

การป้องกันความเสียหายเชิงกลของผลไม้โดยใช้วัสดุกันกระแทกจากฟางข้าว

นายชนากร แนวกลาง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2557

**MECHANICAL DAMAGE PROTECTION OF FRUITS BY
CUSHIONING MATERIAL FROM RICE STRAW**

Thanakon Nawklang

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Agricultural and Food Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2014

การป้องกันความเสียหายเชิงกลของผลไม้มือโดยใช้วัสดุกันกระแทกจากฟางข้าว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร. วีระศักดิ์ เลิศศิริโยธิน)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. เทวรัตน์ ศรีอำรรค)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร. พยุงศักดิ์ จุลยุเสนา)

กรรมการ

(ศ. ดร. ชูกิจ ลิ้มปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ชนากร แนวกลาง : การป้องกันความเสียหายเชิงกลของผลไม้โดยใช้วัสดุกันกระแทกจากฟางข้าว (MECHANICAL DAMAGE PROTECTION OF FRUITS BY CUSHIONING MATERIAL FROM RICE STRAW) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำรรค, 162 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำฟางข้าวมาพัฒนาเป็นวัสดุกันกระแทกสำหรับปกป้องผลไม้จากความเสียหายเชิงกล ทำการศึกษาความเสียหายเชิงกล 3 ชนิดคือ การกระแทก การกดทับ และการฉีกฉีกกับผลแอปเปิลพันธุ์ฟูจินาดเบอร์ 80 และเบอร์ 100 ในการศึกษาความเสียหายเชิงกลจากการกระแทกได้ใช้เทคนิคการทดสอบแบบ ballistic pendulum กับ 8 รูปแบบการปกป้องคือ แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้ม แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโพลีเอทิลีน และ แบบห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกทำจากฟางข้าวหนา 2 3 และ 4 มิลลิเมตร (แบบตัดรีวและแบบไม่ตัด) ผลการทดสอบพบว่าวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร แบบตัดรีว สามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผลแอปเปิลได้ดีที่สุด โดยมีความต้านทานการเข้าสูงที่สุดเท่ากับ 656.53 และ 380.64 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูน สำหรับแอปเปิลเบอร์ 80 และ เบอร์ 100 ตามลำดับ ในการทดสอบการกดทับได้ใช้เครื่อง universal testing machine (UTM) กดลงบนผลแอปเปิลซึ่งได้รับการปกป้องเช่นเดียวกับการทดสอบแบบ ballistic pendulum ด้วยความเร็วในการกด 2.5 มิลลิเมตร/นาที จนกระทั่งถึงจุดแตกของผลแอปเปิลจากนั้นทำการประเมินค่าพลังงานดูดกลืนจากกราฟแรง-การเปลี่ยนรูป ซึ่งผลการทดสอบพบว่าแอปเปิลเบอร์ 80 ที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร แบบไม่ตัดมีพลังงานดูดกลืนสูงที่สุดเท่ากับ 8.61 จูล และสำหรับแอปเปิลเบอร์ 100 ที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร แบบตัดมีพลังงานดูดกลืนสูงที่สุดคือ 12.76 จูล สำหรับการทดสอบการฉีกฉีกได้ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิลของตาข่ายโพลีเอทิลีนและตาข่ายฟางข้าวในบรรจุภัณฑ์ขายส่งด้วยเครื่องฉีกฉีกตามมาตรฐาน ASTM D999 method A2 ที่ความถี่ของการฉีก 4 เฮิรตซ์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำการประเมินความเสียหายรวมที่เกิดขึ้นกับผลแอปเปิล (รอยขีด รอยฉีก รอยแตก เป็นต้น) ผลการทดสอบพบว่า แอปเปิลเบอร์ 80 มีความเสียหายรวม 17.50 และ 22.92 เปอร์เซ็นต์ สำหรับวัสดุกันกระแทกจากตาข่ายโพลีเอทิลีนและฟางข้าวตามลำดับ และ แอปเปิลเบอร์ 100 มีความเสียหายรวม 11.33 และ 14.67 เปอร์เซ็นต์ สำหรับวัสดุกันกระแทกจากตาข่ายโพลีเอทิลีนและฟางข้าว

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

THANAKON NAWKLANG : MECHANICAL DAMAGE PROTECTION
OF FRUITS BY CUSHIONING MATERIAL FROM RICE STRAW.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. TAWARAT TREEAMNUK , D.Eng,
162 PP.

CUSHIONING MATERIAL/ RICE STRAW/ FRUIT/ MECHANICAL DAMAGE

The objective of this research was to evaluate cushioning material from rice straw in order to prevent mechanical damage of fruit. The three types of mechanical damage, i.e. impact, compression and vibration, were tested with Fuji apple fruits size no. 80 and 100 in this study. The eight types of protection, i.e. non protection, foam net, and rice straw cushioning material thickness of 2, 3, 4 mm. (type strip cutting and type no cutting) were test with ballistic pendulum technique for evaluate potential of protection of rice straw cushioning from five level of impact energy. The result indicated that the cushioning material from rice straw at the thickness of 4 mm. with strip cutting is the best protective material for apple fruits. The highest bruise resistant of apple size 80 and 100 are 656.53 and 380.64 mm³/joule respectively. For the compression testing, the universal testing machine (UTM) was use to compress the apple fruits with the eight types of protection like the ballistic pendulum technique. The compression speed of 2.5 mm/min was applied to apple fruit until rupture point. The energy absorption in each condition was evaluated from the force – deformation graph. The result of this test indicated that rice straw cushioning material at the thickness of 4 mm. with strip cutting has highest energy absorption of 8.61 for apple size 80 and that rice straw cushioning material at the thickness of 4 mm. without

cutting has highest energy absorption of 12.76 joule for apple size 100. For vibration testing, comparison of rice straw cushion packaging and traditional packaging (polystyrene foam packaging) was investigated with the vibration simulator base on ASTM D999 method A2 standard at frequency of vibration of 4 Hz for 1 hour. Fruit damage (bruise abrasion crack i.e.) in terms of total damage was evaluated. The results showed that apple size 80 had total damage of 17.50 and 22.92 percent for traditional and rice straw cushioning packaging, respectively. Apple size 100 had total damage of 11.33 and 14.67 percent for traditional and rice straw cushioning packaging, respectively.



School of Agricultural Engineering

Academic Year 2014

Student's Signature_____

Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคล และกลุ่มต่างๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เทวรัตน์ ตรีอำนาจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสทางการศึกษาให้คำแนะนำปรึกษาด้านวิชาการ ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจกับผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระศักดิ์ เลิศศิริโยธิน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พยุงศักดิ์ จุลยุเสนา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการอันเป็นประโยชน์

คุณกรรณิกา ประเสริฐสังข์ และบุคลากรศูนย์ความเป็นเลิศทางชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยให้กำลังใจ กำลังกาย และคำแนะนำปรึกษามาโดยตลอด

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ที่เคารพรักทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ที่ดีให้แก่ผู้วิจัย และสำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่งที่ให้การเลี้ยงดู อบรม ส่งเสริมการศึกษา ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ และมีหลักธรรมในการดำเนินชีวิตที่ดีตลอดมา

ธนากร แนวกลาง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ค
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ด
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 กระบวนการผลิตกระดาษในเชิงอุตสาหกรรม.....	3
2.2.1 ขั้นตอนการทำเยื่อกระดาษ (Pulping).....	3
2.2.2 ขั้นตอนการเตรียมน้ำเยื่อ (Stock Preparation).....	4
2.2.3 ขั้นตอนการทำแผ่น (Sheet Formation).....	4
2.2.4 ขั้นตอนการตกแต่งผิว (Finishing).....	4
2.3 กระบวนการผลิตกระดาษด้วยมือ.....	5
2.3.1 การเตรียมน้ำเยื่อ.....	5
2.3.2 การทำแผ่นกระดาษ.....	5

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4	ความเสียหายเชิงกล (Mechanical Damage).....	6
2.4.1	สาเหตุของความเสียหายเชิงกล.....	6
2.4.2	ลักษณะความรุนแรงทางกายภาพที่พบระหว่างการขนส่ง ผัก ผลไม้.....	7
2.5	การทดสอบกระแทกและความซ้ำ.....	8
2.5.1	Drop Test.....	9
2.5.2	Falling Mass.....	9
2.5.3	Simple Pendulum.....	10
2.5.4	Compound Pendulum.....	11
2.5.5	Impact Ram.....	12
2.5.6	Ballistic Pendulum.....	12
2.6	การบรรจุหีบห่อผลิตภัณฑ์สำหรับการจำหน่าย.....	14
2.6.1	หน้าที่ของบรรจุภัณฑ์.....	15
2.6.2	การกำหนดการบรรจุในบรรจุภัณฑ์.....	15
2.6.3	ประเภทของการบรรจุหีบห่อผลิตภัณฑ์.....	15
2.6.4	ชนิดบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้.....	16
2.6.5	การจัดการภายในบรรจุภัณฑ์ขนส่ง.....	19
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
3	เครื่องมือและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1	บทนำ.....	27
3.2	วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือดำเนินงานวิจัย.....	27
3.3	การพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษฟางข้าว.....	29
3.4	การหาคุณสมบัติทางกายภาพของผลแอปเปิ้ล.....	30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5	การทดสอบวัสดุกันกระแทกที่ได้จากกระดาศฟางข้าว.....	31
3.5.1	ทำการทดสอบ Drop Test.....	31
3.5.2	ทำการทดสอบ Ballistic Pendulum.....	32
3.5.3	ทดสอบการกดทับ.....	33
3.6	วิธีการทำบรรจุภัณฑ์กันกระแทกจากเชื้อฟางข้าวโดยการขึ้นรูป.....	34
3.7	ทดสอบบรรจุภัณฑ์กันกระแทกภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือน.....	35
3.7.1	ทดสอบการสั่นสะเทือน.....	35
3.8	การประเมินปริมาตรรอยชำและความต้านทานชำทั้งหมด.....	36
3.8.1	การหาปริมาตรเนื้อชำ.....	36
3.8.2	คำนวณหาค่าความต้านทานการชำทั้งหมด.....	36
4	ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล	37
4.1	บทนำ.....	37
4.2	กระดาศฟางข้าวที่ผลิตได้.....	37
4.3	ลักษณะทางกายภาพของแอปเปิล.....	38
4.4	ผลของการทดสอบความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิล.....	39
4.4.1	ผลของการทดสอบด้วยวิธีตกกระทบ (Drop Test).....	39
4.4.2	ผลของการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบแบบแท่งมวลแกว่ง.....	46
4.4.3	ผลของทดสอบการกดทับ.....	50
4.4.4	ผลของการทดสอบด้วยวิธีการสั่นสะเทือน.....	51
5	บทสรุป.....	55
5.1.	การทดสอบความสามารถในการปกป้องความเสียหายเชิงกลจากการกระแทก.....	53
5.2	การทดสอบความสามารถในการป้องกันความเสียหายเชิงกลจากการกดทับ.....	53
5.3	การทดสอบความสามารถในการป้องกันความเสียหายเชิงกลจากการสั่นสะเทือน.....	54

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง.....	55
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการคำนวณ.....	58
ภาคผนวก ข. ตารางผลการทดลอง.....	62
ภาคผนวก ค. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ในระหว่างการศึกษา.....	147
ประวัติผู้เขียน.....	162



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ตารางแสดงวิธีการทำวัสดุกันกระแทกโดยการขึ้นรูป.....34
4.1	รูปร่างและขนาดของแอปเปิล.....38
4.2	ค่าปริมาตรรอยชำและพลังงานกระแทกของการทดสอบแบบไม่มีวัสดุห่อหุ้ม.....39
4.3	ค่าปริมาตรรอยชำและพลังงานกระแทกของการทดสอบแบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโฟม.....40
4.4	ค่าปริมาตรรอยชำและพลังงานกระแทกของการทดสอบแบบห่อหุ้มด้วย กระดาษฟางข้าวหนา 2 mm.....41
4.5	ค่าปริมาตรรอยชำและพลังงานกระแทกของการทดสอบแบบห่อหุ้ม ด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 4 mm.....42
4.6	ค่าปริมาตรรอยชำและพลังงานกระแทกของการทดสอบแบบห่อหุ้ม ด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 6 mm.....43
4.7	ค่าเฉลี่ยปริมาตรรอยชำจากการทดสอบด้วยวิธีการตกกระแทก.....45
4.8	ระดับพลังงานที่เริ่มเกิดรอยชำ.....48
4.9	สมการรีเกรสชันเส้นตรงระหว่างปริมาตรชำกับพลังงานกระแทกของแอปเปิล เมื่อห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกชนิดต่างๆ.....49
4.10	ปริมาณความเสียหายของแอปเปิลเบอร์ 10052
4.11	ปริมาณความเสียหายของแอปเปิลเบอร์ 8052
ข 1	ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum แอปเปิลเบอร์ 80 แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้มมุมตกกระทบ 10 องศา.....63
ข 2	ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้มมุมตกกระทบ 15 องศา.....64
ข 3	ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้มมุมตกกระทบ 20 องศา.....65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข 4	ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้มมุดกกระทบ 25 องศา.....	66
ข 5	ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้มมุดกกระทบ 30 องศา.....	67
ข 6	ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้มมุดกกระทบ 35 องศา.....	68
ข 7	ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโพลีมุดกกระทบ 15 องศา.....	69
ข 8	ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโพลีมุดกกระทบ 20 องศา.....	70
ข 9	ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโพลีมุดกกระทบ 25 องศา.....	71
ข 10	ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโพลีมุดกกระทบ 30 องศา.....	72
ข 11	ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโพลีมุดกกระทบ 35 องศา.....	73
ข 12	ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 mm มุดกกระทบ 15 องศา.....	74
ข 13	ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 mm มุดกกระทบ 20 องศา.....	75
ข 14	ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 mm มุดกกระทบ 25 องศา.....	76
ข 15	ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 mm มุดกกระทบ 30 องศา.....	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข 40 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 4 mm แบบไม่ตัด มุมตกกระทบ 30 องศา.....	102
ข 41 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 4 mm แบบไม่ตัด มุมตกกระทบ 35 องศา.....	103
ข 42 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้ม มุมตกกระทบ 10 องศา.....	104
ข 43 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้ม มุมตกกระทบ 15 องศา.....	105
ข 44 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้ม มุมตกกระทบ 20 องศา.....	106
ข 45 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้ม มุมตกกระทบ 25 องศา.....	107
ข 46 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้ม มุมตกกระทบ 30 องศา.....	108
ข 47 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้ม มุมตกกระทบ 35 องศา.....	109
ข 48 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโฟม มุมตกกระทบ 10 องศา.....	110
ข 49 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโฟม มุมตกกระทบ 15 องศา.....	111
ข 50 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโฟม มุมตกกระทบ 20 องศา.....	112
ข 51 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโฟม มุมตกกระทบ 25 องศา.....	113

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข 52 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโพลีเมอร์ มุมตกกระทบ 30 องศา.....	114
ข 53 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโพลีเมอร์ มุมตกกระทบ 35 องศา.....	115
ข 54 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 mm แบบตัด มุมตกกระทบ 15 องศา.....	116
ข 55 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 mm แบบตัด มุมตกกระทบ 20 องศา.....	117
ข 56 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 mm แบบตัด มุมตกกระทบ 25 องศา.....	118
ข 57 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 mm แบบตัด มุมตกกระทบ 30 องศา.....	119
ข 58 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 mm แบบตัด มุมตกกระทบ 35 องศา.....	120
ข 59 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 mm แบบไม่ตัด มุมตกกระทบ 15 องศา.....	121
ข 60 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 mm แบบไม่ตัด มุมตกกระทบ 20 องศา.....	122
ข 61 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 mm แบบไม่ตัด มุมตกกระทบ 25 องศา.....	123
ข 62 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 mm แบบไม่ตัด มุมตกกระทบ 30 องศา.....	124
ข 63 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 mm แบบไม่ตัด มุมตกกระทบ 35 องศา.....	125

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข 76 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 4 mm แบบตัด มุมตกกระทบ 25 องศา.....	138
ข 77 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 4 mm แบบตัด มุมตกกระทบ 30 องศา.....	139
ข 78 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 4 mm แบบตัด มุมตกกระทบ 35 องศา.....	140
ข 79 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 4 mm แบบไม่ตัด มุมตกกระทบ 15 องศา.....	141
ข 80 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 4 mm แบบไม่ตัด มุมตกกระทบ 20 องศา.....	142
ข 81 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 4 mm แบบไม่ตัด มุมตกกระทบ 25 องศา.....	143
ข 82 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 4 mm แบบไม่ตัด มุมตกกระทบ 30 องศา.....	144
ข 83 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 100 แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 4 mm แบบไม่ตัด มุมตกกระทบ 35 องศา.....	145
ข 84 ผลการทดสอบการกดทับของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโฟม.....	146

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	การทำแผ่นกระดาษด้วยวิธีการตะ.....6
2.2	การทดสอบการกระแทกแบบต่าง ๆ.....8
2.3	แบบแกว่งผลไม้ (Simple Pendulum).....10
2.4	แบบแขนมวลแกว่ง (Compound Pendulum).....12
2.5	ลักษณะรอยขีดของผลแอปเปิล ณ จุดเริ่มเกิดรอยขีด.....13
2.6	การเปรียบเทียบวิธีการวัดปริมาตรขีด.....14
3.1	เครื่องทดสอบการกระแทก.....28
3.2	เครื่องจำลองการสั่นสะเทือน.....28
3.3	เครื่องสับย่อย.....28
3.4	ชุดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์.....28
3.5	การทดสอบแบบปล่อยผลไม้ตก (Drop Test).....31
3.6	กระดาษจากฟางข้าวแบบตัดรีวและแบบไม่ตัด.....32
3.7	การทดสอบแบบแท่งมวลแกว่ง (Ballistic Pendulum).....33
3.8	การทดสอบการกดทับโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (UTM).....34
3.9	การทดสอบการสั่นสะเทือน.....35
3.10	ปริมาตรเนื้อขีด.....36
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงและปริมาตรรอยขีดเฉลี่ย.....44
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงและพลังงานกระแทกเฉลี่ยของแต่ละการทดสอบ...45
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกระแทกและปริมาตรรอยขีดเฉลี่ยของแอปเปิลเบอร์ 80.....47
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกระแทกและปริมาตรรอยขีดเฉลี่ยของแอปเปิลเบอร์ 100.....47
4.5	พลังงานคูกกลิ้งภาระเมื่อห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกชนิดต่างๆของแอปเปิลเบอร์ 80.....50
4.6	พลังงานคูกกลิ้งภาระเมื่อห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกชนิดต่างๆของแอปเปิลเบอร์ 100.....51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก1 BALLISTIC PENDULUM.....	59
ก2 ปริมาตรรอยชำ.....	60
ก3 กราฟผลการทดสอบการกดเกือบสถิติใน โปรแกรม Microsoft Excel.....	61



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

U_i	=	พลังงานการกระแทก (J)
m_f	=	มวลของผลไม้ (กิโลกรัม)
h_f	=	ความสูงของผลไม้ (เมตร)
v_f	=	ความเร็วของผลไม้เมื่อเริ่มกระแทก (เมตร/วินาที)
U_a	=	พลังงานดูดกลืน (J)
θ_i	=	มุมที่เส้นเชือกทำกับแนวดิ่งก่อนปล่อย (มุมตกกระทบ, องศา)
θ_r	=	มุมที่เส้นเชือกทำกับแนวดิ่งเมื่อสะท้อนกลับสูงสุด (มุมสะท้อน, องศา)
m_1	=	มวลลูกตุ้ม (กิโลกรัม)
R	=	ความยาวเชือก (เมตร)
h_1	=	ความสูงลูกตุ้มน้ำหนักก่อนปล่อย (เมตร)
W	=	ความกว้างรอยขีด (มิลลิเมตร)
D	=	ความลึกรอยขีด (มิลลิเมตร)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ข้างหน้าว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย จากข้อมูลการส่งออกปี พ.ศ. 2557 พบว่าไทยส่งออกข้าว 10,969,334.952 ตัน มีมูลค่าการส่งออกมากถึง 174,853 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) พื้นที่การปลูกข้าวของไทยมีพื้นที่ทั้งหมด 79 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ปลูกข้าวนาปี 64 ล้านไร่ ทำให้มีวัสดุเหลือที่เรียกว่าฟางตอซังเหลือในไร่นาเฉลี่ยไร่ละ 300 กิโลกรัม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) แต่ฟางข้าวจำนวนมหาศาลที่ได้นี้แทบจะไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มคุณค่าและมูลค่าในเชิงเศรษฐกิจ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกษตรกรยังขาดความรู้ความเข้าใจในการนำเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (post – harvest technology) และเทคโนโลยีจัดของเสีย (non-waste technology) มาปรับใช้ให้เกิดประโยชน์ นอกจากนี้เกษตรกรผู้ปลูกข้าวยังไม่ทราบเทคโนโลยีการจัดการ การเพิ่มคุณค่า และมูลค่าฟางข้าวทั้งยังขาดอุปกรณ์เครื่องมือที่เหมาะสมในการใช้และการจัดการฟางอีกด้วย ยังผลให้เกษตรกรนิยมเผาทำลายฟางข้าวเพื่อประโยชน์ในการเตรียมดินทำนาในปีต่อไปเป็นสำคัญ การเผาฟางข้าวทิ้งของเกษตรกรนี้ ทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าและมูลค่าเชิงเศรษฐกิจ อย่างมาก ทั้งยังก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกชนิดต่าง ๆ นำมาซึ่งมลพิษทางอากาศ เกิดผลเสียต่อระบบนิเวศเป็นบริเวณกว้างในพื้นที่ที่มีการเผาฟางทิ้ง ทั้งนี้เพราะความร้อนจากการเผาฟางจะทำลายสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อยู่ในผิวดิน ทั้งทำลายอินทรีย์วัตถุที่เป็นแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานของสิ่งมีชีวิตนานาชนิดที่อยู่ในดินและบนผิวดิน นอกจากนี้การเผาฟางยังทำให้ธาตุอาหารพืชสูญเสียออกไปจากระบบนิเวศเกษตร ธาตุที่สูญเสียไปในสภาพของก๊าซที่สำคัญ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส กำมะถัน คาร์บอน การเผาฟางทิ้งทำให้เกิดฝนกรด ทำให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง ทัศนวิสัยเลวลงในการเดินทางทั้งจราจรทางบกและทางอากาศ จากเหตุผลดังกล่าว ปัจจุบันจึงได้มีการณรงค์การไม่เผาฟางข้าวจากหน่วยงานของรัฐขึ้น เนื่องจากฟางข้าวมีประโยชน์ในการเพิ่มความสมบูรณ์ให้แก่ดินได้เมื่อย่อยสลาย และสามารถใช้เป็นวัสดุคลุมดินหรือใช้รักษาความชื้นในการเพาะเห็ดได้ดี (ศรีนรา แมะเระ, 2545) นอกจากนี้ประโยชน์ที่สำคัญประการหนึ่งของฟางข้าวคือการมีคุณสมบัติเป็นพืชเส้นใย (Fiber) ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ เช่น การทำ

กระดาษหัตถกรรม หรือกระดาษฟางเป็นต้น ดังนั้นในยุคโลกาภิวัตน์ที่กระแสการอนุรักษ์ธรรมชาติกำลังเป็นที่สนใจ

งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะนำฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มาปรับปรุงคุณสมบัติและองค์ประกอบเพื่อพัฒนาเป็นวัสดุกันกระแทกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งมีคุณภาพและประสิทธิภาพดีเพียงพอ สำหรับการป้องกันความเสียหายของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอันเนื่องมาจากความเสียหายเชิงกล

