



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมยางพาราสำหรับ
ผลิตของเล่นเด็ก

โดย ผศ.ดร.ชาตรี หอมเขียว และคณะ

เมษายน 2562

สัญญาเลขที่ RDG61T0012

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยางพาราสำหรับผลิต
ของเล่นเด็ก

คณะผู้วิจัย

- | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1. ผศ.ดร.ชาตรี หอมเขียว | สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม | มทร. ศรีวิชัย |
| 2. ดร.เอกวิทย์ เพียรอนุรักษ์ | สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ | มทร. ศรีวิชัย |
| 3. ผศ.สุรสิทธิ์ ระวีวงศ์ | สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม | มทร. ศรีวิชัย |
| 4. ผศ.วรพงศ์ บุญช่วยแทน | สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม | มทร. ศรีวิชัย |
| 5. นายฤทธิชัย นุ่มรัตน์ | ผู้จัดการฝ่ายพัฒนากระบวนการ | บริษัท แพลนครีเอชั่นส์ จำกัด |

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร

จากสถานะเศรษฐกิจโลกและสภาพเศรษฐกิจของประเทศไทยที่ตกต่ำในปัจจุบัน ทำให้การแข่งขันทางธุรกิจของอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เพิ่มขึ้น และหนึ่งในอุตสาหกรรมนั้น คือ อุตสาหกรรมการผลิตของเล่นไม้สำหรับเด็กจากไม้ยางพารา ที่ได้รับผลกระทบทางเศรษฐกิจโดยตรง ส่งผลให้อุตสาหกรรมนี้ต้องพยายามปรับตัวหรือหากลยุทธ์ทางธุรกิจใหม่ ๆ เพื่อให้สามารถแข่งขันได้ในสถานะเศรษฐกิจปัจจุบันและอนาคต และกลยุทธ์ที่อุตสาหกรรมนี้คำนึงถึง คือ การลดต้นทุนในการผลิต การหาเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาช่วยในการผลิต และการสร้างจุดขายใหม่ ๆ ให้แก่ผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายหลักในการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารา สำหรับผลิตของเล่นเด็ก โดยเน้นพัฒนาวัสดุเชิงประกอบฯ ให้มีสมบัติทางกลและทางกายภาพที่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานของเล่นเด็ก ซึ่งโครงการวิจัยนี้ได้รับการอนุมัติงบประมาณให้ดำเนินงานวิจัยระยะเวลา 15 เดือน ตั้งแต่ วันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2561 ถึง วันที่ 14 เมษายน พ.ศ. 2562 เป็นจำนวนเงิน 1,021,900 บาท โดยขอรับการสนับสนุนงบประมาณให้ดำเนินงานวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เป็นจำนวนเงินสด 911,900 บาท และบริษัท แพลนครีเอชั่นส์ จำกัด โดยสนับสนุนแบบ in kind มูลค่า 110,000 บาท จากงานวิจัยนี้ผลการวิจัยโดยรวมพบว่า การเติมสารซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นในช่วง 3-5 phr มีผลกระทบเล็กน้อยต่อค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด ค่าระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสึก ค่าระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสม ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสการดึง ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด และค่าความแข็ง ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารา ในขณะเดียวกันการเติมขี้เลื่อยไม้ยางพาราเป็นส่วนผสมในวัสดุเชิงประกอบยางพาราเพิ่มขึ้นในช่วง 20-100 phr ส่งผลให้ค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลงตามปริมาณขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่เติมเป็นส่วนผสม เช่นเดียวกันการเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสมปริมาณ 1-2 phr มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบยางพาราเสริมแรงด้วยขี้เลื่อยไม้ยางพารา และวัสดุเชิงประกอบยางพาราเสริมแรงด้วยขี้เลื่อยไม้ยางพาราปริมาณ 100 phr เมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 1 phr ส่งผลให้ความแข็งแรงดึงและความแข็งมีค่าลดลง แต่เมื่อเติมสีเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นใน 1.5-2 phr กลับส่งผลให้ความแข็งแรงดึงและความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตามปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ที่เติมเป็นส่วนผสม นอกจากนี้ผลจากการดำเนินงานวิจัยพบว่า สูตรที่เหมาะสมของยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารา สำหรับการนำไปผลิตของเล่นเด็ก ประกอบด้วย ยางพาราแท้ STR 5L ปริมาณ 100 phr สีมาสเตอร์แบทช์

ปริมาณ 2 phr สารซิงค์ออกไซด์ ปริมาณ 3 phr สารสเตียริกเอสิซ ปริมาณ 1 phr สาร Wingstay-L
ปริมาณ 1 phr สาร CBS ปริมาณ 1 phr สารกำมะถัน ปริมาณ 2.5 phr และซีลี้อยู่ไม่ยางพารา ปริมาณ
100 phr ซึ่งมีต้นทุนประมาณการ 67.64 บาท/กิโลกรัม

Executive Summary

Currently, the global economic and the economic of Thailand are downturn. Causing the business competition of various type industries increased. One of those industries is the production of children's toys from woods. As a result, this industry must try to adjust or find new business strategies to be able competition in the current and future economic conditions. To increase competitiveness, the strategies that the toy industry considered are reducing production costs, finding new technology to help in production and creating new selling points for products. Thus, the major goal of this research was development of composites from natural rubber and rubberwood sawdust for producing the toys. The development of the composites was focused on mechanical and physical properties that met the standard of children's toys. Research group presented this project to Thailand Research Fund (TRF) and National Research Council of Thailand (NRCT) and received the research budget for 15 months since 15 January 2018 to 14 April 2019 as 1,021,900 baht with the support from Thailand Research Fund (TRF) in cash 911,900 baht and Plan Creations Co., Ltd. in kind 110,000 baht. From the experimental results, it was found that increasing additions of the zinc oxide in range of 3-5 phr slightly affected minimum torque (M_L), maximum torque (M_H), scorch time, optimum curing time, tensile strength, tensile modulus, elongation at break and hardness of the composites from natural rubber and rubberwood sawdust. While increasing additions of the rubberwood sawdust in range of 20-100 phr into the natural rubber composites increased the minimum torque, maximum torque and hardness but decreased the tensile strength and elongation at break. Likewise, additions of the color masterbatch in range of 1-2 phr slightly affected minimum torque, maximum torque and optimum curing time of the composites between natural rubber and rubberwood sawdust. However, adding the color masterbatch 1 phr into the natural rubber composites reinforced with rubberwood sawdust 100 phr decreased the tensile strength and hardness. But when the color masterbatch was added 1.5-2 phr into the composites lightly increased the tensile strength and hardness with color content. In addition, we also found that an optimal rubber

compound formulation for producing the children's toys consisted of rubber STR 5L 100 phr, color masterbatch 2 phr, zinc oxide 3 phr, stearic acid 1 phr, wingstay-L 1 phr, CBS 1 phr, sulfur 2.5 phr and rubberwood sawdust 100 phr. The approximate cost of the rubber compound is 67.64 baht/kilogram.

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา สำหรับผลิตของเล่นเด็ก โดยเน้นพัฒนาวัสดุเชิงประกอบฯ ให้มีสมบัติทางกลและทางกายภาพที่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานของเล่นเด็ก ในการดำเนินงานวิจัยมีการศึกษาผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์ ซีลี้อยไม้ยางพารา และสีมาสเตอร์แบทช์ ต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา ซึ่งผลการวิจัยโดยรวมพบว่า

- การเติมสารซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นในช่วง 3-5 phr มีผลกระทบเล็กน้อยต่อค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด ค่าระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสูก ค่าระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสม ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสการดึง ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด และค่าความแข็ง ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา
- การเติมซีลี้อยไม้ยางพาราเป็นส่วนผสมในวัสดุเชิงประกอบยางพาราเพิ่มขึ้นในช่วง 20-100 phr ส่งผลให้ค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลงตามปริมาณซีลี้อยไม้ยางพาราที่เติมเป็นส่วนผสม
- การเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสมปริมาณ 1-2 phr มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบยางพาราเสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้ยางพารา
- วัสดุเชิงประกอบยางพาราเสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้ยางพาราปริมาณ 100 phr เมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 1 phr ส่งผลให้ความแข็งแรงดึงและความแข็งมีค่าลดลง แต่เมื่อเติมสีเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นใน 1.5-2 phr กลับส่งผลให้ความแข็งแรงดึงและความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ตามปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ที่เติมเป็นส่วนผสม
- การแช่น้ำวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราที่ผสมสีเป็นเวลา 1, 4, 6, 13, 19 และ 20 วัน มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ 2.25%, 4.12%, 5.09%, 7.65%, 9.17% และ 9.17% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการแช่น้ำ และเกิดการอิมตัวที่ระยะเวลา 19 วัน
- ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราไม่เกิดการฉีกขาด เสียรูปแบบถาวร และเกิดการแตกหรือเสียหาย เมื่อผ่านการทดสอบการดึง การบิด การตกกระทบพื้น และการกระแทก ซึ่งถือว่า ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานการทดสอบ

- เมื่อนำของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่ยางพาราไปทดสอบหาปริมาณสารโลหะหนักต่าง ๆ ที่เป็นสารต้องห้ามในของเล่นเด็กหรือเป็นสารที่ต้องมีปริมาณไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ผลที่ได้รับโดยส่วนใหญ่ตรวจสอบไม่พบเป็นส่วนผสมอยู่ในวัสดุเชิงประกอบฯ ชนิดนี้ ซึ่งมีการรายงานผลเป็น N.D. (Not Detected) ถึงแม้จะมีการตั้งค่าการตรวจสอบในระดับที่ต่ำ

นอกจากนี้เมื่อคำนวณต้นทุนประมาณการของยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่ยางพารา ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปผลิตของเล่นเด็ก ซึ่งประกอบด้วย ยางพาราแท่ง STR 5L ปริมาณ 100 phr สีมัสเตอร์แบทซ์ ปริมาณ 2 phr สารซิงค์ออกไซด์ ปริมาณ 3 phr สารสเตียรัลลิกเอซิก ปริมาณ 1 phr สาร Wingstay-L ปริมาณ 1 phr สาร CBS ปริมาณ 1 phr สารกำมะถัน ปริมาณ 2.5 phr และซีลี้อยู่ยางพารา ปริมาณ 100 phr พบว่ามีพบว่า มีต้นทุน 67.64 บาท/กิโลกรัม โดยประกอบด้วยต้นทุนวัตถุดิบทางตรง 57.30 บาท/กิโลกรัม และต้นทุนพลังงานของกระบวนการ 10.34 บาท/กิโลกรัม

Abstract

The major objective of this research was development of composites from natural rubber and rubberwood sawdust for producing the toys. The development of the composites was focused on mechanical and physical properties that met the standard of children's toys. In researching, effects of zinc oxide, rubberwood sawdust and color masterbatch contents on the mechanical and physical properties of the composites were investigated. The experimental results can be concluded as follows:

- Increasing additions of the zinc oxide in range of 3-5 phr slightly affected minimum torque (M_L), maximum torque (M_H), scorch time, optimum curing time, tensile strength, tensile modulus, elongation at break and hardness of the composites from natural rubber and rubberwood sawdust.
- Increasing additions of the rubberwood sawdust in range of 20-100 phr into the natural rubber composites increased the minimum torque, maximum torque and hardness but decreased the tensile strength and elongation at break.
- Additions of the color masterbatch in range of 1-2 phr slightly affected minimum torque, maximum torque and optimum curing time of the composites between natural rubber and rubberwood sawdust.
- Adding the color masterbatch 1 phr into the natural rubber composites reinforced with rubberwood sawdust 100 phr decreased the tensile strength and hardness. But when the color masterbatch was added 1.5-2 phr into the composites lightly increased the tensile strength and hardness with color content.
- When the composites from natural rubber, rubberwood sawdust and color masterbatch were immersed in water with 1, 4, 6, 13, 19 and 20 days, the percentages of water absorption are 2.25%, 4.12%, 5.09%, 7.65%, 9.17% and 9.17%, respectively. It means that the water absorption of the composites increased with period of time, and the saturation occurred at a period of 19 days.
- The toy prototype for the composites from natural rubber, rubberwood sawdust does not tearing, permanent deformation and breakage or damage when tested

tension, torsion, drop and impact. It means that passed following the standard testing.

- The children's toy from the composites was tested to find the amount of heavy metals that are banned in children's toys or substances that must not exceed the standard criteria. Most of the results obtained were not found in this composites, which was reported as N.D. (Not Detected).

Further, the rubber compound from an optimal composites for producing the children's toys was calculated the approximate cost. The optimizing composites consisted of rubber STR 5L 100 phr, color masterbatch 2 phr, zinc oxide 3 phr, stearic acid 1 phr, wingstay-L 1 phr, CBS 1 phr, sulfur 2.5 phr and rubberwood sawdust 100 phr. It was found that the approximate cost of the composites are 67.64 baht/kilogram, which included with direct material cost 57.30 baht/kilogram and energy cost of processing 10.34 baht/kilogram.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
ปกใน	ก
บทสรุปผู้บริหาร	ข
บทคัดย่อ	ฅ
สารบัญเรื่อง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
สารบัญตาราง	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1.1 ความรู้พื้นฐานของวัสดุเชิงประกอบ	4
2.1.2 ยางธรรมชาติ (Natural rubber)	5
2.1.3 การออกสูตรผลิตภัณฑ์ยาง	8
2.1.4 ยาง	9
2.1.5 สารทำให้ยางคงรูป	10
2.1.6 สารตัวเร่งปฏิกิริยา	12
2.1.7 สารกระตุ้นปฏิกิริยา	12
2.1.8 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ	13
2.1.9 สารเสริมแรง	13
2.1.10 การผสมยาง	14
2.1.11 การขึ้นรูปยางและการคงรูปยาง	17
2.1.12 การทดสอบสมบัติของยาง	18
2.2 การทบทวนวรรณกรรม	21

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 วัสดุ และสารเคมี	23
3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องจักร	25
3.3 แผนการดำเนินงาน	31
3.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	32
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลกระทบของปริมาณสารซึ่งออกไซด์และซีลีอ์ไม่ยางพาราต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบยางพารา	44
4.2 สมบัติผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีอ์ไม่ยางพารา	50
4.3 ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทซ์ต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีอ์ไม่ยางพารา	62
4.4 สมบัติผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีอ์ไม่ยางพาราที่ผสมสี	70
4.5 การผลิตเรือของเล่นต้นแบบ	86
4.6 คำนวณต้นทุนยางคอมปาวด์สำหรับผลิตของเล่นเด็ก	91
4.7 การวิเคราะห์ศักยภาพของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีอ์ไม่ยางพารา	93
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	94
บรรณานุกรม	97
ภาคผนวก	100

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แบบเรือของเล่น ที่ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ	3
2.1	สูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ	5
2.2	โมเดลแสดงลักษณะโมเลกุลของยาง ก) ลักษณะโมเลกุลยางก่อนการวัลคาไนซ์ และ ข) ลักษณะโมเลกุลยางหลังวัลคาไนซ์	7
2.3	แผนผังแสดงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง	8
2.4	แผนผังแสดงขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาครูปด้วยกำมะถัน	12
2.5	เครื่องรีดแบบสองลูกกลิ้ง	15
2.6	เครื่องกดอัดไฮดรอลิก	18
2.7	ขั้นตอนทดสอบและห้วงดแบบต่างๆ สำหรับวัดค่าความแข็ง	19
2.8	เครื่อง Universal testing machine	19
2.9	รูปร่างของขั้นตอนทดสอบสำหรับการทดสอบสมบัติการดึง (ก) รูปดัมเบลล์ และ (ข) รูปวงแหวน	20
3.1	ยางพาราแท่ง STR 5L	23
3.2	ซีเลื่อยไม้ยางพารา	24
3.3	สารเคมี (ก) สารซิงค์ออกไซด์ (ข) สารสเตียริกแอซิด (ค) สาร Wingstay-L (ง) สาร CBS และ (จ) สารกำมะถัน	24
3.4	สีมาสเตอร์แบทช์	24
3.5	เครื่องร่อนคัดแยกขนาด	25
3.6	ตู้อบความร้อน	25
3.7	เครื่องชั่งดิจิตอล	26
3.8	เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง	26
3.9	เครื่องอัดร้อน (Hot compression machine)	27
3.10	แม่พิมพ์แผ่นบนและแม่พิมพ์แผ่นล่าง	27
3.11	เครื่องทดสอบการวัลคาไรไนต์	28
3.12	เวอร์เนียร์ดิจิตอล	28
3.13	เครื่องทดสอบสมบัติทางกลเอนกประสงค์	29
3.14	อุปกรณ์ทดสอบความแข็งแบบ Shore A	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.15	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด	30
3.16	แม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง	30
3.17	แม่พิมพ์ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบ	31
3.18	แผนผังการดำเนินงานวิจัยระยะที่ 1	31
3.19	แผนผังการดำเนินงานวิจัยระยะที่ 2	32
3.20	การย่อยลดขนาดยางพาราแท่ง STR 5L	33
3.21	การเตรียมซีลี้อยไม้ยางพารา	33
3.22	การผสมยางธรรมชาติกับสารเคมีและซีลี้อยไม้ยางพารา	34
3.23	การอัดขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้เป็นแผ่นขึ้นงานตัวอย่าง	35
3.24	การอัดขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้เป็นของเล่นเด็กตัวอย่าง	35
3.25	การทดสอบเวลาวัลคาไนซ์ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้	36
3.26	การทดสอบสมบัติการดึงของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้	36
3.27	การทดสอบความแข็งของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้	37
3.28	การทดสอบการดึงของเล่นเด็กตัวอย่าง	37
3.29	การทดสอบการบิดของเล่นเด็กตัวอย่าง	38
3.30	การทดสอบการตกกระทบพื้นของเล่นเด็กต้นแบบ	38
3.31	การทดสอบการกระแทกของเล่นเด็กต้นแบบ	39
3.32	การผสมยางธรรมชาติกับสีมาสเตอร์แบทช์ สารเคมี และซีลี้อยไม้ยางพารา	40
3.33	การอัดขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ที่มีการผสมสีเป็นแผ่นขึ้นงานตัวอย่าง	41
3.34	การอัดขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ที่มีการผสมสีเป็นของเล่นเด็กตัวอย่าง	41
4.1	ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลี้อยไม้ยางพาราต่อค่าแรงบิดต่ำสุด (ML) ของวัสดุเชิงประกอบยางพารา	45
4.2	ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลี้อยไม้ยางพาราต่อค่าแรงบิดสูงสุด (MH) ของวัสดุเชิงประกอบยางพารา	45
4.3	ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลี้อยไม้ยางพาราต่อค่าระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสุกของวัสดุเชิงประกอบยางพารา	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมยางพาราต่อค่าระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบยางพารา	46
4.5	ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมยางพาราค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบยางพารา	47
4.6	ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมยางพาราต่อค่ามอดูลัสการดึงของวัสดุเชิงประกอบยางพารา	48
4.7	ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมยางพาราต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบยางพารา	48
4.8	ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมยางพาราต่อค่าความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบยางพารา	49
4.9	สมบัติ (ก) การดึง (ข) การบิด และ (ค) การตกกระทบพื้นผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบ	51
4.10	สมบัติการกระแทกผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็ก	52
4.11	แสดงข้อมูลทั่วไปของการทดสอบหาปริมาณโลหะหนัก	55
4.12	แสดงลักษณะชิ้นงานตัวอย่างและสรุปผลการทดสอบ	56
4.13	ผลการทดสอบ Migration of Certain Elements ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมยางพารา	57
4.14	ผลการทดสอบ Cadmium Content และ Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs) Content ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมยางพารา	58
4.15	ผลการทดสอบ Phthalates Content และ N-Nitrosamines and N-Nitrosatable Substances Content Release ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมยางพารา	59
4.16	ผลการทดสอบ Total Heavy Metal Contents และ Lead Content ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมยางพารา	60
4.17	ผลการทดสอบ Phthalates Content ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมยางพารา	61
4.18	ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อค่าแรงบิดต่ำสุด (ML) ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมยางพารา	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.19	ผลกระทบของปริมาณสีย้อมสเตอร์แบทช์ต่อค่าแรงบิดสูงสุด (MH) ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพารา	63
4.20	ผลกระทบของปริมาณสีย้อมสเตอร์แบทช์ต่อค่าระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสุกของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพารา	64
4.21	ผลกระทบของปริมาณสีย้อมสเตอร์แบทช์ต่อค่าระยะเวลากการคงรูปที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพารา	64
4.22	ผลกระทบของปริมาณสีย้อมสเตอร์แบทช์ต่อค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและ ซีล้อยไม้ยางพารา	65
4.23	ผลกระทบของปริมาณสีย้อมสเตอร์แบทช์ต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพารา	66
4.24	โครงสร้างสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบยางพาราที่เสริมแรงด้วยซีล้อยไม้ยางพาราปริมาณ (ก) (ข) 60 phr และ (ค) (ง) 100 phr	67
4.25	ผลกระทบของปริมาณสีย้อมสเตอร์แบทช์ต่อค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพารา	68
4.26	สมบัติการตกกระทบพื้นผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบที่ผสมสี	72
4.27	สมบัติ (ก) การกระแทก และ (ข) การแช่น้ำ ของผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบที่ผสม	73
4.28	ผลการทดสอบหาปริมาณโลหะหนักในวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพาราที่ผสมสีตามข้อกำหนดของ มอก. 685	74
4.29	ผลการทดสอบหาปริมาณโลหะหนักในวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพาราที่ผสมสีตามข้อกำหนดของ มอก. 685 (ต่อ)	75
4.30	ข้อมูลทั่วไปของการทดสอบหาปริมาณสารโลหะหนัก และลักษณะเรือของเล่นตัวอย่าง	78
4.31	สรุปผลการทดสอบหาปริมาณสารโลหะหนักในเรือของเล่นตัวอย่าง	79
4.32	ผลการทดสอบ Soluble Heavy Metals Content และ Total Lead Content ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพาราที่ผสมสีย้อมสเตอร์แบทช์	80
4.33	ผลการทดสอบ Phthalates Content ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพาราที่ผสมสีย้อมสเตอร์แบทช์	81

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.34	ผลการทดสอบ Migration of Certain Elements ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราที่ผสมสีมาสเตอร์แบทช์	82
4.35	ผลการทดสอบ Total Cadmium Content ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราที่ผสมสีมาสเตอร์แบทช์	83
4.36	ผลการทดสอบ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Content ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราที่ผสมสีมาสเตอร์แบทช์	84
4.37	ผลการทดสอบ N-Nitrosamines and N-Nitrosatable Substances Content Release ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราที่ผสมสีมาสเตอร์แบทช์	85
4.38	สรุปชนิดของสาร N-Nitrosamines ที่ทดสอบ	86
4.39	การย่อยลดขนาดยางพาราแท่ง STR 5L	86
4.40	การเตรียมซีลี้อยไม้ยางพารา	87
4.41	การผสมยางธรรมชาติกับสีมาสเตอร์แบทช์ สารเคมี และซีลี้อยไม้ยางพารา	88
4.42	การอัดขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ที่มีการผสมสีเป็นเรือของเล่นต้นแบบ	89
4.43	เรือของเล่นต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา (ก) ที่มีการผสมสี และ (ข) ไม่มีการผสมสี	90
4.44	เรือของเล่นต้นแบบที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนของเล่นไม้	90

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การแบ่งกลุ่มขององค์ประกอบที่ใช้ในการผสมเคมียาง	9
2.2	แสดงลำดับของการผสมสารเคมีโดยทั่วไป	16
3.1	สูตรยางและปริมาณสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยระยะที่ 1	34
3.2	สูตรยางและปริมาณสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยระยะที่ 2	40
4.1	รายการทดสอบที่จำเป็นสำหรับการหาปริมาณโลหะหนักในของเล่นเด็กจากยางพารา	53
4.2	ลักษณะทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราที่มีผลกระทบมาจากปริมาณสีย้อมสเตอร์แบทซ์และซีลี้อยไม้ยางพารา	69
4.3	สูตรยางและปริมาณสารเคมีต่างๆ สำหรับใช้ผลิตเรือของเล่นต้นแบบ	88
4.4	ต้นทุนวัตถุดิบทางตรงของยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา	91
4.5	ต้นทุนพลังงานกระบวนการเตรียมยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา	92

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

จากสภาวะของเศรษฐกิจโลกและสภาพเศรษฐกิจของประเทศไทยที่ตกต่ำในปัจจุบัน ทำให้การแข่งขันทางธุรกิจของอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เพิ่มสูงขึ้น และหนึ่งในอุตสาหกรรมนั้น คือ อุตสาหกรรมการผลิตของเล่นไม้สำหรับเด็กจากไม้ยางพารา ที่ได้รับผลกระทบทางเศรษฐกิจโดยตรง ส่งผลให้อุตสาหกรรมนี้ต้องพยายามปรับตัวหรือหากกลยุทธ์ทางธุรกิจใหม่ ๆ เพื่อให้สามารถแข่งขันได้ในสภาวะเศรษฐกิจปัจจุบันและอนาคต และกลยุทธ์ที่อุตสาหกรรมนี้คำนึงถึง คือ การลดต้นทุนในการผลิต การหาเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาช่วยในการผลิต และการสร้างจุดขายใหม่ ๆ ให้แก่ผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน

อุตสาหกรรมการผลิตของเล่นไม้สำหรับเด็กจากไม้ยางพาราได้กำหนดแนวทางในการเพิ่มความสามารถการแข่งขันทางธุรกิจภายใต้เศรษฐกิจที่ตกต่ำนี้ โดยการหาวัสดุชนิดใหม่ที่ใช้สำหรับผลิตของเล่นเด็ก เพื่อต้องการลดต้นทุนวัตถุดิบ เวลาการผลิต และเพิ่มจุดขายให้แก่ผลิตภัณฑ์ และที่สำคัญต้องการวัสดุชนิดใหม่ที่สามารถนำไปผลิตเป็นของเล่นเด็กที่เล่นในน้ำได้ (Water play) เนื่องจากวัสดุที่ใช้ผลิตของเล่นเด็กในปัจจุบันมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถนำมาผลิตเป็นของเล่นเด็กที่ใช้เล่นในน้ำนาน ๆ ได้ เนื่องจากวัสดุมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูง ดังนั้นทางอุตสาหกรรมการผลิตของเล่นไม้สำหรับเด็กจากไม้ยางพาราจึงมีแนวทางว่า “ต้องการวัสดุชนิดใหม่ที่สามารถนำมาใช้ผลิตเป็นของเล่นสำหรับเด็ก แต่วัสดุชนิดใหม่นั้นต้องผลิตมาจากวัตถุดิบที่ได้มาจากต้นยางพารา เช่น ยางพาราแท่ง น้ำยางพารา และไม้ยางพารา เป็นต้น เช่นเดียวกันวัสดุชนิดใหม่นี้สามารถใช้เครื่องจักรที่มีอยู่ในปัจจุบันขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ และที่สำคัญสารเคมีที่ใช้ต้องผ่านมาตรฐานข้อกำหนดของของเล่นเด็ก ตามมาตรฐานทั้งอเมริกาและยุโรป” จากแนวทางนี้ทำให้คณะผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะนำยางพาราแท่ง ซึ่งเป็นยางธรรมชาติที่ได้จากต้นยางพารา มาผสมกับขี้เลื่อยไม้ยางพารา ซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากในกระบวนการผลิตของเล่นไม้จากเนื้อไม้ยางพาราจริง โดยจะได้วัสดุชนิดใหม่ คือ วัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติและขี้เลื่อยไม้ยางพารา ที่พัฒนามาจากวัตถุดิบที่ได้มาจากต้นยางพารา 100%

นอกจากนี้ในการพัฒนาวัสดุสำหรับผลิตของเล่นเด็ก คุณสมบัติเฉพาะที่ต้องพิจารณา คือ ของเล่นเด็กที่ผลิตมาจากวัสดุใด ๆ ต้องไม่แตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ เมื่อมีการตกกระแทก และเป็นวัสดุที่แมลง มอด หรือปลวกไม่กิน จากคุณสมบัติเหล่านี้และแนวทางของอุตสาหกรรมการผลิตของเล่นไม้สำหรับเด็กจากไม้ยางพารา จะเห็นได้ว่า การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติและขี้เลื่อยไม้ยางพารา สำหรับใช้ผลิตของเล่นเด็กมีความเหมาะสมอย่างยิ่ง เพราะวัสดุเชิงประกอบชนิดนี้สามารถ

ตอบสนองต่อคุณสมบัติเฉพาะและแนวทางของอุตสาหกรรมการผลิตของเล่นไม้สำหรับเด็กจากไม้ยางพาราได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเป็นการนำยางพาราแท่งมาผสมกับขี้เลื่อยไม้ยางพารา เพื่อให้ได้วัสดุชนิดใหม่ที่ใช้สำหรับผลิตของเล่นเด็ก คือ วัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติและขี้เลื่อยไม้ยางพารา ซึ่งเมื่องานวิจัยนี้ดำเนินการสำเร็จจะสามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมผลิตของเล่นไม้สำหรับเด็กได้ ตลอดจนสามารถเพิ่มความสามารถการแข่งขันให้แก่อุตสาหกรรมนี้ได้ ภายใต้สภาพเศรษฐกิจที่ตกต่ำในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อพัฒนาวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติและขี้เลื่อยไม้ยางพารา สำหรับผลิตเรือของเล่นที่เหมาะสมกับเด็กอายุ 12 เดือน ขึ้นไป

1.3 ขอบเขต

1.3.1 ขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นขี้เลื่อยที่ได้รับมาจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราเป็นของเล่นเด็ก โดยขนาดของขี้เลื่อยที่ใช้มีขนาดผ่านกระแกรง 40 เมช

1.3.2 ยางธรรมชาติที่ใช้คือ ยางพาราแท่ง STR 5L

1.3.3 คุณสมบัติเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็ก คือ

(ก) หลังจากของเล่นเด็กแช่น้ำไว้ 48 ชม. ชิ้นงานยังคงสภาพเดิมไม่เปลี่ยนแปลง

(ข) ของเล่นเด็กสามารถยืดหยุ่นได้ ไม่แข็งเหมือนไม้

(ค) ชิ้นงานผ่านมาตรฐานทั้งทางด้านเคมี และการทดสอบของ Toys

(ง) สีของเล่นเด็กต้องสดใส

1.3.4 การผสมยางพาราแท่งกับขี้เลื่อยไม้ยางพาราและสารเคมีต่าง ๆ ดำเนินการโดยใช้เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง

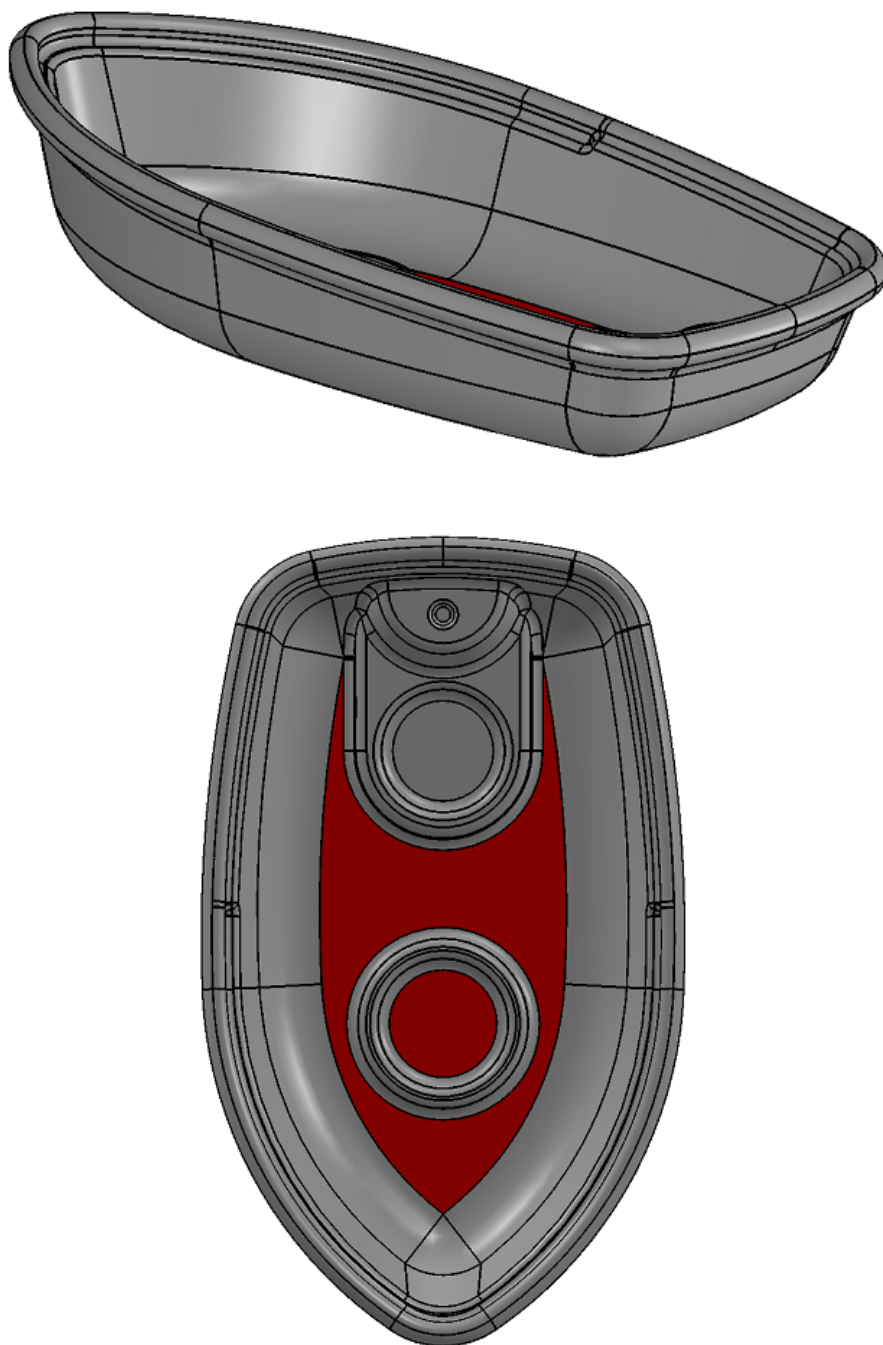
1.3.5 การขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่างใช้เครื่องอัดร้อนที่มีอุณหภูมิ 150 °C และแรงดันอัด 1000 psi เป็นระยะเวลา 10 นาที

