



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยและพัฒนาต้นแบบที่นอนยางพารา
สำหรับทหารกองประจำการกองทัพบก

โดย พันเอกหญิง ดร.เปรมวิภา ทองขำนิ และคณะ

มิถุนายน 2561

สัญญาเลขที่ RDG60T0153

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยและพัฒนาต้นแบบที่นอนยางพารา
สำหรับทหารกองประจำการกองทัพบก

คณะผู้วิจัย

สังกัด

พันเอกหญิง ดร.เปรมวิภา ทองขำนิ

กรมพลธิการทหารบก

ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์ แสนบุญเรือง

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

หัวข้อโครงการวิจัย	การวิจัยและพัฒนาต้นแบบที่นอนยางพาราสำหรับทหารกองประจำการ กองทัพบก
หัวหน้าโครงการ	พันเอกหญิง ดร.เปรมวิภา ทองขำนิ
ผู้ร่วมงานวิจัย	ผศ.ดร.เกียรติศักดิ์ แสนบุญเรือง
ที่ปรึกษาโครงการวิจัย	พล.ต.ชัยวัฒน์ แสงทอง
หน่วยงานหลัก	กรมพลธิการทหารบก
หน่วยงานสนับสนุน	สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยฉบับนี้ศึกษาและพัฒนาต้นแบบที่นอนยางพาราสำหรับทหารกองประจำการ กองทัพบกทดแทนการใช้ที่นอนใยมะพร้าวแบบเดิม โดยงานวิจัยนี้ศึกษาความหนาแน่นของยางโฟม 3 สูตรความหนาแน่น คือ Den 80, 85 และ 90 kg/m³ เพื่อหาความหนาแน่นที่เหมาะสมของยางโฟม สำหรับใช้เป็นต้นแบบที่นอนยางพารา นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงความพึงพอใจในการใช้ต้นแบบที่นอนยางพาราจากกลุ่มตัวอย่างผู้ทดลองใช้ต้นแบบที่นอนยางพาราในสถานที่จริง จากการศึกษาความหนาแน่นของยางโฟม พบว่า ยางโฟมสูตรความหนาแน่น Den 85 มีความหนาแน่นสูงสุดที่ 138.8 kg/m³ รองลงมาคือสูตร Den 90 และ 80 ซึ่งมีความหนาแน่น 110.4 และ 92.8 kg/m³ ตามลำดับ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ยางโฟมสูตร Den 85 ในการผลิตต้นแบบที่นอนยางพาราสำหรับนำไปใช้ทดลองใช้งานจริงจำนวน 30 หลัง โดยกลุ่มผู้ทดลองใช้งานต้นแบบที่นอนยางพารา คือ กลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลธิการ กรมพลธิการทหารบก จำนวน 30 นาย ซึ่งจากการเก็บข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้ต้นแบบที่นอนยางพาราด้วยแบบสอบถาม พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อการใช้ที่นอนยางพารามากกว่าที่นอนใยมะพร้าวแบบเดิม โดยให้เหตุผลว่า ที่นอนยางพาราช่วยให้นอนหลับสบาย สามารถทำความสะอาดและปูได้ง่าย นอกจากนี้ ที่นอนยางพารายังไม่มีฝุ่นละอองที่ทำให้แสบจมูกเวลานอนเหมือนดังที่นอนใยมะพร้าว และไม่มีใยมะพร้าวเสียดที่ออกมาจากที่นอน รวมทั้งที่นอนยางพารายังสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ดังนั้น กลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลธิการ กรมพลธิการทหารบก ทั้ง 30 นาย จึงมีความพึงพอใจต่อการใช้ที่นอนยางพารามากกว่าที่นอนใยมะพร้าวแบบเดิม

คำสำคัญ: ที่นอนยางพารา/ที่นอนสำหรับทหาร/ยางพารา/ยางโฟม

Abstract

This work aimed to study and to develop prototypes of a mattress used in military bases from natural rubber in order to replace former mattresses made from coconut fibers. Three different mattress densities of 80, 85, and 90 kg/m³ were manufactured and tested to find the most appropriate density of the mattress to be used as a reference for mattress prototypes. Furthermore, this work also conducted satisfactory surveys from actual mattress's users. The results showed that the mattress with the intended density of 85 kg/m³ had the highest actual density of 138.8 kg/m³, while the intended densities of 90 kg/m³ and 80 kg/m³ had the actual densities of 110.4 kg/m³ and 92.8 kg/m³, respectively. As a consequence, this work selected the intended density of 85 kg/m³ to produce 30 mattress prototypes for users to test. The satisfactory surveys revealed that the users felt the natural rubber mattress was more comfortable than the former coconut-fiber mattress. These were because the developed mattresses helped them sleep better, easier to clean, and less dusts spreading during the sleep, which was better than the coconut-fiber mattresses. Moreover, the mattresses were lighter, leading to more convenient during transportation. In conclusion, the actual military users were satisfy with the developed mattresses.

Keywords: Natural rubber mattress, Military mattress, Natural rubber, Foam rubber.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	ค
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัยโดยสังเขป	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยางธรรมชาติ	4
2.1.1 โครงสร้างของยางธรรมชาติ	4
2.1.2 คุณสมบัติเด่นของยางธรรมชาติ	5
2.1.3 น้ำยางธรรมชาติ	5
2.1.4 น้ำยางข้น	8
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยางโฟม	9
2.2.1 เทคโนโลยีการผลิตยางโฟม	9
2.2.2 การตรวจสอบคุณภาพของยางโฟม	11
2.3 สารเคมีที่ใช้ในยาง	13
2.3.1 สารทำให้ยางคงรูป	13
2.3.1.1 ระบบคงรูปยางด้วยกำมะถัน	13
2.3.2 สารกระตุ้นปฏิกิริยา	13
2.3.2.1 สารอนินทรีย์	14
2.3.2.2 กรดอินทรีย์	14
2.3.2.3 สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่าง	14
2.3.3 สารตัวเร่งปฏิกิริยา	15
2.3.3.1 สารตัวเร่งปฏิกิริยากลุ่มเมอร์แคปโต	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ	15
2.3.4.1 สารป้องกันการเสื่อมสภาพกลุ่มที่ป้องกันทั้งออกซิเจน โอโซน และการล้าตัว	15
2.3.5 สารทำให้เกิดฟอง	16
2.3.6 สารทำให้ยางอ่อน	17
2.3.6.1 น้ำมันพาราฟินนิค	17
2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับที่นอนใยมะพร้าวที่กำลังพลกองทับกักใช้อยู่ในปัจจุบัน	18
2.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอน	21
2.6 ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่นอนฟองน้ำลาเท็กซ์ของ บริษัท เลเท็กซ์ จำกัด เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 2747-2559	22
3. วัตถุดิบและขั้นตอนการดำเนินงาน	28
3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	28
3.1.1 ยางธรรมชาติ	28
3.1.2 ซิงค์ออกไซด์	28
3.1.3 สารแอนติออกซิแดนท์	28
3.1.4 โพลีเอทิลีนโกลีเอต	29
3.1.5 ไดฟีนิลกาวินดีน	29
3.1.6 โซเดียมซัลโฟลิวไรด์	29
3.1.7 ซิงค์ไดเอทิลไดไฮโอคาร์บาเมต	29
3.1.8 ซิงค์เมอร์แคปโตเบนโซไทอาโซล	29
3.1.9 กำมะถัน	30
3.2 สูตรส่วนประกอบวัสดุยางโฟม	30
3.3 แผนการดำเนินงานวิจัย	30
4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	37
4.1 การตรวจสอบความหนาแน่นของยางโฟมและวัสดุสำหรับผลิตเป็นต้นแบบที่นอนยางพารา สำหรับทหารกองประจำการกองทัพบก	37
4.2 การประเมินความพึงพอใจและความเหมาะสมของต้นแบบที่นอนยางพาราจากการทดสอบใช้ งานจริงโดยนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลาธิการ กรมพลาธิการทหารบก	38
4.3 การประเมินความพึงพอใจและความเหมาะสมของต้นแบบที่นอนยางพาราจากการทดสอบใช้ งานจริงโดยนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลาธิการ กรมพลาธิการทหารบก	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	40
5.1 สรุปผลการทดลอง	40
5.1.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุสำหรับประกอบต้นแบบที่นอนยางพาราสำหรับทหารกอง ประจำการที่ใช้ในอาคารโรงนอนกองทัพบก	40
5.1.2 ผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นต่อที่นอนยางพาราของกลุ่มตัวอย่างผู้ทดลองใช้จริง	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	40

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากปัญหาราคายางพาราหรือยางธรรมชาติ (Natural rubber) ตกต่ำ ปี 2559 รัฐบาลมีนโยบายให้ภาครัฐร่วมให้ความช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนยาง โดยสนับสนุนให้นายยางธรรมชาติมาแปรรูปสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ นำมาใช้ในระบบอุตสาหกรรมปลายน้ำให้มากขึ้น กองทัพบกเป็นสถาบันหนึ่งที่มีขีดความสามารถที่จะสนับสนุนนโยบายของรัฐบาล และสามารถตอบสนองได้อย่างเป็นรูปธรรม ทั้งนี้เพราะอาวุธยุทโธปกรณ์และอุปกรณ์ตลอดจนชิ้นส่วนซ่อมอะไหล่หลากหลายรายการที่ใช้ในราชการ สามารถที่จะนำยางธรรมชาติมาแปรรูปเพื่อใช้ทดแทนวัสดุแบบเดิมได้

กรมพลธิการทหารบกเป็นหน่วยขึ้นตรงของกองทัพบกที่มีภารกิจดำเนินการจัดหาอุปกรณ์ประเภทอาหาร วัสดุ ครุภัณฑ์ เชื้อเพลิง และอื่น ๆ ในความรับผิดชอบ เพื่อแจกจ่ายให้แก่หน่วยรับการสนับสนุนตามสายการส่งกำลังอย่างรวดเร็ว ทันเวลา และต่อเนื่อง

ในขณะเดียวกันนั้น กองทัพบกเองมีนโยบายให้ทุกหน่วย พัฒนาคุณภาพชีวิตของกำลังพล เพื่อเป็นขวัญกำลังใจในความอดทน เสียสละ และทุ่มเททำงานเพื่อชาติ ศาสน์ กษัตริย์ และประชาชน กรมพลธิการทหารบกตระหนักดีถึงนโยบายของกองทัพบกและภารกิจหน้าที่ของหน่วย จึงได้พิจารณาดำเนินการพัฒนาสิ่งอุปกรณ์ในความรับผิดชอบรายการที่กำลังพล โดยเฉพาะทหารกองประจำการใช้งานโดยตรง ในช่วงเวลาและสถานการณ์ที่เหมาะสม ผู้วิจัยจึงได้นำสิ่งอุปกรณ์รายการที่นอนของทหารกองประจำการมาพิจารณา เนื่องจากปัจจุบันคุณลักษณะเฉพาะที่นอนของทหารกองประจำการกำหนดให้ใช้โยมะพร้าวเป็นวัสดุหลัก การพัฒนาคุณภาพของที่นอน หากวัสดุผลิตเปลี่ยนจากโยมะพร้าวมาเป็นยางธรรมชาติแปรรูป น่าจะส่งผลให้ผู้ใช้นอนหลับได้สบายขึ้น พักผ่อนได้เต็มที่ เหมาะสมกับโครงสร้างของสรีระระหว่างการยุบตัวของที่นอนยางธรรมชาติกับน้ำหนักตัวของผู้ใช้ที่กดทับลงไปขณะนอนหลับ แต่อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยก็ยังคงจะต้องคำนึงถึงขนาดของเตียงนอนทหารกองประจำการในอาคารโรงนอน และระเบียบปฏิบัติประจำโรงนอนของทหารกองประจำการ มาร่วมพิจารณาในการดำเนินการคิดค้นหาความเหมาะสมของค่าความหนาแน่นและดัชนีความแข็งเชิงกดของที่นอนยางธรรมชาติที่จะนำมาใช้กับทหารกองประจำการ

การทำวิจัยโครงการวิจัยและพัฒนาต้นแบบที่นอนยางธรรมชาติที่ใช้กับเตียงนอนทหารกองประจำการในอาคารโรงนอนกองทัพบกในครั้งนี้ จะนำไปสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิตกำลังพลตามนโยบายของกองทัพบก โดยเฉพาะกลุ่มเป้าหมายคือทหารกองประจำการ และเป็นการสนับสนุนนโยบายของรัฐบาลที่จะให้ภาครัฐร่วมช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนยาง เป็นเป้าหมายตามความต้องการของประเทศที่เป็นรูปธรรม ซึ่งสามารถขยายผลไปสู่กำลังพลประเภทนักเรียนทหารได้ทุกระดับ เกิดความคุ้มค่ากับ

งบประมาณและอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์แปรรูปจากยางธรรมชาติในอนาคต ทั้งยังเป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาสิ่งอุปกรณ์อื่นที่สามารถนำยางธรรมชาติมาใช้ทดแทนได้อย่างเหมาะสมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อให้ได้ต้นแบบที่นอนยางพาราที่ใช้กับเตียงนอนทหารกองประจำการในอาคารโรงนอนของกองทัพบก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาที่นอนยางพาราที่ใช้กับเตียงนอนทหารกองประจำการในอาคารโรงนอนของกองทัพบก ซึ่งเป็นการพัฒนาที่นอนทหารสำหรับใช้ทางการทหารจากยางธรรมชาติ โดยงานวิจัยนี้ ใช้น้ำยางธรรมชาติขึ้นรูปเป็นชิ้นงานขนาด $90 \times 192 \times 7.5 \text{ cm}^3$ ที่ความหนาแน่น 85 kg/cm^3 ประกอบกับชั้นฟองน้ำอัด ความหนาแน่น 95 kg/cm^3 ขนาด $90 \times 192 \times 2.5 \text{ cm}^3$ ทำให้ได้ที่นอนยางพาราดั้งแบบขนาด $90 \times 192 \times 10 \text{ cm}^3$ ทั้งนี้ มีการทดสอบเพื่อหาความเหมาะสมและความพึงพอใจในการใช้งานจริง โดยนำชิ้นงานไปทดสอบใช้งานในอาคารโรงนอนของกองทัพบกกับนักเรียนนายสิบโรงเรียนพลาริการ กรมพลาริการทหารบก จำนวน 30 นาย และนำชิ้นงานที่ผ่านการใช้งานจริงมาทดสอบความหนาแน่นและขนาดหลังใช้งาน รวมทั้งเก็บข้อมูลความพึงพอใจจากผู้ใช้งานจริง

