



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การเพิ่มสมบัติพิเศษของสีทองสำหรับทาภายนอกด้วยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

Addition of Special Characteristics in Exterior Gold Paint by
Nano Titanium Dioxide

นามผู้วิจัย นางสาวสุธิดา พิริยะการสกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเพิ่มสมบัติพิเศษของสีทองสำหรับทาภายนอกด้วยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

Addition of Special Characteristics in Exterior Gold Paint by Nano Titanium Dioxide

โดย

นางสาวสุริดา พิริยะการสกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุริดา พิริยะการสกุล 2555: การเพิ่มสมบัติพิเศษของสีทองสำหรับทาภายนอกด้วยนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม) สาขาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D. 113 หน้า

การเพิ่มสมบัติพิเศษของสีทองสำหรับทาภายนอกให้มีความทนทานต่อความร้อนและมีความสามารถทำความสะอาดตัวเองได้ โดยการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ชนิดอะนาเทสที่ละลายน้ำลงในสีทองชนิดน้ำ และที่ละลายในน้ำมันลงในสีทองชนิดน้ำมัน ในอัตราส่วน 0.25 0.5 0.75 1 2 5 10 และ 15% (w/v) โดยทาสีลงบนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก เปรียบเทียบกับสีที่ไม่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นชุดควบคุม พบว่าเมื่อปริมาณของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น สีทองทั้งชนิดน้ำและน้ำมันมีเจดสีจางลง และความเปล่งประกายลดลง แต่ที่อัตราส่วนต่ำกว่า 1% ใกล้เคียงกับชุดควบคุม การทาหรือไม่ทาสีรองพื้นให้เจดสีและความเปล่งประกายไม่ต่างกัน การทดสอบการทำให้ผิวดูเรียบด้วยความร้อนโดยการอบที่อุณหภูมิ 40 50 60 70 80 90 100 110 120 150 และ 200 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงทุกอุณหภูมิ พบว่าสีทองชนิดน้ำผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวทั้ง 3 ชนิด มีการทำให้ผิวดูเรียบด้วยความร้อนลดลง การทดสอบสมบัติทำความสะอาดตัวเองได้โดยทดสอบการชะล้างเขม่าบนผิวที่ทาสี พบว่าที่ปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 0.25 - 0.75% สามารถชะล้างเขม่าได้ดีกว่า 1 - 5% และชุดควบคุม นอกจากนี้การผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มีแนวโน้มในการเพิ่มคุณสมบัติของสีทองบนพื้นผิวทั้ง 3 ชนิด โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมสำหรับสีทองชนิดน้ำ เพื่อใช้ในการทาพื้นผิวไม้และปูน คือ 0.5% พื้นผิวเหล็ก คือ 0.75% อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับสีทองชนิดน้ำมัน เพื่อใช้ในการทาพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก คือ 0.25% และผ่านการทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรมโดยไม่ทำให้สมบัติอื่นๆ ลดคุณภาพลง ในมุมมองเชิงพาณิชย์ถึงแม้ต้นทุนการผลิตสีทองผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 - 4.5% แต่ก็มีแรงจูงใจในด้านประโยชน์กับต้นทุน และต้นทุนกับประสิทธิผล

Suthida Piriyakarnsakul 2012: Addition of Special Characteristics in Exterior Gold Paint by Nano Titanium Dioxide. Master of Science (Environmental Technology and Management), Major Field: Environmental Technology and Management, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Jukkrit Mahujchariyawong, Ph.D. 113 pages.

The special characteristics of the exterior gold paint were developed for high temperature resistance and self cleaning property. Two different types of nano titanium dioxide (nano-TiO₂), hydrophilic and oleophilic anatase nano-TiO₂ were used for mixing in acrylic water and oil based paints which ratios of nano-TiO₂ and paints were 0.25, 0.5, 0.75, 1, 2, 5, 10 and 15% (w/v). Wood, cement and iron sheets were used for testing the characteristics of coated materials and the gold paint without nano-TiO₂ was used as control. The result showed that apparition and gloss of both acrylic water and oil based paints on all coated samples decreased while nano-TiO₂ dosages were increasing. However, less than 1% mixing ratios kept the same property of control. Acrylic base coating were applied to material surfaces before painting, the samples with and without base coating showed the same appearances. Heat distortion test was conducted in hot air oven for 1 hour at each temperature of 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 150 and 200 °C. Acrylic water based paint coated on three types of materials enhanced heat resistance at all mixing ratios of nano-TiO₂. Self cleaning test was considered as soot washing and the result showed that 0.25 - 0.75% nano-TiO₂ mixing ratios were better than 1 - 5% ratios and control samples as well. Furthermore, Measuring Device showed the increasing contact angle of coatings of the gold paints with nano-TiO₂. The optimum nano-TiO₂ mixing ratio in acrylic water based paint for wood, cement and iron sheet were 0.5, 0.5 and 0.75%, respectively. The optimum ratio in acrylic oil based paint for all 3 materials were 0.25%. The results of Thai Industrial Standard test, gold paints with nano-TiO₂ had passed the other qualities as the control. In addition a point-of-view on commerce, while the cost increased 1.5 - 4.5%, nano-TiO₂ gold paints had incentives on cost-benefit and cost-effectiveness.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ในการวิจัย รวมถึงการวางแผน การให้คำปรึกษา คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัท เอสจีซูทซ์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างสีทอง เพื่อใช้ในการวิจัยนี้ด้วยดีเสมอมา

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. - อุตสาหกรรม ประจำปี 2552 และความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยร่วมแบบทวิภาคี และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ของภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้อบรมสั่งสอน และมอบความรู้อันเป็นประโยชน์ รวมทั้งอุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ รวมทั้งผู้มีพระคุณที่มีได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ทุกท่าน สำหรับการสนับสนุน ความช่วยเหลือ และกำลังใจที่ดีเสมอมา สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยและขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

สุธิดา พิริยะการสกุล
มีนาคม 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	36
อุปกรณ์	36
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	41
สรุปและข้อเสนอแนะ	65
สรุป	65
ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	69
ภาคผนวก	72
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบคุณสมบัติของสีทอง	73
ภาคผนวก ข รายงานผลการทดสอบการตรวจวัดค่ามัมส์	82
ภาคผนวก ค รายงานผลการทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม	86
ภาคผนวก ง มาตรฐานอุตสาหกรรม	91
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	113

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 สมบัติและการเลือกใช้ผงสี	8
2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังโซนแสงกับกำลังเจือจางสีของผงสีขาว	11
3 ผงสีชนิดสารอนินทรีย์	16
4 คุณสมบัติของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์	37
5 ผลการทดสอบตัวอย่างสีทองชนิดน้ำชุดควบคุม ตาม มอก.2321-2549	59
6 ผลการทดสอบตัวอย่างสีทองชนิดน้ำผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0.75% ตาม มอก.2321-2549	60
7 ผลการทดสอบตัวอย่างสีทองชนิดน้ำมันชุดควบคุม ตาม มอก.327-2553	61
8 ผลการทดสอบตัวอย่างสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0.25% ตาม มอก.327-2553	62
9 ผลกระทบต่อสมบัติของสีทองชนิดน้ำมันบนพื้นผิว 3 ชนิดกับสัดส่วน ในการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์	66
10 ผลกระทบต่อสมบัติของสีทองชนิดน้ำมันบนพื้นผิว 3 ชนิดกับสัดส่วน ในการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์	67
 ตารางผนวกที่	
ก1 ผลการตรวจวัดความเข้มแสงสะท้อนของสีทองชนิดน้ำมันบนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก	74
ก2 ผลการตรวจวัดความเข้มแสงสะท้อนของสีทองชนิดน้ำมันบนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก	74
ก3 ผลการทดสอบการพองของสีจากทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทอง ชนิดน้ำมันบนพื้นผิวไม้	75
ก4 ผลการทดสอบการพองของสีจากทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทอง ชนิดน้ำมันบนพื้นผิวปูน	76
ก5 ผลการทดสอบการพองของสีจากทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทอง ชนิดน้ำมันบนพื้นผิวเหล็ก	77
ก6 ผลการทดสอบการพองของสีจากทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทอง ชนิดน้ำมันบนพื้นผิวไม้	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก7 ผลการทดสอบการพองของสีจากทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทอง ชนิดน้ำมันบนพื้นผิวปูน	79
ก8 ผลการทดสอบการพองของสีจากทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทอง ชนิดน้ำมันบนพื้นผิวเหล็ก	80
ก9 ผลการทดสอบการชะล้างเขม่าของสีทองชนิดน้ำ บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก	80
ก10 ผลการทดสอบการชะล้างเขม่าของสีทองชนิดน้ำมัน บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก	81

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ตำแหน่งของสี	4
2 โครงสร้างผลึกไททาเนียมไดออกไซด์ ชนิดรูโพลัส	28
3 โครงสร้างผลึกไททาเนียมไดออกไซด์ ชนิดอะนาเทส	29
4 โครงสร้างผลึกไททาเนียมไดออกไซด์ ชนิดบรูคไคท์	29
5 ภาพถ่ายขยายผิวใบบัวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	30
6 หยดน้ำชะล้างสิ่งสกปรกออกจากผิวใบบัว	31
7 พื้นผิวทำความสะอาดได้ด้วยตนเอง (self-cleaning surface)	31
8 แผนภาพการคิดค่า contact angle	32
9 ลักษณะมุมสัมผัสระหว่างผิวของหยดน้ำ	32
10 นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (ก) ชนิดละลายในน้ำ (ข) ชนิดละลายในน้ำมัน	37
11 ตัวอย่างสีทองทาภายนอกชนิดน้ำ และชนิดน้ำมัน	38
12 ตัวอย่างวัสดุที่เป็นพื้นผิวในการทดสอบ (ก) ไม้เต็ง (ข) แผ่นซีเมนต์ (ค) แผ่นเหล็ก	38
13 เจดสีและความเปลี่ยนแปลงประกายของสีทองบนพื้นผิวไม้ (ก) สีทองชนิดน้ำ และ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน	42
14 เจดสีและความเปลี่ยนแปลงประกายของสีทองบนพื้นผิวปูน (ก) สีทองชนิดน้ำ และ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน	43
15 เจดสีและความเปลี่ยนแปลงประกายของสีทองบนพื้นผิวเหล็ก (ก) สีทองชนิดน้ำ และ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน	44
16 การทาสีทองที่มีและไม่มีส่วนผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวไม้ โดยมีและไม่มีสีรองพื้น (ก) สีทองชนิดน้ำ และ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน	45
17 การทาสีทองลงบนสีรองพื้นที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 5 10 และ 15% (ก) สีทองชนิดน้ำ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน บนพื้นผิวไม้	46
18 การทาสีทองลงบนสีรองพื้นผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 5 10 และ 15% (ก) สีทองชนิดน้ำ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน บนพื้นผิวปูน	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
19 การทาสารเคลือบผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 5 10 และ 15% ลงบนพื้นผิวไม้ที่ทาเตรียมไว้ด้วย (ก) สีทองชนิดน้ำ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน	48
20 การทาสารเคลือบผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 5 10 และ 15% ลงบนพื้นผิวปูนที่ทาเตรียมไว้ด้วย (ก) สีทองชนิดน้ำ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน	49
21 ความเข้มแสงสะท้อนของสีทองชนิดน้ำผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก	50
22 ความเข้มแสงสะท้อนของสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก	51
23 การทดสอบการทำให้ผิวดูเรียบด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้	52
24 การทดสอบการทำให้ผิวดูเรียบด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวปูน	53
25 การทดสอบการทำให้ผิวดูเรียบด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวเหล็ก	53
26 การทดสอบการทำให้ผิวดูเรียบด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้	54
27 การทดสอบการทำให้ผิวดูเรียบด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวปูน	54
28 การทดสอบการทำให้ผิวดูเรียบด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวเหล็ก	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
29 การทดสอบการชะล้างเขม่าของสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก	56
30 การทดสอบการชะล้างเขม่าของสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก	56
31 ค่ามุมสัมผัสของสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก	57
32 ค่ามุมสัมผัสของสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก	58
33 ลักษณะหยดน้ำในการวัดมุมสัมผัสของสีทองชนิดน้ำมันบนพื้นผิวปูน (ก) ชุดควบคุม (ข) สีทองผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 5%	58

การเพิ่มสมบัติพิเศษของสีทองสำหรับทาภายนอกด้วย นาโนไททาเนียมไดออกไซด์

Addition of Special Characteristics in Exterior Gold Paint by Nano Titanium Dioxide

คำนำ

อุตสาหกรรมการผลิตสีในประเทศไทยเติบโตขึ้นพร้อมกับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ในจำนวนนี้มีสีประเภทหนึ่งคือ สีทอง ที่มีการเพิ่มปริมาณการบริโภคมากขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงวิถีทางวัฒนธรรมจากการลงรักปิดทอง ในอดีตซึ่งใช้ทองคำเปลวมาเป็นการใช้สีสังเคราะห์ที่ผลิตขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการพัฒนาสีทดแทนการใช้ทองคำที่มีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การบริโภคสีทองในกิจกรรมบางประเภทอาจปรับลดลงตามกลไกทางเศรษฐกิจ แต่ด้านศิลปวัฒนธรรมและศาสนาแล้ว การทำนุบำรุงวัดและศาสนสถานต่าง ๆ ยังคงดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในการพัฒนาสีทองนั้นก็มีปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันคือ สีทองเปลี่ยนเป็นสีคล้ำ หลังจากผ่านการใช้งานไประยะหนึ่ง เนื่องจากใช้ผงทองคุณภาพต่ำ ทำให้ต้องทาสีใหม่บ่อยครั้ง สีทองซีดขาว เนื่องจากการตากแดด ฝน และน้ำค้างเป็นระยะเวลานาน รวมถึงทำให้เกิดความสกปรกบนพื้นผิว จากการเจริญเติบโตของเชื้อรา (Hochmannova *et al.*, 2010) และปัญหาการหลุดร่อนและการพองตัวของสี จากการใช้น้ำมันแห้งซ้ำทาเป็นสัโรงพื้น แล้วทาทับด้วยสีทองซึ่งเป็นสีแห้งเร็ว

ปัจจุบันการพัฒนาสีทาบ้านโดยการเติมอนุภาคนาโนของโลหะบางชนิด เพื่อเพิ่มสมบัติในการปกป้องสีให้สวยงามได้ยาวนานเป็นที่แพร่หลายมากขึ้น แต่ยังไม่มีการทดสอบกับสีทองเมื่อพิจารณาถึงศักยภาพของไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นสารสีที่มีสีขาว ไม่มีกลิ่น จัดอยู่ในกลุ่มของสารสีที่ปลอดภัย ไม่ใช่สารที่อยู่ในกลุ่มของสารระเหย สารก่อมะเร็ง สารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ สารที่ทำให้ตัวอ่อนในครรภ์เกิดความผิดปกติ หรือสารที่มีพิษ (Chen *et al.*, 2009) มีสมบัติช่วยในการดูดซับ และเป็นสารโฟโตแคตาลิสต์ที่ช่วยการย่อยสลายสารต่าง ๆ ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้ เช่น กรดไขมัน สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แอมโมเนีย เป็นต้น (Geng *et al.*, 2008) แต่มีข้อจำกัดในการใช้ผสมคือ ต้องใช้ผสมในเจดสีอ่อน เนื่องจากผงไททาเนียมไดออกไซด์ทำให้สีที่ผสมมีสีขาวขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการสะท้อนแสงของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ (Corrales *et*

al., 2003) จึงยังไม่สามารถผสมในเจดสีเข้ม รวมทั้งสีทองด้วย เนื่องจากจะทำให้มีเจดสีจางลง และความเปลี่ยนแปลงของสีทองถูกบดบังไป

การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาสีทองสำหรับทาภายนอก ซึ่งต้องผ่านสภาพอากาศและมลพิษทางอากาศที่ทำให้สีทองที่ใช้ในปัจจุบันเกิดปัญหาขึ้น โดยการผสมอนุภาคนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสีทอง เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับ (Shtykova *et al.*, 2009) ทำให้สีมีความคงทนมากขึ้น และเพิ่มสมบัติไม่ชอบน้ำยิ่งยวด (Superhydrophobic) อนุภาคนาโนเล็กของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์สามารถถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวี และเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสได้ดี สามารถนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม ในลักษณะการทำความสะอาดตัวเองและป้องกันความสกปรก (Chen *et al.*, 2009) รวมทั้งอนุภาคนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์จะไม่บดบังให้สีทองหมองลง แต่จะช่วยให้การเกาะติดของฝุ่นน้อยลงทำให้สามารถสะท้อนแสงเปล่งประกายได้ดีขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาสีทองให้มีสมบัติในการใช้งานที่ทนทานต่อสภาวะแวดล้อมด้วยการผสมอนุภาคนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์ (nano-TiO₂)
2. เพื่อประเมินศักยภาพและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการพัฒนาเพื่อการผลิตเชิงพาณิชย์



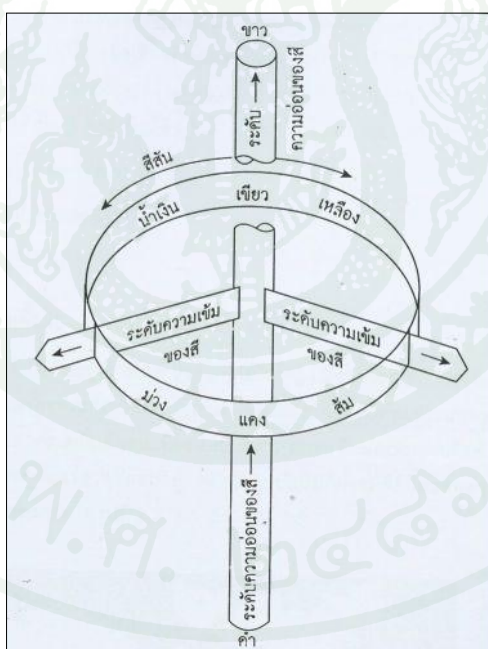
การตรวจเอกสาร

1. ความรู้เกี่ยวกับสี

1.1 นิยามและประเภทของสี

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน ให้นิยามของคำว่าสีไว้ว่า คือลักษณะของแสง สว่างปรากฏแก่ตาให้เห็นเป็นสีดำ แดง เขียว เป็นต้น หรือสิ่งที่ทำให้เป็นสีต่าง ๆ

สำหรับนิยามของคำว่าสีตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวง อุตสาหกรรม คือสีของพื้นผิวที่สามารถพิจารณาในด้านคุณภาพหลักได้ 3 ประการ คือ สีส้น (hue) ระดับความอ่อนของสี (lightness or tint) และระดับความเข้มของสี (saturation or shade) คุณภาพเหล่านี้รวมกันอธิบายถึงตำแหน่งของสีทุกสีอย่างมีระเบียบ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตำแหน่งของสี

ที่มา: ประณต (2552)

ส่วนนิยามของคำว่าสีใน Painting and Decorating Encyclopedia ได้บัญญัติไว้ว่า สีคือ สมบัติของปรากฏการณ์ที่มองเห็น (ข้อเท็จจริงที่อาจเป็นการอธิบายทางวิทยาศาสตร์) ที่ประทับใจอย่างไม่ต้องสงสัย หรือผลที่เกิดกับจอตา (retina) โดยแสงที่มีช่วงคลื่นแตกต่างกัน สีอาจจำแนกออกเป็นส่วนสำคัญที่สุดได้เป็น 3 ส่วน คือสีต้น ระดับความอ่อนของสี และระดับความเข้มของสี (ประณต, 2552)

แต่ในนิยามเรื่องสี ให้ความหมายว่า สี คือ สารที่มีส่วนผสมของผงสี สิ่งนำสี และ วัตถุอื่น ๆ ที่เป็นของเหลว (ดำเนิน, 2550)

สีสามารถจัดแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้เป็น 2 ประเภท คือ (ประณต, 2552)

1.1.1 สีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สีของต้นไม้ สีของดอกไม้ สีของดิน หิน สีของน้ำทะเล สีของท้องฟ้า และสีของแสงอาทิตย์ เป็นต้น ซึ่งแหล่งกำเนิดสีแต่ละประเภท จะมีสีที่แตกต่างกันออกไป

1.1.2 สีที่มนุษย์สร้างขึ้น จำแนกออกเป็น 2 ชนิดด้วยกัน คือ

สีที่เกิดจากแสง เป็นสีที่เกิดจากดวงไฟที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น ไม่สามารถนำไปใช้ระบายหรือทาได้ แต่สามารถสร้างบรรยากาศให้เกิดเป็นสีสันได้ตามความต้องการ ส่วนใหญ่นอกจากจะนำมาใช้ประโยชน์เป็นแสงสว่างให้กับมนุษย์ในยามค่ำคืนแล้ว ยังถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น การจัดนิทรรศการ การแสดงสินค้า การแสดงคอนเสิร์ต และการแสดงละคร เป็นต้น

สีที่เกิดจากเนื้อสี (pigment) เป็นสีที่เกิดจากการนำผลผลิตจากธรรมชาติ เช่น ผลผลิตจากต้นไม้ แมลง ดิน หิน เป็นต้น มาผสมกับสารชนิดอื่น ๆ เป็นสีที่ใช้ในการระบาย ทาพ่น หรือย้อมได้ เพื่อปิดคลุมพื้นผิวของชิ้นงานให้ดูสวยงามตามความต้องการ

1.2 คุณสมบัติเฉพาะของสี (ดำเนิน, 2550)

สีที่เกิดจากวัสดุดิบตามธรรมชาติหรือวัสดุสังเคราะห์ เมื่อนำมาผสมจนเป็นเนื้อสี จะมีคุณสมบัติ 4 ประการ คือ

1.2.1 วรรณะ (Hue) คือคุณสมบัติที่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสีแต่ละสีว่าเป็นสีใดสีหนึ่ง เช่น สีเขียวต่างจากสีแดง สีเหลืองต่างจากสีม่วง สีน้ำเงินต่างจากสีส้ม เป็นต้น โดยไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงน้ำหนักอ่อนแก่ และความสดใสหรือความแรงของสี เพราะความเป็นวรรณะของสีจะอยู่คงเดิม ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

ก. โครเมติก คัลเลอร์ (Chromatic colors) คือสีที่มีวรรณะของสีผสมอยู่ สามารถจำแนกออกเป็น สีแดง สีน้ำเงิน สีเหลือง สีเขียว สีม่วง

ข. แอโครเมติก คัลเลอร์ (Achromatic colors) คือสีที่ไม่มีวรรณะของสีผสมอยู่ สามารถจำแนกเป็นน้ำหนักอ่อนเข้ม ได้แก่ สีขาว สีเทา และสีดำ

1.2.2 ความเข้มของสี (Chrome, Intensity, Saturation) คือคุณสมบัติของสีที่เกี่ยวกับความสด สีแดงจัดเป็นสีที่มีความสดที่สุดในบรรดาสีทั้งหมด ส่วนความไม่สดใส เกิดจากการผสมสีที่อยู่ตรงข้ามกัน ซึ่งจะทำให้ความสดใสลดลง เช่น นำสีม่วงไปเจือลงในสีเหลืองเพียงเล็กน้อย เป็นต้น

1.2.3 คุณค่าของสี (Tonal value) คือคุณสมบัติของสีที่มีความเกี่ยวเนื่องกับน้ำหนักอ่อนแก่ เพื่อใช้เปรียบเทียบค่าของสีที่แตกต่างของสีแต่ละสี เช่น สีฟ้าคือน้ำหนักอ่อนของสีน้ำเงิน เป็นต้น โดยให้สีขาวเป็นสีที่มีน้ำหนักอ่อนที่สุด และให้สีดำเป็นสีที่มีน้ำหนักแก่ที่สุด ระหว่างสีขาวกับสีดำ จะมีสีเทาที่มีน้ำหนักอ่อนไปจนถึงแก่ 7 น้ำหนัก น้ำหนักที่ 5 เป็นน้ำหนักกลาง ดังนั้นถ้าต้องการให้สีใดสีหนึ่งมีน้ำหนักแก่ยิ่งขึ้นก็ให้ผสมสีดำลงไป สีที่เกิดขึ้นก็จะมีน้ำหนักแก่กว่าน้ำหนักกลาง ซึ่งเรียกว่า เฌด (shade)

1.2.4 คุณสมบัติสะท้อนแสง (Finish) คือคุณสมบัติของสีที่เกี่ยวเนื่องกับประสิทธิภาพด้านการสะท้อนแสง สีที่มีความสดใสและเป็นมันมีคุณสมบัติสะท้อนแสงมากกว่าสีที่ไม่มีความสดใสและความมัน จึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพของสีแปรเปลี่ยนไปจากเดิม

2. องค์ประกอบของสีและกระบวนการผลิตสี

วัตถุประสงค์หลักของการเคลือบสีคือ ต้องการให้วัสดุที่เคลือบนั้นมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี อาทิ ความสกปรก ความชื้น และสัมผัสอื่น ๆ และต้องมีสมบัติในการยึดหยุ่นตัวดี เพื่อมิให้เกิดความเสียหายจากการขยายและหดตัวเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้สียังให้ความสวยงามกับวัสดุที่เคลือบได้ตามความต้องการ ดังนั้น เพื่อให้มีสมบัติตาม

ความต้องการ จึงต้องใช้สารหลายชนิดผสมเข้าด้วยกัน แต่ส่วนผสมหลักที่สำคัญก็คือ ผงสี และ สีนําสี ส่วนตัวผสมเพิ่ม ซึ่งใช้เป็นตัวเพิ่มปริมาณและคุณภาพให้กับสี จะใช้เติมเข้าไปเมื่อ ต้องการสมบัติพิเศษเท่านั้น (ประณต, 2552)

2.1 ผงสี (Pigment)

เป็นวัสดุแข็งบดละเอียดใช้เป็นฐานหรือส่วนที่เป็นของแข็งของสี และเป็นตัวทำให้เกิดสี ซ่อมหรือปิดบังพื้นผิวที่ทาหรือพ่น ผงสีจะไม่ละลายในตัวทำละลาย มี 2 ชนิด ได้แก่

ผงสีอนินทรีย์ (Inorganic pigments) สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 4 ชนิด คือ

ก. Earth pigments เป็นผงสีธรรมชาติที่ได้จากการนำเอาหินต่าง ๆ ไปบด ล้าง และ ทำให้แห้ง เช่น ochres (ดินเหลือง) และ sienna (ดินเผาสีน้ำตาล) เป็นต้น

ข. Mineral pigments เป็นผงสีที่ได้จากแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น โดโลไมต์ (dolomite) และ แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น

ค. ผงสีอนินทรีย์สังเคราะห์ (Synthetic inorganic pigments) เตรียมได้โดยการ ตกตะกอนจากปฏิกิริยาระหว่างสารเคมี 2 สาร ทำให้เกิดเป็นผงสีตกตะกอนลงมา แล้วกรองออก เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ และซิงค์ออกไซด์ เป็นต้น

ง. ผงสีโลหะ (Metallic pigments) ได้จากการบดโลหะให้ละเอียด เช่น ผงอะลูมิเนียม และผงบรอนซ์ เป็นต้น

ผงสีอินทรีย์ (Organic pigments) แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

ก. Pigment dyestuffs คือสารประกอบอินทรีย์ที่มีสี และไม่ละลายในตัวทำละลายต่าง ๆ ได้แก่ สารประกอบอะโซ (azo) ที่เป็นสี เช่น toluidine reds เป็นต้น

ข. โทเนอร์ (Toner pigments หรือ Toners) คือสีย้อมที่เป็นกรดหรือด่างที่ละลายน้ำได้ แต่ได้ถูกเปลี่ยนเป็นผงสีโดยการตกตะกอนด้วยเกลือโลหะ หรือกรด เช่น เกลือของตะกั่ว แคลเซียม กรดแทนนิก (tannic acid) และกรดฟอสฟอรัส (phosphotungstic acid) เป็นต้น

ค. เลก (Lake pigments หรือ Lakes) คือผงสีที่เตรียมได้จากสีย้อมที่ละลายน้ำได้ โดยทำให้ตกตะกอนลงไปในตัวยึด (substrate) ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ มักใช้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ สีย้อมที่ละลายน้ำได้ เมื่อไปเกาะบนตัวยึดแล้วจะทำให้ไม่ละลายน้ำ

ทั้งผงสียอนินทรีย์และผงสียอินทรีย์ ต่างมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้ผงสีให้เหมาะสม ต้องรู้ถึงสมบัติของผงสีเหล่านี้ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติและการเลือกใช้ผงสี

สมบัติที่ต้องการ	ควรใช้ผงสี	เหตุผล
(1) สีเข้มสดใส	อินทรีย์	ผงสียอินทรีย์จะให้สีเข้มและสดใสมากในขณะที่ผงสียอนินทรีย์มีกำลังการผสมต่ำต้องใช้ปริมาณมาก
(2) สำหรับทำสีสีขาวและสีดำ	อนินทรีย์	ผงสีสีขาวที่บริสุทธิ์ที่สุดคือ ไททาเนียมไดออกไซด์ ผงสีดำที่ดีที่สุดคือ คาร์บอนแบล็ก และไม่มีผงสียอินทรีย์ที่มีสีขาวหรือสีดำ
(3) การไม่เกิดการคายสี	อนินทรีย์	ผงสียอนินทรีย์ไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ ในขณะที่ผงสียอินทรีย์บางชนิดถูกละลายได้
(4) ความคงทนต่อแสง	อนินทรีย์	พันธะในโมเลกุลของผงสียอนินทรีย์ทนต่อแสงอัลตราไวโอเลตได้มากกว่าผงสียอินทรีย์
(5) เสถียรภาพต่อความร้อน	อนินทรีย์	ผงสียอนินทรีย์ส่วนใหญ่จะสลายตัวหรือหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 300°C

ที่มา: อรุษา (2537)

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า ในการเลือกใช้ผงสีควรจะหลีกเลี่ยงการใช้ผงสียอินทรีย์ เนื่องจากมีข้อด้อยกว่าผงสียอนินทรีย์หลายประการ แต่ในทางปฏิบัติ มีการใช้ผงสียอินทรีย์กันมาก เนื่องจากแพ็คเกจอร์ข้อ (1) ในตารางที่ 1 ที่ว่า ผงสียอนินทรีย์มีสีเข้มหรือมีกำลังการผสมสูง เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผู้ผลิตเลือกใช้ผงสียอนินทรีย์ นอกจากนี้ผงสียอนินทรีย์ยังมีข้อดีที่สามารถบดได้ง่าย และมีสมบัติการพิมพ์ดีอีกด้วย (อรุษา, 2537)

ผงสีสามารถจำแนกออกตามสมบัติของผงสีได้ดังนี้ (ประณต, 2552)

2.1.1 ผงสีสีขาว (White Pigments) เป็นผงสีที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุด เป็นพื้นฐานสำหรับสีอ่อนทั่วไป มีทั้งชนิดที่ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมี และชนิดที่ทำปฏิกิริยาเคมีกับผงสีชนิดอื่น ผงสีขาวที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่

ก. ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) เป็นผงสีที่ขาวที่สุด และมีกำลังในการซ่อนแสงหรือปกปิดผิว (hiding power) และกำลังในการเจือจาง (tinting strength) ที่ดีที่สุดในผงสีขาว ไม่ทำปฏิกิริยากับผงสีชนิดอื่น ไม่เป็นพิษ ไม่เหลืองคล้ำ มีสมบัติการไหลดี และไม่มีผลกระทบต่อกรดเจือจาง (dilute acid) ความร้อน และแสง ใช้มากกับสีทับหน้าทั้งภายในและภายนอก ที่นิยมใช้ในงานสีมี 2 ชนิด คือ ชนิดรูไทล์ (rutile) และชนิดอะนาเทส (anatase) ชนิดรูไทล์จะให้กำลังซ่อนหรือปกปิดผิวที่เคลือบได้มากกว่าชนิดอะนาเทสประมาณ 25 – 30% และมีน้ำหนักต่อแกลลอนค่อนข้างมากกว่า จัดเป็นผงสีที่มีคุณค่าสำหรับสีภายนอกที่ต้องการระดับความต้านทานต่อลมฟ้าอากาศสูง ส่วนชนิดอะนาเทส เนื่องจากผงสีจะเกิดการแตกตัวเป็นฝุ่นได้ จึงเหมาะที่จะใช้กับสีภายนอกที่ต้องการให้สามารถทำความสะอาดได้เอง สำหรับสีภายนอกที่ไม่ใช้ตัวผสมเพิ่ม เนื้อสีที่ประกอบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์บริสุทธิ์เพียง 10% ก็ สามารถให้ความขาวได้อย่างเพียงพอ

ข. ซิงค์ซัลไฟด์ หรือสังกะสีซัลไฟด์ (Zinc sulfide) เป็นผงสีขาวที่ให้กำลังซ่อนสูงปานกลาง ไม่ทำปฏิกิริยากับผงสีชนิดอื่น มีความต้านทานดินฟ้าอากาศต่ำกว่าไททาเนียมไดออกไซด์มาก

