

การพัฒนาอิฐก่อผนังตกแต่งที่มีคุณสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา
ตะไคร่ และไม่ชอบน้ำ

DEVELOPMENT OF ANTIFUNGAL ANTIALGAL AND
HYDROPHOBIC PROPERTIES OF DECORATED CLAY
BASED BRICK



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2561
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF ANTIFUNGAL ANTIALGAL AND
HYDROPHOBIC PROPERTIES OF DECORATED CLAY
BASED BRICK



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2018
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



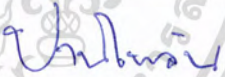
หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาอิฐก่อผนังตกแต่งที่มีคุณสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา ตะไคร่ และไม่ชอบน้ำ
Development of Antifungal, Antialgal and Hydrophobic Properties of Decorated Clay Based Brick

ชื่อนักศึกษา นายศักรินทร์ บัวเขียว รหัสนักศึกษา 58050549
นางสาวสุภาวิณี พานิช รหัสนักศึกษา 58050563

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี

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

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.นราธิป วิทยาการ ประธานกรรมการ	
ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการ	
ผศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาอัญมณีที่มีคุณสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา ตะไคร่ และไม่ชอบน้ำ		
ชื่อนักศึกษา	นายศักรินทร์ บัวเขียว รหัสนักศึกษา 58050549		
	นางสาวสุภาวิณี พานิช รหัสนักศึกษา 58050563		
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2561		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการพัฒนาอัญมณีตกแต่งให้มีสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา ตะไคร่ และไม่ชอบน้ำ โดยทำการเคลือบอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน (silver nanoparticles; AgNPs) ลงบนอัญมณีตกแต่ง โดยทำการสังเคราะห์ AgNPs ด้วยปฏิกิริยารีดักชันทางเคมี (chemical reduction) โดยใช้พอลิสไตรีนซัลโฟนิคโคมาเลอิกแอซิด (poly(4-styrene-sulfonic acid co-maleic acid)sodium salt; CoPSS) เป็นสารรักษาเสถียรภาพ (stabilizing agent) ที่ความเข้มข้น 0.01, 0.1 และ 1 mM จากการศึกษาขนาดอนุภาคด้วย TEM พบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 11, 6 และ 6 nm ตามลำดับ และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) อยู่ในช่วง 393-400 nm และพบว่าสารคอลลอยด์ AgNPs มีเสถียรภาพที่ดีเมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 สัปดาห์ เมื่อทำการจัดเก็บไว้ในที่มืดที่ 4 องศาเซลเซียส โดย AgNPs ที่สังเคราะห์ได้จะถูกนำมาเคลือบลงบนอัญมณีตกแต่งด้วยวิธีจุ่มเคลือบ (immersion) จำนวน 10 ชั้น และแบบชั้นต่อชั้น (layer-by-layer; LBL) จำนวน 3 ชั้น จากนั้นจึงทำการเคลือบสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ซึ่งเตรียมได้จากการผสมพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (polydimethylsiloxane; PDMS) กับเฮกเซน (hexane) ในอัตราส่วนโดยปริมาตร 50 : 50 เคลือบจำนวน 1 ชั้น หลังจากการเคลือบพบว่าค่าการดูดซึมน้ำลดลงจากร้อยละ 10.9 เป็นร้อยละ 0.7 มีค่ามุมสัมผัสของน้ำเป็น 132 ± 1 องศา เมื่อนำไปทดสอบความทนทานต่อสภาพอากาศเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าค่ามุมสัมผัสของน้ำเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ตัวอย่างยังแสดงสมบัติยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) และ *Escherichia coli* (*E. coli*) และสามารถต้านทานการเกิดเชื้อรา และตะไคร่ได้เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คำสำคัญ : อัญมณีตกแต่ง ซิลเวอร์นาโน จุ่มเคลือบ เคลือบชั้นต่อชั้น สมบัติไม่ชอบน้ำที่มีการนำไปใช้

Title	Development of Antifungal, Antialgal and Hydrophobic Properties of Decorated Clay Based Brick
Students	Mr. Sakkarin Buakeaw Student ID 58050549 Miss. Supavinee Panich Student ID 58050563
Degree	Bachelor of Science in Industrial Chemistry
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic	Year 2018
Advisor	Asst. Prof. Dr. Panpailin Seeharaj
Co-advisor	Asst. Prof. Dr. Ekarat Detsri

Abstract

This special project studied the development of antifungal, antialgal and hydrophobic properties of decorated clay-based brick. Firstly, silver nanoparticles (AgNPs) were synthesized by chemical reduction with 0.01, 0.1 and 1 mM of poly (4-styrene sulfonic acid co-maleic acid) sodium salt (CoPSS) as stabilizing agent. Transmission electron microscopy (TEM) study showed that the average particle size was 11, 6 and 6 nm when using CoPSS at 0.01, 0.1 and 1 mM, respectively. The AgNPs showed characteristic absorption at λ_{\max} of 393 to 400 nm. The colloidal AgNPs stored in the dark at 4 °C exhibited the best long-term stability. Then, AgNPs was coated onto decorated clay-based brick by immersion coating and layer-by-layer techniques followed by coating with a mixture of polydimethylsiloxane and hexane (50 : 50, v/v) to induce hydrophobic property. After coating, water absorption of brick decreased from 10.9 to 0.7 % and water contact angles was $132 \pm 1^\circ$. Accelerated weathering test revealed that the water contact angle changed slightly after 6 weeks. In addition, the samples showed antifungal, antialgal properties and antibacterial activity against *S. aureus* and *E. coli*.

Keywords: decorated clay-based brick, silver nanoparticles, surface coating, layer by layer, hydrophobic property

เอกสารนี้เป็นงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช อาจารย์ที่ปรึกษาและ ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการพิเศษฉบับนี้ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษาที่ดี ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ สอนทักษะในการทำงานและคอยเอาใจใส่ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.นราธิป วิทยากร ประธานกรรมการและ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการโครงการพิเศษในการให้คำปรึกษาและแนะนำเทคนิคต่าง ๆ ในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ ให้

ขอขอบพระคุณพี่นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์และสารเคมี รวมถึงการใช้งานเครื่องมือต่าง ๆ ตลอดจนเอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกในการทดลอง

ขอขอบพระคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ ทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ ให้สามารถดำเนินโครงการพิเศษนี้ผ่านไปได้ด้วยดี

ศักรินทร์ บัวเขียว
สุภาวิณี พานิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1.1 อีฐก่อกองผนังตกแต่ง.....	5
2.1.2 อนุภาคซิลเวอร์นาโน.....	5
2.1.2.1 กลไกการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของซิลเวอร์นาโน.....	6
2.1.2.2 การสังเคราะห์ห่อนอนุภาคซิลเวอร์นาโน.....	7
2.1.3 สมบัติความไม่ชอบน้ำ.....	9
2.1.3.1 ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว (Lotus effect).....	9
2.1.3.2 สมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic property)	10
2.1.3.3 การเตรียมพื้นผิวที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยจุ่มเคลือบ PDMS	12
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.2.1 การเคลือบชั้นต่อชั้นด้วยซิลเวอร์นาโนโดยวิธีการสังเคราะห์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม บนตัวกรองอากาศพอลิเอสเตอร์และมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ (layer-by-layer deposition of green synthesised silver nanoparticles on polyester air filters and its antimicrobial activity)	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2 การตรวจจับสีของกลูตาไธโอนโดยใช้กรดพทาสิกช่วยในการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน (Colorimetric detection of glutathione based on phthalic acid assisted synthesis of silver nanoparticles).....	19
2.2.3 การประยุกต์ใช้การเคลือบที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดแบบโปร่งใสต่ออิฐบล็อกประสานเพื่อลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Transparent superhydrophobic coating application to the interlocking clay block for the microbial growth mitigation)	22
2.2.4 ผ้าที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดที่มีความแข็งแรงและสามารถคืนสภาพตัวเองได้ โดยเตรียมจากการเคลือบหนึ่งชั้นตอนด้วย PDMS และ Octadecylamine (Robust, Self-Healing Superhydrophobic Fabrics Prepared by One-Step Coating of PDMS and Octadecylamine).....	25
2.2.5 การผลิตกระเบื้องมุงหลังคาที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (Producing superhydrophobic roof tiles).....	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	30
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	31
3.3 วิธีการทดลอง.....	31
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างอิฐก่อผนังตกแต่ง.....	31
3.3.2 การเตรียมสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน.....	32
3.3.3 การเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนบนผิวอิฐก่อผนังตกแต่ง.....	33
3.3.3.1 การเคลือบด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ.....	33
3.3.3.2 การเคลือบด้วยวิธีแบบชั้นต่อชั้น (layer-by-layer).....	34
3.3.3.2.1 การปรับสภาพพื้นผิวอิฐก่อผนังตกแต่งให้มีประจุบวก....	34
3.3.3.2.2 การเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนบนผิวอิฐก่อผนังตกแต่ง	35
3.3.4 การเคลือบชั้นเคลือบที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดบนอิฐตกแต่ง.....	37
3.3.4.1 ศึกษาอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรระหว่าง PDMS : hexane.....	37
3.3.4.2 การเคลือบสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำลงบนอิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน.....	38
3.3.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของอิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโนและสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ.....	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5.1 การศึกษาสมบัติต้านทานการเกิดแบคทีเรีย.....	38
3.3.5.2 การศึกษาสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา.....	39
3.5.5.3 การศึกษาสมบัติต้านทานการเกิดตะไคร่.....	39
3.5.5.4 การศึกษาสมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง.....	39
3.5.5.5 การศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศของชั้นเคลือบ.....	39
3.5.5.5.1 การศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศในสภาวะจริง..	39
3.5.5.5.2 การศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศในสภาวะ จำลอง.....	39
3.5.5.6 ศึกษาค่าธรรมเนียมการดูดซึมน้ำของอิฐ.....	40
3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์และสมบัติของอิฐก่อผนังตกแต่งที่มีสมบัติต้านทาน การเกิดเชื้อรา ตะไคร่ และไม่ชอบน้ำ.....	40
3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยการวัดมุมสัมผัสของน้ำ (Water Contact angles, WCAs).....	40
3.4.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด (scanning electron microscope, SEM).....	41
3.4.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง ผ่าน (tranmission electron microscope, TEM).....	42
3.4.4 การวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสี เอ็กซ์ (X-ray diffractometer; XRD).....	43
3.4.5 การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโต- มิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer).....	45
3.4.6 การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดส เปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FT-IR)	46
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	47
4.1 การตรวจพิสูจน์โครงสร้างผลึกของอิฐก่อผนังตกแต่ง.....	47
4.2 การเตรียมสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน.....	48
4.2.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของ CoPSS ที่มีผลต่อสมบัติในการรักษา เสถียรภาพและควบคุมขนาดของอนุภาคซิลเวอร์นาโน.....	48
4.2.2 การศึกษาเสถียรภาพทางเคมีของสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การศึกษาอิฐที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยคอลลอยด์นาโนด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ และวิธีการขึ้นรูปแบบขั้นต่อขั้น.....	54
4.3.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของอิฐที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย คอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน.....	54
4.3.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและธาตุองค์ประกอบของอิฐที่ผ่านการ ปรับปรุงพื้นผิวด้วยคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน.....	58
4.4 การเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ.....	62
4.4.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรของ PDMS : hexane ที่มี ต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำ.....	63
4.5 การศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของอิฐก่อนนั่งตกแต่งที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาค ซิลเวอร์นาโนและสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ.....	64
4.6 การศึกษาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของอิฐก่อนนั่งตกแต่งที่ผ่าน กระบวนการเคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโนและสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ.....	66
4.6.1 การศึกษาสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย.....	66
4.6.2 การศึกษาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐ.....	68
4.6.3 การศึกษาสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา.....	68
4.6.4 การศึกษาสมบัติต้านทานการเกิดตะไคร่.....	70
4.6.5 การศึกษาสมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง.....	71
4.6.5 การศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศของชั้นเคลือบ.....	73
4.6.5.1 การศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศในสภาวะจริง.....	73
4.6.5.2 การศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศในสภาวะจำลอง.....	76
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	77
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	77
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	78
เอกสารอ้างอิง.....	79
ภาคผนวก.....	83
ภาคผนวก ก.....	84
ภาคผนวก ข.....	90
ประวัติผู้วิจัย.....	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของหยดน้ำที่ใช้อธิบายสมบัติ และ ภาวะการณเปียกของวัสดุ.....	11
2.2 ตารางแสดงค่าศักย์ซีตาของอนุภาคซิลเวอร์นาโน.....	14
2.3 การต้านจุลินทรีย์ของตัวกรองอากาศที่เคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน.....	18
3.1 ตารางแสดงอัตราส่วนผสมโดยมิลลิโมลาร์ระหว่าง $AgNO_3 : NaBH_4 : CoPSS$	32
3.2 ตารางแสดงอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรระหว่าง PDMS : hexane.....	37
4.1 ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) และขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ AgNPs.....	49
4.2 ค่าพิกัดสีของอิฐก่อนผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบ AgNPs แบบจุ่มเคลือบ.....	56
4.3 ค่าพิกัดสีของอิฐก่อนผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบ AgNPs แบบชั้นต่อชั้น.....	57
4.4 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรของ PDMS : hexane ที่ต่างกัน.....	64
4.5 ความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย <i>E. coli</i> และ <i>S. aureus</i>	67
4.8 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐ.....	68
4.6 ค่ามุมสัมผัสของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากวิธีการจุ่มเคลือบด้วย AgNPs ที่ความ เข้มข้น CoPSS 0.01 mM จุ่มเคลือบ 10 ชั้น และเคลือบด้วย PDMS เทียบกับระยะเวลา 6 สัปดาห์.....	74
4.7 ค่ามุมสัมผัสของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากวิธีชั้นต่อชั้นด้วย AgNPs ที่ความเข้มข้น CoPSS 0.01 mM เคลือบชั้นต่อชั้น 10 ชั้น และเคลือบด้วย PDMS เทียบกับระยะเวลา 6 สัปดาห์.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กลไกการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของซิลเวอร์นาโน.....	6
2.2 โครงสร้างทางเคมีของซิลเวอร์ในเตรต.....	7
2.3 โครงสร้างทางเคมีของโซเดียมโบโรไฮไดรด์.....	7
2.4 โครงสร้างทางเคมีของพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาเลอิกแอซิด.....	8
2.5 โครงสร้างในระดับไมโคร-นาโนเมตรบนพื้นผิวของใบบัว.....	9
2.6 ปรากฏการณ์การทำความสะอาดพื้นผิวด้วยตนเอง โดยหยดน้ำที่กลิ้งบนพื้นผิวจะนำพาอนุภาคของสิ่งสกปรกบนพื้นผิวเกาะติดไปด้วย.....	9
2.7 การนำวัสดุที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำไปประยุกต์ใช้งาน.....	10
2.8 ลักษณะของหยดของเหลวบนพื้นผิวของของแข็งโดยมีค่ามุมสัมผัสต่าง ๆ.....	12
2.9 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิไดเมทิลซิลลอกเซน.....	12
2.10 สเปกตรากการดูดกลืนของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ (a) PMA, (b) PAA, (c) CoPSS และ (d) สังเคราะห์ด้วยวิธีดักชั้นทางเคมีโดยใช้ PMA, PAA และ CoPSS.....	14
2.11 ภาพ TEM ของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ด้วย (a) วิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและ (b) วิธีการดักชั้นทางเคมี.....	16
2.12 ภาพ FESEM และ EDS ของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ด้วย (a) วิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและ (b) วิธีการดักชั้นทางเคมีที่เคลือบลงบนตัวกรองอากาศพอลิเอสเตอร์.....	17
2.13 (a) ภาพประกอบแผนผังของ PTA ที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพของ AgNPs (b) กลไกการตรวจจับ GSH ด้วย AgNPs.....	20
2.14 (a) SPR สเปกตรัมของ AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วย PTA (b) ภาพ TEM การกระจายตัวของ AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วย PTA และ (c) กราฟแท่งการกระจายตัวของขนาดอนุภาค.....	20
2.15 (a) FT-IR สเปกตราของ PTA และ PTA-capped AgNPs และ (b) รูปแบบ XRD ของ AgNPs.....	21
2.16 ภาพ SEM ของ (a) อิฐบล็อกประสานที่ไม่เคลือบ และ (b) อิฐบล็อกประสานที่เคลือบด้วยสารไม่ชอบน้ำ.....	23
2.17 ภาพถ่ายหลังการหยดน้ำลงบนบล็อกที่ไม่มีการเคลือบผิวและเคลือบผิว.....	23
2.18 ผลการทดสอบความทนทานต่อสภาพอากาศของเคลือบบนกระจก.....	24
2.19 ภาพถ่ายตัวอย่างที่ไม่เคลือบผิว (ซ้าย) และตัวอย่างที่เคลือบผิว (ขวา) หลังจกการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย.....	25

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.20 ภาพ SEM ของ (a) เส้นใย PET บริสุทธิ์ (b) เส้นใย PET ที่เคลือบ PDMS ความเข้มข้น PDMS 1 wt% (c) เส้นใย PET ที่เคลือบ ODA ความเข้มข้น 2 wt% และ (d) เส้นใย PET ที่เคลือบ PDMS/ODA (PDMS 1 wt% และ ODA 2 wt%).....	26
2.21 ภาพของหยดน้ำบน (a) ผ้า PET (b) ผ้า PET ที่เคลือบด้วย PDMS/ODA (c) การแช่ผ้า PET และผ้า PET ที่เคลือบด้วย PDMS/ODA ในน้ำย้อมสี และ (d) คือการแช่ผ้า PET ดั้งเดิมและผ้า PET ที่เคลือบด้วย PDMS/ODA บนกระจกในน้ำ.....	27
2.22 แสดงการสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้ตัวอย่างกระเบื้องหลังคา.....	28
2.23 ภาพของหยดน้ำบนพื้นผิวของกระเบื้องมุงหลังคาที่ได้รับการปรับปรุงด้วยผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ภายใต้การศึกษา: ก่อน (คอลัมน์ซ้าย) และหลัง (คอลัมน์ขวา) เร่งอายุ (a), (b) ไม่ได้ทำเคลือบ (c), (d) ทำการเคลือบด้วย BS290 (e), (f) ทำการเคลือบด้วย BS290 ที่ได้จากงานวิจัย และ (g), (h) ทำการเคลือบด้วย PDMS ที่สังเคราะห์จากงานวิจัย.....	29
3.1 แผนภาพแสดงกระบวนการเตรียมตัวอย่างอิฐ.....	32
3.2 แผนภาพแสดงกระบวนการเตรียมคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน.....	33
3.3 แผนภาพแสดงกระบวนการเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนบนผิวอิฐด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ.....	34
3.4 แผนภาพกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวให้มีประจุบวก.....	35
3.5 แผนภาพกระบวนการเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนบนผิวอิฐก่อนผนังตกแต่งด้วยวิธีการชั้นต่อชั้น.....	36
3.6 แผนภาพกระบวนการศึกษาอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรระหว่าง PDMS : hexane.....	37
3.7 แผนภาพกระบวนการเคลือบสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำลงบนอิฐก่อนผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน.....	38
3.8 เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ.....	41
3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	42
3.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	43
3.11 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผลึกภายในชิ้นงานวัสดุ.....	44
3.12 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์.....	44
3.13 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	45
3.14 เครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์.....	46
4.1 XRD สเปกตร้าของอิฐก่อนผนังตกแต่งเทียบกับข้อมูลอ้างอิง.....	48
4.2 ยูวี-วิสิเบิลสเปกตร้าการดูดกลืนแสงของสารคอลลอยด์ AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วย CoPSS ความเข้มข้น 0.01, 0.1 และ 1 mM.....	49

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของ AgNPs ที่สังเคราะห์ได้จากความเข้มข้นของ CoPSS ที่ (a) 0.01, (b) 0.1 และ (c) 1 mM.....	50
4.4 สเปกตรากการดูดกลืนแสงของสารคอลลอยด์ AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วย CoPSS ความเข้มข้น 0.01 mM ที่จัดเก็บในสภาวะต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์.....	52
4.5 สเปกตรากการดูดกลืนแสงของสารคอลลอยด์ AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วย CoPSS ความเข้มข้น 0.1 mM ที่จัดเก็บในสภาวะต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์.....	53
4.6 ภาพถ่ายของอิฐก่อผนังตกแต่ง.....	54
4.7 ภาพถ่ายของอิฐที่ใช้วิธีการจุ่มเคลือบเป็นจำนวน 1, 5, 10, 20 และ 30 ชั้น.....	55
4.8 ภาพถ่ายของอิฐที่ใช้วิธีการเคลือบแบบชั้นต่อชั้นเป็นจำนวน 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั้น.....	56
4.9 ภาพถ่าย SEM ของพื้นผิวอิฐก่อผนังตกแต่ง a) กำลังขยาย 5,000 เท่า b) กำลังขยาย 20,000 เท่า และพื้นผิวด้านตัดขวาง c) กำลังขยาย 5,000 เท่า d) กำลังขยาย 20,000.....	58
4.10 ภาพถ่าย SEM และ BE ของ a, b) อิฐ c, d) อิฐเคลือบ AgNPs ที่สังเคราะห์โดยใช้ CoPSS ความเข้มข้น 0.01 mM ที่เคลือบแบบจุ่มเคลือบ 30 ชั้น e, f) อิฐเคลือบ AgNPs ที่สังเคราะห์โดยใช้ CoPSS ความเข้มข้น 0.01 mM ที่เคลือบแบบชั้นต่อชั้น 5 ชั้น และภาพ SEM ของอิฐเคลือบ AgNPs ที่สังเคราะห์โดยใช้ CoPSS ความเข้มข้น 0.1 mM ที่เคลือบ g) แบบจุ่มเคลือบ และ h) แบบชั้นต่อชั้น.....	60
4.11 a) ภาพถ่าย SEM, b) แผนภาพการกระจายตัวของธาตุ Ag และ c) EDS สเปกตรัมของพื้นผิวอิฐก่อผนังเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีเคลือบแบบจุ่มเคลือบจำนวน 30 ชั้น.....	61
4.12 a) ภาพถ่าย SEM, b) แผนภาพการกระจายตัวของธาตุ Ag และ c) EDS สเปกตรัมของพื้นผิวอิฐก่อผนังเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีเคลือบแบบชั้นต่อชั้นจำนวน 5 ชั้น.....	62
4.13 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรของ PDMS : hexane ที่ต่างกัน.....	64
4.14 อินฟราเรดสเปกตราของ a) อิฐก่อผนังตกแต่ง b) อิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีจุ่มเคลือบ c) PDMS และ d) อิฐที่เคลือบ AgNPs และตามด้วย PDMS ที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ.....	65
4.15 อินฟราเรดสเปกตราของ a) อิฐก่อผนังตกแต่ง b) อิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีแบบชั้นต่อชั้น c) PDMS และ d) อิฐที่เคลือบ AgNPs และตามด้วย PDMS ที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 ภาพถ่ายของ a) อิฐที่ปราศจากการเคลือบผิว b) อิฐเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบจำนวน 10 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS และ c) อิฐเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีชั้นต่อชั้นจำนวน 3 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS ที่ทำการทดสอบด้านทานการเกิดเชื้อราเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์.....	69
4.17 ภาพถ่ายของ a) อิฐที่ปราศจากการเคลือบผิว b) อิฐเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบจำนวน 10 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS และ c) อิฐเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีชั้นต่อชั้นจำนวน 3 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS ที่ทำการทดสอบด้านทานการเกิดตะไคร่เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์.....	70
4.18 อิฐก่อผนังตกแต่งที่เคลือบผิวด้วย PDMS มาโรยผงที่ใช้ในการทดสอบชนิดต่าง ๆ a) ผงแกรไฟต์ b) ผงแป้งทาหน้า c) ผงทราย.....	72
4.19 (a) การกระจายตัวของหยดน้ำบนพื้นผิวอิฐเปล่า (b) หยดน้ำจับตัวบนพื้นผิวอิฐที่เคลือบด้วย PDMS.....	73
4.20 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำของอิฐก่อก่อผนังตกแต่งที่เคลือบ AgNPs ที่ความเข้มข้น CoPSS 0.01 mM จุ่มเคลือบ 10 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS เมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 สัปดาห์.....	74
4.21 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำของอิฐก่อก่อผนังตกแต่งที่เคลือบ AgNPs ที่ความเข้มข้น CoPSS 0.01 mM เคลือบชั้นต่อชั้น 10 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS เมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 สัปดาห์.....	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างหลักของอาคารและที่พักอาศัยในปัจจุบัน อิฐทำจากดินเหนียวซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักรวมเข้ากับวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ เช่น แกลบ ทราย และน้ำ นำมาผสมเข้าด้วยกันให้เป็นเนื้อเดียวกันและทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัด (pressing) หรืออัดรีด (extrusion) ตัดตกแต่งและผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้อิฐมีความแข็งแรง ทนทาน ปัจจุบันความต้องการใช้อิฐมีความหลากหลายมากขึ้น เช่น ใช้อิฐในการก่อตกแต่งผนังทั้งภายในและภายนอกเพื่อให้เกิดความสวยงามและมีอารยะธรรม รวมไปถึงอิฐโบราณที่มีความต้องการสำหรับซ่อมแซมโบราณสถานที่ต้องการบูรณะ หากกล่าวถึงอิฐก่อนนี้ตกแต่ง อิฐโซลวูดลาย อิฐประเภทนี้มีกระบวนการทำเช่นเดียวกับอิฐก่อสร้างทั่วไปแต่ไม่มีแกลบผสมอยู่จึงทำให้ผิวเรียบสวยงาม ผ่านกระบวนการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดสูญญากาศ ส่งผลให้ความหนาแน่นสูง กระบวนการผลิตจะพิถีพิถันมากกว่าจึงทำให้ราคาต่อหน่วยสูงกว่าอิฐมอดูทั่วไป โรงงานอิฐในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานขนาดกลางและขนาดย่อมกระจายตัวอยู่ทั่วประเทศโดยมีจำนวนโรงงานที่หนาแน่นในบริเวณภาคกลางของประเทศเนื่องจากพื้นที่เหล่านี้เป็นบริเวณที่มีแหล่งวัตถุดิบหลักประเภทดินเหนียว จึงเหมาะกับการตั้งโรงงานอิฐเนื่องจากโรงงานอิฐในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้ภูมิปัญญาการผลิตที่สืบทอดมาจากรุ่นสู่รุ่นและใช้เทคโนโลยีการผลิตที่ไม่สูงมากนัก จึงเกิดการแข่งขันที่สูงทั้งราคาและรูปแบบผลิตภัณฑ์อิฐ โดยการแข่งขันจะมีทั้งการแข่งขันกันเองและการเข้ามาของอิฐจากต่างประเทศ การพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐให้มีความแตกต่าง มีสมบัติที่พิเศษมากกว่าอิฐตกแต่งแบบเดิม ๆ และตรงตามความต้องการใช้งานของผู้บริโภคจึงเป็นสิ่งจำเป็นและท้าทายสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม ปัญหาหนึ่งที่พบมากสำหรับอิฐตกแต่งก่อนนี้ อิฐโซลวูดลาย คือ เมื่อมีอายุการใช้งานที่นานขึ้นอิฐจะมีคราบสกปรกที่ติดแน่น กำจัดออกได้ยาก อีกทั้งหากอิฐอยู่ในสถานะที่ชื้น เชื้อราและตะไคร่จะเข้ามาเกาะลงบนอิฐเหล่านี้ส่งผลให้ความสวยงามของอิฐลดลง จากงานวิจัยของ Zhiqiang Hu และคณะ [1] ได้ศึกษาผลของสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน (silver nanoparticles) ซิลเวอร์คลอไรด์ (silver chloride; AgCl) และซิลเวอร์ไอออน (silver ion; Ag⁺) ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่อยู่ในระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่าแบคทีเรียได้รับผลกระทบจากสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโนมากที่สุด รองลงมาคือซิลเวอร์คลอไรด์และซิลเวอร์ไอออน ตามลำดับ จากงานวิจัยของ Luis Carrascosa และคณะ [2] ได้ศึกษาการผลิตกระเบื้องดินเผาungหลังคาให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ โดยวิธีการจุ่มเคลือบ (immersion) และพ่นเคลือบ (spraying) กระเบื้องด้วยสารผสมระหว่างอนุภาคซิลิกา (SiO₂) ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารประกอบอัลคิลซิลิโคน (alkylsilanes) และ พอลิไดเมทิลซิลอกเซน (polydimethylsiloxane; ราคา PDMS) โดยพบว่ากระเบื้องที่ผลิตได้มีค่ามุมสัมผัสของน้ำสูงถึง 140 ± 2 องศา ซึ่งแสดงถึงสมบัติ

ความไม่ชอบน้ำและการทำความสะอาดตัวเองได้ (self-cleaning) ดังนั้นโครงการพิเศษนี้จึงได้ศึกษา การนำอนุภาคซิลเวอร์ขนาดเล็กระดับนาโนเมตร มาใช้ในการพัฒนาอิฐก่อผนังตกแต่งให้มีความสามารถต้านทานเชื้อราและตะไคร่ (antifungal and antialgae activities) และแสดงสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) โดยการเคลือบด้วยพอลิโดเมทิลซิลอกเซน ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่มีพลังงานพื้นผิวต่ำ มีความเสถียรภาพทางเคมีและทางความร้อนที่ดี อีกทั้งยังสามารถยึดเกาะกับพื้นผิวที่มีองค์ประกอบของซิลิกาได้ดี จึงส่งผลให้ได้ชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำที่มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อม และส่งผลให้อิฐมีพื้นผิวที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ เนื่องจากฝุ่นและสิ่งสกปรกที่มาเกาะพื้นผิวอิฐถูกกำจัดออกไปพร้อมกับหยดน้ำที่กลิ้งไปบนพื้นผิว โดยการบรรจุอนุภาคซิลเวอร์นาโนและการเคลือบด้วยพอลิโดเมทิลซิลอกเซนจะทำให้อิฐมีสมบัติไม่ดูดซึมน้ำ ลดการเกิดตะไคร่บนพื้นผิวอิฐเนื่องจากไม่มีความชื้นหรือน้ำซึ่งเป็นแหล่งของออกซิเจนคาร์บอนไดออกไซด์ และสารอาหารให้ตะไคร่ซึ่งเป็นสาหร่ายเซลล์เดียวมายึดเกาะและเจริญเติบโตได้ อีกทั้งสามารถสร้างเป็นจุดขายและเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์

โครงการพิเศษนี้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐก่อผนังตกแต่งให้สมบัติพิเศษ คือมีความสามารถต้านทานการเกิดเชื้อราโดยบรรจุอนุภาคซิลเวอร์ขนาดเล็กระดับนาโนเมตร เข้าไปอยู่ในช่องว่างรูพรุนต่าง ๆ ของอิฐเพื่อให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนแสดงสมบัติยับยั้งการเกิดเชื้อรา โดยเริ่มจากการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนจากปฏิกิริยารีดักชันทางเคมี (chemical reduction method) ของสารละลายซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) ด้วยสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (sodium borohydride; $NaBH_4$) ภายใต้การรักษาเสถียรภาพทางเคมี (stabilizing agent) และควบคุมขนาดของซิลเวอร์นาโนด้วยพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาเลอิกแอซิด (poly(4-styrenesulfonic acid co-maleic acid)sodium salt; CoPSS) โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดอนุภาคซิลเวอร์นาโน คือ ความเข้มข้นของพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาเลอิกแอซิด หลังจากนั้นอนุภาคซิลเวอร์นาโนจะถูกนำมาเคลือบลงบนพื้นผิวของอิฐก่อผนังตกแต่งด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (layer-by-layer technique) และเทคนิคการจุ่มเคลือบ ทำการเคลือบผิวด้วยสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำด้วยพอลิโดเมทิลซิลอกเซน เพื่อป้องกันการเกิดตะไคร่เนื่องจากความชื้นและทำให้อิฐมีสมบัติทำความสะอาดตัวเองได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาการเตรียมสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโนที่มีเสถียรภาพทางเคมีและศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดอนุภาคซิลเวอร์นาโน
- 2) เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนและจำนวนชั้นในการเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนบนพื้นผิวอิฐก่อผนังตกแต่ง

3) เพื่อศึกษากระบวนการเคลือบสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำบนพื้นผิวอิฐก่อผนังตกแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคคลในวงมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อรา ตะไคร่ และสมบัติการทำความสะอาดตัวเองของอิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโนและสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษากระบวนการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนและการเตรียมสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโนที่มีเสถียรภาพทางเคมีสำหรับกระบวนการเคลือบ
- 2) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดอนุภาคซิลเวอร์นาโน คือ ความเข้มข้นของสารที่มีสมบัติในการรักษาเสถียรภาพและควบคุมขนาดอนุภาคซิลเวอร์นาโนด้วย CoPSS โดยความเข้มข้นที่ศึกษา คือ 0.01, 0.1 และ 1 มิลลิโมลาร์
- 3) ศึกษาวิธีการเคลือบอิฐที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน อันประกอบไปด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบขั้นต่อขั้น และวิธีการจุ่มเคลือบ
- 4) ศึกษาผลของจำนวนชั้นในการเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนของวิธีต่าง ๆ ดังนี้
 - วิธีการขึ้นรูปแบบขั้นต่อขั้น เคลือบจำนวน 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั้น
 - วิธีการจุ่มเคลือบ เคลือบจำนวน 1, 5, 10, 20 และ 30 ชั้น
- 5) ศึกษากระบวนการเคลือบอิฐด้วย PDMS โดยใช้อัตราส่วนผสมโดยปริมาตรระหว่าง PDMS : hexane คือ 100 : 0, 75 : 25, 50 : 50 และ 25 : 75
- 6) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี (L^* , a^* และ b^*) กับปริมาณของสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโนที่เคลือบบนผิวอิฐก่อผนังตกแต่ง ศึกษาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐ ศึกษาความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก และ *Escherichia coli* (*E. coli*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ ศึกษาความสามารถในการต้านทานเชื้อราโดยนำอิฐที่ปรับปรุงพื้นผิวแล้วนำไปวางไว้บนราขนมปังที่อยู่ในภาชนะปิด ศึกษาการต้านทานการตะไคร่โดยนำอิฐไปวางไว้ในโถตะไคร่ และศึกษาสมบัติการทำความสะอาดตัวเองได้โดยโรยสารที่ทำความสกปรกบนผิวของอิฐที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว จากนั้นทำการหยดน้ำลงบนพื้นผิว
- 7) การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ สัณฐานวิทยา และสมบัติความไม่ชอบน้ำ ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้
 - 7.1) ตรวจสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles; WCAs)
 - 7.2) ตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM)
 - 7.3) ตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope; TEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7.3) ตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer; XRD)
- 7.4) ตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer)
- 7.5) ตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลด้วยเครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FT-IR)
- 7.6) ตรวจสอบสีของอิฐด้วยเครื่องวัดสี (colorimeter)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถพัฒนากระบวนการเตรียมสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโนที่มีเสถียรภาพทางเคมี
- 2) สามารถพัฒนาวิธีการเคลือบอิฐที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน
- 3) สามารถพัฒนาวิธีการเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนและสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำบนพื้นผิวอิฐก่อนนั่งตักแต่งเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา ตะไคร่และมีสมบัติทำความสะอาดตัวเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 อิฐก่อผนังตกแต่ง

อิฐก่อผนังตกแต่ง อิฐโชว์ หรือ อิฐประดับ อิฐเหล่านี้เป็นอิฐมอญชนิดหนึ่งที่ใช้เป็นองค์ประกอบหลักในการตกแต่งผนังให้มีความสวยงาม อิฐประเภทนี้มีกระบวนการทำเช่นเดียวกับอิฐมอญก่อสร้างทั่วไป หากแต่ส่วนผสมของอิฐไม่มีแกลบผสมอยู่ จึงทำให้ผิวเรียบสวยงาม ผ่านกระบวนการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดสุญญากาศ ส่งผลให้มีความหนาแน่นสูง จากนั้นลำเลียงอิฐเข้าฝั่งลมให้แห้งเพื่อรอเผา โดยขั้นตอนการเผาจะนำอิฐเข้าไปเรียงให้เต็มเตาเผา สำหรับเตาเผา นิยมเผาในเตารวงผึ้ง (beehive) โดยเชื้อเพลิงหลักของเตาประเภทนี้คือ ฟืน และในโรงงานที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะเผาด้วยเตาไฟฟ้าซึ่งใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิงหลัก อิฐก่อผนังตกแต่งใช้ดินเหนียวเป็นวัตถุดิบหลักโดยดินเหนียวเป็นดินที่เกิดจากตะกอนธรรมชาติที่พัฒนามาที่บถมสะสมตัวตามทีราบลุ่มแม่น้ำทั่วไป เป็นแหล่งวัตถุดิบสำคัญที่ใช้ทำเครื่องปั้นดินเผา อิฐ โอง ไห ของไทยมาแต่โบราณธรรมชาติของดินเหนียวจะประกอบด้วยแร่เคโอลิไนต์ (kaolinite) รวมถึงแร่ดินชนิดอื่น ๆ อาทิ มอนมอริลโลไนต์ (monmorillonite) อิลไลต์ (illite) ควอร์ทซ์ (quartz) แร่ไมกา (mica) แร่เหล็กออกไซด์ (iron oxide) รวมทั้งมักมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่เสมอ โดยแร่เคโอลิไนต์ที่พบในดินเหนียวมักมีผลึกที่ไม่สมบูรณ์และมีขนาดเล็ก ดินเหนียวมีสมบัติเด่นในการนำมาขึ้นรูปคือ มีความเหนียว และเมื่อแห้งมีความแข็งแรงสูง [3]

2.1.2 อนุภาคซิลเวอร์นาโน

อนุภาคซิลเวอร์นาโน [4] เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กอยู่ในช่วง 1-100 นาโนเมตร มีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่พิเศษแตกต่างไปจากอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสที่สูง จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นที่ผิวได้ดี ซิลเวอร์นาโนมีคุณสมบัติเด่นที่ถูกประยุกต์ใช้ประโยชน์หลัก คือ การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งมีการใช้งานหลายด้าน ได้แก่

