



วิทยานิพนธ์

การชำเซิงกลของผลมะพร้าวอ่อน

MECHANICAL BRUISING OF A YOUNG COCONUT FRUIT

นางสาวชนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

ปริญญา

วิศวกรรมเกษตร

วิศวกรรมเกษตร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การชำเชิงกลของผลมะพร้าวอ่อน

Mechanical Bruising of a Young Coconut Fruit

นามผู้วิจัย นางสาวชนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์บัณฑิต จริโมภาส, D.Sc.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวิรัตน์, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวิรัตน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจจงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การชำเชิงกลของผลมะพร้าวอ่อน

Mechanical Bruising of a Young Coconut Fruit

โดย

นางสาวชนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2550

ธนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง 2550: การชำ้เชิงกลของผลมะพร้าวอ่อน ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์บัณฑิต จริโมภาส, D.Sc. 123 หน้า

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการชำ้เชิงกลของผลมะพร้าวอ่อน เนื่องจากการกดและการกระแทก
การศึกษาประกอบด้วย ก) การประเมินความชำ้ในการขายส่งและขายปลีก ของมะพร้าวอ่อน
ที่ตัดแต่งเปลือกสีเขียวออกเป็นทรงห้าเหลี่ยม ข) การหาสมบัติการชำ้เชิงกลของผลมะพร้าวอ่อน
เนื่องจากการกดแบบชำ้และการกระแทก ทดสอบด้วยหัว Plunger 4 ขนาด คือ 12, 24, 48 และ
96 กรัม ทดสอบกับผลมะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอมที่มีขนาดสมำ้เสมอ 3 ระยะการเจริญเติบโต
(ระยะหนึ่งชั้น ชั้นครึ่ง และสองชั้น) การทดสอบแบ่งออกเป็นสองช่วงคือ การทดสอบก่อนเกิด
การชำ้ (Below threshold) และการทดสอบหลังเกิดการชำ้ (Beyond threshold) ค) การทดสอบ
หาแรงดึงของกามมะพร้าว ผลการศึกษาปรากฏว่า มะพร้าวอ่อนที่จำหน่ายในตลาดขายส่งและ
ขายปลีกมีเปอร์เซ็นต์การชำ้ในช่วง 50 – 100% จำนวนรอยชำ้/ผลอยู่ในช่วง 1 - 16 รอย/ผล
พื้นที่ชำ้ในช่วง 1 – 19 ตารางเซนติเมตร การทดสอบภายใต้การกระทำเกือบสถิตพบว่า
การทดสอบโดยการกดมะพร้าวอ่อนระยะหนึ่งชั้นครึ่ง ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยว มี
ความไวต่อการเกิดรอยชำ้ต่ำที่สุด ค่าปริมาตรชำ้ที่จุดเริ่มเกิดรอยชำ้และค่าพลังงานเท่ากับ
 1823.434 ± 480 ลูกบาศก์มิลลิเมตร และ 1.66 ± 0.11 จูล ตามลำดับ การทดสอบการกระแทก
ให้ผลว่า มะพร้าวอ่อนระยะหนึ่งชั้นครึ่ง มีความไวต่อการเกิดรอยชำ้ต่ำที่สุด การกระแทกจะทำให้
เกิดค่าปริมาตรชำ้และค่าพลังงานที่จุดเริ่มเกิดรอยชำ้ เท่ากับ 10.67 ± 0.76 ลูกบาศก์มิลลิเมตร และ
 0.0245 จูล ตามลำดับ

Tanarat Srirungruang 2007: Mechanical Bruising of a Young Coconut Fruit.
Master of Engineering (Agricultural Engineering), Major Field: Agricultural
Engineering, Department of Agricultural Engineering. Thesis Advisor:
Associate Professor Bundit Jarimopas, D.Sc. 123 pages.

This research was aimed to (a) assess the postharvest damage of the coconut fruit at markets and (b) determine young coconut fruit bruising mechanism subjected to quasi-static compression and impact. Methodology comprised slow compression on young coconut fruit by means of varying spherical plunger (12, 24, 48 and 96 gm) mounted to the Universal Testing Machine at the loading rate of 15 mm/min. The sample young coconut included three different maturity stages (immature, mature, overmature). The other fruit samples were applied to impact test using the same set of plungers. Bruising response (below and beyond bruise threshold) to dynamic contact energy was measured and analyzed. Tensile test of young coconut husk was carried out and the husk response was evaluated. Results showed that bruising of the young coconut fruit of the wholesalers and the retailers varied from 50 to 100%. Number of bruise per fruit ranged from 1 to 16 bruises per fruit. Bruise area ranged from 1 to 19 cm². Good linear correlation between the bruise volume V and the dynamic compression energy E beyond threshold and that between bruise occurrence probability P and the dynamic compression energy below threshold were found ($R^2 > 0.9$). Mature young coconut, exhibiting the least bruise susceptibility under slow compression, was characterized by the bruise volume of 1823.434 ± 480 mm³ and compression energy of 1.66 ± 0.11 J at the bruise threshold. Besides, the mature young coconut, similarly behaving the least bruise susceptibility under impact, was attributed by the bruise volume of 10.67 ± 0.76 mm³ and impact energy of 0.0245 J at the bruise threshold.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ให้คำแนะนำอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์บัณฑิต จริโมภาส ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้คำแนะนำ แนวทางการทำวิจัยและสนับสนุนงบประมาณ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการตรวจแก้ไข วิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวิรัตน์ กรรมการที่ปรึกษา วิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุพันธ์ เท็ดวงส์วรกุล กรรมการที่ปรึกษาวิชาการองและรองศาสตราจารย์ สันติ ทองพำนัก ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำช่วยเหลือและตรวจแก้ไข ข้อบกพร่อง จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ถูกต้องและสำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบ ขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเกษตรกรชาวสวนมะพร้าวอ่อน อ. บ้านแพ้ว จ.สมุทรสาคร ที่กรุณาให้ คำแนะนำและช่วยเหลือในการเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อนที่ใช้ในการทดสอบ ขอขอบคุณบุคลากร ทุกฝ่าย และเพื่อนทุกคน ในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำ ในการทำวิทยานิพนธ์

คุณค่าและประโยชน์จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบเพื่อบูชาพระคุณของบิดา มารดา ที่ส่งเสริมให้การศึกษาเล่าเรียน ครูอาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และวางรากฐานการศึกษา ให้แก่ผู้วิจัย และมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ธนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง

พฤษภาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	26
ผลและวิจารณ์	37
การประเมินความซ้ำของผลมะพร้าวอ่อนในการขายส่งและขายปลีก	37
การหาสมบัติการซ้ำเชิงกลของผลมะพร้าวอ่อนเนื่องจากการกดแบบซ้ำ	46
การศึกษาการซ้ำของมะพร้าวอ่อนเนื่องจากภาระการกระแทก	53
สรุปและข้อเสนอแนะ	61
สรุป	61
ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	62
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก ข้อมูลความเสียหายของมะพร้าวอ่อนในการขายส่งและขายปลีก	67
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบ โดยวิธี Compression test	71
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบ โดยวิธี Impact test	80
ภาคผนวก ง การทดสอบแรงดิ่งก้ามมะพร้าว	90
ภาคผนวก จ ผลงานวิจัย	92
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	123

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	วิธีการคำนวณปริมาตรซ้ำ 5 วิธี	25
2	ความถี่ของการเกิดรอยซ้ำของมะพร้าวอ่อนในตลาดขายส่งและขายปลีก	41
3	สมการรีเกรสชันเส้นตรงระหว่างปริมาตรซ้ำกับพลังงานกดที่ใช้ในการกดของผลมะพร้าวอ่อนเมื่อกระแทกด้วยหัวกระแทกขนาดต่าง ๆ	49
4	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยควบคุมคือ คือ ระยะเวลาเจริญเติบโต และ ขนาดหัว Plunger ต่อการซ้ำ	50
5	ปริมาตรซ้ำและความแตกต่างทางสถิติตามขนาดของหัวทดสอบในแต่ละระยะเวลาเจริญเติบโตที่ระดับความสำคัญทางสถิติ 5%	51
6	ปริมาตรซ้ำ และพลังงานกดที่ระดับเริ่มเกิดรอยซ้ำ (Threshold Energy) ที่ความน่าจะเป็นของการซ้ำ = 1 ของมะพร้าวอ่อน	52
7	สมการรีเกรสชันเส้นตรงระหว่างปริมาตรซ้ำกับพลังงานกระแทกของผลมะพร้าวอ่อนเมื่อกระแทกด้วยหัวกระแทกขนาดต่าง ๆ	56
8	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยควบคุมคือ คือ ระยะเวลาเจริญเติบโต และ ขนาดหัว Plunger ต่อการซ้ำ	57
9	ปริมาตรซ้ำและความแตกต่างทางสถิติตามขนาดของหัวทดสอบในแต่ละระยะเวลาเจริญเติบโตที่ระดับความสำคัญทางสถิติ 5%	57
10	ปริมาตรซ้ำ และพลังงานกระแทกที่ระดับเริ่มเกิดรอยซ้ำ (Threshold Energy) ที่ความน่าจะเป็นของการซ้ำ = 1 ของมะพร้าวอ่อน	59
ตารางผนวกที่		
ก1	จำนวนมะพร้าวอ่อนที่พบรอยซ้ำทำการสำรวจจากตลาดขายส่งและขายปลีก	68
ก2	จำนวนรอยซ้ำ/ผล ของมะพร้าวอ่อนในตลาดขายส่งและขายปลีก	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก3	พื้นที่ร่อยชำของมะพร้าวอ่อนในตลาดขายส่งและขายปลีก	70
ข1	ค่าพลังงานและปริมาตรชำของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบโดยวิธี Compression test หัว Plunger ขนาด 12 กรัม	72
ข2	ค่าพลังงานและปริมาตรชำของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบโดยวิธี Compression test หัว Plunger ขนาด 24 กรัม	72
ข3	ค่าพลังงานและปริมาตรชำของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบโดยวิธี Compression test หัว Plunger ขนาด 48 กรัม	73
ข4	ค่าพลังงานและปริมาตรชำของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบโดยวิธี Compression test หัว Plunger ขนาด 96 กรัม	73
ข5	ค่าพลังงานและปริมาตรชำของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบโดยวิธี Compression test หัว Plunger ขนาด 12 กรัม	74
ข6	ค่าพลังงานและปริมาตรชำของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบโดยวิธี Compression test หัว Plunger ขนาด 24 กรัม	74
ข7	ค่าพลังงานและปริมาตรชำของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบโดยวิธี Compression test หัว Plunger ขนาด 48 กรัม	75
ข8	ค่าพลังงานและปริมาตรชำของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบโดยวิธี Compression test หัว Plunger ขนาด 96 กรัม	75
ข9	ค่าพลังงานและปริมาตรชำของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบโดยวิธี Compression test หัว Plunger ขนาด 12 กรัม	76
ข10	ค่าพลังงานและปริมาตรชำของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบโดยวิธี Compression test หัว Plunger ขนาด 24 กรัม	76
ข11	ค่าพลังงานและปริมาตรชำของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบโดยวิธี Compression test หัว Plunger ขนาด 48 กรัม	77
ข12	ค่าพลังงานและปริมาตรชำของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบโดยวิธี Compression test หัว Plunger ขนาด 96 กรัม	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข13	ความน่าจะเป็นของการเกิดการชำรุดและค่าพลังงาน ของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ทดสอบ โดยวิธี Compression test	78
ข14	ความน่าจะเป็นของการเกิดการชำรุดและค่าพลังงาน ของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ทดสอบ โดยวิธี Compression test	78
ข15	ความน่าจะเป็นของการเกิดการชำรุดและค่าพลังงาน ของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ทดสอบ โดยวิธี Compression test	79
ค1	ค่าพลังงานและปริมาตรชำรุดของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบ โดย วิธี Impact test หัว Plunger ขนาด 12 กรัม	81
ค2	ค่าพลังงานและปริมาตรชำรุดของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบ โดย วิธี Impact test หัว Plunger ขนาด 24 กรัม	81
ค3	ค่าพลังงานและปริมาตรชำรุดของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบ โดย วิธี Impact test หัว Plunger ขนาด 48 กรัม	82
ค4	ค่าพลังงานและปริมาตรชำรุดของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบ โดย วิธี Impact test หัว Plunger ขนาด 96 กรัม	82
ค5	ค่าพลังงานและปริมาตรชำรุดของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบ โดยวิธี Impact test หัว Plunger ขนาด 12 กรัม	83
ค6	ค่าพลังงานและปริมาตรชำรุดของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบ โดยวิธี Impact test หัว Plunger ขนาด 24 กรัม	83
ค7	ค่าพลังงานและปริมาตรชำรุดของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบ โดยวิธี Impact test หัว Plunger ขนาด 48 กรัม	84
ค8	ค่าพลังงานและปริมาตรชำรุดของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบ โดยวิธี Impact test หัว Plunger ขนาด 96 กรัม	84
ค9	ค่าพลังงานและปริมาตรชำรุดของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบ โดยวิธี Impact test หัว Plunger ขนาด 12 กรัม	85
ค10	ค่าพลังงานและปริมาตรชำรุดของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบ โดยวิธี Impact test หัว Plunger ขนาด 24 กรัม	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ค11	ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบ โดยวิธี Impact test หัว Plunger ขนาด 48 กรัม	86
ค12	ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบ โดยวิธี Impact test หัว Plunger ขนาด 96 กรัม	86
ค13	ความน่าจะเป็นของการเกิดการซ้และค่าพลังงาน ของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ทดสอบโดยวิธี Impact test	87
ค14	ความน่าจะเป็นของการเกิดการซ้และค่าพลังงาน ของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ทดสอบโดยวิธี Impact test	88
ค15	ความน่าจะเป็นของการเกิดการซ้และค่าพลังงาน ของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ทดสอบโดยวิธี Impact test	89
ง1	ค่า Slope ของแรงค้ำบมะพร้าวอ่อน 3 ระยะการเจริญเติบโต	91

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนประกอบของผลมะพร้าว	7
2	การสังเกตสีของผลมะพร้าว	9
3	ลักษณะของมะพร้าวควั่น (ซ้าย) มะพร้าวเจียน (ขวา)	13
4	กราฟแรงและการเปลี่ยนรูป ของแอปเปิ้ลพันธุ์ Golden Delicious เมื่อถูกกดสัมผัสเกือบสถิต	16
5	ลักษณะการทดสอบการกระแทกแบบต่าง ๆ	20
6	Impact testing system	21
7	การวัดขนาดความชื้น เมื่อ w เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยชำและ d เป็นความลึกรอยชำ	23
8	โปรแกรมหาพื้นที่ผิวใบไม้	28
9	อุปกรณ์ทดสอบหาสมบัติการชำแบบเกือบสถิต	29
10	หัวทดสอบขนาดต่าง ๆ	30
11	การวัดปริมาตรเนื้อชำ	30
12	อุปกรณ์ทดสอบหาสมบัติการชำแบบกระแทก	33
13	ลักษณะการเตรียมชิ้นทดสอบการหาแรงดึงกามมะพร้าว	35
14	การทดสอบดึงชิ้นกามมะพร้าวด้วยเครื่อง UTM	36
15	ลักษณะรอยชำของผลมะพร้าวอ่อน	37
16	เปอร์เซ็นต์การชำของผลมะพร้าวอ่อนตามแหล่งจำหน่ายต่าง ๆ	38
17	ความถี่ในการเกิดรอยชำของมะพร้าวอ่อนที่จำหน่ายในซูเปอร์มาร์เกต	39
18	ความถี่ในการเกิดรอยชำของมะพร้าวอ่อนที่จำหน่ายในตลาดขายส่ง	39
19	ความถี่ในการเกิดรอยชำของมะพร้าวอ่อนที่จำหน่ายในร้านค้าปลีก	40
20	ความถี่ของพื้นที่รอยชำที่สำรวจจากซูเปอร์มาร์เก็ต Big C	42
21	ความถี่ของพื้นที่รอยชำที่สำรวจจากซูเปอร์มาร์เก็ต Lotus	43
22	ความถี่ของพื้นที่รอยชำที่สำรวจจากซูเปอร์มาร์เก็ต Carrefour	43
23	ความถี่ของพื้นที่รอยชำที่สำรวจจากซูเปอร์มาร์เก็ต Tops	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	ความถี่ของพื้นที่รอยชำที่สำรวจจากตลาดไท	44
25	ความถี่ของพื้นที่รอยชำที่สำรวจจากตลาดปทุมมงคล	45
26	ความถี่ของพื้นที่รอยชำที่สำรวจจากตลาดสี่มุมเมือง	45
27	ความถี่ของพื้นที่รอยชำที่สำรวจจากร้านค้าปลีก	46
28	ลักษณะรอยชำของมะพร้าวอ่อนจากการกดโดยหัว Plunger	47
29	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเนื้อชำ (V_B) และพลังงานกด (E) ของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature เมื่อกดด้วยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ	47
30	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเนื้อชำ (V_B) และพลังงานกด (E) ของมะพร้าวอ่อนระยะ Mature เมื่อกดด้วยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ	48
31	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเนื้อชำ (V_B) และพลังงานกด (E) ของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature เมื่อกดด้วยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ	48
32	ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดการชำ กับพลังงานที่ใช้ในการกด ที่ความน่าจะเป็น (Probability) =1 ของมะพร้าวอ่อนที่ 3 ระยะการเจริญเติบโต	52
33	ลักษณะรอยชำของมะพร้าวอ่อนจากการกระแทกโดยหัว Plunger	53
34	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเนื้อชำ (V_B) และพลังงานกระแทก (E) ของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature เมื่อกระแทกด้วยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ	54
35	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเนื้อชำ (V_B) และพลังงานกระแทก (E) ของมะพร้าวอ่อนระยะ Mature เมื่อกระแทกด้วยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ	54
36	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเนื้อชำ (V_B) และพลังงานกระแทก (E) ของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature เมื่อกระแทกด้วยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ	55
37	ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดการชำ กับพลังงานกระแทก ที่ความน่าจะเป็น (Probability) =1 ของมะพร้าวอ่อน ที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
38	กราฟแรงและการเปลี่ยนรูปจากการทดสอบแรงดึงกานมะพร้าวอ่อน	59
39	ลักษณะความแตกต่างของกานมะพร้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ	60

การชำเชิงกลของผลมะพร้าวอ่อน

Mechanical Bruising of a Young Coconut Fruit

คำนำ

มะพร้าวอ่อนเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารต่อร่างกาย น้ำมะพร้าวอ่อนมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยน้ำตาลเกลือแร่ ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม วิตามินซี วิตามินบี 2 บี 5 และบี 6 กรดโฟลิก กรดอะมิโน และฮอร์โมน ตามตำราแพทย์แผนไทยน้ำมะพร้าวอ่อนมีสรรพคุณช่วยลดอาการไข้สูง ปวดหัว ตัวร้อน ไข้บรรเทาลงได้เป็นอย่างดี ทั้งเป็นยาบำรุงกำลังคนไข้ให้มีแรงดีขึ้น แหล่งปลูกมะพร้าวอ่อนมีการกระจายทั่วทุกภาคจากสถิติของกรมส่งเสริมการเกษตร ในปี 2543 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมะพร้าวอ่อนประมาณ 233,640 ไร่ ผลผลิตรวมประมาณ 199,827 ตัน จังหวัดที่ปลูกมากที่สุด คือชลบุรี 23,619 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 10 ของพื้นที่ทั้งหมด รองลงมาคือ ราชบุรี 21,692 ไร่ สมุทรสาคร 13,119 ไร่ นครปฐม 12,577 ไร่ และชุมพร 12,543 ไร่ แต่ผลผลิตมะพร้าวอ่อนจังหวัดสมุทรสาครมากที่สุด ประมาณ 49,523 ตัน ทั้งนี้เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ให้ผลผลิตแล้วเป็นส่วนใหญ่ รองลงมาคือ จังหวัดราชบุรี ประมาณ 32,152 ตัน (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ในปี 2544 ประเทศไทยส่งมะพร้าวอ่อนในรูปผลสดออกไปจำหน่ายต่างประเทศประมาณ 16,088 ตัน มูลค่าประมาณ 235 ล้านบาท ประเทศที่นำเข้ามากที่สุด คือฮ่องกง ประมาณ 105.4 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 44.79 ของมูลค่าการส่งออกทั้งหมด รองลงมาคือ ประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และแคนาดา สำหรับปี 2545 ส่งออกมะพร้าวอ่อน ประมาณ 23,068 ตัน มูลค่า 248 ล้านบาท นอกนั้นส่งออกในรูปน้ำมะพร้าวบรรจุกระป๋อง และถุงพลาสติก

มะพร้าวอ่อนน้ำหอมเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในการส่งออก ซึ่งต้องมีการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวอย่างดีเพื่อป้องกันการชำของผล เริ่มตั้งแต่การขนย้ายออกจากสวนสู่กระบวนการผลิต ประกอบด้วยการตัดแต่งผล การจุ่มสารกันเชื้อรา และสารกันการเปลี่ยนสีของผิว ปัญหาสำคัญในการส่งออกมะพร้าวอ่อนที่มักพบเสมอคือ รอยชำที่เปลือกซึ่งเกิดจากการเก็บเกี่ยวและการขนถ่ายผลผลิตที่ขาดความระมัดระวัง อาการชำนี้จะเห็นเป็นบริเวณสีน้ำตาลในกามมะพร้าวสีขาว โดยสังเกตได้ขณะแต่งผลและบางครั้งอาการรุนแรงมากจนไม่สามารถแต่งออกได้จึง

กลายเป็นตำหนิทำให้มะพร้าวอ่อนด้อยคุณภาพลงและที่สำคัญยังเป็นแหล่งเกิดโรคอีกด้วย ปัญหาอีกประการหนึ่งที่เกิดจากการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวไม่เหมาะสม คือกะลาเฝ้าซึ่งเป็น ความเสียหายที่ไม่อาจมองเห็นจากภายนอกหรือเมื่อตัดแต่งผลแล้วก็ตาม อาการดังกล่าวอาจทำให้ คุณภาพภายในมะพร้าวเสียไปโดยน้ำเกิดกลิ่นหมักและเน่าเสียได้ ดังนั้นการทราบลักษณะ การซ้ำของผลมะพร้าวอ่อนสาเหตุและสมบัติเชิงกลที่สัมพันธ์กัน จะช่วยให้สามารถลดการสูญเสีย ให้น้อยลงและปรับปรุงการผลิตผลมะพร้าวอ่อนให้ได้คุณภาพเป็นมาตรฐาน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาหาการจำและสมบัติเชิงกลที่สัมพันธ์กันของผลมะพร้าวอ่อน ภายใต้การกระทำเกือบสถิตและการกระแทก

การตรวจเอกสาร

มะพร้าวเป็นพืชในวงศ์ปาล์ม (Family Palmae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* Linn มะพร้าวมีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ต่อมาแพร่หลายไปยังอเมริกา อินเดีย มาดากัสการ์และแอฟริกา ชาวสเปนเป็นผู้นำไปยังหมู่เกาะเวสต์อินดีส และทะเลแคริบเบียนตอนใต้ แหล่งปลูกและผลิตมะพร้าวในปัจจุบันอยู่ตามหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก ทวีปอเมริกาใต้ ทวีปอเมริกาเหนือ เม็กซิโก อินเดีย ฟิลิปปินส์ ศรีลังกา อินโดนีเซีย และมาเลเซีย ในประเทศไทย ปลูกมากที่จังหวัดชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช (นพพร, 2542)

การจำแนกพันธุ์

การจำแนกพันธุ์มะพร้าวมีผู้จำแนกไว้หลายแบบซึ่งแตกต่างกันไป หลักที่ใช้ในการจำแนกพันธุ์มักจะเป็นขนาดของต้น อายุตกผล และขนาดผล พันธุ์มะพร้าวไทยออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกัน คือ มะพร้าวพันธุ์ต้นสูง และต้นเตี้ย (พานิชย์, 2544)

1. มะพร้าวพันธุ์ต้นสูง ลักษณะสำคัญคือ ต้นสูง ออกผลช้า มีสะโพกที่โคนต้น ส่วนมากเป็นมะพร้าวที่ปลูกเพื่อใช้น้ำมันในเนื้อมะพร้าวสำหรับประกอบอาหาร หรือใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มักเป็นพันธุ์ต้นสูง พวกนี้มักมีอายุยืน (60-80 ปี หรือมากกว่านั้น) ขึ้นอยู่กับสภาพดิน มักจะต้านทานต่อโรคและแมลงยกเว้นพวกไวรัสที่ทำให้เกิดโรคบางชนิด จะเริ่มติดผลเมื่ออายุประมาณ 8-10 ปีหลังปลูก ในกลุ่มนี้จะแยกพันธุ์ตามสถานที่ที่ขึ้นอยู่ หรือลักษณะของผลที่เห็นเด่นชัด เช่น มะพร้าวหัวลิง ทะลายร้อย ปากจก เปลือกหวาน มะพร้าวใหญ่ มะพร้าวกะโหลก เป็นต้น

2. มะพร้าวพันธุ์ต้นเตี้ยเป็นพันธุ์ออกผลเร็ว ต้นเตี้ยไม่มีสะโพก พันธุ์พวกนี้มักจะติดดอกออกผลในช่วง 3-4 ปีหลังจากปลูก ผลผลิตจะออกเต็มที่ในช่วง 9-10 ปี อายุการให้ผลที่ระดับเศรษฐกิจอยู่ประมาณ 30-40 ปี สีของผลจะมีทั้งสีเหลือง ทอง สีเหลืองงาช้าง สีเขียว สำหรับผลของพันธุ์ต้นเตี้ยจะมีทั้งขนาดผลเล็กและผลใหญ่ พันธุ์ผลเล็กที่สุดในกลุ่มนี้คือ Coco Nino ในฟิลิปปินส์ ซึ่งปัจจุบันมีการนำไปปลูกกระจายทั่วไปทุกส่วนของโลก มะพร้าวพันธุ์ต้นเตี้ย ได้แก่ มะพร้าวหมูสี หมูสีเขียว ทุ่งเคล็ด หมูสีเหลือง มะพร้าวไฟ ปะทิว มะพร้าวอ่อน นกคุ้ม ฯลฯ

หนึ่งในมะพร้าวต้นเดี่ยวที่น่าสนใจมากเป็นพิเศษในปัจจุบันคือมะพร้าวอ่อนน้ำหอม ซึ่งเป็นที่ชื่นชอบของผู้คนภายในประเทศและชาวต่างประเทศ ที่เดินทางเข้ามาท่องเที่ยวในประเทศไทย นอกจากนั้นในปัจจุบันยังมีการส่งออกไปขายในต่างประเทศอีกด้วย มะพร้าวอ่อนน้ำหอมนั้นได้รับการคัดเลือกพันธุ์มาจากธรรมชาติมาเป็นเวลาช้านาน มีคุณสมบัติแตกต่างจากมะพร้าวทั่วไปหลายประการ โดยเฉพาะความหอมหวานของน้ำมะพร้าวอันเป็นคุณสมบัติพิเศษที่แยกจากออกมาจากมะพร้าวทั่วไป อีกประการหนึ่งคือ การบานของดอกตัวผู้และดอกตัวเมียของมะพร้าวน้ำหอมอยู่ในระยะเวลาเดียวกัน ทำให้การผสมพันธุ์ของมะพร้าวน้ำหอมอยู่ในระยะเวลาเดียวกันทำให้การผสมพันธุ์ของมะพร้าวน้ำหอมเกิดการผสมตัวเองแทนที่จะเป็นการผสมแบบข้ามต้นแบบมะพร้าวต้นสูงทำให้มะพร้าวน้ำหอมไม่ค่อยมีการกลายพันธุ์ จะคงคุณลักษณะน้ำหอมไว้ได้ค่อนข้างดี

มะพร้าวน้ำหอมนั้นจัดเป็นมะพร้าวพันธุ์หนึ่ง แต่ในมะพร้าวน้ำหอมด้วยกันยังแยกเป็นชนิดเป็นชนิดได้อีก 3 ชนิด (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2531) มีลักษณะและขนาดของผลแตกต่างกัน ส่วนด้านความหวานและความหอมของน้ำใกล้เคียงกัน ไม่มีชนิดใดเหนือกว่าอย่างชัดเจน มะพร้าวน้ำหอมทั้ง 3 ชนิด ได้แก่

2.1 มะพร้าวน้ำหอมชนิดผลยาวหรือผลเล็ก มะพร้าวน้ำหอมชนิดนี้มีขนาดผลเล็ก ลักษณะผลยาวรี ผลภายในหัวท้ายแหลม ทรงผลไม่สวยงาม

2.2 มะพร้าวน้ำหอมชนิดผลกลม มะพร้าวน้ำหอมชนิดนี้เป็นขนาดผลใหญ่ที่สุดในบรรดามะพร้าวน้ำหอมด้วยกันคือใหญ่ทั้งขนาดภายนอกและขนาดภายใน มะพร้าวชนิดนี้มีผลกลม มีเปลือกบางกว่ามะพร้าวน้ำหอมชนิดอื่น ปัจจุบันนิยมผลิตมะพร้าวชนิดนี้มาก เนื่องจากตัดแต่งผลได้ง่ายและสวยงามกว่ามะพร้าวน้ำหอมชนิดอื่น ๆ

2.3 มะพร้าวน้ำหอมชนิดผลรีหรือชนิดก้นจีบเป็นมะพร้าวน้ำหอมที่มีลักษณะกึ่งกลางระหว่างมะพร้าวผลยาวกับมะพร้าวผลกลมขนาดผลของมะพร้าวน้ำหอมชนิดก้นจีบมีขนาดใหญ่พอสมควร ถึงขนาดผลจะมีขนาดใหญ่ไม่เท่ากับพันธุ์ลูกผสมก็ตาม

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะพร้าว

มะพร้าวสามารถแบ่งตามหลักทางพฤกษศาสตร์ (พร, 2541) ได้เป็น 6 ส่วน คือ

1. ราก (Roots) มะพร้าวเป็นพืชยืนต้นชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว มีระบบรากแบบรากฝอย (fibrous root system) ซึ่งรากมะพร้าวที่ทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวลำต้น ดูดซึมน้ำและธาตุอาหารต่าง ๆ จำนวนรากและขอบเขตของรากจะผันแปรเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับลักษณะประจำพันธุ์ อายุพืช ชนิด ดิน ปริมาณน้ำใต้ดิน และความอุดมสมบูรณ์ของดิน

2. ลำต้น (Stem) มะพร้าวที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ลำต้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนแรกเป็นส่วนของลำต้นที่อยู่ในดินมีลักษณะทรงกรวยคว่ำ พร้อมทั้งมีรากใหญ่เจริญออกมาโดยรอบ เรียกส่วนของลำต้นที่อยู่ในดินนี้ว่า bole ลำต้นส่วนที่สองคือ ลำต้นที่อยู่เหนือผิวดินขึ้นมาที่เรียกว่า trunk ลำต้นมะพร้าวในส่วนนี้มีรูปร่างลักษณะเป็นกระบองทรงสูง แต่ตอนส่วนโคนต้นที่อยู่เหนือพื้นดินเล็กน้อยมีลักษณะคล้ายตะโพก และมีขนาดใหญ่กว่าส่วนลำต้นที่อยู่สูงขึ้นไป ที่ส่วนยอดสุดของลำต้นมะพร้าวจะมีตาอยู่เพียงตาเดียวเท่านั้น ที่จะเจริญเติบโตเป็นลำต้น ใบ และช่อดอก

3. ใบ (Leaves) ใบมะพร้าวมีชื่อเรียกเฉพาะว่า fronds ซึ่งเป็นใบประกอบแบบ pinnately compound leaf ที่เกิดจากตาส่วนยอดของต้น และรวมกันอยู่เป็นกระจุก ปลายใบกระจายออกเป็นรัศมีรอบ ๆ ลำต้น โดยจำนวนใบที่คงอยู่บนลำต้นและอัตราการสร้างใบของมะพร้าวในแต่ละปีนั้นใช้เป็นเครื่องวัดความเจริญเติบโตของมะพร้าวได้เป็นอย่างดี กล่าวคือถ้าสภาพแวดล้อมเหมาะสม มะพร้าวที่มีการเจริญเติบโตดี จะสร้างจำนวนใบได้มากและมีใบสดติดอยู่บนลำต้นได้มากด้วย

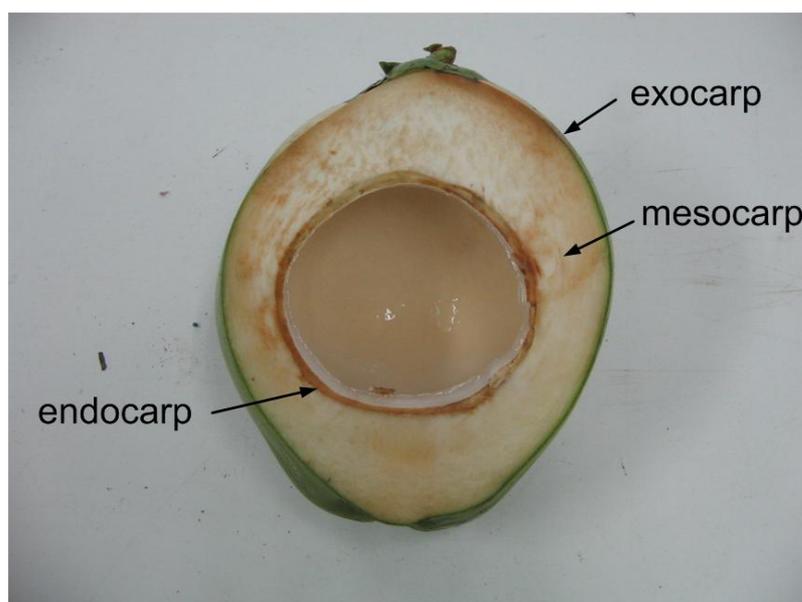
4. ช่อดอก (Inflorescence) มะพร้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ช่อดอกจะมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่แยกกัน แต่ดอกทั้งสองชนิดอยู่ในช่อดอกเดียวกัน ลักษณะประจำพันธุ์ของมะพร้าวจะเป็นสิ่งกำหนดระยะเวลาการออกดอก มะพร้าวพันธุ์ต้นสูงจะออกดอกเมื่ออายุประมาณ 6 ปี แต่มะพร้าวพันธุ์เตี้ย หรือพันธุ์ลูกผสมจะออกดอกเมื่ออายุประมาณ 4-5 ปี

5. ผล (Fruit) ผลมะพร้าวจะมีขนาดโตเต็มที่หลังจากที่มีการผสมเกสรแล้ว 6 เดือน และหลังจากนั้นอีก 6 เดือน ผลก็จะสุกแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยว ลักษณะของผลเป็นแบบ fibrous drups ที่เรียกกันว่า nut ขนาดของผล สีของผลจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะประจำพันธุ์ ผลของมะพร้าวหรือเปลือกมะพร้าวนี้ประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ 3 ชั้น (ภาพที่ 1) คือ

5.1 Exocarp คือ เปลือกนอกสุดของผลเป็นแผ่นของเส้นใยที่เหนียวและแข็ง เมื่อผลแก่จะมีสีเขียว แดง หรือเหลืองตามลักษณะประจำพันธุ์ สำหรับผลที่แก่และแห้งจัดจะมีสีน้ำตาลเข้ม

5.2 Mesocarp เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากเปลือกนอกเข้ามา เมื่อผลยังอ่อนมีลักษณะอ่อนนุ่มบางพันธุ์อาจมีรสหวานรับประทานได้ แต่เมื่อผลแก่จะกลายเป็นชั้นของเส้นใยที่เรียกว่า กาบมะพร้าว (coir) ซึ่งชั้นนี้จะหนาประมาณ 4-8 เซนติเมตร (ตามแต่พันธุ์)

5.3 Endocarp เป็นชั้นในสุดที่มีกาบมะพร้าวหุ้มล้อมรอบ เมื่อผลแก่จะมีลักษณะแข็งสีน้ำตาลดำ ที่เรียกว่า กะลา (husk or shell) ซึ่งผิวหนังนอกของกะลาจะมีสันนูน 3 สัน ที่กะลาด้านที่อยู่ทางขั้วของผลจะมีตาอยู่ 3 ตา carpel ละ 1 ตา โดยมีตาแข็ง 2 ตา และตานิ่มอันใหญ่ 1 ตา ตานิ่มนี้จะอยู่บนส่วนของกะลาอันใหญ่ที่สุด เมื่อมะพร้าววงอกหน่อออกมา ต้นอ่อนจะแทงทะลุผ่านตานิ่มอันนี้



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของผลมะพร้าว

6. เมล็ด (Seed) เมล็ดมะพร้าวคือชั้นที่อยู่ถัดจากกะลาเข้าไป (นพรัตน์, 2536) มีเปลือกเมล็ดสีดำหรือสีน้ำตาล (seed coat) มีชั้นเนื้อมะพร้าว (endosperm) ซึ่งมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 1-2 เซนติเมตร น้ำมะพร้าว (liquid endosperm) และส่วนที่เป็นต้นอ่อน (embryo)

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

น้ำฝน ควรมีฝนตกกระจายสม่ำเสมอไม่น้อยกว่า 1,500 มิลลิเมตรต่อปี และไม่ควรมีฝนตกน้อยกว่า 50 มิลลิเมตร เกิน 3 เดือน

อุณหภูมิ อุณหภูมิเฉลี่ย 27 องศาเซลเซียส จะสูงหรือต่ำกว่านี้ไม่เกิน 7-8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิไม่ควรเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน

แสงแดด มะพร้าวควรได้รับแสงแดดอย่างน้อย 5 ชั่วโมงต่อวัน แสงแดดต้องสอดคล้องอย่างสม่ำเสมอตลอดปี ควรมีลมพัดอ่อน ๆ แต่พัดอย่างสม่ำเสมอ

ดิน ไม่เปรี้ยวหรือเค็มจัดมีความอุดมสมบูรณ์เพียงพอ และความชื้นพอเหมาะ แต่ถ้าเป็นดินที่เกิดจากน้ำพัดพามาสะสม เช่น ดินริมแม่น้ำ จะปลูกมะพร้าวได้ดีที่สุด

ประโยชน์ของมะพร้าว

คนไทยใช้ประโยชน์จากทุกส่วนของมะพร้าว เช่น ผลอ่อนใช้รับประทานสด (น้ำและเนื้อ) เนื้อมะพร้าวจากผลแก่นำไปปรุงอาหารและขนมหลายชนิด และใช้สกัดน้ำมัน กากที่เหลือใช้เลี้ยงสัตว์ น้ำมันมะพร้าวใช้ประกอบอาหาร เนยเทียม และสบู่ เปลือกมะพร้าวนำไปแยกเอาเส้นใยใช้ทำเชือก วัสดุทำเบาะและที่นอน ขุยมะพร้าวใช้ทำวัสดุเพาะชำต้นไม้ กะลาใช้ทำภาชนะ ตักดวงของเหลว (กระจำ กระบวย ฯลฯ) ทำกระดุม เครื่องประดับ เครื่องดนตรี (ซอฮู้) ทำเชื้อเพลิง และถ่านกัมมันต์ (มีคุณสมบัติในการดูดซับสูง) ใบมะพร้าวทั้งอ่อนและแก่ ตลอดจนก้านใบใช้มุงหลังคา เครื่องจักรสาน ไม้กวาดทางมะพร้าว ใช้ทำรั้วและเชื้อเพลิง ถ้ำดินแก่ใช้ในการก่อสร้างประดิษฐ์เครื่องเรือน ขอดอ่อนใช้เป็นอาหาร จั่น (ช่อดอก) มีน้ำหวานรองมาดื่มเป็นน้ำผลไม้หรือทำน้ำตาลหมักทำเหล้า รากใช้ทำยา สีย้อมผ้า และเชื้อเพลิง แต่อย่างไรก็ตามการปลูกมะพร้าวโดยทั่วไปก็เพื่อนำเอาเนื้อมะพร้าวไปประกอบอาหารและสกัดเอาน้ำมันเช่นเดียวกับปาล์ม

ลักษณะและการเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อน

การสังเกตการสุกแก่ของมะพร้าว

วิธีการที่สามารถใช้สังเกตอายุการเก็บเกี่ยวมะพร้าวที่เหมาะสม (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2531) ได้แก่

1. นับทะลาย นับทะลายที่จะเก็บเกี่ยวเป็นทะลายที่หนึ่ง แล้วนับทะลายที่ออกตามมาเป็นทะลายที่สองและสามไปเรื่อย ๆ เมื่อจันท์ 12 ทะลอกและกาบหุ้มยังไม่แตกเป็นระยะที่มะพร้าวทะลายแรกอยู่ในช่วงที่อ่อนกำลังดี

2. สังเกตจากหางหนู มะพร้าวที่มีอายุผลมาก จนกะลามีสีดำหางหนูจะแห้งตั้งแต่ขั้วผลไปจนจดปลาย มะพร้าวอ่อนหางหนูแห้งครึ่งหนึ่ง ส่วนอีกครึ่งหนึ่งยังสดอยู่ วิธีนี้อาจคลาดเคลื่อนได้ในฤดูร้อนที่แดดจัดมาก ๆ เพราะหางหนูอาจแห้งก่อนกำหนด

