วิทยานิพนธ์

ความเสียหายของมะขามหวานหลังการเก็บเกี่ยวและการพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะขามหวานแบบขายส่งและขายปลีก

POSTHARVEST LOSS AND DEVELOPMENT OF WHOLESALE AND RETAIL SWEET TAMARIND PACKAGING

นางสาวดลหทัย ราชนุเคราะห์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว)

ปริญญา

เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว — **สาขา**

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา — **ภาควิชา**

เรื่อง ความเสียหายของมะขามหวานหลังการเก็บเกี่ยวและการพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะขามหวานแบบขายส่งและขายปลีก

Postharvest Loss and Development of Wholesale and Retail Sweet Tamarind Packaging

นามผู้วิจัย นางสาวดลหทัย ราชนุเคราะห์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ (รองศาสตราจารย์บัณฑิต จริโมภาส, D.Sc.)

กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิลักษณ์ ปฐวีรัตน์, Ph.D.)

กรรมการ (รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D.)

กรรมการ (Professor Pictiaw Chen, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา (ศาสตราจารย์สายชล เกตุษา, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 25 **เดือน** มีนาคม **พ.ศ.** 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ความเสียหายของมะขามหวานหลังการเก็บเกี่ยวและการพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะขามหวานแบบขายส่งและขายปลีก

Postharvest Loss and Development of Wholesale and Retail Sweet Tamarind Packaging

โดย

นางสาวดลหทัย ราชนุเคราะห์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว)
พ.ศ. 2551

ดลหทัย ราชนุเคราะห์ 2551: ความเสียหายของมะขามหวานหลังการเก็บเกี่ยวและการพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะขามหวานแบบขายส่งและขายปลีก ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว) สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์บัณฑิต จริโมภาส, D.Sc. 148 หน้า

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ขายส่งและขายปลีกมะขามหวานที่เหมาะสมสำหรับการขนส่งและการจำหน่าย ซึ่งประกอบด้วย ก) การศึกษาความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวาน ณ ระดับค้าส่ง ข) การประเมินสมรรถนะของบรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวานปัจจุบันและรูปแบบใหม่ด้วยเครื่องจำลองการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ASTM D999 Method A2 ที่ความเร่ง 0.5 จี เป็นเวลา 10 นาที ใช้ปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัย คือ พันธุ์ (สีทองและศรีชมภู) เส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดโฟม 5 และ8 มิลลิเมตร และอัตราส่วนของผสม (r) ของโฟมเม็ดกับฝักมะขามหวาน ที่อัตราส่วนของมะขามคงที่ที่ 80% ค) การศึกษาความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวของฝักมะขามหวาน ณ ระดับค้าปลีก ง) สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของฝักมะขามหวาน จ) คุณลักษณะการตกของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ฉ) การประเมินสมรรถนะของบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานปัจจุบันและรูปแบบใหม่ ด้วยเครื่องทดสอบปล่อยตกตามมาตรฐาน ASTM D775-80 โดยมีปัจจัยควบคุม คือ พันธุ์ (สีทองและศรีชมภู) มิติของบรรจุภัณฑ์แบบปลอกคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง×ความสูง และลักษณะการบรรจุฝักมะขาม (แนวตั้งและแนวนอน) ตัวแปรที่ประเมินการทำงานของบรรจุภัณฑ์คือ เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของฝักมะขาม (D)

ผลการศึกษาปรากฏว่า ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยว ณ ระดับค้าส่ง พบความเสียหาย 5 ประเภท คือ ฝักแตก ฝักร้าว ขั้วฝักแตก รูเนื่องจากแมลงและขั้วฝักทิ่มกันและเชื้อรา ก่อให้เกิดความเสียหาย 70%ของความเสียหายทั้งหมด บรรจุภัณฑ์ขายส่งปัจจุบันคือกล่อง Regular Slot Container (RSC) ขนาดมิติเท่ากับ 27.5เซนติเมตร×41เซนติเมตร×36.5เซนติเมตร ความจุ 14 กิโลกรัม ค่าความเสียหายเชิงกลพันธุ์สีทอง 1.9% และศรีชมภู 7.8% สำหรับบรรจุภัณฑ์ขายส่งปัจจุบัน บรรจุภัณฑ์ขายส่งแบบใหม่ที่เหมาะสมคือ r = 30% สำหรับโฟมขนาด 5 มิลลิเมตร หรือ r = 35% สำหรับโฟมขนาด 8 มิลลิเมตร บรรจุมะขามทั้งพันธุ์สีทองและศรีชมภู ให้ค่าความหนาแน่นการบรรจุ 41% และ 47% ต้นทุนของบรรจุภัณฑ์เท่ากับ 3.70 , 3.18 บาท/กิโลกรัม และ 3.25, 2.83 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ คุณลักษณะการตกของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ประกอบด้วยความสูงเฉลี่ยของชั้นวางผลไม้ 78 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยความสูงในการเลือกซื้อ คือ 27.6 เซนติเมตร จำนวนครั้งการเลือกเฉลี่ย 1.31 ครั้ง ภายหลังจากซื้อแล้วลูกค้าถือด้วยความสูงเฉลี่ย 79 เซนติเมตร จากพื้น บรรจุภัณฑ์ขายปลีกพัฒนาใหม่มีลักษณะเป็นแบบปลอกประกอบด้วยกระดาษลอนลูกฟูกหน้าเดียวหันด้านลอนออกข้างนอก ขดเป็นทรงกระบอกและตัดเป็นวงกลมปิดด้านล่าง บรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่เหมาะสมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความสูง 20 เซนติเมตร และบรรจุมะขามในแนวตั้งขนาด 1 กิโลกรัม ใส่โฟมที่อัตราส่วนผสม 30% ให้ค่าความเสียหายเชิงกลเป็น 1/4 และ1/5 เท่าของบรรจุภัณฑ์ปัจจุบัน สำหรับพันธุ์สีทองและศรีชมภูตามลำดับ

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ 12 / 3 / 51

Dolhathai Rachanukroh 2008: Postharvest Loss and Development of Wholesale and Retail Sweet Tamarind Packaging. Doctor of Philosophy (Postharvest Technology), Major Field: Postharvest Technology, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Associate Professor Bundit Jarimopas, D.Sc. 148 pages.

This research was to study and develop the proper sweet tamarind wholesale and retail packaging for transportation and distribution . Methodology comprised a) evaluation of postharvest loss of sweet tamarind at wholesaler b) performance of the current and developed sweet tamarind wholesale package by simulated vibration at 0.5g, 10 minute according with ASTM D999 Method A.2. The experimentation was designed with 3 controlling factors i.e. cultivar (Si-thong and Sri-chompoo), foam ball size (5 and 8mm) and mixing ratio of foam (r) at 80% constant tamarind volume to investigate percentage of mechanical damage (D) c) determination of postharvest damage of sweet tamarind at retailer d) physical characteristics and mechanical properties of the sweet tamarind pods e) dropping characteristic of a retail package f) performance of the current and developed sweet tamarind retail package subjected to dropping test based on ASTM D775-80 with 2 cultivars (Si-thong and Sri-chompoo), packaging dimensions and 2pod orientations i.e. vertical and horizontal that affected to fruit damage

The result showed that postharvest damage at wholesaler presented 5 different kinds included crack, hairline crack, stem end crack, hole due to insect and stem end penetration of one pod into the other and mold. The damage including crack, hairline crack and stem end crack was more than 70% of the total. The current 14kg Regular Slot Container (RSC), double wall corrugated paper box; 27.5cm wide by 41cm long by 36.5cm high resulted in the mechanical damage of Si-thong and Sri-chompoo to be 1.9% and 7.8%, respectively. The proper working conditions of the developed wholesale packaging (DWP) was r= 30% with diameter 5 mm of foam ball or r = 35% of foam diameter 8mm for both cultivars. Packing density was 41% and 47% which cost of packaging 3.70, 3.18 baht/kg and 3.25, 2.83 baht/kg, respectively. The dropping characteristics of a retailing package were the average shelf height 78cm,the average height to inspect product of 27.6cm. The inspection was average 1.31 times and the average height carried by customer after buying of 79cm from the floor. The developed retail packaging consisted of the single face corrugated paper to roll up cylindrical sleeve with the corrugated paper turned out. The opening on one side was closed with the same circular paper. The proper developed retail package was 15cm diameter by 20cm sleeve height with 30% foam balls (5 mm diameter) mixing and vertical pod packing of 1 kg pods demonstrated better performance with 1/4 and 1/5 times of Si-thong and Sri-chompoo damage, respectively.

Dolhathai Rachanukroh — Student's signature

Bundit Jarimopas — Thesis Advisor's signature

12 / 3 / 08

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. บัณฑิต จริโมภาส ที่ให้โอกาส คอยให้คำปรึกษาแนะนำและสนับสนุนเชิงวิชาการมาตลอด จนงานเขียนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ และ รศ.ดร.อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล กรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำ ให้ข้อมูล รวมไปถึงประสบการณ์ที่เป็นประโยชน์ กราบขอบพระคุณคณาจารย์คณะเกษตร ที่คอยชี้แนะหลักการนำเสนอผลงานวิชาการที่ดี

กราบขอบพระคุณ Professor Dr. Pictiaw Chen, Department of Biological and Agricultural Engineering, University of California, Davis ที่ให้ความกรุณาและเมตตาต่อผู้จัดทำเป็นอย่างสูง ในการให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจสอบแก้ไขในสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย กราบขอบพระคุณ Professor Dr. Sher Paul Singh, School of Packaging, Michigan State University ที่ให้โอกาสในการตีพิมพ์ และนำเสนอผลงานวิจัยในระดับนานาชาติ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (ADB) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่กรุณาให้การสนับสนุนงบประมาณวิจัย ขอขอบคุณศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม ที่กรุณาเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ชาววิศวกรรมเกษตร ที่คอยถามความก้าวหน้าของวิทยานิพนธ์ คอยเป็นกำลังใจ และคอยช่วยเหลืองานวิจัยทุกครั้ง และขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ ชาวเกษตร ที่ให้ข้อมูลและช่วยเหลือในงานวิชาสัมมนา

ขอกราบขอบพระคุณคุณยายและน้าๆ ที่คอยไตร่ถาม ติดตามความก้าวหน้า และให้กำลังใจกันมาตลอด ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาที่ให้การสนับสนุนและส่งเสริมด้านการศึกษา ประโยชน์อันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณบิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน

ดลหทัย ราชนุเคราะห์

มีนาคม 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (1)
สารบัญตาราง (2)
สารบัญภาพ (7)
คำนำ 1
วัตถุประสงค์ 3
การตรวจเอกสาร 4
อุปกรณ์และวิธีการ 23
วัสดุและอุปกรณ์ 23
วิธีการ 24
ผลและวิจารณ์ 36
สรุปและข้อเสนอแนะ 57
สรุป 57
ข้อเสนอแนะ 58
เอกสารและสิ่งอ้างอิง 59
ภาคผนวก 67
ภาคผนวก ก ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์และนำเสนอในระดับนานาชาติ 68
ภาคผนวก ข การคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์ 113
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง 116
ประวัติการศึกษาและการทำงาน 148

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวานพันธุ์สีทอง ณ ระดับค้าส่ง	36
2	ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู ณ ระดับค้าส่ง	36
3	เปอร์เซ็นต์ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานในบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่ที่อัตราส่วนของผสมต่างๆ	39
4	ค่าเฉลี่ยความเสียหายรวมของฝักมะขามหวานในบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่ใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร	40
5	ค่าเฉลี่ยความเสียหายรวมของฝักมะขามหวานในบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่ใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร	41
6	ราคาบรรจุภัณฑ์และความหนาแน่นการบรรจุของบรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวานที่พัฒนาใหม่ เมื่อใช้โฟมเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามหวานคงที่ที่ 80%	41
7	ราคาบรรจุภัณฑ์และความหนาแน่นการบรรจุของบรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวานที่พัฒนาใหม่ เมื่อใช้โฟมเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามหวานคงที่ที่ 80%	42
8	สมบัติทางกายภาพและค่าความหวานของมะขามหวานพันธุ์สีทองและศรีชมภู	42
9	สมบัติเชิงกลของมะขามหวานสีทองและศรีชมภูและรูปร่างของฝักส่วนนูนและส่วนเว้า	44
10	เปอร์เซ็นต์ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวานพันธุ์สีทอง ณ ระดับค้าปลีก	45
11	เปอร์เซ็นต์ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู ณ ระดับค้าปลีก	45
12	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณลักษณะการตกของบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวาน	46
13	ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองภายในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกปัจจุบัน	47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูภายในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกปัจจุบัน	48
15	ความเสียหายเชิงกลของมะขามหวานพันธุ์สีทองภายในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่	52
16	ความเสียหายเชิงกลของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูภายในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่	52
17	การเปรียบเทียบราคาต้นทุนบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวาน	54
18	จุดคุ้มทุนของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ซึ่งบรรจุมะขามหวานพันธุ์สีทอง	54
19	จุดคุ้มทุนของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ซึ่งบรรจุมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู	55
20	ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายกับต้นทุนบรรจุภัณฑ์ขายปลีกของมะขามหวานพันธุ์สีทอง	56
21	ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายกับต้นทุนบรรจุภัณฑ์ขายปลีกของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู	56

ตารางผนวกที่

ค1	ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวฝักมะขามหวานพันธุ์สีทอง ณ ระดับค้าส่ง	117
ค2	ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู ณ ระดับค้าส่ง	117
ค3	ความเสียหายของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายส่งปัจจุบันและที่พัฒนาใหม่เมื่อใช้โฟมเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ	118
ค4	ความเสียหายของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายส่งปัจจุบันและที่พัฒนาใหม่เมื่อใช้โฟมเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ	118
ค5	ความเสียหายของมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่เมื่อใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามคงที่ที่ 80%	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ค6	ความเสียหายของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่ เมื่อใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามคงที่ที่ 80%	119
ค7	ความเสียหายของมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่ เมื่อใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามคงที่ที่ 80%	120
ค8	ความเสียหายของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่ เมื่อใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามคงที่ที่ 80%	120
ค9	ต้นทุนเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่และความหนาแน่นการบรรจุ เมื่อใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามคงที่ที่ 80%	121
ค10	ต้นทุนเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่และความหนาแน่นการบรรจุ เมื่อใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามคงที่ที่ 80%	122
ค11	ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ ขายปลีกประเภทถุงตาข่าย ณ ระดับค้าปลีก	123
ค12	ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ ขายปลีกประเภทถุงตาข่าย ณ ระดับค้าปลีก	123
ค13	ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ ขายปลีกประเภทกล่องกระดาษ ณ ระดับค้าปลีก	124
ค14	ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ ขายปลีกประเภทกล่องกระดาษ ณ ระดับค้าปลีก	124
ค15	ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ ขายปลีกประเภทถุงตาข่าย ณ ระดับค้าปลีก	125
ค16	ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ ขายปลีกประเภทถุงตาข่าย ณ ระดับค้าปลีก	126
ค17	ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ ขายปลีกประเภทถุงพลาสติก ณ ระดับค้าปลีก	127
ค18	ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ ขายปลีกประเภทถุงพลาสติก ณ ระดับค้าปลีก	128

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ค19	ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทถาดโฟม ณ ระดับค้าปลีก	129
ค20	ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทถาดโฟม ณ ระดับค้าปลีก	130
ค21	ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทกล่องกระดาษ ณ ระดับค้าปลีก	131
ค22	ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทกล่องกระดาษ ณ ระดับค้าปลีก	132
ค23	ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่ เมื่อบรรจุฝักมะขามหวานในแนวตั้ง	133
ค24	ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่ เมื่อบรรจุฝักมะขามหวานในแนวนอน	134
ค25	ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่ เมื่อบรรจุฝักมะขามหวานในแนวตั้ง	135
ค26	ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่ เมื่อบรรจุฝักมะขามหวานในแนวนอน	136
ค27	ต้นทุนบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวาน	137
ค28	คุณลักษณะการตกของบรรจุภัณฑ์มะขามหวานซึ่งได้จากการสังเกตในระหว่างเวลา 16.00-19.00 นาฬิกา	137
ค29	สมบัติทางกายภาพของมะขามหวานอันได้แก่ น้ำหนัก ความกว้าง ความยาว ความถ่วงจำเพาะ ความหวาน และความชื้นของมะขามหวานพันธุ์สีทอง	138
ค30	สมบัติทางกายภาพของมะขามหวานอันได้แก่ น้ำหนัก ความกว้าง ความยาว ความถ่วงจำเพาะ ความหวาน และความชื้นของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู	139
ค31	สมบัติทางกายภาพของมะขามหวานอันได้แก่ รัศมีความโค้งของฝัก รัศมีความโค้งส่วนเว้า และ รัศมีความโค้งส่วนนูนของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทอง	140

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ค32	สมบัติทางกายภาพของมะขามหวานอันได้แก่ รัศมีความโค้งของฝัก รัศมีความโค้งส่วนเว้า และ รัศมีความโค้งส่วนนูนของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู	141
ค33	สมบัติเชิงกลบริเวณส่วนนูนของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทอง	142
ค34	สมบัติเชิงกลบริเวณส่วนเว้าของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทอง	143
ค35	สมบัติเชิงกลส่วนนูนของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู	144
ค36	สมบัติเชิงกลส่วนเว้าของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู	145
ค37	จุดคุ้มทุนของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ซึ่งบรรจุมะขามหวานพันธุ์สีทอง	146
ค38	จุดคุ้มทุนของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ซึ่งบรรจุมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู	146
ค39	ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายกับต้นทุนบรรจุภัณฑ์ขายปลีกของมะขามหวานพันธุ์สีทอง	147
ค40	ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายกับต้นทุนบรรจุภัณฑ์ขายปลีกของมะขามหวานพันธุ์สีทอง	147

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะฝักมะขามหวาน	5
2	ส่วนประกอบของแผ่นกระดาษลูกฟูก	13
3	แผ่นกระดาษลูกฟูก	15
4	ประเภทของลอนลูกฟูก	15
5	บรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวานที่พัฒนาใหม่	27
6	แผนภาพโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวานที่พัฒนาใหม่	28
7	การหารัศมีความโค้ง	31
8	การกดทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของฝักมะขามหวาน	33
9	ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวาน	37
10	บรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานปัจจุบัน	49
11	บรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานที่พัฒนาขึ้นใหม่	50
12	แผนภาพโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานที่พัฒนาขึ้นใหม่	51

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ANOVA	Analysis of Variance
CPS	Cycle Per Second
CRD	Completely Randomized Design
DMRT	Duncan Multiple Range Test
DWP	Developed Wholesale Packaging
PSD	Power Spectrum Density
RSC	Regular Slot Container
EPS	Expanded Polystyrene
HDPE	High Density Polyethylene
LDPE	Low Density Polyethylene
LLDPE	Linear Low Density Polyethylene
PE	Polyethylene
PP	Polypropylene
PS	Polystyrene
PU	Polyuretane

ความเสียหายของมะขามหวานหลังการเก็บเกี่ยวและการพัฒนาบรรจุภัณฑ์มะขามหวานแบบขายส่งและขายปลีก

Postharvest Loss and Development of Wholesale and Retail Sweet Tamarind Packaging

คำนำ

ผลผลิตเกษตรส่วนใหญ่เกิดความเสียหายขึ้นในระหว่างการเก็บเกี่ยว การขนส่ง และการจำหน่ายมีค่าระหว่าง 15-68% ของความเสียหายทั้งหมด (Ceponis and Butterfield, 1981, 1974; Ceponis and Cepellini, 1985) สาเหตุเนื่องจากบรรจุภัณฑ์ได้รับภาระเชิงกล อันได้แก่ การกระแทก และการสั่นสะเทือน กระทำต่อภาชนะบรรจุ และส่งผลให้ผักและผลไม้ภายในภาชนะบรรจุช้ำเสียหาย (Mohsenin, 1996)

มะขามหวาน (Sweet Tamarind) เป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่คนไทยนิยมบริโภค ปริมาณการส่งออกในปี พ.ศ. 2546 จำนวน 22,597 ตันคิดเป็นมูลค่า 327 ล้านบาท (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2547) อัตราการขยายตัวประมาณ 31.5 % ต่อปี ลักษณะต้นเป็นทรงพุ่มขนาดใหญ่ ใบ ดอก และผลนำมารับประทานได้ เปลือกหุ้มเมล็ดมีสารแอนตี้ออกซิแดนท์ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร (Luengthanaphol *et al.*, 2004) นอกจากบริโภคฝักมะขามหวานสดเป็นหลัก เพราะมีรสชาติหวานอร่อยแล้ว ยังสามารถนำไปแปรรูปได้อีก เช่น มะขามคลุกน้ำตาล ลูกอมมะขาม เป็นต้น พันธุ์ที่นิยมได้แก่ สีทองและศรีชมภู แต่มีข้อเสียคือ ถ้าฝักมีรอยร้าวหรือแตก จะส่งผลให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง เพราะเชื้อราสามารถเข้าไปเจริญเติบโตภายในได้ Jarimopas and Sirisawas (2006) พบว่า ปริมาณความเสียหายหลังการขนส่งมะขามหวานซึ่งบรรจุแบบสุ่ม (Random Packed) ในบรรจุภัณฑ์ขายส่งแบบกล่องกระดาษลูกฟูก 5 ชั้น (Double Wall Corrugated paper Box) ขนาด 14 kg ปริมาณความเสียหายของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวเท่ากับ 22.03% และพันธุ์ศรีชมภู 29.54% ส่วนบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ณ ระดับค้าปลีก พบความเสียหายที่เกิดขึ้นกับฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองซึ่งบรรจุในถุงตาข่าย ถุงพลาสติกและกล่องกระดาษมีค่าเท่ากับ 46.77%, 51.15% และ 33.17% ตามลำดับ พันธุ์ศรีชมภูภายในถาดโฟมหุ้มพลาสติกยืดมีค่าเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเท่ากับ 56.56% ปริมาณความเสียหายของฝักมะขามหวานในบรรจุภัณฑ์ขายส่งและขายปลีกมีปริมาณค่อนข้างสูง การผลิตมะขามหวานให้ได้ประสิทธิภาพและคุณภาพดี จำเป็นต้อง

ปรับปรุงการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวและบรรจุภัณฑ์ เพื่อช่วยลดความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยว LeBlance and Hui (2005) รายงานว่า การปรับปรุงระบบการขนส่งโดยใช้รถบรรทุกระบบรองรับการสั่นสะเทือนแบบ Air-ride suspension และ การใช้รถบรรทุกที่มีระบบกันสะเทือนแบบแหนบ Leaf spring suspension ยังไม่พอ จำเป็นต้องพัฒนาการออกแบบบรรจุภัณฑ์และนำเอาวัสดุกันช้ำมาใช้ด้วย เพื่อลดความเสียหายของผลิตผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบพัฒนาบรรจุภัณฑ์ขายส่งและขายปลีกมะขามหวานที่เหมาะสม สามารถป้องกันความเสียหายเชิงกลจากการสั่นสะเทือนและการกระแทกได้เป็นอย่างดี

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของมะขามหวานพันธุ์สีทองและศรีชมภูใช้เป็นข้อมูลสำหรับออกแบบบรรจุภัณฑ์

2. เพื่อหาความสามารถในการปกป้องฝักมะขามหวานจากการสั่นสะเทือนจำลองของบรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวานปัจจุบันเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ที่พัฒนาใหม่

3. เพื่อหาความสามารถของบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานปัจจุบันในการป้องกันความเสียหายของฝักมะขามหวานจากการจำลองการปล่อยตกเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานที่พัฒนาขึ้นใหม่

การตรวจเอกสาร

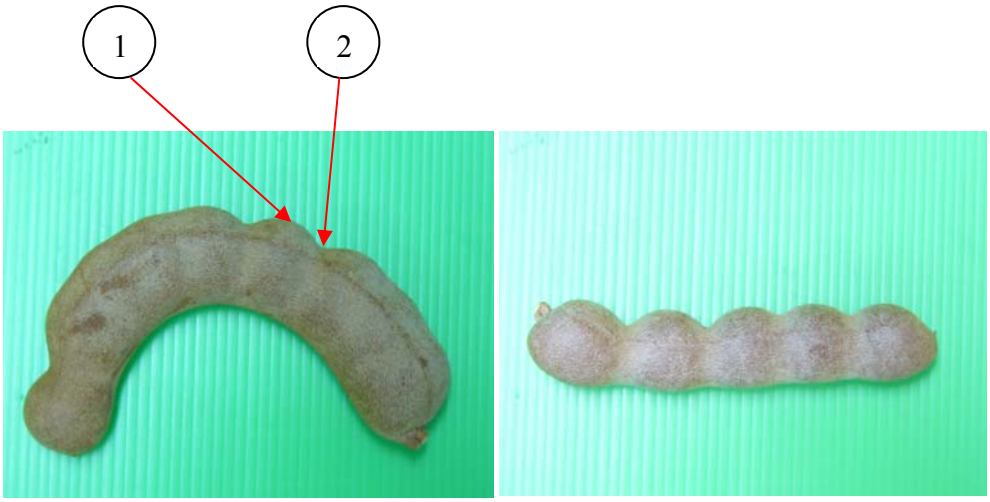
มะขามหวาน

1. ลักษณะโดยทั่วไป

มะขามหวาน (Sweet Tamarind) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tamarindus indica* L. (Gunasena and Hughes, 2000) เป็นไม้ยืนต้นประเภทพืชตระกูลถั่ว ลักษณะต้นทรงพุ่ม เปลือกสีน้ำตาลอ่อนแตกสะเก็ดเป็นร่องเล็ก ใบเรียงตัวแบบสลับ ใบย่อยจะเรียงตัวเป็นคู่ เมื่อใบแก่จะสลัดใบทิ้ง จากนั้นแตกใบอ่อนแทน ตาดอกจะเจริญเพื่อพัฒนาเป็นกิ่งและช่อดอกที่สมบูรณ์ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2543) หลังจากปลูกไปแล้ว 4 ปี จะเริ่มให้ผลผลิตและสามารถให้ผลผลิตได้ยาวนานมากกว่า 30 ปี ระยะเวลาในการติดดอกจนกระทั่งดอกบานประมาณ 20 วัน เพื่อให้ได้ผลผลิตเร็วขึ้นต้องมีการให้น้ำก่อนออกดอก หลังจากดอกบานฝักจะเริ่มแก่ใช้เวลา 8 เดือน ขณะที่ติดฝักต้องมีการให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ ฝักจึงจะเจริญเติบโตได้เต็มที่และมีคุณภาพดี ให้ผลผลิต 100 กิโลกรัมเมื่อต้นมีอายุ 10 ปี ภายในน้ำหนัก 1 กิโลกรัม จะมีจำนวนมะขามอยู่ 30-45 ฝัก โดยเริ่มให้ผลผลิตช่วงประมาณเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ พันธุ์ที่ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกคือสีทอง และศรีชมภู

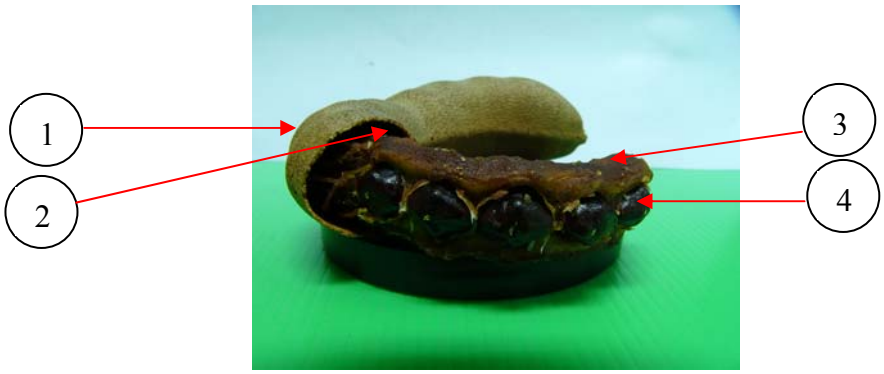
ผลแบบฝักเดี่ยวเป็นข้อ ๆ ในแต่ละข้อจะคอดเล็กน้อย แต่มีหลายเมล็ดประมาณ 1-8 เมล็ด เมล็ดค่อนข้างโตถูกหุ้มด้วยเนื้อสีน้ำตาล จำนวนเมล็ดขึ้นอยู่กับความยาวของฝักมะขามแต่ละพันธุ์ โดยเฉลี่ยความยาวฝักอยู่ที่ประมาณ 76.2-203.2 มิลลิเมตร ความกว้าง 25.4 มิลลิเมตร เมื่อยังอ่อนฝักมีสีเขียวอมเทา แต่เมื่อแก่สีฝักจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม

ลักษณะรูปร่างของฝักมีหลายแบบ เช่น ฝักดิ่งหรือฝักตรง ลักษณะของฝักเหยียดตรงยาว ไม่โค้งหรืองอ ฝักค่อนข้างกลม เช่น พันธุ์ศรีชมภู ขันตี ฝักดาบ มีลักษณะคล้ายฝักดิ่งแต่โค้งงอเล็กน้อย เหมือนกับมีดดาบ ฝักอาจตรงหรือค่อนข้างแบน เช่น พันธุ์อินทผาลัม ปากดุก แจ้ห่ม ฝักฆ้องหรือโค้ง ลักษณะของฝักค่อนข้างกลมยาว โค้งงอ บางทีหัวและท้ายเกือบจรดเป็นวงกลมเหมือนฆ้องวง เช่น พันธุ์สีทองและน้ำผึ้ง ฝักดูกหรือฝักกระดูก ลักษณะงอเป็นปล้อง ๆ ข้อถี่ โค้งบ้างตรงบ้าง เปลือกนูนขึ้นมาเป็นเหลี่ยม ฝักมีทั้งกลมและแบน เป็นลักษณะที่ไม่ดีของมะขามหวาน



ก) สีทอง ข) ศรีชมภู

(1= ส่วนนูน ; 2= ส่วนเว้า)



ค) โครงสร้างฝักมะขามหวาน (1=เปลือก ; 2= ช่องว่าง ; 3= เนื้อมะขาม; 4 =เมล็ด)

ภาพที่ 1 ลักษณะฝักมะขามหวาน

ส่วนเนื้อในเมื่อสุกแก่เต็มที่จะแห้งล่อนยุบตัวออกจากเปลือกฝัก และมีเส้นใย หรือรก 3 เส้นทอดไปตามเนื้อมะขาม เนื้อของมะขามหวานแต่ละสายพันธุ์มีสีและรสชาติต่างกัน โดยทั่ว ๆ ไป สีของเนื้อมะขามมีหลากหลายคือน้ำตาลเข้มเกือบดำ น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแดงเข้ม เหลืองคล้ายขี้ผึ้ง และค่อนข้างเหลือง ในมะขามหวานมีองค์ประกอบคือ กรดแททาริค (Tartaric Acid) อยู่ในปริมาณน้อยมาก จึงส่งผลให้มีความหวาน คุณภาพของเนื้อมะขามที่ดีจะต้องมีเส้นใย (รก) หรือสิ่งเจือปนน้อยหรือไม่มี ความชื้น 20-30% ความหวาน (น้ำตาล) 10-30%, ความเปรี้ยว (กรด) 10-13 % และสารอื่น 3-4% ซึ่งปริมาณกรดและน้ำตาลอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของมะขามหวาน การให้น้ำสม่ำเสมอตลอดจนสภาพแวดล้อมอื่น ๆ

เมล็ดมีสีน้ำตาลเข้ม ขนาดของเมล็ดแตกต่างตามพันธุ์ แต่มีผิวขรุขระเหมือนกัน เมื่ออ่อนเปลือกเมล็ดจะมีสีขาวและเมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มมันเงา เนื้อในเมล็ดสีขาว (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2543)

ลักษณะประจำพันธุ์

1. พันธุ์สีทอง

เป็นมะขามพันธุ์หนักคือ ออกผลช้า เพราะวงจรชีวิตตั้งแต่ออกดอกจนกระทั่งฝักแก่ยาวนาน ทำให้ฝักแก่ช้า ให้ผลผลิตช่วงปลายเดือนมกราคม ฝักขนาดใหญ่และยาวโค้งเป็นลักษณะครึ่งวงกลม เปลือกฝักหนาสีขาวนวล (ภาพที่ 1ก) น้ำหนักต่อฝักมากประมาณ 30-35 ฝัก/กิโลกรัม มีจำนวนข้อ 8-12 ข้อ เนื้อหนาล่อนมีสีเหลืองคล้ายสีของทอง รสหวานจัด

2. พันธุ์ศรีชมภู

จัดอยู่ในมะขามหวานพันธุ์เบา เป็นพันธุ์ที่ให้ผลเร็วและฝักแก่เร็ว เพราะวงจรชีวิตสั้น การแก่จึงใช้เวลาน้อย มีอายุการเก็บเกี่ยวปลายเดือนธันวาคมถึงต้นเดือนมกราคม ฝักตรงยาวขนาดปานกลาง เมื่อใกล้แก่ด้านท้องและหลังฝักจะแบน บริเวณส่วนนอกจะเป็นร่องแบน เรียกว่าฝักอกร่อง หรือท้องปลิง เปลือกฝักบางแตกง่าย (ภาพที่ 1ข) น้ำหนักประมาณ 40-45 ฝัก/กิโลกรัม แต่ละข้อของฝักเห็นได้ชัด 9-13 ข้อ เนื้อมีสีน้ำตาลเหลือง หรือสีน้ำตาลอ่อนหนายุ่ยแห้งไม่ชุ่มน้ำเกินไป รสหวานอมเปรี้ยว (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2543)

การตรวจสอบความอ่อนแก่ของฝักมะขามหวาน

กรมส่งเสริมการเกษตร (2543) นำเสนอวิธีการตรวจสอบความอ่อนแก่ของฝักมะขามหวานไว้คือ

1. จะเริ่มนับตั้งแต่เริ่มติดฝักจนกระทั่งวันที่เก็บเกี่ยวได้

โดยทำเป็นบันทึกอายุของฝักที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่เริ่มให้ฝักในฤดูกาลแรก บันทึกที่ทำไว้หลายฤดูกาลสามารถบอกถึงระยะการเก็บของฝักมะขามหวานที่ปลูกได้อย่างเหมาะสม

2. สังเกตสีของฝัก

มะขามหวานที่แก่จนสามารถเก็บเกี่ยวได้ จะมีสีของเปลือกฝักสีน้ำตาล หรือออกสีเหลืองนวลขึ้นอยู่กับลักษณะประจำพันธุ์

3. เคาะฟังเสียง

ฝักแก่ที่เก็บได้ ถ้าใช้นิ้วดีดเบา ๆ จะได้ยินเสียงกลวง ๆ จะสามารถเก็บได้ ถ้าเสียงแน่น ๆ แสดงว่ายังไม่แก่เต็มที่ ไม่สมควรเก็บเพราะเนื้อในจะมีคุณภาพไม่ดีพอเหมือนฝักที่แก่เต็มที่

4. การใช้เล็บขูดผิวเปลือกฝักมะขามหวาน

ฝักที่แก่และสุกแล้วเนื้อข้างในจะยุบตัวล่อนออกจากเปลือกฝัก ถ้าใช้เล็บขูดที่เปลือกจะไม่เกิดรอย แต่ถ้ายังไม่สุกเนื้อข้างในจะยังไม่แห้ง เนื้อจะไม่แยกจากเปลือกฝัก เวลาที่ใช้เล็บขูดจะเกิดรอย เมื่อมะขามหวานฝักนั้นแก่เต็มที่แล้วผิวเปลือกฝักจะเป็นริ้วรอยไม่สวย

