ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร	พัฒนาผลิตภัณฑ์
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกเพื่อการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้

Development of Cushioning Material from Waste Corrugated Paper for Nam Dok Mai Mango (*Mangifera indica Linn.*) Distribution

นามผู้วิจัย นางสาวนิรมล วิระเทพสุภรณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิษฐิดา จันทราพรชัย, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์วิชัย หฤทัยธนาสันติ์, M.Sc.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ้งชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... **เดือน**..... **พ.ศ.**.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกเพื่อการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้

Development of Cushioning Material from Waste Corrugated Paper for Nam Dok Mai Mango (*Mangifera indica Linn.*) Distribution

โดย

นางสาวนิรมล วิระเทพสุภรณ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)
พ.ศ. 2551

นิรมล วิระเทพสุภรณ์ 2551: การพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกเพื่อการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิษฐิดา จันทราพรชัย, Ph.D. 106 หน้า

การศึกษานี้ มีเป้าหมายในการพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกเพื่อใช้ในกระบวนการขนส่งมะม่วงทดแทนวัสดุกันกระแทกจากโฟม ผลการสำรวจพบว่าผู้ใช้วัสดุกันกระแทกต้องการวัสดุที่มีราคาถูก สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ สามารถป้องกันการช้ำของมะม่วงได้ภายหลังการบรรจุ การขนส่งเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษา ผลจากการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำ (1:200, 1:150, 1:100 และ 1:50) และระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษ (15, 30, 45 และ 60 นาที) ต่อคุณภาพของเยื่อกระดาษ และคุณภาพของวัสดุกันกระแทก สรุปได้ว่าเมื่ออัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มมากขึ้น และเมื่อระยะเวลาในการตีเยื่อเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปริมาณผลผลิตลดลง โดยเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำอัตราส่วน 1:50 ระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษนาน 30 นาที จะให้ปริมาณผลผลิต ร้อยละ 90.29 และพบว่าเมื่ออัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำและระยะเวลาในการตีเยื่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าดัชนีต้านทานแรงดึงและค่าดัชนีต้านทานแรงฉีกของแผ่นกระดาษเพิ่มมากขึ้น โดยแผ่นกระดาษจากเยื่อที่มีอัตราส่วน 1:50 ระยะเวลาในการตีเยื่อนาน 60 นาที จะมีค่าดัชนีต้านทานแรงดึงเท่ากับ 2.22 นิวตันเมตรต่อกรัม และมีค่าดัชนีต้านทานแรงฉีกเท่ากับ 23.84 มิลลินิวตันตารางเมตรต่อกรัม วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ใช้ระยะเวลาในการตีเยื่อนาน 30 นาทีและมีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพในการป้องกันแรงกระทำเชิงกลต่อมะม่วงระหว่างการขนส่งได้ไม่แตกต่างจากวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ใช้ระยะเวลาในการตีเยื่อนาน 45 และ 60 นาที และไม่แตกต่างจากโฟมตาข่าย และเมื่อห่อมะม่วงโดยสัมผัสมะม่วงกับผิวหน้าด้านเรียบของแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ใช้ระยะเวลาในการตีเยื่อนาน 30 นาทีและมีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 เซนติเมตร พบว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันแรงกระทำเชิงกลต่อมะม่วงระหว่างการขนส่งได้ดีกว่าโฟมตาข่าย การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษกระดาษลูกฟูก โดยนำไปผลิตเป็นวัสดุกันกระแทกเพื่อทดแทนโฟมตาข่าย

_____ _____ ___/___/___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Niramol Wirathepsuporn 2008: Development of Cushioning Material from Waste Corrugated Paper for Nam Dok Mai Mango (*Mangifera indica Linn.*) Distribution. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Assistant Professor Withida Chantrapornchai, Ph.D. 106 pages.

Aim of this study was to develop cushioning material from waste corrugated paper to replace net foam for distribution of mango. The results showed that cushioning user wanted inexpensive and reusable cushioning material as well as providing protection for mango from mechanical damage after packing, during transportation and storage. The study of effect of waste corrugated paper to water ratios (1: 200, 1:150, 1:100 and 1:50) and pulping time (15, 30, 45 and 60 minutes) on the quality of cushioning material from waste corrugated paper showed that as the ratio of waste corrugated paper to water increased the yield increased, while as the pulping time increased the yield decreased. At the ratio of waste corrugated paper to water of 1:50 and 30 minutes of pulping time resulted in 90.29% yield. The quality of formed paper showed that higher ratio of waste paper to water and longer pulping time resulted in higher tensile and tearing index. The quality of formed paper at ratio of 1: 50 and pulping time of 60 minutes had the tensile index of 2.22 Nm/g and the tearing index of 23.84 mNm^2/g. The developed cushioning material from waste corrugated paper at pulping time of 30 minutes and cushion bubble height of 0.25 centimeter was not different from those of 45, 60 minutes and net foam when used as cushioning materials for mango distribution. When mango was wrapped (smooth-side in) by developed cushioning material with pulping time of 30 minutes and cushion bubble height of 0.25 centimeter, it showed better protection efficiency than that of net foam. This study reveals that there are potential of value added of waste corrugated paper into cushioning material to replace net foam.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษฐิดา จันทราพรชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำแนะนำ ความรู้ ความดูแลเอาใจใส่ และให้โอกาสข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วิชัย หฤทัยธนาสันติ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญขวัญ ชมปรีดา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ความรู้ และเอื้อเฟื้ออุปกรณ์สำหรับงานวิจัย และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. หทัยรัตน์ ริมคีรี ประธานการสอบ และรองศาสตราจารย์ ดร. สุนทรี สุวรรณสิชณ์ ผู้ทรงคุณวุฒิ
ภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบริษัท สยามบรรจุภัณฑ์ จำกัด จังหวัดปทุมธานี ที่เอื้อเฟื้อเศษกระดาษลูกฟูกสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ อ. วุฒินันท์ คงทัด ที่กรุณาได้ให้คำปรึกษาและแนะนำระหว่างการดำเนินงานวิจัย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่ให้การสนับสนุนงบประมาณและบริการรถในการขนย้ายเศษกระดาษลูกฟูกและมะม่วง โรงงานต้นแบบหน่วยเทคโนโลยีกระดาษและผลิตภัณฑ์พื้นบ้าน และหน่วยเยื่อกระดาษและเส้นใยธรรมชาติ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน ตลอดจนเพื่อนๆทุกคน ที่ช่วยเหลือในการปฏิบัติงาน คำแนะนำ คำปรึกษา และกำลังใจ จนงานสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณครอบครัว วิระเทพสุภรณ์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม สำหรับความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดเพื่อสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นิรมล วิระเทพสุภรณ์
กันยายน 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	34
อุปกรณ์	34
วิธีการ	36
ผลและวิจารณ์	47
สรุปและข้อเสนอแนะ	76
สรุป	76
ข้อเสนอแนะ	77
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	78
ภาคผนวก	87
ภาคผนวก ก การทำสัมภาษณ์เชิงลึก (Depth interview)	88
ภาคผนวก ข การคำนวณหาพื้นที่ผิวและปริมาณเยื่อที่ต้องใช้กับวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก	93
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพ	96
ภาคผนวก ง อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตทำกระดาษและวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก	100
ภาคผนวก จ เครื่องมือในการทดสอบกระดาษ	104
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	106

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สภาวะการเก็บตัวอย่างของประเทศต่างๆ	29
2	สิ่งทดลองที่ใช้ศึกษาความสามารถในการกันกระแทกระหว่างการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้ของวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก	41
3	สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาวิธีใช้แผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาได้เพื่อกันกระแทกมะม่วงในระหว่างการขนส่ง	45
4	สรุปผลการสำรวจและรวบรวมข้อมูลวัสดุกันกระแทกและการตลาดสำหรับการขนส่งผลไม้ของผู้ใช้วัสดุกันกระแทกจากการทำการสัมภาษณ์เชิงลึก (Depth interview)	48
5	ปริมาณผลผลิตของเยื่อที่แช่น้ำในระยะเวลาที่แตกต่างกัน	53
6	อิทธิพลของอัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำ และระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษต่อคุณสมบัติของเยื่อ	54
7	ค่าคุณภาพของเยื่อและกระดาษจากเศษกระดาษลูกฟูกที่อัตราส่วนและระยะเวลาในการตีเยื่อที่แตกต่างกัน	55
8	ค่าคุณภาพของเยื่อแห้งที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส	59
9	ลักษณะปรากฏของวัสดุกันกระแทกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทกและระยะเวลาในการตีเยื่อแตกต่างกัน	60
10	ค่าคุณภาพของวัสดุกันกระแทกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทกและระยะเวลาในการตีเยื่อแตกต่างกัน	61
11	อิทธิพลของระยะเวลาในการตีเยื่อและความสูงของปุ่มกันกระแทกของแผ่นวัสดุกันกระแทกต่อความสามารถในการกันกระแทกระหว่างการขนส่ง	63
12	ปริมาณความช้ำรวมและการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน	63
13	ปริมาณความช้ำรวมและการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน	73

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรรมวิธีการเตรียมเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูก	37
2	ขั้นตอนการผลิตและวัดค่ากระดาษรีไซเคิล	39
3	ขั้นตอนการพัฒนาแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกและศึกษาคุณภาพ	42
4	ขั้นตอนศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการตีเยื่อและความสูงของปุ่มกันกระแทกของแผ่นวัสดุกันกระแทกต่อความสามารถในการกันกระแทกระหว่างการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้	43
5	การเก็บรักษาสิ่งทดลองหลังการขนส่งที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการตีเยื่อและความสูงของปุ่มกันกระแทกของแผ่นวัสดุกันกระแทกที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส)	44
6	การเก็บรักษาสิ่งทดลองหลังการขนส่งเพื่อศึกษาวิธีใช้แผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาได้ที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส)	45
7	ตัวอย่างกลุ่มประชากรผู้ใช้วัสดุกันกระแทก	50
8	ตัวอย่างวัสดุกันกระแทกของผลไม้ที่ใช้ภายในประเทศ	51
9	ตัวอย่างวัสดุกันกระแทกของผลไม้ที่ใช้นำเข้าและส่งออกนอกประเทศ	51
10	แนวความคิดผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปพัฒนาวัสดุกันกระแทกเพื่อการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้	52
11	ลักษณะปรากฏของเยื่อกระดาษที่อัตราส่วน (เศษกระดาษลูกฟูก : น้ำ) 1: 50 ที่ผ่านระยะเวลาในการตีเยื่อแตกต่างกัน	56
12	ระยะเวลาในการทำแห้งเยื่อกระดาษที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส	58
13	ปริมาณความช้ำรวมของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการทดสอบขนส่งจริงเป็นเวลา 5 วัน	62
14	การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการทดสอบขนส่งจริงเป็นเวลา 5 วัน	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

15 ปริมาณความชื้นรวมของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการทดสอบขนส่งจริงเป็นเวลา 5 วัน 71
16 การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการทดสอบขนส่งเป็นเวลา 5 วัน 74

ภาพผนวกที่

ง1 ลักษณะปรากฏของเศษกระดาษลูกฟูก 101
ง2 เครื่องตีเยื่อแบบฮอแลนด์เดอร์ กำลังการผลิต 5 กิโลกรัม 101
ง3 ตะแกรงที่ใช้ในการขึ้นรูปกระดาษรีไซเคิลจากเศษกระดาษลูกฟูก 101
ง4 ลักษณะปรากฏของกระดาษรีไซเคิลจากเศษกระดาษลูกฟูก 102
ง5 ตะแกรงที่ใช้ในการขึ้นรูปวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก 102
ง6 ลักษณะปรากฏของวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก 102
ง7 การอบเยื่อที่เตรียมจากเศษกระดาษลูกฟูก 103
ง8 การอบแห้งกระดาษและวัสดุกันกระแทก 103
จ9 เครื่องวัดความต้านทานแรงดึง 105
จ10 เครื่องวัดความต้านทานแรงฉีกขาด 105
จ11 เครื่องชั่งน้ำหนักสามตำแหน่ง 105

การพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกเพื่อการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้

Development of Cushioning Material from Waste Corrugated Paper for Nam Dok Mai Mango (*Mangifera indica Linn.*) Distribution

คำนำ

ในปัจจุบันมีการนำเศษกระดาษหมุนเวียนกลับมาใช้ประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษ เพราะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งในช่วง 8 เดือนแรกของปี พ.ศ. 2550 ประเทศไทยมีการนำเศษกระดาษกลับมาใช้ใหม่ถึง 684,875 ตัน (ฝ่ายวิจัยธนาคารนครหลวงไทย, 2550) โดยเศษที่เหลือจากการตัดริมของกระดาษชนิดดีจากโรงงานผลิตกระดาษโดยตรง (pre-consumer waste paper) เป็นเศษกระดาษที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับเยื่อบริสุทธิ์และไม่มีการปนเปื้อนของหมึกพิมพ์และสิ่งสกปรกอื่นๆ หรืออาจเป็นเศษที่รวบรวมจากกระดาษที่มีคุณภาพสูง ซึ่งเหมาะสำหรับนำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์อาหาร (อมรรัตน์, 2551)

มะม่วง (*Mangifera indica L.*) เป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย มีการปลูกทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ อีกทั้งยังเป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั่วโลก ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกมะม่วงสำคัญโดยในเดือนมกราคมถึงตุลาคม พ.ศ. 2550 ประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกมะม่วงสดแช่เย็น 249.49 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2550) แต่ปัญหาสำคัญ ที่มักประสบในการส่งออกคือ ผลิตผลมีรอยช้ำจากแรงกระทำเชิงกลหลังการเก็บเกี่ยวและการขนส่ง ทำให้เนื้อเยื่อบริเวณใต้ผิวของผลไม้ถูกทำลายเกิดสีน้ำตาล (Yen, 1993; Bollen *et al*.,1999) เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส สี กลิ่น ดังนั้น การเสื่อมเสียที่เกิดจากแรงกระทำทั้งการกดทับ การกระแทก การสั่นสะเทือนและการเสียดสีในระหว่างการขนส่ง จึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้คุณภาพและความสดของผลไม้ลดลง (Brusewitz and Bartsh, 1989; Hung and Russia, 1989; Gracia *et al.* ,1995) การเลือกใช้ภาชนะบรรจุให้เหมาะสมจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะปกป้องการเสื่อมเสียคุณภาพของผลไม้จากแรงกระทำเชิงกลในระหว่างการขนส่งได้ แม้บรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับผลไม้สดหรือโฟมตาข่าย จะมีประโยชน์มากมาย แต่ขณะเดียวกันก็ก่อให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน เนื่องจากบรรจุภัณฑ์จะเปลี่ยนเป็นขยะทันทีหลังจากสินค้าถูกบริโภค จึงควรเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (recycle) เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ผลิตภัณฑ์กระดาษเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ได้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้ จึงมีเป้าหมายในการพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกเพื่อใช้ในกระบวนการขนส่งมะม่วงเพื่อทดแทนผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ย่อยสลายยาก

วัตถุประสงค์

1. สำรวจและรวบรวมข้อมูลวัสดุกันกระแทกและการตลาดสำหรับการขนส่งผลไม้สด

2. ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำ และระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษต่อคุณภาพของเยื่อกระดาษ

3. พัฒนาวัสดุกันกระแทกที่ได้จากเศษกระดาษลูกฟูก

4. การศึกษาวิธีใช้แผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาได้เพื่อกันกระแทกมะม่วงในระหว่างการขนส่ง

การตรวจเอกสาร

1. ศักยภาพของผลไม้ไทยในการส่งออก

ไม้ผลของประเทศไทยเป็นไม้ผลเมืองร้อน ผลผลิตส่วนใหญ่ใช้บริโภคในประเทศ อย่างไรก็ตามชื่อเสียงของผลไม้เมืองร้อนของไทยนั้นเป็นที่รู้จักกันดีในต่างประเทศโดยเฉพาะเอกลักษณ์ในด้านรสชาติ ทำให้ไทยมีโอกาสสูงมากในการขยายตลาดส่งออก ตั้งแต่แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 8 มีการกำหนดไม้ผลหลัก 7 ชนิด ได้แก่ ทุเรียน ส้มโอ สับปะรด ลำไย มังคุด มะม่วง และส้มเขียวหวาน เป็นสินค้าพืชสวนที่มีศักยภาพในการพัฒนาและมีลู่ทางการตลาด ในช่วงระยะ 5 ปีที่ผ่านมามูลค่าการส่งออกไม้ผลของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จาก 204.58 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯในปี 2544 เป็น 308.85 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯในปี 2548 โดยมีอัตราการขยายตัวของการส่งออกเฉลี่ยร้อยละ 10.2 ต่อปี ในช่วง 9 เดือนแรกของปี 2549 มูลค่าการส่งออกไม้ผลของไทยเท่ากับ 281.84 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ (ประมาณ 10,817.06 ล้านบาท) ปัจจัยหนุนสำคัญในการขยายการส่งออกคือการเปิดเขตการค้าเสรีกับจีน ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2549)

แม้ว่าผลไม้ของไทยจะมีศักยภาพในการพัฒนาและส่งออก แต่ในกระบวนการผลิตก็ยังมีปัญหาและอุปสรรคที่ต้องแก้ไข กล่าวคือ ผลผลิตมีคุณภาพต่ำ ปริมาณผลผลิตไม่สม่ำเสมอไม่สอดคล้องกับความต้องการของตลาด เทคโนโลยีการผลิตยังไม่ถูกต้องและเหมาะสม และวิธีการปฏิบัติและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวไม่เหมาะสม ไม้ผลที่ผลิตได้ในประเทศไทยส่วนมากจัดเป็นไม้ผลเมืองร้อน ซึ่งมีลักษณะร่วมคล้ายคลึงกันอย่างหนึ่งคือ เป็นผลผลิตที่ค่อนข้างบอบบาง เน่าเสียได้ง่าย (จริงแท้, 2549) และให้ผลผลิตเป็นฤดูกาล

มะม่วงเป็นผลไม้ในเขตร้อนเหมาะสมต่อการเพาะปลูกในสภาวะอากาศของประเทศไทย มะม่วง กรมส่งเสริมการเกษตรคาดการณ์ว่าจะมีการเพิ่มพื้นที่การปลูกไม้ผลมากขึ้นเนื่องจากผลผลิตของมะม่วงในปี 2547 เพิ่มขึ้นจาก 1.876 ล้านตัน ไปเป็น 2.093 ล้านตัน ในปี 2549 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2550) มะม่วง (*Mangifera Indica Linn.*) จัดอยู่ในวงศ์ Anacardiceae ซึ่งเป็นผลไม้พื้นเมืองของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และเอเชียใต้ มะม่วงเป็นผลไม้ที่สำคัญทางเศรษฐกิจของหลายประเทศ ประเทศอินเดียเป็นประเทศผู้ผลิตมะม่วงรายใหญ่ที่สุดในโลก ซึ่งมีกำลังการ

ผลิตประมาณร้อยละ 60 ของการผลิตมะม่วงทั้งโลก และประเทศอื่นๆ ที่ผลิตมะม่วงคือ เม็กซิโก ปากีสถาน อินโดนีเซีย จีน ไทย บราซิล ฟิลิปปิน และไฮติ (Somogyi *et al.*, 1996)

มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีเมล็ดขนาดใหญ่ ลักษณะเนื้อของมะม่วงจะประกอบด้วยเส้นใย (fiber) (Athey and Ashurst, 1996) องค์ประกอบของมะม่วง 1 ผล ประกอบด้วยส่วนที่สามารถบริโภคได้ร้อยละ 55-57 เมล็ดร้อยละ 7-23 และเปลือกร้อยละ 8-22 (Jagtiani *et al*., 1988)

มะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric fruit ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีแสดงการสุกโดย อัตราการหายใจและการเปลี่ยนแปลงความร้อนภายในผล จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ปริมาณก๊าซเอทิลีนเพิ่มขึ้น และผลไม้จะมีเนื้อสัมผัสนิ่ม ผลไม้มักมีการเก็บรักษาแป้งในผลเมื่ออยู่ในระยะclimacteric แป้งที่เก็บรักษาในผลจะถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์ที่ย่อยสลายแป้ง (starch-degrading) และ กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic) ซึ่งจะเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาล

1.1 พันธุ์มะม่วง (ภูวนาถ, 2545)

มะม่วงที่ปลูกกันอยู่ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะถิ่นกำเนิดและการกระจายพันธุ์ ดังนี้

1.1.1 มะม่วงกลุ่มอินเดีย เป็นมะม่วงที่มีถิ่นกำเนิดทางตอนเหนือของประเทศอินเดีย ปากีสถาน และมีปลูกมากในรัฐฟอริดา สหรัฐอเมริกา แม็กซิโก มีลักษณะเด่นคือ เมล็ดที่เพาะจะได้ต้นกล้า 1 ต้นต่อ 1 เมล็ด ต้นกล้านั้นจะกลายพันธุ์ไม่ตรงกับต้นแม่ เพราะเป็นลูกผสมผลของมะม่วงในกลุ่มนี้มีสีสันสะดุดตา เช่น สีแดง สีม่วงส้ม มีกลิ่นขี้ไต้แรง และต้องการช่วงแล้งก่อนออกดอก พันธุ์ที่พบบ้างในประเทศไทย คือ พันธุ์เคนท์ ผลสุกลักษณะคล้ายแอปเปิ้ล ไม่ค่อยนิยมบริโภค

1.1.2 มะม่วงกลุ่มอินโดจีน เป็นมะม่วงของประเทศแถบอินโดจีนและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ไทย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย เมื่อนำเมล็ดมาเพาะจะให้ต้นกล้ามากกว่า 1 ต้นต่อเมล็ด ส่วนมากต้นกล้าที่เพาะได้จะตรงกับพันธุ์เดิม มะม่วงในกลุ่มนี้มีผลสีเขียวหรือเหลือง เนื้อผลมีกลิ่นไม่แรง มีช่วงพักตัวก่อนออกดอกสั้นกว่ามะม่วงอินเดีย

1.2 มะม่วงน้ำดอกไม้ (ภูวนาถ, 2545)

1.2 มะม่วงน้ำดอกไม้ (ภูวนาถ, 2545)

มะม่วงน้ำดอกไม้เป็นมะม่วงรับประทานสุกที่มีผู้นิยมปลูกกันมาก มีการเจริญเติบโตดี ใบใหญ่เป็นคลื่น ทรงพุ่ม โปร่ง ส่วนมากมีนิสัยในการออกดอกทะวาย ออกดอกดก มีการติดผลปานกลางและให้ผลทุกปี ผลมีขนาดใหญ่ หนักประมาณ 400 กรัม ผลอ้วนเกือบกลม หัวใหญ่ปลายแหลม ผลค่อนข้างยาว เนื้อมาก เมล็ดเล็ก ผิวบาง เมื่อดิบมีรสเปรี้ยว ผิวสีเขียวนวล เนื้อแน่น เมื่อสุกผิวสีเหลือง เนื้อสีเหลือง มีกลิ่นหอม ลักษณะของเนื้อละเอียดมีเสี้ยนค่อนข้างน้อยจากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้มะม่วงน้ำดอกไม้สุกเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศมาก โดยตลาดภายในประเทศ เกษตรกรจะนำผลผลิตไปจำหน่ายยังตลาดท้องถิ่น ตลาดกลางในกรุงเทพ ฯ หรือพ่อค้าคนกลาง ซึ่งจะคอยรับซื้อรวบรวมไปสู่ตลาดกลางอีกครั้งหนึ่ง นอกจากนั้นการขายเหมาสวนหรือเหมาต้นก็ยังมีบ้างเพียงเล็กน้อย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2537) ส่วนตลาดต่างประเทศมีประเทศผู้นำเข้ามะม่วงสดจากประเทศไทย ได้แก่ ประเทศในยุโรป เช่น เยอรมันตะวันตก เนเธอร์แลนด์ ฝรั่งเศส ตะวันออกกลาง มาเลเซีย สิงคโปร์ ฮ่องกง ไต้หวัน ญี่ปุ่น (เฉลิมชัย, 2542)

2. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวและการขนส่ง

2.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

การสูญเสียคุณภาพของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพเนื่องจากสภาวะทางกายภาพ ทางเคมีโดยปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายใน หรือเนื่องมาจากแรงกระทำภายนอก (ทนง, 2526) หลังจากการเก็บเกี่ยว ผลไม้จะเริ่มเสื่อมสภาพ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เช่น การหายใจ การผลิตเอทิลีน เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล กรดอินทรีย์ วิตามิน เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหายใจที่ส่งผลให้เกิดการคายน้ำ ความแน่นเนื้อของมะม่วงลดลง การเปลี่ยนสีผิวและเนื้อของผลเนื่องจากการสูญเสียสารให้สี (pigments) (ดวงพร, 2548)

2.1.1 อัตราการหายใจ (respiration rate) และการผลิตเอทิลีน (ethylene)

การหายใจ (respiration) เป็นกระบวนการเผาผลาญสารประกอบ แป้ง น้ำตาล กรดอินทรีย์ ซึ่งผลที่ได้จากการหายใจ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ พร้อมทั้งพลังงานสำหรับการทำงานของเซลล์ การหายใจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น ผลอ่อนนุ่ม ผลสุก สีของผลเปลี่ยนแปลง มีการสร้างสารที่มีกลิ่น และรสชาติของผลเปลี่ยนแปลงไป สามารถจำแนกผักและผลไม้ตามลักษณะการหายใจ ออกเป็น 2 ชนิด คือ climacteric และ non – climacteric (Thompson,1996 ; Susana *et al.*, 2002) climacteric fruit มีอัตราการหายใจสูงในช่วงระยะการเจริญเติบโต ขณะที่ผลไม้เริ่มสุกการหายใจเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดขึ้นก่อนหรือหลังการสุก ขึ้นอยู่กับชนิดผลไม้ และมีการปล่อยก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ออกมาขณะสุก (Susana *et al.*, 2002) non – climacteric fruit มีอัตราการหายใจสูงที่สุดในช่วงเจริญเติบโตและลดลงอย่างคงที่จนกระทั่งแก่ รูปแบบการหายใจของผลไม้แบ่งได้ 4 ระยะ ดังนี้ (Subramanyam *et al.*, 1975)

ก. Pre-climacteric ในระยะนี้มีอัตราการหายใจต่ำ ผลยังมีสีเขียวและเนื้อแข็ง เกิดขึ้น 3 วันหลังจากการเก็บเกี่ยว

ข. Climacteric rise ระยะที่อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลยังมีเนื้อแข็ง ระยะนี้เกิดขึ้นภายใน 2-5 วัน ภายหลังการเก็บเกี่ยว

ค. Climacteric peak (CP) เป็นระยะที่ผลมีอัตราการหายใจสูงที่สุด ผลเริ่มเปลี่ยนสี ผลเริ่มนิ่มและมีกลิ่น ระยะนี้เกิดประมาณ 6-10 วันภายหลังการเก็บเกี่ยว

ง. Post-climacteric เป็นระยะที่อัตราการหายใจเริ่มลดลง เนื้อเริ่มนิ่ม ผลมีสีกลิ่น และรสชาติที่เหมาะกับการรับประทานสุก ระยะนี้เกิดขึ้นหลังจากวันที่ 10 ภายหลังการเก็บเกี่ยว

มะม่วงจัดได้ว่าเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจสูงเช่นเดียวกับน้อยหน่าและหน่อไม้ฝรั่ง โดยมะม่วงมีอัตราการหายใจสูงสุด 100-200 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การควบคุมให้อัตราการหายใจของมะม่วงลดลงจะเป็นผลดีต่ออายุการเก็บที่ยาวนานขึ้นทำได้โดยการเก็บมะม่วงในอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม โดยทั่วไปจะอยู่ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85-90 จะสามารถเก็บรักษามะม่วงไว้ได้นาน 2-3 สัปดาห์ หรือการปรับสภาพบรรยากาศในห้องเก็บรักษาที่ควบคุมให้ปริมาณก๊าซ

ออกซิเจนลดลงและมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น และควรมีการควบคุมการระบายอากาศภายในภาชนะบรรจุหรือห้องเก็บรักษาไม่ให้มีการสะสมของความร้อนมากเกินไปก็จะช่วยลดอัตราการหายใจได้เช่นกัน (จริงแท้, 2544)

2.1.2 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (physical changes)

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ สามารถตรวจสอบได้ทางประสาทสัมผัส ซึ่งการเกิดการเปลี่ยนแปลงนี้จะลดคุณค่าของผักและผลไม้ มีผลต่อการยอมรับจากผู้บริโภค (Thompson, 1996) การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่

ก. การสูญเสียน้ำหนัก (weight loss)

การคายน้ำเป็นปัญหาสำคัญในการเก็บรักษาเนื่องจากทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ผลเหี่ยว สีผิวไม่สวย ทำให้การสุกผิดปกติ ระบบผิว (dermal system) ของพืช ซึ่ง ได้แก่ คิวติเคิล (cuticle), เซลล์ผิว (epidermal cell), ปากใบ(stomata), เลนติเซล (lenticel), ขน (trichome) และบาดแผลต่างๆ เป็นส่วนสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อการสูญเสียน้ำของผลิตผล ผักใบสูญเสียน้ำทางปากใบ มันฝรั่งสูญเสียน้ำทางเลนติเซล มะเขือเทศสูญเสียน้ำทางรอยขั้วผล นอกจากนั้นอัตราการคายน้ำยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรด้วยคือถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงผลิตผลนั้นจะสูญเสียน้ำง่าย เช่น ผักใบจะสูญเสียน้ำได้มากกว่าผลไม้ทำให้เกิดลักษณะใบเหี่ยว เงาะสูญเสียน้ำได้เร็วเพราะมีพื้นที่ผิวมาก สังเกตจากปลายขนจะกลายเป็นสีดำก่อน แม่ค้าจึงรดน้ำบ่อยๆ เพื่อเพิ่มความชื้น ลดอุณหภูมิ และลดการสูญเสียน้ำหนักของเงาะ อัตราการสูญเสียน้ำจากเนื้อเยื่อของพืชยังขึ้นอยู่กับความดันไอต่างระหว่างภายนอกและภายในเนื้อเยื่อ โดยถ้ามีความแตกต่างมากจะทำให้อัตราการสูญเสียน้ำมากดังนั้นความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศจึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำของผัก ผลไม้ นอกจากนั้น อุณหภูมิก็มีผลต่อการคายน้ำด้วยเช่นกัน เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ความดันไอของน้ำในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้นและขณะเดียวกันทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศลดลง จึงมีผลให้การคายน้ำของผัก ผลไม้เพิ่มขึ้น สุรพงษ์ (2529) กล่าวว่าการสูญเสียน้ำเกิดจากค่าความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำภายใน และภายนอกของผลมะม่วงการสูญเสียน้ำระหว่างร้อยละ 5-10 ของน้ำหนัก ทำให้ผลเหี่ยว ความแน่นเนื้อลดลง รสชาติไม่ดี (Peleg, 1985) การเก็บรักษามะม่วงในที่อุณหภูมิต่ำและความชื้นพอเหมาะ การเคลือบผิวด้วยขี้ผึ้งและการบรรจุหีบห่อที่มีประสิทธิภาพ ช่วยลดการสูญเสียที่เกิดจากการคายน้ำได้ (ปรรัตน์, 2544)

