

การเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด
จากเปลือกไข่ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก

FABRICATION OF SUPERHYDROPHOBIC COATING
LAYER FROM STEARIC ACID MODIFIED EGGSHELL



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต เคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด
จากเปลือกไข่ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก

FABRICATION OF SUPERHYDROPHOBIC COATING
LAYER FROM STEARIC ACID MODIFIED EGGSHELL



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 149011
วัน,เดือน,ปี 18 S.A. 2560

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต เคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FABRICATION OF SUPERHYDROPHOBIC COATING
LAYER FROM STEARIC ACID MODIFIED EGGSHELL



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

DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดจากเปลือกไข่ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก
Fabrication of Superhydrophobic Coating Layer from Stearic Acid Modified Eggshell

ชื่อนักศึกษา นางสาวกัญญาภัค ศรีปะโค รหัสนักศึกษา 56050441
นายพงศกร พรมทา รหัสนักศึกษา 56050536

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2559
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ปานไพลิน สีหาราช

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร. นราธิป วิทยากร ประธานกรรมการ	
ดร. กิตติศักดิ์ ชูจันทร์ กรรมการ	
ผศ.ดร. ปานไพลิน สีหาราช กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดจากเปลือกไข่ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกัญญาภัค ศรีปะโค รหัสนักศึกษา 56050441 นายพงศกร พรมทา รหัสนักศึกษา 56050536
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต เคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ปานไพลิน สีหาราช

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาการเตรียมชั้นเคลือบบนผิวกระจกที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยใช้ผงเปลือกไข่ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่ผ่านวิธีการบดละเอียดด้วยลูกบดและแรงกล (mechanical ball milling) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยสารคู่ควบกรดสเตียริก (stearic acid) ทำให้ได้เป็นผงของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่บริเวณผิวถูกเปลี่ยนเป็นแคลเซียมสเตียเรต ($\text{C}_{36}\text{H}_{70}\text{CaO}_4$) จากนั้นนำผงอนุภาคที่เตรียมได้นี้ มาเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายแขวนลอยโดยใช้ตัวประสานเป็นพอลิสไตรีน ($(\text{C}_8\text{H}_8)_n$, PS) แล้วจึงนำกระจกที่ทำการศึกษาปรับปรุงผิวด้วยการกัดกรดปรีนยามาเคลือบด้วยวิธีจุ่มตึง (dipping coating) เพื่อให้เกิดการยึดเกาะของชั้นเคลือบบนผิวกระจก ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่ทำให้ได้ชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่และชั้นเคลือบที่เตรียมจากแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้ากับผงเปลือกไข่ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 ที่แสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดสูงที่สุดที่มีค่ามุมสัมผัสของน้ำเป็น 151.06 ± 0.48 องศา และ 162.83 ± 1.02 องศา ตามลำดับ คือ การปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายกรดสเตียริกที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลลาร์ และการใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวแล้วต่อพอลิสไตรีนในอัตราส่วน 4:1 และ 2:1 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM และเทคนิค SPM พบว่าพื้นผิวชั้นเคลือบทั้ง 2 ชนิดมีความขรุขระสูง เนื่องจากมีแคลเซียมคาร์บอเนตจากเกรดการค้า ที่มีรูปร่างเป็นก้อนทรงกลมประกอบจากแท่งแหลมยาวขนาดเล็ก และผงเปลือกไข่ที่มีรูปร่างก้อนทรงเหลี่ยม ที่ถูกปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกเคลือบกระจายตัวอย่างทั่วถึง ทำให้เกิดสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดขึ้น เมื่อนำไปไปศึกษาประสิทธิภาพการนำไปใช้งานของชั้นเคลือบพบว่า ชั้นเคลือบที่เตรียมได้จากสารตั้งต้นแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 2 ชนิดมีความสามารถในการ

การทำมาสะอาดตัวเอง (self-cleaning) มีความคงทนต่อการสัมผัสกับบรรยากาศได้นานถึง 1 เดือน และมีความคงทนในสภาวะกรด-เบส ในช่วง pH 1-11

คำสำคัญ: แคลเซียมคาร์บอเนต กรดสเตียริก ชั้นเคลือบ เปลือกไข่ สมบัติความไม่ชอบน้ำอย่าง ยิ่งยวด สมบัติการทำมาสะอาดตัวเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title Fabrication of Superhydrophobic Coating Layer from Stearic Acid Modified Eggshell

Student Miss. Kanyapuk Sripako Student ID 56050441
Mr. Pongsakorn Promta Student ID 56050536

Degree Bachelor of Science in Industrial Chemistry

Department Chemistry

Faculty Science

University King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)

Academic Year 2016

Advisor Asst. Prof. Dr. Panpailin Seeharaj

Abstract

This special project studied the fabrication of superhydrophobic coating layer from stearic acid modified eggshell. Firstly, eggshell powders mainly composed of calcium carbonate (CaCO_3) were prepared by grinding with mechanical ball milling method for 2 hours. Then, the surface of eggshell particles was hydrophobized with stearic acid yielding calcium stearate ($\text{C}_{36}\text{H}_{70}\text{CaO}_4$) on surfaces. The hydrophobized calcium carbonate was suspended in polystyrene (PS) binder solution. Then, the coating layer was applied on glass surface by dipping method. The optimum preparing conditions to obtain the coating layer with the highest water contact angles of $151.06 \pm 0.48^\circ$ and $162.83 \pm 1.02^\circ$ were to modify the surface of eggshell powders and mixing of 50%wt commercial grade CaCO_3 and 50%wt eggshell powders with 10 mM of stearic acid solution and to prepare the suspension using weight ratio of the modified calcium carbonate to PS at 4: 1 and 2: 1, respectively. SEM images showed that the coating layer had high degree of roughness due to the uniformly distribution of the superhydrophobized commercial grade CaCO_3 particles with spherical shape formed by the long-pitched rods and eggshell particles with polygonal shape. Both coatings layers prepared from the modified eggshell and 50%wt commercial grade CaCO_3 /50%wt eggshell had self-cleaning property and they were durable with exposure to the atmosphere over 1 month and acid-base solutions in pH range of 1-11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords: Calcium carbonate, Stearic acid, Coating layer, Eggshell, Superhydrophobic property, Self-cleaning property



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ปานไพลิน สีหาราช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษฉบับนี้ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษาที่ดี ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ สอนทักษะในการทำงานและคอยเอาใจใส่ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. นราธิป วิทยากร ประธานกรรมการและ ดร. กิตติศักดิ์ ชูจันทร์ กรรมการโครงการพิเศษในการให้คำปรึกษาและแนะนำเทคนิคต่าง ๆ ในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ ให้

ขอขอบพระคุณพี่นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์และสารเคมี รวมถึงการใช้งานเครื่องมือต่าง ๆ ตลอดจนเอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกในการทดลอง

ขอขอบพระคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ ทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจให้สามารถดำเนินโครงการพิเศษนี้ผ่านไปได้ด้วยดี

กัญญาภัค ศรีปะโค
พงศกร พรมทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
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 ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว (Lotus effect).....	4
2.1.2 สมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (Superhydrophobic property.....	6
2.1.3 ภาวะการเปียก (Wetting) และการวัดมุมสัมผัส (Contact angles measurement).....	6
2.1.4 การเตรียมพื้นผิวที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด.....	8
2.1.4.1 เปลือกไข่.....	8
2.1.4.2 แคลเซียมคาร์บอเนต.....	9
2.1.4.3 กรดสแตียริก.....	10
2.1.4.4 แคลเซียมสเตียเรต.....	10
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.2.1 วิธีการเตรียมผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นสารเคลือบผิวให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (A facile method to prepare superhydrophobic coatings by calcium carbonate).....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2 สมบัติการฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่เกิดจากโครงสร้างระดับนาโนของเปลือกไข่จากรังฟัก (Antimicrobial properties of a nanostructured egg - shell from a compost-nesting bird).....	16
2.2.3 การสังเคราะห์และตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนจากเปลือกหอยแครงโดยใช้ไคโตซานเป็นสารช่วยสังเคราะห์ (Synthesis and characterisation of CaCO ₃ (calcite) nanoparticles from cockle shells using chitosan as precursor).....	19
2.2.4 การเตรียมผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงด้วยกรดไขมัน (Superhydrophobic surface fabricated from fatty acid-modified precipitated calcium carbonate).....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	27
3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	28
3.3 วิธีการทดลอง.....	28
3.3.1 การเตรียมผิวกระจก.....	28
3.3.2 การเตรียมอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่.....	30
3.3.2.1 การเตรียมเปลือกไข่สด.....	30
3.3.2.2 การเตรียมอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่.....	30
3.3.3 การปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากกรดการคำและจากผงเปลือกไข่ให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยกรดสเตียริก..	31
3.3.4 การเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดบนผิวกระจก.....	32
3.3.5 ขอบเขตการศึกษาที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของผิวกระจก.....	33
3.3.5.1 การศึกษาผลของการใช้อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากกรดการคำและจากผงเปลือกไข่.....	33
3.3.5.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตียริกที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต.....	34
3.3.5.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงผิวด้วยกรดสเตียริกต่อฟอลิสไตรีน.....	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5.4 วิธีการศึกษาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของชั้นเคลือบ.....	36
3.3.5.4.1 การศึกษาสมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง.....	36
3.3.5.4.2 การศึกษาความคงทนต่อสิ่งแวดล้อมของชั้นเคลือบ...	36
3.3.5.4.3 การศึกษาความคงทนของชั้นเคลือบต่อสภาวะกรด - เบส.....	36
3.4 การตรวจสอบสมบัติของวัสดุ.....	37
3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยการวัดมุมสัมผัสของน้ำ (Water Contact angles, WCAs).....	37
3.4.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด (Scanning electron microscope, SEM).....	38
3.4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FT-IR)...	39
3.4.4 การวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสี เอ็กซ์(X-ray diffractometer; XRD).....	40
3.4.5 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบหัว สแกน (Scanning probe microscope, SPM).....	41
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	43
4.1 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์และสัณฐานวิทยาของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียม ชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืน.....	43
4.1.1 การศึกษาโครงสร้างผลึก โครงสร้างโมเลกุล.....	43
4.1.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและโครงสร้างในระดับจุลภาค.....	48
4.2 การเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืน.....	49
4.2.1 การศึกษาผลของการใช้อุณหภูมิเคลือบเคลือบคาร์บอนที่ได้จากเกรด การค้าและผงเปลือกไข่.....	50
4.2.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตรียกที่ใช้ในการ ปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคเคลือบคาร์บอน.....	53
4.2.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคเคลือบคาร์บอน- เน็ตที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตรียกต่อพอลิไทรินที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด.....	60
4.3.1 การศึกษาสมบัติในการทำมาสะอาดตัวเอง.....	60
4.3.2 การศึกษาความคงทนต่อสิ่งแวดล้อมของชั้นเคลือบ.....	63
4.3.3 การศึกษาความคงทนของชั้นเคลือบต่อสภาวะกรด-เบส.....	66
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	69
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	70
เอกสารอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก.....	74
ภาคผนวก ก.....	75
ภาคผนวก ข.....	79

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมพัทธ์ของหยดน้ำและสมบัติของพื้นผิววัสดุ.....	6
2.2 ตารางแสดงการวัดภาวะการณเปียกของวัสดุจากมุมสัมพัทธ์ของหยดน้ำ.....	7
2.3 แสดงค่ามุมสัมพัทธ์และค่ามุมเลื่อนไหล จากความแตกต่างของปริมาณผง CaCO_3 ขนาดไมโคร.....	14
2.4 ปริมาณและความหนาแน่นของแบคทีเรียบนเปลือกไข่ไก่วงและเปลือกไข่ไก่ท้องถื่น..	17
2.5 แสดงการเปรียบเทียบมุมสัมพัทธ์และสัดส่วนพื้นผิวของแข็ง ณ ความเข้มข้นเดียวกันของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและที่ได้จากการสังเคราะห์.....	25
3.1 การศึกษาผลของการใช้อุณหภูมิของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเกรดการค้าและจากผงเปลือกไข่.....	34
3.2 แสดงการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตียริก.....	34
3.2 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงผิวด้วยกรดสเตียริกต่อปริมาณพอลิสไตรีนใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ.....	35
3.4 อัตราส่วนผสมของปริมาณอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงผิวด้วยกรดสเตียริกต่อปริมาณพอลิสไตรีนที่ใช้ในการเตรียมสารแขวนลอยในการเตรียมชั้นเคลือบ.....	35
4.1 ช่วงการดูดกลืนอินฟราเรดของพันธะต่างๆที่ได้จากเทคนิค FT-IR.....	47
4.2 แสดงขนาดของผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า เปลือกไข่ ก่อนและหลังปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก.....	49
4.3 ค่ามุมสัมพัทธ์ของหยดน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้อุณหภูมิของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากแหล่งต่าง ๆ.....	53
4.4 ค่ามุมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนชั้นเคลือบที่เตรียมโดยการใช้สารละลายกรดสเตียริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	55
4.5 ค่ามุมสัมพัทธ์ของหยดน้ำต่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีนที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	58
4.6 แสดงค่าความขรุขระบริเวณพื้นผิวของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่และผงเปลือกไข่ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50.....	59
4.7 ค่ามุมสัมพัทธ์ของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่ในระยะเวลา 1 เดือนในบรรยากาศปิดและเปิด.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.8 ค่ามุมสัมผัสของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไขผสมกับเกรดการค้ำใน ระยะเวลา 1 เดือนในบรรยากาศปิดและเปิด.....	66
4.9 ค่ามุมสัมผัสของน้ำของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไขและชั้นเคลือบผง เปลือกไขผสมกับเกรดการค้ำต่อความเป็นกรด-เบส.....	68



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพแสดงโครงสร้างในระดับไมโคร-นาโนเมตรบนพื้นผิวของใบบัว.....	4
2.2 แสดงปรากฏการณ์การทำความสะอาดพื้นผิวด้วยตนเอง โดยหยดน้ำที่กลิ้งจะนำพาอนุภาคของสิ่งสกปรกบนพื้นผิวเกาะติดไปด้วย.....	5
2.3 การนำวัสดุที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำไปประยุกต์ใช้งาน.....	5
2.4 รูปแสดงลักษณะของหยดของเหลวบนพื้นผิวของของแข็งโดยมีค่ามุมสัมผัสต่าง ๆ.....	7
2.5 ภาพแสดงองค์ประกอบของชั้นเปลือกไข่.....	9
2.6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	9
2.7 แสดงโครงสร้างทางเคมีของกรดสเตียริก.....	10
2.8 แสดงโครงสร้างทางเคมีของแคลเซียมสเตียเรต.....	10
2.9 ภาพแสดงกระบวนการเตรียมสารเคลือบผิววัสดุให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืน.....	12
2.10 ภาพ SEM ของ (a) ผง CaCO_3 ขนาดนาโนเมตรและ (b) ผง CaCO_3 ขนาดไมโครเมตร.....	12
2.11 ภาพ SEM ของปริมาณ CaCO_3 (a) 30 wt% (b) 40 wt% และ (c) 50wt%.....	13
2.12 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM ของพื้นผิวที่เตรียมขึ้นจากการใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนต่อไมโครที่แตกต่างกัน (a) 10:30 (b) 20:20 และ (c) 30:10.....	13
2.13 (a-d) ภาพถ่ายจากกล้อง FE-SEM ของปริมาณ CaCO_3 ขนาดไมโคร คือ 2, 4, 7 และ 9 wt% (e-h) ภาพของหยดน้ำบนพื้นผิวเคลือบหลังจากพื้นผิวถูกปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก.....	14
2.14 ค่ามุมสัมผัสและค่าความแตกต่างของค่า pH ของสารละลายที่หยดบนพื้นผิวเคลือบ	15
2.15 FT-IR สเปกตรัมของ (a) กรดสเตียริก (b) ชั้นฟิล์มจากการเคลือบชั้นแรก และ (c) ชั้นฟิล์มจากการเคลือบชั้นแรกที่ถูกปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก.....	15
2.16 สันฐานวิทยาด้านตัดขวางของเปลือกไข่ (A) เปลือกไข่ไก่ท้องถิ่น (B-F) เปลือกไข่ไก่วาง.....	16
2.17 (A) ค่ามุมสัมผัส และ (B) ค่ามุมสัมผัสแบบฮิสเทอรีซิสของเปลือกไข่ไก่วางและเปลือกไข่ไก่ท้องถิ่น.....	17

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.18 (A) จำนวนเชื้อแบคทีเรียหลังจากการบ่มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (B, C) แสดงตัวอย่างของแบคทีเรียที่อยู่บนเปลือกไข่ brush-turkey.....	18
2.19 (A,B) อัตราการทะลุผ่านเปลือกไข่ของแบคทีเรียชนิด <i>Escherichia Coli</i> และ <i>Pseudomonas aeruginosa</i> เป็นเวลา 12 วัน (C, D) อัตราความเสี่ยงในการติดเชื้อแบคทีเรีย (เส้นทึบ) ของเปลือกไข่ไก่วง และ (เส้นประ) ของเปลือกไข่ไก่ทองถิ่น.....	19
2.20 ภาพกราฟ XRD ของ (A) ผงแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและ (B) ผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่สังเคราะห์ได้.....	20
2.21 ภาพกราฟ FT-IR สเปกตรัมของ (A) ผงแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า และ (B) ผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่สังเคราะห์ได้.....	21
2.22 UV-Vis สเปกตรัมของ (A) ผงแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า และ (B) ผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่สังเคราะห์ได้.....	21
2.23 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ (A) ผงแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า และ (B) ผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่สังเคราะห์ได้.....	22
2.24 เปรียบเทียบโครงสร้างแบบลำดับชั้นของไบบัวและ PCC.....	23
2.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของมุมสัมผัสของหยดน้ำและความเข้มข้นของกรดโอเลอิกจากแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า.....	24
2.26 ภาพการเปรียบเทียบมุมสัมผัสของหยดน้ำที่ความเข้มข้นของกรดโอเลอิกต่างกัน.....	24
2.27 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM ของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการสังเคราะห์เอง.....	25
2.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของมุมสัมผัสของหยดน้ำและความเข้มข้นของกรดโอเลอิกจากแคลเซียมคาร์บอเนตที่สังเคราะห์เอง.....	25
2.29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของการใช้กรดต่างชนิดกันในการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า.....	26
3.1 แสดงแผนภาพกระบวนการเตรียมผิวกระจก.....	29
3.2 แสดงแผนภาพกระบวนการเตรียมเปลือกไข่สด.....	30
3.3 แสดงแผนภาพกระบวนการเตรียมอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่.....	31
3.4 แสดงแผนภาพกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเกรดการค้าและจากผงเปลือกไข่ให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนยวดโดยใช้กรดสเตียริก.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 แผนภาพกระบวนการเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำลงบนผิวกระจก.....	33
3.6 เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ.....	37
3.7 ภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM).....	38
3.8 แสดงตัวอย่างโปรแกรม Image J.....	39
3.9 แสดงภาพเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (fourier transform infrared- spectroscopy, FT-IR).....	40
3.10 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผลึกภายในชิ้นงานวัสดุ.....	40
3.11 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (x-ray diffractometer, XRD)	41
3.12 แสดงองค์ประกอบของกล้องจุลทรรศน์วัดแรงระดับอะตอม (scanning probe microscope, SPM).....	42
4.1 ผล XRD ของ a) ผงแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า และ b) ผงเปลือกไข่.....	44
4.2 ผล XRD ของผง a) แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า และ b) ผงเปลือกไข่ ที่ผ่านการปรับ- ปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก.....	45
4.3 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ a) แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า b) ผงเปลือกไข่ c) แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก d) ผงเปลือกไข่ที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก e) แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและผงเปลือกไข่ผสมกันในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 ที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก.....	47
4.4 ภาพ SEM ของ a) ผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า b) ผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ c) แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก และ d) ผงเปลือกไข่ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก ที่กำลังขยาย 1000 เท่า.....	49
4.5 ภาพ SEM ของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้ a) ผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จาก เกรดการค้า b) ผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกไข่ และ c) เกรดการค้าและผงเปลือกไข่ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 ที่กำลังขยาย 1000 เท่า.....	51
4.6 กราฟแสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้ผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากแหล่งต่างๆ	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 กราฟแสดงค่ามัมสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนชั้นเคลือบที่เตรียมโดยการใช้สารละลายกรดสเตียริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	54
4.8 แสดงภาพ SEM a) ชั้นเคลือบบนผิวกระจกที่เคลือบด้วยผงอนุภาคแคลเซียมสเตียเรตที่สังเคราะห์จากเปลือกไข่ ที่ปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ a1) 2 mM และ a2) 10 mM และ b) ชั้นเคลือบที่ผสมผงอนุภาคแคลเซียมสเตียเรตจากกรดการค้ำผสมผงเปลือกไข่ในอัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ b1) 2 mM และ b2) 10 mM	55
4.9 ค่ามัมสัมพัทธ์ของหยดน้ำต่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีนที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	57
4.10 แสดงภาพ SEM อัตราส่วนชั้นเคลือบที่ดีที่สุด a) ชั้นเคลือบบนผิวกระจกที่เคลือบจากอัตราส่วน 4:1 โดยน้ำหนักของเปลือกไข่ที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีน และ b) ชั้นเคลือบบนผิวกระจกที่เคลือบจากอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนักของแคลเซียมคาร์บอเนตจากกรดการค้ำและเปลือกไข่ที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีน.....	58
4.11 ภาพ SPM ของพื้นผิวชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่ (ซ้าย) ภาพ 2 มิติ และ (ขวา) ภาพ 3 มิติ.....	61
4.12 ภาพ SPM ของพื้นผิวชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนตกรดการค้ำในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 (ซ้าย) ภาพ 2 มิติ และ (ขวา) ภาพ 3 มิติ.....	59
4.13 (a-d) แผ่นกระจกที่เคลือบผิวที่เคลือบจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่ มาโรยผงที่ใช้ในการทดสอบชนิดต่าง ๆ a) ผงทราย b) ผงดินดำ c) ผงแกรไฟต์ และ d) ผงแป้งทาลู.....	60
4.14 (a-d) แผ่นกระจกที่เคลือบผิวที่เคลือบจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่ผสมกับผงเปลือกไข่ในอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก 50:50 มาโรยผงที่ใช้ในการทดสอบชนิดต่าง ๆ a) ผงทราย b) ผงดินดำ c) ผงแกรไฟต์ และ d) ผงแป้งทาลู.....	62
4.15 แสดงการทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนวดโดยการหยดของเหลวชนิดต่าง ๆ ลงบนผิวชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่ที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนวด (a) น้ำ (b) ซา และ (c) กาแฟ.....	63

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.16 แสดงการทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยการหยดของเหลวชนิดต่าง ๆ ลงบนผิวชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่ผสมกับ เกรดการค้าที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (a) น้ำ (b) ชา และ (c) กาแฟ.....	63
4.17 กราฟแสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่ในระยะเวลา 1 เดือนในบรรยากาศปิดและเปิด.....	64
4.18 กราฟแสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่ผสมกับเกรด การค้าในระยะเวลา 1 เดือนในบรรยากาศปิดและเปิด.....	65
4.19 กราฟแสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่และชั้นเคลือบ ผงเปลือกไข่ผสมกับเกรดการค้าต่อความเป็นกรด-เบส ที่ค่า pH ต่าง ๆ.....	67



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไข่เป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตอาหารในระดับครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรมเพราะไข่มีราคาถูกกว่าเนื้อสัตว์ และอุดมไปด้วยสารอาหารและโปรตีน ไข่ที่คนนิยมบริโภคก็มีหลากหลายชนิด เช่น ไข่ไก่ ไข่เป็ด ไข่นกกระทา เป็นต้น เนื่องจากไข่ไก่เป็นที่นิยมในการนำมาปรุงอาหารเพื่อบริโภค จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ในแต่ละปีมีเปลือกไข่ที่เป็นของเสียจากการบริโภคถูกทิ้งเป็นจำนวนมาก ซึ่งในเปลือกไข่ 1 ฟอง มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) มากถึงร้อยละ 94 โดยน้ำหนัก โดยในแต่ละปีจะมีเปลือกไข่ที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ที่ถูกทิ้งจากอุตสาหกรรมโรงเพาะฟัก อุตสาหกรรมอาหารและครัวเรือนถูกนำไปกำจัดโดยการฝังกลบประมาณ 250,000 ตันต่อปี ซึ่งการนำเปลือกไข่ไปฝังกลบก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมงวัน และเป็นที่อยู่ของหนู นอกจากนี้ยังส่งกลิ่นเหม็นเนื่องจากเกิดแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่เกิดขึ้นจากการหมักกรดอะมิโนที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของเปลือกไข่โดยจุลินทรีย์ รวมถึงเมื่อฝนตกหรือมีน้ำขังบริเวณที่ฝังกลบยังเป็นที่มาของน้ำเสียที่ไหลไปปนเปื้อนกับแหล่งน้ำสาธารณะ อีกทั้งแคลเซียมในเปลือกไข่ยังส่งผลทำให้ดินบริเวณที่ฝังกลบมีความเป็นด่างสูง ทำให้ไม่เหมาะแก่การเพาะปลูก ซึ่งปัญหาเหล่านี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลสิ่งแวดล้อมมากขึ้น [1] ดังนั้นในโครงการพิเศษนี้จึงมีแนวความคิดที่จะนำเปลือกไข่ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตมาใช้ประโยชน์ จากงานวิจัยของ Zeshan Hu และคณะ [2] ได้ศึกษาการเตรียมพื้นผิวให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic property) โดยการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าที่เตรียมขึ้นจากวิธีการตกตะกอนแล้วทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการใช้กรดโอเลอิกและกรดสเตียริก ซึ่งพบว่าอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าสามารถนำมาใช้ในการเตรียมพื้นผิวเพื่อให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดได้ ดังนั้นโครงการพิเศษนี้จึงได้ศึกษานำผงเปลือกไข่บดมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบของแคลเซียมคาร์บอเนต ในการเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด เพื่อเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดเปลือกไข่ และเพิ่มมูลค่าของเปลือกไข่เหลือทิ้ง โดยได้ศึกษาและพัฒนาการใช้ผงเปลือกไข่ในการเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยการเคลือบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกไข่ ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยสารคู่ควบ (coupling agent) จำพวกกรดไขมัน (fatty acid) ที่เป็นไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวที่ไม่มีขั้ว และมีพลังงานพื้นผิวดำ (low surface energy) โดยเมื่อเคลือบแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยสารคู่ควบจำพวกกรดไขมันลงบนพื้นผิวจะทำให้ได้พื้นผิวที่มีพลังงานพื้นผิวดำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีความขรุขระสูงในระดับไมโครเมตรกับนาโนเมตร จึงแสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำขึ้น โดยสมบัติความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวนั้นสามารถตรวจสอบได้จากการที่วัสดุมีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ (water contact angles, WCAs) มีค่ามากกว่า 150 องศา

โครงการพิเศษนี้ทำการพัฒนาชั้นเคลือบให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยเริ่มจากการนำเปลือกไข่ที่เหลือทิ้งมาล้างทำความสะอาด ต้มลอกเยื่อไข่ที่เปลือกออก ตากให้แห้ง แล้วนำไปบดด้วยวิธีการบดละเอียดด้วยลูกบดและแรงกล (mechanical ball milling) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนได้ผงอนุภาคเปลือกไข่ จากนั้นนำมาปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยสารคู่ควบกรดสเตียริก (stearic acid) แล้วทิ้งให้แห้งจะได้เป็นผงของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่บริเวณผิวถูกเปลี่ยนเป็นแคลเซียมสเตียเรต ($C_{36}H_{70}CaO_4$) จากนั้นนำผงอนุภาคที่เตรียมได้นี้ มาเตรียมให้อยู่ในรูปสารแขวนลอย โดยใช้ตัวประสานเป็นพอลิสไตรีน ($(C_8H_8)_n$, PS) แล้วจึงนำไปเคลือบลงบนกระจกที่ทำการปรับปรุงผิวด้วยการกัดกรดปิรันยา เพื่อให้เกิดเป็นชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยได้ทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของชั้นเคลือบ อันประกอบด้วย ขนาดและรูปร่างของอนุภาค แคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากกรดการค้ำและผงเปลือกไข่ ความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตียริกที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีนที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาและทำการเตรียมชั้นเคลือบบนกระจกที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดจากเปลือกไข่ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก
- 2) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของชั้นเคลือบอันประกอบด้วย ผลของขนาดและรูปร่างของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากกรดการค้ำและจากผงเปลือกไข่ ความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตียริกที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีนที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ
- 3) ศึกษาประสิทธิภาพในการทำความสะอาดตัวเองของพื้นผิวกระจกที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ทำการเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก
- 2) ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของชั้นเคลือบ อันประกอบไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.1) ผลของขนาดและรูปร่างของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเกรดการค้าและจากผงเปลือกไข่
- 2.2) ผลของความเข้มข้นสารละลายกรดสเตียริกที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต คือ 2, 5, 10 และ 20 มิลลิโมลาร์ โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย
- 2.3) ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ถูกรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีน คือ 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 และ 5:1
- 3) การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ สันฐานวิทยา และสมบัติความไม่ชอบน้ำ ด้วยเทคนิคต่างๆดังนี้
 - 3.1) ตรวจสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ (WCAs)
 - 3.2) ตรวจสอบสันฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
 - 3.3) ตรวจสอบความขรุขระบริเวณพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบหัวสแกน (SPM)
 - 3.4) ตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลด้วยเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FT-IR)
 - 3.5) ตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถเข้าใจถึงหลักการและสามารถเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนจากเปลือกไข่ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก
- 2) สามารถนำเปลือกไข่ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกไข่ได้

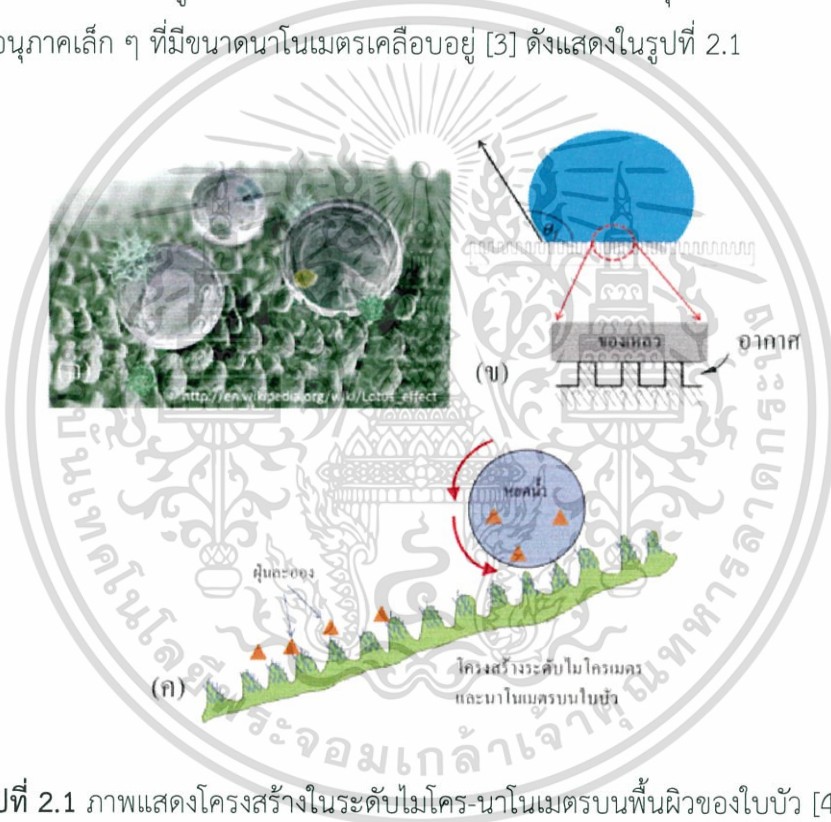
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ปรางูการณน้ำกลิ่งบนใบบัว (Lotus effect)

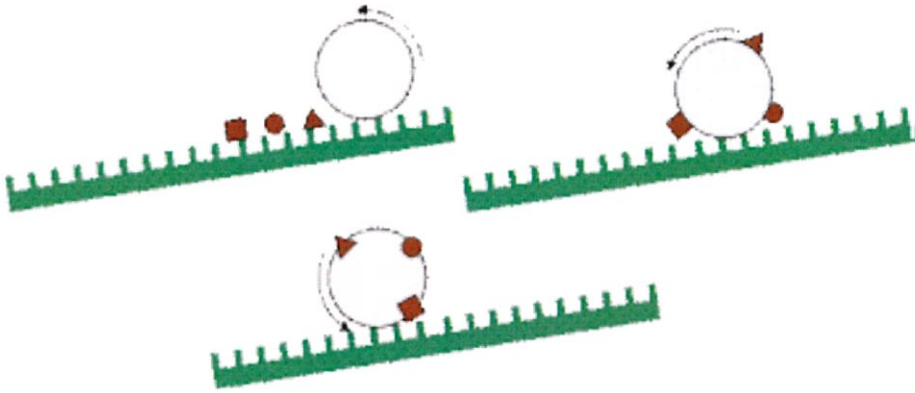
ปรางูการณน้ำกลิ่งบนใบบัว (lotus effect) เกิดจากโครงสร้างที่มีความขรุขระในระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรบนพื้นผิวของใบบัว (papillae) โดยจะมีลักษณะเป็นรูปกรวยคว่ำ มีขนาดกว้าง 10-15 ไมโครเมตร สูง 10-20 ไมโครเมตร และผิวที่มีความขรุขระเหล่านี้ยังมีสารคล้ายขี้ผึ้ง (wax) อนุภาคเล็ก ๆ ที่มีขนาดนาโนเมตรเคลือบอยู่ [3] ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงโครงสร้างในระดับไมโคร-นาโนเมตรบนพื้นผิวของใบบัว [4]

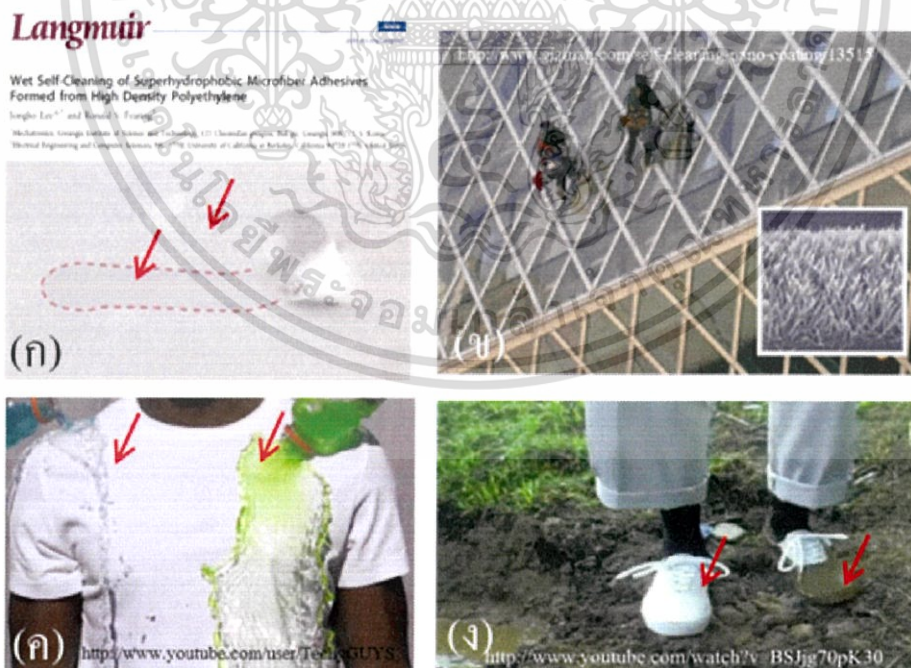
ซึ่งพื้นผิวในลักษณะนี้มีมุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles) มากกว่า 150 องศา ซึ่งทำให้เกิดสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic property) ขึ้น ซึ่งสมบัตินี้ทำให้น้ำสามารถกลิ่งบนใบบัวได้ ในขณะที่น้ำกลิ่งนั้นน้ำแต่ละหยดจะชะล้างคราบสิ่งสกปรกออกไปด้วย จึงเรียกพื้นผิวที่มีลักษณะนี้ว่าพื้นผิวที่ทำความสะอาดได้ด้วยตัวเอง (self-cleaning surface) ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงปรากฏการณ์การทำความสะอาดพื้นผิวด้วยตนเอง โดยหยดน้ำที่กลิ้งบนผิวผ้าจะนำพาอนุภาคของสิ่งสกปรกบนพื้นผิวเกาะติดไปด้วย [5]

