



รายงานการวิจัย

วัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด
ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากน้ำยางธรรมชาติ
(Environmentally Friendly Fresh Produce Cushioning Packaging
Made of Natural Rubber Latex)



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย พัฒนานวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์จาก
กองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

วัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด
ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากน้ำยางธรรมชาติ
(Environmentally friendly fresh produce cushioning packaging
made of natural rubber latex)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ตติยา ตรงสถิตกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นางสาวเกวณีน จิตรโคกกรวด

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย พัฒนานวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์จาก
กองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี
ปีงบประมาณ พ.ศ. 2566
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

เมษายน 2568

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากน้ำยางธรรมชาติ (Environmentally friendly fresh produce cushioning packaging made of natural rubber latex) ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย พัฒนานวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ จากกองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยความร่วมมือและสนับสนุนจาก รองศาสตราจารย์ ดร. เสาวภา ไขยวงศ์ และคณะ จากสาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุกันกระแทกจากน้ำยางธรรมชาติ กับผลิตผลสด และเก็บข้อมูลความพึงพอใจของวัสดุกันกระแทกกลุ่มผลไม้มูลค่าสูงสำหรับงานวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร. เกียรติสุดา เหลืองวิลัย ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน สำหรับการประสานงานกับเกษตรกรและคุณราเชนทร์ สุขหวานอารมณ์ จากวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตมะม่วงส่งออกอำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี ผู้ให้ข้อมูลความต้องการในการใช้งานบรรจุภัณฑ์สำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองคุณภาพสูง และนักศึกษาผู้ช่วยวิจัย ทั้งในระดับปริญญาโทและปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี รวมทั้งเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือและฝ่ายวิเคราะห์เครื่องมือของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยสนับสนุน อำนวยความสะดวกและคอยช่วยเหลือด้านการขึ้นรูปและทดสอบสมบัติของวัสดุกันกระแทก ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยและนวัตกรรมฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

คณะผู้วิจัย

เมษายน 2568

บทคัดย่อ

นวัตกรรมวัสดุกันกระแทกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากน้ำยางธรรมชาติได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานบรรจุภัณฑ์ที่ตรงกับระเบียบข้อบังคับทางการค้าของประเทศในเขตยุโรปที่เข้มงวดมากขึ้นในการลดการใช้บรรจุภัณฑ์จากฐานจากปิโตรเลียม ผลการพัฒนาชิ้นงานต้นแบบเบื้องต้นแสดงแนวโน้มด้านสมรรถนะการใช้งานของวัสดุกันกระแทกสำหรับห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ได้ใกล้เคียงและดีกว่าวัสดุกันกระแทกที่ใช้ทางการค้าทั่วไปอยู่เล็กน้อย อย่างไรก็ตามวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาขึ้นมา มีน้ำหนักมากและราคาแพงกว่าโฟมกันกระแทกที่ใช้ทางการค้าทั่วไป ถึง 14 และ 6 เท่า ตามลำดับวัตถุประสงค์ของโครงการนี้เน้นการปรับลดน้ำหนักหรือความหนาแน่นของวัสดุกันกระแทกลงให้มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 3 ระดับ ด้วยการปรับเทคนิคการขึ้นรูป ได้แก่ ชนิดของเครื่องตี และระยะเวลาในการตีฟองอากาศเพื่อเติมอากาศเข้าไปในน้ำยาง ซึ่งพบว่า การใช้เครื่องผสมอาหาร (stand mixer) ในกระบวนการทำให้เกิดฟองและการปรับเวลาในการเติมอากาศเข้าไปในน้ำยางเพิ่มขึ้นจาก 2 นาที เป็น 4 นาที ส่งผลให้น้ำหนักของวัสดุกันกระแทกลดลงได้มากถึงร้อยละ 40 จากความหนาแน่นที่ 264.59 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ลดลงเหลือ 162.34 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และยังพบว่า ลักษณะโครงสร้างโฟมเปลี่ยนแปลงไปเมื่อใช้เครื่องมือขึ้นรูปและเวลาในการที่แตกต่างกัน โครงสร้างของโฟมที่เปลี่ยนไปนี้ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของโฟมยางธรรมชาติเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ

ผลจากการทดสอบสมบัติและวัดสมรรถนะของวัสดุกันกระแทกโดยการทดสอบบรรจุกับผลไม้สด (ฝรั่ง) ในสภาวะจำลองการสั่นสะเทือนเสมือนการใช้งานจริงเพื่อประเมินประสิทธิภาพการปกป้องผลิตภัณฑ์ พบว่าเมื่อความหนาแน่นของวัสดุกันกระแทกลดลง ทำให้ความสามารถในการกันกระแทกลดลงด้วย ดังจะเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์การกันกระแทก ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของรอยขีดหลังการทดสอบการบรรจุในสภาวะจำลอง

จากการศึกษาเพิ่มเติมในแง่ของความต้องการของผู้ใช้งานและผลจากการทำแบบสำรวจของผู้บริโภคพบว่าน้ำหนักของวัสดุกันกระแทกไม่ได้เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ แต่ราคา รูปลักษณ์ และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเลือกใช้งานของผลิตภัณฑ์ตามลำดับ

Abstract

The eco-friendly cushioning material made from natural rubber latex has been developed to meet the needs of packaging users, particularly those conforming to increasingly stringent trade regulations in European countries aimed at reducing petroleum-based packaging materials. Initial prototype development results indicated that the cushioning material's performance for protecting fresh produce was comparable to or slightly better than the petroleum-based commercially available cushioning materials. However, the developed cushion was 14 times heavier and 6 times more expensive than its commercial counterparts, respectively.

The objective of this project is to reduce the weight or density of the cushioning material by at least three distinct levels by optimizing the fabrication techniques. This includes adjusting the type of mixer and the aeration time during the foaming process. It was found that using a stand mixer and increasing the aeration time from 2 minutes to 4 minutes reduced the weight of the cushioning material by up to 40%, with density decreasing from 264.59 kg/m³ to 162.34 kg/m³. Moreover, the foam cell morphology changed with variations in mixer and processing time which significantly affected the physical and mechanical properties of the natural rubber foam.

Performance tests, conducted by packing fresh fruits (guava) in simulated vibration conditions to mimic real-world use, assessed the protective efficiency of the cushioning material. The results showed that as the density of the cushioning material decreased, its shock absorption capability also diminished. This was evidenced by an increase in the cushioning coefficient and a corresponding rise in bruising area observed after simulated packing tests.

Additional studies on user preferences and consumer surveys revealed that the weight of the cushioning material is not a critical factor in product selection. Instead, price, appearance, and eco-friendliness are the key factors influencing user decisions in descending order of importance

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย	10
3.1.1 กระบวนการผลิตวัสดุกันกระแทกต้นแบบสำหรับผลิตผลสดที่เป็นมิตร กับสิ่งแวดล้อมจากน้ำยางธรรมชาติ	10
3.1.2 การทดสอบสมบัติโฟมกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด	12
3.1.2.1 ความหนาแน่น (Bulk density)	12
3.1.2.2 ความแข็ง (Hardness)	12
3.1.2.3 สมบัติการต้านแรงกด (Compression properties)	12
3.1.2.4 การทดสอบสมบัติการยุบตัว (Compression set (%))	13
3.1.2.5 สัณฐานวิทยา (Morphology)	13
3.1.3 การทดสอบการใช้งานวันสุกกันกระแทกในสภาวะจำลองทดสอบการ สั่นสะเทือน.....	14
3.2 การทดสอบความพึงพอใจ/ความเห็นสำหรับวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด	14
3.3 การสำรวจความต้องการของผู้ใช้งานวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 สัณฐานวิทยา (Morphology).....	17
4.2 ความหนาแน่น (Bulk density)	18
4.3 ความแข็ง (Hardness)	19
4.4 การทดสอบสมบัติการยุบตัว (Compression set (%))	20
4.5 สมบัติการต้านแรงกด (Compression properties)	20
4.6 การทดสอบการใช้งานวันสุกัันกระแทกในสภาวะจำลองทดสอบการสั่นสะเทือน	23
4.7 การทดสอบความพึงพอใจ/ความเห็นสำหรับวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด	25
4.7.1 ข้อมูลเชิงประชากร	25
4.7.2 ข้อมูลพฤติกรรมการเลือกซื้อสินค้าโฟมกันกระแทก	28
4.7.3 ข้อมูลพฤติกรรมการความพึงพอใจต่อโฟมกันกระแทกจากนั้ยทางธรรมชาติ เปรียบเทียบกับโฟมทางการค้า (EPE foam) ที่ใช้กับผลิตผลสด/ผลไม้	32
4.7.4 ข้อเสนอแนะ	37
4.8 การสำรวจความต้องการของผู้ใช้งานวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการวิจัย	41
บรรณานุกรม	43
ภาคผนวก	46
ประวัติผู้วิจัย	49

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติของโคมจากน้ำยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับโคมกันกระแทกทางการค้า จากพอลิเอทิลีน	6
ตารางที่ 3.1 แสดงสูตรสารเคมีที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปโคมยางธรรมชาติ	11
ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดรูพรุนและจำนวนรูพรุนที่มีการปั่นขึ้นรูปโคมยางธรรมชาติที่เวลา แตกต่างกัน	18
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเค้นกดอัดสูงสุดที่ 50% ของความเครียดและสัมประสิทธิ์การ กันกระแทกของโคมยางธรรมชาติ	23
ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะก่อน (Day 0) และหลัง (Day 0-4) ของฟองหลังการทดสอบความ สามารถในการดูดซับพลังงานของโคมยางธรรมชาติกันกระแทก เป็นเวลา 4 วัน	24
ตารางที่ 4.4 รายละเอียดของชุดข้อมูลสินค้าโคมกันกระแทก	28
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการรูปแบบการเลือกใช้สินค้าโคมกันกระแทกของผู้ตอบแบบสอบถาม	29
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการรูปแบบการเลือกใช้สินค้าโคมกันกระแทกของผู้ตอบแบบสอบถาม	31
ตารางที่ 4.7 รายละเอียดของชุดข้อมูลสินค้าโคมกันกระแทก	32



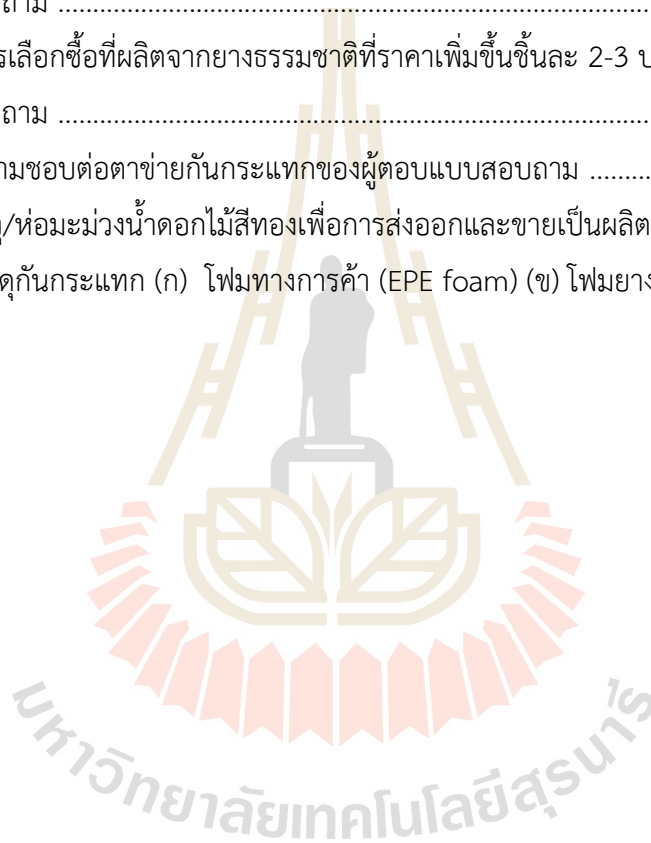
สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	สัมประสิทธิ์การกันกระแทกของโฟมจากน้ำยางธรรมชาติ (NRL-FN-BLF0.0) เปรียบเทียบกับโฟมกันกระแทกทางการค้าจากพอลิเอทิลีน (EPE-FN)	6
รูปที่ 2.2	การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานโฟมตาข่ายกันกระแทกในการห่อผลฝรั่งในสภาวะจำลองการขนส่งที่มีการสั่นสะเทือน (ก) โฟมตาข่ายกันกระแทกทางการค้า (ข) โฟมตาข่ายกันกระแทกจากน้ำยางธรรมชาติ	7
รูปที่ 2.3	ลักษณะผลผลิตสดหลังการทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุกันกระแทกในสภาวะจำลองด้วยการสั่น (vibration test) เทียบกับผลไม้ที่ไม่ได้ห่อด้วยวัสดุกันกระแทก (ก) ผลไม้ที่ไม่ได้ห่อด้วยโฟมตาข่ายกันกระแทก (Control) (ข) โฟมตาข่ายกันกระแทกทางการค้า (ค) โฟมตาข่ายกันกระแทกจากน้ำยางธรรมชาติที่พัฒนาขึ้น	8
รูปที่ 3.1	แสดงลักษณะการทดสอบจำลองการสั่นสะเทือนกับฝรั่ง	14
รูปที่ 4.1	แสดงรูปทรงวัสดุโฟมยางธรรมชาติกันกระแทก	16
รูปที่ 4.2	แสดงสัญญาณวิทยาของโฟมยางธรรมชาติที่ใช้ Stand mixer ในการปั่นให้เกิดโครงสร้างโฟมที่เวลาแตกต่างกัน (ก) 2 นาที (ข) 3 นาที และ (ค) 4 นาที ที่กำลังขยาย 100 เท่า	18
รูปที่ 4.3	แสดงความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติที่ใช้เวลาในการปั่นแตกต่างกัน	19
รูปที่ 4.4	แสดงความแข็งของโฟมยางธรรมชาติที่ใช้เวลาในการปั่นแตกต่างกัน	20
รูปที่ 4.5	แสดงสมบัติการยุบตัวของโฟมยางธรรมชาติที่ใช้เวลาในการปั่นแตกต่างกัน	21
รูปที่ 4.6	แสดงความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดแรงอัดของโฟมยางธรรมชาติที่ใช้เวลาในการปั่นให้เกิดโครงสร้างโฟมที่เวลาแตกต่างกัน	22
รูปที่ 4.7	แสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพในการกันกระแทก (Cushion coefficient) และความเครียดแรงอัดของโฟมยางธรรมชาติที่ใช้เวลาในการปั่นให้เกิดโครงสร้างโฟมที่เวลาแตกต่างกัน	22
รูปที่ 4.8	แสดงข้อมูลเพศผู้ตอบแบบสอบถาม	25
รูปที่ 4.9	ข้อมูลช่วงอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม	26
รูปที่ 4.10	ข้อมูลอาชีพของผู้ตอบแบบสอบถาม	26
รูปที่ 4.11	ข้อมูลระดับการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถาม	27
รูปที่ 4.12	ข้อมูลความชอบต่อตาข่ายกันกระแทกของผู้ตอบแบบสอบถาม	32
รูปที่ 4.13	ข้อมูลความคิดเห็น/ความพึงพอใจเมื่อเห็นโฟมกันกระแทกที่ผลิตจากยางธรรมชาติของผู้ตอบแบบสอบถาม	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.14 ข้อมูลด้านความสนใจเกี่ยวกับวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากยางธรรมชาติของผู้ตอบแบบสอบถาม	34
รูปที่ 4.15 ข้อมูลการเลือกใช้งานชนิดโฟมตาข่ายของผู้ตอบแบบสอบถาม	35
รูปที่ 4.16 ข้อมูลความสนใจต่อกันกระแทกวัสดุธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผู้ตอบแบบสอบถาม	35
รูปที่ 4.17 ข้อมูลการเลือกซื้อที่ผลิตจากยางธรรมชาติที่ราคาเพิ่มขึ้นขึ้นละ 2-3 บาท ของผู้ตอบแบบสอบถาม	36
รูปที่ 4.18 ข้อมูลความชอบต่อตาข่ายกันกระแทกของผู้ตอบแบบสอบถาม	36
รูปที่ 4.19 การบรรจุ/ห่อมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพื่อการส่งออกและขายเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงโดยใช้วัสดุกันกระแทก (ก) โฟมทางการค้า (EPE foam) (ข) โฟมยางธรรมชาติ	40



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

วัสดุกันกระแทกเป็นส่วนหนึ่งของบรรจุภัณฑ์ที่มีหน้าที่ในการปกป้องผลิตภัณฑ์จากแรงกระแทก แรงกดทับ และแรงสั่นสะเทือนที่มากระทำกับผลิตภัณฑ์ ซึ่งแรงนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างการขนส่งและกระจายสินค้า (Transport และ Distribution) และการขนถ่าย (Loading และ Unloading) โดยวัสดุกันกระแทกจะเป็นตัวดูดซับแรง พลังงาน ที่เกิดจากแรงกระทำที่เกิดขึ้นไว้ทั้งหมด หรือบางส่วน เพื่อไม่ให้แรงนี้ถูกส่งไปยังผลิตภัณฑ์โดยตรงและก่อให้เกิดความเสียหายขึ้น นอกจากนี้วัสดุกันกระแทกควรมีความสามารถในการปกป้องคุณภาพผิวของผลิตภัณฑ์ไม่ให้มีรอยขีดข่วน รอยชำจากการขัดสีระหว่างการขนส่ง ดังนั้นวัสดุกันกระแทกที่ดีเมื่อทำงานร่วมกับบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมจะสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทั้งรูปร่าง ลักษณะปรากฏ ตั้งแต่ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ไปจนถึงมือผู้บริโภคได้