1) ใช้ในการเคลือบอุปกรณ์ทางการแพทย์ ผ้าปิดแผล หรือวัสดุต่าง ๆ รวมถึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของยาปฏิชีวนะ และรักษาบาดแผลให้มีประสิทธิภาพ ยกตัวอย่างวัสดุที่มีการนำซิลเวอร์นาโนมาประยุกต์ใช้ ได้แก่ พอลิยูรีเทน (polyurethane; PU) ซึ่งเป็นหนึ่งในพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์อย่างกว้างขวาง เพราะสามารถเข้ากับเนื้อเยื่อของร่างกายได้ดี รวมถึงมี

เอกสารที่เพิ่มและสารที่ส่งมอบไปสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนถาดไหนไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ความแข็งแรงทนทาน สามารถทนรับแรงกดทับ ทนต่อการเสียดสี และฉีกขาด มีความเหนียว และไม่ไวกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยึดหยุ่นได้ดี ทั้งนี้ พอลิยูรีเทนไม่สามารถต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ได้ ดังนั้น จึงนิยมนำอนุภาคซิลเวอร์นาโน ผสมลงบนผิวของพอลิยูรีเทนเพื่อช่วยยับยั้งแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะ *E.coli* และ *Bacillus subtilis*

2) ใช้ในผลิตภัณฑ์ผ้าเช็ดทำความสะอาด เสื้อผ้าเด็ก รวมถึงหนังสือสัตว์ที่ฟอกสี เพื่อช่วยลดการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย

3) ใช้เป็นส่วนผสมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด เช่น ผงซักฟอก น้ำยาล้างทำความสะอาด และสบู่ เป็นต้น ซึ่งหลังการใช้ซิลเวอร์นาโนบางส่วนจะเกาะติดกับผิววัสดุทำหน้าที่ต้านเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่มาเกาะได้

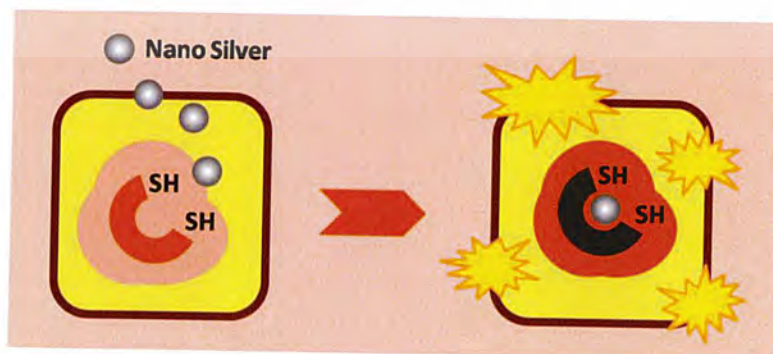
4) ใช้ในเครื่องมือ เครื่องใช้เพื่อการอุปโภคและบริโภค ได้แก่ ใช้ในเครื่องกรองน้ำ เครื่องปรับอากาศ เสน่ห์กล้อง และเครื่องสำอาง เป็นต้น

5) ใช้ในบรรจุภัณฑ์ทั้งการเคลือบหรือผลิตเป็นแผ่นฟิล์มเพื่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุของอาหารบูดเน่า โดยนิยมเติมลงไปในตัวบรรจุที่ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 0.1-5 ของน้ำหนัก

6) ใช้เป็นส่วนผสมของงานสีต่าง ๆ เช่น สีระบาย สีย้อม และสีทาบ้าน เพื่อป้องกันเชื้อราไม่ให้ทำลายสีที่ทาไว้

2.1.2.1 กลไกการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของซิลเวอร์นาโน

กลไกการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของซิลเวอร์นาโน คือ เมื่ออนุภาคซิลเวอร์นาโนสัมผัสกับผนังเซลล์จะสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในเซลล์ของแบคทีเรียหรือเชื้อรา จากนั้นอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่มีสมบัติเป็นกรดอ่อน (soft acid) จะเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลที่เป็นเบสอ่อน (soft base) ภายในเซลล์ ซึ่งก็คือส่วนที่เรียกว่าหมู่ซัลไฟดริล (sulphydryl group) ของเอนไซม์โปรตีนเอส (proteinase) ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับเมตาบอลิซึมของเซลล์ โดยหมู่ซัลไฟดริล (-SH) ที่มีอะตอมของซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ จะจับตัวกับอนุภาคของซิลเวอร์ ทำให้กระบวนการทำงานของเอนไซม์หยุดการทำงานจนกระทั่งเซลล์ของแบคทีเรียหยุดการเจริญเติบโตและเสื่อมสภาพไปในที่สุด [5] ดังแสดงในรูปที่ 2.1



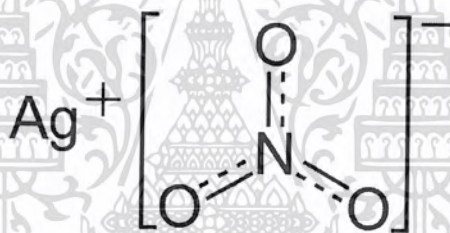
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.1 กลไกการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของซิลเวอร์นาโน [5]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของมหาวิทยาลัยทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน

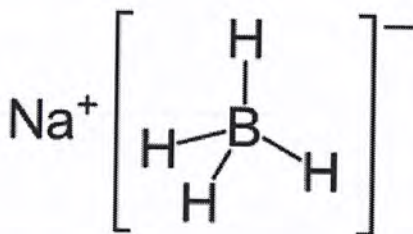
การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนปัจจุบันสังเคราะห์ได้ 3 วิธี คือ วิธีการทางเคมี (chemical approach) วิธีการทางกายภาพ (physical approach) และวิธีการทางชีวภาพ (biological approach) โดยวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือวิธีการทางเคมี เนื่องจากสังเคราะห์ได้ปริมาณมาก ควบคุมขนาดและรูปร่างได้ง่าย ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีการทางเคมีประกอบไปด้วย ส่วนประกอบ 3 ส่วนหลัก คือ เกลือของซิลเวอร์ (silver salt) ที่นิยมใช้ คือ ซิลเวอร์ไนเตรต ตัวรีดิวซ์ และสารรักษาเสถียรภาพ [4]

1. ซิลเวอร์ไนเตรต (silver nitrate; AgNO_3) เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.2 ลักษณะเป็นของแข็งไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เป็นสารตั้งต้นของสารประกอบซิลเวอร์หลายชนิด ซิลเวอร์ไนเตรตใช้งานหลายประเภท เช่น ทางการแพทย์ การย้อมสี การเคลือบเงิน และการทำกระจก ซิลเวอร์ไนเตรตเป็นตัวออกซิไดซ์ จึงควรเก็บแยกกับสารอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์กัดกร่อน และเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม หากร่างกายได้รับสารประกอบซิลเวอร์อาจก่อให้เกิดภาวะอาร์จีเรีย (argyria) ซึ่งทำให้ผิวหนังเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำเงินหรือน้ำเงินเทา [6]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของซิลเวอร์ไนเตรต [6]

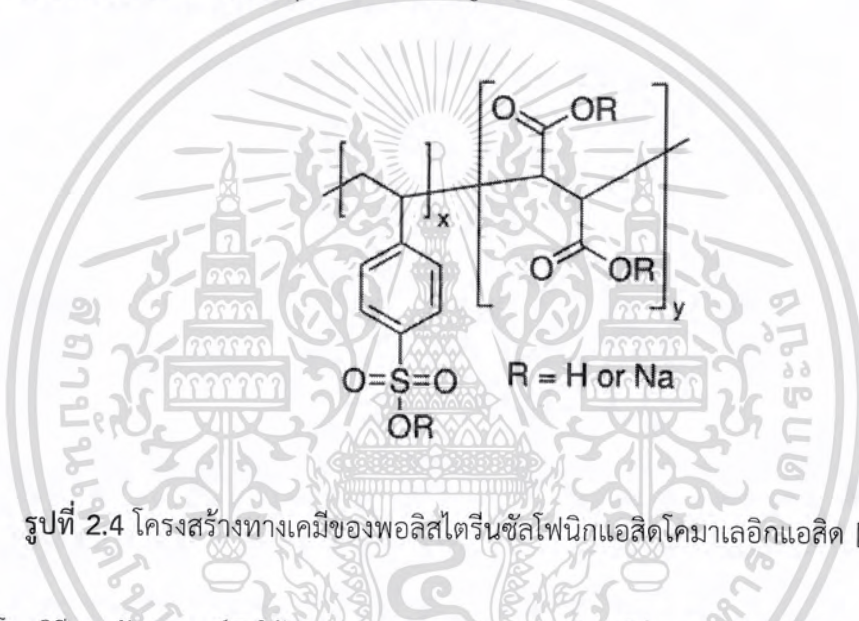
2. ตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ตัวรีดิวซ์มีหน้าที่รีดิวซ์ Ag^+ ในสารละลายให้กลายเป็น Ag^0 โดยตัวรีดิวซ์ที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโน คือ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (sodium borohydride; NaBH_4) ซึ่งเป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.3 ลักษณะเป็นผงหรือเม็ดสีขาว ใช้งานหลายประเภท เช่น ใช้ในการลบสี กลิ่นของสารเคมี ใช้เพื่อควบคุมมลพิษ การผลิตยา และใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [7]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ [7]

3. สารรักษาเสถียรภาพ (stabilizer) โดยส่วนมากนิยมใช้สารพอลิเมอร์ ซึ่งสารรักษาเสถียรภาพมีหน้าที่เป็นตัวยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคซิลเวอร์นาโน ในโครงงานพิเศษนี้ได้ใช้พอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาเลอิกแอซิด (poly(4-styrenesulfonic acid co-maleic acid)sodium salt, CoPSS) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.4 เป็นสารรักษาเสถียรภาพ Ag^0 ซึ่งขนาดของอนุภาคซิลเวอร์นาโนขึ้นกับความเข้มข้นของ CoPSS เนื่องจาก CoPSS ที่ใช้มีประจุลบของหมู่คาร์บอกซีเลต (carboxylate) และหมู่ซัลโฟนิค (sulfonic) ในโครงสร้าง ซึ่งจะผลักรันด้วยแรงทางไฟฟ้า ถ้าความเข้มข้นของ CoPSS สูง จะมีตัวรักษาเสถียรภาพที่เป็นประจุมาก แรงผลักรันทางไฟฟ้าจึงมากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ขนาดของอนุภาคมีขนาดเล็ก และถ้าความเข้มข้นของ CoPSS ต่ำ จะมีสารรักษาเสถียรภาพน้อย แรงผลักรันทางไฟฟ้าน้อย ทำให้อนุภาคแต่ละอนุภาคเข้ากันได้มาก ส่งผลให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ [8]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาเลอิกแอซิด [8]

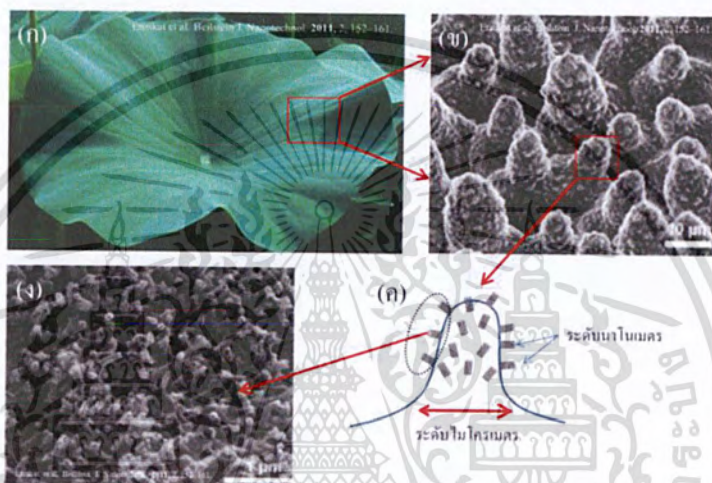
โดยวิธีการสังเคราะห์จะใช้กระบวนการประกอบร่างด้วยตัวเอง (self-assemble) เพื่อให้เกิดเป็นอนุภาคนาโน โดยเริ่มจากการละลายซิลเวอร์ไนเตรดในน้ำปราศจากไอออน เกิดเป็น Ag^+ ขึ้นภายในสารละลาย ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์ที่รัดกั้นทางเคมีนั้น เป็นกระบวนการสังเคราะห์ที่อาศัยปฏิกิริยารีดักชัน โดยทำการเติม $NaBH_4$ ที่เป็นตัวรีดิวซ์ลงไปในสารละลายเพื่อทำหน้าที่ในการให้อิเล็กตรอนแก่ระบบ ทำให้ Ag^+ กลายเป็น Ag^0 ซึ่ง $NaBH_4$ ที่ใช้นั้นจำเป็นต้องมีความเข้มข้นมากกว่า Ag^+ 10 เท่า เพื่อให้ Ag^+ ถูกรีดิวซ์ไปเป็น Ag^0 ทั้งหมด โดยทั่วไปแล้ว Ag^0 จะไม่เสถียรในธรรมชาติ เมื่อปล่อยทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งจะทำให้เกิดการตกตะกอนของซิลเวอร์เกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องเติมสารรักษาเสถียรภาพลงไป เพื่อทำหน้าที่ไม่ให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนเกิดการจับตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ โดยการเติม CoPSS ซึ่งขนาดของอนุภาคซิลเวอร์นาโนจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 สมบัติความไม่ชอบน้ำ

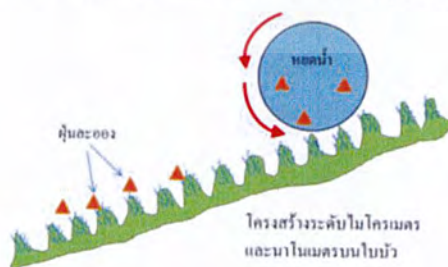
2.1.3.1 ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว (Lotus effect)

ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว (lotus effect) เกิดจากโครงสร้างที่มีความขรุขระในระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรบนพื้นผิวของใบบัว (papillae) โดยจะมีลักษณะเป็นรูปกรวยคว่ำ มีขนาดกว้าง 10-15 ไมโครเมตร สูง 10-20 ไมโครเมตร แต่ละปุ่มจะมีปุ่มเล็ก ๆ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ไมครอนกระจายอยู่รอบ ๆ ปุ่มใหญ่ และผิวที่มีความขรุขระเหล่านี้ยังมีสารเคลือบขี้ผึ้ง (wax) อนุภาคเล็ก ๆ ที่มีขนาดนาโนเมตรเคลือบอยู่ [9] ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างในระดับไมโคร-นาโนเมตรบนพื้นผิวของใบบัว [9]

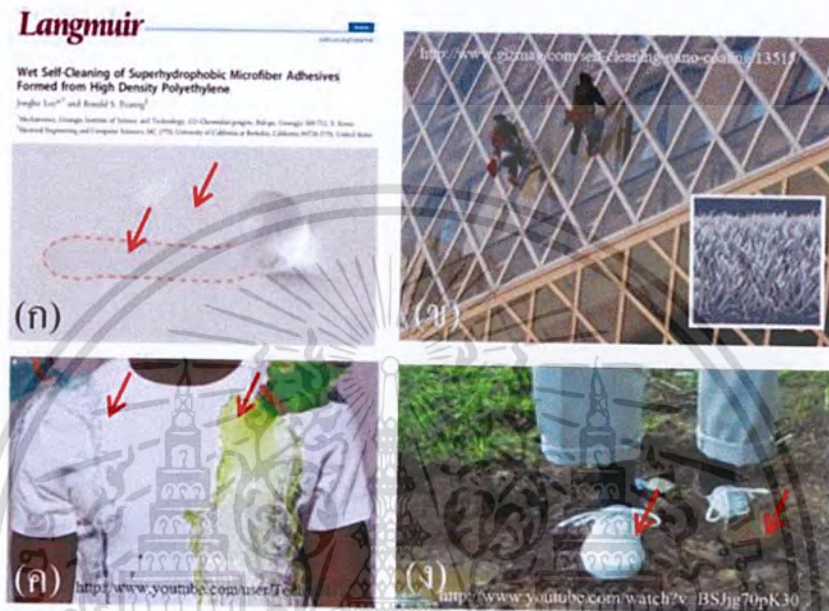
พื้นผิวในลักษณะนี้มีมุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles) มากกว่า 150 องศา ซึ่งทำให้เกิดสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic property) ขึ้น ทำให้น้ำสามารถกลิ้งบนใบบัวได้ ในขณะที่น้ำกลิ้งนั้นน้ำแต่ละหยดจะชะล้างคราบสิ่งสกปรกออกไปด้วย จึงเรียกพื้นผิวที่มีลักษณะนี้ว่าพื้นผิวที่ทำความสะอาดได้ด้วยตัวเอง (self-cleaning surface) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ปรากฏการณ์การทำความสะอาดพื้นผิวด้วยตนเอง โดยหยดน้ำที่กลิ้งบนพื้นผิวจะนำพาอนุภาคของสิ่งสกปรกบนพื้นผิวเกาะติดไปด้วย [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ฯ ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ฯ ได้ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 031-2511111 หรือ อีเมล: info@wru.ac.th

วัสดุที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านต่าง ๆ โดยใช้ประโยชน์จากสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning) เช่น การนำไปใช้เคลือบบนกระจกที่ทำความสะอาดตัวเองได้ โดยกระจกที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำจะมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) คือ น้ำไม่เปียกบนผิวกระจก ดังนั้นน้ำที่ตกลงมาบนพื้นผิวจะรวมกันเป็นหยด จึงสามารถชะล้างฝุ่นที่ติดบนผิวกระจกให้กลิ้งออกไปพร้อมกับหยดน้ำได้ [9] ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การนำวัสดุที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำไปประยุกต์ใช้งาน [9]

2.1.3.2 สมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic property)

ความชอบน้ำ (hydrophilicity) และความไม่ชอบน้ำวัสดุ (hydrophobicity) เป็นสมบัติเฉพาะของพื้นผิววัสดุ อธิบายโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะพื้นผิววัสดุกับการทำมุมสัมผัสของหยดน้ำ โดยวิธีการอย่างง่ายที่ใช้ในการบอกลักษณะของพื้นผิวว่ามีความชอบน้ำหรือไม่ชอบน้ำ สังเกตได้จากรูปทรงของหยดน้ำ คือ หากหยดน้ำมีลักษณะค่อนข้างแบน ไม่โค้งนูน แสดงว่าพื้นผิววัสดุนั้นมีความชอบน้ำหรือเปียกน้ำ (wettability) แต่ถ้าหากหยดน้ำมีลักษณะเป็นเม็ดกลมนูน แสดงว่าพื้นผิววัสดุมีความไม่ชอบน้ำมากหรือเปียกน้ำได้ยาก [10]

ภาวะการเปียก (wetting) คือ ความสามารถในการรักษาพื้นผิวสัมผัสระหว่างของเหลวกับของแข็ง โดยจะเกี่ยวข้องกับแรงสองแรงหลัก ๆ ดังนี้ [11]

1. แรงเชื่อมแน่น (cohesive force) คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารชนิดเดียวกันซึ่งเป็นแรงที่พยายามทำให้โมเลกุลของของเหลวเกาะกลุ่มกันเป็นหยด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

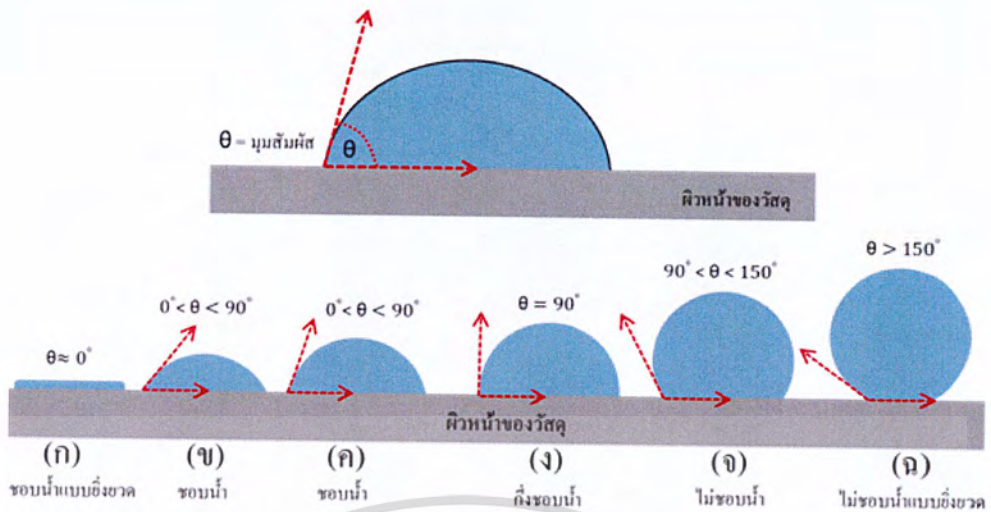
2. แรงยึดติด (adhesive force) คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารต่างชนิดกัน หมายถึง แรงระหว่างโมเลกุลของเหลวและของแข็ง เป็นแรงที่พยายามทำให้หยดของของเหลวกระจายตัวออกจากกันและกระจายแนบไปกับพื้นผิวของของแข็ง

การที่หยดน้ำเกาะอยู่บนพื้นผิวของวัสดุที่เป็นของแข็งได้จะต้องเกิดสภาพสมดุลระหว่างแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่น จึงใช้สภาพสมดุลระหว่างแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่นในการวัดภาวะการเปียกของวัสดุที่เรียกว่า มุมสัมผัส (contact angle) โดยมุมสัมผัสนี้จะเป็นตัวบอกแนวโน้มที่หยดของเหลวจะกระจายตัวบนพื้นผิวของของแข็ง ค่ามุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลว ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และสามารถใช่มุมสัมผัสนี้เป็นเกณฑ์ในการแบ่งสมบัติและภาวะการเปียกของวัสดุโดยมีเกณฑ์ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของหยดน้ำที่ใช้ในการอธิบายสมบัติ และภาวะการเปียกของวัสดุ [11]

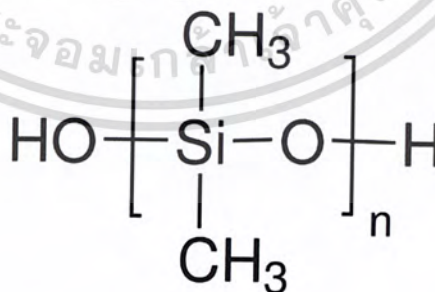
มุมสัมผัส	สมบัติ	ภาวะการเปียก	สภาพสมดุลระหว่างแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่น
$0^\circ - 30^\circ$	ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophilicity)	เปียกอย่างสมบูรณ์	แรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ
$30^\circ - 90^\circ$	ชอบน้ำ (hydrophilicity)	เปียกได้ดี	แรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่น
$90^\circ - 150^\circ$	ไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity)	เปียกที่พื้นผิวได้ยาก	แรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่น
$>150^\circ$	ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobicity)	ไม่เปียก	แรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ลักษณะของหยดของเหลวบนพื้นผิวของของแข็งโดยมีค่ามุมสัมผัสต่าง ๆ [9]

2.1.3.3 การเตรียมพื้นผิวที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดโดยจุ่มเคลือบด้วย PDMS พอลิไดเมทิลซิลอกเซน (polydimethylsiloxane; PDMS) [12] เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยไดเมทิลซิลิโคนออกไซด์เป็นหน่วยมอโนเมอร์ มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.9 เป็นน้ำมันที่ไม่มีสี มีลักษณะขุ่นหนืด ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน มีเสถียรภาพทางเคมีที่ดี มีความทนทานสูงต่อสภาพดินฟ้าอากาศและสภาวะออกซิเดชัน ทนความร้อนและเย็นสามารถใช้งานได้ ในอุณหภูมิระหว่าง -50 ถึง 200 องศาเซลเซียส สามารถนำ PDMS ไปใช้เป็นสารเคลือบผิวสำหรับ แวนดา โลหะ และเคลือบป้องกันฝุ่นละอองในแก้วเซรามิก เป็นต้น [12]



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิไดเมทิลซิลอกเซน [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

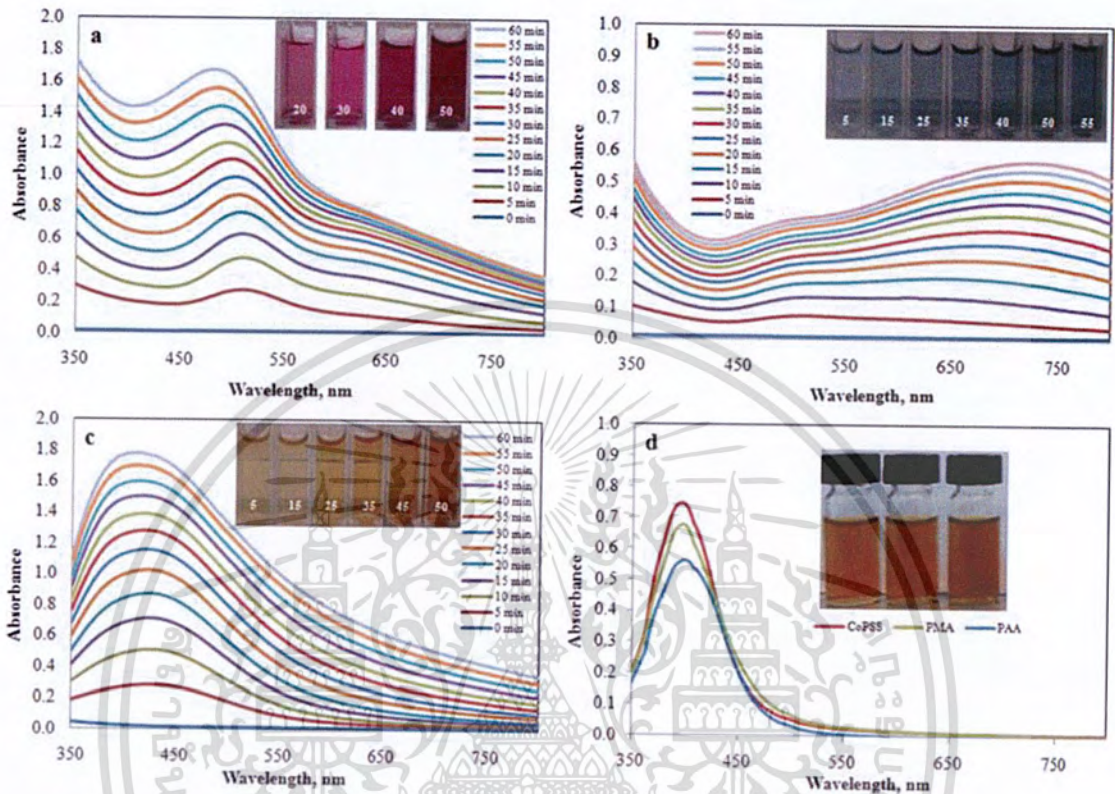
2.2.1. การเคลือบชั้นต่อชั้นด้วยซิลเวอร์นาโนโดยวิธีการสังเคราะห์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม บนตัวกรองอากาศพอลิเอสเตอร์และมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ (Layer-by-layer deposition of green synthesised silver nanoparticles on polyester air filters and its antimicrobial activity)

จากงานวิจัยของ Ekarat Detsri และคณะ [13] ได้ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) โดยใช้พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตสามชนิด ได้แก่ พอลิเมทาคริลิกแอซิด (PMA), พอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) และพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาเลอิกแอซิด (CoPSS) เป็นสารรักษาเสถียรภาพ (stabilizing agents) ให้แก่อนุภาคซิลเวอร์นาโน จากนั้นจึงทำการเคลือบลงบนตัวกรองอากาศพอลิเอสเตอร์ด้วยเทคนิคเคลือบแบบชั้นต่อชั้น (layer-by-layer; LBL) เพื่อให้เกิดสมบัติในการต้านการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยทำการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนด้วยวิธีการรีดักชันทางเคมี ขั้นตอนการเตรียมมีดังต่อไปนี้ คือ เตรียมสารละลายพอลิเมอร์ประจุลบประเภทพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ แล้วนำมาผสมเข้ากับซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) 5 มิลลิโมลาร์ จากนั้นทำการเตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ซึ่งจะถูกลบลงในสารละลายผสมระหว่างซิลเวอร์ไนเตรทและพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตอย่างรวดเร็ว ภายใต้การปั่นกวน แล้วจึงนำสารคอลลอยด์ที่เตรียมได้เก็บแช่ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อทำการเคลือบต่อไป โดยสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นยูวี-วิสิเบิลของสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโนที่ถูกเตรียมโดยสารรักษาเสถียรภาพพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่เป็นพอลิเมอร์ประจุลบชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (a-c) ซึ่งปรากฏเป็นค่าการดูดกลืนแสงที่แสดงลักษณะเฉพาะของเซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (surface plasmon resonance; SPR) ที่ความยาวคลื่น 475, 730 และ 408 นาโนเมตร ตามสารรักษาเสถียรภาพ PMA, PAA และ CoPSS ตามลำดับ โดยอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ได้แสดงสีเป็นสีม่วงเข้ม สีน้ำเงินเข้ม และสีส้มอ่อน ตามลำดับ เพื่อให้ทราบถึงค่าประจุพื้นผิวของอนุภาคซิลเวอร์นาโน จึงใช้เครื่องวิเคราะห์ศักย์ซีตาเพื่อทำการตรวจสอบค่าประจุพื้นผิวของอนุภาคซิลเวอร์นาโนผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งพบว่าค่าศักย์ซีตาเฉลี่ยเป็น -37.90, -33.12 และ -27.36 มิลลิโวลต์ เมื่อใช้สารรักษาเสถียรภาพเป็น PAA, PMA และ CoPSS ตามลำดับ การที่อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่เตรียมขึ้นใหม่แสดงค่าเป็นประจุลบเนื่องจากการมีพอลิเมอร์อีเล็กโทรไลต์ประจุลบ ส่วนสารละลายที่เตรียมด้วยวิธีการรีดักชันทางเคมีโดยใช้ NaBH_4 มีลักษณะเป็นสีส้มเหลือง ดังแสดงในรูป 2.10 (d) โดยมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 392 นาโนเมตร เนื่องจาก NaBH_4 เป็นตัวรีดิวซ์ที่รุนแรง ซึ่งสามารถรีดิวซ์ซิลเวอร์ไอออนได้อย่างสมบูรณ์ จึงเกิดเป็น Ag^0 ที่รวมกันเป็นอนุภาคระดับนาโน ซึ่งการเติบโตของขนาดอนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถควบคุมได้โดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ จากการศึกษาพบว่าค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักย์ซีตาของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA, PAA และ CoPSS อยู่ในช่วง -34.22 ถึง -25.13 มิลลิโวลต์



รูปที่ 2.10 สเปกตรากการดูดกลืนของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ (a) PMA, (b) PAA, (c) CoPSS และ (d) สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมีโดยใช้ PMA, PAA และ CoPSS [13]

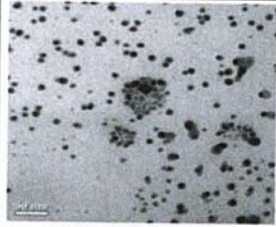
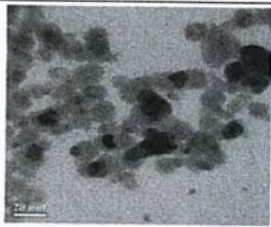
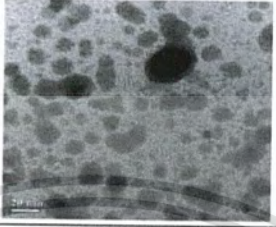
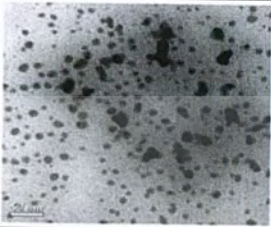
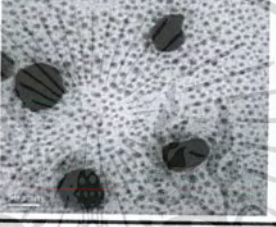
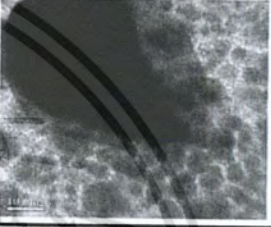
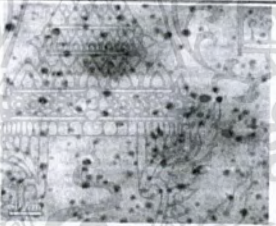
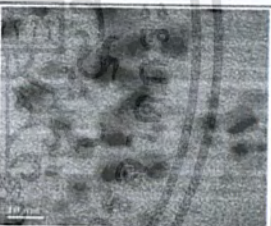
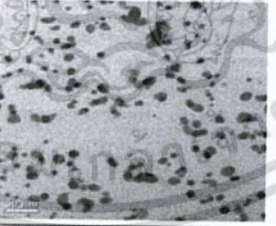
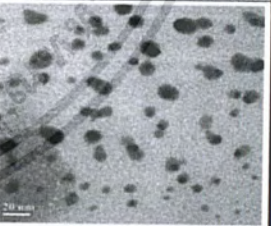
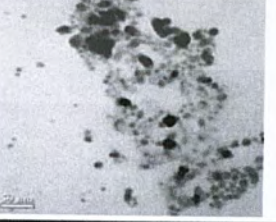

ตารางที่ 2.2 ค่าศักย์ซีตาของอนุภาคซิลเวอร์นาโน [13]

Technique	Stabilising agent	Zeta potential, mV
Green synthesis	PMA	-37.90
	PAA	-33.12
	CoPSS	-27.36
Chemical reduction	PMA	-34.22
	PAA	-29.15
	CoPSS	-25.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


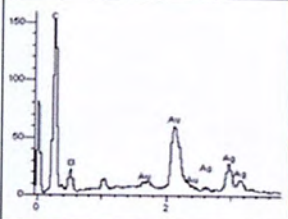
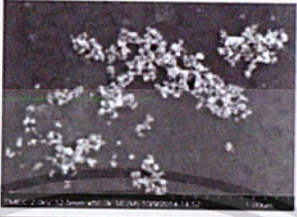
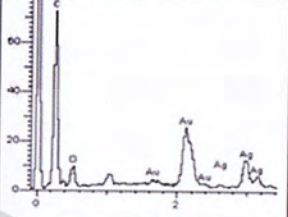
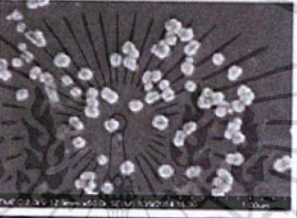
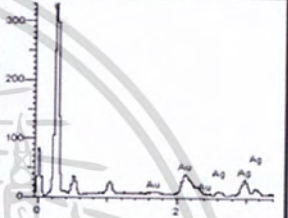

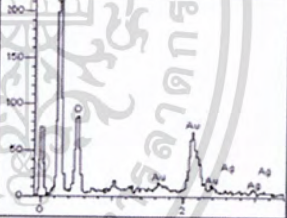

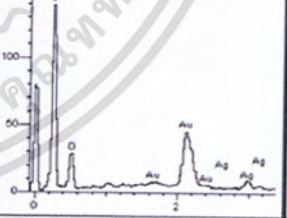

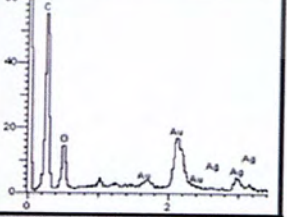
จากนั้นทำการเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนลงบนตัวกรองอากาศพอลิเอสเตอร์ด้วยเทคนิคเคลือบแบบชั้นต่อชั้น เริ่มจากการปรับสภาพพื้นผิวให้เป็นประจุบวก โดยการนำตัวกรองอากาศพอลิเอสเตอร์ไปทำการจุ่มเคลือบครั้งแรกในสารละลายพอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (poly(diallyldimethylammonium chloride) solution; PDADMAC) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ที่เป็นพอลิเมอร์ประจุบวก เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นพื้นผิวจะถูกล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนสามครั้งเพื่อกำจัดพอลิเล็กโตรไลต์ส่วนเกินและที่ไม่สร้างพันธะออกไปจากพื้นผิววัสดุ จากนั้นนำไปจุ่มลงในสารละลายพอลิโซเดียมสไตรีนซัลโฟเนต (poly(sodium 4-styrenesulfonate); PSS) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ที่เป็นพอลิเมอร์ประจุลบ เป็นเวลา 5 นาที ตามด้วยการล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนออกสามครั้ง จากนั้นตัวกรองอากาศพอลิเอสเตอร์ที่ปรับสภาพพื้นผิวให้เป็นประจุบวกแล้วจะถูกจุ่มลงในสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน จึงเกิดการรวมตัวกันระหว่าง PDADMAC ที่เป็นพอลิเมอร์ประจุบวกกับอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่มีประจุลบโดยขั้นตอนนี้สามารถเคลือบซ้ำจนกว่าจะถึงจำนวนชั้นที่ต้องการ นอกจากนี้งานวิจัยยังได้ทำการศึกษาขนาดอนุภาคและลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยใช้ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope; TEM) ซึ่งอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์โดยใช้รังสียูวี แสดงในรูปที่ 2.11 (a) พบว่าอนุภาคนาโนมีลักษณะเป็นทรงกลมและมีการกระจายของอนุภาคแคบ ขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่สังเคราะห์ได้จากการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA, PAA และ CoPSS คือ 13.75 ± 0.87 , 20.13 ± 0.54 และ 11.94 ± 0.73 นาโนเมตร ตามลำดับ รูปที่ 2.11 (b) แสดงขนาดอนุภาคและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากวิธีการรีดักชันทางเคมีด้วย NaBH_4 ผลที่ได้พบว่าอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA, PAA และ CoPSS มีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 5-10 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a			
Technique	Stabilizing agent	TEM Images	
Green synthesis	PMA		
	PAA		
	CoPSS		
b			
Technique	Stabilizing agent	TEM Images	
Chemical reduction	PMA		
	PAA		
	CoPSS		

รูปที่ 2.11 ภาพ TEM ของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ด้วย (a) วิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและ (b) วิธีการรีดักชันทางเคมี [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a			
Technique	Stabilizing agent	FESEM Images	EDS
Green synthesis	PMA		
	PAA		
	CoPSS		
b			
Technique	Stabilizing agent	FESEM Images	EDS
Chemical reduction	PMA		
	PAA		
	CoPSS		