วัสดุที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านต่าง ๆ โดยใช้ประโยชน์จากสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning) เช่น การนำไปใช้เคลือบบนกระจกที่ทำความสะอาดตัวเองได้ โดยกระจกที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำจะมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) คือ น้ำไม่เปียกบนผิวกระจก ดังนั้นน้ำที่ตกลงมาบนพื้นผิวจะรวมกันเป็นหยด จึงสามารถชะล้างฝุ่นที่ติดบนผิวกระจกให้กลิ้งออกไปพร้อมกับหยดน้ำได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 [4]



รูปที่ 2.3 การนำวัสดุที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำไปประยุกต์ใช้งาน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 สมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (Superhydrophobic property)

ความชอบน้ำ (hydrophilicity) และความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) เป็นสมบัติเฉพาะของพื้นผิววัสดุมีค่าไม่เท่ากันในวัสดุแต่ละชนิด อธิบายโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะพื้นผิววัสดุกับการทำมุมสัมผัสของหยดน้ำ โดยวิธีการอย่างง่ายที่ใช้ในการบอกลักษณะของพื้นผิวว่ามีความชอบน้ำหรือไม่ชอบน้ำ สังเกตได้จากรูปทรงของหยดน้ำ คือ หากหยดน้ำมีลักษณะค่อนข้างแบน ไม่โค้งนูน แสดงว่าพื้นผิววัสดุนั้นมีความชอบน้ำหรือเปียกน้ำ (wettability) ได้ แต่ถ้าหากหยดน้ำมีลักษณะเป็นเม็ดกลมนูน แสดงว่าพื้นผิววัสดุมีความไม่ชอบน้ำมากหรือเปียกน้ำได้ยาก โดยค่ามุมสัมผัสน้ำ (water contact angles, WCAs) สามารถใช้เป็นตัวบอกความสัมพันธ์ของพื้นผิวและหยดน้ำ [6] ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของหยดน้ำและสมบัติของพื้นผิววัสดุ [6]

มุมสัมผัส	สมบัติ	ลักษณะของพื้นผิว
$<10^\circ$	ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophilicity)	ดูน้ำได้ดี เปียกอย่างสมบูรณ์
$<30^\circ$	ชอบน้ำ (hydrophilicity)	ดูน้ำ เปียกได้ดี
$90^\circ - 150^\circ$	ไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity)	ไม่ดูน้ำหรือดูน้ำเล็กน้อย เปียกยาก
$>150^\circ$	ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobicity)	ไม่ดูน้ำ ไม่มีความเปียก

2.1.3 ภาวะการเปียก (Wetting) และการวัดค่ามุมสัมผัส (Contact angles measurement)

ภาวะการเปียก (wetting) คือ ความสามารถในการรักษาพื้นผิวสัมผัสระหว่างของเหลวกับของแข็ง โดยจะเกี่ยวข้องกับแรงสองแรงหลัก ๆ ดังนี้ [7]

1. แรงเชื่อมแน่น (cohesive force) คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารชนิดเดียวกันซึ่งเป็นแรงที่พยายามทำให้โมเลกุลของของเหลวเกาะกลุ่มกันเป็นหยด

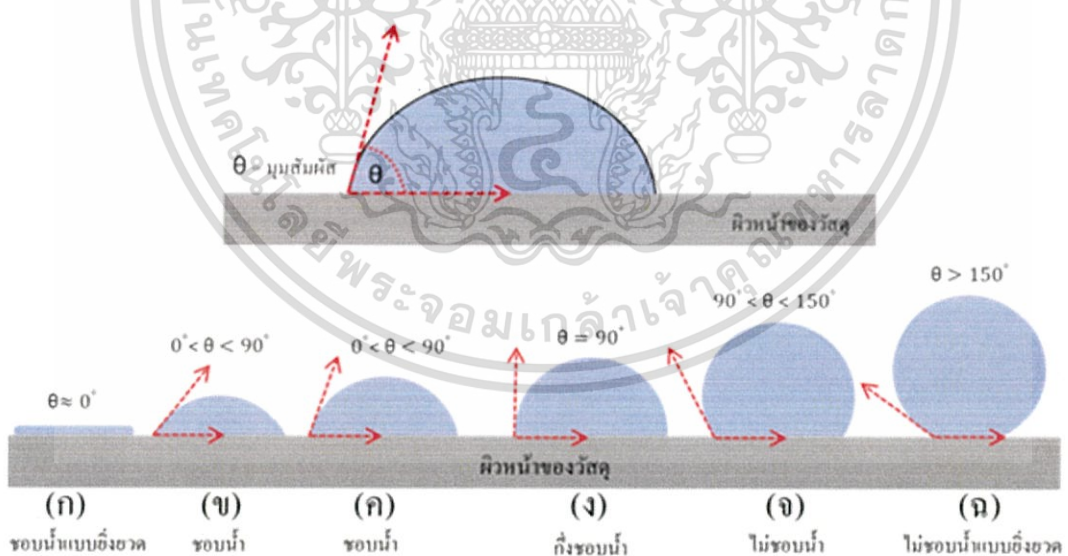
2. แรงยึดติด (adhesive force) คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารต่างชนิดกัน หมายถึง แรงระหว่างโมเลกุลของเหลวและของแข็ง เป็นแรงที่พยายามทำให้หยดของของเหลวกระจายตัวออกจากกันและกระจายแนบไปกับพื้นผิวของของแข็ง

การที่หยดน้ำเกาะอยู่บนพื้นผิวของวัสดุที่เป็นของแข็งได้จะต้องเกิดสภาพสมดุลระหว่างแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่น จึงใช้สภาพสมดุลระหว่างแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่นในการวัดภาวะการเปียกของวัสดุที่เรียกว่า มุมสัมผัส (contact angle) โดยมุมสัมผัสนี้ก็จะเป็นตัวบอกแนวโน้มที่หยดของเหลวจะเกาะกระจายตัวบนพื้นผิวของของแข็ง ค่ามุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของสารตัวนั้น กล่าวคือ ถ้ามุมสัมผัสมีค่าต่ำ แสดงว่าสารนั้นสามารถกระจายตัวได้ดี และถ้ามุมสัมผัสมีค่าสูง แสดงว่าสารนั้นไม่สามารถกระจายตัวได้ดี

ของเหลวดังแสดงในรูปที่ 2.4 [8] และสามารถใช้ค่ามุมสัมผัสนี้เป็นเกณฑ์ในการแบ่งภาวะการเปียกของวัสดุโดยมีเกณฑ์ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงการวัดภาวะการเปียกของวัสดุจากมุมสัมผัสของหยดน้ำ

มุมสัมผัส	ภาวะการเปียก	สภาพสมดุลระหว่างแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่น	ลักษณะของหยดน้ำ
0°	เปียกอย่างสมบูรณ์	แรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ	แตกกระจายไปตามผิวของแข็งเป็นชั้นบาง ๆ ครอบคลุมอยู่บนพื้นผิว
$0^\circ - 90^\circ$	เปียกได้ดี	แรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่น	เป็นหยดนูนขึ้นเล็กน้อย
$>90^\circ, < 180^\circ$	เปียกที่พื้นผิวได้ยาก	แรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่น	หยดรูปทรงค่อนข้างกลม
180°	ไม่เปียก	แรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ	หยดทรงกลม



รูปที่ 2.4 รูปแสดงลักษณะของหยดของเหลวบนพื้นผิวของของแข็งโดยมีค่ามุมสัมผัสต่าง ๆ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

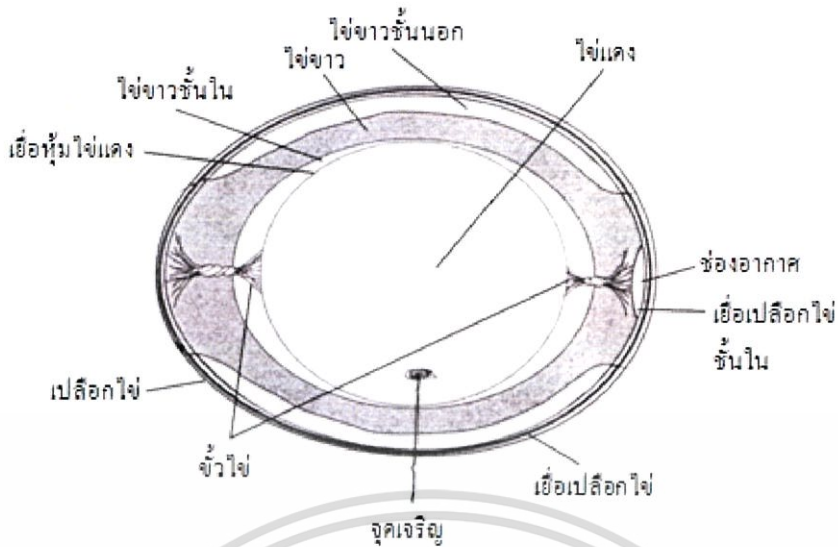
2.1.4 การเตรียมพื้นผิวที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด

ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการเตรียมพื้นผิวที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยการใช้เปลือกไข่ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก

2.1.4.1 เปลือกไข่

เปลือกไข่ทั่วไปจะประกอบด้วยแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลักโดยเปลือกไข่จะมีรูขนาดเล็ก ๆ มากกว่า 17,000 รู และมีสารเคลือบผิวที่ช่วยป้องกันเชื้อแบคทีเรียไม่ให้เข้าไปในฟองไข่ โดยองค์ประกอบของเปลือกไข่แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ กลุ่มแรกเป็นสารอินทรีย์ (ร้อยละ 4 ของน้ำหนักเปลือกแห้ง) ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมระหว่างโครงสร้างตาข่ายโปรตีนหรือเมทริกซ์อินทรีย์ (organic matrix) ส่วนกลุ่มที่สองจะประกอบด้วยสารอนินทรีย์ต่าง ๆ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 90 แคลเซียมฟอสเฟตร้อยละ 1 และแมกนีเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 1 ของน้ำหนักเปลือกแห้ง [9] เปลือกไข่ประกอบด้วยชั้นหลาย ๆ ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

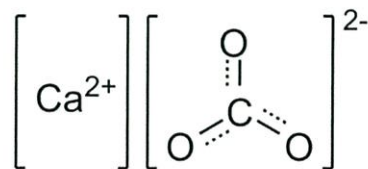
1. เคลือบผิวไข่ (cuticle) และรงควัตถุ (pigment) คือ ส่วนที่อยู่นอกสุด ที่มีลักษณะบางใส ซึ่งเคลือบอยู่ที่ผิวนอกสุดของเปลือกไข่ ซึ่งทำหน้าที่อุดรูเปลือกไข่ทำให้เปลือกไข่สามารถป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ได้
2. เปลือกชั้นนอก (spongy layer) คือ เปลือกชั้นนอกที่ฉาบติดกับเปลือกชั้นในที่มีโครงสร้างแบบฟองน้ำ เป็นชั้นที่ฉีกกันแน่นและมีรูเล็ก ๆ จำนวนมากที่เชื่อมติดกับเปลือกชั้นใน จะมีลักษณะเป็นรูพรุนแบบฟองน้ำแต่แข็งแรงมาก ชั้นเปลือกนี้จะอ่อนนุ่มแบบฟองน้ำเมื่อถูกกรดละลายแคลเซียมออกไปเท่านั้น เปลือกชั้นนอกนี้ให้ความแข็งแรงและคงรูปทรงแก่เปลือกไข่
3. เปลือกชั้นใน (mammillary layer) คือ ชั้นที่บางของเปลือกที่ติดกับเยื่อหุ้มไข่ชั้นนอก ประกอบด้วยปุ่มพื้นเปลือกลักษณะหยาบ ๆ ที่มีรูปร่างต่าง ๆ ตั้งแต่ทรงรูปไข่ถึงทรงกลม ทำหน้าที่ทางผ่านของอากาศให้กระจายทั่วเปลือก
4. รูเปลือกไข่ (pores) คือ รูที่ผ่านเปลือกชั้นในออกมาจะมีขนาดเล็กที่สุดและเปิดกว้างบางรูจะถูกอุดตันหรือถูกปิดด้วยเส้นใยโปรตีน ทำให้รูกระชับเป็นรูปทรงอยู่ได้ในแต่ละพื้นของเปลือกไข่จะมีจำนวนรูไม่เท่ากัน ซึ่งทำหน้าที่ช่วยในการระบายความชื้นและรับอากาศเข้าออก



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงองค์ประกอบของชั้นเปลือกใจ [10]

2.1.4.2 แคลเซียมคาร์บอเนต

แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ใช้เป็นวัตถุดิบชั้นกลางที่ผลิตจากหินปูนมีคุณสมบัติไม่เป็นพิษ มีความขาวและความสว่างสูง มีโครงสร้างผลึก 3 แบบ คือ แคลไซต์ (calcite) อะราโกไนต์ (aragonite) และวาเทอร์ไรต์ (vaterite) ซึ่งโครงสร้างแคลไซต์เป็นโครงสร้างผลึกที่เสถียรที่สุด เมื่อแคลเซียมคาร์บอเนตได้รับความร้อนสูงจะเกิดการสลายตัวเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งจะสามารถดูดความชื้นในอากาศได้ดี และยังสามารถเปลี่ยนเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ได้ ซึ่งมีการนำแคลเซียมคาร์บอเนตไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหลาย ๆ ประเภท เนื่องจากมีคุณสมบัติที่บดให้ละเอียดได้ มีความเสถียรทางเคมีและไม่เป็นพิษ เป็นต้น ซึ่งในธรรมชาติพบวัสดุหลายชนิดที่มีส่วนประกอบหลักเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต เช่น หินปูน หินอ่อน ปะการัง เปลือกไข่ เปลือกหอย [11] โครงสร้างทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนตได้แสดงดังในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนต [12]

เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตมีคุณสมบัติที่ไม่มีพิษมีความขาวและความสว่างสูง จึงเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมหลากหลาย ดังนี้ [13, 14]
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุตสาหกรรมผลิตยา ช่วยเพิ่มความสามารถการลดกรดและประสิทธิภาพการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย
- อุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอาง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับความมันและความขาวใส
- อุตสาหกรรมยาสีฟัน ใช้เป็นผงขัดฟันเพิ่มความสามารถในการดูดซับฟลูออไรด์ (F) กลับเข้าสู่ฟัน
- อุตสาหกรรมผลิตสี ช่วยลดต้นทุนของสีโดยนำไปใช้แทนไทเทเนียมไดออกไซด์ และทำให้สีมีความสามารถในการยึดเกาะกับวัสดุได้ดียิ่งขึ้น
- อุตสาหกรรมผลิตพลาสติก ทำหน้าที่เป็นสารเติมแต่งที่สามารถเพิ่มความแข็งแรง ความแกร่ง
- อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ ช่วยให้เนื้อกระดาษมีความเรียบเนียน สว่างและดูดซับความมัน

2.1.4.3 กรดสเตียริก

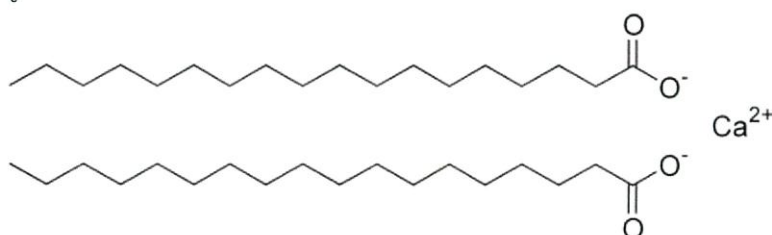
กรดสเตียริก (stearic acid, $C_{18}H_{36}O_2$ หรือ $C_{17}H_{35}COOH$) ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดหนึ่งเป็นประเภทกรดไขมันชนิดอิ่มตัว มีคาร์บอน 18 อะตอม ($C_{18}:0$) ดังแสดงสูตรโครงสร้างในรูปที่ 2.7 และสามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการทำยา เครื่องสำอาง เป็นต้น กรดสเตียริกพบมากในไขมันจากสัตว์ เป็นผลึกสีขาว ซึ่งไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในแอลกอฮอล์ เช่น อีเทอร์ อะซิโตน และคลอโรฟอร์ม [15]



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างทางเคมีของกรดสเตียริก [16]

2.1.4.4 แคลเซียมสเตียเรต

โดยทั่วไปแคลเซียมสเตียเรต ($C_{36}H_{70}CaO_4$ หรือ $(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$) มีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือเหลือง เป็นเกลือสบู่ของแคลเซียมประเภทหนึ่ง โดยการนำอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตมาปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก จะเกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมสเตียเรตขึ้นบริเวณพื้นผิวของแคลเซียมคาร์บอเนต โดยใช้เป็นส่วนประกอบของสารหล่อลื่น (lubricants) และสารเพิ่มการกระจายตัว (surfactants) และใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมอาหารและยา สูตรโครงสร้างของแคลเซียมสเตียเรต ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างทางเคมีของแคลเซียมสเตียเรต [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในวงวิชาการเท่านั้น ไม่ควรถูกนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแคลเซียมสเตียเรตมีชื่อตามระบบ IUPAC คือ แคลเซียมออกตะเดคะโนเอต (Calcium octadecanoate) มีสูตรเคมีคือ $C_{36}H_{70}CaO_4$ ซึ่งจะมีมวลโมเลกุล 607.03 กรัมต่อโมล และความหนาแน่น 1.08 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยแคลเซียมสเตียเรตจะมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 155 องศาเซลเซียส (311 องศาฟาเรนไฮต์; 428 องศาเคลวิน) มีความสามารถในการละลายน้ำ 0.004 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (15 องศาเซลเซียส) และละลายเล็กน้อยในน้ำมัน และไม่ละลายในแอลกอฮอล์หรืออีเทอร์ [17]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

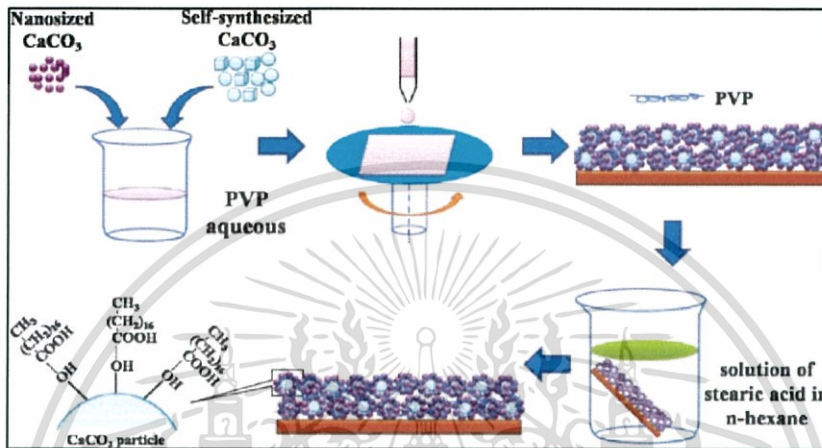
2.2.1 วิธีการเตรียมผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นสารเคลือบผิวให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (A facile method to prepare superhydrophobic coatings by calcium carbonate)

จากงานวิจัยของ Hua Zhang และคณะ [18] ได้ศึกษาวิธีการปรับปรุงพื้นผิวให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยการผสมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนที่เป็นเกรดการค้าและขนาดไมโครที่ได้จากการสังเคราะห์ แล้วปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกเพื่อให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยใช้วิธีการเคลือบแบบหมุนเหวี่ยง (spin coating) โดยเริ่มจากสังเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดไมโครโดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที จะได้สารแขวนลอย แล้วนำมากรองและล้างตะกอนด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ขั้นตอนต่อไปเป็นการเตรียมเป็นสารเคลือบที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยขั้นแรกผสมแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนที่เป็นเกรดการค้าและขนาดไมโครที่ได้จากการสังเคราะห์ แล้วนำไปกระจายตัวในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมโพลีไวนิลคลอไรด์ ภายใต้การปั่นกวน จะปั่นกวนต่อเป็นเวลา 30 นาที จนกระทั่งโพลีไวนิลคลอไรด์ละลายจนหมดจะได้เป็นสารแขวนลอย แล้วทำการเคลือบแบบหมุนเหวี่ยงบนพื้นผิวของกระจกโดยใช้เครื่อง KW spin coater โดยนำสารแขวนลอยที่เตรียมได้ 500 ไมโครลิตร หยดลงบนกระจก ด้วยอัตราความเร็ว 2000 รอบเป็นเวลา 30 วินาที แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นกระจกที่ผ่านการเคลือบมาจุ่มแช่ในสารละลายเฮกเซนที่มีความเข้มข้นของกรดสเตียริก 20 มิลลิโมลาร์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยก่อนที่จะเคลือบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและกรดสเตียริกนั้นจะมีการทำความสะอาดกระจกด้วยการแช่ในกรดปิร์นยา (piranha solution) ที่เตรียมการผสมของกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 98 กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 30 ในอัตราส่วนโดยปริมาตร 3:7 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ จากนั้นนำแผ่นกระจกไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส วิธีการเตรียมทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 2.9 จากการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า

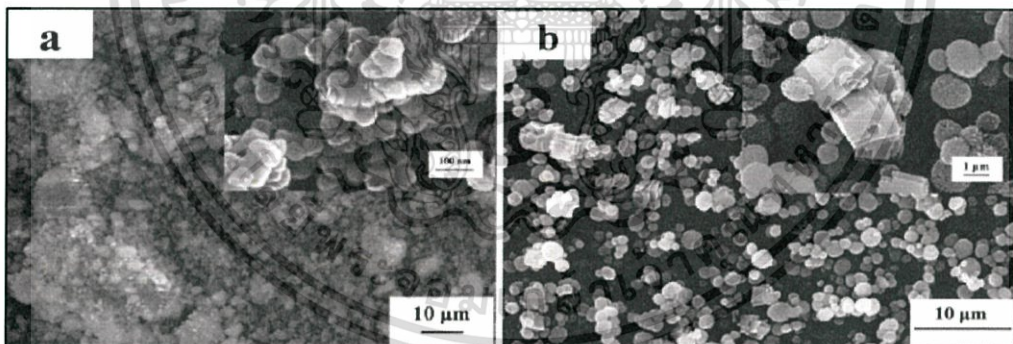
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าจะมีรูปร่างอนุภาคเป็นทรงกลม มีขนาดอนุภาคประมาณ 60 นาโนเมตร ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการสังเคราะห์มีรูปร่างของอนุภาคอยู่ 2 แบบ คือ รูปร่างทรงกลมและสี่เหลี่ยม และมีขนาดอนุภาคประมาณ 1-2 ไมโครเมตร



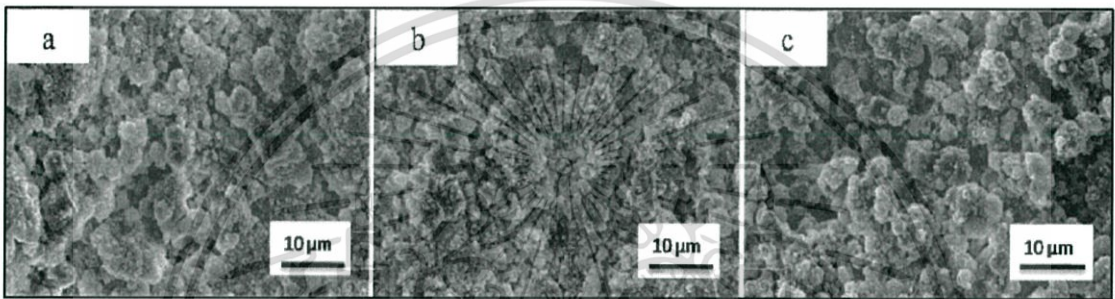
รูปที่ 2.9 ภาพแสดงกระบวนการเตรียมสารเคลือบผิววัสดุให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด [18]



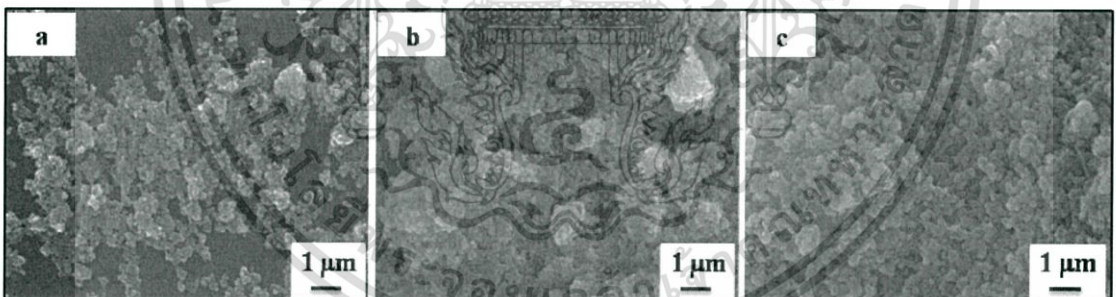
รูปที่ 2.10 ภาพ SEM ของ (a) ผง CaCO_3 ขนาดนาโนเมตรและ (b) ผง CaCO_3 ขนาดไมโครเมตร [18]

เมื่อศึกษาผลของปริมาณผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่เป็นการผสมของอัตราส่วนระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนและแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดไมโครที่ได้จากการสังเคราะห์ ที่อัตราส่วนที่แตกต่างกัน ดังนี้ ร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 2.11 พบว่าชั้นฟิล์มเคลือบหนาขึ้น เมื่อปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นและเมื่อมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ที่เคลือบอยู่บนกระจก จะทำให้ผงแคลเซียมคาร์บอเนตกระจายตัวอยู่ทั่วพื้นผิว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจก งานวิจัยนี้จึงเลือกปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีการกระจายตัวดีที่สุดที่ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก จากการเลือกปริมาณที่ดีที่สุดแล้ว จะทำการเตรียมตัวอย่าง 3 ตัวอย่างที่เป็นอัตราส่วนระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนต่อแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดไมโครที่ได้จากการสังเคราะห์ ดังนี้ อัตราส่วนร้อยละ 10:30 , 20:20 และ 30:10 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.12 พบว่าเมื่อแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการสังเคราะห์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสเพิ่มมากขึ้นแต่ไม่สามารถวัดค่ามุมเลื่อนไหลของหยดน้ำ (sliding angle) ได้ เพราะหยดน้ำติดอยู่บนพื้นผิวที่เคลือบ จึงได้ปรับอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการสังเคราะห์ต่อปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโน เพื่อให้หยดน้ำสามารถกลิ้งออกจากชั้นเคลือบได้



รูปที่ 2.11 ภาพ SEM ของปริมาณ CaCO_3 (a) 30 wt% (b) 40 wt% และ (c) 50wt% [18]



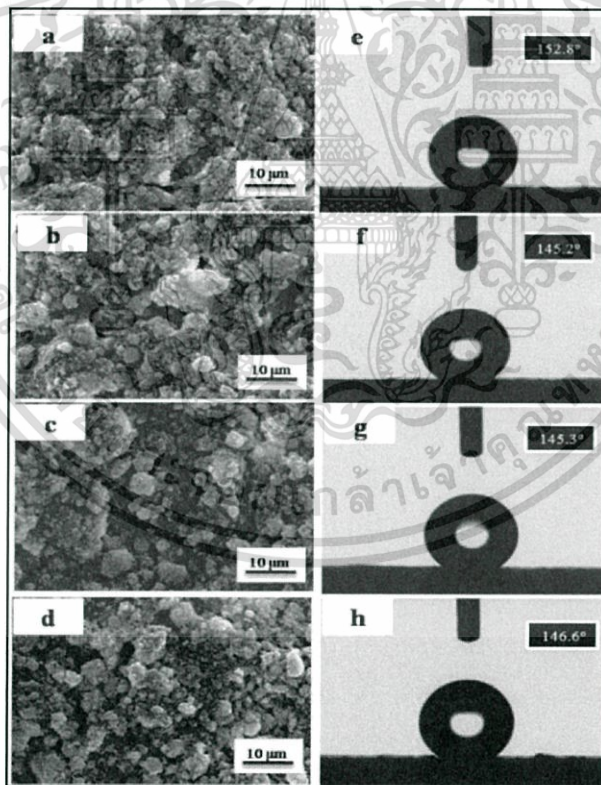
รูปที่ 2.12 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM ของพื้นผิวที่เตรียมขึ้นจากการใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนต่อไมโครที่แตกต่างกัน (a) 10:30 (b) 20:20 และ (c) 30:10 [18]

จากการศึกษาอัตราส่วนข้างต้นพบว่าเมื่อแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการสังเคราะห์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสเพิ่มมากขึ้นแต่ไม่สามารถวัดค่ามุมเลื่อนไหลของหยดน้ำได้ จึงได้ทำการปรับอัตราส่วนของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการสังเคราะห์แตกต่างกัน ซึ่งมีปริมาณ ดังนี้ ร้อยละ 2, 4, 7 และ 9 โดยน้ำหนัก เมื่อปรับอัตราส่วนแล้วนำไปเคลือบบนชิ้นงานตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่ามุมสัมผัสของน้ำ โดยวัดเปรียบเทียบกับระหว่างพื้นผิวของชั้นเคลือบ ผลการทดลองพบว่าปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการสังเคราะห์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ได้ค่ามุมเอกซาร์เป็นเอกซาร์ที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพัทธ์สูงสุด คือ 158 องศา และวัดค่ามุมเลื่อนไหลได้ 7.8 องศา ดังแสดงในตารางที่ 2.3 รูปที่ 2.13 แสดงสัณฐานวิทยาของพื้นผิวที่เคลือบด้วยปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดไมโครที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.3 แสดงค่ามุมสัมพัทธ์และค่ามุมเลื่อนไหล จากความแตกต่างของปริมาณผง CaCO_3 ขนาดไมโครเมตร [18]

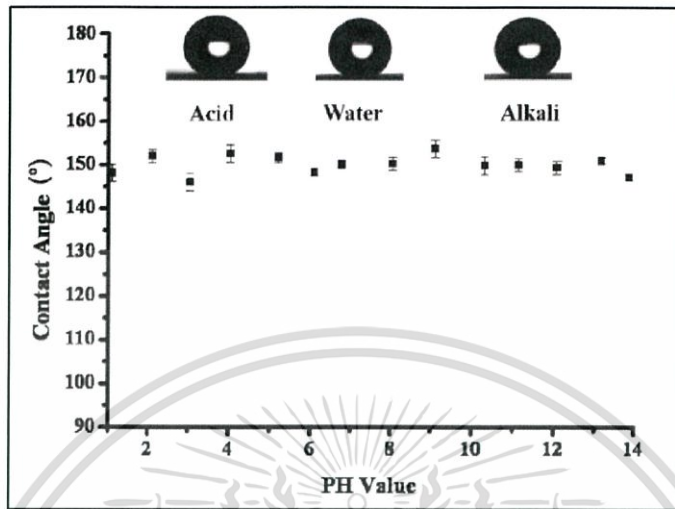
synthesized CaCO_3 content (wt %)	CA (deg)	sliding angle (deg)
0	142	>20
1	143.8	15.3
2	152.8	7.8
3	146.1	12.6
4	145.2	12.5
5	146.5	16.9
7	145.3	>20
9	146.6	>20
10	146.9	>20
25	143.6	>20
30	145.4	>20
40	138	>20



รูปที่ 2.13 (a-d) ภาพถ่ายจากกล้อง FE-SEM ของปริมาณ CaCO_3 ขนาดไมโคร คือ 2, 4, 7 และ 9 wt% (e-h) ภาพของหยดน้ำบนพื้นผิวเคลือบหลังจากพื้นผิวถูกปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก [18]

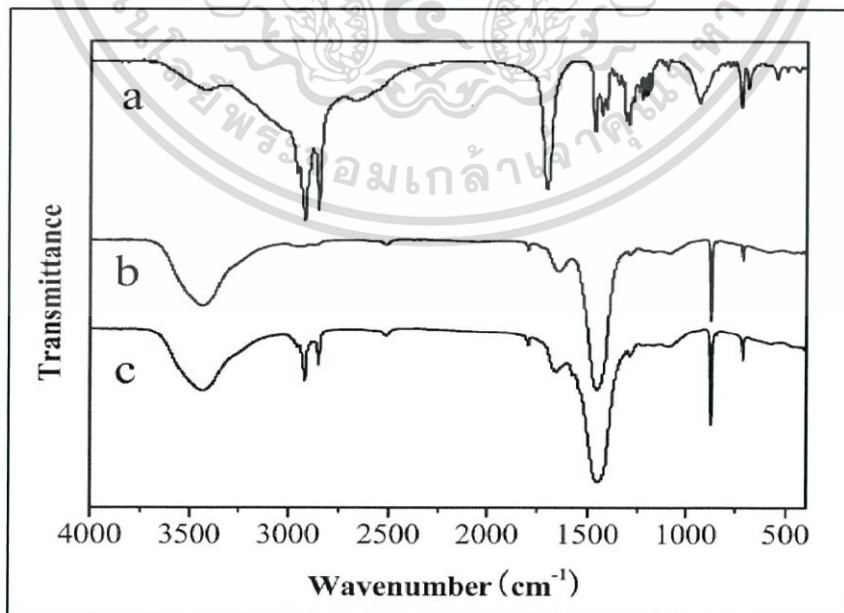
การศึกษาระหว่างค่ามุมสัมพัทธ์กับค่า pH ของสารละลายที่หยดลงบนพื้นผิวเคลือบที่เตรียมจากการใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนต่อไมโครที่แตกต่างกันไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าค่า pH ไม่มีผลกระทบต่อค่ามุมสัมผัสและสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของชั้นเคลือบผิว ดังที่แสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ค่ามุมสัมผัสและค่าความแตกต่างของค่า pH ของสารละลายที่หยดบนพื้นผิวเคลือบ [18]

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง FT-IR ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.15 พบว่ากรดสเตียริก และชั้นฟิล์มจากการเคลือบชั้นแรกที่ถูกปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก ปรากฏช่วงการดูดกลืนแสงที่เลขคลื่น $2918-2850\text{ cm}^{-1}$ ที่ตรงกับการดูดกลืนแสงของหมู่ C-H ของกรดสเตียริก



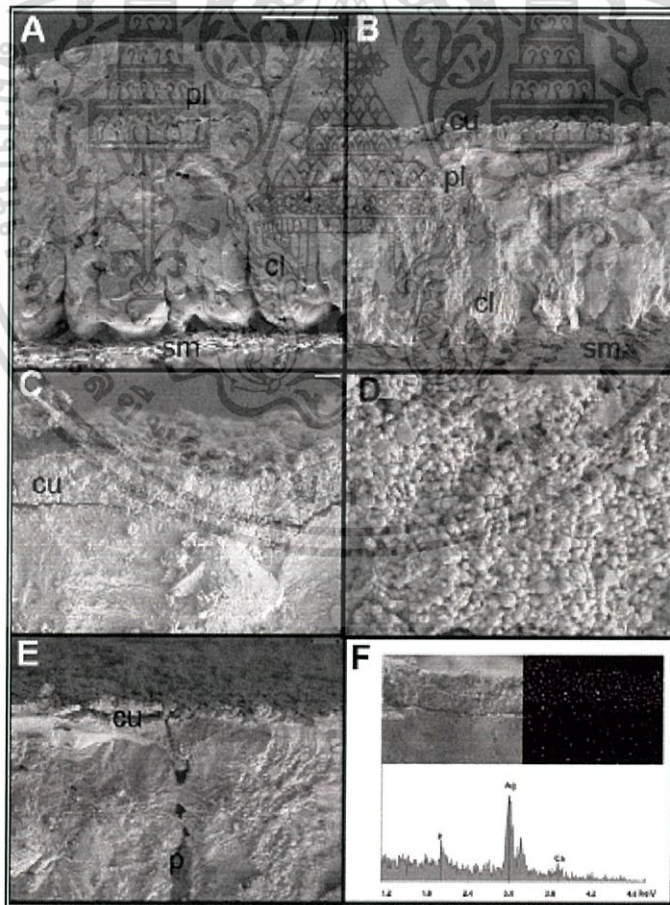
รูปที่ 2.15 FT-IR สเปกตรัมของ (a) กรดสเตียริก (b) ชั้นฟิล์มจากการเคลือบชั้นแรก และ (c) ชั้นฟิล์มจากการเคลือบชั้นแรกที่ถูกปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 สมบัติการฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่เกิดจากโครงสร้างระดับนาโนของเปลือกไข่จากรังฟัก (Antimicrobial properties of a nanostructured eggshell from a compost-nesting bird)

