอลิเอทิลีน ส่วนการศึกษาในพอลิไวนิลคลอไรด์ที่เติมสารพลาสติกไซเซอร์ยังมีน้อย ทางผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาถึงผลกระทบของการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตความบริสุทธิ์สูงจากเปลือกหอยแครงต่อพอลิไวนิลคลอไรด์ที่เติมสารพลาสติกไซเซอร์หรือเรียกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้ขยะเปลือกหอยแครงเป็นวัตถุดิบทางเลือกในการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีความบริสุทธิ์สูง เพื่อช่วยการทดทลายสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังศึกษาอิทธิพลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางความร้อนของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น (พอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีการเติมสารพลาสติกไซเซอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาการเตรียมแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีความบริสุทธิ์สูงจากเปลือกหอยแครงเทียบเท่ากับแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์

1.2.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางความร้อนของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 เปลือกหอยที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือเปลือกหอยแครงจากร้านอาหารทะเลในเขตกรุงเทพมหานคร

1.3.2 เปลือกหอยหลังการให้ความร้อนที่ได้มีขนาดประมาณตะแกรงกรอง 355 ไมโครเมตร และผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมได้ประมาณตะแกรงกรอง 100 ไมโครเมตร

1.3.3 ในสูตรพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาน์วพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้คือไดไอโซนิลพทาเลต (Diisononyl phthalate) และกำหนดปริมาณที่ใช้เป็น 40 phr

1.3.4 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาน์วที่ใช้คือ 5, 10, 15, 20 Part per resin (phr)

1.3.5 ขึ้นรูปชิ้นงานเป็นแผ่นด้วยเครื่อง Two roll mill ที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที ให้ได้แผ่นชิ้นงานที่มีความหนาประมาณ 0.35 มิลลิเมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 พัฒนาคำรู้เกี่ยวกับอิทธิพลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครงที่มีต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น

1.4.2 พัฒนาการใช้ฟิลเลอร์จากวัตถุดิบที่มาจาก Renewable source และเป็นทางเลือกในการกำจัดขยะจากอาหาร

1.4.3 ช่วยลดต้นทุนในการผลิตสินค้าคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก

1.5 แผนการดำเนินงาน

การวางแผนการดำเนินงานวิจัยได้วางแผนงานตามลำดับดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินการ											
	ปี พ.ศ. 2560							ปี พ.ศ. 2561				
	ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและ ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง												
2. กำหนดขอบเขตงานวิจัย และรวบรวมข้อมูล												
3. ออกแบบการวิจัย												
4. จัดหาอุปกรณ์และสารเคมี												
5. ทำการทดลอง												
6. ตรวจสอบคุณลักษณะทาง ของแคลเซียมคาร์บอเนต												
7. ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของ แผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์												
8. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย												
9. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์												
10. นำเสนอและตีพิมพ์งานวิจัย												

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับหอยแครง

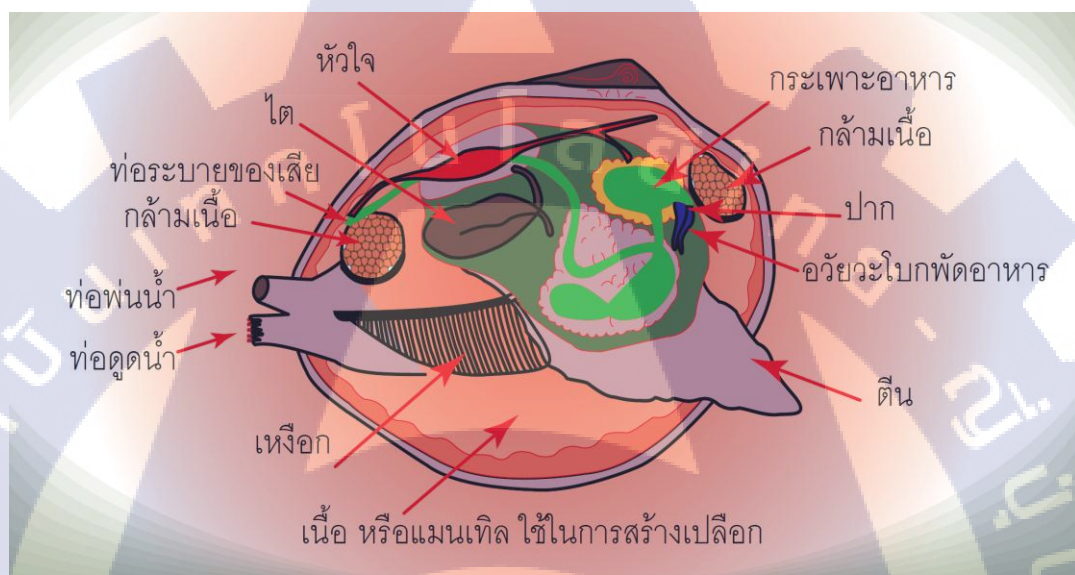
หอยแครงเป็นที่นิยมมากในเมนูอาหารทะเลของประเทศไทยทั้งในร้านอาหารและครัวเรือน เนื่องจากการบริโภคหอยแครงเน้นที่ความสดจึงนิยมขายทั้งตัวไม่มีการแกะเนื้อหรือต้องขายเปลือกหอยแครงจึงต้องติดไปกับผู้บริโภค ในปัจจุบันมีร้านอาหารที่ขายหอยแครงปริมาณมากสามารถสั่งหอยแครงจากจากฟาร์มหอยแครงโดยตรงเช่นร้านหอยแครงลวกเจ้าภา ลาดหญ้า สั่งหอยแครงจากฟาร์มหอยแครงในจังหวัดเพชรบุรีโดยตรงประมาณวันละ 100 กิโลกรัม และปริมาณการผลิตหอยแครงประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2547 – 2556 แสดงในตารางที่ 1.2 มีการผลิตประมาณ 62,606 ตันต่อปี [1]

ตารางที่ 2.1 ปริมาณผลผลิตหอยแครงเลี้ยงในปี พ.ศ. 2547 – 2556 [1]

ปี	ปริมาณผลผลิตหอยแครงเลี้ยง (ตัน)
2547	69,495.44
2548	56,852.80
2549	65,665.98
2550	55,671.42
2551	65,851.51
2552	81,959.75
2553	40,978.17
2554	51,736.24
2555	66,528.34
2556	71,325.06
เฉลี่ย	62,606.47

หอยแครงเป็นสัตว์น้ำประเภทหอยกาบคู่ หอยแครงที่นิยมบริโภคได้แก่หอยแครงในสกุล Anadara [6] จัดอยู่ในไฟลัมมอลลัสกา มีเปลือกหรือฝาเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตประมาณ 90% [3, 4, 5] โดยทั้งสองข้างมีขนาดเท่ากันและสมมาตร ฝาทั้งสองยึดติดกันด้วยเอ็นซึ่งมีลักษณะคล้ายบานพับทำให้เปิดปิดได้ ดินมีลักษณะคล้ายลิ่มใช้เคลื่อนที่ และใช้ชุดเพื่อแทรกตัวลงไปในตะกอน

ระบบสืบพันธุ์โดยทั่วไปเป็นสัตว์แยกเพศ [7] หอยแครงมีเปลือกชั้นนอกสีน้ำตาลเข้ม เมื่อหอยตายเปลือกชั้นนอกจะหลุดไป ทำให้เห็นเปลือกชั้นกลางสีขาว [8] มีร่องลึกหรือสันจากข้อเปลือกเรียงขนานลงมาถึงขอบเปลือกทั่วทั้งเปลือกหอย แครงมีสารฮีโมโกลบินในเลือด เลือดมีสีแดงจึงได้ชื่อว่า Blood clam [6, 8] หอยแครงอาศัยตามพื้นทะเล บริเวณที่เป็นดินเลน เช่น อ่าวปากแม่น้ำ ปากคลอง ป่าชายเลน โดยมุดตัวลงไปอยู่ใต้พื้นเล็กน้อย มักจะอยู่รวมกันหนาแน่น อวัยวะภายในของหอยกาบคู่แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงอวัยวะภายในของหอยกาบคู่ [7]

เปลือกหอยโดยทั่วไปประกอบด้วย [3]

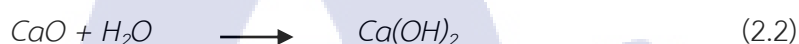
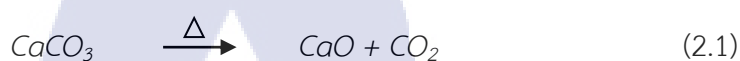
1. เปลือกหอยชั้นนอก เป็นชั้นบางๆ เรียกว่า Periostracum ประกอบด้วยรงควัตถุซึ่งแสดงสีของเปลือกหอยและมีหน้าที่ป้องกันกรดคาร์บอนิกจากบริเวณรอบนอกไม่ให้เข้าไปทำลายเปลือกหอย
2. เปลือกหอยชั้นกลางเรียกว่า Prismatic เกิดจากการอัดแน่นของผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต
3. เปลือกหอยชั้นในเรียกว่า Nacreous layer (mother-of-pearl) มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ เมื่อถูกแดดจะเป็นประกายสีรุ้ง

2.2 แคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในอุตสาหกรรม

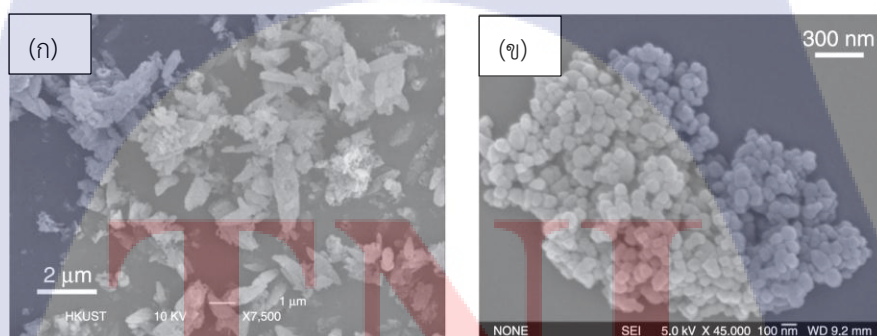
แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น พลาสติก กระดาษ ยาง สี สารเคลือบผิว กาว วัสดุอุดกันรั่ว วัสดุก่อสร้าง อาหารและยา แคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ในปัจจุบันส่วนใหญ่มาจากทรัพยากรแร่เช่น หินปูน หินอ่อน หินชอล์ก ซึ่งจะมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ความขาว ขนาดอนุภาค แตกต่างกันไปตามแหล่งแร่และชนิดของหิน [2] แคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตในประเทศไทยส่วนใหญ่ผลิตจากหินปูน ซึ่งหินปูนส่วนใหญ่เกิดจากการตกค้างของเปลือกหอยที่มีชีวิตในทะเล เช่น ปะการัง สาหร่าย หอย สัตว์ และพืชน้ำ หรือเกิดจากกระบวนการอนินทรีย์เคมีที่ไม่เกี่ยวข้องกับกระบวนการของสิ่งมีชีวิตเลย เช่นการตกตะกอนของโคลนคาร์บอเนต ในทะเลบริเวณน้ำตื้นทั้งส่วนที่เป็นทะเลเปิดและทะเลสาบที่มีการรุกเข้าและถดถอยของน้ำทะเลอยู่เสมอ โดยจะมีสิ่งเจือปนที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการตกตะกอน ในปริมาณที่แตกต่างออกไปตามสภาวะแวดล้อมขณะที่มีการตกตะกอน [9, 10] หินปูนที่มีกำเนิดบนพื้นทวีป เช่น ในทะเลสาบ หรือที่เกิดเป็นหินงอก-หินย้อย คราบหินปูน (tufa) ซึ่งจะมีปริมาณน้อยกว่าหินปูนที่เกิดจากตกตะกอนในทะเลมาก ประเทศไทยมีหินปูนแพร่กระจายกว้างขวางในเกือบทุกภาค [10] แหล่งผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตจากหินปูนเพื่ออุตสาหกรรมเคมีในประเทศไทย เช่น ที่จังหวัดลพบุรีมีเหมืองหินปูนที่มีความบริสุทธิ์สูงค่อนข้างมากมีค่าองค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์มากกว่าร้อยละ 55.4 หรือมีปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต มากกว่าร้อยละ 99 และมีค่ามลทินขององค์ประกอบตัวอื่นๆ ต่ำ [9]

การผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตส่วนใหญ่แบ่งเป็นสองประเภทคือ GCC (Ground calcium carbonate) และ PCC (Precipitated calcium carbonate) โดย GCC ผลิตจากการนำหินปูนมาบดให้ได้ขนาดอนุภาคตามที่ต้องการ จะมีขนาดอนุภาค การกระจายตัวของขนาดอนุภาค และรูปร่างของอนุภาคไม่สม่ำเสมอ ขึ้นกับวัตถุดิบจากแหล่งแร่ นอกจากนี้ยังมีความบริสุทธิ์แตกต่างกันไปตามแหล่งแร่ หากมีแร่เหล็กหรือแมงกานีสปนอยู่ความขาวของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จะลดลง [2] ส่วน PCC ผลิตโดยการนำวัตถุดิบที่แหล่งแคลเซียม เช่น หินปูน หินอ่อน หินชอล์ก หรืออื่นๆ มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 900 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตได้เป็นแคลเซียมออกไซด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเรียกกระบวนการนี้ว่า Calcination [2, 11, 12] จากนั้นนำไปละลายในน้ำได้เป็นสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ อาจมีลักษณะเป็น Slurry หรือเรียกว่า Slaked lime [2] หลังจากนั้นผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยกระบวนการตกตะกอนสารละลายเรียกว่า Re-carbonization หรือ Precipitation [7, 13, 14] โดยนำสารละลายมาทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(อาจใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการ Calcination) หรือการทำปฏิกิริยากับโซเดียมคาร์บอเนต (โซดาแอช) [11, 15, 16]

ปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในกระบวนการ Calcination แสดงในสมการที่ (2.1) ปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในกระบวนการละลายของแคลเซียมออกไซด์แสดงในสมการที่ (2.2) ปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในกระบวนการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แสดงในสมการที่ (2.3) ปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในกระบวนการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตโดยใช้โซเดียมคาร์บอเนตแสดงในสมการที่ (2.4)



แคลเซียมคาร์บอเนตที่ตกตะกอนได้จะมีขนาดและสัณฐานวิทยาของอนุภาคแตกต่างกันไปตามการควบคุมอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา ความเข้มข้นของสารที่ทำปฏิกิริยา ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตมีรูปร่าง (Crystal forms) เป็นแคลไซต์ (Calcite) หรืออะราโกไนต์ (Aragonite) และมีรูปร่างที่มีลักษณะคล้ายทรงลูกบาศก์ (Cubic-like) หรือมีลักษณะคล้ายเข็ม (Needle-like) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต (ก) Needle-like PCC (ข) Cubic-like PCC [2]

2.3 การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิไวนิลคลอไรด์

แคลเซียมคาร์บอเนตทั้งชนิด GCC และ PCC นิยมใช้เป็นสารตัวเติมหรือฟิลเลอร์ (Filler) ในพอลิไวนิลคลอไรด์เพื่อลดต้นทุนวัสดุที่ใช้ผลิตสินค้าสำเร็จรูป แคลเซียมคาร์บอเนตชนิด GCC ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตร ไม่นิยมใช้เนื่องจากมีการขัดสีกับเครื่องจักรสูง อาจทำให้เครื่องจักรเสียหายได้ ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด PCC มีขนาดอนุภาคเล็กและอ่อนกว่า

จึงขัดสีกับเครื่องจักรน้อยกว่า นอกจากนี้เคลือบผิวคาร์บอนนาโนชนิด PCC (surface-modified PCC) ที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยการเคลือบผิวด้วยกรดไขมันจะลดการขัดสีกับเครื่องจักร ช่วยลด Gelation time ของ PVC เนื่องจากการเข้ากันได้ดีระหว่าง PVC กับ Surface-modified PCC ช่วยให้เสถียร และกระจายตัวได้ดีใน PVC compound ลดปัญหา Plate-out เพิ่มความทนต่อแรงกระแทก (Impact strength) และความแข็ง (Stiffness) ของ PVC

ขนาดอนุภาคเป็นตัวแปรสำคัญต่อประสิทธิภาพของวัสดุคอมพอสิต โดยทั่วไปค่า Young's modulus ของ PVC จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ PCC nanoparticle (ที่ 60 นาโนเมตร) โดยที่ค่า Tensile strength และ Yield strength ลดลงเล็กน้อยหรือไม่ส่งผลกระทบ การเติม PCC ที่มีขนาดอนุภาคเล็กส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น เช่นที่อนุภาคนาโน 1 ไมโครเมตร หรือใหญ่กว่า ค่าความทนต่อแรงกระแทกจะเพิ่มปานกลาง แต่ที่ขนาดอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร ค่าความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน นอกจากขนาดอนุภาคแล้วการปรับปรุงพื้นผิวของ PCC ก็ส่งผลกระทบอย่างมากต่อ PVC

2.4 วัสดุคอมโพสิต

วัสดุคอมโพสิตเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยการรวมกันขององค์ประกอบหรือเฟสมากกว่าสองประเภทเข้าด้วยกัน โดยองค์ประกอบที่มีมากที่สุด เฟสที่มีลักษณะต่อเนื่อง หรือองค์ประกอบหลักเรียกว่า Matrix หรือ Continuous phase และองค์ประกอบที่กระจายตั้งอยู่ในองค์ประกอบหลักหรือเฟสที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง Discontinuous phase ซึ่งเป็นวัสดุที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุที่เป็นองค์ประกอบหลัก

2.5 พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride,PVC)