ค. ซิงค์ออกไซด์ หรือสังกะสีออกไซด์ (Zinc oxide) เป็นผงสีขาวที่สำคัญที่สุดในผงสีชนิดสังกะสี มีสมบัติไม่เป็นพิษ และไม่ทำให้เกิดการระคายเคือง เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำมันในสีจะกลายรูปเป็นสบู่ที่มีความเหนียวซึ่งจะทำให้ฟิล์มสีแข็งและไม่ยุ่ยตัว เมื่อใช้ในปริมาณที่ถูกต้องร่วมกับผงสีชนิดอื่น เช่น ตะกั่วขาว ไททาเนียมไดออกไซด์ และตัวผสมอื่น ๆ ในสีภายนอก ผงสีนี้จะทำหน้าที่สำคัญ เช่น ควบคุมการแตกตัวเป็นฝุ่น (chalking) สนับสนุนการทำความสะอาดตนเองจากการเป็นฝุ่นเมื่อถูกชะล้างจากฝนหรือน้ำ ควบคุมราน้ำค้าง (mildew) ที่ไม่น่าดูและทำลายฟิล์มสี เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม สนับสนุนการคงไว้ในสีแต่ง (tinted paint) ทำให้เกิดกำลังซ่อนแสงของสี และเนื่องจากค่อนข้างทึบแสงต่อแสงอัลตราไวโอเล็ต จึงสามารถปกป้องฟิล์มสีจากการทำลายของการแผ่รังสีได้ ผงสีชนิดนี้มีสมบัติการแห้งตัวและการเหนียวติดพื้นผิวที่เคลือบดี เพราะมีความเหนียวซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยากับสิ่งนำสี จึงสามารถนำไปใช้เพื่อให้ความหนืดที่ค่อนข้างสูงกว่า และทาได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังสามารถทำให้กรดเป็น

กลาง จึงยับยั้งการเกิดสนิมได้ และมักถูกนำไปใช้เป็นสีรองพื้นในถังบรรจุน้ำ และงานอื่นที่ต้องการความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูง

ง. ลิโทโพน (Lithopone) เป็นผงสีขาวที่เป็นส่วนผสมระหว่างแบเรียมซัลไฟด์ (barium sulfide) กับซิงค์ซัลเฟต (zinc sulfate) ไม่ทำปฏิกิริยากับผงสีชนิดอื่น ช่วยในการปรับปรุงลักษณะพิเศษของแผ่นฟิล์ม และความสามารถในการชะล้างของสีลาเท็กซ์ให้ดีขึ้น ไม่มีฤทธิ์เป็นด่างจึงไม่เกิดการเป็นวุ้นเหนียวของสีที่มีปริมาณกรดลิโนลินิกสูง แต่จะเปลี่ยนเป็นสีคล้ำลงเมื่อถูกแสงสว่าง และมีความต้านทานดินฟ้าอากาศต่ำกว่าไททาเนียมไดออกไซด์มาก จึงมักใช้มากในสีน้ำใช้ภายใน สีชั้นล่าง และสีรองพื้น

จ. แอนติโมนีออกไซด์ (Antimony oxide) เป็นผงสีที่มีกำลังซ่อนแสงเหมือนลิโทโพน เป็นการรวมตัวระหว่างคลอรีเนตเตด (chlorinated) กับแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) ไม่เป็นพิษ มักใช้ในการผลิตสีทึบไฟ

ฉ. ไวต์เลด หรือตะกั่วขาว (White lead) เป็นผงสีที่ทำปฏิกิริยากับผงสีชนิดอื่นที่ผสมรวม จำแนกได้เป็น 3 ชนิดคือ ไวต์เลดพื้นฐานคาร์บอเนต (basic carbonate white lead) ไวต์เลดพื้นฐานซัลเฟต (basic sulfate white lead) และไวต์เลดพื้นฐานซิลิเกต (basic silicate white lead) ไวต์เลดเป็นผงสีที่นิยมใช้กับสีภายนอก เมื่อผสมอย่างถูกส่วนกับน้ำมันลินสีดแล้วจะทำให้สีมีความทนทานและคงทนต่อสภาพแวดล้อม เมื่อทึบไว้ให้แห้งจะให้ผิวสีที่ดีสำหรับการเคลือบสีในชั้นถัดไป กรณีอายุการใช้งานมีผลมากกว่าความขาว อาจจะต้องเติมผงไวต์เลดลงในเนื้อสีถึง 98% ผงไวต์เลดอาจจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ทำให้กรดที่เกิดจากการลดปริมาณน้ำมันลินสีดลงเป็นกลาง แต่ถ้ากรดที่เกิดขึ้นนี้ไม่เป็นกลางก็จะมีผลให้ความคงทนของสีลดลง ซึ่งหลังพบว่าสารประกอบที่มีเลดหรือตะกั่วเป็นส่วนผสมเป็นสารพิษ บางประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกาโดยกระทรวงพาณิชย์ จึงออกกฎหมายกำหนดการใช้อย่างจริงจัง โดยเฉพาะกับสีใช้ภายในสำหรับบ้านพักอาศัย สถานรับเลี้ยงเด็ก และโรงเรียน เป็นต้น ซึ่งการจำกัดดังกล่าวได้แพร่กระจายไปทั่วโลกในเวลาต่อมา

ช. เลดเดดซิงค์ออกไซด์ หรือตะกั่ว-สังกะสีออกไซด์ (Leaded zinc oxide) ได้จากการรวมตัวของเลดซัลเฟต (lead sulfate) กับซิงค์ออกไซด์ ถูกนำไปใช้กับสีทับหน้าที่ต้องการความคงทน เช่น ในพื้นที่ของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปัญหาเรื่องฝุ่น จาระบี ตัวทำละลาย คาร์บอน และกรด

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังในการซ่อนแสงหรือปกปิดผิว และกำลังในการเงาเงาของผงสีสีขาว แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังซ่อนแสงกับกำลังเงาเงาของผงสีสีขาว

ผงสี	ดัชนีการสะท้อนแสง	กำลังซ่อนแสง (ตารางฟุตต่อปอนด์)	กำลังเงาเงา
ไททาเนียมไดออกไซด์			
ชนิดรูไทล์	2.76	147	1850
ชนิดอะนาเทส	2.55	115	1250
ไททาเนียมเคลเคลเซียม, รูไทล์ 50%	-	82	975
ซิงค์ซัลไฟด์ หรือสังกะสีซัลไฟด์	2.37	58	640
ลิโทโฟน	1.84	27	280
แอนติโมนีไดออกไซด์	2.19	22	300
ไดเบสิกเลดฟอสไฟด์	2.25	20	250
ซิงค์ออกไซด์ หรือสังกะสีออกไซด์	2.01	20	210
ไวต์เลด หรือตะกั่วขาว			
ฐานคาร์บอเนต	2.01	18	160
ฐานซัลเฟต	1.93	14	120
ฐานซิลิเกต	1.83	12	80

ที่มา: The Handbook, Titanium Pigment Corp., subsidiary of National Lead Co., N.Y.
ประณต (2552)

2.1.2 ตัวผสมเพิ่ม (Extender pigments) เป็นตัวเพิ่มทั้งปริมาณและคุณภาพให้กับสี เป็นผงสีขาวที่ให้กำลังซ่อนแสงน้อยหรือไม่ให้เลยเมื่อเปรียบเทียบกับผงสีขาวชนิดอื่น แต่จะเพิ่มน้ำหนักและปริมาณให้กับสี เป็นตัวหน่วงปฏิกิริยาเคมี ช่วยควบคุมความหนาของเนื้อสีที่ทำการตกแต่ง และเพิ่มสมบัติให้กับสี เช่น ความเรียบ การไหลของสี การสร้างแผ่นฟิล์ม การลดความเงาของสี ลดโอกาสการเกิดการนอนกัน หรือจับกันเป็นก้อนแข็งของผงสีอื่น ๆ และยังทำให้สามารถเช็ดถู และทำความสะอาดบนแผ่นฟิล์มของสีได้โดยปราศจากความเสียหาย แต่เนื่องจากตัวผสมเพิ่มจะทำให้การแตกตัวเป็นฝุ่นของสีและการกัดกร่อนที่ผิวของวัสดุที่เคลือบเพิ่มขึ้น จึงมี

ความโน้มเอียงที่จะทำให้อายุการใช้งานของสีภายนอกลดลง ดังนั้นสีภายนอกจึงไม่ควรมีส่วนผสมเพิ่มขึ้นกว่า 10% ตัวผสมเพิ่มที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

ก. แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) มีทั้งที่ได้จากธรรมชาติ คือจากชอล์กซึ่งประกอบด้วยตะกอนจากซากพืชหรือสัตว์เล็ก ๆ และหินปูนขาว และจากการสังเคราะห์ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตเคมีภัณฑ์ เป็นตัวผสมเพิ่มที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูก และมีหลายเกรด สามารถเลือกใช้กับงานเคลือบผิวต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม

ข. แบเรียมซัลเฟต (BaSO_4) มีอนุภาคเป็นผลึก และรูปร่างกลมไม่สม่ำเสมอ ทนกรดและด่างได้ดีจึงนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในสีทนเคมีภัณฑ์ (chemical-resistance paint) มีการดุดกลื่นน้ำมันต่ำมากจึงมีผลต่อความข้น (consistency) ของสีน้อยมาก และเป็นเหตุผลสำคัญที่นำมาใช้เป็นองค์ประกอบในสีรองพื้นกันการสึกกร่อน สีจราจร และสีทาผนังภายใน

ค. แมกนีเซียมซิลิเกต (Magnesium silicate) แร่ธาตุที่มีแมกนีเซียมซิลิเกตเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ สามารถนำมาทำผงสีได้ ไม่ว่าจะเกิดอยู่ในรูป talc, asbestine, soapstone, sepiolite, steatite และ asbestos เนื่องจากมีคุณสมบัติ เช่น ทำให้เปียกและกระจายได้ง่าย ช่วยยับยั้งการจับตัวเป็นก้อนแข็งของผงสีชนิดอื่น เป็นต้น

ง. ซิลิกา (Silica) ได้จากธรรมชาติในรูปต่าง ๆ กัน แต่ที่นิยมใช้เป็นผงสี คือซิลิกาในรูปของควอตซ์ (quartz) ซึ่งสามารถลดการสะท้อนแสงของฟิล์ม ทำให้ฟิล์มมีความเงา ลดลง และช่วยเสริมแรงให้กับฟิล์ม ปัจจุบันมีซิลิกาสังเคราะห์ ซึ่งเป็นสารลดความเงาที่มีประสิทธิภาพมาก

จ. ไมกา (Mica) จะช่วยให้สมบัติการไหลของสีดีขึ้น ลดการแตก และการหลุดลอกของสี และช่วยลดการพอง (blistering) ของสีทาบ้านด้วย สำหรับไมกาอนุภาคเล็กมาก จะใช้เป็นสารให้ความต้าน (matting agent)

ฉ. แคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate) ที่ได้จากธรรมชาติ มีสมบัติลดความเงาได้ดี ดุดกลื่นน้ำมันต่ำ จึงเหมาะที่จะใช้ในสีน้ำมันทั้งแบบไม่เงาและแบบกึ่งเงา และสีทาบ้านส่วนที่ได้จากการสังเคราะห์ มีการดุดกลื่นน้ำมันสูง มักใช้เป็นสารเติมแต่งสำหรับสีลาเท็กซ์ เพื่อรักษาความเป็นต่างของสีระหว่างการเก็บรักษา

นอกจากนี้ยังมีตัวผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ ได้แก่ อะลูมิเนียมซิลิเกต (aluminium silicate) แคลเซียมซัลเฟต (calcium sulfate) แมกนีเซียมคาร์บอเนต (magnesium carbonate) แมกนีเซียมออกไซด์ (magnesium oxide) อะลูมิเนียมไฮดรเอต (aluminium hydrate) และ สเลตฟลาวร์ (slate flour)

2.1.3 ผงสีชนิดยับยั้งการกัดกร่อน สนิมของโลหะที่เกิดขึ้นจะทำให้โลหะเกิดการกัดกร่อน फिल्मสีอาจถูกใช้เป็นตัวขัดขวางเพื่อยับยั้งความชื้นและออกซิเจนมิให้เข้าถึงผิวโลหะ จึงสามารถป้องกันการเกิดสนิมได้ ดังนั้น สิ่งนำสีควรได้รับการคัดเลือกสำหรับการเกาะติด ความต้านทานต่อน้ำ และความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมได้อย่างดี ผงสีสามารถสนับสนุนการป้องกันการกัดกร่อน และเป็นส่วนสำคัญของสีรองพื้นต้านทานการกัดกร่อน (corrosion-resistant primer) ผงสีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

ก. เรดเลดหรือตะกั่วแดง (Red lead) เป็นผงสีสีแดงอมส้มที่ประกอบด้วย Pb_3O_4 คุณภาพขึ้นอยู่กับปริมาณของตะกั่วออกไซด์อิสระ (free 'PbO') ที่ปนอยู่ในโครงสร้าง และขนาดของอนุภาค ส่วนใหญ่นำมาใช้เป็นผงสีในสีรองพื้นกันการกัดกร่อนสำหรับใช้ทาเหล็ก

ข. เยลโลว์ไอร้อนอนออกไซด์หรือเหล็กออกไซด์เหลือง (Yellow iron oxide) มีความทนทานต่อแสง ไม่เกิดการคายสี ไม่เป็นพิษ มีกำลังซ่อนแสงสูง ทนทานต่อเคมีภัณฑ์ต่างๆ ได้ดี และไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา แต่มีความสามารถในการรักษาความเงาต่ำ (poor gloss retention)

ค. ผงอะลูมิเนียม (Aluminium powder) เป็นผงสีที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมเคลือบผิว และมีผลิตขาย 2 แบบ คือ แบบแผ่นบาง (leafing) และแบบไม่เป็นแผ่น (non-leafing) ซึ่งอาจอยู่ในลักษณะเป็นผงแห้งหรือเป็นสารข้น (paste) อยู่ในตัวทำละลายเฉื่อย ซึ่งโดยมากใช้ไวท์สปีริต ผงอะลูมิเนียมแบบแผ่น ประกอบด้วยอนุภาคบาง ๆ แบบแผ่นแบน (laminar) ซึ่งมีความโน้มเอียงที่จะลอยขึ้นไปผิวหน้าของฟิล์มของสีขณะที่เปียก และจัดตัวเองขนานกับผิวหน้านั้น แล้วอนุภาคเหล่านี้จะทับกันอยู่ในลักษณะของเกล็ดปลา ฟิล์มจึงมีสมบัติของโลหะ และสามารถป้องกันความชื้น แสงสว่าง และอากาศได้ดี จึงนิยมใช้กันมากในระบบกันการกัดกร่อน เช่น ใช้ทาถังน้ำมันและสะพานต่าง ๆ ใช้เป็นทั้งสีชั้นล่างและสีทับหน้าในการทา

ง. บรอนซ์ (Bronze powder) ประกอบด้วยเกล็ดบาง ๆ ของโลหะผสมระหว่างสังกะสี และทองแดง เมื่อปริมาณของสังกะสีเพิ่มขึ้น สีจะเปลี่ยนจาก pale gold (10% Zn) เป็น rich gold (20% Zn) และเป็น green gold (30% Zn) โดยการหลอมผงบรอนซ์ในกะทะ

เปิด และเติมสีย้อมลงไป ก็จะสามารถเตรียมผงสีเจดต่าง ๆ กันได้มาก ผงบรอนซ์ เตรียมได้โดยวิธีเดียวกับการเตรียมผงอะลูมิเนียมแบบแผ่นบาง แต่เนื่องจากผงบรอนซ์หนักกว่า จึงมีสมบัติการเกิดเป็นแผ่นบางต่ำกว่า มักใช้ในการทำสีทาภายใน เนื่องจากไม่ทนทานต่อสภาพลมฟ้าอากาศ และสีจะคล้ำเมื่ออยู่ภายนอก

จ. ซิงค์หรือสังกะสี (Zinc dust) ถ้าเอาโลหะสังกะสีไปประเหยในบรรยากาศเฉื่อยและทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว จะได้ผงสังกะสีเป็นผงสีเทา ประกอบด้วยอนุภาคแบบกลม ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 ไมโครเมตร แต่อาจเตรียมให้มีขนาดละเอียดลงถึง 2 ไมโครเมตรได้ ผงสังกะสีที่เตรียมได้ใหม่จะมีปริมาณสังกะสีอย่างน้อย 94% ส่วนที่เหลือคือออกไซด์ของสังกะสี ซึ่งมีปริมาณสูงสุด 6% ผงสังกะสีนิยมใช้ในการทำสีรองพื้นกันการกัดกร่อน

นอกจากนี้ยังมีผงสีอื่น ๆ ได้แก่ โครเมตออฟเลด (chromate of lead) บลูเลดหรือตะกั่วน้ำเงิน (blue lead) ซิงค์โครเมตหรือสังกะสีโครเมต (zinc chromate) และทองคำ

2.1.4 ผงสีชนิดให้สี เป็นผงสีที่ให้สีชนิดต่าง ๆ นอกจากสีขาว ปกติจะใช้ผสมกับผงสีขาว แต่ก็สามารถใช้เดี่ยว ๆ ได้เช่นกัน จำแนกเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 4 กลุ่ม ดังนี้

ก. ดินสี (Earth pigment) เกิดขึ้นจากการทับถมตามธรรมชาติ ได้จากเหมืองเหมือนแร่ชนิดอื่น ได้แก่ ดินสีเหลือง (ochre) เรดไอรอนออกไซด์ (red iron oxide) เซียนนา (sienna) และอัมเบอร์ (umber) มีสมบัติค่อนข้างคงตัว ไม่มีผลกระทบจากการรด ความร้อน ความชื้น และสิ่งนำสีส่วนใหญ่

ไอรอนออกไซด์ เป็นดินสีที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง โดยใช้ผสมกับอะลูมินา (alumina) ซิลิกา สารประกอบแคลเซียม (calcium compound) สารประกอบแมกนีเซียม (magnesium compound) สารประกอบแมงกานีส (manganese compound) และน้ำ ผงสีชนิดนี้มีตั้งแต่สีเหลือง ถึงแดง น้ำตาลแดง หรือน้ำตาล ถึงดำ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบออกไซด์ที่ผสม ส่วนใหญ่ผงสีชนิดไอรอนออกไซด์ที่ใช้ในปัจจุบันได้จากการสังเคราะห์ ซึ่งโดยทั่วไปจะดีกว่าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ แต่ยังไม่สามารถทดแทนเซียนนาและอัมเบอร์ได้ สำหรับเซียนนาและอัมเบอร์มีทั้งแบบดิบและแบบเผา โดยดินเหลืองหรือเซียนนาดิบ (raw sienna) จะให้สีไอวอรี (ivory colour) อัมเบอร์เผา (burnt umber) จะให้สีน้ำตาลอ่อน สีชมพูเป็นผลมาจากออกไซด์แดง (red oxide) และเซียนนาเผา (burnt sienna) จะให้สีเนื้อ (flesh colour) ซึ่งเมื่อนำมาใช้ผสมจะทำให้สีจางลง

ข. ผงสีจากการตกตะกอน (Precipitated pigment) จากธรรมชาติมีทั้งชนิดอินทรีย์ เช่น โทลูยดีนเรด (toluidine red) ฟทาโลไซยานีนบลู (phthalocyanine blue) และกรีน (green) และชนิดอนินทรีย์ เช่น โครมเยลโลว์ (chrome yellow) และไอร์ออนบลู (iron blue) เป็นต้น

ค. ผงสีจากกระบวนการเผา (Fire process pigment) ได้จากการหลอมหรือการเผาจนเป็นเถ้าในเตาหลอม เช่น อัลตรามารีนบลู (ultramarine blue) โครเมียมออกไซด์ (chromium oxide) อัมเบอร์เฝ้า และเชียนนา หรือเถ้ากระดูกสัตว์ (animal or bone black) เป็นต้น

ง. ผงสีจากกระบวนการเกิดควัน (Fume process pigment) ใช้กันอย่างกว้างขวางมากที่สุดกับสีใช้ภายในและสีเคลือบ ได้แก่ แลมป์แบล็ก (lamp black) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นประโยชน์ต่อทั้งคุณภาพและความแรงในการแต่งสี และคาร์บอนแบล็ก (carbon black) ซึ่งอยู่ในหลายรูป จะถูกนำไปใช้ทั้งในอุตสาหกรรมผลิตสีและหมึกพิมพ์

ผงสีชนิดนี้ที่นิยมใช้โดยทั่วไป ได้แก่ แฮนซาเยลโลว์ (hansa yellow) ทรานสพาเรนต์ เยลโลว์เลก (transparent yellow lake) บลูโทนเนอร์ (blue toner) กรีนเลก (green lake) โทลูยดีนเรด พาราเรด (para red) ลิทอลเรด (lithol red) บอดีออสเลก (bordeaux lake) แมดเดอร์เลก (madder lake) และโอเพคมารูน (opaque maroon)

ตารางที่ 3 ผงสีชนิดสารอนินทรีย์

สี	ผงสี
สีขาว (white)	ไททาเนียมไดออกไซด์ ไททาเนียมแคลเซียม ตะกั่วขาว ซิงค์ออกไซด์ เลดเดดซิงค์ออกไซด์ เบสิกเลดซิลิเกต ซิงค์ซัลไฟด์ ลิโทโฟน แอนติโมนีออกไซด์
สีน้ำเงิน (blue)	โคบอลต์บลู อัลตรามารีนบลู ไอร์ออนบลู ฟทาโลไซยานีนบลู
สีเขียว (green)	โครมกรีน ฟทาโลไซยานีนกรีน โครเมียมออกไซด์กรีน โครเมียมไฮดรอกไซด์กรีน
สีเหลือง (yellow)	โครมเยลโลว์ แคดเมียมเยลโลว์ แฮนชาเยลโลว์ ซิงค์เยลโลว์
สีส้ม (orange)	ส่วนผสมของสีเหลืองของโครมเยลโลว์กับผงสีแดงของตะกั่วโครเมต
สีน้ำตาล (brown)	ดินดิบอัมเบอร์ ดินเผาเซียนนา คอปเปอร์ออกไซด์
สีแดง (red)	เมอร์แคเดียมเรด ทัสแคนเรด พาราเรด โทลูยดินเรด แมดเดอร์เลก อะลิซาริน ลิทอลเรด
สีดำ (black)	แลมป์แบล็ก คาร์บอนแบล็ก โบนแบล็ก กราไฟต์

ที่มา: ประณต (2552)

2.2 สีนำสี หรือสารยึด (Binder)

มีความสำคัญเท่าเทียมกับผงสี ทำหน้าที่ยึดประสานอนุภาคของสารประกอบในสีเข้าไว้ด้วยกัน ให้เกิดเป็นฟิล์มของสีติดแน่นกับพื้นผิวที่ถูกเคลือบ ซึ่งอาจเป็นของเหลว เช่น น้ำมัน หรือเป็นเรซินแข็ง เช่น อีพอกซีเรซิน และทำให้เป็นของไหลด้วยตัวทำละลาย สีนำสีจะช่วยสนับสนุนให้เกิดฟิล์มสีที่ดี โดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนประกอบทั้งชนิดระเหยได้ และชนิดไม่ระเหยตัว

ชนิดระเหยตัวได้หรือส่วนที่เป็นตัวทำละลายของสีนำสี จะช่วยอำนวยความสะดวกต่อการใช้งาน และการแห้งตัวของสี สีนำสีที่ดีจะไม่ทิ้งรอยหรือคราบไว้บนฟิล์มสีแต่ให้ความทนทานของฟิล์มสีค่อนข้างต่ำ ชนิดไม่ระเหยตัว คือส่วนที่ทำหน้าที่เป็นสารยึด ซึ่งนอกจากจะยึดผงสีเข้าด้วยกันแล้ว ยังทำหน้าที่ในการนำฟิล์มสีเกาะยึดเข้ากับพื้นผิวที่ทาหรือพ่น ปกป้องฟิล์มสี เพราะให้ความทนทานของฟิล์มสีสูงกว่าชนิดระเหยตัวได้

สิ่งนำสีหรือสารย้อม มีทั้งชนิดที่เป็นน้ำมัน และเรซิน ซึ่งมีทั้งเรซินธรรมชาติ (natural resin) และเรซินสังเคราะห์ (synthetic resin)

2.2.1 น้ำมัน ที่ใช้เป็นสิ่งนำสี มีดังนี้

ก. น้ำมันลินสีด (Linseed oil) เป็นน้ำมันที่ได้จากการบดเมล็ดของต้นแฟลกซ์ (flax plant) ซึ่งปลูกมากในประเทศสหรัฐอเมริกา และทางเหนือของประเทศไทยที่มีอากาศหนาวเย็น มีทั้งชนิดดิบ (raw oil) และชนิดต้ม (boiled oil) สำหรับชนิดดิบ เมื่อนำมาใช้ต้องเติมสารเร่งแห้งลงไปด้วย เพื่อให้สีแห้งตัวเร็วขึ้น ส่วนชนิดต้มไม่ต้องเติมสารเร่งแห้ง เพราะได้มีการขจัดไขออกจากน้ำมันขณะทำการต้ม ทั้งยังมีการเติมสารเคมีบางชนิดลงไปอีกด้วย น้ำมันชนิดนี้เมื่อรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศ จะทำให้ฟิล์มสีกลายเป็นแผ่นแข็ง มีความทนแรงดี แต่จะออกสีเหลืองเมื่อใช้เป็นสีใ้ภายใน จึงไม่เป็นที่นิยมในกรณีที่ต้องการทาสีอ่อน และสีจะซีดเมื่อถูกแสงแดด จึงไม่นิยมใช้กับสีใ้ภายนอก

ข. น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean oil) เป็นวัสดุสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตสี ได้มาจากการบดเมล็ดถั่วเหลือง แอลซิดเรซินที่ทำจากน้ำมันชนิดนี้ จะทำให้การแห้งตัวดีและรักษาสีได้อย่างดีเลิศ นิยมใช้กับสีใ้ภายใน สีเคลือบ สีเคลือบอุตสาหกรรม และสีซ่อม นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้แทนน้ำมันลินสีดในสีใ้ภายนอก

ค. น้ำมันทอลล์ (Tall oil) เป็นส่วนผสมของชันสน (rosin) และกรดน้ำมัน (oil acid) ที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตซัลเฟต (sulfate process) จากการผลิตกระดาษ น้ำมันชนิดนี้ใช้มากในการผลิตแอลซิดเรซิน และในอุตสาหกรรมการผลิตหมึกพิมพ์

ง. น้ำมันทังหรือน้ำมันไชนาวูด (Tung or china wood oil) เป็นน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดของต้นทัง ซึ่งปลูกมากทางภาคใต้ของประเทศไทย น้ำมันชนิดนี้มีสีเหลืองอ่อน ให้ความแข็งแรง และความเงาดี แห้งเร็วมาก และมีความทนทานต่อน้ำเค็ม ต่าง และลมฟ้าอากาศได้เป็นอย่างดี จึงนิยมใช้ทั้งกับสีใ้ภายในและสีใ้ภายนอก เมื่อต้องการให้แห้งเร็วและมีความทนทานดี เช่น สีทาคอนกรีต สีทาเรือ สีทากระเบื้อง หรือดาตฟ้าเรือ ใช้กับวาร์นิชหรือน้ำมันเคลือบสีชนิดแห้งเร็ว แต่ถ้าใช้ในปริมาณมากจะทำให้สีย่น

จ. น้ำมันละหุ่งชนิดระเหยน้ำ (Dehydrated castor oil) เป็นน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดละหุ่งชนิดระเหยน้ำ น้ำมันชนิดนี้แห้งเร็วกว่าน้ำมันลินสีดแต่ช้ากว่าน้ำมันทัง ให้ความทน

แรงดีเมื่อถูกนำมาใช้กับวาร์นิชและเรซิน ลักษณะเป็นน้ำมันสีขาว ให้สีดีกว่าน้ำมันลินสีดและน้ำมันทัง จึงเหมาะใช้กับสีได้หลายชนิด นิยมใช้เช่นเดียวกันกับน้ำมันลินสีดและน้ำมันทัง

ฉ. น้ำมันเพอร์ริลา (Perilla oil) เป็นน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดของต้นเพอร์ริลา โอซิโมยด์ (perilla ocymoid) ซึ่งปลูกมากในประเทศจีน และญี่ปุ่น น้ำมันชนิดนี้จะออกสีเหลืองทอง แห้งเร็ว ถูกนำมาใช้แทนน้ำมันลินสีดในสีใช้ภายใน นิยมใช้กันมากกับผลิตภัณฑ์สีในปัจจุบัน

ช. น้ำมันโออิทิกิกา (Oiticica oil) เป็นน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดโออิทิกิกา ซึ่งพบมากในประเทศบราซิล มีสมบัติเหมือนน้ำมันทัง แต่ทนทานต่อน้ำและด่างน้อยกว่า แห้งช้ากว่า และฟิล์มสีจะเปราะกว่า แต่ดีกว่าน้ำมันลินสีด น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันปลา ความหนืดจะอยู่ระหว่างน้ำมันทังกับน้ำมันละหุ่ง ถูกนำมาใช้แทนน้ำมันทัง ในวาร์นิชชนิดแห้งเร็ว สีเคลือบและสีย่น น้ำมันชนิดนี้จะให้ความเรียบและความเงาสวย

ซ. น้ำมันปลา (Fish oil) เป็นน้ำมันที่สกัดจากสัตว์เพียงชนิดเดียวที่ใช้ในอุตสาหกรรมสีและวาร์นิช ปลาที่นำมาสกัดเอาน้ำมัน ได้แก่ ปลาซาร์ดีน (sardine) ปลาเมนแฮเดน (menhaden) ที่ได้จากมหาสมุทรแอตแลนติก และปลาพิลชาร์ด (pilchard) จากฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิก น้ำมันชนิดนี้แห้งช้า ความทนทานต่อน้ำ กรดและด่างต่ำ จึงไม่นิยมนำมาใช้ลำพัง โดยเฉพาะกับสีใช้ภายนอก เนื่องจากมีราคาถูกจึงนิยมใช้เป็นตัวผสมเพิ่มสีชนิดอื่นที่มีราคาแพง

ณ. น้ำมันแซฟฟลาวเวอร์ (Safflower oil) เป็นน้ำมันที่สกัดจากเมล็ดของต้นธีสเติลไลค์ (thistlelike) ที่ปลูกมากในประเทศอียิปต์ อินเดีย และสหรัฐอเมริกา สมบัติเหมือนน้ำมันถั่วเหลือง แต่แห้งเร็วกว่า ลักษณะพิเศษของสีที่ผสมน้ำมันชนิดนี้จะอยู่ระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับน้ำมันลินสีด และมีแนวโน้มการยอมรับว่ามีความสำคัญต่อการผลิตสีมากขึ้น

2.2.2 เรซิน หมายถึง สารที่ได้มาจากพืช หรือจากการสังเคราะห์ มีทั้งชนิดแข็งกึ่งแข็ง ทั้งชนิดโปร่งใสและโปร่งแสง ซึ่งจะละลายตัวได้ในน้ำมันแห้งเอง หรือตัวทำละลายเมื่อร้อน เรซินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของสีน้ำมัน วาร์นิช และแล็กเกอร์ เพราะช่วยในการแข็งตัวของแผ่นฟิล์ม การเพิ่มความต้านทานต่อการเสียดสีหรือน้ำมันเคลือบใส การปรับปรุงเวลาในการแห้งตัว การปรับปรุงและรักษาความเงา การปรับปรุงการเกาะยึดผิวงาน และความต้านทานต่อสารเคมี หรือเพื่อให้ได้สมบัติเฉพาะตามที่ต้องการ เรซินจำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ

ก. เรซินธรรมชาติ เป็นเรซินที่เกิดจากกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ โคแพลเรซิน (copal resin) แดมมาร์เรซิน (dammar resin) มานิลาเรซิน (manila resin) ชันสน และเชลแล็ก (shellac)

ข. เรซินสังเคราะห์ ผลิตได้จากการสังเคราะห์ ได้แก่ เอสเทอร์กัม (ester gum) โคแพลเอสเทอร์ (copal ester) เพนตะคริโธลเรซิน (pentacrythritol resin) จิลโซไนต์ (gilsonite) ฟีนอลิกเรซิน (phenolic resin) มาลิกเรซิน (maleic resin) และคูมาโรน-อินดีนเรซิน (coumarone-indene resin) แอลซีตเรซิน ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (urea-formaldehyde resin) หรืออีพอกซีเรซิน คลอรีเนตเตดรีบเบอร์ (chlorinated rubber) ไวนิลเรซิน (vinyl resin) ซิลิโคนเรซิน (silicone resin) อะคริลิกเรซิน ไฮโดรคาร์บอนเรซิน (hydrocarbon resin) และ สไตรีน-บิวทาไดเ็นเรซิน (styrene-butadiene resin)

2.3 ตัวทำละลาย (Solvent) และทินเนอร์ (Thinner)