1.3.6 ผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบที่ทดลองขึ้นรูปจากวัสดุชนิดใหม่ที่ได้จากงานวิจัย คือ เรือของเล่น ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับเด็กอายุ 12 เดือน ขึ้นไป

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ได้วัสดุชนิดใหม่น้อย 1 สูตร สำหรับการนำไปใช้ผลิตเป็นของเล่นเด็กที่ใช้เล่นในน้ำ

1.4.2 ได้ผลิตภัณฑ์เรือของเล่นที่เหมาะสมกับเด็กอายุ 12 เดือน ขึ้นไป จำนวน 1 ชุด ซึ่งผลิตมาจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารา



รูปที่ 1.1 แบบเรือของเล่น ที่ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติและซีล้อยไม้ยางพารา เพื่อนำมาใช้ผลิตเป็นของเล่นสำหรับเด็กมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องคือ ความรู้พื้นฐานของวัสดุผสม ยางธรรมชาติ การออกสูตรผลิตภัณฑ์ยาง ยาง สารทำให้ยางคงรูป สารตัวเร่งปฏิกิริยา สารเสริมแรง การผสมยาง การขึ้นรูปยาง และการคงรูปยาง และการทดสอบสมบัติของยาง ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ความรู้พื้นฐานของวัสดุเชิงประกอบ

วัสดุเชิงประกอบ (Composite materials) คือ การนำเอาวัสดุที่มีสมบัติแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดหรือมากกว่ามาประกอบกันสร้างเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างใหม่ [1] ซึ่งประกอบด้วยพอลิเมอร์และวัสดุเสริมแรง โดยปกติส่วนผสมที่เป็นพอลิเมอร์จะเป็นตัวที่ยึดวัสดุเสริมแรงเข้าด้วยกันและมีความแข็งแรงน้อยกว่าวัสดุเสริมแรง [2] พอลิเมอร์ที่มีการนำมาผลิตเป็นวัสดุเชิงประกอบมีทั้งเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และเทอร์โมเซต (Thermoset) ในส่วนของวัสดุเสริมแรงมีการนำผงไม้หรือเส้นใยธรรมชาติมาเป็นวัสดุเสริมแรงเพื่อต้องการลดปริมาณการใช้พลาสติก เพิ่มความแข็งแรงและความแข็งแรงของพลาสติก [3-5] นอกจากนี้การประสานยึดเกาะระหว่างพลาสติกและวัสดุเสริมแรงเป็นปัจจัยหลักของการส่งถ่ายความเค้นจากพลาสติกไปยังวัสดุเสริมแรง ซึ่งการเพิ่มการประสานยึดเกาะระหว่างพลาสติกและวัสดุเสริมแรงสามารถปรับปรุงได้โดยใช้สารเพิ่มการยึดเกาะ (Coupling agent) [3, 5-8] โดยสารเพิ่มการยึดเกาะจะเป็นตัวเชื่อมระหว่างพอลิเมอร์และวัสดุเสริมแรง อย่างไรก็ตามเพื่อบรรลุสมบัติที่ต้องการของวัสดุเชิงประกอบ สมบัติของวัสดุเสริมแรงและพอลิเมอร์เป็นสิ่งที่สำคัญที่ต้องทำการประเมินอิทธิพล เช่น เส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยสารทางเคมีที่สำคัญ 3 อย่างคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน [2] ซึ่งสารทางเคมีเหล่านี้สามารถเสื่อมสภาพในช่วงของกระบวนการขึ้นรูปและมีผลกระทบต่อสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบ [9] นอกจากนี้ในกระบวนการขึ้นรูปจะส่งผลให้ความยาวของเส้นใยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ [3] ดังนั้นวิธีการและอุณหภูมิในการขึ้นรูป ประเภทของสารเพิ่มการยึดเกาะ การเลือกใช้ขนาด ประเภทของวัสดุเสริมแรง และพอลิเมอร์ที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นสิ่งที่จำเป็นในการพิจารณาเพื่อความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุเชิงประกอบ

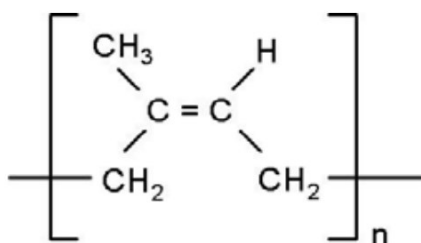
วัสดุเชิงประกอบมีส่วนเหนือกว่าวัสดุใช้งานดั้งเดิมอยู่หลายประการ เช่น มีค่าความแข็งแรงและแข็งแรง (Stiffness and strength) สูงแต่มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Density) ต่ำ นั่นหมายความว่า เป็นวัสดุที่เบาแต่แข็งแรง ถ้าเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อน้ำหนัก นอกจากนี้การ

ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ทำได้ง่าย และสามารถออกแบบให้เกิดประโยชน์ด้านความสวยงามควบคู่ไปกับการใช้ความรู้ด้านวิศวกรรม นอกจากนั้นยังมีความได้เปรียบเรื่องความทนทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี และสภาพดินฟ้าอากาศอีกด้วย [1]

2.1.2 ยางธรรมชาติ (Natural rubber) [10, 11]

ยางธรรมชาติ มีชื่อทางเคมี คือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) กล่าวคือ ในโมเลกุลยาง 1 โมเลกุล จะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นสายยาว (แบบเส้นตรง) โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 4,000,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมาก ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.93 g/cm^3 ที่อุณหภูมิ 20°C และมีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature; T_g) ประมาณ -72°C นั้นหมายความว่า หากนำยางธรรมชาติไปเก็บไว้ในที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -72°C สมบัติของยางธรรมชาติจะเปลี่ยนจากที่เคยยืดหยุ่นไปเป็นของแข็งเปราะเช่นเดียวกับแก้ว

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าใน 1 หน่วยของไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และมีหมู่แอลฟาเมทิลีน (α -methylene) ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปด้วยกำมะถันอยู่ ดังนั้นพันธะคู่ที่มีอยู่ในโมเลกุลของยางจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการคงรูปด้วยกำมะถัน



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ [10]

1) รูปแบบของยางธรรมชาติ

1.1) น้ำยาง เนื่องจากน้ำยางสดที่กรีตได้จากต้นยางมีปริมาณน้ำมากเกินไป ไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และยังทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำน้ำยางที่ได้นี้ ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) เพื่อลดปริมาณน้ำในน้ำยางสด จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นจาก 30% เป็น 60% โดยน้ำหนัก เรียกน้ำยางนี้ว่า น้ำยางข้น (Concentrated latex) แต่เนื่องจากในน้ำยางมีสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น โปรตีน และฟอสโฟไลปิดผสมอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ดังนั้นน้ำยางจึงสามารถบูดเน่าส่งกลิ่นเหม็นได้ จึงต้องมีการเติมสาร

แอมโมเนียลงไปหรืออาจใช้แอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่นๆ เพื่อช่วยรักษาสภาพของน้ำยางชั้นให้เก็บไว้นาน

1.2) ยางแห้ง ได้จากการนำน้ำยางสดที่กรีดได้มาเติมกรด (นิยมใช้กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก หรือกรดซัลฟูริก) เพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นทำการไล่ความชื้นออกจากเนื้อยางเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา

2) สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

2.1) ความยืดหยุ่น (Elasticity) ยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไป ยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) ได้อย่างรวดเร็ว

2.2) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ยางธรรมชาติสามารถแตกหักได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง

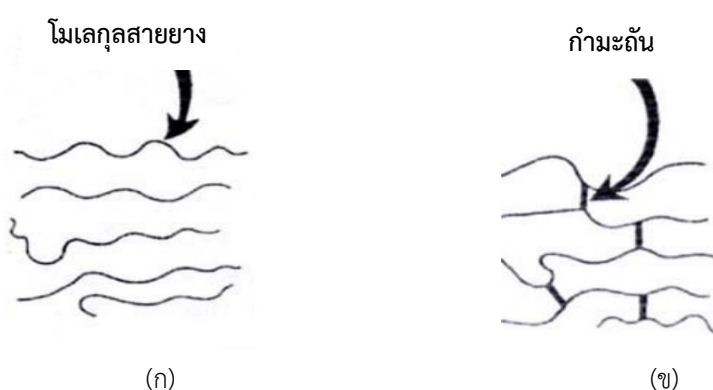
2.3) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถแตกหักได้ง่ายเมื่อถูกยืด ดังนั้นยางธรรมชาติจึงมีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยทำให้ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของยางสูงขึ้น

2.4) ความเสียดทาน (Friction) และความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ความเสียดทานและการสึกหรอเป็นสิ่งที่สัมพันธ์กัน เนื่องจากการสึกหรอเกิดจากกระบวนการสูญเสียเนื้อวัสดุไปในระหว่างการเกิดความเสียดทานหรือการขัดถู ถ้าไม่มีความเสียดทานเกิดขึ้น การสึกหรอจะไม่เกิด สมบัติความต้านทานต่อการสึกหรอของยางจะเรียกกันโดยทั่วไปว่าความต้านทานต่อการขัดถู

2.5) ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (Liquid and chemical resistance) เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางดิบจึงจะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน เป็นต้น ความสามารถในการละลายนี้ จะลดลงถ้าเกิดการคงรูป เนื่องจากการเชื่อมโยงทางเคมีของโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ในยางคงรูปจะไปขัดขวางกระบวนการละลายของยาง ยางคงรูปจึงเพียงแต่เกิดการบวมตัวในตัวทำละลายเหล่านี้เท่านั้น อย่างไรก็ตามการบวมตัวของยางดังกล่าวจะทำให้สมบัติเชิงกลของยางด้อยลง ด้วยเหตุนี้ยางธรรมชาติจึงไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ แต่ยางจะทนทานต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังทนต่อกรดและด่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรดไนตริกและกรดกำมะถันเข้มข้น

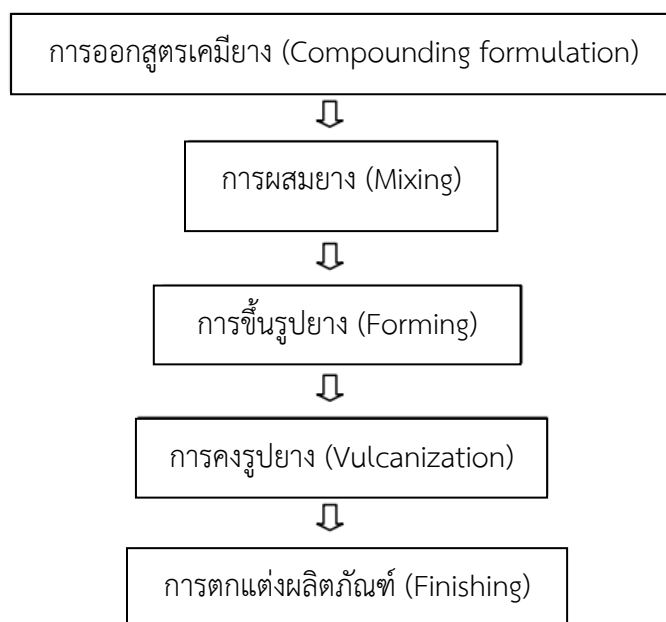
2.6) การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซนและแสงแดด (Aging properties) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน) โดยมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดส์ได้ง่าย นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังไม่ทนต่อโอโซน เพราะเมื่อยางถูกยึดและได้รับโอโซนนานๆ จะเกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากที่บริเวณพื้นผิวในทิศตั้งฉากกับทิศทางการยืดตัวของยาง ด้วยเหตุนี้ในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Anti-degradants) และไข (Wax) ลงไปเพื่อยืดอายุการใช้งานของยางธรรมชาติ)

สมบัติของยางตามที่คุณส่วนใหญ่เข้าใจนั้นจะเป็นสมบัติของยางคงรูป (Vulcanized rubber) เท่านั้น เพราะยางดิบมีข้อจำกัดในการใช้งานต่างๆ มากมาย เช่น มีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดี และสมบัติเชิงกลเหล่านี้เปลี่ยนแปลงได้ง่ายตามอุณหภูมิ นอกจากนี้ยางดิบยังมีความทนทานต่อสารเคมีและสารละลายต่างๆ ต่ำ อีกทั้งยังไม่สามารถคงรูปได้หลังจากการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาหรือปรับปรุงคุณภาพของยางเพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ ต้องทำการเปลี่ยนสภาพจากยางดิบให้เป็นยางสุกหรือ “ยางคงรูป” ก่อนโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่า ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันหรือปฏิกิริยาคงรูป (Vulcanization reaction) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้ยางเปลี่ยนสภาพจากที่เคยเป็นยางดิบ (มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก) คือ อยู่ในสภาพที่สามารถไหลได้ง่ายไปเป็นยางคงรูปซึ่งไม่สามารถไหลได้อีก (มีสมบัติเป็นเทอร์โมเซต) เพราะปฏิกิริยาคงรูปจะทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงกันเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ยางคงรูปที่ได้จึงมีความยืดหยุ่นและมีเสถียรภาพทางรูปร่างสูงขึ้น จึงจะสามารถนำยางดังกล่าวไปใช้งานในทางวิศวกรรมได้



รูปที่ 2.2 โมเดลแสดงลักษณะโม่เลกุลของยาง ก) ลักษณะโม่เลกุลยางก่อนการวัลคาไนซ์ และ ข) ลักษณะโม่เลกุลยางหลังวัลคาไนซ์ [1 2]

ผลิตภัณฑ์ที่เรานำไปใช้ในชีวิตประจำวันเกือบทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นยางรัดของ ยางล้อรถ ท่อยาง ลูกโป่ง ถุงมือยาง จุกหัวนมยาง หรือแม้แต่ถุงยางอนามัย ล้วนแล้วแต่เป็นยางที่ผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อให้ยางเกิดการคงรูปแล้วทั้งสิ้น ในภาพรวมแล้วการแปรรูปจากยางดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์ยางนั้นมีขั้นตอนหลักๆ อยู่ 5 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนผังแสดงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง [13]

2.1.3 การออกสูตรผลิตภัณฑ์ยาง [14]

สูตรการผสมเคมีพื้นฐานมักประกอบไปด้วยสารเคมีและสารตัวเติมชนิดต่างๆ มากมาย สารเคมีแต่ละชนิดเหล่านี้ล้วนมีหน้าที่เฉพาะอย่าง ดังนั้นผู้ออกสูตรการผสมเคมียางจึงต้องเลือกใช้ชนิดและปริมาณของสารเคมีด้วยความระมัดระวัง เพราะสารเคมีเหล่านี้ไม่เพียงจะมีผลโดยตรงต่อสมบัติของยาง แต่ยังมีผลต่อกระบวนการผลิตและต้นทุนอีกด้วย ปัจจุบันได้มีการผลิตสารเคมีและสารตัวเติมชนิดต่างๆ มากมายให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม ด้วยเหตุนี้ในการออกสูตรการผสมเคมียางเพื่อให้ได้ยางที่มีคุณภาพดีตรงตามความต้องการและมีต้นทุนต่ำที่สุด ผู้ออกสูตรจำเป็นต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับหน้าที่และประสิทธิภาพของสารเคมีและสารตัวเติมแต่ละชนิด

โดยทั่วไปวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 กลุ่มหลักๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งการออกสูตรการผสมเคมียางนิยมใช้หน่วย phr (Parts per hundred of rubber) นั่นคือ จะใช้สารเคมีในปริมาณที่เทียบกับ 100 ส่วน (โดยน้ำหนัก) ของยาง

เช่น ใช้ซิงก์ออกไซด์ (ZnO) 5 phr หมายถึง ถ้าใช้ยางดิบ 100 กรัม ก็จะต้องเติมซิงก์ออกไซด์ลงไป 5 กรัม เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 การแบ่งกลุ่มขององค์ประกอบที่ใช้ในการผสมเคมียาง

กลุ่ม	องค์ประกอบ
1	ยาง (Elastomers)
2	สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agents)
3	สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerators)
4	สารกระตุ้นและสารหน่วงปฏิกิริยา (Activators and retarders)
5	สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants)
6	สารตัวเติม (Fillers)
7	สารทำให้ยางนิ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต (Plasticizers and processing aids)
8	องค์ประกอบอื่นๆ เช่น สี (Pigments) สารทำให้เกิดฟอง (blowing agents) สารหน่วงการติดไฟ (Flame retardants) เป็นต้น

2.1.4 ยาง [10, 15, 16]

1) ชนิดของยางที่ใช้ในอุตสาหกรรม

1.1) ยางแผ่น (Rubber sheet) ยางแผ่นได้จากการนำน้ำยางสดมาใส่ในตะกอน จากนั้นจึงเติมน้ำเพื่อเจือจางน้ำยางให้มีปริมาณเนื้อยางแห้งเหลือเพียงประมาณ 12-18 % ก่อนทำการเติมกรดเพื่อให้ยางจับตัวกันและแยกตัวออกจากน้ำ หลังจากนั้นจึงนำยางที่ได้ไปรีดให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง นำไปล้างน้ำ แล้วจึงทำให้ยางแห้ง ซึ่งการทำให้ยางแห้งนี้อาจทำได้ 2 วิธี คือ 1) นำไปตากแดดหรือผึ่งในอากาศร้อนเพื่อไล่ความชื้น ยางที่ได้เรียกว่า ยางแผ่นไม่รมควัน (Air Dried Sheet, ADS) และ 2) นำไปอบรมควันที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 °C เป็นเวลาประมาณ 2-3 วัน (หรืออาจนานกว่านี้) ซึ่งยางที่ได้เรียกว่า ยางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoked Sheet; RSS)

ข้อกำหนดการจัดชั้นยางแผ่นรมควันชั้นต่างๆ

ยางแผ่นรมควันชั้น 1 (No.1 RSS) ก้อนยางแต่ละก้อนต้องไม่ขึ้นรา ไม่ปรากฏจุดหรือริ้วรอยของยางถูกรมควันมากหรือน้อยเกินไป ยางต้องแห้งดี สะอาด รมควันสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ปราศจากฟองอากาศ สิ่งสกปรก ตลอดจนสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ

ยางแผ่นรมควันชั้น 2 (No.2 RSS) ก้อนยางมีราขึ้นได้บ้าง แต่ต้องไม่เกินกว่า 5% (ก้อนยางตัวอย่าง) แผ่นยางมีจุดต่างและฟองอากาศบ้าง แต่ปราศจากร่องรอยของการถูกรรมควันไม่สม่ำเสมอ ยางต้องแห้งดี สะอาด ไม่มีจุดต่างของสิ่งสกปรกหรือสิ่งแปลกปลอม

ยางแผ่นรมควันชั้น 3 (No.3 RSS) ก้อนยางมีราขึ้นได้บ้าง แต่ต้องไม่เกินกว่า 10% (ก้อนยางตัวอย่าง) แผ่นยางมีจุดต่างและฟองอากาศบ้าง แต่ต้องไม่มีร่องรอยของยางถูกรรมควันไม่สม่ำเสมอ ยางต้องแห้งดี สะอาด ไม่มีสิ่งแปลกปลอม

ยางแผ่นรมควันชั้น 4 (No.4 RSS) ก้อนยางมีราขึ้นได้บ้าง แต่ต้องไม่เกินกว่า 20% (ก้อนยางตัวอย่าง) แผ่นยางมีจุดต่างและฟองอากาศ และร่องรอยของการรมควันไม่ถูกต้องปานกลาง ยางต้องแห้งดี ไม่มีสิ่งแปลกปลอม

ยางแผ่นรมควันชั้น 5 (No.5 RSS) ก้อนยางมีราขึ้นได้บ้าง แต่ต้องไม่เกินกว่า 30% (ก้อนยางตัวอย่าง) แผ่นยางมีจุดต่างและฟองอากาศ และร่องรอยของการรมควันไม่ถูกต้องขนาดใหญ่

1.2) ยางเครฟ (Crepe rubber) ยางเครฟส่วนใหญ่เป็นยางที่ได้จากการนำเศษยาง (เช่น ยางกันถ้วย เศษยางที่ติดบนเปลือกไม้หรือติดบนดิน หรือเศษยางจากยางแผ่นรมควัน) ไปรีดในเครื่องเครฟ (Creping machine) พร้อมทั้งใช้น้ำทำความสะอาดเอาสิ่งสกปรกต่างๆ ออกไปจากยางในระหว่างการรีด จากนั้นจึงนำยางแผ่นที่ได้ไปผึ่งลมให้แห้ง ซึ่งยางเครฟเหล่านี้มีสีค่อนข้างเข้ม และมีความบริสุทธิ์แตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิต

1.3) ยางแท่ง (Technically classified rubber) เนื่องจากยางแผ่นและยางเครฟมีการจัดชั้นด้วยสายตาซึ่งให้ผลที่ไม่แน่นอน ด้วยเหตุนี้อุตสาหกรรมยางส่วนใหญ่ในปัจจุบันจึงเริ่มเปลี่ยนมาใช้ยางแท่ง หรือยางก้อนเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางแทน ทั้งนี้เนื่องจากยางแท่งเป็นยางที่มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่ายางแผ่นและยางเครฟ ผ่านการทดสอบและจัดชั้นเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ การจัดชั้นของยางแท่งจะพิจารณาจากปริมาณของสิ่งสกปรกที่มีอยู่ในยางเป็นสำคัญ นอกจากนั้นก็อาจพิจารณาตัวแปรอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ปริมาณเถ้า ดัชนีความอ่อนตัว ฯลฯ ปัจจุบันประเทศไทยมีมาตรฐานยางแท่งเรียกว่า Standard Thai Rubber (STR) ซึ่งแต่เดิมเรียกว่า Thai Tested Rubber (TTR)

2.1.5 สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agents) [14]

แม้ว่าการทำให้ยางคงรูปจะสามารถทำได้ด้วยการใช้รังสีที่มีพลังงานสูงโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารทำให้ยางคงรูป แต่วิธีการคงรูปยางดังกล่าวก็จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง และใช้ได้ดีเฉพาะในกรณีที่ต้องการคงรูปยางที่บางๆ เท่านั้น ด้วยเหตุนี้การทำให้ยางคงรูปด้วยรังสีที่มีพลังงานสูงจึงไม่เป็นที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันการคงรูปยางส่วนใหญ่เกิดจากการเติมสารกลุ่มที่ทำให้ยางคงรูป โดยทั่วไปการคงรูปยางที่ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3

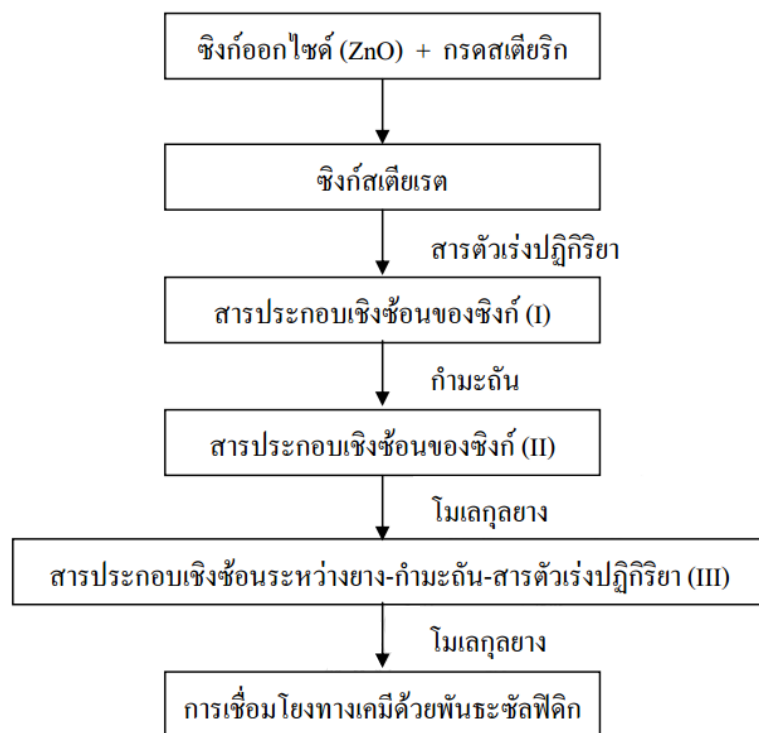
ระบบใหญ่ ได้แก่ ระบบที่ใช้กำมะถัน (Sulfur) ระบบที่ใช้เพอร์ออกไซด์ (Peroxide) และระบบที่ใช้สารเคมีอื่นๆ เช่น โลหะออกไซด์ เป็นต้น

ระบบการคงรูปด้วยกำมะถันเป็นระบบที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน เพราะเป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ การคงรูปเกิดขึ้นได้เร็ว (เมื่อใช้กำมะถันร่วมกับสารตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่เหมาะสม) และยางคงรูปที่ได้ก็มีสมบัติเชิงกลที่ดี ด้วยเหตุนี้ระบบการคงรูปด้วยกำมะถันจึงนิยมใช้ในการคงรูปยางแทบทุกชนิดที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล โดยเฉพาะยางธรรมชาติ เนื่องจากพันธะคู่เป็นตำแหน่งที่กำมะถันจะเข้าไปทำปฏิกิริยาและทำให้เกิดการเชื่อมโยงทางเคมีขึ้น

กลไกการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปด้วยกำมะถัน ถ้านำยางที่มีพันธะคู่มาผสมกับกำมะถันและให้ความร้อน ปฏิกิริยาการคงรูปก็จะเริ่มเกิดขึ้นผ่านอนุมูลอิสระ โดยเริ่มแรกกำมะถัน (S_8) ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็น แบบวงแหวนจะแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระดังสมการ



อิเล็กตรอนของอนุมูลอิสระซึ่งอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งก็จะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของยาง (สายโซ่ที่ 1) ในขณะที่อิเล็กตรอนซึ่งอยู่ที่ปลายอีกด้านหนึ่งของอนุมูลอิสระก็จะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของยางอีกสายโซ่หนึ่ง (สายโซ่ที่ 2) เกิดเป็นการเชื่อมโยงทางเคมีขึ้น แต่ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นได้ช้ามาก ปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาสารเคมีชนิดต่างๆ มากมายที่สามารถทำให้ปฏิกิริยาการคงรูปด้วยกำมะถันเกิดขึ้นได้เร็ว สารเคมีเหล่านี้ได้แก่ สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) และสารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activator) ตัวอย่างที่สำคัญของสารตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ เมอร์แคปโตเบนโซไทอะโซล (2-mercaptobenzothiazole, MBT) ส่วนตัวอย่างที่สำคัญของสารกระตุ้นปฏิกิริยา ได้แก่ ซิงก์ออกไซด์ และกรดสเตียริก เป็นต้น เมื่อมีการเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยาและสารกระตุ้นปฏิกิริยา (เช่น ซิงก์ออกไซด์ และกรดสเตียริก) ลงไปในระบบ ปฏิกิริยาการคงรูปจะเริ่มต้นด้วยการเข้าทำปฏิกิริยากันของซิงก์ออกไซด์ และกรดสเตียริกได้เป็นซิงก์สเตียเรต (เกลือ) ที่สามารถละลายในยางได้ หลังจากนั้นซิงก์สเตียเรตจึงเข้าทำปฏิกิริยากับสารตัวเร่ง ปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของซิงก์ (I) สารประกอบเชิงซ้อนของซิงก์ที่เกิดขึ้นนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับกำมะถันเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของซิงก์ (II) และท้ายสุดก็จะเข้าทำปฏิกิริยากับยางที่ตำแหน่งพันธะคู่หรือที่คาร์บอนตรงตำแหน่ง α -methylene ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างยาง-กำมะถัน-สารตัวเร่งปฏิกิริยา (III) ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อน (III) ที่เกิดขึ้นนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของยางอีกสายโซ่หนึ่งเกิดเป็นการเชื่อมโยงทางเคมีแบบพันธะซัลฟิดิก (Sulfidic) ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนผังแสดงขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาคงรูปด้วยก้ำมะถัน [14]

2.1.6 สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerators) [11, 14]

การใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับระบบการคงรูปยางด้วยก้ำมะถัน เพราะปฏิกิริยาระหว่างก้ำมะถันและยาง (ปฏิกิริยาคงรูป) จะเกิดขึ้นได้ช้ามากแม้ที่อุณหภูมิสูงๆ โดยทั่วไปจึงต้องใช้ระยะเวลาในการคงรูปยางนานเป็นชั่วโมงและต้องใช้ก้ำมะถันในปริมาณที่สูงมาก อีกทั้งยางคงรูปที่ได้ก็จะมีสมบัติเชิงกลต่ำ การเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปในปริมาณเพียงเล็กน้อยจะช่วยให้ปฏิกิริยาระหว่างยางและก้ำมะถันเกิดได้เร็วยิ่งขึ้น จึงช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปยาง ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ก้ำมะถันในปริมาณที่สูงเกินไปและยางคงรูปที่ได้ก็จะมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ตัวอย่างสารตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ MBTS (Mercaptobenzothiazole Disulfide) และ TMTD (Tetramethyl thiuram disulfide)

2.1.7 สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activators) [14]

สารนี้จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนเมื่อมีปฏิกิริยากับสารตัวเร่งให้ยางคงรูป ซึ่งจะเกิดการช่วยให้เร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ยางจะคงรูปเร็วยิ่งขึ้น และปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้นด้วย โดยทั่วไปสารกระตุ้นปฏิกิริยาสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

1) สารอนินทรีย์ ส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของโลหะ เช่น ซิงก์ออกไซด์ (ZnO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และออกไซด์ของตะกั่ว อย่างไรก็ตามในบรรดาสารเคมีที่กล่าวมา ซิงก์ออกไซด์จัดเป็น

สารกระตุ้นปฏิกิริยาที่นิยมใช้กันมากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรม แม้ว่าการใช้ซิงก์ออกไซด์เพียงอย่างเดียวจะสามารถเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาควบรูปได้ แต่ประสิทธิภาพในการกระตุ้นปฏิกิริยาจะสูงขึ้นหากใช้ซิงก์ออกไซด์ร่วมกับกรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก (นิยมใช้กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในช่วง 12-18) เพราะเมื่อสารเคมีทั้งสองทำปฏิกิริยากันจะเกิดเป็นสารประกอบที่สามารถละลายในยางได้ง่าย (เช่น ซิงก์สเตียเรต) จึงทำให้อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น

2) กรดอินทรีย์ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วว่าซิงก์ออกไซด์จะทำหน้าที่ได้เต็มประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อใช้ร่วมกับกรดไขมัน โดยทั่วไปปริมาณของกรดสเตียริกที่นิยมใช้ในการออกสูตรเคมียางมักอยู่ในช่วง 1-3 phr นอกจากกรดสเตียริกจะทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาแล้ว กรดชนิดนี้ยังทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น (Lubricant) ทำให้ยางมีความหนืดลดลง

3) สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เมื่อเติมลงไปในยางทำให้ยางมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สูงขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่จะส่งผลทำให้ยางมีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาควบรูปสูงขึ้นด้วย (สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นกรดมักหน่วงปฏิกิริยาการควบรูป) ตัวอย่างของสารกระตุ้นปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นด่าง ได้แก่ ไดบิวทิลอะมิโนโอเลต (Dibutylaminooleate) แม้ว่าการใช้สารกระตุ้นปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นด่างจะช่วยให้ยางมีอัตราเร็วในการควบรูปค่อนข้างสูงมาก แต่การใช้กรดไขมันและเกลือของกรดไขมันก็มีข้อดีเหนือกว่าหลายประการ คือ นอกจากจะช่วยให้กระบวนการผลิตมีความปลอดภัยสูงกว่าแล้ว (ยางคอมพาวด์มีระยะเวลาสกร็อชที่ยาวกว่า) ยังช่วยทำให้สารตัวเติมและสารเคมีต่างๆ กระจายตัวในยางได้ดีกว่าอีกด้วย จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ยางควบรูปที่ได้มีสมบัติโดยรวมค่อนข้างดี

2.1.8 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants) [14]

ยางต่างๆ ไป มีขีดจำกัดในการต่อต้านการเสื่อมสภาพ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเติมสารที่มีความสามารถป้องกันยางเสื่อมสภาพ เนื่องจากการนำผลิตภัณฑ์ยางไปใช้งานโอกาสที่ยางจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือเกิดปฏิกิริยากับโอโซนเป็นไปได้เสมอ และผลจากปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้ผิวยางแตกสูญเสียสมบัติทางกายภาพ ใช้งานไม่ได้ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องใส่สารต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารต่อต้านปฏิกิริยาของยางกับโอโซน และในการผลิตสารนี้ในเชิงการค้า จะมีทั้งชนิดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางเปลี่ยนสีได้ และชนิดที่ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางเปลี่ยนสี ตัวอย่างสารที่ใช้ป้องกันยางเสื่อมสภาพ ได้แก่ TMQ (2,2,4-Trimethyl-1,2-dihydroquinoline), PBN (Phenyl- β -naphthylamine) และ IPPD (N-Isopropyl-N'-phenyl-p-phenylene diamine)

2.1.9 สารเสริมแรง (Reinforcement)

สารเสริมแรงเป็นสารเติมแต่งที่อยู่ในรูปของแข็ง ซึ่งมีโครงสร้างแตกต่างจากพอลิเมอร์ ช่วยทำให้สมบัติทางกลและทางกายภาพดีขึ้น เช่น เพิ่มความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงได้แก่ ไยแก้ว ไยคาร์บอน และเส้นใยธรรมชาติ ลักษณะของวัสดุเสริมแรง