วิธีการเก็บฝักมะขามหวาน

การเก็บฝักมะขามหวานเป็นงานที่ต้องอาศัยแรงงานคนที่ชำนาญงานและเวลาค่อนข้างมาก เนื่องจากผู้เก็บฝักมะขามหวานต้องเลือกเก็บเฉพาะฝักที่สุกแล้วและใช้วิธีเก็บที่ถูกต้อง ควรเก็บฝักมะขามหวานภายในต้นหนึ่งหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าเก็บเฉพาะฝักที่แก่เท่านั้น ต้นมะขามที่มีอายุน้อยจะสูงไม่มาก สามารถที่จะยืนเก็บหรือใช้บันไดช่วย ขณะที่มะขามที่มีอายุมากจะสูงมากตามทำให้ต้องอาศัยบันไดสูงหรือการปีนขึ้นไปบนต้น การเก็บฝักต้องระมัดระวังไม่ให้ฝักแตกการเก็บ จึงต้องใช้กรรไกรตัดทีละฝักอย่างระมัดระวัง

การเก็บรักษาฝักมะขามหวาน

การเก็บรักษามะขามหวานทำได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

1. การผึ่งลม

นำฝักมะขามหวานที่เก็บลงมาจากต้นและผ่านการคัดขนาดเรียบร้อยแล้ว มาผึ่งลมในที่ร่มการระบายอากาศดี ถ้าต้องการให้สามารถเก็บมะขามหวานได้นาน 20-30 วัน ต้องผึ่งลมเป็นเวลา 2-5 วัน และคอยเกลี่ยฝัก ระวังอย่าให้ทับซ้อนกัน หรืออาจใช้ตะแกรงรองสำหรับตาก ก็ช่วยระบายอากาศดียิ่งขึ้นไปอีก แต่ถ้าต้องการให้เก็บได้นานถึง 30-60 วัน เวลาในการผึ่งลมจะต้องนานถึง 10-15 วันให้คอยสังเกตว่าฝักของมะขามหวานหยุดการคายน้ำแล้ว จึงนำไปบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ ถ้ายังมีการคายน้ำจะทำให้เกิดไอน้ำและความร้อนขึ้น เมื่อบรรจุมะขามหวานที่ยังมีการคายน้ำอยู่อาจทำให้เกิดเชื้อรา การผึ่งลมสามารถเก็บรักษามะขามหวานไว้ในระยะเวลาสั้นคือ 20-62 วัน

กองบรรณาธิการกลุ่มเกษตรก้าวหน้า (2530) เสนอการเก็บรักษามะขามหวานดังนี้ เก็บมะขามทันทีที่ฝักแก่ โดยไม่ให้ถูกน้ำ นั่นคือขณะที่ฝักแก่จัดอยู่บนต้นต้องไม่ให้ถูกฝน และเมื่อเก็บฝักลงมาต้องไม่ให้โดนน้ำเด็ดขาด แล้วจึงนำมาตัดแต่ง ก้านช่อฝักบางฝักที่ยาวเกินไป พร้อมคัดขนาด (เกรด) และฝักที่เสียหาย เลือกฝักที่สมบูรณ์มากที่สุด ฝักต้องไม่แตกร้าว ไม่มีรูเจาะของแมลง เพราะมะขามหวานมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูง หากฝักร้าวหรือแตกจะส่งผลให้เชื้อราเข้าไปถึงเนื้อมะขามได้ง่าย การคัดขนาด (เกรด) เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากถ้ามีความสม่ำเสมอของขนาดจะทำให้ขายได้ราคา จากนั้นนำมาผึ่งลมในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก การระบายอากาศดี

ต้องเกลี่ยให้แบนราบอย่าให้ฝักซ้อนทับกัน ทุกฝักจะได้มีโอกาสโดนลม ผึ่งลมไว้ 2-5 วัน จึงนำไปบรรจุในถุงหรือกล่องเพื่อจำหน่าย การเก็บรักษามะขามหวาน สามารถแก้ปัญหามะขามหวานราคาถูกได้ เพราะหากมีการเก็บรักษาที่ถูกต้อง จะทำให้รอขายได้นานเป็นปี ๆ จนกว่าราคามะขามจะสูงขึ้นจนเป็นที่พึงพอใจ

2. การนึ่ง

อาศัยความร้อนจากไอน้ำทำให้เนื้อและเมล็ดของมะขามหวานสุก เพื่อกำจัดเชื้อราและแมลงต่าง ๆ ที่อยู่ในฝัก ส่งผลให้ยืดอายุการเก็บรักษามะขามหวานได้นานออกไปอีก การนึ่งใช้ความร้อนจากไอน้ำเดือด อาศัยเวลา 10-20 นาที ขึ้นกับขนาดของฝักและความหนาของเปลือกฝัก ฝักขนาดใหญ่ต้องนึ่งนานกว่าฝักเล็ก ฝักเปลือกบางใช้เวลาน้อยกว่าเปลือกหนา แต่ถ้านึ่งนานเกินไปรสชาติจะเปลี่ยนแปลง หลังจากนึ่งเสร็จควรนำมาผึ่งให้เย็น หรือนำไปผึ่งแดดก็ได้ จนกระทั่งแน่ใจว่าฝักแห้งและเย็นแล้วจึงนำมาบรรจุเก็บไว้ในโอ่งหรือภาชนะดินเผาที่สะอาดและแห้งสนิท จากนั้นใช้ผ้าขาวบางปิดฝาภาชนะดังกล่าว 2-3 ชั้น แล้วปิดฝาอีกครั้งให้มิดชิด เก็บในห้องที่มีอากาศถ่ายเท (กองบรรณาธิการกลุ่มเกษตรก้าวหน้า, 2530)

3. การอบด้วยไอร้อน

คือการทำให้เนื้อและเมล็ดมะขามหวานสุก โดยใช้ความร้อนจากไอร้อนเพื่อกำจัดเชื้อราและแมลงต่าง ๆ ที่อยู่ภายในฝัก ขั้นแรกเริ่มจากการเก็บฝักมะขามจากต้นใหม่ ๆ สามารถเก็บไว้ได้นาน 20 วัน โดยนำฝักมาผึ่งลมให้เกิดการระบายอากาศทั่วถึงทุกฝัก เกลี่ยฝักอย่าให้ทับซ้อนกัน ทำให้การถ่ายเทอากาศดี ส่วนขั้นที่สองทำเหมือนกับขั้นแรกแต่ผึ่งลมฝักมะขามไว้ 10-15 วันขึ้นไป จนกว่าฝักมะขามจะหยุดการคายน้ำ ทั้งนี้จะเก็บได้นาน 10-60 วัน และขั้นสุดท้าย หลังจากเก็บฝักจากต้นมานาน 40-60 วัน จำเป็นต้องนำมาผ่านความร้อนให้เนื้อและเมล็ดสุกเสียก่อน ป้องกันแมลงมอด และเชื้อราต่าง ๆ เข้าไปทำลาย โดยที่กระบวนการทำให้สุกที่นิยมคือการอบ อาจใช้ตู้อบแห้ง เช่น ตู้อบแสงอาทิตย์หรือตู้อบของโรงบ่มใบยาสูบ หลังจากอบได้ที่แล้ว นำมาทิ้งไว้ให้เย็นแล้วบรรจุลงภาชนะเช่นเดียวกัน ชุมสายและคณะ (2538) พบว่าการเลือกมะขามที่มีความสมบูรณ์ เปลือกไม่มีรอยแตกร้าวหรือมีรู มาผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำเดือดนาน 5 นาที แล้วอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง สามารถเก็บรักษามะขามหวานไว้ ณ อุณหภูมิห้องได้นาน 4 เดือน โดยที่รสชาติและคุณภาพมะขามหวานยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่วนเนื้อ

มะขามหวานที่ผ่านการแกะเปลือก รกและส่วนที่เสียออก ถ้านำไปนึ่งไอน้ำเดือด 20 นาที อบแห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง 30 นาที สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3 เดือน โดยเนื้อยังคงคุณภาพที่ดี

4. การเก็บในห้องเย็น

ต้องลงทุนสร้างห้องเย็น หรือทำการเช่าห้องเย็นที่สามารถควบคุมอุณหภูมิห้องเย็นได้ให้อยู่ในช่วง -5 ถึง-10 องศาเซลเซียส จึงจะเก็บได้นานหลายปี อีกทั้งยังรักษาสภาพและคุณภาพของฝักมะขามได้ โดยที่สีของเปลือก สีเนื้อ กลิ่นและรสชาติยังคงเดิม ไม่เปลี่ยนแปลง โรคและแมลงศัตรูพืชของมะขามหวานไม่สามารถรบกวนได้ แต่ต้องอาศัยต้นทุนสูง

5. การฉายรังสี

สามารถนำมะขามหวานไปฉายรังสีแกมมา ซึ่งต้นกำเนิดมาจากโคบอลต์ 60 หรือซีเซียม 137 ยุทธพงศ์ และวชิรา (2536) พบว่า มะขามหวานที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณ 1 กิโลเกรย์ร่วมกับวิธีการลดความชื้นโดยการผึ่งแดด สามารถที่จะกำจัดแมลงที่อาจติดมาในฝักมะขามหวาน และยังสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อราในระหว่างเก็บรักษาอย่างได้ผลเป็นที่น่าพึงพอใจ ตลอดจนไม่พบความแตกต่างในด้านรสชาติและปริมาณของวิตามินระหว่างมะขามที่ไม่ได้รับรังสีและมะขามหวานที่ได้รับการฉายรังสีดังกล่าว ทั้งนี้มะขามสามารถเก็บได้นานกว่า 8 เดือน และต้องมีการบรรจุมะขามหวานในภาชนะก่อนทำการฉายรังสี

บรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ หมายถึง วัสดุหรือสิ่งที่ใช้ในการรองรับสินค้า การวางขาย หรือจัดการกับสินค้า ทำหน้าที่ปกป้องและห่อหุ้มสินค้าภายในให้ปลอดภัย สะดวกต่อการขนส่ง ก่อให้เกิดคุณประโยชน์ เชิงการค้าและการบริโภค (ประชิด, 2531) โดยที่ Peleg (1985) ได้เสนอหน้าที่หลักของบรรจุภัณฑ์ดังนี้คือ การบรรจุ (Containment) ทำหน้าที่รองรับสินค้าหรือทำให้ผลผลิตอยู่ในหน่วยเดียวกัน การป้องกัน (Protection)ใช้ปกป้องผลผลิตจากความเสียหายจากขนส่ง การใช้ประโยชน์ (Utility) เพื่ออำนวยความสะดวกในการจัดการ เช่น การขนส่ง และการเก็บรักษาในคลังสินค้าต้องมีความมั่นคงแข็งแรง สามารถที่จะวางซ้อนทับกันได้หลายชั้นเพื่อประหยัดพื้นที่ และด้านข้อมูล (Information) คือให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลผลิตที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์นั้น ๆ

วัสดุบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์กระดาษ มีสัดส่วนการผลิตถึง 40% เนื่องจากเป็นที่นิยมใช้ เพราะสมบัติทางกายภาพที่พับงอได้ จึงสามารถออกแบบสร้างสรรค์เป็นบรรจุภัณฑ์ได้หลายชนิด อีกทั้งยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้และง่ายต่อการย่อยสลาย แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ กล่องกระดาษและถุงกระดาษ กล่องกระดาษแบ่งเป็นกล่องกระดาษลูกฟูกและกล่องกระดาษแข็ง กล่องกระดาษลูกฟูกนิยมใช้เพื่อป้องกันสินค้าภายในเสียหาย ส่วนกล่องกระดาษแข็งนิยมใช้เพื่อการบรรจุถุงกระดาษแบ่งเป็นถุงกระดาษหลายชั้นและถุงกระดาษชั้นเดียว

บรรจุภัณฑ์พลาสติก สัดส่วนการผลิต 25% แบ่งเป็นถุงพลาสติก กระสอบพลาสติก ถาดพลาสติก ถาดโฟม วัตถุดิบคือ เม็ดพลาสติกชนิดต่าง ๆ เช่น ถุงกระสอบพลาสติกนิยมใช้ PE เป็นวัตถุดิบผลิต เพราะแข็งแรง ทนทาน ราคาถูก ถาดพลาสติกผลิตมาจากแผ่นพลาสติกบางพิมพ์จากแม่พิมพ์แบบโดยวิธีการขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermoforming) ให้มีลักษณะเป็นถาดหรือเบ้าหลุม ส่วนถาดโฟมใช้เม็ด PE ในการทำเป็นโฟม พิมพ์จากแม่พิมพ์เป็นรูปที่ต้องการหรือตัดตกแต่งเป็นรูปที่ต้องการ สามารถผลิตได้ต้นทุนต่ำ เป็นฉนวนความร้อน ทนอุณหภูมิต่ำและความชื้นได้ ป้องกันการกระทบกระเทือนระหว่างขนส่ง

บรรจุภัณฑ์แก้ว สัดส่วนการผลิต 15% เป็นที่นิยมใช้กันมานาน เพราะมีความใสมองเห็นสินค้าได้ ทนต่อกรดด่างและสารละลาย นำกลับมาใช้ใหม่ได้แต่แตกหักง่าย ต้นทุนในการผลิตสูง สินค้าที่นำมาบรรจุจึงต้องเป็นสินค้าที่มีราคาสูง หรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดปฏิกริยาทางเคมีได้ง่าย วัตถุดิบที่นำมาผลิตคือ ทรายแก้ว โซดาแอช เศษแก้ว เป็นต้น

บรรจุภัณฑ์โลหะ สัดส่วนการผลิต 20% โลหะมีความแข็งแรงทนต่อแรงดันและความร้อน ไม่มีการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซ แต่มักพบปัญหาเรื่องสนิมเมื่อเจอกับความชื้น และปัญหาเรื่องการสึกกร่อนบริเวณฝาปิด (กรมการค้าต่างประเทศ, 2547)

ประเภทของบรรจุภัณฑ์

สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

1. บรรจุภัณฑ์ขายส่ง (Wholesale Packaging)

บรรจุภัณฑ์ขายส่ง (Wholesale Packaging) หมายถึง ภาชนะบรรจุสำหรับการค้าส่ง หรือขนส่งไกลๆ เน้นที่การป้องกันผลิตผลภายในบรรจุภัณฑ์จากการสูญเสีย

บรรจุภัณฑ์ขายส่งผักและผลไม้ ณ ตลาดขายส่งในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ที่นิยมมี 4 ชนิด คือ ถุงพลาสติก เข่ง ตะกร้า และกล่องกระดาษลูกฟูก (บัณฑิต และคณะ, 2545) ถุงพลาสติก ที่นิยมใช้มี 3 แบบคือ ถุงพลาสติกใสไม่มีหูหิ้ว ใช้บรรจุผัก เช่น คะน้า มะเขือ เพราะราคาถูก หาซื้อง่าย บรรจุผลผลิตได้ค่อนข้างมาก ทำจากวัสดุพลาสติกพวก LDPE, HDPE, LLDPE และ PP ข้อเสียคือ ผลผลิตเสียหายเนื่องจากไม่มีการระบายอากาศ ถุงตาข่ายสาน แบบโปร่ง นิยมใช้กับผักที่ทำให้แห้งมาแล้ว เช่น กระเทียม หอมแดง และพริกแห้งทำจากพลาสติก LDPE ถุงตาข่ายแบบทึบ หรือกระสอบอาหารสัตว์ บรรจุพวกมะนาว ทำจาก PP และ PS เข่ง แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้ เข่งทำจากวัสดุธรรมชาติ ทำจากไม้ไผ่ใช้บรรจุผักกาดหอมและทำจากหวายใช้ใส่ฟักทอง มีการรองด้วยใบตองและกระดาษที่ก้นเข่งก่อนบรรจุ เพื่อป้องกันความเสียหายจากคมของผิวไม้ไผ่ เข่งทำจากพลาสติก วัสดุคือพลาสติก HDPE ทนต่อการใช้งาน ก่อให้เกิดความเสียหายน้อยกว่าเข่งที่ทำมาจากไม้ไผ่ เพราะไม่มีความคม จะใช้ใบตองหรือกระดาษรองก่อนการบรรจุเพื่อลดการกระแทกกับภาชนะ ข้อดีคือ ทนทาน สามารถวางซ้อนเข่งเปล่าได้โดยไม่สิ้นเปลืองเนื้อที่ แต่ข้อเสียก็คือ ผลผลิตที่ก้นเข่งจะถูกกดทับเสียหายเมื่อมีการวางซ้อน จำเป็นต้องใช้ไม้พาดบนรถ เพื่อไม่ให้เข่งซ้อนกันโดยตรง ตะกร้าสามารถแบ่งได้เป็น 4 แบบ คือ ตะกร้าพลาสติกแบบสี่เหลี่ยมคางหมูบรรจุผลไม้ตระกูลส้ม ทำจาก HDPE สามารถวางซ้อนกันได้ โดยตะกร้าบนนั่งบนหูตะกร้าล่างโดยไม่ส่งผลให้ผลผลิตเสียหาย เพราะหูตะกร้าทำจากโลหะมีความแข็งแรง อีกทั้งตะกร้าเปล่าสามารถที่จะวางซ้อนทับกันได้ ประหยัดเนื้อที่ ตะกร้าพลาสติกแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าใช้กับลองกอง ลางสาด เป็นพลาสติกจำพวกHDPE ส่วนดีตรงที่มีฐานทำเป็นบ่าและมีขอบล็อคกับปากตะกร้าใบล่างที่ซ้อนอยู่ได้ ทำให้สามารถซ้อนกันได้สนิท ผลผลิตไม่ได้รับความช้ำเสียหายเนื่องจากตะกร้ากระดก ตะกร้าพลาสติกแบบมีฝาปิดใช้ใส่ผลไม้พวกลำไย ทำจาก HDPE เช่นกัน ข้อดีคือ วางซ้อนทับกันได้ โดยไม่ทำให้ผลผลิตเสียหาย ตะกร้าพลาสติกปากกลม

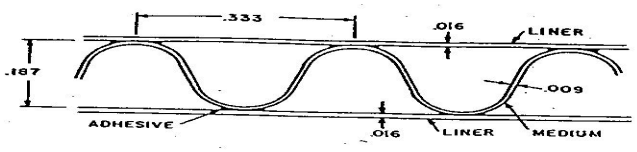
นิยมใช้บรรจุ มะม่วงฟ้าลั่น องุ่น ทำจากพลาสติกพวก HDPE ตะกร้ารูปแบบนี้มีข้อดีตรงตะกร้าเปล่าวางซ้อนทันกันได้ แต่ข้อเสียคือถ้ามีการวางซ้อนกันขณะขนส่งจะทำให้ผลผลิตเสียหาย
กล่องกระดาษ ส่วนมากทำจากลอนลูกฟูก 5 ชั้น บรรจุผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล มะขามหวาน
ข้อดีคือ ผิวของกล่องเรียบไม่ทำให้ผลผลิตผิวบาง ๆได้รับความเสียหาย สามารถพิมพ์ข้อความง่าย สวยงาม น้ำหนักเบา ราคาไม่แพง ป้องกันความเสียหายจากการกระแทกได้ สำหรับข้อเสียคือ กล่องจะสูญเสียความแข็งแรงและรูปทรงเมื่อมีการดูดความชื้น การป้องกันผลผลิตจะไม่ดีเท่าที่ควร กรมการค้าต่างประเทศ (2547) รายงานไว้ว่า กล่องกระดาษลูกฟูกเป็นบรรจุภัณฑ์ที่นิยมบรรจุสินค้าเพื่อการส่งออกถึง 99% ของปริมาณการผลิตทั้งหมด สืบเนื่องจากมีคุณสมบัติด้านการบรรจุหีบห่อเพื่อการค้าและป้องกันสินค้าใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไป เพราะสามารถป้องกันผลผลิตภายในได้ยิ่งจำนวนชั้นมีมากความปลอดภัยกับตัวสินค้าก็ยิ่งเพิ่มตาม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเลขที่ มอก. 321-2522 ได้นิยาม กล่องกระดาษลูกฟูก (Corrugated Paperboard Box) ดังนี้

1. กระดาษทำลูกฟูก (Corrugate Medium) หมายถึง กระดาษที่นำมาใช้ทำเป็นลอนเพื่อประกอบแกนกลางของแผ่นลูกฟูก

2. กระดาษลูกฟูก หมายถึง กระดาษทำลูกฟูกที่ได้นำมาทำเป็นลอนแล้ว

3. แผ่นกระดาษลูกฟูก (Corrugate Board) มีโครงสร้างประกอบด้วยกระดาษ 2 ชนิด คือ กระดาษทำผิวกล่อง (Liner-Board) และกระดาษทำลูกฟูก (Corrugate Medium) จึงมี 2 ชั้น ชั้นหนึ่งเป็นลอนทำจากกระดาษลูกฟูกปะติดด้วยกาวกับกระดาษแผ่นเรียบมาจากกระดาษทำผิวกล่อง สำหรับใช้ทำกล่อง (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของแผ่นกระดาษลูกฟูก

ที่มา: ประชิด (2531)

ประเภทของกระดาษลูกฟูกสามารถแบ่งได้ 4 ประเภท ตามลักษณะโครงสร้างดังนี้คือ

1. แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single Faced Board) ประกอบด้วยลอนลูกฟูก 1 ลอน กับกระดาษแผ่นเรียบ 1 แผ่น กระดาษชนิดนี้ไม่สามารถนำไปทำเป็นกล่องเพื่อการขนส่ง แต่ใช้ห่อสินค้า หรือรองเป็นแผ่นภายในกล่องเพื่อเป็นวัสดุกันกระแทก (ภาพที่ 3 ก)

2. แผ่นกระดาษลูกฟูก 1 ชั้น (Single Wall or Double Faced Board) ประกอบจากลอนกระดาษลูกฟูก 1 ลอนปะติดกับกระดาษแผ่นเรียบ 2 แผ่น ทางการค้าเรียกกระดาษประเภทนี้ว่า แผ่นกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น นิยมนำไปทำกล่องมากที่สุด มีการใช้ถึง 70% ของปริมาณกล่องทั้งหมด (ภาพที่ 3 ข)

3. แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้น (Double Wall Board) มีกระดาษ 5 ชั้น โดยชั้น 1, 3, 5 เป็นกระดาษแผ่นเรียบ และชั้น 2, 4 เป็นกระดาษลอนลูกฟูก ส่วนใหญ่เป็นลอน A ผสมกับลอน B (ภาพที่ 4) มักทำเป็นกล่องขนาดใหญ่ใช้บรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักมาก เพื่อการขนส่งในระยะทางไกล เช่น กล่องเพื่อการขนส่ง เป็นต้น (ภาพที่ 3 ค)

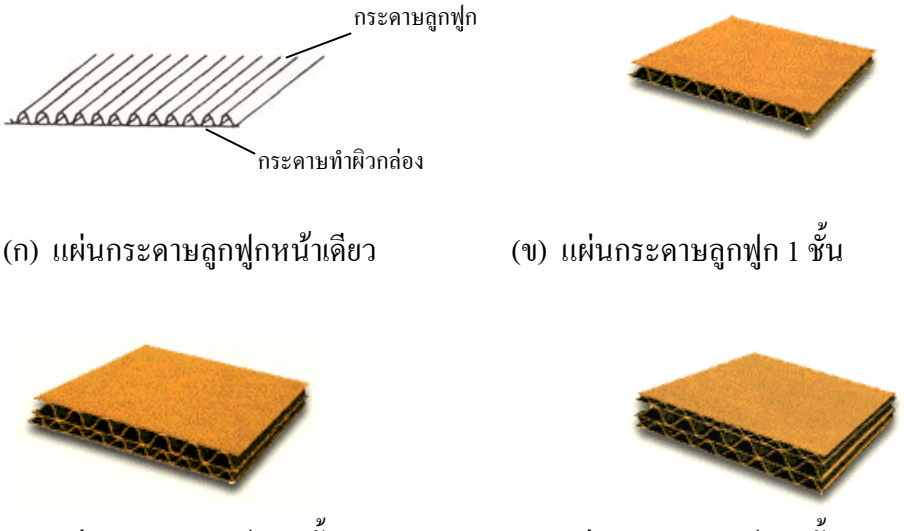
4. แผ่นกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น (Triple Wall Board) ส่วนประกอบคือ ชั้น 1, 3, 5, 7 เป็นกระดาษแผ่นเรียบ ส่วนชั้น 2, 4, 6 เป็นลูกฟูก ส่วนใหญ่เป็นลอนA ผสมลอน B เช่นเดียวกับแผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้น ในทางการค้ามีชื่อเรียกอีกอย่างว่า แผ่นกระดาษลูกฟูก 7 ชั้น มีการใช้ไม่กว้างขวางเท่าไร มักใช้กับสินค้าที่มีมวลมากๆ เพื่อการขนส่งในระยะทางไกล (ภาพที่ 3 ง)

สำหรับกล่องกระดาษลูกฟูกสำหรับส่งออกผลไม้สด ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย (2548) ได้เสนอแนะว่า

1. ขนาดมาตรฐาน กล่องควรมีขนาดเหมาะต่อการวางขาย วางซ้อนวางเรียงบนแท่นรองรับสินค้า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่ง ขนาดที่นิยมมีมิติภายนอกคือ 400×300×120 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ความจุ 4-5 กิโลกรัม

2. ความแข็งแรง โครงสร้างและวัสดุของกล่องมีความแข็งแรง ทนทาน และป้องกันผลไม้จากความเสียหายได้

3. การรักษาคุณภาพ มีความเหมาะสมของรูระบายอากาศต่อการหายใจ และการคายน้ำของผลผลิต และเอื้ออำนวยในการปฏิบัติการภายหลังจากเก็บเกี่ยว

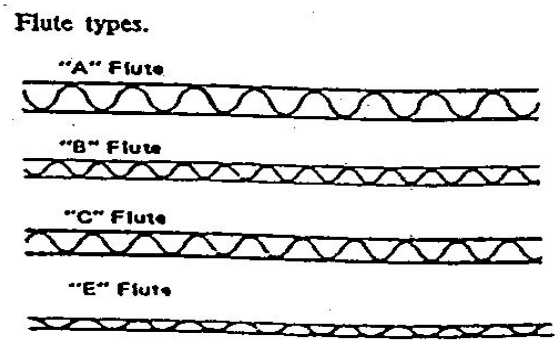


(ก) แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (ข) แผ่นกระดาษลูกฟูก 1 ชั้น

(ค) แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้น (ง) แผ่นกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น

ภาพที่ 3 แผ่นกระดาษลูกฟูก

ที่มา: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2545)



ภาพที่ 4 ประเภทของลอนลูกฟูก

ที่มา: ประชิด (2531)

2. บรรจุภัณฑ์ขายปลีก (Retail Packaging)

บรรจุภัณฑ์ขายปลีก (Retail Packaging) หมายถึง ภาชนะสำหรับการขายปลีก นอกจากทำหน้าที่รวบรวมสินค้า ปกป้องผลผลิตภายใน ยังต้องมีความสวยงาม เพื่อดึงดูดใจผู้บริโภค สะดวกต่อการพกพา และให้ข้อมูลที่จำเป็นต่อผู้บริโภค

Peleg (1985) แบ่งบรรจุภัณฑ์ผักและผลไม้สดขายปลีกไว้ 3 ชนิด คือ ถุง ถาด และปลอกถุง เป็นบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่นิยมมากที่สุด แต่มีคุณภาพต่ำสุด วัสดุที่นำมาทำถุง ได้แก่ กระดาษ พลาสติก ส่วนมากเป็นพวก PE ฝ้ายและตาข่ายพลาสติก ปิดผนึกด้วยความร้อน เย็บด้วยลวดเย็บ ผูกด้วยลวดหุ้มกระดาษหรือพลาสติกและรัดด้วยหนังยาง ข้อดีคือราคาถูก สะดวกต่อการใช้งานกับเครื่องจักร ข้อเสียคือผลผลิตได้รับความเสียหายมากเนื่องจากการกระแทก มองไม่เห็นผลผลิตตรงกลางถุง ความหนาแน่นของบรรจุภัณฑ์ต่ำและไม่มีการแยกผลไม้แบบผลเดี่ยว ๆ ถุงสามารถแบ่งออกเป็นถุงพลาสติกป้องกันผลผลิตสูญเสียความชื้นง่าย มีโอกาสงอกและเน่าต่ำ เช่น แอปเปิ้ล แพร์ ถุงตาข่ายมีการระบายอากาศดีที่สุด เหมาะกับ ส้ม หอมใหญ่ มันฝรั่ง ซึ่งต้องการการระบายอากาศสูง ถุงกระดาษขาดความแข็งแรงหลังจากดูดซับความชื้นและทึบแสง จึงไม่ก่อให้เกิด ความดึงดูดใจของผู้ซื้อ ถาด ขึ้นรูปด้วยความร้อนจากพลาสติกพวก PS ทำให้เกิดความแข็งแรงและทรงตัวดีเป็นที่นิยมมาก มีการใช้พลาสติกบางหุ้มข้างบน ได้แก่ แผ่นพลาสติกบางหดได้ด้วยความร้อน (Heat Shrinkable Film) และแผ่นพลาสติกบางยืด (Stretch Film) เพื่อหุ้มและทำให้เห็นผลผลิตได้ชัดเจน ถ้าเป็นถาดแบบกล่องอาจมีการใช้หน้าต่างพลาสติกแทนพวกพลาสติกห่อคลุมทับ (Overwrap) โดยตัวคลุมทับต้องแน่น ป้องกันผลไม้เคลื่อนที่และกระแทกกันเอง ปลอก รวมราคาที่ถูกของถุงกับการป้องกันที่ดีและความดึงดูดใจของถาดเข้าด้วยกัน ทำจากพวกพลาสติกตาข่าย ใช้บรรจุผลไม้จำนวนเท่าไรก็ได้ เพิ่มขีดการป้องกันความสวยงาม และผลไม้ที่เสียแล้วอาจถูกกำจัดออกไปโดยไม่ต้องบรรจุใหม่ทั้งหมด

บรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่นิยมใช้กับผักผลไม้สดมี 4 ชนิด (บัณฑิต และคณะ, 2545) ดังนี้ ถุงพลาสติก แบ่งเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ถุงพลาสติกมีหูรูปตัวยู ทำมาจากพลาสติก LDPE, HDPE, LLDPE และ PP ใช้กับผลไม้พวกส้ม สับปะรด มะม่วง แตงโม เป็นต้น ถุงพลาสติกไม่มีหู ทำจากวัสดุพลาสติก LDPE, LLDPE, PP และ PS บรรจุแอปเปิ้ล กล้วยหอม องุ่นและมะพร้าว ถุงตาข่ายแบบเส้นเดียวทำจาก LDPE, HDPE และ PP ใช้กับส้มและมะขามหวาน ถุงตาข่ายแบบ เส้นตาข่ายสานใช้กับส้ม ถาดโฟม ทำจาก PS ใช้กับแอปเปิ้ล กล้วยหอม ชมพู่ องุ่น และขนุน เข่งทำมาจาก

ไม้ไผ่ใช้กับองุ่น กล่อง แบ่งเป็น กล่องกระดาษใช้กับมะขามหวาน และกล่องพลาสติกใสใช้กับสตรอเบอรี่

การออกแบบสร้างบรรจุภัณฑ์ที่สามารถใช้ประโยชน์ ใช้สอยได้ดี และการเลือกใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม สามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดกับผลผลิตได้ ประหยัด มีประสิทธิภาพในการบรรจุ ขนส่ง เก็บรักษา จำหน่าย รวมถึงอุปโภค

วัสดุกันช้ำ (Cushioning Materials)

วัสดุกันช้ำ (Cushioning Materials) ถูกนำมาใส่ลงในบรรจุภัณฑ์เพื่อป้องกันความเสียหายเนื่องจากการกระแทกและการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่ง วัสดุกันกระแทกมีหน้าที่พื้นฐานคือป้องกันและดูดซับแรงกระแทกที่ส่งผ่านมายังผลผลิตและลดการเคลื่อนที่ของผลผลิตในบรรจุภัณฑ์ ถือเป็นการลดการเคลื่อนที่มาสัมผัสกันจากการสั่นสะเทือน หลักในการเลือกวัสดุกันช้ำขึ้นกับรูปทรง ขนาดและน้ำหนักผลผลิต ความบอบบางของผลผลิต ลักษณะและความรุนแรงของการสั่นสะเทือน คุณสมบัติ ราคา และการใช้ประโยชน์ ชนิดของวัสดุกันกระแทกที่นิยมใช้กัน ได้แก่ กระดาษใช้ห่อผักและผลไม้ มีผิวเรียบและนิ่ม แผ่นกระดาษลูกฟูก ทำหน้าที่ห่อหุ้มหรือเป็นแผ่นรองรับสินค้าในบรรจุภัณฑ์ ข้อจำกัดของกระดาษและกระดาษลูกฟูก ดูดความชื้น ทำให้เกิดการอ่อนตัวในสภาพที่มีความชื้นสูง แต่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (สุพจน์, 2548) เศษฝอยกระดาษ ราคาถูกหาง่าย ใช้บรรจุลงในช่องว่างกล่อง ความสามารถของการป้องกันการกระแทกขึ้นกับความหนาแน่นของการบรรจุและความชื้น ข้อด้อยคือดูดความชื้นง่าย เศษฝอยไม้ การใช้งานเหมือนเศษฝอยกระดาษ และช่วยลดช่องว่าง ควรเลือกเส้นเล็ก ๆ ของไม้ที่นิ่ม ปัจจุบันนิยมใช้น้อยลงเนื่องจากความชื้นของฝอยไม้อาจทำให้สินค้าอุตสาหกรรมผุกร่อน ถาดเยื่อกระดาษขึ้นรูป ทำจากเยื่อกระดาษอัดเป็นรอยหลุมขนาดต่าง ๆ เพื่อรองรับผลไม้ และกันไม่ให้ผลไม้เคลื่อนที่ ถาดพลาสติกขึ้นรูปร้อนขึ้นรูปจากแผ่นพลาสติกด้วยความร้อน เป็นถาดหลุมคล้ายถาดเยื่อกระดาษ แต่ทนต่อการคายน้ำของผลไม้ แผ่นพลาสติกอัดอากาศ ทำจากแผ่นฟิล์ม PE 2 แผ่นประกบกัน หน้าหนึ่งเรียบอีกหน้าหนึ่งเป็นปุ่ม อัดอากาศเล็ก ๆ ขึ้นระหว่างแผ่น ทนต่อแรงกระแทก เหนียว ไม่ดูดความชื้นและไม่ผุ แต่ไม่เหมาะสมกับสินค้าที่อ่อนไหวต่อการสั่นสะเทือน (ฉวี, 2548) โฟม PS น้ำหนักเบา ไม่ดูดความชื้น ป้องกันการกระแทกได้ แต่มีขีดจำกัดในการคืนรูป จึงไม่เหมาะสมกับงานที่รับการกระแทกรุนแรงหลายครั้ง มีการผลิตในหลายๆ รูปแบบ ใช้เติมช่องว่างของกล่องที่ใช้ในการขนส่ง สามารถเติมสีช่วยให้เกิดความสวยงาม แต่สลายตัวยาก โฟม PU เป็นวัสดุกันกระแทกที่ดี เพราะมีการคืนรูปมาก