3. สังเกตจากสีผล บริเวณรอยต่อของขั้วกับตัวผลของผลมะพร้าวอ่อนจะมีสีขาวเป็นวงรอบขั้วผล ถ้าสีขาวยังเป็นวงกว้างก็แสดงว่ามะพร้าวยังอ่อนอยู่มาก ต่อเมื่อส่วนสีขาวบริเวณรอยต่อเหลือเพียงเล็กน้อยพอเป็นวงรอบขั้วก็แสดงว่าได้ระยะเก็บเกี่ยวพอดี



ภาพที่ 2 การสังเกตสีของผลมะพร้าว

การเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อน

การเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อนในระยะที่เหมาะสมจะได้ผลมะพร้าวที่มีคุณภาพดี คือน้ำมีรสหวาน และมีรสอมเปรี้ยว (พานิชย์, 2544) นอกจากนี้ยังไม่มีการสร้างเนื้ออีกด้วย ในการเก็บเกี่ยวชาวสวนจะแบ่งผลมะพร้าวออกเป็น 3 ประเภทโดยดูจากความหนาของเนื้อเป็นเกณฑ์ คือ

1. มะพร้าวชั้นเดียว ผลมะพร้าวมีอายุหลังจากจั่นบานประมาณ 170 วัน น้ำมะพร้าวยังไม่หวาน วัดความหวานได้ประมาณ 5.0 – 5.6 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ มะพร้าวเริ่มสร้างเนื้อภายในระยะเวลาเกิดเนื้อมะพร้าวจะเกิดบริเวณก้นผลก่อน แล้วจะหนาขึ้นไปเรื่อย ๆ จนถึงหัวผล เนื้อจะมีลักษณะเป็นวุ้นบาง ๆ ประมาณครึ่งผล เมื่อเปิดส่วนก้นแล้วมองลงไปตรง ๆ ไปที่ส่วนหัวของมะพร้าว จะมองเห็นกะลาสีเหลืองอ่อนได้อย่างชัดเจนไม่เหมาะในการบริโภค

2. มะพร้าวชั้นครึ่ง ผลมะพร้าวมีอายุหลังจากจั่นบานประมาณ 180 – 185 วัน น้ำเริ่มหวานขึ้น วัดความหวานได้ประมาณ 6.0 – 6.6 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ มะพร้าวเริ่มสร้างเนื้อมากขึ้นจนเกือบเต็มกะลา แต่บริเวณส่วนขึ้นของผลยังคงมีลักษณะเป็นวุ้นอยู่บ้าง มะพร้าวชนิดนี้ยังถือว่าอ่อน ไม่เหมาะแก่การขายทั้งผล แต่เหมาะสำหรับบรรจุแก้วใสในตู้เย็น ชนิดที่แต่ละแก้วมีทั้งน้ำทั้งเนื้ออยู่ด้วยกัน อย่างไรก็ตามมีผู้บริโภคบางรายชอบบริโภคมะพร้าวแบบชั้นครึ่งนี้เหมือนกัน

3. มะพร้าวสองชั้น ผลมีอายุหลังจากจั่นบานประมาณ 200 – 210 วัน น้ำมีรสหวาน วัดความหวานได้ 6.6 – 7.0 เปอร์เซ็นต์บริกซ์ มะพร้าวที่มีเนื้อหนาอ่อนนุ่ม เต็มผลแต่ยังไม่แก่จนเกินไป หรือไม่แก่จนเนื้อภายในแข็ง สามารถบริโภคเนื้อได้ทั้งผล ส่วนใหญ่ชาวสวนจะเก็บเกี่ยวมะพร้าวในช่วงนี้

คุณภาพของมะพร้าวอ่อนที่มีวัยหรือความแก่ที่เหมาะสม ย่อมทำให้ได้ผลที่มีคุณภาพดี เพราะวัยของผลมะพร้าวที่เก็บเกี่ยวมานั้น มีผลโดยตรงต่อคุณภาพในการรับประทาน ปราโมทย์ (2547) รายงานว่าระยะการเจริญเติบโตของผลมะพร้าวอ่อน มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเปลือกของผลมะพร้าวหนึ่งชั้น ชั้นครึ่ง และสองชั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88.9, 87.4, 82.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ความชื้นเปลือกของผลมะพร้าวอ่อนนั้นจะลดลง เมื่อผลมะพร้าวมีอายุการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น การเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อนเพื่อการบริโภคสดนั้น หากเก็บเกี่ยวผลที่มีวัยอ่อนหรือแก่เกินไป ย่อมทำให้คุณภาพของผลลดลงโดยการเก็บเกี่ยวผลอ่อนเกินไปจะทำให้ น้ำมะพร้าวมีรสเปรี้ยว

ส่วนการเก็บเกี่ยวผลแก่เกินไปเนื้อจะแข็ง กลิ่นเปลี่ยนไป โดยทั่วไปมะพร้าวอ่อนที่มีคุณภาพดี คือมะพร้าวที่เก็บเกี่ยวเมื่อการพัฒนาของเนื้อประมาณชั้นครึ่งถึง 2 ชั้น เพราะช่วงอายุการเก็บเกี่ยวดังกล่าวมะพร้าวจะมีกลิ่นหอม รสหวานกลมกล่อม และเนื้อนุ่ม เว้นแต่พวกชั้นครึ่งจะมีน้ำออกเปรี้ยวเล็กน้อย โดยเฉลี่ยมะพร้าวอ่อนที่เก็บสดมีรสหวานไม่เปรี้ยวจะมีความหวานตั้งแต่ 7% ขึ้นไป สัดส่วนความหวาน/กรดสูงกว่า 95 สำหรับมะพร้าวชั้นครึ่งและชั้นเดียว ความหวานของน้ำจะใกล้เคียงกันประมาณ 6 – 7 % แต่สัดส่วนความหวาน / กรดจะอยู่ระหว่าง 75 - 90 และต่ำกว่า 75 ตามลำดับ หากสัดส่วนระหว่างความหวาน/กรดยิ่งน้อยน้ำมะพร้าวจะยิ่งเปรี้ยว ดังนั้นสำหรับการส่งออกแล้วควรเก็บมะพร้าวที่มีความแก่เมื่อเนื้อได้ขนาดชั้นครึ่งถึง 2 ชั้น

ขั้นตอนปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว

การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเป็นการปฏิบัติหลังจากเก็บมะพร้าวมาจากต้น รักษาความสดและคุณภาพให้ดีที่สุดจนถึงมือผู้บริโภค (เบญจมาศ, 2548) ซึ่งขั้นตอนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อการส่งออกมีดังนี้

1. การเก็บเกี่ยว การเก็บเกี่ยวมะพร้าวเพื่อรับประทานผลอ่อน โดยปกตินิยมใช้คนปีนขึ้นไปเก็บผลมะพร้าวจะเก็บเกี่ยวเป็นทะลาย โดยต้องใช้คนที่มีความชำนาญและต้องทำด้วยความประณีต ใช้มีดตัดโคนจั่น แล้วใช้เชือกผูกทะลายแล้วหย่อนลงพื้นผลจะไม่กระทบกระเทือน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการชอกช้ำ ทั้งนี้เพราะมะพร้าวที่จำหน่ายภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศส่วนใหญ่จะปอกเปลือกเขียวออกแล้วแต่งผลให้ได้รูปทรง ซึ่งนอกจากจะช่วยให้แกะรับประทานได้ง่ายแล้วยังเป็นที่ดึงดูดความสนใจของผู้ซื้อซึ่งมากกว่ามะพร้าวเปลือกอ่อนที่มีเปลือกเขียวทั้งผล หากขั้นตอนการเก็บเกี่ยวขาดความระมัดระวัง ผลมะพร้าวอ่อนจะช้ำและเน่าในเวลาต่อมา ทำให้ส่งออกไม่ได้

2. การขนย้ายผลผลิตออกจากสวน การขนย้ายผลมะพร้าวอ่อนออกจากสวน เพื่อนำมาเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อการส่งออกนั้น ต้องรวดเร็วเพื่อรักษาคุณภาพผลให้สด การขนส่งผลผลิตอาจใช้รถกระบะหรือรถบรรทุกก็ได้ แต่ระวังอย่าให้เกิดการช้ำที่เปลือกต้องระวังระแ่งทะลายที่มแทงผลที่อยู่ใกล้จนเกิดความเสียหาย ขณะขนส่งระยะทางไกล ๆ ควรมีผ้าคลุมป้องกันแสงแดดจัด

3. การทำความสะอาดผล ปกติหลังจากนำมะพร้าวออกจากสวน จะตัดผลมะพร้าว ออกจากทะลายทีละผล คัดแยกผลไม่สมบูรณ์ มีตำหนิ เป็นโรคและผลเล็กออก นำน้ำสะอาดมา ล้างขจัดสิ่งสกปรก เพ็ลี่ยหอยและเพ็ลี่ยแปงออกจากผลใช้ผ้าสะอาดเช็ดผลให้แห้ง

4. การตัดแต่งผล มะพร้าวอ่อนที่จะหน่ายในตลาดภายในประเทศและต่างประเทศ ต้องได้รับการตัดแต่งผลให้สวยงามได้รูปทรงตามตลาดต้องการ (ภาพที่ 3) นิยมทำกัน 2 แบบ คือ

4.1 มะพร้าวควั่น เป็นการตัดแต่งให้มะพร้าวให้มีรูปทรงสวยงาม นำรับประทาน และสะดวกในการจัดวางผล ซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

4.1.1 ปอกเฉพาะเปลือกสีเขียวออกบ้างเป็นการปอกเปลือกอย่างหยาบ ๆ เพื่อให้ เนื้อเปลือกง่ายเรียกว่า “การพูน” เพื่อตัดแต่งรอยชำ ตำหนิ และรอยแผลออกแต่อย่าพูนให้ถึงกะลา จะไม่สวยงาม

4.1.2 เนื้อเปลือกอีกครึ่ง ให้ทรงผลเป็นรูปทรงกระบอก ด้านหัวสอบลงเล็กน้อย ขั้นตอนนี้เรียกว่า “การกลิ้ง”

4.1.3 ตัดหัวผลให้เสมอ เพื่อให้ผลมะพร้าวตั้งอยู่ได้ไม่ล้ม ด้านก้นมีลักษณะ ปลายแหลมเป็นรูปกรวยป้าน เพื่อสะดวกในการเฉพาะผลรับประทาน

4.2 มะพร้าวเจียน เป็นมะพร้าวที่ต้องเนื้อทั้งเปลือกนอกเปลือกในลอกให้ถึงกะลา เหลือเฉพาะส่วนหัวผลไว้เล็กน้อย นำไปขจัดกะลาจนเรียบโดยใช้เครื่องเจียน การเจียนมะพร้าว ทำให้น้ำหนักการส่งออกต่อผลเหลือเพียง 500 – 600 กรัม จากมะพร้าวควั่นปกติ 1,000 – 1,200 กรัมต่อผล ทำให้ประหยัดค่าขนส่งไปยังตลาดต่างประเทศ

5. การรักษาสีผิวผลและการป้องกันเชื้อราบนผลมะพร้าว เมื่อควั่นมะพร้าวได้รูปตรงตาม ความต้องการแล้ว ประมาณ 10 นาที จะมียางชนิดหนึ่งทำปฏิกิริยากับอากาศ เปลือกมะพร้าว จะเป็นสีน้ำตาล (browning reaction) ทำให้ไม่สวยงาม นอกจากนี้ยังมีโอกาสติดเชื้อราจึงต้องผ่าน การแช่สารป้องกันเชื้อราขึ้นบนผิวมะพร้าว ได้แก่ สาร Benzimidazole หรือ Thiabendazole ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร หรือ 0.5 เปอร์เซ็นต์ แช่ผลที่ปอกเปลือกแล้ว 3 นาที ผึ่งลมให้แห้ง

หรือนำผลที่ล้างเรียงกันใช้พัดลมเป่าให้แห้ง การป้องกันรักษาผิวทำไปพร้อมกับการป้องกันเชื้อราขึ้นผลผลิตผล โดยใช้สารป้องกันการเปลี่ยนสีผิวเป็นสีน้ำตาลผสมกับยากำจัดเชื้อรา Sodium metabisulphite 2-3 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับ Thiabendazol 0.5 กรัมต่อลิตร แช่ผลปอกเปลือกแล้ว 3 นาที นำมาหึ่งลมให้แห้งผิวมะพร้าวจะขาวอยู่ได้นาน



ภาพที่ 3 ลักษณะของมะพร้าวควั่น (ซ้าย) มะพร้าวเจียน (ขวา)

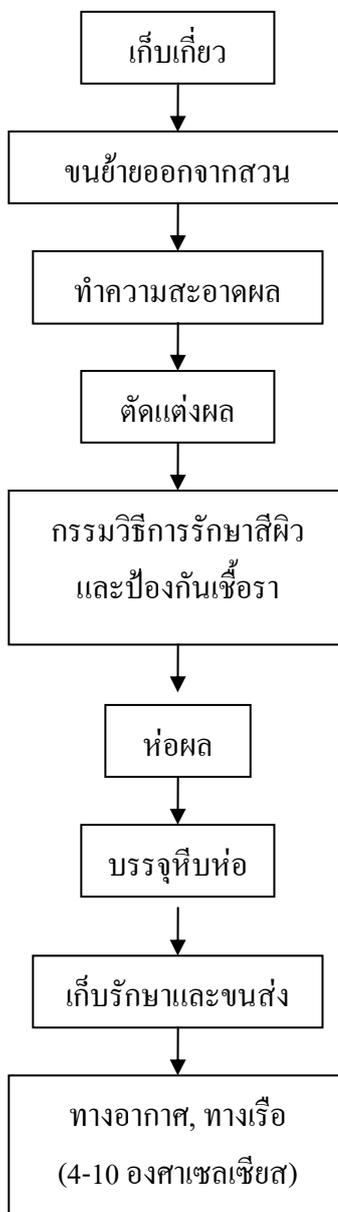
ผลมะพร้าวที่ตกกระทบพื้นหรือกระทบกันเอง เมื่อปอกผลจะพบว่า เปลือกมะพร้าวส่วนที่เป็นสีขาวจะข้ำและมีสีน้ำตาล จริงแท้ (2546) พบว่าการตกกระทบเพียง 50 ซม. รอยข้ำสีน้ำตาลนี้ กินลึกเข้าไปถึงกะลาและการแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ไม่สามารถฟอกสีน้ำตาลที่เกิดจากการข้ำกลับไปขาวอีก

6. การห่อหุ้มผล มะพร้าวที่ผ่านการแช่สารเคมีป้องกันผิวเป็นสีน้ำตาล และสารป้องกันกำจัดเชื้อรานำมาหึ่งลมจนแห้ง แล้วนำผลมาบรรจุลงถุงพลาสติกมัดปากถุงให้แน่นเพื่อให้เก็บรักษาผลได้นานขึ้น ใช้จำหน่ายภายในประเทศ การส่งออกต่างประเทศนั้นต้องมีการห่อหุ้มผลอีกครั้งหนึ่ง คือ นำผลมาห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC stretch film) เป็นฟิล์มชนิดที่ใช้ห่อหุ้มผลไม้ป้องกันการแห้งของผล และการปนเปื้อนเชื้อราที่ติดผิวที่ปอกเปลือกออกแล้ว ทำให้ผิวสวยรักษาความสดของผลมะพร้าวได้ และช่วยลดไอน้ำที่เกิดจากการควบแน่นระหว่างเก็บรักษา การขนส่งหรือจำหน่าย

7. การบรรจุหีบห่อ นำผลที่ผ่านการห่อหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก PVC แล้ว บรรจุลงในกล่องกระดาษลูกฟูก ซึ่งต้องมีความแข็งแรงป้องกันการกระแทกทำให้ผลชำรุดหนึ่งกล่องบรรจุได้ 9 ผล แต่ถ้าเป็นมะพร้าวอ่อนที่ส่งไปยังประเทศสิงคโปร์จะบรรจุลงในถุงพลาสติกใสก่อน โดยบรรจุ 30 ผลต่อกล่อง รัดปากถุงให้แน่น แล้วบรรจุลงในกล่องโฟมอีกครั้งหนึ่ง ส่วนมะพร้าวเจียนต้องคัดเกรดตามขนาดของผล คือ 20 24 30 และ 40 ผลต่อกล่อง โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางผลตั้งแต่ 7-10 เซนติเมตร มะพร้าวเจียนสามารถบรรจุลงในตู้คอนเทนเนอร์ได้ ประมาณ 40,000-50,000 ผลต่อตู้ ขณะที่มะพร้าวควั่นจัดเรียงบนตู้คอนเทนเนอร์ได้ประมาณ 27 แถว ๆ ละ 60 กล่อง บรรจุได้ประมาณ 18,000-20,000 ผล ขึ้นอยู่กับขนาดของมะพร้าวและภาชนะบรรจุ ซึ่งต้องระบุชื่อพันธุ์มะพร้าว เกรด จำนวนผลต่อกล่อง น้ำหนักสุทธิ แหล่งผลิต ต้องระบุอุณหภูมิในการเก็บรักษา บอกวันผลิต วันหมดอายุ

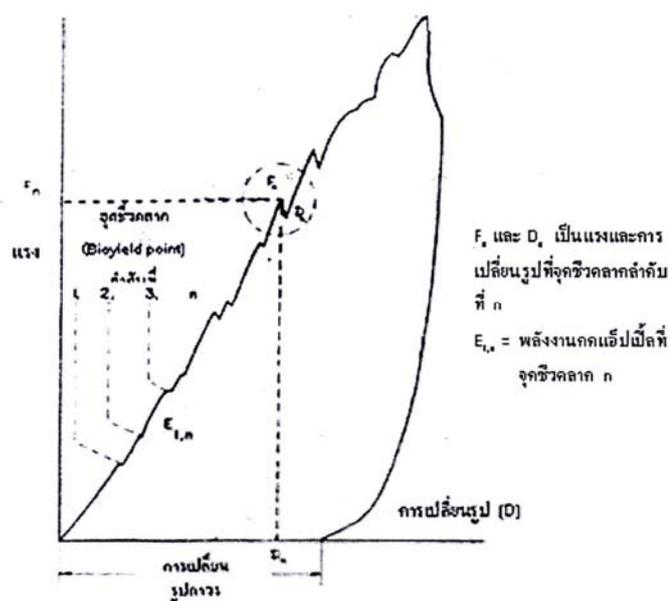
8. การเก็บรักษาและการขนส่งมะพร้าวอ่อนที่จะส่งออกทางเรือ โดยบรรจุทุกในตู้ปรับอุณหภูมิหรือจะเก็บรักษานั้นควรเป็นมะพร้าวที่เก็บมาใหม่ ๆ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลที่มีคุณภาพดี เก็บรักษาได้นานส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขนส่งนั้นอยู่ระหว่าง 4-10 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นกับรูปแบบของการขนส่ง ในกรณีที่ส่งออกในลักษณะแต่งเปลือกเขียวออกหมดจะเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้นานถึง 4 สัปดาห์ โดยยังมีความสดสามารถวางจำหน่ายและมีคุณภาพภายในดี มะพร้าวอ่อนที่มีการแต่งเปลือกเขียวก่อนบางส่วน จำเป็นต้องเก็บที่อุณหภูมิสูงขึ้น คือที่ 10 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันความเสียหายจากความเย็น (chilling injury) ที่เปลือกเขียว อาการผิดปกติดังกล่าวในระยะเริ่มต้นจะเป็นจุดสีน้ำตาลเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไปและจะขยายใหญ่มาจนทำให้เปลือกเป็นสีน้ำตาล หากถึงที่อุณหภูมิที่ต่ำเกินไป สำหรับการส่งออกทางอากาศนั้น ภายหลังบรรจุหีบห่อแล้วก็ขนส่งได้เลย แต่เมื่อถึงปลายทางยังไม่จำหน่ายควรเก็บในอุณหภูมิต่ำ ในการเก็บรักษามะพร้าวอ่อนนอกจากเรื่องของอุณหภูมิในการเก็บรักษาแล้ว การรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอเป็นสิ่งสำคัญ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการควบแน่นของไอน้ำ ซึ่งผลจะทำให้เกิดเชื้อราแล้วหยดน้ำที่เกิดการควบแน่นจะชะสารรักษาสีที่ผิวของผลมะพร้าวออก ทำให้สีผิวเปลี่ยนแปลงเป็นสีคล้ำลงได้

กระบวนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อนสามารถสรุปขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังนี้



การช้ำของผลไม้ (Bruising)

การช้ำ (Bruising) เป็นความเสียหายที่เกิดกับเนื้อเยื่อของพืช โดยแรงภายนอกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในเนื้อสัมผัส หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของ สี กลิ่น และเนื้อสัมผัส (Mohsenin, 1996) รอยช้ำถูกนิยามว่าเป็นปริมาตรของเนื้อเยื่อที่เปลี่ยนแปลงไปได้ผิว ซึ่งเปลี่ยนสีไปและนิ่ม การช้ำมีสาเหตุจากการกด, การกระแทก และการสั่นสะเทือน ในระหว่างการเก็บเกี่ยว การขนส่ง การเก็บรักษา และการกระจายสินค้าต่อผู้บริโภค การกระแทกเป็นสาเหตุที่สำคัญมากที่สุดที่ทำให้เกิดการช้ำ แต่การกดที่ให้พลังงานกับผลไม้มากเกินไปก็จะทำให้เกิดความเสียหายเช่นเดียวกับการกระแทกซ้ำแล้วซ้ำอีก สำหรับการช้ำในผลแอปเปิ้ล รอยช้ำเริ่มต้นเกิดเป็นรอยสีน้ำตาลคล้ายใบไถจนหายเข้าหาบริเวณผิวสัมผัสมองตั้งฉากกับผิวที่ Section เห็นเป็นชั้นสีน้ำตาลในรอยช้ำนี้เซลล์แตกตัว ซึ่งการแตกตัวของเซลล์ได้รับการยืนยันโดยเทคนิค Scanning Electron Microscope (Jarimopas, 1984; Ruiz – Altisent, 1991) เนื้อแอปเปิ้ลระหว่างชั้นสีน้ำตาลไม่เสียหาย รอยช้ำที่เกิดสอดคล้องกับการเกิดจุดชีวคลาก (Bioyielding) บนกราฟแรงและการเปลี่ยนรูป (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 กราฟแรงและการเปลี่ยนรูปของแอปเปิ้ลพันธุ์ Golden Delicious เมื่อถูกกดสัมผัสเกือบสถิต

ที่มา: Jarimopas (1984)

ความเสียหายเชิงกลในผลไม้มั้ไทยยังพบได้ในชมพู่และเงาะ บัณฑิต และคณะ (2548ก) ได้ทำการทดสอบบรรจุภัณฑ์ขายส่งเงาะในปัจจุบันที่ก่อให้เกิดความเสียหายระหว่างการขนส่ง การเขย่าทำให้ผลเงาะเกิดการเสียดสีและชนกันระหว่างผลเกิดความเสียหายซึ่งปรากฏชัดที่ขน เปลี่ยนเป็นสีดำ ความเสียหายจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น บัณฑิต และคณะ (2548ข) ได้รายงานถึงความเสียหายของชมพู่ในบรรจุภัณฑ์ขายส่ง โดยทำการจำลองการขนส่งด้วยการเขย่า บรรจุภัณฑ์ 3 แบบ คือ กล่องกระดาษลูกฟูกภายในบรรจุผลชมพู่ที่หุ้มและไม่หุ้มโฟมตาข่าย และ ตะกร้าพลาสติกทรงเข่งบรรจุชมพู่หุ้มโฟมตาข่าย ด้วยเครื่องจำลองการสั่นสะเทือนระหว่างการขนส่งที่ความถี่ 4 Hz นาน 1 ชม. พบว่าชมพู่จะช้ำและถลอก ความช้ำของผลชมพู่ในกล่อง ลูกฟูกมีค่าสูงพอ ๆ กับในตะกร้าพลาสติก กล่องลูกฟูกที่บรรจุผลชมพู่ผลชมพู่ที่ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายมีความเสียหายน้อยที่สุด คือ ช้ำ 53.5%, ถลอก 2.3%

การทดสอบการกด (Compression test)

ปัจจุบันนิยมใช้เครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ในการศึกษาความเสียหายเชิงกล ได้แก่ การช้ำจากการกด ผู้ทดสอบสามารถเลือกอัตราการกระทำได้ตามมาตรฐาน ASAE ที่ 2.5 – 30 มม./นาที่ (ASAE, 1994) เครื่อง UTM ถูกเชื่อมต่อเข้ากับ ไมโครคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถแปรรูป สัญญาณแรง (F) และการเปลี่ยนรูปเป็นความเค้นความเครียด สามารถโปรแกรมให้คำนวณหา พลังงานดูดกลืน พลังงานกด ค่าโมดูลัสยัง การเปลี่ยนรูปถาวร ความชันกราฟ (F/D) ความแน่นเนื้อ แรงกดแตก (Rupture force) การเปลี่ยนรูปแตกหัก (Rupture deformation) แรงกดชีวคราก (Bioyield force) การเปลี่ยนรูปชีวคราก (Bioyield deformation)

Jarimopas (1984) ได้ทดสอบการกดผลแอปเปิ้ลด้วยภาวะเกือบสถิต (Quasi-Static compression) โดยใช้ Rigid Flat plate ด้วยอัตราการกระ 50-100 มม./นาที่ กับแอปเปิ้ล 2 พันธุ์คือ Golden Delicious (GD) และ Granny Smith (GS) พบว่า ค่าโมดูลัสยัง (E) คือ $E(GD) = 7.43 \text{ MPa}$ และ $E(GS) = 8.39 \text{ MPa}$ ปริมาตรช้ำแปรผันตรงกับพลังงานที่ใส่ให้และพลังงานดูดกลืน (input and absorbed energy)

บัณฑิต และ สาริกา (2548c) ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและลักษณะทางกายภาพของผลชมพู่ไทย ประกอบด้วย ทับทิมจันทร์ ทุลเกล้า เพชรสามพราน และเพชรสายรุ้ง โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine INSRON 5569 (UTM) พบว่าเพชรสายรุ้งแสดงความเหนียวสูงสุด (1.16 N.mm) และความแน่นเนื้อเฉลี่ยสูงสุด (7.61 N/mm) ในขณะที่ทับทิมจันทร์และทุลเกล้ามีพฤติกรรม

ความเหนียวต่ำสุด (0.67 N.mm) เพชรสายรุ้งแสดงความเหนียวสูงสุด (1.16 N.mm) และความแน่นเนื้อเฉลี่ย สูงสุด (7.61 N/mm) ในขณะที่ทับทิมจันทร์และทูลเกล้ามีพฤติกรรมความเหนียวต่ำสุด (0.67 N.mm) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าทับทิมจันทร์และทูลเกล้าจะมีความกรอบกว่าทุก ๆ พันธุ์ (เปราะกว่า) และเพชรสายรุ้งเหนียวและแน่นกว่าทุก ๆ พันธุ์

บัณฑิต และคณะ (2548ง) ได้ศึกษาค่าอัตราส่วนปัวซองและค่าโมดูลัสยังของมะเขือยาวตามระยะเวลาเก็บรักษาโดยใช้เครื่อง UTM ที่ความเร็ว 25 มม./นาที ทดสอบโดยใช้วิธี Radial Compression และ Die loading ผลปรากฏว่า μ เฉลี่ยตามแนวแกนผล = 0.252 ± 0.082 μ เฉลี่ยตามแนวขวางผล = 0.1667 ± 0.047 มะเขือยาวที่เก็บรักษาไว้จะมีความแข็งแรงลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นซึ่งอธิบายได้ด้วยสมการความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของ E กับ t สำหรับการทดสอบแบบ Radial Compression และ Die loading คือ $E_{R,a}$ (ตามแนวแกน) = $475.8 e^{-0.03t}$ ($R^2 = 0.81$), $E_{R,T}$ (ตามแนวขวางแกน) = $530.83 e^{-0.04t}$ ($R^2 = 0.95$), E_D (Die loading) = $523.6 e^{-0.07t}$ ($R^2 = 0.99$) ตามลำดับ

บัณฑิตและคณะ (2548จ) ได้ทำการทดสอบหาค่าอัตราส่วนปัวซองของเนื้อหัวใจแท่งทรงกระบอกที่สุ่มเจาะด้วยหัว Die ในแนวแกนและขวางแกนของหัวใจแท่งที่ถูกกระทำด้วยภาระเกือบสถิตจากเครื่อง UTM และหาค่าโมดูลัสยัง โดยวิธี Radial compression และ Die Loading ผลปรากฏว่า อัตราส่วนปัวซองของหัวใจแท่งที่ซื้อมาจากตลาด ตามแนวแกนและแนวขวางหัวใจแท่งเป็น 0.444 ± 0.07 และ 0.384 ± 0.08 ตามลำดับ เวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของหัวใจแท่งซึ่งแสดงโดยความสัมพันธ์ของค่าโมดูลัสยัง (E) แปรผกผันกับเวลา (t) เป็นสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล สำหรับวิธี Die Loading $E_D = 3.07e^{-0.084t}$ ($R^2 = 0.94$) วิธี Radial Compression เมื่อเตรียมชิ้นทดสอบตามแนวแกน $E_{R,a} = 9.05e^{-0.08t}$ ($R^2 = 0.99$) เมื่อเตรียมชิ้นทดสอบตามแนวขวาง $E_{R,T} = 8.66e^{-0.08t}$ ($R^2 = 0.95$)

บัณฑิต และคณะ (2549) ได้ศึกษาพฤติกรรมเชิงกลของผลแก้วมังกร การศึกษาประกอบด้วยการทดสอบภาระสัมผัสกับ Universal Testing Machine Instron 5569 ด้วยหัวกดแบบ Die, Plunger และ Flat plate หัวกด 2 ประเภทแรกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4, 6 และ 8 มม. ตามลำดับ อัตราภาระ 3 อัตรา (2.5, 25 และ 250 มม./นาที) สมบัติเชิงกลที่สนใจได้แก่ ความแน่นเนื้อที่หาได้จากความชันของกราฟแรง - การเปลี่ยนรูป (S), โมดูลัสยัง (E), แรงกดและการเปลี่ยนรูป ณ จุดแตก การวิเคราะห์ความแปรปรวนปรากฏว่า หัวกดและอัตราภาระมีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงกลของ

แก้วมังกรอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5% ได้แก่ โมดูลัสความยืดหยุ่นและความแน่นเนื้อ ในขณะที่อัตรา
การระงับอิทธิพลต่อแรงกดและการเปลี่ยนรูปที่จุดแตกหักอย่างมีนัยสำคัญ

Sirisomboon et al. (2000) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของลูกแพร์ญี่ปุ่นตั้งแต่ 5 สัปดาห์
ก่อนบริบูรณ์จนกระทั่งผลสุก ทดสอบโดยใช้ Universal Testing Machine ด้วยหัวกดแบบ Plunger
และ Flat plate กดด้วยความเร็ว 10 มม./นาที ผลการทดสอบปรากฏว่าเมื่อลูกแพร์ญี่ปุ่นมีขนาด
ใหญ่ขึ้น ความเครียดจะลดลง ความยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้น แต่ความยืดหยุ่นและความแน่นเนื้อของเนื้อ
ลูกแพร์จะลดลงเมื่อขนาดใหญ่ขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้จะช้าลงก่อนการเก็บเกี่ยว 2-3 สัปดาห์

Jindal and Techasena (1985) ศึกษาความแน่นเนื้อของมันฝรั่ง ด้วย Instron testing machine
ทดสอบโดยวิธีกดในแนวแกน (axial compression) แนวรัศมี (radial compression) อัตราการ 50,
100, 200 และ 500 มม./นาที มันฝรั่งถูกเก็บที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 5, 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 1, 2, 4 และ 8 สัปดาห์ ผลการทดสอบพบว่า ความแน่นเนื้อจะลดลงแบบเอ็กซ์โพเนน
เชียลตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในทุก ๆ อุณหภูมิ และการกดในแนวรัศมีแกนเป็นวิธีที่แสดงผล
การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของมันฝรั่งได้ดีที่สุด

การทดสอบการกระแทก (Impact test)

นักวิจัยหลายคน ได้ศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพและเชิงกลของผลไม้ เมื่อเกิดการกระแทก
พบว่า การซ้ำของผลไม้มีความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรงกับพลังงานกระแทก (Impact Energy) และ
พลังงานดูดกลืน (Absorbed Energy) อย่างไรก็ตาม นักวิจัยที่ศึกษาเรื่องดังกล่าว ได้ใช้วิธีและเครื่องมือ
ที่แตกต่างกัน แต่วิธีที่นิยมหลัก ๆ มี 5 วิธี (บัณฑิตและศุภกิตต์, 2547)

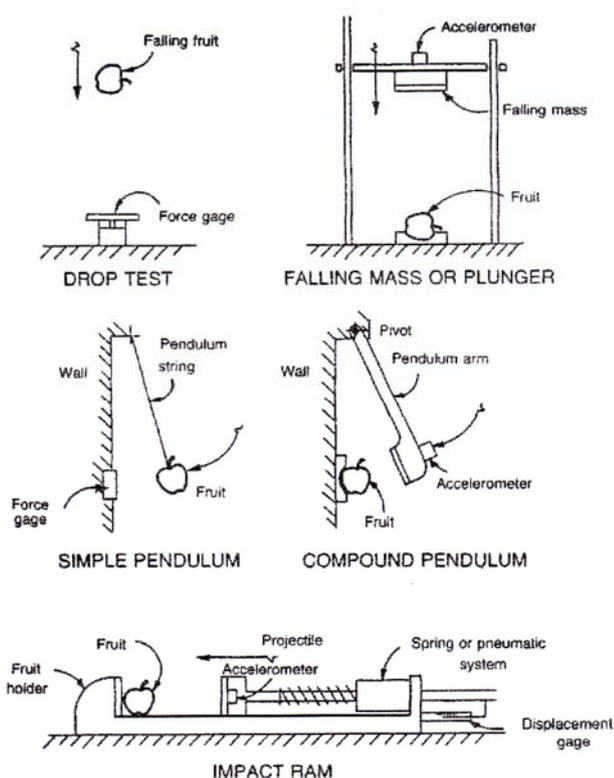
วิธีที่ 1 ได้แก่ Drop Test ทำได้โดยการปล่อยผลไม้ให้ตก (กระแทก) อย่างอิสระในแนวตั้ง
ใส่ที่รองรับ

วิธีที่ 2 ได้แก่ Falling Mass ทำได้โดยการวางผลไม้อยู่กับที่ แล้วปล่อยให้วัตถุตกลงอย่าง
อิสระในแนวตั้งสู่ผลไม้

วิธีที่ 3 ได้แก่ Simple pendulum ทำได้โดยผูกผลไม้ไว้กับเชือก จากนั้นปล่อยให้ผลไม้กระแทกเข้ากับพื้นผิวที่กระแทก โดยลักษณะการเคลื่อนที่ของผลไม้คล้ายกับการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา

วิธีที่ 4 ได้แก่ Compound pendulum ลักษณะตรงข้ามกับ Simple pendulum คือ วางผลไม้อยู่กับที่ปล่อยวัตถุกระแทกที่มีลักษณะคล้ายกับคานแข็ง กระแทกเข้ากับผลไม้โดยลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุคล้ายกับการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา

วิธีที่ 5 ได้แก่ Impact Ram ทำได้โดยวางผลไม้อยู่กับที่โดยใช้ ram (จากสปริง, นิวเมติกส์ หรือ อิเล็กทรอนิกส์ ก็ได้) กระแทกกับผลไม้



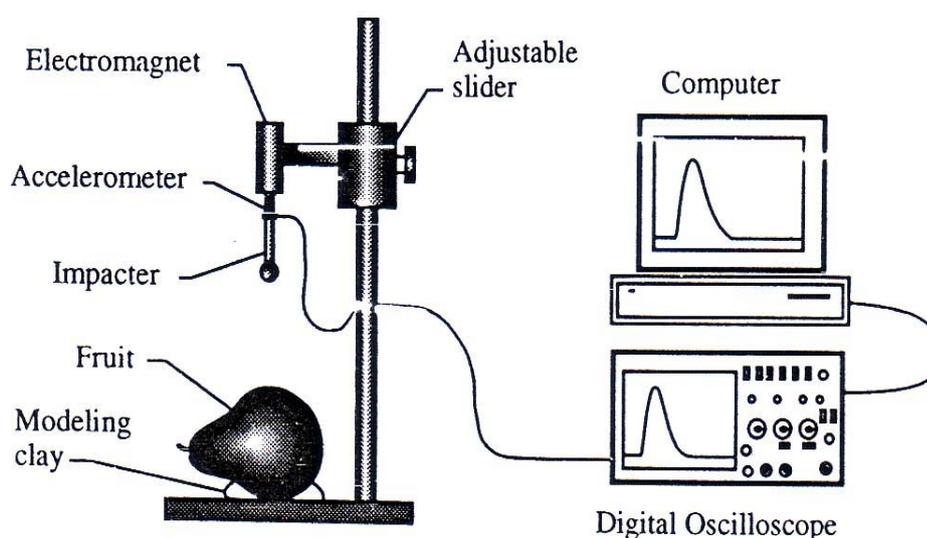
ภาพที่ 5 ลักษณะการทดสอบการกระแทกแบบต่าง ๆ

ที่มา: บัณฑิต และ สุภกิตต์ (2547)

Jarimopas (1984) ทำการทดสอบการกระแทกโดยใช้ Ballistic pendulum จะทำให้เกิด ปริมาตรซ้าเป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับพลังงานกระทำ (Input energy, E_I) โดยทำการทดสอบกับแอปเปิ้ล 2 พันธุ์ คือ Golden Delicious (GD) และ Granny Smith (GS) มีค่าจุดเริ่มเกิดรอยซ้า (Bruise Threshold) เท่ากับ 0.40 และ 0.35 CC. แตกต่างกันตามลำดับ

Chen et al. (1996) รายงานว่าการใช้ชุดเครื่องมือทดสอบ Impact test (ภาพที่ 6) สำหรับการหาความแน่นเนื้อในผลไม้ น้ำหนักของหัวกระแทกเป็นตัวแปรสำคัญ ที่มีผลต่อการส่งสัญญาณการกระแทกและทำให้ผลไม้เสียหาย เขาพบว่าถ้าใช้หัวกระแทกขนาดเล็ก (<10 กรัม) จะช่วยขยายสัญญาณการกระแทก และลดความผิดพลาดของสัญญาณ ผลไม้ที่นำมาทดสอบจะไม่เสียหายอีกด้วย

บัณฑิต และคณะ (2546) ศึกษาความสามารถของโฟมตาข่ายขนาดเล็ก กลางและใหญ่ ในการลดความเสียหายกับผลแอปเปิ้ลเนื่องจากการกระแทก ทดสอบการกระแทกด้วย Ballistic pendulum ที่มุมตกกระทบตั้งแต่ 10, 15, 20, 25 และ 30 องศา ผลปรากฏว่าปริมาตรซ้า (V_B) แปรผันตรงกับพลังงานกระทำ (E_I) และพลังงานดูดกลืน (E_A) สำหรับผลแอปเปิ้ลที่ไม่ได้ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายมีความเสียหายจากการซ้ามากเมื่อพลังงานกระทำมาก ณ มุมตกกระทบหนึ่ง ๆ ความซ้าจะมีน้อยลงในผลแอปเปิ้ลที่ใส่โฟมตาข่าย และการห่อหุ้มผลแอปเปิ้ลด้วยโฟมตาข่ายขนาดใหญ่ จะสามารถป้องกันความเสียหายได้ดีกว่าขนาดกลางและขนาดเล็ก



ภาพที่ 6 Impact testing system

ที่มา: Chen et al. (1996)