วัสดุกันกระแทกที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ โฟมพอลิเอธิลีน (Expanded Polyethylene, EPE) โฟมพอลิสไตรีน (Expanded Polystyrene, EPS) และเยื่อกระดาษอัด (Molded pulp) อยู่ในรูปของโฟม ตาข่าย (Foam net) แผ่นโฟม (Foam sheet) หรือถาดหลุมเยื่อกระดาษ (Mold pulp trays) เป็นต้น ซึ่งวัสดุที่ใช้ผลิตโฟมกันกระแทกที่ได้มาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์จากสารที่มีปิโตรเลียมเป็นฐาน (Petroleum-based synthetic polymer) นั้นเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีสมบัติกันกระแทกที่ดี ราคาถูก และมีน้ำหนักเบา แต่วัสดุกันกระแทกเหล่านี้ใช้เวลาในการย่อยสลายยาวนานหลายร้อยปี ซึ่งหากการจัดการขยะไม่มีประสิทธิภาพ วัสดุเหล่านี้จะกลายเป็นขยะปนเปื้อนไปในสิ่งแวดล้อม เกิดเป็นมลพิษ ทางบก ทางน้ำ หรือแม้แต่ทางอากาศหากมีการเผาไหม้ ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศน์ รวมถึงมนุษย์ด้วย

การแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มาจากวัสดุพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ยากนั้นสามารถทำได้โดยการเลือกใช้วัสดุทดแทนที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้รวดเร็ว ซึ่งโดยมากจะเป็นวัสดุที่ได้มาจากธรรมชาติ ซึ่งนำมาผ่านกระบวนการดัดแปร ปรับปรุง และขึ้นรูปให้มีสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานแล้วก็สามารถย่อยสลายได้ในเวลาอันสั้นด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ จึงไม่เกิดการสะสมและกลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมนั่นเอง นอกจากนี้วัสดุพอลิเมอร์ที่ได้มาจากธรรมชาติ เช่น มัน ข้าวโพด อ้อย และ ยาง ล้วนเป็นผลผลิตจากพืชที่สามารถปลูกทดแทนได้ จึงมีความยั่งยืนมากกว่าวัสดุที่ได้มาจากปิโตรเลียมอีกด้วย

การใช้มาตรการกีดกันทางการค้าเป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งหลายประเทศโดยเฉพาะสหภาพยุโรปหรืออียูได้มีกฎหมายบังคับใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวสำหรับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการใช้โฟมกันกระแทกที่ผลิตจากพอลิเอธิลีนหรือพอลิสไตรีนที่มีอยู่ในปัจจุบันก็ไม่สามารถใช้สำหรับเป็นวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตภัณฑ์ได้ในอนาคตอันใกล้ ด้วยเหตุนี้ประเทศเกษตรกรรมอย่าง ประเทศไทยที่มีอาศัยรายได้จากการส่งออกผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการปรับตัวและพัฒนาวัสดุกันกระแทกผลิตผลสดเพื่อทดแทนวัสดุกันกระแทกที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ในการศึกษาและพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากน้ำยางธรรมชาติที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของคณะผู้วิจัยที่ผ่านมาพบว่า สามารถผลิตโฟมจากน้ำยางธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพในการกันกระแทกได้ในระดับเทียบเท่าหรือดีกว่าโฟมกันกระแทกทางการค้าที่ผลิตจากพอลิเอธิลีนเล็กน้อย ในขณะที่วัสดุที่ใช้ในการผลิตมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และกระบวนการขึ้นรูปโดยการใช้พลังงานคลื่นไมโครเวฟแทนการอบด้วยเตาอบลมร้อน ยังช่วยให้ลดการสิ้นเปลืองพลังงานลง และประหยัดเวลายิ่งขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม โฟมกันกระแทกที่ผลิตขึ้นมาได้นั้นยังมีความหนาแน่นที่สูงมาก ซึ่งสูงกว่าโฟมกันกระแทกทางการค้าถึง 14 เท่า ซึ่งความหนาแน่นที่สูงนี้จะทำให้วัสดุกันกระแทกมีน้ำหนักมากและมีผลต่อเนื่องทำให้พลังงานและค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูงมากขึ้นนั่นเอง ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ คณะผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะพัฒนาโฟมจากน้ำยางธรรมชาติที่มีความหนาแน่นลดลง โดยมุ่งเน้นในการปรับปรุงปัจจัยในการขึ้นรูปและสัดส่วนสารเคมีที่ใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- ผลิตต้นแบบวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากน้ำยางธรรมชาติได้ โดยทำการศึกษาปัจจัยการเตรียมโฟมยางเพื่อทำให้โฟมที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน 3 ความหนาแน่น
- ทดสอบสมบัติและวัดสมรรถนะของวัสดุกันกระแทกโดยการทดสอบบรรจุกับผลไม้สด (ฝรั่ง) ในสภาวะจำลองการขนส่งเหมือนการใช้งานจริงเพื่อวัดความประเมินประสิทธิภาพการปกป้องผลิตผลสด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยการเตรียมโฟมยางเพื่อทำให้โฟมที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน 3 ระดับ โดยการปรับ (1) ชนิดของเครื่องตี และ (2) ระยะเวลาในการตีฟองอากาศเพื่อเติมอากาศเข้าไปในน้ำยาง
2. ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของตัวอย่างโฟมยางที่ได้จากข้อ 1
3. ตรวจสอบสมรรถนะการใช้งานของโฟมยางกันกระแทกที่ได้กับผลิตผลสดในสภาวะจำลองการขนส่งเหมือนการใช้งานจริง

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ผลสำเร็จของโครงการนี้ คือ กระบวนการผลิตวัสดุกันกระแทกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมแล้วที่มีสมรรถนะตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งจะส่งผลต่อเนื่องในเรื่องการเพิ่มความสามารถในการการแข่งขันทางธุรกิจกับต่างประเทศในเรื่องของการส่งออกผลิตผลสด ลดการกีดกันทางการค้าลงได้จากการใช้บรรจุภัณฑ์ที่สอดคล้องกับข้อกำหนดการนำเข้า-ส่งออกของต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในกลุ่มทวีปยุโรป ผลประโยชน์ทางอ้อมคือการส่งเสริมการใช้น้ำยางธรรมชาติซึ่งเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญของไทย ทำให้เป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตผลทางการเกษตร ทำให้เกิดการสร้างรายได้และช่วยให้ความเป็นอยู่ของเกษตรกรไทยดีขึ้นอีกด้วย



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พลาสติกเป็นวัสดุเนกประสงค์ จึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ยานยนต์ การก่อสร้าง เครื่องใช้ภายในบ้าน อิเล็กทรอนิกส์ และบรรจุภัณฑ์ [1-5] ในการจัดการของเสียของผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างเหมาะสมนั้น จำเป็นต้องมีความเข้าใจในธรรมชาติของขยะเหล่านั้น รวมถึงประเภทของวัสดุที่ใช้วิธีการผลิต วิธีการใช้ อายุการใช้งาน และการกำจัดหลังการบริโภค ในบรรดาผลิตภัณฑ์พลาสติกทั้งหมดประมาณ 36% ถูกนำไปใช้ในบรรจุภัณฑ์แบบใช้แล้วทิ้ง เช่น ภาชนะบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม ซึ่งเป็นขยะที่มีสัดส่วนมากที่สุด แม้ว่าบรรจุภัณฑ์พลาสติกแข็ง เช่น ขวด กล่อง ถาด และถ้วย จะถูกนำไปรีไซเคิลได้สำเร็จ [6] แต่ 85% ของขยะบรรจุภัณฑ์พลาสติกยังถูกทิ้งเป็นขยะที่ไม่มีการควบคุมหรือฝังกลบ [7] ขยะที่เป็นปัญหาเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่น (flexible packaging) เช่น ฟิล์มและถุงพลาสติก รวมถึงวัสดุกันกระแทก บรรจุภัณฑ์เหล่านี้รวบรวมได้ยากเนื่องจากมีความบางมากหรือ/และมีความหนาแน่นต่ำ หรืออาจเป็นเพราะบรรจุภัณฑ์เหล่านี้แยกออกจากกันได้ยาก (ฟิล์มหลายชั้น) และเมื่อปนเปื้อนแล้วทำความสะอาดได้ยากอีกด้วย การรีไซเคิลขยะพลาสติกเหล่านี้ส่วนใหญ่ไม่สามารถทำได้ด้วยเหตุผลทางด้านระบบการจัดการการส่งสินค้าและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ตัวอย่างเช่น โฟมตาข่ายกันกระแทกสำหรับผลิตผลสดใช้เพื่อป้องกันสินค้าจากผู้ผลิตในระหว่างการขนส่ง เมื่อสินค้ามาถึงผู้บริโภค โฟมกันกระแทกจะถูกทิ้งไป แม้ว่าจะใช้ซ้ำหรือรีไซเคิลได้ก็ตาม ค่าใช้จ่ายในการเรียกคืน การรวบรวม และการขนส่งกลับไปยังโรงบรรจุที่บ่อนั้นยุ่งยากและต้องใช้ความพยายามร่วมกันจากหลายฝ่าย

พลาสติกที่ใช้ทำโฟมตาข่ายกันกระแทกสำหรับผลิตผลสดส่วนใหญ่เป็นโฟมโพลีเอทิลีนแบบขยาย (EPE foam) และโฟมโพลีสไตรีนแบบขยาย (EPS foam) ด้วยโครงสร้างโฟมคือมีโพรงอากาศเล็กๆจำนวนมากแทรกอยู่ในเนื้อพลาสติก จึงทำให้วัสดุกันกระแทกมีน้ำหนักเบาเป็นพิเศษและสามารถดูดซับแรงกระแทกทางกล การสั่นสะเทือน และแรงกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างการขนส่ง ผลไม้สดที่หุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกที่เหมาะสมจึงได้รับการปกป้องจากความเสียหายทางกล เมื่อรวมกับการจัดการห่วงโซ่ความเย็น (cold chain management) ที่ดีแล้ว จะสามารถรักษารูปลักษณ์ คุณภาพ และคุณค่าทางโภชนาการของผลไม้ไว้ได้ [8] โฟมกันกระแทกจึงถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบบรรจุภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม เพื่อลดผลกระทบด้านลบของโฟมสังเคราะห์ [9, 10] ที่ได้ผลิตจากวัสดุปิโตรเลียม หลายประเทศได้กำหนดข้อบังคับการใช้งานบรรจุภัณฑ์แบบใช้ครั้งเดียว เพื่อควบคุมและลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้โฟมกันกระแทกทางเลือกใหม่ที่มีประสิทธิภาพการรองรับแรงกระแทกที่ดีและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจึงได้ถูกพัฒนาขึ้น

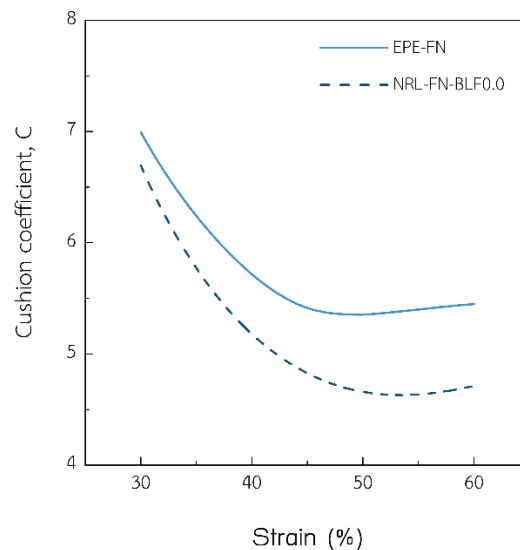
จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีความพยายามในการใช้พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อทดแทนวัสดุบรรจุภัณฑ์จากโพลีสไตรีนและโพลิเอทิลีนที่ไม่ย่อยสลายในปัจจุบัน เช่น พอลิแลคติกแอซิด (PLA), พอลิแลคติก โค ไกลโคลิก (lactic-co-glycolic acid)s (PLGA), พอลิบิวทิลีนอะดิเพตเทรฟทาเลต (PBAT) และ พอลิ (3-ไฮดรอกซีบิวทิเรต-โค-3-ไฮดรอกซีวาเลอเรต) (PHBV) [11] อย่างไรก็ตาม พอลิเมอร์เหล่านี้มีราคาแพงกว่ามากเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์จากปิโตรเลียมทั่วไป [12] อีกทั้งพอลิเมอร์เหล่านี้ยังขึ้นรูปได้ยาก และยังมีข้อมูลสนับสนุนในเรื่องประสิทธิภาพการกันกระแทก ทำให้การใช้พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเหล่านี้ในการนำไปใช้เป็นวัสดุกันกระแทกยังไม่ประสบผลสำเร็จ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่พยายามทำการผสมพอลิ-เมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและพอลิเมอร์ทั่วไป เช่น HDPE/PLA [13] PLA/PP [14] และ PLA/LDPE [15] เป็นต้น เพื่อลดข้อด้อยในด้านการขึ้นรูปและปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมมากขึ้น แต่ในทางปฏิบัติจริงนั้นยังต้องมีการตรวจสอบและประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นด้วย

วัสดุสำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุกันกระแทกอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจคือผลิตจากยางธรรมชาติ (NR) ยางธรรมชาติถูกเก็บเกี่ยวจากต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) ในรูปของน้ำยาง [16, 17] ยางธรรมชาติเป็นวัสดุชีวภาพที่มาจากทรัพยากรหมุนเวียนและสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ [18] ซึ่งผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติอาจผ่านการย่อยสลายผ่านโหมดการย่อยสลายแบบใดแบบหนึ่งหรือหลายอย่างร่วมกัน ซึ่งได้แก่ การย่อยสลายเชิงกล การออกซิเดชัน การย่อยสลายด้วยแสง การย่อยสลายด้วยความร้อน และ/หรือการย่อยสลายทางชีวภาพ [19] ในอดีตงานวิจัยส่วนใหญ่เกี่ยวกับยางธรรมชาติมักมุ่งเน้นไปที่การหาวิธีป้องกันการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติเพื่อยืดอายุการใช้งานให้ยาวนานขึ้น ปัจจุบันการย่อยสลายของยางธรรมชาติถูกมองว่าเป็นทางออกสำหรับมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติในรูปของโฟมถูกนำมาใช้เป็นที่นอน หมอน [16, 20] เบาะรองนั่ง [17] โฟมบุวม [21] เป็นต้น โฟมยางพาราธรรมชาติ (โฟม NRL) มีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่น น้ำหนักเบา ฉนวนกันความร้อนที่ดี ดูดซับเสียงได้ดี ยืดหยุ่นดีเยี่ยม ดูดซับแรงกระแทกได้ดี และย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [20, 22, 23] คณะวิจัยของเราจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาโฟมจากน้ำยางธรรมชาติเป็นวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด

โดยทั่วไปโฟมจากน้ำยางธรรมชาติ สามารถขึ้นรูปได้ด้วย 2 กระบวนการหลัก คือกระบวนการดันลอป (Dunlop process) หรือ ทาลาเลย์ (Talalay process) กระบวนการดันลอปถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ง่ายกว่าโดยมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าและประหยัดพลังงานมากกว่ากระบวนการทาลาเลย์ [24] ขั้นตอนของกระบวนการดันลอปเป็นการผสมอากาศและสารเคมีบางชนิดผสมลงในน้ำยางด้วยวิธีเชิงกลเพื่อสร้างโครงสร้างโฟมและทำให้โครงสร้างโฟมมีความเสถียรก่อนการวัลคาไนซ์ ซึ่งการให้ความร้อนในขั้นตอนการวัลคาไนซ์อาจใช้เตาอบลมร้อนธรรมดาหรือเตาอบไมโครเวฟก็ได้ [25] ทั้งนี้ในปัจจุบันอุตสาหกรรมมีแนวโน้มที่จะแทนที่การให้ความร้อนแบบธรรมดาด้วยการฉายรังสีไมโครเวฟ [26] เนื่องจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีให้อัตราการให้ความร้อนที่สูง

ส่งผลให้ใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ลดลง ส่งผลให้อัตราการผลิตสูงขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาทั้งกระบวนการแล้วพบว่าใช้เวลาและพลังงานน้อยลงเมื่อเทียบกับการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม [24, 27] คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปรับเงื่อนไขการฉายรังสีไมโครเวฟให้เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตโฟม NRL [28] ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการใช้การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟสามารถลดเวลาการอบวัลคาไนซ์ลงถึง 15 เท่า (จาก 90 นาที [24] เป็น 6 นาที [28]) ซึ่งสรุปได้ว่าการใช้การฉายรังสีไมโครเวฟในการผลิตโฟม NRL ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์โฟมเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

จากการรายงานของ Jitkokkrud et al. (2023) แสดงสมบัติในการกันกระแทกของโฟมจากน้ำยางธรรมชาติที่พัฒนาขึ้นมาได้ถูกทดสอบโดยการกดอัด (Compressive test) และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาสัมประสิทธิ์การกันกระแทก หรือ cushion coefficient (C) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับโฟมกันกระแทกทางการค้า (EPE foam) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 2.1 และตารางที่ 2.1) ทั้งนี้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การกันกระแทกที่น้อยนั้นแสดงว่าวัสดุกันกระแทกนั้นสามารถดูดซับพลังงานไว้ได้มากและลดการถ่ายเทพลังงานไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่ห่อหุ้มไว้ ทำให้สามารถลดความเสียหายของผลไม้มากจากแรงกระทำภายนอกได้



รูปที่ 2.1 สัมประสิทธิ์การกันกระแทกของโฟมจากน้ำยางธรรมชาติ (NRL-FN-BLF0.0) เปรียบเทียบกับโฟมกันกระแทกทางการค้าจากพอลิเอทิลีน (EPE-FN)

ตารางที่ 2.1 สมบัติของโฟมจากน้ำยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับโฟมกันกระแทกทางการค้าจากพอลิเอทิลีน