เนื่องจากยอมให้อากาศหนีออกเมื่อได้รับแรงกระแทก และดูดอากาศกลับได้ พบในการห่อสินค้าที่ค่อนข้างละเอียดอ่อน โฟม PE ส่วนใหญ่ทำเป็นโฟมตาข่ายพัฒนาใช้กับผักและผลไม้ต่าง ๆ ป้องกันการกระแทกและการสั่นสะเทือนได้อย่างดี คืนรูปดีหลังได้รับการกระแทก โดยที่ผลไม้ยังสามารถหายใจและคายน้ำได้ (สุพจน์, 2548)

ความรุนแรงในระหว่างการขนส่ง ก่อให้เกิดความเสียหายกับผลผลิตในบรรจุภัณฑ์แบ่งเป็น 3 ประเภทหลักดังนี้ (ฉวี, 2548) การกดทับเนื่องมาจากการบรรจุที่มากเกินไปหรือการเรียงซ้อนสูงจนเกินไป การกดทับที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีความแข็งแรงเพียงพอ จะส่งผลทำให้ผลผลิตช้ำเสียหายได้ ปัจจัยที่ต้องพิจารณาคือ ขนาดผลไม้ในแต่ละบรรจุภัณฑ์ควรมีขนาดเท่ากัน ไม่ควรบรรจุผลผลิตจนกระทั่งกล่องเกิดการเสียรูปทรง เช่น โป่งพองออก ควรบรรจุโดยเหลือที่ว่างไว้บริเวณปากกล่อง 5-10 มิลลิเมตร เพื่อมิให้ผลผลิตได้รับแรงกดโดยตรงจากการวางซ้อนกัน การกระแทก ควรบรรจุผลไม้ในกล่องให้มีการกระจายน้ำหนักอย่างสม่ำเสมอ ขนย้ายโดยใช้แท่นรองรับสินค้า และการสั่นสะเทือน ความรุนแรงของการสั่นสะเทือนระหว่างขนส่งขึ้นกับความถี่ของระดับความเร่งของเครื่องยนต์และระยะเวลาที่ได้รับแรง การสั่นสะเทือนก่อให้เกิดภาระเชิงกลกระทำต่อบรรจุภัณฑ์และส่งแรงต่อมายังผลไม้ จึงทำให้ผลไม้ได้รับเสียหาย การบรรจุผลผลิตแล้วเรียงซ้อนกล่องหลายชั้นจะทวีความเสียหาย สาเหตุเกิดจากในขณะสั่นสะเทือน จะเกิดการกดทับผลไม้ในกล่องไปพร้อมกัน

การสั่นสะเทือนและความช้ำ (Vibration and Bruising)

ความเสียหายของผลผลิตเกษตรในระหว่างการขนส่งและการลำเลียงจากเกษตรกรไปยังผู้บริโภคมีค่าประมาณ 30-40% (Peleg and Hinga, 1986) ซึ่งความเสียหายส่วนใหญ่เกิดในระหว่างกระบวนการเก็บเกี่ยว หลังการเก็บเกี่ยว การจัดการ การขนส่ง และการเก็บรักษาในห้องเย็น (Ruize-Altisent, 1991) ผักและผลไม้หลังจากเก็บเกี่ยวจำเป็นต้องอาศัยการจัดการด้วยบรรจุภัณฑ์และการขนส่งลำเลียงต่อไปยังตลาดเพื่อจำหน่ายให้กับผู้บริโภค การขนส่งผลผลิตเกษตรจำพวกผักและผลไม้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากการขนส่งที่ดีสามารถลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผลผลิตได้ จริงแท้ (2538) กล่าวถึงจุดมุ่งหมายของการขนส่งไว้ว่า เพื่อนำผลผลิตจากแหล่งผลิตไปยังผู้บริโภคภายในเวลาอันสั้น ค่าใช้จ่ายต่ำ และผลผลิตคงสภาพดีไม่เกิดการช้ำหรือเสียหาย การขนส่งทางรถเป็นวิธีการขนส่งหลักภายในประเทศ เพราะใช้เวลาในการขนส่งน้อยและวิธีการจัดการกับบรรจุภัณฑ์มีความยืดหยุ่น สามารถทำได้หลายวิธี เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการขนส่งทาง

รถไฟและทางเรือ การขนส่งทำให้เกิดการสั่นสะเทือนและการกระแทกกับบรรจุภัณฑ์ขายส่ง ทำให้ผักและผลไม้ในบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวเกิดความเสียหาย (Mohsenin, 1996)

Sommer (1957) กล่าวว่า การสั่นสะเทือนในระหว่างการขนส่งจะทำให้ผลไม้เกิดการหมุนและผิวขัดสีกัน จึงเกิดการหลุดออกของนวลและการเปลี่ยนสีของผิวผลไม้ขึ้น และยังทำให้ผลไม้สูญเสียความชื้นซึ่งมักพบมากในผลไม้ที่ช้ำมากกว่าผลไม้ที่ไม่ได้รับความเสียหาย มีผลให้คุณภาพผลผลิตด้อยลง

การสั่นสะเทือนเปรียบเสมือนการกระแทก โดยเคลื่อนที่ด้วยระยะทางสั้น ๆ แค่มิลลิเมตร และใช้เวลาน้อยแต่เกิดบ่อยครั้ง วัดเป็น 100 ครั้งหรือ 1,000 ครั้ง ต่อวินาที หน่วยเป็น เฮิร์ซ (Hertz) ตัวย่อคือ Hz ขนาดของการสั่นสะเทือนใหญ่จะทำให้ผลผลิตเสียหายมากขึ้น ปัจจุบันตัวแปรที่นิยมใช้บอกขนาดของการสั่นสะเทือน คือ ความเร่ง (Acceleration) หมายถึง ขนาดความเข้มของการสั่นสะเทือนในรูปค่าจี (g) ซึ่งเป็นตัวแปรสำหรับใช้ทดสอบหาคุณสมบัติของการสั่นสะเทือน (Peleg, 1985)

นักวิจัยหลายคนได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความช้ำเสียหายของผลผลิตจากสภาวการณ์สั่นสะเทือนในระหว่างการขนส่งจริงกับผักและผลไม้หลากหลายชนิด เช่น พีช (O'Brien *et al*., 1965; Vergano *et al*., 1991) มันฝรั่ง (Grant *et al*., 1986) แพร์ (Slaughter *et al*., 1991; 1992; Slaughter *et al*., 1998) มะเขือเทศ เชอรี่ และเนคทารีน (Hinsch *et al*., 1993) แอปเปิ้ล (Singh and Xu, 1993) โลคอด (Barchi *et al*., 2002) และส้ม (Jarimopas *et al*., 2005)

O'Brien *et al*. (1965) ชี้ว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเสียหายของผลไม้ในระหว่างที่มีการขนส่ง ได้แก่ ขนาดหรือแอมพลิจูดของความเร่งของการสั่นสะเทือน ความถี่หรือจำนวนรอบการสั่นสะเทือนต่อหนึ่งหน่วยเวลา หน่วยเป็นรอบต่อวินาทีหรือใช้ตัวย่อ cps และช่วงเวลาที่ผลไม้ได้รับความเร่งนั้น ขณะที่นักวิจัยอีกหลายท่าน (Schulte-Pason *et al*., 1989; Singh and Xu., 1993; Timm *et al*., 1996) พบตัวแปรอื่นที่มีผลต่อความเสียหายของผักและผลไม้เช่นเดียวกันคือชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุผลไม้

โดยขนาดของความเร่งของการสั่นสะเทือน (Magnitude of vibration acceleration) ระหว่างการขนส่งขึ้นกับปัจจัยคือ ก) ชนิดของรถบรรทุก (Grant *et al*., 1986; Jarimopas *et al*., 2005) ข) ชนิดของระบบรองรับการสั่นสะเทือนของพาหนะ (O' Brien and Guillou., 1969; Hinsch *et al*., 1993; Singh and Xu., 1993) ค) ความเร็วของยานพาหนะ (Jarimopas *et al*., 2005) ง) ลักษณะพื้นถนน (Schulte-Pason, 1990; Jarimopas *et al*., 2005) จ) ความหนาแน่นการบรรจุ (Guillou *et al*., 1962, 1963; Gentry *et al*., 1965; Garrett *et al.,* 1976; Slaughter *et al*., 1998) ฉ) คุณสมบัติการสั่นสะเทือนของผลไม้แต่ละชนิด (Hinsch *et al*., 1993) ช) ตำแหน่งของแท่นวางสินค้าในรถบรรทุก (Hinsch *et al*., 1993; Singh and Xu, 1993) ซ) ความสูงของชั้นผลไม้ในตู้คอนเทนเนอร์ (O'Brien and *et al*., 1963; Grant *et al*., 1986; Godshall, 1971)

ผลการทดลองส่วนใหญ่พบว่า ขนาดของความเร่งสูงสุดอยู่ที่ชั้นบนสุดและจะค่อย ๆ ลดลงตามความสูงของชั้นผลไม้ จึงมีความเสียหายของผลไม้เกิดขึ้นมากที่สุดที่บริเวณชั้นบนสุดของตู้คอนเทนเนอร์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hinsch *et al*. (1993) ที่เสนอแนวความคิดว่าความเร่งตามแนวตั้งมีผลต่อขนาดของความเร่งของการสั่นสะเทือนมากกว่าความเร่งตามแนวนอน เนื่องจากความเร่งตามแนวนอนและตั้งจากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของพาหนะ

นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยท่านอื่นๆ (Guillou *et al.,* 1962; O' Brien and Guillou., 1969; Chesson and O' Brien, 1971; Peleg and Hinga, 1986; Turczyn *et al*., 1986; Fisher *et al*., 1989; Vergano *et al*., 1991; Timm *et al*., 1996; Slaughter *et al*., 1998) ที่ทำการทดลองโดยใช้เครื่องทดสอบการสั่นสะเทือนเพื่อจำลองสถานการณ์ขนส่งให้สอดคล้องกับ ASTM Standard D999 และ ASTM Standard D-4169 (Turczyn *et al*., 1986; ASTM, 1991; Chonhenchob and Singh, 2004; 2005) เครื่องทดสอบที่ใช้มีหลายแบบ เช่น Vertical Motion Table, Rotary Motion Table และ Electro-Hydraulic Table เป็นต้น

โดยผลจากการทดสอบโดยจำลองสถานการณ์ขนส่ง (O' Brien and Guillou., 1969; Chesson and O' Brien, 1971; Peleg and Hinga, 1986; Turczyn *et al*., 1986) มีแนวโน้มคล้ายกับผลจากการขนส่งจริง (O'Brien and *et al*., 1963; Godshall, 1971; Grant *et al*., 1986; Hinsch *et al*., 1993; Singh and Xu, 1993) คือ ความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ชั้นบนสุดของคอลัมน์ผลไม้มีค่ามากกว่าชั้นกลางและชั้นล่างตามลำดับ จึงพบความเสียหายมากที่สุดเกิดขึ้นที่บริเวณชั้นบนสุดของชั้นผลไม้และค่อย ๆ ลดลงตามระดับความสูงของชั้นผลไม้

ในขณะที่นักวิจัยบางท่านได้นำวัสดุกันช้ำมาใช้ป้องกันและลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผลไม้ขณะทำการขนส่ง ยกตัวอย่างคือ Barchi *et al*. (2002) ใช้แผ่นฉนวน (Insulating Sheet) ทำมาจากกระดาษ ซึ่งภายในบรรจุกระดาษบดละเอียดความหนา 4 มิลลิเมตร ทำหน้าที่เป็นวัสดุกันช้ำ วางที่บริเวณด้านล่างของบรรจุภัณฑ์ก่อนทำการบรรจุผลไม้และวางระหว่างชั้นของผลไม้ ทำให้สามารถลดความเสียหายของผลไม้ลงได้ และ Chonhenchob and Singh (2004) ใช้วัสดุกันช้ำกับผลมะม่วง สามารถความช้ำของมะม่วงได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

งานวิจัยนี้จึงเลือกทำการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ขายส่งในการป้องกันฝักมะขามหวานจากความเสียหาย โดยใช้เครื่องทดสอบการสั่นสะเทือนจำลองแบบ Rotary Motion Table ตาม ASTM Standard D999 Method A2 และ ASTM Standard D-4169 ที่ระดับความเร่ง 0.5 จี เป็นเวลา 10 นาที เพื่อความสะดวกในการทดลอง ลดค่าใช้จ่าย รวมไปถึงสามารถออกแบบและควบคุมตัวแปรได้หลายตัวตามต้องการ และเลือกใช้เม็ดโฟม EPS (Expanded Polystyrene) เป็นวัสดุกันช้ำ ซึ่งผลิตมาจากพลาสติก PS มีอากาศในเม็ดโฟม 98% และเนื้อพลาสติก 2% ของปริมาตร ทำให้โฟมเม็ด EPS มีน้ำหนักเบา รับแรงกระแทกได้ดี รวมถึงเป็นฉนวนความร้อนและเย็น ไม่ใช้สาร CFCs (Chlorofluorocarbons) เพราะมีจุดระเหยต่ำ ยากต่อการกักเก็บไว้ในเม็ดวัตถุดิบ อีกทั้งราคาสูง แต่ใช้ก๊าซเพนเทนเป็นสารขยายตัว โดย PS จะเก็บก๊าซเพนเทนไว้ภายในเมื่อผ่านการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ วัตถุดิบจะขยายตัวกลายเป็นโฟมเม็ดขาว ๆ ภายหลังจากที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycled) (Beck, 2000)

การกระแทกและความช้ำ (Impact and Bruising)

ผักผลไม้มักถูกภาระการกระแทกกระทำในระหว่างที่มีการจัดการหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต การขนส่ง การลำเลียงและจำหน่ายผลผลิตดังกล่าวไปสู่ผู้บริโภค ก่อให้เกิดการช้ำจากการกระแทก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้คุณภาพเสื่อมลง (Garcia *et al*., 1988; Singh and Marcondes, 1992)

จุดเริ่มของรอยช้ำ (Bruise Threshold) หมายถึง ค่าความสูงของผักและผลไม้ที่ใช้ทดสอบโดยวิธีการปล่อยตกลงสู่พื้นผิวที่แข็ง จนกระทั่งผลผลิตนั้นเกิดความเสียหายขึ้น (Bajema and Hyde, 1998)

วิธีการปล่อยตก (Dropping Test) สามารถทำได้โดยการปล่อยผลไม้ให้ตกกระแทกลงสู่พื้นเรียบแข็งอย่างอิสระในแนวดิ่ง (Mohsenin *et al*., 1986)

งานวิจัยของ Turczyn *et al*. (1986) ทำการทดสอบหาความช้ำของมันฝรั่งด้วยวิธีการปล่อยตกด้วยเครื่องปล่อยตก (Drop Tester) สอดคล้องกับ ASTM Standard 775-80 (ASTM, 1991) เป็นการทดสอบความต้านทานการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ เพื่อวัดความสามารถในการป้องกันสินค้าในบรรจุภัณฑ์หรือความสามารถของภาชนะบรรจุสินค้าในการต้านทานแรงกระแทกอันเนื่องมาจากการตกกระแทกพื้นจากที่สูง การทดสอบทำโดยใช้เครื่องทดสอบการปล่อยตกปล่อยบรรจุภัณฑ์ซึ่งภายในบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวมีสินค้าอยู่ข้างในให้ตกกระแทกลงสู่พื้น ในขณะที่ปล่อยตกบรรจุภัณฑ์จะต้องไม่มีการหมุนตัว วิธีการทดสอบการตกกระแทกสามารถแยกเป็นการปล่อยให้ตก ณ ความสูงคงที่ ด้วยการกำหนดจำนวนครั้งของการปล่อยตก ณ ความสูงนั้น ๆ และการทดสอบด้วยการเพิ่มความสูงมากขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งบรรจุภัณฑ์นั้นไม่สามารถป้องกันสินค้าภายในได้ (ASTM, 1991; Jarimopas *et al.,* 2004)

งานวิจัยนี้จึงเลือกทำการทดสอบความสามารถของบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานในการป้องกันความเสียหายของฝักมะขามหวาน โดยใช้เครื่องทดสอบการปล่อยตกตาม ASTM Standard 775-80 (ASTM, 1991) ข้อดีของการทดสอบด้วยวิธีนี้คือช่วยในการตัดสินใจเลือกวัสดุหรือบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับตัวสินค้า ลดความเสียหายและต้นทุน รวมไปถึงสามารถออกแบบและควบคุมตัวแปรได้มากและง่าย

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุ

1. มะขามหวานพันธุ์สีทองและศรีชมภู

2. โฟมเม็ด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และ 8 มิลลิเมตร

3. กล่องกระดาษลูกฟูก 5 ชั้น (Double Wall Corrugated Paper Box) แบบ Regular Slot Container (RSC) ขนาดความกว้าง×ความยาว×ความสูง เท่ากับ 25.7 เซนติเมตร×37 เซนติเมตร×41 เซนติเมตร ความจุ 14 กิโลกรัม

4. แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single Face Corrugated Paper) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ×ความสูง เท่ากับ 9 เซนติเมตร×45 เซนติเมตร , 12 เซนติเมตร×40 เซนติเมตร, 15 เซนติเมตร×20 เซนติเมตร, 18 เซนติเมตร×15 เซนติเมตร, 21 เซนติเมตร×12 เซนติเมตร และ 24 เซนติเมตร×9 เซนติเมตร ที่จะให้ปริมาณการบรรจุฝักมะขามหวานคงที่ 1 กิโลกรัม

5. ถุงตาข่าย (Plastic Net) ขนาดความจุ 1 กิโลกรัม

6. ถาดโฟมหุ้มฟิล์มพลาสติกยืด (Foam Tray with Stretch Film) ขนาดความจุ 1 กิโลกรัม

7. ถุงพลาสติก (Plastic Bag) ขนาดความจุ 1 กิโลกรัม

8. กล่องกระดาษ (Paperboard Box) ขนาดความจุ 1 กิโลกรัม

อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบการสั่นสะเทือน (Vibration Testing Machine)
2. เครื่องทดสอบการปล่อยตก (Dropping Test Machine)
3. เวอร์เนีย คาร์ลิปเปอร์ (Vernier Caliper) ยี่ห้อ MITSUTOYO
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ SARTORIOUS 4100
5. เกจวัดรัศมีความโค้ง (Radius of Curvature) ยี่ห้อ MITSUTOYO
6. เครื่องวัดความหวาน (Refractometer) ยี่ห้อ OSKON MTD-045 ND
7. เครื่องปรับความถี่ (Inverter) ยี่ห้อ SAMCO-V
8. เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) ยี่ห้อ YOKOGAWA
9. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ยี่ห้อ ISOTEMP
10. เครื่อง Universal Testing Machine ยี่ห้อ INSTRON 5569
11. หัวกด (Plunger Probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร
12. ตลับเมตร

วิธีการ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด CRD (Completely Randomized Design) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของผลการทดลองทางสถิติแบบ ANOVA (Analysis of Variance) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละทรีทเมนต์แบบ DMRT (Duncan's Multiple Rang Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 5% โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 10.0

1. บรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวาน

1.1 การศึกษาความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวาน

มะขามหวานพันธุ์สีทองและศรีชมภู ที่ระดับความสุกแก่บริบูรณ์ (Full Maturity) หลังเก็บมาจากต้น นำมาผึ่งลมเป็นเวลา 3 สัปดาห์ แล้วจึงบรรจุแบบสุ่มลงในกล่องกระดาษลูกฟูก 5 ชั้น แบบ Regular Slot Container (RSC) ขนาดความจุ14 กิโลกรัม ความกว้าง 27.5 เซนติเมตร ความยาว 41 เซนติเมตรและความสูง 36.5 เซนติเมตร จำนวนพันธุ์ละ 5 กล่อง หลังจากนั้นจึง

ขนส่งด้วยรถปิคอัพ โดยวางบรรจุภัณฑ์เป็นแบบชั้นเดียว (Single Layer) (Grant *et al*., 1986) จากสวนมะขามจังหวัดสระบุรีถึงห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน เป็นระยะทาง 240 กิโลเมตรโดยประมาณ เปิดกล่อง ตรวจสอบปริมาณความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวของมะขามหวานออกเป็น 5 ประเภทคือ ฝักแตก ฝักร้าว ขั้วฝักแตก ฝักมีรู เนื่องจากแมลงและขั้วฝักทิ่มแทงกัน และฝักเป็นรา ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความเสียหายในแต่ละประเภท สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$P_i = \frac{W_i}{W_t} \times 100\% \quad \text{.....(1)}$$

เมื่อ P_i = เปอร์เซ็นต์ความเสียหายประเภท i

W_i = น้ำหนักฝักมะขามหวานที่เสียหายประเภท i

W_t = น้ำหนักรวมของฝักมะขามหวานภายในบรรจุภัณฑ์

1.2 การทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายส่งปัจจุบันของมะขามหวาน

นำฝักมะขามหวานที่ผ่านการคัดว่าเป็นฝักที่ดี ไม่มีความเสียหาย ขนาดสม่ำเสมอ มาบรรจุแบบสุ่ม ซึ่งเป็นแบบปฏิบัติเป็นการค้า (Conventionally Packed) ลงในกล่องกระดาษลูกฟูก 5 ชั้น ความจุ 14 กิโลกรัมเช่นเดียวกับบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการขนส่ง แล้วนำไปทดสอบการสั่นสะเทือนด้วยเครื่องจำลองการสั่นสะเทือนแบบ Rotary Motion Table มีมิติขนาด 1.5 เมตร×1.5 เมตร× 1.0 เมตร ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 7.5 กิโลวัตต์ ปรับความถี่ด้วยเครื่องปรับความถี่ ขนาด 10 แรงม้า กำลังจากมอเตอร์ถูกส่งไปขับเพลาลูกเบี้ยวโดยสายพานลิ่มและโซ่ ความเร่งของการสั่นสะเทือนเท่ากับรัศมีของพู่เล่ย์คูณด้วยความเร็วรอบกำลังสอง (Chaiyapong et al., 2007) ตามASTM Standard D999 Method A2 และ ASTM Standard D-4169 ที่ความเร่ง 0.5 จี เป็นเวลา 10 นาที เป็นการจำลองการขนส่งด้วยรถบรรทุกซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Turczyn *et al*., 1986; ASTM Standard, 1991; Chonhenchob and Singh, 2005) จำนวน 3 ซ้ำ/พันธุ์ หลังจากทดสอบนำมะขามหวานในบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการทดสอบ มาตรวจสอบและวิเคราะห์ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขาม โดบแบ่งเป็น 4 ประเภทคือ ฝักแตก ฝักร้าว ขั้วฝักแตก และรูเนื่องจากขั้วฝักทิ่มกัน

1.3 การทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่ของมะขามหวาน

การออกแบบบรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวานแบบใหม่ (Developed Wholesale Packaging, DWP) อาศัยหลักการที่ว่าฝักมะขามหวานสามารถสามารถถูกปกป้องได้อย่างปลอดภัยจากแรงภายนอกที่มากระทำทั่วทุกทิศทุกทาง เมื่ออยู่ในมือที่กำอย่างนุ่มนวล จึงนำโฟมเม็ด (Foam Ball) EPS ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และ 8 มิลลิเมตร มาใช้ให้สอดคล้องกับหลักการดังกล่าว โดยผสมโฟมกับมะขามหวานให้โฟมห่อหุ้มพื้นที่ผิวฝักมะขามได้ทั่ว บรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาขึ้นมาใหม่นี้ยังคงใช้กล่องรูปแบบเดิม แต่ได้นำเอาโฟมเม็ด (ภาพที่ 5) มาใช้ช่วยป้องกันฝักมะขามจากความเสียหายเชิงกล (Mechanical Damage) การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1.3.1 การทดสอบเบื้องต้นบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่ของมะขามหวาน

มีปัจจัยควบคุมคือ พันธุ์มะขามหวาน (สีทองและศรีชมภู) และอัตราส่วนของผสมระหว่างโฟมเม็ดกับมะขามหวาน (r) โดยปริมาตรภายในของบรรจุภัณฑ์ ที่ระดับ 0% (บรรจุภัณฑ์ขายส่งปัจจุบัน) , 20%, 40%, 60% และ 80% ดังภาพที่ 5 ซึ่งอัตราส่วนของผสม 0% คือไม่มีโฟมเม็ดเป็นวัสดุกันช้ำ มีแต่มะขามหวานบรรจุในกล่อง ที่ 20% จะมีปริมาณโฟมเม็ด 20% มีปริมาณมะขาม 80% ของปริมาตรภายในกล่อง ระดับอัตราส่วนของผสม 40% จะมีปริมาณโฟม 40% มะขามมีปริมาณ 60% และ 80% ภายในกล่องบรรจุโฟมเม็ด 80% มะขามหวานถูกบรรจุ 20% ของปริมาตรภายในกล่อง สามารถคำนวณจากสมการที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 จำนวนอย่างละ 3 ซ้ำ โรยโฟมเม็ดปูรองพื้นก้นกล่องก่อน แล้วบรรจุมะขามหวานตามลงไปในกล่อง หลังจากนั้นโรยโฟมเม็ดอีกครั้ง ทำเป็นชั้น ๆ อย่างนี้ สลับกันไปเรื่อย ๆ จนเต็ม ปิดปากกล่อง นำกล่องไปทดสอบที่ระดับความถี่ และมาตรฐานเดียวกันกับที่ทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวานปัจจุบัน ภายหลังการทดสอบสิ้นสุด วิเคราะห์สมรรถนะของบรรจุภัณฑ์ (Packaging Performance) ในรูปของค่าความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวาน

ก) 0%

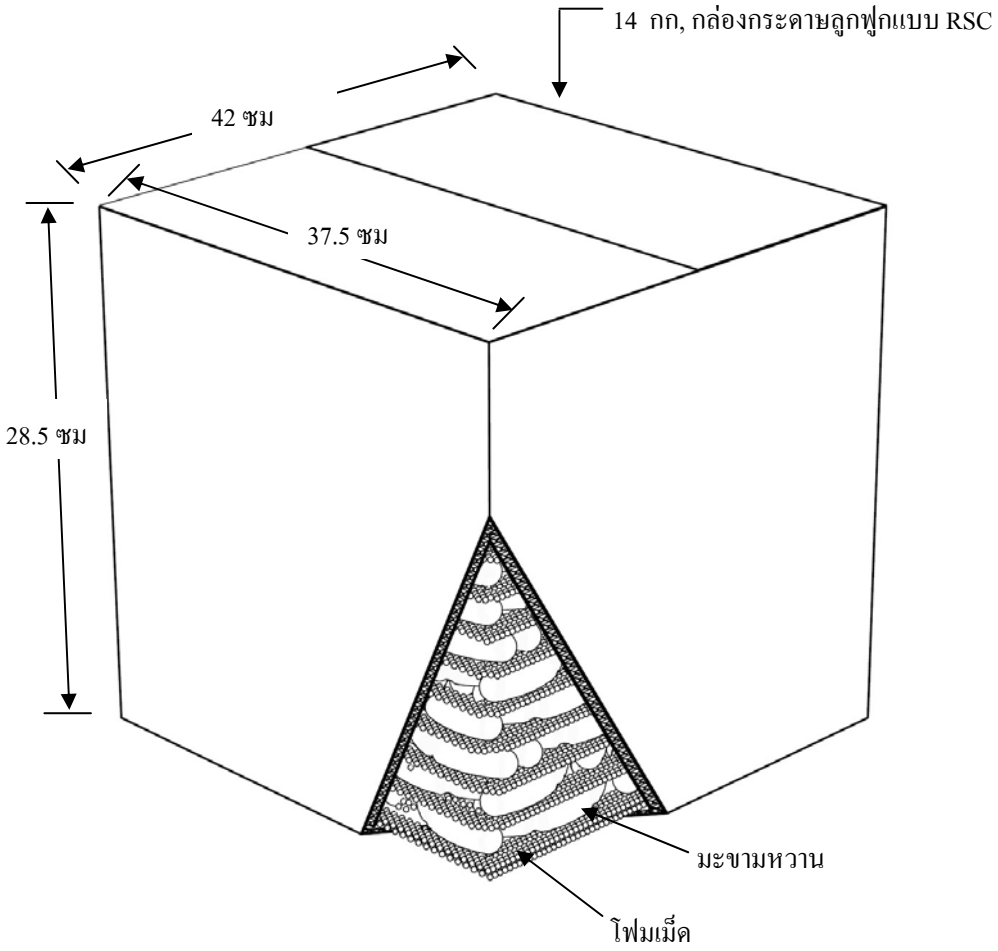
ข) 20%

ค) 40%

ง) 60%

จ) 80%

ภาพที่ 5 บรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวานที่พัฒนาใหม่



ภาพที่ 6 แผนภาพโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวานที่พัฒนาใหม่

1.3.2 การทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่เหมาะสมของมะขามหวาน

นำผลจากการทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่มาใช้หาสภาวการณ์ทำงานที่เหมาะสม (Proper Working Condition) ของบรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวาน การทดสอบนี้จะเกี่ยวข้องกับตัวแปรคือ ก) พันธุ์มะขามหวาน ได้แก่ สีทองและศรีชมภู ข) ขนาดของโฟมเม็ด (เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และ 8 มิลลิเมตร) ค) อัตราส่วนของผสมระหว่างโฟมเม็ดกับมะขาม (r) เลือกใช้ปริมาตรมะขามหวานคงที่ที่ระดับ 80% โดยปริมาตร (ภายในของกล่อง) แล้วปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมตามขนาดโฟมที่ใช้ โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ใช้ค่าอัตราส่วนของผสมของโฟมคือ อัตราส่วนของผสมคือ 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% และ 45% โฟมขนาด 8 มิลลิเมตรใช้อัตราส่วนของผสมเหมือนกัน แต่ไม่รวม 45% บรรจุมะขามหวานและ

นำบรรจุภัณฑ์ไปทดสอบเหมือนกับการทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่ ประเมินสมรรถนะของบรรจุภัณฑ์ในรูปของค่าความเสียหายของฝักมะขาม (D) ร่วมกับอัตราส่วนของผสมระหว่างโฟมเม็ดกับมะขามหวาน (r) ความหนาแน่นการบรรจุ (Packing Density) และราคาของบรรจุภัณฑ์ (Packaging Cost) (สมการที่ 10 และ 11)

หลักการคือ นำมะขามหวานไปให้ได้มากที่สุด เพื่อลดค่าขนส่ง จึงเลือกบรรจุมะขามหวานที่ 80% ของปริมาตรภายในกล่อง (0.8 ของความสูงกล่อง) ทุก ๆ กล่อง ตามสมการที่ 2, 3 และ 4 ปรับอัตราส่วนของผสมของโฟมตามขนาดโฟมที่ใช้ สามารถคำนวณอัตราส่วนของผสมของโฟมจากสมการที่ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 โดยค่าความหนาแน่นมวลรวมของมะขามหวานพันธุ์สีทองเท่ากับ 0.31 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมะขามพันธุ์ศรีชมภู 0.33 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนความหนาแน่นมวลรวมของโฟมเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรและ 8 มิลลิเมตร เท่ากับ 0.014 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรและ 0.010 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ

$$AP_p = W \times L \times H \quad \text{.....(2)}$$

$$AP_t\,(80\%) = W \times L \times 0.8H \quad \text{.....(3)}$$

$$AV_t\,(80\%) = \frac{AP_t\,(80\%)}{BD_t} \quad \text{.....(4)}$$

$$W_t\,(80\%) = AV_t\,(80\%) \times BD_t \quad \text{.....(5)}$$

$$VVS_f = AP_t\,(80\%) - AV_t\,(80\%) \quad \text{.....(6)}$$

$$AP_f\,(20\%) = W \times L \times 0.2H \quad \text{.....(7)}$$

$$AV_f\,(20\%) = AP_f\,(20\%) + VVS_f \quad \text{.....(8)}$$

$$W_f\,(20\%) = AV_f\,(20\%) \times BD_f \quad \text{.....(9)}$$

เมื่อ AP_p= ปริมาตรภายในที่ปรากฏของบรรจุภัณฑ์

W= ความกว้างของบรรจุภัณฑ์

L= ความยาวของบรรจุภัณฑ์

H= ความสูงของบรรจุภัณฑ์

AP_t (80%)= ปริมาตรที่ปรากฏของมะขามหวาน ณ อัตราส่วนของผสมที่ 80%

0.8H= ความสูงที่ 0.8 เท่าของความสูงของบรรจุภัณฑ์

W_t (80%) = น้ำหนักมะขามหวาน ณ อัตราส่วนของผสมที่ 80%

BD_t= ความหนาแน่นมวลรวมของมะขามหวานแต่ละพันธุ์

AV_t (80%)= ปริมาตรจริงของมะขามหวาน ณ อัตราส่วนของผสมที่ 80%

AP_f (20%) = ปริมาตรที่ปรากฏของโฟมเม็ด ณ อัตราส่วนของผสมที่ 20%

0.2H= ความสูงที่ 0.2 เท่าของความสูงของบรรจุภัณฑ์

AP_f (20%) = ปริมาตรที่จริงของโฟมเม็ด ณ อัตราส่วนของผสมที่ 20%

W_f (20%)= น้ำหนักโฟมเม็ด ณ อัตราส่วนของผสมที่ 20%

VVS_f = ปริมาตรโฟมเม็ดที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างฝักมะขามหวาน

BD_f= ความหนาแน่นมวลรวมของโฟมแต่ละขนาด

$$PD = \frac{V_t}{V_p} \quad \text{.....(10)}$$

เมื่อ PD = ความหนาแน่นการบรรจุ

V_t = ปริมาตรมะขามหวาน

V_p = ปริมาตรบรรจุภัณฑ์

$$PC = \frac{(C_p+C_f)}{W_t} \quad \text{.....(11)}$$

เมื่อ PC = ต้นทุนของบรรจุภัณฑ์

C_p= ราคาบรรจุภัณฑ์

C_f = ราคาโฟมที่ใช้

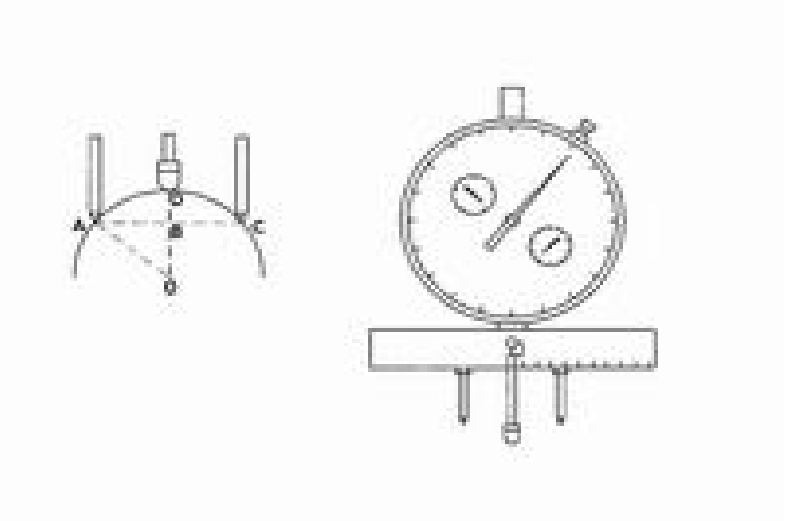
W_t = น้ำหนักของมะขามหวานในบรรจุภัณฑ์

2. บรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวาน

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของมะขามหวาน

ใช้มะขามหวาน จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์สีทอง และศรีชมภู ที่ความสุกแก่บริบูรณ์ คัดเอาเฉพาะฝักที่สมบูรณ์ ไม่พบความเสียหาย วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมะขามหวานทั้ง 3 แกน คือ แกน x แกน y และแกน z เมื่อ x คือความกว้างของฝัก y คือความยาวฝัก และ z คือความหนาฝักมะขาม ชั่งน้ำหนัก วัดรัศมีความโค้งของฝัก รัศมีความโค้งของลอนมะขามส่วนนูน และรัศมีความโค้งของลอนมะขามส่วนที่เว้า ระยะที่วัดได้จากเกจวัดโค้งคือ ระยะ BD แสดงในภาพที่ 6 ปรับตั้งระยะAC ที่ใช้มีค่า 60 มิลลิเมตร สามารถหารัศมีความโค้งได้จากสมการที่ 12

$$Radious = \frac{AC}{8(BD)}^{2} + \frac{BD}{2} \text{.....(12)}$$



ภาพที่ 7 การหาค่ารัศมีความโค้ง

ที่มา: ASAE Standard (1998)