สามารถแบ่งตามโครงสร้างได้ดังนี้ วัสดุเสริมแรงชนิดเส้นใย วัสดุเสริมแรงชนิดเป็นอนุภาค และวัสดุเสริมแรงที่มีโครงสร้างเป็นแผ่นบาง เช่นเดียวกับการเสริมแรงด้วยเส้นใยจะช่วยปรับปรุงความทนทานต่อการยืด และเพิ่มความแข็งแรง ดังนั้นจึงนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง

การเลือกใช้วัสดุเสริมแรงควรพิจารณาปัจจัยหลายอย่าง เช่น สมบัติทางกลและทางกายภาพ ขนาดของอนุภาค ความเป็นผลึก การกระจายตัว ความคงทนระหว่างการผลิตและใช้งาน ซึ่งควรคำนึงถึงหลักการดังนี้ [13]

1) เส้นใยหรือวัสดุเสริมแรงที่ใช้ต้องมีค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสสูงกว่าพอลิเมอร์ และเส้นใยต้องมีขนาดยาว 100 เท่าขึ้นไปของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

2) หน้าที่สำคัญของพอลิเมอร์ คือ การส่งผ่านและกระจายแรงระหว่างเส้นใย อีกทั้งช่วยป้องกันการเสียดสีระหว่างเส้นใยแต่ละตัว ป้องกันความชื้นไม่ให้สัมผัสกับเส้นใย ช่วยให้เส้นใยทำงานเป็นกลุ่มในการต้านทานแรงหรือการเสียรูปภายใต้การใช้งาน และป้องกันการซึมผ่านของของเหลวและอากาศ

3) รอยต่อระหว่างผิวเส้นใยหรือวัสดุเสริมแรงกับพอลิเมอร์เป็นจุดที่ต้องคำนึงถึงมาก เพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการ เพราะเมื่อได้รับแรงจุดที่ได้รับแรงมากที่สุดคือ จุดรอยต่อหรือใกล้จุดรอยต่อระหว่างผิวของเส้นใยกับพอลิเมอร์ ถ้าจุดนี้มีการเชื่อมต่อกันไม่ดีอาจทำให้เกิดความเสียหายก่อนกำหนด ดังนั้นรอยต่อนี้ต้องมีลักษณะทางเคมี และฟิสิกส์ที่เหมาะสมที่จะส่งผ่านแรงจากพอลิเมอร์ไปสู่วัสดุเสริมแรง โดยทั่วไปนิยมใช้สารคู่ควบ (Coupling agents) เป็นตัวเชื่อมต่อผิวของเส้นใยกับพอลิเมอร์ ซึ่งจะช่วยให้มีการส่งผ่านแรงและกระจายแรงได้ดีขึ้น

4) เมื่อเติมวัสดุเสริมแรงแล้ว ต้องสามารถตกแต่งผิวให้สวยงามได้ง่าย เช่น การพิมพ์ การติดกาว รวมถึงการขัดสีของเครื่องจักร และต้องคำนึงถึงปัญหาความปลอดภัยเนื่องจากฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในระหว่างการตกแต่งชิ้นงาน

5) ราคาของวัสดุเสริมแรงที่ใช้ เพราะวัสดุเสริมแรงที่ใช้มักมีราคาสูงจึงต้องพิจารณาถึงต้นทุนของการผลิต

2.1.10 การผสมยาง [13]

ยางธรรมชาติเป็นของแข็งที่มีความเหนียวและความหนืดสูงมาก การผสมสารเคมีให้เข้ากับยางจึงเป็นไปได้ยาก ด้วยเหตุนี้ก่อนการผสมเคมีจึงต้องทำการบดยางหรือลดความหนืดของยางโดยการตัดโมเลกุลของยาง (ลดน้ำหนักโมเลกุล) ด้วยกระบวนการเชิงกล นั่นคืออาศัยแรงเฉือนในเครื่องรีดแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ดังรูปที่ 2.5 หรือในเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ขั้นตอนการบดยางเพื่อลดความหนืดของยางก่อนการผสมเคมีนี้ เรียกว่า “มาสติเคชัน (Mastication)” ปกติการบดยางที่อุณหภูมิต่ำจะให้ประสิทธิภาพการบดที่ดี เพราะยางจะมีความหนืดสูงส่งผลทำให้เกิดแรงเฉือนสูง โมเลกุลยางก็จะเกิดการฉีกขาดได้ดี แต่ที่อุณหภูมิสูง ยางจะมีความ

หนืดลดลงซึ่งจะส่งผลทำให้แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในระหว่างการผสมลดลงด้วย ประสิทธิภาพในการบด ยางอันเนื่องจากแรงเชิงกลจึงลดลง แต่ในบางครั้งก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบดยางที่อุณหภูมิ สูงได้เช่นกัน โดยการเติมสารแปปไทเซอร์ (Peptizer) ลงไปเล็กน้อย เพราะสารเคมีดังกล่าวจะช่วยทำ ให้โมเลกุลยางที่ถูกตัดขาดไปแล้วไม่สามารถกลับเข้าไปทำปฏิกิริยารวมตัวกันใหม่

เนื่องจากการบดยางที่มากเกินไปจะทำให้ยางอ่อนเกินไป ซึ่งจะส่งผลทำให้ยางไม่ สามารถรับสารตัวเติมได้ในปริมาณมาก ยางคงรูปที่ได้จึงมีความยืดหยุ่น สมบัติเชิงกลและสมบัติเชิง พลาวัตที่ไม่ดี ดังนั้นการบดยางจึงควรทำเท่าที่จำเป็น (ใช้เวลาให้สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้) เพราะนอกจาก จะทำให้ยางคงรูปที่ได้มีสมบัติที่ดีแล้ว ยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตอีกด้วย



รูปที่ 2.5 เครื่องรีดแบบสองลูกกลิ้ง [17]

การผสมเคมีอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ยางที่มีคุณภาพสูงและสม่ำเสมอ นั้น ผู้ผสมจำเป็นต้องจัดลำดับการเติมสารเคมีต่างๆ ลงไปในเครื่องผสมอย่างถูกต้อง หลักการโดยทั่วไปของ การเติมสารเคมี คือ หลังจากการบดย่อยยางให้นิ่มก็จะเติมสารเคมีหรือองค์ประกอบที่ผสมเข้าไปใน เนื้อยางได้ยากก่อน เช่น เขม่าดำ หรือซิลิกา เพราะในช่วงนี้อุณหภูมิในการผสมยังต่ำ ทำให้ยางมี ความหนืดสูง แรงกระทำเชิงกลหรือแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในระหว่างการผสมจึงมีค่าสูง ซึ่งจะส่งผลทำให้ สารตัวเติมดังกล่าวแตกตัวและกระจายตัวในเนื้อยางได้ดี จากนั้นจึงเติมสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรงและ น้ำมันตามลงไป ส่วนสารเคมีที่แนะนำให้เติมในลำดับสุดท้าย คือ สารตัวเร่งปฏิกิริยา กำมะถัน และ สารป้องกันยางตาย ยางที่ได้หลังจากที่ผสมสารเคมีต่างๆ เรียบร้อยแล้วจะเรียกว่า ยางคอมพาวด์ (Rubber compound)

ตารางที่ 2.2 แสดงลำดับของการผสมสารเคมีโดยทั่วไป [13]

บดยางให้ نرم	ยางธรรมชาติจะใช้ระยะเวลาในการบดนานกว่ายางสังเคราะห์ เพราะยางธรรมชาติ มีความหนืดเริ่มต้นสูงกว่า
เติมซิงก์ออกไซด์ กรดสเตียริก และสารป้องกันการเสื่อมสภาพ	ถ้าบดยาง NBR ก็เติมกำมะถันในขั้นตอนนี้ เพราะกำมะถันละลายและกระจายตัวในยาง NBR ได้ยาก
1/2 หรือ 1/4 ของสารตัวเติม	การแบ่งใส่สารตัวเติมเสริมแรงเป็น 2 ช่วง ดังกล่าวนิยมใช้ในกรณี ที่ต้องเติมสารตัวเติมเสริมแรงในปริมาณมาก แต่ถ้าต้องการเติมสารตัวเติมเสริมแรงในปริมาณที่ไม่สูงมากนัก (เช่น < 30 phr) ก็สามารถเติมสารตัวเติมทั้งหมดในครั้งเดียวได้
สารตัวเติมส่วนที่เหลือและน้ำมัน	
กำมะถันและสารตัวเร่งปฏิกิริยา	ต้องควบคุมไม่ให้อุณหภูมิของการผสมสูงเกินไป
รีดยางให้เป็นแผ่น	ปรับความหนาของแผ่นยางให้เหมาะสมสำหรับการนำไปทดสอบและขึ้นรูป

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นว่าได้มีการเสนอแนะให้เติมซิงก์ออกไซด์ กรดสเตียริก และสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (ถ้ามี) ลงไปในช่วงต้นของการผสมต่างๆ ที่สารเคมีเหล่านี้ก็ผสมเข้ากับยางได้ง่าย ซึ่งโดยหลักการแล้วก็น่าที่จะสามารถเติมลงไปในช่วงท้ายของการผสมได้ แต่สาเหตุสำคัญที่ต้องเติมสารเคมีเหล่านี้ลงไปในช่วงต้นๆ ของการผสมก็เพราะว่าซิงก์ออกไซด์จะเข้าทำปฏิกิริยากับกรดสเตียริกเกิดเป็นซิงก์สเตียเรตที่สามารถละลายเข้าไปในยางได้ จึงส่งผลทำให้ความหนืดของยางลดต่ำลง ยางก็จะสามารถไหลและโอบล้อมสารตัวเติมต่างๆ ที่จะเติมลงไปในขั้นตอนต่อไปได้ง่ายยิ่งขึ้น ส่วนสาเหตุที่ต้องเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลงไปในช่วงต้นนั้นก็เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเสื่อมสภาพมากเกินไป (จากอุณหภูมิที่สูงขึ้น) ในระหว่างกระบวนการผสมนั่นเอง

สำหรับการผสมเคมีที่มีการใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณมากนั้น ผู้ผสมควรทำการเติมซิงก์ออกไซด์ในช่วงท้ายของการผสม เพราะบนพื้นผิวของซิลิกามีหมู่ไฮดรอกซิล (Si-OH) อยู่ในปริมาณมาก ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลเหล่านี้ สามารถดูดซับซิงก์ออกไซด์หรือสารประกอบเชิงซ้อนของซิงก์ได้ ดังนั้นหากผู้ผสมทำการเติมซิงก์ออกไซด์ลงไปในช่วงต้นๆ ของการผสม ซิงก์ออกไซด์บางส่วนจะถูกดูดซับไว้บนพื้นผิวของซิลิกา ซึ่งจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาครูปของยางลดลง

2.1.11 การขึ้นรูปยางและการคงรูปยาง (Rubber forming and vulcanization) [13]

การขึ้นรูปเป็นขั้นตอนหลังจากการผสม ยางคอมพาวด์ที่ได้จะต้องถูกนำไปขึ้นรูปให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่างๆ ตามความต้องการก่อนที่จะนำไปคงรูปต่อไป

โดยทั่วไป การขึ้นรูปยางคอมพาวด์ให้เป็นผลิตภัณฑ์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 เทคนิคใหญ่ๆ ได้แก่ การใช้แม่พิมพ์ (Moulding) การอัดรีด (Extrusion) และการใช้เครื่องรีดแบบหลายลูกกลิ้ง หรือที่เรียกว่าเครื่องคาเลนเดอร์ (Calender) ปัจจัยหลักที่เป็นตัวกำหนดเทคนิคการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางก็คือ รูปร่างของผลิตภัณฑ์นั่นเอง ตัวอย่างเช่น สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างคงที่ (เมื่อมองในแนวภาพตัดขวาง) และมีความยาวมากๆ เช่น ท่อยางหรือยางขอบกระจักรรถยนต์ ก็จำเป็นต้องใช้เทคนิคการขึ้นรูปด้วยการอัดรีด แต่สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นเรียบและมีขนาดใหญ่และยาว เช่น สายพานลำเลียงก็ควรเลือกใช้เทคนิคการขึ้นรูปด้วยเครื่องคาเลนเดอร์ เป็นต้น

ในบางกรณีการขึ้นรูปและการคงรูปยางอาจเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนเดียวกันเช่นในกรณีของการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ แต่ในบางกรณีการขึ้นรูปและการคงรูปอาจแยกออกจากกันอย่างชัดเจนดังเช่นในกรณีของการขึ้นรูปด้วยการอัดรีดหรือการใช้เครื่องคาเลนเดอร์

การใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปยาง เป็นการขึ้นรูปยางพร้อมๆ กับการคงรูปโดยอาศัยความร้อนและแรงอัด การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์เป็นวิธีการที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์ยางส่วนใหญ่ไม่ว่าจะเป็นยางโอริง ประเก็น ยางรองแท่นเครื่อง พื้นรองเท้า หรือแม้แต่ยางล้อรถยนต์ ก็ล้วนแล้วแต่ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ทั้งสิ้น การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ก่อนที่จะนำยางไปใส่ลงในแม่พิมพ์เพราะความร้อนจากแม่พิมพ์จะทำให้ยางมีความหนืดต่ำลง ยางจึงไหลเต็มแม่พิมพ์ได้ง่ายยิ่งขึ้น และเมื่อยางไหลเต็มแม่พิมพ์แล้วความร้อนจากแม่พิมพ์ก็จะทำให้ยางเกิดปฏิกิริยา คงรูปต่อไป แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปยางในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายแบบ ได้แก่ แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression mould) แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด (Transfer mould) และแม่พิมพ์แบบฉีด (Injection mould) เป็นต้น การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression mould) เป็นวิธีการขึ้นรูปที่ใช้กันมากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรมเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบอื่นๆ เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ต้องลงทุนทางด้านเครื่องจักรสูง เพราะทั้งเครื่องกดอัดและแม่พิมพ์มีราคาไม่สูงมากนัก เครื่องกดอัดที่นิยมใช้ได้แก่ เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก ดังแสดงในรูปที่ 2.6

แม่พิมพ์แบบกดอัด เป็นแม่พิมพ์แบบง่าย ราคาถูก ลักษณะโดยทั่วไปของแม่พิมพ์แบบกดอัดประกอบด้วยแม่พิมพ์ 2 ส่วนคือ แม่พิมพ์ส่วนบน (Lid) และแม่พิมพ์ส่วนล่าง (Base) แม่พิมพ์ส่วนล่างจะมีช่องเป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์เรียกว่า แม่พิมพ์ (Cavity) ซึ่งเวลาขึ้นรูปยางก็จะนำยางคอมพาวด์ใส่ลงในแม่พิมพ์นี้ จากนั้นจึงนำแม่พิมพ์ส่วนบนมาปิดทับด้านบน ตัวสลัก (Pin) ที่ติดอยู่ที่แม่พิมพ์ส่วนบนจะช่วยเป็นไกด์นำทางเพื่อให้แม่พิมพ์ส่วนบนและส่วนล่างปิดทับกันอย่างแนบสนิท และช่วยล็อกไม่ให้แม่พิมพ์ส่วนบนเกิดการเคลื่อนตัวในแนวระนาบในขณะที่ได้รับแรงกดอัด หลังจาก

นั่นก็จะนำแม่พิมพ์ไปวางในเครื่องกดอัด เมื่อให้แรงดันแก่แม่พิมพ์อย่างคอมพิวเตอร์ก็จะถูกบังคับให้ลงจนเต็มเข้าของแม่พิมพ์และความร้อนจากแม่พิมพ์ก็จะทำให้ยางเกิดการคงรูป



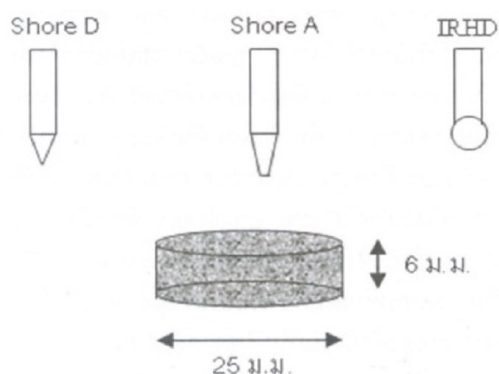
รูปที่ 2.6 เครื่องกดอัดไฮดรอลิก [17]

2.1.12 การทดสอบสมบัติของยาง [13]

1) การทดสอบวัดความแข็ง (Hardness test)

ความแข็งเป็นสมบัติพื้นฐานของยาง ซึ่งมักจะใช้ร่วมกับสมบัติแรงดึงในการกำหนดคุณภาพของยาง ความแข็งของยางหมายถึง ความต้านทานของพื้นผิวต่อการทะลุทะลวงของตัวกดที่มีขนาดเฉพาะและภายใต้แรงกดที่กำหนด

หน่วยที่ใช้สำหรับวัดความแข็งของยางมีอยู่ 2 หน่วยคือ IRHD (International Rubber Hardness Degree) และชอร์ (Shore unit) ซึ่งการวัดความแข็งในหน่วย IRHD นั้นจะใช้ลูกกลมแข็ง (Rigid ball) แทนตัวกดและแรงกดจะมาจากน้ำหนักที่คงที่ ส่วนเครื่องวัดความแข็งที่ให้หน่วยชอร์นั้นเรียกว่า เครื่องดูโรมิเตอร์ (Durometer) ซึ่งมีหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบชอร์เอ (Shore A) และแบบชอร์ดี (Shore D) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ขึ้นทดสอบและหัวกดแบบต่างๆ สำหรับวัดค่าความแข็ง [13]

2) การทดสอบสมบัติการดึง (Testing of tensile properties)

สมบัติการดึงที่นิยมใช้ในการควบคุมคุณภาพของยาง ได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) และโมดูลัส (modulus)

สมบัติการดึงของยางสามารถวัดได้โดยการดึงขึ้นทดสอบมาตรฐานจนขาดด้วยอัตราเร็วในการดึงคงที่ เครื่องที่ใช้ทดสอบส่วนใหญ่จะเรียกว่า เครื่อง Universal testing machine หรือ Tensile testing machine ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ในระหว่างการดึง เครื่องจะทำการวัดและบันทึกค่าแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะการยืดตัวของยางแล้วนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณและพล็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด พร้อมทั้งคำนวณหาความทนทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าโมดูลัสที่ความเครียดต่างๆ

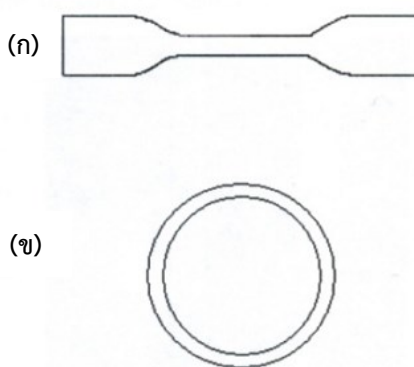


รูปที่ 2.8 เครื่อง Universal testing machine [17]

โดยทั่วไปขั้นตอนทดสอบที่จะนำมาทดสอบควรได้รับการคงรูปมาแล้วไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าขั้นตอนนั้นได้รับการคงรูปอย่างสมบูรณ์แล้ว อย่างไรก็ตามไม่ควรเก็บขั้นตอนไว้นานเกิน 28 วันหลังการคงรูป (ยกเว้นในกรณีที่เตรียมขั้นตอนทดสอบจากผลิตภัณฑ์) สำหรับรูปร่างของขั้นตอนมาตรฐานแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ รูปดัมเบลล์ และรูปวงแหวน ดังแสดงในรูปที่ 2.9

สมบัติการดึงเป็นสมบัติพื้นฐานที่ใช้ในการควบคุมการผลิต เนื่องจากค่าความทนทานต่อแรงดึงเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงได้ง่ายตามการเปลี่ยนแปลงของยาง อันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนสูตรการผสมเคมี หรือการเปลี่ยนแปลงทางกระบวนการผลิต นอกจากนี้สมบัตินี้ยังนิยมใช้เป็นตัวชี้วัดความทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากสิ่งเร้าต่างๆ เช่น ความร้อน ของเหลว ก๊าซ สารเคมี โอโซน สภาพอากาศ ฯลฯ โดยทั่วไปการทดสอบสมบัติความทนทานต่อการเสื่อมสภาพสามารถกระทำได้โดยการวัดสมบัติการดึงของยางทั้งก่อนและหลังการสัมผัสกับสิ่งเร้าดังกล่าว ซึ่งถ้าสมบัติแรงดึงเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยก็แสดงว่ายางมีความทนทานต่อสิ่งเร้านั้นได้ดี และยางควรจะมียุการใช้งานที่ยาวนานภายใต้สิ่งเร้าดังกล่าว ความต้านทานต่อแรงดึงของยางจะขึ้นกับสิ่งต่างๆ เหล่านี้

- โครงสร้างของยาง
- ชนิดและปริมาณของสารตัวเติม
- ปริมาณพลาสติกไซเซอร์
- ระบบการวัลคาไนซ์



รูปที่ 2.9 รูปร่างของขั้นตอนสำหรับการทดสอบสมบัติการดึง (ก) รูปดัมเบลล์ และ (ข) รูปวงแหวน

2.2 การทบทวนวรรณกรรม

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเส้นใยธรรมชาติมาผสมกับพอลิเมอร์พบว่า ส่วนใหญ่จะเป็นการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบที่นำเส้นใยธรรมชาติมาผสมกับพลาสติก และมีงานวิจัยจำนวนไม่มากนักที่ได้ทำการศึกษาสมบัติและการผลิตวัสดุเชิงประกอบระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับยางธรรมชาติ จากการสืบค้นสามารถสรุปพอเป็นสังเขปในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

Pranut และคณะ [18] ได้ศึกษาถึงการใช้เส้นใยเส้นใยผักตบชวาเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ และมีการใช้สารคู่ควบประเภทไฮโดรเจน Aminopropyl Triethoxy Silane ร่วมด้วย พบว่าการเติมสารคู่ควบชนิดนี้ลงไปในวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติกับเส้นใยผักตบชวาเพียง 0.5% โดยน้ำหนัก มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายตัวของอนุภาคเส้นใยผักตบชวาที่ดีขึ้นและปรับปรุงสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย เช่นเดียวกัน H. Ismail [19], Goettler และคณะ [20] และ Setua และคณะ [21] ได้มีการนำเส้นใยธรรมชาติชนิดต่างๆ เช่น เส้นใยจากปาล์ม เส้นใยธรรมชาติจากไม้ไผ่ และเส้นใยไหม มาผสมกับทั้งที่เป็นยางธรรมชาติและยางธรรมชาติผสมกับพลาสติก และใช้สารคู่ควบประเภท Phenol Formaldehyde และ Hexa-Methylenetetramine จากนั้นได้ทำการศึกษาสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติการขึ้นรูปของยาง (เช่น อัตราการคงตัว และระยะเวลาการคงตัว) สมบัติทางกล (การต้านทานแรงดึง ความแข็งแรง สมบัติด้านความล้า) สมบัติเชิงกลแบบต่อเนื่อง (Dynamic Mechanical Properties) และสมบัติทางโครงสร้างจุลภาค นอกจากนี้ยังศึกษาถึงคุณภาพการยึดเกาะระหว่างยางธรรมชาติกับเส้นใยธรรมชาติ โดยพบว่า การเติมเส้นใยธรรมชาติ (เส้นใยไหม ไม้ไผ่ และไม้ปาล์ม) ลงในสารประกอบยาง ส่งผลให้เวลาการไหมก่อนเริ่มคงสภาพ (Scorch Time) เพิ่มขึ้น และสมบัติทางกลโดยรวมเพิ่มสูงขึ้น โดยสมบัติเหล่านี้ยังดีขึ้นเมื่อมีการเติมสารคู่ควบ (Coupling agent) เข้าร่วมด้วย

ในขณะเดียวกันงานวิจัยจำนวนมากได้พยายามนำสารเติมแต่ง (Filler) มาใช้เป็นส่วนผสมในยางธรรมชาติ ยกตัวอย่างเช่น เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร และคณะ [22] ทดลองเสริมแรงยางธรรมชาติด้วยซิลิกาที่เตรียมได้จากแกลบแล้วพบว่า การนำผงซิลิกาที่เตรียมจากแกลบนี้ไปใช้เป็นสารเสริมแรงในยางธรรมชาติแล้วทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้แก่ ความทนแรงดึง ความต้านทานการฉีกขาด ความต้านทานการสึกหรอ การคืนตัว และการกระดอน เทียบกับผลิตภัณฑ์ที่เสริมแรงด้วยซิลิกาทางการค้าพบว่า ยางธรรมชาติสูตรที่ใส่ซิลิกาจากแกลบมีสมบัติเชิงกลโดยทั่วไปดีกว่า รุติพงศ์ ตั้งฐานานุศักดิ์ [23] ได้ศึกษาผลของสารตัวเติม Silica, Clay, CaCO_3 , Talcum และ MgO ต่อความเสียดทานและการสึกหรอของยางธรรมชาติ จากการทดสอบความเสียดทานของยางที่ใส่สารตัวเติม Silica จะมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงที่สุดโดยเทียบกับยางที่มีความแข็งเท่ากัน และการทดสอบการสึกหรอพบว่า ยางที่ใช้ Silica เป็นสารตัวเติมจะทำให้ยางมีความต้านทานการสึกหรอดีที่สุด ส่วนยางที่ใช้ CaCO_3 จะมีความต้านทานการสึกหรอด้อยมากที่สุด เมื่อยางมีความแข็งเพิ่มขึ้นความ

ต้านทานการสึกหรอจะลดลง ยกเว้นการใช้ Silica จะมีความต้านทานการสึกหรอที่สูงขึ้นเมื่อความแข็งเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกัน ศิรินทร ทองแสง และคณะ [24] ได้นำเถ้าลอยในประเทศไทยมาใช้เป็นสารเสริมแรงในสารประกอบยางธรรมชาติและเปรียบเทียบกับซิลิกาเกรดการค้า จากการทดลองพบว่า เถ้าลอยสามารถนำมาใช้เป็นสารเสริมแรงในยางธรรมชาติได้ และสามารถทดแทนซิลิกาเกรดการค้าได้ในปริมาณซิลิกา 30 ส่วนในร้อยส่วน ซึ่งให้สมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด และค่าความแข็งเทียบเท่ากัน และยางธรรมชาติที่เติมเถ้าลอยยังสามารถรักษาสมบัติความเป็นอียาสติกของยางดีกว่าซิลิกาเกรดการค้า

นอกจากนี้จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบงานวิจัยที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ด้วย ซึ่งเป็นการพัฒนาสมบัติของวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติกับผงซีลี้อยไม้ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หลังคายางพารา โดยพบว่า สามารถผสมยางธรรมชาติกับผงซีลี้อยไม้ได้ภายใต้เวลาและอุณหภูมิที่กำหนดในการขึ้นรูปของวัสดุเชิงประกอบโดยพบว่า ปริมาณของผงซีลี้อยไม้ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งแรง ความแข็งเพิ่มขึ้น แต่มีค่าความแข็งแรง ความทนทานต่อการฉีกขาด และการยึดตัวลดลง เช่นเดียวกันยังพบด้วยว่า ปริมาณการใช้ผงซีลี้อยไม้ที่เหมาะสม คือ 40-80 ส่วนในยาง 100 ส่วน เนื่องจากให้ค่าความแข็งแรงและความแข็งผิวชิ้นงานที่ดี ตลอดจนสามารถขึ้นรูปได้ง่าย [25] อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้จะต่างกับงานวิจัยในอดีต คือ เป้าของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการพัฒนา คือ ของเล่นสำหรับเด็ก ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็ก วัสดุที่นำมาใช้ผลิตต้องปราศจากสารพิษและต้องไม่เกินค่ามาตรฐาน แต่จากงานวิจัยในอดีต ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการพัฒนา คือ หลังคา ทำให้วัสดุหรือสารเคมีที่นำมาใช้ไม่ได้คำนึงถึงความเป็นพิษที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์ แต่พยายามพัฒนาให้หลังคายางพารามีสมบัติที่เทียบเท่าหลังคาที่จำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นเมื่อมีการนำวัสดุหรือสารเคมีชนิดอื่นๆ มาใช้เป็นส่วนผสม จำเป็นอย่างยิ่งต้องทำการวิจัยใหม่เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของปริมาณสารเคมีและผงไม้ที่เติมเป็นส่วนผสม ตลอดจนหาปริมาณการเติมที่เหมาะสม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติที่ผ่านมาตรฐานของเล่นเด็ก

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึง วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือทดสอบ เครื่องจักร การออกแบบการทดลอง กรรมวิธีขึ้นรูป และวิธีการทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพ

3.1 วัสดุ และสารเคมี

3.1.1 ยางพาราแท่ง STR 5L จัดซื้อจาก บริษัท จี เอส พี โปรดักส์ จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.1.2 ซีลี้อยไม้ยางพารา จากโรงงานแปรรูปของเล่นไม้ยางพาราในจังหวัดตรัง (ประเทศไทย) ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3.1.3 สารซิงค์ออกไซด์ จัดซื้อจาก Thai-lysaght Company Limited ดังแสดงในรูปที่ 3.3(ก)

3.1.4 สารสเตียริกเอสิช จัดซื้อจาก บริษัท Palm-oleo Sdn. Bhd. ดังแสดงในรูปที่ 3.3(ข)

3.1.5 สาร Wingstay-L จัดซื้อจาก บริษัท Omnova Solutions ดังแสดงในรูปที่ 3.3(ค)

3.1.6 สาร CBS จัดซื้อจาก บริษัท Chemistry Corporation Limited ดังแสดงในรูปที่ 3.3(ง)

3.1.7 สารกำมะถัน จัดซื้อจาก Miwan Chemicals CO., LTD ดังแสดงในรูปที่ 3.3(จ)

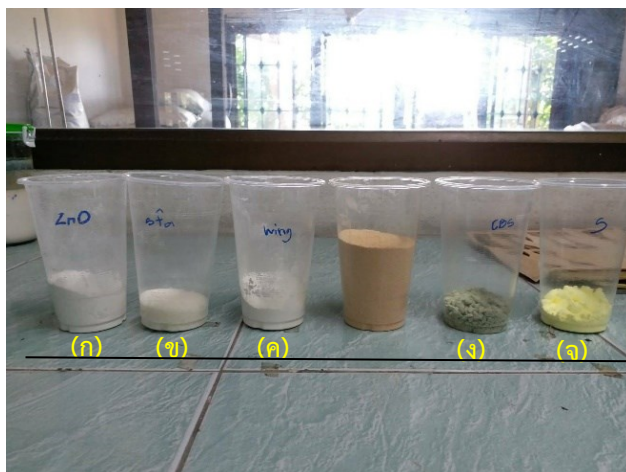
3.1.8 สีมัสเตอร์แบทช์ (Masterbatch) จัดซื้อจากบริษัท จี เอส พี โปรดักส์ จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.1 ยางพาราแท่ง STR 5L



รูปที่ 3.2 ขี้เถ้าเฒ่าอย่างพารา



รูปที่ 3.3 สารเคมี (ก) สารซิงค์ออกไซด์ (ข) สารสเตียริกเอสิช (ค) สาร Wingstay-L (ง) สาร CBS และ (จ) สารกำมะถัน



รูปที่ 3.4 สีมาสเตอร์แบทช์

3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องจักร

3.2.1 เครื่องร่อนคัดแยกขนาด ยี่ห้อ Ro-tap ผลิตโดยบริษัท W.S. Tyler (Ohio, U.S.A.) ใช้สำหรับคัดแยกขนาดซีลี้อย่างพารา ดังแสดงในรูปที่ 3.5



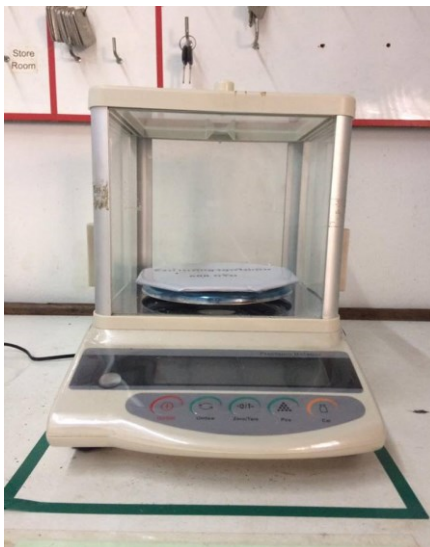
รูปที่ 3.5 เครื่องร่อนคัดแยกขนาด

3.2.2 ตู้อบความร้อน รุ่น ED 56 ผลิตโดยบริษัท BINDER GmbH (Germany) ใช้สำหรับอบลดความชื้นของผงซีลี้อย่างพารา ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ตู้อบความร้อน

3.2.3 เครื่องชั่งดิจิตอล ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักสารเคมี และน้ำหนักชิ้นงานทดสอบเพื่อทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ



รูปที่ 3.7 เครื่องชั่งดิจิตอล

3.2.4 เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ใช้สำหรับผสมยางกับสารเคมีและซีลี้อยู่ไมยางพารา



รูปที่ 3.8 เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง

3.2.5 เครื่องอัดร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ใช้สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ ตัวเครื่องประกอบไปด้วยส่วนของแม่พิมพ์อัดร้อน ระบบไฮดรอลิก และระบบควบคุม



รูปที่ 3.9 เครื่องอัดร้อน (Hot compression machine)

3.2.6 แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปแผ่นชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 สำหรับประกบเพื่ออัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลางที่ใส่แผ่นวัสดุเชิงประกอบไว้



รูปที่ 3.10 แม่พิมพ์แผ่นบนและแม่พิมพ์แผ่นล่าง

3.2.7 เครื่องทดสอบการวัลคาร์ไนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ใช้สำหรับวัดเวลาการวัลคาร์ไนต์ของยางคอมปาวด์ และวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่ไม่ยางพารา



รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบการวัลคาร์ไนต์

3.2.8 เวอร์เนียดิจิตอล ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ใช้สำหรับวัดขนาดของชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.12 เวอร์เนียดิจิตอล

