



# วิทยานิพนธ์

การพัฒนาเครื่องคัดขนาดชมพู

DEVELOPMENT OF ROSE APPLE SIZING MACHINE

นางสาวชนิดา บุพตา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550





# ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

ปริญญา

วิศวกรรมเกษตร

วิศวกรรมเกษตร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาเครื่องคัดขนาดชมพู

Development of Rose Apple Sizing Machine

นามผู้วิจัย นางสาวชนิศา บุปผา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

( รองศาสตราจารย์บัณฑิต จริโมภาส, D.Sc. )

กรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, Ph.D. )

กรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์วินัย อัจจงหาญ, M.A. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาเครื่องคัดขนาดชมพู

Development of Rose Apple Sizing Machine

โดย

นางสาวชนิดา บุพตา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2550

ชนิดา บุพตา 2550: การพัฒนาเครื่องคัดขนาดชมพู ปริญญาวิศวกรรมศาสตร  
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร ปรชชาน  
กรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์บัณฑิต จริโมภาส, D.Sc. 139 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้เพื่อที่จะศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบเครื่องคัดขนาดผลชมพู  
และพัฒนาเครื่องคัดขนาดชมพู วิธีการศึกษาได้แก่ การหามุมเอียงสายพานและการหาความหนา  
ของฟองน้ำ ทดสอบกับชมพู 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ทูลเกล้า, พันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์ทองสามสี  
พันธุ์ละ 3 ขนาด ใหญ่, กลาง, เล็ก การออกแบบ สร้าง ทดสอบ ประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์และ  
วิศวกรรมของเครื่องต้นแบบเครื่องคัดขนาดผลชมพู การทดสอบได้กำหนดปัจจัยควบคุม 2 ปัจจัย  
คือ ความเร็วรอบสายพาน 4 ระดับ (7, 15, 22 และ 29 เมตร/นาที) และมุมเอียงสายพาน 3 ค่า (75,  
80 และ 85 องศา) ตัวแปรที่ถูกประเมินต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่ควบคุมได้แก่ สมรรถนะใน  
การคัดขนาด  $Q$ , ความผิดพลาดในการคัดขนาด  $\overline{C_R}$  และประสิทธิภาพการคัดขนาด  $E_w$

ผลการศึกษาปรากฏว่า ความหนาของฟองน้ำที่เหมาะสมที่จะใช้บุบริเวณถาดรับผลชมพู  
คือ 20 มม. และการวางถาดรับผลชมพูควรจะวางห่างจากสายพาน 15 ซม. เพื่อไม่ให้ผลชมพูเกิด  
ความเสียหาย เครื่องประกอบด้วย ก.) โครงเหล็กฉาก กว้าง 390 มม. ยาว 1510 มม. และสูง 765  
มม. ข.) สายพานคัดขนาด กว้าง 10 ซม. ยาว 1.27 ม. ค.) ถาดรับผลชมพูขนาดกว้าง 600 มม. ยาว  
1100 มม. ง.) ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 60 วัตต์ 220 โวลต์ 60 เฮิร์ตซ์ พร้อมเกียร์ทดขนาด 18:1  
ผลการทดสอบโดยใช้คนปฏิบัติงาน 1 คนปรากฏว่า ความเร็วรอบสายพาน มุมเอียงสายพานมี  
อิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความสำคัญ 5% ต่อ  $Q$ ,  $\overline{C_R}$ ,  $E_w$  ในพันธุ์ทูลเกล้าและ  
พันธุ์ทองสามสี แต่สำหรับพันธุ์ทับทิมจันทร์ปรากฏว่าปัจจัยที่ควบคุมมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ  
ทางสถิติที่ระดับความสำคัญ 5% ต่อ  $\overline{C_R}$ ,  $E_w$  แต่ไม่มีอิทธิพลต่อ  $Q$  ซึ่งปัจจัยที่ควบคุมที่  
เหมาะสมต่อการคัดขนาดชมพูคือ มุม 75 องศาในพันธุ์ทูลเกล้า, 80 องศาในพันธุ์ทับทิมจันทร์ และ  
สำหรับพันธุ์ทองสามสีคือ 85 องศา ที่ความเร็วสายพาน 22 เมตร/นาที ทั้ง 3 พันธุ์ ในพันธุ์ทูลเกล้า  
จะได้ค่า  $Q = 471.83$  กก./ชม. ( $CV = 6.03\%$ ),  $\overline{C_R} = 15.16\%$  ( $CV = 7.55\%$ ) และ  $E_w = 84.84\%$   
( $CV = 1.35\%$ ) ในพันธุ์ทับทิมจันทร์จะได้  $Q = 609.13$  กก./ชม. ( $CV = 9.34\%$ ),  $\overline{C_R} = 14.46\%$  ( $CV = 14.90\%$ ) และ  $E_w = 85.54\%$  ( $CV = 2.52\%$ ) และในพันธุ์ทองสามสีจะได้ค่า  $Q = 662.03$  กก./ชม.  
( $CV = 4.82\%$ ),  $\overline{C_R} = 12.96\%$  ( $CV = 32.71\%$ ) และ  $E_w = 88.26\%$  ( $CV = 4.69\%$ ) จากการ  
วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า เมื่อเครื่องทำงานปีละ 1600 ชั่วโมง อัตราค่าจ้าง 0.1 บาท/  
กิโลกรัม จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 57.46 ตัน/ปี ระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 5 เดือน

Chanida Bupata 2007: Development of Rose Apple Sizing Machine. Master of Engineering (Agricultural Engineering), Major Field: Agricultural Engineering, Department of Agricultural Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Bundit Jarimopas, D.Sc. 139 pages.

This research was to determine the factors affecting design of rose apple sizing machine and relatively develop a mechanical sizer. Methodology comprised determination of inclination angle of sizing belt and thickness of foam cushions, design, construction, testing, engineering and economic evaluation of the prototype. The prototype featured 390 mm wide by 1,510 mm long by 765 mm high rectangular steel, 10 cm wide by 1,270 cm long sizing belt, 600 mm × 1,100 mm receiving tray, 60 watt 220 v 50 hz electric motor drive with 18:1 gear reducer. The prototype was tested with one operate and under the control of four factor, i.e. rose apple cultivar (Toonklao, Tubtimjan and Thongsamsri), fruit size (small, medium, large), belt velocity (7, 15, 22 and 29 m/min) and inclination angle (75, 80, 85 degrees). The prototype performance was evaluated in term of mean contamination ratio  $\overline{C_R}$ , sizing efficiency  $E_w$  and capacity Q by mean of ANOVA and Duncan Multiple Range Test. Results showed that the proper foam cushion was 20 mm and the receiving tray was properly set at 15 cm away from the sizing belt to protect fruit bruising. The inclination angle and belt velocity significantly affected  $\overline{C_R}$ ,  $E_w$  and Q at the significance level of 5%. The proper inclination angle for Toonklao, Tubtimjan and Thongsamsri was 75, 80 and 85 degrees. The proper belt velocity was 22 m/min for every cultivar. For Toonklao Q,  $\overline{C_R}$  and  $E_w$  were 471.8 kg/hr, 15.2% and 84.8% respectively. For Tubtimjan Q,  $\overline{C_R}$  and  $E_w$  were 609.1 kg/hr, 14.5% and 85.5% respectively. For Thongsamsri Q,  $\overline{C_R}$  and  $E_w$  were 662.0 kg/hr, 13.0% and 88.3% respectively. Break even point and pay back period were 57.5 ton/yr and 5 months respectively when the prototype worked 1,600 hr/yr with hiring rate of 0.1 baht/kg.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. บัณฑิต จริโมภาส ซึ่งเป็นประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์พร้อมทั้งให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการออกแบบ การสร้าง การทดสอบ การประเมินผลเครื่องคัดขนาดชมพู และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งหาทุนสนับสนุนงบประมาณในการสร้างเครื่อง ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ศิวลักษณ์ ปฐวิรัตน์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ผศ.ดร. อนุพันธ์ เทอดวงษ์วรกุล กรรมการที่ปรึกษาวิชาการ และอาจารย์ ดร.วชิรญา อิ่มสบาย ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกท่าน ขอขอบคุณเกษตรกรชาวสวน ชมพูในเขต อ.สามพราน จ.นครปฐม, เกษตรกร อ.ดำเนินสะดวก จ.ราชบุรี และร้านค้าในตลาดปฐมมงคล ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวชมพูที่ใช้ในการทดสอบ ตลอดจนขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นน้อง และเพื่อนร่วมรุ่นทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีในทุกๆ ด้านจนเสร็จสมบูรณ์

ประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้พึงมี ผู้เขียนขอบแต่คุณบิดา มารดา ที่ส่งเสริมให้ศึกษาเล่าเรียน คณาจารย์ทุกท่าน ที่ให้ความรู้และคุณธรรม และผู้ที่ให้การช่วยเหลือและสนับสนุนจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้

ชนิดา บุพตา  
พฤษภาคม 2550

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	13
อุปกรณ์	13
วิธีการ	14
ผลและวิจารณ์	31
สรุปและข้อเสนอแนะ	56
สรุป	56
ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	58
ภาคผนวก	60
ภาคผนวก ก แบบเครื่องคัดขนาดและสายพานลำเลียงผลชมพู	61
ภาคผนวก ข การคำนวณและออกแบบ	65
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบ	73
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ทางสถิติ	104
ภาคผนวก จ ผลงานวิจัย	111

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติทางกายภาพของผลชมพู	32
2	ผลความเสียหายเฉลี่ยต่อผลและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยของชมพู	34
3	การหามุมเอียงเพื่อนำมาใช้กำหนดมุมเอียงในการตัดขนาด	38
4	ผลการประเมินสมรรถนะในการตัดขนาด (kg/hr) พันธุ์ทูลเกล้า	38
5	ผลการประเมินความผิดพลาดในการตัดขนาด (%) พันธุ์ทูลเกล้า	39
6	ผลการประเมินประสิทธิภาพในการตัดขนาด (%) พันธุ์ทูลเกล้า	39
7	ผลการประเมินสมรรถนะในการตัดขนาด (kg/hr) พันธุ์ทับทิมจันทร์	40
8	ผลการประเมินความผิดพลาดในการตัดขนาด (%) พันธุ์ทับทิมจันทร์	40
9	ผลการประเมินประสิทธิภาพในการตัดขนาด (%) พันธุ์ทับทิมจันทร์	41
10	ผลการประเมินสมรรถนะในการตัดขนาด (kg/hr) พันธุ์ทองสามสี	41
11	ผลการประเมินความผิดพลาดในการตัดขนาด (%) พันธุ์ทองสามสี	42
12	ผลการประเมินประสิทธิภาพในการตัดขนาด (%) พันธุ์ทองสามสี	42
13	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสมรรถนะการตัดขนาด และความผิดพลาดในการตัดขนาดพันธุ์ทูลเกล้า	44
14	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสมรรถนะการตัดขนาด และความผิดพลาดในการตัดขนาดพันธุ์ทับทิมจันทร์	45
15	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสมรรถนะการตัดขนาด และความผิดพลาดในการตัดขนาดพันธุ์ทองสามสี	45
16	เปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยจากการตัดขนาดของพันธุ์ทูลเกล้า	48
17	เปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยจากการตัดขนาดของพันธุ์ทับทิมจันทร์	49
18	เปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยจากการตัดขนาดของพันธุ์ทองสามสี	49
19	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดในการตัดขนาด และสมรรถนะการตัดขนาดระหว่างการตัดขนาดด้วยแรงงาน, เครื่องตัดขนาด และเครื่องตัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงของพันธุ์ทองสามสี	50
20	ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องตัดขนาดผลชมพู	51

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ค1	สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทุลเกล้าที่มุ่มเอียงสายพาน 75 องศา 73
ค2	สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทุลเกล้าที่มุ่มเอียงสายพาน 80 องศา 74
ค3	สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทุลเกล้าที่มุ่มเอียงสายพาน 85 องศา 75
ค4	สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทับทิมจันทร์ที่มุ่มเอียงสายพาน 75 องศา 76
ค5	สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทับทิมจันทร์ที่มุ่มเอียงสายพาน 80 องศา 77
ค6	สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทับทิมจันทร์ที่มุ่มเอียงสายพาน 85 องศา 78
ค7	สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทองสามสีที่มุ่มเอียงสายพาน 75 องศา 79
ค8	สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทองสามสีที่มุ่มเอียงสายพาน 80 องศา 80
ค9	สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทองสามสีที่มุ่มเอียงสายพาน 85 องศา 81
ค10	สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทุลเกล้า เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียง 82
ค11	สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียง 83
ค12	สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทองสามสี เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียง 84

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ค13	พื้นที่ความเสียหายต่อผลและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยต่อผลของพันธุ์ทุลเกล้า เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงที่ความเร็ว 21m/min	85
ค14	พื้นที่ความเสียหายต่อผลและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยต่อผลของพันธุ์ทุลเกล้า เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงที่ความเร็ว 31m/min (ป้อน 2 คน)	87
ค15	พื้นที่ความเสียหายต่อผลและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยต่อผลของพันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงที่ความเร็ว 21m/min	89
ค16	พื้นที่ความเสียหายต่อผลและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยต่อผลของพันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงที่ความเร็ว 31m/min (ป้อน 2 คน)	91
ค17	พื้นที่ความเสียหายต่อผลและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยต่อผลของพันธุ์ทองสามสี เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงที่ความเร็ว 21m/min	93
ค18	พื้นที่ความเสียหายต่อผลและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยต่อผลของพันธุ์ทองสามสี เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงที่ความเร็ว 31m/min (ป้อน 2 คน)	95
ค19	การหาความกลม (Sphericity) ของผลชมพูพันธุ์ทุลเกล้า	97
ค20	การหาความกลม (Sphericity) ของผลชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์	99
ค21	การหาความกลม (Sphericity) ของผลชมพูพันธุ์ทองสามสี	101
ง1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะการคัดขนาดพันธุ์ทุลเกล้าต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน	104
ง2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความผิดพลาดการคัดขนาดพันธุ์ทุลเกล้าต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน	104

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ง3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการคัดขนาดพันธุ์ทุลเกล้าต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน	104
ง4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะการคัดขนาดพันธุ์ทับทิมจันทร์ต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน	105
ง5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความผิดพลาดการคัดขนาดพันธุ์ทับทิมจันทร์ต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน	105
ง6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการคัดขนาดพันธุ์ทับทิมจันทร์ต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน	105
ง7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะการคัดขนาดพันธุ์ทองสามสีต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน	106
ง8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความผิดพลาดการคัดขนาดพันธุ์ทองสามสีต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน	106
ง9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการคัดขนาดพันธุ์ทองสามสีต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน	106
ง10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะในการคัดขนาดพันธุ์ทุลเกล้าต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง	107
ง11	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความผิดพลาดในการคัดขนาดพันธุ์ทุลเกล้าต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง	107
ง12	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพในการคัดขนาดพันธุ์ทุลเกล้าต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง	107

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ง13	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะในการคัดขนาดพันธุ์ทับทิมจังหวัดต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง	107
ง14	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความผิดพลาดในการคัดขนาดพันธุ์ทับทิมจังหวัดต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง	108
ง15	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพในการคัดขนาดพันธุ์ทับทิมจังหวัดต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง	108
ง16	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะในการคัดขนาดพันธุ์ทองสามสีต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง	108
ง17	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความผิดพลาดในการคัดขนาดพันธุ์ทองสามสีต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง	108
ง18	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพในการคัดขนาดพันธุ์ทองสามสีต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง	109

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขบวนการหลังการเก็บเกี่ยวของชมพู	5
2	แสดงการคัดขนาดชมพูด้วยแรงงานคน โดยวิธีการประมาณด้วยสายตา	7
3	เครื่องคัดขนาดส้มเขียวหวานแบบตะแกรงทรงกระบอกเจาะรู	8
4	ภาคตัดขวางของเครื่องคัดขนาดแบบสายพานและแผ่นกั้น (ซ้าย), เครื่องคัดขนาดแบบ Greefa	9
5	ลักษณะการคัดขนาดแบบสายพานบานออก	10
6	เครื่องคัดขนาดมังกูดแบบสายพานบานออก	10
7	เครื่องคัดขนาดทุเรียน	11
8	เครื่องคัดขนาดระบบแปรรูปภาพ	12
9	การวัดเส้นผ่าศูนย์กลาง (ซ้าย) และการวัดความสูง (ขวา)	15
10	สมมติว่าชมพูมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปทรงกรวย	17
11	Profile ผลชมพู	21
12	โครงสร้างและส่วนประกอบเครื่องคัดขนาดชมพู	30
13	โครงสร้างและส่วนประกอบเครื่องคัดขนาดชมพู	31
14	โครงสร้างและส่วนประกอบเครื่องคัดขนาดชมพูด้านหลัง	31
15	ประเภทความเสียหายของผลชมพูแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ รอยช้ำ, รอยถลอก, รอยแตก, รอยบาด	35
16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรจริงและปริมาตรคำนวณของพันธุ์ทุลเกล้า, ทับทิมจันทร์, ทองสามสี	36
17	สายพานลำเลียง (ตัดแปลงมาจากเครื่องคัดขนาดส้มโอ) และเครื่องคัดขนาดชมพู	47
18	ส่วนประกอบสายพานลำเลียงผลชมพู (ตัดแปลงมาจากเครื่องคัดขนาดส้มโอ)	47
19	รากันนุด้วยฟองน้ำและบนสายพานแบ่งเป็นช่องๆ	48