หาค่าความถ่วงจำเพาะของมะขามหวานด้วยการแทนที่น้ำ ความถ่วงจำเพาะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 13 (Mohsenin, 1996)

$$SG = \frac{W_{ta}}{W_{wt}} \quad \text{.....(13)}$$

เมื่อ SG= ความถ่วงจำเพาะของมะขามหวาน

W_{ta} = น้ำหนักของมะขามหวานที่ชั่งในอากาศ

W_{wt}= น้ำหนักน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยมะขามหวาน

หาความหวาน (Sweetness) โดยนำเอาเฉพาะเนื้อมะขามหวานมาปั่นให้ละเอียด แล้วกรองเอาเฉพาะน้ำมาหยดใส่เครื่องมือวัดค่าความหวาน (Refractometer) ซึ่งอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง การหักเหของแสงผ่านสารละลายกับความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายนั้น ๆ โดยส่วนใหญ่ในผลไม้ ของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้คือน้ำตาล ดังนั้นค่าปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids, TSS) จึงมักเรียกว่า ค่าความหวาน (จริงแท้, 2538)

หาความชื้น (Moisture) ของเนื้อมะขามหวาน โดยปอกเปลือกฝักมะขามออก เฉือนเอาเฉพาะเนื้อของมะขามเป็นชิ้นบางๆ ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียม จำนวน 20 ถ้วย ถ้วยละ 1 ฝัก โดยถ้วยดังกล่าวผ่านการอบไล่ความชื้นแล้วที่อุณหภูมิ 105 °C เวลา 6 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักก่อนอบนำมะขามไปอบในตู้อบลมร้อน เพื่อหาความชื้นในเนื้อที่อุณหภูมิ 105 °C นำถ้วยออกมาชั่งทุก ๆ 20 นาที ช่วงที่นำถ้วยออกจากตู้อบ ควรนำไปทิ้งไว้ในโถดูดความชื้นให้ถ้วยเย็นตัวลงก่อนนำมาชั่งน้ำหนักเป็นการป้องกันการดูดความชื้นจากบรรยากาศกลับสู่มะขามที่ผ่านการอบแล้ว และป้องกันกันความเสียหายของเครื่องชั่งอบจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ASAE Standard, 1994)

Henderson and Perry (1976) กล่าวไว้ว่า ค่าความชื้นในผลผลิต คือ ปริมาณน้ำที่อยู่ในผลไม้ โดยภายในผลไม้จะประกอบด้วยน้ำหนัก 2 ส่วน คือ น้ำหนักแห้งของผลซึ่งจะมีค่าคงที่ตลอด และน้ำหนักน้ำที่มีอยู่ในผลสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นภายในผล นำข้อมูลของน้ำหนักก่อนอบและหลังอบมาคำนวณหาความชื้นของเนื้อมะขามหวาน

เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก (Wet Basis) เป็นความชื้นที่ใช้โดยทั่วไป

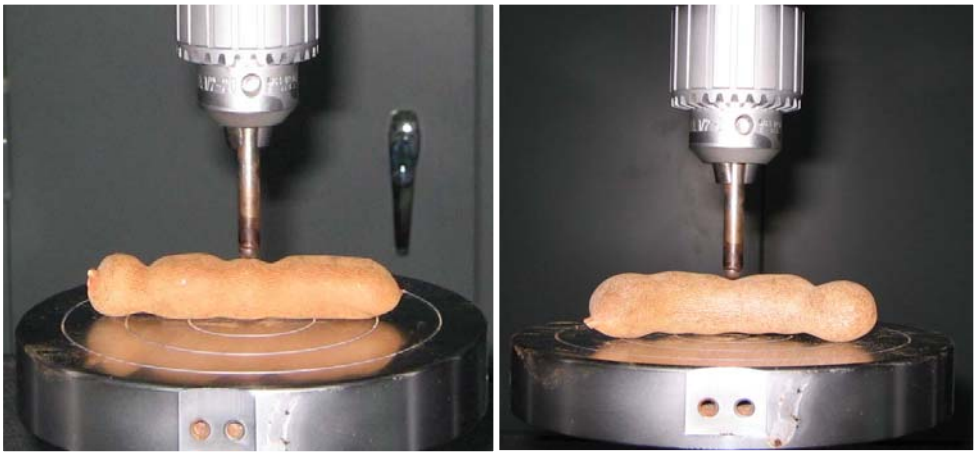
$$\%MC_{wb} = \left(\frac{W_w}{W_w + W_{dm}} \right) \times 100 \text{ .....(14)}$$

เมื่อ W_w = น้ำหนักน้ำ

W_{dm} = น้ำหนักแห้ง

$\%MC_{wb}$ = เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก

หาสมบัติเชิงกล โดยนำฝักมะขามหวานที่สมบูรณ์ ปราศจากการร้าวหรือแตกมากด ทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ร่วมกับหัวกด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ที่บริเวณส่วนนูนและส่วนเว้าของลอนฝักมะขามหวาน (ภาพที่ 7) ความเร็วการทดสอบอยู่ที่ระดับ 25 มิลลิเมตร/นาที (ASAE Standard, 1998) เพื่อหาค่าแรงที่ทำให้มะขามปริหรือแตก (Rupture Force), การเปลี่ยนรูปในช่วงที่ฝักแตก (Rupture Deformation) และความแน่นเนื้อ (Firmness) จากกราฟแรงและการเปลี่ยนรูป ซึ่งถือว่าเป็นวิธีการวัดลักษณะความแข็งแรงของผลไม้โดยตรง



ก) ส่วนนูนของฝัก ข) ส่วนเว้าของฝัก

ภาพที่ 8 การกดทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของฝักมะขามหวาน

2.2 การศึกษาความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวาน ณ ระดับค้าปลีก

สุ่มซื้อมะขามหวานพันธุ์สีทองและศรีชมภู ซึ่งบรรจุในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกแบบถุงตาข่ายและกล่องกระดาษ ขนาดความจุ 1 กิโลกรัม จำนวนอย่างละ 10 ซ้ำ จากตลาดค้าปลีกและซูเปอร์มาร์เก็ตจำนวน 5 แห่งในกรุงเทพมหานคร ตรวจสอบความเสียหายพร้อมทั้งวิเคราะห์ประเภทและปริมาณความเสียหายเชิงกล

2.3 การประเมินคุณลักษณะการตกของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก

การเตรียมและบรรจุมะขามหวานส่วนใหญ่มักทำในตลาดค้าปลีกหรือซูเปอร์มาร์เก็ต สาเหตุหลักที่ทำให้มะขามหวานเกิดความเสียหายจึงมาจากการตก การประเมินคุณลักษณะการตกของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ดังนั้นจึงเลือกทำการประเมินค่าคุณลักษณะการตกของบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวาน จากซูเปอร์มาร์เก็ตใหญ่ๆ ในกรุงเทพมหานคร จำนวน 5 แห่ง โดยสำรวจคุณลักษณะการตก ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสูงของการถือบรรจุภัณฑ์ (วัดจากระดับพื้น), จำนวนครั้งของการหลุดมือหล่นลงพื้น, ความสูงของชั้นวางขาย, จำนวนครั้งของการวางเมื่อทำการเลือกซื้อ และความสูงของการถือขึ้นมาเลือกดู (วัดจากชั้นวางขายถึงระดับสายตา) อย่างละ 20 ซ้ำ ในช่วงเวลาระหว่าง 16.00-19.00 นาฬิกา เพราะเป็นเวลาที่ผู้คนจับจ่ายซื้อของในซูเปอร์มาร์เก็ตค่อนข้างมาก จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.4 การทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายปลีกปัจจุบันของมะขามหวาน

นำมะขามหวานขนาดฝักเท่าๆ กัน ปราศจากความเสียหาย จำนวน 2 พันธุ์ คือ พันธุ์สีทองและศรีชมภู มาบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกปัจจุบัน ขนาด 1 กิโลกรัม จำนวน 4 ประเภท ได้แก่ ถุงตาข่าย, ถุงพลาสติก, ถาดโฟม และกล่องกระดาษ จำนวนอย่างละ 10 ซ้ำ จากนั้นนำไปทดสอบหาสมรรถนะในการป้องกันความเสียหายของฝักมะขามหวานของบรรจุภัณฑ์ โดยทำการทดสอบแบบปล่อยตก ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM Standard D775-80 คำนวณความเสียหายเชิงกลแต่ละประเภทจากสมการที่ 1

2.5 การทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่ของมะขามหวาน

บรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานที่พัฒนาใหม่ ประกอบด้วยกระดาษลูกฟูกหน้าเดียวตัดแล้วม้วนเป็นทรงกระบอกโดยหันลอนออกด้านนอก สามารถป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับผลไม้ได้ดี (Sayasoonthorn *et al.,* 2006) ปิดด้านล่างด้วยกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว และหันด้านลอนออกข้างนอกเช่นกันแต่ตัดเป็นวงกลม ภายในของบรรจุภัณฑ์บรรจุโฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ผสมกับมะขามในอัตราส่วนของผสม 30% เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม ค่าความเสียหายเชิงกลที่เกิดขึ้นกับฝักมะขามหวานทั้ง 2 สายพันธุ์น้อยที่สุด (Rachanukroa *et al*., 2006) ความจุ 1 กิโลกรัม จำนวนอย่างละ 10 ซ้ำ การทดลองนี้ เพื่อหาบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่เหมาะสม โดยมีปัจจัยควบคุม 3 ตัว ได้แก่ ขนาดของบรรจุภัณฑ์จำนวน 6 ขนาด (9 เซนติเมตร×45 เซนติเมตร, 12 เซนติเมตร×40 เซนติเมตร, 15 เซนติเมตร×20 เซนติเมตร, 18 เซนติเมตร×15 เซนติเมตร, 21 เซนติเมตร×12 เซนติเมตร และ 24 เซนติเมตร×9 เซนติเมตร) พันธุ์มะขามหวาน (สีทองและศรีชมภู) และลักษณะการบรรจุมะขามหวาน (แนวตั้งและแนวนอน) วิเคราะห์ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานในแต่ละบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีทางสถิติ ได้แก่ ANOVA และ DMRT

ผลและวิจารณ์

1. การทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวาน

1.1 การศึกษาความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวาน

ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวาน จำนวน 2 พันธุ์คือ พันธุ์สีทองและศรีชมภู แบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ ฝักแตก ฝักร้าว ขั้วฝักแตก ฝักมีรู และรา (ภาพที่ 8) ความเสียหายในลักษณะของฝักแตก คือ สามารถมองเห็น เนื้อในมะขามได้ ขณะที่ฝักร้าวจะไม่สามารถมองเห็นเนื้อภายในฝัก ส่วนขั้วฝักแตกจะเกิดการแตกขึ้นที่บริเวณขั้วฝัก ฝักมีรูเป็นความเสียหายเนื่องจากแมลงทำลาย สามารถสังเกตได้จากรูที่มีลักษณะเป็นวงกลม และขั้วฝักทิ่มกัน รูชนิดนี้จะมีเหลี่ยมคล้ายขั้วฝักของมะขาม ไม่เป็นวงกลม และรา คือฝักมีเชื้อรา ซึ่งไม่จัดเป็นความเสียหายเชิงกล สุภาและคณะ (2536) พบว่า เป็นราจำพวก *Cladosporium cladosporicides, Eurotium chevaliere, Aspergillus fumig tus, A. niger, Penicillium sp.* และ *Yeast*

ตารางที่ 1 ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวานพันธุ์สีทอง ณ ระดับค้าส่ง

ชนิดของบรรจุภัณฑ์ขายส่ง	ประเภทความเสียหาย (%)					
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รา	รวม
กล่องกระดาษ	6.21±2.91	3.75±1.32	6.33±2.41	3.81±2.23	1.94±1.00	22.03±2.55

ตารางที่ 2 ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู ณ ระดับค้าส่ง

ชนิดของบรรจุภัณฑ์ขายส่ง	ประเภทความเสียหาย (%)					
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รา	รวม
กล่องกระดาษ	4.49±1.83	9.18±4.66	6.37±3.30	8.28±1.98	1.22±0.93	29.54±3.91

ตารางที่ 1 และ 2 นำเสนอว่า ความเสียหายหลัก คือ ฝักแตก ฝักร้าว และขั้วฝักแตก ซึ่งเป็นความเสียหายจากภาระเชิงกลมีปริมาณถึง 70% ของความเสียหายทั้งหมด ความเสียหายของพันธุ์สีทองมีค่าเท่ากับ 22.03% และพันธุ์ศรีชมภูมีค่า 29.54 % โดยพันธุ์สีทองมีค่าความเสียหายน้อยกว่าพันธุ์ศรีชมภู อาจอธิบายได้ด้วยความแน่นเนื้อจากความชันของกราฟแรงและการเปลี่ยนรูปภายใต้การทดสอบแบบกดอัดของพันธุ์สีทองมีความชันมากกว่าพันธุ์ศรีชมภู จึงส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อภาระเชิงกลมากกว่า

ก) ฝักแตก

ข) ฝักร้าว

ค) ขั้วฝักแตก

ง) รู เนื่องจากแมลง

จ) รู เนื่องจากขั้วฝักทิ่มกัน

ฉ) รา

ภาพที่ 9 ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวาน

1.2 การทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายส่งปัจจุบันของมะขามหวาน

ภายหลังการทดสอบแบบสั่นสะเทือนกับบรรจุภัณฑ์ขายส่งปัจจุบัน ตรวจสอบค่าความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวาน โดยแบ่งประเภทของความเสียหายเชิงกลเป็น 4 ประเภท คือ ฝักแตก ฝักร้าว ขั้วฝักแตก และฝักมีรูเนื่องจากขั้วฝักทิ่มกัน พบความเสียหายที่เกิดขึ้นกับฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองและศรีชมภูมีค่าเท่ากับ 1.9% และ 7.8% ตามลำดับ โดยความเสียหายของพันธุ์สีทองมีค่าน้อยกว่าพันธุ์ศรีชมภู สอดคล้องกับทดลองก่อนหน้านี้ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวพบว่า ค่าแตกต่างกันมาก สาเหตุที่ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามมีค่าสูง น่าจะมาจากการหลุดมาปะปนของฝักร้าวมาจากสวนมะขาม เพราะต้องอาศัยการคัดแบบละเอียดถี่ถ้วน จึงทำให้ฝักร้าวกลายเป็นฝักแตกได้ภายใต้สภาวการณ์สั่นสะเทือน

1.3 การทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่ของมะขามหวาน

1.3.1 การทดสอบเบื้องต้นบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่ของมะขามหวาน

จากตารางที่ 2 พบว่า บรรจุภัณฑ์ขายส่งปัจจุบัน (อัตราส่วนของผสมโฟมเม็ดเท่ากับ 0%) มีเปอร์เซ็นต์ของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับมะขามหวานมากที่สุดทั้ง 2 พันธุ์ ในทางตรงกันข้าม ถ้าอัตราส่วนของผสมโฟมเม็ดมีค่ามากขึ้นจะส่งผลให้ความเสียหายเชิงกลมีค่าลดลง เนื่องจากมีปริมาณของโฟมเม็ดมากพอ จนสามารถดูดซับพลังงานการสั่นสะเทือนไว้ในเม็ดโฟม จึงเหลือพลังงานเล็กน้อยเพียงบางส่วนที่ส่งผ่านไปยังฝักมะขามหวาน ณ อัตราส่วนของผสมโฟมเม็ด 80% ค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นมีค่า 0.7% และ 1.0% สำหรับมะขามพันธุ์สีทองและศรีชมภูตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของผสม (r) กับความเสียหายของมะขาม (D) ที่ลดลงมีความสัมพันธ์เป็นกราฟเส้นตรง โดยที่สมการความสัมพันธ์ของมะขามหวานพันธุ์สีทอง คือ $D= -0.014\ r+1.823$ ($R^2>0.99$) และมะขามพันธุ์ศรีชมภูมีค่าเท่ากับ $D= -0.089\ r+8.043$ ($R^2>0.97$)

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามในบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่ที่อัตราส่วนของผสมต่างๆ

อัตราส่วนของผสม (%)	ความเสียหายเชิงกล (%)	
	สีทอง	ศรีชมภู
0	1.90±0.73	7.75±1.83
20	1.58±0.01	6.180±0.49
40	1.24±0.14	4.57±0.14
60	1.00±0.08	2.39±0.33
80	0.69±0.13	1.01±0.10

จากผลการทดสอบข้างต้น ไม่สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมของบรรจุภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ได้ จากความสัมพันธ์ของสมการความเสียหายของมะขามหวานและอัตราส่วนของผสม โฟมเม็ด (D-r) ถ้าใส่โฟมเม็ดลงในบรรจุภัณฑ์ต่อไปเรื่อยๆ ความเสียหายก็ยิ่งจะลดลงตาม แต่บรรจุมะขามได้น้อยลง มะขามหวานในบรรจุภัณฑ์ถูกขนส่งได้น้อยลง ส่งผลให้ราคาบรรจุภัณฑ์สูงขึ้น จึงไม่ปรากฏสภาวะที่เหมาะสมของอัตราส่วนของผสมระหว่างโฟมเม็ดกับมะขามหวาน นั่นคือ สามารถบรรจุมะขามลงในบรรจุภัณฑ์ได้ในปริมาณมาก แต่เกิดความเสียหายของฝักน้อย และราคาบรรจุภัณฑ์ต่ำ

1.3.2 การทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่เหมาะสมของมะขามหวาน

ตารางที่ 4 และ 5 แสดงปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัย คือขนาดของโฟมเม็ดพันธุ์ของมะขามและอัตราส่วนของผสม ซึ่งมีผลต่อค่าความเสียหายรวมของฝักมะขามหวานที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.05$ ที่ปริมาตรมะขามคงที่ที่ 80% โดยปริมาตรภายในบรรจุภัณฑ์ จะให้ค่าความหนาแน่น

การบรรจุมะขามพันธุ์สีทองเท่ากับ 41% และศรีชมภู 47% เพราะฝักมะขามพันธุ์สีทองมีขนาดใหญ่ จึงบรรจุลงในกล่องได้น้อยกว่าพันธุ์ศรีชมภูที่มีขนาดของฝักเล็ก อัตราส่วนผสมระหว่างโฟมเม็ดกับฝักมะขามที่เหมาะสมที่สุดของเม็ดโฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ที่ระดับอัตราส่วนของผสมเท่ากับ 30% พบค่าความเสียหายรวมคือ 0.84% และ 3.41% สำหรับฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองและศรีชมภูตามลำดับ และโฟมเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร อัตราส่วนของผสมที่เหมาะสมคือ 35% สัมพันธ์กับค่าความเสียหายรวมของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองเท่ากับ 1.25% และ พันธุ์ศรีชมภูเท่ากับ 3.91% ณ ที่ระดับอัตราส่วนของผสมที่ดีที่สุด ค่าความเสียหายเชิงกลรวมของฝักมะขามหวานไม่มีการเปลี่ยนแปลง จนอนุมานได้ว่า ความเสียหายรวมของฝักมะขามหวานมีค่าคงที่ เนื่องจากปริมาณความหนาแน่นของโฟมเม็ดมีปริมาณเพียงพอในการดูดซับพลังงานของการสั่นสะเทือนที่ส่งผ่านมายังบรรจุภัณฑ์ไว้ในเม็ดโฟม และช่วยลดช่องว่างระหว่างมะขามหวาน แม้ว่าจะเพิ่มปริมาณโฟมเม็ดลงไปในบรรจุภัณฑ์อีกก็ไม่มีผลต่อการดูดซับพลังงาน ค่าขอบเขตการคงที่ของการดูดซับพลังงานจึงปรากฏขึ้น กรณีใช้โฟมเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เกิดขึ้นที่ระดับอัตราส่วนของผสมของโฟมเม็ด I เท่ากับ 35% เนื่องมาจากโฟมเม็ดขนาดเม็ด 5 มิลลิเมตร มีขนาดเล็กกว่าโฟมเม็ดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร) ทำให้สามารถแทรกตามช่องว่างระหว่างฝักมะขามหวานและครอบคลุมพื้นที่ผิวฝักมะขามหวานได้ทั่วถึงมากกว่าโฟมเม็ดขนาดใหญ่ จึงทำให้ดูดซับพลังงานได้เร็วกว่า ณ ที่อัตราส่วนของผสมต่ำกว่าโฟมเม็ดใหญ่

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยความเสียหายรวมของฝักมะขามหวานในบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่ใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร

พันธุ์	อัตราส่วนของผสม (%)						
	15	20	25	30	35	40	45
สีทอง	1.67d*	1.38c	1.15b	0.84a	0.82a	0.79a	0.78a
ศรีชมภู	7.02d	6.37c	4.51b	3.41a	3.37a	3.35a	3.29a

* ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยความเสียหายรวมของฝักมะขามหวานในบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่ใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร

พันธุ์	อัตราส่วนของผสม (%)					
	15	20	25	30	35	40
สีทอง	1.77d*	1.65d	1.52c	1.37b	1.25a	1.23a
ศรีชมภู	7.35e	6.97d	5.86c	4.77b	3.91a	3.85a

*ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

บรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวานที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ จึงใช้ค่าราคาของบรรจุภัณฑ์ในการพิจารณาประกอบกับจุดเริ่มคงที่ของความเสียหายเชิงกล โดยที่จุดนี้มีความสัมพันธ์กับขนาดของโฟมเม็ด (การดูดซับพลังงานการสั่นสะเทือน) และพันธุ์ของมะขาม พบว่า มะขามทั้ง 2 พันธุ์ที่ใช้โฟมขนาดใหญ่ ราคาต้นทุนของบรรจุภัณฑ์จะมีค่าต่ำที่สุด คือ 3.25 บาท/กิโลกรัม และ 2.83 บาท/กิโลกรัม สำหรับมะขามพันธุ์สีทองและศรีชมภูตามลำดับ (ตารางที่ 6 และ 7)

ตารางที่ 6 ราคาบรรจุภัณฑ์และความหนาแน่นการบรรจุของบรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวานที่พัฒนาใหม่ เมื่อใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามหวานคงที่ที่ 80%

อัตราส่วนของผสม (%)	ความหนาแน่นการบรรจุ		ต้นทุนเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัมมะขามหวาน)	
	สีทอง	ศรีชมภู	สีทอง	ศรีชมภู
15	0.41	0.47	2.53	2.14
20	0.41	0.47	2.93	2.49
25	0.41	0.47	3.31	2.83
30	0.41	0.47	3.70	3.18
35	0.41	0.47	4.07	3.53
40	0.41	0.47	4.45	3.87
45	0.41	0.47	4.81	4.20

ตารางที่ 7 ราคาบรรจุภัณฑ์และความหนาแน่นการบรรจุของบรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวานที่พัฒนาใหม่ เมื่อใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามหวานคงที่ที่ 80%

อัตราส่วนของผสม (%)	ความหนาแน่นการบรรจุ		ต้นทุนเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัมมะขามหวาน)	
	สีทอง	ศรีชมภู	สีทอง	ศรีชมภู
15	0.41	0.47	2.18	1.85
20	0.41	0.47	2.45	2.10
25	0.41	0.47	2.71	2.33
30	0.41	0.47	2.99	2.59
35	0.41	0.47	3.25	2.83
40	0.41	0.47	3.53	3.08

2. การทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวาน

2.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของมะขามหวาน

ตารางที่ 8 และ 9 แสดงสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของมะขามหวาน โดยในแต่ละคุณสมบัติ และในแต่ละพันธุ์ ใช้จำนวนตัวอย่างของมะขามหวานเท่ากับ 20 ฝัก

ตารางที่ 8 สมบัติทางกายภาพและค่าความหวานของมะขามหวานพันธุ์สีทองและศรีชมภู

คุณสมบัติทางกายภาพและค่าความหวาน	จำนวนตัวอย่าง (N)	พันธุ์มะขามหวาน	
		สีทอง	ศรีชมภู
น้ำหนัก (กรัม)	20	35.4±5.8	20.0±3.5
ความกว้าง (มิลลิเมตร)	20	27.2±1.1	21.1±0.9

ตารางที่ 8 (ต่อ)

คุณสมบัติทางกายภาพและค่าความหวาน	จำนวนตัวอย่าง (N)	พันธุ์มะขามหวาน	
		สีทอง	ศรีชมภู
ความยาว (มิลลิเมตร)	20	110.7±9.4	111.5±11.9
ความหนา (มิลลิเมตร)	20	24.3±1.5	22.7±1.3
รัศมีความโค้งของฝัก (มิลลิเมตร)	20	44.5±5.3	75.4±5.2
รัศมีความโค้งของส่วนนูน (มิลลิเมตร)	20	11.7±1.4	11.9±0.9
รัศมีความโค้งของส่วนเว้า (มิลลิเมตร)	20	5.4±1.1	9.6±1.2
ความถ่วงจำเพาะ	20	0.7±0.1	0.6±0.1
ความชื้น (% ฐานเปียก)	20	18.7±0.7	18.5±0.6
ความหวาน (%)	20	11.5±0.7	9.9±0.6

จะเห็นได้ว่ามะขามหวานพันธุ์สีทองมีค่าน้ำหนัก ความกว้าง ความหนา ความถ่วงจำเพาะ และความหวานมากกว่าศรีชมภู ส่วนความยาว และความชื้นมีค่าเท่ากับ 111 มิลลิเมตร และ 18.6 % ซึ่งใกล้เคียงกับความยาวและความชื้นของพันธุ์ศรีชมภู

ตารางที่ 9 สมบัติเชิงกลของมะขามหวานสีทองและศรีชมภูและรูปร่างของฝักส่วนนูนและส่วนเว้า

สมบัติเชิงกลของ	สีทอง		ศรีชมภู	
มะขามหวาน	ส่วนนูน	ส่วนเว้า	ส่วนนูน	ส่วนเว้า
แรงทำให้แตก (Rupture force, นิวตัน)	29.4±6.0d*	18.3±2.8c	14.6±3.2b	4.9±1.7a
การเปลี่ยนรูปที่จุดแตก (Rupture deformation , มิลลิเมตร)	1.05±0.59a	1.20±0.30a	1.04±0.51a	1.24±0.7a
ความแน่นเนื้อ (Slope, นิวตัน/มิลลิเมตร)	56.6±20.1c	31.4±10.9b	30.7±9.8b	8.53±5.7a

*ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ความแข็งแรงของฝักมะขามหวานเป็นสมบัติที่หาได้จากค่าแรง และความชันของกราฟ ซึ่งพันธุ์และลักษณะเส้นขอบ (Profile) กำหนดโดยส่วนนูนและส่วนเว้าของฝักมะขามหวานมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงทำให้แตก (Rupture Force) การเปลี่ยนรูปที่จุดแตก (Rupture Deformation) และความชัน ของกราฟแรงและการเปลี่ยนรูปที่นัยสำคัญ 5 % เมื่อพิจารณาที่พันธุ์มะขามหวาน พบว่า ค่าแรงและความชันของส่วนนูนของลอนมะขามหวานมีค่ามากกว่าส่วนเว้าของลอนมะขาม และถ้าพิจารณาที่ส่วนนูนหรือส่วนเว้าอย่างเดียว ค่าแรงและความชันของมะขามพันธุ์สีทองจะมากกว่าพันธุ์ศรีชมภู

2.2 การศึกษาความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวาน ณ ระดับค้าปลีก

ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวาน ณ ระดับค้าปลีก สามารถแบ่งได้เป็น 5 ชนิด คือ ฝักแตก, ฝักร้าว, ขั้วฝักแตก ฝักมีรู และฝักเป็นรา เช่นเดียวกับความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวานในบรรจุภัณฑ์ขายส่ง โดยลักษณะของฝักแตก ขนาดของรอยแตกจะใหญ่

จนสามารถมองเห็นเนื้อภายในฝักมะขามได้ ต่างกับฝักร้าวที่ไม่สามารถมองผ่านรอยร้าวแล้วเห็นเนื้อของมะขาม เพราะฝักร้าว รอยร้าวจะมีขนาดเล็กเท่าเส้นผม ขั้วฝักแตกเป็นการแตกที่เกิดขึ้นที่บริเวณขั้วฝัก ส่วนความเสียหายประเภทรู จะรวมถึงรูอันเนื่องมาจากแมลงทำลายและรูซึ่งเกิดจากขั้วฝักทิ่มกันเอง ความเสียหายดังกล่าวของมะขามหวานแต่ละพันธุ์ แสดงค่าไว้ดังตารางที่ 10 และ 11

ตารางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวานพันธุ์สีทอง ณ ระดับค้าปลีก

ชนิดของบรรจุภัณฑ์ขายส่ง	ประเภทความเสียหาย (%)					
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รา	รวม
ถุงตาข่าย	15.97±2.11b*	11.94±2.00a	9.94±2.08bc	5.25±1.25a	4.23±2.18a	45.98±1.62c
กล่องกระดาษ	12.33±0.81a	10.11±0.34a	6.13±1.52a	3.49±0.80a	3.18±1.06a	33.94±0.23a

*ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 11 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู ณ ระดับค้าปลีก

ชนิดของบรรจุภัณฑ์ขายส่ง	ประเภทความเสียหาย (%)					
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รา	รวม
ถุงตาข่าย	18.96±1.24c*	15.60±1.57b	11.55±0.79c	8.07±1.79b	3.35±0.46a	57.33±1.17d
กล่องกระดาษ	16.31±1.25b	11.93±2.32a	7.77±1.32ab	4.66±0.75a	3.51±0.81a	43.51±0.45b

* ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าพันธุ์และชนิดของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก มีอิทธิพลต่อความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวาน ณ ระดับค้าปลีกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ5% โดยค่าความเสียหายเกิดขึ้นกับบรรจุภัณฑ์ชนิดถุงตาข่ายมากกว่ากล่องกระดาษประมาณ 25% สำหรับมะขามพันธุ์เดียวกันและที่บรรจุภัณฑ์ขายปลีกชนิดเดียวกัน มะขามหวานพันธุ์สีทองมีความเสียหายน้อยกว่าพันธุ์ศรีชมพู ซึ่งเกิดมาจากความเสียหายใน 3 ประเภท คือ แตก ร้าว และขั้วฝักแตก อันเนื่องมาจากภาวะเชิงกลถึง 80% ของความเสียหายทั้งหมด สามารถอธิบายด้วยสมบัติความแข็งแรงของฝักมะขามหวาน ที่หาได้จากความแน่นเนื้อจของกราฟแรงและการเปลี่ยนรูปภายใต้การทดสอบแบบกดอัด ความแน่นเนื้อของมะขามหวานพันธุ์สีทองมีค่ามากกว่าพันธุ์ศรีชมภู ทำให้ฝักต้านทานภาระเชิงกลได้ดีกว่า จึงแตกเสียหายน้อยกว่า

2.3 การประเมินคุณลักษณะการตกของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก

ตารางที่ 12 แสดงผลทางสถิติจากการสำรวจคุณลักษณะการตกของบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานของซูเปอร์มาร์เก็ต ในกรุงเทพมหานครจำนวน 5 แห่ง

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณลักษณะการตกของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก

ความสูงของชั้นวางผลไม้ (เซนติเมตร)	ความสูงของการเลือกซื้อ (เซนติเมตร)	จำนวนครั้งของการเลือกซื้อ	ความสูงของการถือ (เซนติเมตร)	โอกาสของการถือตก
78±14.8	27.55±1.6	1.31±0.1	79±2.3	0.02

ความสูงโดยเฉลี่ยของชั้นวางผลไม้ เท่ากับ 78 เซนติเมตร ความสูงของการเลือกซื้อมีค่าเฉลี่ยคือ 27.6 เซนติเมตร พฤติกรรมของการเลือกเฉลี่ยของลูกค้าที่ใช้บริการเท่ากับ 1.31 ครั้ง หลังจากซื้อสินค้า ค่าเฉลี่ยของความสูงในการถือสินค้าเท่ากับ 79 เซนติเมตรจากพื้น และมีโอกาสตกเกิดขึ้นเท่ากับ 0.02

2.4 การทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายปลีกปัจจุบันของมะขามหวาน

จากการทดลองที่ 2.3 พบว่าบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมีโอกาสตกลงพื้นที่เป็นไปได้ในการปฏิบัติอย่างน้อย 1 ครั้ง จึงออกแบบการทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามทั้งแบบปัจจุบัน (ภาพที่ 9) และที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ (ภาพที่10) ภายใต้การทดสอบบรรจุภัณฑ์แบบปล่อยตก ตารางที่ 13 และ 14 แสดงความเสียหายของฝักมะขามในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกปัจจุบันภายใต้การทดสอบแบบปล่อยตก

ตารางที่ 13 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทอง ภายในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกปัจจุบัน

รูปแบบของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก	ประเภทของความเสียหายเชิงกล (%)				รวม
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	
ถุงตาข่าย	19.21±3.63b*	21.28±4.65bc	3.13±4.16a	1.34±2.19ab	44.93±0.97e
ถุงพลาสติก	19.56±3.14b	17.26±4.90ab	2.62±3.61a	0.91±1.93a	40.36±1.03c
ถาดโฟม	20.01±3.09b	14.19±4.75a	2.37±3.14a	0.96±2.03a	37.54±1.25b
กล่องกระดาษ	12.83±4.93a	15.89±5.97a	2.77±3.71a	0.94±2.01a	32.43±1.02a

*ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 14 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู ภายในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกปัจจุบัน

รูปแบบของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก	ประเภทของความเสียหายเชิงกล (%)				รวม
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	
ถุงตาข่าย	25.03±4.50c*	24.64±4.46cd	3.26±2.13a	3.77±1.48c	56.70±1.75h
ถุงพลาสติก	17.58±3.64b	28.44±6.84d	4.08±2.94a	3.67±2.92c	53.77±1.72g
ถาดโฟม	16.41±5.56ab	28.66±3.90d	2.39±1.70a	0.72±1.24a	48.21±1.87f
กล่องกระดาษ	13.28±5.69a	23.11±7.22c	2.40±1.59a	3.06±2.16bc	41.84±1.65d

*ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปรากฏว่า พันธุ์มะขามหวานและประเภทของบรรจุภัณฑ์มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อความเสียหายของมะขามหวานที่ระดับ 5 % ความเสียหายเชิงกลที่เกิดขึ้นจากการปล่อยตก ได้แก่ ฝักแตก ฝักร้าว ขั้วฝักแตก และรู เนื่องจากขั้วฝักของอีกฝักหนึ่งทิ่มแทงฝักอื่น ๆ ในกรณีนี้ไม่พิจารณาความเสียหายของฝักที่มีรู เนื่องจากแมลงเข้าทำลาย และฝักมีรา เพราะมะขามก่อนบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกชนิดต่าง ๆ ผ่านการคัดเรียบร้อยแล้วว่าเป็นฝักที่สมบูรณ์ดี ปราศจากความเสียหายใด ๆ โดยความเสียหายของมะขามหวานพันธุ์สีทองเท่ากับ 32.4% และศรีชมภู 56.7% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการสำรวจความเสียหายของมะขามหวานในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกของ Jarimopas and Sirisawas (2006) คือ พันธุ์สีทองในถุงตาข่าย ถุงพลาสติก และกล่องกระดาษ มีค่า 46.77%, 51.15% และ 33.17% ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ศรีชมภูบรรจุในถาดโฟมหุ้มฟิล์มพลาสติกยืดเท่ากับ 56.56%

ความเสียหายเชิงกลของมะขามหวานจากการทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายปลีกแบบปล่อยตกที่มากที่สุดและน้อยที่สุด เกิดขึ้นกับถุงตาข่ายและกล่องกระดาษตามลำดับ สามารถที่จะอธิบายได้ว่าเส้นตาข่ายของถุงตาข่ายมีลักษณะเล็กคล้ายพวกเส้นใย โดยมีความหนาของเส้นตาข่ายน้อยมาก ทำให้ห่อหุ้มฝักมะขามหวานได้น้อยตาม มะขามภายในถุงตาข่ายจึงมีมีโอกาสที่จะสัมผัสกับสิ่งรอบ ๆ ที่แข็งได้มาก และแรงกระแทกภายนอกสามารถกระทำต่อฝักมะขามหวานโดยตรงและถูกถ่ายทอดไปกระแทกต่อผิวฝักที่ติด ๆ กัน ส่งผลให้ความเสียหายที่เกิดขึ้นมีค่ามากตาม ในทางตรงกันข้ามกับกล่องกระดาษที่สามารถห่อหุ้มฝักมะขามได้หมด ทำให้สามารถป้องกันมะขามได้ดีกว่า มะขามภายในกล่องจึงเสียหายน้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์ชนิดเดียวกัน จะเห็นว่ามะขามหวานพันธุ์สีทองมีค่าความเสียหายน้อยกว่าพันธุ์ศรีชมภู เพราะพันธุ์สีทองมีขีดความต้านทานเชิงกลกับค่าความเสียหายเชิงกลสูงกว่าพันธุ์ศรีชมภู

ก) ถุงตาข่าย

ข) ถุงพลาสติก

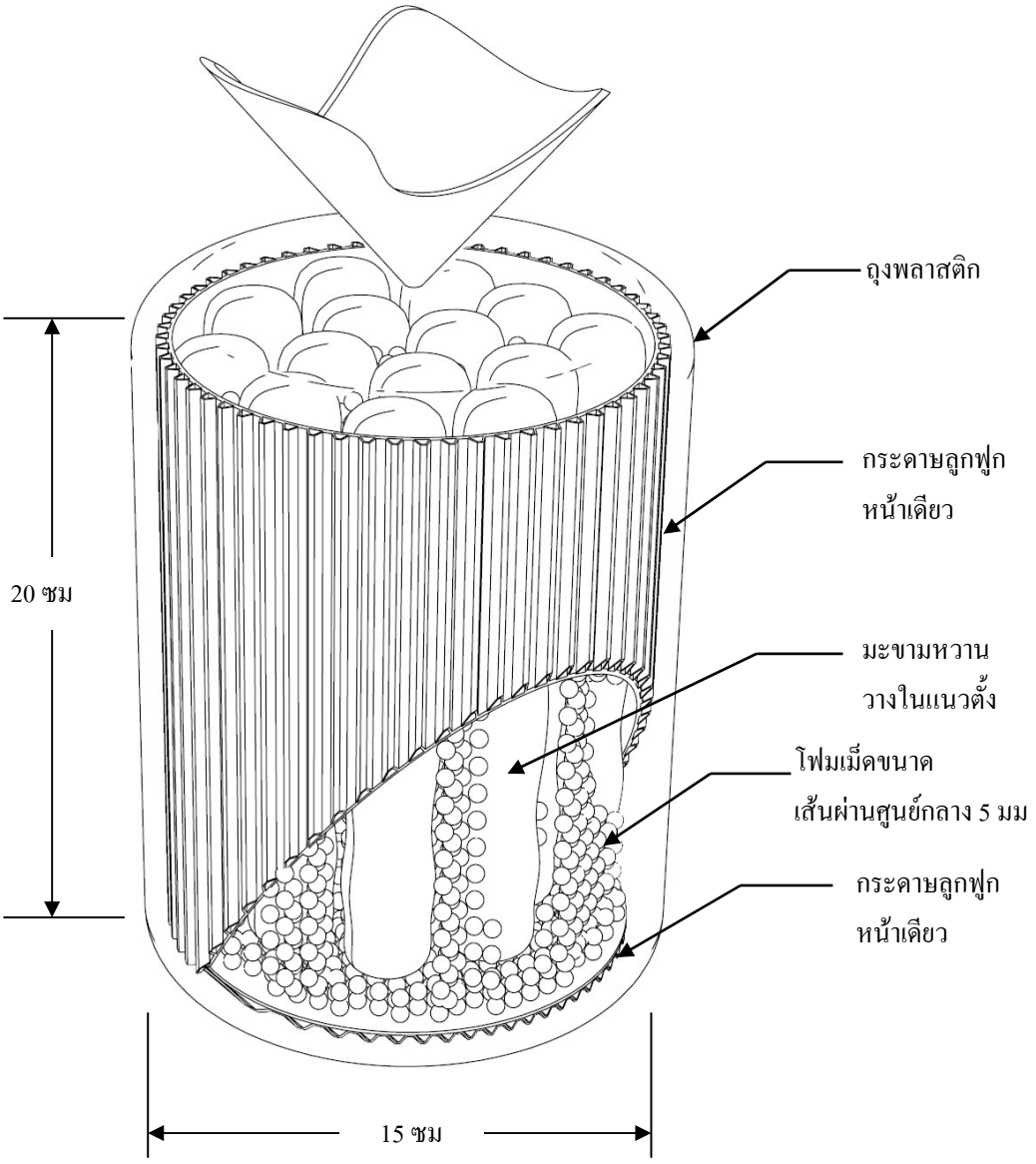
ภาพที่ 10 บรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานปัจจุบัน (ขนาด 1 กิโลกรัม)

ค) ถาดโฟมหุ้มฟิล์มพลาสติกยืด

ง) กล่องกระดาษ

ภาพที่ 10 (ต่อ)

ภาพที่ 11 บรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานที่พัฒนาใหม่



ภาพที่ 12 แผนภาพโครงสร้างบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานที่พัฒนาใหม่

2.5 การทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานที่พัฒนาใหม่ของมะขามหวาน

ตารางที่ 15 และ16 ค่าความเสียหายเชิงกลของการทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามที่พัฒนาขึ้นใหม่จากการทดสอบปล่อยตก

ตารางที่ 15 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทอง ภายในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่

รูปแบบการบรรจุ	ขนาดของบรรจุภัณฑ์ (เส้นผ่านศูนย์กลาง × ความสูง) (เซนติเมตร×เซนติเมตร)					
	9×45	12×40	15×20	18×15	21×12	24×9
แนวตั้ง	11.43±0.47c**	7.52±0.34a	7.47±0.49a	7.38±0.37a	7.34±0.46a	7.34±0.36a
แนวนอน	19.02±0.82e	12.45±0.55d	9.82±0.54b	9.73±0.46b	9.68±0.28b	9.50±0.62b

** ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 16 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู ภายในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่

รูปแบบการบรรจุ	ขนาดของบรรจุภัณฑ์ (เส้นผ่านศูนย์กลาง × ความสูง) (เซนติเมตร×เซนติเมตร)					
	9×45	12×40	15×20	18×15	21×12	24×9
แนวตั้ง	17.34±0.46d**	14.54±0.44b	10.60±0.32a	10.52±0.49a	10.48±0.29a	10.41±0.36a
แนวนอน	29.36±0.75g	23.19±1.14f	18.55±0.80e	15.77±0.65c	15.53±0.31c	15.41±0.25c

** ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปรากฏว่า พันธุ์มะขามหวาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก และรูปแบบในการบรรจุมะขามลงในบรรจุภัณฑ์ มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญอย่างยิ่งต่อค่าความเสียหายของมะขามหวานที่ระดับความสำคัญ 5% ถ้ามะขามพันธุ์เดียวกัน บรรจุภัณฑ์ชนิดเดียวกัน เมื่อมีการบรรจุมะขามตามฝักมะขามหวานในแนวตั้ง จะเกิดความเสียหายน้อยกว่าการบรรจุมะขามในแนวนอนนี้อาจเนื่องจากพื้นที่สัมผัสการตกกระทบของแนวตั้งมีค่าน้อยกว่าแนวนอน จึงทำให้ค่าความเค้นสัมผัสในการตกกระทบในแนวตั้งน้อยกว่าตามแนวนอน และถ้าพิจารณาที่รูปแบบการบรรจุและชนิดของบรรจุภัณฑ์ในแบบเดียวกัน ค่าความเสียหายของมะขามหวานพันธุ์สีทองจะน้อยกว่าพันธุ์ศรีชมภู สาเหตุมาจากสมบัติเชิงกลของฝักมะขามหวานเหมือนกับการทดลองที่ผ่านมา

ความเสียหายเชิงกลจะมีค่าน้อยลง ถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบรรจุภัณฑ์มีขนาดเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบที่พันธุ์และรูปแบบการบรรจุเดียวกัน ถึงแม้ว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบรรจุภัณฑ์มากจะทำให้มีพื้นที่สัมผัสพื้นมากก็ตาม แต่เมื่อมาพิจารณาค่าพลังงานตกกระทบต่อหน่วยพื้นที่ ที่ภาวะน้ำหนักภายในบรรจุภัณฑ์คงที่แล้ว ถ้าบรรจุภัณฑ์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมาก ค่าพลังงานตกกระทบต่อหน่วยพื้นที่จะน้อย จึงทำให้ความเสียหายที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยตาม (Jarimopas *et al*., 2006; Jarimopas, 2006; Srirungrueng *et al*., 2007) โฟมเม็ดที่ใส่ลงไปผสมกับมะขามหวานในบรรจุภัณฑ์ สามารถดูดซับพลังงานการตกกระทบได้ดี ลดความรุนแรงของพลังงานที่กระทำต่อมะขามหวาน เป็นผลให้ความเสียหายเชิงกลมีค่าลดลง ความเสียหายของมะขามจึงเริ่มอิ่มตัวหรือเริ่มคงที่ที่ระดับความเสียหายไม่มาก คือ 7.52% สำหรับมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร และ 10.60 % ของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตรตามลำดับ ตารางที่ 17 แสดงราคาของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก จะเห็นได้ว่าราคาของบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาขึ้นมาใหม่จะมีค่าต่ำ โดยมีราคาใกล้เคียงกับราคาของถุงพลาสติก และเมื่อเทียบกับกล่องกระดาษราคาจะถูกลงกว่าครึ่งหนึ่ง

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบราคาต้นทุนบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวาน

ชนิดของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก	ราคาบรรจุภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัม)
ถุงตาข่าย	5.44
ถุงพลาสติก	7.48
ถาดโฟม	11.60
กล่องกระดาษ	16.00
บรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่	7.80

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจหรือจุดคุ้มทุนของความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายของฝักมะขามหวานร่วมกับต้นทุนของบรรจุภัณฑ์มะขาม โดยพิจารณาค่าความเสียหายของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทอง และศรีชมภู จากน้ำหนักฝักที่เสียหายในแต่ละบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ขนาดความจุ 1 กิโลกรัม เปลี่ยนไปเป็นน้ำหนักฝักมะขามที่สมบูรณ์ไม่เสียหาย ที่คงเหลืออยู่ในบรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ตีมูลค่าเป็นจำนวนเงินที่ควรได้รับจากมะขามฝักดีที่ไม่เสียหาย โดยราคาขายมะขามหวานพันธุ์สีทองมีค่าเท่ากับ 40 บาท/กิโลกรัม และมะขามพันธุ์ศรีชมภูเท่ากับ 35 บาท/กิโลกรัม (ตารางที่ 18 และ 19)

ตารางที่ 18 จุดคุ้มทุนของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ซึ่งบรรจุมะขามหวานพันธุ์สีทอง

ชนิดของบรรจุภัณฑ์	ความเสียหายของมะขามหวาน (กิโลกรัม)	ต้นทุนของบรรจุภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัม)	จุดคุ้มทุน (ชิ้นบรรจุภัณฑ์/เดือน)
ถุงตาข่าย	0.45	5.44	363
ถุงพลาสติก	0.40	7.48	364
ถาดโฟม	0.38	11.60	455
กล่องกระดาษ	0.32	16.00	536
บรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่	0.07	7.80	205

ตารางที่ 19 จุดคุ้มทุนของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ซึ่งบรรจุมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู

ชนิดของบรรจุภัณฑ์	ความเสียหายของมะขามหวาน (กิโลกรัม)	ต้นทุนของบรรจุภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัม)	จุดคุ้มทุน (ชิ้นบรรจุภัณฑ์/เดือน)
ถุงตาข่าย	0.57	5.44	625
ถุงพลาสติก	0.54	7.48	697
ถาดโฟม	0.48	11.60	910
กล่องกระดาษ	0.42	16.00	1396
บรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่	0.11	7.80	254

หรือวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ประโยชน์ เพื่อหาความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจหรือจุดคุ้มทุนของความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายของฝักมะขามหวานร่วมกับต้นทุนของบรรจุภัณฑ์มะขาม โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทอง และศรีชมภู ในแต่ละบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ขนาดความจุ 1 กิโลกรัม (สมการที่15 และ 16) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 20 และ 21

$$U = (W_t - W_d)/W_t \quad \text{.....(15)}$$

$$C_U = U/C_p \quad \text{.....(16)}$$

เมื่อ U= การใช้ประโยชน์

W_t= น้ำหนักรวมของมะขามหวานในบรรจุภัณฑ์

W_d= น้ำหนักของมะขามหวานที่เสียหายในบรรจุภัณฑ์

C_U= สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของบรรจุภัณฑ์

C_p= ต้นทุนของบรรจุภัณฑ์

ตารางที่ 20 ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายกับต้นทุนบรรจุภัณฑ์ขายปลีกของมะขามหวานพันธุ์สีทอง

รูปแบบบรรจุภัณฑ์ขายปลีก	ความเสียหายเชิงกล (%)	ต้นทุนของบรรจุภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัม)	สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์
ถุงตาข่าย	44.93	5.44	0.10
ถุงพลาสติก	40.36	7.48	0.08
ถาดโฟม	37.54	11.60	0.05
กล่องกระดาษ	32.43	16.00	0.04
บรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่	7.47	7.80	0.12

ตารางที่ 21 ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายกับต้นทุนบรรจุภัณฑ์ขายปลีกของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู

รูปแบบบรรจุภัณฑ์ขายปลีก	ความเสียหายเชิงกล (%)	ต้นทุนของบรรจุภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัม)	สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์
ถุงตาข่าย	56.70	5.44	0.08
ถุงพลาสติก	53.77	7.48	0.06
ถาดโฟม	48.21	11.60	0.04
กล่องกระดาษ	41.84	16.00	0.04
บรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่	10.60	7.80	0.11

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวาน สาเหตุหลักมาจากฝักแตก ประมาณ 71 %

2. ความเสียหายของมะขามหวานในบรรจุภัณฑ์ขายส่งปัจจุบัน มีค่าเท่ากับ 1.9% และ 7.8% สำหรับมะขามหวานพันธุ์สีทองและศรีชมภู ตามลำดับ

3. บรรจุภัณฑ์ขายส่งมะขามหวานที่พัฒนาใหม่ ที่ปริมาตรมะขามหวานคงที่ ที่ระดับ 80% โดยปริมาตรภายในของบรรจุภัณฑ์ อัตราส่วนผสม r = 35% โฟมเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร เป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับมะขามหวานทั้งพันธุ์สีทองและศรีชมภู เพราะเป็นค่าอัตราส่วนของผสมของโฟมเม็ด ที่ส่งผลให้ค่าความเสียหายเชิงกลของมะขามหวานมีค่าคงที่และราคาต้นทุนของบรรจุภัณฑ์ต่ำที่สุด

4. มะขามหวานพันธุ์สีทองมีขนาด ความหนาแน่น ความหวาน และความแข็งแรงมากกว่าพันธุ์ศรีชมภู

5. ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวมะขามหวานภายในบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ประกอบด้วย ฝักแตก ฝักร้าว ขั้วฝักแตก ฝักมีรู และฝักมีรา ค่าความเสียหายสูงสุดและต่ำสุดได้แก่ มะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทถุงตาข่าย และพันธุ์สีทองในกล่องกระดาษ ตามลำดับ

6. ในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวาน ค่าความเสียหายเชิงกลมากที่สุด พบในถุงตาข่ายที่บรรจุมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู และความเสียหายน้อยที่สุดคือ กล่องกระดาษซึ่งบรรจุมะขามพันธุ์สีทอง

7. บรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานที่เหมาะสมมีขนาดเท่ากับ15 เซนติเมตร×20 เซนติเมตร (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง×ความสูง) ซึ่งบรรจุมะขามในแนวตั้งปริมาณ 1 กิโลกรัมผสมกับโฟมเม็ดในอัตราส่วนผสมที่ 30 % เพราะให้สมรรถนะในการปกป้องฝักมะขามหวานจากภาระเชิงกลได้ดีที่สุด ก่อให้เกิดความเสียหายเชิงกลกับฝักมะขามหวานน้อยที่สุด รวมถึงเป็นอัตราส่วนผสมที่ปรากฏขอบเขตการคงที่ของความเสียหายดังกล่าว โดยพบความเสียหายที่เกิดขึ้นกับมะขามหวานพันธุ์สีทองมีค่าเพียง 1/4 และศรีชมภู 1/5 เมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานปัจจุบัน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาอายุการเก็บรักษามะขามหวานภายในบรรจุภัณฑ์ขายส่ง และขายปลีกมะขามหวานรูปแบบที่พัฒนาใหม่

2. รูปแบบบรรจุภัณฑ์ขายปลีกควรมีการพัฒนาไปเรื่อย ๆ การศึกษาสมรรถนะการทำงานของบรรจุภัณฑ์แบบกล่อง แต่ใช้กระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single Face Corrugated Paper) แทนการใช้กระดาษแผ่นเรียบ (Paperboard) เปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ขายปลีกซึ่งผู้ทำวิจัยได้ทำขึ้น จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง เนื่องจากมีข้อดีในการป้องกันความเสียหายเชิงกล รวมไปถึงสามารถวางซ้อนเป็นชั้นได้หลายชั้น ประหยัดพื้นที่

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมการค้าต่างประเทศ. 2547. **อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์สินค้าไทย.** แหล่งที่มา: http//www.thaitrad.com, 20 ธันวาคม 2547.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2543. **มะขามคุณภาพดี.** กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ.

กองบรรณาธิการกลุ่มเกษตรก้าวหน้า. 2530. **ไม้ผลไทยมะขามหวาน.** รุ่งเรืองสาส์นการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2538. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฉวี สีบุปผา. 2548. **วัสดุที่ใช้ในการบรรจุผักและผลไม้สด.** แหล่งที่มา: http//www.tisr.or.th/t/publication. 5 กรกฎาคม 2548.

ชุมสาย สีลวานิช, ฉกามาศ วงศ์ข้าหลวง และสมจิต นิยมไทย. 2538. **กรรมวิธีการเก็บรักษามะขามหวาน.** สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บัณฑิต จริโมภาส, ศุภกิตต์ สายสุนทร และเจษฎา วสุวัต. 2545. การศึกษาการใช้บรรจุภัณฑ์ขายปลีกผลไม้ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. **วารสารวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.** 9(1): 50-56.

_____, จักรวาล รบชนะชน และรัตนา สุรินทร์. 2545. การศึกษาการใช้บรรจุภัณฑ์ขายส่งผลไม้ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. **วารสารวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.** 9(2): 23-28

ประชิด ทิณบุตร. 2531. **การออกแบบบรรจุภัณฑ์.** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ยุทธพงศ์ ประชาสิทธิศักดิ์และวชิรา พริ้งศุลกะ. 2536. **มะขามหวานฉายรังสี.** กลุ่มงานถนอมอาหาร. กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ. สำนักพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ. กรุงเทพฯ.

วันชัย ริจิรวนิชและชอุ่ม พลอยมีค่า. 2538. **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.** โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2545. **คู่มือการใช้กระดาษเพื่อการหีบห่อ.** อรุณการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สุพจน์ ประทีปถิ่นทอง. 2548. **ชนิดของวัสดุกันกระแทก.** แหล่งที่มา: http//www.tisr.or.th/t/publication/, 5 กรกฎาคม 2548.

สุภา สุขเกษม, กัญจนา พุทธสมัยและประวัติ ตันบุญเอก. 2536**. โรคและอายุการเก็บรักษามะขามหวาน.** กลุ่มงานวิจัยโรคพืชผลิตผลเกษตร กองโรคพืชและจุลชีววิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. 2547. **สถิติการค้าเกษตรไทยกับต่างประเทศ 2546.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย. 2548. **ผลไม้ไทยในหีบห่อมาตรฐาน.** แหล่งที่มา: http//learning. Bkt.ac.th/science_ new/file 5/ 15-20 html, 5 กรกฎาคม 2548.

ASTM. 1979. **Drop Test for Shipping Containers. American Society for Testing and Materials.** Standard No. D-775. Philadelphia, PA.

_____. 1991. **Standard Method for Vibration Testing of Shipping Container ASTM D999.** American Society for Testing Materials, USA.

ASAE Standard. 1998**. Compression Test of Food Materials of Convex Shape.** ASAE S 368.3 MAR 95. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, USA.

ASAE Standards. 1994. **Moisture Measurement-Forages.** ASAE S 358.2 DEC 93. American Society of Agricultural Engineer. 2950 Niles Road, Michigan, USA.

Bajema, R.W. and G.M. Hyde. 1998. Instrumented Pendulum for Impact Characterization of Whole Fruit and Vegetable Specimens. **Transaction of the ASAE.** 41 (5): 1399-1405.

Barchi, G.I., Berardinelli., Guarnieri, A., Ragni, L. and C. Totaro Fila. 2002. Damage to Loquats by Vibration-Simulating Intra-State Transport. **Biosystem Engineering** 82(3): 305-312.

Beck, R. R. 2000. **Properties, Performance and Design Fundamentals of Expanded Polystyrene Packaging.** Alliance of Foam Packaging Recyclers, Crofton, Maryland.

Ceponis, M.J. and J.E. Butterfield. 1974. Retail and Consumer Losses of Western Pears in Metropolitan New York. **Hort. Sci.** 9(5): 447-448.

_____. 1981. Cell Losses in Western Cherries at Retail and Consumer Level in Metropolitan New York. **Hort. Sci** 16(3): 324-326.

_____. and R.A. Cappellini. 1985. Cell Losses in Western Cherries at Retail and Consumer Level in Metropolitan New York. **Hort. Sci** 16(3): 324-326

Chaiyapong, S., S. Hom-haul and B. Jarimopas. 2006. Locally-Made Vibration Machine for Fruit and Vegetable Package Testing. **Thai Society of Agricultural Engineering.** 12 (1): 48-53.

Chesson, J.H. and M. O' Brien. 1971. Analysis of Mechanical Vibration of Fruit During Transportation. **Transactions of the ASAE** 14(2): 222-224.

Chonhenchob, V. and S.P. Singh. 2004. Testing and Comparison of Various Packages for Mongo Distribution. **Journal of Testing and Evaluation.** 32: 69-72.

_____. 2005. Packaging Performance Comparison for Distribution and Export of Papaya Fruit. **Journal of Packagaging Technology Science.** 18: 125-131.

Fischer, D., W.L. Craig, B.H. Ashby, A. Watada and W. Douglas. 1989. In-Transit Vibration Damage to Grapes and Strawberries. **Transaction of the ASAE** (89): 6617.

Garcia, J.L., M. Ruiz-Altisent and P. Barreiro. 1995. Factors Influencing Mechanical Properties and Bruise Susceptibility of Apples and Pears. **Journal of Agricultural Engineering Research** 61: 11-1.

Garrett, R.E., J.J. Mehischau, L.R. Erickson, R.F. Drown, L.L. Morris and A.A. Kadar. 1976. **Lettuce Handling Systems. Research Progress Report.** California Iceberg Lettuce Research Program Advisory board. Salinas, CA.

Gentry, J.P., F.G. Michell and N.F. Sommer. 1965. Engineering and Quality Aspects of Deciduous Fruits Packed by Volume-Filling and Hand- PlacingMethodes. **Transaction of the ASAE** 8(4): 584-585, 589.

Godshall, W.D. 1971. Frequency Reponds Damping and Transmissibility Characteristics of Top-loaded Container. **USDA Forest Service Research Paper, FPL**. 160.

Grant, S.W., M.T. Turczyn, B.H. Ashby, N.D. Halle, G.D. Kleinschmidt, F.W. Wheaton and W.L. Dunton. 1986. Potato Bruising During Transport. **Transactions of the ASAE.** 29(4): 1176-1179.

Guillou, R., N.F. Sommer and F.G. Mitchell. 1962. Simulated Transit Testing for Produce Container. **TAPPI** 45 (1): 176A-179A.

Guillou, R. 1963. Settling Packed Fruit by Vibration. **Transactions of the ASAE.** 6(3): 190-191, 194.

Gunasena, H.P.M. and A. Hughes. 2000. **Tamarind.** International Centre for Underutilized Crops, Southampton, UK.

Henderson, S.M. and R.L. Perry. 1976. **Agricultural Engineering Process.** National Book Store INC, Manila.

Hinsch, R.T., D.C. Sluaghter, W.L. Craig and J.F. Thompson. 1993. Vibration of Fresh Fruits and Vegetables during Refrigerated Truck Transport. **Transaction of the ASAE** 36 (4): 1045-1048.

Jarimopas, B., S.P. Singh and W. Saengnil. 2005. Measurement and Analysis of Truck Transport Vibration Levels and Damage to Packaged Tangerines During Transit. **Journal of Packaging Technology and Science.** 18(4): 179-188.

_____, W. Srisuk and T. Kachasri. 2004. **Testing of the Locally-Made Drop Test Set-up.** Proceeding of the 5th National Seminar on "Innovation in Agricultural Engineering for Increasing Productivity", Organized by Thai Society of Agricultural Engineering and Department of Agricultural Engineering, King Mongkut Institute of Technology, Ladkrabung, Bangkok, 26-27 April 2004, p 252-257. (In Thai).

_____, Sirisawas, B. 2006. **Transit Damage and Packaging of Thai Sweet Tamarind.** Proceeding of the 3th National Technical Seminar on Post-harvest/Post Production Technology, 10-11 October 2005, Tipwiman Resort, Cha-am, Petchaburee, Thailand. p 254-257. (In Thai).

LeBlanc, D.I. and K.P.C. Hui. 2005. Land Transportation of Fresh Fruits and Vegetables: an Update. **Stewart Post-harvest Review.** 1: 4.

Luengthanapol, S., D. Mongkholkhajornsilp, S. Douglas, P.L. Douglas, L. Pengsopa and S. Pongaphai. 2004. Extraction of Antioxidants from Sweet Thai Tamarind Seed coat-Preliminary Experiments. **Food Engineering.** 63: 247-252.

Mohsenin, N.N. 1996. **Physical Properties of Plant and Animal Materials.** Gordon and Breach Publishers, Australia.

O' Brien, M., L.L. Claypool, S.J. Leonard, G.K. York and J.H. Mac Gillivay. 1963. Causes of fruit Bruising on Transport trucks. **Hilgardia** 35(6): 113-124.

_____, J.P. Gentry and R.C. Gibson. 1965. Vibration Characteristics of Fruits as Related to In–Transit Injury. **Transactions of the ASAE.** 12(1): 94-97.

_____, and R. Guillou. 1969. An In-Transit Vibration Simulator for Fruit-Handling Studies. **Transactions of the ASAE.** 12(1): 94-97.

Peleg, K. 1985. **Produce Handling Packaging and Distribution.** AVI Publishing Company, INC. Westport, USA.

_____, and S. Hinga. 1986. Simulation of Vibration Damage in Produce Transportation. **Transactions of the ASAE.** 29(2): 633-641.

Rachanukroa, D., S.P. Singh and B. Jarimopas. 2006. **Post-Harvest Damage and Performance Comparison of Sweet Tamarind Wholesale Packaging.** Proceeding of 15th IAPRI World Conference on Packaging, Poster session, October 2-5, Tokyo. Japan.

Ruiz-Altisent, M. 1991. Damage Mechanisms in the Handling of Fruit. In Progress on Agricultural Physics and Engineering, edited by John Matthews. CAB International. UK.

Sayasoonthorn, S., S. P. Singh and Jarimopas, B. 2006. **Effectiveness of Cushioning Materials on Protecting Impact Damage of Apples.** In Proceeding of the 15th IAPRI World Conference on Packaging, October 2-5, Tokyo, Japan.

Schulte-Pason, N.L., E.J. Timm, G.K. Brown, D.E. Marshall and C.L. Burton. 1990. Apple Damage Assessment During Interstate Transportation. **Transactions of the ASAE** 6(6): 753-758.

Singh, S. P. and J. Marcondes. 1992. Vibration Levels in Commercial Truck Shipments as A Function of Suspension and Payload. **Journal of Testing and Evaluation** 20(6): 466-469.

Singh, S. P. and M. Xu. 1993. Bruising in Apples as A function of Truck Vibration and Packaging. **Journal of Applied Engineering in Agriculture**. 9(5): 455-460.

Slaughter, D.C., R.T. Hinsch, J.F. Thompson, F.G. Mitchell and W. Craig. 1991. **Vibration Induced Injury During Transportation of Pear.** Report to California Tree Fruit Agreement, Sacramento, California, USA.

Slaughter, D.C., R.T. Hinsch, J.F. Thompson and W. Craig. 1992. **Assessment of Vibration induced Injury During transportation of Pear.** Report to California Tree Fruit Agreement, Sacramento, California, USA.

Slaughter, D.C. and R.T. Hinsch. 1998. Packaging Bartlett Pear in Polyethylene Film Bags to Reduce Vibration Injury in Transit. **Transactions of the ASAE** 41(1): 107-114.

Sommer, N.F. 1957. Surface Discoloration of Pears. California Agriculture 11(1): 3-4.

Srirungruang, T., B. Jarimopas and S. Chantong. 2007. **Post-Harvest Damage and Impact Bruising of Young Coconut Fruit.** In Proceedings of the International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology, 22-24 January 2007, Khon Kaen. Thailand.

Timm, E.J., G.K. Brown and P.R. Armstrong. 1996. Apple Damage in Bulk Bins During Semi-Trailer Transport. **Applied Engineering in Agriculture, ASAE** 12(3): 369-377.

Turczyn, M.T., S.W. Grant, B.H. Ashby and F.W. Wheaton. 1986. Potato Shatter Bruising During Laboratory Handling and Transport Simulation. **Transactions of the ASAE** 29(4): 1171-1175.

Vergano, P.J., R.F. Testin and W.C. Newall Jr. 1991. Peach Bruising Susceptibility to Impact, Vibration and Compression Abuse. **Transactions of the ASAE** 34(5): 2110-2116.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์และนำเสนอในระดับนานาชาติ

Post Harvest Damage and Performance Comparison of Sweet Tamarind Packaging

by

Bundit Jarimopas[1] , Dolhathai Rachanukroa[2], Sher Paul Singh[3],

Rungsinee Sothornvit[4]

[1]*Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakohnpathom, THAILAND*

[2] *The Postgraduate and Research Development Project of Postharvest Technology, Graduate School, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakohnpathom ,THAILAND*

[3] *School of Packaging, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA*

[4] *Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakohnpathom, THAILAND*

Abstract

The sweet tamarind is a pod, harvested ripe and usually consumed fresh. The pod consists of a shell and pulp, which encloses the seeds. The main problem with fresh sweet tamarind is the damage caused by packaging which deteriorates the fruit quality and reduces the consumable amount of fruit. This research attempts to quantitatively evaluate the damage of the sweet tamarind packaged in current wholesale and retail containers and to propose an appropriate new package. The proposed packaging is of a sleeve design, 15 cm in diameter by 20 cm in height, containing a mixture of 5 mm foam balls and sweet tamarind inserted vertically. This packaging imparts $\frac{1}{5}$ to $\frac{1}{6}$ of the damage of conventional packaging and costs half the price.

Keywords: Postharvest; sweet tamarind; packaging; vibration test; drop test

Introduction

Mechanical injury is one of the major causes of perishable product quality loss (Mohsenin, 1996). The damage is sustained during harvesting, post-harvest handling, transportation and cold storage (Ruiz-Altisent, 1991). For tropical fruit like mangosteen and rose apple, that are characterized by a high respiration rate, Pushpariksha, Singh, Jarimopas and Janhirun (2006) found that 86% of the wholesale mangosteen were afflicted by defects including cracking, hard rind, rough surface and internal abnormalities. In addition, rose apples at a wholesaler were shown to have suffered a considerable loss as result of abrasion (72.2%) and bruising (123.3%) (Toomsaengthong, Singh and Jarimopas, 2006).

The experience with sweet tamarind *(Tamarindus indica L.),* which is one of the most popular fruit types in Thailand, is similar. The tamarind "fruit" (which is actually a pod) is harvested ripe and usually consumed fresh. The pod consists of a shell and flesh, which encloses the seeds. The shell easily separates from the flesh when the fruit is mature. The sweet tamarind is high in phosphorus and potassium, and also in vitamins such as thiamin and niacine (Gunasena and Hughes, 2000). The two most popular cultivars are "Sitong" (curved pod) and "Srichompoo" (straight pod) (Fig 1). Jaisin and Jarimopas (2007) applied the image processing technique to analyze the curvature of the sweet tamarind of both varieties in terms of curvature index. The index characterizing Sitong and Srichompoo were valued 75.8 and 51.1% respectively. Sitong was physically larger and heavier than Srichompoo (Jarimopas, Sirisomboon, Sothornwit & Terdwongworakul 2007a) because Sitong took a longer time to mature than Srichompoo (Department of Agricultural Promotion, 2000). Harvested Sitong and Srichompoo have a low moisture content of 18.7% and 18.5% respectively (Jarimopas *et al*., 2007a).

Wholesale packaged sweet tamarind is subjected to mechanical loading damage during transportation mainly through vibration (Jarimopas and Sirisawas, 2006). The factors affecting vibration damage are (i) road profile (ii) truck suspension

system (iii) produce natural frequency (iv) packaging (Mohsenin, 1996). For developing countries like Thailand, it is difficult to improve roads and trucks in order to alleviate packaged fruit damage because of the limitations associated with national economics and low produce prices. Perishables are typically transported by trucks and pick-up vehicles equipped with steel leaf spring suspensions (Jarimopas, Singh and Saengnil, 2005). For certain produce, it would be easier to improve the packaging. The damage of sweet tamarind was from direct contact among the pods in a container. The solution might be obtained by using foam balls as a cushioning material in between tamarind contained in a package. Nowadays, foam balls are successfully used as cushioning material protecting packaged pottery for export. Available foam balls are made of expanded polystyrene (EPS) which is 90% comprised of air. The EPS structure characterizes the cushioning properties suitable for packaging applications (Beck, 2000). Physically, sweet tamarind and pottery are of similar fragility.