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อพัฒนากระบวนการแปรรูปฟางข้าวเป็นวัสดุค้ำสำหรับผลิตวัสดุกันกระแทก
- 1.2.2 เพื่อศึกษาความเสียหายเชิงกลของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร
- 1.2.3 เพื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันความเสียหายเชิงกล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ทำการศึกษากระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจากฟางข้าว ทดสอบคุณสมบัติทางกลเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นวัสดุกันกระแทกสำหรับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร
- 1.3.2 พัฒนาวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวที่ได้ในรูปแบบกระดาษจากฟางข้าวเพื่อใช้ในการทดลองผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอย่างน้อย 1 ชนิด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สร้างมูลค่าเพิ่มทางด้านเศรษฐกิจให้กับฟางข้าว
- 1.4.2 สามารถพัฒนากระดาษจากฟางข้าวให้เป็นบรรจุภัณฑ์กันกระแทกสำหรับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้
- 1.4.3 ช่วยลดความเสียหายเชิงกลของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอันเนื่องมาจากการขนส่ง
- 1.4.4 ช่วยลดปัญหาโลกร้อนอันเนื่องมาจากการเผาฟางข้าว เป็นการริเริ่มให้เกิดสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
- 1.4.5 ลดปัญหาปริมาณขยะจากการใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทโฟมและพลาสติก

บทที่ 2

ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการผลิตกระดาษในเชิงอุตสาหกรรม กระบวนการผลิตกระดาษด้วยมือ การบรรจุหีบห่อผลิตภัณฑ์สำหรับการจำหน่าย ความเสียหายเชิงกลโดยจะกล่าวถึงการทดสอบกระแทกและความชื้น

2.2 กระบวนการผลิตกระดาษในเชิงอุตสาหกรรม

กระบวนการผลิตกระดาษในปัจจุบันเป็นอุตสาหกรรมใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่มีผลผลิตมากและมีประสิทธิภาพการผลิตสูง แต่ก็ยังมีโรงงานขนาดกลางและย่อมที่ผลิตกระดาษเฉพาะอย่าง กระบวนการผลิตกระดาษในเชิงอุตสาหกรรมแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนคือ

2.2.1 ขั้นตอนการทำเยื่อกระดาษ (Pulping)

การทำเยื่อกระดาษเริ่มจากการนำไม้มาตัดเป็นท่อน ๆ ลอกเปลือกไม้ออก ทำความสะอาด แล้วสับเป็นชิ้นเล็ก ๆ สามารถทำเยื่อกระดาษได้ 3 ประเภทคือ

1. เยื่อเชิงกลหรือเยื่อบด (Mechanical Pulp) เป็นเยื่อที่ผลิตโดยใช้พลังงานกล โดยนำต้นไม้ไปบดด้วยหินบดหรือจานบด เยื่อที่ได้จะมีลักษณะไม่สมบูรณ์ สั้นและขาดเป็นท่อน ทำให้กระดาษที่ได้มาไม่แข็งแรง อีกทั้งยังมีสารลิกนินคงเหลืออยู่ซึ่งเป็นสารที่ทำให้กระดาษเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเมื่อได้รับแสง กระดาษที่ได้จากกรรมวิธีนี้มีความทึบสูงดูดความชื้นได้ดี มีราคาถูก แต่ไม่แข็งแรงและดูเก่าเร็ว มักจะนำไปใช้ทำสิ่งพิมพ์ประเภทหนังสือพิมพ์ เพื่อพัฒนาเยื่อบดให้ดีขึ้น ได้มีการนำต้นไม้ไปอบด้วยความร้อนก่อนนำไปบด เพื่อให้เยื่อไม้กับลิกนินแยกออกจากกันได้ง่าย คุณภาพกระดาษที่ได้ก็จะดีขึ้น

2. เยื่อเคมี (Chemical Pulp) เป็นเยื่อที่ผลิตโดยใช้สารเคมีและความร้อนในการแยกเยื่อและขจัดลิกนิน เยื่อกระดาษที่ได้จากวิธีกรรมวิธีนี้มีความสมบูรณ์กว่าเยื่อบด แต่ได้ผลผลิตที่ต่ำกว่า ราคาที่สูงกว่า เยื่อเคมีที่ได้จากการใช้สารซัลเฟต ซึ่งเรียกว่าเยื่อซัลเฟต (Sulfate Pulp) จะเป็นเยื่อที่เหนียวมีสีคล้ำอมน้ำตาล มักจะนำไปใช้ทำกระดาษเหนียว (Kraft Paper) สำหรับทำถุงและบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ ส่วนเยื่อเคมีที่ได้จากการใช้สารซัลไฟต์ ซึ่งเรียกว่าเยื่อซัลไฟต์ (Sulfite Pulp) จะมีความแข็งแรงน้อยกว่าเยื่อซัลเฟต นิยมนำไปฟอกให้ขาวเพื่อใช้เป็นกระดาษสำหรับเขียนและกระดาษเพื่อ

ใช้ในงานพิมพ์

3. เยื่อกึ่งเคมี (Semi-chemical Pulp) เป็นเยื่อที่ผลิตโดยนำไม้ชิ้นมาต้มในสารเคมี เพื่อให้เยื่อแยกออกจากกันง่ายขึ้นและเพื่อละลายลิกนิน เสร็จแล้วจึงนำมาบดด้วยจานบด กรรมวิธีนี้ ทำให้ได้เยื่อที่มีคุณภาพดีกว่าเยื่อบดและได้ผลผลิตมากกว่าเยื่อเคมี เยื่อกึ่งเคมีมักนำไปใช้ในการผลิตกระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์เป็นส่วนใหญ่

นอกจากนี้ยังมีการทำเยื่อจากกระดาษใช้แล้ว โดยนำมาบดเพื่อให้เยื่อกระจายออกจากกันและมีการผ่านกระบวนการขจัดสิ่งที่ไม่ดีกระดาษมาด้วยเช่น หมึก กาว ฯลฯ เยื่อที่ได้นี้จะไม่สมบูรณ์ เส้นใยขาด จึงไม่มีความแข็งแรง การผลิตกระดาษจึงมักนำเยื่อบริสุทธิ์มาผสม เนื่องจากมีสารปนเปื้อนตกค้างไม่สามารถกำจัดได้หมด เยื่อจากกระดาษเก่ามักนำไปใช้ทำกระดาษหนา กระดาษกล่อง และมักจะมีสีคล้ำ

เยื่อที่ผ่านขั้นตอนการผลิตข้างต้น หากต้องการนำไปผลิตกระดาษที่มีเนื้อสีขาว ก็จะต้องนำไปผ่านขบวนการฟอกเพื่อกำจัดลิกนินออก เยื่อที่ได้ด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ จะต้องผ่านการเตรียมน้ำเยื่อก่อนที่จะนำไปทำแผ่นกระดาษ

2.2.2 ขั้นตอนการเตรียมน้ำเยื่อ (Stock Preparation)

การเตรียมน้ำเยื่อ เป็นการทำให้เยื่อกระจายตัวและเติมส่วนผสมให้เหมาะกับการทำกระดาษประเภทที่ต้องการ การเตรียมน้ำเยื่ออาจมีการนำเยื่อไม้มากกว่า 1 ชนิดมาผสมเข้าด้วยกัน เพื่อควบคุมต้นทุนให้เหมาะสมและเพิ่มสมบัติบางประการให้กับกระดาษที่จะผลิต การเตรียมน้ำเยื่อเริ่มจากการตีเยื่อให้กระจายอย่างสม่ำเสมอในน้ำเยื่อไม่จับเป็นก้อน เสร็จแล้วนำไปบดให้เส้นใยแตกเป็นขลุ่ยเพื่อช่วยการเกาะยึดระหว่างกันดีขึ้น จากนั้นก็นำสารปรับแต่งต่าง ๆ เพื่อเพิ่มสมบัติของกระดาษตามที่ต้องการพร้อมกันนี้จะมีการปรับความเข้มข้นของน้ำเยื่อก่อนจะเข้าสู่ขั้นตอนการทำแผ่น

2.2.3 ขั้นตอนการทำแผ่น (Sheet Formation)

ขั้นตอนนี้เริ่มด้วยการนำน้ำเยื่อลงในถังจ่ายน้ำเยื่อซึ่งจะถูกปล่อยลงบนสายพานตะแกรง น้ำส่วนใหญ่จะเล็ดรอดผ่านช่องของตะแกรงเหล่านี้ เยื่อจะเริ่มเป็นรูปร่างกระดาษ สายพานตะแกรงจะพาเยื่อกระดาษเข้าสู่ส่วนที่เป็นลูกกลิ้งเพื่อรีดน้ำที่ยังค้างอยู่ออกให้มากที่สุด พร้อมกับกดทับให้เยื่อประสานติดกัน ต่อจากนั้นกระดาษจะถูกพาไปอบโดยผ่านลูกกลิ้งร้อนหลาย ๆ ลูกจนเหลือน้ำอยู่น้อยมาก (ประมาณ 4 – 6 % โดยน้ำหนัก)

2.2.4 ขั้นตอนการตกแต่งผิว (Finishing)

กระดาษที่ผ่านการอบแห้งจะถูกนำมาตกแต่งผิวตามที่ต้องการเช่นการขัดผิว (Calendering) การเคลือบผิวให้เรียบเงาหรือด้าน กระดาษที่แล้วเสร็จจะถูกจัดเก็บเป็นม้วนเข้าโกดัง

เมื่อมีการออกจำหน่ายก็จะตัดเป็นม้วนเล็กตามหน้ากว้างที่ต้องการ หรือตัดเป็นแผ่น ๆ ตามขนาดที่ต้องการแล้วห่อเป็นริม ๆ ละ 500 แผ่น

2.3 กระบวนการผลิตกระดาษด้วยมือ

การผลิตกระดาษด้วยมือ เป็นวิธีที่สืบทอดมาจากบรรพบุรุษนับพันปี แต่ในกรรมวิธีการผลิตในอดีตกับปัจจุบันนี้แทบไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งในด้านคุณภาพกระดาษและวิธีการผลิต สิ่งที่แตกต่างกันเด่นชัดจากการทำกระดาษในอดีตได้แก่ สารเคมี เช่น ด่างหรือโซดาไฟ (NaOH) มาใช้แทนขี้เถ้าที่ใช้ในอดีต การผลิตกระดาษด้วยมือของประเทศไทยมีกระบวนการผลิตแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.3.1 การเตรียมเยื่อ

นำวัตถุดิบที่จะผลิตเป็นกระดาษมาผ่านขั้นตอนเตรียมเยื่อ คือ

1. การแช่วัตถุดิบลงในน้ำสะอาดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้เปลือกอ่อนตัวลง สิ่งสกปรก เช่น เศษพง เศษฝุ่น ที่ติดอยู่จะได้หลุดออกทำให้สะอาดมากขึ้น

2. การต้มเยื่อ แบ่งออกได้ดังนี้

1. ต้มด้วยขี้เถ้าเป็นวิธีแบบโบราณ วิธีต้มส่วนใหญ่จะใช้ถังน้ำมัน 200 ลิตร มาผ่าครึ่ง หรือใช้ปั๊บน้ำมันเก่าค้ำน้ำตั้งไฟจนเดือด จึงใส่วัตถุดิบใส่ขี้เถ้าลงไปตามความเหมาะสม ใช้เวลาต้ม 3-5 ชั่วโมง เยื่อที่ต้มด้วยขี้เถ้าจะมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากอัตราส่วนของขี้เถ้าไม่แน่นอนและยังทำให้เยื่อที่ต้มเสร็จแล้วสกปรก

2. ต้มด้วยโซดาไฟ เป็นวิธีที่สะดวกและประหยัดเวลาและประหยัดเชื้อเพลิง เยื่อที่ได้จะสะอาดและมีคุณภาพที่สม่ำเสมอ การใช้โซดาไฟจะใช้เวลาต้มเพียง 1-2 ชั่วโมง

3. การล้างสารเคมีหลังจากต้มด้วยขี้เถ้าหรือโซดาไฟแล้ว จะต้องนำไปล้างเพื่อกำจัดเศษพง เมือก ขี้เถ้าและโซดาไฟออกจนหมด ยิ่งล้างมากเท่าไรจะได้เยื่อที่มีคุณภาพมากขึ้น

2.3.2 การทำแผ่นกระดาษ

เยื่อที่ผ่านกระบวนการเตรียมเยื่อแล้วจะถูกทำให้เป็นแผ่นด้วยมือ (Hand Sheet) ได้ 2 วิธีดังนี้

1. การตักช้อน นำเยื่อที่ผ่านการเตรียมมาแล้วละลายลงในบ่อช้อนลึก 80 เซนติเมตร ใช้ไม้กวานเยื่อให้มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ในขั้นตอนนี้เพื่อให้เยื่อกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ทางกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมแนะนำให้ใช้ยางกระเจี๊ยบสดมาคั้นเอาเมือกเหนียวๆ มาผสมกับน้ำให้ความเข้มข้น 1:1 นำน้ำยางกระเจี๊ยบสดที่มีความเข้มข้น 1:1 ใส่ลงในบ่อ ตักเยื่อในอัตราส่วน 1:30 ของน้ำเยื่อโดยประมาณ จะทำให้เยื่อกระจายโดยสมบูรณ์ เกิดความสม่ำเสมอของแผ่นกระดาษ

การตัดช้อนโดยทั่วไปจะใช้ตะแกรงในล่อนและตะแกรงมุ้งลวดซึ่งอยู่บนเฟรมไม้ทำการตัดช้อนขึ้นขึ้นมาการตัดต้องอาศัยความชำนาญมากเพราะความหนาบางอยู่ที่การตัดช้อนนี้เอง

2. การตะ โดยการนำเยื่อที่เตรียมมาแล้วทำเป็นก้อนๆเท่าๆกัน นำมาใส่ลงในกระบอกไม้ไผ่ โดยจะผสมกับน้ำเล็กน้อย กวนให้เยื่อแตกฟูขึ้นมาอย่างสม่ำเสมอ เทลงบนตะแกรงชนิดกรวดด้วยผ้ามุ้งหรือผ้าใยบัว จึงตึงกับเฟรมที่ทำด้วยไม้หรือกรอบอลูมิเนียม ปล่อยให้ตัวในน้ำใช้หลังมือตะๆและใช้เกรียงเกลี่ยให้เยื่อได้กระจายตัวออกไปในตะแกรงอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.1 แล้วยกตะแกรงขึ้น วิธีนี้จะได้ความหนามากกว่าและเรียบสม่ำเสมอ หากผู้ตะมีความชำนาญ อีกวิธีหนึ่งจะนำเยื่อไปชั่งน้ำหนักก่อนได้ ดังนั้นจึงได้ค่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษสม่ำเสมอทุกแผ่น แต่วิธีตะจะใช้เวลาการผลิตมากกว่าการช้อนตัด

ในการทำวิจัยครั้งนี้ จะใช้วิธีการผลิตกระดาษฟางข้าว ด้วยวิธีการตะ เพราะสามารถควบคุมน้ำหนักและค่าความหนาได้ แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การทำแผ่นกระดาษด้วยวิธีการตะ

2.4 ความเสียหายเชิงกล(Mechanical Damage)

ความเสียหายเชิงกล(Mechanical Damage) คือ ความล้มเหลวของผลิตภัณฑ์เมื่อมันเกิดการเปลี่ยนแปลงที่มากเกินไปจากแรงกระทำให้ผ่านช่องว่างที่ตรึงอยู่กับที่ หรือแรงกระแทก (บัณฑิต จริโมภาส, 2549) สำหรับพวกผักและผลไม้ คนแปรรูปจะต้องประสบปัญหาเกี่ยวกับต้นทุนที่สูงขึ้นเนื่องจากความสูญเสียเนื้อผักและผลไม้ที่ต้องถูกเหวี่ยงทิ้งไป แรงงานที่ต้องเพิ่มเข้ามาเพื่อเอาเนื้อที่ช้ำออกไป ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นโดยอ้อม อันเกิดจากกระบวนการผลิตต้องทำงานช้าลงและคุณภาพของผลิตผลสำเร็จรูปต้องลดลง

2.4.1 สาเหตุของความเสียหายเชิงกลมีได้ 2 ประการ คือ

1. แรงภายนอก ภายใต้อุณหภูมิหรือสภาวะพลวัต
2. แรงภายใน เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ความเสียหายจากแรง

ภายในอาจจะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การเปลี่ยนแปลงในอุณหภูมิ ความชื้น การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ชีวะ ตัวอย่างได้แก่ การแตกด้วยแรงเค้น (Stress Cracks) การแตกที่ผิวของมะม่วง ผลมะเขือเทศ มันเทศ เซอร์รืหวาน

ความลึมหลวในวัสดุวิศวกรรมอาจเป็นผลมาจาก การเปลี่ยนรูปการยืดหยุ่นมากเกินไป หรือการคราก หรือการแตกของวัสดุ สำหรับผลิตภัณฑ์เก็บเกี่ยวมาใหม่ๆ ความลึมหลว อาจจะเห็นได้ว่าเป็นการแตกของโครงสร้างเซลล์ภายนอก หรือภายในของวัสดุอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ความเสียหายเชิงกลเกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ดีไม่มีการตรวจสอบให้รู้ได้อย่างแท้จริง

2.4.2 ลักษณะความรุนแรงทางกายภาพที่พบระหว่างการขนส่ง ผัก ผลไม้

ซึ่งมีผลกับคุณภาพของผัก ผลไม้ แบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1. การกดทับ (Pressure Damage) การกดทับที่มีต่อบรรจุภัณฑ์ซึ่งไม่แข็งแรงพอ จะทำให้ผัก ผลไม้บอบช้ำได้ง่าย การกดทับเกิดเนื่องจาก การบรรจุผักผลไม้มากเกินไปและการจัดวาง ไม่เหมาะสม มีการเรียงซ้อนกันหลายชั้นทำให้ สินค้าที่อยู่ข้างล่างได้รับความเสียหาย

2. การกระทบ (Impact Damage) ระหว่างการขนส่งกล่อง ผัก ผลไม้ อาจถูกโยน หรือกระทบกับกล่องผลไม้กล่องอื่น หรือตกกระทบพื้น สาเหตุเหล่านี้จะส่งผลให้ผักและผลไม้ เกิดการเน่าเสียได้

3. การสั่นสะเทือน (Vibration Damage) ความเสียหายของผัก ผลไม้ จากการขนส่งที่ เรียกว่า การช้ำของลูกกลิ้ง (Roller Bruising) เป็นปัจจัยที่สำคัญหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของผัก ผลไม้สดและแปรรูป สาเหตุของความเสียหายมาจากความล้า (Fatigue) เนื่องจากแรงของการ สั่นสะเทือนซ้ำแล้วซ้ำเล่าต่อผลไม้ส่งผลให้เซลล์ภายในผิวผลไม้แตกปัจจัยที่กำหนดความรุนแรง ของความเสียหายมี 2 ประการคือ

1. ความเข้มของการสั่นสะเทือน

2. ระยะเวลาของการสั่นสะเทือน ความเข้มของการสั่นสะเทือนวัดเป็นความเร่ง (g) ของผลไม้ในชั้นบนๆ ซึ่งเกิดการเสียหายมากที่สุด ความเร่งขึ้นอยู่กับ

1. ความลึกของผลไม้ในภาชนะบรรจุ

2. ความแน่นของการบรรจุ

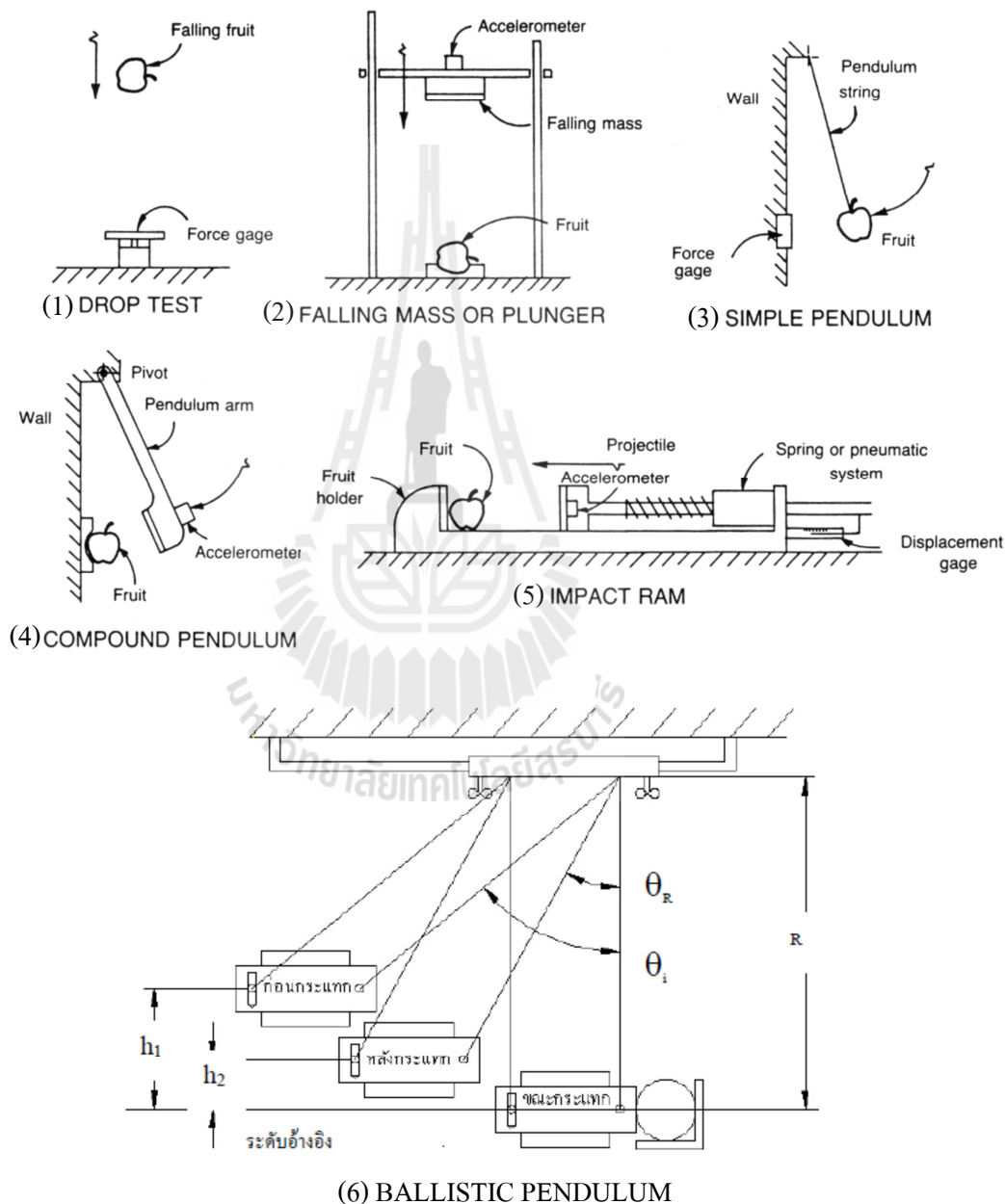
3. ชนิดของระบบป้องกันสั่นสะเทือนในรถบรรทุก

4. ขนาดของการสั่นสะเทือนที่ถูกกระทำจากท้องถนน

5. ลักษณะของการสั่นสะเทือนของผลไม้ชนิดต่างๆ

2.5 การทดสอบกระแทกและความซ้ำ

ปกติผักผลไม้จะถูกภาวะกระแทกกระทำระหว่างการจัดการหลังเก็บเกี่ยว การขนส่ง การกระจายสินค้าไปสู่ผู้บริโภค สมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของผลไม้เมื่อถูกกระแทก การทดสอบการกระแทกมีหลายวิธีด้วยกัน (Mohsenin, 1986) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 แต่วิธีที่นิยมหลัก ๆ มี 6 วิธี คือ



รูปที่ 2.2 การทดสอบการกระแทกแบบต่าง ๆ

(ที่มา : Mohsenin, 1986)