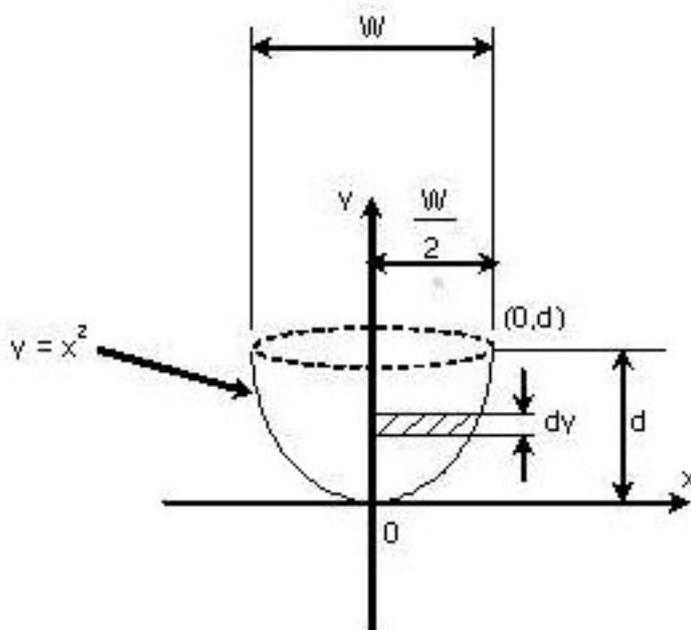
Jarimopas et al. (2007) ได้พัฒนาวัสดุกันกระแทกที่เหมาะสมห่อหุ้มผลแอปเปิ้ลสดทดแทนตาข่ายโฟม (Foam net) สำหรับการขนส่งและการจำหน่าย ทดสอบการกระแทกด้วยเครื่อง Ballistic Pendulum วัสดุกันกระแทกคือ เชือกกล้วย, ผักตบชวา, กระจาดลูกฟูกหน้าเดียว, กระจาดลูกฟูก 2 ชั้น แบบใหม่และใช้แล้ว และตาข่ายโฟม การทดสอบแบ่งออกเป็นสองช่วงคือ การทดสอบก่อนเกิดการซ้ำ (Below threshold) และการทดสอบหลังเกิดการซ้ำ (Beyond threshold) สำหรับการทดสอบก่อนเกิดการซ้ำ พลังงานที่จุดเริ่มเกิดรอยซ้ำ (Threshold Energy) สำหรับผลแอปเปิ้ลเปล่า, ผลแอปเปิ้ลห่อด้วยกระจาดลูกฟูกหน้าเดียวหั่นลอนเข้าหาผลไม้, กระจาดลูกฟูกหน้าเดียวหั่นลอนออกจากผลไม้, กระจาดลูกฟูก 2 ชั้นใหม่ และกระจาดลูกฟูก 2 ชั้นใช้แล้ว เป็น 0.1, 0.70, 0.75, 0.7, 0.7 จูล สำหรับแอปเปิ้ลขนาด 80 และ 0.11, 0.75, 0.75, 0.7, 0.7 จูล สำหรับแอปเปิ้ลขนาด 100 ตามลำดับ วัสดุกันกระแทกที่เหมาะสมที่สุดคือ กระจาดลูกฟูกหน้าเดียวแบบหั่นลอนออกจากผลแอปเปิ้ลที่มีพลังงานที่จุดเริ่มเกิดรอยซ้ำรอยซ้ำสูงสุด และพลังงานดูดกลืนสูงสุด = 0.11 จูล จากการทดสอบการกดแบบเกือบสถิต (Quasi-static Compression) ความต้านทานการซ้ำที่กำหนดโดยความชันของกราฟ E_i -VB เท่ากับ 1595.3 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูล และ 1748.1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูล สำหรับแอปเปิ้ลขนาด 100 และ 80 ตามลำดับ

การประเมินรอยซ้ำ

ความแม่นยำในการวัดมิติรอยซ้ำและคำนวณปริมาตรซ้ำขึ้นอยู่กับรูปร่างของรอยซ้ำ นักวิจัยหลายคน ได้อธิบายความเสียหายของแอปเปิ้ลเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของพื้นที่ซ้ำและพบว่าความลึกและปริมาตรของเนื้อเยื่อซ้ำแปรเปลี่ยนอย่างมากกับตำแหน่งของรอยซ้ำในบางพันธุ์ ความเสียหายควรถูกประเมินโดยเส้นผ่านศูนย์กลางและความลึกจากรูปร่างของรอยซ้ำ แม้ว่า Pang et al. (1994) จะสามารถทดลองหารอยซ้ำของแอปเปิ้ลโดยประมาณรูปร่างรอยซ้ำเป็นวงรีที่สามารถหาเส้นผ่านศูนย์กลางหลักและรองได้ทั้งก่อนและหลังเอาเปลือกออกก็ตาม การวัดปริมาตรซ้ำยากและกินเวลาเพื่อที่จะได้ข้อมูลที่ถูกต้องและใช้เวลาน้อยที่สุด ปกติจะทำการสมมติรูปร่างรอยซ้ำและทำการวัดมิติที่สัมพันธ์กับปริมาตรซ้ำ การวัดมิติปกติจะทำกับความลึก ความกว้างแกนใหญ่ และความกว้างแกนเล็กบางวิธีต้องวัดรัศมีความโค้งของรอยซ้ำด้วย

Chen and Sun (1981) ทำการทดสอบหา Volume of solid of revolution (ภาพที่ 7) โดยวิธีจาน (Disk Method) พบว่ารอยชำที่มีรูปร่างคล้ายพาราโบลา จะทำการวัดมิติความลึก (d) และเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยชำ (w) แล้วคำนวณหาปริมาตรชำจากสูตร

$$V_B = \left(\frac{\pi}{8}\right) w^2 d$$



ภาพที่ 7 การวัดขนาดความชำ เมื่อ w เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยชำและ d เป็นความลึกรอยชำ

หากรอยชำที่พบมีลักษณะต่างออกไปสามารถเปรียบเทียบวิธีวัดปริมาตรชำแบบต่าง ๆ 5 วิธีด้วยกัน (ตารางที่ 1) คือ

1. Bruise thickness method โดย Nelson (1967) ได้สังเกตว่าการตัด section ผ่านรอยชำที่จุดกึ่งกลางและตั้งฉากกับผิวปรากฏมีลักษณะเป็นวงกลม เขาจึงเสนอว่าการหาปริมาตรรอยชำมีรูปร่างคล้ายการหา section ของทรงกลม การวัดความหนาของรอยชำต้องวัดความหนาของรอยชำตั้งแต่ระนาบผิวสัมผัส จนถึงส่วนที่ปรากฏรอยชำที่ลึกที่สุด

2. Full Depth method ผลไม้บางชนิดอาจเห็นรอยชำด้านบนส่วนระนาบผิวสัมผัสไม่ชัดเจน จึงเป็นไปได้ว่าจะทำการวัดความลึกหรือความหนาจากผิวผล

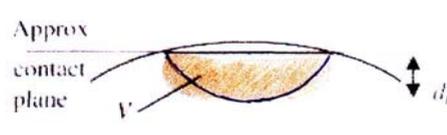
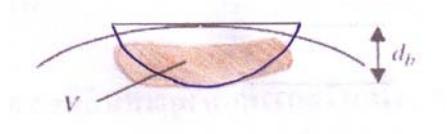
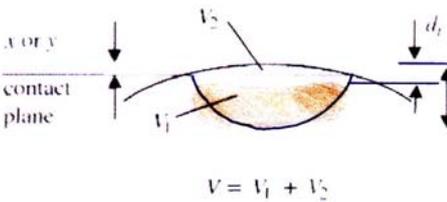
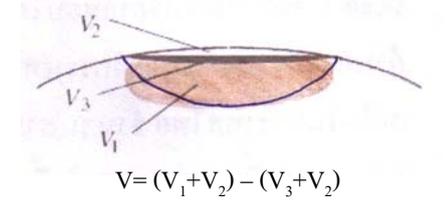
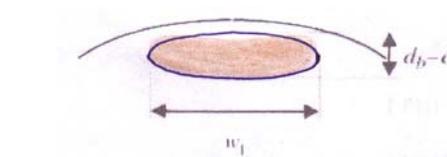
3. Enclosed volume method Holt and Schoorl (1997) ได้เสนอการดัดแปลงกับแบบจำลองรูปร่างทรงกลม เขาแนะนำว่าปริมาตรควรจะคำนวณจากผลบวกสองปริมาตร ปริมาตรแรก V_1 คือปริมาตรที่อยู่ใต้ระนาบสัมผัสล้อมรอบด้วยกรอบรอยชำ ปริมาตรที่สอง V_2 เป็นปริมาตรที่ล้อมรอบด้วยผิวผล

4. Unbruise volume removed method เป็นการดัดแปลงกับแบบจำลองของ Holt และ Schoorl (1977) โดยสมมติรูปร่างทรงกลมของส่วนไม่เสียหายเหนือรอยชำ (V_1+V_2) ปริมาตรนี้ถูกหักออกจากการคำนวณปริมาตรล้อมรอบ

5. Ellipsoid method การประมาณรูปร่างรอยชำเป็นทรงรี ซึ่งจะมีแกนหลักและแกนรอง

การศึกษาเกี่ยวกับการชำที่สัมพันธ์กับสมบัติเชิงกลของผลมะพร้าวอ่อนยังไม่มีความ ท้าทายที่จะทำการศึกษาต่อไป เพื่อให้ได้ข้อมูลไปปรับปรุงกระบวนการผลิตผลมะพร้าวอ่อนที่มีคุณภาพ

ตารางที่ 1 วิธีการคำนวณปริมาตรซ้ำ 5 วิธี

Volume estimation	Bruise volume estimate	
Bruise thickness (Mohsenin, 1996) 	$V = \frac{\pi(d_b - d_t)}{24} (3w_1^2 + 4(d_b - d_t)^2)$	Circle
	$V = \frac{\pi(d_b - d_t)}{24} (3w_1w_2 + 4(d_b - d_t)^2)$	Ellipse
Full depth (Saltveit, 1984) 	$V = \frac{\pi d_b}{24} (3w_1^2 + 4d_b^2)$	Circle
	$V = \frac{\pi(d_b - d_t)}{24} (3w_1w_2 + 4d_b^2)$	Ellipse
Enclose volume (Holt & Schoorl, 1977) 	$V = \frac{\pi}{24} (3w_1^2 d_b + 4(d_b - x)^3 + 4x^3)$	Circle
	$V = \frac{\pi}{24} (3w_1w_2 d_b + 4(d_b - y)^3 + 4y^3)$	Ellipse
Unbruised volume removed 	$V = \frac{\pi}{24} (3w_1^2(d_b - d_t) + 4(d_b - x)^3 + 4(d_t - x)^3)$	Circle
	$V = \frac{\pi}{24} (3w_1w_2(d_b - d_t) + 4(d_b - y)^3 + 4(d_t - y)^3)$	Ellipse
Ellipsoid (Hung & Prussia, 1989) 	$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{(d_b - d_t)w_1^2}{8} \right)$	Circle
	$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{(d_b - d_t)w_1w_2}{8} \right)$	Ellipse

V , estimated bruise volume in mm^3 ; d_b , full depth of bruise in mm.; d_t , depth from fruit surface to top of bruise in mm.; R , fruit radius at bruise in mm.; V_1, V_2, V_3 , volume used in calculation of V in mm^3 ; w_1, w_2 , bruise width across the major and minor axes in mm.; x , height of fruit section above plane (circular bruise) in mm.; y , height of fruit section above the contact plane (elliptical bruise) in mm.; $x = R - \sqrt{R^2 - \frac{w_1^2}{4}}$, $y = R - \sqrt{R^2 - \frac{w_1w_2}{4}}$

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. มะพร้าวอ่อน (เนื้อหนึ่งชั้น เนื้อชั้นครึ่ง เนื้อสองชั้น)
2. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ยี่ห้อ MITUTOYO วัดความละเอียดได้ 0.05 มิลลิเมตร
3. เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) ยี่ห้อ Instron No.5569
4. ชุดเครื่องมือทดสอบ Impact test
5. หัวทดสอบ Impact test 4 ขนาด (12, 24, 48 และ 96 กรัม)
6. เครื่องคอมพิวเตอร์
7. เครื่อง Scanner ยี่ห้อ Canon รุ่น Lide 20
8. โปรแกรมหาพื้นที่ผิว
9. แผ่นใส

วิธีการ

1. การประเมินความซ้ำของมะพร้าวอ่อนในการขายส่งและขายปลีก

เพื่อตรวจสอบความเสียหายของผลมะพร้าวอ่อนที่ตัดแต่งเป็นรูป 5 เหลี่ยมแล้ว โดยสถานที่ที่สำรวจแบ่งตามลักษณะการจำหน่ายเป็นแบบขายส่งและขายปลีก ประกอบด้วยแบบขายส่งสำรวจตลาด 3 แห่ง ได้แก่ ตลาดปทุมมงคล อ.เมือง จ.นครปฐม จำนวน 1 ร้าน ตลาดไท อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี จำนวน 2 ร้าน และตลาดสี่มุมเมือง อ.ลำลูกกา จ. ปทุมธานี จำนวน 1 ร้าน ส่วนแบบขายปลีก สำรวจร้านค้า 2 แห่ง ได้แก่ ซูเปอร์มาร์เก็ตจำนวน 4 แห่ง และร้านขายปลีกผลไม้ทั่วไป จำนวน 10 ร้าน

1.1 การหาเปอร์เซ็นต์การซ้ำ

1.1.1 นับจำนวนผลมะพร้าวอ่อนที่เกิดรอยซ้ำ แบ่งเป็นแบบขายส่งตลาดปทุมมงคล และตลาดไทร้านละ 100 ลูก แบบขายปลีก ตลาดสี่มุมเมืองสุ่มมา 1 ถุง ถุงละ 10 ลูก ซูเปอร์มาร์เก็ตและร้านขายปลีกนับมะพร้าวทั้งหมดบนแผงวางสินค้า

1.1.2 คำนวณเปอร์เซ็นต์การชำจากสมการ (1)

$$\% \text{การชำ} = \frac{\text{จำนวนผลมะพร้าวอ่อนที่เกิดรอยชำ} \times 100}{\text{จำนวนผลมะพร้าวอ่อนทั้งหมด}} \quad (1)$$

1.2 การหาจำนวนรอยชำ

1.2.1 นับจำนวนรอยชำ/ผล ของผลมะพร้าวอ่อน ที่ปรากฏบนผลของมะพร้าวอ่อน จากข้อ 1.1

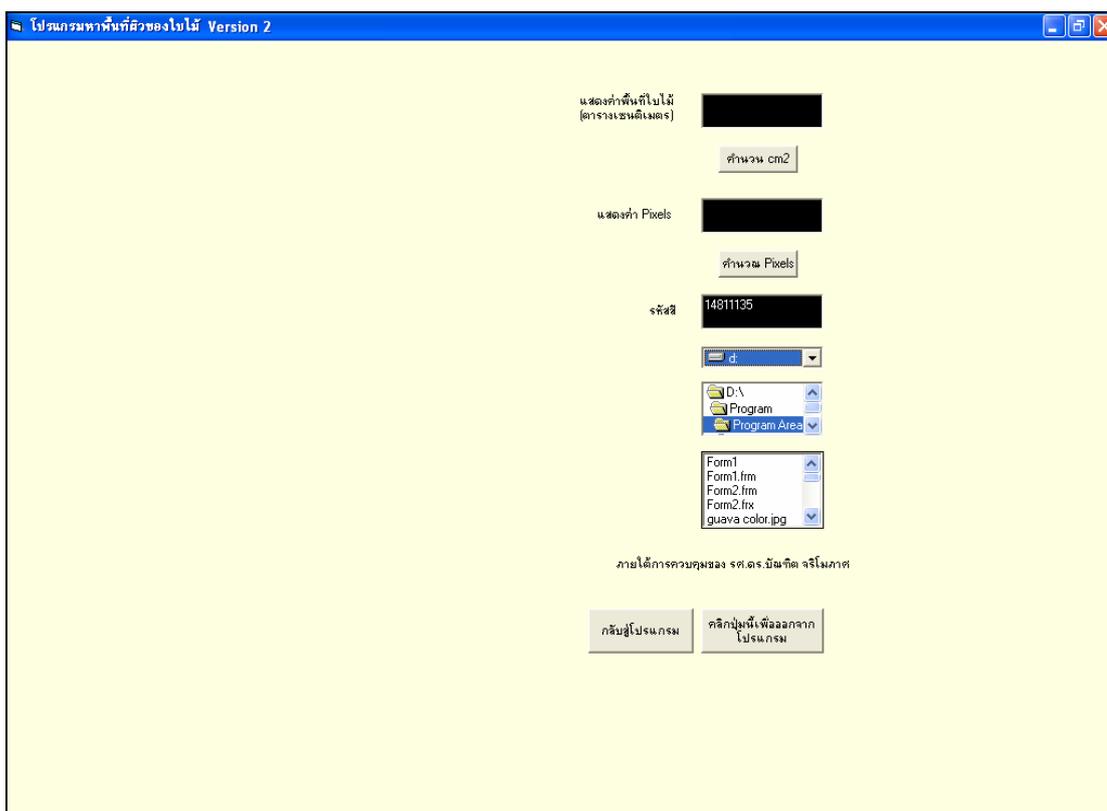
1.2.2 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการเกิดรอยชำและจำนวนรอยชำ

1.3 การหาพื้นที่รอยชำ

1.3.1 สุ่มซื้อผลมะพร้าวอ่อนที่เกิดรอยชำ ตลาดปฐมมงคลและตลาดไท ร้านละ 20 ลูก ตลาดสี่มุมเมือง 10 ลูก ซูเปอร์มาร์เก็ตร้านละ 10 ลูก ร้านขายปลีกร้านละ 10 ลูก

1.3.2 นำแผ่นใสมาทาบส่วนที่ปรากฏรอยชำสีน้ำตาลบนผลมะพร้าว แล้วใช้ปากกา วาดรอยชำบนแผ่นใส นำแผ่นใสที่ผ่านการวาดเรียบร้อยแล้วไปสแกนเป็นภาพขาว-ดำ แล้วหาพื้นที่โดยใช้โปรแกรมหาพื้นที่ใบไม้ (ภาพที่ 8) ใช้สมการสอบเทียบใหม่คือ พื้นที่ที่น้อยกว่า 3 ตารางเซนติเมตร ใช้สมการ $y = 0.00005x$ โดยมีค่า $R^2 = 0.99$ ส่วนพื้นที่ที่มากกว่า 3 ตารางเซนติเมตร จะต้องปรับการสแกนภาพโดยปรับการสแกนภาพมาเป็นแบบ 15% ใช้สมการ $y = 0.0022x$ โดยมีค่า $R^2 = 0.99$ เมื่อ $y =$ ค่าพื้นที่ที่อ่านได้จากคอมพิวเตอร์ $x =$ ค่าพื้นที่จริงเป็น ตร.มม.

1.3.3 นำผลที่ได้เขียนกราฟความถี่ของพื้นที่รอยชำเทียบกับขนาดพื้นที่ชำต่าง ๆ



ภาพที่ 8 โปรแกรมหาพื้นที่ผิวไข่ไม้ (บันทึกและคณะ, 2545)

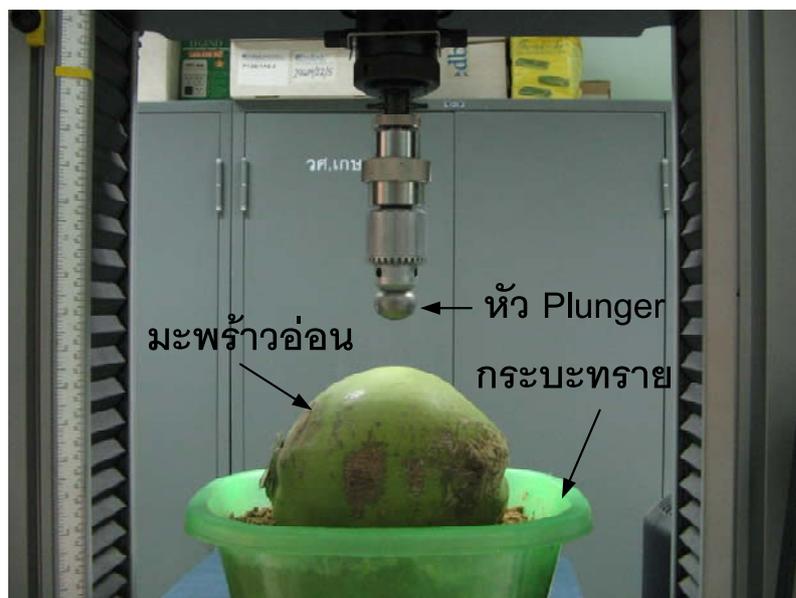
2. การหาสมบัติการซ้ำเชิงกลของผลมะพร้าวอ่อนเนื่องจากการกดแบบซ้ำ

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรซ้ำและพลังงานกด เลขจุดเริ่มเกิดรอยซ้ำ

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรซ้ำและพลังงานกดของมะพร้าว 3 ระยะการเจริญเติบโตเลขจุดเริ่มเกิดรอยซ้ำ และหาขนาดของหัว Plunger ที่สามารถทำให้เกิดรอยซ้ำง่ายที่สุด โดยพิจารณาจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรซ้ำและการกด

2.2.1 สุ่มเลือกผลมะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอมที่มีขนาดสม่ำเสมอเก็บใหม่จากสวนไม่มีตำหนิและอยู่ในระยะหนึ่งชั้นครั้ง จำนวน 16 ลูก

2.1.2 ติดตั้งหัว Plunger ขนาด 12 กรัม กับเครื่องUTM จัดอุปกรณ์และผลมะพร้าวอ่อน สำหรับการทดสอบดังภาพที่ 9 โดยวางผลมะพร้าวอ่อนในกระบะทรายเพื่อให้สามารถกำหนดจุดกดได้และช่วยยึดไม่ให้ลูกมะพร้าวเคลื่อนที่



ภาพที่ 9 อุปกรณ์ทดสอบหาสมบัติการซ้ำแบบเกือบสถิต

2.1.3 กดส่วนกลางของลูกมะพร้าวด้วยหัว Plunger จนเกิดการเปลี่ยนรูป 8 ระดับ ตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร จนถึง 12 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 15 มิลลิเมตรต่อนาที (ASAE Standard ,1994) โดยทำการทดสอบกดมะพร้าวอ่อน 5 ร้อยต่อผล ใช้มะพร้าวอ่อน 2 ผลต่อระดับการเปลี่ยนรูปใช้ปากกา permanent วงรอบรอยกด บันทึกค่าพลังงานที่ใช้ในการกดจากเครื่อง UTM

2.1.4 ทดสอบซ้ำ ข้อ 2.1.1 – 2.1.3 โดยเปลี่ยนหัว Plunger จาก 12 กรัม เป็น 24, 48 และ 96 กรัม (ภาพที่ 10)

2.1.5 วางมะพร้าวอ่อนที่ทดสอบแล้วไว้ในอุณหภูมิห้อง 24 ชม. เพื่อให้รอยซ้ำของมะพร้าวเกิดการเปลี่ยนสี ผ่าผลมะพร้าวอ่อนกลางบริเวณที่โดนกด โดยผ่าขนานแกนซ้ำของผลมะพร้าวอ่อน วัดความกว้าง และความลึกกรวยซ้ำ (ภาพที่ 11) คำนวณปริมาตรซ้ำ (Bruise Volume) จากสูตร (Chen and Sun, 1981)

$$V_B = \left(\frac{\pi}{8}\right) w^2 d \quad (2)$$

เมื่อ

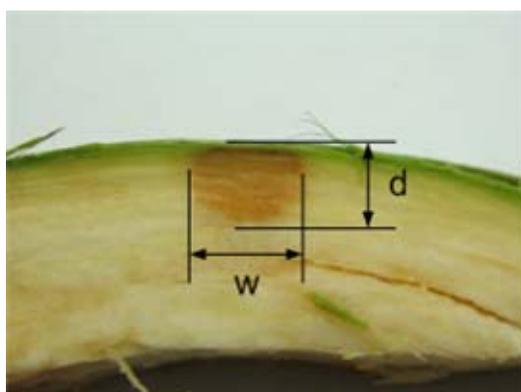
w = ความกว้างของรอยชำ (มิลลิเมตร)

d = ความลึกของรอยชำ (มิลลิเมตร)

2.1.6 ทดสอบชำข้อ 2.1.1 – 2.1.5 กับมะพร้าวระยะหนึ่งชั้นและสองชั้น



ภาพที่ 10 หัวทดสอบขนาดต่าง ๆ



ภาพที่ 11 การวัดปริมาตรเนื้อชำ

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซ้ำกับพลังงานกดขณะก่อนและที่จุดเริ่มเกิดรอยซ้ำ

เมื่อผลมะพร้าวอ่อนได้รับภาระกระทำจากภายนอก หากภาระที่มากระทำดังกล่าวมีค่าไม่สูงนักมะพร้าวอ่อนจะไม่เกิดการซ้ำเสียหาย แต่ถ้าภาระที่มากระทำมีค่าสูงกว่าค่า Bio-Yield Point มะพร้าวจึงจะเริ่มเกิดการซ้ำเสียหายขึ้น ระดับของพลังงาน ที่ทำให้มะพร้าวเริ่มเกิดการซ้ำนี้เรียกว่า Threshold Energy ในการทดสอบเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซ้ำและพลังงานกดของมะพร้าว 3 ระยะการเจริญเติบโต ขณะก่อนและที่จุดเริ่มเกิดรอยซ้ำและหาระดับพลังงานน้อยที่สุด ที่จะทำให้เริ่มเกิดการซ้ำของผลมะพร้าวอ่อนขึ้น

2.2.1 สุ่มเลือกผลมะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอมที่มีขนาดสม่ำเสมอเก็บใหม่จากสวน ไม่มีตำหนิและอยู่ในระยะหนึ่งชั้นครึ่ง จำนวน 28 ลูก

2.2.2 ติดตั้งหัว Plunger ขนาด 96 กรัม กับเครื่องUTM

2.2.3 กดหัว Plunger ลงบนผิวมะพร้าวอ่อนจนเกิดการเปลี่ยนรูปตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร จำนวน 4 ลูกลูกละ 5 รอย ที่ความเร็ว 15 มิลลิเมตรต่อนาที ใช้ปากกา permanent วงรอบรอยกด ทำซ้ำกับตัวอย่างผลมะพร้าวอ่อนใหม่อีกชุดที่การเปลี่ยนรูป 3 มิลลิเมตรและทำซ้ำโดยเพิ่มการเปลี่ยนรูปเรื่อย ๆ ทีละ 1 มิลลิเมตร จนเกิดการซ้ำ (ที่ระดับความน่าจะเป็น = 1) บันทึกค่าพลังงานที่ใช้ในการกดจากเครื่อง UTM

2.2.4 วางมะพร้าวอ่อนที่ทดสอบแล้วไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. เพื่อให้รอยซ้ำของมะพร้าวเกิดการเปลี่ยนสี ผ่าผลมะพร้าวอ่อนกลางบริเวณที่โดนกด โดยผ่าขนานแกนชี้ของผลมะพร้าวอ่อน วัดความกว้าง และความลึกรอยซ้ำ คำนวณปริมาณซ้ำจากสูตร (2)

2.2.5 ผ่าดูรอยซ้ำของผลมะพร้าว นับจำนวนรอยซ้ำที่เกิด วัดความกว้างและความลึกของรอยซ้ำ คำนวณหา Probability of bruise จาก

$$\text{ความน่าจะเป็นของการเกิดการซ้ำ} = \frac{\text{จำนวนของรอยกดที่เกิดการซ้ำ}}{\text{จำนวนซ้ำที่ทดลองในแต่ละระดับพลังงาน}} \quad (3)$$

ระดับความน่าจะเป็นของการเกิดการชำ = 1 หมายถึง รอยกดของผลมะพร้าวที่ถูกทดสอบกดจนชำทุกรอย จุดเริ่มเกิดรอยชำหมายถึง พลังงานกดที่น้อยที่สุด ที่ทำให้รอยกดทุกรอยที่ทำการทดสอบเกิดรอยชำ

2.2.6 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง Probability of V_B occurrence กับพลังงานกด (E)

2.2.7 ทดสอบซ้ำข้อที่ 2.2.1-2.2.6 กับมะพร้าวอ่อนระยะหนึ่งชั้นและสองชั้น

3. การหาสมบัติการชำเชิงกลของผลมะพร้าวอ่อนเนื่องจากภาวะการแตก

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรชำและพลังงานแตกของมะพร้าว 3 ระยะการเจริญเติบโต เลขจุดเริ่มเกิดรอยชำ และหาขนาดของหัว Plunger ที่สามารถทำให้เกิดรอยชำง่ายที่สุด โดยพิจารณาจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรชำและการแตก

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรชำและพลังงานแตก เลขจุดเริ่มเกิดรอยชำ

3.1.1 สุ่มเลือกผลมะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอมที่มีขนาดสม่ำเสมอเก็บใหม่จากสวน ไม่มีตำหนิและอยู่ในระยะหนึ่งชั้นครึ่ง จำนวน 20 ลูก

3.1.2 จัดอุปกรณ์การทดสอบดังภาพที่ 12

3.1.3 ก่อนการแตกนํานํ้ามันพืชมาทาหน้าสัมผัสของหัวทดสอบ เพื่อให้กำหนดจุดชำและผ่าดูรอยชำได้ง่าย

3.1.4 ปล่อยหัว Plunger เหล็กขนาด 12, 24, 48 และ 96 กรัม ตกกระทบผลมะพร้าวอ่อนตรงกลางผล จากความสูง 10 ระดับ ตั้งแต่ 0.05 ถึง 0.50 เมตร ทำซ้ำความสูงละ 10 ซ้ำ ใช้มะพร้าวอ่อนความสูงละ 2 ลูก ลูกละ 5 รอย

3.1.5 เมื่อหัว Plunger กระแทกกับผิวของลูกมะพร้าว รอยน้ำมันที่ทาไว้จะติดที่ผิวของผล ทิ้งไว้ 24 ชม. เพื่อให้รอยซ้ำของผลมะพร้าวอ่อนเกิดการเปลี่ยนสี ผ่ามะพร้าวอ่อนกลางบริเวณที่โดนกระแทก โดยผ่าขนานแกนข้างของผลมะพร้าวอ่อน วัดความกว้าง และความลึกของรอยซ้ำ คำนวณปริมาตรซ้ำจากสูตร (2)

3.1.6 คำนวณพลังงานกระแทกจากสูตร

$$E = mgh \quad (4)$$

เมื่อ

m = มวลของหัวกระแทก (กิโลกรัม)

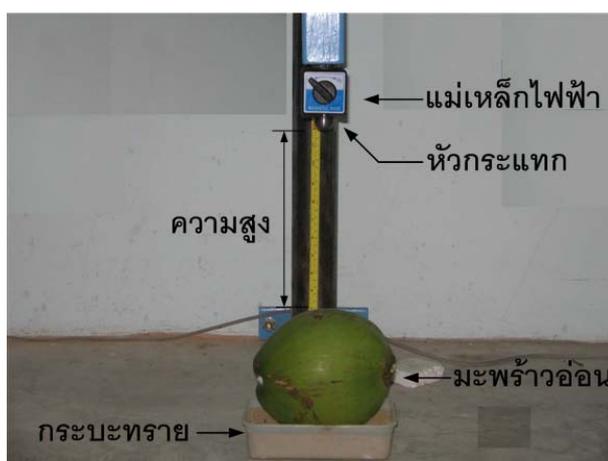
$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

h = ระยะห่างระหว่างหัวกระแทกกับผิวของผลมะพร้าวอ่อน

(เมตร)

3.1.7 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรซ้ำ (V_B) กับพลังงานกระแทก (E)

3.1.8 ทำการทดลองซ้ำ ขั้นตอนที่ 3.1.1 – 3.1.7 โดยใช้มะพร้าวอ่อนระยะหนึ่งชั้นและระยะสองชั้น



ภาพที่ 12 อุปกรณ์ทดสอบหาสมบัติการซ้ำแบบกระแทก

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรซ้ำกับพลังงานกระแทกขณะก่อนและที่จุดเริ่มเกิดรอยซ้ำ

ในการทดสอบนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรซ้ำและพลังงานกระแทกของมะพร้าว 3 ระยะการเจริญเติบโต ขณะก่อนและที่จุดเริ่มเกิดรอยซ้ำและหาระดับพลังงานน้อยที่สุดที่จะทำให้เริ่มเกิดการซ้ำของผลมะพร้าวอ่อนขึ้น

3.2.1 สุ่มเลือกผลมะพร้าวอ่อนพันธุ์น้ำหอมที่มีขนาดสม่ำเสมอเก็บใหม่จากสวน ไม่มีตำหนิและอยู่ในระยะหนึ่งชั้น จำนวน 60 ลูก

3.2.2 จัดอุปกรณ์การทดสอบดังภาพที่ 12 ก่อนการกระแทกนำน้ำมันพืชมาทาหน้าสัมผัสของหัว Plunger เพื่อให้กำหนดจุดซ้ำและผ่าดูรอยซ้ำได้ง่าย

3.2.3 ปล่อยหัว Plunger เหล็กขนาด 96 กรัม ตกกระทบผลมะพร้าวอ่อนจากความสูง 0.016, 0.017, 0.018 ถึง 0.030 เมตร ทำซ้ำความสูงละ 20 ซ้ำ ใช้มะพร้าวอ่อน 4 ลูก ลูกละ 5 รอย

3.2.4 เมื่อหัว Plunger กระแทกกับผิวของลูกมะพร้าว รอยน้ำมันที่ทาไว้จะติดที่ผิวของผลทิ้งไว้ 24 ชม. เพื่อให้รอยซ้ำของผลมะพร้าวอ่อนเกิดการเปลี่ยนสี ผ่ามะพร้าวอ่อนกลางบริเวณที่โดนกระแทก โดยผ่าขนานแกนข้างของผลมะพร้าวอ่อน วัดความกว้าง และความลึกรอยซ้ำ คำนวณปริมาตรซ้ำจากสูตร (2)

3.2.5 ผ่าดูรอยซ้ำของผลมะพร้าว นับจำนวนรอยซ้ำที่เกิด วัดความกว้างและความลึกของรอยซ้ำ คำนวณหา Probability of bruise จากสูตร (3)

3.2.6 คำนวณพลังงานกระแทกจากสูตร (4)

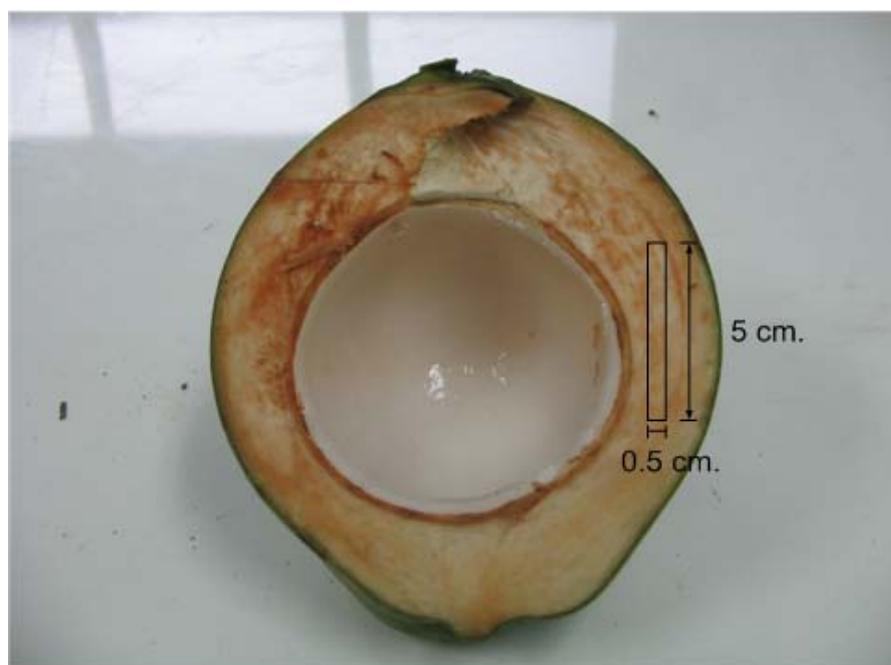
3.2.7 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง Probability of V_B occurrence กับพลังงานกระแทก (E)

3.2.8 ทดสอบซ้ำ ขั้นตอน 3.2.1 – 3.2.7 โดยเปลี่ยนมะพร้าวอ่อนเนื้อหนึ่งชั้น เป็นมะพร้าวเนื้อหนึ่งชั้นครึ่ง จำนวน 56 ลูก โดยปล่อยหัว Plunger ตกกระทบผลมะพร้าวอ่อน จากความสูง 0.014, 0.015, 0.016 ถึง 0.027 เมตร

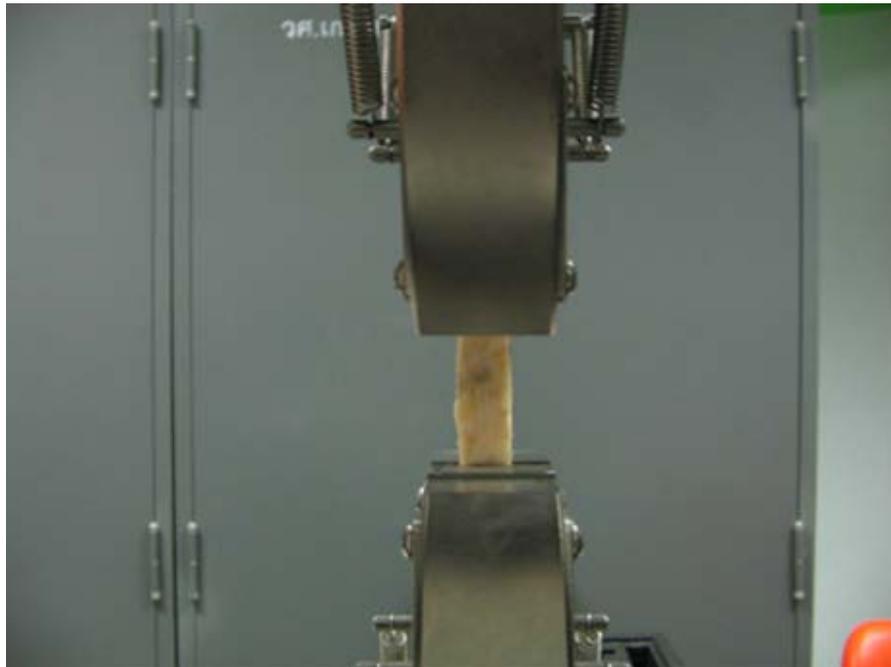
3.2.9 ทดสอบซ้ำ ขั้นตอน 3.2.1 – 3.2.7 โดยเปลี่ยนมะพร้าวอ่อนเนื้อหนึ่งชั้น เป็นมะพร้าวเนื้อสองชั้น จำนวน 76 ลูก โดยปล่อยหัว Plunger ตกกระทบผลมะพร้าวอ่อน จากความสูง 0.005, 0.006, 0.007 ถึง 0.023 เมตร

4. การทดสอบหาแรงดึงของกามมะพร้าว

การหาแรงดึงของกามมะพร้าว 3 ระยะการเจริญเติบโต ทำได้โดยเตรียมชิ้นทดสอบขนาด กว้าง 1 ซม. x ยาว 5 ซม. x หนา 0.5 ซม. ระยะการเจริญเติบโตละ 20 ชิ้น (ภาพที่ 13) ไปทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบ UTM ด้วยความเร็ว 15 มิลลิเมตรต่อนาที (ภาพที่ 14) ดึงจนชิ้นทดสอบเกิดรอยฉีกขาด บันทึกกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรง – การเปลี่ยนรูป



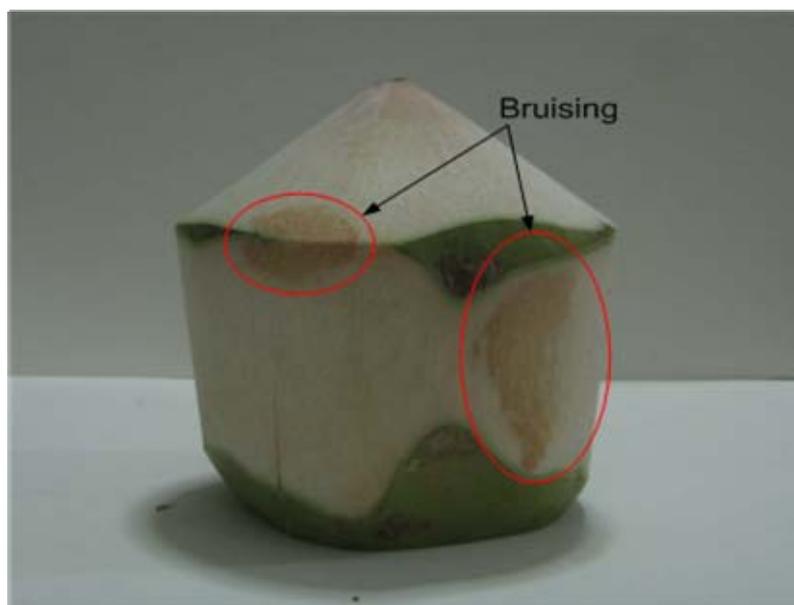
ภาพที่ 13 ลักษณะการเตรียมชิ้นทดสอบการหาแรงดึงกามมะพร้าว



ภาพที่ 14 การทดสอบดึงชิ้นก้ามมะพร้าวด้วยเครื่อง UTM

ผลและวิจารณ์

1. การประเมินความซ้ำของผลมะพร้าวอ่อนในการขายส่งและขายปลีก



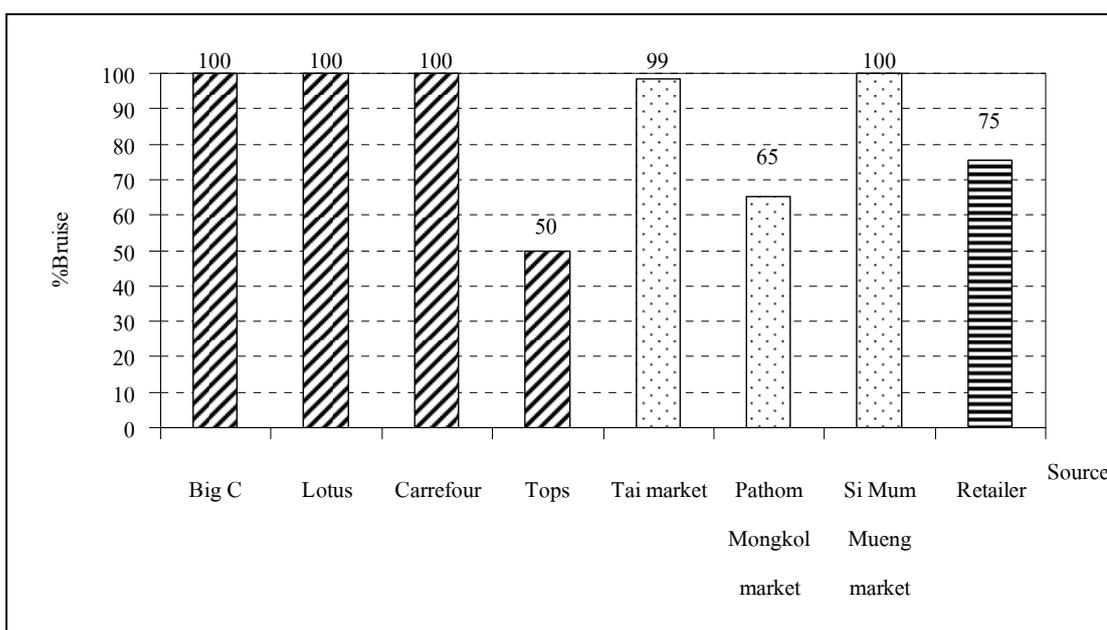
ภาพที่ 15 ลักษณะรอยซ้ำของผลมะพร้าวอ่อน

จากการสำรวจความซ้ำของผลมะพร้าวอ่อนรูปทรงห้าเหลี่ยมในการขายส่งและขายปลีก พบว่ารอยซ้ำจะเป็นสีน้ำตาล (ภาพที่ 15) ปรากฏบนกาบมะพร้าวสีขาว มีรูปร่างไม่แน่นอน บางรอยปรากฏอยู่บนผิว บางรอยเกิดรอยซ้ำมากจนกินถึงเข้าไปถึงส่วนที่เป็นกะลา การประเมินความซ้ำของผลมะพร้าวอ่อนแบ่งเป็น 3 ตัวแปร คือ

1.1 เปอร์เซ็นต์การซ้ำ

ภาพที่ 16 แสดงเปอร์เซ็นต์การซ้ำของมะพร้าวอ่อน พบว่าซูเปอร์มาร์เกต Big C, Lotus และ Carrefour มีรอยซ้ำทุกลูก มีค่าเปอร์เซ็นต์การซ้ำ 100 % Tops มีค่าเปอร์เซ็นต์การซ้ำ 50 % ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก Tops มีการคัดเลือกและจัดการผลผลิตที่ดี มะพร้าวอ่อนที่วางจำหน่ายตัดแต่งส่วนที่เป็นเปลือกสีเขียวออกจนหมด ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกจัดวางในตู้แช่ผักผลไม้ที่มีการปรับอุณหภูมิที่เหมาะสม ส่วนมะพร้าวอ่อนที่จำหน่ายที่ซูเปอร์มาร์เกตอื่น บางลูกตัดแต่งเปลือกสีเขียวออกไม่หมด บางลูกมีกลิ่นบูดและมีราขึ้น ตลาดขายส่ง ตลาดสี่มุมเมืองมีค่าเปอร์เซ็นต์การซ้ำมาก

ที่สุดที่ 100% รองลงมาคือ ตลาดไทและตลาดปทุมมงคลน้อยที่สุด ตลาดปทุมมงคลทำการคัดเลือกสวนที่มีมะพร้าวคุณภาพดี มีการเก็บเกี่ยวและขนส่งด้วยความระมัดระวัง อีกทั้งอยู่ใกล้แหล่งผลิตมากกว่าอีก 2 ตลาด ทำให้มีรอยช้ำน้อยกว่าตลาดสี่มุมเมืองและตลาดไท ร้านค้าปลีกมีค่าเปอร์เซ็นต์การช้ำ 75% ซึ่งน้อยกว่าตลาดขายส่งเนื่องจากสถานที่จำหน่ายมะพร้าวอ่อนอยู่ใกล้แหล่งปลูก ทำให้ระยะทางในการขนส่งสั้น มะพร้าวจะได้รับการกระทบกระเทือนน้อย มะพร้าวที่นำมาจำหน่ายจะนำมาทั้งทะเลาะแล้วจะทำการตัดแต่งก่อนจำหน่าย

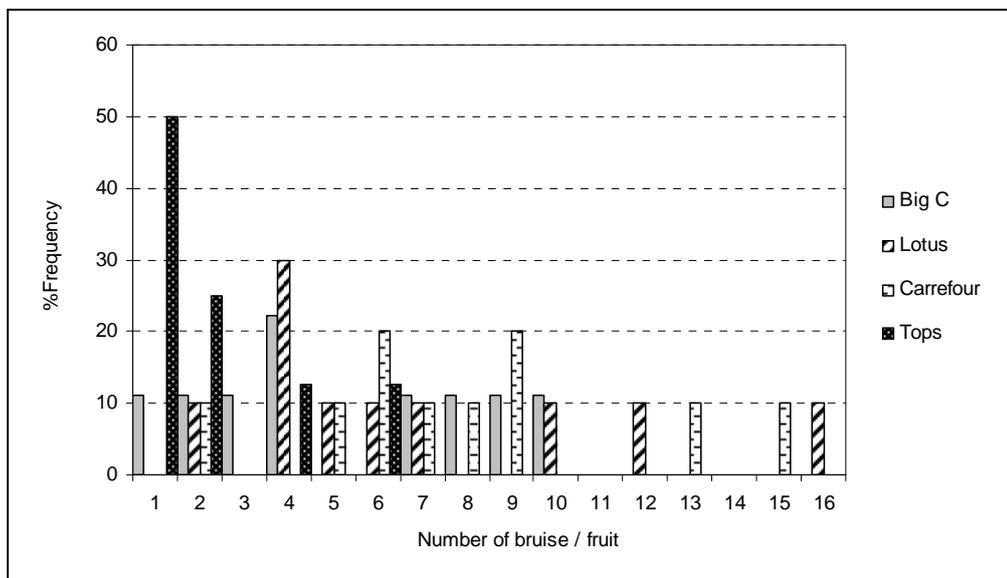


ภาพที่ 16 เปอร์เซ็นต์การช้ำของผลมะพร้าวอ่อนตามแหล่งจำหน่ายต่าง ๆ

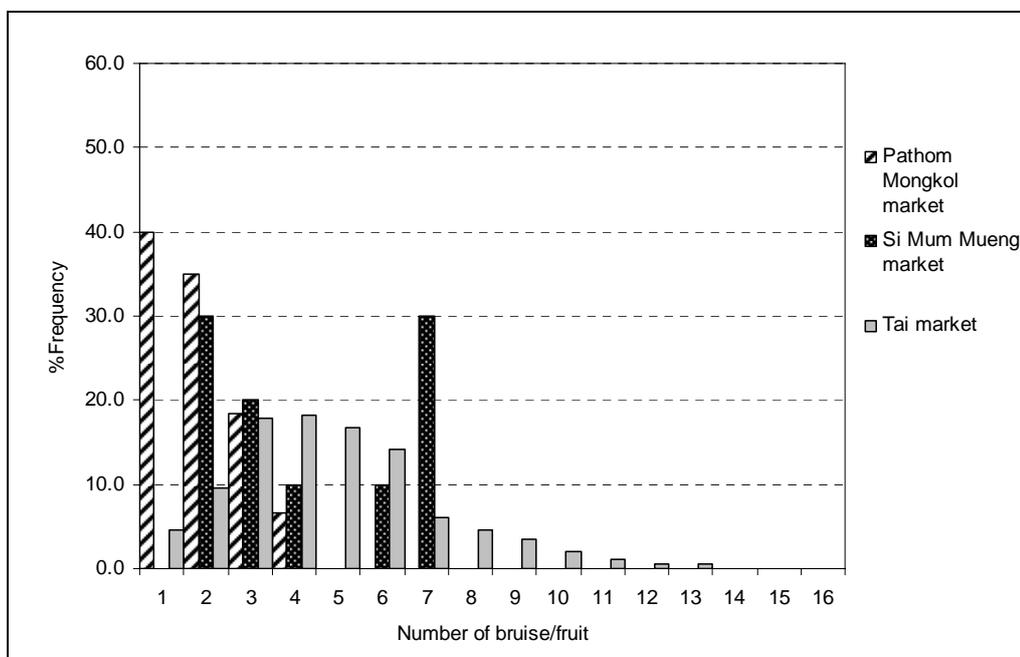
1.2 จำนวนรอยช้ำ/ผล

การประเมินความช้ำของมะพร้าวอ่อน โดยการหาจำนวนรอยช้ำ (ตารางที่ 2) พบว่า กลุ่มของซูเปอร์มาร์เกต (ภาพที่ 17) Big C และ Lotus พบรอยช้ำ 4 รอย/ผล มากที่สุดคิดเป็น 22.22% และ 30.00% ของตัวอย่างผลมะพร้าวที่สุ่มตรวจสอบทั้งหมดของแต่ละห้างตามลำดับ Carrefour พบรอยช้ำต่อผลสูงสุดที่ 6 และ 9 รอย/ผล คิดเป็น 20% Tops พบรอยช้ำ 1 รอย/ผล คิดเป็น 50% ในส่วนของตลาดขายส่ง (ภาพที่ 18) ตลาดไทพบรอยช้ำ 4 รอย/ผล มากที่สุดคิดเป็น 18.27% ตลาดปทุมมงคลพบรอยช้ำ 1 รอย/ผล เท่ากับ 40% สี่มุมเมือง พบรอยช้ำ 2 และ 7 รอย/ผล คิดเป็น 30% ร้านค้าปลีก (ภาพที่ 19) พบรอยช้ำ 4 รอย/ผล คิดเป็น 25% ภาพที่ 17 และ 18 มีลักษณะคล้ายกราฟเอ็กซ์โพเนนเชียลความถี่ของจำนวนรอยช้ำจะลดลงเมื่อจำนวนรอยช้ำต่อลูกเพิ่มขึ้น

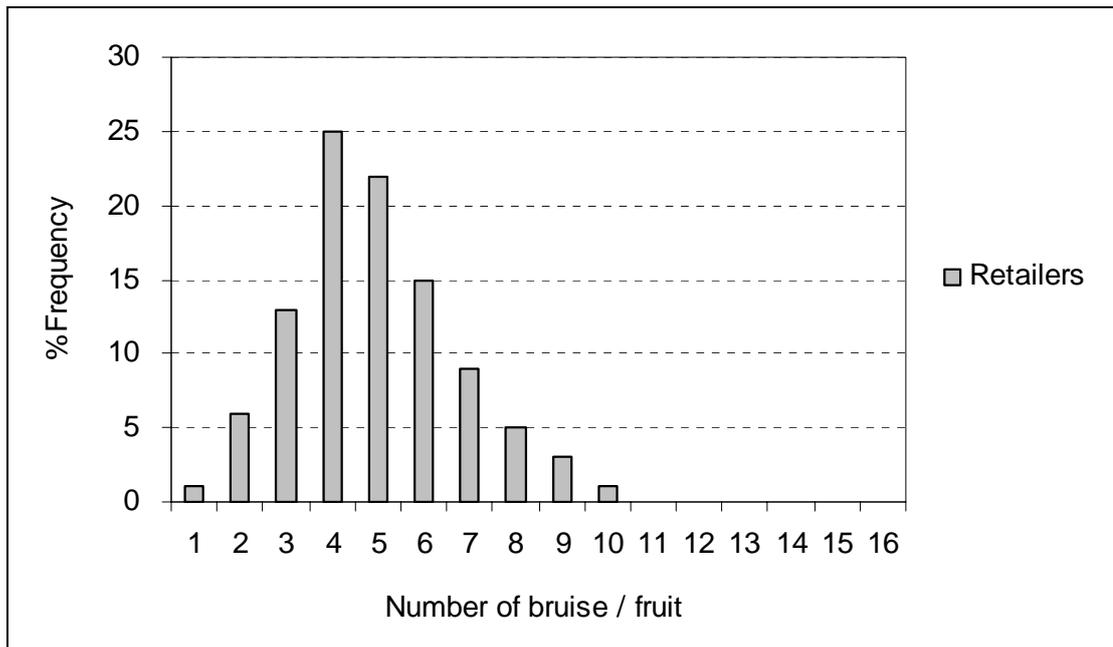
ส่วนภาพที่ 19 มีลักษณะคล้ายกราฟ Normal Distribution หรือรูปประฆังคว่ำ การกระจายตัวของจำนวนรอยขีด่วนใหญ่อยู่ในส่วนกลางของข้อมูล และจะค่อย ๆ ลดลงไป ทางด้านซ้ายและขวาของกราฟ



ภาพที่ 17 ความถี่ในการเกิดรอยขีด่วนของมะพร้าวอ่อนที่จำหน่ายในซูเปอร์มาร์เก็ต



ภาพที่ 18 ความถี่ในการเกิดรอยขีด่วนของมะพร้าวอ่อนที่จำหน่ายในตลาดขายส่ง



ภาพที่ 19 ความถี่ในการเกิดรอยช้ำของมะพร้าวอ่อนที่จำหน่ายในร้านค้าปลีก

ตารางที่ 2 ความถี่ของการเกิดรอยขีดของมะพร้าวอ่อนในตลาดขายส่งและขายปลีก

No of Bruise/fruit	% frequency							
	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*
1	11.11	-	-	50.00	4.57	40.00	-	1.00
2	11.11	10.00	10.00	25.00	9.64	35.00	30.0	6.00
3	11.11	-	-	-	17.77	18.33	20.0	13.00
4	22.22	30.00	-	12.50	18.27	6.67	10.0	25.00
5	-	10.00	10.00	-	16.75	-	0.0	22.00
6	-	10.00	20.00	12.50	14.21	-	10.0	15.00
7	11.11	10.00	10.00	-	6.09	-	30.0	9.00
8	11.11	-	10.00	-	4.57	-	-	5.00
9	11.11	-	20.00	-	3.55	-	-	3.00
10	11.11	10.00	-	-	2.03	-	-	1.00
11	-	-	-	-	1.02	-	-	-
12	-	10.00	-	-	0.51	-	-	-
13	-	-	10.00	-	0.51	-	-	-
14	-	-	0.00	-	-	-	-	-
15	-	-	10.00	-	-	-	-	-
16	-	10.00	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ 1* = Big C

5* = Tai market

2* = Lotus

6* = Pathom Mongkol market

3* = Carrefour

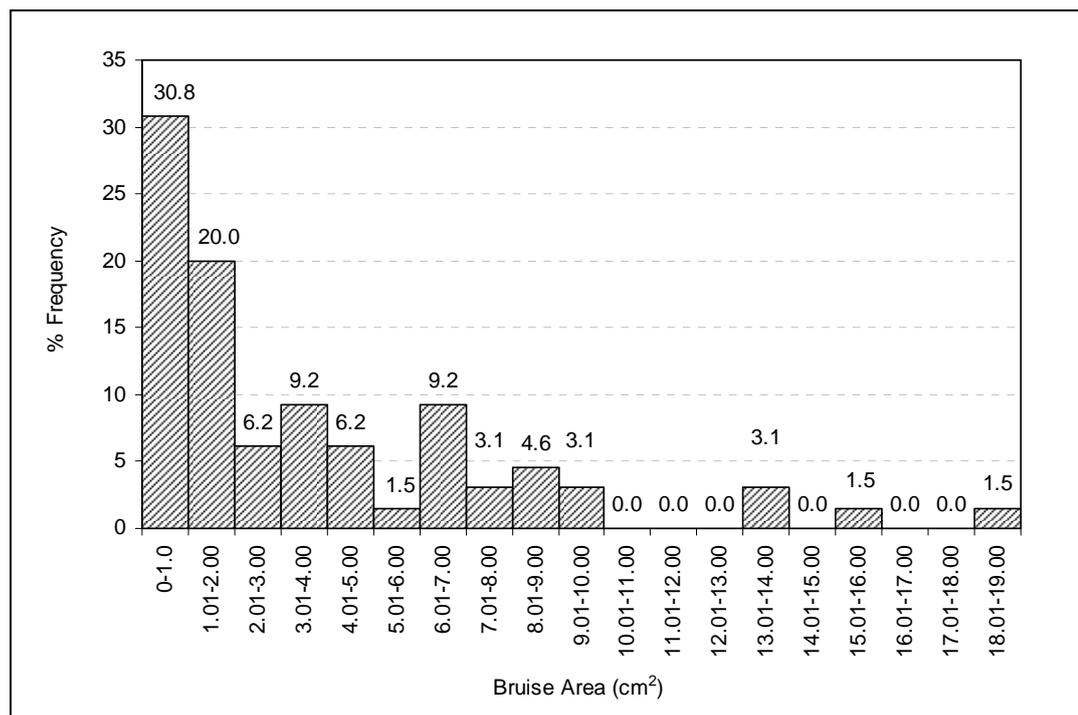
7* = Si Mum Mueng market

4* = Tops

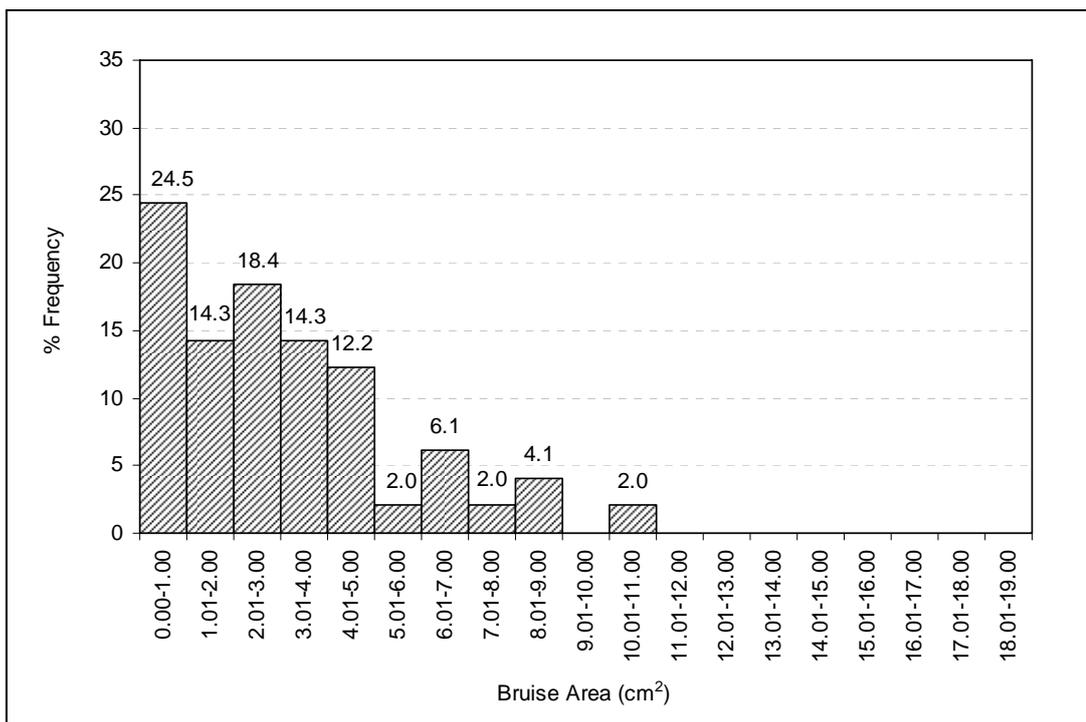
8* = Retailers

1.3 การหาพื้นที่ขั้ว

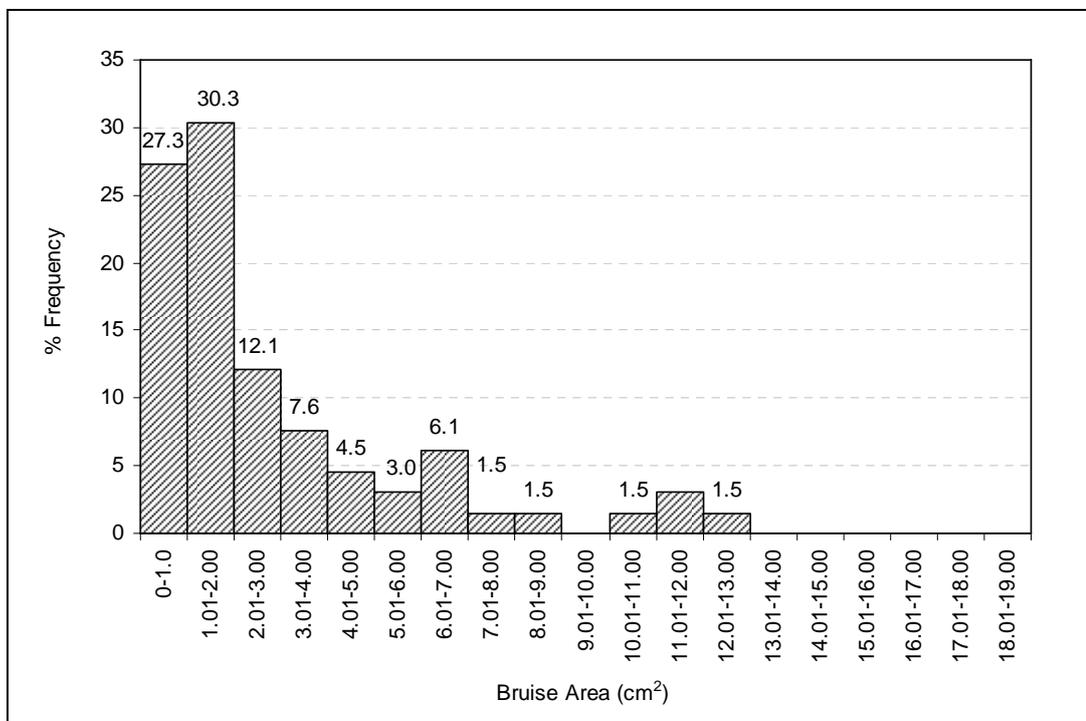
การหาพื้นที่ขั้วของมะพร้าวอ่อนในการขายส่งและขายปลีก (ภาพที่ 20 - 27) พบว่า ซุปเปอร์มาร์เก็ต Big C และ Lotus มีความถี่ในการเกิดรอยขั้วสูงที่สุดในช่วง 0.00 – 1.00 ตารางเซนติเมตร เท่ากับ 30.8 % และ 24.49% ตามลำดับ Carrefour มากที่สุด ในช่วง 1.01 – 2.00 ตารางเซนติเมตร เท่ากับ 30.30% Tops สูงที่สุดในช่วง 0.00 – 1.00 และ 1.01 – 2.00 ตารางเซนติเมตร เท่ากับ 30% ตลาดขายส่ง ตลาดไท ตลาดปฐมมงคล และตลาดสี่มุมเมือง มีพื้นที่ขั้วมากที่สุด ในช่วง 0.00 – 1.00 ตารางเซนติเมตร เท่ากับ 30.92%, 54.84% และ 29.27% ตามลำดับ ร้านค้าปลีก มากที่สุดในช่วง 0.00 – 1.00 ตารางเซนติเมตร เท่ากับ 30.41% กราฟความถี่ของพื้นที่ขั้วของทุกแหล่งจำหน่ายมีลักษณะคล้ายกราฟเอ็กโพเนนเชียลแสดงให้เห็นว่ารอยขั้วที่เกิดขึ้นใหญ่เป็นรอยขั้วที่มีพื้นที่น้อย ๆ ยิ่งพื้นที่รอยขั้วมีขนาดใหญ่ขึ้นความถี่ในการเกิดจะลดลง



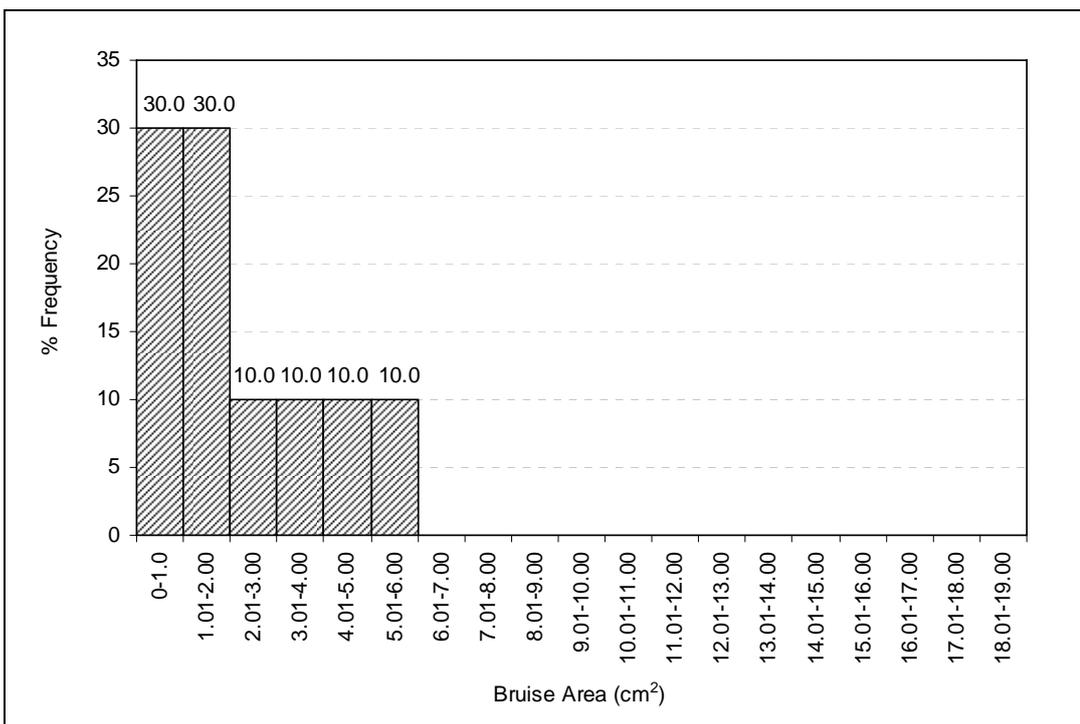
ภาพที่ 20 ความถี่ของพื้นที่รอยขั้วที่สำรวจจากซุปเปอร์มาร์เก็ต Big C



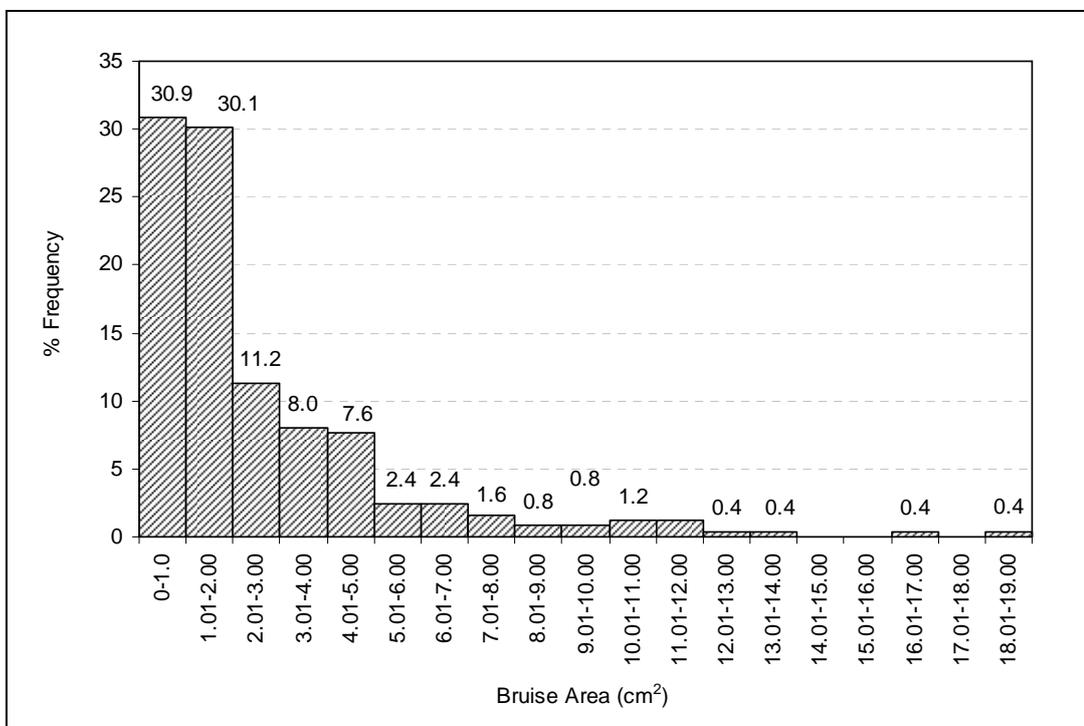
ภาพที่ 21 ความถี่ของพื้นที่รอยช้ำที่สำรวจจากซูเปอร์มาร์เก็ต Lotus



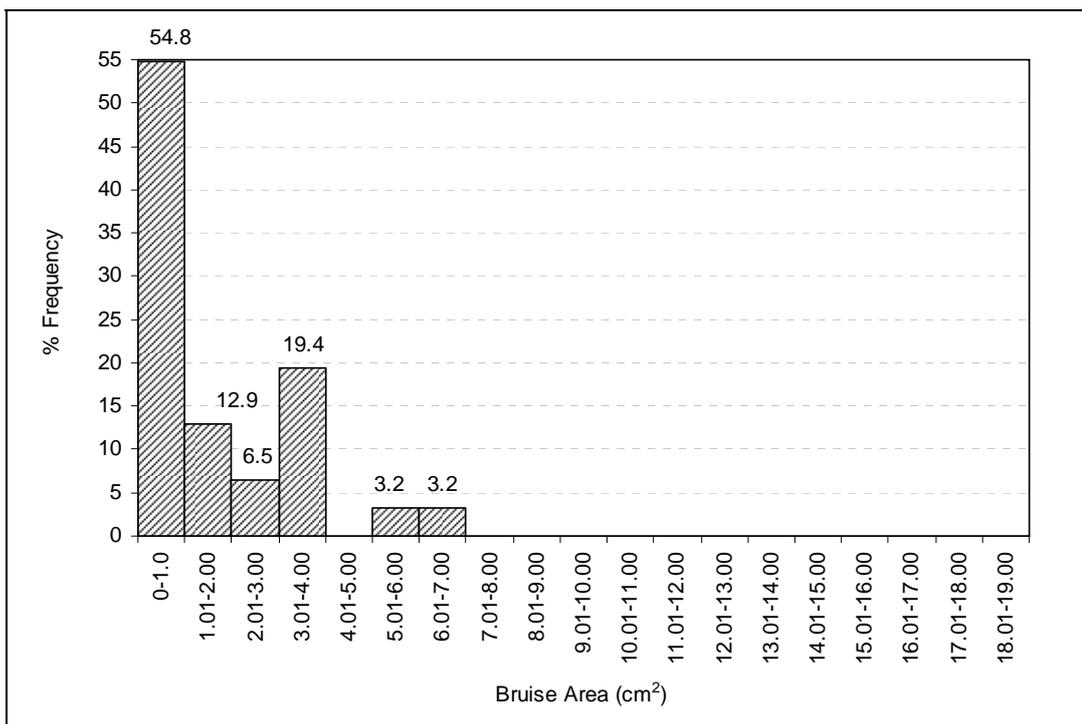
ภาพที่ 22 ความถี่ของพื้นที่รอยช้ำที่สำรวจจากซูเปอร์มาร์เก็ต Carrefour



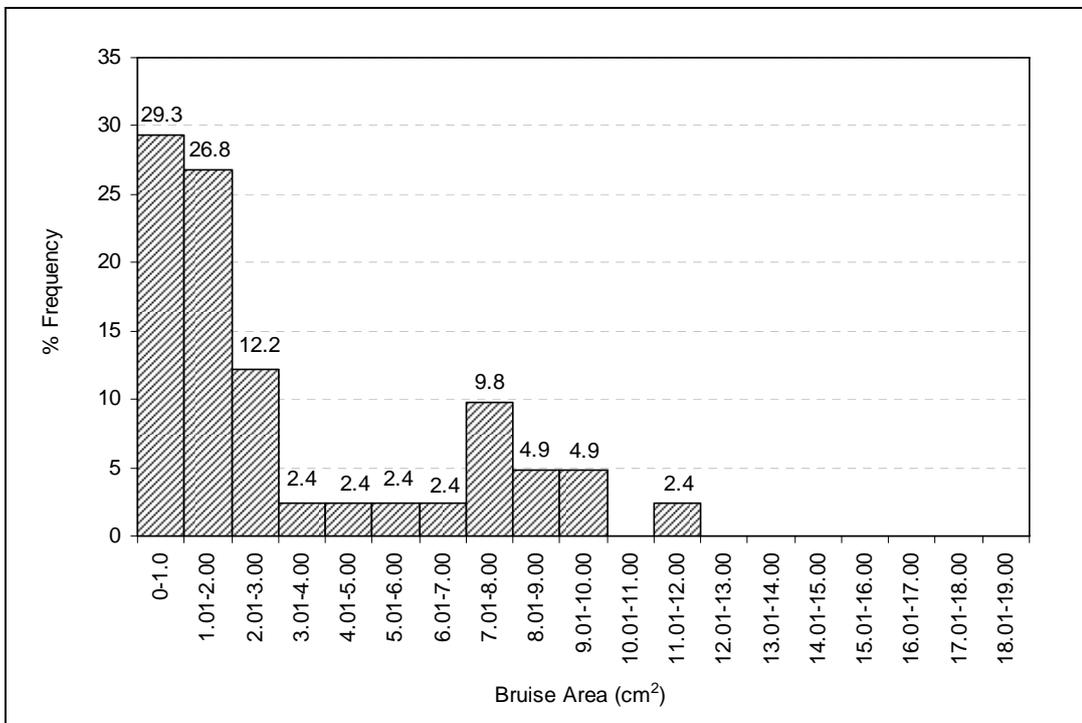
ภาพที่ 23 ความถี่ของพื้นที่รอยชำที่สำรวจจากซูปเปอร์มาร์เก็ต Tops



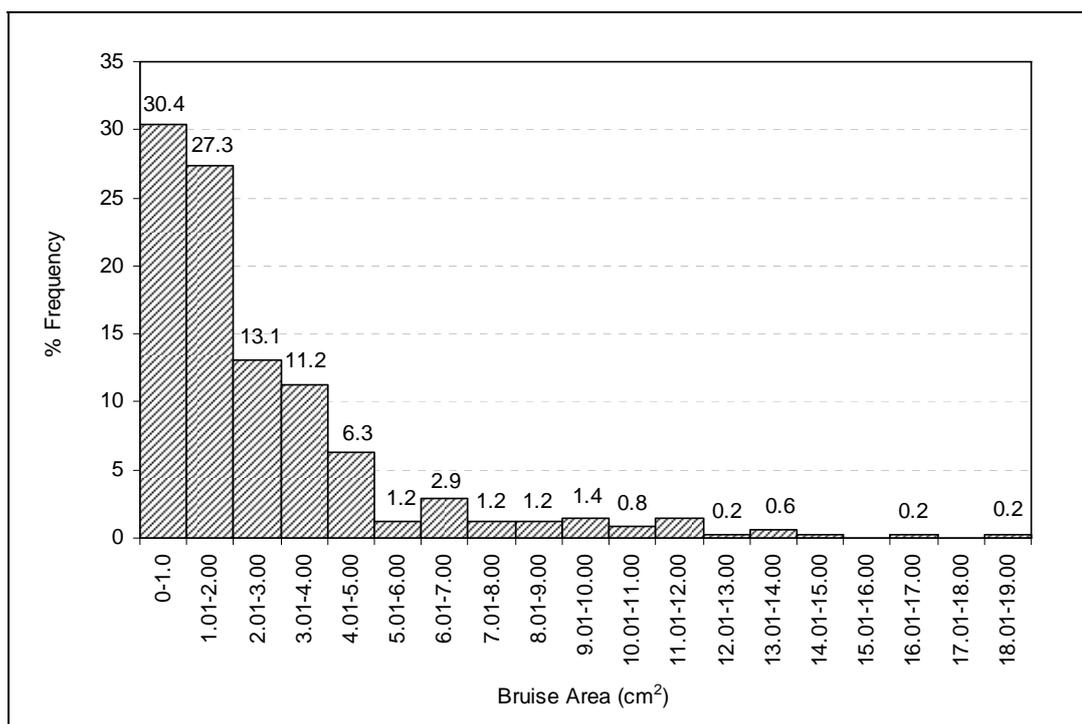
ภาพที่ 24 ความถี่ของพื้นที่รอยชำที่สำรวจจากตลาดไท



ภาพที่ 25 ความถี่ของพื้นที่รอยช้ำที่สำรวจจากตลาดปทุมมงคล



ภาพที่ 26 ความถี่ของพื้นที่รอยช้ำที่สำรวจจากตลาดสี่มุมเมือง

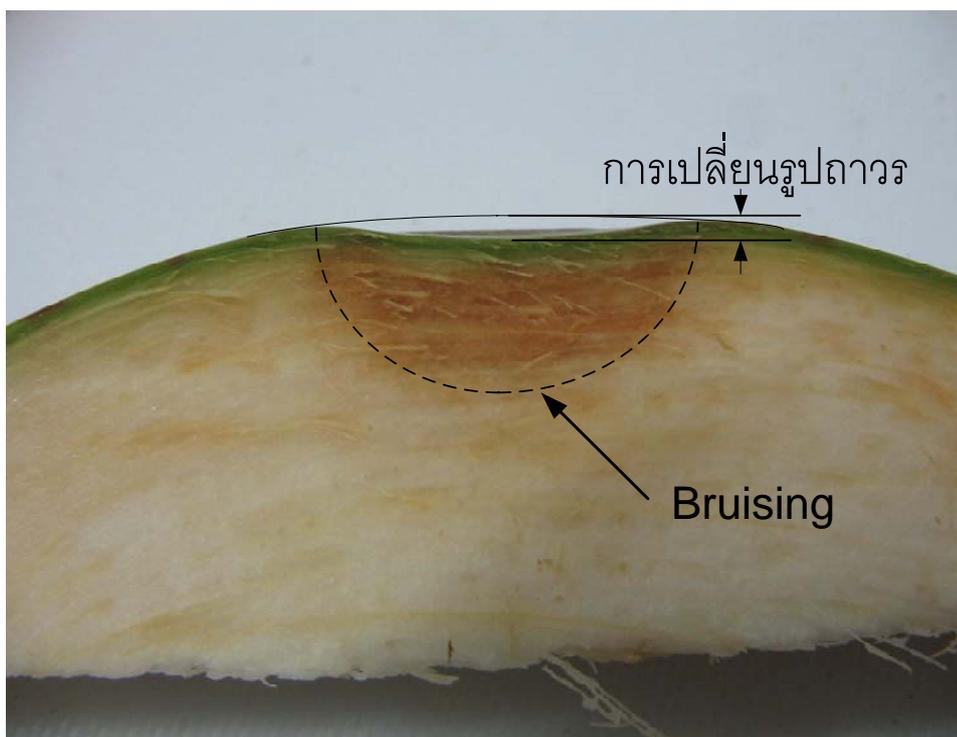


ภาพที่ 27 ความถี่ของพื้นที่รอยช้ำที่สำรวจจากร้านค้าปลีก

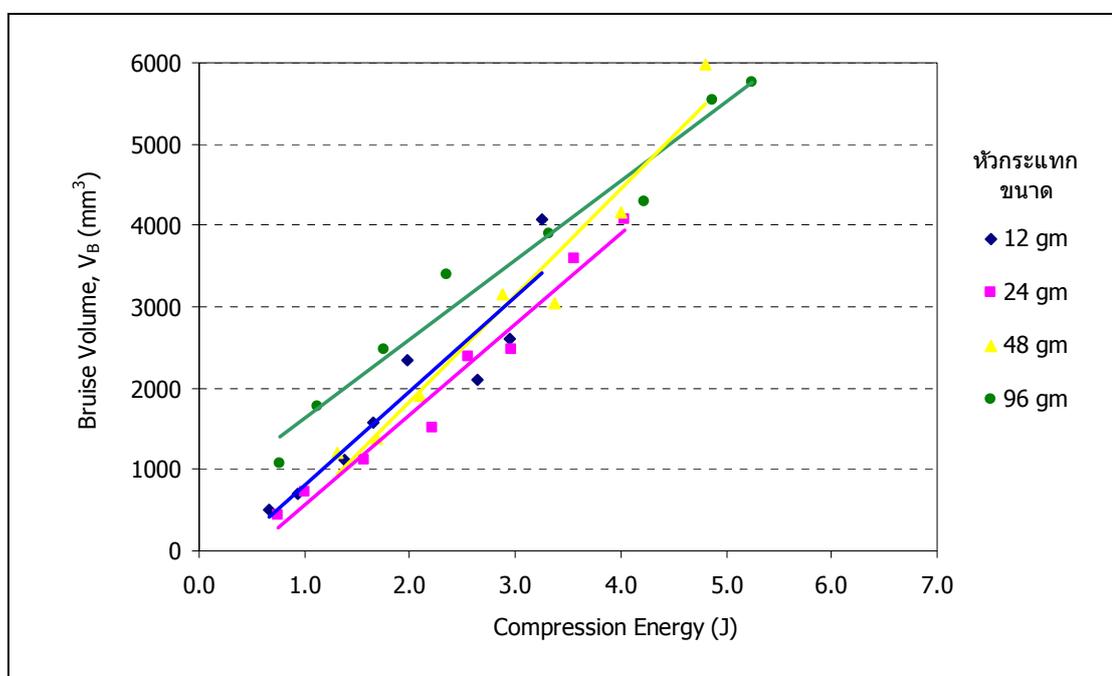
2. การหาสมบัติการเข้าเชิงกลของผลมะพร้าวอ่อนเนื่องจากการกดแบบซ้ำ

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรซ้ำและพลังงานกด เลยจุดเริ่มเกิดรอยช้ำ (Beyond Threshold)

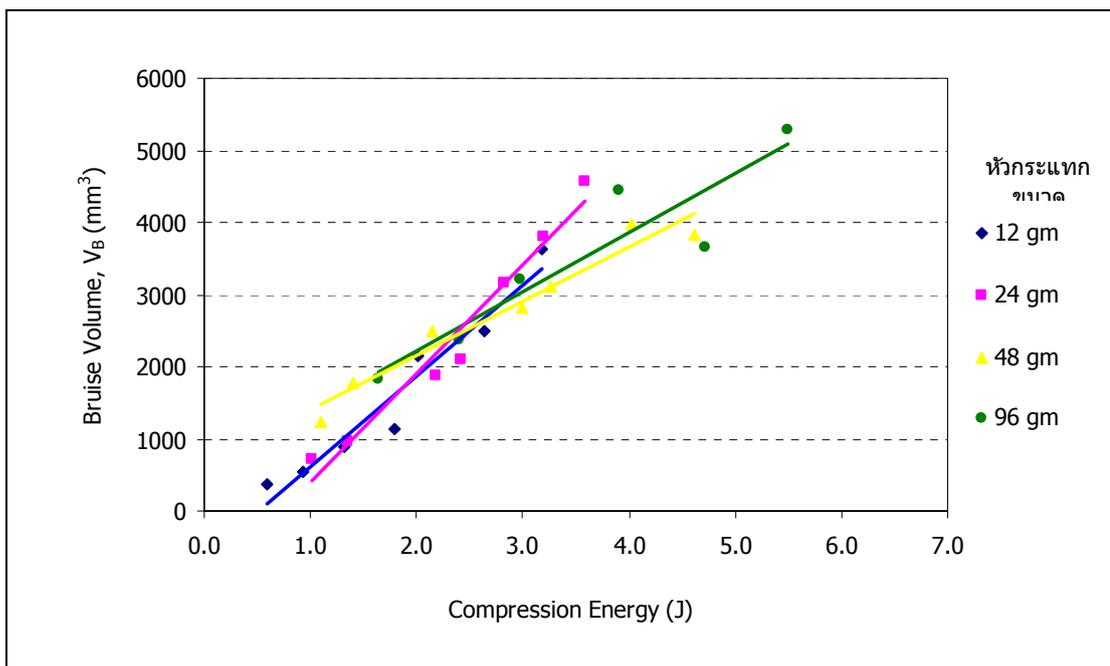
การทดสอบการกดของมะพร้าวอ่อนด้วยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ พบว่าเปลือกสีเขียวของมะพร้าวอ่อนมีการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรเมื่อได้รับแรงกด ลักษณะรอยช้ำของมะพร้าวอ่อนมีลักษณะเป็นรูปครึ่งวงกลมสีน้ำตาล ปรากฏจากเปลือกสีเขียวเข้าไปภายในกามมะพร้าว (ภาพที่ 28) เมื่อนำค่าปริมาตรซ้ำ (V_B) กับพลังงานกด (E) ของหัว Plunger ทั้ง 4 ขนาด มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ (ภาพที่ 29-31) พบว่าปริมาตรซ้ำเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรง เมื่อพลังงานกดสูงขึ้น



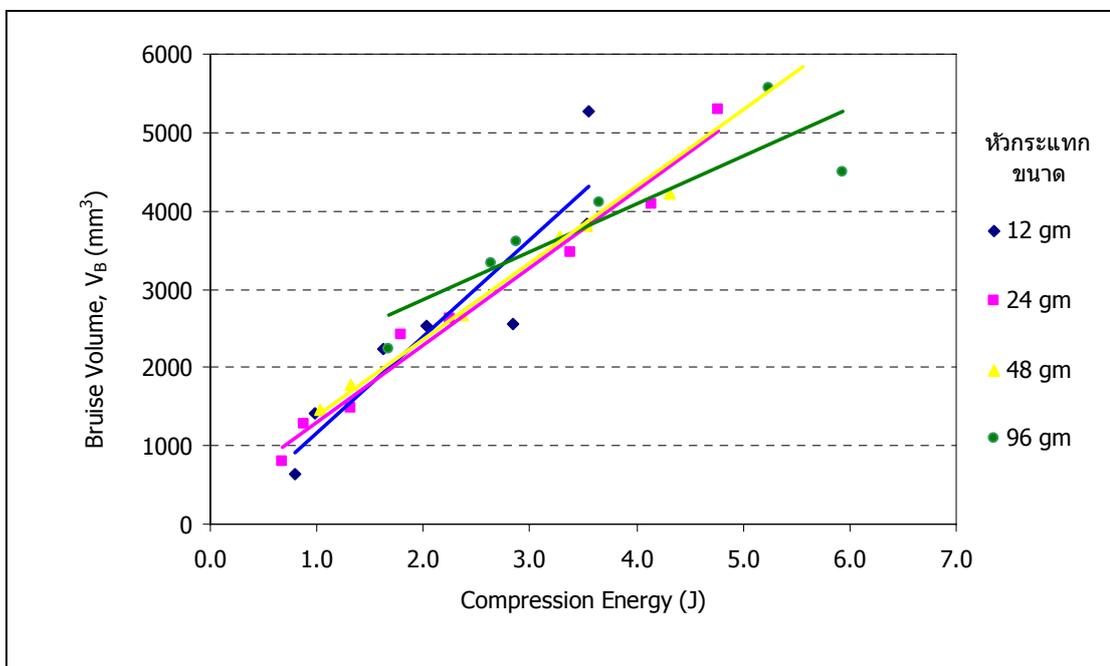
ภาพที่ 28 ลักษณะรอยช้ำของมะพร้าวอ่อนจากการกดโดยหัว Plunger



ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเนื้อช้ำ (V_B) และพลังงานกด (E) ของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature เมื่อกดด้วยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเนื้อข้าว (V_B) และพลังงานกด (E) ของมะพร้าวอ่อนระยะ Mature เมื่อกดด้วยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเนื้อข้าว (V_B) และพลังงานกด (E) ของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature เมื่อกดด้วยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ

ตารางที่ 3 สมการรีเกรสชันเส้นตรงระหว่างปริมาตรซ้ำกับพลังงานกดที่ใช้ในการกดของผล
มะพร้าวอ่อนเมื่อกดด้วยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ

Maturity	Plunger Size (g)	Regression line	R ²
Immature	12	$V_B = 1155.9E-350.47$	0.87
	24	$V_B = 1111.4E-553.82$	0.97
	48	$V_B = 1303.6E-775.47$	0.95
	96	$V_B = 971.39E+652.83$	0.97
Mature	12	$V_B = 1261.8E-645.99$	0.94
	24	$V_B = 1498.5E-1092.3$	0.96
	48	$V_B = 749.51E+664.37$	0.95
	96	$V_B = 817.96E+584.45$	0.85
Overmature	12	$V_B = 1228.3E-50.798$	0.84
	24	$V_B = 990.71E+303.69$	0.97
	48	$V_B = 918.33E-165.88$	0.95
	96	$V_B = 608.4E+1657.9$	0.77

ตารางที่ 3 แสดงค่าสมการรีเกรสชันเส้นตรงของมะพร้าวอ่อนที่กดด้วยหัวทดสอบ
ขนาดต่าง ๆ ปริมาตรเนื้อซ้ำแปรผันตรงกับพลังงานกดอย่างดี ที่หัว plunger ขนาด 96 กรัม ปริมาตร
ซ้ำจะลดลง เมื่ออายุของมะพร้าวอ่อนเพิ่มขึ้นที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการทดสอบการกดมะพร้าว
จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากยิ่งอายุของมะพร้าวเพิ่มขึ้นกามมะพร้าวที่มีโพรงคล้ายฟองน้ำจะยุบตัว
ลงทำให้แรงในการกดส่วนหนึ่งเสียไปกับการทำให้กามมะพร้าวยุบตัวจึงเกิดรอยซ้ำน้อยลง
เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยควบคุม (ตารางที่ 4) คือ ระยะเวลาเจริญเติบโต
และ ขนาดหัวทดสอบต่อการซ้ำ ปรากฏว่าระยะเวลาเจริญเติบโตขนาดของหัว Plunger และ
interaction ระหว่างระยะเวลาเจริญเติบโตและขนาดของหัว Plunger ล้วนมีอิทธิพลต่อการซ้ำ
ที่ระดับความสำคัญ 5% เมื่อพิจารณาปริมาตรซ้ำเป็นค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตาม interaction ของขนาดหัวทดสอบและระยะเวลาเจริญเติบโต (ตารางที่ 5) พบว่าหัวทดสอบ
ขนาด 96 กรัม มีความสอดคล้องกันทางสถิติทุกระยะการเจริญเติบโต โดยที่หัวทดสอบขนาด
12, 24 และ 48 กรัม มีความสอดคล้องกันทางสถิติอยู่ในกลุ่มเดียวกันทุกระยะการเจริญเติบโต

เมื่อพิจารณาปริมาณข้าวของมะพร้าวในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ในหัวทดสอบเดียวกัน พบว่ามะพร้าวอ่อนระยะสองชั้นเกิดปริมาณข้าวสูงสุดทั้ง 3 หัวทดสอบ รองลงมาคือ หนึ่งชั้นและชั้นครึ่งตามลำดับ หัวทดสอบขนาด 96 กรัมจะให้ค่าปริมาณข้าวสูงกว่าหัวทดสอบขนาด 12, 24 และ 48 กรัม จึงทำการเลือกหัว Plunger ขนาด 96 กรัม ซึ่งสามารถทำให้มะพร้าวอ่อนเกิดรอยข้าวได้ง่ายและชัดเจนไปทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณข้าวกับพลังงานกค ณ จุดก่อนและที่จุดเริ่มเกิดรอยข้าว (Below and at Threshold) ต่อไป

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยควบคุมคือ ระยะการเจริญเติบโต และขนาดหัว Plunger ต่อการข้าว

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	23150902.019	11	2104627.456	14.353	.000
Intercept	999736852.070	1	999736852.070	6817.919	.000
MATURITY	9193970.510	2	4596985.255	31.350	.000
PLUNGER	4170170.556	3	1390056.852	9.480	.000
MATURITY * PLUNGER	9786760.952	6	1631126.825	11.124	.000
Error	139008768.109	948	146633.722		
Total	1161896522.198	960			
Corrected Total	162159670.128	959			

ตารางที่ 5 ปริมาตรซ้ำและความแตกต่างทางสถิติตามขนาดของหัว Plunger ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตที่ระดับความสำคัญทางสถิติ 5%

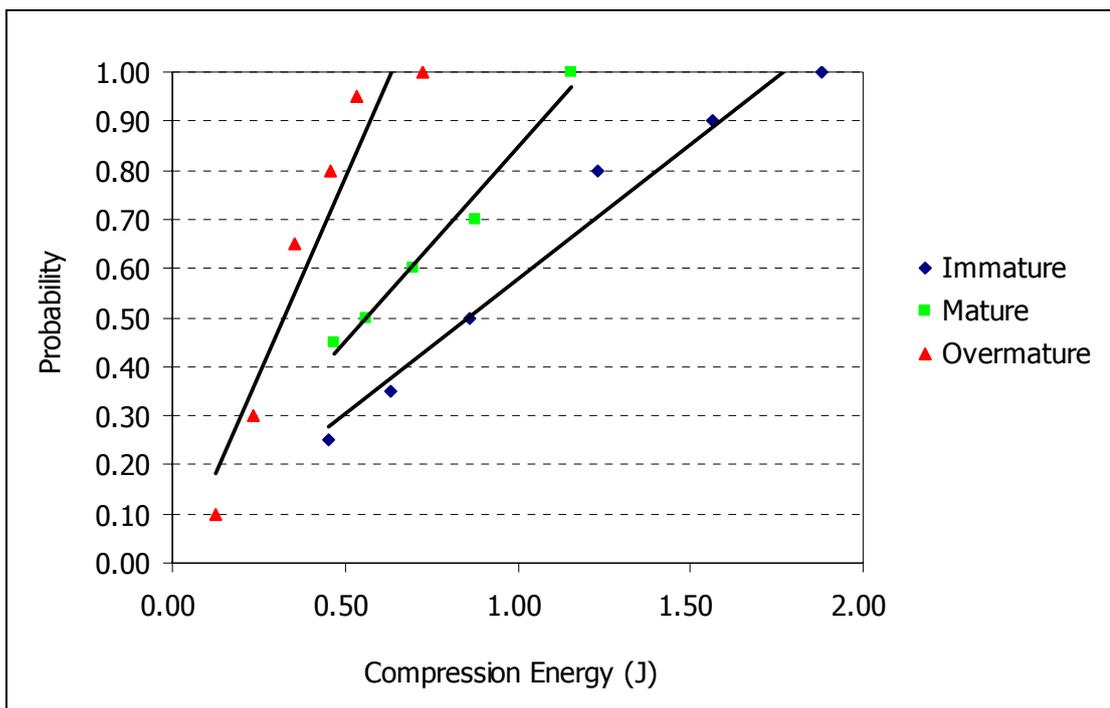
Maturity	Impactor			
	12	24	48	96
หนึ่งชั้น	938.4270 (294.07) a	813.7250 (238.48) a	876.3380 (424.864) a	1304.2937 (237.89)b
ชั้นครึ่ง	839.5937 (216.60) a	876.5033 (288.54) a	1030.6570 (274.26) a	948.0778 (135.46) b
สองชั้น	1113.8302 (237.09) a	1229.5934 (200.97) a	1138.1627 (399.46) a	1136.6354 (113.28) b

หมายเหตุ 1. ตัวเลขในวงเล็บคือ ค่า SD (Standard Deviation)

2. ตัวแปรปริมาตรซ้ำตัวเดียวกัน ตัวอักษรตามหลังเลขที่ไม่เหมือนกันใน Column เดียวกัน แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรซ้ำกับพลังงานกด ณ จุดก่อนและที่จุดเริ่มเกิดรอยซ้ำ (Below and at Threshold)

ภาพที่ 32 แสดงความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดการซ้ำกับพลังงานกดที่ความน่าจะเป็น (Probability) =1 ของมะพร้าวอ่อนที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ พบว่าค่าพลังงานที่ทำให้เริ่มเกิดการซ้ำ (Threshold Energy) ของมะพร้าวมีความแตกต่างกัน โดยมะพร้าวเนื้อหนึ่งชั้นจะสามารถรับพลังงานได้มากที่สุด รองลงมาคือ เนื้อหนึ่งชั้นครึ่งและสองชั้นตามลำดับ โดยมะพร้าวอ่อนมีค่าพลังงานที่ทำให้เริ่มเกิดการซ้ำ (Prob = 1) และปริมาตรซ้ำ (ตารางที่ 6) ดังนี้มะพร้าวเนื้อหนึ่งชั้นมีค่าพลังงานที่ทำให้เกิดรอยซ้ำสูงที่สุด 1.88 ± 0.339 จูล มีค่าปริมาตรซ้ำเท่ากับ 2188.392 ± 455 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ,มะพร้าวเนื้อชั้นครึ่งมีค่าพลังงาน 1.66 ± 0.113 จูล มีค่าปริมาตรซ้ำเท่ากับ 1823.434 ± 480 ลูกบาศก์มิลลิเมตร และมะพร้าวเนื้อสองชั้นมีค่าพลังงาน 0.72 ± 0.092 จูล มีค่าปริมาตรซ้ำเท่ากับ 981.812 ± 290 ลูกบาศก์มิลลิเมตร



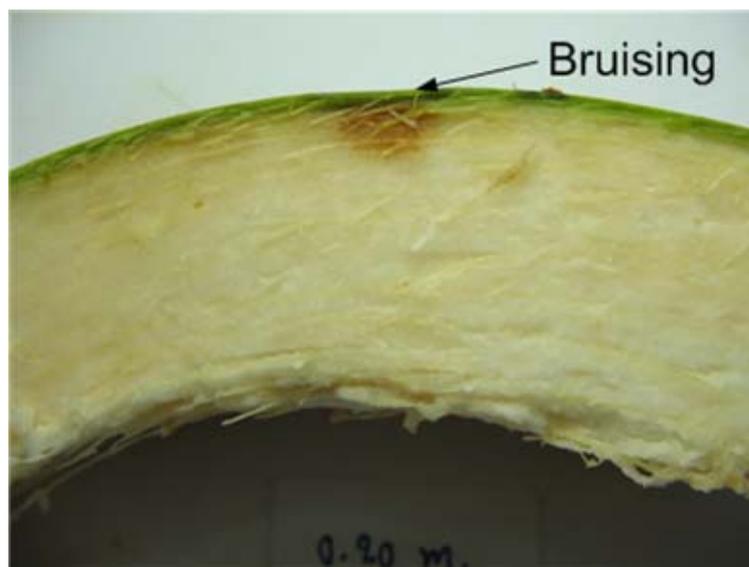
ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดการชำรุดกับพลังงานที่ใช้ในการกด ที่ความน่าจะเป็น (Probability) =1 ของมะพร้าวอ่อนที่ 3 ระยะการเจริญเติบโต

ตารางที่ 6 ปริมาตรชำและพลังงานกดที่ระดับเริ่มเกิดรอยชำ (Threshold Energy) ที่ความน่าจะเป็นของการชำ = 1 ของมะพร้าวอ่อน

Maturity	Bruise volume (mm ³)	Threshold energy (J)
Immature	2188.392 ± 455	1.88 ± 0.339
Mature	1823.434 ± 480	1.66 ± 0.113
Overmature	981.812 ± 290	0.72 ± 0.092

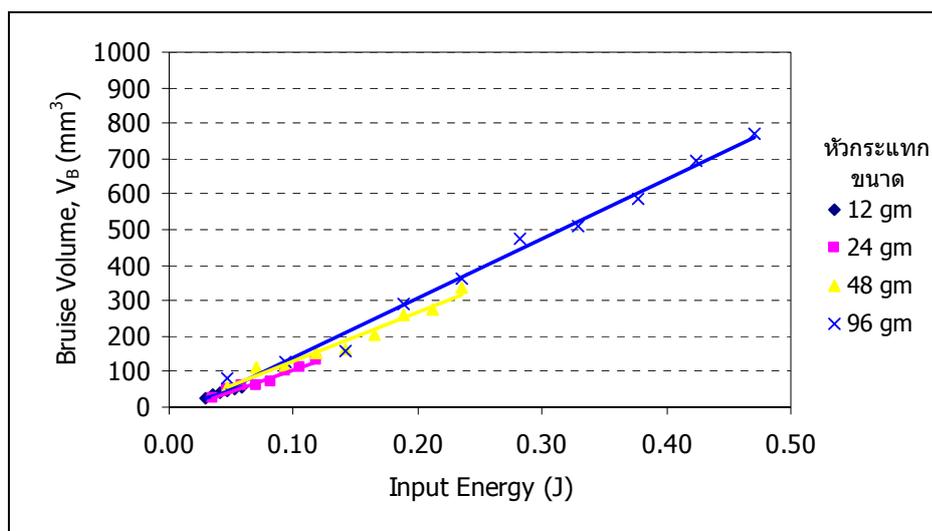
3. การศึกษาการช้ำของมะพร้าวอ่อนเนื่องจากภาวะการกระทบ

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณช้ำและพลังงานกระทบ เลขจุดเริ่มเกิดรอยช้ำ (Beyond Threshold)

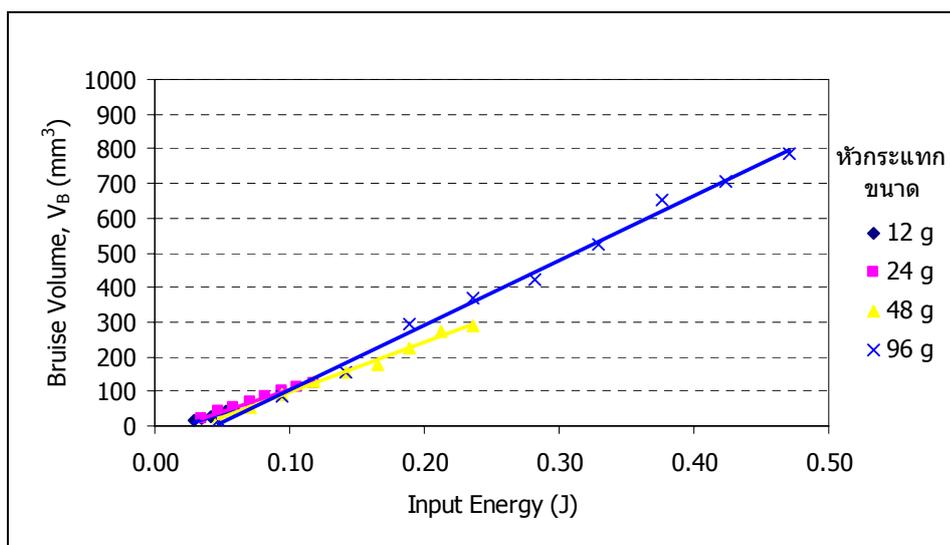


ภาพที่ 33 ลักษณะรอยช้ำของมะพร้าวอ่อนจากการกระทบโดยหัว Plunger

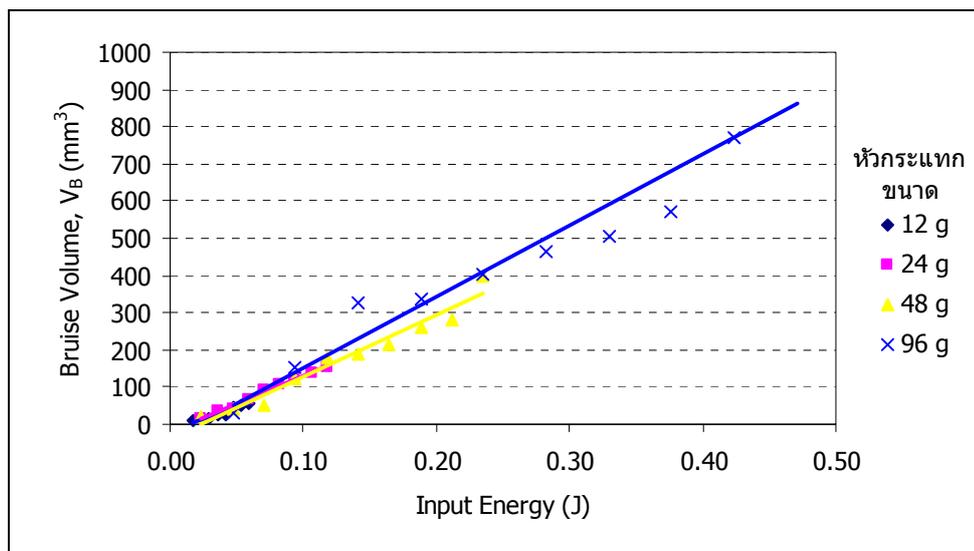
จากการทดสอบการกระทบของผลมะพร้าวอ่อนด้วยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ พบว่าลักษณะรอยช้ำของมะพร้าวอ่อน มีลักษณะเป็นรูปครึ่งวงกลมสีน้ำตาลปรากฏจากเปลือกสีเขียว บริเวณที่ถูกกระทบเข้าไปภายในเนื้อกามมะพร้าว คล้ายกับการทดสอบด้วยวิธีการกด (ภาพที่ 33) เมื่อนำค่าปริมาณช้ำ (V_B) กับพลังงานกระทบ (E) ของหัว Plunger ทั้ง 4 ขนาดมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ (ภาพที่ 34 - 36) พบว่าปริมาณช้ำเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรง เมื่อพลังงานกระทบเพิ่มขึ้น โดยที่หัว Plunger ขนาด 96 กรัม ให้ค่าความชันสูงที่สุดในทุก ๆ ระยะการเจริญเติบโต รองลงมาคือ 48, 24 และ 12 กรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเนื้อชำ (V_B) และพลังงานกระแทก (E) ของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature เมื่อกระแทกด้วยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ



ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเนื้อชำ (V_B) และพลังงานกระแทก (E) ของมะพร้าวอ่อนระยะ Mature เมื่อกระแทกด้วยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ



ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเนื้อช้ำ (V_B) และพลังงานกระแทก (E) ของมะพร้าวอ่อน ระยะ Overmature เมื่อกระแทกด้วยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ

ตารางที่ 7 แสดงค่า สมการรีเกรสชันเส้นตรงของมะพร้าวอ่อนที่กระแทกด้วยหัวกระแทกขนาดต่าง ๆ ปริมาณเนื้อช้ำ แปรผันตรงกับพลังงานกระแทก ค่าความไวต่อการช้ำ (bruise susceptibility) มากหมายถึง วัตถุที่มีปริมาณช้ำมากจากพลังงานกระแทก 1 หน่วยเดียวกัน หัว Plunger ขนาด 12 กรัม มีค่าความไวต่อการช้ำต่ำที่สุด เนื้อหนึ่งชั้นเท่ากับ 998.58 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูล เนื้อหนึ่งชั้นครึ่งเท่ากับ 1172.6 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูล เนื้อสองชั้นเท่ากับ 1215.6 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูล โดยที่หัว Plunger ขนาด 96 กรัม จะให้ค่าความไวต่อการเกิดรอยช้ำสูงที่สุด เนื้อหนึ่งชั้นเท่ากับ 16776.6 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูล เนื้อหนึ่งชั้นครึ่งเท่ากับ 1869.6 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูล และเนื้อสองชั้นเท่ากับ 1924.5 ลูกบาศก์มิลลิเมตร/จูล แสดงว่าหัว Plunger ขนาด 96 กรัม ให้ค่า Bruise susceptibility สูงที่สุด ซึ่งจะทำให้เห็นรอยช้ำง่ายดังนั้นก็จึงเลือกหัว Plunger ขนาด 96 กรัม ไปใช้ในการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณช้ำก่อนและที่จุดเริ่มเกิดรอยช้ำต่อไป

ตารางที่ 7 สมการรีเกรสชันเส้นตรงระหว่างปริมาตรซ้ำกับพลังงานกระแทกของผลมะพร้าวอ่อน เมื่อกระแทกด้วยหัวกระแทกขนาดต่าง ๆ

Maturity	Plunger Size (g)	Regression line	R ²
Immature	12	$V_B = 998.58E+3.5425$	0.97
	24	$V_B = 1193.85E-14.305$	0.96
	48	$V_B = 1375.1E-7.6812$	0.96
	96	$V_B = 1677.6E-29.156$	0.99
Mature	12	$V_B = 1172.6E-21.535$	0.98
	24	$V_B = 1259E-20.441$	0.99
	48	$V_B = 1460.6E-48.863$	0.97
	96	$V_B = 1869.6E-82.661$	0.99
Overmature	12	$V_B = 1215.6E-15.947$	0.95
	24	$V_B = 1503.4E-20.923$	0.99
	48	$V_B = 1660.8E-39.949$	0.92
	96	$V_B = 1924.5E-41.785$	0.96

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยควบคุม (ตารางที่ 8) คือ ระยะเวลาเจริญเติบโต และขนาดหัว Plunger ต่อการซ้ำ ปรากฏว่าระยะเวลาเจริญเติบโตขนาดของหัว Plunger และ interaction ระหว่างระยะเวลาเจริญเติบโตและขนาดของหัว Plunger ล้วนมีอิทธิพลต่อการซ้ำที่ระดับความสำคัญ 5% เมื่อพิจารณาปริมาตรซ้ำเป็นค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตาม interaction ของขนาดหัวทดสอบและระยะเวลาเจริญเติบโต (ตารางที่ 9) พบว่ามีลักษณะคล้ายกับการทดสอบโดยวิธีการกดคือ หัวทดสอบขนาด 96 กรัม จะให้ค่าปริมาตรซ้ำสูงที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโต รองลงมาคือ 48, 24 และ 12 กรัม ตามลำดับ จึงเลือกหัว Plunger ขนาด 96 กรัม มาใช้ในการทดลองต่อไปเมื่อพิจารณาปริมาตรซ้ำ แต่ระยะการเจริญเติบโตในหัวทดสอบเดียวกัน พบว่ามะพร้าวอ่อนระยะสองชั้นเกิดปริมาตรซ้ำสูงที่สุดในทุกหัวทดสอบ รองลงมาคือ หนึ่งชั้นและชั้นครึ่ง ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยควบคุมคือ ระยะการเจริญเติบโต และขนาดหัว Plunger ต่อการชำ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	100266146.216(a)	11	9115104.201	68.148	.000
Intercept	1238384304.312	1	1238384304.312	9258.622	.000
MATURITY	15321136.276	2	7660568.138	57.273	.000
PLUNGER	78129956.104	3	26043318.701	194.710	.000
MATURITY * PLUNGER	3681970.870	6	613661.812	4.588	.000
Error	141512487.608	1058	133754.714		
Total	1596877434.256	1070			
Corrected Total	241778633.825	1069			

ตารางที่ 9 ปริมาตรชำและความแตกต่างทางสถิติตามขนาดของหัวทดสอบในแต่ละระยะการเจริญเติบโตที่ระดับความสำคัญทางสถิติ 5%

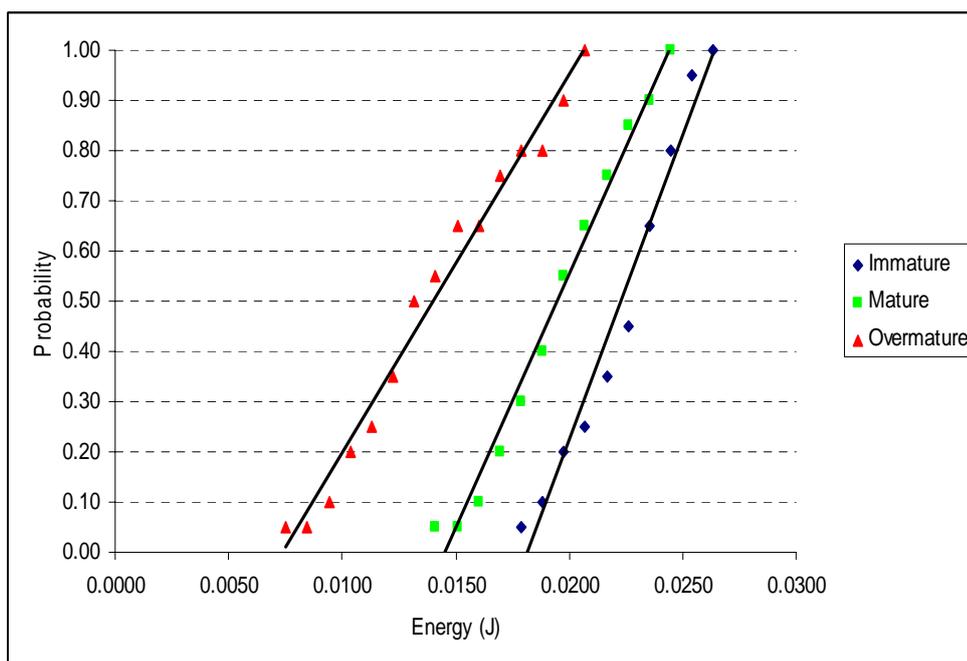
Maturity	Impactor			
	12	24	48	96
หนึ่งชั้น	950.230 (156.53) a	981.2721 (200.76) b	1237.0893 (342.89) c	1534.6539 (271.24) d
ชั้นครึ่ง	657.1967 (144.05) a	756.5202 (412.57) b	916.1436 (405.24) c	1362.4383 (452.00) d
สองชั้น	742.6562 (250.77) a	1118.2911 (367.94) b	1216.3489 (445.08) c	1668.1541 (519.99) d

หมายเหตุ 1. ตัวเลขในวงเล็บคือ ค่า SD (Standard Deviation)

2. ตัวแปรปริมาตรชำตัวเดียวกัน ตัวอักษรตามหลังเลขที่ไม่เหมือนกันใน Colume เดียวกัน แสดงค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันทางสถิติ

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซ้ำก่อนและที่จุดเริ่มเกิดรอยซ้ำ (Below and at Threshold)

ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (ภาพที่ 37) ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดการซ้ำกับพลังงานกระแทกที่ความน่าจะเป็น (Probability) = 1 ของมะพร้าวอ่อนที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ พบว่าค่าพลังงานที่ทำให้เริ่มเกิดการซ้ำ (Threshold Energy) ของมะพร้าวมีความแตกต่างกัน โดยมะพร้าวเนื้อหนึ่งชั้นจะสามารถรับพลังงานได้มากที่สุด รองลงมาคือ เนื้อหนึ่งชั้นครึ่งและสองชั้นตามลำดับ โดยมะพร้าวอ่อนมีค่าพลังงานที่ทำให้เริ่มเกิดการซ้ำ (Prob = 1) และปริมาณซ้ำ (ตารางที่ 9) ดังนี้มะพร้าวเนื้อหนึ่งชั้นมีค่าพลังงานที่ทำให้เกิดรอยซ้ำสูงที่สุด 0.0264 จูล มีค่าปริมาณซ้ำเท่ากับ 18.59 ± 4.606 ลูกบาศก์มิลลิเมตร, มะพร้าวเนื้อชั้นครึ่งมีค่าพลังงาน 0.0245 จูล มีค่าปริมาณซ้ำเท่ากับ 10.67 ± 0.763 ลูกบาศก์มิลลิเมตร และมะพร้าวเนื้อสองชั้นมีค่าพลังงาน 0.0207 จูล มีค่าปริมาณซ้ำเท่ากับ 8.47 ± 1.550 ลูกบาศก์มิลลิเมตร

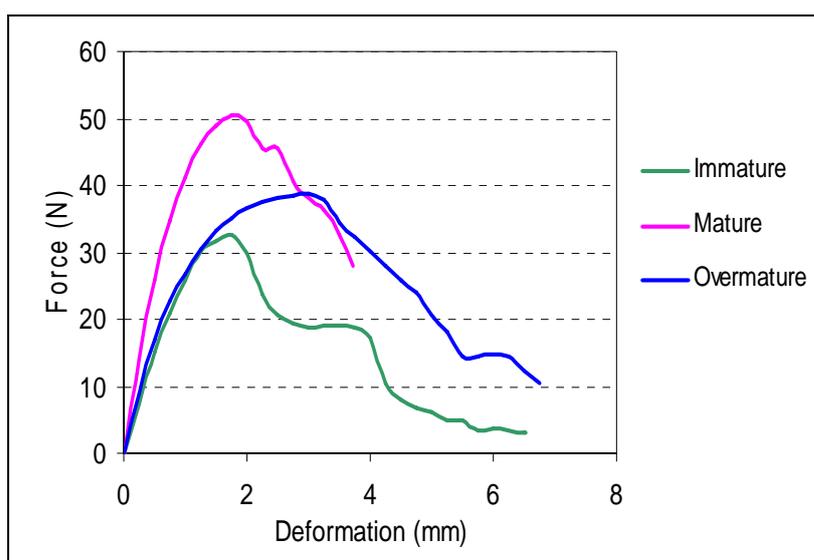


ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดการซ้ำ กับพลังงานกระแทก ที่ความน่าจะเป็น (Probability) = 1 ของมะพร้าวอ่อนที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

ตารางที่ 10 ปริมาตรซ้ำ และพลังงานกระแทกที่ระดับเริ่มเกิดรอยซ้ำ (Threshold Energy) ที่ความน่าจะเป็นของการซ้ำ = 1 ของมะพร้าวอ่อน

Maturity	Bruise volume (mm ³)	Threshold energy (J)
Immature	18.59 ± 4.606	0.0264
Mature	10.67 ± 0.763	0.0245
Overmature	8.47 ± 1.550	0.0207

การทดสอบ Slow compression และ Impact test ให้ Bruise susceptibility สอดคล้องกัน คือ มะพร้าวอ่อนระยะชั้นครึ่งจะให้ค่าปริมาตรซ้ำน้อยกว่า มะพร้าวอ่อนระยะหนึ่งชั้นและสองชั้น เนื่องจากกามมะพร้าวอ่อนระยะชั้นครึ่งมีความแข็งแรงกว่าอีก 2 ระยะ ซึ่งสอดคล้องกับการหาค่าแรงดึงของกามมะพร้าวอ่อน (ภาพที่ 38) พบว่ามะพร้าวอ่อนระยะชั้นครึ่ง จะให้ค่าความชันสูงที่สุด $\cong 50$ N/mm รองลงมาคือ มะพร้าวสองชั้น และหนึ่งชั้น ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากมะพร้าวอ่อนระยะหนึ่งชั้นกามมะพร้าวจะมีลักษณะเป็นเกือบเนื้อเดียวกัน เมื่อมะพร้าวมีอายุหนึ่งชั้นครึ่งตรงส่วนเส้นใยหลักจะมีการพัฒนาจนเป็นเส้นแข็งทำให้สามารถรับแรงได้มากขึ้น จนมะพร้าวมีอายุสองชั้นเส้นใยรอบ ๆ เส้นใยหลักจะเกิดการหดตัวเป็นโพรงอากาศมีลักษณะคล้ายฟองน้ำทำให้ความสามารถในการรับแรงลดลง



ภาพที่ 38 กราฟแรงและการเปลี่ยนรูปจากการทดสอบแรงดึงกามมะพร้าวอ่อน



Immature



Mature



Overmature

ภาพที่ 39 ลักษณะความแตกต่างของกามมะพร้าวที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาการชำและสมบัติเชิงกลของมะพร้าวอ่อน ทดสอบกับมะพร้าวอ่อน 3 ระยะการเจริญเติบโตคือ ระยะหนึ่งชั้น ชั้นครึ่ง และสองชั้น

1. การทดสอบภายใต้การกระทำเกือบสถิตพบว่า การทดสอบโดยการกดมะพร้าวอ่อนระยะหนึ่งชั้นครึ่งมีความไวต่อการเกิดรอยชำดำที่สุด ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวมีค่าปริมาตรชำที่จุดเริ่มเกิดรอยชำเท่ากับ 1823.434 ± 480 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ค่าพลังงาน 1.66 ± 0.113 จูล

2. การทดสอบการกระแทกพบว่า มะพร้าวอ่อนระยะหนึ่งชั้นครึ่ง มีความไวต่อการเกิดรอยชำดำที่สุด การกระแทกจะทำให้เกิดค่าปริมาตรชำที่จุดเริ่มเกิดรอยชำ 10.67 ± 0.763 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ค่าพลังงานเท่ากับ 0.0245 จูล

3. จากค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามะพร้าวอ่อนสามารถรับแรงกดได้มากกว่าแรงกระแทกถึง 67 เท่า ดังนั้นในขั้นตอนของการเก็บเกี่ยว การขนส่ง ตลอดจนกระบวนการต่าง ๆ ก่อนถึงมือผู้บริโภคต้องระมัดระวังไม่ให้มะพร้าวอ่อนถูกกระแทกจะสามารถช่วยลดความเสียหายเนื่องจากการชำได้

ข้อเสนอแนะ

1. การคัดเลือกมะพร้าวแต่ละระยะที่นำมาทดสอบควรคัดด้วยผู้ที่ความชำนาญ เพื่อจะได้มะพร้าวที่ระยะการเจริญเติบโตตามต้องการ

2. มะพร้าวที่นำมาทดสอบควรเป็นมะพร้าวฤดูกาลเดียวกัน เนื่องจากอุณหภูมิความชื้นปริมาณฝน มีผลต่อการเจริญเติบโตของลูกมะพร้าวอย่างมาก

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. มะพร้าว. ฐานความรู้ด้านพืช (DOA Plant Knowledge Base). แหล่งที่มา: www.doa.go.th, 8 สิงหาคม 2548.

กลุ่มเกษตรสัญจร. 2531. มะพร้าวน้ำหอม. ครั้งที่ 1. สหมิตร, กรุงเทพฯ.

จิ่งแท้ ศิริพานิช. 2546. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและไม้ผล. ครั้งที่ 5. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นพพร สายัมพล. 2542. มะพร้าว, น. 233 - 249. ใน ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร, ผู้รวบรวม. **พืชเศรษฐกิจ**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นพรัตน์ บำรุงรักษ์. 2536. **พืชหลักปลูกได้**. ปิรามิด, กรุงเทพฯ.

บัณฑิต จริโมภาส, อุดมศักดิ์ กิจทวี, วันปิติ รังสี และ สยาม คุ่มแสงทอง. 2545. ระบบการวัดพื้นที่อัตโนมัติ. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 9 (1): 57-63.

_____, ณัชชญา เปี่ยมคล้า และ ปวีณา สว่างเนตร. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของโฟมตาข่ายในการป้องกันผลแอปเปิ้ลจากการกระแทก. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 10 (1).

_____, และ ศุภกิตต์ สายสุนทร. 2547. การปรับปรุงเครื่องทดสอบการกระแทกแบบ Ballistic Pendulum. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 11 (1) มกราคม-ธันวาคม 2547.

_____, พิมพ์พรรณ ปรี่องาม, รุ่งฤดี พรสกุลเลิศชัย และ วิเศษ ศรีชลเพชร. 2548ก. การศึกษาเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์ขนส่งผลเงาะสดภายใต้สภาวะสั้นสะท้อนจำลอง, ใน การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 7. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, มหาสารคาม.

บัณฑิต จริโมภาส, นัยวัฒน์ สุขทั้ง, ปิติพร ตอพรหม และ วิเศษ ศรีชลเพชร. 2548ข. การศึกษาเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์ขายส่งผลชมพูสดภายใต้สภาวะสั้นสะท้อนจำลอง สัมมนาทางวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติ ครั้งที่ 3 วันที่ 10-11 ตุลาคม 2548 ณ โรงแรมทิพย์วิมานรีสอร์ท หาดชะอำ จังหวัดเพชรบุรี.

_____, และ สาริกา สารการ. 2548ค. สมบัติเชิงกลของผลชมพูไทย. บทความวิจัยเสนอในการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 7 จัดโดยสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระหว่างวันที่ 23-24 มกราคม 2549. มหาสารคาม

_____, บุญยวิษ ศรีสวัสดิ์, นิตติพงษ์ ใจสิน และ พนิดา บุญปลุกษ์. 2548ง. สมบัติเชิงกลบางประการของผลมะเขือยาว. บทความวิจัยเสนอในการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 6 จัดโดยสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยร่วมกับคณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คลอง 6 ระหว่างวันที่ 30 - 31 มีนาคม 2548 ณ โรงแรมแกรนด์มิราเคิล กรุงเทพฯ.

_____, พนิดา บุญปลุกษ์, ชนิตา บุพตา และ ธนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง. 2548จ. อัตราส่วนปิวของและโมดูลัสยังของหัวไซเท้า. บทความวิจัยเสนอในการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 6 จัดโดยสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ร่วมกับ คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คลอง 6 ระหว่างวันที่ 30-31 มีนาคม 2548 ณ. โรงแรมแกรนด์มิราเคิล กรุงเทพฯ

_____, ชนิตา บุพตา, ธนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง และ ศักดา จันทร์ทอง. 2549. พฤติกรรมเชิงกลของผลแก้วมังกร. บทความวิจัยเสนอในการประชุมวิชาการครั้งที่ 7 จัดโดยสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระหว่างวันที่ 23-24 มกราคม 2549. มหาสารคาม

เบญจมาศ รัตนชินกร. 2548. การปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวมะพร้าวอ่อน. แหล่งที่มา:

http://www.doa.go.th/data_agri/COCONUT, 8 สิงหาคม 2548.

- ปราโมทย์ กุศล. 2547. การออกแบบและพัฒนาเครื่องเปิดผลมะพร้าวอ่อน. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พร รุ่งแจ้ง. 2541. มะพร้าว, น. 110-116. ใน ภาควิชาพืชไร่นา, ผู้รวบรวม. **พฤกษศาสตร์พืช
เศรษฐกิจ**. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- พานิชย์ ยศปัญญา. 2544. มะพร้าวพืชสารพัดประโยชน์. บริษัท พิมเนศ พรินท์ติ้ง เซ็นเตอร์
จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ASAE Standards. 1994. **Compression test of food materials of convex shape**. ASAE S368.3
The American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI. p 472-476.
- Chen, P., M. Ruiz-Altisent and P. Barreiro. 1996. Effects of impacting mass on firmness sensing of
fruits. **Trans of the ASAE**. 39 (3): 1019-1023.
- Holt, J.E. and D. School. 1977. Bruising and energy dissipation in apple. **J Text. Studies** 7: 421-432.
- Jarimopas, B. 1984. **Failure of Apple Under Dynamic Loadings**. Unpublished D.Sc. Dissertation.
Faculty of Agricultural Engineering, Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.
- Jarimopas, B., S.P. Singh, S. Sayasoonthorn and Singh Jagjit. **Comparison of Package Cushioning
Materials to Protect Post-Harvest Impact Damage to Apple**. Packaging Technology and
Science. (Unpublished manuscript)
- Jindal, V.K. and O.Techasena. 1985. **Compression Tests for Measuring the Firmness of Potatoes**.
For presentation at the 1985 Summer Meeting American Society of Agricultural Engineers.
Michigan State University, East Lansing, June 23 – 26, 1985.
- Mohsenin, N.N. 1996. **Physical Properties of Plant and Animal Materials**. 2nd and Revised
and Updated ed., Gordon and Breach Publishers Inc. Thailand.

- Nelson, C.W. 1967. **Maximum Allowable Static and Dynamic Loads for Mechanical Injury in McIntosh Apples**. M.S. Thesis in Agricultural Engineering, The Pennsylvania State University.
- Pang, D.W., C.J. Studman and N.H. Banks. 1994. Apple bruising thresholds for an instrumented sphere. **Trans of the ASAE**37 (3)
- Ruiz-Altisent, M. 1991. **Damage Mechanisms in the Handling of Fruits**. In progress in Agricultural Physics and Engineering, ed.J.Mathews, Silsoe, U.K.
- Sirisomboon, P., M. Tanaka, T. Akinaga and T. Kojima. 2000. Evaluation of the textural properties of Japanese pear. **J of Texture Studies**. 31(2000): 665-677.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลความเสียหายของมะพร้าวอ่อนในการขายส่งและขายปลีก

ตารางผนวกที่ ก1 จำนวนมะพร้าวอ่อนที่พบรอยชำทำการสำรวจจากตลาดขายส่งและขายปลีก

แหล่งสำรวจ	จำนวนมะพร้าวที่เก็บข้อมูล (ผล)	จำนวนมะพร้าวที่พบรอยชำ (ผล)
Big C (r)	15	15
Lotus (r)	25	25
Carrefour (r)	23	23
Tops (r)	18	9
ตลาดไท (w)	200	197
ปฐมมงคล (w)	92	60
สี่มุมเมือง (w)	10	10
ร้านค้าปลีก (r)	154	116

หมายเหตุ r = ตลาดขายปลีก

w = ตลาดขายส่ง

ตารางผนวกที่ ก2 จำนวนรอยชำ/ผล ของมะพร้าวอ่อนในตลาดขายส่งและขายปลีก

No of Bruise/fruit	แหล่งสำรวจ							
	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*
1	1	0	0	4	9	24	0	1
2	1	1	1	2	19	21	3	6
3	1	0	0	0	35	11	2	13
4	2	3	0	1	36	4	1	25
5	0	1	1	0	33	0	0	22
6	0	1	2	1	28	0	1	15
7	1	1	1	0	12	0	3	9
8	1	0	1	0	9	0	0	5
9	1	0	2	0	7	0	0	3
10	1	1	0	0	4	0	0	1
11	0	0	0	0	2	0	0	0
12	0	1	0	0	1	0	0	0
13	0	0	1	0	1	0	0	0
14	0	0	0	0	9	0	0	0
15	0	0	1	0	19	0	0	0
16	0	1	0	0	35	0	0	0

หมายเหตุ 1* = Big C

5* = Tai market

2* = Lotus

6* = Pathom Mongkol market

3* = Carrefour

7* = Si Mum Mueng market

4* = Tops

8* = Retailers

ตารางผนวกที่ ก3 พื้นที่รอยซ้ำของมะพร้าวอ่อนในตลาดขายส่งและขายปลีก

พื้นที่รอยซ้ำ (cm ²)	จำนวนรอยซ้ำที่พบ (รอย)							
	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*
0-1.0	20	12	18	3	77	17	12	149
1.01-2.00	13	7	20	3	75	4	11	134
2.01-3.00	4	9	8	1	28	2	5	64
3.01-4.00	6	7	5	1	20	6	1	55
4.01-5.00	4	6	3	1	19	0	1	31
5.01-6.00	1	1	2	1	6	1	1	6
6.01-7.00	6	3	4	-	6	1	1	14
7.01-8.00	2	1	1	-	4	-	4	6
8.01-9.00	3	2	1	-	2	-	2	6
9.01-10.00	2	0	0	-	2	-	2	7
10.01-11.00	-	1	1	-	3	-	0	4
11.01-12.00	-	-	2	-	3	-	1	7
12.01-13.00	-	-	1	-	1	-	-	1
13.01-14.00	2	-	-	-	1	-	-	3
14.01-15.00	-	-	-	-	0	-	-	1
15.01-16.00	1	-	-	-	0	-	-	0
16.01-17.00	-	-	-	-	1	-	-	1
17.01-18.00	-	-	-	-	0	-	-	0
18.01-19.00	1	-	-	-	1	-	-	1

หมายเหตุ 1* = Big C

2* = Lotus

3* = Carrefour

4* = Tops

5* = Tai market

6* = Pathom Mongkol market

7* = Si Mum Mueng market

8* = Retailers

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบโดยวิธี Compression test

ตารางผนวกที่ ข1 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบโดยวิธี
Compression test หัว Plunger ขนาด 12 กรัม

ระยะกด (mm.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
5.00	0.6583	504.77	632.24	288.04	118.57
6.00	0.9391	710.76	904.78	544.01	110.72
7.00	1.3725	1121.72	1377.49	813.32	181.21
8.00	1.6516	1566.14	2193.14	1014.78	405.89
9.00	1.9756	2337.49	3186.81	1803.47	465.89
10.00	2.6349	2097.26	2419.41	1731.33	204.17
11.00	2.9451	2615.61	3451.85	1994.19	559.59
12.00	3.2502	4074.55	5959.19	3057.45	1024.12

ตารางผนวกที่ ข2 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบโดยวิธี
Compression test หัว Plunger ขนาด 24 กรัม

ระยะกด (mm.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
5.00	0.7558	427.08	696.65	310.89	118.09
6.00	0.9964	719.49	951.29	461.65	174.36
7.00	1.5643	1106.87	1730.44	750.15	275.02
8.00	2.2100	1511.87	2365.80	1269.87	323.25
9.00	2.5563	2377.87	3526.67	1743.81	526.53
10.00	2.9591	2466.38	3056.29	1811.55	381.50
11.00	3.5582	3598.93	4497.16	2722.55	563.08
12.00	4.0386	4076.07	5544.09	2901.12	847.79

ตารางผนวกที่ ข3 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบโดยวิธี
Compression test หัว Plunger ขนาด 48 กรัม

ระยะกด (mm.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
5.00	0.8184	0.00	0.00	0.00	0.00
6.00	1.3119	1211.27	2107.89	945.71	338.41
7.00	1.6885	1385.36	2219.14	1025.35	325.59
8.00	2.0955	1907.58	2917.12	1323.51	484.19
9.00	2.8795	3155.35	4751.11	2295.96	734.26
10.00	3.3713	3043.20	4226.79	2425.82	629.78
11.00	3.9990	4163.15	6111.55	2797.24	1143.62
12.00	4.8102	5980.90	6889.95	4912.28	543.20

ตารางผนวกที่ ข4 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบโดยวิธี
Compression test หัว Plunger ขนาด 96 กรัม

ระยะกด (mm.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
5.00	0.7653	1079.12	1316.05	848.83	175.51
6.00	1.1292	1768.03	2340.12	915.88	437.32
7.00	1.7611	2472.37	3300.09	2035.55	391.50
8.00	2.3438	3391.31	4020.95	2538.96	514.25
9.00	3.3141	3887.52	4638.34	2382.57	715.55
10.00	4.2229	4299.64	5704.20	2906.40	972.09
11.00	4.8671	5544.74	6847.01	3465.87	1119.62
12.00	5.2519	5758.60	6847.01	4326.70	853.53

ตารางผนวกที่ ข5 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบโดยวิธี

Compression test หัว Plunger ขนาด 12 กรัม

ระยะกด (mm.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
5.00	0.5922	379.49	507.68	291.92	61.22
6.00	0.9345	532.55	635.43	377.18	88.14
7.00	1.3259	895.00	1161.87	579.24	184.93
8.00	1.7910	1128.10	1427.21	823.51	204.88
9.00	2.0179	2137.90	2926.75	1293.50	544.88
10.00	2.4025	2415.71	4745.99	1250.29	973.83
11.00	2.6382	2500.21	3184.27	1938.69	391.97
12.00	3.1789	3620.34	5271.21	2472.76	802.60

ตารางผนวกที่ ข6 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบโดยวิธี

Compression test หัว Plunger ขนาด 24 กรัม

ระยะกด (mm.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
5.00	0.6124	173.05	514.53	0.00	228.61
6.00	1.0078	728.16	1030.79	470.76	178.61
7.00	1.3535	970.50	1669.76	155.39	378.83
8.00	2.1792	1885.43	2613.14	1031.49	474.12
9.00	2.4232	2087.72	2608.24	1442.15	347.85
10.00	2.8198	3154.07	4074.56	2373.76	527.98
11.00	3.1975	3794.09	5438.41	2274.59	1075.74
12.00	3.5899	4564.86	5651.96	3386.17	620.95

ตารางผนวกที่ ข7 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบโดยวิธี
Compression test หัว Plunger ขนาด 48 กรัม

Plunger 48 gm.					
ระยะกด (mm.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
5.00	0.7802	742.63	1225.36	0.00	356.67
6.00	1.0923	1240.51	1509.69	834.04	245.36
7.00	1.4027	1783.32	2011.01	1456.89	171.24
8.00	2.1429	2505.78	3545.08	1846.63	630.55
9.00	2.9967	2826.55	4137.54	2025.30	569.97
10.00	3.2628	3122.05	3729.85	2698.70	361.09
11.00	4.0194	3973.55	5190.60	2724.80	744.23
12.00	4.6091	3833.80	4677.82	2450.61	832.53

ตารางผนวกที่ ข8 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบโดยวิธี
Compression test หัว Plunger ขนาด 96 กรัม

Plunger 96 gm.					
ระยะกด (mm.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
5.00	0.7835	451.17	871.91	0.00	395.46
6.00	1.1786	1080.75	1595.54	0.00	585.14
7.00	1.6471	1837.49	2250.23	1279.33	302.07
8.00	2.3989	2360.44	3252.87	1643.27	475.15
9.00	2.9785	3218.97	4620.46	2378.08	670.05
10.00	3.9078	4443.85	5013.43	3899.92	340.78
11.00	4.7171	3656.44	4489.17	2051.33	727.32
12.00	5.4966	5286.08	6377.28	4561.27	611.65

ตารางผนวกที่ ข9 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบโดยวิธี
Compression test หัว Plunger ขนาด 12 กรัม

ระยะกค (mm.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
5.00	0.5590	268.49	370.73	0.00	101.97
6.00	0.7880	636.94	1237.57	363.24	310.73
7.00	0.9850	1421.04	1798.79	1146.68	194.78
8.00	1.6170	2238.57	3187.23	1798.94	448.18
9.00	2.0240	2533.72	3307.60	1380.90	647.00
10.00	2.8490	2551.05	3004.25	1327.58	502.23
11.00	3.5260	3829.69	5933.59	3000.82	851.70
12.00	3.5440	5267.17	6971.33	3459.20	1187.39

ตารางผนวกที่ ข10 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบโดย
วิธี Compression test หัว Plunger ขนาด 24 กรัม

ระยะกค (mm.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
5.00	0.6770	788.30	882.98	599.02	96.86
6.00	0.8780	1280.97	1539.69	901.99	190.83
7.00	1.3210	1472.52	2109.87	921.76	352.32
8.00	1.8000	2425.69	2814.59	1968.12	278.38
9.00	2.2480	2634.37	3560.42	2007.03	505.48
10.00	3.3750	3470.12	5189.07	1766.22	1079.05
11.00	4.1370	4093.80	4595.10	2829.75	512.02
12.00	4.7650	5286.34	6835.00	3439.96	878.79

ตารางผนวกที่ ข11 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบโดย
วิธี Compression test หัว Plunger ขนาด 48 กรัม

ระยะกค (mm.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
5.00	0.7248	625.26	1109.46	0.00	540.24
6.00	1.0280	1462.77	1892.66	990.92	228.78
7.00	1.3150	1771.88	2559.89	816.36	470.79
8.00	2.3600	2669.56	3677.04	1798.43	618.14
9.00	3.2760	3677.89	5824.81	1890.42	966.01
10.00	3.5290	3805.22	4595.36	3182.98	508.07
11.00	4.3150	4219.23	7240.10	514.27	1757.35
12.00	5.5630	6139.17	8115.95	3836.27	1417.65

ตารางผนวกที่ ข12 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบโดย
วิธี Compression test หัว Plunger ขนาด 96 กรัม

ระยะกค (mm.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
5.00	0.8460	626.92	1422.01	0.00	630.11
6.00	1.2010	1456.93	1991.40	0.00	557.92
7.00	1.6750	2231.42	3492.57	1436.57	595.62
8.00	2.6380	3339.46	4583.89	2228.40	621.22
9.00	2.8750	3608.24	4781.18	2371.33	704.44
10.00	3.6500	4114.95	5179.71	3277.54	528.80
11.00	5.2470	5557.82	6068.35	4819.00	429.20
12.00	5.9380	4494.09	5615.18	3472.65	677.80

ตารางผนวกที่ ข13 ความน่าจะเป็นของการเกิดการชำรุดและค่าพลังงาน ของมะพร้าวอ่อนระยะ
Immature ทดสอบ โดยวิธี Compression test

ระยะกค (mm)	จำนวนรอยที่กค (รอย)	จำนวนรอยชำที่พบ (รอย)	Probability	Energy (J)
2	20	0	0	0.10
3	20	0	0	0.17
4	20	0	0	0.34
5	20	7	0.35	0.63
6	20	16	0.8	1.23
7	20	20	1.0	1.88
8	20	20	1.0	2.22

ตารางผนวกที่ ข14 ความน่าจะเป็นของการเกิดการชำรุดและค่าพลังงาน ของมะพร้าวอ่อนระยะ
mature ทดสอบ โดยวิธี Compression test

ระยะกค (mm)	จำนวนรอยที่กค (รอย)	จำนวนรอยชำที่พบ (รอย)	Probability	Energy (J)
2	20	0	0	0.09
3	19	0	0	0.21
4	20	9	0.45	0.47
5	20	12	0.6	0.70
6	20	20	1.0	1.16
7	20	20	1.0	1.67
8	20	20	1.0	2.05

ตารางผนวกที่ ข15 ความน่าจะเป็นของการเกิดการชำรุดและค่าพลังงาน ของมะพร้าวอ่อนระยะ
Overmature ทดสอบ โดยวิธี Compression test

ระยะกค (mm)	จำนวนรอยที่กค (รอย)	จำนวนรอยชำที่พบ (รอย)	Probability	Energy (J)
2	20	0	0	0.09
3	20	6	0.3	0.23
4	20	19	0.95	0.46
5	20	20	1.0	0.72
6	20	20	1.0	1.20
7	20	20	1.0	1.73

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบ โดยวิธี Impact test

ตารางผนวกที่ ค1 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบโดยวิธี
Impact test หัว Plunger ขนาด 12 กรัม

ความสูง (ม.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
0.05	0.0059	0.00	0.00	0.00	0.00
0.10	0.0118	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.0177	0.00	0.00	0.00	0.00
0.20	0.0235	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.0294	24.91	31.72	17.65	5.05
0.30	0.0353	33.47	43.52	22.72	7.49
0.35	0.0412	40.90	46.52	32.72	5.04
0.40	0.0471	46.74	54.59	38.64	5.40
0.45	0.0530	49.15	61.68	32.00	10.04
0.50	0.0589	58.52	63.73	52.50	3.44

ตารางผนวกที่ ค2 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบโดยวิธี
Impact test หัว Plunger ขนาด 24 กรัม

ความสูง (ม.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
0.05	0.0118	0.00	0.00	0.00	0.00
0.10	0.0235	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.0353	27.25	36.02	15.83	6.37
0.20	0.0471	48.91	67.55	28.69	11.83
0.25	0.0589	60.91	69.16	45.17	8.57
0.30	0.0706	62.79	80.34	50.75	9.63
0.35	0.0824	71.03	84.88	59.68	8.97
0.40	0.0942	101.05	124.46	84.40	14.24
0.45	0.1059	111.72	135.48	71.69	21.66
0.50	0.1177	132.64	160.45	102.80	17.47

ตารางผนวกที่ ค3 ค่าพลังงานและปริมาณซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบโดยวิธี
Impact test หัว Plunger ขนาด 48 กรัม

ความสูง (ม.)	Energy (J)	ปริมาณซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
0.05	0.0235	0.00	0.00	0.00	0.00
0.10	0.0471	55.57	77.45	31.50	15.63
0.15	0.0706	114.46	140.14	79.01	15.87
0.20	0.0942	118.06	147.30	88.03	22.08
0.25	0.1177	151.79	183.24	125.70	14.73
0.30	0.1413	163.35	202.30	142.14	18.16
0.35	0.1648	202.61	250.57	137.53	34.96
0.40	0.1884	261.48	312.49	177.33	40.80
0.45	0.2119	276.65	343.08	220.45	41.59
0.50	0.2354	335.14	379.83	301.73	26.58

ตารางผนวกที่ ค4 ค่าพลังงานและปริมาณซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Immature ที่ทดสอบโดยวิธี
Impact test หัว Plunger ขนาด 96 กรัม

ความสูง (ม.)	Energy (J)	ปริมาณซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
0.05	0.0471	81.69	92.01	66.67	9.28
0.10	0.0942	126.72	178.95	87.81	27.24
0.15	0.1413	159.33	178.38	143.38	12.00
0.20	0.1884	291.42	373.16	192.30	65.31
0.25	0.2354	364.47	403.32	335.30	25.62
0.30	0.2825	474.66	548.91	354.45	57.14
0.35	0.3296	508.08	599.52	438.58	53.18
0.40	0.3767	585.53	747.31	485.13	74.06
0.45	0.4238	693.37	829.96	565.15	81.32
0.50	0.4709	768.00	942.52	580.17	141.99

ตารางผนวกที่ ค5 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบโดยวิธี
Impact test หัว Plunger ขนาด 12 กรัม

ความสูง (ม.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
0.05	0.0059	0.00	0.00	0.00	0.00
0.10	0.0118	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.0177	0.00	0.00	0.00	0.00
0.20	0.0235	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.0294	13.61	17.25	11.16	1.97
0.30	0.0353	18.97	23.52	15.28	2.96
0.35	0.0412	26.74	31.92	23.68	2.79
0.40	0.0471	34.14	39.78	29.63	3.19
0.45	0.0530	40.22	50.52	33.62	5.59
0.50	0.0589	47.69	51.57	42.35	3.38

ตารางผนวกที่ ค6 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบโดยวิธี
Impact test หัว Plunger ขนาด 24 กรัม

ความสูง (ม.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
0.05	0.0118	0.00	0.00	0.00	0.00
0.10	0.0235	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.0353	21.58	26.97	18.12	3.06
0.20	0.0471	40.68	54.47	31.38	7.89
0.25	0.0589	51.01	62.75	41.66	5.93
0.30	0.0706	68.01	74.49	59.15	5.75
0.35	0.0824	87.04	91.42	76.18	4.79
0.40	0.0942	103.60	119.26	87.66	10.97
0.45	0.1059	112.05	122.17	103.32	6.55
0.50	0.1177	123.20	135.90	110.52	8.44

ตารางผนวกที่ ค7 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบโดยวิธี
Impact test หัว Plunger ขนาด 48 กรัม

ความสูง (ม.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
0.05	0.0235	0.00	0.00	0.00	0.00
0.10	0.0471	21.67	24.88	18.30	2.12
0.15	0.0706	51.95	57.61	43.10	5.31
0.20	0.0942	90.89	102.28	81.10	8.91
0.25	0.1177	129.99	158.18	106.48	17.19
0.30	0.1413	154.34	179.03	133.79	11.67
0.35	0.1648	176.26	193.72	164.64	10.55
0.40	0.1884	226.10	268.04	178.28	28.91
0.45	0.2119	275.01	324.37	202.32	35.08
0.50	0.2354	291.04	355.83	212.51	46.27

ตารางผนวกที่ ค8 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ mature ที่ทดสอบโดยวิธี
Impact test หัว Plunger ขนาด 96 กรัม

ความสูง (ม.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
0.05	0.0471	14.67	17.86	9.64	2.80
0.10	0.0942	86.55	95.78	76.25	7.97
0.15	0.1413	155.03	178.27	126.85	19.19
0.20	0.1884	293.90	337.39	228.73	40.40
0.25	0.2354	368.95	436.91	308.97	45.03
0.30	0.2825	424.90	467.41	401.59	20.89
0.35	0.3296	525.86	622.05	496.20	38.38
0.40	0.3767	652.47	689.17	613.91	25.51
0.45	0.4238	706.58	817.67	635.10	61.24
0.50	0.4709	786.55	882.47	656.15	87.41

ตารางผนวกที่ ๙ ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบโดยวิธี
Impact test หัว Plunger ขนาด 12 กรัม

ความสูง (ม.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
0.05	0.0059	0.00	0.00	0.00	0.00
0.10	0.0118	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.0177	10.00	22.06	4.87	4.86
0.20	0.0235	14.24	21.35	8.40	4.92
0.25	0.0294	14.97	29.36	8.39	5.77
0.30	0.0353	24.96	32.03	20.90	3.12
0.35	0.0412	27.98	37.91	17.91	6.19
0.40	0.0471	45.39	56.38	38.38	5.15
0.45	0.0530	50.30	72.27	36.35	13.20
0.50	0.0589	56.63	70.23	48.95	6.40

ตารางผนวกที่ ๑๐ ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบโดย
วิธี Impact test หัว Plunger ขนาด 24 กรัม

ความสูง (ม.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
0.05	0.0118	0.00	0.00	0.00	0.00
0.10	0.0235	13.32	22.11	10.04	3.44
0.15	0.0353	34.01	46.11	24.74	6.69
0.20	0.0471	42.77	84.12	19.24	19.57
0.25	0.0589	68.50	112.98	48.36	19.37
0.30	0.0706	92.80	134.34	62.86	25.07
0.35	0.0824	104.93	160.95	61.42	35.11
0.40	0.0942	120.42	156.63	80.53	21.93
0.45	0.1059	137.03	163.26	114.98	14.97
0.50	0.1177	153.59	195.05	119.07	20.69

ตารางผนวกที่ ค11 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบโดย
วิธี Impact test หัว Plunger ขนาด 48 กรัม

ความสูง (ม.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
0.05	0.0235	18.18	25.64	12.52	3.66
0.10	0.0471	38.44	51.98	24.25	10.53
0.15	0.0706	51.77	70.95	44.38	9.15
0.20	0.0942	122.04	179.33	78.39	33.81
0.25	0.1177	176.38	274.23	61.50	71.40
0.30	0.1413	189.60	307.40	113.67	56.88
0.35	0.1648	216.64	308.07	168.51	41.95
0.40	0.1884	258.32	375.56	158.89	65.89
0.45	0.2119	281.31	456.88	215.81	70.22
0.50	0.2354	398.37	508.77	315.78	57.66

ตารางผนวกที่ ค12 ค่าพลังงานและปริมาตรซ้ำของมะพร้าวอ่อนระยะ Overmature ที่ทดสอบโดย
วิธี Impact test หัว Plunger ขนาด 96 กรัม

ความสูง (ม.)	Energy (J)	ปริมาตรซ้ำ (ตารางมิลลิเมตร)			
		เฉลี่ย	max	min	SD
0.05	0.0471	29.54	48.13	12.65	13.32
0.10	0.0942	151.52	203.22	76.75	32.85
0.15	0.1413	325.96	473.81	180.85	78.56
0.20	0.1884	337.96	389.95	212.94	56.50
0.25	0.2354	401.66	470.26	304.60	56.21
0.30	0.2825	461.90	687.74	297.95	115.77
0.35	0.3296	504.50	596.82	397.25	73.48
0.40	0.3767	572.30	667.03	504.16	55.31
0.45	0.4238	770.68	987.58	657.73	93.01
0.50	0.4709	1010.31	1132.64	918.31	71.10

ตารางผนวกที่ ค13 ความน่าจะเป็นของการเกิดการชำรุดและค่าพลังงาน ของมะพร้าวอ่อนระยะ
Immature ทดสอบ โดยวิธี Impact test

ความสูง (m)	จำนวนรอยที่กระแตก (รอย)	จำนวนรอยชำที่พบ (รอย)	Probability	Energy (J)
0.016	20	0	0	0.0151
0.017	20	0	0	0.0160
0.018	20	0	0	0.0170
0.019	20	1	0.05	0.0179
0.020	20	2	0.10	0.0188
0.021	20	4	0.20	0.0198
0.022	20	5	0.25	0.0207
0.023	20	7	0.35	0.0217
0.024	20	9	0.45	0.0226
0.025	20	13	0.65	0.0235
0.026	20	16	0.80	0.0245
0.027	20	19	0.95	0.0254
0.028	20	20	1.00	0.0264
0.029	20	20	1.00	0.0273
0.03	20	20	1.00	0.0283

ตารางผนวกที่ ค14 ความน่าจะเป็นของการเกิดการชำรุดและค่าพลังงาน ของมะพร้าวอ่อนระยะ
mature ทดสอบ โดยวิธี Impact test

ความสูง (m)	จำนวนรอยที่กระแตก (รอย)	จำนวนรอยชำที่พบ (รอย)	Probability	Energy (J)
0.014	20	0	0	0.0132
0.015	20	1	0.05	0.0141
0.016	20	1	0.05	0.0151
0.017	20	2	0.1	0.0160
0.018	20	4	0.2	0.0170
0.019	20	6	0.3	0.0179
0.02	20	8	0.4	0.0188
0.021	20	11	0.55	0.0198
0.022	20	13	0.65	0.0207
0.023	20	15	0.75	0.0217
0.024	20	17	0.85	0.0226
0.025	20	18	0.9	0.0235
0.026	20	20	1.0	0.0245
0.027	20	20	1.0	0.0254

ตารางผนวกที่ ค15 ความน่าจะเป็นของการเกิดการชำรุดและค่าพลังงาน ของมะพร้าวอ่อนระยะ
Overmature ทดสอบ โดยวิธี Impact test

ความสูง (m)	จำนวนรอยที่กระแตก (รอย)	จำนวนรอยชำที่พบ (รอย)	Probability	Energy (J)
0.005	20	0	0	0.0047
0.006	20	0	0	0.0057
0.007	20	0	0	0.0066
0.008	20	1	0.05	0.0075
0.009	20	1	0.05	0.0085
0.010	20	2	0.10	0.0094
0.011	20	4	0.20	0.0104
0.012	20	5	0.25	0.0113
0.013	20	7	0.35	0.0122
0.014	20	10	0.50	0.0132
0.015	20	11	0.55	0.0141
0.016	20	13	0.65	0.0151
0.017	20	13	0.65	0.0160
0.018	20	15	0.75	0.0170
0.019	20	16	0.80	0.0179
0.02	20	16	0.80	0.0188
0.021	20	18	0.90	0.0198
0.022	20	20	1.00	0.0207
0.023	20	20	1.00	0.0217

ภาคผนวก ง
การทดสอบแรงดึงกานมะพร้าว

ตารางผนวกที่ 1 ค่า Slope ของแรงดึงก้ามมะพร้าวอ่อน 3 ระยะการเจริญเติบโต

ชั้นทดสอบ	Slope แรงดึง (N/mm)		
	Immature	Mature	Over
1	21.7306	38.9820	30.5852
2	29.9703	45.8676	35.5747
3	33.1622	49.4959	34.5426
4	38.3456	48.6045	27.3343
5	39.3976	33.9002	25.8313
6	35.7952	44.3947	28.9397
7	34.7085	38.0015	38.5451
8	33.4913	55.8195	38.5451
9	44.1161	47.7969	45.3496
10	31.7232	55.9020	45.3773
11	42.1574	49.0415	21.4078
12	26.3276	51.7473	49.1472
13	29.8753	63.1438	35.8792
14	32.3862	68.5022	37.5463
15	47.0655	52.7318	54.1824
16	26.8334	43.7006	26.3244
17	30.0019	39.9585	31.2697
18	28.9764	54.9456	24.7559
19	40.3661	50.1557	39.2509
20	36.6344	64.0104	55.2547
เฉลี่ย	34.1532	49.8351	36.2822
SD	6.4167	8.9915	9.7041

ภาคผนวก จ
ผลงานวิจัย

อัตราส่วนปัวซองและโมดูลัสยั้งของหัวไซเท้า

บัณฑิต จริโมภาส^{1*} พนิดา บุญปลุกษ์² ชนิตา บุพตา³ และ ธนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อที่จะหาอัตราส่วนปัวซองและโมดูลัสยั้งของหัวไซเท้า วิธีการศึกษาประกอบด้วย ก) การทดสอบหาค่าอัตราส่วนปัวซองของเนื้อหัวไซเท้าทรงกระบอกที่สุมเจาะด้วยหัว Die ในแนวแกนและขวางแกนของหัวไซเท้าที่ถูกกระทำด้วยภาระเกือบสถิตจากเครื่อง Universal Testing Machine Instron รุ่น 5569 ข) การหาค่าโมดูลัสยั้ง โดยวิธี Radial compression และ Die Loading ผลปรากฏว่า ก) อัตราส่วนปัวซองของหัวไซเท้าที่ซึ่มมาจากตลาด ตามแนวแกนและแนวขวางหัวไซเท้าเป็น 0.444 ± 0.07 และ 0.384 ± 0.08 ตามลำดับ ข) เวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของหัวไซเท้า ซึ่งแสดงโดยความสัมพันธ์ของค่าโมดูลัสยั้ง (E) แปรผกผันกับเวลา(t) เป็นสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล สำหรับวิธี Die Loading $E_d = 3.07e^{-0.08t}$ ($R^2=0.94$) วิธี Radial Compression เมื่อเตรียมชิ้นทดสอบตามแนวแกน $E_{R_s} = 9.05e^{-0.08t}$ ($R^2=0.99$) เมื่อเตรียมชิ้นทดสอบตามแนว $E_{R_T} = 8.66e^{-0.08t}$ ($R^2=0.95$)

¹รองศาสตราจารย์ ¹นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

²นิสิตปริญญาเอก โครงการพัฒนานักศึกษาศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม

*ผู้รับผิดชอบบทความ โทร: 0-3428-1099; โทรสาร: 0-3435-1842; อีเมล: fengbdj@ku.ac.th

POISSON'S RATIO AND YOUNG'S MODULUS OF WHITE LONG RADDISH

Bundit Jarimopas^{1*}, Phanida Pushpariksha², Chanida Bupata³ and Tanarat Srirungruang³

ABSTRACT

This research was to determine Poisson's Ratio and Young's Modulus of white long (WL) raddish. Methodology included i) determination of the Poisson's Ratio of the cylindrical fresh WL raddish sampled axially and laterally (each sample was loaded quasi-statically by the Universal Testing Machine , Instron No. 5569) ; ii) determination of the Young's Modulus by mean of the radial compression and the die loading. Results showed that Poisson's Ratio, of the newly harvested WL raddish, of the axial and the lateral samples was averagely 0.444 ± 0.07 and 0.384 ± 0.08 , respectively. Storage time (t) significantly affected ($p < 0.05$) WL raddish strength which was exhibited by inverse relationship between modulus of elasticity (E) and t, ie. for the die loading $E_d = 3.07e^{-0.084t}$ ($R^2 = 0.94$); for the radial compression (axial sample) $E_{R,a} = 9.05e^{-0.08t}$ ($R^2 = 0.99$) and lateral sample $E_{R,l} = 8.66e^{-0.08t}$ ($R^2 = 0.95$)

KEY WORDS: Poisson's Ratio, Modulus of Elasticity, White Long Raddish

¹Associate Professor, ²Graduate student, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at KamphaengSaen, ³Ph.D.Student, Graduate Education and Research Development Project in Post-harvest Technology, Kasetsart University KamphaengSaen, NakomPathom

*Corresponding author. Tel.: 0-3428-1099; Fax: 0-3435-1842; E-mail address: fengbdj@ku.ac.th

บทนำ

หัวผักกาดขาว หรือรู้จักกันดีในชื่อหัวไชเท้ามีขายทุกฤดูกาลในตลาดสด แต่จะมีมากที่สุดในช่วงฤดูหนาว คือระหว่างเดือนธันวาคม ถึงมีนาคม ช่วงเวลาดังกล่าวหัวผักกาดขาวจะมีราคาถูกมากและสดน่ารับประทาน หัวผักกาดขาวรับประทานได้ทั้งดิบ ๆ และหุงต้มสุกแล้ว หัวผักกาดขาวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Raphanus sativus Linn* วงศ์ Cruciferae เป็นพืชผักที่อุดมด้วยวิตามินซี และแร่ธาตุบางชนิด เช่น แคลเซียมและฟอสฟอรัส และมีแร่เหล็กอยู่บ้าง ชาวเกาหลีเอาหัวไชเท้าไปผสมทำกิมจิส่วนคนไทยนิยมนำมาทำแกงส้มและทำหัวไชโป๊ว (www.schoolnet.com)

หัวไชเท้าที่ถูกเก็บเกี่ยวมาวางจำหน่ายบนแผงของแม่ค้าในตลาด พอเวลาผ่านไประยะหนึ่งเนื้อไชเท้าจะฟาม (ลักษณะเนื้อเยื่อเป็นเหมือนฟองน้ำมีโพรงอากาศ) และสูญเสียความชื้น นี่เป็นลักษณะของการเสื่อมคุณภาพ ปัจจุบันไม่พบข้อมูลเชิงสรีระวิทยาการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงของหัวไชเท้าตั้งแต่เก็บมาใหม่ ๆ กับระยะเวลาที่อยู่บนแผงขายของ มีรูปแบบการทดลองทางวิศวกรรมเกษตรบางอย่างที่น่าจะประยุกต์ใช้หาความแข็งแรงของหัวไชเท้า ที่มีลักษณะเป็นหัวยาวคล้ายทรงกระบอก Sherif et al. (1976) ได้พัฒนาโมเดลคณิตศาสตร์สำหรับทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (E) ของทรงกระบอกยืดหยุ่นภายใต้ภาระสัมพัทธ์ Jindal และ Techasena (1985) ได้ปรับปรุงสมการหาค่า E ให้ใช้สะดวกขึ้นโดย E เป็นฟังก์ชันของมิติของตัวอย่างทดลองที่วัดครั้งเดียวและค่าแรงและการเปลี่ยนรูปซึ่งจะได้จากกราฟของ Universal Testing Machine (UTM) ในขณะที่สมการของ Sherif et al.(1976) เดิมต้องวัดความกว้างของรอยสัมผัสระหว่างการทดลองซึ่งยุ่งยากวิธีการทดลองหาค่า E แบบนี้ เรียกว่า การกดในแนวรัศมี (Radial compression) Jindal และ Techasena (1985) ได้ใช้วิธีนี้หาค่า E ของมันฝรั่งและพบว่า ค่า E วิธีนี้มีความไวสูงที่สุดในการหาค่า E ระหว่างการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Axial compression และ Plunger contact loading ยังมีวิธีการทดลองภาระสัมพัทธ์อีกแบบคือการใช้ Die Loading ของ Boussinesq Model วิธีนี้จะเหมาะกับตัวอย่างที่เป็นทิวเรียบ ซึ่ง Sirisomboon et al.(2000) ได้ใช้วิธีการดังกล่าวศึกษาหาสมบัติเชิงกลของลูกแพร์ญี่ปุ่น วิธี Die Loading น่าสนใจตรงที่การหาค่า E ไม่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับอัตราส่วนแรงและการเปลี่ยนรูปของตัวอย่างการทดลองหนึ่ง ๆ เมื่อพิจารณาอัตราส่วนปัวซองของคงที่ และหัวกด Die มีขนาดคงที่

เนื่องจากข้อมูลสมบัติเชิงกลของหัวไชเท้ายังไม่เป็นที่ศึกษา การศึกษาด้านนี้จึงเป็นความท้าทาย ดังนั้นการทดสอบนี้จึงมุ่งที่จะหาสมบัติเชิงกลได้แก่ อัตราส่วนปัวซอง (μ) และ โมดูลัสยั้งหรือโมดูลัสความยืดหยุ่น (E) เมื่อพิจารณาหัวไชเท้าเป็นวัสดุแข็งยืดหยุ่น

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

1. หัวไชเท้า 44 หัว
2. เครื่อง Universal Testing Machine ยี่ห้อ Instron รุ่น 5569 (UTM)
3. Dies ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. ยาว 30 มม.
4. เวอร์เนียคาลิเปอร์
5. มีด
6. ไม้บรรทัด
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก Sartorius รุ่น BA2100s

วิธีการ

1. คัดหัวไซเท้าที่เก็บใหม่จากสวนให้มีหัวค่อนข้างตรงและมีขนาดเท่ากัน จำนวน 44 หัว แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ทดสอบหา Poisson's ratio จำนวน 4 หัว กลุ่มที่ 2 ทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นโดยวิธี Radial compression จำนวน 20 หัว กลุ่มที่ 3 ทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น โดยวิธี Die loading ของ Boussinesq จำนวน 20 หัว

กลุ่มที่ 1 ทดสอบหา Poisson's ratio

2. เตรียมชิ้นตัวอย่าง โดยใช้ Die ทรงกระบอกกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มม. ยาว 30 มม. กดลงในแนวตามแกนและขวางแกน แนวละ 6 ชั้น ภายในหัวเดียวกัน

3. นำชิ้นตัวอย่างไปทดสอบด้วยเครื่อง UTM วางชิ้นทดสอบให้เครื่องกดในแนวแกนของชิ้นตัวอย่าง จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูป

4. วัดการเปลี่ยนรูปของชิ้นทดสอบในแนวขวางของชิ้นตัวอย่างด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ทุกช่วงของแรงคือ 20, 40 และ 80 N

$$5. \text{คำนวณค่า } \mu \text{ จากสูตร } \mu = \frac{\Delta w}{\Delta l}$$

เมื่อ μ = อัตราส่วนปัวซอง

Δw = ความเครียดขวาง

Δl = ความเครียดตามยาวที่อ่านค่าได้จากกราฟแรง-การเปลี่ยนรูปที่ระดับแรงกด 20, 40 และ 80 นิวตัน

6. ทำการทดสอบซ้ำขั้นตอนที่ 2 - 5 กับหัวไซเท้าอีก 3 หัว

กลุ่มที่ 2 ทดสอบหาค่า E ด้วยวิธี Radial compression

7. แบ่งหัวไซเท้าออกเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 4 หัว ซึ่งน้ำหนักแต่ละหัว จดบันทึกและเก็บรักษาหัวไซเท้าไว้ในอุณหภูมิต้อง ($T \approx 28.3^\circ\text{C}$, $\text{RH} \approx 72.5\%$)

8. เตรียมชิ้นตัวอย่าง โดยใช้หัว Die กดลงในแนวแกนและแนวขวางผล แนวละ 6 ชั้น ภายในหัวเดียวกัน ได้ชิ้นตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มม. ยาว 30 มม.

9. วางตัวอย่างด้านยาวสัมผัสกับ Anvil ของ UTM และกดแผ่นเบบแข็งของ Crosshead ลงบนตัวอย่าง (รูปที่ 1) ด้วยความเร็ว 25 มม./นาที จนถึงจุดแตกและเอาภาระออก



รูปที่ 1 การทดสอบแบบ Radial compression โดยใช้เครื่อง UTM

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 "วิศวกรรมเกษตรนำไทยสู่ครัวโลก"

30-31 มีนาคม 2548 ณ โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ กรุงเทพฯ

10. คำนวณ โมดูลัสยังจากสูตร

$$E_r = \left[\frac{1.927(1 - \mu^2)D^{0.2}}{L} \right] \frac{F}{\Delta^{1.2}} \quad (\text{Jindal และ Techasena, 1985})$$

- เมื่อ μ = อัตราส่วนปัวซอง
 D = เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ
 L = ความยาวของชิ้นทดสอบ
 F = แรงที่ใช้
 Δ = การเปลี่ยนรูป (deformation)

11. ทำการทดสอบซ้ำขั้นตอนที่ 8-10 โดยทำการทดสอบวันเว้นวัน

กลุ่มที่ 3 ทดสอบหาค่า E ด้วยวิธี Die Loading

12. แบ่งหัวไซเท้าออกเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 4 หัว ซึ่งน้ำหนักแต่ละหัว จดบันทึกและเก็บหัวไซเท้าไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($T \approx 28.3^\circ\text{C}$, $\text{RH} \approx 72.5\%$)

13. เตรียมชิ้นตัวอย่างหัวไซเท้าจากกลุ่มที่ 1 โดยแบ่งหัวไซเท้าออกเป็น 4 ส่วน ในหนึ่งหัว แต่ละส่วนยาว 50 มม.

14. ติดตั้งหัว Die ขนาด 3.2 มม. กับ Crosshead ของเครื่อง UTM และกดหัว Die กับชิ้นตัวอย่าง (รูปที่ 2)

บันทึกกราฟแรงและเปลี่ยนรูป



รูปที่ 2 การทดสอบแบบ Die Loading โดยใช้เครื่อง UTM

15. คำนวณ โมดูลัสยังจากสูตร

$$E_s = \frac{F(1 - \mu^2)}{D \cdot 2a} \quad (\text{Mohsenin, 1996})$$

- เมื่อ F/D = ความชันของกราฟแรง-การเปลี่ยนรูป
 $2a$ = เส้นผ่าศูนย์กลางของหัว Die

16. ทำการทดสอบซ้ำขั้นตอนที่ 12-15 โดยทำการทดสอบวันเว้นวัน

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 "วิศวกรรมเกษตรนำไทยสู่ครัวโลก"

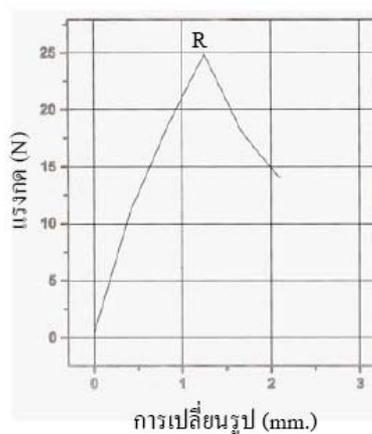
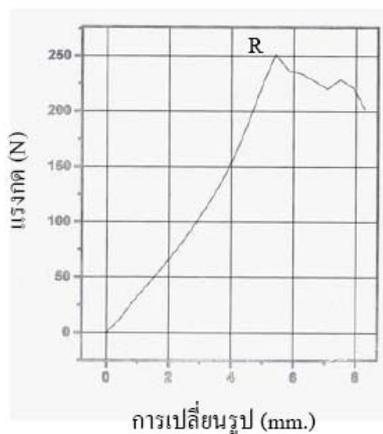
30-31 มีนาคม 2548 ณ โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ กรุงเทพฯ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ค่าอัตราส่วนปัวซอง

การวิเคราะห์ทางสถิติทำให้ได้ ค่า μ ในชั้นทดสอบตามแนวแกนและแนวขวางเฉลี่ย 0.444 ± 0.07 และ 0.384 ± 0.08 ตามลำดับ น่าจะอนุมานได้ว่าเนื้อหุ้มไซเท้าในแนวแกนน่าจะแข็งแรงกว่าในแนวขวาง เพราะว่าให้ความเครียดน้อยกว่า

2. ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูป โดยวิธี Radial compression (ซ้าย) และ Die Loading (ขวา)

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปจากการกดตัวอย่างหุ้มไซเท้าที่ถูกเตรียมเป็นทรงกระบอกด้วยวิธี Radial Compression โดย Rigid flat surface และการกดหุ้มไซเท้าทั้งเปลือก แต่เป็นท่อนตัดออกจากหัวแล้วผ่าครึ่ง (การเตรียมตัวอย่างหุ้มไซเท้าด้วยวิธีนี้ เพื่อให้การเปลี่ยนรูปที่ฐานขึ้นหุ้มไซเท้าสัมผัสกับ Envil ของ UTM มีน้อยมากและลดผลกระทบและความผิดพลาด ของการเปลี่ยนรูปที่วัดได้ ให้เป็นเฉพาะบริเวณหัว Die สัมผัสกับหุ้มไซเท้าเท่านั้น) วิธี Die loading โดยใช้หัว die กด ปรากฏว่า เมื่อแรงกดเพิ่มหุ้มไซเท้าจะเปลี่ยนรูปหรือยุบตัวเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์จะยุบตัวไปเรื่อย ๆ จนถึงจุด R ที่เนื้อเยื่อไซเท้าแตกแยก แรงกดลดลงอย่างรวดเร็ว แต่การยุบตัวยังเป็นต่อไป ใน Die loading หัว die ตรงจุด R แทนที่จะเข้าไปในเนื้อไซเท้าพอดี

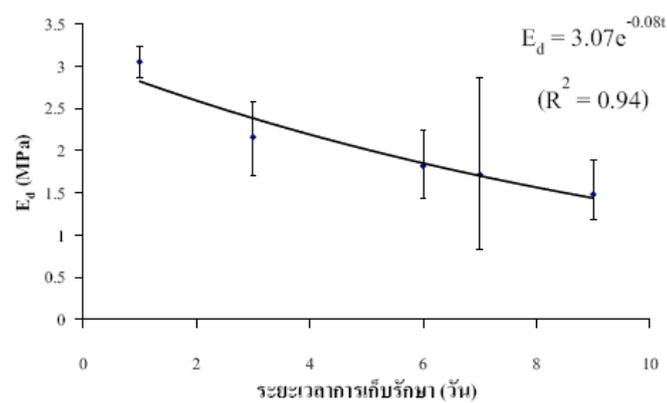
2.1 ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า E (คำนวณที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ของแรงกดแตก) ที่มาจากวิธี Die Loading ปรากฏว่าค่า E ของหุ้มไซเท้าในช่วง 1-3 วัน ไม่ได้รับอิทธิพลจากตำแหน่งของตัวอย่างไซเท้าในหุ้มไซเท้า แต่ในช่วงวันที่ 5-9 วัน หลังจากที่ย้อมมาทดลอง ตำแหน่งมีอิทธิพลต่อค่า E อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5% นี้อาจจะเป็นไปได้ว่า ส่วนกลาง ๆ ผลจะสูญเสียให้น้อยกว่าส่วนปลายผล เพราะส่วนปลายมีพื้นที่สัมผัสอากาศมากกว่าทำให้สูญเสียความชื้นได้มากกว่า ส่งผลให้เสื่อมคุณภาพเร็วกว่าและแข็งแรงน้อยกว่าส่วนกลาง ๆ ผล

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 "วิศวกรรมเกษตรนำไทยสู่ครัวโลก"

30-31 มีนาคม 2548 ณ โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ กรุงเทพฯ

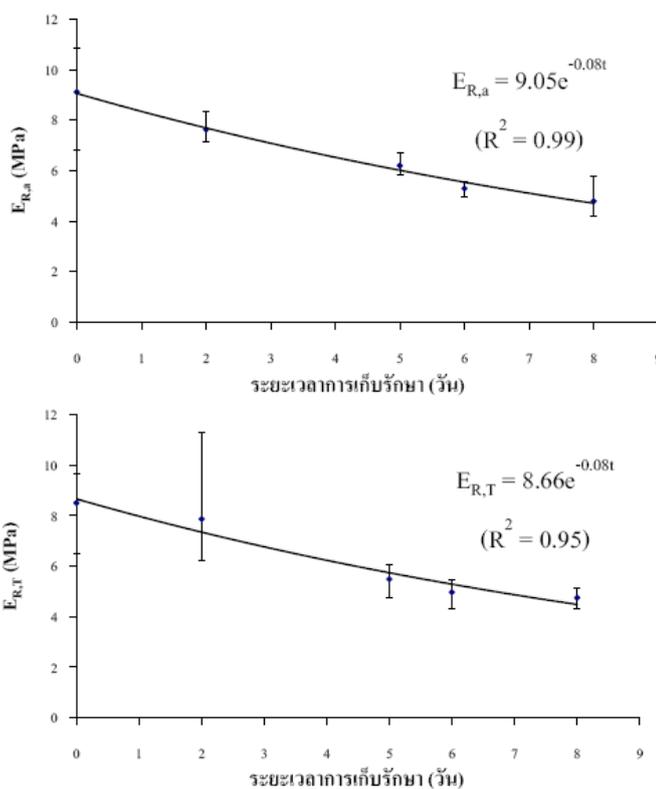
ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าโมดูลัสยังจากวิธี Die Loading

Day	Position	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
DAY1	Position	3	.408	.136	.457	.717
	Error	12	3.567	.297		
	Total	15	3.975			
DAY3	Position	3	1.901	.634	2.929	.077
	Error	12	2.595	.216		
	Total	15	4.496			
DAY5	Position	3	1.408	.469	4.494	.025
	Error	12	1.253	.104		
	Total	15	2.661			
DAY7	Position	3	9.409	3.136	8.262	.003
	Error	12	4.555	.380		
	Total	15	13.964			
DAY9	Position	3	1.142	.381	12.901	.000
	Error	12	.354	2.950E-02		
	Total	15	1.496			



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยังกับเวลา โดยวิธี Die Loading

2.2 ค่าโมดูลัสยังของวิธี Die Loading (E_D) เมื่อวันที่ซื้อหัวไซเท้ามาทดลองหรือวันเริ่มต้นของการเก็บรักษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.051 ± 0.18 Mpa เวลาการเก็บรักษา(t) มีอิทธิพลต่อค่า E อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง E_D กับ t เป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล $E_D = 3.07e^{-0.004t}$ ($R^2=0.94$)



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยังกับเวลา ที่ทดสอบโดยวิธี Radial Compression

(บน) ตัวอย่างการทดสอบลูกเตรียมแนวตามแกน และ

(ล่าง) ตัวอย่างการทดสอบลูกเตรียมตามแนวขวาง

ทำนองเดียวกับค่าโมดูลัสยังของวิธี Radial Compression เมื่อวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา $E_{R,a}$ (แนวแกน) และ $E_{R,T}$ (แนวขวางแกน) เฉลี่ยเท่ากับ 8.60 ± 1.14 Mpa , 9.0 ± 0.77 Mpa ตามลำดับ รูปที่ 5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของ โมดูลัสยังกับเวลาเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล $E_{R,a} = 9.05e^{-0.08t}$ ($R^2=0.99$) และ $E_{R,T} = 8.66e^{-0.08t}$ ($R^2=0.951$) หมายความว่าค่าโมดูลัสยังของหัวไซเท้าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเก็บนานขึ้น หัวไซเท้าจะนุ่มขึ้นทีละน้อย อธิบายได้ว่า หัวไซเท้าประกอบด้วยเซลล์จำนวนมาก เซลล์เหมือนลูกโป่งเมื่อซื้อมาใหม่หรือเริ่มเก็บรักษาไซเท้าสดเซลล์น้ำเต็ม เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะระเหยออกไปทำให้เกิดช่องว่างภายในเซลล์ เซลล์จะหดตัวเหมือนลูกโป่งสูญเสียน้ำออกไปเริ่มแฟบ เมื่อมีแรงมากระทำขึ้นทดสอบจะยุบตัวลงเร็วทำให้ค่าโมดูลัสยังลดลงด้วย สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักในวันที่ 3, 5, 7 และ 9 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีค่า 18.10, 24.82, 34.42 และ 37.08 % ตามลำดับ การเกิดเนื้อฟามของหัวไซเท้าซึ่งปรากฏเป็นโพรงในเนื้อเยื่อเห็นได้ชัดเจนจะเกิดขึ้นในวันที่ 5 หลังจากเก็บหัวไซเท้า

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 "วิศวกรรมเกษตรนำไทยสู่ครัวโลก"

30-31 มีนาคม 2548 ณ โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ กรุงเทพฯ

2.3 จากสมการความสัมพันธ์ของ $E_{r,a}$ และ $E_{r,t}$ กับเวลา ทำให้ทราบว่าเมื่อเริ่มต้นการเก็บรักษา ($t=1$) ความแข็งแรงของหัวไชเท้าเมื่อพิจารณาความเค้นควบคู่ไปกับความเครียดคือค่าโมดูลัสยังจะได้ว่า $E_{r,t} > E_{r,a}$ หรือความแข็งแรงของเนื้อไชเท้าในแนวแกนมากกว่าในแนวขวาง ซึ่งสอดคล้องกับความแข็งแรงเมื่อมองจากค่า μ อัตราการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสความยืดหยุ่นกับเวลาของวิธี Radial compression สูงกว่าวิธี Die loading มาก (มากกว่า 3 เท่า) นั่นคือ $\frac{dE_{r,a}}{dt} > \frac{dE_{r,t}}{dt} > \frac{dE_d}{dt}$ ทำให้อนุมานได้ว่าวิธี Radial compression น่าจะ sensitive กว่าในการตรวจสอบความแข็งแรงของหัวไชเท้า

สรุป

ค่า Poisson's ratio ของหัวไชเท้าแนวตามแกนและขวางแกนมีค่า 0.444 และ 0.384 ตามลำดับ การหาค่ายังโมดูลัสโดยวิธี Radial compression มีค่ายังโมดูลัสเฉลี่ย ในวันที่ 1, 3, 5, 7 และ 9 คือ แนวตามแกน 8.601, 7.201, 5.847, 4.996, 4.588 และแนวขวางแกน 9.005, 8.332, 5.813, 5.264, 5.034 ตามลำดับ ส่วนวิธี Die Loading มีค่ายังโมดูลัสดังนี้ 3.051, 2.157, 1.816, 1.713 และ 1.480 Mpa ตามลำดับ จากการทดลองทั้งสองวิธีพบว่าค่ายังโมดูลัสลดลงเรื่อย ๆ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น สามารถหาสมการจำลองแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่ายังโมดูลัสกับระยะเวลาการเก็บรักษา ได้ดังนี้ ขึ้นทดสอบหัวไชเท้าแนวตามแกน $E_{r,a} = 9.05e^{-0.06t}$ ($R^2=0.99$), ขึ้นทดสอบหัวไชเท้าแนวขวางแกน $E_{r,t} = 8.66e^{-0.06t}$ ($R^2=0.95$) และขึ้นทดสอบหัวไชเท้าด้วย Boussinesq $E_d = 3.07e^{-0.06t}$ ($R^2=0.94$) ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่ายังโมดูลัส เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นค่ายังโมดูลัสจะลดลง

คำขอขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (ADB) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่กรุณาสับสนุนทุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Sirisomboon, P., M. Tanaka, T. Akinaga and T.Kojima. 2000. Evaluation of the textural properties of Japanese pear. *J. Texture Studies* 31 (2000) 665-677.
2. Jindal, V.K. and O. Techasena. 1985. Compression test for measuring the firmness of potatoes. ASAE paper no.85-1072.
3. Sherif, S.M.,L.J. Segerlind and J.S. Frame.1976. An equation for the modulus of elasticity of a radially compressed cylinder. *Transaction of the ASAE*.(19) 4:782 - 785.
4. Mohsenin, N.N.1996. *Physical Properties of Plant and Animal Material*, Gordon and Breach Publishers Inc. Thailand 841 p.
5. www.schoolnet.com

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 "วิศวกรรมเกษตรนำไทยสู่ครัวโลก"

30-31 มีนาคม 2548 ณ โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ กรุงเทพฯ

การประชุมวิชาการครั้งที่ 7 ประจำปี 2549 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
วันที่ 23-24 มกราคม พ.ศ. 2549 จังหวัดมหาสารคาม

พฤติกรรมเชิงกลของผลแก้วมังกร Mechanical Behavior of Dragon Fruit

บัณฑิต จริโมภาส¹ ชนิตา บุพตา¹ ธนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง¹ ศักดา จันทร์ทอง¹
Bandit Jarimopas¹ Chanida Bupata¹ Tanarat Srirunguang¹ Sukda Junthong¹

Abstract

Dragon fruit is a potential economic crop and rich of nutritional ingredients. Postharvest handling, packaging, transport and distribution bring about mechanical injury. Development of postharvest packaging and management of dragon fruit needs the knowledge of mechanical behavior of the fruit. The purpose of this research was to study mechanical behavior of dragon fruit at full maturity. Methodology comprised contact loading by means of the universal testing machine INSTRON 5569 using three kinds of compression head (CH) (ie. rigid flat plate, die and plunger). The last two CH varied in three sizes (ie. 4,6,8 mm in diameter) and three loading rates (LR) of CH movement (ie. 2.5,25,250 mm/min) were used. Mechanical properties of concern were firmness (S) defined by the slope of force-deformation response graph, modulus of elasticity (E), force and deformation at rupture point. SPSS program was used to do analysis of variance.

Results showed that LR and CH significantly affected the mechanical properties (ie. S and E) of dragon fruit at the significance level of 5% while only LR significantly influenced rupture force and deformation. Details of dragon fruit property is given in the paper.

Keywords : dragon fruit , mechanical behavior

บทคัดย่อ

แก้วมังกรเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยวิตามินซี แคลเซียม เส้นใย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Captine ซึ่งบำรุงหัวใจ แก้วมังกรเป็นพืชที่มีศักยภาพทางเศรษฐกิจ การขนย้ายหลังการเก็บเกี่ยว การบรรจุ การขนส่ง และการกระจายผลผลิตไปสู่แหล่งบริโภคทำให้ผลแก้วมังกรได้รับการเสียหายจากความเสียหายและซ้ำ การพัฒนาระบบจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและบรรจุภัณฑ์แก้วมังกรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีองค์ความรู้ของการตอบสนองเชิงกลของแก้วมังกร งานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษาพฤติกรรมเชิงกลของผลแก้วมังกร การศึกษาประกอบด้วยการทดสอบการสัมผัสกับ Universal Testing Machine Instron 5569 ด้วยหัวกดแบบ Die, Plunger และ Flat plate หัวกด 2 ประเภทแรกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4, 6 และ 8 มม. ตามลำดับ อัตราการเคลื่อนที่ 3 อัตรา (2.5, 25 และ 250 มม./นาที) สมบัติเชิงกลที่สนใจได้แก่ ความแน่นเนื้อที่หาได้จากความชันของกราฟแรง - การเปลี่ยนรูป (S), โมดูลัสยืดหยุ่น (E), แรงกดและการเปลี่ยนรูป ณ จุดแตก การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม SPSS จากการทดลองปรากฏว่า หัวกดและอัตราการเคลื่อนที่มีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงกลของแก้วมังกรอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5% ได้แก่ โมดูลัสความยืดหยุ่นและความแน่นเนื้อ ในขณะที่อัตราการเคลื่อนที่มีอิทธิพลต่อแรงกดและการเปลี่ยนรูปที่จุดแตกห้อยอย่างมีนัยสำคัญ ข้อมูลละเอียดของสมบัติเชิงกลถูกนำเสนอในบทความนี้

คำสำคัญ: แก้วมังกร, พฤติกรรมเชิงกล, โมดูลัสความยืดหยุ่น

คำนำ

แก้วมังกร มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ Hylo-cereus undatus (HAW) ชื่อสามัญ Pitahaya, Dragon fruit เป็นพืชในตระกูลตะบองเพชร ผลมีรสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ถิ่นกำเนิดในอเมริกากลาง ทรงผลอาจจะเป็นทรงรูปไข่ สีผลโดยทั่วไปมีสีแดง บานเย็นเกือบทั้งผล กลีบบนผลมีสีเขียว แต่โคนกลีบมีสีแดงบานเย็น ลัก ณะภายใน เมื่อผ่าผลออก (ตามยาว) ก็เห็นเนื้อสีขาวชุ่มคล้ายน้ำกะทิ มีเมล็ดสีดำฝังตัวกระจายอยู่ทั่วไป เนื้อแน่น กรอบนิ่ม รสชาติหวานอมเปรี้ยว ความหวานที่เคยวัดได้สูงสุดคือ 19% บริเวณส่วนกลางของ เนื้อผล เนื้อส่วนอื่นเช่นที่ใกล้เปลือก ด้านก้านผล และปลายผลมีความหวานน้อยกว่าที่ส่วนกลาง ส่วนใหญ่จะชอบบริโภคสด และให้มีรสชาติต้องแช่ตู้เย็น นอกจากนี้แล้วยังนำไปแปรรูปได้ เช่น เครื่องดื่มไวน์-แย้ม ผลแก้วมังกรมีคุณค่าทาง

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม

¹Department of Agricultural Engineering, Kamphaengsaen Engineering Faculty, Kasetsart University, Nakomphom

อาหาร โดยเฉพาะอุดมด้วยแร่ธาตุต่างๆ เช่น โพแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม และวิตามินซี เป็นต้น (สุรพงษ์, 2544) ผลแก้วมังกรจะเกิดความเสียหายและการช้ำจากการเก็บเกี่ยว ขนย่ำ

Mohsenin (1996) กล่าวว่า ความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางกายภาพของวัสดุจะประกอบกันเป็นข้อมูลทางวิศวกรรมที่สำคัญในการออกแบบเครื่องจักร กระบวนการ โครงสร้าง การควบคุม การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องการปฏิบัติและงานแปรรูปทางการเกษตร เทคนิคการทดสอบวัสดุ มาตรฐานรูปทรงธรรมชาติของมัน หรือการทดสอบภาวะสัมผัสได้ถูกนำมาใช้หาสมบัติเชิงกลของผลไม้และผักในหลายงานวิจัย (บัณฑิต และอุดมศักดิ์, 2547 ; Chen et al., 1996; บัณฑิต และคณะ, 2548a ; บัณฑิต และคณะ, 2548b; Jarimopas et al., 1990 ; Jarimopas, 1984; Sirisomboon et al., 2000 ;) ในการทดสอบภาวะสัมผัสมักจะนิยมใช้หัวกดแบบแผ่นแบนแข็ง (Rigid flat plate) (Jarimopas, 1984 ; Jarimopas et al., 1990; บัณฑิต และคณะ 2548a ; บัณฑิต และคณะ, 2548b) หัวกดแบบ plunger (Chen et al., 1996 ; บัณฑิต และอุดมศักดิ์, 2547) หัวกดแบบ die (Sirisomboon et al., 2000; บัณฑิต และคณะ 2548a; บัณฑิต และคณะ 2548b) ทดสอบหาโมดูลัสความยืดหยุ่นโดยใช้อัตราภาระเดียวสำหรับการกดอัดแบบเกือบสถิตย์ ในอดีตที่ผ่านมาหัว plunger และ die ถูกใช้ต่างขนาดกันทำให้เกิดความสงสัยว่า การแปรเปลี่ยนขนาดของหัวกด และอัตราภาระก่อให้เกิดผลกระทบอย่างไรบ้างต่อสมบัติเชิงกลของผักผลไม้ที่หาได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะหาสมบัติเชิงกล ได้แก่ โมดูลัสความยืดหยุ่น ความแน่นเนื้อ การตอบสนองด้วยแรง การเปลี่ยนรูปของผลแก้วมังกรโดยใช้หัวกดชนิดและขนาดต่าง ๆ ที่ความเร็วในการกดต่างกัน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การหาลักษณะทางกายภาพ

เลือกแก้วมังกรระยะกำลังรับประทานขนาดเท่า ๆ กัน จำนวน 80 ลูก สุ่มเลือกแก้วมังกรจำนวน 20 ลูกนำมาหาลักษณะทางกายภาพ โดยวัดขนาดแก้วมังกร 3 แกนคือแกน X (ความกว้าง) แกน Y (ความหนา) และแกน Z (ความยาว) (Figure 1)

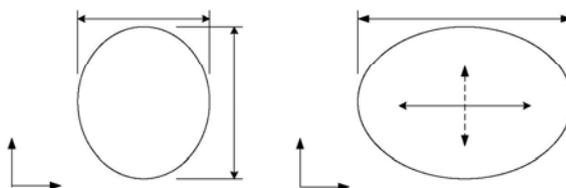


Figure 1 Profile of Dragon Fruit

วัดค่า AC และ BD ของแก้วมังกร โดยใช้อุปกรณ์วัดรัศมีความโค้ง (Figure 2) ตามแนว 1 และ 2 นำค่าที่ได้ไปคำนวณรัศมีความโค้งจากสมการที่ 1

$$Radius = \frac{(AC)^2}{8(BD)} + \frac{(BD)}{2} \quad (\text{Mohsenin, 1996}) \quad (1)$$

ซึ่งนำหน้าของแก้วมังกรโดยเครื่องซึ่งละเอียด แล้วผ่าครึ่งแก้วมังกรตามแนวแกน 1 วัดความหนาเปลือกแก้วมังกร และบันทึกผล

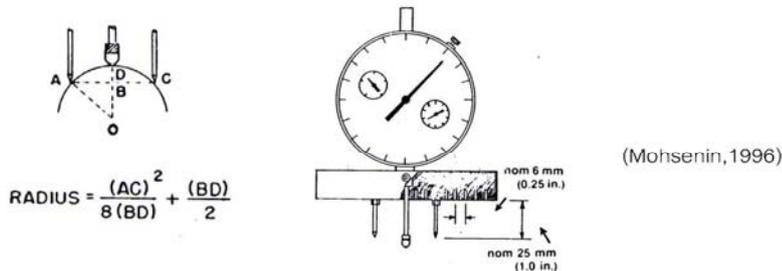


Figure 2 A Meter Measuring Radius of Curvature

2. การทดสอบหาค่าโมดูลัส

2.1 ใช้วิธี Die Loading โดยนำแก้วมังกรจำนวน 45 ลูก มาผ่าครึ่งตามแนวแกน Z ลอกเปลือกออก ส่วนแรกใช้ทดสอบกับหัว Die โดยติดตั้งหัว Die ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม. กับ Crosshead ของเครื่องกด Universal Testing Machine ยี่ห้อ Instron 5569 (UTM) วางชิ้นตัวอย่างบน Anvil ของ UTM และกดหัว Die ลงบนกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่าง (Figure 3) ด้วยความเร็ว 2.5

มม./นาที่ (ASAE standard, 1998) จนถึงจุดแตกหัก (Rupture) และเอภาาระออก บันทึกกราฟแรงและเปลี่ยนรูป ทดลอง 10 ซ้ำ คำนวณค่าโมดูลัสยังจากสมการ (3)

$$E_d = \frac{F(1-\mu^2)}{D \cdot 2a} \quad (\text{Mohsenin, 1996}) \quad (3)$$

เมื่อ F = แรงกด (N); D = การเปลี่ยนรูป (mm); $2a$ = เส้นผ่าศูนย์กลางของหัว Die; μ = Poisson's ratio (ใช้ค่า μ ของผลแอปเปิ้ล = 0.26) ทดลองซ้ำที่ความเร็วหัวกด 25 และ 250 มม./นาที่ ตามลำดับ และ Die ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 และ 8 มม. โดยใช้ขั้นตอนทดสอบแก้วมังกรสำหรับ Combination ของหัวกดและความเร็วละ 10 ตัวอย่าง

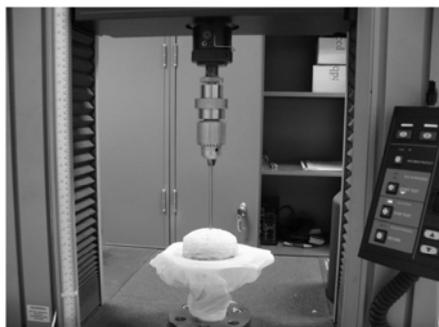


Figure 3 Die loading test of dragon fruit with the UTM Instron 5569

2.2 ใช้วิธี Plunger test ติดตั้งหัว Plunger ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม.เข้ากับ Crosshead ของเครื่อง UTM วางขึ้นตัวอย่าง (แก้วมังกรส่วนที่สอง) บน Anvil ของ UTM และกดหัว Plunger ลงบนกึ่งกลางของขึ้นตัวอย่าง (Figure 4) ด้วยความเร็ว 2.5 มม./นาที่ จนถึงจุดแตกหักและเอภาาระออก บันทึกกราฟแรงและเปลี่ยนรูป ทดลอง 10 ซ้ำ คำนวณโมดูลัสยังจากสมการ (4) ทดลองซ้ำ ที่ความเร็วหัวกดเป็น 25 และ 250 มม./นาที่ ตามลำดับ และหัว Plunger ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 และ 8 มม. โดยทดสอบแก้วมังกรสำหรับแต่ละ Combination ของหัวกดและความเร็วละ 10 ชิ้น

$$E = \frac{0.338K^{3/2}F(1-\mu^2)}{D^{3/2}} \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1'} + \frac{4}{d} \right]^{1/2} \quad (\text{Mohsenin, 1996}) \quad (4)$$

เมื่อ R_1, R_1' = รัศมีความโค้งของวัตถุหนุนที่จะสัมผัส (ม); d = เส้นผ่าศูนย์กลางของหัวกด (ม.); $K = 1.314$

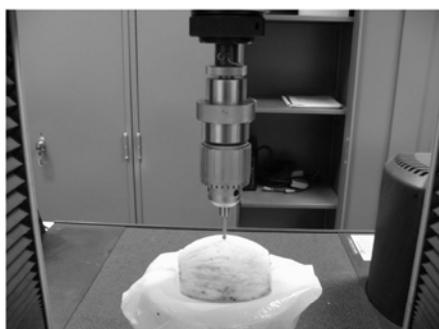


Figure 4 Plunger test of dragon fruit with the UTM Instron 5569

2.3 ใช้วิธี Flat plate โดยนำแก้วมังกรจำนวน 15 ลูก มาผ่าครึ่งตามแนวแกน 1 ลูกเปลือกออก วางขึ้นทดสอบบน Anvil ของ UTM และกด Flat plate ของ Crosshead ลงบนขึ้นทดสอบ (Figure 5) ด้วยความเร็ว 2.5 มม./นาที่ จนถึงจุดแตกและเอภาาระออก บันทึกกราฟแรงและเปลี่ยนรูป ทดลองซ้ำ 10 ซ้ำ คำนวณโมดูลัสยังจากสมการ (5) ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนความเร็ว Flat plate เป็น 25 และ 250 มม./นาที่ ตามลำดับ

$$E = \frac{0.338K^{3/2}F(1-\mu^2)}{D^{3/2}} \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1'} \right]^{1/2} \quad (\text{Mohsenin, 1996}) \quad (5)$$

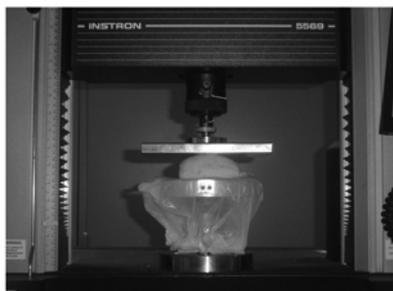


Figure 5 Flat plate test of dragon fruit with the UTM Instron 5569

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ลักษณะทางกายภาพและกราฟแรง - การเปลี่ยนรูป

จากการหาลักษณะทางกายภาพของแก้วมังกรพบว่า แก้วมังกรมีความกว้าง 75.80 ± 1.98 มม. ความหนา 78.51 ± 1.86 มม. และความยาว 134.27 ± 5.73 มม. น้ำหนักเฉลี่ย 426.03 ± 19.50 กรัม ความหนาเปลือก 2.85 ± 0.87 มม. และรัศมีความโค้งแนว 1 และแนวที่ 2 มีค่า 94.20 ± 15.62 และ 49.16 ± 7.00 มม. ตามลำดับ สำหรับการทดสอบโดยใช้เครื่อง UTM จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูป (Figure 6a,b,c) จากการกดตัวอย่างแก้วมังกรที่ถูกผ่าครึ่ง เมื่อใช้หัว Die กด ปรากฏว่าเมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นการเปลี่ยนรูปเพิ่มขึ้น อัตราการเปลี่ยนแปลงแรง/การเปลี่ยนรูป หรือ F/D จะสูงในช่วงแรก แล้วค่อยลดลงจนถึงจุดแตก R เมื่อหัว Die ทะลุเข้าไปในชิ้นแก้วมังกร แล้วแรงกดเพิ่ม-ลด ขึ้นลงเนื่องจากหัว Die ไปกดโดนเมล็ดที่กระจายในเนื้อของแก้วมังกร สำหรับวิธีทดสอบด้วยหัว Plunger แรงกดเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับการเปลี่ยนรูป และให้ F/D อัตราคงที่จนถึงจุดแตก วิธี Flat plate ก็ให้การตอบสนองคล้ายกับวิธี Plunger test คือ F/D คงที่ตลอด จนใกล้ถึงจุดแตก เป็นไปได้ที่จะมี Bioyield point ก่อนถึงจุด R Figure 6 (d) แสดงกราฟแรงการเปลี่ยนรูป ที่มีรูปร่างเป็นปกติกับทุก ๆ หัวกด คือ F เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับ D จนถึง R หลังจากนั้น F ลดลงเป็นสัดส่วนผกผันกับ D โดยทุกประเภทของหัว die และ plunger จะให้ค่า Rupture deformation $D_R \cong$ คงที่ = 1.1 มม. ($CV \cong 9\%$) กับหัว flat plate $D_R = 2.4$ มม. ($CV \cong 5.8\%$)

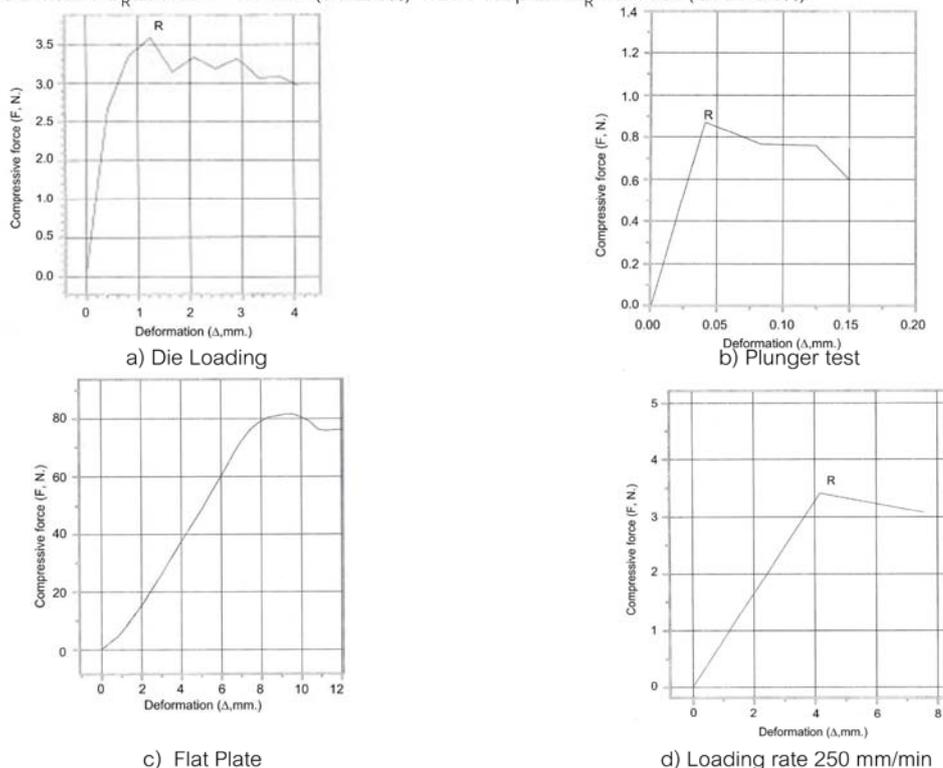


Figure 6 Typical force-deformation responses of dragon fruit for loading rate 2.5 and 25 mm/min (a,b,c) and loading rate 250 mm/min (d)

2. โมดูลัสความยืดหยุ่น

Table 1 แสดงว่าอัตราภาระ (LR) และชนิดหัวกด (CH) มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 5% ต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น Table 2 แสดงค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นสำหรับแต่ละ Combination ของ LR และ CH สำหรับหัวกดชนิดหนึ่ง ๆ เมื่อ Loading Rate (LR) เพิ่มขึ้น พบว่าค่าโมดูลัสจะลดลง การทดสอบแบบ Die Loading ที่ความเร็วหนึ่ง ๆ พบว่าเมื่อขนาดของหัวกดเพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสจะลดลงเช่นเดียวกัน แต่ในกรณีของหัว Plunger สำหรับ LR หนึ่ง ๆ เมื่อหัว Plunger มีขนาดใหญ่ขึ้น จะทำให้ได้ค่าโมดูลัส (E) ลดลง ซึ่งเป็นจริงในกรณี ความเร็ว 2.5 และ 25 มม./นาที แต่เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นมาเป็น 250 มม./นาที ปรากฏการณ์เป็นตรงกันข้ามค่าโมดูลัสกลับเพิ่มขึ้น เมื่อหัว Plunger มีขนาดใหญ่ขึ้นนี้ อาจอธิบายได้จากสมการ (4) จะได้ว่าค่าโมดูลัสยังขึ้นกับค่าคงที่คูณด้วยเทอมของรัศมีมีความโค้ง และอัตราส่วน $F/D^{1.5}$ ค่าคงที่และเทอมของรัศมีมีความโค้งจะทำให้ E ลดลงเมื่อหัว Plunger มีขนาดใหญ่ขึ้นแต่ F/D เพิ่มขึ้นเมื่อขนาดหัว Plunger โตขึ้นและ Deformation มีค่าเกือบคงที่ในทุกกรณี (พิจารณาที่ $D = 25\%$ ของจุด Rupture) ดังนั้นในกรณี LR = 250 มม./นาที โมดูลัสจึงกลับเพิ่มขึ้น เมื่อหัว Plunger มีขนาดใหญ่ขึ้น สำหรับ Flat plate เมื่อ LR เพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสจะเพิ่มขึ้นด้วยสอดคล้องกับ Jarimopas (1984) ได้ทำการทดสอบแบบ Quasi - static และ Impact compression กับ Apple พันธุ์ Golden delicious ด้วย Flat plate ผลการทดสอบปรากฏว่าค่าโมดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จาก 7.43 เป็น 7.50 MPaตามลำดับ

Table 1 Analysis of variance of modulus of elasticity of Dragon fruit

Source	Type III	df	Mean Square	F	Sig.
Sum of Squares					
Corrected Model	123.882	3	41.294	627.759	.000
Intercept	152.549	1	152.549	1949.666	.000
Loading Rate (LR)	56.982	1	56.982	728.258	.000
Compression Head (CH)	8.208	1	8.208	104.898	.000
LR * CH	4.169	1	4.169	53.278	.000
Error	16.118	206	7.824E-02		
Total	980.000	210			
Corrected Total	140.000	209			

a. R Squared = .885 (Adjusted R Squared = .883)

Table 2 Modulus of elasticity of Dragon fruit (MPa) vary from size of Compression Head and velocity

Compression Head	Loading Rate (mm/min)		
	2.5	25	250
Die 4	5.137 ± 1.083	0.812 ± 0.108	0.125 ± 0.019
Die 6	3.212 ± 0.481	0.657 ± 0.105	0.121 ± 0.005
Die 8	1.465 ± 0.793	0.486 ± 0.071	0.107 ± 0.014
Ball 4	99.364 ± 40.303	3.989 ± 0.870	0.231 ± 0.029
Ball 6	78.575 ± 40.303	3.753 ± 0.870	0.265 ± 0.029
Ball 8	55.656 ± 10.316	3.207 ± 0.982	0.335 ± 0.036
Flat Plate	0.346 ± 0.036	0.428 ± 0.063	0.472 ± 0.147

3. ความแน่นเนื้อ

Table 3 แสดงว่า LR และ CH มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความสำคัญ 5% ต่อความแน่นเนื้อที่กำหนดด้วย F/D Table 4 แสดงค่า F/D เฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับแต่ละ Combination ของ LR และ CH เมื่อ Loading Rate เพิ่มขึ้น ค่าความแน่นเนื้อจะลดลงในทุก ๆ ขนาดหัวกด ยกเว้น Flat plate สำหรับหัวกดชนิดหนึ่ง ๆ ที่อัตราภาระ 2.5 มม./นาที เมื่อขนาดหัวกดใหญ่ขึ้นค่าความแน่นเนื้อจะลดลง แต่เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 25 และ 250 มม./นาที

พบว่า เมื่อขนาดของหัวกดเพิ่มขึ้นความแน่นเนื้อกลับเพิ่มขึ้น สำหรับ Flat plate เมื่ออัตราการเพิ่มเพิ่มขึ้น ค่าความแน่นเนื้อจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับโมดูลัสความยืดหยุ่น

Table 3 Analysis of variance of firmness of Dragon fruit

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	129.260	3	43.087	826.466	.000
Intercept	154.749	1	154.749	2968.303	.000
Compression Head (CH)	31.070	1	31.070	595.965	.000
Loading Rate (LR)	14.791	1	14.791	283.705	.000
LR * CH	1.162	1	1.162	22.283	.000
Error	10.740	206	5.213E-02		
Total	980.000	210			
Corrected Total	140.000	209			

a. R Squared = .923 (Adjusted R Squared = .922)

Table 4 Firmness of Dragon fruit (N/mm.)

Compression	Loading Rate (mm/min)		
	2.5	25	250
Head			
Die 4	22.038 ± 4.645	3.482 ± 0.463	0.537 ± 0.082
Die 6	20.669 ± 3.095	4.229 ± 0.674	0.779 ± 0.030
Die 8	12.574 ± 6.800	4.166 ± 0.606	0.920 ± 0.119
Ball 4	21.536 ± 7.970	2.627 ± 0.561	0.484 ± 0.060
Ball 6	21.335 ± 6.361	3.233 ± 0.544	0.690 ± 0.113
Ball 8	16.120 ± 3.012	3.033 ± 0.875	0.984 ± 0.104
Flat Plate	6.413 ± 0.800	7.657 ± 0.686	8.650 ± 2.614

4. แรงและการเปลี่ยนรูป ณ จุดแตกหัก

Table 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนว่า LR มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 5% ต่อแรงกด ณ จุดแตกหัก F_R ค่าเฉลี่ยของ $F_R \pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับ LR แต่ละระดับถูกแสดงไว้ใน Table 6 F_R มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นนี้สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของ failure threshold compressive force ของผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Golden Delicious จาก 94 N ในการกดเกือบสถิตย์ เป็น 110 N โดยการกระแทก (Jarimopas, 1984)

Table 5 Analysis of variance of Rupture Force of Dragon fruit

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	114.518	3	38.173	308.588	.000
Intercept	193.037	1	193.037	1560.515	.000
Loading Rate (LR)	93.551	1	93.551	756.271	.000
Compression Head (CH)	5.767E-02	1	5.767E-02	.466	.496
LR * CH	3.464E-02	1	3.464E-02	.280	.597
Error	25.482	206	.124		
Total	980.000	210			
Corrected Total	140.000	209			

a. R Squared = .818 (Adjusted R Squared = .815)

Table 6 Rupture Force of Dragon fruit (N)

Loading Rate (mm/min)	2.5	25	250
All CH except flat plate	0.329 ± 0.184	0.623 ± 0.382	0.809 ± 0.234
Flat plate	15.576 ± 3.415	17.652 ± 3.768	20.370 ± 6.019

Table 7 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนว่า LR มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนรูปที่จุดแตก D_R อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5% Interaction ระหว่าง LR และ CH มีอิทธิพลต่อ D_R อย่างมีนัยสำคัญด้วย ดังนั้น D_R สำหรับแต่ละ Combination ของ LR และ CH ถูกแสดงไว้ใน Table 8 ที่น่าสนใจคือ เมื่อกดแก้วมังกรที่อัตราความเร็วสูง = 250 มม./นาที D_R ของแก้วมังกรตอบสนองหัวกดทั้งแบบ Die และ Plunger ที่ค่าค่อนข้างคงที่ (ในทุกๆ ขนาด) เฉลี่ย 1.098 มม (cv \cong 8.9%) แก้วมังกรตอบสนองต่อ Flat plate เป็นค่า D_R ทุกระดับ LR ค่อนข้างคงที่เท่ากับ 2.357 มม (cv \cong 0.3%)

Table 7 Analysis of variance of Rupture Deformation of Dragon fruit

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	114.961	3	38.320	315.263	.000
Intercept	179.141	1	179.141	1473.802	.000
Loading Rate (LR)	24.786	1	24.786	203.920	.000
Compression Head (CH)	.179	1	.179	1.469	.227
LR * CH	.492	1	.492	4.046	.046
Error	25.039	206	.122		
Total	980.000	210			
Corrected Total	140.000	209			

a. R Squared = .821 (Adjusted R Squared = .819)

Table 8 Rupture Deformation of Dragon fruit (mm.)

Compression Head	Loading Rate (mm/min)		
	2.5	25	250
Die 4	0.016 ± 0.009	1.918 ± 0.083	1.103 ± 0.264
Die 6	0.023 ± 0.002	0.283 ± 0.132	1.286 ± 0.049
Die 8	0.051 ± 0.039	0.246 ± 0.023	1.053 ± 0.160
Ball 4	0.011 ± 0.003	0.102 ± 0.012	1.021 ± 0.018
Ball 6	0.013 ± 0.003	0.109 ± 0.002	1.093 ± 0.167
Ball 8	0.100 ± 0.001	0.108 ± 0.012	1.034 ± 0.016
Flat Plate	2.306 ± 0.35	2.359 ± 0.46	2.409 ± 0.14

สรุป

ในการทำ Contact loading test กับผลแก้วมังกรโดยการแปรเปลี่ยนหัวกด 3 ชนิด คือ Die, Plunger, Rigid flat plate และอัตราภาระจาก slow rate (2.5 – 25 มม./นาที) จนถึง fast rate (250 มม./นาที) พบว่าหัวกดและอัตราภาระมีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงกลของแก้วมังกรอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5% โมดูลัสความยืดหยุ่นและความแน่นเนื้อ ในขณะที่อัตราภาระมีอิทธิพลต่อแรงกดและการเปลี่ยนรูปที่จุดแตกหักอย่างมีนัยสำคัญ

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (ADB) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่กรุณาสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- สุรพงษ์ ไกลยะจินดา, 2544. แก้วมังกร พีชแคร์ ฐกิจผลไม้สุขภาพ. สมาคมพืชสวนแห่งประเทศไทย กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- บัณฑิต จริโนภาส และ อุดมศักดิ์ กิจทวี. 2547. การรับรู้ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงภายใต้การกระทบ. *วิศวกรรมสาร มก.* 18 (52) : 19-26.
- บัณฑิต จริโนภาส, พนิดา บุษปฤกษ์, ชนิดา บุพตา และธนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง. 2548a. อัตราส่วนของแป้งและโมดูลัสของหัวไชเท้า. *บทความวิจัยเสนอในการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 6 จัดโดยสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ร่วมกับ คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คลอง 6 ระหว่างวันที่ 30-31 มีนาคม 2548 ณ โรงแรมแกรนด์มิราเคิล กรุงเทพฯ*
- บัณฑิต จริโนภาส, บุลยวิษ ศรีสวัสดิ์, นิติพงษ์ ใจสิน และพนิดา บุษปฤกษ์. 2548b. สมบัติเชิงกลบางประการของผลมะเขือยาว. *บทความวิจัยเสนอในการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 6 จัดโดยสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ร่วมกับ คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คลอง 6 ระหว่างวันที่ 30-31 มีนาคม 2548 ณ โรงแรมแกรนด์มิราเคิล กรุงเทพฯ*
- ASAE Standards, 1998. Compression test of food materials of convex shape. ASAE S368.3 Mar 95. p 554 – 559.
- Mohsenin, N.N. 1996. *Physical Properties of Plant and Animal Material*. Gordon and Breach Publishers Inc. Thailand 841 p.
- Chen, P., M. Ruiz-Allisent, and P. Barreiro. 1996. Effects of impacting mass on firmness sensing of fruits. *Trans of the ASAE*. 39(3) : 1019-1023.
- Jarimopas, B., Y. Sarig, U.M. Peiper and G. Manor. 1990. Instrumentation for measuring the response of apples subjected to impact loading. *Computers and Electronics in Agriculture*. Elsevier Science Publishers B.V.S (1990) : 255-260.
- Jarimopas, B., 1984. *Failure of Apple Under Dynamic Loading Unpublished D.Sc. Thesis*. Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel. 157 p.
- Sirisomboon, P., M. Tanaka, T. Akinaga, and T. Kojima. 2000. Evaluation of the textural properties of Japanese pear. *J of Texture Studies*. 31(2000) : 665-677.

การซ้ำของผลมะพร้าวอ่อนภายใต้การกระทบ
Young Coconut Fruit Bruising under Impact

บัณฑิต จริโมภาส¹ และ ธนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง¹
Bundit Jarimopas¹ and Tanarat Srirungruang¹

Abstract

The purpose of this research was to estimate the bruise volume of young coconut fruit subjected to impact loading. Methodology comprised dropping 4 sizes of steel plunger (i.e. 12, 24, 48 and 96 gm) onto the mature young coconut fruit of uniform size at varying height and analyzing the relationship between bruise volume (V_b) and the impact energy (E). The 96 gm plunger gave the highest slope of V_b vs E graph and the corresponding equation is $V_b=1936.6E-94.2$ ($R^2=0.99$). Bruise threshold of the mature young coconut fruit corresponded to the height of 2.6 cm.

Key word: Young coconut, Bruise, Impact

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อที่จะประเมินการซ้ำของผลมะพร้าวอ่อนเมื่อถูกกระทบ วิธีการศึกษาประกอบด้วย การปล่อยหัว plunger เหล็ก 4 ขนาด คือ 12, 24, 48 และ 96 กรัม ตกกระทบผลมะพร้าวอ่อนที่มีขนาดสม่ำเสมอและอยู่ในระยะโตเต็มที่ กำลังพอดี ที่ระดับความสูงต่าง ๆ และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรซ้ำ (V_b) ของผลมะพร้าวอ่อนกับพลังงานตกกระทบ (E) ผลปรากฏว่า V_b แปรผันตรงกับ E สำหรับหัวกระทบทุก ๆ ขนาด หัวกระทบ 96 กรัม ให้กราฟที่มีอัตราการผลิตเปลี่ยนแปลงของ V_b ต่อ E สูงที่สุด และสมการความสัมพันธ์เป็น $V_b=1936.6E-94.2$ ($R^2=0.99$) จุดเริ่มต้นการซ้ำ Bruise threshold ของผลมะพร้าวอ่อนอยู่ที่ระดับความสูง 2.6 เซนติเมตร

คำสำคัญ: มะพร้าวอ่อน, การซ้ำ, กระทบ

คำนำ

มะพร้าวอ่อนน้ำหอมเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในการส่งออก การส่งออกมะพร้าวอ่อนของไทยไปต่างประเทศปี 2546 มีมูลค่า 4,033,571 ดอลลาร์สหรัฐ ปี 2547 มีมูลค่า 4,452,114 ดอลลาร์สหรัฐ คิดเป็นอัตราการขยายตัว 10.38% (กรมส่งเสริมการส่งออกกระทรวงพาณิชย์, 2549) มะพร้าวอ่อนที่จะทำการส่งออกจะผ่านการปอกเปลือกให้มีขนาดสม่ำเสมอ สีขาวสะอาด ไม่มีเปลือกสีเขียวติด ไม่มีตำหนิ (รอยซ้ำ) การส่งออกมะพร้าวอ่อนต้องมีการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวอย่างดีเพื่อป้องกันการซ้ำของผล เริ่มตั้งแต่ขนย้ายออกจากสวนสู่กระบวนการผลิต มีการตัดแต่งผล จุ่มสารกันเชื้อรา และสารกันการเปลี่ยนสีของผิว ปัญหาสำคัญในการส่งออกมะพร้าวอ่อนที่มักพบเสมอคือ รอยซ้ำที่เปลือกซึ่งเกิดจากการเก็บเกี่ยวและการขนถ่ายผลผลิต ที่ขาดความระมัดระวัง อาการซ้ำนี้จะเห็นเป็นบริเวณสีน้ำตาลในกาบมะพร้าวสีขาว โดยสังเกตได้ขณะแต่งผลและบางครั้งอาการรุนแรงมากจนไม่สามารถแต่งออกได้ จึงกลายเป็นตำหนิทำให้มะพร้าวอ่อนด้อยคุณภาพลงและที่สำคัญยังเป็นแหล่งเกิดโรคอีกด้วย นักวิจัยหลายคนศึกษาการซ้ำของผลแอปเปิ้ล (Jarimopas, 1984 ;Holt and School, 1977 ;Chen and Yazdani, 1991) พบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาตรซ้ำ (V_b) กับพลังงานกระทบ (E) อย่างไรก็ตามปรากฏการณ์การซ้ำของผลมะพร้าวอ่อนยังไม่มีการศึกษา ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อที่จะประเมินการซ้ำของผลมะพร้าวอ่อนเนื่องจากการกระทบโดยหัว Plunger ขนาดต่าง ๆ

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม

¹Department of Agricultural Engineering, Kamphaengsaen Engineering Faculty, Kasetsart University, Nakhonpathom

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม

¹Graduate student, Department of Agricultural Engineering, Kasetsart University, Nakhon pathom

อุปกรณ์และวิธีการ

เลือกผลมะพร้าวอ่อนที่มีขนาดสม่ำเสมอและอยู่ในระยะโตเต็มที่ จำนวน 80 ลูก ปล่อยหัว Plunger เหล็ก ขนาด 12, 24, 48 และ 96 กรัม (Fig.1) ตกกระทบมะพร้าวอ่อนที่ 10 ระดับ ความสูงได้แก่ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45 และ 0.50 เมตร (Fig. 2) ทำซ้ำ 10 ซ้ำ ก่อนทำการกระแทกน้ำมันทาบริเวณหน้าสัมผัสของหัว Plunger เพื่อให้หาจุดซ้ำและผ่าดูรอยซ้ำได้ง่าย เมื่อหัว Plunger กระแทกกับผิวของลูกมะพร้าว รอยน้ำมันที่ทาไว้จะติดที่ผิวของผล ทิ้งไว้ 24 ชม. ผ่าดูรอยซ้ำของผลมะพร้าว วัดความกว้างและความลึกของรอยซ้ำ คำนวณปริมาตรซ้ำจากสูตร

$$V_b = (\pi/8)w^2d \quad \text{(Chen and Sun, 1981)}$$

เมื่อ w = ความกว้างของรอยซ้ำ (mm)
 d = ความลึกของรอยซ้ำ (mm)

คำนวณพลังงานกระแทกจากสูตร

$$E = mgh$$

เมื่อ m = มวลของหัวกระแทก (kg)
 g = 9.81 m/s²
 h = ระยะห่างระหว่างหัวกระแทกกับผิวของผลมะพร้าวอ่อน (m.)

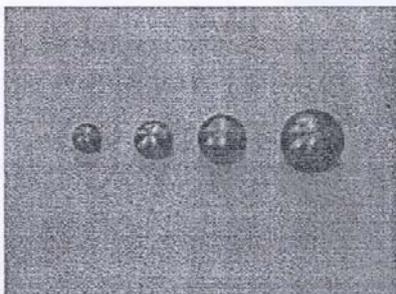


Fig.1 Plunger head of different sizes

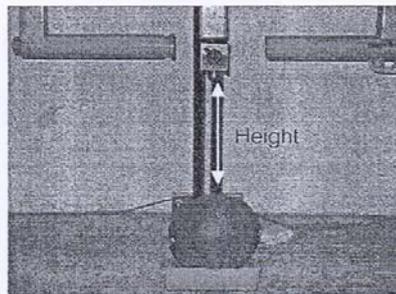


Fig.2 Drop test set-up

วิเคราะห์ผล หาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรซ้ำ (V_b) กับพลังงานกระแทก (E) เลือกหัว Plunger ที่ได้ Slope ระหว่าง V_b -E สูงที่สุดมาทำการทดลองหา Bruise threshold โดยปล่อยหัว Plunger ตกกระทบมะพร้าวอ่อนที่ ความสูง 0.02, 0.021, 0.022, 0.023, 0.024, 0.025, 0.026, 0.027, 0.028, 0.029 และ 0.030 เมตร ทำซ้ำ 10 ซ้ำ ทิ้งไว้ 24 ชม. ผ่าดูรอยซ้ำของผลมะพร้าว วัดความกว้างและความลึกของรอยซ้ำ

คำนวณหา Probability of bruise จาก

$$\text{Probability of } V_B \text{ occurrence} = \frac{\text{Number of non - zero } V_b}{\text{Number of replications of the same treatment}}$$

ผลและวิจารณ์

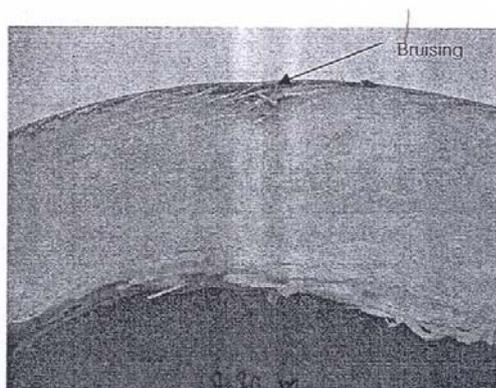


Fig. 3 Picture of young coconut bruising

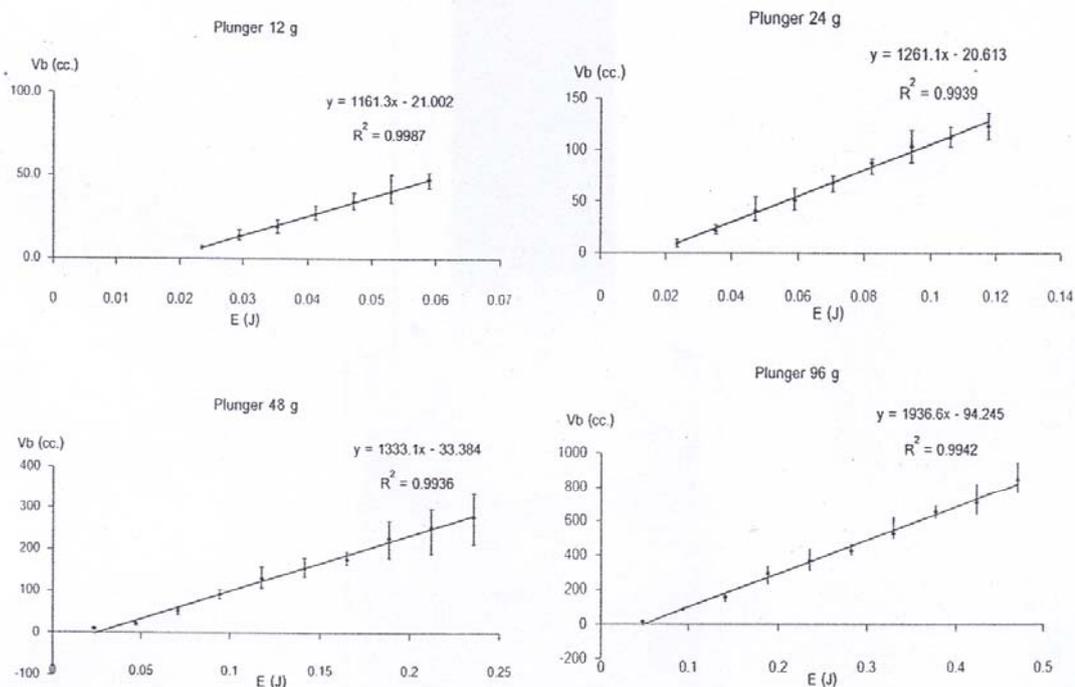


Fig 4 The bruise volume – impact energy regression line of varying plunger sizes.

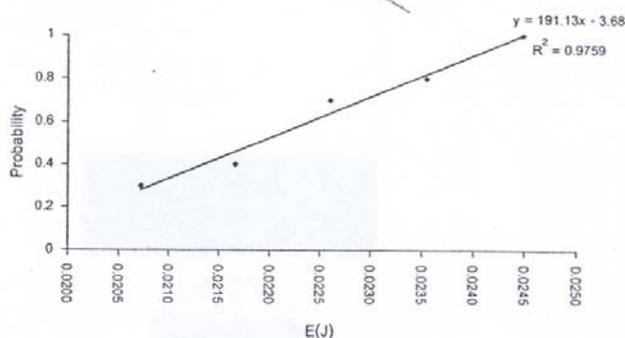


Fig 5 Bruise occurrence probability and impact energy relationship

Fig. 3 แสดงภาพรอยขีดของมะพร้าวอ่อนเป็นบริเวณสีน้ำตาลได้ผิวกับบริเวณถูกกระแทก มีลักษณะเป็นรูปครึ่งวงกลม สีน้ำตาล ปรากฏจากเปลือกสีเขียวเข้ามาภายในผล เมื่อนำค่าปริมาตรซ้ำ (Vb) กับพลังงานกระแทก (E) ของหัว Plunger ทั้ง 4 ขนาดมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ (Fig 4) พบว่า Vb และ E มีความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรง โดยที่หัว Plunger ขนาด 96 กรัม ให้ค่า slope สูงที่สุด รองลงมาคือ 48, 24 และ 12 กรัม ตามลำดับ ผลการทดสอบหา Bruise threshold ของมะพร้าวอ่อนระยะ maturity โดยใช้ หัว Plunger ขนาด 96 กรัม (Fig 5) พบว่า รอยขีดจะเริ่มปรากฏที่ความสูง 0.022 ม. ระดับพลังงานตกกระทบ 0.0207 จูล สมัยกับความสูง 0.026 ม. ที่พลังงานตกกระทบ 0.0245 จูล จะปรากฏรอยขีด 100%

สรุป

รอยขีดของมะพร้าวอ่อนจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อพลังงานกระแทกสูงขึ้น หัว Plunger ขนาด 96 กรัม จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรซ้ำและพลังงานสูงสุด ($R^2=0.99$) ที่ความสูง 0.026 ม. จะให้ค่า Probability = 1

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการพัฒนามบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (ADB) ที่กรุณาสนับสนุนงบประมาณวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการส่งออกกระทรวงพาณิชย์ ผลไม้เมืองร้อนในสหรัฐอเมริกา แหล่งที่มา: <http://www.dephtai.go.th>, 30 พฤษภาคม 2549.
- Chen, P. and Yazdani, R. 1991. Prediction of apple bruising due to impact on different surfaces. Trans of the ASAE. 34(3):956-961.
- Chen, P and Z. sun. 1984. Critical strain failure criterion : Pros and Cons. Trans. of the ASAE 27(1):278-281.
- Holt, J.E. and School, D. 1977. Bruise and energy dissipation in apples. J. Text. Studies. 7:421-432.
- Jarimopas, B. 1984. Failure of Apple Under Dynamic Loadings. Unpublished D.Sc. Dissertation. Faculty of Agricultural Engineering, Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.



Faculty of Engineering
Khon Kaen University



Thai Society of
Agricultural Engineering



American Society of
Agricultural and Biological Engineers

Postharvest Damage and Impact Bruising of Young Coconut Fruit

Tanarat Srisroongrueng and Bundit Jarimopas

Graduate Student and Associate Professor, Department of Agricultural Engineering, Kamphaengsaen Engineering Faculty, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakhonpathom, THAILAND

ABSTRACT

Young coconut fruit is one of the most favorite fruits of Thailand. Its juice and flesh are tasty and rich with nutritional value. Nowadays, the coconut fruit is subjected to mechanical loadings, and impact, during handling and transport, results in bruising. Such postharvest damage increases production cost, slows down the production process and deteriorates product quality. This research was aimed to (a) assess the postharvest damage of the coconut fruit at markets and (b) determine mechanism of bruising of the young coconut fruit subjected to impact. Methodology comprised survey to collect data on postharvest bruising at selected retailers and wholesalers, and analysis. Samples of young coconut fruit were brought to drop test at different height with various plunger impactors. Impact energy and bruising were measured and analyzed. Results showed that bruising of the young coconut fruit by the wholesalers varied from 65 to 100%, while that of the retailers ranged from 50 to 100%. A very good linear correlation between the bruise volume V , the impact energy E beyond threshold, bruise occurrence probability P and the impact energy below threshold was found. Maturity affected the V - E and the P - E regression graphs, and the threshold as well. Threshold impact energy causing bruising of the sound young coconut (Probability = 1) was 0.0252 J.

Keywords : Postharvest, bruising, coconut, impact

Postharvest Damage and Impact Bruising of Young Coconut Fruit

By

Tanarat Srirungruang¹ Bundit Jarimopas²

Abstract

Young coconut fruit is one of the most favorite fruit of Thailand. Its juice and flesh are tasty and rich of nutritional value. Nowadays, the coconut fruit is subjected to mechanical loadings, especially impact, during handling and transport, resulting bruising. Such postharvest damage increases production cost, slows down production process and deteriorates product quality. This research was aimed to (a) assess the postharvest damage of the coconut fruit at markets and (b) determine young coconut fruit bruising mechanism mechanism subjected to impact. Methodology comprised survey to collect data on postharvest bruising at selected retailers and wholesalers, and analysis. Samples of young coconut fruit were brought to drop test at different height with various plunger impactors. Impact energy and bruising were measured and analyzed.

Results showed that bruising of the young coconut fruit of the wholesalers varied from 65 to 100% while that of the retailers ranged from 50 to 100%. Very good linear correlation between the bruise volume V and the impact energy E beyond threshold and between bruise occurrence probability P and the impact energy below threshold was found. Maturity affected the V - E and the P - E regression graphs, and the threshold as well. Threshold impact energy causing bruising of the sound young coconut (Probability = 1) was 0.0245 J.

Keywords : Postharvest, bruising, coconut, impact

Introduction

Postharvest handling, packaging and transport essentially cause fruit injury, mainly bruising (Bollen et al., 1999). Apple bruising was as high as 93% after transport (Timm et al., 1989). Young coconut fruit, one of the most favorite fruit of Thailand, is similarly subjected to the aforementioned postharvest processed and executed by mechanical loadings, especially impact. The damaged coconut increases production cost, slows down production process and deteriorates product quality. This research was aimed to (a) assess the postharvest damage of the coconut fruit at markets and (b) determine young coconut fruit bruising mechanism subjected to impact.

^{1&2} Graduate Student and Associate Professor, Department of Agricultural Engineering, Kamphaengsaen Engineering Faculty, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakohnpathom, THAILAND

Material and Method

1. Determination of postharvest damage

Four big supermarkets of the international companies and three big open markets in Bangkok were selected as the representative of retailer and wholesaler. Five and twenty trimmed young coconut fruit was randomly bought from each retailer and wholesaler respectively as fruit samples for bruise inspection and analysis.

Average bruising percentage = The average of number of bruised fruit/Total number of the sample(1)

Average bruising area per fruit = The average of total bruised area on the fruit surface / Total surface area of the fruit(2)

Average number of bruising per fruit = The average of bruised area number per fruit(3)

2. Determination of the relationship between bruise volume and impact energy beyond bruise threshold.

The measurement used a drop test set-up equipped with 12 gm (14.9 mm diameter) plunger impactor under which was a newly-harvested, mature young coconut fruit placed in a moisted sand. The impactor dropping was controlled by a magnetic release and was adjustable according to the drop height selected. Ten replications were for a combination of plunger head (i.e. 12, 24, 48, 96 gm) and energy level (7 to 10 energy levels). The relationship between bruise volume V and the impact energy E was analyzed.

$$V = \frac{\pi}{8} \omega^2 d \quad (\text{Chen \& Sun, 1984}) \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$E = mgh \quad (\text{Jarimopas, 2006}) \quad \dots\dots\dots(5)$$

ω = width of bruise (mm)

d = depth of bruise (mm)

m = mass of impactor (kg)

h = dropping height (m)

The fruit samples of uniform size were used in all the experiment

3. Determination of the relationship probability of bruise occurrence and the impact energy below and upto bruise threshold

The drop test set-up was used with the other group of young coconut samples consisting of equal number of uniform size immature, mature and overmature fruit. The used plunger impactor was properly chosen after the previous determinations. Twenty replications were for a combination of maturity and impact energy levels (there were 10 to 14 levels ranging from about 0.008 to 0.025 J). The relationship between the probability of bruise occurrence and the impact energy was analyzed.

Results and Discussion

1. Postharvest damage

Table 1 Statistics of postharvest bruising of the trimmed young coconut fruit at selected retailers and wholesalers

Salers (r = retailer, w = wholesaler)	Average bruising percentage	Average bruising area/fruit (cm ²)	Average number of bruising/fruit
Big C (r)	100	49.4±4.0	5.5±3.1
Lotus (r)	100	38.9±2.4	7.0±4.4
Carrefour (r)	100	37.8±3.5	8.0±3.8
Tops (r)	50	4.7±1.7	2.7±2.1
Tai market (w)	98.5	17.8±4.6	4.8±2.4
Pathom Mongkol market (w)	65.2	2.8±1.6	1.9±0.9
Si Mum Mueng market (w)	100	17.6±4.9	4.3±2.2

Main damage of the trimmed young coconut fruit was bruising. The young coconut bruising was characterized by mesocarp browning mass with curved boundary protruding inside the fruit. The browning mesocarp stay under the skin (Fig.1). The coconut bruising pattern fairly resembled the bruising of an apple (Jarimopas, 2006). Impact during handling and transport can cause bruising of the coconut. Normally, after trimming the young coconut is instantly dipped into sodium metabisulfide solution to protect browning of the mesocarp surface.

Table 1 presents the statistics of young coconut fruit bruising of the selected wholesalers and retailers in Bangkok and its metropolitan area. Percentage of the average coconut bruising of retailers and wholesalers was from 50 to 100 and from 65 to 100 respectively. The related average bruising area (A) ranged from 4.7 to 49.4 cm²/fruit in the retailers and from 2.8 to 17.8 cm²/fruit in the wholesalers. The average number of bruising per fruit (B) of the retailer ranged from 2.7 to 8.0 % while that of the wholesaler ranged from 1.9 to 4.8%. The lower value of A and B of the retailer referred to better postharvest handling and management while that of the wholesaler was due to the short distance between such a wholesaler and the coconut plantation.

2. Bruise volume and impact energy beyond threshold

Fig 2 showed the bruise volume V of the young coconut fruit was linearly proportional to the impact energy E for every impactor plunger. The equations of relationship for the plunger head of 12, 24, 48, 96 gm were

$$V = 1161.3E-21.0 \quad (R^2 = 0.999) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$V = 1261.1E-20.6 \quad (R^2 = 0.994) \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$V = 1333.1E-33.4 \quad (R^2 = 0.994) \quad \dots\dots\dots(8)$$

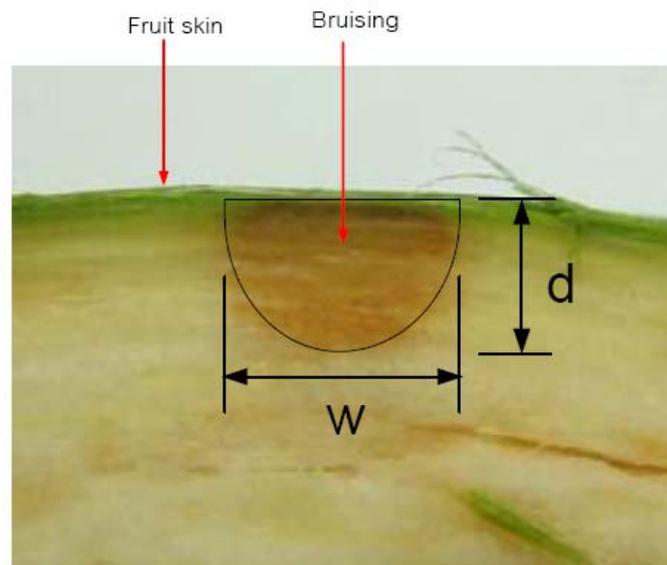


Fig 1. Picture of young coconut fruit bruising

a) Plunger impactor weighs 12 and 24 gm

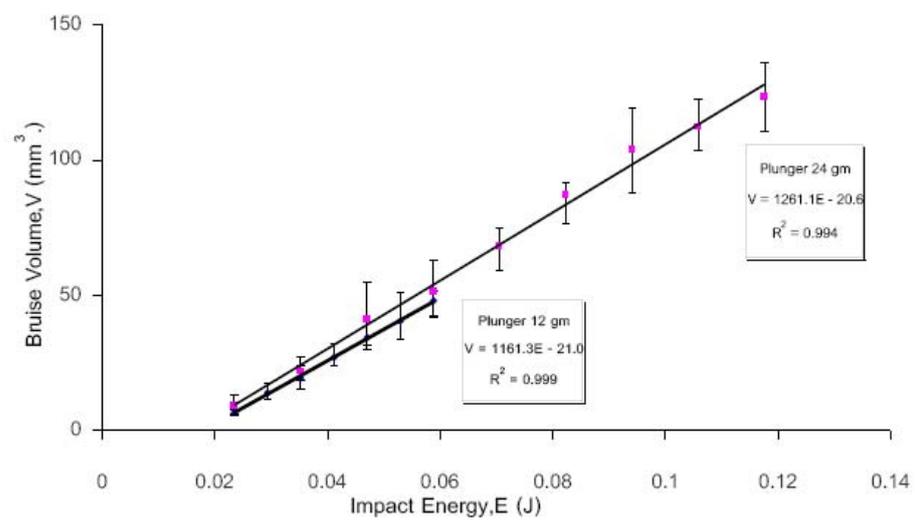


Fig 2. Relationship of bruise volume and impact energy of the mature young coconut fruit beyond bruise threshold

b) Plunger impactor weighs 48 and 96 gm

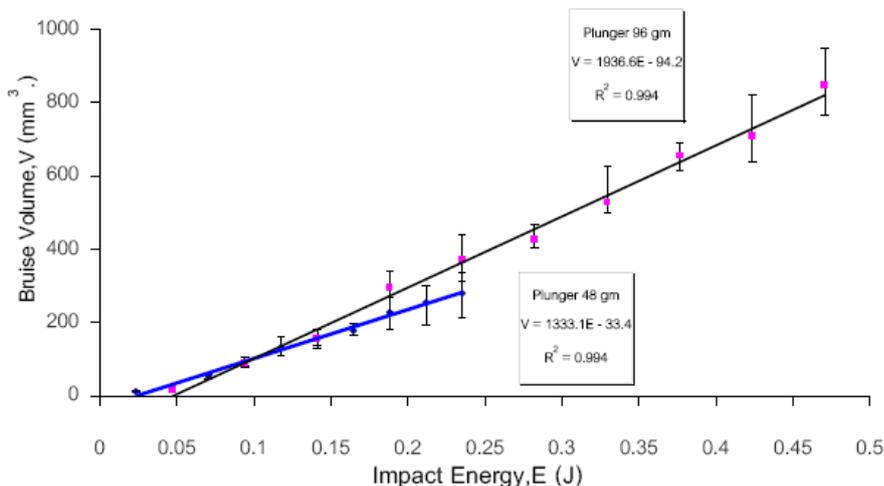


Fig 2. Relationship of bruise volume and impact energy of the mature young coconut fruit beyond bruise threshold

$$V = 1936.6E - 94.2 \quad (R^2 = 0.994) \quad \dots\dots\dots(8)$$

The V-E relationship well complied with the V-E relationship of a Fuji apple subjected to ballistic pendulum impact (Jarimopas et al., 2006). Application of the biggest plunger caused the greatest ratio of V per unit of E (1936.6 mm³/J). The 96 gm plunger was then proper to further study the bruise threshold for the easier inspection of bruise happening.

3. Bruise occurrence probability and impact energy relationship

Fig 3 exhibited the probability P of bruise occurrence varied proportionally as the impact energy for the immature, mature and overmature coconut. Very good linear relationship with the threshold point (Probability = 1) on the regression graph was obtained as follows:-

$$\begin{aligned}
 P(\text{immature}) &= 120.99E - 2.20 && (R^2 = 0.97) \\
 P(\text{mature}) &= 101.36E - 1.47 && (R^2 = 0.99) \\
 P(\text{overmature}) &= 75.47E - 0.56 && (R^2 = 0.98)
 \end{aligned}$$

The P-E relationship well complied with that of a Fuji apple (Jarimopas et al., 2006). The less degree of maturity per haps gave rise to more strength to resist bruise occurrence which could be virtualized by a) the higher E initializing the P-E graph, b) relatively higher slope of the P-E graph, and c) the higher threshold energy. To support this assumption a set of newly-harvested young coconut fruit of uniform size of the three maturity stage (5 fruit each) was slowly compressed (loading rate of 25 mm/min) by 4 mm plunger head mounted to the Universal Testing Machine INSTRON

5569. It was found that the Young's modulus of the immature, mature and overmature was 36.3, 21.6 and 7.8 MPa respectively. Therefore, the immature was stronger than the mature and sequentially than the overmature.

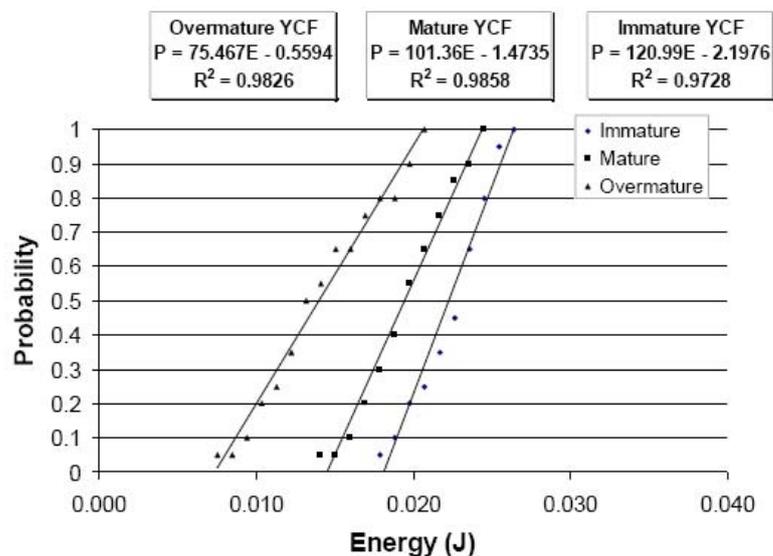


Fig 3 Bruise occurrence probability and impact energy relationship

Table 2 Bruise volume (V_t) and impact energy (E_t) at the bruise threshold of young coconut

Maturity	V_t (mm^3)	E_t (J)
Immature	8.59	0.0264
Mature	10.67	0.0245
Overmature	14.71	0.0207

Table 2 showed the threshold conditions of V and E. By repeating the test of determination 2 with the mature young coconut fruit of the same condition of the determination 3 and analyzing the V-E graph beyond threshold including the threshold point of the mature ($V_t = 10.67 \text{ mm}^3$, $E_t = 0.0245\text{J}$) as the beginning of the graph (Fig 4), the impact bruising mechanism of a young coconut fruit from the uncertainty, the onset, the certainty of occurrence can be continuously described.

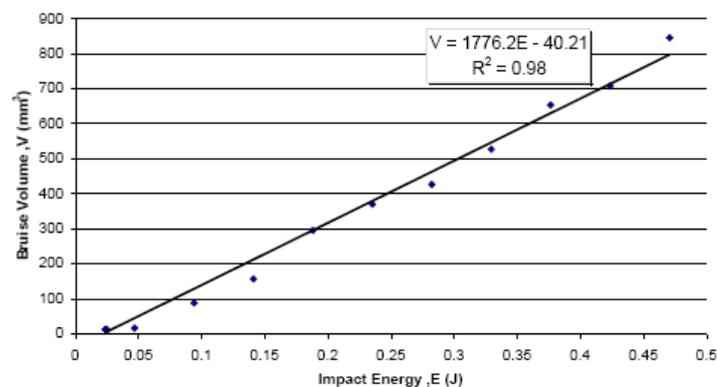


Fig 4 V-E relationship beyond threshold having the threshold condition of the mature coconu on the regression graph

Conclusion

Postharvest bruising of young coconut fruit in commercial practice was assessed. Impact bruising of young coconut was first identified and quantified. Impact bruising mechanism was characterized by a) linear relationship between bruise volume E and impact energy V beyond threshold, b) linear relationship between probability of bruise occurrence and impact energy below and upto bruise threshold, and c) effect of fruit maturity upon the slope of relationship equation and the threshold values of E and V.

Acknowledgement

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

References

1. Bollen, A.F., Nguen, H.X., Dela Rue, B.T. 1999. Comparison of methods for estimating the bruise volume of apples. *J. agric. Engng Res.* 74, 325-330.
2. Timm, E. J., Schulte Pason, N.L., Brown, G.K, Burton, C. L. 1989. Apple impact surface effects on bruise size. ASAE Paper no. 89-6048, ASAE, St. Joseph, MI, USA.
3. Chen, P., Sun, Z. 1984. Critical strain failure criterion : Pros and Cons. *Trans. of the ASAE* 27 (1): 278-281.
4. Jarimopas, B. 2006. Postharvest Sorting Machinery, Packaging and Packing House of Fruit. Thai Society of Agricultural Engineering, Khon Kaen. 216 p.

5. Jarimopas, B., Sayasonnthorn, S., Singh, S. P. 2006. Comparison of Package Cushioning Materials to Protect Post-Harvest Impact Damage to Apples. Packag Technol. Sci. (in press).

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล

นางสาวชนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง

วัน เดือน ปี ที่เกิด

10 สิงหาคม 2524

สถานที่เกิด

จังหวัดสุพรรณบุรี

ประวัติการศึกษา

วศ.บ. วิศวกรรมเกษตร ม.เทคโนโลยีสุรนารี