1.4 วิธีดำเนินงานโดยสังเขป

- 1.4.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับที่นอนยางพารา ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับที่นอนยางพารา รวมถึงศึกษาข้อมูล และงานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติ สารตัวเติมและสารเคมีต่าง ๆ ในวัสดุยาง กระบวนการผสมยาง การคงรูป และการทดสอบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติ
- 1.4.2 ติดต่อผู้ประกอบการผู้ผลิตที่นอนยางพารา และเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย
- 1.4.3 ทำการบดสารเคมี ด้วยเครื่องบดเม็ดทราย (Sand mill) และทำให้สารเคมีอยู่ในรูปสารละลาย ด้วยกระบวนการ Chemical dispersion
- 1.4.4 ผสมน้ำยางธรรมชาติและสารเคมีตามสูตร ในถังผสม (Maturing tank)
- 1.4.5 ตีน้ำยางคอมปาวด์ให้มีลักษณะเป็นโฟม ด้วยเครื่องฟนโฟมต่อเนื่อง (Foaming machine)
- 1.4.6 ฉีดน้ำยางโฟมเข้าแบบพิมพ์ชิ้นงาน (Injection molding) ก่อนขึ้นรูปชิ้นงานด้วยความร้อน (Vulcanizing)

- 1.4.7 นำชิ้นงานที่ได้มาตรวจสอบคุณภาพ (ขนาด และความหนาแน่น)
- 1.4.8 นำชิ้นงานยางพาราประกบกับฟองน้ำอัด และหุ้มทั้งสองชั้นด้วยบล็อก PVC ประกอบชิป 3 ด้าน
- 1.4.9 นำต้นแบบที่นอนยางพารา จำนวน 30 หลัง ไปทดลองใช้งานจริงในอาคารโรงนอนของ กองทัพบกกับนักเรียนนายสิบโรงเรียนพลธิการ กรมพลธิการทหารบก
- 1.4.10 ตรวจสอบคุณภาพและสอบถามความพึงพอใจหลังการใช้งานด้วยแบบสอบถามปลายเปิด
- 1.4.11 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ต้นแบบที่นอนยางพาราที่ใช้กับเตียงนอนทหารกองประจำการในอาคารโรงนอนของกองทัพบก
- 1.5.2 ได้แนวทางในการกำหนดคุณลักษณะเฉพาะที่นอนยางพาราที่ใช้กับเตียงนอนทหารกองประจำการ ในอาคารโรงนอนของกองทัพบก
- 1.5.3 สนับสนุนนโยบายรัฐบาลในการช่วยเหลือเกษตรกร โดยการส่งเสริมการใช้น้ำยางพาราธรรมชาติ มาแปรรูปสร้างผลิตภัณฑ์ เพื่อกระตุ้นเศรษฐกิจอุตสาหกรรมปลายน้ำของตลาด
- 1.5.4 ขยายผลในการนำผลิตภัณฑ์ที่นอนยางพารามาใช้ในอาคารโรงนอนของกองทัพบกเป็นการพัฒนาคุณภาพชีวิตกำลังพล และนักเรียนทหารทุกระดับตามนโยบายกองทัพบก

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยางธรรมชาติ

2.1.1 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

2.1.3 น้ำยางธรรมชาติ

2.1.2 คุณสมบัติเด่นของยางธรรมชาติ

2.1.4 น้ำยางข้น

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยางโฟม

2.2.1 เทคโนโลยีการผลิตยางโฟม

2.2.2 การตรวจสอบคุณภาพของยางโฟม

2.3 สารเคมีที่ใช้ในยาง

2.3.1 สารทำให้ยางคงรูป

2.3.4 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ

2.3.2 สารกระตุ้นปฏิกิริยา

2.3.5 สารทำให้เกิดฟอง

2.3.3 สารตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3.6 สารทำให้ยางอ่อน

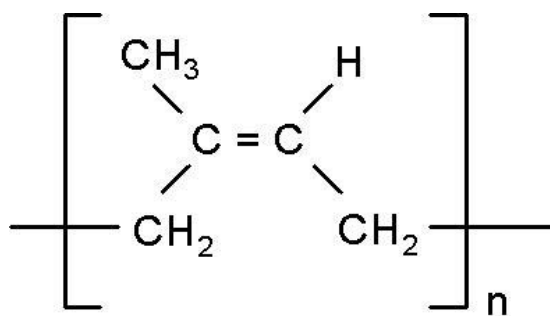
2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพีนอนไยมะพร้าวที่กำลังพลกองทับกักใช้อยู่ในปัจจุบัน

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติ (Natural rubber) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยาง *Hevea Brasiliensis* น้ำยางสดที่กรีตได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวขุ่นและมีเนื้อยางแห้ง (dry rubber) ประมาณ 30 % แขนงลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60 % เรียกว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางข้นส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมถุงมือยางและถุงยางอนามัย เป็นต้น แต่เมื่อนำน้ำยางสดที่กรีตได้มาเติมกรดเพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นก็รีดยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด (two-roll mill) และนำไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นก่อนจะนำไปอบรมควันที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 °C เป็นเวลา 3 วัน ก็จะได้ยางแผ่นรมควัน

2.1.1 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติจากต้นยางมีลักษณะขาวขุ่น โดยโมเลกุลยางมีชื่อทางเคมีคือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1, 4-polyisoprene) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนล้วน ทำให้มีสมบัติไม่ทนต่อน้ำมัน แต่เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ใน 1 โมเลกุลของยางธรรมชาติประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน $(C_5H_8)_n$ ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว แบบเส้นตรง โดยใน 1 หน่วยไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และหมู่แอลฟาเมทิลีนที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาทำให้สามารถคงรูปร่าง (Vulcanization) ได้ด้วยกำมะถัน ซึ่งยางธรรมชาติมีโครงสร้าง 1 หน่วยโมเลกุล ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงโครงสร้างของยางธรรมชาติ 1 หน่วยโมเลกุล

[<http://www.electron.rmutphysics.com/science-news/images/stories/2/rubber.jpg>]

2.1.2 คุณสมบัติเด่นของยางธรรมชาติ

ลักษณะเด่นอีกอย่างของธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับมันหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติที่ดีในด้านการเหนียวติดกัน (tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

จากโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ พบว่ามีสายโซ่โมเลกุลที่เคลื่อนไหวได้ง่าย ทำให้ยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดี มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ประมาณ -72°C สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ความสม่ำเสมอในโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อยืด การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น นั่นคือ ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขัดถูสูงขึ้น ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูง อยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 โมเลกุล และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้าง

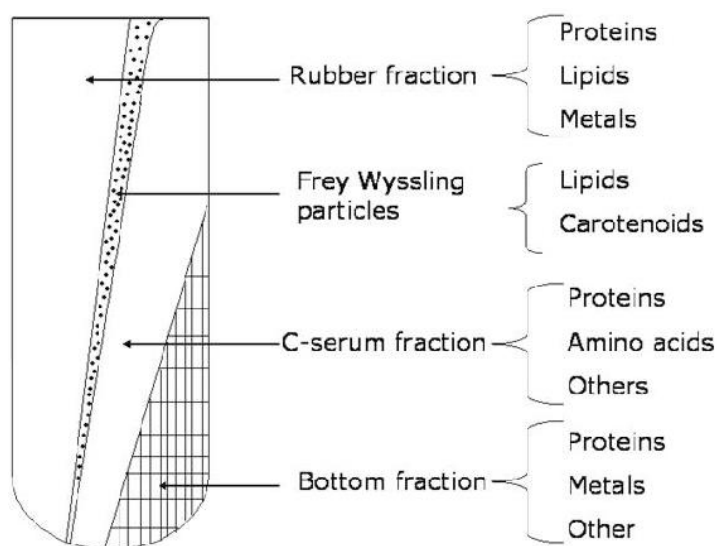
อย่างไรก็ตาม ยางดิบตามลำพังมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรโดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมาก กล่าวคือ ยางจะอ่อนแอและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติ จำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่าง ๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่าง ๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสม ยางผสมหรือยางคอมพาวด์ (rubber compound) ที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่าวัลคาไนเซชัน (vulcanization) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้ เราเรียกว่า "ยางสุกหรือยางคงรูป" (vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้จะเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก และมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

2.1.3 น้ำยางธรรมชาติ

น้ำยาง (Latex) คือวัสดุพอลิเมอร์ที่มีต้นกำเนิดจากของเหลวของพืชบางชนิด ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว คล้ายน้ำมัน มีสมบัติเป็นคอลลอยด์ อนุภาคเล็ก มีตัวกลางเป็นน้ำ น้ำยางมาจากต้นไม้ยืนต้น มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งคือ ยางพารา แหล่งผลิตน้ำยางใหญ่ที่สุดในโลกคือ แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คิดเป็นร้อยละ 90 ของแหล่งผลิตทั้งหมด ซึ่งพันธุ์ยางที่ผลิตในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ พันธุ์ฮีเวีย บราซิลเลียนซิส (Hevea Brasiliensis) น้ำยางที่กรีดได้จากต้นจะเรียกว่าน้ำยางสด (field latex)

2.1.3.1 องค์ประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางที่ได้จากต้นยางมีลักษณะเป็นเม็ดขนาดเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำ มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว (emulsion) มีสภาพเป็นคอลลอยด์ (colloid) มีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 30-40 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.5-7 มีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร และมีความหนืด 12-15 เซนติพอยส์ เมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบสูงมากกว่า 10,000 รอบต่อนาทีขึ้นไป พบว่าน้ำยางเกิดการแยกชั้นแสดงดังรูปที่ 2.2



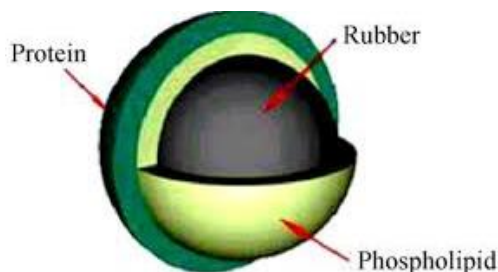
รูปที่ 2.2 ภาพแสดงการแยกชั้นของน้ำยางสดเมื่อผ่านการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วสูง

[<https://www.semanticscholar.org/paper/Angiogenic-Properties-of-Natural-Rubber-Latex-and-Ferreira-Mendonça/e1650c7353995e49f900e36a0efc95399eae7a4/figure/0>]

จากภาพการแยกชั้นของน้ำยางสดเมื่อผ่านการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วสูง ทำให้สามารถแบ่งน้ำยางสดได้เป็น 4 ส่วนหลัก ๆ ประกอบด้วย

- 1) ส่วนของเนืยาง (Rubber fraction) เป็นส่วนของชั้นยางสีขาวด้านบนสุด คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 30-36% ของน้ำยางสด ซึ่งส่วนของเนืยางนี้ประกอบด้วย

- อนุภาคของยางธรรมชาติ (Rubber particles) มีลักษณะค่อนข้างกลมห่อหุ้มด้วยสารจำพวกไขมันและโปรตีน โดยโปรตีนชั้นนอกอาจมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม และทองแดง รวมอยู่ด้วยปริมาณเล็กน้อยประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อนุภาคยางมักมีขนาดประมาณ 0.02-4.00 ไมโครเมตร และโดยปกติอนุภาคยางมักแขวนลอยอยู่ในน้ำ



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงลักษณะของอนุภาคยาง [1]

- โปรตีน (Proteins) ประกอบด้วยส่วนของสารพวกโปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยาง คิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 25 ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง ส่วนที่เหลือประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์จะอยู่ในชั้นน้ำ และอีก 25 เปอร์เซ็นต์อยู่ในส่วนของลูทอยด์ ทั้งนี้โปรตีนที่อยู่ในน้ำยางส่วนใหญ่เป็นโปรตีนชนิดแอลฟาไกลูบูลิน (α -globulin) และฮีวิน (hevein) ซึ่งโปรตีนในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มของสารที่มีผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติคือทำให้ยางธรรมชาติมีความเหนียวติดกัน (stiffening) มีความแข็งแรงต่อการฉีกขาด (tear strength) และมีความต้านทานต่อการแตกเมื่อได้รับแรงเชิงพลวัต (dynamic crack growth)
 - ไขมัน (Lipid) ไขมันซึ่งเกาะอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปด์ ชนิด α -Lecithin เชื่อว่าทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยาง
- 2) อนุภาคเฟรย์-วิสลิง (Frey - wyssling particles) เป็นสารที่ไม่ใชยาง มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายาง แต่มีค่าความหนาแน่นน้อยกว่า มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีผนังล้อมรอบสองชั้น มีปริมาณไม่มากประกอบด้วยสารเม็ดสีพวกคาโรทีนอยด์ซึ่งทำให้ยางมีสีเหลืองเข้ม สามารถรวมตัวกับแอมโมเนียและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของเซรัม
- 3) ส่วนของเซรัม (C-serum fraction) ของน้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารชนิดต่าง ๆ เช่น กรดอะมิโน โปรตีนบางชนิด คาร์โบไฮเดรตโดยเฉพาะจำพวกน้ำตาล เอนไซม์ และไอออนโลหะ เป็นต้น โดยในส่วนของเซรัมนี้รวมถึงชั้นน้ำด้วย ทำให้ในส่วนนี้มีสัดส่วนคิดเป็นประมาณ 40-45% ของน้ำยางสด

- 4) ส่วนตกตะกอน (Bottom fraction) เป็นส่วนที่อยู่ชั้นล่างสุดหลังการปั่นเหวี่ยงน้ำยางสดด้วยความเร็วสูง คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 15-20% ของน้ำยางสด ส่วนประกอบที่สำคัญในชั้นนี้คืออนุภาคลูทอยด์ (Lutoid particle) ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีลักษณะค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5-3 ไมโครเมตร ห่อหุ้มด้วยเยื่อบาง ๆ ภายในเยื่อบางนี้จะมีทั้งสารละลายและสารแขวนลอย มีค่า pH ประมาณ 5.5 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีน โดยมีโปรตีนที่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ และมีส่วนของโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์