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก1	ไต่อะแกรมด้านต่าง ๆ ของเครื่องคัดขนาดชมพู	61
ก2	ไต่อะแกรมด้านต่าง ๆ ของสายพานลำเลียงผลชมพู	62
ก3	ไต่อะแกรมสายพานลำเลียงผลชมพูและเครื่องคัดขนาด	63
ข1	ระยะห่างระหว่างผลชมพูในสายพาน	65
ข2	ลักษณะการทำ Profile ผลชมพู	69
ข3	ภาพตัวอย่างการหามุมเอียงสายพาน	71

## การพัฒนาเครื่องคัดขนาดชมพู

### Development of Rose Apple Sizing Machine

#### คำนำ

ชมพู เป็นผลไม้ที่สำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทย ชมพูเป็นไม้ผลที่อยู่ในเขตร้อนปลูกง่าย เจริญเติบโตเร็ว ให้ผลผลิตสูงตลอดทั้งปี ผลมีหลายสีทั้งสีเขียวอ่อน เขียวแกมเหลือง ชมพูแดงถึงแดงเลือดหมู และมีกลิ่นหอมคล้ายกลิ่นดอกกุหลาบ มีรูปทรงสวยงาม ในประเทศไทยมีการปลูกชมพูกันมากในจังหวัดเพชรบุรี และนครปฐม (จันทร์จิรา, 2546) ปัจจุบันชมพูได้รับความนิยมจากผู้บริโภคไม่แพ้ผลไม้ชนิดอื่น ดังนั้นพื้นที่ปลูกชมพูจึงขยายตัวมากขึ้นเป็นลำดับมีการปลูกเป็นลำเป็นสันมากขึ้น มีการพัฒนาวิธีการปลูกและการปฏิบัติที่ช่วยให้ชมพูออกดอกติดผลตามช่วงเวลาที่ต้องการได้ และสามารถทำให้ผลผลิตมีคุณภาพสูงตามที่ตลาดต้องการได้ด้วย ผลผลิตส่วนใหญ่ใช้บริโภคกันภายในประเทศ นอกจากนี้ยังส่งไปต่างประเทศ ได้แก่ประเทศฮ่องกงและสิงคโปร์ (สุพจน์, 2543) ชมพูจัดเป็นผลไม้เพื่อสุขภาพอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และวิตามินซี (เปรมปรี, มปป.)

ภายหลังจากการเก็บเกี่ยว ผลชมพูจะถูกนำไปคัดขนาดก่อนจะส่งสู่ตลาด การคัดขนาดทำให้เกิดการกำหนดราคาที่แตกต่างกันระหว่างขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ การกำหนดคุณภาพให้แก่ชมพู (Peleg, 1985) และเพิ่มมูลค่าให้แก่ชมพูจากการขายคละขนาด

ในปัจจุบันได้มีการนำเครื่องจักรกลเครื่องทุ่นแรงมาทำงานในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวต่างๆ เพื่อลดต้นทุนการผลิต ทดแทนแรงงานที่มีราคาแพง และให้ได้คุณภาพผลผลิตดีสม่ำเสมอ (บัณฑิต, 2544) การคัดขนาดผลชมพูก็เป็นอีกกิจกรรม หนึ่งที่ต้องการแรงงานมาก ถึงแม้ว่าการคัดขนาดด้วยสายตาโดยผู้ปฏิบัติที่มีความชำนาญจะทำได้ดีกว่าเครื่องคัดขนาดก็ตาม แต่คนนั้นทำงานได้ช้าและมีความผันผวนเกิดขึ้นได้เมื่อเกิดการเหนื่อยล้าหรืออารมณ์เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาเครื่องจักรกลให้มีประสิทธิภาพและราคาไม่แพงขึ้นมาทดแทนแรงงานคน ซึ่งในปัจจุบันเครื่องคัดขนาดชมพูยังไม่มีการผลิตใช้ในเชิงการค้าเลย

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบเครื่องคัดขนาดผลชมพู
2. ออกแบบ สร้าง ทดสอบ ประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรมของเครื่องต้นแบบคัดขนาดผลชมพู

## การตรวจเอกสาร

### ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของชมพู

วงศ์	Myrtaceae หรือ Myrtle พืชในตระกูลนี้ที่เป็นไม้ผลสำคัญ ได้แก่ หวี้า ชมพูฝรั่ง เป็นต้น
สกุล	Eugenia
ชื่อวิทยาศาสตร์	Eugenia javanica Lamk
ชื่อสามัญ	Rose-Apple

### ชมพู

ชมพูมีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดียซึ่งนับเป็นศูนย์กลางของการปลูกชมพู ต่อมาก็แพร่กระจายไปตามประเทศเขตร้อนทั่วไป เช่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ไทย และประเทศในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้อื่นๆ ชมพูส่วนใหญ่จะนิยมบริโภคสดมากกว่า และจัดได้ว่าเป็นผลไม้เพื่อสุขภาพอีกชนิดหนึ่งเนื่องจากมีโรคแมลงรบกวนน้อย สารเคมีตกค้างก็น้อยมากเนื่องจากชาวสวนจะห่อผลตั้งแต่ชมพูยังมีผลขนาดเล็กซึ่งช่วยลดการพ่นและตกค้างของสารเคมีลงไปได้มาก (เปรมปรี, มปป)

ชมพูที่ปลูกกันในปัจจุบันนี้มีอยู่หลากหลายพันธุ์ ทั้งพันธุ์ที่เกิดจากการกลายพันธุ์หรือผสมพันธุ์ในบ้านเราและพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ สำหรับชมพูพันธุ์เศรษฐกิจและพันธุ์ที่น่าสนใจในปัจจุบันมีหลายพันธุ์ ดังนี้(เปรมปรี, มปป)

- เพชรสุวรรณ
- เพชรสายรุ้ง
- เพชรน้ำผึ้ง
- ทูลเกล้า
- ทับทิมจันทร์
- ทองสามสี

## พันธุ์ชมพู

พันธุ์ที่ได้รับความนิยมในตลาดและพันธุ์ที่ใช้ในการวิจัยมี 3 พันธุ์ดังนี้

### 1. ทูลเกล้า

เป็นพันธุ์การค้าที่ได้รับความนิยมมานาน ไม่มีหลักฐานที่ชัดเจนว่าชมพูพันธุ์นี้เกิดที่สามพรานหรือนำเข้าจากอินโดนีเซีย คุณสมบัติเด่นของชมพูพันธุ์นี้คือ ออกดอกติดผลง่าย สามารถออกดอกได้หลังจากปลูกได้ 6 เดือน ดอกทยอยทั้งปี ให้ผลผลิตสูง ทูลเกล้าเป็นชมพูที่มีรูปทรงผลสวย ผลค่อนข้างยาว สีผลออกสีเขียวอมเหลือง แต่ในช่วงร้อนสีจะออกขาวซีด ความแน่นเนื้อ 6.5-7 ความหวานไม่สูงนัก ประมาณ 10 องศาบริกซ์

### 2. ทับทิมจันทร์

เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในตลาด นำพันธุ์เข้าจากประเทศอินโดนีเซีย เดิมมีชื่อว่า ชิตร้า คุณสมบัติของผลผลิตโดดเด่นทั้งสีสัน รูปร่าง ขนาดผล รวมทั้งรสชาติที่หวาน อร่อย โดดเด่นกว่าชมพูพันธุ์อื่น โดยที่เป็นชมพูที่มีผลขนาดใหญ่ ความแน่นเนื้อสูง ปริมาณเนื้อมาก น้ำหนักดี ประมาณ 120-130 กรัมต่อผล หรือประมาณ 5-6 ผล/กิโลกรัม รสชาติอร่อย ความหวานสูง 12-13 องศาบริกซ์ ไม่มีเมล็ด รูปร่างผลสวยทรงระฆัง สีแดงเข้ม ผิวมันเป็นประกาย มีสันขึ้นเป็นแนวตามยาวของผล

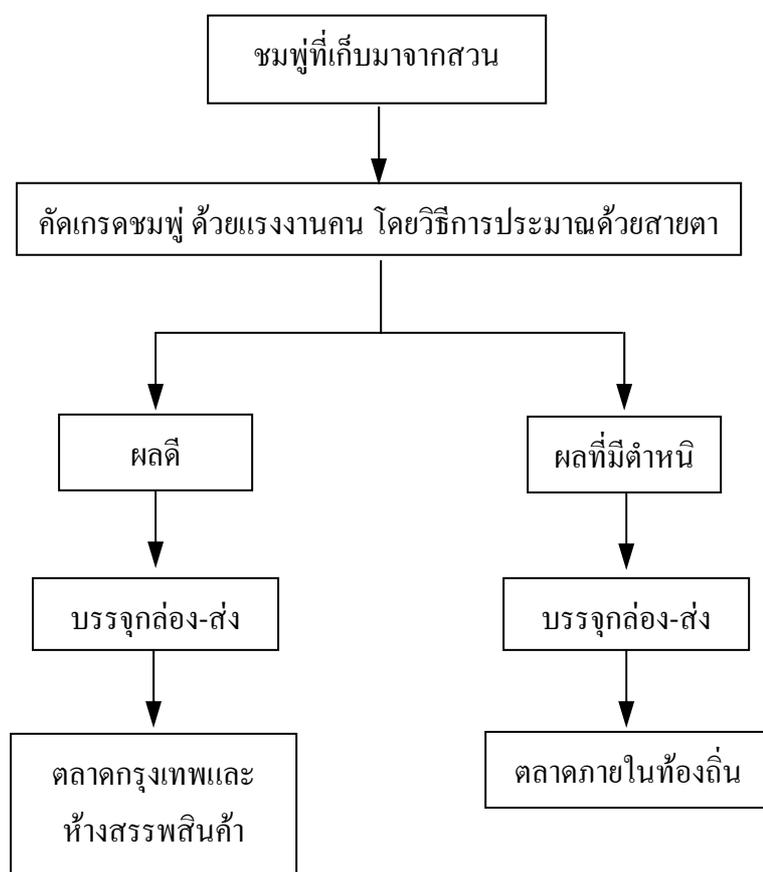
### 3. ทองสามสี

เป็นชมพูพันธุ์ผสม ซึ่งได้นำกิ่งพันธุ์มาจากประเทศอินโดนีเซียมาผสมกับพันธุ์เพชรสามพราน โดยคุณลุง ทองสามสี อำเภอวัดเพลง จังหวัดราชบุรี อายุชมพู 3 ปี ผลผลิตได้ไม่ต่ำกว่า 50 กิโลกรัมต่อต้น หากควบคุมบังคับการออกดอกติดผลในช่วงเดือนตุลาคม การเก็บเกี่ยวทยอยตั้งแต่เดือนมกราคม ซึ่งเป็นราคาผลไม้ในเทศกาลปีใหม่ และมีไปถึงตรุษจีน เกษตรกรจะเร่งให้ชมพูออกในเดือนนี้เป็นต้นไป ก่อนการเก็บเกี่ยวต้องงดการให้น้ำ 2 วัน เพื่อให้สภาพชมพูมีรสหวานตลอด คุณสมบัติของชมพูสายพันธุ์จากอินโดนีเซีย คือเก็บเกี่ยวง่าย สะดวกกว่าชมพูไทย และขนาดผลใหญ่กว่าชมพูพันธุ์ไทย

ข้อดี ไม่น่าเสียดาย ราคาขายได้สูงกว่า คือ กิโลกรัมละ 80 บาทหรือตันละประมาณ 5,000 บาท ถ้าเป็นเพชรสามพรานขายได้กิโลกรัมละ 25 บาท ในขณะที่ต้นทุนการทำสวนเหมือนกัน แต่ราคาขายไม่เหมือนกัน

ข้อควรระมัดระวัง การกระทบกระเทือนกับชมพู แม้ว่าเนื้อจะแน่น เก็บง่ายแต่อย่าให้เกิดมีตำหนิบริเวณผิวที่ผล จะทำให้เสียราคา จะต้องพิถีพิถันในการเก็บให้ดีที่สุด ชมพูจะอยู่ที่ 5-6 ผลต่อกิโลกรัม (นิค, 2545)

### การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว



ภาพที่ 1 ขบวนการหลังการเก็บเกี่ยวของชมพูที่ส่งขายภายในประเทศและต่างประเทศ

หลังจากชมพูแก่อายุพร้อมที่จะเก็บเกี่ยว ควรจะเก็บเกี่ยวทันทีหากทิ้งไว้เกินอายุเก็บเกี่ยว จะทำให้ผลแตกและเน่าเสีย การเก็บควรใช้กรรไกรตัดขั้ว โดยเก็บมาทั้งถุงที่ห่อเอาไว้ จากนั้นทำการคัดขนาดชมพูโดยเริ่มที่

1. การแกะถุงห่อชมพูออก
2. ทำการหักขั้วออกจากผลเพื่อป้องกันขั้วที่มด้าผลเป็นรอยแผล
3. ทำการคัดแยกผลชมพูที่มีแผลแตก, ผลเน่าเสีย และผลที่ผิดปกติทรงออก
4. การทำความสะอาดผล ผลที่มีฝุ่นมีคราบดำ หรือสิ่งสกปรกติดอยู่ก็ต้องนำมาล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วผึ่งให้แห้ง ต้องทำด้วยความระมัดระวังอย่าให้ผลช้ำหรือเกิดแผลขึ้น เพราะชมพูเป็นผลไม้ที่ผิวผลบางมาก จึงเน่าเสียได้ง่ายและเก็บรักษาได้ยากเมื่อถูกน้ำ
5. การคัดขนาดผลชมพูแต่ละพันธุ์ การคัดขนาดเรียกเป็นเกรดหรือเป็นเบอร์ตามขนาดกลุ่ม ในแต่ละพันธุ์หรือสวนหรือแหล่งจำหน่ายจะมีการคัดขนาดผลแตกต่างกันไปทั้งขนาดและการเรียกชื่อ ขนาดผลนั้นโดยทั่วไปจะคัดขนาดผลตามความรู้สึกที่เห็น เช่นอาจแบ่งเป็นผลขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็ก เช่นชมพูเพชรเบอร์ใหญ่มีจำนวน 7 ผลต่อกิโลกรัมเป็นต้น ชมพูแต่ละพันธุ์มีการคัดขนาดผลแตกต่างกัน (สุพจน์, 2543)
6. บรรจุลงตะกร้าพลาสติก หรือกล่องกระดาษ และทำการชั่งน้ำหนักให้เท่ากัน

### การคัดขนาดผลชมพู

การคัดขนาดผลผลิต คือ การคัดเลือกผลผลิตเป็นช่วงต่างๆ กัน ซึ่งช่วงขนาดจะแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางชีววิทยา อากาศ และวิทยาการทางเขตกรรม (บัณฑิต, 2544)

การคัดขนาดทำขึ้นเพื่อให้ผู้ซื้อรู้สึกว่าของมีคุณภาพดี (sale appeal) ทั้งยังช่วยกำหนดราคาแตกต่างกันระหว่างของขนาดเล็กและขนาดใหญ่ได้ กำหนดปริมาณของผลผลิตได้ และกำหนดรูปแบบการบรรจุได้

ตัวแปรในการคัดขนาด ได้แก่ เส้นผ่าศูนย์กลาง ความยาว หรือทั้งสองอย่าง เส้นรอบรูป เส้น Projection ปริมาตร น้ำหนัก ในเครื่องคัดขนาดส่วนมาก ตัวแปรที่ใช้คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง เส้นผ่าศูนย์กลางร่วมกับความยาว และน้ำหนัก

สำหรับชมพูน้ันมีการแบ่งขนาดออกเป็น 3 ขนาด คือ จัมโบ้, ยอด และ พิเศษ หากชมพุดกเกรด หรือมีตำหนิหรือแตกร้าว ในทั้งสามเกรดเจ้าของสวนจะนำไปขายตลาดท้องถิ่น กิโลกรัมละ 20 บาท การคัดขนาดทำโดยใช้คนคัด (ภาพที่ 2) โดยคนที่ทำการคัดขนาดจะต้องสวมถุงมือเพื่อป้องกันการเกิดบาดแผลที่ผิวของชมพู่ และบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมด้วย ไม่ว่าจะเป็นบรรจุเพื่อส่งขายภายในประเทศหรือส่งออก (นิค, 2545)