ข. ความแน่นเนื้อ (firmness)

การเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลไม้ในระหว่างการสุก ทำให้เนื้อผลไม้อ่อนตัวลง เนื่องจากเพคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ละลายเพิ่มมากขึ้น (Mitra and Baldwin, 1997) ความแน่นเนื้อ เป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่ถูกใช้ประเมินคุณภาพการสุกของผลไม้ ความแน่นเนื้อสัมพันธ์กับความสมบูรณ์ของการเจริญเติบโตทั่วๆไป ความแน่นเนื้อของผลไม้ลดลงทีละน้อยเมื่อโตเต็มที่ และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อสุก (Chen *et al*., 1996)

2.1.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี (biochemical changes)

การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเกิดจากปฏิกริยาของเอนไซม์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติของผักและผลไม้ เมื่อเก็บเกี่ยวแล้ว เอนไซม์ส่วนใหญ่ยังดำเนินไปตามปกติ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของผักและผลไม้ การเปลี่ยนแปลงบางชนิดอาจเป็นการเพิ่มคุณภาพผักและผลไม้ เช่น การสุก และบางชนิดทำให้คุณภาพลดลง เช่น การอ่อนตัวของเนื้อผลไม้ (ทนง, 2526)

ก. ปริมาณน้ำตาล (sugar content) ในผลไม้ประเภท climacteric ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตในรูปแป้ง แต่เมื่อสุก แป้งจะแตกตัวออกมาอยู่ในรูปน้ำตาล ดังนั้นการวัดปริมาณน้ำตาลสามารถบอกระดับความสุกได้ โดยวัดเป็นปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total soluble solids, TSS) หรือระดับความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายน้ำได้ (brix) ในเนื้อผลไม้แสดงถึงปริมาณน้ำตาลในผลไม้ (Thompson, 1996)

ข. ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity) ผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดเมื่อสุก โดยกรดที่อยู่ในมะม่วง ถูกวัดออกมาในรูปของกรดมาลิกหรือซิตริก มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้มีปริมาณกรดเพิ่มขึ้นในระยะแรกของการเจริญ และค่อยๆลดลงอย่างช้าๆเมื่อผลแก่ เนื่องจากผลไม้ใช้กรดบางส่วนเป็นสารตั้งต้นของกระบวนการหายใจ ดังนั้นเมื่อมะม่วงมีอายุมากขึ้น ความแน่นเนื้อ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ ปริมาณวิตามินซี มีค่าลดลงตลอดการสุก และเกิดการสูญเสียน้ำหนักของผล ขณะที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้น และเกิดการสะสมของแป้งในตัวมะม่วง (วันดี, 2539 ; Sornbubpar, 1990)

ค. การเปลี่ยนแปลงสีผิวและเนื้อ เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดและมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามแต่ละพันธุ์ เมื่อผลไม้เริ่มสุก คลอโรฟิลด์เริ่มสลายไป ซึ่งการสลายตัวนี้ถูกกระตุ้นจากการเกิดเอทิลีน เมื่อคลอโรฟิลด์ถูกทำลายจะเผยให้เห็นสีเหลืองของแคโรทีนอยด์ (carotenoid) เช่น การเปลี่ยนแปลงของสีผิวและสีเนื้อของมะม่วงจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองหรือสีส้ม ซึ่งประกอบไปด้วยเบต้าแคโรทีนอยด์ (ß - carotenoid) เป็นส่วนใหญ่ (กนกมลฑล 2529 ; สายชล, 2533) ปริมาณเบต้าแคโรทีน มีค่าต่ำมากในระยะแรกของการเจริญของผล และมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อผลไม้แก่จะผลิตสารระเหยซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของผลไม้แต่ละชนิดซึ่งผู้บริโภคสามารถใช้กลิ่นในการตรวจสอบความสุกของผลไม้ได้ (Thompson, 1996) โดยรสชาติของผลไม้สุกจะมีรสชาติเปลี่ยนไป ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแป้งที่สะสมไว้ เมื่อสุกจะถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็กๆจึงเกิดรสหวาน นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดมาลิค ทำให้ผลไม้ที่ดิบมีรสเปรี้ยว แต่เมื่อสุกมีรสหวานเกิดขึ้น (กนกมลฑล, 2529)

2.2 การเปลี่ยนแปลงของผลไม้เนื่องจากการขนส่ง

2.2.1 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงทางกล (mechanical damages)

ขณะเก็บเกี่ยว การคัดแยก การบรรจุ การเคลื่อนย้ายและการขนส่งหลังจากการเก็บเกี่ยวล้วนส่งผลให้เกิดแรงกระทำภายนอกต่อผลไม้ ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ (Brusewitz *et al*., 1991) โดยเฉพาะที่เห็นได้ชัดและพบกันมาก คือการเกิดความช้ำ เกิดจากเนื้อเยื่อถูกทำลายบริเวณเนื้อเยื่อใต้ผิวของผลไม้เกิดสีน้ำตาล (Yen, 1993; Bollen *et al*., 1999) ซึ่งเป็นต้นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส สี กลิ่น ดังนั้นการเสื่อมเสียโดยเกิดความช้ำเนื่องจากแรงกระทำเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้คุณภาพและความสดของผลไม้ลดลง (Brusewitz and Bartsh, 1989 ; Hung and Prussia, 1989 ; Gracia *et al*., 1995) ความช้ำที่เกิดขึ้น มีสาเหตุเนื่องมาจากการกดทับ (compression) การกระแทก (impact) และการสั่นสะเทือน (vibration) มักเกิดจากวิธีการบรรจุหีบห่อไม่เหมาะสมเกิดการสั่นสะเทือน และการเสียดสีในระหว่างการขนส่ง มีผลทำให้มะม่วงบอบช้ำได้ ความเสียหายจะรุนแรงมากขึ้นหากผิวถนนขรุขระหรือยานพาหนะไม่เหมาะสม ลักษณะที่เกิดขึ้นจากแรงกระทำภายนอก มีผลต่อความช้ำที่เกิดขึ้นตามลักษณะของแรงที่เข้ามากระทำ (มยุรี, 2532) แรงกระทำเชิงกลที่ทำให้เกิดความช้ำ ได้แก่

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงกระทบ (impact)

เป็นแรงจากการชน ตกกระทบ เนื่องจากการเก็บเกี่ยว เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บเกี่ยว การเคลื่อนย้ายบนสายพานลำเลียงผลไม้ หรือความบกพร่องของผู้ปฏิบัติ เช่น ภาชนะบรรจุตกหรือถูกโยน ส่งผลให้ผลไม้ที่บรรจุภายในเกิดการเคลื่อนที่กระทบกัน หรือกระแทกกับตัวภาชนะบรรจุ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดรอยช้ำ (Peleg, 1985 ; Hung and Prussia, 1989 ; Burdon, 1997) ความช้ำที่เกิดจากการชน (impact bruising) เป็นลักษณะความช้ำที่พบกันมาก เกิดจากแรงกระทบขณะเก็บเกี่ยวและเคลื่อนย้าย เป็นผลมาจากแรงที่กระทำอย่างรวดเร็ว แรงกระทบอาจเกิดจากผลไม้ผลหนึ่งกระทบกับอีกผลหนึ่งหรือตกลงบนพื้นผิวเรียบ เกิดขึ้นขณะทำการเก็บเกี่ยว การบรรจุ การขนส่งเคลื่อนย้าย (Niels *et al*., 1992 ; Hung and Prussia, 1989) ความเสียหายอาจพบที่ผิวนอกหรือด้านใน แต่การเปลี่ยนแปลงของสีและเนื้อเยื่อยังไม่ปรากฏให้เห็นทันทีที่แรงกระทบ ความช้ำค่อยๆ เกิดขึ้นภายหลัง ขณะเก็บรักษา (Yen, 1993 ; Thompson, 1996)

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงสั่นสะเทือน (vibration)

เป็นแรงที่เกิดจากการขนส่งและการเคลื่อนย้าย ซึ่งทำให้ผลไม้ภายในภาชนะบรรจุเกิดการเคลื่อนไหวตามแรงสั่นสะเทือนของพาหนะ การสั่นสะเทือนเปรียบเสมือนการกระแทกแต่เป็นการกระแทกที่มีการเคลื่อนย้ายด้วยระยะทางต่อหน่วยมิลลิเมตร เกิดบ่อยครั้งมาก มีหน่วยเป็น Hertz (Hz) (วสันต์, 2545) ความช้ำจากแรงสั่นสะเทือน เป็นผลมาจากแรงที่กระทำอย่างต่อเนื่อง ขณะขนส่งผลไม้สามารถเคลื่อนที่ไปมา ทำให้เกิดการกระแทกเสียดสีกันระหว่างผลิตภัณฑ์ด้วยกันเอง และผลิตภัณฑ์กับภาชนะบรรจุ ทำให้ผิวถลอกและเกิดรอยช้ำ (Peleg , 1985) ดังนั้นในการบรรจุควรให้แน่นพอดีเพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่

2.2.4 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงกดทับ (compression)

เป็นแรงที่เกิดจากการซ้อนทับของภาชนะบรรจุ พบการสูญเสียจากแรงกดทับมีมากเนื่องจากการบรรจุผลไม้ล้นภาชนะ เมื่อบรรจุมากเกินไปเกิดการอัดตัวแน่น โดยเฉพาะเมื่อต้องวางทับซ้อนกันขณะขนส่ง น้ำหนักของหน่วยที่อยู่ด้านบนกดลงมายังข้างล่าง ความช้ำจากแรงกดทับ (compression bruising) เกิดจากการซ้อนทับของภาชนะบรรจุ เป็นผลมาจากแรงคงที่ เนื่องจาก

การบรรจุผลิตภัณฑ์ซ้อนกัน การบรรจุที่มากเกิน (Niels *et al.*, 1992) ความช้ำจากการกดทับมองไม่เห็นเมื่อผลไม้ยังไม่สุก แต่จะเห็นได้ชัดเมื่อผลไม้สุกขึ้น ดังนั้นควรวางเรียงภาชนะเพียงชั้นเดียว หรือถ้าต้องการวางเรียงบนรถบรรทุกต้องมีไม้ขัดรองรับเพื่อให้ภาชนะชั้นล่างปลอดภัย

2.2.5 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงเสียดสี (abrasion)

เนื่องจากการบรรจุแน่นมากเกิน ทำให้ขณะขนส่งเกิดการเสียดสีซึ่งกันและกัน (ทนง, 2526) และทำให้ผิวผลไม้เกิดการถลอกและเกิดความช้ำ ผลไม้แต่ละชนิดมีความสามารถในการทนต่อความช้ำ (bruise susceptibility) แตกต่างกัน นอกจากนี้มีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น พันธุ์ ความแก่-อ่อน เป็นต้น การทดสอบความสามารถในการทนต่อความช้ำ เป็นวิธีที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบการตกกระทบของผลไม้ โดยปล่อยผลไม้ให้ตกลงบนพื้นผิวเรียบที่ระดับความสูงต่างๆ หรือทำการปล่อยตัวตกกระทบลงบนผลไม้ที่วางไว้

3. วัสดุกันกระแทก

วัสดุกันกระแทก (cushioning material) คือ วัสดุที่ถูกนำมาใช้เพื่อปกป้องสินค้าจากการสูญเสียเนื่องมาจากการกระแทกอย่างรุนแรง และ/หรือการสั่นสะเทือน ระหว่างกระบวนการขนส่ง เคลื่อนย้าย ขนถ่าย (สุพจน์, 2550) วัสดุกันกระแทกที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ แผ่นกระดาษลูกฟูก โฟมพอลิสไตรีน โฟมพอลิ– ยูรีเทน โฟมพอลิเอทิลีน แผ่นพลาสติกอัดอากาศ ฝอยไม้ และฝอยกระดาษ วัสดุแต่ละชนิดมีคุณลักษณะประจำตัว และความเหมาะสมต่อการใช้งาน แตกต่างกันไป

3.1 วัสดุกันกระแทกที่ใช้ในการบรรจุผักและผลไม้สด (ฉวี, 2550)

ผักผลไม้สดเป็นสินค้าที่มีความบอบบาง ช้ำและเน่าเสียง่าย ในการบรรจุสินค้าเหล่านี้ลงในบรรจุภัณฑ์เพื่อส่งไปจำหน่ายควรมีการใช้วัสดุช่วยบรรจุด้วย เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการสั่นสะเทือน และการกระแทกในระหว่างเส้นทางขนส่งนั้น การเลือกวัสดุบรรจุภัณฑ์เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนและการกระแทกนี้ จะต้องเข้ากับรูปทรงของผักผลไม้ที่จะห่อ และสามารถจัดการเคลื่อนตัวของผักและผลไม้ภายในเมื่อได้รับการสั่นสะเทือน และบรรเทาแรงตกกระแทกได้ วัสดุที่ใช้ปัจจุบันมีดังต่อไปนี้

3.1.1 กระดาษ

กระดาษที่ใช้ห่อผักและผลไม้จะต้องนิ่ม เรียบ สะอาด ไม่มีกลิ่นและสี

3.1.2 กระดาษลูกฟูก

กระดาษลูกฟูกมักใช้ในรูปแบบของการขัดเป็นไส้กล่องตาม แนวตั้ง เพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรงของผลไม้ และยังช่วยเสริมความแข็งแรงให้แก่ตัวกล่องลูกฟูก นอกจากนี้แผ่นกระดาษลูกฟูกยังสามารถใช้วางตามแนวราบเพื่อรองรับผักผลไม้ กระดาษลูกฟูกสามารถลดความเสียหายจากการกระแทกได้บ้าง ใช้ทำหน้าที่แผ่นรองตัวกั้นหรือแผ่นกั้น เพื่อเก็บสินค้าภายใน บรรจุภัณฑ์ หรือทำหน้าที่เป็นตัวห่อหุ้มสินค้า กระดาษลูกฟูกมีข้อจำกัดในการดูดซับแรงกระแทกอย่างรุนแรง และไม่คืนรูปกลับเป็นอย่างเดิม หลังถูกแรงกระทำ มีการดูดซึมความชื้นและอ่อนตัวลงในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสูง แต่เนื่องจากการที่สามารถนำกลับเข้ากระบวนการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาจากเศษวัสดุเหลือหลังใช้งาน

3.1.3 เศษฝอยของไม้

เป็นวัสดุที่เหลือจากโรงงานเฟอร์นิเจอร์ที่ไสจากเนื้อไม้ เศษฝอยของไม้ ควรเลือกเส้นเล็กๆ ไสจากไม้นิ่มเพื่อใช้จัดในบรรจุภัณฑ์ขนส่ง ช่วยลดพื้นที่ว่าง ส่วนใหญ่จะใช้กับผลไม้ที่มีขนาดใหญ่และผิวขรุขระ เช่น สับปะรด ปัจจุบันความนิยมใช้เศษฝอยของไม้ลดลง

3.1.4 ถาดเยื่อกระดาษขึ้นรูป

มีลักษณะเป็นถาดทำจากเยื่อกระดาษที่อัดเป็นรอยหลุมขนาดต่างๆ กัน เพื่อวางรองรับผลไม้ และกันไม่ให้ผลไม้เคลื่อนที่ ถาดเยื่อกระดาษขึ้นรูป สามารถช่วยลดความเสียหายจากการสั่นสะเทือน และการตกกระแทกได้บ้าง

3.1.5 ถาดพลาสติกขึ้นรูปร้อน

เป็นแผ่นพลาสติกที่นำมาขึ้นรูปด้วยความร้อน มีลักษณะเป็นถาดหลุมคล้ายคลึงกับถาดเยื่อกระดาษขึ้นรูป สามารถทนต่อการคายน้ำของผลไม้ได้

3.1.6 โฟมแผ่น

โฟมแผ่นทำจากพลาสติกหลายประเภท เช่น พอลิเอทิลีน (PE) พอลิ– ยูรีเทน (PU) หรือพอลิสไตรีน (PS) มีคุณสมบัติยืดหยุ่นและป้องกันการกระแทกได้ดี

3.1.7 แผ่นพลาสติกอัดอากาศ

เป็นพลาสติกหน้าเรียบหนึ่งหน้า และอีกหนึ่งหน้าเป็นปุ่มๆ อัดอากาศ อยู่ภายใน แต่ละช่องสามารถป้องกันการสั่นสะเทือนและการตกกระแทกได้

3.1.8 โฟมตาข่าย

เป็นวัสดุป้องกันการสั่นสะเทือนและการ กระแทก ที่พัฒนาเพื่อใช้กับผักผลไม้โดยเฉพาะ ส่วนใหญ่ทำจาก PE มีคุณสมบัติป้องกันการสั่นสะเทือนและการตกกระแทกได้ดี สามารถยืดหยุ่น ใช้กับผลไม้ขนาดต่างๆ กันโดยที่ผลไม้ยังสามารถหายใจและคายน้ำได้

3.2 การเลือกใช้ภาชนะบรรจุ

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้ภาชนะบรรจุกับผลิตผลชนิดใดชนิดหนึ่ง คือ คุณสมบัติของผลิตผล ความต้องการของตลาด รูปแบบการกระจายสินค้า วัตถุประสงค์ของการใช้งาน ความซับซ้อนของตลาด ความสำเร็จในการพัฒนาภาชนะบรรจุขึ้นกับความสามารถในการคุ้มครองผลิตผลสดให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เช่น ภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งผลิตผลจากแหล่งปลูกไปยังโรงคัดบรรจุมักจะมีขนาดใหญ่ และสามารถใช้หมุนเวียนได้หลายครั้งโดยไม่เน้นการปกป้องผลิตผลเพราะระยะทางจากแหล่งผลิตผลถึงโรงคัดบรรจุมีระยะสั้น ถ้าเป็นการขนส่งด้วยระยะทางไกล ขนาดภาชนะบรรจุมักมีขนาดเล็กเพื่อให้ยกหรือแบกหามได้ง่ายด้วยคนเพียงคนเดียว (อมรรัตน์ และคณะ, 2538; จริงแท้, 2544) การเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียระหว่างการขนส่งมากถึงร้อยละ 25 (Techawongstien, 1999)

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งผลไม้โดยใช้วัสดุกันกระแทก

Kapse and Katrodia (1997) ศึกษาการขนส่งมะม่วงด้วยรถกระบะจากเมืองคุชราต (Gujarat) ถึงเมืองนิวเดลี (New Delhi) เป็นระยะทาง 1,150 กิโลเมตร มะม่วงที่ใช้เป็นพันธุ์ Kesar โดยใช้ความถ่วงจำเพาะเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน 4 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ (1) ความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1กลุ่มที่ (2) ความถ่วงจำเพาะ 1-1.02 กลุ่มที่ (3) ความถ่วงจำเพาะ 1.02-1.04 และกลุ่มที่ (4) ความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.04 บรรจุในภาชนะบรรจุ 2 ชนิด คือ กล่องกระดาษลูกฟูก และลังไม้ พบว่ามะม่วงในกลุ่มที่ (2) ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 1-1.02 เป็นระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมต่อการขนส่ง และกล่องกระดาษลูกฟูกมีประสิทธิภาพในการลดการเสื่อมเสียจากแรงกระทำเชิงกลและยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงได้ดีกว่าลังไม้

Boligor (2000) รายงานการขนส่งมะม่วงเพื่อการส่งออกในจังหวัดแซมบาเลส (Zambales) ประเทศฟิลิปปินส์ซึ่งมีระบบการขนส่งหรือการกระจายสินค้าที่มีจุดเชื่อมต่อในการเคลื่อนย้ายสินค้าหลายจุด พบว่าการขนส่งมะม่วงเป็นระยะทางไกลจากแหล่งผลิตถึงศูนย์กลางการกระจายสินค้า และการขนส่งมะม่วงในปริมาณมากส่งผลให้เกิดการปฏิเสธการยอมรับมะม่วงเป็นจำนวนมาก เนื่องจากความเสียหายระหว่างการขนส่งและการเคลื่อนย้าย โดยความเสียหายเชิงกลของมะม่วงขึ้นกับ (1) การใช้พาหนะที่เกิดแรงกระแทกอย่างฉับพลันและแรงสั่นสะเทือนมาก (2) การขนส่งในสภาพถนนขรุขระ (3) ชนิดของภาชนะบรรจุและการเลือกใช้วัสดุบรรจุ (4) การจัดการเพื่อการขนส่ง

Assessment Institute of Agricultural Technology (AIAT) ของประเทศอินโดนีเซียได้เปรียบเทียบการใช้ภาชนะบรรจุ 2 ชนิด คือ เข่งไม้ไผ่ ความจุ 30-50 กิโลกรัม และตะกร้าพลาสติกที่มีความจุ 20 กิโลกรัม เพื่อขนส่งมะม่วงพันธุ์ Harumanis เป็นระยะทาง 5-40 กิโลเมตร พบว่ามะม่วงที่บรรจุในเข่งไม้ไผ่และตะกร้าพลาสติกจะเกิดความเสียหายจากแรงกระทำเชิงกล การขนส่งมะม่วงด้วยรถบรรทุกที่รองรับน้ำหนักได้ 4,000 กิโลกรัม เป็นระยะทางไกลจากเมืองปาซูรูอาน (Pasuruan) ถึงจาการ์ตา (Jakarta) ด้วยภาชนะบรรจุ 3 ชนิด คือ เข่งไม้ไผ่ ตะกร้าพลาสติก และกล่องกระดาษลูกฟูกซึ่งภาชนะบรรจุแต่ละชนิดมีความจุ 19 กิโลกรัม โดยวางเรียงภาชนะบรรจุแต่ละชนิดซ้อนกัน 4 ชั้น พบว่ามะม่วงที่บรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูก ตะกร้าพลาสติก เข่งไม้ไผ่ที่มีไม้กั้นระหว่างชั้นที่ซ้อนทับกัน เข่งไม้ไผ่ที่ไม่มีไม้กั้นระหว่างชั้นที่ซ้อนทับกัน เกิดความเสียหายจากแรงกระทำเชิงกลร้อยละ 7, 11, 33 และ 56 ตามลำดับ นั่นคือกล่องกระดาษลูกฟูกมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่จะใช้เป็นภาชนะบรรจุสำหรับขนส่งมะม่วงพันธุ์ Harumanis (AIAT, 2001)

Sek (1996) รายงานว่าการทดสอบการขนส่งจริงมีความซับซ้อนและความไม่แน่นอนของแรงกระทำเชิงกล การประเมินประสิทธิภาพของภาชนะบรรจุจึงควรมีการจำลองสภาวะการสั่นสะเทือนในห้องปฏิบัติการเพื่อยืนยันผลด้วยเพราะสามารถกำหนดความถี่ ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ และสามารถควบคุมลักษณะของการสั่นสะเทือนแบบสุ่มได้ (random vibration) Rouillard *et al.* (1994) รายงานว่า vibration displacement signal สามารถใช้ควบคุม electrohydraulic shaker ในย่านความถี่ที่สอดคล้องกับการขนส่งจริงได้

Singh (1992) ศึกษาระบบการบรรจุใหม่สำหรับผลเบอรี่สด (berries) ประเมินประสิทธิภาพของภาชนะบรรจุตามมาตรฐาน ASTM D999 โดยเปรียบเทียบ vibration resonance ด้วย sinusoidal vibration ด้วยการวางเรียงซ้อนภาชนะบรรจุแล้วตรวจหาความถี่จากย่านความถี่ 2-100 Hz ที่ระดับความเร่ง (acceleration level) 0.5 กรัม และใช้มาตรฐาน ASTM D4728 เพื่อจำลองการขนส่งด้วยรถบรรทุก (truck)

Chonhenchob and Singh (2003) ศึกษาการเปรียบเทียบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งมะม่วงตามมาตรฐาน ASTM D999 พบว่ารอยช้ำที่สังเกตได้ด้วยสายตาที่ปรากฏบนผิวมะม่วงมีสีน้ำตาลรอยช้ำที่เกิดขึ้นบ่งบอกถึงการเสื่อมเสียคุณภาพทางการตลาดและเปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการยอมรับมะม่วงของผู้บริโภค

Singh and Xu (1993) ศึกษาความช้ำของแอปเปิ้ลจากลักษณะการสั่นสะเทือนของรถบรรทุกและภาชนะบรรจุตามมาตรฐาน ASTM D4728 วิธี A เพื่อจำลองการขนส่งแอปเปิ้ลระยะทาง 88 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้ระยะเวลาการทดสอบ 180 นาที พบว่าแอปเปิ้ลที่บรรจุที่ชั้นบนและชั้นล่างสุดของภาชนะบรรจุที่วางเรียงซ้อนกันเกิดการเสียหายจากรอยช้ำมากที่สุด โดยพบรอยช้ำแบบวงล้อ (roller bruising) ซึ่งเกิดจากแรงสั่นสะเทือนแล้วทำให้ผลไม้หมุนทำให้สีเปลี่ยนและเกิดรอยช้ำโดยรอบผลไม้

ทรงธรรมและบัณฑิต (2549) ศึกษาการพัฒนาวัสดุกันช้ำจากกระดาษฝอยเพื่อปกป้องแอปเปิ้ลจากการกระแทก โดยนำกระดาษใช้แล้วมาทำเป็นฝอยบรรจุในถุงผ้าดิบเพื่อใช้เป็นวัสดุกันช้ำห่อผลแอปเปิ้ล แล้วใช้ลูกตุ้ม ballistic pendulum กระแทกผลแอปเปิ้ลที่ระดับพลังงาน 2 จูล พบว่าถุงผ้าที่บรรจุกระดาษถ่ายเอกสารฝอยกว้าง 3 มิลลิเมตร ความหนาแน่น 60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ให้พลังงานกระแทกที่จุดเริ่มการเกิดรอยช้ำ (impact threshold energy) สูงที่สุดคือ 1.25 จูล ซึ่งสูงกว่าโฟมตาข่ายร้อยละ 150

นฤมลและ บัณฑิต (2549) ศึกษากระดาษใช้แล้วแปรรูปเป็นวัสดุกันช้ำเพื่อปกป้องแอปเปิ้ลจากการกระแทก โดยนำกระดาษใช้แล้วมาแปรรูปเป็นกระดาษปัน และกระดาษหยองบรรจุในในซองกระดาษ เพื่อนำไปห่อผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Red Fuji 2 ขนาด คือ 100 ผล และ 125 ผล ต่อกล่องบรรจุ 20 กิโลกรัมและกระแทกด้วยเครื่อง ballistic pendulum กระแทกผลแอปเปิ้ลที่ระดับพลังงานไม่เกิน 2 จูล พบว่ากระดาษแปรรูปทั้ง 2 แบบสามารถป้องกันความช้ำที่เกิดขึ้นกับผลแอปเปิ้ลได้ดีไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พลังงานกระแทกที่จุดเริ่มการเกิดรอยช้ำของผลแอปเปิ้ลขนาด 100 และ 125 ผล มีค่า 0.668 และ 1.156 จูล ตามลำดับ สำหรับกระดาษปัน และมีค่า 0.642 และ 1.018 จูลตามลำดับสำหรับกระดาษหยอง

วสันต์ (2545) ศึกษาการสั่นสะเทือนของตะกร้าพลาสติกบรรจุส้มเขียวหวานระหว่างการขนส่งทางรถบรรทุกบนถนนพหลโยธินสายกรุงเทพ สระบุรี และลพบุรี และถนนลูกรังในสวนส้ม อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี พบว่า Power Spectrum Density (PSD) ซึ่งบอกขนาดความรุนแรงของการสั่นสะเทือน มีค่าสูงสุดในช่วงความถี่ต่ำ 0-5 Hz ความเสียหายเกิดกับการขนส่งส้มบนถนนลูกรังมากที่สุด รองลงมาคือถนนคอนกรีตและถนนลาดยางที่ความเร็วในการขนส่งเดียวกัน

ดวงพร (2548) ศึกษาการเปรียบเทียบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งมะม่วงพบว่า ภาชนะบรรจุและวัสดุกันกระแทกมีผลต่อการสูญเสียมะม่วงจากความช้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) หลังจากทดสอบการสั่นสะเทือนพบว่าระดับความช้ำและปริมาตรความช้ำมีความรุนแรงกว่าการขนส่งจริง มะม่วงที่บรรจุด้วยตระกร้าพลาสติกที่ใช้เพื่อขนส่งในประเทศไทย และใช้กระดาษลูกฟูกที่พัฒนาขึ้นใหม่เป็นวัสดุกันกระแทก มีประสิทธิภาพในการปกป้องมะม่วงจากแรงกระทำเชิงกลได้ดีที่สุดและกระดาษลูกฟูกแถบเดียวสามารถปกป้องมะม่วงได้ดีกว่าโฟมตาข่าย

