การพัฒนาสีทำความสะอาดตัวเองได้โดยการเพิ่มสารที่ไม่ชอบน้ำ

วงศ์วิรัณ คณะธรรม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การพัฒนาสีทำความสะอาดตัวเองได้โดยการเพิ่มสารที่ไม่ชอบน้ำ

วงศ์วิรัณ คณะธรรม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of Self-cleaning Paint by Adding Hydrophobic Agent

Wongwirun Kanathum

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาสีทำความสะอาดตัวเองได้โดยการเพิ่มสารที่ไม่ชอบน้ำ

โดย นายวงศ์วิรัณ คณะธรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร.วรรณวิไล ไกรเพ็ชร์ เอวานส์)

.....กรรมการ

(รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การพัฒนาสีทำความสะอาดตัวเองได้โดยการเพิ่มสารที่ไม่ชอบน้ำ
โดย	นายวงศ์วิรัณ คณะธรรม
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงงานนี้คือเพื่อพัฒนาสีซึ่งมีคุณสมบัติในการทำความสะอาดตัวเองโดยการเพิ่มสารที่ไม่ชอบน้ำลงในสีอะคริลิคเบสน้ำ น้ำมันปาล์มและน้ำมันแร่เป็นสารที่ใส่ลงในสีอะคริลิคโดยมีการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นที่ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ของผสมนี้จะถูกนำไปทาลงบนแผ่นกระจกบาง วัดความหนาของสีด้วยไมโครมิเตอร์ วัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวที่เคลือบสีที่เวลาต่าง ๆ กัน และเปรียบเทียบระหว่างสูตรของแต่ละสี จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของน้ำมันที่เพิ่มขึ้นในสีเบสจะส่งผลให้มุมสัมผัสของหยดน้ำเพิ่มขึ้น และทำให้พื้นผิวที่เคลือบไว้เป็นสารที่ไม่ชอบน้ำมากขึ้น วัดการยึดติดของสีบนแผ่นกระจกโดยใช้มาตรฐานการทดสอบ ASTM 4541D ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำมันในสีเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การยึดติดของสีบนแผ่นกระจกลดลง สีที่ผสมกับน้ำมันที่ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำสูงสุด ในขณะที่สีที่ผสมกับน้ำมันที่ 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะมีการยึดติดกับสารตั้งต้นได้ดีที่สุด ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของน้ำมันในสีเบสคือ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เนื่องจากที่ความเข้มข้นนี้สีจะให้ความสมดุลที่ดีสำหรับคุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเองทั้งการมีมุมสัมผัสที่สูง และมีการยึดติดที่ดีบนแผ่นกระจก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันแร่ พบว่าน้ำมันแร่มีการทำความสะอาดตัวเองได้ดีกว่า มีความไม่ชอบน้ำมากกว่า และมีการยึดติดที่ดีกว่า จากนั้นนำดินเกาลินซึ่งแขวนลอยอยู่ในสารละลายเอทานอลมาผสมกับน้ำมันแร่ พบว่าดินเกาลินทำให้สารเคลือบมีการยึดติดที่ดีรวมทั้งทำให้สีเรียบขึ้น และสุดท้ายเติมเตตระเอทอกซีไซเลนเพื่อเพิ่มการทำความสะอาดตัวเอง จากผลการทดลองพบว่าการเติมเตตระเอทอกซีไซเลน 1.5 มิลลิลิตร ลงไปในสีที่ผสมกับดินเกาลินและน้ำมันแร่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ทำให้สารเคลือบผิวนี้มีคุณสมบัติในการทำความสะอาดตัวเองได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Development of Self-cleaning Paint by Adding Hydrophobic Agent
By	Mr. Wongwirun Kanathum
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2017
Advisor	Asst. Prof. Dr. Apinan Namkanisorn

ABSTRACT

The objective of this work is to develop a paint with self-cleaning property by adding hydrophobic agents to water-based acrylic paint. Palm oil and mineral oil were added to the acrylic paint at the concentrations varying from 5, 10 and 15 %vol. The mixture was then applied as a thin layer onto a glass substrate. The paint thickness was measured with a micrometer. Contact angles of a water droplet on the coated surface at different time were measured and compared between different paint formulas. The results show that increasing concentration of oil in the based paint leads to an increase of contact angle of water droplet, implying that the coated surface is more hydrophobic. The adhesion of the paint to the glass substrate was also tested using ASTM 4541D method. It was found that an increase of oil content added to the paint leads to a decrease of the adhesion to the glass substrate. A mixture of paint with oil 15 %vol gives the highest contact angle, whereas the mixture with oil 5 %vol adheres best to the substrate. The optimum concentration of oil in based paint is at 10 %vol since at this condition the paint has a good balance for self-cleaning property such that it has high contact angle and still adheres well to glass substrate. When comparing between palm oil and mineral oil, the results show that mineral oil enhances self-cleaning property of the paint better than palm oil, while the adhesion to the substrate is not compromised. By dispersion of kaolin clays in ethanol mixed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

with mineral oil, the result shows that the adhesion of coating increases. Finally, tetraethoxysilane was added to increase self-cleaning ability. From the experimental result, 1.5 ml. of tetraethoxysilane mixed with kaolin clay and mineral oil 10 % vol yields the best coatings for self-cleaning properties.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จากความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคลากรหลายฝ่าย ผู้จัดทำขอขอบคุณที่ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงโครงงาน ทำให้โครงงานนี้มีความสมบูรณ์

ผศ.ดร.วรรณวิไล ไกรเพ็ชร์ เอวานส์ และรศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขโครงงานเล่มนี้ ทำให้โครงงานนี้มีความสมบูรณ์

ผศ.ดร.รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ และผศ.ดร.ธีรพร สุธีวงศ์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้ คำแนะนำเพิ่มเติม รวมถึงให้สารเคมีมาใช้ในการทำโครงงาน ทำให้โครงงานนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

คุณพิมใจ ภู่ชนะกิจ คุณเอกราช บำรุงไทยชัยชาญ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป และเจ้าหน้าที่วิจัยประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกตลอดการทำโครงงานนี้

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ยืมอุปกรณ์ในการทำโครงงาน ทำให้โครงงานนี้สมบูรณ์

บิดา มารดา พี่ ๆ และเพื่อน ๆ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้กำลังใจ และความช่วยเหลือตลอดการทำปริญญานิพนธ์

อนึ่งยังมีผู้มีพระคุณที่ไม่ได้กล่าวนาม ถ้าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยขอน้อมรับและกราบขออภัยมา ณ ที่นี้

วงศ์วิรัณ คณะธรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการทำความสะอาดตัวเองของสารเคลือบผิวในสี	3
2.1.1 หลักการทำงานของสารที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ที่ใช้ในสารเคลือบผิว	3
2.1.2 น้ำมัน	5
2.1.3 ดินเกาลิน	7
2.1.4 เตตระเอทอกซีไซเลน	8
2.2 การเคลือบผิว	8
2.2.1 สารเคลือบผิว	8
2.2.2 ประเภทของสารเคลือบผิว	9
2.2.3 การทดสอบสารเคลือบผิว	10
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวสี	11
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน	
3.1 ขั้นตอนการศึกษา	14
3.2 วิธีการดำเนินงาน	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 14

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 14

3.3 ขั้นตอนการทดลอง 15

3.3.1 การผสมสูตรของสีที่ใช้ทำความสะอาดตัวเอง 15

3.3.2 การทดสอบคุณสมบัติของสีที่ทำความสะอาดตัวเองได้ 17

3.4 ตารางวางแผนการทำโครงงาน 18

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบการทำความสะอาดตัวเองของสี 19

4.2 การทดสอบคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำของสี 21

4.3 การทดสอบการยึดติดของสีกับสารตั้งต้น 23

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 25

5.2 ข้อเสนอแนะ 26

5.2.1 การเลือกใช้สีอะคริลิคสูตรน้ำ 26

5.2.2 การทดสอบคุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง 26

5.2.3 อัตราเร็วในการกวนของสี 26

5.2.4 การวัดการยึดติดของสี 26

5.2.5 การวัดคุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเองของสี 26

เอกสารอ้างอิง 27

ภาคผนวก ก. 30

ภาคผนวก ข. 35

ภาคผนวก ค 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ขนาดมุมสัมผัสเฉลี่ยของหยดน้ำกับสารตั้งต้นที่เวลาต่าง ๆ 22
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยจำนวนช่องที่เหลือแสดงถึงการยึดติดของสีตามมาตรฐาน ASTM 4541D 23
ตารางที่ ก.1 ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับสารตั้งต้นที่ 0 วินาที 31
ตารางที่ ก.2 ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับสารตั้งต้นที่ 2 วินาที 31
ตารางที่ ก.3 ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับสารตั้งต้นที่ 4 วินาที 32
ตารางที่ ก.4 ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับสารตั้งต้นที่ 6 วินาที 33
ตารางที่ ก.5 ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับสารตั้งต้นที่ 8 วินาที 33
ตารางที่ ก.6 ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับสารตั้งต้นที่ 10 วินาที 34
ตารางที่ ข.1 จำนวนช่องที่เหลือแสดงถึงการยึดติดของสีบนแผ่นกระจกสไลด์ ตามมาตรฐาน ASTM 4541D 36
ตารางที่ ค.1 ความหนาชั้นฟิล์มของสีบนแผ่นกระจกสไลด์ (วัดโดยไมโครมิเตอร์) 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การเปียกและมุมสัมผัสค่าต่าง ๆ 4
รูปที่ 2.2 การเกิดสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ 5
รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของเตตระเอทอกซีไซเลน 8
รูปที่ 3.1 ชุดการทดลองการทดสอบการทำความสะอาดตัวเองของสี 17
รูปที่ 3.2 ชุดการทดลองการยึดติดของสี 18
รูปที่ 4.1 การทำความสะอาดตัวเองของสีแต่ละสูตร 20
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างมุมสัมผัสหยดน้ำของสีเบส 21
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างมุมสัมผัสหยดน้ำของสีเบสเมื่อผสมกับน้ำมันปาล์ม 21
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างมุมสัมผัสหยดน้ำของสีเบสเมื่อผสมกับน้ำมันแร่ 21
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างมุมสัมผัสหยดน้ำของสีเบสเมื่อผสมกับน้ำมันแร่และดินเกาลิน 21
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างมุมสัมผัสหยดน้ำของสีเบสเมื่อผสมกับน้ำมันแร่และดินเกาลิน แล้วเติม TEOS 21
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างมุมสัมผัสหยดน้ำของสีเชิงพาณิชย์ 21
รูปที่ 4.8 ตัวอย่างการยึดติดของสีกับแผ่นกระจกสไลด์ 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันสารเคลือบผิวมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวันรวมถึงอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมของสารเคลือบผิวได้มีการปรับปรุงและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีศึกษาค้นคว้าวิจัย การทดลอง ปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบ นำเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อให้ได้ผลผลิตมีประสิทธิภาพและได้คุณภาพมากขึ้น ลดต้นทุนด้านการผลิต และทำให้คุณสมบัติของสารเคลือบผิวดีขึ้น โดยวัตถุประสงค์ของการเคลือบผิว คือเพื่อช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุมีความแข็งแรงมากขึ้น ทนทานต่อการขัดสี และสภาพอากาศในสภาวะต่าง ๆ ได้มากขึ้น สามารถยึดติดกับสารที่ยึดติดได้เป็นอย่างดี รวมถึงเพื่อยืดอายุการใช้งานของสีให้คงทนอยู่ได้ยาวนานขึ้น[1] การที่จะทำให้สีสามารถกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดกับผนังได้นั้นจะต้องมีสารเคลือบผิวที่เมื่อผสมกับสีแล้วสามารถทำความสะอาดตัวเองได้ โดยสีนั้นจะต้องมีคุณสมบัติ คือเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) สีทั่ว ๆไปที่มีการจำหน่ายเป็นสารที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และมีแนวโน้มที่จะปนเปื้อนได้จากน้ำที่มาจากฝน ฝุ่นละออง เมฆ และหมอก ดังนั้นการทำความสะอาดจึงต้องใช้การทาสีซ้ำซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง จึงต้องมีการพัฒนาสีให้มีคุณสมบัติเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งจะทำให้สิ่งสกปรก หรือแบคทีเรียสามารถหลุดออกได้ง่าย จากการเคลื่อนที่แบบหมุนของหยดน้ำผ่านผนังที่มีสิ่งสกปรกติดอยู่[2-4] โดยสารที่ไม่ชอบน้ำต้องเป็นสารที่มีพลังงานพื้นผิวต่ำระหว่างผิวของน้ำกับพื้นผิวของสารตั้งต้น การที่มีพลังงานพื้นผิวต่ำส่งผลให้ประสิทธิภาพของการทำความสะอาดตัวเองของสารเคลือบผิวได้ดี ซึ่งจะต้องมีการยึดติดรวมถึงการเคลื่อนที่ของหยดน้ำที่ดี[5]