หมายถึง ของเหลวที่ระเหยได้ที่ใช้ในการใช้ในการปรับความหนืดของสี หรือน้ำมันเคลือบสี เพื่อให้เหมาะสมต่อการผลิต หรือสะดวกต่อการนำไปใช้งาน ไม่ว่าเป็นการทำหรือพ่นตัวทำละลายและทินเนอร์มีผลต่อการก่อตัวของฟิล์มสี ความชื้นเหลว ความเรียบ การแห้งตัว การเกาะยึดผิวอย่างสม่ำเสมอ และความคงทนของวัสดุที่ทำหรือพ่น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ อย่างระมัดระวัง และผสมตามความต้องการของวัสดุทำหรือพ่นที่แตกต่างกัน และตามชนิดของเรซินและน้ำมันแห้งเองที่ผสมอยู่ ตัวทำละลายและทินเนอร์ที่นิยมใช้ ได้แก่ น้ำมันสน ทั้งชนิดเทอร์เพนไทน์ (turpentine) ไดเพนไทน์ (dipentene) และน้ำมันสน (pine oil) บีโตรเลียมสปิริต (petroleum spirit) แนฟทา (naphtha) มินอรัลสปิริต (mineral spirit) ไวต์สปิริต (white spirit) น้ำมันก๊าด (kerosene) เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) และเมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol)

สำหรับตัวทำละลายที่ใช้เจือจางแล็กเกอร์ ได้แก่ โทลูออลหรือโทลูอีน (toluol or toluene) ไซลอลหรือไซลีน (xylol or xylene) เบนโซลหรือเบนซีน (benzol or benzene) แอซีโตน (acetone) เอทิลแอซีเตต (ethyl acetate) และเอมีลแอซีเตต (amyl acetate) หรือน้ำมันกล้วย (banana oil)

หมายเหตุ : น้ำมันก๊าด น้ำมันเบนซีน หรือน้ำมันใด ๆ ที่ใช้สำหรับทำความสะอาด ไม่ควรนำมาใช้เจือจางสีแทนทินเนอร์ เนื่องจากน้ำมันก๊าดจะมีอัตราการแห้งตัวที่ช้ามาก และจะเหลือคราบน้ำมันทิ้งไว้ ส่วนน้ำมันเบนซีนจะมีอัตราการแห้งตัวที่เร็วมาก ไวไฟ และเป็นอันตราย

ต่อฟิล์มสี ส่วนน้ำมันทำความสะอาดชนิดอื่น ๆ ก็มีอัตราการแห้งตัวเร็วเกินกว่าที่สีจะก่อตัวได้ทัน ทำให้ยากต่อการแผ่หรือกระจายเนื้อสีออกไป อย่างไรก็ตาม การเติมทินเนอร์ในปริมาณมากเกินไป ก็จะทำให้ความเงาของฟิล์มสีลดลงได้เช่นกัน

นอกจากผงสี สิ่งนำสี และตัวทำละลายแล้ว สียังอาจประกอบด้วยสารเติมแต่งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของสี เช่น สารกันเชื้อรา สารเพิ่มความหนา ซึ่งรวมถึงสารเร่งแห้ง (drier) และสารทำปฏิกิริยาผิว (surface active agent) ชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

2.4 สารเร่งแห้ง

จะทำหน้าที่ช่วยเร่งการแห้งตัวของน้ำมัน สารยึด หรือสิ่งนำสี และวาร์นิช ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสบู่โลหะ (metallic soap) เพื่อที่จะละลายและกระจายตัวได้ดีภายในเนื้อสีและวาร์นิช การทำปฏิกิริยาดังกล่าวจะกระทำไปอย่างต่อเนื่องตลอดอายุของสีหรือวาร์นิช ดังนั้นในการเติมสารเร่งแห้งจึงต้องมีสัดส่วนพอดี เพื่อให้ฟิล์มของสีหรือวาร์นิชแข็งตัวเร็ว พอที่จะป้องกันอันตรายจากฝุ่น หรือการสัมผัส และจะต้องไม่ทำให้สารยึดหรือสิ่งนำสีเสียหายเร็วเกินไป การเติมสารเร่งแห้งในปริมาณที่มากเกินไปอาจทำให้แผ่นฟิล์มของสีแตกร้าวได้ สารเร่งแห้งเหล่านี้ ได้แก่ โคบอลต์ (cobalt) แมงกานีส (manganese) ตะกั่ว (lead) แคลเซียม (calcium) เหล็ก (iron) สังกะสี (zinc) และแฉแปน (japan) ซึ่งเป็นส่วนผสมของโลหะหลายชนิด เช่น แมงกานีสกับตะกั่ว หรือโคบอลต์กับตะกั่วและแมงกานีส เป็นต้น

ปัจจุบันเนื่องจากพบว่าสารตะกั่วเป็นสารที่มีพิษ จึงหันมาใช้สารชนิดอื่นแทน ได้แก่ เซอร์โคเนียม (zirconium) และซีเรียม (cerium)

นอกจากนี้ สถานที่ทำงานควรจัดให้มีระบบการถ่ายเทอากาศที่ดี เนื่องจากอุณหภูมิและการเคลื่อนตัวของอากาศ จะทำให้สีหรือวัสดุทาแห้งเร็วยิ่งขึ้น เพราะการเติมออกซิเจนและการระเหยตัวของสีหรือวัสดุที่ทา เป็นกระบวนการทางเคมีที่เพิ่มเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มของอุณหภูมิที่อยู่โดยรอบ

2.5 กระบวนการผลิตสี การผลิตสีในเชิงอุตสาหกรรม มีขั้นตอนดังนี้ (อรอุษา, 2537)

2.5.1 การผสม (Premixing) เป็นการนำผงสีและส่วนประกอบที่เป็นของเหลวประเภทสารยึด ตัวทำละลาย หรือตัวกลางบางส่วน ผสมเข้าด้วยกัน

2.5.2 การบด (Grinding) เป็นการทำให้อนุภาคของผงสีมีขนาดเล็กลงตามต้องการ ซึ่งจะเป็นผลให้ผงสีเกิดการเปียกและกระจายตัวได้ดี ในขั้นตอนนี้อาจมีการเติมส่วนประกอบที่เป็นของเหลวที่เหลือนลงไปอีกหรือไม่ก็ได้

2.5.3 การปรับความข้นเหลว (Adjustment of consistency) โดยการเติมสารยืดยืด สารเติมแต่ง และตัวทำละลายที่เหลือนลงไป

2.5.4 เทียบสีของผลิตภัณฑ์ให้ได้ตรงตามสีมาตรฐาน การเทียบสีนี้ในอังกฤษใช้คำว่า tinting ส่วนในสหรัฐอเมริกา ใช้คำว่า shading

2.5.5 ควบคุมคุณภาพ (Quality control) ให้สีมีสมบัติตรงตามมาตรฐานระบุ

2.5.6 บรรจุ (Filling) ในภาชนะหรือกระป๋องที่มีขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ

3. ประเภทของสี

การศึกษาสมบัติของสารแต่ละชนิดก่อนที่จะนำไปใช้งาน สามารถเป็นแนวทางในการเลือกใช้สีได้อย่างถูกต้องตามความต้องการ

3.1 สีฐานน้ำมัน (Oil-base paint)

สีชนิดนี้บางครั้งเรียกว่า สีทาบ้าน (house paint) นิยมใช้เป็นสีทาภายนอก (exterior paint) เป็นสีที่ใช้ไขมันไม่อิ่มตัวหรือน้ำมันแห้งเอง (unsaturated or drying oil) หรือน้ำมันวานิช (varnish oil) เป็นองค์ประกอบสำคัญ ไขมันไม่อิ่มตัวหรือน้ำมันแห้งเองที่ใช้ในสารยืดยืด ได้แก่ น้ำมันลินสีด น้ำมันทัง น้ำมันปลา น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันละหุ่งชนิดระเหยน้ำ การแห้งตัวของแผ่นฟิล์มสีชนิดนี้ จะขึ้นอยู่กับอัตราการระเหยของตัวทำละลาย และปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนในอากาศกับเนื้อสี

สารยืดยืดในสีอาจประกอบด้วยไขมันแห้งเองเพียงอย่างเดียว หรือเป็นส่วนผสมระหว่างไขมันแห้งเองกับเรซินธรรมชาติหรือเรซินสังเคราะห์ สารเร่งแห้งชนิดโลหะจะถูกเติมเข้าไปเพื่อเพิ่มความเร็วในการแห้งตัวของสี ด้วยการช่วยเร่งปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนในอากาศกับเนื้อสี ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะเป็นไปอย่างช้า ๆ ดังนั้นหลังจากเคลือบสีแล้วควรปล่อยให้แห้งประมาณ 2 วัน เพื่อให้แห้งก่อนจะเคลือบในเที่ยวต่อไป

ตัวทำละลายและทินเนอร์สำหรับสีชนิดนี้ ได้แก่ มิเนอร์อัลสปีริต การใช้น้ำมันสนแทนในบางกรณีอาจจะทำให้สีมีสมบัติดีขึ้น และส่วนใหญ่จะมีการเติมน้ำมันลินสีดต้มลงในเนื้อสี เพื่อลดความเข้มข้นของเนื้อสีสำหรับการเคลือบผิวไม้ครั้งแรกเพื่อกันซึม

สีชนิดนี้มีสมบัติในการเกาะยึดพื้นผิวงานได้ดีมาก ยึดหยุ่นตัวได้ดี ใสน้ำและแก้สซึมผ่านได้ดีกว่าสีเรซินสังเคราะห์ ทนทานต่อลมฟ้าอากาศได้ดีมาก เหมาะใช้ทามกลางความชื้นไม่รุนแรง และไม่มีควันจากสารเคมี ต่าง และกรด ไม่เหมาะกับงานที่ต้องแช่อยู่ในน้ำ

สมบัติที่โดดเด่นของสีชนิดนี้ คือความสามารถต่อการทำให้ผิวที่เคลือบเปียก และการติดแน่นกับผิวเหล็ก ซึ่งสำคัญในกรณีที่ไม่สามารถขจัดสนิมออกจากพื้นผิวได้หมด จึงนิยมนำไปใช้เป็นสีรองพื้น นอกจากนั้นสมบัติในการซึมซาบของสียังทำให้เป็นสารยึดที่ดีในสีทาบ้านสำหรับใช้กับไม้ ที่เมื่อปราศจากการซึมซาบของสีบางส่วนแล้วจะทำให้สีพอง (blister) หรือล่อน (peel) ได้

ระยะเวลาการแห้งตัวของแผ่นฟิล์มสีประมาณ 30 ถึง 40 ชั่วโมง ซึ่งมีความสำคัญต่อการเคลือบสีหลายชั้น เนื่องจากจำเป็นต้องให้สีชั้นแรกแห้งสนิทก่อน ความหนาของแผ่นฟิล์มสีที่แห้งตัวแล้วเมื่อใช้ทามกลางบรรยากาศควรหนาประมาณ 4 ถึง 5 มิลลิเมตร

3.2 สีแอลคีด (Alkyd paint)

เป็นสีที่มีส่วนผสมของแอลคีดเรซิน อันเกิดจากการดและแอลกอฮอล์หลายชนิดทำปฏิกิริยากับน้ำมันแห้งเองซึ่งให้ความยืดหยุ่นต่อเรซิน การแห้งตัวจะเหมือนสีฐานน้ำมัน คือขึ้นกับการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ

สีชนิดนี้แห้งตัวเร็วกว่าสีฐานน้ำมัน เวลาในการแห้งตัวจะขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำมันที่ผสมอยู่ในเนื้อสี แต่มีความสามารถต่อการทำให้ผิวที่เคลือบเปียกได้น้อย โดยเฉพาะผิวเหล็ก จึงต้องการการเตรียมพื้นผิวที่ดี

สมบัติที่โดดเด่นของสีชนิดนี้ คือ มีความต้านทานต่อลมฟ้าอากาศได้ดี มีความคงเงาดี ทนทาน และเสถียรต่อแสง ค่อนข้างมีความต้านทานต่อน้ำ (ความชื้น) และต่างสูงกว่าสีฐานน้ำมัน นิยมใช้กับงานโลหะและงานไม้มากกว่าสีชนิดใด ๆ ถูกใช้เป็นสีทับหน้าในงานอุตสาหกรรมสำหรับการป้องกันผิวเหล็กมิให้เกิดการกัดกร่อน และใช้เป็นสีเอนกประสงค์สำหรับ

งานโลหะและงานไม้ที่อยู่ท่ามกลางลมฟ้าอากาศ แต่ไม่แนะนำให้ใช้กับงานที่อยู่ท่ามกลางควันที่เกิดจากสารเคมี หรืองานที่ต้องแช่อยู่ในน้ำ

ตัวทำละลายสำหรับการทำความสะอาดและทินเนอร์ที่เหมาะสม จะเหมือนกับสีฐานน้ำมัน เช่น มิเนอร์ลสปิริต แนฟทา หรือน้ำมันสน แต่ถ้าเติมโทลูอีนเข้ากับมิเนอร์ลสปิริต ประมาณ 10 - 20% จะช่วยให้การเจือจางและการทำความสะอาดดีขึ้น

ระยะเวลาการแห้งตัวของแผ่นฟิล์มสีประมาณ 15 ถึง 25 ชั่วโมง ความหนาของแผ่นฟิล์มสีที่แห้งตัวแล้วเมื่อใช้ท่ามกลางบรรยากาศควรหนาประมาณ 4 ถึง 5 มิลลิเมตร

3.3 สีฟีนอลิกวารนิช (Phenolic varnish paint)

เป็นสีน้ำมันแห้งเอง เป็นสีเรซินสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันมาก การแห้งตัวโดยการระเหยของตัวทำละลาย และจากการดูดซับออกซิเจนจากอากาศ มีสมบัติต้านทานต่อน้ำและสารเคมีได้ดีกว่าสีฐานน้ำมันและสีแอลซิด แต่ทนต่อแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ต่ำกว่าเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อใช้ไปนาน ๆ สีจะคล้ำเล็กน้อย และเนื้อสีแตกเป็นฝุ่นเร็ว เหมาะกับการใช้ท่ามกลางบรรยากาศที่มีการกัดกร่อน มีความชื้น ควันกัดกร่อน (corrosive fume) มักใช้กับเรือเดินทะเล เป็นสีแห้งเร็ว ซึ่งระยะเวลาการแห้งตัวของแผ่นฟิล์มสีจะขึ้นกับปริมาณของน้ำมันแห้งเองที่อยู่ในเนื้อสี

ตัวทำละลายสำหรับทำความสะอาดและทินเนอร์ที่เหมาะสม คือ มิเนอร์ลสปิริต หรือทินเนอร์สำหรับสีเคลือบ (enamel thinner) ที่เติมตัวทำละลายที่มีกลิ่นหอม (aromatics solvent) ได้แก่ โทลูอีน และไซลีน เพื่อปรับปรุงการละลายของตัวทำละลาย

ระยะเวลาการแห้งตัวของแผ่นฟิล์มสีประมาณ 10 ถึง 15 ชั่วโมง ความหนาของแผ่นฟิล์มสีที่แห้งตัวแล้วเมื่อใช้ท่ามกลางบรรยากาศควรหนาประมาณ 5 ถึง 6 มิลลิเมตร แต่ถ้าเป็นงานที่ต้องแช่อยู่ในน้ำควรให้หนาประมาณ 8 ถึง 10 มิลลิเมตร

3.4 สีอีพอกซีเอสเตอร์ (Epoxy ester paint)

มีเรซินเป็นส่วนประกอบสำคัญ คือเรซินที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอีพิคลอโรไฮดริน (epichlorohydrin) กับบิสฟีนอลเอ (bisphenol-A) จากนั้นทำปฏิกิริยากับน้ำมันแห้งเองหรือกรดไขมัน เช่น น้ำมันลินสีด เกิดเป็นอีพอกซีเอสเตอร์

สีชนิดนี้มีสมบัติต้านทานต่อควันที่เกิดจากสารเคมีและบรรยากาศที่มีความเค็มได้ดี ต้านทานการกัดกร่อน น้ำมัน และความชื้นดีมาก มีการละลายของตัวทำละลายต่ำ จึงสามารถเคลือบทับไปบนสีเดิมได้โดยไม่ทำให้สีฟองหรือย่น แต่ความคงเงาจะต่ำกว่าสีแอลคีดและสีฟีนอลิกวาร์นิช นิยมใช้เป็นสีสำหรับการบำรุงรักษาในโรงงานอุตสาหกรรม แต่ไม่เหมาะกับงานที่ต้องแช่อยู่ในน้ำ หรือต้องสัมผัสกับกรดหรือด่างตลอดเวลา

ตัวทำละลายสำหรับทำความสะอาดและทินเนอร์ที่เหมาะสมเหมือนกับสีฟีนอลิกวาร์นิชทุกประการ

3.5 สีไวนิลและสีไวนิลอะคริลิก (Vinyl and Vinyl-acrylic paint)

สีชนิดนี้ใช้เรซินที่ผ่านการบ่มแล้วเป็นองค์ประกอบของสารยึด จึงทำให้เรซินมีความเหนียวและยึดหยุ่นตัวดี จึงไม่ต้องเติมพลาสติกไซเซอร์ เป็นสีที่อึดตัว และการรวมตัวของโมเลกุลเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ แผ่นฟิล์มสีจึงแห้งตัวได้เองโดยการระเหยของตัวทำละลาย

สีประเภทนี้มีความคงทนและต้านทานต่อการด่าง สารเคมี และน้ำเค็มได้อย่างดีเลิศ มีความต้านทานต่อน้ำมันหล่อลื่นและไขมัน และไม่สนับสนุนการเกิดติดไฟ แต่มีการเกาะติดผิวไม่ดี เว้นแต่จะใช้สีรองพื้น เช่น สีรองพื้นกัดผิวไวนิลบิวทีรัล (vinyl-butyl wash primer) หรือสีรองพื้นแอลคีด (alkyd primer) เป็นสีที่มีความต้านทานต่อความร้อนต่ำ จึงทำให้กลับมละลายในตัวทำละลายเดิมได้อีก สีชนิดนี้มีของแข็งผสมอยู่น้อยมากจึงได้ชั้นเคลือบที่บาง ทำให้ต้องเคลือบหลายชั้น แต่เนื่องจากเป็นสีที่แห้งเร็ว จึงสามารถเคลือบทับได้ภายใน 2 ชั่วโมง

สีชนิดนี้ถูกนำไปใช้มากในการเคลือบเครื่องมือเครื่องใช้ในเรือเดินทะเล ส่วนสีชนิดที่มีส่วนผสมของอะคริลิกเรซิน จะทำให้การเคลือบด้วยแปรงมีประสิทธิภาพดีขึ้น และความคงเงาได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นด้วย แต่ความต้านทานสารเคมีจะลดลง ซึ่งถูกนำไปใช้เป็นสีภายนอกในบรรยากาศที่มีความชื้น

3.6 สีซิลิโคนและสีซิลิโคนแอลคีด (Silicone and Silicone-alkyd paint)

สีชนิดนี้ใช้เรซินที่ผ่านการบ่มแล้วเป็นองค์ประกอบของสารยึด ได้แก่ ซิลิโคนเรซิน สีซิลิโคนผงสีอะลูมิเนียม (aluminium-pigmented silicone paints) ทำงานได้ดีในอุณหภูมิสูงถึง 1,000 °F ถูกนำไปใช้มากกับหม้อพักท่อไอเสีย ปล่องไฟ และพื้นผิวที่ต้องได้รับความร้อนในลักษณะเดียวกัน

ในการเคลือบ ควรเคลือบ 2 ชั้น และหลังเคลือบครั้งแรกให้บ่มด้วยความร้อน สำหรับสีรองพื้นที่ใช้ คือ สีรองพื้นซิงค์ซิลิเกต (zinc silicate primer) ส่วนตัวทำละลายและทินเนอร์ที่เหมาะสม ได้แก่ โทลูอีน ไซลีน และทินเนอร์สำหรับสีเคลือบ

3.7 สีฐานน้ำ (Water-base paint)

ในขั้นแรกพัฒนาเพื่อใช้เป็นสีทาภายในบ้านสำหรับพื้นผิวปูนพลาสเตอร์ (plaster) และยิปซัมบอร์ด (gyp-board) ประกอบด้วยสารยึดจำพวกสไตรีน (styrene) หรือสไตรีนบิวทาไดเอนต์ลาเท็กซ์ (styrene-butadiene latex) จึงเรียกว่า สีลาเท็กซ์หรือสีน้ำพลาสติก แบ่งได้ 2 กลุ่มคือ สีทาบ้านภายใน และภายนอก

มีสมบัติในการเกาะยึดผิวปูนพลาสเตอร์ ซีเมนต์ และไม้ได้อย่างดี ง่ายต่อการใช้งาน การทำความสะอาด แห้งเร็ว มีกลิ่นน้อย มีกำลังซ่อนผิวดี และไม่เป็นพิษ เนื่องจากตัวทำละลายที่ใช้คือน้ำ สามารถใช้เป็นชั้นเคลือบกับซีเมนต์หรือปูนพลาสเตอร์ เพื่ออุดพื้นผิวก่อนการเคลือบด้วยสีน้ำมันตัวเอง

ต้องเก็บรักษาในอุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้สีแข็งตัว ไม่ควรใช้กับงานที่ต้องแช่อยู่ในน้ำหรือฝังอยู่ในดินตลอดเวลา และไม่ควรรู้นในงานอุตสาหกรรม

ระยะเวลาการแห้งตัวของแผ่นฟิล์มสีประมาณ 5 ถึง 10 ชั่วโมง ความหนาของแผ่นฟิล์มสีที่แห้งตัวแล้วเมื่อใช้ทามกลางบรรยากาศควรหนาประมาณ 2 ถึง 4 มิลลิเมตร

3.8 สีเคลือบ (Enamel)

เป็นสีชนิดพิเศษ ได้จากการนำผงสีบดละเอียดผสมกับสิ่งนำสี ได้แก่ วาร์นิชหรือแล็กเกอร์ สิ่งนำสีสำหรับสีอ่อนต้องเป็นสีหม่น (pale) และไม่ขึ้นเหลือง (non-yellowing) ปัจจุบันมีทั้งชนิดเงาเต็ม (gloss) ชนิดกึ่งเงา (semi-gloss) และชนิดด้านหรือเงาเปลือกไข่ (flat or eggshell enamel) เพื่อให้เข้าได้กับทุกพื้นผิว

วัตถุประสงค์ของการใช้สีเคลือบ คือเพื่อให้ได้ผิวตกแต่งที่สวยงาม เรียบ แข็ง และมีอายุการใช้งานยาวนานเมื่อใช้เป็นสีภายใน และมีความต้านทานต่อลมฟ้าอากาศสูงเมื่อใช้เป็นสีภายนอก

สีเคลือบมักใช้เป็นสีแรกในการตกแต่ง ซึ่งใช้เคลือบทับบนสีชั้นล่าง เพื่อปกปิดรูพรุนต่าง ๆ บนผิวหน้าของวัตถุที่เคลือบ เพื่อให้สีเคลือบที่ใช้ทับหน้ายังคงอยู่บนพื้นผิว ใช้อุดพื้นผิวเพื่อต้านสารประกอบของหินปูนอิสระ และมีเนื้อสีอย่างเพียงพอที่จะป้องกันการแยกตัวของสีนำสีและผงสีจากการหลุด

3.9 สีรองพื้น (Primer)

หมายถึงสีที่ใช้เคลือบเป็นชั้นแรกบนพื้นผิวของวัสดุที่ไม่เคยเคลือบสีมาก่อน แต่ละชั้นของสีที่เคลือบตั้งแต่ชั้นแรก ชั้นถัดไป จนถึงชั้นสุดท้าย จะต้องเกาะติดกับพื้นผิวที่เคลือบ และเกาะติดกับสีที่เคลือบในชั้นถัดไปเป็นอย่างดี และจะต้องมีสารยึดเหนี่ยวอยู่อย่างเพียงพอสำหรับผงสี เพื่อให้จะได้สีที่ดี แข็ง เกาะติดดี สีจะต้องไม่เป็นน้ำมัน ไขมัน หรือคุณภาพคล้ายยางมากเกินไป

สีรองพื้นอาจประกอบด้วยวาร์นิช สีกันซึม แล็กเกอร์ ฯลฯ ขึ้นอยู่กับชนิดของงาน สีรองพื้นมีหลายชนิด ทั้งชนิดที่ใช้กับไม้ โลหะ และปูน-คอนกรีต การเคลือบสีรองพื้นอาจเคลือบมากกว่า 1 เที่ยวก็ได้

3.9.1 สีรองพื้นสำหรับงานไม้ ที่นิยมใช้ทั่วไป คือ

ก. สีรองพื้นไร้ตะกั่ว (Leadless primer) มีสมบัติในการต้านไฟ และต้านเชื้อรา ไม่เป็นพิษ ให้การปกป้องที่ดี เหมาะสำหรับงานไม้ทั้งที่ใช้ภายในและภายนอก และเนื่องจากเป็นสีแห้งเร็ว จึงเหมาะต่อการเคลือบด้วยวิธีพ่นหรือจุ่ม

ข. สีรองพื้นอะลูมิเนียม (Aluminium primer) มีอะลูมิเนียมผสมอยู่ ใช้เคลือบไปบนไม้ที่มียางมาก เพื่อป้องกันไม่ให้ยางซึมออกมา หรือเคลือบบนไม้ที่อบน้ำยาประเภทละลายในน้ำมัน แบ่งเป็น 2 ชนิดย่อย ได้แก่ ชนิดแผ่นบาง (leafing) และชนิดไม่เป็นแผ่น (non-leafing)

ค. สีรองพื้นอิมัลชัน (Emulsion primer) ใช้กับไม้เนื้ออ่อน สีรองพื้นอะคริลิกอิมัลชันเป็นสีที่ไม่เป็นพิษ มีความยืดหยุ่น และเกาะติดกับผิวไม้ได้ดี แห้งตัวได้ช้าที่อุณหภูมิต่ำและความชื้นสูง

3.9.2 สีรองพื้นสำหรับงานเหล็ก เหล็กกล้า และโลหะนอกกลุ่มเหล็ก

เป็นการเคลือบผิวโลหะ เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะเกิดการกัดกร่อนหรือเป็นสนิมจากการสัมผัสกับน้ำ ออกซิเจน เกลือ กรด หรือด่างที่มีอยู่ในบรรยากาศ ที่นิยมใช้ทั่วไปคือ

ก. สีรองพื้นตะกั่วแดง ใช้เพื่อปกป้องพื้นผิวเหล็กและเหล็กกล้า โดยเฉพาะเหล็กโครงสร้าง ทั้งที่อยู่ภายในและภายนอกอาคาร ใช้แอลซีดีเรซินและน้ำมันลินสีดเป็นสีนำสีหรือสารยัด จะแห้งและแข็งตัวช้ามาก ระยะเวลาแห้งตัวนาน แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือสีรองพื้นตะกั่วแดงแห้งช้า สีรองพื้นตะกั่วแดง/ไอโรน-ออกไซด์ และสีรองพื้นตะกั่วแดงแห้งเร็ว สีนำสีที่ระเหยได้สำหรับสีชนิดนี้ ได้แก่ ทินเนอร์ สารเร่งแห้ง วัตถุเจือปนอื่น ๆ ที่ระเหยได้ แต่ปัจจุบันไม่นิยมใช้เนื่องจากเป็นพิษ

ข. สีรองพื้นซิงก์รีซ เป็นสีรองพื้นด้านการกัดกร่อนประเภทใช้งานหนัก มีผงสังกะสีผสมอยู่ปริมาณสูง มีสีนำสีหรือสารยัดผสมอยู่เล็กน้อย ที่นิยมใช้ได้แก่ พอลิเอไมด์เคียวอีพอกซี (polyamide-cured epoxy) และคลอรีเนตเตดรีบเบอร์ สีชนิดนี้มีสมบัติการเกาะติดผิวอวบน้ำสังกะสีได้ดี จึงเหมาะกับโลหะเคลือบสังกะสีหรือเหล็ก ด้านทานต่อการกัดกร่อนสูง จึงเหมาะใช้กับงานหรือโครงสร้างที่ต้องแช่อยู่ในน้ำ หรืออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีการกัดกร่อนรุนแรง แต่มีปัญหาการเกาะติดกับสีเก่า จึงต้องขจัดสีเก่าออกก่อน

ค. สีรองพื้นกัฒผิว สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีกับพื้นผิวของชิ้นงานโลหะเบา เจือเหล็กอวบน้ำสังกะสี หรือเหล็กเคลือบโลหะอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการเกาะยึด ป้องกันการกัดกร่อน และทำให้พื้นผิวเหมาะแก่การเคลือบชั้นถัดไป

3.9.3 สีรองพื้นสำหรับงานปูน มีสีนำสีเป็นน้ำมันหรือพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก หรือเป็นอิมัลชันของสารยัดกับน้ำ ใช้รองพื้นผนังปูนใหม่เพื่อป้องกันต่างได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร มีสมบัติทนต่อสภาพต่างสูง สามารถอุดรูพรุนได้ สีนำสีหรือสารยัดที่ใช้ ได้แก่ ไวนิลพอลิเมอร์ และอะคริลิกอิมัลชัน สไตรีน-อะคริลิกโคพอลิเมอร์ และคลอรีเนตเตดรีบเบอร์ เมื่อต้องการความต้านทานต่อสภาพต่างที่สูงมาก

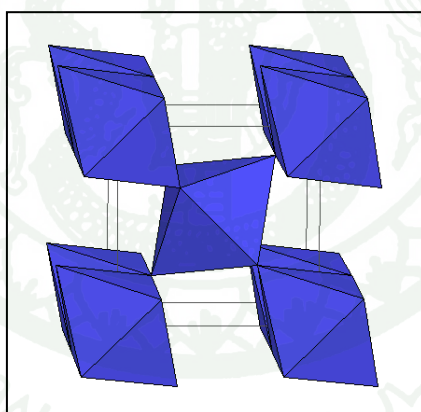
4. ไททาเนียมไดออกไซด์

ไททาเนียมไดออกไซด์ เป็นสารสีที่มีสีขาว ไม่มีกลิ่น มีความสามารถในการดูดซับ และมีสมบัติเป็นสารโฟโตแคตาไลสต์ สามารถย่อยสลายสารต่าง ๆ ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และอนินทรีย์

ได้ เช่น กรดไขมัน สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แอมโมเนีย ฯลฯ (Geng *et al.*, 2008) โดยถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารที่ปลอดภัย ไม่ใช่สารที่อยู่ในกลุ่มของสารระเหย สารก่อมะเร็ง สารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ สารที่ทำให้ตัวอ่อนในครรภ์เกิดความผิดปกติ หรือสารที่มีพิษ จึงมีประโยชน์สำหรับการใช้งานหลากหลาย เช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์ บรรจุภัณฑ์อาหาร เครื่องมือแพทย์ สารฆ่าเชื้อโรคในน้ำ ส่วนประกอบของสุขภัณฑ์ วัสดุก่อสร้าง สีและวัสดุเคลือบผิว เป็นต้น (Chen *et al.*, 2009)

ไททาเนียมไดออกไซด์พบในธรรมชาติน้อยมาก ส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบของแร่ ilmenite หรือ leucocene ซึ่งมีความบริสุทธิ์น้อย แต่สามารถนำมาทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ rutile beach sand มาเป็นแร่ตั้งต้นในการสกัดไททาเนียมไดออกไซด์ และสามารถแบ่งไททาเนียมไดออกไซด์ตามลักษณะโครงสร้างได้ 3 รูปแบบ คือ รูไทล์ อะนาเทส และบรูคไคท์ (เฉลิมชัย, 2551)

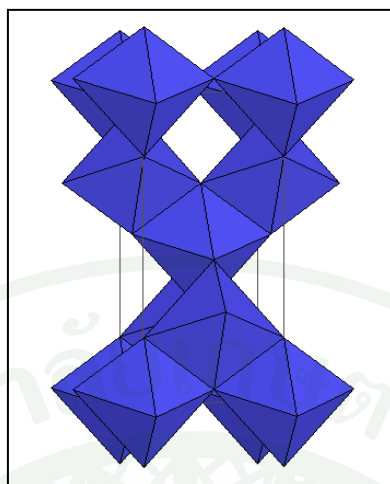
4.1 รูไทล์ (Rutile) มีโครงสร้างผลึกแบบเตตระโกนอล (tetragonal) เป็นรูปแบบที่พบในธรรมชาติได้มากที่สุด เพราะมีความเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิสูง มีโครงสร้างผลึกดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างผลึกไททาเนียมไดออกไซด์ ชนิดรูไทล์

ที่มา: เฉลิมชัย (2551)