ณัฐธร (2548) ศึกษาภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งมะม่วง โดยทำการออกแบบและพัฒนาระบบการบรรจุเพื่อการขนส่งมะม่วง โดยบรรจุมะม่วงวางเรียงชั้นเดียว และมีแถบป้องกันการกระแทกระหว่างแถว เปรียบเทียบคะแนนการยอมรับทางด้านความต้องการคุณสมบัติของภาชนะบรรจุกับภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งมะม่วงประเภทต่างๆ พบว่ามะม่วงที่บรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูกที่พัฒนาขึ้นใหม่ มีคะแนนการยอมรับสูงกว่าตระกร้าหูเหล็กของไทยที่ใช้ขนส่งมะม่วงในปัจจุบัน

4. เยื่อกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ

เยื่อกระดาษ หมายถึง วัตถุดิบประเภทเส้นใยจากพืชที่ใช้ในการผลิตกระดาษ (บริษัทอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ไทย, 2536)

กระดาษ หมายถึง แผ่นวัสดุเส้นใยเซลลูโลส (cellulose fiber) ที่ยึดจับเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous sheet) โดยการสานตัว (interweaving) หรือเกิดพันธะ (bonding) ระหว่างเส้นใย (Lavigne and Patrick, 1993) เป็นชั้นซ้อนกัน เรียงตัวประสานอย่างไม่เป็นระเบียบ โดยการยึดประสานตัวกันของเส้นใยเกิดขึ้นจากตัวเส้นใยมิได้เกิดจากการใส่สารอื่นเข้าไปเป็นตัวยึดหรือตัวประสาน (บริษัทอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ไทย , 2536)

4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษ (นิรัชรา, 2535)

4.1.1 เยื่อใยยาว (long fiber pulp)

เยื่อใยยาว หมายถึง เส้นใยยาว 3-5 มิลลิเมตร มีคุณสมบัติทนต่อแรงฉีกขาดสูง ผลิตจากไม้เนื้ออ่อน เช่น สนสองใบ สนสามใบ ซึ่งมีในต่างประเทศ เยื่อใยยาวส่วนใหญ่เป็นเยื่อที่ผลิตได้จากกระบวนการทางเคมี ซึ่งมีทั้งเยื่อชนิดฟอกขาวและไม่ฟอกขาว นอกจากนี้ยังเป็นเยื่อที่ได้จากกระบวนการวิธีกลและกระบวนการกึ่งเคมีและกึ่งกลอีกด้วย การผลิตกระดาษจะนำเยื่อใยยาวเป็นวัตถุดิบผสมกับเยื่อใยสั้น เพื่อทำให้กระดาษมีคุณภาพดีขึ้น มีความเหนียวเพิ่มขึ้น

4.1.2 เยื่อใยสั้น (short fiber)

เยื่อใยสั้น หมายถึง เส้นใยมีความยาว 1-2 มิลลิเมตร ซึ่งผลิตจากวัตถุดิบหลายชนิดทั้งจากพวกที่เป็นไม้ (wood) และวัสดุที่ไม่ใช่ไม้ (non-wood fibrous) โดยใช้กระบวนการทางเคมี เยื่อชนิดไม่ฟอกขาวจะใช้ผลิตกระดาษเพื่อการอุตสาหกรรมเพียงประเภทเดียว ส่วนกระดาษชนิดอื่นจะใช้เยื่อชนิดฟอกขาว การผลิตกระดาษโดยใช้เยื่อใยสั้นเพียงชนิดเดียวจะทำให้กระดาษที่ได้มีคุณภาพไม่ดีพอ จึงต้องนำเยื่อใยยาวมาผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับกระดาษแต่ละชนิด ซึ่งเยื่อใยสั้นจะช่วยให้กระดาษมีความทึบแสงและทำให้หน้ากระดาษเรียบขึ้น

4.1.3 เยื่อเศษกระดาษ (waste paper)

เยื่อเศษกระดาษ หมายถึง เยื่อที่ผลิตเป็นกระดาษแล้วนำเศษกระดาษกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบใหม่ เศษกระดาษเหล่านี้จะต้องนำมาทำความสะอาดและเข้ากระบวนการเตรียมการผลิตก่อนที่จะนำมาใช้ในการผลิต การผลิตกระดาษคุณภาพต่ำ และราคาถูก เช่น กระดาษห่อของ กระดาษทำแกน จะใช้เยื่อใยจากเศษกระดาษเพียงอย่างเดียว ไม่มีการผสมเยื่อชนิดอื่นเลย นอกจากนี้เศษกระดาษยังใช้ในการผลิตกระดาษประเภทอื่นๆ ด้วย ตามอัตราส่วนผสมที่กำหนด ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามคุณภาพของกระดาษ โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้ในการผลิตกระดาษเพื่อการอุตสาหกรรม

4.2 วิธีการผลิตเยื่อกระดาษ (วุฒินันท์, 2545)

วิธีการผลิตเยื่อกระดาษก็จะแบ่งเป็น วิธีทางเคมี วิธีทางชีวเคมี และวิธีทางกล แต่ในปัจจุบันนี้ มีวิธีการใหม่อีกวิธี คือการใช้วิธีทาง ชีวเคมีซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้

4.2.1 กรรมวิธีการตีเยื่อทางเคมี (chemical pulping)

เป็นกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีซึ่งมีทั้งสภาวะที่เป็นกรดและเป็นด่างที่อุณหภูมิและความดันสูง เพื่อแยกลิกนินออกจากวัตถุดิบ วิธีนี้สามารถแยกลิกนินออกได้เกือบทั้งหมดเป็นผลให้ได้เยื่อกระดาษที่มีคุณสมบัติสูงแข็งแรงแต่ผลผลิตต่ำ เหมาะสำหรับทำกระดาษคุณภาพดีกรรมวิธีทางเคมียังแบ่งออกได้อีกหลายวิธี ได้แก่ กรรมวิธีซัลเฟต (sulphate process) ใช้สารพวกโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2S) กรรมวิธีโซดา (soda process) ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียว บางแห่งจะเติมโซเดียมซัลไฟต์ร้อยละ 5 เยื่อกระดาษที่ได้จะมีคุณสมบัติด้อยกว่ากรรมวิธีซัลเฟต กรรมวิธีโซดาและกรรมวิธีซัลเฟตคล้ายคลึงกันมาก บางทีเรียกรวม ๆ กันว่ากรรมวิธีอัลคาไล (alkali process) เพราะสารเคมีที่ใช้มีสภาพเป็นด่างกรรมวิธีซัลไฟต์ (Sulphite Process) ข้อดีก็คือเยื่อที่ได้จะมีสีค่อนข้างขาวนำไปทำกระดาษได้เลยหรือมีการฟอกสีเพียงเล็กน้อยในกรณีที่ต้องการให้เยื่อขาวมากขึ้น ข้อเสีย คือไม่สามารถใช้กับไม้ทุกชนิดได้เหมือนกรรมวิธีซัลเฟต และเนื่องจากสารเคมีมีสภาพเป็นกรดจึงทำให้เครื่องมือเป็นสนิมได้ง่าย และเป็นสาเหตุที่ทำให้กระดาษมีสภาพเป็นกรด นอกจากนี้การใช้สารผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วน 3:2:2 แทนการใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์

ชนิดเดียวและช่วยลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้ เยื่อกระดาษที่ได้มีคุณสมบัติทางกายภาพไม่แตกต่างไปจากการต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

4.2.2 กรรมวิธีการตีเยื่อกึ่งเคมี (semi chemical pulping)

กรรมวิธีนี้ใช้ปริมาณสารเคมีน้อยกว่าวิธีเคมี เป็นกรรมวิธีต้มเยื่อในสภาวะเป็นกลาง หรือค่อนไปทางด่างเล็กน้อย เยื่อที่ผ่านการต้มวิธีนี้ยังคงมีลิกนินที่อยู่ในสภาพอ่อนตัวหลงเหลืออยู่ และต้องการกระบวนการทางแรงกล (mechanical operation) ช่วยในการกระจายตัวให้ดีขึ้นอีก จึงเรียกว่ากรรมวิธีกึ่งเคมี เยื่อ ที่ต้มโดยวิธีนี้มีความแข็งตัวของแผ่นกระดาษ (stiffness) ดีเหมาะสำหรับใช้ทำกระดาษลูกฟูก

4.2.3 กรรมวิธีการตีเยื่อทางกล (mechanical pulping)

กรรมวิธีนี้จะใช้แรงกลเพื่อทำให้ลิกนินในวัตถุดิบอ่อนตัวลงเท่านั้น จึงมีผลผลิตสูง ความแข็งแรงของเยื่อประเภทนี้ต่ำกว่าเยื่อสองประเภทแรกที่กล่าวถึง มักใช้ทำพวกกระดาษหนังสือพิมพ์ ส่วนประกอบของชั้นกระดาษแข็ง ผลิตภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป (moulded pulp) และกระดาษพิเศษบางชนิด แต่ในปัจจุบันมีวิธีการทางกลอีกวิธีการหนึ่งซึ่งใช้หลักการเอาไอน้ำร้อนร่วมกับความดันเข้าไปแยกส่วนประกอบในภาชนะที่ควบคุมได้ จนทำให้สารต่าง ๆ แยกตัวออกมาจากเซลลูโลสจากการศึกษา ทดลองกับเปลือกสา สภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อด้วย การระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที มีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูง สามารถทดแทนการต้มด้วยโซดาไฟได้ การใช้วิธีนี้สามารถลดปัญหาที่จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ การปฏิบัติงานค่อนข้างรวดเร็ว แต่ต้องระวังความปลอดภัยจากการใช้เครื่องมือและปัญหาอีกอย่างก็คือ เครื่องมือดังกล่าวมีราคาสูง

4.2.4 กรรมวิธีการตีเยื่อทางชีวเคมี (biochemical pulping)

เป็นวิธีการที่อาศัยเชื้อจุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ช่วยย่อยสลายสารต่างๆ ในวัตถุดิบจนเหลือเส้นใยเซลลูโลส วิธีนี้จะไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากนัก แต่จะต้อง เสียเวลาและพื้นที่ ในการหมักค่อนข้างมาก ในปัจจุบันนี้ได้มีการศึกษาหาเอนไซม์และ เชื้อจุลินทรีย์ใช้ในการย่อย สลายกันมากขึ้นและได้มีการจำหน่ายในตลาดบ้างแล้ว สำหรับปอสา การใช้เอนไซม์เพคติเนสจากเชื้อรา Rhizopus sp.26R สามารถแยกเยื่อจากปอสาได้ และเชื้อรา สายพันธุ์ ALK – 4 สามารถ

ผลิตเอนไซม์ ย่อยลิกนินแมงกานีสเปอร์ออกไซด์ (MnO_2) ได้ดีที่สุดเมื่อมีสภาพความเป็นกรด-ด่าง 4.5 (วิชัยและคณะ, 2544)

4.3 การผลิตกระดาษ

4.3.1 ขั้นตอนการทำกระดาษ (วุฒินันท์, 2545)

ในการทำกระดาษนั้นจะมีขั้นตอนหลักซึ่งประกอบไปด้วย ขั้นแรกคือ การเตรียมเยื่อกระดาษซึ่งก็จะได้จากวิธีการต่างๆ (วิธีการทางเคมี, กึ่งเคมี, ทางกล, หรือทางชีวเคมีก็ได้) ขั้นที่ 2 คือ การฟอกเยื่อซึ่งจะฟอกเยื่อด้วยสารฟอกสีเพื่อให้กระดาษมีสีขาวขึ้นซึ่งการฟอกสีจะมากหรือน้อยก็ ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานของกระดาษ ขั้นที่ 3 คือขั้นตอนของการบดเยื่อ เนื่องจากในการเตรียมเยื่อกระดาษเยื่อกระดาษที่ได้อาจยังมีลักษณะที่หยาบ กระด้างยังไม่เหมาะกับการนำมาทำกระดาษ ขั้นที่ 4 คือขั้นของการเตรียมเยื่อก่อนการทำแผ่น จะเป็นขั้นตอนที่มีการเติมสารเพื่อเพิ่มคุณสมบัติที่ต้องการเสียก่อน เช่น เติมตัวเติม (filler) เพื่อให้กระดาษมีความขาวสว่างดี และมีผิวหน้าเรียบ ใส่สารกันซึม ใส่สารสี และเติมตัวยึดเกาะ (binder) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง เป็นต้น ขั้นที่ 5 คือขั้นตอนของการทำแผ่น ซึ่งขั้นตอนนี้สามารถแบ่งได้ ออกเป็น 2 แบบ คือแบบการทำในโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษและในแบบของการทำกระดาษด้วยมือ และขั้นที่ 6 คือการทำเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย

4.3.2 การผลิตกระดาษด้วยมือ (วุฒินันท์, 2545)

การทำกระดาษด้วยมือ มี 3 แบบ คือ แบบหล่อหรือปั้นก้อนที่ใช้ประเทศไทย เนปาลและอินเดีย แบบญี่ปุ่น (nagashizuki) และ แบบตะวันตก (tamezuki) ดังนี้

ก. การทำกระดาษด้วยมือแบบไทย (Thai handmade paper)

การทำแผ่นกระดาษแบบไทยมีด้วยกัน 2 แบบ คือแบบช้อน และแบบแตะหรือแบบหล่อ ซึ่งแบบแตะนี้แบ่งออกไปอีก 2 วิธี คือวิธีปั้นก้อนเปียก และวิธีควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อเยื่อตะแกรงทำแผ่นแบบไทยประกอบด้วยส่วนที่เป็นกรอบไม้สีเหลี่ยมอาจทำด้วยไม้ไผ่ หรือไม้สัก ถ้าทำด้วยไม้ไผ่ราคาถูกอายุใช้งานจะสั้น แต่ถ้าเป็นไม้สักราคาจะแพงสามารถใช้งานได้นาน

และส่วนที่เป็นตาข่ายไนล่อน ตาข่ายนี้จะทำให้กระดาษมี รอยรูปตาข่ายเมื่อกระดาษแห้งแล้ว ซึ่งเป็นตำหนิชนิดหนึ่ง การทำกระดาษแบบไทย แบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

ข. แบบช้อน

การทำกระดาษแบบแบบช้อนมักใช้กับกระดาษชนิดบางสามารถทำได้เป็นจำนวนมาก วันละ 200 – 300 แผ่นต่อคนต่อวัน แต่กระดาษที่ได้จะไม่ค่อยมีความสม่ำเสมอในแต่ละแผ่น น้ำหนักกระดาษจะไม่เท่ากัน ถ้าจะให้เท่ากันคนช้อนแผ่นจะต้องมีความชำนาญมาก วิธีการโดยนำน้ำใส่ในอ่างช้อนเยื่อใส่สารกระจายเยื่อที่เตรียมไว้ลงไปปริมาณมากน้อยตามความต้องการของแต่ละคน โดยทั่วไปจะใช้ที่ความข้นของน้ำเยื่อร้อยละ 0.05 ถ้าใส่น้อยการกระจายตัวของเยื่อก็จะไม่ดีถ้าใส่มากเกินไปการไหลผ่านของน้ำออกจากตะแกรงก็ช้า ทำให้ต้องใช้เวลาและแรงยก มากขึ้นอาจจะทำให้เยื่อไหลกองรวมกันตรงกลางตะแกรง แผ่นกระดาษจะเสียได้ คนด้วยไม้ไผ่ให้สารกระจายเยื่อผสมกับน้ำช้อนเยื่อใส่เยื่อที่ตีแล้วลงไปในน้ำช้อนเยื่อคนให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วอ่าง นำตะแกรงตักเยื่อจากจุดที่ห่างที่สุดแล้วลากเข้าหาตัวช้า ๆ โดยรักษาระดับตะแกรงให้ขนานกับผิวหน้าของน้ำเยื่อไว้ตลอดเวลา ความลึกของการจ้วงแต่ละครั้งขึ้นกับความบางของกระดาษที่ต้องการ ยกตะแกรงให้พ้นน้ำโดยเร็วในแนวดิ่ง รอจนน้ำหยดจากตะแกรงจนหมด จึงนำไปตากแดด

ค. แบบแตะหรือทำแผ่นแบบหล่อ

การทำกระดาษแบบแตะหรือทำแผ่นแบบหล่อ เป็นวิธีการทำแผ่นที่สามารถกำหนดความหนาของกระดาษได้ แต่การทำแผ่นจะช้ากว่าแบบช้อน กระดาษจะมีความสม่ำเสมอมากกว่า แบบแตะยังแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

1) วิธีปั้นก้อนเปียก

วิธีปั้นก้อนเปียกทำโดยชั่งเยื่อที่ผ่านการสลัดน้ำออกแล้ว เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 30 ปั้นเป็นก้อนไว้แต่ละก้อนให้ได้น้ำหนักแห้งตามความต้องการตักน้ำในอ่างช้อนเยื่อที่มีสารกระจายเยื่อผสมอยู่ใส่ในถังเพื่อกระจายเยื่อ-ประมาณ 10 ลิตรใส่ก้อนเยื่อลงไปหนึ่งก้อนแล้วใช้มือตีก้อนเยื่อให้แตกกระจาย วางตะแกรงช้อนเยื่อในอ่างช้อนเยื่อ ใช้มือกดตะแกรงไล่

ฟองอากาศไป ตักน้ำเยื่อเทลงบนตะแกรงให้ทั่วแล้วใช้ฝ่ามือแตะ เยื่อให้กระจายทั่วตะแกรงแล้วยกตะแกรงขึ้นตรง ๆ รอจนน้ำหยุดไหลจึงนำไปตากแดด

2) วิธีควบคุมปริมาณเยื่อต่อน้ำ

วิธีควบคุมปริมาณเยื่อต่อน้ำ วิธีนี้จะทำแผ่นได้เร็วกว่าวิธีปั้นก้อน กระดาษจะมีความสม่ำเสมอมากกว่า เนื่องจากการตีเยื่อให้แตกกระจายจะทำให้มากกว่าวิธีปั้นก้อน แต่ข้อสำคัญจะต้องควบคุมปริมาณน้ำต่อเยื่อให้ถูกต้อง และเวลาตวงน้ำเยื่อจะต้องกวนเยื่อ ให้กระจายอย่างสม่ำเสมอและตวงในปริมาตรที่ได้เยื่อแห้งตามต้องการ ใส่น้ำที่ผสมสารกระจายเยื่อแล้วลงในถังโดยรู้ปริมาณที่แน่นอนใส่เยื่อที่รู้น้ำหนักที่แน่นอนลงในน้ำคนด้วย ให้เยื่อกระจายอย่างสม่ำเสมอตวงน้ำเยื่อให้ได้ตามที่คำนวณไว้ เทลงบนตะแกรงแล้วยกขึ้นตรง ๆ รอจนน้ำหยุดไหลจึงนำไปตากแดดในการทำกระดาษแบบไทยนั้นไม่สามารถจะดึงเอาออกจากตะแกรงในขณะเปียกได้

ดังนั้นจำเป็นจะต้องทำให้กระดาษแห้งทั้งตะแกรง ซึ่งมีด้วยกัน 2 วิธี คือ การตากแดดอาศัย ความร้อนจากแสงแดดเป็นวิธีที่ประหยัดโดยนำตะแกรงที่น้ำไหลออกจากเยื่อหมดแล้วตั้งเอียง 45 องศาโดยปกติจะแห้งในเวลา 2 – 3 ชั่วโมง และวิธีการอบโดยใช้ตู้อบ อบกระดาษซึ่งมีข้อดีคือ สามารถอบได้ตลอดเวลา โดยไม่มีปัญหาของสภาพอากาศแต่การลงทุนค่อนข้างสูงกระดาษที่ จะนำเข้าไปจำเป็นต้องให้น้ำหยดจนหมดก่อนจึงนำเข้าอบโดยวางซ้อนกันครั้งละหลายชั้นตาม ความจุของตู้อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 40 – 45 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ ตาข่ายไนล่อนหดตัวหลุดจากขอบตะแกรงได้ กระดาษจะแห้งประมาณ 1 ชั่วโมง

ง. การทำกระดาษด้วยมือแบบญี่ปุ่น (Japanese handmade paper)

การทำกระดาษแบบญี่ปุ่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระดาษสาเป็นกระดาษที่มีชื่อเสียงมากเนื่องจากมีความเรียบบาง สม่ำเสมอและมีความเหมาะสมในการใช้งาน เช่น การทำบานประตูหน้าต่าง ห่อของ เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ในการทำกระดาษญี่ปุ่นประกอบไปด้วย แบบซึ่งมี 2 ชิ้นส่วนด้วยกันคือ กรอบ (ในภาษาญี่ปุ่นเรียกว่า keta) และส่วนของตะแกรง (ในภาษาญี่ปุ่นเรียกว่า su) นอกจากนี้แล้วยังต้องมี อ่างช้อนเยื่อแบบญี่ปุ่น ขาตั้งและแผ่นไม้วางกระดาษ

4.4 กระดาษที่ใช้ในการบรรจุหีบห่อ

กระดาษประเภทนี้มีปริมาณการใช้สูงและสัมพันธ์กับการขยายตัวของเศรษฐกิจภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นกระดาษประเภทนี้จึงมีความสำคัญกับประเทศอุตสาหกรรมมาก คุณสมบัติที่ต้องการของกระดาษประเภทนี้คือ ความแข็งแรง (การทนต่อแรงดึง แรงฉีก และความแกร่ง) ความพรุน ความเหนียว คุณสมบัติของผิวกระดาษในด้านการพิมพ์ และความสว่าง และความทึบแสง

กระดาษประเภทนี้สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม (บริษัทอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ไทย, 2536) คือ

4.4.1 กระดาษทำผิวกล่อง (liner board)

กระดาษทำผิวกล่องจะใช้ประกอบสองด้านของกระดาษทำกล่อง (sheet board) ดังนั้นจะต้องรับแรงจากภายนอกได้และขณะเดียวกันจะต้องเหนียว และยืดได้มากพอที่จะถูกพับทำมุมอย่างน้อย 90 องศา โดยไม่ขาด มีคุณสมบัติ คือ เหนียว ทนต่อแรงฉีก ติดกาวได้ ผิวเรียบ ความขาวสว่าง ความทึบแสง

4.4.2 กระดาษทำลอนลูกฟูก (corrugating medium)

กระดาษทำลอนลูกฟูกเป็นกระดาษทำลอนชั้นกลางของกระดาษทำกล่อง เนื่องจากอยู่ตรงกลางระหว่างกระดาษทำผิวกล่องดังนั้นจึงไม่ต้องมีคุณสมบัติทึบแสงและความสะอาด ทำให้สามารถใช้เยื่อจากเศษกระดาษได้ นอกจากนี้คุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงไม่ต้องการมากนัก แต่สามารถเพิ่มได้ด้วยน้ำหนักมาตรฐาน

4.4.3 กระดาษทำถุงหลายชั้น (multiply sack)

กระดาษทำถุงหลายชั้นมีความนิยมใช้แทนถุงพลาสติกในแถบประเทศตะวันตก มีน้ำหนักมาตรฐานต่อพื้นที่ 70-90 กรัมต่อตารางเมตร คุณสมบัติหลักที่ต้องการ คือความเหนียว ความทนต่อแรงฉีก การทนต่อแรงดึง และมีความพรุน

4.4.4 ผลิตภัณฑ์เยื่อกระดาษหล่อขึ้นรูป (moulded pulp containers)

เยื่อกระดาษขึ้นรูป หมายถึง วัสดุหรือภาชนะบรรจุสามมิติที่ทำจากการขึ้นรูปของเยื่อกระดาษให้เป็นรูปร่างตามต้องการ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเศษกระดาษเหลือใช้ที่มีเยื่อบริสุทธิ์ผสมอยู่บ้าง การเลือกใช้วัตถุดิบชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และความต้องการในการใช้งาน สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่จะใช้กระดาษที่มีคุณภาพสูง และไม่เปื้อนหมึกพิมพ์ เช่นกระดาษที่ได้จากการตัดขอบกระดาษของโรงงานผลิตกระดาษ เป็นต้น กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจะไม่ใส่สารเคมีใดๆ เลยก็ได้หรืออาจผสมแป้งและขี้ผึ้งลงไปเพื่อช่วยในการทนน้ำ หรือผสมสีที่ละลายน้ำ เพื่อเพิ่มความสวยงาม หรือหากต้องการเสริมคุณสมบัติในการต้านไขมันก็มักจะใส่สารประเภท ฟลูออโรคาร์บอนผสมกับสารดูดประจุลบเข้าไป เยื่อกระดาษขึ้นรูปนั้นมักจะนำมาใช้เป็นวัสดุกันกระแทก วัสดุช่วยบรรจุหรือภาชนะบรรจุสินค้าที่บอบบาง แตกหักง่าย เพื่อช่วยในการขนส่ง ตัวอย่างการใช้งานของเยื่อกระดาษขึ้นรูป ได้แก่ การทำเป็นถาดหลุมใส่ผลไม้สด เป็นต้น (จิรภา, 2548)

ก. วัตถุดิบที่ใช้และแหล่งวัตถุดิบ

โดยปกติการผลิตบรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปจากกระดาษสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ (ศูนย์วิจัยไทยพาณิชย์, 2543) คือ

1) บรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปที่ทำจากเยื่อบริสุทธิ์

บรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปที่ทำจากเยื่อบริสุทธิ์วัตถุดิบสำคัญคือเยื่อกระดาษบริสุทธิ์ซึ่งมีราคาจำหน่ายสูง ส่วนใหญ่จะใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ใส่อาหารที่ผู้บริโภคสามารถรับประทานได้ทันที เช่น อาหารสำเร็จรูป หรืออาหารที่เข้าตู้อบไมโครเวฟ

2) บรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปที่ทำจากกระดาษกระดาษรีไซเคิล

บรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปที่ทำจากกระดาษกระดาษรีไซเคิล ส่วนใหญ่นิยมใช้ทำถาดกระดาษบรรจุสินค้า เช่น ไข่ และผลไม้ เป็นต้น และใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ใส่สินค้าเพื่อกันกระแทก ตัวอย่างกระดาษที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ที่ไม่ใช้แล้ว (waste newspaper) กระดาษแข็งและกระดาษลูกฟูกที่ไม่ใช้แล้ว (waste corrugated fiberboard)

รวมถึงหนังสือนิตยสารและสิ่งพิมพ์ต่างๆ ที่ไม่ใช้แล้ว ทั้งนี้จะเลือกใช้เศษกระดาษชนิดใดเป็นวัตถุดิบ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการด้วย ดังนั้น วัตถุดิบกระดาษใช้แล้วต่างๆ จึงสามารถหาซื้อได้ทั่วไปในท้องตลาดอย่างไรก็ตามเพื่อความมั่นใจว่าจะมีวัตถุดิบป้อนโรงงานเพียงพอกับความต้องการผู้ประกอบการผลิตเกือบทั้งหมดจะทำสัญญากับร้านค้าเศษกระดาษหรือร้านรับซื้อกระดาษเก่าในท้องถิ่นเป็นผู้จัดหากระดาษให้อีกต่อหนึ่ง

4.4.5 กรรมวิธีการผลิต

การผลิตบรรจุภัณฑ์กันกระแทกขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิลที่นิยมกันในปัจจุบันเป็นการผลิตโดยใช้การขึ้นรูปด้วยการทำแห้งระบบสูญญากาศ (vacuumed-dehydration molding) ซึ่งเครื่องจักรที่ใช้จำแนกได้เป็น 2 รูปแบบ (ศูนย์วิจัยไทยพาณิชย์, 2543) คือ

ก. การขึ้นรูปแบบอ่อน (soft mold) เป็นแบบ revolving machine (wet)

การขึ้นรูปแบบอ่อนเป็นแบบ revolving machine (wet) โครงสร้างของบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้จะไม่แข็งมากนัก สามารถโค้งงอได้เล็กน้อย บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตโดยใช้เครื่องจักรแบบนี้เหมาะสำหรับใส่ของที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 1-10 กิโลกรัม เช่น ถาดกระดาษใส่ไข่ ผัก และผลไม้ เป็นต้น

ข. การขึ้นรูปแบบแข็ง (hard mold) เป็นแบบ press machine (dry)

การขึ้นรูปแบบแข็งเป็นแบบ press machine (dry) โครงสร้างของบรรจุภัณฑ์ที่ได้จะมีความแข็งแรง ทนทานต่อแรงกระแทกและมีความยืดหยุ่นสูง จึงนิยมใช้บรรจุสินค้าที่ต้องการป้องกันการกระแทกสูง เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์โทรคมนาคม อุปกรณ์คอมพิวเตอร์และชิ้นส่วน เป็นต้น นอกจากนี้ จากพื้นผิวของบรรจุภัณฑ์มีความเนียนเรียบสวยงามจึงนิยมนำมาบรรจุของเล่นเด็ก และอุปกรณ์เสริมความงามต่างๆ ที่ต้องการเสนอตัวสินค้าโดยใช้บรรจุภัณฑ์ที่แปลกตาแต่ดูสวยงามอีกด้วย

5. การทดสอบภาชนะบรรจุ

การทดสอบภาชนะบรรจุเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบโครงสร้างตลอดจนการปรับปรุงคุณภาพของการหีบห่อเพื่อประโยชน์ในการลดความเสียหาย ลดต้นทุน รวมทั้งการตรวจสอบข้อกำหนดในการซื้อขาย (อมรรัตน์ และคณะ, 2532) เพื่อควบคุมคุณภาพของภาชนะบรรจุเอง และเพื่อประกันคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามที่คาดไว้ นอกจากนี้การทดสอบภาชนะบรรจุยังมีวัตถุประสงค์อื่นอีกคือ

- เพื่อตรวจสอบคุณภาพให้เป็นไปตามมาตรฐานกำหนดของประเทศ หรือของสากลทั่วไปหรือมาตรฐานระหว่างผู้ผลิตกับผู้ใช้
- เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุบรรจุที่เคยใช้กับวัสดุทดแทนใหม่
- เพื่อหาความเหมาะสมระหว่างภาชนะบรรจุกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ (package product compatibility) หรือความสามารถในการใช้งานเฉพาะอย่างของภาชนะบรรจุนั้นๆ

