การพัฒนาวัสดุและเทคโนโลยีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์หลังคายาง จากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับผงขี้เลื่อยไม้

Material Formations and Processing Technology of Rubber-Wood Composites for Rubber Roofs

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ เอกชัย วิมลมาลา ธีระศักดิ์ หมากพิน และชัชวาลย์ กันทะลา

Narongrit Sombatsompop, Ekachai Wimolmala, Teerasak Markpin and Chatchawan kantala

กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF) สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

Polymer Processing and Flow (P-PROF) Group, Division of Materials Technology, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT). Bangmod, Tungkru, Bangkok, 10140, Thailand. Corresponding e-mail: narongrit.som@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวัสดุผสมยางธรรมชาติกับผงขี้เลื่อยไม้ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หลังคายางธรรมชาติ โดยได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และบริษัท สยามยูไนเต็ดรับเบอร์ จำกัด โดยเน้นสมบัติการทนทานต่อสภาวะแวดล้อมและการประหยัดพลังงาน เพื่อป้องกันแสงยูวีและปรับปรุงสมบัติให้ทนต่อสภาวะการใช้งานจริงได้ ตลอดจนสามารถผลิตหลังคายางประหยัดพลังงานจากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับผงขี้เลื่อยไม้ในระดับอุตสาหกรรมได้ โดยได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำโพลิยูรีเทนเหลวมาเคลือบบนหลังคายางพารา และศึกษาสมบัติเฉพาะทางของผลิตภัณฑ์หลังคายางพารา เช่น ความทนต่อแสงยูวี ความทนต่อสภาพอากาศ (ความชื้นและโอโซน) และความสามารถในการนำความร้อน ผลการวิจัยโดยรวมพบว่า สามารถนำสารโพลิยูรีเทนเหลวเคลือบผิวบนหลังคายางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ได้ มีขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงานหลังคายางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ ด้วยวิธีการขัดกระดาษทราย จากนั้นพ่นสารรองพื้น (Primer) เกรด C 501 และให้ชิ้นงานแห้งที่อุณหภูมิห้อง ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง และขั้นตอนสุดท้ายพ่นสารโพลิยูรีเทนเคลือบผิวหน้าชิ้นงาน (Top coat) เกรด 602 A และ 602 B วิธีการนี้พบว่าง่าย สะดวกและได้ชิ้นงานสวยงาม และจากการนำชิ้นงานที่พ่นเคลือบด้วยโพลิยูรีเทนเหลวตรวจสอบการหลุดลอกของผิวเคลือบโพลิยูรีเทนโดยใช้น้ำไหลผ่านบนหลังคายางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ ไม่พบการหลุดลอกและการบวมตัวของผิวเคลือบโพลิยูรีเทนของผลิตภัณฑ์หลังคา และไม่พบสิ่งปนเปื้อนที่เกิดขึ้นกับน้ำและผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้สูงสุด เทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) 535-2540 ของมาตรฐานกระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา จากนั้นคณะวิจัยฯ ได้ศึกษาการเติมสารทำให้เกิดฟองชนิด Expancel ในหลังคายางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ และศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติการนำความร้อน พบว่า การเติมสารทำให้เกิดฟองทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมลดลงตามปริมาณสารทำให้เกิดฟอง หลังคายางมีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.1131 W/m°K ซึ่งมีการนำความร้อนต่ำลดลงถึง 31 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับหลังคายางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ที่ไม่เติมสารทำให้เกิดฟอง ที่มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.1637 W/m°K สารทำให้เกิดฟองที่ใช้ชนิด Expancel เกรด 009 DU 80 ที่ปริมาณ 3 ส่วนต่อยางหนึ่งร้อยส่วน เป็นปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งการใช้สารทำให้เกิดฟองทำให้ราคาของหลังคายางต่อแผ่นลดลง

คำสำคัญ: *หลังคายาง, ยางธรรมชาติ, ขี้เลื่อยไม้, สารเคลือบโพลิยูรีเทน, การนำความร้อน, สารทำให้เกิดฟอง*

Abstract

The research involved property development of natural rubber/wood sawdust composites for natural-rubber roofs. This composite roof had a resistance to environment aging, UV degradation which can be practically used in the industrial scale. This work saught the possibility of using the liquid polyurethane on the natural rubber roofs. The mechanical properties, UV and weathering resistances (moisture and ozone) and thermal conductivity of the composite

roofs were studied. It was possible to use the liquid polyurethane lamination on the wood-NR roofs. After laminating the primer (C 501), then the top coat (A 602 and B 602) has been laminated by the jet spray method. Water run-off test was performed on the liquid polyurethane-laminated sawdust-NR roofs. No de-lamination of the PU coating from the wood/NR layers was observed and no chemical contaminations exceeded the limits indicated by TISI 535-2540 for concrete roofs. More energy savings of the NR composite roofs could be achieved by adding "Expancel" blowing agent. The addition of the Expancel blowing agent reduced the thermal conductivity (K) of the sawdust-NR composite roofs, the K value of the expanded rubber roofs being be 0.1131 W/m°K, which was 31% lower than that of the solid NR composite roofs (K = 0.1637 W/m°K). The recommended concentration of the Expancel 009 DU 80 to be added in the NR roofs was 3 phr.