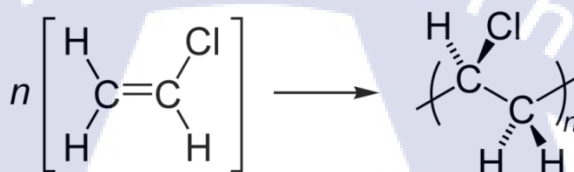
ผลิตภัณฑ์จากพอลิไวนิลคลอไรด์สามารถแบ่งตามปริมาณพลาสติกไซเซอร์ได้สองชนิดคือ พอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีการเติมพลาสติกไซเซอร์หรือเรียกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น (Flexible polyvinyl chloride หรือ Plasticized) และพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ไม่เติมพลาสติกไซเซอร์หรือเรียกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดแข็ง (Rigid polyvinyl chloride หรือ Unplasticized) ผลิตภัณฑ์จากพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นได้แก่ สายยาง ท่อที่ยืดหยุ่นได้ แผ่นปูพื้น สายไฟ ผลิตภัณฑ์จากพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดแข็งได้แก่ ท่อ วัสดุก่อสร้าง

พอลิไวนิลคลอไรด์เป็นเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ โดยเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบเติม (Addition polymerization) กระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ทำได้ 4 วิธี คือ

1. การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบบัลค์ (Bulk polymerization)

2. การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบสารละลาย (Solution polymerization)
3. การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอย (Suspension polymerization)
4. การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization)

พอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผลิตจากการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบบัลค์และการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอยเป็นผงสีขาวขนาด 90 - 200 ไมโครเมตร พอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผลิตจากการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอิมัลชันมีขนาด 0.5 - 2 ไมโครเมตร พอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผลิตจากการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบสารละลายเป็นของเหลว พอลิไวนิลคลอไรด์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้คือพอลิไวนิลคลอไรด์พอลิไวนิลคลอไรด์ที่ผลิตจากการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบแขวนลอย มีค่า K value อยู่ในช่วง 66 - 70



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของพอลิไวนิลคลอไรด์

2.6 พลาสติไซเซอร์ (plasticizer)

โดยทั่วไปพอลิไวนิลคลอไรด์เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติแข็งเปราะ ไม่อ่อนตัว จึงไม่เหมาะกับการใช้งานบางอย่าง แต่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติให้มีความอ่อนตัวมากขึ้นได้โดยการเติมสารเติมแต่งประเภทพลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) ซึ่งพลาสติไซเซอร์จะเพิ่มความอ่อนตัว ความยืดหยุ่น หักงอได้ (Flexibility) โดยทำให้อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) ลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S. Na Songkhla et al. [3] ได้พิสูจน์สมมติฐานว่า บริเวณใดเคยเป็นแม่น้ำหรือทะเลมาก่อน โดยใช้เปลือกหอยชนิดต่างๆ จากบริเวณวัดเจติยหอย อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี โดยศึกษาเปลือกหอยในยุคปัจจุบันเช่น เปลือกหอยขม เปลือกหอยโข่งเปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ กับเปลือกหอยยุคโบราณ เช่น เปลือกหอยนางรม เปลือกหอยกาบ เปลือกหอยเชลล์ เปลือกหอยแครง เปลือกหอยสังข์ มาวิเคราะห์ปริมาณธาตุสตรอนเชียม และธาตุแคลเซียมในเปลือกหอยน้ำจืดและเปลือกหอยทะเล เพื่อโดยวิธีการวากการวาวรังสีเอกซ์ แบบ E-T Method เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์โดยวิธีการอาบนิวตรอนโดยใช้นิวตรอน ผลการวิจัยพบว่าจากการ

วิเคราะห์ธาตุโดยการวาวรังสีเอกซ์ แบบ E-T Method และการวิเคราะห์โดยวิธีการอาบนิวตรอน พบว่าเปลือกหอยยุคปัจจุบันที่เป็นเปลือกหอยน้ำจืดและหอยทะเลมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตใกล้เคียงกัน แต่พบว่าในเปลือกหอยทะเลมีปริมาณสทรอนเซียมคาร์บอเนตสูงกว่าเปลือกหอยน้ำจืด 3-4 เท่า โดยเปลือกหอยน้ำจืดมีอัตราส่วนปริมาณสทรอนเซียมคาร์บอเนตต่อแคลเซียมคาร์บอเนตน้อยกว่า 1 แต่เปลือกหอยทะเลมีอัตราส่วนปริมาณสทรอนเซียมคาร์บอเนตต่อแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่า 1 เมื่อเปรียบเทียบเปลือกหอยปัจจุบันกับเปลือกหอยโบราณ พบว่าเปลือกหอยโบราณอัตราส่วนปริมาณสทรอนเซียมคาร์บอเนตต่อแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่า 1 ดังนั้นเปลือกหอยโบราณจัดอยู่ในกลุ่มเปลือกหอยทะเลและยังพบว่าเปลือกหอยปัจจุบันมีอัตราส่วนปริมาณสทรอนเซียมคาร์บอเนตต่อแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าเปลือกหอยโบราณ จากผลการวิเคราะห์เหล่านี้จึงสรุปได้ว่า บริเวณวัดเจติยหอยอำเภอลาดหลุมแก้วจังหวัดปทุมธานีเคยเป็นทะเลมาก่อน

S. Boonyuen et al. [4] ศึกษาการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยสามชนิดคือหอยแมลงภู่ หอยหวาน และหอยแครง โดยนำเปลือกหอยมาล้างทำความสะอาดตากแดดและอบให้แห้ง จากนั้นบดเปลือกหอยหยาบๆ แล้วจึงทดลองเผาที่อุณหภูมิ 500 700 และ 900 องศาเซลเซียส ที่เวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องจึงบดและกรองผ่านตะแกรงกรองขนาด 100 ไมโครเมตร ผลการวิจัยพบว่าเปลือกหอยทั้งสามชนิดมีลักษณะทางกายภาพของเปลือกหอยหลังเผามีความขาวและความอ่อนตัวมากกว่าเปลือกหอยก่อนเผา และเปลือกหอยที่เผาที่อุณหภูมิสูงกว่ามีความขาวและความอ่อนตัวมากกว่าเปลือกหอยที่เผาที่อุณหภูมิต่ำ การเผาที่อุณหภูมิต่ำน้ำหนักเปลือกหอยหลังเผาลดลงเล็กน้อย ส่วนเปลือกหอยที่เผาที่อุณหภูมิสูงน้ำหนักหลังเปลือกหอยลดลงเกือบครึ่งหนึ่ง ซึ่งคาดว่าเป็ผลของการสลายตัวจากแคลเซียมคาร์บอเนตไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ ดังนั้นอุณหภูมิการเผาที่ทำให้เปลือกหอยเปลี่ยนแปลงมากที่สุดคือ 900 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารด้วยเทคนิค XRD พบว่าเปลือกหอยก่อนเผา (เปลือกหอยธรรมชาติ) พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโครงสร้างผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตแบบอะราโกไนต์มีลักษณะเป็นออร์โธโรมบิก (Orthorhombic) เปลือกหอยหลังเผาที่ 500 และ 700 องศาเซลเซียส พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโครงสร้างผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตแบบแคลไซต์มีลักษณะเป็นรอมโบฮีดรัล (Rhombohedral) เปลือกหอยหลังเผาที่ 900 องศาเซลเซียส พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมออกไซด์มีลักษณะแบบเฟซเซนเตอร์คิวบิก (FCC) สันฐานวิทยาของเปลือกหอยศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าเปลือกหอยก่อนเผามีขนาดอนุภาคใหญ่ ผลึกมีลักษณะเรียบแน่น พื้นผิวมีรูพรุนขนาดเล็กกระจายอยู่ เมื่อเผาเปลือกหอยจะมีรูพรุนที่พื้นผิวมากขึ้นโดยเผาที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีรูพรุนมากกว่า มีรอยแตกหักที่พื้นผิวเนื่องจากการให้ความร้อนทำให้เกิดการการสลายของสารอินทรีย์ในเปลือกหอย และอาจเกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนตจากโครงสร้างผลึกแบบอะราโกไนต์

ไปเป็นโครงสร้างผลึกแบบแคลไซต์ นอกจากนี้พบว่าเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวที่ 900 องศาเซลเซียส เกิดการเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ได้ดีที่สุด ตามด้วยเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยหวาน ตามลำดับ

Kh. N. Islam et al. [17] ศึกษาแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครง วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือการศึกษาลักษณะ (Polymorphs) ของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครง เทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ ทำการทดลองโดย นำเปลือกหอยแครงประมาณ 250 กรัม มาล้างและขัดเพื่อกำจัดฝุ่น จากนั้นต้ม 10 นาที แล้วทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง ล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วจึงทำให้แห้งโดยการอบที่ 50 องศาเซลเซียส 7 วัน บดจนมีขนาดอนุภาค Agate Top diameter 90 มิลลิเมตร แล้วอบไล่ความชื้นที่ 50 องศาเซลเซียส 7 วัน จะได้แคลเซียมคาร์บอเนต จากหอยแครงโดยไม่มีสารเติมแต่งเช่น Surfactants จากนั้นนำไปวิเคราะห์ SEM TER FT-IR และ XRD ผลการวิจัยพบว่าแคลเซียมคาร์บอเนต เชิงพาณิชย์มีรูปแบบผลึกแบบ Cubic-like calcite และผงแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครงมีรูปแบบผลึกแบบ Rod-like aragonite จากการวิเคราะห์ SEM TER FT-IR XRD เปลือกหอยแครงมีปริมาณแคลเซียมและคาร์บอนมาก และรูปผลึกอะราโกไนต์นี้พบได้สิ่งมีชีวิตที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตในโครงสร้าง ดังนั้นจึงมีโอกาสมากมายที่จะสามารถพัฒนาทรัพยากรแร่จากเปลือกหอยแครงสู่อุตสาหกรรมต่างๆ

W. Sutapun et al. [18] ได้ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์คอมพอสิตจากเปลือกไข่ไก่ ตั้งแต่การเตรียมเปลือกไข่ไก่ เปลือกไข่ไก่ดัดแปร จนถึงการนำเปลือกไข่ไก่ไปใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) โดยทำการทดลองดังนี้ ขั้นแรกเตรียมผงเปลือกไข่ไก่และผงเปลือกไข่ไก่ดัดแปร โดยทำความสะอาดเปลือกไข่ไก่ ตากให้แห้ง ส่วนหนึ่งบดให้เป็นผงด้วยเครื่อง Ball mill แล้วกรองด้วยตะแกรงกรองขนาด 230-325 เมช และนำแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในเชิงพาณิชย์มาบดด้วย Ball mill กรองด้วยตะแกรงกรองขนาด 230-325 เมช เช่นเดียวกัน อีกส่วนหนึ่งนำไปเผาที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ จากนั้นนำไปบดและกรองด้วยตะแกรงกรองขนาด 230-325 เมช ผลการศึกษาพบว่าผงเปลือกไข่ไก่มีรูปแบบการเลี้ยวเบน ของรังสีเอกซ์ของแคลเซียมคาร์บอเนตแบบผลึกแคลไซต์ เปลือกไข่ไก่ดัดแปรมีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ และ พบแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณน้อยมาก อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการดัดแปรเปลือกไข่ไก่คือที่ 800 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง การทดลองขั้นที่สองคือการนำผงเปลือกไข่ไก่และผงเปลือกไข่ไก่ดัดแปร ไปใช้เป็นสารตัวเติมใน HDPE ในอัตราส่วน 10% 20% 30% และ 40% โดยน้ำหนัก ผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบ Internal mixer จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานเป็นรูปชิ้นงานสำหรับทดสอบด้วยเครื่อง Injection molding ทั้งที่เติมและไม่เติมสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ ผลการวิจัยพบว่า เมื่อปริมาณผงเปลือกไข่ไก่และผงเปลือกไข่ไก่ดัดแปรใน HDPE มากขึ้นจะทำให้ความเหนียวของ HDPE เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่ไก่และผงเปลือกไข่ไก่ดัดแปรไม่มีผลอย่าง

มีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิการเสื่อมสลายของ HDPE การเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่ไก่ ทำให้มอดูลัสของยังก์ ความต้านทานแรงดึง ที่จุดขาดความแข็งแรง และ HDT เพิ่มขึ้น แต่ทำให้การยืดตัวที่จุดขาด ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก และความต้านทานแรงกระแทก ลดลงตามปริมาณผงเปลือกไข่ไก่ที่เพิ่มขึ้น การลดขนาดอนุภาคของผงเปลือกไข่ไก่ไม่มีผลต่อการปรับปรุงสมบัติการไหล สมบัติทางกล และสมบัติทางความร้อน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้ผงเปลือกไข่ไก่กับการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สิ่งที่แตกต่างกันคือระหว่างกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานผงเปลือกไข่ไก่จะเกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ เกิดกลิ่น การใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความทนต่อการกระแทก

สรุปสาระสำคัญจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลำดับ	ผู้เขียน	ชื่องานวิจัย	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	สรุปผลการวิจัย
1	S. Na Songkhla et al. [3]	Elemental analysis of shells by nuclear technique	วิเคราะห์ปริมาณธาตุ สทรอนเนียม และ แคลเซียม ในเปลือกหอย น้ำจืดและทะเลบริเวณ วัดเจดีย์หอย ปทุมธานี เพื่อพิสูจน์สมมติฐานว่า บริเวณใดเคยเป็นแม่น้ำ หรือทะเลมาก่อน	เปลือกหอยโบราณจาก บริเวณวัดเจดีย์หอย จังหวัด ปทุมธานีมีอัตราส่วนสทรอนเนียมต่อแคลเซียมสูงซึ่งเป็น ลักษณะพิเศษของหอยทะเล แสดงว่าบริเวณดังกล่าวอาจ เคยเป็นทะเลมาก่อน
2	S. Boonyuen et al. [4]	Decomposition study of calcium carbonate in shells	งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการ สลายตัวของแคลเซียม คาร์บอเนตจากเปลือก หอย โดยเตรียมตัวอย่าง ของเปลือกหอยแมลงภู่ หอยหวาน แลหอยแครง ในรูปแบบผง นำไปเผา ในช่วงอุณหภูมิ 500, 700 และ 900	พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนต จากเปลือกหอยทุกชนิด ประกอบด้วยโครงสร้าง แบบอะราโกไนต์ ที่ 900 องศาเซลเซียส พบว่า แคลเซียมคาร์บอเนตเกิด เปลี่ยนไปเป็นแคลเซียม ออกไซด์อย่างสมบูรณ์ การเผาเปลือกหอยแมลงภู่

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ลำดับ	ผู้เขียน	ชื่องานวิจัย	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	สรุปผลการวิจัย
			องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง บดและกรอง ผ่านตะแกรงกรองขนาด 100 ไมโครเมตร	จะเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียม ออกไซด์ได้ดีกว่าเปลือกหอย แครงและเปลือกหอยหวาน แคลเซียมออกไซด์ที่ได้จาก เปลือกหอยแครงไวต่อ ความชื้นเปลี่ยนเป็น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้ง่าย
3	Kh. N. Islam et al. [17]	Characterisation of calcium carbonate and its polymorphs from cockle shells (<i>Anadara granosa</i>)	ศึกษาแคลเซียม คาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครง จุดมุ่งหมายของการทดลองนี้คือการศึกษาคัลเซียม คาร์บอเนต และ Polymorphs ของเปลือกหอยแครง โดยใช้เครื่องบด มาบดเปลือกหอยแครงแล้วนำไปวิเคราะห์	แคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์มีรูปผลึกแบบ Cubic-like calcite และผงเปลือกหอยแครงมีรูปผลึกแบบ Rod-like aragonite จากการวิเคราะห์ SEM TER FT-IR XRD เปลือกหอยแครงมีปริมาณแคลเซียมและคาร์บอนมาก และรูปผลึกอะราโกไนต์นี้พบได้สิ่งมีชีวิตที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตในโครงสร้าง ดังนั้นจึงมีโอกาสมากมายที่จะสามารถพัฒนาทรัพยากรแร่จากเปลือกแครง
4	W. Suta pun et al. [18]	Preparation of Chicken Eggshell-Polymer Composites	ส่วนแรกเป็นการเตรียมผงเปลือกไข่และการดัดแปรเปลือกไข่ด้วยความร้อนและศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างผลึกสมบัติทางความร้อน	การใช้ผงเปลือกไข่เป็นสารตัวเติมสำหรับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงพบว่า การเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงเปลือกไข่ที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ลำดับ	ผู้เขียน	ชื่องานวิจัย	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	สรุปผลการวิจัย
			การกระจายของขนาดอนุภาคและลักษณะรูปร่างของอนุภาค ส่วนที่สองเป็นการใช้ผงเปลือกไข่และผงเปลือกไข่ดัดแปรเป็นสารตัวเติมสำหรับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงโดยศึกษาผลของปริมาณ ขนาดอนุภาค และการใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ต่อสมบัติการไหล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล และลักษณะทางสัณฐานวิทยา	ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิการเสื่อมสลายของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง แต่ทำให้อุณหภูมิการเสื่อมสลายของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกไข่เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่จะทำให้มอดูลัสของยังก์ ความแข็ง และ HDT เพิ่มขึ้นตามปริมาณผงเปลือกไข่ที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณผงเปลือกไข่จะทำให้ การยืดตัว ณ จุดขาด ความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก และ ความต้านทานแรงกระแทก ลดลงตามปริมาณผงเปลือกไข่เพิ่มขึ้น
5	H. Essabir et al. [19]	A comparison between bio- and mineral calcium carbonate on the properties of polypropylene composites	เพื่อแสดงให้เห็นว่าอนุภาคจาก Snail shell สามารถใช้เป็น Filler ที่ดีใน PP และสามารถทดแทนแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ได้	ชิ้นงาน PP ที่ใช้ผงเปลือกหอย Snail shell มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์เทียบเท่ากับชิ้นงานที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ ดังนั้น Snail shell สามารถทดแทนแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ได้