Cushion foams	Cushion coefficient (c) at 50% strain	Bulk Density (kg/m ³)
โฟมตาข่ายกันกระแทกทางการค้าจากพอลิเอทิลีน (EPE-FN)	5.24	18.869 [29]
โฟมตาข่ายจากน้ำยางธรรมชาติ (NRL-FN-BLF0.0)	4.62	264.59 ± 4.64 [30]

โฟมตาข่ายจากน้ำยางธรรมชาติและโฟมทางการค้านั้นได้ถูกเตรียมนำไปทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยนำไปใช้ในการห่อฝรั่ง ซึ่งเป็นผลไม้ตัวแทนผลผลิตสดที่มีลักษณะทรงกลม และง่าย และห่อลงในกล่องกระดาษเพื่อทดสอบด้วยแรงสั่นสะเทือน โดยกล่องถูกเขย่าและกำหนดให้มีการสั่น 0.9 G เป็นเวลา 40 นาที โดยรอยชำจะปรากฏเป็นสีน้ำตาลอ่อนก่อนและสีน้ำตาลนี้จะเข้มข้นเมื่อความชำมากขึ้นและเมื่อเวลานานขึ้น ซึ่งรอยชำนี้ทำให้ลักษณะของผลผลิตสดไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และผลไม้จะมีการเสื่อมสภาพแบบเร่งและสูญเสียคุณค่าทางอาหารได้ ผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าโฟมยางที่ผลิตขึ้นนั้นสามารถปกป้องผลฝรั่งได้เทียบเท่าและดีกว่าโฟมกันกระแทกทางการค้าเล็กน้อย (รูปที่ 2.3) จึงถือได้ว่าโฟมจากน้ำยางธรรมชาติมีศักยภาพสูงในการแข่งขันกับวัสดุกันกระแทกที่มีในท้องตลาด แต่มีจุดเด่นเพิ่มเติมในเรื่องของความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม โฟมตาข่ายจากน้ำยางธรรมชาติที่พัฒนาขึ้นได้นั้นยังมีความหนาแน่นสูงมาก ซึ่งสูงกว่า 14 เท่าของโฟมทางการค้า (ตารางที่ 2.1) ทำให้โฟมตาข่ายจากน้ำยางธรรมชาติมีน้ำหนักมาก ซึ่งส่งผลให้เพิ่มต้นทุนพลังงานในการขนส่งตามมา



รูปที่ 2.2 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานโฟมตาข่ายกันกระแทกในการห่อผลฝรั่งในสถานะจำลองการขนส่งที่มีการสั่นสะเทือน (ก) โฟมตาข่ายกันกระแทกทางการค้า (ข) โฟมตาข่ายกันกระแทกจากน้ำยางธรรมชาติ



รูปที่ 2.3 ลักษณะผลิตผลสดหลังการทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุกันกระแทกในสภาวะจำลองด้วยการสั่น (vibration test) เทียบกับผลไม้ที่ไม่ได้ห่อด้วยวัสดุกันกระแทก (ก) ผลไม้ที่ไม่ได้ห่อด้วยโฟมตาข่ายกันกระแทก (Control) (ข) โฟมตาข่ายกันกระแทกทางการค้า (ค) โฟมตาข่ายกันกระแทกจากน้ำยางธรรมชาติที่พัฒนาขึ้น

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปโฟมยางคอมโพสิต โดยทั่วไปความหนาแน่นของโฟมคอมโพสิตจะมีความมากขึ้นเมื่อมีการใส่ปริมาณของเส้นใยที่มากขึ้น [16, 17, 23] เมื่อเปรียบเทียบโฟมในระบบที่ไม่มีการใส่เส้นใยเข้าไปในน้ำยาง Phomrak, S., et al. ได้โฟมยางมีความหนาแน่น 180 kg/m^3 (ศึกษาผลของการใส่เซลลูโลส (Cellulose) เข้าไปในน้ำยาง) [23] Mahathaninwong, N., et al. ได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของโฟมยางธรรมชาติที่การใส่กากไม้กฤษณา พบว่าโฟมที่ไม่ได้มีการใส่กากไม้กฤษณามีความหนาแน่น 161.6 kg/m^3 [17] และในการขึ้นรูปโฟมยางของ Prasopdee, T. และ W. Smitthipong. พบว่าโฟมมีความหนาแน่น $\sim 65 \text{ kg/m}^3$ [16] จากทั้งสามงานวิจัยที่กล่าวมาสังเกตเห็นได้ว่าการขึ้นรูปโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติด้วยเทคนิคดันลอป (Dunlop process) ด้วยการตีเพื่อนำอากาศเข้าไปในน้ำยางเพื่อทำให้น้ำยางมีความหนาแน่นหรือน้ำหนักที่ลดลง โดยมีการใช้อุปกรณ์ในการขึ้นรูปแตกต่างกัน (beater homogenizer, mechanical stirrer, และ blender ตามลำดับ) ความเข้มข้นของสารเคมีในปริมาณที่แตกต่างกันเล็กน้อย จากความแตกต่างนี้อาจส่งผลทำให้ความหนาแน่นของโฟมยางที่พวกเราได้ทำการพัฒนาจึงมีน้ำหนักที่หนักกว่าประมาณ 2-5 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของเราที่มีความหนาแน่นโฟมมากถึง $\sim 265 \text{ kg/m}^3$ นอกจากนี้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติได้มีการศึกษาการใส่ปริมาณของสารให้พอง (Blowing agent) พบว่าเมื่อใส่ปริมาณที่มากขึ้น ความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติมีแนวโน้มที่ลดลงด้วย

ดังนั้น จุดมุ่งหมายงานวิจัยนี้เกิดขึ้นเพื่อต่อยอดในการพัฒนาโฟมตาข่ายจากน้ำยางธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยมุ่งเน้นในเรื่องของการลดความหนาแน่นลง ทั้งนี้จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาตินั้นสามารถลดลงได้ด้วยการปรับสูตรของน้ำยาง เช่น การเพิ่มปริมาณสารให้ฟอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป และกรรมวิธีการขึ้นรูป เช่น ความเร็วในการตีฟอง ชนิดของหัวตีฟองและวิธีการตีฟอง เป้าหมายหลักของงานวิจัยนี้คือเพื่อให้ได้โฟมยางธรรมชาติที่มีความหนาแน่นลดลงอย่างน้อย 25% โดยโฟมที่ได้นั้นยังคงประสิทธิภาพในการกันกระแทกได้ใกล้เคียงกับโฟมตาข่ายกันกระแทกทางการค้าได้



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

นวัตกรรมวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากน้ำยางธรรมชาติ มีระเบียบวิธีการวิจัย ดังนี้

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

3.1.1 กระบวนการผลิตวัสดุกันกระแทกต้นแบบสำหรับผลิตผลสดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากน้ำยางธรรมชาติ

กระบวนการขึ้นรูปโฟมจากน้ำยางธรรมชาติในการทดลองนี้ขึ้นรูปด้วยเครื่องผสมอาหาร (Stand mixer) (EHSM3417, Electrolux, China) เทียบกับการขึ้นรูปด้วยเครื่องผสมสารเคมี Mechanical stirrer (Eurostar 20 digital, IKA Works, Wilmington, NC, USA) [30] เพื่อปรับความหนาแน่นของโฟมให้ลดลง และปรับเวลาในการปั่นที่ 2 3 และ 4 นาที โดยสารเคมีที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติ แสดงในตารางที่ 3.1 และขึ้นรูปโฟมน้ำยางธรรมชาติด้วยกระบวนการดังต่อไปนี้

1. นำน้ำยางข้นใส่ลงในโถของเครื่อง Stand mixer เพื่อไล่แอมโมเนียที่อยู่ในน้ำยางออกด้วยความเร็วระดับที่ 1 เป็นเวลา 2 นาที
2. เติมโปรแทสเซียมเปอร์แมงกาเนส (K-oleate) ซัลเฟอร์ (Sulfur) และ ซิงค์ไดเอทิล ไดไฮโอคาร์บาเมต (ZDEC) ลงในน้ำยางที่ปั่นไล่แอมโมเนียแล้ว จากนั้นปั่นเติมอากาศให้น้ำยางฟูขึ้น (Foaming process) ด้วยความเร็วระดับที่ 3 เป็นเวลา 2 นาที
3. เติมซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ไดฟีนิลกาวนิติน (DPG) และ โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (SSF) จากนั้นปั่นให้น้ำยางที่ฟูแล้วมีความเสถียรมากขึ้น (Gelling process) ก่อนเริ่มเซตตัวด้วยความเร็วระดับที่ 1 เป็นเวลา 1 นาที
4. เทโฟมยางธรรมชาติที่ได้ลงในแม่พิมพ์ซิลิโคน จากนั้นทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้โฟมยางธรรมชาติเซตตัว
5. นำโฟมยางที่เซตตัวแล้วนำไปทำให้เกิดการคงรูปด้วยการใช้ความร้อนจากการใช้ไมโครเวฟช่วย (Microwave-assisted vulcanization) ด้วยกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์เป็นเวลา 6 นาที

6. ลอกชิ้นงานโฟมยางธรรมชาติออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปล้างสารเคมีที่ตกค้างให้สะอาด และนำไปอบให้แห้งด้วยเตาอบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
7. ทำการขึ้นรูปโฟมตามขั้นตอนที่ 1-6 โดยปรับเวลาในการปั่นเติมอากาศให้น้ำยางฟูขึ้น (Foaming process) ที่ 3 และ 4 นาที ตามลำดับ
8. นำชิ้นงานโฟมไปทดสอบสมบัติต่างๆ

สำหรับการทำแม่พิมพ์ซิลิโคน จะต้องทำการออกแบบรูปร่างของโฟมที่เราต้องการด้วยโปรแกรม SolidWorks® ให้เป็น invert mold และทำการพิมพ์ invert mold ด้วย 3D printer จากนั้นนำยางซิลิโคนผสมกับ Hardener แล้วเทลง invert mold ที่เราได้ทำการพิมพ์แล้ว รอให้ซิลิโคนเซตตัวและแกะซิลิโคนออกจาก invert mold จะได้แม่พิมพ์ซิลิโคนที่มีรูปร่างตามต้องการ

ตารางที่ 3.1 แสดงสูตรสารเคมีที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติ

สารเคมี	หน้าที่	ความเข้มข้น (%)	ปริมาณของแข็ง (phr)
น้ำยางข้น (High Ammonia Latex)	เมทริกซ์	60	100
โปแทสเซียมโอเลต (Potassium Oleate: K-oleate)	สารทำให้เกิดฟอง (Foaming agent)	10	0.33
กำมะถัน (Sulfur)	สารทำให้เกิดการคงรูป (Vulcanizing agent)	50	1.67
ซิงค์ไดเอทิลไดไทโकारบาเมต (Zinc diethyldithiocarbamate:ZDEC)	สารตัวเร่ง (Accelerator)	50	1.67
ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide: ZnO)	สารกระตุ้น (Activator)	23	2.88
ไดฟีนิลกวานิดีน (Diphenylguanidine:DPG)	สารทำให้เกิดเจล (Gelling agent)	33	0.77
โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Sodium silicofluoride:SSF)	สารทำให้เกิดเจล (Gelling agent)	12.5	0.21

phr คือส่วนในร้อยส่วนของยาง (part per hundred of rubber)

3.1.2 การทดสอบสมบัติโฟมกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด

สมบัติที่ทดสอบเป็นสมบัติที่สำคัญที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการกันกระแทกและรวมถึงการสร้างองค์ความรู้ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของโฟมและสมบัติทางกล ซึ่งได้แก่

3.1.2.1 ความหนาแน่น (Bulk density)

การวัดความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติ คำนวณด้วยความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและปริมาตรของโฟมยางธรรมชาติดังที่แสดงในสมการที่ 1

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติ (kg/m^3)

m คือ น้ำหนักของโฟมยางธรรมชาติ (kg)

v คือ ปริมาตรของโฟมยางธรรมชาติ (m^3)

3.1.2.2 ความแข็ง (Hardness)

ความแข็งพื้นผิวของโฟมยางธรรมชาติอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D2240 ด้วยเครื่องวัดดิวโรมิเตอร์แบบชอร์ (Durometer Hardness (Durometer LX-OO shore OO, X.F., Graigar, Guangdong, China)) โดยทำการวัด 5 จุด และหาค่าเฉลี่ยจาก 5 ขึ้นทดสอบ

3.1.2.3 สมบัติการต้านแรงกด (Compression properties)

สมบัติการต้านทานแรงกดของโฟมยางธรรมชาติสามารถทดสอบด้วยเครื่อง TA.XT Plus Texture analyzer (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) การทดสอบดำเนินการโดยใช้โหลด 1 kgF ด้วยหัวกดวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 มิลลิเมตรและความเร็วในการกด 12 มิลลิเมตรต่อนาที อ้างอิงการทดสอบตาม The static compression method for packaging buffer material (GB/T 8168-2008) เพื่อทดสอบความต้านทานแรงกดและประเมินประสิทธิภาพในการกันกระแทกของโฟมยางธรรมชาติ โดยขึ้นทดสอบมีขนาดเท่ากับ $100 \times 100 \times 2.2$ มิลลิเมตร

สำหรับการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการกันกระแทกจากการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ (Cushion coefficient) การกันกระแทกของโฟมจากน้ำยางธรรมชาติ จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงกดสามารถคำนวณตามสมการที่ 2

$$\text{Cushion coefficient, } C = \frac{\sigma}{e} \quad (2)$$

โดยที่ σ คือ ความเค้นแรงอัด (Compressive stress) (N/mm^2)

e คือ ค่าพลังงานที่โพลิเมอร์ขาดุดซับไว้ที่ได้จากการอินทิเกรตพื้นที่ใต้กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดแรงอัดของโพลิเมอร์ (N.mm/mm³) ดังที่แสดงในสมการที่ 3

$$e = \int_0^{\epsilon} \sigma d\epsilon \quad (3)$$

โดยที่ ϵ คือ ความเครียดแรงอัด (Compressive strain) (mm/mm)

3.1.2.4 การทดสอบสมบัติการยุบตัว (Compression set (%))

การทดสอบเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของโพลิเมอร์อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1055 โดยการกดให้ชิ้นงานโพลิเมอร์ยุบลง 50% จากความหนาเริ่มต้น และอบในเตาอบลมร้อนด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง และคำนวณเปอร์เซ็นต์การยุบตัวตามสมการที่ 4

$$C_h = \frac{(t_0 - t_1)}{t_0} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่ C_h คือ เปอร์เซ็นต์การยุบตัวของโพลิเมอร์ (compression set (%))

t_0 คือ ความสูงเริ่มต้นของชิ้นงานทดสอบ (mm)

t_1 คือ ความสูงของชิ้นทดสอบหลังนำออกจากอุปกรณ์วัด 30 นาที (mm)

3.1.2.5 สัณฐานวิทยา (Morphology)

ลักษณะสัณฐานวิทยาของโพลิเมอร์สามารถเตรียมชิ้นทดสอบโดยใช้ใบมีดตัดให้มีขนาดเล็ก จากนั้นนำชิ้นงานโพลิเมอร์ที่ตัดตามแนวขวางไปเคลือบด้วยทองที่ความหนา 5.7 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Sputter coater (Leiga, EM ACE600, Vienna, Austria) และทดสอบด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (AURIGA, Zeiss, Germany) ด้วย accelerating voltage เท่ากับ 3 กิโลโวลต์

ภาพลักษณะสัณฐานวิทยาที่ได้นั้นถูกนำไปวิเคราะห์ขนาดรูพรุนและจำนวนรูพรุนต่อปริมาตร ดังต่อไปนี้

1. ขนาดรูพรุน (Cell size)

ขนาดรูพรุนของโครงสร้างโพลิเมอร์หาได้จากการวัดด้วยโปรแกรม ImageJ image analyzer (NIH, Bethesda, MD, USA) โดยค่าเฉลี่ยขนาดของรูพรุนได้จากการวัดรูพรุนจำนวน 100 รู และวัดความกว้างของรูพรุน 4 ค่าต่อ 1 รูพรุน นำไปหาค่าเฉลี่ยด้วย Gaussian fit จากโปรแกรม Origin (OriginLab corporation, Northampton, MA, USA) จากนั้นบันทึกค่าจำนวนของรูพรุนต่อปริมาตร (Number of cells per unit volume)

การประมาณจำนวนรูพรุนต่อปริมาตรของโฟมยางธรรมชาติหาได้จากความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยขนาดรูพรุน ความหนาแน่นของโฟม แสดงในสมการที่ 5

$$N = \frac{6}{\pi d^3} \times \frac{\rho_{rubber}}{\rho_{foam}} - 1$$

(5)

โดยที่ N คือ จำนวนของรูพรุนต่อปริมาตร

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน (cm)

ρ_{rubber} คือ ความหนาแน่นของยางธรรมชาติ (1.09 g/cm^3)

ρ_{foam} คือ ความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติ (g/cm^3)

3.1.3 การทดสอบการใช้งานวันสุกกันกระแทกในสภาวะจำลองทดสอบการสั่นสะเทือน

การทดสอบจำลองการสั่นสะเทือนกับผลผลิตผลสด โดยลักษณะการทดสอบวัสดุกันกระแทกจากโฟมยางธรรมชาติได้โดยการสวมเพื่อห่อหุ้มกับผลผลิตผลสดและถูกบรรจุลงในกล่องกระดาษจำนวน 2 ผลต่อกล่อง ผลผลิตผลสดในแต่ละกล่องถูกเขย่าและกำหนดให้มีการสั่น 0.9 G เป็นเวลา 40 นาที จากนั้นทำการศึกษาผลของพื้นที่ที่เกิดรอยช้ำ (Area bruise) มาเปรียบเทียบกับกันเพื่อดูประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์กันกระแทก โดยอ้างอิงการทดสอบสอบตามการรายงานของ Jitkokkruad et al. (2023) โดยใช้หลักการสั่นสะเทือนตามการรายงานของ Chaiwong et al. (2021) [31]