วิธีการทดสอบส่วนใหญ่พัฒนาหรือประยุกต์มาจากพื้นฐานวิทยาศาสตร์หลายๆสาขา ทั้ง เคมี ฟิสิกส์ ไฟฟ้า ฯลฯ บางครั้งวิธีการทดสอบนั้นพัฒนาขึ้นมาโดยผู้ผลิตหรือผู้ใช้ภาชนะบรรจุเองเพื่อให้เหมาะสมกับงานเฉพาะอย่าง ด้วยเหตุนี้ทำให้วิธีทดสอบมีมากมายและมีสถาบันต่างๆ ที่กำหนดมาตรฐานออกมาใช้เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากแต่ละแห่ง ผู้รับผิดชอบทำการทดสอบจะต้องพิจารณาเลือกมาตรฐานที่เหมาะสมกับงานของตัวเองให้มากที่สุดและควรกำกับวิธีทดสอบไปกับผลที่ได้จากการทดสอบด้วยเสมอ (งามทิพย์, 2538) แต่ในปัจจุบันวิธีการทดสอบต่างๆ จะยึดถือมาตรฐานของชาติ หรือมาตรฐานสากลซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลกทั้งนี้เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความถูกต้อง และสามารถเปรียบเทียบในแต่ละครั้งได้ (อมรรัตน์ และคณะ, 2532)

มาตรฐานการทดสอบที่นิยมใช้ทั่วไปกับภาชนะบรรจุได้แก่

1. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์และอุตสาหกรรม
2. International Standard Organization (ISO)
3. American Standard Testing Method (ASTM)
4. British Standard (BS)

5. Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI)
6. Federal Test Method Standard
7. The Packaging Institute (PI)
8. National Flexible Packaging Association (NFPA)
9. American Boxbord Association (ABA)

5.1 สภาวะการเก็บตัวอย่าง (conditioning)

วัสดุหรือภาชนะบรรจุทุกชนิดก่อนที่จะนำมาทดสอบจะต้องผ่านการเก็บภายใต้สภาวะกำหนด ภายในระยะเวลาที่กำหนดก่อน เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุหรือภาชนะบรรจุแปรเปลี่ยนตามสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความชื้นของตัวอย่าง ฯลฯ ดังนั้นการจะเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบแต่ละครั้ง จะต้องให้ตัวอย่างนั้นผ่านสภาวะการเก็บเดียวกันมาก่อน และการแสดงผลการทดสอบจะต้องระบุสภาวะการเก็บหรือสภาวะที่ใช้ทดสอบเสมอ สภาวะการเก็บจะแตกต่างกันไปตามประเทศ แต่จะใช้เวลา 24 ชั่วโมงเท่ากัน บางกรณีอาจจะกำหนดสภาวะการเก็บขึ้นมาใหม่ให้เหมาะสมหรือใกล้เคียงกับการใช้งานจริง
(งามทิพย์, 2538) สภาวะการเก็บตัวอย่างของประเทศต่างๆ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สภาวะการเก็บตัวอย่างของประเทศต่างๆ

ประเทศ	สภาวะการเก็บ	
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)
อาร์เจนตินา, ออสเตรเลีย, เบลเยียม, ฝรั่งเศส, เยอรมันนี, เนเธอร์แลนด์	20 ± 2	65 ± 2
นิวซีแลนด์, อังกฤษ, แคนนาด, เม็กซิโก, แอฟริกาใต้, อเมริกา	23 ± 2	50 ± 2
อินเดีย, ไทย	27 ± 2	65 ± 2
อินโดนีเซีย	20-25 ± 2	70-80 ± 2

ที่มา : ดัดแปลงจาก งามทิพย์ (2538)

5.2 การทดสอบภาชนะบรรจุอาหาร

5.2.1 น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight หรือ grammage) หมายถึง น้ำหนักเป็นกรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร คุณสมบัตินี้ใช้กำหนดเกณฑ์สำหรับการซื้อขาย เนื่องจากค่าน้ำหนักมาตรฐานกระดาษชนิดหนึ่งจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณความชื้นและความแข็งแรงของกระดาษนั้นๆ นำกระดาษตัวอย่างมาตัดขนาดให้มีพื้นที่เหมาะสม เช่น 10 x 10 ตารางเซนติเมตร หรือปอนด์ต่อรีม (pound per ream) 1 รีม (U.S. ream) มีค่าเท่ากับกระดาษ 24 x 36 ตารางนิ้ว จำนวน 500 แผ่น วิธีทดสอบจะอาศัยมาตรฐาน ISO 536, ASTM D646 และ TAPPI T 410

5.2.2 ความหนา (thickness) หมายถึง ระยะทางตั้งฉากระหว่างผิวหน้าทั้งสองของกระดาษ หน่วยที่ใช้ทั่วไปเช่น มิลลิเมตร ไมครอน หรือนิ้ว และหน่วยที่ใช้เฉพาะวัสดุ เช่น point สำหรับกระดาษ (1 point = 1/1000 นิ้ว) mil (1 mil = 25 micron) และ gauge (100 gauga = 1 mil) สำหรับฟิล์มพลาสติกหรือวัสดุอ่อนตัวหลายชั้น ความหนาของกระดาษนี้บางครั้งก็เรียกว่า คาลิเปอร์ (caliper) นิยมใช้ตรวจคุณภาพของกระดาษ วัสดุอ่อนตัวทั่วไปและภาชนะบรรจุเกือบทุกประเภท เป็นวิธีทดสอบที่รวดเร็วและทำได้ง่าย ความหนาจะมีส่วนสัมพันธ์กับคุณสมบัติที่เกี่ยวกับความเหนียวในการโค้งงอและความแข็งตัว ราคา และกรรมวิธีต่างๆ ในการแปรรูปเป็นภาชนะบรรจุเช่น การพิมพ์ การตัด เป็นต้น เครื่องมือที่ใช้วัดความหนาของกระดาษบาง นิยมใช้เครื่องมือวัดที่มีความละเอียดและแม่นยำสูง เช่น ไมโครมิเตอร์ ถ้าเป็นกระดาษหนา เช่นแผ่นกระดาษลูกฟูกและแผ่นกระดาษแข็งจะใช้เวอร์เนีย มาตรฐานที่ใช้ได้แก่ ASTM D 645 และ TAPPI T 411

5.2.3 ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด (tear resistance) หมายถึง ความสามารถของกระดาษหรือพลาสติกที่จะต้านแรงซึ่งทำให้ชิ้นทดสอบขาดจากรอยเดิม การทดสอบจะทดสอบค่างานเฉลี่ยที่ใช้ในการฉีกกระดาษหรือพลาสติกที่มีรอยบากไว้แล้วหน่วยเป็นกรัมแรง x เมตร หรือนิวตัน x เมตร คุณสมบัตินี้บอกถึงความแข็งแรงของกระดาษ และสัมพันธ์กับค่าความต้านทานแรงดันทะลุ ซึ่งจะมีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพของพลาสติก กระดาษ ถุงกระดาษและกล่องกระดาษแข็ง เครื่องมือที่ใช้คือ Elmendorf tear tester โดยอาศัยมาตรฐาน ASTM D 607 และ TAPPI 414

5.2.4 ความต้านทานต่อแรงดันทะลุ (bursing strength) หมายถึง ความสามารถของกระดาษหรือพลาสติกที่จะต้านแรงดันที่กระทำบนชิ้นทดสอบด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนทำให้ชิ้นทดสอบนั้นขาด มีหน่วยเป็นนกิโลปาสคาล (KPa) หรือกิโลกรัมแรงต่อตาราง

เซนติเมตร (kgf/cm^2) คุณสมบตินี้มีความสัมพันธ์กับการต้านทานแรงดึงขาดและการต้านทานแรงฉีกขาด นิยมใช้ทดสอบคุณภาพของกระดาษ กระดาษแข็งหรือแผ่นลูกฟูกที่นำมาขึ้นรูปเป็นภาชนะ เช่น กล่อง ถัง เป็นต้น เครื่องมือที่ใช้คือ mullen tester มาตรฐานที่ใช้ได้แก่ มอก. 550, ISO 2759, ASTM D774, ASTM D2738, TAPPI T403 และ TAPPI T810

5.2.5 ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด (tensile strength) และการยืดตัว (elongation) หมายถึง ความสามารถของกระดาษหรือพลาสติกที่จะต้านแรงดึงที่กระทำที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งของชิ้นทดสอบที่มีความกว้างคงที่ จนชิ้นทดสอบนั้นขาด มีหน่วยเป็นนิวตันต่อความกว้างเป็นเมตรส่วนการยืดตัวหมายถึง ระยะที่ชิ้นทดสอบยืดตัวออกจนขาด มีหน่วยเป็นร้อยละของความยาวเดิมของชิ้นทดสอบ การทดสอบจะทำได้โดยแผ่นตัวอย่างทดสอบจะถูกตรึงระหว่างคีมหนีบ 2 ตัว โดยที่คีมหนีบตัวหนึ่งจะเคลื่อนที่เพื่อดึงแผ่นตัวอย่างจนกระทั่งขาด บันทึกแรงที่ใช้และค่าการยืดตัวของแผ่นทดสอบขณะขาด คุณสมบัตินี้สัมพันธ์กับความแข็งแรงของแผ่นทดสอบ การต้านทานแรงดันทะลุ การต้านทานแรงทิ่มทะลุ การต้านทานแรงฉีกขาด คุณภาพในการโค้งงอ ตลอดจนความแข็งแรงของรอยต่อเครื่องมือที่ใช้เรียกว่า tensile tester โดยใช้มาตรฐาน ASTM D828, ASTM D829, TAPPI T404 และ TAPPI T456

5.2.6 ปริมาณความชื้น (moisture content) หมายถึง ปริมาณของไอน้ำในกระดาษคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักเดิม วิธีทดสอบจะทำได้โดยการอบแผ่นตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดกซิเคเตอร์ นำมาชั่งน้ำหนักใหม่ ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งคือ ปริมาณความชื้นในตัวอย่าง นิยมรายงานค่าเป็นร้อยละ คุณสมบัตินี้มีความสัมพันธ์กับการพิมพ์ การเคลือบ การตัด การทากาว และกรรมวิธีอื่นๆ ในการทำเป็นภาชนะบรรจุ การทดสอบนี้มีความสำคัญต่อกระดาษ กระดาษแข็งและกระดาษลูกฟูกที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุ มาตรฐานที่ใช้ ได้แก่ ISO 278, ASTM D466 และ TAPPI T 412

5.2.7 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (water absorption) หมายถึง ปริมาณของน้ำเป็นกรัมที่กระดาษซึ่งมีพื้นที่ 1 ตารางเมตร สามารถดูดซึมได้ภายในเวลาที่กำหนดให้ การทดสอบนี้มีความสำคัญต่อการพิมพ์ (การดูดซึมน้ำหมึก) การทากาว การทนทานต่อสภาวะแวดล้อมขณะขนส่ง เช่น การเปียกฝน โดยค่านี้จะบอกถึงของเหลวที่ใช้กับกระดาษ เช่นน้ำ กาวเหลว หมึกพิมพ์ จะซึมเข้าไปในเนื้อกระดาษได้มากน้อยเพียงไร วิธีการทดสอบ เรียกว่า “คอบบ์ เทส” (Cobb test) และใช้เครื่องมือ cobb sizing tester มาตรฐานที่ใช้ ได้แก่ ISO 535 และ ASTM D2045

5.2.8 การต้านทานต่อไขมัน (trupentine test) หมายถึง เวลาที่เป็นวินาทีที่แผ่นทดสอบจะต้านการซึมผ่านของไขมัน โดยจะรายงานเป็นค่าของเวลาที่ปรากฏรอยไขมันบนแผ่นตัวอย่างด้านตรงข้ามกับด้านที่สัมผัสกับไขมัน แผ่นทดสอบมักเป็นกระดาษชุบไข จุดประสงค์ของการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการต้านทานการซึมผ่านของไขมันของกระดาษชุบไขต่างชนิดกัน มาตรฐานที่ใช้ได้แก่ TAPPI 454, ASTM D722 (ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการบรรจุหีบห่อ, 2526)

5.2.9 การต้านการขัด (abrasion resistance) หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะทนต่อการเสียดสีระหว่างการขนส่งหรือระหว่างแผ่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีวัสดุปลกปลอม เช่น ทรายอยู่ระหว่างชิ้นของกระดาษ ซึ่งอาจทำให้เกิดการแยกระหว่างชั้น ผลการวิเคราะห์รายงานเป็นมิลลิกรัมต่อการขัด 1000 รอบ วิธีการนี้อาจใช้สำหรับฟิล์มพลาสติก แต่จะรายงานเป็นร้อยละของแสงที่ผ่าน (percentage of transmitted light) เครื่องมือที่ใช้คือ abraser โดยใช้มาตรฐาน TAPPI T478 (paper and paperboard) ASTM D1044 (transparent plastic)

5.2.10 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate) หมายถึง ปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านจากผิวหน้าหนึ่งไปยังอีกผิวหน้าหนึ่งของหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวของวัสดุ หรือภาชนะบรรจุ ในระยะเวลาที่กำหนดและภายใต้สภาวะที่คงที่ ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในการวิเคราะห์ ปริมาณการซึมผ่านไอน้ำของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุจะมีความสัมพันธ์กับการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสมให้คุ้มครองสินค้าไม่ให้เสื่อมสภาพในระยะเวลาที่กำหนด มาตรฐานที่ใช้คือ ISO 2528 และ ASTM E 96

5.2.11 อัตราการซึมผ่านของก๊าซ (gas transmission rate) หมายถึง ปริมาตรของก๊าซที่ซึมผ่านจากผิวหน้าหนึ่งไปยังอีกผิวหน้าหนึ่งของหน่วยพื้นที่ผิวของวัสดุ หรือภาชนะบรรจุ ในระยะเวลาที่กำหนด และภายใต้ผลต่างของความดันหนึ่งหน่วย มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อบรรยากาศ ที่อุณหภูมิในการวิเคราะห์ ก๊าซที่ซึมผ่านภาชนะบรรจุได้อาจเป็นออกซิเจน ไนโตรเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซบางชนิดทำให้สินค้าเสื่อมคุณภาพ แต่สินค้าบางชนิดต้องการก๊าซเพื่อรักษาคุณภาพ ปริมาณการซึมผ่านของก๊าซของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุจึงมีความสัมพันธ์กับการเลือกใช้ภาชนะที่สามารถคุ้มครองสินค้าไม่ให้เสื่อมสภาพในระยะเวลากำหนดมาตรฐานที่ใช้ได้แก่ ASTM D 1431 method

5.2.12 ความหนาแน่น (density) หมายถึง น้ำหนักของชิ้นทดสอบต่อ 1 หน่วยปริมาตร ณ อุณหภูมิที่กำหนด หน่วยที่นิยมใช้คือ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cc) และกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) คุณสมบัตินี้บางครั้งจะใช้สำหรับการบ่งบอกชนิดของฟิล์มหรือแผ่นพลาสติกได้ เพราะพลาสติกชนิดต่างๆกันจะมีค่าของความหนาแน่นต่างกัน ในการวิเคราะห์ความหนาแน่นของฟิล์มพลาสติกหรือพลาสติกจะใช้วิธีแทนที่น้ำตามกฎของอาคีมีดีส โดยใช้มาตรฐาน ASTM D 729, BS 2782

6. การวางแผนการทดลอง (อนุวัตร, 2549)

6.1 การวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดโดยสมบูรณ์ (CRD)

แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดโดยสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) เป็นแผนการทดลองที่ง่ายที่สุด โดยสิ่งทดลองถูกสุ่มจัดลงในหน่วยการทดลอง เป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพดีมาก ถ้าหน่วยการทดลองมีความสม่ำเสมอ และประยุกต์ใช้ในการพัฒนาสูตร พัฒนากรรมวิธีการผลิต การศึกษาอายุการเก็บ การทดสอบทางประสาทสัมผัส การสุ่มไม่จำเป็นต้องทำซ้ำเท่ากัน แต่เพื่อความสะดวกนิยมใช้เท่ากัน การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะเป็นความแปรปรวนแบบทางเดียว โดยที่ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจะเกิดจากสิ่งทดลองเท่านั้น

6.2 การวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์ (RCBD)

แผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCB, RCBD, RBD) เป็นแผนการทดลองที่ง่าย สิ่งทดลองถูกสุ่มจัดลงในบลอคเพื่อให้ภายในบลอคมีความสม่ำเสมอมากที่สุด มีประสิทธิภาพดีมาก ถ้าหน่วยของการทดลองไม่มีความสม่ำเสมอสามารถประยุกต์ใช้ในการทดลองทางประสาทสัมผัส การสุ่มไม่จำเป็นต้องทำซ้ำเท่ากันในแต่ละบลอค แต่เพื่อความสะดวกนิยมใช้เท่ากัน และการวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์มีข้อกำหนดคือ ไม่ต้องมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างบลอคและสิ่งทดลอง

7. การจัดการทดลองแบบแฟคทอเรียล (factorial experiment)

อนุวัตร (2549) แฟคทอเรียล (factorial experiment) เป็นการจัดการทดลอง ไม่ใช่แผนการทดลอง การทดลองแบบนี้ ผู้ทดลองสามารถที่จะศึกษาปัจจัย (factor) ต่างๆ ได้ในเวลาเดียวกัน

รวมทั้งสามารถศึกษาปฏิกิริยาสัมพันธ์จากแต่ละปัจจัยมารวมกันได้ด้วย เช่น อุณหภูมิ, ความเข้มข้นของสารเคมี, ตัวคะตะลิสต์ ในกระบวนการทางเคมี เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกัน และมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน อย่างไรก็ตามการจัดการทดลองแบบนี้อาจจะทำให้ไม่สามารถศึกษาแต่ละปัจจัยได้อย่างละเอียดถ้ามีปัจจัย และระดับต่างๆ มากเกินไปเพราะถ้าเกิดความแปรปรวนในวัตถุหรือวัสดุในการทดลองมาก

ภายใต้การจัดการทดลองแบบนี้ ทุกๆ ระดับของแต่ละปัจจัยจะปรากฏพร้อมกันกับทุกๆ ระดับทุกปัจจัยอื่นๆ ผู้ทดลองสามารถจัดการทดลองแบบแฝดทอเรียลได้ในหลายๆ แบบของการทดลอง เช่น CRD, RCBD เป็นต้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำกระดาษ

1.1 เศษกระดาษลูกฟูก จากบริษัท สยามบรรจุภัณฑ์ จำกัด จังหวัดปทุมธานี

1.2 เครื่องตีเยื่อแบบฮอแลนเดอร์

1.3 ตะแกรงลวดขนาด 21 x 30 ตารางเซนติเมตร

1.4 ตู้อบลมร้อนแบบถาดที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ (Tray dryer) รุ่น B.W.S บริษัท ห.จ.ก.บี.ดับบลิว.เอส.เทรดดิ้ง ประเทศไทย

2. วัตถุดิบในการทดสอบวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาแล้ว

2.1 มะม่วงน้ำดอกไม้ (*Mangifera indica Linn*. cv. Nam Dok Mai) จากสวนแก้ววงษ์นุกูล อ.บางคล้า จังหวัด ฉะเชิงเทรา อายุการเก็บเกี่ยว 110 วันหลังดอกบานเต็มที่ จะคัดเลือกผลที่มีน้ำหนัก ขนาด และสีเขียวอมเหลืองใกล้เคียงกัน มะม่วงต้องมีน้ำหนัก 550 – 650 กรัม ปราศจากโรคและแมลงหรือรอยตำหนิ เพื่อนำมาทดสอบการขนส่งมะม่วงในสภาวะการขนส่งจริง (real-life shipment test)

3. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพกระดาษ (หน่วยเยื่อกระดาษและเส้นใยธรรมชาติ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร)

3.1 เครื่องชั่งละเอียดสามตำแหน่ง

3.2 เครื่องวัดค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Schopper Tensile Tester, Kumakai RikiKogyo)

3.3 เครื่องวัดค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tearing Tester)

3.4 ไมโครมิเตอร์

3.5 เครื่องวัดสี Automatic Reflectance Colorimeter ยี่ห้อ Tintometer Model RT 100

3.6 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Binder บริษัทไซแอนติฟิคโปรโมชั่น จำกัด

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ

4.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

4.2 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS® for Windows version 12 SPSS (Thailand) Co., Ltd.

วิธีการ

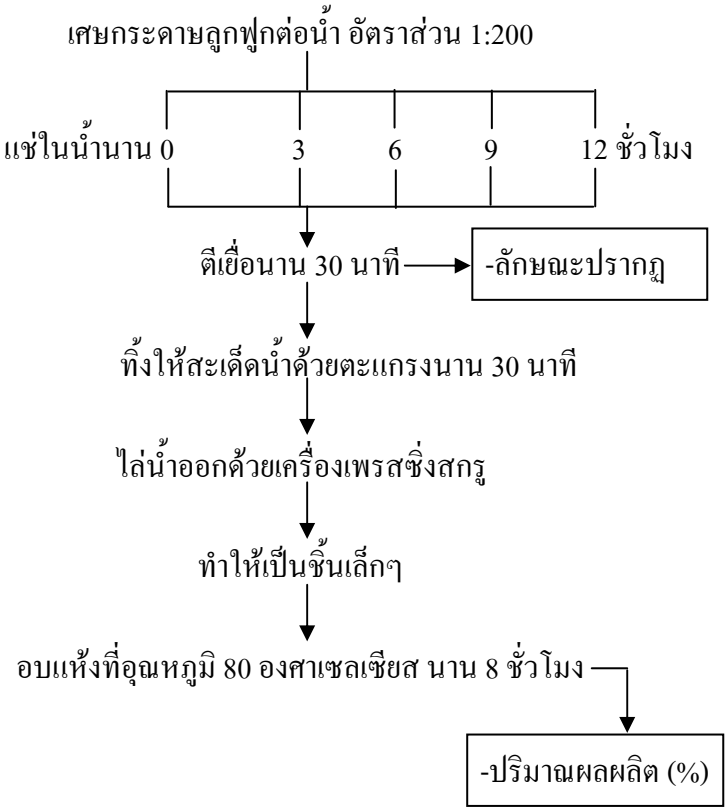
1. การสำรวจและรวบรวมข้อมูลวัสดุกันกระแทกและการตลาดสำหรับการขนส่งผลไม้สด

สำรวจและรวบรวมข้อมูลวัสดุกันกระแทกและการตลาดสำหรับการขนส่งผลไม้ที่มีจำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2550 – มกราคม 2551 จากผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย ผู้ผลิต ผู้จัดจำหน่าย ผู้ส่งออก และผู้บริโภค เพื่อทราบถึงลักษณะและรูปแบบของภาชนะบรรจุที่มีอยู่ ปัญหาที่เกิดขึ้น และรูปแบบภาชนะบรรจุที่ต้องการ โดยสัมภาษณ์เชิงลึก (depth interview) ผู้ที่เกี่ยวข้องจำนวน 15 คน ตามขั้นตอน (Lawless and Heymann, 1999) และคำถามในภาคผนวก ก นำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์ผลสร้างเป็นแนวความคิดผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกเพื่อการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้ในขั้นตอนต่อไป

2. การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำ และระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษต่อคุณภาพของเยื่อ

2.1 การศึกษาระยะเวลาในการเตรียมเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูก

การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่เศษกระดาษลูกฟูก วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) คือ ระยะเวลาในการแช่เศษกระดาษลูกฟูก 5 ระดับ (0, 3, 6, 9 และ 12 ชั่วโมง) มีสิ่งทดลองทั้งหมด 5 สิ่งทดลอง (ภาพที่ 1) โดยชั่งเศษกระดาษลูกฟูกนำมาแช่ในน้ำในอัตราส่วนที่ 1:200 ตามเวลาที่ศึกษาโดยใช้ปริมาณน้ำ 75 ลิตร ตีเยื่อด้วยเครื่องตีเยื่อแบบฮอแลนเดอร์นาน 30 นาที ตรวจสอบคุณภาพ คือ ลักษณะปรากฏ (appearance) ของเยื่อ จากนั้นนำเยื่อที่ได้มาวางบนตะแกรงนาน 30 นาที เพื่อสะเด็ดน้ำ แบ่งเยื่อที่ได้ครั้งละ 1 กิโลกรัม มาไล่น้ำออกด้วยเครื่องเพรสซิ่งสกรู (pressing screw) วัดค่าผลผลิตของเยื่อที่ได้ (%Yield) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำการทดลอง



ภาพที่ 1 กรรมวิธีการเตรียมเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูก
ที่มา : ดัดแปลงจาก วุฒินันท์ (2545)

2.2 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำ และระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษ

การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำ และระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษ โดยจัดการทดลองแบบแฝดทอเรียลในการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (factorial in CRD) ศึกษา 2 ปัจจัยคือ อัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำ 4 ระดับ (อัตราส่วน 1:200, 1:150, 1:100 และ 1:50) และระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษ 4 ระดับ (15, 30, 45 และ 60 นาที) รวมทั้งหมด 16 สิ่งทดลอง (ภาพที่ 2) โดยชั่งเศษกระดาษลูกฟูกและน้ำตามอัตราส่วนที่ศึกษาโดยใช้ปริมาณน้ำคงที่เท่ากับ 75 ลิตร ตีเยื่อด้วยเครื่องตีเยื่อแบบฮอแลนเดอร์ตามเวลาที่ศึกษาโดยไม่ทำการแช่เศษกระดาษลูกฟูก จากนั้นนำเยื่อที่ได้มาวางบนตะแกรงนาน 30 นาที แบ่งเยื่อที่ได้ครั้งละ 1 กิโลกรัม มาไล่น้ำออกด้วยเครื่องเพรสซิ่ง สกรู นำมาวัดค่าดังนี้

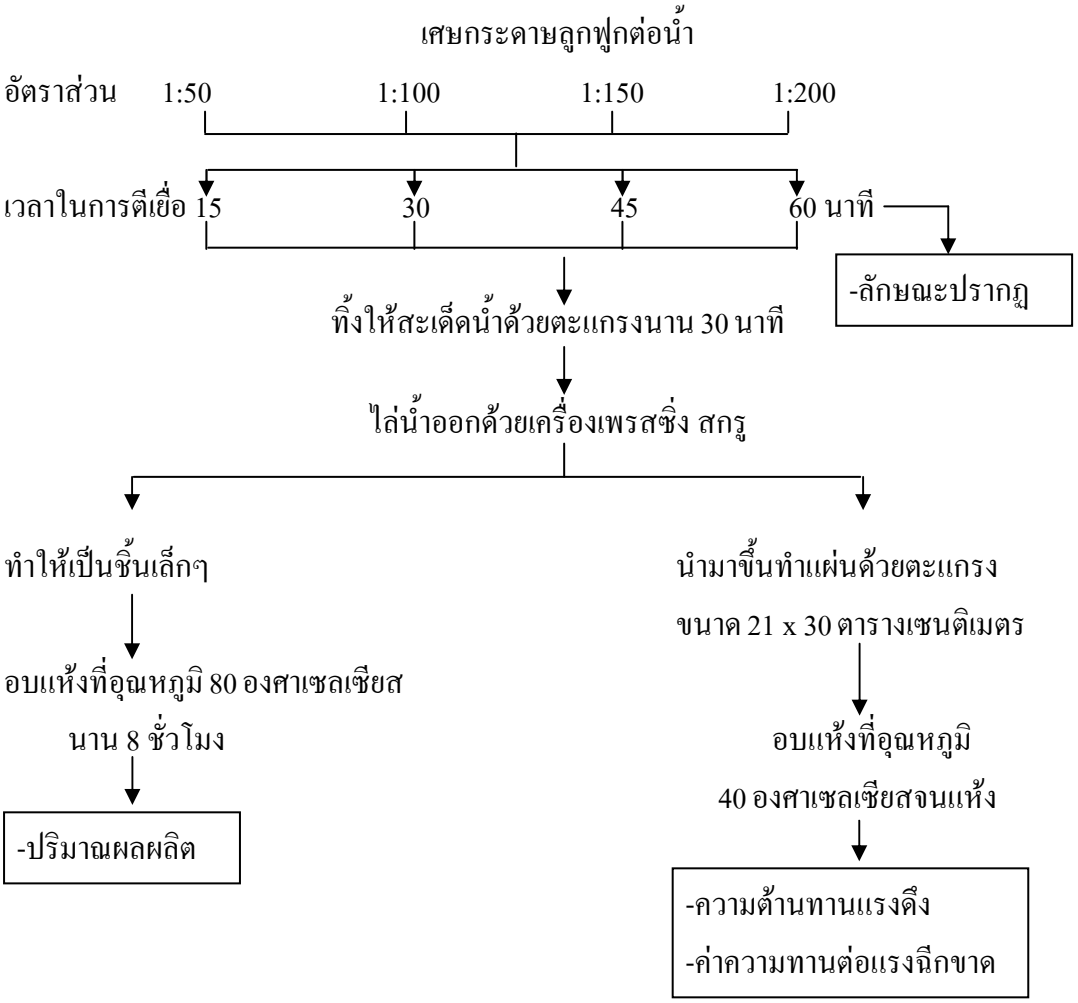
2.2.1 ลักษณะปรากฏ

2.2.2 ปริมาณผลผลิต โดยแบ่งเยื่อกระดาษเป็นชิ้นเล็กๆ และอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วคำนวณหาปริมาณผล ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำการทดลอง

2.2.3 ค่าดัชนีต้านทานแรงดึง (tensile index) โดยนำเยื่อที่ไม่ผ่านการอบมาทำแผ่น (forming) ขนาด 21x30 ตารางเซนติเมตร กำหนดน้ำหนักต่อพื้นที่ผิว 100 กรัมต่อตารางเมตร และอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นำกระดาษที่ได้มาวัดค่าดัชนีต้านทานแรงดึงของกระดาษด้วยเครื่อง schopper tensile tester ตามวิธีของ Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI) T494 om-92 (2001) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำการทดลองและหาค่าเฉลี่ยของกระดาษจากเศษกระดาษลูกฟูก 12 แผ่น

2.2.4 ค่าดัชนีต้านทานแรงฉีกขาด (tearing index) โดยนำกระดาษที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างตามวิธีข้อ 2.2.3 มาวัดค่าดัชนีต้านทานต่อแรงฉีกขาดของกระดาษด้วยเครื่อง elmendorlf tearing tester ตามวิธีของ TAPPI T414 om-98 (2001) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำการทดลองและหาค่าเฉลี่ยของกระดาษจากเศษกระดาษลูกฟูก 12 แผ่น