2.5.1 Drop Test คือ แบบปล่อยผลไม้ตกลงมาอยู่ในอากาศ จะมีพลังงานจลน์ พลังงานนี้มาจากพลังงานศักย์ที่สมนัยกับความสูง วัดจากตำแหน่งหนึ่งเดิมกับจุดที่พื้นกระแทกพิจารณา ถ้าเกิดการกระแทก ณ ตำแหน่งนี้ พลังงานการกระแทก (U_i) สามารถหาได้จากสมการ

$$U_i = m_i g h_f \quad (2.1)$$

เมื่อ m_f = มวลของผลไม้ (กิโลกรัม)
 h_f = ความสูงของผลไม้ (เมตร)
 U_i ยังสามารถคำนวณได้จากความเร็วของผลไม้ นั่นคือ

$$U_i = 1/2(m_f)(v_f)^2 \quad (2.2)$$

โดย v_f = ความเร็วของผลไม้เมื่อเริ่มกระแทก (เมตร/วินาที)
 ผลไม้เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติความยืดหยุ่น หลังจากการกระแทกครั้งที่ 1 มันจะกระดอนกลับขึ้นไปในอากาศเนื่องจากผลไม้พยายามกลับสู่สภาพเดิม โดยคืนพลังงาน (Energy of recovery) ให้กับสิ่งแวดล้อม อาจมีการดูดกลืนบางส่วนของ U_i เอาไว้เป็น Hysteresis ถ้า t เป็นเวลา(วินาที) จากหลังการกระแทกครั้งที่ 1 ถึงก่อนการกระแทกครั้งที่ 2 เป็นเวลาที่ผลไม้จากจุดหยุดนิ่งในอากาศ (ความเร็วเป็น 0) จนถึงเริ่มกระแทกครั้งที่ 2

$$\text{ความเร็วของผลไม้เมื่อเริ่มกระแทกครั้งที่ 2, } V_2 = gt/2$$

$$\text{พลังงานจลน์เมื่อเริ่มกระแทกครั้งที่ 2, } U'$$

$$U' = 1/2(m_f)(gt/2)^2 = (m_f g^2 t^2)/8 \quad (2.3)$$

เมื่อพิจารณาว่าพลังงานไม่สูญหายไปไหนระหว่างการกระแทก พลังงานจลน์เมื่อเริ่มกระแทกครั้งที่ 2 คือ พลังงานคืนรูป (Energy of recovery) ของการกระแทกครั้งแรก ที่ส่งให้ผลไม้ลอยขึ้นไปในอากาศ ความแตกต่างของพลังงานทั้งสองจะเป็นพลังงานที่ผลไม้ดูดกลืนเอาไว้ระหว่างการกระแทก(U_a)

$$U_a = U_i - U' = m_i g h_f - (m_f g^2 t^2)/8 \quad (2.4)$$

2.5.2 Falling Mass คือ แบบปล่อยมวลแข็งผิวเรียบตกใส่ผลไม้ U_i ที่ผลไม้ได้รับก็คือ U_i ที่วัตถุมีเมื่อเริ่มกระแทก

$$U_i = mgh \quad (2.5)$$

เมื่อ $m =$ มวลของวัตถุ (กิโลกรัม)
 $h =$ ความสูงของระยะวัตถุตกจากนิ่งมาใส่ผลไม้ (เมตร)
 ในการหาพลังงานคูดกลืนของผลไม้ อาจทำได้โดยการติดอุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer) เข้ากับมวลแข็ง ระบบการเก็บข้อมูล (data acquisition) ของอุปกรณ์วัดความเร่ง จะช่วยให้ได้สัญญาณความเร่งกับเวลาระหว่างการกระแทก เราสามารถรวมสัญญาณความเร่งให้ได้การขจัดและการเปลี่ยนแปลงรูปของผลไม้ ในขณะที่แรงที่ผลไม้ต้านการกระแทกหาได้จากการคูณมวล m กับสัญญาณความเร่ง พลังงานคูดกลืน (U_a) หาได้จากการรวมพื้นที่ใต้กราฟ แรงกับการเปลี่ยนรูประหว่างรอบการกระแทกเข้าไปและการคลายการกระแทกออกมา

2.5.3 Simple pendulum คือ แบบแกว่งผลไม้

จากสมการที่ 1 $U_i = mgh$ ' ในกรณีนี้ ความสูงของผลไม้ h ' ณ จุดศูนย์กลาง (centroid) ที่เปลี่ยนไปจากเมื่อมันอยู่นิ่งจนเกิดการกระแทก ดังแสดงในรูปที่ 2.3

$$U_i = m_r g (r - r \cos \theta_i) \quad (2.6)$$

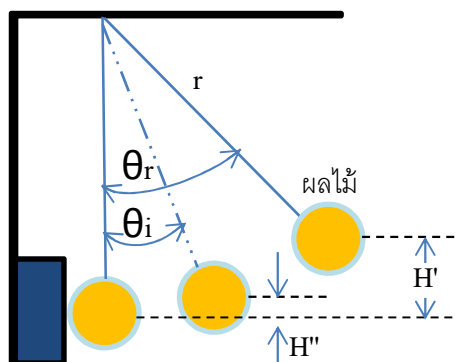
เมื่อ $r =$ ความยาวเชือกผูกผลไม้ระหว่างจุดหมุนและจุดศูนย์กลาง
 $\theta_i =$ มุมผลไม้ตกกระทบบ

$$U_i = m_r g (1 - \cos \theta_i) \quad (2.7)$$

หลังจากการกระแทกผลไม้กระดอนไปที่สูงกว่า h ' ทำมุม θ_r และ

$$U_r = m_r g (1 - \cos \theta_r) \quad (2.8)$$

$$U_a = U_i - U_r = m_r g r (\cos \theta_r - \cos \theta_i) \quad (2.9)$$



รูปที่ 2.3 แบบแกว่งผลไม้ (ที่มา : บัณฑิต จริโมภาส, 2549)

2.5.4 Compound pendulum คือ แบบแขนมวลแกว่ง เป็นแขน โลหะแกว่งในระนาบตั้งไป กระแทกผลไม้ที่ติดกับฝาผนัง ดังแสดงในรูปที่ 2.4

พลังงานกระแทก

$$U_i = mgh \quad (2.10)$$

h เป็นระยะที่จุดศูนย์กลางถ่วง (center of gravity, CG) ของตัวแขนแกว่งเปลี่ยนแปลงไปในแนวตั้งจากสถานะอยู่หนึ่งที่มีการขจัดเชิงมุม θ_d กับขณะที่แขนแกว่งเคลื่อนที่มาอยู่ในแนวตั้งเมื่อเริ่มกระแทก

$$h = (r_g/r)h_d \quad (2.11)$$

เมื่อ

r_g = ระยะจุดศูนย์กลางถ่วงวัดจากจุดหมุน (เมตร)

r = ระยะจากจุดกระแทกกับจุดหมุน (เมตร)

h_d = ระยะจุดกระแทกเปลี่ยนแปลงไปในแนวตั้ง (เมตร)

$$h_d = r(1 - \cos \theta_d) \quad (2.12)$$

หลังการกระแทก จะเกิดการกระดอนเนื่องจากความยืดหยุ่นของผลไม้ที่จะพยายามกลับสู่ร่างเดิม ทำให้แขนแกว่งกระดอนเป็นมุม θ_r ระยะ h_d เปลี่ยนไปในแนวตั้งเทียบกับระดับจุดกระแทกคือ h_r

$$h_r = r(1 - \cos \theta_r) \quad (2.13)$$

เราสามารถหาพลังงานจลน์ได้

$$U_a = U_i - U_r \quad (2.14)$$

โดย

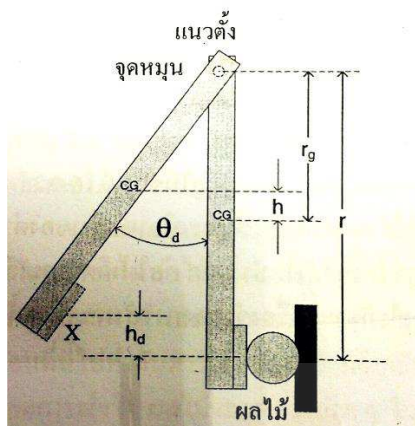
$$U_r = mgh'' \quad (2.15)$$

$$h'' = (r_g/r)h_r \quad (2.16)$$

แทนค่า U_i และ U_r ลงในสมการที่ 14 จะได้ว่า

$$U_a = mg(r_g/r) r(1 - \cos \theta_d) - mg(r_g/r) r(1 - \cos \theta_r)$$

$$U_a = mg(r_g/r)(\cos \theta_r - \cos \theta_d) \quad (2.17)$$



รูปที่ 2.4 แบบแขนมวลแกว่ง (Compound Pendulum) (ที่มา : บัณฑิต จริโมภาส, 2549)

2.5.5 Impact Ram คือ การทำงานโดยวางผลไม้อยู่กับที่ ใช้ Ram จากสปริง หรือนิวแมติกส์ หรือ อิเล็กทรอนิกส์ก็ได้ กระแทกกับผลไม้ การทดสอบการกระแทกโดยวิธีนี้มีข้อดีคือสะดวก ในการทดสอบ บริเวณที่โดนกระแทกมีตำแหน่งที่แน่นอน แต่มีข้อเสียคือ เป็นการกระแทกสองด้าน ดังนั้นจึงมีการกระจายแรงไปที่อื่นด้วย นอกจากนี้แล้ว การกำหนดระดับพลังงานกระแทกยังต้องนำผลจากความฝืด (Friction) ของชุด Impact Ram มาคำนวณด้วย Delwiche et al. (1996) ได้ใช้หลักการของ Impact Ram ในการหาค่าความแน่นเนื้อของผลแพร์

2.5.6 Ballistic Pendulum คือ การทดลองแบบแท่งมวลแกว่งพลังงานที่กระทำหรือพลังงานกระแทก ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (6)

$$U_i = m_1gh_1 = m_1gR (1 - \cos \theta_i) \quad (2.18)$$

พลังงานคืนรูป

$$U_r = m_1gh_2 = m_1gR (1 - \cos \theta_r) \quad (2.19)$$

พลังงานดูดกลืน

$$U_a = U_i - U_r = mgh_1 - mgh_2$$

$$U_a = m_1gR (1 - \cos \theta_i) - m_1gR (1 - \cos \theta_r)$$

$$U_a = m_1gR(\cos \theta_r - \cos \theta_i) \quad (2.20)$$

- เมื่อ
- m_1 = มวลลูกตุ้ม (กิโลกรัม)
 - R = ความยาวเชือก (เมตร)
 - h_1 = ความสูงลูกตุ้มน้ำหนักก่อนปล่อย (เมตร)
 - θ_i = มุมที่เส้นเชือกทำกับแนวตั้งก่อนปล่อย (มุมตกกระทบ, องศา)
 - θ_r = มุมที่เส้นเชือกทำกับแนวตั้งเมื่อสะท้อนกลับสูงสุด (มุมสะท้อน, องศา)

ความช้ำ (Bruising) หรือการเกิดรอยช้ำ เกิดจากการที่เนื้อเยื่อที่ประกอบด้วยเซลล์ระเบิดแตกออกไป จนน้ำในเซลล์ไหลออกมา เกิดการออกซิไดเซชันกับอากาศ เห็นเป็นรอยสีน้ำตาล (Jarimopas, 1984) ความเสียหายของผลแอปเปิลส่วนใหญ่จะปรากฏในรูปของการช้ำ (Bollen et al., 1999) การเสียหายจากการช้ำเป็นสาเหตุหลักของการสูญเสียคุณภาพในการจำหน่ายผลแอปเปิลสด และการช้ำส่วนใหญ่เป็นผลจากการกระทบ (Garcia, 1995)

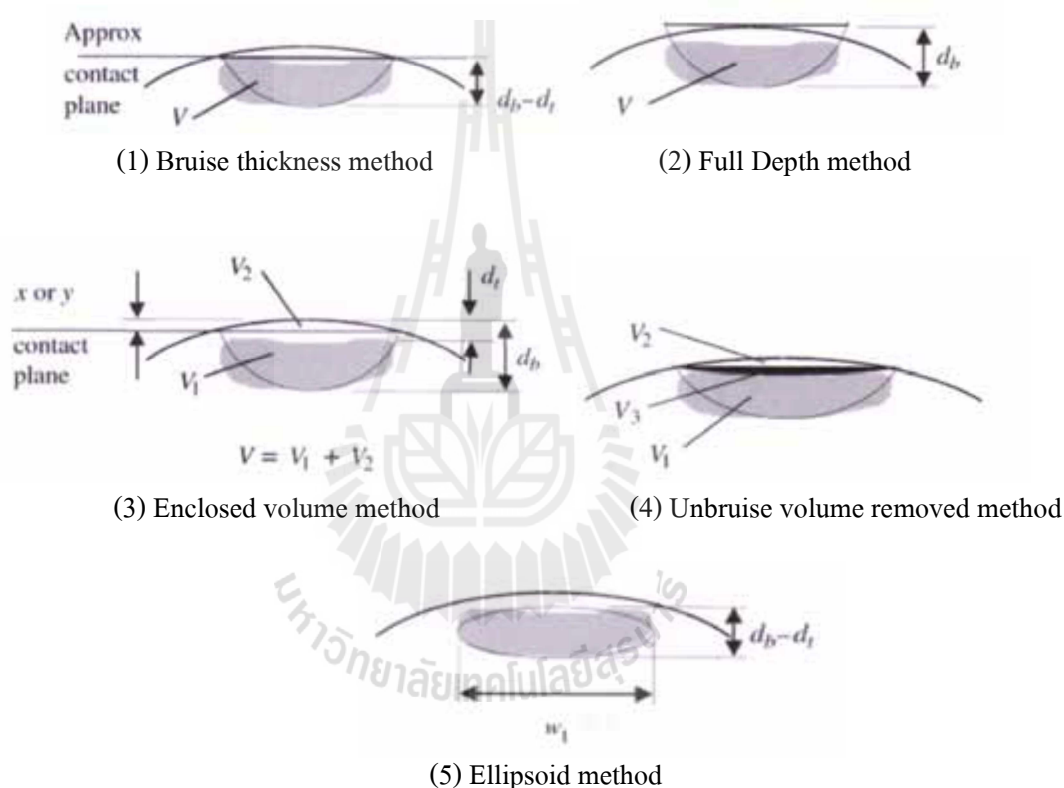
การปล่อยตัวอย่างทดลองจำนวนเท่าๆ กันที่หลายๆ ระดับความสูง (เช่น ปล่อยแอปเปิล 10 ผลต่อระดับความสูงที่ทำการทดสอบ, 10 ระดับความสูง) จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของการช้ำ ที่ทุกๆ ระดับความสูง รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการเริ่มเกิดรอยช้ำในผลแอปเปิลเป็นสีน้ำตาลคล้ายใบไผ่ หางยเข้าหาบริเวณผิวสัมผัส (บัณฑิต จริโมภาส, 2549)



รูปที่ 2.5 ลักษณะรอยช้ำของผลแอปเปิล ณ จุดเริ่มเกิดรอยช้ำ

(ที่มา : บัณฑิต จริโมภาส, 2549)

ความช้ำมักถูกประเมินให้อยู่ในรูปของปริมาตรช้ำ (Bruise Volume, VB) Bollen et al.(1999) ได้เปรียบเทียบวิธีการวัดปริมาตรช้ำแบบต่างๆ 5 วิธีด้วยกันคือ (1) Bruise thickness method (2) Full Depth method (3) Enclosed volume method (4) Unbruise volume removed method (5) Ellipsoid method โดยใช้วิธีการทดสอบของ Mohsenin (1986) ซึ่งเขาได้แนะนำวิธีที่เหมาะสม ดังนี้คือ ที่พลังงานกระแทกที่ระยะปล่อยตกน้อยกว่า 100 มิลลิเมตร วิธี Enclosed volume method มีความเหมาะสมที่สุด และที่พลังงานกระแทกที่ระยะปล่อยตกมากกว่า 100 มิลลิเมตร วิธี Bruise thickness method มีความเหมาะสมที่สุด ดังแสดงรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบวิธีการวัดปริมาตรช้ำ (ที่มา : Bollen et al., 1999)

2.6 การบรรจุหีบห่อผลิตภัณฑ์สำหรับการจำหน่าย

บรรจุภัณฑ์หรือภาชนะบรรจุ หมายถึง วัสดุหรือสิ่งที่ใช้ในการรองรับและรวบรวมสินค้า เพื่อการจัดการกับสินค้านั้น หรือเพื่อการขนส่ง หรือเพื่อการวางขาย ด้วยเหตุที่อุตสาหกรรมเกษตร มีการแข่งขันสูง ประกอบกับราคาวัสดุหีบห่อในปัจจุบันเพิ่มขึ้นและค่าแรงงานสูงขึ้น ทั้งหมดทำให้เกิดแนวโน้มการทำบรรจุภัณฑ์ที่ราคาถูกเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและการใช้เครื่องจักรกลในการปฏิบัติการบรรจุหีบห่อ

2.6.1 หน้าที่ของบรรจุภัณฑ์

1. การบรรจุ (Containment) หรือการรับรองสินค้าหรือผลผลิตให้อยู่เป็นหน่วยเดียวกันเพื่อความสะดวกในการจัดการต่างๆ เช่น การขนย้าย การเก็บรักษา หรือการบ่ม

2. การป้องกัน (Protection) หรือการปกป้องผลิตผลภายในภาชนะบรรจุจากการสูญเสียระหว่างการขนย้ายหรือเก็บรักษา ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการตกกระทบ การบีบอัด การฉีกฉีก หรือจากการผันแปรของอุณหภูมิและความชื้นตลอดจนศัตรูพืช

3. การอำนวยความสะดวกและการใช้ประโยชน์ (Utility) เช่น มีขนาดเล็ก ใช้มือหยิบขึ้นได้ สามารถแสดงสินค้าภายในให้เห็นได้ง่าย ป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้

4. ข้อมูล (Information) คือ ให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตผลภายในภาชนะบรรจุ ได้แก่ ชนิด คุณภาพ การนำไปใช้ประโยชน์ ผู้ผลิต และข้อมูลเกี่ยวกับการตลาด เช่น เครื่องหมายการค้า หมายเลขสินค้า (Lot Number) จุดปลายทาง คุณค่าทางอาหาร วิธีบริโภค วันที่บรรจุ วันหมดอายุ

หน้าที่ 2 ประการแรก จะเกี่ยวพันมากกับการบรรจุภัณฑ์สำหรับการขนส่ง ส่วนหน้าที่ 2 ประการหลัง จะเกี่ยวพันมากกับการบรรจุภัณฑ์สำหรับผู้บริโภค

2.6.2 การกำหนดการบรรจุในบรรจุภัณฑ์

1. การกำหนดด้วยการนับ การนับทำได้โดยวิธีเครื่องกลไฟฟ้า (Electromechanical) และจักษุไฟฟ้า (Electro Optics) วิธีเครื่องกลไฟฟ้าประกอบด้วย ไมโครสวิตช์ ที่กระตุ้นการทำงานด้วยคันที่โหลดด้วยสปริงขนาดเล็ก (Spring-Loaded Level) ซึ่งมันจะถูกเปิดเมื่อผลไม้สัมผัสมัน และปิดเมื่อผลไม้แยกจากการสัมผัสไป แนวทางการนับแบบจักษุไฟฟ้า คือ การนับเกิดขึ้นเมื่อผลไม้เคลื่อนที่ผ่านไปขวางลำแสงจาก Photocell transducer ทั้งสองวิธีการนับสามารถตั้งเวลาล่วงหน้าได้และความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ ± 1 ผล อย่างไรก็ตามวิธีการจักษุไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือกว่าเนื่องจากไม่มีชิ้นส่วนกล กลไกป้อนผลไม้ที่ละผล (Infeed Singulating Mechanism) ที่นิยมใช้คือระบบจักษุไฟฟ้าร่วมกับสายพานลำเลียงแบบลูกกลิ้ง Grommet

2. การกำหนดด้วยน้ำหนัก ทำได้โดยการชั่งน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ที่มีผลิตผลแล้วโดยตรงจากเครื่องชั่งในสายการบรรจุ

2.6.3 ประเภทของการบรรจุหีบห่อผลิตผลสด

การบรรจุหีบห่อผลิตผลสดมี 2 ประเภท คือ

1. บรรจุภัณฑ์ขายส่ง (Wholesale Packs)
2. บรรจุภัณฑ์ขายปลีก (Retail Pack)

2.6.4 ชนิดบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้

1. แข่งไม้

แข่งไม้ไผ่เป็นบรรจุภัณฑ์พื้นบ้านที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในประเทศ เนื่องจาก ราคาถูก หาซื้อได้ง่าย แข่งสามารถ บรรจุผลิตผลเกษตรได้ทุกชนิด กันน้ำ และช่วยระบายอากาศได้ มีรูปทรงหลายแบบเช่น แบบปากกว้างหรือแบบสอบเรียวยาว บรรจุผลิตผลได้ตั้งแต่ 15 –25 กิโลกรัม แข่งมีข้อเสียคือ มีโครงสร้างไม่แข็งแรง ทำให้ผลิตผลได้รับการกระทบกระเทือนง่าย นอกจากนี้แข่งยังอาจทำลายผิวของผัก ผลไม้โดยเฉพาะ ผัก ผลไม้ ที่มีผิวบาง การจัดเรียงเพื่อขนส่ง ทำได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงไม่นิยมใช้แข่งสำหรับบรรจุสินค้าเพื่อการส่งออกไปยังประเทศที่พัฒนาแล้ว

2. กล่องกระดาษลูกฟูก

กล่องกระดาษลูกฟูกเป็นภาชนะที่นิยมใช้บรรจุผลิตผลเกษตรเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน แบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือ แบบฝากล่องสวมทับตัวกล่องและแบบธรรมดา ขนาด ความจุและความแข็งแรงแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัสดุและ โครงสร้างที่ใช้ กล่องกระดาษลูกฟูก สามารถจำแนกได้ตามลักษณะของ โครงสร้างของกระดาษคือ

1. แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว คือ กระดาษลูกฟูกที่ประกอบด้วยลอนลูกฟูก และ กระดาษปะหน้าเพียงหน้าเดียว

2. แผ่นกระดาษลูกฟูก 1 ชั้น (Single Wall) คือ กระดาษลูกฟูกที่ประกอบด้วย กระดาษ 3 ชั้น ได้แก่ กระดาษทำผิวกล่อง 2 ด้าน และลอนลูกฟูก 1 แถว อยู่ระหว่างกระดาษทำผิว กล่องทั้งสอง

3. แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้น (Double Wall) คือ กระดาษลูกฟูกที่ประกอบด้วย กระดาษรวม 5 ชั้น ได้แก่ กระดาษทำผิวกล่อง 3 แผ่น และมีลอนลูกฟูก 2 แถว ระหว่างกระดาษทำ ผิวกล่องแต่ละแผ่น

4. แผ่นกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น (Triple Wall) คือ กระดาษลูกฟูกที่ประกอบด้วย กระดาษรวม 7 ชั้น ได้แก่ กระดาษทำผิวกล่อง 4 แผ่น และมีลอนลูกฟูก 3 แถว ระหว่างกระดาษทำ ผิวกล่องแต่ละแผ่น ความแข็งแรงของกล่องลูกฟูก

นอกจากจะขึ้นกับ โครงสร้างของแผ่นกระดาษลูกฟูกและชนิดของกระดาษ (คุณภาพ และน้ำหนักกระดาษ) แล้วแบบของกล่องก็มีผลทำให้คุณสมบัติของกล่องต่างกันไปด้วย ตัวอย่างเช่น กล่องที่ทำมาจากแผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้น ย่อมมีความแข็งแรงในการรับแรงกดตาม แผ่นตั้งสูงกว่ากล่องที่ทำจากแผ่นกระดาษลูกฟูก 1 ชั้น ดังนั้นการจะเลือกใช้กล่องแบบใดจึงขึ้นอยู่กับประเภทและน้ำหนักของสินค้าเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับวิธีการลำเลียงและขนส่งอีกด้วย ในบ้านเรากล่องส่วนใหญ่มักจะทำจากกระดาษลูกฟูกชนิด 1 ชั้นและ 2 ชั้น ส่วนกระดาษ