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการทดสอบจำลองการสั่นสะเทือนกับฝรั่ง

3.2 การทดสอบความพึงพอใจ/ความเห็นสำหรับวัสดุกันกระแทกสำหรับผลผลิต

การทดสอบความพึงพอใจวัสดุกันกระแทกจากน้ำยางธรรมชาติเพื่อประเมินความเป็นไปได้ของตลาดบรรจุภัณฑ์กันกระแทก กลุ่มผู้บริโภคผลไม้มูลค่าสูง โดยออกแบบแบบสอบถามข้อมูลเชิงประชากร พฤติกรรมการเลือกซื้อสินค้าโฟมกันกระแทก ความพึงพอใจต่อโฟมกันกระแทกจาก

น้ำยางธรรมชาติ เปรียบเทียบกับโฟมทางการค้า (EPE foam) ที่นิยมใช้ในปัจจุบันกับผลิตผลสด/ผลไม้ และข้อเสนอแนะ ณ จังหวัดเชียงใหม่ ดังนี้

1. เซ็นทรัล เฟสติวัล เชียงใหม่
2. เมญา โลฟสไตล์ ซุปเปอร์ เซ็นเตอร์ เชียงใหม่
3. ศูนย์การค้า วัน นิมมาน
4. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โดยมีจำนวนผู้ร่วมทำแบบทดสอบทั้งหมด 103 คน ทั้งนี้การออกแบบแบบสอบถามได้แสดงไว้ในภาคผนวก

3.3 การสำรวจความต้องการของผู้ใช้งานวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด

การสำรวจความต้องการของผู้ใช้งานวัสดุกันกระแทกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมกับผลิตผลสด (มะม่วง) โดยขอความร่วมมือกับราเชนทร์ฟาร์ม ตัวแทนผู้ประกอบการจากวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตมะม่วงส่งออก อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย สำหรับการปรับปรุงวัสดุกันกระแทกให้ได้ตามความต้องการที่เหมาะสมต่อการนำวัสดุกันกระแทกไปใช้งานจริงกับผลิตผลสด รวมทั้งได้นำไปทดสอบตลาดเพื่อเก็บข้อมูลความต้องการของผู้ใช้งานและตลาดเกี่ยวกับวัสดุกันกระแทกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



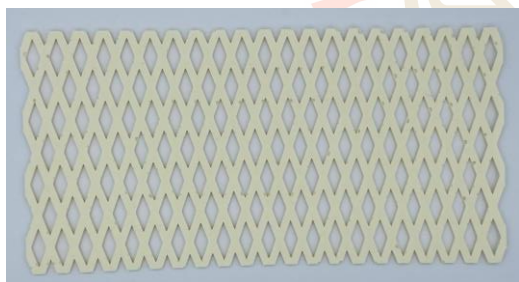
บทที่ 4

ผลการวิจัย

สืบเนื่องจากรายงานของ Jitkokkrud et al. (2023) โฟมยางธรรมชาติที่ขึ้นรูปมาสำหรับใช้กับผลิตภัณฑ์ มีความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density) เท่ากับ 264.59 kg/m^3 ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่า expanded polyethylene foam (EPE foam) ที่นิยมใช้ในทางการค้าประมาณ 14 เท่า (ความหนาแน่นของ EPE foam เท่ากับ 18.869 kg/m^3 (Song, Zhang et al. (2018)) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ทางการค้า เนื่องจากน้ำหนักเบาและมีราคาถูก แต่กำลังไ

ด้รับผลกระทบจากการกีดกันทางการค้า คณะผู้วิจัยจึงได้มีการพัฒนาโฟมยางธรรมชาติที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาเพื่อทดแทน แต่ยังคงมีน้ำหนักหรือความหนาแน่นมากกว่าโฟมทางการค้า จากปัญหาความหนาแน่นของวัสดุนี้ส่งผลให้มีปัญหาต่อระบบการขนส่งทั้งเรื่องเชื้อเพลิงรวมถึงมลพิษจะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมด้วย จึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการลดความหนาแน่นของวัสดุลง เพื่อให้ส่งผลต่อระบบการขนส่งให้น้อยที่สุด และคงความเป็นวัสดุกันกระแทกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและมีประสิทธิภาพในการกันกระแทกให้กับผลิตภัณฑ์ได้ดีตลอดกระบวนการขนส่งจากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค

การขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติที่ขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการดันลอปและใช้ความร้อนจากไมโครเวฟช่วยในการวัลคาไนเซชันของยางเพื่อคงรูปและนำไปใช้งานเป็นวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตภัณฑ์เป็นรูปทรงตาข่ายดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยโฟมยางธรรมชาติดังกล่าวมีขนาด $210 \times 105 \times 2.2$ มิลลิเมตร



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 แสดงรูปทรงวัสดุโฟมยางธรรมชาติกันกระแทก

การทดลองนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ในป่นเพื่อให้เกิดโครงสร้าง สมบัติของโฟมยางธรรมชาติสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์กันกระแทกสำหรับผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ที่ 2 3 และ 4 นาที ในขั้นตอนการทำให้ฟอง (Foaming process) โดยใช้เครื่อง Stand mixer สำหรับการผลิตขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติ

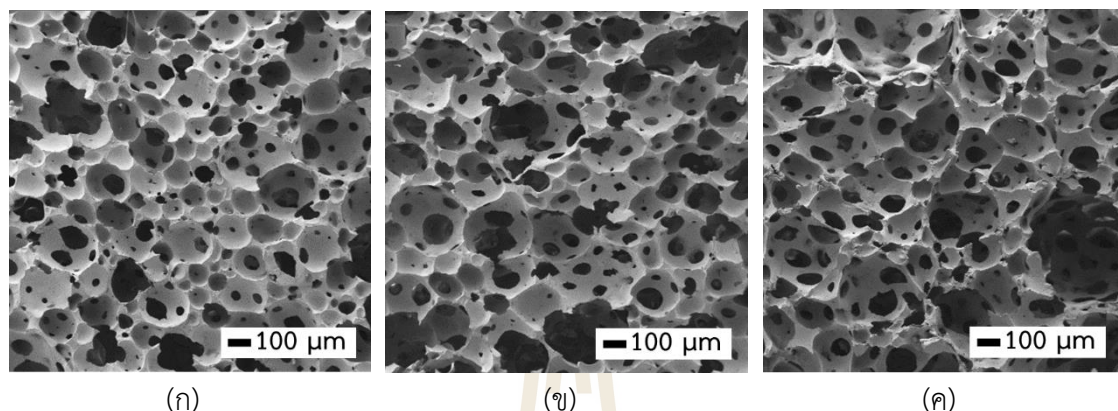
นอกจากนี้ได้มีการปรับสารเคมีเพื่อให้ผลิตภัณฑ์โฟมเป็นไปตามข้อบังคับของการจำกัดสารเคมีของสหภาพยุโรป (REACH) จึงต้องมีการลดการใช้สารเคมี (Wingstay L) ลงจากการทดลองของ Jitkokkrud et al. (2023) โดยยกเลิกการใช้สาร (ZMBT) และลดปริมาณการใช้ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ลง โดยปรับปริมาณและ ขนาดของซิงค์ออกไซด์เป็นระดับนาโนแทนการใช้ซิงค์ออกไซด์ระดับไมโคร เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานหรือข้อบังคับของระเบียบสหภาพยุโรปเรื่องวัสดุและบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้สัมผัสอาหาร (Commission Regulation (EU) No 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food Text with EEA relevance) กำหนดให้มีซิงค์ไม่เกิน 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ของผลิตภัณฑ์ [32] และยังสามารถขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติได้ ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงให้โฟมยางธรรมชาติสามารถนำไปใช้ได้ตามระเบียบและข้อบังคับของสหภาพยุโรปตั้งแต่กระบวนการผลิต ดังนั้นจึงต้องศึกษาผลของปัจจัยในการขึ้นรูป (ชนิดของเครื่องตีและระยะเวลาในการตีฟองอากาศเพื่อเติมอากาศเข้าไปในน้ำยาง) รวมถึงขนาดอนุภาคของสารกระตุ้น (ซิงค์ออกไซด์) ที่ส่งผลต่อโครงสร้างของโฟมยางธรรมชาติ สมบัติความหนาแน่น ความแข็ง สมบัติการยุบตัว สมบัติการต้านแรงกดหรือประสิทธิภาพในการกันกระแทก และจำลองการนำโฟมกันกระแทกไปใช้จริงกับผลิตผลสดด้วยการทดสอบการสั่นสะเทือน (Vibration test) หลังจากการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติ เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานดังนี้

จากผลการทดลองพบว่า การปรับสารเคมีจากข้างต้นยังสามารถขึ้นรูปโฟมได้เนื่องจากซิงค์ออกไซด์ระดับนาโนมี Surface area มากกว่าซิงค์ออกไซด์ระดับไมโคร จึงทำให้ยังคงทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นได้ แต่ปริมาณของซิงค์ที่อยู่ในโฟมยางธรรมชาติยังต้องการตรวจสอบต่อไป เนื่องจากในกระบวนการขึ้นรูปมีขั้นตอนในการล้างสารตกค้างหลังจากขั้นตอนการวัลคาไนเซชันเพื่อยืนยันปริมาณซิงค์ที่มีอยู่ผลิตภัณฑ์

4.1 สัณฐานวิทยา (Morphology)

ลักษณะโครงสร้างโฟมยางธรรมชาติ ในรูปที่ 4.2 แสดงโครงสร้างรูพรุนแบบเปิดและแบบปิดผสมกัน หรือกึ่งเซลล์เปิด (Semi-open cells) ในรูป (ก) และเมื่อใช้เวลาในการปั่นเพิ่มขึ้นที่ 4 นาที พบว่าโฟมยางธรรมชาติแสดงโครงสร้างรูพรุนแบบเปิดมากขึ้น ในรูป (ค) เนื่องจากการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติด้วยกระบวนการดันลอย (Dunlop process) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ป้อนอากาศเข้าไปในน้ำยางและใช้สารเคมีและความร้อนเพื่อทำให้โฟมเกิดการคงรูปเป็นโฟมยางธรรมชาติสำหรับผลิตผลสด เมื่อโฟมที่เกิดขึ้นมีการนำอากาศเข้าไปมากขึ้นจากการปั่นที่ 2 นาที เพิ่มขึ้น 4 นาที พบว่ารูพรุนที่เกิดขึ้นในโครงสร้างโฟมยุบหรือแตกรวมกันให้ขนาดรูพรุนมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นและมีจำนวนรูพรุนที่ลดลง (ตารางที่ 4.1) และเปลี่ยนจากโครงสร้างแบบกึ่งเซลล์เปิดเป็นเซลล์เปิดได้ อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเติมอากาศเข้าไปในเนื้อยางมากขึ้นส่งผลทำให้ความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติมีแนวโน้มลดลงด้วย

นอกจากนี้ยังพบว่า การเปลี่ยนเครื่องที่ใช้เพิ่มอากาศด้วยแรงทางกลจาก Mechanical stirrer (6 นาที) [30] เป็น Stand mixer (2-4 นาที) สามารถเติมอากาศให้เข้าไปในเนื้อได้มากขึ้น และใช้เวลาในการขึ้นรูปลดลงได้ประมาณ 2-3 เท่า ดังนั้นการใช้เครื่องปั่นโฟมและสภาวะการขึ้นรูปแตกต่างกันทำให้ได้โครงสร้าง โฟมแตกต่างกันออกไป



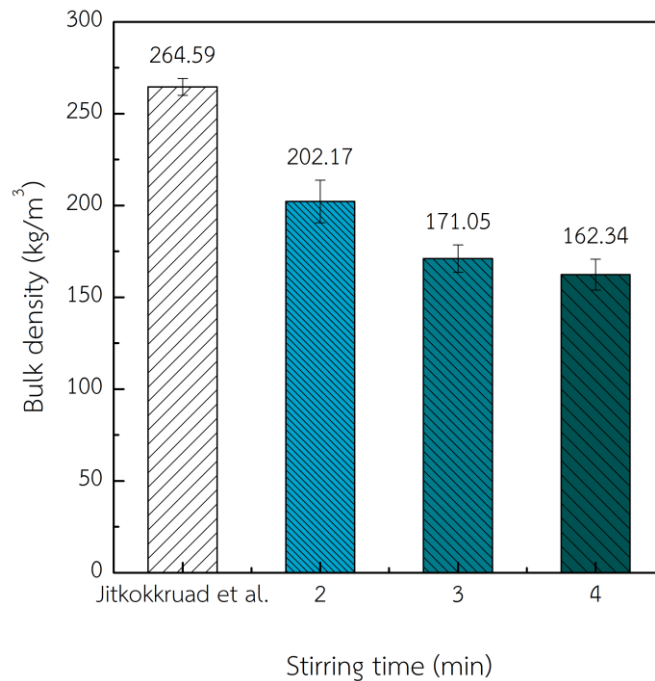
รูปที่ 4.2 แสดงสัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติที่ใช้ Stand mixer ในการปั่นให้เกิดโครงสร้างโฟมที่เวลาแตกต่างกัน (ก) 2 นาที (ข) 3 นาที และ (ค) 4 นาที ที่กำลังขยาย 100 เท่า

ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดรูพรุนและจำนวนรูพรุนที่มีการปั่นขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติที่เวลาแตกต่างกัน

Stirring time (min)	Machine	Cell size (μm)	Number of cells per unit volume (cells/mm ³)
6 (Jitkokkrud et al., 2022)	Mechanical stirrer	93.54 ± 2.64	72.81
2	Stand mixer	131.66 ± 9.69	36.76
3		158.23 ± 5.06	25.91
4		160.34 ± 6.84	26.48

4.2 ความหนาแน่น (Bulk density)

ความหนาแน่นของวัสดุเป็นค่าแปรผันตรงกับน้ำหนัก โดยโฟมกันกระแทกจากยางธรรมชาติ หากวัสดุมีความหนาแน่นมากนั้นคือน้ำหนักของวัสดุก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อระบบการขนส่ง จากผลการทดลองนี้ เมื่อเปลี่ยนการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติจาก Mechanical stirrer เป็น Stand mixer และเพิ่มเวลาในการปั่นเพิ่มขึ้นสามารถช่วยให้โฟมยางธรรมชาติมีความหนาแน่นลดลง ความหนาแน่นของวัสดุกันกระแทกแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติที่ใช้เวลาในการปั่นแตกต่างกัน

เมื่อความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติที่ขึ้นรูปในขั้นตอนการทำให้เกิดฟอง (Foaming process) เพิ่มขึ้นจาก 2 ถึง 4 นาที พบว่าการเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ปั่นนำอากาศเข้าไปในน้ำยางได้มากขึ้น ส่งผลทำให้ความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติลดลงได้ถึงประมาณ 40 kg/m^3 โดยความหนาแน่นมีค่าลดลงถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เวลาในการปั่นโฟม 4 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับค่ารายงานของ Jitkokkrud et al. (2023) สูตรที่ไม่ได้ใส่เส้นใยใบไม้หรือ NRL-FN-BLF0.0

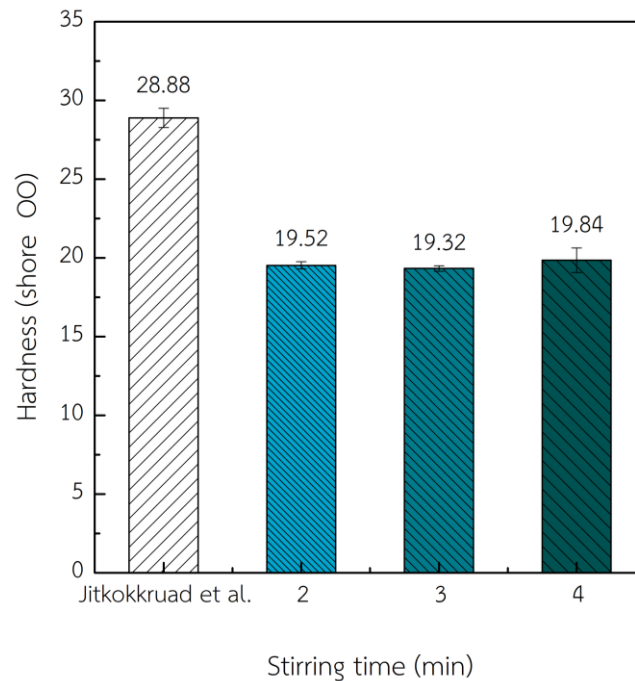
ทั้งนี้หากความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติลดลงด้วยการเพิ่มเวลาในการปั่นเพิ่มขึ้นได้ และเป็นประโยชน์ต่อระบบการขนส่งได้แล้วนั้นยังต้องคำนึงถึงโครงสร้างโฟมที่จะส่งผลประสิทธิภาพในการกันกระแทกด้วย

4.3 ความแข็ง (Hardness)

ความแข็งของวัสดุโฟมกันกระแทก บ่งชี้ถึงความแข็งที่พื้นผิวของวัสดุโฟมกันกระแทกที่ต้องไปสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ หากค่าความแข็งของวัสดุมีค่ามาก เมื่อสัมผัสกับผลิตภัณฑ์อาจทำให้ความแข็งของโฟมยางธรรมชาติทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์บอบช้ำได้ในระหว่างการขนส่งได้ เนื่องจากในระหว่างการขนส่งเกิดทั้งแรงกด แรงสั่นสะเทือน หรือแรงกระแทกได้

จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการขึ้นรูปโฟมที่เวลาแตกต่างกันที่ 2 3 และ 4 นาที โฟมยางธรรมชาติมีค่าความแข็งไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าความแข็งลดลงประมาณ 10 shore OO จากการรายงานของ Jitkokkrud et al. (2023) ดังนั้นความแข็งของโฟมที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ในการทดลองนี้มีแนวโน้มสามารถปกป้องผลิตภัณฑ์จากแรงกระตุ้นที่อาจเกิดขึ้นได้ดีกว่า [33] นอกจากนี้การที่โฟมยางธรรมชาติที่ถูกปรับความหนาแน่นให้ลดลงด้วยการเติมอากาศหรือช่องว่างในโฟมยางธรรมชาติ

มากขึ้นจากการเพิ่มเวลาในการปั่นที่มากขึ้นส่งผลทำให้โครงสร้างรูพรุนของโพลีเอทิลีนมีขนาดรูพรุนที่ใหญ่ขึ้นและความหนาแน่นลดลง ดังที่แสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ จึงทำให้ความแข็งแรงของโพลีเอทิลีนลดลงจากการรายงานของ Jitkokkrud et al. (2023) เนื่องจากโพลีเอทิลีนมีความสามารถในการต้านทานแรงกดได้ลดลงด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.4 แสดงความแข็งแรงของโพลีเอทิลีนที่ใช้เวลาในการปั่นแตกต่างกัน

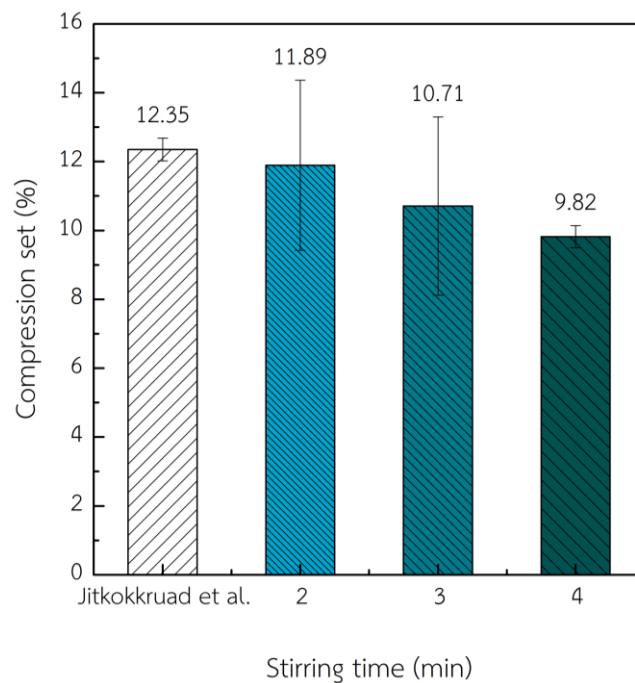
4.4 การทดสอบสมบัติการยุบตัว (Compression set (%))

สมบัติการยุบตัวของวัสดุโพลีเอทิลีนจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการปั่น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการคืนตัวหลังได้รับแรงกด หากโพลีเอทิลีนค่า Compression set สูง บ่งชี้ว่าวัสดุมีสมบัติการคืนตัวต่ำ จากผลการทดสอบสมบัติการยุบตัวของโพลีเอทิลีนพบว่าเมื่อเวลาในการปั่นเพิ่มขึ้น ค่า Compression set จะลดลงเล็กน้อยดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 และใช้เวลาในการปั่น 4 นาที แสดงความสามารถในการคืนตัวดีที่สุดเนื่องจากแสดงค่า Compression set ต่ำ ดังนั้นจึงมีการคืนตัวดีที่สุด นอกจากนี้โพลีเอทิลีนมีสมบัติการยุบตัวลดลงด้วยการปรับเวลาในการปั่นมากขึ้น ดังนั้นสมบัติการยุบตัวมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของโพลีเอทิลีน (รูปที่ 4.3)

4.5 สมบัติการต้านแรงกด (Compression properties)

สมบัติการต้านทานแรงกดเป็นสมบัติสำคัญสำหรับการออกแบบหรือพัฒนาวัสดุกันกระแทกได้ที่ต้องรับแรงกดอัด ด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดแรงอัดของวัสดุที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.6 นอกจากนี้ยังสามารถประเมินประสิทธิภาพในการกันกระแทกของโพลีเอทิลีนสำหรับผลิตภัณฑ์ได้ด้วย

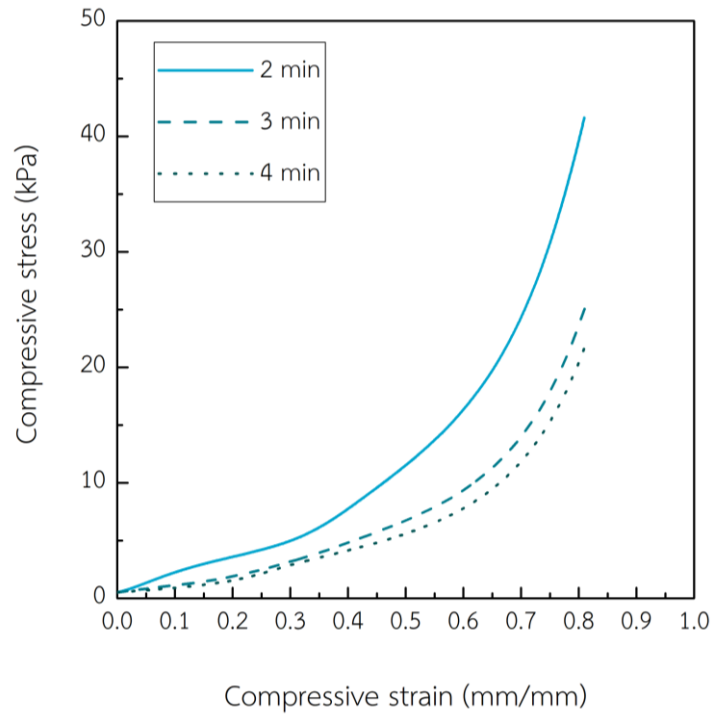
จากผลการทดสอบ compressive stress at 0.5 compressive strain พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการปั่นจาก 2 3 และ 4 นาที โฟมยางธรรมชาติมีความสามารถในการต้านทานแรงอัดลดลง (รูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.2) เนื่องจากโฟมยางธรรมชาติเมื่อถูกปรับความหนาแน่นให้ลดลงด้วยการเติมอากาศเข้าไปในน้ำยางที่มากขึ้น นอกจากนี้สามารถสังเกตได้จากโครงสร้างโฟมที่แสดงในรูปที่ 4.2 ที่ทำให้มีผนังรูพรุนที่บางลง และเนื่องจากโครงสร้างโฟมเป็นโครงสร้างแบบกึ่งเซลล์เปิด (Semi-open cells) ทำให้เมื่อมีแรงกดมากระทำจึงทำให้อากาศที่มีในรูพรุนของโฟมยางธรรมชาติสามารถไหลออกได้ และไม่สามารถต้านทานแรงกดอัดได้ดี



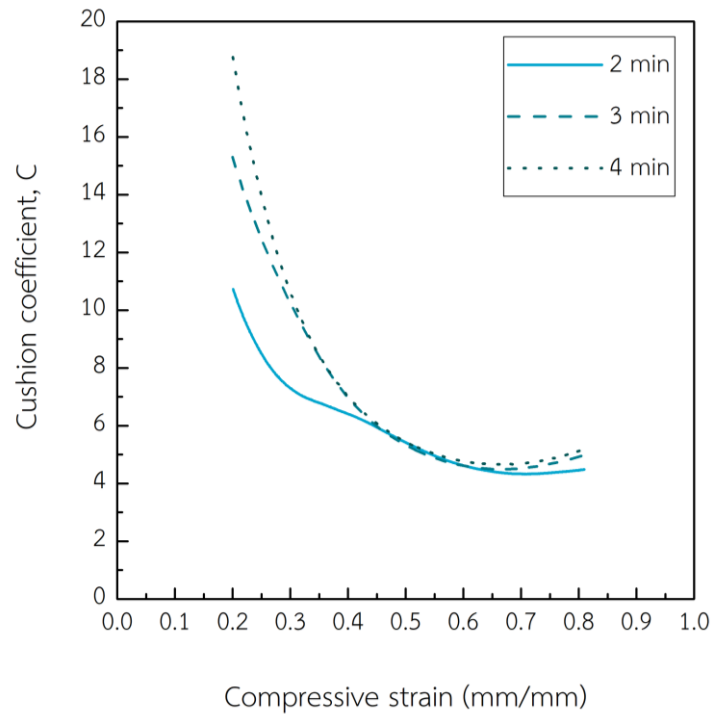
รูปที่ 4.5 แสดงสมบัติการยุบตัวของโฟมยางธรรมชาติที่ใช้เวลาในการปั่นแตกต่างกัน

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้น-ความเครียดแรงกดอัด ยังสามารถประเมินประสิทธิภาพในการกันกระแทกได้ด้วยการคำนวณค่า Cushion coefficient (C) แสดงดังรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.2 ค่า Cushion coefficient นี้ หากแสดงค่าสูงบ่งชี้ว่าวัสดุนั้นมีประสิทธิภาพในการกันกระแทก (Cushion performance) น้อย ดังนั้นจากการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าโฟมที่ใช้เวลาในการปั่นเป็นเวลา 2 นาที มีประสิทธิภาพในการกันกระแทกมากกว่าใช้เวลาในการปั่นเป็นเวลา 3 และ 4 นาที เนื่องจากโฟมยางธรรมชาติที่ใช้เวลาในการปั่น 2 นาที สามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าสังเกตได้จากโฟมจากสูตรการขึ้นรูปนี้มีพื้นที่ได้กราฟมากกว่า (รูปที่ 4.6)

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบจากการทดลองนี้เทียบกับรายงานของ Jitkokkruad et al. (2024) พบว่าเมื่อทำการปรับมาใช้เครื่อง Stand mixer และใช้เวลาในการปั่นที่ 2 3 และ 4 นาที สามารถปรับปรุงให้โฟมยางธรรมชาติมีความหนาแน่นลดลงได้ถึง 40% แล้วนั้น แต่ประสิทธิภาพในการกันกระแทกก็ลดลงด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดแรงอัดของโฟมยางธรรมชาติที่ใช้เวลาในการบ่มให้เกิดโครงสร้างโฟมที่เวลาแตกต่างกัน



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพในการกันกระแทก (Cushion coefficient) และความเครียดแรงอัดของโฟมยางธรรมชาติที่ใช้เวลาในการบ่มให้เกิดโครงสร้างโฟมที่เวลาแตกต่างกัน

ดังนั้นการลดความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติอาจส่งผลดีต่อระบบการขนส่ง แต่อาจจะไม่ดีต่อผลไม้หรือผลิตผลสดบางชนิดที่มีผิวบอบบางเนื่องจากวัสดุโฟมกันกระแทกที่มีค่า cushion coefficient สูง

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเค้นกดอัดสูงสุดที่ 50% ของความเครียดและสัมประสิทธิ์การกันกระแทกของโฟมยางธรรมชาติ

Stirring time (min)	Compressive stress at 50% strain (kPa)	Cushion coefficient
6 (Jitkokkruad et al., 2023)	46.95 ± 4.57	4.82 ± 0.13
2	11.58 ± 1.07	5.24 ± 0.11
3	7.38 ± 1.57	5.57 ± 0.15
4	5.59 ± 0.44	5.53 ± 0.12

ประสิทธิภาพการกันกระแทก (Cushion performance) ของวัสดุกันกระแทกสามารถเปรียบเทียบกันได้ด้วยค่า Cushion coefficient หากมีค่าน้อย บ่งชี้ถึงวัสดุกันกระแทกนั้นมีค่าประสิทธิภาพในการกันกระแทกสูง เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการทดสอบที่ 0.50 strain พบว่าค่า Cushion coefficient ของโฟมยางธรรมชาติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการปรับเวลาในการปั่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากวัสดุโฟมกันกระแทกมีประสิทธิภาพในการดูดซับพลังงานไว้กับวัสดุเองลดน้อยลง สังเกตได้จากพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียดแรงอัด (รูปที่ 4.6) เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า Cushion coefficient พบว่าโฟมที่ใช้เวลาในการปั่น 2 นาที มีประสิทธิภาพในการกันกระแทกดีที่สุด แต่ประสิทธิภาพในการกันกระแทกยังน้อยกว่าโฟมยางกันกระแทกของ Jitkokkruad et al. (2023) เล็กน้อย

4.6 การทดสอบการใช้งานวันสุกกันกระแทกในสภาวะจำลองทดสอบการขนส่งเหิน

สำหรับการทดสอบการขนส่งเหินกับผลิตผลสด ในการทดสอบนี้จะใช้ฝรั่งเป็นตัวแทนของผลิตผลสด เนื่องจากเป็นผลไม้ที่ผิวบอบบาง ถูกบรรจุในกล่องกระดาษ และห่อด้วยโฟมกันกระแทกที่ต้องการศึกษา จำนวน 2 ลูก ในการทดสอบด้วยวิธีการขนส่งเหินด้วย 13.5 เฮิร์ต 40 G เป็นเวลา 40 นาที และสังเกตการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ที่เกิดรอยชำเป็นเวลา 4 วัน ดังรูปที่แสดงในตารางที่ 4.3 โดยทำการทดสอบเทียบระหว่างโฟมกันกระแทกสมบัติตามรายงานของ Jitkokkruad et al. (2023) กับโฟมยางกันกระแทกที่ใช้เวลาในการปั่น 2 นาที

ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะก่อน (Day 0) และหลัง (Day 0-4) ของฝรั่งหลังการทดสอบความสามารถในการดูดซับพลังงานของโพลีเมอร์ชนิดกันกระแทกเป็นเวลา 4 วัน

Cushions	Day 0	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4
Jitkokkrud et al. (2023)					
Stirring time 2 min					

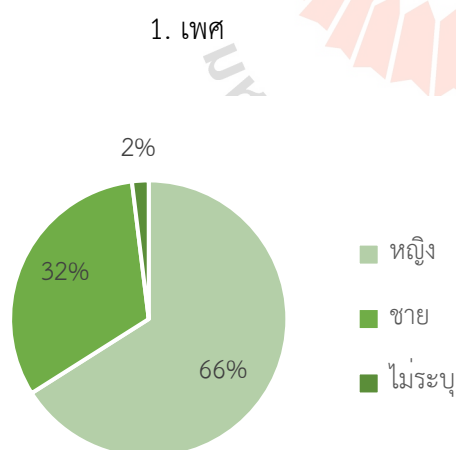
จากผลการทดสอบนำฝรั่งไปทดสอบประสิทธิภาพในการกันกระแทกของวัสดุโฟมยางธรรมชาติพบว่า โฟมที่ลดความหนาแน่นลงร้อยละ 25 (2 นาติ) ไม่สามารถปกป้องฝรั่งได้ เนื่องจากวัสดุโฟมกันกระแทกนี้มีความสามารถในการดูดซับพลังงานไว้กับตัววัสดุเองได้น้อยโดยสังเกตได้จากฝรั่งเกิดรอยช้ำมากกว่า ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 จึงทำให้แรงที่ได้รับส่งไปยังฝรั่งได้มากขึ้น และสามารถอ้างอิงได้จากค่า cushion coefficient ที่แสดงค่าสูงกว่า

4.7 การทดสอบความพึงพอใจ/ความเห็นสำหรับวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด

โฟมกันกระแทกในปัจจุบันที่นิยมใช้ทั่วไปคือ Expanded polyethylene foam (EPE foam) เนื่องจากมีราคาถูก ซึ่งเป็นคู่แข่งทางการค้าที่สำคัญสำหรับผู้วิจัยและพัฒนาโฟมกันกระแทกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไปใช้ทดแทน ซึ่งทราบกันโดยทั่วไปอยู่แล้วว่าโฟมที่ผลิตจากพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากฐานชีวภาพราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการทำการทดสอบความเป็นไปได้ทางการตลาด และเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์โฟมยางธรรมชาติสำหรับผลิตผลสดเพื่อให้ได้ความต้องการของลูกค้าหรือผู้ใช้งานจริง

จากการสำรวจเก็บข้อมูลผ่านการทำแบบสอบถามการทดสอบความพึงพอใจ/ความเห็นสำหรับวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด จำนวน 103 ชุด โดยแบ่งชุดคำถามออกเป็น 4 ส่วนคือ ข้อมูลเชิงประชากร พฤติกรรมการเลือกซื้อสินค้าโฟมกันกระแทก ความพึงพอใจต่อโฟมกันกระแทกจากน้ำยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับโฟมทางการค้า (EPE foam) ที่ใช้กับผลิตผลสด/ผลไม้ และข้อเสนอแนะแสดงผลการสำรวจดังนี้

4.7.1 ข้อมูลเชิงประชากร

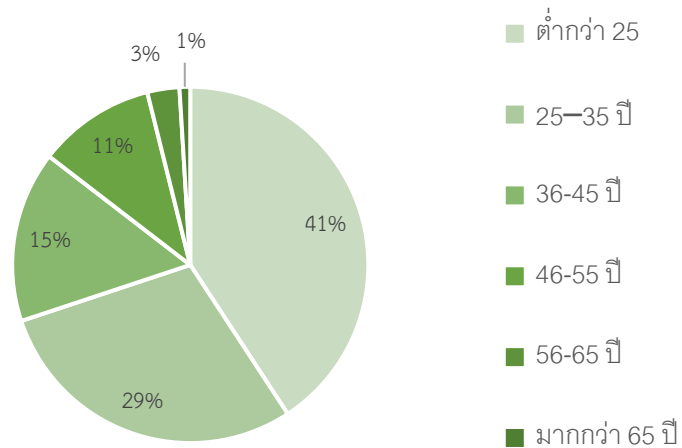


จากผลจากแบบสอบถาม จำนวน 103 ชุด ได้ข้อมูลรายละเอียด ดังนี้

1. ผู้ตอบแบบสอบถาม เพศชาย จำนวน 33 คน (32%)
2. ผู้ตอบแบบสอบถาม เพศหญิง จำนวน 68 คน (66%)
3. ผู้ตอบแบบสอบถาม ที่ไม่ต้องการระบุเพศ จำนวน 2 คน (2%)