***Keywords** : rubber roofs, natural rubber, wood sawdust, polyurethane coating, thermal conductivity, blowing agent*

คำนำ

ปัจจุบันมีการส่งเสริมให้มีการแปรรูปยางมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลในปัจจุบัน ประกอบกับผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีปริมาณมากในประเทศและไม่ได้นำมาใช้เท่าที่ควร ทางคณะวิจัยฯ กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (Polymer PROcessing and Flow (P-PROF) Group) นำโดยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ หัวหน้ากลุ่มวิจัยฯ จึงมีแนวความคิดที่จะเพิ่มมูลค่าและลดปริมาณของเหลือใช้จากเศษวัสดุผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราประกอบกับต้องการใช้ยางธรรมชาติในประเทศเพื่อผลิตเป็นวัสดุชนิดใหม่ๆ ซึ่งจากผลงานวิจัยของ ณรงค์ฤทธิ์ และคณะ (2548) โครงการ "การผลิตและทดสอบหลังคายางพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับขี้เลื่อย" สามารถผลิตผลิตภัณฑ์หลังคายางพาราผสมผงขี้เลื่อยไม้ที่มีสมบัติเชิงกล สมบัติการนำความร้อน สมบัติการลามไฟ และสมบัติทางกายภาพที่ดี แต่ในการนำผลิตภัณฑ์หลังคายางพาราผสมผงขี้เลื่อยไม้ไปใช้งานจริงนั้น จะต้องสัมผัสกับน้ำฝน ความร้อน และรังสียูวี เป็นต้น ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการพัฒนาวัสดุผสมยางธรรมชาติกับผงขี้เลื่อยไม้ให้มีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมให้ดียิ่งขึ้น และเพิ่มสมบัติความเป็นฉนวน เมื่อนำหลังคายางพาราไปใช้งานต้องทนทานต่อความร้อน และรังสียูวี ทำให้อุณหภูมิภายในบ้านหรือโรงเรือนลดลง ซึ่งเป็นแนวทางในการประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี โดยการอนุรักษ์พลังงานนับเป็นหนทางหนึ่งซึ่งจะช่วยแก้ไขปัญหาด้านพลังงานทั้งปัจจุบันและในอนาคตได้ดีที่สุด และเป็นสิ่งที่ทุกคนในสังคมสามารถมีส่วนร่วมได้ ซึ่งปัจจุบันหลายองค์กรทั้งภาครัฐและเอกชนต่างต้องเร่งหามาตรการ เพื่อช่วยบรรเทาผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยขอบเขตของงานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หลังคายางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ และเคลือบผิวด้วยโพลิยูรีเทนเหลว และศึกษาการเติมสารทำให้เกิดฟองในผลิตภัณฑ์หลังคายาง ที่เน้นค่าการนำความร้อนที่ต่ำ ซึ่งมีเป้าหมายหลักในการพัฒนาผลิตภัณฑ์หลังคายางพาราในแง่การใช้งานจริง โดยเน้นสมบัติการทนทานต่อสภาวะแวดล้อมและการประหยัดพลังงาน ตลอดจนผลิตภัณฑ์ที่ได้จะต้องเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. ยางและสารเคมี

1) ยางธรรมชาติ เกรด STR20 (Standard Thai Rubber 20) จากบริษัท ฮ่วยซวน จำกัด (กรุงเทพฯ)
2) สารกระตุ้นปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ในกระบวนการผลิตยาง จากบริษัท อุทิศ อินเทอร์ไพรส์ จำกัด (กรุงเทพฯ)
3) สารกระตุ้นปฏิกิริยากรดสเตียริก (Stearic acid) เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ในกระบวนการผลิตยาง จากบริษัท อิมพีเรียล อินดัสเตรียส จำกัด (กรุงเทพฯ)
4) สารเร่งปฏิกิริยาเมอร์แคบโตเบ็นโซไทโซล์ (Mercaptobenzthiazole, MBT) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ เกรด ZAP ACCEL M-R จากบริษัท Zeon Advanced Polymix จำกัด (กรุงเทพฯ)
5) สารเร่งปฏิกิริยาไดฟีนิวกัวไนดีน (Diphenylguanidine, DPG) เป็นตัวเร่ง (Accelerators) ให้ตัวกระตุ้นเกิดปฏิกิริยาอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากบริษัท สยามยูไนเต็ดรับเบอร์ จำกัด
6) กำมะถัน (Sulfur) เป็นสารช่วยในการคงรูปยางในกระบวนการผลิตยาง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ขนาด 450 mesh จากบริษัท สยามเมมี จำกัด (มหาชน) (กรุงเทพฯ)
7) ซิลิกาเกรดการค้า (Commercial silica) เป็นสารเสริมแรงที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมยาง เลือกใช้ซิลิกาแบบตกผลึก (Precipitated) เกรด TOKUSIL 233 ขนาดอนุภาคประมาณ 50 -100 ไมครอน ค่า pH 6.8 และค่า Bulk density 0.232 g/cm^3 จากบริษัท โตกุยามา สยามซิลิกา จำกัด (ระยอง)

8) ผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา (Wood sawdust) มีขนาดอนุภาคประมาณ 200-300 ไมครอน ช่วยเพิ่มสมบัติความแข็งให้กับผลิตภัณฑ์ และช่วยลดต้นทุน จากบริษัท วี พี วู้ด จำกัด (กรุงเทพฯ)
9) สารเพิ่มสีแดง (Iron oxide red 690 B) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดงคล้ายอิฐ จากห้างหุ้นส่วนจำกัด เกียรติมงคล
10) สารคู่ควบไซเลนชนิด KBM 603 A ช่วยทำให้การยึดเกาะกันระหว่างยางธรรมชาติกับผงขี้เลื่อยไม้ได้ดีขึ้น จาก บริษัท Kishimoto Sangyo (Thailand) จำกัด
11) สารเพิ่มเสถียรภาพต่อรังสียูวี (UV Stabilizer, TINUVIN 234) มีหน้าที่ช่วยป้องกันรังสี UV จากดวงอาทิตย์จาก Global Connection Co., Ltd.
12) สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน (Antioxidant, IRGANOX 1076) มีหน้าที่ช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาจากอากาศ จาก Global Connection Co., Ltd.
13) สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับโอโซน (Antiozonant, Enhance) เป็นสารเคมีที่ช่วยป้องกันไม่ให้ยางเสื่อมสลาย และป้องกันไม่ให้ยางทำปฏิกิริยากับโอโซน จาก Behn Meyer Chemical (T) Co., Ltd.
14) สารหน่วงการลามไฟ (APYRAL 40 CD) ทำหน้าที่หน่วงการติดไฟของผลิตภัณฑ์หลังคายางให้ช้าลง หรือไฟที่ลุกไหม้ดับลง จาก Behn Meyer Chemical (T) Co., Ltd.
15) สารทำให้เกิดฟอง (Blowing agent) ชนิด Expancel เกรด 009 DU 80 มีขนาดอนุภาค18-24 ไมครอน และ เกรด 093 DU 120 มีขนาดอนุภาค 28-38 ไมครอน อุณหภูมิการสลายตัวให้เกิดฟองที่ 100-200 องศาเซลเซียส ซึ่งรูปร่างของอนุภาคเซลล์มีลักษณะทรงกลม จากบริษัท เคมโค้ท จำกัด (กรุงเทพฯ)
16) สารเคลือบโพลียูรีเทนเหลว Anti-UV Coating โดยใช้สารรองพื้น ชนิด C-501 และสารเคลือบผิวหน้า ชนิด C-602A สีเขียว และสารทำให้คงรูป (Hardener) ชนิด C-602B โดยผสมเข้ากันที่สัดส่วน 1:1 ทำหน้าที่เคลือบผิวหลังคายางป้องกันต่อสภาพแวดล้อมได้ดี จากบริษัท Sea Chief Enterprise (Thailand) จำกัด

