

อิทธิพลความหนาผิวเคลือบพอลิยูรีเทนและปริมาณผงไททาเนียมไดออกไซด์ ในผิวเคลือบที่มีต่อ
การสะท้อนรังสีอาทิตย์ และการยึดเกาะของแผ่นวัสดุยางธรรมชาติผสมขี้เถ้า
**Effects of Coating Thickness and TiO₂ dosage in Polyurethane Coating on Solar Reflective Index
and Adhesion of Wood-Natural Rubber Sheet**

ณัฐตา เหมะวิริยาพรวัฒนา (Natita Hamaviriyapornwattana)* เอกชัย วิมลมาลา (Ekachai Wimolmala)**
ธีระศักดิ์ หมากพิน (Teerasak Markpin)** ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ (Narongrit Sombatsompop)***

บทคัดย่อ

งานวิจัยศึกษาผลของความหนาผิวเคลือบพอลิยูรีเทนและปริมาณผงไททาเนียมไดออกไซด์ในผิวเคลือบ ที่มีต่อสมบัติการสะท้อนรังสีอาทิตย์และการยึดเกาะของแผ่นวัสดุผสมยางธรรมชาติและขี้เถ้า โดยเติมปริมาณผงไททาเนียมไดออกไซด์ ที่ 1, 3, 5, 7, 9 และ 15 ส่วนต่อน้ำหนักสารพอลิยูรีเทน 100 ส่วน และปรับเปลี่ยนความหนาผิวเคลือบพอลิยูรีเทนที่ 130, 150, 200, 250 และ 300 ไมครอน ผลการทดลอง พบว่า ค่าสะท้อนรังสีอาทิตย์ของผิวเคลือบพอลิยูรีเทนของวัสดุผสมยางธรรมชาติและผสมขี้เถ้าไม่มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงไททาเนียม แต่ไม่เปลี่ยนแปลงตามความหนาของผิวเคลือบ นอกจากนี้ไม่พบการหลุดลอกผิวเคลือบพอลิยูรีเทนบนแผ่นวัสดุยางธรรมชาติ โดยผลการยึดเกาะซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และไม่พบรอยแตกร้าวของผิวเคลือบพอลิยูรีเทนหลังจากผ่านการดัดโค้ง

ABSTRACT

This research studied the effects of coating thickness and Titanium dioxide (TiO₂) dosage in polyurethane (PU) coating on solar reflective index and adhesion properties of wood-natural rubber sheet. The filled titanium dioxide powder content was varied at 1, 3, 5, 7, 9 and 15 parts per hundred of polyurethane. The PU coating thickness was varied at 130, 150, 200, 250 and 300 microns. The experimental results suggested that the solar reflective index increased with increasing TiO₂ powder, but did not change with varying the coating of PU. The adhesion properties of the PU coating on wood/natural rubber sheet passed a standard peel test with no observations of cracks under a bending test.

คำสำคัญ : สารเคลือบพอลิยูรีเทน ผงไททาเนียมไดออกไซด์ ยางธรรมชาติ

Key Words : Polyurethane Coating, Titanium dioxide, Natural rubber

* มหบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

*** ศาสตราจารย์ กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อน ทำให้ต้องใช้พลังงานในการใช้เครื่องปรับอากาศภายในอาคาร สำนักงาน หรือที่พักอาศัยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (คณะกรรมการการพยากรณ์ความต้องการในการใช้ไฟฟ้า, 2550) พบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคารมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ใช้เครื่องปรับอากาศ (Chirarattaananon and Taweekun, 2002) ปัจจุบันจึงมีการรณรงค์การใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัด และลดความร้อนเข้าสู่ภายในตัวอาคาร ซึ่งเป็นวิธีที่ช่วยลดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ปัจจุบันนิยมการติดตั้งวัสดุฉนวนกันความร้อนใต้หลังคา แต่การใช้ฉนวนกันความร้อนมีปัญหาหลายด้าน เช่น การออกแบบติดตั้ง การบำรุงรักษา การหลุดลอก และการเสื่อมสภาพของฉนวนกันความร้อน เป็นต้น กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) ทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุผสมยางธรรมชาติและซีลีออยไม้มัน เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หลังคาขางพารา มีรายละเอียด ดังนี้ การผลิตและทดสอบหลังคาขางพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับซีลีออย (ณรงค์ฤทธิ์ และคณะ, 2548) ศึกษาสมบัติของวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติและผงซีลีออยไม้มันขางพาราเพื่อผลิตเป็นหลังคาขางพารา พบว่า สามารถเติมปริมาณผงซีลีออยไม้มันถึง 80 phr ในยางธรรมชาติเกรด STR 20 โดยเพิ่มสมบัติทางด้านความแข็งแรงและความแข็งผิวที่มีความเหมาะสม ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หลังคาขางที่พัฒนาในรูปแบบของยางแข็ง (Ebonite Rubber) โดยใช้ปริมาณซัลเฟอร์ที่ 20-30 phr ที่ด้านทานต่อแรงกระทำภายนอก และสภาวะแวดล้อมขณะใช้งานได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังได้มีการเติมสารควบคู่ สารหน่วงการลามไฟ ผงสี สารป้องกันการเสื่อมสภาพ เช่น สารต้านทานต่อออกซิเจน สารต้านทานต่อโอโซน สารต้านทานต่อแสงยูวี ในผลิตภัณฑ์หลังคาขาง จึงเป็นทางเลือกสามารถนำมาใช้ทดแทนการใช้หลังคาชนิดอื่นๆ ที่มีใช้

อยู่ในปัจจุบันได้ ซึ่งวัสดุหลังคาขางพารายังมีสมบัติเด่นด้านความเป็นฉนวนความร้อนที่ดีกว่าวัสดุหลังคาประมาณ 2-3 เท่า (ณรงค์ฤทธิ์ และคณะ, 2548) แต่ยังมีปัญหาทางด้านการทนต่อสภาวะแวดล้อม ที่ยังมีการหลุดลอกของสีเมื่อสัมผัสกับน้ำ จึงนำไปสู่โครงการวิจัย "การพัฒนาวัสดุและเทคโนโลยีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์หลังคาขางประหยัดพลังงานจากวัสดุผสมยางและซีลีออย" (ณรงค์ฤทธิ์ และคณะ, 2550) ทำการศึกษาศาสตร์เคลือบผิวผลิตภัณฑ์หลังคาขาง โดยใช้สารเคลือบพอลิยูรีเทน ซึ่งสารเคลือบพอลิยูรีเทนเหลว สามารถยึดติดกับผลิตภัณฑ์ยางได้ดี และทนต่อสภาวะแวดล้อม (ความร้อน โอโซนและแสงยูวี) ได้ค่อนข้างดีมาก และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากงานวิจัยทางด้านการศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์หลังคาขาง มีรายงานการวิจัยที่ยังไม่แพร่หลาย จึงมีแนวคิดในการนำผงไททานเนียมไดออกไซด์เติมลงในสารเคลือบพอลิยูรีเทน เพื่อลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์หลังคาขาง เนื่องจากผงไททานเนียมไดออกไซด์สามารถสะท้อนรังสีอาทิตย์ (Solar reflectance) ได้สูง ซึ่งสามารถลดปริมาณความร้อนที่สะสมบนแผ่นวัสดุหลังคา และผลิตภัณฑ์ขางพารา มีสมบัติเด่นทางด้านความเป็นฉนวนความร้อนที่ต่ำ ซึ่งสามารถลดพลังงานความร้อนปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท จากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารทำให้อุณหภูมิภายในอาคารลดลง นอกจากนี้ยังช่วยยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์หลังคาขาง เป็นการลดต้นทุน และลดปัญหาการใช้วัสดุฉนวนกันความร้อนด้วย และปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการสะท้อนรังสีอาทิตย์ และการยึดเกาะของผิวเคลือบพอลิยูรีเทน

อิทธิพลของความเรียบของผิวเคลือบ (Paul and Sarah, 1997) ศึกษาการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของผิวเคลือบ โดยเปรียบเทียบการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีเคลือบสีขาวบนกระเบื้องคอนกรีต (Asphalt shingles) ที่มีผิวขรุขระ เทียบกับสีเคลือบสีขาวของวัสดุแก้วซึ่งมี

ผิวเรียบ โดยมีความหนาเสียดลบเท่ากัน พบว่า ลักษณะการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของผิวเคลือบมีแนวโน้มเหมือนกัน แต่ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์แตกต่างกันที่ความยาวคลื่น 0.5 ไมโครเมตร โดยที่ผิวเคลือบที่เรียบมีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่สูงกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการดูดกลืนพลังงานแสง พบว่า ชั้นงานผิวเรียบมีค่าดูดกลืนพลังงานแสงน้อยกว่าผิวขรุขระที่มีการดูดกลืนพลังงานแสงถึง 40 เปอร์เซ็นต์

ความหนาของผิวเคลือบ (Hong and Xiu, 2001) ศึกษาอิทธิพลของความหนาผิวเคลือบต่อค่าการสะท้อนความร้อนของผิวเคลือบ ที่มีผงไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ โดยศึกษาความหนาผิวเคลือบในช่วงระหว่าง 28-163 ไมโครเมตร พบว่า ค่าการสะท้อนของผิวเคลือบเพิ่มขึ้นตามความหนาของผิวเคลือบ และมีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ 93 เปอร์เซ็นต์ที่ความหนา 134 ไมโครเมตร จากนั้นค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์มีค่าคงที่เมื่อความหนาผิวเคลือบเพิ่มขึ้น นอกจากนี้มีการศึกษาอิทธิพลของความหนาผิวเคลือบต่อการสะท้อนรังสีอาทิตย์ (อนุสรฯ, 2545) พบว่าความหนาผิวเคลือบมีผลต่อค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ อยู่มีค่าคงที่ที่ความหนาระดับหนึ่ง แต่เมื่อความหนาเพิ่มขึ้นค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์มีแนวโน้มลดลง

ส่วนปริมาณผงไททาเนียมไดออกไซด์ (วัลลภ, 2549) ศึกษาความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงไททาเนียมไดออกไซด์ต่อค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์โดยใช้สปีคริลิก พบว่า ค่าสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีเคลือบเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้น จากนั้นค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์มีค่าคงที่เมื่อความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้น และได้ศึกษาการเสื่อมสภาพของสีเคลือบโดยทดสอบด้วยวิธีการเร่งสภาวะพบว่าค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทดสอบ

นอกจากนี้มีการศึกษาอนุภาคในระดับนาโนผงไททาเนียมไดออกไซด์ (Michael et al., 2006) ศึกษาการกระเจิงแสงของอนุภาค TiO_2 พบว่า อนุภาคผงไททา

เนียมไดออกไซด์ระดับนาโนเมตร สามารถกระเจิงแสงได้ดีในช่วงแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตร โดยความเข้มแสงที่ถูกกระเจิงโดย TiO_2 ที่มีขนาดเล็ก เป็นสัดส่วนกับ Fourth Power ของความยาวคลื่น ส่วนอนุภาคนาโนขนาดเล็กระหว่าง 5-15 นาโนเมตร มีการกระเจิงแสงลดลง และช่วงความยาวคลื่นแสงที่ 200-300 นาโนเมตร สามารถส่องผ่านอนุภาคผงไททาเนียมไดออกไซด์ แสดงพฤติกรรมเป็นสารกึ่งตัวนำ ทำให้พลังงานแสงถูกดูดกลืนได้ดี

ในงานวิจัยนี้ จึงมีความสนใจที่ศึกษาสภาวะการพ่นเคลือบที่มีการเติมปริมาณผงไททาเนียมไดออกไซด์ลงในผิวเคลือบ พอลิยูรีเทน และความหนาที่เหมาะสมของผิวเคลือบพอลิยูรีเทน ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และการสะท้อนรังสีอาทิตย์

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาวะการพ่นเคลือบ และปริมาณผงไททาเนียมไดออกไซด์ในผิวเคลือบพอลิยูรีเทนที่มีต่อสมบัติการสะท้อนรังสีอาทิตย์ และการยึดเกาะของวัสดุผสมยางธรรมชาติผสมขี้เถ้า
2. เพื่อศึกษาความหนาของผิวเคลือบพอลิยูรีเทนที่มีต่อสมบัติการสะท้อนรังสีอาทิตย์ และการยึดเกาะของวัสดุผสมยางธรรมชาติผสมขี้เถ้า

วัตถุดิบและสารเคมีวิจัย

- ยางธรรมชาติ (Natural rubber) เกรด STR20 จากบริษัท สยามยูไนเต็ด รีบเบอร์ จำกัด
- สารเร่งและกระตุ้นปฏิกิริยา ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide; ZnO) จาก อูทิส อินเตอร์ไพร์ส จำกัด กรดสเตียริก (Stearic acid) และสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ Diphenylguanidine จาก บริษัท อิมพีเรียล เคมีเคิล จำกัด เมอร์แคปโตเบนโซไทโซล เกรด ZAP ACCEL M-R จากบริษัท Zeon Advanced Polymix จำกัด
- สารคงรูปกำมะถัน (Sulphur) ขนาด 450 mesh จากบริษัท สยามเคมีเคิล จำกัด

- สารเพิ่มสีแดง (Iron oxide red 690 B) จากห้าง
หุ้นส่วนจำกัด เกียรติมงคล

- สารแต่งเติมเสริมแรง ซิลิกา ชนิด Precipitate
Silica เกรด TOKUSIL 233 จาก Tokuyama siam silica
Co., LTD (Thailand) และผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา (Wood
sawdust) ขนาดอนุภาคประมาณ 200-300 ไมครอน
จากบริษัท วิ.พี. วัสดุ จำกัด

- สารคู่ควบไซเลน (Silane Coupling) ชนิด
KBM 603A จากบริษัท Kishimoto Sangyo (Thailand)
จำกัด

- สารแต่งเติมอื่นๆ ได้แก่ สารเพิ่มเสถียรภาพ
ต่อรังสียูวี (UV Stabilizer) เกรด TINUVIN 234 และ
สารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant) เกรด IRGANOX
1076 จาก Global Connection Co., LTD (Thailand),
สารป้องกันปฏิกิริยากับโอโซน (Antiozonant) และสาร
หน่วงการลามไฟ (APYRAL40 CD) จาก Behn Meyer
Chemical(T) Co.,LTD (Thailand)

- ผงไททานเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide;
TiO₂) ชนิด Rutile เกรด Ti-pure R-902 สีขาว ขนาด
อนุภาค 0.405 ไมโครเมตร และค่า Specific gravity
เท่ากับ 4.0 จากบริษัท Dupont (ประเทศไทย) จำกัด

- สารเคลือบพอลิยูรีเทน ชนิด Anti-UV
Coating โดยใช้สารเคลือบผิวรองพื้นเกรด C-501 และ
สารเคลือบผิวหน้า ชนิด C-602A ในงานวิจัยนี้เลือกสี
เขียว และสารทำให้แข็ง (Hardener) ชนิด C-602B ผสม
ที่สัดส่วน 1:1 จากบริษัท Sea Chief Enterprise Co.,
LTD (Thailand)

วิธีการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบคุณลักษณะรูปร่างและ
ขนาดของผงไททานเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิค SEM
และตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เทคนิค XRF

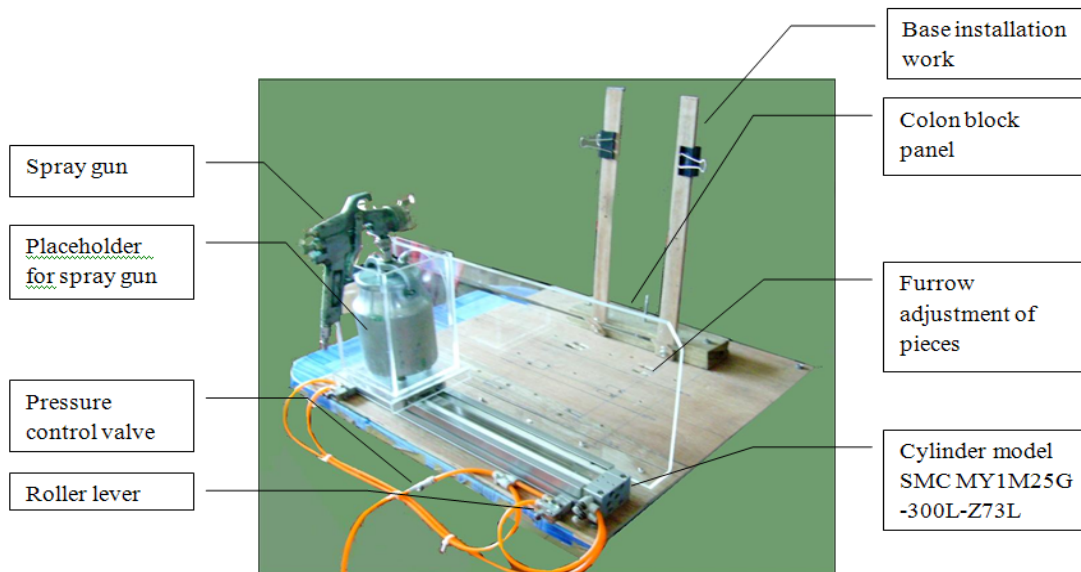
ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมส่วนผสมในการผลิต
ชิ้นงานวัสดุผสมยางธรรมชาติกับขี้เลื่อยไม้ และการ
เตรียมสารเคลือบผิวพอลิยูรีเทน

**การผลิตชิ้นงานวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติกับ
ผงขี้เลื่อยไม้**

ทำการผสมยางตามสูตรส่วนผสม ดังแสดงใน
ตารางที่ 1 โดยใช้เครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ ที่อุณหภูมิห้อง
และขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน
ด้วยระบบแรงดัน ผลิตเป็นชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 1 สูตรส่วนผสมของสารประกอบยาง

Ingredients	Content (phr)
Natural Rubber; STR 20	100 Part
ZnO (Zinc Oxide)	33.4
Steric acid	13.4
MBT (Mercaptobenzthaisoles)	3.4
DPG (Diphenylguanidine)	1.4
Sulfur powder 450 mesh	20
Silica (TOKUSIL 233)	45.0
Wood Sawdust	40-80
Iron Oxide Red 690 B	4.0
Silane (KBM 603A)	0.5%
	by weight
	sawdust
UV Stabilizer (TINUVIN 234)	0.1
Anti-Oxidant (IRGANOX 1076)	0.1
Anti-Ozonant (Enhance)	3.0
Flame retardant (APYRAL 40 CD)	100



ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์ในการพ่นเคลือบผิวพอลิยูรีเทน

การออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการพ่นเคลือบ

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบใช้รางเลื่อนควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของกระบอกปืนพ่นสี โดยรางเลื่อนนี้ใช้ระบบนิวแมติก (แรงดันลม และบนรางเลื่อนทำการยึดด้วยกลองวัสดุอะคริลิกที่ใช้ในการติดตั้งกระบอกปืนพ่นสี โดยมีแผ่นป้องกันอะคริลิกติดตั้งไว้ตำแหน่งด้านหน้าของรางเลื่อน เพื่อป้องกันละอองสีมาติดที่รางเลื่อนขณะทำการพ่น และใช้วาล์วควบคุมแรงดันลมเพื่อควบคุมการเลื่อน ของกาพ่นสี แสดงในภาพที่ 1

การเตรียมชิ้นงานและการพ่นเคลือบ ดังนี้

1. การเตรียมผิวชิ้นงานแผ่นยางโดยการขัดผิวชิ้นงานเพื่อขจัดคราบไขมันและสิ่งสกปรก
2. พ่นเคลือบด้วยสารรองพื้น (Primer) เพื่อเพิ่มการยึดเกาะกับผิวชิ้นงานทดสอบ
3. นำสารเคลือบพอลิยูรีเทน (เกรด 602A) และผงไททาเนียมไดออกไซด์ที่สัดส่วนต่างๆ ดังนี้ 1, 3, 5, 7, 9, และ 15 ส่วน ต่อน้ำหนักสารพอลิยูรีเทน 100 ส่วน ทำการผสมในเครื่องปั่นที่ความเร็วประมาณ 300 รอบ/นาที เวลา 15 นาที

4. จากนั้นใส่สารช่วยแข็ง (เกรด 602B) ที่สัดส่วน

เท่ากับสารเคลือบพอลิยูรีเทน ปั่นกวนกับสารเคลือบพอลิยูรีเทนที่มีผงไททาเนียมไดออกไซด์และสารช่วยแข็งเป็นเวลา 15 นาที นำสารเคลือบพอลิยูรีเทนที่มีปริมาณผงไททาเนียมไดออกไซด์แต่ละสูตรตรวจสอบค่าความหนืดโดยใช้ถ้วยวัดความหนืด (Viscosity Cups)

5. ทำการพ่นสารเคลือบพอลิยูรีเทนบนชิ้นงานแผ่นยางธรรมชาติที่ผสมขี้เลื่อยไม้ โดยใช้สภาวะการพ่นเคลือบเหมือนกันทุกสูตร ดังนี้

- ระยะการพ่น 20 30 และ 40 cm (ระยะห่างระหว่างชิ้นงานถึงปืนพ่น)

- จำนวนรอบการพ่นเคลือบที่ 1-7 รอบ

- แรงดันลมในการพ่นครั้งที่ 6 - 6.5 kg/cm²

6. ชิ้นงานแผ่นยางที่ผ่านการพ่นเคลือบด้วยสารเคลือบพอลิยูรีเทน เพื่อเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ขั้นตอนที่ 3 ทำการทดสอบสมบัติของผิวเคลือบแบ่งเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 ทดสอบการสะท้อนรังสีอาทิตย์ และค่าสีของชิ้นงาน

ส่วนที่ 2 ทดสอบการยึดเกาะ และ ความทนทานต่อการตัดโค้งของผิวเคลือบพอลิยูรีเทน

โดยศึกษาปริมาณผงไททาเนียมไดออกไซด์ที่ สัดส่วนดังนี้ 1, 3, 5, 7, 9 และ 15 ส่วนต่อน้ำหนักสาร พอลิยูรีเทน 100 ส่วน ที่ความหนา 100 ไมครอน และ เมื่อได้ปริมาณผงไททาเนียมไดออกไซด์ในผิวเคลือบที่ เหมาะสมต่อจากนั้นนำมาศึกษาความหนาของผิวเคลือบ พอลิยูรีเทน ที่ 130, 150, 200, 250 และ 300 ไมครอน **การตรวจสอบสมบัติการสะท้อนรังสีอาทิตย์ และทาง กลของผิวเคลือบพอลิยูรีเทน**

- การตรวจสอบขนาดและรูปร่างของผงไททาเนียมไดออกไซด์ โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope; SEM ของบริษัท JEOL จำกัด รุ่น JSM-5800

- การสะท้อนรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ASTM E691 (มีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.15%) และค่าสี ตามมาตรฐานในการวัดสีของ CIE System (Commission International de l'Éclairage); CIE (L* a* b*) ของ ชิ้นงานยางที่เคลือบด้วยพอลิยูรีเทนที่เติมผงไททาเนียม ไดออกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ โดยใช้เครื่อง UV-VIS-NIR Recording Spectrophotometer รุ่น UV-3100 จาก บริษัท Shimadzu

- ตรวจสอบพื้นผิวชิ้นงานและความหนา ผิวเคลือบ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope) รุ่น BHM-112KL ของบริษัท Olympus Optical

- การขีดเกาของฟิล์มตามมาตรฐาน ASTM D3359-08 โดยใช้เครื่องมือ Cross hatch cutter

- การตัดโค้งของฟิล์มตามมาตรฐาน ASTM D 522 โดยใช้ Mandrel set รุ่น MG 1412

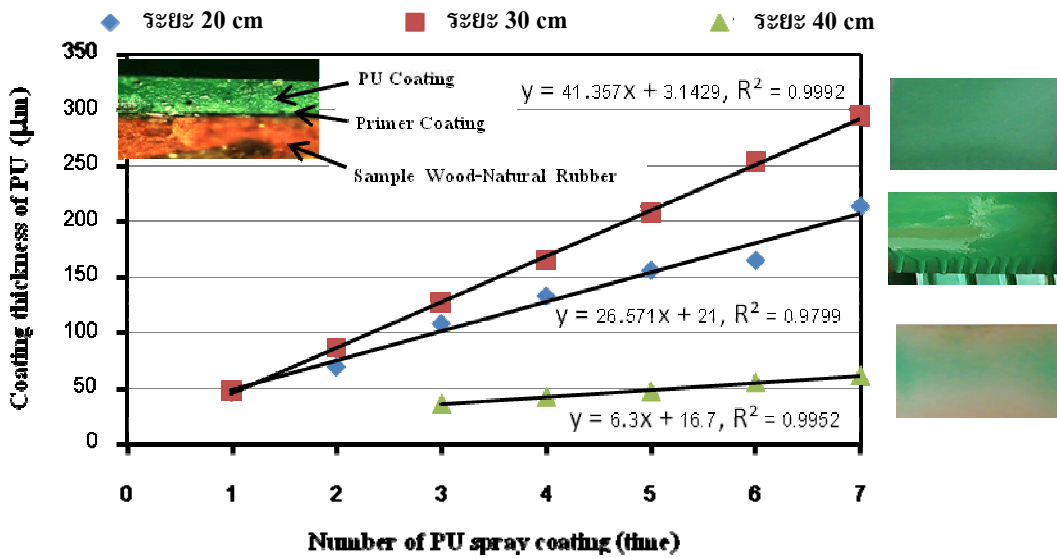
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. ตรวจสอบคุณลักษณะรูปร่างและขนาดของ ผงไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าอนุภาคของผง TiO_2 มีลักษณะทรงกลม มีการเกาะตัวกันเป็นกลุ่ม และมี ขนาดอนุภาคประมาณ 0.4 ไมโครเมตร และมี องค์ประกอบของไททาเนียมไดออกไซด์เป็น

องค์ประกอบหลักมากถึง 93.6% และมีกลุ่มโลหะ ออกไซด์ ประมาณ 6.4 %

2. ศึกษาสถานะในการพ่นเคลือบพอลิยูรีเทน โดยการปรับเปลี่ยนระยะชิ้นงานห่างจากหัวพ่นเป็น ต่างๆ และเพิ่มจำนวนรอบการพ่นชิ้นงานดังนี้ ระยะที่ ตำแหน่งชิ้นงานถึงหัวพ่นเคลือบที่ระยะ 20, 30 และ 40 cm และผลตรวจสอบความหนาของผิวเคลือบพอลิยูรี เทน ของชิ้นงานยางโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope) ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยปรับ ระยะการพ่น 20-40 cm ที่มีการพ่นเคลือบที่จำนวนรอบ ต่างๆ พบว่า ที่ระยะห่างของการพ่นเคลือบที่ 20 cm พบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการพ่น ความหนาของผิว เคลือบพอลิยูรีเทนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 30 μm และพบว่าเมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้น ผิวชิ้นงานมีการไหล ช้อยของสีที่ผิวหน้าชิ้นงานยาง และเมื่อเพิ่มระยะห่าง การพ่นเคลือบที่ 30 cm พบว่าความหนาของผิวเคลือบ พอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้นประมาณ 40 μm ในแต่ละรอบการ พ่น ส่วนที่ระยะห่างการพ่นเคลือบ ที่ 40 cm พบว่า เมื่อ พ่นเคลือบที่จำนวน 1-2 รอบ ที่ผิวชิ้นงานบางมากพบ แต่ละองสี แต่เมื่อเพิ่มจำนวนรอบมากขึ้น ความ หนาของผิวเคลือบเพิ่มขึ้นประมาณ 6 μm เนื่องจาก ระยะการพ่นเคลือบห่างเกินไป

จากการพ่นเคลือบ ลักษณะผิวและความหนา ผิวเคลือบ พบว่าที่ระยะการพ่น ที่ให้ความหนาของผิว เคลือบตรงความต้องการในช่วงแรก (ประมาณ 100 μm) คือ ระยะการพ่นที่ 20 cm จำนวนรอบการพ่นที่ 3 รอบ ซึ่งมีความหนาประมาณ 100 μm แต่พบว่าผิว เคลือบที่ได้ไม่มีความมันวาว และพบการไหลช้อยของ ผิวเคลือบ ส่วนที่ระยะการพ่น 30 cm ที่จำนวนการพ่น 3 รอบ ความหนาผิวเคลือบที่ได้ มีความหนามากกว่า 130 $\pm 10 \mu m$ และพบว่า ผิวเคลือบมีความเรียบ และมีความ หนาสม่ำเสมอ มีความมันวาว ไม่พบการไหลช้อยของสี ที่ผิวเคลือบ และไม่พบการนูนของอนุภาคผงไททา นเนียมไดออกไซด์บนผิวเคลือบ



ภาพที่ 2 ผลของจำนวนครั้งในการพ่นเคลือบที่มีต่อความหนาผิวเคลือบชิ้นงานยาง

จากการศึกษาสภาวะในการพ่นเคลือบผิวชิ้นงานยางที่เหมาะสม ดังนี้

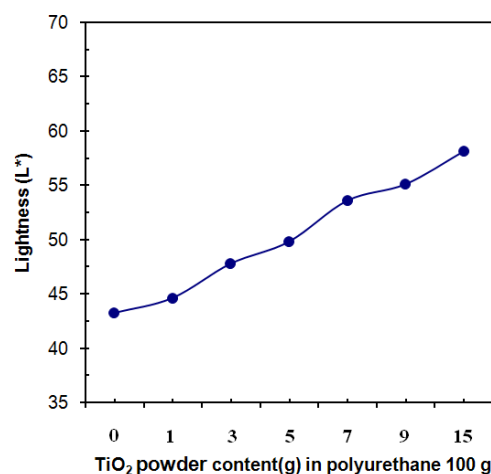
- ระยะทางการพ่นเคลือบ 30 cm
- จำนวนรอบการพ่นที่ 3 รอบ
- แรงดันลมอยู่ระหว่าง 6 – 6.5 kg/cm²
- ความเร็วในการพ่นเคลือบที่ 0.4 m/s
- ความหนาของผิวเคลือบ 130 ± 10 µm

3. ผลการตรวจสอบการสะท้อนรังสีอาทิตย์ และ

ค่าสีของชิ้นงานแผ่นยางที่เคลือบด้วยพอลิยูรีเทน

ตารางที่ 2 พบว่าการเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ ที่ปริมาณต่างๆ ดังนี้ 1, 3, 5, 7, 9, และ 15 ส่วน ต่อน้ำหนักสารพอลิยูรีเทน 100 ส่วน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงไททาเนียมไดออกไซด์ ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของผิวเคลือบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ปริมาณผงไททาเนียมไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นของสารเคลือบเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ระยะห่างระหว่างผงไททาเนียมไดออกไซด์ลดลง เป็นผลให้ระยะทางในการส่องผ่านของรังสีสั้นลง ทำให้รังสีสามารถเลี้ยวเบน และหักเหออกจากสารเคลือบได้มากกว่าที่ความลึกเท่ากัน (วัลลภ, 2549)

ส่วนผลสีของชิ้นงานแผ่นยางที่เคลือบด้วยพอลิยูรีเทนที่เติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ ดังนี้ 1, 3, 5, 7, 9 และ 15 ส่วน ต่อน้ำหนักสารพอลิยูรีเทน 100 ส่วน พบว่าชิ้นงานแผ่นยางที่เคลือบด้วยพอลิยูรีเทนที่เติมผง TiO₂ ที่ปริมาณมากขึ้น สีของชิ้นงานมีความสว่างมากขึ้น เมื่อเทียบกับผิวเคลือบผิวที่ไม่ได้เติมผง TiO₂ เนื่องจากอนุภาคของผง TiO₂ มีสีขาว จึงทำให้สีเคลือบพอลิยูรีเทนจางลง (มีสีขาวเพิ่มขึ้น) ดังแสดงในรูปที่ 3

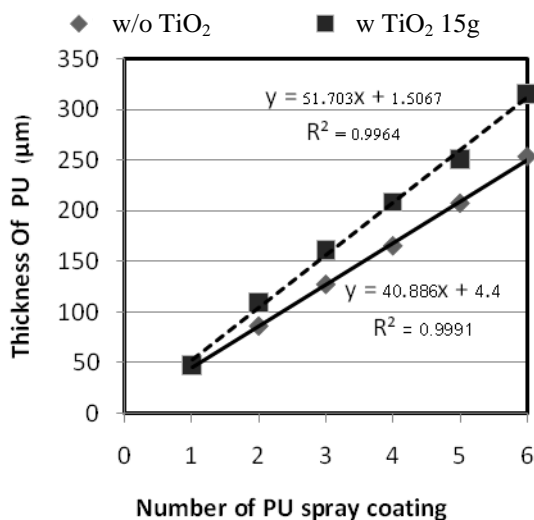


รูปที่ 3 ผลของ TiO₂ ที่เติมในสารเคลือบพอลิยูรีเทน ที่มี ความสว่างของชิ้นงานยาง

ตารางที่ 2 ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของผิวเคลือบพอลิยูรีเทนที่มีผง TiO₂

TiO ₂ powder content in PU coating (%wt of PU coating)	Solar reflective at wave length (%)		
	Visible wave length at between 380 – 780 nm	NIR -IR wave length at between 780-2100 nm	Solar wave length at between 190 -2100 nm
0	9.50	27.99	18.48
1	10.14	27.28	18.44
3	11.57	29.78	20.36
5	12.71	29.78	22.06
7	14.99	36.20	25.20
9	15.94	37.61	26.35
15	17.87	40.11	28.54

ส่วนการศึกษาความหนาของผิวเคลือบพอลิยูรีเทน ที่ความหนาต่างๆ ดังนี้ 130, 150, 200, 250 และ 300 ไมครอน โดยเลือกปริมาณผงไททาเนียมไดออกไซด์ที่ 15 ส่วน ต่อน้ำหนักสารพอลิยูรีเทน 100 ส่วน ศึกษาความหนาของผิวเคลือบพอลิยูรีเทนที่เติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ กับไม่เติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่าการเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ทำให้ความหนาเพิ่มขึ้น แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลของจำนวนครั้งในการเคลือบผิวพอลิยูรีเทนที่มีผง TiO₂ ที่มีต่อความหนาผิวเคลือบชั้นงานยาง

และเมื่อตรวจสอบการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของผิวเคลือบพอลิยูรีเทน ที่ความหนาดังนี้ 130, 150, 200, 250 และ 300 ไมครอน โดยเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณ 15 ส่วน ต่อน้ำหนักสารพอลิยูรีเทน 100 ส่วน ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า ความหนาผิวเคลือบพอลิยูรีเทน ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ เนื่องจากรังสีไม่สามารถส่องผ่านผิวเคลือบได้ ทำให้รังสีตกกระทบเกิดการดูดกลืน และมีการสะท้อนหักเหของรังสี (Hong and Xiu, 2001) จึงไม่มีรังสีที่ทะลุผ่านไปถึงแผ่นยาง ดังนั้นความหนาจึงไม่มีผลต่อการสะท้อน (อนุสรฯ, 2545)

4. ผลการตรวจสอบการยึดเกาะ และการตัดโค้งของผิวเคลือบพอลิยูรีเทน

ตารางที่ 4 พบว่า การเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ ที่ปริมาณ ดังนี้ 1, 3, 5, 7, 9 และ 15 ส่วนต่อน้ำหนักสารพอลิยูรีเทน 100 ส่วน และที่ความหนาผิวเคลือบ ดังนี้ 130, 150, 200, 250 และ 300 ไมครอน โดยเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณ 15 ส่วนต่อน้ำหนักสารพอลิยูรีเทน 100 ส่วน เมื่อนำมาตรวจสอบการยึดเกาะของผิวเคลือบพอลิยูรีเทนบนวัสดุยาง