รูปที่ 2.12 ภาพ FESEM และ EDS ของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ด้วย (a) วิธีที่เป็นมิตรต่อ

สิ่งแวดล้อม และ (b) วิธีการดักจับทางเคมีที่เคลือบลงบนตัวกรองอากาศพอลิเอสเตอร์ [13] ด้านการค้า
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ภายในงานวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 (a, b) แสดงภาพถ่าย FESEM และแผนภาพการกระจายพลังงาน (EDS) ของตัวกรองอากาศพอลิเอสเตอร์ที่เคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์วิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและวิธีการรีดักชันทางเคมีผลจากสเปกตรัม EDS นั้นแสดงให้เห็นถึงธาตุ Ag ที่กระจายอยู่บนตัวกรองอากาศพอลิเอสเตอร์ จากการศึกษาพบว่า การเคลือบแบบชั้นต่อชั้นเป็นวิธีการที่ให้ผลดีในการเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนลงบนตัวกรองอากาศพอลิเอสเตอร์ จากการศึกษาความสัมพันธ์ของพื้นผิวตัวกรองอากาศพอลิเอสเตอร์ที่เคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมีที่ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA, PAA และ CoPSS มีค่าเท่ากับ 77, 72 และ 69 องศาตามลำดับ เมื่อศึกษาความสามารถในการต้านจุลินทรีย์และเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* แกรมบวก ของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่เคลือบบนตัวกรองอากาศพอลิเอสเตอร์ โดยใช้วิธีการทดสอบเป็นไปตามวิธีการทดสอบ ASTM E272209 ผลประสิทธิภาพของความสามารถในการต้านจุลินทรีย์สรุปได้ในตารางที่ 2.3 พบว่าตัวกรองอากาศพอลิเอสเตอร์ที่เคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจำนวน 10 ชั้นโดยใช้ PMA เป็นสารรักษาเสถียรภาพมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ที่ดีที่สุดโดยสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ร้อยละ 92.18 ส่วนการใช้ PAA และ CoPSS นั้นแสดงฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ที่ต่ำกว่าโดยมีค่าร้อยละ 84.32 และ 71.19 ตามลำดับ จำนวนชั้นเคลือบที่ลดลงพบว่าร้อยละการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมีค่าลดลง ซึ่งทำการเคลือบจำนวน 5 ชั้น โดยใช้ PMA, PAA และ CoPSS เป็นสารรักษาเสถียรภาพพบว่าสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ร้อยละ 83.94, 76.12 และ 66.59% ตามลำดับ

ตารางที่ 2.3 การต้านจุลินทรีย์ของตัวกรองอากาศที่เคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน [13]

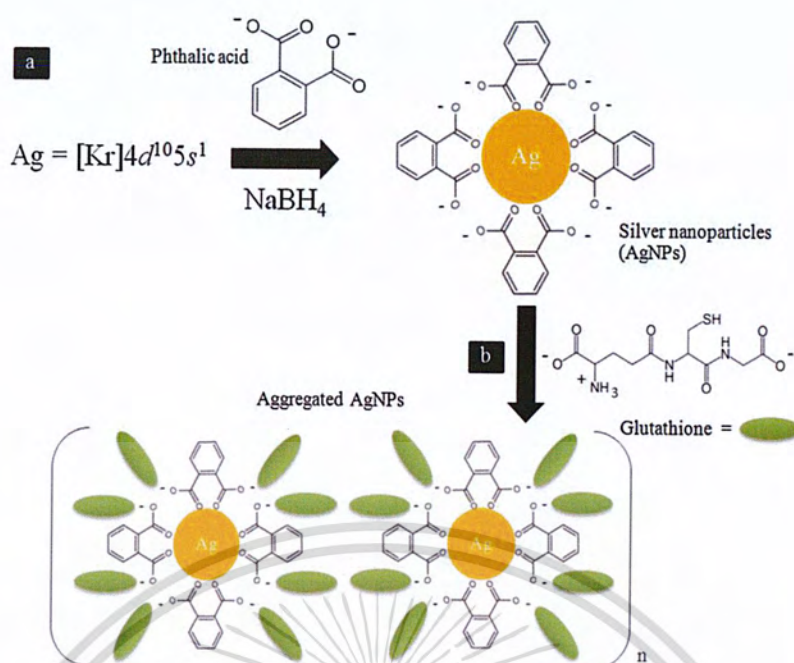
Technique	Stabilizing agent	Reduction of <i>S.aureus</i> .(%)	
		10 layers	5 layers
Green synthesis	PMA	92.18	83.94
	PAA	84.32	76.12
	CoPSS	71.19	66.59
Chemical reduction	PMA	85.32	74.98
	PAA	80.22	71.13
	CoPSS	69.37	61.09
Blank of air filters			1.73
Air filters coated with five layers PDADMAC/PSS			2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

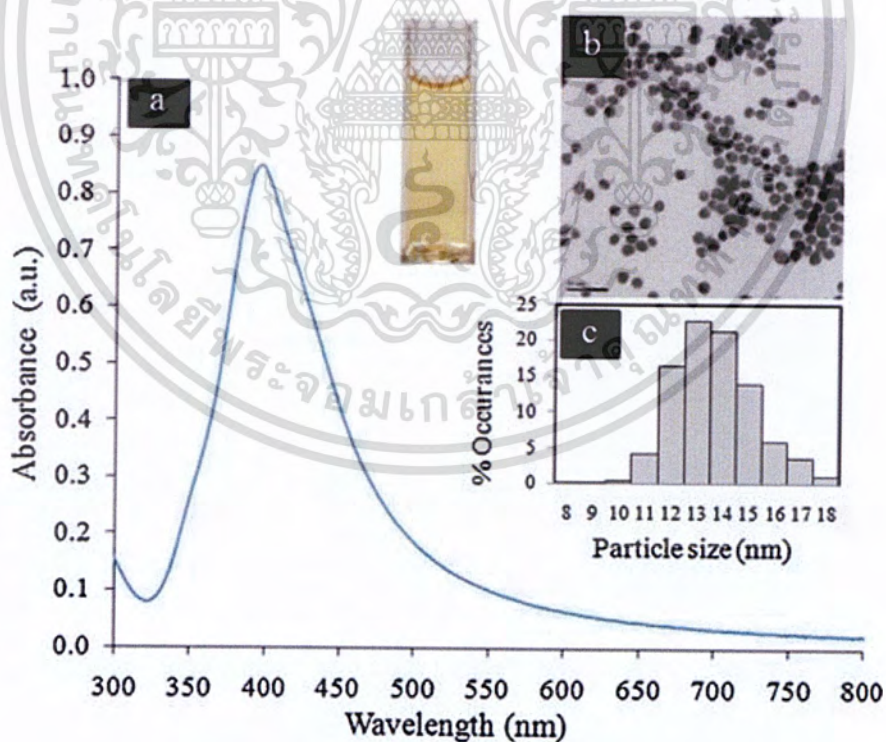
2.2.2. การตรวจจับสีของกลูตาไทโอนโดยใช้กรดพาทาลิกช่วยในการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน (Colorimetric detection of glutathione based on phthalic acid assisted synthesis of silver nanoparticles)

จากงานวิจัยของ Ekarat Detsri และคณะ [14] ได้ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) โดยใช้กรดพาทาลิก (PTA) เป็นสารรักษาเสถียรภาพ (stabilizing agents) โดยเริ่มจากการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน โดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายกรดพาทาลิกความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และน้ำบริสุทธิ์สูง (ultrapure water) ปริมาตร 79 มิลลิลิตร แล้วทำการปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงเติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) ที่เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงไปในสารละลายอย่างรวดเร็วจนสารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน สารคอลลอยด์หลังจากการเกิดปฏิกิริยาจะมีลักษณะเป็นสีเหลืองและถูกนำไปเก็บไว้ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้งานต่อไป โดยวิธีการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนด้วยการใช้กรดพาทาลิก แสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งกรดพาทาลิกที่ใช้ในการปรับปรุงอนุภาคซิลเวอร์นาโนนั้นมีโครงสร้างเป็นวงหกเหลี่ยมที่มีหมู่คาร์บอกซิเลต 2 หมู่ ($-\text{COO}$) ซึ่งนิยมนำหมู่ฟังก์ชันนี้ มาใช้ในการรักษาเสถียรภาพของอนุภาคซิลเวอร์นาโนเนื่องจากหมู่คาร์บอกซิเลตของกรดพาทาลิกอาจไปดูดซับอยู่บนพื้นผิวซิลเวอร์ (Ag) ด้วยโครงสร้างไบเดนเทตบริดจิง (bidentate bridging structure) โดยผ่านธาตุออกซิเจน 2 ตัวที่อยู่ภายในหมู่คาร์บอกซิเลต จากนั้นจะถูกรีดิวซ์เกิดเป็นอนุภาคซิลเวอร์นาโน โดยสารละลายคอลลอยด์ของอนุภาคซิลเวอร์นาโนจะมีลักษณะเป็นสีเหลือง เมื่อนำไปทำการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง แสดงให้เห็นว่าพีคเดียวสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร (รูปที่ 2.14 (a)) เนื่องจากปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (surface plasmon resonance; SPR) [15] จากนั้นได้ศึกษาขนาดและอนุภาคทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปรับปรุงด้วยกรดพาทาลิก โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ภาพ TEM และกราฟแท่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (b, c) พบว่าอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์มีลักษณะเป็นทรงกลมกระจายกันเดี่ยว ๆ และกระจายตัวในสารละลายที่มีน้ำได้ดี โดยที่อนุภาคเฉลี่ยของอนุภาคซิลเวอร์นาโน คือ 13.4 ± 1.2 นาโนเมตร เมื่อนำไปวิเคราะห์ ศักย์ซีตา (zeta potential analyzer) พบว่า ศักย์ไฟฟ้ามีความเสถียรที่ -35.7 ± 1.3 มิลลิโวลต์ แสดงว่าอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่เตรียมได้มีค่าเป็นลบ และมีความเสถียรที่อุณหภูมิห้องเนื่องจากหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิเลตของกรดพาทาลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



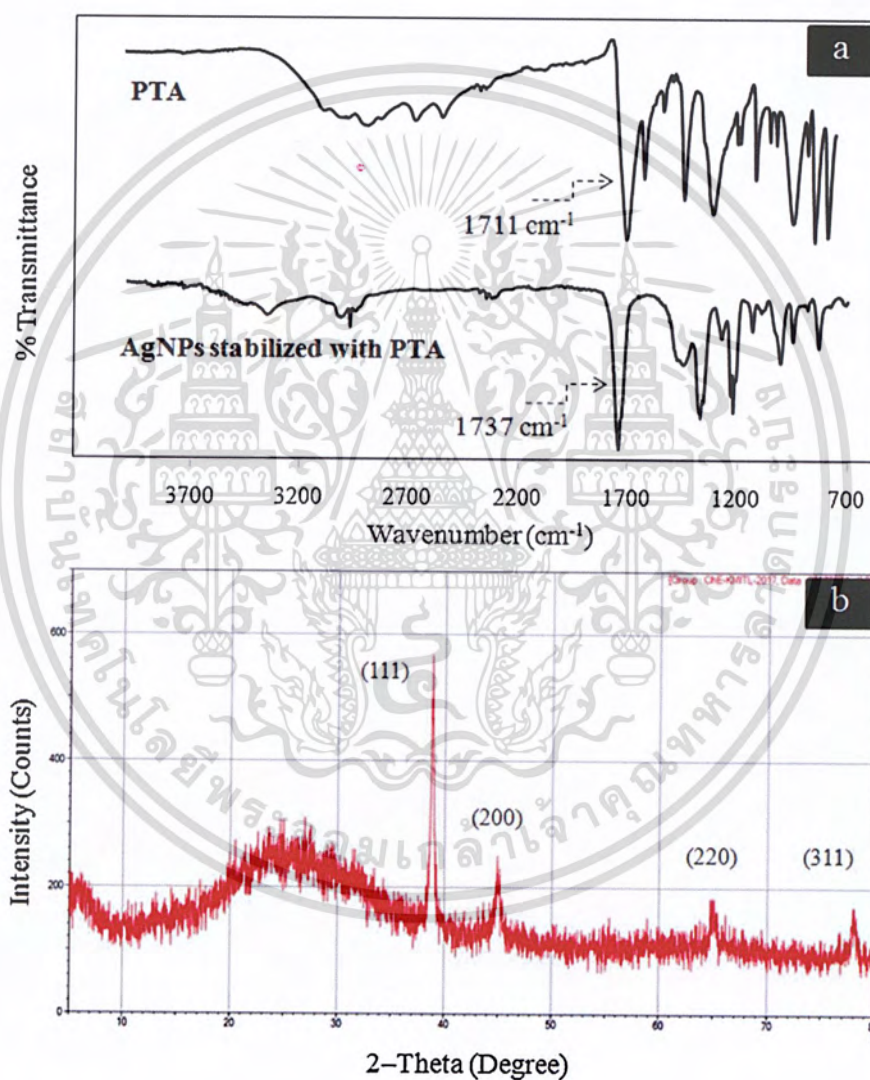
รูปที่ 2.13 (a) ภาพประกอบแผนผังของ PTA ที่ป็นสารรักษาเสถียรภาพของ AgNPs (b) กลไกการตรวจจับ GSH ด้วย AgNPs [14]



รูปที่ 2.14 (a) SPR สเปกตรัมของ AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วย PTA (b) ภาพ TEM การกระจายตัวของ AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วย PTA และ (c) กราฟแห่งการกระจายตัวของขนาดอนุภาค [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ยังมีการศึกษาเพิ่มเติม โดยการตรวจวัดด้วยเครื่อง FT-IR และ XRD เพื่อดูหมู่ฟังก์ชันของ PTA บนพื้นผิวอนุภาคซิลเวอร์นาโนและโครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโน ตามลำดับ ซึ่ง FT-IR สเปกตรัมแสดงอยู่ในรูปที่ 2.15 (a) พบช่วงการดูดกลืนสูงสุดของ -C=O stretching ที่ $1,737\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของ PTA แสดงว่า PTA สามารถเป็นตัวรักษาเสถียรภาพของอนุภาคนาโน นอกจากนี้รูปแบบ XRD ของอนุภาคซิลเวอร์นาโน แสดงในรูป 2.15 (b) ปรากฏค่า 2θ ที่ 38.15, 44.25, 64.51 และ 77.42 องศา ซึ่งสอดคล้องกับระนาบ (111), (200), (220) และ (311) ของโครงสร้างแบบลูกบาศก์ FCC ของอนุภาคซิลเวอร์นาโน



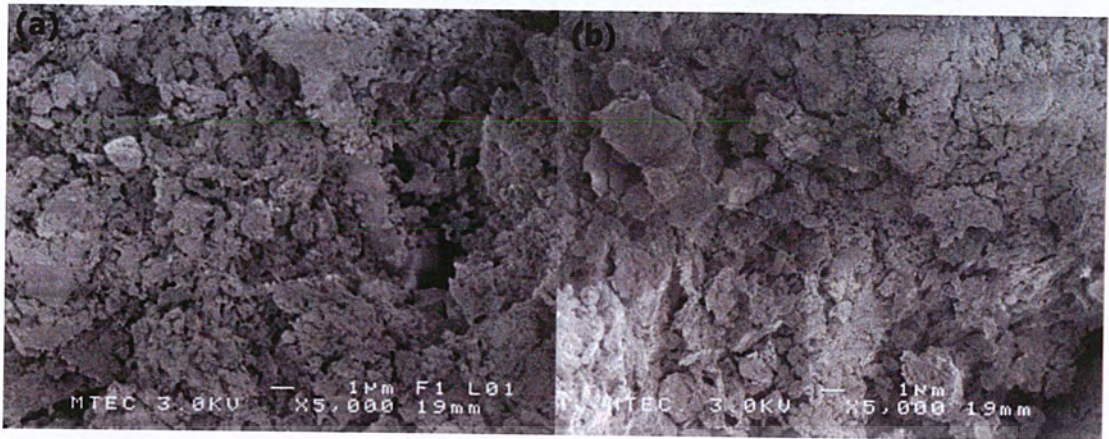
รูปที่ 2.15 (a) FT-IR สเปกตรัมของ PTA และ PTA-capped AgNPs และ (b) รูปแบบ XRD ของ AgNPs [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3. การประยุกต์ใช้การเคลือบที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดแบบโปร่งใสต่ออิฐบล็อกประสานเพื่อลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Transparent superhydrophobic coating application to the interlocking clay block for the microbial growth mitigation)

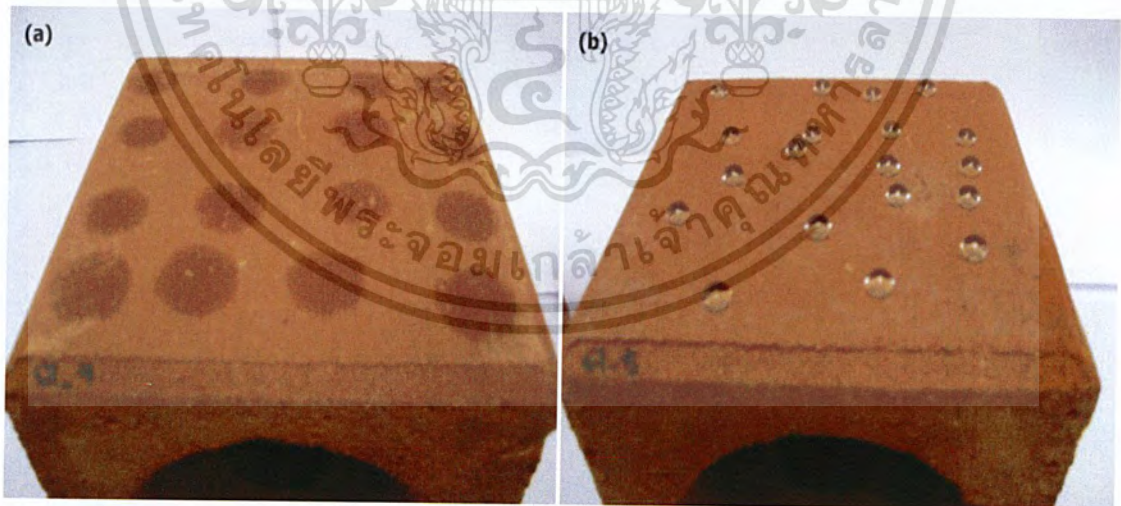
จากงานวิจัยของ O. Nimittrakoolchai และคณะ [16] ได้ศึกษาการใช้สมบัติของชั้นเคลือบที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดแบบโปร่งใสเพื่อป้องกันการดูดซึมน้ำ และลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนพื้นผิวอิฐบล็อกประสาน โดยทำการเคลือบพอลิเมทิลไฮโดรเจนซิลอกเซน (poly(methyl hydrogen siloxane); PMHS) ที่ประกอบด้วยอนุภาคนาโนซิลิกาเป็นหลัก โดยสารเคลือบกันน้ำดังกล่าวจะถูกเคลือบลงบนพื้นผิวอิฐบล็อกประสานด้วยการจุ่มเคลือบ บล็อกที่เคลือบแล้วจะถูกนำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที ก่อนทำการเคลือบซ้ำอีก 2 ครั้งเพื่อให้ได้ชั้นเคลือบที่สม่ำเสมอ จากนั้นนำอิฐบล็อกประสานที่ผ่านการเคลือบชั้นที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดแบบโปร่งใสไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ พบว่าสารตั้งต้นของชั้นเคลือบส่วนใหญ่จะถูกดูดซึมเข้าสู่ภายในรูพรุนของอิฐบล็อกประสานในระหว่างการทาครั้งแรกได้อย่างง่ายดาย ซึ่งจะดูดซับได้น้อยลงในครั้งต่อไปที่ทา หลังจากพื้นผิวอิฐบล็อกประสานถูกปรับปรุงด้วยการเคลือบสารกันน้ำแล้ว การดูดซึมน้ำมีค่าลดลงจากร้อยละ 11.50 เป็นร้อยละ 4.80 และความพรุนลดลงเป็นอย่างมากจากร้อยละ 22.50 เป็นร้อยละ 9.20 ในขณะที่ปริมาตรและความหนาแน่นปรากฏ (apparent density) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ผลการศึกษาระบุว่าสารเคลือบกันน้ำไม่ได้สร้างฟิล์มต่อเนื่องบนพื้นผิวอิฐบล็อกประสานเพียงอย่างเดียว แต่ส่วนหนึ่งถูกแทรกซึมเข้าไปภายในอิฐบล็อกประสานและทำให้การดูดซึมน้ำบนอิฐบล็อกประสานเคลือบในสภาพการใช้งานจริงมีค่าต่ำลง เนื่องจากหยดน้ำก่อตัวเป็นทรงกลมบนพื้นผิวและกลิ้งไกลออกจากพื้นผิวได้ง่าย การวิเคราะห์ทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของอิฐบล็อกประสานที่ไม่เคลือบผิวและเคลือบ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของอิฐบล็อกประสานที่เคลือบยังคงมีรูพรุนและมีการเคลือบแบบต่อเนื่อง ทั้งอิฐบล็อกประสานที่เคลือบและไม่เคลือบผิวมีสัณฐานวิทยาของพื้นผิวที่คล้ายคลึงกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลือบนั้นมีลักษณะที่บางมากและส่วนใหญ่สารประกอบที่กันน้ำนั้นถูกแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนและเปียกตัวภายในรูพรุน ทำให้สารประกอบกันน้ำดังกล่าวจะช่วยป้องกันการดูดซึมน้ำด้วยแรงดึงแคพิลลารี (capillary force) ที่เกิดจากโครงสร้างรูพรุน จากการศึกษาพบว่าสถานะในการเคลือบอิฐบล็อกประสานที่ดีที่สุดคือ การใช้วิธีการจุ่มเคลือบเนื่องจากทำให้พื้นผิวที่สม่ำเสมอและทำให้สารกันน้ำกระจายเข้าภายในรูพรุนทั่วถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ภาพ SEM ของ (a) อิฐบล็อกประสานที่ไม่เคลือบ และ (b) อิฐบล็อกประสานที่เคลือบด้วยสารไม่ชอบน้ำ [16]

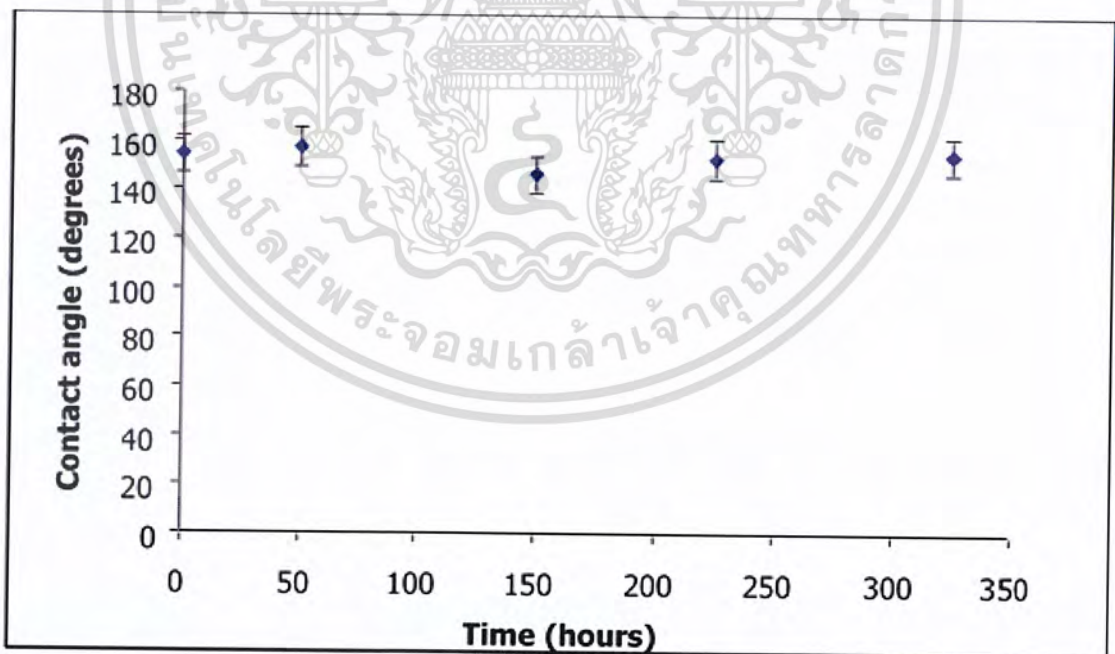
รูปที่ 2.17 แสดงภาพถ่ายของอิฐบล็อกประสานที่ไม่เคลือบผิวและเคลือบผิวด้วย PMHS หลังจากที่ยัดน้ำลงบนพื้นผิว พบว่าน้ำถูกดูดซึมในทันทีเมื่อหยดลงบนอิฐบล็อกประสานที่ไม่เคลือบผิว ในทางตรงกันข้ามเมื่อหยดน้ำลงบนพื้นผิวของอิฐบล็อกประสานที่เคลือบผิว หยดน้ำจะกลิ้งไกลออกเมื่อเอียงบล็อก โดยอิฐบล็อกประสานที่เคลือบมีค่ามุมสัมผัสน้ำที่ 151.4 ± 2.1 องศา ซึ่งคุณสมบัติกันน้ำคล้ายกับที่พบที่พื้นผิวของใบพืชและแมลงจำนวนมาก



รูปที่ 2.17 ภาพถ่ายหลังการหยดน้ำลงบนบล็อกที่ไม่มีการเคลือบผิวและเคลือบผิว [16]

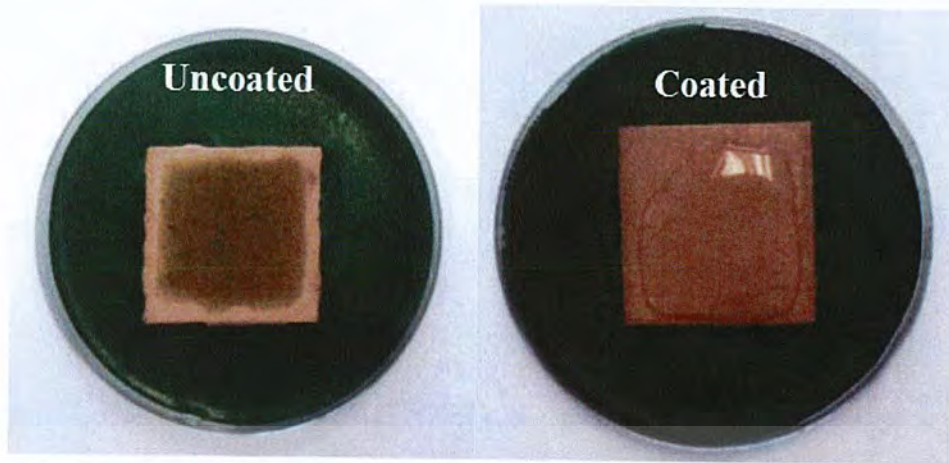
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้ทำการศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศและการยับยั้งการเกิดตะไคร่น้ำของอิฐบล็อกประสานที่ได้รับการปรับปรุง ผลความทนทานต่อสภาพอากาศดังแสดงในรูปที่ 2.18 แสดงให้เห็นว่าชั้นเคลือบมีความเสถียรเนื่องจากมุมสัมผัสของน้ำยังคงไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากการสัมผัสกับสภาพอากาศเป็นเวลา 325 ชั่วโมงซึ่งเทียบเท่ากับการสัมผัสกับสภาพอากาศจริงเป็นเวลาประมาณ 7 สัปดาห์ สำหรับตัวอย่างที่ทำการทดสอบการยับยั้งการเกิดตะไคร่น้ำดังแสดงในรูปที่ 2.19 เห็นได้ชัดว่าตะไคร่น้ำสีเขียวสามารถเจริญเติบโตได้บนตัวอย่างที่ไม่เคลือบผิวแต่ไม่สามารถเติบโตได้บนตัวอย่างที่ทำเคลือบ เนื่องจากไม่มีการดูดซับความชื้นบนพื้น นอกจากนี้ตัวอย่างยังถูกทดสอบความทนทานต่อสภาพอากาศ โดยนำตัวอย่างไปทิ้งไว้ในสวนกลางแจ้ง สังเกตได้ว่าหลังจากฝนตกลงบนอิฐบล็อกประสานที่ทำเคลือบผิวแล้ว ยังคงสีน้ำตาลอ่อนดั้งเดิมเอาไว้ได้ ในขณะที่อิฐบล็อกประสานที่ไม่ได้เคลือบผิวปรากฏเป็นสีน้ำตาลเข้มเกิดขึ้นเนื่องจากการดูดซับของน้ำ ซึ่งสาหร่ายสีเขียวและตะไคร่น้ำสามารถโตได้บนอิฐบล็อกประสานที่ไม่เคลือบผิวภายใน 1-2 เดือนโดยเปลี่ยนจากสีน้ำตาลไปเป็นสีเขียว จากผลการทดสอบภาคสนาม 6 เดือนในช่วงปลายฤดูฝน พบว่ามีสิ่งมีชีวิตสีเขียวจำนวนเล็กน้อยเท่านั้นบนอิฐบล็อกประสานที่เคลือบผิว ซึ่งตัวอย่างมีการสัมผัสกับพื้นดินและถูกน้ำท่วมเป็นครั้งคราว หลังจากการทดสอบภาคสนามพบว่าอิฐบล็อกประสานที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดสามารถคงรูปลักษณ์เดิมเอาไว้ได้ แสดงให้เห็นว่าการเคลือบมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเติบโตของพืชในตระกูลสาหร่าย



รูปที่ 2.18 ผลการทดสอบความทนทานต่อสภาพอากาศของเคลือบบนกระฉก [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ภาพถ่ายตัวอย่างที่ไม่เคลือบผิว (ซ้าย) และตัวอย่างที่เคลือบผิว (ขวา) หลังจากการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย [16]

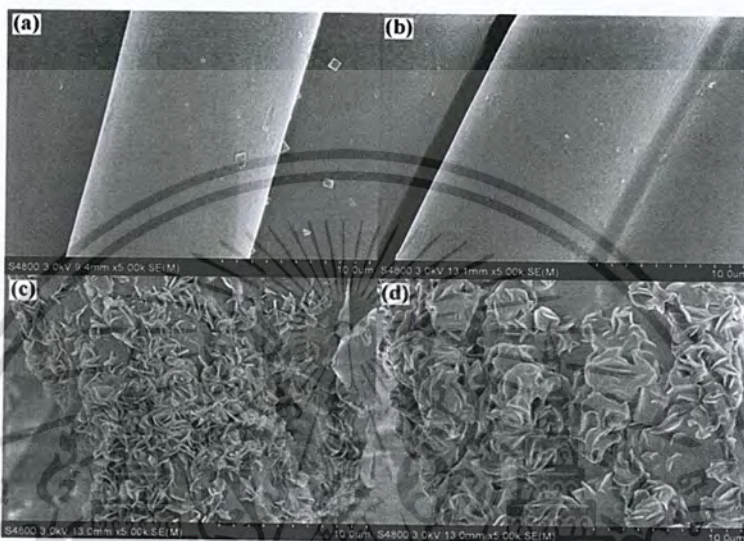
2.2.4. ผ้าที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดที่มีความแข็งแรงและสามารถคืนสภาพตัวเองได้ โดยเตรียมจากการเคลือบหนึ่งชั้นตอนด้วย PDMS และ Octadecylamine (Robust, Self-Healing Superhydrophobic Fabrics Prepared by One-Step Coating of PDMS and Octadecylamine)

จากงานวิจัยของ Chao-Hua Xue และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาปรับปรุงผ้าพอลิเอทิลีนเทเรพทาเลท (PET) ให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดที่มีความแข็งแรงและสามารถคืนสภาพตัวเองได้ โดยทำการเคลือบพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (polydimethylsiloxane; PDMS) และออกตระเดซิลลามีน (octadecylamine; ODA) ลงบนเส้นใย PET ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ โดยสามารถเตรียมชั้นเคลือบได้จากการละลาย PDMS 1 กรัมและ 0.1 กรัมของสารบ่มแข็ง (curing agent) ในสารละลายเตตระไฮโดรฟูแรน (THF) 48.9 กรัม จากนั้นสารละลายดังกล่าวถูกนำไปทำอัลตราโซนิคเคตเป็นเวลา 15 นาที เพื่อสร้างเป็นสารละลาย A จากนั้นละลาย ODA 2 กรัม กับ THF 48 กรัม ด้วยการให้ความร้อน เพื่อสร้างเป็นสารละลาย B โดยก่อนที่จะทำการชุบเคลือบผิวนั้น สารละลาย A และ B ถูกนำมาผสมให้เข้าด้วยกันเพื่อสร้างน้ำยาเคลือบ จากนั้นนำตัวอย่างผ้า PET (10 x 10 เซนติเมตร) มาแช่ในน้ำยาเคลือบที่เตรียมไว้เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้ได้ผ้า PET ที่เคลือบด้วย PDMS/ODA เมื่อนำไปทำการตรวจพิสูจน์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวบนผ้า PET พบว่าเส้นใย PET เดิมนั้นมีพื้นผิวที่เรียบ ดังแสดงในรูปที่ 2.20 (a)

หลังจากเคลือบด้วย PDMS สัณฐานวิทยาของเส้นใย PET ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่

2.20(b) แต่เกิดเป็นโครงสร้างแผ่นเป็นชั้น ๆ ที่มีความขรุขระระดับไมโครและระดับนาโนเกิดขึ้น เมื่อไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลือบ ODA บนเส้นใย PET ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดสภาพที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ดังแสดงในรูปที่ 2.20 (c) นอกจากนี้เมื่อเคลือบส่วนผสมของ PDMS และ ODA บนผ้า PET โครงสร้างเป็นชั้น ๆ ระดับไมโครและระดับนาโนนั้นยังคงอยู่ ซึ่งมีลักษณะคล้ายพวงดอกไม้ดังแสดงในรูปที่ 2.20 (d) โครงสร้างที่เกิดขึ้นนั้นเป็นตัวช่วยเสริมสร้างความขรุขระขนาดไมโครโดยธรรมชาติให้กับผ้าทอ ซึ่งทำให้พื้นผิวสมบัติที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด

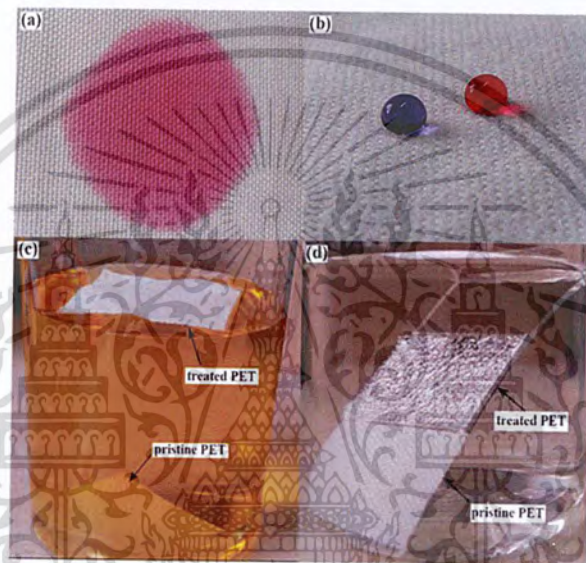


รูปที่ 2.20 ภาพ SEM ของ (a) เส้นใย PET บริสุทธิ์ (b) เส้นใย PET ที่เคลือบ PDMS ความเข้มข้น PDMS 1 wt% (c) เส้นใย PET ที่เคลือบ ODA ความเข้มข้น 2 wt% และ (d) เส้นใย PET ที่เคลือบ PDMS/ODA (PDMS 1 wt% และ ODA 2 wt%) [17]

เมื่อทำการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของสมบัติที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของผ้า PET แสดงให้เห็นว่าน้ำสามารถแพร่กระจายได้ง่ายบนผ้า PET ที่ปราศจากการเคลือบ เนื่องจากแรงยกตัว (capillary effect) ของโครงสร้างเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (a) หลังจากทำการเคลือบด้วย PDMS และ ODA ตามลำดับ ค่ามุมสัมผัสน้ำ (contact angle; CA) ของผ้าที่เคลือบ PDMS เพิ่มขึ้นเป็น 156.6 ± 2.1 องศา กับค่ามุมไถล (sliding angle; SA) มีค่าเป็น 15 ± 3 องศา และค่ามุมสัมผัสน้ำของผ้าที่เคลือบ ODA คือ 160.2 ± 2.5 องศา กับค่ามุมไถลมีค่าเป็น 6 ± 1 องศา เมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่าผ้า PET ที่เคลือบด้วย PDMS/ODA นั้นมีสภาพที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดที่คล้ายคลึงกันกับผ้าที่เคลือบด้วย ODA โดยมีค่ามุมสัมผัสน้ำเป็น 161.3 ± 3 องศา และมีค่ามุมไถลเป็น 4.51 ± 1.6 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (b) เมื่อนำผ้าที่เคลือบจุ่มลงไปใต้น้ำแล้วทำการตรวจสอบความสามารถในการเป็ยกน้ำ เห็นได้ชัดว่าผ้า PET ที่ปราศจากการเคลือบจุ่มลงใต้น้ำ ในขณะที่ผ้าที่เคลือบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้

PDMS/ODA ลอยอยู่บนพื้นผิวของน้ำหลังจากถูกปล่อย ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (c) เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงหลุมอากาศที่สร้างขึ้นบนผ้าที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดนั้น ผ้าจะถูกติดไว้บนกระจกสไลด์แล้วทำการจุ่มลงในน้ำ พบว่าผ้าที่เคลือบจะแสดงชั้นพลาสติกใสสว่างอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการสะท้อนแสงของชั้นอากาศที่ติดอยู่บนพื้นผิว ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (d) อากาศที่ติดอยู่นี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันไม่ให้ผ้าเปียกน้ำได้ ในขณะที่อยู่ภายใต้สภาพเดียวกันกับผ้า PET ที่ปราศจากการเคลือบนั้น ไม่พบชั้นของพลาสติกที่สว่าง ปรากฏการณ์นี้แสดงให้เห็นว่าผ้าที่เคลือบมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด



รูปที่ 2.21 ภาพของหยดน้ำบน (a) ผ้า PET (b) ผ้า PET ที่เคลือบด้วย PDMS/ODA (c) การแช่ผ้า PET และผ้า PET ที่เคลือบด้วย PDMS/ODA ในน้ำย้อมสี และ (d) คือการแช่ผ้า PET ดั้งเดิมและผ้า PET ที่เคลือบด้วย PDMS/ODA บนกระจกในน้ำ [17]

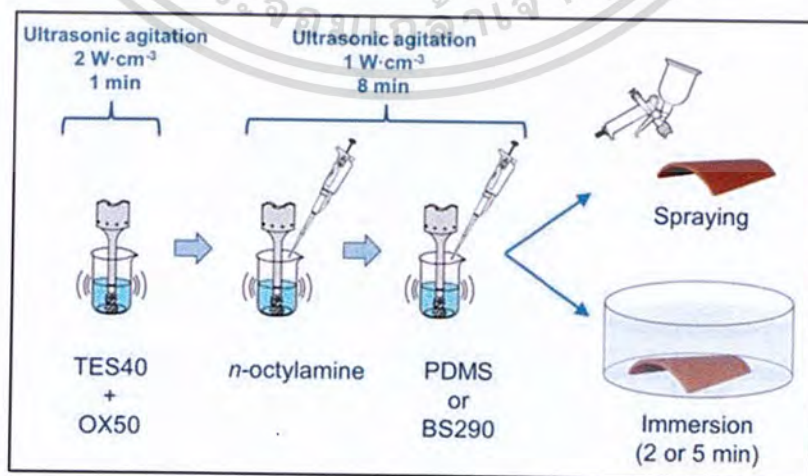
นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้ทำการตรวจวัดความทนทานของผ้าที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด พบว่าผ้าที่เคลือบด้วย PDMS/ODA ที่ผ่านการขัด 1,000 รอบ มีค่ามุมสัมผัสน้ำเพิ่มขึ้นจาก 161.6 ± 3 องศาเป็น 179.8 ± 0.1 องศา เนื่องจากมีช่องอากาศอยู่ระหว่างผ้าและหยดน้ำ ทำให้การซึมผ่านของเหลวลดลง แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพความทนทานต่อของเหลวของผ้าที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดนั้นสามารถเพิ่มขึ้นได้ในระหว่างการใช้งานจริง เนื่องจากมีเส้นขนบางส่วนยื่นออกมาที่เกิดจากการเสียดสีเชิงกลทำหน้าที่รองรับน้ำ ซึ่งความต้านทานของเหลวมีค่าลดลงหลังจากการขัดที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 1000 รอบ เนื่องจากการสูญเสียความขรุขระบนพื้นผิวและชั้นเคลือบ PDMS/ODA ออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แต่เมื่อนำผ้าที่สวมใส่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ผ้าสามารถคืนสภาพที่ไม่ชอบน้ำอย่างไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยิ่งยวดได้โดยที่ค่ามุมสัมผัสน้ำ ที่ 152 ± 2 องศา และค่ามุมกลิ้งไถลที่ 21 ± 1 องศา ซึ่งอาจเกิดจากการย้ายตำแหน่งของ PDMS หรือ ODA จากช่องว่างของเส้นใย PET และผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าผ้า PET ที่เคลือบด้วย PDMS/ODA ยังคงสามารถรักษาสภาพที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดเอาไว้ได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผ้า PET ที่เคลือบ PDMS/ODA มีความต้านทานต่อการขัดถูยอดเยี่ยม ซึ่งส่วนใหญ่เกิดมาจากการเกาะติดที่แข็งแรงของ PDMS บนเส้นใยเนื่องจาก PDMS เป็นยางซิลิโคนที่ยืดหยุ่นและมีความแข็งแรงสูง

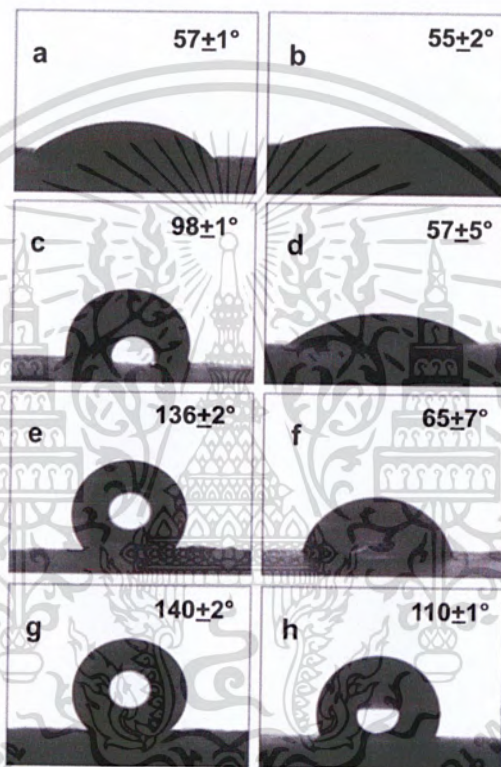
2.2.5. การผลิตกระเบื้องมุงหลังคาที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (Producing superhydrophobic roof tiles)

จากงานวิจัยของ Puerto Real และคณะ [18] ได้ศึกษาวิธีการปรับปรุงการผลิตกระเบื้องมุงหลังคาให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด โดยการพัฒนาประสิทธิภาพและความทนทานของกระเบื้องมุงหลังคา ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและราคาไม่แพงที่ใช้ในการผลิตพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดบนวัสดุก่อสร้าง โดยทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกาเคลือบบนพื้นผิวกระเบื้องมุงหลังคา เพื่อสร้างช่องว่างอากาศ ทำให้พื้นผิวมีความขรุขระ ซึ่งช่วยให้เกิดสมบัติไม่ชอบน้ำขึ้น โดยเตรียมจากการผสมเอทิลซิลิเกต (ethyl silicates; TES40) กับซิลิกาฟุ่มไฮโดรฟลิก (OX50) จากนั้นเติมสารลดแรงตึงผิวออกทิลเอมีน (n-octylamine) เข้าไปในโซล เพื่อเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาโซลเจล และทำให้โครงสร้างรูพรุนเกิดเป็นโครงข่ายเจล โดยได้มีการประยุกต์ใช้อัลตราซาวด์ในการกำจัดสารอินทรีย์ไฮดรอกซีออกจากการสังเคราะห์ แล้วทำการเติม PDMS หรือน้ำยาล้างคราบไขมัน (degreasing alkaline; BS290) ลงไป จากนั้นจึงนำกระเบื้องมุงหลังคามาทำการเคลือบโซลที่เตรียมได้ลงบนผิวด้วยสเปรย์ และเคลือบโซลด้วยวิธีการจุ่มเคลือบเป็นเวลา 2 นาที และ 5 นาที กระบวนการสังเคราะห์แสดงในรูปที่ 2.22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 2.22 แสดงการสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้ตัวอย่างกระเบื้องมุงหลังคา [18] การนำไปใช้

จากการศึกษาพฤติกรรมการเปียกของตัวอย่างกระเบื้องมุงหลังคา โดยการวัดมุมสัมผัสคงที่ และมุมสัมผัสเคลื่อนที่ของหยดน้ำบนพื้นผิวกระเบื้องมุงหลังคา พบว่ากระเบื้องมุงหลังคาที่ผ่านการเคลือบผิวนั้นมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำสูง และสามารถป้องกันการดูดซึมของน้ำได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.23 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างกระเบื้องมุงหลังคาที่ผ่านการเคลือบด้วยวิธีการจุ่มเคลือบมีสภาพการเปียกน้ำที่น้อย และเมื่อทำการจุ่มเคลือบที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้น สภาพการเปียกน้ำจึงน้อยลง นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบสารเคลือบ PDMS กับ BS290 พบว่ากระเบื้องมุงหลังคาที่เคลือบด้วยสาร PDMS มีค่ามุมสัมผัสน้ำที่สูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระเบื้องมุงหลังคามีสสมบัติที่ไม่ชอบน้ำสูง



รูปที่ 2.23 ภาพของหยดน้ำบนพื้นผิวของกระเบื้องมุงหลังคาที่ได้รับการปรับปรุงด้วยผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ภายใต้การศึกษา: ก่อน (คอลัมน์ซ้าย) และหลัง (คอลัมน์ขวา) เร่งอายุ (a), (b) ไม่ได้ทำเคลือบ (c), (d) ทำการเคลือบด้วย BS290 (e), (f) ทำการเคลือบด้วย BS290 ที่ได้จากงานวิจัย และ (g), (h) ทำการเคลือบด้วย PDMS ที่สังเคราะห์จากงานวิจัย [18]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ สารเคมี และกระบวนการที่ใช้ในการศึกษา การพัฒนาอิฐก่อผนังตกแต่งที่มีสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา ตะไคร่ และไม่ชอบน้ำ

3.1. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- | | |
|---|-------------------------|
| 3.1.1 ปีกเกอร์ | 3.1.2 ขวดวัดปริมาตร |
| 3.1.3 หลอดหยด | 3.1.4 กระจกบด |
| 3.1.5 แท่งแก้วคนสาร | 3.1.6 ซ้อนตักสาร |
| 3.1.7 กระจกบดน้ำกลั่น | 3.1.8 ปีเปต |
| 3.1.9 จานเพาะเชื้อ | 3.1.10 คีมคีบ |
| 3.1.11 เครื่องปั่นกวน | 3.1.12 แท่งแม่เหล็ก |
| 3.1.13 เครื่องชั่งดิจิทัล 4 ตำแหน่ง | 3.1.14 ขวดใส่สาร |
| 3.1.15 แผ่นพอลิเอทิลีน | 3.1.16 อิฐก่อผนังตกแต่ง |
| 3.1.17 เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles; WCAs) บริษัท DATAPHYSIC รุ่น OCA20 | |
| 3.1.18 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) บริษัท FEI รุ่น QUANTA 250 | |
| 3.1.19 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope; TEM) บริษัท FEI/TECNAI G2 20 | |
| 3.1.20 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer; XRD) บริษัท SHIMADZU รุ่น XRD-6100 | |
| 3.1.21 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) บริษัท SHIMADZU | |
| 3.1.22 เครื่องฟูเรียรทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FT-IR) บริษัท THERMO SCIENTIFIC รุ่น THERMO SCIENTIFIC MODEL NICOLET 6700 | |
| 3.1.23 เครื่องวัดสี (colorimeter) บริษัท COLOR ASSOCIATES รุ่น MINISCAN XE PLUS | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 น้ำปราศจากไอออน (de-ionized water; DI water)
- 3.2.2 ซิลเวอร์ไนเตรท (silver nitrate; AgNO_3) บริษัท CARLO EBRA REAGENTS GROUP
- 3.2.3 พอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาเลอิกแอซิด (poly(4-styrenesulfonic acid co-maleic acid) sodium salt; CoPSS) บริษัท SIGMA-ALDRICH
- 3.2.4 โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (sodium borohydride; NaBH_4) ความบริสุทธิ์ 99% บริษัท SIGMA-ALDRICH
- 3.2.5 พอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (poly(diallyldimethylammonium chloride) solution; PDADMAC) ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก บริษัท SIGMA-ALDRICH
- 3.2.6 พอลิโซเดียมสไตรีนซัลโฟเนต (poly(sodium 4-styrenesulfonate); PSS) บริษัท SIGMA-ALDRICH ความบริสุทธิ์ 99%
- 3.2.7 พอลิไดเมทิลซิลอกเซน (polydimethylsiloxane, PDMS) ความบริสุทธิ์ 100% บริษัท SUMMIT CHEMICAL
- 3.2.8 เฮกเซน (hexane; C_6H_{14}) ความบริสุทธิ์ 98.5% บริษัท CARLO EBRA REAGENTS GROUP

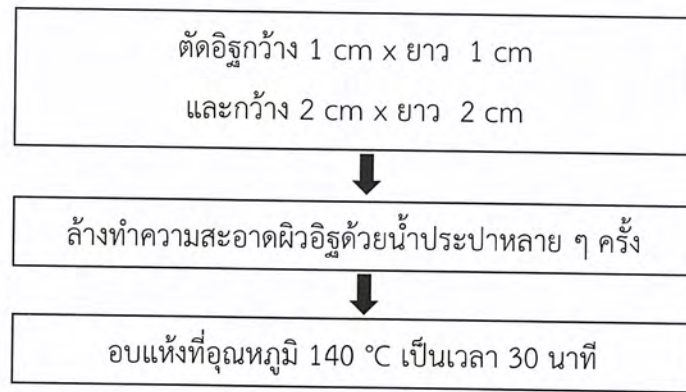
3.3 วิธีการทดลอง

โครงการพิเศษนี้ได้ศึกษาการพัฒนาอิฐก่อผนังตกแต่งที่มีคุณสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา ตะไคร่ และไม่ชอบน้ำ โดยการเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนลงบนพื้นผิวอิฐก่อผนังตกแต่ง เพื่อให้มีสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา จากนั้นทำการจุ่มเคลือบด้วยพอลิไดเมทิลซิลอกเซนเพื่อป้องกันการเกิดตะไคร่ และมีชั้นเคลือบที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างอิฐก่อผนังตกแต่ง

- 1) ตัดอิฐให้มีขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร x ยาว 1 เซนติเมตร และขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร x ยาว 2 เซนติเมตร
- 2) ล้างทำความสะอาดผิวอิฐด้วยน้ำประปาหลาย ๆ ครั้ง เพื่อขจัดคราบสกปรกบนพื้นผิว
- 3) นำอิฐที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จึงได้อิฐที่ผ่านการเตรียมผิวเรียบร้อยแล้ว ดังแผนภาพกระบวนการเตรียมผิวอิฐตัวอย่างที่แสดงในรูป 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงกระบวนการเตรียมตัวอย่างอิฐ

3.3.2 การเตรียมสารละลายซิลเวอร์นาโน

- 1) เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) ความเข้มข้น 100 mM โดยการละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.3398 กรัม ลงในน้ำปราศจากไอออน 20 มิลลิลิตร
- 2) เตรียมสารละลายพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาเล็กแอซิด (CoPSS) ความเข้มข้น 50 mM โดยการละลายพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาเล็กแอซิด 0.2582 กรัม ลงในน้ำปราศจากไอออน 15 มิลลิลิตร
- 3) เตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) ความเข้มข้น 50 mM โดยการละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.6620 กรัม ลงในน้ำปราศจากไอออน 350 มิลลิลิตร
- 4) ทำการผสมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทและสารละลายพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาเล็กแอซิด โดยมีน้ำปราศจากไอออนเป็นตัวทำละลาย ตามอัตราส่วนที่กำหนดดังที่แสดงในตารางที่ 3.1

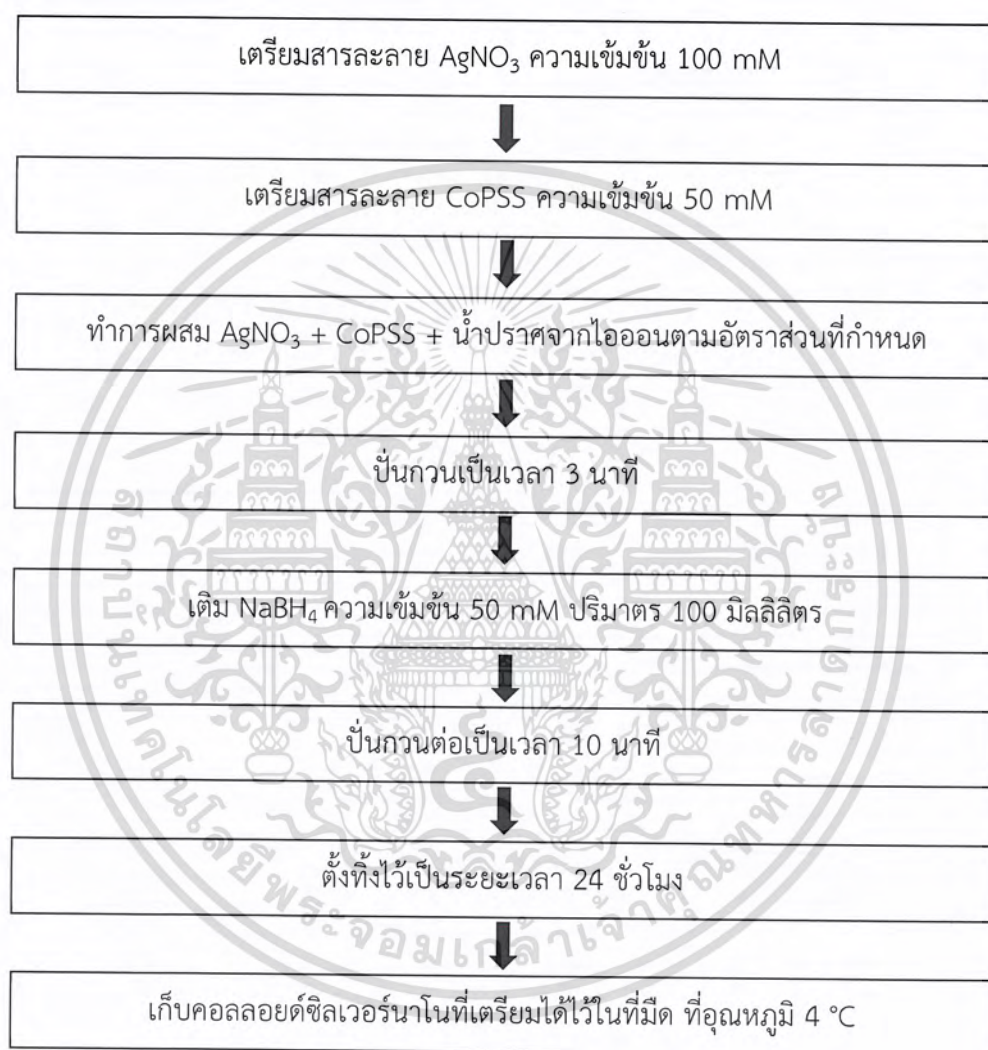
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงอัตราส่วนผสมโดยมิลลิโมลาร์ระหว่าง AgNO_3 : NaBH_4 : CoPSS

อัตราส่วนผสม (mM)	สารละลายปริมาตรรวม 500 ml			
	AgNO_3 (ml)	NaBH_4 (ml)	CoPSS (ml)	น้ำปราศจาก ไอออน (ml)
AgNO_3 : NaBH_4 : CoPSS				
1 : 10 : 0.01	5	100	0.1	394.9
1 : 10 : 0.1	5	100	1	394
1 : 10 : 1	5	100	10	385

- 5) ทำการปั่นกวนสารละลายทั้งหมดให้เข้ากันเป็นเวลา 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) เติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ความเข้มข้น 50 mM ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปั่น กวนต่อเป็นเวลา 10 นาที
- 7) ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จึงได้คอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน
- 8) ทำการเก็บคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโนที่เตรียมได้ไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แผนภาพกระบวนการเตรียมสารแขวนลอยอนุภาคซิลเวอร์นาโนดังแสดงในรูป 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงกระบวนการเตรียมคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน

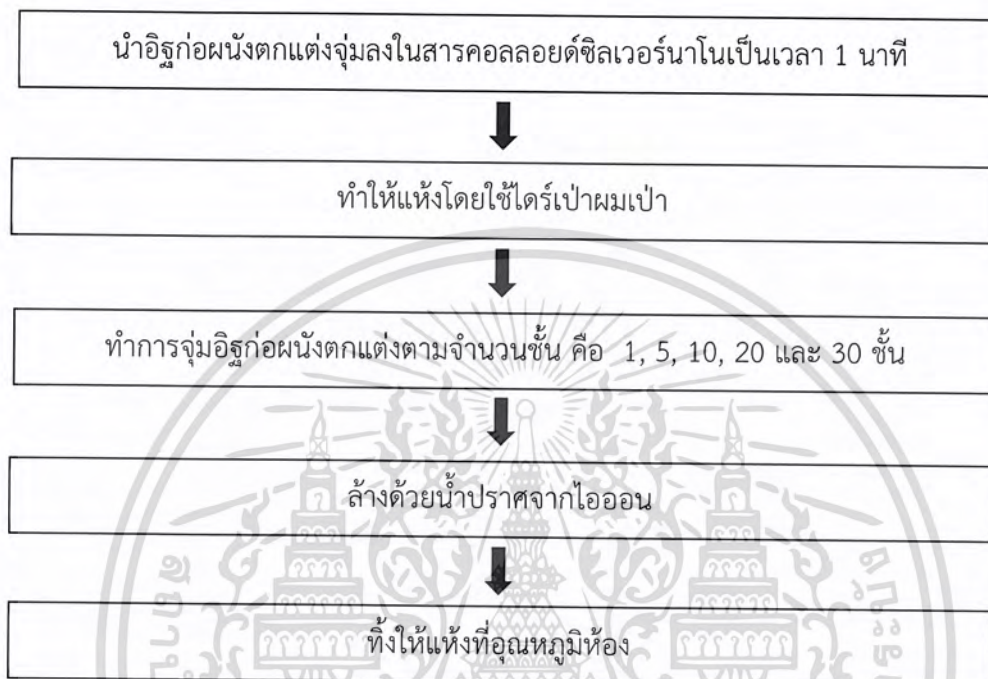
3.3.3 การเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนบนผิวอิฐก่อผนังตกแต่ง

3.3.3.1 การเคลือบด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ

- 1) นำอิฐที่ได้จากตอนที่ 3.3.1 จุ่มลงในสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโนที่เตรียมได้จากตอน

ที่ 3.3.2 เป็นเวลา 1 นาที เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 2) นำอิฐก่อผนังตกแต่งออกมาทำให้แห้งโดยใช้ไดร์เป่าผมเป่า

- 3) ทำการจุ่มอิฐก่อผนังตักแต่งตามจำนวนชั้น คือ 1, 5, 10, 20 และ 30 ชั้น ตามลำดับ
 - 4) ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง
- แผนภาพกระบวนการเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนบนผิวอิฐตักแต่งด้วยวิธีการจุ่มเคลือบที่อุณหภูมิห้อง แสดงไว้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงกระบวนการเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนบนผิวอิฐด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ

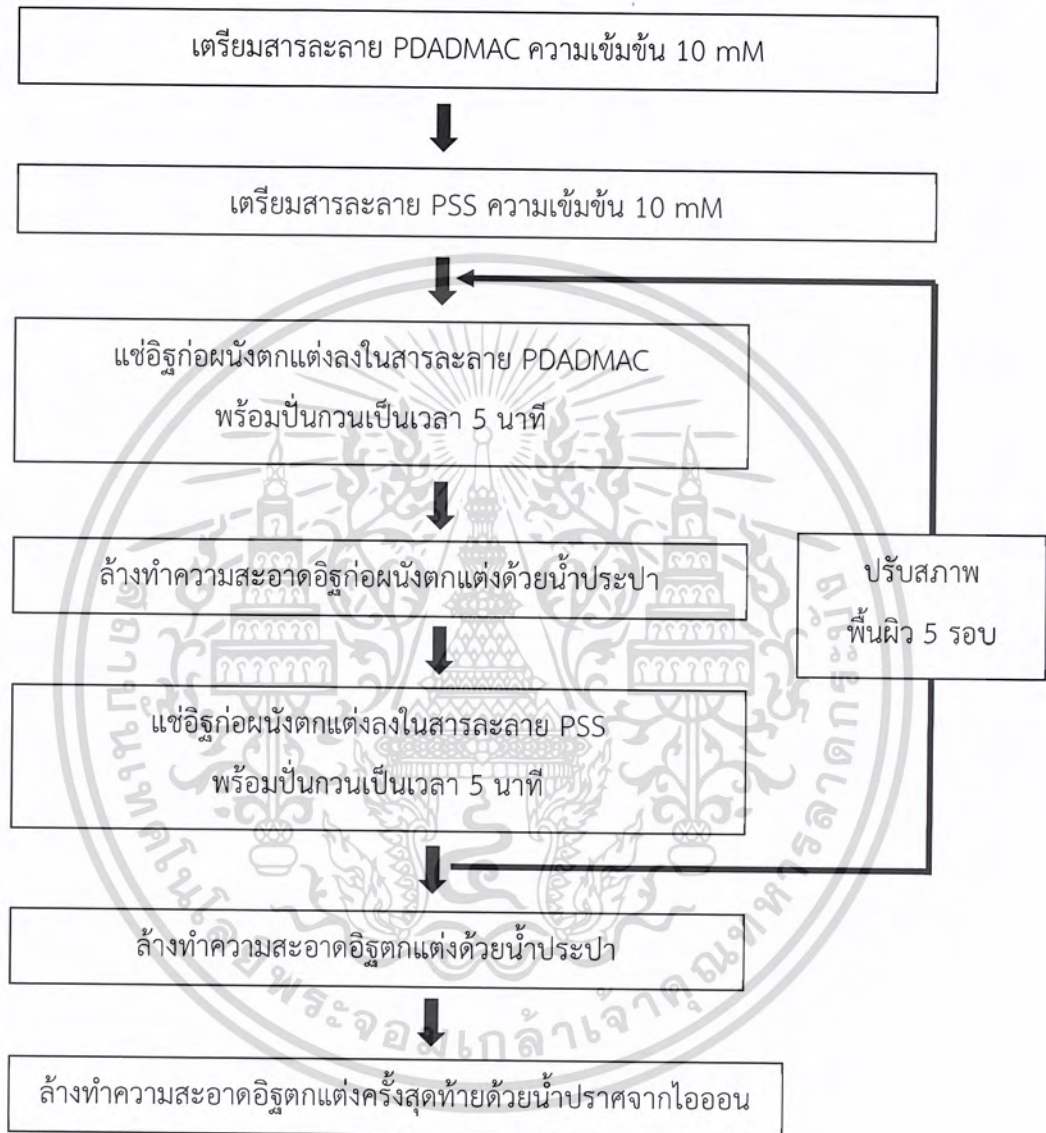
3.3.3.2 การเคลือบด้วยวิธีแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer)

3.3.3.2.1 การปรับสภาพพื้นผิวอิฐก่อผนังตักแต่งให้มีประจุบวก

- 1) เตรียมสารละลายพอลิไดออลิลิโดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (PDADMAC) ความเข้มข้น 10 mM โดยการละลาย PDADMAC 1.6167 กรัม ลงในน้ำปราศจากไอออน 1000 มิลลิลิตร
- 2) เตรียมสารละลายพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิด (PSS) ความเข้มข้น 10 mM โดยการละลาย PSS 2.0619 กรัม ลงในน้ำปราศจากไอออน 1000 มิลลิลิตร
- 3) แช่อิฐก่อผนังตักแต่งลงในสารละลายที่ได้จากข้อ 1. พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที
- 4) ล้างทำความสะอาดอิฐก่อผนังตักแต่งด้วยน้ำประปา
- 5) แช่อิฐก่อผนังตักแต่งลงในสารละลายที่ได้จากข้อ 2. พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที
- 6) ล้างทำความสะอาดอิฐก่อผนังตักแต่งด้วยน้ำประปา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7) ทำการปรับสภาพพื้นผิวอิฐก่อนผนังตอกแต่งซ้ำตามข้อ 3-6 อีกเป็นจำนวน 4 รอบ (รวมทั้งหมด 5 รอบ) โดยขั้นสุดท้ายคือ ชั้นที่มี PDADMAC
 - 8) ล้างทำความสะอาดอิฐก่อนผนังตอกแต่งสุดท้ายด้วยน้ำปราศจากไอออน
- แผนภาพกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวอิฐก่อนผนังตอกแต่งให้มีประจุบวก แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนภาพกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวให้มีประจุบวก

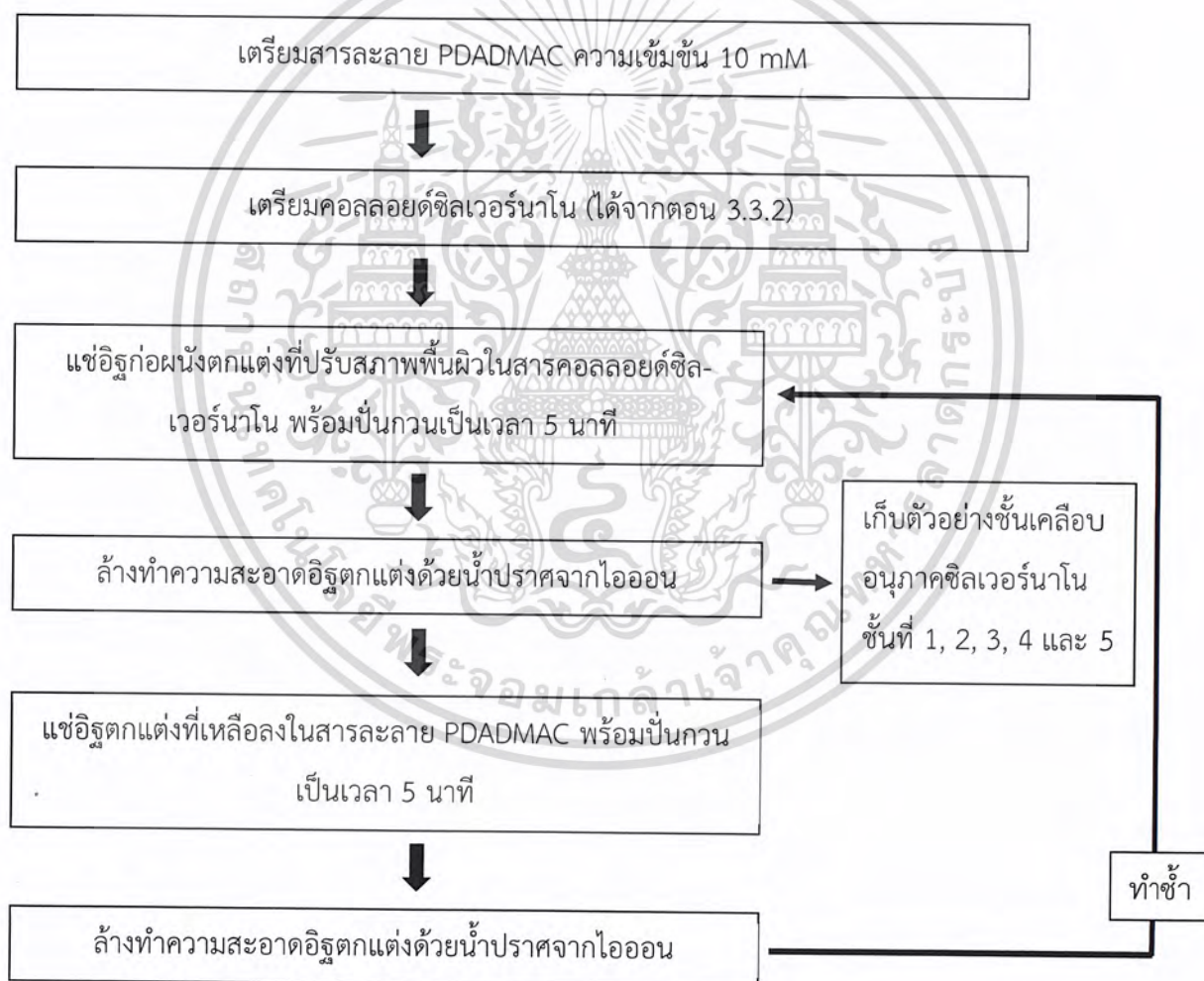
3.3.3.2.2 การเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนบนผิวอิฐก่อนผนังตอกแต่ง

- 1) เตรียมสารละลาย PDADMAC ความเข้มข้น 10 mM โดยการละลาย PDADMAC 1.6167 กรัม ลงในน้ำปราศจากไอออน 1000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
จากตอนที่ 3.3.2 พร้อมปั่นกวน เป็นเวลา 5 นาที

- 3) ล้างทำความสะอาดอิฐก่อนนั่งตักแต่งด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วทำการเก็บตัวอย่าง จะได้อิฐก่อนนั่งตักแต่งที่เคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน 1 ชั้น
- 4) แช่อิฐก่อนนั่งตักแต่งที่เหลืองในสารละลาย PDADMAC พร้อมปั่นกวน เป็นเวลา 5 นาที
- 5) ล้างทำความสะอาดอิฐด้วยน้ำปราศจากไอออน
- 6) ทำการเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนซ้ำตามข้อ 2-5 ตามจำนวนชั้นเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโน 2, 3, 4 และ 5 ชั้น โดยพื้นผิวชั้นสุดท้ายคือพื้นผิวที่เคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน

แผนภาพกระบวนการเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนบนผิวอิฐก่อนนั่งตักแต่งด้วยวิธีขั้นต่อขั้น แสดงในรูป 3.5



รูปที่ 3.5 แผนภาพกระบวนการเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโนบนผิวอิฐก่อนนั่งตักแต่งด้วยวิธีการขั้นต่อขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การเคลือบชั้นเคลือบที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดบนอิฐตกแต่ง

3.3.4.1 ศึกษาอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรระหว่าง PDMS : hexane

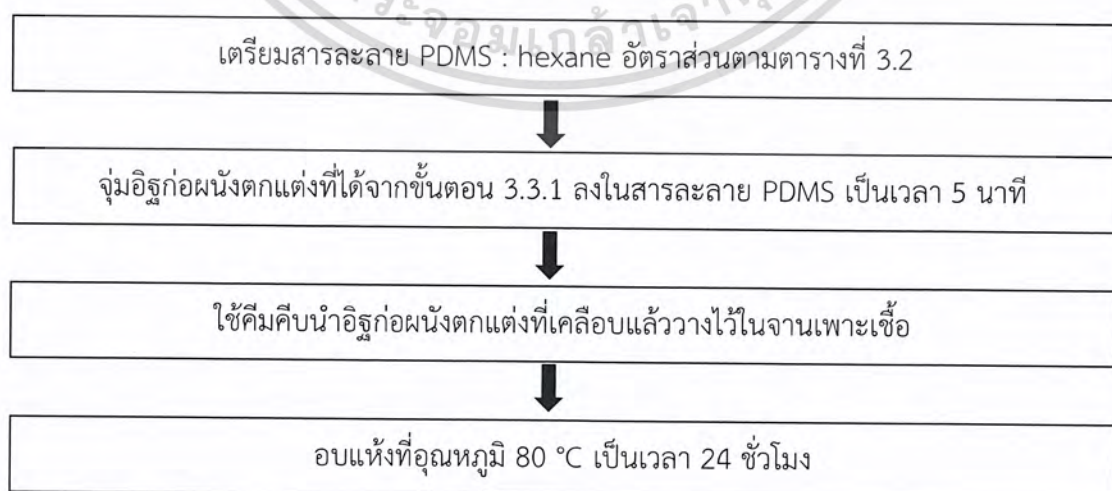
- 1) เตรียมสารละลายพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS) ผสมกับเฮกเซน (hexane) ปริมาตรรวม 10 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนโดยปริมาตรดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรระหว่าง PDMS : hexane

อัตราส่วนผสม PDMS : hexane	สารละลายปริมาตรรวม 10 ml	
	PDMS (ml)	hexane (ml)
100 : 0	10	0
75 : 25	7.5	2.5
50 : 50	5	5
25 : 75	2.5	7.5

- 2) นำอิฐก่อผนังตกแต่งที่เตรียมได้จากตอน 3.3.1 มาจุ่มลงในสารละลายที่เตรียมได้ในข้อที่ 1 เป็นเวลา 5 นาที
- 3) ใช้คีมคิบนำอิฐก่อผนังตกแต่งที่เคลือบแล้ววางไว้ในจานเพาะเชื้อ
- 4) นำอิฐที่เคลือบแล้วไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จึงได้เป็นชั้นเคลือบที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ
- 5) นำอิฐที่เตรียมได้ไปวัดค่ามุมสัมผัสน้ำเพื่อเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปเคลือบบนอิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโนแล้ว

แผนภาพกระบวนการศึกษาอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรระหว่าง PDMS : hexane ดังแสดงในรูปที่ 3.6

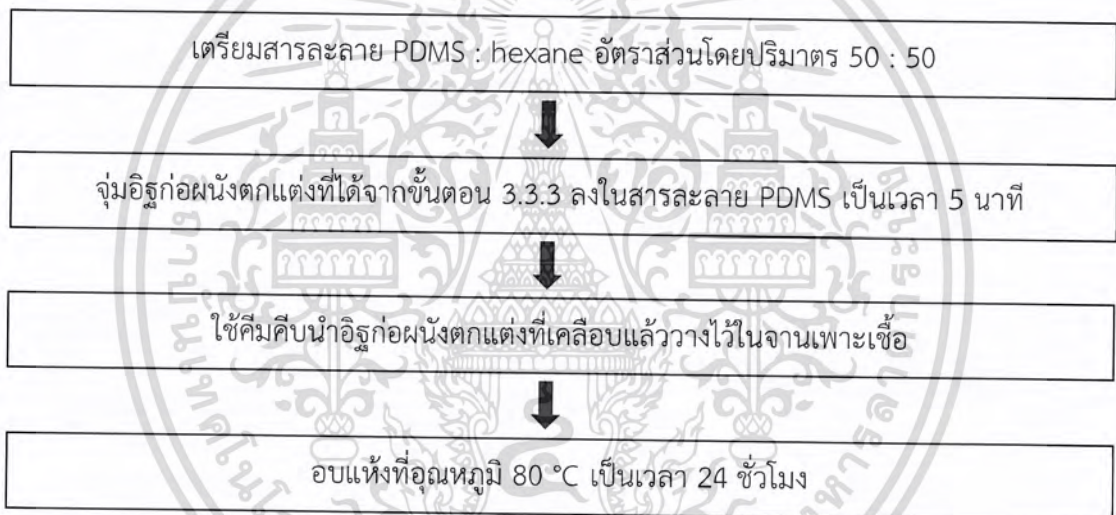


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.6 แผนภาพกระบวนการศึกษาอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรระหว่าง PDMS : hexane
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

3.3.4.2 การเคลือบสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำลงบนอิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน

- 1) เตรียมสารละลายพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS) ผสมกับเฮกเซน (hexane) ปริมาตรรวม 10 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนโดยปริมาตร คือ 50 : 50
- 2) นำอิฐก่อผนังตกแต่งที่เตรียมได้จากตอน 3.3.3 มาจุ่มลงในสารละลายที่เตรียมได้ในข้อที่ 1 เป็นเวลา 5 นาที
- 3) ใช้คีมคีบนำอิฐก่อผนังตกแต่งที่เคลือบแล้ววางไว้ในจานเพาะเชื้อ
- 4) นำอิฐที่เคลือบแล้วไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จึงได้เป็นชั้นเคลือบที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ

แผนภาพกระบวนการเคลือบสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำลงบนอิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนภาพกระบวนการเคลือบสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำลงบนอิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน

3.3.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของอิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโนและสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ

3.3.5.1 การศึกษาสมบัติด้านทานการเกิดแบคทีเรีย

ทำการศึกษาศมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (anti-bacterial) ของอิฐที่ผ่านการเคลือบด้วย AgNPs และ PDMS ในการศึกษาครั้งนี้แบคทีเรียที่ใช้ทดสอบได้แก่ *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก และ *Escherichia coli* (*E. coli*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5.2 การศึกษาสมบัติด้านทานการเกิดเชื้อรา

ศึกษาสมบัติด้านทานการเกิดเชื้อราของอิฐที่เตรียมจากการเคลือบ AgNPs และ PDMS เปรียบเทียบกับอิฐเปล่า โดยการนำอิฐวางเรียงบนแผ่นขนมปังภายในกล่องภาชนะปิดที่มีความชื้นและเก็บไว้เป็นเวลา 6 สัปดาห์ สังเกตและบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงเมื่อครบเวลาที่กำหนด

3.5.5.3 การศึกษาสมบัติด้านทานการเกิดตะไคร่

ศึกษาสมบัติด้านทานการเกิดเชื้อราของอิฐที่เตรียมจากการเคลือบ AgNPs และ PDMS เปรียบเทียบกับอิฐเปล่า โดยการนำอิฐวางเรียงในโถที่มีตะไคร่เป็นเวลา 6 สัปดาห์ สังเกตและบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงเมื่อครบเวลาที่กำหนด

3.5.5.4 การศึกษาสมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง

ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning) ของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการเคลือบด้วย PDMS โดยการศึกษาประสิทธิภาพการทำความสะอาดตัวเองของชั้นเคลือบนั้น ทำได้ด้วยการใช้ผงแกรไฟต์ ผงแบงทาหน้า และผงทราย ซึ่งเป็นสารที่ทำความสะอาดสกปรกบนพื้นผิว มาโรยลงไปบนผิวหน้าของชั้นเคลือบแล้วทำการหยดน้ำลงไปบนพื้นผิว สังเกตการกลิ้งตัวของหยดน้ำพร้อมสิ่งสกปรกบนพื้นผิว

3.5.5.5 การศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศของชั้นเคลือบ

3.5.5.5.1 การศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศในสภาวะจริง

ทำการศึกษาความคงทนต่อสภาพแวดล้อมของอิฐที่เตรียมจากการเคลือบ AgNPs และ PDMS โดยการนำอิฐตัวอย่างไปวางไว้กลางแจ้ง แล้ววัดค่ามัมสัมผัสน้ำทุก ๆ สัปดาห์ เป็นระยะเวลาเวลา 6 สัปดาห์

3.5.5.5.2 การศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศในสภาวะจำลอง

ทำการศึกษาความคงทนต่อสภาพแวดล้อมของอิฐที่เตรียมจากการเคลือบ AgNPs และ PDMS ด้วยการนำอิฐไปทดสอบโดยเครื่องจำลองสภาวะอากาศ (weathering tester) โดยใช้สภาวะตามมาตรฐาน ASTM G-154 เพื่อใช้ในการทดสอบพลาสติก ที่ Lamp : UVA-340 Typical Irradiance : 0.89 W/m²/nm, Approximate Wavelength : 340 nm, Exposure Cycle : 8 h UVA at 60 °C; 4 h condensation at 50 °C ทำการทดสอบทั้งหมด 1 รอบ จำนวนเวลาทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ คือ 12 ชั่วโมง แล้วนำอิฐที่ผ่านการจำลองสภาวะมาวัดค่ามัมสัมผัสน้ำและสังเกตลักษณะทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5.5.6 ศึกษาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐ

ทำการศึกษาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐที่เตรียมจากการเคลือบ AgNPs และ PDMS โดยนำอิฐที่ผ่านการอบแห้งมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปแช่ในน้ำให้อิ่มตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักและคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำได้ดังสมการที่ 3.1

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{sf-wf}{wf} \times 100 \quad (\text{สมการที่ 3.1})$$

โดยที่ sf คือ น้ำหนักของอิฐอิ่มน้ำ

wf คือ น้ำหนักของอิฐหลังการอบแห้ง

3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์และสมบัติของอิฐก่อนผนังตกแต่งที่มีสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา ตะไคร่ และไม่ชอบน้ำ

3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างง่ายด้วยการวัดมุมสัมผัสของน้ำ (Water contact angles; WCAs)

มุมสัมผัสของน้ำ (WCAs) เกิดจากแรงการกระทำสองแรงคือ แรงเกาะติด (adhesion force) ระหว่างโมเลกุลของเหลวกับของแข็ง ซึ่งทำให้ของเหลวเกิดการกระจายตัวไปทั่วบริเวณพื้นผิวของแข็ง และมีแรงยึดติด (cohesion force) ระหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกันภายในของเหลว จึงทำให้ของเหลวเกิดการเกาะกลุ่มรวมกันเป็นของเหลวทรงกลมและไม่มีการสัมผัสกับพื้นผิวของแข็งหรือมีการสัมผัสกันน้อย จึงมีการใช้ค่ามุมสัมผัสของน้ำในการตรวจวิเคราะห์สมบัติไม่ชอบน้ำ เพื่ออธิบายการกระจายตัวของน้ำบนพื้นผิววัสดุตัวอย่าง [19]

การวัดมุมสัมผัสของน้ำมีวิธีการทดสอบดังนี้ คือ นำเข็มฉีดยาคัดน้ำกลั่นแล้วทำการหยดน้ำเพียงหยดเดียวลงบนพื้นผิววัสดุตัวอย่างที่ต้องการวัด จากนั้นทำการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำโดยใช้โปรแกรมควบคุม ด้วยการถ่ายภาพหยดน้ำบนพื้นผิวตัวอย่าง แล้วทำการตรวจวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำเป็นหน่วยองศา ซึ่งในโครงการพิเศษนี้ ได้ทำการวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้หยดน้ำขนาด 5 ไมโครลิตร อัตราเร็ว 1 ไมโครลิตรต่อวินาที และทำการวัดทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วนำค่ามุมสัมผัสที่ได้ทั้งด้านซ้ายและด้านขวามาหาค่าเฉลี่ย [20, 21] เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

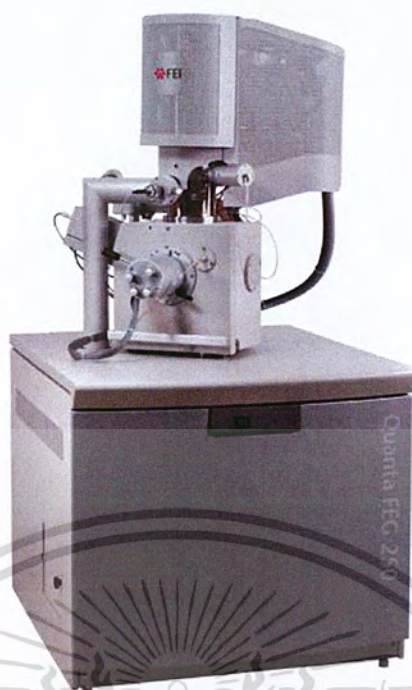


รูปที่ 3.8 เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ [22]

3.4.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุ ซึ่งสามารถศึกษาได้ถึงในระดับจุลภาคโดยใช้อิเล็กตรอนเป็นแหล่งพลังงาน จะได้ภาพของวัสดุที่มีความละเอียดสูง ภาพที่ได้จะเป็นสามมิติซึ่งจะถูกใช้ในการศึกษารูปร่างและสัณฐานวิทยาของวัสดุตัวอย่าง โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยายประมาณ 3000-100000 เท่า โดยภายในเครื่องจะมีปืนอิเล็กตรอน (electron gun) ใช้สร้างลำอิเล็กตรอน จากนั้นอิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยศักย์ไฟฟ้าสูง (high voltage) ที่ถูกควบคุมทิศทางภายใต้สนามแม่เหล็ก โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของลำอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็กหรือที่เรียกว่าเลนส์แม่เหล็ก ซึ่งทำให้ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งไปกระทบกับพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่าง เกิดอันตรกิริยาบริเวณพื้นผิวของวัสดุตัวอย่าง เนื่องจากลำอิเล็กตรอนที่วิ่งมากระทบวัสดุตัวอย่างมีพลังงานสูง จึงทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากวัสดุตัวอย่างมีหลายระดับพลังงาน ซึ่งสามารถแยกความแตกต่างและเก็บข้อมูลระดับพลังงานของวัสดุตัวอย่างได้ นอกจากนี้ภายในระบบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดยังสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องมือวิเคราะห์ธาตุ (energy dispersive Spectrometry; EDS) เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบที่อยู่บนพื้นผิวของวัสดุตัวอย่าง [23] กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [23]

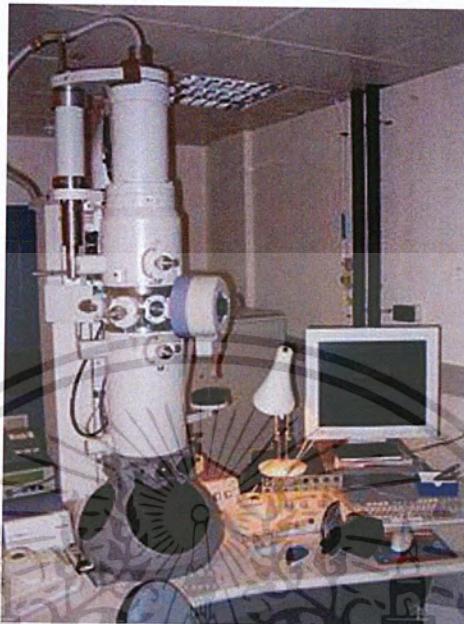
3.4.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope; TEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษาตัวอย่างชนิดบาง ซึ่งเตรียมขึ้นโดยวิธีพิเศษเพื่อให้ลำอิเล็กตรอนผ่านทะลุได้ การสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง เครื่อง TEM เหมาะสำหรับศึกษารายละเอียดองค์ประกอบภายในของตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายในเซลล์ ลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ผนังเซลล์ เป็นต้น ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการแจกแจงรายละเอียดสูงมาก (กำลังขยายสูงสุดประมาณ 0.1 นาโนเมตร)

หลักการทำงานของเครื่อง TEM จะประกอบด้วยแหล่งอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างที่จะศึกษา ซึ่งตัวอย่างที่จะศึกษาจะต้องมีลักษณะที่บาง (อยู่ในช่วง 1-100 นาโนเมตร) จากนั้นจะเกิดการกระเจิงอนุภาคขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนทะลุผ่านตัวอย่างไป และอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนี้จะถูกปรับโฟกัสของภาพโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่การขยายภาพให้ได้รายละเอียดมากที่สุด จากนั้นจะได้รับการขยายด้วยเลนส์

ทอดภาพไปสู่จอรับ (projector lens) และปรับโฟกัสของลำอนุภาคอิเล็กตรอนให้ยาวพอดีที่จะ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏบนฉากเรืองแสง สูดท้ายจะเกิดการสร้างภาพขึ้นมาได้ [24] กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.10

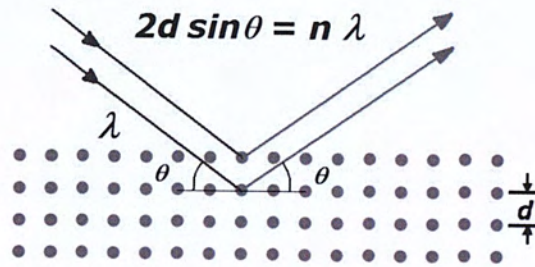


รูปที่ 3.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน [25]

3.4.4 การวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer; XRD)

การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์วัสดุตัวอย่างที่เป็นสารประกอบแบบผลึกต่าง ๆ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เมื่อลำรังสีเอกซ์ตกกระทบลงบนวัสดุหรืออนุภาคที่มีโครงสร้างผลึก รังสีเอกซ์จะเกิดการหักเหแล้วสะท้อนออกไป ซึ่งทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบ โดยองศาการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างของวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยมุมตกกระทบและมุมสะท้อนของรังสีเอกซ์สามารถอธิบายได้จากความสัมพันธ์ของสมการ Bragg's Law ดังแสดงในสมการที่ 3.1 ซึ่งเทคนิค XRD ใช้วิเคราะห์ จำแนกโครงสร้างวิภาคของผลึกประเภทต่าง ๆ ได้ โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่าง ๆ เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัด [26] เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผลึกภายในชิ้นงานวัสดุ [27]

จากรูปที่ 3.10 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้จากสมการของ Bragg's Law ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$2d \sin \theta = n \lambda$$

(สมการที่ 3.2)

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

n คือ ลำดับการสะท้อน

d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ

θ คือ มุมที่รังสีตกกระทบ



รูปที่ 3.12 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer)

เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่าความเข้ม (intensity) ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนของสารตัวอย่าง โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่างซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้

คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงในช่วงรังสียูวีหรือแสงวิสิเบิลที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่าง ๆ ตามกฎของ Beer-Lambert ดังแสดงในสมการที่ 3.2 เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว (monochromatic light) เข้าไปในสารที่มีอนุภาคที่สามารถดูดกลืนแสง พลังงานแสงที่ถูกดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นหรือปริมาณของสารที่ดูดกลืนแสงนั้น ๆ ซึ่งค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ [29] เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.13

$$A = \epsilon bc$$

(สมการที่ 3.3)

- โดยที่
- A คือ ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance)
 - ϵ คือ molar absorptivity ($\text{Lmol}^{-1}\text{cm}^{-1}$)
 - b คือ ความหนาของตัวกลางที่แสงผ่าน (cm)
 - c คือ ความเข้มข้นของสารดูดกลืน (mol/L)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.13 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ [29]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแบบสิ่งพิมพ์และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

FT-IR เป็นเครื่องมือวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ ในการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างโมเลกุล การวิเคราะห์จะอาศัยการดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรด (infrared light, IR) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ การทำงานของเครื่องนั้นเริ่มจากแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด จากนั้นอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ จะสะท้อนผ่านไปทีละส่วนบรรจุตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้ตัวอย่างเกิดการดูดกลืนอินฟราเรด เอาไว้บางส่วนในบางความยาวคลื่น ส่วนอินฟราเรดที่ไม่ถูกดูดกลืนก็จะผ่านเข้าสู่ตัวตรวจวัด (detector) ผลที่ได้จะเป็นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ ลักษณะเครื่อง FT-IR แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 เครื่องฟูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ [30]

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

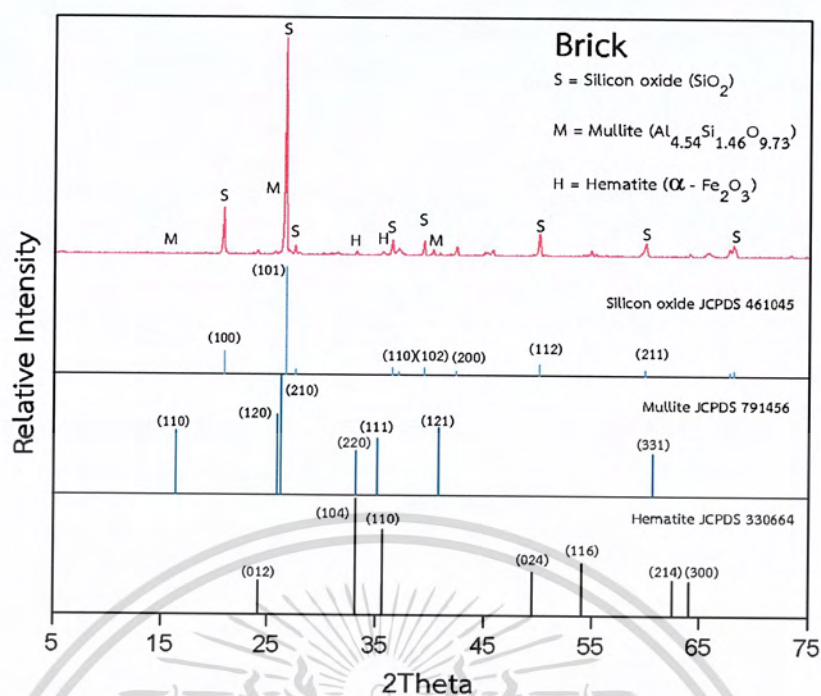
ในบทนี้กล่าวถึงผลการศึกษาการเคลือบผิวอิฐก่อผนังตกแต่งด้วยสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน (AgNPs) และพอลิไดเมทิลซิลอกเซน (PDMS) ให้มีสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา ตะไคร่ และไม่ชอบน้ำ โดยจะแสดงผลต่าง ๆ ดังนี้ การศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ (WCAs) ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ผลการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ผลการศึกษาโครงสร้างโมเลกุลโดยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR) พร้อมทั้งอภิปรายผลการทดลองที่ได้ ตามลำดับ

4.1 การตรวจพิสูจน์โครงสร้างผลึกของอิฐก่อผนังตกแต่ง

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการตรวจพิสูจน์โครงสร้างผลึกของอิฐที่ถูกนำมาปรับปรุงพื้นผิวให้มีสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา ตะไคร่ และไม่ชอบน้ำ โดยนำอิฐมาล้างทำความสะอาด อบให้แห้ง แล้วนำไปบดละเอียดจนได้ผงอิฐ แล้วจึงนำไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ของอิฐก่อผนังตกแต่ง แสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของอิฐก่อผนังตกแต่ง มีโครงสร้างผลึกที่ประกอบขึ้นจากหลายวัฏภาค โดยพบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตรงกับซิลิกา (Silicon oxide, JCPDS No. 461045) ซึ่งมีพีคขึ้นตรงที่ตำแหน่ง 2-Theta ที่ 20.95, 26.72, 27.62, 36.60, 37.17, 39.53, 50.18, 59.96 และ 68.19 มีองค์ประกอบของมัลไลต์ (Mullite, JCPDS No. 791456) ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทอลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminum silicon oxide; $Al_{4.54}Si_{1.46}O_{9.73}$) พบว่ามีพีคขึ้นตรงที่ตำแหน่ง 2-Theta เดียวกันที่ 16.44, 25.98, 26.30, 33.34 และ 40.86 และมีองค์ประกอบของฮีมาไทต์ (Hematite, JCPDS No. 330664) พบว่ามีพีคขึ้นตรงที่ตำแหน่ง 2-Theta เดียวกันที่ 24.18, 33.20, 35.68, 49.53, 54.15, 62.53 และ 64.09 ซึ่งจากผล XRD ของอิฐก่อผนังตกแต่ง แสดงให้เห็นว่าอิฐก่อผนังตกแต่งมีองค์ประกอบหลักประเภทสารประกอบซิลิกา มัลไลต์ และฮีมาไทต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

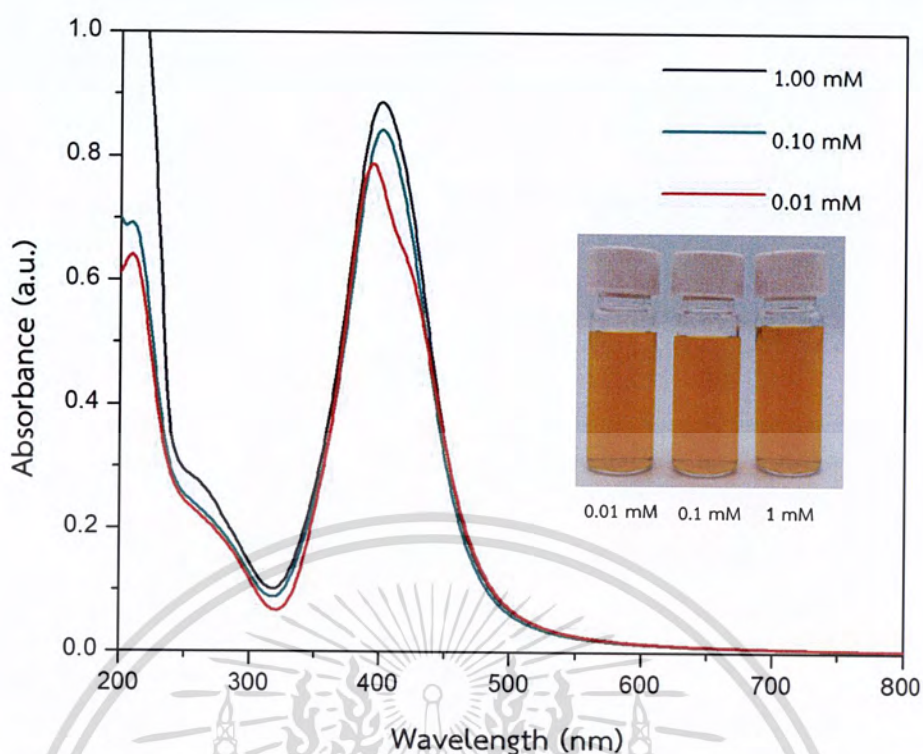


รูปที่ 4.1 XRD สเปกตร้าของอิฐก่อนนึ่งตกแต่งเทียบกับข้อมูลอ้างอิง

4.2 การเตรียมสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน

4.2.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของ CoPSS ที่มีผลต่อสมบัติในการรักษาเสถียรภาพและควบคุมขนาดของอนุภาคซิลเวอร์นาโน

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ของสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน (AgNPs) ที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีการรีดักชันทางเคมี (chemical reduction) โดยได้ทำการศึกษานขนาดอนุภาค AgNPs จากการใช้ความเข้มข้นของพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาเลอิกแอซิด (CoPSS) คือ 0.01, 0.1 และ 1 mM ซึ่งผลการศึกษแสดงดังรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.1

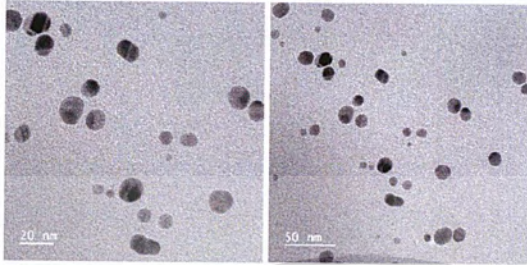
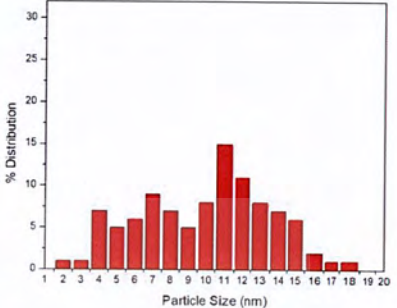
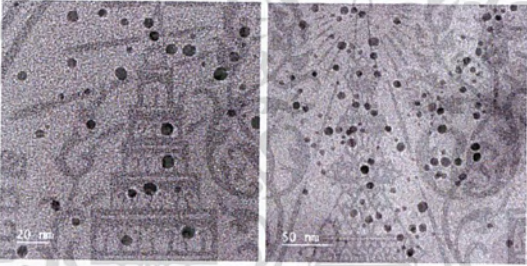
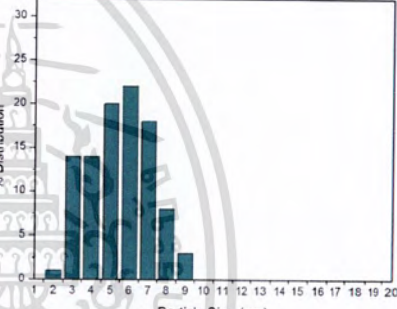
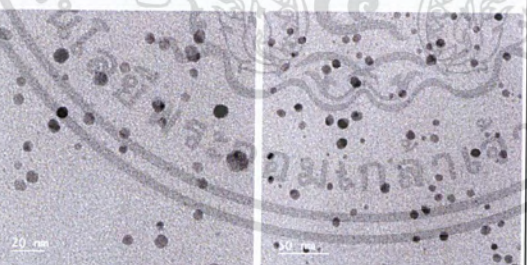
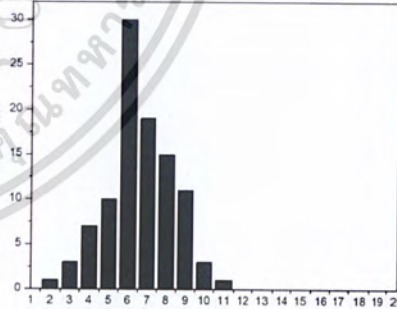


รูปที่ 4.2 ยูวี-วิสิเบิลสเปกตรากการดูดกลืนแสงของสารคอลลอยด์ AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วย CoPSS ความเข้มข้น 0.01, 0.1 และ 1 mM

ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) และขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ AgNPs

ความเข้มข้น CoPSS (mM)	ความยาวคลื่นสูงสุด (nm)	ขนาดอนุภาค (nm)
0.01	393	11 ± 4
0.1	400	6 ± 2
1	400	6 ± 2

จากรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.1 พบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) ของ AgNPs ที่สังเคราะห์โดยใช้ CoPSS ความเข้มข้น 0.01, 0.1 และ 1 mM คือ 393, 400 และ 400 nm ตามลำดับ ซึ่งแสดงเอกลักษณ์การดูดกลืนแสงของ AgNPs ที่เกิดจากสมบัตินิโชนเรโซแนนซ์ (surface plasmon resonance; SPR) [31] โดยสีของสารคอลลอยด์ AgNPs ที่สังเคราะห์ได้ มีลักษณะเป็นสีเหลือง จากนั้นทำการศึกษาขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของ AgNPs ที่สังเคราะห์ได้จากความเข้มข้นของ CoPSS ที่ 0.01, 0.1 และ 1 mM ด้วยเทคนิค TEM ซึ่งผลแสดงดังเอกสารรูปที่ 4.3 สารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CoPSS (mM)	รูป TEM	การกระจายตัว
(a) 0.01		
(b) 0.1		
(c) 1		

รูปที่ 4.3 ภาพ TEM แสดงขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของ AgNPs ที่สังเคราะห์ได้จากความเข้มข้นของ CoPSS ที่ (a) 0.01, (b) 0.1 และ (c) 1 mM

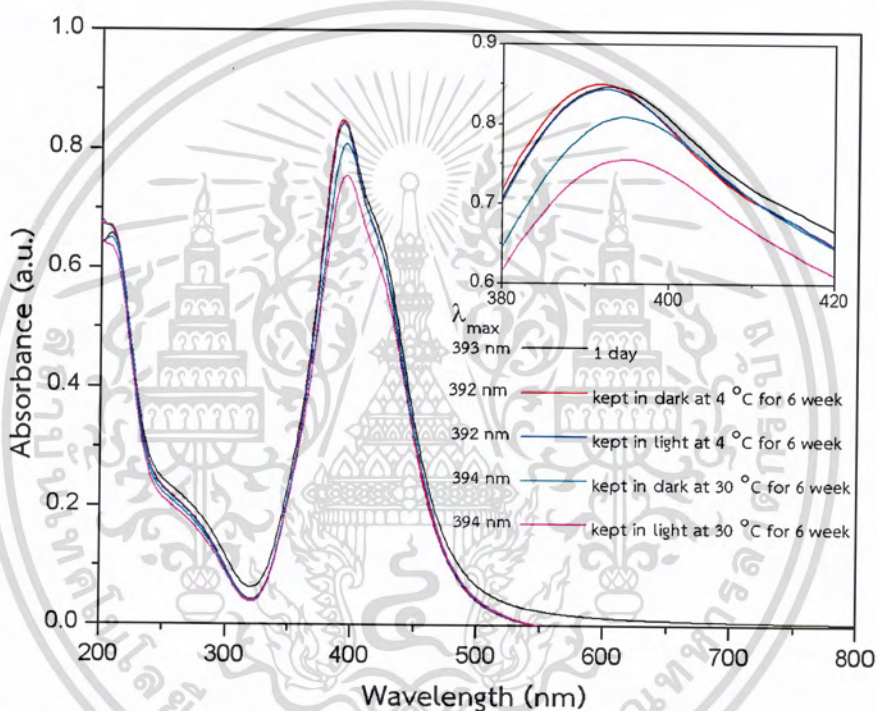
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 พบว่า AgNPs ที่สังเคราะห์ได้โดยใช้ CoPSS ที่ความเข้มข้น (a) 0.01, (b) 0.1 และ (c) 1 mM มีขนาดอนุภาคเล็กในระดับนาโนเมตร และมีลักษณะเป็นทรงกลม โดยมีการกระจายตัวของอนุภาคที่ดี ไม่เกาะกลุ่มกัน และพบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ AgNPs ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 11 ± 4 nm เมื่อใช้ CoPSS ความเข้มข้นต่ำที่ 0.01 mM และมีขนาดคงที่ที่ 6 ± 2 nm และ 6 ± 2 nm เมื่อใช้ CoPSS ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 0.1 และ 1 mM ตามลำดับ โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 0.01 mM จะมีการกระจายตัวของอนุภาคในช่วงกว้าง เนื่องจากมีขนาดอนุภาคใหญ่ และขนาดเล็กอยู่ภายในคอลลอยด์ ซึ่งผลที่ได้เกิดจากความเข้มข้นของ CoPSS ซึ่งเป็นสารรักษาเสถียรภาพ โดยเมื่อความเข้มข้นของ CoPSS เพิ่มขึ้นจาก 0.01 เป็น 0.1 mM ส่งผลให้ขนาดของ AgNPs ลดลง แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CoPSS เป็น 1 mM ซึ่งมากเกินไปจึงส่งผลให้ขนาดของ AgNPs มีค่าคงที่ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลจากเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยลักษณะของสเปกตรัมมีการเลื่อนตำแหน่งของแถบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสูงสุดไปทางความยาวคลื่นที่มากขึ้น (red shift) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CoPSS จาก 0.01 mM (393 nm) เป็น 0.1 mM และคงที่ที่ 400 nm เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 1 mM ซึ่งผลที่ได้ตรงข้ามกับผลของขนาด ที่โดยทั่วไปเมื่อความเข้มข้นของ CoPSS เพิ่มขึ้น ขนาดอนุภาคของ AgNPs จะลดลง ซึ่งส่งผลให้ค่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดลดลงตามไปด้วย (blue shift) แต่ในโครงการพิเศษนี้ การเพิ่มขึ้นของค่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดเมื่อใช้ความเข้มข้นของ CoPSS เป็น 0.01 และ 1 mM เป็นผลมาจากการสั่น (oscillation) ของอิเล็กตรอนบนพื้นผิวของอนุภาค AgNPs และเกิดการกระตุ้น (excitation) ของอิเล็กตรอนจากการเพิ่มขึ้นของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิเลต (carboxylate) และหมู่ฟังก์ชันซัลโฟนิค (sulfonic) จาก CoPSS ที่ยึดเกาะบนพื้นผิวของ AgNPs ที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสงได้ [32] จึงส่งผลต่อลักษณะของสเปกตรัมที่วิเคราะห์ได้ โดยความเข้มข้นของ CoPSS ที่ 1 mM ให้ค่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับกับความเข้มข้น 0.1 mM เนื่องจากความเข้มข้นของ CoPSS ที่ใช้เป็นสารรักษาเสถียรภาพให้แก่ AgNPs มีความเข้มข้นที่มากเกินไป จึงสามารถยึดเกาะบนพื้นผิวของ AgNPs ได้เพียงบางส่วน ส่งผลทำให้ขนาดอนุภาคของ AgNPs และความยาวคลื่นสูงสุดที่ดูดกลืนแสงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อความเข้มข้นของ CoPSS เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของ CoPSS เป็น 0.01 mM จะทำให้แถบของพีการดูดกลืนแสงไม่สมมาตร เนื่องจากมีอนุภาคขนาดใหญ่ และขนาดเล็กมารวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น ดังนั้นในโครงการพิเศษนี้ จึงได้เลือกสารคอลลอยด์ AgNPs ที่สังเคราะห์ได้จากการใช้ CoPSS ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 mM เพื่อนำไปเคลือบบนอิฐก่อนผนังตกแต่ง และทำการศึกษาเสถียรภาพทางเคมีของ AgNPs ต่อไป

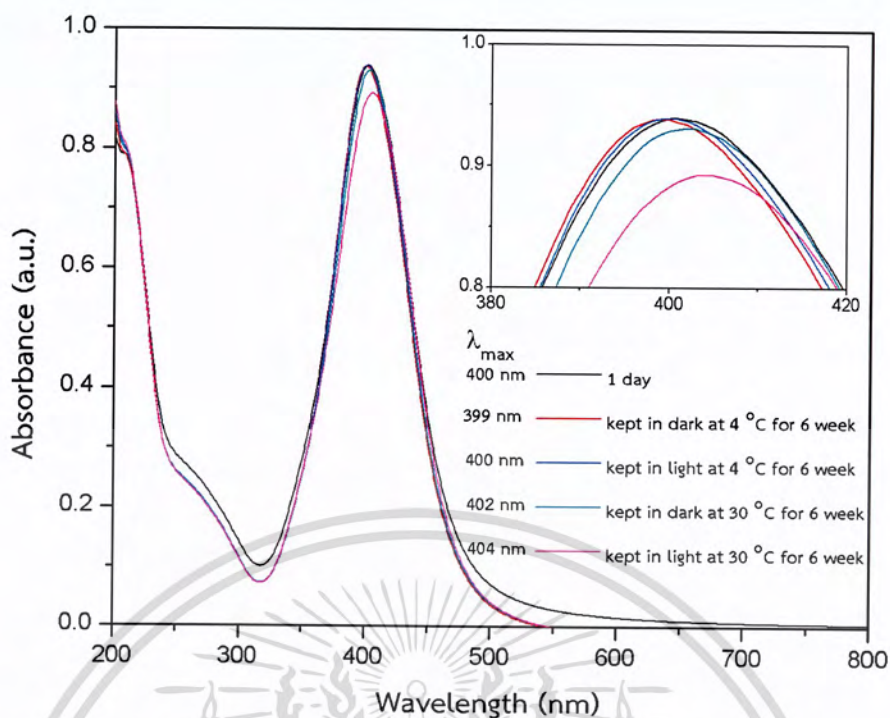
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การศึกษาเสถียรภาพทางเคมีของสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงของ AgNPs ที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้ความเข้มข้นของ CoPSS คือ 0.01 และ 0.1 mM โดยศึกษาผลของระยะเวลาและสถานะในการจัดเก็บ AgNPs ที่ส่งผลต่อความเสถียรภาพทางเคมีของ AgNPs โดยทำการจัดเก็บเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ที่สภาวะดังต่อไปนี้ คือ เก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บไว้ในที่สว่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง และเก็บไว้ในที่สว่างที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวแสดงไว้ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 สเปกตรากการดูดกลืนแสงของสารคอลลอยด์ AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วย CoPSS ความเข้มข้น 0.01 mM ที่จัดเก็บในสภาวะต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์



รูปที่ 4.5 สเปกตรารการดูดกลืนแสงของสารคอลลอยด์ AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วย CoPSS ความเข้มข้น 0.1 mM ที่จัดเก็บในสภาวะต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 ของสารคอลลอยด์ AgNPs ที่สังเคราะห์โดยใช้ CoPSS ความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 mM ตามลำดับ พบว่าที่สภาวะการจัดเก็บ AgNPs ไว้ในที่มืดและสว่าง ภายใต้ อุณหภูมิห้อง 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ จะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของ AgNPs ลดลงเล็กน้อย เนื่องจาก AgNPs เป็นสารคอลลอยด์ จึงอาจมีบางส่วนเกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น เกิดการตกตะกอนเกิดขึ้น และทำให้ค่าความยาวคลื่นในการดูดกลืนสูงสุดเปลี่ยนแปลงไป เล็กน้อยในทางความยาวคลื่นที่สูงขึ้น [33] นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบสภาวะการจัดเก็บ AgNPs ไว้ในที่มืดและสว่าง ภายใต้อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าแทบจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเลย เมื่อเทียบกับสเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงในครั้งแรกที่ ทำการตรวจวัด แสดงให้เห็นว่าสารคอลลอยด์ AgNPs ที่จัดเก็บไว้ที่สภาวะดังกล่าวยังคงมีเสถียรภาพ ทางเคมีที่ดี เมื่อเวลาผ่านไป 6 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาอิฐที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโนด้วยวิธีการจุ่มเคลือบและวิธีการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวอิฐก่อนนั่งตักแต่งด้วยการเคลือบ AgNPs โดยใช้วิธีการจุ่มเคลือบ (immersion; IM) และวิธีการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (layer-by-layer; LBL) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ผลดังต่อไปนี้