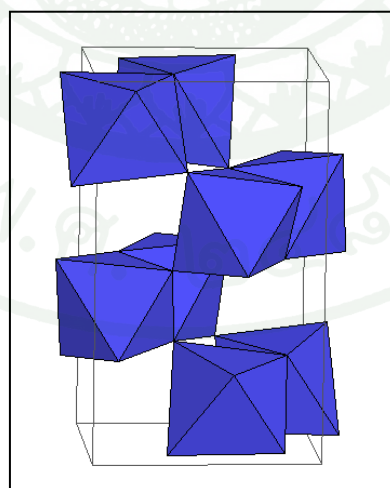
4.2 อะนาเทส (Anatase) มีโครงสร้างผลึกแบบเตตระโกนอล (tetragonal) เป็นรูปแบบที่พบได้ในระดับปานกลาง เพราะมีความเสถียรทางอุณหภูมิปานกลาง ถ้าให้ความร้อนสูงกว่า 915°C โครงสร้างผลึกจะเปลี่ยนเป็นแบบรูไทล์โดยอัตโนมัติ มีโครงสร้างผลึกดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างผลึกไททาเนียมไดออกไซด์ ชนิดอะนาเทส

ที่มา: เฉลิมชัย (2551)

4.3 บรูกไคท์ (Brookite) มีโครงสร้างผลึกแบบออร์โธโรมบิก (orthorhombic) เป็นรูปแบบที่พบได้น้อยที่สุด ทั้งในธรรมชาติและการสังเคราะห์ขึ้น เพราะมีความเสถียรทางอุณหภูมิต่ำมาก เมื่อความร้อนสูงกว่า 750°C โครงสร้างผลึกจะเปลี่ยนเป็นแบบรูไทล์โดยอัตโนมัติ ดังนั้นชนิดนี้จึงไม่เป็นที่นิยมนำไปใช้ มีโครงสร้างผลึกดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โครงสร้างผลึกไททาเนียมไดออกไซด์ ชนิดบรูกไคท์

ที่มา: เฉลิมชัย (2551)

อนุภาคนาโน คืออนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 nm ซึ่งเป็นที่รู้จัก และถูกนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมมาเป็นเวลานาน เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวสูง มีการกระจายตัวง่าย มีความโปร่งใส และสามารถเข้ากันได้กับสารเดิมต่าง ๆ การใช้อนุภาคนาโนเป็นองค์ประกอบ จะช่วยเพิ่มความต้านแรงดึง ค่าโมดูลัส การผิวดูรูปโดยความร้อน ช่วยเพิ่มคุณสมบัติการติดไฟช้าและความคงตัวต่อแสงอัลตราไวโอเลต และช่วยลดการซึมผ่านของก๊าซ เป็นต้น (Corrales *et al.*, 2003)

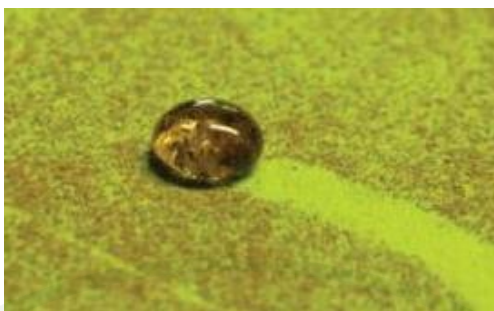
5. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว หรือโลตัสเอฟเฟค (Lotus effect) เป็นคำที่เกิดขึ้นเมื่อ ดร.วิลเฮล์ม บาร์ทโลทท์ (Wilhelm Barthlott) และคณะวิจัยพบว่า ผิวของใบบัวมีสมบัติพิเศษในการป้องกันเศษสิ่งสกปรก รวมถึงของเหลวต่าง ๆ ไม่ให้เกาะติดใบได้ เนื่องจากโครงสร้างระดับจุลภาคบนผิวใบบัวมีความขรุขระระดับไมโครเมตร และมีสารเคลือบไขหรือขี้ผึ้ง ซึ่งมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) คลุมอยู่บนตุ่มขรุขระทั้งหมด ดังภาพที่ 5 เมื่อสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ผ่นวกกับพื้นผิววัสดุที่มีโครงสร้างตุ่มขนาดเล็กจำนวนมาก จึงทำให้พื้นผิวใบบัวกลายเป็นผิวที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำยิ่งยวด (superhydrophobic) ทำให้น้ำซึ่งมีความตึงผิวกลิ้งไปมาบนใบบัวได้ รวมทั้งทำให้ฝุ่นและสิ่งสกปรกอื่น ๆ หลุดออกจากผิวใบบัว และติดไปกับน้ำได้ง่าย ซึ่งลักษณะพื้นผิวเช่นนี้เรียกว่า พื้นผิวทำความสะอาดได้ด้วยตนเอง (self-cleaning surface) ดังภาพที่ 6 และภาพที่ 7 (บุญรักษ์, 2552)



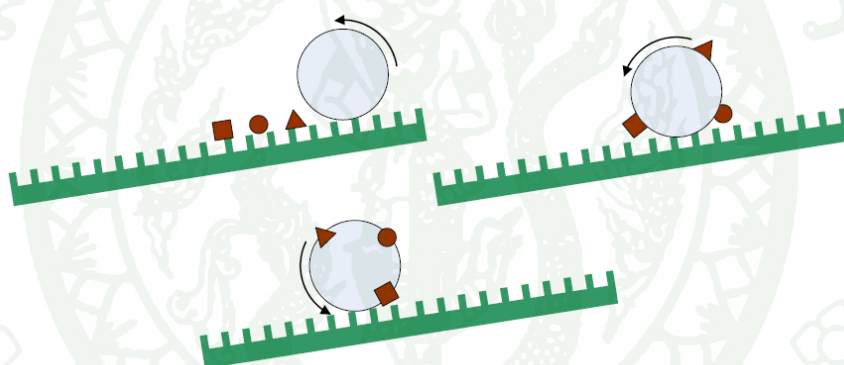
ภาพที่ 5 ภาพถ่ายขยายผิวใบบัวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ที่มา: สมสร (2554)



ภาพที่ 6 หยดน้ำชะล้างสิ่งสกปรกออกจากผิวใบบัว

ที่มา: บุญรักษ์ (2552)

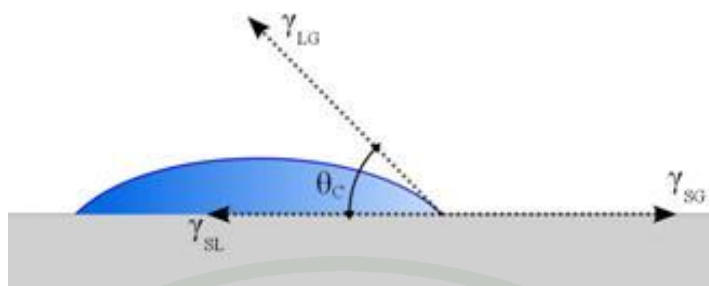


ภาพที่ 7 พื้นผิวทำความสะอาดได้ด้วยตนเอง (self-cleaning surface)

ที่มา: <http://atlas2.mirc.gatech.edu/education/documents/LotusEffectinfoforLotusan.pdf>
(2552)

การจำแนกสมบัติความชอบ – ไม่ชอบน้ำของพื้นผิววัสดุในเชิงวิชาการจะใช้ค่ามุมสัมผัส (contact angle : θ_c) ระหว่างผิวหยดน้ำกับผิววัสดุเป็นตัวบอก ดังสมการ (สมศรี, 2554)

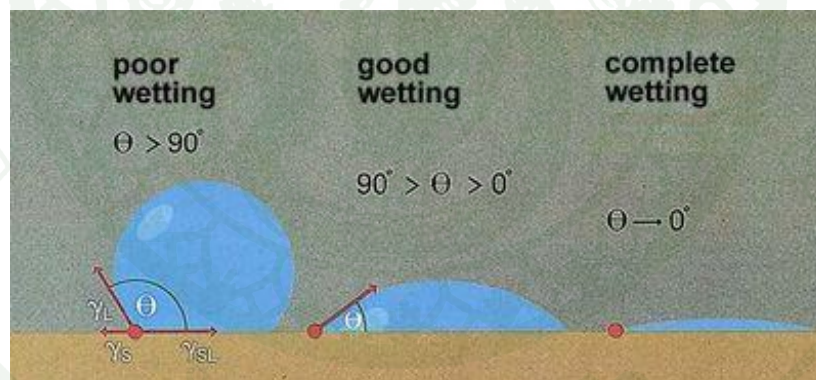
$$\cos \theta_c = \frac{\gamma_{sg} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lg}}$$



ภาพที่ 8 แผนภาพการคิดค่า contact angle

ที่มา: สมศร (2554)

หากหยดน้ำกับวัสดุมีมุมสัมผัสระหว่างผิวน้อยกว่า 90 องศา แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) ถ้ามุมสัมผัสระหว่างผิวอยู่ระหว่าง 90 - 150 องศา แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และถ้าหยดน้ำกับพื้นผิวมีค่ามุมสัมผัสระหว่างผิวตั้งแต่ 150 - 180 องศา แสดงว่าผิววัสดุนั้นมีสมบัติไม่ชอบน้ำยิ่งยวด (superhydrophobic) ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ลักษณะมุมสัมผัสระหว่างผิวของหยดน้ำ

ที่มา: บุญรักษ์ (2552)

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Allen *et al.* (2002) ศึกษาการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ชนิดรูทูล์ และอะนาเทส อัตราส่วน 1 2 และ 5% ลงในสีน้ำอะคริลิก พบว่า นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ชนิดอะนาเทส เป็นสารที่มีความไวต่อแสง ทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาลีซิสได้ดี โดยความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับลักษณะของสีด้วย ส่วนนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ชนิดรูทูล์ เป็นสารปรับความคงตัวของสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สีที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ชนิดรูทูล์มีลักษณะภายนอกของสีที่ดีกว่า โดยเมื่อปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น สีมีความคงตัวมากขึ้น และนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ทั้งชนิดรูทูล์ และอะนาเทส ขนาดอนุภาค 70 nm มีประสิทธิภาพในการปรับความคงตัวของสีได้ดีกว่าขนาดอนุภาค 90 nm

Corrales *et al.* (2003) ศึกษาการย่อยสลายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 °C ของสารเติมแต่ง metallocene polyethylene ที่มีการผสมและไม่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ชนิดรูทูล์ และอะนาเทส ขนาดอนุภาค 5 nm – 25 nm และเปรียบเทียบกับสารเติมไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตร วิเคราะห์โดยเทคนิค chemiluminescence พบว่า metallocene polyethylene ที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์สามารถลดการย่อยสลายด้วยความร้อนได้ดีกว่าการผสมไททาเนียมไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตร และการไม่ผสม และเมื่อปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 0.5% เป็น 2% สามารถลดการย่อยสลายด้วยความร้อนได้ดีมากขึ้น

Wang *et al.* (2007) ศึกษาปริมาณของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ปริมาณของสารที่ช่วยให้สีกระจายตัวดี (dispersant) คือ Orotan1124 และสัดส่วนระหว่างผงสีและสารผสม ที่เหมาะสมในการผลิตสีทาภายในอาคาร โดยพิจารณาถึงการพัฒนาคูสมบัติของสี ได้แก่ ความแข็ง ความทนทานต่อการขัดถู ความเสถียรในการจัดเก็บ กำลังซ่อนแสง และความเงา พบว่าการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์อัตราส่วน 1 2 และ 3% ลงในสี สามารถพัฒนาคูสมบัติต่าง ๆ ของสีได้ดีกว่าสีที่ไม่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ แต่เมื่อปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นมากกว่า 3% คุณสมบัติต่าง ๆ ของสีจะลดลง ปริมาณสารที่ช่วยให้สีกระจายตัวดีที่เหมาะสมสำหรับการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 1 2 และ 3% คือ 4 7 และ 10 กรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่ทำให้นาโนไททาเนียมไดออกไซด์สามารถกระจายตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสัดส่วนระหว่างผงสีและสารผสมที่เหมาะสมคือ 60 65 และ 70% โดยพิจารณาจากความเงา กำลังซ่อนแสง และความแข็งของสี

Geng *et al.* (2008) ทำการทดสอบการย่อยสลายก๊าซแอมโมเนียด้วยแสง โดยใช้อนุภาคนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารโฟโตแคตาลีซิสบนพื้นผิวของสีทาบ้าน

ภายใต้การกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเลต โดยตรวจวัดการย่อยสลายของก๊าซแอมโมเนียด้วยวิธี spectrophotometry และตรวจวัดผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายด้วยวิธี catalytic kinetic spectrophotometry พบว่าสามารถย่อยสลายก๊าซแอมโมเนียได้ดี ซึ่งการย่อยสลายและการเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์นั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณตั้งต้นของก๊าซแอมโมเนีย และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

Dhoke and Khanna (2009) ศึกษาการเติมอนุภาคนาโนของเหล็กออกไซด์ลงในสี เพื่อเพิ่มความคงทนต่อการสีกร่อนของสี ทดสอบด้วยการแช่ลงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5% พบว่าสีที่มีการเติมอนุภาคนาโนของเหล็กออกไซด์มีความคงทนต่อการสีกร่อนดีกว่าสีที่ไม่เติมอนุภาคนาโนของเหล็กออกไซด์

Cui *et al.* (2009) ศึกษาการเคลือบพื้นผิวของสีด้วยสารเคลือบที่มีการผสมอนุภาคนาโนของซิลิกอนไดออกไซด์ พบว่าสามารถเพิ่มคุณสมบัติไม่ชอบน้ำยิ่งยวด (Superhydrophobic) ให้กับสีได้ โดยเพิ่มค่ามุมสัมผัส (contact angle) ระหว่างผิวหยดน้ำกับผิววัสดุให้มากกว่า 150 องศา และเมื่อเคลือบด้วยสารเคลือบที่มี low surface energy ค่ามุมสัมผัสมีค่าเพิ่มมากขึ้น สำหรับการทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนด้วยน้ำ พบว่าหลังจากผ่านน้ำความเร็วสูง 10 เมตร/วินาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทำให้พื้นผิวของสีมีน้ำเกาะติดได้ และความเป็นกรดต่าง (pH) ที่ต่ำกว่า 4 ส่งผลต่อการลดค่ามุมสัมผัส

Shtykova *et al.* (2009) ศึกษาคุณสมบัติการป้องกันสิ่งสกปรกด้วยการเติมอนุภาคนาโนของโลหะออกไซด์ลงในตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ *o*-xylene, acetonitrile และ *n*-butanol เพื่อเพิ่มการดูดซับ biocide พบว่าการเติมอนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์ลงใน *o*-xylene ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับมากที่สุด และเมื่อเติมอนุภาคนาโนของคอปเปอร์ออกไซด์ลงในสารเคลือบเงา ช่วยลดการปล่อย biocide สู่สิ่งแวดล้อมได้

Chen *et al.* (2009) ศึกษาความสามารถในการต้านเชื้อรา *Aspergillus niger* ของฟิล์มของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวไม้ที่ขึ้น พบว่าพื้นผิวไม้ที่ถูกเคลือบด้วยฟิล์มของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในบริเวณที่มีแสงอัลตราไวโอเลต ไม่มีการขึ้นของเชื้อรา แต่พื้นผิวไม้ที่ถูกเคลือบด้วยฟิล์มของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในบริเวณที่ไม่มีแสงมีเชื้อราปรากฏอยู่

Hochmannova and Vytrasova (2010) ศึกษาการใช้อนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์ และไททาเนียมไดออกไซด์เป็นสารโฟโตแคตตาลิสต์บนพื้นผิวของสีทาภายในอาคาร เพื่อ

การยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย 3 ชนิด คือ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* และ *Pseudomonas aeruginosa* และรา 2 ชนิด คือ *Aspergillus niger* และ *Penicillium chrysogenum* พบว่า อนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์ยับยั้งการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทั้ง 5 ชนิดได้ดีกว่าอนุภาคนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์

สิทธิสุนทร และคณะ (2552) ศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาสารเคลือบอิมูที่มีสมบัติกันน้ำซึมผ่าน และป้องกันคราบสกปรก รวมทั้งตะไคร่มาเกาะติด โดยการวิจัยเน้นถึงการผลิตสารเคลือบอิมูจาก สารเคมีที่มีราคาไม่สูง และต้องมีขั้นตอนการเตรียมไม่ซับซ้อน ซึ่งสารเคลือบอิมูที่พัฒนาออกมา สำเร็จมีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วนคือ สารประเภทซิลอกเซน (siloxane) กับอนุภาคนาโนของ สารบางชนิด และเมื่อเตรียมสารเคลือบเรียบร้อยแล้ว สามารถนำไปเคลือบผิวอิมูและผิววัสดุก่อสร้าง ได้ทันทีด้วยวิธีการทา ฟัน และจุ่มเคลือบ ซึ่งภายหลังการทดสอบโดยการนำอิมูไปวางตากแดด และฝนในที่โล่งแจ้งเป็นเวลา 1 ปี พบว่าอิมูที่ทาสารเคลือบไม่มีตะไคร่ขึ้นที่ผิวเมื่อเปรียบเทียบกับ อิมูที่ไม่ได้ทาสารเคลือบ และยังพบว่าสารเคลือบอิมูที่พัฒนาขึ้นทำให้หยดน้ำมีค่ามุมสัมผัส ระหว่างผิวหยดน้ำกับผิววัสดุมากขึ้น หรือทำให้ผิวเคลือบมีสมบัติไม่ชอบน้ำมากขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุและอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่าง
 - 1.1 ไม้เต็ง
 - 1.2 แผ่นซีเมนต์
 - 1.3 แผ่นเหล็ก
 - 1.4 แปรงทาสี
 - 1.5 บีกเกอร์
 - 1.6 แท่งแก้วคน
 - 1.7 ช้อนตักสาร
 - 1.8 มีดคัตเตอร์
 - 1.9 เลื่อย
 - 1.10 เครื่องผสมสี
 - 1.11 เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. วัสดุและอุปกรณ์ในการทดสอบตัวอย่าง
 - 2.1 เตอบไฟฟ้า
 - 2.2 กระบอกฉีดน้ำ
 - 2.3 สำลี
 - 2.4 กล้องดำ
 - 2.5 ไฟฉาย
 - 2.6 เครื่องตรวจวัดความเข้มแสง Illumino meter ANA-F9
 - 2.7 เครื่องตรวจวัดมุมสัมผัส Dynamic Contact Angle Measuring Device (DataPhysics OCA – Series)
3. สารเคมี
 - 3.1 สีทองทาภายนอกชนิดน้ำ
 - 3.2 สีทองทาภายนอกชนิดน้ำมัน
 - 3.3 สีรองพื้น
 - 3.4 สารเคลือบเงา
 - 3.5 ผงนาโนไททาเนียมไดออกไซด์อะนาเทสชนิดละลายน้ำ

3.6 ผงนาโนไททาเนียมไดออกไซด์อะนาเทสชนิดละลายในน้ำมัน

3.7 ทินเนอร์

3.8 น้ำมันพืช

วิธีการ

1. การเตรียมวัตถุดิบ

นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้เป็นรูปแบบอะนาเทส 2 ชนิดคือ ชนิดละลายในน้ำและชนิดละลายในน้ำมัน เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Nabond Technologies Co., Ltd. ประเทศจีน มีลักษณะเป็นผงสีขาว ดังภาพที่ 10 โดยมีคุณสมบัติดังตารางที่ 4



(ก)



(ข)

ภาพที่ 10 นาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (ก) ชนิดละลายในน้ำ (ข) ชนิดละลายในน้ำมัน

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

Property	Nano-TiO ₂
Molecular weight	79.87 g/mol
Melting point	1,825 °C (3,317 °F)
Density	3.9 g/mL at 25°C
Purity	>99.5%
Average particle size	<20 nm

สีทองทาภายนอกที่นำมาเป็นสีสำหรับผสมมี 2 ชนิดคือ ชนิดน้ำและน้ำมัน และสารเคลือบ เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท เอสจีสัทส์ จำกัด ประเทศไทย ดังภาพที่ 11 และใช้สีเหลืองรองพื้นชนิดน้ำที่มีขายทั่วไปในท้องตลาด



ภาพที่ 11 ตัวอย่างสีทองทาภายนอกชนิดน้ำ และชนิดน้ำมัน

วัสดุที่ใช้เป็นพื้นผิวในการทดสอบคือ ไม้เต็ง ซึ่งเป็นตัวอย่างการทาสีบนพื้นไม้ แผ่นซีเมนต์ ซึ่งเป็นตัวอย่างการทาสีบนพื้นปูน และแผ่นเหล็ก ดังภาพที่ 12 โดยเตรียมตัวอย่างด้วยการทาสีด้วยแปรงทาสี บนพื้นที่ขนาดประมาณ 2x5 ตารางเซนติเมตร



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 12 ตัวอย่างวัสดุที่เป็นพื้นผิวในการทดสอบ (ก) ไม้เต็ง (ข) แผ่นซีเมนต์ (ค) แผ่นเหล็ก

2. การผลิตสีทอง สีรองพื้น สารเคลือบ และการทดสอบหาเจดสีที่เหมาะสม

2.1 ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์อะนาเทสชนิดละลายในน้ำลงในสีทองชนิดน้ำ และชนิดละลายในน้ำมันลงในสีทองชนิดน้ำมัน ในอัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 0.25 0.5 0.75 1 2 5 10 และ 15% (w/v) ทดสอบทาบนพื้นผิววัสดุที่มีการทาสีรองพื้นเตรียมไว้

2.2 ทดสอบหาสีทองทั้งชนิดน้ำและน้ำมัน ที่มีและไม่มีการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนพื้นผิววัสดุทั้ง 3 ชนิด ที่มีและไม่มีการทาสีรองพื้นเตรียมไว้

2.3 ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์อะนาเทสชนิดละลายในน้ำลงในสีรองพื้น และสารเคลือบในอัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 5 10 และ 15% (w/v) และทดสอบทาบบนพื้นผิววัสดุทั้ง 3 ชนิด

3. การทดสอบสมบัติของสีทอง

3.1 ตรวจวัดค่าความเข้มแสงสะท้อน

ตรวจวัดความเข้มของแสงไฟฉายที่สะท้อนจากพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก ที่ทาสีทองชนิดน้ำและน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ในอัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) ด้วยเครื่องตรวจวัดความเข้มแสง Illumino meter ANA-F9

3.2 ทดสอบการทำให้ผิดรูปด้วยความร้อน

นำตัวอย่างสีทองชนิดน้ำและน้ำมัน ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ในอัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) ที่ทาบบนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก อบความร้อน ณ อุณหภูมิ 40 50 60 70 80 90 100 110 120 150 และ 200 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงทุกอุณหภูมิ ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผล

3.3 ทดสอบการทำความสะอาดตัวเอง

ทดสอบการชะล้างเขม่าของน้ำมันพืชที่ทำให้เป็นคราบไว้บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก ที่ทาสีทองชนิดน้ำและน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ในอัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) โดยการฉีดน้ำชะเขม่าบนพื้นผิว ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผล

3.4 ตรวจวัดค่ามุมสัมผัส (Contact angle)

วัดค่ามุมสัมผัสของสีทองทั้งชนิดน้ำและน้ำมันที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก

ด้วยเครื่อง Dynamic Contact Angle Measuring Device (DataPhysics OCA – Series) โดย
 ตรวจวัดที่หยดของเหลวขนาด 1 μl (ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554)

3.5 ทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

ทดสอบตัวอย่างสีทองชนิดน้ำที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0% (ชุดควบคุม) และ 0.75% ตาม มอก.2321-2549 โดยทดสอบความทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ ความทนน้ำ และความทนทานต่อการขัดถู และทดสอบตัวอย่างสีทองชนิดน้ำมันที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0% (ชุดควบคุม) และ 0.25% ตาม มอก.327-2553 โดยทดสอบความทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ ความทนการขูดขีด และการทดสอบความเงา

4. ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์

4.1 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลด้านต้นทุนการผลิต เพื่อประเมินศักยภาพ และความ
 เป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการพัฒนาเพื่อการผลิตเชิงพาณิชย์

4.2 ศึกษาการลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมพื้นผิว เป็นการประเมินการใช้งานของสีทอง
 แบบเดิมและสีทองผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบความเป็นไปได้ใน
 การสูญเสียค่าใช้จ่ายในช่วงระยะเวลาหนึ่งของการใช้งาน โดยศึกษาจากการใช้งานบางประเภทที่
 มีการทาและการซ่อมแซมเป็นประจำ

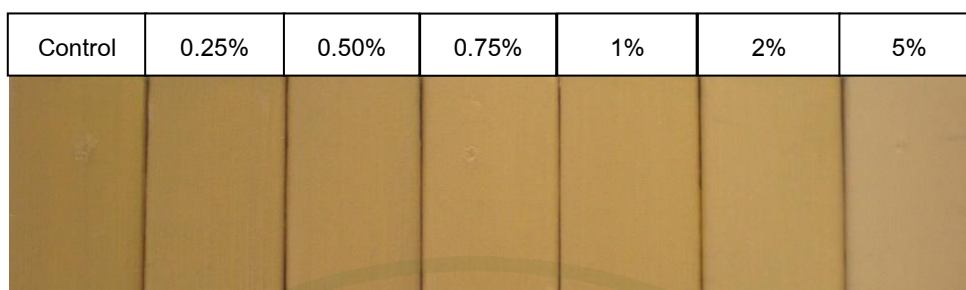
4.3 ศึกษาความคุ้มค่าต่อการนำไปใช้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการทำความสะดวกพื้นผิว เป็น
 การประเมินค่าบำรุงรักษาด้านการทำความสะอาดอาคารสถานที่ซึ่งมีการใช้งานของสีทอง
 แบบเดิมและสีทองผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งแม้จะมีส่วนของความสวยงามเข้ามา
 เกี่ยวข้อง แต่ในกรณีศึกษานี้จะเน้นเฉพาะประโยชน์และต้นทุนด้านค่าใช้จ่ายในการทำคว
 ความสะดวกเป็นหลัก

ผลและวิจารณ์

1. การผลิตสีทอง สีรองพื้น สารเคลือบ และการทดสอบหาเจดสีที่เหมาะสม

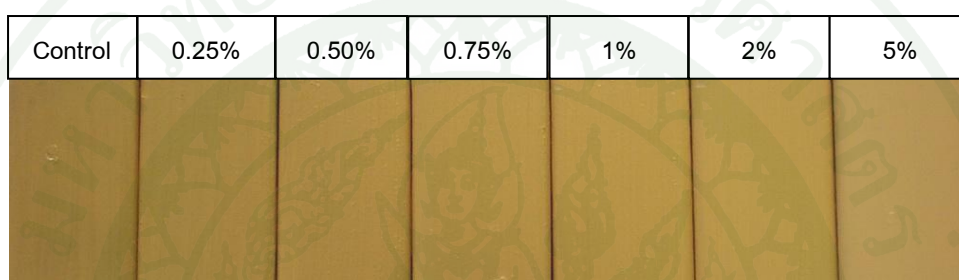
1.1 การผลิตสีทองสำหรับทาภายนอกชนิดน้ำและน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และการทดสอบทาบนพื้นผิว

จากการผลิตสีทองสำหรับทาภายนอกทั้งชนิดน้ำและน้ำมัน ด้วยการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 0.25 0.5 0.75 1 2 5 10 และ 15% (w/v) และทดสอบทาบนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก ที่มีการทาสีรองพื้นเตรียมไว้ตามการใช้งานจริงของสีทอง พบว่าเมื่อปริมาณของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น สีทองทั้งชนิดน้ำและน้ำมันมีเจดสีจางลงและความเปล่งประกายลดลง แต่การผสมในอัตราส่วนต่ำกว่า 1% จะมีเจดสีและความเปล่งประกายใกล้เคียงกับชุดควบคุม ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกัน ทั้งบนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 13 ถึง ภาพที่ 15 ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการเป็นสารสีขาวของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งหากผสมในปริมาณที่เหมาะสม จะมีการกระจายตัวในสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Wang *et al.*, 2007) ทำให้ไม่มีผลต่อเจดสีและความเปล่งประกายของสีทอง แต่เมื่อผสมในปริมาณมากขึ้นจะไปบดบังสีและประกายของสีทองได้



เข้ม ← → อ่อน

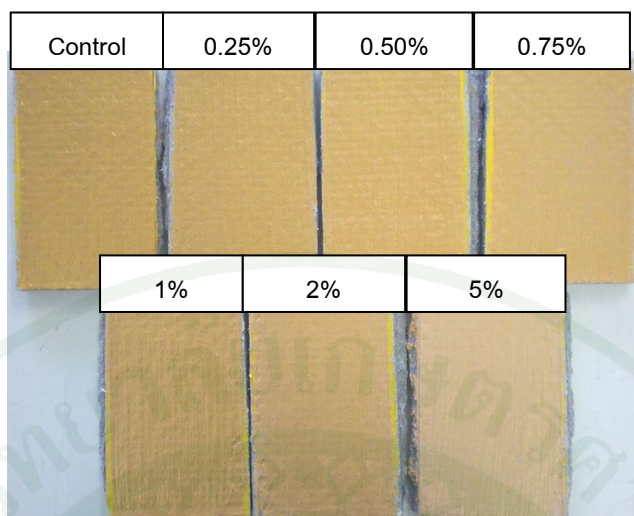
(ก)



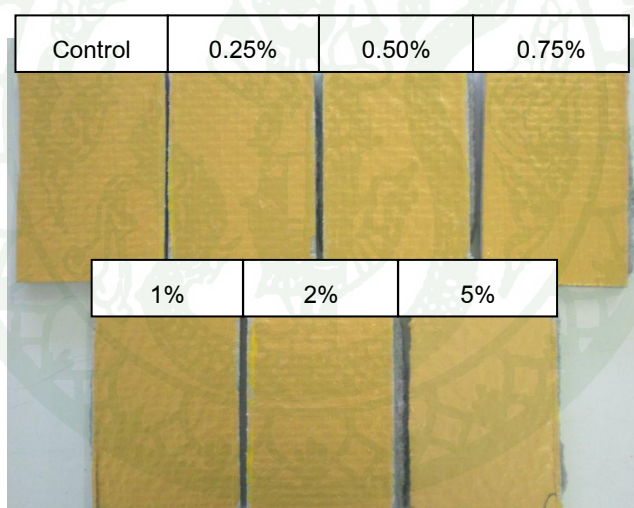
เข้ม ← → อ่อน

(ข)

ภาพที่ 13 เจดสีและความเปลี่ยนแปลงประกายของสีทองบนพื้นผิวไม้ (ก) สีทองชนิดน้ำ และ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน

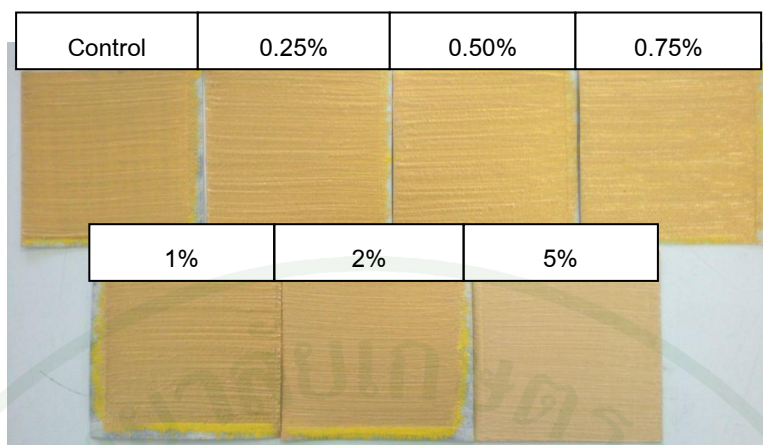


(ก)

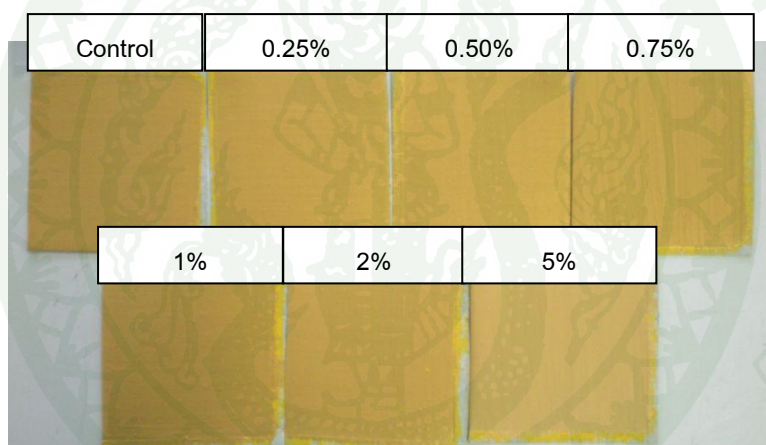


(ข)

ภาพที่ 14 เจดสีและความเปลี่ยนแปลงประกายของสีทองบนพื้นผิวปูน (ก) สีทองชนิดน้ำ และ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน



(ก)