3.2.9 เครื่องทดสอบสมบัติทางกลเอนกประสงค์ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ใช้สำหรับทดสอบสมบัติการดึงของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่ไมยางพารา



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบสมบัติทางกลเอนกประสงค์

3.2.10 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Shore A ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ใช้สำหรับวัดความแข็งของชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.14 อุปกรณ์ทดสอบความแข็งแบบ Shore A

3.2.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM โมเดล Quanta 400, FEI Company, Oregon, USA) เป็นเครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้สำหรับ ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของตัวอย่าง โดยมีกำลังขยายสูงสุด 300,000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

3.2.12 แม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.16 ใช้สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ตัวอย่าง เพื่อทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพตามข้อกำหนดของมาตรฐานของเล่นเด็ก



รูปที่ 3.16 แม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง

3.2.13 แม่พิมพ์ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ใช้สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เรือของเล่นต้นแบบ (Prototype)

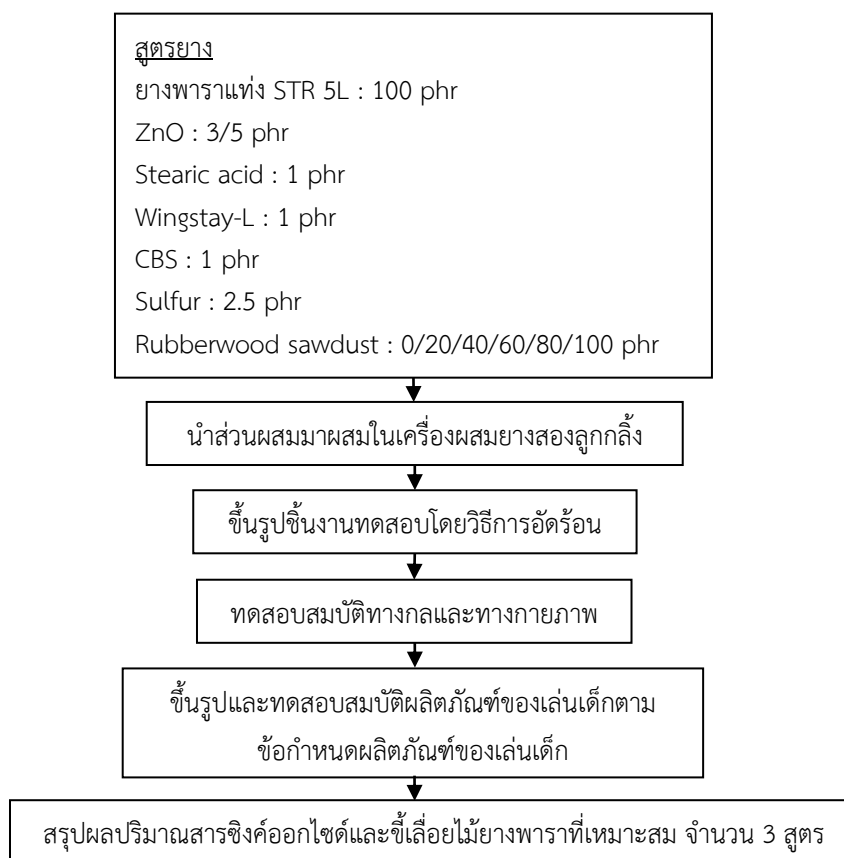


รูปที่ 3.17 แม่พิมพ์ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบ

3.3 แผนการดำเนินงาน

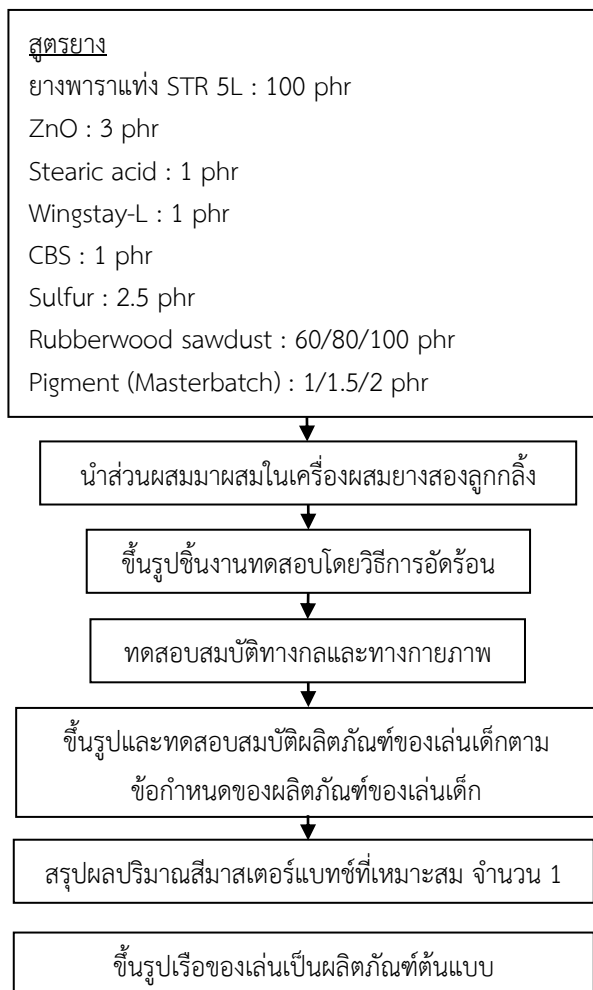
ในงานวิจัยนี้มีแผนการดำเนินงานประกอบด้วย 2 ระยะ ดังแสดงในรูปที่ 3.18 และ 3.19

ระยะที่ 1



รูปที่ 3.18 แผนผังการดำเนินงานวิจัยระยะที่ 1

ระยะที่ 2



รูปที่ 3.19 แผนผังการดำเนินงานวิจัยระยะที่ 2

3.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.4.1 จัดหาวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินงานวิจัย

1) จัดหาวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุเชิงประกอบ เช่น ยางพาราแท่ง STR 5L ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซีลี้อยไม้ยางพารา ดังแสดงในรูปที่ 3.2 สารเคมีต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และสีมาสเตอร์แบทช์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4

2) จัดหาและเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย เช่น เครื่องร่อนคัดแยกขนาด ดังแสดงในรูปที่ 3.5 แม่พิมพ์ขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 3.10 อุปกรณ์ทดสอบความแข็งแบบ Shore A ดังแสดงในรูปที่ 3.14 เป็นต้น

3.4.2 ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบของงานวิจัยใน **ระยะที่ 1** เพื่อหาปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลี้อยไม้ยางพาราที่เหมาะสม

1) นำยางพาราแท่ง STR 5L มาย่อยให้มีขนาดเล็กลงที่สามารถผสมในเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 การย่อยลดขนาดยางพาราแท่ง STR 5L

2) นำขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ได้จากโรงงานแปรรูปของเล่นไม้มาแยกขนาดโดยใช้เครื่องร่อน ดังแสดงในรูปที่ 3.21 และร่อนให้ขี้เลื่อยผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช จากนั้นนำขี้เลื่อยที่ผ่านตะแกรงไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และทำการจัดเก็บโดยการซีลเพื่อรอการผสม



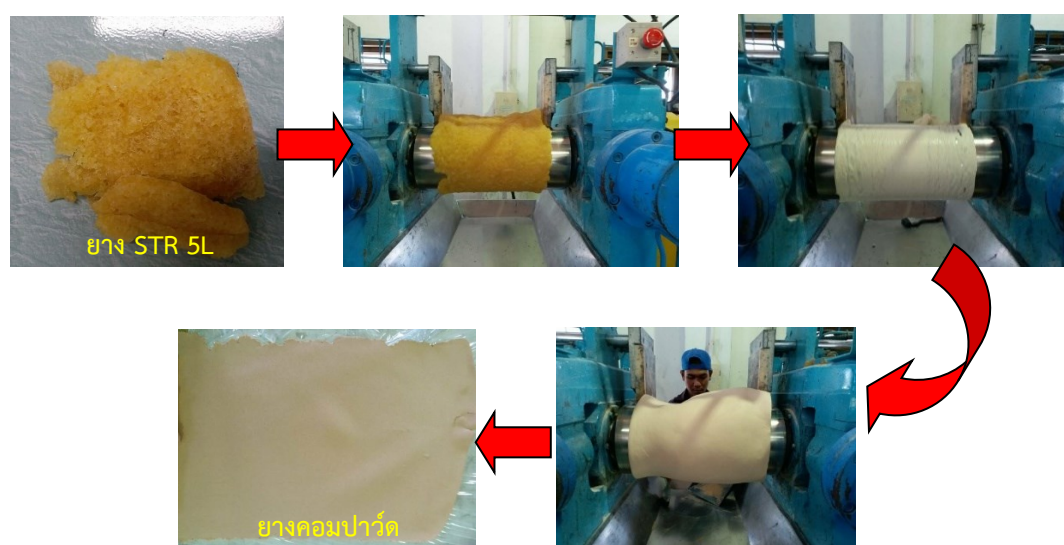
รูปที่ 3.21 การเตรียมขี้เลื่อยไม้ยางพารา

3) ผสมยางธรรมชาติกับสารเคมีและซีลี้อย่างพาราตามปริมาณที่กำหนดดังตารางที่ 3.1 ด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.22 โดยมีขั้นตอนดังนี้

- นำยางพาราแท่ง STR 5L เข้าไปในเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง เป็นเวลา 3 นาที
- ผสมสาร ZnO เข้าไปเป็นเวลา 1 นาที
- ผสมสาร Stearic acid เข้าไปเป็นเวลา 1 นาที
- ผสม Wingstay-L เข้าไปเป็นเวลา 1 นาที
- ผสมซีลี้อย่างพารา เข้าไปเป็นเวลา 5 นาที
- ผสม Sulfur และ CBS เข้าไปเป็นเวลา 2 นาที
- ตัดสลับไปมา และม้วนยางผสมสารเคมีบนลูกกลิ้ง เพื่อให้สารเคมีกระจายตัว เป็นเวลา 2 นาที

ตารางที่ 3.1 สูตรยางและปริมาณสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยระยะที่ 1

สารเคมี	phr	phr
ยาง STR 5L	100	100
ZnO	3	5
Stearic acid	1	1
Wingstay-L	1	1
Rubberwood sawdust	0/20/40/60/80/100	0/20/40/60/80/100
CBS	1	1
Sulfur	2.5	2.5



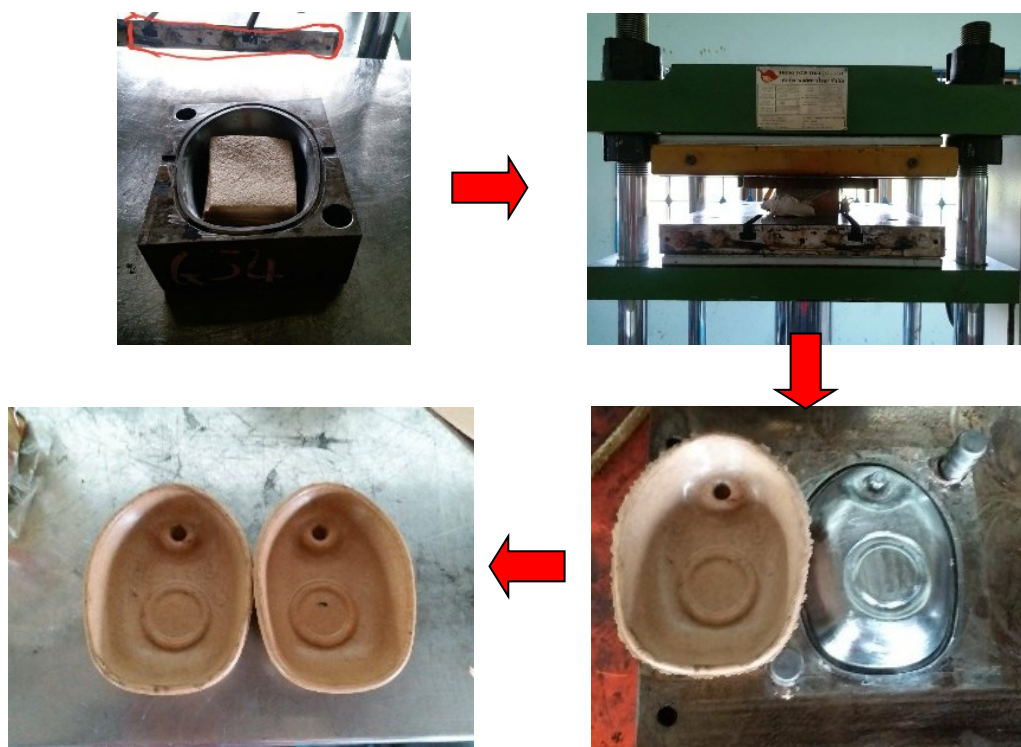
รูปที่ 3.22 การผสมยางธรรมชาติกับสารเคมีและซีลี้อย่างพารา

4) นำยางคอมปาว์ดมาอัดเป็นแผ่นชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องอัดรีด ที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 150°C และแรงดัน 1000 psi เป็นเวลา 10 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การอัดขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้เป็นแผ่นชิ้นงานตัวอย่าง

5) นำยางคอมปาว์ดมาอัดเป็นของเล่นเด็กตัวอย่าง เพื่อทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐานของเล่นเด็กด้วยเครื่องอัดรีด ที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 150°C และแรงดัน 1000 psi เป็นเวลา 10 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การอัดขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้เป็นของเล่นเด็กตัวอย่าง

3.4.3 ทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพ

1) นำยางคอมปาวด์ที่ได้ไปศึกษาลักษณะการคงรูปด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานกว้าง (ODR) ดังแสดงในรูปที่ 3.25 โดยนำชิ้นทดสอบมีปริมาตรประมาณ 9 ลูกบาศก์เซนติเมตร ไปวางไว้บนโรเตอร์และกดปุ่มเริ่มทดสอบ ซึ่งอุณหภูมิของการทดสอบเท่ากับ 150 °C และทดสอบเป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 3.25 การทดสอบเวลาวัลคาไนซ์ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีย้อยไม้

2) การทดสอบสมบัติการดึง ดังแสดงในรูปที่ 3.26 ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D412 โดยนำแผ่นชิ้นงานยางตัวอย่างมาตัดให้เป็นรูปดัมเบลล์ขนาดความยาว 115 มิลลิเมตร กว้าง 6 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำชิ้นทดสอบใส่เข้าที่จับของเครื่องทดสอบสมบัติทางกลอเนกประสงค์ โดยใช้อัตราการดึงคงที่ 500 มิลลิเมตรต่อนาที



ชิ้นงานทดสอบ

รูปที่ 3.26 การทดสอบสมบัติการดึงของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีย้อยไม้

3) การทดสอบความแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 3.27 ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D2240 ซึ่งเป็นการวัดความแข็งแบบ Shore Durometer โดยใช้ชิ้นทดสอบที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร และนำไปทดสอบด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบ Shore Durometer โดยใช้สปริงเป็นตัวกด (Spring load) ให้หัวกดอย่างค้ำไประมาณ 15 วินาที แล้วจึงอ่านค่าความแข็งที่ได้มีหน่วยเป็น Shore A



ชิ้นงานทดสอบ

รูปที่ 3.27 การทดสอบความแข็งของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลียไม้

3.4.4 ทดสอบสมบัติผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กตัวอย่าง

1) การทดสอบการดึง (Tension test) ดังแสดงในรูปที่ 3.28 ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM F963-17 โดยนำของเล่นเด็กตัวอย่างจับเข้ากับอุปกรณ์วัดแรงดึง จากนั้นออกแรงดึงของเล่นเด็กจนกระทั่งอุปกรณ์วัดแรงดึงสามารถวัดแรงได้ 9.54 Kgf และดึงค้างไว้ 10 วินาที โดยผลลัพธ์ที่ได้ของเล่นเด็กตัวอย่างต้องไม่เกิดการฉีกขาดหรือเสียรูปถาวร จึงจะถือว่าผ่านมาตรฐานการทดสอบ



รูปที่ 3.28 การทดสอบการดึงของเล่นเด็กตัวอย่าง

2) การทดสอบการบิด (Torque test) ดังแสดงในรูปที่ 3.29 ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM F963-17 โดยนำของเล่นเด็กตัวอย่างจับเข้ากับอุปกรณ์วัดแรงบิด จากนั้นออกแรงบิดของเล่นเด็กจนกระทั่งอุปกรณ์วัดแรงบิดสามารถวัดแรงได้ 4.83 Kgf-cm. และบิดค้างไว้ 10 วินาที โดยผลลัพธ์ที่ได้ของเล่นเด็กตัวอย่างต้องไม่เกิดการฉีกขาดหรือเสียรูปถาวร จึงจะถือว่าผ่านมาตรฐานการทดสอบ



รูปที่ 3.29 การทดสอบการบิดของเล่นเด็กตัวอย่าง

3) การทดสอบการตกกระทบพื้น (Drop test) ดังแสดงในรูปที่ 3.30 ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM F963-17 โดยนำของเล่นเด็กตัวอย่างยกสูงขึ้นจากพื้น ที่ระดับความสูง 135 cm. จากนั้นปล่อยของเล่นเด็กตัวอย่างให้ตกกระทบพื้น ซึ่งปล่อยให้ของเล่นตกกระทบพื้นซ้ำจุดเดิมจำนวน 10 ครั้ง และผลลัพธ์ที่ได้ของเล่นเด็กตัวอย่างต้องไม่เกิดการแตกหรือเสียหาย จึงจะถือว่าผ่านมาตรฐานการทดสอบ



รูปที่ 3.30 การทดสอบการตกกระทบพื้นของเล่นเด็กต้นแบบ

4) การทดสอบการกระแทก (Impact test) ดังแสดงในรูปที่ 3.31 ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM F963-17 โดยนำของเล่นเด็กตัวอย่างวางบนพื้นราบ จากนั้นปล่อยลูกตุ้มทรงกระบอกที่มีน้ำหนัก 1 Kg. จากระดับความสูง 10 cm. ให้ตกกระทบกับของเล่นเด็ก จำนวน 1 ครั้ง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ของเล่นเด็กตัวอย่างต้องไม่เกิดการแตกหรือเสียหาย จึงจะถือว่าผ่านมาตรฐานการทดสอบ



รูปที่ 3.31 การทดสอบการกระแทกของเล่นเด็กต้นแบบ

3.4.5 สรุปผลหาปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมอย่างพาราที่เหมาะสม

จากการทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพ และการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักของแผ่นชิ้นงานตัวอย่าง สามารถสรุปและแสดงรายละเอียดผลการทดลองในผลกระทบปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมอย่างพาราได้ในบทที่ 4 ตลอดจนสรุปผลหาปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมอย่างพาราที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในการวิจัยระยะที่ 2

3.4.6 ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบของงานวิจัยใน **ระยะที่ 2** เพื่อหาปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ที่เหมาะสม

1) นำยางพาราแท่ง STR 5L มาย่อยให้มีขนาดเล็กลงที่สามารถผสมในเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.20

2) นำซีลีเนียมอย่างพาราที่ได้จากโรงงานแปรรูปของเล่นไม้มาแยกขนาดโดยใช้เครื่องร่อน ดังแสดงในรูปที่ 3.21 และร่อนให้ซีลีเนียมผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช จากนั้นนำซีลีเนียมที่ผ่านตะแกรงไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และทำการจัดเก็บโดยการซีลเพื่อรอการผสม

3) ผสมยางธรรมชาติกับสีมาสเตอร์แบทช์ สารเคมี และซีลี้อย่างพาราตามปริมาณที่กำหนดดังตารางที่ 3.2 ด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.22 โดยมีขั้นตอนดังนี้

- นำยางพาราแท่ง STR 5L เข้าไปในเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง เป็นเวลา 3 นาที
- ผสมสีมาสเตอร์แบทช์ เข้าไปเป็นเวลา 2 นาที
- ผสมสาร ZnO เข้าไปเป็นเวลา 1 นาที
- ผสมสาร Stearic acid เข้าไปเป็นเวลา 1 นาที
- ผสม Wingstay-L เข้าไปเป็นเวลา 1 นาที
- ผสมซีลี้อย่างพารา เข้าไปเป็นเวลา 5 นาที
- ผสม Sulfur และ CBS เข้าไปเป็นเวลา 2 นาที
- ตัดสลับไปมา และม้วนยางผสมสารเคมีบนลูกกลิ้ง เพื่อให้สารเคมีกระจายตัว เป็นเวลา 2 นาที

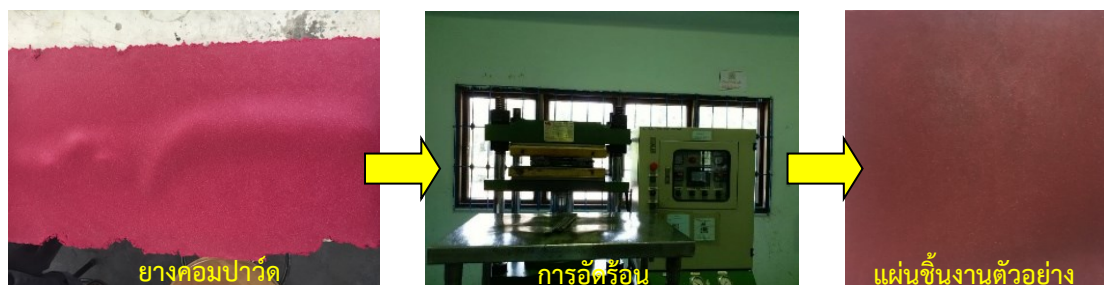
ตารางที่ 3.2 สูตรยางและปริมาณสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยระยะที่ 2

สารเคมี	phr
ยาง STR 5L	100
Pigment	1/1.5/2
ZnO	3
Stearic acid	1
Wingstay-L	1
Rubberwood sawdust	60/80/100
CBS	1
Sulfur	2.5



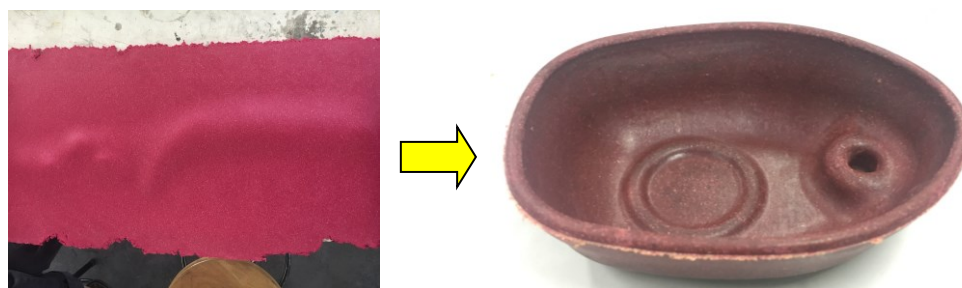
รูปที่ 3.32 การผสมยางธรรมชาติกับสีมาสเตอร์แบทช์ สารเคมี และซีลี้อย่างพารา

4) นำยางคอมปาว์ดมาอัดเป็นแผ่นชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องอัดรีด ที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 150°C และแรงดัน 1,000 psi เป็นเวลา 10 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 การอัดขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ที่มีการผสมสีเป็นแผ่นชิ้นงานตัวอย่าง

5) นำยางคอมปาว์ดมาอัดเป็นของเล่นเด็กตัวอย่าง เพื่อทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐานของเล่นเด็กด้วยเครื่องอัดรีด ที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 150°C และแรงดัน 1000 psi เป็นเวลา 10 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 การอัดขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ที่มีการผสมสีเป็นของเล่นเด็กตัวอย่าง

3.4.7 ทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพ

1) นำยางคอมปาว์ดที่ได้ไปศึกษาลักษณะการคงรูปด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานกว้าง (ODR) ดังแสดงในรูปที่ 3.25 โดยนำขึ้นทดสอบมีปริมาตรประมาณ 9 ลูกบาศก์เซนติเมตร ไปวางไว้บนโรเตอร์และกดปุ่มเริ่มทดสอบ ซึ่งอุณหภูมิของการทดสอบเท่ากับ 150°C และทดสอบเป็นเวลา 30 นาที

2) การทดสอบสมบัติการดึง ดังแสดงในรูปที่ 3.26 ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D412 โดยนำแผ่นชิ้นงานยางตัวอย่างมาตัดให้เป็นรูปดัมเบลล์ขนาดความยาว 115 มิลลิเมตร กว้าง 6 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำชิ้นทดสอบใส่เข้าที่จับของเครื่องทดสอบสมบัติทางกล อเนกประสงค์ โดยใช้อัตราการดึงคงที่ 500 มิลลิเมตรต่อนาที

3) การทดสอบความแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 3.27 ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D2240 ซึ่งเป็นการวัดความแข็งแบบ Shore Durometer โดยใช้ชิ้นทดสอบที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร และนำไปทดสอบด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบ Shore Durometer โดยใช้สปริงเป็นตัวกด (Spring load) ให้หัวกดยวบยาค้างไว้ประมาณ 15 วินาที แล้วจึงอ่านค่าความแข็งที่ได้มีหน่วยเป็น Shore A

3.4.8 ทดสอบสมบัติผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบ

1) การทดสอบการตกกระทบพื้น (Drop test) ดังแสดงในรูปที่ 3.30 เป็นการปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM F963-17 ซึ่งมีรายละเอียดการทดสอบดังขั้นตอนที่ 3.4.4-3)

2) การทดสอบการกระแทก (Impact test) ดังแสดงในรูปที่ 3.31 เป็นการปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM F963-17 ซึ่งมีรายละเอียดการทดสอบดังขั้นตอนที่ 3.4.4-4)

3) การทดสอบการแช่น้ำ เป็นการปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D570 ซึ่งชิ้นงานทดสอบมีขนาด 10 มม. × 20 มม. × 4.0 มม. ก่อนการทดสอบนำชิ้นงานตัวอย่างชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.1 กรัม จากนั้นชิ้นงานทดสอบถูกแช่ในน้ำ หลังจากครบเวลา 1, 4, 6, 13, 19 และ 20 วัน ชิ้นงานถูกหยิบขึ้นจากน้ำและถูกซับน้ำด้วยกระดาษทิชชู จากนั้นนำชิ้นงานชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักในแต่ละช่วงเวลา

3.4.9 สรุปผลหาปริมาณสีมาสเตอร์แบบซ์ที่เหมาะสม

จากการทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพ และการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักของแผ่นชิ้นงานตัวอย่าง สามารถสรุปและแสดงรายละเอียดผลการทดลองในผลกระทบปริมาณสีมาสเตอร์แบบซ์ได้ในบทที่ 4 ตลอดจนสรุปผลหาปริมาณสีมาสเตอร์แบบซ์ที่เหมาะสม สำหรับการนำไปใช้ผลิตของเล่นเด็กต้นแบบต่อไป

3.4.10 ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เรือของเล่นเด็กต้นแบบ

เมื่อทราบสูตรที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติและซีลี้อยู่ไม่ยั้งพาราบนพื้นฐานของสมบัติทางกลและทางกายภาพที่มีความสำคัญต่อการประยุกต์ใช้งานของเล่นเด็ก สูตรที่เหมาะสมที่ได้รับถูกนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เรือของเล่นเด็กต้นแบบโดยใช้แม่พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ซึ่งมีขั้นตอนการขึ้นรูปดังแสดงในบทที่ 4

3.4.11 คำนวณต้นทุนของยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติและซีลี้อยไม้ยางพารา

หลังจากได้สูตรของวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติและซีลี้อยไม้ยางพาราที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ผลิตของเล่นเด็กแล้ว ยางคอมปาวด์ในสูตรต่างๆ ที่มีความเป็นไปได้สำหรับการนำไปใช้ผลิตของเล่นเด็กถูกนำมาคำนวณต้นทุนวัตถุดิบและต้นทุนการผลิต ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในบทที่ 4

บทที่ 4

ผลการทดลอง

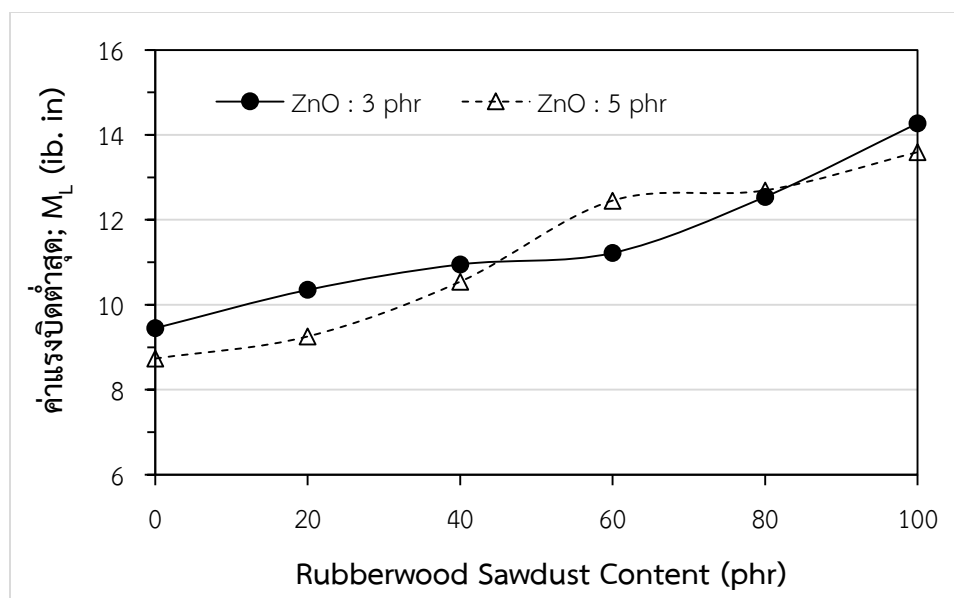
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองของงานวิจัยได้แก่ ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์ ซึ่เลื่อยไม้ยางพารา และสีมาสเตอร์แบทช์ต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบยางพารา ตลอดจนสมบัติผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบ

4.1 ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซึ่เลื่อยไม้ยางพาราต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบยางพารา

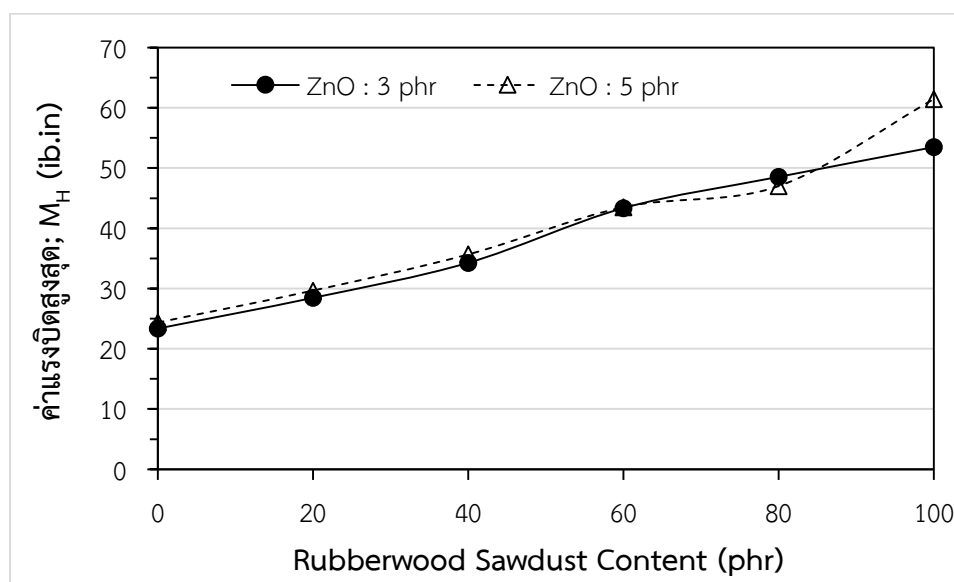
4.1.1 ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซึ่เลื่อยไม้ยางพาราต่อสมบัติการคงรูปของวัสดุเชิงประกอบยางพารา

ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซึ่เลื่อยไม้ยางพาราต่อค่าแรงบิดต่ำสุด (M_L) ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ค่าระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสุก และค่าระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบยางพาราแสดงในรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ปริมาณสารซิงค์ออกไซด์มีผลกระทบเล็กน้อยต่อค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด ค่าระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสุก และค่าระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซึ่เลื่อยไม้ยางพารา โดยพบว่า การเติมสารซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 3 phr ในยางคอมปาวด์และวัสดุเชิงประกอบยางพาราที่เสริมแรงด้วยซึ่เลื่อยไม้ยางพาราปริมาณ 20, 40 และ 100 phr ให้ค่าแรงบิดต่ำสุดมากกว่าการเติมสารซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 5 phr เช่นเดียวกันยังพบด้วยว่า การเติมสารซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 3 phr ในวัสดุเชิงประกอบยางพาราที่เสริมแรงด้วยซึ่เลื่อยไม้ยางพาราปริมาณ 20-100 phr ให้ค่าระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสุกและค่าระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสมมากกว่าการเติมสารซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 5 phr แต่ทว่าสำหรับยางคอมปาวด์ การเติมสารซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 5 phr ให้ค่าระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสุกและค่าระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสมสูงกว่า