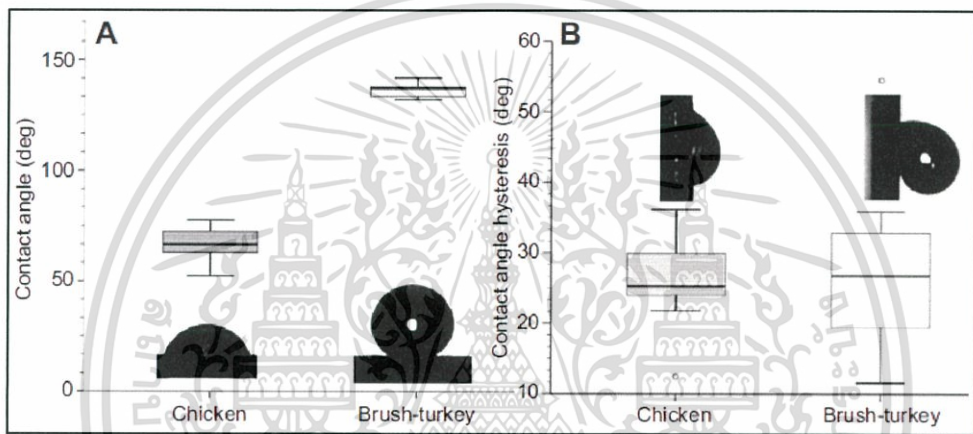
จากงานวิจัยของ Liliana D'Alba และคณะ [19] ได้ศึกษาสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรียไม่ให้เข้าไปในเปลือกไข่ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อน โดยได้ศึกษาไข่ของตระกูล Megapodiidae ที่ออกไข่และฟักไข่อยู่ใต้ดิน โดยได้ศึกษาไข่ของไก่วงสายพันธุ์ Australian brush-turkey เปรียบเทียบกับไข่ไก่ท้องถิ่น ได้นำเปลือกไข่มาล้าง 5 ครั้งด้วยน้ำสะอาด และล้าง 1 ครั้งด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 70 และอบให้แห้งอย่างน้อย 24 ชั่วโมง จากนั้นตัดเปลือกไข่ให้ได้ขนาด 1 ตารางเซนติเมตร แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ผลแสดงดังรูปที่ 2.16 พบว่าเปลือกไข่ไก่วงบางกว่าเปลือกไข่ไก่ท้องถิ่น 1.5 เท่า และเปลือกไข่ไก่วงมีลักษณะทรงกลมขนาดนาโนจำนวนมากกระจายตัวอยู่ทั่วบนพื้นผิวเพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกแทรกซึมผ่านเปลือกไข่ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อน



รูปที่ 2.16 สัณฐานวิทยาด้านตัดขวางของเปลือกไข่ (A) เปลือกไข่ไก่ท้องถิ่น (B-F) เปลือกไข่ไก่วง

[19] เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำ พบว่าเปลือกไข่ไก่ทรงวงมีค่ามุมสัมผัสน้ำ 135.28 องศา ซึ่งมากกว่าเปลือกไข่ไก่ท้องถื่นที่มีค่ามุมสัมผัส 66.55 องศา แต่เมื่อนำไปวัดค่ามุมสัมผัสแบบฮีสเทอริซิส (hysteresis) โดยทำการเอียงเปลือกไข่ที่มุม 0 – 90 องศา พบว่าเปลือกไข่ไก่ทรงวงและเปลือกไข่ไก่ท้องถื่นให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน โดยการที่เปลือกไข่ไก่ทรงวงมีค่ามุมสัมผัสกับหยดน้ำที่สูงน่าจะ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการทำวัสดุที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำโดยไม่ต้องใช้สารเคมี แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อคำนึงถึงความสามารถในการทำความสะดวกตัวเอง พบว่าหยดน้ำจะติดอยู่บนเปลือกไข่ไก่ทรงวงไม่ กิ่งออก เนื่องจากโครงสร้างทางจุลภาคที่มีความขรุขระไม่ต่อเนื่อง ทำให้หยดน้ำติดอยู่บริเวณที่ ขรุขระไม่สามารถถลิ่งออก ดังแสดงในรูปที่ 2.17



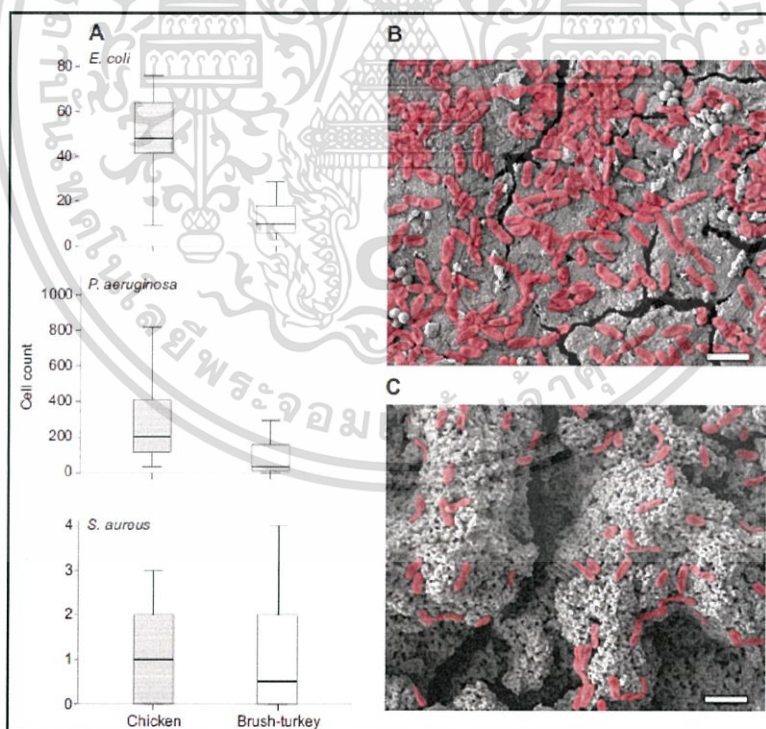
รูปที่ 2.17 (A) ค่ามุมสัมผัส และ (B) ค่ามุมสัมผัสแบบฮีสเทอริซิสของเปลือกไข่ไก่ทรงวงและเปลือกไข่ไก่ท้องถื่น [19]

ตารางที่ 2.4 ปริมาณและความหนาแน่นของแบคทีเรียบนเปลือกไข่ไก่ทรงวงและเปลือกไข่ไก่ท้องถื่น [19]

	Total cell count	Cell density (cells μm^{-2})
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		
Chicken	493	6.29E-02
Brush-turkey	124**	2.24E-02**
<i>Escherichia coli</i>		
Chicken	2718	1.29E-02
Brush-turkey	882*	2.79E-03
<i>Staphylococcus aureus</i>		
Chicken	11	1.28E-03
Brush-turkey	12	1.37E-03

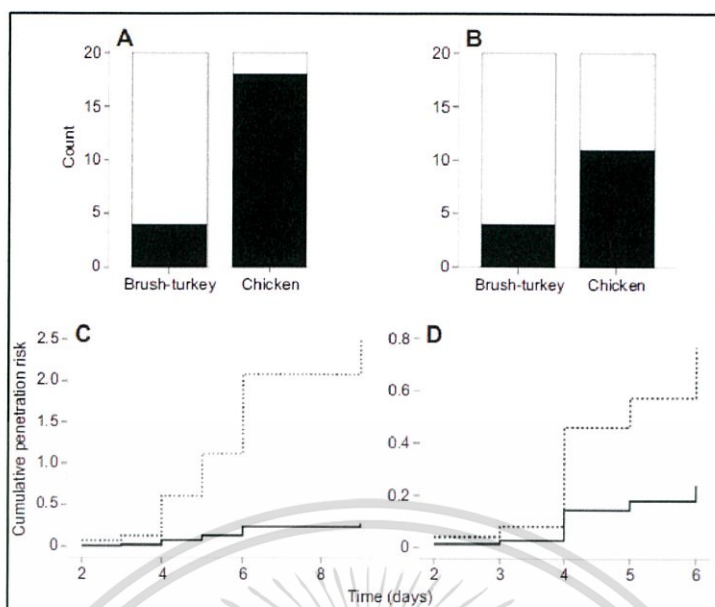
จากตารางที่ 2.4 พบว่า เปลือกไข่ไก่มีปริมาณและความหนาแน่นของแบคทีเรียชนิด *Escherichia Coli* และ *Pseudomonas aeruginosa* ติดอยู่ที่เปลือกไข่มากกว่าเปลือกไข่ไก่ทรงวง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่แบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* ที่อยู่บนเปลือกไข่ทั้งสองชนิด ไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก และเมื่อทำการบ่มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าเปลือกไข่ไก่ท้องถิ่นมีปริมาณแบคทีเรียมากกว่าเปลือกไข่ไก่วง ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (A) และรูปที่ 2.18 (B) แสดงตัวอย่างของแบคทีเรียที่อยู่บนเปลือกไข่ brush-turkey และเมื่อทดสอบอัตราการทะลุผ่านเปลือกไข่ของแบคทีเรีย ชนิด *Escherichia Coli* และ *Pseudomonas aeruginosa* เป็นเวลา 12 วัน ดังแสดงในรูปที่ 2.19 พบว่าเปลือกไข่ไก่ท้องถิ่นมีอัตราการทะลุผ่านของแบคทีเรียรวดเร็วกว่าเปลือกไข่ไก่วง เพราะเวลาผ่านไปเพียงแค่ 2 วัน อัตราการทะลุผ่านของแบคทีเรียในเปลือกไข่ไก่ท้องถิ่นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งบ่งบอกว่าเปลือกไข่ไก่วงสามารถต้านทานเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่า เพราะ เปลือกไข่ไก่วงมีลักษณะของอนุภาคทรงกลมที่กระจายตัวอยู่ทั่วทั้งเปลือกซึ่งสามารถอุดรูช่องว่างทำให้การซึมผ่านของน้ำจึงยากมากกว่า จึงสามารถต้านทานการแทรกซึมผ่านของแบคทีเรียได้ดีกว่าเปลือกไข่ไก่ท้องถิ่น ซึ่งเมื่อดูอัตราความเสี่ยงของการติดเชื้อแบคทีเรียของเปลือกไข่ จะเห็นได้ว่าเปลือกไข่ท้องถิ่นมีอัตราความเสี่ยงในการติดเชื้อแบคทีเรียมาก แต่อย่างไรก็ตามไก่วงสายพันธุ์ Australian brush-turkey นั้นหายาก ดังนั้นการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมจึงนำเปลือกไข่ไก่ท้องถิ่นมาใช้งานเนื่องจากหาแหล่งวัตถุดิบที่ง่ายกว่า



รูปที่ 2.18 (A) จำนวนเชื้อแบคทีเรียหลังจากการบ่มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (B, C) แสดงตัวอย่างของแบคทีเรียที่อยู่บนเปลือกไข่ไก่วง [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 (A, B) อัตราการทะลุผ่านเปลือกไข่ของแบคทีเรียชนิด *Escherichia Coli* และ *Pseudomonas aeruginosa* เป็นเวลา 12 วัน (C, D) อัตราความเสี่ยงในการติดเชื้อแบคทีเรีย (เส้นทึบ) ของเปลือกไข่ไก่วง และ (เส้นประ) ของเปลือกไข่ไก่ท้องถิ่น [19]

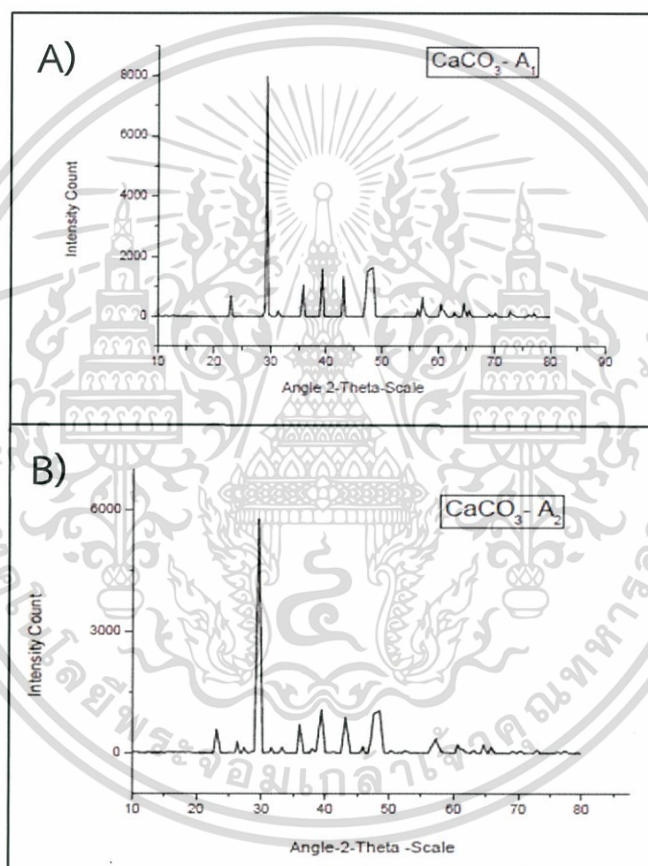
2.2.3 การสังเคราะห์และตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนจากเปลือกหอยแครงโดยใช้ไคโตซานเป็นสารช่วยสังเคราะห์ (Synthesis and characterisation of CaCO_3 (calcite) nanoparticles from cockle shells using chitosan as precursor)

จากงานวิจัยของ Manjusha Hariharan และคณะ[20] ได้ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนโดยใช้เปลือกหอยแครงที่เหลือจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลมาเป็นวัตถุดิบหลักในการสังเคราะห์ผ่านวิธีตกตะกอนซึ่งใช้ไคโตซานเป็นสารช่วยในการสังเคราะห์ โดยเริ่มจากการนำเปลือกหอยแครง 100 กรัม ล้างดินออกให้หมดจนสะอาดแล้วนำไปต้ม 30 นาที จากนั้นอบแห้งในตู้อบ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำเปลือกหอยอบแห้งมาบด จะได้วัตถุดิบสำหรับสังเคราะห์อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโน และในขั้นตอนการสังเคราะห์ทำได้โดย นำเอาเปลือกหอยที่บดแล้วละลายในสารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) 150 กรัม จะได้สารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) แล้วนำเอาสารละลาย CaCl_2 ผสมกับไคโตซาน 1.5 กรัม จากนั้นนำสารละลายข้างต้นผสมกับกรดอะซิติก (acetic acid) ความเข้มข้นร้อยละ 3 แล้วนำมาผสมกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 70 กรัม อุณหภูมิเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ จากนั้นทิ้งไว้ให้ตกตะกอนข้ามคืนแล้วจึงทำการกรองและล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) ส่วนเกินออกแล้วนำไปอบแห้ง นำผงตะกอนที่ได้ไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ใช้งานด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

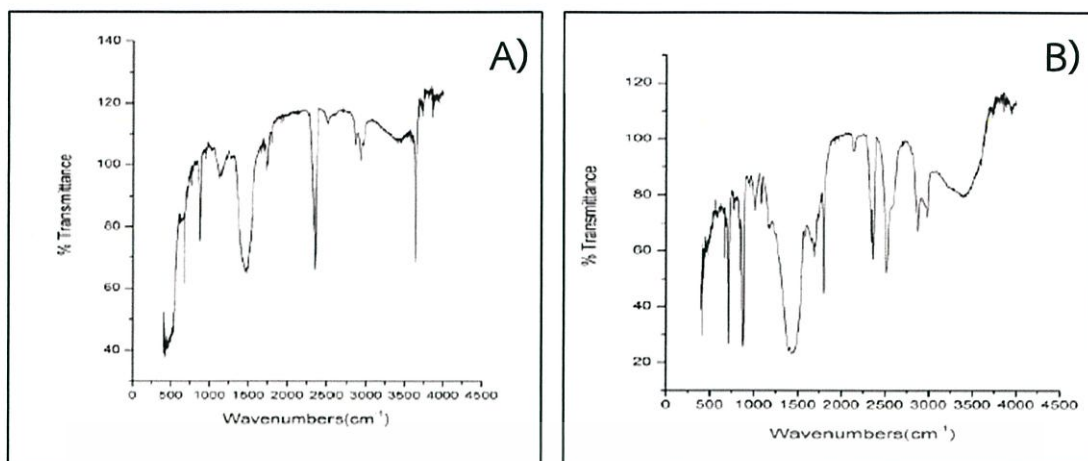
650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดโคโตซาน จะได้เป็นผงแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกหอยแครง จากนั้นนำผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์เทียบกับผงแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer, XRD) ผลดังแสดงในรูปที่ 2.20 พบว่าผงแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกหอยแครงมีความเป็นผลึกสูง เพราะปรากฏพีคแหลมสูงและชัดเจนของระนาบผลึกของแคลไซต์ (calcite) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกันกับผลจากผงแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า และเมื่อนำมาคำนวณหาขนาดผลึกเฉลี่ยด้วยสมการของ Debye-Scherrer พบว่ามีขนาดอยู่ที่ 28.64 นาโนเมตร



รูปที่ 2.20 ภาพกราฟ XRD ของ (A) ผงแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและ (B) ผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่สังเคราะห์ได้ [20]

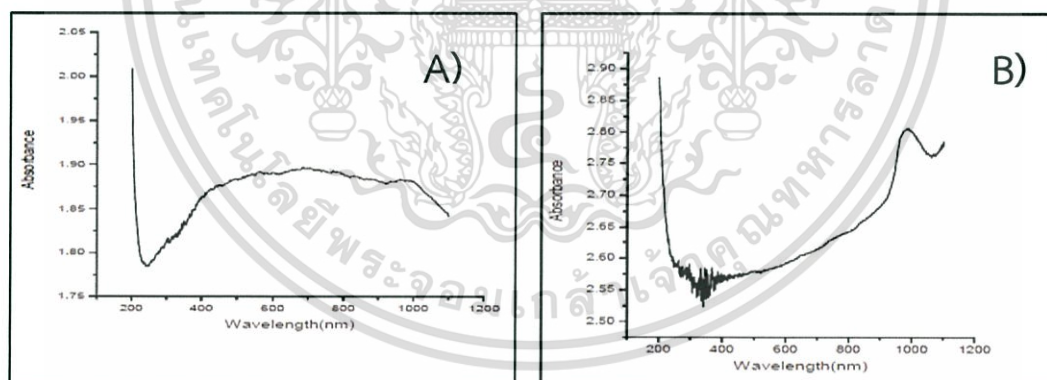
จากการตรวจสอบด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ผลดังแสดงในรูปที่ 2.21 พบว่าปรากฏช่วงการสั่นที่เลขคลื่น 1456.391, 876.72, 712.7281 และ 409.891 cm^{-1} ซึ่งตรงกับการดูดกลืนแสงของหมู่คาร์บอเนตแสดงให้เห็นว่าสามารถสังเคราะห์ผงแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนจากเปลือกหอยแครงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ภาพกราฟ FT-IR สเปกตรัมของ (A) พวงแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า และ (B) พวงแคลเซียมคาร์บอเนตที่สังเคราะห์ได้ [20]

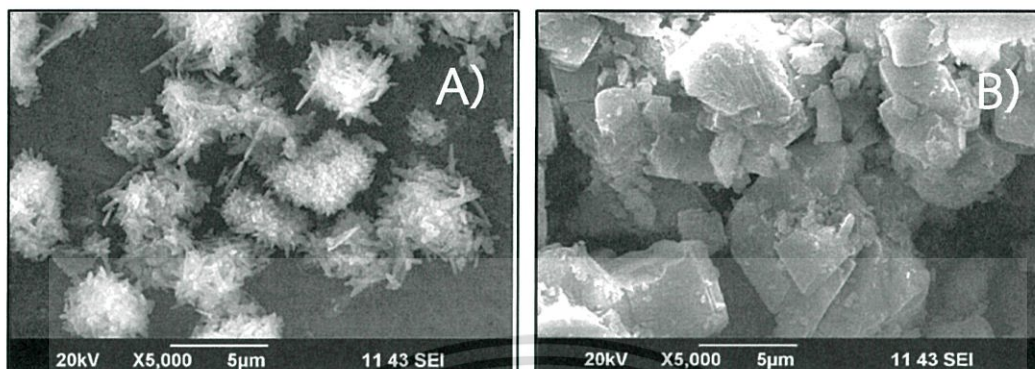
การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer, UV-Vis) ผลดังแสดงในรูปที่ 2.22 พบว่าพวงแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกหอยแครงมีค่าการดูดกลืนแสงที่กว้างมากในช่วง 538, 685, 780, 865, 963 นาโนเมตร คล้ายกับพวงแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า



รูปที่ 2.22 UV-Vis สเปกตรัมของ (A) พวงแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า และ (B) พวงแคลเซียมคาร์บอเนตที่สังเคราะห์ได้ [20]

จากการตรวจสอบด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดผลดังแสดงในรูปที่ 2.23 พบว่าผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 2 แบบ คือ แคลไซต์และอะราโกไนต์ มีลักษณะการเติบโตและรูปร่างต่างกัน โดยแคลไซต์มีผลึกแบบเฮกซะโกนอลมีรูปร่างเป็นควิบิกเหลี่ยมส่วนอะราโกไนต์มีผลึกแบบออร์ทอโรมบิกที่มีรูปร่างแบบแท่งยาว ซึ่งผลึกแบบอะราโกไนต์นั้นมีความเสถียรในธรรมชาติแต่จะสลายตัวเปลี่ยนโครงสร้างมาเป็นผลึกแบบแคลไซต์เมื่อได้รับความร้อนสูงถึง 400 °C ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาเซลเซียส จึงทำให้ผงแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดนาโนที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกหอยแครงที่ผ่านการเผาแคลไซต์ที่ 650 องศาเซลเซียส ปรากฏแต่เพียงรูปร่างคิวบิกเหลี่ยมของผลึกแบบแคลไซต์

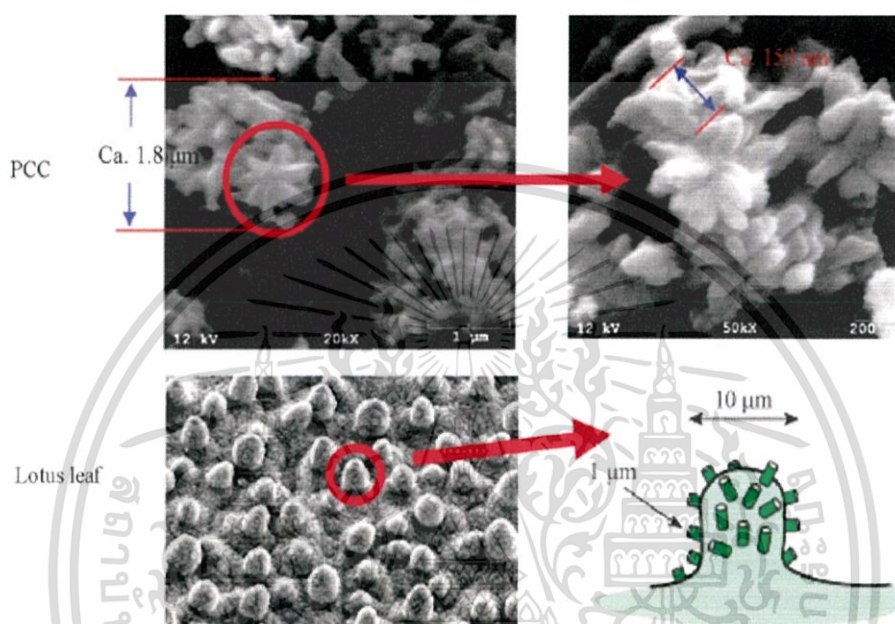


รูปที่ 2.23 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ (A) ผงแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า และ (B) ผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่สังเคราะห์ได้ [20]

2.2.4 การเตรียมผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงด้วยกรดไขมัน (Superhydrophobic surface fabricated from fatty acid-modified precipitated calcium carbonate)

จากงานวิจัยของ Zeshan Hu และคณะ [2] ได้ศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยเปรียบเทียบการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าจากวิธีการตกตะกอนที่ปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิกและกรดสเตียริกเพื่อให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยเริ่มจากนำผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต 20 กรัม กระจายตัวในน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร และปั่นกวนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมกรดโอเลอิก 0.4222 กรัมลงไป ปั่นกวนผสม 30 นาที จากนั้นนำตะกอนที่ได้ไปอบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สำหรับการปรับปรุงผิวด้วยกรดสเตียริกทำเหมือนกันโดยเปลี่ยนเพียงการละลายกรดสเตียริกในเฮกเซน จากนั้นจึงใส่ผงแคลเซียมคาร์บอเนต 20 กรัมลงไปปั่นกวนผสม 30 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วระเหยตัวทำละลายออกและนำตะกอนที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก็จะได้ผงอนุภาคแคลเซียมโอเลอेटหรือแคลเซียมสเตียเรตที่จะนำไปใช้ในการเคลือบผิวกระจก สำหรับวิธีการสังเคราะห์อนุภาคแคลเซียมนี้ทำได้โดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.2 โมลาร์ ผสมกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.4 โมลาร์ ในอัตราส่วน 1:1 โดยผสมที่อุณหภูมิห้อง ปั่นกวนจนเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้ว บ่มทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงเพื่อให้ตกตะกอน จากนั้นนำตะกอนไปกรองล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วอบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตแล้วจึงนำผงอนุภาคนั้นมาเคลือบไปบนผิวกระจกโดยใช้เทปขาวสองหน้า โดยให้ด้านหนึ่งติดกับกระจกและอีกด้านหนึ่งโรยผงอนุภาคที่เตรียมได้ลงไป แล้วใช้การกดและเกลี่ยเพื่อให้ไม่ว่างกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

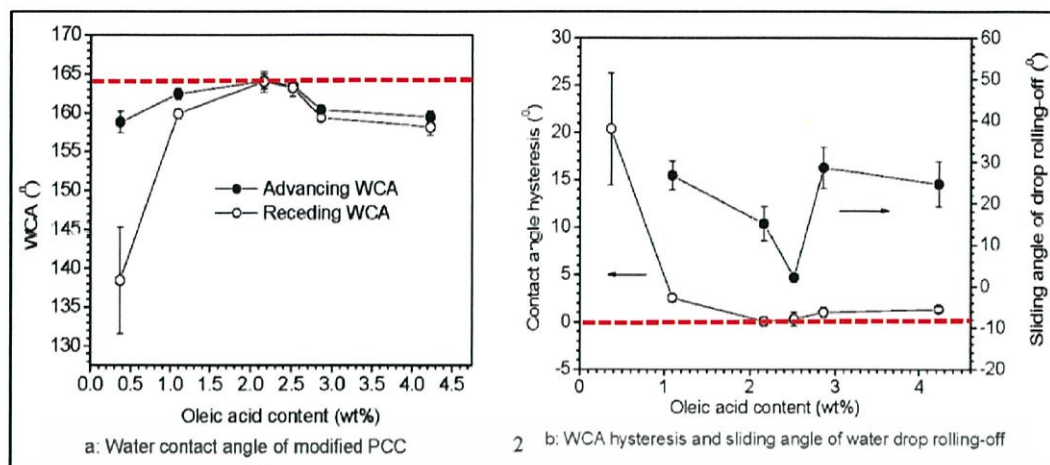
ผงอนุภาคกระจายให้ทั่วกระจก ทำซ้ำ ๆ จนเคลือบทั่วทั้งกระจก ตรวจสอบด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ผลดังแสดงในรูปที่ 2.24 พบว่ารูปร่างของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้ำที่สังเคราะห์จากวิธีตกตะกอนมีลักษณะคล้ายกันกับอนุภาคบนผิวของใบบัว แสดงว่าอนุภาคเกรดการค้ำนี้มีความขรุขระสูงจึงสามารถนำมาใช้เตรียมผิวที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดได้



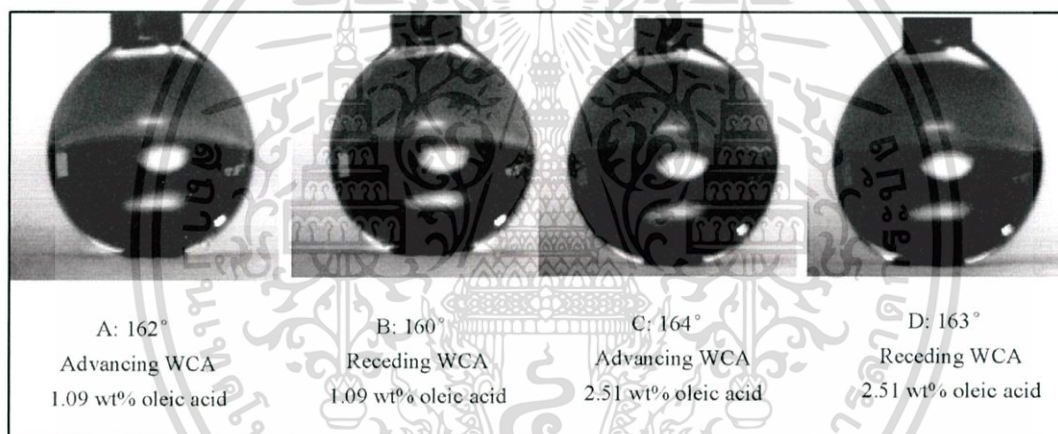
รูปที่ 2.24 เปรียบเทียบโครงสร้างแบบลำดับชั้นของใบบัวและ PCC [2]

ตรวจสอบด้วยการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำ (WCAs) โดยการนำพื้นผิวที่ได้ไปวัดมุมสัมผัสกับหยดน้ำ โดยใช้วิธีการหยดน้ำออกมาค้างที่ปลายเข็มก่อนแล้วค่อยๆ เลื่อนแทนวางกระจกขึ้นไปสัมผัสตั้งหยดน้ำลงมา โดยทำการวัด 2 ครั้ง ณ จุดเดียวกันในแต่ละครั้งที่วัดมุมสัมผัส ค่ามุมสัมผัสครั้งแรกเรียกว่า Advancing WCA (AWCA) และครั้งที่สองเรียกว่า Receding WCA (RWCA) ผลดังแสดงในรูปที่ 2.25 และ 2.26 พบว่าสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดโอเลอิกที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้ำ ซึ่งบ่งบอกได้จากค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่กรดโอเลอิกมีความเข้มข้นร้อยละ 2.51 โดยน้ำหนัก ให้มุมสัมผัสของหยดน้ำเท่ากับ 164 องศา ซึ่งมากที่สุดและมีผลต่างของการวัดมุมสัมผัสทั้งสองครั้งน้อยที่สุดอีกด้วย และจากการวัดค่ามุมสัมผัส พบว่าหยดน้ำก็ลื่นออกจากผิวกระจกได้เมื่อเอียงกระจก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



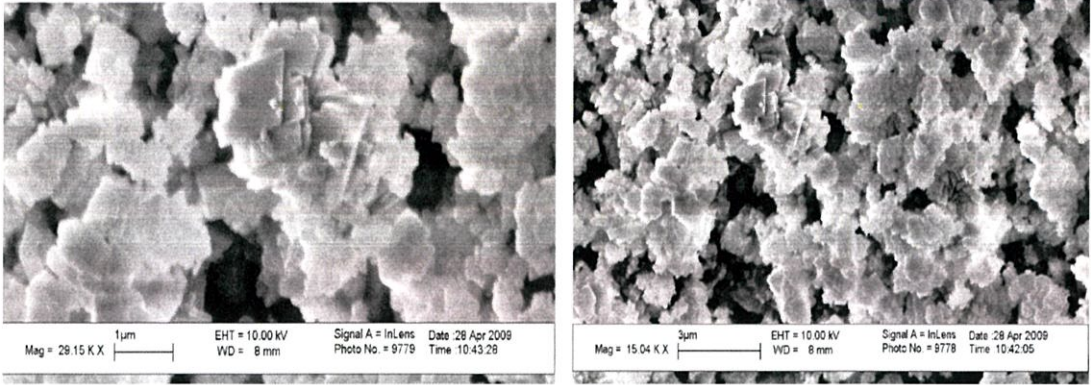
รูปที่ 2.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของมุมสัมผัสของหยดน้ำและความเข้มข้นของกรดโอเลอิกจากแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า [2]



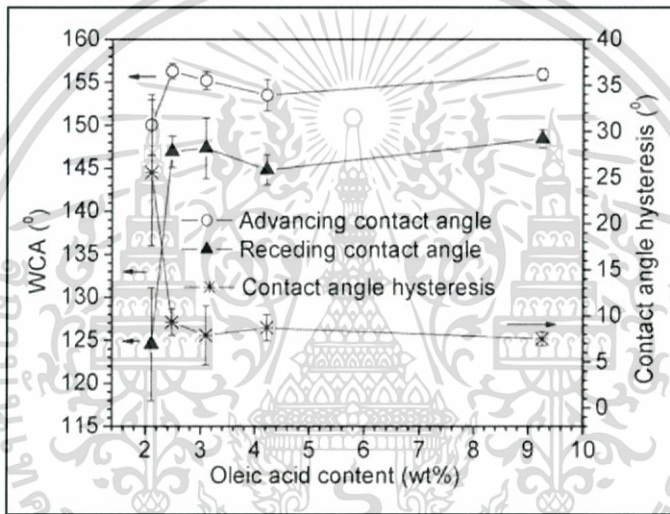
รูปที่ 2.26 ภาพการเปรียบเทียบมุมสัมผัสของหยดน้ำที่ความเข้มข้นของกรดโอเลอิกต่างกัน [2]

เมื่อตรวจสอบผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการสังเคราะห์เองด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลดังแสดงในรูปที่ 2.27 พบว่า อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่สังเคราะห์เองนี้มีรูปร่างเป็นแผ่นซ้อนทับกัน และไม่มีโครงสร้างแบบลำดับชั้นคล้ายพื้นผิวของไบบิว ซึ่งเมื่อนำไปปรับปรุงด้วยกรดโอเลอิกและนำไปตรวจสอบด้วยการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดโอเลอิกที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเช่นเดียวกับอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า แต่ว่ามีผลต่างของค่า AWCA และ RWCA มากกว่า และหยดน้ำติดบนผิวกระจกไม่กลิ้งออกเมื่อเอียงกระจกแล้ว ผลดังแสดงในรูปที่ 2.28 และตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM ของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการสังเคราะห์เอง [2]



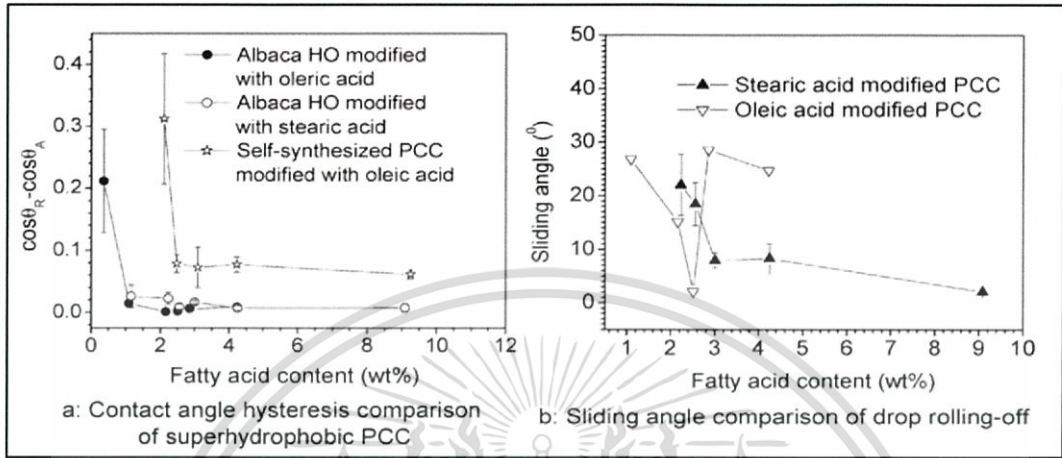
รูปที่ 2.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของมุมสัมผัสของหยดน้ำและความเข้มข้นของกรดโอเลอิกจากแคลเซียมคาร์บอเนตที่สังเคราะห์เอง [2]

ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบมุมสัมผัสและสัดส่วนพื้นผิวของแข็ง ณ ความเข้มข้นเดียวกันของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและที่ได้จากการสังเคราะห์ [2]

PCC	oleic acid content (wt %)	advancing WCA (deg)	solid surface fraction, f
Albaca HO	2.16	164	0.0556
self-synthesized	2.11	150	0.193

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกรดโอเลอิกและกรดสเตียริกที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด พบว่ากรดสเตียริกมีแนวโน้มคล้ายกับกรดโอเลอิก คือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นแล้วมีค่ามุมสัมผัสเพิ่มขึ้น แต่กรดสเตียริกให้ค่ามุมสัมผัสที่ต่ำกว่ากรดโอเลอิก เพราะกรดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งสองมีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายได้ต่างกันโดย โดยกรดโอเลอิกละลายได้ดีในน้ำ ดังนั้น เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวจึงสามารถเกาะตัวบนอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตแบบชั้นเดียวและไม่เกาะกลุ่มกัน จึงส่งผลให้วัดค่ามุมสัมผัสได้สูงกว่าใช้กรดสเตียริก ผลแสดงในรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลของการใช้กรดต่างชนิดกันในการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า [2]

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ สารเคมี และกระบวนการที่ใช้ในการศึกษา การเตรียมพื้นผิวที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยการเคลือบด้วยเปลือกไข่ที่ปรับปรุงสมบัติ ด้วยกรดสเตียริก

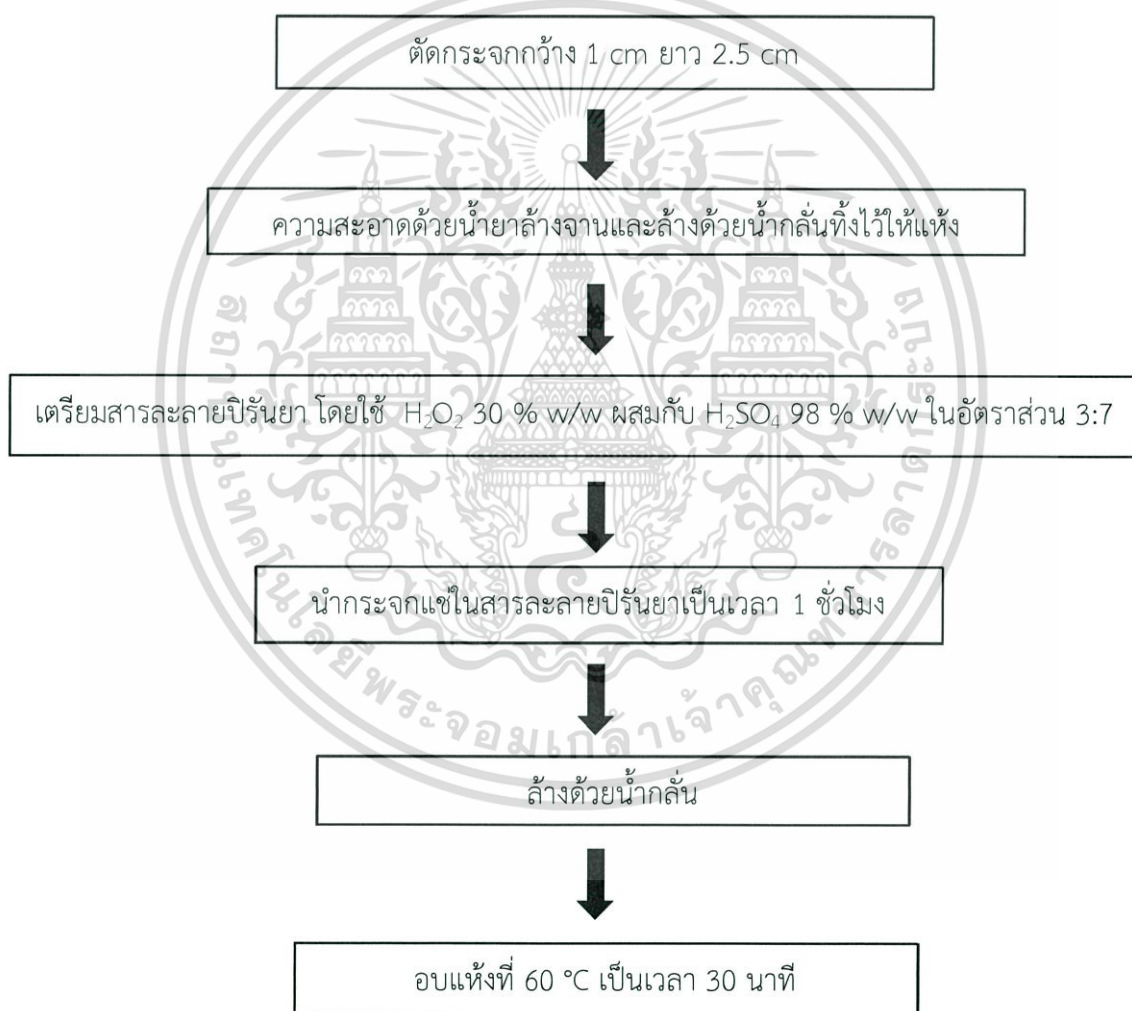
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- | | |
|--|-------------------------------------|
| 3.1.1 ปีกเกอร์ | 3.1.2 หลอดหยด |
| 3.1.3 กระจกบดวาง | 3.1.4 แท่งแก้วคนสาร |
| 3.1.5 แท่งแม่เหล็ก | 3.1.6 ตู้อบ |
| 3.1.7 ซ้อนตักสาร | 3.1.8 กระจกบดน้ำกลั่น |
| 3.1.9 จานเพาะเชื้อ | 3.1.10 คีมคีบ |
| 3.1.11 เครื่องปั่นกวนและเตาให้ความร้อน | 3.1.12 เครื่องซั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง |
| 3.1.13 โกร่งหยก | 3.1.14 ขวดบดและลูกบดอะลูมินา |
| 3.1.15 เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ (Water contact angles, WCAs) บริษัท DATAPHYSIC รุ่น OCA20 | |
| 3.1.16 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) บริษัท FEI รุ่น QUANTA 250 | |
| 3.1.17 กล้องจุลทรรศน์แบบหัวสแกน (Scanning probe microscope, SPM) บริษัท SHIMADZU รุ่น SPM-9700 | |
| 3.1.18 เครื่องฟูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FT-IR) บริษัท THERMO SCIENTIFIC รุ่น THERMO SCIENTIFIC MODEL NICOLET 6700 | |
| 3.1.19 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer, XRD) บริษัท SHIMADZU รุ่น XRD-6100 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอัตราส่วนโดยปริมาตร/ปริมาตร เป็น 3:7 โดยได้ทำการเตรียมสารละลายปิรันยา 100 มิลลิลิตร โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 มิลลิลิตร และสารละลายกรดซัลฟิวริก 70 มิลลิลิตร

- 4) นำกระจกที่ตัดและล้างไว้แล้ว มาวางแช่ลงในสารละลายปิรันยาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยไม่ต้องคนและอย่าให้กระจกซ้อนทับกัน
- 5) นำกระจกมาล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้งเพื่อกำจัดกรดส่วนเกิน
- 6) นำกระจกไปอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จะได้กระจกที่ผ่านการเตรียมผิวเรียบร้อยแล้ว แผนภาพกระบวนการเตรียมผิวกระจก ดังที่แสดงใน รูปที่ 3.1



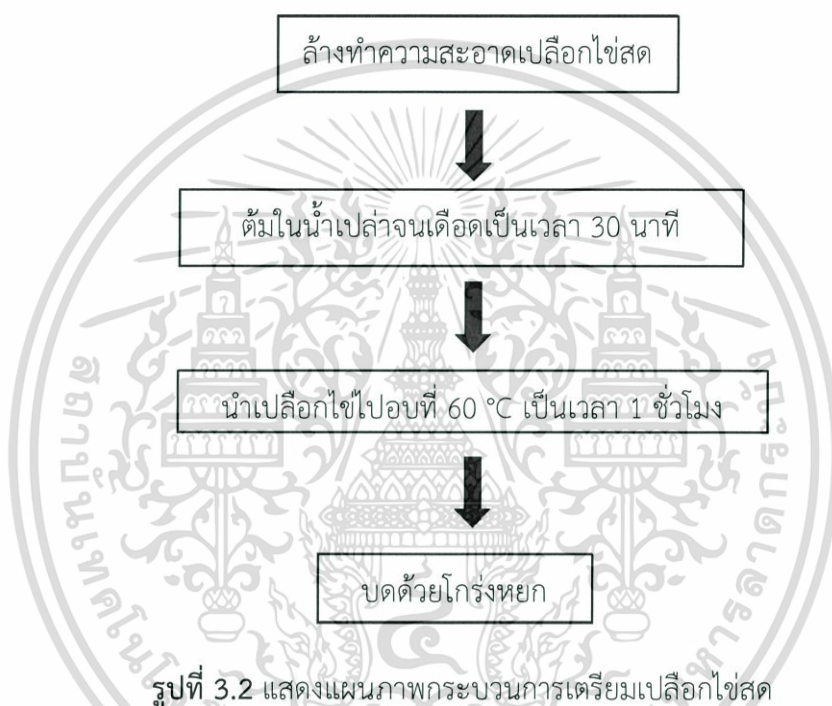
รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพกระบวนการเตรียมผิวกระจก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเตรียมผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่

3.3.2.1 การเตรียมเปลือกไข่สด

- 1) นำเปลือกไข่สดมาล้างทำความสะอาด โดยขัดเอาเยื่อไข่บริเวณเปลือกออกให้หมด
 - 2) ต้มในน้ำเปล่าจนเดือดเป็นเวลา 30 นาที
 - 3) นำเปลือกไข่ไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
 - 4) นำเปลือกไข่ที่อบแล้วมาบดด้วยโกร่งหยก
- แผนภาพกระบวนการเตรียมเปลือกไข่สด ดังแสดงในรูปที่ 3.2

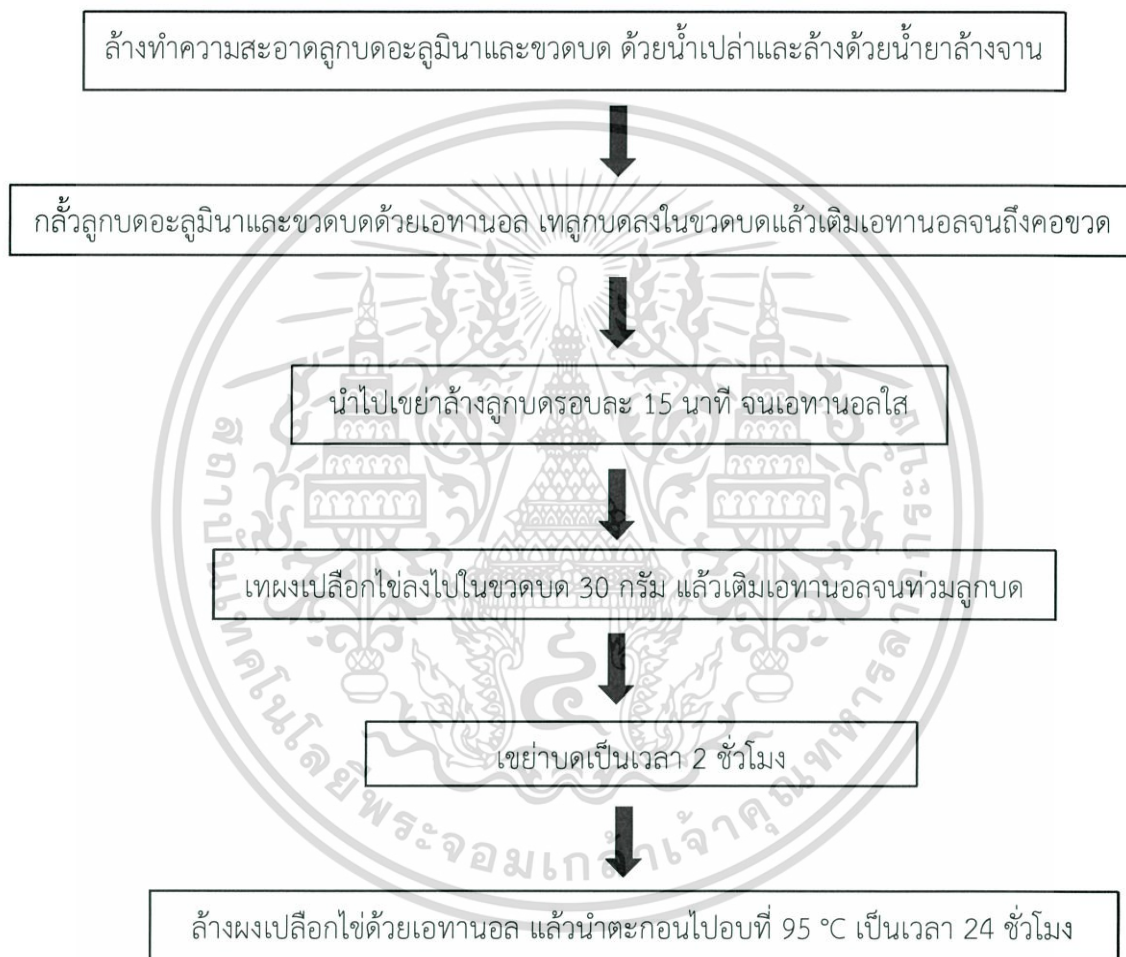


3.3.2.2 การเตรียมผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่

- 1) เตรียมอุปกรณ์สำหรับบดด้วยวิธีการบดละเอียดด้วยลูกบดและแรงกล (mechanical ball milling) โดยการล้างทำความสะอาดลูกบดอะลูมินาและขวดบด ด้วยน้ำเปล่าและล้างด้วยน้ำยาล้างจาน 2 รอบ แล้วนำไปล้างน้ำเปล่าอีก 1 รอบ
- 2) ใช้ลูกบดอะลูมินา 2 ขนาด คือ ขนาดเล็กประมาณ 287 ลูก และขนาดใหญ่ ประมาณ 81 ลูก และใช้ขวดบดขนาดปริมาตรประมาณ 300 มิลลิลิตร โดยนำลูกบดและขวดบดไปกลั้วด้วยเอทานอล
- 3) เทลูกบดลงในขวดบดแล้วเติมเอทานอลจนถึงบริเวณคอขวดบด
- 4) นำไปเขย่าล้างลูกบดรอบละ 15 นาที หากเอทานอลหลังเขย่ามีลักษณะขุ่นให้ทำซ้ำข้อ 1 - 4 จนกว่าเอทานอลจะใสขึ้น
- 5) เมื่อล้างลูกบดจนสะอาดดีแล้ว เทผงเปลือกไข่ที่ได้จากตอนที่ 3.3.2.1 ลงไปในขวดบด

30 กรัม

- 6) เติมเอทานอลจนท่วมลูกบิดและผงเปลือกไข่
- 7) นำไปเขย่าบดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 8) แยกผงเปลือกไข่ออกจากลูกบิดแล้วล้างลูกบิดด้วยเอทานอล
- 9) นำผงเปลือกไข่บดที่ล้างออกมาไปอบที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แผนภาพกระบวนการเตรียมอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



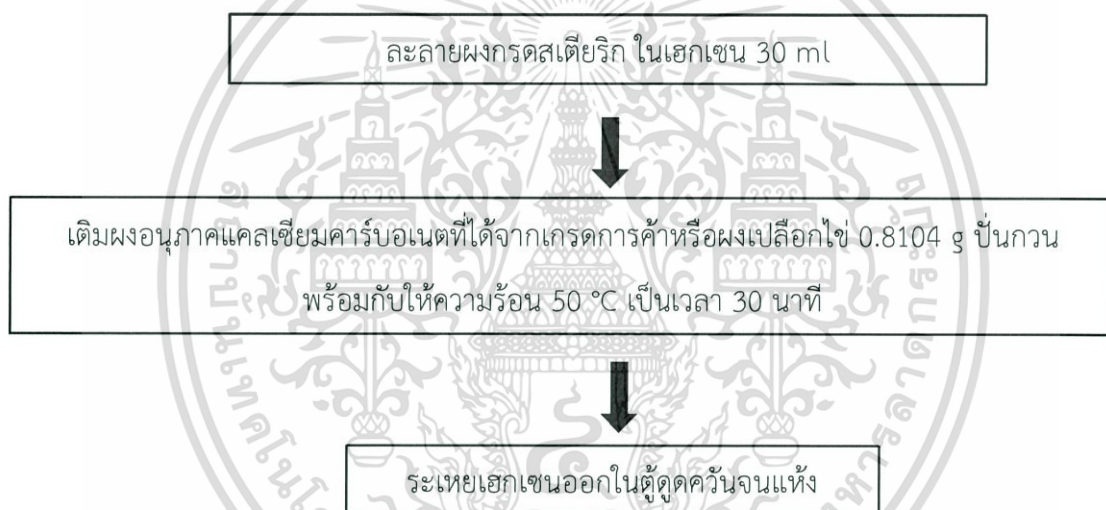
รูปที่ 3.3 แสดงแผนภาพกระบวนการเตรียมอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่

3.3.3 การปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเกรดการค้าและจากผงเปลือกไข่ให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนด้วยกรดสเตียริก

- 1) ละลายผงกรดสเตียริก 0.0171, 0.0427, 0.0853 และ 0.1707 กรัม ในเฮกเซน 30 มิลลิลิตร จนเป็นเนื้อเดียวกันจะได้สารละลายกรดสเตียริกเข้มข้น 2, 5, 10 และ 20 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ (สภาวะการเตรียมดังแสดงในตารางที่ 3.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ใส่ผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากกรดการค้ำหรือจากผงเปลือกไข่ที่บดแล้ว 0.8104 กรัม ลงไปในสารละลายกรดสเตียริก แล้วนำไปปั่นกวนพร้อมกับให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
- 3) นำมาระเหยเฮกเซนออกในตู้ดูดควัน ถ้าใช้แคลเซียมคาร์บอเนตกรดการค้ำในการเตรียม จะได้ของแข็งสีขาว ส่วนการใช้ผงเปลือกไข่ในการเตรียมจะได้เป็นของแข็งสีส้มอ่อน
- 4) นำของแข็งที่เตรียมได้จากการใช้ผงเปลือกไข่มาบดด้วยโกร่งหยก และส่วนของแข็งที่เตรียมโดยแคลเซียมคาร์บอเนตกรดการค้ำไม่ต้องบด ก่อนการไปใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบในขั้นตอนต่อไป แผนภาพกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากกรดการค้ำหรือจากผงเปลือกไข่ให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนวดโดยใช้กรดสเตียริก ดังแสดงในรูปที่ 3.5



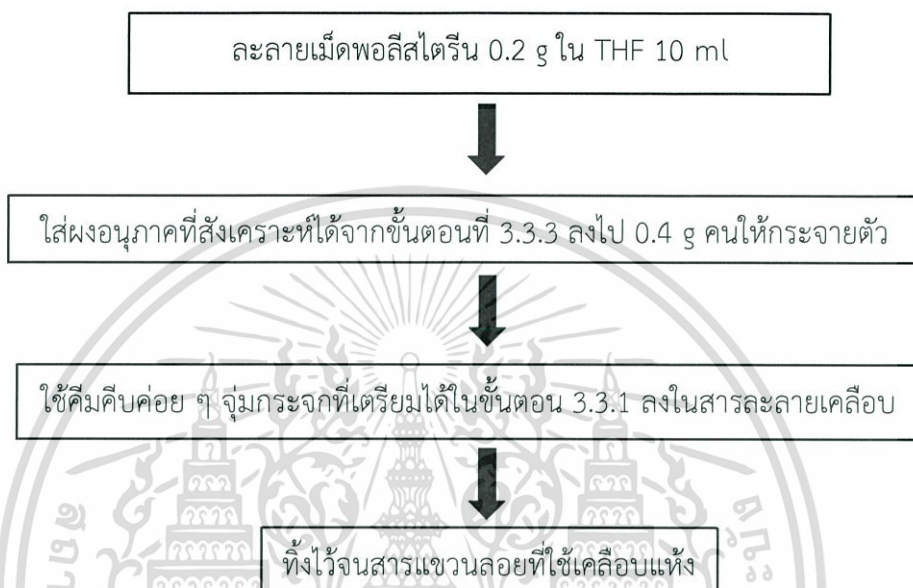
รูปที่ 3.4 แผนภาพกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากกรดการค้ำและจากผงเปลือกไข่ให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนวดโดยใช้กรดสเตียริก

3.3.4 การเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืนวดบนผิวกระจก

- 1) เตรียมสารแขวนลอยที่ใช้ในการเคลือบผิวกระจกโดยการใช้เม็ดโพลีสไตรีน 0.2 กรัม ละลายในเตตระไฮโดรฟิวแรน (THF) 10 มิลลิลิตร คนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
- 2) ใส่ผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริกที่สังเคราะห์ได้จากขั้นตอนที่ 3.3.3 ลงไป 0.4 กรัม แล้วคนให้ผงอนุภาคกระจายตัว
- 3) ใช้คีมคีบค้อย ๆ จุ่มกระจกที่เตรียมได้จากตอนที่ 3.3.1 ลงในสารแขวนลอยที่เตรียมได้ในลักษณะเอียงแนวนอนของกระจกลง แล้วแช่ไว้ 5 วินาที จากนั้นดึงขึ้นช้า ๆ แล้ววางใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ทิ้งไว้จนสารแขวนลอยที่ใช้ในการเคลือบแห้ง จะได้เป็นชั้นเคลือบที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ แผนภาพกระบวนการเตรียมชั้นเคลือบบนผิวกระจก ดังแสดงในรูปที่ 3.6
หมายเหตุ การเตรียมในสภาวะต่าง ๆ เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำ อย่างยิ่งยวดของชั้นเคลือบ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 – 3.3



รูปที่ 3.5 แผนภาพกระบวนการเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำลงบนผิวกระจก

3.3.5 ขอบเขตการศึกษาที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของผิวกระจก

ในโครงการพิเศษนี้ได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำของผิวกระจก ดังนี้ คือ ผลของขนาดและรูปร่างของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากกรดการค้ำและจากผงเปลือกไข่ ความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตียริกที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายกรดสเตียริกต่อพอลิเอทรีนที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ โดยการเลือกสภาวะที่ดีที่สุดได้พิจารณาจาก ค่ามุมสัมผัสของน้ำ ลักษณะสัญญาณวิทยาและลักษณะการยึดติดของชั้นเคลือบบนผิวกระจก รวมถึงประสิทธิภาพในการทำความสะอาดตัวเองของพื้นผิว

3.3.5.1 การศึกษาผลของการใช้อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากกรดการค้ำและจากผงเปลือกไข่

ทำการศึกษาผลของขนาดและรูปร่างของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่เคลือบลงบนผิวกระจกที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำของพื้นผิว โดยได้เปรียบเทียบระหว่างการใช้ผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากกรดการค้ำ และผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่ที่บดเอกละเอียดเป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเทคนิคการบดละเอียดด้วยลูกบดและแรงกล ที่เวลา 2 ชั่วโมง โดยสภาวะที่ใช้ในการศึกษาได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การศึกษาผลของการใช้อุณหภูมิเคลือบคาร์บอนที่ได้จากเกรดการค้าและจากเปลือกไข่

สูตร	แคลเซียมคาร์บอเนต				ความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตียริก (มิลลิโมลาร์)	อัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ		
	เกรดการค้า		ผงเปลือกไข่			อัตราส่วน	อนุภาคที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว (กรัม)	พอลิสไตรีน (กรัม)
	Wt %	ปริมาณ (กรัม)	Wt%	ปริมาณ (กรัม)				
1	100	0.4	-	-				
2	-	-	100	0.4	2	2:1	0.4	
3	50	0.2	50	0.2				

3.3.5.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตียริกที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต

ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตียริกที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 2, 5, 10 และ 20 มิลลิโมลาร์ ในเฮกเซน 30 มิลลิลิตร ที่มีต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำของพื้นผิว โดยสภาวะที่ใช้ในการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตียริก

แคลเซียมคาร์บอเนต (สูตร)	ความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตียริก		อัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ		
	มิลลิโมลาร์	ปริมาณกรดสเตียริก (กรัม) ในเฮกเซน 30 มิลลิลิตร	อัตราส่วน	อนุภาคแคลเซียมสเตียเรต (กรัม)	พอลิสไตรีน (กรัม)
2	2	0.0171	2:1	0.4	0.2
	5	0.0427			
3	10	0.0853			
	20	0.1707			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงผิวด้วยกรดสเตรียริกต่อปริมาณพอลิสไตรีนใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ

ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงผิวด้วยกรดสเตรียริกต่อปริมาณพอลิสไตรีนที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำที่อัตราส่วนต่าง ๆ คือ 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 และ 5:1 ได้ใช้ตัวทำละลายเป็นเตตระไฮโดรฟิวแรน 10 มิลลิลิตร โดยสภาวะที่ใช้ในการศึกษาต้งแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงผิวด้วยกรดสเตรียริกต่อพอลิสไตรีน

แคลเซียมคาร์บอเนต (สูตร)	ความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตรียริก (มิลลิโมลาร์)	อัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ		
		อัตราส่วน	อนุภาคแคลเซียมสเตรียเรต (กรัม)	พอลิสไตรีน (กรัม)
2	10	1:1	0.2	0.2
		2:1	0.4	
		3:1	0.6	
3	10	4:1	0.8	
		5:1	1.0	

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนผสมของปริมาณอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงผิวด้วยกรดสเตรียริกต่อปริมาณพอลิสไตรีนที่ใช้ในการเตรียมสารแขวนลอยในการเตรียมชั้นเคลือบ

อัตราส่วน	แคลเซียมคาร์บอเนต (สูตร)	อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงพื้นผิว (กรัม)		พอลิสไตรีน (กรัม)
		เกรตการค้ำ (กรัม)	ผงเปลือกไข่ (กรัม)	
1:1	2	-	0.2	0.2
	3	0.1	0.1	
2:1	2	-	0.4	
	3	0.2	0.2	
3:1	2	-	0.6	
	3	0.3	0.3	
4:1	2	-	0.8	
	3	0.4	0.4	
5:1	2	-	1.0	
	3	0.5	0.5	

3.3.5.4 วิธีการศึกษาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของชั้นเคลือบ

ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของชั้นเคลือบ โดยได้ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของชั้นเคลือบ ดังนี้ คือ สมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง ความคงทนต่อสิ่งแวดล้อมของชั้นเคลือบ และความคงทนของชั้นเคลือบต่อสภาวะกรด-เบส

3.3.5.4.1 การศึกษาสมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง

ทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning) และสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic property) ของชั้นเคลือบที่เตรียมได้ ทำด้วยการใช้ผงแกรไฟต์ ผงแบงทาหน้า ผงทราย และผงดินดำ ซึ่งเป็นสารที่มักทำความสะอาดบนพื้นผิว มาโรยลงบนพื้นผิวหน้าของชั้นเคลือบที่เตรียมได้ แล้วทำการหยดน้ำลงไปบนพื้นผิว โดยเมื่อหยดน้ำลงบนผิวชั้นเคลือบทิ้ง 2 นาที แล้วค่อย ๆ เหยียดพื้นผิวตัวอย่างจนหยดน้ำกลิ้งออกไปจากผิวกระจก แล้วสังเกตลักษณะการทำความสะอาดตัวเองของพื้นผิวบนชั้นเคลือบ และการทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของชั้นเคลือบที่เตรียมได้ โดยการหยดของเหลวชนิดต่าง ๆ คือ ชา กาแฟ และน้ำย้อมสีด้วยสีย้อมโรดามีน บี (rhodamine B) ซึ่งจะให้สีชมพู เพื่อให้สามารถแยกสีของน้ำและของเหลวอื่นได้อย่างชัดเจน ลงบนผิวเคลือบ แล้วสังเกตลักษณะทรงของหยดน้ำ การกลิ้ง และภาวะการเปียกของพื้นผิวบนชั้นเคลือบ

3.3.5.4.2 การศึกษาความคงทนต่อสิ่งแวดล้อมของชั้นเคลือบ

อายุการใช้งานและความคงทนของชั้นเคลือบ ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญต่อการนำไปใช้งานจริง เพื่อประเมินสมบัติดังกล่าวของชั้นเคลือบ โดยดูที่อิทธิพลของการสัมผัสกับบรรยากาศ 2 ลักษณะ คือ บรรยากาศปิดโดยเก็บใส่ภาชนะมีฝาปิด และบรรยากาศเปิดโดยเก็บใส่ในภาชนะที่เปิดฝาสัมผัสกับอากาศที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ระยะเวลาทดสอบทั้งหมด 1 เดือน ซึ่งจะนำชั้นเคลือบมาวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในทุก ๆ 1 สัปดาห์

3.3.5.4.3 การศึกษาความคงทนของชั้นเคลือบต่อสภาวะกรด-เบส

เมื่อนำกระจกที่ผ่านการเคลือบผิวให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดแล้วไปประเมินความคงทนของชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำของชั้นเคลือบ โดยดูที่อิทธิพลของการสัมผัสกับสารละลายในสภาวะกรด-เบสที่ pH แตกต่างกัน คือ 1, 3, 5, 7, 9, 11 และ 14 โดยนำกระจกที่ผ่านการเคลือบผิวแล้วไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่ pH 1, 3 และ 5 ส่วนสารละลายเบสที่ใช้คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ pH 9, 11 และ 14 และน้ำที่ pH 7 โดยแช่ไว้เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำชั้นมาตากไว้จนแห้ง แล้วนำไปวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป

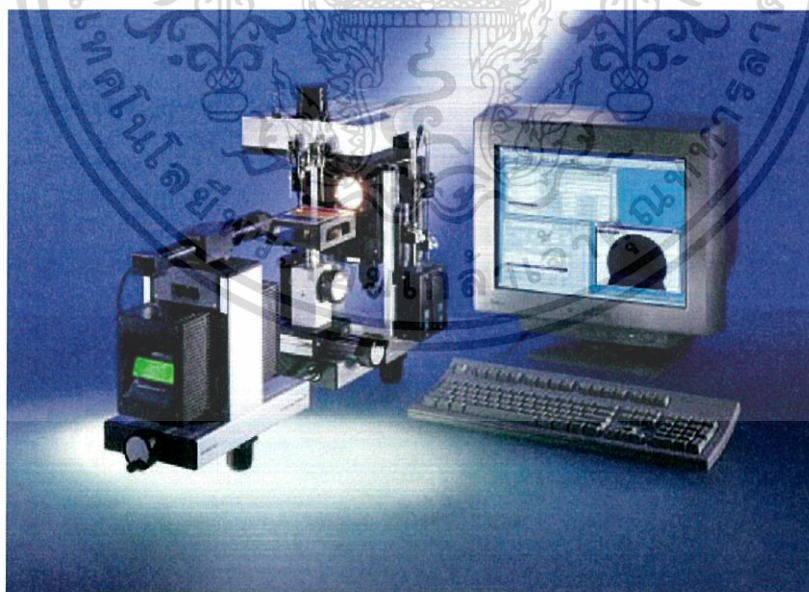
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การตรวจสอบสมบัติของวัสดุ

3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยการวัดมุมสัมผัสของน้ำ (Water contact angles, WCAs)

มุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles, WCAs) เกิดจากความสัมพันธ์ของสองแรง คือ แรงเกาะติด (adhesion force) ระหว่างโมเลกุลของเหลวกับของแข็ง ซึ่งทำให้เกิดการกระจายตัวของเหลวไปทั่วพื้นผิวของแข็งและแรงยึดติด (cohesion force) ระหว่างโมเลกุลภายในของเหลวชนิดเดียวกัน ซึ่งทำให้ของเหลวเกาะกันเป็นทรงกลมและไม่สัมผัสกับพื้นผิวของของแข็ง การใช้ค่ามุมสัมผัสในการวิเคราะห์สมบัติความไม่ชอบน้ำ เพื่อจะให้การบอกแนวโน้มของหยดน้ำที่กระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของของแข็ง โดยมุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง [21]

การวัดมุมสัมผัสของน้ำมีวิธีการทดสอบดังนี้ คือ นำเข็มดูดน้ำกลั่นแล้วหยดของเหลวออกจากปลายเข็มฉีด โดยปล่อยหยดของเหลวที่แขวนอยู่ปลายเข็มเพียงหยดเดียวให้ลงมาสัมผัสบนพื้นผิววัสดุที่ต้องการวัด แล้วทำการวัดค่ามุมสัมผัสด้วยโปรแกรม มีหน่วยเป็นองศา โดยในโครงการพิเศษนี้ ได้ทำการวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้หยดน้ำขนาด 5 ไมโครลิตร อัตราเร็ว 1 ไมโครลิตรต่อวินาที และทำการวัดทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วนำค่ามุมสัมผัสที่ได้ทั้งด้านซ้ายและด้านขวามาหาค่าเฉลี่ย [22, 23] เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.6

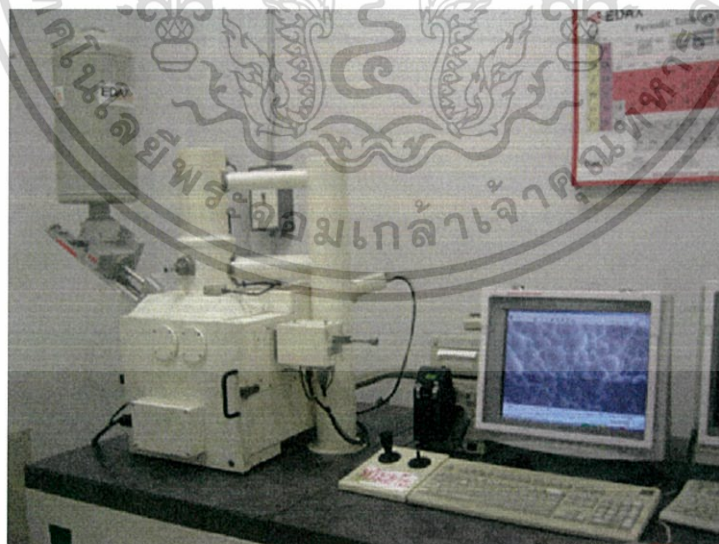


รูปที่ 3.6 เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุ ซึ่งสามารถศึกษาได้ถึงในระดับจุลภาคโดยใช้อิเล็กตรอนเป็นแหล่งพลังงาน จะได้ภาพของวัสดุที่มีความละเอียดสูง ภาพที่ได้จะเป็นสามมิติซึ่งจะใช้ในการศึกษารูปร่างและสัณฐานวิทยาของวัสดุชนิดต่างๆ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยายประมาณ 3000-100000 เท่า ซึ่งกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะใช้ลำอิเล็กตรอนแทนลำแสง โดยมีปืนอิเล็กตรอน (electron gun) ใช้สร้างคลื่นอิเล็กตรอนและอิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยศักย์ไฟฟ้าสูง (high voltage) ที่ถูกควบคุมทิศทางภายใต้สนามแม่เหล็ก โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของลำอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็กหรือที่เรียกว่าเลนส์แม่เหล็ก ซึ่งทำให้ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งไปกระทบกับพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่าง แล้วเกิดอันตรกิริยาของลำอิเล็กตรอนต่อพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างหลายรูปแบบ เนื่องจากลำอิเล็กตรอนที่วิ่งมากระทบชิ้นงานมีพลังงานสูง ทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชิ้นงานมีหลายระดับพลังงาน ซึ่งข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่า คลื่นอิเล็กตรอนมีความยาวคลื่นที่สั้นกว่า จึงทำให้สามารถแยกความแตกต่างและเก็บรายละเอียดของชิ้นงานได้ดีกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง นอกจากนี้ระบบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดยังสามารถใช้ร่วมกับเครื่องมือวิเคราะห์ธาตุ (energy dispersive -Spectrometry , EDS) เพราะใช้สำหรับวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบที่อยู่ในสารตัวอย่าง [25]