น้ำยางสดที่สกัดได้จากต้นยาง จะคงสภาพความเป็นน้ำยางอยู่ได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมง เนื่องจากแบคทีเรียในอากาศและจากเปลือกของต้นยางขณะกรีดยางจะลงไปปนในน้ำยาง ซึ่งแบคทีเรียจะกินสารอาหารที่อยู่ในน้ำยาง เช่น โปรตีน น้ำตาล ฟอสโฟไลปิด โดยแบคทีเรียจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากแบคทีเรียกินสารอาหาร คือ จะเกิดการย่อยสลายได้เป็นกรดและก๊าซชนิดต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ทำให้น้ำยางธรรมชาติเริ่มเกิดการบูดเน่าและสั่นกลั่นเหม็น การที่มีกรดที่ระเหยง่ายเหล่านี้ในน้ำยางเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางธรรมชาติดลดลง ดังนั้นน้ำยางธรรมชาติ จึงเกิดการสูญเสียสภาพ ซึ่งสังเกตได้จากน้ำยางธรรมชาติจะค่อยๆ หนืดขึ้น เนื่องจากอนุภาคของยางเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆ และจับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้น จนน้ำยางธรรมชาติสูญเสียสภาพ โดยน้ำยางธรรมชาติจะแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง และส่วนที่เป็นเซรัม ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยางธรรมชาติไม่ให้อนุภาคของเม็ดยางเกิดการรวมตัวกันเองตามธรรมชาติ จึงมีการใส่สารเคมีลงไปปนในน้ำยางธรรมชาติเพื่อเก็บรักษาน้ำยางให้คงสภาพเป็นของเหลว โดยสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางธรรมชาติเรียกว่า สารป้องกันการจับตัว (Anticoagulant) ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟด์ ฟอรัมาลดีไฮด์ เป็นต้น เพื่อที่รักษาน้ำยางไม่ให้สูญเสียสภาพ การนำยางธรรมชาติไปใช้งานมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ ในรูปน้ำยางธรรมชาติ และรูปยางแห้ง ในรูปแบบน้ำยางนั้น น้ำยางสดจะถูกนำมาแยกน้ำออกเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเนื้อยาง โดยการใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบสูง ในขณะที่การเตรียมยางแห้งนั้นใช้วิธีการใส่กรดอะซิติกลงในน้ำยางสด การใส่กรดอะซิติกเจือจางลงในยางทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนเกิดการแยกชั้นระหว่างเนื้อยางและน้ำ ส่วนน้ำที่ปนอยู่ในยางจะถูกกำจัดออกไปโดยการรีดด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูกกลิ้ง

2.1.4 น้ำยางข้น

การนำน้ำยางสดจากแหล่งต่างๆ มารวบรวมแล้วนำไปผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นขึ้น โดยการแยกน้ำออกจากเนื้อยาง ซึ่งมีทั้งหมด 4 วิธี คือ การระเหย การทำครีม การแยกด้วยไฟฟ้า และกระบวนการปั่นเหวี่ยง ผู้ผลิตส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) ในการผลิตน้ำยางข้น ซึ่งจะได้น้ำยางความเข้มข้น 60% โดยน้ำยางข้นสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

- 1) น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia, HA) เป็นน้ำยางข้นที่ใช้สารรักษาสภาพน้ำยางชนิดแอมโมเนีย 0.7% ร่วมกับกรดลอริก 0.04% น้ำยางชนิดนี้มีข้อดีคือมีอายุการใช้งานได้นาน ไม่เสียง่าย จึงมักนำไปผลิตถุงมือยาง กาวยาง ถังยางอนามัย เป็นต้น ยกเว้นยางพองน้ำเนื่องจาก

แอมโมเนียที่อยู่ในน้ำยางจะไปยับยั้งการเกิดเจลหรือเกิดฟองในน้ำยางทำให้ได้ฟองน้ำที่ด้อยคุณภาพ (หากใช้น้ำยางฟองน้ำชั้นแรกจะต้องปั่นน้ำยางเพื่อไล่แอมโมเนียก่อน)

- 2) น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low ammonia, LA) เป็นน้ำยางชั้นที่ใช้สารรักษาสภาพน้ำยางชนิดแอมโมเนีย 0.2% ร่วมกับทีเอ็มทีดี 0.01% ซิงก์ออกไซด์ 0.01% และกรดลอริก 0.04% นอกจากสารเหล่านี้ ยังมีการใช้สารรักษาสภาพอื่นๆ ด้วย เช่น แซตติวชีซึ่งรวมกับกรดลอริกหรือกรดบอริกร่วมกับกรดลอริก เป็นต้น น้ำยางชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low ammonia latex) ส่วนใหญ่นำไปใช้ในกระบวนการผลิตยางฟองน้ำ แต่อายุการเก็บรักษาของน้ำยางชนิดนี้จะสั้นกว่าน้ำยางชนิดแอมโมเนียสูง

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยางโฟม

ผลิตภัณฑ์โฟมยางหรือยางฟองน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ มีลักษณะเป็นรูพรุน (ทั้งที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง) เหมาะที่ใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จำพวกเบาะนั่ง ที่นอน หมอน เสื้อ การสอน ตุ๊กตา และของชำร่วยต่าง ๆ เช่น พวงกุญแจ เป็นต้น

2.2.1 เทคโนโลยีการผลิตยางโฟม

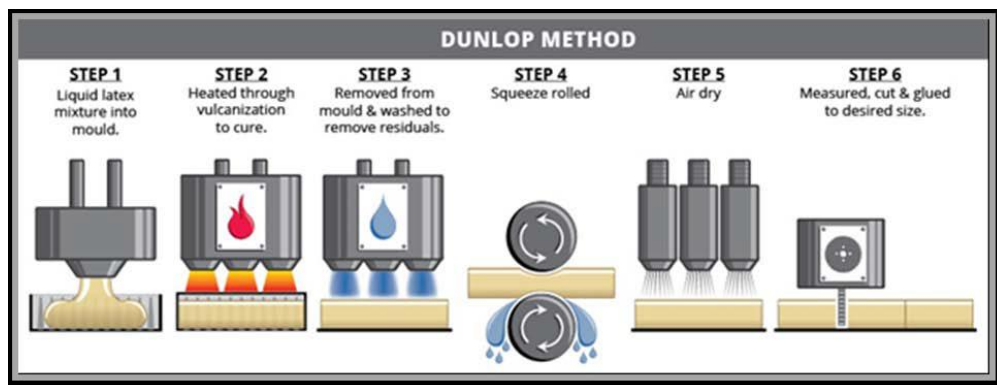
หลักการสำคัญของการผลิตยางโฟม คือ การทำให้น้ำยางธรรมชาติเกิดฟองของอากาศหรือก๊าซแล้วคงรูปหรือวัลคาไนซฟองยางด้วยสารเคมีและความร้อน เทคโนโลยีการผลิตโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติมีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมี 2 วิธีหลักๆ ได้แก่

2.2.1.1 เทคโนโลยีการผลิตแบบดันลอป (Dunlop process)

เทคโนโลยีการผลิตแบบดันลอป เป็นกระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติที่มีการจดสิทธิบัตร เมื่อปี ค.ศ. 1930 โดย Murphy, Chapman และ Pounder โดยนักวิจัยของบริษัท Dunlop Rubber Company ซึ่งวิธีการผลิตโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติแบบดันลอปนั้นอาศัยหลักการการตีน้ำยางให้เกิดฟองอากาศ และใช้สารก่อก่อเจลอย่างช้า (delayed-action gelling agent) ที่มีชื่อว่า sodium silicofluoride ในการทำให้ฟองเซตตัวก่อนนำไปอบวัลคาไนซ์ ทั้งนี้ขั้นตอนของเทคโนโลยีการผลิตแบบดันลอปแสดงดังรูปที่ 2.4 ประกอบด้วย

1. เติมสารช่วยการเกิดฟอง (foaming agent) เช่น แอมโมเนียมโอเลต (ammonium oleate) ลงในน้ำยางคอมพาวด์เพื่อให้เกิดฟอง
2. จากนั้นเติมสารก่อก่อเจล เช่น alkali-metal silicofluoride ลงไปอย่างช้า ๆ
3. เทโฟมยางขณะที่ยังเหลวลงในแม่พิมพ์ที่ต้องการและปล่อยให้โฟมยางจับตัวที่อุณหภูมิห้อง

4. วัลคาไนซเจลโฟมยางที่ได้ เพื่อให้โฟมเกิดการคงรูป
5. จากนั้นจึงดึงยางโฟมออกจากแม่พิมพ์ ล้างและบิดให้หมาด และนำไปอบให้แห้ง
6. นำยางโฟมที่แห้งไปตัดตามขนาดที่ต้องการ



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงขั้นตอนกระบวนการผลิตยางโฟมแบบดันลอป [2]

โดยการขึ้นรูปโดยวิธีดันลอป มีข้อดีและข้อเสีย คือ

ข้อดี

1. ยางโฟมมีความหนาแน่นตั้งแต่ต่ำไปจนถึงสูง
2. สามารถควบคุมความนิ่ม-แข็งของโฟมยางได้ด้วยการควบคุมระดับการตีฟอง ถ้าตีฟองให้ฟูเป็นเวลานานจะได้โฟมยางที่นิ่ม ความหนาแน่นต่ำ หากตีฟองเป็นเวลาสั้นๆ จะได้โฟมยางที่แข็ง มีความหนาแน่นสูง ถ้าโฟมยางมีความแข็งสูงก็就会有ความทนทานดี
3. ต้นทุนต่ำกว่าแบบทาลาเลย์
4. รอบของการผลิตผลิตภัณฑ์สั้นกว่า จึงผลิตได้เร็วกว่าแบบทาลาเลย์

ข้อเสีย

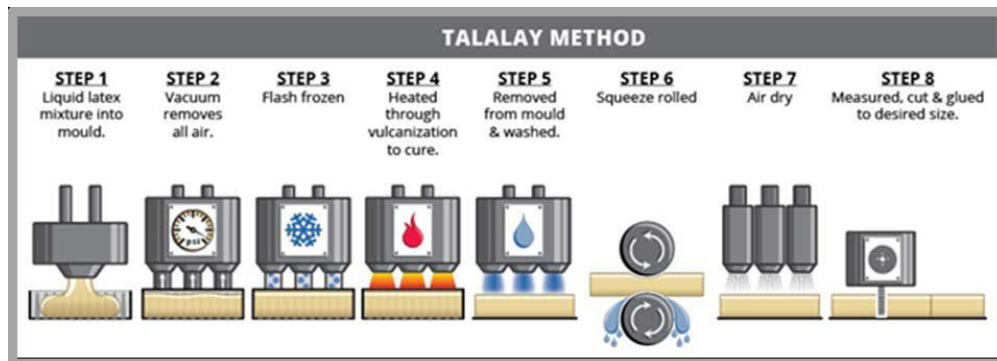
1. ขนาดของรูพรุนที่แตกต่างกันทำให้ระดับความนิ่มของโฟมยางไม่สม่ำเสมอตลอดความหนาของโฟมยาง กล่าวคือ ด้านล่างมักจะแข็งกว่าด้านบน
2. โฟมยางมีความหนาแน่นสูงทำให้แข็งและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น

2.2.1.2 เทคโนโลยีการผลิตแบบทาลาเลย์ (Talalay process)

การผลิตโฟมยางธรรมชาติแบบทาลาเลย์ (Talalay process) พัฒนามาจากกระบวนการดันลอป โดย J.A.A. and L Talalay นักวิจัยของบริษัท Dunlop Rubber Company ในช่วงปี ค.ศ.1950 โดยอาศัยหลักการดูดสุญญากาศให้เต็มแม่พิมพ์ ทำให้ฟอง ยางเซ็ดตัวที่อุณหภูมิต่ำ และเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในฟองน้ำยางก่อนนำไปอบวัลคาไนซ ทั้งนี้ขั้นตอนของเทคโนโลยีการผลิตแบบทาลาเลย์แสดงดังรูปที่ 2.5 ประกอบด้วย

1. ทำให้น้ำยางคอมพาวด์เกิดฟองแล้วเทใส่เบ้า
2. ปดเบ้าด้วยระบบสุญญากาศเพื่อให้ฟองเกิดขยายตัวหรือไหลได้เต็มเบ้า
3. นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ -30°C ก่อนที่จะใส่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปเพื่อทำใหยางโฟมเกิดเจล และคงรูป

4. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100-120°C
5. จากนั้นจึงนำมาล้างและอบให้แห้ง
6. นำยางโฟมที่แห้งไปตัดตามขนาดที่ต้องการ



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงขั้นตอนกระบวนการผลิตยางโฟมแบบทาลาเลย์ [2]

โดยการขึ้นรูปโดยวิธีทาลาเลย์ มีข้อดีและข้อเสีย คือ

ข้อดี

1. โฟมยางมีความหนาแน่นต่ำ ทำให้มีความนิ่ม
2. ขนาดของรูพรุนมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นโฟมยาง ทำให้มีความนิ่มสม่ำเสมอตลอดชิ้น และนิ่มกว่าโฟมยางที่ได้จากกระบวนการดันลอป แม้ว่าจะมี ILD (Indentation Load Deflection) เท่ากัน ซึ่ง ILD เป็นค่าที่บอกความนิ่ม-แข็งของยางโฟม โดยถ้าค่า ILD สูง หมายความว่า โฟมยางมีความแข็งสูง ถ้าค่า ILD ต่ำ หมายความว่า โฟมยางมีความนิ่ม

ข้อเสีย

1. ไม่สามารถทำให้โฟมยางมีความหนาแน่นสูงได้แบบดันลอป
2. ต้นทุนสูงกว่าแบบดันลอป
3. สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าแบบดันลอปประมาณ 5 เท่า เนื่องจากต้องทำให้เป็นสุญญากาศ และการใช้อุณหภูมิต่ำ
4. การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการทำให้ฟองยางแข็งตัวมีผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน
5. รอบของการผลิตผลิตภัณฑ์นานกว่าแบบดันลอปประมาณ 4 เท่า

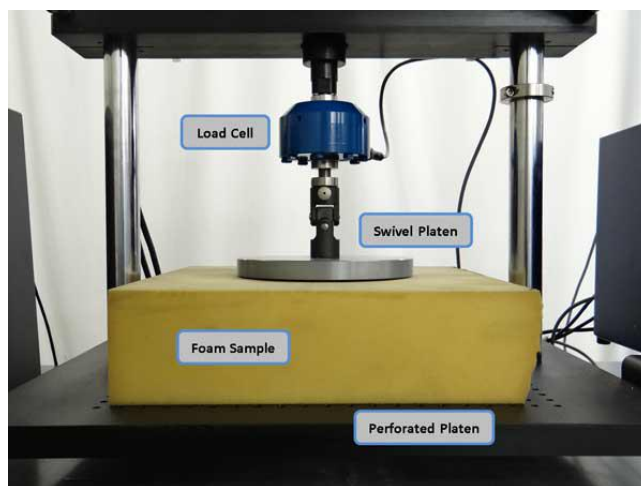
2.2.2 การตรวจสอบคุณภาพของโฟมยาง

การตรวจสอบคุณภาพของโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติตามมาตรฐาน มอก.173-2519 มีดังนี้