ลูกฟูกชนิด 3 ชั้น ยังมีที่ใช้กันน้อยมาก มักทำเป็นกล่องขนาดใหญ่เพื่อบรรจุสินค้าที่มีน้ำหนักมาก ๆ เช่น เครื่องซักผ้า รูปแบบของกล่องกระดาษลูกฟูก เป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้กล่องกระดาษลูกฟูกได้รับความนิยมในปัจจุบัน เนื่องจากความสามารถในการออกแบบได้หลายรูปร่างเพื่อให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆ การออกแบบกล่องนอกจากจะต้องคำนึงถึงรูปร่างของผลิตภัณฑ์แล้ว ความแข็งแรงของกล่องก็เป็นเรื่องสำคัญมาก กล่องรูปแบบต่างกันก็จะมีคุณสมบัติรับน้ำหนักได้ต่างกัน การออกแบบจะต้องจัดให้แนวของลอนลูกฟูกในผนังด้านข้างของกล่องอยู่ในแนวตั้งจึงจะรับน้ำหนักได้ดี นอกจากนั้นส่วนมุมทั้ง 4 ของกล่องก็เป็นบริเวณที่รับน้ำหนักได้ดี ส่วนบริเวณตรงกลางของกล่องจะรับน้ำหนักได้น้อยที่สุด ถ้าออกแบบกล่องให้มีความยาวมากก็จะทำให้กล่องรับน้ำหนักได้น้อย เพราะฉะนั้นในการออกแบบควรออกแบบให้ด้านกว้างและด้านยาวมีความยาวไม่แตกต่างกันมาก แต่ถ้ามีความจำเป็นต้องออกแบบกล่องให้ยาวก็ควรมีแผ่นกั้นบริเวณกลางกล่องเพื่อช่วยเสริมความแข็งแรง อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกับความแข็งแรงของกล่องก็คือ รูที่เจาะเพื่อระบายอากาศ เนื่องจากการเจาะรูเป็นส่วนสำคัญสำหรับบรรจุภัณฑ์ประเภทนี้แต่ การเจาะรูจะส่งผลให้ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ลดลง ดังนั้นจึงไม่ควรเจาะรูให้มีพื้นที่รูเกินกว่า 5% ของพื้นที่ทั้งหมด รูไม่ควรอยู่ใกล้กันและอยู่ใกล้มุมกล่อง และรูควรมีรูปร่างกลม ขนาดเล็ก จะช่วยให้บรรจุภัณฑ์แข็งแรงมากกว่ารูรูปร่างรีขนาดเล็ก กล่องกระดาษลูกฟูกมีข้อดีคือ มีผิวเรียบไม่ทำความเสียหายกับผลิตภัณฑ์ และยังช่วยป้องกันการกระแทกได้ด้วย นอกจากนี้ ยังสามารถพิมพ์รายละเอียดของสินค้าเพื่อดึงดูดความสนใจของลูกค้าได้อีกด้วย ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมโดยสามารถนำกลับมาเข้ากระบวนการผลิตใหม่ได้ แต่ข้อเสียของกล่องกระดาษลูกฟูกคือ ไม่ทนน้ำ ต้องระมัดระวังเรื่องความชื้น การระบายอากาศระบายได้ เฉพาะบริเวณที่มีการเจาะรู ในการใช้กล่องกระดาษลูกฟูกอาจมีการประยุกต์ ใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกในรูปแบบของการขัดเป็นไส้กล่อง เพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรงของผลไม้ และยังช่วยเสริมความแข็งแรงให้แก่ตัวกล่องลูกฟูกและช่วยป้องกันความเสียหายจากการกระแทก

3. ภาชนะพลาสติกแบบคงรูป

พลาสติกเข้ามามีบทบาทกับบรรจุภัณฑ์ผัก ผลไม้ มากขึ้นเนื่องจาก คุณสมบัติที่ดีของพลาสติกคือ ความแข็งแรง ทนทาน วางซ้อนได้ดี ทนต่อความชื้นและเปียกน้ำได้ ผิวภายในเรียบไม่ทำลายผลิตภัณฑ์ ทำความสะอาดง่าย นำกลับมาใช้ได้ใหม่ แต่พลาสติกมีราคาค่อนข้างแพงจึงเหมาะสมกับการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์หมุนเวียน วัสดุผลิตมาจาก polyethylene นอกจากนี้ยังมีพวกที่มีลักษณะ เป็น โฟม ทำจาก polystyrene ซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุนเหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุกันกระแทก

4. ภาชนะไม้

ไม้นำมาใช้ผลิตเป็นภาชนะไม้ควรเป็นไม้ที่มีราคาถูก วัสดุหาง่าย และสะดวกต่อ

การใช้งาน ตัวอย่างของไม้ที่มีการใช้ได้แก่ ไม้ยาง ไม้เนื้ออ่อน ไม้อัด ข้อดีของภาชนะไม้คือ มีความแข็งแรง ทนทานต่อการวางซ้อน สามารถออกแบบให้อากาศถ่ายเทได้ ตามต้องการ ทนต่อความชื้น และเปียกน้ำได้แต่ต้องระวังการเกิดเชื้อรา สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ส่วนข้อเสียของภาชนะไม้คือ ผิวภายในแข็งและหยาบอาจทำความเสียหายต่อผลไม้ได้ การขึ้นรูป การเก็บรักษา การขนย้าย และการพิมพ์ข้อความทำได้ยาก ภาชนะไม้ที่นำมาใช้ควรมีความชื้นไม่เกิน ร้อยละ 20 และปราศจากเชื้อรา หากใช้การอบน้ำยาต้องสะอาดและไม่มีสารเคมีตกค้างหากอยู่ในสภาพไม่ดีไม่ควรนำมาใช้หมุนเวียน

5. โฟม

เป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกประเภทหนึ่ง ที่ผ่านปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ โดยพลาสติกที่นิยมมาใช้ในการผลิตโฟมมีหลายชนิด เช่น พอลิเอทิลีน (PE) พอลิสไตรีน (PS) พอลิยูรีเทน (PU) เป็นต้น ชนิดที่นิยมที่สุดคือ PS ซึ่งจะเรียกว่า พอลิสไตรีนที่ขยายตัวแล้ว (Expanded Polystyrene) หรือเรียกย่อๆ ว่า EPS เนื่องจากโฟมมีคุณสมบัติเด่นเหนือวัสดุอื่นตรงที่มีความหนาแน่นต่ำ มีความยืดหยุ่นป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี อีกทั้งขึ้นรูปให้เป็นรูปทรงต่างๆ ได้ง่าย ซึ่งใช้เงินทุนไม่สูงมากนัก ดังนั้นบรรจุภัณฑ์โฟม จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โฟมแบ่งออกได้เป็นหลายชนิดตามลักษณะรูปทรง สำหรับโฟมที่นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้คือ โฟมชนิดถาดแบน ซึ่งเวลาใช้จะมีการห่อรัดด้วยฟิล์มยืดใสที่ทำมาจากพอลิไวนิลคลอไรด์ เพื่อป้องกันฝุ่นละออง และช่วยเก็บรักษาความสดไว้ในระยะเวลาสั้นๆ โฟมถือเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการอำนวยความสะดวกในการขายปลีกมากกว่าประโยชน์ด้านการขนส่งหรือป้องกันการกระทบกระเทือน

6. ผลิตภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป

เยื่อกระดาษขึ้นรูปหมายถึงวัสดุหรือภาชนะบรรจุสามมิติที่ทำจากการขึ้นรูปของเยื่อกระดาษให้เป็นรูปร่างตามต้องการ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเศษกระดาษเหลือใช้ที่มีเยื่อบริสุทธิ์ผสมอยู่บ้าง การเลือกใช้วัตถุดิบชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และ ความต้องการในการใช้งาน สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่จะใช้กระดาษที่มีคุณภาพสูง และไม่เปื้อนหมึกพิมพ์ เช่น กระดาษที่ได้จากการตัดขอบกระดาษของโรงงานผลิตกระดาษ เป็นต้น กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจะไม่ใส่สารเคมีใดๆเลยก็ได้หรืออาจ ผสมแป้งและจี๊ลงลงไปเพื่อช่วยในการทนน้ำ หรือผสมสีที่ละลายน้ำ เพื่อเพิ่มความสวยงาม หรือหากต้องการเสริมคุณสมบัติในการต้านไขมันก็มักจะใส่สารประเภท fluorocarbon ผสมกับสารดูดประจุลบเข้าไป เยื่อกระดาษขึ้นรูปนั้นมักจะนำมาใช้เป็นวัสดุกันกระแทก วัสดุช่วยบรรจุหรือภาชนะบรรจุสินค้าที่บอบบาง แดกหักง่าย เพื่อช่วยในการขนส่ง ตัวอย่างการใช้งานของเยื่อกระดาษขึ้นรูปได้แก่การทำเป็นถาดหลุมใส่ผลไม้สด

บรรจุภัณฑ์ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ผัก

ผลไม้ เท่านั้น ยังมีบรรจุกัญธอีกมากมายที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ โดยการเลือกใช้นั้นต้องพิจารณาถึงลักษณะของผัก ผลไม้ชนิดนั้นๆ ลักษณะการขนส่ง และกฎระเบียบของแต่ละประเทศ ในกรณีที่ต้องมีการส่งออก ทั้งนี้บรรจุกัญธสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทผัก ผลไม้ ถือเป็นเรื่องสำคัญ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ จึงต้องมีการพิถีพิถันในการเลือกใช้นั้นมากกว่าผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานานและมีคุณภาพก่อนจะถึงมือผู้บริโภค ในปัจจุบันกระแสยุคโลกาภิวัตน์ที่มีการรณรงค์เรื่องอนุรักษ์ธรรมชาติและ การใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่า ควบคู่กันไป ผักและผลไม้ นับเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย ทั้งในแง่การบริโภคภายในประเทศและการส่งออก สำหรับในแง่การส่งออก ผัก ผลไม้ สามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศปีหนึ่งหลายพันล้านบาทและยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปี ผัก ผลไม้ ที่มีการส่งออกมากได้แก่ ถั่วฝักยาว พริก ต้นหอม มะม่วง ลำไย ลิ้นจี่ ทุเรียน เป็นต้น ตลาดที่มีการส่งออกมากได้แก่ ส่องกง สิงคโปร์ ญี่ปุ่น ยุโรป ตะวันออกกลาง เป็นต้น ปัญหาสำคัญที่มักประสบในการส่งออกคือ พบการสูญเสียโดยเฉลี่ยสูงถึง ร้อยละ 25 ทั้งนี้เนื่องจาก ผักและผลไม้เป็นสินค้าที่ บอบช้ำ และเน่าเสียได้ง่าย หากการบรรจุหีบห่อไม่ดี หรือขาดความระมัดระวังในการขนส่ง เพราะฉะนั้นการเลือกใช้นั้นจึงเป็นเรื่องสำคัญมากสำหรับสินค้าประเภทนี้ (จิราภา เหลืองอรุณเลิศ, 2555) ผลไม้หลายชนิดนั้นมีการห่อหุ้มด้วยตาข่ายโพลีเอทิลีนหรือแผ่นฟองอากาศพลาสติกกันกระแทก แต่ตาข่ายโพลีเอทิลีนและแผ่นฟองอากาศพลาสติกกันกระแทกไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดขยะและมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) โดยในปี 2553 พบว่าคนไทยกว่า 60 ล้านคนสามารถสร้างขยะได้มากถึง 15.16 ล้านตันหรือประมาณวันละ 41,532 ตัน แต่การจัดการอย่างถูกต้องยังไม่เพียงพอ จึงทำให้เกิดปริมาณมูลฝอยตกค้างตามสถานที่ต่าง ๆ ดังนั้นแนวคิดของงานวิจัยนี้จึงผนวกเรื่องการเพิ่มมูลค่าเพิ่มของฟางข้าว เข้ากับการพัฒนาบรรจุกัญธและวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวที่ช่วยป้องกันความเสียหายเชิงกลของผลผลิตทางการเกษตรและยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2.6.5 การจัดการภายในบรรจุกัญธขายส่ง

เมื่อพิจารณาสรรพคุณหนึ่งๆทางกายภาพ บรรจุกัญธสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ ตัวบรรจุกัญธภายนอก ผลผลิตที่ถูกบรรจุ และวัสดุบรรจุกัญธภายในตัวบรรจุกัญธภายนอก ในทางปฏิบัติ ถ้าตัวบรรจุกัญธภายนอกถูกออกแบบและสร้างมาอย่างดีและระบบขนส่งบรรจุกัญธไม่มีการเปลี่ยนแปลง ประสิทธิภาพในการบรรจุและความเสียหายของผลผลิตจะขึ้นอยู่กับการจัดการวัสดุบรรจุกัญธภายใน ได้แก่ การจัดวางผลผลิตและวัสดุบรรจุกัญธภายใน และการใช้วัสดุกันกระแทก การจัดวางผลผลิตครอบคลุม การพิจารณาจำนวนชั้นของการเรียงซ้อนผลผลิต และการวางผลผลิตในตำแหน่งต่างๆ

การออกแบบและจัดการบรรจุภายในบรรจุภัณฑ์ต้องคำนึงถึงปัญหาต่อไปนี้

1. ผักผลไม้ในบรรจุภัณฑ์กระแทกหรือเสียดสีกันเองเนื่องจากการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่ง
2. ผักผลไม้รับแรงกดในแนวตั้งเนื่องจากผลไม้ที่อยู่ข้างบน
3. ความดันสัมผัสนบนผิวผลไม้หนึ่งๆ มากเกินไป

ในการแก้ปัญหาข้างต้น มีวิธีและวัสดุที่ใช้ในการบรรจุภายในบรรจุภัณฑ์หลายอย่างที่ต้องนำมาจัดการ เพื่อให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่มีความเสียหายน้อยที่สุด ดังนี้

1. การแบ่งเป็นส่วน (Partitioning) เพื่อแยกผลไม้เป็นอิสระกัน วัสดุที่ใช้จัดการบรรจุ ได้แก่ กระจาดลูกฟูกแบบผนังเดี่ยว (Single Wall) ถูกตัดเป็นชิ้นและเอามาทำกริด ผักและผลไม้แต่ละผลจะถูกบรรจุลงในช่องของกริด แม้ว่าบรรจุภัณฑ์ภายในแบบนี้จะแยกผักผลไม้ ออกเป็นแต่ละผลและไม่สัมผัสกันได้ แต่สิ่งที่ต้องระวังก็คือ ระยะห่างระหว่างผักผลไม้กับผนังกริด ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน เนื่องจากผลไม้แม้จะถูกกักแล้วว่าเป็นเกรดเดียวกัน แต่ความจริงแล้วมีขนาดไม่เท่ากันพอดีทุกผล เนื่องจากการมีช่วงขนาด กริดที่เป็นวงกลมน่าจะทำให้เกิดระยะห่างกับผิวผลไม้สม่ำเสมอกว่ากริดแบบสี่เหลี่ยม การสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่งจะทำให้ผลไม้เคลื่อนที่ไปกระแทกผนังทุกด้าน และเกิดการชำรุดเสียหายได้

2. การกันกระแทก (Cushioning) วัสดุที่ใช้กันกระแทกจะทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานกระแทกบางส่วน ปล่อยให้พลังงานกระแทกส่วนที่เหลือไปกระทำต่อผักผลไม้ เป็นการบรรเทาความเสียหาย วัสดุพวกนี้จะมีลักษณะพรุน เช่น ตาข่ายโฟม วัสดุประเภทเดียวกันที่หนากว่าจะดูดซับพลังงานกระแทกและป้องกันความชื้นได้ดีกว่าวัสดุบาง

3. การยึดผลไม้แต่ละผลให้อยู่กับที่ภายในบรรจุภัณฑ์ ป้องกันไม่ให้ผักผลไม้เคลื่อนตัวไปกระแทกกับผักผลไม้ด้วยกันหรือผนังบรรจุภัณฑ์ทำให้เกิดการชำรุด วัสดุที่ใช้จัดการบรรจุ ได้แก่ ฟิล์มยึดที่ใช้ซึ่งยึดผลไม้อยู่กับที่กับตัวถาดหรือการเจาะโฟมกันกระแทกแล้ววางผลไม้ลงไปพอดีกับผลไม้มโดยโฟมติดตั้งอยู่ในบรรจุภัณฑ์ วิธีนี้พบบ่อยในกล่องบรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์

4. การนำเอาเทคนิคบรรจุเต็มแน่นมาใช้ที่เหมาะสม เช่น การเอาตาข่ายโฟมมาห่อหุ้มผลไม้ในบรรจุภัณฑ์สุ่มและใช้เทคนิคบรรจุเต็มแน่น อาจทำให้สามารถบรรจุภัณฑ์สุ่มได้ ความหนาแน่นการบรรจุดีขึ้นและความเสียหายน้อยลง ณัฐพงษ์ และบัณฑิต (2549) พบว่า บรรจุภัณฑ์ดังพลาสติกบรรจุผลแอปเปิ้ลหุ้มตาข่ายโฟมตาข่ายสามารถลดความชื้นเทียบกับการสุ่มธรรมดาได้ถึง 31.5 % ที่ความถี่ของการสั่นสะเทือน 2.5 เฮิร์ตซ์ โดยพิจารณาระดับความเสียหายร่วมกับราคาของผลิตภัณฑ์

ในปัจจุบันพลาสติกที่ใช้เป็นวัสดุใช้ทำตาข่ายโพนมีปัญหาระหว่างการใช้งานมาก ในการย่อยสลายประกอบกับกระแสการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (บันทึก จริโมภาส, 2547) ได้พยายามนำเชือกกล้วยมาใช้เป็นกันกระแทกในรูปตาข่าย เขาได้เตรียมเชือกกล้วยที่ตากแห้งแล้ว หนา 4 มิลลิเมตร กว้าง 6 มิลลิเมตร มาถักเป็นตาข่ายรูปทรงสี่เหลี่ยม ความยาวด้านละ 10 มิลลิเมตรนำไปห่อแอปเปิล 3 ขนาด เล็ก, กลาง, ใหญ่ ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยระหว่าง 89.1-73.3 มิลลิเมตร แล้วนำไปกระทบด้วยเครื่อง Ballistic Pendulum ปรากฏว่าที่พลังงานกระทบ 1.1 จูล ตาข่ายเชือกกล้วยสามารถปกป้องผลแอปเปิลได้ทุกขนาด 100 % อย่างไรก็ตาม การนำเชือกกล้วยไปใช้ยังมีปัญหาในเรื่องการผลิตจำนวนมากและการจำกัดเชื้อราหลังการเก็บเกี่ยวที่อาจปนเปื้อนผักผลไม้ได้

การจัดการภายในบรรจุภัณฑ์ต้องพยายามเพิ่มความหนาแน่นการบรรจุ (Packing Density) ตลอดเวลาเพราะจะทำให้ลดต้นทุนในการบรรจุภัณฑ์ลงได้

5. บรรจุภัณฑ์แบบถาด ผลไม้ทุกผลจะถูกแยกอยู่ในช่อง (Pocket) ของมัน ซึ่งเกิดจาก 2 ถาดประกบกัน การออกแบบให้หมุดค้ำยัน (Supporting Pegs) ช่วยป้องกันผลไม้จากการรับความดันใดๆ เนื่องจากภาวะในแนวตั้งที่เกิดจากการซ้อน ที่ว่างตอนบนเพื่อไว้เนื่องจากความแปรปรวนในขนาดผลไม้ภายในนับต่างๆ และเพื่อป้องกันผลไม้จากการรับภาระจากการซ้อน อย่างไรก็ตามที่ว่างตอนบนก็เป็นแหล่งสำคัญของความเสียหาย เนื่องจากการกระทบภายในช่องของมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ขนาดเล็ก ผลไม้จะได้รับการกระทบได้ในบรรจุภัณฑ์แบบถาดและเซลล์ ซึ่งรับรู้ได้จากการเขย่าภาชนะบรรจุและฟังเสียง ถ้าสิ่งแวดล้อมสำหรับการขนส่งมีความถี่พ้องกับความถี่ธรรมชาติของผลไม้ในถาดหรือเซลล์ ผลไม้จะกระทบตลอดภายใต้สิ่งแวดล้อมเหล่านี้ และผลไม้จะได้รับความเสียหายไม่ว่าวัสดุจะอ่อนนุ่มเท่าใด

อีกวิธีหนึ่งที่จะแก้ปัญหาค้นหาการกระทบของผลไม้ คือ การกำจัดหมุดค้ำยันและให้ภาชนะบรรจุและผลไม้รับภาระที่เกิดจากการซ้อนกัน ในขณะที่ถูกกันกระแทกอย่างหนาแน่นโดยถาดด้วยกัน ถาดแบบกันกระแทก (Cushioning Trays) ซึ่งจะเก็บผลไม้อย่างหนาแน่นได้อย่างมีประสิทธิภาพและกันกระดอน ประโยชน์อีกอย่างก็คือ ค่าความหนาแน่นของการบรรจุดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบแบบหมุด บรรจุภัณฑ์กันกระแทกต้องถูกทำให้สัมผัสพื้นที่ผิวผลไม้ให้ได้มากที่สุด เพื่อลดการกดเนื่องจากการซ้อน การสร้างตามแนวคิดนี้ถูกจดสิทธิบัตรโดย Keyes Fibre Co. ลักษณะของถาดตามกลไกดังกล่าว คือ ความดันเนื่องจากแรงของไหลที่เกิดจากการซ้อนกันจะพุ่งลงไปที่ด้านล่างและห่างจากผลไม้ออกไปมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นและความดันกดผลไม้ลดลง

ถาดบางอันทำด้วยเยื่อกระดาษ ซึ่งราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับพลาสติกจากน้ำมันดิบ ถาดพลาสติกส่วนมากทำจาก Expanded Polystyrene หรือ Polyvinyl Chloride (PVC) แต่รูปทรงของถาดกระดาษและพลาสติกจะเหมือนกัน

คุณภาพการป้องกันการสั่นสะเทือนและการอัดของถาดที่ทำจากวัสดุต่างๆยากที่จะคาดคะเนได้ หลักการทำงานคือ การป้องกันการกระแทกและการชนโดยตรงระหว่างผลไม้และการลดลงของความดันสัมผัส ไม่ว่าโดยการเพิ่มพื้นที่ผิวรับน้ำหนักหรือโดยการส่งผ่านแรงกดจากการซ้อนผ่านหมุดค้ำ

วิธีที่ใช้ได้วิธีเดียวในการเปรียบเทียบเชิงปริมาณก็คือ การทดสอบเลียนแบบการขนส่งในห้องปฏิบัติการบรรจุหีบห่อ ภาชนะบรรจุในขนาดพอสมควรบรรจุด้วยผลไม้ประเภทเดียวกันใช้ถาดแบบต่างๆเอามาซ้อนและกดอัด ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์นำมาเปรียบเทียบการทดสอบการสั่นสะเทือนถูกทดลองกับเครื่องเขย่าแบบกลหรือแบบไฮดรอลิกส์ไฟฟ้า เราจะได้กราฟของแรง-ความแอ่น (Force Deflection) ของภาชนะบรรจุที่ว่างและที่มีภาระจากเครื่องทดสอบการอัดแบบต่างๆ

(Peleg, 1981) ได้เปรียบเทียบคุณภาพการป้องกันของบรรจุภัณฑ์แบบถาดต่างๆบรรจุภัณฑ์สุ่มและระบบการบรรจุผลิตผลแบบให้ความหนาแน่นการบรรจุสูง (Face centered packing pattern, fcc) สำหรับแอปเปิล ปรากฏว่า