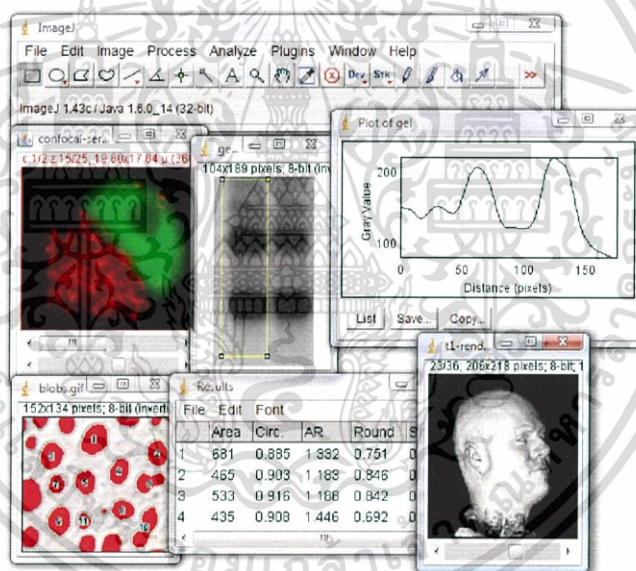
รูปที่ 3.7 ภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM)

[25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยโครงการพิเศษนี้ได้ทำการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคของวัสดุจากภาพถ่าย SEM ด้วยโปรแกรม Image J [23] ตัวอย่างโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ขนาดดังนี้

- 1) เปิดภาพ SEM ที่ต้องการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคขึ้นมา
- 2) เลือกรูปเส้นตรงและลากเส้นตรงให้มีขนาดเท่ากับบาร์บอกขนาดที่แสดงในรูปแล้วกดคำสั่ง Analyze set scale จะมีหน้าต่างคำสั่งขึ้นมาในช่อง Know distance ให้ใส่เลขขนาดของบาร์ที่แสดงในรูป และช่อง Unit of length ให้ใส่หน่วยของบาร์บอกขนาด
- 3) ลากเส้นตรงผ่านกึ่งกลางอนุภาคที่ต้องการวัดขนาด หลังจากนั้นทำการเลือกคำสั่ง Analyze measure และติ๊กป้ายบอกลำดับการวัดโดยการเลือกคำสั่ง Analyze label
- 4) ทำซ้ำข้อที่ 2 และ 3 จนครบจำนวนที่ต้องการวัดโดยมีจำนวนตัวอย่างที่วัดมากกว่า 10 ตัวอย่างขึ้นไปและหาค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel [23]



รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างโปรแกรม Image J [26]

3.4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยเครื่องฟูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FT-IR)

FT-IR เป็นเครื่องมือวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ ในการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างโมเลกุล การวิเคราะห์จะอาศัยการดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรด (infrared light, IR) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ การทำงานของเครื่องนั้นเริ่มจากแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด จากนั้นอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ จะสะท้อนผ่านไปเป็นส่วนบรรจุตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้เกิดการดูดกลืนอินฟราเรด เอาไว้บางส่วนในบางความยาวคลื่น ส่วนอินฟราเรดที่ไม่ถูกดูดกลืนก็จะผ่านเข้าสู่ตัวตรวจวัด (detector) ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

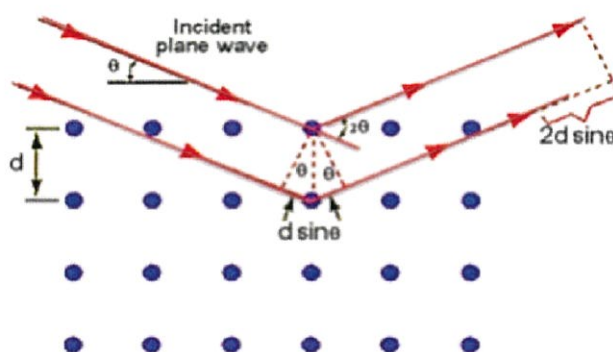
ผลที่ได้จะเป็นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ ลักษณะเครื่อง FT-IR แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงภาพเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier transform infrared- spectroscopy, FT-IR) [27, 28]

3.4.4 การวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer; XRD)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer; XRD) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์วัสดุที่เป็นสารประกอบแบบผลึกต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย โดยสามารถวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพที่โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ที่เมื่อลำรังสีเอ็กซ์ตกกระทบวัตถุหรืออนุภาคที่มีโครงสร้างผลึกจะเกิดการหักเหของรังสีเอ็กซ์ แล้วสะท้อนออกมาทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบ ซึ่งองศาการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างผลึกของสาร ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยมุมของการตกกระทบและการสะท้อนของรังสีเอ็กซ์สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้จากสมการของ Bragg's Law สมการที่ 3.1 ซึ่งการวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกของสารประกอบสามารถจำแนกประเภทวัสดุว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใดหรือประเภทวิภูภาคใดโดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัด [29]



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.10 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผลึกภายในชิ้นงานวัสดุที่ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.10 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้จากสมการของ Bragg 's Law ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (\text{สมการที่ 3.1})$$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ ($CuK\alpha = 1.540 \text{ \AA}$)

n คือ ลำดับการสะท้อน

d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ

θ คือ มุมที่รังสีตกกระทบ



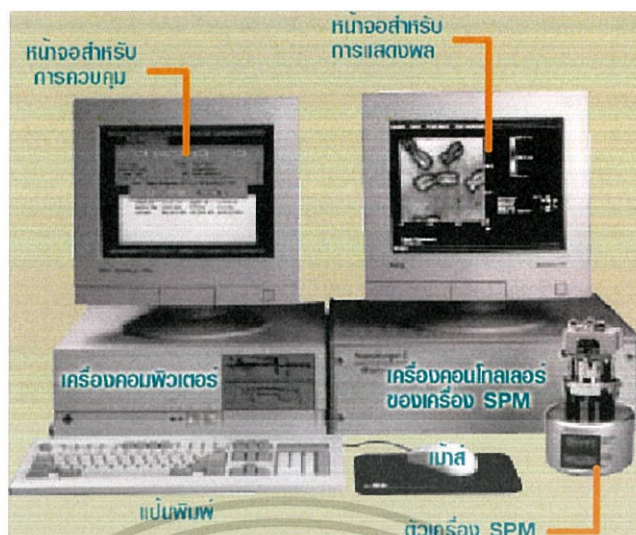
รูปที่ 3.11 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (x-ray diffractometer, XRD) [27]

3.4.5 การวิเคราะห์สัญญาณวิทยุบริเวณพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบหัวสแกน (Scanning probe microscope, SPM)

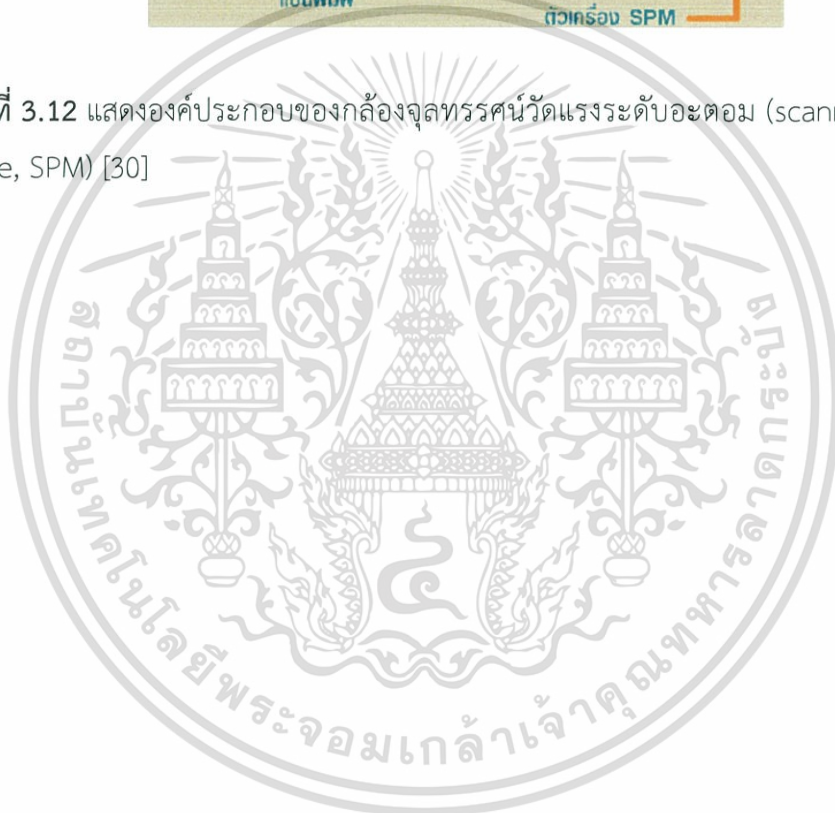
เครื่องมือกลุ่ม scanning probe microscope (SPM) เป็นเครื่องมือที่ใช้ปลายแหลมที่มีขนาดเล็กระดับอะตอมวัดแรงระหว่างอะตอมหรือโมเลกุล หรือวัดเกี่ยวกับการลอดผ่านได้แบบควอนตัมของอิเล็กตรอน จึงสามารถวัดได้อย่างละเอียดในระดับสเกลของควอนตัม จึงมีความละเอียดอยู่ในระดับมากถึง 0.1 นาโนเมตร

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างเริ่มจากวางตัวอย่างลงบนที่วางตัวอย่าง หลังจากนั้นให้แรงแก่ปลายแหลมที่ใช้เป็นตัวตรวจวัด เพื่อให้ปลายแหลมทำการวิเคราะห์บริเวณพื้นที่ที่กำหนดไว้ โดยภาพที่ได้ นั้นจะเป็นภาพสองมิติ สามารถนำภาพมาแปรผลต่อเป็นภาพสามมิติได้ องค์ประกอบส่วนต่าง ๆ ของกล้องจุลทรรศน์แบบหัวสแกน แสดงดังรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงองค์ประกอบของกล้องจุลทรรศน์วัดแรงระดับอะตอม (scanning probe microscope, SPM) [30]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในบทนี้กล่าวถึงผลการศึกษาการเคลือบผิวกระจกด้วยเปลือกไข่ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยจะแสดงผลต่าง ๆ ดังนี้ การศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ (WCAs) ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ศึกษาความขรุขระบริเวณพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบหัวสแกน (SPM) ผลการศึกษาโครงสร้างโมเลกุลโดยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FT-IR) และผลการศึกษาโครงสร้างผลึกโดยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) พร้อมทั้งอภิปรายผลการทดลองที่ได้ ตามลำดับ

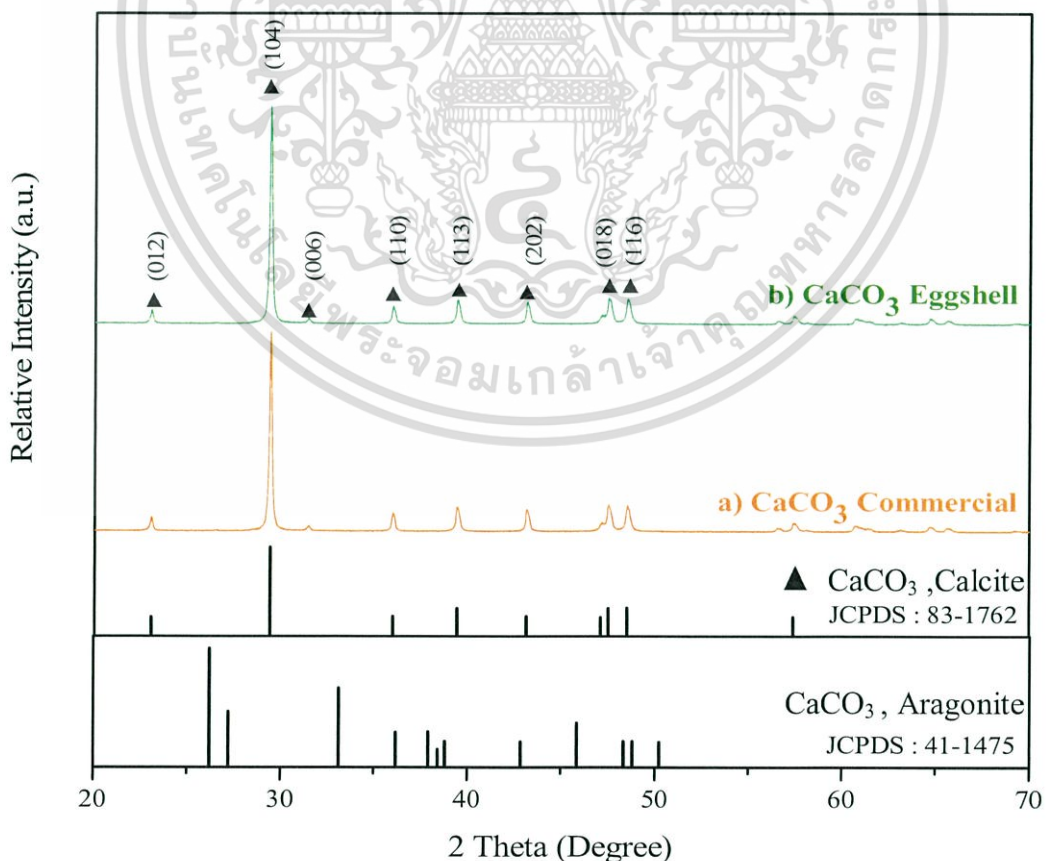
4.1 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์และสัณฐานวิทยาของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด

ได้ทำการตรวจพิสูจน์โครงสร้างผลึก โครงสร้างโมเลกุล สัณฐานวิทยาและโครงสร้างจุลภาคของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบในโครงการพิเศษนี้ คือ แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า (commercial grade) และผงเปลือกไข่ (eggshell) จากการนำเปลือกไข่ที่เหลือทิ้งมาล้างทำความสะอาด ต้มลวกเยื่อไข่ที่เปลือกออก ตากให้แห้ง แล้วนำไปบดด้วยวิธีการบดละเอียดด้วยลูกบดและแรงกล (mechanical ball milling) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนได้ผงเปลือกไข่ ผลที่ได้ดังแสดงในหัวข้อต่าง ๆ ต่อไปนี้

4.1.1 การศึกษาโครงสร้างผลึก โครงสร้างโมเลกุล

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ของแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและเปลือกไข่ที่ผ่านการบด 2 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและผงเปลือกไข่ มีลักษณะเดียวกัน โดยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับไฟล์มาตรฐานของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3 , JCPDS No. 83-1762) ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอล (hexagonal) และมีวัฏภาคแบบแคลไซต์ (calcite) พบว่ามีพีคขึ้นตรงที่ตำแหน่ง 2-Theta เดียวกัน คือ 23.09, 29.36, 31.45, 36.03, 39.43, 43.22, 48.57, 57.46, 60.73 และ 64.77 ซึ่งตรงกับการเลี้ยวเบนของระนาบ (012), (104), (006), (110), (113), (202), (018), (116) ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและผงเปลือกไข่มีองค์ประกอบหลัก คือ แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดแคลไซต์ เมื่อนำแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเกรดการค้าและผงเปลือกไข่ไปปรับปรุงสมบัติบนพื้นผิวให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยสารคู่ควบกรดสเตียริก (stearic acid) ความเข้มข้น 2 mM แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ผลการวิเคราะห์

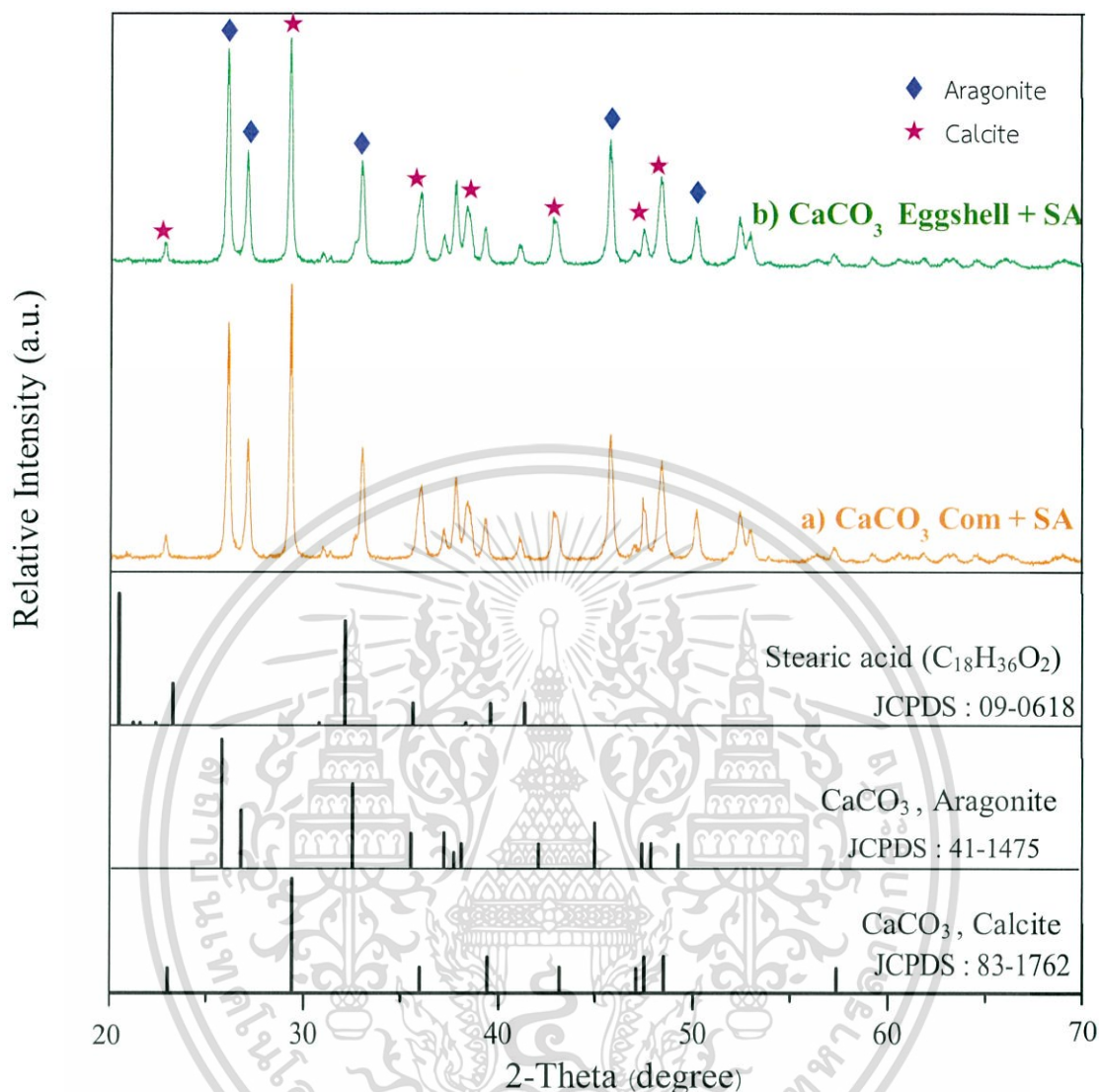
ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าทั้งผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและผงเปลือกไข่ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ที่มีลักษณะคล้ายกัน โดยมีพีคที่ปรากฏเพิ่มขึ้นจากการปรับปรุงผิวที่ตำแหน่ง 2-Theta ที่ 26.22, 27.06, 33.10, 39.36, 41.12, 45.76 และ 50.16 ที่ตรงกับไฟล์มาตรฐานของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3 , JCPDS No. 41-1475) ที่ตำแหน่ง 2-Theta คือ 26.22, 27.06, 33.10, 45.76 และ 50.16 ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบออร์โธโรมบิก (Orthorhombic) และมีวัฏภาคแบบอะราโกไนต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงพื้นผิวของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเกรดการค้าและจากผงเปลือกไข่ด้วยสารละลายกรดสเตียริกที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส สามารถทำให้เกิดวัฏภาคแบบอะราโกไนต์ขึ้นได้ โดยศุภศิธา ยิ่งยงและคณะ [31] ได้รายงานว่าอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอเนชันเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดสัณฐานอะราโกไนต์ โดยสัณฐานอะราโกไนต์ซึ่งมีรูปร่างคล้ายเข็มถูกสังเคราะห์ได้ เมื่อให้ความร้อนขณะทำการปรับปรุงพื้นผิวที่อุณหภูมิ 60 และ 90 องศาเซลเซียส โดยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตหลังการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกไม่พบการเลี้ยวเบนที่ตรงกับไฟล์มาตรฐานของกรดสเตียริก ($\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$; SA, JCPDS No. 09-0618) ที่ตำแหน่ง 2-Theta คือ 21.53, 32.82, 39.36 และ 41.12 ที่ได้แสดงให้เห็นว่ามีกรดสเตียริกในองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตหลังการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำ



รูปที่ 4.1 ผล XRD ของ a) ผงแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า และ b) ผงเปลือกไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

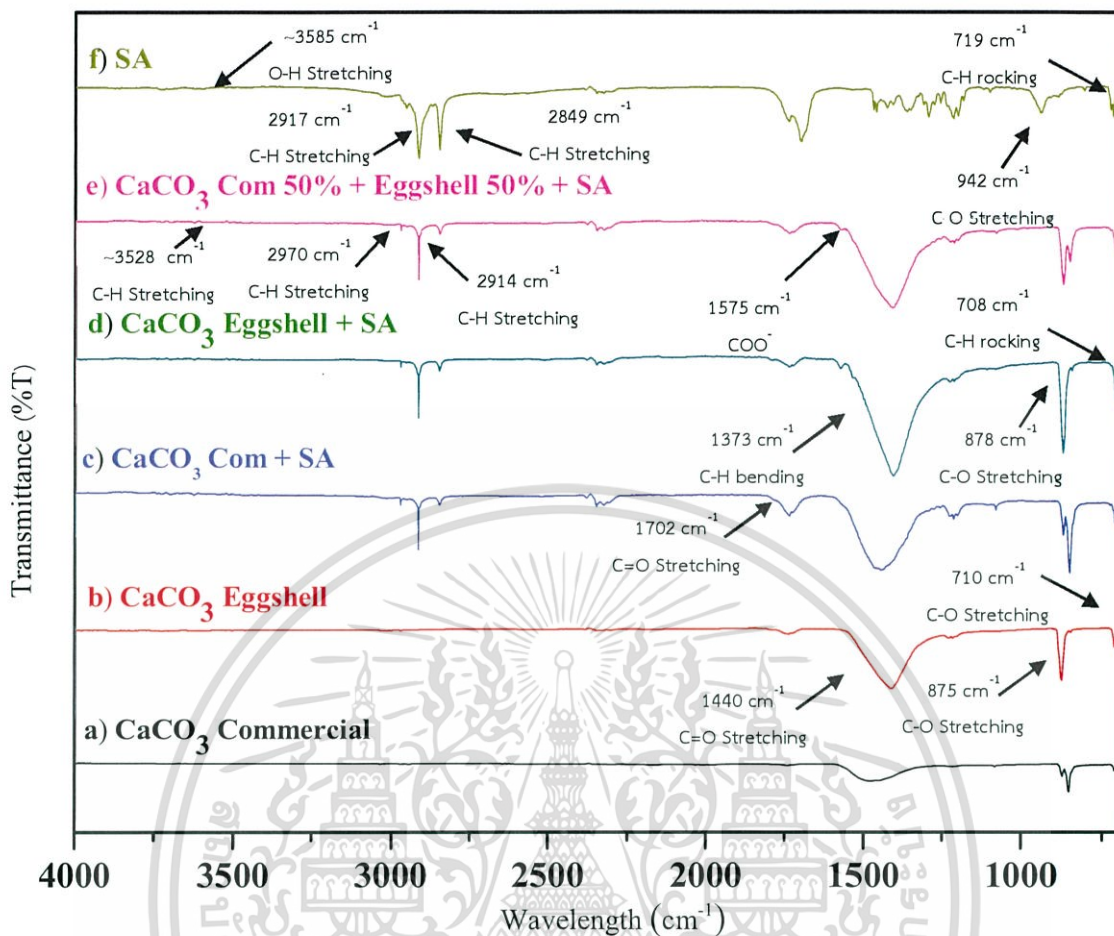


รูปที่ 4.2 ผล XRD ของผง a) แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า และ b) ผงเปลือกไข่ ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก

จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิค FT-IR ของแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า ผงเปลือกไข่ กรดสเตียริก และแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและผงเปลือกไข่ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.1 พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่ได้จากเกรดการค้าและผงเปลือกไข่มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยพบว่าช่วงการดูดกลืนแสงที่แสดงเอกลักษณ์เฉพาะของแคลเซียมคาร์บอเนต คือ ที่ตำแหน่งความยาวคลื่น 875 และ 710 cm^{-1} ซึ่งตรงกับการสั่นของพันธะ C-O แบบยืดหด (stretching) และพบการสั่นของพันธะ C=O แบบยืดหดที่เลขคลื่น 1440 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่ฟังก์ชันคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) ในสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต [31] ส่วนอินฟราเรดสเปกตรัมของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดสเตียริก ($C_{17}H_{35}COOH$; SA) พบช่วงการดูดกลืนแสงของหมู่แอลคิล ($-CH_3$) ที่ตรงกับการสั่นของพันธะ C-H แบบยืดหดที่เลขคลื่น 2917 และ 2849 cm^{-1} และ C-H แบบระนาบเดียวกัน (Rocking) ที่เลขคลื่น 719 cm^{-1} และ CH_2 และ CH_3 แบบงอ (Bending) ที่เลขคลื่น $1300-1400\text{ cm}^{-1}$ และพบการดูดกลืนแสงของหมู่คาร์บอกซิล ($-COOH$) เนื่องจากมีการดูดกลืนแสงที่ตรงกับการสั่นของพันธะ C-O แบบยืดหดที่เลขคลื่น $1200-1300\text{ cm}^{-1}$ และ C=O แบบยืดหดที่เลขคลื่น 1702 cm^{-1} และพบการสั่นของพันธะ O-H แบบยืดหดที่เลขคลื่น 3585 cm^{-1} และ O-H แบบงอที่เลขคลื่น 942 cm^{-1} [22,33,34] จากนั้นเมื่อนำสารละลายกรดสเตียริกความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ ไปปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเกรดการค้า ผงเปลือกไข่บด และแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและจากเปลือกไข่ ที่ผสมกันในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 (Eggshell 50% + Commercial 50%) พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของสารทั้งสามชนิดมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยพบช่วงการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นจากแคลเซียมคาร์บอเนตก่อนการปรับปรุงพื้นผิว ที่แสดงถึงการสั่นของพันธะ C-H แบบยืดหดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2970 และ 2914 cm^{-1} และ C=O แบบยืดหดที่เลขคลื่น 1702 cm^{-1} และ C-H แบบระนาบเดียวกันที่เลขคลื่น 708 cm^{-1} และ CH_2 และ CH_3 แบบงอที่เลขคลื่น 1373 cm^{-1} และ C=O แบบยืดหดที่เลขคลื่น 1702 และ 1440 cm^{-1} และพบการสั่นของพันธะ O-H แบบยืดหดที่เลขคลื่น 3528 cm^{-1} และการสั่นของพันธะ C-O แบบยืดหดที่เลขคลื่น 878 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืนยันว่ามีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของกรดสเตียริกมาสร้างพันธะบนผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้ยังพบช่วงการดูดกลืนแสงของแสงของหมู่แอลคอกซีคาร์บอกซิเลต (COO^-) ที่เลขคลื่นประมาณ 1575 cm^{-1} ซึ่งแสดงเอกลักษณ์ของแคลเซียมสเตียเรต ($(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$) [34] ที่เกิดขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวของแคลเซียมคาร์บอเนตกับหมู่คาร์บอกซิลิกของกรดสเตียริกแล้วเกิดเป็นสารประกอบเอสเทอร์ของแคลเซียมคือ แคลเซียมสเตียเรต ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ a) แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า b) ผงเปลือกไข่ c) แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก d) ผงเปลือกไข่ที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก e) แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและผงเปลือกไข่ผสมกันในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 ที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก

ตารางที่ 4.1 ช่วงการดูดกลืนอินฟราเรดของพันธะต่าง ๆ ที่ได้จากเทคนิค FT-IR

พันธะ	เลขคลื่น (cm^{-1})		
	แคลเซียมคาร์บอเนต	กรดสเตียริก	แคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก
O-H stretching	-	~3585	~3528
C-H stretching	-	2917 และ 2849	~2970 และ 2914
C=O stretching	1440	1702	1702 และ 1440
CH_2 & CH_3 bending	-	~1300-1400	~1373

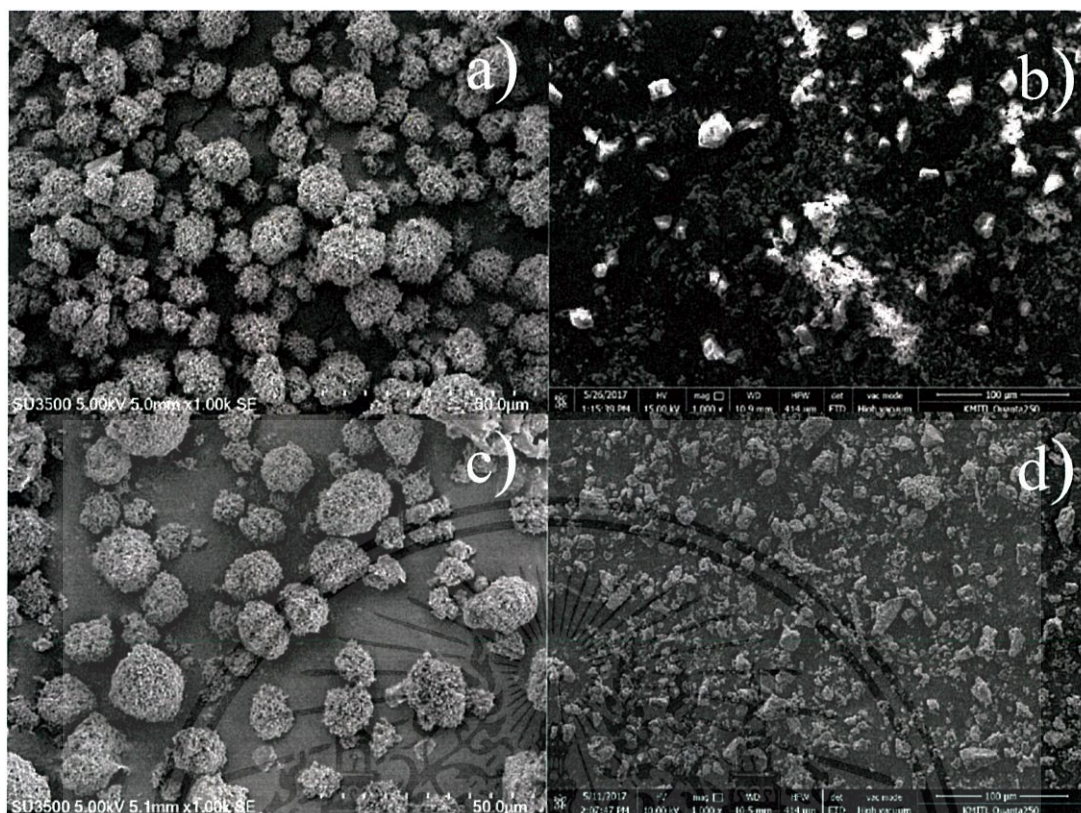
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พันธะ	เลขคลื่น (cm ⁻¹)		
	แคลเซียมคาร์บอเนต	กรดสเตียริก	แคลเซียมคาร์บอเนต ที่ปรับปรุงสมบัติ ด้วยกรดสเตียริก
C-O stretching	875 และ 710	~1200-1300	~875 และ 710
O-H bending	-	942	~878
C-H rocking	-	719	~708
COO ⁻	-	-	~1575

4.1.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและโครงสร้างในระดับจุลภาค

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.2 ที่แสดงขนาดของอนุภาคเฉลี่ยที่วัดโดยโปรแกรม Image J [26] พบว่าผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้ามีรูปร่างเป็นทรงกลมที่ผิวขรุขระ ที่ประกอบขึ้นจากแท่งแหลมยาวขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรที่มีขนาดเฉลี่ย 791 ± 293 นาโนเมตร จำนวนมากมารวมกันเป็นก้อนในขนาดระดับไมโครเมตรซึ่งมีขนาดเฉลี่ย 9.85 ± 3.59 ไมโครเมตร ส่วนผงอนุภาคเปลือกไข่บดมีรูปร่างเป็นก้อนทรงเหลี่ยมหลากหลายแบบที่มีขนาดระดับไมโครเมตรขนาดเฉลี่ย 28.30 ± 5.58 ไมโครเมตร และเมื่อนำอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเกรดการค้าและเปลือกไข่มาทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก พบว่าอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าที่ปรับปรุงพื้นผิวแล้วมีรูปร่างคล้ายอนุภาคก่อนปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก โดยมีรูปร่างเป็นทรงกลมที่ประกอบจากแท่งยาวขนาดเล็กจำนวนมากมารวมกัน โดยแท่งเหล่านั้นมีความแหลมลดลงเนื่องจากพื้นผิวบางส่วนถูกเปลี่ยนเป็นแคลเซียมสเตียเรต โดยมีขนาดเฉลี่ย 11.56 ± 4.94 ไมโครเมตร ส่วนผงอนุภาคเปลือกไข่บด 2 ชั่วโมง เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริกแล้ว พบว่าอนุภาคเปลือกไข่ที่ปรับปรุงพื้นผิวแล้วมีรูปร่างคล้ายอนุภาคก่อนปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกโดยมีขนาดเฉลี่ย 31.94 ± 6.31 ไมโครเมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดเฉลี่ยของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและผงอนุภาคเปลือกไข่ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก พบว่าขนาดของอนุภาคหลังปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของอนุภาคก่อนปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกเล็กน้อย เนื่องจากการก่อตัวของชั้นแคลเซียมสเตียเรตบนผิวอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ภาพ SEM ของ a) ฟองอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า b) ฟองอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ c) แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก และ d) ฟองเปลือกไข่ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

ตารางที่ 4.2 แสดงขนาดของฟองอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้า เปลือกไข่ ก่อนและหลังปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก

ฟองอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมโครเมตร) ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ก่อนปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก	หลังปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก
เกรดการค้า	9.85 ± 3.59	11.56 ± 4.94
เปลือกไข่	28.30 ± 5.58	31.94 ± 6.31