งานวิจัยเล่มนี้ เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาสารเคลือบผิวที่นำไปผสมกับสีอะคริลิคสูตรน้ำแล้วทำให้สีนั้นมีการยึดติดกับตัวที่ยึดเกาะได้ดี รวมทั้งเมื่อมีคราบสกปรกมาติดกับสารตั้งต้นแทนที่จะทำการทาสีทับซ้ำ เพื่อเป็นการลดต้นทุนจึงมีการใช้สีที่ผสมกับวัสดุที่เป็นสารเคลือบผิวซึ่งทำความสะอาดตัวเองได้ ก็จะทำให้สามารถทำความสะอาดได้โดยง่าย ซึ่งสารเคลือบผิวที่ผสมในสีนี้จะใช้น้ำมันปาล์ม (Palm oil) และน้ำมันแร่ (Mineral oil) ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ[6] ทำให้สารสกปรกที่มาติดกับผนังสามารถหลุดออกได้ง่าย โดยมีตัวกลางที่พาสิ่งสกปรกหลุดออกจากผนังคือ น้ำ และมีการใส่ดินเกาลินเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการยึดติดกับสารตั้งต้น รวมถึงเติมเตตระเอทอกซีไซเลน (Tetraethoxysilane) เพื่อประสานให้น้ำมันแร่รวมตัวกับสีอะคริลิคสูตรน้ำได้ดีขึ้น และเพิ่มมุมสัมผัสของหยดน้ำให้กับสารเคลือบผิว[5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อพัฒนาสารเคลือบผิวสูตรน้ำที่มีความสามารถทำความสะอาดตัวเองได้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 พัฒนาสารเคลือบผิวจากสีอะคริลิกสูตรน้ำเพื่อให้มีคุณสมบัติทำความสะอาดตัวเองได้

1.3.2 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารไม่ชอบน้ำที่เติมลงไปในสีอะคริลิกสูตรน้ำ

1.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพในการทำความสะอาดตัวเองของสารเคลือบผิว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้สูตรของสารเคลือบผิวที่เหมาะสมในการมาผสมในสีเบสเพื่อมาทากับผนังบ้าน โดยสีที่ทานั้นจะสามารถทำความสะอาดตัวเองได้ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายจากการทาสีซ้ำ

1.4.2 ได้นำความรู้ที่ใช้ไปศึกษาหาสีเบส เมื่อผสมกับสารเคลือบผิวแล้วสามารถขจัดคราบสิ่งสกปรกได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารเคลือบผิวที่ใช้ทำความสะอาดตัวเอง รวมถึงการยึดติดกับผนัง

1.5.2 ออกแบบการทดลอง และกำหนดสารเคมีที่ผสมในสีเบส

1.5.3 ทำการผสมสูตร โดยหาเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของสารเคลือบผิวที่อยู่ในสี

1.5.4 ทดสอบประสิทธิภาพในการทำความสะอาดตัวเอง และการยึดติดของสีกับสารตั้งต้น

1.5.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการทำความสะอาดตัวเองของสารเคลือบผิวในสี [7]

การทำความสะอาดตัวเองของสารเคลือบผิวในสีสามารถนิยามได้ว่าเป็นความสามารถของตัววัสดุในการทำความสะอาดตัวเอง โดยมีสารอินทรีย์ซึ่งเป็นสิ่งสกปรกจะถูกกำจัดออกโดยลมที่พัดผ่านหรือฝนที่ตกลงมา ปกติเมื่อมีสิ่งสกปรกเข้ามาติดที่ผนังกำแพงจะต้องมีการทาสีซ้ำเพื่อทำให้สิ่งสกปรกนั้นหายไป แต่เมื่อทำการใส่สารเคลือบผิวลงไปในสี จะทำให้สีที่ทาไปบนกำแพงทำความสะอาดตัวเองได้ และประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อสีมาทาซ้ำ

2.1.1 หลักการทำงานของสารที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ที่ใช้ในสารเคลือบผิว [5,10]

สารที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) หมายถึงสารที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำ เนื่องจากสารเหล่านี้ไม่สามารถแตกตัวให้ไอออนได้หรือเป็นโมเลกุลไม่มีขั้วจึงไม่สามารถยึดติดกับโมเลกุลของน้ำได้

คุณสมบัติหนึ่งของสารที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) คือมีพลังงานพื้นผิวระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวต่ำ ยิ่งมีพลังงานพื้นผิวต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพของการทำความสะอาดตัวเองของสารเคลือบผิว และหยดน้ำเคลื่อนที่ได้ดี

กลไกการทำงานของการทำความสะอาดตัวเองของของเหลวจะใช้เรื่อง การเปียก (Wetting) ซึ่งเป็นลักษณะของของเหลวที่ยึดเกาะอยู่บนผิวของของแข็ง การที่ของเหลวจะเปียกบนของแข็งได้ดีจะเกี่ยวข้องกับแรงสองชนิด คือ

1. แรงเชื่อมแน่น (Cohesive force) คือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารชนิดเดียวกัน ซึ่งเป็นแรงที่พยายามทำให้โมเลกุลของของเหลวเกาะกลุ่มกันเองเป็นหยด

2. แรงยึดติด (Adhesive force) คือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารต่างชนิดกัน โดยจะหมายถึงแรงระหว่างโมเลกุลของเหลวและของแข็ง ซึ่งเป็นแรงที่ตรงข้ามกับแรงเชื่อมแน่น คือ แรงยึดติดจะพยายามทำให้หยดของของเหลวแตกออกจากกัน และกระจายแนบไปกับผิวของของแข็ง

การพิจารณาน้ำกับวัสดุชนิดหนึ่ง ขณะที่น้ำเกาะอยู่บนผิวของของแข็งจะเกิดสภาพสมดุลของแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่น ถ้าแรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่น น้ำจะกระจายแนบติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนผิวของของแข็ง ในทางตรงข้ามถ้าแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่น น้ำจะไม่เกาะแต่จะหลุดออกจากผิว แล้วรวมกันเป็นหยดกลิ้งไปมาได้บนผิวของของแข็ง

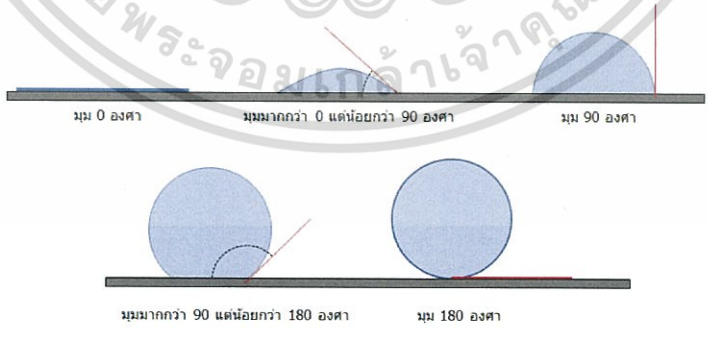
การพิจารณาการเปียกของของเหลวบนผิวของของแข็ง สภาพสมดุลของแรงสองแรงจะนำไปสู่ปริมาณที่สำคัญอีกปริมาณหนึ่ง ที่นิยมใช้วัดความเปียกเรียกว่า มุมสัมผัส (Contact angle) คือมุมระหว่างหยดของของเหลววัดเทียบกับผิววัสดุ ณ จุดที่ผิวทั้งสองเกาะติดกัน โดยมีเกณฑ์แบ่งการเปียกของของเหลวบนของแข็งดังนี้

1. มุมสัมผัสเท่ากับ 0 องศา คือการเปียกอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเป็นกรณีที่แรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ เมื่อของเหลวถูกหยดลงบนผิว ของเหลวจะกระจายไปตามผิวของของแข็งจนกลายเป็นชั้นของของเหลวบาง ๆ คลุมพื้นผิวของของแข็งเป็นบริเวณกว้างที่สุด

2. มุมสัมผัสมีค่าระหว่าง 0 ถึง 90 องศา คือ เกิดการเปียกได้ดี ของเหลวจะกระจายไปบนผิวได้เป็นบริเวณกว้าง แต่ยังคงเกาะกันเป็นหยดนูนขึ้นเล็กน้อยจากผิวของของแข็ง

3. มุมสัมผัสมีค่าตั้งแต่ 90 แต่ไม่ถึง 180 องศา เรียกว่าผิวเปียกยาก คือของเหลวจะรวมกันเป็นหยดรูปทรงค่อนข้างกลมจะมีบริเวณเล็ก ๆ ที่ฐานของหยดที่ของเหลวยังคงแตะกับผิวของแข็ง

4. มุมสัมผัสมีค่าเท่ากับ 180 องศา เรียกว่า ผิวไม่เปียก เกิดขึ้นเมื่อแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ ดังนั้นเหลวจะรวมกันเป็นหยดทรงกลม บริเวณที่ของเหลวแตะกับผิวของแข็งจะอยู่ที่ฐานของทรงกลม ซึ่งเล็กมากจนแทบจะเป็นจุดทำให้ของเหลวสามารถกลิ้งไปมาบนผิวได้อิสระเหมือนลูกบอลกลิ้งบนพื้นเรียบ



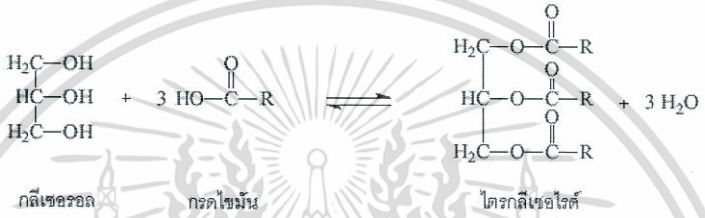
รูปที่ 2.1 การเปียกและมุมสัมผัสค่าต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 น้ำมัน [1]

น้ำมันถูกนำมาใช้เป็นสารยึดในอุตสาหกรรมเคลือบผิว เป็นส่วนผสมของวาร์นิช หรือสารเคลือบผิวบางชนิดเพื่อเพิ่มความอ่อนตัวของฟิล์มทำให้ฟิล์มไม่เปราะ โดยน้ำมันที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวได้มาจาก 2 แหล่ง คือ น้ำมันพืช (Vegetable oil) ซึ่งได้จากการบีบหรืออัดเมล็ดพืชหรือเปลือกของผล และน้ำมันจากทะเล (Marine oil) ได้แก่ น้ำมันปลา