รูปที่ 4.8 แสดงข้อมูลเพศผู้ตอบแบบสอบถาม

2. ช่วงอายุ

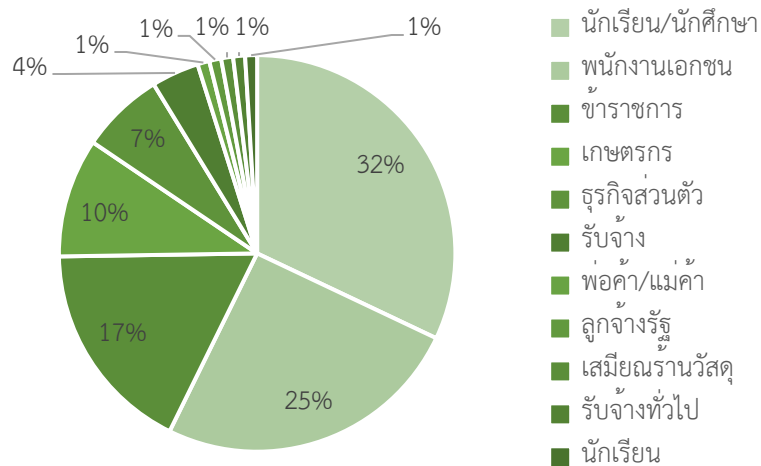


รูปที่ 4.9 ข้อมูลช่วงอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากผลจากแบบสอบถาม จำนวน 103 ชุด ได้ข้อมูลรายละเอียด ดังนี้

1. ผู้ตอบแบบสอบถาม ช่วงอายุ ต่ำกว่า 25 ปี จำนวน 42 คน (40%)
2. ผู้ตอบแบบสอบถาม ช่วงอายุ 25 - 35 ปี จำนวน 30 คน (29%)
3. ผู้ตอบแบบสอบถาม ช่วงอายุ 36 - 45 ปี จำนวน 16 คน (16%)
4. ผู้ตอบแบบสอบถาม ช่วงอายุ 46 - 55 ปี จำนวน 11 คน (11%)
5. ผู้ตอบแบบสอบถาม ช่วงอายุ 56 - 65 ปี จำนวน 3 คน (3%)
6. ผู้ตอบแบบสอบถาม ช่วงอายุ มากกว่า 65 ปี จำนวน 1 คน (1%)

3. อาชีพ

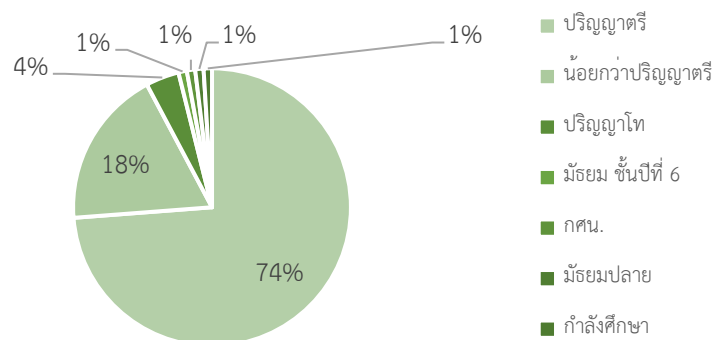


รูปที่ 4.10 ข้อมูลอาชีพของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากผลจากแบบสอบถาม จำนวน 103 ชุด ได้ข้อมูลรายละเอียด ดังนี้

1. ผู้ตอบแบบสอบถาม นักเรียน/นักศึกษา	จำนวน 33 คน (32%)
2. ผู้ตอบแบบสอบถาม พนักงานเอกชน	จำนวน 26 คน (25%)
3. ผู้ตอบแบบสอบถาม ข้าราชการ	จำนวน 18 คน (17%)
4. ผู้ตอบแบบสอบถาม เกษตรกร	จำนวน 10 คน (10%)
5. ผู้ตอบแบบสอบถาม ธุรกิจส่วนตัว	จำนวน 7 คน (7%)
6. ผู้ตอบแบบสอบถาม รับจ้าง	จำนวน 4 คน (4%)
7. ผู้ตอบแบบสอบถาม พ่อค้า/แม่ค้า	จำนวน 1 คน (1%)
8. ผู้ตอบแบบสอบถาม ลูกจ้างรัฐ	จำนวน 1 คน (1%)
9. ผู้ตอบแบบสอบถาม เสมียนร้านวัสดุ	จำนวน 1 คน (1%)
10. ผู้ตอบแบบสอบถาม รับจ้างทั่วไป	จำนวน 1 คน (1%)
11. ผู้ตอบแบบสอบถาม นักเรียน	จำนวน 1 คน (1%)

4. ระดับการศึกษาสูงสุด



รูปที่ 4.11 ข้อมูลระดับการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากผลจากแบบสอบถาม จำนวน 103 ชุด ได้ข้อมูลรายละเอียด ดังนี้

1. ผู้ตอบแบบสอบถาม ระดับปริญญาตรี	จำนวน 76 คน (74%)
2. ผู้ตอบแบบสอบถาม น้อยกว่าระดับปริญญาตรี	จำนวน 19 คน (18%)
3. ผู้ตอบแบบสอบถาม ระดับปริญญาโท	จำนวน 4 คน (4%)
4. ผู้ตอบแบบสอบถาม มัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6	จำนวน 1 คน (1%)
5. ผู้ตอบแบบสอบถาม การศึกษานอกโรงเรียน	จำนวน 1 คน (1%)
6. ผู้ตอบแบบสอบถาม มัธยมศึกษาตอนปลาย	จำนวน 1 คน (1%)
7. ผู้ตอบแบบสอบถาม กำลังศึกษาแบบไม่ระบุประเภท	จำนวน 1 คน (1%)

4.7.2 ข้อมูลพฤติกรรมการเลือกซื้อสินค้าโฟมกันกระแทก

ตารางที่ 4.4 รายละเอียดของชุดข้อมูลสินค้าโฟมกันกระแทก

ชนิดโฟมกันกระแทก	ลักษณะโฟมทางกายภาพ
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam)	
ถาดโฟม (Foam tray)	
ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container)	
กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box)	
แอร์บับเบิล (Air bubble)	

1. ชุดคำถามประสบการณ์การใช้สินค้ากันกระแทกกับผลิตภัณฑ์/ผลไม้รูปแบบใดบ้าง

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการรูปแบบการเลือกใช้สินค้าโฟมกันกระแทกของผู้ตอบแบบสอบถาม

รูปแบบการเลือกใช้สินค้าโฟมกันกระแทก	จำนวน (คน)	ร้อยละ
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), แอร์บับเบิล (Air bubble)	34	33.01
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam)	11	10.68
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box), แอร์บับเบิล (Air bubble)	9	8.74
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดโฟม (Foam tray), ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box), แอร์บับเบิล (Air bubble)	8	7.77
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดโฟม (Foam tray), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box), แอร์บับเบิล (Air bubble)	7	6.80
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดโฟม (Foam tray), แอร์บับเบิล (Air bubble)	6	5.83
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container), แอร์บับเบิล (Air bubble)	6	5.83
แอร์บับเบิล (Air bubble)	4	3.88
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container)	4	3.88
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box), แอร์บับเบิล (Air bubble)	4	3.88
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดโฟม (Foam tray), ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container), แอร์บับเบิล (Air bubble)	3	2.91
ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box)	2	1.94
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดโฟม (Foam tray)	1	0.97
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดโฟม (Foam tray), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box)	1	0.97
ถาดโฟม (Foam tray), แอร์บับเบิล (Air bubble)	1	0.97
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box)	1	0.97
ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container)	1	0.97

จากผลจากแบบสอบถาม จำนวน 103 ชุด ได้ข้อมูลรายละเอียด ดังนี้

1.เลือกใช้โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam) และแอร์บับเบิล (Air bubble)

จำนวน 34 คน ร้อยละ 33.1

2.เลือกใช้โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam)

จำนวน 11 คน ร้อยละ 10.68

3.เลือกใช้โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box), แอร์บับเบิล (Air bubble)

จำนวน 9 คน ร้อยละ 8.47

4.เลือกใช้โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดโฟม (Foam tray), ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box), แอร์บับเบิล (Air bubble)

จำนวน 8 คน ร้อยละ 7.77

5.เลือกใช้โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดโฟม (Foam tray), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box), แอร์บับเบิล (Air bubble)

จำนวน 7 คน ร้อยละ 6.08

โดยข้อมูลแบบสอบถามส่วนมากผู้ตอบแบบสอบถามเคยใช้เลือกวัสดุโฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam) และแอร์บับเบิล (Air bubble) ที่เป็นสินค้ากันกระแทกสำหรับผลิตผลสดเป็นส่วนมาก

2. ชุดคำถามวัสดุกันกระแทกแบบใดเหมาะสมกับการนำไปใช้กับผลิตผลสด/ผลไม้

จากผลจากแบบสอบถาม จำนวน 103 ชุด ได้ข้อมูลรายละเอียด ดังนี้

1.เลือกใช้โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam)

จำนวน 26 คน ร้อยละ 24.24

2.เลือกใช้โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), แอร์บับเบิล (Air bubble)

จำนวน 13 คน ร้อยละ 12.62

3.เลือกใช้ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container)

จำนวน 11 คน ร้อยละ 10.68

4.เลือกใช้โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container)

จำนวน 10 คน ร้อยละ 9.71

5.โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดโฟม (Foam tray)

จำนวน 10 คน ร้อยละ 9.71

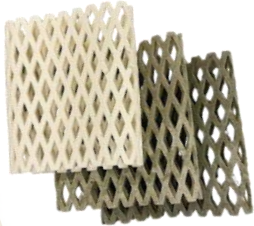
โดยข้อมูลแบบสอบถามส่วนมากผู้ตอบแบบสอบถามให้คำตอบว่าการใช้วัสดุโฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam) เหมาะสมสำหรับการนำไปกับผลิตผลสด/ผลไม้

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการรูปแบบการเลือกใช้สินค้าโฟมกันกระแทกของผู้ตอบแบบสอบถาม

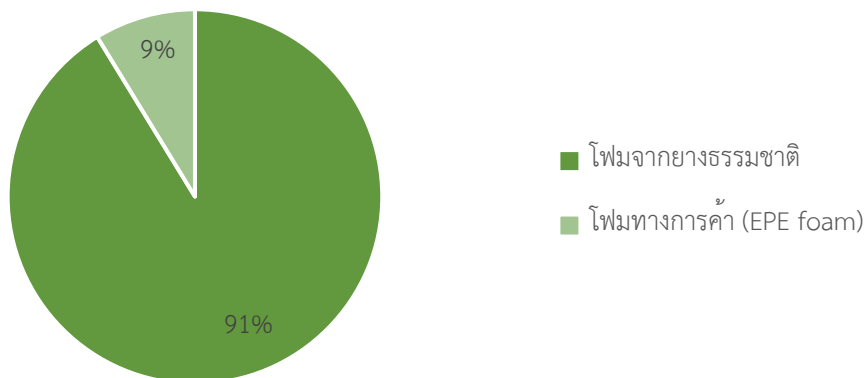
รายการ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam)	26	25.24
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), แอร์บับเบิล (Air bubble)	13	12.62
ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container)	11	10.68
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container)	10	9.71
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดโฟม (Foam tray)	10	9.71
ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box)	6	5.83
แอร์บับเบิล (Air bubble)	6	5.83
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box)	4	3.88
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box)	4	3.88
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container), แอร์บับเบิล (Air bubble)	3	2.91
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box), แอร์บับเบิล (Air bubble)	1	0.97
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam),	1	0.97
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดโฟม (Foam tray), ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container)	1	0.97
กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box), แอร์บับเบิล (Air bubble)	1	0.97
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box), แอร์บับเบิล (Air bubble)	1	0.97
โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam), ถาดโฟม (Foam tray), แอร์บับเบิล (Air bubble)	1	0.97
ถาดโฟม (Foam tray)	1	0.97
กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box)	1	0.97
ถาดโฟม (Foam tray), ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container), กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box)	1	0.97
ถาดโฟม (Foam tray), ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container)	1	0.97

4.7.3 ข้อมูลพฤติกรรมความพึงพอใจต่อโฟมกันกระแทกจากน้ำยางธรรมชาติ เปรียบเทียบกับโฟมทางการค้า (EPE foam) ที่ใช้กับผลิตผลสด/ผลไม้

ตารางที่ 4.7 รายละเอียดของชุดข้อมูลสินค้าโฟมกันกระแทก

ชนิดโฟมกันกระแทก	ลักษณะโฟมทางกายภาพ
โฟมทางการค้า (EPE foam)	
โฟมจากยางธรรมชาติ	

1. ชุดคำถามความชอบต่อตาข่ายกันกระแทก

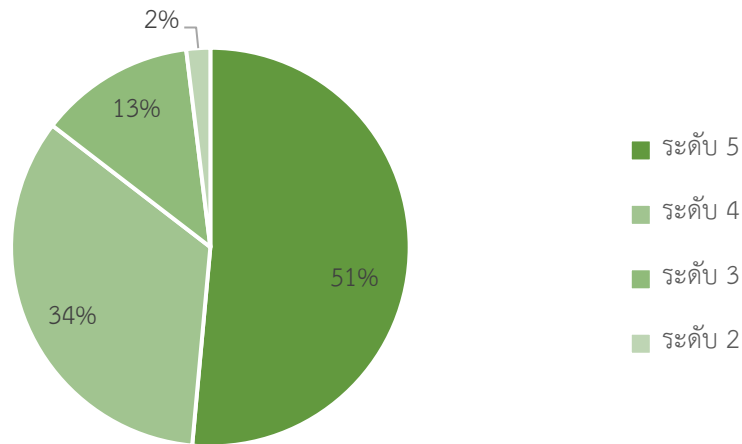


รูปที่ 4.12 ข้อมูลความชอบต่อตาข่ายกันกระแทกของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากผลจากแบบสอบถาม จำนวน 103 ชุด ได้ข้อมูลรายละเอียด ดังนี้

1. ผู้ตอบแบบสอบถามสนใจ โฟมยางธรรมชาติ จำนวน 94 คน (91%)
2. ผู้ตอบแบบสอบถามสนใจ โฟมทางการค้า จำนวน 9 คน (9%)

2. ชุดคำถามความคิดเห็น/ความพึงพอใจ ระดับใด เมื่อเห็นโคมก้นกระแทกที่ผลิตจากยางธรรมชาติ

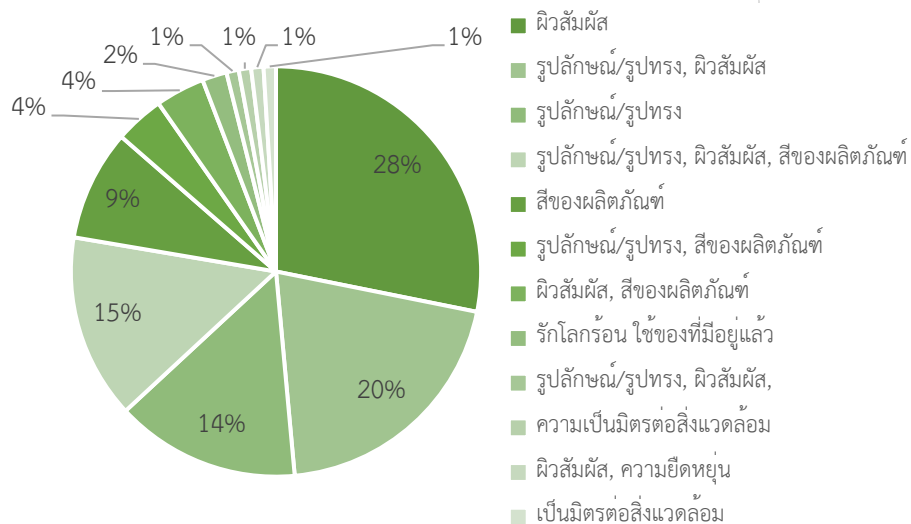


รูปที่ 4.13 ข้อมูลความคิดเห็น/ความพึงพอใจเมื่อเห็นโคมก้นกระแทกที่ผลิตจากยางธรรมชาติของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากผลจากแบบสอบถาม จำนวน 103 ชุด ได้ข้อมูลรายละเอียด ดังนี้

1. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพอใจ ระดับ 5 จำนวน 53 คน (51%)
2. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพอใจ ระดับ 4 จำนวน 35 คน (34%)
3. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพอใจ ระดับ 3 จำนวน 13 คน (13%)
4. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพอใจ ระดับ 2 จำนวน 2 คน (2%)

3. ชุดคำถามความสนใจเกี่ยวกับวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากยางธรรมชาติในด้านใด

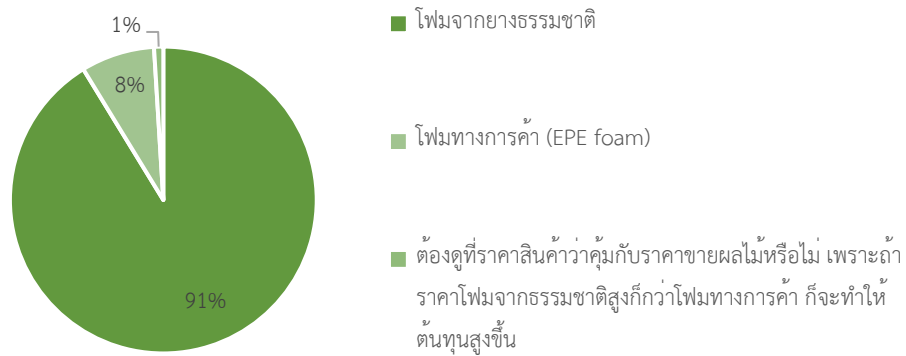


รูปที่ 4.14 ข้อมูลด้านความสนใจเกี่ยวกับวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากยางธรรมชาติของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากผลจากแบบสอบถาม จำนวน 103 ชุด ได้ข้อมูลรายละเอียด ดังนี้

1. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจใน ผิวสัมผัส
จำนวน 29 คน (28%)
 2. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจใน รูปลักษณ์/รูปทรง, ผิวสัมผัส
จำนวน 21 คน (20%)
 3. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจใน รูปลักษณ์/รูปทรง
จำนวน 15 คน (15%)
 4. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจใน รูปลักษณ์/รูปทรง, ผิวสัมผัส, สีของผลิตภัณฑ์
จำนวน 15 คน (15%)
 5. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจใน สีของผลิตภัณฑ์
จำนวน 9 คน (9%)
 6. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจใน รูปลักษณ์/รูปทรง, สีของผลิตภัณฑ์
จำนวน 4 คน (4%)
 7. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจใน ผิวสัมผัส, สีของผลิตภัณฑ์
จำนวน 4 คน (4%)
 8. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจใน รักโลกร้อน ใช้ของที่มีอยู่แล้ว
จำนวน 2 คน (2%)
 9. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจใน รูปลักษณ์/รูปทรง, ผิวสัมผัส
จำนวน 1 คน (1%)
 10. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจใน ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
จำนวน 1 คน (1%)
 11. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจใน ผิวสัมผัส, ความยืดหยุ่น
จำนวน 1 คน (1%)
 12. ผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจใน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
จำนวน 1 คน (1%)
- โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากคิดเรื่อง ผิวสัมผัสของตายข่ายกันกระแทก เป็นส่วนมาก

4. ชุดคำถามหากมีการใช้งาน จะเลือกใช้ชนิดตาข่ายแบบใดมากที่สุด

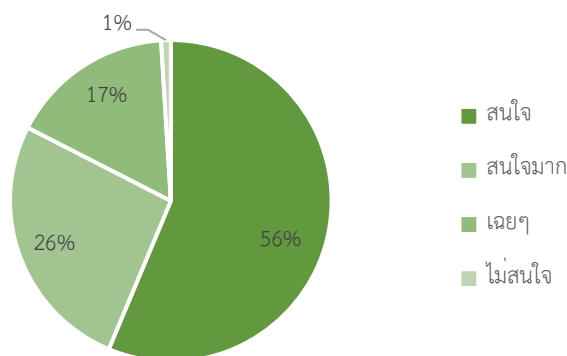


รูปที่ 4.15 ข้อมูลการเลือกใช้งานชนิดโฟมตาข่ายของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากผลจากแบบสอบถาม จำนวน 103 ชุด ได้ข้อมูลรายละเอียด ดังนี้

1. ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกใช้งาน โฟมยางธรรมชาติ จำนวน 94 คน (91%)
2. ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกใช้งาน โฟมทางการค้า (EPE foam) จำนวน 8 คน (8%)
3. ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกใช้งาน ด้วยเหตุผลเรื่องราคา จำนวน 1 คน (1%)

5. ชุดคำถามถ้ามีวัสดุผลิตจากวัสดุธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถย่อยสลายได้เร็วกว่าโฟมทางการค้า (EPE foam) แต่ราคาเพิ่มขึ้น ท่านสนใจที่จะเลือกซื้อหรือไม่ (เดิมราคา 0.5 บาท/ชิ้น)

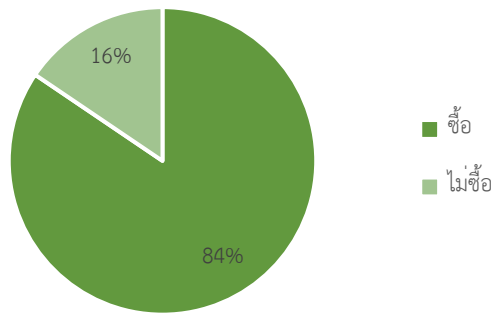


รูปที่ 4.16 ข้อมูลความสนใจต่อกันกระแทกวัสดุธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากผลจากแบบสอบถาม จำนวน 103 ชุด ได้ข้อมูลรายละเอียด ดังนี้

- | | |
|--|-------------------|
| 1. ผู้ตอบแบบสอบถาม สนใจในการใช้งานหกราคาสูงขึ้น | จำนวน 58 คน (56%) |
| 2. ผู้ตอบแบบสอบถาม สนใจมากในการใช้งานหกราคาสูงขึ้น | จำนวน 27 คน (26%) |
| 3. ผู้ตอบแบบสอบถาม เฉย ๆ ในการใช้งานหกราคาสูงขึ้น | จำนวน 17 คน (17%) |
| 4. ผู้ตอบแบบสอบถาม ไม่สนใจในการใช้งานหกราคาสูงขึ้น | จำนวน 1 คน (1%) |

6.ชุดคำถามถ้าหากโฟมที่ผลิตจากยางธรรมชาติ ที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้สินค้ามีราคาเพิ่มขึ้นขึ้นละ 2-3 บาท ท่านยังจะเลือกซื้อสินค้านี้อยู่หรือไม่

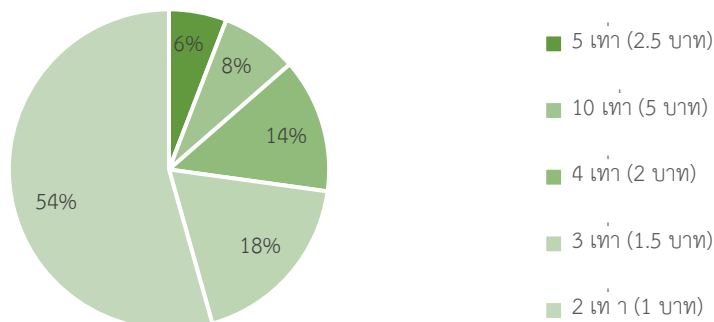


รูปที่ 4.17 ข้อมูลการเลือกซื้อที่ผลิตจากยางธรรมชาติที่ราคาเพิ่มขึ้นขึ้นละ 2-3 บาท ของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากผลจากแบบสอบถาม จำนวน 103 ชุด ได้ข้อมูลรายละเอียด ดังนี้

- | | |
|-----------------------------------|-------------------|
| 1. ผู้ตอบแบบสอบถาม สนใจที่ซื้อ | จำนวน 87 คน (84%) |
| 2. ผู้ตอบแบบสอบถาม สนใจที่ไม่ซื้อ | จำนวน 16 คน (16%) |

7.ชุดคำถามหากท่านสนใจ ท่านสามารถยอมรับราคาที่สูงขึ้นได้มากที่สุดกี่เท่า ที่ท่านสามารถยอมรับได้



รูปที่ 4.18 ข้อมูลความชอบต่อตาข่ายกันกระแทกของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากผลจากแบบสอบถาม จำนวน 103 ชุด ได้ข้อมูลรายละเอียด ดังนี้

- | | |
|---|-------------------|
| 1. ผู้ตอบแบบสอบถาม สนใจที่ซื้อในราคาที่เพิ่ม 5 เท่า (2.5 บาท) | จำนวน 6 คน (6%) |
| 2. ผู้ตอบแบบสอบถาม สนใจที่ซื้อในราคาที่เพิ่ม 10 เท่า (5 บาท) | จำนวน 8 คน (8%) |
| 3. ผู้ตอบแบบสอบถาม สนใจที่ซื้อในราคาที่เพิ่ม 4 เท่า (2 บาท) | จำนวน 14 คน (14%) |
| 4. ผู้ตอบแบบสอบถาม สนใจที่ซื้อในราคาที่เพิ่ม 3 เท่า (1.5 บาท) | จำนวน 19 คน (18%) |
| 5. ผู้ตอบแบบสอบถาม สนใจที่ซื้อในราคาที่เพิ่ม 2 เท่า (1 บาท) | จำนวน 56 คน (54%) |

ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความคิดเห็นเรื่องราคาวัสดุกันกระแทกกับผลผลิตและผลไม้ควรเพิ่ม
ราคา ไม่เกิน 2 เท่า (1 บาท)

7.4.4 ข้อเสนอแนะ

1. EPE มีความหนากว่า
2. น่าจะทำให้พังตัวมากกว่าเดิมเพื่อความยืดหยุ่นในการกันกระแทกได้ดีกว่าเดิม
3. ดี
4. เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมดี
5. ราคามีส่วนสำคัญต่อการตัดสินใจ หากสามารถทำให้ใกล้เคียงกันที่สุดก็จะทำให้เลือกได้ง่ายขึ้น
6. ชอบมากๆค่ะ
7. ผิดสัมผัสยืดหยุ่นดีกว่า ตาข่ายป้องกันผลไม้ชำใน Super store นำใช้งานมาก
8. นุ่ม
9. นิ่ม
10. ชอบโพนยางธรรมชาติ
11. วัสดุจากธรรมชาติดีครับ สู้ๆครับ
12. เป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจ
13. วัสดุกันกระแทกมีคุณภาพและประสิทธิภาพ เพื่อไม่ให้ผลไม้ที่สดมีรอยหรือชำได้
14. การเลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมถือว่าเรื่องที่น่าสนใจและน่าสนใจสนับสนุน
15. วัสดุจากธรรมชาติแม้จะแพงกว่าแต่ในเวลาการย่อยสลายสั้นกว่าก็จะทำให้โลกน่าอยู่ ลดภาวะโลกร้อน
16. วัสดุกันกระแทกจากยางธรรมชาติ สามารถใช้ได้จริงกับผลผลิตผลไม้จริงแต่ราคาผลผลิตอาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อย
17. ถ้าดีต่อโลกจริงๆก็สนับสนุนได้ค่ะ
18. นิ่มมาก
19. ควรมีหลายสี
20. กังวลว่ามันจะรัดของไม่ดีเท่าแบบพลาสติก

21. ถ้ารูปทรงตาข่ายเรียบเนียนเป็นทรงกว่านี้จะเทียบเคียงได้เลยคะ สัมผัสนุ่มแล้ว
22. เป็นผลิตภัณฑ์ขึ้นขอบ เพราะเป็นมิตรกับธรรมชาติ
23. ยางธรรมชาติมีผิวสัมผัสที่ดีกว่า และสามารถย่อยสลายได้
24. การใช้สอยที่เหมาะสมราคา
25. อยากให้มีหลากหลายสีขนาด
26. ในมุมมองของผู้ซื้อถือว่าเป็นวัสดุที่รักษ์โลก แต่ในมุมมองของผู้ผลิตที่ต้องใช้ปริมาณมากในการหล่อ
ผลไม้ จะส่งผลต่อต้นทุนการผลิตมากไหมคะ
27. เนื้อสัมผัสยืดหยุ่นดีแต่อยากให้เพิ่มความนิ่ม
28. ยางธรรมชาติผิวสัมผัสดี ย่อยสลายได้
29. วัสดุธรรมชาติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมดีค่ะ
30. วัสดุที่ผลิตจากธรรมชาติดีที่สุด
31. เน้นธรรมชาติ
32. ราคาไม่แพง เซฟผลไม้ได้ดี
33. เซฟของได้ดีกว่าที่ผ่านมา
34. วัสดุที่เพิ่มราคาเท่ากับเป็นการเพิ่มต้นทุนทางการค้า หากเป็นไปได้ราคาควรถูกกว่าหรือเท่ากับราคา
ขายจากของเดิมที่มีขาย
35. ถ้าใช้เป็นวัสดุธรรมชาติจะดีกว่าต่อการย่อยสลาย
36. อยากให้ใช้แบบธรรมชาติไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
37. สินค้ามีความรักโลกแต่ต้นทุนสูงบางครั้งผู้ผลิตก็ไม่อยากแบกรับภาระตรงนี้ ถ้าจะนำต้นทุนนี้ไปบวก
เพิ่มให้ลูกค้าก็อาจจะทำให้ลูกค้าเปลี่ยนร้านซื้อ(ในกรณีที่สั่งจำนวนมากๆ)
38. อยากให้รักษาธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมให้มากๆ
39. ปกติไม่ค่อยได้ใช้
40. ควรพิจารณาขยายผลไปยังผลิตภัณฑ์อื่นๆเพื่อความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อมที่ดี
41. เป็นการสำรวจ ที่ดีมากค่ะ
42. ยางธรรมชาติ
43. สวยงาม สะดวก กันกระแทกได้ คือดี
44. อยากได้ วัสดุ ที่ย่อยสลายได้
45. น่าสนใจ
46. อยากได้แบบไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
47. อยากใช้แบบธรรมชาติ
48. อยากได้แบบเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
49. อยากได้ของดีราคาถูกและปลอดภัย

50. คิดว่าราคาเหมาะสมกับคุณภาพที่สุดครับ
51. ดี
52. รักสิ่งแวดล้อม
53. ใช้ของธรรมชาติเป็นมิตรต่อธรรมชาติ
54. วัสดุจากธรรมชาติดีที่สุด
55. เหมาะสำหรับผลไม้สด
56. ชอบโฟมตะขำเวลาห่อของค่ะ มีทำให้สินค้าดูมีราคาแพงขึ้น

จำนวนข้อเสนอแนะ จำนวน 56 รายการให้ความคิดเห็น สามารถสรุปความคิดได้ดังนี้

- 1.การเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รักธรรมชาติ
- 2.วัสดุการย่อยสลายตามธรรมชาติ
- 3.ชอบผิวสัมผัส สี และรูปร่าง

4.8 การสำรวจความต้องการของผู้ใช้งานของวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด

วัสดุกันกระแทกที่ใช้ในการปกป้องผลิตผลสด ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุกันกระแทกนี้ไปใช้งานคือ ล้ง หรือผู้ทำการบรรจุ/หีบห่อ โดยทางคณะวิจัยได้เข้าไปสำรวจความต้องการของผู้ใช้งานกับราเชนทร์ฟาร์ม กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตมะม่วงส่งออก อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี เป็นผู้ประกอบการ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองและขายมะม่วงมูลค่าสูงให้กับห้างสรรพสินค้าชั้นนำ ให้เป็นตัวแทนของผู้ใช้งานวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด

จากการสำรวจพฤติกรรมการใช้งานของผู้ผลิตผลสดหรือผู้ประกอบการ เดิมผู้ใช้งานใช้วัสดุโฟม ตาข่ายกันกระแทก (EPE foam) ดังที่แสดงในรูปที่ 4.19 (ก) โดยดำเนินการพับวัสดุกันกระแทกนี้ขึ้นขั้นตอนการห่อมะม่วงในรูปทรงเปล จากนั้นต้องดำเนินการติดเทปเพื่อยึดโฟมตาข่ายกับมะม่วงเพื่อป้องกันไม่ให้โฟมตาข่ายยับหรือหลุดออกจากผลิตผลสดในระหว่างการขนส่ง ซึ่งต้องใช้เวลาและขั้นตอนหลายขั้นตอนในการบรรจุ/หีบห่อ

จากผลการสำรวจความต้องการของผู้ประกอบการต้องการปรับเปลี่ยนและเป็นผู้ดำเนินการเลือกใช้วัสดุกันกระแทกที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมกับระบบการขนส่งผลิตผลสด นอกจากนี้หากวัสดุกันกระแทกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสามารถลดขั้นตอนและเวลาในการบรรจุ และมีประสิทธิภาพในการกันกระแทกในระหว่างการขนส่งเช่นเดิมจะเป็นที่พึงพอใจของผู้ประกอบการมากยิ่งขึ้น ทางคณะวิจัยจึงได้มีการปรับปรุงทรงวัสดุกันกระแทกให้ได้ตามความต้องการของผู้ประกอบการ และได้เป็นวัสดุกันกระแทกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมต้นแบบ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.19 (ข)

นอกจากนี้ทางผู้ประกอบการและคณะผู้วิจัยได้มีการทดลองใช้วัสดุกันกระแทกจากโฟมยางธรรมชาติห่อมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพื่อจำหน่ายจริงในงานครบรอบ 80 ปี ของธนาคารกรุงเทพ จาก

ความเห็นของผู้ประกอบการ ผู้ประกอบการให้ความสำคัญกับขนาดของวัสดุกันกระแทกที่ใส่โดยจะต้องสามารถปกป้องผลิตภัณฑ์ได้เหมือนเดิมเมื่อเทียบกับโฟมทางการค้า นอกจากนี้เน้นให้ผลิตภัณฑ์ดูดีและพอดีกับขนาดกล่องที่บรรจุ และต้องเน้นให้ผลิตภัณฑ์ยังคงมีรูปลักษณ์ น่ารับประทาน และดูผลใหญ่ด้วย คณะวิจัยต้องพัฒนาต่อในเรื่องของสีสัน (ดึงดูดผู้บริโภคให้เลือกซื้อผลิตภัณฑ์) มากขึ้น นอกจากนี้ ผู้ประกอบการให้ความเห็นว่า ไม่ได้กังวลในเรื่องของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของวัสดุกันกระแทกจากโฟมยางธรรมชาติมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับโฟมตาข่ายที่นิยมใช้ในทางการค้า (น้ำหนักของวัสดุกันกระแทกจากน้ำยางธรรมชาติดังกล่าวความหนาแน่นของวัสดุในรูปที่ 4.3) แต่ตระหนักถึงราคาของโฟมยางธรรมชาติมากกว่าน้ำหนักของวัสดุกันกระแทก คณะวิจัยจึงต้องมีการปรับปรุงกระบวนการในการขึ้นรูปต่อไปเพื่อลดราคาต้นทุนและสามารถจำหน่ายในราคาที่ผู้ประกอบการยอมรับได้ รวมถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ได้ตามความต้องการตามการใช้งานจริงอีกด้วย