The sweet tamarind in retail packaging is mainly subjected to manhandling (Rachanukroa, Jarimopas and Singh, 2007). The result of this rough treatment is that most of the tamarind pods appear to be cracked when the retail packages are opened for inspection. Turczyn, Grant, Ashby and Wheaton (1986) reported similar results with potatoes which had been subjected to manhandling. They found that "shatter bruising", involving a break or crack in the potato skin, is predominantly caused by impacts sustained during loading and unloading. Careful design and use of protective packaging materials therefore are important factors in helping to reduce the physical damage that typically occurs during transport and handling (LeBlanc and Hui, 2005).

Several researchers studied damage of packaged fruit subjected to transit vibration (Hinsch, Slaughter, Craig, Thompson, 1993; Singh and Xu, 1993; Singh and Marcondes, 1992; Jarimopas *et al*., 2005). Hinsch *et al*. (1993) and Jarimopas *et al*. (2005) conducted the test of real transport using electronic instrumentation measurement. O'Brien, Gentry, and Gibson (1965), Chonhenchob and Singh (2005), Turczyn *et al*. (1986) used a simulated vibration test. The real transport test was expensive and rather difficult to manage, especially if instrumentation was broken

down or test repetition was required. The simulated test was more easily handled, cheaper and could be performed if the atmospheric environment was poor.

A variety of performance tests and packaging evaluations have already been carried out with regard to tropical fruit like mango, papaya, mangosteen, rose apple and rambutan (Chonhenchob and Singh, 2004; Chonhenchob and Singh, 2005; Chaiyapong and Jarimopas, 2007; Pushpariksha *et al*., 2006; Jarimopas, Toomsaengtong, Singh, Singh and Sothornwit, 2007b; Jarimopas, Pruengam, Pohnsakullerschai and Sricholpet, 2006a). However, until now, no methodology has been developed for packaging sweet tamarind. Accordingly, this research aimed to a) determine post-harvest damage sustained by sweet tamarind in wholesale and retail forms of packaging, b) comparatively test and evaluate the performance of current and new wholesale packaging and c) comparatively test and evaluate the performance of new retail packaging.

Materials and Methods

1. Post harvest damage determination

The determination of post harvest damage of sweet tamarind packaged in wholesale containers was based on Jarimopas, Pushpariksha, Singh and Singh (2007c). The related test used the sweet tamarind of two cultivars, "Sitong" and "Srichompoo", as experimental samples. Regarding grower experience, the sweet tamarind was manually harvested, stored at room temperature (≅ 15-22 ^{0}C) for three weeks and then manually packed by orchard growers into 14 kg regular slot containers (RSC) double walled corrugated paper boxes, the dimensions of which were 27.5 cm (width) x 41cm (length) x 36.5 cm (height). Five boxes were provided for the samples from each cultivar. The sweet tamarind boxes were transported in a single layer in the truck bed of a pick-up truck from an orchard in Saraburi province to the Agricultural Engineering Laboratory at the Kamphaengsaen campus of Kasetsart University. The 240km trip simulated the typical journey between orchard

and wholesale market. All the sweet tamarind boxes were then opened, inspected and analyzed for type and quantity of mechanical damage.

For the damage determination of the sweet tamarind packaged in retail containers, the sweet tamarind samples from both cultivars were purchased from Bangkok retail outlets. The tamarind was available in two types of packaging: 1 kg plastic nets and 1 kg paperboard boxes. Each package type was bought at random (10 replications each). Each retail package was opened, inspected, and analyzed for type and quantity of mechanical damage.

2. Testing of current wholesale packaging

The current wholesale tamarind packaging used RSC double wall, corrugated paper boxes. Each box contained uniformly mature and damage free sweet tamarind and weighed 14 kg. The testing procedure was based on Turczyn *et al*. (1986) and Jarimopas *et al*. (2007b). The prepared sweet tamarind package was subjected to a vibration simulator. The simulator featured a 1.5 m by 1.5 m vibrating table, which was eccentrically rotated by a 7.5 kw three-phase electric motor whose speed was varied by an electronic inverter. The vibration table provided constant frequency and acceleration for the tested load from 0.1 to 1.2 g at any selected loading level ranging from 2 to 200 kg (frequency variation ≅ 0.3%) (Chaiyapong, Hom-haul and Jarimopas, 2006). The vibrator was set to sinusoidally vibrate at a peak acceleration of 0.5 g for 10 minutes to simulate truck transport. The test was replicated five times. Mechanical damage to each box was checked and analyzed after the application of vibration. The percentage of the damage type i = weight of the damaged pod type i/total weight of sweet tamarind pods in the box multiplied by 100.

3. Testing of the new wholesale packaging

Foam balls were used to cushion the sweet tamarind in the wholesale container. The testing procedure was based on Rachanukroa, Singh and Jarimopas.

(2006), who experimentally demonstrated that mixing foam balls in with sweet tamarind could reduce vibration damage. The mature sweet tamarind was of uniform size, free from damage and 14 kg RSC corrugated boxes were used for the test. The experiment included variations of three control factors, namely a) foam ball of two sizes (5 and 8 mm diameter), b) the two cultivars, and c) the mixing ratio of foam balls and sweet tamarind. The mixing ratio implied the volume of foam ball in the mixture which was measured in percent with regard to container volume. The mixing ratios for the 5 mm foam balls ranged from 15-45% in 5% gradations with regard to the apparent internal volume of the corrugated paper box. The range for the 8 mm balls was similar, although the value of 45% was excluded because it resulted in too dense packing of content. The foam balls were first placed at the bottom of the boxes and sweet tamarind pods were then inserted on top of them. The interleaving of sweet tamarind pods with foam balls continued layer by layer and the testing procedure used with current wholesale packaging was repeated. Three replications were performed using different combinations of the factors. The performance of the new wholesale packaging in terms of sweet tamarind damage and the associated mixing ratio was analyzed.

4. Determination of dropping characteristics of a retail package

Wholesalers of sweet tamarind in Thailand are located in large open markets or supermarkets which have cold storage areas, while the preparation and sale of retail packaging mostly occurs in the markets. Thus, pods in retail packaging are mainly subjected to dropping rather than vibration by trucks during transit. The test was obtained by observation in five big department stores in Bangkok. Twenty observations were made at the peak retail time of 16:00 – 19:00 hours in each department store. Dropping characteristics included the height at which the retail package of sweet tamarind was held, the number of packages that were dropped at a given time, the height of the display shelf, the number of times the package was picked up, and the “picking-inspecting height” (i.e. the height between the shelf surface and the commodity while it was inspected). The data were then analyzed.

5. Drop testing of current sweet tamarind retail packaging

Sweet tamarind selected from the two cultivars, which were of uniform size and free from damage, were manually packed by a retailer in four commonly used types of 1kg retail packages. The packages included plastic nets, plastic bags, foam trays and paperboard boxes (Fig 3). The performance test was executed according to the standard test method ASTM D775-80. Each prepared retail package was placed symmetrically on the two steel drop-leaf plates of the drop test mechanism (Jarimopas, Srisuk and Kachasri, 2004) which was designed in such a way that the packages were carried and dropped horizontally. The plates could be slid vertically to a selected drop height recommended by the results of the previous determination of dropping characteristics of a retail package. The plates were mechanically controlled to allow the simultaneous and unhindered release of the packages. The apparatus was also designed in such a way that the packages were assured to make a flat-face impact on a flat rigid steel floor which weighed about 200 times the tested package weight. The number and height of each drop was obtained from the previous determination of dropping characteristics. Ten replications for each combination of cultivar and current retail package type were employed. The percent damage was calculated by the following equation:

Percent damage of the damage type i = (Weight of sweet tamarind pod having damage type i) / (total weight of sweet tamarind pods in the retail package).

6. Drop testing of the new sweet tamarind retail packaging

Jarimopas, Sayasoonthorn, Singh S. and Singh J. (2006b) have demonstrated that single face corrugated paper boxes provide better protection than foam nets when the corrugators are faced outwards from the wrapped fruit. With respect to this finding, the new sweet tamarind retail packaging is 1 kg sleeve (Fig 4) consisted of a cylindrical plastic bag which was inserted with a cylindrical piece of rectangular single-faced corrugated paper. This paper was rolled to form a cylindrical sleeve in such a way that the corrugated surface faced outwards and the flute ridge was parallel

to the length of the plastic bag. This configuration eased the insertion of the sleeve into the plastic bag. By contrast, inserting the sleeve with the flute ridge perpendicular to the length of the plastic bag was comparatively difficult and much more likely to cause several flute foldings, which in turn would negatively affect the packaging and the quantity of the sweet tamarind pod that could be inserted in the sleeve. The base of the bag was lined with a piece of circular single faced corrugated paper and the bag's mouth was tightly tied, which had the effect of dampening pod movement in the package. The drop test procedure that was used with the previous testing of the current retail packaging was repeated in this experiment. The experiment was set to evaluate the effect of variation of three control factors upon the sleeve packaging; a) bag diameter (9, 12, 15, 18, 21, and 24 cm), b) cultivar type (Sitong and Srichompoo), and c) fruit orientation in the package (horizontal, vertical). The tested bags were filled with a mixture of sweet tamarind pods and 5 mm foam balls at a 30% mixing ratio. Ten 1-kg sleeves were prepared for each combination of bag diameter, cultivar, and fruit orientation. The sleeve performance was further analyzed using analysis of variance and the Duncan Multiple Range Test.

Results and Discussion

1. Post harvest damage

Five different kinds of post harvest damage to tamarind are found in the wholesale and retail markets. They included broken shells, hairline cracks, stem end cracks, holes and mould. The hairline crack is a separation as small as a hair line on the pod skin and thus the internal part of the pod cannot be seen through the separation. "Broken shell" refers to a more serious type of injury, one in which a piece of the broken shell is missing and the flesh inside the pod is exposed. Stem end crack means the stem of shell has broken off or the intrusion of one pod casing into another. Holes which are due to insect damage tend to be circular while holes due to stem end damage causes an irregularly-shaped penetration.

Table 1 describes the statistical incidence of each type of damage of wholesale packaged sweet tamarind for each cultivar. The first three types of damage are due to mechanical loading and contribute more than 70% of the total post harvest damage. As can be seen, the post harvest damage to the Sitong (22.0%) variety was less than that sustained by pods of the Srichompoo (29.5%) type. For retail packaging, the type of cultivar and retail packaging significantly affected damage to packaged sweet tamarind at a significance level of 5% (Table 2). When pods were packaged in plastic nets, damage sustained was about 25% higher than when they were packaged in paperboard boxes. The first three types of damage were due to mechanical loading and contributed about 80% of the total post harvest damage. The damage due to mechanical loading in retail packaging was greater than that in wholesale packaging might be, owing to more handlings that sweet tamarind experienced. The pods of the Sitong variety exhibited less post harvest damage than Srichompoo pods. This is explained by the greater strength and resistance to mechanical loading of the Sitong shell as defined by the rupture force and slope of force-deformation response under compression (Jarimopas *et al*., 2007a)

2. Performance of current wholesale packaging

Sweet tamarind of both cultivars that were subjected to vibration while enclosed in conventional wholesale packaging sustained damage of 1.9% (Sitong) and 7.7% (Srichompoo). Pods of the Sitong variety suffered less damage than the Srichompoo pods because of their mechanical strength, which agreed with the previous post harvest damage determination. Pods that had been transported to the laboratory by the researchers suffered lower injury than pods which had been sourced from orchards. This suggests that manual packing by the growers had caused damage to at least some of the pods before they were transported.

3. Performance of new wholesale packaging

Table 3 shows that foam ball size, the cultivar and the mixing ratio significantly affected the total damage sustained by sweet tamarind in the new wholesale packaging at $p<0.05$. The optimum mixing ratio for pods that were cushioned by 5mm balls in the new form of packaging was 30%, with total damage found to be 0.84% and 3.41% for Sitong and Srichompoo pods respectively. When 8 mm foam balls were used, the optimum mixing ratio was 35% and corresponding total damage for Sitong and Srichompoo pods was 1.25% and 3.91% respectively. It can be suggested that adding more foam balls to the mixture does not have the desired effect of reducing total damage. At an optimum mixture level, the balls are packed densely enough to absorb the majority of the vibration energy transmitted by the packaging. Continuing to add more balls does not contribute more to absorption of impact energy because the ball mass at optimum mixture levels has reached its energy absorption saturation point. The energy absorption threshold point for the 5 mm foam balls takes place at a lower mixing ratio (= 30%), compared with the ratio required by 8 mm foam ball packaging (mixing ratio = 35%).

4. Dropping characteristics of retailing packaging

Table 4 reports the statistics of the dropping characteristics of retailing packages. The average shelf height was 78 cm. A customer picked up a package and inspected it at an average height of 27.6 cm and as often as 1.31 times. After buying it, the customer carried the package at an average height of 79 cm from the ground and had a 0.02% chance of dropping it. In similar experiments conducted with potatoes, Turczyn *et al*. (1986) found that the packaged vegetables had to be dropped from a distance of at least 80cm onto a hard surface to cause shatter bruising.

5. Performance of current sweet tamarind retail packaging

Table 5 records the damage that is suffered to sweet tamarind in current retail packaging during drop tests in the laboratory. As Table 4 shows, the dropping probability was much less than one. However, the minimum drop of a retail package which could be practically performed was one. The cultivar and the retail package type significantly affected sweet tamarind damage at a significance level of 5%. The damage included broken shells, hairline cracks, stem end cracks and holes. No mould was found because the samples were drawn from clean sweet tamarind pods. The range of the total damage was between 56.7 and 32.4%, which compared well with what is found in a) commercial practice (range from 55.4 to 33.2%) (Jarimopas and Sirisawas, 2006) and b) determination of the post harvest damage described in section 2 (range from 57.3 to 33.9%). The maximum total damage occurred in plastic nets while minimum total damage was sustained in paperboard boxes. The higher damage that occurred in the former type of packaging was due to the thin, fibrous characteristics of the netting, and the fact that the area of the net which is in contact with the sweet tamarind pods is very small. Therefore, cushioning which is provided to the pods is almost nil and the pods at the net surface are exposed to violent contact by surrounding solids. Moreover, the pods inside the net are also in contact with each other and thus are easily agitated whenever the pods at the net surface are struck. This phenomenon creates a momentary chain of contact impact and severe damage results. On the other hand, sweet tamarind in paperboard boxes are much better protected and so related mechanical injury occurs less frequently. As noted before, Sithong pods were much less liable than Srichompoo pods to be damaged whatever the type of packaging because of the greater mechanical strength of the first named pods.

6. Performance of new sweet tamarind retail packaging

Table 6 records the performance of the new retail packaging in terms of the mechanical damage resulting from the drop tests. The new retail packaging uses widely available 5mm balls at a 30% mixing ratio. The cultivar, package diameter and pod orientation significantly affected damage to packaged sweet tamarind at a

significance level of 5%. Furthermore, it was found that damage to the pods was less when they were packed vertically instead of horizontally and that the Sitong pods were less susceptible to damage than the Srichompoo pods. This was due to the greater strength of the Sitong shell (Jarimopas *et al*., 2007a).

Increasing the package diameter also was found to decrease damage. This is because the larger diameter produces a larger contact area, which imparts less impact energy per unit impact area of constant package weight. This observation accords with experimental results which show that less impact energy per unit area yields less mechanical injury in several types of fruit (Sayasoonthorn, Singh and Jarimopas, 2006, Jarimopas, 2006; Srirungrueng, Jarimopas and Jantong, 2007). The foam balls that were mixed with the sweet tamarind absorbed impact energy so well as to diminish the severity of the energy transmitted to the sweet tamarind, which resulted in less damage. Sweet tamarind damage levels reached a minimum level of 7.52% for Sitong pods at a package diameter of 12 cm and 10.60% for Srichompoo pods at a package diameter of 15 cm. This suggests that the new retail packaging could reduce damage to about $\frac{5}{6}$ (Sitong) and $\frac{4}{5}$ (Srichompoo) of the levels sustained when current packaging is used. Table 7 shows that the new packaging is very cost effective, being equivalent to the cost of plastic bags and about half that of paperboard boxes.

Table 1 Percentage of post-harvest damage of wholesale packaged sweet tamarind pod sustained by Sitong and Srichompoo varieties

Cultivar	Wholesale package type	Broken shells	Damage type* (%)				Total
			Hairline cracks	Stem end cracks	Holes	Mold	
Sitong	Corrugated box	6.21±2.91	3.75±1.32	6.33±2.41	3.81±2.23	1.94±1.00	22.03±2.55
Srichompoo	Corrugated box	4.49±1.83	9.18±4.66	6.37±3.30	8.28±1.98	1.22±0.93	29.54±3.91

Table 2 Percentage of post-harvest damage sustained by retail packaged sweet tamarind pods of the Sitong and Srichompoo varieties

Cultivar	Retail package type	Broken shells	Damage type* (%)				Total
			Hairline cracks	Stem end cracks	Holes	Mold	
Sitong	Plastic net	15.97±2.11b*	11.94±2.00a	9.94±2.08bc	5.25±1.25a	4.23±2.18a	45.98±1.62c
	Paperboard box	12.33±0.81a	10.11±0.34a	6.13±1.52a	3.49±0.80a	3.18±1.06a	33.94±0.23a
Srichompoo	Plastic net	18.96±1.24c	15.60±1.57b	11.55±0.79c	8.07±1.79b	3.35±0.46a	57.33±1.17d
	Paperboard box	16.31±1.25b	11.93±2.32a	7.77±1.32ab	4.66±0.75a	3.51±0.81a	43.51±0.45b

*Means in the same column with different letters are significantly different ($p<0.05$)

Table 3 Damage performance of the new form of wholesale packaging

Cultivar	Mixing Ratio(%)	5 mm foam ball							8 mm foam ball					
		15	20	25	30	35	40	45	15	20	25	30	35	40
Sitong		1.67d*	1.38c	1.15b	0.84a	0.82a	0.79a	0.78a	1.77d	1.65d	1.52c	1.37b	1.25a	1.23a
Srichompoo		7.02d	6.37c	4.51b	3.41a	3.37a	3.35a	3.29a	7.35e	6.97d	5.86c	4.77b	3.91a	3.85a

*Means in the same row of the same cultivar and foam ball size with different letters are significantly different at $p<0.05$

Table 4 Mean and standard deviation of dropping characteristics of retail packaged sweet tamarind in selected supermarkets.

Shelf height (cm)	Picking-inspecting height (cm)	Picking number	Holding height (cm)	Dropping probability
78±14.8	27.55±1.6	1.31±0.1	79±2.3	0.02

Table 5 Percentage of damage sustained by sweet tamarind pods in current forms of retail packaging subjected to drop testing.

Cultivar	Retail package type	Damage type* (%)				Total
		Broken shell	Hairline crack	Stem end crack	Hole	
Sitong	Plastic net	19.21±3.63b	21.28±4.65bc	3.13±4.16a	1.34±2.19ab	44.93±0.97e
	Plastic bag	19.56±3.14b	17.26±4.90ab	2.62±3.61a	0.91±1.93a	40.36±1.03c
	Foam tray	20.01±3.09b	14.19±4.75a	2.37±3.14a	0.96±2.03a	37.54±1.25b
	Paperboard box	12.83±4.93a	15.89±5.97a	2.77±3.71a	0.94±2.01a	32.43±1.02a
Srichompoo	Plastic net	25.03±4.50c	24.64±4.46cd	3.26±2.13a	3.77±1.48c	56.70±1.75h
	Plastic bag	17.58±3.64b	28.44±6.84d	4.08±2.94a	3.67±2.92c	53.77±1.72g
	Foam tray	16.41±5.56ab	28.66±3.90d	2.39±1.70a	0.72±1.24a	48.21±1.87f
	Paperboard box	13.28±5.69a	23.11±7.22c	2.40±1.59a	3.06±2.16bc	41.84±1.65d

*Means in the same column with different letters are significantly different ($p<0.05$)

Table 6 Duncan Multiple Range Test of sweet tamarind damage in the new form of retail packaging with reference to package diameter, cultivar and pod orientation.

Cultivar	Pod orientation	Packaging dimension (diameter × height)					
		9cm×45cm	12cm×40cm	15cm×20cm	18cm×15cm	21cm×12cm	24cm×9cm
Srichompoo	Vertical	17.34±0.46d**	14.54±0.44b	10.60±0.32a	10.52±0.49a	10.48±0.29a	10.41±0.36a
	Horizontal	29.36±0.75g	23.19±1.14f	18.55±0.80e	15.77±0.65c	15.53±0.31c	15.41±0.25c
Sitong	Vertical	11.43±0.47c	7.52±0.34a	7.47±0.49a	7.38±0.37a	7.34±0.46a	7.34±0.36a
	Horizontal	19.02±0.82e	12.45±0.55d	9.82±0.54b	9.73±0.46b	9.68±0.28b	9.50±0.62b

** Means of the same cultivars with different letters are significantly different ($p<0.05$)

Table 7 Cost comparison of sweet tamarind retail packaging

Packaging type	Cost of Packaging (USD/kg of sweet tamarind)
1. Plastic net	0.136
2. Plastic bag	0.187
3. Foam tray wrapped with shrink film	0.290
4. Paperboard box	0.400
5. New form of retail packaging	0.195

a) Sitong cultivar b) Srichompoo cultivar

Fig 1 The sweet tamarind pod

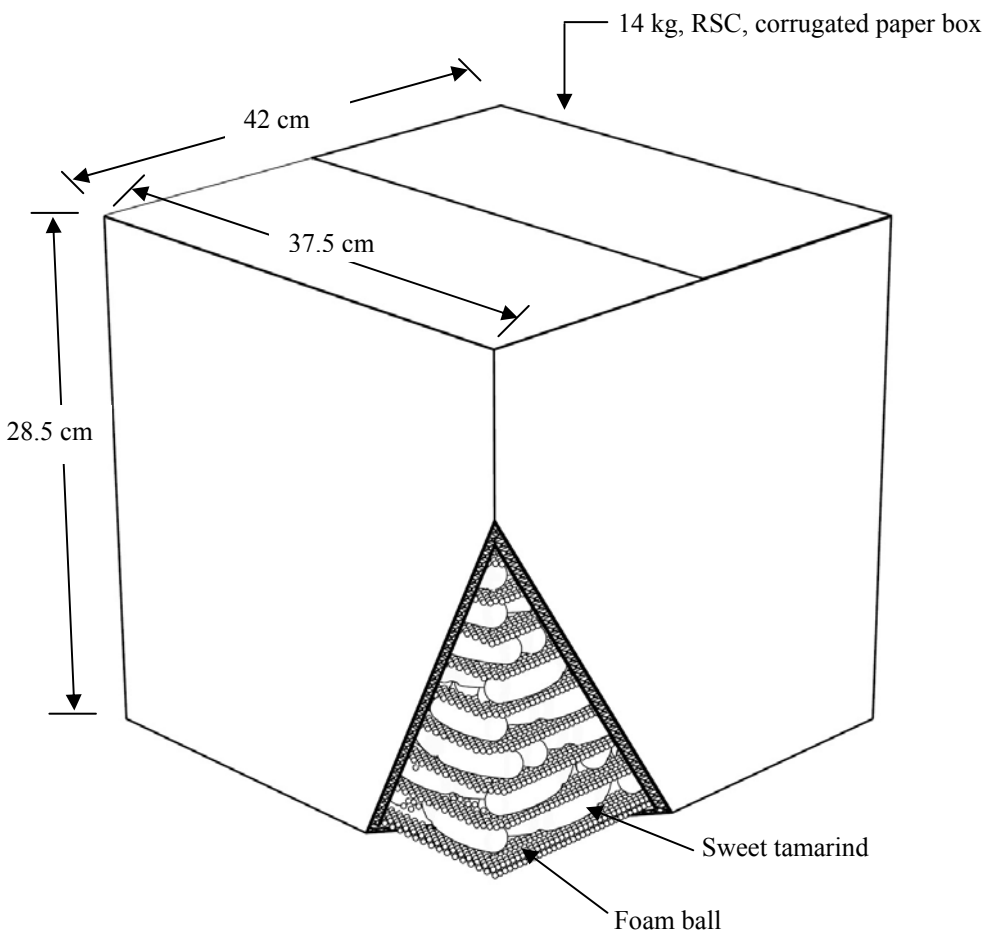
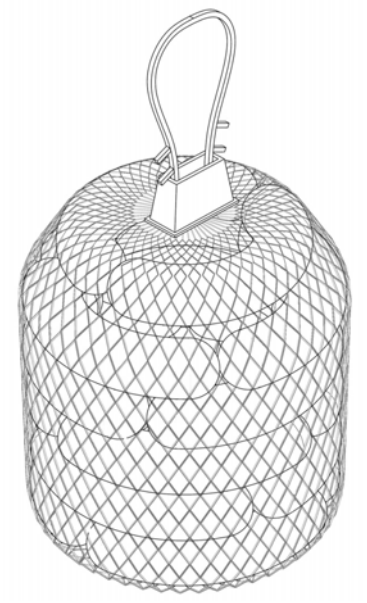
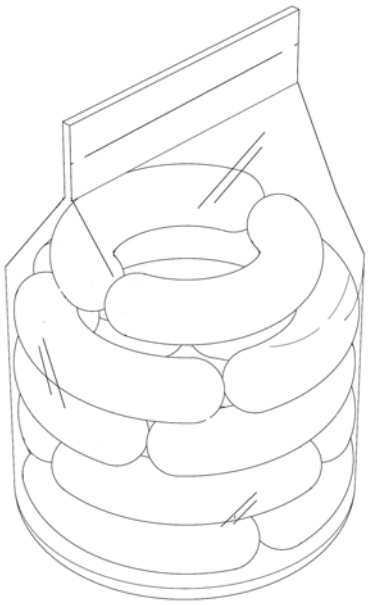


Fig 2 New form of wholesale packaging; varying mixture ratios of foam balls and sweet tamarind pods.

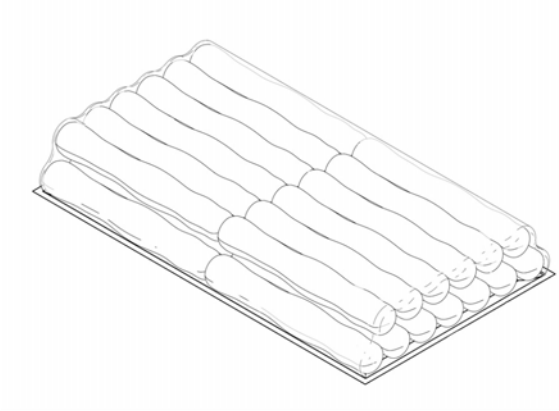
(Packaging was obtained by first placing foam balls at the bottom of the corrugated box and then sweet tamarind was inserted on the top of them. The sweet tamarind pods were randomly packed. The interleaving of sweet tamarind pods with foam balls continued layer by layer. The thickness of foam ball layer depended on the mixing ratio. The mixing ratios for the 5 mm foam balls ranged from 15-45% in 5% gradations with regard to the apparent internal volume of the corrugated paper box. The range for the 8 mm balls was similar, although the value of 45% was excluded because it resulted in too dense packing of content).



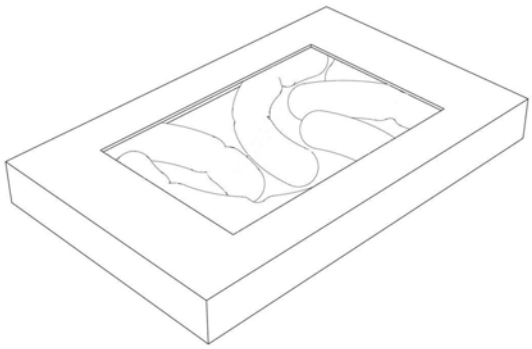
a) 1 kg plastic nets with random packaging packaging



b) 1 kg plastic bag with random



c) 1 kg extended polystyrene foam tray randomly containing sweet tamarind and wrapped with stretch film

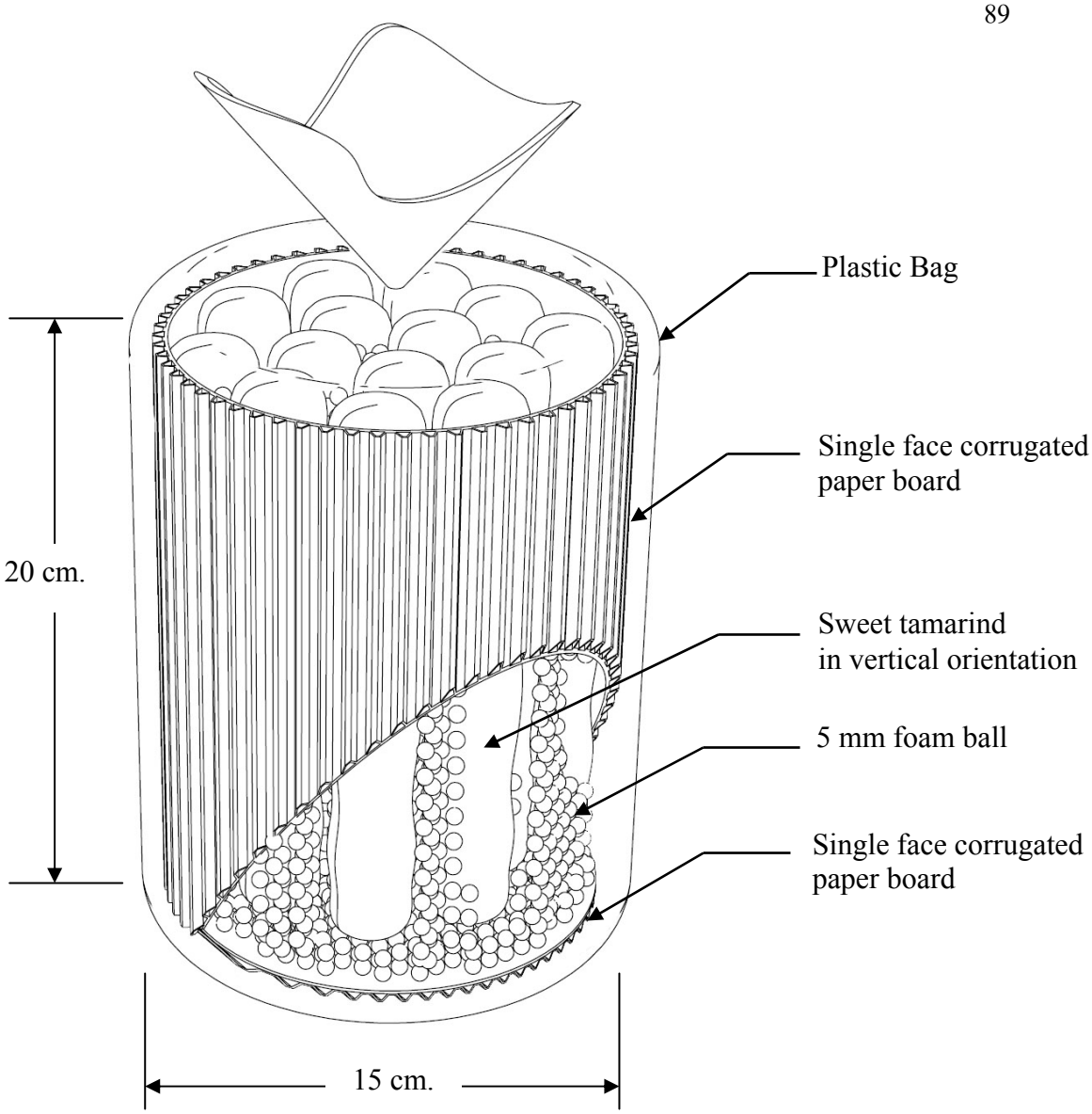


d) 1 kg paperboard box with a small plastic window on the top and random packaging

Fig 3 Current sweet tamarind retail packaging

a) Real picture displays information and decoration can be put on the package surface to promote sale

Fig 4 New form of retail packaging of sweet tamarind



(The new sweet tamarind retail packaging is 1 kg sleeve consisted of a cylindrical plastic bag which was inserted with a cylindrical piece of rectangular single-faced corrugated paper. This paper was rolled to form a cylindrical sleeve in such a way that the corrugated surface faced outwards and the flute ridge was parallel to the length of the plastic bag. The base of the bag was lined with a piece of circular single faced corrugated paper and the bag's mouth was tightly tied, bags were filled with a mixture of sweet tamarind pods and 5 mm foam balls at a 30% mixing ratio. Foam balls are first placed at the bettom and in the space among sweet tamarind pods. The pods are packed vertically.)

b) Schematic diagram of construction

Fig 4 New form of retail packaging of sweet tamarind (cont.)

Conclusion

Post harvest injuries to packaged sweet tamarind at wholesale markets comprise broken shells, hairline cracks, stem end cracks, holes and mould. The damage to sweet tamarind packed in corrugated paper boxes is 29.5% with Srichompoo and 22.0% with Sitong. With regard to retail packaging, the maximum total damage rate was 57.3% and the minimum total damage was 33.9%. The cultivar, mixing ratio and foam ball size significantly affected packaged sweet tamarind damage at $p<0.05$. The optimum wholesale packaging was a mixture of 5 mm foam balls and sweet tamarind in a corrugated paper box with the mixing ratio of 30%. The current retail packaging of sweet tamarind presents a maximum and a minimum total damage of 56.7% and 32.4%. The new retail packaging is sleeve, 15 cm in diameter by 20 cm in height, featuring a 30% foam ball mixture, 1 kg capacity and the sweet tamarind pods vertically inserted. The damage sustained to the Sitong and Srichompoo varieties of sweet tamarind occurs at $\frac{1}{6}$ and $\frac{1}{5}$ of that of the current packaging.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the Postgraduate Education and Research Development Project in Postharvest Technology at Chiang Mai University, Thailand, for financial support.

Reference

ASTM. (1979). Drop test for shipping containers. American Society for Testing and Materials. Standard No. D-775. Philadelphia, PA.

Beck, R. R. 2000. Properties, performance and design fundamentals of expanded polystyrene packaging. Alliance of foam packaging recyclers, Crofton, Maryland.

Chaiyapong, S. and Jarimopas, B. (2007). Development of Thai mango wholesale packaging. In *Proceedings of the International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology*, 22-24 January 2007, Khon Kaen.

Chaiyapong, S., Hom-haul, S. and Jarimopas, B. (2006). Locally-made vibration machine for fruit and vegetable package testing. *Thai Society of Agricultural Engineering.* 12(1), 48-53.

Chonhenchob, V. and Singh, S.P. (2004). Testing and comparison of various packages for mongo distribution. *Journal of Testing and Evaluation,* 32, 69-72.

Chonhenchob, V. and Singh, S.P. (2005). Packaging performance comparison for distribution and export of papaya fruit. *Packaging Technology and Science,* 18, 125-131.

Gunasena, H.P. and Hughes, M. (2000). *Tamarind.* International Centre for Underutilized rops,UK.

Hinsch, R. T., Slaughter, D. C., Craig, W. L., Thompson, J. F. 1993. Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport. *Transactions of the ASAE.* 36(4): 1039-1042.

Jarimopas, B., Pruengam, P., Pohnsakullerschai, R., and Sricholpet, V. (2006a). A comparative study of fresh rambutan wholesale packaging under simulated vibration. In *Proceeding of the National Conference of Agricultural Engineering No.7, themed on "Research for the Enhancement of the Potential of Thai Agricultural Product in World Market",* 23-24, January, 2006. Mahasarakham, Thailand. (in Thai)

Jarimopas, B., Pushpariksha, P., Singh, S. P. and Singh, J. (2007c). Mechanical and light properties of mangoteen fruit as related to postharvest quality. ASTM J. of Test. & Eval. (in press).