องค์ประกอบของน้ำมันจะเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ประกอบด้วยกลีเซอรอล (Glycerol) 1 โมเลกุล รวมกับกรดไขมัน (Fatty acid) 3 โมเลกุล



รูปที่ 2.2 การเกิดสารประกอบไตรกลีเซอไรด์

สมบัติของน้ำมันขึ้นกับธรรมชาติของกรดไขมันที่มีอยู่ในโครงสร้างโดยที่กรดไขมันจะมีผลต่อสมบัติการแห้งตัวของน้ำมัน โดยเป็นสารที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ต่อกับโซ่ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon chain) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนตั้งแต่ 9 ถึง 22 อะตอม แต่ส่วนใหญ่ประกอบด้วย 18 อะตอม

กรดไขมันแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1. กรดไขมันอิ่มตัว ไม่มีพันธะคู่ (Double bond) ในโครงสร้าง คาร์บอนแต่ละตัวบนสายโซ่จะต่ออยู่กับไฮโดรเจนอย่างน้อย 2 ตัว เนื่องจากไม่มีพันธะคู่ ดังนั้นน้ำมันที่มีแต่กรดไขมันอิ่มตัวอยู่ในโครงสร้างจะมีสมบัติไม่แห้งตัว ตัวอย่างของกรดไขมันอิ่มตัว ได้แก่ กรดสเตียริก (Stearic acid) กรดปาล์มิติก (Palmitic acid) เป็นต้น

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว โซ่ไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วยพันธะคู่ตั้งแต่ 1 พันธะขึ้นไป และตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันออกไป ถ้ามีพันธะเดี่ยว (Single bond) คั่นอยู่ระหว่างพันธะคู่ เรียกพันธะคู่ชนิดนี้ว่าพันธะคู่สลับเดี่ยว (Conjugated double bond) พันธะคู่ที่มีอยู่ในกรดไขมันมีผลต่อสมบัติการแห้งของน้ำมันเพราะปฏิกิริยาแห้งตัวของน้ำมันเป็นปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับพันธะคู่ของโมเลกุลของน้ำมัน เมื่อมีพันธะคู่มากจะทำให้การแห้งตัวเร็วขึ้น นอกจากนี้ตำแหน่งพันธะคู่ยังมีผลต่อสมบัติการแห้งตัวของน้ำมัน ถ้าเป็นพันธะคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลับเดี่ยวจะเกิดปฏิกิริยาและแห้งตัวได้เร็วกว่าพันธะคู่แบบห่าง ตัวอย่างของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในน้ำมันต่าง ๆ ได้แก่ กรดโอเลอิก (Oleic acid) กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) เป็นต้น

ชนิดของน้ำมันตามสมบัติการแห้งตัวขึ้นกับปริมาณความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมัน แบ่งได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. น้ำมันแห้งเร็ว (Drying oil) แห้งตัวได้เร็วที่สุด กล่าวคือสามารถดูดออกซิเจนในอากาศเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นฟิล์มที่แห้งแข็ง ไม่ละลายในตัวทำละลายที่สามารถละลายน้ำมันได้ ไม่ยอมให้ความชื้นซึมผ่านได้ รวมถึงมีความทนทานต่อสารเคมี น้ำมันชนิดนี้ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 3 พันธะ เช่น น้ำมันลินสิด

2. น้ำมันแห้งช้า (Semi-drying oil) จะดูดออกซิเจนจากอากาศได้น้อยและเกิดเป็นฟิล์มที่แห้งช้ากว่าน้ำมันแห้งเร็ว กรดไขมันชนิดนี้จะมีพันธะคู่ 2 พันธะ น้ำมันชนิดนี้นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในอัลคิดเรซินที่ไม่ขึ้นเหลือง (Non-yellowing alkyd) เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันคำฝอย น้ำมันทานตะวัน

3. น้ำมันไม่แห้ง (Non-drying oil) ไม่สามารถแห้งตัวได้ น้ำมันชนิดนี้ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มเป็นส่วนใหญ่ นิยมนำมาใช้เป็นพลาสติไซเซอร์สำหรับเรซินที่ใช้เป็นสารยึดในแลกเกอร์ เช่น น้ำมันละหุ่ง

2.1.2.1 น้ำมันปาล์ม[12]

น้ำมันปาล์ม เป็นน้ำมันพืชชนิดหนึ่งที่ใช้วัตถุดิบ คือผลของต้นปาล์ม มีคุณสมบัติ คือมีทั้งไขมันอิ่มตัว และไขมันไม่อิ่มตัว โดยจะมีไขมันอิ่มตัวมากกว่าน้ำมันพืชทั่วไป มีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชัน และมีความคงตัวต่อการตกผลึกเบต้าไพรม์ อีกทั้งน้ำมันปาล์มยังมีปริมาณไขมันแข็งตามธรรมชาติ

น้ำมันปาล์มเป็นส่วนที่สกัดได้จากปาล์มธรรมชาติ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. น้ำมันปาล์มที่สกัดได้จากเปลือกหุ้มภายนอก หรือเรียกว่าน้ำมันปาล์มดิบ (Crude palm oil) ประเภทนี้จะสกัดน้ำมันจากส่วนเปลือกสดของผลปาล์มน้ำมัน

2. น้ำมันปาล์มที่สกัดจากเนื้อในของเมล็ดปาล์ม (Palm kernel oil) คือน้ำมันที่ได้จากเมล็ดในของผลปาล์มน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 น้ำมันแร่[13-14]

น้ำมันแร่ (Mineral oil) เรียกชื่ออื่น ๆว่า Petrolatum หรือ Petroleum jelly เป็นน้ำมันใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ซึ่งมีที่มาจากสารสกัดที่เป็นผลพลอยได้มาจากการทำน้ำมันปิโตรเลียม

น้ำมันแร่แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. น้ำมันพาราฟินิก (Paraffinic oil) คือน้ำมันที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbon) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทั่วไป C_nH_{2n+2} และมีส่วนประกอบที่เป็นอะโรมาติก 19-30%

2. น้ำมันแนฟทินิก (Naphthenic oil) คือน้ำมันที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอน (Alicyclic hydrocarbon) (โครงสร้างเป็นแบบวงแหวนปิด และพันธะเดี่ยว) มีสูตรโครงสร้างทั่วไป C_nH_{2n} และมีส่วนประกอบที่เป็นอะโรมาติก 20-40%

3. น้ำมันอะโรมาติก (Aromatic oil) คือน้ำมันที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนเบนซีน (Benzene ring) อย่างน้อย 1 หมู่อยู่ในโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทั่วไป C_nH_n และมีส่วนประกอบที่เป็นอะโรมาติก 65-85%

2.1.3 ดินเกาลิน[15-16]

ดินเกาลิน หรือดินขาวเกิดจากการนำสารอะลูมิเนียมซิลิเกตมาผสมน้ำโดยไม่ผ่านการปรับแต่งโครงสร้างใด ๆ ก่อนนำไปแยกสิ่งเจือปนต่าง ๆ ด้วยกระบวนการเหวี่ยงแยก หรือการเหวี่ยงแยกโดยใช้แรงดันน้ำ (Hydrocycloning) จากนั้นนำดินเกาลินไปฟอกสารเคมีเพื่อเพิ่มความสว่างของดิน คุณสมบัติเด่นของดินเกาลินคือมีเนื้อเนียนเรียบ สามารถละลายน้ำได้ง่าย รวดเร็ว เมื่อดินชนิดนี้เปียกจะปั้นเป็นรูปร่างต่าง ๆได้ แต่เมื่อถูกทำให้ร้อนจะมีโมเลกุลของน้ำระเหยออก จะทำให้แข็ง และทนทาน

สูตรเคมีของดินเกาลิน คือ $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ ประกอบด้วย Al_2O_3 39.5%, SiO_2 46.5% และ H_2O 14.0%

ดินเกาลินมีรูปผลึกเป็นระบบโมโนคลินิก มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน เป็นรูปหกเหลี่ยม มีขนาดเล็ก และเกิดเป็นแผ่นบาง โดยทั่วไปจะเกิดเป็นก้อนคล้ายดิน มีทั้งชนิดที่เนื้อแน่น และชนิดเนื้อร่วน (Friable) รอยแยกแนวเรียบสมบูรณ์ มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.6 - 2.63

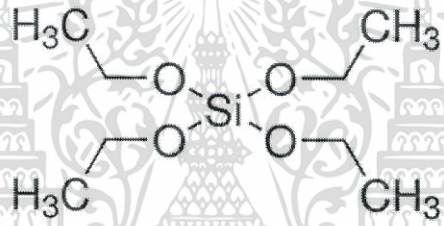
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 เตตระเอทอกซีไซเลน[17]

เตตระเอทอกซีไซเลน (Tetraethoxysilane, TEOS) เป็นของเหลวใสไม่มีสี ย่อยสลายในน้ำมีสูตรเคมีคือ $Si(OC_2H_5)_4$ มีน้ำหนักโมเลกุล 208.3 กรัมต่อโมล จุดเดือด 168 องศาเซลเซียส เป็นเอทิลเอสเทอร์ของกรดออร์โธซิลิซิค (Orthosilicic acid) โครงสร้างของสารนี้จะเป็นทรงสี่หน้า (Tetrahedral) เตรียมได้จากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholisis) ของซิลิกอนเตตระคลอไรด์

$$SiCl_4 + 4\ EtOH \longrightarrow Si(OEt)_4 + 4\ HCl$$

เตตระเอทอกซีไซเลนโดยทั่วไปใช้เป็นตัวเชื่อมสายโมเลกุลในพอลิเมอร์ซิลิโคน และเป็นสารตั้งต้นของซิลิคอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ ใช้เป็นแหล่งของซิลิกาในการสังเคราะห์ซีโอไลต์บางชนิด รวมถึงใช้เป็นวัสดุเริ่มต้นในกระบวนการโซลเจล



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของเตตระเอทอกซีไซเลน

2.2 การเคลือบผิว

2.2.1 สารเคลือบผิว [7]

วัตถุประสงค์ของสารเคลือบผิวมี 2 ประการ คือ

1. เพื่อป้องกันพื้นผิววัสดุจากมลภาวะต่าง ๆ สารเคลือบผิวจะช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุที่ถูกเคลือบมีความคงทนทานต่ออากาศ น้ำ และสารเคมีต่าง ๆ นอกจากนี้สารเคลือบผิวยังช่วยให้ผิวหน้าของวัสดุมีความแข็งแรงขึ้น ทนทานต่อการขัดสีได้มากขึ้น และมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

ตัวอย่างของการป้องกันพื้นผิววัสดุ เช่น การใช้สีทาไม้เพื่อป้องกันการผุพังของไม้เนื่องจากความชื้น หรือการเคลือบผิวภายในกระป๋องโลหะเพื่อป้องกันการเกิดการกัดกร่อนจากอาหาร สารเคมีที่บรรจุอยู่ภายใน การเคลือบพื้นผิวชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อไม่ให้สัมผัสกับความชื้น หรือสารเคลือบผิวประเภทสีหน่วงการติดไฟ (Fire retardant paint) ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการลุกไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนผิวหน้า เป็นต้น สารเคลือบผิวบางประเภทใช้ทาผิวหน้าที่มีรูพรุน เช่น ผิวคอนกรีต และปลาสเตอร์ เพื่อช่วยให้ทำความสะอาดได้ง่ายขึ้น