ภาพที่ 2 แสดงการคัดขนาดชมพู่ด้วยแรงงานคน โดยวิธีการประมาณด้วยสายตา

### เครื่องคัดขนาด

#### 1. เครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงทรงกระบอกเจาะรู

เป็นเครื่องคัดขนาดที่ใช้ความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางของผลไม้เป็นเกณฑ์กำหนดขนาด ใช้คัดขนาดได้ดีกับผลไม้ที่มีลักษณะเป็นทรงกลม ลักษณะเครื่องจะประกอบด้วยตะแกรงทรงกระบอก 4-5 ลูก วางเรียงกัน ทรงกระบอกจะหมุนและลำเลียงผลไม้เปรียบเทียบกับขนาดรูตะแกรง สำหรับเครื่องคัดขนาดที่ใช้หลักการนี้ที่เห็นอยู่ทั่วไป ได้แก่ เครื่องคัดขนาดส้มเขียวหวาน (บัณฑิต, 2544)

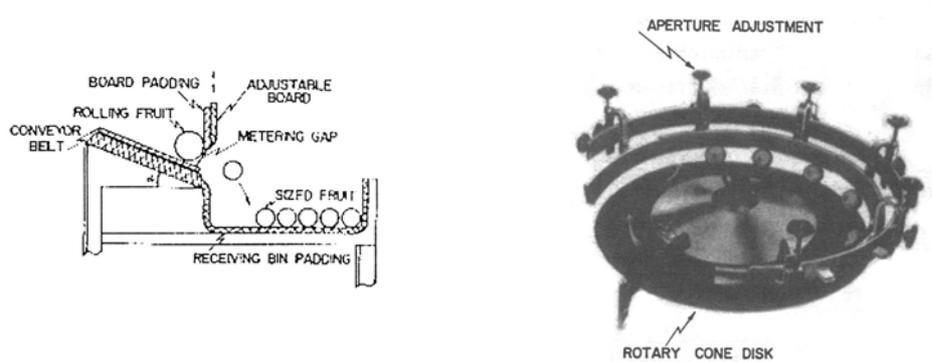
บัณฑิต และคณะ (2531) ได้ทดสอบเครื่องคัดขนาดส้ม (ภาพที่ 3) ประกอบด้วยตะแกรงทรงกระบอก 5 อัน มีเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องตะแกรง 51, 56, 60, 67 และ 70 มม. สามารถคัดส้มเขียวหวานได้ 6 ขนาด ที่ความสามารถในการทำงาน 1.5 ตัน/ชม. ประสิทธิภาพการคัดขนาด 87.5%



ภาพที่ 3 เครื่องคัดขนาดส้มเขียวหวานแบบตะแกรงทรงกระบอกเจาะรู  
ที่มา: บัณฑิต, 2549

## 2 เครื่องคัดขนาดแบบสายพานและแผ่นกั้น

ลักษณะของเครื่องประกอบด้วยสายพานลำเลียงวางในลักษณะด้านข้างทำมุม  $\alpha$  กับแนวระดับ ซึ่งจะทำให้ผลไม้กลิ้งไปสู่แผ่นกั้น โดยแผ่นกั้นจะสามารถปรับระยะห่างจากสายพานในแนวตั้งได้ทำให้เกิดช่องคัดขนาด สายพานจะพาผลไม้ไปด้านหน้าและจะสอบเทียบขนาดผลไม้กับช่องคัด ซึ่งผลไม้ที่มีขนาดเล็กกว่าช่องนั้นจะตกลงก่อน ช่องคัดขนาดนี้จะค่อยๆ บานออกเรื่อยๆ เพื่อคัดผลไม้ที่มีขนาดใหญ่ เครื่องคัดขนาดชนิดนี้เหมาะกับการคัดขนาดผลไม้ทรงกลมเช่น เครื่องคัดขนาดแบบ Rotary Greefa ซึ่งใช้คัดขนาดมังคุด ได้ดัดแปลงโครงสร้างของเครื่องจากสายพานมาเป็นแผ่นรูปกรวย ผลไม้จะเคลื่อนที่เป็นวงกลม เส้นรอบรูปของมันประกอบด้วยแผ่นกั้นในแนวตั้งที่ปรับได้ เป็นตัวกำหนดช่อง



ภาพที่ 4 ภาคตัดขวางของเครื่องคัดขนาดแบบสายพานและแผ่นกั้น (ซ้าย), เครื่องคัดขนาดแบบ

Greefa

ที่มา: บัณฑิต., 2544

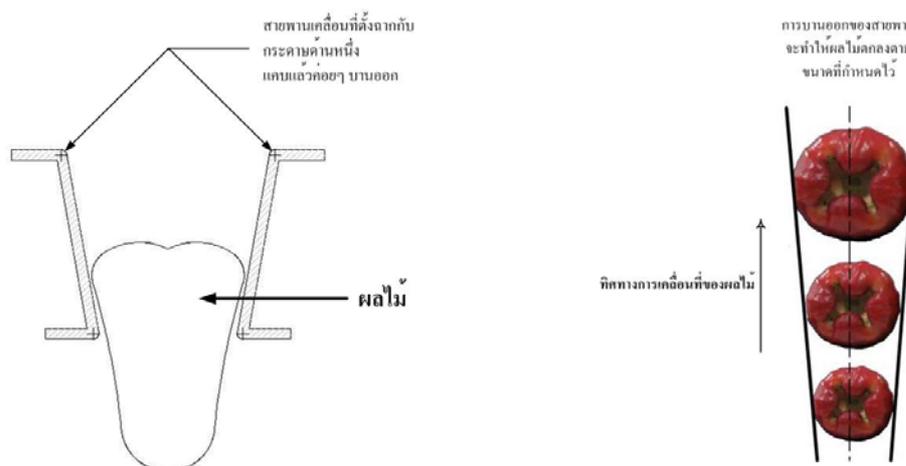
### 3. เครื่องคัดขนาดแบบสายพานบานออก

เครื่องคัดขนาดมีลักษณะดังภาพที่ 5 ซ้าย ผลไม้จะเคลื่อนที่เป็นแถวเรียงเดียว ระหว่างสายพานลำเลียง 2 เส้นในลักษณะแบบตัววี ความลาดเอียงของสายพานน้อยจะทำให้เครื่องยาว และในทางตรงกันข้ามถ้าความลาดเอียงของสายพานมีมากเครื่องจะสั้นลงเพราะผลไม้เคลื่อนที่ระยะสั้นก็ถึงช่องคัดเกรด เมื่อผลไม้เคลื่อนที่ไปช่องคัดระหว่างสายพานก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ผลไม้ที่มีขนาดเล็กกว่าจะตกลงก่อน เครื่องคัดขนาดแบบนี้เหมาะสำหรับคัดขนาดลูกแพร์ อโวคาโด หรือผลไม้รูปทรงแบบลูกแพร์

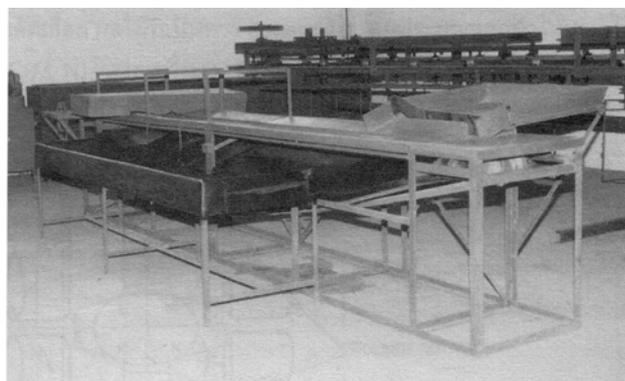
Jarimopas, *et al.* (1988) ได้ประยุกต์หลักการดังกล่าวมาพัฒนาเครื่องคัดขนาดมังคุดดังภาพที่ 6 ซึ่งประกอบด้วยสายพานบานออก 2 อัน วางเอียงเข้าหากันมีความลาดเอียง 25 องศา ยาว 4 เมตร สามารถคัดขนาดได้ 3 เกรด คือ Extra, A และ B สมรรถนะของเครื่องเท่ากับ 1100 กก./ชม. ที่ประสิทธิภาพการคัดขนาด 80% ข้อดี ของเครื่องคือใช้งานง่าย สะดวก มีผู้ปฏิบัติงานเพียง 1 คนก็สามารถทำงานได้ ข้อเสีย คือ สายพานไม่เรียบทำให้ช่องขนาดไม่คงที่ ส่งผลให้การคัดขนาดเกิดความผิดพลาดขึ้นได้

ปิยดา และอภิชาติ (2547) ได้พัฒนาเครื่องคัดขนาดชมพูแบบสายพานบานออกพบว่าจากการทดสอบกับชมพูทูลเกล้าและทับทิมจันทร์ สามารถคัดได้ 357.41 กก./ชม., 516.97 กก./ชม. ที่ประสิทธิภาพในการคัด 89.12%, 93.26% ตามลำดับ ตัวเครื่องหลังจากปรับปรุงแล้วมีมิติ 1.3 ม.×

2.00 ม. × 1.00 ม. ใช้มุมเอียงสายพาน 75 องศา ข้อเสีย คือ ไม่สามารถทดสอบเครื่องคัดขนาดชมพู ที่ความเร็วรอบมากกว่า 350 รอบต่อนาทีได้ เนื่องจากเกิดการสั่นคลอนที่เพลาชับสายพานด้านหัวเครื่อง ซึ่งจะส่งผลให้รอยเชื่อมระหว่าง Universal joint กับเพลาชับสายพานแตก และความสูงจากสายพานคัดขนาดถึงถาดรองรับผลชมพูมากขึ้นไป ทำให้เกิดความเสียหายง่าย



ภาพที่ 5 ลักษณะการคัดขนาดแบบสายพานบานออก



ภาพที่ 6 เครื่องคัดขนาดมั่งคุดแบบสายพานบานออก  
ที่มา: Jarimopas *et al.*, 1988

#### 4. เครื่องคัดขนาดด้วยน้ำหนัก

เนื่องจากผลิตผลหลายอย่างมีรูปร่างเบี่ยงเบนไปมากจากรูปทรงกลมหรือกึ่งทรงกลม เช่น หัวแครอท มะม่วง แตงกวา ผักกาด การคัดขนาดโดยอาศัยเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาว ผิดพลาดได้ง่าย การใช้น้ำหนักของผลิตผลทำได้ถูกต้องมากกว่า

Jarimopas *et al.* (1992) ได้สร้างเครื่องคัดขนาดทุเรียน (ภาพที่ 6) ประกอบด้วยสายพานลำเลียงโซ่ นุดลากสาแหรก 32 อัน คาชิ่งไฟฟ้าขนาด 0-10 กก. ไมโครโปรเซสเซอร์ # 8751 มีหน่วยควบคุม, หลอดไฟคัดขนาด และตัวเซนเซอร์ ในการทดสอบใช้มาตรฐานทุเรียนตามเกณฑ์ของสถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตรพบว่าระบบสามารถคัดขนาดทุเรียนได้ 1.35 ตัน/ชม. ที่ความผิดพลาด 17% ในขณะที่คนคัดด้วยมือผิดพลาด 43.3% และตรวจไม่พบความเสียหายเชิงกลเนื่องจากเครื่อง



ภาพที่ 7 เครื่องคัดขนาดทุเรียน

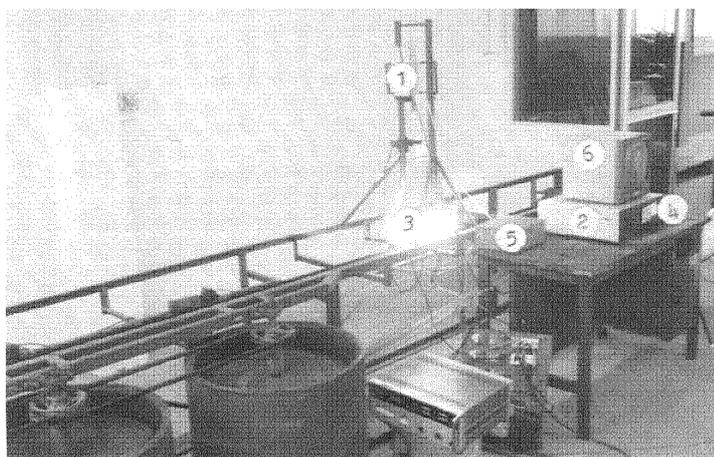
ที่มา: บัณฑิต, 2544

#### 5. เครื่องคัดขนาดระบบแปรรูปภาพ

การคัดขนาดของ คือการคัดขนาดด้วยสายตา การจำลองการคัดขนาดของคนได้ดีที่สุด น่าจะมาจากการเห็นภาพฉาย (Projected image) ของผลิตผล แล้วเอาภาพนั้นมาประเมิน ผลิตผล

บางชนิดภาพถ่ายขณะที่ยังนิ่งในธรรมชาติมีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดีกับน้ำหนัก จึงนำมาเป็นกลไกที่ใช้ในการคัดขนาด และนำมาพัฒนาเป็นเครื่องคัดขนาดได้ (บัณฑิต, 2549)

บัณฑิต และคณะ (2534) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องคัดขนาดมะม่วงโดยอาศัยหลักการที่ว่าพื้นที่ภาพถ่ายของผลมะม่วงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักของผลมะม่วงนั้น เครื่องคัดขนาดมะม่วง (ภาพที่ 7) ประกอบด้วยส่วนหลัก 3 ส่วน คือระบบลำเลียง ระบบคัดเลือก และถังรับผลมะม่วง โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อมะม่วงถูกลำเลียงมาตามสายพานจนถึงเซนเซอร์แล้วจะส่งสัญญาณให้กล้องถ่ายภาพของมะม่วง เปรียบเทียบกับพื้นที่ภาพถ่ายของมะม่วงขนาดมาตรฐานในแต่ละชั้น แล้วตัดสินใจว่ามะม่วงผลนั้นเป็นของขนาดใด สามารถคัดขนาดได้ 1 ตัน/ชม. ที่ประสิทธิภาพ 89.77% โดยมีความชำรุดเสียหายต่อมะม่วงน้อยมาก



ภาพที่ 8 เครื่องคัดขนาดระบบแปรรูปภาพ

ที่มา: บัณฑิต, 2549

สรุปจากการศึกษาเครื่องคัดขนาดผลไม้แบบต่าง ๆ แล้ว ทำให้ผู้วิจัยเลือกใช้หลักการของเครื่องคัดขนาดแบบสายพานบานออก (Diverging Belts Sizer, DBS) ทั้งนี้เนื่องจากผลชมพูมีรูปทรงกรวย เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางผลกับปริมาตรของผลชมพู พบว่ามีความสัมพันธ์ที่ดีมาก ดังนั้นตัวแปรที่ใช้ในการคัดขนาดคือ เส้นผ่าศูนย์กลางของผลชมพูหรือฐานของผล อีกทั้งเครื่องคัดขนาดสามารถสร้างง่าย มีระบบกลไกการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ใช้งานและการบำรุงรักษาง่าย

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. เหล็กรูปพรรณต่างๆ
2. เหล็กฉาก
3. เหล็กแผ่น
4. มอเตอร์เกียร์ขนาด 220 V. 60 Hz. พร้อมเกียร์ทด 18:1
5. ชุดปรับรอบมอเตอร์
6. ลูกกลิ้ง
7. ชุดเฟือง
8. Universal joint
9. สายพานัดขนาด
10. ตู้อัด
11. อุปกรณ์สำหรับวัดมุม ยี่ห้อ Keiba
12. ผลชมพู่ 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ทุลเกล้า, ทับทิมจันทร์ และทองสามสี
13. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ดิจิตอล ยี่ห้อ Keiba ขนาด 0-150 mm. ความละเอียด 0.02 mm.
14. เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ Sartorius ขนาด 0-6100 กรัม ความละเอียด 1 กรัม
15. นาฬิกาจับเวลา

## วิธีการ

ประกอบด้วยการทำงานที่จำเป็นในการออกแบบ การสร้าง การทดสอบ การวิเคราะห์ และประเมินผลเครื่องต้นแบบ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 1. การหาคุณลักษณะทางกายภาพของผลชมพู

ชมพูที่นำมาใช้ในทดสอบเครื่องคัดขนาดแบบสายพานบานออกประกอบด้วย พันธุ์ทูลเกล้า, พันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์ทองสามสี ซึ่งเป็นผลชมพูที่อยู่ในระยะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวและบริโภค สมบัติทางกายภาพของผลชมพูได้แก่

#### 1.1 การหาขนาดเบื้องต้น

การหาสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นได้แก่ การวัดขนาดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุด ( $D_{max}$ ), ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยที่สุด ( $D_{min}$ ), ความสูง (Height) และชั่งน้ำหนัก (Weight) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการแบ่งขนาดชมพูแต่ละขนาด ได้แก่ เล็ก (S), กลาง (M), ใหญ่ (L)

#### อุปกรณ์

1. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
2. เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ Sartorius ขนาด 0-6100 กรัม ความละเอียด 1 กรัม
3. ชมพูพันธุ์ทูลเกล้า, พันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์ทองสามสี พันธุ์ละ 3 ขนาด (S, M, L)