1. การทดสอบแรงกดที่ทำให้ความหนาของโฟมยางลดลง 25% (Indentation test)

การทดสอบแรงกดที่ทำให้ความหนาของโฟมยางลดลง 25% ตามมาตรฐาน มอก.173-2519 หรือ การทดสอบค่า ILD (Indentation Load Deflection) หรือ IFD (Impression Force Deflection) ตามมาตรฐาน ASTM D3574-95 เป็นการวัดแรงกดทั้งหมดที่ทำให้ความหนาของโฟมยางลดลงจากความหนาเดิม 25% ทำได้โดยนำชิ้นทดสอบขนาดไม่น้อยกว่า 300

มิลลิเมตร x 300 มิลลิเมตร และมีความหนา (25 ± 1) มิลลิเมตร มาวางบนฐานรองรับของเครื่องทดสอบ (ที่มีขนาดใหญ่กว่าชิ้นทดสอบและมีการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละรูห่างกัน 20 มิลลิเมตรโดยตลอด เพื่อให้อากาศออกในระหว่างการทดสอบ) ในกรณีที่ชิ้นทดสอบเป็นชนิดกึ่งแข็งให้คว่ำด้านกลวงไว้บนฐานรองรับ จากนั้นเลื่อนแผ่นกด (indenter foot ที่มีลักษณะกลมแบน มีพื้นที่ขนาด 50 ตารางนิ้ว) แตะบนชิ้นทดสอบ แล้วใช้แรง (preload) 4.5 นิวตัน กดลงบนชิ้นทดสอบ วัดความหนาเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ จากนั้นเพิ่มแรงกดต่อไปจนความหนาลดลงจากความหนาเดิม 25% บันทึกแรงกดทั้งหมดเป็นหน่วยนิวตัน (ซึ่งรวมทั้งแรงกดเดิม 4.5 นิวตัน)



รูปที่ 2.6 เครื่องทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3574-95

2. การทดสอบแรงกดภายหลังการอบด้วยความร้อน (accelerated aging test)

การทดสอบแรงกดภายหลังการอบด้วยความร้อน เป็นการนำชิ้นทดสอบขนาดเดียวกันกับการทดสอบในข้อ 1 มาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ $(100 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 22 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบทั้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปทดสอบแรงกดที่ทำให้ความหนาของโฟมยางลดลง 25% ตามข้อ 1

3. การทดสอบหาการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (compression set)

การทดสอบหาการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด ทำได้โดยนำชิ้นทดสอบขนาดยาว (50 ± 1) มิลลิเมตร กว้าง (50 ± 1) มิลลิเมตร และหนา (25 ± 1) มิลลิเมตร มาทดสอบด้วยเครื่องกดอัดให้มีความหนาลดลง 50% ของความหนาเดิม แล้วนำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ $(70 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 22 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ แกะชิ้นทดสอบออกจากเครื่องกดอัด วางทิ้งไว้ 30 นาที แล้วจึงวัดความหนาของชิ้นทดสอบ สำหรับการคำนวณให้คำนวณ 2 วิธี ได้แก่

(1) คำนวณหาการยุบตัวคิดเป็นร้อยละของความหนาเดิม

$$C_h = \frac{(t_o - t_l)}{t_o} \times 100$$

โดยที่ C_h คือ ความหนาที่ลดลงจากความหนาเดิมหลังจากผ่านแรงอัดแล้ว (%)

t_o คือ ความหนาเดิมของชิ้นทดสอบ (mm)

t_l คือ ความหนาของชิ้นทดสอบหลังจากผ่านแรงอัดแล้ว (mm)

(2) คำนวณหาการยุบตัวคิดเป็นร้อยละของระยะยุบตัวเดิม

$$C_d = \frac{(t_o - t_l)}{(t_o - t_s)} \times 100$$

โดยที่ C_d คือ ระยะยุบตัวที่เปลี่ยนไปจากระยะยุบตัวเดิม (ครึ่งหนึ่งของความหนาเดิม) หลังจากผ่านแรงอัดแล้ว (%)

t_o คือ ความหนาเดิมของชิ้นทดสอบ (mm)

t_l คือ ความหนาของชิ้นทดสอบหลังจากผ่านแรงอัดแล้ว (mm)

t_s คือ ความสูงของแท่งเหล็กกล้า (mm)

2.3 สารเคมีที่ใช้ในยาง

2.3.1 สารทำให้ยางคงรูป

สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing or Curing agents) เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่าปฏิกิริยาคัลคาไนเซชันหรือปฏิกิริยาการคงรูป ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะส่งผลให้โมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงกันเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ และทำให้ยางเปลี่ยนสภาพจากอ่อนเหนียวหนืด และไหลได้แบบเทอร์โมพลาสติกไปเป็นยางคงรูป (เทอร์โมเซต) ที่มีความทนทาน ยึดหยุ่นสูง และมีความเสถียรไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก การคงรูปยางส่วนใหญ่เกิดจากการเติมสารบางกลุ่มที่ทำให้ยางเกิดการคงรูป โดยทั่วไป การคงรูปยางที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมแบ่งได้ 3 ระบบใหญ่ ๆ ได้แก่ ระบบกำมะถัน (sulfur) ระบบเพอร์ออกไซด์ (peroxide) และระบบที่ใช้สารเคมีอื่น ๆ เช่น โลหะออกไซด์ เป็นต้น [3]

2.3.1.1 ระบบการคงรูปยางด้วยกำมะถัน

ระบบการคงรูปยางด้วยกำมะถันเป็นระบบการคงรูปยางที่นิยมใช้คงรูปยางมากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากใช้ต้นทุนต่ำ การคงรูปเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และยางคงรูปที่ได้มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี แต่อย่างไรก็ตาม ระบบการคงรูปยางด้วยกำมะถันมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถใช้คงรูปยางที่ไม่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล เช่น ยางซิลิโคนหรือยาง EPM ทั้งนี้เนื่องจากพันธะคู่เป็นตำแหน่งที่กำมะถันจะเข้าไปทำปฏิกิริยาทางเคมีและทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลจนเกิดการคงรูปของยาง ดังนั้น อัตราเร็วในการคงรูปยางด้วยระบบกำมะถันจึงขึ้นอยู่กับปริมาณพันธะคู่ที่มีอยู่ในสายโซ่ของโมเลกุลยาง [3]

2.3.2 สารกระตุ้นปฏิกิริยา

สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activators) คือ สารเคมีที่เติมลงไปในยางเพื่อเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการคงรูป เนื่องจากสารเคมีในกลุ่มนี้จะไปกระตุ้นสารตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีประสิทธิภาพการทำงานได้สูงขึ้น แม้ว่ากลไกการกระตุ้นจะค่อนข้างซับซ้อนและไม่เป็นที่ทราบอย่างแน่ชัดมากนัก แต่เชื่อกันว่าสารกระตุ้นปฏิกิริยาจะเข้าไปทำให้สารเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่เสถียร ซึ่งสารดังกล่าว

สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับกำมะถันซึ่งเป็นสารคงรูปอย่างได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ยางมีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาคงรูปสูงขึ้น โดยสารกระตุ้นปฏิกิริยาสามารถแบ่งออกได้ 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ [3]

2.3.2.1 สารอนินทรีย์

ออกไซด์ของโลหะ เช่น ซิงก์ออกไซด์ (ZnO) ตะกั่วออกไซด์ (PbO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เป็นกลุ่มสารอนินทรีย์ที่ได้รับความนิยมใช้เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยา โดยซิงก์ออกไซด์ถือเป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาที่ได้รับความนิยมและถูกใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมากที่สุดในปัจจุบัน แม้ว่าซิงก์ออกไซด์เพียงอย่างเดียวจะสามารถเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปอย่างได้ แต่หากใช้ซิงก์ออกไซด์ร่วมกับกรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกระตุ้นปฏิกิริยาได้สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากซิงก์ออกไซด์และกรดสเตียริกสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อกันเกิดเป็นสารประกอบที่สามารถละลายในยางได้ง่าย จึงทำให้อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น ซึ่งในอดีต นิยมใช้ปริมาณซิงก์ออกไซด์ในการกระตุ้นปฏิกิริยาประมาณ 5 phr แต่ในปัจจุบัน ปริมาณที่ใช้มีแนวโน้มลดลง คือ มีการเติมซิงก์ออกไซด์ประมาณ 2-4 phr ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาและพบว่า การใช้ซิงก์ออกไซด์เพียงแค่ 3 phr ก็เพียงพอสำหรับการคงรูปยางส่วนใหญ่ อีกทั้งการลดปริมาณการใช้ซิงก์ออกไซด์ลง จะส่งผลดีต่อระบบอุตสาหกรรมเนื่องจากซิงก์ออกไซด์มีราคาค่อนข้างสูง [3]

2.3.2.2 กรดอินทรีย์

ดังที่กล่าวข้างต้น ซิงก์ออกไซด์จะมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นปฏิกิริยาสูงขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับกรดไขมัน แม้ว่าในบางชนิดจะมีกรดไขมันในตัวเล็กน้อย เช่น ยางธรรมชาติมีกรดไขมันในปริมาณเทียบกับกรดสเตียริกประมาณ 2 phr อย่างไรก็ตามปริมาณกรดไขมันธรรมชาติที่มีอยู่ในยางแต่ละชนิดนั้นไม่แน่นอน อีกทั้งในยางสังเคราะห์เช่น IIR NBR BR และ EPDM ไม่มีกรดไขมันในยางดิบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมกรดไขมันเพิ่มเติมในระหว่างการออกสูตรเคมียาง โดยทั่วไปนิยมใช้ปริมาณกรดสเตียริกประมาณ 1-3 phr ในการออกสูตรเคมียาง แต่สำหรับยางที่มีปริมาณพันธะคู่อยู่น้อย เช่น ยาง EPDM การเติมกรดสเตียริก 1-2 phr ก็ถือว่าเพียงพอ [3]

2.3.2.3 สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นต่าง

สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นต่าง เมื่อเติมในยางจะทำให้ยางมีความเป็นกรด-ต่าง (ค่า pH) สูงขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปจะส่งผลให้ยางมีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปสูงขึ้นด้วย ตัวอย่างสารกระตุ้นปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นต่าง ได้แก่ dibutylaminooleate, 1,3-diphenylguanidinephthalate, dibenzylamine และ mono- and di-butylamine เป็นต้น แต่ถึงแม้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นต่างจะสามารถเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปได้เป็นอย่างดี แต่การใช้ซิงก์ออกไซด์ร่วมกับกรดไขมันยังมีข้อดีเหนือกว่าหลายประการ เช่น ช่วยทำให้สารตัวเติมและสารเคมีต่าง ๆ กระจายตัวในยางได้ดี [3]

2.3.3 สารตัวเร่งปฏิกิริยา

สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerators) เป็นสารที่จำเป็นสำหรับการคงรูปร่างด้วยระบบกำมะถัน เพราะปฏิกิริยาระหว่างกำมะถันและยาง (ปฏิกิริยาคงรูป) จะเกิดขึ้นช้ามากถึงแม้จะใช้อุณหภูมิสูง ๆ ก็ตาม ทำให้เสียเวลาในการคงรูปร่าง และต้องใช้กำมะถันในปริมาณมาก อีกทั้งยังได้ยังมีคุณสมบัติเชิงกลต่ำ แต่การเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปในปริมาณเพียงเล็กน้อย จะช่วยทำให้ปฏิกิริยาระหว่างยางและกำมะถันเกิดได้เร็วขึ้น จึงช่วยลดเวลาในการคงรูปร่าง และทำให้ไม่ต้องใช้ปริมาณกำมะถันมากนัก อีกทั้งยังได้ยังมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้ยางคงรูปมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นด้วย [3]

2.3.3.1 สารตัวเร่งปฏิกิริยากลุ่มเมอร์แคปโต (mercapto)

ตัวอย่างสารเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มเมอร์แคปโตที่ได้รับความนิยมมีอยู่ 2 ชนิดที่สำคัญ ได้แก่ เมอร์แคปโตเบนโซไทอะโซล (2-mercaptobenzothiazole, MBT) และไดเบนโซไทอะซิลไดซัลไฟด์ (bibenzothiazyl disulfide, MBTS) เนื่องจากเป็นสารที่สามารถเร่งปฏิกิริยาให้กับยางได้เกือบทุกประเภท ส่งผลให้ยางมีอัตราเร็วในการคงรูปปานกลางและยังช่วยให้คุณสมบัติเชิงกลดีขึ้น รวมทั้งทำให้ยางมีความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพสูง โดยทั่วไปสาร MBT ได้รับความนิยมมากกว่าสาร MBTS เพราะทำให้ยางเกิดการคงรูปได้ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามการใช้สารเร่งปฏิกิริยากลุ่มเมอร์แคปโตนี้เพียงอย่างเดียวอาจทำให้การเชื่อมโยงของยางคงรูปมีความหนาแน่นต่ำ ดังนั้นจึงนิยมใช้สารกลุ่มนี้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาปฐมภูมิร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยาทุติยภูมิอื่น ๆ เช่น ไทยูเรม เนื่องจากการใช้สารเร่งปฏิกิริยาปฐมภูมิร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยาทุติยภูมิจะช่วยให้การเชื่อมโยงของพันธะยางมีความหนาแน่นสูงขึ้น เพราะสารทั้งสองจะทำงานเสริมกัน ดังนั้นสารเร่งปฏิกิริยาคู่ผสม เช่น MBT/TMTD จึงเป็นที่นิยมใช้สำหรับการคงรูปร่างที่คงรูปได้ช้า เช่น EDPM [3]

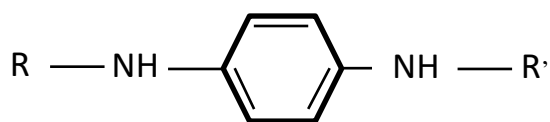
2.3.4 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ

สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Antidegradants) เป็นสารที่เติมลงไปในยางเพื่อที่จะทำให้ยางมีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากขึ้น เนื่องจากในยางส่วนใหญ่ที่มีพันธะคู่อยู่ในสายโมเลกุลจะเสื่อมสภาพได้ง่าย โดยเฉพาะการใช้งานในสภาวะที่สัมผัสกับแสงแดด ออกซิเจน โอโซน ความร้อน หรือโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา รวมทั้งการใช้งานที่มีการหักงออยู่ตลอดเวลา โดยการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นอาจสังเกตเห็นได้จากการแข็งตัว การอ่อนตัว รวมถึงการล้าตัวหรือการขยายตัวของรอยแตก [3]