2.2.5 วิเคราะห์ค่าทางสถิติ วิเคราะห์ข้อมูลหาความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าคุณภาพทางกายภาพ จากข้อ 2.2.2 - 2.2.4 โดยนำข้อมูลที่ได้จากการวัดค่ามาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเมื่อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใช้ วิธี Duncan’s New Multiple’s Range Test (DMRT) เพื่อทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าคุณภาพ



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการผลิตและวัดค่ากระดาษรีไซเคิล

3. การพัฒนาแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกและศึกษาคุณภาพ

3.1 การศึกษาเวลาในการทำแห้งเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูก

การศึกษาเวลาในการทำแห้งเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูกที่อุณหภูมิต่างๆ ที่เหมาะสมในการทำแห้งเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูก โดยนำเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างตามวิธีข้อ 3.2.2 และมีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด มาศึกษาเวลาในการทำแห้ง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) คือ อุณหภูมิในการทำแห้ง 2 ระดับ (80 และ 100 องศาเซลเซียส) มีสิ่งทดลองทั้งหมด 2 สิ่งทดลอง โดยแบ่งเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูกเป็นชิ้นเล็กๆ และอบตามอุณหภูมิที่ต้องการศึกษา ทำการชั่งน้ำหนักของเยื่อทุก 15 นาทีจนน้ำหนักคงที่ แล้วนำมาหาเวลาที่ทำให้

น้ำหนักของเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูกคงที่ในแต่ละอุณหภูมิ นำเยื่อที่ได้มาวัดค่าดังต่อไปนี้ ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำการทดลอง

3.1.1 สีของเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูก (color) นำเยื่อกระดาษที่ผ่านการอบแห้งย่อยละเอียดด้วยมือและบรรจุลงในตลับที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.5 เซนติเมตร สูง 1 เซนติเมตร จำนวน 10 สิ่งทดลอง มาวัดค่าสีในระบบ CIELAB ตามวิธีของ CIE (1986) ด้วยเครื่อง Automatic Reflectance Colorimeter Model RT 100 แหล่งกำเนิดแสง D65 ทำการวัดค่าที่มุม 10° ค่าที่วัดได้แก่ ค่าสี L* (ค่าความสว่างมีค่า 0-100 โดย 0 หมายถึง วัตถุมีสีดำ, 100 หมายถึงวัตถุมีสีขาว), a* (+ หมายถึง วัตถุมีสีออกแดง, - หมายถึงวัตถุมีสีออกเขียว) และ b* (+หมายถึง วัตถุมีสีออกเหลือง, - หมายถึงวัตถุมีสีออกน้ำเงิน) (ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2542)

3.1.2 ปริมาณความชื้น โดยการอบเยื่อตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดกซิเคเตอร์ นำมาชั่งน้ำหนักใหม่ ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งคือ ปริมาณความชื้นในตัวอย่าง

3.2 การพัฒนาแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก

พัฒนาแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก โดยจัดการทดลองแฟคทอเรียลแบบสุ่มสมบูรณ์ (factorial in CRD) ศึกษา 2 ปัจจัยคือ ระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษ 3 ระดับ (30, 45 และ 60 นาที) และความสูงของปุ่มกันกระแทกของแผ่นวัสดุกันกระแทก 2 ระดับ (0.25 และ 0.5 เซนติเมตร) รวมทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง (ตารางที่ 2) โดยนำเยื่อที่อัตราส่วน 1:50 มาขึ้นรูปเป็นแผ่นกันกระแทก (forming) ขนาด 21x30 ตารางเซนติเมตร โดยมีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 และ 0.50 เซนติเมตร คำนวณหาพื้นที่ผิวของแบบขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันกระแทก และหาปริมาณความชื้นของเยื่อที่ไม่ผ่านการอบเพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณเยื่อที่ต้องใช้ในการขึ้นรูปเป็นแผ่นวัสดุกันกระแทก โดยกำหนดให้น้ำหนักกระดาษที่ได้มีน้ำหนักต่อพื้นที่ผิวประมาณ 100 กรัมต่อตารางเมตร และอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3) นำมาวัดค่าดังนี้

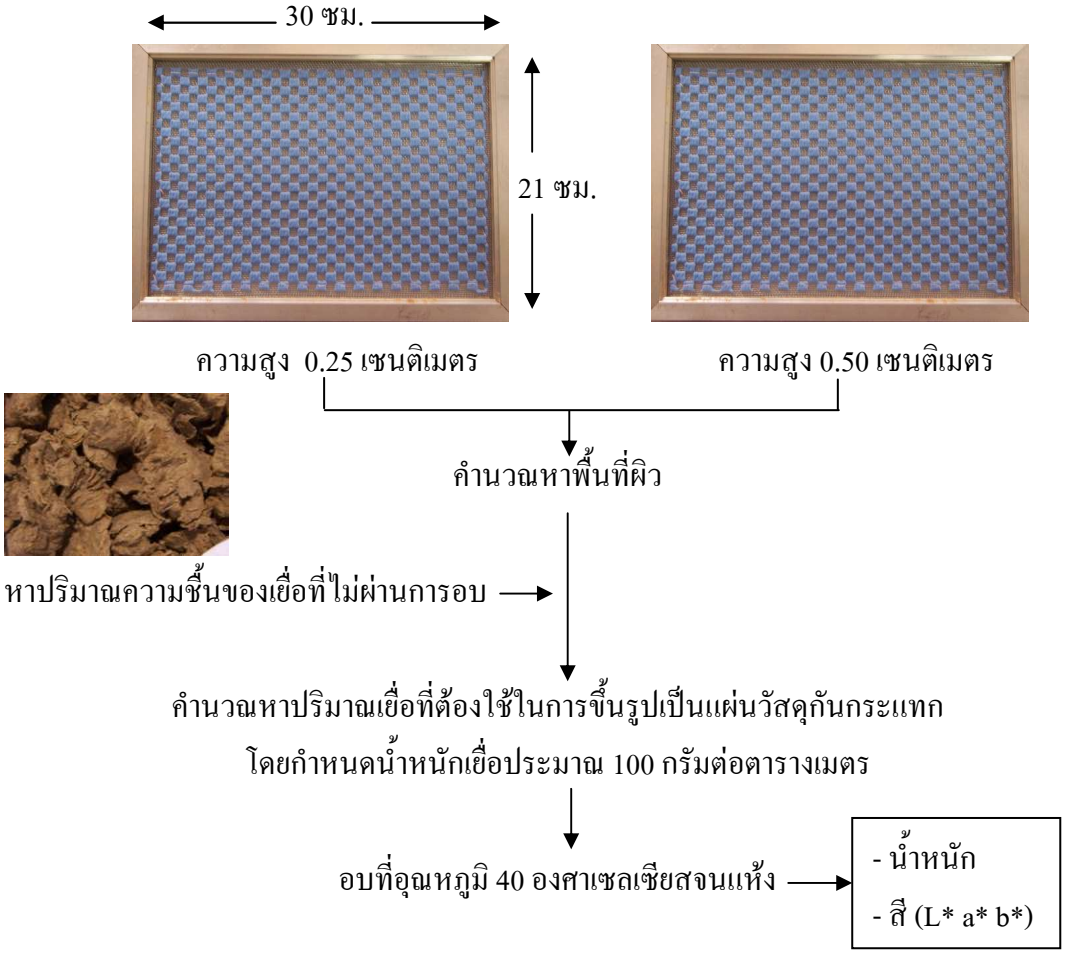
3.2.1 สีของแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่พัฒนาได้ (color)ในระบบ CIELAB ตามวิธีของ CIE (1986) โดยวัดผิวหน้าด้านเรียบของแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่พัฒนาได้ ตามข้อ 3.1.1

3.2.2 น้ำหนักต่อแผ่นของแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่พัฒนาได้ โดยนำแผ่นวัสดุกันกระแทกมาชั่งด้วยเครื่องชั่งสามตำแหน่ง

3.2.3 วิเคราะห์ค่าทางสถิติ วิเคราะห์ข้อมูลหาความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าคุณภาพทางกายภาพ จากข้อ 3.2.1 – 3.2.2 โดยนำข้อมูลที่ได้จากการวัดค่ามาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและเมื่อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใช้ วิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) เพื่อทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าคุณภาพ

ตารางที่ 2 สิ่งทดลองที่ใช้ศึกษาความสามารถในการกันกระแทกระหว่างการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้ของวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก

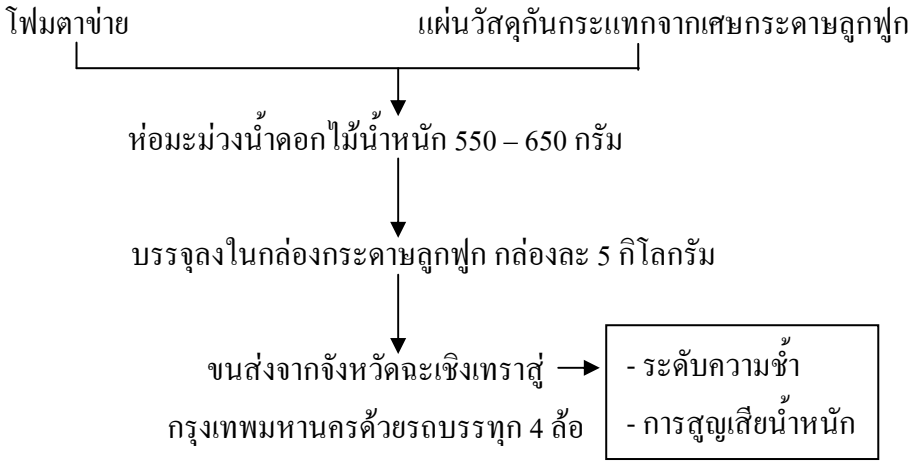
สิ่งทดลองที่	วัสดุกันกระแทก		
	ความสูงของปุ่มกันกระแทก (เซนติเมตร)	ระยะเวลาในการตีเยื่อ (นาที)	
1	0.25	30	
2		45	
3		60	
4	0.50	30	
5		45	
6		60	
7	โฟมตาข่าย		



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการพัฒนาแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกและศึกษาคุณภาพ

3.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกในระหว่างการขนส่ง นำแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ได้จากข้อ 3.2 โดยหันผิวหน้าด้านปุ่มกันกระแทกสัมผัสกับผลมะม่วง ห่อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ที่เก็บเกี่ยวได้ในจังหวัดฉะเชิงเทรา อายุการเก็บเกี่ยว 115 วันหลังดอกบานเต็มที่ คัดเลือกผลที่มีน้ำหนัก ขนาด และสีเขียวอมเหลืองใกล้เคียงกัน มีน้ำหนักผลประมาณ 550 – 650 กรัม ปราศจากโรค แมลงหรือรอยตำหนิ เปรียบเทียบกับการใช้โฟมตาข่ายขนาดกลางที่มีความยาว 17 เซนติเมตร แล้วบรรจุลงในกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในการขนส่งจริงในประเทศไทย (36.5x28x12 ลูกบาศก์เซนติเมตร) ขนส่งมะม่วงจากแหล่งผลิตด้วยรถกระบะ 4 ล้อ จากโรงคัดบรรจุสวนแก้ววงษ์นุกูล อ.บางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา มาที่ห้องปฏิบัติการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ระยะทาง 113 กิโลเมตร โดยมีน้ำหนักบรรจุ 5 กิโลกรัม (เหมือนการขนส่งจริง) หลังจากการขนส่งแล้วเก็บ

รักษามะม่วงไว้ที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส) (ภาพที่ 4) วิเคราะห์ค่าคุณภาพต่างๆ ของมะม่วง ดังนี้



ภาพที่ 4 ขั้นตอนศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการตีเยื่อและความสูงของปุ่มกันกระแทกของแผ่นวัสดุกันกระแทกต่อความสามารถในการกันกระแทกระหว่างการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้

ภาพที่ 5 การเก็บรักษาสิ่งทดลองหลังการขนส่งที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการตีเยื่อและความสูงของปุ่มกันกระแทกของแผ่นวัสดุกันกระแทกที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส)

ก. ระดับความช้ำ (degree of bruising) ตรวจสอบระดับความช้ำหลังจากทดสอบการขนส่ง 5 วัน โดยแบ่งระดับความช้ำออกเป็น 3 ระดับตามเส้นผ่านศูนย์กลางรอยช้ำ (Chonhenchob and Singh, 2003) ดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางรอยช้ำ (เซนติเมตร)	ระดับความช้ำ
<1	เล็กน้อย
1-2	ปานกลาง
>2	รุนแรง

คำนวณหาปริมาณความช้ำรวมเป็นร้อยละของจำนวนมะม่วงในแต่ละสิ่งทดลอง

ข. การสูญเสียน้ำหนัก (weight loss) วัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของมะม่วงในระบบการบรรจุแบบต่าง ๆ หลังเก็บมะม่วง 24 ชั่วโมง โดยคำนวณจาก

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักมะม่วงเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้ายในเวลากำหนด})}{\text{น้ำหนักของมะม่วงเริ่มต้น}} \times 100$$

4. การศึกษาวิธีใช้แผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาได้เพื่อกันกระแทกมะม่วงในระหว่างการขนส่ง

เนื่องจากแผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาได้มีลักษณะคล้ายแผ่นกันกระแทกทางการค้า (bubble wrap) มี 2 ด้านแตกต่างกัน คือ ด้านหน้ามีลักษณะเรียบ อีกด้านหน้าหนึ่งมีลักษณะเป็นปุ่ม จึงศึกษาวิธีใช้แผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาได้ในการกันกระแทกมะม่วงระหว่างการขนส่ง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ปัจจัยที่ศึกษาคือ ลักษณะผิวหน้าของแผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาได้ที่สัมผัสกับมะม่วง 2 ระดับ (ด้านเรียบ และด้านมีปุ่ม) เปรียบเทียบกับการใช้โฟมตาข่าย (ตารางที่ 2) รวมทั้งหมด 3 สิ่งทดลอง โดยนำเยื่อที่อัตราส่วน 1:50 ระยะเวลาในการตีเยื่อนาน 30 นาที ที่ไม่ผ่านการอบมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกันกระแทก จากนั้นนำแผ่นวัสดุกันกระแทกที่ได้มาศึกษาความสามารถในการกันกระแทกโดยใช้แผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาได้ห่อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้แล้วบรรจุลงในกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในการขนส่งจริงในประเทศไทย ตามวิธีในข้อ 3 แล้ววิเคราะห์ค่าคุณภาพต่างๆ ของมะม่วงดังนี้

4.1.1 ระดับความช้ำ ตามข้อ 3.2.4 ก.

4.1.2 การสูญเสียน้ำหนัก ตามข้อ 3.2.4 ข.

ตารางที่ 3 สิ่งทดลองเพื่อการศึกษาวิธีใช้แผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาได้เพื่อกันกระแทกมะม่วงในระหว่างการขนส่ง

สิ่งทดลองที่	วัสดุกันกระแทก	ลักษณะการห่อ	ภาพแสดงการห่อ
1	โฟมตาข่าย	-	
2	วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก	ด้านเรียบสัมผัสกับผลมะม่วง	
3	วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก	ด้านมีลักษณะเป็นปุ่มสัมผัสกับผลมะม่วง	

ภาพที่ 6 การเก็บรักษาสิ่งทดลองหลังการขนส่งเพื่อศึกษาวิธีใช้แผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาได้ที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส)

ผลและวิจารณ์

1. การสำรวจและรวบรวมข้อมูลวัสดุกันกระแทกและการตลาดสำหรับการขนส่งผลไม้สด

ผลการสำรวจและรวบรวมข้อมูลวัสดุกันกระแทกและการตลาดสำหรับการขนส่งผลไม้สด โดยสำรวจและเก็บข้อมูลจากตลาดค้าส่ง 3 แห่ง คือ ตลาดไท ปากคลองตลาดและตลาดสี่มุมเมือง ในวันที่ 9 ตุลาคม 2550 และวันที่ 5 มกราคม 2550 ด้วยการสัมภาษณ์เชิงลึก กับผู้ใช้วัสดุกันกระแทกในตลาด (ภาพที่ 7) จำนวน 15 ราย พบว่า ผลไม้ที่ผลิตภายในประเทศจะมีการขนส่งด้วยรถกระบะ 4 ล้อ โดยผลไม้ส่วนใหญ่ที่รับมามักพบปัญหาเรื่องการช้ำ การเน่าเสีย และผลไม้เป็นโรคตามลำดับ เนื่องจากระยะทางในการขนส่งที่ค่อนข้างไกลและไม่มีวัสดุกันกระแทกที่เหมาะสม ส่วนมากผู้ผลิตจะใช้กระดาษหนังสือพิมพ์รองเข่งหรือตะกร้าเพื่อป้องกันไม่ให้เข่งหรือตะกร้า ขูดขีดผิวของผลไม้เท่านั้น โดยระหว่างผลจะไม่มีการห่อด้วยวัสดุกันกระแทก ทำให้เกิดการกระแทกและกดทับกันขณะขนส่ง และเก็บรักษา (ภาพที่ 8) จึงทำให้ผลไม้เกิดการช้ำและเก็บรักษาได้ไม่นาน เนื่องจากผลไม้จะเกิดการเน่าเสียและสุกเร็วขึ้น ในขณะที่ผลไม้นำเข้าจากต่างประเทศ เช่น แอปเปิ้ลและสาลี่ที่รับจากท่าเรือ ผู้ค้าส่งจะขนสินค้าด้วยรถสิบล้อจัดเรียงสินค้าด้วยการวางซ้อนกันประมาณ 8-10 ชั้น มายังตลาดค้าส่ง ผลไม้นำเข้าจะบรรจุด้วยกล่องกระดาษลูกฟูก โดยสวมผลไม้แต่ละผลด้วยโฟมตาข่าย และรองผลไม้ที่สวมโฟมตาข่ายแล้วด้วยเยื่อกระดาษขึ้นรูปหรือแผ่นกระดาษลูกฟูกในแต่ละชั้น ในขณะที่ผู้ส่งออกผลไม้จะเก็บเกี่ยวผลผลิตและบรรจุลงในกล่องกระดาษลูกฟูกหรือตะกร้าพลาสติก ก่อนส่งให้โรงคัดบรรจุภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง และโรงคัดบรรจุจะทำความสะอาดและคัดเลือกผลไม้ก่อนสวมด้วยโฟมตาข่ายเพื่อบรรจุลงในกล่องกระดาษลูกฟูกตามมาตรฐานที่ตกลงทางการค้าและขนส่งด้วยรถกระบะหรือรถบรรทุก 10 ล้อไปยังท่าเรือสนามบินเพื่อส่งออก (ภาพที่ 9) โดยพบปัญหาเรื่องการเน่าเสีย การช้ำ และผลไม้เป็นโรคตามลำดับ ด้วยบรรจุปัญหาเหล่านี้จึงทำให้ผู้ผลิต ผู้จัดจำหน่ายและผู้ส่งออกคำนึงถึงความสำคัญของภาชนะบรรจุและรูปแบบการบรรจุที่ใช้

ตารางที่ 4 สรุปผลการสำรวจและรวบรวมข้อมูลวัสดุกันกระแทกและการตลาดสำหรับการขนส่งผลไม้ของผู้ใช้วัสดุกันกระแทกจากการทำการสัมภาษณ์เชิงลึก (Depth interview)

คำถาม	คำตอบ
1. ผลไม้ที่ได้รับมาผ่านการขนส่งแบบใด	- รถกระบะ 4 ล้อ - รถบรรทุก
2. ผลไม้ที่บรรจุแล้วจะขนส่งแบบใด	- รถกระบะ 4 ล้อ - รถบรรทุก - เครื่องบิน - เรือ
3. ผลไม้ที่ผ่านการขนส่งแล้วจะถึงผู้รับภายในกี่วัน	- 1-2 วัน ในกรณีขนส่งภายในประเทศ - ภายใน 24 ชั่วโมงในกรณีนำเข้าจากต่างประเทศ
4. ผลไม้ที่รับมามีปัญหาอะไรบ้าง	- การช้ำ - มีผิวเหี่ยว - ผลไม้เป็นโรค
5. เหตุใดผลไม้จึงช้ำ	- การกระแทกระหว่างขนส่ง - การบรรจุนั้นไม่มีวัสดุกันกระแทก - การจัดเรียงที่เกิดการเบียดหรือซ้อนทับกันมากเกินไป - วัสดุกันกระแทกไม่ดี - การตกหล่น
6. วัสดุกันกระแทกที่ใช้อยู่เป็นแบบใด	- ห่อกระดาษหนังสือพิมพ์ - แผ่นกระดาษกั้น (แผ่นกระดาษลูกฟูก) - ผลิตภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป - โฟมตาข่าย - กระดาษตัดฝอย

ตารางที่ 4 (ต่อ)

คำถาม	คำตอบ	
7. บรรจุภัณฑ์ที่ใช้อยู่ภายในกิจการเป็นแบบใด	- เข่งไม้ไผ่ - กล่องกระดาษลูกฟูก - ตะกร้าพลาสติก - ตะกร้าหูเหล็ก	
8. มีการจัดสินค้าขณะขนส่งแบบใด	- เรียงซ้อนไม่เกิน 8 ชั้น - เรียงซ้อนไม่เกิน 10 ชั้น	
9. ทำไมถึงเลือกใช้โฟมตาข่าย	- ไม่มีวัสดุกันกระแทกตัวอื่น - เพื่อไม่ให้ผลไม้ช้ำ - เป็นข้อตกลงทางการค้า - เพื่อความสวยงาม - ทำให้ผลไม้ดูมีราคามากขึ้น	
10. โฟมตาข่ายมีกี่ขนาดและราคาต่อหน่วย	ขนาดความยาวโฟมตาข่าย (ซม.)	ราคาต่อหน่วย (บาท)
	10 12	≤0.6
	15 17	0.7-0.8
	20 24 30	≥1
11. วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกควรจะมีลักษณะแบบใด	- ราคาไม่แพง - ทนทาน - นำกลับมาใช้ใหม่ได้	- ใช้ง่าย - สวยงาม
12. ราคา/หน่วยของวัสดุกันกระแทกที่ท่านต้องการ	- ราคาต่ำกว่าโฟมตาข่าย (0.7 บาท/ หน่วย) - 0.5 บาทต่อหน่วย	

จากการสัมภาษณ์ทางด้านทัศนคติและความต้องการรูปแบบลักษณะวัสดุกันกระแทก พบว่า ผู้ใช้วัสดุกันกระแทกในตลาดคิดว่าวัสดุกันกระแทกไม่ใช่สิ่งจำเป็นสำหรับผลไม้ที่ขนส่งภายในประเทศ เนื่องจากการใช้วัสดุกันกระแทกเป็นการเพิ่มต้นทุนโดยไม่จำเป็น และจะสวมวัสดุกันกระแทกให้กับผลไม้ในชนิดหรือพันธุ์ที่มีราคาค่อนข้างสูงเท่านั้น ในขณะที่ผู้นำเข้าผลไม้มีความเข้าใจว่าโฟมตาข่ายเป็นสัญลักษณ์อย่างหนึ่งของผลไม้ที่มีราคาค่อนข้างสูง แต่ไม่ทราบถึงวัตถุประสงค์ที่แท้จริงของโฟมตาข่ายที่สวมผลไม้ เมื่อสอบถามถึงความต้องการในคุณลักษณะของวัสดุกันกระแทก ผู้ประกอบการต้องการวัสดุกันกระแทกที่มีราคาถูกเป็นอันดับแรก รองลงมาคือสามารถป้องกันการช้ำในผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นภายหลังการบรรจุ การขนส่งเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษา ต้องสามารถรับแรงกระแทกและแรงกดทับจากการวางเรียงซ้อนกันได้ และวัสดุกันกระแทกควรสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นำข้อมูลที่ได้สามารถมาพัฒนาแนวความคิดผลิตภัณฑ์ของวัสดุกันกระแทกต่อไป

ชาวสวนผลไม้

ผู้ประกอบการค้าส่ง

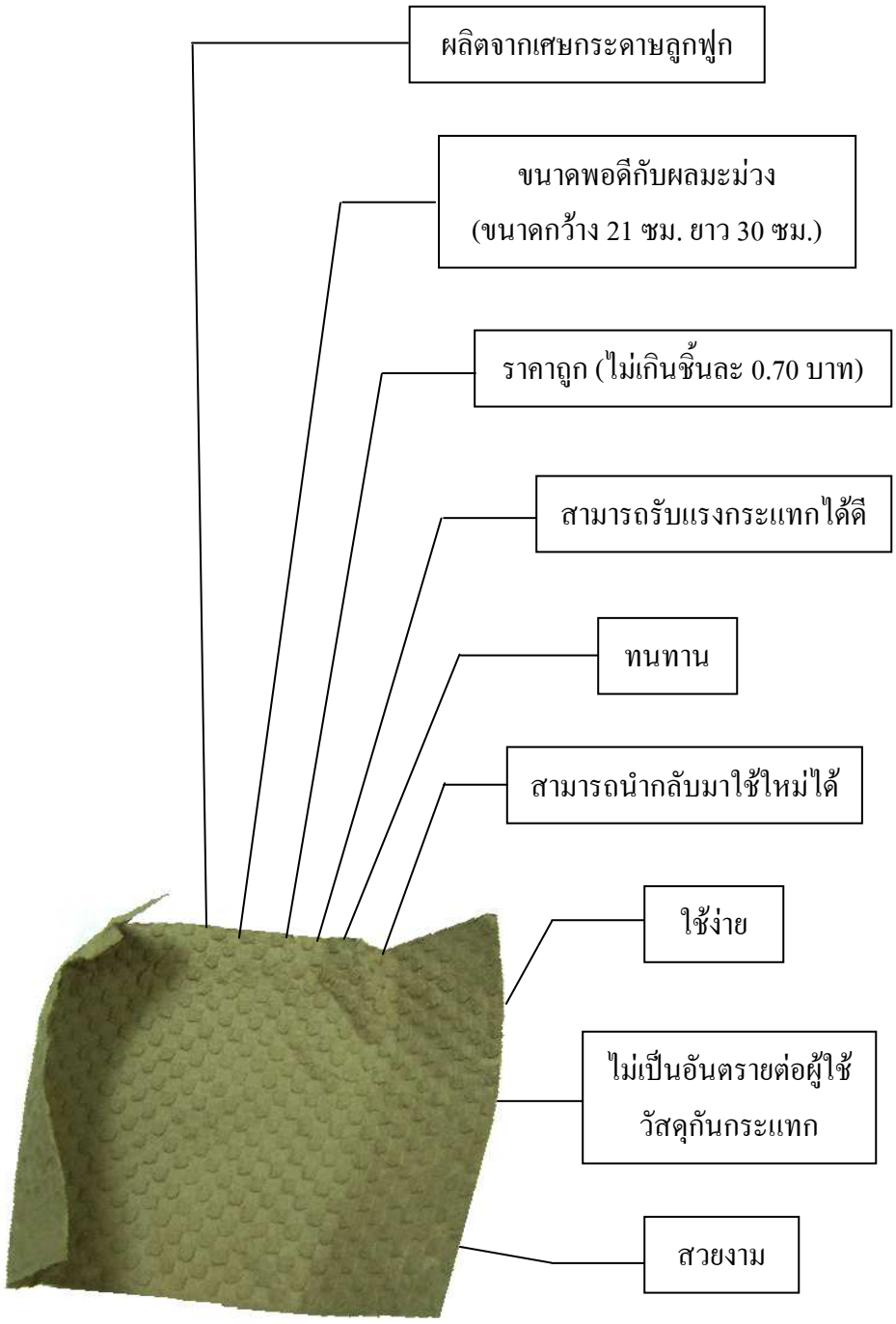
ผู้ประกอบการค้าปลีก

ภาพที่ 7 ตัวอย่างกลุ่มประชากรผู้ใช้วัสดุกันกระแทก

แนวความคิดผลิตภัณฑ์วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก : ผลิตภัณฑ์วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผลิตมาจากเศษกระดาษลูกฟูก ผลิตภัณฑ์มีขนาดและรูปร่างพอดีกับผลมะม่วงที่มีน้ำหนักผลประมาณ 550 – 650 กรัม (ขนาด 21x30 ตารางเซนติเมตร) ราคาถูก (ไม่เกินชิ้นละ 0.70 บาท) สามารถรับแรงกระแทกได้ดี ทนทาน สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ใช้ง่าย ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้วัสดุกันกระแทก และสวยงาม แสดงดังภาพที่ 9

ภาพที่ 8 ตัวอย่างวัสดุกันกระแทกของผลไม้ที่ใช้ภายในประเทศ

ภาพที่ 9 ตัวอย่างวัสดุกันกระแทกของผลไม้ที่ใช้นำเข้าและส่งออกนอกประเทศ



ภาพที่ 10 แนวความคิดผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปพัฒนาวัสดุกันกระแทกเพื่อการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้

2. การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำ และระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษต่อคุณภาพของเยื่อ

2.1 การศึกษาระยะเวลาในการเตรียมเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูก

การทำกระดาษด้วยมือนั้นวัตถุดิบของกระดาษส่วนมากมักจะเป็นพืชชนิดต่างๆ จึงต้องทำการแช่เยื่อในน้ำ 1 คืน เพื่อให้วัตถุดิบอ่อนตัว ชุ่มน้ำ และทำให้ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสบางส่วนละลายออกมา ทำให้ช่วยลดระยะเวลาและพลังงานในการต้มเยื่อ อีกทั้งช่วยกำจัดสิ่งสกปรกเช่น เศษดิน ฝุ่น และสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ ออกไปบ้าง (วุฒินันท์, 2545) จึงศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่เศษกระดาษลูกฟูก จากการเตรียมเยื่อเศษกระดาษลูกฟูกและน้ำในอัตราส่วน 1:200 โดยระยะเวลาในการแช่เศษกระดาษลูกฟูก 5 ระดับ (0, 3, 6, 9 และ 12 ชั่วโมง) พบว่า ผลผลิตของเยื่อเศษกระดาษลูกฟูกที่ระยะเวลาในการแช่น้ำนาน 0, 3, 6, 9 และ 12 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) (ตารางที่ 5) และเยื่อเศษกระดาษลูกฟูกที่เตรียมจากระยะเวลาแช่ที่ต่างกัน มีลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกัน เนื่องจากเศษกระดาษลูกฟูกเป็นวัตถุดิบที่มาจากเศษกระดาษที่ไม่ต้องการสกัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออกอีกแล้วและสามารถดูดซับน้ำได้ในระยะเวลาอันรวดเร็วจึงพร้อมที่จะเข้าสู่กระบวนการบดเยื่อได้ทันที ในการศึกษาขั้นตอนต่อไปจึงใช้การตีเยื่อเพียงอย่างเดียวโดยไม่จำเป็นต้องแช่เศษกระดาษลูกฟูกในน้ำ ดังนั้นจะช่วยลดการใช้น้ำที่ต้องใช้ในการแช่เศษกระดาษลูกฟูกและลดระยะเวลาและขั้นตอนในการการผลิตอีกด้วย