ขนาดละ 20 ผล

#### วิธีการ

1. นำผลชมพูมาทำเครื่องหมายกำกับแต่ละผลว่าเป็นขนาด S, M และ L พร้อมต่อท้ายด้วยหมายเลขประจำผลไม้ โดยเรียงลำดับตั้งแต่ 1 ขึ้นไปจนถึงผลสุดท้ายของแต่ละเกรด

2. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุด ( $D_{\max}$ ), เส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยที่สุด ( $D_{\min}$ ), ความสูง (Height) ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ และคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ( $D_{\text{avg}}$ )

3. ชั่งน้ำหนักแต่ละผล



ภาพที่ 9 การวัดเส้นผ่าศูนย์กลาง (ซ้าย) และการวัดความสูง (ขวา)

## 1.2 การจัดเกณฑ์คุณภาพของผลชมพู่

เป็นการศึกษาระบบการจัดเกณฑ์คุณภาพของชมพู่ที่ขายในตลาดต่างในปัจจุบัน สำหรับพันธุ์เศรษฐกิจเพื่อตลาดบริโภคผลสด

### อุปกรณ์

1. ชมพู่ขนาดละ 20 ผล (S, M, L) ต่อ 1 พันธุ์ ทั้งหมด 3 พันธุ์
2. ไม้บรรทัด
3. เวอร์เนียคาลิเปอร์
4. เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ Sartorius ขนาด 0-6100 กรัม ความละเอียด 1 กรัม

### วิธีการ

1. เก็บข้อมูลจากแหล่งปลูกชมพูแต่ละพันธุ์ สอบถามจากเกษตรกรถึงวิธีการตัดขนาด และจำนวนขนาดที่แบ่งรวมไปถึงชื่อที่ใช้เรียกแต่ละขนาดและในแต่ละพันธุ์
2. สุ่มผลชมพูมาขนาดละ 20 ผล
3. วัดขนาด และชั่งน้ำหนักแต่ละผล
4. วัดปริมาณความเสียหาย โดยแบ่งประเภทความเสียหายออกเป็น 4 ประเภท คือ รอยช้ำ รอยถลอก รอยแตก และรอยบาด
5. นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณค่าปริมาณความเสียหาย และเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย ตามสูตร ดังนี้

ก.) ปริมาณความเสียหายเฉลี่ยต่อผลหาได้จากผลรวมของความเสียหายในแต่ละประเภทหารด้วยจำนวนผลทั้งหมด เช่น

$$\text{ปริมาณความช้ำเฉลี่ยต่อผล} = \frac{\text{พื้นที่รอยช้ำทั้งหมด}}{\text{จำนวนผลชมพูทั้งหมด}} \quad (\text{ตร.ซม./ผล}) \quad (1)$$

$$\text{ปริมาณรอยแตกเฉลี่ยต่อผล} = \frac{\text{ความยาวรอยแตกทั้งหมด}}{\text{จำนวนผลชมพูทั้งหมด}} \quad (\text{มม./ผล}) \quad (2)$$

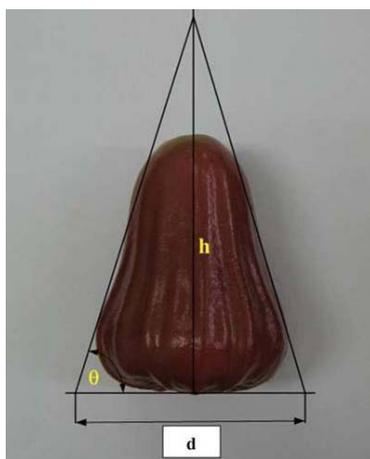
ข.) เปอร์เซ็นต์ความเสียหายหาได้จากจำนวนผลที่เกิดความเสียหายในแต่ละประเภทหารด้วยจำนวนผลทั้งหมด เช่น

$$\text{เปอร์เซ็นต์รอยช้ำ} = \frac{\text{จำนวนผลที่เกิดรอยช้ำทั้งหมด}}{\text{จำนวนผลชมพูทั้งหมด}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์รอยแตก} = \frac{\text{จำนวนผลที่เกิดรอยแตกทั้งหมด}}{\text{จำนวนผลชมพูทั้งหมด}} \times 100 \quad (4)$$

### 1.3 การหาโมเดลคณิตศาสตร์

ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรจริง ( $V_r$ ) และปริมาตรประเมิน ( $V_e$ ) สำหรับการคาดคะเนปริมาตรของผลชมพู่ทั้ง 3 พันธุ์ โดยผลชมพู่ถูกสมมุติว่ามีลักษณะใกล้เคียงกับรูปทรงกรวย นำค่าที่ได้ต่างๆ ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_r$  กับ  $V_e$  เพื่อวิเคราะห์หาสมการที่เหมาะสมและค่า  $R^2$  ใช้ตัวอย่างผลชมพู่แต่ละพันธุ์ ขนาดละ 60 ผล (3 ขนาด เล็ก กลาง ใหญ่)



ภาพที่ 10 สมมติว่าชมพู่มีลักษณะใกล้เคียงกับรูปทรงกรวย

#### อุปกรณ์

1. เวอร์เนียคาลิเปอร์
2. เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ Sartorius ขนาด 0-6100 กรัม ความละเอียด 1 กรัม
3. โหลแก้วสำหรับใส่น้ำ
4. ชมพู่พันธุ์ทูลเกล้า, ทับทิมจันทร์, ทองสามสี พันธุ์ละ 3 ขนาด (S, M, L) ขนาดละ

20 ผล

### วิธีการ

1. วัด  $D_{\max}$ ,  $D_{\min}$ , Height และคำนวณหาค่า  $D_{\text{avg}}$
2. ชั่งน้ำหนักผลชมพูในอากาศ (W)
3. ชั่งน้ำหนักผลชมพูในน้ำ คือค่าปริมาตรจริงของผลชมพู ( $\text{cm}^3$ )
4. นำค่า  $D_{\text{avg}}$  ไปคำนวณหาค่าปริมาตรสมมติ ดังสมการต่อไปนี้

$$V = \frac{\pi}{24} \tan \theta \cdot d^3 \quad (5)$$

### โดยที่

- V = ปริมาตรผลชมพูที่ได้จากการคำนวณ ( $\text{cm}^3$ )
- $\theta$  = มุมความลาดเอียงของตัวผลกับระนาบของก้นผล = 75 องศา (ทุลเกล้า),  
79 องศา (ทับทิมจันทร์และทองสามสี)
- D = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของแต่ละผล (cm)

## 2. การออกแบบ และคำนวณแบบเครื่องคัดขนาดผลชมพู

การออกแบบ และการคำนวณแบบเครื่องคัดขนาดผลชมพูใช้หลักการเดียวกับเครื่องคัดขนาดแบบสายพานบานออก คือ ผลชมพูเคลื่อนที่ไปบนสายพานสองเส้นที่มีระยะห่างระหว่างสายพานไม่เท่ากัน ที่ระยะเริ่มต้นของสายพานจะที่ระยะห่างที่แคบ และระยะห่างจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความยาวสายพานเพิ่มขึ้น

### แนวความคิดในการออกแบบ

1. การออกแบบมุมเอียงของสายพานของชมพูทั้ง 3 พันธุ์ (ทุลเกล้า, ทับทิมจันทร์, ทองสามสี) ที่เหมาะสมต่อการคัดขนาด

2. การออกแบบระบบต้นกำลัง โดยใช้มอเตอร์ขนาดเล็กส่งแรงผ่านชุดเกียร์ทด และส่งกำลังผ่าน Universal joint ไปยังสายพานทั้งสองเส้น

3. การออกแบบอุปกรณ์ปรับระดับความเอียงของสายพาน และการปรับระยะห่างระหว่างสายพาน

4. การออกแบบความหนาของฟองน้ำที่บริเวณถาดรับชมพู และระยะห่างจากสายพานถึงถาดรับผลชมพู

### 3. โครงสร้างและส่วนประกอบ

#### 3.1 โครงสร้างเครื่องคัดผลชมพู

ชุดโครงสร้างจะประกอบด้วยโครงเหล็กทำมาจากเหล็กฉากขนาด  $38.1 \times 38.1 \times 3$  มม. นำมาประกอบเป็นโครงสร้างเหล็กขนาดกว้าง 390 ยาว 1510 สูง 765 มม. พร้อมด้วยถาดรับผลชมพู ทำจากสังกะสีพับเป็นกระบะสี่เหลี่ยมผืนผ้า

#### หลักการทำงานของเครื่องคัดขนาด

วางผลชมพูลงบนสายพานที่ละผล จากนั้นชมพูจะเคลื่อนที่เป็นแถวเรียงเดี่ยวอยู่บนระหว่างสายพานลำเลียง 2 เส้นที่วางเอียงเข้าหากันมีความลาดเอียง 80 องศา ยาว 1.2 เมตร เมื่อผลชมพูเคลื่อนที่ไประยะห่างระหว่างสายพานซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการคัดขนาดก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ผลที่มีขนาดเล็กจะตกลงบนถาดรับก่อน จากนั้นจะเป็นขนาดกลางและใหญ่ตามลำดับ โดยที่ถาดรับจะแบ่งออกเป็น 3 ช่องด้วยแผ่นกั้น ซึ่งแต่ละช่องหมายถึงแต่ละขนาด สามารถคัดขนาดได้ 3 ขนาด คือ Size S, M และ L ตัวถาดรับผลชมพูจะถูกบุด้วยฟองน้ำหนา 20 มม. เพื่อป้องกันผลชมพูที่ตกลงมาจากสายพานไม่ให้ชำรุดและวางเอียงเพื่อให้ผลชมพูไหลลงมาด้านล่าง ซึ่งจะวางห่างจากสายพาน 15 ซม. โดยตัวเครื่องจะมีต้นกำลังคือมอเตอร์ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองและ Universal Joint มายังลูกกลิ้งเพื่อขับสายพานให้เคลื่อนที่ไป ในการปรับความเร็วรอบจะปรับความเร็วรอบมอเตอร์ด้วยชุดปรับความเร็วรอบ (Inverter) ให้ได้ความเร็วรอบของสายพานเท่ากับ 7, 15, 22 และ 29 m/min ซึ่งหลักการดังกล่าวได้ประยุกต์มาจากการทำงานของเครื่องคัดขนาดแบบสายพานบานออก

### 3.2 สายพานคัดขนาดผลชมพู

สายพานยี่ห้อ Ammeraal รุ่น Nonex EM 8/2 Blue FG ขนาดกว้าง 100 มม. ยาว 2500 มม. 2 เส้น โดยจะต่อเข้ากับ Universal joint และชุดเฟือง ที่รับกำลังส่งมาจากมอเตอร์ สายพานทำมุมเอียง 75 องศา สำหรับพันธุ์ทุลเกล้า และมุม 79 องศา ในพันธุ์ทับทิมจันทร์และทองสามสี โดยมุมนี้ได้มาจากการวิเคราะห์หาคความลาดเอียงของผลชมพูกับแนวระนาบ เพื่อนำไปออกแบบมุมเอียงของสายพาน ซึ่งมีหน้าที่ลำเลียงชมพูให้เคลื่อนที่ไปเรื่อย และผลชมพูจะสอบเทียบกับระยะห่างระหว่างสายพาน เมื่อผลชมพูมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าจึงตกลงมา มีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

#### วิธีการ

ในการหามุมเอียงของสายพานที่ใช้ในการคัดขนาดสามารถหาได้จาก Profile ผลชมพู (ภาพที่ 10) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด D, X เป็นระยะเส้นผ่านศูนย์กลางที่สมนัยกับจุด Slope ของ Surface ชมพูที่เริ่มเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเมื่อรู้ X ก็รู้จุดเริ่มเปลี่ยน Slope โดยลากเส้นแบ่งกึ่งกลางผล จากนั้นลากเส้น Slope ตัดกับเส้นแบ่งกึ่งกลางผล จะได้ a ฉะนั้นจึงหา  $h_1$  และ  $h_2$  ได้ ก็สามารถหา  $\alpha$  จากสมการ (6) ได้ และจะได้มุมเอียงสายพาน ( $\theta$ ) จากสมการ (7)

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{D}{2h_1} \quad (6)$$

โดยที่

D = เส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด

$h_1$  = ระยะจาก D ถึง จุดที่ Slope ตัดกับเส้นแบ่งกึ่งกลางผลที่จุด a

$$\text{ดังนั้นมุมเอียงของสายพาน} \quad \theta = 90 - \alpha \quad (7)$$

หรือ หากหามุมเอียงได้จากสมการ (8) หรือ (9)

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{2h_1}{D} \quad (8)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{2h_2}{X} \quad (9)$$

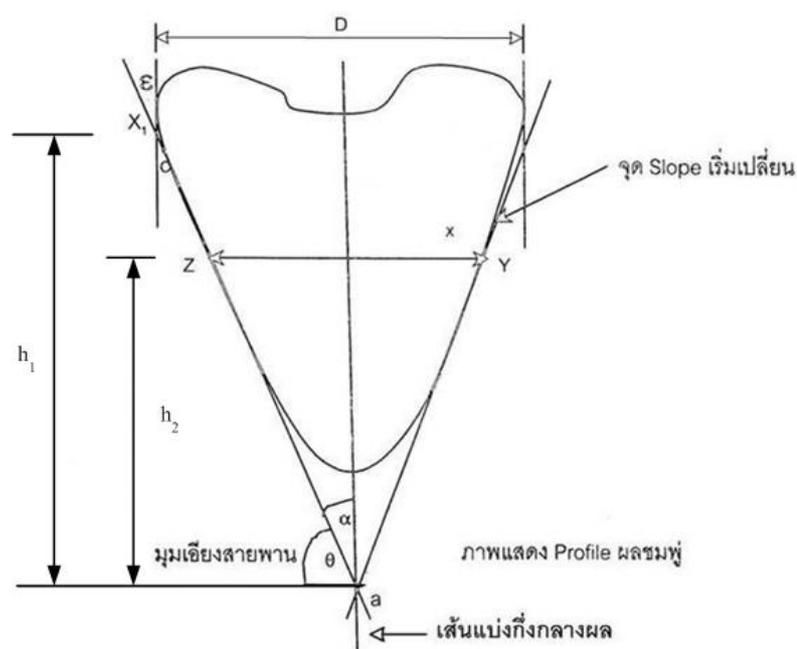
เมื่อ

$X$  = ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางสมนัยกับ Slope

$h_2$  = ระยะจาก  $X$  ถึง จุดที่ Slope ตัดกับเส้นแบ่งกึ่งกลางผล

ดังนั้นจะได้มุมเอียงสายพาน

$$\theta = \left( \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right) \quad (10)$$



ภาพที่ 11 Profile ผลชมพู

### 3.3 จุดตั้งกำลังเครื่องคัดขนาดผลชมพู

เป็นมอเตอร์เกียร์ขนาด 220 V. 60 Hz. มีความเร็วรอบประมาณ 1450 รอบต่อนาที ขับผ่านชุดเกียร์ทดรอบ 18: 1 จะได้ความเร็วรอบเท่ากับ 80.6 รอบต่อนาที ต่อเข้ากับชุดเฟือง จากนั้นส่งกำลังผ่านไปยัง Universal joint ทำให้สายพานหมุนได้

### 3.4 ถาดรับผลชมพู

ถาดทำมาจากสังกะสีพับขึ้นรูปเป็นถาดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 600, ยาว 1100 มม. พร้อมด้วยตัวแบ่งช่องออกเป็นช่องของขนาดต่างๆ ตัวถาดบุด้วยฟองน้ำหนา 20 มม. เพื่อป้องกันไม่ให้ผลชมพูเกิดความเสียหาย

### 3.5 ชุดสายพานลำเลียงผลชมพู

ชุดสายพานลำเลียงผลชมพูทำหน้าที่ในการลำเลียงผลชมพูเข้าสู่สายพานคัดขนาด เป็นสายพานแบนยี่ห้อ Ammeraal รุ่น Belt Flexam EM 10/2 Green FG ขนาดกว้าง 100 มม. ยาว 2400 มม. วางในแนวนอน บนสายพานแบ่งเป็นช่องขนาด 80 มม. ในการวางผลชมพูจะวางในแนวนอนหรือขวางกับสายพานในแต่ละช่องที่แบ่งไว้

ชุดโครงสร้างสายพานลำเลียงจะประกอบด้วยโครงเหล็กทำมาจากเหล็กกล่อง ขนาด 40 x 40 มม. นำมาประกอบเป็นโครงเหล็กรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ สูง 870 มม. กว้าง 300 มม. ยาว 1350 มม. แผ่นราวกันกว้าง 80 มม. บุด้วยฟองน้ำหนา 10 มม.