Jaisin, N. and Jarimopas, B. 2007. Sorting sweet tamarind pod by image processing technique. In *Proceedings of the International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology,* 22-24 January 2007, Khon Kaen, Thailand.

Jarimopas, B., Toomsaengtong, Singh, S. P., Singh, J. and Sothornwit, R. (2007b). Development of wholesale packaging to prevent postharvest damage to rose apples. J. of Applied Packaging Research. (in press)

Jarimopas, B., Singh, S.P. and Saengnil, W. (2005). Measurement and analysis of truck transport vibration levels and damage to packaged tangerines during transit. *Packaging Technology and Science*, 18(4), 179-188.

Jarimopas, B., Srisuk, W. and Kachasri, T. (2004). Testing of the locally-made drop test set-up. In *Proceeding of the 5th National Seminar on "Innovation in Agricultural Engineering for Increasing Productivity",* organized by Thai Society of Agricultural Engineering and Department of Agricultural Engineering, King Mongkut Institute of Technology, Ladkrabung, Bangkok, 26-27 April 2004, p 252-257.

Jarimopas, B. (2006). *Post-harvest Sorting Machinery, Packaging and Packing House of Fruit*. Thai Society of Agricultural Engineering, Khon Kaen, Thailand. 216 p (in Thai).

Jarimopas, B., and Sayasoonthorn, S. and Singh, S. P., & Singh, J. (2006b). Test method to evaluate bruising during impacts to apples and compare cushioning materials. *Journal of Testing and Evaluation.* (in press).

Jarimopas, B., and Sirisawas, B. (2006). Transit damage and packaging of Thai sweet tamarind. In *Proceeding of the 3th National Technical Seminar on Post-harvest/Post Production Technology,* 10-11 October 2005, Tipwiman Resort, Cha-am, Petchaburee, Thailand. P 254-257.

Jarimopas, B., Sirisomboon, P., Sothornvit, R. and Terdwongworakul, A. (2007a). The Development of Engineering Technology to Improve the Production of Tropical Fresh Produce in Developing Countries. In *Focus on Food Engineering Research and Development*, edited by Vivian N. Pletney. Nova Science Publishers Inc., New York. (in press).

LeBlanc, D.I. and Hui, K.P.C. (2005). Land transportation of fresh fruits and vegetables : an update. *Stewart Post-harvest Review*, 2005, 1:4.

Mohsenin, N.N. (1996). *Physical Properties of Plant and Animal Materials.* Gordon and Breach Publishers. Australia. 891 p.

O'Brien, M., Gentry, J.P and Gibson, R.C. 1965. Vibrating characteristics of fruits as related to in-transit injury. *Transactions of the ASAE.* 8 (2) : 241-243.

Pushpariksha, P., Singh, S. P., Jarimopas, B. and Janhirun, A. (2006). Post-harvest losses and performance comparison of wholesale packaging of mangosteen fruit under simulated vibration. In *Proceedings of the 15th IAPRI World Conference on Packaging,* 3-5 October, Tokyo. P 285-289.

Rachanukroa, D., Singh, S.P. and Jarimopas, B. (2007). Development of sweet tamarind pod retail packaging. In *Proceedings of the International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology,* 22-24 January 2007, Khon Kaen, Thailand.

Rachanukroa, D., Singh, S. P. and Jarimopas, B. (2006). Post-harvest damage and performance comparison of sweet tamarind wholesale packaging. In *Proceeding of 15th IAPRI World Conference on Packaging,* Poster session, Oct 4-5, 2006, Tokyo. P 209-213.

Ruiz Altisent, M. (1991). Damage Mechanisms in the Handling of Fruit. In *Progress on Agricultural Physics and Engineering,* edited by John Matthews. CAB International. UK. P 231-257.

Singh, S. P. and Marcondes, J. (1992). Vibration levels in commercial truck shipments as a function of suspension and payload. *Journal of Testing and Evaluation,* 20(6), 466-469.

Singh, S. P. and Xu, M. (1993). Bruising in apples as a function of truck vibration and packaging. *Applied Engineering in Agriculture,* 9(5), 455-460.

Sayasoonthorn, S., Singh, S. P. and Jarimopas, B. (2006). Effectiveness of cushioning materials on protecting impact damage of apples. In *Proceeding of the 15th IAPRI World Conference on Packaging,* 2-5 October, Tokyo, Japan.

Srirungruang, T., Jarimopas , B. and Chantong, S. (2007). Post-harvest damage and impact bruising of young coconut fruit. In *Proceedings of the International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology*, 22-24 January 2007, Khon Kaen.

Turczyn, S., Grant, W., Ashby, B.H. and Wheaton, F. W. (1986). Potato shatter bruising during laboratory handling and transport simulation. *Transactions of the ASAE,* 29(4);1171-1175.

Toonsaengthong, S., Singh. S. P. and Jarimopas, B. (2006). Post-harvest loss and development of wholesale packaging of fresh rose apples. In *Proceedings of the 15th IAPRI World Conference on Packaging,* 3-5 October, Tokyo. P 280-284.

The 15th IAPRI World Conference on Packaging

Postharvest Damage and Performance Comparison of Sweet Tamarind Wholesale Packaging

Bundit Jarimopas, Sher Paul Singh , Dolhathai Rachanukroa

ABSTRACT

The purpose of this research was to investigate post-harvest damage and performance of the current sweet tamarind wholesale package and present the developed packaging of minimum damage under simulated vibration. Methodology comprised (a) collection and analysis of current wholesale packages at random at retailer, (b) performance testing and evaluation of the current wholesale package compared with the developed wholesale package which consisted of the mixture between 5 mm. Diameter foam ball and sweet tamarind at the varying mixing ratio of the ball at 20%, 40%,60% and 80% by container volume. The test was based on ASTM D999 method A2 standard and ISTA Project 1A with vibration simulator and two cultivars of tamarind (Si-thong and Sri-chompoo). The vibration was set at the frequency of 4 hz. and duration of 1 hour. The experiment was designed to be completely randomized design and analyzed by the use of Duncan's multiple range test with two controlling factors (i.e. cultivar and mixing ratio). Results showed that post-harvest damage of sweet tamarind pod in the current wholesale packaging, which is corrugated paper box, was about 22.03% and 29.54% for Si-thong and Sri-chompoo respectively. The damage included crack, hair line crack, stem end crack, hole and mold. The current package damage after simulated vibration with Si-thong and Sri-chompoo was 1.9%, 7.8% respectively. The cultivar and the mixing ratio significantly affected pod damage at the significant level of 5%.The damage (D) proportionally decreased with the mixing ratio I. The equation of relationship between pod damage and the mixing ratio for Si-thong is $D = -0.014r+1.823$ ($R^2 > 0.99$) and for Sri-chompoo is $D = -0.089r+8.043$ ($R^2 > 0.97$). The proper mixing ratio of the ball was 20% corresponding to the lowest packaging cost of 1.05 (Si-thong) and 1.0 (Sri-chompoo) USD per kilogram of tamarind respectively.

INTRODUCTION

Sweet tamarind (Tamarindus indica L.) is one of the most favorite fruit in Thailand. The fruit, which is actually pod, is harvested ripe and normally consumed fresh. The sweet tamarind has low water content, high in phosphorus, potassium and rich of vitamins, thiamin and niacin (Gunasena and Hughes, 2000). Two popular cultivars are Si-thong and Sri-chompoo.

Mechanical injury is one of major causes of considerable quality loss of perishable product.The damage was estimated in the chain between the growers and the consumer to be around 30-40% (Peleg and Hinga, 1986). The damage occurred during harvesting, postharvest handling, transportation and cold storage (Ruiz-Altisent, 1991). In particular, with transportation Singh and Xu (1993) reported that as many as 80% of apples can be damaged during simulated transport by truck. Singh and Marcondes (1992) showed that by improving the truck from using steel leaf spring suspension to air-ride suspension could achieve great improvement in ride quality and damage reduction. However, LeBlanc and Hui (2005) wrote that the smooth suspension system has shown that vibration damage still present. Several researches on performance test and evaluation of packaging with tropical fruits like papaya, mango, mangosteen, rambutan (Chonhenchob and Singh, 2004; Chonhenchob and Singh, 2005) were carried out, but with sweet tamarind has so far been unavailable. This research is then to a) comparatively test and evaluate performance of the current and the developed wholesale packaging of sweet tamarind and b) determine postharvest damage of sweet tamarind after transport.

MATERIALS AND METHOD

I. Post-harvest damage determination

Sweet tamarind of two cultivars, i.e. Si-thong and Sri-chompoo, was manually harvested, stored naturally in the shed for three weeks and then packed at random into 14 kg. Regular slot container (RSC) double wall corrugated paper box, wide by 27.5 cm. Long by 41 cm. 36.5 cm. High. Five boxes were for each cultivar. The sweet tamarind boxes were further transported in a single layer by a typical pick-up car directly from the orchard in Saraburee province to Agricultural Engineering Laboratory, Kamphaengsaen Engineering Faculty (240 km. Apart) , representing a

retailer of the nearly open market. All boxes were opened, checked and analyzed for type and quantity of the related mechanical damage.

II. Current Wholesale Packaging and Developed Wholesale Packaging testing.

The current wholesale packaging features 14 kg. RSC double wall corrugated paper box and sweet tamarind pods packed inside randomly. Each box, containing good pods without damage and with conventional packing, was tested by a vibration simulator at the frequency of 4 hz. for 1 hour according to the ASTM standard D999 method A2 ASTM (1991) and Chonhenchob and Singh. (2005). Five replications was made for each cultivar. Mechanical damages of each box were checked and analyzed after the vibration. Percentage of damage type i = (weight of the damage pod type i/total weight of sweet tamarind pods in a box) $\times 100$.

Design of the developed wholesale packaging DWP was derived out of the concept that sweet tamarind pod will be safely protected if it stays in the human arm. The arm will provide soft and uniform contact to the pod in all directions. The concept could be brought into practice by mixing the pod with a lot of small foam balls (5 mm. In diameter and made of polyethylene) such that a pod lying inside a bulk of foam ball like the arm. The DWP (Fig. 1) still use the current RSC corrugated box with the new aforementioned concept of interior packaging management. Testing of the DWP was designed in completely randomized design with two control factors, ie. Cultivar (Si-thong and Sri-chompoo) and mixing ratio of foam ball and sweet tamarind (0% which is current package, 20%, 40%, 60%, 80%) by inside volume of the container. Three replications were made for each combination of the control factors. The foam ball was first put at the bottom of the box and then sweet tamarind pod followed. Placing sweet tamarind pod and pouring foam ball continued interchangeably layer by layer. The DWP was tested with the same vibration simulator and standard as the current packaging was. After the test packaging performance in term of mechanical damage, packing density and packaging cost was analyzed. Packing density= volume of sweet tamarind pod/volume of the container. Packaging cost=(cost of RSC box+cost of foam ball in a container)/total weight of sweet tamarind in the container.

a.) 0% b.) 20%

c.) 40% d.) 60%

e.) 80%

Figure 1. Developed wholesale packaging of varying mixing ratio between foam ball and sweet tamarind pod.

RESULTS AND DISCUSSION

I. Post-harvest damage

Fig. 2 shows five different kinds of postharvest damage, ie, crack, hair line crack, stem end crack, hole and mold. The hair line crack is a separation as small as hair line on the pod skin. The internal part of the pod cannot be seen through the separation. The crack is pod skin separation that is greater than hair line size. The pod inside is often seeable through the separation. The stem end crack is similar to the crack but it happens at the stem end. The hole could be either due to insect or stem end penetration of one pod into the other. The first three damages were due to mechanical loading and contributed more than 70% of the total postharvest damage (Table 1).

Postharvest damage of Si-thong (22.03%) was lesser than Sri-chompoo (29.54%). This might be explained that the strength of Si-thong shell, defined by the

slope of force-deformation response under compression, was found to be higher than that of Sri-chompoo (Jarimopas et al., 2005), resulting higher resistance to mechanical loading during vibration.

Table 1 Post-harvest damage of sweet tamarind (in percent).

Types of damages	Post-harvest damage	
	Si-thong	Sri-chompoo
Crack	6.21±2.91	4.49±1.83
Hair line crack	3.75±1.32	9.18±4.66
Stem end Crack	6.33±2.41	6.37±3.30
Hole	3.81±2.23	8.28±1.98
Mold	1.94±1.00	1.22±0.93
Total	22.03±2.55	29.54±3.91

a.) Crack

b.) Hair line crack

c.) Stem end crack

d.) Hole due to insect

e.) Hole due to penetration.

f.) Mold.

Figure 2. Post-harvest damage of sweet tamarind pod

II. Performance of The current and the developed wholesale packaging.

Simulated vibration of the well-inspected sweet tamarind in the current wholesale packaging resulted the mechanical damage of Si-thong and Sri-chompoo to be 1.9% and 7.8% respectively. Si-thong got less damage than Sri-chompoo did, because of its mechanical strength, which agrees with the pervious postharvest damage determination. The difference in damage magnitude may be due to the mixture of hair line crack pods, which was hardly seen except careful inspection, in the boxes from the orchard so that the hair line crack became crack under vibration. Table 2. shows percentage of mechanical damage (excluding mold) of the developed wholesale packaging of varying mixing ratio under vibration. 0%, referring to the current packaging, gave the highest damage in both cultivars. The more the proportion of foam ball was, the less the mechanical damage became. This implies the higher proportion of foam ball absorbed more vibration energy and less kinetic energy was given to the pod. Increasing of the mixing ratio I exhibited linear decrease in sweet tamarind damage (D), resulting the corresponding linear regression as follows: D = -

0.014r+1.823 (R^2>0.99) and D = -0.089r+8.043 (R^2>0.97) for Si-thong and Sri-chompoo.

Table 2. Percentage of mechanical damage of the developed wholesale packaging

Mixing ratio (%) of foam ball with respect to package volume	Mechanical damage (%)	
	Si-thong	Sri-chompoo
0	1.90±0.73	7.74±1.83
20	1.58±0.01	6.98±0.49
40	1.24±0.14	4.51±0.014
60	1.00±0.08	2.39±0.33
80	0.69±0.13	1.01±0.10

Both cultivars and mixing ratio significantly affected the mechanical damage of sweet tamarind at the significance level of 5% (Table3) Application of the DWP requires the knowledge of packaging cost C and packing density (PD). Table 5 shows the cost of packaging and packing density for different mixing ratio. At 20% mixing ratio C becomes lowest and PD is maximum in both cultivars while the damage is less than that of the current wholesale package (0%).

Table 3. Analysis of variance of damage for frequency 4 Hz. as affected by cultivar and ratio of foam ball and sweet tamarind.

Source	DF	ANOVA SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Cultivar	1	72.78976333	72.7897633	169.12	0.0001
Ratio of foam ball/tamarind	4	60.64500000	15.16125000	35.23	0.0001
Cultivar*(Ratio of foam ball/tamarind)	4	30.01885333	7.50471333	17.44	0.0001

Table 4. Cost of various wholesale packages.

Mixing ratio (%)	Packing density ($cm^3_{tamarind}$ / $cm^3_{package}$)		Cost of package (baht/gram of tamarind)	
	Si-thong	Sri-chompoo	Si-thong	Sri-chompoo
0	0.51	0.55	0.042	0.039
20	0.42	0.49	0.043	0.040
40	0.32	0.36	0.046	0.042
60	0.21	0.24	0.052	0.046
80	0.11	0.12	0.069	0.062

CONCLUSIONS

Postharvest damage of sweet tamarinds in wholesale packaging are highly percentage about 22.03% for Si-thong and 29.54% for Sri-chompoo. DWP which is double face corrugated paper box with foam ball is cushioning material reduce mechnical damage and extended its shelf life.

ACKNOWLEDGMENTS

The authers grateful acknowledge the Postgraduate Education and Research Development Project in Post-harvest Technology, Chiengmai University, Thailand for financial support, Professor Paul Chen for his advice, guidance and comment.

REFERENCES

1. ASTM. 1991. Standard method for vibration testing of shipping container ASTM D999. American Society for Testing Materials,USA.

2. Chonhenchob, V. and S.P. Singh. 2004. Testing and comparison of various packages for mongo distribution. Testing and Evaluation. 32:69-72.

3. Chonhenchob, V. and S.P. Singh. 2005. Packing performance comparison for distribution and export of papaya fruit. Packag. Technol Sci. 18: 125-131.

4. Peleg, K. and S. Hinga. 1986. Simulation of vibration damage in produce transportation. Transaction of ASAE. 29(2):633-641

5. Gunasena, H.P.M. and Hughes. 2000. Tamarind. International Centre for Underutilized Crops,UK.

6. Jarimopas, B., S. Chandapradit and K. Wongsim. 2005. Physical characteristics and some mechanical properties as essential to sorting sweet tamarind pod of Si-thong and Sri-chompoo Cultivars. Research paper presented in the National Conference No.6 called, "Agricultural Engineering leads Thailand to World Kitchen" organized by Thai Society of Agricultural.

7. LeBlance, D.I. and K.P.C. Hui. 2005. Land transportation of fresh fruits and vegetable. Swewart Postharvest.

8. Ruiz Altisent, M. 1991. Damage mechanisms in the handling of fruit in progress on agricultural physics and engineering edited by John Matthews. CAB International, UK.

9. Singh, S. P. and Marcondes, J. 1992. Vibration levels in commercial truck shipments as a function of suspension and payload. J. Test. Eval. 20(6) : 466-469.

10. Singh, S.P. and M. Xu. 1993. Bruising applea as a function of truck vibration and packaging. Applied Engineering in agriculture. 9(5): 455-460.

CONTACT

Dolhathai Rachanukroa, Graduate Student, Kasetsart University
Sher Paul Singh, Professor, Michigan State University
Bundit Jarimopas, Associate Professor, Kasetsart University
Kasetsart University, Post Graduate Education and Research Development Project in Post-harvest Technology, Kamphaengsean, Nakohnpathom, 73140, Thailand
Tel: +6634-281-099, Fax: 6634-281-099, e-mail: g4585029@ku.ac.th
Michigan State University, School of Packaging, East Lansing, MI 48824-1223.
Tel: +517-355-7614, Fax: 517-353-8999, e-mail: singh@msu.edu
Kasetsart University, Department of Agricultural Engineering, Kamphaengsean, Nakohnpathom, 73140, Thailand
Tel: +6634-281-099, Fax: 6634-281-099, e-mail: fengbdj@ku.ac.th

Development of Sweet Tamarind Pod Retail Packaging

By

Dolhathai Rachanukroa[1] Bundit Jarimopas[2] Sher Paul Singh[3]

Abstract

Sweet tamarind is a popular fruit of Thailand. Sweet tamarind flesh is tastily sweet and sour and rich of nutrition. The sweet tamarind is nowadays presented to consumers in several retail packagings. The knowledge of performance of sweet tamarind retail packagings has been sofar unavailable. The purpose of the present research was then to comparatively test and evaluate the current and the developed retail packagings of sweet tamarind. Methodology comprised (a) determination of human dropping characteristics in selected supermarkets, (b) performance test of the current sweet tamarind retail packagings, (c) performance test of the developed sweet tamarind retail packaging, and (d) analysis of damage. Two varieties of Si-thong and Sri-chompoo sweet tamarind were used. Results showed that the maximum and the minimum damages were with the plastic net and the paperboard box of both varieties. The developed retail packaging made of single face corrugated paper and foam ball could reduce the damage of the sweet tamarind pod of Si-thong and Sri-chompoo to about one-fifth and one-third of the related maximum damage respectively. Packaging cost of the developed retail packaging is highly potential.

Keywords : Sweet tamarind, retail, packaging

[1] The Postgraduate and Research Development Project of Postharvest Technology, Graduate School, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakohnpathom ,THAILAND

[2] Department of Agricultural Engineering, Kamphaengsaen Engineering Faculty, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakohnpathom, THAILAND

[3] School of Packaging, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA

Introduction

Sweet tamarind is a popular fruit of Thailand. Sweet tamarind flesh is tastily sweet and sour and rich of nutrition. The sweet tamarind is nowadays presented to consumers by means of packagings. Fruit packaging is important because the package not only collects fruits in a place but also protects them from mechanical loadings. Besides, retail packaging also provides utility and information (Jarimopas, 2006). The retail packaging of sweet tamarind is divided into 4 types, i.e. plastic net, foam tray, plastic bag and paper box (Jarimopas and Sirisawas, 2006). The damages of sweet tamarind in retail packaging included pod broken, hairline break, stem end break, and hole. Percent damage of the sweet tamarind in the net, tray, bag and box was 45.8 , 55.4 , 48.4 and 33.2 respectively, which is high. Jarimopas et al. (2006) demonstrated that the single face corrugated paper with corrugator turning outside to the fruit (when wrapped) performed better protection than the foam net. Application of foam ball to mix with the sweet tamarind was recently shown to reduce the damage of sweet tamarind in wholesale packaging (Rachanukroa et al., 2006). In order to solve the problem of much damage of the sweet tamarind in retail packaging it becomes challenge to apply the previous findings to develop a sweet tamarind pod retail packaging of minimum damage which is, therefore, the objective of the present research.

Materials and Methods

1. Determination of dropping characteristics in retailers

Observation was made with the supermarkets, which were chosen as retailers, of five big department stores in Bangkok. The dropping characteristics included height of sweet tamarind retail package held by a person, number of dropping off holding, height of selling shelf, number of repeated picking, picking-inspecting height (i.e. the height between the shelf surface and a commodity while it was inspected). Twenty observations were picked up during 16:00 to 19:00 hour of busy time of the supermarkets. All the data were then analyzed.

2. Drop testing of the current sweet tamarind retail packaging

Sweet tamarind of two varieties (i.e. Si-thong and Sri-chompoo) of uniform size and free from damage were manually packed by a typical retailer in 4 current 1-kg retail packages (ten replications for a combination of variety and retail package type) (Fig 1). The retail package was

brought to the drop test set-up (Jarimopas et al., 2004) and executed the performance test according to the ASTM standard D775-80. The rest of the samples were tested and all were analyzed.

Percent damage of the damage type i = Number of sweet tamarind pod having damage type i/total number of sweet tamarind pod in the retail package.

3. Drop testing of the developed sweet tamarind retail packaging

The developed sweet tamarind retail packaging consisted of the single face corrugated paper cut rectangular and roll together to get cylindrical sleeve with the corrugator turning outside (Fig 2). The opening on one side was closed with circular single face corrugated paper. The 15.0 cm diameter and 20 cm long sleeve was filled up with the mixture of sweet tamarind and 5 mm foam ball (30% mixing ratio) (Rachanukroa et al., 2006). Ten 1 kg sleeves were prepared for each variety. The previous drop test procedure was repeated and sleeve performance was later on analyzed.

a) Plastic net

Fig 1 Current sweet tamarind retail packaging

b) Plastic bag

c) Foam tray

d) Paperboard box

Fig 1 Current sweet tamarind retail packaging (cont.)

Fig 2 Developed retail packaging of the sweet tamarind

Results and Discussion

1. Dropping characteristics of a retailing package

Super-market	Shelf height (cm)	Picking-inspecting height (cm)	Picking number	Holding height (cm)	Dropping probability
1.	60	29.25±4.26	1.25±0.44	75±7.95	0.05
2.	70	28.25±3.63	1.25±0.44	80.25±5.73	0
3.	100	25.25±4.60	1.4±0.50	79.75±4.99	0
4.	80	26.75±3.96	1.35±0.49	80.25±4.72	0
5.	80	28.25±3.63	1.30±0.47	79.75±4.99	0.05

Table 1 Mean and standard deviation of dropping characteristics of a retail package in selected supermarkets. Table 1 showed statistics of the dropping characteristics of a retailing package. The average shelf height ranged from 60 to 100 cm. A customer picked up a thing and inspected it at the average height of 27.5 cm and as often as 1.31 times. After buying, the customer carried the thing at the average height of 79 cm from the floor with small probability of dropping of 0.02.

2. Performance of the current sweet tamarind retail packaging

Table 2 showed damages of the current sweet tamarind retail packaging (CP) after drop

tests in the laboratory. Regarding Table 1, dropping probability was much less than one. The minimum drop of a retail package which could be practically performed was one. The damages included pod broken, hairline crack, stem end crack and hole. Range of the total damages was between 56.7 and 32.4% which well complied with what was found in commercial practice that ranges from 55.4 to 33.2% of the same varieties and package types (Jarimopas and Sirisawas, 2006). The maximum and the minimum total damage occurred with the plastic net and the paperboard box in both varieties. This can be explained that the net is like a fiber. The thickness of net fiber was also small. Besides, the area of the net touching the sweet tamarind pod was very small. Therefore, the fruit cushioning is almost none. The sweet tamarind pod at the net surface is rather free to be hit by any surrounding solids. Moreover, the pods inside the net contacted each other and were easily moved whenever the pod at the net surface was impacted. This phenomenon created a momentary chain of contact impact and severe damage resulted. On the other hand, the sweet tamarind was much better enclosed in the paperboard box. The related mechanical injury was, as a result, less. The quantity of sweet tamarind damage of Si-thong was smaller than that of Sri-chompoo, as comparing by package type. This was probably because Si-thong tamarind exhibited greater mechanical strength than the Sri-chompoo (Jarimopas et al., 2005).

Table 2 Damages of the sweet tamarind pod in the current retail packages subjected to drop test

Variety	Retail package type	Damage type* (%)				Total (%)
		Pod broken	Hairline crack	Stem end crack	Hole	
Si-thong	Plastic net	19.2±3.6	21.3±4.7	7.8±4.2	4.5±2.2	44.9±1.0
	Plastic bag	19.6±3.1	17.3±4.9	6.6±3.6	4.6±1.9	40.4±1.0
	Foam tray	20.0±3.1	14.2±4.8	5.9±3.1	4.8±2.0	37.5±1.3
	Paperboard box	12.8±4.9	15.9±6.0	6.9±3.7	4.7±2.1	32.4±1.0
Sri-chompoo	Plastic net	25.0±4.5	24.6±4.5	3.3±2.1	3.8±1.5	56.7±1.7
	Plastic bag	17.6±3.6	28.4±6.8	4.5±2.9	4.6±2.9	53.8±1.7
	Foam tray	16.4±5.5	28.7±3.9	3.0±1.7	2.4±1.3	48.2±1.9
	Paperboard box	13.3±5.7	23.1±7.2	2.4±1.6	3.4±2.2	41.8±1.6

* Mean ± standard deviation

3. The performance of the developed sweet tamarind retail packaging

Table 3 showed the performance of the developed retail packaging (DP) in term of mechanical damages resulting from the drop test. DP demonstrated less damage than CP of the plastic net did. Quantitatively, the damage of the DP amounted 50 and 42% of that of the CP of plastic net with Sri-chompoo and Si-thong respectively. Improving the DP by thickening the package bottom with the 5 mm foam ball from 5 to 20 mm, the total damage could be further reduced about 50 and 35% in Si-thong and Si-chompoo respectively, referring to the damage of DP. Table 4 showed the cost comparison of the evaluated retail packagings. The DP is about the cost of plastic bag or half of the paperboard box cost.

Table 3 Damages of the sweet tamarind pod in the developed retail packaging subjected to drop Test

Variety	Retail package type	Damage type* (%)				Total (%)
		Pod broken	Hairline crack	Stem end crack	Hole	
Si-thong	Developed	15.5±2.9	4.6±2.5	2.1±0.9	2.1±0.7	18.9±1.0
	Improved the developed	4.0±1.3	5.2±1.1	3.1±1.4	2.6±0.8	9.7±0.7
Sri-chompoo	Developed	12.7±3.1	14.9±4.1	1.4±0.4	2.35±1.3	28.4±1.2
	Improved the developed	6.2±1.8	9.2±2.0	2.8±1.8	2.08±1.2	18.5±1.1

*Mean ± standard deviation

Table 4 Cost comparison of sweet tamarind retail packagings

Packaging type	Cost of Packaging (USD/kg of sweet tamarind)
1. Plastic net	0.136
2. Plastic bag	0.187
3. Foam tray wrapped with shrink film	0.290
4. Paperboard box	0.400
5. Developed retail packaging	0.195

Conclusion

Drop test was applied to test the retail packagings. The performance in term of damage of the current sweet tamarind retail packagings resulted the maximum and the minimum damages of the sweet tamarind pod arose in the plastic net and the paperboard box in both Sri-chompoo and Si-thong varieties. The developed retail packaging made of single face corrugated paper sleeve and foam ball could give better protection on the sweet tamarind at the amount of about $\frac{1}{5}$ and $\frac{1}{3}$ of the maximum damage of Si-thong and Sri-chompoo in the plastic net. Packaging cost of the developed retail packaging is less than half of that of the paperboard box.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the Postgraduate Education and Research Development Project in Postharvest Technology, Chiangmai University, Thailand for financial support, and Professor Pictiaw Chen, Professor Emeritus, Department of Agricultural and Biological Engineering, University of California, Davis, USA for his valuable advice.

References

1. Jarimopas, B. 2006. Postharvest Sorting Machinery, Packaging and Packing House of Fruit. Thai Society of Agricultural Engineering, Khon Kaen. Thailand. 216 p (in Thai).
2. Jarimopas, B., Sirisawas, B. 2006. Transit damage and packaging of Thai sweet tamarind. In Proceeding of the 3th National Technical Seminar on Postharvest/Post Production Technology, 10-11 October 2005, Tipwiman Resort, Cha-am, Petchaburee, Thailand. P 254-257.
3. Jarimopas, B., Sayasoonthorn, S. and Singh, S. P. 2006. Comparison of package cushioning materials to protect post-harvest impact damage to apples. Packag. Technol. Sci. (in press).
4. Rachanukroa, D., Singh, S. P. and Jarimopas, B. 2006. Postharvest damage and performance comparison of sweet tamarind wholesale packaging. In Proceeding of 15th IAPRI World Conference on Packaging, Poster session, Oct 4-5 , 2006, Tokyo. P 209-213
5. Jarimopas, B., Jandapradis, S. and Wongsim, K. 2005. Physical characteristics and some mechanical properties as essential to quality sorting of Thai sweet tamarinds of Si-tong and Sri-chompoo varieties. In Proceedings of the 6th National Seminar on "Toward Kitchen of the World by Agricultural Engineering", organized by Thai Sociaty of Agricultural Engineering and Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Patumtanee Rachamongkol Technology University, 30-31 March 2005, Bangkok. P 85
6. Jarimopas, B., Srisuk, W. and Kachasri, T. 2004. Testing of the locally-made drop test set-up. In Proceeding of the 5th National Seminar on "Innovation in Agricultural Engineering for Increasing Productivity", organized by Thai Society of Agricultural Engineering and Department of Agricultural Engineering, King Mongkut Institute of Technology, Ladkrabung, Bangkok, 26-27 April 2004, p 252-257

ภาคผนวก ข

การคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์

การคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์

1. ต้นทุน

วันชัย และ ชอุ่ม (2538) กล่าวไว้ว่า ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการดำเนินงาน สามารถแบ่งเป็น

1.1 ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost, FC)

ค่าใช้จ่ายที่ไม่แปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการผลิต ได้แก่ อัตราค่าจ้างแรงงาน

อัตราค่าจ้างแรงงานในการบรรจุมะขามหวานลงในบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ค่าจ้างวันละ 200 บาท ทำงาน 1 คน ระยะเวลา 1 เดือน

ต้นทุนคงที่ (FC) = ค่าจ้างแรงงาน
= 200×1×30
= 6,000 บาท/เดือน

1.2 ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost, VC)

ค่าใช้จ่ายในส่วนที่แปรผันตามปริมาณการผลิต ได้แก่ ค่าวัสดุบรรจุภัณฑ์โดยตรง

ต้นทุนคงที่ (VC) = ค่าวัสดุบรรจุภัณฑ์
= ต้นทุนของถุงตาข่าย
= 5.44 บาท/ถุง

ต้นทุนรวม= ต้นทุนคงที่+ ต้นทุนแปรผัน
= 6,000+5.44
= 6,005.44 บาท/เดือน

2. จุดคุ้มทุน

จุดที่รายได้จากการลงทุนคุ้มกับค่าของการลงทุน นั่นคือ ค่าใช้จ่ายเท่ากับราบรับ เป็นจุดที่กำไรมีค่าเท่ากับศูนย์

$$N^{*} = F/(p-V) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(17)$$

เมื่อ N^{*} = ปริมาณการผลิตที่จุดคุ้มทุน

F= ต้นทุนคงที่

p= ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

V= ราคาขายผลิตภัณฑ์ต่อหน่วย

มะขามหวานพันธุ์สีทองบรรจุในถุงตาข่าย ขนาดความจุ 1 กิโลกรัม

ปริมาณความเสียหายที่พบในถุงตาข่าย = 44.93%

คิดเป็นน้ำหนักฝักที่เสียหาย = (44.93/100)× 1 กิโลกรัม

= 0.45 กิโลกรัม

น้ำหนักฝักที่ไม่เสียหาย = 1-0.45 กิโลกรัม

= 0.55 กิโลกรัม

ขายมะขามหวานฝักที่ไม่เสียหายได้ราคา= 0.55กิโลกรัม×40 บาท/กิโลกรัม

= 22 บาท/ถุง

$N^{*} = F/(p-V)$

$= 6{,}000/(22-5.44)$

$= 363$ ถุง

ดังนั้นจุดคุ้มทุนของถุงตาข่ายอยู่ที่ 363 ถุง/เดือน

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ค1 ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวฝักมะขามหวานพันธุ์สีทอง ณ ระดับค้าส่ง

กล่องกระดาษลูกฟูก	ประเภทของความเสียหาย (%)					
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รา	รวม
1	1.81	4.77	4.01	1.99	2.15	14.73
2	7.95	5.34	9.22	2.48	1.31	26.30
3	7.91	2.86	3.70	2.22	1.84	18.54
4	7.81	2.11	6.91	5.44	3.51	25.78
5	5.69	3.64	7.86	6.93	0.87	24.99
Mean	6.21	3.75	6.33	3.81	1.94	22.03
SD	2.91	1.32	2.41	2.23	1.00	2.55
CV	0.47	0.35	0.38	0.59	0.52	0.12

ตารางผนวกที่ ค2 ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู ณ ระดับค้าส่ง

กล่องกระดาษลูกฟูก	ประเภทของความเสียหาย (%)					
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รา	รวม
1	7.76	6.57	3.65	6.80	0.62	25.40
2	3.74	5.10	5.52	10.72	2.19	27.3
3	3.95	6.35	3.21	10.00	0.24	23.75
4	3.54	16.12	10.91	7.51	0.78	38.86
5	3.48	11.93	8.61	6.30	2.25	32.57
Mean	4.49	9.18	6.37	8.28	1.22	29.54
SD	1.83	4.66	3.30	1.98	0.93	3.91
CV	0.41	0.51	0.52	0.24	0.76	0.13

ตารางผนวกที่ ค3 ความเสียหายของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายส่งปัจจุบันและที่พัฒนาใหม่เมื่อใช้โฟมเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

กล่องกระดาษลูกฟูก	ความเสียหายเชิงกล (%)				
	อัตราส่วนของผสม (%)				
	0 (ปัจจุบัน)	20	40	60	80
1	1.67	1.59	1.35	1.09	0.79
2	2.72	1.57	1.29	0.95	0.55
3	1.32	1.58	1.08	0.97	0.74
Mean	1.90	1.58	1.24	1.00	0.69
SD	0.73	0.01	0.14	0.08	0.13
CV	0.38	0.01	0.11	0.08	0.18