ตารางที่ 5 ปริมาณผลผลิตของเยื่อที่แช่น้ำในระยะเวลาที่แตกต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการแช่น้ำ (ชั่วโมง)	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ) ns
0	92.18 ± 0.54
3	92.20 ± 0.55
6	92.51 ± 0.66
9	92.09 ± 0.50
12	91.99 ± 0.85

n = ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำการทดลอง

หมายเหตุ ns คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05)

2.2 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำ และระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษต่อคุณภาพของเยื่อ

ศึกษาผลของอัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำ และระยะเวลาในการตีเยื่อต่อคุณภาพของเยื่อกระดาษ โดยจัดสิ่งทดลองแบบ 4x2 Factorial in CRD ปัจจัยที่ศึกษา คืออัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำ 4 ระดับ คือ 1:200, 1:150, 1:100 และ 1:50 และระยะเวลาในการตีเยื่อ 4 ระดับ คือ 15, 30, 45 และ 60 นาที แสดงผลอิทธิพลของแต่ละปัจจัยต่อคุณสมบัติของเยื่อกระดาษแสดงดังตารางที่ 6 และผลการวัดค่าคุณภาพแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 6 อิทธิพลของอัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำ และระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษต่อคุณสมบัติของเยื่อ

ปัจจัย	ค่าคุณภาพ		
	ปริมาณผลผลิต	ค่าดัชนีต้านทานแรงดึง	ค่าดัชนีต้านทานแรงฉีก
	p-value	p-value	p-value
อัตราส่วน (เศษกระดาษลูกฟูก : น้ำ) (A)	0.00	0.00	0.00
ระยะเวลาในการตีเยื่อ (นาที) (B)	0.00	0.00	0.00
(A×B)	0.00	0.00	0.05

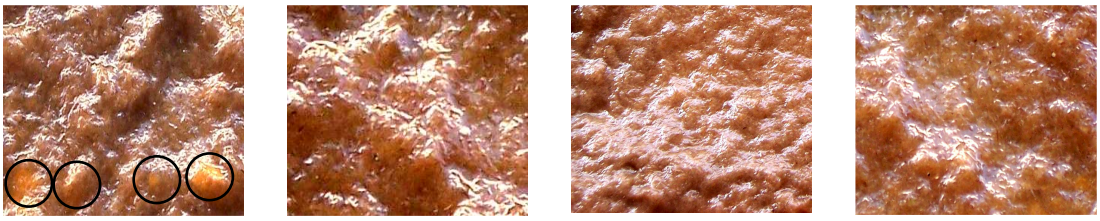
ตารางที่ 7 ค่าคุณภาพของเยื่อและกระดาษจากเศษกระดาษลูกฟูกที่อัตราส่วนและระยะเวลาในการตีเยื่อที่แตกต่างกัน

ปัจจัย		ค่าคุณภาพ		
อัตราส่วน (กระดาษ: น้ำ)	ระยะเวลาในการตีเยื่อ(นาที)	ผลผลิตของเยื่อ(ร้อยละ)	ค่าดัชนีต้านทานแรงดึง(Nm/g)	ค่าดัชนีต้านทานแรงฉีก (mNm^2/g)
1:200	15	87.47 cde	0.56 j	12.87 ef
	30	88.26 cd	1.52 cdef	11.12 f
	45	85.95 ef	1.42 def	17.52 bcd
	60	82.32 g	1.32 ef	17.55 bcd
1:150	15	91.41 ab	0.98 gh	15.18 cde
	30	87.44 cde	1.36 ef	13.96 def
	45	86.95 def	1.84 b	17.72 bc
	60	82.76 g	1.80 bc	19.97 b
1:100	15	90.64 ab	0.90 hi	13.65 ef
	30	88.72 c	1.31 ef	17.42 bcd
	45	86.57 ef	1.48 def	19.04 b
	60	85.54 f	1.70 bcd	24.58 a
1:50	15	92.06 a	0.63 ij	13.89 def
	30	90.29 b	1.23 fg	13.14 ef
	45	87.60 cde	1.61 bcde	19.28 b
	60	86.56 ef	2.22 a	23.84a

n = ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำการทดลอง

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง (a-j) คือ ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวัดค่าคุณภาพทางกายภาพของเยื่อกระดาษ พบว่า สิ่งทดลองทั้ง 16 สิ่งทดลองจะมีผลผลิตของเยื่ออยู่ในช่วง ร้อยละ 82.32 – 92.06 ซึ่งอัตราส่วนของกระดาษต่อน้ำและระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษมีอิทธิพลต่อปริมาณผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีปฏิสัมพันธ์กัน เมื่ออัตราส่วนของกระดาษลูกฟูกเพิ่มขึ้นและระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษลดลงมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วน 1:50 ระยะเวลาในการตีเยื่อ 15 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตของเยื่อกระดาษคือ ร้อยละ 92.06 แต่เยื่อที่ผ่านการตีนั้นยังพบชิ้นของเศษกระดาษลูกฟูกปรากฏอยู่ (ภาพที่ 11 ก.) จึงไม่เหมาะที่จะนำมาทำแผ่นกระดาษ และเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วน 1:50 ระยะเวลาในการตีเยื่อ 30 นาที จะให้ผลผลิตร้อยละ 90.29 และแตกต่างจากอัตราส่วนอื่นที่ระยะเวลาในการตีเยื่อเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และไม่พบชิ้นของเศษกระดาษลูกฟูกอยู่จึงเหมาะสำหรับนำมาทำแผ่นกระดาษต่อไป เนื่องจากการตีเยื่อในน้ำเยื่อที่มีความเข้มข้นต่ำเป็นการตัดเส้นใยเพราะปริมาณเส้นใยในน้ำเยื่อมีน้อย และเมื่อเวลาในการตีเยื่อเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เส้นใยเซลลูโลสเกิดการกระจายตัวและมีขนาดสั้นลง อมน้ำมากขึ้น และเกิดเศษเส้นใยเล็กๆ เรียกว่าเยื่อฝอยจึงทำให้เส้นใยเซลลูโลสสามารถผ่านตะแกรงไปได้มากขึ้น (ณรงค์, ม.ป.ป.)



ก) 15 นาที ข) 30 นาที ค) 45 นาที ง) 60 นาที

ภาพที่ 11 ลักษณะปรากฏของเยื่อกระดาษที่อัตราส่วน (เศษกระดาษลูกฟูก : น้ำ) 1: 50 ที่ผ่านระยะเวลาในการตีเยื่อแตกต่างกัน

จากการวัดค่าดัชนีต้านทานแรงดึงด้วยเครื่อง schopper tensile tester ด้วยวิธีของ TAPPI T494 om-92 (2001) ในการศึกษาเบื้องต้นทำการเตรียมตัวอย่างทั้ง 16 สิ่งทดลอง โดยสุ่มตัวอย่าง ให้มีขนาด 15 × 150 มิลลิเมตร^2 ปรับสภาวะสิ่งทดลองที่ห้องควบคุมสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65±2 อุณหภูมิ 27±2 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แสดงผลดังตารางที่ 7 พบว่า ค่าดัชนีต้านทานแรงดึงทั้ง 16 สิ่งทดลอง จะอยู่ในช่วง 0.56 - 2.22 นิวตันเมตรต่อกรัม ซึ่งอัตราส่วนของกระดาษต่อน้ำและระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษมีอิทธิพลต่อค่าดัชนีต้านทานแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีปฏิสัมพันธ์กัน โดยอัตราส่วนของกระดาษต่อน้ำและระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าดัชนีต้านทานแรงดึงสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อระยะเวลาใน

การตีเยื่อเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เยื่อเกิดการกระจายตัวที่ดีขึ้นและทำให้เส้นใยเซลลูโลสเกิดพันธะเคมีต่อกันได้มากขึ้น จึงมีค่าดัชนีต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น (แอ๊ดวานซ์ อะโกร, 2551) โดยที่อัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำ 1: 50 และระยะเวลาในการตีเยื่อนาน 60 นาที จะมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 2.22 นิวตันเมตรต่อกรัม และแตกต่างจากอัตราส่วนและระยะเวลาในการตีเยื่ออื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

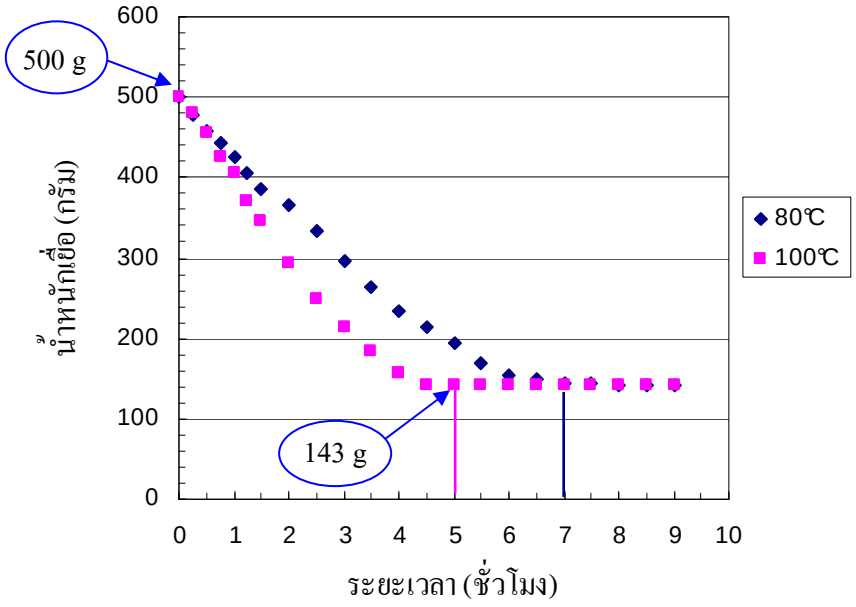
จากการวัดค่าดัชนีต้านทานแรงฉีกด้วยเครื่อง elemendorf tearing tester ด้วยวิธีของ TAPPI T 414 om-88 (2001) ในการศึกษาเบื้องต้นทำการเตรียมตัวอย่างทั้ง 16 สิ่งทดลอง โดยสุ่มตัวอย่าง ให้มีขนาด 6.3 × 10 เซนติเมตร^2 ปรับสภาวะสิ่งทดลองที่ห้องควบคุมสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65±2 อุณหภูมิ 27±2 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แสดงผลดังตารางที่ 7 พบว่า ค่าดัชนีต้านทานแรงฉีกทั้ง 16 สิ่งทดลอง อยู่ในช่วง 11.12 – 23.84 มิลลินิวตันตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งอัตราส่วนของกระดาษต่อน้ำและระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษมีอิทธิพลต่อค่าดัชนีต้านทานแรงฉีกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีปฏิสัมพันธ์กัน โดยอัตราส่วนของกระดาษต่อน้ำและระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าดัชนีต้านทานแรงฉีกสูงขึ้น เนื่องจากในระยะเริ่มแรกของการตีเยื่อนั้น เส้นใยจะยึดจับกันไม่แน่น แต่เมื่อเวลาในการตีเยื่อเพิ่มขึ้น เส้นใยจะเริ่มเกาะจับตัวกันมากขึ้น ทำให้เกิดพันธะเคมีเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงต้องใช้แรงฉีกเพื่อทำให้ขาดเพิ่มขึ้น (ณรงค์, ม.ป.ป.)

ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำ 1:50 ที่มีระยะเวลาในการตีเยื่อนาน 30, 45 และ 60 นาที มาศึกษาอัตราในการทำแห้งต่อไป

3. การพัฒนาแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก

3.1 การศึกษาเวลาในการทำแห้งเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูก

เนื่องจากการเตรียมเยื่อให้อยู่ในรูปของเยื่อแห้งนั้น จะช่วยให้ผู้ผลิตสามารถประหยัดพื้นที่ในการเก็บวัตถุดิบได้มาก เยื่อที่ผ่านการอบแห้งจึงมีประโยชน์อย่างมาก เมื่อต้องเตรียมเยื่อในปริมาณมากเพื่อจะใช้ต่อไป จึงจำเป็นต้องศึกษาเวลาในการทำแห้งเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูก โดยนำเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูกอัตราส่วน 1:50 มาศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำแห้งที่อุณหภูมิ 2 ระดับ (80 และ 100 องศาเซลเซียส) พบว่าเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจะใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนานกว่าเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลา 7 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ (ภาพที่ 12) ลักษณะปรากฏและค่าสี (L*a*b*) ของเยื่อที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 2 อุณหภูมิไม่แตกต่างกัน แต่เยื่อแห้งที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะมีความชื้นต่ำกว่าเยื่อแห้งที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 8)



ภาพที่ 12 ระยะเวลาในการทำแห้งเยื่อกระดาษที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 8 ค่าคุณภาพของเยื่อแห้งที่อบด้วยอุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิในการอบ (°C)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าคุณภาพ			
		ความชื้น (%)	L* ns	a* ns	b* ns
80	5	1.42±0.27 a	58.78±0.89	5.14±0.31	16.73±0.47
100	7	1.03±0.04 b	57.21±0.64	5.34±0.31	16.49±0.93

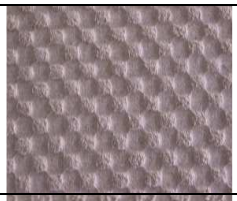
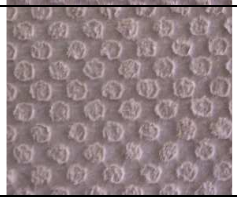
หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง (a, b) คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ns คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$)

3.2 การพัฒนาแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก

จากการศึกษาผลของระยะเวลาในการตีเยื่อ (30, 45 และ 60 นาที) และความสูงของปุ่มกันกระแทกบนแผ่นวัสดุกันกระแทก (0.25 และ 0.5 เซนติเมตร) ต่อคุณภาพของแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก พบว่าลักษณะปรากฏของแผ่นวัสดุกันกระแทกที่ได้จากระยะเวลาในการตีเยื่อนาน 30, 45 และ 60 นาที ไม่มีความแตกต่างกัน แต่การขึ้นรูปของแผ่นวัสดุกันกระแทกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 และ 0.5 เซนติเมตร มีลักษณะปรากฏแตกต่างกัน และสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นวัสดุกันกระแทกได้ทุกสิ่งทดลอง (ตารางที่ 9) และเมื่อนำแผ่นวัสดุกันกระแทกมาวัดค่า L* a* b* พบว่าแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเยื่อกระดาษที่ผ่านการตีเยื่อนาน 30 45 และ 60 นาทีและความสูงของปุ่มกันกระแทกบนแผ่นวัสดุกันกระแทก (0.25 และ 0.5 เซนติเมตร) มีค่าสี (L* a* b*) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาในด้านน้ำหนักต่อแผ่นของวัสดุกันกระแทกพบว่าน้ำหนักของแผ่นวัสดุกันกระแทกที่ได้จากระยะเวลาในการตีเยื่อนาน 30, 45 และ 60 นาทีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่น้ำหนักของแผ่นวัสดุกันกระแทกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.5 เซนติเมตรจะมีน้ำหนักมากกว่าแผ่นวัสดุกันกระแทกที่มีความสูง 0.25 เซนติเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 10) เนื่องจากแผ่นวัสดุกันกระแทกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.5 เซนติเมตรจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าแผ่นวัสดุกันกระแทกที่มีความสูง 0.25 เซนติเมตร จึงต้องใช้เยื่อกระดาษปริมาณมากขึ้นเพื่อให้ได้น้ำหนักต่อพื้นที่ผิว 100 กรัมต่อตารางเมตร จากนั้นนำแผ่นวัสดุกันกระแทกที่ได้ไปศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาได้เพื่อกันกระแทกมะม่วงน้ำดอกไม้ในระหว่างการขนส่งต่อไป

ตารางที่ 9 ลักษณะปรากฏของวัสดุกันกระแทกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทกและระยะเวลาในการตีเยื่อแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง		ลักษณะปรากฏ	พื้นที่ผิว (ตารางเมตร)	ปริมาณเยื่อแห้ง (กรัม)	ปริมาณเยื่อเปียก (กรัม)
ความสูงของปุ่มกันกระแทก (เซนติเมตร)	ระยะเวลาตีเยื่อ (นาที)				
0.25	30		785×10^{-4}	7.85	27.45
	45				
	60				
0.50	30		939×10^{-4}	9.39	32.83
	45				
	60				

ตารางที่ 10 ค่าคุณภาพของวัสดุกันกระแทกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทกและระยะเวลาในการตีเยื่อแตกต่างกัน

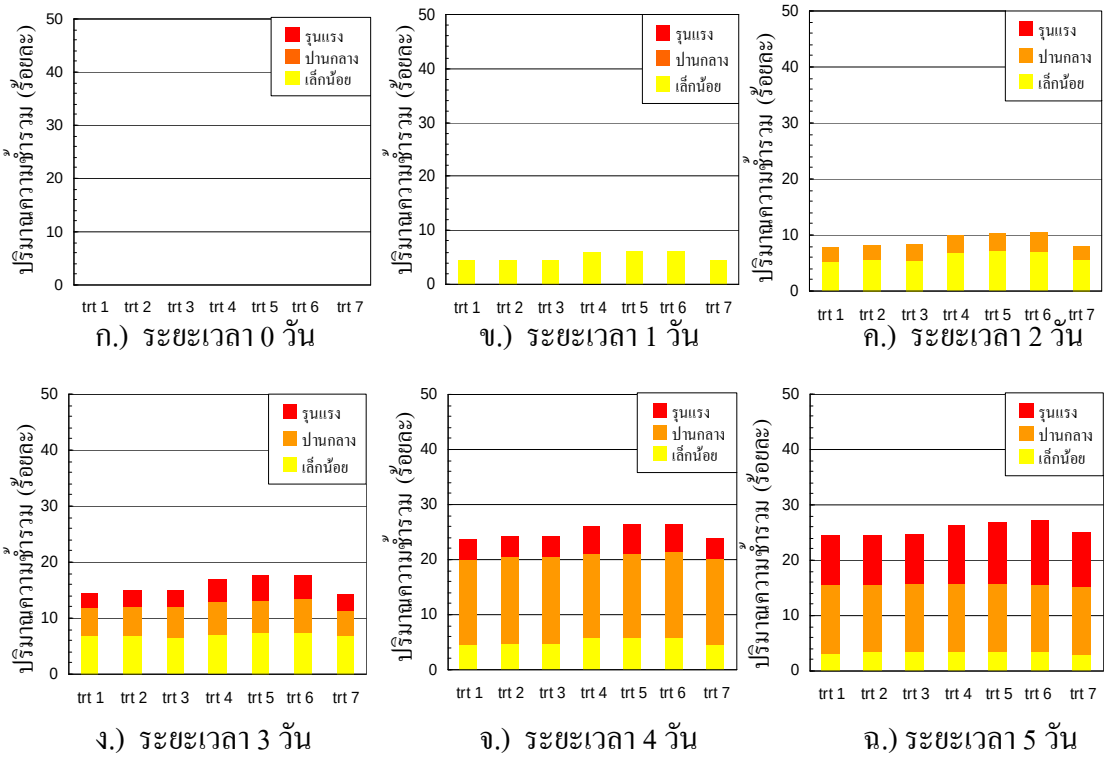
สิ่งทดลอง		สี			น้ำหนักต่อแผ่น (กรัม)
ความสูงของปุ่มกันกระแทก (เซนติเมตร)	ระยะเวลาตีเยื่อ (นาที)	L* ns	a* ns	b* ns	
0.25	30	58.70 ± 0.02	5.35 ± 0.06	16.59 ± 0.43	7.84 ± 0.04 b
	45	58.78 ± 0.24	5.25 ± 0.21	16.42 ± 0.71	7.82 ± 0.10 b
	60	58.51 ± 0.31	5.24 ± 0.05	16.27 ± 0.44	7.62 ± 0.18 b
0.50	30	58.56 ± 0.02	5.23 ± 0.14	16.22 ± 0.35	9.66 ± 0.25 a
	45	58.46 ± 0.31	5.36 ± 0.11	17.01 ± 0.31	9.62 ± 0.21 a
	60	58.51 ± 0.18	5.43 ± 0.08	16.36 ± 0.14	9.62 ± 0.25 a

n = ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำการทดลอง

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง (a,b) คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ns คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$)

จากการศึกษาผลของระยะเวลาในการตีเยื่อต่อคุณภาพของกระดาษ (30, 45 และ 60 นาที) และความสูงของปุ่มกันกระแทกของแผ่นวัสดุกันกระแทก (0.25 และ 0.5 เซนติเมตร) โดยนำแผ่นวัสดุกันกระแทกที่ได้มาทดสอบคุณภาพด้วยการจำลองสภาวะการขนส่งจริงของมะม่วงภายในประเทศไทย แล้วเก็บรักษามะม่วงไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน จากนั้นวัดปริมาณความช้ำรวมของมะม่วง ซึ่งได้จากผลรวมความช้ำของมะม่วงที่ระดับต่างๆ ได้แก่ ระดับความช้ำเล็กน้อย ปานกลาง และรุนแรง ภาพที่ 13 แสดงผลอิทธิพลของแต่ละปัจจัยต่อปริมาณความช้ำรวมและการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงแสดงดังตารางที่ 11 ผลการวัดค่าปริมาณความช้ำรวมและการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน แสดงดังตารางที่ 12 และการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการทดสอบขนส่งจริงเป็นเวลา 5 วัน แสดงดังภาพที่ 14



ก.) ระยะเวลา 0 วัน ข.) ระยะเวลา 1 วัน ค.) ระยะเวลา 2 วัน

ง.) ระยะเวลา 3 วัน จ.) ระยะเวลา 4 วัน ฉ.) ระยะเวลา 5 วัน

วัสดุกันกระแทกที่ใช้ในการทดลอง

trt1 = ความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 เซนติเมตร ระยะเวลาในการตีเยื่อ 30 นาที

trt2 = ความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 เซนติเมตร ระยะเวลาในการตีเยื่อ 45 นาที

trt3 = ความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 เซนติเมตร ระยะเวลาในการตีเยื่อ 60 นาที

trt4 = ความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.50 เซนติเมตร ระยะเวลาในการตีเยื่อ 30 นาที

trt5 = ความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.50 เซนติเมตร ระยะเวลาในการตีเยื่อ 45 นาที

trt6 = ความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.50 เซนติเมตร ระยะเวลาในการตีเยื่อ 60 นาที

trt7 = โฟมตาข่าย

ภาพที่ 13 ปริมาณความช้ำรวมของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการทดสอบขนส่งจริงเป็นเวลา 5 วัน

ตารางที่ 11 อิทธิพลของระยะเวลาในการตีเยื่อและความสูงของปุ่มกันกระแทกของแผ่นวัสดุกันกระแทกต่อความสามารถในการกันกระแทกระหว่างการขนส่ง

ปัจจัย	ค่าคุณภาพ	
	ปริมาณความช้ำรวม	การสูญเสียน้ำหนัก
	p-value	p-value
ระยะเวลาในการเยื่อ (A)	0.20	0.94
ความสูงของปุ่มกันกระแทก (ซม.) (B)	0.00	0.00
(A×B)	0.99	0.95

ตารางที่ 12 ปริมาณความช้ำรวมและการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน

สิ่งทดลอง		ค่าคุณภาพ	
ความสูงของปุ่มกันกระแทก (เซนติเมตร)	ระยะเวลาตีเยื่อ (นาที)	ปริมาณความช้ำรวม (ร้อยละ)	การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)
0.25	30	24.38 ± 0.90 b	6.33 ± 0.85 b
	45	24.82 ± 0.29 b	6.25 ± 0.43 b
	60	25.09 ± 0.72 b	6.21 ± 0.25 b
0.50	30	26.43 ± 0.62 a	8.88 ± 0.32 a
	45	26.77 ± 0.58 a	8.74 ± 0.36 a
	60	27.17 ± 0.76 a	8.91± 0.76 a
โฟมตาข่าย		24.49 ± 0.17 b	6.32 ± 0.48 a

n = ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำการทดลอง

หมายเหตุ a, b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาพบว่ารอยช้ำระดับเล็กน้อยที่เกิดขึ้นบนผิวมะม่วง เริ่มสังเกตเห็นได้หลังจากวันแรกของการเก็บรักษา มะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.50 เซนติเมตร จะพบการเกิดความช้ำมากกว่ามะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 เซนติเมตรและโฟมตาข่าย มะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตีเยื่อนาน 30, 45 และ 60 นาที มีความสูงของปุ่ม 0.25, 0.50 เซนติเมตร และโฟมตาข่าย พบว่ามะม่วงที่เก็บรักษาหลังการขนส่งเป็นระยะเวลา 1 วันมีความช้ำที่ระดับเล็กน้อย ร้อยละ 4.38, 4.42, 4.56, 5.77, 6.01, 6.23 และ 4.40 ตามลำดับ

ในวันที่ 2 มะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตีเยื่อนาน 30, 45 และ 60 นาที มีความสูงของปุ่ม 0.25, 0.50 เซนติเมตร และโฟมตาข่ายพบว่ามะม่วงมีความช้ำที่ระดับเล็กน้อย ร้อยละ 5.38, 5.42, 5.56, 6.77, 7.01, 7.23 และ 5.40 ตามลำดับ และในวันที่ 3 พบว่ามะม่วงมีความช้ำที่ระดับเล็กน้อย ร้อยละ 6.92, 6.88, 6.71, 7.21, 7.31, 7.38 และ 6.95 ตามลำดับ แสดงว่า มะม่วงที่ด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตีเยื่อนาน 30, 45 และ 60 นาที มีความสูงของปุ่ม 0.50 เซนติเมตร สามารถป้องกันแรงกระทำเชิงกลได้น้อยกว่า มะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตีเยื่อนาน 30, 45 และ 60 นาที มีความสูงของปุ่ม 0.25 เซนติเมตร และโฟมตาข่าย

ในวันที่ 4 และ 5 ของการเก็บรักษา พบว่ามะม่วงมีปริมาณความช้ำที่ระดับเล็กน้อยลดลงทุกสิ่งทดลอง เนื่องจากความช้ำระดับเล็กน้อยเปลี่ยนเป็นความช้ำระดับปานกลางและรุนแรง โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยช้ำมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาเพราะแรงกระทำเชิงกลที่มะม่วงดูดซับไว้ระหว่างการขนส่งสอดคล้องกับ School and Holt (1977) และ ดวงพร (2548) ที่พบว่าความต้านทานต่อการเกิดรอยช้ำของมะม่วงจะลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาพบรอยช้ำระดับปานกลางที่เกิดขึ้นบนผิวมะม่วง เริ่มสังเกตเห็นได้หลังการเก็บรักษานาน 2 วัน มะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตีเยื่อนาน 30, 45 และ 60 นาที มีความสูงของปุ่ม 0.25, 0.50 เซนติเมตร และโฟมตาข่ายพบว่ามะม่วงมีความช้ำที่ระดับปานกลางร้อยละ 2.52, 2.82, 2.93, 3.35, 3.21, 3.29 และ 2.59 ตามลำดับ และในวันที่ 3 พบว่ามะม่วงมีความช้ำที่ระดับปานกลางร้อยละ 4.82, 5.13, 5.35, 5.62, 5.76, 5.98 และ 4.38 ตามลำดับ

เมื่อเก็บรักษามะม่วงนาน 3 วัน พบความช้ำที่ระดับรุนแรงบนผิวมะม่วง โดยมะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตีเยื่อนาน 30, 45 และ 60 นาที มีความสูงของปุ่ม 0.25, 0.50 เซนติเมตร และโฟมตาข่าย มีระดับความช้ำระดับรุนแรงร้อยละ 2.71, 2.87, 2.91, 4.12, 4.45, 4.35 และ 2.75 ตามลำดับ ในวันที่ 4 พบว่ามะม่วงมีความช้ำที่ระดับรุนแรง ร้อยละ 3.64, 3.72, 3.81, 4.98, 5.12, 5.16 และ 3.68 ตามลำดับ และในวันที่ 5 มะม่วงมีความช้ำที่ระดับรุนแรง ร้อยละ 8.95, 8.83, 9.01, 10.63, 10.88, 11.54 และ 9.75 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่าปริมาณความช้ำรวมของมะม่วงหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน พบว่า มะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตีเยื่อ 60 นาที ความสูงของปุ่ม 0.5 เซนติเมตร มีปริมาณความช้ำรวมมากที่สุดคือร้อยละ 27.17 รองลงมาคือ มะม่วงที่ห่อด้วยด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตีเยื่อ 45 และ 30 นาที มีความสูงของปุ่ม 0.50 เซนติเมตร และมะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตีเยื่อ 60 และ 45 นาที มีความสูงของปุ่ม 0.25 เซนติเมตร และโฟมตาข่าย ได้แก่ 26.77, 26.43, 25.09, 24.82 และ 24.49 ตามลำดับ และมะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตีเยื่อ 30 นาที มีความสูงของปุ่ม 0.25 เซนติเมตรจะมีปริมาณความช้ำรวมน้อยที่สุดร้อยละ 24.38

