# บทคัดย่อ

173423

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการพัฒนาสมบัติของวัสดุผสมยางธรรมชาติกับผงขี้เลื่อยไม้ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หลังคายางพารา จากนั้นทำการศึกษาผลของการปรับปรุงผิวทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุผสม โดยศึกษาสมบัติทางการไหลและการสุกตัว สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเฉพาะทางของผลิตภัณฑ์หลังคายางพารา เช่น ความทนต่อแสงยูวี ความทนต่อสภาพอากาศ (ความชื้นและโอโซน) ตลอดจนความทนต่อการลามไฟ และความแข็ง เป็นต้น ในช่วง 2 ปีที่ผ่านมา ได้ทำการวิจัยโดยผสมผงขี้เลื่อยไม้ในยางธรรมชาติที่ปริมาณต่าง ๆ กัน เพื่อหาปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ที่เหมาะสม โดยนำขี้เลื่อยไม้มาปรับปรุงผิวทางเคมีเพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างผงขี้เลื่อยไม้กับยางธรรมชาติ ได้ทำการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพต่อรังสียูวี และสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสม จากนั้น ได้เปลี่ยนสูตรยางจากสูตรยางธรรมดาเป็นสูตรยางแข็งอีโบไนท์ เพื่อให้ได้สมบัติด้านความแข็งตามที่ทาง บริษัท สยามยูไนเต็ดรับเบอร์ จำกัด ต้องการ คือ 90-100 Shore A และได้ทำการเติมสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับโอโซน ตลอดจนสารหน่วงการลามไฟ เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสม ผลการวิจัยในโครงการวิจัยได้สรุปเป็นสมบัติของวัสดุผสมยางธรรมชาติกับผงขี้เลื่อยไม้ไว้ในรายงานฉบับสมบูรณ์เล่มนี้แล้ว ซึ่งผลการวิจัยโดยรวมพบว่า

- สามารถบดผสมยางธรรมชาติกับผงขี้เลื่อยไม้ได้ ภายใต้เวลาและอุณหภูมิที่กำหนดในการขึ้นรูปของวัสดุผสม โดยพบว่าปริมาณของผงขี้เลื่อยไม้ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งแกร่งความแข็งเพิ่มขึ้น แต่มีค่าความแข็งแรง ความทนทานต่อการฉีกขาด และการยืดตัวลดลง จากผลการวิจัย ปริมาณการใช้ผงขี้เลื่อยไม้ที่เหมาะสม คือ 40-80 ส่วนในยาง 100 ส่วน เนื่องจากให้ค่าความแข็งแกร่งและความแข็งผิวชิ้นงานที่ดี และสามารถขึ้นรูปได้ง่าย
- การปรับปรุงผิวของขี้เลื่อยโดยเลือกสารคู่ควบชนิดไซเลนที่สามารถเพิ่มการยึดเกาะระหว่างยางธรรมชาติกับผงขี้เลื่อยไม้ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณของสารคู่ควบชนิดไซเลนที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักของผงขี้เลื่อยไม้ เป็นปริมาณที่สามารถเพิ่มสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแกร่ง ความแข็งแรง การยืดตัว ความทนทานต่อการฉีกขาด และสมบัติด้านความแข็ง เพิ่มขึ้น และเป็นปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมทั้งในแง่ของสมบัติเชิงกลและต้นทุน
- การเติมสารเพิ่มเสถียรภาพต่อรังสียูวี และสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน ทำให้สามารถทนต่อสภาวะอากาศและแสง ผลการทดลองพบว่า ปริมาณของสารเพิ่มเสถียรภาพต่อรังสียูวี และสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน อย่างละ 0.1 ส่วนในยาง 100 ส่วน เป็นปริมาณที่สามารถป้องกันการเสื่อมสภาพต่อรังสียูวีและป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ และเป็นปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมทั้งในแง่ของต้นทุนและสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ ซึ่งรวมถึง ความแข็งแกร่ง ความแข็งแรง ความแข็งผิวชิ้นงาน และความทนต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้น