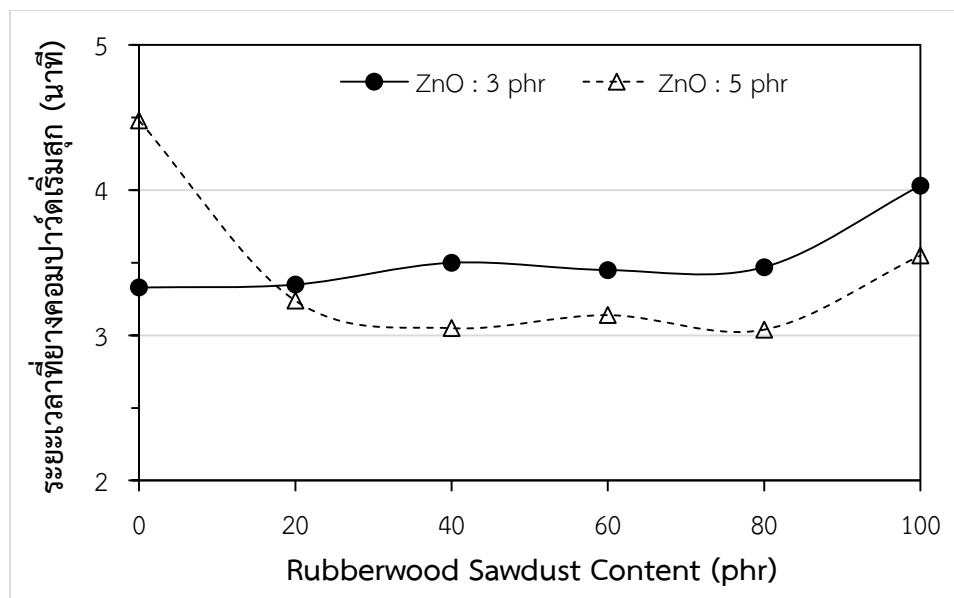
นอกจากนี้การเติมซึ่เลื่อยไม้ยางพาราเป็นส่วนผสมในวัสดุเชิงประกอบยางพาราเพิ่มขึ้นในช่วง 20-100 phr ส่งผลให้ค่าแรงบิดต่ำสุดและค่าแรงบิดสูงสุดเพิ่มขึ้นตามปริมาณซึ่เลื่อยไม้ยางพาราที่เติมเป็นส่วนผสม ในขณะที่ปริมาณซึ่เลื่อยไม้ยางพาราที่เติมเป็นส่วนผสมดูเหมือนไม่มีผลกระทบต่อค่าระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสุกและค่าระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซึ่เลื่อยไม้ยางพารา



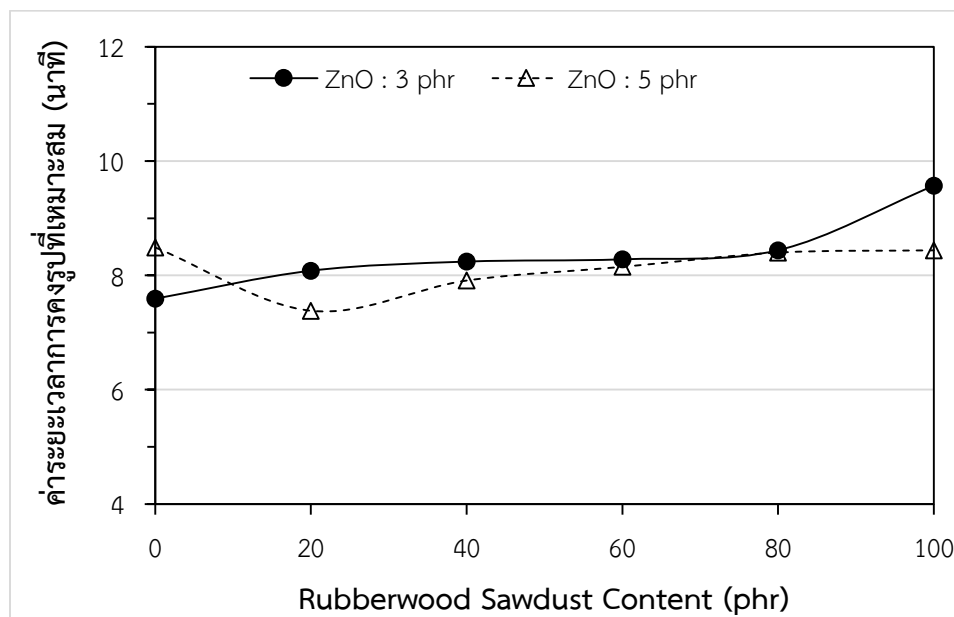
รูปที่ 4.1 ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมอย่างพาราต่อค่าแรงบิดต่ำสุด (M_L) ของวัสดุเชิงประกอบยางพารา



รูปที่ 4.2 ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมอย่างพาราต่อค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ของวัสดุเชิงประกอบยางพารา



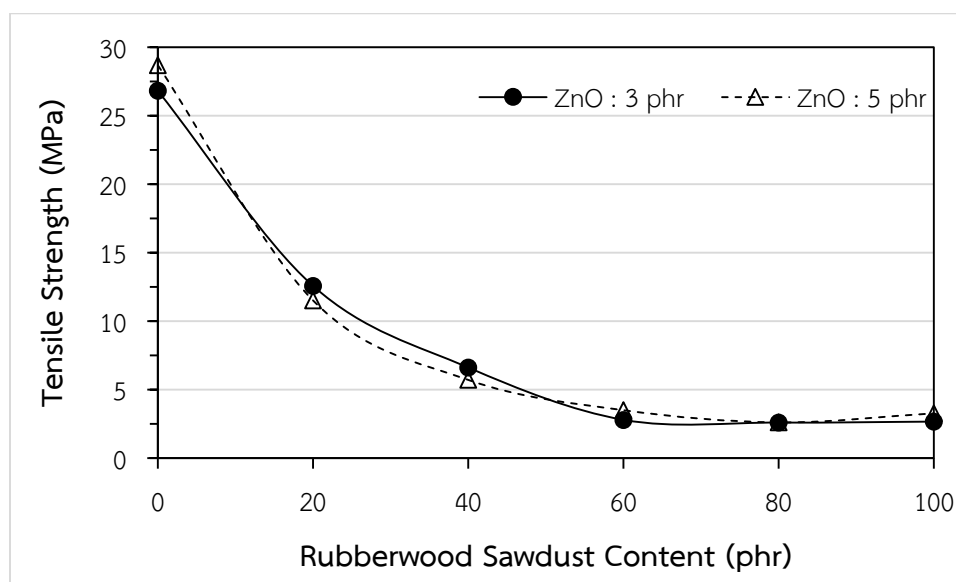
รูปที่ 4.3 ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมอย่างพาราต่อค่าระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสุกของวัสดุเชิงประกอบยางพารา



รูปที่ 4.4 ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมอย่างพาราต่อค่าระยะเวลากการคงรูปที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบยางพารา

4.1.2 ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมอย่างพาราต่อสมบัติการดึงของวัสดุเชิงประกอบยางพารา

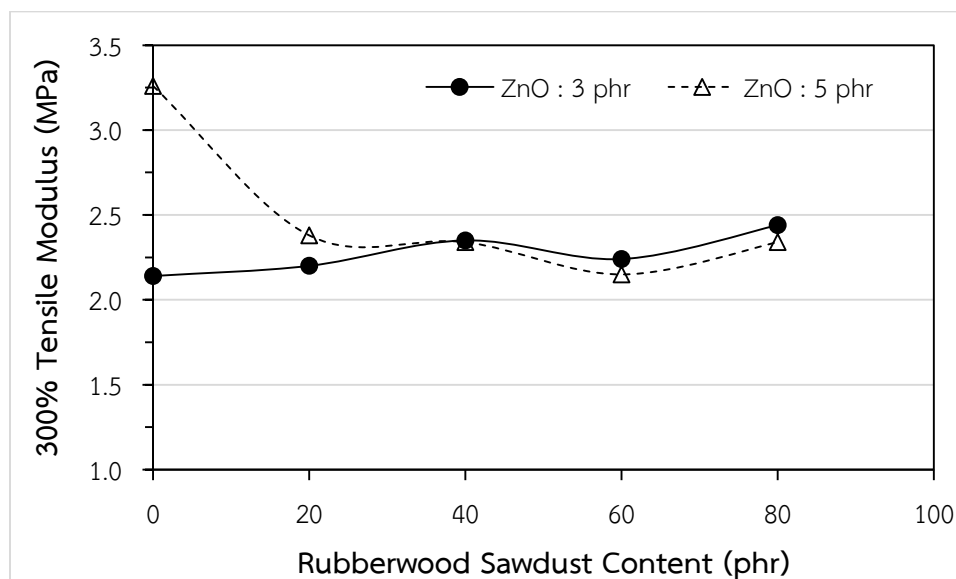
ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมอย่างพาราต่อค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสการดึง และค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราแสดงในรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ โดยพบว่า การเติมสารซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นในช่วง 3-5 phr แทบไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสการดึง และค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมอย่างพารา แต่สำหรับแผ่นยางที่ไม่เติมซีลีเนียมพบว่า การเติมสารซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 5 phr ให้ค่ามอดูลัสการดึงสูงกว่าการเติมสารซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 3 phr อย่างชัดเจน



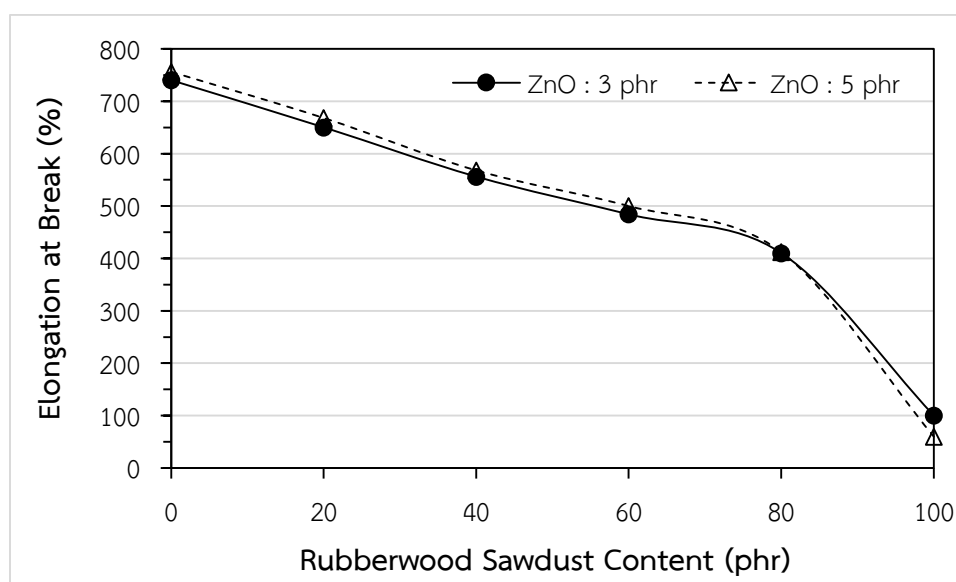
รูปที่ 4.5 ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมอย่างพาราค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบยางพารา

นอกจากนี้พบว่า การเติมซีลีเนียมอย่างพาราเป็นส่วนผสมในวัสดุเชิงประกอบยางพาราเพิ่มขึ้นในช่วง 20-100 phr ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลงตามปริมาณซีลีเนียมอย่างพาราที่เติมเป็นส่วนผสม โดยเฉพาะค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเติมซีลีเนียมอย่างพาราเป็นส่วนผสม 100 phr เนื่องจากการเติมซีลีเนียมไม่เป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างภายในของวัสดุเชิงประกอบฯ มีช่องว่างและรูพรุนมากขึ้น ทำให้ความสามารถการยืดตัวและการรับแรงลดลง เช่นเดียวกันเมื่อเติมซีลีเนียมอย่างพาราเป็นส่วนผสม 20 phr ส่งผลให้ค่ามอดูลัสการดึงลดลงอย่าง

ชัดเจน แต่ทว่าเมื่อเติมซีลี้อย่างพาราเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นในช่วง 20-80 phr ดูเหมือนว่าไม่มีผลต่อค่ามอดูลัสการดึงของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อย่างพารา



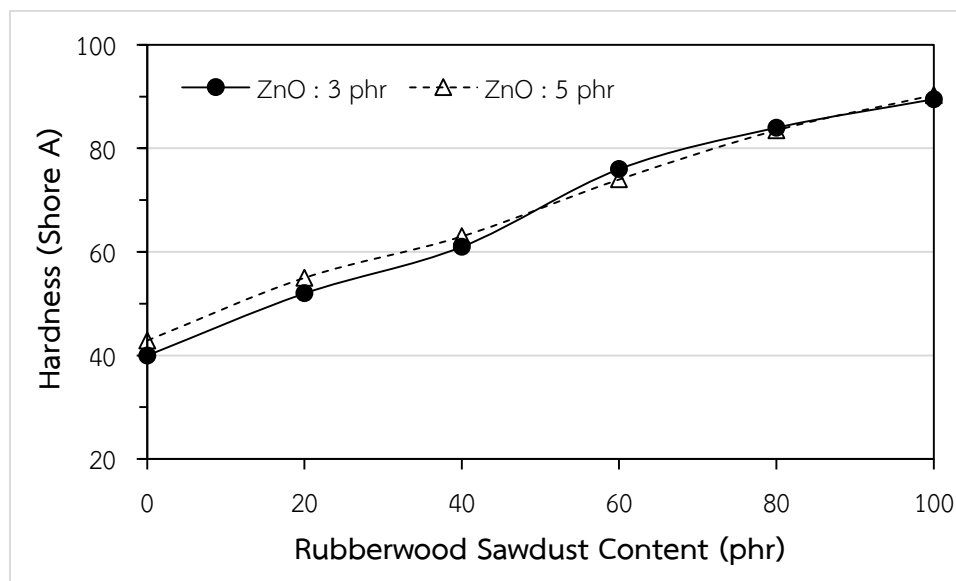
รูปที่ 4.6 ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลี้อย่างพาราต่อค่ามอดูลัสการดึงของวัสดุเชิงประกอบยางพารา



รูปที่ 4.7 ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลี้อย่างพาราต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบยางพารา

4.1.3 ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมอย่างพาราต่อค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบยางพารา

รูปที่ 4.8 แสดงผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมอย่างพาราต่อค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบยางพารา ซึ่งพบว่า การเติมสารซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นในช่วง 3-5 phr ดูเหมือนไม่มีผลต่อค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมอย่างพารา โดยวัสดุเชิงประกอบฯ ที่เติมสารซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 3 และ 5 phr มีพฤติกรรมที่เหมือนกัน คือ เมื่อเติมซีลีเนียมอย่างพาราเป็นส่วนผสมในวัสดุเชิงประกอบยางพาราเพิ่มขึ้นในช่วง 20-100 phr ส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีลีเนียมอย่างพาราที่เติมเป็นส่วนผสม เนื่องจากซีลีเนียมมีความแข็งมากกว่ายางธรรมชาติ ดังนั้นการเติมซีลีเนียมเป็นส่วนผสมมากขึ้น จึงส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบฯ มีความแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีลีเนียมที่เติมเป็นส่วนผสม



รูปที่ 4.8 ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลีเนียมอย่างพาราต่อค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบยางพารา

4.2 สมบัติผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา

4.2.1 สมบัติการดึงผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบ

จากการทดสอบการดึง ดังแสดงในรูปที่ 3.28 ซึ่งดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM F963-17 โดยนำของเล่นเด็กตัวอย่างจับเข้ากับอุปกรณ์วัดแรงดึง จากนั้นออกแรงดึงของเล่นเด็กจนกระทั่งอุปกรณ์วัดแรงดึงสามารถวัดแรงได้ 9.54 Kgf และดึงค้างไว้ 10 วินาที โดยผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราไม่เกิดการฉีกขาดและเสียรูปแบบถาวร ดังแสดงรายงานผลการทดสอบในรูปที่ 4.9(ก) ซึ่งถือว่า ผ่าน (Pass) เกณฑ์ตามมาตรฐานการทดสอบ

4.2.2 สมบัติการบิดผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบ

จากการทดสอบการบิด ดังแสดงในรูปที่ 3.29 ซึ่งดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM F963-17 โดยนำของเล่นเด็กตัวอย่างจับเข้ากับอุปกรณ์วัดแรงบิด จากนั้นออกแรงบิดของเล่นเด็กจนกระทั่งอุปกรณ์วัดแรงบิดสามารถวัดแรงได้ 4.83 Kgf-cm. และบิดค้างไว้ 10 วินาที โดยผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราไม่เกิดการฉีกขาดและเสียรูปแบบถาวร ดังแสดงรายงานผลการทดสอบในรูปที่ 4.9(ข) ซึ่งถือว่า ผ่าน (Pass) เกณฑ์ตามมาตรฐานการทดสอบ

4.2.3 สมบัติการตกกระทบพื้นผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบ

จากการทดสอบการตกกระทบพื้น ดังแสดงในรูปที่ 3.30 ซึ่งดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM F963-17 โดยนำของเล่นเด็กตัวอย่างยกสูงขึ้นจากพื้น ที่ระดับความสูง 135 cm. จากนั้นปล่อยของเล่นเด็กตัวอย่างให้ตกกระทบพื้น ซึ่งปล่อยให้ของเล่นตกกระทบพื้นซ้ำจุดเดิมจำนวน 10 ครั้ง และผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราไม่เกิดการแตกหรือเสียหาย ดังแสดงรายงานผลการทดสอบในรูปที่ 4.9(ค) ซึ่งถือว่า ผ่าน (Pass) เกณฑ์ตามมาตรฐานการทดสอบ

4.2.4 สมบัติการกระแทกผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบ

จากการทดสอบการกระแทก ดังแสดงในรูปที่ 3.31 ซึ่งดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM F963-17 โดยนำของเล่นเด็กตัวอย่างวางบนพื้นราบ จากนั้นปล่อยลูกตุ้มทรงกระบอกที่มีน้ำหนัก 1 Kg. จากระดับความสูง 10 cm. ให้ตกกระทบกับของเล่นเด็ก จำนวน 1 ครั้ง และผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราไม่เกิดการแตกหรือเสียหาย ดังแสดงรายงานผลการทดสอบในรูปที่ 4.10 ซึ่งถือว่า ผ่าน (Pass) เกณฑ์ตามมาตรฐานการทดสอบ

REPORT NO. ☐ ☐ - ☐ ☐

PRODUCT INTERNAL TESTING

ITEM CODE 12mt PRODUCT NAME 130 ตีเหล็ก

AGE ☒ 0 - 18m ☐ > 18 - 36m ☐ > 36 - 96m

TESTING

001 PROTOTYPE ☐ 002 MATERIAL ☒

004 WORK IN PROCESS ☐ 005 DEVELOPING ☐

SENDER 2018-05-01 DATE 21/05/2018 09:40

MATERIAL TYPE ☐ Old ☐ New Supplier

ADHESIVE TYPE

STANDARD

☐ ASTM ☐ EN 71 ☐ ect.

PRODUCTION DATE 31/05/2018 Check Date 14.00

Qty. Sample

ABUSE TEST PARAMETERS FOR PHYSICAL

Torque Test		ASTM		EN 71	
Age		Over 50%	Std.	Over 50%	Std.
0 - 18m	3.46 kgf-cm	2 + 0.2 in-lb = 2.30 kgf-cm			
> 18 - 36m	5.18 kgf-cm	3 + 0.2 in-lb = 3.46 kgf-cm			
> 36 - 96m	6.91 kgf-cm	4 ± 0.2 in-lb = 4.60 kgf-cm			
Other	<u>4.83 kgf-cm</u>				
RESULT	☒ PASS	☐ FAIL			

Drop Test		ASTM		EN 71	
Age		Over 20%	Std.	Over 20%	Std.
0 - 18m	5.5 ft. 10	4.5 ft. (135 cm.)			
> 18 - 36m	3.6 ft. 4	3.0 ft. (90 cm.)			
> 36 - 96m	3.6 ft. 4	3.0 ft. (90 cm.)			
Other	<u> </u>				
RESULT	☒ PASS	☐ FAIL			

Tension Test		ASTM		EN 71	
Age		Over 50%	Std.	Over 50%	Std.
0 - 18m	7.0 kgf.	4.5 kgf.			
> 18 - 36m	10.5 kgf.	6.8 kgf.			
> 36 - 96m	10.5 kgf.	6.8 kgf.			
Other	<u>9.54 kgf (211gf)</u>				
RESULT	☐ PASS	☐ FAIL			

Compression Test		ASTM		EN 71	
Age		Over 50%	Std.	Over 50%	Std.
0 - 18m	14.0 kgf.	9.08 kgf.			
> 18 - 36m	17.0 kgf.	11.3 kgf.			
> 36 - 96m	20.5 kgf.	13.6 kgf.			
Other	<u> </u>				
RESULT	☐ PASS	☐ FAIL			

*** 5.5 ft. = 165 cm., 3.6 ft. = 110 cm.

F-QA-0014

(ข)

(ก)

(ค)

(จ) การตกกระแทบพื้นผลิตภัณฑ์ข้อ

Rev. 09

4.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยู้อย่างพารา

จากการส่งชิ้นงานตัวอย่างของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยู้อย่างพาราไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักยังบริษัท TUV SUD PSB Pte. Ltd. ประเทศสิงคโปร์ สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.11-4.17 ซึ่งในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในของเล่นเด็กนั้นจำเป็นต้องวิเคราะห์รายการต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งครอบคลุมทั้งข้อกำหนดของสหภาพยุโรป (European Union – EU) และของสหรัฐอเมริกา (USA)

ตารางที่ 4.1 รายการทดสอบที่จำเป็นสำหรับการหาปริมาณโลหะหนักในของเล่นเด็กจากยางพารา

Test Requested	Standard	Remark
1) Migration of Certain Elements	DIN EN 71-3:2017-10	EU
2) Cadmium Content	DIN EN 1122:2001	EU
3) Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs) Content	AfPS GS 2014:01 PAK	EU
4) Phthalates Content (DBP/DEHP/BBP/DINP/DNOP/DIDP)	ISO/TS 16181	EU
5) N-Nitrosamines and N-Nitrosatable Substances Content Release	EN 71 Part 12: 2013	EU
6) Total Heavy Metal Contents	ASTM F963	USA
7) Lead Content	ASTM F963	USA
8) Phthalates Content	CPSC-CH-C1001-09.3	USA

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบ Migration of Certain Elements ดังแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่า แผ่นตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยู้อย่างพารา มีปริมาณโลหะหนักเป็นส่วนผสมไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนดตามเกณฑ์ของสหภาพยุโรป ยกตัวอย่าง 1) สาร Boron (B) ตรวจพบมีปริมาณเพียง 3.9 ppm (mg/kg) แต่มาตรฐานกำหนดต้องมีปริมาณไม่เกิน 15,000 ppm 2) สาร Lead (Pb) ตรวจพบมีปริมาณเพียง 2.9 ppm แต่มาตรฐานกำหนดต้องมีปริมาณไม่เกิน 160 ppm 3) สาร Manganese (Mn) ตรวจพบมีปริมาณเพียง 9.5 ppm แต่มาตรฐานกำหนดต้องมีปริมาณไม่เกิน 15,000 ppm และ 4) สาร Zinc (Zn) ตรวจพบมีปริมาณเพียง 907 ppm แต่มาตรฐานกำหนดต้องมีปริมาณไม่เกิน 46,000 ppm นอกจากนี้ปริมาณโลหะหนักอื่นๆ เช่น Aluminium (Al), Antimony (Sb), Arsenic (As), Barium (Ba), Cadmium (Cd), Cobalt (Co), Copper (Cu), Mercury (Hg), Selenium (Se), Tin (Sn) เป็นต้น มีการตรวจสอบไม่พบ (ND: Not Detected) ในวัสดุเชิงประกอบฯ ชนิดนี้ โดยมีการตั้งค่าการตรวจสอบที่ปริมาณ 2.0 ppm นั้นหมายความว่า สารโลหะหนักที่ตรวจสอบไม่พบมีปริมาณน้อยกว่า 2.0 ppm ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก

รูปที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบ Cadmium Content ตามมาตรฐาน DIN EN 1122:2001 ซึ่งพบว่า แผ่นตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพารา มีปริมาณ Cadmium เป็นส่วนผสมไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนดตามเกณฑ์ของสหภาพยุโรป (Specification 100 ppm) โดยมีการตรวจสอบไม่พบ (ND) ในวัสดุเชิงประกอบฯ ชนิดนี้ ในขณะที่มีการตั้งค่าการตรวจสอบที่ปริมาณ 10 ppm นั้นหมายความว่า สารโลหะหนักที่ตรวจสอบไม่พบมีปริมาณน้อยกว่า 10 ppm ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก

จากผลการทดสอบหา Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs) Content ดังแสดงในรูปที่ 4.14 พบว่า แผ่นตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพารา มีปริมาณสารกลุ่ม Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs) เป็นส่วนผสมไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนดตามเกณฑ์ของสหภาพยุโรป ซึ่งสารกลุ่มนี้ เช่น Benzo[a]pyrene (BaP), Benzo[a]anthracene (BaA), Benzo[b] fluoranthene (BbFA), Chrysene (CHR), Dibenzo[a,h]anthracene (DBA_hA) เป็นต้น มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานกำหนด คือ <0.2 ppm โดยในการทดสอบมีการตั้งค่าการตรวจสอบที่ปริมาณ 0.10 ppm นั้นหมายความว่า สารที่ตรวจสอบไม่พบมีปริมาณน้อยกว่า 0.10 ppm ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมากๆ

รูปที่ 4.15 แสดงผลการทดสอบหา Phthalates Content ตามมาตรฐาน ISO/TS 16181 ซึ่งพบว่า แผ่นตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพารา มีปริมาณสารกลุ่ม Phthalates เป็นส่วนผสมไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนดตามเกณฑ์ของสหภาพยุโรป ซึ่งสารกลุ่มนี้ คือ Di-butyl Phthalate (DBP), Bis-(2-Ethyl Hexyl) Phthalate (DEHP), Benzyl Butyl Phthalate (BBP), Di-isononyl Phthalate (DINP), Di-n-octyl Phthalate (DNOP) และ Di-iso decyl Phthalate (DIDP) มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานกำหนด คือ 1000 ppm โดยในการทดสอบมีการตั้งค่าการตรวจสอบที่ปริมาณ 50 ppm นั้นหมายความว่า สารที่ตรวจสอบไม่พบมีปริมาณน้อยกว่า 50 ppm

รูปที่ 4.16 แสดงผลการทดสอบหา Total Heavy Metal Contents ตามมาตรฐาน ASTM F963 ซึ่งพบว่า แผ่นตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพารา มีปริมาณโลหะหนักเป็นส่วนผสมไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนดตามเกณฑ์ของสหรัฐอเมริกา (USA) และ มอก. 685 เล่ม 1-2530 ประเทศไทย โดยมาตรฐานทั้ง 2 กำหนดสาร Antimony (Sb) ต้องมีค่าไม่เกิน 60 ppm, สาร Arsenic (As) ต้องมีค่าไม่เกิน 25 ppm, Barium (Ba) ต้องมีค่าไม่เกิน 1000 ppm, Cadmium (Cd) ต้องมีค่าไม่เกิน 75 ppm, Chromium (Cr) ต้องมีค่าไม่เกิน 60 ppm, Lead (Pb) ต้องมีค่าไม่เกิน 90 ppm, Mercury (Hg) ต้องมีค่าไม่เกิน 60 ppm และ Selenium (Se) ต้องมีค่าไม่เกิน 500 ppm ซึ่งจากผลการทดสอบพบเพียงสาร Lead (Pb) เท่านั้น ที่มีค่า 2.0 ppm และโลหะหนักชนิดอื่นๆ ตรวจสอบไม่พบในวัสดุเชิงประกอบฯ ชนิดนี้ โดยในการทดสอบมีการตั้งค่าการตรวจสอบที่ปริมาณ 0.2 ppm สำหรับ Chromium และ 2.0 ppm สำหรับโลหะหนักชนิดอื่นๆ

จากผลการทดสอบข้างต้นแสดงให้เห็นว่า โลหะหนักต่างๆ ที่เป็นสารต้องห้ามในของเล่นเด็ก หรือเป็นสารที่ต้องมีปริมาณไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยส่วนใหญ่ตรวจสอบไม่พบเป็นส่วนผสมอยู่ในวัสดุเชิงประกอบฯ ชนิดนี้ ซึ่งมีการรายงานผลเป็น N.D. (Not Detected) ถึงแม้จะมีการตั้งค่าการตรวจสอบในระดับที่ต่ำก็ตาม

Test Report No. 7191183783
Report Date: April 20, 2018

Note: This report is issued subject to the Testing and Certification Regulations of the TÜV SÜD Group and the General Terms and Conditions of Business of TÜV SÜD PSB Pte Ltd. In addition, this report is governed by the terms set out within this report.



PSB Singapore

Choose certainty.
Add value.

Client	: FACULTY OF ENGINEERING, RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY SRM/JAYA, 1 RATCHADAMNOEN NOK, BO YANG, MUANG, SONGKHLA 90000, THAILAND ATTN: K.SUPAPORN
Test Sample	: RECEIVED ON 03/04/2018
Test Period	: FROM 03/04/2018 TO 20/04/2018
Sample Description	: DEVELOPMENT OF COMPOSITES FROM NATURAL RUBBER AND RUBBERWOOD SAWDUST (RDG61T0012)
Color	: /
Product Type/ End Use	: /
Model/Style	: /
SKU No.:	: /
Country of Destination	: /
Manufacturer	: /



Laboratory:
TÜV SÜD PSB Pte. Ltd.
 No.1 Science Park Drive
 Singapore 118221

Phone : +65-6885 1285
 Fax : +65-6776 8670
 E-mail: enquiries@tuv-sud-psb.sg
www.tuv-sud-psb.sg
 Co. Reg : 199002667R

Regional Head Office:
TÜV SÜD Asia Pacific Pte. Ltd.
 1 Science Park Drive, #02-01
 Singapore 118221
TÜV®

Note: This report is issued subject to the Testing and Certification Regulations of the TÜV SÜD Group and the General Terms and Conditions of Business of TÜV SÜD PSB Pte Ltd. In addition, this report is governed by the terms set out within this report.

รูปที่ 4.11 แสดงข้อมูลทั่วไปของการทดสอบหาปริมาณโลหะหนัก

TEST REPORT NO: 7191183783
Report Date: April 20, 2018



PSB Singapore

DESCRIPTION	SAMPLE PHOTO
SAMPLE 1: SAWDUST + RUBBER WOOD	

SUMMARY OF TEST RESULTS

TEST REQUESTED	CONCLUSION	REMARK
MIGRATION OF CERTAIN ELEMENTS (EN71-3)	PASS	EU
CADMIUM CONTENT	PASS	EU
POLYAROMATIC HYDROCARBONS (PAHs) CONTENT	PASS	EU
PHTHALATES CONTENT (DINP, DIDP, DNOP, DEHP, DBP, BBP)	PASS	EU
N-NITROSAMINES and N-NITROSATABLE SUBSTANCES CONTENT RELEASE (EN71-7)	PASS	EU
TOTAL HEAVY METAL CONTENTS (ASTM F963)	PASS	USA
LEAD CONTENT (CPSIA)	PASS	USA
PHTHALATES CONTENT (CPSIA)	PASS	USA

For any concern or technical Inquiries, please contact

SUZEN CHONG
 VICE PRESIDENT
 ASEAN – SOFTLINE & HARDLINE
 Tel: +65 8686 6196
 Email: suzen.chong@tuv-sud-psb.sg

APPROVED BY:



KOO CHIEH VOON
 HARDLINE PRODUCT MANAGER

รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะชิ้นงานตัวอย่างและสรุปผลการทดสอบ

TEST REPORT NO: 7191183783
Report Date: April 18, 2018



PSB Singapore

TEST RESULT(S):

Migration Of Certain Elements

DIN EN 71-3:2017-10 Migration of Certain Elements. Analysis by ICP-OES/MS

Migration Elements	Result [ppm]	Specification [ppm]
	1	
Aluminium (Al)	N.D	70000
Antimony (Sb)	N.D	560
Arsenic (As)	N.D	47
Barium (Ba)	N.D	18750
Boron (B)	3.9	15000
Cadmium (Cd)	N.D	17
Chromium III (Cr III)	N.D	460
Chromium VI (Cr VI)	N.D	0.2
Cobalt (Co)	N.D	130
Copper (Cu)	N.D	7700
Lead (Pb)	2.9	160
Manganese (Mn)	9.5	15000
Mercury (Hg)	N.D	94
Nickel (Ni)	N.D	930
Selenium (Se)	N.D	460
Strontium (Sr)	N.D	56000
Tin (Sn)	N.D	180000
@Organic Tin (O. Sn)	N.D	12
Zinc (Zn)	907	46000

Note:

1. ppm = mg/kg
2. N.D = Not Detected
3. Reporting limit for Cr = 0.2 mg/kg
4. Reporting limit for Others = 2.0 mg/kg
5. Confirmation test of chromium (III) & chromium (VI) is not required in case of chromium does not exceed their requirements as specified in DIN EN 71-3: 2017-10
6. Confirmation test of organic tin is not required in case of tin does not exceed the organic tin requirement as specified in DIN EN 71-3: 2013

รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบ Migration of Certain Elements ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อย
 ไม้ยางพารา

TEST REPORT NO: 7191183783**Report Date: April 20, 2018**

PSB Singapore

TEST RESULT(S): (Continued)**Cadmium Content**

European Regulation (EC) No. 1907/2006.