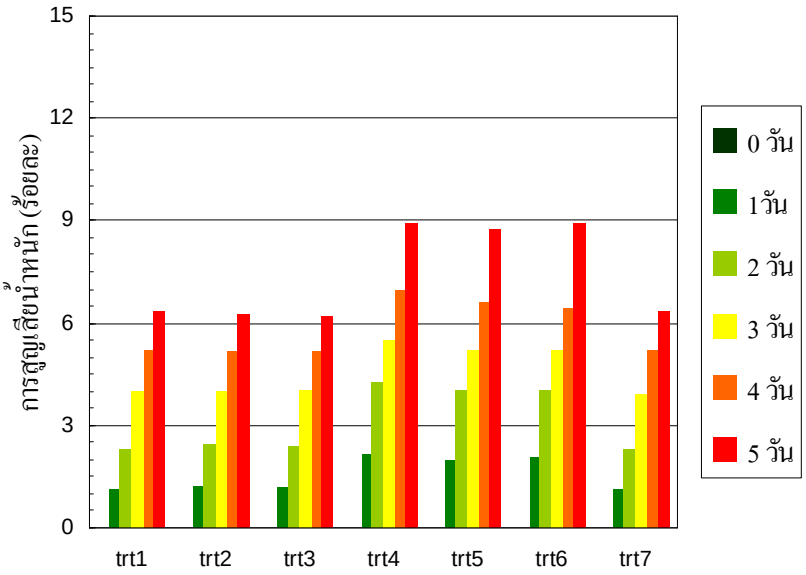
จากการศึกษา พบว่า ระยะเวลาในการตีเยื่อไม่มีอิทธิพลต่อการป้องกันแรงกระแทกจากแรงกระทำเชิงกลซึ่งมะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตีเยื่อนาน 30, 45 และ 60 นาทีมีปริมาณความช้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) (ตารางที่ 11) ดังนั้นระยะเวลาในการตีเยื่อต่อคุณภาพของกระดาษจึงไม่มีผลต่อปริมาณความช้ำรวมของมะม่วงหลังการขนส่ง ซึ่งวัสดุกันกระแทกจากกระดาษสามารถดูดซับแรงกลไม่ให้ถ่ายทอดพลังงานไปยังมะม่วงจนทำให้เกิดรอยช้ำได้ (ดวงพร, 2548) โดยรอยช้ำบนผิวมะม่วงเกิดจากมะม่วงดูดซับพลังงานจากแรงกระทำเชิงกลจากพาหนะที่ใช้ขนส่งถ่ายทอดมายังวัสดุกันกระแทกและถ่ายทอดมาสู่มะม่วง หากมะม่วงได้รับพลังงานมากเกินไปก็จะเกิดรอยช้ำบนผิวมะม่วงได้ (Holt and Schoorl, 1984)

ความสูงของปุ่มกันกระแทกมีอิทธิพลต่อปริมาณความช้ำรวมของมะม่วง โดยมะม่วงที่ห่อด้วยแผ่นกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 เซนติเมตรซึ่งมีปริมาณความช้ำรวมอยู่ในช่วงร้อยละ 24.38 - 25.09 จะมีปริมาณความช้ำน้อยกว่ามะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.50 เซนติเมตรซึ่งมีปริมาณความช้ำรวมอยู่ในช่วงร้อยละ 26.43 – 27.17 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq$0.05) (ตารางที่

12) แสดงให้เห็นว่าความสูงของปุ่มกันกระแทกของแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกมีอิทธิพลต่อการป้องกันแรงกระแทกจากแรงกระทำเชิงกล จึงมีผลต่อปริมาณความช้ำรวมของมะม่วงหลังการขนส่ง อาจเนื่องมาจากลักษณะพื้นผิวที่เป็นปุ่มบนแผ่นวัสดุกันกระแทกจึงทำให้เกิดรอยช้ำบนผิวมะม่วงขึ้น และเมื่อความสูงของปุ่มบนแผ่นวัสดุกันกระแทกเพิ่มขึ้น แรงกระแทกเสียดสีกันระหว่างมะม่วงกับวัสดุกันกระแทกจึงทำให้ผิวถลอกและเกิดรอยช้ำมากตามไปด้วย (Peleg, 1985)

จากการศึกษาข้างต้น พบว่าระยะเวลาและความสูงของปุ่มกันกระแทกไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน นอกจากนั้นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพในการป้องกันการกระแทกไม่แตกต่างจากโฟมตาข่าย ซึ่งวัสดุกันกระแทกที่ทำจากเศษกระดาษลูกฟูกยังเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติจึงเหมาะที่จะใช้ทดแทนวัสดุกันกระแทกที่ทำจากโฟมได้

เนื่องจากผลความสูงของปุ่มกันกระแทกมีอิทธิพลต่อการป้องกันแรงกระแทกจากแรงกระทำเชิงกลจึงเป็นข้อสังเกตในการศึกษาผลของลักษณะพื้นผิวของแผ่นวัสดุกันกระแทกที่สัมผัสกับผลมะม่วงต่อความสามารถในการกันกระแทกระหว่างการขนส่งมะม่วงต่อไป



วัสดุกันกระแทกที่ใช้ในการทดลอง

trt1 = ความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 เซนติเมตร ระยะเวลาในการตีเยื่อ 30 นาที

trt2 = ความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 เซนติเมตร ระยะเวลาในการตีเยื่อ 45 นาที

trt3 = ความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 เซนติเมตร ระยะเวลาในการตีเยื่อ 60 นาที

trt4 = ความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.50 เซนติเมตร ระยะเวลาในการตีเยื่อ 30 นาที

trt5 = ความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.50 เซนติเมตร ระยะเวลาในการตีเยื่อ 45 นาที

trt6 = ความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.50 เซนติเมตร ระยะเวลาในการตีเยื่อ 60 นาที

trt7 = โฟมตาข่าย

ภาพที่ 14 การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการทดสอบขนส่งจริงเป็นเวลา 5 วัน

เมื่อพิจารณาในด้านการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการทดสอบขนส่งจริง (ภาพที่ 14) พบว่า มะม่วงเริ่มมีการสูญเสียน้ำหนักหลังจากวันแรกของการเก็บรักษา มะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.50 เซนติเมตร จะพบการสูญเสียน้ำหนักมากกว่ามะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 เซนติเมตรและโฟมตาข่าย มะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตีเยื่อนาน 30, 45 และ 60 นาที มีความสูงของปุ่ม 0.25, 0.50 เซนติเมตร และโฟมตาข่ายพบว่ามะม่วงที่เก็บรักษาหลังการขนส่งเป็นระยะเวลา 1 วันมีการสูญเสียน้ำหนัก ร้อยละ 1.13, 1.22, 1.18, 2.16, 2.01, 2.03 และ 1.12 ตามลำดับ

ในวันที่ 2 มะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตีเยื่อนาน 30, 45 และ 60 นาที มีความสูงของปุ่ม 0.25, 0.50 เซนติเมตร และโฟมตาข่ายพบว่ามะม่วงมีการสูญเสียน้ำหนัก ร้อยละ 2.26, 2.44, 2.39, 4.27, 4.03, 4.06 และ 2.27 ตามลำดับ ในวันที่ 3 พบว่ามะม่วงมีการสูญเสียน้ำหนัก ร้อยละ 3.96, 4.01, 4.05, 5.49, 5.20, 5.23 และ 3.94 ตามลำดับ ในวันที่ 4 พบว่ามะม่วงมีการสูญเสียน้ำหนัก ร้อยละ 5.20, 5.18, 5.16, 6.95, 6.62, 6.44 และ 5.20 ตามลำดับ และในวันที่ 5 พบว่ามะม่วงมีการสูญเสียน้ำหนัก ร้อยละ 6.33, 6.25, 6.21, 8.88, 8.74, 8.91 และ 6.32 ตามลำดับ นั่นคือเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษามากขึ้น มะม่วงก็จะมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยมะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตีเยื่อนาน 30, 45 และ 60 นาที มีความสูงของปุ่ม 0.50 เซนติเมตร มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่า มะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการตีเยื่อนาน 30, 45 และ 60 นาที มีความสูงของปุ่ม 0.25 เซนติเมตร และโฟมตาข่าย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาปริมาณความช้ำรวมเบื้องต้นที่พบว่า ปริมาณความช้ำรวมบนผิวมะม่วงจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเปลี่ยนแปลงไป

หลังการเก็บรักษามะม่วงนาน 5 วัน พบว่าระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษไม่มีอิทธิพลต่อการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วง (ตารางที่ 11) ซึ่งมะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเยื่อกระดาษที่ผ่านการตีเยื่อนาน 30, 45 และ 60 นาที มีค่าเฉลี่ยของการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) (ตารางที่ 12)

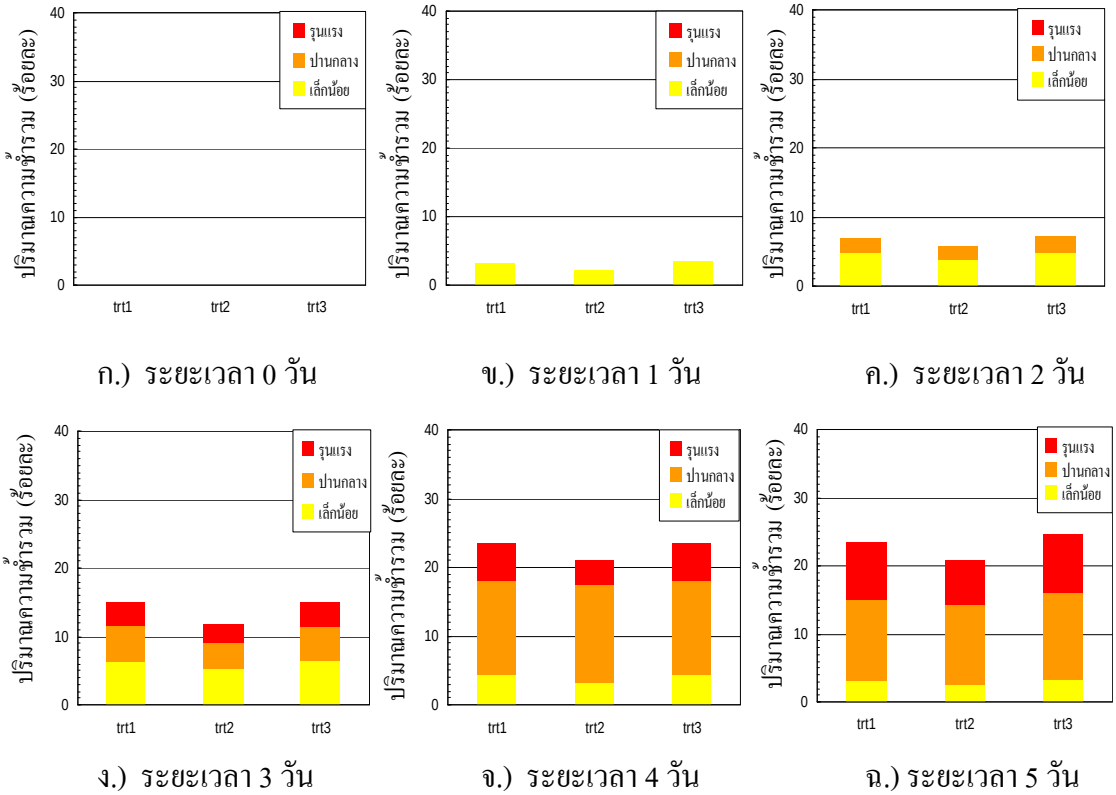
จากการศึกษาข้างต้นพบว่าความสูงของวัสดุกันกระแทกมีอิทธิพลต่อการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วง โดยมะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 เซนติเมตร จะมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ามะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.50 เซนติเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq$0.05) (ตารางที่ 12) โดยมะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่มีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 และ 0.5 เซนติเมตร จะมีค่าการสูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ 6.21-6.33 และร้อยละ 8.74-8.91 ตามลำดับ

จากตารางที่ 11 พบว่าความสูงของปุ่มกันกระแทกและระยะเวลาในการตีเยื่อกระดาษไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก โดยการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงเกิดจากแรงกระทำเชิงกลมีผลให้มะม่วงเกิดรอยช้ำ ซึ่งจะส่งผลต่อกระบวนการทางชีวเคมีทำให้มะม่วงสูญเสียน้ำหนัก (ดวงพร, 2548) สอดคล้องกับการวิจัยของ Martinez-Romero *et al.* (2003) ซึ่งพบว่าลูกพลัมที่ได้รับแรงกระทำเชิงกลสูญเสียน้ำหนักมากกว่าลูกพลัมที่ไม่ได้รับแรงกระทำเชิงกล เพราะผิวของลูกพลัม

ที่ได้รับแรงกระทำเชิงกลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงการซึมผ่านของเนื้อเยื่อ (tissue permeability) และรอยแยกเล็กๆ เกิดการแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างภายในและภายนอกของผลิตผลจึงเกิดการสูญเสียน้ำ

4. การศึกษาวิธีใช้แผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาต่อความสามารถในการกันกระแทกระหว่างการขนส่งมะม่วง

จากการศึกษาวิธีใช้แผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาต่อความสามารถในการกันกระแทกระหว่างการขนส่งมะม่วง โดยนำแผ่นวัสดุกันกระแทกที่ได้จากเยื่อในอัตราส่วน 1: 50 ที่ระยะเวลาในการตีเยื่อนาน 30 นาที มาทดสอบวิธีใช้แผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาได้ในการกันกระแทกมะม่วงระหว่างการขนส่ง โดยใช้แผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาได้ห่อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ปัจจัยที่ศึกษาคือ ลักษณะผิวหน้าของแผ่นวัสดุกันกระแทกที่พัฒนาได้ที่สัมผัสกับมะม่วง 2 ระดับ (ด้านเรียบ และด้านมีปุ่ม) เปรียบเทียบกับการใช้โฟมตาข่าย รวมทั้งหมด 3 สิ่งทดลอง จำลองสภาวะการขนส่งจริงของมะม่วงภายในประเทศไทย แล้วเก็บรักษามะม่วงไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน ดังแสดงในภาพที่ 15 จากนั้นวัดปริมาณความช้ำรวมของมะม่วง ซึ่งได้จากผลรวมปริมาณความช้ำของมะม่วงที่ระดับต่างๆ ได้แก่ ระดับความช้ำเล็กน้อย ปานกลาง และรุนแรง (ภาพที่ 15) ปริมาณความช้ำรวมและการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน (ตารางที่ 13) และการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วง (ภาพที่ 16)



ก.) ระยะเวลา 0 วัน ข.) ระยะเวลา 1 วัน ค.) ระยะเวลา 2 วัน

ง.) ระยะเวลา 3 วัน จ.) ระยะเวลา 4 วัน ฉ.) ระยะเวลา 5 วัน

วัสดุกันกระแทกที่ใช้ในการทดลอง

trt1 = โฟมตาข่าย

trt2 = วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกผิวหน้าด้านเรียบสัมผัสกับผลมะม่วง

trt3 = วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกผิวหน้าด้านปุ่มสัมผัสกับผลมะม่วง

ภาพที่ 15 ปริมาณความช้ำรวมของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการทดสอบขนส่งจริงเป็นเวลา 5 วัน

จากการศึกษาพบว่ารอยช้ำระดับเล็กน้อยที่เกิดขึ้นบนผิวมะม่วง เริ่มสังเกตเห็นได้หลังจากวันแรกของการเก็บรักษา มะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกผิวหน้าด้านเรียบสัมผัสกับผลมะม่วง จะพบการเกิดความช้ำน้อยกว่ามะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกผิวหน้าด้านปุ่มสัมผัสกับผลมะม่วงและโฟมตาข่าย พบว่ามะม่วงที่เก็บรักษาหลังการขนส่งเป็นระยะเวลา 1 วันมีความช้ำที่ระดับเล็กน้อย ร้อยละ 2.21, 3.31 และ 3.14 ตามลำดับ

ในวันที่ 2 มะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกผิวหน้าด้านเรียบสัมผัสกับผลมะม่วง, วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกผิวหน้าด้านปุ่มสัมผัสกับผลมะม่วงและโฟมตาข่ายมีความช้ำที่ระดับเล็กน้อย ร้อยละ 3.89, 4.81 และ 4.74 ตามลำดับ และในวันที่ 3 พบว่ามะม่วงมีความช้ำที่ระดับเล็กน้อย ร้อยละ 5.22, 6.61 และ 6.41 ตามลำดับ แสดงมะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกผิวหน้าด้านเรียบสัมผัสกับผลมะม่วง สามารถป้องกันแรงกระทำเชิงกลได้มากกว่า วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกผิวหน้าด้านปุ่มสัมผัสกับผลมะม่วงและโฟมตาข่าย

ในวันที่ 4 และ 5 ของการเก็บรักษา พบว่ามะม่วงมีปริมาณความช้ำที่ระดับเล็กน้อยลดลงทุกสิ่งทดลอง เนื่องจากความช้ำระดับเล็กน้อยเปลี่ยนเป็นความช้ำระดับปานกลางและรุนแรงโดยเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยช้ำมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาเพราะแรงกระทำเชิงกลที่มะม่วงดูดซับไว้ระหว่างการขนส่ง สอดคล้องกับการทดลองข้างต้นข้อ 3.2

จากการศึกษาพบรอยช้ำระดับปานกลางที่เกิดขึ้นบนผิวมะม่วง เริ่มสังเกตเห็นได้หลังการเก็บรักษานาน 2 วัน มะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกผิวหน้าด้านเรียบสัมผัสกับผลมะม่วง, วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกผิวหน้าด้านปุ่มสัมผัสกับผลมะม่วงและโฟมตาข่าย มีความช้ำที่ระดับปานกลางร้อยละ 1.88, 2.43 และ 2.43 ตามลำดับ และในวันที่ 3 พบว่ามะม่วงมีความช้ำที่ระดับปานกลางร้อยละ 3.74, 4.84 และ 5.24 ตามลำดับ

เมื่อเก็บรักษามะม่วงนาน 3 วัน พบความช้ำที่ระดับรุนแรงบนผิวมะม่วง โดยมะม่วงที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกผิวหน้าด้านเรียบสัมผัสกับผลมะม่วง, วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกผิวหน้าด้านปุ่มสัมผัสกับผลมะม่วงและโฟมตาข่าย มีระดับความช้ำระดับรุนแรงร้อยละ 2.76, 3.51 และ 3.22 ตามลำดับ ในวันที่ 4 พบว่ามะม่วงมีความช้ำที่ระดับรุนแรง ร้อยละ 3.52, 5.51 และ 5.36 ตามลำดับ และในวันที่ 5 มะม่วงมีความช้ำที่ระดับรุนแรง ร้อยละ 6.40, 8.70 และ 8.50 ตามลำดับ

ตารางที่ 13 ปริมาณความช้ำรวมและการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน

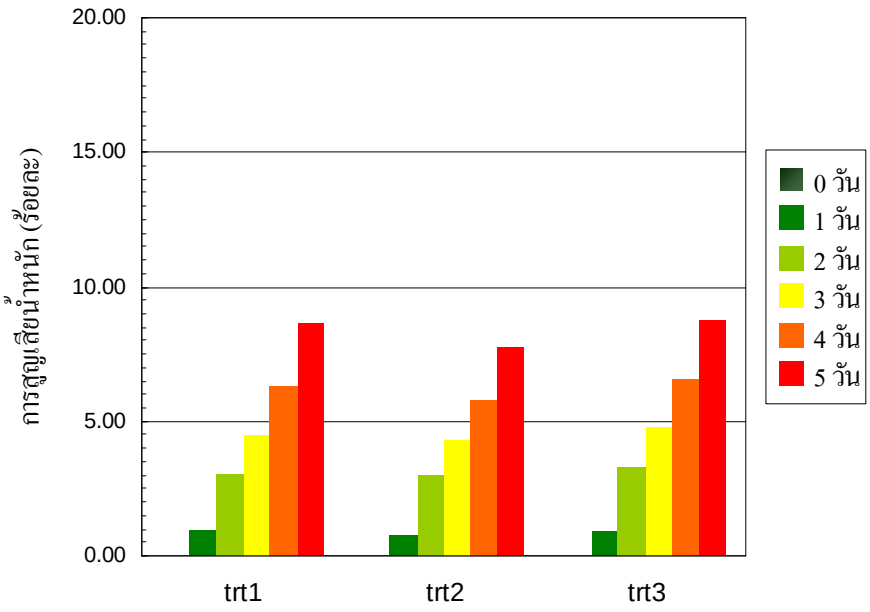
สิ่งทดลองที่	วัสดุกันกระแทก	ลักษณะการห่อ	ปริมาณความช้ำรวม (ร้อยละ)	การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ) ns
1	โฟมตาข่าย	-	24.50 ± 1.32 a	8.64 ± 0.57
2	วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก	ผิวหน้าด้านเรียบสัมผัสกับผลมะม่วง	21.74 ± 0.86 b	7.74 ± 0.80
3		ผิวหน้าด้านปุ่มสัมผัสกับผลมะม่วง	24.62 ± 1.07 a	8.80 ± 0.78

n = ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำการทดลอง

หมายเหตุ a, b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณความช้ำรวมของมะม่วงหลังการเก็บรักษา 5 วัน พบว่ามะม่วงที่ห่อด้วยแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่หันผิวหน้าด้านเรียบสัมผัสกับผลมะม่วง มีปริมาณความช้ำน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 21.74 และแตกต่างจากมะม่วงที่ห่อด้วยแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่หันผิวหน้าด้านปุ่มสัมผัสกับผลมะม่วงและโฟมตาข่ายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 13) แสดงให้เห็นว่าลักษณะของพื้นผิวของวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกมีอิทธิพลต่อการป้องกันแรงกระแทกจากแรงกระทำเชิงกลดังนั้นจึงมีผลต่อปริมาณความช้ำของมะม่วงหลังการขนส่ง



วัสดุกันกระแทกที่ใช้ในการทดลอง

trt1 = โฟมตาข่าย

trt2 = วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกผิวหน้าด้านเรียบสัมผัสกับผลมะม่วง

trt3 = วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกผิวหน้าด้านปุ่มสัมผัสกับผลมะม่วง

ภาพที่ 16 การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการทดสอบขนส่งเป็นเวลา 5 วัน

เมื่อพิจารณาในด้านการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ห่อด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ หลังการทดสอบขนส่งเป็นเวลา 5 วัน (ภาพที่ 16) พบว่า มะม่วงเริ่มมีการสูญเสียน้ำหนักหลังจากวันแรกของการเก็บรักษา มะม่วงที่ห่อด้วยแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่หันผิวหน้าด้านเรียบสัมผัสกับผลมะม่วง จะพบการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ามะม่วงที่ห่อด้วยแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่หันผิวหน้าด้านปุ่มสัมผัสกับผลมะม่วงและโฟมตาข่าย ซึ่งมะม่วงที่ห่อด้วยแผ่นวัสดุกันกระแทกที่หันผิวหน้าด้านเรียบสัมผัสกับผลมะม่วง, ผิวหน้าด้านปุ่มสัมผัสกับผลมะม่วงและโฟมตาข่าย ที่เก็บรักษาหลังการขนส่งเป็นระยะเวลา 1 วันมีการสูญเสียน้ำหนัก ร้อยละ 0.78, 0.89 และ 0.99 ตามลำดับ

ในวันที่ 2 มะม่วงที่ห่อด้วยแผ่นวัสดุกันกระแทกที่หันผิวหน้าด้านเรียบสัมผัสกับผลมะม่วง ผิวหน้าด้านปุ่มสัมผัสกับผลมะม่วง และโฟมตาข่าย มีการสูญเสียน้ำหนัก ร้อยละ 2.97, 3.27 และ 3.06 ตามลำดับ ในวันที่ 3 พบว่ามะม่วงมีการสูญเสียน้ำหนัก ร้อยละ 4.32, 4.75 และ 4.45 ตามลำดับ ในวันที่ 4 พบว่ามะม่วงมีการสูญเสียน้ำหนัก ร้อยละ 5.82, 6.52 และ 6.35 ตามลำดับและในวันที่ 5 พบว่ามะม่วงมีการสูญเสียน้ำหนัก ร้อยละ 7.74, 8.80 และ 8.64 ตามลำดับ นั่นคือเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษามากขึ้น มะม่วงก็จะมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับการทดลองในข้อ 3.2

นอกจากนี้ยังพบว่า มะม่วงที่ห่อด้วยแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่หันผิวหน้าด้านเรียบสัมผัสกับผลมะม่วง มีการสูญเสียน้ำหนักหลังการขนส่งนาน 5 วันเท่ากับ ร้อยละ 7.74 ไม่แตกต่างจากการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงที่ห่อด้วย โฟมตาข่ายและแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่หันผิวหน้าด้านปุ่มสัมผัสกับผลมะม่วง (ตารางที่ 13)

ดังนั้นวิธีใช้ของแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่เหมาะสมคือการห่อมะม่วงด้วยการหันผิวหน้าด้านเรียบสัมผัสกับผลมะม่วงเพื่อใช้ในการขนส่ง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การสำรวจวัสดุกันกระแทกสามารถสรุปได้ดังนี้

1. วัสดุกันกระแทกผลไม้ที่ใช้ในปัจจุบันคือโฟมตาข่าย ซึ่งเป็นวัสดุที่ย่อยสลายยาก และมีราคาค่อนข้างสูง จึงทำให้ผู้ใช้วัสดุกันกระแทกเห็นว่าการใส่วัสดุกันกระแทกเป็นการเพิ่มต้นทุนโดยไม่จำเป็น และจะใช้วัสดุกันกระแทกให้กับผลไม้ในชนิดหรือพันธุ์ที่มีราคาค่อนข้างสูงเท่านั้น เพื่อความสวยงามและไม่ทราบถึงวัตถุประสงค์ที่แท้จริงของโฟมตาข่ายที่สวมผลไม้

2. ความต้องการในคุณลักษณะของวัสดุกันกระแทกจากผู้ใช้วัสดุกันกระแทกสามารถสรุปได้ว่า ผู้ประกอบการต้องการวัสดุกันกระแทกที่มีราคาถูก (ต่ำกว่า 70 สตางค์) สามารถป้องกันการช้ำของผลไม้ได้ภายหลังการบรรจุ การขนส่งเคลื่อนย้ายและการเก็บรักษา และวัสดุกันกระแทกควรสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

การศึกษาการพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกเพื่อการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้สรุปได้ดังนี้

3. การศึกษาผลของอัตราส่วนและระยะเวลาในการตีเยื่อต่อคุณสมบัติของเยื่อจากเศษกระดาษลูกฟูก สรุปได้ว่าเมื่ออัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณผลได้เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่เมื่อระยะเวลาในการตีเยื่อเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปริมาณผลได้ลดลง โดยเยื่อที่มีอัตราส่วน 1:50 ผ่านระยะเวลาในการตีนาน 30 นาที จะให้ปริมาณผลได้คือ ร้อยละ 90.29 เมื่อนำแผ่นกระดาษจากเศษกระดาษลูกฟูกมาทดสอบค่าดัชนีต้านทานแรงดึงและค่าดัชนีต้านทานแรงฉีก พบว่าเมื่ออัตราส่วนเศษกระดาษลูกฟูกต่อน้ำและระยะเวลาในการตีเยื่อเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าดัชนีต้านทานแรงดึงและค่าดัชนีต้านทานแรงฉีกเพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราส่วน 1: 50 ระยะเวลา 30 นาที จะมีค่าดัชนีต้านทานแรงดึงคือ 1.23 นิวตันเมตรต่อกรัม มีค่าดัชนีต้านทานแรงฉีก 13.14 มิลลินิวตันตารางเมตรต่อกรัม

4. สภาวะในการผลิตแผ่นวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่เหมาะสมคือ ระยะเวลาในการตีเยื่อนาน 30 นาที มีความสูงของปุ่มกันกระแทก 0.25 เซนติเมตร และใช้ผิวหน้าด้านเรียบของแผ่นวัสดุกันกระแทกสัมผัสกับผลมะม่วง จะมีปริมาณความช้ำรวมที่เกิดจากแรงกระทำเชิงกลระหว่างการขนส่งและเก็บรักษาน้อยกว่ามะม่วงที่ห่อด้วยโฟมตาข่าย

ข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก พบว่ามีข้อเสนอแนะดังนี้ วัสดุกันกระแทกที่พัฒนาได้ยังขาดคุณสมบัติต่อไปนี้คือ

1. ความยืดหยุ่นที่ดี
2. รูปแบบที่สวยงาม
3. ความสะดวกในการใช้

ดังนั้นการศึกษาครั้งต่อไปผู้ศึกษาจึงควรพัฒนาให้วัสดุกันกระแทก สามารถใช้งานได้ง่าย มีความกระชับพอดีกับผลไม้ที่ใช้ในการขนส่ง และลดการคายน้ำได้ดีขึ้นเพื่อยืดระยะเวลาให้ผลไม้สูญเสียน้ำหนักช้าลง โดยผู้วิจัยอาจหาวัสดุจากธรรมชาติตัวอื่นเข้ามาช่วยและปรับปรุงวัสดุกันกระแทกให้มีคุณภาพดีขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กนกมลฑล ศรศรีวิชัย. 2529. **การเก็บรักษาผลผลิตการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว : เทคโนโลยีและสรีรวิทยา.** มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2537. **สถานการณ์พืชเศรษฐกิจที่สำคัญ.** กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพมหานคร.

_____. 2550. **สถิติและข้อมูลการส่งเสริมการเกษตร.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ

กรมศุลกากร. 2550. **ปริมาณการส่งออกมะม่วงสดและมะม่วงกระป๋อง.** สถิติการนำเข้าและการส่งออก. แหล่งที่มา: http://www.customs.go.th/customseport/statistic/Index.htm, 20 ตุลาคม 2550.

กองโภชนาการ. 2535. **ตารางแสดงคุณค่าทางอาหารไทยใน 100 กรัม**. กรมอนามัย กระทรวงาธารณสุข, กรุงเทพฯ. 35 น.

งามทิพย์ ภู่วโรดม. 2538. **หลักการบรรจุ.** ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 169 น.