2.3.4.1 สารป้องกันการเสื่อมสภาพกลุ่มที่ป้องกันทั้งออกซิเจน โอโซน และการล้าตัว

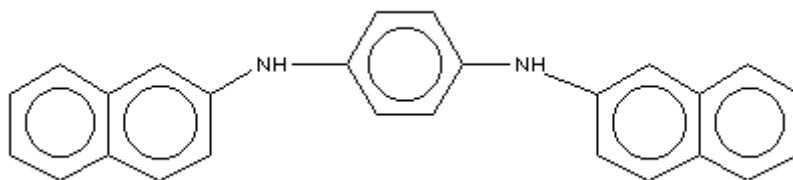
สารป้องกันการเสื่อมสภาพที่สามารถป้องกันยางจากการล้าตัวและปกป้องยางจากโอโซนที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดทั้งต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยางแบบสถิตและแบบพลวัต ได้แก่ สารในกลุ่มสารประกอบอนุพันธ์ของฟีนีลีนไดเอมีน (p-phenylenediamine) เนื่องจากสารในกลุ่มนี้จะช่วยให้ค่าพลังงานวิกฤต (critical energy) ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้ยางเกิดการย่อยแตกอันเนื่องมาจากโอโซนภายใต้การ

เปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสถิติเพิ่มมากขึ้น จึงช่วยทำให้ยางเกิดรอยแตกได้ยากขึ้นและยังช่วยลดอัตราเร็วในการเกิดรอยแตกทั้งในสภาวะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสถิติและแบบพลวัตได้อีกด้วย โดยประสิทธิภาพของสารในกลุ่มนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของหมู่แทนที่ (หมู่ R และ R')



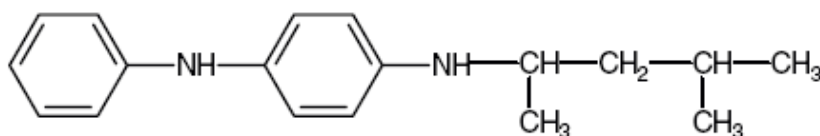
รูปที่ 2.7 ภาพแสดงโครงสร้างของสารประกอบที่เป็นอนุพันธ์ของฟีนอลีนไดเอมีน [4]

สารป้องกันการเสื่อมสภาพที่มีหมู่แทนที่ R และ R' เหมือนกัน เช่น DNPD เป็นสารประกอบที่ช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพที่ช่วยป้องกันยางจากการเสื่อมสภาพเนื่องจากออกซิเจนได้เป็นอย่างดี แต่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการล้าตัวและโอโซนที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากหมู่แทนที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ส่งผลให้การเคลื่อนตัวของสารประกอบไปยังผิวยางเกิดขึ้นได้ลำบาก ทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการเสื่อมสภาพของยางลดลงหากหมู่แทนที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น



รูปที่ 2.8 ภาพแสดงโครงสร้างของ DNPD [4]

สารป้องกันการเสื่อมสภาพที่มีหมู่แทนที่ R และ R' เหมือนกัน เช่น IPPD และ 6PPD เป็นต้นพบว่า IPPD สามารถป้องกันการเสื่อมสภาพของยางจากโอโซนได้ดีกว่า 6PPD เนื่องจาก 6PPD มีหมู่แทนที่มีขนาดใหญ่กว่า IPPD ทำให้การเคลื่อนตัวของสารประกอบไปยังผิวยางเกิดได้ยากกว่าเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจาก 6PPD มีขนาดและน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า IPPD จึงทำให้ระเหยได้ยากและถูกชะล้างด้วยน้ำได้ยากกว่า ดังนั้นจึงทำให้ 6PPD มีประสิทธิภาพในการป้องกันยางเสื่อมสภาพได้ยาวนานกว่า [5]



รูปที่ 2.9 ภาพแสดงโครงสร้างของ 6PPD [17]

2.3.5 สารทำให้เกิดฟอง

สารทำให้เกิดฟอง (Blowing agents) เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปในยางและช่วยให้เกิดรูพรุนในยาง โดยโมเลกุลของสารที่ทำให้เกิดฟองจะแตกสลายเมื่อได้รับความร้อน และให้แก๊สออกมา ทำให้ยางเป็นรูพรุนในรูปแบบของฟองน้ำ (Sponge) หรือยางไมโครเซลลูลาร์ (Microcellular rubber) สารทำให้เกิดฟองสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

(1) ชนิดอินทรีย์ มีประสิทธิภาพต่ำ ต้องใช้ปริมาณมาก การกระจายตัวไม่ดี ราคาค่อนข้างถูก โดยสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ใช้คือ แอมโมเนียมคาร์บอเนต (Ammonium carbonate) แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (Ammonium bicarbonate) โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) สารเคมีเหล่านี้จะให้แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

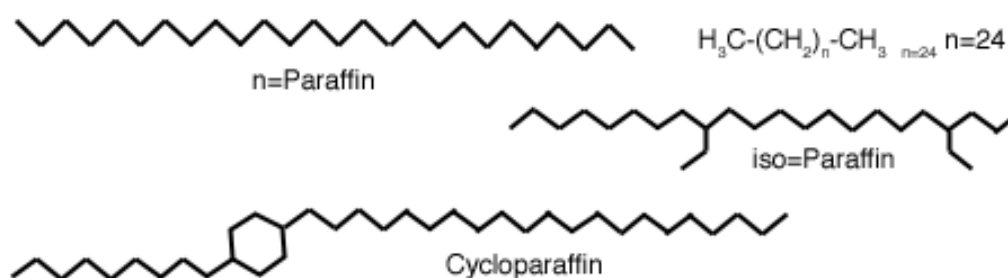
(2) ชนิดอินทรีย์ เป็นสารที่ให้แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถละลาย ในยางได้ดี การกระจายตัวดี ทำให้เกิดฟองขนาดเล็กและสม่ำเสมอ มีราคาค่อนข้างแพง ได้แก่ สารพวอะโซ คอมปาวด์ (Azocompounds), ไนโตรโซคอมปาวด์ (Nitroso compound), ซัลโฟนิลไฮไดรไซด์ (Sulfonyl hydrazide)

2.3.6 สารทำให้ยางอ่อน

สารทำให้ยางอ่อน (Softeners) คือ สารเคมีหรือวัสดุที่เติมลงในยางแล้วส่งผลทำให้ยางคงรูปอ่อนลงและทำให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น หรือช่วยทำให้สารตัวเติมอื่น ๆ เข้าไปผสมกับยางได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยสารทำให้ยางอ่อนที่นิยมคือสารในกลุ่มน้ำมันมิเนอร์ล (mineral oils) ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยน้ำมันที่นิยมใช้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มย่อย ตามลักษณะโครงสร้างทางเคมี คือ น้ำมันพาราฟินิก (paraffinic oil) น้ำมันแนฟเทนิค (naphthenic oil) และน้ำมันอะโรมาติก (aromatic oil) [3]

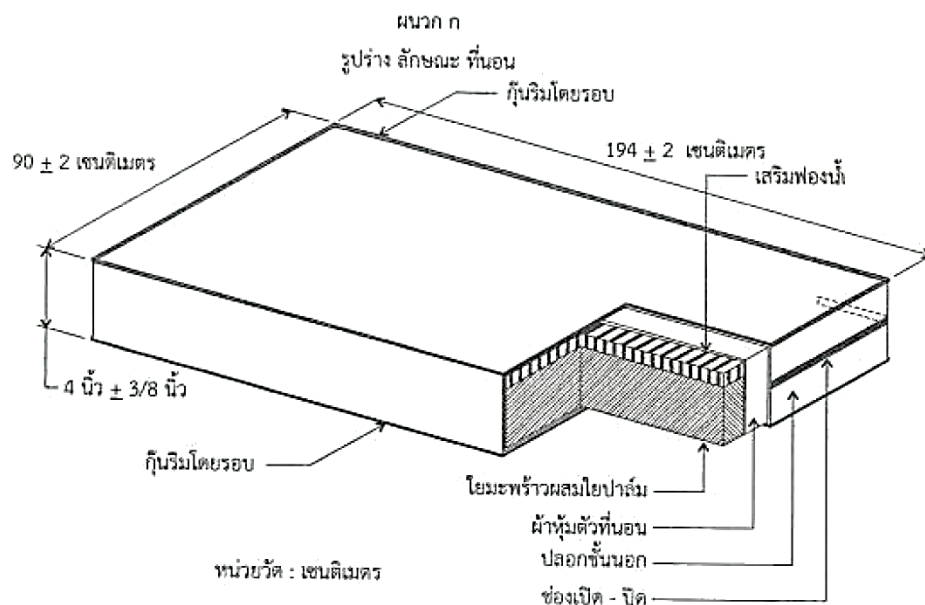
2.3.6.1 น้ำมันพาราฟินิก (paraffinic oil)

น้ำมันพาราฟินิก คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่ง ที่ซึ่งโมเลกุลคาร์บอนต่อกันแบบอะลิฟาติก (aliphatic) กล่าวคืออะตอมคาร์บอนเรียงต่อกันเป็นสายโซ่ตรงหรือมีกิ่งสาขาด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด จึงจัดเป็นน้ำมันที่อิ่มตัว โดยมีสูตรทั่วไปของสารประกอบคาร์บอนพาราฟินิก คือ $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ โดยถ้า n มีค่าต่ำสารประกอบนี้จะอยู่ในสถานะของเหลว เรียกว่า น้ำมันพาราฟิน แต่ถ้า n มีค่าสูง สารประกอบที่ได้จะอยู่ในสถานะของแข็งที่เรียกว่าไขพาราฟิน [3]



รูปที่ 2.10 ภาพแสดงโครงสร้างแบบอะลิฟาติกแบบต่าง ๆ ของน้ำมันพาราฟินิก [6]

2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับที่นอนใยมะพร้าวที่กำลังพลกองทัพบกใช้อยู่ในปัจจุบัน



2.4.1 คุณลักษณะเฉพาะ

1. วัตถุประสงค์ในการใช้งาน
 - ใช้เป็นเครื่องปูลาดสำหรับนอน

2.4.2 ที่นอน

- ทำด้วยเส้นใยผสมระหว่างเส้นใยมะพร้าวกับเส้นใยปาล์ม ในอัตราส่วนผสมโดยประมาณ 50 ต่อ 50
- เส้นใยต้องผ่านกรรมวิธีทำความสะอาด ไม่มีฝุ่นละอองและกลิ่นเหม็น
- ขึ้นรูปด้วยวิธีถักสาน ให้เส้นใยมีความแน่นและคงรูป ความหนา 3 นิ้ว $\pm$ 3/8 นิ้ว ผ่านกรรมวิธีการป้องกันเชื้อราและแมลงลงบนเส้นใยด้วยน้ำยาเคมีที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน
- ตัวที่นอนเสริมด้วยฟองน้ำ หนาไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว หนึ่งด้านหุ้มด้วยผ้าสองชั้น คือ ผ้าหุ้มตัวที่นอนและปลอกชั้นนอก

2.4.3 ผ้าที่ใช้ตัดเย็บ

1. ผ้าหุ้มตัวที่นอน

1.1 ทำด้วยผ้าทอแบบลายขัด ทอจากเส้นใยผสมสีขาว

1.2 ส่วนผสมของเส้นใยประกอบด้วย โพลีเอสเตอร์ผสมฝ้ายหรือเรยอน

- โพลีเอสเตอร์ ร้อยละ 65 $\pm$ 5

- ฝ้ายหรือเรยอน ร้อยละ 35 $\pm$ 5

1.3 จำนวนเส้นด้ายใน 25.4 มิลลิเมตร ไม่น้อยกว่า

- เส้นด้ายยัด 120 เส้น

- เส้นด้ายพุ่ง 60 เส้น

1.4 ความต้านทานแรงดึงขาด ไม่น้อยกว่า

- เส้นด้ายยัด 70 กิโลกรัมแรง
- เส้นด้ายพุ่ง 30 กิโลกรัมแรง

1.5 น้ำหนักผ้า ไม่น้อยกว่า 100 กรัมต่อตารางเมตร

2. ปลอกชั้นนอก

2.1 ทำด้วยผ้าทอแบบลายขัด ทอจากเส้นใยผสม

2.2 ส่วนผสมของเส้นใยประกอบด้วย โพลีเอสเตอร์ผสมฝ้าย

- โพลีเอสเตอร์ร้อยละ 65±5
- ฝ้ายร้อยละ 35±5

2.3 จำนวนเส้นด้ายใน 25.4 มิลลิเมตร ไม่น้อยกว่า

- เส้นด้าย 95 เส้น
- เส้นด้ายพุ่ง 50 เส้น ความต้านทานแรงดึงขาดไม่น้อยกว่า

2.4 เส้นด้ายยืน 130 กิโลกรัมแรง

2.5 เส้นด้ายพุ่ง 60 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

2.6 น้ำหนักผ้า ไม่น้อยกว่า 180 กรัมต่อตารางเมตร

2.7 สี เป็นสีกาเกี่ยมเขียวหรือสีตามความต้องการของทางราชการ

2.8 ความคงทนของสี ดังนี้

- ต่อเหงื่อ (Color Fastness to Perspiration)

2.9 ในสภาพกรด ตั้งแต่ระดับ 4 ขึ้นไป ของเกรย์สเกล

2.10 ในสภาพด่าง ตั้งแต่ระดับ 4 ขึ้นไป ของเกรย์สเกล

- ต่อการซักฟอก (Color Fastness to Washing)

2.11 การเปลี่ยนแปลงของสี ตั้งแต่ระดับ 4 ขึ้นไปของเกรย์สเกล

2.12 การเปื้อนสี ตั้งแต่ระดับ 4 ขึ้นไปของเกรย์สเกล

2.13 การเปลี่ยนแปลงขนาด ไม่เกินร้อยละ 3 ทั้งทางด้ายพุ่งและด้ายยืน

2.14 ความสามารถในการป้องกันน้ำ

- ก่อนการซัก สามารถป้องกันน้ำมาตรฐานได้ ระดับ 4
- หลังผ่านการซัก 20 ครั้ง สามารถป้องกันน้ำมาตรฐานได้ ระดับ 2

2.15 ความสามารถในการต้านการเกิดเชื้อแบคทีเรีย (Antibacterial)

- ก่อนการซัก สามารถต้านการเกิดเชื้อแบคทีเรียได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90
- หลังผ่านการซัก 10 ครั้ง สามารถต้านการเกิดเชื้อแบคทีเรียได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80