Reference to DIN EN 1122:2001 and analysis by ICP-OES/MS

Test Item	Result [ppm]	Specification [ppm]
	1	
Cadmium	N.D	100

Note:

1. ppm = mg/kg
2. N.D = Not Detected
3. Reporting limit = 10 mg/kg

Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs) Content

European Regulation (EC) No. 1907/2006, Annex XVII item no.50

Reference to AfPS GS 2014:01 PAK, equipment used: GC/MS

Compounds	CAS No.	Result [ppm]	Requirement [ppm]
		1	
Benzo[a]pyrene (BaP)	50-32-8	N.D	<0.2
Benzo[e]pyrene (BeP)	192-97-2	N.D	<0.2
Benzo[a]anthracene (BaA)	56-55-3	N.D	<0.2
Benzo[b]fluoranthene (BbFA)	205-99-2	N.D	<0.2
Benzo[j]fluoranthene (BjFA)	205-82-3	N.D	<0.2
Benzo[k]fluoranthene (BkFA)	207-08-9	N.D	<0.2
Chrysene (CHR)	218-01-9	N.D	<0.2
Dibenzo[a,h]anthracene (DBAha)	53-70-3	N.D	<0.2
Benzo[g,h,i]perylene	191-24-2	N.D	-
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	193-39-5	N.D	
Acenaphthylene	208-96-8	N.D	
Acenaphthene	83-32-9	N.D	
Fluorene	86-73-7	N.D	
Phenanthrene	85-01-8	N.D	
Pyrene	129-00-0	N.D	
Anthracene	120-12-7	N.D	
Fluoranthene	206-44-0	N.D	
Naphthalene	91-20-3	N.D	
Sum of 18 PAHs	-	N.D	Sum: <2.0

Note:

1. ppm = mg/kg
2. N.D = Not Detected
3. Reporting limit = 0.10 mg/kg

รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบ Cadmium Content และ Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs)

Content ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยู่ในยางพารา

TEST REPORT NO: 7191183783
Report Date: April 20, 2018



PSB Singapore

TEST RESULT(S): (Continued)

Phthalates Content (DBP/DEHP/BBP/DINP/DNOP/DIDP)

European Regulation (EC) No. 1907/2006, Annex XVII item no.51 & 52 for toys and childcare articles.
 Reference to ISO/TS 16181 and GC-MS analysis

Phthalates Content	EC No.	Result [ppm]	Requirement [ppm]
		1	
Di-butyl Phthalate (DBP)	201-557-4	N.D	1000
Bis-(2-Ethyl Hexyl) Phthalate (DEHP)	204-211-0	N.D	1000
Benzyl Butyl Phthalate (BBP)	201-622-7	N.D	1000
Di-iso nonyl Phthalate (DINP)	249-079-5 & 271-090-9	N.D	1000
Di-n-octyl Phthalate (DNOP)	204-214-7	N.D	1000
Di-iso decyl Phthalate (DIDP)	247-977-1 & 271-091-4	N.D	1000

Note:

1. ppm = mg/kg
2. N.D = Not Detected
3. Reporting limit = 50 mg/kg

N-Nitrosamines and N-Nitrosatable Substances Content Release - European Standard EN 71 Part 7:2014, Section 4.9

European Standard EN 71 Part 12: 2013

Requirement(s):	
Parameter(s)	Maximum Allowable Limit
Total N-Nitrosamines (NAs) Release	0.02 mg/kg
Total N-Nitrosatable Substances (NSs) Release	1 mg/kg

Test Item(s)		1		
Type		-		
Parameter	CAS-No.	Unit	Result	
			NAs	NSs
N-nitrosodiethanolamine (NDELA)	1116-54-7	mg/kg	<0.02	<0.65
N-nitrosodimethylamine (NDMA)	62-75-9	mg/kg	<0.02	<0.65
N-nitrosodiethylamine (NDEA)	55-18-5	mg/kg	<0.02	<0.65
N-nitrosodipropylamine (NDPA)	621-64-7	mg/kg	<0.02	<0.65
N-nitrosodiisopropylamine (NDIPA)	601-77-4	mg/kg	<0.02	<0.65
N-nitrosodibutylamine (NDBA)	924-16-3	mg/kg	<0.02	<0.65
N-nitrosodiisobutylamine (NDIBA)	997-95-5	mg/kg	<0.02	<0.65
N-nitrosodiisononylamine (NDINA)	1207995-62-7	mg/kg	<0.02	<0.65
N-nitrosomorpholine (NMOR)	59-89-2	mg/kg	<0.02	<0.65
N-nitrosopiperidine (NPIP)	100-75-4	mg/kg	<0.02	<0.65
N-nitrosodibenzylamine (NDBZA)	5336-53-8	mg/kg	<0.02	<0.65
N-nitroso N-methyl N-phenylamine (NMPHA)	614-00-6	mg/kg	<0.02	<0.65
N-nitroso N-ethyl N-phenylamine (NEPHA)	612-64-6	mg/kg	<0.02	<0.65
Conclusion	-	-	PASS	

Note:

1. N.D = Not Detected
2. < = less than
3. Mg/kg = milligram(s) per kilogram

รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบ Phthalates Content และ N-Nitrosamines and N-Nitrosatable Substances Content Release ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อย่น้อยยางพารา

TEST REPORT NO: 7191183783
Report Date: April 20, 2018



PSB Singapore

TEST RESULT(S): (Continued)

Total Heavy Metal Contents

ASTM F963 Section 4.3.5.2 (2) (b). Analysis by ICP-OES/MS

Migration Elements	Result [ppm]	Specification [ppm]
	1	
Antimony (Sb)	N.D	60
Arsenic (As)	N.D	25
Barium (Ba)	N.D	1000
Cadmium (Cd)	N.D	75
Chromium (Cr)	N.D	60
Lead (Pb)	2.0	90
Mercury (Hg)	N.D	60
Selenium (Se)	N.D	500

Note:

1. ppm = mg/kg
2. N.D = Not Detected
3. Reporting limit for Cr = 0.2 mg/kg
4. Reporting limit for Others = 2.0 mg/kg

Lead Content

ASTM F963 Section 4.3.5.2 (1) Consumer Product Safety Improvement Act of 2008 Title Section 101.
 Reference to CPSC-CH-E-E1002-08.2 and analysis by ICP-OES/MS

Test Item	Result [ppm]	Specification [ppm]
	1	
Total Lead (Pb)	N.D	100

Note:

1. ppm = mg/kg
2. N.D = Not Detected
3. Reporting limit = 10 mg/kg

รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบ Total Heavy Metal Contents และ Lead Content ของวัสดุเชิงประกอบ
 ยางพาราและซีเมนต์ยางพารา

TEST REPORT NO: 7191183783
Report Date: April 20, 2018



PSB Singapore

TEST RESULT(S): (Continued)

Phthalates Content (DBP/DEHP/BBP/DIBP/DINP/DCHP/DPENP/DHEXP)

US Public Law 110-314 (Consumer Product Safety Improvement Act of 2008) CPSIA section 108.
 Reference to CPSC-CH-C1001-09.3. Analysis by GC-MS

Phthalates Content	CAS No.	Result [ppm]	Requirement [ppm]
		1	
Di-butyl Phthalate (DBP)	84-74-2	N.D	1000
Bis-(2-Ethyl Hexyl) Phthalate (DEHP)	117-81-7	N.D	1000
Benzyl Butyl Phthalate (BBP)	85-68-7	N.D	1000
Di-iso-butyl Phthalate (DIBP)	84-69-5	N.D	1000
Di-iso nonyl Phthalate (DINP)	28553-12-0	N.D	1000
Di-cyclohexyl Phthalate (DCHP)	84-61-7	N.D	1000
Di-n-pentyl Phthalate (DPENP)	131-18-0	N.D	1000
Di-n-hexyl Phthalate (DHEXP)	84-75-3	N.D	1000

Note:

1. ppm = mg/kg
2. N.D = Not Detected
3. Reporting limit = 50 mg/kg

รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบ Phthalates Content ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา

จากผลการทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นขึ้นงานตัวอย่างในห้องปฏิบัติการสามารถสรุปได้ว่า วัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารามีสมบัติการดึงด้อยลง เมื่อเติมซีลี้อยไม้เป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามวัสดุเชิงประกอบฯ มีค่าความแข็งดีขึ้น เมื่อเติมซีลี้อยไม้เป็นส่วนผสมมากขึ้น เช่นเดียวกันพบด้วยว่า การเติมสารซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นในช่วง 3-5 phr มีผลเพียงเล็กน้อยต่อสมบัติการคงรูป และแทบไม่มีผลต่อสมบัติการดึงและความแข็งของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา นอกจากนี้เมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพารา

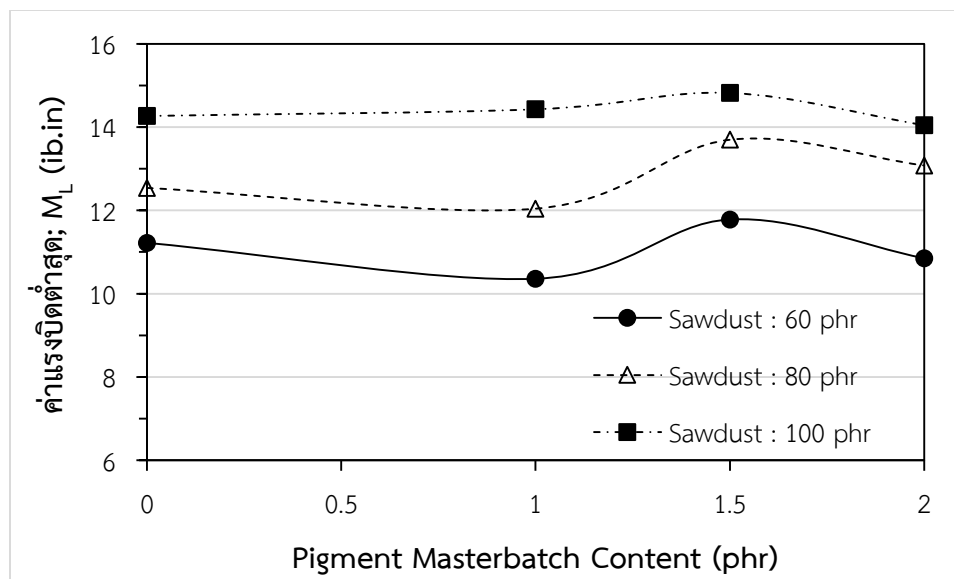
และซี่เลื่อยไม้ยางพาราไปทดสอบตามข้อกำหนดของเล่นเด็กพบว่า ทุกสูตรส่วนผสมมีสมบัติการดึง การบิด การตกกระทบพื้น และการกระแทก ผ่านตามข้อกำหนดของเล่นเด็ก เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาถึงสีสนิม และพื้นผิวหรือเนื้อวัสดุ ทางคณะผู้วิจัยได้ข้อสรุปได้ว่า การเติมซี่เลื่อยไม้เป็นส่วนผสมในวัสดุเชิงประกอบยางพาราเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีสนิมและพื้นผิวหรือเนื้อวัสดุที่คล้ายคลึงกับไม้ธรรมชาติมากขึ้น ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า สูตรวัสดุเชิงประกอบยางพาราเสริมแรงด้วยซี่เลื่อยไม้ยางพารา ปริมาณ 60, 80 และ 100 phr และมีการเติมสารซิงค์ออกไซด์เป็นส่วนผสม 3 phr มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้พัฒนาต่อไป ในงานวิจัยระยะที่ 2

4.3 ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซี่เลื่อยไม้ยางพารา

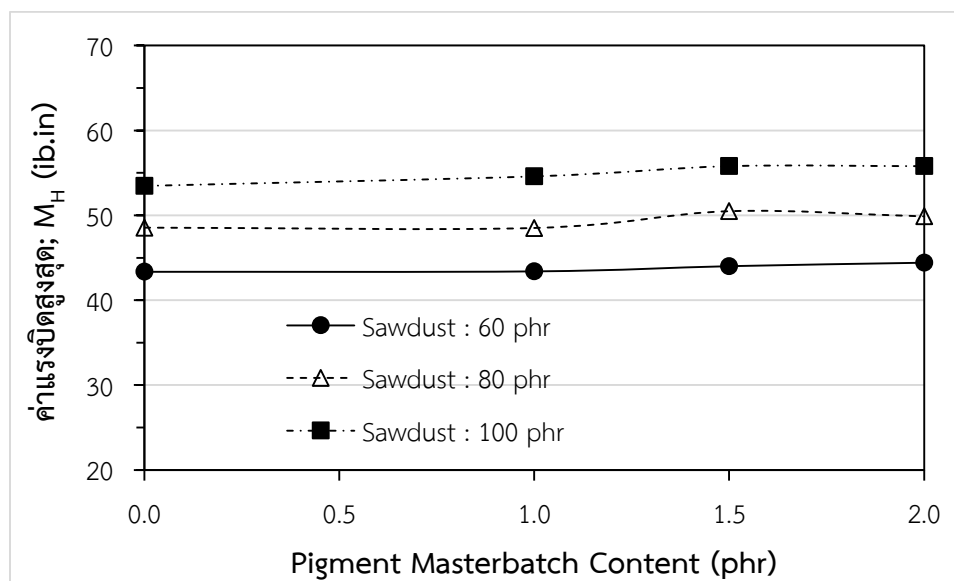
4.3.1 ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อสมบัติการคงรูปของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซี่เลื่อยไม้ยางพารา

ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด ค่าระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสูก และค่าระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสม ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซี่เลื่อยไม้ยางพาราแสดงในรูปที่ 4.18, 4.19, 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสมปริมาณ 1-2 phr มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อค่าแรงบิดต่ำสุดและค่าแรงบิดสูงสุดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราเสริมแรงด้วยซี่เลื่อยไม้ยางพาราปริมาณ 60, 80 และ 100 phr โดยวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซี่เลื่อยไม้ยางพารามีค่าแรงบิดต่ำสุดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 1.5 phr แต่แรงบิดต่ำสุดกลับมีค่าลดลงเมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 2 phr ในขณะที่ค่าแรงบิดสูงสุดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซี่เลื่อยไม้ยางพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตามปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ที่เติมเป็นส่วนผสมในช่วง 1-2 phr

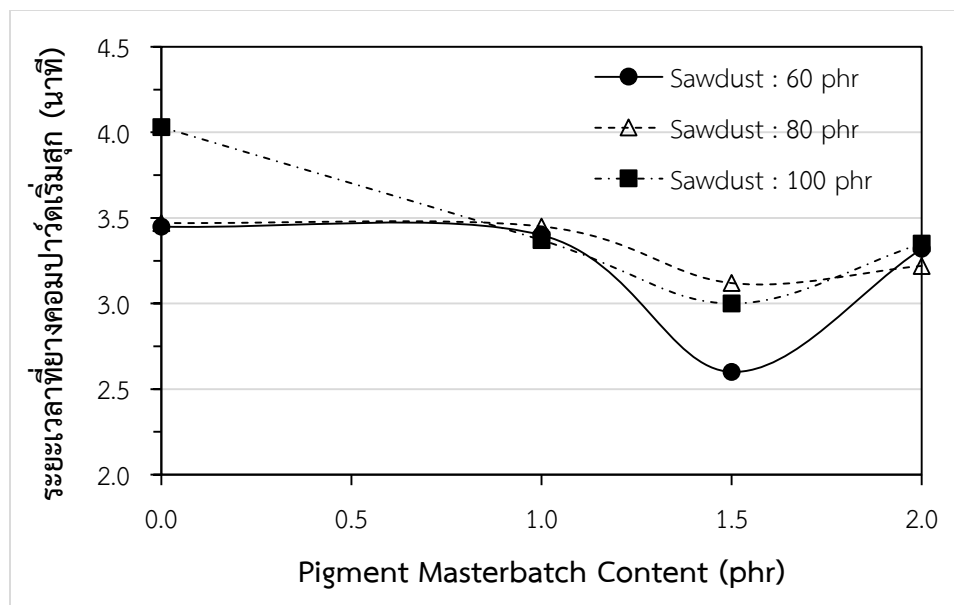
นอกจากนี้พบว่า ระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสูกของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซี่เลื่อยไม้ยางพารามีค่าลดลงอย่างชัดเจนตามปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ เมื่อเติมสีเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นในช่วง 1-1.5 phr แต่ทว่าเมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 2 phr กลับส่งผลให้ระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสูกกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบฯ มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 1 phr แต่ระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบฯ มีค่าลดลง เมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 1.5 phr และระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสมกลับมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 2 phr



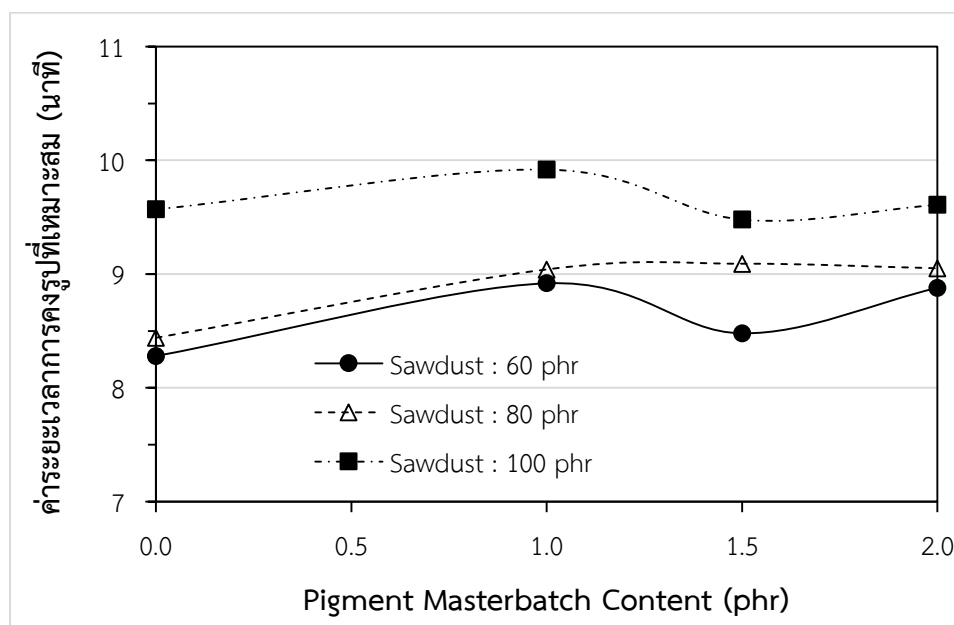
รูปที่ 4.18 ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อค่าแรงบิดต่ำสุด (M_L) ของวัสดุเชิงประกอบ ยางพาราและซีเมนต์ไม่ยางพารา



รูปที่ 4.19 ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ของวัสดุเชิงประกอบ ยางพาราและซีเมนต์ไม่ยางพารา



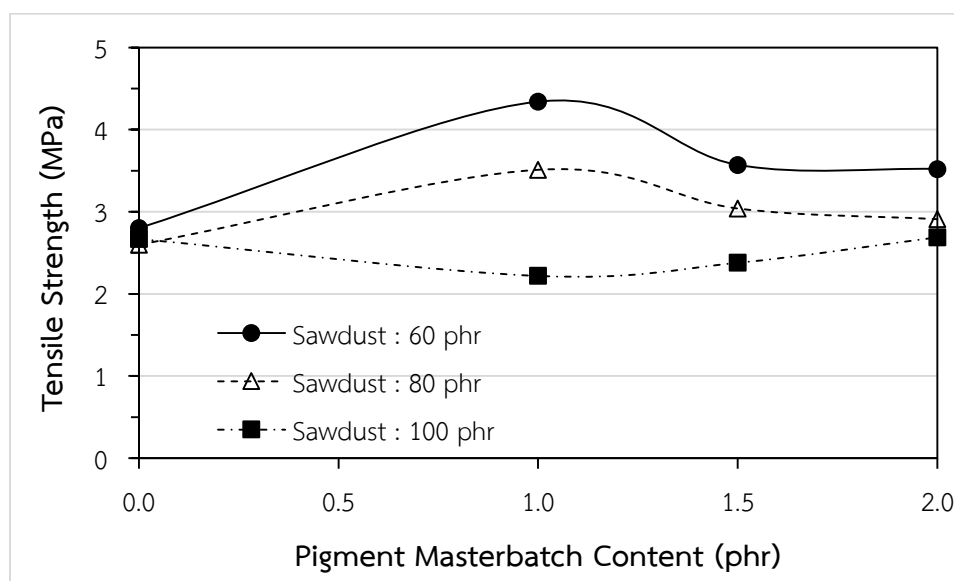
รูปที่ 4.20 ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อค่าระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสุกของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพารา



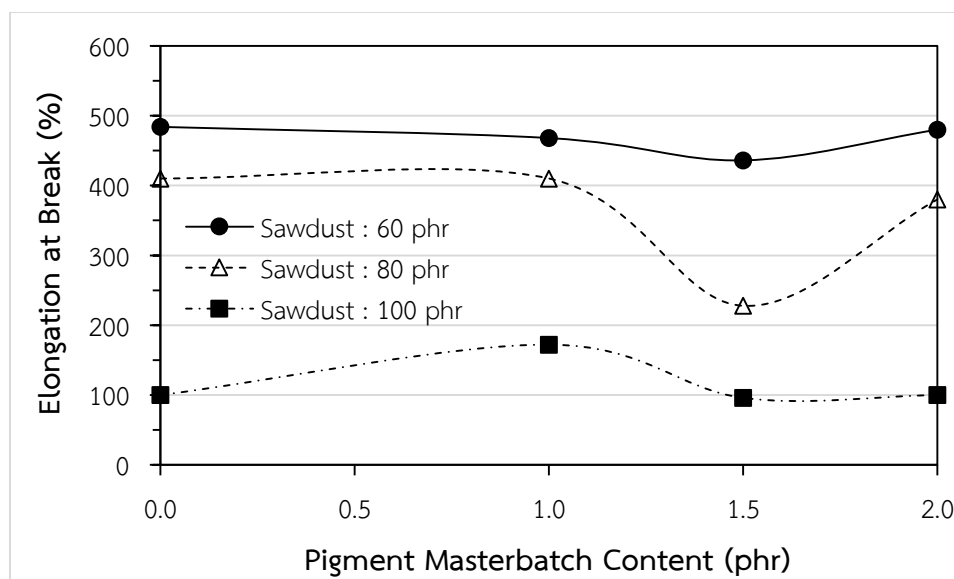
รูปที่ 4.21 ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อค่าระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพารา

4.3.2 ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อสมบัติการดึงของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา

ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อค่าความแข็งแรงดึง และค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา แสดงในรูปที่ 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าวัสดุเชิงประกอบยางพาราเสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้ยางพาราปริมาณ 60-80 phr เมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 1 phr ส่งผลให้ความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมสีเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นใน 1.5-2 phr กลับส่งผลให้ความแข็งแรงดึงมีค่าลดลงตามปริมาณของสีมาสเตอร์แบทช์ อย่างไรก็ตามวัสดุเชิงประกอบยางพาราเสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้ยางพาราปริมาณ 100 phr เมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 1 phr ส่งผลให้ความแข็งแรงดึงมีค่าลดลง แต่เมื่อเติมสีเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นใน 1.5-2 phr กลับส่งผลให้ความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตามปริมาณของสีมาสเตอร์แบทช์ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราพบว่า การยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราเสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้ยางพาราปริมาณ 60-100 phr มีค่าลดลง เมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 1.5 phr แต่การยืดตัว ณ จุดขาดกลับมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 2 phr

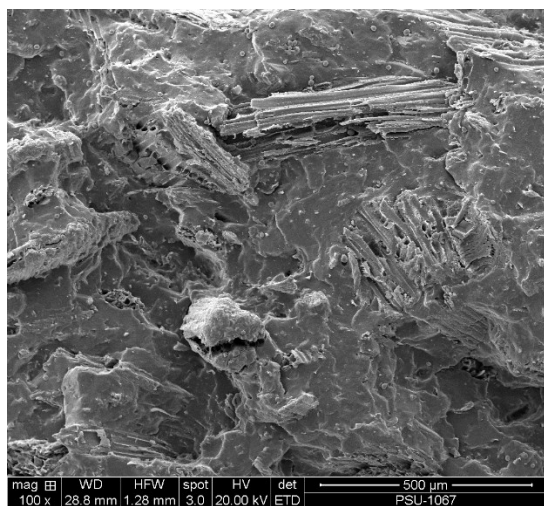


รูปที่ 4.22 ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา

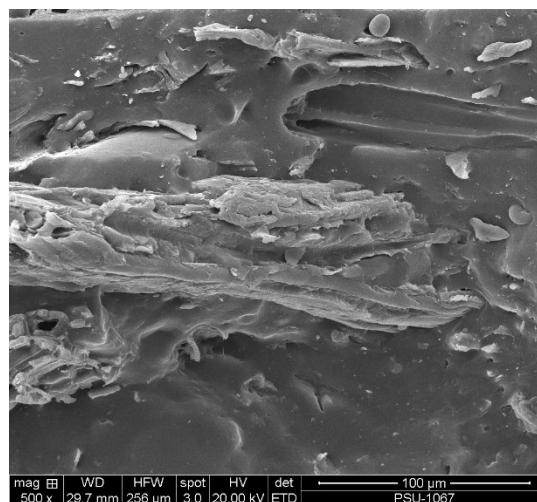


รูปที่ 4.23 ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบ
ยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา

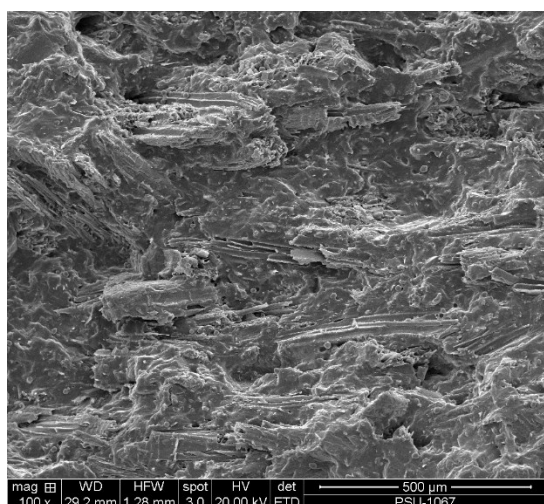
เมื่อพิจารณาผลกระทบของปริมาณซีลี้อยไม้ยางพาราต่อสมบัติการดึงของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราที่ผสมสีมาสเตอร์แบทช์พบว่า ที่ปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์เท่ากัน การเติมซีลี้อยไม้ยางพาราเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณ 60-100 phr ส่งผลให้ความแข็งแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาด มีค่าลดลงอย่างชัดเจนตามปริมาณของซีลี้อยไม้ที่เติมเป็นส่วนผสม พฤติกรรมเหล่านี้สามารถวิเคราะห์ได้จากโครงสร้างสัณฐานวิทยาในรูปที่ 4.24 ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ว่า วัสดุเชิงประกอบยางพาราที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้ยางพาราปริมาณ 100 phr (รูป 4.24(ค) และ (ง)) มีโครงสร้างภายในที่หยابกว่า และมีรูพรุนหรือช่องว่างเกิดขึ้นภายในโครงสร้างมากกว่า โดยเฉพาะบริเวณเฟสระหว่างเมทริกซ์ยางพาราและซีลี้อยไม้ เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบยางพาราที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้ยางพาราปริมาณ 60 phr (รูป 4.24(ก) และ (ข)) ดังนั้นวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้มากกว่าจึงมีประสิทธิภาพการถ่ายทอดแรงลดลง ทำให้ความแข็งแรงของวัสดุลดลงและสามารถฉีกขาดได้ง่ายขึ้น



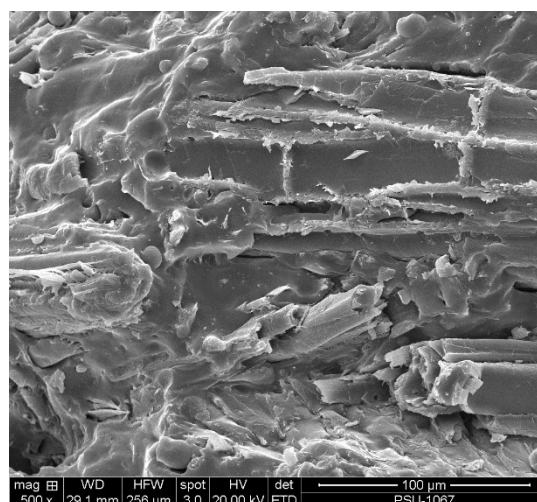
(ก) 100x



(ข) 500x



(ค) 100x



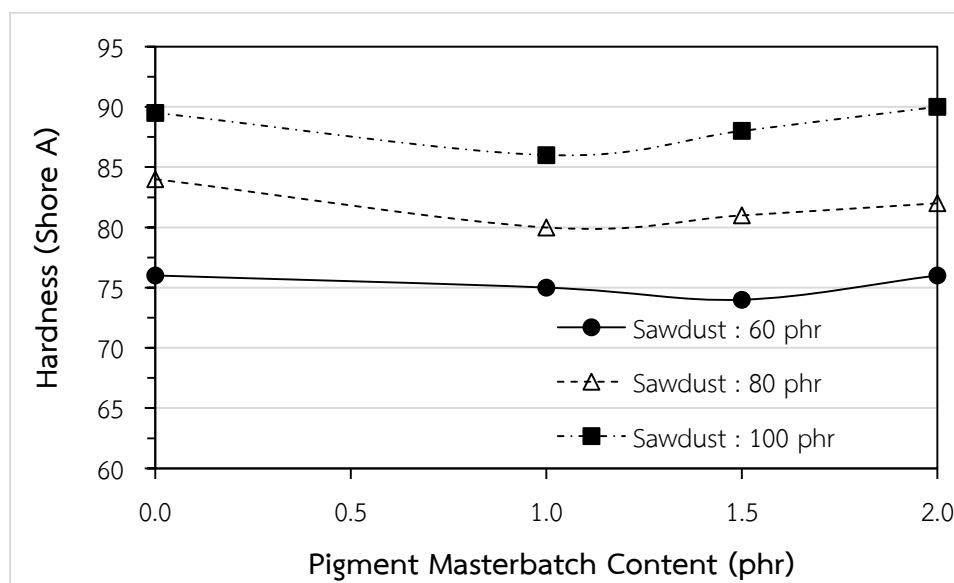
(ง) 500x

รูปที่ 4.24 โครงสร้างสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบยางพาราที่เสริมแรงด้วยขี้เลื่อยไม้ยางพารา ปริมาณ (ก) (ข) 60 phr และ (ค) (ง) 100 phr

4.3.3 ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อค่าความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารา

รูปที่ 4.25 แสดงผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อค่าความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารา ซึ่งพบว่าการเติมสีมาสเตอร์แบทช์ในช่วงปริมาณ 1-2 phr มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อค่าความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารา โดยความ

แข็งของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารามีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 1 phr และความแข็งของวัสดุเชิงประกอบฯ กลับมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์เมื่อเติมเป็นส่วนผสมในช่วง 1.5-2 phr



รูปที่ 4.25 ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา

4.3.4 ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อลักษณะทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา

ลักษณะทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราที่มีผลกระทบมาจากปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยพบว่า วัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้ยางพาราปริมาณ 60 phr เมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณ 1-2 phr ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบฯ มีสีที่อ่อนลงตามปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ ในขณะที่วัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้ยางพาราปริมาณ 80 phr เมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นในช่วงปริมาณ 1-2 phr กลับส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบฯ มีสีที่เข้มขึ้นตามปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ที่เติมเป็นส่วนผสม นอกจากนี้สำหรับวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้ยางพาราปริมาณ 100 phr พบว่า การผสมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 1.5 phr ให้สีที่เข้มที่สุด

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมยางพาราที่มีผลกระทบมาจากปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์และซีลีเนียมยางพารา

ปริมาณสี มาสเตอร์แบทช์	ปริมาณซีลีเนียมยางพารา		
	60 phr	80 phr	100 phr
1.0 phr			
1.5 phr			
2.0 phr			

จากการพิจารณาร่วมระหว่างคณะผู้วิจัยและฝ่ายพัฒนาผลิตภัณฑ์ของบริษัท แพลนครีเอชั่น จำกัด ต่อลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา สามารถสรุปได้ว่า วัสดุเชิงประกอบยางพาราเสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้ยางพารา 100 phr และผสมสี มาสเตอร์แบทช์ 2 phr มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปขึ้นรูปเป็นของเล่นเด็กต้นแบบ เพื่อการทดสอบ สมบัติตามข้อกำหนดของเล่นเด็กต่อไป เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบฯ สูตรนี้มีความแข็งแรงสูงกว่าสูตรอื่นๆ มีลักษณะทางกายภาพด้านสีที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของบริษัท และที่สำคัญมีการเติมซีลี้อยไม้เป็นส่วนผสมสูงที่สุด ทำให้มีต้นทุนวัสดุต่ำที่สุด

4.4 สมบัติผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราที่ผสมสี

4.4.1 สมบัติการตกกระทบพื้นผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบที่ผสมสี

จากผลการทดสอบการตกกระทบพื้นของเล่นเด็กที่ผสมสี ดังแสดงในรูปที่ 4.26 ซึ่งดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM F963-17 โดยนำของเล่นเด็กตัวอย่างที่ผสมสียกสูงขึ้นจากพื้น ที่ระดับความสูง 135 cm. จากนั้นปล่อยของเล่นเด็กตัวอย่างให้ตกกระทบพื้น ซึ่งปล่อยให้ของเล่นตกกระทบพื้นซ้ำจุดเดิมจำนวน 10 ครั้ง และผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราที่ผสมสีไม่เกิดการแตกหรือเสียหาย ซึ่งถือว่า ผ่าน (Pass) เกณฑ์ตามมาตรฐานการทดสอบ

4.4.2 สมบัติการกระแทกผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็กต้นแบบที่ผสมสี

จากผลการทดสอบการกระแทกของเล่นเด็กที่ผสมสี ดังแสดงในรูปที่ 4.27(ก) ซึ่งดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM F963-17 โดยนำของเล่นเด็กตัวอย่างที่ผสมสีวางบนพื้นราบ จากนั้นปล่อยลูกตุ้มทรงกระบอกที่มีน้ำหนัก 1 Kg. จากระดับความสูง 10 cm. ให้ตกกระทบกับของเล่นเด็กที่ผสมสี จำนวน 1 ครั้ง และผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราที่ผสมสีไม่เกิดการแตกหรือเสียหาย ซึ่งถือว่า ผ่าน (Pass) เกณฑ์ตามมาตรฐานการทดสอบ

4.4.3 สมบัติการแช่น้ำของเล่นเด็กต้นแบบที่ผสมสี

จากผลการทดสอบการแช่น้ำของเล่นเด็กต้นแบบที่ผสมสี ดังแสดงในรูปที่ 4.27(ข) ซึ่งดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D570 โดยมีการแช่น้ำ 1, 4, 6, 13, 19 และ 20 วัน และพบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่า 2.25%, 4.12%, 5.09%, 7.65%, 9.17% และ 9.17% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการแช่น้ำ อย่างไรก็ตามการดูดซับน้ำของ

วัสดุเชิงประกอบฯ ไม่มีการดูดเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มเวลาการแช่น้ำจาก 19 วัน เป็น 20 วัน นั้นหมายความว่า วัสดุเชิงประกอบยางพาราที่เสริมแรงด้วยซีลีเนียมยางพารา 100 phr และผงสี 2 phr มีการดูดซับน้ำจนอิ่มตัวที่ระยะเวลา 19 วัน นอกจากนี้จากผลการทดสอบยังรายงานให้เห็นด้วยว่า วัสดุเชิงประกอบยางพาราที่เสริมแรงด้วยซีลีเนียมยางพารา 100 phr และผงสี 2 phr มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเป็นปกติตามข้อกำหนดของเล่นเด็ก เมื่อวัสดุเชิงประกอบฯ ถูกแช่น้ำเป็นระยะเวลา 13 วัน

4.4.4 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมยางพาราที่ผสมสีตามข้อกำหนดของ มอก. 685

ผลการทดสอบหาปริมาณโลหะหนักในวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมยางพาราที่ผสมสีตามข้อกำหนดของ มอก. 685 แสดงดังรูปที่ 4.28 - 4.29 โดยพบว่า แผ่นตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมยางพาราที่ผสมสี มีปริมาณโลหะหนักเป็นส่วนผสมไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนดตามเกณฑ์ของ มอก. 685 เล่ม 1-2530 ประเทศไทย โดยมาตรฐานกำหนดว่า สาร Mercury (Hg) ต้องมีค่าไม่เกิน 60 ppm, สาร Arsenic (As) ต้องมีค่าไม่เกิน 25 ppm, Barium (Ba) ต้องมีค่าไม่เกิน 1000 ppm, Cadmium (Cd) ต้องมีค่าไม่เกิน 75 ppm, Chromium (Cr) ต้องมีค่าไม่เกิน 60 ppm, Lead (Pb) ต้องมีค่าไม่เกิน 90 ppm, Antimony (Sb) ต้องมีค่าไม่เกิน 60 ppm และ Selenium (Se) ต้องมีค่าไม่เกิน 500 ppm ซึ่งจากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า วัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมยางพาราที่ผสมสี มีสาร Mercury (Hg) ปริมาณ 7.40 ppm (mg/kg), สาร Arsenic (As) มีการตรวจสอบไม่พบ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 2.6127 ppm, สาร Barium (Ba) มีปริมาณ 7.398 ppm, สาร Cadmium (Cd) มีค่าน้อยกว่า 0.709 ppm, สาร Chromium (Cr) มีค่าน้อยกว่า 0.691 ppm, สาร Lead (Pb) มีค่า 10.190 ppm, สาร Antimony (Sb) มีค่าน้อยกว่า 7.216 ppm และ สาร Selenium (Se) มีค่าน้อยกว่า 12.125 ppm ดังนั้นจากปริมาณโลหะหนักทั้ง 8 ชนิด ที่ตรวจสอบพบในวัสดุเชิงประกอบฯ ชนิดนี้สามารถสรุปได้ว่า มีค่าไม่เกินมาตรฐานตามข้อกำหนดของ มอก. 685

รูปที่ 4.26 สมบัติการตกกระทบพื้นผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็ก

[illegible]

(ก)

(๒)



Scientific Equipment Center
Prince of Songkla University

Central Academic Administrator Bld. Hat Yai Campus, Songkhla 90110
Tel. 074-286904-7 Fax. 074-212813 E-mail: sec-all@group.psu.ac.th Website: http://www.sec.psu.ac.th

Vision: A growing government organization with a strong drive towards high performance and sustainability through services of advanced scientific research equipment

F-RES-033 rev. 5 07/11/61

TEST REPORT

Report No.:	R0580/62	Page:	1/2
Issue date:	February 21, 2019	Date Received:	February 06, 2019
Test Request Form No.:	0565/62		
Customer Name and Address:	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya 1 Bo Yang, Mueang Songkhla District, Songkhla 90000		
Sample Name:	Wood-rubber composites		
Sample condition:	Solid		
Sample description:	Wood-rubber composites		
Test date:	February 08, 2019 - February 11, 2019		

Test Result(s): Please refer to next page

(Mrs. Roosanee Kulvijitra)

Head of Scientific Research Equipment Services

February 21, 2019

Remark This test report is valid only for the tested sample.
This test report shall not be reproduced except in full, without written approval of the Scientific Equipment Center.