ชุดต้นกำลังประกอบด้วยมอเตอร์ขนาด 0.25 แรงม้า เกียร์ทดอัตราส่วน 1:40 และใช้เฟืองจับขนาด 5 นิ้ว และเฟืองตามขนาด 2.5 นิ้ว

## 4. วัสดุ

ชมพูพันธุ์ทูลเกล้า, ทับทิมจันทร์, ทองสามสี จากเกษตรกรในอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม, และอำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี

## 5. การทดสอบ

### 5.1 การทดสอบเครื่องคัดขนาดผลชมพู

การทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกจะทำการทดสอบเพื่อหาสภาวะในการคัดขนาดที่เหมาะสมสำหรับชมพูแต่ละพันธุ์ และส่วนที่ 2 จะทำการทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียง โดยส่วนที่ 1 ทำการทดสอบเครื่องคัดขนาดผลชมพู ใช้ชมพู 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์

ทูลเกล้า, ทับทิมจันทร์ และทองสามสี แต่ละพันธุ์แบ่งเป็น 3 ขนาด ได้แก่ เล็ก, กลาง และใหญ่ ในการทดสอบแต่ละพันธุ์จะใช้ชมพู่ขนาดละ 20 ผล รวมทั้งสามขนาดเป็น 60 ผล/ชุด ใช้ผลชมพู่ทั้งหมด 4 ชุด โดยผลชมพู่ 1 ชุด จะใช้ในการทดสอบที่ 1 ความเร็วรอบ จำนวน 5 ซ้ำ ความเร็วของสายพานที่ใช้ในการทดสอบมี 4 ระดับ ได้แก่ 7, 15, 22 และ 29 m/min และมุมเอียงของสายพาน 3 ระดับ คือ 75, 80 และ 85 องศา (มุมที่ได้มาจากการลากเส้น Profile ของผลชมพู่)

### วิธีการ

1. เลือกผลชมพู่ที่ซื้อมาจากเกษตรกรที่ไม่มีตำหนิ วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาวและ ชั่งน้ำหนักของผลชมพู่ ทำเครื่องหมายกำกับแต่ละผล (S, M และ L)
2. ตั้งระดับของแผ่นแบ่งเกรดที่เครื่องคัดขนาดให้สมนัยกัน

$$X_{s1} = \frac{(\mu_2\sigma_1^2 - \mu_1\sigma_2^2)}{(\sigma_1^2 - \sigma_2^2)} \pm \left[ \frac{(\mu_2\sigma_1^2 - \mu_1\sigma_2^2)^2}{(\sigma_1^2 - \sigma_2^2)} - \frac{(\mu_2^2\sigma_1^2 - \mu_1^2\sigma_2^2 - 2\sigma^2\sigma_2^2 \ln(\sigma_1/\sigma_2))}{\sigma_1^2 - \sigma_2^2} \right]^{1/2} \quad (11)$$

เมื่อ

$X_{s1}$	=	ขนาดของระยะห่างระหว่างช่องคัดขนาด
$\mu_1$	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของชมพู่ขนาดที่ 1
$\mu_2$	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของชมพู่ขนาดที่ 2
$\sigma_1$	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเส้นผ่าศูนย์กลางชมพู่ขนาดที่ 1
$\sigma_2$	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเส้นผ่าศูนย์กลางชมพู่ขนาดที่ 2

∴ นำค่า  $X_{s1}$  ที่ได้ไปวัดที่ช่องห่างของสายพานเพื่อกำหนดจุดตั้งแผ่นแบ่งขนาด (ที่มา: Peleg, 1985)

3. ตั้งมุมเอียงของสายพานที่ 75 องศา และปรับความเร็วรอบของสายพานเท่ากับ 7 m/min
4. นำผลชมพู่ที่จะทดลองมาละกันขนาด

5. ป้อนผลชมพูเข้าสู่เครื่องคัดขนาดอย่างต่อเนื่อง เริ่มจับเวลาตั้งแต่ผลชมพูผลแรกเข้าสู่ระบบการคัดขนาดจนถึงผลสุดท้าย เป็นเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการป้อน และจับเวลาแต่ละเกรดเมื่อผลชมพูจะตกลงในถาดรองรับของแต่ละขนาดให้เริ่มจับเวลาเมื่อผลชมพูผลแรกตกออกจากสายพานลงสู่ช่องรับขนาดแต่ละขนาด จนถึงผลสุดท้ายของขนาดนั้นตกออกจากสายพาน

6. คัดแยกผลชมพูที่ตกถูก และตกผิดของแต่ละเกรด ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-6 อีก 4 ซ้ำ

7. เปลี่ยนความเร็วสายพานเป็น 15, 22 และ 29 m/min เมื่อทดสอบครบทุกความเร็วรอบแล้วเปลี่ยนมุมเอียงสายพานเป็น 80 และ 85 องศา

8. บันทึกค่าการการใช้ไฟฟ้า ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผลชมพู และข้อบกพร่องของเครื่องที่สังเกตได้ระหว่างการทดลอง

9. วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล  $Q$ ,  $E_w$  และ  $\overline{C_R}$  ด้วย ANOVA

10. ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-10 โดยเปลี่ยนพันธุ์ชมพู

## 5.2 การทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียง

จากการทดสอบในส่วนแรกจะทำให้ได้ความเร็วสายพานและมุมเอียงสายพานที่เหมาะสมสำหรับการคัดขนาดชมพูแต่ละพันธุ์ จากนั้นนำค่าที่ได้มาทดสอบเครื่องคัดขนาดพร้อมสายพานลำเลียงผลชมพู โดยทำการทดสอบกับชมพู 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ทุลเกล้า, ทับทิมจันทร์ และทองสามสี แบ่งเป็น 3 ขนาด ใช้ขนาดละ 20 ผล รวมเป็น 60 ผล/ชุด (1 ชุดต่อ 1 ความเร็วรอบสายพานลำเลียง) ชุดละ 5 ซ้ำ ความเร็วสายพานลำเลียง 3 ระดับ ได้แก่ 11, 21 และ 31 m/min โดยวางผลชมพูบนสายพานลำเลียงในลักษณะแนวขนานกับสายพานลำเลียง เก็บข้อมูลค่าความผิดพลาดการคัดขนาดเฉลี่ย ( $\overline{C_R}$ ) สมรรถนะการคัดขนาด ( $Q$ ) และประสิทธิภาพการคัดขนาด ( $E_w$ ) นำไปวิเคราะห์ผลด้วย ANOVA

### วิธีการ

1. เลือกผลชมพูที่ซื้อมาจากเกษตรกรที่ไม่มีตำหนิ ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว และชั่งน้ำหนักผลชมพู ทำเครื่องหมายกำกับแต่ละผล (S, M และ L)
2. เดินเครื่องคัดขนาดและสายพานลำเลียงผลชมพู เริ่มจับเวลาตั้งแต่ผลชมพูผลแรกเข้าสู่สายพานลำเลียง จนถึงชมพูผลสุดท้ายลงตกในช่องคัดเป็นเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการคัดขนาด
3. คัดแยกผลชมพูที่ตกถูก และตกผิดของแต่ละเกรด ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-2 อีก 4 ซ้ำ
4. วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล  $Q$ ,  $E_w$  และ  $\overline{C_R}$  ด้วย ANOVA
5. ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนพันธุ์ชมพู

### 5.3 การทดสอบเพื่อหาตำหนิ

จากการทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงจะได้ความเร็วที่เหมาะสมในการคัดขนาดระหว่างเครื่องคัดขนาดและสายพานลำเลียงจากนั้นจึงนำความเร็วที่ได้มาทดสอบอีกครั้งเพื่อตรวจสอบตำหนิที่เกิดขึ้นหลังจากคัดขนาดผลชมพูด้วยเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียง โดยทำการทดสอบกับชมพู 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ทูลเกล้า, ทับทิมจันทร์ และทองสามสี แบ่งเป็น 3 ขนาด ใช้ขนาดละ 20 ผล รวมเป็น 60 ผล/ชุด

### วิธีการ

1. เลือกผลชมพูที่ซื้อมาจากเกษตรกรที่ไม่มีตำหนิ ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ละผล ทำเครื่องหมายกำกับแต่ละผลว่าเป็นขนาด S, M และ L และหมายเลขประจำผล
2. เดินเครื่องคัดขนาดและสายพานลำเลียงผลชมพู ปล่อยชมพูเข้าสู่สายพาน ตรวจสอบรอยตำหนิที่พบ สุ่มมาตรวจสอบขนาดละ 10 ผล โดยแบ่งตำหนิออกเป็น 4 ประเภท คือ รอยชำรุด รอยถลอก รอยแตก และรอยบิด

3. นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณค่าปริมาณความเสียหาย และเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย ตามสูตร ดังนี้

ปริมาณความเสียหายประเภทรอยชำ หรือ รอยถลอก วัดขนาดความเสียหายเป็นพื้นที่ ส่วนปริมาณความเสียหายประเภทรอยแตก และ รอยบาด วัดขนาดเป็นความยาว

$$\text{เปอร์เซ็นต์รอยชำ หรือ รอยถลอก} = \frac{\text{ขนาดพื้นที่รอยชำหรือรอยถลอกทั้งหมด}}{\text{พื้นที่ผิวชมพูเฉลี่ย}} \times 100 \quad (12)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์รอยแตก หรือ รอยบาด} = \frac{\text{ขนาดความยาวรอยแตกหรือรอยบาดทั้งหมด}}{\text{ความสูงชมพูเฉลี่ย}} \times 100 \quad (13)$$

## 6. การประเมินผลการทดสอบ

การทดลองเครื่องคัดขนาดชมพู เพื่อประเมินความสามารถในการคัดขนาดด้วย 3 ตัวแปร ประกอบด้วย

- 6.1 ประสิทธิภาพการคัดขนาด ( $E_w$ ) เป็นเปอร์เซ็นต์
- 6.2 สมรรถนะการคัดขนาด ( $Q$ ) เป็นกิโลกรัมต่อชั่วโมง
- 6.3 อัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ย ( $\overline{C_R}$ ) เป็นเปอร์เซ็นต์

โดยการวัดหาประสิทธิภาพการคัดขนาด สมรรถนะ และอัตราการเจือปนเฉลี่ย หาได้จาก สมการการวิเคราะห์ (Peleg, 1985) ดังนี้

$$E_w = \sum \left( \frac{p_{gi} W_i G_i}{QP_i} \right) \quad (14)$$

$$P_{gi} = \frac{N_{gi}}{N_{ti}} \quad (15)$$

$$N_{ti} = N_{gi} + N_{ij} \quad (16)$$

$$W_i = \frac{K_i P_i}{\sum K_i P_i} \quad (17)$$

$$P_i = \frac{N_i}{\sum N_i} \quad (18)$$

$$G_i = \frac{W_i}{t} \quad (19)$$

$$Q = \frac{W_t}{t} \quad (20)$$

$$\overline{C_R} = \frac{\sum N_{ij}}{\sum N_i} \quad (21)$$

เมื่อ	$E_w$	คือ	ประสิทธิภาพการคัดขนาด (Sizing Efficiency)
	$G_i$	คือ	อัตราการไหลออก (Outflow rate) ของเกรด $i$ (น้ำหนัก / เวลา)
	$K_i$	คือ	เศษส่วนมูลค่าหรือราคาที่สัมพันธ์กับเกรด $i$ ต่างๆ
	$N_i$	คือ	จำนวนผลไม้เกรด $i$ เมื่อป้อนเข้าสู่การคัดขนาด
	$\sum N_i$	คือ	จำนวนผลไม้ทั้งหมด $n$ เกรด
	$N_{ij}$	คือ	จำนวนผลไม้เกรด $j$ ที่ตกในช่องเกรด $i$
	$N_{gi}$	คือ	จำนวนผลไม้เกรด $i$ ที่ตกในช่องเกรด $j$ (ถูกคัดออกมาถูกต้อง)
	$N_{ti}$	คือ	จำนวนผลไม้ทั้งหมดที่ตกในช่องเกรด $i$
	$P_i$	คือ	เศษส่วนของผลไม้เกรด $i$ ในผลไม้ทั้งหมดเริ่มคัดขนาด
	$P_{gi}$	คือ	เศษส่วนของผลไม้เกรด $i$ ที่ถูกต้องที่คัดได้ในช่องเกรด $i$
	$Q$	คือ	สมรรถนะหรืออัตราการไหลเข้า (Inflow rate) (น้ำหนัก/เวลา)
	$T$	คือ	เวลาที่ใช้ในการคัดขนาด
	$W_i$	คือ	Weighting function
	$w_i$	คือ	น้ำหนักรวมของผลไม้ที่ตกในตกในช่องเกรด $i$ (สมนัยกับ $N_{ti}$ )
	$w_t$	คือ	น้ำหนักรวมของผลไม้ทั้ง (สมนัยกับ $\sum N_i$ )
	$\overline{C_R}$	คือ	อัตราการเจือปนเฉลี่ย (Contamination ratio)

## 7. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับงานวิศวกรรมนั้นศึกษาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และตัดสินใจเลือกโครงการต่างๆ ที่สร้างขึ้นได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้เนื่องมาจากทรัพยากรที่มีจำนวนจำกัด ประกอบกับการแข่งขันในด้านการตลาดที่สูง ดังนั้นการออกแบบทางด้านวิศวกรรมต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายต่างๆ และการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ (ไพบูลย์, 2546) การประเมินค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องต้นแบบมีดังนี้

7.1 ต้นทุนเริ่มแรก (First Cost) เป็นค่าใช้จ่ายเริ่มแรกรวมทั้งหมดของการลงทุน เช่น ค่าเครื่องจักร ค่าเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับเครื่องจักร

7.2 ต้นทุนดำเนินการ (Operating Cost) คือค่าใช้จ่ายที่ต้องเตรียมไว้เพื่อดำเนินการกับทรัพย์สินที่ต้องลงทุนไปเพื่อให้เกิดผลผลิต ซึ่งจะเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาของโครงการ ประกอบด้วย

1) ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost : FC) คือ ต้นทุนที่เกิดขึ้นเท่ากันตลอดกิจกรรม ไม่ว่าปริมาณการผลิตจะมากหรือน้อย ค่าใช้จ่ายจะคงที่ตลอด เช่น ค่าเสื่อมราคา

2) ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost : VC) ต้นทุนที่แปรไปตามจำนวนหรือปริมาณการผลิต ถ้ามีการผลิตมากก็จ่ายมาก เช่น ค่าจ้างแรงงาน ค่าบำรุงรักษา ค่าไฟฟ้า

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการคำนวณผลชมพู/กิโลกรัมสามารถหาได้จาก

$$AC = FC + VC \quad (22)$$

เมื่อ  $FC =$  ค่าเสื่อมราคาของเครื่องคำนวณผลไม่ (D) + เสียโอกาสในการลงทุน (R)

$VC =$  ค่าจ้างแรงงาน (W) + ค่าไฟฟ้า (E) + ค่าบำรุงรักษา (M)

ค่าเสื่อมราคา (คิดโดยวิธีตรง)

$$D = \frac{(P - S)}{L} \quad (23)$$

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน

$$R = \frac{(P + S)}{2} \times i \quad (24)$$

โดยที่

P	=	ราคาซื้อหรือสร้างเครื่องคัดขนาดผลไม้ (บาท)
L	=	อายุการใช้งานเครื่องคัดขนาด $\approx 10$ ปี
S	=	ราคาเครื่องเมื่อครบ 10 ปี = $0.1 \times P$ (บาท)
D	=	ค่าเสื่อมราคา/ปี (บาท/ปี)
R	=	ค่าเสียโอกาสในการลงทุน/ปี (บาท/ปี)
i	=	อัตราดอกเบี้ย $\approx 7.50\%$ ต่อปี

7.3 จุดคุ้มทุน (Break-even analysis) คือจุดที่รายได้กับรายจ่ายเท่ากัน โดยพิจารณาจาก

$$N^* = \frac{F}{p - v} \quad (25)$$

โดยที่

$N^*$	=	ปริมาณผลิตที่จุดคุ้มทุนพอดี
F	=	ต้นทุนคงที่
p	=	ราคาขายต่อหน่วย
v	=	ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

7.4 ระยะเวลาการลงทุน (Payback Period) ระยะเวลาที่ทำให้รายจ่ายเท่ากับรายรับ หากจาก

$$PBP = \frac{MC}{P} \quad (26)$$

โดยที่

PBP	=	ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)
MC	=	ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (บาท)
P	=	กำไร (บาท/ปี)

ค่าใช้จ่ายและต้นทุนในการซื้อหรือสร้างเครื่องคัดขนาดผลชมพูในที่นี่คิดเฉพาะราคาที่  
จัดซื้อหรือสร้าง ไม่คิดค่าที่ดิน โรงเรือน ค่าประกันโรงเรือน และอื่นๆ

### สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

### ระยะเวลาในการทดสอบ

เริ่มทดสอบเดือนมิถุนายน 2548 ถึง เดือนมีนาคม 2550

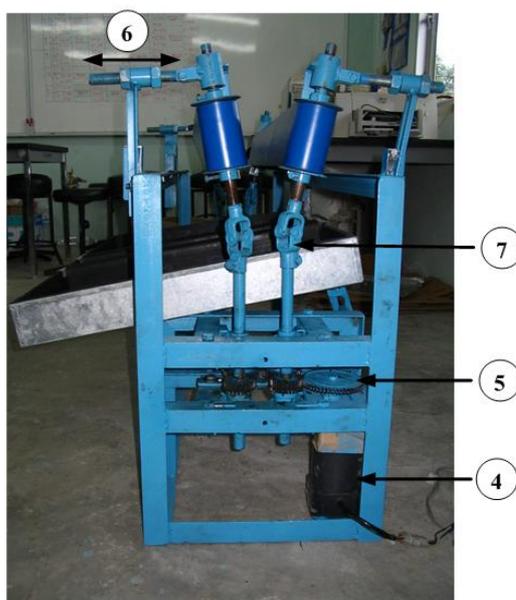
## ผลและวิจารณ์

เครื่องคัดขนาดผลชมพูประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังที่แสดงในภาพที่ 12-13 ซึ่งประกอบด้วย โครงเหล็กทำจากเหล็กฉาก สายพานคัดขนาดทำจากวัสดุที่เหมาะสมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ถาดรับผลชมพูด้วยฟองน้ำเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับผลชมพูเมื่อผลชมพู หล่นจากสายพานลงสู่ช่องคัดขนาดแต่ละช่อง ตัวเครื่องสามารถปรับขนาดของมุมได้ โดยปรับ เลื่อนหมายเลข 6 ตามลูกศรด้านบน และสามารถปรับความห่างระหว่างสายพานได้ทั้งด้านหน้าและ หลัง เครื่องคัดขนาดผลชมพูทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็กส่งกำลังผ่านเฟืองและ Universal joint เพื่อให้สายพานเคลื่อนที่ ปรับความเร็วรอบสายพานด้วย inverter



(1 = โครงสร้าง, 2 = สายพานคัดขนาด, 3 = ถาดรับชมพู)

ภาพที่ 12 โครงสร้างและส่วนประกอบเครื่องคัดขนาดชมพู



(4 = มอเตอร์, 5 = ชุดเฟือง, 6 = ที่ปรับมุมเอียง, 7 = Universal joint)

ภาพที่ 13 โครงสร้างและส่วนประกอบเครื่องคัดขนาดชมพู



(7 = Universal joint, 8 = ชุดปรับระยะห่างระหว่างสายพาน)

ภาพที่ 14 โครงสร้างและส่วนประกอบเครื่องคัดขนาดชมพูด้านหลัง

## การศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพของชมพู

## 1.1 ขนาด

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของผลชมพู

พันธุ์	ขนาด	D <sub>max</sub> (mm)	D <sub>min</sub> (mm)	D <sub>avg</sub> (mm)	ความสูง (mm)	น้ำหนัก (g)
ทูลเกล้า	ใหญ่	59.26	56.34	57.80	86.43	100.70
		(5.81)	(5.43)	(5.55)	(5.88)	(10.95)
	กลาง	55.55	52.92	54.23	78.10	75.50
		(3.35)	(3.66)	(3.42)	(3.09)	(6.22)
	เล็ก	54.67	52.05	53.36	76.08	70.75
		(4.97)	(4.58)	(4.70)	(4.78)	(7.45)
ทับทิมจันทร์	ใหญ่	65.58	62.36	63.97	88.12	152.09
		(5.51)	(6.29)	(5.39)	(4.33)	(12.38)
	กลาง	62.43	59.07	60.75	84.73	131.73
		(5.52)	(4.41)	(4.54)	(7.97)	(5.99)
	เล็ก	60.95	57.30	59.12	83.67	119.54
		(4.28)	(3.48)	(3.70)	(3.80)	(6.51)
ทองสามสี	ใหญ่	63.73	61.02	62.37	88.87	139.65
		(4.61)	(4.71)	(4.40)	(6.70)	(6.59)
	กลาง	62.58	58.65	60.62	80.36	118.25
		(3.93)	(3.71)	(3.56)	(4.15)	(5.07)
	เล็ก	59.68	56.90	58.29	82.51	110.15
		(3.67)	(3.52)	(3.52)	(3.64)	(5.51)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงค่า CV = Coefficient of Variation

ชมพูที่ใช้ในการทดลองมี 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธ์ทุลเกล้า, พันธุ์ทับทิมจันทร์, พันธุ์ทองสามสี จากการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของชมพูทั้ง 3 พันธุ์ปรากฏผลดังตารางที่ 1 พบว่าค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของพันธุ์ทับทิมจันทร์ขนาดใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับพันธุ์ทองสามสีคือ  $63.96 \pm 5.39$ ,  $62.37 \pm 4.40$  mm. ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ทุลเกล้าพบว่ามีความแตกต่างจากทั้งสองพันธุ์ข้างต้นอย่างชัดเจน โดยมีค่าเท่ากับ  $57.80 \pm 5.55$  mm. ซึ่งเป็นไปตามลักษณะธรรมชาติของพันธุ์ที่พันธุ์ทุลเกล้ามีขนาดเล็กกว่าพันธุ์ทับทิมจันทร์และทองสามสี

## 1.2 การจัดเกณฑ์คุณภาพของผลชมพู

ตารางที่ 2 การสำรวจตลาดเก็บข้อมูลของชมพูพันธุ์ทุลเกล้า, พันธุ์ทับทิมจันทร์ และทองสามสีจากแหล่งปลูกพบว่า ในแต่ละพันธุ์จะมีการแบ่งเกรดแตกต่างกันออกไป โดยชื่อที่ใช้เรียกแต่ละเกรดก็จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพ่อค้าคนกลางจะเป็นผู้กำหนด การแบ่งเกรดของชมพูพันธุ์ทุลเกล้าแบ่งเป็น 3 เกรด คือ ยอด พิเศษ เบอร์แตก ส่วนชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์แบ่งเป็นตลาดต่างประเทศและตลาดในประเทศ ซึ่งตลาดต่างประเทศมี 5 เกรด คือ 4A, 3A, 2A, A และ ตำนานี แต่ตลาดในประเทศแบ่งเป็น 3 เกรด คือ ใหญ่ กลาง และ ตำนานี และชมพูพันธุ์ทองสามสี แบ่งเป็น 6 เกรด คือ 5A, 4A, 3A, 2A, A และ แดก ซึ่งมีเกณฑ์ดังนี้ 3-4 ผล/kg, 4-5 ผล/kg, 6 ผล/kg, 8 ผล/kg, 10 ผล/kg, เบอร์แตกจะรวมทุกขนาด โดยเกรด 5A และ 4A มักจะพบในช่วงที่ต้นชมพูให้ผลผลิตในปีแรกๆ ที่ปลูกเท่านั้น

ในการตรวจสอบปริมาณความเสียหายหรือรอยตำหนิของชมพู โดยแบ่งประเภทของตำหนิออกเป็น 4 ประเภท คือ ช้ำ ถลอก แดก บาด ซึ่งพบว่าชมพูที่ขายในประเทศสำหรับทุกพันธุ์จะมีความเสียหายมากกว่าชมพูที่ส่งขายต่างประเทศ เบอร์ตำหนิจะมีความเสียหายสูงที่สุดในทุกๆ พันธุ์ และไม่มีในการส่งออก ความเสียหายหลักที่พบมากที่สุด คือ รอยช้ำเมื่อเทียบกับความเสียหายประเภทอื่นๆ รองลงมาคือ รอยถลอก รอยแตก ตามลำดับ ส่วนรอยบาดพบน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับตลาดเดียวกันพบว่าพันธุ์ทุลเกล้าไวต่อความเสียหายมากกว่าพันธุ์ทับทิมจันทร์และทองสามสี แต่พันธุ์ทองสามสีจะไวต่อความเสียหายน้อยกว่าพันธุ์ทับทิมจันทร์

จากการสำรวจในครั้งนี้พบว่าคุณภาพเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการคัดขนาดของตลาด โดยผลที่แสดงในตารางแสดงให้เห็นว่าชมพูที่ขายในตลาดภายในประเทศและผลชมพูที่ส่งไปขายยังตลาดต่างประเทศมีคุณภาพที่แตกต่างกัน ซึ่งตลาดภายในประเทศไม่ต้องการผลที่มีคุณภาพที่สูงมากนัก

ตารางที่ 2 ผลความเสียหายเฉลี่ยต่อผลและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยของชมพู่

พันธุ์	ตลาด	เกรด	ความเสียหายเฉลี่ยต่อผล				เปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ย			
			รอยช้ำ (cm <sup>2</sup> )	รอยถลอก (cm <sup>2</sup> )	แตก (cm)	บาด (cm)	รอยช้ำ (%)	รอยถลอก (%)	แตก (%)	บาด (%)
ทูลเกล้า	ภายในประเทศ	ยอด	0.23	0.36	0.97	0.06	55.0	50.0	80.0	10.0
		พิเศษ	0.30	0.09	0.39	0.00	55.0	30.0	55.0	0.0
ทับทิมจันทร์	ภายในประเทศ	ใหญ่	0.25	0.04	0.00	0.80	50.0	15.0	0.0	55.0
		กลาง	0.11	0.01	0.03	0.24	40.0	15.0	5.0	25.0
	ตลาดต่างประเทศ	4A	0.08	0.01	0.30	0.00	25.0	15.0	55.0	0.0
		3A	0.03	0.03	0.30	0.00	20.0	15.0	40.0	0.0
ทองสามสี	ตลาดภายในและ ต่างประเทศ	2A	0.05	0.00	0.00	0.23	10.5	0.0	0.0	26.3
		A	0.45	0.04	0.00	0.24	50.0	50.0	0.0	20.0
		3A	0.06	0.23	0.09	0.00	35.0	70.0	20.0	0.0
		2A	0.08	0.30	0.05	0.04	25.0	85.0	10.0	0.0
		A	0.05	0.15	0.14	0.00	20.0	55.0	25.0	5.0

หมายเหตุ เบอร์แตกและเบอร์ดำของชมพู่ทุกพันธุ์เป็นการรวมผลชมพู่ที่มีดำหนิของทุกขนาด จะมีการจำหน่ายในตลาด แต่ราคาลดลงประมาณ 50% ของผลดี

ต่างจากผลที่ส่งไปยังตลาดต่างประเทศจะต้องการชมพูที่มีคุณภาพดีไม่มีตำหนิ หรือมีตำหนิได้เล็กน้อยที่ไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน และไม่ส่งผลต่อลักษณะของผล



1. รอยช้ำ (Bruise)



2. รอยถลอก (Abrasion)



3. รอยแตก (Crack)



4. รอยบาด (Cut)

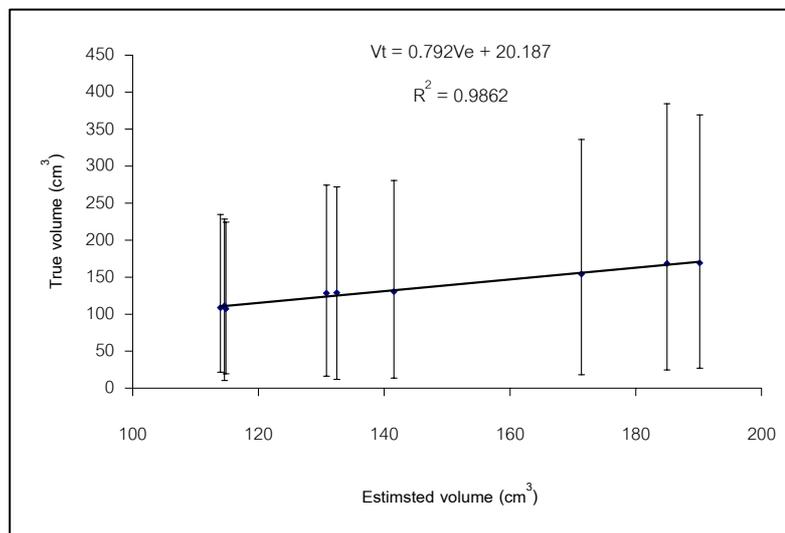
ภาพที่ 15 ประเภทความเสียหายของผลชมพูแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ รอยช้ำ, รอยถลอก, รอยแตก, รอยบาด

### 1.3. การหาโมเดลคณิตศาสตร์

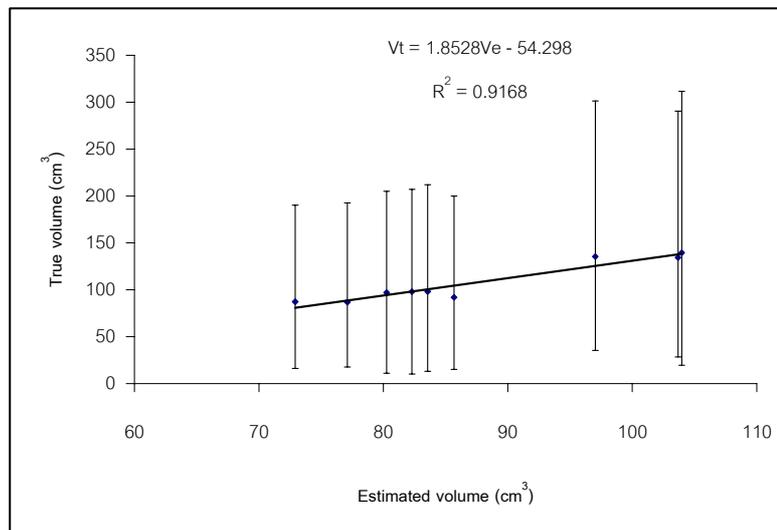
เมื่อใช้สมมติฐานว่าชมพูมีลักษณะใกล้เคียงกับทรงกรวย และนำเอาปริมาตรชมพูจริง มาทำ Linear regression กับ ปริมาตรที่คำนวณได้จากเส้นผ่าศูนย์กลางผล เพื่อวิเคราะห์หาสมการที่เหมาะสมและค่า  $R^2$  จะได้สมการพหุนามกำลังสาม, ทับทิมจันท์ และทองสามสี ดังนี้

$$V_t = 1.8528V_e - 54.298 \quad (R^2 = 0.92), \quad V_t = 0.792V_e + 20.187 \quad (R^2 = 0.99), \quad V_t = 0.888V_e - 2.9392$$

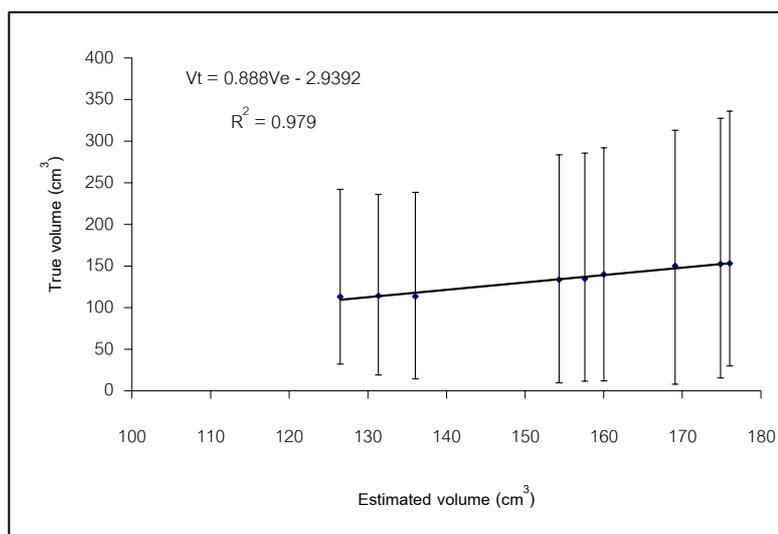
( $R^2 = 0.98$ ) ตามลำดับ นี้ทำให้เห็นตัวเลขปริมาตรผลชมพูขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางผลอย่างเดี่ยว โดยแต่ละจุดในกราฟแทนค่าเฉลี่ยของปริมาตรของชมพูจำนวน 20 ผล



### 1. พันธุ์ทูลเกล้า



### 2. พันธุ์ทับทิมจันทร์



### 3. พันธุ์ทองสามสี

ภาพที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรจริงและปริมาตรคำนวณของพันธุ์ทุลเกล้า, ทับทิมจันทร์, ทองสามสี

#### การหามุมเอียงของสายพาน

ในการหามุมเอียงของสายพานพบว่าพันธุ์มีอิทธิพลต่อมุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5% จากการวิเคราะห์ DMRT พบว่า ค่ามุมเฉลี่ยของแต่ละพันธุ์เป็น 74.95, 79.97 และ 79.54 องศา ในพันธุ์ทุลเกล้า, ทับทิมจันทร์ และ ทองสามสี ตามลำดับ ตารางที่ 3 พบว่ามุมเอียงของสายพานที่หาจากชมพูพันธุ์ทุลเกล้ามีค่าแตกต่างจากพันธุ์ทับทิมจันทร์และทองสามสี แต่พันธุ์ทับทิมจันทร์และทองสามสีไม่แตกต่างกัน ดังนั้นมุมเริ่มต้นที่ใช้ในการตั้งมุมเอียงของสายพานเพื่อใช้ในการทดสอบคือ 75 องศา (สำหรับพันธุ์ทุลเกล้า) และ 80 องศา (สำหรับพันธุ์ทับทิมจันทร์และทองสามสี)