2.16 ด้ายที่ใช้เย็บ ใช้ด้ายเย็บโพลีเอสเตอร์ เบอร์ 40 ชนิด 3 เกลียว แรงดึงไม่น้อยกว่า 1.4 กิโลกรัมแรง และเป็นสีเดียวกับผ้าที่ใช้ตัดเย็บ

2.4.4 การตัดเย็บ

1. ตัวที่นอนเย็บหุ้มด้วยผ้าหุ้มตัวที่นอนและสวมทับด้วยปลอกชั้นนอกอีกชั้นหนึ่ง
2. ปลอกชั้นนอกเย็บเข้ารูป และกัณรึมโดยรอบด้วยผ้าสีใกล้เคียงกัน ด้านกว้างของที่นอนด้านใดด้านหนึ่งมีช่องเปิด – ปิด สำหรับถอดปลอกนอกออกทำความสะอาด และช่อง เปิด- ปิด เย็บด้วยแถบแปรงไนลอน – แถบสั้ดหลาด ขนาดไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว ติดยาวตลอดช่วงของช่อง เปิด-ปิด การตัดเย็บและประกอบ มีความประณีต เรียบร้อย
3. ขนาดที่นอน
 - ความกว้าง 90 ± 2 เซนติเมตร
 - ความยาว 194 ± 2 เซนติเมตร
 - ความหนารวม 4 นิ้ว $3/8$ นิ้ว
 - หรือ ขนาดตามความต้องการของทางราชการ
4. น้ำหนักต่อหลังรวม ไม่น้อยกว่า 17 กิโลกรัมหรือตามความต้องการของทางราชการ

2.4.5 คุณลักษณะในการออกแบบ

เป็นที่นอนสี่เหลี่ยมผืนผ้าชั้นเดียว มีผ้าหุ้มตัวที่นอน และมีปลอกแขนชั้นนอกสามารถถอดปลอกชั้นนอกออกได้ รูปร่าง ลักษณะตามผนวก ก

2.4.6 การบรรจุและหีบห่อ ตามมาตรฐานห้องตลาด และ/หรือตามที่ทางราชการกำหนด

2.4.7 ข้อกำหนดอื่น ๆ

- เป็นของใหม่ ไม่เคยใช้งานมาก่อน และสามารถใช้งานได้
- รายละเอียดอื่น ๆ นอกจากที่กำหนดไว้ให้ถือตามความต้องการของทางราชการ

2.4.8 วิธีการตรวจสอบ

- ตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะตามที่กำหนดไว้ โดยใช้เครื่องมือทดสอบของกรมพลาธิการทหารบก
- ขนาด โดยการวัด
- ความประณีต เรียบร้อย โดยการตรวจพินิจ

2.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอน

หน้า ๙

เล่ม ๑๓๓

ตอนพิเศษ ๒๗๐ ง

ราชกิจจานุเบกษา

๒๓ พฤศจิกายน ๒๕๕๙

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๔๘๗๒ (พ.ศ. ๒๕๕๙)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. ๒๕๑๑

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอน

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๕ แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. ๒๕๑๑ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ฉบับที่ ๗) พ.ศ. ๒๕๕๘ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอน มาตรฐานเลขที่ มอก. 2747-2559 ไว้ ดังมีรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลตั้งแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๑๙ กันยายน พ.ศ. ๒๕๕๙

อรรชกา สีบุญเรือง

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

2.6 ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่นอนฟองน้ำลาเท็กซ์ของ บริษัท เลเท็ก ซิทเท็มส์ จำกัด เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 2747-2559 โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอน

1.ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะฟองน้ำลาเท็กซ์จากน้ำยางธรรมชาติเท่านั้นที่ใช้ทำที่นอนไม่รวมถึงฟองน้ำอัด

2.บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 ฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอน หมายถึง ฟองน้ำลาเท็กซ์ที่นำมาทำเป็นส่วนประกอบของการทำที่นอนหลังจากขึ้นรูปหรือตัดตามขนาดที่ต้องการ มีลักษณะเป็นรูพรุน ยืดหยุ่นได้ ทำจากน้ำยางธรรมชาติเท่านั้น
- 2.2 ฟองน้ำอัด หมายถึง เศษฟองน้ำจากกระบวนการอัดขึ้นรูป โดยมีกาวเป็นตัวประสาน ฟองน้ำอัดดังกล่าวอาจทำมาจากยางธรรมชาติหรืออย่างอื่น ๆ

3.ประเภท

- 3.1 ฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอน แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ
- 3.3.1 ประเภทนิ่ม
- 3.3.2 ประเภทแข็งปานกลาง
- 3.3.3 ประเภทแข็ง

4.คุณลักษณะที่ต้องการ

- 4.1 ลักษณะทั่วไป
- ต้องมีรูปทรงสม่ำเสมอ สะอาด ปราศจากข้อบกพร่อง เช่น สีไม่สม่ำเสมอ มีรอยต่าง เปรอะเปื้อน การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
- 4.2 ปริมาณเนื้อเยื่อทั้งหมด
- ต้องมีปริมาณเนื้อเยื่อธรรมชาติ 100% โดยน้ำหนักของเนื้อเยื่อทั้งหมด
- การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.2

- 4.3 ความหนาแน่น
เมื่อทดสอบตามข้อ 8.3 แล้ว ให้เป็นไปตามตารางที่ 1
- 4.4 ดัชนีความแข็งแรงเชิงกด
เมื่อทดสอบตามข้อ 8.4 แล้ว ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภท ช่วงค่าความหนาแน่น ช่วงดัชนีความแข็งแรงเชิงกด
(ข้อ 4.3 และ ข้อ 4.4)

ประเภท	ช่วงค่าความหนาแน่น	ช่วงดัชนีความแข็งแรงเชิงกด
นุ่ม	61 kg/m ³ ถึง 70 kg/m ³	น้อยกว่า 100 N
แข็งปานกลาง	71 kg/m ³ ถึง 80 kg/m ³	ตั้งแต่ 100 N แต่ไม่เกิน 170 N
แข็ง	81 kg/m ³ ถึง 90 kg/m ³	มากกว่า 170 N

- 4.5 การเร่งการเสื่อมอายุ
เมื่อทดสอบตามข้อ 8.5 แล้ว ดัชนีความแข็งแรงเชิงกดต้องลดลงจากเดิมได้ไม่เกิน 20%
- 4.6 การยุบตัวเนื่องจากแรงกด
เมื่อทดสอบตามข้อ 8.6 แล้ว ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงกดต้องไม่เกิน 6%
- 4.7 ความทนแรงอัดซ้ำคงที่
เมื่อทดสอบตามข้อ 8.7 แล้ว ดัชนีความแข็งแรงเชิงกดต้องลดลงจากเดิมได้ไม่เกิน 20% และความหนาต้องเปลี่ยนแปลงจากเดิมไม่เกิน 5%

5.การบรรจุ

- 5.1 ให้หุ้มห่อฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอนด้วยวัสดุที่สะอาด และสามารถป้องกันสิ่งสกปรกและน้ำได้

6.เครื่องหมายและฉลาก

- 6.1 ที่วัสดุหุ้มห่อฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอน อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน
- (1) ชื่อผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานนี้ หรือชื่ออื่นที่สื่อความหมายว่าเป็นผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานนี้
 - (2) ประเภท
 - (3) วัน เดือน ปีที่ทำ

- (4) ชื่อผู้ทำ หรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน
ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

7.การชักตัวอย่างและเกณฑ์การตัดสิน

- 7.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

8.การทดสอบ

- 8.1 ทัวไป
ให้ใช้วิธีที่กำหนดในมาตรฐานนี้ หรือวิธีอื่นใดที่เทียบเท่า ในกรณีที่มีข้อโต้แย้ง ให้ใช้วิธีที่กำหนดในมาตรฐานนี้
- 8.2 ปริมาณเนื้อเยื่อทั้งหมด
ให้ปฏิบัติตาม ISO 9924-1 โดยใช้เทคนิคเทอร์มोगราวิเมตริก (Thermogravimetric analysis)
- 8.3 ความหนาแน่น
- 8.3.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ
ให้สุ่มตัดชิ้นทดสอบจากบริเวณของตัวอย่างที่มีลักษณะต้นเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความกว้างด้านละ (50 ± 1) mm. หนา (40 ± 1) mm หรือตัดเป็นชิ้นทดสอบที่มีลักษณะต้นขนาดใหญ่เท่าที่จะเป็นไปได้ และสามารถคำนวณหาปริมาตรได้โดยสะดวก จำนวน 5 ชิ้นทดสอบ
- 8.3.2 วิธีการทดสอบ
ให้ปฏิบัติตาม ISO 845
- 8.3.3 การคำนวณ
คำนวณหาความหนาแน่น จากสูตร
- $$\rho = \frac{m}{V} \times 10^6$$
- | | | | |
|-------|--------|-----|---|
| เมื่อ | ρ | คือ | ความหนาแน่น เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร |
| | m | คือ | น้ำหนัก เป็นกรัม |
| | v | คือ | ปริมาตร เป็นลูกบาศก์มิลลิเมตร |
- หมายเหตุ ค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบต้องมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 1.7%
- 8.4 ดัชนีความแข็งเชิงกด
ให้ปฏิบัติตาม ISO 2439 method A โดยทดสอบ 1 ชิ้นตัวอย่าง

8.5 การเร่งการเสื่อมอายุ

ให้เร่งการเสื่อมอายุตาม ISO 2440 ที่อุณหภูมิ $(70 \pm 2) ^\circ\text{C}$ เป็นเวลา $(72 \frac{0}{-2})$ h แล้วนำไป

ทดสอบหาดัชนีความแข็งเชิงกด ตามข้อ 8.4

8.6 การรบกวนเนื่องจากแรงกด

ให้ปฏิบัติตาม ISO 1856 method B โดยกดให้มีความหนาลดลง $(50 \pm 4)\%$

8.7 ความทนแรงอัดซ้ำคงที่

ให้ปฏิบัติตาม ISO 3385

ภาคผนวก ก.
การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 7.1)

- ก.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง ฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอนประเภทเดียวกันที่มีส่วนผสมอย่างเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือซื้อขายหรือส่งมอบในระยะเวลาเดียวกัน
- ก.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้
- ก.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับลักษณะทั่วไป การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก
- ก.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันที่เป็นประเภทเดียวกัน จำนวน 3 ชิ้น
- ก.2.1.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4.1 ข้อ 5. และข้อ 6.1 จึงจะถือว่า ฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอนรุ่นนั้น เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
- ก.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับสัดส่วนของยางธรรมชาติ
- ก.2.2.1 ให้ใช้ตัวอย่างจากข้อ ก.2.1 และตัดยางแต่ละชิ้นจำนวนเพียงพอสำหรับการทดสอบในข้อ 8.2
- ก.2.2.2 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4.2 จึงจะถือว่าฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอนรุ่นนั้น เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
- ก.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับคุณลักษณะที่ต้องการอื่น ๆ
- ก.2.3.1 ให้ใช้ตัวอย่างจากข้อ ก.2.1 แล้วนำมาทำเป็นชิ้นทดสอบขนาดต่าง ๆ ดังนี้
- | | |
|---|--------------------|
| ชิ้นทดสอบขนาดไม่ต่ำกว่า 100 cm^3 | ทดสอบข้อ 8.3 |
| ชิ้นทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความกว้าง $(380^{+20}_0)\text{ mm}$ | ทดสอบข้อ 8.4 |
| ความหนา $(50 \pm 2)\text{ mm}$ | ข้อ 8.5 และข้อ 8.7 |
| ชิ้นทดสอบหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความกว้าง $(50 \pm 1)\text{ mm}$ | ทดสอบข้อ 8.6 |
| ความหนา $(25 \pm 1)\text{ mm}$ | |
- ก.2.3.2 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4.3 ข้อ 4.4 ข้อ 4.5 ข้อ 4.6 และข้อ 4.7 จึงจะถือว่าฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอนรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
- ก.3 เกณฑ์ตัดสิน
- ตัวอย่างฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอนต้องเป็นไปตามข้อ ก.2.1.2 ข้อ ก.2.2.2 และข้อ ก.2.3.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอนรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

รายงานผลการตรวจสอบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ฟองน้ำลาเท็กซ์สำหรับทำที่นอน มอก.2747-2559

ชื่อผู้ส่งตัวอย่าง บริษัท เลเท็กซ์ ซิทเท็มส์ จำกัด หมายเลขตัวอย่าง Q33 9032017

ประเภท ☐ นิ่ม ☐ แข็งปานกลาง ☒ แข็ง

ที่	รายการตรวจสอบ	ข้อ, ตาราง	เกณฑ์กำหนด	ผลการตรวจสอบ		
				1	2	3
1	ลักษณะทั่วไป	4.1	ต้องมีรูปทรงสม่ำเสมอ ปราศจากข้อบกพร่อง เช่น สีไม่สม่ำเสมอ มีรอยต่าง เปราะเปื้อน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
2	ปริมาณเนื้อยางทั้งหมด	4.2	ต้องมีเนื้อยางธรรมชาติ 100% โดยน้ำหนักของเนื้อยางทั้งหมด	ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด		
3	ความหนาแน่น	4.3	81-90 kg/m ³	84.30		
4	ดัชนีความแข็งเชิงกล	4.4	มากกว่า 170 N	261.10		
5	การเร่งการเสื่อมอายุ	4.5	ดัชนีความแข็งเชิงกลต้องลดลงจากเดิมไม่เกิน 20%	11.50		
6	การยุบตัวเนื่องจากแรงกด	4.6	ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงกดต้องไม่เกิน 6%	3.60		
7	ความทนแรงอัดซ้ำครั้งที่	4.7	ดัชนีความแข็งเชิงกลต้องลดลงจากเดิมไม่เกิน 20%	17.25		
			ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงกดต้องไม่เกิน 5%	0.7		
8	การบรรจุ	5	ห่อหุ้มด้วยวัสดุที่สะอาด และสามารถป้องกันสิ่งสกปรกและน้ำได้	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
9	เครื่องหมายและฉลาก	6		ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

บทที่ 3 วัตถุดิบและขั้นตอนดำเนินงาน

3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

ในโครงการวิจัยและพัฒนาต้นแบบที่นอนยางพาราสำหรับทหารกองประจำการกองทัพบก ใช้วัตถุดิบและสารเคมี ประกอบด้วย