ตารางผนวกที่ ค4 ความเสียหายของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายส่งปัจจุบันและที่พัฒนาใหม่เมื่อใช้โฟมเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

กล่องกระดาษลูกฟูก	ความเสียหายเชิงกล (%)				
	อัตราส่วนของผสม (%)				
	0 (ปัจจุบัน)	20	40	60	80
1	7.69	6.46	4.66	2.23	1.22
2	5.95	5.61	4.65	2.76	1.02
3	9.61	6.47	4.41	2.17	1.08
Mean	7.75	6.18	4.57	2.39	1.01
SD	1.83	0.49	0.14	0.33	0.10
CV	0.25	0.08	0.03	0.14	0.09

ตารางผนวกที่ ค5 ความเสียหายของมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่เมื่อใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามคงที่ที่ 80%

กล่องกระดาษลูกฟูก	ความเสียหายเชิงกล (%)						
	อัตราส่วนของผสม (%)						
	15	20	25	30	35	40	45
1	1.82	1.43	1.22	0.92	0.81	0.93	0.71
2	1.55	1.32	1.16	0.87	0.86	0.69	0.68
3	1.64	1.39	1.09	0.74	0.8	0.75	0.95
Mean	1.67	1.38	1.15	0.84	0.82	0.79	0.78
SD	0.14	0.06	0.07	0.09	0.03	0.13	0.15
CV	0.08	0.04	0.06	0.11	0.04	0.16	0.19

ตารางผนวกที่ ค6 ความเสียหายของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่เมื่อใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามคงที่ที่ 80%

กล่องกระดาษลูกฟูก	ความเสียหายเชิงกล (%)						
	อัตราส่วนของผสม (%)						
	15	20	25	30	35	40	45
1	6.87	6.51	4.8	3.58	3.25	3.42	3.38
2	7.02	5.97	4.48	3.28	3.16	3.5	3.19
3	7.19	6.64	4.26	3.37	3.72	3.14	3.3
Mean	7.02	6.37	4.51	3.41	3.37	3.35	3.29
SD	0.16	0.36	0.27	0.15	0.30	0.19	0.10
CV	0.02	0.06	0.06	0.045	0.09	0.06	0.03

ตารางผนวกที่ ค7 ความเสียหายของมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่เมื่อใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามคงที่ที่ 80%

กล่องกระดาษลูกฟูก	ความเสียหายเชิงกล (%)					
	อัตราส่วนของผสม (%)					
	15	20	25	30	35	40
1	1.74	1.64	1.53	1.4	1.29	1.24
2	1.81	1.67	1.46	1.38	1.23	1.27
3	1.76	1.65	1.58	1.34	1.25	1.2
Mean	1.77	1.65	1.52	1.37	1.25	1.24
SD	0.04	0.02	0.06	0.04	0.03	0.04
CV	0.02	0.01	0.04	0.02	0.02	0.03

ตารางผนวกที่ ค8 ความเสียหายของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่เมื่อใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามคงที่ที่ 80%

กล่องกระดาษลูกฟูก	ความเสียหายเชิงกล (%)					
	อัตราส่วนของผสม (%)					
	15	20	25	30	35	40
1	7.34	6.92	5.87	4.99	3.94	3.86
2	7.41	6.95	5.7	4.58	3.89	3.9
3	7.3	7.04	6.01	4.75	3.92	3.79
Mean	7.35	6.97	5.86	4.77	3.91	3.85
SD	0.06	0.06	0.15	0.21	0.03	0.06
CV	0.01	0.01	0.03	0.04	0.01	0.01

ตารางผนวกที่ ค9 ต้นทุนเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่และความหนาแน่นการบรรจุเมื่อใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามคงที่ที่ 80%

อัตราส่วนของผสม (%)	ความหนาแน่นการบรรจุ ($ซม^3_{มะขามหวาน}$ / $ซม^3_{บรรจุภัณฑ์}$)		ต้นทุนเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัมมะขามหวาน)	
	สีทอง	ศรีชมภู	สีทอง	ศรีชมภู
15	0.41	0.47	2.53	2.14
20	0.41	0.47	2.93	2.49
25	0.41	0.47	3.31	2.83
30	0.41	0.47	3.70	3.18
35	0.41	0.47	4.07	3.53
40	0.41	0.47	4.45	3.87
45	0.41	0.47	4.81	4.20

อัตราส่วนของผสม (%)	ความหนาแน่นการบรรจุ ($ซม^3_{มะขามหวาน}$ / $ซม^3_{บรรจุภัณฑ์}$)		ต้นทุนเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์ (เหรียญสหรัฐ/กิโลกรัม)	
	สีทอง	ศรีชมภู	สีทอง	ศรีชมภู
15	0.41	0.47	0.063	0.054
20	0.41	0.47	0.073	0.062
25	0.41	0.47	0.083	0.071
30	0.41	0.47	0.093	0.080
35	0.41	0.47	0.102	0.088
40	0.41	0.47	0.111	0.097
45	0.41	0.47	0.120	0.105

ตารางผนวกที่ ค10 ต้นทุนเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่พัฒนาใหม่และความหนาแน่นการบรรจุเมื่อใช้โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ปริมาตรมะขามคงที่ที่ 80%

อัตราส่วนของผสม (%)	ความหนาแน่นการบรรจุ ($ซม^3_{มะขามหวาน}$ / $ซม^3_{บรรจุภัณฑ์}$)		ต้นทุนเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัมมะขามหวาน)	
	สีทอง	ศรีชมภู	สีทอง	ศรีชมภู
15	0.41	0.47	2.18	1.85
20	0.41	0.47	2.45	2.10
25	0.41	0.47	2.71	2.33
30	0.41	0.47	2.99	2.59
35	0.41	0.47	3.25	2.83
40	0.41	0.47	3.53	3.08

อัตราส่วนของผสม (%)	ความหนาแน่นการบรรจุ ($ซม^3_{มะขามหวาน}$ / $ซม^3_{บรรจุภัณฑ์}$)		ต้นทุนเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์ (เหรียญสหรัฐ/กิโลกรัม)	
	สีทอง	ศรีชมภู	สีทอง	ศรีชมภู
15	0.41	0.47	0.055	0.046
20	0.41	0.47	0.061	0.053
25	0.41	0.47	0.068	0.058
30	0.41	0.47	0.075	0.065
35	0.41	0.47	0.081	0.071
40	0.41	0.47	0.088	0.077

ตารางผนวกที่ ค11 ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทถุงตาข่าย ณ ระดับค้าปลีก

ถุงตาข่าย	ประเภทความเสียหาย (%)					
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รา	รวม
1	16.81	13.4	8.39	6.98	2.72	47.78
2	19.26	9.62	10.79	3.51	2.77	43.77
3	14.17	9.99	7.57	5.22	7.94	44.89
4	14.4	12.72	12.85	4.95	4.41	46.68
5	15.23	13.95	10.08	5.59	3.29	46.79
Mean	15.97	11.94	9.94	5.25	4.23	45.98
SD	2.11	2.00	2.08	1.25	2.18	1.62
CV	0.13	0.17	0.21	0.24	0.52	0.04

ตารางผนวกที่ ค12 ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทถุงตาข่าย ณ ระดับค้าปลีก

ถุงตาข่าย	ประเภทความเสียหาย (%)					
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รา	รวม
1	19.7	15.35	11.86	8.33	3.40	58.66
2	17.54	13.27	11.96	10.40	2.80	55.76
3	18.21	15.83	10.55	8.54	3.79	56.54
4	18.66	15.88	12.48	7.63	3.80	58.07
5	20.68	17.66	10.92	5.43	2.95	57.64
Mean	18.96	15.60	11.55	8.07	3.35	57.33
SD	1.24	1.57	0.79	1.79	0.46	1.17
CV	0.07	0.10	0.07	0.22	0.14	0.02

ตารางผนวกที่ ค13 ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทกล่องกระดาษ ณ ระดับค้าปลีก

กล่องกระดาษ	ประเภทความเสียหาย (%)					
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รา	รวม
1	-	-	-	-	-	-
2	12.52	10.36	6.66	3.27	2.24	33.64
3	13.23	9.94	4.41	3.85	3.24	33.95
4	11.28	9.72	5.49	4.35	4.65	34.19
5	12.28	10.43	7.94	2.49	2.60	33.99
Mean	12.33	10.11	6.13	3.49	3.18	33.94
SD	0.81	0.34	1.52	0.80	1.06	0.23
CV	0.07	0.03	0.25	0.23	0.33	0.01

ตารางผนวกที่ ค14 ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทกล่องกระดาษ ณ ระดับค้าปลีก

กล่องกระดาษ	ประเภทความเสียหาย (%)					
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รา	รวม
1	-	-	-	-	-	-
2	17.66	10.76	6.56	5.29	3.38	43.07
3	15.67	9.37	9.07	5.27	4.69	44.08
4	17.01	14.6	6.71	3.77	2.95	43.22
5	14.9	12.99	8.73	4.32	3.01	43.65
Mean	16.31	11.93	7.77	4.66	3.51	43.51
SD	1.25	2.32	1.32	0.75	0.81	0.45
CV	0.08	0.19	0.17	0.16	0.23	0.01

ตารางผนวกที่ ค15 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทถุงตาข่าย ณ ระดับค้าปลีก

ถุงตาข่าย	ประเภทความเสียหาย (%)				
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รวม
1	14.94	28.84	-	-	43.78
2	26.61	19.87	-	-	46.48
3	19.92	15.69	7.85	-	43.46
4	23.53	21.62	-	-	45.15
5	17.07	18.80	8.24	-	44.11
6	18.46	22.31	-	3.86	44.63
7	19.04	26.25	-	-	45.29
8	15.83	14.18	9.66	5.14	44.81
9	20.36	25.64	-	-	45.80
10	16.29	19.55	5.50	4.48	45.82
Mean	19.21	21.28	3.13	1.34	44.93
SD	3.63	4.65	4.16	2.19	0.97
CV	0.19	0.22	0.53	0.49	0.02

ตารางผนวกที่ ค16 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทถุงตาข่าย ณ ระดับค้าปลีก

ถุงตาข่าย	ประเภทความเสียหาย (%)				
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รวม
1	22.54	25.44	3.84	5.19	57.01
2	23.88	30.71	1.02	2.96	58.57
3	27.01	24.64	2.99	3.20	57.84
4	19.66	25.40	7.86	3.53	56.45
5	29.06	23.38	2.59	3.18	58.21
6	27.94	21.96	1.44	4.85	56.19
7	22.06	20.00	5.57	5.67	53.30
8	20.22	29.37	2.85	1.73	54.17
9	34.16	16.41	1.04	5.61	57.22
10	23.76	29.13	3.36	1.79	58.04
Mean	25.03	24.64	3.26	3.77	56.70
SD	4.50	4.46	2.13	1.48	1.75
CV	0.18	0.18	0.65	0.39	0.03

ตารางผนวกที่ ค17 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทถุงพลาสติก ณ ระดับค้าปลีก

ถุงพลาสติก	ประเภทความเสียหาย (%)				
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รวม
1	17.01	23.36	-	-	40.37
2	19.63	16.18	4.68	-	40.49
3	17.01	11.97	9.69	-	38.67
4	16.26	19.43	-	4.12	39.81
5	21.42	19.12	-	-	40.54
6	21.48	11.79	5.69	-	38.96
7	22.27	19.15	-	-	41.42
8	25.57	10.08	-	4.99	40.64
9	19.19	16.77	6.16	-	42.12
10	15.77	24.79	-	-	40.56
Mean	19.56	17.26	2.62	0.91	40.36
SD	3.14	4.90	3.61	1.93	1.03
CV	0.16	0.28	0.55	0.42	0.03

ตารางผนวกที่ ค18 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทถุงพลาสติก ณ ระดับค้าปลีก

ถุงพลาสติก	ประเภทความเสียหาย (%)				
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รวม
1	18.77	30.87	3.08	3.49	56.21
2	10.94	22.49	10.03	6.89	50.35
3	15.02	37.00	2.72	-	54.74
4	22.04	17.54	3.80	8.32	51.70
5	18.08	35.75	-	-	53.83
6	23.24	22.43	7.05	1.81	54.53
7	17.67	25.84	6.44	5.21	55.16
8	14.70	35.25	1.61	2.71	54.28
9	19.59	23.88	2.89	6.42	52.78
10	15.84	33.30	3.15	1.82	54.11
Mean	17.58	28.44	4.08	3.67	53.77
SD	3.64	6.84	2.94	2.92	1.72
CV	0.21	0.24	0.65	0.64	0.03

ตารางผนวกที่ ค19 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทถาดโฟม ณ ระดับค้าปลีก

ถาดโฟม	ประเภทความเสียหาย (%)				
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รวม
1	22.51	9.85	6.43	-	38.79
2	21.96	14.78	-	-	36.74
3	18.73	5.55	7.43	4.66	36.37
4	21.47	13.62	-	-	35.09
5	24.43	14.89	-	-	39.32
6	17.69	15.16	4.96	-	37.81
7	20.77	16.40	-	-	37.17
8	20.93	12.30	-	4.96	38.19
9	13.48	24.08	-	-	37.56
10	18.17	15.31	4.90	-	38.37
Mean	20.01	14.19	2.37	0.96	37.54
SD	3.09	4.75	3.14	2.03	1.25
CV	0.15	0.33	0.53	0.42	0.03

ตารางผนวกที่ ค20 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทถาดโฟม ณ ระดับค้าปลีก

ถาดโฟม	ประเภทความเสียหาย (%)				
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รวม
1	20.4	26.93	3.86	-	51.19
2	5.69	35.56	4.70	-	45.95
3	16.96	27.88	3.08	1.98	49.9
4	13.61	27.43	3.07	3.48	47.59
5	13.94	32.97	1.80	-	48.71
6	18.02	26.52	-	1.72	46.26
7	20.51	26.43	1.48	-	48.42
8	10.64	33.50	1.49	-	45.63
9	24.44	23.96	-	-	48.41
10	20.22	25.37	4.46	-	50.05
Mean	16.41	28.66	2.39	0.72	48.21
SD	5.56	3.90	1.70	1.24	1.87
CV	0.34	0.14	0.65	0.56	0.04

ตารางผนวกที่ ค21 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทกล่องกระดาษ ณ ระดับค้าปลีก

กล่องกระดาษ	ประเภทความเสียหาย (%)				
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รวม
1	18.90	14.18	-	-	33.08
2	10.82	21.63	-	-	32.45
3	11.10	14.87	5.65	-	31.62
4	15.38	18.58	-	-	33.93
5	12.83	7.64	8.16	4.03	32.66
6	23.03	9.49	-	-	32.52
7	6.73	23.78	-	-	30.51
8	10.01	13.87	8.65	-	32.53
9	10.38	10.49	5.19	5.40	31.46
10	9.16	24.35	-	-	33.51
Mean	12.83	15.89	2.77	0.94	32.43
SD	4.93	5.97	3.71	2.01	1.02
CV	0.38	0.38	0.54	0.45	0.03

ตารางผนวกที่ ค22 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกประเภทกล่องกระดาษ ณ ระดับค้าปลีก

กล่องกระดาษ	ประเภทความเสียหาย (%)				
	ฝักแตก	ฝักร้าว	ขั้วฝักแตก	รู	รวม
1	19.00	19.31	1.39	1.60	41.30
2	13.69	23.78	1.06	3.29	41.83
3	12.61	19.23	2.99	7.69	42.52
4	18.64	11.51	5.16	4.82	40.13
5	5.81	34.65	1.10	1.64	43.20
6	7.44	32.06	1.31	1.20	42.01
7	15.47	22.14	2.75	3.60	43.96
8	5.56	30.02	5.13	3.31	44.02
9	21.90	16.77	1.71	-	40.38
10	12.64	21.60	1.37	3.48	39.09
Mean	13.28	23.11	2.40	3.06	41.84
SD	5.69	7.22	1.59	2.16	1.65
CV	0.43	0.31	0.66	0.64	0.04

ตารางผนวกที่ ค23 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่ เมื่อบรรจุฝักมะขามหวานในแนวตั้ง

ตัวอย่างที่	ความเสียหาย (%)					
	บรรจุในแนวตั้ง					
	ขนาดมิติของบรรจุภัณฑ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง×ความสูง (เซนติเมตร×เซนติเมตร)					
	9×45	12×40	15×20	18×15	21×12	24×9
1	12.02	8.04	6.81	7.46	6.99	6.74
2	11.16	7.48	7.37	7.70	6.71	7.42
3	11.72	7.49	7.63	7.23	8.08	7.22
4	11.85	7.68	7.88	7.14	7.59	7.07
5	10.71	7.54	8.16	7.01	7.34	7.56
6	11.23	6.99	7.55	6.90	7.19	8.06
7	11.20	7.90	7.43	7.58	7.82	7.00
8	11.49	7.75	7.16	8.18	7.78	7.49
9	10.87	7.11	6.67	7.33	7.11	7.43
10	12.01	7.19	8.04	7.25	6.80	7.41
Mean	11.43	7.52	7.47	7.38	7.34	7.34
SD	0.47	0.34	0.49	0.37	0.46	0.36
CV	0.04	0.05	0.07	0.05	0.06	0.05

ตารางผนวกที่ ค24 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทองในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่ เมื่อบรรจุฝักมะขามหวานในแนวนอน

ตัวอย่างที่	ความเสียหาย (%)					
	บรรจุในแนวนอน					
	ขนาดมิติของบรรจุภัณฑ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง×ความสูง (เซนติเมตร×เซนติเมตร)					
	9×45	12×40	15×20	18×15	21×12	24×9
1	17.42	13.52	10.37	9.92	9.77	9.21
2	19.14	12.39	9.95	8.86	9.87	10.09
3	19.80	12.60	9.81	9.81	9.31	9.61
4	19.98	11.67	9.72	10.27	9.42	9.73
5	18.79	12.59	10.33	9.55	9.90	8.40
6	17.87	12.00	8.52	9.70	9.21	9.57
7	19.26	12.71	10.01	10.19	9.73	9.87
8	19.31	12.84	10.18	10.08	9.70	8.50
9	19.62	12.39	9.90	9.78	9.89	9.78
10	19.01	11.75	9.38	9.09	10.03	10.25
Mean	19.02	12.45	9.82	9.73	9.68	9.50
SD	0.82	0.55	0.54	0.46	0.28	0.62
CV	0.04	0.04	0.06	0.05	0.03	0.07

ตารางผนวกที่ ค25 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่ เมื่อบรรจุฝักมะขามหวานในแนวตั้ง

ตัวอย่างที่	ความเสียหาย (%)					
	บรรจุในแนวตั้ง					
	ขนาดมิติของบรรจุภัณฑ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง×ความสูง (เซนติเมตร×เซนติเมตร)					
	9×45	12×40	15×20	18×15	21×12	24×9
1	16.92	14.56	10.67	9.71	10.48	10.84
2	17.51	15.04	10.66	10.90	10.59	9.83
3	17.77	14.37	10.83	10.65	10.67	10.44
4	17.00	14.60	9.98	10.34	10.81	10.31
5	16.50	14.69	11.04	10.99	10.32	10.86
6	17.78	13.97	10.70	10.32	10.17	10.50
7	17.16	14.44	10.51	11.21	10.01	10.68
8	17.38	14.84	10.21	9.81	10.91	9.85
9	18.03	13.73	10.47	10.50	10.6	10.30
10	17.32	15.15	10.92	10.73	10.28	10.51
Mean	17.34	14.54	10.60	10.52	10.48	10.41
SD	0.46	0.44	0.32	0.49	0.29	0.36
CV	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03

ตารางผนวกที่ ค26 ความเสียหายเชิงกลของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภูในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่ เมื่อบรรจุฝักมะขามหวานในแนวนอน

ตัวอย่างที่	ความเสียหาย (%)					
	บรรจุในแนวนอน					
	ขนาดมิติของบรรจุภัณฑ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง×ความสูง (เซนติเมตร×เซนติเมตร)					
	9×45	12×40	15×20	18×15	21×12	24×9
1	30.46	23.47	19.28	15.74	16.08	15.77
2	29.76	22.59	18.25	15.31	15.87	15.43
3	29.20	23.67	19.62	15.86	15.63	15.10
4	28.94	23.18	16.88	16.19	15.55	15.28
5	29.23	20.66	18.9	15.25	15.61	15.63
6	29.30	23.15	18.15	15.64	15.30	15.32
7	28.61	25.25	18.87	15.82	15.48	15.70
8	28.06	23.12	17.91	17.27	15.59	14.99
9	30.39	23.78	19.15	14.83	15.09	15.36
10	29.67	23.00	18.46	15.74	15.08	15.53
Mean	29.36	23.19	18.55	15.77	15.53	15.41
SD	0.75	1.14	0.80	0.65	0.31	0.25
CV	0.03	0.05	0.04	0.04	0.02	0.02

ตารางผนวกที่ ค27 ต้นทุนบรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวาน

ชนิดของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก	ราคาบรรจุภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัม)
ถุงตาข่าย	5.44
ถุงพลาสติก	7.48
ถาดโฟม	11.60
กล่องกระดาษ	16.00
บรรจุภัณฑ์ขายปลีกมะขามหวานที่พัฒนาใหม่	7.80

ตารางผนวกที่ ค28 คุณลักษณะการตกของบรรจุภัณฑ์มะขามหวานซึ่งได้จากการสังเกตในระหว่างเวลา 16.00-19.00 นาฬิกา

ซูเปอร์มาร์เก็ต	ความสูงของชั้นวางผลไม้ (เซนติเมตร)	ความสูงของการเลือกซื้อ (เซนติเมตร)	จำนวนครั้งของการเลือกซื้อ	ความสูงของการถือ	โอกาสในการถือตก
1	60	29.25	1.25	75	0.05
2	70	28.25	1.25	80.25	-
3	100	25.25	1.4	79.75	-
4	80	26.75	1.35	80.25	-
5	80	28.25	1.30	79.75	0.05
Mean	78	27.55	1.31	79	0.02
SD	14.83	1.57	0.07	2.25	0.03
CV	0.19	0.06	0.05	0.03	1.37

ตารางผนวกที่ ค29 สมบัติทางกายภาพของมะขามหวานอันได้แก่ น้ำหนัก ความกว้าง ความยาว ความถ่วงจำเพาะ ความหวาน และความชื้นของมะขามหวานพันธุ์สีทอง

ตัวอย่าง	สมบัติทางกายภาพ					
	น้ำหนัก (กรัม)	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความถ่วงจำเพาะ	ความหวาน (องศาบริกซ์)	ความชื้น (%ฐานเปียก)
1	34.02	26.62	111.26	0.73	10.68	19.55
2	40.06	27.05	112.49	0.69	11.63	18.76
3	37.14	26.5	110.21	0.75	11.74	19.24
4	35.60	27.15	121.09	0.6	12.41	18.56
5	27.85	26.38	100.94	0.74	11.62	19.7
6	49.23	28.46	104.53	0.77	12.49	18.82
7	37.02	27.84	117.98	0.82	11.14	18.45
8	36.06	26.13	100.2	0.63	10.69	19.03
9	40.83	28.03	109.04	0.64	12.78	19.21
10	29.31	25.46	103.14	0.57	10.8	19.06
11	3 4. 70	26.71	104.81	0.66	12.54	18.64
12	43.56	28.13	126.91	0.7	10.92	17.97
13	29.52	27.98	112.42	0.67	10.28	17.88
14	28.39	26.02	119.41	0.84	12.47	18.5
15	30.06	24.59	88.25	0.63	11.65	17.91
16	34.07	27.73	112.63	0.52	11.39	19.12
17	42.69	26.96	121.34	0.59	10.75	18.87
18	28.62	28.45	105.65	0.74	11.64	19.3
19	33.53	28.34	107.11	0.72	11.29	17.14
20	35.78	28.68	124.29	0.81	11.77	17.53
Mean	35.43	27.16	110.69	0.691	11.534	18.662
SD	5.78	1.12	9.43	0.09	0.73	0.68
CV	0.16	0.04	0.09	0.13	0.06	0.04

ตารางผนวกที่ ค30 สมบัติทางกายภาพของมะขามหวานอันได้แก่ น้ำหนัก ความกว้าง ความยาว ความถ่วงจำเพาะ ความหวาน และความชื้นของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู

ตัวอย่าง	สมบัติทางกายภาพ					
	น้ำหนัก (กรัม)	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความถ่วงจำเพาะ	ความหวาน (องศาบริกซ์)	ความชื้น (%ฐานเปียก)
1	24.2	21.23	121.6	0.67	10.61	18.75
2	16.85	18.97	110.05	0.68	10.07	19.06
3	13.71	20.95	101.91	0.67	9.01	18.12
4	24.15	21.91	135.89	0.64	9.73	18.6
5	22.51	21.76	109.58	0.69	10.65	19.41
6	20.57	21.45	95.54	0.59	10.2	19.08
7	17.5	22.14	107.76	0.65	8.78	18.14
8	17.08	20.37	97.13	0.65	9.55	18.52
9	19.31	22	108.14	0.62	10.47	18.93
10	21.54	21.12	112.67	0.7	8.96	16.98
11	17.69	20.56	97.7	0.61	9.48	18.57
12	16.7	20.71	93.78	0.73	9.36	18.32
13	19.68	20.42	112.44	0.57	9.78	17.9
14	26.5	22.08	123.72	0.66	10.11	18.88
15	21	21.75	119.65	0.62	10.04	19.02
16	21.75	21.27	123.54	0.68	9.53	18.39
17	17.98	20.4	108.52	0.65	10.99	18.75
18	17.47	19.58	109.73	0.77	9.1	17.84
19	16.91	20.66	107.36	0.52	10.01	19.11
20	26.04	23	133.88	0.59	10.8	17.68
Mean	19.96	21.12	111.53	0.64	9.86	18.50
SD	3.46	0.90	11.87	0.06	0.64	0.59
CV	0.17	0.04	0.11	0.09	0.07	0.03

ตารางผนวกที่ ค31 สมบัติทางกายภาพของมะขามหวานอันได้แก่ รัศมีความโค้งของฝัก รัศมีความโค้งส่วนเว้า และ รัศมีความโค้งส่วนนูนของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทอง

ตัวอย่าง	พันธุ์สีทอง		
	รัศมีความโค้งของฝัก (มิลลิเมตร)	รัศมีความโค้งส่วนเว้า (มิลลิเมตร)	รัศมีความโค้งส่วนนูน (มิลลิเมตร)
1	54.9	6.8	14.8
2	42.6	4.5	11.6
3	52.0	5.5	10.8
4	42.4	3.7	11.1
5	41.9	3.6	12.5
6	43.3	5.6	12.8
7	44.4	6.4	11.5
8	42.3	6.3	10.2
9	45.0	6.1	10.0
10	36.1	5.7	11.2
Mean	44.5	5.42	11.7
SD	5.34	1.11	1.42
CV	0.12	0.21	0.26

ตารางผนวกที่ ค32 สมบัติทางกายภาพของมะขามหวานอันได้แก่ รัศมีความโค้งของฝัก รัศมีความโค้งส่วนเว้า และ รัศมีความโค้งส่วนนูนของฝักมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู

ตัวอย่าง	พันธุ์ศรีชมภู		
	รัศมีความโค้งของฝัก (มิลลิเมตร)	รัศมีความโค้งส่วนเว้า (มิลลิเมตร)	รัศมีความโค้งส่วนนูน (มิลลิเมตร)
1	80.9	9.3	10.7
2	75.1	10.4	11.2
3	68.9	9.3	13.3
4	77.3	8.7	11.6
5	75.4	7.3	12.4
6	72.0	9.00	11.2
7	78.1	9.9	11.4
8	85.3	11.4	11.9
9	68.7	10.8	13.1
10	72.4	9.4	12.3
Mean	75.4	9.6	11.9
SD	5.24	1.16	0.85
CV	0.07	0.12	0.07

ตารางผนวกที่ ค33 สมบัติเชิงกลบริเวณส่วนนูนของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทอง

ตัวอย่าง	ส่วนนูนของลอนมะขามหวาน		
	แรงที่ทำให้แตก (นิวตัน)	การเปลี่ยนรูปที่จุดแตก (มิลลิเมตร)	ความชัน (นิวตัน/มิลลิเมตร)
1	35.66	0.83	66.88
2	24.81	1.67	57.23
3	37.07	0.83	61.78
4	38.22	0.83	95.58
5	38.95	2.02	50.83
6	39.47	2.12	56.38
7	34.69	0.83	65.06
8	28.88	0.42	78.73
9	30.60	0.83	65.57
10	21.31	0.83	42.60
11	22.69	0.42	11.35
12	27.73	0.83	46.22
13	27.46	0.83	58.86
14	20.00	0.83	37.50
15	27.50	0.83	41.25
16	26.40	1.06	79.20
17	22.98	0.42	62.64
18	28.26	0.42	84.80
19	26.00	2.08	27.86
20	28.65	2.08	40.95
Mean	29.37	1.05	56.56
SD	6.03	0.59	20.13
CV	0.21	0.56	0.36

ตารางผนวกที่ ค34 สมบัติเชิงกลบริเวณส่วนเว้าของฝักมะขามหวานพันธุ์สีทอง

ตัวอย่าง	ส่วนเว้าของลอนมะขามหวาน		
	แรงที่ทำให้แตก (นิวตัน)	การเปลี่ยนรูปที่จุดแตก (มิลลิเมตร)	ความชัน (นิวตัน/มิลลิเมตร)
1	15.05	1.67	22.60
2	19.15	1.25	27.38
3	16.40	1.25	35.14
4	17.94	1.07	53.80
5	18.29	0.83	34.31
6	16.01	1.25	24.00
7	17.41	0.83	30.71
8	18.82	1.25	29.74
9	13.70	1.67	20.55
10	20.62	0.83	44.21
11	20.37	1.25	32.16
12	17.64	1.67	13.23
13	16.16	0.83	34.64
14	21.10	1.25	12.66
15	14.64	1.25	43.90
16	22.14	1.25	31.62
17	23.52	1.67	24.34
18	15.02	1.25	23.74
19	22.46	0.83	44.93
20	18.75	0.83	43.31
Mean	18.26	1.20	31.35
SD	2.80	0.30	10.86
CV	0.15	0.25	0.35

ตารางผนวกที่ ค35 สมบัติเชิงกลส่วนนูนของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู

ตัวอย่าง	ส่วนนูนของลอนมะขามหวาน		
	แรงที่ทำให้แตก (นิวตัน)	การเปลี่ยนรูปที่จุดแตก (มิลลิเมตร)	ความชัน (นิวตัน/มิลลิเมตร)
1	11.52	0.83	18.21
2	14.84	0.83	37.08
3	19.31	0.83	32.17
4	13.47	0.83	33.67
5	16.50	1.96	38.08
6	15.80	0.83	47.40
7	18.70	0.83	43.15
8	17.59	2.63	18.21
9	17.63	0.83	52.90
10	11.72	0.42	29.33
11	17.64	1.25	29.39
12	10.73	1.25	24.77
13	13.39	1.25	20.10
14	10.58	0.83	22.64
15	13.92	1.25	26.13
16	17.72	0.83	29.56
17	1 8.52	0.83	37.20
18	10.70	0.41	24.69
19	9.90	1.25	18.56
20	12.27	0.83	30.67
Mean	14.63	1.04	30.70
SD	3.18	0.51	9.76
CV	0.22	0.49	0.32

ตารางผนวกที่ ค36 สมบัติเชิงกลส่วนเว้าของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู

ตัวอย่าง	ส่วนเว้าของลอนมะขามหวาน		
	แรงที่ทำให้แตก (นิวตัน)	การเปลี่ยนรูปที่จุดแตก (มิลลิเมตร)	ความชัน (นิวตัน/มิลลิเมตร)
1	7.00	1.67	5.53
2	4.91	0.42	14.71
3	4.95	1.25	7.84
4	2.71	2.92	2.70
5	3.06	2.08	4.60
6	4.67	1.67	6.67
7	6.45	0.83	12.93
8	2 .32	1.89	2.30
9	3.42	0.42	7.36
10	2.34	0.41	0.78
11	4.53	0.42	11.33
12	6.52	1.67	7.00
13	4.38	2.08	3.54
14	6.58	1.25	13.13
15	5.26	1.25	7.90
16	2.57	1.25	3.21
17	6.46	0.42	17.64
18	4.22	1.25	6.68
19	6.79	1.25	11.33
20	7.82	0.42	23.50
Mean	4.85	1.24	8.53
SD	1.73	0.70	5.73
CV	0.36	0.57	0.67

ตารางผนวกที่ ค37 จุดคุ้มทุนของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ซึ่งบรรจุมะขามหวานพันธุ์สีทอง

ชนิดของบรรจุภัณฑ์	ความเสียหายของมะขามหวาน (กิโลกรัม)	ต้นทุนของบรรจุภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัม)	จุดคุ้มทุน (ชิ้นบรรจุภัณฑ์/เดือน)
ถุงตาข่าย	0.45	5.44	363
ถุงพลาสติก	0.40	7.48	364
ถาดโฟม	0.38	11.60	455
กล่องกระดาษ	0.32	16.00	536
บรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่	0.07	7.80	205

ตารางผนวกที่ ค38 จุดคุ้มทุนของบรรจุภัณฑ์ขายปลีก ซึ่งบรรจุมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู

ชนิดของบรรจุภัณฑ์	ความเสียหายของมะขามหวาน (กิโลกรัม)	ต้นทุนของบรรจุภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัม)	จุดคุ้มทุน (ชิ้นบรรจุภัณฑ์/เดือน)
ถุงตาข่าย	0.57	5.44	625
ถุงพลาสติก	0.54	7.48	697
ถาดโฟม	0.48	11.60	910
กล่องกระดาษ	0.42	16.00	1396
บรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่	0.11	7.80	254

ตารางผนวกที่ ค39 ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายกับต้นทุนบรรจุภัณฑ์ขายปลีกของมะขามหวานพันธุ์สีทอง

รูปแบบบรรจุภัณฑ์ขายปลีก	ความเสียหายเชิงกล (%)	ต้นทุนของบรรจุภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัม)	สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์
ถุงตาข่าย	44.93	5.44	0.10
ถุงพลาสติก	40.36	7.48	0.08
ถาดโฟม	37.54	11.60	0.05
กล่องกระดาษ	32.43	16.00	0.04
บรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่	7.47	7.80	0.12

ตารางผนวกที่ ค40 ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายกับต้นทุนบรรจุภัณฑ์ขายปลีกของมะขามหวานพันธุ์ศรีชมภู

รูปแบบบรรจุภัณฑ์ขายปลีก	ความเสียหายเชิงกล (%)	ต้นทุนของบรรจุภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัม)	สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์
ถุงตาข่าย	56.70	5.44	0.08
ถุงพลาสติก	53.77	7.48	0.06
ถาดโฟม	48.21	11.60	0.04
กล่องกระดาษ	41.84	16.00	0.04
บรรจุภัณฑ์ขายปลีกที่พัฒนาใหม่	10.60	7.80	0.11

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวดลหทัย ราชนุเคราะห์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2520
สถานที่เกิด	ตราด
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรสภาพ) ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ต.คลองหก จ.ปทุมธานี วศ.ม. (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ต. กำแพงแสน จ.นครปฐม
ตำแหน่งหน้าที่การทำงานปัจจุบัน	อาจารย์พิเศษ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ เลขที่ 1 หมู่ 20 ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 13180
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยี หลังการเก็บเกี่ยว (ADB)