ตารางที่ 3 การหามุมเอียงเพื่อนำมาใช้กำหนดมุมเอียงในการคัดขนาด

ขนาด	พันธุ์	มุมเอียงของสายพาน		
		ทูลเกล้า	ทับทิมจันทร์	ทองสามสี
S		75.20 <sup>a</sup> (3.61)	79.12 <sup>b</sup> (2.36)	81.29 <sup>b</sup> (0.24)
M		74.76 <sup>a</sup> (3.01)	79.72 <sup>b</sup> (3.01)	78.46 <sup>b</sup> (4.50)
L		74.89 <sup>a</sup> (2.68)	79.87 <sup>b</sup> (1.13)	78.65 <sup>b</sup> (2.00)

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

2. ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงค่า CV = Coefficient of Variation

#### การทดสอบเครื่องคัดขนาด

ความเร็วสายพานที่ใช้ในการทดสอบเครื่องคัดขนาดผลชมพูแบ่งเป็น 4 ระดับ ได้แก่ 7, 15, 22 และ 29 m/min โดยใช้ชมพูในการทดสอบทั้งหมด 3 พันธุ์ แต่ละพันธุ์แบ่งเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ กลาง เล็ก ในส่วนแรกจะเป็นผลของการทดสอบเครื่องคัดขนาดที่ป้อนด้วยมือ

ตารางที่ 4 ผลการประเมินสมรรถนะในการคัดขนาด (kg/hr) พันธุ์ทูลเกล้า

ความเร็วสายพาน (m/min)	มุมเอียงสายพาน		
	75	80	85
7	385.41 ± 16.07 <sup>ab</sup>	376.52 ± 9.29 <sup>a</sup>	455.83 ± 4.27 <sup>f</sup>
15	405.02 ± 19.71 <sup>bc</sup>	420.93 ± 22.67 <sup>cd</sup>	473.88 ± 6.85 <sup>f</sup>
22	471.83 ± 28.45 <sup>f</sup>	438.62 ± 11.26 <sup>de</sup>	482.28 ± 36.78 <sup>f</sup>
29	509.37 ± 11.90 <sup>g</sup>	471.09 ± 22.35 <sup>f</sup>	534.20 ± 19.21 <sup>g</sup>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความผิดพลาดในการคัดขนาด (%) พันธุ์ทุลเกล้า

ความเร็วสายพาน (m/min)	มุมเอียงสายพาน		
	75	80	85
7	6.67 ± 3.80 <sup>a</sup>	10.99 ± 2.90 <sup>b</sup>	23.29 ± 1.84 <sup>f</sup>
15	11.96 ± 3.82 <sup>b</sup>	11.33 ± 3.74 <sup>b</sup>	18.75 ± 3.07 <sup>de</sup>
22	15.16 ± 1.15 <sup>bcd</sup>	18.04 ± 3.68 <sup>de</sup>	16.80 ± 5.65 <sup>cde</sup>
29	12.65 ± 2.35 <sup>bc</sup>	20.73 ± 2.36 <sup>ef</sup>	15.43 ± 1.70 <sup>bcd</sup>

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

2. ตัวเลขหลังเครื่องหมายบวก หมายถึงค่า SD

ตารางที่ 6 ผลการประเมินประสิทธิภาพในการคัดขนาด (%) พันธุ์ทุลเกล้า

ความเร็วสายพาน (m/min)	มุมเอียงสายพาน		
	75	80	85
7	93.36 ± 3.80 <sup>e</sup>	89.01 ± 2.90 <sup>d</sup>	76.72 ± 1.81 <sup>a</sup>
15	88.04 ± 3.82 <sup>d</sup>	88.67 ± 3.74 <sup>d</sup>	81.25 ± 3.04 <sup>bc</sup>
22	84.84 ± 1.15 <sup>cd</sup>	81.96 ± 3.68 <sup>bc</sup>	82.87 ± 5.10 <sup>bc</sup>
29	87.35 ± 2.35 <sup>d</sup>	79.27 ± 2.36 <sup>ab</sup>	84.57 ± 1.70 <sup>cd</sup>

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

2. ตัวเลขหลังเครื่องหมายบวก หมายถึงค่า SD

ตารางที่ 7 ผลการประเมินสมรรถนะในการคัดขนาด (kg/hr) พันธุ์ทับทิมจันทร์

ความเร็วสายพาน (m/min)	มุมเอียงสายพาน		
	75	80	85
7	489.70 ± 26.66 <sup>a</sup>	515.97 ± 14.63 <sup>ab</sup>	605.49 ± 68.35 <sup>de</sup>
15	525.05 ± 40.11 <sup>ab</sup>	544.94 ± 45.15 <sup>bc</sup>	630.84 ± 35.03 <sup>c</sup>
22	567.37 ± 53.17 <sup>bcd</sup>	609.13 ± 56.87 <sup>de</sup>	643.07 ± 28.86 <sup>c</sup>
29	589.16 ± 17.55 <sup>cde</sup>	693.79 ± 19.36 <sup>f</sup>	729.24 ± 21.31 <sup>f</sup>

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

2. ตัวเลขหลังเครื่องหมายบวกลบ หมายถึงค่า SD

ตารางที่ 8 ผลการประเมินความผิดพลาดในการคัดขนาด (%) พันธุ์ทับทิมจันทร์

ความเร็วสายพาน (m/min)	มุมเอียงสายพาน		
	75	80	85
7	9.85 ± 3.98 <sup>a</sup>	14.92 ± 2.82 <sup>abc</sup>	22.88 ± 5.92 <sup>e</sup>
15	19.48 ± 6.59 <sup>bcde</sup>	16.02 ± 2.36 <sup>abcd</sup>	22.35 ± 6.20 <sup>de</sup>
22	21.52 ± 4.48 <sup>de</sup>	14.46 ± 2.16 <sup>ab</sup>	32.50 ± 4.05 <sup>f</sup>
29	22.38 ± 3.72 <sup>de</sup>	21.19 ± 4.23 <sup>cde</sup>	16.64 ± 5.67 <sup>bcde</sup>

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

2. ตัวเลขหลังเครื่องหมายบวกลบ หมายถึงค่า SD

ตารางที่ 9 ผลการประเมินประสิทธิภาพในการคัดขนาด (%) พันธุ์ทับทิมจันทร์

ความเร็วสายพาน (m/min)	มุมเอียงสายพาน		
	75	80	85
7	90.15 ± 3.98 <sup>c</sup>	87.00 ± 4.34 <sup>c</sup>	77.12 ± 5.92 <sup>bc</sup>
15	80.20 ± 7.18 <sup>bcd</sup>	83.98 ± 2.36 <sup>cde</sup>	77.54 ± 6.19 <sup>bc</sup>
22	77.88 ± 5.07 <sup>bc</sup>	85.54 ± 2.16 <sup>de</sup>	67.50 ± 4.05 <sup>a</sup>
29	76.42 ± 4.03 <sup>b</sup>	78.81 ± 4.23 <sup>bcd</sup>	83.36 ± 5.67 <sup>bcde</sup>

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

2. ตัวเลขหลังเครื่องหมายบวกลบ หมายถึงค่า SD

ตารางที่ 10 ผลการประเมินสมรรถนะในการคัดขนาด (kg/hr) พันธุ์ทองสามสี

ความเร็วสายพาน (m/min)	มุมเอียงสายพาน		
	75	80	85
7	501.88 ± 17.52 <sup>b</sup>	448.65 ± 22.41 <sup>a</sup>	458.38 ± 24.72 <sup>a</sup>
15	538.54 ± 31.20 <sup>c</sup>	538.46 ± 14.84 <sup>c</sup>	622.61 ± 16.26 <sup>f</sup>
22	580.47 ± 16.26 <sup>de</sup>	564.77 ± 20.33 <sup>cd</sup>	662.03 ± 31.89 <sup>g</sup>
29	612.68 ± 34.58 <sup>ef</sup>	558.81 ± 32.35 <sup>cd</sup>	727.10 ± 45.52 <sup>h</sup>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

ตารางที่ 11 ผลการประเมินความผิดพลาดในการคัดขนาด (%) พันธุ์ทองสามสี

ความเร็วสายพาน (m/min)	มุมเอียงสายพาน		
	75	80	85
7	13.14 ± 2.83 <sup>abc</sup>	15.26 ± 3.47 <sup>bcd</sup>	13.80 ± 3.39 <sup>abcd</sup>
15	19.08 ± 4.84 <sup>d</sup>	11.01 ± 4.45 <sup>ab</sup>	8.62 ± 3.47 <sup>a</sup>
22	17.05 ± 2.29 <sup>cd</sup>	15.61 ± 4.60 <sup>bcd</sup>	12.96 ± 4.24 <sup>abc</sup>
29	27.39 ± 3.30 <sup>c</sup>	38.57 ± 5.52 <sup>f</sup>	16.06 ± 2.28 <sup>bcd</sup>

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

2. ตัวเลขหลังเครื่องหมายบวกลบ หมายถึงค่า SD

ตารางที่ 12 ผลการประเมินประสิทธิภาพในการคัดขนาด (%) พันธุ์ทองสามสี

ความเร็วสายพาน (m/min)	มุมเอียงสายพาน		
	75	80	85
7	87.13 ± 2.85 <sup>def</sup>	84.74 ± 3.47 <sup>cde</sup>	87.75 ± 3.32 <sup>def</sup>
15	80.70 ± 4.90 <sup>c</sup>	88.98 ± 4.43 <sup>ef</sup>	91.12 ± 3.31 <sup>f</sup>
22	82.95 ± 2.29 <sup>cd</sup>	84.39 ± 4.60 <sup>cde</sup>	88.26 ± 4.14 <sup>def</sup>
29	72.61 ± 3.30 <sup>b</sup>	61.43 ± 5.52 <sup>a</sup>	85.94 ± 2.07 <sup>cdef</sup>

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

2. ตัวเลขหลังเครื่องหมายบวกลบ หมายถึงค่า SD

ตารางภาคผนวกที่ 1-3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะการคัดขนาด (Q), ความผิดพลาดในการคัดขนาด ( $\overline{C_R}$ ) และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ( $E_w$ ) ต่อการเปลี่ยนแปลงของความเร็วสายพานและมุมเอียงสายพานของพันธุ์ทุลเกล้า ปรากฏว่ามุมเอียงและ

ความเร็วสายพานมีอิทธิพลต่อค่า  $Q$ ,  $\overline{C_R}$  และ  $E_w$  อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5% ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบในตารางที่ 4-6 แสดงค่าเฉลี่ยของสมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดในการคัดขนาด และประสิทธิภาพการคัดขนาด ของพันธุ์ทุลเกล้า ที่ระดับความเร็วสายพาน 4 ระดับและมุมเอียงของสายพาน 3 มุม พบว่าความเร็วสายพานเพิ่มขึ้นสมรรถนะและความผิดพลาดในการคัดขนาดเพิ่มขึ้น ในทุกมุมเอียงสายพาน เมื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดพบว่าที่มุมเอียง 75 องศา ความเร็วสายพาน 7 m/min มีค่าน้อยที่สุด แต่สมรรถนะในการคัดขนาดก็น้อยไปด้วย เมื่อพิจารณาที่ความเร็วสายพานที่สูงขึ้นพบว่าที่ความเร็วรอบ 22 m/min เป็นความเร็วที่คัดขนาดแล้วได้สมรรถนะที่สูงและไม่เกิดความเสียหายแก่ผลชมพูมากนัก ทั้งยังให้ประสิทธิภาพในการคัดขนาดที่สูงอยู่ เมื่อเปรียบเทียบที่ความเร็วนี้ในทุกมุมแล้ว พบว่าที่มุม 75 องศาให้ค่าความผิดพลาดในการคัดขนาดน้อยที่สุด คือ 15.16% และสมรรถนะในการคัดขนาดเท่ากับ 471.83 kg/hr. จึงเลือกมุมเอียงและความเร็วสายพานดังกล่าวสำหรับคัดขนาดชมพูพันธุ์ทุลเกล้า

สำหรับพันธุ์ทับทิมจันทร์แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดในการคัดขนาด และประสิทธิภาพการคัดขนาดต่อการเปลี่ยนแปลงของความเร็วสายพานและมุมเอียงสายพาน ในตารางภาคผนวกที่ 4-6 ปรากฏว่า มุมเอียงและความเร็วสายพานมีอิทธิพลต่อ  $\overline{C_R}$  และ  $E_w$  อย่างมีนัยสำคัญ (prob < 0.05) ตารางที่ 7-9 แสดงค่าเฉลี่ยของสมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดในการคัดขนาด และประสิทธิภาพการคัดขนาด ปรากฏว่าเมื่อความเร็วสายพานเพิ่มขึ้นความผิดพลาดในการคัดขนาดจะเพิ่มขึ้นไปด้วยเมื่อพิจารณาทั้ง 3 มุมพบว่าที่มุมเอียง 80 องศา ความเร็วสายพาน 22 m/min มีความผิดพลาดน้อยที่สุด เช่นเดียวกับประสิทธิภาพในการคัดขนาดพบว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการคัดขนาดลดลง ส่วนสมรรถนะในการคัดขนาดที่ระดับความเร็วสายพานและที่มุมเอียงต่างๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ดังนั้นจึงเลือกมุมเอียงสายพานและความเร็วสายพานที่ทำให้ได้ค่า  $\overline{C_R}$  น้อยที่สุด และค่า  $E_w$  มากที่สุด คือที่มุมเอียง 80 องศา และความเร็วสายพาน 22 m/min จะได้  $Q$  เท่ากับ 609.13 kg/hr,  $\overline{C_R}$  เท่ากับ 14.46% และได้  $E_w$  เท่ากับ 85.54%

และตารางภาคผนวกที่ 7-9 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดในการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ต่อการเปลี่ยนแปลงของความเร็วสายพานและมุมเอียงสายพานของพันธุ์ทองสามสี พบว่ามุมเอียงสายพานและความเร็วสายพานมีอิทธิพลต่อ  $Q$ ,  $\overline{C_R}$  และ  $E_w$  อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5% จากตารางที่ 10-11 พบว่า เมื่อความเร็วสายพานเพิ่มขึ้น ค่า  $Q$  เพิ่มขึ้นในทุกมุมเอียงสายพาน เช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

ในการคัดขนาด และที่มุม 85 องศาจะมีค่า  $\overline{C_R}$  น้อยที่สุด ที่ระดับความเร็วสายพาน 22 m/min และได้ Q ที่สูง ดังนั้นจะได้ Q เท่ากับ 662.03 kg/hr,  $\overline{C_R}$  เท่ากับ 12.96% และได้  $E_w$  เท่ากับ 88.26%

### ผลการทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียง

จากการทดสอบเครื่องคัดขนาดในช่วงแรก โดยทำการป้อนผลชมพูเข้าเครื่องคัดขนาดด้วยมือ พบว่าที่ความเร็วสายพานเพิ่มขึ้นมีอัตราการป้อนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย อันเนื่องมาจากความเมื่อยล้าของผู้ทดสอบจึงทำให้การป้อนลดลง จึงทำการป้อนด้วยสายพานเพื่อที่จะทำให้การป้อนผลชมพูเข้าสู่สายพานมีความคงที่มากขึ้น โดยมุมเอียงสายพานและความเร็วสายพานของเครื่องคัดขนาดจะตั้งเป็นค่าคงที่ไว้ ซึ่งค่าดังกล่าวมาจากการทดสอบเครื่องคัดขนาดในหัวข้อด้านบน มาทดสอบในครั้งนี้ ได้แก่

พันธุ์ทุลเกล้าทดสอบที่มุมเอียงสายพาน 75 องศา ความเร็วสายพาน 22 m/min

พันธุ์ทับทิมจันทร์ทดสอบที่มุมเอียงสายพาน 80 องศา ความเร็วสายพาน 22 m/min

พันธุ์ทองสามสีทดสอบที่มุมเอียงสายพาน 85 องศา ความเร็วสายพาน 22 m/min

และแปรผันกับความเร็วสายพานลำเลียง 3 ระดับ คือ 11, 21, 31 และ 31 m/min (ป้อน 2 คน)

### ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสมรรถนะการคัดขนาด และความผิดพลาดในการคัดขนาดพันธุ์ทุลเกล้า

ความเร็วสายพาน (m/min)	Q (kg/hr)	$\overline{C_R}$ (%)	$E_w$ (%)
11	265.46 ± 11.81 <sup>a</sup>	16.30 ± 2.88 <sup>a</sup>	84.06 ± 2.76 <sup>a</sup>
21	313.13 ± 10.73 <sup>b</sup>	17.91 ± 4.48 <sup>a</sup>	78.76 ± 8.16 <sup>a</sup>
31	342.44 ± 16.41 <sup>c</sup>	19.90 ± 1.51 <sup>a</sup>	79.90 ± 1.47 <sup>a</sup>
31 (ป้อน 2 คน)	602.09 ± 25.01 <sup>d</sup>	19.36 ± 3.33 <sup>a</sup>	80.70 ± 3.25 <sup>a</sup>

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

2. ตัวเลขหลังเครื่องหมายบวกลบ หมายถึงค่า SD

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสมรรถนะการคัดขนาด และความผิดพลาดในการคัดขนาด พันธุ์ทับทิมจันทร์