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

◎ การเตรียมผิวผงขี้เลื่อยไม้

นำผงขี้เลื่อยไม้อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารคู่ควบไซเลนชนิด KBM 603 A ที่ปริมาณ 0.5%ต่อน้ำหนักผงขี้เลื่อย ที่เตรียมแล้วมาพ่นลงผงขี้เลื่อยไม้และปั่นผสมในเครื่องผสม เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำผงขี้เลื่อยไม้ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในการกำจัดความชื้นออก เพื่อเตรียมนำไปผสมกับยางธรรมชาติในขั้นตอนต่อไป

◎ การบดผสมยางกับสารเคมี

การบดผสมยางและสารเคมีด้วยเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ (Two roll mill) จากบริษัท Yong Fong Machinery จำกัด ตามสูตรสารประกอบยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ ดังแสดงใน **ตารางที่ 1** โดยการเติมผงขี้เลื่อยไม้ที่ปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนแล้ว ที่ปริมาณ 40 phr เวลาในการผสม 40 นาที

ตารางที่ 1 สูตรสารประกอบยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ที่ใช้ในการวิจัย (ณรงค์ฤทธิ์ และคณะ,2548)

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (phr*)
ยางธรรมชาติ (เกรด STR 20)	100 ส่วน
ผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา	40
สารกระตุ้นปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	33.4
สารกระตุ้นปฏิกิริยากรดสเตียริกเอสิช (Stearic acid)	13.4
สารเร่งปฏิกิริยาเมอร์แคบโตเบ็นโซไทโซล์ (MBT)	3.4
สารเร่งปฏิกิริยาไดฟีนิวกัวไนดีน (DPG)	1.4
กำมะถัน (Sulfur)	20
ซิลิกาแบบตกผลึก (เกรด TOKUSIL 233)	45
สารเพิ่มสีแดง (Iron oxide red 690 B)	4
สารเพิ่มเสถียรภาพต่อรังสียูวี (TINUVIN 234)	0.1
สารป้องกันปฏิกิริยากับออกซิเจน (IRGANOX 1076)	0.1
สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับโอโซน (Enhance)	3
สารหน่วงการลามไฟ (APYRAL 40CD)	100

* phr: parts per hundred of rubber by weight

◎ การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

นำสารประกอบยางระหว่างยางธรรมชาติที่มีผงขี้เลื่อยไม้เป็นสารเติมแต่ง เตรียมขึ้นรูปแผ่นชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hot press) จากบริษัท LAB TECH จำกัด ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 160°C แรงดันแม่พิมพ์ที่ 170 กก./ตร.ซม. เป็นเวลา 10 นาที และเตรียมขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบค่ามอดุลัสแรงดึง ความต้านแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ด้วยแม่พิมพ์ตัด (Die stamping) เป็นรูปดัมเบลล์ ชนิด Die C

3. การทดสอบสมบัติเชิงกล และโครงสร้างจุลภาค

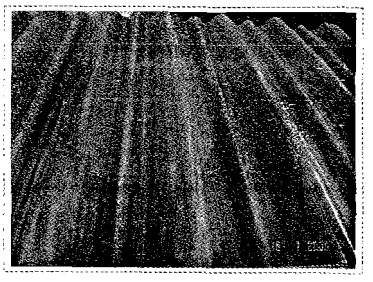
- การทดสอบหามอดุลัสแรงดึง ความต้านแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาดโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machines จากบริษัท ชิมาสุ รุ่น Autograph AG-I ใช้ตัวจับยึด (grip) ขนาด 5 กิโลนิวตัน อุณหภูมิทดสอบที่ 25°C ความเร็วในการดึงคงที่ 500 มม./นาที ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D412-03
- การทดสอบการต้านแรงฉีกขาด ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D642-00
- การทดสอบความแข็งของแผ่นยางที่คงรูป โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็ง จากบริษัท Tech Lock จำกัด ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D2240-03 Shore A

○ การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค เตรียมชิ้นงานโดยการเคลือบทองลงบนผิวด้วยเครื่องเคลือบผิวระบบสุญญากาศ (Vacuum coating) รุ่น JEE-400 ของบริษัท JEOL จำกัด โดยใช้ความดันที่ 10^{-4} Pa กระแสไฟฟ้าในการเคลือบผิว 15 แอมแปร์ จากนั้นจึงนำไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) จากบริษัท JEOL จำกัด รุ่น JSM-6400 ด้วยกระแสไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ที่กำลังขยาย 100 เท่า โดยตรวจสอบลักษณะของการเกิดฟองในยาง

การเตรียมและพ่นเคลือบผิวชิ้นงานหลังคายางพารา

คณะวิจัยฯ ได้ทำการเตรียมและเคลือบผิวด้วยวิธีการพ่นเคลือบสารโพลิยูรีเทนเหลวบนชิ้นงานหลังคายางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ โดยมีขั้นตอนการพ่นเคลือบผิว ดังนี้

◎ ***ขั้นตอนที่ 1*** การเตรียมผิวชิ้นงานหลังคายาง เพื่อขจัดคราบฝุ่นละอองคราบไขมันที่ผิวชิ้นงานก่อน ด้วยวิธีการขัดกระดาษทราย และสามารถเพิ่มการยึดเกาะระหว่างชั้นเคลือบโพลิยูรีเทนเหลวกับชั้นยางได้ โดยกลไกการยึดเกาะแบบเชิงกล (Mechanical interlocking) (Aydin,2004) ดังแสดงใน**รูปที่** 1

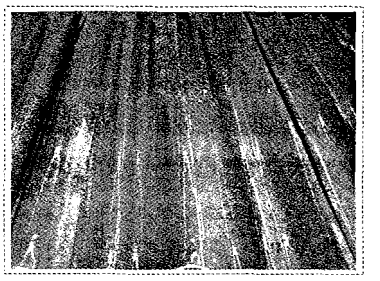


รูปที่ 1 การเตรียมผิวชิ้นงานหลังคายางด้วยวิธีการขัดกระดาษทราย

◎ ***ขั้นตอนที่ 2*** การพ่นเคลือบผิวรองพื้นบนชิ้นงานหลังคายาง เพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างผิวของยางกับผิวเคลือบทับหน้าโดยใช้สารเคลือบรองพื้น ชนิด Primer C-501 พ่นที่ความหนาผิวเคลือบไม่น้อยกว่า 0.35 มิลลิเมตร *(อ้างอิงข้อมูลทางเทคนิคจากบริษัทฯ ผู้ผลิต)* และรอให้ผิวเคลือบรองพื้นแห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 3-4 ชั่วโมง ดังแสดงใน**รูปที่** 2

รูปที่ 2 ชิ้นงานหลังคายางที่ผ่านการพ่นเคลือบผิวรองพื้น ด้วยสารเคลือบรองพื้นชนิด Primer 501

◎ ***ขั้นตอนที่ 3*** การพ่นเคลือบผิวทับหน้า (ด้านบนที่ต้องสัมผัสกับแสงแดดและน้ำ) โดยใช้สารเคลือบโพลิยูรีเทน ชนิด C-602A: สีเขียว และสารทำให้คงรูป (Hardener) ชนิด C-602B โดยผสมที่สัดส่วน 1:1 พ่นที่ความหนาผิวเคลือบไม่น้อยกว่า 0.35 มิลลิเมตร *(อ้างอิงข้อมูลทางเทคนิคจากบริษัทฯ ผู้ผลิต)* ดังแสดงใน**รูปที่** 3 และรอให้ผิวหน้าแห้งสนิทที่อุณหภูมิห้องประมาณ 3-4 ชั่วโมง จึงสามารถนำไปใช้งานได้



รูปที่ 3 ชิ้นงานหลังคายางที่ผ่านการพ่นเคลือบผิวหน้าด้วยสารเคลือบผิวโพลิยูรีเทนสีเขียว

รูปที่ 1-3 แสดงการเตรียมผิวและการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์หลังคายางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ โดยใช้สารเคลือบผิวชนิดโพลิยูรีเทนเหลว สามารถทำได้ทั้งวิธีการทาและการพ่น กรณีวิธีการพ่นเคลือบ เริ่มจากการพ่นเคลือบชั้นสารรองพื้น (Primer) ชนิด C 501 เพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างผิวหน้ายางกับสารเคลือบผิวหน้า และรอให้ชิ้นงานแห้งอย่างน้อย 3-4 ชั่วโมงก่อนการพ่นเคลือบชั้นสารเคลือบผิวหน้า (Top coat) เกรด C 602 ที่ประกอบด้วยส่วนผสมของโพลิยูรีเทนและสารช่วยทำให้แข็งที่สัดส่วนเท่ากัน ควรทิ้งชิ้นงานให้แห้งอย่างน้อย 3-4 ชั่วโมงก่อนการนำไปใช้งาน

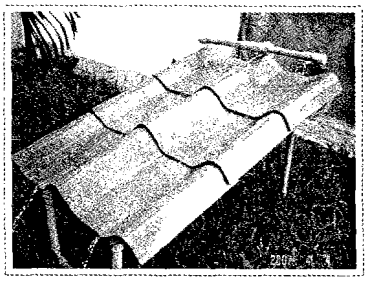
การตรวจสอบผลิตภัณฑ์หลังคายางพาราผสมผงขี้เลื่อยไม้ที่เคลือบผิวด้วยโพลิยูรีเทน

คณะวิจัยฯ ได้ทำการตรวจสอบผลิตภัณฑ์หลังคายางพาราผสมผงขี้เลื่อยไม้ที่เคลือบผิวด้วยโพลิยูรีเทนเหลว ทางด้านการหลุดลอกของผิวเคลือบโดยวิธีการใช้น้ำไหลผ่าน การตรวจสอบสิ่งปนเปื้อนในน้ำ และการตรวจสอบสีเคลือบโพลิยูรีเทนที่ผ่านการเร่งสภาวะด้วยรังสียูวี โดยมีรายละเอียด ดังนี้

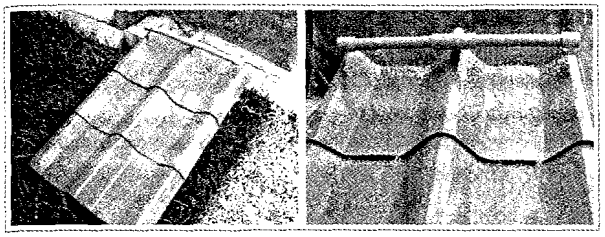
◎ การตรวจสอบการหลุดลอกของผิวเคลือบโพลิยูรีเทนโดยใช้น้ำไหลผ่าน

การตรวจสอบการหลุดลอกของผิวเคลือบโพลิยูรีเทนโดยจำลองสภาวะการใช้งานจริงด้วยวิธีน้ำไหลผ่านผลิตภัณฑ์หลังคายาง เหมือนใช้งานจริง ดังแสดงใน**รูปที่** 4-5 โดยกำหนดสภาวะการใช้งาน ดังนี้

- แบบจำลองหลังคาโรงเรือนขนาด 50 x 90 เซนติเมตร
- ระบบน้ำไหลผ่านบนผลิตภัณฑ์หลังคายาง
- ทดสอบการใช้งานภายนอกสภาวะบรรยากาศจริง
- ระยะเวลาการทดสอบ 60 วัน