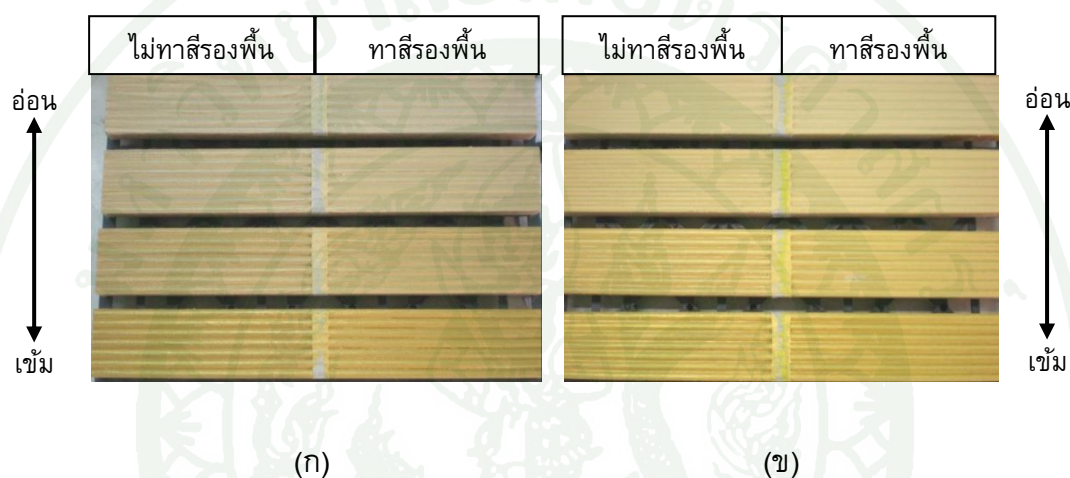


(ข)

ภาพที่ 15 เจดสีและความเปลี่ยนแปลงประกายของสีทองบนพื้นผิวเหล็ก (ก) สีทองชนิดน้ำ และ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน

1.2 การทดสอบหาสีทองชนิดน้ำและน้ำมัน ที่มีและไม่มีการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนพื้นผิววัสดุทั้ง 3 ชนิด ที่มีและไม่มีการทาสีรองพื้นเตรียมไว้

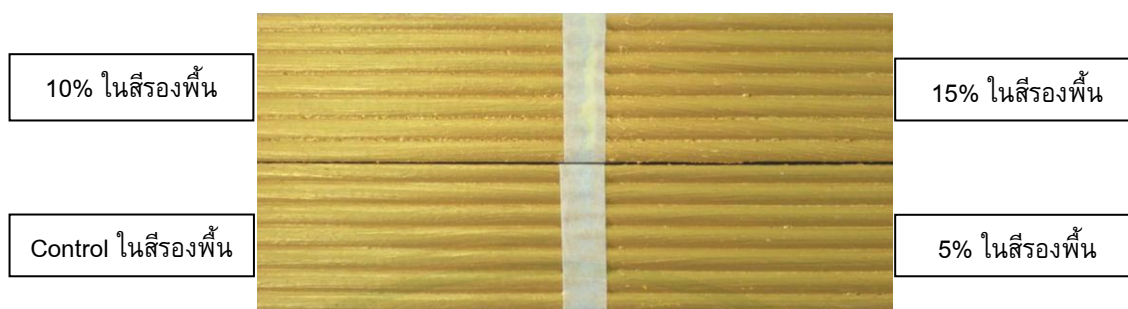
พบว่าสีทองทั้ง 2 ชนิด บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก มีเจดสีและความเปล่งประกายไม่แตกต่างกัน ดังนั้น สีของสีรองพื้นไม่ส่งผลต่อการซ่อนแสง การเงา และการสะท้อนแสงของสีทองทั้ง 2 ชนิด ที่ผสมและไม่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ จึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเจดสีและการเปล่งประกายของสีทอง แสดงตัวอย่างบนพื้นผิวไม้ดังภาพที่ 16



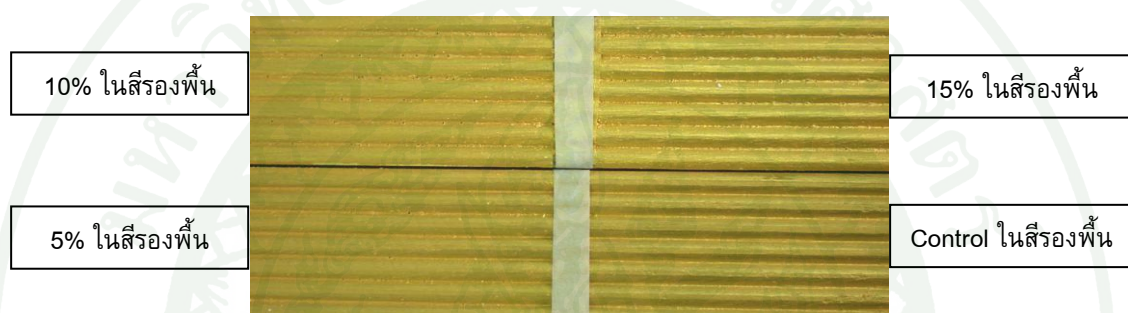
ภาพที่ 16 การทาสีทองที่มีและไม่มีการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวไม้ โดยมีและไม่มีการทาสีรองพื้น (ก) สีทองชนิดน้ำ และ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน

1.3 การผลิตสีรองพื้น และสารเคลือบ ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และการทดสอบทาบนพื้นผิว

การผลิตสีรองพื้น โดยผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์อะนาเทสชนิดละลายน้ำลงในสีรองพื้น อัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 5 10 และ 15% (w/v) และทดสอบด้วยการทาลงบนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก จากนั้นทาทับด้วยสีทองทาทาภายนอกชนิดน้ำ และน้ำมัน พบว่าเจดสีของสีทองทั้ง 2 ชนิด บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก ไม่ต่างจากชุดควบคุม ดังนั้นการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสีรองพื้นไม่ส่งผลต่อการซ่อนแสง การเงา และการสะท้อนแสงของสีทอง เนื่องจากสีรองพื้นนั้นถูกทาทับด้วยสีทอง สีของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในสีรองพื้นจึงไม่ส่งผลต่อเจดสีและการเปล่งประกายของสีทอง แสดงตัวอย่างบนพื้นผิวไม้ และปูน ดังภาพที่ 17 และ ภาพที่ 18

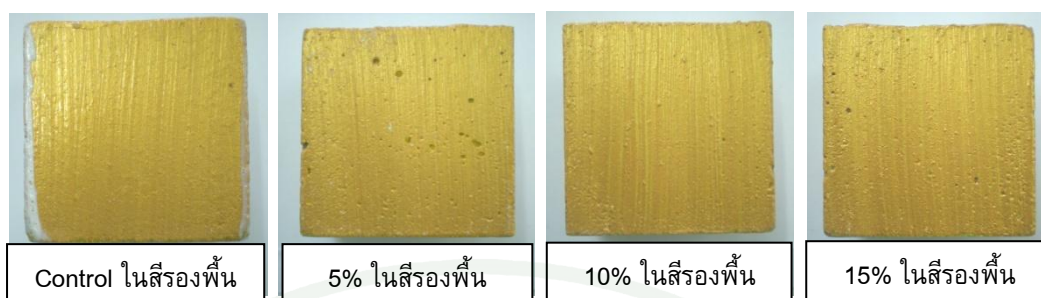


(ก)

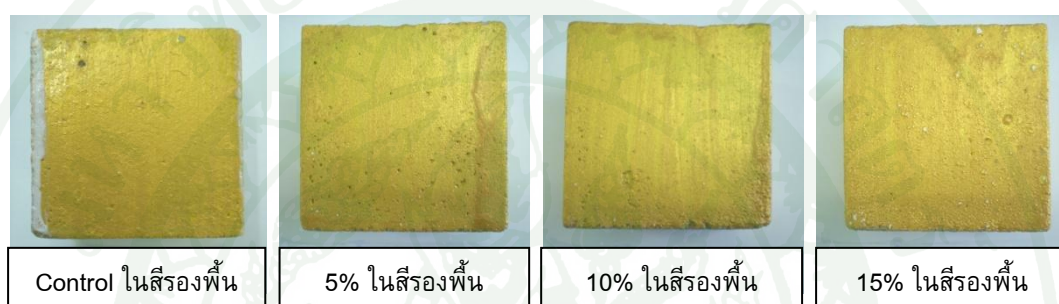


(ข)

ภาพที่ 17 การทำสีทองลงบนสีรองพื้นที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 5 10 และ 15% (ก) สีทองชนิดน้ำ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน บนพื้นผิวไม้



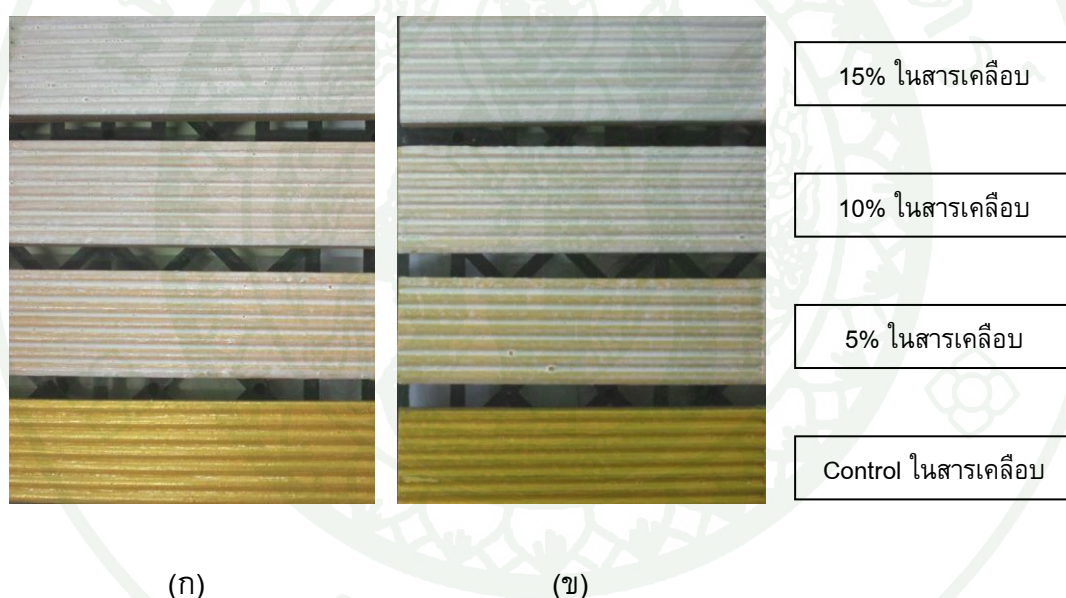
(ก)



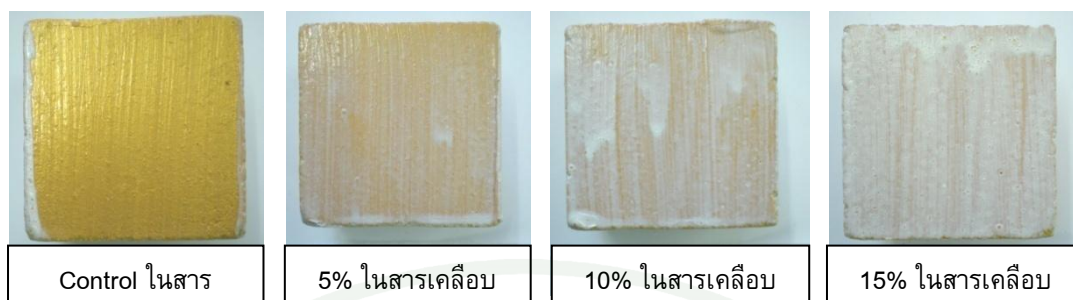
(ข)

ภาพที่ 18 การทาสีทองลงบนสีรองพื้นผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 5 10 และ 15% (ก) สีทองชนิดน้ำ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน บนพื้นผิวปูน

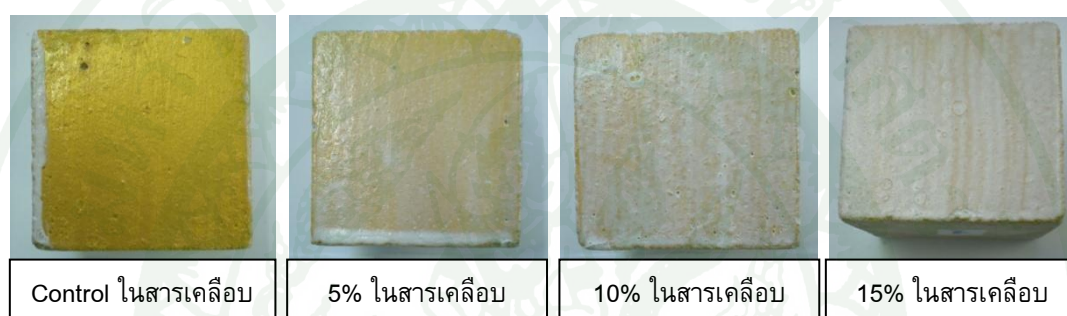
การผลิตสารเคลือบ โดยผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์อะนาเทสชนิดละลายน้ำลงในสารเคลือบ อัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 5 10 และ 15% (w/v) และทดสอบด้วยการทดลองบนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก ที่ถูกทาไว้ด้วยสีทองทาทาภายนอกชนิดน้ำ และน้ำมัน ซึ่งสารเคลือบเดิมนั้นมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่น เมื่อแห้งตัวจะเป็นแผ่นฟิล์มใสเคลือบอยู่บนพื้นผิวของวัสดุ และการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงไป ไม่ทำให้สารเคลือบมีสีขาวขุ่นมากขึ้น แต่เมื่อทดสอบทดลองบนพื้นผิววัสดุ พบว่า เมื่อปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในสารเคลือบเพิ่มมากขึ้น แผ่นฟิล์มของสารเคลือบเป็นสีขาวขุ่นมากขึ้น อาจเนื่องมาจากการเป็นสารสีขาวของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งการผสมในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการสะสม หรือการรวมตัวกันของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น ทำให้เกิดการทึบแสงของสี (Corrales *et al.*, 2003) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งในพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก ที่ถูกทาไว้ด้วยสีทองชนิดน้ำ และน้ำมัน แสดงตัวอย่างบนพื้นผิวไม้ และปูน ดังภาพที่ 19 และ ภาพที่ 20



ภาพที่ 19 การทาสารเคลือบผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 5 10 และ 15% ลงบนพื้นผิวไม้ที่ทาเตรียมไว้ด้วย (ก) สีทองชนิดน้ำ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 20 การทำสารเคลือบผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 5 10 และ 15% ลงบนพื้นผิวปูนที่ทาเตรียมไว้ด้วย (ก) สีทองชนิดน้ำ (ข) สีทองชนิดน้ำมัน

2. การทดสอบสมบัติของสีทอง

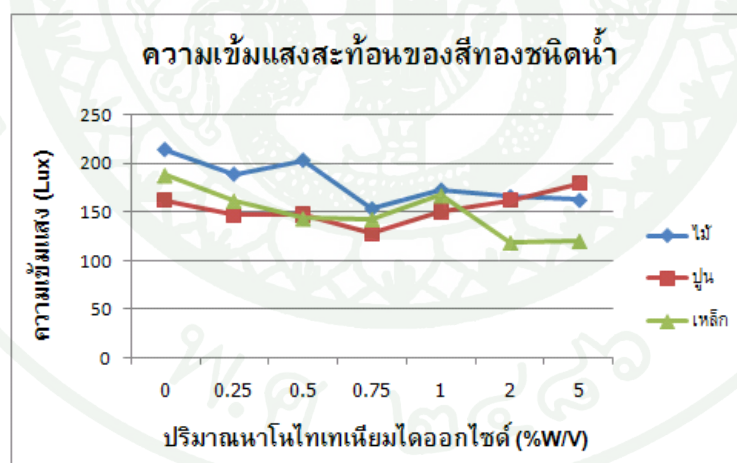
2.1 การตรวจวัดค่าความเข้มแสงสะท้อนของสีทองชนิดน้ำและน้ำมัน

จากการทดสอบหาเจดสีและความเปล่งประกายที่เหมาะสมของสีทอง นำสีทองผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) ที่ทาบนพื้นผิววัสดุไม้ ปูน และเหล็ก ในการทดสอบ

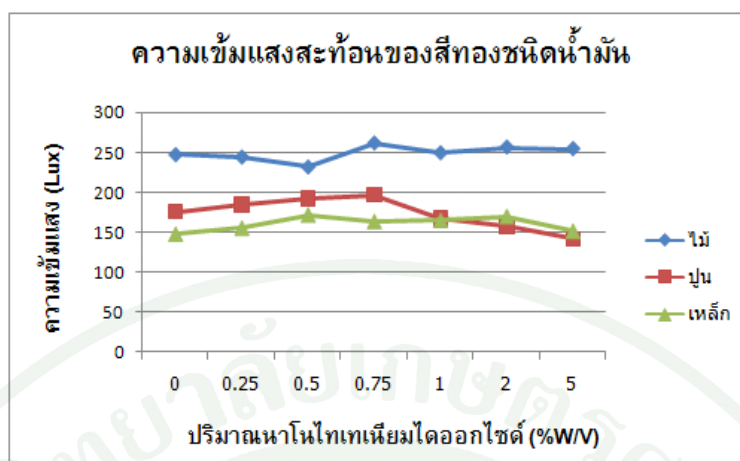
สำหรับการตรวจวัดความเข้มของแสงจากไฟฉายที่สะท้อนมาจากพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก ที่ทาด้วยสีทองชนิดน้ำและน้ำมัน ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) พบว่า เมื่อผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสีน้ำ 0 - 0.75% ความเข้มแสงสะท้อนของสีทองบนพื้นผิวทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจ

เนื่องมาจากการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสี นอกจากจะมีส่วนในการบรรเทาประกายของสีทองแล้ว ยังทำให้พื้นผิวของสีมีความหยาบ (roughness) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ความเงาของสีลดลง (Wang *et al.*, 2007) จึงมีความเข้มของแสงสะท้อนลดลง แต่เมื่อปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นจาก 0.75% ความเข้มแสงสะท้อนของสีทองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการมีปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มากกว่าปริมาณสีนำสีหรือสารยึดสี ทำให้สีนำสีไม่สามารถเคลือบหรือปกปิดช่องว่างระหว่างอนุภาคของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ได้หมด ช่องว่างจึงถูกแทนที่ด้วยอากาศ และการหักเหของอากาศมีผลต่อการช่วยลดความหยาบบนพื้นผิวของสี ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มความเงาของพื้นผิวสีทอง (Wang *et al.*, 2007) ความเข้มของแสงสะท้อนจึงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 21

ส่วนในสีทองชนิดน้ำนั้นพบว่าความเข้มแสงสะท้อนของสีทองผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์อัตราส่วนต่าง ๆ บนพื้นผิวไม้ และเหล็ก ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากความเงาของสีทองชนิดน้ำนั้นมีผลต่อความเข้มของแสงสะท้อนมากกว่าอนุภาคของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ แต่ความเข้มแสงสะท้อนของสีทองผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0 - 0.75% บนพื้นผิวปูน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัตราส่วนของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ความเข้มแสงสะท้อนมีแนวโน้มลดลง ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 21 ความเข้มแสงสะท้อนของสีทองชนิดน้ำผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก



ภาพที่ 22 ความเข้มแสงสะท้อนของสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์
อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก

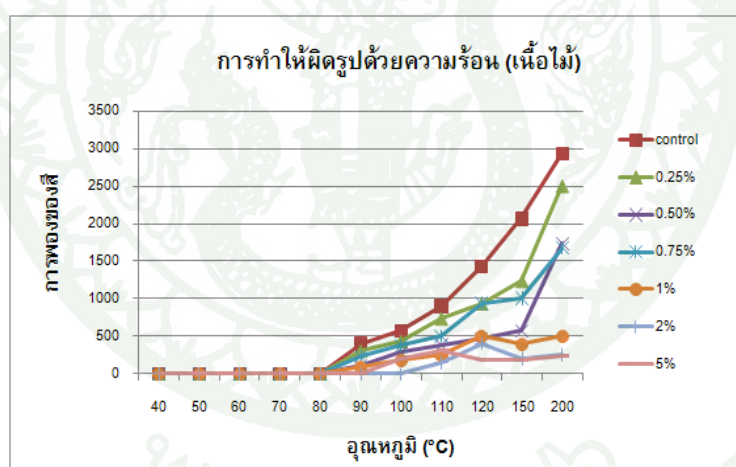
2.2 การทดสอบการทำให้ผิวดูเรียบด้วยความร้อน

ในการทดสอบการทำให้ผิวดูเรียบด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำ และน้ำมัน ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก โดยการอบความร้อน ณ อุณหภูมิ 40 50 60 70 80 90 100 110 120 150 และ 200 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงทุกอุณหภูมิ และสังเกตลักษณะการพองของสี พบว่า

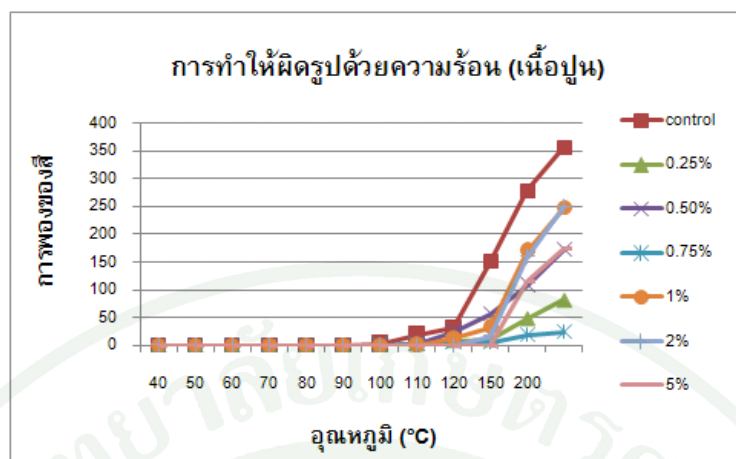
สำหรับสีทองชนิดน้ำ บนพื้นผิวไม้ เมื่อผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น สีทองมีการทำให้ผิวดูเรียบด้วยความร้อนลดลง ดังภาพที่ 23 ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Corrales *et al.* (2003) ซึ่งได้ทำการทดสอบการย่อยสลายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 170 °C ของสารเติมแต่ง metallocene polyethylene ที่มีการผสมและไม่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ชนิดอะนาเทส บนพื้นผิวอะลูมิเนียม พบว่า metallocene polyethylene ที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์สามารถลดการย่อยสลายด้วยความร้อนได้ และเมื่อปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 0.5% เป็น 2% สามารถลดการย่อยสลายด้วยความร้อนได้ดีมากขึ้น บนพื้นผิวปูน พบว่า สีทองที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มีการทำให้ผิวดูเรียบด้วยความร้อนลดลง จากชุดควบคุม โดยการผสมในอัตราส่วน 0.25% และ 0.75% มีการทำให้ผิวดูเรียบด้วยความร้อนน้อยที่สุด ดังภาพที่ 24 และบนพื้นผิวเหล็ก พบว่า สีทองที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0.25 0.5 0.75 และ 2% มีการทำให้ผิวดูเรียบด้วยความร้อนน้อยที่สุด ดังภาพที่ 25

ส่วนการทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำมัน บนพื้นผิวไม้ พบว่า สีทองที่ไม่มีการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มีการทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนน้อยที่สุด และการผสมในอัตราส่วน 5% สีทองถูกทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนน้อยกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ ดังภาพที่ 26 สำหรับบนพื้นผิวปูน พบว่า การผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0.75 – 5% มีการทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนลดลงจากชุดควบคุม ดังภาพที่ 27 ทำนองเดียวกับบนพื้นผิวเหล็ก ซึ่งสีทองที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0.25 0.5 0.75 และ 2% มีการทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนลดลงจากชุดควบคุม แสดงดังภาพที่ 28

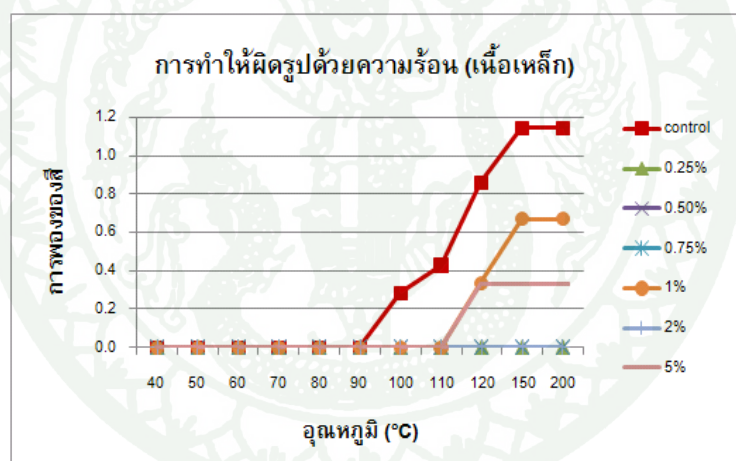
ทั้งนี้ความสามารถในการลดการทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทองที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ทาด้วยเช่นกัน เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับสีได้แตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวของสีที่ทาลงบนวัสดุ นอกจากนี้วัสดุแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับความร้อน และมีส่วนประกอบของวัสดุที่แตกต่างกัน เช่น ไม้และปูน มีความชื้นในเนื้อวัสดุมากกว่าเนื้อเหล็ก ซึ่งอาจส่งผลต่อการพองของสีเมื่อได้รับความร้อนได้



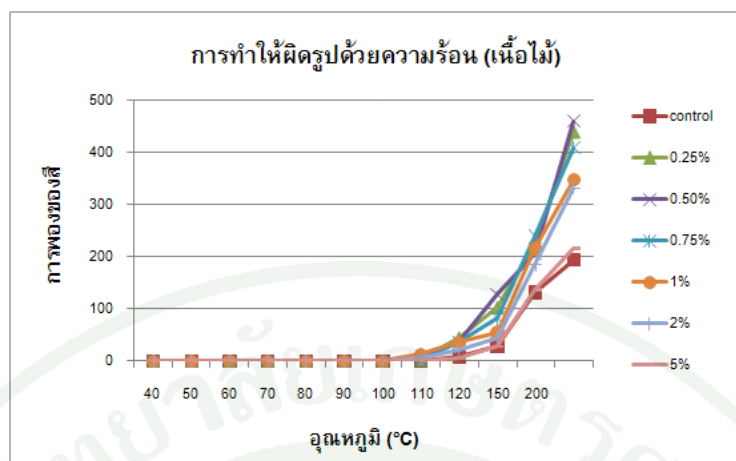
ภาพที่ 23 การทดสอบการทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้



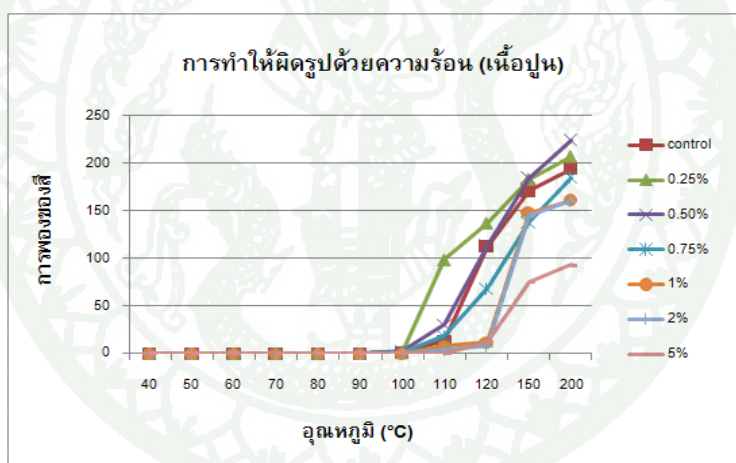
ภาพที่ 24 การทดสอบการทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวปู



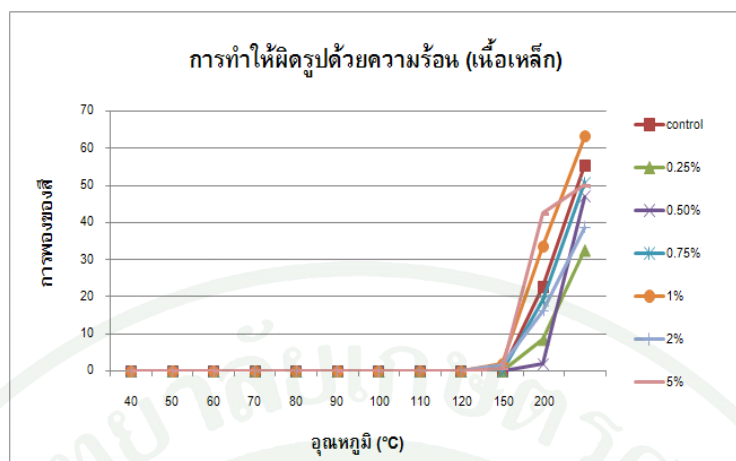
ภาพที่ 25 การทดสอบการทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวเหล็ก



ภาพที่ 26 การทดสอบการทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้



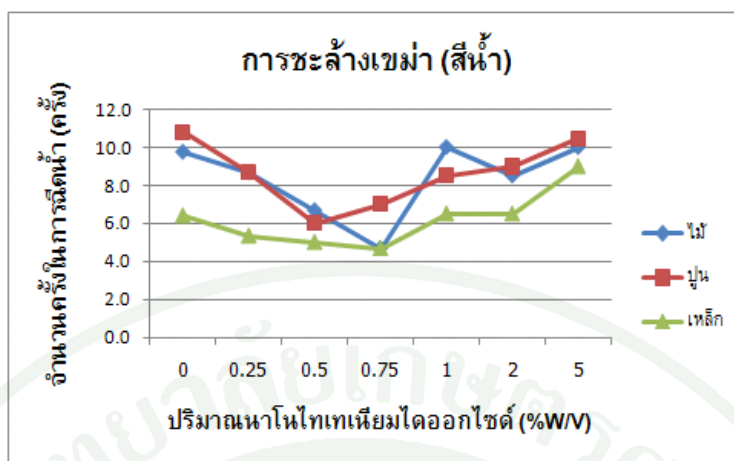
ภาพที่ 27 การทดสอบการทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวปูน



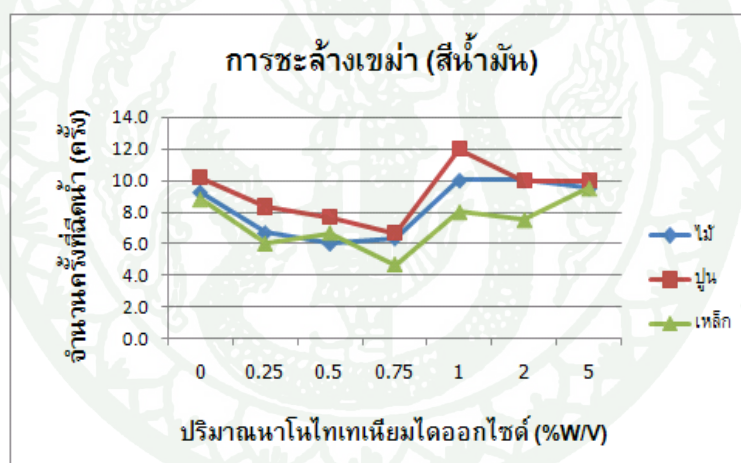
ภาพที่ 28 การทดสอบการทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียม ไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวเหล็ก

2.3 การทดสอบการทำความสะอาดตัวเอง

การทดสอบการชะล้างเขม่าของน้ำมันพืชที่ทำให้เป็นคราบไว้บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก ที่ทำด้วยสีทองทาภายนอกทั้งชนิดน้ำและน้ำมัน ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 0.25 0.50 0.75 1 2 และ 5% (w/v) พบว่าสีทองทั้ง 2 ชนิด ที่มีการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ปริมาณ 0.25 - 0.75% สามารถชะล้างเขม่าได้ดีกว่า 1 - 5% และดีกว่าชุดควบคุม เนื่องจากการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสีทองในอัตราส่วน 0.25 - 0.75% เป็นอัตราส่วนที่ทำให้พื้นผิวสีทองมีอนุภาคนาโนกระจายอยู่บนพื้นผิว ซึ่งพื้นผิวเช่นนี้ทำให้เขม่าไม่สามารถยึดเกาะบนพื้นผิวของสีทองได้ แต่จะอยู่บนอนุภาคนาโนบนพื้นผิวสีทอง ส่งผลให้พื้นผิวมีลักษณะง่ายต่อการชะล้างทำความสะอาด เช่นเดียวกับปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว ที่หยดน้ำ เศษผง หรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ บนใบบัว ไม่สามารถเกาะบนผิวใบบัวได้ เพราะโครงสร้างตุ่มขนาดเล็กระดับจุลภาคจะลดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างใบบัวกับสิ่งสกปรก ทำให้แรงยึดเกาะของสิ่งสกปรกมีน้อยมาก กระทั่งหยดน้ำสามารถดึงสิ่งสกปรกติดออกไปได้ง่าย (บุญรักษ์, 2552) แต่เมื่อมีปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มากขึ้นที่อัตราส่วน 1 - 5% จะเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคนาโนของไททาเนียมไดออกไซด์เป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น หรือเกิดเป็นชั้นของอนุภาคนาโนหลายชั้นบนพื้นผิวของสีทอง (Cui et al., 2009) ส่งผลให้ช่องว่างบนพื้นผิวสีทองมีขนาดใหญ่ขึ้น เขม่าจึงมีโอกาที่จะเกาะยึดกับพื้นผิวของสีทองได้มากขึ้น ทำให้ชะล้างทำความสะอาดได้ยากกว่าการผสมในอัตราส่วน 0.25 - 0.75% ดังภาพที่ 29 และภาพที่ 30