รูปที่ 4.28 ผลการทดสอบหาปริมาณโลหะหนักในวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีเมนต์ยางพารา
ที่ผสมสีตามข้อกำหนดของ มอก. 685



Scientific Equipment Center

Prince of Songkla University

Central Academic Administrator Bld. Hat Yai Campus, Songkhla 90110

Tel. 074-286904-7 Fax. 074-212813 E-mail: sec-all@group.psu.ac.th Website: http://www.sec.psu.ac.th

Vision: A growing government organization with a strong drive towards high performance and sustainability through services of advanced scientific research equipment

F-RES-033 rev. 5 07/11/61

Report No.: R0580/62

Page: 2/2

Test Result(s):

No.	Parameters	Unit	Instrument/methods	Results $\pm$ SD
1.	Mercury (Hg)	$\mu\text{g/kg}$	Mercury Analyzer	7.40 ± 0.06
2.	Arsenic (As)	mg/kg	ICP-OES	Not Detected
3.	Barium (Ba)	mg/kg	ICP-OES	7.398 ± 0.060
4.	Cadmium (Cd)	mg/kg	ICP-OES	< 0.709
5.	Chromium (Cr)	mg/kg	ICP-OES	< 0.691
6.	Lead (Pb)	mg/kg	ICP-OES	10.190 ± 0.533
7.	Antimony (Sb)	mg/kg	ICP-OES	< 7.216
8.	Selenium (Se)	mg/kg	ICP-OES	< 12.125

- The results were referred to test request (F-ASO-054) no 0565/62

- ICP-OES: Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer

- Limit of Quantitation (LOQ): Cd - 0.709 mg/kg, Cr - 0.691 mg/kg, Sb - 7.216 mg/kg and Se - 12.125 mg/kg

- Limit of Detection (LOD): As = 2.6127 mg/kg

- Test sample as received basis

- non-homogeneous sample

- SD = Standard Deviation

End of result

Remark

This test report is valid only for the tested sample.

This test report shall not be reproduced except in full, without written approval of the Scientific Equipment Center.

รูปที่ 4.29 ผลการทดสอบหาปริมาณโลหะหนักในวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีเมนต์ยางพารา
ที่ผสมสีตามข้อกำหนดของ มอก. 685 (ต่อ)

4.4.5 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยู่มยางพารา

จากการส่งเรือของเล่นตัวอย่างจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยู่มยางพาราที่ผสมสี มาสเตอร์แบทช์ไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักยังบริษัท TUV SUD PSB Pte. Ltd. ประเทศสิงคโปร์ สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.30-4.38

รูปที่ 4.31 แสดงการสรุปผลการทดสอบหาปริมาณสารโลหะหนักตามข้อกำหนดของ สหภาพยุโรป (European Union; EU) และสหรัฐ (United States; US) พบว่า ปริมาณโลหะหนักกลุ่ม Migration of Certain Elements, Cadmium, Phthalates, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), N-Nitrosamines and N-Nitrosatable Substances, Total Heavy Metal และ Lead มีค่า ผ่านมาตรฐานตามข้อกำหนดของสหภาพยุโรปและสหรัฐ

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบหา Soluble Heavy Metals Content ตามมาตรฐาน ASTM F963-17 ดังแสดงในรูปที่ 4.32 พบว่า เรือของเล่นตัวอย่างจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยู่มยางพาราที่ผสมสี มาสเตอร์แบทช์มีปริมาณโลหะหนักเป็นส่วนผสมไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนดตามเกณฑ์ ของสหรัฐอเมริกา (USA) และ มอก. 685 เล่ม 1-2530 ประเทศไทย โดยมาตรฐานทั้ง 2 กำหนดสาร Antimony (Sb) ต้องมีค่าไม่เกิน 60 ppm, สาร Arsenic (As) ต้องมีค่าไม่เกิน 25 ppm, Barium (Ba) ต้องมีค่าไม่เกิน 1000 ppm, Cadmium (Cd) ต้องมีค่าไม่เกิน 75 ppm, Chromium (Cr) ต้องมีค่าไม่เกิน 60 ppm, Lead (Pb) ต้องมีค่าไม่เกิน 90 ppm, Mercury (Hg) ต้องมีค่าไม่เกิน 60 ppm และ Selenium (Se) ต้องมีค่าไม่เกิน 500 ppm ซึ่งจากผลการทดสอบไม่พบสารโลหะหนักที่ละลายได้ในวัสดุ เชิงประกอบฯ ชนิดนี้ ถึงแม้จะมีการตั้งค่าการตรวจสอบ (Detection Limit) ที่ปริมาณ 2.5 ppm สำหรับ Arsenic ที่ปริมาณ 0.2 ppm สำหรับ Chromium และ 5.0 ppm สำหรับโลหะหนักชนิดอื่นๆ

รูปที่ 4.33 แสดงผลการทดสอบหา Phthalates Content ชนิด Di-iso nonyl Phthalate (DINP) ซึ่งพบว่า เรือของเล่นตัวอย่างจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยู่มยางพาราที่ผสมสี มาสเตอร์แบทช์มีปริมาณสาร DINP เป็นส่วนผสมไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนดตามเกณฑ์ของสหรัฐ ซึ่ง ข้อกำหนดได้กำหนดไว้ว่า วัสดุต้องมีสาร DINP ไม่เกิน 0.1% และสามารถตรวจพบสาร DINP ในวัสดุเชิง ประกอบฯ ชนิดนี้เพียง 0.068%

รูปที่ 4.34 แสดงผลการทดสอบหา Migration of Certain Elements ซึ่งพบว่า เรือของ เล่นตัวอย่างจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยู่มยางพาราที่ผสมสี มาสเตอร์แบทช์มีปริมาณสาร โลหะหนักเป็นส่วนผสมไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนดตามเกณฑ์ของสหภาพยุโรป ยกตัวอย่าง 1) สาร Manganese (Mn) ตรวจพบมีปริมาณเพียง 5.4 ppm แต่มาตรฐานกำหนดต้องมีปริมาณไม่เกิน 15,000 ppm และ 2) สาร Zinc (Zn) ตรวจพบมีปริมาณเพียง 449 ppm แต่มาตรฐานกำหนดต้องมีปริมาณไม่

เกิน 46,000 ppm นอกจากนี้ปริมาณโลหะหนักอื่นๆ เช่น Aluminium (Al), Antimony (Sb), Arsenic (As), Barium (Ba), Cadmium (Cd), Cobalt (Co), Copper (Cu), Mercury (Hg), Selenium (Se), Tin (Sn) เป็นต้น มีการตรวจพบน้อยกว่าค่าที่ตั้งสำหรับการตรวจสอบ ยกตัวอย่าง Aluminium (Al) มีการตั้งค่าการตรวจสอบไว้ 5 ppm แต่มีการรายงานผลว่า ตรวจพบ Aluminium (Al) <5 ppm

รูปที่ 4.35 แสดงผลการทดสอบ Total Cadmium Content ตามมาตรฐาน EN 1122:2001 Method B ซึ่งพบว่า เรือของเล่นตัวอย่างจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมยางพาราที่ผสมสี มาสเตอร์แบทช์มีปริมาณ Total Cadmium เป็นส่วนผสมไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนดตามเกณฑ์ของ สหภาพยุโรป โดยตามข้อกำหนดวัสดุต้องมี Total Cadmium Content ไม่เกิน 100 ppm และในวัสดุเชิงประกอบฯ ชนิดนี้ มีการตรวจสอบไม่พบ (ND) ในขณะที่มีการตั้งค่าการตรวจสอบที่ปริมาณ 2 ppm นั้นหมายความว่า ปริมาณ Total Cadmium ที่ตรวจสอบไม่พบมีปริมาณน้อยกว่า 2 ppm ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก

จากผลการทดสอบหา Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Content ดังแสดง ในรูปที่ 4.36 พบว่า เรือของเล่นตัวอย่างจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมยางพาราที่ผสมสี มาสเตอร์แบทช์มีปริมาณสารกลุ่ม Napthalene และ Sum of all listed PAHS แต่ละกลุ่ม 0.7 ppm เป็นส่วนผสมไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนดตามเกณฑ์ของสหภาพยุโรป ซึ่งตามข้อกำหนดได้กำหนดให้ในวัสดุ มีสาร Napthalene น้อยกว่า 1 ppm และ Sum of all listed PAHS น้อยกว่า 1 ppm

จากการรายงานผลการทดสอบข้างต้นนี้แสดงให้เห็นว่า โลหะหนักชนิดต่างๆ ที่เป็นสารต้องห้ามในของเล่นเด็กหรือเป็นสารที่ต้องมีปริมาณไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยส่วนใหญ่ตรวจสอบไม่พบเป็นส่วนผสมอยู่ในวัสดุเชิงประกอบฯ ชนิดนี้ ถึงแม้จะมีการตั้งค่าการตรวจสอบในระดับที่ต่ำก็ตาม

Test Report No. 7191206683-EEC19
dated April 12, 2019

Note: This report is issued subject to the Testing and Certification Regulations of the TÜV SÜD Group and the General Terms and Conditions of Business of TÜV SÜD PSB Pte Ltd. In addition, this report is governed by the terms set out within this report.



PSB Singapore

Choose certainty.
Add value.

Client : FACULTY OF ENGINEERING, RAJAMANGALA
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY SRIVIJAYA,
1 RATCHADAMNOEN NOK, BO YANG, MUANG,
SONGKHLA 90000, THAILAND
ATTN: K.SUPAPORN

Test Sample : RECEIVED ON 21/03/2019

Test Period : FROM 21/03/2019 TO 12/04/2019

Sample Description : 1) SAWDUST RUBBERWOOD AND RUBBER

SAMPLE PHOTO



Laboratory:
TÜV SÜD PSB Pte. Ltd.
No.1 Science Park Drive
Singapore 118221

Phone : +65-6885 1285
Fax : +65-6776 8670
E-mail: enquiries@tuv-sud-psb.sg
www.tuv-sud-psb.sg
Co. Reg : 199002667R

Regional Head Office:
TÜV SÜD Asia Pacific Pte. Ltd.
1 Science Park Drive, #02-01
Singapore 118221
TUV®

Page 1 of 12

รูปที่ 4.30 ข้อมูลทั่วไปของการทดสอบหาปริมาณสารโลหะหนัก และลักษณะเรือของเล่นตัวอย่าง

Test Report No. 7191206683-EEC19
dated April 12, 2019



PSB Singapore

SUMMARY OF TEST RESULTS

TEST REQUESTED	CONCLUSION	REMARK
MIGRATION OF CERTAIN ELEMENTS	PASS	EU
CADMIUM CONTENT	PASS	EU
PHthalATES CONTENT	PASS	EU
POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS (PAHS) CONTENT	PASS	EU
N-NITROSAMINES AND N-NITROSATABLE SUBSTANCES CONTENT	PASS	EU
TOTAL HEAVY METAL CONTENTS	PASS	US
TOTAL LEAD CONTENT IN SURFACE COATING	PASS	US
PHthalATES CONTENT	PASS	US

For any concern or technical Inquiries, please contact

KOO CHIEH VOON
HARDLINE PRODUCT MANAGER
Tel: +65 6885 1554
Email: Chieh-Voon.KOO@tuv-sud-psb.sg

PERFORMED BY:

WONG KOK LEONG
TEAM LEADER

APPROVED BY:

KOO CHIEH VOON
HARDLINE PRODUCT MANAGER

รูปที่ 4.31 สรุปผลการทดสอบหาปริมาณสารโลหะหนักในเรือของเล่นตัวอย่าง

Test Report No. 7191190153-EEC18_CR2
(re-issue dated November 07, 2018)



PSB Singapore

TEST RESULT(S):

Soluble Heavy Metals Content in Substrate - ASTM International Standard ASTM F963-17, Section 4.3.5.2(2)(b)

Test Method : ASTM International Standard ASTM F963-17, Section 8.3.5 (Excluding 8.3.5.5(3)).

Soluble Element(s)	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Pb	Sb	Se
Maximum Allowable Limit (mg/kg)	25	1 000	75	60	60	90	60	500

-	Unit	Result
Test Item(s)	-	1
Soluble Arsenic (As)	mg/kg	ND
Soluble Barium (Ba)	mg/kg	ND
Soluble Cadmium (Cd)	mg/kg	ND
Soluble Chromium (Cr)	mg/kg	ND
Soluble Mercury (Hg)	mg/kg	ND
Soluble Lead (Pb)	mg/kg	ND
Soluble Antimony (Sb)	mg/kg	ND
Soluble Selenium (Se)	mg/kg	ND
Conclusion	-	PASS

Note / Key :

ND = Not detected
% = percent
mg/kg = milligram(s) per kilogram = ppm = part(s) per million
Detection Limit (mg/kg) - As : 2.5 ; Ba : 5 ; Cd : 5 ; Cr : 0.2 ; Hg : 5 ; Pb : 5 ; Sb : 5 ; Se : 5

">" = Greater than
g = gram(s)
NR = Not requested

Total Lead Content in Substrate - United States Consumer Product Safety Improvement Act (CPSIA) Section 101(a)(2)

Test Method : U.S. CPSC-CH-E1002-08.3, analysis by ICP-OES

Maximum Allowable Limit :	100 mg/kg
----------------------------------	------------------

-	Unit	Result
Test Item(s)	-	1
Total Lead (Pb)	mg/kg	ND
Conclusion	-	PASS

Note / Key :

ND = Not detected
mg/kg = milligram(s) per kilogram = ppm = part(s) per million
10000 mg/kg = 1 %
Detection Limit (mg/kg) : 5

">" = Greater than
% = percent

รูปที่ 4.32 ผลการทดสอบ Soluble Heavy Metals Content และ Total Lead Content ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่อย่างพาราที่ผสมสีมีสเตอร์แบทซ์

Test Report No. 7191206683-EEC19
dated April 12, 2019



PSB Singapore

TEST RESULT(S): (Continued)

Phthalates Content in Children`s Toys and Child Care Articles - United States Code of Federal Regulations (CFR), Title 16, Part 1307 and United States Consumer Product Safety Improvement Act (CPSIA) of 2008, Sections 108(a) and 108(b)(3)

Test Method : In house method, solvent extraction by ultrasonic bath, determination by GC/MS

Maximum Allowable Limit :	0.1 % (Each of all listed phthalates) ^[b]			
Test Item(s)	Result			Conclusion
	Detected Analyte(s)	Conc.	Unit	
1	DINP	0.068	%	PASS

Note / Key :

ND = Not detected

% = percent

U. S. CPSC = United States Consumer Product Safety Commission

mg/kg = milligram(s) per kilogram = ppm = part(s) per million

Detection Limit (%) : Each of the listed phthalates : 0.005

">" = Greater than
1 % = 10 000 mg/kg

Conc. = Concentration

APPENDIX

List of Phthalates [U. S. 16 CFR 1307 and U. S. CPSIA of 2008, Sections 108(a) and 108(b)(3)] :					
No.	Name of Analyte(s)	CAS-No.	No.	Name of Analyte(s)	CAS-No.
1	Butyl benzyl phthalate (BBP)	85-68-7	5	Di-iso-butyl phthalate (DIBP)	84-69-5
2	Dibutyl phthalate (DBP)	84-74-2	6	Di-n-pentyl phthalate (DnPP or DPENP)	131-18-0
3	Di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP)	117-81-7	7	Di-n-hexyl phthalate (DnHP or DHEXP)	84-75-3
4	Di-iso-nonyl phthalate (DINP)	28553-12-0	8	Di-cyclohexyl phthalate (DCHP)	84-61-7
CAS-No. = Chemical Abstracts Service registry number					

รูปที่ 4.33 ผลการทดสอบ Phthalates Content ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีดี้อยู่ไม้ยางพารา
ที่ผสมสีมาสเตอร์แบทช์

Test Report No. 7191206683-EEC19
dated April 12, 2019



PSB Singapore

TEST RESULT(S): (Continued)

Migration of Certain Elements - European Standard EN 71 Part 3: 2013 with Amendment A3: 2018

Test Method : With reference to EN 71 Part 3: 2013 with Amendment A3: 2018 by ICP-MS

See Soluble Element (Parameter) and its corresponding Maximum Allowable Limit (Req.) in Result Table	Type I	Dry, brittle, powder-like or pliable toy material
	Type II	Liquid or sticky toy material
	Type III	Scraped-off toy material

-	Unit	Req.	Result (mg/kg)	
Test Item(s)	-	-	1	Detection Limit
Type	-	III	III	III
Aluminium (Al)	mg/kg	70000	<5	5
Antimony (Sb)	mg/kg	560	<5	5
Arsenic (As)	mg/kg	47	<2.5	2.5
Barium (Ba)	mg/kg	18750	<5	5
Boron (B)	mg/kg	15000	<5	5
Cadmium (Cd)	mg/kg	17	<5	5
#1Chromium (Cr)	mg/kg	/	<0.2	0.2
#2Chromium III (Cr III)	mg/kg	460	<0.2	0.2
#2Chromium VI (Cr VI)	mg/kg	0.2	<0.2	0.2
Cobalt (Co)	mg/kg	130	<5	5
Copper (Cu)	mg/kg	7700	<5	5
Lead (Pb)	mg/kg	23	<5	5
Manganese (Mn)	mg/kg	15000	5.4	5
Mercury (Hg)	mg/kg	94	<5	5
Nickel (Ni)	mg/kg	930	<5	5
Selenium (Se)	mg/kg	460	<5	5
Strontium (Sr)	mg/kg	56000	<5	5
Tin (Sn)	mg/kg	180000	<5	5
#3Organic tin	mg/kg	12	<5	5
Zinc (Zn)	mg/kg	46000	449	5
Conclusion	-	-	PASS	-

Note / Key :

ND = Not detected

NR = Not requested

mg/kg = milligram(s) per kilogram = ppm = part(s) per million

">" = Greater than

g = gram(s)

Req. = Requirement

INCON. = Inconclusive

Remark :

- #1Chromium III and Chromium VI are determined by screening of total chromium
- #2Chromium VI is determined by UV-VIS spectrometry, Chromium (III) = total Chromium – Chromium (VI)
- #3Organic Tin is determined by screening of total Tin

รูปที่ 4.34 ผลการทดสอบ Migration of Certain Elements ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อย

ไม้อยางพาราที่ผสมสีมาสเตอร์แบทช์

Test Report No. 7191206683-EEC19
dated April 12, 2019



PSB Singapore

TEST RESULT(S): (Continued)

Total Cadmium Content in Plastics - Regulation (EC) No. 1907/2006 Annex XVII Entry 23 Paragraph 1(a)

Test Method : With reference to EN 1122: 2001 Method B. Acid digestion and analysis by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) or Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometer (ICP-AES).

Maximum Allowable Limit :		100 mg/kg
-	Unit	Result
Test Item(s)	-	1
Total Cadmium (Cd)	mg/kg	ND
Conclusion	-	PASS

Note / Key :

ND = Not detected

mg/kg = milligram(s) per kilogram

Detection Limit (mg/kg): 2

">" = Greater than

"<" = Less than

รูปที่ 4.35 ผลการทดสอบ Total Cadmium Content ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลียไม้
ยางพาราที่ผสมสีมาสเตอร์แบทซ์

Test Report No. 7191206683-EEC19
dated April 12, 2019



PSB Singapore

TEST RESULT(S):

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Content

Test Method : With reference to test method mentioned in German AfPS GS 2014:01 PAK.

Type (See Comment for the List of Types)	I	IIa	IIb	IIIa	IIIb
Test Parameter(s)	Limit (mg/kg)				
Each of Benzo (a) pyrene, Benzo (e) pyrene, Benzo (a) anthracene, Benzo (b) fluoranthene, Benzo (j) fluoranthene, Benzo (k) fluoranthene, Chrysene, Dibenzo (a,h) anthracene, Benzo (g,h,i) perylene and Indeno (1,2,3-cd) pyrene	< 0.2	< 0.2	< 0.5	< 0.5	< 1
Naphthalene	< 1	< 2	< 2	< 10	< 10
Sum of Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Pyrene, Anthracene and Fluoranthene (Sum of No. 11to No. 17 of listed PAHs)	< 1	< 5	< 10	< 20	< 50
Sum of all listed PAHs	< 1	< 5	< 10	< 20	< 50

Test Item(s)	Type	Result			Conclusion
		Detected Analyte(s)	Conc.	Unit	
1	I	Naphthalene	0.7	mg/kg	PASS
		Sum of all listed PAHs	0.7	mg/kg	

Note / Key :

ND = Not detected
mg/kg = milligram(s) per kilogram = ppm = part(s) per million
AfPS = Ausschuss für Produktsicherheit = Product Safety Commission
GS = GS-Spezifikation = GS Specification
ProdSG = Produktsicherheitsgesetz = Product Safety Act
Detection Limit (mg/kg) : Each : 0.2; Sum : 0.2

">" = Greater than
Conc. = Concentration
'<' = Less than
PAK = PAHs
No. = Number(s)

Remark :

- The list of polycyclic aromatic hydrocarbons is summarized in table of Appendix.

รูปที่ 4.36 ผลการทดสอบ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Content ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่อย่างพาราที่ผสมสีมาสเตอร์แบทช์

Test Report No. 7191206683-EEC19
dated April 12, 2019



PSB Singapore

TEST RESULT(S): (Continued)

N-Nitrosamines and N-Nitrosatable Substances Content Release from Elastomers - European Standard EN 71 Part 12: 2016, Section 4.2

Test Method : European Standard EN 71 Part 12: 2016.

Requirement(s) :				
Type [See List of Product Type(s)]	I	II	III	IV
Parameter(s)	Maximum Allowable Limit (mg/kg)			
Total N-Nitrosamines (NAs) release	0.01	0.05	0.05	0.05
Total N-Nitrosatable Substances (NSs) release	0.1	1	1	1

Test Item(s)	1		
Type	I		
Parameter	Unit	Result	
		NAs	NSs
NDELA release	mg/kg	< 0.01	< 0.065
NDMA release	mg/kg	< 0.01	< 0.065
NDEA release	mg/kg	< 0.01	< 0.065
NDPA release	mg/kg	< 0.01	< 0.065
NDiPA release	mg/kg	< 0.01	< 0.065
NDBA release	mg/kg	< 0.01	< 0.065
NDiBA release	mg/kg	< 0.01	< 0.065
NDiNA release	mg/kg	< 0.01	< 0.065
NMOR release	mg/kg	< 0.01	< 0.065
NPIP release	mg/kg	< 0.01	< 0.065
NDBzA release	mg/kg	< 0.01	< 0.065
NMPhA release	mg/kg	< 0.01	< 0.065
NEPhA release	mg/kg	< 0.01	< 0.065
Total release	mg/kg	< 0.01	< 0.065
Conclusion		PASS	

Note / Key :

ND = Not detected ">" = Greater than NR = Not requested
mg/kg = milligram(s) per kilogram = ppm = part(s) per million

Remark :

- The list of individual N-Nitrosamines, on which the determination of total releases for N-Nitrosamines and N-Nitrosatable substances is based, is summarized in table of Appendix.

List of Product Type(s) :			
Type	Product Type(s)	Type	Product Type(s)
I	Toys intended for use by children under 36 months and intended or likely to be placed into the mouth	III	Toys intended for use by children of 36 months and over and intended to be placed into the mouth
II	Toys intended for use by children under 36 months not covered by Type I	IV	Balloons

รูปที่ 4.37 ผลการทดสอบ N-Nitrosamines and N-Nitrosatable Substances Content Release ของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยางพาราที่ผสมสีมาสเตอร์แบทช์

Test Report No. 7191206683-EEC19
dated April 12, 2019



PSB Singapore

APPENDIX

List of N-nitrosamines [European Standard EN 71 Part 12: 2016, Section 4.2] :					
No.	Name of Analyte(s)	CAS-No.	No.	Name of Analyte(s)	CAS-No.
1	N-nitrosodiethanolamine (NDELA)	1116-54-7	8	N-nitrosodiisononylamine (NDiNA)	1207995-62-7
2	N-nitrosodimethylamine (NDMA)	62-75-9	9	N-nitrosomorpholine (NMOR)	59-89-2
3	N-nitrosodiethylamine (NDEA)	55-18-5	10	N-nitrosopiperidine (NPIP)	100-75-4
4	N-nitrosodipropylamine (NDPA)	621-64-7	11	N-nitrosodibenzylamine (NDBzA)	5336-53-8
5	N-nitrosodiisopropylamine (NDiPA)	601-77-4	12	N-nitroso N-methyl N-phenylamine (NMPHA)	614-00-6
6	N-nitrosodibutylamine (NDBA)	924-16-3	13	N-nitroso N-ethyl N-phenylamine (NEPhA)	612-64-6
7	N-nitrosodiisobutylamine (NDiBA)	997-95-5	-	-	-
CAS-No. = Chemical Abstracts Service registry number					

รูปที่ 4.38 สรุปรายชื่อของสาร N-Nitrosamines ที่ทดสอบ

4.5 การผลิตเรือของเล่นต้นแบบ

ในการผลิตเรือของเล่นต้นแบบมีขั้นตอนการผลิต 3 กระบวนการหลัก ดังนี้

4.5.1 กระบวนการเตรียมยางพารา STR 5L และซีลี้อยไม้ยางพารา

1) นำยางพาราแท่ง STR 5L มาย่อยให้มีขนาดเล็กลงที่สามารถผสมในเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 การย่อยลดขนาดยางพาราแท่ง STR 5L

2) นำขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ได้จากโรงงานแปรรูปของเล่นไม้มาแยกขนาดโดยใช้เครื่องร่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.40 และร่อนให้ขี้เลื่อยผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช จากนั้นนำขี้เลื่อยที่ผ่านตะแกรงไปอบ เพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และทำการจัดเก็บโดยการซีลเพื่อรอการผสม



รูปที่ 4.40 การเตรียมขี้เลื่อยไม้ยางพารา

4.5.2 กระบวนการเตรียมยางคอมปาวด์

ผสมยางธรรมชาติกับสียาสเตอร์แบทซ์ สารเคมี และขี้เลื่อยไม้ยางพาราตามปริมาณที่กำหนดดังตารางที่ 4.3 ด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.41 โดยมีขั้นตอนดังนี้

- นำยางพาราแท่ง STR 5L เข้าบดในเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง เป็นเวลา 3 นาที
- ผสมสียาสเตอร์แบทซ์ เข้าไปเป็นเวลา 2 นาที
- ผสมสาร ZnO เข้าไปเป็นเวลา 1 นาที
- ผสมสาร Stearic acid เข้าไปเป็นเวลา 1 นาที
- ผสม Wingstay-L เข้าไปเป็นเวลา 1 นาที
- ผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารา เข้าไปเป็นเวลา 5 นาที

- ผสม Sulfur และ CBS เข้าไปเป็นเวลา 2 นาที
- ตัดสลับไปมา และม้วนยางผสมสารเคมีบนลูกกลิ้ง เพื่อให้สารเคมีกระจายตัว เป็นเวลา 2 นาที

ตารางที่ 4.3 สูตรยางและปริมาณสารเคมีต่างๆ สำหรับใช้ผลิตเรือของเล่นต้นแบบ

สารเคมี	phr
ยาง STR 5L	100
Pigment	2
ZnO	3
Stearic acid	1
Wingstay-L	1
Rubberwood sawdust	100
CBS	1
Sulfur	2.5



รูปที่ 4.41 การผสมยางธรรมชาติกับสีมาสเตอร์แบทช์ สารเคมี และซีลี้อยู่อย่างพารา

4.5.3 กระบวนการขึ้นรูปยางคอมปาว์ดเป็นเรือของเล่น

นำยางคอมปาว์ดมาอัดเป็นเรือของเล่นต้นแบบ โดยใช้เครื่องอัดร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 150 °C และแรงดัน 1000 psi เป็นเวลา 10 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 การอัดขึ้นรูปวัสดุเซรามิกประกอบยางพาราและซีเมนต์ที่มีการผสมสีเป็นเรือของเล่นต้นแบบ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.43 เรือของเล่นต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีล้อยไม้ยางพารา (ก) ที่มีการผสมสี และ (ข) ไม่มีการผสมสี



รูปที่ 4.44 เรือของเล่นต้นแบบที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนของเล่นไม้

4.6 คำนวณต้นทุนยางคอมปาวด์สำหรับผลิตของเล่นเด็ก

เมื่อมีการพัฒนาวัสดุชนิดใหม่ประสบผลสำเร็จ ต้นทุนของวัสดุเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องทราบ เพื่อความสามารถทางการแข่งขันและความคุ้มค่าในการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปต้นทุนหลักของวัสดุจะประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง และต้นทุนพลังงานกระบวนการ [26] ดังนั้นงานวิจัยนี้จะคำนวณเฉพาะต้นทุนวัตถุดิบทางตรงและต้นทุนพลังงานของกระบวนการเตรียมยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา

ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง ยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา มีสูตรที่เหมาะสมสำหรับการนำไปผลิตของเล่นเด็ก ประกอบด้วย ยางพาราแท่ง STR 5L ปริมาณ 100 phr สีมัสเตอร์แบทซ์ ปริมาณ 2 phr สารซิงค์ออกไซด์ ปริมาณ 3 phr สารสเตียรัลคเอเลิซ ปริมาณ 1 phr สาร Wingstay-L ปริมาณ 1 phr สาร CBS ปริมาณ 1 phr สารกำมะถัน ปริมาณ 2.5 phr และซีลี้อยไม้ยางพารา ปริมาณ 100 phr ซึ่งในการคำนวณต้นทุนวัตถุดิบนี้จะคำนวณที่ปริมาณยางคอมปาวด์ 1 กิโลกรัม โดยมีรายละเอียดของปริมาณการใช้วัสดุแต่ละชนิดและราคาแสดงดังตารางที่ 4.4 และสมการที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนวัตถุดิบทางตรง คือ

$$\text{ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง} = \text{ปริมาณที่ใช้} \times \text{ราคา} \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.4 ต้นทุนวัตถุดิบทางตรงของยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา

วัสดุ	A: ปริมาณ (กรัม)	B: ราคา (บาท/กรัม)	A x B: ต้นทุน (บาท)
ยางพาราแท่ง STR 5L	500	0.094	47.0
สีมาสเตอร์แบทซ์	10	0.69	6.9
สารซิงค์ออกไซด์	15	0.048	0.72
สารสเตียรัลคเอเลิซ	5	0.032	0.16
สาร Wingstay-L	5	0.14	0.7
สาร CBS	5	0.075	0.375
สารกำมะถัน	12.5	0.075	0.9375
ซีลี้อยไม้ยางพารา	500	0.001	0.5
ต้นทุนรวมของวัตถุดิบทางตรง			57.30

หมายเหตุ: ราคายางพาราแท่ง STR 5L และสารเคมี ณ วันที่ 6 มีนาคม 2561

จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 และใช้สมการที่ 4.1 คำนวณพบว่า ต้นทุนวัตถุดิบทางตรงของยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา คือ 57.30 บาท/กิโลกรัม

ต้นทุนพลังงานของกระบวนการ ในกระบวนการเตรียมยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา มีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 2 กระบวนการ คือ 1) กระบวนการเตรียมซีลี้อยไม้ยางพารา และ 2) กระบวนการผสมยาง โดยเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละกระบวนการถูกแสดงดังตารางที่ 4.5 ซึ่งเครื่องจักรแต่ละชนิดมีการใช้กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เช่น เครื่องร่อนแยกขนาดใช้กำลังไฟฟ้า 0.37 kW และตู้บไล้ความชื้นใช้กำลังไฟฟ้า 2.17 kW เป็นต้น นอกจากนี้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่นำมาใช้คำนวณต้นทุนของกระบวนการเป็นอัตราของกิจการขนาดกลางที่มีระดับแรงดัน 22-33 kV ซึ่งมีค่าพลังงานไฟฟ้า 2.6037 บาท/หน่วย ดังนั้นต้นทุนพลังงานของแต่ละเครื่องจักร คือ

$$\text{ต้นทุนพลังงานเครื่องจักร} = \text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{เวลาการใช้งาน} \times 2.6037 \quad (4.2)$$

ตารางที่ 4.5 ต้นทุนพลังงานกระบวนการเตรียมยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา

เครื่องจักร	กำลังไฟฟ้า (kW)	เวลาการใช้งาน (ชั่วโมง)	ค่าพลังงานไฟฟ้า* (บาท/หน่วย)	ต้นทุน (บาท)
กระบวนการเตรียมซีลี้อยไม้ยางพารา				
เครื่องร่อนแยกขนาด	0.37	0.50	2.6037	0.4816
ตู้บไล้ความชื้น	2.17	0.50	2.6037	2.8250
กระบวนการผสมยาง				
เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง	9.0	0.30	2.6037	7.0299
ต้นทุนพลังงานของกระบวนการ				10.34

หมายเหตุ: *ค่าพลังงานไฟฟ้าเป็นอัตราของกิจการขนาดกลางที่มีระดับแรงดัน 22-33 kV

จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 และใช้สมการที่ 4.2 คำนวณต้นทุนพลังงานของแต่ละเครื่องจักรพบว่า ต้นทุนพลังงานของกระบวนการเตรียมยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา คือ 10.34 บาท/กิโลกรัม

ดังนั้นต้นทุนประมาณการของยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา คือ 67.64 บาท/กิโลกรัม ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนวัตถุดิบทางตรง 57.30 บาท/กิโลกรัม และต้นทุนพลังงานของกระบวนการ 10.34 บาท/กิโลกรัม

4.7 การวิเคราะห์ศักยภาพของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา

ในการพิจารณาศักยภาพของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราด้านต่าง ๆ เปรียบเทียบกับของเล่นเด็กจากซีลี้อยไม้ผสมกาวสามารถจำแนกได้ดังนี้

1) ด้านต้นทุน ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารามีต้นทุนหลัก คือ ยางพาราแท่ง STR 5L ในขณะที่ของเล่นเด็กจากซีลี้อยไม้ผสมกาวมีต้นทุนหลัก คือ กาว ซึ่งเป็นการชนิดพิเศษที่ปลอดภัยต่อเด็ก ทำให้มีราคาที่สูงกว่า หากพิจารณาในส่วนของต้นทุนวัสดุของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบฯ จะมีต้นทุนที่สูงกว่า อย่างไรก็ตามของเล่นเด็กจากซีลี้อยไม้ผสมกาวมีสมบัติการดูดซับน้ำสูง ทำให้ต้องมีกระบวนการเคลือบผิวเข้ามาช่วยแก้ปัญหา ซึ่งกระบวนการเคลือบนี้ส่งผลให้ต้นทุนของเล่นเด็กจากซีลี้อยไม้ผสมกาวเพิ่มขึ้น 40% ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราจะมีต้นทุนที่ต่ำกว่า ทำให้มีศักยภาพด้านต้นทุนที่สูงกว่า

2) ด้านคุณภาพและสมบัติ ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารามีคุณภาพและสมบัติตามข้อกำหนดของเล่นเด็กทุกประการเช่นเดียวกับของเล่นที่ผลิตมาจากซีลี้อยไม้ผสมกาว อย่างไรก็ตามของเล่นเด็กจากวัสดุเชิงประกอบฯ จะมีสมบัติที่ไม่แข็งแรงดั่งเหมือนกับซีลี้อยไม้ผสมกาว โดยจะให้สมบัติที่นุ่มและสามารถจับได้ถนัดมือ ไม่ลื่น อีกทั้งเมื่อพิจารณาถึงความปลอดภัยหากเกิดการขว้างปาของเล่นเด็กใส่กัน ของเล่นเด็กจากวัสดุเชิงประกอบฯ จะให้ความปลอดภัยเนื่องจากมีเนื้อวัสดุที่ไม่แข็ง นอกจากนี้เนื่องจากของเล่นเด็กจากวัสดุเชิงประกอบฯ มีสมบัติยืดหยุ่นสูง ทำให้ไม่มีโอกาสที่ของเล่นจากวัสดุชนิดนี้จะเกิดการแตกเป็นเศษเล็ก ๆ ที่เป็นความเสี่ยงต่อการนำเข้าปากของเด็ก

3) ด้านการใช้ประโยชน์ วัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราสามารถนำไปผลิตเป็นของเล่นเด็กได้หลากหลายรูปแบบมากกว่าซีลี้อยไม้ผสมกาว เนื่องจากในการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบฯ สามารถไหลเข้ามุมต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ได้อย่างทั่วถึง ในขณะที่ซีลี้อยไม้ผสมกาวจะไม่เกิดการไหล ทำให้มีข้อจำกัดในการนำไปใช้ผลิตของเล่นเด็กที่มีทรงสูงและมีร่องหรือมุมเล็ก ๆ นอกจากนี้เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบฯ มียางพาราเป็นเมทริกซ์ ทำให้สามารถประสานซีลี้อยไม้ได้อย่างทั่วถึงกว่าการใช้กาวเป็นตัวประสาน ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบฯ มีการดูดซับน้ำน้อยกว่าซีลี้อยไม้ผสมกาวเมื่อถูกนำไปแช่น้ำ ดังนั้นวัสดุเชิงประกอบฯ จึงมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นของเล่นเด็กสำหรับใช้เล่นในน้ำเป็นอย่างมาก

จากข้อดีและข้อเสียของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราดังที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า วัสดุเชิงประกอบฯ มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นของเล่นเด็กมากกว่าวัสดุซีลี้อยไม้ผสมกาวในทุก ๆ ด้าน หากมีการนำไปผลิตเป็นของเล่นเด็กในเชิงพาณิชย์

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในการดำเนินงานวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุเชิงประกอบระหว่างยางธรรมชาติและซีลี้อยไม้ยางพารา สำหรับผลิตของเล่นสำหรับเด็ก ได้ดำเนินงานวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 ทำการวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลี้อยไม้ยางพาราต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบยางพารา และระยะที่ 2 ทำการวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา ดังนั้นผลการวิจัยในโครงการวิจัยนี้ได้สรุปเป็นสมบัติของวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติและซีลี้อยไม้ยางพาราไว้ในรายงานฉบับสมบูรณ์เล่มนี้แล้ว ซึ่งผลการวิจัยสามารถสรุปเป็นระยะได้ดังนี้

ระยะที่ 1 ผลกระทบของปริมาณสารซิงค์ออกไซด์และซีลี้อยไม้ยางพาราต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบยางพารา พบว่า

- การเติมสารซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นในช่วง 3-5 phr มีผลกระทบเล็กน้อยต่อค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด ค่าระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสูก ค่าระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสม ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสการดึง ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด และค่าความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา แต่สำหรับแผ่นยางที่ไม่เติมซีลี้อยไม้พบว่า การเติมสารซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 5 phr ให้ค่ามอดูลัสการดึงสูงกว่าการเติมสารซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 3 phr อย่างชัดเจน

- การเติมซีลี้อยไม้ยางพาราเป็นส่วนผสมในวัสดุเชิงประกอบยางพาราเพิ่มขึ้นในช่วง 20-100 phr ส่งผลให้ค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดลดลงตามปริมาณซีลี้อยไม้ยางพาราที่เติมเป็นส่วนผสม โดยเฉพาะค่าการยืดตัว ณ จุดขาดลดลงอย่างชัดเจน เมื่อเติมซีลี้อยไม้ยางพาราเป็นส่วนผสม 100 phr

- ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราไม่เกิดการฉีกขาด เสียรูปแบบถาวร และเกิดการแตกหรือเสียหาย เมื่อทดสอบการดึง การบิด การตกกระทบพื้น และการกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM F963-17 ซึ่งถือว่า ผ่าน (Pass) เกณฑ์ตามมาตรฐานการทดสอบ

- เมื่อนำแผ่นชิ้นงานตัวอย่างของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราไปทดสอบหาปริมาณสารโลหะหนักต่างๆ ที่เป็นสารต้องห้ามในของเล่นเด็กหรือเป็นสารที่ต้องมีปริมาณไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ผลที่ได้รับโดยส่วนใหญ่ตรวจสอบไม่พบเป็นส่วนผสมอยู่ในวัสดุเชิงประกอบ

ยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา ซึ่งมีการรายงานผลเป็น N.D. (Not Detected) ถึงแม้จะมีการตั้งค่าการตรวจสอบในระดับที่ต่ำก็ตาม

ระยะที่ 2 ผลกระทบของปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา พบว่า

- การเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสมปริมาณ 1-2 phr มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อค่าแรงบิดต่ำสุดและค่าแรงบิดสูงสุดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราเสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้ยางพาราปริมาณ 60, 80 และ 100 phr โดยค่าแรงบิดสูงสุดของวัสดุเชิงประกอบฯ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตามปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ที่เติมเป็นส่วนผสมในช่วง 1-2 phr

- ระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบฯ มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 1 phr แต่ระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบฯ มีค่าลดลงเมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 1.5 phr และระยะเวลาการคงรูปที่เหมาะสมกลับมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 2 phr

- วัสดุเชิงประกอบยางพาราเสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้ยางพาราปริมาณ 100 phr เมื่อเติมสีมาสเตอร์แบทช์เป็นส่วนผสม 1 phr ส่งผลให้ความแข็งแรงดึงและความแข็งมีค่าลดลง แต่เมื่อเติมสีเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นใน 1.5-2 phr กลับส่งผลให้ความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตามปริมาณของสีมาสเตอร์แบทช์

- ของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราที่ผสมสีมาสเตอร์แบทช์ไม่เกิดการฉีกขาด เสียรูปแบบถาวร และเกิดการแตกหรือเสียหาย เมื่อทดสอบการตกกระทบพื้นและการกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM F963-17 ซึ่งถือว่า ผ่าน (Pass) เกณฑ์ตามมาตรฐานการทดสอบ

- การแช่น้ำของเล่นเด็กต้นแบบที่ผสมสีระยะเวลา 1, 4, 6, 13, 19 และ 20 วัน มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ 2.25%, 4.12%, 5.09%, 7.65%, 9.17% และ 9.17% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการแช่น้ำ เช่นเดียวกันผลการทดสอบยังรายงานให้เห็นด้วยว่า วัสดุเชิงประกอบยางพาราที่เสริมแรงด้วยซีลี้อยไม้ยางพารา 100 phr และสีมาสเตอร์แบทช์ 2 phr มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเป็นปกติตามข้อกำหนดของเล่นเด็ก เมื่อวัสดุเชิงประกอบฯ ถูกแช่น้ำเป็นระยะเวลา 13 วัน

- เมื่อนำของเล่นเด็กต้นแบบจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราไปทดสอบหาปริมาณสารโลหะหนักต่างๆ ที่เป็นสารต้องห้ามในของเล่นเด็กหรือเป็นสารที่ต้องมีปริมาณไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ผลที่ได้รับโดยส่วนใหญ่ตรวจสอบไม่พบเป็นส่วนผสมอยู่ในวัสดุเชิงประกอบ

ยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา ซึ่งมีการรายงานผลเป็น N.D. (Not Detected) ถึงแม้จะมีการตั้งค่าการตรวจสอบในระดับที่ต่ำก็ตาม

นอกจากนี้สูตรยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพาราที่เหมาะสมสำหรับการนำไปผลิตของเล่นเด็ก ประกอบด้วย ยางพาราแท่ง STR 5L ปริมาณ 100 phr สีมาสเตอร์แบทช์ ปริมาณ 2 phr สารซิงค์ออกไซด์ ปริมาณ 3 phr สารสเตียริคเอซิก ปริมาณ 1 phr สาร Wingstay-L ปริมาณ 1 phr สาร CBS ปริมาณ 1 phr สารกำมะถัน ปริมาณ 2.5 phr และซีลี้อยไม้ยางพารา ปริมาณ 100 phr โดยสามารถนำมาคำนวณหาต้นทุนประมาณการของยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา และพบว่า มีต้นทุน 67.64 บาท/กิโลกรัม โดยประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง 67.64 บาท/กิโลกรัม และต้นทุนพลังงานของกระบวนการ 10.34 บาท/กิโลกรัม

ข้อเสนอแนะ

1) การปรับสีของผลิตภัณฑ์ต้องเลือกปริมาณซีลี้อยไม้ที่จะใช้ผสมกับยางพาราให้คงที่ จากนั้นค่อย ๆ เพิ่มหรือลดปริมาณสีมาสเตอร์แบทช์ตามความต้องการที่จะให้ผลิตภัณฑ์มีสีที่สดใสแค่ไหน อย่างไรก็ตามในอนาคตหากสามารถผสมซีลี้อยไม้เป็นส่วนผสมได้มากกว่า 100 phr โดยมีส่วนผสมของซีลี้อยไม้มากกว่ายางพารา มีความเป็นไปได้ว่า ควรผสมซีลี้อยไม้กับผงสีก่อน จากนั้นนำไปผสมกับยางพารา ซึ่งอาจทำให้การปรับสีของผลิตภัณฑ์จะสามารถกระทำได้ง่ายกว่า ดังนั้นอาจต้องมีการศึกษาต่อไปสำหรับวิธีการผสมสีในรูปแบบนี้

2) ผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากงานวิจัยนี้สามารถขึ้นรูปให้มีความบางได้อีก เพื่อลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากวัสดุมีส่วนผสมของยางพาราทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถยืดหยุ่นสูง แต่ถ้าผลิตภัณฑ์มีความบางมากเกินไปจะทำให้เกิดการอ่อนตัวไม่คงรูปหรือเกิดการบิดเบี้ยวได้ง่าย อย่างไรก็ตามหากต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีความบางมาก ๆ เพื่อต้องการลดต้นทุน การเติมซีลี้อยไม้เป็นส่วนผสมมากขึ้นจะสามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงและลดการบิดเบี้ยวได้ แต่จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการฉีกขาดได้ง่ายขึ้น เนื่องจากความแข็งแรงและความสามารถยืดหยุ่นของวัสดุลดลง ดังนั้นควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของผลิตภัณฑ์ ปริมาณซีลี้อยไม้ และอัตราการเสียรูปของผลิตภัณฑ์ต่อไป เพื่อให้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์สามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ได้บางที่สุด แต่ยังคงรักษาความแข็งแรงและคุณลักษณะพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ไว้ได้

3) ในวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้เมื่อมีการเติมซีลี้อยไม้เป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้น โอกาสการเกิดเชื้อราของวัสดุจะมีมากขึ้นเมื่อผลิตภัณฑ์มีการสัมผัสกับความชื้นหรือมีการแช่น้ำ ดังนั้นหากมีการผสมซีลี้อยไม้เป็นส่วนผสมมากกว่า 100 phr ควรมีการเติมสารป้องกันการเกิดเชื้อราเป็นส่วนผสม อย่างไรก็ตามเกรดของสารเคมีที่นำมาใช้ต้องเป็นเกรดที่ไม่มีสารต้องห้ามในผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็ก

บรรณานุกรม

- [1] กิตติ อนุชาพัฒน์ และคณะ, คอมโพสิต: สมาคมไทยคอมโพสิต, บริษัท โอ.เอส. พรีนติ้งเฮาส์ จำกัด, 2548.
- [2] K. B. Adhikary, "Development of wood flour-recycled polymer composite panels as building materials," Chemical and Process Engineering. Doctor of Philosophy: University of Canterbury 2008.
- [3] P. Nygard, B. S. Tanem, T. Karlsen, P. Brachet, and B. Leinsvang, "Extrusion-based wood fibre-PP composites: Wood powder and pelletized wood fibres- a comparative study," Composites Science and Technology, vol. 68, pp. 3418-3424, 2008.
- [4] T. T. L. Doan, S. L. Gao, and E. Mader, "Jute/polypropylene composites I. Effect of matrix modification," Composites Science and Technology, vol. 66, pp. 952-963, 2006.
- [5] M. Bengtsson, M. L. Baillif, and K. Oksman, "Extrusion and mechanical properties of highly filled cellulose fibre-polypropylene composites," Composites: part A, vol. 38, pp. 1922-1931, 2007.
- [6] H. Gao, Y. M. Song, Q. W. Wang, Z. Han, and M. L. Zhang, "Rheological and mechanical properties of wood fiber-PP/PE blend composites," Journal of Forestry Research, vol. 19, p. 315-318, 2008.
- [7] S. Y. Lee, I. A. Kang, G. H. Doh, W. J. Kim, J. S. Kim, H. G. Yoon, and Q. Wu, "Thermal, mechanical and morphological properties of polypropylene/clay/wood flour nanocomposites," Express Polymer Letters, vol. 2, pp. 78-87, 2008.
- [8] M. U. Orden, C. G. Sanchez, M. G. Quesada, and J. M. Urreaga, "Effect of different coupling agents on the browning of cellulose-polypropylene composites during melt processing," Polymer Degradation and Stability, vol. 95, pp. 201-206, 2010.
- [9] S. M. B. Nachtigall, G. S. Cerveira, and S. M. L. Rosa, "New polymeric-coupling agent for polypropylene/wood-flour composites," Polymer Testing, vol. 26, pp. 619-628, 2007.

- [10] พงษธร แซฮุย, ยาง ชนิด สมบัติ และการใช้งาน, ปทุมธานี: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 2548.
- [11] วราภรณ์ ขจรไชยกูล, ยางธรรมชาติ การผลิตและการใช้งาน, กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2549.
- [12] ศุภรัตน์ นวลสุวรรณ, ยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยซิลิกาจากแกลบ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- [13] พงษธร แซฮุย และชาคริต สิริสิงห, ยาง กระบวนการผลิตและการทดสอบ, ปทุมธานี: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550.
- [14] พงษธร แซฮุย, สารเคมียาง, ปทุมธานี: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2548.
- [15] การปลูกยางพาราในพื้นที่แห่งใหม่, สวนวิชาการเกษตร สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, 2547.
- [16] ยางพารา, สถาบันวิจัยยาง, กรมวิชาการเกษตร, ปที่ 28 ฉบับที่ 2 พ.ค.-ส.ค. 2550.
- [17] ณัฐพล ภูตระกูล และกนกพร บุญนวน, การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยซิลิกาจากแกลบเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมล้อยาง, วิทยาศาสตร์บัณฑิต โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 2550.
- [18] P. Pranut et al., "Using water-hyacinth fiber as a filler in natural rubber," J. Sci. Res. Chula. Univer., vol. 26, No. 1, 2001.
- [19] H. Ismail, and S.M. Nasir, "Dynamic vulcanization of rubber wood filled polypropylene/natural rubber blends," Polymer Testing, vol. 20, pp. 819-823, 2001.
- [20] L.a. Goettler and K.S. Shen, "Short fibre reinforcement elastomers," Rubber Chemistry and Technology, vol. 56, pp. 620-638, 1983.
- [21] D.K. Setua and S.K. De, "Short silk fibres reinforced natural rubber composites," Rubber Chemistry and Technology, vol. 56, pp. 808-827, 1983.
- [22] เสาวรจน ช่วยจุลจิตร และคณะ "การใช้ซิลิกาจากแกลบเป็นสารตัวเติมเสริมแรงในยางธรรมชาติ," จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [23] ฐิติพงศ์ ตั้งฐานานุศักดิ์, "ผลของสารตัวเติมต่อความเสียดทานและการสึกหรอของยางธรรมชาติ," 2543.
- [24] ศิรินทร ทองแสง และณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, "การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของยางธรรมชาติที่เติมผงเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทยกับซิลิกาเกรดการค้า," 2547.

- [25] ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, เอกชัย วิมลมาลา, ชีระศักดิ์ หมายผิน และชัชวาลย์ กันทะลา, "การผลิตและทดสอบหลังคayangพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับซีเมนต์," รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2558.
- [26] C. Homkhiew, "Optimal formulation of recycled polypropylene/rubberwood flour composites on mechanical and creep behaviors," Industrial Engineering. Doctor of philosophy in industrial and systems engineering, Prince of Songkla University, 2013.

ภาคผนวก

การถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่ตัวแทนบริษัท แพลนคริสเอชเอ็นเอส จำกัด

ในวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2562 ทางคณะผู้วิจัยได้มีการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่ตัวแทนบริษัท แพลนครีเอชันส์ จำกัด โดยทางคณะผู้วิจัยได้มีการเปิดเผยสูตรส่วนผสมของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่ยางพารา และมีการสาธิตการผสมยางคอมปาวด์และขึ้นรูปยางคอมปาวด์เป็นของเล่นเด็กให้ดูเป็นตัวอย่าง ในขณะเดียวกันยังได้ให้ตัวแทนบริษัททดลองขึ้นรูปของเล่นเด็กต้นแบบด้วยตัวเองด้วย ดังแสดงในรูป



การสาธิตการผสมยางคอมปาวด์



ตัวแทนบริษัททดลองขึ้นรูปของเล่นเด็กต้นแบบ



เรือของเล่นเด็กต้นแบบจากโครงการวิจัย

ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาร่างรายงานฉบับสมบูรณ์และการประชุมปิดโครงการวิจัย ปีงบประมาณ 2561

โครงการวิจัย การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อย่างพาราสำหรับผลิตของเล่นเด็ก

หัวหน้าโครงการวิจัย ผศ.ดร.ชาติรี หอมเขียว

ตารางสรุปความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิจัย และผู้ประสานงาน (เฉพาะประเด็นสำคัญ)

ความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ	คำชี้แจงของนักวิจัย	การจัดการของผู้ประสานงาน
1. ขอให้แก้ไขการรายงานต้นทุนเป็นต่อกิโกรัม	คณะผู้วิจัยได้คำนวณต้นทุนประมาณการของยางคอมปาวด์จากวัสดุเชิงประกอบฯ ใหม่ โดยคำนวณต้นทุนให้มีหน่วยเป็นต่อกิโกรัม ในหน้าที่ 91-92	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
2.ขอให้เพิ่มเติมรายละเอียดการเปรียบเทียบต้นทุน คุณภาพ การใช้ประโยชน์ และข้อดีข้อเสียของผลิตภัณฑ์จากโครงการนี้ กับผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ขอให้หมายเหตุราคาขายพารา ณ เวลาที่ทำการทดลองด้วย	- ผู้วิจัยได้อภิปรายเปรียบเทียบต้นทุน คุณภาพ การใช้ประโยชน์ และข้อดีข้อเสียของผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากโครงการนี้กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมาจากซีลี้อย่างพาราของบริษัทแพลนตรีเอช ในหัวข้อ 4.7 หน้าที่ 93 - ผู้วิจัยได้เพิ่มหมายเหตุของราคาขายพาราและสารเคมี ณ วันที่ 6 มีนาคม 2561 ที่นำมาใช้คำนวณต้นทุนของวัสดุได้ ตารางที่ 2 หน้าที่ 91	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
3.ขอให้นักวิจัยเพิ่มเติมความคิดเห็นและแนวทางเรื่องการปรับสีของผลิตภัณฑ์ในอนาคต	ผู้วิจัยได้เพิ่มแนวทางการปรับสีของผลิตภัณฑ์ในอนาคต โดยได้อธิบายไว้ในข้อเสนอแนะข้อที่ 1 ในหน้าที่ 95	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
4.ขอให้ระบุอายุของเด็กที่เหมาะสมในการเล่นของเล่นที่พัฒนาจากโครงการนี้	งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์และขอบเขต คือ ต้องการพัฒนาเรือของเล่นที่เหมาะสมกับเด็กอายุ 12 เดือน ขึ้นไป ซึ่งได้ระบุไว้ในวัตถุประสงค์และขอบเขตในเล่มรายงานวิจัยหน้าที่ 2	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ

ความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ	คำชี้แจงของนักวิจัย	การจัดการของผู้ประสานงาน
5.อยากให้ปรับสีของผลิตภัณฑ์ให้อ่อนลงหรือสดใสกว่านี้ นักวิจัยชี้แจงว่าเป็นเพราะสีของซีลี้อยู่ไม่พาราที่ใช้เป็นส่วนประกอบ การทำให้สีผลิตภัณฑ์ให้อ่อนลงหรือสดใสกว่านี้อาจต้องลดปริมาณซีลี้อยู่ไม่พาราที่ใช้	ตามที่นักวิจัยได้ชี้แจงในวันประชุมปิดโครงการวิจัยว่า ปริมาณซีลี้อยู่ไม่พาราที่มีความสัมพันธ์กับความสดใสของสีผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่า ปริมาณซีลี้อยู่ไม่พาราต่อความเข้มและความสดใสของสีผลิตภัณฑ์ ที่ปริมาณสีมาตรฐานแบบทงที่ การเพิ่มปริมาณซีลี้อยู่ไม่พาราส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สีเข้มขึ้น ดังนั้นหากต้องให้ผลิตภัณฑ์มีสีสดใสใสแค่ไหน ต้องเลือกปริมาณซีลี้อยู่ไม่พาราที่ จากนั้นค่อย ๆ เพิ่มหรือลดปริมาณสีมาตรฐานแบบ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีสนตามความต้องการ อย่างไรก็ตามสีแดงของผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันทางโรงงานตัวอย่างมีความพึงพอใจแล้ว	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
6.ขอให้นักวิจัยเปรียบเทียบต้นทุนของผลิตภัณฑ์จากโครงการนี้กับผลิตภัณฑ์ที่คล้ายกันในปัจจุบัน (ซีลี้อยู่ผสมแล้วนำไปอัดเป็นผลิตภัณฑ์)	ผู้วิจัยได้อธิบายเปรียบเทียบต้นทุนของผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากโครงการนี้กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมาจากซีลี้อยู่ผสมแล้วของบริษัทแพลนทรีเอชั่น ในหัวข้อ 4.7 หน้าที่ 93	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
7.น่าจะทำของเล่นเด็กให้มีความบางมากกว่านี้เพื่อลดต้นทุนการผลิต นักวิจัยชี้แจงว่าสามารถทำได้โดยการแปรผันปริมาณส่วนประกอบต่างๆ	ผู้วิจัยได้อธิบายแนวทางการลดความหนาของผลิตภัณฑ์เพื่อลดต้นทุน และได้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของผลิตภัณฑ์ ปริมาณซีลี้อยู่ไม่พารา และอัตราการเสียรูปของผลิตภัณฑ์ โดยได้อธิบายไว้ในข้อเสนอแนะข้อที่ 2 ในหน้าที่ 95	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
8.เกรงปัญหาเรื่องสีที่ใช้จะมีอันตรายกับเด็กเล็กหรือไม่ นักวิจัยชี้แจงว่าไม่สามารถใช้สีผงออร์แกนิกได้เนื่องจากผสมเข้ากันได้ยาก จึงใช้สีที่ใช้กับยางพารา แต่ได้นำไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณโลหะและความเป็นพิษเรียบร้อยแล้ว	ตามที่นักวิจัยได้ชี้แจงในวันประชุมปิดโครงการวิจัยว่า ได้มีความพยายามหาซื้อสีออร์แกนิกที่ใช้ผสมกับยาง แต่ทางบริษัทจัดหาสารเคมีสำหรับยางไม่สามารถหาซื้อได้ ทำให้พยายามแก้ปัญหาโดยการนำผงสีที่ใช้ผสมกับซีลี้อยู่ไม่พาราของบริษัทแพลนทอยมาทดลองใช้ แต่ผลที่ได้รับยางผสมไม่เข้ากับผงสีของบริษัทแพลนทอย ทำให้ผู้วิจัยตัดสินใจนำสี	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ

ความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ	คำชี้แจงของนักวิจัย	การจัดการของผู้ประสานงาน
	ماسเตอร์แบทที่ใช้ผสมยางมาใช้ แต่ก่อนการนำมาใช้ได้มีการนำสีมาสเตอร์แบทไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารโลหะหนักที่เป็นส่วนผสม ซึ่งผลพบว่า มีสารโลหะหนักไม่เกินมาตรฐานกำหนด ทำให้มั่นใจได้ว่าสีมาสเตอร์แบทที่นำมาใช้มีความปลอดภัยเมื่อนำมาผสมกับยางเพื่อผลิตของเล่นเด็ก	
9.ให้ตรวจสอบเรื่องทรัพย์สินทางปัญญา หากสามารถดำเนินการได้ให้จด(อนุ)สิทธิบัตร	ผู้วิจัยได้ทบทวนสิทธิบัตรและอนุสิทธิบัตรที่มีการยื่นจดมาแล้วพบว่า ในช่วงเวลาที่ผ่านมามีการยื่นจดอนุสิทธิบัตรที่ครอบคลุมชนิดและปริมาณสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้แล้ว ทำให้ผลจากงานวิจัยนี้ไม่สามารถยื่นขอจดอนุสิทธิบัตรได้ ซึ่งในความเป็นจริงงานวิจัยนี้จะมีความแตกต่างจากงานวิจัยในอดีตในส่วนของการดัดสารเคมีที่นำมาใช้ เพื่อให้สามารถนำมาผลิตของเล่นเด็กได้ แต่ความแตกต่างในการดัดสารเคมีนี้ไม่สามารถยื่นขอจดอนุสิทธิบัตรได้	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
10.ความยากพอสมควรต้องชั่งน้ำหนักก่อนนำไปอบขึ้นงานและควรเพิ่มกราฟจากเครื่องทดสอบ	การทดสอบหาปริมาณความชื้นในวัสดุเชิงประกอบฯ ชนิดนี้ดำเนินการได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากวัสดุชนิดนี้มีการดูดซับความชื้นในอากาศค่อนข้างต่ำมาก ๆ เนื่องจากมียางเป็นเนื้อเมทริกซ์ นอกจากนี้การหาปริมาณความชื้นในวัสดุไม่ได้เป็นข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของเล่นเด็ก ทำให้ไม่มีการทดสอบในงานวิจัยนี้	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
11.ต้องทำอะไรให้ซีล้อยไม่อมน้ำ เมื่อแช่น้ำไม่เกิดการเปื่อยหรือเปลี่ยนสภาพ ต้องหาวิธีไม่ให้เกิดเชื้อรา ในการทำต้องเน้นที่ความปลอดภัยตามเกณฑ์มาตรฐานของเล่นเด็ก	ในความเป็นจริงซีล้อยไม้เป็นวัสดุที่ชอบดูดซับน้ำ หากจะทำให้ซีล้อยไม้ไม่ดูดซับน้ำคงต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงมาก ซึ่งอาจไม่คุ้มค่ากับต้นทุน แต่เมื่อผสมกับยางพาราแล้ว วัสดุจากงานวิจัยนี้มีการดูดซับน้ำในปริมาณน้อยมาก เมื่อเทียบกับไม้ธรรมชาติและซีล้อยไม้ผสมกาวที่ใช้ผลิตของเล่นเด็ก	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ

ความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ	คำชี้แจงของนักวิจัย	การจัดการของผู้ประสานงาน
	ในปัจจุบัน ดังนั้นประเด็นการดูดซับน้ำของวัสดุชนิดนี้คงไม่มีปัญหาต่อการนำมาใช้ผลิตของเล่นเด็ก ในขณะเดียวกันเนื่องจากวัสดุชนิดนี้เป็นวัสดุเชิงประกอบที่มียางพาราเป็นเนื้อหลัก ซึ่งยางพาราจะไม่เกิดการเปื่อยหรือแปรสภาพอย่างเน่นนอนเมื่อแช่ในน้ำ อย่างไรก็ตามในประเด็นการเกิดเชื้อรามีความเป็นไปได้ หากมีการเติมขี้เลื่อยไม่เป็นส่วนผสมปริมาณที่สูงมาก ซึ่งผู้วิจัยได้เสนอแนะเพิ่มเติมแล้วในข้อเสนอแนะข้อที่ 3 หน้าที่ 95 สุดท้ายตลอดการดำเนินงานวิจัยในโครงการนี้ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการตามเกณฑ์มาตรฐานของเล่นเด็กมาโดยตลอด และผลที่ได้รับจากโครงการวิจัย คือ วัสดุเชิงประกอบฯ จากงานวิจัยนี้สามารถนำมาผลิตของเล่นเด็กได้ โดยผ่านตามข้อกำหนดของเล่นเด็กในทุก ๆ ด้าน	