ตารางที่ 2.3 สรุปการเตรียมวัสดุ/การเตรียมวัสดุก่อนเผาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลำดับ	ผู้เขียน	ชื่องานวิจัย	วัสดุ	การเตรียมวัสดุ
1	S. Na Songkhla et al. [3]	Elemental analysis of shells by nuclear technique	เปลือกหอย น้ำจืด เปลือก หอยทะเล	1. นำเปลือกหอยไปล้างน้ำ 2. ตากแดด 3. บดละเอียดโดยครกไฟฟ้า 4. นำไปอบจนแห้ง
2	S. Boon yuen et al. [4]	Decomposition study of calcium carbonate in shells	เปลือก หอยแมลงภู่ หอยหวาน และหอยแครง	1. ล้างเปลือกหอยด้วยสารซัก ล้างและน้ำกลั่นจนสะอาด 2. แล้วนำไปต้มในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดย ปริมาตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดกากโปรตีนที่ ปนเปื้อนออก 3. นำไปล้างด้วยน้ำสะอาด ตากแดด และอบแห้ง
3	N. Erdo gan and H. A. Eken [11]	Precipitated Calcium Carbonate Production Synthesis and Properties	Waste marble powder (WMP) เศษผงหิน อ่อน	เก็บ Waste marble จาก เหมือง
4	J. Kuusis to et al. [12]	Property optimization of calcium carbonate precipitated in a high shear, circulation reactor	CaO	ซื้อผง CaO
5	Sabriye et al. [15]	Effect of Process Conditions on Crystal Structure of	Fly ash	เก็บ Fly ash จาก โรงงาน

ตารางที่ 2.3 สรุปการเตรียมวัสดุ/การเตรียมวัสดุก่อนเผาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ลำดับ	ผู้เขียน	ชื่องานวิจัย	วัสดุ	การเตรียมวัสดุ
		Precipitated Calcium Carbonate (CaCO_3) From Fly Ash : Na_2CO_3 Preparation Conditions		
6	Kh. N. Islam et al. [17]	Characterisation of calcium carbonate and its polymorphs from cockle shells (<i>Anadara granosa</i>)	Cockle shells	1. ล้างเปลือกหอยแครง ประมาณ 250 กรัม 2. ต้ม 10 นาที แล้วทำให้เย็น จนถึงอุณหภูมิห้อง 3. ล้างด้วยน้ำกลั่น 4. ทำให้แห้งโดยการอบที่ 50 องศาเซลเซียส 7 วัน
7	W. Suta pun et al. [18]	Preparation of Chicken Eggshell-Polymer Composites	เปลือกไข่ไก่	ล้างไข่ด้วยน้ำสะอาด ตากให้แห้ง และบดให้เป็นผงละเอียดด้วย Ball mill กรอง ด้วยตะแกรง 230 - 325 เมช
8	H. Essabir et al. [19]	A comparison between bio- and mineral calcium carbonate on the properties of polypropylene composites	เปลือกหอย Snail shell	1. ล้างเปลือกหอยด้วยน้ำประปาเพื่อขจัดสิ่งสกปรก 2. นำเปลือกหอยที่ทำความสะอาดแล้วมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง
9	N. I. Azkiya et al. [21]	Synthesis of Precipitated Calcium Carbonate (PCC) from Lime Rock Nature Methods Caustic Soda (Studies Concentration HNO_3)	หินปูน (Lime stone)	นำหินปูนมาบดแล้วร่อนผ่านเมชเบอร์ 150

ตารางที่ 2.4 สรุปการเผาวัสดุจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลำดับ	ผู้เขียน	ชื่องานวิจัย	วัสดุ	การเผาวัสดุ
1	S. Boon yuen et al. [4]	Decomposition study of calcium carbonate in shells	เปลือก หอยแมลงภู่ หอยหวาน และหอยแครง	เผาเปลือกหอยที่อุณหภูมิ 500 700 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
2	N. Erdogan and H. A. Eken [11]	Precipitated Calcium Carbonate Production Synthesis and Properties	เศษผงหิน อ่อนWaste marble powder (WMP)	เผาที่ 800 850 900 950 และ 1000 องศาเซลเซียส โดยกำหนดค่าคงที่ 1. ปริมาณ WMP ก่อนเผา เป็น 11.7 กรัม 2. ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 20 นาที หาอุณหภูมิที่เหมาะสมโดยวัดผลจาก Mass loss (%) ได้ผลการทดลองคืออุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 950 องศาเซลเซียส
3	W. Suta pun et al. [18]	Preparation of Chicken Eggshell-Polymer Composites	เปลือกไข่ไก่	เผาเปลือกไข่ไก่ที่ 650°C: 16 20 24 ชั่วโมง 670°C: 12 16 ชั่วโมง 770°C: 4 6 ชั่วโมง 800°C: 3 4 5 ชั่วโมง
4	N. I. Azkiya et al. [21]	Synthesis of Precipitated Calcium Carbonate (PCC) from Lime Rock Nature Methods Caustic Soda (Studies Concentration HNO ₃)	หินปูน (Lime stone)	เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 20 นาที

ตารางที่ 2.5 สรุปการละลายแคลเซียมออกไซด์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อ้างอิง	อัตราส่วน		Dissolution		Mixing speed	ปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์
			Temp.	Time		
[11]	CaO : H ₂ O	1:20	25 °C	5 min	100 rpm	เมื่อ pH ของสารละลายคงที่ ถือว่าปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์
[12]	CaO : H ₂ O	1:5	50 °C	10 min	ความเร็วสูง	ครบ 10 นาที
[14]	CaO 1 kg ทำปฏิกิริยาพอดีกับ H ₂ O 0.32 kg ได้ Ca(OH) ₂ 1.32 kg	Slaking process ปกติใช้ CaO:H ₂ O ตั้งแต่ 1:2.5 ถึง 1:6 แบบ A. Slurry Detention Slakers CaO:H ₂ O 1:3.3, 1:5 10 min B. Paste Slakers CaO:H ₂ O 1:2.5 5 min จากนั้นเจือจางน้ำ Hydrated lime 1 phr มาเติมน้ำ 5 phr Ca(OH) ₂ : H ₂ O 1:5 เพื่อ	-	-	N/A	ครบเวลาทำปฏิกิริยาที่กำหนดจึงเจือจางแล้วส่งเข้าสู่กระบวนการถัดไป

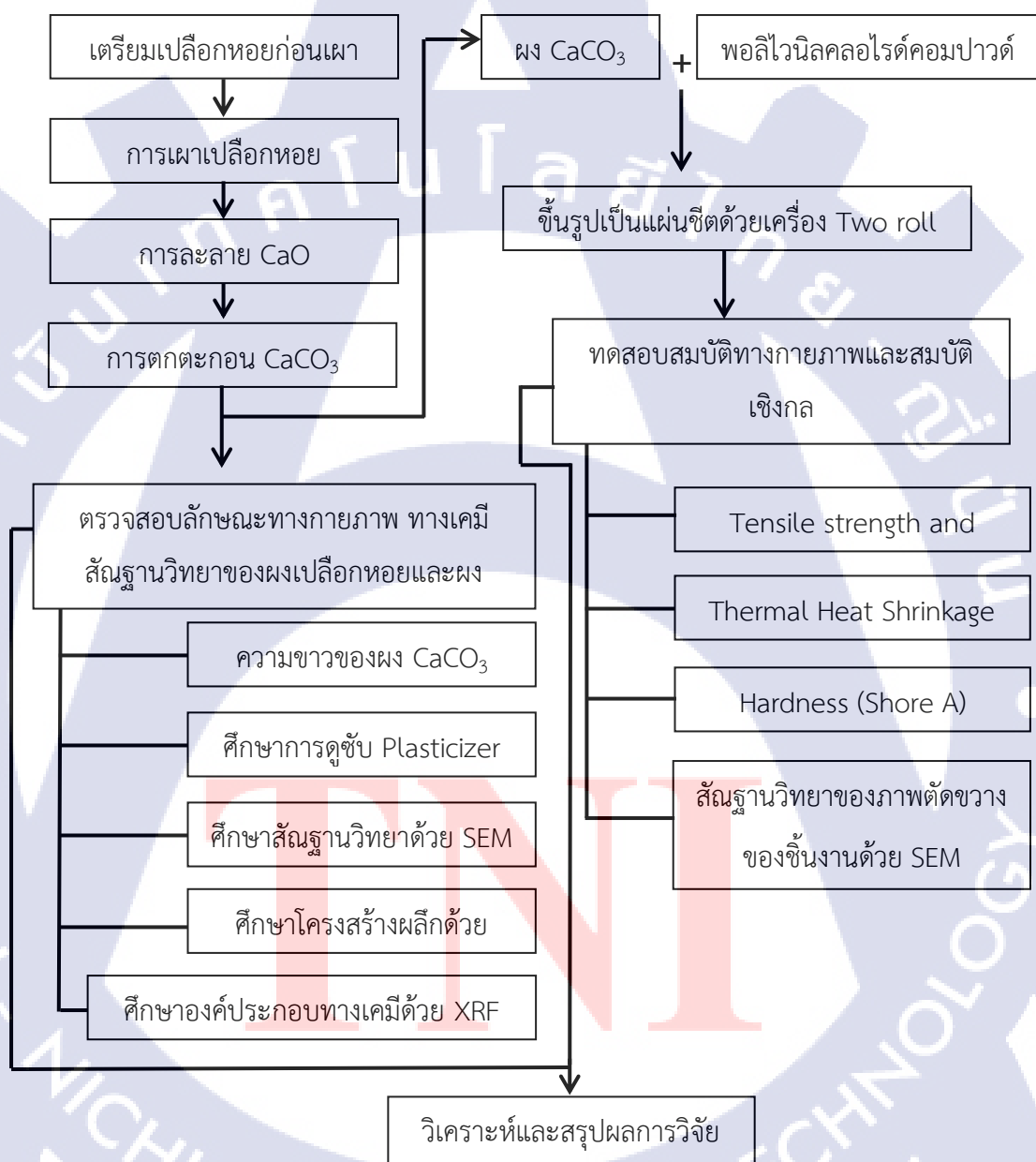
ตารางที่ 2.5 สรุปการละลายแคลเซียมออกไซด์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

อ้างอิง	อัตราส่วน		Dissolution		Mixing speed	ปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์
			Temp.	Time		
		แยกสารที่ไม่ละลายออก C. Ball Mill Slakers				
[15]	CaCO ₃ : H ₂ O	1:50	Room temp	60 min	N/A	ถึงเวลา 60 นาทีแล้วกรอง
[16]	CaO : Sucrose solution 1 M	1 : 10	Room temp	60 min	ความเร็วสูง	นำ CaO 10 g ใส่ในสารละลายซูโครส ความเข้มข้น 1 M จำนวน 100 ml จะได้ Ca(OH) ₂ 13.2 g
[21]	CaO: HNO ₃ : H ₂ O 5.6g :6M:200 ml	1:6M:180ml คือ CaO 1 M : H ₂ O 180 M	65 °C	30 min	700 rpm	ครบ 30 min เติมน้ำ Na ₂ CO ₃

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายคือ การหาทางเลือกในการนำเปลือกหอยแครงที่เป็นขยะจากร้านอาหารไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากปริมาณเปลือกหอยจากร้านอาหารมีปริมาณที่ค่อนข้างแน่นอน จึงทำให้สามารถคาดการณ์ปริมาณเปลือกหอยแครงที่จะเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ และในอุตสาหกรรมพลาสติกนิยมใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตทำให้สินค้ามีน้ำหนักมากขึ้น และช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางฟิสิกส์บางประการเช่นเพิ่มความแข็งแรงของชิ้นงาน ในพลาสติกที่เติมพลาสติกไฮเซอร์เพื่อให้ชิ้นงานมีความนุ่ม มีความยืดหยุ่น การเติมสารตัวเติมอาจส่งผลกระทบต่อความนุ่ม มีความยืดหยุ่นของชิ้นงานด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาผลกระทบของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครงต่อพลาสติกที่มีการเติมพลาสติกไฮเซอร์คือพอลิไวนิลคลอไรด์ตามขอบเขตงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงแบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วนหลักคือ ส่วนแรกศึกษาการเตรียมแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีความบริสุทธิ์สูงจากเปลือกหอยแครง ส่วนที่สองศึกษาอิทธิพลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางความร้อนของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น

3.1.1 ขั้นตอนการทดลองโดยสังเขป

1. เตรียมแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีความบริสุทธิ์สูงจากเปลือกหอยแครง
 - 1.1 การเตรียมเปลือกหอยก่อนเผา
 - 1.2 การเผาเปลือกหอย
 - 1.3 การละลายแคลเซียมออกไซด์
 - 1.4 การตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนต
2. การเตรียมแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น
 - 2.1 การเตรียมพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์
 - 2.2 การขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น
3. ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี สัณฐานวิทยาของผงเปลือกหอยแครง
 - 3.1 ศึกษาน้ำหนักที่หายไปของเปลือกหอยแครงเผาและหลังเผา
 - 3.2 ศึกษาการดูดซับพลาสติกไฮเซอร์
 - 3.3 ศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM
 - 3.4 ศึกษาโครงสร้างผลึกด้วย XRD
 - 3.5 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วย XRF
 - 3.6 ศึกษาขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้

4. ทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น
 - 4.1 Tensile strength and Elongation
 - 4.2 Thermal Heat Shrinkage
 - 4.3 Durometer hardness (shore A)
- 4.4 สันฐานวิทยาของภาพตัดขวางของชิ้นทดสอบด้วย SEM
5. สรุปผลการทดลอง

3.2 วัสดุและสารเคมี

- 3.2.1 เปลือกหอยแครงจากร้านเจ้าภาพแครงลวก ตลาดหญ้า
- 3.2.2 น้ำกลั่น
- 3.2.3 ผงโซเดียมคาร์บอเนตจากศึกษาภัณฑ์พาณิชย์
- 3.2.4 แคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ จากบริษัท TNPC
- 3.2.5 พอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาว์ จากบริษัท TNPC
 - พอลิไวนิลคลอไรด์เรซิน
 - พลาสติไซเซอร์ชนิด Diisononyl phthalate
 - สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน (Stabilizer) ชนิด Ba/Zn

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับเตรียมผงแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอย
 1. อุปกรณ์สำหรับล้างทำความสะอาด
 2. หม้ออะลูมิเนียมสำหรับต้มเปลือกหอย
 3. ถาดอะลูมิเนียม สำหรับตากเปลือกหอย
 4. ครกและสาก
 5. ตะแกรงกรองขนาด 355 และ 100 ไมโครเมตร
 6. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
 7. กระดาษกรอง
 8. เทอร์โมมิเตอร์
 9. แผ่นให้ความร้อน Hot plate
 10. เครื่องปั่นผสม
 11. อะลูมิเนียมฟอยล์
 12. ตู้อบ

13. เต้าเผาไฟฟ้า
14. จานดินเผา
15. เครื่องชั่งละเอียด

3.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับขึ้นรูปชิ้นแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์

1. กระบอกผสมสาร
2. สपाตุล่า (Spatula)
3. เครื่องชั่งละเอียด
4. เครื่องวัดความหนา
5. เครื่อง two roll mill
6. นาฬิกาจับเวลา

3.3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. เครื่องชั่งละเอียด
2. ตู้อบ
3. เครื่อง X-ray diffractomete (XRD)
4. เครื่อง X-ray fluorescence spectrometer (XRF)
5. เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)
6. เครื่อง Laser particle size distribution analyzer (PSD)
7. เครื่อง Universal tensile testing machine
8. เครื่อง Durometer hardness shore A

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมเปลือกหอยก่อนเผา

งานวิจัยนี้เน้นการกำจัดขยะเปลือกหอยจากร้านอาหาร โดยเฉพาะร้านอาหารทะเล ที่มักจะทิ้งเปลือกหอยปนกับขยะประเภทอื่นๆ เมื่อเก็บรวบรวมเปลือกหอยได้แล้วต้องคัดแยกเปลือกหอยออกจากขยะก่อน แล้วจึงเตรียมเปลือกหอยก่อนเผาดังนี้

1. ล้างเปลือกหอยด้วยน้ำประปาเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก
2. ต้ม 10 นาที แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. ทำให้แห้งโดยนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วเก็บใส่ถุงซิปล็อค



รูปที่ 3.2 เปลือกหอยแครง (ก) ก่อนทำความสะอาด (ข) หลังทำความสะอาด

3.4.2 การเผาเปลือกหอย

นำเปลือกหอยที่ล้างทำความสะอาดและอบให้แห้งแล้วมาเผาที่อุณหภูมิและเวลาดังนี้

800 องศาเซลเซียส	3 และ 5 ชั่วโมง
900 องศาเซลเซียส	3 และ 5 ชั่วโมง

จากนั้นนำเปลือกหอยที่เผาแล้วมาบดให้ละเอียดด้วยครกและร่อนผ่านตะแกรงทดสอบขนาด 355 ไมโครเมตร



รูปที่ 3.3 เตาเผาไฟฟ้า

3.4.3 การละลายแคลเซียมออกไซด์

นำเปลือกหอยที่เผาแล้ว(แคลเซียมออกไซด์)มาละลายในน้ำกลั่นดังสมการ (2.2)

CaO	1 โมล	ทำปฏิกิริยาพอดีกับ H ₂ O	1 โมล	ได้ Ca(OH) ₂	1 โมล
CaO	56 กรัม	ทำปฏิกิริยาพอดีกับ H ₂ O	18 กรัม	ได้ Ca(OH) ₂	74 กรัม
CaO	100 กรัม	ทำปฏิกิริยาพอดีกับ H ₂ O	33 กรัม	ได้ Ca(OH) ₂	132 กรัม

จากตารางที่ 2.4 สามารถสรุปวิธีการการละลายแคลเซียมออกไซด์ได้ดังนี้

1. เติมน้ำกลั่น 500 กรัม ในปิกเกอร์ขนาด 1 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง บั่นด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที อย่างต่อเนื่อง
2. ค่อยๆ เติมแคลเซียมออกไซด์ปริมาณ 100 กรัม
3. ปลอ่ยให้สารทำปฏิกิริยา 10 นาที
4. เมื่อครบ 10 นาที เติมน้ำกลั่นอีก 500 กรัม เพื่อหยุดปฏิกิริยา และเพื่อให้ได้สารละลาย แคลเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์
5. กรองสารละลายตะแกรงกรองขนาด 100 ไมโครเมตรนำสารละลายไปใช้ในขั้นตอนต่อไปและแยกส่วนที่ไม่ละลายทิ้ง