2. เพื่อตกแต่งให้แลดูสวยงาม ความสวยงามของวัสดุหลังการเคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบผิวอาจมาจากสี (Color) ความเงา (Gloss) ลวดลายตกแต่ง (Texture) ความสว่าง (Lighting) หรือรวมกันทั้งหมด โดยสีของผิวหน้ามีผลต่อการสะท้อนแสงของผิวหน้านั้น ๆ สีขาวจะสะท้อนแสงได้สูงสุด และสีดำจะสะท้อนแสงได้ต่ำสุด

2.2.2 ประเภทของสารเคลือบผิว [1,8]

สารเคลือบผิวแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

1. สี (Paint) หมายถึงสารที่มีส่วนผสมของผงสี สารยึดหรือสารเคลือบ ตัวทำละลาย และสารเติมแต่ง

1.1 ผงสี เป็นส่วนผสมที่ทำให้เกิดสีปิดบังสีพื้นผิวเดิม นิยมใช้ผงสีที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น โมโนอะโซพิกเม้นท์ (Monoazo pigment) และส่วนผสมที่เป็นอนินทรีย์ เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น

1.2 สารยึดหรือสารเคลือบ ทำหน้าที่ยึดประสานผงสีหรือสารให้สีเข้ากับสารยึดเพื่อยึดเกาะให้ติดกับพื้นผิว ทำหน้าที่เคลือบพื้นผิวที่มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ สารยึดที่เป็นองค์ประกอบหลักจะกระจายในรูปอิมัลชันมีลักษณะสีขาวขุ่นคล้ายกาวหากยังไม่ได้ผสมกับผงสี เมื่อผสมกับผงสีจะให้เนื้อสีตามผงสี สารยึดเกาะนี้ที่นิยม คือ อะคริลิก

1.3 ตัวทำละลาย เป็นสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวละลาย และเจือจางสารยึด โดยผงสีเป็นส่วนประกอบที่มากที่สุด เพื่อให้มีความหนืดที่เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น น้ำ

1.4 สารเติมแต่ง เป็นสารที่ใช้ผสมในสีทาบ้าน โดยใช้เติมเพียงเล็กน้อย เพื่อให้สีทาบ้านมีคุณสมบัติในด้านต่าง ๆเพิ่มขึ้น เช่น ป้องกันการเกิดฟองของสี เพิ่มการกระจายตัวของสี เพิ่มแรงยึดเกาะพื้นผิวให้ทนนาน เพิ่มความเรียบเนียน เพิ่มความมันเงา ช่วยป้องกันแสงแดด ป้องกันความชื้น ป้องกันเชื้อรา เป็นต้น

2. วาร์นิช (Varnish) หมายถึง สารเคลือบผิวที่ประกอบด้วยสารยึดเพียงอย่างเดียว

3. แลกเกอร์ (Lacquer) ได้แก่ สารละลายซึ่งได้จากการนำเรซิน หรือสารยึดมาละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การทดสอบสารเคลือบผิว [1]

1. ความหนืด (Viscosity) หมายถึงความต้านทานต่อการไหลของของเหลว การวัดความหนืด สามารถกระทำได้หลายวิธี เครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดความหนืด เรียกว่า มาตรวัดความหนืด หรือวิสโคมิเตอร์ (Viscometer) ในการวัดความหนืด อุณหภูมิมาตรฐานที่กำหนดให้ใช้คือ 25 องศาเซลเซียส โดยปกติความหนืดของสารเคลือบผิวหาได้ในหน่วยพอยส์ (Poise) โดยที่น้ำจะมีความหนืดประมาณ 0.01 พอยส์ หรือ 1 เซนติพอยส์ แต่มาตรวัดความหนืดบางประเภทจะวัดการไหลภายใต้แรงโน้มถ่วง กล่าวคืออัตราการไหลหาได้จากอัตราส่วนของความหนืดต่อความหนาแน่น ความหนืดที่ได้จากการวัดโดยวิธีนี้ เรียกว่า ความหนืดไคเนมาติก (Kinematic viscosity) มีหน่วยเป็นสโตกส์ (Stokes) หรือตารางเซนติเมตรต่อวินาที

2. ระยะเวลาการแห้งตัว (Drying time) วิธีการที่ง่ายที่สุดในการหาระยะเวลาการแห้งของสารเคลือบผิวที่ใช้กันมาตั้งแต่สมัยโบราณ คือใช้นิ้วแตะเบา ๆ ที่ผิวของฟิล์ม

การแห้งของฟิล์มของสารเคลือบผิวซึ่งแห้งได้เองในอากาศแตกต่างกันตามระยะเวลาการแห้งตามลำดับดังนี้

I. แห้งฝุ่นไม่ติด (Dust-free stage or dust dry) หมายถึงการแห้งขั้นที่ฝุ่นไม่ติดพื้นผิวที่เคลือบไว้แล้วอีกต่อไป การแห้งขั้นนี้เป็นระยะเวลาที่เมื่อใช้นิ้วปัดเบา ๆ ที่ผิวของฟิล์มแล้วสารเคลือบผิวจะไม่ติดนิ้วออกมา อาจใช้ใยฝ้ายปัดแทนนิ้ว

II. แห้งที่ผิว (Surface dry) หมายถึงการแห้งถึงขั้นที่แห้งเฉพาะผิวหน้า แต่ข้างล่างยังนิ่มและเหนียว ทดสอบได้โดยใช้ลูกแก้วกลมเล็กใส (Ballotini) เทลงบนแผ่นทดสอบที่เคลือบผลิตภัณฑ์แล้ว จากระยะสูง 15 เซนติเมตร ทิ้งไว้ 10 นาที ถือแผ่นทดสอบเอียงทำมุม 20 องศากับแกนนอน แล้วใช้แปรงปัดลูกแก้วเบา ๆ ถ้าสามารถปัดลูกแก้วออกโดยไม่ทำให้ผิวเสียแสดงว่าผิวเคลือบนั้นแห้งที่ผิวแล้ว

III. แห้งแตะได้ (Touch dry) หมายถึงการแห้งถึงขั้นแตะเบา ๆ แล้วไม่มีรอยนิ้วมือติดอยู่

IV. แห้งแตะไม่ติด (Tack-free stage) หมายถึงการแห้งขั้นที่ผิวไม่อยู่ในสภาพเหนียวติดแม้ว่าจะมีแรงกด การแห้งขั้นนี้เป็นระยะเวลาที่ใช้นิ้วมือกดเบา ๆ ที่ผิวของฟิล์มแล้วจะไม่มีรอยใด ๆ เกิดขึ้นบนผิวของฟิล์มเลย อาจทดสอบโดยการใช้กระดาษกดลงบนผิวของฟิล์มวางลูกตุ้มน้ำหนักลงบนกระดาษทิ้งไว้ในระยะเวลาที่กำหนด เอาลูกตุ้มน้ำหนักออกแล้วพลิกกระดาษ ถ้าปรากฏว่ากระดาษหล่นลงมาแสดงว่าแห้งถึงขั้นนี้แล้ว

V. แห้งแข็ง (Hard dry) หมายถึงการแห้งถึงขั้นที่สามารถเคลือบอีกชั้นหนึ่งทับได้ด้วยแปรงทดสอบได้โดยใช้นิ้วหัวแม่มือกดลงบนผิวของฟิล์ม แล้วหมุนรอบ ๆ ถ้าผิวไม่แตกร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียหาย แสดงว่าผิวเคลือบนั้นแห้งแข็งแล้ว หรือทดสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบการแห้งแข็ง (Hard dry apparatus) ซึ่งประกอบด้วยหัวกด (Plunger) ที่สามารถหมุนได้โดยใช้กลไกทางไฟฟ้า นำแผ่นทดสอบที่เคลือบผลิตภัณฑ์แล้ววางไว้ใต้หัวกด เริ่มทดสอบโดยเปิดสวิตช์ให้หัวกดหมุนเคลื่อนลงมาบนแผ่นทดสอบไปเป็นมุมประมาณ 270 องศา หัวกดจะเคลื่อนกลับไปที่เดิม นำแผ่นทดสอบมาตรวจดูพื้นผิวเคลือบด้วยตาผิวเคลือบจะแห้ง ถ้าผิวไม่หลุดจนเห็นพื้นแผ่นทดสอบ

3. ความติดแน่น (Adhesion) หมายถึงความติดแน่นของฟิล์มของสารเคลือบผิว เป็นตัวบอกถึงระดับความมากน้อยของการยึดเกาะระหว่างฟิล์มกับพื้นผิววัสดุ การหาความติดแน่นที่ง่ายที่สุด คือใช้ของมีคมขูดที่ผิวฟิล์มเปราะหรือมีแรงยึดเกาะกับพื้นผิวไม่ดี ฟิล์มก็จะเกิดการแตกในการทดสอบให้ใช้ของมีคมปาดเป็นรูปสี่เหลี่ยมเล็กบนผิวของฟิล์มให้ทะลุถึงแผ่นทดสอบจากนั้นใช้แปรงปัดแผ่นทดสอบไปมาเบา ๆ 5 ครั้ง แล้วตรวจสอบดูว่าผิวของฟิล์มบกพร่องมากน้อยเพียงใดถ้าไม่ใช้แปรงปัด อาจใช้เทปติดที่บริเวณรอยขูดให้ติดสนิท แล้วดึงเทปออกอย่างรวดเร็วตรวจดูข้อบกพร่องบนผิวของฟิล์ม ถ้าไม่พบข้อบกพร่องบนผิวของฟิล์มเลย แสดงว่าฟิล์มดังกล่าวมีความติดแน่นดีมาก

2.3ความรู้ทั่วไปเกี่ยวสี [9]

สีที่แบ่งตามพื้นผิววัสดุที่ทาจะแบ่งได้ดังนี้

1. สีน้ำอะครีลิค หรือสีน้ำพลาสติก (Emulsion paint) เป็นสีที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายใช้ง่าย ล้างออกง่าย สีน้ำอะครีลิคเหมาะกับการใช้ทาผนังคอนกรีตเพราะเนื้อสีที่ผสมน้ำสามารถแทรก ซึมได้ดีในเนื้อคอนกรีตทำให้อายุการใช้งานยาวนาน สีน้ำอะครีลิคไม่เหมาะกับการนำไปทาบนผิวไม้ หรือโลหะเพราะจะหลุดร่อนได้ง่าย

2. สีน้ำมัน เป็นสีที่ใช้สำหรับทาเหล็ก และไม้เป็นสีที่ใช้ทินเนอร์เป็นตัวทำละลาย เมื่อผสมสีทาไปแล้วเกิดสีแห้ง ทำให้เกิดความหนืดในการทาก็ให้ผสมทินเนอร์ลงไปก็จะทำให้สีทาง่ายขึ้น สีน้ำมันเหมาะสำหรับใช้ทาพื้นผิวไม้ และเหล็กจะทำให้ยืดอายุการใช้งานของวัสดุ สร้างความงดงามให้กับผิววัสดุภายนอก สีชนิดนี้ไม่เหมาะกับการใช้ทาไม้เทียม และผิวคอนกรีตเพราะอายุการใช้งานค่อนข้างสั้น ทาได้ไม่นานก็หลุดร่อน สีน้ำมันมีให้เลือกทั้งชนิดเงา และชนิดด้าน

3. สีโพลียูรีเทน เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโพลีไอโซไซยาเนตกับโพลีออลมีความแข็งแรงมาก ทนต่อการขูดขีดทนต่อสารเคมีได้ดี และมีเนื้อมากสามารถเคลือบได้ครั้งละหนา ๆ ฟิล์มที่ได้มีความแข็ง เหนียว ทนต่อการขัดสีสูง มีการยึดเกาะผิวหน้าดี ทนต่อตัวทำลาย และทนต่อสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภูมิอากาศได้ดี มักนิยมใช้กับงานพื้นปาร์เก้ พื้นไม้จริง ชิ้นส่วนงานเฟอร์นิเจอร์ส่งออกบางแห่ง ที่ต้องสัมผัสบ่อยครั้ง เช่น พื้นโต๊ะทานข้าว พื้นบนตู้วางทีวี