4.2 การเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด

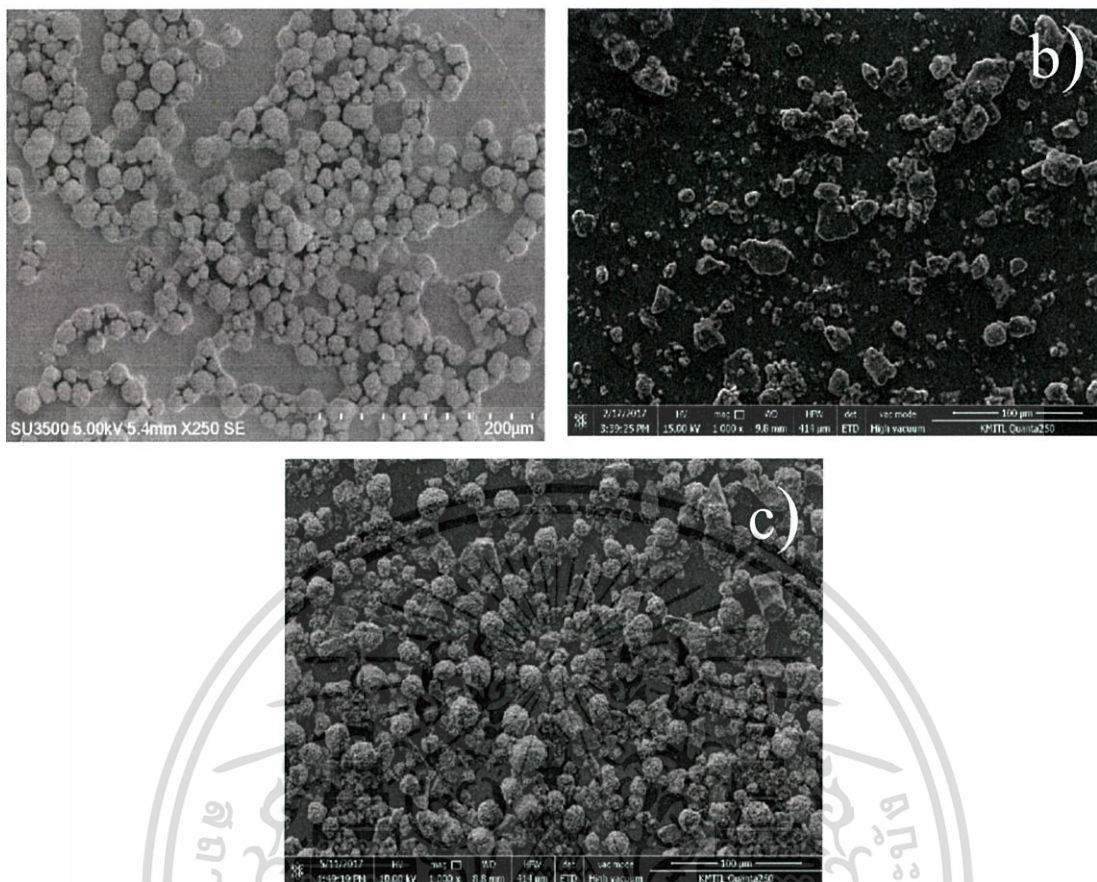
โครงการพิเศษนี้ได้ทำการเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยการนำแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและฟองเปลือกไข่ มาปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยสารคู่ควบกรดสเตียริก (stearic acid) แล้วทิ้งให้แห้งจะได้เป็นฟองเอกรของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่บริเวณผิวถูกเคลือบด้วยกรดสเตียริก จากนั้นนำฟองอนุภาคที่เตรียมการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้นี้ มาเตรียมให้อยู่ในรูปสารแขวนลอย โดยใช้ตัวประสานเป็นพอลิสไตรีน ($(C_8H_8)_n$, PS) แล้วจึงนำไปเคลือบลงบนกระจกที่ทำการปรับปรุงผิวด้วยการกัดกรดปรีนยา เพื่อให้เกิดเป็นชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยได้ทำการศึกษาผลของปัจจัยการเตรียมต่าง ๆ ที่มีต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ดังต่อไปนี้

4.2.1 การศึกษาผลของการใช้อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากกรดการคำ และผงเปลือกไข่

ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของขนาดและรูปร่างของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากกรดการคำและผงเปลือกไข่ ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมชั้นเคลือบ ที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยกรดสเตียริก แล้วนำไปเคลือบบนผิวกระจก ตามสภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.1 เมื่อนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ผลดังแสดงในภาพที่ 4.5(a) พบว่า ชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้ผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากกรดการคำประกอบด้วยอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมที่มีผิวมีความขรุขระ ที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของอนุภาคขนาดเล็กที่มีลักษณะเป็นแท่งแหลมยาวจำนวนมาก โดยอนุภาคทรงกลมเหล่านี้มีการเกาะกลุ่มรวมตัวกันและกระจายตัวปกคลุมไม่ทั่วทั้งผิวชั้นเคลือบ โดยบริเวณที่ว่างนั้นคือชั้นฟิล์มของพอลิสไตรีน ส่วนชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้ผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากผงเปลือกไข่บด ผลดังภาพที่ 4.5(b) มีอนุภาครูปร่างเป็นก้อนทรงเหลี่ยมขนาดใหญ่หลากหลายแบบที่มีผิวค่อนข้างเรียบ และมีการกระจายการกระจายตัวปกคลุมไม่ทั่วทั้งผิวชั้นเคลือบ โดยมีบริเวณที่ว่างมากกว่าชั้นเคลือบที่เตรียมจากแคลเซียมคาร์บอเนตกรดการคำ เนื่องจากการมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมและการรวมตัวกันของอนุภาคเปลือกไข่ที่มีขนาดใหญ่จึงถูกเคลือบติดอยู่บนชั้นฟิล์มของพอลิสไตรีนได้ยากกว่ากรดการคำ โดยในขั้นตอนการเคลือบได้ทำโดยใช้วิธีจุ่มดึง (dip coating) ซึ่งจะเอียงกระจกเล็กน้อยในขณะที่จุ่มและดึงขึ้นจากสารแขวนลอย ทำให้อนุภาคของเปลือกไข่ที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักที่มากกว่า ไหลตามแรงโน้มถ่วงของโลกออกมาจากผิวกระจกได้มากกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตกรดการคำในขณะที่ดึงกระจกขึ้นจากสารแขวนลอย ภาพที่ 4.5(c) แสดงภาพ SEM ของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตกรดการคำและผงเปลือกไข่ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 โดยพบว่าพื้นผิวของชั้นเคลือบ ประกอบด้วยอนุภาครูปร่างทรงกลมที่มีความขรุขระสูงของแคลเซียมคาร์บอเนตกรดการคำและอนุภาครูปร่างเป็นก้อนทรงเหลี่ยมที่มีผิวเรียบของเปลือกไข่ โดยมีการกระจายตัวของอนุภาคบนผิวชั้นเคลือบที่ดีกว่าชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้เปลือกไข่เพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

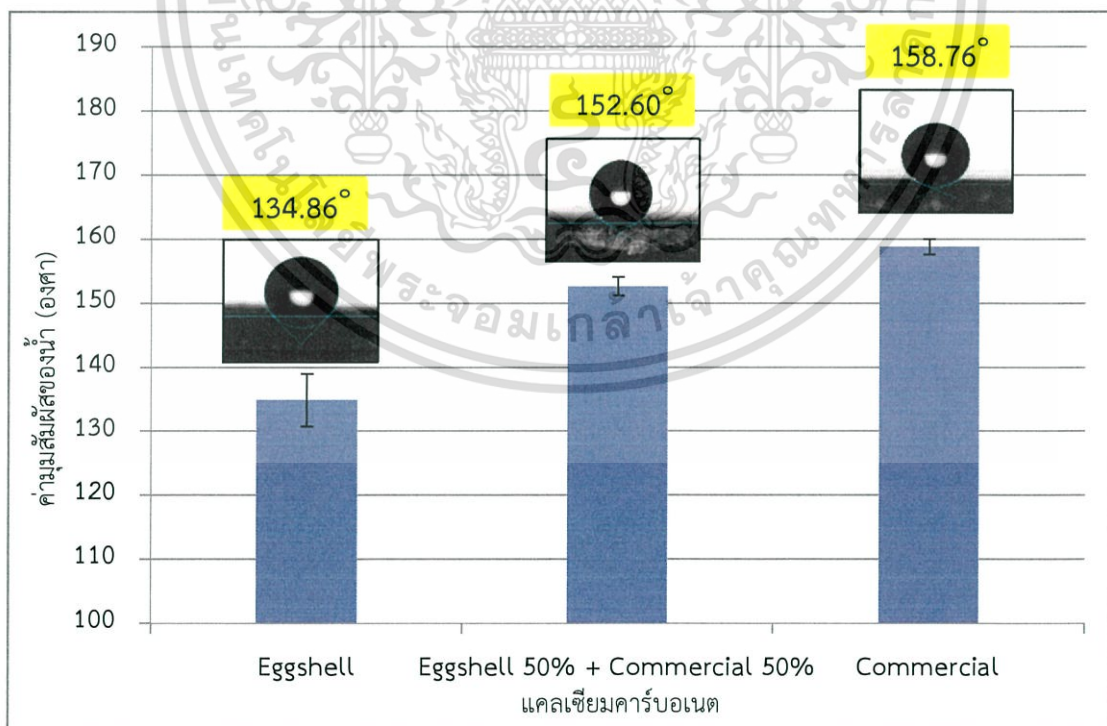


รูปที่ 4.5 ภาพ SEM ของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้ a) ฟงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการถดการค้ำ b) ฟงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกไข่ และ c) เกรดการค้ำและฟงเปลือกไข่ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

เมื่อนำกระจกที่มีชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากแหล่งที่ต่างกัน ไปวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำ ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.3 พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 134.86 ± 4.12 ถึง 158.76 ± 1.2 องศา โดยแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบที่หาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำสูงที่สุด คือ การใช้อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการถดการค้ำ โดยมีค่ามุมสัมผัสของน้ำเท่ากับ 158.76 ± 1.2 องศา ซึ่งแสดงถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด การใช้ฟงเปลือกไข่หาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่ต่ำลงมาเป็น 134.86 ± 4.12 องศา ส่วนชั้นเคลือบที่เตรียมจากการผสมฟงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากทั้ง 2 แหล่งในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 ให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเท่ากับ 152.6 ± 1.42 องศา ซึ่งผลที่ได้เนื่องจากความแตกต่างของรูปร่างและขนาด และการกระจายตัวของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ถูกปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกที่เคลือบบนผิวกระจกดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากการถดการค้ำมีความขรุขระสูงในระดับนาโนเมตร-ไมโครเมตร และมีพลังงานพื้นผิวดำ เนื่องจากลักษณะของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเกรดการค้าเป็นก้อนทรงกลมที่เกิดจากการรวมกันของอนุภาคขนาดเล็กที่มีลักษณะเป็นแท่งแหลม จึงทำให้เกิดเป็นช่องว่างขนาดเล็กให้อากาศแทรกตัวอยู่ในชั้นเคลือบนี้ ได้เป็นจำนวนมาก โดยอากาศที่ติดอยู่นี้ทำหน้าที่เป็นชั้นฟิล์มป้องกันการเปื่อยซึมของน้ำ [35] ซึ่งต่างจากอนุภาคจากผงเปลือกไข่ที่มีรูปร่างก้อนทรงเหลี่ยมที่ผิวมีความเรียบสูง ทำให้ได้ชั้นเคลือบมีความขรุขระต่ำและมีช่องว่างให้อากาศแทรกตัวในชั้นเคลือบได้ต่ำกว่า และอีกสาเหตุหนึ่งคือ ผลของการกระจายตัวของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตบนชั้นเคลือบ โดยการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่าของเปลือกไข่ สามารถเพิ่มการกระจายตัวของอนุภาคบนชั้นเคลือบให้ทั่วถึงมากกว่าการใช้ผงเปลือกไข่ โดยเมื่อนำแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเกรดการค้ามาใช้ร่วมกับผงเปลือกไข่ ส่งผลทำให้ชั้นเคลือบมีความมั่งคั่งของน้ำสูงกว่าการใช้ผงเปลือกไข่เพียงอย่างเดียวในการเตรียมชั้นเคลือบ เพราะสามารถเพิ่มทั้งความขรุขระของชั้นเคลือบจากใช้อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและการกระจายตัวของอนุภาคบนชั้นเคลือบด้วย

ดังนั้นโครงการพิเศษนี้จึงได้ทำการศึกษาการเตรียมชั้นเคลือบจากผงเปลือกไข่เพื่อเป็นการนำวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่และการใช้อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากทั้ง 2 แหล่งคือ เกรดการค้าและผงเปลือกไข่ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 เพื่อเป็นการนำข้อดีของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเกรดการค้ามารวมใช้กับผงเปลือกไข่ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ และทำการศึกษาลักษณะของปัจจัยอื่น ๆ ของการเตรียมชั้นเคลือบ เพื่อปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำของชั้นเคลือบให้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากแหล่งต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้อุณหภูมิเคลือบคาร์บอนที่ได้จากแหล่งต่าง ๆ

เคลือบคาร์บอน	ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เปลือกไข่	134.86 \pm 4.12
เปลือกไข่ 50% + เกรดการค้า 50%	152.60 \pm 1.42
เกรดการค้า	158.76 \pm 1.20

4.2.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตรอิกที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคเคลือบคาร์บอน

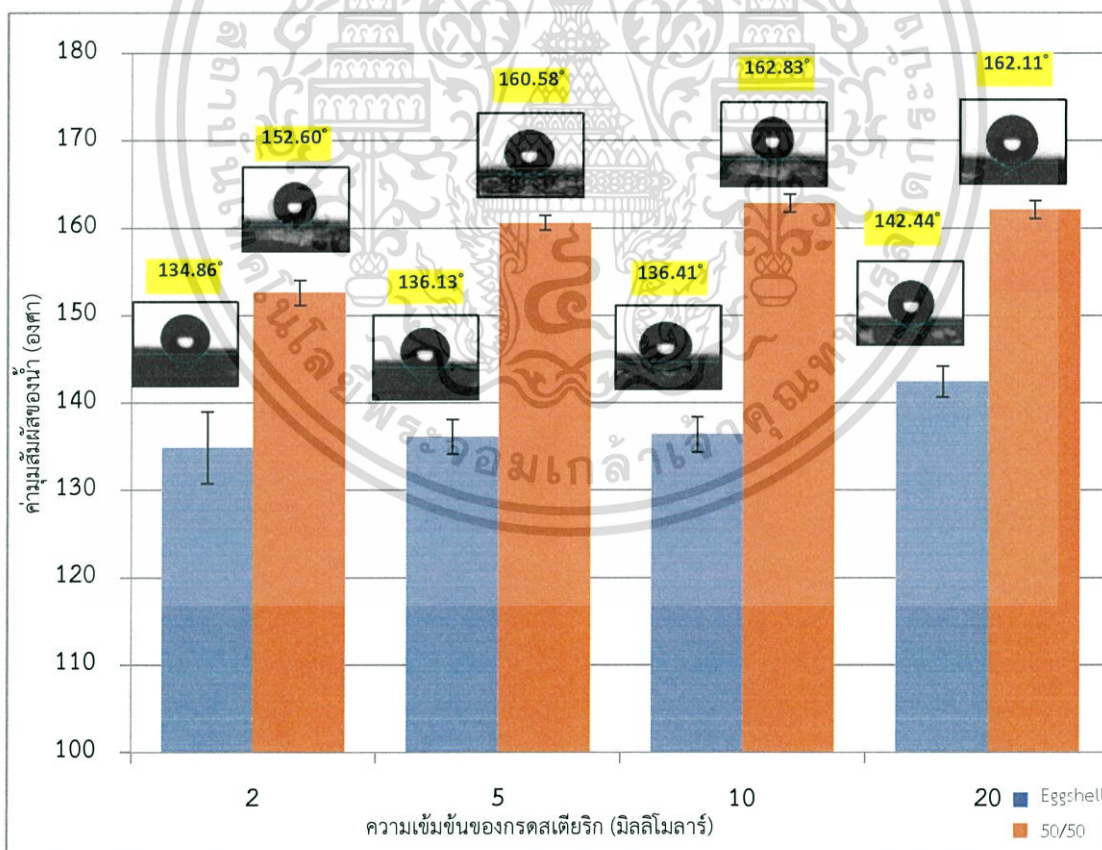
ได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตรอิกที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคเคลือบคาร์บอนซึ่งมีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยการนำเคลือบคาร์บอนที่ได้จากผงเปลือกไข่และเกรดการค้าผสมกับผงเปลือกไข่ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 และทำการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคเคลือบคาร์บอนจากสารตั้งต้นทั้ง 2 แหล่ง ด้วยสารละลายกรดสเตรอิกที่ความเข้มข้นแตกต่างกันตามสภาวะการทดลองที่แสดงในตาราง 3.2 จากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำของชั้นเคลือบบนผิวกระจก ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.4 จากการวัดค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากเคลือบคาร์บอนที่ปรับปรุงด้วยสารละลายกรดสเตรอิกที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน คือ 2, 5, 10 และ 20 มิลลิโมลาร์ พบว่าชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 134.86 \pm 4.12 ถึง 142.44 \pm 1.74 องศา และชั้นเคลือบที่เตรียมจากเคลือบคาร์บอนโดยการผสมผงเปลือกไข่และเกรดการค้าในอัตราส่วนร้อยละ โดยน้ำหนัก 50:50 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 152.6 \pm 1.42 ถึง 162.83 \pm 1.02 องศา โดยชั้นเคลือบที่เตรียมจากเคลือบคาร์บอนจากผงเปลือกไข่และจากการผสมกันของผงเปลือกไข่และเกรดการค้านั้นมีแนวโน้มของค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตรอิกที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคเช่นเดียวกัน โดยชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่นั้นมีค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตรอิกจนถึงความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ซึ่งเป็นจุดที่ให้ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำของชั้นเคลือบจากผงเปลือกไข่มากที่สุด คือ 142.44 \pm 1.74 องศา ส่วนชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่ผสมเกรดการค้ามีค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตรอิกจนถึงความเข้มข้นที่ 10 มิลลิโมลาร์ แล้วเริ่มคงที่ ซึ่งจุดนี้ให้ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำของชั้นเคลือบจากผงเปลือกไข่ผสมเกรดการค้ามากที่สุด คือ 162.83 \pm 1.02 องศา โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตรอิกส่งผลให้มีปริมาณของกรดสเตรอิกในการทำปฏิกิริยาบนพื้นผิวของอนุภาคเคลือบคาร์บอนเพื่อเปลี่ยนพื้นผิวเป็นเคลือบไฮโดรฟิลิกได้มากขึ้น จึงทำให้สมบัติความไม่ชอบน้ำของพื้นผิวเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตรอิกเป็น

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20 มิลลิโมลาร์ ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มากเกินไปในการทำปฏิกิริยาบนพื้นผิวของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่า เมื่อสารละลายแห้งตัวจะทำให้เกิดผลึกของกรดสเตียริกที่เลื้อยจากการทำปฏิกิริยาแยกตัวออกมาจากผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวแล้วจำนวนมาก รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่าย SEM ของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่และชั้นเคลือบที่เตรียมจากกรดการค้ำผสมผงเปลือกไข่ในอัตราส่วน 50:50 ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริกที่ปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 2 mM และ 10 mM พบว่า ลักษณะของอนุภาคบนชั้นเคลือบหลังปรับปรุงพื้นผิวด้วยกรดสเตียริกจากทั้ง 2 ปริมาณความเข้มข้นที่ต่างกันนั้นมึลักษณะคล้ายอนุภาคก่อนถูกปรับปรุงพื้นผิว และลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคบนชั้นเคลือบยังคงพบบริเวณที่เป็นช่องว่างอยู่มาก

ดังนั้นในโครงการพิเศษนี้จึงได้เลือกใช้สารละลายกรดสเตียริกที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ในการปรับปรุงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากผงเปลือกไข่และจากกรดการค้ำผสมผงเปลือกไข่ เนื่องจากทำให้ได้ชั้นเคลือบที่มีค่ามุมสัมผัสของน้ำที่สูงและเป็นการลดการใช้ปริมาณของกรดสเตียริกที่มากเกินไปในการทำปฏิกิริยา จากนั้นจึงได้นำไปศึกษาผลของปัจจัยในการเตรียมอื่น ๆ ที่มีต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำของชั้นเคลือบต่อไป

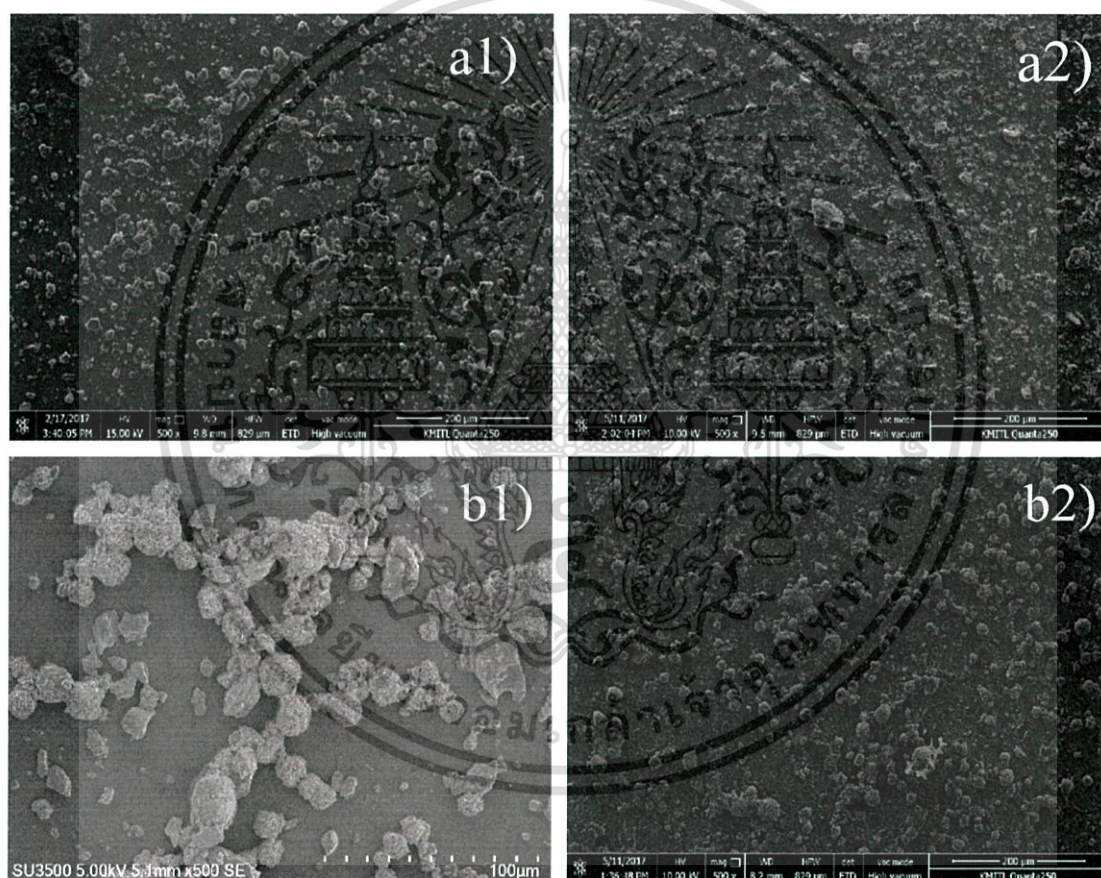


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนชั้นเคลือบที่เตรียมโดยการใช้สารละลายกรดสเตียริก ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่ามุลสัมพัทธ์ของหยดน้ำบนชั้นเคลือบที่เตรียมโดยการใช้สารละลายกรดสเดยริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นของกรดสเดยริก (มิลลิโมลาร์)	ค่ามุลสัมพัทธ์ของน้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (องศา)	
	เปลือกไข่	เปลือกไข่ 50% / เกรตการค้า 50 %
2	134.86 ± 4.12	152.60 ± 1.42
5	136.13 ± 1.98	160.58 ± 0.85
10	136.41 ± 2.02	162.83 ± 1.02
20	142.44 ± 1.74	162.11 ± 1.02



รูปที่ 4.8 แสดงภาพ SEM a) ชั้นเคลือบบนผิวกระจกที่เคลือบด้วยผงอนุภาคแคลเซียมสเดยเรตที่สังเคราะห์จากเปลือกไข่ ที่ปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ a1) 2 mM และ a2) 10 mM และ b) ชั้นเคลือบที่ผสมผงอนุภาคแคลเซียมสเดยเรตจากเกรตการค้าผสมผงเปลือกไข่ในอัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ b1) 2 mM และ b2) 10 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีนที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ

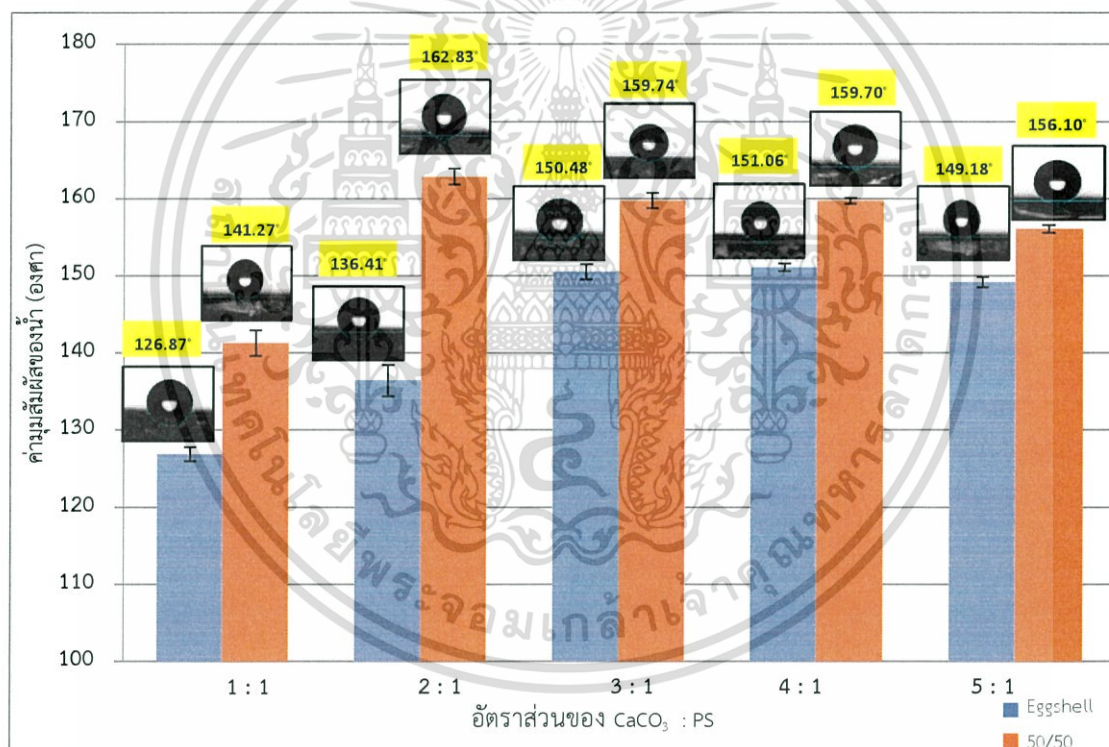
ได้ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีนที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ ซึ่งมีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่และผงเปลือกไข่ผสมกับกรดการค้ำในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 ที่ปรับปรุงด้วยสารละลายกรดสเตียริกความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ โดยได้ศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อปริมาณพอลิสไตรีนที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบแตกต่างกันตามสภาวะการทดลองที่แสดงในตาราง 3.3 จากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่ามุมสัมผัสของน้ำของชั้นเคลือบบนผิวกระจก ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.5 พบว่าชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 126.87 ± 0.92 ถึง 151.06 ± 0.48 องศา โดยมีแนวโน้มของค่ามุมสัมผัสของน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีนที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ โดยค่ามุมสัมผัสของน้ำสูงสุดเมื่อใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักเป็น 4:1 คือ 151.06 ± 0.48 องศา และค่ามุมสัมผัสของน้ำจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักเป็น 5:1 ส่วนชั้นเคลือบที่เตรียมจากแคลเซียมคาร์บอเนตจากกรดการค้ำผสมผงเปลือกไข่ในอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก 50:50 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 141.27 ± 1.68 ถึง 162.83 ± 1.02 องศา โดยมีแนวโน้มของค่ามุมสัมผัสของน้ำลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีนที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ โดยค่ามุมสัมผัสของน้ำสูงสุดเมื่อใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักเป็น 2:1 คือ 162.83 ± 1.02 องศา และค่ามุมสัมผัสของน้ำจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนัก รูปที่ 4.10 แสดงภาพถ่าย SEM ของชั้นเคลือบที่เตรียมจากอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีนที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบที่ให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำสูงสุด โดยชั้นเคลือบที่เตรียมจากเปลือกไข่ใช้อัตราส่วน คือ 4:1 และชั้นเคลือบที่เตรียมจากแคลเซียมคาร์บอเนตจากกรดการค้ำผสมผงเปลือกไข่ในอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก 50:50 ใช้อัตราส่วน คือ 2:1 ซึ่งจากภาพถ่าย SEM แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนที่เข้ามีความเหมาะสม จึงทำให้ได้ชั้นเคลือบที่มีความขรุขระสูงที่เกิดจากการกระจายตัวของอนุภาคอย่างทั่วถึงบนพื้นผิวของชั้นเคลือบแบบชั้นเดียว จึงทำให้ได้ค่ามุมสัมผัสของน้ำสูงที่สุด โดยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีนที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ น่าจะส่งผลให้มีปริมาณของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกบนชั้นเคลือบที่มากเกินไป จึงเกิดการเกาะรวมตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ และซ้อนทับกันแบบหลายชั้นบนพื้นผิว ทำให้เกิดความแตกต่างของระดับพื้นผิวบนชั้นเคลือบในแต่ละบริเวณมาก ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะของหยดน้ำเมื่อทิ้งไว้ 5 วินาทีบนชั้นเคลือบทั้งที่เตรียมจากเปลือกไข่และเตรียมจากกรดการค้ำผสมกับเปลือกไข่ พบว่าหยดน้ำเกิดการยุบตัวซึ่มลงไป

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ของศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติก

ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำติดค้างในช่องว่างระหว่างอนุภาคบนชั้นเคลือบ ส่งผลให้หยดน้ำกลิ้งบนชั้นเคลือบกลิ้งออกยากขึ้น จึงทำให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำมีค่าลดลง

จากผลในการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ในการเตรียมชั้นเคลือบ ในโครงการพิเศษนี้จึงได้เลือกใช้สภาวะดังนี้ คือ นำอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตมาปรับปรุงพื้นผิวให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยสารคู่ควมกรดสเตียริกที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีนที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบเท่ากับ 4:1 สำหรับการเตรียมชั้นเคลือบจากผงเปลือกไข่และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีนที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบเท่ากับ 2:1 สำหรับการเตรียมชั้นเคลือบจากผงเปลือกไข่ผสมกับเกรดการค้า มาใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบบนผิวกระจกเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานต่อไป



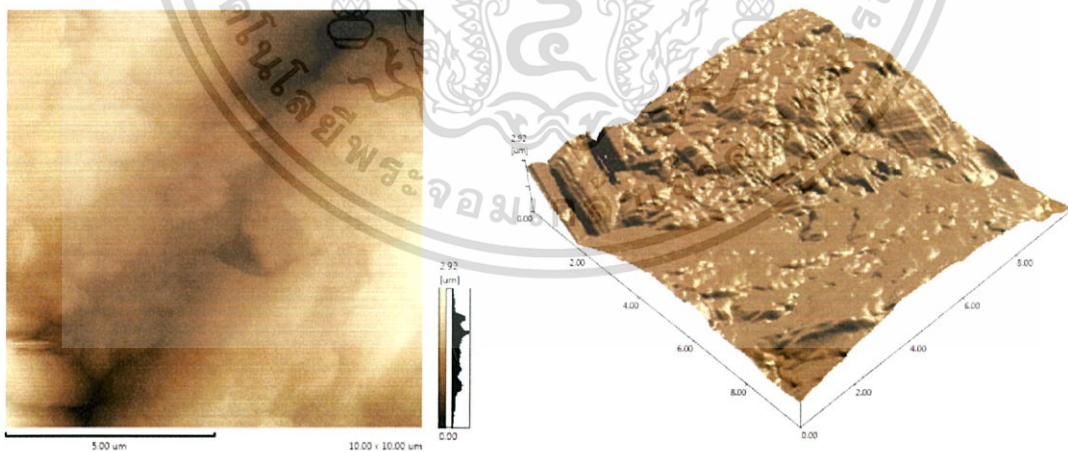
รูปที่ 4.9 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำต่ออัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีนที่อัตราส่วนต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนเนตเกรดการค้าในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 มีความขรุขระที่มากกว่าชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่เพียงอย่างเดียว เนื่องจากอนุภาคแคลเซียมคาร์บอนเนตเกรดการค้ามีความขรุขระบริเวณพื้นผิวของอนุภาคสูงกว่าผงเปลือกไข่ เมื่อทำการเตรียมชั้นเคลือบโดยการเพิ่มอนุภาคแคลเซียมคาร์บอนเนตเกรดการค้าลงไปในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50 จึงทำให้ชั้นเคลือบมีความขรุขระมากกว่าชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่เพียงอย่างเดียว จากผลแสดงภาพจำลองของพื้นผิวแบบ 2 และ 3 มิติ แสดงให้เห็นว่าชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่และผงเปลือกไข่ผสมกับแคลเซียมคาร์บอนเนตเกรดการค้าในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 มีความขรุขระบริเวณพื้นผิวที่เกิดจากการเคลือบด้วยอนุภาคแคลเซียมคาร์บอนเนตจากเกรดการค้าและผงเปลือกไข่ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยสารคู่ควบกรดสเตียริก

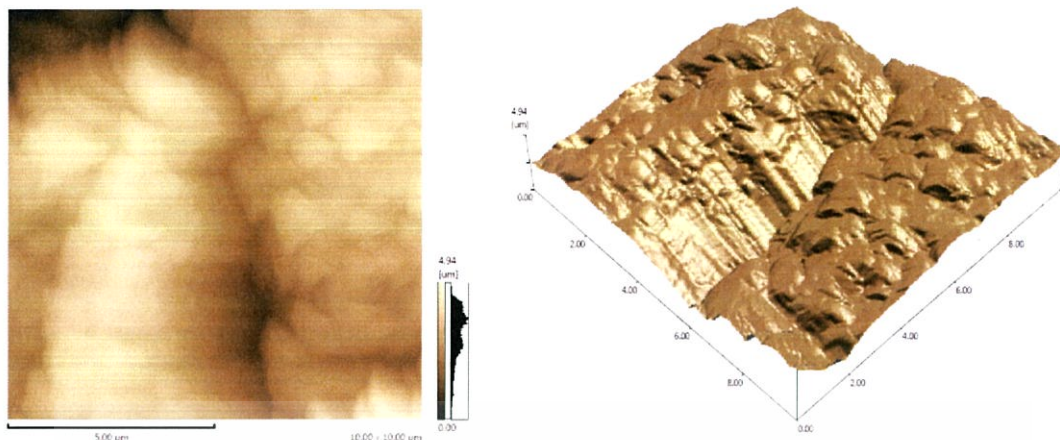
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความขรุขระบริเวณพื้นผิวของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่และผงเปลือกไข่ผสมกับแคลเซียมคาร์บอนเนตเกรดการค้าในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50

ชั้นเคลือบ	ความขรุขระเฉลี่ย (Ra)	ความขรุขระบริเวณพื้นผิว (Rq)
เปลือกไข่	631.07 nm	714.16 nm
เปลือกไข่ 50% + เกรดการค้า 50%	759.45 nm	840.78 nm



รูปที่ 4.11 ภาพ SPM ของพื้นผิวชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่ (ซ้าย) ภาพ 2 มิติ และ (ขวา) ภาพ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ภาพ SPM ของพื้นผิวชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต เกรดการค้าในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 (ซ้าย) ภาพ 2 มิติ และ (ขวา) ภาพ 3 มิติ

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด

หลังจากที่ได้ทราบสถานะที่ทำให้ได้ค่ามุมสัมผัสของน้ำสูงที่สุดในการเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดบนผิวกระจกด้วยอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่และจากเกรดการค้าผสมกับผงเปลือกไข่ในอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก 50:50 แล้วจึงมาใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบบนผิวกระจก จากนั้นจึงได้นำกระจกเคลือบด้วยชั้นเคลือบที่เตรียมจากสถานะที่ดีที่สุดไปศึกษาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ดังต่อไปนี้

4.3.1 การศึกษาสมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง

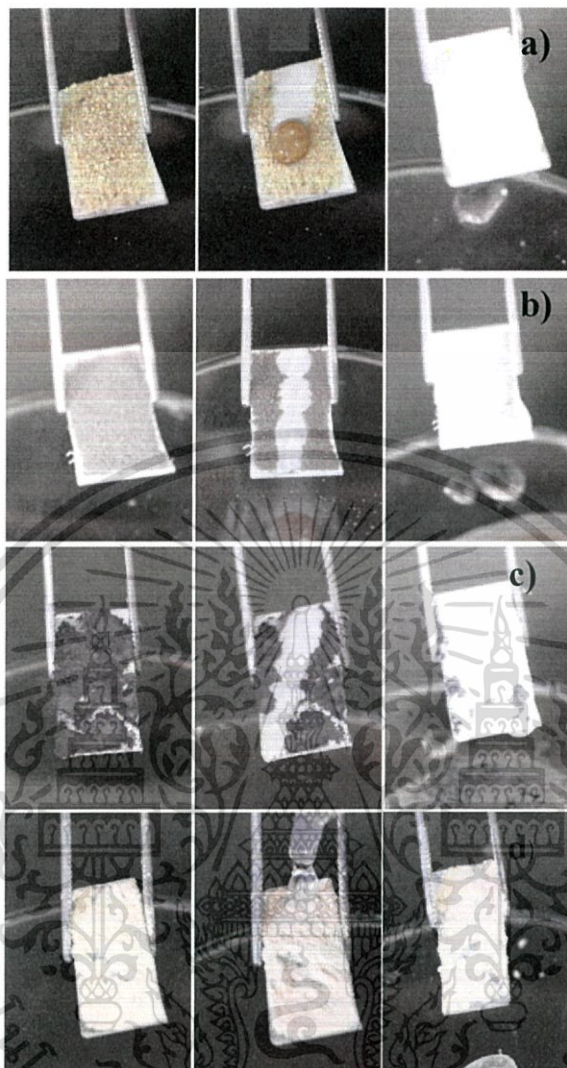
ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning) และสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic property) ของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่และเกรดการค้าผสมกับผงเปลือกไข่ในอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก 50:50 โดยการศึกษาประสิทธิภาพการทำความสะอาดตัวเองของชั้นเคลือบนั้น ทำด้วยการใช้ผงแกรไฟต์ ผงแป้งทาน้ำ ผงทราย และผงดินดำ ซึ่งเป็นสารที่มักทำความสะอาดบนพื้นผิว มาโรยลงบนพื้นผิวหน้าของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่และเกรดการค้าผสมกับผงเปลือกไข่ในอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก 50:50 แล้วทำการหยดน้ำลงบนพื้นผิว รูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 แสดงกระบวนการทำความสะอาดตัวเองของชั้นเคลือบ โดยเมื่อหยดน้ำลงบนผิวชั้นเคลือบทั้ง 2 ชนิด พบว่าพื้นผิวมีลักษณะการกลิ้งของน้ำและสมบัติการทำความสะอาดตัวเองคล้ายกัน โดยผงทดสอบชนิดต่าง ๆ ถูกดูดเข้าไปในหยดน้ำเมื่อหยดน้ำกลิ้งผ่านและหยดน้ำสามารถกลิ้งออกไปจากพื้นผิวได้ง่ายโดยการเอียงพื้นผิวตัวอย่างไปประมาณ 5 องศา ซึ่งผลที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากแรงคาпилลารี (capillary force) ที่สูงของหยดน้ำและแรงยึดเกาะ (adhesion) ที่ต่ำไม่พวกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวชั้นเคลือบ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวนั้นมีค่ามุมสัมผัสของน้ำมากกว่า 150 องศา ทำให้แรงยึดติดต่ำกว่าแรงเชื่อมแน่น (cohesion) หยดน้ำจึงรวมกันมากกว่าเกาะบนชั้นเคลือบ [35] และหลังจากพ่นหยดน้ำลงไปมากขึ้น พบว่าบนพื้นผิวของชั้นเคลือบมีการปนเปื้อนตกค้างจากผง แกร์ไฟต์และผงแป้งทาหน้าอยู่เพียงเล็กน้อย เนื่องจากผงแกร์ไฟต์และผงแป้งทาหน้ามีอนุภาคขนาดเล็กจึงสามารถแทรกลงไปในช่วงว่างระหว่างผิวชั้นเคลือบได้ จึงทำให้หยดน้ำไม่สามารถดูดซับแล้วพากลิ้งออกไปจากผิวชั้นเคลือบได้ดีเท่าผงทรายและผงดินดำ แต่จากการทดสอบชี้ให้เห็นว่าชั้นเคลือบที่เตรียมได้มีสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง



รูปที่ 4.13 (a-d) แผ่นกระจกที่เคลือบผิวที่เคลือบจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่ มาโรยผงที่ใช้ในการทดสอบชนิดต่าง ๆ a) ผงทราย b) ผงดินดำ c) ผงแกร์ไฟต์ และ d) ผงแป้งทาหน้า

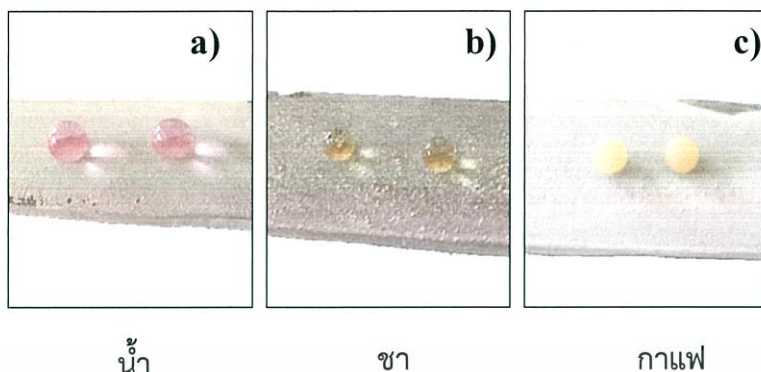
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



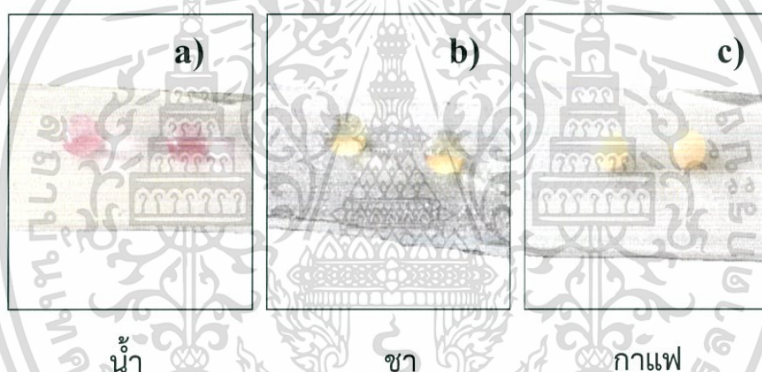
รูปที่ 4.14 (a-d) แผ่นกระจกที่เคลือบผิวที่เคลือบจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่ ผสมกับผงเปลือกไข่ในอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก 50:50 มาโรยผงที่ใช้ในการทดสอบชนิดต่าง ๆ a) ผงทราย b) ผงดินดำ c) ผงแกรไฟต์ และ d) ผงแป้งทาลูมินา

รูปที่ 4.15 และ 4.16 แสดงการทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่ และชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากเกรดการค้าผสมกับผงเปลือกไข่ในอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก 50:50 โดยการหยดของเหลวชนิดต่าง ๆ คือ ซา กาแฟ และน้ำย้อมสีด้วยสีย้อมโรดามีน บี (rhodamine B) ซึ่งจะให้สีชมพู เพื่อให้สามารถแยกสีของน้ำได้อย่างชัดเจน ลงบนผิวเคลือบ ผลที่ได้พบว่าหยดน้ำจะจับตัวกันเป็นทรงกลมที่กลิ้งตัวไปมา โดยไม่กระจายตัวและเปียกบนผิวชั้นเคลือบ ซึ่งแสดงถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของชั้นเคลือบที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงการทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยการหยดของเหลวชนิดต่าง ๆ ลงบนผิวชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่ที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (a) น้ำ (b) ชา และ (c) กาแฟ

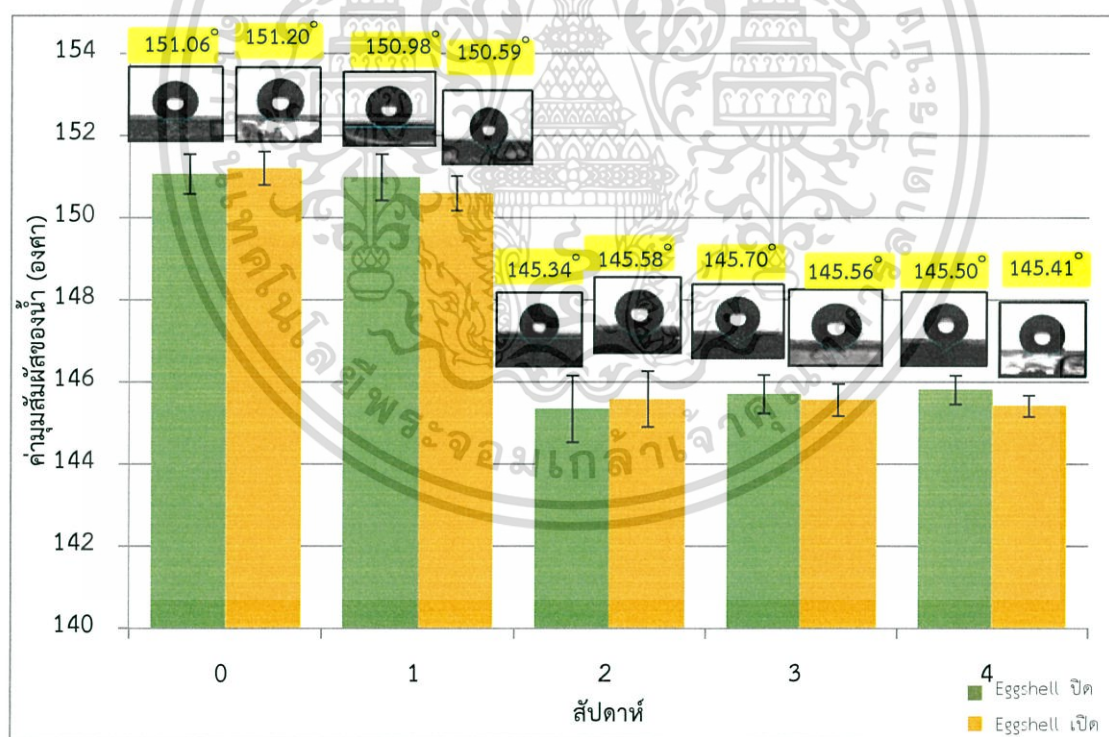


รูปที่ 4.16 แสดงการทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยการหยดของเหลวชนิดต่าง ๆ ลงบนผิวชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่ผสมกับเกรดการคั่วที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (a) น้ำ (b) ชา และ (c) กาแฟ

4.3.2 การศึกษาความคงทนต่อสิ่งแวดล้อมของชั้นเคลือบ

อายุการใช้งานและความคงทนของชั้นเคลือบ ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญต่อการนำไปใช้งานจริง เพื่อประเมินสมบัติดังกล่าวของชั้นเคลือบ โดยดูที่อิทธิพลของการสัมผัสกับบรรยากาศ 2 ลักษณะ คือ บรรยากาศปิดโดยเก็บใส่ภาชนะมีฝาปิด และบรรยากาศเปิดโดยเก็บใส่ในภาชนะที่เปิดฝาสัมผัสกับอากาศที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้ระยะเวลาทดสอบทั้งหมด 1 เดือน ซึ่งจะนำชั้นเคลือบมาวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในทุก ๆ 1 สัปดาห์ โดยผลจากชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่ ได้แสดงในรูปที่ 4.17 และตารางที่ 4.7 ส่วนผลจากชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากเกรดการคั่วผสมกับผงเปลือกไข่ในอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก 50:50 ได้แสดงในรูปที่ 4.18 และตารางที่ 4.8 ผลที่ได้พบว่า ได้ชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่ไม่ผ่านการคั่วใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และชั้นเคลือบที่เตรียมจากกรดการค้ำสมกับผงเปลือกไข่เมื่อเก็บไว้ในบรรยากาศทั้ง 2 แบบ มีแนวโน้มที่มีลักษณะที่คล้ายกันคือ มีค่ามุมสัมผัสของน้ำที่คงที่เมื่อเก็บไว้ 1 สัปดาห์ และมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 2 และคงที่หลังจากนั้น ส่วนการเก็บในบรรยากาศปิดและเปิด นั้นมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยประมาณ 2 องศา ในแต่ละสัปดาห์ โดยเมื่อเวลาผ่านไป 1 เดือน พบว่าชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่มีการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำจาก 151.06 ± 0.48 องศา เป็น 145.50 ± 0.35 องศา ในบรรยากาศปิด และจาก 151.20 ± 0.41 องศา เป็น 145.41 ± 0.26 องศา ในบรรยากาศเปิด ส่วนชั้นเคลือบที่เตรียมจากกรดการค้ำสมกับผงเปลือกไข่มีการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำจาก 162.83 ± 1.02 องศา เป็น 152.65 ± 0.25 องศา ในบรรยากาศปิด และจาก 161.7 ± 0.45 องศา เป็น 150.55 ± 0.31 องศา ในบรรยากาศเปิด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชั้นเคลือบยังแสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำที่ดีอยู่ เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 1 เดือน นอกจากนี้ชั้นเคลือบที่เตรียมชั้นทั้ง 2 แบบยังไม่หลุดลอกร่อนออกมาจากผิวกระจกเมื่อเวลาผ่านไป 1 เดือน จึงชี้ให้เห็นว่าชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่และชั้นเคลือบที่เตรียมจากกรดการค้ำสมกับผงเปลือกไข่นั้นมีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมและสามารถเก็บไว้ใช้งานได้ยาวนานถึง 1 เดือน

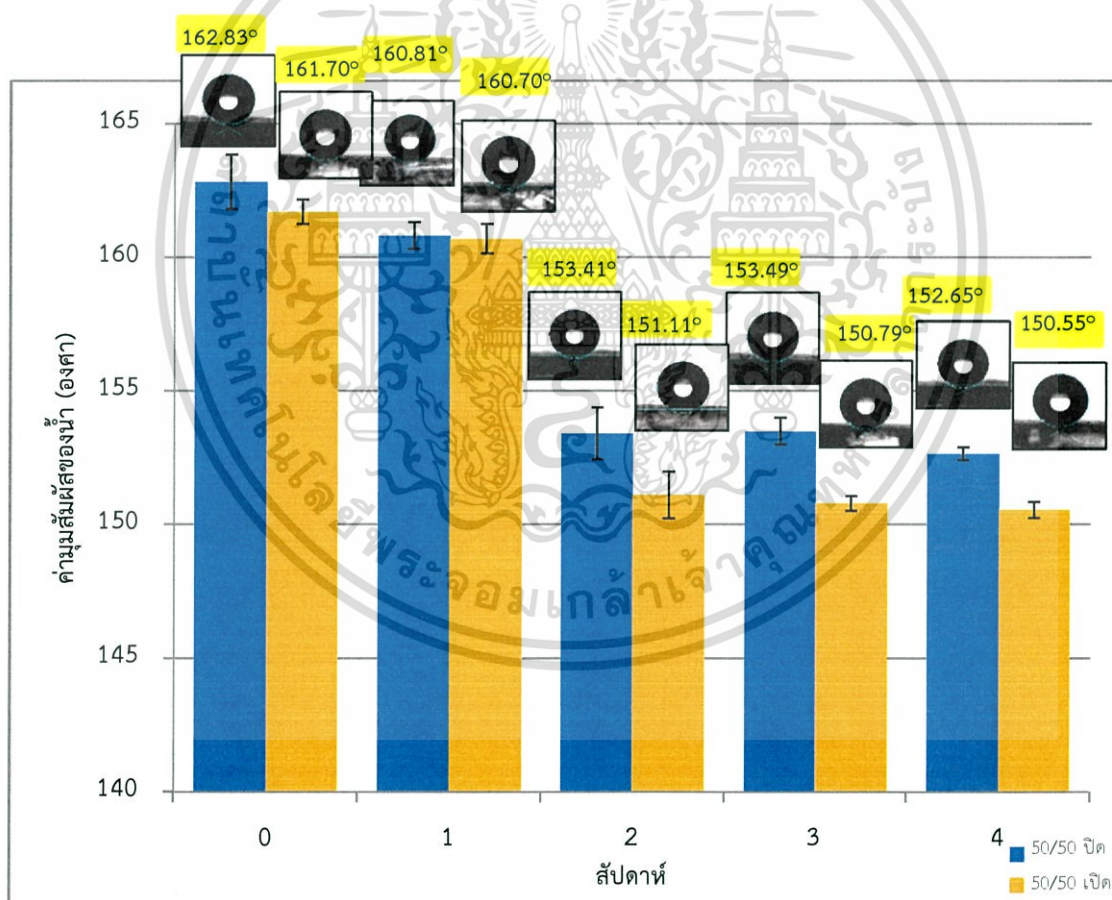


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่ในระยะเวลา 1 เดือนในบรรยากาศปิดและเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่ามุมสัมผัสของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่ในระยะเวลา 1 เดือนในบรรยากาศปิดและเปิด

สัปดาห์	ค่ามุมสัมผัสของน้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (องศา)	
	บรรยากาศปิด	บรรยากาศเปิด
0	150.98 \pm 0.48	150.59 \pm 0.41
1	150.98 \pm 0.56	150.59 \pm 0.42
2	145.34 \pm 0.81	145.58 \pm 0.68
3	145.70 \pm 0.47	145.56 \pm 0.39
4	145.80 \pm 0.35	145.41 \pm 0.26



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่ผสมกับเกรดการค้าในระยะเวลา 1 เดือนในบรรยากาศปิดและเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

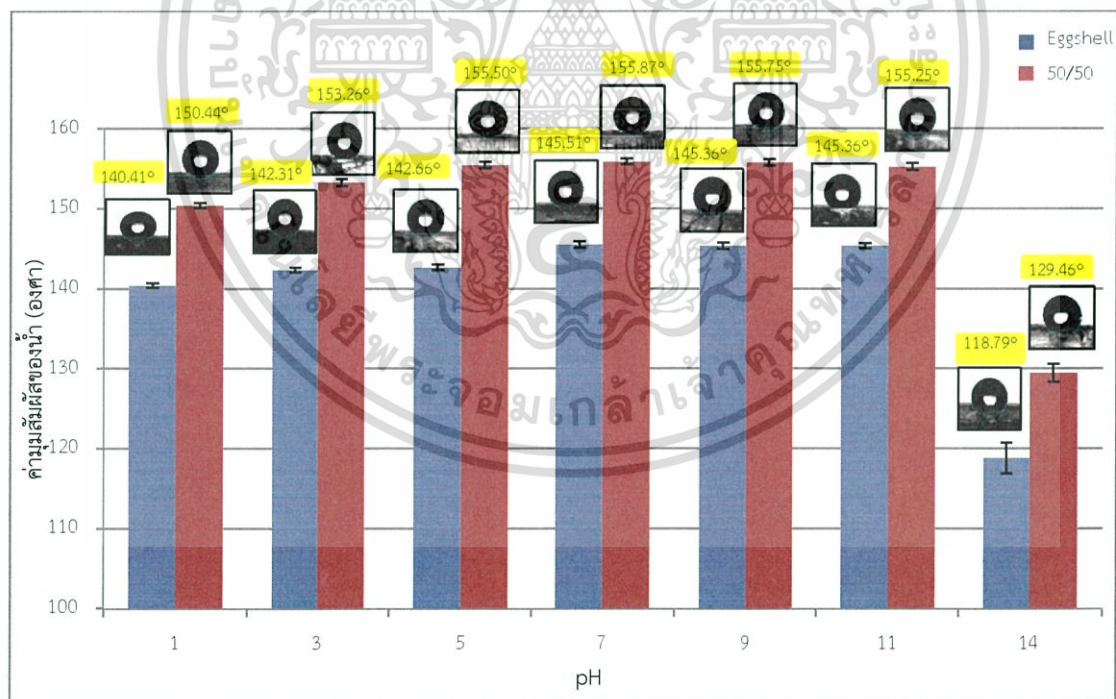
ตารางที่ 4.8 ค่ามัมสัมพัทธ์ของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่ผสมกับกรดการค้ำในระยะเวลา 1 เดือนในบรรยากาศปิดและเปิด

สัปดาห์	ค่ามัมสัมพัทธ์ของน้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (องศา)	
	บรรยากาศปิด	บรรยากาศเปิด
0	162.83 \pm 1.02	161.70 \pm 0.45
1	160.81 \pm 0.50	160.70 \pm 0.55
2	153.41 \pm 0.98	151.11 \pm 0.88
3	153.49 \pm 0.51	150.79 \pm 0.28
4	152.65 \pm 0.25	150.55 \pm 0.31

4.3.3 การศึกษาความคงทนของชั้นเคลือบต่อสภาวะกรด-เบส

เมื่อนำกระจกที่ผ่านการเคลือบผิวให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งวด ออกไปใช้งานจริง นอกจากชั้นเคลือบจะต้องสัมผัสกับบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลงแล้ว ยังต้องสัมผัสของเหลวหลากหลายชนิดที่มีสภาวะความเป็นกรด-เบสแตกต่างกัน เพื่อประเมินสมบัติความไม่ชอบน้ำของชั้นเคลือบ โดยดูที่อิทธิพลของการสัมผัสกับสารละลายในสภาวะกรด-เบสที่ pH แตกต่างกัน คือ 1, 3, 5, 7, 9, 11 และ 14 โดยนำกระจกที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากผงเปลือกไข่และชั้นเคลือบที่เตรียมได้จากกรดการค้ำผสมกับเปลือกไข่ในอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก 50:50 แล้วไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่ pH 1, 3 และ 5 ส่วนสารละลายเบสที่ใช้ คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ pH 9, 11 และ 14 และน้ำที่ pH 7 โดยแช่ไว้เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำขึ้นมาตากไว้จนแห้ง แล้วนำไปวัดค่ามัมสัมพัทธ์ของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.19 และตารางที่ 4.9 พบว่าชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจากผงเปลือกไข่และชั้นเคลือบที่เตรียมได้จากกรดการค้ำผสมกับเปลือกไข่ในอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก 50:50 มีการเปลี่ยนแปลงค่ามัมสัมพัทธ์ของน้ำหลังจากที่นำตัวอย่างไปแช่ในสารละลายที่ pH ต่าง ๆ ที่มีแนวโน้มเดียวกันคือ ชั้นเคลือบทั้ง 2 ชนิดจะมีค่ามัมสัมพัทธ์ของน้ำลดลงเล็กน้อยเมื่อนำไปแช่ในสารละลายในสภาวะกรดที่ pH เท่ากับ 1, 3 และ 5 และมีค่ามัมสัมพัทธ์ของน้ำคงที่เมื่อแช่ในสารละลายที่เป็นกลาง pH เท่ากับ 7 และสภาวะที่เป็นเบสที่ pH เท่ากับ 9 และ 11 แต่จะมีค่ามัมสัมพัทธ์ของน้ำลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อนำไปแช่ในสารละลายที่ pH เท่ากับ 14 โดยเมื่อนำชั้นเคลือบไปทำการทดสอบโดยการจุ่มขึ้นตัวอย่างลงไปในสารละลายในสภาวะกรด-เบส พบว่า บนชั้นเคลือบจะเกิดฟองอากาศและปรากฏเป็นชั้นสีเงินแวววาวปกคลุมบนชั้นเคลือบ ซึ่งชั้นสีเงินนี้คือ ชั้นพลาสตรอน (plastron layer) ซึ่งเกิดมาจากอากาศที่ถูกดักจับไว้ในโครงสร้างของชั้นเคลือบที่มีความขรุขระสูงในระดับนาโนเมตรและไมโครเมตร [36] โดยอากาศที่ติดอยู่นี้ทำหน้าที่เป็นชั้นฟิล์มป้องกันการเปียกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการเกาะติดของไอออนต่าง ๆ ซึ่งชั้นชั้นพลาสติกที่สร้างขึ้นบนชั้นเคลือบช่วยลดการสัมผัสกันระหว่างพื้นผิวของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตรียริกกับสารละลายชนิดต่าง ๆ จึงทำให้สามารถรักษาสมบัติความไม่ชอบน้ำอยู่ได้ โดยการที่ค่ามุมสัมผัสของน้ำมีค่าลดลงเล็กน้อยในสภาวะที่สัมผัสกับสารละลายกรด คาดว่าเนื่องจากชั้นเคลือบทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก คือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ระหว่างโปรตรอน (H^+) กับหมู่คาร์บอกซีเลต (COO^-) ของแคลเซียมสเตรียเรต ($(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$) จึงทำให้ชั้นเคลือบถูกทำลายสภาพทางเคมีที่ส่งผลให้สมบัติความไม่ชอบน้ำลดลง แต่ในสภาวะที่เป็นเบสสูง pH 14 ค่ามุมสัมผัสของน้ำมีค่าลดลงอย่างมาก คาดว่าเกิดมาจากที่อยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (Na^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) สูงจึงเกิดเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (saponification) ระหว่างไฮดรอกไซด์ไอออนที่มีความว่องไวมากกับหมู่คาร์บอกซีเลต (COO^-) ของแคลเซียมสเตรียเรต ($(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และโซเดียมสเตรียเรต ($(C_{17}H_{35}COO)_2Na$) ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ของแคลเซียมไฮดรอกไซด์นั้นแสดงสมบัติความชอบน้ำ จึงส่งผลให้สมบัติความไม่ชอบน้ำของชั้นเคลือบเสียไป ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำจึงลดลง โดยผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าชั้นเคลือบมีความคงทนต่อสภาวะความเป็นกรด-เบสที่ดีในช่วง pH 1-11



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่ามุมสัมผัสของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่และชั้นเคลือบผงเปลือกไข่ผสมกับกรดการค้าต่อความเป็นกรด-เบส ที่ค่า pH ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่ามุลสัมพัทธ์ของน้ำของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่และชั้นเคลือบผงเปลือกไข่ผสมกับเกรดการค้ำต่อความเป็นกรด-เบส

pH	ค่ามุลสัมพัทธ์ของน้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (องศา)	
	เปลือกไข่	เปลือกไข่ 50% / เกรดการค้ำ 50%
1	140.41 ± 0.30	150.44 ± 0.32
3	142.31 ± 0.28	153.26 ± 0.43
5	142.66 ± 0.33	155.50 ± 0.40
7	145.51 ± 0.41	155.87 ± 0.36
9	145.36 ± 0.38	155.75 ± 0.40
11	145.36 ± 0.30	155.25 ± 0.45
14	118.79 ± 1.96	129.46 ± 1.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาการเตรียมชั้นเคลือบบนผิวกระจกที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและเปลือกไข่ที่ผ่านวิธีการบดละเอียดด้วยลูกบดและแรงกล (mechanical ball milling) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนได้เป็นผงอนุภาคของเปลือกไข่ ซึ่งจากการตรวจสอบด้วยเทคนิค XRD และ FT-IR พบว่า เปลือกไข่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่มีวัฏภาคแบบแคลไซต์ จากนั้นนำมาปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยสารคู่ควบกรดสเตียริก (stearic acid) ซึ่งการศึกษาด้วยเทคนิค FT-IR พบหมู่ฟังก์ชันหมู่แอลคอกซีคาร์บอกซิเลต (alcoxy carboxylate; COO^-) ของสารประกอบเอสเทอร์ (ester) ที่แสดงให้เห็นว่าผงของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่บริเวณผิวถูกเปลี่ยนเป็นแคลเซียมสเตียเรต ($(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2\text{Ca}$) จากนั้นนำผงอนุภาคที่เตรียมได้นี้ มาเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายแขวนลอยโดยใช้ตัวประสานเป็นพอลิสไตรีน ($(\text{C}_8\text{H}_8)_n$, PS) แล้วจึงนำกระจกที่ทำการปรับปรุงผิวด้วยการกัดกรดปริ้นยามาเคลือบด้วยวิธีจุ่มดึงเพื่อให้เกิดการยึดเกาะของชั้นเคลือบบนผิวกระจก โดยได้ทำการศึกษาปัจจัยในการเตรียมชั้นเคลือบที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ซึ่งประกอบไปด้วย ผลของขนาดและรูปร่างของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเกรดการค้าและจากผงเปลือกไข่ ความเข้มข้นของสารละลายกรดสเตียริกที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีนที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ผงเปลือกไข่ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตนั้นสามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมชั้นเคลือบบนผิวกระจกได้เช่นเดียวกับอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเกรดการค้า โดยสถานะที่ทำให้ได้ชั้นเคลือบบนผิวกระจกที่เตรียมจากผงเปลือกไข่และชั้นเคลือบที่เตรียมจากแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้ากับผงเปลือกไข่ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 50:50 ที่แสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดสูงที่สุด คือ การปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเกรดการค้าและจากผงเปลือกไข่ด้วยสารละลายกรดสเตียริกที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลลาร์ และการใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายกรดสเตียริกต่อพอลิสไตรีนที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบในอัตราส่วน 4:1 สำหรับการเตรียมชั้นเคลือบจากผงเปลือกไข่ และอัตราส่วน 2:1 สำหรับการเตรียมชั้นเคลือบจากเกรดการค้ากับผงเปลือกไข่ ซึ่งสถานะที่ชั้นนี้ทำให้ได้ชั้นเคลือบที่มีการกระจายตัวของอนุภาคบนผิวกระจกได้อย่างทั่วถึงและมีความขรุขระสูง ทำให้มีค่ามุมสัมผัสของน้ำโดยเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 151.06 ± 0.48 องศา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 162.83 ± 1.02 องศา ของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่และชั้นเคลือบที่เตรียมจากเกรดการค้ำกับเปลือกไข่ ตามลำดับ จากการศึกษาด้วยเทคนิค SEM พบว่าพื้นผิวชั้นเคลือบทั้ง 2 ชนิดมีความขรุขระสูงเนื่องจากถูกเคลือบด้วยอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเกรดการค้ำที่มีรูปร่างก้อนทรงกลมประกอบจากแท่งแหลมยาว และผงเปลือกไข่ที่มีรูปร่างก้อนทรงเหลี่ยม และผลจากเทคนิค SPM พบว่าชั้นเคลือบทั้ง 2 ชนิดนี้มีความขรุขระบริเวณพื้นผิวสูงจึงเกิดช่องว่างให้อากาศแทรกตัวอยู่น้ำจึงซึมผ่านได้ง่าย จึงทำให้เกิดสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งวด โดยแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากผงเปลือกไข่นั้นมีความขนาดใหญ่และรูปร่างมีความขรุขระต่ำกว่าเกรดการค้ำ จึงทำให้เกิดความขรุขระระดับนาโนเมตร-ไมโครเมตรบนพื้นผิวของชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่ต่ำกว่าชั้นเคลือบที่เตรียมจากเกรดการค้ำกับเปลือกไข่ จึงทำให้ได้ค่ามุมสัมผัสของน้ำโดยเฉลี่ยต่ำกว่านั่นเอง เมื่อนำไปศึกษาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของชั้นเคลือบพบว่า ชั้นเคลือบที่เตรียมได้ทั้ง 2 ชนิดมีความสามารถในการทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning) มีความคงทนต่อการสัมผัสกับบรรยากาศ และสามารถเก็บรักษาไว้ใช้งานได้นานถึง 1 เดือน โดยที่สมบัติความไม่ชอบน้ำไม่ลดลงมากนัก และอีกทั้งยังมีความคงทนต่อสภาวะกรด-เบส ในช่วง pH 1-11 ที่ค่อนข้างดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาวิธีการเตรียมชั้นเคลือบที่เตรียมจากผงเปลือกไข่บนพื้นผิวของวัสดุชนิดอื่น เช่น ผ้า ไม้ ปูนซีเมนต์ กระเบื้องปูพื้นและกระเบื้องปูผนัง เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลายมากยิ่งขึ้น
- 2) ศึกษาวิธีการลดขนาดและปรับปรุงรูปร่างของผงเปลือกไข่ให้มีความขรุขระในระดับนาโนเมตร-ไมโครเมตรที่สูงขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งวด
- 3) ศึกษาวิธีการที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบและชนิดของตัวประสานที่ใช้ในการเตรียมสารแขวนลอย เพื่อให้ได้ชั้นเคลือบที่มีความแข็งแรง และทนทานต่อการขีดขูดมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีปิโตรเคมีและวัสดุ. 2558. Bio-based Materials จาก ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] Zeshan Hu and Yulin Deng, 2010. “Superhydrophobic Surface Fabricated from Fatty Acid-Modified Precipitated Calcium Carbonate” Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 49, No. 12, Pages 5625–5630
- [3] Retrieved November 13, 2016, from https://plus.google.com/+namtipwsw/posts/6bs7_vB8ceqe
- [4] Retrieved April 3, 2017, from http://www.physics.kmutt.ac.th/version2558/information2558/interested_topic_group/self_cleaning_leaf.html
- [5] Retrieved April 3, 2017, from <http://www.fuveszkert.u-szeged.hu/en/79-angol/109-lotus-fx.html>
- [6] Retrieved November 13, 2016, from <https://www.mtec.or.th/index.php/2013-05-29-09-06-21/2013-05-29-09-39-49/919->
- [7] Retrieved November 13, 2016, from <http://www.vcharkarn.com/varticle/43544>
- [8] Retrieved November 13, 2016, from <https://th.wikipedia.org/wiki/ภาวะการเปื่อย>
- [9] Retrieved November 13, 2016, from <https://www.dek-d.com/board/view/886122/>
- [10] Retrieved November 13, 2016, from <http://pirun.ku.ac.th/eggshell.html>
- [11] Retrieved November 13, 2016, from <https://th.wikipedia.org/wiki/Calciumcarbonate>
- [12] Retrieved January 22, 2017, from <https://www.chemipan.com/home/index.php/635-calcium-carbonate.html>
- [13] Retrieved November 13, 2016, from <http://www.research2biz.com/การใช้งานจริง...จากหิ้งสู่ห้าง>
- [14] Retrieved November 13, 2016, from <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tjst/article/viewFile/35520/29518>
- [15] Retrieved November 13, 2016, from <http://www.worldchemical.co.th/th/product-detail-42-Stearicacid>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [16] Retrieved November 13, 2016, from https://th.wikipedia.org/wiki/Myristic_acid.png
- [17] Retrieved November 14, 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Calcium_stearate
- [18] Hua Zhang, Xiaofei Zeng, Yongfeng Gao, Feng Shi, Pengyuan Zhang, and Jian-Feng Chen. “A Facile Method To Prepare Superhydrophobic Coatings by Calcium Carbonate” Research Center of the Ministry of Education for High Gravity Engineering and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing, 100029, People's Republic of China.
- [19] Liliana D’Alba, Darryl N. Jones², Hope T. Badawy, Chad M. Eliason¹ and Matthew D. Shawkey. 2014 “Antimicrobial properties of a nanostructured eggshell from a compost-nesting bird” The Journal of Experimental Biology, Pages 1116-1121
- [20] Manjusha Hariharan , Neethumol Varghese , Dr. A. Benny Cherian , Dr. P.V. Sreenivasan , Jenish Paul , Asmy Antony. K.A, October. 2014. “Synthesis and Characterisation of CaCO₃ (Calcite) Nano Particles from Cockle Shells Using Chitosan as Precursor” International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 4, Issue 10, Pages 1-5
- [21] Retrieved November 13, 2016, from <https://th.wikipedia.org/wiki/ภาวะการเปื่อย>
- [22] ณัชชา สุพานิช และคณะ. 2558. “การพัฒนาผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และสารคู่ควบเพื่อใช้ในการแยกน้ำมันจากน้ำ.” โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [23] กมลรัตน์ มุลตรีบุตร และคณะ. 2558. “การพัฒนาวัสดุตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยอนุภาคซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว.” โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [24] Retrieved November 14, 2016, from

[http://www.jeolusa.com/PRODUCTS/ScanningElectronMicroscopes\(SEM\)/SEM-FIB/JIB-4600FMultiBeam/tabid/543/Default.aspx](http://www.jeolusa.com/PRODUCTS/ScanningElectronMicroscopes(SEM)/SEM-FIB/JIB-4600FMultiBeam/tabid/543/Default.aspx)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [25] Retrieved November 14, 2016, from
<http://www.science.kmitl.ac.th/links/tools/index.php?page=tools>
- [26] Retrieved November 14, 2016, from
<http://www.shimadzu.com/an/ftir/support/tips/letter4/validation.html>
- [27] Retrieved November 14, 2016, from
<https://th.wikipedia.org/wiki/กล้องจุลทรรศน์-อิเล็กทรอนิกส์แบบส่องผ่าน>
- [28] Retrieved November 14, 2016, from
http://www.nanotec.or.th/th/?page_id=569
- [29] Retrieved November 14, 2016, from
<http://science.kmutt.ac.th/sic/index.php/physics/16-x-ray-driffraction>
- [30] Retrieved November 14, 2016, from
<https://imagej.nih.gov/ij/docs/concepts.html>
- [31] Retrieved May 19, 2017, from
<http://thesis.grad.chula.ac.th/readfile1.php?fn=ab5270526921.docx>
- [32] Retrieved May 19, 2017, from
<http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C471341&Mask=80>
- [33] Retrieved May 19, 2017, from
<http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C57114&Type=IR-SPEC&Index=1>
- [34] Xuetao Shi, Roberto Rosa and Andra Lazzeri. “On the Coating of Precipitated Calcium Carbonate with Stearic Acid in Aqueous Medium” Department of Chemical Engineering, Industrial Chemistry and Materials Science, University of Pisa, via Diotisalvi 2, 56126 Pisa, Italy, *Lamuir* 2010, 26(11) , 8474-8482
- [35] Shunli Zheng , Cheng Li a , Qitao Fub, Min Li a, Wei Hua, QiWanga, Mengping Du a, Xingchen Liu a, Zhong Chen. “Fabrication of self-cleaning superhydrophobic surface on aluminum alloys with excellent corrosion resistance”
- [36] Retrieved May 19, 2017, from
<http://math.mit.edu/~bush/?p=917>, Underwater breathing via plastron respiration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