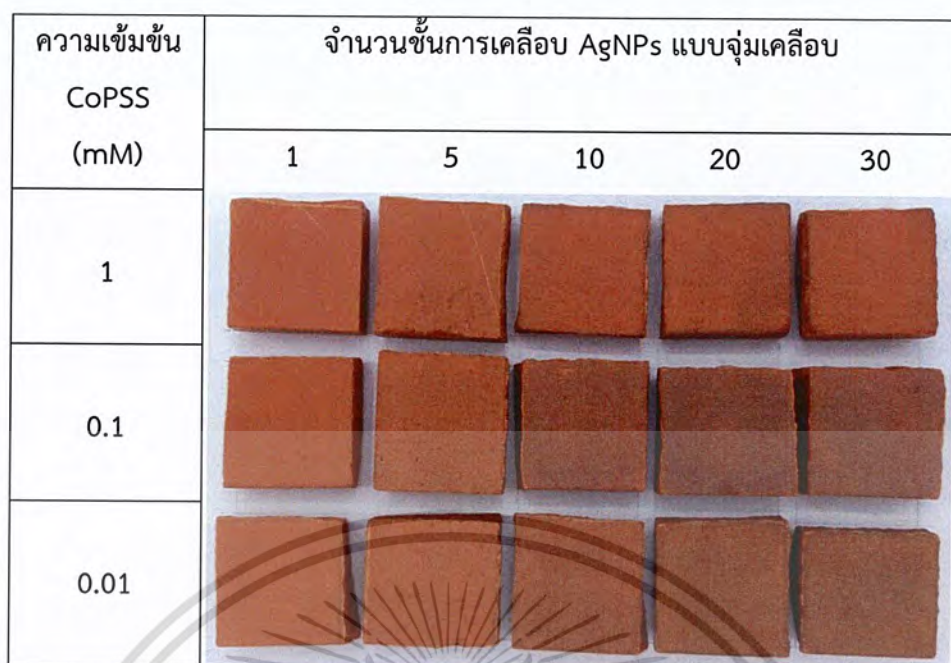
4.3.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของอิฐที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอิฐก่อนนั่งตักแต่งที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย AgNPs ดังแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่าอิฐก่อนนั่งตักแต่งที่ปราศจากการเคลือบผิว มีสีน้ำตาลส้ม จากนั้นเมื่อนำอิฐก่อนนั่งตักแต่งนี้ไปทำการเคลือบ AgNPs โดยวิธีการจุ่มเคลือบจำนวน 1, 5, 10, 20 และ 30 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่า เมื่อจำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบเพิ่มมากขึ้น สีของอิฐก่อนนั่งตักแต่งมีสีที่เข้มขึ้น แสดงให้เห็นว่าอนุภาค AgNPs เกาะติดบริเวณพื้นผิวเพิ่มมากขึ้น และเมื่อทำการจุ่มเคลือบด้วย AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วยความเข้มข้นของ CoPSS ที่แตกต่างกัน พบว่าอิฐก่อนนั่งตักแต่งที่เคลือบด้วย AgNPs ที่สังเคราะห์โดยใช้ CoPSS ความเข้มข้น 0.01 mM ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ (11 ± 4 nm) สามารถเกาะติดกับพื้นผิวของอิฐก่อนนั่งตักแต่งได้ดี จึงทำให้อิฐก่อนนั่งมีสีที่เข้มมากขึ้นเมื่อเทียบกับการเคลือบด้วย AgNPs ที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า (6 ± 2 nm) ที่สังเคราะห์โดยใช้ความเข้มข้นของ CoPSS ที่มากขึ้นเป็น 0.1 mM และยังพบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของ CoPSS มากขึ้นเป็น 1 mM จะไม่ส่งผลที่ชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีอิฐมากนัก ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการที่มีปริมาณของ CoPSS ซึ่งมีประจุลบ ที่มากเกินไปกระจายตัวภายในสารคอลลอยด์ AgNPs ดังนั้นเมื่อนำไปเคลือบบนผิวอิฐก่อนนั่งตักแต่งซึ่งมีประจุลบเช่นกัน จึงทำให้อนุภาค AgNPs ที่มี CoPSS เป็นสารสารรักษาเสถียรภาพ เกิดการเกาะติดบนพื้นผิวอิฐได้น้อยหรือแทบไม่เกาะเลย ทำให้ไม่เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพบนพื้นผิวอิฐ



รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายของอิฐก่อนนั่งตักแต่ง

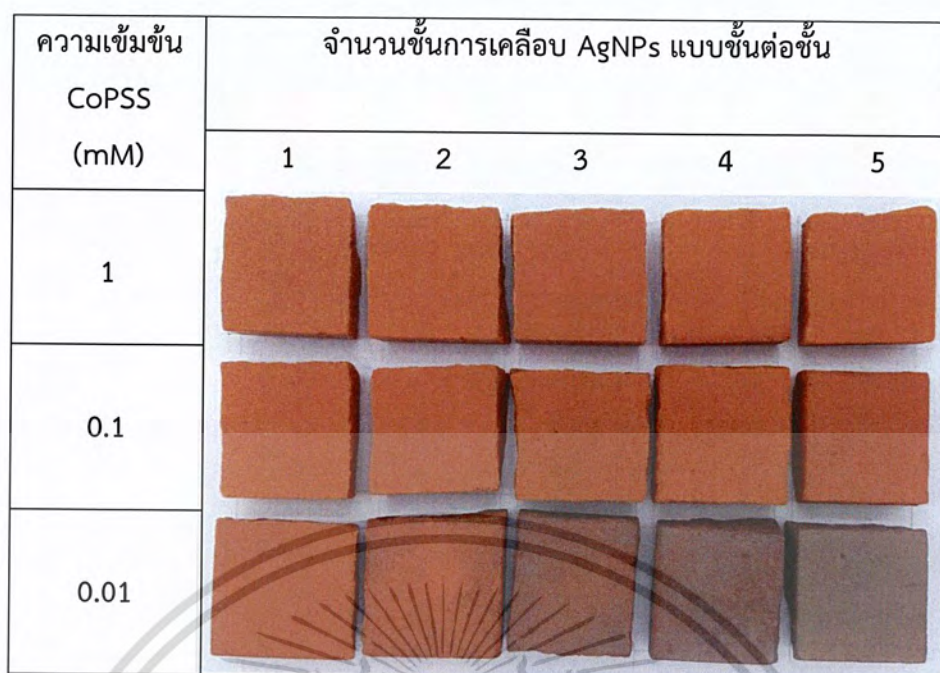
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายของอิฐที่ใช้วิธีการจุ่มเคลือบเป็นจำนวน 1, 5, 10, 20 และ 30 ชั้น

นอกจากนี้ โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอิฐก่อนนั่งตกแต่งที่ผ่านการเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีเคลือบชั้นต่อชั้นจำนวน 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่า อิฐก่อนนั่งตกแต่งที่ผ่านการเคลือบ AgNPs ที่สังเคราะห์ขึ้นโดยใช้ CoPSS ความเข้มข้น 0.01 mM ที่มีอนุภาค AgNPs ขนาดใหญ่ เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลส้มไปเป็นสีเงินที่เข้มข้น เมื่อจำนวนของชั้นเคลือบเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าอนุภาค AgNPs เกาะติดที่พื้นผิวมากขึ้นเมื่อจำนวนชั้นเคลือบเพิ่มขึ้น เนื่องจากวิธีเคลือบผิวแบบชั้นต่อชั้นนั้น เป็นวิธีการเคลือบที่อาศัยปฏิกิริยาเคมีของแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic interaction) [34] โดยทำการเคลือบพอลิเมอร์ที่มีประจุแตกต่างกันลงบนผิวอิฐก่อนนั่ง ซึ่งแรงทางไฟฟ้าสถิตนั้นทำให้เกิดเป็นชั้นฟิล์มบางขึ้นบนพื้นผิว เมื่อทำการเคลือบผิวด้วย AgNPs สลับกับพอลิเมอร์ที่มีประจุเป็นบวก จึงทำให้ AgNPs สามารถเกาะติดบนพื้นผิวได้ดีมากขึ้น ตามจำนวนชั้นเคลือบที่เพิ่มมากขึ้น จึงปรากฏเป็นสีเงินเกิดขึ้น และเมื่อเคลือบด้วย AgNPs ที่ใช้ CoPSS ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นเป็น 0.1 และ 1 mM ไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของสีอิฐที่ชัดเจน ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากที่มีปริมาณของ CoPSS ที่มากเกินไปภายในสารคอลลอยด์ ซึ่งสาร CoPSS นั้น เป็นพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุลบสูงกว่า AgNPs ที่มี CoPSS เป็นสารรักษาเสถียรภาพอยู่บนพื้นผิวของอนุภาค จึงมีความสามารถในการเคลื่อนที่ไปเกาะติดกับอิฐที่ผ่านการปรับสภาพให้มีประจุบวกแล้วได้ดีกว่า AgNPs โดยอาศัยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต [35] ทำให้ AgNPs มาเคลือบติดบนพื้นผิวได้น้อย จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพบนพื้นผิวอิฐ ซึ่งผลที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเชิงในเพื่อการศึกษ เท่านั้น ไม่อนุญาติให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่าการพิมพ์หรือการอื่นใดที่มิใช่เพื่อวัตถุประสงค์ในการเผยแพร่หรือการนำข้อมูลไปใช้



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายของอิฐที่ใช้วิธีการเคลือบแบบชั้นต่อชั้นเป็นจำนวน 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั้น

นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยการวัดค่าพิกัดสี (L , a^* , b^*) ของอิฐก่อนผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีแบบจุ่มเคลือบ และแบบชั้นต่อชั้น โดยทำการเปรียบเทียบกับอิฐก่อนผนังตกแต่งที่ไม่ผ่านการเคลือบ AgNPs โดยใช้เครื่องวัดสี (colorimeter) ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 โดยชื่อตัวอย่างแสดงถึงวิธีการเคลือบ แบบจุ่มเคลือบ (IM) และแบบชั้นต่อชั้น (LBL) และความเข้มข้นในหน่วย mM ของ CoPSS และจำนวนชั้นที่เคลือบ โดยค่า L บอกลถึงความสว่าง ค่า a^* บอกลถึงสีแดง ค่า a^- บอกลถึงสีเขียว ค่า b^* บอกลถึงสีเหลือง และค่า b^- บอกลถึงสีน้ำเงิน

ตารางที่ 4.2 ค่าพิกัดสีของอิฐก่อนผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบ AgNPs แบบจุ่มเคลือบ

ตัวอย่าง (AgNPs/จำนวนชั้นเคลือบ)	ค่าพิกัดสี			สีที่ปรากฏ
	L^*	a^*	b^*	
brick	44.3	19.62	22.45	
IM 0.01/1	44.4	18.3	22.84	
IM 0.01/5	44.1	17.92	20.77	
IM 0.01/10	42.9	15.34	19.83	
IM 0.01/20	41.3	12.97	16.79	
IM 0.01/30	39.84	10.66	14.1	
IM 0.1/1	44.9	18.2	25.26	

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ค่าพิกัดสีของอิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบ AgNPs แบบจุ่มเคลือบ

ตัวอย่าง (AgNPs/จำนวนชั้นเคลือบ)	ค่าพิกัดสี			สีที่ปรากฏ
	L*	a*	b*	
IM 0.1/5	43.19	15.71	22.22	สีน้ำตาลเข้ม
IM 0.1/10	40.73	11.59	16.07	
IM 0.1/20	39.62	11.62	14.39	
IM 0.1/30	41.05	11.64	13.76	
IM 1/1	46.64	17.44	24.02	
IM 1/5	43.63	17.23	22.3	
IM 1/10	44.86	17.48	21.65	
IM 1/20	43.84	16.99	21.86	
IM 1/30	43.2	17.11	21.96	

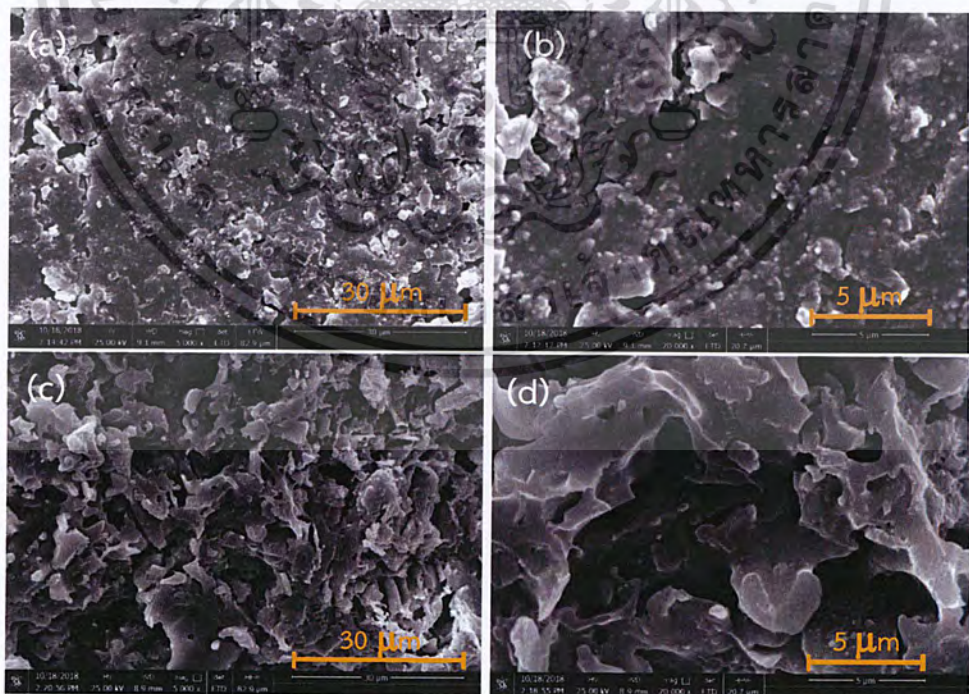
ตารางที่ 4.3 ค่าพิกัดสีของอิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบ AgNPs แบบชั้นต่อชั้น

ตัวอย่าง (AgNPs/จำนวนชั้นเคลือบ)	ค่าพิกัดสี			สีที่ปรากฏ
	L*	a*	b*	
brick	44.3	19.62	22.45	สีน้ำตาลเข้ม
LBL 0.01/1	42.85	19.5	23.65	
LBL 0.01/2	40.41	17.69	19.65	
LBL 0.01/3	42.72	14.54	14.52	
LBL 0.01/4	38.89	8.92	7.32	
LBL 0.01/5	44.08	3.86	5.3	
LBL 0.1/1	45.77	18.59	22.9	
LBL 0.1/2	45.09	19.07	21.31	
LBL 0.1/3	45.89	18.2	21.7	
LBL 0.1/4	43.59	18.32	22.34	
LBL 0.1/5	43.09	16.07	17.03	
LBL 1/1	45.61	18.51	22.73	
LBL 1/2	45.75	17.88	24.08	
LBL 1/3	45.3	18.07	22.54	
LBL 1/4	45.33	16.81	22.52	
LBL 1/5	45.16	18.76	23.92	

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพที่ได้จะสอดคล้องกับรูปที่ 4.6 และ 4.7 คือ เมื่อใช้ AgNPs ที่สังเคราะห์ได้จากความเข้มข้นของ CoPSS เดียวกัน มาใช้ในการเคลือบ บนพื้นผิวของอิฐก่อนผนังตึกแต่งทั้ง 2 วิธี พบว่าเมื่อจำนวนชั้นในการเคลือบ AgPNs เพิ่มขึ้น จะส่งผล ให้สีของอิฐก่อนผนังตึกแต่งเข้มขึ้นจากเดิม โดยมีค่า a^* และ b^* ที่ลดลง เนื่องจากมีอนุภาค AgNPs มา เกาะบนพื้นผิวที่เพิ่มขึ้น และการใช้ CoPSS ที่ความเข้มข้น 0.01 mM ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ สีที่เพิ่มขึ้น และวิธีการเคลือบแบบชั้นต่อชั้น ทำให้มีอนุภาค AgNPs มาเกาะบนพื้นผิวอิฐได้ดีกว่าวิธี แบบจุ่มเคลือบ ดังที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้

4.3.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและธาตุองค์ประกอบของอิฐที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย คอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน

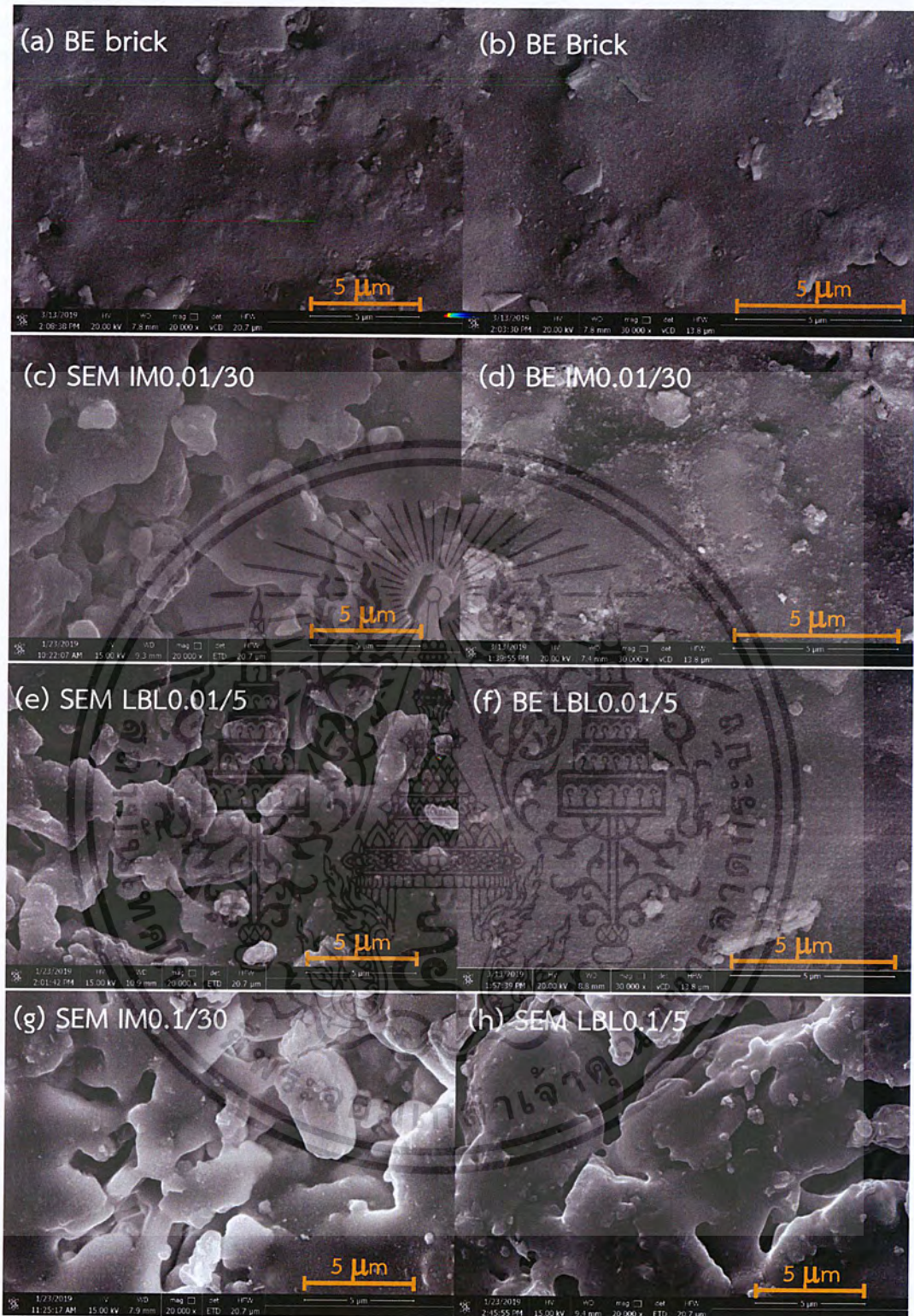
จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของพื้น ผิวหน้า และด้านตัดขวางที่เกิดจากการแตกหักของอิฐก่อนผนังตึกแต่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าอิฐก่อ ผนังตึกแต่งมีพื้นผิวที่มีลักษณะเป็นรูพรุน กระจายทั่วบริเวณพื้นผิว เมื่อทำการทดสอบหยดน้ำลงไป บนบริเวณพื้นผิว พบว่าหยดน้ำซึมลงไปในพื้นที่ผิวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอิฐก่อนผนังตึกแต่งมีรูพรุนที่สูง จึงทำให้หยดน้ำแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนได้ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดตะไคร่ และเชื้อราขึ้นบริเวณพื้นผิว



เอกสารรูปที่ 4.9 ภาพถ่าย SEM ของพื้นผิวอิฐก่อนผนังตึกแต่ง a) กำลังขยาย 5,000 เท่า b) กำลังขยายค่า ไม่กว่า 20,000 เท่า และพื้นผิวด้านตัดขวาง c) กำลังขยาย 5,000 เท่า d) กำลังขยาย 20,000 เท่าที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจึงทำการปรับปรุงพื้นผิวของอิฐก่อผนังตกแต่ง โดยนำไปเคลือบ AgNPs ที่สังเคราะห์ได้จากการใช้สารรักษาเสถียรภาพ คือ CoPSS ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 mM ด้วยวิธีการเคลือบแบบจุ่มเคลือบเป็นจำนวน 30 ชั้น และแบบชั้นต่อชั้นเป็นจำนวน 5 ชั้น จากนั้นจึงนำไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยเทคนิค SEM ผ่านอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณอิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับ (Backscattered Electron Detector; BE) ผลดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยทำการเปรียบเทียบกับอิฐก่อผนังตกแต่งที่ปราศจากการเคลือบ AgNPs ดังรูปที่ 4.10 (a, b) พบว่าอิฐก่อผนังตกแต่งที่ปราศจากการเคลือบ AgNPs มีพื้นผิวที่มีรูพรุนกระจายทั่วทั้งบริเวณพื้นผิว ส่วนอิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวโดยการเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีเคลือบแบบจุ่มเคลือบและแบบชั้นต่อชั้นแล้วนั้น (รูปที่ 4.10 (c-h)) จะปรากฏให้เห็นอนุภาค AgNPs ขนาดเล็ก ที่มีรูปร่างเป็นทรงกลม กระจายตัวปกคลุมไปทั่วทั้งบริเวณพื้นผิวของอิฐก่อผนังตกแต่ง โดยพบว่าอิฐก่อผนังตกแต่งที่เคลือบ AgNPs ด้วยวิธีการเคลือบแบบชั้นต่อชั้นนั้น (รูปที่ 4.10 (e, f)) มีอนุภาค AgNPs กระจายตัวปกคลุมอยู่บนพื้นผิวอย่างหนาแน่นกว่าวิธีการจุ่มเคลือบ (รูปที่ 4.10 (c, d)) เนื่องจากวิธีเคลือบแบบชั้นต่อชั้นนั้นเป็นการสร้างชั้นฟิล์มบางขึ้นบนพื้นผิวอิฐก่อผนังตกแต่ง ซึ่งมีประจุตรงข้ามกับอนุภาค AgNPs ทำให้อนุภาค AgNPs สามารถเกาะสะสมบนพื้นผิวอิฐก่อผนังตกแต่งได้อย่างหนาแน่นกว่าวิธีการเคลือบแบบจุ่มเคลือบ

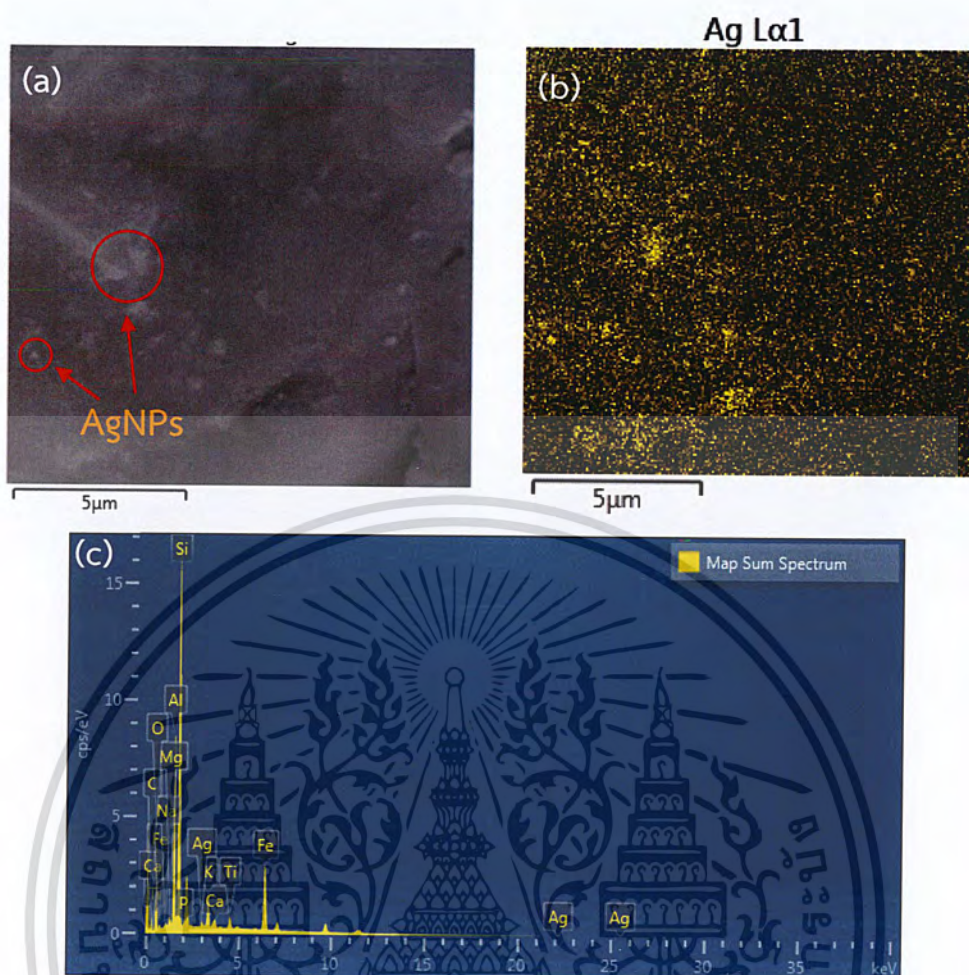
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ภาพถ่าย SEM และ BE ของ a, b) อิฐ c, d) อิฐเคลือบ AgNPs ที่สังเคราะห์โดยใช้ CoPSS ความเข้มข้น 0.01 mM ที่เคลือบแบบจุ่มเคลือบ 30 ชั้น e, f) อิฐเคลือบ AgNPs ที่สังเคราะห์โดยใช้

CoPSS ความเข้มข้น 0.01 mM ที่เคลือบแบบชั้นต่อชั้น 5 ชั้น และภาพ SEM ของอิฐเคลือบ AgNPs ที่สังเคราะห์โดยใช้ CoPSS ความเข้มข้น 0.1 mM ที่เคลือบ g) แบบจุ่มเคลือบ และ h) แบบชั้นต่อชั้น

ไม่วางกรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

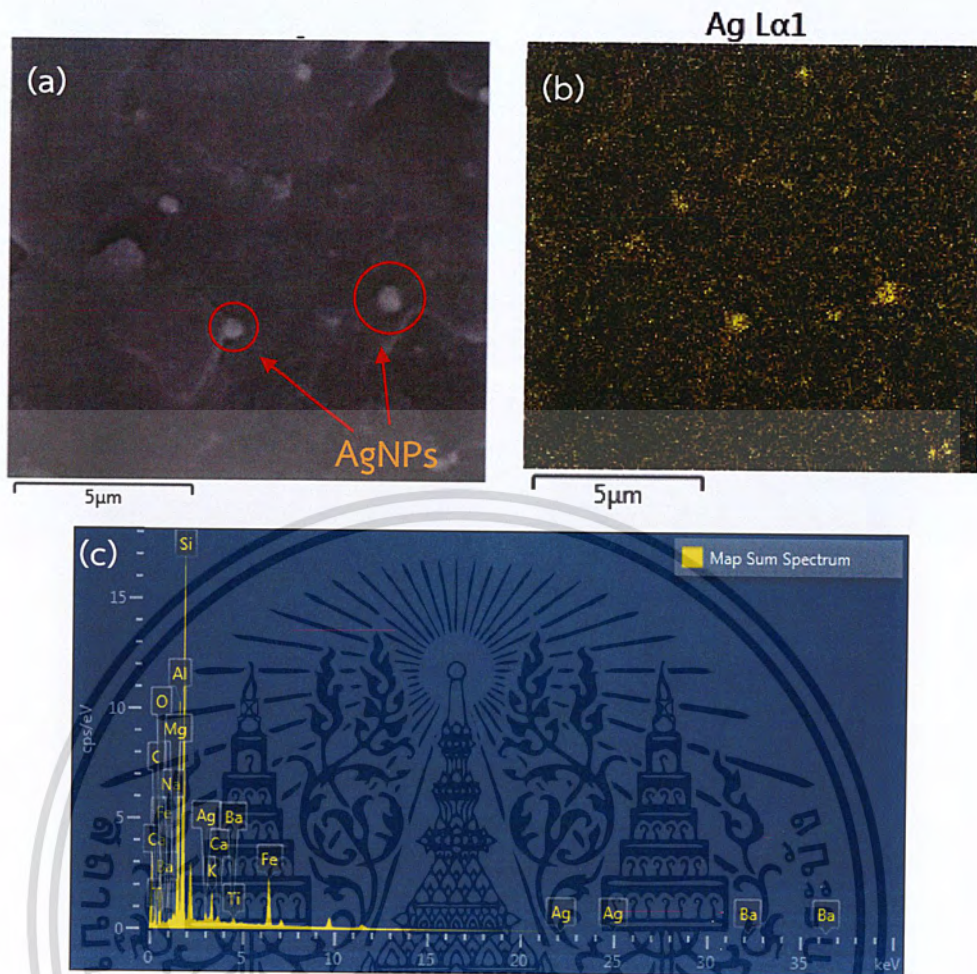


รูปที่ 4.11 a) ภาพถ่าย SEM, b) แผนภาพการกระจายตัวของธาตุ Ag และ c) EDS สเปกตรัมของพื้นผิวอริฐก่อนนึ่งเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีเคลือบแบบจุ่มเคลือบจำนวน 30 ชั้น

นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบที่กระจายอยู่บนพื้นผิวอริฐก่อนนึ่งที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการเคลือบ AgNPs แล้ว ด้วยเทคนิค EDS ผลดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 พบว่าอริฐก่อนนึ่งตกแต่งที่ผ่านการเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีเคลือบแบบจุ่มเคลือบ และแบบชั้นต่อชั้น มีสเปกตรัม EDS ที่คล้ายคลึงกัน โดยพบธาตุซิลเวอร์ (Ag) กระจายตัวบนพื้นผิวอริฐก่อนนึ่งตกแต่ง นอกจากนี้ยังพบธาตุ ซิลิกอน (Si), อลูมิเนียม (Al), ออกซิเจน (O), เหล็ก (Fe), โพแทสเซียม (K), ไทเทเนียม (Ti), คาร์บอน (C), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg), ฟอสฟอรัส (P), แบเรียม (Ba) และโซเดียม Na ซึ่งเป็นธาตุองค์ประกอบหลักของอริฐก่อนนึ่งตกแต่ง และจากแผนภาพการกระจายตัวของธาตุแสดงให้เห็นว่าบริเวณพื้นผิวของอริฐก่อนนึ่งตกแต่งที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการเคลือบ AgNPs มีธาตุ Ag

กระจายตัวอยู่บนพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 a) ภาพถ่าย SEM, b) แผนภาพการกระจายตัวของธาตุ Ag และ c) EDS สเปกตรัมของพื้นผิวอิฐก่อผนังเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีเคลือบแบบชั้นต่อชั้นจำนวน 5 ชั้น

4.4 การเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ

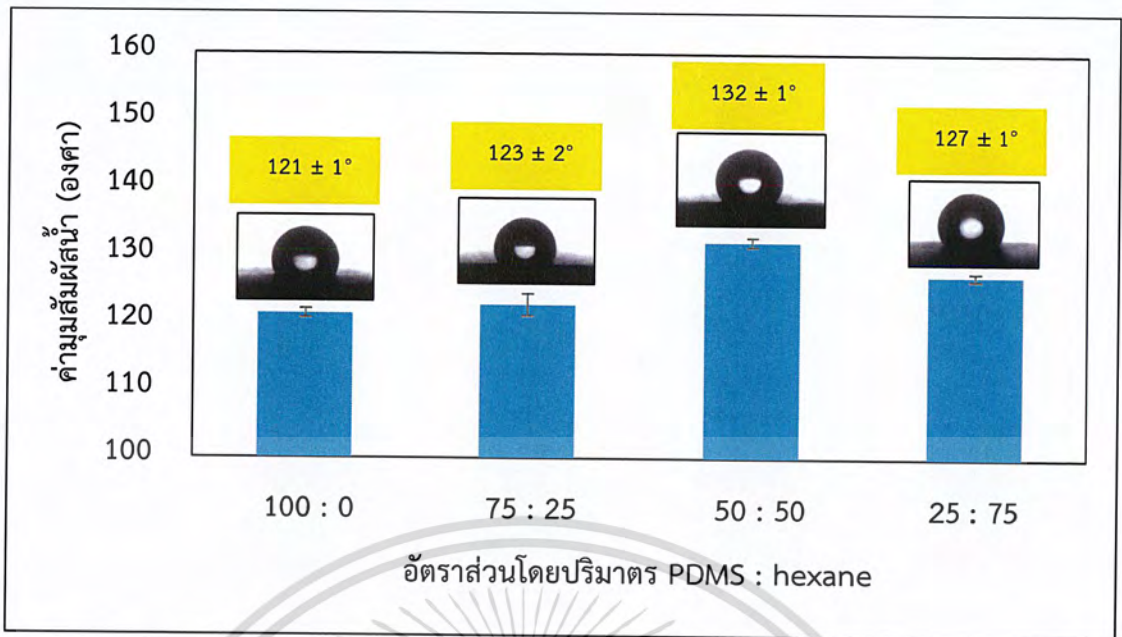
โครงการพิเศษนี้ได้ทำการเตรียมชั้นเคลือบที่มีสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา ตะไคร่ และไม่ชอบน้ำโดยพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ โดยเตรียมจากการนำพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS) ผสมกับตัวทำละลายเฮกเซน (hexane) แล้วเคลือบลงบนผิวอิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโนแล้ว เพื่อให้เกิดเป็นชั้นเคลือบที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรของ PDMS : hexane ที่มีต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำ

ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของค่ามุมสัมผัสของน้ำที่ได้จาก PDMS ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมชั้นเคลือบที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำ โดยได้ทำการเตรียมสารละลาย PDMS ผสมกับตัวทำละลาย hexane แล้วนำไปเคลือบลงบนผิวของอิฐที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย AgNPs ตามสถานะที่แสดงในตารางที่ 3.2 โดยอัตราส่วนโดยปริมาตรของ PDMS : Hexane เป็น 100 : 0, 75 : 25, 50 : 50 และ 25 : 75 และนำไปอบที่อุณหภูมิห้อง 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อนำไปวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำโดยเครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ (WCAs) ผลดังแสดงในรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.4 พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 121 ± 1 ถึง 132 ± 1 องศา โดยอัตราส่วนโดยปริมาตรของ PDMS : hexane ที่ใช้ในการเตรียมชั้นเคลือบที่ให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำสูงที่สุด คือ อัตราส่วน 50 : 50 โดยมีค่ามุมสัมผัสของน้ำเท่ากับ 132 ± 1 องศา รองลงมา คือ อัตราส่วน 25 : 75 ให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเท่ากับ 127 ± 1 องศา อัตราส่วน 75 : 25 ให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเท่ากับ 123 ± 2 องศา และอัตราส่วน 100:0 ให้ค่ามุมสัมผัสน้ำเท่ากับ 121 ± 1 องศา ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้เกิดจากเมื่อเคลือบ PDMS ในอัตราส่วนที่สูงคือ 100 : 0 และ 75 : 25 ลงบนอิฐที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย AgNPs พบว่า อิฐมีลักษณะที่เปียกตัวสูงไม่แห้งสนิท เนื่องจากมีอัตราส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลายที่น้อย จึงไม่เกิดการแห้งตัวของชั้นฟิล์ม PDMS อย่างสมบูรณ์เมื่อผ่านการอบแห้ง โดยที่จะทำให้ PDMS บางส่วนที่อยู่ในรูพรุนถูกดันออกมา ส่งผลให้มีความมุมสัมผัสของน้ำที่ต่ำ ที่อัตราส่วนโดยปริมาตร 50 : 50 พบว่าเมื่อนำไปอบแห้ง จะทำให้อิฐที่ได้มีลักษณะพื้นผิวที่แห้งสนิท และเกิดการแห้งตัวของชั้นฟิล์ม PDMS อย่างสมบูรณ์ เมื่อ hexane ระเหยออกไปหมด จึงทำให้มีความมุมสัมผัสของน้ำที่สูงที่สุด แต่เมื่อทำการเคลือบที่อัตราส่วน 25 : 75 จะทำให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำมีค่าลดลง เนื่องจากมีปริมาณ PDMS ที่เกิดเป็นชั้นฟิล์มอยู่บนพื้นผิวน้อย และไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจากผลที่ได้จึงได้เลือกใช้สถานะในการเคลือบชั้นฟิล์มที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ โดยการใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรของ PDMS : hexane เป็น 50 : 50 เนื่องจากทำให้ได้ค่ามุมสัมผัสของน้ำสูงสุด เป็นสถานะในการเตรียมอิฐเพื่อศึกษาสมบัติทางด้านอื่น ๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรของ PDMS : hexane ที่ต่างกัน

ตารางที่ 4.4 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรของ PDMS : hexane ที่ต่างกัน

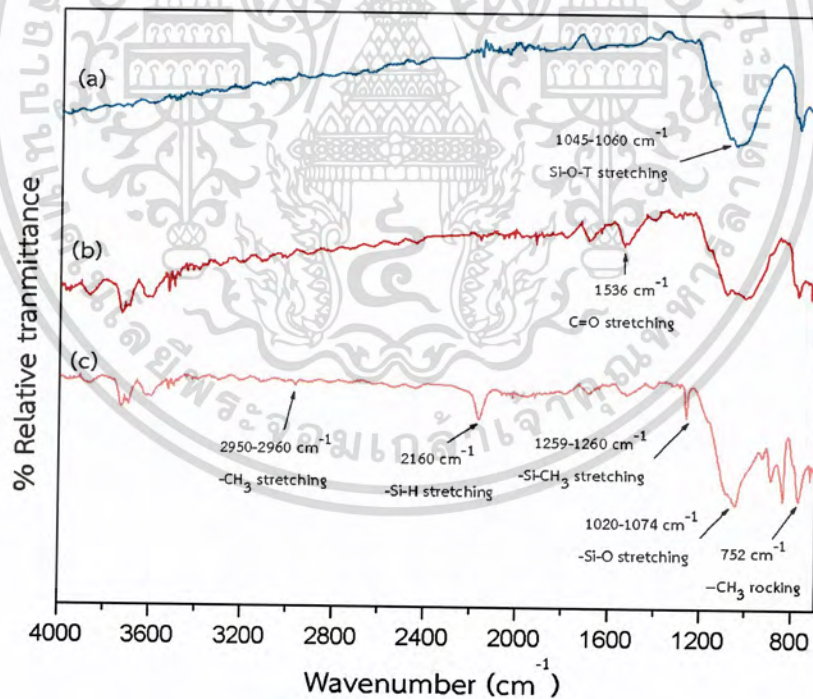
PDMS : hexane	ค่ามุมสัมผัสของน้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (องศา)
100 : 0	121 ± 1
75 : 25	123 ± 2
50 : 50	132 ± 1
25 : 75	127 ± 1