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.19 การบรรจุ/ห่อมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเพื่อการส่งออกและขายเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง โดยใช้วัสดุกันกระแทก (ก) โฟมทางการค้า (EPE foam) (ข) โฟมยางธรรมชาติ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การขึ้นรูปโฟมจากน้ำยางธรรมชาติสามารถขึ้นรูปได้ด้วยเครื่อง Stand mixer และเพิ่มอากาศเข้าไปในโฟมอย่างด้วยการเพิ่มเวลาในปั่นให้นานขึ้นจาก 2 ถึง 4 นาที การใช้เวลาในการปั่นให้เกิดฟองที่ 4 นาที สามารถลดความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติจากเดิมได้ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ แต่ประสิทธิภาพในการกันกระแทกลดลงด้วย ดังนั้นการเพิ่มอากาศเข้าไปในน้ำยางได้มากขึ้นเป็นแนวทางในการช่วยลดต้นทุนในการขนส่งได้ แต่ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการกันกระแทกด้วย ถึงแม้การทำให้ความหนาแน่นของวัสดุโฟมกัน กระแทกลดลงนั้นอาจจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกันกระแทกลดลงสำหรับการนำไปใช้กับผลไม้เปลือกบาง แต่เรายังคงสามารถนำไปใช้กับผลไม้ที่เปลือกแข็งขึ้นได้และวัสดุโฟมกันกระแทกยังมีประสิทธิภาพในการใช้งานได้ดีอยู่ และยังเป็นที่จะต้องมีการศึกษาต่อไปเพื่อให้ต้นทุนการผลิตรวมถึงการใช้งานสามารถนำไปใช้ได้เหมาะสม

ผลการทดสอบความพึงพอใจของลูกค้าในผลิตภัณฑ์วัสดุกันกระแทกจากโฟมยางธรรมชาติของงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับโฟมทางการค้า (EPE foam net) จากการเก็บข้อมูลทั้งหมด 103 ราย ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง 66% และเพศชาย 32%, ช่วงอายุ ส่วนใหญ่อยู่ที่ต่ำกว่า 25 ปี 41% 25-30 ปี 29% และช่วงอายุอื่นตามลำดับ ข้อมูลส่วนใหญ่เป็น นักเรียน/นักศึกษา 33 คน พนักงานเอกชน 26 คน ข้าราชการ 18 คน และอาชีพอื่นๆเป็นส่วนน้อย ระดับการศึกษาส่วนใหญ่ที่ระดับปริญญาตรีถึง 76 ค, ช่วงรายได้ต่อเดือนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 10,001- 20,000 บาท 40 คน ยังไม่มีรายได้ 20 คนและอื่นๆตามลำดับ

- ส่วนใหญ่ผู้ให้ข้อมูลเคยใช้โฟมกันกระแทกสำหรับใช้กับผลิตผลสด/ผลไม้ในรูปแบบ โฟมตาข่าย และ แอร์บับเบิล, ซึ่งส่วนใหญ่ก็มีความเห็นว่าโฟมตาข่ายเหมาะสม สำหรับการนำไปใช้กับผลิตผลสด/ผลไม้ มากที่สุด

- โดยในมุมมองสิ่งแวดล้อม ผู้ให้ข้อมูลส่วนใหญ่ถึง 94 คน เลือกที่จะใช้โฟมจากยางธรรมชาติ, วัสดุกัน กระแทกที่ผลิตจากยางธรรมชาติที่ได้รับความสนใจส่วนใหญ่จะเลือกที่ผิวสัมผัส และความสามารถในการยอมรับราคาที่สูงขึ้นได้ส่วนใหญ่อยู่ที่ สูงสุด 2 เท่า (1 บาท) ซึ่งอาจมาจากการเลือกราคาที่ต่ำสุด เท่านั้น

- บางข้อมูลมีความขัดแย้งกัน เช่น เลือกให้ความสนใจผลิตภัณฑ์ แต่เลือกระดับความพึงพอใจที่ต่ำ หรือการเลือกให้ความสนใจผลิตภัณฑ์มาก แต่เลือกไม่ซื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจเกิดจากการกรอกของ user ที่ไม่ได้ให้ข้อมูลที่ตรงกับความเป็นจริง

สำหรับการสำรวจการนำวัสดุกันกระแทกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไปใช้งานจริงกับผลิตผลสด ขนาด รูปร่าง และความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน พร้อมทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมี

ประสิทธิภาพในการกันกระแทกเป็นที่พึงพอใจของผู้นำไปใช้งาน แต่ราคาของวัสดุกันกระแทกยังเป็นปัจจัยหลักที่ผู้ประกอบการคำนึงถึงมากกว่าน้ำหนักของวัสดุ



บรรณานุกรม

1. Nilsen-Nygaard, J., et al., *Current status of biobased and biodegradable food packaging materials: Impact on food quality and effect of innovative processing technologies*. Comprehensive reviews in food science and food safety, 2021. **20**(2): p. 1333-1380.
2. Roithner, C., O. Cencic, and H. Rechberger, *Product design and recyclability: How statistical entropy can form a bridge between these concepts-A case study of a smartphone*. Journal of Cleaner Production, 2022. **331**: p. 129971.
3. Ncube, L.K., et al., *An overview of plastic waste generation and management in food packaging industries*. Recycling, 2021. **6**(1): p. 12.
4. Filho, W.L., et al., *An assessment of attitudes towards plastics and bioplastics in Europe*. Science of The Total Environment, 2021. **755**: p. 142732.
5. Faraca, G. and T. Astrup, *Plastic waste from recycling centres: Characterisation and evaluation of plastic recyclability*. Waste Management, 2019. **95**: p. 388-398.
6. Horodytska, O., F.J. Valdés, and A. Fullana, *Plastic flexible films waste management—A state of art review*. Waste management, 2018. **77**: p. 413-425.
7. Cáceres Ruiz, A.M. and A. Zaman, *The current state, challenges, and opportunities of recycling plastics in western Australia*. Recycling, 2022. **7**(5): p. 64.
8. Li, G., *RETRACTED: Development of cold chain logistics transportation system based on 5G network and Internet of things system*. 2021, Elsevier.
9. Sohn, J.S., et al., *Biodegradable foam cushions as ecofriendly packaging materials*. Sustainability, 2019. **11**(6): p. 1731.
10. Georges, A., C. Lacoste, and E. Damien, *Effect of formulation and process on the extrudability of starch-based foam cushions*. Industrial Crops and Products, 2018. **115**: p. 306-314.
11. Vroman, I. and L. Tighzert, *Biodegradable polymers*. Materials, 2009. **2**(2): p. 307-344.
12. Ke, T. and X.S. Sun, *Starch, poly (lactic acid), and poly (vinyl alcohol) blends*. Journal of Polymers and the Environment, 2003. **11**: p. 7-14.

13. Torres-Huerta, A., et al., *Preparation and degradation study of HDPE/PLA polymer blends for packaging applications*. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 2019. **18**(1): p. 251-271.
14. Hamad, K., M. Kaseem, and F. Deri, *Rheological and mechanical characterization of poly (lactic acid)/polypropylene polymer blends*. Journal of Polymer Research, 2011. **18**: p. 1799-1806.
15. Trongsatitkul, T. and S. Chaiwong, *In situ fibre reinforced composite films of poly (lactic acid)/low-density polyethylene blends: effects of composition on morphology, transport and mechanical properties*. Polymer International, 2017. **66**(11): p. 1456-1462.
16. Prasopdee, T. and W. Smitthipong, *Effect of fillers on the recovery of rubber foam: From theory to applications*. Polymers, 2020. **12**(11): p. 2745.
17. Mahathaninwong, N., et al., *Morphology and Properties of Agarwood-waste-filled Natural Rubber Latex Foam*. BioResources, 2021. **16**(1).
18. Garrison, T.F., A. Murawski, and R.L. Quirino, *Bio-based polymers with potential for biodegradability*. Polymers, 2016. **8**(7): p. 262.
19. Jędruchiewicz, K., Y.S. Ok, and P. Oleszczuk, *COVID-19 discarded disposable gloves as a source and a vector of pollutants in the environment*. Journal of hazardous materials, 2021. **417**: p. 125938.
20. Suksup, R., et al., *Foam rubber from centrifuged and creamed latex*. Journal of Polymer Engineering, 2019. **39**(4): p. 336-342.
21. Syahrin, S., et al. *Effect of blowing agent on compression and morphological properties of natural rubber latex foam*. in *AIP conference proceedings*. 2020. AIP Publishing.
22. Suethao, S., et al., *The relationship between the morphology and elasticity of natural rubber foam based on the concentration of the chemical blowing agent*. Polymers, 2021. **13**(7): p. 1091.
23. Phomrak, S., et al., *Natural rubber latex foam reinforced with micro-and nanofibrillated cellulose via Dunlop method*. Polymers, 2020. **12**(9): p. 1959.
24. Sirikulchaikij, S., R. Kokoo, and M. Khangkhamano, *Natural rubber latex foam production using air microbubbles: Microstructure and physical properties*. Materials Letters, 2020. **260**: p. 126916.

25. Ariff, Z.M., et al., *Effectiveness of microwave processing approach and green blowing agents usage in foaming natural rubber*. Journal of Materials Research and Technology, 2020. **9**(5): p. 9929-9940.
26. Tang, J. and F. Resurreccion Jr, *Electromagnetic basis of microwave heating*, in *Development of packaging and products for use in microwave ovens*. 2009, Elsevier. p. 3-38e.
27. Zauzi, N.A., Z. Ariff, and S. Khimi, *Foamability of natural rubber via microwave assisted foaming with azodicarbonamide (ADC) as blowing agent*. Materials Today: Proceedings, 2019. **17**: p. 1001-1007.
28. Jitkokkrud, K., et al. *Effect of Foaming Time and Speed on Morphology and Mechanical Properties of Natural Rubber Latex Foam Vulcanized by Microwave Heating*. in *Proceedings of the SUT International Virtual Conference on Science and Technology*. 2021.
29. Song, X., et al. *Study on the cushion performance of the cushion material composed of EPE and corrugated paperboard*. in *Applied Sciences in Graphic Communication and Packaging: Proceedings of 2017 49th Conference of the International Circle of Educational Institutes for Graphic Arts Technology and Management & 8th China Academic Conference on Printing and Packaging*. 2018. Springer.
30. Jitkokkrud, K., et al., *Effects of bamboo leaf fiber content on cushion performance and biodegradability of natural rubber latex foam composites*. Polymers, 2023. **15**(3): p. 654.
31. Chaiwong, S., et al., *Vibration damage in guava during simulated transportation assessed by digital image analysis using response surface methodology*. Postharvest Biology and Technology, 2021. **181**: p. 111641.
32. Commission, E., *Commission Regulation (EU) No 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food*. Off. J. Eur. Union, 2011. **12**: p. 1-89.
33. Saengwong-ngam, R., et al., *Cushion performance of eco-friendly natural rubber latex foam composite with bamboo leaf fiber for impact protection of guava*. Postharvest Biology and Technology, 2024. **208**: p. 112663.

ภาคผนวก

แบบสำรวจความพึงพอใจ/ความเห็นสำหรับวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด

คำชี้แจง: โปรดใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องข้อความต่อไปนี้ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลเชิงประชากร

1. เพศ
☐ ชาย ☐ หญิง ☐ อื่นๆ / ไม่ระบุ
2. อายุ
☐ ต่ำกว่า 25 ☐ 25-35 ปี ☐ 36-45 ปี
☐ 46-55 ปี ☐ 56-65 ปี ☐ มากกว่า 65 ปี
3. อาชีพ
☐ ข้าราชการ ☐ พนักงานเอกชน ☐ ธุรกิจส่วนตัว
☐ นักเรียน/นักศึกษา ☐ พ่อค้า/แม่ค้า ☐ เกษตรกร
☐ อื่นๆ
4. ระดับการศึกษาสูงสุด
☐ น้อยกว่าปริญญาตรี ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท
☐ ปริญญาเอก ☐ อื่นๆ
5. รายได้ต่อเดือนโดยเฉลี่ย
☐ ยังไม่มีรายได้ ☐ ต่ำกว่า 10,000 บาท
☐ 10,001-20,000 บาท ☐ 20,001-30,000 บาท
☐ 30,001-40,000 บาท ☐ มากกว่า 40,000 บาท
☐ ไม่ประสงค์ที่จะตอบ

ส่วนที่ 2 : พฤติกรรมการเลือกซื้อสินค้าโฟมกันกระแทก

*** สามารถเลือกตอบได้มากกว่า 1 ข้อ

1. ท่านเคยใช้โฟมกันกระแทกสำหรับใช้กับผลิตผลสด/ผลไม้รูปแบบใดบ้าง

- | | |
|--|--|
| ☐ โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam)
 | ☐ ถาดโฟม (Foam tray)
 |
| ☐ ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container)
 | ☐ กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box)
 |
| ☐ แอร์บับเบิล (Air bubble)
 | ☐ อื่นๆ
.....
..... |

2. ท่านคิดว่าวัสดุกันกระแทกแบบใดเหมาะสมกับการนำไปใช้กับผลิตผลสด/ผลไม้

- ☐ โฟมตาข่าย (Expanded polyethylene foam: EPE foam)
☐ ถาดโฟม (Foam tray)
☐ ถาดเยื่อไม้ (Fiber shell container)
☐ กล่องลูกฟูก (Corrugated fruit box)
☐ แอร์บับเบิล (Air bubble)
☐ อื่นๆ (ระบุ))

ส่วนที่ 3 : ความพึงพอใจต่อโฟมกันกระแทกจากน้ำยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับโฟมทางการค้า (EPE foam) ที่ใช้กับผลิตผลสด/ผลไม้

1. ท่านชอบโฟมตาข่ายกันกระแทกแบบใดมากกว่า
☐ โฟมทางการค้า (EPE foam) ☐ โฟมยางธรรมชาติ



2. ความคิดเห็น/ความพึงพอใจ ระดับใด เมื่อเห็นโฟมกันกระแทกที่ผลิตจากยางธรรมชาติ (ระดับ 5: พอใจมากที่สุด)
☐ ระดับ 1 ☐ ระดับ 2 ☐ ระดับ 3
☐ ระดับ 4 ☐ ระดับ 5
3. ท่านมีความสนใจเกี่ยวกับวัสดุกันกระแทกที่ผลิตจากยางธรรมชาติในด้านใด (สามารถเลือกคำตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
☐ รูปลักษณ์/รูปทรง
☐ ผิวสัมผัส
☐ สีของผลิตภัณฑ์
☐ อื่นๆ
4. หากท่านต้องเลือกใช้ ท่านต้องการเลือกใช้โฟมชนิดใดมากกว่า
☐ โฟมทางการค้า (EPE foam)
☐ โฟมจากยางธรรมชาติ
☐ อื่นๆ
5. ถ้ามีวัสดุผลิตจากวัสดุธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสามารถย่อยสลายได้เร็วกว่าโฟมทางการค้า (EPE foam) แต่ราคาเพิ่มขึ้น ท่านสนใจที่จะเลือกซื้อหรือไม่ (เดิมราคา 0.5 บาท/ชิ้น)
☐ ไม่สนใจ ☐ เฉยๆ ☐ สนใจ
☐ สนใจมาก
6. ถ้าหากโฟมที่ผลิตจากยางธรรมชาติ ที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้สินค้ามีราคาเพิ่มขึ้นขึ้นละ 2-3 บาท ท่านยังจะเลือกซื้อสินค้านี้อยู่หรือไม่
☐ ซื้อ ☐ ไม่ซื้อ
7. หากท่านสนใจ ท่านสามารถยอมรับราคาที่สูงขึ้นได้มากที่สุดกี่เท่าที่ท่านสามารถยอมรับได้
☐ 2 เท่า (1 บาท) ☐ 3 เท่า (1.5 บาท) ☐ 4 เท่า (2 บาท)
☐ 5 เท่า (2.5 บาท) ☐ 10 เท่า (5 บาท) ☐ อื่นๆ.....

ส่วนที่ 4 : แสดงความคิดเห็น/ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....



รูปภาพแสดงบรรยากาศในการเก็บข้อมูลความพึงพอใจสำหรับวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด ณ จังหวัดเชียงใหม่



รูปภาพแสดงบรรยากาศในการเก็บข้อมูลสำหรับวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตผลสด ร่วมกับผู้ประกอบการ การนำไปใช้งานจริงกับผลิตผลสด

ประวัติคณะวิจัย

หัวหน้าโครงการฯ

นางสาวตติยา ตรงสถิตกุล ดำรงตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์) มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2543 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2546 และ Doctor of Philosophy (Plastics Engineering) University of Massachusetts Lowell มลรัฐแมสซาชูเซตส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา พ.ศ. 2556 สาขาวิชาที่มีความสนใจ พอลิเมอร์สำหรับงานบรรจุภัณฑ์ (Polymer packaging) พอลิเมอร์ฉลาด (Smart Polymer) พอลิเมอร์ผสมและคอมโพสิต (Polymer Blends and Composites) และพอลิเมอร์เพื่อความยั่งยืน (Polymer for sustainability) มีผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารระดับนานาชาติ รวมทั้งผลงานทางวิชาการ ประกอบด้วย บทความทางวิชาการ 29 บทความ

ผู้ช่วยวิจัย

นางสาวเกวณีน จิตรโคกกรวด ตำแหน่งนักวิจัยเต็มเวลา (Full-time Researcher) สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมพอลิเมอร์) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พ.ศ. 2561 และวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมวัสดุ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พ.ศ. 2565 สาขาที่มีความสนใจเกี่ยวกับการขึ้นรูปและทดสอบสมบัติเกี่ยวกับพอลิเมอร์ รวมถึงพัฒนาวัสดุที่มีความยั่งยืน มีผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารระดับนานาชาติ 4 บทความ