รูปที่ 4 แบบจำลองหลังคาโรงเรือนและทดสอบโดยใช้น้ำไหลผ่าน



รูปที่ 5 หลังคายางพาราผสมผงขี้เลื่อยไม้ที่เคลือบด้วยโพลิยูรีเทนเหลว ขณะทดสอบโดยวิธีน้ำไหลผ่าน

◎ การตรวจสอบน้ำที่ไหลผ่านหลังคายางที่เคลือบผิวด้วยโพลิยูรีเทนเหลว

การตรวจสอบน้ำที่ไหลผ่านหลังคายางที่เคลือบผิวด้วยโพลิยูรีเทน โดยเทียบตามมาตรฐาน มอก. 535-2540 ของมาตรฐานกระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา ผลการตรวจสอบไม่พบสารปนเปื้อนหรือสารเคมีที่ตกค้างในน้ำ และผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้สูงสุด ดังแสดงผลใน**ตารางที่ 2**

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบสิ่งปนเปื้อนของหลังคายางที่เคลือบด้วยสารเคลือบโพลิยูรีเทน

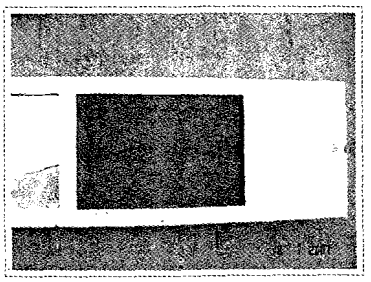
สารเคมีที่ตรวจวัด	ผลทดสอบและปริมาณ (mg/dm^3)	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด (mg/dm^3)
ปรอท	ไม่พบ	0.001
ตะกั่ว	0.0034	0.05
สารหนู	ไม่พบ	0.05
ซีลีเนียม	ไม่พบ	0.01
ไซยาไนด์	ไม่พบ	0.2
แคดเมี่ยม	ไม่พบ	0.01
แบเรียม	ไม่พบ	1.0

หมายเหตุ ทดสอบที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ

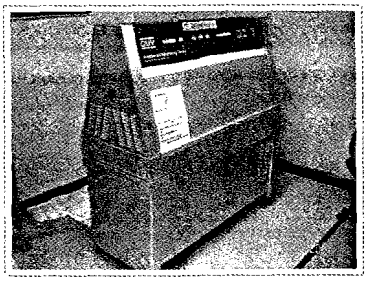
◎ การตรวจสอบหลังคายางที่เคลือบผิวด้วยโพลิยูรีเทนที่ผ่านการเร่งสภาวะด้วยรังสียูวี

ขั้นตอนในการทดสอบ ดังนี้

1. ชิ้นงานหลังคายางที่เคลือบผิวโพลิยูรีเทน ดังแสดงใน**รูปที่ 6** นำมาทดสอบการเร่งสภาวะโดยใช้เครื่อง Accelerated Weathering Tester; QUV ดังแสดงใน**รูปที่ 7**



รูปที่ 6 ชิ้นงานที่เคลือบผิวโพลิยูรีเทนสำหรับทดสอบการเร่งสภาวะในเครื่องทดสอบด้วยรังสียูวี

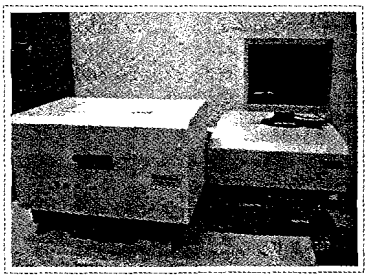


รูปที่ 7 เครื่องทดสอบ Accelerated Weathering Tester; QUV

ใช้หลอดทดสอบที่ให้กำเนิดรังสียูวี ชนิด UVB 313 (ความยาวคลื่น 280-315 nm) ,Irradiance 0.63 W/m^2

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM G154-06 Cycle 2 ที่ใช้สำหรับงานผิวเคลือบ โดยมีสภาวะทดสอบ 2 ลำดับ คือ (1) ฉายรังสียูวีที่อุณหภูมิทดสอบ 60°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และ (2) ทดสอบสภาวะไอน้ำที่อุณหภูมิทดสอบ 50°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง สลับกันที่เวลาทดสอบ ดังนี้ 168, 336, 504 และ 672 ชั่วโมง

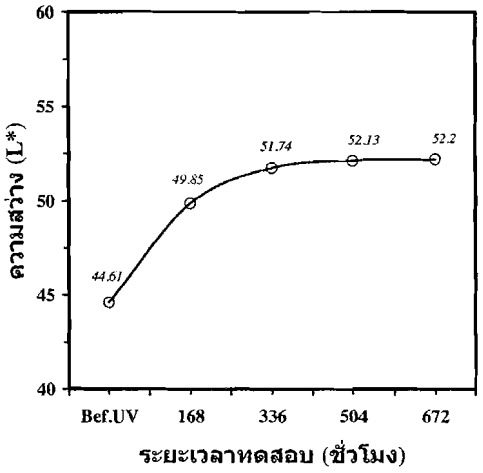
หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการเร่งสภาวะที่เวลาต่างๆ ดังนี้ 0, 168, 336, 504 และ 672 ชั่วโมง ทำการตรวจสอบการสะท้อนแสง ตรวจสอบความสว่างโดยใช้เครื่อง UV-VIS-NIS Recording Spectrophotometer ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV-3100 ดังแสดงใน**รูปที่ 8**



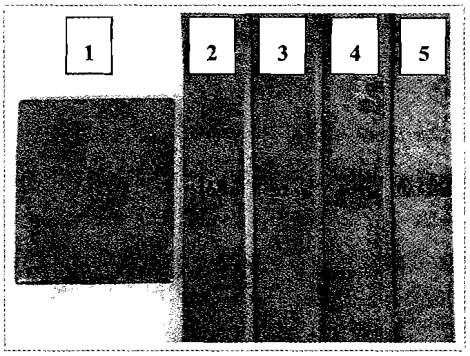
รูปที่ 8 เครื่อง UV-VIS-NIS Recording Spectrophotometer