3.4.4 การตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนต

แคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับโซเดียมคาร์บอเนตดังสมการ (2.4)

Ca(OH) ₂	1 โมล	กับ Na ₂ CO ₃	1 โมล	ได้ CaCO ₃	1 โมล	ได้ NaOH	2 โมล
Ca(OH) ₂	74 กรัม	กับ Na ₂ CO ₃	106 กรัม	ได้ CaCO ₃	100 กรัม	ได้ NaOH	80 กรัม
Ca(OH) ₂	100 กรัม	กับ Na ₂ CO ₃	144 กรัม	ได้ CaCO ₃	135 กรัม	ได้ NaOH	108 กรัม

วิธีการตกตะกอน

1. นำ Na₂CO₃ 250 กรัม ค่อยๆ เติมลงในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในขณะที่บั่นด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาทีอย่างต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง แล้วจึงกรองด้วยตะแกรงกระดาษกรอง
2. กรองด้วยกระดาษกรอง
3. นำตะกอนไปอบให้แห้งที่ 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง
4. บดให้ละเอียดด้วยครก แล้วกรองผ่านตะแกรงขนาด 100 ไมโครเมตร

5. อบให้แห้งที่ 105 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.4 (ก) อุปกรณ์ที่ใช้ในการละลายและตากตะกอน (ข) ตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้

3.4.5 รูปขึ้นแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์

1. ผสมพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์ตามสูตรในตารางที่ 3.1
Code CCS คือ Calcium Carbonate from cockle shells
CCM คือ Calcium Carbonate from commercial

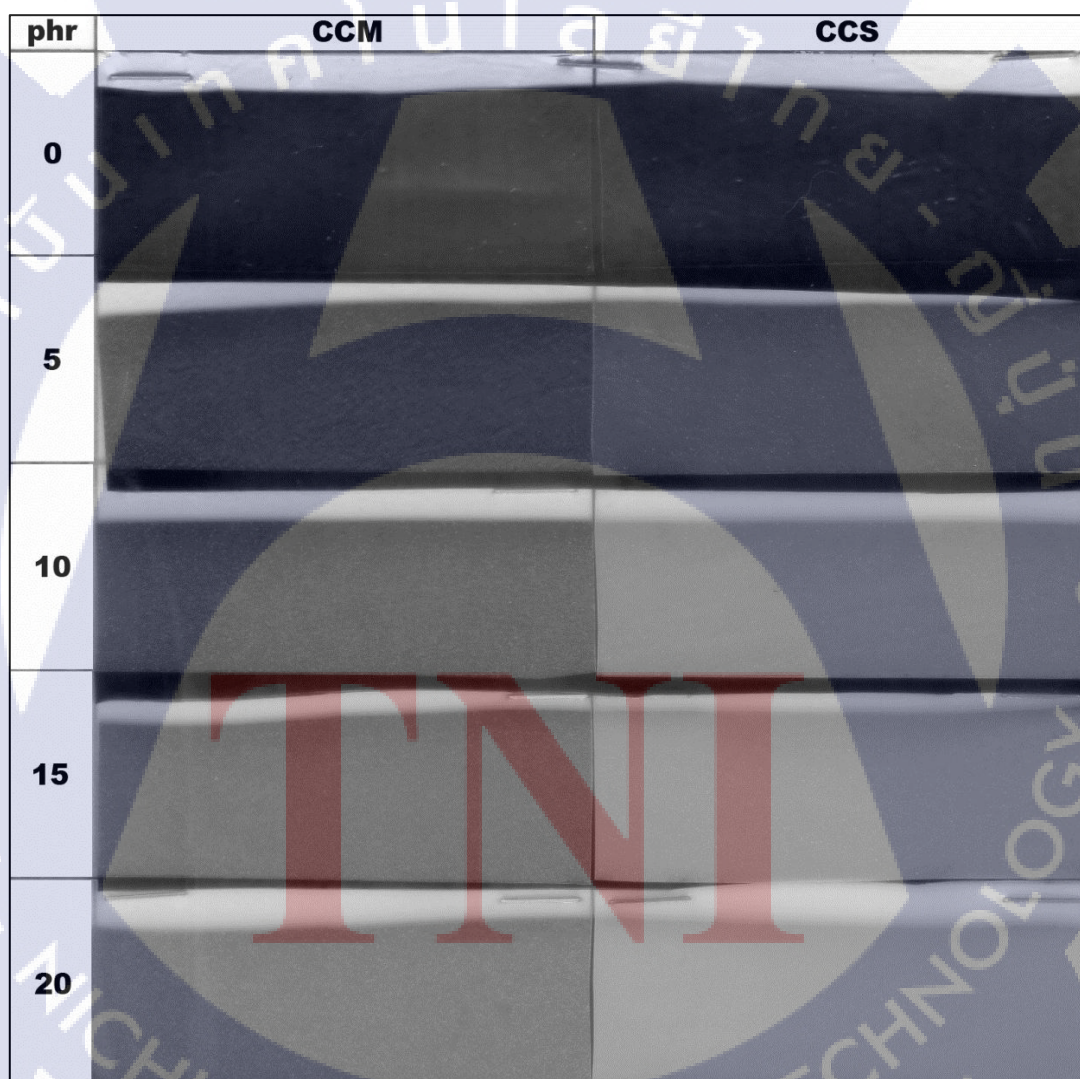
ตารางที่ 3.1 สูตรการผสมพอลิไวนิลคลอไรด์คอมปาวด์

Material	Parts per hundred resin (phr)
PVC resin	100
Plasticizer(Diisononyl phthalate)	40
Stabilizer	2
Filler	5, 10, 15, 20

2. กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที
3. รีดแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ด้วยเครื่อง two roll mill ที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที ให้ได้ชิ้นงานที่มีความหนาประมาณ 0.35 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.5 (ก) เครื่อง two roll mill (ข) ชิ้นงานขณะที่กำลังรีดชิ้นงานด้วยเครื่อง two roll mill



รูปที่ 3.6 ชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นที่เติม CCS และ CCM โดยวางชิ้นงานบนพื้นหลังสีดำ

3.5 การวิเคราะห์

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการวิเคราะห์ผลการทดลองออกเป็นสองส่วนหลักๆ คือส่วนแรกการวิเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากเปลือกหอยแครง ส่วนที่สองคือการวิเคราะห์ผลกระทบของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตจากเปลือกหอยแครงต่อพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น

3.5.1 การวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไปของเปลือกหอยแครง

วิเคราะห์น้ำหนักของเปลือกหอยแครงโดยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเปลือกหอยแครงหลังเผาเทียบกับน้ำหนักเปลือกหอยแครงก่อนเผา

3.5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence Spectrometer (WDXRF) (XRF (WDXRF)) วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของธาตุในสารตัวอย่าง โดยการวัดอัตราการเรืองรังสีเอกซ์ที่เป็นลักษณะเฉพาะของธาตุ ซึ่งปล่อยออกมาจากอะตอมที่สภาวะถูกกระตุ้น ลักษณะการทำงานเป็นแบบ Sequential Type Spectrometry โดยใช้ผลึก (Analyzer Crystal) กระจายความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

3.5.3 การวิเคราะห์การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) วัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เมื่อผ่านชั้นต่างๆของอะตอมหรือโมเลกุลภายในวัสดุที่มุม 2-Theta – Scale ในช่วง Start: 10.0000 ° - End: 79.9920 ° - Step: 0.0229 ° - Step time: 240.5 s - Temp.: 25 °C (Room)

3.5.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้

วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectrometer, SEM-EDS (JEOL, JSM-6610LV and Oxford, X-MaxN 50) ที่ 15 kV

3.5.5 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้

วิเคราะห์ขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้ด้วยเทคนิค Laser particle size distribution analyzer (PSD) ด้วยเครื่อง MALVERN, Mastersizer 3000 โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง

3.5.6 การวิเคราะห์การดูดซับพลาสติกไซเซอร์ของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้

วิเคราะห์การดูดซับพลาสติกไซเซอร์ของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้โดยการหาปริมาณพลาสติกไซเซอร์ที่ทำให้สารที่ลักษณะเป็นของแข็งจำนวน 100 กรัม กลายเป็นของเหลวที่มีความหนืดสูง (paste) ตามมาตรฐาน ASTM D 281 โดยใช้พลาสติกไซเซอร์ชนิดเดียวกับที่ใช้ในแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น คือใช้ไดไอโซโนนิลพทาเลต (diisononyl phthalate)

3.5.7 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น

วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นตามด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectrometer, SEM-EDS (JEOL, JSM-6610LV and Oxford, X-MaxN 50) ที่ 15 kV

3.5.8 การทดสอบ Tensile strength และ Elongation

ทดสอบ Tensile strength และ Elongation ของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นในแนวตามเครื่องจักร (machine direction, MD) และแนวตามขวางเครื่องจักร (transverse direction, TD) ด้วย เครื่อง Universal tensile testing machine ตามมาตรฐาน JIS K 6301 ที่ความเร็ว 200 มิลลิเมตร/นาทีและระยะ gauge 40 มิลลิเมตร

3.5.9 การทดสอบ Thermal Heat Shrinkage และ Weight loss (%)

ทดสอบ Thermal Heat Shrinkage และ Weight loss (%) ของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นในแนวตามเครื่องจักร (machine direction, MD) และแนวตามขวางเครื่องจักร (transverse direction, TD) โดยการตัดชิ้นงานขนาด 10 x 10 เซนติเมตร ซึ่งน้ำหนักและวัดขนาดความยาวของขอบของแต่ละด้านก่อนนำเข้าตู้อบ จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จึงนำชิ้นงานออกมาวางบนพื้นผิวที่เรียบรอให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องจึงชั่งน้ำหนักและวัดขนาดความยาวของขอบของแต่ละด้าน แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวเทียบกับความยาวของขอบของแต่ละด้านก่อนนำเข้าตู้อบ และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของชิ้นงานที่หายไปเทียบกับน้ำหนักชิ้นงานก่อนนำเข้าตู้อบ

3.5.10 การทดสอบ Hardness

วัดความแข็งของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นโดยการทดสอบ Hardness ของชิ้นงานด้วยเครื่อง Durometer Hardness Shore A (ASTM D2240)

บทที่ 4

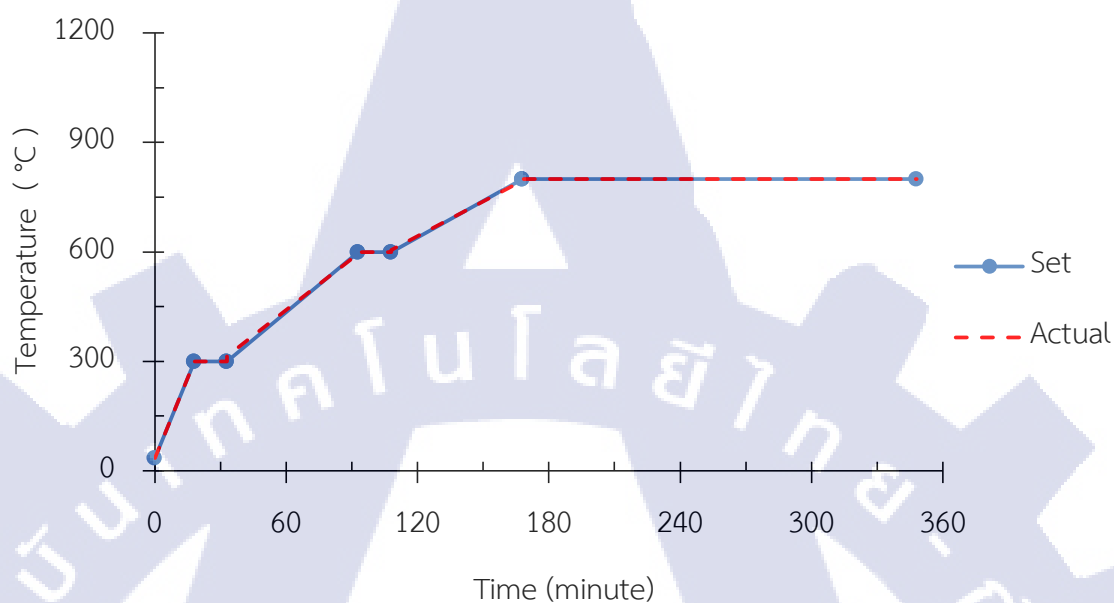
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการตามวัตถุประสงค์ คือศึกษาการเตรียมแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีความบริสุทธิ์สูงจากเปลือกหอยแครงและศึกษาอิทธิพลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางความร้อนของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น ได้ผลการวิจัยดังนี้

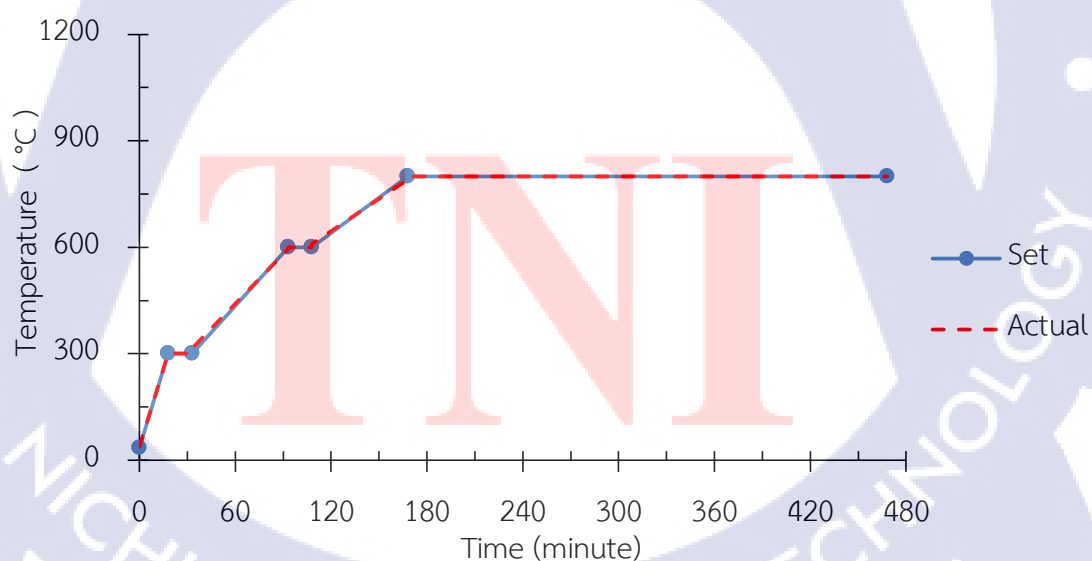
4.1 การเผาเปลือกหอยแครง

จากการนำเปลือกหอยที่ล้างทำความสะอาดและอบให้แห้งแล้วมาเผาที่ 800 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 5 ชั่วโมง แล้วนำเปลือกหอยที่เผาแล้วมาบดให้ละเอียดด้วยครกและร่อนผ่านตะแกรงทดสอบขนาด 355 ไมโครเมตร บันทึกอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแครงแสดงในรูปที่ 4.1 – 4.4 และตารางที่ 4.1 – 4.4 ชั่วโมง ลักษณะของผงเปลือกหอยหลังเผาและบดแล้วแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่าผงเปลือกหอยหลังเผาที่ 900 องศาเซลเซียส มีความขาวมากกว่าที่ 800 องศาเซลเซียส ผลของน้ำหนักเปลือกหอยแครงที่หายไปหลังการเผาแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 โดยการเผาที่ 800 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง เปลือกหอยหลังเผามีน้ำหนักที่หายไป 2.0 % ของน้ำหนักก่อนเผาที่ 800 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง เปลือกหอยหลังเผามีน้ำหนักที่หายไป 18.2 % ของน้ำหนักก่อนเผาที่ 900 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง เปลือกหอยหลังเผามีน้ำหนักที่หายไป 33.0 % ของน้ำหนักก่อนเผาที่ 900 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง เปลือกหอยหลังเผามีน้ำหนักที่หายไป 37.5 % ของน้ำหนักก่อนเผา การเผาที่ 900 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปมากกว่าการเผาที่ 800 องศาเซลเซียส และการเผาที่ 900 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปมากกว่าการเผาที่ 800 องศาเซลเซียส ถึงสิบเท่า ซึ่งสอดคล้องและใกล้เคียงกับงานวิจัยของ S. Boonyuen et al. [4] ที่เผาเปลือกหอยแครงที่ 900 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง ได้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ไปคือ 41.2% และเปลือกหอยที่เผาที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีความขาวมากกว่าเปลือกหอยที่เผาที่อุณหภูมิต่ำ คาดว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาของเปลี่ยนจากแคลเซียมคาร์บอเนตไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปมีค่าแสดงว่าเกิดปฏิกิริยามาก ดังนั้นการเผาที่ 900 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยามากกว่าที่ 800 องศาเซลเซียส และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของการเผาที่ 900 องศาเซลเซียส 3 และ 5 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการเผาที่ 900 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง เป็นสภาวะการเผาที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ในระหว่างการเผา