ภาพที่ 29 การทดสอบการชะล้างเขม่าของสีทองชนิดน้ำผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ป่าน และเหล็ก

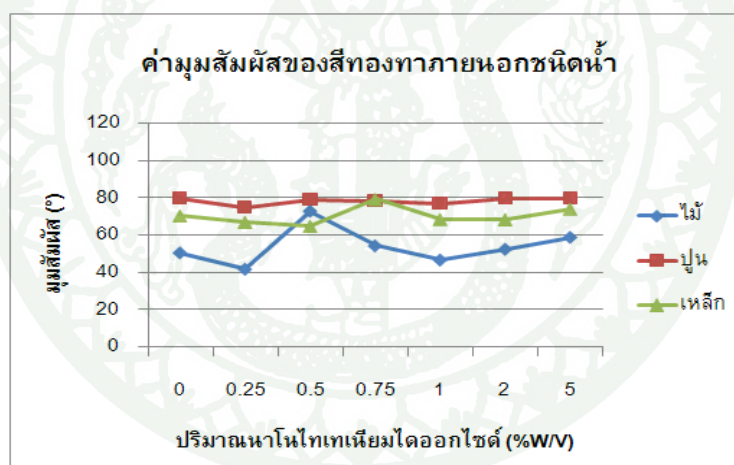


ภาพที่ 30 การทดสอบการชะล้างเขม่าของสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ป่าน และเหล็ก

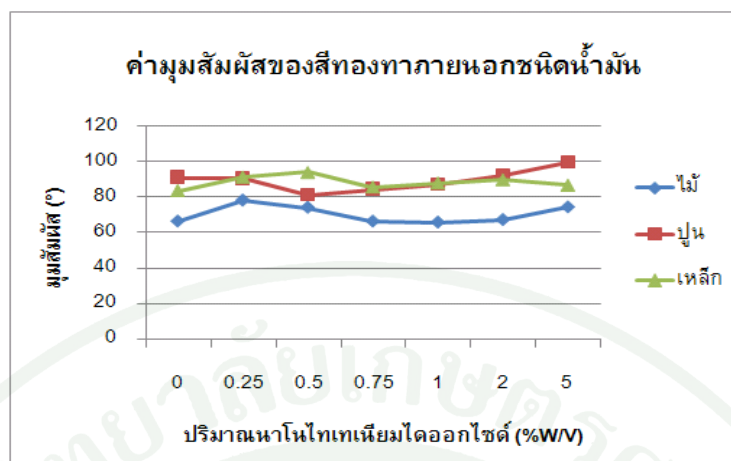
2.4 การตรวจวัดค่ามุมสัมผัส (Contact angle)

การตรวจวัดค่ามุมสัมผัส สามารถแสดงถึงสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ของพื้นผิว ทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านไปยังพื้นผิวภายในของวัสดุได้ และน้ำสามารถชะล้างฝุ่น หรือสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนพื้นผิวภายนอกของวัสดุออกไปได้ ซึ่งเป็นการลดการสัมผัสน้ำและสิ่งสกปรกของพื้นผิววัสดุ และเป็นการยืดอายุการใช้งานของวัสดุ

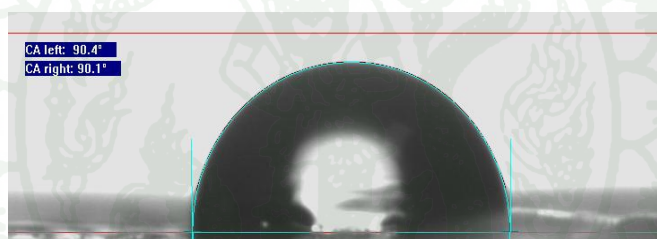
จากการตรวจวัดค่ามุมสัมผัสของสีทองทั้งชนิดน้ำและน้ำมัน ที่ผสมนาโนไททาเนียม ไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก พบว่าการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์อัตราส่วน 0.25 - 0.75% ลงในสีทองทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มในการเพิ่มมุมสัมผัสของพื้นผิวของสีทองที่ทาบบนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็กได้ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ดังภาพที่ 31 และ ภาพที่ 32 ซึ่งเมื่อพื้นผิวมีค่ามุมสัมผัสมากขึ้น จะมีสมบัติไม่ชอบน้ำมากขึ้น สอดคล้องกับการวิจัย Cui *et al.* (2009) ที่มีการผสมอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ลงในสีอีพอกซีที่มีการเตรียมโครงสร้างขนาดไมโครไว้ พบว่าเมื่อปริมาณนาโนซิลิกอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 0 - 0.1% สามารถเพิ่มค่ามุมสัมผัสให้กับพื้นผิวของสีจาก 115.3° เป็น 151.8° และมุมสัมผัสมีค่ามากที่สุดที่ 154.9° เมื่อผสมนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% หลังจากนั้นเมื่อปริมาณนาโนซิลิกอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นจนถึง 2.5% มุมสัมผัสมีค่าลดลง เนื่องจากความแตกต่างของการก่อตัวของชั้นนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ บนพื้นผิวของสี ทั้งนี้ได้แสดงภาพตัวอย่างหยดน้ำขนาด 1 μl จากการตรวจวัดค่ามุมสัมผัสของสีทองชนิดน้ำมันบนพื้นผิวปูน ดังภาพที่ 33



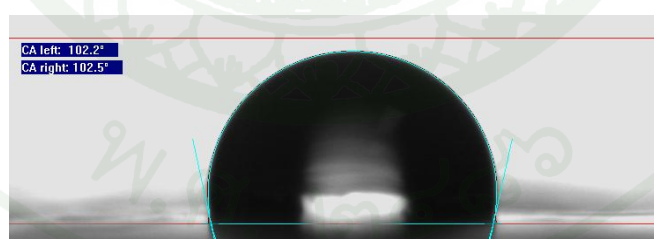
ภาพที่ 31 ค่ามุมสัมผัสของสีทองชนิดน้ำผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก



ภาพที่ 32 ค่ามุมสัมผัสของสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก



(ก)



(ข)

ภาพที่ 33 ลักษณะหยดน้ำในการวัดมุมสัมผัสของสีทองชนิดน้ำมันบนพื้นผิวปูน (ก) ชุดควบคุม (ข) สีทองผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 5%

2.5 การทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

จากการทดสอบเจดสี การทำให้ผิวดูเรียบด้วยความร้อน การชะล้างเขม่า และการวัดค่ามุมสัมผัส พบว่าการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์อัตราส่วน 0.25 - 0.75% ลงในสีทองทาภายนอกทั้งชนิดน้ำและน้ำมัน มีแนวโน้มในการเพิ่มคุณสมบัติพิเศษให้กับสีทองได้ ดังนั้นจึงทำการทดสอบสีทองทั้ง 2 ชนิด ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

ซึ่งการทดสอบตัวอย่างสีทองชนิดน้ำที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0% (ชุดควบคุม) และ 0.75% ตาม มอก.2321-2549 โดยทดสอบความทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ ความทนน้ำ และความทนทานต่อการขัดถู พบว่า สีทองที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 0.75% มีผลการทดสอบไม่แตกต่างจากสีทองชุดควบคุม แสดงดังตารางที่ 5 และ ตารางที่ 6 และเป็นไปตามมาตรฐานที่ มอก.2321-2549 กำหนด คือภายหลังการทดสอบความทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งสภาวะ ฟิล์มสีต้องไม่เกิดการกัดกร่อน ร้าว ล่อน เป็นเกร็ด หรือพอง พื้นผิวอยู่ในสภาพที่จะเคลือบสีทับได้ ไม่เกิดการเป็นฝุ่น และมีการเปลี่ยนสีแตกต่างจากเดิมไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 3 ภายหลังการทดสอบความทนน้ำ ฟิล์มสีต้องไม่พอง ย่น แตก หลุด ล่อน หรือมีข้อบกพร่องอื่น ๆ และมีการเปลี่ยนสีแตกต่างจากเดิมไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 4 และภายหลังการทดสอบความทนทานต่อการขัดถู ฟิล์มสีต้องไม่แตก หลุดล่อน หรือสึกจนถึงพื้นผิวชั้นล่างเป็นแนวยาวเกิน 10 มิลลิเมตร ตามทิศทางการขัดถู

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบตัวอย่างสีทองชนิดน้ำชุดควบคุม ตาม มอก.2321-2549

<u>Item</u>	<u>Results</u>
QUV Test for 168 hrs. ^C	Paint film is normal, gray scale 4
Water resistance	Paint film is normal, gray scale 5
Scrub resistance	Pass

Remark : ^C Test condition

Lamp : UVB 313

Typical Irradiance : 0.71 W/m²/nm

Approximate Wavelength : 310 nm

Exposure cycle : 4 Hrs. UV at 60°C

: 4 Hrs. Condensation at 50°C

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบตัวอย่างสีทองชนิดน้ำมันนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0.75% ตาม มอก.2321-2549

<u>Item</u>	<u>Results</u>
QUV Test for 168 hrs. ^C	Paint film is normal, gray scale 4
Water resistance	Paint film is normal, gray scale 5
Scrub resistance	Pass

Remark : ^C Test condition

Lamp : UVB 313

Typical Irradiance : 0.71 W/m²/nm

Approximate Wavelength : 310 nm

Exposure cycle : 4 Hrs. UV at 60°C

: 4 Hrs. Condensation at 50°C

การทดสอบตัวอย่างสีทองชนิดน้ำมันที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0% (ชุดควบคุม) และ 0.25% ตาม มอก.327-2553 โดยทดสอบความทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ ความทนการขีดข่วน และการทดสอบความเงา พบว่า สีทองที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0.25% มีผลการทดสอบไม่แตกต่างจากสีทองชุดควบคุม ยกเว้นมีความเงา และการลดลงของความเงาภายหลังผ่านการทดสอบความทนต่อลมฟ้าอากาศโดยวิธีเร่งสภาวะ น้อยกว่า สีทองชุดควบคุมเล็กน้อย อีกทั้งสีทองทั้ง 2 อัตราส่วนยังมีความแตกต่างของฟิล์มสีส่วนที่ได้รับแสงกับส่วนที่ไม่ได้รับแสงภายหลังผ่านการทดสอบความทนต่อลมฟ้าอากาศต่ำกว่ามาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 7 และ ตารางที่ 8 โดยมาตรฐานกำหนดให้สีของฟิล์มส่วนที่ได้รับแสงกับส่วนที่ไม่ได้รับแสงแตกต่างกันได้ไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 4 อย่างไรก็ตาม สีทองชนิดน้ำมันทั้ง 2 อัตราส่วน ยังคงมีผลการทดสอบด้านการเป็นฝุ่นของฟิล์มสี ภายหลังการทดสอบความทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ และความทนการขีดข่วน ที่เป็นไปตามมาตรฐานที่ มอก.327-2553 กำหนด

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบตัวอย่างสีทองชนิดน้ำมันชุดควบคุม ตาม มอก.327-2553

<u>Item</u>	<u>Results</u>
QUV Test for 168 hrs. ^C	
- Chalking	Pass
- Gloss Retentions, %	59.4
- Colour difference	gray scale 3
Abrasion resistance	Pass
Gloss at 60°	28.1

Remark : ^C Test condition

Lamp : UVB 313

Typical Irradiance : 0.71 W/m²/nm

Approximate Wavelength : 310 nm

Exposure cycle : 4 Hrs. UV at 60°C

: 4 Hrs. Condensation at 50°C

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบตัวอย่างสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0.25% ตาม มอก.327-2553

Item	Results
QUV Test for 168 hrs. ^C	
- Chalking	Pass
- Gloss Retentions, %	57.5
- Colour difference	gray scale 3
Abrasion resistance	Pass
Gloss at 60°	24.0

Remark : ^CTest condition

Lamp : UVB 313

Typical Irradiance : 0.71 W/m²/nm

Approximate Wavelength : 310 nm

Exposure cycle : 4 Hrs. UV at 60°C

: 4 Hrs. Condensation at 50°C

3. การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์

3.1 การศึกษาต้นทุนการผลิต

สำหรับสีทองชนิดน้ำที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 0.5% และ 0.75% ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเพื่อการใช้งาน พบว่ามีต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นจากสีทองเดิมประมาณ 3% และ 4.5% ตามลำดับ ส่วนสีทองชนิดน้ำมัน ซึ่งอัตราส่วนการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสมในการผลิตคือ 0.25% จะมีต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นจากสีทองเดิมประมาณ 1.5% ทั้งนี้ สัดส่วนต้นทุนการผลิตจะเป็นไปตามปริมาณของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ผสมลงในสีทองทั้ง 2 ชนิด โดยต้นทุนการผลิตจะเพิ่มขึ้น 1.5% ต่อการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 0.25%

3.2 การศึกษาค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมพื้นผิว

จากการศึกษาการทำให้ผิวดูดีด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 0.25% บนพื้นผิวเหล็ก พบว่าสามารถลดการทำให้ผิวดูดีด้วยความร้อนได้ประมาณ 52% เมื่อเปรียบเทียบกับสีทองชนิดน้ำมันชุดควบคุม ดังนั้นในระยะเวลาที่เท่ากัน การใช้สีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 0.25% สามารถลดโอกาสในการซ่อมแซมพื้นผิวสีที่พองตัวขึ้นเนื่องจากความร้อนลงได้

โดยในการทาสีทอง 1 ครั้ง มีค่าใช้จ่ายในส่วน of ค่าแรง และค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ประมาณ 1,700 บาท/ตารางเมตร ซึ่งกรณีการทาสีโบสถ์ 1 หลัง ขนาดกว้าง 4.5 เมตร ยาว 9 เมตร และสูง 12 เมตร มีการทาสีทองประมาณ 30% ของพื้นที่ จะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 185,895 บาท ดังนั้นหากใช้สีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 0.25% สามารถลดการทำให้ผิวดูดีด้วยความร้อนได้ประมาณ 52% คิดเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการทาสี 96,665.40 บาท

กรณีการทาสีพระพุทธรูป 1 องค์ ที่มีขนาดหน้าตักกว้าง 4 เมตร และสูง 7 เมตร จะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 149,464 บาท ซึ่งหากใช้สีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 0.25% สามารถลดการทำให้ผิวดูดีด้วยความร้อนได้ประมาณ 52% คิดเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการทาสี 77,721.28 บาท

3.3 การศึกษาค่าใช้จ่ายในการทำความสะดวก

จากการทดสอบการทำความสะอาดตัวเอง พบว่าการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0.5% ลงในสีทองชนิดน้ำ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะดวกตัวเองของสีทองได้ประมาณ 67% เมื่อเปรียบเทียบกับสีทองชุดควบคุม และการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0.75% ลงในสีทองชนิดน้ำมัน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะดวกตัวเองของสีทองได้ประมาณ 62%

ในการทำความสะดวก 1 ครั้ง มีค่าใช้จ่ายในส่วน of ค่าแรง ค่าวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะดวก ประมาณ 60 บาท/ตารางเมตร กรณีการทำความสะดวกโบสถ์ 1 หลัง ที่มีขนาดกว้าง 4.5 เมตร ยาว 9 เมตร และสูง 12 เมตร ซึ่งมีการทาสีทองประมาณ 30% ของพื้นที่ มีค่าใช้จ่ายครั้งละ 6,561 บาท โดยทั่วไปจะมีการทำความสะอาดปีละ 1 ครั้ง ดังนั้นในระยะเวลา 10 ปี สำหรับสีทองชุดควบคุม จะมีค่าใช้จ่าย 65,610 บาท หากใช้สีทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 0.5% ในระยะเวลา 10 ปี จะทำความสะอาดเพียง 3.3 ครั้ง คิดเป็น

21,651.30 บาท และหากใช้สิทธิทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 0.75% จะมีการทำความสะอาด 3.8 ครั้ง ซึ่งคิดเป็นค่าใช้จ่าย 24,931.80 บาท

สำหรับการทำความสะอาดพระพุทธรูป 1 องค์ ที่มีขนาดหน้าตักกว้าง 4 เมตร และสูง 7 เมตร มีค่าใช้จ่ายครั้งละ 5,275.20 บาท ในระยะเวลา 10 ปี สำหรับสิทธิทองชุดควบคุม จะมีการทำความสะอาด 10 ครั้ง คิดเป็นค่าใช้จ่าย 52,752 บาท หากใช้สิทธิทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 0.5% จะทำความสะอาดเพียง 3.3 ครั้ง คิดเป็น 17,408.20 บาท และหากใช้สิทธิทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 0.75% จะมีการทำความสะอาด 3.8 ครั้ง ซึ่งคิดเป็นค่าใช้จ่าย 20,045.80 บาท

นอกจากนี้ การเลือกใช้สิทธิทองชนิดน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 0.5% มีความคุ้มค่าในการใช้งานมากกว่าสีน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ 0.75% เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากสีทองเดิมต่ำกว่า แต่ได้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

นาโนไททาเนียมไดออกไซด์สามารถใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตสีทองสำหรับทาภายนอกทั้งชนิดน้ำและน้ำมัน เพื่อการเพิ่มสมบัติพิเศษให้กับสีทองคือ ความทนทานต่อความร้อน การทำความสะอาดตัวเองได้ด้วยสมบัติไม่ชอบน้ำของพื้นผิวที่ทา โดยสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ลงในสีแต่ละชนิด ต้องคำนึงถึงเจดสีและประกายของสีทองที่เหมาะสมกับการใช้งาน และปัจจัยที่สำคัญคือชนิดของพื้นผิวที่จะทา ซึ่งมีความแตกต่างกันของคุณลักษณะตามวัสดุนั้น ๆ โดยแสดงสัดส่วนที่เหมาะสมในการพัฒนาสีทอง เพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษดังกล่าว ดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10

ซึ่งอัตราส่วนการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับสีทองชนิดน้ำ เพื่อใช้ในการทาพื้นผิวไม้และปูน คือ 0.5% พื้นผิวเหล็ก คือ 0.75% ส่วนอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับสีทองชนิดน้ำมัน เพื่อใช้ในการทาพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก คือ 0.25% ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าว เป็นอัตราส่วนการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์น้อยที่สุด ที่ไม่ทำให้เจดสีและการเปล่งประกายของสีทองเปลี่ยนแปลงจากสีทองเดิมมากนัก และสามารถเพิ่มสมบัติพิเศษด้านการทนทานต่อความร้อน และการทำความสะอาดตัวเองได้ให้กับสีทอง โดยเห็นได้จากสีทองที่มีการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ มีการทำให้ผิวดูเรียบจากความร้อนลดลง สามารถชะล้างเขม่า น้ำมันพืชได้ดี มีค่ามุมสัมผัสเพิ่มมากขึ้น และเมื่อทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแล้ว มีผลการทดสอบไม่แตกต่างจากสีทองเดิมมากนัก รวมถึงมีต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการผลิตสีทองเดิมประมาณ 1.5 - 4.5% ขึ้นอยู่กับปริมาณของนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่ผสมลงไป และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมพื้นผิวสีที่อาจเกิดการพองจากความร้อน และลดความถี่ในการทำความสะอาดพื้นผิว จึงสามารถลดค่าใช้จ่ายในการทำมาความสะอาดลงได้

ทั้งนี้ จากสมบัติข้างต้นแสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ในการผลิตสีทองผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นไม่สูงนัก และสามารถเพิ่มสมบัติพิเศษให้กับสีทองได้ กล่าวคือ สีทองสามารถทนทานต่อความร้อนได้มากขึ้น การสัมผัสน้ำ และสิ่งสกปรกต่าง ๆ เช่น ฝุ่นละออง เขม่า และตะไคร่ ฯลฯ ของพื้นผิวสีทองลดลง ซึ่งเป็นการช่วยยืดอายุการใช้งานของสีทองที่ใช้สำหรับทาภายนอก ที่ต้องสัมผัสกับสภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน ลดความถี่ในการทาสีพื้นผิว เนื่องจากการเสื่อมสภาพ หรือความสกปรกของพื้นผิว และสามารถช่วยลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำมาความสะอาดพื้นผิวได้อีกด้วย

ตารางที่ 9 ผลกระทบต่อสมบัติของสีทองชนิดน้ำบนพื้นผิว 3 ชนิดกับสัดส่วนในการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

สมบัติ	พื้นผิวไม้								พื้นผิวปูน								พื้นผิวเหล็ก							
	ปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (%)																							
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00			
เจดสี	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	-	-			
ความเข้มแสงสะท้อน	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	+	0	-	-	-	-	-	-			
การทำให้ผิอรูปร่างด้วยความร้อน	0	+	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	+			
การทำความสะอาดตัวเอง	0	+	+	+	-	+	-	0	+	+	+	+	+	0	0	+	+	+	0	0	-			
ค่ามุมสัมผัส	0	-	+	+	-	+	+	0	-	0	-	-	+	0	0	-	-	+	-	-	+			

หมายเหตุ + คือ ให้ผลดีกว่าชุดควบคุม

0 คือ ให้ผลเทียบเท่าชุดควบคุม

- คือ ให้ผลด้อยกว่าชุดควบคุม

ตารางที่ 10 ผลกระทบต่อสมบัติของสีทองชนิดน้ำมันบนพื้นผิว 3 ชนิดกับสัดส่วนในการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์

สมบัติ	พื้นผิวไม้							พื้นผิวปูน							พื้นผิวเหล็ก						
	ปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (%)																				
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00
เงดสี	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	-	-
ความเข้มแสงสะท้อน	0	0	-	+	+	+	+	0	+	+	+	-	-	-	0	+	+	+	+	+	+
การทำให้ผิอรูปร่างด้วยความร้อน	0	-	-	-	-	-	+	0	-	-	+	+	+	+	0	+	+	+	-	+	-
การทำความสะอาดตัวเอง	0	+	+	+	-	-	0	0	+	+	+	-	0	0	0	+	+	+	0	+	-
ค่ามุมสัมผัส	0	+	+	0	-	+	+	0	0	-	-	-	+	+	0	+	+	+	+	+	+

หมายเหตุ + คือ ให้ผลดีกว่าชุดควบคุม

0 คือ ให้ผลเทียบเท่าชุดควบคุม

- คือ ให้ผลด้อยกว่าชุดควบคุม

* ณ อุณหภูมิ 110 °C

ข้อเสนอแนะ

ผลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ เป็นเพียงข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาสีทองสำหรับทาภายนอก ให้มีสมบัติพิเศษที่ทนทานต่อสภาวะแวดล้อม โดยคำนึงถึงลักษณะที่ปรากฏของสีทอง คือเงดสี และความเปลี่ยนแปลงของสีทอง เพื่อประโยชน์ต่อการนำสีทองไปใช้งาน ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึง กลไก หรือปฏิกิริยาระหว่างสีทอง อนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ และพื้นผิววัสดุ ได้ดีขึ้น อาจมีการศึกษาเพิ่มเติมในระดับที่ลึกลงไป ซึ่งจะต้องอาศัยเทคโนโลยี หรือเครื่องมือ ที่มี ลักษณะเฉพาะในการตรวจวัด และอาจต้องมีการพัฒนาวิธีการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ ลงในสีทอง เพื่อให้มีการกระจายตัวในสีได้ดีขึ้น รวมถึงพัฒนาวิธีการเคลือบสีลงบนพื้นผิว เช่น ใช้การพ่นแทนการทา เป็นต้น เพื่อให้พื้นผิวสีที่เคลือบบนพื้นวัสดุมีความเรียบเนียนขึ้น และ สะดวกต่อการนำไปวิเคราะห์ในระดับต่อไป

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงสมบัติพิเศษบางประการเท่านั้น คือความทนทานต่อความร้อน และการทำความสะอาดตัวเองได้ แต่ยังมีสมบัติพิเศษด้านอื่น ๆ ที่น่าสนใจ และควรศึกษา เพิ่มเติม เช่น สมบัติในการฆ่าเชื้อโรค การย่อยสลายสารมลพิษในอากาศ เป็นต้น รวมถึง การศึกษาการหลุดล่อนของสีทองผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์สู่สิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาการผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในสีรอง พื้น และสารเคลือบ ไว้เพียงเบื้องต้นเท่านั้น จึงอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมในการผสมอัตราส่วนที่ ต่างออกไป และทดสอบสมบัติต่าง ๆ เพื่อการพัฒนาต่อไป

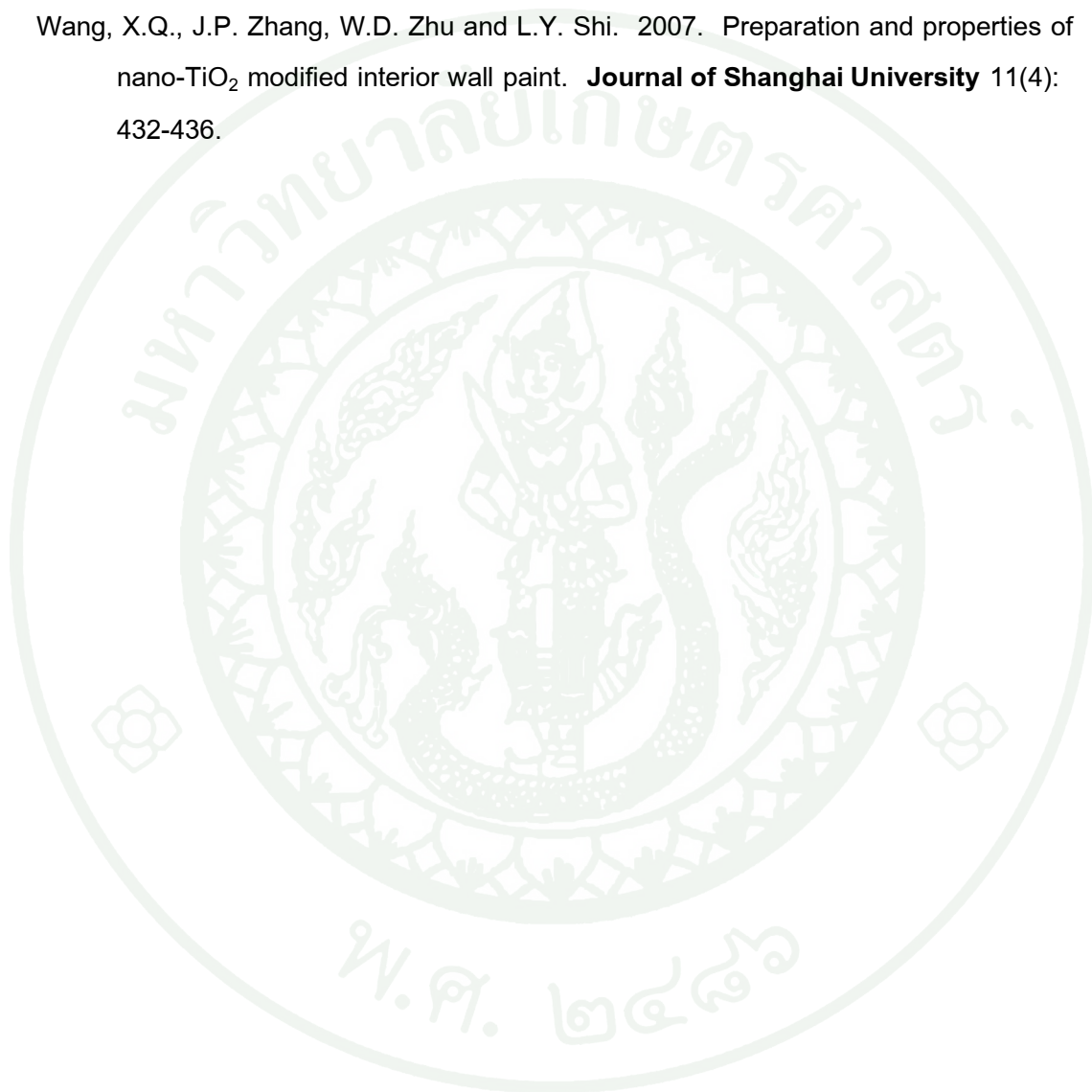
เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- เฉลิมชัย ชัยเจริญเมือง. 2551. การพัฒนาระบบสเปรย์ไฟโรลิซิสสำหรับการสังเคราะห์ไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างระดับนาโน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ดำเนิน คงพาลา. 2550. เทคโนโลยีงานสี. พิมพ์ครั้งที่ 2. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.
- บุญรักษ์ กาญจนวราณิชย์. 2552. สารหน้ารู้: อิฐกันตะไคร้จากเทคโนโลยีเลียนแบบธรรมชาติ. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. แหล่งที่มา:
http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=919&Itemid=176&mosmsg=%A2%CD%BA%A4%D8%B3%CA%D3%CB%C3%D1%BA%A1%D2%C3%C5%A7%A4%D0%E1%B9%B9%21, 21 กรกฎาคม 2554.
- ประณต กุลประสูตร. 2552. เทคนิคงานสี. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สุดาร์ตน์ รัตนแสง. 2547. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารระเหยอินทรีย์ในกระบวนการผลิตสี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรอุษา สรวารี. 2537. สารเคลือบผิว (สี วาร์นิช และแล็กเกอร์). พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- Allen, N.S., M. Edge, A. Ortega, C.M. Liauw, J. Stratton and R.B. McIntyre. 2002. Behaviour of nanoparticle (ultrafine) titanium dioxide pigments and stabilisers on the photooxidative stability of water based acrylic and isocyanate based acrylic coatings. **Polymer Degradation and Stability** 78: 467-478.
- Allen, N.S., M. Edge, A. Ortega, G. Sandoval, C.M. Liauw, J. Verran, J. Stratton and R.B. McIntyre. 2004. Degradation and stabilisation of polymers and coatings: nano versus pigmentary titania particles. **Polymer Degradation and Stability** 85: 927-946.

- Chen, F., X. Yang and Q. Wu. 2009. Antifungal capability of TiO₂ coated film on moist wood. **Building and Environment** 44: 1088-1093.
- Chen, J and C. Poon. 2009. Photocatalytic construction and building materials: From fundamentals to applications. **Building and Environment** 44: 1899-1906.
- Corrales, T., C. Peinado, N.S. Allen, M. Edge, G. Sandoval and F. Catalina. 2003. A chemiluminescence study of micron and nanoparticle titanium dioxide: effect on the thermal stability of metallocene polyethylene. **Journal of Photochemistry and Photobiology A:Chemistry** 156: 151-160.
- Cui, Z., L. Yin, Q. Wang, J. Ding and Q. Chen. 2009. A facile dip-coating process for preparing highly durable superhydrophobic surface with multi-scale structures on paint films. **Journal of Colloid and Interface Science** 337: 531-537.
- Dhoke, S.K. and A.S. Khanna. 2009. Electrochemical behavior of nano-iron oxide modified alkyd based waterborne coatings. **Materials Chemistry and Physics** 117: 550-556.
- Geng, Q.J., X.K. Wang and S.F. Tang. 2008. Heterogeneous photocatalytic degradation kinetic of gaseous ammonia over nano-TiO₂ supported on latex paint film. **Biomedical and Environmental Sciences** 21: 118-123.
- Hochmannova, L. and J. Vytrasova. 2010. Photocatalytic and antimicrobial effects of interior paints. **Organic Coatings** 67: 1-5.
- Peng, B., Y. Huang, L.Y. Chai, G.L. Li, M.M. Cheng and X.F. Zhang. 2007. Influence of polymer dispersants on dispersion stability of nano-TiO₂ aqueous suspension and its application in inner wall latex paint. **J. Cent. South Univ. Technol.** 14(4): 490-495.

Shtykova, L., C. Fant, P. Handa, A. Larsson, K. Berntsson, H. Blanck, R. Simonsson, M. Nyden and H.I. Harelind. 2009. Adsorption of antifouling booster biocides on metal oxide nanoparticles: effect of different metal oxides and solvents. **Organic Coatings** 64: 20-26.

Wang, X.Q., J.P. Zhang, W.D. Zhu and L.Y. Shi. 2007. Preparation and properties of nano-TiO₂ modified interior wall paint. **Journal of Shanghai University** 11(4): 432-436.