รูปที่ 9 แสดงค่าความสว่างและลักษณะชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วยโพลิยูรีเทนหลังจากที่ผ่านการเร่งสภาวะในเครื่อง QUV ที่เวลา 0, 168, 336, 504, 672 ชั่วโมง เห็นได้ว่า ชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วยโพลิยูรีเทนก่อนการบ่มเร่งสภาวะมีค่าความสว่างที่วัดได้ 44.61 และเมื่อทำการเร่งสภาวะที่เวลาทดสอบ 336 ชั่วโมง พบว่าความสว่างของชิ้นงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ชิ้นงานที่ 2 และ 3)

เนื่องจากความเข้มของรังสียูวีที่เข้มข้นจึงทำให้สีจางลง และเมื่อระยะเวลาในการบ่มเร่งเพิ่มขึ้น (ตั้งแต่ 336 ถึง 672 ชั่วโมง) พบว่าค่าความสว่างไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ลักษณะชิ้นงานมีสีจางลงเปลี่ยนไปเป็นโทนสีขาวเพิ่มขึ้น (ชิ้นงานที่ 4 และ 5) และไม่พบการหลุดลอกของสีเคลือบและการแตกร้าวของชิ้นงานยาง ดังแสดงใน**รูปที่** 10



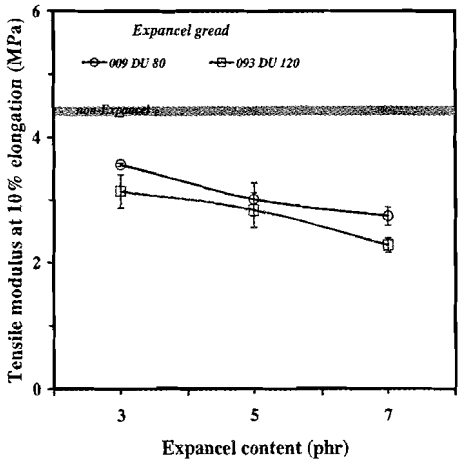
รูปที่ 9 ความสว่างของชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วยโพลิยูรีเทนหลังจากที่ผ่านการเร่งสภาวะในเครื่องเร่งสภาวะQUV ที่ระยะเวลาต่างๆ



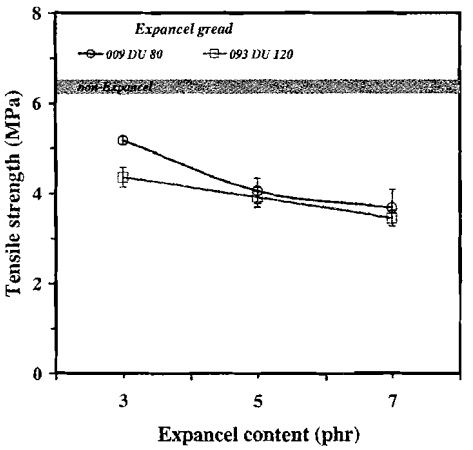
รูปที่ 10 ลักษณะชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วยโพลิยูรีเทนหลังจากที่ผ่านการเร่งสภาวะในเครื่องเร่งสภาวะ QUV ที่เวลาต่างๆ

◎ การศึกษาสมบัติการนำความร้อนของหลังคายางผสมผงขี้เลื่อยไม้ ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด Expancel

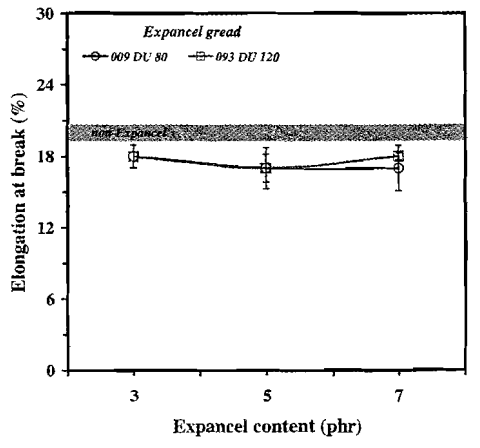
คณะวิจัยฯ นำหลังคายางผสมผงขี้เลื่อยไม้ทดลองทำในรูปแบบเป็นโฟม ทดสอบสมบัติเชิงกล ลักษณะและขนาดเฉลี่ยเซลล์โฟมในยางพาราผสมผงขี้เลื่อยไม้ และสมบัติการนำความร้อนเทียบกับหลังคายางพาราที่ไม่เป็นโฟม โดยใช้อุณหภูมิขึ้นรูปหลังคายางที่ 145 องศาเซลเซียส เวลาการสุกตัวที่ 14 นาที ที่มีการเติมสารทำให้เกิดฟองชนิด Expancel 2 เกรด คือ (1) เกรด 009 DU 80 และ (2) 093 DU 120 ที่ปริมาณ 3, 5 และ 7 phr ผลการทดลองแสดงใน**รูปที่** 11-16



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสแรงดึงของยางผสมผงขี้เลื่อยไม้กับชนิดและปริมาณสารทำให้เกิดฟอง

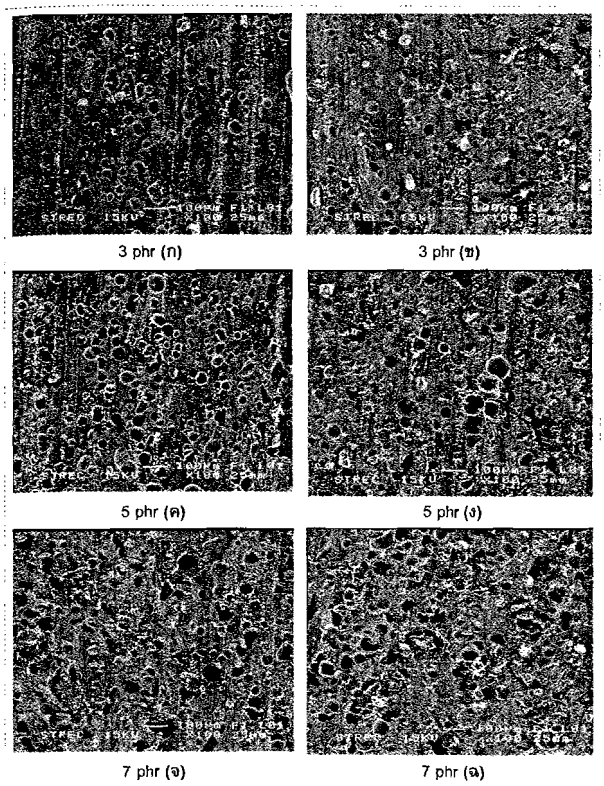


รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านแรงดึงของยางผสมผงขี้เลื่อยไม้กับชนิดและปริมาณสารทำให้เกิดฟอง