4. สีโพลีเอสเตอร์ เป็นสีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากสารโพลีเอสเตอร์เรซิ่น มีความทนทานของพื้นผิวในระดับสูง เนื้อสีมีความหนักมาก ขั้นตอนการพ่นแต่ละขั้นจะต้องทิ้งไว้ให้แห้ง อย่างน้อย 4 ชั่วโมง จึงจะสามารถดำเนินการผลิตในขั้นตอนต่อไปได้ แต่โดยส่วนใหญ่จะถูกกำหนดให้ใช้เฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากภายในส่วนประกอบของเนื้อสีเมื่อสัมผัสกันสามารถเกิดปฏิกิริยาสันดาปความร้อนเกิดเป็นเพลิงลุกไหม้ได้

5. สีวอเตอร์เบส สีชนิดนี้จะถูกใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตของเล่นเด็ก ซึ่งเป็นสีที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายแทนสารเคมี กระบวนการขัดทำสีจะใช้เครื่องจักรแตกต่างจากการทำสีทั่วไป

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mingdong Yu และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์สารเคลือบผิวซึ่งทำความสะอาดตัวเอง และมีความคงทนต่อสิ่งแวดล้อม โดยจะใช้สารเคลือบผิวโพลีไซลอคเซน ซึ่งเตรียมได้จาก เมทิลเมทอกซีไซเลน เตตระเอทอกซีไซเลน เมทิลไตรเอทอกซีไซเลน และโพลีไดเมทอกซีไซเลน ในสารละลายกรด เพื่อทดสอบว่าสารนี้สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ โดยจะใช้ความแข็งของดินสอทดสอบความแข็ง เครื่องทดสอบการยึดติดผิวสี (QFH cross-cut tester) ทดสอบการยึดติด เครื่องวัดมุมสัมผัส (Static contact angle meter) วัดมุมระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวเพื่อทดสอบความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เครื่องตรวจวัดการดูดกลืนแสง (UV-VIS-spectrophotometer) วัดการส่องผ่านของแสง ซึ่งการทดสอบทั้งหมดนี้เป็นการแสดงการทำความสะอาดตัวเองของสารเคลือบผิว จากการทดลองพบว่าทุกคุณสมบัติของสารเคลือบผิวจะสัมพันธ์กับส่วนประกอบที่ใส่ไป และการไฮโดรไลซิสของออร์แกโนแอลคอกซีไซเลน ยิ่งค่าเตตระเอทอกซีไซเลนมากจะทำให้มีความแข็งมาก และทำให้สารนั้นเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำมาก (Hydrophobic)

Linglin Zhou และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาพบว่าโดยส่วนใหญ่สีจะมีความไม่ชอบน้ำ ทำให้มีแนวโน้มที่จะมีสิ่งสกปรกที่มากับน้ำติดอยู่การทำความสะอาดจึงต้องใช้แรง และซื้อสีมาทาซ้ำ เพื่อเป็นการลดต้นทุนจึงหาวัสดุที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้มาผสมลงในสี โดยสีที่ทำความสะอาดตัวเองได้จะถูกพัฒนาโดยการเติมปาลีกอร์ซไกต์ (Palygorskite) และจะเปลี่ยนโครงสร้างโดยการเติมน้ำมันซิลิกอนอะมิโน และอะมิโนโพรพีไตรเอทอกซีไซเลนใส่ลงในสีเบส โดยทั้งน้ำมันซิลิกอนอะมิโนและอะมิโนโพรพีไตรเอทอกซีไซเลนจะช่วยเพิ่มความหยาบ และเพิ่มปริมาณของกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยิ่งยวด (Superhydrophobic) ที่ผิวของปาลีกอร์ซไกต์ซึ่งเดิมเป็นสารที่มีความชอบน้ำ (Hydrophilic) ถ้าสารมีความไม่ชอบน้ำมากจะทำให้สารนั้นมีความสามารถในการทำความสะอาดตัวเองมาก โดยในงานวิจัยนี้จะใช้สารปาลีกอร์ซไกต์ 4 กรัม แขวนลอยในเอทานอล 40 มิลลิลิตร เติมน้ำมันซิลิกอนอะมิโน 1 มิลลิลิตร แล้วคนเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมอะมิโนโพรพีไตรเอทอกซีไซเลน 0.5 มิลลิลิตร คนต่อไปอีก 5 นาที นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำแผ่นกระจกสไลด์มาจุ่มเพื่อทดสอบคุณสมบัติ พบว่าสารนี้ทำความสะอาดตัวเองได้ดี และมีมุมสัมผัสของหยดน้ำ 154 องศา

Khairul Arifah Saharudina และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาสารเคลือบผิวที่มีความไม่ชอบน้ำยิ่งยวดโดยใช้เถ้าลอยจากน้ำมันปาล์ม ที่ได้มาจากแหล่งของซิลิกา และสารโพลีไดเมทอกซีไซเลน โดยสารนี้จะถูกเคลือบลงบนแผ่นกระจกสไลด์เพื่อทดสอบความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด เถ้าลอยจากน้ำมันปาล์มจะถูกวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวภายนอกด้วยเครื่องวัดอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) วิเคราะห์ธาตุที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF) และวิเคราะห์มุมสัมผัสของหยดน้ำ ในการทดลองจะใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโพลีไดเมทอกซีไซเลน ต่อสารละลายซิลิกาเป็น 1:2 โดยพบว่ามีมุมสัมผัสของหยดน้ำ 156 องศา และทำการทดสอบความเสถียรของสารเคลือบผิวโดยทดสอบกับความทนทานต่อสารละลายที่เป็นกรด-เบส แสง จากการทดสอบพบว่าสารนี้คงทนต่อกรด-เบส แสง เมื่อได้รับ UV aging จะมีมุมสัมผัสของหยดน้ำ 156 องศา

Aditia Rifai และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาลักษณะของการอิ่มตัวน้ำมันซึ่งเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำบนแผ่นกระจกสไลด์ในการทำความสะอาดตัวเองจากฝุ่นละอองที่มาติดในงานวิจัยนี้มีการใช้กระบวนการการแปรรูปมาใช้ในการทำความสะอาดด้วยตัวเองโดยใช้กระจกโปร่งใส ในกระบวนการนี้จะใช้ไซเลน ซึ่งถูกเคลือบด้วยอนุภาคนาโนของซิลิกาก่อนอิ่มตัวด้วยน้ำมันเพื่อพัฒนา Hydrodynamic stability ของน้ำมันบนชั้นฟิล์มที่พื้นผิว ในการทดลองนี้จะมีการทดสอบการวัดมุมสัมผัสน้ำ และค่าการส่องผ่านแสงเฉลี่ยของพื้นผิวที่เกิดขึ้น ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องจุลทรรศน์กำลังของอะตอมเพื่อแสดงลักษณะสัณฐานวิทยาตามลำดับชั้นของพื้นผิว การทดสอบการทำความสะอาดด้วยฝุ่นจะทำเพื่อประเมินลักษณะการทำความสะอาดตัวเองของพื้นผิว ผลการวิจัยพบว่าละอองน้ำสามารถนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อกำจัดอนุภาคฝุ่นออกจากพื้นผิวเกือบทั้งหมด การอิ่มตัวของน้ำมันช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการส่องผ่านของแสงของพื้นผิวกระจกสไลด์ที่ไม่ชอบน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการศึกษา

3.1.1 รวบรวม และศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

3.1.2 ออกแบบการทดลอง และจัดหาสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.3 ทำการทดลอง

3.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

3.2 วิธีการดำเนินงาน

3.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำกลั่น
2. เตตระเอทอกซีไซเลน
3. สีอะคริลิคสูตรน้ำ
4. น้ำมันปาล์ม
5. น้ำมันแร่
6. เอทานอล

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. บิกเกอร์
2. เครื่อง Magnetic Stirrer
3. Magnetic bar
4. เบ้าถ่านหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ดินเกาลิน

6. แผ่นกระจกสไลด์ ขนาด 2.5 ซม. x 7.5 ซม.

7. ไมโครมิเตอร์

8. คัตเตอร์

9. ตู้อบ

10. ช้อน

11. หลอดหยด

12. นาฬิกาจับเวลา

13. เทปใส

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การผสมสูตรของสีที่ใช้ทำความสะอาดตัวเอง

3.3.1.1 น้ำมันปาล์มและน้ำมันแร่

1. นำน้ำมันปาล์มจำนวน 5 มิลลิลิตร ผสมกับสีอะคริลิคสูตรน้ำจนทำให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในบิกเกอร์ คนด้วย Magnetic bar ผ่านเครื่อง Magnetic Stirrer เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

2. นำแผ่นกระจกสไลด์ขนาด 2.5 ซม. x 7.5 ซม. จุ่มลงในสีที่ผสมไว้ ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

3. วัดความหนาชั้นฟิล์มของสีโดยไมโครมิเตอร์

4. นำมาทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ

5. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนปริมาณของน้ำมันปาล์มเป็น 10 และ 15 มิลลิลิตร

6. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนจากน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันแร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.3 ดินเกาลินผสมในน้ำมันแร่

1. นำดินเกาลิน จำนวน 4 กรัม ใส่ลงในบิกเกอร์ เติมเอทานอลลงไป 40 มิลลิลิตร คนด้วย Magnetic bar ผ่านเครื่อง Magnetic Stirrer เป็นเวลา 30 นาที

2. เติมน้ำมันแร่ 5 มิลลิลิตร ลงไปในบิกเกอร์ คนต่อไปอีก 30 นาที

3. นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

4. นำสีอะคริลิคสูตรน้ำใส่ลงไปจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

5. นำแผ่นกระจกสไลด์ขนาด 2.5 ซม. x 7.5 ซม. จุ่มลงในสีที่ผสมไว้ ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

6. วัดความหนาชั้นฟิล์มของสีโดยไมโครมิเตอร์

7. นำมาทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ

8. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนปริมาณของน้ำมันแร่เป็น 10 และ 15 มิลลิลิตร

3.3.1.4 ดินเกาลินผสมในน้ำมันแร่รวมกับเตตระเอทอกซีไซเลน (TEOS)

1. นำดินเกาลินจำนวน 4 กรัม ใส่ลงในบิกเกอร์ เติมเอทานอลลงไป 40 มิลลิลิตร คนด้วย Magnetic bar ผ่านเครื่อง Magnetic Stirrer เป็นเวลา 30 นาที

2. เติมน้ำมันแร่ 10 มิลลิลิตร ลงไปในบิกเกอร์ คนต่อไปอีก 10 นาที

3. เติม TEOS 0.5 มิลลิลิตร ลงในบิกเกอร์ คนต่อไปอีก 30 นาที

4. นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

5. นำสีอะคริลิคสูตรน้ำใส่ลงไปจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

6. นำแผ่นกระจกสไลด์ขนาด 2.5 ซม. x 7.5 ซม. จุ่มลงในสีที่ผสมไว้ ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

7. วัดความหนาชั้นฟิล์มของสีโดยไมโครมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. นำมาทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ

9. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนปริมาณ TEOS เป็น 1 และ 1.5 มิลลิลิตร

3.3.2 การทดสอบคุณสมบัติของสีที่ทำความสะอาดตัวเองได้

3.3.2.1 การทดสอบการทำความสะอาดตัวเองได้ของสี

1. นำแผ่นกระจกสไลด์มาจุ่มสีที่ผสมไว้จากการทดลอง 3.3.1 มาทาด้วยเถ้าถ่านหิน 300 มิลลิกรัม แล้วใช้ช้อนป้ายจนทั่วแผ่น ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

2. ฉีดน้ำกลั่นจากขวดน้ำกลั่นล้างจนทั่วแผ่น โดยใช้น้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร

3. ทำซ้ำอีก 2 รอบ

รูปที่ 3.1 ชุดการทดลองการทดสอบการทำความสะอาดตัวเองของสี

3.3.2.2 การทดสอบความไม่ชอบน้ำของสารเคลือบผิว

1. นำหลอดหยดมาหยดน้ำลงแผ่นกระจกสไลด์ที่จุ่มสีไว้แล้ว โดยจับเวลาวัดมุมสัมผัสกับหยดน้ำที่ เวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วินาที

2. ทำซ้ำอีก 2 รอบ

3.3.2.3 การทดสอบการยึดติดของสารเคลือบผิวตามมาตรฐาน ASTM 4541D

1. ใช้คัตเตอร์กรีดแผ่นกระจกสไลด์ที่ผสมกับสี จำนวน 100 ช่อง โดยแต่ละช่องมีขนาด 2 มม. x 2 มม.