ธรรมชาติไม่พบการหลุดลอกผิวเคลือบพอลิยูรีเทน และ
ไม่พบรอยแตกร้าวของผิวเคลือบ

ตารางที่ 3 ค่าสะท้อนรังสีอาทิตย์ของผิวเคลือบพอลิยูรีเทนที่มีผง TiO₂ ที่มีต่อความหนาผิวเคลือบ

TiO ₂ content in polyurethane coating (%wt of PU coating)	Coating thickness (μm)	% Solar reflective at wave-lengths		
		Visible wave length at between 380 – 780 nm	NIR -IR wave length at between 780-2100 nm	Solar wave length at between 190 -2100 nm
0	130±10	9.50	27.99	18.48
15	130±10	17.95	40.20	28.61
	150 ±10	17.87	40.11	28.54
	200 ±10	17.84	40.48	28.7
	250±10	17.72	40.47	28.63
	300±10	18.09	40.40	28.78

ตารางที่ 4 ค่าการยึดเกาะและตัดโค้งของชิ้นงานยางที่เคลือบผิวด้วยพอลิยูรีเทนที่เติมผง TiO₂

Thickness of polyurethane coating	TiO ₂ content in polyurethane (%wt of PU coating)	Properties	
		Surface adhesion	Blending
130±10	0	5B*	Non crack
	1	5B*	Non crack
	3	5B*	Non crack
	5	5B*	Non crack
	7	5B*	Non crack
	9	5B*	Non crack
	15	5B*	Non crack
150 ±10	15	5B*	Non crack
200 ±10	15	5B*	Non crack
250±10	15	5B*	Non crack
300±10	15	5B*	Non crack

*5B: High adhesion

สรุปผลการวิจัย

1. อนุภาคของผงไททาเนียมไดออกไซด์มีลักษณะทรงกลม มีการเกาะกันเป็นกลุ่ม และมีองค์ประกอบของไททาเนียมไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักมากถึง 93.6% และมีกลุ่มโลหะออกไซด์ ประมาณ 6.4 %
2. สภาวะในการปั่นเคลือบผิวที่เหมาะสมสำหรับสารเคลือบพอลิยูรีเทนบนชิ้นงานยาง มีดังนี้
 - ระยะห่างการปั่นเคลือบ 30 cm
 - จำนวนรอบการปั่นที่ 3 รอบ
 - แรงดันลมในการพ่นอยู่ระหว่าง 6 – 6.5 kg/cm²
 - ความเร็วในการปั่นเคลือบที่ 0.4 m/s
 - ความหนาผิวเคลือบ 130 ± 10 μm
3. ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ และค่าความสว่างของผิวเคลือบพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้นตามปริมาณของผงไททาเนียม ส่วนการเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ทำให้ความหนาเพิ่มขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของผิวเคลือบพอลิยูรีเทน
4. การขีดเกาะ และความทนทานต่อการดัดโค้งของผิวเคลือบพอลิยูรีเทนไม่พบการหลุดลอกผิวเคลือบพอลิยูรีเทน และไม่พบรอยแตกร้าวที่ผิวชิ้นงาน

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยฯ ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนทุน โครงการวิจัย ขนาดกลางเรื่องยางพารา (Medium – Size Projects on Rubber; MPR) ปี 2551 ตามสัญญาโครงการเลขที่ RDG5150066

เอกสารอ้างอิง

- คณะกรรมการการพยากรณ์ความต้องการในการใช้ไฟฟ้า 2550 การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า. ค้นเมื่อ วันที่ 23 ธันวาคม 2551, จาก [Http://www.eppo.go.th/load/LF-2007-03-26.pdf](http://www.eppo.go.th/load/LF-2007-03-26.pdf).
- Chirarattaananon, S., and Taweekun, J. 2002. A technical review of energy conservation programs for commercial and government buildings in

Thailand [Electronic version]. Energy

Conversion and Management. (44) : 743-762.

- ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะ 2548. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการการผลิตและทดสอบหลังคายางพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับซีลีออย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. ฝ่ายอุตสาหกรรม
- ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะ 2550. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการการพัฒนาวัสดุและเทคโนโลยีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์หลังคายางประหยัดพลังงานจากวัสดุผสมยางและซีลีออย. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. ฝ่ายอุตสาหกรรม

Paul, B., and Sarah, E. 1997. Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. J. Energy Build. 22: 149-158

Hong, Y., and Xiu, Y. 2001. Characterization of absorptivities to solar radiation for corrode pigments in coating. J. Coatings Technol. 73: 71-75.

อนุสรฯ ศรีสรพล 2545 การศึกษาวัสดุผิวเคลือบสะท้อนความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Michael, I., Larry, L., and Andrew, A. 2006. Multiscattering of light by particles. J. Optic, Cambridge University, Cambridge, England. 124-135.

วัลลภ หาญณรงค์ชัย 2549 สีเคลือบสะท้อนรังสีอาทิตย์ เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