4.5 การศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของอิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโนและสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ

ทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิค FT-IR ของอิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบ AgNPs แบบจุ่มเคลือบและแบบชั้นต่อชั้นทั้ง 2 วิธี ตามด้วยการเคลือบ PDMS ที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบกับอิฐก่อผนังตกแต่งที่ปราศจากการเคลือบผิว และเคลือบด้วย PDMS ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.14 และ 4.15 โดยพบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของอิฐก่อผนังตกแต่ง (รูปที่ 4.13 (a) และ 4.14 (a)) แสดงช่วงการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่เป็นเอกลักษณ์

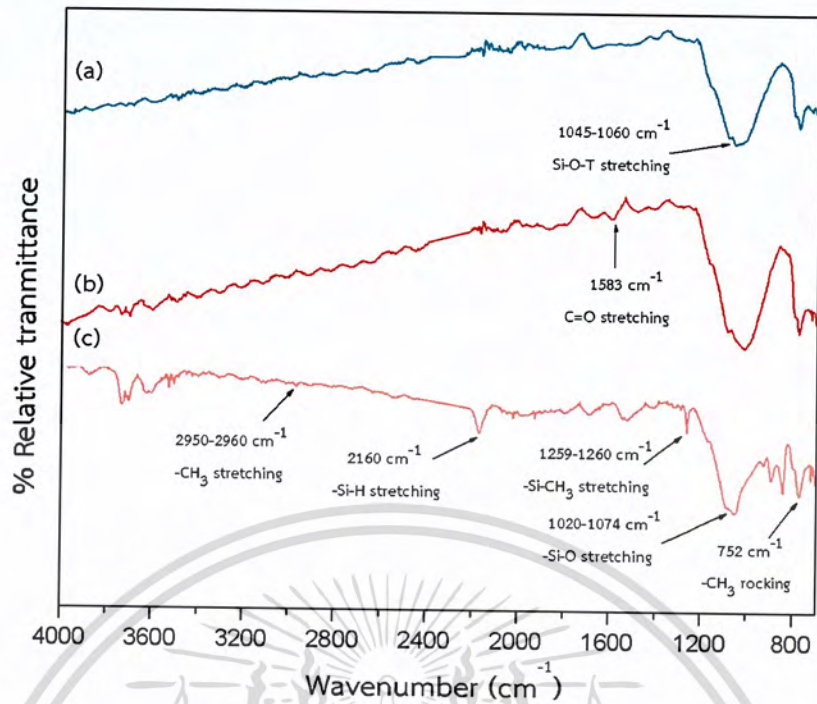
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้าเฉพาะของอิฐที่มีองค์ประกอบของอนุภาคนาโนซิลิเกตประเภทมัลติ โดยมิใช่ช่วงการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งไมวากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขคลื่น $1045-1060\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งตรงกับการสั่นของพันธะ Si-O-T (T คือ Si หรือ Al) แบบยืดหด (stretching) [36] จากนั้นเมื่อทำการเคลือบด้วย AgNPs ทั้ง 2 วิธี พบว่ามีช่วงการดูดกลืนแสงที่คล้ายคลึงกันดังแสดงในรูปที่ 4.13 (b) และ 4.14 (b) โดยพบช่วงการดูดกลืนเพิ่มขึ้นที่ $1536-1583\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งตรงกับการสั่นของพันธะ C=O แบบยืดหดไม่สมมาตร (asymmetrical stretching) [37] ของ CoPSS ที่ใช้ในการสังเคราะห์ AgNPs ส่วนสเปกตร้าของอิฐที่เคลือบด้วย AgNPs และตามด้วย PDMS ดังรูปที่ 4.14 (c) และ 4.15 (c) พบว่ามีช่วงการดูดกลืนแสงของพันธะของอิฐ และ CoPSS ดังที่ได้กล่าวมา นอกจากนี้ยังพบช่วงการดูดกลืนแสงที่ตรงกับการสั่นของพันธะของ PDMS คือ พันธะ CH_3 แบบยืดหดไม่สมมาตรในโครงสร้างของ Si- CH_3 ที่ตำแหน่งเลขคลื่น $2950-2960\text{ cm}^{-1}$ พบช่วงการดูดกลืนแสงของพันธะ Si-H แบบยืดหด ที่เลขคลื่น 2160 cm^{-1} พบช่วงการดูดกลืนแสงของพันธะ Si- CH_3 แบบยืดหด ที่ช่วงเลขคลื่น $1259-1260\text{ cm}^{-1}$ พบช่วงการดูดกลืนแสงที่ตรงกับการสั่นของพันธะ Si-O แบบยืดหดที่ช่วงเลขคลื่น $1020-1074\text{ cm}^{-1}$ และที่ตำแหน่งเลขคลื่น 752 cm^{-1} พบการสั่นของพันธะ CH_3 แบบระนาบเดียวกัน (Rocking) [38, 39] ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าว เป็นการยืนยันว่ามีอนุภาคของ AgNPs และมีชั้นฟิล์มของ PDMS ถูกเคลือบอยู่บนพื้นผิวของอิฐก่อผนังตกแต่ง



รูปที่ 4.14 อินฟราเรดสเปกตร้าของ a) อิฐก่อผนังตกแต่ง b) อิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีจุ่มเคลือบ และ c) อิฐที่เคลือบ AgNPs และตามด้วย PDMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 อินฟราเรดสเปกตรัมของ a) อิฐก้อนผนังตกแต่ง b) อิฐก้อนผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีแบบชั้นต่อชั้น และ c) อิฐที่เคลือบ AgNPs และตามด้วย PDMS

4.6 การศึกษาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของอิฐก้อนผนังตกแต่งที่ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโนและสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ

นำอิฐก้อนผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโนและสารที่ไม่ชอบน้ำไปศึกษาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของชั้นเคลือบที่มีสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา ตะไคร่ และไม่ชอบน้ำ ดังต่อไปนี้

4.6.1 การศึกษาสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

ได้ทำการศึกษาสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (anti-bacterial) ของอิฐที่เตรียมขึ้น โดยการเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีจุ่มเคลือบ และแบบชั้นต่อชั้น ที่สภาวะต่าง ๆ และเคลือบด้วย PDMS และ hexane ที่อัตราส่วนโดยปริมาตร 50 : 50 ในการศึกษานี้ได้ใช้แบคทีเรียที่ใช้ทดสอบได้แก่ *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก และ *Escherichia coli* (*E. coli*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ โดยภาพถ่ายการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแสดงในภาคผนวก ข. จากผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่า อิฐเปล่า ไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ ส่วนอิฐที่

เคลือบเฉพาะ AgNPs ทั้ง 2 วิธี สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ เมื่อพิจารณาอิฐที่เคลือบด้วย AgNPs ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และตามด้วย PDMS พบว่าอิฐที่เคลือบด้วย AgNPs ที่เตรียมโดยการใช้ CoPSS 0.01 mM ซึ่งมีขนาดอนุภาค AgNPs ที่ใหญ่กว่าที่เตรียมจาก CoPSS ความเข้มข้น 0.1 mM มีแนวโน้มในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ดีกว่า และจำนวนชั้นเคลือบที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มให้ได้ผลในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ดีขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบวิธีการเคลือบพบว่าวิธีแบบชั้นต่อชั้นให้ผลที่ดีกว่าแบบจุ่มเคลือบเนื่องจากวิธีแบบชั้นต่อชั้นเป็นการสร้างฟิล์มบางบนอิฐ ซึ่งมีประจุตรงกันข้ามกับอนุภาค AgNPs ทำให้อนุภาค AgNPs สามารถเกาะสะสมบนพื้นผิวอิฐได้อย่างหนาแน่นจึงยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าการเคลือบแบบจุ่มเคลือบ โดยพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดคือ การเคลือบแบบชั้นต่อชั้นโดยใช้ CoPSS 0.01 mM และเคลือบเป็นจำนวน 3 และ 5 ชั้น ซึ่งสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ทั้ง *S. aureus* และ *E. coli*

ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus*

Sample	เชื้อแบคทีเรีย	
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
IM0.01/1 + PDMS	-	-
IM0.01/10 + PDMS	*	.*
IM0.01/30 + PDMS	*	.*
IM0.1/1 + PDMS	-	-
IM0.1/10 + PDMS	-	.*
IM0.1/30 + PDMS	-	.*
LBL0.01/1 + PDMS	-	.*
LBL0.01/3 + PDMS	+	+
LBL0.01/5 + PDMS	+	.*
LBL0.1/1 + PDMS	-	-
LBL0.1/3+ PDMS	-	-
LBL0.1/5+ PDMS	-	+
Brick	-	-
Brick + PDMS	-	-
IM0.01/30	+	+
LBL0.01/5	.*	+

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้

.* หมายถึง สามารถลดปริมาณเชื้อแบคทีเรียได้

+ หมายถึง มีฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการวิจัย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากผลการศึกษาที่ผ่านมาจึงได้เลือกสภาวะในการเตรียมอิฐก่อผนังตกแต่งที่เคลือบ AgNPs ที่ความเข้มข้นของ CoPSS 0.01 ด้วยวิธีจุ่มเคลือบเป็นจำนวน 10 ชั้น และวิธีชั้นต่อชั้นเป็นจำนวน 3 ชั้น แล้วไปทำการเคลือบด้วย PDMS : hexane ที่อัตราส่วนโดยปริมาตร 50 : 50 ไปทำการศึกษาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ ศึกษาสมบัติด้านทานการเกิดเชื้อรา สมบัติด้านทานการเกิดตะไคร่ สมบัติในการทำมาความสะอาดตัวเอง และศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศของชั้นเคลือบต่อไป

4.6.2 การศึกษาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐ

ทำการศึกษาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐที่เตรียมจากการเคลือบ AgNPs และ PDMS ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.6 พบว่า อิฐเปล่าดูดซึมน้ำร้อยละ 10.93 ส่วนอิฐที่เคลือบ AgNPs ด้วยวิธีจุ่มเคลือบและตามด้วย PDMS ดูดซึมน้ำร้อยละ 0.71 เคลือบด้วยวิธีชั้นต่อชั้นและตามด้วย PDMS ดูดซึมน้ำร้อยละ 0.79 และเคลือบด้วย PDMS เพียงอย่างเดียว ดูดซึมน้ำร้อยละ 0.74 ซึ่งผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิฐเปล่ามีรูพรุนสูงจึงสามารถดูดซึมน้ำได้สูง ส่วนอิฐที่เคลือบด้วย PDMS แล้วนั้นจะมีร้อยละการดูดซึมน้ำที่ต่ำเนื่องจาก PDMS เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบไปด้วยสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่มีพลังงานพื้นผิวต่ำ จึงทำให้เกิดชั้นฟิล์มที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำขึ้นเมื่อนำไปเคลือบบนพื้นผิว จึงทำให้มีค่าการดูดซึมน้ำที่ลดลงเมื่ออิฐถูกเคลือบด้วย PDMS

ตารางที่ 4.6 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐ

ตัวอย่าง	ร้อยละการดูดซึมน้ำ
Brick	10.93
IM0.01/10 + PDMS	0.71
LBL0.01/3 + PDMS	0.79
Brick + PDMS	0.74

4.6.3 การศึกษาสมบัติด้านทานการเกิดเชื้อรา

ได้ศึกษาสมบัติด้านทานการเกิดเชื้อราของอิฐที่เตรียมขึ้นจากการเคลือบ AgNPs ที่ความเข้มข้นของ CoPSS 0.01 วิธีการจุ่มเคลือบจำนวน 10 ชั้น วิธีการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น จำนวน 3 ชั้น จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบ AgNPs ทั้งสองวิธีไปเคลือบโดยใช้ PDMS และทำการเปรียบเทียบกับอิฐที่ปราศจากการเคลือบผิว โดยการนำตัวอย่างอิฐไปวางเรียงไว้บนแผ่นขนมปังภายในกล่องที่มีความชื้น เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พร้อมกับสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวดังแสดงในรูปที่ 4.16 โดยพบว่าอิฐที่ปราศจากการเคลือบผิว เริ่มมีเชื้อราเจริญเติบโตขึ้นบน

พื้นผิวเมื่อระยะเวลาผ่านไปเพียง 3 วัน ซึ่งหลังสิ้นสุดการทดสอบ 6 สัปดาห์พบว่าปริมาณเชื้อราเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนอิฐที่ผ่านการเคลือบด้วย AgNPs และ PDMS แล้วนั้น พบว่ามีเชื้อราเจริญเติบโตบนพื้นผิวเพียงเล็กน้อย เมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 สัปดาห์ เนื่องจากอิฐที่ผ่านการเคลือบมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ และมีอัตราการดูดซึมน้ำที่ต่ำ จึงทำให้บริเวณพื้นผิวของตัวอย่างไม่มีแหล่งอาหารที่สามารถทำให้เชื้อราเจริญเติบโตได้

(a) อิฐปราศจากการเคลือบผิว



(b) อิฐเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบจำนวน 10 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS



(c) อิฐเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีชั้นต่อชั้นจำนวน 3 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS



รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายของ a) อิฐที่ปราศจากการเคลือบผิว b) อิฐเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบจำนวน 10 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS และ c) อิฐเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีชั้นต่อชั้นจำนวน 3 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS ที่ทำการทดสอบต้านทานการเกิดเชื้อราเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.4 การศึกษาสมบัติต้านทานการเกิดตะไคร่

ได้ศึกษาสมบัติต้านทานการเกิดตะไคร่ของอิฐที่เตรียมได้ และทำการเปรียบเทียบกับอิฐที่ปราศจากการเคลือบผิว ด้วยการนำอิฐวางเรียงในโถที่มีตะไคร่และความชื้น สังเกตผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.17 พบว่าในทุกตัวอย่างอิฐไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนหลังการทดสอบเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

(a) อิฐปราศจากการเคลือบผิว



(b) อิฐเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบจำนวน 10 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS



(c) อิฐเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีชั้นต่อชั้นจำนวน 3 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS



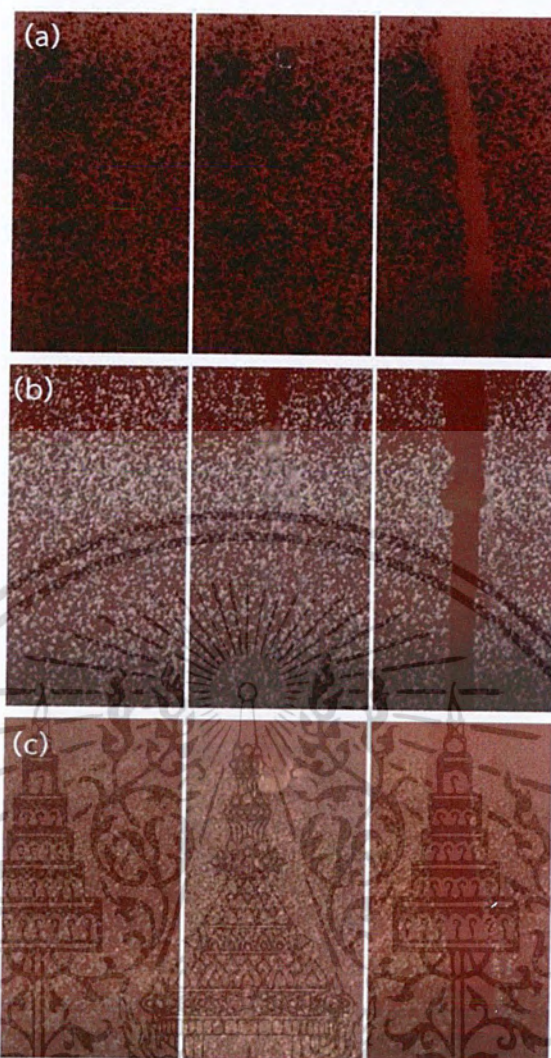
รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายของ a) อิฐที่ปราศจากการเคลือบผิว b) อิฐเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบจำนวน 10 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS และ c) อิฐเคลือบ AgNPs ด้วยวิธีชั้นต่อชั้นจำนวน 3 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS ที่ทำการทดสอบต้านทานการเกิดตะไคร่เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.5 การศึกษาสมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง

ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning) และสมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic property) ของอิฐที่เตรียมขึ้นด้วยการใช้ผงแกรไฟต์ ผงแบงทาหน้า และผงทราย ซึ่งเป็นสารที่ทำความสะอาดบนพื้นผิว มาโรยลงไปบนผิวหน้าของอิฐที่ผ่านการเคลือบด้วย AgNPs และ PDMS แล้วทำการหยดน้ำลงไปบนพื้นผิว รูปที่ 4.18 แสดงกระบวนการทำความสะอาดตัวเองของชั้นเคลือบ โดยเมื่อหยดน้ำลงบนพื้นผิว พบว่าพื้นผิวมีลักษณะการกลิ้งของหยดน้ำและสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง โดยผงทดสอบชนิดต่าง ๆ ถูกดูดเข้าไปในหยดน้ำเมื่อหยดน้ำกลิ้งผ่านและหยดน้ำสามารถกลิ้งออกไปจากพื้นผิวได้ง่ายโดยการเอียงพื้นผิวตัวอย่างไปประมาณ 10 องศา ซึ่งผลที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากแรงแคปิลลารี (capillary force) ที่สูงของหยดน้ำและแรงยึดเกาะ (adhesion) ที่ต่ำระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวชั้นเคลือบ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวนั้นมีค่ามุมสัมผัสของน้ำมากกว่า 120 องศา ทำให้แรงยึดติดต่ำกว่าแรงเชื่อมแน่น (cohesion) หยดน้ำจึงรวมกันมากกว่าเกาะบนชั้นเคลือบ [11] และหลังจากพ่นหยดน้ำลงไปมากขึ้น พบว่าบนพื้นผิวของชั้นเคลือบมีการปนเปื้อนตกค้างจากผงแกรไฟต์และผงแบงทาหน้าอยู่เพียงเล็กน้อย เนื่องจากผงแกรไฟต์และผงแบงทาหน้ามีอนุภาคขนาดเล็กจึงสามารถแทรกลงไปในช่วงว่างระหว่างผิวชั้นเคลือบได้ จึงทำให้หยดน้ำไม่สามารถดูดซับแล้วพากลิ้งออกไปจากผิวชั้นเคลือบได้ดีเท่าผงทราย แต่จากการทดสอบชี้ให้เห็นว่าชั้นเคลือบที่เตรียมได้มีสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง

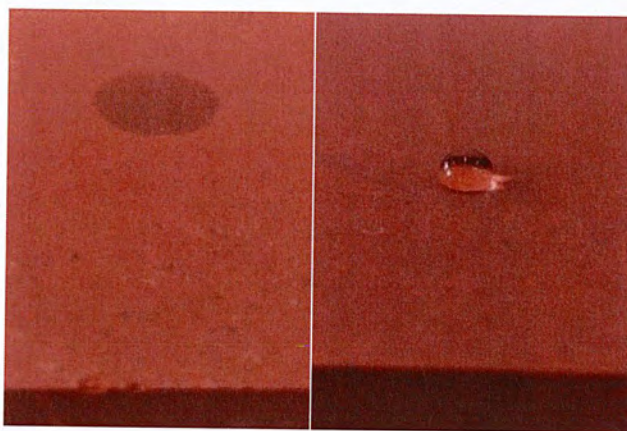
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 อิฐก่อผนังตกแต่งที่เคลือบผิวด้วย PDMS มาโรยผงที่ใช้ในการทดสอบชนิดต่าง ๆ a) ผงแกรไฟต์ b) ผงแป้งทาลูม c) ผงทราย

รูปที่ 4.19 (a) แสดงการกระจายตัวของหยดน้ำบนพื้นผิวอิฐเปลือย และ รูปที่ 4.19 (b) แสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากการใช้ PDMS โดยการหยดลงบนผิวเคลือบ ผลที่ได้พบว่าหยดน้ำจะจับตัวกันเป็นทรงกลมที่กลิ้งตัวไปมา โดยไม่กระจายตัวและเปียกบนผิวชั้นเคลือบ ซึ่งแสดงถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



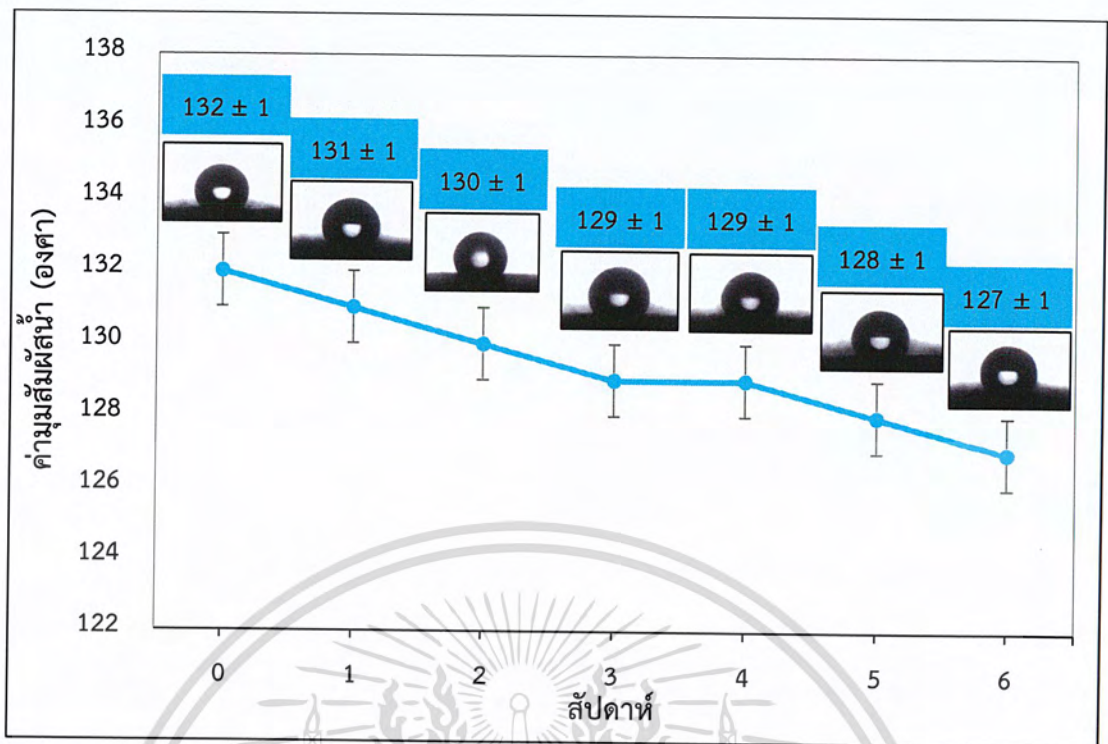
รูปที่ 4.19 (a) การกระจายตัวของหยดน้ำบนพื้นผิวอิฐเปล่า (b) หยดน้ำจับตัวบนพื้นผิวอิฐที่เคลือบด้วย PDMS

4.6.6 การศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศของชั้นเคลือบ

4.6.6.1 การศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศในสภาวะจริง

ได้ทำการศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศของอิฐที่เตรียมจากการเคลือบ AgNPs ที่ความเข้มข้น CoPSS 0.01 mM ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบจำนวน 10 ชั้น และวิธีชั้นต่อชั้นจำนวน 3 ชั้น โดยทั้งสองวิธีเคลือบด้วย PDMS ทำด้วยการนำอิฐตัวอย่างไปวางไว้ในกลางแจ้ง แล้ววัดค่ามุมสัมผัสของน้ำทุก ๆ สัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยผลจากชั้นเคลือบด้วยวิธีจุ่มเคลือบได้แสดงในรูปที่ 4.20 และตารางที่ 4.7 ส่วนผลจากชั้นเคลือบด้วยวิธีชั้นต่อชั้นได้แสดงในรูปที่ 4.21 และตารางที่ 4.8 ผลที่ได้พบว่า อิฐที่เคลือบด้วยวิธีจุ่มเคลือบและวิธีชั้นต่อชั้นมีค่ามุมสัมผัสของน้ำที่ใกล้เคียงกัน และในแต่ละสัปดาห์ที่เพิ่มขึ้นจะมีค่ามุมสัมผัสของน้ำที่ลดลงเพียงเล็กน้อยประมาณ 1 องศา โดยเมื่อเวลาผ่านไป 6 สัปดาห์ พบว่าอิฐที่เคลือบด้วยวิธีการจุ่มเคลือบมีการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสของน้ำลดลงเล็กน้อยจาก 132 ± 1 องศา เป็น 127 ± 1 องศา ส่วนอิฐที่เคลือบด้วยวิธีชั้นต่อชั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่ามุมสัมผัสของน้ำจาก 131 ± 1 องศา เป็น 126 ± 1 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชั้นเคลือบยังคงแสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำอยู่ เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 6 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

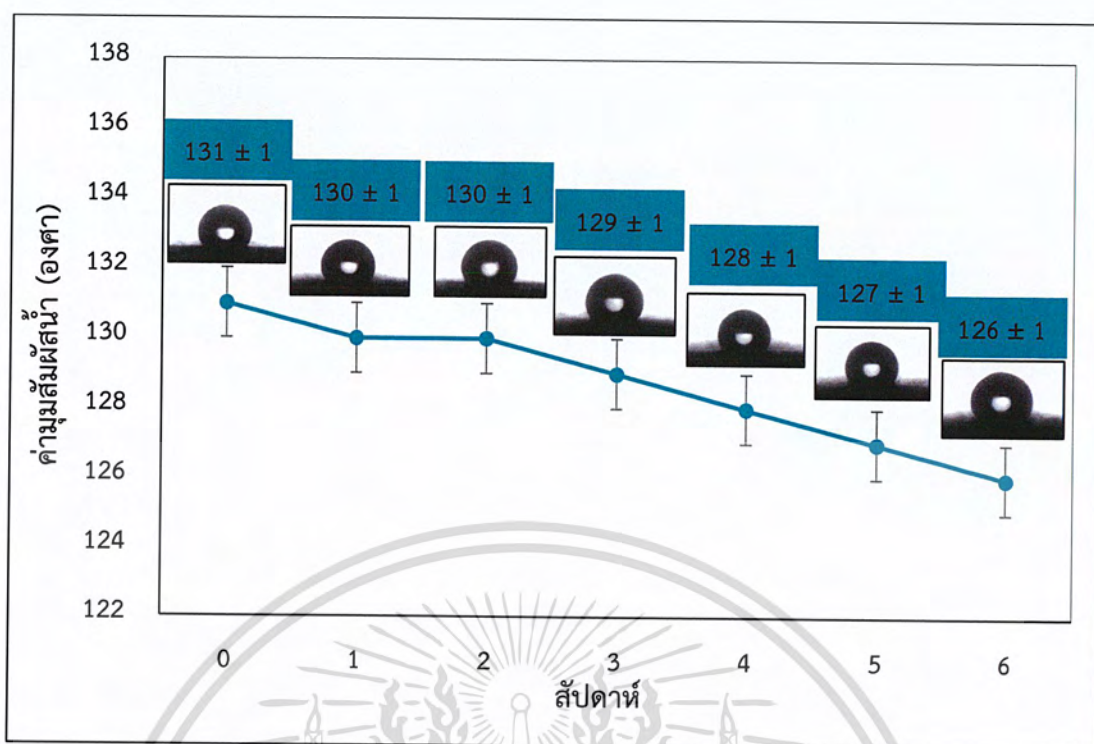


รูปที่ 4.20 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำของอิฐก่อก่อผนังตกแต่งที่เคลือบ AgNPs ที่ความเข้มข้น CoPSS 0.01 mM จุ่มเคลือบ 10 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS เมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 สัปดาห์

ตารางที่ 4.7 ค่ามุมสัมผัสของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากวิธีการจุ่มเคลือบด้วย AgNPs ที่ความเข้มข้น CoPSS 0.01 mM จุ่มเคลือบ 10 ชั้น และเคลือบด้วย PDMS เทียบกับระยะเวลา 6 สัปดาห์

สัปดาห์	ค่ามุมสัมผัสของน้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (องศา)
0	132 ± 1
1	131 ± 1
2	130 ± 1
3	129 ± 1
4	129 ± 1
5	128 ± 1
6	127 ± 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำของอิฐก่อก่อผนังตกแต่งที่เคลือบ AgNPs ที่ความเข้มข้น CoPSS 0.01 mM เคลือบชั้นต่อชั้น 10 ชั้น ตามด้วยเคลือบ PDMS เมื่อระยะเวลาผ่านไป 6 สัปดาห์

ตารางที่ 4.8 ค่ามุมสัมผัสของน้ำของชั้นเคลือบที่เตรียมจากวิธีชั้นต่อชั้นด้วย AgNPs ที่ความเข้มข้น CoPSS 0.01 mM เคลือบชั้นต่อชั้น 10 ชั้น และเคลือบด้วย PDMS เทียบกับระยะเวลา 6 สัปดาห์

สัปดาห์	ค่ามุมสัมผัสของน้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (องศา)
0	131 ± 1
1	130 ± 1
2	130 ± 1
3	129 ± 1
4	128 ± 1
5	127 ± 1
6	126 ± 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.6.2 การศึกษาทนทานต่อสภาพอากาศในสภาวะจำลอง

ได้ทำการศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศของอิฐที่เตรียมจากการเคลือบ AgNPs ความเข้มข้นของ CoPSS 0.01 ด้วยวิธีการจุ่มเคลือบเป็นจำนวน 10 ชั้น วิธีการขึ้นรูปแบบขั้นต่อขั้น จำนวน 3 ชั้น โดยทั้งสองวิธีผ่านการเคลือบด้วย PDMS แล้ว ด้วยการนำอิฐตัวอย่างไปทดสอบโดยใช้เครื่องเร่งสภาวะอากาศโดยใช้สภาวะตามมาตรฐาน ASTM G-154 ที่ Lamp : UVA-340 Typical Irradiance : $0.89 \text{ W/m}^2/\text{nm}$, Approximate Wavelength : 340 nm, Exposure Cycle : 8 h UVA at 60°C ; 4 h Condensation at 50°C ทำการทดสอบทั้งหมด 1 รอบ จำนวนเวลาทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ คือ 12 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบที่สภาวะจริงเป็นจำนวนเวลา 50 ชั่วโมง ผลที่ได้พบว่า อิฐที่เคลือบด้วยวิธีจุ่มเคลือบและวิธีขั้นต่อขั้นจะมีค่ามัมสัมผัสน้ำที่ลดลงเพียงเล็กน้อยประมาณ 2 องศา โดยเมื่อทดสอบด้วยเครื่องเร่งสภาวะ พบว่าอิฐที่เคลือบด้วยวิธีการจุ่มเคลือบมีการเปลี่ยนแปลงค่ามัมสัมผัสน้ำจาก 132 ± 1 องศา เป็น 129 ± 1 ส่วนอิฐที่เคลือบด้วยวิธีขั้นต่อขั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่ามัมสัมผัสน้ำจาก 131 ± 1 องศา เป็น 129 ± 1 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชั้นเคลือบยังคงแสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำและมีเสถียรภาพที่ดี เมื่อผ่านการทดสอบด้วยเครื่องเร่งสภาวะ

จากการศึกษาความทนทานต่อสภาพอากาศของชั้นเคลือบที่สภาวะจริงและสภาวะจำลอง พบว่า ที่สภาวะจริงจะมีค่ามัมสัมผัสน้ำลดลง 1 องศาต่อสัปดาห์ และที่สภาวะจำลองจะมีค่ามัมสัมผัสน้ำที่ลดลงเฉลี่ยวันละ 1 องศาเมื่อเปรียบเทียบกับกับสภาวะจริง จากผลที่ได้สรุปว่าอิฐที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย AgNPs และ PDMS เมื่ออยู่ในสภาวะจริงยังคงแสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำอยู่ แต่เมื่ออยู่ในสภาวะจำลองจะทำให้ความไม่ชอบน้ำสูญเสียไปอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาการพัฒนาอิฐก่อผนังตกแต่งให้มีสมบัติด้านทานการเกิดเชื้อรา ตะไคร่ และไม่ชอบน้ำ โดยทำการเคลือบอนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) ลงบนพื้นผิวอิฐก่อผนังตกแต่ง ด้วยวิธีเคลือบแบบจุ่มเคลือบ และแบบชั้นต่อชั้น ซึ่งจากการตรวจสอบด้วยเทคนิค XRD, FT-IR, SEM และทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพ พบว่าอิฐก่อผนังตกแต่งมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบประเภท มัลไลต์ ซิลิกา และอลูมินา มีลักษณะพื้นผิวที่มีรูพรุนสูง สีนํ้าตาลส้ม และเมื่อนำไปเคลือบด้วย AgNPs พบว่าอิฐก่อผนังตกแต่งที่เคลือบ AgNPs ด้วยวิธีการเคลือบแบบชั้นต่อชั้น นั้น มีอนุภาค AgNPs กระจายตัวปกคลุมอยู่บนพื้นผิวอย่างหนาแน่นมากกว่าวิธีการจุ่มเคลือบ และยังพบว่าเมื่อจำนวนชั้นเคลือบ AgNPs เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้อนุภาค AgNPs เกาะติดที่พื้นผิวอิฐก่อผนังตกแต่งได้มากขึ้น และทำให้สีอิฐเข้มขึ้น ซึ่งเมื่อทำการตรวจสอบด้วยเทคนิค EDS พบว่ามีการกระจายตัวของอนุภาค AgNPs อยู่บนพื้นผิวอิฐก่อผนังตกแต่งหลังการเคลือบผิว จากนั้นจึงนำอิฐก่อผนังตกแต่งที่ผ่านการเคลือบด้วย AgNPs ไปเคลือบด้วยอัตราส่วนผสมร้อยละโดยปริมาตรของพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS) กับเฮกเซน (hexane) พบว่าอัตราส่วนผสมที่แสดงสมบัติไม่ชอบน้ำสูงที่สุดคือ อัตราส่วนโดยปริมาตรร้อยละ 50 : 50 ซึ่งให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำโดยเฉลี่ยสูงสุดคือ 132 ± 1 องศา จากนั้นจึงทำการศึกษาประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของอิฐก่อผนังตกแต่งที่เคลือบอนุภาค AgNPs ทั้ง 2 วิธี แล้วนำไปเคลือบด้วย PDMS ซึ่งประกอบไปด้วย การศึกษาสมบัติด้านทานการเกิดแบคทีเรีย การศึกษาสมบัติด้านทานการเกิดเชื้อรา การศึกษาสมบัติด้านทานการเกิดตะไคร่ การศึกษาสมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง ความทนทานต่อสภาพอากาศของชั้นเคลือบในสภาวะจริง และแบบจำลองและศึกษาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐที่ถูกปรับปรุงแล้ว

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า อิฐก่อผนังตกแต่งที่เคลือบ AgNPs จาก CoPSS ความเข้มข้น 0.01 mM ด้วยวิธีการเคลือบแบบชั้นต่อชั้น จำนวน 3 ชั้น แล้วนำไปเคลือบด้วย PDMS พบว่ามีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) และ *Escherichia coli* (*E. coli*) และอิฐก่อผนังตกแต่งที่เคลือบ AgNPs จาก CoPSS ความเข้มข้น 0.01 mM ด้วยวิธีจุ่มเคลือบเป็นจำนวน 10 ชั้น แล้วนำไปเคลือบด้วย PDMS พบว่ามีความสามารถในการลดปริมาณเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง 2 ชนิด จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่ดีที่สุดทั้ง 2 ตัวอย่าง ไปทำการทดสอบสมบัติด้านทานการเกิดตะไคร่ โดยการนำไปวางไว้ในโลที่มีตะไคร่เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าไม่มีตะไคร่เกิดขึ้นบนตัวอย่างทั้ง 2 นอกจากนี้ ยังได้ทำการทดสอบสมบัติด้านทานการเกิดเชื้อรา โดยนำตัวอย่างไปวาง

ไว้ที่ราชนมปิงเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าตัวอย่างมีเชื้อราขึ้นเพียงเล็กน้อย ต่อมาจึงนำตัวอย่างไปทำการศึกษาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ โดยเทียบกับอิฐที่ปราศจากการเคลือบผิว พบว่าค่าการดูดซึมน้ำลดลงจากร้อยละ 10.9 เป็นร้อยละ 0.7 หลังจากทำการเคลือบผิวด้วย AgNPs และ PDMS ที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ จากนั้นจึงทำการทดสอบความทนทานต่อสภาพแวดล้อม เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าอิฐที่เตรียมโดยวิธีจุ่มเคลือบและวิธีแบบชั้นต่อชั้นมีสมบัติไม่ชอบน้ำลดลงเพียงเล็กน้อย โดยค่ามุมสัมผัสของน้ำลดลงจาก 132 ± 1 เป็น 127 ± 1 องศา และจาก 131 ± 1 เป็น 126 ± 1 องศา ตามลำดับ และเมื่อทำการทดสอบความทนทานต่อสภาพอากาศในสภาวะจำลอง เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าค่ามุมสัมผัสของน้ำลดลงจาก 132 ± 1 เป็น 129 ± 1 องศา และจาก 131 ± 1 เป็น 129 ± 1 องศา ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า อิฐก่อผนังตกแต่งที่ถูกพัฒนาให้มีสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา ตะไคร่ และไม่ชอบน้ำ มีความทนทานต่อการใช้งานได้นานถึง 6 สัปดาห์ โดยที่สมบัติความไม่ชอบน้ำลดลงเพียงเล็กน้อย และยังสามารถต้านทานการเกิดเชื้อรา ตะไคร่ได้ดี