- การเปลี่ยนสูตรยางจากสูตรยางธรรมดาเป็นสูตรยางแข็งอีโบไนท์ เพื่อเพิ่มความแข็งให้กับผลิตภัณฑ์หลังคายางนั้น พบว่า ที่ปริมาณของกำมะถัน 20 ส่วนในยาง 100 ส่วน และปริมาณขี้เลื่อยไม้ 40 และ 80 ส่วนในยาง 100 ส่วน ทำให้สามารถทนทานต่อความร้อนได้ดี และสามารถเพิ่มสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแกร่ง ความแข็งแรงดึง และความทนต่อการฉีกขาด แต่สมบัติการยืดตัวลดลง และได้สมบัติด้านความแข็งผิวได้ตามที่ภาคเอกชนผู้ร่วมทุนต้องการ (90-95 Shore A)
- การเติมสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับโอโซน ในสูตรยางธรรมชาติผสมขี้เลื่อยไม้ ผลการทดลองพบว่า สามารถทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยากับโอโซนได้ ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับโอโซน 3 ส่วนในยาง 100 ส่วน โดยสามารถผ่านมาตรฐานการทดสอบสากล (ISO 1431 Part 1) และเป็นปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสม ทั้งในแง่ของต้นทุนและลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์
- การเติมสารหน่วงการลามไฟในสูตรยางธรรมชาติผสมขี้เลื่อยไม้ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารหน่วงการลามไฟที่ความเข้มข้น 100 ส่วนในยาง 100 ส่วน ทำให้สามารถการลามไฟได้สามารถผ่านมาตรฐานการทดสอบ UL 94 Clause 8-20 mm Vertical Burning Test; V-0, V-1, or V-2 ซึ่งอยู่ในระดับ V-0 และเป็นปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสม

สูตรของยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ และผลการทดสอบสมบัติทางการไหลและการสุกตัว สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ แสดงในตารางดังนี้

ตาราง ก สูตรสารประกอบยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา สำหรับการผลิตหลังคายางพารา

| สูตรเคมี | ปริมาณ (phr) |
|---|---|
| ยางธรรมชาติ (เกรด STR 5L) | 100 ส่วน |
| สารกระตุ้นปริกิริยาซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) | 33.4 |
| สารกระตุ้นปริกิริยาสเตียร์ริคเอสิซ (Stearic acid) | 13.4 |
| สารเร่งปริกิริยาเมอร์แคบโตเบ็นโซไทโซล์ Mercaptobenzothiasoles (MBT) | 3.4 |
| สารเร่งปริกิริยาไดฟีนิวก้วอะไนดีน Diphenylguanidine (DPG) | 1.4 |
| กำมะถัน (Sulfur Powder 450 Mash, Flour Sulfur) | 20 |
| ซิลิกา (Silica, TOKUSIL 233) | 45 |
| ขี้เลื่อยไม้ยางพารา (Wood Sawdust) | 40 และ 80 |
| สารเพิ่มสีแดง (Iron Oxide Red 690 B) | 4 |
| สารคู่ควบชนิดไซเลน (Silane, AD 2050) | 0.5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักขี้เลื่อย |
| สารเพิ่มเสถียรภาพต่อรังสียูวี (UV Stabilizer, TINUVIN 234) | 0.1 |
| สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน (Antioxidant, IRGANOX 1076) | 0.1 |
| สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับโอโซน (Antiozonant, Enhance) | 3 |
| สารหน่วงการลามไฟ (Flame Retardant, APYRAL 40 CD) | 100 |

ตาราง ข สมบัติของหลังคายางพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา

| สมบัติของหลังคายางพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติผสมผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา | สูตรยาง (กำมะถัน : ผงขี้เลื่อยไม้) | |
|---|---|---|
| | 20 : 40 | 20 : 80 |
| เวลาในการคงรูป (นาที) | 15 | 15 |
| ความแข็งแกร่ง (เมกกะปาสคาล) | 4.0 | 4.7 |
| ความแข็งแรง (เมกกะปาสคาล) | 6.0 | 6.3 |
| เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (เปอร์เซ็นต์) | 28 | 22 |
| ความทนทานต่อการฉีกขาด (กิโลนิวตัน/เมตร) | 19.3 | 20.4 |
| ค่าความแข็ง | | |
| ■ Shore A | 91 | 95 |
| ■ Shore D | 42 | 49 |
| เปอร์เซ็นต์การกระดอน (เปอร์เซ็นต์) | 31 | 37 |
| เปอร์เซ็นต์กลับคืนตัวจากการอัด (เปอร์เซ็นต์) | 95 | 95 |
| ความหนาแน่นของพันธะข้าม ($x10^{-5}$ โมล/ลูกบาศก์เซ็นต์) | 0.54 | 0.61 |
| การลามไฟ (ระดับ) | V-0 | - |