การตรวจวัดความเข้มแสงสะท้อนของสีทองชนิดน้ำและน้ำมัน โดยการวัดค่าความเข้มของแสงจากไฟฉายที่สะท้อนมาจากพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก ที่ทำด้วยสีทองชนิดน้ำและน้ำมัน ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) ด้วยเครื่องตรวจวัดความเข้มแสง Illumino meter ANA-F9 ทำการตรวจวัด 3 ซ้ำ ค่าความเข้มแสงที่ตรวจวัดได้แสดงดังตารางผนวกที่ ก1 ถึง ก2

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการตรวจวัดความเข้มแสงสะท้อนของสีทองชนิดน้ำบนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก

พื้นผิววัสดุ	ความเข้มแสง (Lux)						
	ปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (%)						
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00
ไม้	214.6	189.4	203.6	153.8	173.2	166.2	162.6
ปูน	162.4	147.2	147.8	128.2	150.8	162.2	179.7
เหล็ก	187.8	161.4	143.2	142.4	167.0	118.2	119.8

ตารางผนวกที่ ก2 ผลการตรวจวัดความเข้มแสงสะท้อนของสีทองชนิดน้ำมันบนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก

พื้นผิววัสดุ	ความเข้มแสง (Lux)						
	ปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (%)						
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00
ไม้	247.2	244.2	231.8	261.8	249.6	256.8	254.8
ปูน	175.8	184.4	192.0	196.6	167.8	158.6	142.6
เหล็ก	147.2	154.8	171.2	163.0	164.4	169.2	151.0

การทดสอบการทำให้ผิวดูด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำ และน้ำมัน ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก โดยการอบความร้อน ณ อุณหภูมิ 40 50 60 70 80 90 100 110 120 150 และ 200 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงทุกอุณหภูมิ ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ สังเกตการพองของพื้นผิวสีทอง และบันทึกผล ดังตารางผนวกที่ ก3 ถึง ก8

ตารางผนวกที่ ก3 ผลการทดสอบการพองของสีจากทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทองชนิด
น้ำบนพื้นผิวไม้

อุณหภูมิ	จำนวนการพองของสีทอง (จุด)						
	ปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (%)						
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90	400.0	300.0	100.0	233.3	87.5	0.0	0.0
100	566.7	433.3	287.5	375.0	175.0	0.0	200.0
110	900.0	733.3	383.3	500.0	250.0	150.0	300.0
120	1433.3	933.3	466.7	933.3	500.0	400.0	175.0
150	2066.7	1233.3	566.7	1000.0	400.0	200.0	175.0
200	2933.3	2500.0	1733.3	1666.7	500.0	250.0	225.0

ตารางผนวกที่ ก4 ผลการทดสอบการพองของสีจากทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทองชนิด
น้ำบนพื้นผิวปูน

อุณหภูมิ	จำนวนการพองของสีทอง (จุด)						
	ปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (%)						
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90	4.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
100	19.8	2.0	3.3	2.5	1.3	0.0	0.0
110	31.8	7.7	25.0	4.7	12.3	0.3	0.0
120	151.4	9.7	55.7	5.7	33.3	16.5	0.0
150	279.4	48.3	108.3	18.0	170.0	160.0	115.0
200	357.1	81.7	171.7	24.3	246.7	250.5	175.0

ตารางผนวกที่ ก5 ผลการทดสอบการพองของสีจากทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทองชนิด
น้ำบนพื้นผิวเหล็ก

อุณหภูมิ	จำนวนการพองของสีทอง (จุด)						
	ปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (%)						
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
100	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
110	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
120	0.9	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3
150	1.1	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.3
200	1.1	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.3

ตารางผนวกที่ 6 ผลการทดสอบการพองของสีจากทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทองชนิด
น้ำมันบนพื้นผิวไม้

อุณหภูมิ	จำนวนการพองของสีทอง (จุด)						
	ปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (%)						
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
100	0.9	2.3	2.5	2.8	12.8	4.8	0.7
110	7.3	44.3	35.0	36.0	34.8	21.0	4.3
120	28.3	102.8	128.0	82.3	54.8	44.0	27.0
150	131.8	223.0	206.7	238.3	215.3	185.3	135.7
200	193.6	440.0	460.0	408.0	347.0	332.3	215.0

ตารางผนวกที่ ก7 ผลการทดสอบการพองของสีจากทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทองชนิด
น้ำมันบนพื้นผิวปูน

อุณหภูมิ	จำนวนการพองของสีทอง (จุด)						
	ปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (%)						
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
100	0.7	1.0	2.3	1.8	0.0	0.0	0.0
110	13.3	98.5	30.0	18.5	7.3	4.0	0.0
120	69.0	137.3	113.3	68.0	12.0	7.3	11.3
150	171.8	183.3	185.0	138.0	148.5	145.0	75.0
200	194.3	207.3	224.3	184.7	161.5	160.7	93.0

ตารางผนวกที่ ก8 ผลการทดสอบการฟองของสีจากทำให้ผิดรูปด้วยความร้อนของสีทองชนิดน้ำมันบนพื้นผิวหลัก

อุณหภูมิ	จำนวนการฟองของสีทอง (จุด)						
	ปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (%)						
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
110	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
120	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	1.5	0.5
150	22.7	8.5	2.0	19.0	33.5	16.3	42.5
200	55.3	32.5	47.0	50.7	63.0	38.7	50.0

การทดสอบการทำความสะอาดตัวเอง โดยทดสอบการชะล้างเขม่าของน้ำมันพืชที่ทำให้เป็นคราบไว้บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก ที่ทำด้วยสีทองทาทาภายนอกชนิดน้ำและน้ำมันผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 0.25 0.50 0.75 1 2 และ 5% (w/v) ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ และบันทึกจำนวนครั้งในการฉีดน้ำล้างเขม่า ดังตารางผนวกที่ ก9 ถึง ก10

ตารางผนวกที่ ก9 ผลการทดสอบการชะล้างเขม่าของสีทองชนิดน้ำ บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก

พื้นผิววัสดุ	จำนวนการฉีดน้ำชะล้างเขม่า (ครั้ง)						
	ปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (%)						
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00
ไม้	9.8	8.7	6.7	4.7	10.0	8.5	10.0
ปูน	10.8	8.7	6.0	7.0	8.5	9.0	10.5
เหล็ก	6.4	5.3	5.0	4.7	6.5	6.5	9.0

ตารางผนวกที่ ก10 ผลการทดสอบการชะล้างเขม่าของสีทองชนิดน้ำมัน บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก

พื้นผิววัสดุ	จำนวนการฉีดน้ำชะล้างเขม่า (ครั้ง)						
	ปริมาณนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ (%)						
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00
ไม้	9.3	6.7	6.0	6.3	10.0	10.0	9.5
ปูน	10.2	8.3	7.7	6.7	12.0	10.0	10.0
เหล็ก	8.8	6.0	6.7	4.7	8.0	7.5	9.5

การตรวจวัดค่ามุมสัมผัสของสีทองทั้งชนิดน้ำและน้ำมัน ที่ผสมนาโนไททาเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 0 (ชุดควบคุม) 0.25 0.5 0.75 1 2 และ 5% (w/v) บนพื้นผิวไม้ ปูน และเหล็ก ด้วยเครื่อง Dynamic Contact Angle Measuring Device (DataPhysics OCA – Series) โดยตรวจวัดที่หยดของเหลวขนาด 1 μl และทำการสุ่มตรวจวัดตัวอย่างละ 3 บริเวณ แสดงผลการตรวจวัดตั้งรายงานผลการทดสอบในภาคผนวก ข



รายงานผลการทดสอบ

ลูกค้า: คุณ สุธิดา พิริยะการสกุล

ที่อยู่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตูโป.ณ. 1072 เกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม.10930

เทคนิค: Contact Angle

ชื่อตัวอย่าง: สีทงนาโนบนพื้นไม้, สีทงนาโนบนพื้นปูน, สีทงนาโนบนพื้นเหล็ก

หมายเลขอ้างอิง: TS51-I0127-CA001, TS51-I0127-CA002, TS51-I0127-CA003

วันที่ทำการทดสอบ: 25 มกราคม 2554

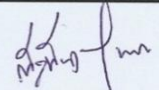
ทดสอบที่: ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบ
ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ. พหลโยธิน
ต. คลองหนึ่ง อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12120
โทรศัพท์ 02-564-7100 ต่อ 6567
โทรสาร 02-564-6981

ผลทดสอบ:

โปรดดูผลการทดสอบในรายงานหน้าถัดไป

ทดสอบโดย


(นาย ชองกิต ตีทอง)
เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ


(ดร.ณัฐพันธุ์ คุงกา)

หัวหน้าห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบ

ทดสอบโดยศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

ข้อสงวนสิทธิ์

การรับรองผลการตรวจสอบเกิดจากการตรวจสอบเฉพาะตัวอย่างชิ้นงานที่อยู่ภายใต้สภาวะและเครื่องมือที่กำหนดเท่านั้น ไม่สามารถขยายผลสรุปการตรวจสอบที่นอกเหนือจากที่ระบุไว้ได้ ทั้งนี้ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติขอสงวนสิทธิ์ที่จะไม่รับผิดชอบต่อความเสียหายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นในการนำข้อมูลนี้ไปใช้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติไม่ใช่นายงานที่มีอำนาจในการรับรองผลการตรวจสอบใดๆ และห้ามนำชื่อของศูนย์ฯ หรือสัญลักษณ์ (โลโก้) ของศูนย์ฯ ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดหรือเพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด เว้นแต่จะได้รับการอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้อำนวยการศูนย์ฯ แล้วเท่านั้น

ผลการทดลอง

วิเคราะห์หาค่าด้วยเครื่อง Contact Angle จากบริษัท DataPhysics Model: OCA40 ในโหมด Sessile Drop ใช้ Deionization water ขนาด 1- μ l โดยหนึ่งตัวอย่างจะทำการสุ่มวิเคราะห์หาค่า 3 บริเวณ

ตารางแสดงรหัสตัวอย่าง

รหัสตัวอย่าง	ชื่อตัวอย่าง	คำอธิบาย
TS51-I0127-CA001	Wood	สีทองนาโนบนพื้นไม้
TS51-I0127-CA002	Tile	สีทองนาโนบนพื้นปูน
TS51-I0127-CA003	Galvanized Iron	สีทองนาโนบนพื้นเหล็ก

ตารางแสดงผล Contact Angle

TS51-I0127-CA001

รหัสตัวอย่าง	Contact Angle (Mean)	S.D.
TS51-I0127-CA001_Control_Oil	66.16	1.84
TS51-I0127-CA001_0.25_Oil	78.15	2.95
TS51-I0127-CA001_0.5_Oil	74.04	3.77
TS51-I0127-CA001_0.75_Oil	66.15	2.47
TS51-I0127-CA001_1_Oil	66.58	0.53
TS51-I0127-CA001_2_Oil	67.02	2.04
TS51-I0127-CA001_5_Oil	74.27	0.62

รหัสตัวอย่าง	Contact Angle (Mean)	S.D.
TS51-I0127-CA001_Control_Water	50.59	0.84
TS51-I0127-CA001_0.25_Water	41.83	4.12
TS51-I0127-CA001_0.5_Water	72.84	2.08
TS51-I0127-CA001_0.75_Water	54.33	3.58
TS51-I0127-CA001_1_Water	46.76	3.16
TS51-I0127-CA001_2_Water	52.48	1.95
TS51-I0127-CA001_5_Water	58.86	0.30

TS51-I0127-CA002

รหัสตัวอย่าง	Contact Angle (Mean)	S.D.
TS51-I0127-CA002_Control_Oil	90.80	5.27
TS51-I0127-CA002_0.25_Oil	90.16	2.49
TS51-I0127-CA002_0.5_Oil	80.97	2.33
TS51-I0127-CA002_0.75_Oil	84.19	5.84
TS51-I0127-CA002_1_Oil	86.59	3.65
TS51-I0127-CA002_2_Oil	91.91	2.67
TS51-I0127-CA002_5_Oil	99.28	2.67

รหัสตัวอย่าง	Contact Angle (Mean)	S.D.
TS51-I0127-CA002_Control_Water	79.99	7.70
TS51-I0127-CA002_0.25_Water	75.04	1.16
TS51-I0127-CA002_0.5_Water	79.21	4.50
TS51-I0127-CA002_0.75_Water	78.99	7.47
TS51-I0127-CA002_1_Water	77.28	3.82
TS51-I0127-CA002_2_Water	80.08	7.32
TS51-I0127-CA002_5_Water	79.96	1.17

ทดสอบโดยศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

ข้อสงวนสิทธิ์

การรับรองผลการตรวจสอบเกิดจากการตรวจสอบเฉพาะตัวอย่างชิ้นงานที่อยู่ภายใต้สภาวะและเครื่องมือที่กำหนดเท่านั้น ไม่สามารถขยายผลสรุปการตรวจสอบที่นอกเหนือจากที่ระบุไว้ได้ ทั้งนี้ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติขอสงวนสิทธิ์ที่จะไม่รับผิดชอบต่อความเสียหายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นในการนำข้อมูลนี้ไปใช้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติไม่ใช่นายงานที่มีอำนาจในการรับรองผลการตรวจสอบใดๆ และห้ามนำชื่อของศูนย์ฯ หรือสัญลักษณ์ (โลโก้) ของศูนย์ฯ ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดหรือเพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด เว้นแต่จะได้รับการอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้อำนวยการศูนย์ฯ แล้วเท่านั้น

TS51-I0127-CA003

รหัสตัวอย่าง	Contact Angle (Mean)	S.D.
TS51-I0127-CA003_Control_Oil	83.29	3.77
TS51-I0127-CA003_0.25_Oil	91.15	0.82
TS51-I0127-CA003_0.5_Oil	93.75	1.19
TS51-I0127-CA003_0.75_Oil	85.38	0.40
TS51-I0127-CA003_1_Oil	87.77	1.33
TS51-I0127-CA003_2_Oil	89.59	1.94
TS51-I0127-CA003_5_Oil	86.46	3.09

รหัสตัวอย่าง	Contact Angle (Mean)	S.D.
TS51-I0127-CA003_Control_Water	70.54	4.17
TS51-I0127-CA003_0.25_Water	67.08	3.09
TS51-I0127-CA003_0.5_Water	64.91	2.07
TS51-I0127-CA003_0.75_Water	79.42	3.24
TS51-I0127-CA003_1_Water	68.63	5.50
TS51-I0127-CA003_2_Water	68.51	4.10
TS51-I0127-CA003_5_Water	74.20	2.40

ทดสอบโดยศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

ข้อสงวนสิทธิ์

การรับรองผลการตรวจสอบเกิดจากการตรวจสอบเฉพาะตัวอย่างชิ้นงานที่อยู่ภายใต้สภาวะและเครื่องมือที่กำหนดเท่านั้น ไม่สามารถขยายผลสรุปการตรวจสอบที่นอกเหนือจากที่ระบุไว้ได้ ทั้งนี้ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติขอสงวนสิทธิ์ที่จะไม่รับผิดชอบต่อความเสียหายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นในการนำข้อมูลนี้ไปใช้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติไม่ใช่นายงานที่มีอำนาจในการรับรองผลการตรวจสอบใดๆ และห้ามนำชื่อของศูนย์ฯ หรือสัญลักษณ์ (โลโก้) ของศูนย์ฯ ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดหรือเพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด เว้นแต่จะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้อำนวยการศูนย์ฯ แล้วเท่านั้น



ภาคผนวก ค

รายงานผลการทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม



TISTR

TEST REPORT

Request No. : 15-54/0322

MTC.ACL.No. 954-1 / 54

Client : Suthida Piriyaakarnsakul

Page : 1 of 1

Department of Environmental Science Faculty of Science,
Kasetsart University

Date of receipt : July 7, 2011

Date of test : July 11, 2011

Condition of testing : Temperature 25 ± 5 °C Relative humidity 50 ± 20 %

Sample Identification : Acrylic water based paint Code : C00

Method : TIS.2321-2549

Result :

Item	Results
QUV Test for 168 hrs. ^c	Paint film is normal, gray scale 4
Water resistance	Paint film is normal, gray-scale 5
Scrub resistance	Pass

Remark : ^c Test condition

Lamp : UVB 313

Typical Irradiance : 0.71 W/m²/nm

Approximate Wavelength : 310 nm

Exposure cycle : 4 Hrs. UV at 60 °C

: 4 Hrs. Condensation at 50 °C

Tested / analysed by

1 Narongrit Homdang

2

3

Approved by *Danai Srithongkum*

(Mr. Danai Srithongkum)

Research Officer

Acting Director of Analytical Chemistry Laboratory

Date : December 15, 2011

Ref. 1025254070701019001/1

The above results are valid exclusively for the tested / analysed sample(s) calibrated item(s) as mentioned in this report/certificate.
Advertising the Report/Certificate and publicity of the results except in full are prohibited unless written permission is obtained from the governor of TISTR.

THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR)
INDUSTRIAL METROLOGY AND TESTING SERVICE CENTRE

FM.BL.MTC.002 Rev.2

196 Phahonyothin Road, Chatuchak, Bangkok 10900
Tel. (66) 0 2579 1121-30, 0 2579 5515 ext. 5225, 5226
Fax. (66) 0 2561 4771, 0 2579 8592
URL : <http://www.tistr.or.th>

Soi 1, Bangpoo Industrial Estate, Sukhumvit Road,
Amphoe Muang, Samutprakan 10280
Tel. (66) 0 2323 1672 - 80, 0 2709 4147 ext. 115, 116
Fax. (66) 0 2323 9165



TISTR

TEST REPORT

Request No. : 15-54/0322

MTC.ACL.No. 954-2 / 54

Client : Suthida Piriyakarnsakul

Page : 1 of 1

Department of Environmental Science Faculty of Science,
Kasetsart University

Date of receipt : July 7, 2011

Date of test : July 11, 2011

Condition of testing : Temperature 25 ± 5 °C Relative humidity 50 ± 20 %

Sample Identification : Acrylic water based paint Code : 075

Method : TIS.2321-2549

Result :

Item	Results
QUV Test for 168 hrs. ^c	Paint film is normal, gray scale 4
Water resistance	Paint film is normal, gray scale 5
Scrub resistance	Pass

Remark : ^c Test condition

Lamp : UVB 313

Typical Irradiance : 0.71 W/m²/nm

Approximate Wavelength : 310 nm

Exposure cycle : 4 Hrs. UV at 60 °C

: 4 Hrs. Condensation at 50 °C

Tested / analysed by

1 Nirongrit Heandunng

2

3

Approved by

(Signature)
(Mr. Danai Srithongkum)
Research Officer

Acting Director of Analytical Chemistry Laboratory

Date : December 15, 2011

Ref. 1025254070701019001/2

The above results are valid exclusively for the tested / analysed sample(s) calibrated item(s) as mentioned in this report/certificate.
Advertising the Report/Certificate and publicity of the results except in full are prohibited unless written permission is obtained from the governor of TISTR.

THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR)
INDUSTRIAL METROLOGY AND TESTING SERVICE CENTRE

FM.BL.MTC.002 Rev.2

196 Phahonyothin Road, Chatuchak, Bangkok 10900
Tel. (66) 0 2579 1121-30, 0 2579 5515 ext. 5225, 5226
Fax. (66) 0 2561 4771, 0 2579 8592
URL : <http://www.tistr.or.th>

Soi 1, Bangpoo Industrial Estate, Sukhumvit Road,
Amphoe Muang, Samutprakan 10280
Tel. (66) 0 2323 1672 - 80, 0 2709 4147 ext. 115, 116
Fax. (66) 0 2323 9165



TISTR

TEST REPORT

Request No. : 15-54/0322

MTC.ACL.No. 954-3 / 54

Client : Suthida Piriakarnsakul

Page : 1 of 1

Department of Environmental Science Faculty of Science,
Kasetsart University

Date of receipt : July 7, 2011

Date of test : July 11, 2011

Condition of testing : Temperature 25 ± 5 °C Relative humidity 50 ± 20 %

Sample Identification : Acrylic oil based paint Code : C00

Method : TIS.327-2553

Result :

Item	Results
QUV Test for 168 hrs. ^c	
- Chalking	Pass
- Gloss Retentions, %	59.4
- Colour difference	gray scale 3
Abrasion resistance	Pass
Gloss at 60°	28.1

Remark : ^c Test condition

Lamp : UVB 313

Typical Irradiance : 0.71 W/m²/nm

Approximate Wavelength : 310 nm

Exposure cycle : 4 Hrs. UV at 60 °C

: 4 Hrs. Condensation at 50 °C

Tested / analysed by

1 Narongsit Hemdunang

2

3

Approved by

(Mr. Danai Srithongkum)

Research Officer

Acting Director of Analytical Chemistry Laboratory

Date : December 15, 2011

Ref. 1025254070701019001/3

The above results are valid exclusively for the tested / analysed sample(s) calibrated item(s) as mentioned in this report/certificate.
Advertising the Report/Certificate and publicity of the results except in full are prohibited unless written permission is obtained from the governor of TISTR.

THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR)
INDUSTRIAL METROLOGY AND TESTING SERVICE CENTRE

FM.BL.MTC.002 Rev.2

196 Phahonyothin Road, Chatuchak, Bangkok 10900
Tel. (66) 0 2579 1121-30, 0 2579 5515 ext. 5225, 5226
Fax. (66) 0 2561 4771, 0 2579 8592
URL : <http://www.tistr.or.th>

Soi 1, Bangpoo Industrial Estate, Sukhumvit Road,
Amphoe Muang, Samutprakan 10280
Tel. (66) 0 2323 1672 - 80, 0 2709 4147 ext. 115, 116
Fax. (66) 0 2323 9165



TEST REPORT

Request No. : 15-54/0322

MTC.ACL.No. 954-4 / 54

Client : Suthida Piriyakarnsakul

Page : 1 of 1

Department of Environmental Science Faculty of Science,

Date of receipt : July 7, 2011

Kasetsart University

Date of test : July 11, 2011

Condition of testing : Temperature 25 ± 5 °C Relative humidity 50 ± 20 %

Sample Identification : Acrylic oil based paint Code : 025

Method : TIS.327-2553

Result :

Item	Results
QUV Test for 168 hrs. ^c	
- Chalking	Pass
- Gloss Retentions, %	57.5
- Colour difference	gray scale 3
Abrasion resistance	Pass
Gloss at 60°	24.0

Remark : ^c Test condition

Lamp : UVB 313

Typical Irradiance : 0.71 W/m²/nm

Approximate Wavelength : 310 nm

Exposure cycle : 4 Hrs. UV at 60 °C

: 4 Hrs. Condensation at 50 °C

Tested / analysed by

1 Nasongrit Hanchuang

2

3

Approved by

(Mr. Danai Srithongkum)

Research Officer

Acting Director of Analytical Chemistry Laboratory

Date : December 15, 2011

Ref. 1025254070701019001/4

The above results are valid exclusively for the tested / analysed sample(s) calibrated item(s) as mentioned in this report/certificate.
Advertising the Report/Certificate and publicity of the results except in full are prohibited unless written permission is obtained from the governor of TISTR.

THAILAND INSTITUTE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (TISTR)
INDUSTRIAL METROLOGY AND TESTING SERVICE CENTRE

FM.BL.MTC.002 Rev.2

196 Phahonyothin Road, Chatuchak, Bangkok 10900
Tel. (66) 0 2579 1121-30, 0 2579 5515 ext. 5225, 5226
Fax. (66) 0 2561 4771, 0 2579 8592
URL : <http://www.tistr.or.th>

Soi 1, Bangpoo Industrial Estate, Sukhumvit Road,
Amphoe Muang, Samutprakan 10280
Tel. (66) 0 2323 1672 - 80, 0 2709 4147 ext. 115, 116
Fax. (66) 0 2323 9165





เล่ม ๑๒๔ ตอนพิเศษ ๔๐ ง

หน้า ๑
ราชกิจจานุเบกษา

๓ เมษายน ๒๕๕๐

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๓๕๘๓ (พ.ศ. ๒๕๕๕)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. ๒๕๑๑

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๕ แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. ๒๕๑๑ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ มาตรฐานเลขที่ มอก.2321-2549 ไว้ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ ๒๘ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๕๕

โสมิต ปิ่นเปี่ยมรัษฎ์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมสีอิมัลชันทนสภาวะอากาศใช้สำหรับเคลือบอาคารทั้งภายนอกหรือภายใน ที่แห้งได้เองในอากาศ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 สีอิมัลชันทนสภาวะอากาศ ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “สีอิมัลชัน” หมายถึง สีที่ประกอบด้วยผงสีและสิ่งนำสีที่เป็นอิมัลชันระหว่างสารยึดก้นน้ำ สำหรับใช้งานที่ต้องการความทนทานต่อสภาวะอากาศ อาจเรียกชื่ออื่นว่า สีลาเท็กซ์ทนสภาวะอากาศ สีเรซินอิมัลชันทนสภาวะอากาศ สีน้ำพลาสติกทนสภาวะอากาศ สีน้ำอะคริลิก ในกรณีที่สารยึดเป็นอะคริลิก

3. ประเภท

- 3.1 สีอิมัลชันแบ่งตามลักษณะการใช้งานเป็น 2 ประเภท คือ
- 3.1.1 สีภายนอก ใช้สำหรับเคลือบอาคารทั้งภายนอกและภายใน
- 3.1.2 สีภายใน ใช้สำหรับเคลือบเฉพาะภายในอาคาร

4. ส่วนประกอบ

- 4.1 ผงสี
- 4.2 สิ่งนำสี ได้แก่สารยึดและน้ำ และอาจมีสารอื่นอยู่ด้วยก็ได้ เช่น สารอิมัลซิฟาย สารกระจายผงสี สารลดฟอง สารทำให้ชื้น สารกันเชื้อราชนิดไม่มีปรอท สารกันตะไคร่

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

- 5.1 คุณลักษณะทางปริมาณ
ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

มอก. 2321-2549

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางปริมาณ
(ข้อ 5.1)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	ความละเอียด ไมโครเมตร ไม่เกิน	60	มอก.285 เล่ม 8
2	ระยะเวลาที่สีแห้ง - แห้งที่ผิว นาที่ ไม่เกิน - แห้งแข็ง ชั่วโมง ไม่เกิน	30 2	ข้อ 9.2
3	กำลังซ่อนแสง ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	80	มอก.285 เล่ม 16
4	ตะกั่ว ร้อยละของน้ำหนักสารที่ไม่ระเหย ไม่เกิน	0.01	มอก.285 เล่ม 27
5	ปรอท ร้อยละของน้ำหนักสารที่ไม่ระเหย ไม่เกิน	0.01	มอก.285 เล่ม 28

- หมายเหตุ**
1. ให้ยกเว้นการทดสอบกำลังซ่อนแสงสำหรับสีซึ่งไม่มีสีขาวเป็นส่วนผสม เช่น
 - สีแดง ตาม BS 4800 หมายเลข 04 E 53
 - สีเหลือง ตาม BS 4800 หมายเลข 10 E 53
 - สีน้ำเงิน ตาม BS 4800 หมายเลข 18 C 39
 - สีดำ ตาม BS 4800 หมายเลข 00 E 53
 - สีเหลือง-แดง ตาม BS 4800 หมายเลข 06 E 51, 08 E 51
 - สีเขียว-เหลือง ตาม BS 4800 หมายเลข 12 E 51, 12 E 53
 2. การทดสอบกำลังซ่อนแสง ให้ทดสอบตัวอย่างที่มีความหนิดไม่เกิน 100 หน่วยเคลรส์ ในกรณีที่ตัวอย่างมีความหนิดเกิน 100 หน่วยเคลรส์ ให้เติมน้ำจนตัวอย่างมีความหนิด (100 ± 2) หน่วยเคลรส์ การวัดความหนิดให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 14

5.2 สี

สีของฟิล์มต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลากหรือตามข้อตกลงระหว่างผู้เกี่ยวข้อง กรณีที่ชื่อสีตรงกับชื่อสีตาม BS 4800 สีของฟิล์มต้องเทียบได้กับแถบสีตามมาตรฐานดังกล่าว

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 15

5.3 ภาวะในภาชนะบรรจุ

สีในภาชนะบรรจุที่เปิดใหม่ ต้องไม่ปรากฏสนิมหรือมีกลิ่นที่น่ารังเกียจ และเมื่อคนจนทั่วแล้วต้องไม่มีก้อนหรือผงหยาบ แต่อาจมีฟองได้เล็กน้อย

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 11

5.4 เสถียรภาพต่อการเก็บ

เมื่อนำสีที่ผลิตมาแล้วเป็นเวลา 6 เดือน มาทดสอบตาม มอก.285 เล่ม 12 แล้ว สีจะต้องไม่ขึ้นแข็ง จับตัวเป็นก้อน เป็นวุ้น เป็นเม็ด เป็นวุ้นเหนียว มีกลิ่นที่เกิดจากการบูดเน่า หรือมีก๊าซเกิดขึ้น และเมื่อคนจนทั่วแล้ว สีต้องไม่นอนกันหรือแยกชั้น

- 5.5 เสถียรภาพต่อการเก็บที่อุณหภูมิสูง
เมื่อทดสอบตาม มอก.285 เล่ม 12 แล้ว สีต้องไม่เป็นก้อนแข็ง เป็นฝ้า นอนก้นแข็ง หรือเปลี่ยนสีและต้องสามารถปรับหรือลดความหนืดให้เหมาะสมเพื่อใช้งานได้
- 5.6 สมบัติในการใช้งานและลักษณะของฟิล์มเมื่อแห้ง
- 5.6.1 การเคลือบสีด้วยแปรงและลูกกลิ้ง
ต้องเคลือบได้ง่าย เรียบ และส่วนที่ทับกันต้องสม่ำเสมอตลอด
- 5.6.2 การเคลือบทับ
เมื่อเคลือบสีทับพื้นผิวที่เคลือบสีนั้นไว้ 1 ครั้งแล้วเมื่อ 2 ชั่วโมงก่อน แล้วปล่อยให้ฟิล์มแห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในห้องทดลอง สีที่เคลือบทับต้องไม่ดึงหรือม้วนสีที่เคลือบไว้เดิมขึ้นมา
- การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3
- 5.7 ความทนทานต่อการตัดโค้ง
เมื่อทดสอบตามข้อ 9.4 แล้ว แผ่นฟิล์มต้องไม่แตกร้าว กะเทาะ หรือล่อนเป็นแผ่น
- 5.8 ความทนทานต่อเชื้อรา
เมื่อทดสอบตามข้อ 9.5 แล้ว ต้องไม่พบเชื้อราบนแผ่นทดสอบในบริเวณที่ตีกรอบเอาไว้
หมายเหตุ สีสู่ตรงเดียวกันให้สุ่มทดสอบเพียง 1 เจดสี ไม่ต้องทดสอบทุกเจดสี
- 5.9 ความทนทานต่อตะไคร่ (เฉพาะสีภายนอก)
เมื่อทดสอบตามข้อ 9.6 แล้ว ต้องไม่พบตะไคร่บนแผ่นทดสอบ
หมายเหตุ สีสู่ตรงเดียวกันให้สุ่มทดสอบเพียง 1 เจดสี ไม่ต้องทดสอบทุกเจดสี
- 5.10 ความทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ (เฉพาะสีภายนอก)
เมื่อทดสอบตามข้อ 9.7 แล้ว
- (1) ฟิล์มของสีต้องไม่เกิดการกัดกร่อน ร้าว ล่อน เป็นเกล็ด หรือพอง และพื้นผิวต้องอยู่ในสภาพที่จะเคลือบสีทับได้
 - (2) ระหว่างการผึ่ง ฟิล์มของสีต้องยังคงอยู่ในสภาพดี ไม่เกิดการเป็นฝุ่น และการเปลี่ยนสีจะแตกต่างจากเดิมได้ไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 3
- 5.11 ความคงทนต่อแสง (เฉพาะสีภายใน)
สีของฟิล์มส่วนที่ได้รับแสงกับส่วนที่ไม่ได้รับแสงจะแตกต่างกันได้ไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 4
- การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.8
- 5.12 ความทนน้ำ (เฉพาะสีภายนอก)
เมื่อทดสอบตามข้อ 9.9 แล้ว ฟิล์มของสีต้องไม่พอง ขุ่น แตก หลุดล่อน หรือมีข้อบกพร่องอื่น ๆ และการเปลี่ยนสีจะแตกต่างจากเดิมได้ไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 4
- 5.13 ความทนต่าง
เมื่อทดสอบตามข้อ 9.10 แล้ว ฟิล์มของสีต้องไม่พอง ขุ่น แตก หลุดล่อน หรือมีข้อบกพร่องอื่น ๆ และการเปลี่ยนสีจะแตกต่างจากเดิมได้ไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 4

มอก. 2321-2549

5.14 ความทนทานต่อการขีดล้าง (เฉพาะสีภายใน)

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.11 แล้ว ต้องไม่พบข้อบกพร่องบนแผ่นฟิล์ม เช่น พอง สีซีจางถึงพื้นผิวชั้นล่าง สีซีดลง และต้องขัดสิ่งสกปรกได้เกือบหมด

5.15 ความทนทานต่อการขัดถู (เฉพาะสีภายนอก)

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.12 แล้ว ฟิล์มของสีต้องไม่แตก หลุดล่อน หรือสีจางถึงพื้นผิวชั้นล่างเป็นแนวยาวเกิน 10 มิลลิเมตรตามทิศทางการขัดถู