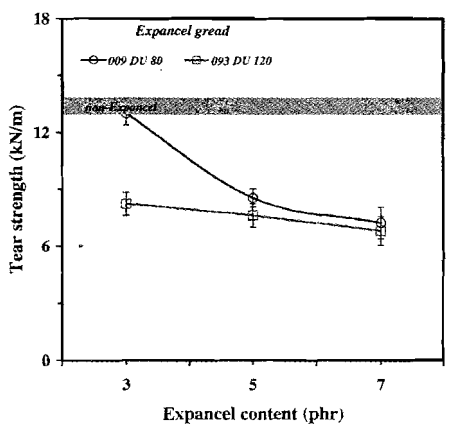
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างการยืดตัวที่จุดขาดของยางผสมผงขี้เลื่อยไม้กับชนิดและปริมาณสารทำให้เกิดฟอง

นำยางธรรมชาติผสมขี้เลื่อยไม้ที่เติมสารทำให้เกิดฟองชนิด Expancel ทั้ง 2 ชนิด ที่ปริมาณที่ปริมาณ 3, 5 และ 7 phr ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 100 เท่า ดังแสดงใน**รูปที่** 14

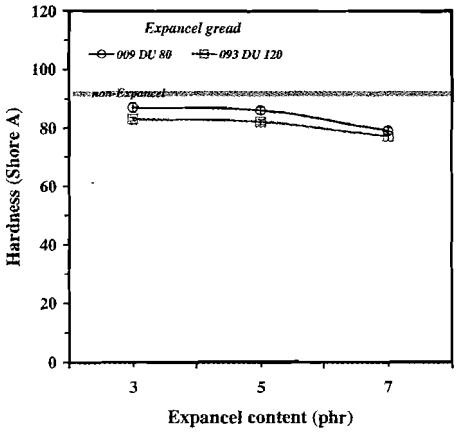


รูปที่ 14 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ที่ปริมาณสารทำให้เกิดฟอง Expancel เกรดต่างๆ (เกรด 009 DU 80 รูป (ก) (ค) (จ) และเกรด 093 DU 120 (ข) (ง) (ฉ)ที่ปริมาณ 3, 5 และ 7 phr) ที่กำลังขยาย 100 เท่า

รูปที่ 14 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ เมื่อเติมสารทำให้เกิดฟอง 009 DU 80 และ 093 DU 120 ที่ปริมาณต่างๆ พบว่า สารทำให้เกิดฟองทั้งสองชนิดให้เซลล์ฟองที่มีลักษณะเป็นทรงกลม และมีลักษณะเซลล์ปิด ที่สารทำให้เกิดฟองที่ช่วงปริมาณ 3-5 phr และเมื่อเติมสารทำให้เกิดฟองมากขึ้น เซลล์ฟองมีจำนวนมากขึ้นและมีขนาดใหญ่



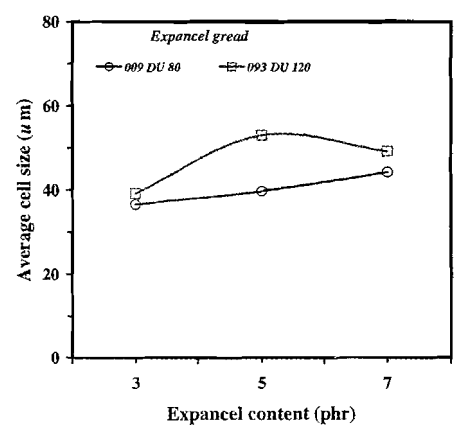
รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านแรงฉีกขาดของยางผสมผงขี้เลื่อยไม้กับชนิดและปริมาณสารทำให้เกิดฟอง



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของยางผสมผงขี้เลื่อยไม้กับชนิดและปริมาณสารทำให้เกิดฟอง

รูปที่ 11-13 พบว่ามอดุลัสแรงดึง ความต้านแรงดึง และการยืดตัวที่จุดขาด มีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณสารทำให้เกิดฟองชนิด Expancel เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมสารทำให้เกิดฟองทำให้เกิดฟองอากาศภายในชิ้นงานจึงทำให้พื้นที่ในการรับแรงลดลง แสดงในภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค**รูปที่** 14 ส่วนค่าความต้านแรงฉีกขาดและความแข็งมีแนวโน้มคงที่ (ปริมาณสารทำให้เกิดฟองที่ 3-5 phr) และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณสารทำให้เกิดฟองเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยรวมแล้วการเติมสารทำให้เกิดฟอง เกรด 009 DU 80 ในยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าเกรด 093 DU 120 ตลอดจนการเติมสารทำให้เกิดฟองในยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมต่ำกว่ายางที่ไม่มีการเติมสารทำให้เกิดฟอง ซึ่งค่ามอดุลัสแรงดึงลดลงประมาณ 19-48 เปอร์เซ็นต์ ความต้านแรงดึงลดลงประมาณ 19-46 เปอร์เซ็นต์ การยืดตัวลดลงประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความต้านแรงฉีกขาด ดังแสดงใน**รูปที่** 15 ลดลงประมาณ 3-49 เปอร์เซ็นต์ และค่าความแข็ง ดังแสดงใน**รูปที่** 16 ลดลงประมาณ 5-16 เปอร์เซ็นต์

◎ การตรวจสอบขนาดเฉลี่ยของเซลล์ฟองในยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ (Naguib และคณะ,2002)



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเซลล์เฉลี่ยของยางผสมผงขี้เลื่อยไม้กับชนิดและปริมาณสารทำให้เกิดฟอง