1. ถาดเยื่อกระดาษ อาจจะถูกดูดกลืนความชื้นจากผลิตผลหรือภูมิอากาศที่ล้อมรอบ ทำให้ถาดนุ่มและอ่อนตัวเพิ่มขึ้น นี่อาจจะทำให้ถาดสอดคล้องกับรูปร่างผลไม้ได้ดีขึ้น ทำให้เพิ่มพื้นที่สัมผัสและลดความดัน ในทางตรงข้ามการเปลี่ยนแปลงรูปร่างถ้วยในถาดล่างก่อน อาจทำให้เกิดผิวแบนๆเล็กน้อยในถ้วยอันที่อยู่กัน ซึ่งจะทำลายผิวที่โค้งซึ่งจะเป็นการกระแทก เนื่องจากผลไม้ชั้นล่างจะรับแรงกดมากที่สุดที่เกิดจากผลไม้ทั้งหมดเหนือนั้น ผลไม้ต้องถูกค้ำด้วยพื้นที่ที่ใหญ่กว่า ซึ่งเปลี่ยนส่วนของผิวของถ้วยที่โค้งเป็นพื้นที่ราบทำให้เกิดจุดสัมผัสจุดเดียวระหว่างผลไม้กับถาดและเกิดการเปลี่ยนรูปร่างผลไม้ที่สัมผัสกัน

2. ถาด Expanded Polystyrene ใช้วัสดุกันกระแทกอย่างดีเยี่ยม น้ำหนักเบาและดึงดูดใจ ถ้วยถาดชั้นกันยังจะคงคุณสมบัติการกันกระแทกและจะไม่แบนแม้ว่าถูกกดนาน

3. ถาด PVC ความหนาแน่นสูง จะบางและยืดหยุ่นได้ทำให้ถาดสอดคล้องอย่างกระชับกับรูปร่างและขนาดต่างๆของผลไม้ได้ สามารถรับภาระน้ำหนักกดในแนวตั้งน้อยกว่าถาดแบบ Expanded Polystyrene หรือถาดเยื่อกระดาษ ผลลัพธ์สุทธิบางที่เป็นการประนีประนอมระหว่างคุณภาพการป้องกันของถาดแบบหมุดค้ำและถาดเยื่อกระดาษแบบกันกระแทก การกระแทกถูกป้องกันไว้เนื่องจากการกระชับพอดีของผลไม้ในกระเปาะผนังบาง ในขณะที่โครงสร้างแบบหมุดค้ำจะเป็นตัวรับภาระการซ้อนเนื่องจากวัสดุถาด PVC มีความหนาแน่นสูง ทำให้สูญเสียที่ว่างในภาชนะบรรจุที่น้อยที่สุด ความหนาแน่นบรรจุอาจจะดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับถาดแบบเยื่อกระดาษหรือ Expanded Polystyrene

4. ภาชนะบรรจุที่มีถาดและผลไม้บรรจุอยู่รวมกันเป็นหนึ่งระบบ การประนีประนอมที่ได้อาจได้แก่ การใช้ถาดแบบกันกระแทกเพื่อกำจัดการกระแทกไปมา ในขณะที่ทำภาชนะบรรจุให้แข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักซ้อนเกือบทั้งหมดโดยมีการเสียดรูปเล็กน้อย ต้องระมัดระวังที่จะป้องกันช่องว่างตอนบน (Head Space) ระหว่างชั้นของผลไม้บนสุดกับฝาภาชนะบรรจุเพราะจะมีอันตรายจากการกระแทกไปมาของถาดนั้นๆเนื่องจากการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่ง

5. การทำตัวเลขนับบนถาด เป็นเรื่องสำคัญมากที่จะหลีกเลี่ยงการหีบถาดผิดขนาดกับขนาดผลไม้ ควรทำตัวเลขนับบนถาดให้สูงขึ้นมาหรือพันสีถาดตามหมายเลขนับเพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาด

6. บรรจุภัณฑ์เซลล์

บรรจุภัณฑ์เซลล์ มี 3 แบบ

1. บรรจุภัณฑ์เซลล์แบบรังผึ้งหกเหลี่ยม
2. บรรจุภัณฑ์เซลล์แบบรังผึ้งสามเหลี่ยม
3. บรรจุภัณฑ์แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส

บรรจุภัณฑ์เซลล์ทั้งสามแบบปกติทำจากกระดาษกราฟที่ที่ใช้งานหนัก (Heavy Duty Craft Paper) ในขณะที่เซลล์รูปร่างหกเหลี่ยมนิยมใช้มากสำหรับบรรจุผลไม้ทรงรี เซลล์พิเศษ เช่น สามเหลี่ยมใช้บรรจุลูกแพร์ อาโวคาโด ไม่มีความแตกต่างที่สำคัญระหว่างบรรจุภัณฑ์แบบถาดหมุดและแบบเซลล์เมื่อคำนึงถึงคุณภาพในการป้องกัน บรรจุภัณฑ์เซลล์ที่มีโครงสร้างเป็นรังผึ้งแข็งแรงกว่าบรรจุภัณฑ์แบบถาดหมุด ในความสามารถของมันที่จะรับภาระในแนวตั้งนี้ ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะใช้ภาชนะบรรจุแบบ RSC (Regular Slotted Container) ที่มีผนังบางและไม่แพง และยังจะได้ความแข็งแรงในการซ้อนสูงเป็นพิเศษ แม้ในสภาวะแวดล้อมชื้น ถ้าผนังของภาชนะบรรจุที่เป็นกระดาษลูกฟูกถูกทำให้อ่อนแอโดยการดูดกลืนความชื้นเข้าไปกระดาษของบรรจุภัณฑ์ภายใน เช่น ถาดแบบหมุดหรือบรรจุภัณฑ์แบบเซลล์จะไม่ถูกกระทบและยังคงความแข็งแรงอยู่ ดังนั้นบรรจุภัณฑ์แบบเซลล์จึงมีความเหมาะสมสำหรับการซ้อนผลิตผลสูงและเก็บนานๆในสภาวะแวดล้อมความชื้นสูง เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับการเปลี่ยนแปลงในขนาดของผลไม้ บรรจุภัณฑ์เซลล์ต้องมีช่องว่างตอนบนเหมือนกับบรรจุภัณฑ์แบบถาดหมุด ดังนั้นผนังเซลล์ต้องใหญ่กว่าผลไม้โตที่สุดในนั้นๆ ซึ่งจะทำให้มีที่ว่างมากสำหรับการกระแทกของผลไม้ ไม่เพียงแต่ชั้นๆลงๆ แต่ยังด้านข้างอีกด้วย แทนที่จะเป็นรูปถ้วยครึ่งวงกลม (วงกลมเหมือนในถาดหมุด) แค่นั้นกระดาษที่จะทำให้พื้นผิวเรียบ เหล่านี้ค่อนข้างยืดหยุ่นเลยทีเดียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อดูดซับเอาความชื้นจากผลไม้ไปแล้วก็จะฟอร์มตัวเป็นถ้วยเล็กๆ ถาดอาจจะถูกนำมาใช้ใหม่ ถ้ามีระบบการนำกลับมาใช้ใหม่และการรวบรวมที่เหมาะสม มีความเป็นไปได้ที่ถาดจากบรรจุภัณฑ์แบบเซลล์อาจจะใช้แสดง

ผลไม้ที่ดึงดูดความสนใจในร้านผลไม้สามารถที่จะแกะถาดแบบหมุนออกมาจากบรรจุภัณฑ์โดยการย้ายถาดไปในครั้งเดียว ในทางตรงข้ามบรรจุภัณฑ์เซลล์อาจต้องเอาออกจากบรรจุภัณฑ์ทีละผล และส่วนภาชนะบรรจุภายในต้องทิ้งไป เซลล์เบื้องต้นทำมาจากกระดาษรังผึ้ง (Paper Honeycomb) การแบ่งแยกแต่ละชั้นใช้แผ่นกระดาษธรรมดา

การนำเอาบรรจุภัณฑ์ขายส่งไปใช้งานกับผลไม้ชนิดหนึ่งๆต้องพิจารณาเลือกบรรจุภัณฑ์ภายนอกควบคู่ไปกับการจัดการภายในบรรจุภัณฑ์อย่างเหมาะสม เพื่อก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลิตภัณฑ์น้อยและค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการบรรจุต่ำ

ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่เหมาะสมของมะม่วงน้ำดอกไม้จากการเปรียบเทียบภาชนะบรรจุเพื่อการขายส่ง 3 แบบ คือ ถาดถักพลาสติก แข็งไม้ไผ่ และถาดพลาสติก พร้อมวัสดุกันกระแทกแบบตาข่ายโฟมและกระดาษ ปรากฏว่า ถาดถักและตาข่ายโฟมให้การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด ในขณะที่แข่งให้เปอร์เซ็นต์การชำรุดสูงสุดและผลมะม่วงสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด (Chonhenchob and Singh, 2004) สำหรับมะละกอถาดพลาสติกทำในสหรัฐอเมริกาใช้คู่กับตาข่ายโฟมหรือกระดาษถักพลาสติกหน้าเดียว เป็นบรรจุภัณฑ์ขายส่งที่ให้ความเสียหายน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แข่งและตะกร้าพลาสติกสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยไม่มีวัสดุกันกระแทก การจัดวางผลมะละกอแยกคำในแนวระดับจะทำให้เกิดความเสียหายน้อยกว่าในแนวตั้ง ในขณะที่พันธุ์โชโลต้องทำกลับกัน (Chonhenchob and Singh, 2004)



2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนพรรณ บุนรัตกลิน และคณะ (2545) ได้มีการวิจัยเพื่อเพิ่มมูลค่าของฟางข้าวโดยการนำเอาฟางข้าวมาผลิตเป็นกระดาษที่เรียกว่ากระดาษฟางข้าว เพื่อใช้ในงานด้านหัตถกรรมและสิ่งประดิษฐ์ พบว่ากระดาษฟางข้าวที่ได้จากการต้มเยื่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 2% และ 4% โดยปริมาตร ทั้งแบบฟอกขาวและไม่ฟอกขาว เมื่อนำไปทำสิ่งประดิษฐ์ด้านหัตถกรรม คือ ดอกไม้ประดิษฐ์ ของที่ระลึก/ของขวัญ และเปเปอร์มาเช่ พบว่า ได้ผลลัพท์ยอมรับจากผู้บริโภคในระดับดีมาก ในด้านคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษซึ่งประกอบด้วยน้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความชื้น ความขาวสว่าง ความต้านแรงคั้นทะลุ ความต้านแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาดไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานเมื่อเทียบกับมาตรฐานของกระดาษเขียนกระดาษพิมพ์ กระดาษถุงชั้นเดียว และกระดาษประเภทเคลือบผิว ทั้งนี้เนื่องจากกระดาษฟางข้าวมีลักษณะที่เหมือนกับ กระดาษสา ซึ่งเหมาะกับงานประดิษฐ์มากกว่างานด้านเอกสาร

นิตยา รื่นสุข และคณะ (2551) ได้ศึกษาถึงผลของปริมาณฟางข้าวที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวซึ่งพบว่าอัตราการไหลกลับฟางข้าวที่มากเกินไปเกินกว่า 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลง ทำให้ต้องมีการกำจัดฟางข้าวส่วนเกินที่ยังเหลืออยู่ในแปลง

วีรัชย์ อัจหาญ และคณะ (2554) ได้ศึกษาแนวทางการบริหารจัดการและต้นทุนของ การเก็บรวบรวม การแปรรูปฟางข้าวที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ ซึ่งผลจากการศึกษา พบว่าประเทศไทยมีผลผลิตในรูปข้าวเปลือก 28.5-30.2 ล้านตัน/ปี มีสัดส่วนฟางข้าวต่อผลผลิตอยู่ที่ 0.45-1.19 ฟางข้าวมีค่าความร้อนประมาณ 14 MJ/kg มีศักยภาพในการผลิตพลังงาน 2,164.19 ktoe มีศักยภาพสูงที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานได้ และกระบวนการที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงฟางข้าว สำหรับเป็นเชื้อเพลิงผลิตน้ำมันชีวภาพ (Bio-oil) แก๊สชีวภาพ (Gasification) และแก๊สชีวภาพ (Biogas) คือ การบดละเอียด และการอัดเม็ด โดยพบว่าต้นทุนของเชื้อเพลิงฟางข้าวบดละเอียด และต้นทุนของฟางข้าวอัดเม็ด เท่ากับ 1.8855 และ 2.7655 บาท/กิโลกรัม

ศุภกิตติ์ สายสุนทร (2550) ได้ทำการพัฒนาวัสดุกันกระแทกสำหรับห่อหุ้มผลแอปเปิลสด เพื่อป้องกันการช้ำจากการกระแทกโดยใช้เชือกกล้วยและผักตบชวาซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาสานหุ้มผลไม้ไว้ นอกจากนี้ยังใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกพันหุ้มผลไม้ ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรทั้งสองชนิดคือเชือกกล้วยและผักตบชวาสาน และแผ่นกระดาษลูกฟูกสามารถต้านทานการกระแทกได้ทั้งหมด แต่เนื่องจากลักษณะรูปแบบของการป้องกันเป็นรูปแบบของการสานเลียนแบบตาข่ายโพลี จึงทำให้เกิดรอยชำรุดตามแนวของตาข่าย

บัณฑิต จริโมภาส และคณะ (2549) พบว่าบรรจุภัณฑ์ขายส่งสำหรับผลเงาะสดอันได้แก่ ตะกร้าพลาสติกกุด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ แข็งไม้ไผ่กุด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ ถุงพลาสติกเจาะรู ก่องกระดาษลูกฟูก ก่องกระดาษลูกฟูกร่วมกับถุงพลาสติก ก่องกระดาษลูกฟูกและกระดาษ ฝอยกันกระแทก ก่องกระดาษลูกฟูกแบบจัดแบ่งส่วนร่วมกับตะแกรงไม้ไผ่ พบว่าบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ อยู่ในปัจจุบันก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลเงาะทุกชนิด โดยความเสียหายสูงสุดเกิดจากการบรรจุ ด้วยแข็งไม้ไผ่ซึ่งมีความเสียหายมากกว่า 50% และก่องกระดาษแบบจัดแบ่งส่วนก่อให้เกิดความเสียหายน้อยสุดคือ 24.55 %



บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง วัตถุประสงค์ในการผลิตกระดาษฟางข้าว รายละเอียดของตัวอย่างที่ใช้ อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบประกอบไปด้วย ชื่อ ขนาด รุ่น และมาตรฐาน รวมถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ได้แก่ การพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษฟางข้าว การหาคุณสมบัติทางกายภาพของผลแอปเปิล การทดสอบวัสดุกันกระแทกที่ได้จากกระดาษฟางข้าวโดยวิธีการทดสอบการตกกระแทก (Drop Test) การทดสอบแบบแท่งมวลแกว่ง (Ballistic Pendulum) และการทดสอบการกดทับ วิธีการทำบรรจุภัณฑ์กันกระแทกจากเชื้อฟางข้าวโดยการขึ้นรูป ทดสอบบรรจุภัณฑ์กันกระแทกที่ได้จากการขึ้นรูปโดยวิธีทดสอบการสั่นสะเทือนดังนี้

3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ฟางข้าว ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษฟางข้าวและขึ้นรูปภาชนะกันกระแทก

3.2.2 แอปเปิล ใช้เป็นวัสดุทดสอบความสามารถในการปกป้องของวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าว แอปเปิลที่ใช้มี 2 ขนาด คือ เบอร์ 80 และเบอร์ 100

3.2.3 สารเคมี โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการแยกเส้นใย

3.2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตกระดาษและทดสอบความสามารถในการปกป้องผลผลิตทางการเกษตร มีดังนี้

1. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล 4 ตำแหน่ง

2. ตาชั่งกิโลกรัม

3. เครื่องวัดความชื้นแบบอินฟราเรด

4. ตู้อบหาความชื้น (Hot air oven)

5. เครื่องทดสอบการกระแทก (Ballistic Pendulum) แสดงดังรูปที่ 3.1

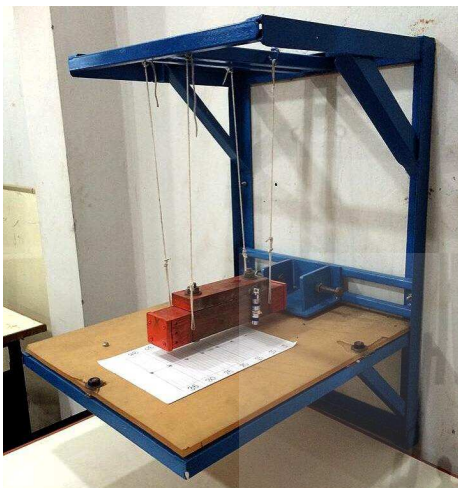
6. เครื่องจำลองการสั่นสะเทือน มอเตอร์ไฟฟ้า 220 โวลต์ ขนาด 3 แรงม้า ยี่ห้อมิตซูบิชิ แสดงดังรูปที่ 3.2

7. เครื่องสับย่อย มอเตอร์ไฟฟ้า 220 โวลต์ ขนาด 3 แรงม้า ยี่ห้อมิตซูบิชิ แสดงดังรูป

ที่ 3.3

8. ชุดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ แสดงดังรูปที่ 3.4

9. เวอร์เนียคาลิเปอร์



รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบการกระแทก



รูปที่ 3.2 เครื่องจำลองการสิ้นสะท้อน



รูปที่ 3.3 เครื่องสับข่อย



รูปที่ 3.4 ชุดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์

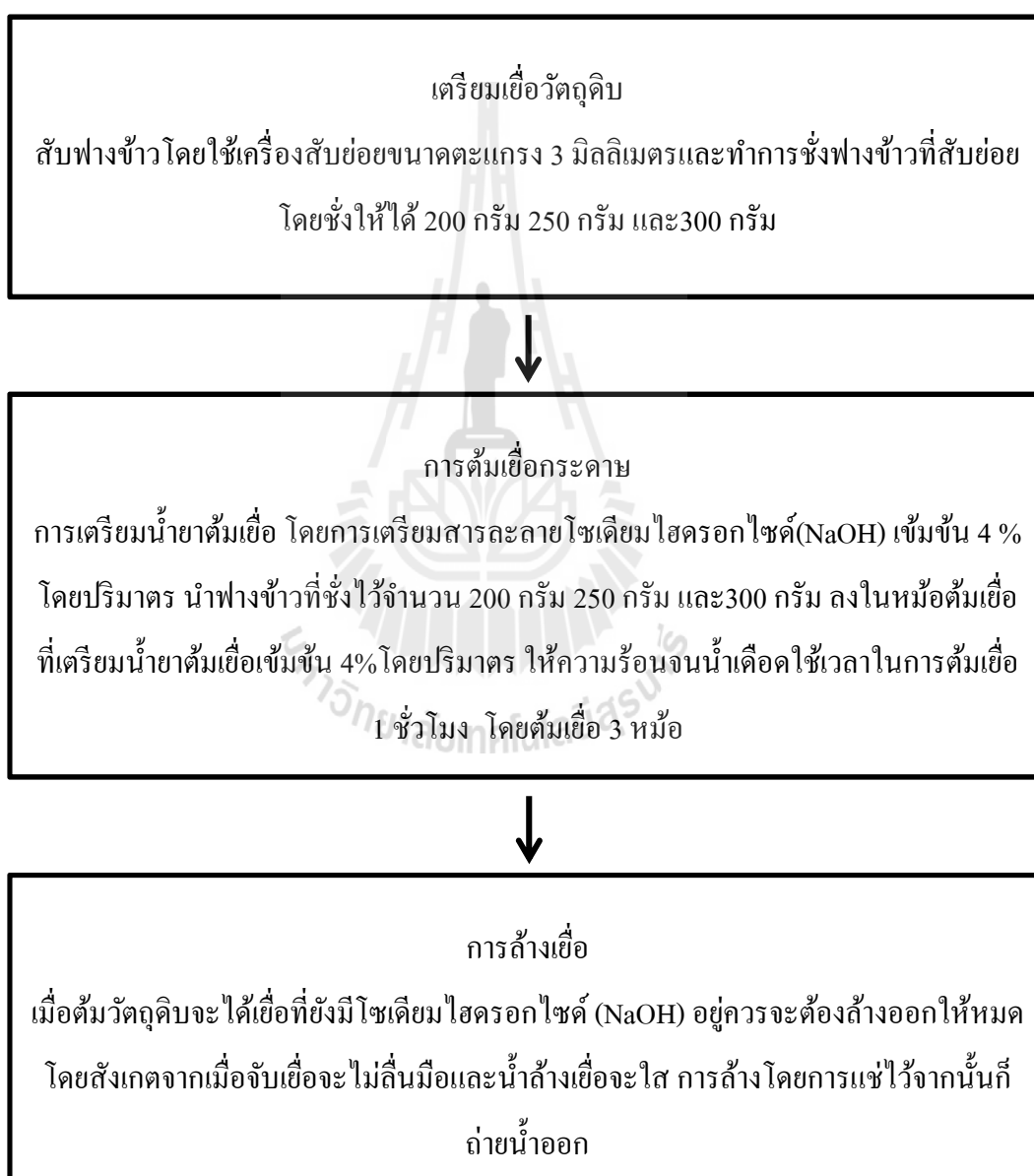
3.2.5 วัสดุอุปกรณ์

- | | | |
|------------------|--|--------------|
| 1. หม้อต้มเยื่อ | 2. กะบะเหล็ก | 3. เตารีด |
| 4. นาฬิกาจับเวลา | 5. ถังพลาสติก | 7. ผ้าขาวบาง |
| 8. เครื่องฉาบปูน | 9. ตะแกรงมุ้งลวดขนาด 60 x 40 เซนติเมตร | |

3.3 การพัฒนากระบวนการผลิตกระดาษฟางข้าว

กระบวนการผลิตกระดาษด้วยมือ เยื่อที่ผ่านกระบวนการเตรียมเยื่อแล้วจะถูกทำให้เป็นแผ่นด้วยมือ (Hand Sheet) ได้ 2 วิธี คือ การดักช้อนและการตะ ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ จะใช้วิธีการผลิตกระดาษฟางข้าว ด้วยวิธีการตะ เพราะสามารถควบคุมน้ำหนักและค่าความหนาได้ มีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 ขั้นตอนการทำวัสดุกันกระแทกที่ได้จากกระดาษฟางข้าว แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทำวัสดุกันกระแทกที่ได้จากกระดาษฟางข้าว

การทำแผ่นกระดาษ

นำเยื่อที่เตรียมไว้ทั้ง 3 หม้อ คือ 200 กรัม 250 กรัม และ 300 กรัม เทเยื่อที่ได้ลงไป ใน ตะแกรงมุ้งลวดที่ใช้ทำแผ่นกระดาษ โดยใช้ตะแกรงมุ้งลวดขนาด 40x60 เซนติเมตร ใช้เกรียงเกลี่ยเยื่อภายในตะแกรงมุ้งลวดให้มีความสม่ำเสมอทั้งแผ่น นำไปตากแดดให้แห้ง เมื่อกระดาษแห้งสนิทแล้ว ให้ใช้นิ้วมือกรีดรอบๆ ตะแกรงหรือบริเวณขอบตะแกรง จะทำให้กระดาษหลุดออกจากตะแกรงได้ง่ายขึ้นนั้นจึงค่อยๆดึงออก



ทำวัสดุกันกระแทก

วัดความชื้นกระดาษให้ได้ความชื้นต่ำกว่า 10 % และใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดความหนา ของกระดาษ จะให้ความหนาที่ 2, 3, 4 มิลลิเมตร นำกระดาษจากฟางข้าวทั้ง 3 ความหนา มาตัดให้ได้ขนาด 8x24 เซนติเมตร ทั้งแบบตัดรีวและไม่ตัดรีว ดังแสดงดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทำวัสดุกันกระแทกที่ได้จากกระดาษฟางข้าว (ต่อ)