- 3.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR)
- 3.1.2 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)
- 3.1.3 แอนต็อกซิแดนท์ (Antioxidant)
- 3.1.4 โพแทสเซียมโอเลต (Potassium oleate)
- 3.1.5 ไดฟีนิลกัวนิดีน (Diphenyl guanidine, DPG)
- 3.1.6 โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Sodium silicofluoride)
- 3.1.7 ซิงค์ไดเอทิลไดไธโอคาร์บาเมต (Zinc diethyldithiocarbamate)
- 3.1.8 ซิงค์เมอร์แคปโตเบนโซไทอาโซล (Zinc-2-mercaptobenzothiazole)
- 3.1.9 กำมะถัน (Sulphur)

โดยวัตถุดิบ สารเคมี และสารตัวเติมแต่ละชนิดมีหน้าที่ และรายละเอียด ดังนี้

3.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR)

ยางคือวัสดุพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยไฮโดรเจนและคาร์บอน ยางเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง ยางที่มีต้นกำเนิดจากธรรมชาติจะมาจากของเหลวของพืชบางชนิด ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายน้ำมัน มีสมบัติเป็นคอลลอยด์ อนุภาคเล็ก มีตัวกลางเป็นน้ำ ยางในสภาพของเหลวเรียกว่าน้ำยาง ยางที่เกิดจากพืชนี้เรียกว่ายางธรรมชาติ ในขณะเดียวกันมนุษย์สามารถสร้างยางสังเคราะห์ได้จากปิโตรเลียม

3.1.2 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)

ซิงค์ออกไซด์ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activator) ของปฏิกิริยวัลคาไนซในขั้นตอนกระบวนการผสมยางสังเคราะห์ EPDM กับสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ โดยซิงค์ออกไซด์ช่วยทำหน้าที่กระตุ้นให้สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerators) ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาคงรูปของยาง (vulcanization)

3.1.3 แอนต็อกซิแดนท์ (Antioxidant)

สารกันเสื่อมหรือสารแอนต็อกซิแดนท์หรือสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) เป็นสารที่ถูกเติมลงไปไนไฮโดรคาร์บอนซึ่งไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ในยาง พลาสติก อาหาร หรือน้ำมัน เพื่อที่จะยับยั้งหรือชะลอการเกิดกระบวนการออกซิเดชันนั่นเอง สารแอนต็อกซิแดนท์นี้จะทำงานใน 2 ลักษณะด้วยกัน คือสำหรับสารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิ กระบวนการต้านอนุมูลอิสระจะ

เกิดขึ้นโดยการเพิ่มอะตอมของอิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนให้กับสารอนุพันธ์ ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระทุติยภูมิ (peroxide decomposers) นั้น กระบวนการต้านอนุมูลอิสระจะเกิดขึ้นโดยการกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและการป้องกันสาเหตุต่าง ๆ ที่จะทำให้เกิดการออกซิเดชันได้

3.1.4 โพแทสเซียมโอเลเอต (Potassium oleate)

โพแทสเซียมโอเลเอต ทำหน้าที่เป็นโฟมมิงเอเจนต์ (Foaming agent) ช่วยทำให้ยางมีลักษณะเป็นฟองโฟม และมีการแทรกตัวของอากาศในน้ำยางธรรมชาติได้ง่ายขึ้น

3.1.5 ไดฟีนิลกัวนิดีน (Diphenyl guanidine, DPG)

ไดฟีนิลกัวนิดีนทำหน้าที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยาชนิดปฐมภูมิ (Primary accelerator) ที่ใช้ในกระบวนการคงรูปยางด้วยกำมะถัน เพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยางและกำมะถันให้สามารถเกิดได้เร็วขึ้น ช่วยลดเวลาในการที่ยางเกิดการคงรูป ส่งผลให้การคงรูปของยางมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงของโมเลกุลยางกับสารตัวเติมอื่น ๆ และมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

3.1.6 โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Sodium silicofluoride, SSF)

โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ ทำหน้าที่เป็นสารก่อเจลหลัก ช่วยให้ยางมีลักษณะเป็นเจลเพื่อเหมาะสมกับการการขึ้นรูปเป็นโฟมยาง

3.1.7 ซิงค์ไดเอทิลไดไธโอคาร์บาเมต (Zinc diethyldithiocarbamate)

ซิงค์ไดเอทิลไดไธโอคาร์บาเมต เป็นสารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการคงรูปยางด้วยกำมะถัน เพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยางและกำมะถันให้สามารถเกิดได้เร็วขึ้น ช่วยลดเวลาในการที่ยางเกิดการคงรูป ส่งผลให้การคงรูปของยางมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงของโมเลกุลยางกับสารตัวเติมอื่น ๆ และมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

3.1.8 ซิงค์เมอร์แคปโตเบนโซไทอาโซล (Zinc-2-mercaptobenzothiazole)

ซิงค์เมอร์แคปโตเบนโซไทอาโซล ซิงค์ไดเอทิลไดไธโอคาร์บาเมต เป็นสารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการคงรูปยางด้วยกำมะถัน เพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยางและกำมะถันให้สามารถเกิดได้เร็วขึ้น ช่วยลดเวลาในการที่ยางเกิดการคงรูป ส่งผลให้การคงรูปของยางมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงของโมเลกุลยางกับสารตัวเติมอื่น ๆ และมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

3.1.9 กำมะถัน (Sulphur)

กำมะถันทำหน้าที่เป็นสารคงรูป (Curing agent) ช่วยทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงกันเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติมากขึ้น เมื่อผ่านปฏิกิริยวัลคาไนส์เซชันในกระบวนการผลิตยาง โดยกำมะถันเป็นสารคงรูปที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ยางทุกชนิดที่มีพันธะคู่ในโมเลกุล

3.2 สูตรส่วนผสมวัสดุเชิงประกอบยางโฟม

สูตรของวัตถุดิบส่วนผสมที่ใช้ในงานวิจัยการพัฒนาวัสดุยางโฟมสำหรับใช้เป็นพื้นรองยางพาราทางการทหาร แสดงดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 แสดงสูตรส่วนผสมในการผลิตวัสดุเชิงประกอบยางโฟม

สารเคมี	หน้าที่
Natural rubber	Raw rubber
Zinc oxide	Activator
Antioxidant	Antioxidant
Potassium oleate	Foaming agent
Diphenyl guanidine	Accelerators
Sodium silicofluoride	Gelling agent
Zinc diethyldithiocarbamate	Accelerators
Zinc-2-mercaptobenzthiazole	Accelerators
Sulphur	Curing agent

3.3 แผนการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยและพัฒนาต้นแบบพื้นรองยางพาราสำหรับทหารกองประจำการกองทัพบกนี้ ศึกษาการใช้ยางธรรมชาติผลิตเป็นยางโฟมประกบกับแผ่นฟองน้ำอัดแน่นและหุ้มปกด้วย PVC สำหรับใช้เป็นพื้นรองยางพาราสำหรับทหารทดแทนพื้นรองใยมะพร้าวที่มีการใช้งานในปัจจุบัน เพื่อพัฒนาพื้นรองยางพาราที่มีคุณสมบัติตรงตามระเบียบกองทัพ มีความยืดหยุ่น มีเหมาะสมและสะดวกสบายต่อพลทหารผู้ใช้งานจริง โดยงานวิจัยนี้แบ่งแผนการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- ส่วนที่ 1 ในการทดลองนำยางธรรมชาติเข้าสู่กระบวนการผลิตยางโฟมนั้น คณะผู้วิจัยได้รับความร่วมมือจากบริษัท เลเท็กซ์ซิสเทมส์ จำกัด (Latex Systems Company Co.,Ltd.) ในการทดลองสร้างต้นแบบที่นอนยางพารา บริษัท เลเท็กซ์ซิสเทมส์ จำกัด ได้ทดลองทำยางโฟมที่มีความหนาแน่นต่างกันตามสูตรมาตรฐานของบริษัท เลเท็กซ์ซิสเทมส์ จำกัด 3 สูตรความหนาแน่น คือ Den 80, 85 และ 90 (ซึ่งทั้งนี้ทางบริษัท เลเท็กซ์ซิสเทมส์ จำกัด ไม่สามารถเปิดเผยสูตรทางเคมีในกระบวนการผลิตยางโฟมให้ทราบได้) จากนั้น คณะผู้วิจัยได้นำตัวอย่างของยางโฟมทั้ง 3 สูตรความหนาแน่นไปทำการทดสอบที่แผนกทดสอบ กองวิทยากร กรมพลาธิการทหารบก เพื่อทดสอบดัชนีความแข็งเชิงกด (Indentation Hardness Index) การยุบตัวเนื่องจากแรงกด (Indentation Set) และความทนแรงอัดซ้ำคงที่ (Pounding Test) ซึ่งใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.2747-2559 ข้อ 8 เรื่องการทดสอบ (ระบุในบทที่ 2 หน้าที่ 24 ของงานวิจัย)

ขั้นตอนในการผลิตยางโฟมของบริษัท เลเท็กซ์ซิสเทมส์ จำกัด รายละเอียดตามลำดับ ดังนี้

1. เตรียมน้ำยางเข้มข้น 60% โดยการรวบรวมน้ำยางธรรมชาติจากแหล่งต่างๆ มาเข้าสู่กระบวนการเพิ่มความเข้มข้นน้ำยางในโรงงานเพิ่มความเข้มข้นน้ำยาง แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงการรวบรวมน้ำยางจากแหล่งต่าง ๆ เข้าสู่กระบวนการเพิ่มความเข้มข้นน้ำยาง

2. เตรียมสารเคมีที่ต้องใช้ในการผลิตยางโฟมให้อยู่ในรูปสารละลายที่กระจายตัวในน้ำยาง โดยการบดผสมสารเคมีให้เป็นสารละลายที่ความเข้มข้นตามต้องการด้วยเครื่องบดเม็ดทราย (Sand mill) แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ภาพเครื่องบดเม็ดทราย (Sand mill)

3. ผสมน้ำยางเข้มข้น 60% และสารเคมีตามสูตรการผลิตยางโฟมจนได้น้ำยางคอมปาวด์ ด้วยถังผสม (Maturing tank) แสดงดังรูปที่ 3.3



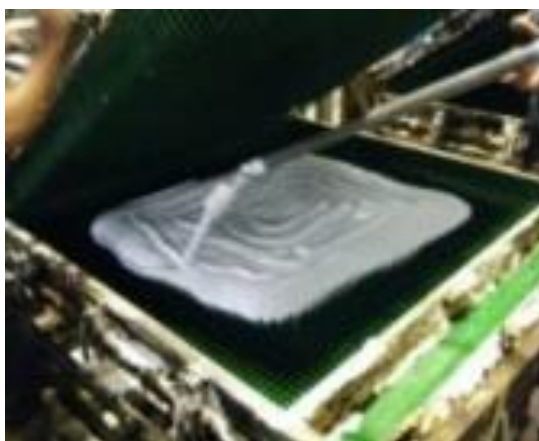
รูปที่ 3.3 ภาพถังผสม (Maturing tank)

4. ตีฟองน้ำยางคอมปาวด์ด้วยเครื่องโฟมต่อเนื่อง (Foaming machine) แสดงดังรูป 3.4 เพื่อให้ น้ำยางคอมปาวด์มีลักษณะเป็นฟองโฟมก่อนนำไปขึ้นรูปเป็นยางโฟมต่อไป



รูปที่ 3.4 ภาพเครื่องโฟมต่อเนื่อง (Foaming machine)

5. นีดโฟมยางคอมปาวด์เข้าแบบพิมพ์ (Molding) แสดงดังรูปที่ 3.5



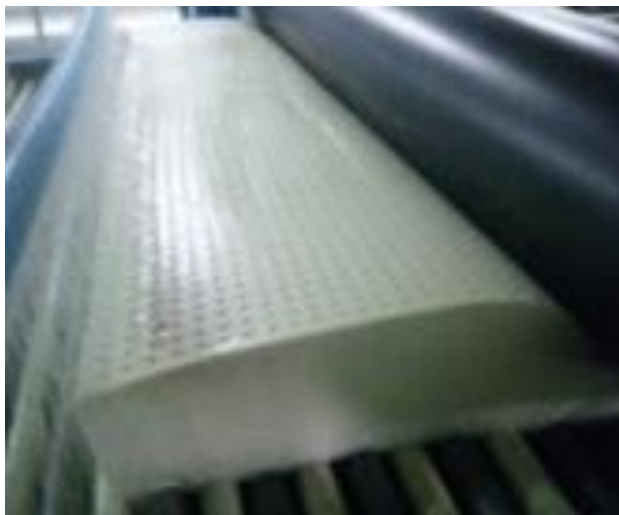
รูปที่ 3.5 ภาพยางคอมปาวด์ในแบบพิมพ์

6. คงรูปร่างด้วยระบบความร้อนและแรงดัน (Vulcanization) แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ภาพการคงรูปร่างด้วยความร้อนและแรงดัน

7. ถอดชิ้นงานโฟมยางออกจากแม่พิมพ์ และล้างด้วยน้ำอุ่นเพื่อล้างสารเคมีส่วนเกินออกจากชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 3.7 ก่อนจะปล่อยให้แห้ง และตัดชิ้นตามขนาดที่ต้องการเพื่อนำไปประกอบเป็นที่นั่งนอนยางพาราต่อไป



รูปที่ 3.7 ภาพชิ้นงานยางโฟม

- ส่วนที่ 2 คณะผู้วิจัยเลือกนำยางโฟมที่มีความหนาแน่น Den 85 จากกระบวนการผลิตยางโฟมของบริษัท เล็กซ์ซิสเทมส์ จำกัด ในส่วนที่ 1 มาผลิตต้นแบบที่นั่งนอนยางพาราเพื่อทดลองใช้ในโรงนอนของทหารกองประจำการ โดยมีขั้นตอน ดังนี้
1. นำยางโฟมที่มีความหนาแน่น Den 85 จากงานส่วนที่ 1 ผลิตเป็นชิ้นงานที่นั่งนอนยางพาราขนาด $90 \times 192 \times 7.5$ เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ภาพชิ้นงานยางโฟมขนาด $90 \times 192 \times 7.5$ เซนติเมตร

2. นำชิ้นงานยางโฟมที่ตัดได้ขนาดแล้วจากข้อ 1. ประกบกับฟองน้ำอัดความหนาแน่นที่ 95 ขนาด $90 \times 192 \times 2.5$ เซนติเมตร จะได้ต้นแบบที่นอนยางพารา ขนาด $90 \times 192 \times 10$ เซนติเมตร ซึ่งมีน้ำหนักรวมประมาณ 20 กิโลกรัม แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ภาพที่นอนยางพาราที่ประกอบด้วยชั้นยางโฟมและฟองน้ำอัด