5.2. ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาเพิ่มเติมในการนำกระบวนการเคลือบ AgNPs และ PDMS ที่พัฒนาได้จากโครงการพิเศษนี้ ไปทำการเคลือบลงบนพื้นผิวของวัสดุชนิดอื่น ๆ เช่น อิฐบล็อกจากดินเหนียว กระเบื้องหลังคา และกระเบื้องหินอ่อน เป็นต้น
- 2) ศึกษาวิธีการเตรียมชั้นเคลือบอื่น ๆ ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรม เช่น การพ่นเคลือบ (spraying)
- 3) ศึกษาผลของการใช้สารรักษาเสถียรภาพที่ใช้ในการเตรียมสารคอลลอยด์ AgNPs ชนิดอื่น ๆ เช่น พอลิอะคริลิกแอซิด (polyacrylic acid; PAA) และผลของการใช้สารเพื่อปรับปรุงสมบัติไม่ชอบน้ำชนิดอื่น ๆ เช่น กรดสเตียริก เพื่อให้ได้ชั้นเคลือบที่มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น และยังคงสมบัติต้านทานการเกิดเชื้อรา ตะไคร่ และไม่ชอบน้ำไว้ได้นาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Okkyong Choi, Kathy Kanjun Deng, Nam-Jung Kim, Louis Ross Jr., Rao Y. Surampalli and Zhiqiang Hu. 2008. "The inhibitory effects of silver nanoparticles, silver ions, and silver chloride colloids on microbial growth" *Water Research*, 42, 3066-3074.
- [2] Luis A M Carrascosa and Dario S Facio. 2016. "Producing superhydrophobic roof tiles" *Nanotechnology*, 27, 095604.
- [3] วรณช ดิลงมัน และคณะ, 2559 "การพัฒนาและการผลิตอิฐบล็อกมวลเบาโดยการผสมเส้นใยธรรมชาติ" คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- [4] กานต์พิมล กรไกร และ รินา ภัทรมานนท์ 2560 "อนุภาคเงินนาโนสังเคราะห์ด้วยสารสกัดจากพืชและความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์" ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
- [5] Retrieved December 3, 2018, from www.nanotechme.blogspot.com/2009/12/silver-nano.html
- [6] Retrieved November 13, 2018, from <https://th.wikipedia.org/wiki/ซิลเวอร์ไนเตรต>
- [7] Retrieved November 13, 2018, from http://th.tnjchem.com/sodium-borohydride-nabh4-cas-16940-66-2_p155.html
- [8] Xiaolong Ding. 2012. "Synthesis of polyhedral Ag nanostructures by a PVP-assisted hydrothermal" *Journal of Nanoparticle Research* 14(8) DOI: 10.1007/s11051-012-1000-8
- [9] Retrieved November 14, 2018, from http://www.physics.kmutt.ac.th/version2558/information2558/interested_topic_group/self_cleaning_leaf.html
- [10] Retrieved November 14, 2018, from <https://www.mtec.or.th/index.php/2013-05-29-09-06-21/2013-05-29-09-39-49/919->
- [11] Retrieved November 14, 2018, from <https://th.wikipedia.org/wiki/ภาวะการเปียก>
- [12] Retrieved November 14, 2018, from <http://m.thai.polyurethane-catalyst.com/sale-9967071d-polydimethylsiloxane-pdms-silicone-oil-201-cas-63148-62-9-colorless-transparent.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] Ekarat Detsri, Kanrayasiri Kamhom and Duangkamol Ruen-ngam. 11 May 2016. "Layer-by-layer deposition of green synthesised silver nanoparticles on polyester air filters and its antimicrobial activity" *Journal of Experimental Nanoscience*, Volume 11, No 12, 930-939, DOI: 10.1080/17458080.2016.1181277.
- [14] Ekarat Detsria,b, Panpailin Seeharaj. 20 November 2017 "Colorimetric detection of glutathione based on phthalic acid assisted synthesis of silver nanoparticles" *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Volume 533, Pages 125-132.
- [15] Afsaneh Safavi, Raheleh Ahmadi and Zahra Mohammadpour, April 2017 "Colorimetric sensing of silver ion based on anti-aggregation of gold nanoparticles" *Sensors and Actuators B: Chemical*, Volume 242, Pages 609-615.
- [16] O. Nimittrakoolchai¹, M. Suwan and S. Supothina. 2017 "Transparent superhydrophobic coating application to the interlocking clay block for the microbial growth mitigation" *Materials Science and Engineering* 283, 012013, DOI: 10.1088/1757-899X/283/1/012013
- [17] Chao-Hua Xue, Xue Bai and Shun-Tian Jia. 6 June 2016. "Robust, Self-Healing Superhydrophobic Fabrics Prepared by One-Step Coating of PDMS and Octadecylamine" *Scientific Reports*, 6, article 27262, DOI: 10.1038/srep27262
- [18] Luis A M Carrascosa, Dario S Facio and Maria J Mosquera. 2016 "Producing superhydrophobic roof tiles" *Nanotechnology* 27, 095604
- [19] Retrieved November December 3, 2018, <https://th.wikipedia.org/wiki/ภาวะการเปียก>
- [20] ณัชชา สุพวานิช และคณะ. 2558. "การพัฒนาผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และสารคู่ควบเพื่อใช้ในการแยกน้ำมันจากน้ำ." *โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
- [21] กมลรัตน์ มุลตรีบุตร และคณะ. 2558. "การพัฒนาวัสดุตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยอนุภาคซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว." *โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [22] Retrieved January 10, 2019, from <https://www.google.com/search/เครื่องวัดมุมสัมพัทธ์ของน้ำ>
- [23] Retrieved January 10, 2019, from <http://www.science.kmitl.ac.th/links/tools/index.php?page=tools>
- [24] Retrieved January 10, 2019, from <https://il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>
- [25] Retrieved January 10, 2019, <https://www.google.com/search/กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน>
- [26] Retrieved January 10, 2019, from <http://science.kmutt.ac.th/sic/index.php/physics/16-x-ray-driffraction>
- [27] Retrieved January 10, 2019,, from <https://www.google.com/search/แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในวัสดุ>
- [28] Retrieved January 10, 2019,, from <https://www.google.com/search/เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์>
- [29] Retrieved January 10, 2019, from <https://sites.google.com/site/uv-vis-spectroscopy>
- [30] Retrieved January 10, 2019,, from http://www.nanotec.or.th/th/?page_id=569
- [31] Sholikhah Umi Nur, Pujiyanto Anung, Lestari Enny, Sarmini Endang, Lubis Hotman, Widyaningrum Triani and Febriana Siska. August 2018 “Critical Parameters of Silver Nanoparticles (AgNPs) synthesized by Sodium Borohydride Reduction” Journal of Chemistry and Environment, Volume 22, Pages 179-183.
- [32] กิตติมา ญัฐวุฒิ และคณะ. 2556. “เคมีสีเขียวสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนและการประยุกต์ใช้” โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [33] Rucha Desai, Venu Mankad, Sanjeev K. Gupta, and Prafulla K. Jha. 2012 “Size Distribution of Silver Nanoparticles: UV-Visible Spectroscopic Assessment” Nanoscience and Nanotechnology, Volume 4, Pages 30-34.
- [34] Tingting Wang, Zongwen Wang, Xueli Gao and Congjie Gao. 29 May 2012 “Preparation and performance of dynamic layer-by-layer PDADMAC/PSS nanofiltration membrane” Journal of Membrane Science, Volume 423-424, Pages 324-331.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [35] Nithya Joseph, Pejman Ahmadiannamini, Richard Hoogenboom and Ivo. F. J Vankelecom. 2013 “Layer-by-Layer Preparation of Polyelectrolyte Multilayer Membranes for Separation” Polymer Chemistry, DOI: 10.1039/c3py01262j
- [36] Faris Matakah, Mohamed Mahmoud, A. G. N. D. Darsanasiri, Nastaran Abdol, Parviz Soroushian & Anagi M. Balachandra. 2018 “High-recycled-content hydraulic cements of alternative chemistry for concrete production” International Journal of Sustainable Engineering, DOI: 10.1080/19397038.2018.1431973
- [37] Yu-Bei Song, Xiao-Dong Song, Chang-Jing Cheng and Zhi-Gang Zhao. 2015 “Poly (4-styrenesulfonic acid-co-maleic acid)-sodium-modified magnetic reduced graphene oxide for enhanced adsorption performance toward cationic dyes” RSC Advances, DOI:10.1039/C5RA18255G.
- [38] Leah M Johnson, Lu Gao, C Wyatt Shields, Margret Smith, Kirill Efimenko, Kevin Cushing, Jan Genzer and Gabriel P López. 2013 “Elastomeric microparticles for acoustic mediated bioseparations” Journal of Nanobiotechnology 2013 11:12, DOI:10.1186/1477-3155-11-22
- [39] Bandit Thong-On, Boonjira Rutnakornpituk, Uthai Wichai and Metha Rutnakornpituk. 2011 “Magnetite nanoparticle coated with amphiphilic bilayer surfactant of polysiloxane and poly(poly(ethylene glycol) methacrylate)” J Nanopart Res, DOI: 10.1007/s11051-012-0953-y

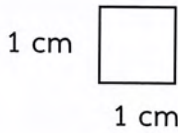
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

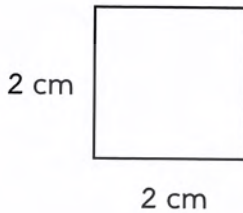
ภาคผนวก ก

1) การเตรียมตัวอย่างอิฐก่อผนังตกแต่ง



ขนาด 1 x 1 cm คิดเป็นพื้นที่ 1 cm²

ขนาด 2 x 2 cm คิดเป็นพื้นที่ 4 cm²



2) การคำนวณปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน สารเคมีที่ใช้

ซิลเวอร์ไนเตรท

มวลโมเลกุล 169.87 g/mol

(silver nitrate; AgNO₃)

พอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาเลอิกแอซิด

มวลโมเลกุล 344.25 g/mol

(poly(4-styrenesulfonic acid co- maleic acid) sodium salt; CoPSS)

โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (sodium borohydride;

มวลโมเลกุล 37.83 g/mol

NaBH₄)

น้ำ (water; H₂O)

มวลโมเลกุล 18.02 g/mol

สูตรการคำนวณอัตราส่วนผสมโดยมิลลิโมลาร์ (mM)

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

โดย C คือ ความเข้มข้นของสาร หน่วยเป็น โมลต่อลิตร

V คือ ปริมาตรของสาร หน่วยเป็น มิลลิลิตร

สูตรการคำนวณปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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

ตัวอย่างการคำนวณ

จากสภาวะการเตรียมคอลลอยด์ซิลเวอร์ที่อ้างอิงจากงานวิจัยของ Ekarat Detsri [13] ที่ใช้สารละลาย CoPSS เข้มข้น 10 mM ผสมกับ AgNO_3 เข้มข้น 5 mM จากนั้นเตรียมละลาย NaBH_4 เข้มข้น 100 mM ซึ่งจะเติมลงไปอย่างรวดเร็วภายใต้การปั่นควม แล้วจึงนำสารคอลลอยด์ที่เตรียมได้ไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับโครงการพิเศษนี้ทำเหมือนกันโดยเปลี่ยนเป็น CoPSS เข้มข้น 50 mM ผสมกับ AgNO_3 เข้มข้น 100 mM จากนั้นละลาย NaBH_4 เข้มข้น 50 mM ซึ่งจะใช้อัตราส่วนอัตราส่วนความเข้มข้นสุดท้ายของ $\text{AgNO}_3 : \text{NaBH}_4 : \text{CoPSS}$ ที่แตกต่างกัน คือ 1 : 10 : 0.01, 1 : 10 : 0.1 และ 1 : 10 : 1 มิลลิโมลาร์ จึงได้คำนวณปริมาตรของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโน ดังนี้ คือ

เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท

ความเข้มข้น 1 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = \frac{1 \text{ mM} \times 500 \text{ mL}}{100 \text{ mM}} = 5 \text{ mL}$$

$$g = \frac{CV}{1000} \times MW = \frac{100 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \times 20 \text{ mL} \times 169.873 \text{ g/mol}}{1000 \text{ mL/L}} = 0.3397 \text{ g}$$

เตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์

ความเข้มข้น 10 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1 = \frac{10 \text{ mM} \times 500 \text{ mL}}{50 \text{ mM}} = 100 \text{ mL}$$

$$g = \frac{CV}{1000} \times MW = \frac{50 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \times 350 \text{ mL} \times 37.833 \text{ g/mol}}{1000 \text{ mL/L}} = 0.6621 \text{ g}$$

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับโครงการแข่งขันเพื่อการแข่งขันเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่
 เตรียมสารละลายพอลิสไตรีนซัลโฟเนตโพลีเอคิลโคมาเลือกแอลกอฮอล์อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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

- เตรียมสารละลายพอลิไดอัลลิลไธเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 10 mM

$$g = \frac{CV}{1000} \times MW = \frac{10 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \times 1000 \text{ mL} \times 161.672 \text{ g/mol}}{1000 \text{ mL/L}} = 1.6167 \text{ g}$$

- เตรียมสารละลายพอลิโซเดียมสไตรีนซัลโฟเนต ความเข้มข้น 10 mM

$$g = \frac{CV}{1000} \times MW = \frac{10 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \times 1000 \text{ mL} \times 206.194 \text{ g/mol}}{1000 \text{ mL/L}} = 2.0619 \text{ g}$$

ดังนั้น เตรียมสารละลายพอลิไดอัลลิลไธเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 10 mM ซึ่ง 1.6167 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร เตรียมสารละลายพอลิโซเดียมสไตรีนซัลโฟเนต ซึ่ง 2.0619 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร

4) การคำนวณร้อยละการดูดซึมน้ำ

สูตรการคำนวณร้อยละการดูดซึมน้ำ

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{sf - wf}{wf} \times 100$$

โดย sf คือ น้ำหนักของอิฐอิมน้ำ

wf คือ น้ำหนักของอิฐหลังการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การคำนวณต้นทุนสารเทียบกับปริมาณของอิฐก่อผนังตกแต่ง

สารเคมี	ราคา (บาท)
AgNO ₃ 25 g บริษัท CARLO EBRA REAGENTS	1,800
CoPSS 250 g บริษัท SIGMA-ALDRICH	2,710
NaBH ₄ 100 g บริษัท SIGMA-ALDRICH	6,152
PDADMAC 1 L บริษัท SIGMA-ALDRICH	1,945
PSS 100 g บริษัท SIGMA-ALDRICH	2,410
PDMS 1k g บริษัท SUMMIT CHEMICAL	530
Hexane 2500 mL ยี่ห้อ CARLO EBRA REAGENTS	1,050
น้ำปราศจาก ไอออน	

อิฐขนาด 6 x 16 cm จำนวน 35 แผ่น ใช้ AgNPs ปริมาตร 1000 ml
ใช้ PDMS : hexane ปริมาตร 1500 ml

- เตรียม AgNPs ปริมาตร 1000 ml

AgNO₃ 10 ml ชั่งสาร 0.1699 g

AgNO₃ 25 g = 1800 บาท

$$\text{AgNO}_3 \ 0.1699\text{g} = \frac{1800 \times 0.1699}{25} = 12.23 \text{ บาท}$$

NaBH₄ 200 ml ชั่งสาร 0.3783 g

NaBH₄ 25 g = 2135 บาท

$$\text{NaBH}_4 \ 0.3783\text{g} = \frac{2135 \times 0.3783}{25} = 32.31 \text{ บาท}$$

CoPSS 0.2 ml ชั่งสาร 0.0034 g

CoPSS 250 g = 2710 บาท

$$\text{CoPSS} \ 0.0034\text{g} = \frac{2710 \times 0.0034}{250} = 0.037 \text{ บาท}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เตรียม PDMS : hexane ปริมาตร 1500 ml

PDMS 750 ml

PDMS 1000 ml = 530 บาท

$$\text{PDMS 750 ml} = \frac{530 \times 750}{1000} = 397.5 \text{ บาท}$$

Hexane 750 ml

Hexane 2500 ml = 1050 บาท

$$\text{hexane 750 ml} = \frac{1050 \times 750}{2500} = 315 \text{ บาท}$$

- เตรียม primer ของวิธี layer by layer

PDADMAC 1000 ml ชั่งสาร 1.6167 g

PDADMAC 1000 ml = 1945 บาท

$$\text{PDADMAC 1.6167 (g)} = \frac{1945 \times 1.6167}{1000} = 3.14 \text{ บาท}$$

PSS 1000 ml ชั่งสาร 2.0619 g

PSS 100 g = 2410 บาท

$$\text{PSS 2.0619 g} = \frac{2410 \times 2.0619}{100} = 45 \text{ บาท}$$

ดังนั้นราคารวมของต้นทุนในการเคลือบเมื่อเทียบกับปริมาณของอิฐ คือ

$$\begin{aligned} \text{IM} &= 12.23(\text{AgNO}_3) + 32.31(\text{NaBH}_4) + 0.037(\text{CoPSS}) + 397.5(\text{PDMS}) + 315(\text{hexane}) \\ &= 757.077 \text{ บาท/35 แผ่น หรือ } 21.6 \text{ บาท/แผ่น} \end{aligned}$$

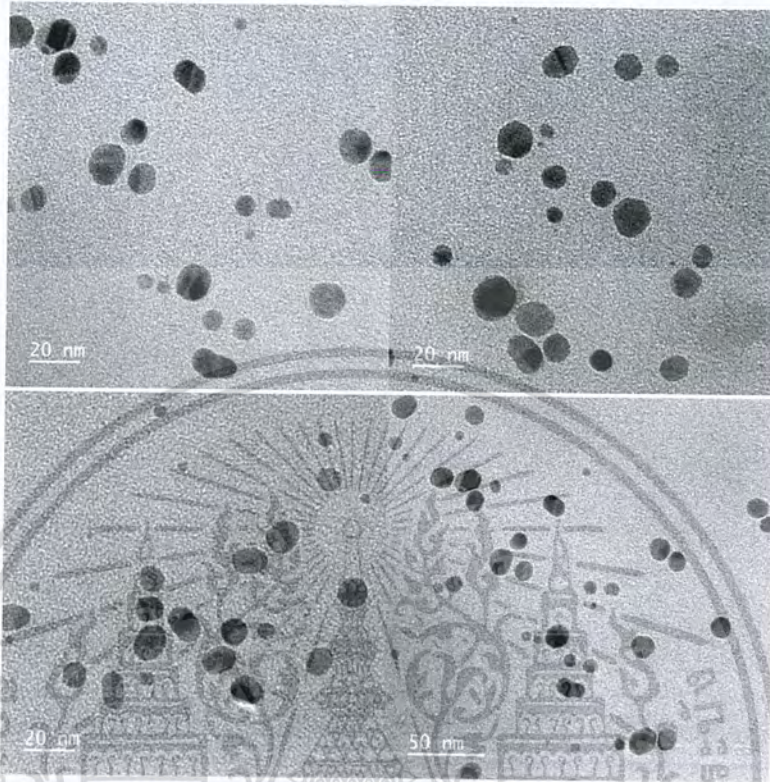
$$\begin{aligned} \text{LBL} &= 12.23(\text{AgNO}_3) + 32.31(\text{NaBH}_4) + 0.037(\text{CoPSS}) + 397.5(\text{PDMS}) + 315(\text{hexane}) + \\ &3.14(\text{PDADMAC}) + 45(\text{PSS}) \end{aligned}$$

$$= 805.217 \text{ บาท/35 แผ่น หรือ } 23 \text{ บาท/แผ่น}$$

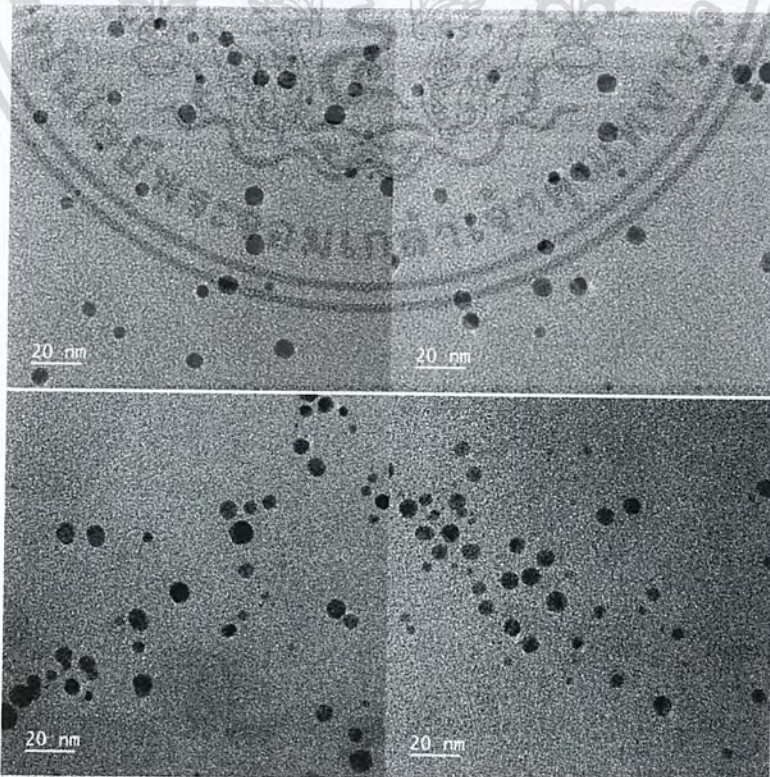
ดังนั้น เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวอิฐก่อนผนังตกแต่งโดยอิฐมีขนาด 6 x 16 cm เมื่อทำการเคลือบด้วยวิธีจุ่มเคลือบจะมีต้นทุนของสารเคมี 21.6 บาท/แผ่น และเมื่อทำการเคลือบด้วยวิธีชั้นต่อเอกสาร ซึ่งเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเหมาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ชั้นจะมีต้นทุนของสารเคมี คือ 23 บาท/แผ่น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ฟังสน ออกจากหมมหัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการศึกษานาโนภาค AgNPs ที่ใช้ความเข้มข้น CoPSS 0.01 mM



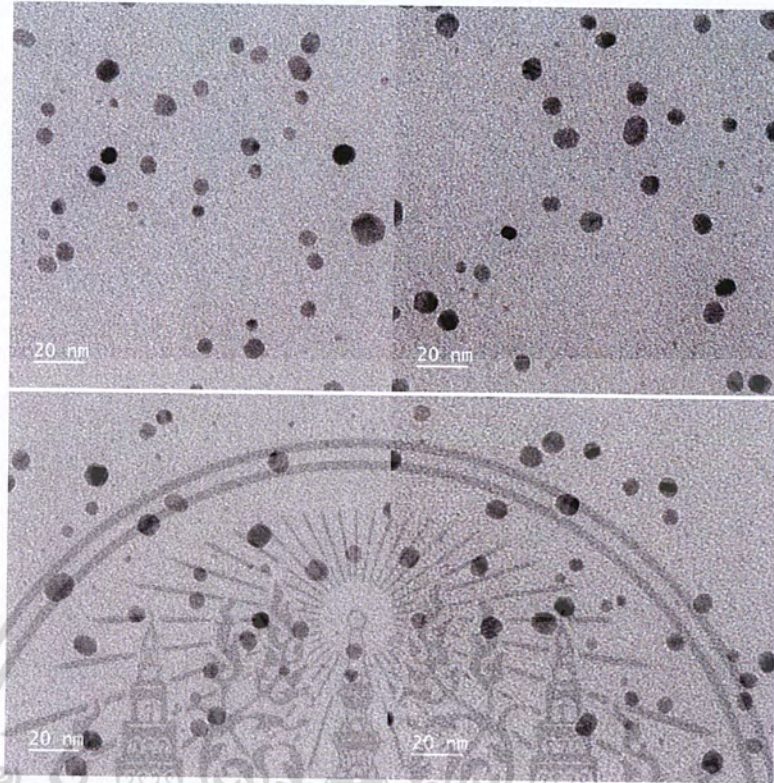
ผลการศึกษานาโนภาค AgNPs ที่ใช้ความเข้มข้น CoPSS 0.1 mM



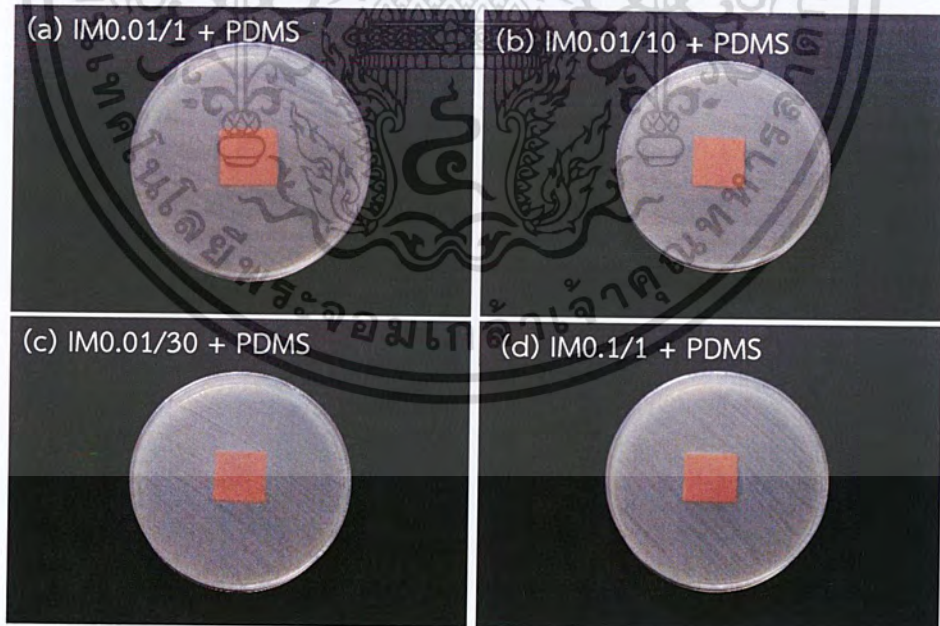
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ระโยชน์ด้านการค้า
ซึ่งได้มีการนำไปใช้

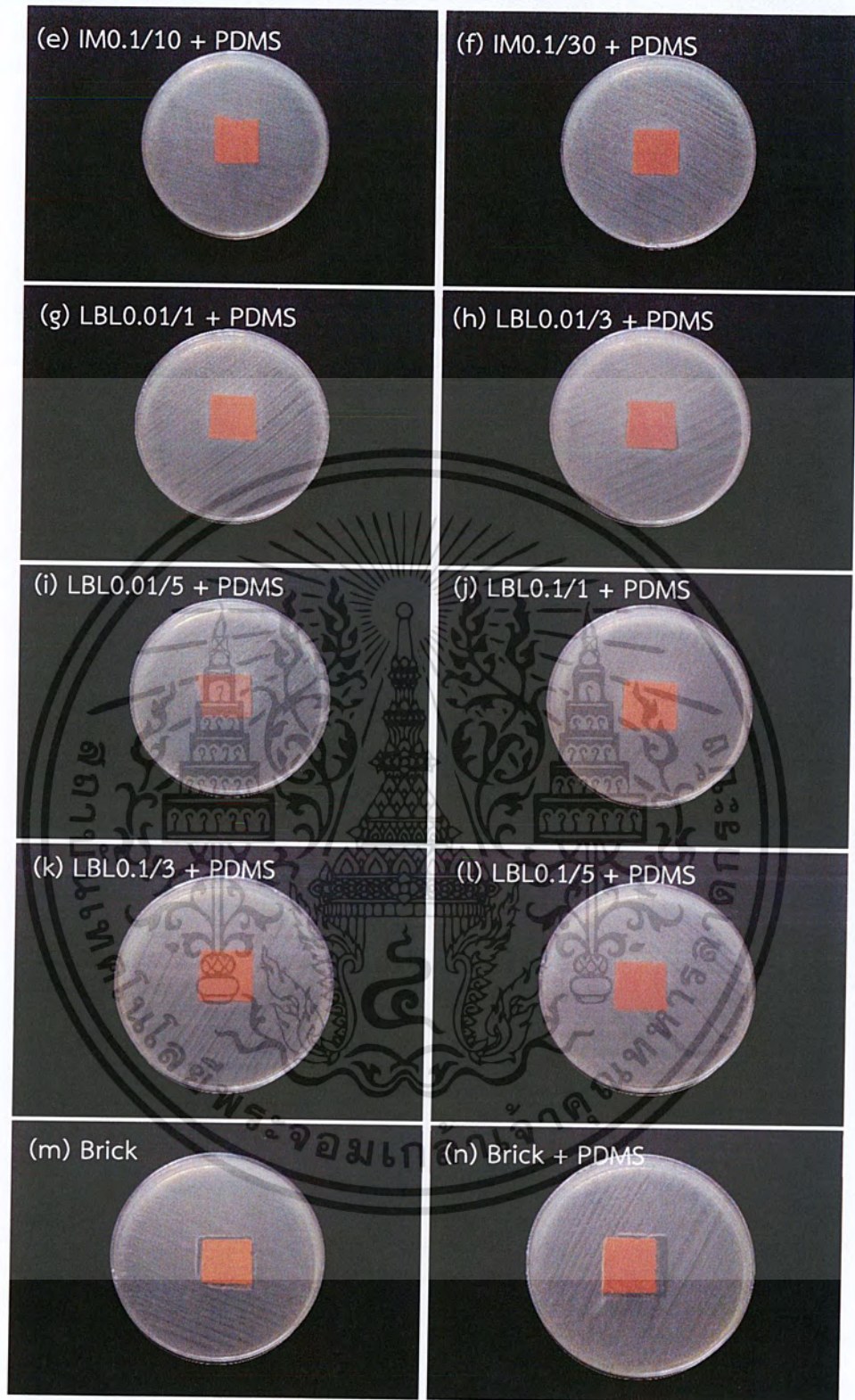
ผลการศึกษานาอนุภาค AgNPs ที่ใช้ความเข้มข้น CoPSS 1 mM



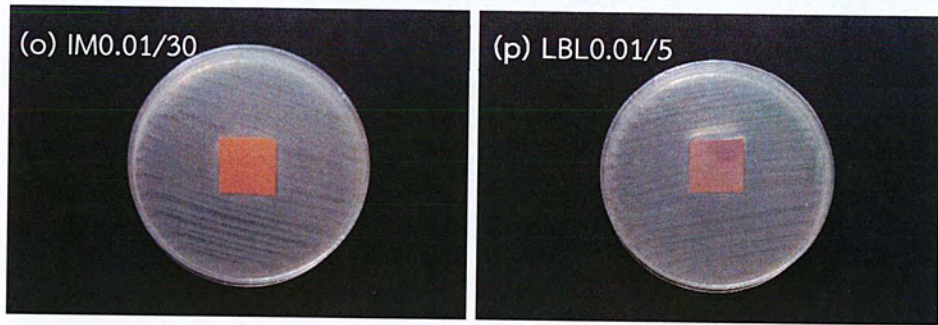
ผลการวิเคราะห์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* ATCC 25922



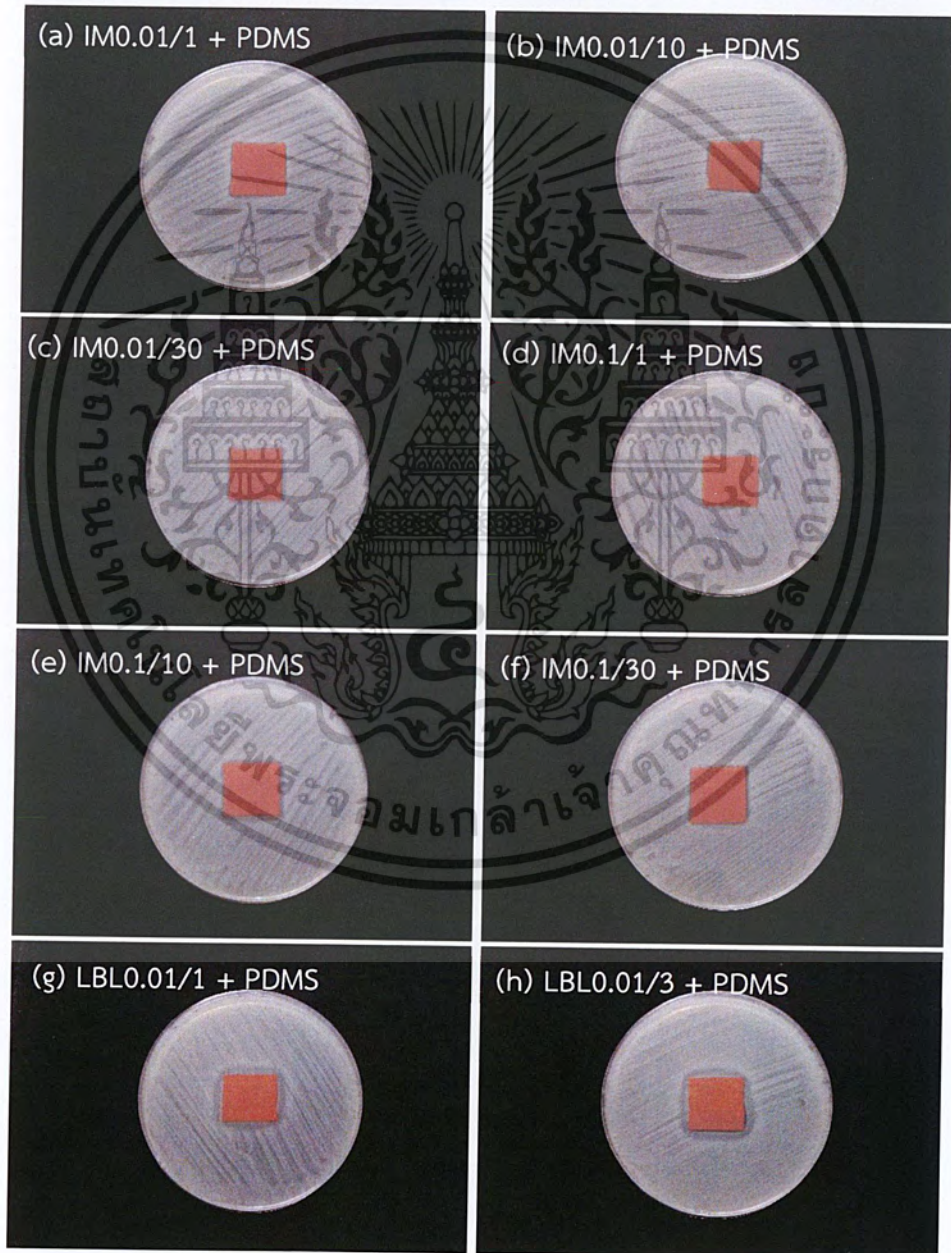
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



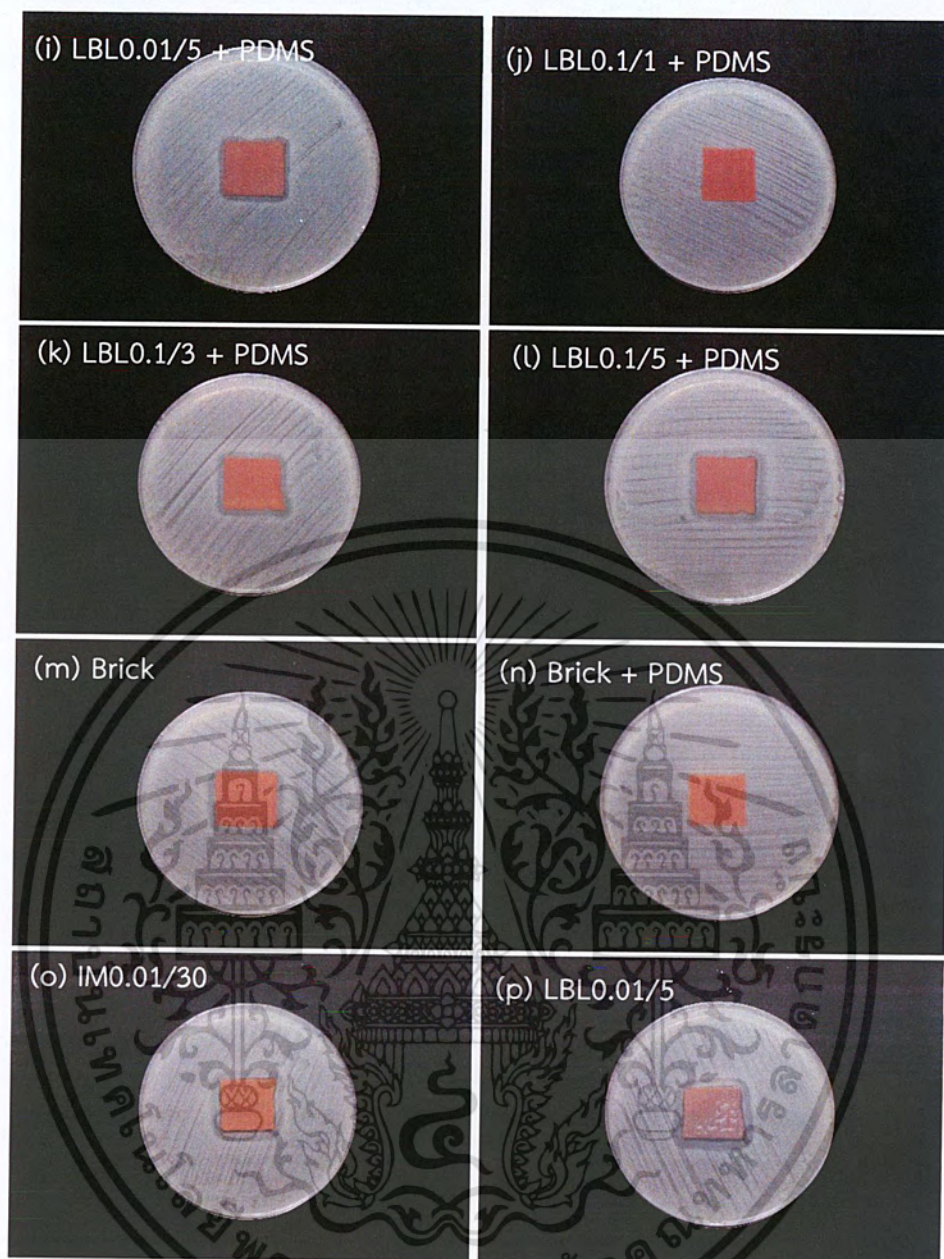
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลการวิเคราะห์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC 25923



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ-สกุล นายศักรินทร์ บัวเขียว
(Mr. Sakkarin buakeaw)

วัน เดือน ปีเกิด 15 พฤศจิกายน 2539

ประวัติการศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2557
จากโรงเรียนหาดอมราอักษรลักษณ์วิทยา
จังหวัดสมุทรปราการ

ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

E-mail deathlike01@gmail.com



ชื่อ-สกุล นางสาวสุภาวณี พานิช
(Miss. Supavinee Panich)

วัน เดือน ปีเกิด 7 กุมภาพันธ์ 2540

ประวัติการศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2557
จากโรงเรียนหนองหญ้าไซวิทยา
จังหวัดสุพรรณบุรี

ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

E-mail supavinee.panich@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้