3.4 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของผลแอปเปิล

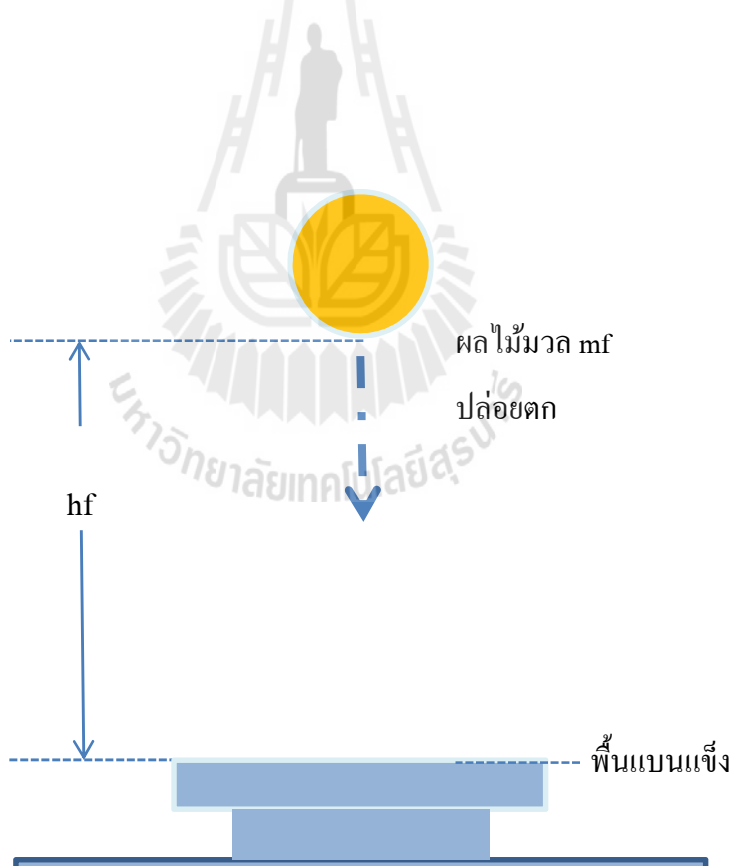
การทดลองครั้งนี้ใช้ผลแอปเปิลสดพันธุ์ฟูจิเบอร์ 80 และเบอร์ 100 จากตลาดสุรนคร จังหวัดนครราชสีมา โดยเบื้องต้นทำการคัดเลือกผลแอปเปิลที่ไม่มีรอยตำหนิ รอยช้ำ จำนวนทั้งสิ้น 1,200 ผล ทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งความละเอียด ± 0.01 กรัม วัดค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง สูงสุด (D_{max}) วัดค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำสุด (D_{min}) และวัดค่าความสูง

3.5 การทดสอบวัสดุกันกระแทกที่ได้จากกระดาษฟางข้าว

การทดสอบวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวจะใช้วิธีการทดสอบ 3 แบบ คือ

3.5.1 ทำการทดสอบ Drop Test ดังรูปที่ 3.5 เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการปกป้องผลิตผลทางการเกษตร โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้แอปเปิลเป็นวัสดุในการทดสอบ เนื่องจากเป็นผลไม้ที่สามารถหาได้ตลอดทั้งปี ทำการทดสอบใน 3 ระดับความสูง คือ 25 เซนติเมตร 50 เซนติเมตร และ 75 เซนติเมตร ที่ระดับความสูงละ 15 ตัวอย่าง ทดสอบ 6 แบบคือ

1. ไม่มีการห่อหุ้มผลิตผลทางการเกษตร
2. ทำการห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากกระดาษความหนา 2 มิลลิเมตร
3. ทำการห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากกระดาษความหนา 4 มิลลิเมตร
4. ทำการห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากกระดาษความหนา 6 มิลลิเมตร
5. ห่อหุ้มโดยใช้ตาข่ายโพลีที่มีตามท้องตลาด



รูปที่ 3.6 การทดสอบแบบปล่อยผลไม้ตก (Drop Test)

(ที่มา : บัณฑิต จริโมภาส, 2549)

3.5.2 ทำการทดสอบ Ballistic Pendulum เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการปกป้องผลิตผลทางการเกษตรลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.8 โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้แอปเปิลเป็นวัสดุในการทดสอบ ทำการทดสอบที่ 5 ระดับมุมตกกระทบคือ 5, 10, 15, 20 และ 25 องศา ที่ระดับพลังงานละ 15 ตัวอย่าง ทดสอบ 8 แบบ คือ

1. ไม่มีการห่อหุ้มผลิตผลทางการเกษตร
2. ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากกระดาศความหนา 2 มิลลิเมตรแบบตัดริ้ว
3. ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากกระดาศความหนา 3 มิลลิเมตรแบบตัดริ้ว
4. ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากกระดาศความหนา 4 มิลลิเมตรแบบตัดริ้ว
5. ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากกระดาศความหนา 2 มิลลิเมตรแบบไม่ตัด
6. ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากกระดาศความหนา 3 มิลลิเมตรแบบไม่ตัด
7. ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากกระดาศความหนา 4 มิลลิเมตรแบบไม่ตัด
8. ห่อหุ้มโดยใช้ตาข่าย โฟมที่มีตามท้องตลาด



รูปที่ 3.7 กระดาศจากฟางข้าวแบบตัดริ้วและแบบไม่ตัด



รูปที่ 3.8 การทดสอบแบบแท่งมวลแกว่ง (Ballistic Pendulum)

3.5.3 ทดสอบการกดทับ เพื่อศึกษาพลังงานคูดกลืนของผลไม้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้แอปเปิลเป็นวัสดุในการทดสอบ แอปเปิลที่ใช้มี 2 ขนาด คือ เบอร์ 80 และเบอร์ 100 โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.9 อัตราการกระแทกเป็น 2.5 มิลลิเมตร/นาที ตามมาตรฐาน ASAE S368.3 ทำการทดสอบอย่างละ 10 ซ้ำ ทดสอบ 8 แบบ คือ

1. ไม่มีการห่อหุ้มผลผลิตทางการเกษตร
2. ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากกระดาศความหนา 2 มิลลิเมตรแบบตัดรีว
3. ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากกระดาศความหนา 3 มิลลิเมตรแบบตัดรีว
4. ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากกระดาศความหนา 4 มิลลิเมตรแบบตัดรีว
5. ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากกระดาศความหนา 2 มิลลิเมตรแบบไม่ตัด
6. ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากกระดาศความหนา 3 มิลลิเมตรแบบไม่ตัด
7. ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากกระดาศความหนา 4 มิลลิเมตรแบบไม่ตัด
8. ห่อหุ้มโดยใช้ตาข่ายโฟมที่มีตามท้องตลาด



รูปที่ 3.9 การทดสอบการกดทับ โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (UTM)

3.6 วิธีการทำบรรจุภัณฑ์กันกระแทกจากเยื่อฟางข้าวโดยการขึ้นรูป

บรรจุภัณฑ์กันกระแทกจากเยื่อฟางข้าวโดยการขึ้นรูปหรือภาชนะบรรจุสามมิติที่ทำการขึ้นรูปของเยื่อฟางข้าวให้เป็นตามรูปร่างที่ต้องการเพื่อช่วยในการขนส่ง การใช้งานของเยื่อฟางข้าวขึ้นรูป ได้แก่การทำให้เป็นถาดหลุมใส่ผลไม้ โดยมีวิธีการทำดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงวิธีการทำวัสดุกันกระแทกโดยการขึ้นรูป

ขั้นตอนที่	รายละเอียดการดำเนินการ
1) เตรียมเยื่อวัตถุดิบ	1) สับฟางข้าวโดยใช้เครื่องสับย่อยขนาดตะแกรง 3 มิลลิเมตร 2) ทำการชั่งฟางข้าวที่สับย่อย โดยชั่งให้ได้ 300 กรัม
2) การต้มเยื่อกระดาษ	1) การเตรียมน้ำยาต้มเยื่อ โดยการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 4 % โดยปริมาตร 2) นำฟางข้าวที่ชั่งไว้จำนวน 300 กรัม ลงในหม้อต้มเยื่อที่เตรียมน้ำยาต้มเยื่อเข้มข้น 4% โดยปริมาตร ให้ความร้อนจนน้ำเดือด ใช้เวลาในการต้มเยื่อ 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงวิธีการทำวัสดุกันกระแทกโดยการขึ้นรูป (ต่อ)

ขั้นตอนที่	รายละเอียดการดำเนินการ
4) การทำแผ่นกระดาษ	1) นำเยื่อที่เตรียม 300 กรัม เทเยื่อที่ได้ลงไปบนตะแกรงมุ้งลวดที่ใช้ทำแผ่นกระดาษ โดยใช้ตะแกรงมุ้งลวดขนาด 40x60 เซนติเมตร ใช้เกรียงเกลี่ยเยื่อภายในตะแกรงมุ้งลวดให้มีความสม่ำเสมอทั้งแผ่น 2) นำไปตากแดดให้พอรอบ
5) ทำวัสดุกันกระแทก	1) นำเยื่อที่เตรียมไว้ ขั้นตอน ที่ 1-4 เทใส่ในแบบชุดขึ้นรูปและกดแบบขึ้นรูป แล้วนำไปตากแดดให้แห้ง

3.7 ทดสอบบรรจุภัณฑ์กันกระแทกภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือน

3.7.1 ทดสอบการสั่นสะเทือน ดังรูปที่ 3.10 เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการปกป้องผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรของภาชนะกันกระแทกจากฟางข้าว โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้แอปเปิลเป็นวัสดุในการทดสอบ โดยใช้เครื่องจำลองการสั่นสะเทือนที่มีความถี่ของการเขย่า 4 Hz เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D999 method A2 ทำการทดลองบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุตัวอย่างอย่างละ 3 ซ้ำ 2 แบบ คือ

1. กล่องกระดาษลูกฟูก (หุ้มตาข่ายโพลีเอทิลีนและวางถาดรองแอปเปิลโพลี)
2. กล่องกระดาษลูกฟูก (หุ้มโพลีเอทิลีนตาข่ายและวางถาดรองแอปเปิลจากฟางข้าว)



รูปที่ 3.10 การทดสอบการสั่นสะเทือน

3.8 การประเมินปริมาตรรอยช้ำและความต้านทานช้ำทั้งหมด

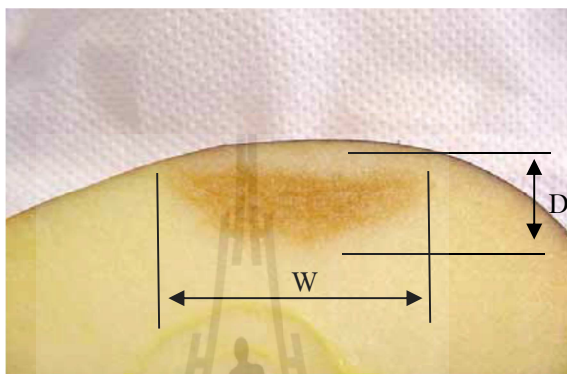
3.8.1 การหาปริมาตรเนื้อช้ำ (Chen and Sun, 1981) แสดงในรูปที่ 3.11

ปริมาตรเนื้อช้ำ (Bruise Volume,) = $(\pi/8) W^2 D$

เมื่อ

W = ความกว้างรอยช้ำ (มิลลิเมตร)

D = ความลึกรอยช้ำ (มิลลิเมตร)



รูปที่ 3.11 ปริมาตรเนื้อช้ำ

3.8.2 คำนวณหาค่าความต้านทานการช้ำทั้งหมด โดยคำนวณจากค่าความชันกราฟพลังงานกระแทก (แกนนอน) และปริมาตรรอยช้ำทั้งหมด (แกนตั้ง) ค่าความชันของกราฟน้อย หมายถึงมีค่าความต้านทานการช้ำมาก เพราะที่เกิดจากปริมาตรชำน้อยจากพลังพลังงานกระแทกหน่วยเดียวกัน

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

4.1 บทนำ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ ฟางข้าว นำมาผลิตเป็นกระดาษ ฟางข้าว โดยใช้กระบวนการผลิตกระดาษด้วยมือแบบตะ เพื่อปกป้องผลิตผลทางการเกษตรจากความเสียหายเชิงกล โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้แอปเปิลเป็นวัสดุในการทดสอบ

การศึกษการป้องกันความเสียหายเชิงกลของผลิตผลเกษตรโดยใช้วัสดุกันกระแทกจากฟางข้าว จะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) วัสดุกันกระแทกที่เป็นกระดาษจากฟางข้าวจะทดสอบการกดทับโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (UTM) มาตรฐาน ASAE S368.3 2) วัสดุกันกระแทกที่เป็นกระดาษจากฟางข้าวจะทดสอบด้วยวิธีตกกระทบ (Drop Test) และทดสอบด้วยวิธีการทดสอบแบบแท่งมวลแกว่ง (Ballistic Pendulum) 3) ภาชนะขึ้นรูปกันกระแทก ทดสอบด้วยวิธีการสั่นสะเทือน มาตรฐาน ASTM D999 method A2

4.2 กระดาษฟางข้าวที่ผลิตได้

กระดาษฟางข้าวที่ผลิตได้ จะใช้กระบวนการผลิตด้วยมือด้วยวิธีแบบตะ วิธีนี้กระดาษจะได้รับความหนาและน้ำหนักสม่ำเสมอทุกแผ่น เพราะมีการชั่งน้ำหนักของเยื่อก่อนที่จะทำกระดาษ จะได้กระดาษจากเยื่อฟางข้าวที่มีความหนาประมาณ 2 3 และ 4 มิลลิเมตร นำกระดาษจากฟางข้าวทั้ง 3 ความหนา มาตัดให้ได้ขนาด 6 x 24 เซนติเมตร เพื่อที่จะสามารถห่อหุ้มผลแอปเปิลได้พอดี

กระดาษฟางข้าวมีความทนแรงดึง (Tensile Stress) เท่ากับ 0.0837 Mpa สำหรับกระดาษฟางข้าวที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร

4.3 ลักษณะทางกายภาพของแอปเปิล

ผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพของแอปเปิลแสดงในตารางที่ 4.1 โดยการวัดขนาดและรูปร่างของแอปเปิล แอปเปิลที่ใช้ทดสอบมี 2 ขนาด คือ เบอร์ 80 และเบอร์ 100

ตารางที่ 4.1 รูปร่างและขนาดของแอปเปิล

ลักษณะทางกายภาพ	เบอร์ 80	เบอร์ 100
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด (mm)	78.92±1.80	78.92±3.27
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุด (mm)	50.49±2.55	48.12±3.00
ความสูง (mm)	67.77±2.30	64.47±3.42
น้ำหนัก (g)	197.79±5.24	168.62±12.70

จากตารางที่ 4.1 รูปร่างและขนาดของแอปเปิลจะเห็นได้ว่าผลแอปเปิลทั้งสองขนาดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดที่มีค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 78.92±1.80 และ 78.92±3.27 มิลลิเมตร สำหรับแอปเปิลเบอร์ 80 และ 100 ตามลำดับ ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุด ความสูง น้ำหนักและแอปเปิล เบอร์ 80 จะมีค่ามากกว่าเบอร์ 100 เห็นได้จาก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุดเท่ากับ 50.49±2.55 และ 48.12±3.00 มิลลิเมตร ค่าความสูงเท่ากับ 67.77±2.30 และ 64.47±3.42 มิลลิเมตร ค่าน้ำหนักเท่ากับ 197.79±5.24 และ 168.62±12.70 กรัม สำหรับแอปเปิลเบอร์ 80 และ 100 ตามลำดับ เนื่องจากบรรจุภัณฑ์มีขนาดที่เท่ากันและกำหนดการบรรจุด้วยน้ำหนัก แอปเปิลเบอร์ 80 ที่มีจำนวนผลน้อยกว่าแอปเปิลเบอร์ 100 จึงเป็นผลทำให้น้ำหนักของแอปเปิลเบอร์ 80 มีน้ำหนักที่มากกว่าเบอร์ 100

4.4 ผลของการทดสอบความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิล

4.4.1 ผลของการทดสอบด้วยวิธีตกกระทบ (Drop Test)

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า ค่าปริมาตรรอยชำ ระดับความสูงที่ใช้ปล่อย และพลังงาน กระแทกมีความสัมพันธ์กัน โดยค่าความสูงที่สูงขึ้น พลังงานกระแทกและปริมาตรรอยชำ ก็สูงขึ้นตามไปด้วย แต่ก็มีบางการทดลองไม่เป็นไปตามความสัมพันธ์ แอปเปิลที่ใช้ในการทดสอบ ขนาดเบอร์ 100 โดยค่าการทดสอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.2-4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ค่าปริมาตรรอยชำและพลังงานกระแทกของการทดสอบแบบไม่มีวัสดุห่อหุ้ม

ลำดับที่	ระดับความสูง					
	25 cm		50 cm		75 cm	
	ปริมาตรรอย ชำ (mm ³)	พลังงาน กระแทก (J)	ปริมาตรรอย ชำ (mm ³)	พลังงาน กระแทก (J)	ปริมาตรรอย ชำ (mm ³)	พลังงาน กระแทก (J)
1	1377.54	0.36	4308.47	0.68	3668.86	1.11
2	2087.92	0.41	3080.07	0.67	6204.12	1.19
3	1387.54	0.36	3274.19	0.73	3822.80	1.11
4	2601.24	0.39	2122.41	0.68	5443.33	1.25
5	2068.74	0.40	2794.19	0.69	6895.14	1.12
6	2488.14	0.44	2681.35	0.81	4386.38	1.20
7	2042.76	0.37	4152.79	0.74	5510.62	1.02
8	1603.52	0.38	3141.33	0.76	2092.30	1.13
9	1837.31	0.40	4329.51	0.80	3902.45	1.08
10	3008.60	0.37	4241.15	0.80	3976.08	1.20
11	2367.91	0.40	4238.47	0.69	5157.58	1.10
12	2431.59	0.39	3828.29	0.73	2286.56	1.10
13	2873.38	0.36	4067.51	0.75	6895.14	1.21
14	2375.04	0.38	3899.76	0.74	4968.89	1.11
15	2205.40	0.39	3738.63	0.71	3429.70	1.10
Mean±S.D.	2183.8±488.3	0.39±0.02	3593.2±697.0	0.73±0.05	4576.0±1475.8	1.13±0.06

ตารางที่ 4.3 ค่าปริมาตรรอยชำและพลังงานกระแทกของการทดสอบแบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโฟม

ลำดับที่	ระดับความสูง					
	25 cm		50 cm		75 cm	
	ปริมาตรรอย ชำ (mm ³)	พลังงาน กระแทก (J)	ปริมาตรรอย ชำ (mm ³)	พลังงาน กระแทก (J)	ปริมาตรรอย ชำ (mm ³)	พลังงาน กระแทก (J)
1	770.74	0.39	3668.86	0.75	2318.50	1.05
2	1422.62	0.41	1884.82	0.78	3731.56	1.08
3	409.98	0.38	3668.86	0.70	3190.65	1.02
4	583.68	0.40	1880.18	0.74	3509.49	1.11
5	1193.18	0.39	2205.40	0.73	6057.25	1.10
6	1113.31	0.35	2875.87	0.81	1541.41	1.08
7	2125.21	0.40	2942.23	0.71	3668.92	1.08
8	1030.87	0.38	2261.95	0.68	3646.21	1.06
9	1113.31	0.42	1583.36	0.79	3506.90	1.05
10	741.32	0.39	2730.83	0.82	6895.14	1.16
11	922.45	0.35	1758.96	0.69	2528.72	1.06
12	1081.49	0.35	2318.56	0.69	3098.08	1.16
13	909.03	0.35	1880.18	0.73	6414.09	1.13
14	1086.86	0.38	3011.22	0.74	5358.51	1.04
15	917.38	0.40	2082.88	0.74	4758.47	1.12
Mean±S.D.	1028.1±394.0	0.38±0.02	2450.3±667.2	0.74±0.04	4014.9±1561.9	1.09±0.04

ตารางที่ 4.4 ค่าปริมาตรรอยชำและพลังงานกระแทกของการทดสอบแบบห่อหุ้มด้วยกระดาษ ฟางข้าวหนา 2 mm

ลำดับที่	ระดับความสูง					
	25 cm		50 cm		75 cm	
	ปริมาตรรอย ชำ (mm ³)	พลังงาน กระแทก (J)	ปริมาตรรอย ชำ (mm ³)	พลังงาน กระแทก (J)	ปริมาตรรอย ชำ (mm ³)	พลังงาน กระแทก (J)
1	1979.86	0.42	3506.90	0.84	5358.44	1.33
2	1529.87	0.43	770.74	0.84	6544.59	1.30
3	917.38	0.41	3506.90	0.87	5251.92	1.25
4	1886.95	0.41	3990.64	0.87	3149.05	1.32
5	2716.17	0.46	1988.56	0.81	7379.60	1.19
6	197.99	0.45	4329.44	0.88	5726.08	1.31
7	177.89	0.45	3141.33	0.85	7481.67	1.23
8	917.38	0.42	4238.34	0.79	7131.59	1.30
9	2802.02	0.45	2789.80	0.82	7135.67	1.24
10	153.74	0.42	5160.59	0.89	4440.48	1.24
11	3149.05	0.44	2924.79	0.88	7634.07	1.35
12	2318.50	0.41	1775.10	0.82	4895.65	1.35
13	1731.80	0.42	3745.83	0.93	6661.42	1.25
14	2488.14	0.45	2354.36	0.90	5603.23	1.27
15	1086.79	0.46	4241.15	0.82	5581.24	1.32
Mean±S.D.	1603.6±997.1	0.43±0.02	3231.0±1157.0	0.85±0.04	5998.3±1288.2	1.28±0.05

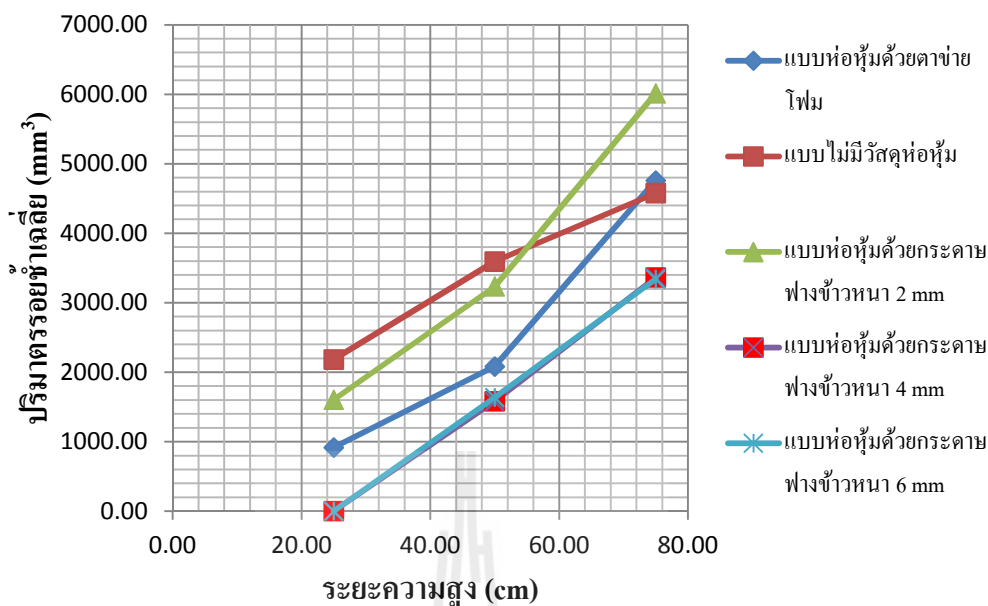
ตารางที่ 4.5 ค่าปริมาตรรอยชำและพลังงานกระแทกของการทดสอบแบบห่อหุ้มด้วยกระดาษ
ฟางข้าวหนา 4 mm