รูปที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเฉลี่ยเซลล์ฟองของยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้กับสารทำให้เกิดฟองชนิด Expancel ทั้ง 2 เกรดที่ปริมาณต่างๆ พบว่า เมื่อปริมาณสารทำให้เกิดฟองมากขึ้นเซลล์ฟองมีขนาดใหญ่ขึ้น กรณีของสารทำให้เกิดฟอง เกรด 093 DU 120 เซลล์ฟองมีขนาดใหญ่ที่สุดที่ปริมาณ 5 phr จากนั้นขนาดของเซลมีขนาดเล็กลง ที่ปริมาณ 7 phr และยังพบอีกว่า สารทำให้เกิดฟอง เกรด 093 DU 120 ทำให้เกิดเซลล์ที่มีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ที่เกิดจากสารทำให้เกิดฟองเกรด 009 DU 80 ซึ่งเมื่อปริมาณสารทำให้เกิดฟองทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนาดของเซลล์ฟองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

◎ สมบัติการนำความร้อนของหลังคายางพาราผสมผงขี้เลื่อยไม้

การทดสอบค่าการนำความร้อนของวัสดุยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM C518 ที่เติมสารทำให้เกิดฟอง เกรด 009 DU 80 และเกรด 093 DU 120 ที่ปริมาณ 3 5 และ 7 phr แสดงดัง**ตารางที่** 3 พบว่า การเติมสารทำให้เกิดฟองในยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ ส่งผลให้ค่าการนำความร้อนมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับหลังคายางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ที่ไม่มีสารทำให้เกิดฟอง เนื่องจาก สารทำให้เกิดฟองทำให้เกิดฟองอากาศเกิดขึ้นภายในเนื้อยาง โดยที่ฟองอากาศทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ค่าการนำความร้อนของยางมีค่าลดลง

ตารางที่ 3 การนำความร้อนของยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ ที่มีสารทำให้เกิดฟอง เกรด 009 DU 80 และ 093 DU 120 ที่ปริมาณ 3 5 และ 7 phr

เกรดสารทำให้เกิดฟอง / ปริมาณ (phr)	ค่าการนำความร้อน (W/m°K) ที่อุณหภูมิ 50°C	การลดลงของการนำความร้อน* (%)
Non-Expancel / 0	0.1637	0
009 DU 80 / 3	0.1131	31
009 DU 80 / 5	0.1104	32
009 DU 80 / 7	0.1159	29
093 DU 120 / 3	0.1267	22
093 DU 120 / 5	0.1127	31
093 DU 120 / 7	0.1120	31

* เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ ที่ไม่เติมสารทำให้เกิดฟอง

สรุปผลการทดลอง

ผลจากงานวิจัยนี้ การนำโพลิยูรีเทนเหลวในการเคลือบลงยางธรรมชาติกับผงขี้เลื่อยไม้ พบว่า สามารถเคลือบผิวหลังคายางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ได้ ซึ่งประกอบด้วย สารรองพื้น (Primer) เกรด C 501 และสารเคลือบผิวหน้า (Top coat) เกรด 602 A และ 602 B ด้วยวิธีการพ่นเคลือบ วิธีการนี้พบว่า ง่ายสะดวกและได้ชิ้นงานสวยงามในทางปฏิบัติ ผลการตรวจสอบการหลุดลอกของผิวเคลือบโพลิยูรีเทนโดยใช้น้ำไหลผ่าน และสารเคมีจากหลังคายางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ พบว่า ไม่พบการหลุดลอกและการบวมตัวของผิวเคลือบโพลิยูรีเทนของผลิตภัณฑ์หลังคา และไม่พบสิ่งปนเปื้อนที่เกิดขึ้นกับน้ำและผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้สูงสุด ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) 535-2540 มาตรฐานกระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา และได้มีการทดลองนำผลิตภัณฑ์หลังคายางผสมผงขี้เลื่อยไม้ที่เคลือบด้วยโพลิยูรีเทนนั้น ทดลองผลิตในระดับโรงงานสามารถผลิตผลิตภัณฑ์จริงได้ โดยที่ผลิตภัณฑ์หลังคายางดังกล่าว ปัจจุบันได้นำไปใช้ทดลองมุงเป็นหลังคาของโรงเรือนโคนม เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้หลังคาแบบอื่นๆ เช่น หลังคากระเบื้อง หลังคาแมทอลซีสท์ (Metal sheet)

ส่วนการเติมสารทำให้เกิดฟองชนิด Expancel ทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมลดลง เมื่อปริมาณสารทำให้เกิดฟองเพิ่มขึ้น แต่ผลิตภัณฑ์หลังคายางมีค่าการนำความร้อนลดลง และมีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.1131 W/m°K ซึ่งมีการนำความร้อนลดลงถึง 31 เปอร์เซ็นต์ (เมื่อเทียบกับหลังคายางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ที่ไม่เติมสารทำให้เกิดฟอง ที่มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.1637 W/m°K) ซึ่งสารทำให้เกิดฟองชนิด Expancel เกรด 009 DU 80 ที่ปริมาณ 3 ส่วนต่อยางหนึ่งร้อยส่วน เป็นปริมาณที่เหมาะสม และการใช้สารทำให้เกิดฟองทำให้ราคาของหลังคายางต่อแผ่นลดลง

คำขอบคุณ

คณะวิจัยฯ ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และบริษัท สยามยูไนเต็ด รับเบอร์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยตามสัญญาเลขที่ RDG4950033

เอกสารอ้างอิง

1. ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ เอกชัย วิมลมาลา และชัชวาลย์ กันทะลา. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการการผลิตและทดสอบหลังคายางพาราผสมขี้เลื่อยไม้ (ฝ่าย 5), สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, ฝ่ายอุตสาหกรรม, 2548.
2. Aydin, I. Activation of wood surface for glue bonds by mechanical pre-treatment and its effects on some properties of veneer surfaces and plywood panels. Appl. Surf. Sci., 2004, 233(1-4), 268-274.
3. Naguib, H.E. Park, C.B. Panzer, U. et al. Strategies for achieving ultra low-density polypropylene foams. Polym. Eng. Sci., 2002, 42(7), 1481-1492.