จิรภา เหลืองอรุณเลิศ. 2548. **บรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้.** บรรจุภัณฑ์ผักผลไม้. แหล่งที่มา: http://www.nfi.or.th/food-technology-news/print/fruit-package.html, 6 สิงหาคม 2550.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2544. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. **การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

ฉวี บุบผา. 2550. **บรรจุภัณฑ์ช่วยรักษาคุณภาพสินค้าผักและผลไม้.** package. แหล่งที่มา: http://www.mew6.com/composer/package/package_46.php, 5 ตุลาคม 2550.

เฉลิมชัย แก้ววรชาติ. 2542. **การปลูกมะม่วง.** บริษัท เกษตรสยาม จำกัด, กรุงเทพมหานคร.

ณรงค์ วุทธเสถียร. ม.ป.ป. **เทคโนโลยีการผลิตกระดาษ.** บริษัท แอ๊ดวานซ์ อะโกร จำกัด (มหาชน), ADVANCE AGRO PUBLIC COMPANY LIMITED.

ณัฐธร อินทวิวัฒน์. 2548. **การศึกษาปัจจัยในการออกแบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งมะม่วง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดวงพร ดีผดุง. 2548. **การเปรียบเทียบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งมะม่วง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดวงพร ดีผดุง, ณัฐธร อินทวิวัฒน์ และ วาณี ชนเห็นชอบ. 2548. ระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งมะม่วง, น. 594-601. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่43 (สาขาสัตว์ และ อุตสาหกรรมเกษตร)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทนง ภัครัชพันธุ์. 2526. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของผักและผลไม้ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว เล่ม 1**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทรงธรรม ไชยพงษ์ และ บัณฑิต จริโมภาส. 2549. การพัฒนาวัสดุกันช้ำจากกระดาษฝอยเพื่อปกป้องแอปเปิ้ลจากการกระแทก. **วารสารวิทยเกษตร** 37 (5): 264-267.

นฤมล บุญกระจ่าง และ บัณฑิต จริโมภาส. 2549. กระดาษใช้แล้วแปรรูปเป็นวัสดุกันช้ำปกป้องผลแอปเปิ้ลภายใต้การกระแทก. **วิทยาศาสตร์เกษตร** 37 (5): 236-239.

นิรัชรา เบญจนิรัติศัย. 2535. **ความต้องการใช้เยื่อกระดาษในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์กระดาษ.** กรมเศรษฐกิจการพานิชย์ , หน้า 1 -22.

บริษัทอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ไทย. 2536. **ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ.**, ฝ่ายข้อมูลวิชาการ, หน้า 4-34.

ปรรัตน์ เซ็นกลาง. 2544. **การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการบรรจุผลมะม่วงสดที่มีการปฏิบัติทางการค้า**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ภูวนาถ นนทรีย์. 2545. มะม่วง. โครงการหนังสือเกษตรชุมชน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, สำนักพิมพ์เกษตรสาส์น, จ.นนทบุรี.

วสันต์ แสงนิล. 2545. **การสั่นสะเทือนของตะกร้าพลาสติกบรรจุส้มเขียวหวานระหว่างการขนส่งรถบรรทุก.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิชัย หฤทัยธนาสันติ์, ยุพา มงคลสุข, สุชาดา อุชชิน,วิชา หมั่นทำการ,ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ และอำนาจ ธีระวนิช, 2544. การพัฒนาระบบการผลิตเยื่อและกระดาษจากปอสาที่ไม่ก่อปัญหาสิ่งแวดล้อมเพื่ออุตสาหกรรมขนาดเล็ก. ร่างสรุปรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ชุดโครงการวิจัยเสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ 68 น.

วุฒินันท์ คงทัด. 2545. **กระดาษทำด้วยมือ**. เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องงานวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการผลิตเยื่อและกระดาษจากปอสา. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร และอุตสาหกรรม เกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 78น.

วันดี ภควัตมงคล**.** 2539. **ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเปลี่ยนสีผิวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และพันธุ์ทองดำ .** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท**.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**,** กรุงเทพฯ**.**

มยุรี ภาคลำ เจียก. 2532. การบรรจุหีบห่อมะม่วงเพื่อการส่งออก, น. 47-55. *ใน* **เอกสารประกอบการบรรยายสัมมนาการผลิตมะม่วงเพื่อการส่งออก.** สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

สายชล เกตุษา. 2533. การเก็บเกี่ยวและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว, น. 204 – 214. *ใน* คณาจารย์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ผู้รวบรวม. **การทำสวนมะม่วง.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุพจน์ ประทีปถิ่นทอง. 2550. **วัสดุกันกระแทก.** Package. แหล่งที่มา: http://www.mew6.com/composer/package/package_41.php, 25 กรกฎาคม 2550.

สุรพงษ์ โกสิยะจินดา. 2529. วิทยาการเก็บเกี่ยวและภายหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วง, น. 63-70. *ใน* **เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรมะม่วง**. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, บจก. 2549. **พืชสวนไทย** : สร้างรายได้กว่า 2,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ในตลาดโลก. แหล่งที่มา http://www.positioningmag.com/prnews/prnews.aspx?id=53883, 2 พฤศจิกายน 2550.

ศูนย์วิจัยไทยพาณิชย์, บจก. 2543. **อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์กันกระแทกขึ้นรูปจากกระดาษรีไซเคิล**, น. F1-1 - F1-17. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.

ฝ่ายวิจัยธนาคารนครหลวงไทย. 2550. **เยื่อกระดาษปี'51 ตลาดในทรงตัว...ตลาดนอกเติบโตตามอุปสงค์จีน.** Market trends archives. แหล่งที่มา: http://www.thaishipper.com/Content/Content.asp?Archives=true&ID=20946, 21 มิถุนายน 2551.

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการหีบห่อ. 2526. **การทดสอบวัสดุและภาชนะบรรจุ.** สาขาวิจัยพัฒนาผลิตผลเกษตร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ. 35 น.

อนุวัตร แจ้งชัด. 2549. วิธีการทางสถิติและการประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์, น. 49-87. *ใน* รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, บรรณาธิการ. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อมรรัตน์ สวัสดิทัต. 2551. **ผลิตภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป.** package. แหล่งที่มา: http://www.mew6.com/composer/package/package_46.php, 5 เมษายน 2551.

อมรรัตน์ สวัสดิทัต, อัญชลี กมลรัตนกุล, บุษกร ประดิษฐนิยกูล และ กาญจนา ทุมมานนท์. 2538. **การบรรจุภัณฑ์ผักและผลไม้สดเพื่อการส่งออก.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

อมรรัตน์ สวัสดิทัต, อัญชลี กมลรัตนกุล และ มยุรี ภาคลำเจียก. 2532. **คู่มือการใช้กระดาษเพื่อการหีบห่อ.** ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ. 93น.

แอ๊ดวานซ์ อะโกร. 2551. **สมบัติของกระดาษ.** รู้เฟื่องเรื่องกระดาษ. แหล่งที่มา: http//:www.advanceagro.com, 12 พฤษภาคม 2551.

Assessment Institute of Agricultural Technology (AIAT). 2001. **Packaging of mango for short and long distance transportation**. Available Source: http: // www. Agnet.org/library/article/rh 2001004c.html, October 25, 2007.

Arthey, D. and P.R. Ashurst. 1996. **Fruit Processing**. Blackie Academic & Professional. London.

Boligor, A. R. 2000. **Study on the Transport of Fresh Fruits By Road: The case of fresh mangoes for export in the province of zambales.** Avaliable source: http:// www.up-ncts.org.ph/academic/thesis/boliger-1-00-pdf., October 25, 2007.

Bollen, A.E., H.X. Nguyen, B.T. Dela Rue. 1999. Comparison of methods for estimating the bruise volume of apples. **J. Agric. Eng. Res.** 74 : 325-330.

Brusewitz, G.H. and J.A. Bartch. 1989. Impact parameters related to postharvest bruising of apples. **Transactions of the ASAE.** 32(3) : 953 – 957.

Brusewitz, G.H., T.G. McCollum and X. Zhang. 1991. Impact bruise resistance of peaches. **Transactions of the ASAE.** 34(3) : 962 – 965.

Burdon, J.N. 1997. Postharvest handling of tropical and subtropical fruit for export, pp. 1 – 19. *In* S.K. Mitra, eds. **Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits.** CAB International, Wallingford.

Chen, P., M. Ruiz-Altisent, and P. Barreiro. 1996. Effect of impacting mass on firmness sensing of fruits. **Transactions of the ASAE.** Vol 39 (3) : 1019 – 1023.

Chonhenchob, V. and S.P. Singh. 2003. A Comparison of Corrugated Boxes and Reusable Plastic Containers for Mango Distribution. **Packaging Technology and Science.** 16: 231-237.

Gracia, J.L., M. Ruiz-Altisent and P. Barreiro. 1995. Factors influencing mechanical properties and bruise susceptibility of apples and pears. **J. Agric. Eng. Res.** 61 : 11-18.

Holt, J.E. and D. Schoorl. 1984. Package Protection and Energy Dissipation in apple packs. **Scientia Horticulturae.** 24: 165-176.

Hung, Y.C. and S.E. Prussia. 1989. Effect of maturity and storage time on the bruise susceptibility of peaches (cv. Red Globe). **Transactions of the ASAE.** 32(4) : 1377 – 1382.

Jagtiani, J.,H.T. Chan and W.S. Sakai. 1988. **Tropial fruit processing.** Academi press, Inc., San diego.

Kapse, B.M. and J.S. Katrodia. 1997. Long distance road transportation of mango (*Mangifera indica L.*) cv. Kesar. **Acta Horticulturae.** 455: 696-706.

Lavigne, J.R. and K.L. Patrick. 1993. **Pulp & Paper Dictionary.** 1993. Miller Freemam Books, San Francisco.

Lawless, H.T. and H. Heymann. 1999. **Qualitative consumer research methods**. In Sensory Evaluation of Food:Principles and Practices. Aspen Publication, Gaithersburg, MD. 519-540.

Matínez-Romero, D., S. Castillo. and D. Valero. 2003. Forced-air cooling applied beforefruit handling to prevent mechanical damage of plums (*Prunus salicina Lindl*.) **Postharvest Biology and Technology.** 28: 135-142.

Mitra, S.K. and E.A. Baldwin. 1997. Mango, pp. 85 –122. *In* S.K. Mitra, eds. **Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits.** CAB International, Wallingford.

Mukherjee. P.K. 1987. Biochemical and physiological studies during development of mango fruit. **Hort. Adv.** 3: 95-101

Niels, O.M., H.B. Gerald and T.G. McCollum. 1992. Impact bruise resistance comparison among peach cultivars. **Hort. Sci.** 27(9) : 1008 – 1011.

Peleg, K. 1985. **Produce handling packaging and distribution**. AVI Publishing Company, Inc., Connecticut.

_____ and Hinga, S. 1986. Simulation of vibration damage in produce transportation. **Transactions of the ASAE.** 29 (2): 633-641

Rouillard, V., Sek, M.A. and T. Perry. 1994. The analysis and simulation of road profiles, *In* **Proceedings of a symposium of IAPRI**, Riems

Sek, M.A. 1996. A modern technique of transportation simulation for packageperformance testing. **Packaging Technology and Science.** 9: 327-343.

Singh, S.P. 1992. New Package System for fresh Berries. **Packaging Technology and Science.** 5: 3-10

_____ and M. XU. 1993. Bruising in apples as a function of truck vibration and packaging. **Applied Engineering in Agriculture.** 9(5): 455-460.

Somogyi, L.P., D.M. Barrett and Y.H. Hui. 1996. **Major processed Products**. Technomic Publishing Company, Inc., Switzerland. 558p.

Sornbubpar, W. 1990. **Ripening of mango (*Mangifera indica* L.) fruit cv. Nang Klang Wan and Modified atmosphere stroage.** MS. Thesis, Kasetsert University.

Subramanyam, H., S. Krishnamurthy and H.A.B. Parpia. 1975. Physiology and biochemistry of mango fruit. **Adv. Food Res.** 21: 223-305

Susana, C.F., A.R. Femanda and K.B. Jeffrey. 2002. Modelling respiration rate of fresh fruit and vegetables for modified atmosphere packages : a review. **Food Engineering.** 52 : 99 – 119.

Techawongstien S. 1999**.** Situation and significant of postharvest handling in Thailand. *In*. **Postharvest Technologies for Horticultural Crops.** 27. Bangkok Thailand.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 2001. **TAPPI Test Methods 2001-2002**. TAPPI Press, Atlanta.

Thompson, A.K. 1996**. Postharvest Technology of Fruit and Vegetables.** Blackwell Science Ltd., Oxford.

Yen, C.H. 1993. Latent damage : A systems perspective, pp. 211 – 224. *In* L.S. Robert and E.P. Stanley, eds. **Postharvest Handling A Systems Approach.** Academic Press Inc., San Diego.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การสัมภาษณ์เชิงลึก (Depth interview)

ขั้นตอนในการสัมภาษณ์เชิงลึกมีดังนี้

1. ผู้สัมภาษณ์แนะนำตัว และแจ้งรายละเอียดเกี่ยวกับการสัมภาษณ์เชิงลึกให้ผู้รับการสัมภาษณ์ทราบถึงวัตถุประสงค์การสัมภาษณ์เชิงลึก อธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุกันกระแทกในตลาด
2. แจ้งให้ผู้รับการสัมภาษณ์ทราบว่ามีการบันทึกเทปและให้ผู้รับการสัมภาษณ์แนะนำตัวเอง
3. ผู้สัมภาษณ์ดำเนินการถามทีละคำถาม โดยให้ผู้รับการสัมภาษณ์ร่วมแสดงทัศนคติ ความต้องการและความคิดเห็น
4. ทำการรวบรวมข้อมูลและสรุปผลการทำสัมภาษณ์เชิงลึก

กลุ่มผู้ใช้วัสดุกันกระแทกในตลาดเป้าหมาย : โดยแบ่งเป็นกลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มชาวสวนมะม่วง
2. กลุ่มผู้ประกอบการโรงคัดบรรจุ
3. กลุ่มผู้ประกอบการค้าผลไม้ส่ง
4. กลุ่มผู้ประกอบการค้าผลไม้ปลีก

คุณสมบัติของผู้เข้าร่วมทำสัมภาษณ์เชิงลึก

- เพศชาย/หญิง
- เป็นผู้ประกอบการเกี่ยวกับผลไม้
- ใช้วัสดุกันกระแทกเป็นประจำ

ผู้เข้าร่วมทำสัมภาษณ์เชิงลึก

- ขนาดและจำนวนของผู้เข้าร่วม : ผู้บริโภคเป้าหมายจำนวน 15 คน

สถานที่ใช้ในการสัมภาษณ์เชิงลึก

สัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มผู้ใช้วัสดุกันกระแทกในตลาด เป้าหมายที่ประกอบการเกี่ยวกับผลไม้สด ระหว่างวันที่ 9 ตุลาคม 2550 ถึง วันที่ 5 มกราคม 2551 โดยสัมภาษณ์ผู้ใช้วัสดุกันกระแทกในตลาดเป้าหมายที่ประกอบการเกี่ยวกับผลไม้สดที่สวนผลไม้ โรงคัดบรรจุ และร้านค้าของผู้ประกอบการ

ขั้นตอนการสัมภาษณ์เชิงลึก (Lawless and Heymann, 1998)

1. บทนำ

ผู้สัมภาษณ์กล่าวนำ

“สวัสดีค่ะ ดิฉันนางสาวนิรมล วิระเทพสุภรณ์ จะเป็นผู้ทำการสัมภาษณ์แบบเชิงลึก โดยขั้นแรกจะขออธิบายเกี่ยวกับการศึกษาในครั้งนี้ก่อนนะคะ”

1.1 รายละเอียดเกี่ยวกับการศึกษาแบบสัมภาษณ์เชิงลึก

“ในการสัมภาษณ์เชิงลึกมีจุดมุ่งหมายเพื่อต้องการทราบข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับพฤติกรรม ทัศนคติ ความคิดเห็น และความต้องการ เกี่ยวกับหัวข้อที่เราสนใจในวันนี้ คือ ผลิตภัณฑ์วัสดุกันกระแทก”

“โดยดิฉันจะเป็นผู้ถามคำถามให้ท่านตอบ ซึ่งท่านสามารถตอบได้ตามความคิดของคุณ จะไม่มีการตอบผิดหรือถูกใดๆ ทั้งสิ้น คุณสามารถพูดอะไรก็ได้ ที่เป็นมุมมองของคุณ และถ้ามีความคิดเห็นอย่างไรสามารถออกความคิดเห็นทั้งเห็นด้วย หรือไม่เห็นด้วยซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการสัมภาษณ์ครั้งนี้”

1.2 ชี้แจงเกณฑ์การสัมภาษณ์เชิงลึก

ในการสัมภาษณ์จะมีการบันทึกข้อมูลระหว่างการสัมภาษณ์ เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการดำเนินงาน ซึ่งเทปนี้จะใช้ในการเตรียมรายงาน และจะไม่มีการอ้างชื่อของคุณในรายงาน

2. สร้างความสัมพันธ์และความคุ้นเคย

2.1 แนะนำตัว

“ก่อนทำการสัมภาษณ์ขอทำความรู้จักกัน โดยการแนะนำตัว เพื่อสร้างความสัมพันธ์และคุ้นเคย ช่วยบอกชื่อของท่านด้วยคะได้แก่ ชื่อ-นามสกุล, ชื่อเล่น”

3. การสอบถามเบื้องต้น

ถามคำถามเกี่ยวกับพฤติกรรม ทัศนคติ และความต้องการเกี่ยวกับวัสดุกันกระแทก โดยมีคำถามดังนี้

3.1 ทัศนคติของผู้ใช้วัสดุกันกระแทก

3.1.1 ผลไม้ที่ได้รับมาผ่านการขนส่งแบบใด

3.1.2 ผลไม้ที่บรรจุแล้วจะขนส่งแบบใด

3.1.3 ผลไม้ที่ผ่านการขนส่งแล้วจะถึงผู้รับภายในกี่วัน

3.1.4 ผลไม้ที่รับมามีปัญหาอะไรบ้าง

3.1.5 ท่านคิดว่าเหตุใดผลไม้จึงช้ำ

3.1.6 วัสดุกันกระแทกที่ใช้อยู่เป็นแบบใด

3.1.7 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้อยู่ภายในกิจการเป็นแบบใด

3.1.8 มีการจัดสินค้าขณะขนส่งแบบใด

3.1.9 ทำไมถึงเลือกใช้โฟมตาข่าย

3.1.10 โฟมตาข่ายมีกี่ขนาดและราคาต่อหน่วย

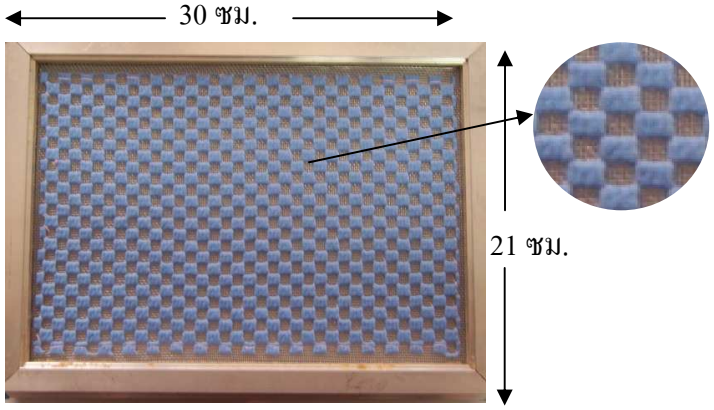
3.1.11 วัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกควรจะมีลักษณะแบบใด

3.1.12 ราคา/หน่วยของวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูกที่ท่านต้องการ

ภาคผนวก ข

การคำนวณหาพื้นที่ผิวและปริมาณเยื่อที่ต้องใช้กับวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก

<u>วิธีการคำนวณหาพื้นที่ผิวของวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก</u>



พื้นที่ผิวของวัสดุกันกระแทกที่ปุ่มกันกระแทกสูง 0.25 ซม.

= (21 x 30) + [2(0.645 + 0.67) (0.25) (234)]

= 784.44 ตารางเซนติเมตร

~ 785 x 10^{-4} ตารางเมตร

พื้นที่ผิวของวัสดุกันกระแทกที่ปุ่มกันกระแทกสูง 0.50 ซม.

= (21 x 30) + [2(0.645 + 0.67) (0.50) (234)]

= 938.88 ตารางเซนติเมตร

~ 939 x 10^{-4} ตารางเมตร

<u>วิธีการคำนวณหาปริมาณเยื่อแห้งที่ต้องใช้กับวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก</u>

กำหนดให้กระดาษมีน้ำหนักประมาณ 100 กรัมต่อตารางเมตร

วัสดุกันกระแทกที่ปุ่มกันกระแทกสูง 0.25 ซม.มีพื้นที่ผิว = 785 x 10^{-4} ตารางเมตร
ดังนั้นแผ่นกันกระแทกควรมีน้ำหนักหลังการอบแห้ง = 7.85 กรัม/ แผ่น

วัสดุกันกระแทกที่ปุ่มกันกระแทกสูง 0.50 ซม.มีพื้นที่ผิว = 939 x 10^{-4} ตารางเมตร
ดังนั้นแผ่นกันกระแทกควรมีน้ำหนักหลังการอบแห้ง = 9.39 กรัม/ แผ่น

<u>วิธีการคำนวณหาปริมาณเยื่อเปียกที่ต้องใช้กับวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก</u>

วัสดุกันกระแทกที่ปุ่มกันกระแทกสูง 0.25 เซนติเมตร

เยื่อก่อนอบแห้งหนัก = 500 กรัม

เยื่อหลังอบแห้งหนัก = 143 กรัม

หากต้องการเยื่อแห้ง 7.85 กรัม $= \frac{7.85 \times 500}{143}$

ดังนั้นต้องชั่งเยื่อเปียกจำนวน = 27.45 กรัม

วัสดุกันกระแทกที่ปุ่มกันกระแทกสูง 0.50 เซนติเมตร

เยื่อก่อนอบแห้งหนัก = 500 กรัม

เยื่อหลังอบแห้งหนัก = 143 กรัม

หากต้องการเยื่อแห้ง 9.39 กรัม $= \frac{9.39 \times 500}{143}$

ดังนั้นต้องชั่งเยื่อเปียกจำนวน = 32.83 กรัม

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณภาพ

การปรับสภาวะแผ่นเยื่อทดสอบ (Conditioning)

ตามวิธีมาตรฐานของ TAPPI T 402 om-93

เครื่องมือ

1. เครื่องควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์

2. อุปกรณ์ในการวัดขนาดและตัดขนาดตัวอย่างแผ่นเยื่อ

วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องควบคมความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิโดยต้องปรับให้ได้ความชื้นและอุณหภูมิตามมาตรฐาน ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 65.0±2.0 อุณหภูมิ 27.0±2.0องศาเซลเซียส

2. ตัดตัวอย่างสำหรับทดสอบตามขนาดและจำนวนที่ต้องการ

3. นำแผ่นเยื่อมาผึ่งไว้ในห้องควบคุมสภาวะอย่างน้อย 24 ชั่วโมง

น้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อทดสอบ (Basis Weight)

ตามวิธีมาตรฐานของ TAPPI T 410 om-88

เครื่องมือ

เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม

วิธีการทดลอง

ชั่งน้ำหนักแผ่นเยื่อทดสอบใช้เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม

การคำนวณ

$$\text{น้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อ (กรัมต่อตารางเมตร)} = \frac{\text{พื้นที่ของแผ่นเยื่อ}}{\text{น้ำหนักของแผ่นเยื่อ}}$$

ค่าดัชนีต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strenght)

ตามวิธีของ TAPPI T 494 om-88

เครื่องมือ

เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงของกระดาษ

วิธีการทดลอง

1. ตัดชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร ปรับสภาวะตามวิธีข้างต้น

2. นำชิ้นทดสอบมา 5 ชิ้น หนีบปลายของชิ้นทดสอบกับที่ยึดกระดาษที่อยู่ด้าน บนของเครื่องทดสอบ ซึ่งจะต้องทำการล๊อกให้ที่ยึดกระดาษอยู่กับที่ก่อน จึงหนีบกระดาษ

3. ตั้งเครื่องมือให้เข็มอ่านค่าแรงดึงอยู่ที่เลข 0 ระยะห่างระหว่างที่ยึดกระดาษทั้งสองตัวเท่ากับ 10 เซนติเมตร คลายล๊อก ที่ยึดกระดาษตัวบนให้เป็นอิสระ

4. สอดปลายกระดาษแถบที่ 1 เข้ามาที่ยึดกระดาษตัวล่างและหนีบให้แน่น

5. เปิดเครื่องทดสอบ มอเตอร์จะดึงที่ยึดกระดาษตัวล่างลงมาเรื่อยๆ จนกระทั่งกระดาษขาดเข็มชี้ค่าตัวเลขจะอยู่กับที่ จากนั้นปิดเครื่องและอ่านค่าความต้านทานที่ได้เป็นกิโลกรัม

6. ทำซ้ำอีกครั้งกับชิ้นตัวอย่างที่เหลือ

การคำนวณ

$$\text{ค่าดัชนีต้านทานแรงดึง (Tensile strength) (นิวตัน×เมตร /กรัม)} = \frac{\text{แรงที่ใช้ดึงตัวอย่าง (นิวตัน)}}{\text{ความกว้างของตัวอย่าง (เมตร)}\times\text{น้ำหนักมาตรฐาน (กรัม/ตารางเมตร)}}$$

ค่าดัชนีต้านทานต่อแรงฉีกขาด (Tearing Strength)

ตามวิธีมาตรฐาน TAPPI T414 0m-88

เครื่องมือ

Elemendorf Tearing Tester

วิธีการทดลอง

1. ตัดชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 6.3 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ปรับสภาวะของชิ้นทดสอบตามวิธีข้างต้น

2. เปิดเครื่องทดสอบทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ปล่อยให้ลูกตุ้มเหวี่ยงและทำการปรับค่าให้เป็น 0 (adj.zero)

3. ดันลูกตุ้มกลับเข้าที่ในสภาพเครื่องพร้อมใช้ นำแผ่นเยื่อมาหนีบกับที่ยึดกระดาษกดใบมีดกรีดนำร่องกดปุ่มคลายล็อคให้ลูกตุ้มเคลื่อนตัวอิสระ ที่ยึดกระดาษจะเคลื่อนตามทำให้เกิดแรงเฉือน กระดาษจะฉีกออกจากกัน

4. ลูกตุ้มจะแกว่งไปมาอย่างอิสระ ทำการหยุดลูกตุ้มด้วยความระมัดระวังอ่านค่าจากเครื่องในหน่วยมิลลินิวตัน

5. ทำการทดสอบซ้ำในตัวอย่างถัดไป

การคำนวณ

$$\text{ดัชนีต้านทานแรงฉีกขาด (tear index)} = \frac{9.807 \times \text{แรงในการฉีกขนาดกระดาษ1 แผ่น (มิลลินิวตัน)}}{\text{น้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อ (กรัม/ตารางเมตร)}}$$

มิลลินิวตัน×ตารางเมตร/กิโลกรัม

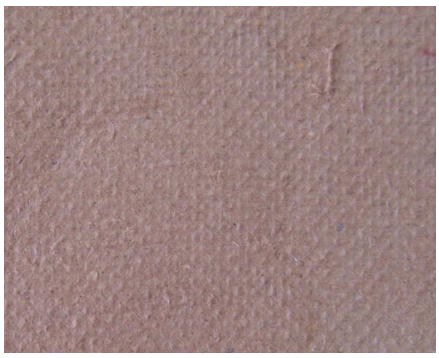
ภาคผนวก ง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตทำกระดาษและวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก

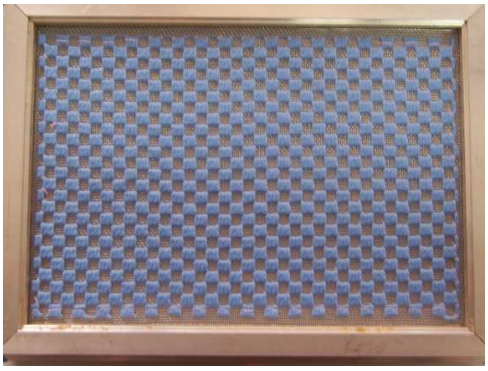
ภาพผนวกที่ ง1 ลักษณะปรากฏของเศษกระดาษลูกฟูก

ภาพผนวกที่ ง2 เครื่องตีเยื่อแบบฮอแลนด์เดอร์ กำลังการผลิต 5กิโลกรัม

ภาพผนวกที่ ง3 ตะแกรงที่ใช้ในการขึ้นรูปกระดาษรีไซเคิลจากเศษกระดาษลูกฟูก



ภาพผนวกที่ ง4 ลักษณะปรากฏของกระดาษรีไซเคิลจากเศษกระดาษลูกฟูก



ภาพผนวกที่ ง5 ตะแกรงที่ใช้ในการขึ้นรูปวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก

ภาพผนวกที่ ง6 ลักษณะปรากฏของวัสดุกันกระแทกจากเศษกระดาษลูกฟูก

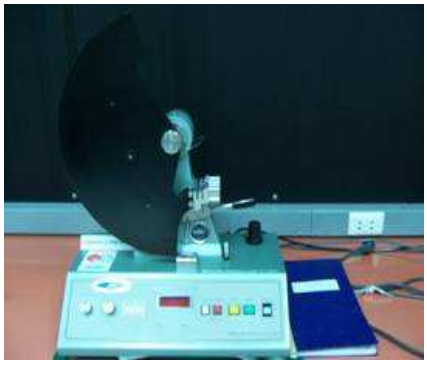
ภาพผนวกที่ ง7 การอบเยื่อที่เตรียมจากเศษกระดาษลูกฟูก

ภาพผนวกที่ ง8 การอบแห้งกระดาษและวัสดุกันกระแทก

ภาคผนวก จ

เครื่องมือในการทดสอบกระดาษ

ภาพผนวกที่ จ9 เครื่องวัดความต้านทานแรงดึง



ภาพผนวกที่ จ10 เครื่องวัดความต้านทานแรงฉีกขาด

ภาพผนวกที่ จ11 เครื่องชั่งน้ำหนักสามตำแหน่ง

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวนิรมล วิระเทพสุภรณ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 26 เมษายน 2526
สถานที่เกิด	จังหวัดเพชรบูรณ์
ประวัติการศึกษา	ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร