รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

การศึกษาความสามารถของตาข่ายที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการป้องกันผลมะม่วงจากการกระแทก

โดย

บัณฑิต จริโมภาส
ศุภกิตต์ สายสุนทร

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม

เสนอต่อ

โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (ADB)
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่
พฤษภาคม 2548

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	1
กิตติกรรมประกาศ	2
บทคัดย่อ	3
Abstract	4
บทนำ	5
วัตถุประสงค์	5
ตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	8
ผลและวิจารณ์	19
สรุปและข้อเสนอแนะ	24
เอกสารอ้างอิง	26
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางบันทึกผลการทดสอบการกระแทก	27
ภาคผนวก ข ตารางบันทึกผลลักษณะทางกายภาพของมะม่วง	33

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักผลไม้ (ADB) ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่กรุณาสนับสนุนทุนวิจัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อ ศึกษาสมบัติเชิงกลบางประการของผลมะม่วงภายใต้การกระแทก และหากระดาษกันกระแทกที่เหมาะสมปกป้องผลมะม่วงจากการช้ำ เนื่องการกระแทก โดยทำการทดสอบกับมะม่วงสองระยะด้วยกัน คือ มะม่วงสุก (Ripe) และ มะม่วงแก่ (Mature) ใช้มะม่วง 5 ผล/ระดับพลังงานกระแทก ใช้ระดับพลังงานกระแทก 6 ระดับ ได้แก่ 0.5,1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 จูล กับมะม่วงแก่ สำหรับมะม่วงสุก (Ripe) ใช้พลังงานกระแทก 5 ระดับ ได้แก่ 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 จูล วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่เลือกมาทดสอบได้แก่ 1.) กระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single face)(ด้านที่เป็นลอนลูกฟูกสัมผัสกับมะม่วงหรือลอนอยู่ด้านใน), 2.) แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single face)(ด้านที่เป็นแผ่นเรียบสัมผัสผิวกับมะม่วงหรือลอนอยู่ด้านนอก), 3) แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ยังไม่ผ่านการใช้งาน และ 4.) แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ที่ผ่านการใช้งานแล้ว จากการทดสอบพบว่า ปริมาตรช้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานกระแทกเพิ่มสูงขึ้น ,ยิ่งมะม่วงดูดซับพลังงานมาก จะเกิดการช้ำมาก และ ที่ระดับพลังงานเดียวกัน มะม่วงไม่หุ้มบรรจุภัณฑ์ จะเกิดความช้ำเสียหายมากกว่ามะม่วงที่หุ้มบรรจุภัณฑ์ ผลที่ได้คือ มะม่วงแก่ ไม่ปรากฏรอยช้ำในทุกระดับพลังงานกระแทก มะม่วงสุกพบรอยช้ำและสามารถวัดค่ารอยช้ำได้ วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่มีความสามารถในการป้องกันดีที่สุด เรียงตามลำดับได้แก่1.) แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single face) (ด้านที่เป็นแผ่นเรียบสัมผัสผิวกับมะม่วงหรือลอนอยู่ด้านนอก) 2.) กระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single face) (ด้านที่เป็นลอนลูกฟูกสัมผัสกับมะม่วงหรือลอนอยู่ด้านใน) , 3) แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ที่ผ่านการใช้งานแล้ว และ 4.) แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ยังไม่ผ่านการใช้งาน

Abstract

This research was to study some physical properties of mangoes under impact loading and find the appropriate corrugated paper to protect mangoes from damage from impact loading. Mangoes were tested with two-maturity stage, ripe stage and mature stage. 5 mangoes per impact energy level. 6 impact energy levels as 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 J., for mangoes at mature stages, for mangoes at ripe stage is 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 and 1.25 J. Selected cushioning material were 1.) Single face (corrugate medium inside or corrugate medium touch with mango), 2.) Single face (corrugate medium outside or flat side touch with mango), 3.) Double wall (new) and 4.) Double wall (used). From the experimental found that bruise volume will increase when impact energy increase, the more absorb energy the more bruise and at the same energy level naked mango more damage than mango with cushioning material. Result shown that mango at mature stage were not found any bruise at each energy levels, mango at ripe stage found the bruise and can measured the bruise. The cushioning materials arrange by the protective performance was 1.) Single face (corrugate medium outside or flat side touch with mango), 2.) Single face (corrugate medium inside or corrugate medium touch with mango), 3.) Double wall (used) and 4.) Double wall (new).

บทนำ

ในปัจจุบันถ้าเราเดินตามตลาดสด หรือซุปเปอร์มาเก็ตเพื่อหาซื้อผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล, แตงโม, สัปปะรด ฯลฯ มักพบว่า ผลไม้เหล่านั้น มีการห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่าย หรือ แผ่นพลาสติกกันกระแทก สาเหตุที่ต้องห่อหุ้ม เพราะเพื่อป้องกันไม่ให้ผลไม้ช้ำเนื่องจากแรงกระทำภายนอก แต่โฟมตาข่าย และแผ่นพลาสติกกันกระแทก ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จึงได้มีความคิดที่จะนำวัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่นมาใช้ทดแทน ซึ่งวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่จะนำมาใช้ทดแทนจะต้องมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันกับโฟมตาข่าย คือ ป้องกันความเสียหายของผลไม้ได้ดี, สะดวกในการใช้งาน, มีช่องว่างเพื่อให้เกิดการถ่ายเท ก๊าซ ความชื้น และความร้อนจากกระบวนการหายใจของผลไม้และมีราคาไม่แพง

วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่จะนำมาศึกษาเพื่อใช้ทดแทนโฟมตาข่าย คือ วัสดุประเภทกระดาษ ซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ (Bio-degradable) หรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycle) วัสดุประเภทกระดาษที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single Face) และแผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น(Double Wall) ผลไม้ที่ถูกเลือกมาใช้ในการทดสอบ ได้แก่ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ โดยใช้การทดสอบการกระแทกเป็นเครื่องมือวัดและประเมินความสามารถในการป้องกันผลมะม่วงจากความเสียหาย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลบางประการของผลมะม่วงภายใต้การกระแทก และหากระดาษกันกระแทกที่เหมาะสมปกป้องผลมะม่วงจากการช้ำ เนื่องการกระแทก

ตรวจเอกสาร

มะม่วง

มะม่วงเป็นพืชที่ปลูกเพื่อรับประทานผล และผลที่ได้นั้น สามารถรับประทานได้ทั้งดิบและสุก มะม่วงสามารถปลูก และผลิดอกออกผลได้ดีในพื้นที่ทุกจังหวัด และทุกภาคของประเทศ แต่จะให้ผลแตกต่างกันไปตามสภาพของท้องที่ มะม่วงหลายพันธุ์ยังเป็นผลไม้ที่ตลาดต่างประเทศต้องการอีกด้วย

มะม่วงเป็นไม้ผลขนาดใหญ่ ปลูกได้ในดินทั่วไป ยกเว้นดินเค็มและดินที่มีน้ำขัง ถ้าปลูกในดินร่วนซุยมีอินทรีย์วัตถุมาก และมีการระบายน้ำดีก็จะยิ่งให้ผลผลิตดี นอกจากนี้มะม่วงยังมีความต้านทานต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี จะเริ่มให้ผลหลังจากการปลูกด้วยกิ่งทาบประมาณ 3 ปี สามารถให้ผลผลิตมากกว่า 15 ปี และผลผลิตจะสูงขึ้นเฉลี่ยปีที่ 8 ประมาณ 50-100 กก./ต้น โดยเฉลี่ยอายุจากดอกบาน เก็บผลแก่อยู่ระหว่าง 90-115 วัน น้ำหนักผลมะม่วงเฉลี่ยอยู่ในระหว่าง 260 กรัม ฤดูกาล ผลผลิตอยู่ระหว่างปลายเดือนมีนาคม-มิถุนายน (www.doae.go.th/plant/mango.htm)

พันธุ์มะม่วง

มะม่วงมีมากมายหลายสิบพันธุ์ อาจแบ่งเป็นพวกได้ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ คือ

(1) มะม่วงสำหรับรับประทานผลดิบ เช่น พิมเสนมัน แรด เขียวเสวย มันหนองแซง ฟ้าลั่น เป็นต้น

(2) มะม่วงสำหรับรับประทานผลสุก เช่น อกร่อง น้ำดอกไม้ หนังกลางวัน ทองดำ เป็นต้น

(3) มะม่วงที่ปลูกเพื่อการอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้

- มะม่วงสำหรับดอง เช่น มะม่วงแก้ว เป็นต้น
- มะม่วงสำหรับบรรจุกระป๋อง เช่น ทำน้ำคั้น มะม่วงแช่อิ่ม เช่น มะม่วงสามปี เป็นต้น

สำหรับมะม่วงพันธุ์ที่ตลาดต่างประเทศต้องการ ได้แก่ มะม่วงสุกพันธุ์หนังกลางวัน น้ำดอกไม้ ทองดำ และมะม่วงแก้ว ซึ่งตลาดต่างประเทศที่ประเทศไทยส่งไปจำหน่ายมากได้แก่ ฮ่องกง สิงคโปร์และมาเลเซีย (http://web.ku.ac.th/agri/mango1/)

การเก็บเกี่ยว

การเก็บผลมะม่วงเป็นขั้นตอนที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่ง ต้องเก็บให้ถูกต้อง เพื่อให้ผลมะม่วงที่ได้มีคุณภาพดี เป็นที่ต้องการของตลาด ไม่อ่อนเกินไป หรือปล่อยไว้จนสุกงอมเกินไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของมะม่วง และความใกล้ไกลของตลาด เป็นสำคัญ ข้อสังเกตง่ายๆ ว่ามะม่วงจะแก่เมื่อใดนั้น สิ่งที่น่าสังเกต 2 ประการคือ

1. แก้มผลทั้ง 2 ข้างพองโตเต็มที่ สีผิวเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีขาวจาง สังเกตจากผิวของผลมะม่วงมีสีขาวนวล หรือไขปกคลุมผล

2. เก็บตัวอย่างผลมะม่วงมา 2-3 ผล เพื่อทดสอบ โดยนำมะม่วงมาแช่น้ำดู หากผลมะม่วงจมน้ำ แสดงว่าแก่จัด ถ้าลอยแสดงว่ายังอ่อนอยู่พอเก็บได้ และเวลาเก็บต้องอย่าให้ช้า มิฉะนั้นจะเน่าและเสียได้ง่ายเวลามะม่วงสุก

เกษตรกรสามารถนับอายุของมะม่วงเพื่อการเก็บเกี่ยว แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อายุการเก็บเกี่ยวของมะม่วง

พันธุ์	อายุการเก็บเกี่ยว (วัน)	นับตั้งแต่
1. เขียวเสวย	110	เริ่มออกดอก
2. น้ำดอกไม้	100	ดอกบานเต็มที่
3. หนังกลางวัน	110-115	ดอกบานเต็มที่
4. ทองดำ	102	ดอกบานเต็มที่
5. ฟ้าลั่น	70	หลังช่อดอกติดผล 50%
6. แรด	77	หลังช่อดอกติดผล 50%
7. พิมเสน	95	ดอกบานเต็มที่

<u>กระดาษลูกฟูก</u>

แผ่นกระดาษลูกฟูก ประกอบด้วยกระดาษผิวเรียบ ผนึกติดกับกระดาษที่ขึ้นรูปเป็นลอนลูกฟูกไว้อยู่แล้ว โดยมีโครงสร้างของลอนลูกฟูก เป็นหัวใจของคุณสมบัติพิเศษ ที่สามารถซึมซับแรงกระแทกโดยรอบ และรับน้ำหนักหรือแรงกดทับที่มากระทำต่อหน้าตัดของลอนได้ดี จึงเป็นวัสดุยอดนิยมในการทำหีบห่อสินค้า โดยที่ชนิดผิวเรียบทั้งสองด้าน จะนำไปทำกล่องใส่สินค้ามากที่สุด และชนิดผิวเรียบด้านเดียว อีกด้านเปิดโชว์ลอนลูกฟูก จะนำไปใช้ห่อหุ้มสินค้าที่แตกง่าย หรือใช้รองกันกระแทกภายในกล่อง กระดาษลูกฟูกที่พบเห็นกันทั่วไป มีโครงสร้างการประกอบชั้นลูกฟูก อยู่ใน 4 แบบนี้ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2545)คือ

<u>1. แผ่นกระดาษลูกฟูก 1 ชั้น (Single Wall)</u> คือ แบบที่มีลอนลูกฟูก 1 ชั้นอยู่ตรงกลาง ประกบด้วยกระดาษผิวเรียบทั้ง 2 ด้าน ใช้กระดาษรวม 3 ชิ้น มาประกอบกันเป็น 1 แผ่น ดังภาพที่ 1 เป็นแบบมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป ความแข็งแรงจะแปรผันตามเกรดของกระดาษ ที่นำมาประกอบกัน

ภาพที่ 1 แผ่นกระดาษลูกฟูก 1 ชั้น (Single Wall)

<u>2. แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้น (Double Wall)</u> จะมีลอนลูกฟูก 2 ชั้น คั่นระหว่างกระดาษผิวเรียบ 3 แผ่น ใช้กระดาษรวม 5 ชิ้น มาประกอบกันเป็น 1 แผ่น อาจใช้ลอนลูกฟูกขนาดต่างกันก็ได้ ดังภาพที่ 2 มีความแข็งแรงสูง นิยมใช้ทำกล่องใส่สินค้า ที่ต้องการความแข็งแรงเป็นพิเศษ

ภาพที่ 2 แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้น (Double Wall)

<u>3. แผ่นกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น (Triple Wall)</u> จะมีลอนลูกฟูก 3 ชั้น คั่นระหว่างกระดาษผิวเรียบ 4 แผ่น ใช้กระดาษรวม 7 ชิ้น มาประกอบกันเป็น 1 แผ่น อาจใช้ลอนลูกฟูกขนาดต่างกันก็ได้ ดังภาพที่ 3 มีความแข็งแรงทนทานมาก แต่หายาก มักเป็นกระดาษ Reuse ที่ได้จากกล่องบรรจุเครื่องจักรขนาดใหญ่

ภาพที่ 3 แผ่นกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น (Triple Wall)

4. กระดาษลูกฟูกโชว์ลอน(Single Faced) คือ แบบที่มีกระดาษบุผิวเพียงแผ่นเดียว ผนึกกับลอนลูกฟูก 1 แผ่น เปิดโชว์ให้เห็นผิวลอนลูกฟูกอีกด้านอย่างชัดเจน เป็นการซ้อนทับเพียงแบบดียว ที่ยังคงความอ่อนตัว ยอมให้ม้วนได้ดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 กระดาษลูกฟูกโชว์ลอน(Single Faced)

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบการกระแทก(Ballistic Pendulum) (ภาพที่ 5)
2. เครื่องวัดรัศมีความโค้ง (Radius of Curvature) (บัณฑิต และอุดมศักดิ์, 2547) (ภาพที่ 7)
3. เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper)
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก Sartorious รุ่น BA2100s
5. มีด
6. ไม้บรรทัด
7. ตลับเมตร
8. ปากกาเขียนถาวร
9. แผ่นกระดาษลูกฟูก หน้าเดียว (Single face) ลอน C ขนาดกว้าง 15 ซม. ยาว 20 ซม. จำนวน 120 ชิ้น
10. แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall)ยังไม่ผ่านการใช้งาน ขนาดกว้าง 15 ซม. ยาว 20 ซม. จำนวน 60 ชิ้น
11. แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ผ่านการใช้งานแล้ว ขนาดกว้าง 15 ซม. ยาว 20 ซม. จำนวน 60 ชิ้น
12. ผลไม้ที่ใช้ในการทดลอง : ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เบอร์ 000

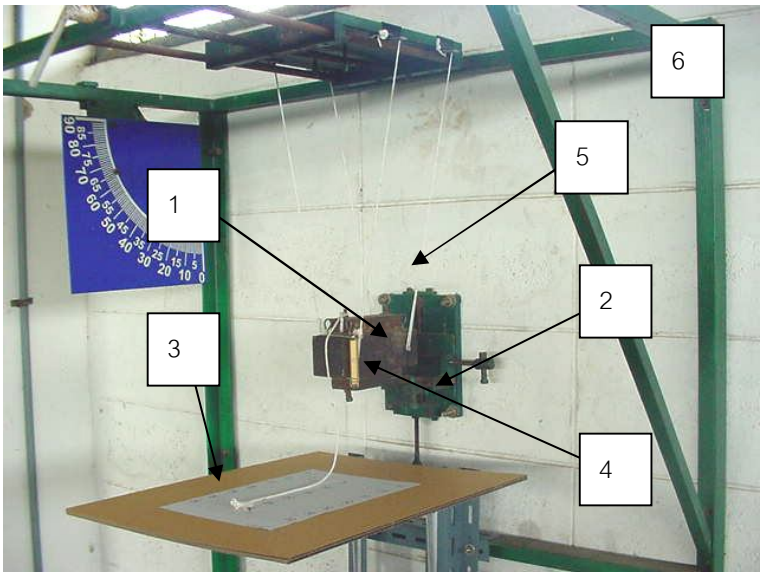
วิธีการ

แบ่งการทดสอบความสามารถของวัสดุบรรจุภัณฑ์ในการปกป้องผลมะม่วง ออกเป็น 5 การทดสอบด้วยกันคือ

1. การทดสอบการกระแทกผลมะม่วง ที่ไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์
2. การทดสอบการกระแทกผลมะม่วง ที่ห่อหุ้มด้วยแผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single face)(ด้านที่เป็นลอนลูกฟูกสัมผัสกับมะม่วงหรือลอนอยู่ด้านใน)

3. การทดสอบการกระแทกผลมะม่วง ที่ห่อหุ้มด้วยแผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single face)(ด้านที่เป็นแผ่นเรียบสัมผัสผิวกับมะม่วงหรือลอนอยู่ด้านนอก)
4. การทดสอบการกระแทกผลมะม่วง ที่ห่อหุ้มด้วยแผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ยังไม่ผ่านการใช้งาน
5. การทดสอบการกระแทกผลมะม่วง ที่ห่อหุ้มด้วยแผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ในแต่ละการทดสอบใช้มะม่วง 5 ผล/ระดับพลังงานกระแทก ใช้มะม่วงน้ำดอกไม้ 2 ระยะ ได้แก่ มะม่วงแก่ (Mature) และมะม่วงสุก การหาระยะแก่ที่เหมาะสมทำได้โดยใช้การหาความถ่วงจำเพาะ ใช้ระดับพลังงานกระแทก 6 ระดับ ได้แก่ 0.5,1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 จูล กับมะม่วงแก่ สำหรับมะม่วงสุก (Ripe) ได้มาจากการนำมะม่วงแก่มาบ่มจนสุก และใช้ระดับพลังงานกระแทก 5 ระดับ ได้แก่ 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 จูล



ภาพที่ 5 เครื่องทดสอบการกระแทก (Ballistic Pendulum) ประกอบด้วย

1. ตุ้มน้ำหนัก ขนาด 3.84 กิโลกรัม
2. ฐานรองผลไม้
3. แผ่นอ่านค่ามุม
4. pointer
5. เชือกยาว 0.45 เมตร
6. โครงเหล็ก

1. วิธีการทดสอบการกระแทกผลมะม่วง ปราศจากวัสดุห่อหุ้ม

1. เขียนหมายเลขบนผลมะม่วงและเครื่องหมายให้ตรงกับช่วงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากที่สุด ด้วยปากกาเขียนถาวร
2. ชั่งน้ำหนักมะม่วง(ภาพที่ 6) บันทึกผล
3. วัดลักษณะทางกายภาพของแอปเปิ้ล โดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ วัดความยาวผล(y) (ภาพที่ 7ก.),

ความหนา(x) (ภาพที่ 7ข.) และใช้เครื่องวัดรัศมีความโค้ง วัดรัศมีความโค้งของผลมะม่วง โดยวัดในแนวขนานแกนขั้วผล (ภาพที่ 7ค.) และตั้งฉากขั้วผล(ภาพที่ 7ง.) บันทึกผล

4. วางผลมะม่วงที่เครื่องทดสอบการกระแทก ณ ที่ตั้ง Sample โดยวางผลมะม่วง ให้แนบกับผนังของเครื่องทดสอบ (ให้ด้านที่เขียนหมายเลขไว้หันหน้าเข้าหาลูกตุ้ม) จรดลูกตุ้มให้ตรงกับแนวสัมผัสกับผิวมะม่วง (ภาพที่ 8)

5. เลื่อนแผ่นอ่านค่ามุมให้ตำแหน่งศูนย์อยู่ตรงกับลำแสงของ Pointer พอดี(ภาพที่ 9)

6. จับตุ้มน้ำหนักเคลื่อนที่ไปมุมตกกระทบ ที่ต้องการ โดยดูจากลำแสงของ Pointer จากนั้นปล่อยตุ้มน้ำหนักให้กระแทกผลมะม่วง อ่านค่ามุมสะท้อน และจับลูกตุ้มไว้ ระวังไม่ให้ลูกตุ้มน้ำหนักไปกระแทกมะม่วงซ้ำ

6.1 สำหรับมะม่วงสุก มุมตกกระทบเริ่มต้นที่ 9.9 องศา สมนัยกับระดับพลังงานกระแทก 0.25 จูล

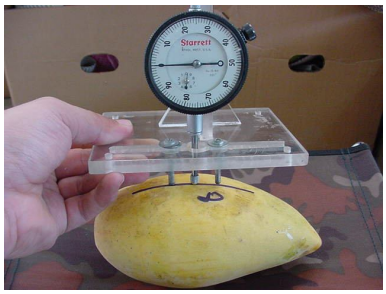
6.2 สำหรับมะม่วงแก่ มุมตกกระทบเริ่มต้นที่ 14 องศา สมนัยกับระดับพลังงานกระแทก 0.5 จูล

7. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 4-6. จนครบ 5 ผล

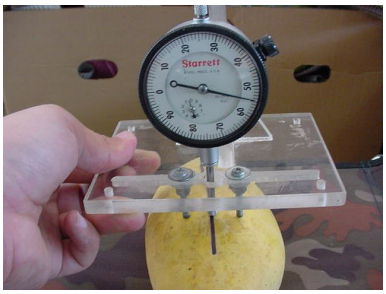
ภาพที่ 6 ชั่งน้ำหนักมะม่วง

ภาพที่ 7ก. วัดความยาวผล(y)

ภาพที่ 7ข. วัดความหนาผล(x)

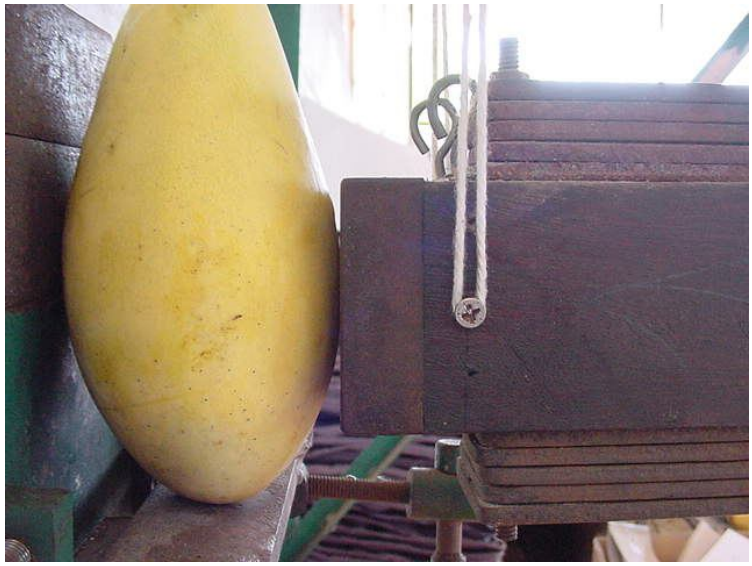


ภาพที่ 7ค.วัดในแนวขนานแกนขั้วผล

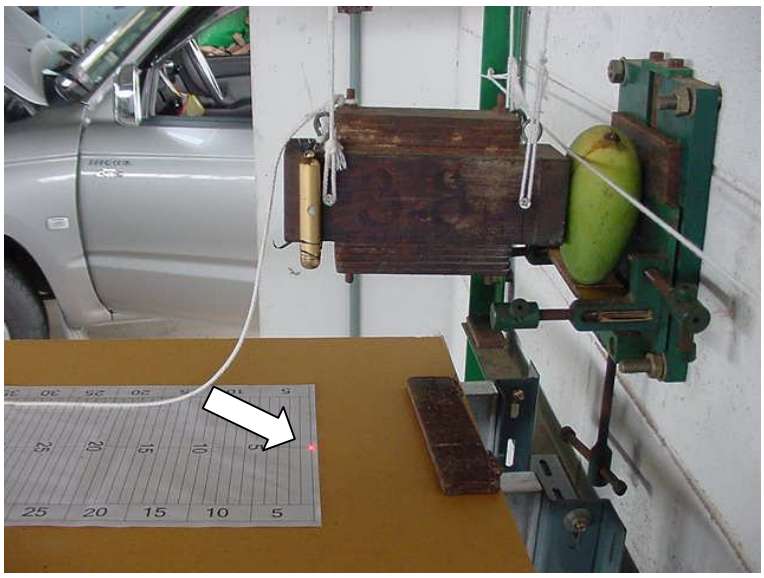


ภาพที่ 7ง.วัดในแนวตั้งฉากขั้วผล

ภาพที่ 7 การวัดลักษณะทางกายภาพผลมะม่วง



ภาพที่ 8 วางมะม่วงที่เครื่องทดสอบการกระแทก



ภาพที่ 9 จรดลูกตุ้มให้ตรงกับแนวสัมผัสกับผิวมะม่วง เลื่อนแผ่นอ่านค่ามุมให้ตำแหน่งศูนย์อยู่ตรงกับแสงของ Pointer

8. สำหรับมะม่วงสุกทำการทดสอบที่มุม 14, 17.2, 19.8 และ 22.2 (สมนัยกับระดับพลังงานกระแทก 0.5, 0.75, 1.0 และ 1.25 จูล ตามลำดับ) สำหรับมะม่วงแก่ทำการทดสอบที่มุม 19.8, 24.3, 28.1, 31.6 และ 34.6 (สมนัยกับระดับพลังงานกระแทกเท่ากับ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 ตามลำดับ)

9. เมื่อทดสอบครบแล้ว สำหรับมะม่วงแก่ นำไปบ่มโดยใช้แก๊สก้อน(แคลเซียม คาร์ไบด์) เป็นเวลา 2 วัน (ภาพที่ 10) หรือจนกว่ามะม่วงสุก หุ้มโฟมตาข่ายที่ผลมะม่วง เพื่อป้องกันผลมะม่วงช้ำจากการกดทับกัน สำหรับมะม่วงสุก เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง(ภาพที่ 11)

10. เมื่อครบกำหนด นำมะม่วงแก่ และมะม่วงสุก มาปลอกเปลือก เพื่อผ่าดูรอยช้ำของมะม่วง

11. วัดความกว้าง (ในแนวขนานขั้วผล, ตั้งฉากขั้วผล แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย) และความลึกรอยช้ำ โดยวัดด้านที่ผลมะม่วงถูกลูกตุ้มกระแทก บันทึกผล

12. วิเคราะห์ผล หาค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า CV ของมะม่วง

13. วิเคราะห์ผล หาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรเนื้อช้ำ(VB) กับพลังงานกระแทก(EI) และพลังงานดูดกลืน(EA)

ภาพที่ 10 บ่มมะม่วงแก่โดยใช้แก๊สก้อน

ภาพที่ 11 มะม่วงสุกเก็บที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง

ทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนวัสดุห่อหุ้มมะม่วงดังนี้

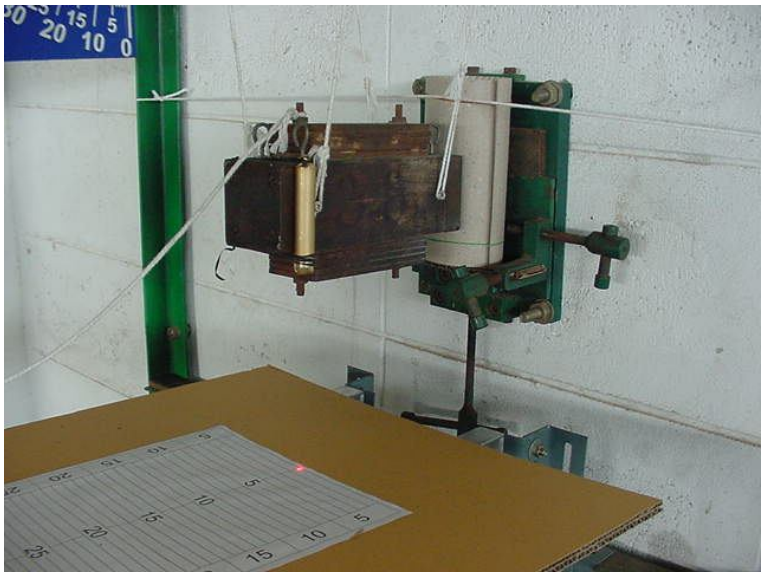
2. **การทดสอบการกระแทกผลมะม่วง ที่ห่มหุ้มด้วยแผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว** (Single face) **โดยให้ด้านที่เป็นลอนลูกฟูกสัมผัสกับมะม่วง**

2.1 ทำเช่นเดียวกับการทดสอบการกระแทกผลมะม่วง โดยไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ ในขั้นตอนที่ 1-3

2.2 ตัดแผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว(ลอน C) ให้มีขนาด 15 x 25 เซนติเมตร

2.3 นำแผ่นกระดาษที่ตัดแล้วมาหุ้มมะม่วง โดยหันด้านที่เป็นลอนลูกฟูกเข้าหามะม่วง (ภาพที่ 12) แล้วใช้เทปใสติดที่ผิวกระดาษด้านนอก จากนั้นทำการทดลองต่อไปในขั้นตอนที่ 4-6 เช่นเดียวกับการทดสอบการกระแทกผลมะม่วง โดยไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ (ภาพที่ 13)

ภาพที่ 12 การใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียวห่อมะม่วง โดยให้ด้านที่เป็นลอนลูกฟูกสัมผัสกับมะม่วง



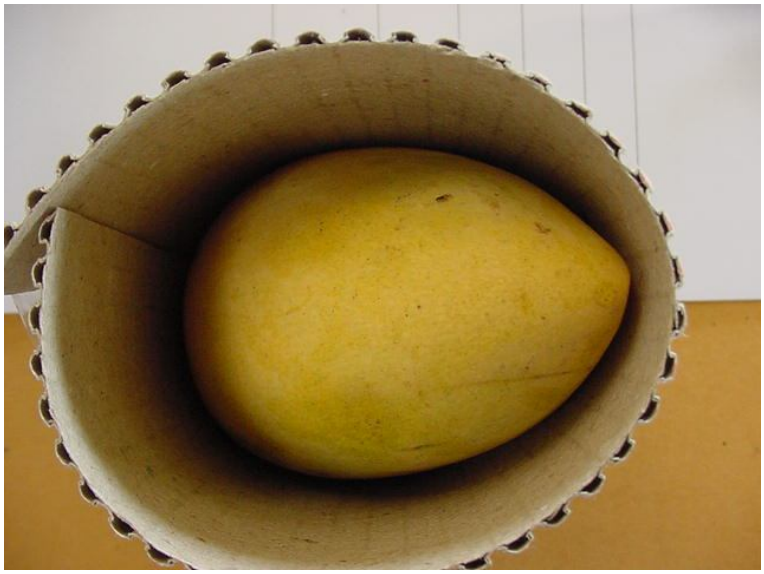
ภาพที่ 13 การกระแทกมะม่วง โดยใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียวเป็นวัสดุห่อหุ้ม(ลอนอยู่ด้านใน)

3. **การทดสอบการกระแทกผลมะม่วง ที่ห่มหุ้มด้วยแผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว** (Single face) **โดยหันด้านที่เป็นลอนลูกฟูกออกนอก**

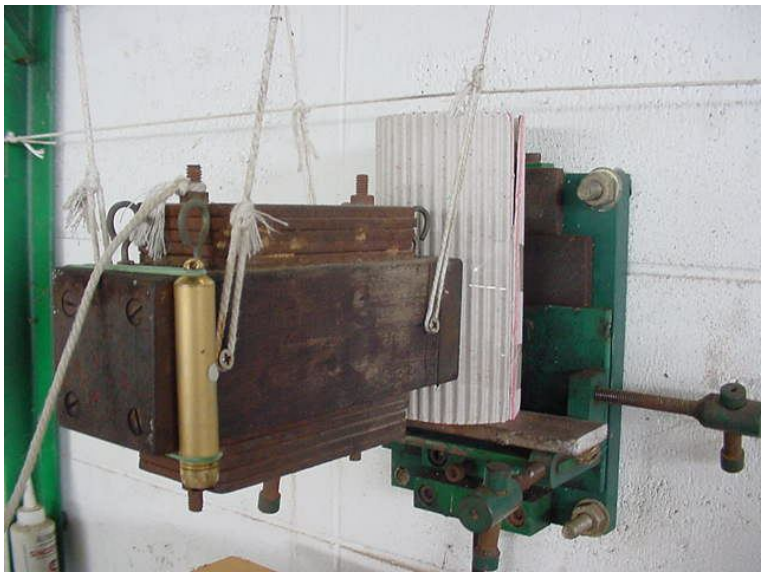
3.1 ทำเช่นเดียวกับการทดสอบการกระแทกผลมะม่วง โดยไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ ในขั้นตอนที่ 1-3

3.2 ตัดแผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว(ลอน C) ให้มีขนาด 15 x 25 เซนติเมตร

3.3 นำแผ่นกระดาษที่ตัดแล้วมาหุ้มมะม่วง โดยหันด้านที่เป็นลอนลูกฟูกออกนอก (ภาพที่ 14) แล้วใช้เทปใสติดที่ผิวกระดาษด้านนอก จากนั้นทำการทดลองต่อไปในขั้นตอนที่ 4-6 เช่นเดียวกับการทดสอบการกระแทกผลมะม่วง โดยไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 14 การใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียวห่อมะม่วง โดยหันด้านที่เป็นลอนลูกฟูกออกนอก



ภาพที่ 15 การกระแทกผลมะม่วง โดยใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียวเป็นวัสดุห่อหุ้ม(ลอนอยู่ด้านนอก)

4. **การทดสอบการกระแทกผลมะม่วง ที่ห่อหุ้มด้วยแผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น** (Double Wall) **ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน**

4.1 ทำเช่นเดียวกับการทดสอบการกระแทกผลมะม่วง โดยไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ ในขั้นตอนที่ 1-3

4.2 ตัดแผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ตามภาพที่ 16 ให้มีขนาด 10 x 20 เซนติเมตร

4.3 ใช้ตัวหนีบกระดาษ หนีบปลายกระดาษเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก จากนำแผ่นกระดาษที่ตัดแล้วมาหุ้มมะม่วง (ภาพที่ 17) ทำการทดลองต่อไปในขั้นตอนที่ 4-6 เช่นเดียวกับการทดสอบการกระแทกผลมะม่วง โดยไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ (ภาพที่ 18)

ภาพที่ 16 แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ยังไม่ผ่านการใช้งาน

ภาพที่ 17 การใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ห่อมะม่วง

ภาพที่ 18 การกระแทกผลมะม่วง โดยใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ยังไม่ผ่านการใช้งาน ห่อมะม่วง

5. การทดสอบการกระแทกผลมะม่วง ที่ห่อหุ้มด้วยแผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ที่ผ่านการใช้งานแล้ว

5.1 ทำเช่นเดียวกับการทดสอบการกระแทกผลมะม่วง โดยไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ ในขั้นตอนที่ 1-3

5.2 ตัดแผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ที่ผ่านการใช้งานแล้ว ตามภาพที่ 19 ให้มีขนาด 10 x 20 เซนติเมตร

5.3 ใช้ตัวหนีบกระดาษ หนีบปลายกระดาษเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก นำแผ่นกระดาษที่ตัดแล้วมาหุ้มมะม่วง ทำการทดลองต่อไปเช่นเดียวกับการทดสอบการกระแทกมะม่วง โดยไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์

ภาพที่ 19 แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ที่ผ่านการใช้งานแล้ว

การวิเคราะห์ข้อมูล(บัณฑิตและคณะ, 2543)

พลังงานที่ใส่ให้ (Input Energy) = mgh_1 = $mgR(1-COS\theta_i)$ .....(1)
หรือ พลังงานกระแทก (Impact Energy)

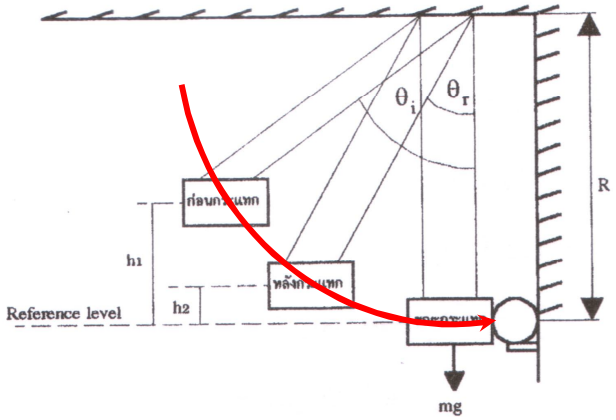
พลังงานคืนกลับ (Recovery Energy) = mgh_2 = $mgR(1-COS\theta_r)$ .....(2)

พลังงานดูดกลืน (Absorbed Energy) = Input Energy - Recovery Energy
= $mgh_1 - mgh_2$
= $mgR(1-COS\theta_i) - mgR(1-COS\theta_r)$
= $mgR(COS\theta_r - COS\theta_i)$ .....(3)

เมื่อ

m	=	มวลลูกตุ้ม	(กิโลกรัม)
R	=	ความยาวเชือก	(เมตร)
h_1	=	ความสูงของตุ้มน้ำหนักก่อนปล่อย	(เมตร)
h_2	=	ความสูงของตุ้มน้ำหนักเมื่อสะท้อนกลับสูงสุด	(เมตร)
θ_i	=	มุมที่เส้นเชือกทำกับแนวดิ่งก่อนปล่อย	(มุมตกกระทบ,องศา)
θ_r	=	มุมที่เส้นเชือกทำกับแนวดิ่งเมื่อสะท้อนกลับสูงสุด	(มุมสะท้อน,องศา)

ตัวแปรของเครื่องทดสอบการกระแทกแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ตัวแปรของเครื่องทดสอบการกระแทก

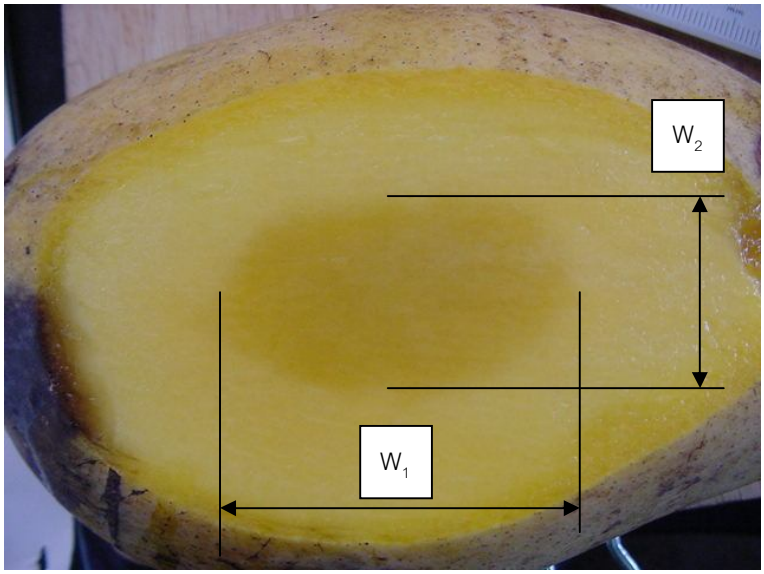
ปริมาตรช้ำ (Bruise Volume) = $\pi/8 * W^2 * D$ .....(4) (บัณฑิตและศุภกิตต์, 2547)

ความกว้างรอยช้ำเฉลี่ย (Average bruise width) = $(W_1+W_2)/2$ .....(5)

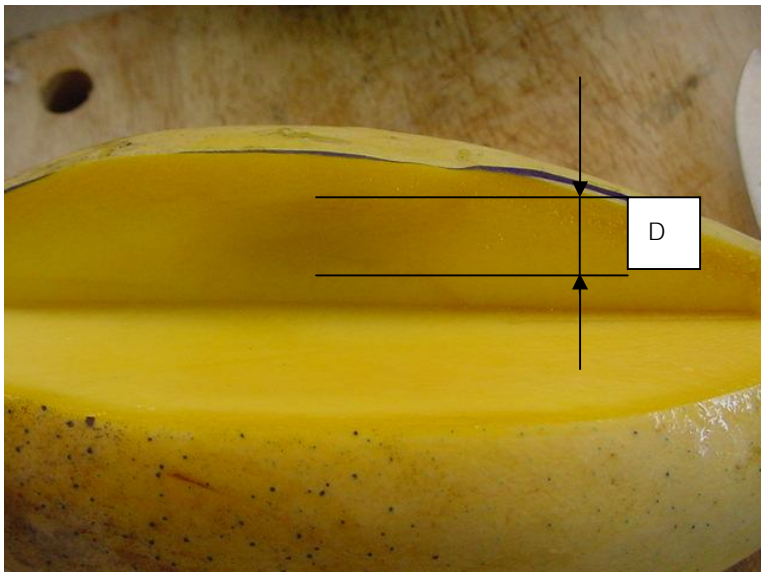
เมื่อ

W	=	ความกว้างรอยช้ำเฉลี่ย	(มิลลิเมตร)
W_1	=	ความกว้างรอยช้ำ ตามแนวขนานขั้วผล	(มิลลิเมตร)
W_2	=	ความกว้างรอยช้ำ ตามแนวตั้งฉากขั้วผล	(มิลลิเมตร)
D	=	ความลึกรอยช้ำ	(มิลลิเมตร)

ตัวแปรของการหาค่าปริมาตรช้ำแสดงในภาพที่ 21 และภาพที่ 22



ภาพที่ 21 การวัดค่าความกว้างรอยช้ำ ตามแนวขนานกับขั้วผล(W_1) และ ตามแนวตั้งฉากกับขั้วผล (W_2)



ภาพที่ 22 การวัดค่าความลึกรอยช้ำ (D)

ผลการทดสอบและวิจารณ์

1. ลักษณะทางกายภาพของผลมะม่วงน้ำดอกไม้

ตารางที่ 1 ค่าสถิติของลักษณะทางกายภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้

ประเภท	มะม่วงสุก					มะม่วงแก่				
	น้ำหนักผล (ก.)	ความยาวผล (มม.)	ความหนา (มม.)	รัศมีความโค้ง (มม.)		น้ำหนักผล (ก.)	ความยาวผล (มม.	ความหนา (มม.)	รัศมีความโค้ง (มม.)	
				แนวขนานขั้วผล	แนวขวางขั้วผล				แนวขนานขั้วผล	แนวขวางขั้วผล
Mean	439.30	152.95	70.42	78.72	41.95	441.86	154.16	70.35	80.56	43.13
Std	27.00	6.45	2.83	16.65	6.31	21.38	3.77	2.38	15.57	5.80
CV%	6.15	4.22	4.01	21.15	15.04	4.84	2.45	3.39	19.33	13.44

จากตารางที่ 1 มะม่วงน้ำดอกไม้ทั้งสองระยะที่นำมาทดสอบมีลักษณะทางกายภาพ ดังนี้ มะม่วงสุก มีน้ำหนักเฉลี่ย เท่ากับ 439.30 กรัม (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 27.00), ความยาวผล 152.95 มม. และ ความหนาผล 70.42 มม. (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 6.45 และ 2.83 ตามลำดับ) และมีรัศมีความโค้ง ในแนวขนานขั้วผล เท่ากับ 78.72 มม. รัศมีความโค้งในแนวขวางขั้วผล 41.95 มม.(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 16.65 และ 6.31 ตามลำดับ) โดยน้ำหนักผลมีค่า %CV เท่ากับ 6.15 ความยาวผล และความหนาผล มีค่า %CV เท่ากับ 4.22 และ 4.01 ตามลำดับ และ รัศมีความโค้งในแนวขนานขั้วผล กับรัศมีความโค้งในแนวขวางขั้วผล มีค่า %CV เท่ากับ 21.15 และ 15.04 ตามลำดับ

สำหรับมะม่วงแก่ มีน้ำหนักเฉลี่ย เท่ากับ 441.86 กรัม (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 21.38), ความยาวผล 154.16 มม. และ ความหนาผล 70.35 มม. (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.77 และ 2.38 ตามลำดับ) และมีรัศมีความโค้งในแนวขนานขั้วผล เท่ากับ 80.56 มม. รัศมีความโค้งในแนวขวางขั้วผล 43.13 มม.(ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 15.57 และ 5.80 ตามลำดับ) โดยน้ำหนักผลมีค่า %CV เท่ากับ 4.84 ความยาวผล และความหนาผล มีค่า %CV เท่ากับ 2.45 และ 3.39 ตามลำดับ และ รัศมีความโค้งในแนวขนานขั้วผล กับรัศมีความโค้งในแนวขวางขั้วผล มีค่า %CV เท่ากับ 19.33 และ 13.44 ตามลำดับ

2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรช้ำกับพลังงานกระแทก

สำหรับมะม่วงแก่ เมื่อนำมาปลอกเปลือก ปรากฏว่าไม่พบรอยช้ำ(ภาพที่ 23) สำหรับมะม่วงสุกสามารถพบเห็นรอยช้ำได้ และวัดค่าความกว้างรอยช้ำ (และความลึกรอยช้ำได้, ภาพที่ 24)

ภาพที่ 23 มะม่วงแก่เมื่อนำไปบ่ม แล้วผ่า ไม่พบรอยช้ำ

ภาพที่ 24 การวัดความลึกรอยช้ำ

มะม่วงแก่ที่ถูกกระแทก แล้วนำมาปลอกเปลือก ปรากฏว่าไม่พบรอยช้ำ (ภาพที่ 23) มะม่วงสุกเมื่อถูกกระแทกสามารถเห็นและวัดขนาดรอยช้ำได้ ปริมาตรช้ำแปรผันตามพลังงานกระแทก EI สำหรับผลมะม่วงสุกที่ห่อหุ้มและไม่ได้ห่อหุ้มวัสดุกันกระแทก ความสัมพันธ์ EI กับ VB สามารถถูกจำลองเป็นกราฟเส้นตรงได้ดีมากที่ R^2>0.92 (ภาพที่ 25 ภาพสี) ในกรณีผลมะม่วงสุกที่ไม่ได้ห่อหุ้ม ยังพบว่า EA แปรผันตรงกับ VB ที่ R^2>0.92 ยิ่งมะม่วงดูดกลืนพลังงานมาก ก็จะเกิดความช้ำมาก (ภาพที่ 26) Bajema และ Hyde (1998) กล่าวว่าความต้านทานรอยช้ำ หมายถึง อัตราส่วนพลังงานต่อหน่วยปริมาตรรอยช้ำ ซึ่งก็คือความชันของกราฟ EI-VB นั่นเอง โดยจุด intercept ของสมการเชิงเส้นตรงระหว่างความช้ำและพลังงานแล้ว ในทางปฏิบัติไม่ต้องนำมาพิจารณาได้ (Holt และ Schoorl , 1980) นำค่าจากภาพที่ 25 มาเรียงลำดับตามความสามารถในการป้องกัน โดยดูจากค่า Slope

จะได้ค่าในตารางที่ 2 จะพบว่า ความต้านทานรอยช้ำของผลมะม่วงที่ใช้กระดาษลูกฟูกแบบ Single face โดยเอาลอนไว้ด้านนอก จะสูงที่สุด เพราะว่าให้ความชันของกราฟสูงที่สุด เมื่อเทียบกับผลมะม่วงนี้ไม่มีวัตถุกันกระแทกห่อหุ้มที่ต่ำที่สุด เพราะว่าให้ความชันที่ต่ำที่สุด

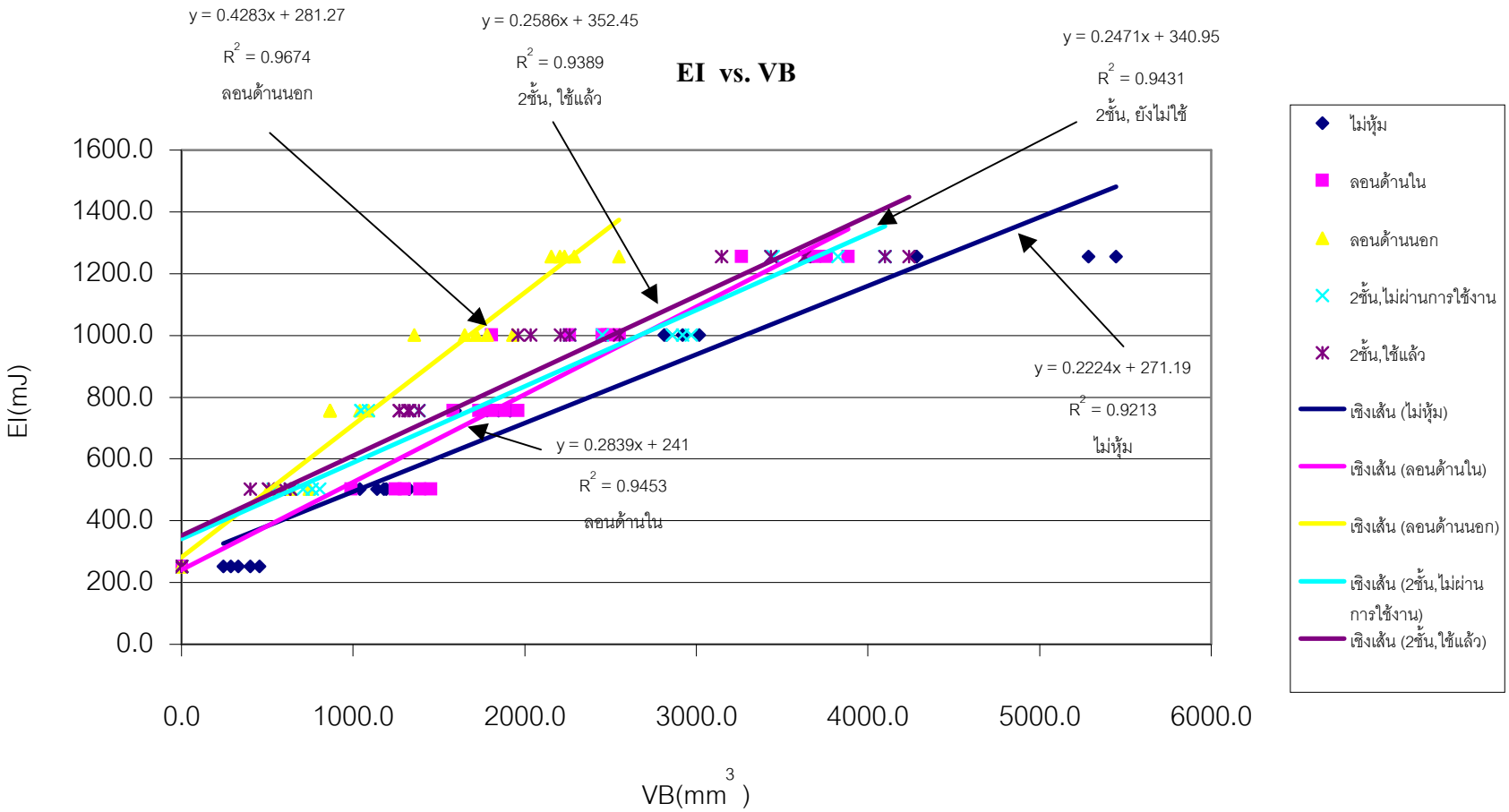
เราอาจจะพิจารณาความสามารถของวัสดุกันกระแทกในการปกป้องผลมะม่วงได้จาก อัตราส่วนความต้านทานรอยช้ำของผลมะม่วงที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุกันกระแทก ต่อความต้านทานรอยช้ำของผลมะม่วงที่ปราศจากวัสดุห่อหุ้มได้ วัสดุกันกระแทกสำหรับผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกดีที่สุด คือ กระดาษลูกฟูก Single face ลอนอยู่ด้านนอก เพราะว่า ให้อัตราส่วนความต้านทานรอยช้ำสูงสุด

จากตารางที่ 2 พบว่า วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการกระแทกได้ดีที่สุดลดหลั่นลงไปเรียงตามลำดับได้แก่ 1.) แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว ลอนลูกฟูกอยู่ด้านนอก 2.) แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว ลอนลูกฟูกอยู่ด้านใน 3.)แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น ที่ผ่านการใช้งานแล้ว และ 4.) แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้นยังไม่ผ่านการใช้งาน สำหรับการทดสอบมะม่วงแก่ ที่ระดับพลังงาน 0.5 จนถึง 3.0 จูล ไม่พบรอยช้ำ สำหรับมะม่วงสุก ไม่หุ้มบรรจุภัณฑ์เริ่มพบรอยช้ำ(Bruise threshold) ที่ระดับพลังงานกระแทก เท่ากับ 0.25 จูล ส่วนมะม่วงสุก ที่หุ้มบรรจุภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด พบรอยช้ำเริ่มต้นที่ระดับพลังงานกระแทก 0.5 จูล

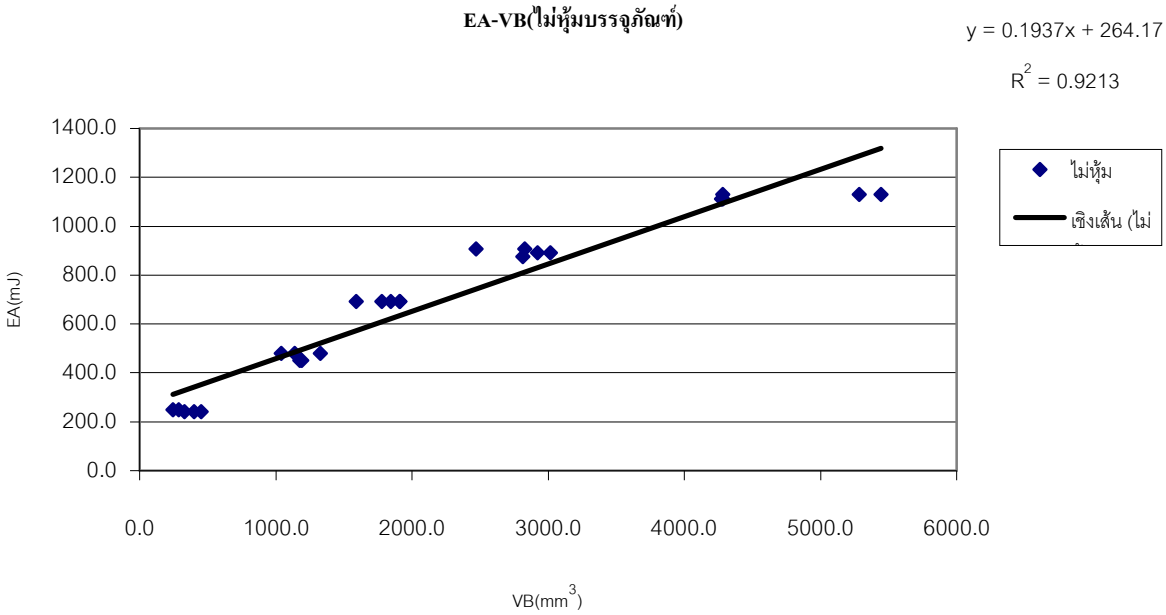
ตารางที่ 2 ความสามารถในการป้องกันของวัสดุบรรจุภัณฑ์

ลำดับที่	ประเภทวัสดุห่อหุ้ม	สมการ	ค่า R^2	ความสามารถในการปกป้อง (%) ผลมะม่วงของวัสดุกันกระแทก
1	ไม่หุ้ม	EA = 0.1937VB + 264.17 EI = 0.2224VB + 271.19	0.9213 0.9213	0 0
2	แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว ลอนลูกฟูกอยู่ด้านนอก	EI = 0.4238VB + 281.27	0.9674	190%
3	แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว ลอนลูกฟูกอยู่ด้านใน	EI = 0.2839VB + 241	0.9453	127%
4	แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น ที่ผ่านการใช้งานแล้ว	EI = 0.2586VB + 352.45	0.9389	116%
5	แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น ยังไม่ผ่านการใช้งาน	EI = 0.2471VB + 340.95	0.9431	111%

$$\text{ความสามารถในการปกป้อง (\%)} = \frac{\text{ความต้านทานรอยช้ำของผลมะม่วงที่ห่อหุ้มด้วยวัสดุบรรจุภัณฑ์}}{\text{ความต้านทานรอยช้ำของผลมะม่วงที่ไม่มีวัสดุห่อหุ้ม}}$$



ภาพที่ 25 กราฟ VB-EI รวมบรรจุภัณฑ์ทุกชนิด



ภาพที่ 26 กราฟ EA - VB (ไม่หุ้มบรรจุภัณฑ์)

สรุปผลการทดสอบ และข้อเสนอแนะ

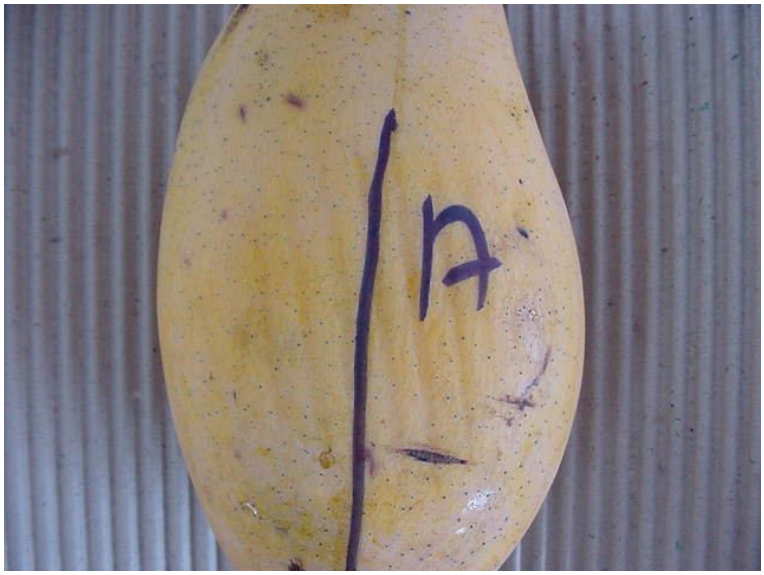
สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบการกระแทกมะม่วง พบว่า

1. ปริมาตรช้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานกระแทกเพิ่มสูงขึ้น
2. ยิ่งมะม่วงดูดซับพลังงานมาก จะเกิดการช้ำมาก
3. ที่ระดับพลังงานเดียวกัน มะม่วงไม่หุ้มบรรจุภัณฑ์ จะเกิดความช้ำเสียหายมากกว่ามะม่วงที่หุ้มบรรจุภัณฑ์
4. การทดสอบการกระแทกมะม่วงแก่ ที่ระดับพลังงานกระแทก 0.5 – 3.0 J ไม่พบรอยช้ำ
5. การทดสอบการกระแทกมะม่วงสุก ที่ระดับพลังงานกระแทก 0.25 – 1.25 J พบรอยช้ำของผลมะม่วง
6. จากการทดสอบการกระแทกมะม่วงสุก พบว่าบรรจุภัณฑ์จากกระดาษลูกฟูกทั้ง 4 ชนิด เรียงตามความสามารถในการป้องกัน(Slope) ได้แก่ 1.) แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว ลอนลูกฟูกอยู่ด้านนอก 2.) แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว ลอนลูกฟูกอยู่ด้านใน 3.)แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น ที่ผ่านการใช้งานแล้ว และ 4.) แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้นยังไม่ผ่านการใช้งาน

ข้อเสนอแนะ

ในความเป็นจริงเราไม่สามารถ ดูความสามารถในการป้องกันจาก Slope เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ต้องดูปัจจัยอื่นๆ ประกอบด้วย เช่น ความเสียหายที่ผิว (ภาพที่ 33) และ การช้ำแบบเป็นจุด (Point load) ภาพที่ 34



ภาพที่ 33 ความเสียหายที่ผิว

ภาพที่ 33 เกิดจากการทดสอบการกระแทกโดยใช้กระดาษลูกฟูกหน้าเดียว(ลอนด้านใน) พบว่าเกิดรอยช้ำบริเวณผิวด้วย ซึ่งเป็นจุดที่เห็นได้ชัด และมีผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค

ภาพที่ 34 การช้ำแบบเป็นจุด

ภาพที่ 34 เกิดจากการทดสอบการกระแทกโดยใช้กระดาษลูกฟูกสองชั้น(ยังไม่ผ่านการใช้งาน) แสดงให้เห็นรอยช้ำแบบเป็นจุด ในเนื้อมะม่วง ซึ่งเกิดจากรอยกดของกระดาษลูกฟูก เมื่อโดนกระแทก เนื่องจากรอยตัดของกระดาษมีลักษณะเป็นสัน

ดังนั้นปัจจัยที่ควรใช้ในการพิจารณาความสามารถของบรรจุภัณฑ์ จากการกระแทก ควรดูจาก 1.) ค่าความชัน(Slope) ของกราฟ VB-EI 2.) รอยที่ปรากฏบนผิวของมะม่วง

เอกสารอ้างอิง

www.doae.go.th/plant/mango.htm

http://web.ku.ac.th/agri/mango1/

บัณฑิต จริโมภาส, วสันต์ แสงนิล และ ศุภลักษณ์ วรรณพงษ์. 2543. การศึกษาการใช้โฟมตาข่ายห่อหุ้มผลไม้ที่ถูกกระทำด้วยภาระการกระแทก. วารสารวิชาการเกษตร 18 (2) : 126 - 136.

บัณฑิต จริโมภาส และ ศุภกิตต์ สายสุนทร. 2547. การปรับปรุงเครื่องทดสอบการกระแทกแบบ Ballistic Pendulum. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 11 (1) : 51-56

บัณฑิต จริโมภาส และอุดมศักดิ์ กิจทวี. 2547. การรับรู้ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงภายใต้ภาระกระทำกระแทก. วิศวกรรมสาร มก. 18(52) : 19 - 26

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2545. คู่มือการใช้กระดาษเพื่อการหีบห่อ. อรุณการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 128 น.

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

Schoorl D. and J. E. Holt. 1980. Bruise Resistance Measurements in Apples. Journal of Texture Studies. Vol 11 : 389-394

ภาคผนวค ก

ตารางบันทึกผลการทดสอบการกระแทก

ตารางผนวคที่ 1 การทดสอบการกระแทกมะม่วงสุก โดยไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์

ลำดับที่	มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อน (องศา)	ความช้ำผลมะม่วง				EI(J)	ER(J)	EA(J)	VB(มม^3)	หมายเหตุ
			ความกว้างรอยช้ำ (มม.)			ความลึก (มม.)					
			ตั้งฉาก(x)	ขนาน(y)	เฉลี่ย						
1	9.9	2	14	20	17	4	0.252	0.010	0.242	453.73	
2	9.9	1	10	15	12.5	4	0.252	0.003	0.250	245.31	
3	9.9	2	14	15	14.5	4	0.252	0.010	0.242	330.09	
4	9.9	1	12	15	13.5	4	0.252	0.003	0.250	286.13	
5	9.9	2	14	18	16	4	0.252	0.010	0.242	401.92	
6	14	3	18	26	22	6	0.503	0.023	0.480	1139.82	
7	14	3	16	30	23	5	0.503	0.023	0.480	1038.16	
8	14	4.5	18	31	24.5	5	0.503	0.052	0.451	1177.99	
9	14	3	20	32	26	5	0.503	0.023	0.480	1326.65	
10	14	4.5	17	28	22.5	6	0.503	0.052	0.451	1192.22	
11	17.2	5	21	35	28	6	0.757	0.064	0.693	1846.32	
12	17.2	5	17	35	26	6	0.757	0.064	0.693	1591.98	
13	17.2	5	23	34	28.5	6	0.757	0.064	0.693	1912.85	
14	17.2	5	22	35	28.5	6	0.757	0.064	0.693	1912.85	
15	17.2	5	21	34	27.5	6	0.757	0.064	0.693	1780.97	
16	19.8	7	26	38	32	7	1.001	0.126	0.875	2813.44	
17	19.8	6	25	35	30	7	1.001	0.093	0.908	2472.75	
18	19.8	6.5	27	34	30.5	8	1.001	0.109	0.892	2920.99	
19	19.8	6	27	33	30	8	1.001	0.093	0.908	2826.00	
20	19.8	6.5	28	34	31	8	1.001	0.109	0.892	3017.54	
21	22.2	7.5	29	37	33	10	1.255	0.145	1.110	4274.33	
22	22.2	7.5	27	36	31.5	11	1.255	0.145	1.110	4284.04	
23	22.2	7	27	36	31.5	11	1.255	0.126	1.129	4284.04	
24	22.2	7	30	38	34	12	1.255	0.126	1.129	5444.76	
25	22.2	7	30	37	33.5	12	1.255	0.126	1.129	5285.80	

ตารางผนวคที่ 2 การทดสอบการกระแทกมะม่วงสุก โดยใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single face) ลอนอยู่ด้านในเป็นวัสดุห่อหุ้ม

ลำดับที่	มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อน (องศา)	ความช้ำผลมะม่วง				EI(J)	VB(มม^3)	หมายเหตุ
			ความกว้างรอยช้ำ (มม.)			ความลึก (มม.)			
			ตั้งฉาก(x)	ขนาน(y)	เฉลี่ย				
1	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
2	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
3	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
4	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
5	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
6	14	-	13	28	20.5	6	0.503	989.69	
7	14	-	16	31	23.5	6	0.503	1300.55	
8	14	-	14	32	23	7	0.503	1453.43	
9	14	-	15	30	22.5	7	0.503	1390.92	
10	14	-	14	32	23	6	0.503	1245.80	
11	17.2	-	16	32	24	8	0.757	1808.64	
12	17.2	-	20	30	25	8	0.757	1962.50	
13	17.2	-	17	30	23.5	8	0.757	1734.07	
14	17.2	-	18	31	24.5	8	0.757	1884.79	
15	17.2	-	18	30	24	7	0.757	1582.56	
16	19.8	-	19	29	24	8	1.001	1808.64	
17	19.8	-	18	30	24	10	1.001	2260.80	
18	19.8	-	20	31	25.5	10	1.001	2552.23	
19	19.8	-	21	32	26.5	9	1.001	2480.70	
20	19.8	-	20	30	25	10	1.001	2453.13	
21	22.2	-	23	37	30	11	1.255	3885.75	
22	22.2	-	20	36	28	12	1.255	3692.64	
23	22.2	-	17	38	27.5	11	1.255	3265.11	
24	22.2	-	22	39	30.5	10	1.255	3651.23	
25	22.2	-	22	37	29.5	11	1.255	3757.30	

ตารางผนวคที่ 3 การทดสอบการกระแทกมะม่วงสุก โดยใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว (Single face) ลอนอยู่ด้านนอกเป็นวัสดุห่อหุ้ม

ลำดับที่	มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อน (องศา)	ความช้ำผลมะม่วง				EI(J)	VB(มม^3)	หมายเหตุ
			ความกว้างรอยช้ำ (มม.)			ความลึก (มม.)			
			ตั้งฉาก(x)	ขนาน(y)	เฉลี่ย				
1	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
2	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
3	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
4	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
5	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
6	14	-	14	22	18	5	0.503	635.85	
7	14	-	14	22	18	4	0.503	508.68	
8	14	-	13	25	19	4	0.503	566.77	
9	14	-	15	24	19.5	5	0.503	746.24	
10	14	-	14	23	18.5	4	0.503	537.33	
11	17.2	-	16	26	21	5	0.757	865.46	
12	17.2	-	19	24	21.5	6	0.757	1088.60	
13	17.2	-	17	25	21	5	0.757	865.46	
14	17.2	-	16	26	21	6	0.757	1038.56	
15	17.2	-	16	26	21	5	0.757	865.46	
16	19.8	-	22	33	27.5	6	1.001	1780.97	
17	19.8	-	21	32	26.5	7	1.001	1929.43	
18	19.8	-	18	30	24	6	1.001	1356.48	
19	19.8	-	19	31	25	7	1.001	1717.19	
20	19.8	-	19	30	24.5	7	1.001	1649.19	
21	22.2	-	21	32	26.5	8	1.255	2205.07	
22	22.2	-	24	33	28.5	7	1.255	2231.66	
23	22.2	-	22	35	28.5	8	1.255	2550.47	
24	22.2	-	22	34	28	7	1.255	2154.04	
25	22.2	-	20	34	27	8	1.255	2289.06	

ตารางผนวคที่ 4 การทดสอบการกระแทกมะม่วงสุก โดยใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ยังไม่ผ่านการใช้งาน เป็นวัสดุห่อหุ้ม

ลำดับที่	มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อน (องศา)	ความช้ำผลมะม่วง				EI(J)	VB(มม^3)	หมายเหตุ
			ความกว้างรอยช้ำ (มม.)			ความลึก (มม.)			
			ตั้งฉาก(x)	ขนาน(y)	เฉลี่ย				
1	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
2	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
3	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
4	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
5	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
6	14	-	13	20	16.5	5	0.503	534.29	
7	14	-	15	21	18	5	0.503	635.85	
8	14	-	14	22	18	6	0.503	763.02	
9	14	-	15	22	18.5	6	0.503	806.00	
10	14	-	16	22	19	5	0.503	708.46	
11	17.2	-	14	29	21.5	6	0.757	1088.60	
12	17.2	-	16	26	21	8	0.757	1384.74	
13	17.2	-	17	22	19.5	7	0.757	1044.74	
14	17.2	-	15	24	19.5	7	0.757	1044.74	
15	17.2	-	15	27	21	8	0.757	1384.74	
16	19.8	-	18	32	25	10	1.001	2453.13	
17	19.8	-	20	32	26	11	1.001	2918.63	
18	19.8	-	18	30	24	10	1.001	2260.80	
19	19.8	-	22	32	27	10	1.001	2861.33	
20	19.8	-	20	35	27.5	10	1.001	2968.28	
21	22.2	-	17	35	26	13	1.255	3449.29	
22	22.2	-	19	40	29.5	12	1.255	4098.88	
23	22.2	-	18	41	29.5	12	1.255	4098.88	
24	22.2	-	20	37	28.5	12	1.255	3825.70	
25	22.2	-	18	36	27	12	1.255	3433.59	

ตารางผนวคที่ 5 การทดสอบการกระแทกมะม่วงสุก โดยใช้แผ่นกระดาษลูกฟูกสองชั้น (Double Wall) ผ่านการใช้งานแล้ว เป็นวัสดุห่อหุ้ม

ลำดับที่	มุมตกกระทบ (องศา)	มุมสะท้อน (องศา)	ความช้ำผลมะม่วง				EI(J)	VB(มม^3)	หมายเหตุ
			ความกว้างรอยช้ำ (มม.)			ความลึก (มม.)			
			ตั้งฉาก(x)	ขนาน(y)	เฉลี่ย				
1	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
2	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
3	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
4	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
5	9.9	-	0	0	0	0	0.252	0.00	
6	14	-	13	22	17.5	5	0.503	601.02	
7	14	-	12	20	16	4	0.503	401.92	
8	14	-	13	23	18	4	0.503	508.68	
9	14	-	14	22	18	4	0.503	508.68	
10	14	-	15	21	18	5	0.503	635.85	
11	17.2	-	16	25	20.5	8	0.757	1319.59	
12	17.2	-	15	27	21	8	0.757	1384.74	
13	17.2	-	17	26	21.5	7	0.757	1270.03	
14	17.2	-	15	28	21.5	7	0.757	1270.03	
15	17.2	-	15	29	22	7	0.757	1329.79	
16	19.8	-	18	32	25	8	1.001	1962.50	
17	19.8	-	19	31	25	9	1.001	2207.81	
18	19.8	-	18	30	24	9	1.001	2034.72	
19	19.8	-	19	29	24	10	1.001	2260.80	
20	19.8	-	18	33	25.5	10	1.001	2552.23	
21	22.2	-	18	36	27	11	1.255	3147.46	
22	22.2	-	20	38	29	11	1.255	3631.02	
23	22.2	-	19	41	30	12	1.255	4239.00	
24	22.2	-	20	39	29.5	12	1.255	4098.88	
25	22.2	-	18	36	27	12	1.255	3433.59	

ภาคผนวก ข

ตารางบันทึกผลลักษณะทางกายภาพของมะม่วง

ตารางบันทึกผลการทดลอง ลักษณะทางกายภาพของผลมะม่วง(สุก)

อุณหภูมิ…34 องศาเซลเซียส……ความชื้นสัมพัทธ์……80 %Rh……..…..ขนาดมะม่วง……000……

ชนิดของการทดลอง ไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านใน กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านนอก

แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นยังไม่ผ่านการใช้งาน แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นผ่านการใช้งานแล้ว

ลำดับที่	ลักษณะทางกายภาพของมะม่วง						
	น้ำหนัก (กรัม)	ขนาด (หนา x ยาว)		รัศมี		รัศมีเฉลี่ย (มม.)	หมายเหตุ
		หนา (มม.)	ยาว (มม.)	ขวางแกน x 0.001 นิ้ว	ขนานแกน x 0.001 นิ้ว		
1	388	70	157	91	40	35.40	
2	406	69	146	64	31	50.00	
3	482	72	152	75	46	42.92	
4	437	70	155	77	43	41.78	
5	456	72	160	88	50	36.71	
6	440	71	148	94	40	34.28	
7	407	72	150	82	64	39.53	
8	431	71	158	71	41	45.24	
9	429	76	146	82	48	39.33	
10	437	68	143	88	55	36.78	
11	420	69	144	84	37	38.27	
12	473	74	161	79	46	40.77	
13	428	68	153	72	30	44.48	
14	476	72	160	81	34	39.63	
15	418	71	149	92	50	35.15	
16	425	67	155	81	46	39.78	
17	420	69	151	86	38	37.40	
18	436	71	156	101	41	31.96	
19	436	72	146	87	42	37.03	
20	420	68	152	93	47	34.74	
21	415	69	147	65	48	49.46	
22	430	71	143	71	51	45.37	
23	461	72	150	72	54	44.78	
24	421	65	144	68	46	47.28	
25	468	62	148	70	45	45.93	
ค่าเฉลี่ย	434.40	70.04	150.96			40.56	
std	23.44	2.85	5.59			4.96	
CV%	5.40	4.07	3.71			12.24	

ตารางบันทึกผลการทดลอง ลักษณะทางกายภาพของผลมะม่วง(สุก)

อุณหภูมิ…30 องศาเซลเซียส……ความชื้นสัมพัทธ์……78.. %Rh……..ขนาดมะม่วง……000……

ชนิดของการทดลอง ไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านใน กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านนอก

แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นยังไม่ผ่านการใช้งาน แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นผ่านการใช้งานแล้ว

ลำดับที่	ลักษณะทางกายภาพของมะม่วง						
	น้ำหนัก (กรัม)	ขนาด (หนา x ยาว)		รัศมี		รัศมีเฉลี่ย (มม.)	หมายเหตุ
		หนา (มม.)	ยาว (มม.)	ขวางแกน x 0.001 นิ้ว	ขนานแกน x 0.001 นิ้ว		
1	383	65	152	71	40	45.23	
2	387	68	150	80	38	40.17	
3	391	69	149	89	48	36.28	
4	452	70	158	58	21	55.01	
5	404	68	153	105	39	30.73	
6	475	68	171	58	46	55.33	
7	430	68	159	91	41	35.41	
8	427	69	148	81	38	39.68	
9	423	71	136	64	39	50.10	
10	413	67	152	63	34	50.83	
11	428	66	157	95	20	33.68	
12	433	65	160	63	33	50.82	
13	403	67	157	83	45	38.82	
14	408	70	157	84	32	38.20	
15	393	68	155	89	36	36.13	
16	475	74	160	79	28	40.55	
17	416	69	148	78	38	41.19	
18	487	73	159	63	42	50.93	
19	463	65	152	82	45	39.29	
20	477	74	152	76	52	42.44	
21	452	68	151	83	49	38.88	
22	409	69	149	84	47	38.39	
23	425	72	144	63	46	50.98	
24	412	63	156	79	50	40.82	
25	473	71	148	84	37	38.27	
ค่าเฉลี่ย	429.56	68.68	153.32			42.33	
std	31.35	2.81	6.68			6.85	
CV%	7.30	4.09	4.36			16.17	

ตารางบันทึกผลการทดลอง ลักษณะทางกายภาพของผลมะม่วง(สุก)

อุณหภูมิ…33 องศาเซลเซียส……ความชื้นสัมพัทธ์……86 %Rh……..…..ขนาดมะม่วง……000……

ชนิดของการทดลอง ไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านใน กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านนอก

แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นยังไม่ผ่านการใช้งาน แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นผ่านการใช้งานแล้ว

ลำดับที่	ลักษณะทางกายภาพของมะม่วง						
	น้ำหนัก (กรัม)	ขนาด (หนา x ยาว)		รัศมี		รัศมีเฉลี่ย (มม.)	หมายเหตุ
		หนา (มม.)	ยาว (มม.)	ขวางแกน x 0.001 นิ้ว	ขนานแกน x 0.001 นิ้ว		
1	413	67	152	70	35	45.80	
2	443	72	151	73	49	44.12	
3	401	68	155	88	40	36.59	
4	421	72	148	76	40	42.28	
5	487	72	158	82	49	39.34	
6	491	74	151	81	40	39.71	
7	422	72	150	83	42	38.79	
8	454	70	157	83	32	38.66	
9	418	69	146	87	45	37.07	
10	475	71	153	74	38	43.39	
11	480	68	165	63	50	51.03	
12	431	72	152	85	38	37.84	
13	470	70	159	70	46	45.94	
14	496	77	167	75	36	42.79	
15	418	70	153	83	46	38.84	
16	439	69	161	78	38	41.19	
17	438	70	144	67	30	47.77	
18	433	70	157	78	57	41.43	
19	451	72	148	72	43	44.64	
20	428	75	151	74	51	43.55	
21	432	71	156	69	44	46.57	
22	411	74	144	81	39	39.69	
23	436	77	152	75	42	42.87	
24	450	68	149	76	46	42.36	
25	428	69	156	75	47	42.93	
ค่าเฉลี่ย	442.64	71.16	153.40			42.21	
std	26.75	2.67	5.83			3.56	
CV%	6.04	3.76	3.80			8.43	

ตารางบันทึกผลการทดลอง ลักษณะทางกายภาพของผลมะม่วง(สุก)

อุณหภูมิ…31 องศาเซลเซียส……ความชื้นสัมพัทธ์……79 %Rh……..…..ขนาดมะม่วง……000……

ชนิดของการทดลอง ไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านใน กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านนอก

แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นยังไม่ผ่านการใช้งาน แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นผ่านการใช้งานแล้ว

ลำดับที่	ลักษณะทางกายภาพของมะม่วง						
	น้ำหนัก (กรัม)	ขนาด (หนา x ยาว)		รัศมี		รัศมีเฉลี่ย (มม.)	หมายเหตุ
		หนา (มม.)	ยาว (มม.)	ขวางแกน x 0.001 นิ้ว	ขนานแกน x 0.001 นิ้ว		
1	400	68	160	83	47	38.85	
2	471	71	162	49	31	65.19	
3	497	72	167	67	30	47.77	
4	459	69	164	50	41	64.02	
5	473	74	159	75	43	42.88	
6	474	72	158	58	36	55.20	
7	430	72	149	88	48	36.69	
8	452	70	149	73	58	44.23	
9	430	70	149	81	40	39.71	
10	416	67	150	65	40	49.35	
11	452	67	154	88	44	36.64	
12	425	69	153	97	44	33.29	
13	460	70	161	92	30	34.89	
14	450	73	150	82	39	39.21	
15	435	71	144	71	41	45.24	
16	444	72	146	72	39	44.59	
17	409	68	147	89	38	36.16	
18	416	71	144	75	53	43.01	
19	433	71	152	64	43	50.16	
20	448	75	152	71	45	45.29	
21	450	68	153	69	47	46.61	
22	423	69	146	74	42	43.44	
23	451	77	149	73	38	43.98	
24	433	75	158	81	49	39.82	
25	421	76	142	78	49	41.33	
ค่าเฉลี่ย	442.08	71.08	152.72			44.30	
std	23.01	2.77	6.76			7.97	
CV%	5.21	3.89	4.43			18.00	

ตารางบันทึกผลการทดลอง ลักษณะทางกายภาพของผลมะม่วง(สุก)

อุณหภูมิ…34 องศาเซลเซียส……ความชื้นสัมพัทธ์……80 %Rh……..…..ขนาดมะม่วง……000……

ชนิดของการทดลอง ไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านใน กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านนอก

แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นยังไม่ผ่านการใช้งาน แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นผ่านการใช้งานแล้ว

ลำดับที่	ลักษณะทางกายภาพของมะม่วง						
	น้ำหนัก (กรัม)	ขนาด (หนา x ยาว)		รัศมี		รัศมีเฉลี่ย (มม.)	หมายเหตุ
		หนา (มม.)	ยาว (มม.)	ขวางแกน x 0.001 นิ้ว	ขนานแกน x 0.001 นิ้ว		
1	423	67	148	76	33	42.20	
2	436	67	153	60	33	53.34	
3	430	72	141	81	38	39.68	
4	417	71	153	74	30	43.29	
5	468	69	170	57	36	56.16	
6	420	67	159	76	34	42.21	
7	481	73	158	62	50	51.84	
8	490	72	156	90	39	35.77	
9	487	74	167	64	29	49.98	
10	398	68	157	86	36	37.38	
11	477	75	157	62	28	51.57	
12	486	73	164	77	35	41.68	
13	469	74	149	57	39	56.20	
14	431	69	162	93	48	34.75	
15	469	74	160	86	49	37.54	
16	450	73	150	82	39	39.21	
17	435	71	144	71	41	45.24	
18	452	70	149	73	58	44.23	
19	440	71	148	94	40	34.28	
20	407	72	150	82	64	39.53	
21	416	69	148	78	38	41.19	
22	487	73	159	63	42	50.93	
23	430	72	149	88	48	36.69	
24	456	72	160	88	50	36.71	
25	440	71	148	94	40	34.28	
ค่าเฉลี่ย	447.80	71.16	154.36			43.03	
std	27.76	2.36	7.27			7.01	
CV%	6.20	3.31	4.71			16.30	

ตารางบันทึกผลการทดลอง ลักษณะทางกายภาพของผลมะม่วง(แก่)

อุณหภูมิ…34 องศาเซลเซียส……ความชื้นสัมพัทธ์……80 %Rh……..…..ขนาดมะม่วง……000……

ชนิดของการทดลอง ไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านใน กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านนอก

แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นยังไม่ผ่านการใช้งาน แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นผ่านการใช้งานแล้ว

ลำดับที่	ลักษณะทางกายภาพของมะม่วง						
	น้ำหนัก (กรัม)	ขนาด (หนา x ยาว)		รัศมี		รัศมีเฉลี่ย (มม.)	หมายเหตุ
		หนา (มม.)	ยาว (มม.)	ขวางแกน x 0.001 นิ้ว	ขนานแกน x 0.001 นิ้ว		
1	412	73	158	82	51	39.37	
2	423	72	147	74	49	43.53	
3	400	73	154	76	49	42.40	
4	435	72	152	62	43	51.76	
5	465	71	154	74	40	43.41	
6	444	72	155	64	40	50.12	
7	432	71	152	71	45	45.29	
8	412	73	151	80	47	40.28	
9	450	74	158	74	48	43.52	
10	451	70	157	73	42	44.03	
11	428	72	152	81	48	39.81	
12	431	73	151	73	46	44.08	
13	432	69	150	75	47	42.93	
14	474	72	159	82	34	39.15	
15	462	71	158	78	38	41.19	
16	413	68	148	63	46	50.98	
17	456	73	157	88	35	36.52	
18	490	72	162	60	25	53.23	
19	451	71	153	94	42	34.31	
20	462	69	158	93	45	34.71	
21	431	68	152	84	47	38.39	
22	452	73	153	70	48	45.97	
23	426	71	149	73	47	44.09	
24	428	67	148	88	49	36.70	
25	439	64	152	76	45	42.35	
ค่าเฉลี่ย	439.96	70.96	153.6			42.72	
std	21.40	2.34	3.93			5.04	
CV%	4.86	3.29	2.56			11.79	

ตารางบันทึกผลการทดลอง ลักษณะทางกายภาพของผลมะม่วง(แก่)

อุณหภูมิ…30 องศาเซลเซียส……ความชื้นสัมพัทธ์……78.. %Rh……..ขนาดมะม่วง……000……

ชนิดของการทดลอง ไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านใน กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านนอก

แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นยังไม่ผ่านการใช้งาน แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นผ่านการใช้งานแล้ว

ลำดับที่	ลักษณะทางกายภาพของมะม่วง						
	น้ำหนัก (กรัม)	ขนาด (หนา x ยาว)		รัศมี		รัศมีเฉลี่ย (มม.)	หมายเหตุ
		หนา (มม.)	ยาว (มม.)	ขวางแกน x 0.001 นิ้ว	ขนานแกน x 0.001 นิ้ว		
1	476	67	159	82	40	39.23	
2	451	70	154	71	40	45.23	
3	421	71	152	72	49	44.72	
4	411	68	148	68	53	47.36	
5	422	69	153	78	42	41.24	
6	435	69	153	67	46	47.97	
7	465	71	155	78	41	41.23	
8	456	72	155	72	42	44.63	
9	425	70	149	74	45	43.48	
10	461	65	158	78	42	41.24	
11	413	65	148	80	45	40.26	
12	425	66	148	94	40	34.28	
13	437	69	153	82	42	39.25	
14	467	71	155	78	35	41.15	
15	412	74	152	63	42	50.93	
16	436	68	154	88	42	36.61	
17	469	72	158	97	30	33.11	
18	459	71	158	92	38	34.99	
19	483	67	160	82	21	38.99	
20	426	72	153	71	42	45.25	
21	433	70	153	69	42	46.55	
22	424	71	153	81	45	39.77	
23	431	70	154	75	42	42.87	
24	418	62	148	76	48	42.39	
25	437	70	148	73	42	44.03	
ค่าเฉลี่ย	439.72	69.2	153.24			41.870003	
std	21.54	2.71	3.63			4.37	
CV%	4.90	3.91	2.37			10.44	

ตารางบันทึกผลการทดลอง ลักษณะทางกายภาพของผลมะม่วง(แก่)

อุณหภูมิ…33 องศาเซลเซียส……ความชื้นสัมพัทธ์……86 %Rh……..…..ขนาดมะม่วง……000……

ชนิดของการทดลอง ไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านใน กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านนอก

แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นยังไม่ผ่านการใช้งาน แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นผ่านการใช้งานแล้ว

ลำดับที่	ลักษณะทางกายภาพของมะม่วง						
	น้ำหนัก (กรัม)	ขนาด (หนา x ยาว)		รัศมี		รัศมีเฉลี่ย (มม.)	หมายเหตุ
		หนา (มม.)	ยาว (มม.)	ขวางแกน x 0.001 นิ้ว	ขนานแกน x 0.001 นิ้ว		
1	465	68	153	69	38	46.50	
2	409	71	145	80	51	40.34	
3	421	69	155	91	45	35.46	
4	416	72	149	72	42	44.63	
5	435	72	150	81	49	39.82	
6	465	73	151	92	38	34.99	
7	412	71	151	81	45	39.77	
8	435	68	157	86	42	37.45	
9	413	70	145	101	43	31.98	
10	475	72	161	75	35	42.78	
11	458	68	158	77	48	41.84	
12	428	72	159	57	47	56.30	
13	447	71	154	93	48	34.75	
14	479	72	158	86	32	37.33	
15	436	68	150	82	42	39.25	
16	432	70	154	70	43	45.90	
17	423	69	156	73	40	44.00	
18	418	68	152	83	41	38.77	
19	426	71	150	84	41	38.32	
20	458	73	154	63	37	50.87	
21	440	71	152	79	35	40.63	
22	431	72	156	84	35	38.24	
23	430	76	154	76	34	42.21	
24	425	72	152	60	46	53.50	
25	463	71	158	81	42	39.73	
ค่าเฉลี่ย	437.6	70.8	153.36			41.41	
std	20.55	1.98	4.06			5.80	
CV%	4.70	2.80	2.65			14.00	

ตารางบันทึกผลการทดลอง ลักษณะทางกายภาพของผลมะม่วง(แก่)

อุณหภูมิ…31 องศาเซลเซียส……ความชื้นสัมพัทธ์……79 %Rh……..…..ขนาดมะม่วง……000……

ชนิดของการทดลอง ไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านใน กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านนอก

แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นยังไม่ผ่านการใช้งาน แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นผ่านการใช้งานแล้ว

ลำดับที่	ลักษณะทางกายภาพของมะม่วง						
	น้ำหนัก (กรัม)	ขนาด (หนา x ยาว)		รัศมี		รัศมีเฉลี่ย (มม.)	หมายเหตุ
		หนา (มม.)	ยาว (มม.)	ขวางแกน x 0.001 นิ้ว	ขนานแกน x 0.001 นิ้ว		
1	440	72	158	74	41	43.43	
2	478	71	157	49	34	65.23	
3	442	72	154	74	32	43.31	
4	438	71	154	63	40	50.90	
5	438	72	152	74	43	43.45	
6	421	73	153	70	36	45.81	
7	460	68	158	76	48	42.39	
8	414	74	144	62	49	51.83	
9	430	73	152	90	40	35.79	
10	422	72	154	64	40	50.12	
11	410	74	153	70	44	45.92	
12	465	67	159	69	30	46.40	
13	461	67	158	74	29	43.27	
14	434	71	157	73	39	43.99	
15	430	72	157	81	40	39.71	
16	410	73	152	78	38	41.19	
17	477	67	163	65	30	49.23	
18	452	69	155	76	34	42.21	
19	460	68	155	60	41	53.44	
20	418	75	152	81	46	39.78	
21	433	72	153	74	47	43.50	
22	439	72	154	72	44	44.66	
23	437	72	151	78	45	41.28	
24	442	73	152	70	42	45.89	
25	468	68	152	64	30	49.99	
ค่าเฉลี่ย	440.76	71.12	154.36			45.71	
std	19.95	2.39	3.63			5.84	
CV%	4.53	3.35	2.35			12.79	

ตารางบันทึกผลการทดลอง ลักษณะทางกายภาพของผลมะม่วง(แก่)

อุณหภูมิ…34 องศาเซลเซียส……ความชื้นสัมพัทธ์……80 %Rh……..…..ขนาดมะม่วง……000……

ชนิดของการทดลอง ไม่หุ้มวัสดุบรรจุภัณฑ์ กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านใน กระดาษลูกฟูกหน้าเดียวลอนอยู่ด้านนอก

แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นยังไม่ผ่านการใช้งาน แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นผ่านการใช้งานแล้ว

ลำดับที่	ลักษณะทางกายภาพของมะม่วง						
	น้ำหนัก (กรัม)	ขนาด (หนา x ยาว)		รัศมี		รัศมีเฉลี่ย (มม.)	หมายเหตุ
		หนา (มม.)	ยาว (มม.)	ขวางแกน x 0.001 นิ้ว	ขนานแกน x 0.001 นิ้ว		
1	444	67	157	72	32	44.50	
2	423	71	154	90	31	35.67	
3	450	68	156	67	32	47.79	
4	467	69	155	64	28	49.96	
5	430	72	154	86	32	37.33	
6	488	67	162	61	30	52.43	
7	451	68	155	63	37	50.87	
8	423	71	153	83	46	38.84	
9	465	70	157	84	38	38.28	
10	481	67	157	61	26	52.38	
11	470	68	158	64	27	49.95	
12	462	69	165	86	31	37.31	
13	423	70	154	62	40	51.72	
14	450	70	154	77	42	41.77	
15	413	72	153	57	49	56.32	
16	465	69	157	65	35	49.29	
17	487	65	161	74	27	43.25	
18	455	70	158	57	49	56.32	
19	461	69	157	64	36	50.07	
20	466	72	157	62	52	51.87	
21	420	71	152	71	48	45.33	
22	430	72	154	73	40	44.00	
23	437	72	155	78	42	41.24	
24	440	72	155	75	45	42.90	
25	481	71	156	60	32	53.32	
ค่าเฉลี่ย	451.28	69.68	156.24			46.51	
std	22.31	1.97	2.98			6.22	
CV%	4.94	2.83	1.90			13.37	