3. หุ้มต้นแบบที่นอนยางพาราทั้ง 2 ชั้น ด้วยปลอก PVC ประกอบซิป 2 ด้าน แสดงดังรูปที่ 3.10 เพื่อสะดวกในการถอดประกอบทำความสะอาด และป้องกันการซึมของน้ำ พร้อมทั้งเจาะรูตาไก่ 2 รูด้านท้ายเพื่อระบายอากาศ



รูปที่ 3.10 ภาพที่นอนยางพาราสวมปลอกด้วยผ้าใบ PVC

- ส่วนที่ 3 นำต้นแบบที่นอนยางพารา 30 หลัง ทดลองใช้งานจริงในอาคารโรงนอนกองทัพกับกลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลาธิการ กรมพลาธิการทหารบก รวมทั้งเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลความคิดเห็นจากผู้ใช้งานจริงด้วยแบบสอบถาม และสรุปผลการทดลอง



รูปที่ 3.11 ภาพภายในอาคารโรงนอนกองทัพบก โรงเรียนพลาธิการทหารบก กรมพลาธิการทหารบก

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การทดสอบคุณภาพของยางโฟมและวัสดุสำหรับผลิตเป็นต้นแบบที่นอนยางพาราสำหรับทหารกองประจำการกองทัพบก

การทดสอบคุณภาพของยางโฟมและวัสดุสำหรับผลิตต้นแบบที่นอนยางพาราสำหรับทหารกองประจำการกองทัพบก ใช้ในอาคารโรงนอนนั้นได้ทำการทดสอบโดยเครื่องมือของแผนกทดสอบ กองวิทยากร กรมพลธิการทหารบก โดยทดสอบดัชนีความแข็งเชิงกด (Indentation Hardness Index) การยุบตัวเนื่องจากแรงกด (Indentation Set) และความทนแรงอัดซ้ำคงที่ (Pounding Test) ซึ่งใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.2747-2559

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบเบื้องต้นของวัสดุประกอบต้นแบบที่นอนยางพาราสำหรับใช้ทางการทหาร

ลำดับ	รายการ/คุณลักษณะเฉพาะที่นอนยางโฟม ตัวอย่างตามสูตรของบริษัท เลทีกซ์ซีทีเอ็มส์ จำกัด	ปรากฏค่าความหนาแน่น ที่วัดได้จริง
1	ยางอัด ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	97.77
2	ยางพารา Den 80 ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	92.8
3	ยางพารา Den 85 ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	138.8
4	ยางพารา Den 90 ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	110.4
5	ผ้าใบ (เคลือบ PVC สีเขียว)	
	- น้ำหนัก (กรัมต่อตารางเมตร)	483.8
	- แรงดึงขาดต่ำสุด (กิโลกรัมแรง)	
	ด้ายยืน	17.4
	ด้ายพุ่ง	10.4

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบเบื้องต้นของวัสดุประกอบต้นแบบที่นอนยางพาราสำหรับใช้ทางการทหาร พบว่า ยางอัด (ฟองน้ำอัด) มีความหนาแน่น 97.77 kg/m^3 ยางพารา (ยางโฟม) Den 80, 85 และ 90 มีความหนาแน่นจริงที่ปรากฏคือ 92.8, 138.8 และ 110.4 kg/m^3 ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นว่าค่าความหนาแน่นสูตร 85 มีค่าความหนาแน่นที่ปรากฏจริง คือ 138.8 kg/m^3 ซึ่งเห็นว่าคุณภาพของยางโฟมสูงกว่ามาตรฐาน จึงน่าที่จะมีคุณสมบัติเหมาะสมกับการนำไปใช้งานกับทหารกอง

ประจำการที่มีสรีระสูง ซึ่งโดยเฉลี่ยมีความสูงมากกว่า 165 เซนติเมตร และมีน้ำหนัก 60 กิโลกรัม และผ้าใบเคลือบ PVC สีเขียว มีน้ำหนัก 483.8 g/m^2 มีแรงดึงขาดต่ำสุดของด้ายยืนและด้ายพุ่ง 17.4 และ 10.4 กิโลกรัมแรง ตามลำดับ

4.2 สรุปคุณลักษณะทั่วไปของทีนอนยางพาราต้นแบบในการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลทีนอนฟองน้ำลาเท็กซ์ ตามมาตรฐาน มอก.2747-2559 และคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ฟองน้ำลาเท็กซ์ของบริษัท ลาเท็กซ์ ซิทเท็มส์ จำกัด คณะผู้วิจัยจึงได้ทีนอนยางพาราต้นแบบจำนวน 30 หลัง ที่นำไปทดลองใช้งานในอาคารโรงนอนกองทัพกับกลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลาธิการ โดยมีคุณสมบัติเบื้องต้นดังนี้

4.2.1 ขนาดของทีนอน

- ความกว้างประมาณ 90 ซม.
- ความยาวประมาณ 192 ซม.
- ความหนาประมาณ 4 นิ้ว

4.2.2 ทีนอน

- ทำด้วยยางโฟม ขนาดความหนาแน่นไม่น้อยกว่า Den 85 (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) หนา 3 นิ้ว หรือ 7.5 เซนติเมตร ประกบฟองน้ำอัดในอัตราส่วนโดยประมาณ 3 : 1
- ฟองน้ำอัด ขนาดความหนาแน่นไม่น้อยกว่า Den 95 (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) หนา 1 นิ้ว หรือ 2.5 เซนติเมตร
- ยางโฟม และฟองน้ำอัดประกบกันเป็นชั้นเดียว โดยมีขนาดความกว้างประมาณ 90 เซนติเมตร ยาว 192 เซนติเมตร และหนา 4 นิ้ว หรือ 10 เซนติเมตร
- น้ำหนักรวมประมาณ 17 กิโลกรัม

4.2.3 การตัดเย็บผ้าหุ้มทีนอน

- ตัวทีนอนยางพาราต้นแบบเย็บหุ้มด้วยผ้าใบเคลือบ PVC สีเขียว ความหนาประมาณไม่เกิน 0.25 มม. เพื่อป้องกันการซึมของน้ำ และสามารถเช็ดทำความสะอาดง่าย
- ปลอกหุ้มทีนอนที่เป็นผ้าใบเคลือบ PVC นี้ ด้านกว้างของทีนอนด้านหนึ่งเจาะตาไก่ เพื่อระบายอากาศและสามารถถอดทำความสะอาดได้ด้วยซิปปาว 3 ด้าน เป็นลักษณะรูปตัว U

4.3 การประเมินความพึงพอใจและความเหมาะสมของต้นแบบที่นอนยางพาราจากการทดสอบใช้งานจริงโดยนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลาธิการ กรมพลาธิการทหารบก

จากการสำรวจความคิดเห็นต่อการใช้งานต้นแบบที่นอนยางพารา โดยทดลองใช้งานจริงในอาคารรือนนอนกองทัพกับกลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลาธิการ กรมพลาธิการทหารบก ได้ผลสรุปดังนี้

1. อายุของกลุ่มตัวอย่างผู้ทดลองใช้ต้นแบบที่นอนยางพารา อายุ 18-24 ปี อายุเฉลี่ย 21 ปี
2. น้ำหนักเฉลี่ยของกลุ่มทดลอง 66 กิโลกรัม ความสูงเฉลี่ย 174 เซนติเมตร
3. เวลาในการทดลองใช้งานต้นแบบที่นอนยางพารา 18 ธันวาคม 2560 – 23 เมษายน 2561
4. การเปรียบเทียบความสบายในการนอนหลับพักผ่อนระหว่างที่นอนใยมะพร้าวแบบเดิมกับต้นแบบที่นอนยางพาราที่นำมาทดลองใช้ พบว่า กลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลาธิการ กรมพลาธิการทหารบกทั้ง 30 นาย มีความเห็นว่า ต้นแบบที่นอนยางพาราที่นำมาทดลองใช้นอนหลับสบายกว่าที่นอนใยมะพร้าวแบบเดิม
5. เมื่อเปรียบเทียบระดับความสบายในการนอน กลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลาธิการ กรมพลาธิการทหารบกทั้ง 30 นาย มีความเห็นว่า ให้ระดับความสบายที่ 5 คือ มากที่สุด
6. จากแบบสอบถาม กลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลาธิการ กรมพลาธิการทหารบกทั้ง 30 นาย มีความเห็นว่า การทำความสะอาดที่นอน และการปูที่นอนยางพาราที่นำมาทดลองใช้งาน สามารถทำความสะอาดได้ง่าย และปูที่นอนได้ง่ายกว่าที่นอนใยมะพร้าวแบบเดิม ซึ่งมักมีเส้นใยมะพร้าวเสียบที่มือออกมาจากที่นอนและมีฝุ่นละอองทะเลอู้าหุ้มออกมา
7. จากแบบสอบถาม กลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลาธิการ กรมพลาธิการทหารบกจำนวน 30 นาย มีความเห็นว่า ที่นอนยางพาราไม่มีฝุ่นละออง ส่งผลให้เวลานอนไม่แสบจมูก ช่วยให้หลับสบายและหลับสนิทกว่าการนอนที่นอนใยมะพร้าวแบบเดิม
8. จากแบบสอบถาม กลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลาธิการ กรมพลาธิการทหารบกทั้ง 30 นาย มีความเห็นว่า ที่นอนยางพาราใช้เวลาในการทำความสะอาดน้อยกว่าที่นอนใยมะพร้าว เพราะไม่ค่อยเลอะและเช็ดออกง่าย
9. ด้านการเคลื่อนย้ายที่นอนยางพารา จากการสอบถามกลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลาธิการ กรมพลาธิการทหารบกทั้ง 30 นาย มีความเห็นว่า ที่นอนยางพาราสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย และทำความสะอาดง่าย เพราะหุ้มด้วยปลอกหุ้ม PVC
10. จากแบบสอบถาม กลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลาธิการ กรมพลาธิการทหารบกทั้ง 30 นาย ต้องการที่นอนยางพาราแบบที่นำมาทดลองใช้งานมากกว่าที่นอนใยมะพร้าวแบบเดิม
11. กลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลาธิการ กรมพลาธิการทหารบกทั้ง 30 นาย เห็นว่าการใช้ที่นอนยางพาราที่นำมาทดลองใช้ จำเป็นต้องปูผ้าปูที่นอน เพราะถ้าไม่ปูผ้าปูที่นอนจะทำให้เหนียวตัว
12. กลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลาธิการ 25 นาย ต้องการหมอนใยสังเคราะห์แบบเดิม

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุสำหรับประกอบต้นแบบที่นอนยางพาราสำหรับทหารกองประจำการที่ใช้ในอาคารโรงนอนกองทัพบก

- ยางโฟม มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 85 kg/m^3 ขนาด $90 \times 192 \times 7.5 \text{ cm}$
- ฟองน้ำอัด สำหรับใช้เป็นฐานของต้นแบบที่นอนยางพารา มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 95 kg/cm^3 ขนาด $90 \times 192 \times 2.5 \text{ cm}$
- ผ้าใบเคลือบ PVC มีน้ำหนัก 483.8 g/m^2 มีแรงดึงขาดต่ำสุดของด้ายยืนและด้ายพุ่ง 17.4 และ 10.4 กิโลกรัมแรง ตามลำดับ (หนาประมาณ 0.25 mm.)

5.1.2 ผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นต่อที่นอนยางพาราของกลุ่มตัวอย่างผู้ทดลองใช้จริง

จากการสอบถามความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลธิการ กรมพลธิการทหารบกจำนวน 30 นาย ต่อการทดลองใช้งานต้นแบบที่นอนยางพาราทดแทนที่นอนใยมะพร้าวแบบเดิม พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อการใช้ที่นอนยางพารามากกว่าที่นอนใยมะพร้าวแบบเดิม โดยให้เหตุผลว่า ที่นอนยางพาราช่วยให้นอนหลับสบาย หลับสนิท สามารถทำความสะอาดและปูที่นอนได้ง่าย นอกจากนี้ ที่นอนยางพาราดังกล่าวยังไม่มีฝุ่นละอองที่ทำให้แสบจมูกเวลานอนเหมือนดังที่นอนใยมะพร้าว และไม่มีใยมะพร้าวเสียดสีที่ออกมาจากที่นอน รวมทั้งที่นอนยางพารายังสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ดังนั้น กลุ่มตัวอย่างนักเรียนนายสิบโรงเรียนทหารพลธิการ กรมพลธิการทหารบก ทั้ง 30 นาย จึงมีความพึงพอใจต่อการใช้ที่นอนยางพารามากกว่าที่นอนใยมะพร้าวแบบเดิม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เห็นควรให้มีการนำที่นอนยางพาราคุณสมบัติตามต้นแบบไปทดลองใช้กับพลทหารกองประจำการในอาคารโรงนอนกองทัพบกให้ครบทั้ง 4 กองทัพภาค เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของสิ่งอุปกรณ์ ในการจัดหามาใช้ในราชการให้เกิดความคุ้มค่าต่อไป
2. เพื่อเป็นการขยายผลผลิตภัณฑ์ที่นอนยางพาราซึ่งเป็นอุตสาหกรรมปลายน้ำของน้ำยางพารา เห็นควรให้ทุกเหล่าทัพในกระทรวงกลาโหม พิจารณาใช้สิ่งอุปกรณ์ประเภทที่นอนสำหรับทหารกองประจำการและนักเรียนทหารทุกระดับเป็นแนวทางเดียวกัน

เอกสารอ้างอิง

1. อนุชิต วิเชียรชม, การเตรียมและสมบัติทางไฟฟ้าของเมมเบรนผสมที่ได้จากยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์และไคโตซาน, [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก : <http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/9124>, (สืบค้นเมื่อ : 1/7/2561)
2. ชินรัตน์ ลากุลธนะอนันต์, 2558, เทคโนโลยีการผลิตและทดสอบโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติ, [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก : rubber.oie.go.th/rrd/file/latex_foam.pdf, (สืบค้นเมื่อ : 1/7/2561)
3. พงษ์ธร แซ่อู๋, 2548, สารเคมียาง, ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค); ปทุมธานี, พิมพ์ครั้งที่ 1, หน้า 4-142
4. URL: <http://www.caslab.com/Chemical-Search/Chemical-Structure/93-46-9.gif> [Accessed: 29 January 2016]
5. Lyn Patrick ND, 2006, Lead Toxicity, A Review of the Literature. Part I: Exposure, Evaluation, and Treatment, **Alternative Medicine Review**, Vol. 11, pp. 1-22.
6. URL: http://igiwax.com/uploads/images/step_image.gif [Accessed: 15 January 2016]