ลำดับที่	ระดับความสูง					
	25 cm		50 cm		75 cm	
	ปริมาตร รอยชำ (mm ³)	พลังงาน กระแทก (J)	ปริมาตรรอย ชำ (mm ³)	พลังงาน กระแทก (J)	ปริมาตรรอย ชำ (mm ³)	พลังงาน กระแทก (J)
1	0.00	0.36	921.53	0.85	4405.56	1.23
2	0.00	0.43	2431.59	0.85	3274.04	1.24
3	0.00	0.42	0.00	0.87	1601.92	1.26
4	0.00	0.43	3673.37	0.88	4147.16	1.15
5	0.00	0.39	0.00	0.77	3936.32	1.30
6	0.00	0.39	3141.33	0.75	2313.19	1.24
7	0.00	0.39	3286.89	0.80	1405.83	1.19
8	0.00	0.45	846.45	0.82	2601.24	1.27
9	0.00	0.40	2122.41	0.82	3960.24	1.32
10	0.00	0.42	1623.16	0.81	3077.48	1.17
11	0.00	0.44	945.75	0.81	2151.14	1.25
12	0.00	0.37	1830.76	0.79	2693.06	1.28
13	0.00	0.34	0.00	0.68	5301.44	1.33
14	0.00	0.35	1719.43	0.77	3207.70	1.28
15	0.00	0.46	1145.11	0.81	6317.61	1.31
Mean±S.D.	0.0±0.0	0.40±0.04	1579.2±1191.9	0.81±0.05	3359.6±1350.1	1.25±0.05

ตารางที่ 4.6 ค่าปริมาตรรอยชำและพลังงานกระแทกของการทดสอบแบบห่อหุ้มด้วยกระดาษ

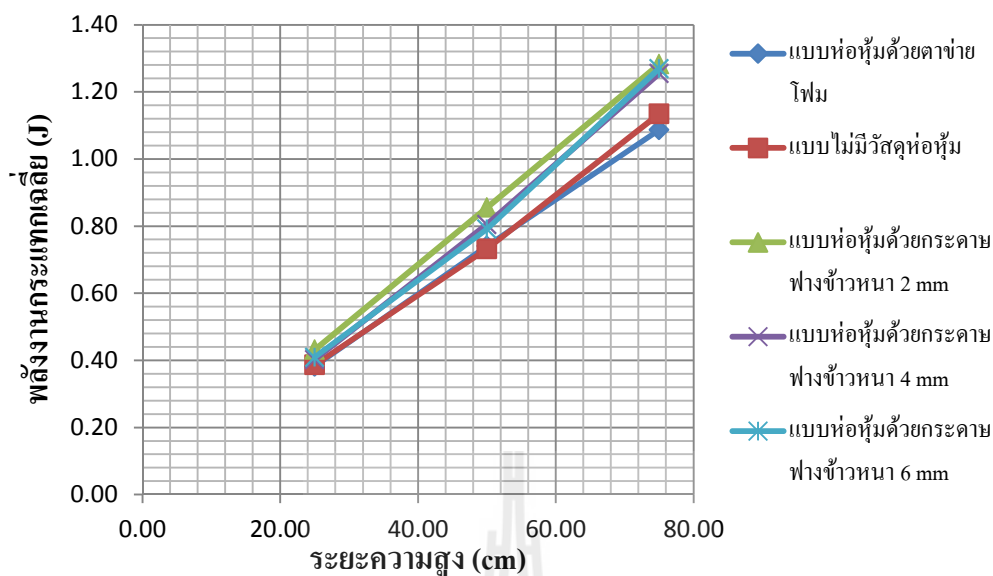
ฟางข้าวหนา 6 mm

ลำดับที่	ระดับความสูง					
	25 cm		50 cm		75 cm	
	ปริมาตรรอย ชำ (mm ³)	พลังงาน กระแทก (J)	ปริมาตรรอย ชำ (mm ³)	พลังงาน กระแทก (J)	ปริมาตรรอย ชำ (mm ³)	พลังงาน กระแทก (J)
1	0.00	0.42	2693.13	0.83	3822.79	1.19
2	0.00	0.41	695.34	0.74	3149.05	1.26
3	0.00	0.41	212.71	0.86	3987.73	1.31
4	0.00	0.41	1780.24	0.68	4053.70	1.29
5	0.00	0.38	2027.37	0.81	3363.76	1.21
6	0.00	0.40	1724.73	0.75	4568.60	1.27
7	0.00	0.43	1662.43	0.86	4130.67	1.25
8	0.00	0.40	2875.87	0.78	2601.24	1.20
9	0.00	0.40	2396.25	0.79	3141.33	1.33
10	0.00	0.41	463.88	0.83	2804.40	1.21
11	0.00	0.41	2141.78	0.80	3650.04	1.35
12	0.00	0.41	1662.43	0.81	3493.65	1.25
13	0.00	0.44	1466.08	0.76	3378.85	1.32
14	0.00	0.44	1145.11	0.76	1694.79	1.22
15	0.00	0.39	1583.89	0.79	2259.59	1.40
Mean±S.D.	0.0±0.0	0.41±0.02	1635.4±766.7	0.79±0.05	3340.0±765.4	1.27±0.06



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงและปริมาตรรอยน้ำเฉลี่ย

จากรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงและปริมาตรรอยน้ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละการทดสอบมาพล็อต จะเห็นว่า ที่ระยะความสูงเพิ่มขึ้นปริมาตรรอยน้ำก็สูงขึ้นด้วย และกราฟนี้ยังแสดงการเปรียบเทียบของแต่ละการทดสอบ ซึ่งการทดสอบแบบไม่มีวัสดุห่อหุ้ม แบบห่อหุ้มด้วยตาข่าย โฟม และ แบบห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกทำจากฟางข้าวหนา 4, 6 มิลลิเมตร เป็นไปตามแนวโน้ม แต่แบบห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกทำจากฟางข้าวหนา 2 มิลลิเมตร นั้นมีค่าที่แตกต่างจากแนวโน้มอย่างเห็นได้ชัด ค่าที่ควรจะเป็น ไม่น่าจะต่างจากแบบไม่มีวัสดุห่อหุ้มมาก แต่ที่ค่าแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดนี้ อาจเกิดจากการที่ใช้น้ำหนักของแอปเปิ้ลที่ต่างกัน จึงส่งผลให้ค่าที่ออกมาต่างกัน



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงและพลังงานกระแทกเฉลี่ยของแต่ละการทดสอบ

จากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงและพลังงานกระแทก โดยเราใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละการทดสอบมาพล็อต จะเห็นว่ากราฟเป็นไปตามแนวโน้ม คือ เมื่อระยะที่สูงขึ้น ส่งผลให้พลังงานกระแทกสูงขึ้นไปด้วยตามดังสมการ $U = mgh$ ความจริงแล้วถ้ามวลเท่ากัน ความสูงเท่ากันพลังงานกระแทกจะมีค่าเท่ากัน

จากผลการทดสอบที่ได้เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปริมาตรรอยช้ำที่เกิดขึ้นถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มอย่างชัดเจนที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้กระดาษฟางข้าวที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร หรือ 6 มิลลิเมตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมด้านการจัดการกระดาษฟางข้าวที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร จึงมีความเหมาะสมกว่าที่จะเลือกใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยปริมาตรรอยช้ำจากการทดสอบด้วยวิธีการตกกระทบ

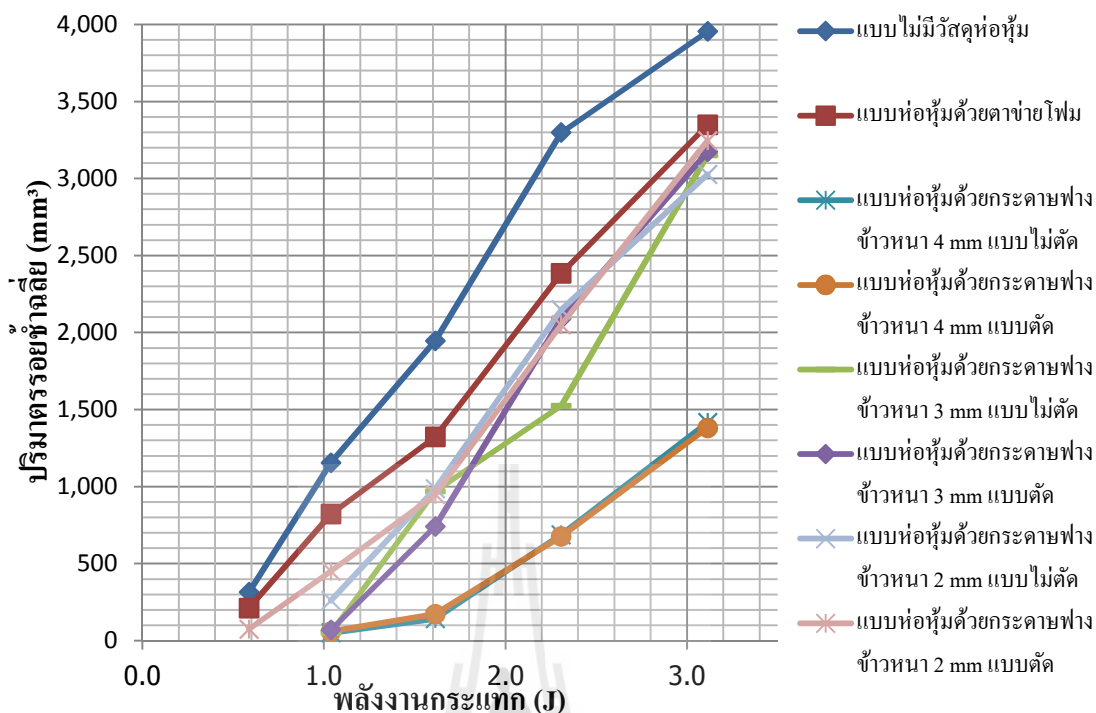
Cushioning Material	Non	Foam net	RP 2 mm	RP 4 mm	RP 6 mm
Mean of bruise volume (mm ³)*	3451.21 ^a	2516.34 ^b	3688.04 ^b	1646.25 ^c	1705.02 ^c

*Values followed by the same letter in row are not significantly different (Duncan, $P < 0.05$)

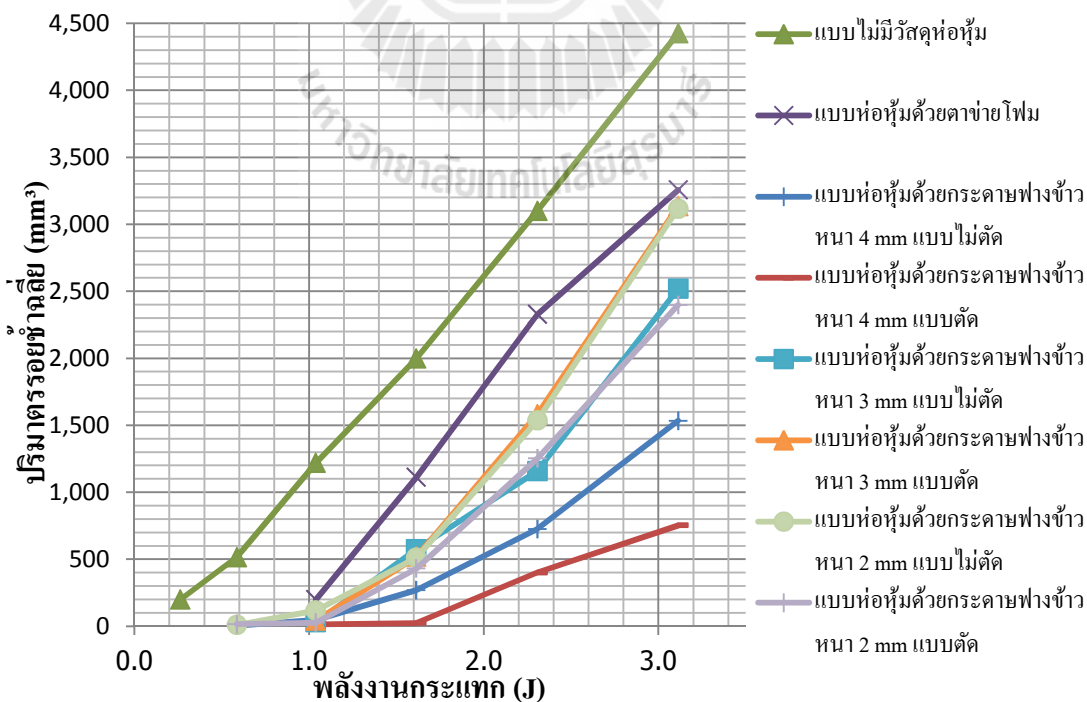
4.4.2 ผลของการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบแบบแท่งมวลแกว่ง (Ballistic Pendulum)

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานการกระแทกและปริมาตรรอยชำรุดเสียหายของแอปเปิลเบอร์ 80 โดยใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละการทดลองมาพล็อต จะเห็นว่า เมื่อพลังงานการกระแทกเพิ่มขึ้นปริมาตรรอยชำรุดเสียหายก็สูงขึ้นด้วย และกราฟนี้ยังแสดงการเปรียบเทียบของแต่ละการทดลอง ซึ่งการทดลองแบบไม่มีวัสดุห่อหุ้ม แบบห่อหุ้มด้วยตาข่าย โฟม และ แบบห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทก ทำจากฟางข้าวหนา 2, 4 มิลลิเมตร (แบบตัดรีวและแบบไม่ตัด) เป็นไปตามแนวโน้ม คือ เมื่อพลังงานการกระแทกสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาตรรอยชำรุดเสียหายสูงขึ้นด้วย แต่แบบห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกทำจาก ฟางข้าวหนา 3 มิลลิเมตร (แบบตัดรีวและแบบไม่ตัด) นั้น มีค่าที่แตกต่างจากแนวโน้มอย่างเห็นได้ชัดที่พลังงานการกระแทกที่ 3.1 จูล ค่าที่ควรจะเป็นปริมาตรรอยชำรุดเสียหายไม่น่าจะมากกว่าแบบที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวหนา 2 มิลลิเมตรแบบไม่ตัด วัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวที่มีความหนา 4 มิลลิเมตรแบบตัดรีว สามารถป้องกันความชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นกับผลแอปเปิลได้ดีที่สุด โดยมีความต้านทานการชำรุดเสียหายสูงสุดเท่ากับ 656.53 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูล ค่าความต้านทานการชำรุดเสียหาย คำนวณจากค่าความชันกราฟพลังงานการกระแทก (แกนนอน) และปริมาตรรอยชำรุดเสียหายทั้งหมด (แกนตั้ง) ค่าความชันของกราฟน้อย หมายถึง มีค่าความต้านทานการชำรุดเสียหายมาก เพราะที่เกิดจากปริมาตรชำรุดเสียหายจากพลังงานการกระแทกหน่วยเดียวกัน

รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานการกระแทกและปริมาตรรอยชำรุดเสียหายของแอปเปิลเบอร์ 100 โดยเราใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละการทดลองมาพล็อตจะเห็นว่ากราฟเป็นไปตามแนวโน้ม เมื่อพลังงานการกระแทกเพิ่มขึ้นปริมาตรรอยชำรุดเสียหายก็สูงขึ้นด้วย และกราฟนี้ยังแสดงการเปรียบเทียบของแต่ละการทดลอง ซึ่งการทดลองแบบไม่มีวัสดุห่อหุ้ม แบบห่อหุ้มด้วยตาข่าย โฟม และ แบบห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกทำจากฟางข้าวหนา 4 มิลลิเมตร (แบบตัดรีว และ แบบไม่ตัด) เป็นไปตามแนวโน้ม คือ เมื่อพลังงานการกระแทกสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาตรรอยชำรุดเสียหายสูงขึ้นด้วย วัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวที่มีความหนา 4 มิลลิเมตรแบบตัดรีว สามารถป้องกันความชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นกับผลแอปเปิลได้ดีที่สุด โดยมีความต้านทานการชำรุดเสียหายสูงสุดเท่ากับ 380.64 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูล



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกระแทกและปริมาตรรอยชำเฉลี่ยของแอปเปิลเบอร์ 80



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกระแทกและปริมาตรรอยชำเฉลี่ยของแอปเปิลเบอร์ 100

ตารางที่ 4.8 ระดับพลังงานที่เริ่มเกิดรอยชำ (J)

ลักษณะการห่อหุ้ม	ระดับพลังงานที่เริ่มเกิดรอยชำ (J)	
	แอปเปิลเบอร์ 100	แอปเปิลเบอร์ 80
1. แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้ม	0.2616	0.2616
2. แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโพลี	1.0383	0.2616
3. แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 มิลลิเมตร แบบตัด	0.5866	0.5866
4. แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 2 มิลลิเมตร แบบไม่ตัด	0.5866	0.5866
5. แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 3 มิลลิเมตร แบบตัด	1.0383	1.0383
6. แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 3 มิลลิเมตร แบบไม่ตัด	1.0383	1.0383
7. แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 4 มิลลิเมตร แบบตัด	1.0383	1.0383
8. แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 4 มิลลิเมตร แบบไม่ตัด	1.0383	1.0383

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าระดับพลังงานที่เริ่มเกิดรอยชำ ของผลแอปเปิลที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ ผลการทดสอบพบว่าแอปเปิลที่ไม่มีวัสดุห่อหุ้มระดับพลังงานที่เริ่มเกิดรอยชำเท่ากับ 0.2616 จูล สำหรับแอปเปิลเบอร์ 100 และเบอร์ 80 แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโพลีมีระดับพลังงานที่เริ่มเกิดรอยชำเท่ากับ 1.0383 จูล และ 0.2616 จูล สำหรับแอปเปิลเบอร์ 100 และเบอร์ 80 ตามลำดับ ส่วนแบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวหนา 3 มิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตร ทั้งแบบตัดและแบบไม่ตัดจะมีพลังงานที่เริ่มเกิดรอยชำเท่ากันที่ 1.0383 จูล

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าสมการรีเกรสชันเส้นตรง $V_b = AE_i + B$ และค่า R^2 ของผลแอปเปิลที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกแบบต่างๆ ปริมาณเนื้อชำและพลังงานกระแทก มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง วัสดุที่มีค่าความชันของกราฟ A น้อย หมายถึงมีค่าความต้านทานชำมาก เพราะทำให้เกิดปริมาณชำน้อย จากพลังงานกระแทก 1 หน่วยเดียวกัน แต่ถ้า A มีค่ามากแสดงว่าเกิดปริมาณเนื้อชำมาก จากพลังงานกระแทก 1 หน่วยเดียวกัน แสดงว่าความต้านทานความชำน้อย ลักษณะการห่อหุ้มแบบต่างๆ ได้แก่ วัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร แบบตัด ร็ว มีค่าความชันของกราฟ $E_i - V_b$ ต่ำที่สุดเท่ากับ 380.64 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูล สำหรับแอปเปิลขนาด 100 และ 656.53 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูล สำหรับแอปเปิลขนาด 80 ที่ R^2 เท่ากับ 0.94 และ 0.95 ตามลำดับ ส่วนค่า A มากที่สุด ได้แก่ แอปเปิลเปล่า เท่ากับ 1,495.30 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูล และ

1475.50 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูล สำหรับแอปเปิลขนาด 100 และ 80 ที่ R^2 เท่ากับ 0.99 และ 0.98 ตามลำดับ

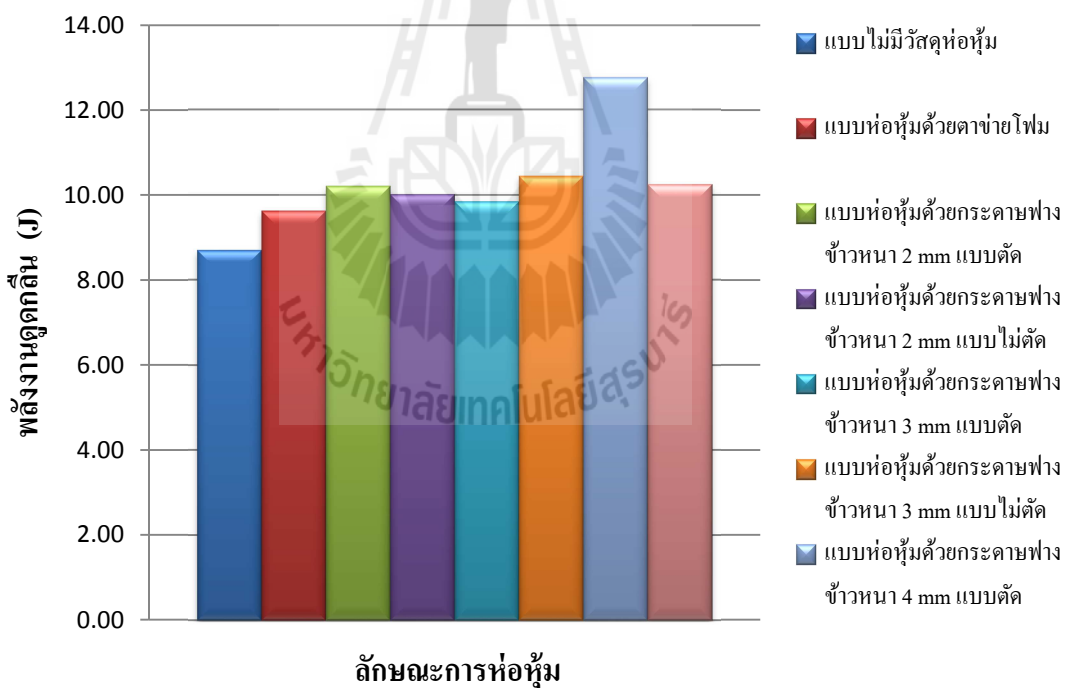
ตารางที่ 4.9 สมการรีเกรสชันเส้นตรงระหว่างปริมาตรซ้ำกับพลังงานกระแทกของแอปเปิล
เมื่อห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกชนิดต่างๆ

ลักษณะการห่อหุ้ม	แอปเปิล เบอร์ 100		แอปเปิล เบอร์ 80	
	$V_b = AE_i + B^*$	R^2	$V_b = AE_i + B$	R^2
1. แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้ม	$V_b = 1495.30E_i - 313.94$	0.99	$V_b = 1475.50E_i - 421.4$	0.98
2. แบบห่อหุ้มด้วยตาข่ายโฟม	$V_b = 1494.0E_i - 1291.7$	0.99	$V_b = 1242.90E_i - 534.79$	0.99
3. แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟาง ข้าวหนา 2 mm. แบบตัด	$V_b = 975.70E_i - 865.45$	0.94	$V_b = 1273.80E_i - 852.04$	0.98
4. แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟาง ข้าวหนา 2 mm. แบบไม่ตัด	$V_b = 1245.10E_i - 1098.3$	0.93	$V_b = 1363.60E_i - 1146.7$	0.99
5. แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟาง ข้าวหนา 3 mm. แบบตัด	$V_b = 1273.10E_i - 1150.6$	0.93	$V_b = 1347.20E_i - 1117.9$	0.96
6. แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟาง ข้าวหนา 3 mm. แบบไม่ตัด	$V_b = 1176.9 E_i - 1305.6$	0.97	$V_b = 1433.50E_i - 1468.3$	0.97
7. แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟาง ข้าวหนา 4 mm. แบบตัด	$V_b = 380.64E_i - 470.6$	0.94	$V_b = 656.53E_i - 752.28$	0.95
8. แบบห่อหุ้มด้วยกระดาษฟาง ข้าวหนา 4 mm. แบบไม่ตัด	$V_b = 609.34E_i - 540.05$	0.93	$V_b = 682.73E_i - 803.83$	0.95