6. การบรรจุ

6.1 ให้บรรจุสีอิมัลชันในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท

6.2 หากมิได้ตกลงกันเป็นอย่างอื่น ให้ขนาดบรรจุของสีอิมัลชันในแต่ละภาชนะบรรจุเป็น 1 ลิตร 4 ลิตร และ 20 ลิตร และต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1 ที่ภาชนะบรรจุสีอิมัลชันทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- (1) ชื่อผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานนี้หรือชื่ออื่นที่สื่อความหมายว่าเป็นผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานนี้
 - (2) ประเภท
 - (3) ชื่อสี พร้อมตัวอย่างหรือหมายเลขสี
 - (4) ปริมาตรสุทธิ เป็นลิตร
 - (5) เดือน ปีที่ทำ
 - (6) รหัสรุ่นที่ทำ
 - (7) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน
 - (8) คำแนะนำในการใช้งาน พร้อมทั้งวิธีใช้
 - (9) คำเตือนเกี่ยวกับอันตรายที่อาจเกิดขึ้น เช่น ห้ามรับประทาน ระวังเข้าตา เก็บให้พ้นมือเด็ก
- ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

8.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

9. การทดสอบ

9.1 การตรวจและการเตรียมตัวอย่าง แผ่นทดสอบ และการเคลือบ

ให้เป็นไปตาม มอก.285 เล่ม 2 เล่ม 3 และเล่ม 4 ตามลำดับ โดยผสมสีตามคำแนะนำของผู้ทำก่อนนำไปทดสอบ รายการต่าง ๆ ตามข้อ 9.2 ข้อ 9.3 ข้อ 9.4 ข้อ 9.7 ข้อ 9.8 ข้อ 9.9 ข้อ 9.10 ข้อ 9.11 และข้อ 9.12 กรณีที่ผู้ทำระบุดำเนินการผสมเป็นช่วง ให้ใช้ค่าเฉลี่ยในการผสม

มอก. 2321-2549

9.2 การทดสอบระยะเวลาที่สีแห้ง

เคลือบสีบนกระจกด้วยเครื่องทำฟิล์มให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกประมาณ 50 ไมโครเมตร แล้วทดสอบระยะเวลาการแห้งที่ผิวและการแห้งแข็งตามวิธีที่กำหนดใน มอก.285 เล่ม 9 และเล่ม 10 ตามลำดับ

9.3 การทดสอบสมบัติในการใช้งานและลักษณะของฟิล์มเมื่อแห้ง

ทดสอบตามวิธีที่กำหนดใน มอก.285 เล่ม 24 โดยเคลือบสีบนแผ่นยิปซัมในอัตราการใช้ฟิล์มประมาณ 13 ตารางเมตรต่อลิตร

9.4 การทดสอบความทนทานต่อการตัดโค้ง

เคลือบสีบนแผ่นเหล็กเคลือบด้วยเครื่องทำฟิล์มให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกประมาณ 50 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งในภาวะปกติในแนวนอนเป็นเวลา 14 วัน แล้วตัดแผ่นทดสอบตาม มอก.285 เล่ม 19 โดยใช้แมนเดรล (mandrel) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร สำหรับสีภายนอก และใช้แมนเดรลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร สำหรับสีภายใน

9.5 การทดสอบความทนทานต่อเชื้อรา

ให้ทดสอบตาม มอก.285 เล่ม 21 โดยมีข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

- (1) เตรียมแผ่นทดสอบโดยใช้เครื่องทำฟิล์มเคลือบทั้ง 2 ด้านของกระดาษกรองวัดแมนเบอร์ 1 หรือเทียบเท่า ให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกแต่ละด้านประมาณ 100 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้ง เคลือบซ้ำที่ด้านเดิม ให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกแต่ละด้าน 200 ± 10 ไมโครเมตร (ความหนารวม 2 ชั้น) และทิ้งให้ฟิล์มแห้งเป็นเวลา 14 วัน
- (2) สีภายนอก ให้แช่แผ่นทดสอบในภาชนะบรรจุน้ำกลั่น ภาชนะละ 1 แผ่น ปริมาตรของน้ำกลั่นที่ใช้ต่อพื้นที่หน้าตัดของแผ่นทดสอบประมาณ 20 มิลลิลิตรต่อ 3 ตารางเซนติเมตร (หรือแผ่นทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12.5 เซนติเมตร ใช้ น้ำกลั่นประมาณ 1 ลิตร) ขณะแช่แผ่นทดสอบต้องไม่แตะผิว ภาชนะ และต้องเปลี่ยนน้ำกลั่นทุก 24 ชั่วโมง แช่แผ่นทดสอบเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำแผ่นทดสอบออก ทิ้งไว้ให้แห้ง ตัดแผ่นทดสอบเป็นชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดประมาณ 30 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้น ใช้หมึกทึบดำได้เส้นเป็นกรอบไว้บนแผ่นทดสอบโดยห่างจากขอบ 3 มิลลิเมตร
- (3) สีภายใน ไม่ต้องแช่แผ่นทดสอบในน้ำกลั่น ให้ตัดแผ่นทดสอบเป็นชิ้นทดสอบและทำเครื่องหมายตามที่กำหนดในข้อ 2
- (4) ใช้เชื้อแอสเพอร์จิลลัส ไนเจอร์ (*Aspergillus niger* ATCC 6275) คลาโดสปอเรียม คลาโดสปอโรยด์ส์ (*Cladosporium cladosporioides* IFO 6348)
- (5) ใช้ระยะเวลาอบเพาะเชื้อ 7 วัน

9.6 การทดสอบความทนทานต่อตะไคร่ (เฉพาะสีภายนอก)

9.6.1 เครื่องมือ

9.6.1.1 เครื่องแก้ว

- (1) จานเพาะเชื้อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร
- (2) ขวดแก้วรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร

9.6.1.2 ตู้อบเพาะเชื้อ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ 25 องศาเซลเซียสถึง 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 85 ถึงร้อยละ 90

มอก. 2321-2549

9.6.1.3 เครื่องเขย่า ความเร็วประมาณ 100 รอบต่อนาที

9.6.1.4 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่มีความยาวคลื่น 1 000 นาโนเมตร

9.6.2 สารเคมี

9.6.2.1 อาหารเลี้ยงเชื้อบีจี-11 (BG-11)

(1) ส่วนประกอบ

โซเดียมไนเตรต (NaNO_3)	1.5	กรัม
ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4)	0.030	กรัม
แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0.075	กรัม
แคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	0.036	กรัม
กรดซิทรिक	0.006	กรัม
อีดีทีเอ (EDTA)	0.001	กรัม
โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	0.020	กรัม
สารละลายโลหะ (trace metal solution) (ข้อ 9.6.2.2)	1	มิลลิลิตร

(2) วิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวบีจี-11

ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 7.5 โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลต่อลิตร หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลต่อลิตร ฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

(3) วิธีเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อวุ้นบีจี-11

ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน เติมน้ำกลั่น 15 กรัม เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร ปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 7.5 โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลต่อลิตร หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลต่อลิตร ฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

9.6.2.2 สารละลายโลหะ

(1) ส่วนประกอบ

กรดบอริก	2.86	กรัม
แมงกานีสคลอไรด์เทตระไฮเดรต ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	1.80	กรัม
ซิงก์ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0.222	กรัม
โซเดียมโมลิบเดตเพนตะไฮเดรต ($\text{NaMoO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	0.390	กรัม
คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	0.079	กรัม
โคบอลต์ไนเตรดเฮกซะไฮเดรต ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	0.0494	กรัม

(2) วิธีเตรียม

ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร

9.6.3 ตะไคร้ทดสอบ ให้ใช้ตะไคร้สายพันธุ์ไทย จำนวน 3 สายพันธุ์ คือ

- (1) คลอโรค็อกคัม (*Chlorococcum* sp. TISTR 8973)
- (2) นีออสทีอาก พาลูดอสซัม (*Nostoc Paludosum* TISTR 8978)
- (3) ฟอรัมมิเดียม แองกัสติสซิมัม (*Phormidium angustissimum* TISTR 8970)

9.6.4 วิธีทดสอบ

9.6.4.1 การเตรียมสารละลายตะไคร้ทดสอบ

- (1) เติมหาอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวบีจี-11 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงไปในขวดแก้วรูปกรวย 3 ใบ
- (2) เติมตะไคร้ 5 มิลลิลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละใบ
- (3) ออบเพาะเชื้อบนเครื่องเขย่าความเร็วประมาณ 100 รอบต่อนาที ในตู้อบเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส $\pm$ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 ถึงร้อยละ 90 ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ (cool-white fluorescent) ที่ความเข้มแสงประมาณ 2 000 ลักซ์ เป็นเวลาประมาณ 14 วัน
- (4) นำตะไคร้ที่ออบเพาะเชื้อแล้ว ไปวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ด้วยสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 1 000 นาโนเมตร เจือจางด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อจนมีค่าการดูดกลืนแสง 0.3 ถึง 0.5 นำสารละลายของตะไคร้แต่ละสายพันธุ์ที่ได้ในปริมาณเท่าๆ กัน ผสมรวมเป็นสารละลายตะไคร้ทดสอบ

9.6.4.2 การเตรียมแผ่นทดสอบ

ให้ใช้กระดาษกรองวัดแมนเบอร์ 1 หรือเทียบเท่าเป็นกระดาษทดสอบ เคลือบสีตัวอย่างด้วยเครื่องทำฟิล์ม (bird film applicator) ทั้ง 2 ด้านของกระดาษกรองให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกแต่ละด้านประมาณ 100 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้ง เคลือบซ้ำที่ด้านเดิมให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกแต่ละด้าน 200 ไมโครเมตร $\pm$ 10 ไมโครเมตร (ความหนารวม 2 ชั้น) ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14 วัน

9.6.4.3 การแช่แผ่นทดสอบ

แช่แผ่นทดสอบในภาชนะบรรจุน้ำที่มีขนาดและรูปร่างพอเหมาะ ภาชนะละ 1 แผ่น ปริมาตรของน้ำกลั่นที่ใช้ต่อพื้นที่หน้าตัดของแผ่นทดสอบประมาณ 20 มิลลิลิตรต่อ 3 ตารางเซนติเมตร (หรือแผ่นทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12.5 เซนติเมตร ใช้น้ำกลั่นประมาณ 1 ลิตร) ขณะแช่แผ่นทดสอบต้องไม่แตะผิวภาชนะและต้องเปลี่ยนน้ำกลั่นทุก 24 ชั่วโมง แช่แผ่นทดสอบในน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ถึง 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำแผ่นทดสอบออก ทิ้งไว้ให้แห้งตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปร่างกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 มิลลิเมตร

มอก. 2321-2549

9.6.4.4 การอบเพาะเชื้อ

- (1) เตรียมสารละลายผสมตะไคร่ทดสอบ ร้อยละ 5 ในอาหารเลี้ยงเชื้อวุ้นบีจี-11 ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำในจานเพาะเชื้อ 25 มิลลิเมตร ทั้งให้แห้งตัว
- (2) วางแผ่นทดสอบไว้ตรงกลางจานเพาะเชื้อ หยดสารละลายตะไคร่ทดสอบที่กึ่งกลางแผ่นทดสอบ 0.02 มิลลิเมตร เกลี่ยให้กระจายทั่วแผ่นทดสอบ
- (3) นำจานเพาะเชื้อไปอบเพาะเชื้อเป็นเวลา 28 วัน ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส $\pm$ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 ถึงร้อยละ 90 ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ที่ความเข้มแสงประมาณ 2 000 ลักซ์ โดยมีวงจรการให้แสงมืด : สว่าง เป็น 12 ชั่วโมง : 12 ชั่วโมง

9.6.5 การประเมินผล

เมื่อครบกำหนดเวลาการอบเพาะเชื้อแล้ว ให้ตรวจดูแผ่นทดสอบด้วยตาเปล่าหรือใช้เครื่องมือที่เหมาะสม กรณีต้องการดูการชะล้างของสารเคมีออกจากแผ่นทดสอบ ให้วัดขนาดความกว้างของบริเวณโดยรอบแผ่นทดสอบที่ตะไคร่ไม่เจริญเติบโต

9.7 ความทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ (เฉพาะสีภายนอก)

ให้ทดสอบโดยวิธีเร่งภาวะ โดยเคลือบสีบนแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ใยหินตามคำแนะนำของผู้ทำที่ระบุไว้ที่ฉลาก แล้วผึ่งในเครื่องเร่งภาวะตามที่กำหนดใน ASTM G 154 โดยมีภาวะวงจร คือ รับแสง 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และควมชื้น 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาในการผึ่งในเครื่องเร่งภาวะเป็น 1 000 ชั่วโมง

หมายเหตุ ในกรณีที่ใช้เครื่องเร่งภาวะแบบอื่น ให้ปรับวิธีทดสอบเพื่อให้ได้ผลการทดสอบเทียบเท่ากับข้อกำหนดข้างต้น

9.8 การทดสอบความคงทนต่อแสง (เฉพาะสีภายใน)

ให้ปฏิบัติตาม มอก. 285 เล่ม 18 โดยเตรียมแผ่นทดสอบดังนี้
เคลือบสี 2 ชั้นด้วยแปรงบนแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ใยหิน โดยทิ้งระยะเวลาให้แห้งกัน 2 ชั่วโมง ให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกแต่ละชั้นประมาณ 50 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำแผ่นทดสอบที่เคลือบสีเสร็จแล้วไปผึ่งด้วยแสงกลางวัน (day light) เป็นเวลา 30 วัน

9.9 การทดสอบความทนน้ำ (เฉพาะสีภายนอก)

ให้ปฏิบัติตาม มอก. 285 เล่ม 22 โดยเตรียมแผ่นทดสอบดังนี้
เคลือบสีด้วยแปรงให้เรียบสม่ำเสมอบนแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ใยหินขนาดประมาณ 150 มิลลิเมตร $\times$ 50 มิลลิเมตร ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง แล้วเคลือบซ้ำโดยให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกแต่ละชั้นประมาณ 50 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 14 วัน แล้วเคลือบด้านหลังและขอบด้วยพาราฟินและให้แช่แผ่นทดสอบในน้ำเป็นเวลา 10 วัน

มอก. 2321-2549

9.10 ความทนต่าง

ให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 23 โดยเตรียมแผ่นทดสอบตามข้อ 9.9 แล้วแช่แผ่นทดสอบในสารละลายอิมัลชันแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นเวลา 144 ชั่วโมง สำหรับสีภายนอก และเป็นเวลา 48 ชั่วโมง สำหรับสีภายใน

9.11 การทดสอบความทนทานต่อการขีดข่วน (เฉพาะสีภายใน)

ให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 20 โดยมีข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

- (1) ใช้สับขี้กล้าง ตาม มอก.28 หรือสารเทียบเท่า
- (2) ให้ถูฟองน้ำ 1 000 รอบ โดยเมื่อครบ 25 รอบและ 50 รอบ ให้ตึงฟองน้ำออกทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น โดยการจุ่มและบิดหลาย ๆ ครั้งจนหมดสบู่ แล้วเทน้ำกลั่นลงบนฟองน้ำ และถูสบู่ใหม่

9.12 การทดสอบความทนทานต่อการขัดถู (เฉพาะสีภายนอก)

ให้ปฏิบัติตาม ASTM D 2486 Method A โดยไม่ใช้แผ่นทองเหลืองรองใต้แผ่นทดสอบ (brass shim) ใช้สารละลายสบู่เหลวร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก เป็นตัวกลางขัดถู (scrub media) และขัดถู 3 000 รอบ ตรวจพินิจฟิล์มของสีบริเวณห่างจากขอบหัวและท้ายเกิน 50 มิลลิเมตร

มอก. 2321-2549

ภาคผนวก ก.

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 8.1)

- ก.1 รุ่นในที่นี้ หมายถึง สื่อมัลชันประเภทและชื่อเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน
- ก.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบการบรรจุและเครื่องหมายและฉลาก

ก.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ก.1

ก.2.1.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 6. และข้อ 7. ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ ก.1 จึงจะถือว่าสื่อมัลชันรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ ก.1 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุและเครื่องหมายและฉลาก

(ข้อ ก.2.1)

ขนาดรุ่น หน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง หน่วยภาชนะบรรจุ	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 90	2	0
91 ถึง 150	8	1
151 ถึง 500	13	2
501 ถึง 1 200	20	3
เกิน 1 200	32	5

ก.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบคุณลักษณะที่ต้องการ

ก.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตาม มอก.285 เล่ม 1

ก.2.2.2 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 5. ทุกรายการ จึงจะถือว่าสื่อมัลชันรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างสื่อมัลชันต้องเป็นไปตามข้อ ก.2.1.2 และข้อ ก.2.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าสื่อมัลชันรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้



เล่ม ๑๒๘ ตอนพิเศษ ๔๐ ง หน้า ๗
ราชกิจจานุเบกษา ๕ เมษายน ๒๕๕๔

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๔๒๙๘ (พ.ศ. ๒๕๕๔)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. ๒๕๑๑

เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สีเคลือบเงา

และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สีเคลือบเงาแอลคีด

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีเคลือบเงา มาตรฐานเลขที่ มอก. 327 - 2538

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๕ แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. ๒๕๑๑ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ ๒๐๓๖ (พ.ศ. ๒๕๓๘) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. ๒๕๑๑ เรื่อง ยกเลิกและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีเคลือบเงา ลงวันที่ ๒๗ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๓๘ และออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สีเคลือบเงา แอลคีด มาตรฐานเลขที่ มอก. 327 - 2553 ขึ้นใหม่ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด ๒๗๐ วัน นับแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๑๐ มกราคม พ.ศ. ๒๕๕๔

ชัยวุฒิ บรรณวัฒน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มอก.327-2553

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สีเคลือบเงาแอลคีด

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมสีเคลือบเงาแอลคีดที่มีความเงาส่ง สำหรับเคลือบพื้นผิวไม้และโลหะที่เคลือบสีรองพื้นแล้ว ทั้งภายในและภายนอกอาคาร

2. บทนิยาม

- ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ให้เป็นไปตาม มอก.285 เล่ม 45 และดังต่อไปนี้
- 2.1 สีเคลือบเงาแอลคีด ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “สีเคลือบเงา” หมายถึง สีที่มีส่วนผสมของผงสี สารยึดแอลคีดเรซิน และสารเร่งแห้ง ให้ฟิล์มสีที่มีความเงาส่ง

3. ส่วนประกอบ

- 3.1 ผงสี เช่น ไททาเนียมออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ ไอร์ออนออกไซด์ ทาโรไซยานินท์บลู
- 3.2 สิ่งนำสี ประกอบด้วย แอลคีดเรซินและตัวทำละลายที่เหมาะสม

4. คุณลักษณะที่ต้องการ

- 4.1 คุณลักษณะทางปริมาณ
ต้องเป็นไปตามตารางที่ 1

มอก.327-2553

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางปริมาณ
(ข้อ 4.1)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
1	สารที่ไม่ระเหย ร้อยละโดยน้ำหนักสี ไม่น้อยกว่า	50	มอก.285 เล่ม 6
2	น้ำ ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่เกิน	0.5	มอก.285 เล่ม 25
3	ความหนืด หน่วยเครบส์ ไม่เกิน	85	มอก.285 เล่ม 14
4	ความละเอียด ไมโครเมตร ไม่เกิน	25	มอก.285 เล่ม 8
5	ระยะเวลาการแห้ง ชั่วโมง ไม่เกิน		ข้อ 8.2
	- แห้งที่ผิว	4	
	- แห้งแข็ง	18	
6	ความเงา วัดที่มุม 60 องศา ไม่น้อยกว่า	80	ข้อ 8.3
7	จุดวาบไฟ องศาเซลเซียส ไม่ต่ำกว่า	30	มอก.285 เล่ม 29
8	กำลังซ่อนแสง (hiding power) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	85	มอก.285 เล่ม 16
	ยกเว้น		
	- สีแดง ตาม BS 4800 หมายเลข 04-D-45	65	
	- สีเหลือง ตาม BS 4800 หมายเลข 08-E-51, 10-E-53		
	สีเขียว-เหลือง ตาม BS 4800 หมายเลข 12-E-51		
	สีแดง ตาม BS 4800 หมายเลข 04-E-53		
	สีม่วงตาม BS 4800 หมายเลข 02-C-39	55	
9	ตะกั่ว ร้อยละโดยน้ำหนักของสารที่ไม่ระเหย ไม่เกิน	0.01	มอก.285 เล่ม 27
10	ปรอท ร้อยละโดยน้ำหนักของสารที่ไม่ระเหย ไม่เกิน	0.01	มอก.285 เล่ม 28
11	แคดเมียม ร้อยละโดยน้ำหนักของสารที่ไม่ระเหย ไม่เกิน	0.01	ISO 3856-4
12	โครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ร้อยละโดยน้ำหนักของสารที่ไม่ระเหย	0.10	ISO 3856-5

4.2 สี

ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก กรณีที่ชื่อสีตรงกับชื่อสีตาม BS 4800 สีของฟิล์มต้องเทียบได้กับแถบสีมาตรฐานดังกล่าว

การทดสอบให้ปฏิบัติตามมอก.285 เล่ม 15

4.3 ภาวะในภาชนะบรรจุ

เมื่อเปิดฝาภาชนะบรรจุครั้งแรก ต้องไม่มีฝาสีลอยอยู่ที่ผิวหน้า ไม่นอนกันมากเกินไป คนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่าย ไม่รวมตัวกันเป็นก้อน ไม่นอนกันแข็ง ไม่แยกชั้น และไม่มีสิ่งแปลกปลอม

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 11

- 4.4 เสถียรภาพเมื่อทำให้เจือจาง
ต้องยังคงอยู่ในสภาพเดิมและเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่ตกตะกอนหรือแยกชั้น แต่อาจมีผงสีนอนก้นได้เล็กน้อย
การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.4
- 4.5 สมบัติในการทาด้วยแปรง
ต้องทาได้ง่าย เรียบ ฟิล์มสีเมื่อแห้งต้องเรียบเป็นเงาสม่ำเสมอ ไม่ไหลย้อยหรือย่น
การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.5
- 4.6 สมบัติในการพ่น
ต้องพ่นได้ง่าย ฟิล์มสีไม่ไหล ไม่ย่นหรือเป็นคลื่น ฟิล์มสีที่แห้งแล้วไม่เป็นเม็ด ไม่แยกตัวลอยขึ้นมาเป็นริ้ว ไม่มัว
หรือมีข้อบกพร่องอื่น
การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.6
- 4.7 ความทนการตัดโค้ง
ฟิล์มสีต้องไม่แตกร้าว กระเพาะ หรือล่อนเป็นแผ่น
การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.7
- 4.8 ความทนการขูดขีด
ฟิล์มสีต้องทนการขูดขีดที่มีน้ำหนักกด 600 กรัม ได้โดยไม่ทะลุถึงพื้นผิวแผ่นอะลูมิเนียมแข็ง
การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.8
- 4.9 ความทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ
ฟิล์มสีต้องไม่เป็นฝุ่น ความเงาจะลดลงจากเดิมได้ไม่เกินร้อยละ 30 และสีของฟิล์มส่วนที่ได้รับแสง
กับส่วนที่ไม่ได้รับแสงจะแตกต่างกันได้ไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 4 (ยกเว้นสีขาว)
การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.9
- 4.11 เสถียรภาพต่อการเก็บ
ให้เป็นไปตามข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้
- 4.11.1 ในภาวะปกติ
หลังจากตั้งทิ้งไว้ในภาชนะบรรจุที่ไม่เคยเปิดมาก่อน ในที่แห้งอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ถึง
35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน นับจากเดือนที่ทำ สีเคลือบเงาต้องไม่มีฝ้าสี ไม่เป็นวัน ไม่เป็น
วันเหนียว ไม่นอนกันแข็งหรือขุ่นแข็ง สามารถคนให้กระจายเป็นเนื้อเดียวกันและนำไปใช้งานได้ภายในเวลา
10 นาที
- 4.11.2 โดยวิธีเร่งภาวะ
หลังจากอบที่อุณหภูมิ (50 ± 2) องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมงแล้ว ต้องเป็นดังนี้
- (1) ไม่เป็นวัน ไม่เป็นวันเหนียว ไม่เป็นเม็ด ไม่ขุ่นแข็ง
 - (2) มีความหนืด เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 1
 - (3) ให้ฟิล์มซึ่งเมื่อแห้งแล้วเรียบสม่ำเสมอ ไม่เป็นริ้ว ไม่ลาย ไม่เป็นเม็ด และมีความเงาเป็นไปตาม
ที่กำหนดในตารางที่ 1
 - (4) ระยะเวลาการแห้งเป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 1
- การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.10

มอก.327-2553

4.12 ความทนเชื้อรา

ต้องไม่พบเชื้อราบนแผ่นฟิล์มในบริเวณที่ถูกรอบเอาไว้

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.11

5. การบรรจุ

5.1 ให้บรรจุสีเคลือบเงาในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และปิดได้สนิท

5.2 หากมิได้มีการตกลงกันเป็นอย่างอื่น ให้ปริมาตรสุทธิของสีเคลือบเงาในแต่ละภาชนะบรรจุเป็น 1 ลิตร 4 ลิตร หรือ 20 ลิตร และต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

6. เครื่องหมายและฉลาก

6.1 ที่ภาชนะบรรจุสีเคลือบเงาทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- (1) ชื่อผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานนี้ หรือชื่ออื่นที่สื่อความหมายว่าเป็นผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน
- (2) ชื่อสี พร้อมตัวอย่างสี หรือหมายเลขสี ตาม BS 4800 (ถ้ามี)
- (3) ปริมาตรสุทธิ เป็นลิตร
- (4) เดือน ปี ที่ทำ
- (5) รหัสรุ่นที่ทำ
- (6) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน
- (7) คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้
- (8) คำเตือนเกี่ยวกับอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น ติดไฟง่าย มีสารเป็นพิษ ห้ามรับประทาน ห้ามนำภาชนะบรรจุไปใส่อาหาร ระวังเข้าตา เก็บให้พ้นมือเด็ก โดยอาจใช้เครื่องหมายหรือรูปสัญลักษณ์ (pictogram) ตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องและเป็นไปตามข้อตกลงระหว่างประเทศ GHS (Globally Harmonized System of Classification Labelling of Chemicals) แทนได้

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศด้วย ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

7. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

7.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

8. การทดสอบ

- 8.1 การตรวจและการเตรียมตัวอย่าง ภาวะทดสอบ แผ่นทดสอบ และการเคลือบ ให้เป็นไปตาม มอก.285 เล่ม 2 เล่ม 3 และเล่ม 4
- 8.2 การทดสอบระยะเวลาการแห้ง
เคลือบสีเคลือบเงาตัวอย่างบนแผ่นกระจก ให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกประมาณ 50 ไมโครเมตร แล้วทดสอบระยะเวลาการแห้งที่ผิวและการแห้งแข็งตาม มอก.285 เล่ม 9 และเล่ม 10
- 8.3 การทดสอบความเงา
เคลือบสีเคลือบเงาตัวอย่างบนแผ่นกระจก ให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกประมาณ 50 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งในแนวนอนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 168 ชั่วโมง แล้วทดสอบตาม มอก.285 เล่ม 17
- 8.4 การทดสอบเสถียรภาพเมื่อทำให้เจือจาง
ผสมสีเคลือบเงาตัวอย่างกับไวต์สปีรिटที่มีคุณภาพตาม มอก.468 อย่างละ 1 ส่วนโดยปริมาตร หรือตามคำแนะนำของผู้ทำ แล้วทดสอบตาม มอก.285 เล่ม 30
- 8.5 การทดสอบสมบัติในการทาด้วยแปรง
ให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 24 โดยผสมสีเคลือบเงาตัวอย่างกับไวต์สปีรिटที่มีคุณภาพตาม มอก.468 ตามคำแนะนำของผู้ทำ ใช้แผ่นเหล็กเคลือบดีบุกเป็นแผ่นทดสอบและทำให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียก 50 ไมโครเมตร ถึง 75 ไมโครเมตร
- 8.6 การทดสอบสมบัติในการพ่น
ให้ปฏิบัติตามมอก.285 เล่ม 24 โดยผสมสีเคลือบเงาตัวอย่างกับไวต์สปีรिटที่มีคุณภาพตาม มอก.468 แล้วพ่นลงบนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกให้ได้ความหนาของฟิล์มเมื่อแห้งประมาณ 25 ไมโครเมตร
- 8.7 การทดสอบความทนการดัดโค้ง
เคลือบสีเคลือบเงาตัวอย่างบนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกซึ่งทำความสะอาดด้วยตัวทำละลายแล้ว ให้ได้ความหนาของฟิล์มเมื่อแห้ง (25 ± 2) ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งในแนวนอนในภาวะปกติเป็นเวลา 168 ชั่วโมง นำไปดัดโค้งตามวิธีที่กำหนดใน มอก.285 เล่ม 19 โดยใช้แมนเดรล (mandrel) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ตรวจฟิล์มสับริเวณที่ดัดโค้งโดยใช้แว่นขยายที่มีกำลังขยาย 5 เท่า
- 8.8 การทดสอบความทนการขูดขีด
เคลือบสีเคลือบเงาตัวอย่างบนแผ่นอะลูมิเนียมชนิดแข็ง ให้ได้ความหนาของฟิล์มเมื่อแห้ง (25 ± 2) ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งในภาวะปกติเป็นเวลา 7 วัน แล้วทดสอบตาม มอก.285 เล่ม 32
- 8.9 การทดสอบความทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศ
ให้ทดสอบโดยวิธีเร่งภาวะ โดยเคลือบสีเคลือบเงาตัวอย่างบนแผ่นอะลูมิเนียม ให้ได้ความหนาของฟิล์มเมื่อแห้ง (25 ± 2) ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งในแนวนอนในภาวะปกติเป็นเวลา 7 วัน วัดความเงาที่มุม 60 องศาตาม มอก.285 เล่ม 17 แล้วนำไปผึ่งในเครื่องเร่งภาวะตาม ASTM G 154 หรือเครื่องเร่งภาวะอื่นที่ให้ผลการทดสอบเทียบเท่า โดยใช้หลอด UVB ที่ 313 นาโนเมตร มีภาวะวัฏจักร คือ รับแสง 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และควมแน่น 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาในการผึ่งในเครื่องเร่งภาวะเป็น 168 ชั่วโมง

มอก.327-2553

8.10 การทดสอบเสถียรภาพต่อการเก็บ

ให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 12 โดยเลือกทดสอบในภาวะปกติหรือโดยวิธีเร่งภาวะ ในกรณีที่ผลการทดสอบโดยวิธีเร่งภาวะไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ให้ถือผลการทดสอบในภาวะปกติเป็นเกณฑ์ตัดสิน

8.11 การทดสอบความทนเชื้อรา

ให้ปฏิบัติตาม มอก.285 เล่ม 21 โดยมีข้อกำหนดเพิ่มเติมดังนี้

- (1) เตรียมแผ่นทดสอบโดยใช้เครื่องทำฟิล์มเคลือบทั้ง 2 ด้านของกระดาษกรองวัดแมนเบอร์ 1 หรือเทียบเท่า ให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกแต่ละด้านประมาณ 100 ไมโครเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เคลือบซ้ำที่ด้านเดิมให้ได้ความหนาของฟิล์มขณะเปียกเพิ่มขึ้นอีกด้านละประมาณ 100 ไมโครเมตร และทิ้งให้ฟิล์มแห้งเป็นเวลา 14 วัน
- (2) ใช้เชื้อ แอสเพอร์จิลลัส ไนเจอร์ (*Aspergillus niger* ATCC 6275) และเชื้อ คลาโดสปอเรียม คลาโดสปอรอยด์ (*Cladosporium cladosporoides* IFO 6348)
- (3) ไม่ใช้น้ำชะล้างแผ่นทดสอบก่อนอบเพาะเชื้อ
- (4) ระยะเวลาอบเพาะเชื้อ 7 วัน

มอก.327-2553

ภาคผนวก ก.

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 7.1)

- ก.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง สีเคลือบเงาสีเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน
- ก.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้
- ก.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบการบรรจุและเครื่องหมายและฉลาก
- ก.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ก.1
- ก.2.1.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 5. และข้อ 6. ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ ก.1 จึงจะถือว่าสีเคลือบเงารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ ก.1 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุและเครื่องหมายและฉลาก

(ข้อ ก.2.1)

ขนาดรุ่น หน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง หน่วยภาชนะบรรจุ	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 90	2	0
91 ถึง 150	8	1
151 ถึง 500	13	2
501 ถึง 1 200	20	3
เกิน 1 200	32	5

- ก.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบคุณลักษณะที่ต้องการ
- ก.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตาม มอก.285 เล่ม 1
- ก.2.2.2 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4. ทุกรายการ จึงจะถือว่าสีเคลือบเงารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
- ก.3 เกณฑ์ตัดสิน
- ตัวอย่างสีเคลือบเงาต้องเป็นไปตามข้อ ก.2.1.2 และข้อ ก.2.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าสีเคลือบเงารุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสุธิดา พิริยะการสกุล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	2 มีนาคม 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดสงขลา
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ส.บ. (อาชีวอนามัยและความปลอดภัย) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. - อุดสาหกรรม ประจำปี 2552 ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยร่วมแบบทวีภาคี (BRC) จาก คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์