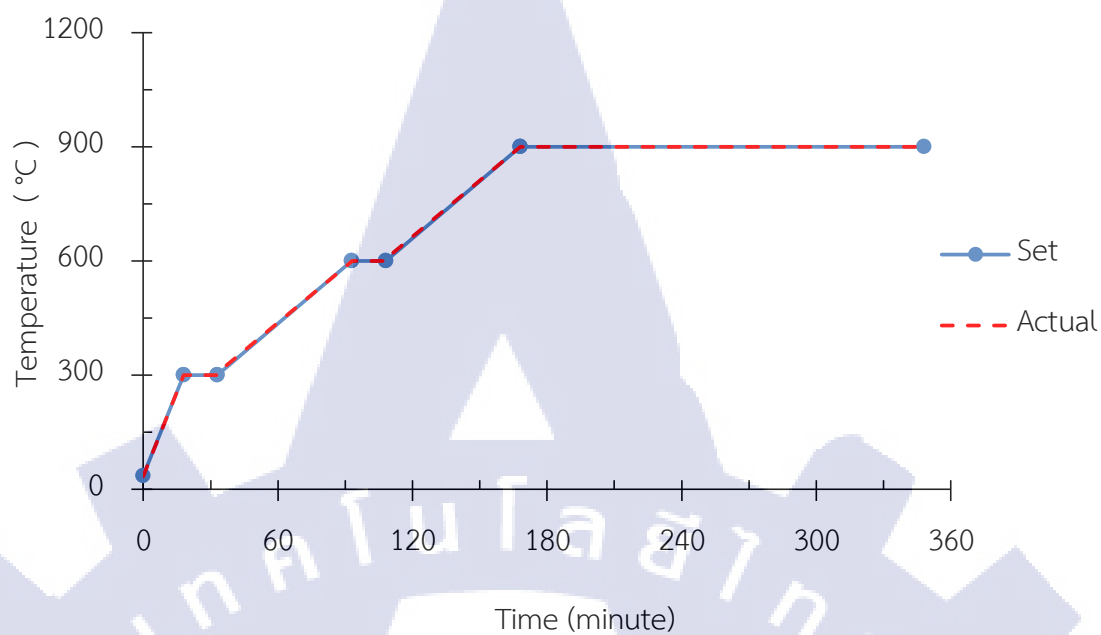
เปลือกหอยแครงจะเกิดกลิ่นเหม็นไหม้ คล้ายกลิ่นย่างอาหารทะเลที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส และกลิ่นจางลงไปเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 600 องศาเซลเซียส



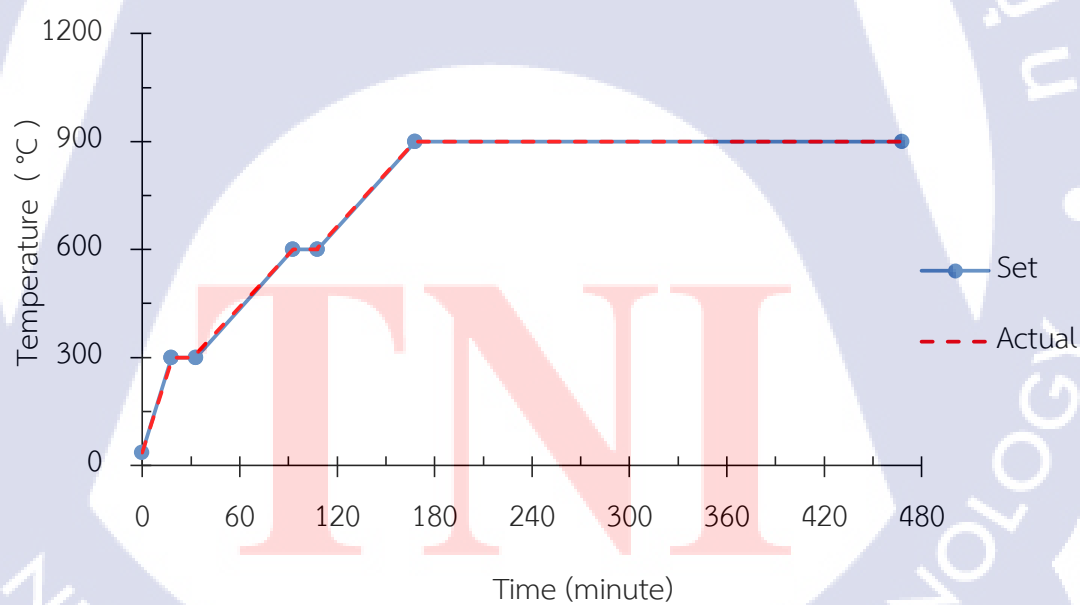
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแครงที่ 800 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแครงที่ 800 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลี่ยนออยแคร่งที่ 900 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลี่ยนออยแคร่งที่ 900 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแครงที่ 800 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง

Stages		Temp. Set (°C)	Temp. Actual (°C)	Time (min)	Time (h)
1	Start	35	35	0	0.3
	End	300	300	18	
2	Start	300	300	18	0.25
	End	300	300	33	
3	Start	300	315	33	1
	End	600	595	93	
4	Start	600	600	93	0.25
	End	600	600	108	
5	Start	600	605	108	1
	End	800	795	168	
6	Start	800	800	168	3
	End	800	800	348	

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแครงที่ 800 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง

Stages		Temp. Set (°C)	Temp. Actual (°C)	Time (min)	Time (h)
1	Start	35	37	0	0.3
	End	300	300	18	
2	Start	300	300	18	0.25
	End	300	300	33	
3	Start	300	315	33	1
	End	600	595	93	
4	Start	600	600	93	0.25
	End	600	600	108	
5	Start	600	609	108	1
	End	800	790	168	
6	Start	800	800	168	5
	End	800	800	468	

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแครงที่ 900 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง

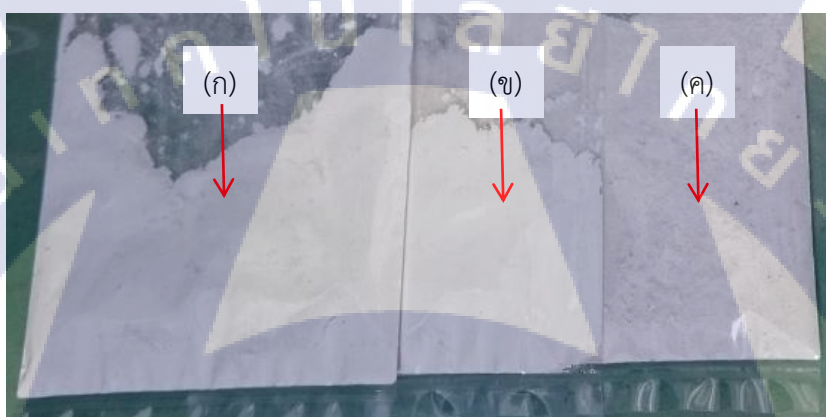
Stages		Temp. Set (°C)	Temp. Actual (°C)	Time (min)	Time (h)
1	Start	35	33	0	0.3
	End	300	300	18	
2	Start	300	300	18	0.25
	End	300	300	33	
3	Start	300	305	33	1
	End	600	598	93	
4	Start	600	600	93	0.25
	End	600	600	108	
5	Start	600	605	108	1
	End	900	900	168	
6	Start	900	900	168	3
	End	900	900	348	

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแครงที่ 900 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง

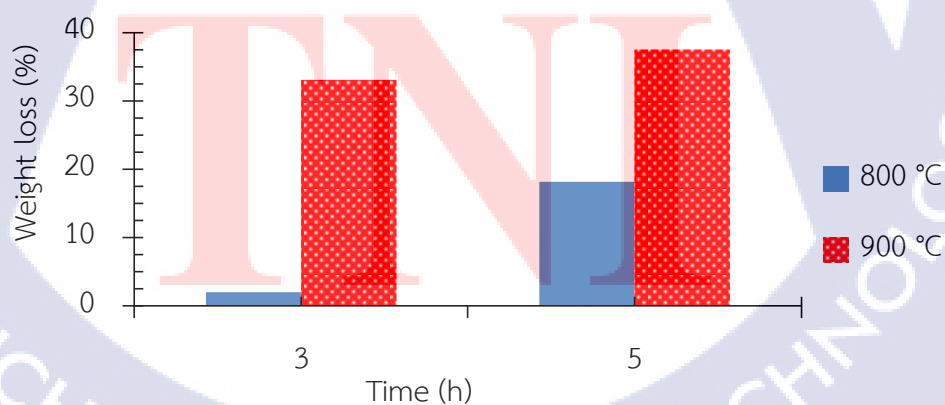
Stages		Temp. Set (°C)	Temp. Actual (°C)	(min)	(h)
1	Start	35	35	0	0.3
	End	300	300	18	
2	Start	300	300	18	0.25
	End	300	300	33	
3	Start	300	315	33	1
	End	600	595	93	
4	Start	600	600	93	0.25
	End	600	600	108	
5	Start	600	605	108	1
	End	800	795	168	
6	Start	800	800	168	3
	End	800	800	348	

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปและลักษณะทางกายภาพของเปลือกหอยแครงหลังเผา

ลำดับ	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (h)	% น้ำหนักที่หายไป	สีเปลือกหอย	ความแข็ง
1	อุณหภูมิห้อง	-	-	สีขาวปนดำ	แข็ง
2	800	3	1.98	เทา	เปราะ
3	800	5	18.18	เทาอ่อน	เปราะ
4	900	3	33.02	ขาว	เปราะแตกง่าย
5	900	5	37.50	ขาว	เปราะแตกง่าย



รูปที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของผงเปลือกหอยแครงหลังเผาเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้
(ก) เเผที่ 900 องศาเซลเซียส(ข) แคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้ (ค) เเผที่ 800 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป หลังเผาเปลือกหอยแครงที่ 800 และ 900 องศาเซลเซียส
เทียบกับเวลาที่ใช้เผาเปลือกหอยแครง

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครงที่ผลิตได้โดยใช้เปลือกหอยแครงที่เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง มาผลิต แสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โดย X-ray fluorescence spectrometer (XRF) พบว่าใน CCS มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูง (54.7% CaO) และมีปริมาณ Na_2O เล็กน้อย (1.13%) มี SrO (0.131%) และ MgO (0.125%) น้อยมาก โดยปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (97.68%) คำนวณจากปริมาณแคลเซียมออกไซด์โดยใช้สมการ (5) และผลในการทดลองคล้ายคลึงกับผลการวิจัยของ N. Erdogan and H. A. Eken [11] และ A. Othman et al. [13] ดังนั้นงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีความบริสุทธิ์สูงจากเปลือกหอยแครง

$$(\% \text{CaO} / 56) \times 100 = \% \text{CaCO}_3 \quad (4.1)$$

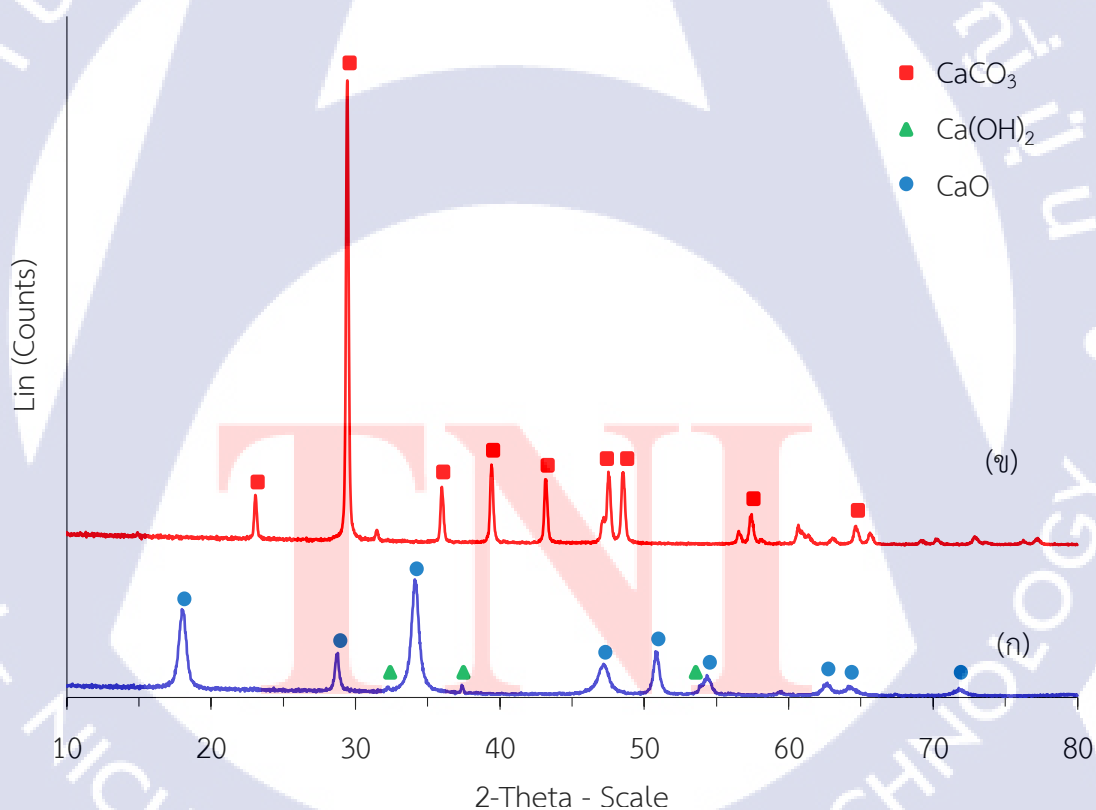
ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากเปลือกหอยแครงที่เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง

Elemental	Content (%)
CaO	54.7
Na_2O	1.13
SrO	0.131
MgO	0.125
Cl	125 PPM
Fe_2O_3	112 PPM
MnO	84.5 PPM
Al_2O_3	<0.1 PPM
CaCO_3	97.68

4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) พบว่าเปลือกหอยแครงที่เผาที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของโครงสร้างผลึกแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ก) แสดงว่าเปลือกหอยแครงหลังเผาที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ S. Boonyuen et al. [4] สาเหตุที่พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของโครงสร้างผลึกแคลเซียมไฮดรอกไซด์ คาดว่าเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมออกไซด์กับความชื้นในอากาศจึงเกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์

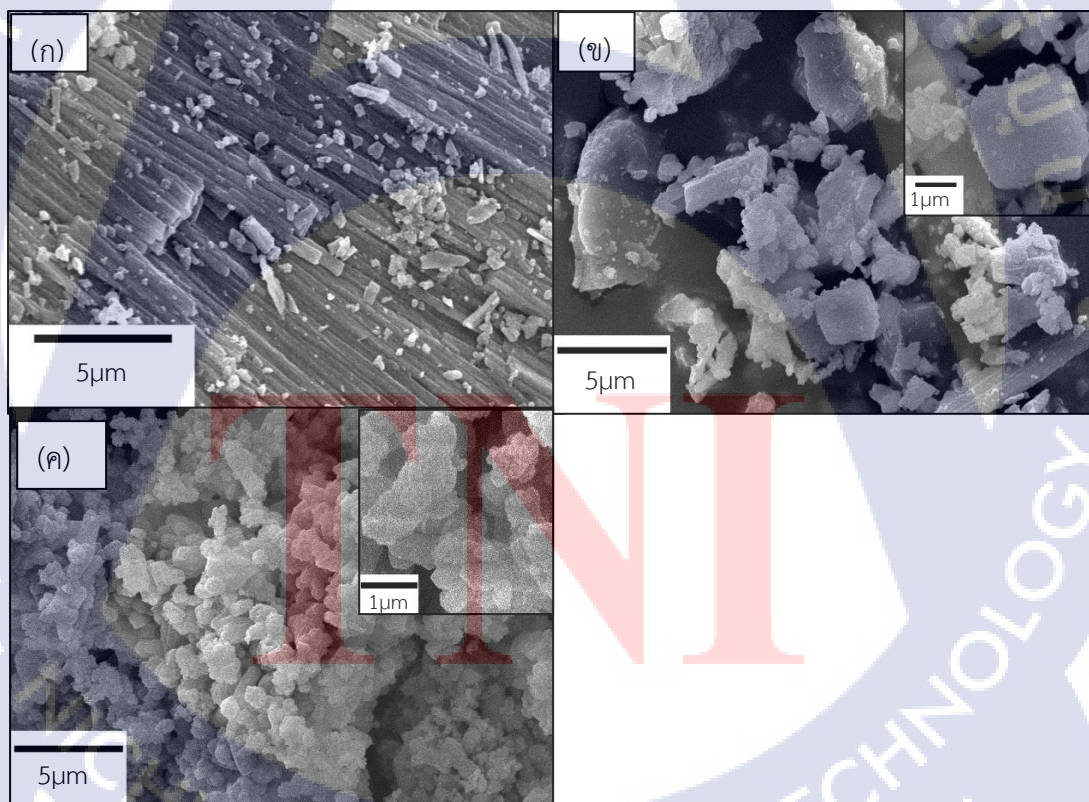
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากการตกตะกอนเปลือกหอยแครงที่เผาที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (CCS) พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์แคลเซียมคาร์บอเนตที่มีโครงสร้างแบบแคลไซต์เพียงชนิดเดียวดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ข) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทดลองนี้ประสบความสำเร็จในการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนต



รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) (ก) เปลือกหอยแครงเผาที่ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (ข) แคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้ (CCS)

4.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ แคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครง (CCS) และ แคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ (CCM) โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) แสดงในรูปที่ 4.8 สัณฐานวิทยาของเปลือกหอยแครงตามธรรมชาติ ก่อนทำการเผาแสดงในรูปที่ 4.8 (ก) มีโครงสร้างผลึกแบบอะราโกไนต์ มีลักษณะเป็นแท่งคล้ายเข็ม และมีพื้นผิวเรียบซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ S. Boonyuen et al. [4] และผลการวิจัยของ Kh. N. Islam et al. [17] สัณฐานวิทยาของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากการตกตะกอนเปลือกหอยแครงที่เผาที่ 900 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง กับโซเดียมคาร์บอเนต แสดงในรูปที่ 4.8 (ข) ซึ่งมีลักษณะคล้ายโครงสร้างผลึกของแคลไซต์ที่มีรูปร่างคล้ายลูกบาศก์ มีขนาดไม่สม่ำเสมอ และมีอนุภาคขนาดเล็กที่จับหรือติดอยู่ที่ผิวของอนุภาคขนาดใหญ่ แตกต่างจากแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ (CCM) ที่มีโครงสร้างผลึกคล้ายแคลไซต์ที่มีลักษณะคล้ายลูกบาศก์ที่มีขอบมนและมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน แต่จับกันเป็นกลุ่ม ทำให้มีขนาดอนุภาคโดยรวมใหญ่กว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากเปลือกหอยแครงแสดงในรูปที่ 4.8 (ค)



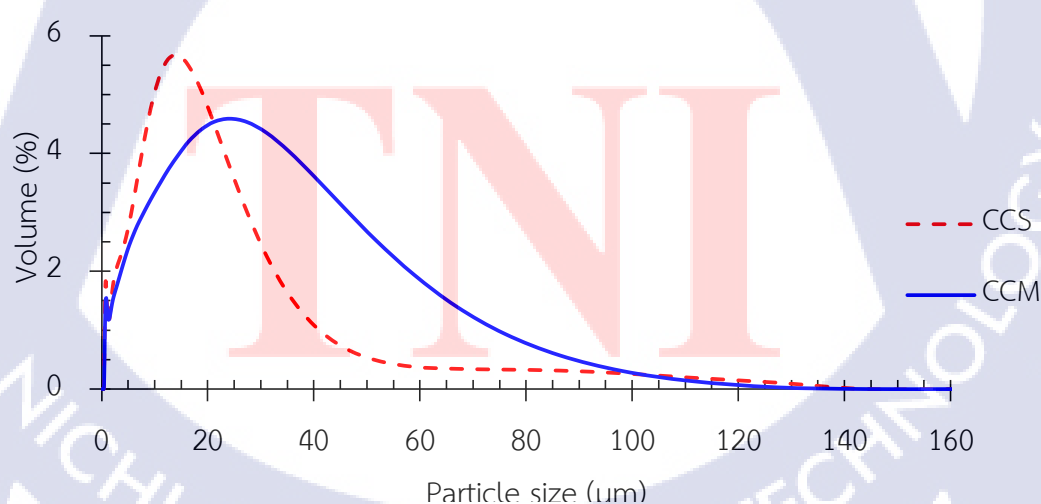
รูปที่ 4.8 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ (ก)เปลือกหอยแครงตามธรรมชาติ (ข) แคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้ (CCS) (ค)แคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ (CCM)

4.5 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของ CCS และ CCM ทำโดยเทคนิค Laser particle size distribution analyzer (PSD) แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 โดย CCS มีขนาดอนุภาคขนาด 1.3 ไมโครเมตร หรือน้อยกว่า 10% โดยปริมาตร (D_{10}), 10.3 ไมโครเมตร หรือน้อยกว่า 50% โดยปริมาตร (D_{50}), 28.6 ไมโครเมตร หรือน้อยกว่า 90% โดยปริมาตร (D_{90}) CCM มีอนุภาคขนาด 1.5 ไมโครเมตร หรือน้อยกว่า 10% โดยปริมาตร (D_{10}), 14.1 ไมโครเมตร หรือน้อยกว่า 50% โดยปริมาตร (D_{50}), 47.4 ไมโครเมตรหรือน้อยกว่า 90% โดยปริมาตร (D_{90}) CCS มีขนาดเล็กกว่า CCM ขนาดอนุภาคปานกลาง (D_{50}) 28.6 ไมโครเมตร และการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของ CCS และ CCM มีลักษณะกราฟใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งไม่สอดคล้องกับผล SEM ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะการสุ่มอย่าง CCM หรือเกิดจากการจับกันเป็นก้อนของอนุภาค CCM ทำให้มีขนาดอนุภาคโดยรวมขนาดใหญ่ดังภาพ SEM เมื่อนำมาวิเคราะห์ PSD อนุภาค CCM ยังจับกันเป็นก้อนจึงทำให้ขนาดอนุภาคที่วัดได้มีขนาดใหญ่กว่า CCS

ตารางที่ 4.7 ขนาดอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้ (CCS) และเซิงพาณิชย์ (CCM)

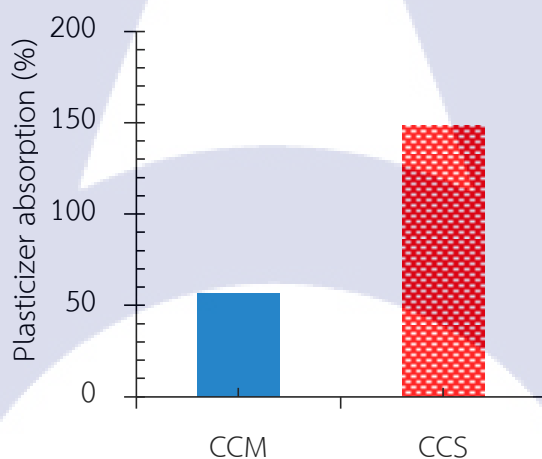
Material	Particle Size (μm)				
	D_{10}	D_{50}	D_{90}	D [4,3]	D [3,2]
CCS	1.3	10.3	28.6	13.8	3.9
CCM	1.5	14.1	47.4	20.1	4.7



รูปที่ 4.9 แสดงการกระจายของขนาดอนุภาคของ CCS และ CCM

4.6 การวิเคราะห์การดูดซับพลาสติกไซเซออร์ แคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้

ในงานวิจัยนี้ ใช้พลาสติกไซเซออร์ชนิดเดียวกับที่ใช้ในแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น คือใช้ไดไอโซโนนิลฟทาเลต (diisononyl phthalate) ในการหาปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่ทำให้สารที่มีสถานะเป็นผงกลายเป็นของเหลวที่มีความหนืดสูง(paste) ผลการวิจัยพบว่า CCS ต้องการพลาสติกไซเซออร์ ในปริมาณ 148% ของปริมาณ CCS และ CCM ต้องการพลาสติกไซเซออร์ ในปริมาณ 57% ของปริมาณ CCM ดังนั้น CCS ต้องการพลาสติกไซเซออร์มากกว่า CCM ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ที่เป็นเช่นนี้ คาดว่า CCS มีความสามารถในการดูดซับพลาสติกไซเซออร์สูงกว่า CCM เนื่องจาก CCS มีขนาดอนุภาค เล็กกว่า CCM จึงน่าจะมีพื้นที่ผิวมากกว่า CCM ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของ แคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้การดูดซับพลาสติกไซเซออร์มากอาจส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของ ชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น แต่ผลการวิจัยพบว่าความแตกต่างในการดูดซับพลาสติกไซเซออร์นี้ไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น

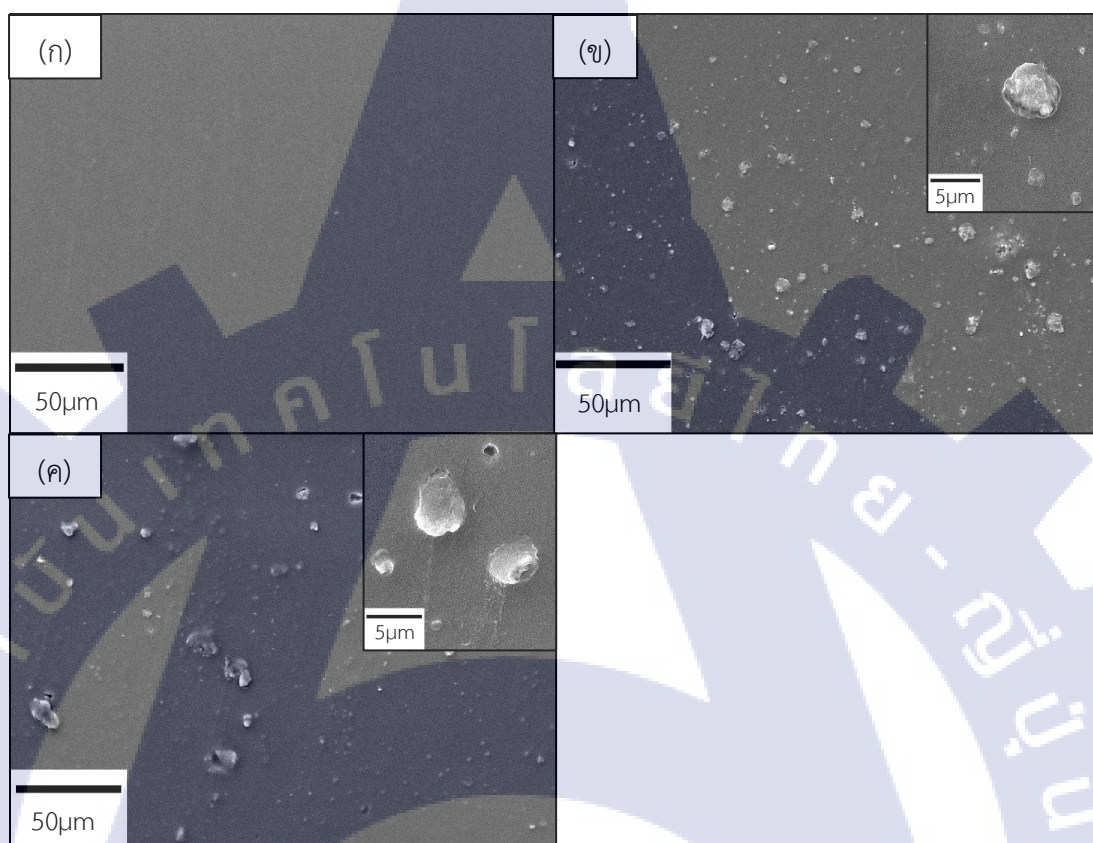


รูปที่ 4.10 การดูดซับพลาสติกไซเซออร์ของแคลเซียมคาร์บอเนต CCS และ CCM

4.7 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครง (CCS) และแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ (CCM) เป็นสารตัวเติม ในปริมาณ 5 phr วิเคราะห์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ผลการวิจัยพบว่าภาพตัดขวางของชิ้นงานพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นที่ไม่เติม สารตัวเติมมีลักษณะเป็นสารเนื้อเดียวกันดังแสดงในรูป 4.11(ก) เมื่อเติมสารตัวเติม CCS และ CCM พบลักษณะของสารผสมดังแสดงในรูป (ข) และ (ค) โดยทั้ง CCS และ CCM การกระจายตัวได้ดี

ในพอลิไวนิลคลอไรด์เมทริกซ์ ไม่มีการจับกันเป็นกลุ่มก้อน และยังสามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิไวนิลคลอไรด์ ดังนั้น CCS มีกระจายตัวและความเข้ากันได้ดีในพอลิไวนิลคลอไรด์เมทริกซ์คล้าย CCM



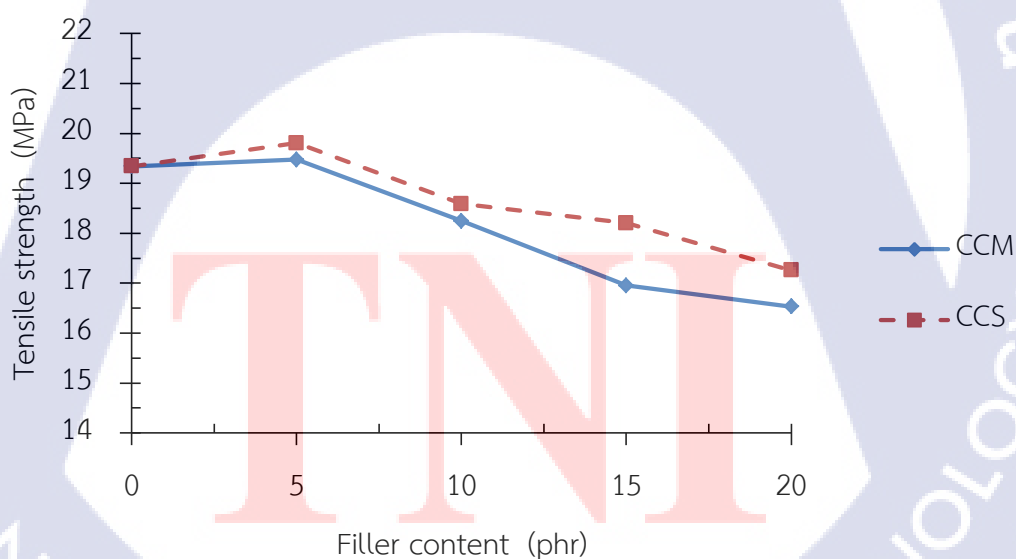
รูปที่ 4.11 ภาพตัดขวางของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น (ก) ไม่เติมสารตัวเติม (ข) เติมสารตัวเติม CCS 5 phr (ค) เติมสารตัวเติม CCM 5 phr

4.8 การทดสอบ Tensile strength และ Elongation

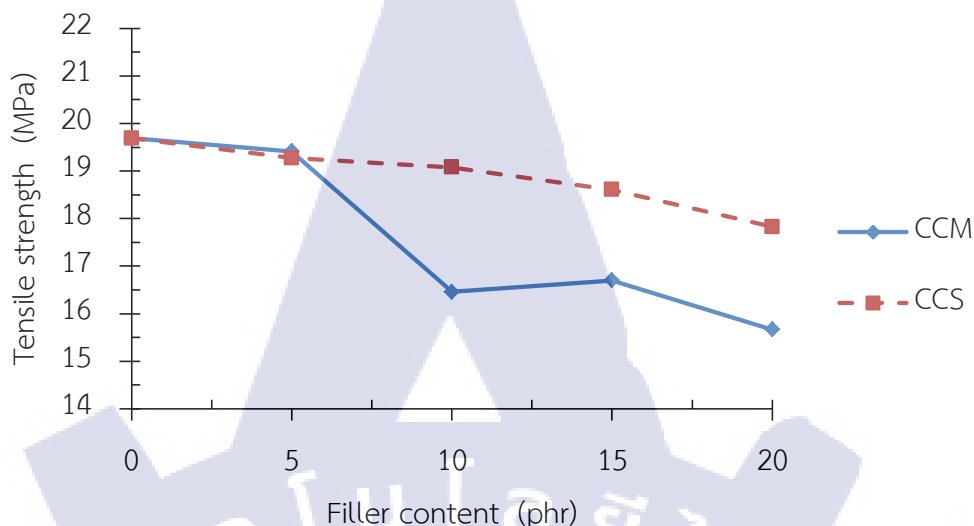
งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของชนิดและปริมาณสารตัวเติมต่อ Tensile strength และ Elongation ของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นในแนวตามเครื่องจักร (Machine direction, MD) และแนวตามขวางเครื่องจักร (Transverse direction, TD) ตามมาตรฐาน JIS K 6301 ที่ความเร็ว 200 มิลลิเมตร/นาทีและระยะวัด 40 มิลลิเมตร ผลการวิจัยค่า Tensile strength แสดงในรูปที่ 4.12 พบว่าชิ้นงานที่ไม่เติมสารตัวเติมมีค่า Tensile strength ในแนวตามเครื่องจักรเท่ากับ 19.3 MPa และในแนวตามขวางเครื่องจักรแสดงในรูปที่ 4.13 เท่ากับ 19.7 MPa

เมื่อเติมสารตัวเติมในปริมาณ 5 phr พบว่าค่า Tensile strength ในแนวตามเครื่องจักรมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยเติม CCS มีค่า 19.8 MPa และ CCM มีค่า 19.3 MPa แต่ทำให้ค่า Tensile

strength ในแนวตามขวางเครื่องจักรมีค่าลดลงเล็กน้อย เติม CCS มีค่า 19.3 MPa และ CCM มีค่า 19.4 MPa เมื่อเติมสารตัวเติมในปริมาณ 10 phr พบว่าค่า Tensile strength ในแนวตามเครื่องจักรมีค่าลดลงโดยเติม CCS มีค่า 18.6 MPa และ CCM มีค่า 18.2 MPa และค่า Tensile strength ในแนวตามขวางเครื่องจักรมีค่าลดลง เติม CCS มีค่า 19.1 MPa และ CCM มีค่า 16.5 MPa เมื่อเติมสารตัวเติมในปริมาณ 15 phr พบว่าค่า Tensile strength ในแนวตามเครื่องจักรมีค่าลดลงโดยเติม CCS มีค่า 18.2 MPa และ CCM มีค่า 17.0 MPa และค่า Tensile strength ในแนวตามขวางเครื่องจักรมีค่าลดลง เติม CCS มีค่า 18.6 MPa และ CCM มีค่า 16.7 MPa เมื่อเติมสารตัวเติมในปริมาณ 20 phr พบว่าค่า Tensile strength ในแนวตามเครื่องจักรมีค่าลดลงโดยเติม CCS มีค่า 17.3 MPa และ CCM มีค่า 16.5 MPa และค่า Tensile strength ในแนวตามขวางเครื่องจักรมีค่าลดลง เติม CCS มีค่า 17.8 MPa และ CCM มีค่า 15.7 MPa ดังนั้นการเติมสารตัวเติม CCS และ CCM ทำให้ค่า Tensile strength ของพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในแนวตามเครื่องจักรเมื่อเติมในปริมาณ 5 phr และเมื่อเติมสารตัวเติมมากขึ้นค่า Tensile strength จะลดลงเล็กน้อยตามปริมาณสารตัวเติมที่เติม ในแนวตามขวางเครื่องจักรเมื่อเติมสารตัวเติมมากขึ้นค่า Tensile strength จะลดลงเล็กน้อยตามปริมาณสารตัวเติมที่เติม จึงสรุปได้ว่า CCS และ CCM ส่งผลกระทบบต่อพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นคล้ายกันในทุกๆ ปริมาณการเติมสารตัวเติม



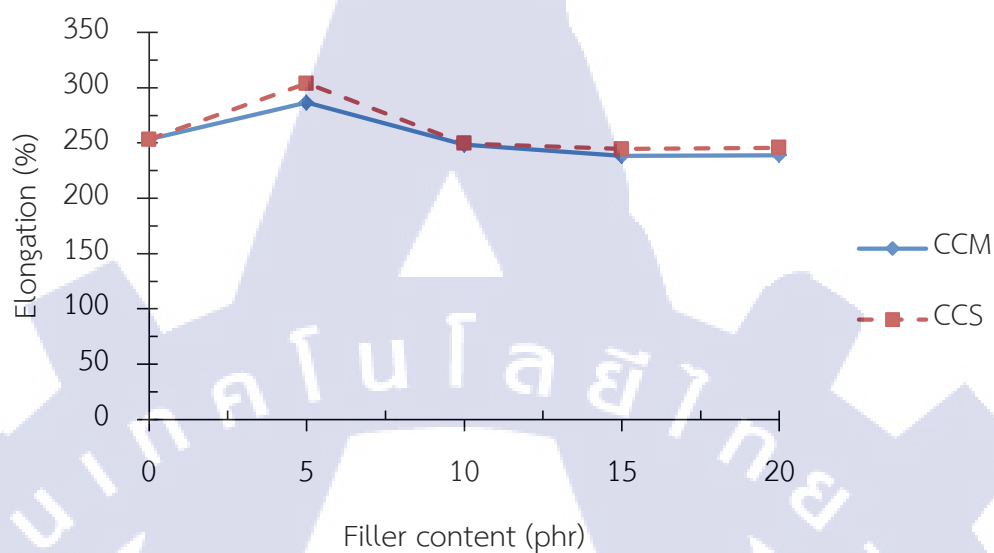
รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบ Tensile strength ของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นในแนวตามเครื่องจักร