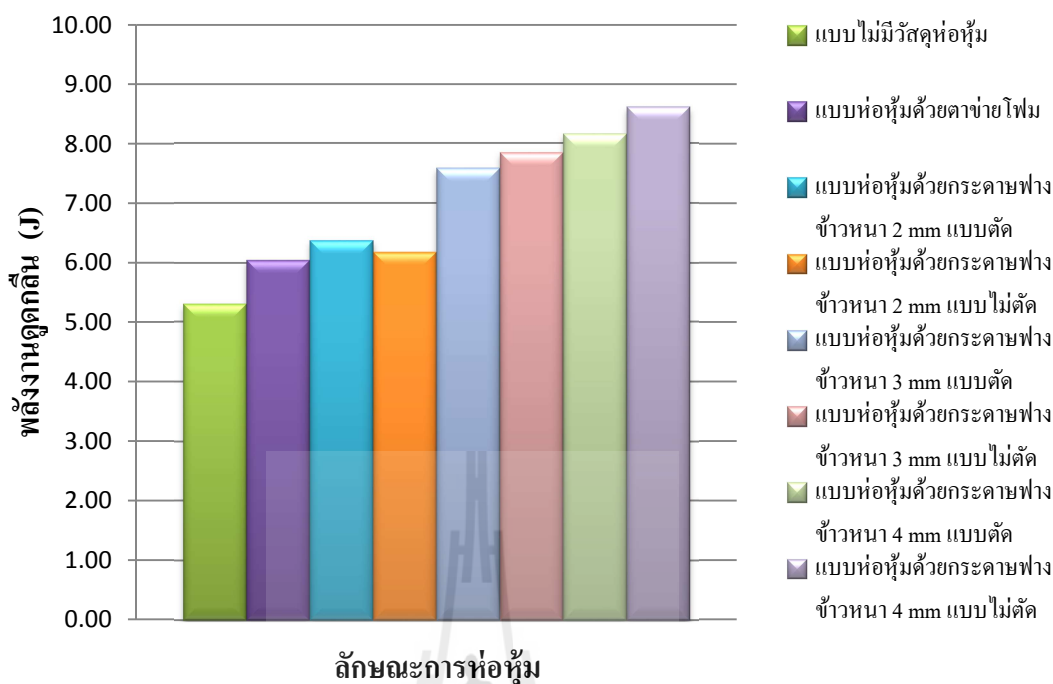
*เมื่อ V_b = ปริมาตรเนื้อซ้ำ และ E_i = พลังงานกระแทก A, B = ค่าคงที่

4.4.3 ผลของทดสอบการกดทับโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (UTM)

รูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6 แสดงพลังงานดูดกลืนภาระของแอปเปิลเมื่อห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกชนิดต่างๆ ภายใต้การทดสอบการกดทับเป็นภาระเกือบสถิต ผลการทดสอบแสดงให้เห็นค่าพลังงานดูดกลืนระหว่างลักษณะการห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกชนิดต่างๆ กับค่าพลังงานดูดกลืนของผลแอปเปิลที่ไม่มีวัสดุห่อหุ้ม พบว่า ผลแอปเปิลที่ห่อหุ้มด้วยกระดาษจากฟางข้าวที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร ทั้งแบบไม่ตัดและแบบตัด มีพลังงานดูดกลืนสูงที่สุด เท่ากับ 8.61 จูล และ 12.76 จูล สำหรับแอปเปิลเบอร์ 80 และ เบอร์ 100 ตามลำดับ แอปเปิลที่ไม่มีวัสดุห่อหุ้มมีพลังงานดูดกลืนน้อยที่สุดที่ 5.30 จูล และ 8.72 จูล สำหรับแอปเปิลเบอร์ 80 และ เบอร์ 100 ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่า ลักษณะการห่อหุ้มด้วยกระดาษฟางข้าวทั้งสามความหนาสามารถดูดกลืนพลังงานได้ดีกว่าการห่อหุ้มด้วยตาข่ายโพลี



รูปที่ 4.5 พลังงานดูดกลืนภาระเมื่อห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกชนิดต่างๆของแอปเปิลเบอร์ 80



รูปที่ 4.6 พลังงานดูดกลืนการห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทกชนิดต่างๆของแอปเปิลเบอร์ 100

4.4.4 ผลของการทดสอบด้วยวิธีการสั้นสะเทือน มาตรฐาน ASTM D999 method A2

จากการทดสอบเยื่อแอปเปิลทั้งสองขนาดคือ เบอร์ 100 และ เบอร์ 80 ด้วยเครื่องจำลองการสั้นสะเทือน ตามมาตรฐาน ASTM- D999 method A2 ของบรรจุกัณฑ์ทั้ง 2 แบบคือ 1) กล่องกระดาษลูกฟูก (หุ้มตาข่ายโฟมและวางถาดรองแอปเปิลโฟม) 2) กล่องกระดาษลูกฟูก(หุ้มโฟมตาข่ายและวางถาดรองแอปเปิลจากฟางข้าว) และได้วัดความเสียหายของแอปเปิล โดยกำหนดความเสียหายเป็น 2 ประเภทคือ ช้ำ ถลอก แล้วคำนวณและวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าความเสียหาย 2 แบบ คือ 1) ปริมาณความเสียหายเฉลี่ยต่อผล (ผลรวมของความเสียหายทั้งหมดในบรรจุกัณฑ์ / จำนวนผลทั้งหมดในบรรจุกัณฑ์) 2) เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย (จำนวนผลที่เกิดความเสียหายทั้งหมดในบรรจุกัณฑ์ / จำนวนผลทั้งหมดในบรรจุกัณฑ์)

ตารางที่ 4.10 และ 4.11 แสดงปริมาณความเสียหายของแอปเปิลเบอร์ 100 และ เบอร์ 80 ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า แอปเปิลเบอร์ที่บรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูกที่หุ้มตาข่ายโฟมและวางถาดรองโฟมมีความเสียหายเกิดขึ้น ช้ำ 0 เปอร์เซ็นต์ และถลอก 11.33 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแอปเปิลเบอร์ 100 ช้ำ 0.42 เปอร์เซ็นต์ และ 17.08 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแอปเปิลเบอร์ 80 ส่วนแอปเปิลเบอร์ที่บรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูกที่หุ้มตาข่ายโฟมและวางถาดรองแอปเปิลจากฟางข้าวมีความเสียหายที่เกิดขึ้น ช้ำ 0.67 เปอร์เซ็นต์ และถลอก 14.00 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแอปเปิลเบอร์ 100 ช้ำ 4.17 เปอร์เซ็นต์ และ 18.75 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแอปเปิลเบอร์ 80 แสดงให้เห็นว่า ถาดรอง

แอปเปิดจากฟางข้าวมีความสามารถในการปกป้องความเสียหายได้ในระดับที่ต่ำกว่าถาดรอง แอปเปิดจากโฟมเล็กน้อย ดูจากค่าเปอร์เซ็นต์ความเสียหายที่ค่าไม่ต่างกันมากนัก นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความเสียหายของแอปเปิดขนาด 80 มีความเสียหายมากกว่า แอปเปิดขนาดเบอร์ 100 ใน ทั้ง 2 รูปแบบการบรรจุ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแอปเปิดขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายมากกว่าแอปเปิดขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.10 ปริมาณความเสียหายของแอปเปิดเบอร์ 100

ลักษณะของภาชนะ	ชั้นรูป	ประเภทความเสียหาย		ค่าปริมาณความเสียหาย		เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย
		ชำ (ผล)	ถลอก (ผล)	ชำ (%)	ถลอก (%)	
ถาด โฟม	กล่องที่ 1	0	8	0	8	8
	กล่องที่ 2	0	10	0	10	10
	กล่องที่ 3	0	16	0	16	16
ค่าเฉลี่ย		0.00	11.33	0.00	11.33	11.33
ถาดฟาง ข้าว	กล่องที่ 1	2	16	2	16	18
	กล่องที่ 2	0	7	0	7	7
	กล่องที่ 3	0	19	0	19	19
ค่าเฉลี่ย		0.67	12.48	0.67	14.00	14.67

ตารางที่ 4.11 ปริมาณความเสียหายของแอปเปิดเบอร์ 80

ลักษณะของภาชนะ	ชั้นรูป	ประเภทความเสียหาย		ค่าปริมาณความเสียหาย		เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย
		ชำ (ผล)	ถลอก (ผล)	ชำ (%)	ถลอก (%)	
ถาด โฟม	กล่องที่ 1	1	18	1.25	22.50	23.75
	กล่องที่ 2	0	13	0	16.25	16.25
	กล่องที่ 3	0	10	0	12.50	12.50
ค่าเฉลี่ย		0.33	13.67	0.42	17.08	17.50
ถาดฟาง ข้าว	กล่องที่ 1	5	10	6.25	12.50	18.75
	กล่องที่ 2	2	13	2.50	16.25	18.75
	กล่องที่ 3	3	22	3.75	27.50	31.25
ค่าเฉลี่ย		3.33	15.00	4.17	18.75	22.92

บทที่ 5

บทสรุป

จากการพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวในรูปแบบของกระดาษและถาดรองภายในบรรจุภัณฑ์ขนส่ง แล้วดำเนินการทดสอบเพื่อประเมินความสามารถในการปกป้องความเสียหายเชิงกล 3 ชนิด คือ ความเสียหายจากการกระแทก ความเสียหายจากการกดทับและความเสียหายจากการสั่นสะเทือน โดยใช้แอปเปิลเป็นวัสดุในการทดสอบ สามารถสรุปผลวิจัยได้ดังนี้

5.1 การทดสอบความสามารถในการปกป้องความเสียหายเชิงกลจากการกระแทก

การทดสอบด้วยวิธีด้วยวิธีตกกระทบเพื่อดูปริมาตรรอยชำรุดและพลังงานกระแทก พบว่า ปริมาตรรอยชำรุดแปรตามระดับพลังงานกระแทกโดยเมื่อพลังงานสูงขึ้นปริมาตรรอยชำรุดก็เพิ่มมากขึ้น วัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร มีความสามารถป้องกันความชำรุดที่เกิดขึ้นกับผลแอปเปิลได้ดีที่สุด สำหรับบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ตาข่ายโพนอนั้นสามารถป้องกันความชำรุดที่ระดับต่ำกว่า 25 เซนติเมตร แต่เนื่องจากการทดสอบด้วยวิธีตกกระทบค่าพลังงานที่ได้จะขึ้นอยู่กับมวลของผลแอปเปิลซึ่งไม่คงที่ จึงมีการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบแบบแท่งมวลแกว่ง (Ballistic Pendulum) เพื่อดูปริมาตรรอยชำรุดและพลังงานกระแทก พบว่าปริมาตรรอยชำรุดแปรตามระดับพลังงานกระแทกโดยเมื่อพลังงานสูงขึ้นปริมาตรรอยชำรุดก็เพิ่มมากขึ้น วัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร แบบตัดรีว สามารถป้องกันความชำรุดที่เกิดขึ้นกับผลแอปเปิลได้ดีที่สุด โดยมีความต้านทานการชำรุดสูงที่สุดเท่ากับ 656.53 และ 380.64 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูล สำหรับแอปเปิลเบอร์ 80 และ 100 ตามลำดับ

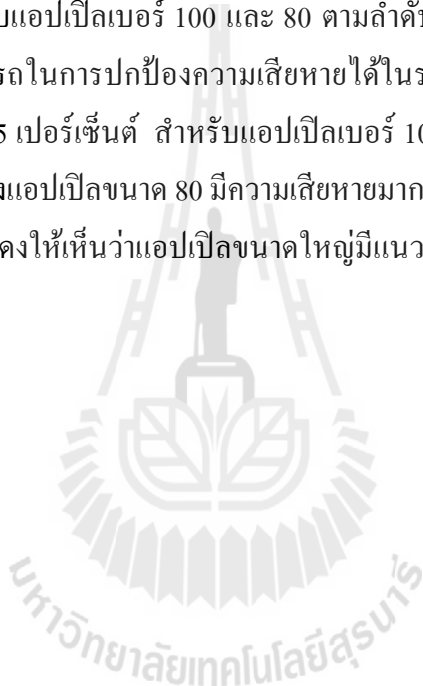
5.2 การทดสอบความสามารถในการป้องกันความเสียหายเชิงกลจากการกดทับ

การกดทับ โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (UTM) เป็นการทดสอบการกดทับเพื่อดูค่าพลังงานดูดกลืนของวัสดุกันกระแทกแบบชนิดต่างๆ ผลการทดสอบพบว่า ผลแอปเปิลที่ห่อหุ้มด้วยกระดาษจากฟางข้าวที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร ทั้งแบบไม่ตัดและแบบตัด มีพลังงานดูดกลืนสูงที่สุด เท่ากับ 8.61 จูล และ 12.76 จูล สำหรับแอปเปิลเบอร์ 80 และ เบอร์ 100 ตามลำดับ แอปเปิลที่ไม่มีวัสดุห่อหุ้มมีพลังงานดูดกลืนน้อยที่สุดที่ 5.30 จูล และ 8.72 จูล สำหรับแอปเปิลเบอร์ 80 และ

เบอร์ 100 ตามลำดับ ลักษณะการห่อหุ้มแอปเปิลด้วยตาข่ายโพนนั้น มีพลังงานดูดกลืนที่ต่ำกว่าวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าวทั้ง 3 ความหนา

5.3 การทดสอบความสามารถในการป้องกันความเสียหายเชิงกลจากการสั่นสะเทือน

การทดสอบด้วยวิธีการสั่นสะเทือนเพื่อดูค่าความเสียหายประกอบด้วย ช้ำและถลอก ผลการทดสอบพบว่า แอปเปิลที่ห่อหุ้มตาข่ายโพนและวางถาดบนรองแอปเปิลโพนมีค่าความเสียหาย 11.33 เปอร์เซ็นต์ และ 17.75 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแอปเปิลเบอร์ 100 และ 80 ตามลำดับ ส่วนแอปเปิลที่ห่อหุ้มโพนตาข่ายและวางถาดรองแอปเปิลจากฟางข้าวมีค่าความเสียหาย 14.67 เปอร์เซ็นต์ และ 22.92 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแอปเปิลเบอร์ 100 และ 80 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ถาดรองแอปเปิลจากฟางข้าวมีความสามารถในการปกป้องความเสียหายได้ในระดับที่ต่ำกว่าถาดรองแอปเปิลจากโพนเท่ากับ 6.42 และ 8.25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแอปเปิลเบอร์ 100 และ 80 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความเสียหายของแอปเปิลขนาด 80 มีความเสียหายมากกว่าแอปเปิลขนาดเบอร์ 100 ในทั้ง 2 รูปแบบการบรรจุ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแอปเปิลขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายมากกว่าแอปเปิลขนาดเล็ก



รายการอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ.(2555). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ.2553.

[ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา

http://www.pcd.go.th/public/Publications/print_report.cfm?task=pcdreport2553

กรมพัฒนาที่ดิน. (2548). คู่มือ งดเผาตอซัง สร้างดินยั่งยืน พื้นลิ่งแวดล้อม. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

จิราภา เหลืองอรุณเลิศ. (2555). สถาบันอาหาร. (National Food Institute Thailand).

[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.phtnet.org/article/view-article.asp?aID=23>

ณัฐพงษ์ ประภาการ, สุภัทร หนูแย้ม, ธนรัช มุขพันธ์, พรธยา ลิบลับ, สาวิตรี คำหอม และ

วิรัช อจหาญ. (2555). คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ฟางข้าว

เศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพด และเห่ง้ำมันตำปะหลัง. การประชุมวิชาการเครือข่าย

วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26. (หน้า 378-381). จังหวัดเชียงราย.

ณัฐพงศ์ รัตนเสน และ บัณฑิต จริโมภาส. (2549). อิทธิพลความถี่สั่นพ้องและวิธีการบรรจุผล

แอปเปิ้ลในบรรจุภัณฑ์ขนส่ง. บทความวิจัยนำเสนอในการประชุมวิชาการวิทยาการหลัง

การเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติ ครั้งที่ 4. (หน้า 292-295). จังหวัดเชียงใหม่.

ชนพรรณ บุญรัตกลิน , ทรงสิริ วิจารณ์นท์ และ อุดม พลเยี่ยม. (2545). การพัฒนาผลิตภัณฑ์

กระดาษจากฟางข้าว. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขต

โชติเวช.

นิตยา รื่นสุข, ประนอม มงคลบรรจง, เฉลิมชาติ ฤาไชยคาม และ วาสนา อินแถลง. (2551).

การจัดการฟางข้าวในพื้นที่ทำนาอย่างต่อเนื่อง. วารสารวิชาการข้าว ปีที่ 2 ฉบับที่ 1

มกราคม – เมษายน. (หน้า 35-46).

บัณฑิต จริโมภาส, พิมพรรณ ปรี่องาม, รุ่งฤดี พรสกุลเลิศชัย และวิเชฐ ศรีชลเพชร. (2549).

การศึกษาเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์ขนส่งผลเงาะสดภายใต้สภาวะสั่นสะเทือนจำลอง.

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7. (หน้า 307–314).

จังหวัดมหาสารคาม.

- บัณฑิต จริโมภาส, ธาธิณี มหายศนันท์ และ นางเยาว์ ศรีเอนก. (2547). การศึกษาความสามารถต้านทานเชื้อราที่มาจากเชื้อออสทีเรียเพื่อป้องกันผลแอปเปิ้ลจากการกระแทก. *วิศวกรรมสาร มก.* ปีที่ 17 ฉบับที่ 5. (หน้า 19-16).
- บัณฑิต จริโมภาส. (2549). *เครื่องจักรกลคัดแยกหลังการเก็บเกี่ยว บรรจุภัณฑ์ และเรือนบรรจุผลไม้*. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. ขอนแก่น.
- วีรชัย อัจหาญ, พินิจ จิรคกุล, คงเดช พะสีนาม, และ สาวิตรี คำหอม. (2554). การศึกษาแนวทางการบริหารจัดการและต้นทุนของการเก็บรวบรวม การแปรรูปฟางข้าวที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุคืบ. *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12.* (หน้า 147–153). จังหวัดนครปฐม.
- ศุภกิตต์ สายสุนทร. (2550). วิธีการทดสอบเพื่อประเมินความชื้นของแอปเปิ้ลจากการกระแทกและเปรียบเทียบวัสดุกันชื้น. *วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.*
- ศรีนรา แมะเระ. (2545). บทความวิทยุราชการสาระความรู้ทางการเกษตร. *ฟางข้าวอินทรีย์วัตถุดิบค้ำในนาข้าว*. งานศูนย์บริการวิชาการและฝึกอบรม. ฝ่ายวิจัย และ บริการ วิชาการ . คณะทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2557). *สถิติการส่งออก.* (Export). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php
- Bollen, A.F., H.X. Nguyen and B.T. Dela Rue. (1999). Comparison of Methods for estimating the Bruise Volume of Apples. *J. Agr. Eng. Res.* 74: 325-330.
- Chen, P., M. Ruiz-Altisent and P. Barreiro. (1996). Effect of Impacting Mass on Firmness Sensing of Fruits. *Trans. ASAE.* 39 (3): 1019-1023.
- Chonhenchob, V. and S.P. Singh. (2004). Testing and Comparison of Various Packages for Mango Distribution. *J. Test. Eva.* 32: 69-72.
- Delwiche, M. J., H. Arevalo and J. Mehlschau. (1996). Second Generation Impact Force Response Fruit Firmness Sorter. *Trans. ASAE.* 39 (3): 1025-1033.
- Garcia, J.L., Ruiz-Altisent M. and Barreiro P. (1995). Factors Influencing Mechanical Properties and Bruise Susceptibility of Apples and Pears. *J. Agr. Eng. Res.* 61: 11-1.
- Mohsenin, N. N., (1986). *Physical Properties of Plant and Animal Materials.* Gordon and Breach Science Publishers, Second Updated and Revised Edition. 841 p.

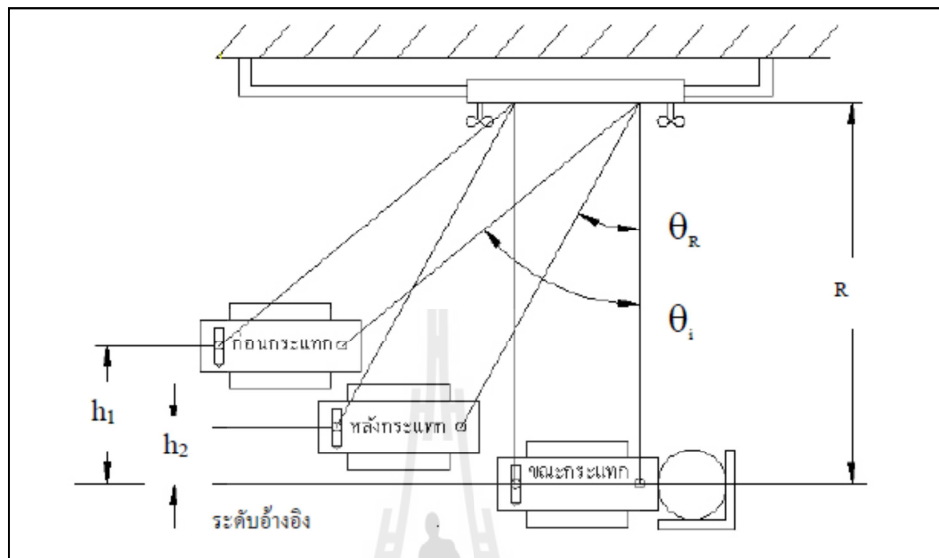
Peleg, K.(1981). Package product interaction in corrugated containers for fresh produce.

Trans. ASAE. 24(3) : 794-800.



ตัวอย่างการคำนวณ

ก1 การคำนวณหาแรงกระแทก



รูปที่ ก1 BALLISTIC PENDULUM

จากตารางผนวกที่ ข 1 ผลการทดสอบการกระแทกด้วยวิธี Ballistic Pendulum ของแอปเปิลเบอร์ 80 แบบไม่มีวัสดุห่อหุ้มมุมตกกระทบ 10 องศา ผลที่ 1 จะมีค่า

ความยาวเชือก, $R = 0.45$ เมตร มวลลูกตุ้ม, $m_1 = 3.9$ กิโลกรัม

มุมตกกระทบ, $\theta_i = 10$ องศา ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง, $g = 9.81 \frac{\text{เมตร}}{\text{วินาที}^2}$

$$\begin{aligned}
 \text{พลังงานกระแทก, } U_i &= m_1 g h_1 &= m_1 g R (1 - \cos \theta_i) \\
 & &= (3.9) \times (9.81) \times (0.45) \times (1 - \cos 10) \\
 & &= 0.2616 \text{ จูล}
 \end{aligned}$$

ประวัติผู้เขียน

นายธนกร แนวกลาง เกิดเมื่อวันที่ 11 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2530 ณ จังหวัดนครราชสีมา เป็นบุตรของนายศักดิ์ณรงค์ แนวกลาง และ นางบุญช่วย แนวกลาง สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนบ้านไพล(ไตรมิตรสามัคคี) ตำบลหลุมข้าว อำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2542 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ในปี การศึกษา 2548 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2553 หลังจากสำเร็จการศึกษา มีแรงจูงใจที่จะศึกษาต่อใน ระดับปริญญาโททางด้านวิศวกรรมเกษตรและอาหาร เพื่อเป็นการพัฒนาความรู้และความสามารถให้กับ ตนเอง จึงได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ.2554 ในขณะที่ศึกษาอยู่ได้มีโอกาสเป็นผู้ช่วยสอนและ วิจัยในสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 2 รายวิชา คือ (1) ปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตรและอาหาร 2 (2) ปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร 2 (3) ปฏิบัติการวิศวกรรมการแปรรูปอาหาร 2 ซึ่งช่วยให้ผู้วิจัยได้นำประสบการณ์ และความรู้ที่ได้จาก การเป็นผู้ช่วยสอนและวิจัยมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้เป็นอย่างดี

ผลงานวิจัยในระหว่างที่ทำการศึกษาได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14 ประจำปี พ.ศ. 2556 เรื่อง “การปกป้องผลแอปเปิ้ลด้วยวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าว” ตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์เกษตรปีที่ 45 ฉบับที่ 3/1 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม 2557 เรื่อง “การศึกษาความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิ้ลของวัสดุกันกระแทกจากกระดาษฟางข้าว” และบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ครั้งที่ 16 ประจำปี พ.ศ. 2558 เรื่อง “การทดสอบความสามารถในการปกป้องผลแอปเปิ้ลด้วยกระดาษจากฟางข้าวด้วยวิธีการทดสอบแบบ ballistic pendulum”