2. นำเทปใสแปะติดกับช่องที่กรีดไว้แล้ว จากนั้นดึงเทปใสออก ดูจำนวนช่องที่เหลือเพื่อแสดงการยึดติด

3. ทำซ้ำอีก 2 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 ชุดการทดลองการยึดติดของสี

3.4 ตารางวางแผนการทำโครงงาน

รายละเอียด	พุทธศักราช 2560					พุทธศักราช 2561				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. เลือกหัวข้องานวิจัย										
2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง										
3. ออกแบบการทดลอง										
4. จัดทำรูปเล่มและการนำเสนอในส่วนแรก										
5. ทำการทดลองและศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง										
6. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง										
7. จัดทำรูปเล่มและนำเสนองานวิจัย										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

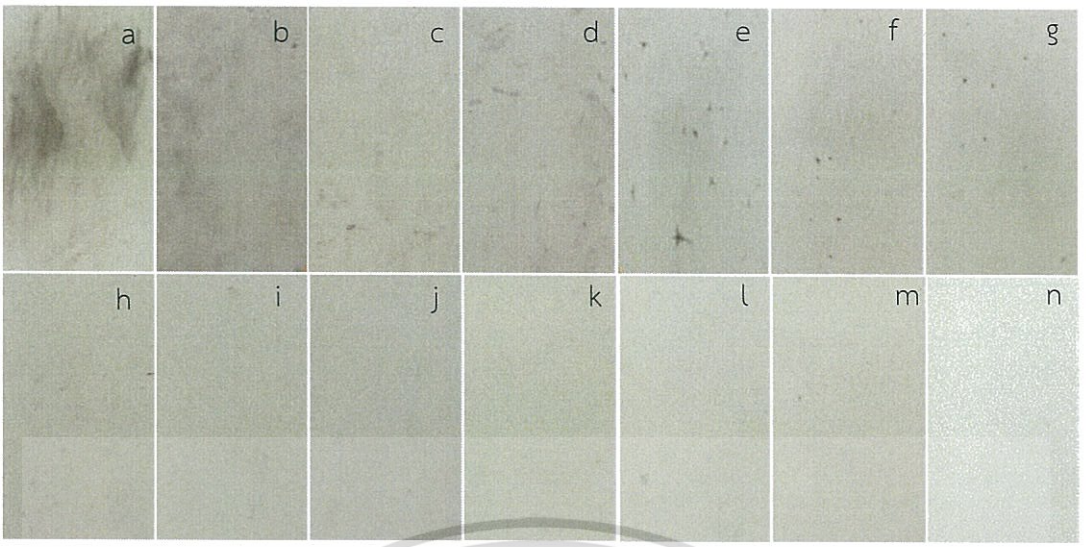
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นหาสูตรที่เหมาะสมผสมลงในสีอะคริลิคสูตรน้ำ แล้วใช้แผ่นกระจกสไลด์จุ่มลงในสารเคลือบผิวนี้ เพื่อทดสอบคุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเองได้ของสี โดยมีการควบคุมความหนาของชั้นฟิล์มด้วยไมโครมิเตอร์ ในการทดสอบนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับสีที่ทำความสะอาดตัวเองได้ที่เป็นเกรดอุตสาหกรรม การทดลองจะใช้สารที่ไม่ชอบน้ำเติมลงในสีอะคริลิคสูตรน้ำ ได้แก่ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันแร่นำมาทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำความสะอาดตัวเอง จากนั้นเติมดินเกาลินที่แขวนลอยกับเอทานอล ทำการหาสูตรที่เหมาะสม และเติมเตตระเอทอกซีไซเลน จากนั้นนำสูตรต่าง ๆ ที่ผสมในสี มาทำการทดสอบคุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง ได้แก่ การทำความสะอาดตัวเองของสี ความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) และการยึดติดกับสารตั้งต้น (Adhesion)

4.1 การทดสอบการทำความสะอาดตัวเองของสี

จากการทดสอบการทำความสะอาดตัวเองของสีโดยการป้ายเถ้าถ่านหินลงบนแผ่นกระจกสไลด์ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 เมื่อปล่อยเวลาผ่านไป 30 นาที ใช้น้ำกลั่นฉีดทำความสะอาดรอบแผ่นกระจกสไลด์ปริมาณ 300 มิลลิลิตร จะได้ผลการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



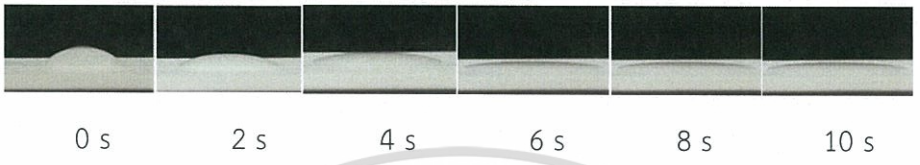
รูปที่ 4.1 การทำความสะอาดตัวเองของสีแต่ละสูตร a) สีเบส b) น้ำมันแร่ 5 %vol c) 10 %vol d) 15%vol e) น้ำมันแร่ 5 %vol f) 10 %vol g) 15 %vol h) น้ำมันแร่ 5 %vol ผสมดินเกาลิน i) 10 %vol j) 15 %vol k) น้ำมันแร่ 10%vol ผสมดินเกาลินแล้วเติม TEOS 0.5 %vol l) 1 %vol m) 1.5 %vol n) สีเชิงพาณิชย์

การทำความสะอาดตัวเองของสีโดยใช้น้ำฉีดรอบ ๆ แผ่นกระจกสไลด์หลังใช้เถ้าถ่านหินป้าย พบว่าสีอะคริลิคสูตรน้ำที่ไม่ได้ผสมน้ำมันมีการทำความสะอาดตัวเองได้น้อยที่สุด เมื่อมีการเติมน้ำมันปาล์ม และน้ำมันแร่ลงไป พบว่าปริมาณความเข้มข้นของน้ำมัน 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะมีการทำความสะอาดตัวเองได้ดีที่สุด เนื่องจากน้ำมันทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ เมื่อมีสิ่งสกปรกมาเกาะจึงสามารถล้างออกได้โดยน้ำกลั่น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันแร่ พบว่าน้ำมันแร่มีการทำความสะอาดตัวเองได้ดีกว่า เนื่องจากในน้ำมันแร่มีองค์ประกอบของสารที่เป็นไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักทั้งสารประกอบที่เป็นอะลิฟาติก อะลิไซคลิก และวงอะโรมาติก ซึ่งในสารกลุ่มที่เป็นไฮโดรคาร์บอนเป็นสารที่ไม่มีขั้ว แต่น้ำเป็นสารที่มีขั้ว สีที่ผสมในน้ำมันแร่จึงสามารถถูกกำจัดได้ดี ขณะที่น้ำมันปาล์มเป็นไขมันที่ประกอบด้วยไขมันอิ่มตัว และไขมันไม่อิ่มตัว โดยไขมันไม่อิ่มตัวบางส่วนจะทำให้เกิดการดูดออกซิเจนจากอากาศ ทำให้น้ำมันแห้งช้าส่งผลให้ยังคงมีสิ่งสกปรกติดอยู่ แต่ส่วนที่เป็นไขมันอิ่มตัวจะช่วยให้มีความคงทนการการเกิดออกซิเดชันของออกซิเจน จึงทำให้ทำความสะอาดตัวเองได้ดีกว่าสีเบส เมื่อเติมดินเกาลินลงไปในส่วนผสมพบว่าดินเกาลินไม่ได้ส่งผลต่อการทำความสะอาดตัวเองมากนัก แต่จะช่วยให้สีมีความเรียบมากขึ้น มีการยึดติดกับสารตั้งต้นดีขึ้น และจากการเติมเตตระเอทอกซีไซเลน พบว่าจะเพิ่มการทำความสะอาดตัวเองได้มากขึ้น เนื่องจากเป็นตัวประสานช่วยให้น้ำมันแร่สามารถรวมตัวกับสี และดินเกาลินได้มากขึ้น ส่งผลให้การทำความสะอาดตัวเองดีขึ้น และพบว่ามีการทำความสะอาดใกล้เคียงกับสีที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำของสี

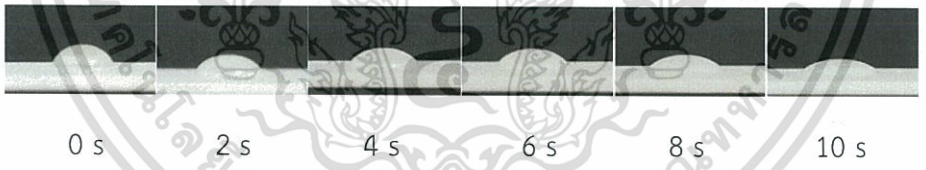
หลังจากทำการผสมสีตามสูตรต่าง ๆแล้ว นำมาทดสอบความไม่ชอบน้ำของสีโดยการหยดน้ำลงไปบนแผ่นกระจกสไลด์ที่ผ่านการจุ่มสีแล้ว ทำการจับเวลาวัดมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวสัมผัส ที่เวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วินาที ของแต่ละตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.2-4.7 และตารางที่ 4.1



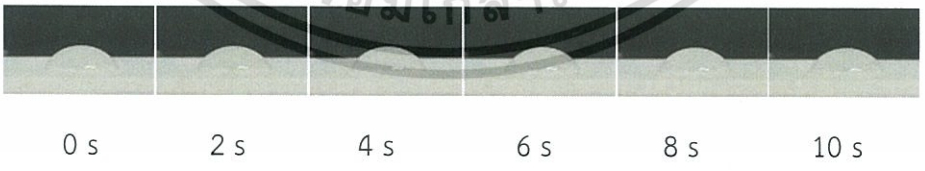
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างมุมสัมผัสหยดน้ำของสีเบส

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างมุมสัมผัสหยดน้ำของสีเบสเมื่อผสมกับน้ำมันปาล์ม