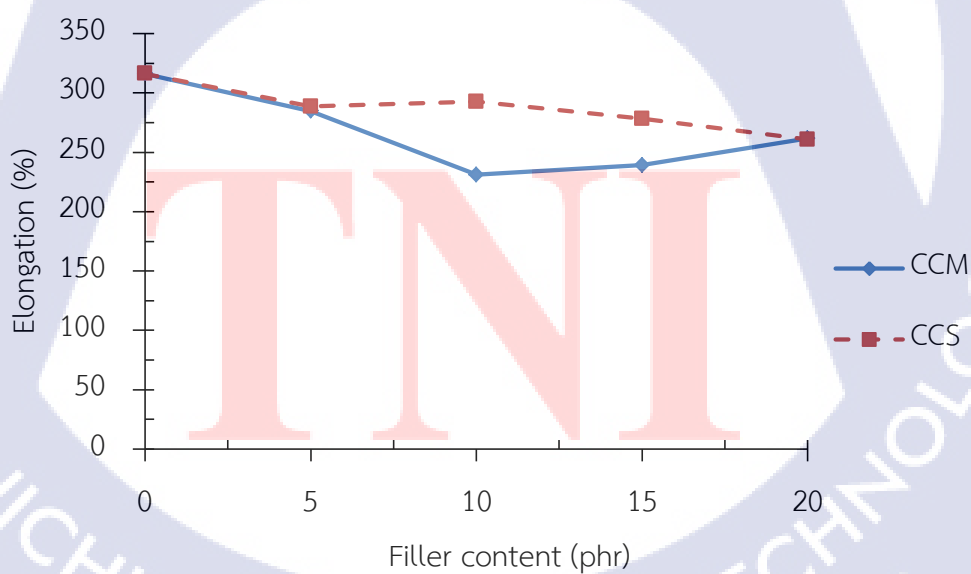
รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบ Tensile strength ของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นในแนวตามขวางเครื่องจักร

เมื่อพิจารณาถึงผล Elongation ของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และ 4.15 พบว่าชิ้นงานที่ไม่เติมสารตัวเติมมีค่า Elongation ในแนวตามเครื่องจักรเท่ากับ 253% และในแนวตามขวางเครื่องจักรแสดงในรูปที่ 4.15 เท่ากับ 316% เมื่อเติมสารตัวเติมในปริมาณ 5 phr พบว่าค่า Elongation ในแนวตามเครื่องจักรมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยเติม CCS มีค่า 304% และ CCM มีค่า 286% แต่ทำให้ค่า Elongation ในแนวตามขวางเครื่องจักรมีค่าลดลงเล็กน้อย เติม CCS มีค่า 289% และ CCM มีค่า 285% เมื่อเติมสารตัวเติมในปริมาณ 10 phr พบว่าค่า Elongation ในแนวตามเครื่องจักรมีค่าลดลงโดยเติม CCS มีค่า 250% และ CCM มีค่า 248% และค่า Elongation ในแนวตามขวางเครื่องจักรมีค่าลดลง เติม CCS มีค่า 293% และ CCM มีค่า 231% เมื่อเติมสารตัวเติมในปริมาณ 15 phr พบว่าค่า Elongation ในแนวตามเครื่องจักรมีค่าลดลงโดยเติม CCS มีค่า 244% และ CCM มีค่า 238% และค่า Elongation ในแนวตามขวางเครื่องจักรมีค่าลดลง เติม CCS มีค่า 278% และ CCM มีค่า 239% เมื่อเติมสารตัวเติมในปริมาณ 20 phr พบว่าค่า Elongation ในแนวตามเครื่องจักรมีค่าลดลงโดยเติม CCS มีค่า 246% MPa และ CCM มีค่า 239% และค่า Elongation ในแนวตามขวางเครื่องจักรมีค่าลดลง เติม CCS มีค่า 261% และ CCM มีค่า 262% ดังนั้นการเติมสารตัวเติม CCS และ CCM ทำให้ค่า Elongation ของพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในแนวตามเครื่องจักรเมื่อเติมในปริมาณ 5 phr และเมื่อเติมสารตัวตามมากขึ้นค่า Elongation จะลดลงเล็กน้อยตามปริมาณสารตัวเติมที่เติม ในแนวตามขวาง

เครื่องจักรเมื่อเติมสารตัวตามมากขึ้นค่า Elongation จะลดลงเล็กน้อยตามปริมาณสารตัวเติมที่เติม
จึงสรุปได้ว่า CCS และ CCM ส่งผลกระทบต่อพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นคล้ายกัน



รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบ Elongation ของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นในแนวตามเครื่องจักร



รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบ Elongation ของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นในแนวตามขวางเครื่องจักร

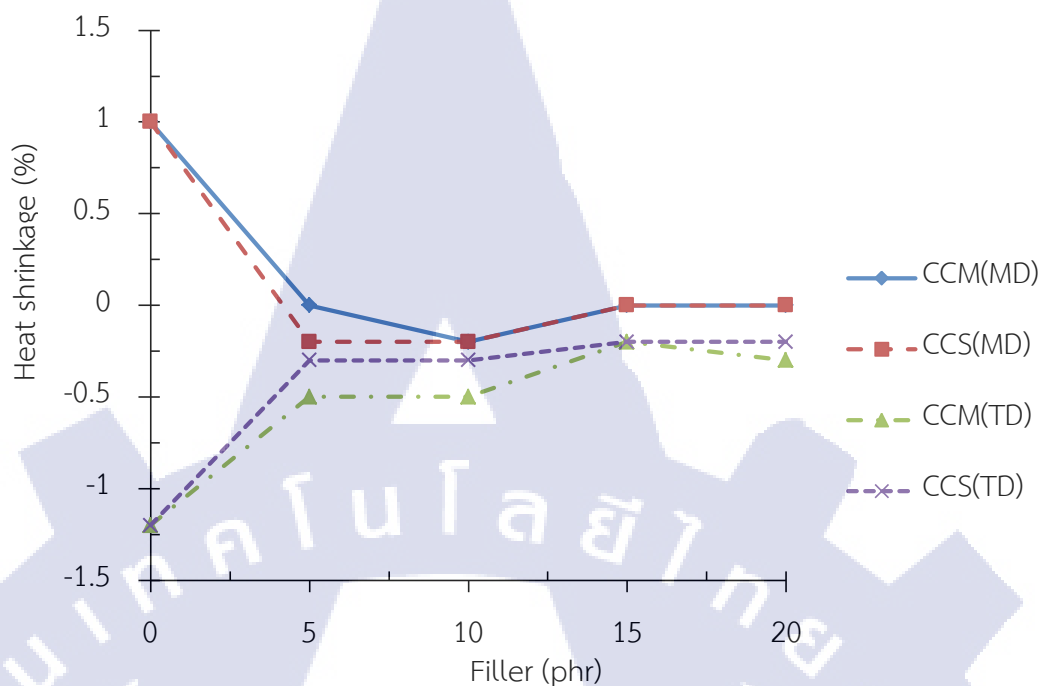
4.9 การทดสอบ Thermal Heat Shrinkage และ Weight loss (%)

การศึกษาการคุณสมบัติทางความร้อนของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น ด้านการหดตัว (Thermal Heat Shrinkage) และน้ำหนักที่หายไป (Weight loss) ไปหลังจากได้รับความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทั้งของชิ้นงานที่เติมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากการตกตะกอนเปลือกหอยแครงที่เผาที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กับแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์

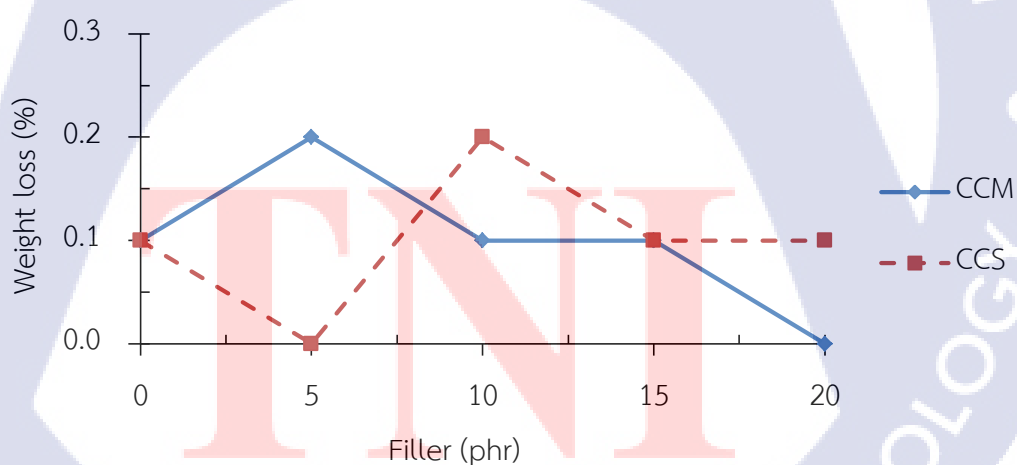
ผลการวิจัยพบว่าชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น ที่ไม่เติมสารตัวเติมเกิดการหดตัว 1% ของขนาดชิ้นงานในแนวตามเครื่องจักร (MD) และชิ้นงานมีขนาดในแนวตามขวางเครื่องจักร (TD) มากขึ้น นั่นคือชิ้นงานมีการยืดในแนวตามขวางเครื่องจักร 1.2% ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากพอลิไวนิลคลอไรด์เกิดการคายตัวหรือกลับสู่สภาพเดิมก่อนที่จะได้รับแรงกระทำจากเครื่อง Two roll mill โดยพอลิไวนิลคลอไรด์จะถูกดึงยืดในแนวตามเครื่องจักรในขณะที่รีดชิ้นงานไปเรื่อยๆ ส่งผลให้เกิดการหดตัวในแนวตามขวางเครื่องจักร เมื่อนำชิ้นงานออกจากเครื่องจักร แล้วให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิสูงเพียงพอที่จะทำให้พอลิไวนิลคลอไรด์เกิดจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ใหม่ได้ พอลิไวนิลคลอไรด์จะกลับไปเป็นเหมือนกับตอนก่อนที่จะได้รับแรงกระทำ จึงส่งผลให้เกิดการหดตัวในแนวตามเครื่องจักรและเกิดการยืดในแนวตามขวางเครื่องจักร

เมื่อเติมสารตัวเติมทั้ง CCS และ CCM ในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr พบว่าค่าการหดตัวหรือการยืดลดลงทั้งในแนวตามเครื่องจักรและแนวตามขวางเครื่องจักรจากประมาณ 1% ไปเป็นค่าไม่เกิน 0.5% เมื่อเติม CCS ในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ได้ผลในแนวตามเครื่องจักรเท่ากับ -0.2% -0.2% 0% 0% ตามลำดับ ผลในแนวตามขวางเครื่องจักรคือ -0.5% -0.5% -0.2% -0.3% ตามลำดับ เมื่อเติม CCM ในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ได้ผลในแนวตามเครื่องจักรเท่ากับ 0% -0.2% 0% 0% ตามลำดับ ผลในแนวตามขวางเครื่องจักรคือ -0.3% -0.3% -0.2% -0.2% ตามลำดับ โดยรวมแล้วเมื่อเติม CCS และ CCM ในปริมาณที่มากขึ้นค่าการหดตัวจะลดลงอย่างเล็กน้อยตามปริมาณสารตัวเติมที่เติม

เมื่อพิจารณาผลของน้ำหนักที่หายไปหลังจากได้รับความร้อนชิ้นงานพบว่าทุกๆ ชิ้นงานมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปเกือบจะเท่ากับ 0% ดังแสดงในรูปที่ 4.17 โยค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานที่ไม่เติมสารตัวเติมคือ 0.1% ชิ้นงานที่เติม CCS ในปริมาณ 5 10 15 และ 20 phr ได้ค่า 0% 0.2% 0.1% 0.1% ตามลำดับ ชิ้นงานที่เติม CCM ในปริมาณ 5 10 15 และ 20 ได้ค่า 0.2% 0.1% 0.1% 0% ตามลำดับ เมื่อเติมสารตัวเติมในปริมาณที่มากขึ้นไม่ส่งผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปอย่างมีนัยสำคัญ คาดว่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปเกิดจากความชื้นในอากาศ ดังนั้นการเติมสารตัวเติม CCS และ CCM ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นในการทดลองนี้



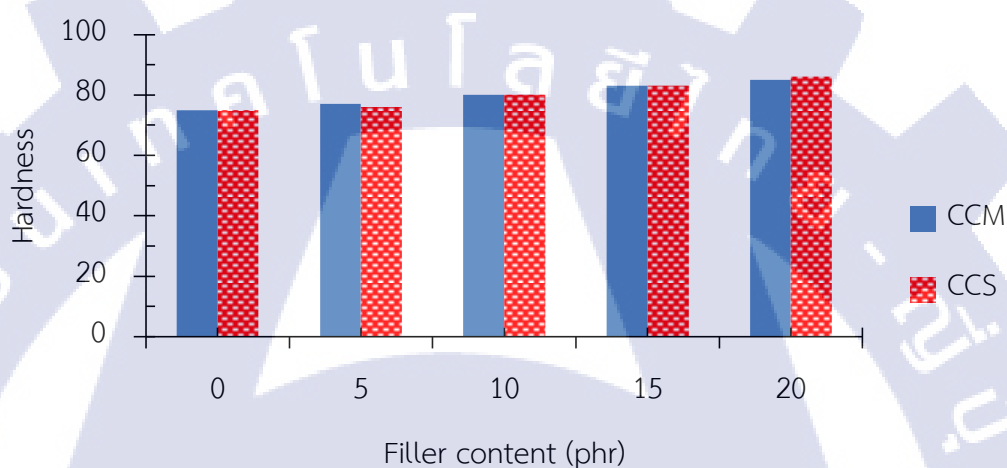
รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นที่ใช้ CCS และ CCM เป็นสารตัวเติมหลังจากได้รับความร้อนในตู้อบ



รูปที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์ที่หายไปของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นที่ใช้ CCS และ CCM เป็นสารตัวเติมหลังจากได้รับความร้อนในตู้อบ

4.10 การทดสอบ Hardness

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของชนิดและปริมาณสารตัวเติมความแข็ง (Hardness) ของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น ด้วย Durometer Hardness Shore A (ASTM D2240) ผลการวิจัยแสดงในรูปที่ 4.18 พบว่าเมื่อเติมสารตัวเติมทั้งสองชนิดคือ CCS และ CCM ทำให้ชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นมีค่า Hardness มากขึ้นคือชิ้นงานมีความแข็งมากขึ้น เมื่อพิจารณาถึงปริมาณสารตัวเติม CCS และ CCM ให้ผลไปในทางเดียวกัน คือเมื่อเพิ่มปริมาณของสารตัวเติมจะเพิ่มความแข็งขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณที่เติมสารตัวเติม



รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบ Hardness

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการตามวัตถุประสงค์ คือศึกษาการเตรียมแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีความบริสุทธิ์สูงจากเปลือกหอยแครงและศึกษาอิทธิพลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางความร้อนของแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น ภายใต้ขอบเขตของงานวิจัยที่ศึกษาในพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นที่ใช้พลาสติกไฮเซอร์ 40 phr

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการใช้เปลือกหอยแครงเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีความบริสุทธิ์สูงใกล้เคียงกับแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งแคลเซียมได้ โดยพบว่าเปลือกหอยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งเป็นสภาวะที่ทำให้ค่าน้ำหนักที่หายไปของเปลือกหอยหลังเผามีค่ามากและจากผล XRD พบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโครงสร้างแคลเซียมออกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากเปลือกหอยแครงพบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโครงสร้างแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีโครงสร้างผลึกแบบแคลไซต์ และจากผล XRF พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตจากหอยแครงมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูง (97.68%) ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคพบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากเปลือกหอยแครงมีค่ากลางของขนาดอนุภาค (D_{50}) เท่ากับ 10.3 ไมโครเมตร และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากเปลือกหอยแครงมีลักษณะโครงสร้างผลึกคล้ายแคลไซต์ ถึงแม้ว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้จากเปลือกหอยแครงจะดูดซับพลาสติกไฮเซอร์มากกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ แต่เมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตจากเปลือกหอยแครงเป็นสารตัวเติมในพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตจากเปลือกหอยแครง มีความสามารถในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพเช่น Tensile strength Elongation Thermal heat shrinkage และ Hardness คล้ายกับแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาการใช้เปลือกหอยชนิดอื่นๆ เช่น เปลือกหอยแมลงภู่

5.2.2 ควบคู่ศึกษาเทคนิคการตกตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตแบบอื่นๆ เช่น การใช้โซเดียมคาร์บอเนตแบบของเหลว การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือการใช้สภาวะการทำปฏิกิริยาอื่นๆ

5.2.3 ควบคู่ศึกษาการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครงกับพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่นที่ใช้พลาสติกไซเซอรในปริมาณอื่นๆ

5.2.4 ควบคู่ศึกษาการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครงกับพลาสติกชนิดอื่นๆ เช่น พอลิเอทิลีนหรือเปลี่ยนวิธีการขึ้นรูป เช่น ใช้วิธีฉีดขึ้นรูป



บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] กรมประมง, *สถิติการเลี้ยงหอยทะเล ประจำปี 2556* เอกสารฉบับที่ 3/2558, กรุงเทพฯ: กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2558.
- [2] Y. LIN et al., *Advances in Polymer Nanocomposites*, Cambridgeshire: Woodhead Publishing, 2012.
- [3] S. Na Songkhla et al., “Elemental Analysis of Shells by Nuclear Technique,” [Online]. Available: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollection/NCLCollectionStore/_Public/30/041/30041211.pdf. [Accessed: June 19, 2017].
- [4] S. Boonyuen et al., “Decomposition study of calcium carbonate in shells,” *Thai Journal of Science and Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 115–122, May 2015.
- [5] D. L. Kaplan, “Mollusk shell structures: novel design strategies for synthetic materials,” *Current Opinion in Solid State & Materials Science*, vol. 3, no. 3, pp. 232-236, June 1998.
- [6] ไพโรจน์ นาครักษา, *การศึกษามิปัญหาท้องถิ่นในการจัดการและเพาะเลี้ยงหอยแครง จังหวัดเพชรบุรี เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2557*, กรุงเทพฯ: สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557.
- [7] กรมทรัพยากรธรณี, *คู่มือผู้เฝ้าระวังธรณี พอลซิลแลนด์แดนสตูล*, กรุงเทพฯ: ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี, 2557.
- [8] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, “หอยกาบคู่,” [Online]. Available: <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=34&chap=5&page=t34-5-infodetail05.html>. [Accessed: 2 พฤศจิกายน 2560].
- [9] กรมทรัพยากรธรณี, *การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดลพบุรี*, กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมทรัพยากรธรณี, 2550.
- [10] กรมทรัพยากรธรณี, “หินปูน,” [Online]. Available: http://www.dmr.go.th/ewt_news.php?nid=601&filename=m. [Accessed: 3 มกราคม 2561].
- [11] N. Erdogan and H. A. Eken, “Precipitate calcium carbonate production, synthesis and properties,” *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, vol. 53, no. 1, pp. 57–68, January 2017.