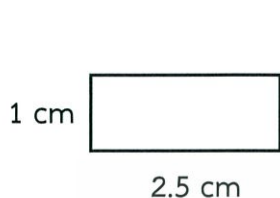


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1) การเตรียมกระจกที่ใช้ในการเคลือบผิว

กระจกที่ใช้เคลือบผิว



ขนาด 1×2.5 cm

คิดเป็นพื้นที่ 2.5 cm^2

ในการเตรียมชั้นเคลือบจุ่มตั้งกระจกครั้งละ 1 แผ่น

คิดเป็นพื้นที่ = 2.5 cm^2

ใช้ปริมาณผงแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย

กรดสเตียริก 0.4 g คิดเป็น 0.16 g ต่อพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร

2) การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ

สารเคมีที่ใช้

แคลเซียมคาร์บอเนต

(calcium carbonate ; CaCO_3)

มวลโมเลกุล 100.087 g/mol ความหนาแน่น 2.71 g/ml

ความบริสุทธิ์ 98 %

กรดสเตียริก

(stearic acid; $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$)

มวลโมเลกุล 284.48 g/mol ความหนาแน่น 0.9408

g/ml ความบริสุทธิ์ 98 %

เฮกเซน (Hexane; C_6H_{14})

มวลโมเลกุล 86.18 g/mol ความหนาแน่น 0.6548 g/ml

ความบริสุทธิ์ 98.5 %

น้ำ (water; H_2O)

มวลโมเลกุล 18.00 g/mol ความหนาแน่น 1 g/ml

สูตรการคำนวณอัตราส่วนโมล

$$D = \frac{m}{V} \text{ หรือ } m = DV$$

$$\text{mol} = \frac{g}{\text{MW}} = \frac{DV}{\text{MW}} = \frac{CV}{1000}$$

โดย D คือ ความหนาแน่นของสาร หน่วยเป็น กรัมต่อมิลลิลิตร

M คือ น้ำหนักของสาร หน่วยเป็น กรัม

V คือ ปริมาตรของสาร หน่วยเป็น มิลลิลิตร

MW คือ มวลโมเลกุลของสาร หน่วยเป็น กรัมต่อโมล

C คือ ความเข้มข้นของสาร หน่วยเป็น โมลต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

จากสภาวะการเตรียมอนุภาคซิลิกาแคลเซียมสเตียเรตที่อ้างอิงจากงานวิจัยของ Zeshan Hu และคณะ [4] ที่ใช้ผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต 20 กรัม กระจายตัวในน้ำกลั่น 45 มิลลิลิตร และปั่นกวนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมกรดโอเลอิก 0.4222 กรัมลงไป ปั่นกวนผสม 30 นาที จากนั้นนำตะกอนที่ได้ไปอบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สำหรับการปรับปรุงผิวด้วยกรดสเตียริกทำเหมือนกันโดยเปลี่ยนเพียงการละลายกรดสเตียริกในเฮกเซน จากนั้นจึงใส่ผงแคลเซียมคาร์บอเนต 20 กรัมลงไปปั่นกวนผสม 30 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วระเหยตัวทำละลายออก จึงได้นำมาคำนวณปริมาตรของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบ ดังนี้ คือ

เตรียมสารละลายกรดสเตียริก

ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์

$$g = \frac{CV}{1000} \times MW = \frac{2 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \times 30 \text{ mL} \times 284.48 \text{ g/mol}}{1000 \text{ mL/L}} = 0.0171 \text{ g}$$

ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์

$$g = \frac{CV}{1000} \times MW = \frac{5 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \times 30 \text{ mL} \times 284.48 \text{ g/mol}}{1000 \text{ mL/L}} = 0.0427 \text{ g}$$

ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์

$$g = \frac{CV}{1000} \times MW = \frac{10 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \times 30 \text{ mL} \times 284.48 \text{ g/mol}}{1000 \text{ mL/L}} = 0.0853 \text{ g}$$

ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์

$$g = \frac{CV}{1000} \times MW = \frac{20 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \times 30 \text{ mL} \times 284.48 \text{ g/mol}}{1000 \text{ mL/L}} = 0.1707 \text{ g}$$

ดังนั้น จะได้ปริมาณความเข้มข้นของกรดสเตียริก ดังนี้ ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ ซึ่ง 0.0171 กรัม, ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ ซึ่ง 0.0427 กรัม, ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ซึ่ง 0.0853 กรัม, ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ซึ่ง 0.1707 กรัม ละลายในสารละลายเฮกเซน 30 มิลลิลิตร แล้วใส่ผงแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปปั่นกวนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วระเหยเฮกเซนออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาปริมาณที่ต้งชั่งของแคลเซียมคาร์บอเนต

จากการใช้กรดสเตรียริก 0.0211 กรัม ผสมกับผงแคลเซียมคาร์บอเนต 1 กรัม

ดังนั้น จะใช้กรดสเตรียริก 0.0171 กรัม ผสมกับผงแคลเซียมคาร์บอเนต $\frac{0.0171 \times 1}{0.0211} = 0.8104 \text{ g}$

ดังนั้น จะได้ปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบจากอนุภาคผงแคลเซียมคาร์บอเนต คือ ปริมาณผงแคลเซียมคาร์บอเนต 0.8104 กรัม หลังจากนั้นจึงปรับเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นกรดสเตรียริกด้วยการคำนวณข้างต้น หรือ ดังตารางที่ 3.2 โดยการปรับเปลี่ยนตามอัตราส่วนตามแนวคิดที่ได้อ้างอิงจากงานวิจัยของ Zeshan Hu และคณะ [4]

3) การเตรียมสารละลายในสภาวะกรด - เบส

เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก pH 1, 3 และ 5

สารละลายไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 35.4 %w/w

ความหนาแน่น 1.2 g/mL

$$M = \frac{\% \times 10 \times d}{MW} = \frac{35.4 \times 10 \times 1.2}{36.5} = 11.64 \text{ mol/L}$$

pH = 1

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = \frac{1 \times 10^{-1} \times 50}{11.64} = 0.4296 \text{ mL}$$

pH = 3

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = \frac{1 \times 10^{-3} \times 50}{11.64} = 0.0042 \text{ mL}$$

pH = 5

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = \frac{1 \times 10^{-5} \times 50}{11.64} = 4.295 \times 10^{-5} \text{ mL}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ pH 9, 11 และ 14

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5 M

$$\text{pH} = 9$$

$$\text{pOH} = 5 \rightarrow [\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-5}$$

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$10 \times V_1 = 1 \times 10^{-5} \times 50$$

$$V_1 = \frac{1 \times 10^{-5} \times 50}{10} = 5 \times 10^{-5} \text{ mL}$$

$$\text{pH} = 11$$

$$\text{pOH} = 3 \rightarrow [\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-3}$$

$$V_1 = \frac{1 \times 10^{-3} \times 50}{5 \times 10^{-1}} = 0.1 \text{ mL}$$

$$\text{pH} = 14$$

$$\text{pOH} = 0 \rightarrow [\text{OH}^-] = 1$$

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

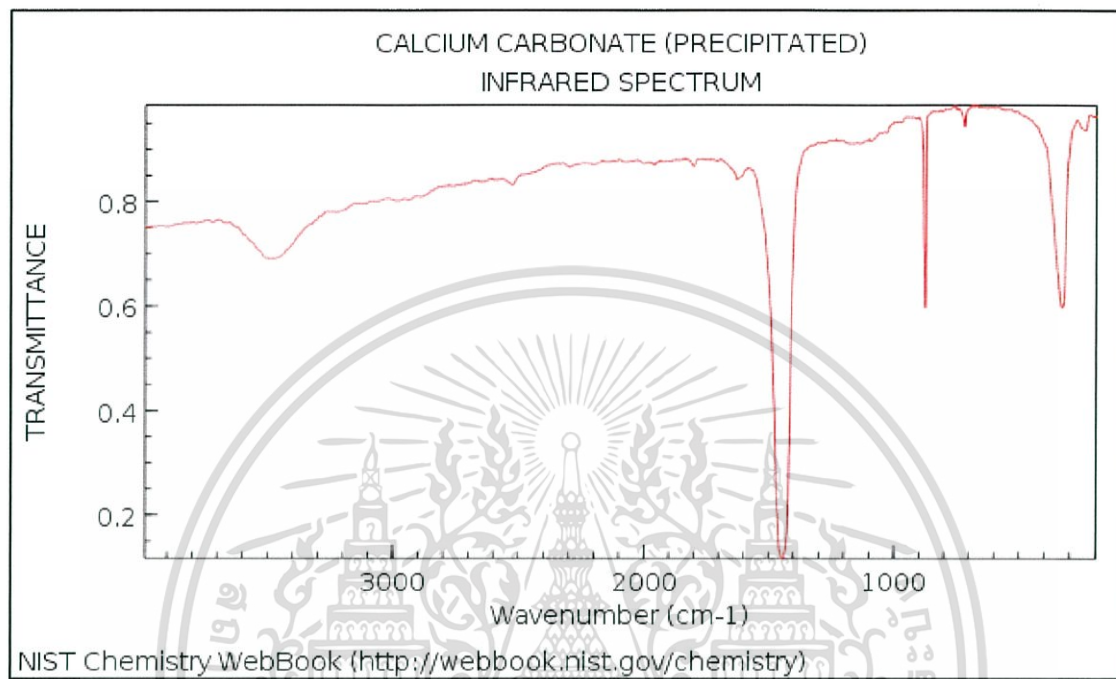
$$10 \times V_1 = 1 \times 50$$

$$V_1 = \frac{1 \times 50}{10} = 5 \text{ mL}$$

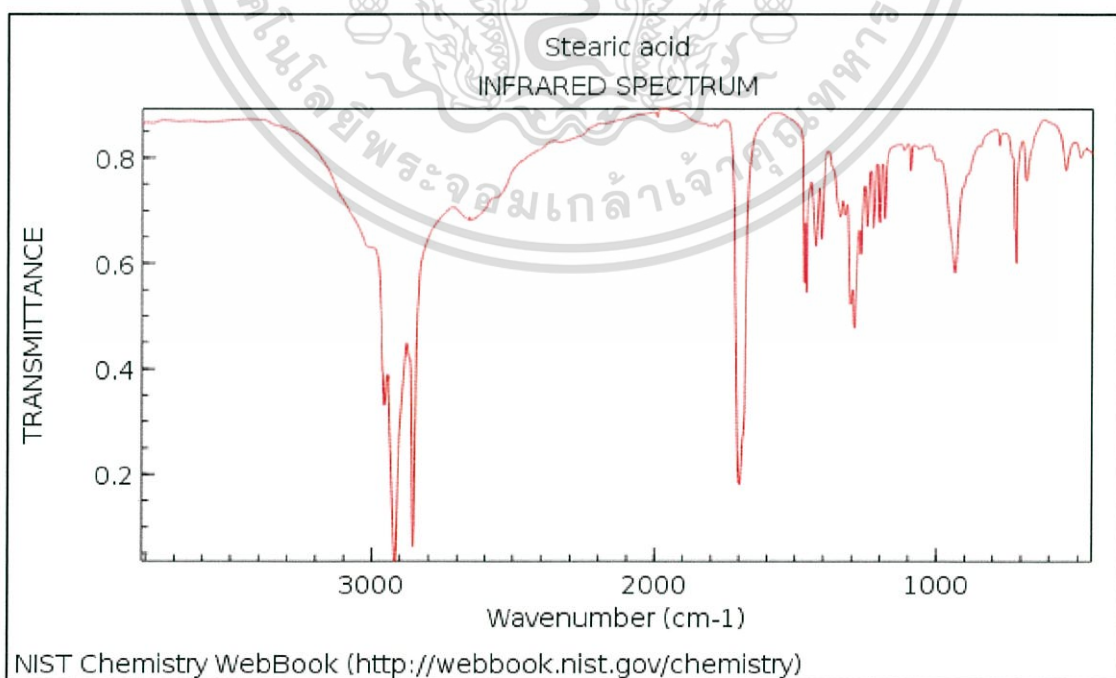
ดังนั้น ใส่สารละลายที่คำนวณได้ข้างต้นในขวดปริมาตร 50 mL แล้วปรับปริมาตรโดยการเติมน้ำกลั่น

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR

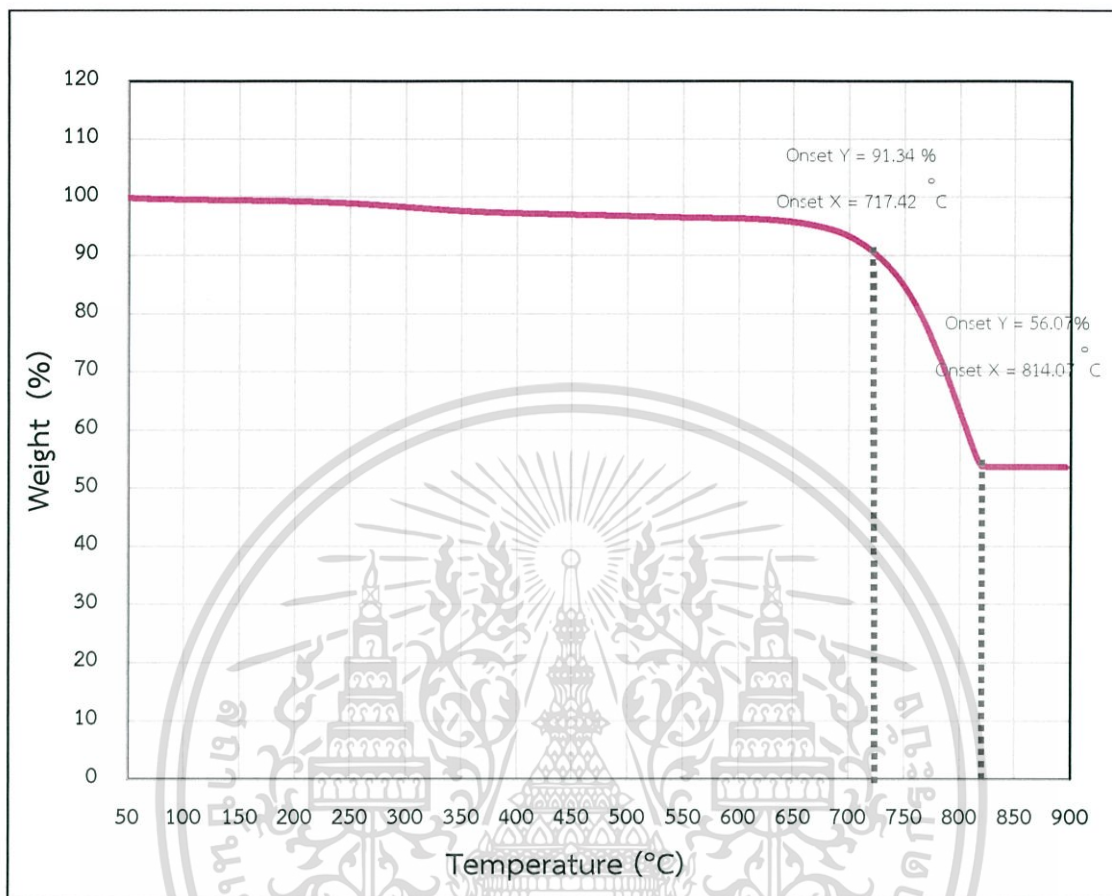


รูปแสดงการวิเคราะห์ FT-IR มาตรฐานของแคลเซียมคาร์บอเนต [32]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สรุปผลการวิเคราะห์ FT-IR มาตรฐานของกรดสเตียริก [33] ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

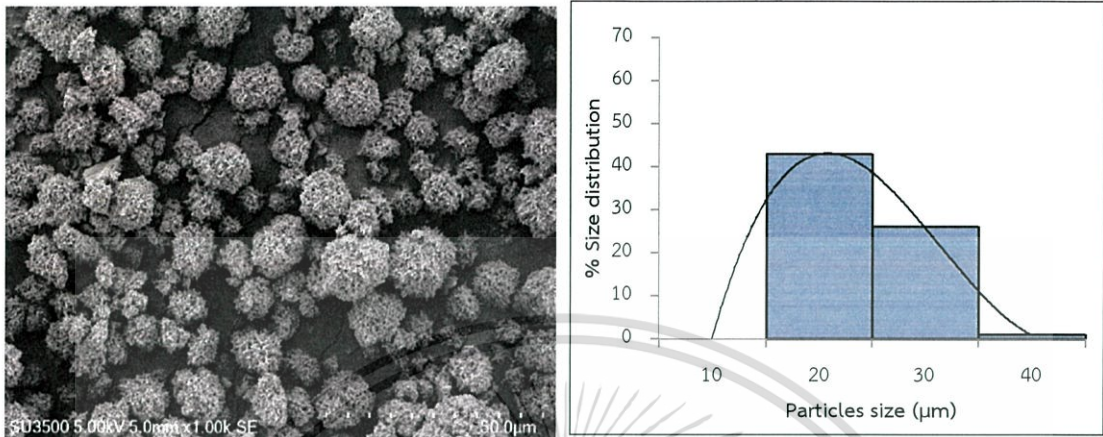
ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA



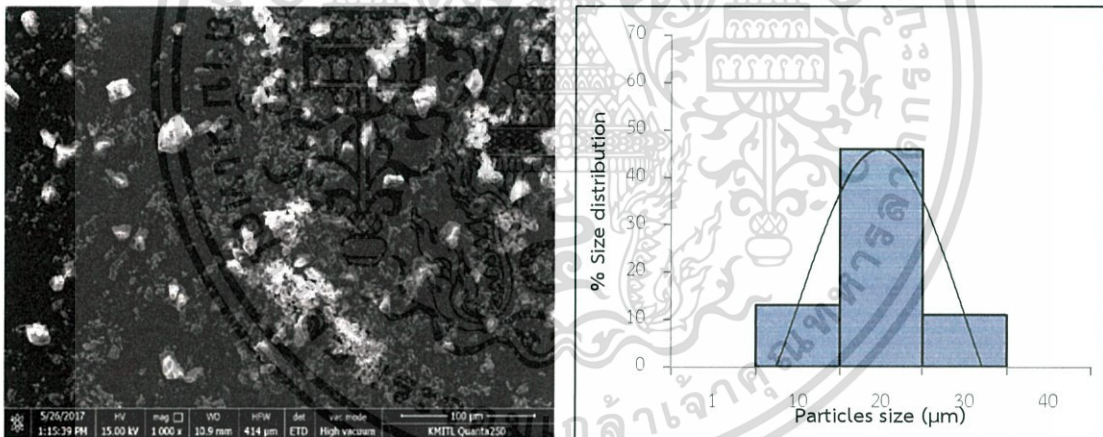
รูปแสดงผลการวิเคราะห์ TGA ของผงเปลือกไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM และการหาขนาดอนุภาคด้วยโปรแกรม Image J [23] และหาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel [23]

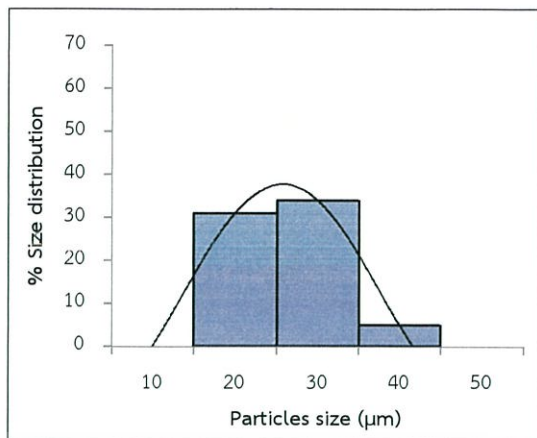
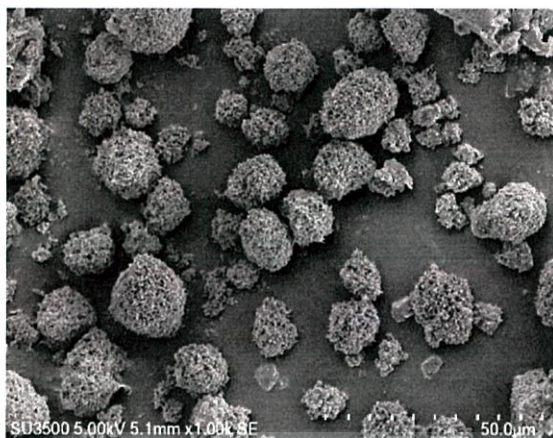


ภาพ SEM ของผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเกรดการค้าที่กำลังขาย 1000 บาท และกราฟการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุ

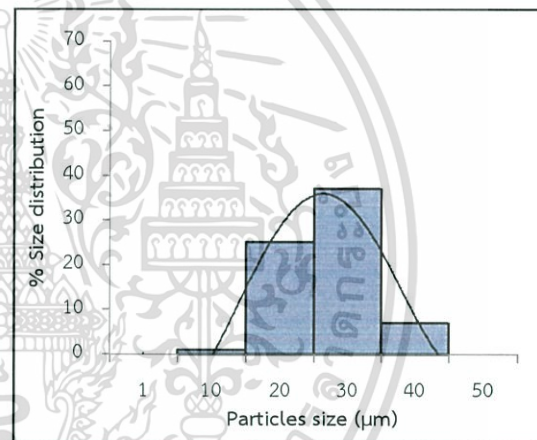
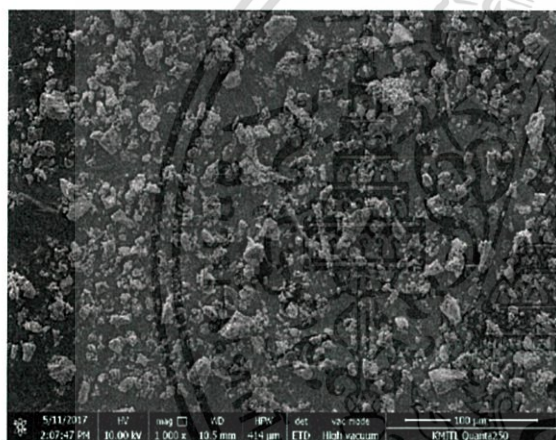


ภาพ SEM ของผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ ที่กำลังขาย 1000 บาท และกราฟการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

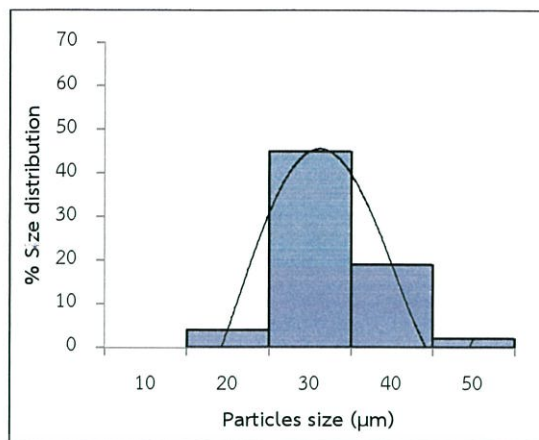
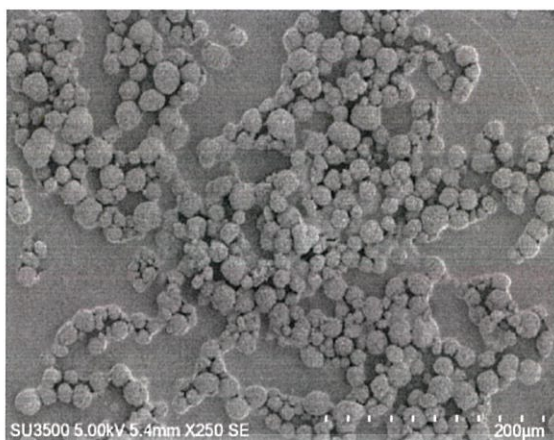


ภาพ SEM ของผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเกรดการค้าที่ถูกปรับปรุงด้วยกรดสเดียริกที่กำลังขยาย 1000 เท่า และกราฟการกระจายตัวของของอนุภาคของวัสดุ

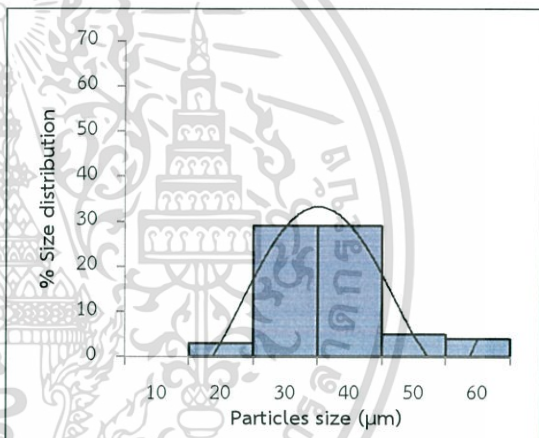
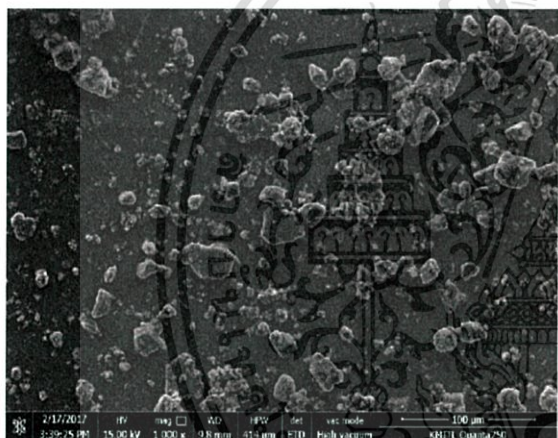


ภาพ SEM ของผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ที่ถูกปรับปรุงด้วยกรดสเดียริกที่กำลังขยาย 1000 เท่า และกราฟการกระจายตัวของของอนุภาคของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

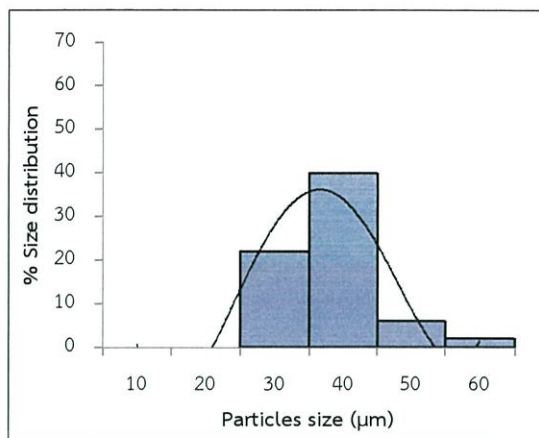
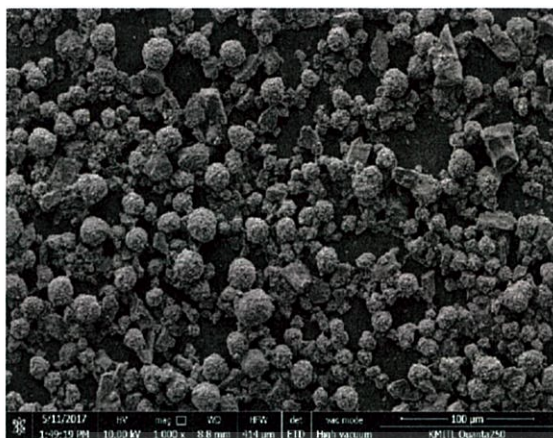


ภาพ SEM ของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้ผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเกรดการค้า ที่กำลังขยาย 250 เท่า และกราฟการกระจายตัวของของอนุภาคของวัสดุ

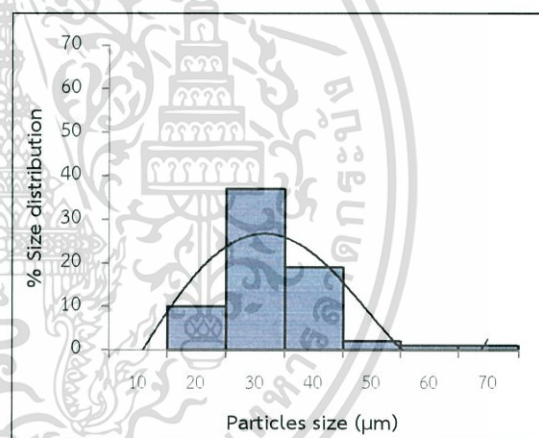
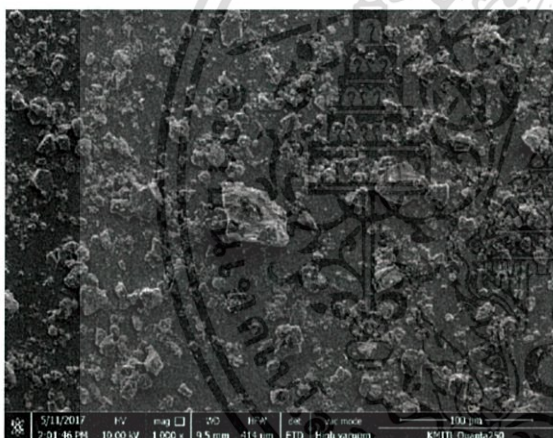


ภาพ SEM ของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้ผงอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกไข่ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า และกราฟการกระจายตัวของของอนุภาคของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

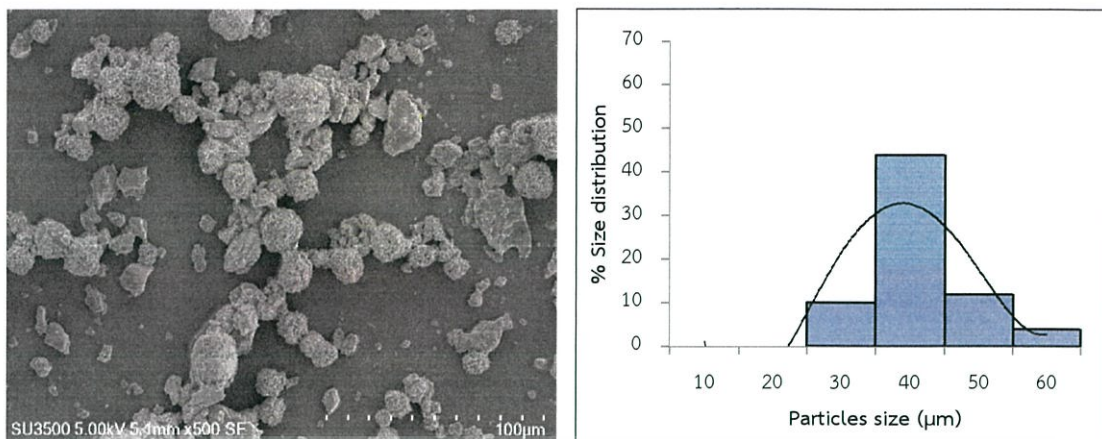


ภาพ SEM ของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้ผงแคลเซียมคาร์บอเนตเกรดการค้าและผงเปลือกไข่ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 50:50 ที่กำลังขยาย 1000 เท่า และกราฟการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุ



ภาพ SEM ชั้นเคลือบบนผิวกระจกที่เคลือบด้วยผงอนุภาคแคลเซียมสเตียเรตที่สังเคราะห์จากเปลือกไข่ ที่ปริมาณความเข้มข้น 10 มิลลิโมลลาร์ ที่กำลังขยาย 500 เท่า และกราฟการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

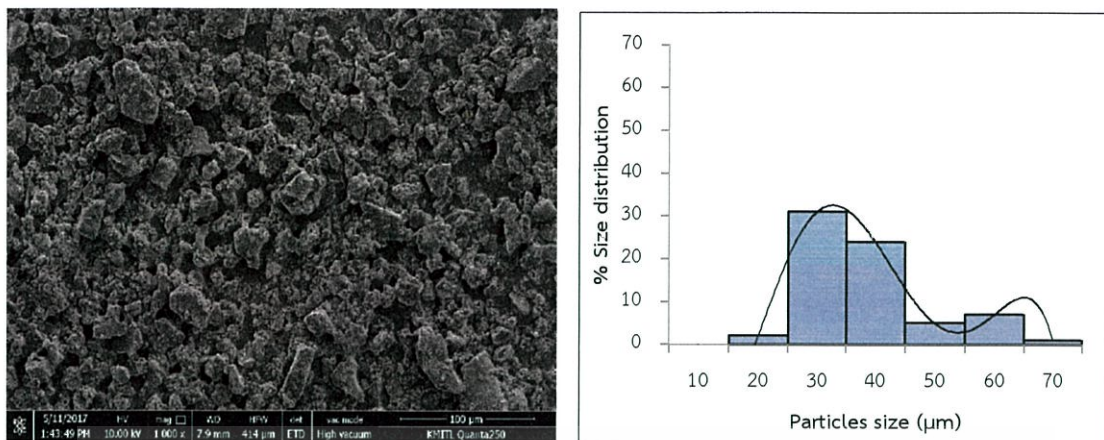


ภาพ SEM ชั้นเคลือบบนผิวกระจกที่เคลือบด้วยผงอนุภาคแคลเซียมสเตียเรตที่สังเคราะห์จากแคลเซียมคาร์บอเนตการค้า ที่ปริมาณความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ ที่กำลังขยาย 500 เท่า และกราฟการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุ

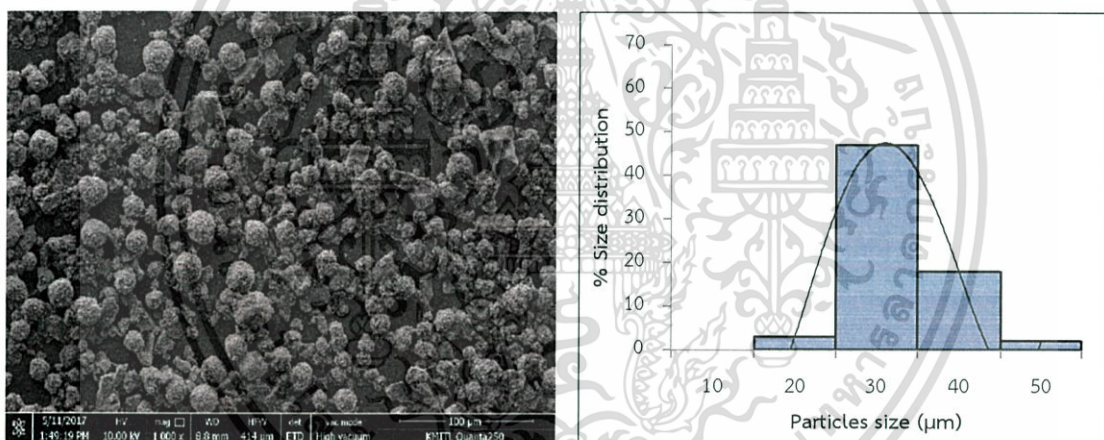


ภาพ SEM ชั้นเคลือบบนผิวกระจกที่เคลือบด้วยผงอนุภาคแคลเซียมสเตียเรตที่สังเคราะห์จากแคลเซียมคาร์บอเนตการค้า ที่ปริมาณความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ที่กำลังขยาย 1000 เท่า และกราฟการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพ SEM ชั้นเคลือบบนผิวกระจกที่เคลือบจากอัตราส่วน 4:1 โดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อพอลิเอทิลีน ที่กำลังขยาย 1000 เท่า และกราฟการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุ



ภาพ SEM ชั้นเคลือบบนผิวกระจกที่เคลือบจากอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนักของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตจากเกรตการค้าที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกต่อพอลิเอทิลีน ที่กำลังขยาย 1000 เท่า และกราฟการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้