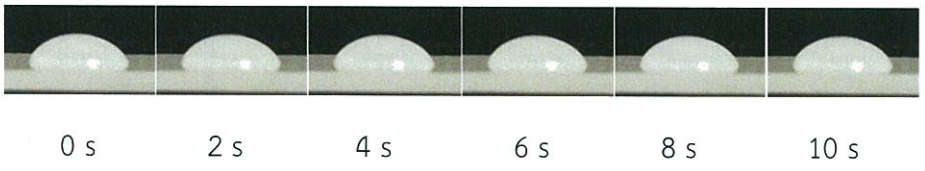
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างมุมสัมผัสหยดน้ำของสีเบสเมื่อผสมกับน้ำมันแร่



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างมุมสัมผัสหยดน้ำของสีเบสเมื่อผสมกับน้ำมันแร่และดินเกาลิน



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างมุมสัมผัสหยดน้ำของสีเบสเมื่อผสมกับน้ำมันแร่และดินเกาลิน แล้วเติม TEOS



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างมุมสัมผัสหยดน้ำของสีเชิงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ขนาดมุมสัมผัสเฉลี่ยของหยดน้ำกับสารตั้งต้นที่เวลาต่าง ๆ

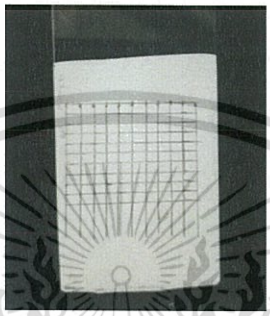
สาร	ขนาดมุมสัมผัสเฉลี่ยของหยดน้ำ (องศา)					
	0 s.	2 s.	4 s.	6 s.	8 s.	10 s.
สีอะคริลิคสูตรน้ำ	47	31	6	0	0	0
น้ำมันปาล์ม 5%vol	44	31	25	12	0	0
น้ำมันปาล์ม 10%vol	50	32	29	25	0	0
น้ำมันปาล์ม 15%vol	50	33	30	27	0	0
น้ำมันแร่ 5%vol	49	33	24	19	0	0
น้ำมันแร่ 10%vol	53	46	37	32	0	0
น้ำมันแร่ 15%vol	52	45	40	33	0	0
น้ำมันแร่ 5 %vol ผสมดินเกาลิน	52	46	34	29	17	10
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน	57	53	40	34	24	17
น้ำมันแร่ 15 %vol ผสมดินเกาลิน	58	55	45	40	29	19
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 0.5 %vol	56	56	56	56	56	56
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1 %vol	60	60	60	60	60	60
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1.5 %vol	64	64	64	64	64	64
สีเชิงพาณิชย์	68	68	68	68	68	68

จากการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 6 วินาที มุมสัมผัสของสีเบสจะเท่ากับ 0 องศา ขณะที่น้ำมันปาล์ม และน้ำมันแร่มีมุมสัมผัสลดลง เนื่องจากสีที่นำมาทดสอบเป็นสีที่ละลายน้ำจึงทำให้มุมสัมผัสที่วัดได้เป็นมุมไม่ถึง 90 องศา แสดงว่าสารนั้นมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จากการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันปาล์ม และน้ำมันแร่ พบว่าที่ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะมีมุมสัมผัสของหยดน้ำมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันแร่ที่ความเข้มข้นเท่ากัน พบว่ามุมสัมผัสหยดน้ำของน้ำมันแร่มากกว่า จึงทำให้น้ำมันแร่มีความไม่ชอบน้ำมากกว่าน้ำมันปาล์ม เมื่อผสมดินเกาลินลงไปในสี และน้ำมันแร่พบว่าหยดน้ำจะแผ่ช้าลง เมื่อเติมเตตระเอทอกซีไซเลนลงไปพบว่าที่เวลา 10 วินาที มุมสัมผัสของหยดน้ำคงที่ แสดงให้เห็นว่าสารนี้ช่วยให้น้ำมันจับกับสีได้ดีขึ้น ทำให้มุมสัมผัสมากขึ้นรวมทั้งไม่แผ่ลงบนแผ่นกระจกสไลด์ในเวลา 10 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบการยึดติดของสีกับสารตั้งต้น

การยึดติดของสีกับแผ่นกระจกสไลด์จะทำตามมาตรฐาน ASTM 4541D โดยทำการกรีดคัตเตอร์ 100 ช่อง (10 ช่อง x 10 ช่อง) โดยแต่ละช่องจะมีขนาด 2 มม. x 2 มม. จากนั้นใช้เทปใสติดกับช่องที่กรีดให้แน่นจากนั้นดึงเทปใสออกอย่างรวดเร็ว นับจำนวนช่องของสารเคลือบผิวที่เหลืออยู่เพื่อแสดงการยึดติดของสี ดังรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของจำนวนช่องที่เหลือของสูตรที่ผสมในสี



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างการยึดติดของสีกับแผ่นกระจกสไลด์

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยจำนวนช่องที่เหลือแสดงถึงการยึดติดของสีตามมาตรฐาน ASTM 4541D

สาร	ค่าเฉลี่ยของจำนวนช่องที่เหลือ
สีอะคริลิคสูตรน้ำ	100
น้ำมันปาล์ม 5%vol	92
น้ำมันปาล์ม 10%vol	90
น้ำมันปาล์ม 15%vol	82
น้ำมันแร่ 5%vol	98
น้ำมันแร่ 10%vol	97
น้ำมันแร่ 15%vol	87
น้ำมันแร่ 5 %vol ผสมดินเกาลิน	100
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน	100
น้ำมันแร่ 15 %vol ผสมดินเกาลิน	99
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 0.5 %vol	100
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1 %vol	99
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1.5 %vol	99
สีเชิงพาณิชย์	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตอนที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันปาล์ม และน้ำมันแร่จะทำให้สารมีการทำความสะอาดตัวเองได้ดีขึ้น รวมถึงมุมสัมผัสหยดน้ำมันขึ้นเพื่อบ่งชี้ความไม่ชอบน้ำของน้ำมัน แต่ตอนที่ 4.3 เป็นการทดสอบการยึดติด ตามมาตรฐาน ASTM 4541 D พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันปาล์ม และน้ำมันแร่มากจะส่งผลให้การยึดติดของสีกับแผ่นกระจกสไลด์น้อยลง เนื่องจากสีที่ใช้เป็นสีอะคริลิคสูตรน้ำ แต่สารที่ใส่เพื่อทดสอบการทำความสะอาดตัวเองเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำจึงทำให้การรวมตัวกันน้อยลง จากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะมีการยึดติดได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกันระหว่างน้ำมันปาล์ม และน้ำมันแร่พบว่าการยึดติดของน้ำมันแร่ดีกว่า จึงแสดงให้เห็นว่าน้ำมันแร่รวมตัวกับสีได้ดีกว่า เมื่อเติมดินเกาลินลงไปในสีที่ผสมกับน้ำมันแร่พบว่าการยึดติดของสารเคลือบผิวกับแผ่นกระจกสไลด์ดีขึ้น เนื่องจากดินเกาลินมีคุณสมบัติคือช่วยให้เนื้อเนียนเรียบ เมื่อเติมเตตระเอทอกซีไซเลนพบว่าสียังคงยึดติดกับแผ่นสไลด์ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสีที่ทำความสะอาดตัวเองได้โดยการเติมสารที่ไม่ชอบน้ำ ได้แก่ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันแร่ รวมทั้งเติมดินเกาลินเพื่อช่วยให้สีเรียบเนียน ยึดติดกับแผ่นกระจกสไลด์ได้ดี และเติมเตตระเอทอกซีไซเลนเพื่อช่วยให้สีรวมตัวกับน้ำมันแร่ได้ดี ในการทดลองนี้จะทดสอบ 3 ส่วน ได้แก่ การทดสอบการทำความสะอาดตัวเองได้ของสี การวัดมุมสัมผัสหยดน้ำเพื่อทดสอบความไม่ชอบน้ำของสี และการยึดติดของสีกับแผ่นกระจกสไลด์

ในการทดลองจะเป็นการเปรียบคุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเองได้ของสี โดยเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันปาล์ม และน้ำมันแร่ พบว่าเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นเดียวกันน้ำมันแร่จะมีการทำความสะอาดตัวเองได้ดีกว่าน้ำมันปาล์ม รวมทั้งมีคุณสมบัติในการไม่ชอบน้ำ และการยึดติดที่ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นแต่ละความเข้มข้นที่ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่าที่ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะทำให้ทำความสะอาดตัวเองได้ดีกว่า รวมทั้งมีความไม่ชอบน้ำมากกว่า แต่เมื่อทดสอบการยึดติดของสีพบว่าที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะมีการยึดติดได้ดีที่สุด จากการทดลองแสดงให้เห็นว่ายิ่งเพิ่มความเข้มข้นมากจะส่งผลให้การทำความสะอาดตัวเองดีขึ้น มีความไม่ชอบน้ำมากขึ้น แต่ส่งผลให้การยึดติดของสีลดลง ต่อมานำน้ำมันแร่มาผสมกับดินเกาลินที่แขวนลอยกับเอทานอลแล้วผสมลงในสี พบว่าดินเกาลินช่วยให้การยึดติดของสีดีขึ้น รวมทั้งช่วยให้สีมีความเรียบเนียนขึ้น จากนั้นนำสารผสมนี้มาเติมเตตระเอทอกซีไซเลน พบว่าไซเลนชนิดนี้ทำให้สีรวมตัวกับน้ำมันแร่ และดินเกาลินได้ดีขึ้น รวมถึงมีการทำความสะอาดตัวเองได้ดีขึ้น มีความไม่ชอบน้ำมากขึ้น และมีการยึดติดได้ดี จากการทดลองสรุปได้ว่าสีที่มีการเติมดินเกาลินรวมกับน้ำมันแร่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และเติมเตตระเอทอกซีไซเลน 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีคุณสมบัติในการทำความสะอาดตัวเองได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเลือกใช้สีอะคริลิคสูตรน้ำ

เนื่องจากในการทดลองพบว่าการทำความสะอาดตัวเองยังคงทำความสะอาดตัวเองได้ไม่มาก ยังมีคราบสิ่งสกปรกเจือปนอยู่พอสมควร และเมื่อวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำพบว่าค่าที่วัดได้มีค่าน้อยกว่า 90 องศาจึงทำให้สารชนิดต่าง ๆ ที่ผสมลงในสี แสดงความชอบน้ำ (Hydrophilic) เพราะสีที่นำมาใช้มีความชอบน้ำสูงมาก จนทำให้สารที่ไม่ชอบน้ำที่นำมาเติมไม่สามารถเปลี่ยนองศาของมุมสัมผัสหยดน้ำให้เกิน 90 องศาได้

5.2.2 การทดสอบคุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง

ในการทดลองโดยการป้ายเถ้าถ่านหินลงบนสารเคลือบผิวบนกระจกสไลด์ใช้เวลาแค่ 30 นาที ทำให้ตรวจสอบได้ยากว่า ถ้าเวลาผ่านไปนานกว่านี้จะส่งผลให้การทำความสะอาดตัวเองของสารที่เติมลงไปผลยังคงเหมือนเดิมหรือไม่

5.2.3 อัตราเร็วในการกวนของสี

เนื่องจากเครื่อง Magnetic Stirrer ที่ใช้มีอัตราเร็วในการกวนจำกัด โดยปกติการกวนกันของสีจะใช้ความเร็วในการกวนเพื่อให้สารที่นำไปผสมเข้ากันได้ดี เพราะสีมีความหนืดมาก

5.2.4 การวัดการยึดติดของสี

การวัดการยึดติดของสีใช้มือของผู้ทดลองในการดึงเทปใสออกจากสารเคลือบผิวบนแผ่นกระจกสไลด์จึงอาจทำให้แรงที่ดึงไม่เท่ากัน และทำให้การวัดการยึดติดผิดพลาดได้ อาจต้องใช้เครื่องมือมาช่วยทดสอบการวัดการยึดติด