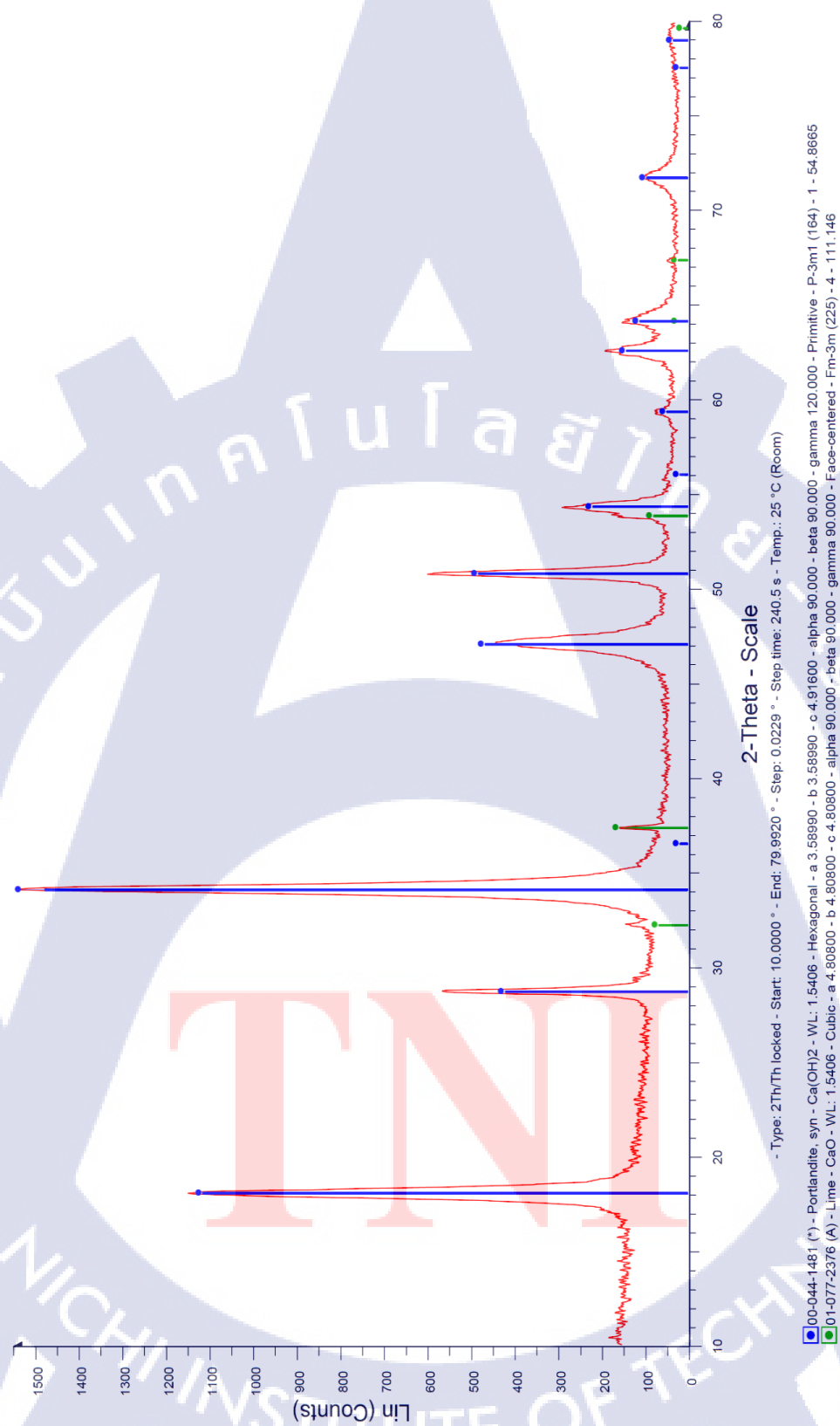
- [12] J. Kuusisto et al., "Property optimization of calcium carbonate precipitated in a high shear, circulation reactor," *Powder Technology*, vol. 303, pp. 241–250, December 2016.
- [13] A. Othman et al., "Producing precipitated calcium carbonate with and without terpineol," *Chemical Engineering Transactions*, vol. 56, pp. 421–426, April 2017.
- [14] M. Hassibi, *A Review of Lime Slakers and Their Advantages and Disadvantages*, Monongahela : Chemco Systems, L.P., 2009.
- [15] Sabriye et al., "Effect of process conditions on crystal structure of precipitated calcium carbonate (CaCO_3) from fly ash: Na_2CO_3 preparation conditions," *International Journal of Biological, Ecological and Environmental Sciences*, vol. 1, no. 6, pp.192–195, January 2012.
- [16] V. Ramasamy et al., "Biomimetic synthesis and characterization of precipitated CaCO_3 nanoparticles using different natural carbonate sources: a novel approach," *International Journal of Materials Science*, vol. 12, no. 3, pp. 499–511, 2017.
- [17] Kh. N. Islam et al., "Characterisation of calcium carbonate and its polymorphs from cockle shells (*Anadara granosa*)," *Powder Technology*, vol. 213, pp. 188–191, November 2011.
- [18] W. Sutapun et al., *Preparation of Chicken Eggshell-Polymer Composites*, Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology, 2011.
- [19] H. Essabir et al., "A comparison between bio- and mineral calcium carbonate on the properties of polypropylene composites," *Construction and Building Materials*, vol. 134, pp. 549–555, March 2017.
- [20] N. Sezer, "Production of Precipitated Calcium Carbonate from Marble Wastes," M.S.Thesis (Natural and Applied Sciences), Ankara: Middle East Technical University, 2013.
- [21] N. I. Azkiya et al., "Synthesis of precipitated calcium carbonate (PCC) from lime rock nature methods caustic soda (studies concentration HNO_3)," *Jurnal Ilmu Dasar*, vol. 17, no. 1, pp. 31–34, January 2016.

ภาคผนวก

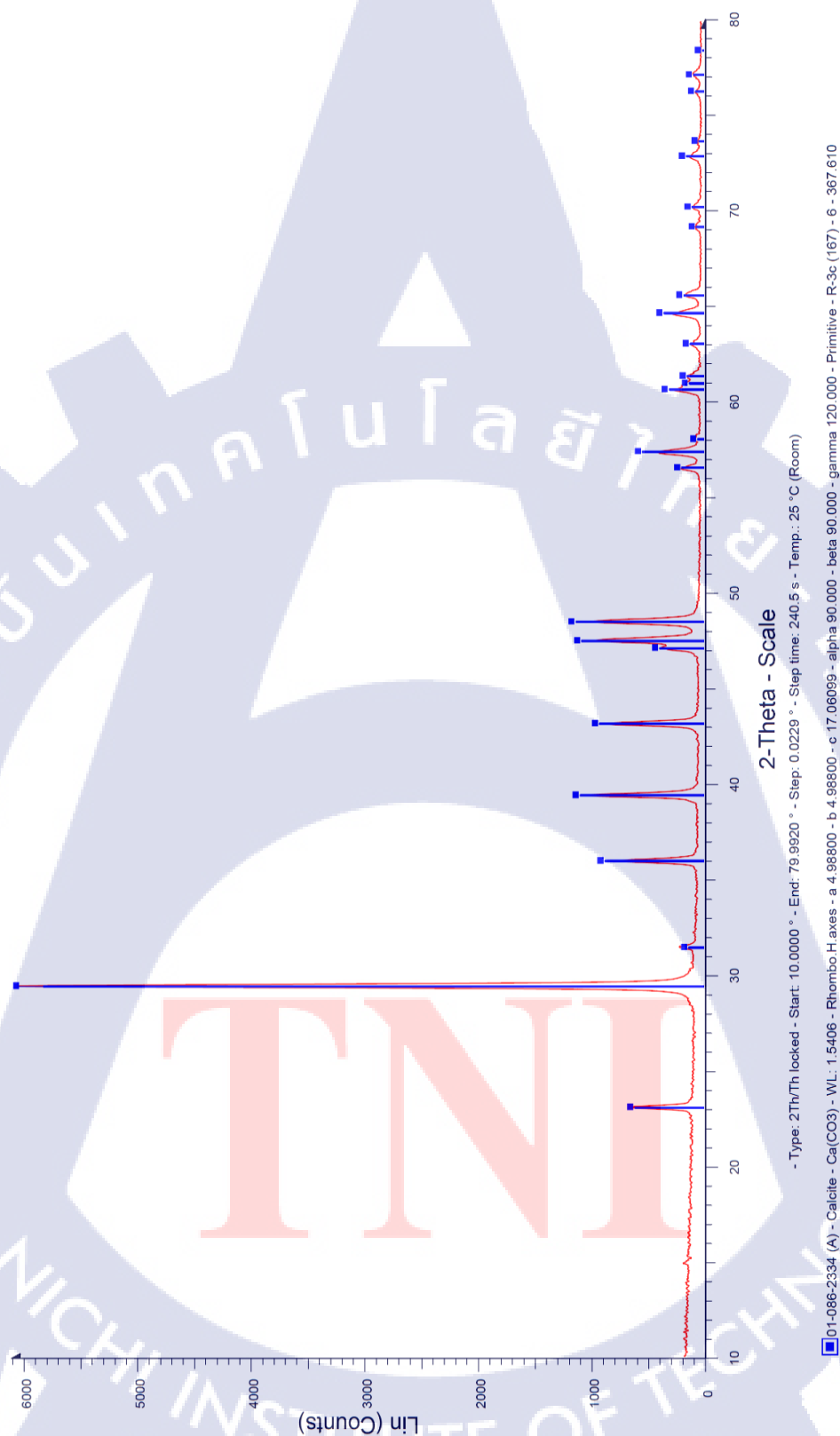
TNI

ภาคผนวก ก.
การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

TNI



รูปที่ ก-1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) ของเปลือกหอยแครงเผาที่ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ ก-2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) ของของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิตได้ (CCS)

ภาคผนวก ข.

การทดสอบ Tensile strength และ Elongation

TNI

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบ Tensile strength ของชิ้นงานพอลไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น

Direction	Sample	filler content (phr)	Tensile strength (MPa)				
			1	2	3	Avg.	
Machine Direction : MD	No filler	0	20.4	19.2	18.4	19.3	
	CCM	5	19.6	19.8	19.1	19.5	
		10	18.2	18.5	18.1	18.2	
		15	16.9	15.9	18.1	17.0	
		20	16.3	16.3	17.0	16.5	
		5	18.3	20.4	20.7	19.8	
	CCS	10	19.0	18.8	17.9	18.6	
		15	18.3	18.2	18.1	18.2	
		20	17.2	17.0	17.6	17.3	
		No filler	0	19.5	20.4	19.1	19.7
	Transverse Direction : TD	CCM	5	19.5	19.4	19.3	19.4
			10	16.2	16.8	16.4	16.5
15			16.8	16.6	16.7	16.7	
20			16.0	15.5	15.5	15.7	
5			17.1	20.6	20.2	19.3	
CCS		10	20.2	18.9	18.2	19.1	
		15	19.8	19.0	17.0	18.6	
		20	17.9	18.0	17.6	17.8	

ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบ Elongation ของชิ้นงานพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น

Direction	Sample	filler content (phr)	Elongation (%)			
			1	2	3	Avg.
Machine Direction : MD	No filler	0	224	269	266	253
	CCM	5	325	292	243	286
		10	235	265	245	248
		15	235	214	265	238
		20	237	234	247	239
	CCS	5	260	314	337	304
		10	263	259	227	250
		15	250	237	246	244
		20	249	256	232	246
	No filler	0	346	319	283	316
Transverse Direction : TD	CCM	5	324	253	277	285
		10	224	263	206	231
		15	237	246	235	239
		20	292	232	261	262
	CCS	5	241	341	284	289
		10	295	314	270	293
		15	272	274	288	278
		20	254	253	275	261

ภาคผนวก ค.

การทดสอบ Thermal Heat Shrinkage และ Weight loss (%)

TNI

ตารางที่ ค-1 ผลการทดสอบ Thermal Heat Shrinkage ของชิ้นงานพอลไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น

Direction	Sample	filler content (phr)	Distance between specimen edge After Heat Aging (cm)				Heat Shrinkage	
			1	2	3	avg	cm	%
Machine Direction : MD	No filler	0	9.85	9.95	9.90	9.90	0.10	1.0
	CCM	5	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00	0.0
		10	10.05	10.00	10.00	10.02	-0.02	-0.2
		15	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00	0.0
		20	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00	0.0
	CCS	5	10.05	10.00	10.00	10.02	-0.02	-0.2
		10	10.05	10.00	10.00	10.02	-0.02	-0.2
		15	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00	0.0
		20	10.00	10.00	10.00	10.00	0.00	0.0
	No filler	0	10.20	10.05	10.10	10.12	-0.12	-1.2
Transverse Direction : TD	CCM	5	10.05	10.05	10.05	10.05	-0.05	-0.5
		10	10.10	10.00	10.05	10.05	-0.05	-0.5
		15	10.00	10.00	10.05	10.02	-0.02	-0.2
		20	10.05	10.00	10.05	10.03	-0.03	-0.3
	CCS	5	10.05	10.00	10.05	10.03	-0.03	-0.3
		10	10.05	10.00	10.05	10.03	-0.03	-0.3
		15	10.05	10.00	10.00	10.02	-0.02	-0.2
		20	10.05	10.00	10.00	10.02	-0.02	-0.2
	No filler	0	10.20	10.05	10.10	10.12	-0.12	-1.2
	CCM	5	10.05	10.05	10.05	10.05	-0.05	-0.5

ตารางที่ ค-2 ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์ที่หายไปของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น

Item	Sample	filler content (phr)	Results			
			1	2	3	Avg.
Weight before Heat (g/m^2)	No filler	0	401	422	411	411
	CCM	5	420	435	427	427
		10	439	449	443	444
		15	423	427	423	424
		20	429	446	433	436
	CCS	5	404	422	411	412
		10	420	435	424	426
		15	424	444	430	433
		20	449	439	444	444
Weight after Heat (g/m^2)	No filler	0	400	422	411	411
	CCM	5	419	435	426	427
		10	438	449	443	443
		15	423	427	422	424
		20	429	446	433	436
	CCS	5	404	422	411	412
		10	419	434	424	426
		15	423	444	430	432
		20	448	439	443	443
Weight Loss (%)	No filler	0	0.25	0.00	0.00	0.1
	CCM	5	0.24	0.00	0.23	0.2
		10	0.23	0.00	0.00	0.1
		15	0.00	0.00	0.24	0.1
		20	0.00	0.00	0.00	0.0
	CCS	5	0.00	0.00	0.00	0.0
		10	0.24	0.23	0.00	0.2
		15	0.24	0.00	0.00	0.1
		20	0.22	0.00	0.23	0.1

ภาคผนวก ง.
การทดสอบ Hardness

TNI

ตารางที่ ง-1 ผลการทดสอบ Hardness ของชิ้นงานแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดยืดหยุ่น

Sample	filler content (phr)	Hardness			
		1	2	3	Avg.
No filler	0	75	75	74	75
CCM	5	77	78	77	77
	10	78	80	81	80
	15	81	84	84	83
	20	85	86	85	85
CCS	5	76	76	76	76
	10	80	80	79	80
	15	85	79	85	83
	20	86	86	85	86

ภาคผนวก จ.

Certificate

TNI



Certificate of Oral Presentation

Presented to

***Marunat Sangsawang, Don Kaewdook, Toshihiro Okabe
and Akito Takasaki***

**Enhancement of Mechanical Properties of Polyvinylchloride Flexible Sheet
with Calcium Carbonate from Shells**

13th International Conference on Ecomaterials 2017

**"Innovative Green Materials and Technologies
for Sustainability under the Sufficiency Economy"**

19th - 23rd November 2017

**KMUTT Knowledge Exchange for Innovation Center (KX),
Bangkok, Thailand**

Dr. Yoshikazu Shinohara
National Institute for Materials Science,
National Research and Development Agency, Japan

Assistant Professor Dr. Thiradei Jiarasuksakun
Dean of Faculty of Science,
King Mongkut's University of Technology Thonburi