คำสำคัญ : หลังคายางธรรมชาติ ขี้เลื่อยไม้ สารคู่ควบ วัสดุผสม

## Abstract

173423

The major objective of this article was the property development of natural rubber and wood sawdust composites for natural-rubber roofs. Chemical surface treatment was applied to the sawdust particles to improve the properties of the composites, the property being evaluated through flow properties, cure characteristics, mechanical properties, thermal and physical properties and specific properties of natural-rubber roof (such as ultra-violet resistance, environmental resistance, moisture and ozone, flame retardant). During the past two years of working, the research was conducted by varying wood sawdust contents and application of chemical surface treatment for interfacial interaction between wood sawdust and natural rubber. UV stabilizer and antioxidant were also used for preventing UV degradation and oxidation. An ebonite rubber was used for the purpose of improving the hardness properties upon the request of the Siam United Rubber Co., Ltd (90-100 Shore A). Optimum dosages of antiozonant and flame retardant were also sought for inclusion in the rubber compounds. The experimental results can be concluded as follows:

- Increasing wood sawdust content increased the tensile modulus and hardness but decreased the tensile strength, tear resistance and elongation at break. The appropriate or recommended wood sawdust content were 40-80 part per 100 part of natural rubber with regard to process-ability and good mechanical strength and hardness.
- Surface treatment of wood sawdust with silane coupling agent could improve the interfacial interaction between wood sawdust and natural rubber. From the experimental results, silane coupling agent of 0.5 percent of wood sawdust content could enhance the mechanical properties, such as tensile modulus, tensile strength, elongation, tear resistance and the hardness.
- Additions of UV stabilizer and antioxidant improved the UV and oxidation resistances. From the experimental result, the UV stabilizer and antioxidant of 0.1 part per 100 part of natural rubber was recommended to be an optimum dosage to be included into the composite roofs regarding cost savings and acceptable mechanical properties.
- An ebonite rubber technology was applied to increase the hardness of the roof product using a sulphur content of 20 phr and wood sawdust contents of 40 or 80 phr. The ebonite rubber roofs had better thermal resistance and mechanical properties, although the elongation at break decreased. The hardness of the ebonite rubber roofs was achieved as requested (this being the value of 90 - 95 Shore A).

- 3 phr of an antiozonant was required in the natural-rubber/wood sawdust composite roofs for improving the resistance to ozone and the roof product was accepted by the international standard testing ISO 1431 Part 1.
- 100 phr of a flame retardant was recommended in the natural-rubber/wood sawdust composite roofs for reducing the flammable time of the roofs. The roof products was tested by UL 94 Clause 8-20 mm, Vertical Burning Test and the result was the level of V-0, which was acceptable by the standard test method.

The compound formulation of natural rubber and wood sawdust composites and evaluated properties can be listed as below:

**Table A.** The compound formulation of natural rubber and wood sawdust composites for natural-rubber roof product

| **Materials/Chemicals** | **Content (phr)** |
|---|---|
| Natural Rubber | 100 ส่วน |
| Zinc Oxide (ZnO) | 33.4 |
| Stearic Acid | 13.4 |
| Mercaptobenzothaisoles (MBT) | 3.4 |
| Diphenylguanidine (DPG) | 1.4 |
| Sulfur Powder 450 Mash (Flour Sulfur) | 20 |
| Silica (TOKUSIL 233) | 45 |
| Wood Sawdust | 40 and 80 |
| Colorant (Iron Oxide Red 690 B) | 4 |
| Silane Coupling Agent (AD 2050) | 0.5 %Wt.Wood Sawdust |
| UV Stabilizer (TINUVIN 234) | 0.1 |
| Antioxidant (IRGANOX 1076) | 0.1 |
| Antiozonant (Enhance) | 3 |
| Flame Retardant (APYRAL 40 CD) | 100 |

**Table B** Properties of natural rubber roof form natural rubber and wood sawdust composite material.

| **Properties of natural rubber roofs** | **Rubber Formula (Sulphur : Wood Sawdust)** | |
|---|---|---|
| | 20 : 40 | 20 : 80 |
| Cure Time (min) | 15 | 15 |
| Tensile Modulus at 10 % Elongation (MPa) | 4.0 | 4.7 |
| Tensile Strength (MPa) | 6.0 | 6.3 |
| Elongation at Break (%) | 28 | 22 |
| Tear Strength (kN/m) | 19.3 | 20.4 |
| Hardness | | |
| ▪ Shore A | 91 | 95 |
| ▪ Shore D | 42 | 49 |
| Resilience (%) | 31 | 37 |
| Compression Set (%) | 95 | 95 |
| Crosslink Density ($x10^{-5}$ mol/$cm^3$) | 0.54 | 0.61 |
| Flammability (Level) | V-0 | - |

Keywords : Natural Rubber roofs/Wood sawdust/Coupling agent/Composites.