5.2.5 การวัดคุณสมบัติการทำความสะอาดตัวเองของสี

ในการทดลองนี้วัดคุณสมบัติของการทำความสะอาดตัวเอง 3 ส่วน คือการทำความสะอาดตัวเอง ความไม่ชอบน้ำ และการยึดติด โดยคุณสมบัติที่สามารถวัดเพิ่มได้ เช่น ความแข็ง การทดต่อสภาพอากาศ การหาหมู่ฟังก์ชันของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] อรอุษา สรวารี. **สารเคลือบผิว (สี วาร์นิช และแลกเกอร์).** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539

[2] Linglin Zhou, Sunyang Xu, Guilong Zhang, Dongqing Cai and Zhengyan Wu. A facile approach to fabricate self-cleaning paint. **Applied Clay Science.** Vol.132-133, pp.290-295, 2016

[3] Yun-Yun Quan, Li-Zhi Zhang, Rong-Hui Qi and Rong-Rong Cai. Self-cleaning of Surfaces:The Role of Surface Wettability and Dust Types. **Scientific Reports.** 2016

[4] Yao Lu, Sanjayan Sathasivam, Jinlong Song, Colin R. Crick, Claire J. Carmalt and Ivan P.Parkin. Robust self-cleaning surfaces that function when exposed to either air or oil. **Repellent materials.** Vol.347, pp.1132, 2015

[5] Mingdong Yu, Faqian Liu and Fanglin Du. Synthesis and properties of a green and self-cleaning hard protective coating. **Progress in Organic Coatings.** Vol.94, pp.34-40, 2016

[6] Khairul Arifah Saharudina et al. Improved super-hydrophobicity of eco-friendly coating from palm oil fuel ash (POFA) waste. **Surface & Coatings Technology.** 2017

[7] Ashraf Mansour Habib Mansour and Salam K. Al-Dawery. Sustainable self-cleaning treatments for architectural facades in developing countries. **Alexandria Engineering Journal.** 2017

[8] Trump speciality. 2560. **การเคลือบผิว (coating).** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.trumpspeciality.com/2016/11/03/วัตถุประสงค์และประเภท/. 1 ธันวาคม 2560

[9] Vichakarn.com. 2560. **วัสดุและอุปกรณ์งานสีและงานเคลือบผิว.** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.vcharkarn.com/blog/116163/94647. 1 ธันวาคม 2560.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] Ruethairat. 2561. **กระจกทำความสะอาดตัวเองได้โดยวิธีการไม่ชอบน้ำ.** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://ruethairat007.blogspot.com/. 14 มีนาคม 2561

[11] Aditia Rifaia, Numan Abu-Dheira, MazenKhaledb, NasserAl-Aqeelia and Bekir Sami Yilbas. Characteristics of oil impregnated hydrophobic glass surfaces in relation to self-cleaning of environmental dust particles. **Solar Energy Materials and Solar Cells.** Vol.171, pp.8-15, 2017

[12] Sukkaphap-D. 2561. **น้ำมันปาล์ม.** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://sukkaphap-d.com/. 14 มีนาคม 2561

[13] Chemical sourcing and distributions. **น้ำมันทดแทนน้ำมันที่มีสาร PAHs สูง.** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.cpks.co.th/index.php/en/news-update/. 20 มีนาคม 2561

[14] The giving town. **Mineral oil.** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : https://www.thegivingtown.com/th/blog/knowledge/mineral-oil. 20 มีนาคม 2561

[15] L.Ethenal. 2561. **Kaolin clay.** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://leternalgroup.com/articledetail.asp?id=12903. 22 มีนาคม 2561

[16] PATCHRA library. **Kaolinite.** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.patchra.net/minerals/MinDesc/kaolinite.php. 22 มีนาคม 2561

[17] CHENGUANG. **Tetraethoxysilanes.** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.silanecouplingagent.com/th/tetraethoxysilane-teos4718.html. 22 มีนาคม 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับสารตั้งต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับสารตั้งต้นที่ 0 วินาที

สาร	ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำ (องศา)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
สีอะคริลิคสูตรน้ำ	47	51	43
น้ำมันปาล์ม 5%vol	45	42	46
น้ำมันปาล์ม 10%vol	52	50	49
น้ำมันปาล์ม 15%vol	50	47	53
น้ำมันแร่ 5%vol	51	46	50
น้ำมันแร่ 10%vol	57	52	50
น้ำมันแร่ 15%vol	55	48	53
น้ำมันแร่ 5 %vol ผสมดินเกาลิน	52	50	53
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน	60	56	54
น้ำมันแร่ 15 %vol ผสมดินเกาลิน	59	57	57
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 0.5 %vol	58	57	54
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1 %vol	59	60	60
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1.5 %vol	63	64	64
สีเชิงพาณิชย์	66	68	69

ตารางที่ ก.2 ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับสารตั้งต้นที่ 2 วินาที

สาร	ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำ (องศา)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
สีอะคริลิคสูตรน้ำ	28	32	33
น้ำมันปาล์ม 5%vol	30	31	33
น้ำมันปาล์ม 10%vol	33	30	32
น้ำมันปาล์ม 15%vol	34	31	35
น้ำมันแร่ 5%vol	33	34	32
น้ำมันแร่ 10%vol	50	46	41
น้ำมันแร่ 15%vol	45	43	46
น้ำมันแร่ 5 %vol ผสมดินเกาลิน	49	47	42
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน	56	53	51
น้ำมันแร่ 15 %vol ผสมดินเกาลิน	57	50	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาร	ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำ (องศา)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 0.5 %vol	58	57	54
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1 %vol	59	60	60
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1.5 %vol	63	64	64
สีเชิงพาณิชย์	66	68	69

ตารางที่ ก.3 ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับสารตั้งต้นที่ 4 วินาที

สาร	ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำ (องศา)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
สีอะคริลิคสูตรน้ำ	6	8	4
น้ำมันปาล์ม 5%vol	22	26	28
น้ำมันปาล์ม 10%vol	31	28	29
น้ำมันปาล์ม 15%vol	30	29	31
น้ำมันแร่ 5%vol	26	24	23
น้ำมันแร่ 10%vol	39	37	35
น้ำมันแร่ 15%vol	41	38	40
น้ำมันแร่ 5 %vol ผสมดินเกาลิน	33	36	34
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน	43	39	37
น้ำมันแร่ 15 %vol ผสมดินเกาลิน	45	47	44
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 0.5 %vol	58	57	54
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1 %vol	59	60	60
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1.5 %vol	63	64	64
สีเชิงพาณิชย์	66	68	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับสารตั้งต้นที่ 6 วินาที

สาร	ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำ (องศา)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
สีอะคริลิคสูตรน้ำ	0	0	0
น้ำมันปาล์ม 5%vol	15	8	12
น้ำมันปาล์ม 10%vol	27	24	23
น้ำมันปาล์ม 15%vol	26	27	27
น้ำมันแร่ 5%vol	20	20	17
น้ำมันแร่ 10%vol	34	31	31
น้ำมันแร่ 15%vol	36	29	33
น้ำมันแร่ 5 %vol ผสมดินเกาลิน	27	31	28
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน	38	33	32
น้ำมันแร่ 15 %vol ผสมดินเกาลิน	40	40	39
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 0.5 %vol	58	57	54
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1 %vol	59	60	60
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1.5 %vol	63	64	64
สีเชิงพาณิชย์	66	68	69

ตารางที่ ก.5 ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับสารตั้งต้นที่ 8 วินาที

สาร	ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำ (องศา)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
สีอะคริลิคสูตรน้ำ	0	0	0
น้ำมันปาล์ม 5%vol	0	0	0
น้ำมันปาล์ม 10%vol	0	0	0
น้ำมันปาล์ม 15%vol	0	0	0
น้ำมันแร่ 5%vol	0	0	0
น้ำมันแร่ 10%vol	0	0	0
น้ำมันแร่ 15%vol	0	0	0
น้ำมันแร่ 5 %vol ผสมดินเกาลิน	16	19	17
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน	28	20	23
น้ำมันแร่ 15 %vol ผสมดินเกาลิน	31	29	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาร	ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำ (องศา)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 0.5 %vol	58	57	54
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1 %vol	59	60	60
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1.5 %vol	63	64	64
สีเชิงพาณิชย์	66	68	69

ตารางที่ ก.6 ขนาดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับสารตั้งต้นที่ 10 วินาที

สาร	มุมสัมผัสของหยดน้ำ (องศา)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
สีอะคริลิคสูตรน้ำ	0	0	0
น้ำมันปาล์ม 5%vol	0	0	0
น้ำมันปาล์ม 10%vol	0	0	0
น้ำมันปาล์ม 15%vol	0	0	0
น้ำมันแร่ 5%vol	0	0	0
น้ำมันแร่ 10%vol	0	0	0
น้ำมันแร่ 15%vol	0	0	0
น้ำมันแร่ 5 %vol ผสมดินเกาลิน	11	10	8
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน	24	12	15
น้ำมันแร่ 15 %vol ผสมดินเกาลิน	23	18	16
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 0.5 %vol	58	57	54
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1 %vol	59	60	60
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1.5 %vol	63	64	64
สีเชิงพาณิชย์	66	68	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

จำนวนช่องที่เหลือจากการยึดติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 จำนวนช่องที่เหลือแสดงถึงการยึดติดของสีบนแผ่นกระจกสไลด์ตามมาตรฐาน ASTM 4541D

สาร	จำนวนช่องที่เหลือ		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
สีอะคริลิคสูตรน้ำ	100	100	100
น้ำมันปาล์ม 5%vol	93	92	91
น้ำมันปาล์ม 10%vol	92	91	88
น้ำมันปาล์ม 15%vol	83	82	80
น้ำมันแร่ 5%vol	98	99	98
น้ำมันแร่ 10%vol	98	97	96
น้ำมันแร่ 15%vol	87	85	90
น้ำมันแร่ 5 %vol ผสมดินเกาลิน	100	100	99
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน	100	100	100
น้ำมันแร่ 15 %vol ผสมดินเกาลิน	94	88	100
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 0.5 %vol	100	100	99
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1 %vol	97	100	100
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1.5 %vol	98	100	100
สีเชิงพาณิชย์	100	100	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ความหนาของชั้นฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ความหนาชั้นฟิล์มของสีบนแผ่นกระจกสไลด์ (วัดโดยไมโครมิเตอร์)

สาร	ความหนา (มิลลิเมตร)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
สีอะคริลิคสูตรน้ำ	0.18	0.22	0.20	0.20
น้ำมันปาล์ม 5%vol	0.18	0.17	0.18	0.18
น้ำมันปาล์ม 10%vol	0.21	0.21	0.18	0.20
น้ำมันปาล์ม 15%vol	0.21	0.18	0.19	0.19
น้ำมันแร่ 5%vol	0.21	0.23	0.21	0.22
น้ำมันแร่ 10%vol	0.22	0.19	0.23	0.21
น้ำมันแร่ 15%vol	0.22	0.21	0.21	0.21
น้ำมันแร่ 5 %vol ผสมดินเกาลิน	0.20	0.20	0.19	0.20
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน	0.20	0.21	0.23	0.21
น้ำมันแร่ 15 %vol ผสมดินเกาลิน	0.21	0.19	0.20	0.19
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 0.5 %vol	0.21	0.20	0.22	0.21
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1 %vol	0.19	0.21	0.20	0.20
น้ำมันแร่ 10 %vol ผสมดินเกาลิน+TEOS 1.5 %vol	0.20	0.21	0.18	0.20
สีเชิงพาณิชย์	0.18	0.19	0.18	0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้