ความเร็วสายพาน (m/min)	Q (kg/hr)	$\overline{C}_R$ (%)	$E_w$ (%)
11	458.00 ± 24.16 <sup>a</sup>	17.11 ± 6.75 <sup>a</sup>	83.39 ± 6.02 <sup>b</sup>
21	547.80 ± 21.89 <sup>b</sup>	19.39 ± 3.50 <sup>ab</sup>	80.61 ± 3.50 <sup>b</sup>
31	548.33 ± 11.75 <sup>b</sup>	26.71 ± 6.05 <sup>b</sup>	72.21 ± 7.71 <sup>a</sup>
31 (ป้อน 2 คน)	1084.53 ± 49.98 <sup>c</sup>	22.35 ± 4.44 <sup>ab</sup>	78.14 ± 3.88 <sup>ab</sup>

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

2. ตัวเลขหลังเครื่องหมายบวก หมายถึงค่า SD

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสมรรถนะการคัดขนาด และความผิดพลาดในการคัดขนาด พันธุ์ทองสามสี

ความเร็วสายพาน (m/min)	Q (kg/hr)	$\overline{C}_R$ (%)	$E_w$ (%)
11	488.61 ± 14.39 <sup>a</sup>	19.43 ± 3.33 <sup>a</sup>	80.57 ± 3.33 <sup>a</sup>
21	581.39 ± 23.74 <sup>b</sup>	21.24 ± 3.34 <sup>a</sup>	78.74 ± 3.28 <sup>a</sup>
31	605.85 ± 14.27 <sup>b</sup>	23.18 ± 2.62 <sup>a</sup>	76.82 ± 2.62 <sup>a</sup>
31 (ป้อน 2 คน)	1149.67 ± 56.13 <sup>c</sup>	21.35 ± 2.67 <sup>a</sup>	78.58 ± 2.63 <sup>a</sup>

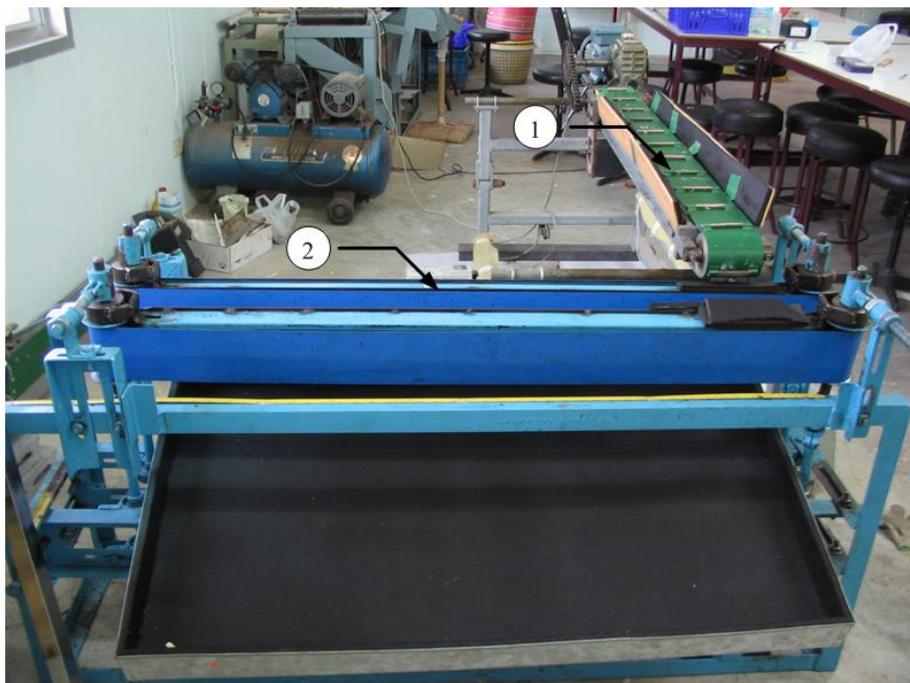
หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DMRT ที่ระดับนัยสำคัญ 5%

2. ตัวเลขหลังเครื่องหมายบวก หมายถึงค่า SD

ผลการทดสอบของพันธุ์ทุลเกล้าแสดงในตาราง 22-25 ปรากฏว่าเมื่อความเร็วสายพาน ลำเลียงเพิ่มมากขึ้นสมรรถนะในการคัดขนาดจะเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดและประสิทธิภาพในการคัดขนาดที่ระดับความเร็วสายพานต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5% จากตารางที่ 25 พบว่าที่ความเร็วสายพาน 31 m/min เมื่อป้อนชมพูเข้าสู่สายพาน 2 คนจะทำให้ได้  $Q$  สูงที่สุด คือ 602.09 kg/hr,  $\overline{C_R}$  เท่ากับ 19.36% และ  $E_w$  เท่ากับ 80.70% แต่สำหรับการป้อนชมพูโดยใช้คนเพียงคนเดียวพบว่าที่ความเร็วสายพาน 21 m/min จะให้ค่า  $\overline{C_R}$  ที่ต่ำและยังค่า  $Q$  ที่สูงอยู่ คือ  $Q$  เท่ากับ 313.13 kg/hr,  $\overline{C_R}$  เท่ากับ 17.19% และ  $E_w$  เท่ากับ 78.76%

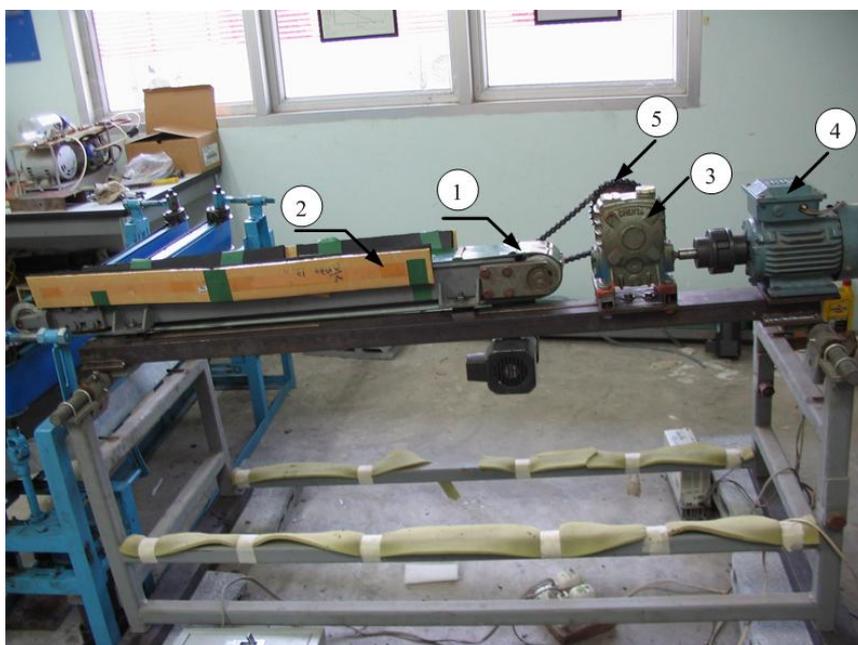
พันธุ์ทับทิมจันทร์ผลการทดสอบแสดงในตาราง 26-29 ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับพันธุ์ทุลเกล้า คือการป้อนชมพู 2 คนที่ความเร็วรอบ 31 m/min จะทำให้ได้ค่า  $Q$  สูงที่สุด เมื่อป้อนเพียงคนเดียวพบว่าที่ความเร็วรอบสายพาน 21 และ 31 m/min ค่า  $Q$  ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นความเร็วสายพานที่เหมาะสมในการลำเลียงชมพูเท่ากับ 21 m/min (ป้อนคนเดียว) จะทำให้ได้ค่า  $Q$ ,  $\overline{C_R}$  และ  $E_w$  เท่ากับ 547.80 kg/hr, 19.39% และ 80.16% ตามลำดับ และความเร็วรอบสายพานที่ให้  $Q$  สูงสุด คือ 31 m/min โดยป้อน 2 คน จะได้  $Q$ ,  $\overline{C_R}$  และ  $E_w$  เท่ากับ 1084.53 kg/hr, 22.35% และ 78.14% ตามลำดับ

ผลการทดสอบของพันธุ์ทองสามสีพบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับพันธุ์ทุลเกล้าและพันธุ์ทับทิมจันทร์ คือที่ความเร็วรอบสายพาน 21 m/min (ป้อน 1 คน) จะได้ค่า  $Q$  เท่ากับ 581.39 kg/hr,  $\overline{C_R}$  เท่ากับ 21.24% และ  $E_w$  เท่ากับ 78.74% และป้อน 2 คนที่ความเร็วสายพาน 31 m/min จะให้ค่า  $Q$ ,  $\overline{C_R}$  และ  $E_w$  เท่ากับ 581.39 kg/hr, 21.24% และ 78.74% ตามลำดับ



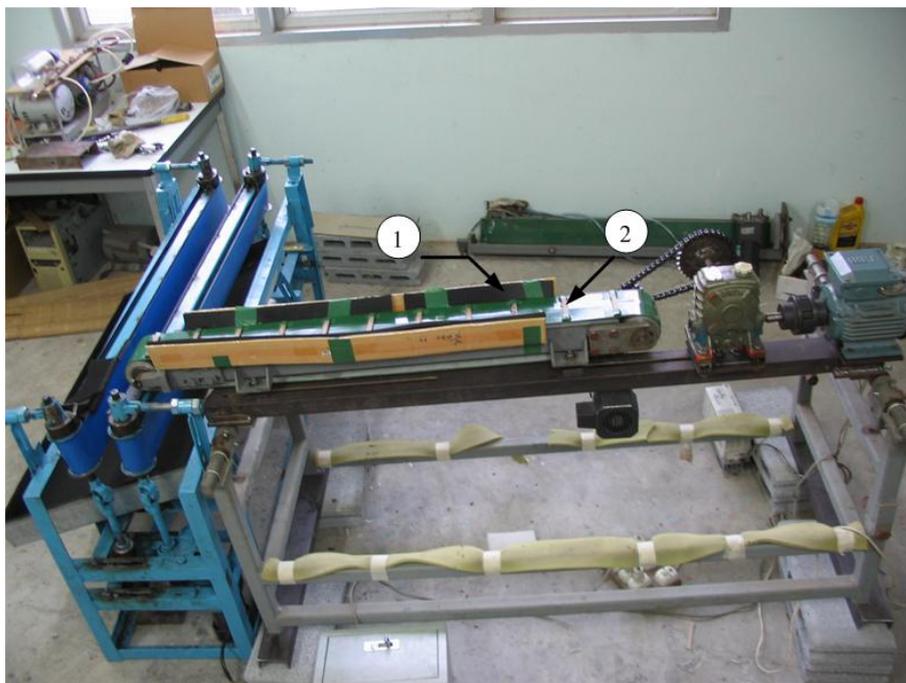
(1 = สายพานลำเลียง (ดัดแปลงมาจากเครื่องคัดขนาดส้มโอ), 2 = เครื่องคัดขนาดชมพู)

ภาพที่ 17 สายพานลำเลียง (ดัดแปลงมาจากเครื่องคัดขนาดส้มโอ) และเครื่องคัดขนาดชมพู



(1 = สายพานลำเลียง, 2 = ราวกั้น, 3 = เกียร์ทด, 4 = มอเตอร์, 5 = เฝือกขั้บสายพาน)

ภาพที่ 18 ส่วนประกอบสายพานลำเลียงผลชมพู (ดัดแปลงมาจากเครื่องคัดขนาดส้มโอ)



ภาพที่ 19 ราวกันบูด้วยฟองน้ำและบนสายพานแบ่งเป็นช่องๆ

#### การทดสอบความเสียหายจากการัดขนาดผลชมพู

จากการทดสอบเครื่องัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงจะทำให้ทราบสภาวะที่เหมาะสมสำหรับใช้ในทดสอบหาความเสียหายจากการใช้เครื่องัดขนาดกับสายพานลำเลียง คือ ความเร็วสายพานลำเลียงเท่ากับ 21 m/min (ป้อน 1 คน) และการป้อน 2 คนที่ความเร็วสายพาน 31 m/min สำหรับทั้ง 3 พันธุ์

ตารางที่ 16 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยจากการัดขนาดของพันธุ์ทุลเกล้า

ความเร็วสายพาน (m/min)	ขนาด	% ความเสียหายเฉลี่ย			
		ชำ	แตก	ขาด	ถลอก
21	S	0.00 ± 0.00	3.67 ± 11.60	3.18 ± 7.83	1.84 ± 1.17
	M	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	3.01 ± 9.52	1.25 ± 0.57
	L	0.08 ± 0.24	1.55 ± 4.89	9.76 ± 13.07	1.81 ± 1.11
31 (ป้อน 2 คน)	S	0.31 ± 0.63	0.00 ± 0.00	6.07 ± 10.33	1.06 ± 0.48
	M	0.05 ± 0.11	0.00 ± 0.00	15.19 ± 7.48	1.82 ± 1.51
	L	0.14 ± 0.29	3.36 ± 7.85	18.60 ± 1.62	2.29 ± 1.14

ตารางที่ 17 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยจากการคัดขนาดของพันธุ์ทับทิมจันทร์

ความเร็วสายพาน (m/min)	ขนาด	% ความเสียหายเฉลี่ย			
		ซ้า	แตก	บาด	ถลอก
21	S	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	12.19 ± 12.99	1.07 ± 0.71
	M	0.03 ± 0.07	0.00 ± 0.00	26.00 ± 19.24	1.38 ± 0.57
	L	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	12.19 ± 12.99	1.07 ± 0.71
31 (ป้อน 2 คน)	S	0.02 ± 0.07	0.00 ± 0.00	13.96 ± 8.80	0.86 ± 0.88
	M	0.04 ± 0.08	0.00 ± 0.00	21.37 ± 16.03	0.66 ± 0.65
	L	0.15 ± 0.30	0.00 ± 0.00	9.22 ± 7.64	0.86 ± 0.49

ตารางที่ 18 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยจากการคัดขนาดของพันธุ์ทองสามสี

ความเร็วสายพาน (m/min)	ขนาด	% ความเสียหายเฉลี่ย			
		ซ้า	แตก	บาด	ถลอก
21	S	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	14.92 ± 22.52	0.47 ± 0.47
	M	0.03 ± 0.11	0.00 ± 0.00	22.29 ± 18.72	0.32 ± 0.31
	L	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	15.00 ± 15.22	0.41 ± 0.48
31 (ป้อน 2 คน)	S	0.03 ± 0.10	0.00 ± 0.00	10.44 ± 8.55	0.45 ± 0.47
	M	0.03 ± 0.10	0.00 ± 0.00	17.41 ± 13.04	0.18 ± 0.21
	L	0.01 ± 0.04	0.00 ± 0.00	13.80 ± 9.33	0.21 ± 0.22

การตรวจสอบความเสียหายที่เกิดจากการคัดขนาด ได้แบ่งประเภทความเสียหายออกเป็น 4 ประเภท คือ รอยซ้า, รอยแตก, รอยบาด และรอยถลอก จากการทดสอบพบว่าประเภทของตำหนิที่พบมากที่สุดคือรอยบาด  $\cong 5.32\%$  เมื่อคัดที่ความเร็วสายพานลำเลียง 21 m/min และ ที่ความเร็วสายพาน 31 m/min พบประมาณ 13.28% ในพันธุ์ทุลเกล้า เช่นเดียวกับพันธุ์ทับทิมจันทร์และทองสามสีรอยบาดพบมากที่สุดโดยที่ความเร็วสายพานลำเลียง 21 m/min เฉลี่ยประมาณ 16.79% และ 17.40 ตามลำดับ และที่ความเร็วสายพาน 31 m/min เฉลี่ย 14.85% และ 13.88% ตามลำดับ รอยบาดที่พบมากที่สุดเนื่องจากเมื่อผลชมพูตกจากสายพานลำเลียงมายังเครื่องคัดมีระยะที่สูงเกินไปจึงกระแทกกับสายพานทำให้เกิดตำหนิขึ้น โดยพันธุ์ทุลเกล้าที่พบความเสียหายมากนั้น เพราะว่ามี ความแน่นเนื้อตำ จึงทำให้ผลแตกและเสียหายง่าย

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดในการคัดขนาด และสมรรถนะการคัดขนาด ระหว่างการคัดขนาดด้วยแรงงาน, เครื่องคัดขนาด และเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงของพันธุ์ทองสามสี

วิธีการคัดขนาด	ความผิดพลาดในการคัดขนาด (%)	สมรรถนะในการคัดขนาด (kg/hr)
คัดด้วยแรงงาน	53.97 ± 10.23	211.1 ± 0.98
เครื่องคัดขนาด	12.96 ± 4.24	662.03 ± 31.89
เครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียง	21.35 ± 2.67	1149.67 ± 56.13

ในปัจจุบันการคัดขนาดชมพูใช้แรงงานคนในขนาด จากตารางที่ 19 เปรียบเทียบการคัดขนาดด้วยแรงงานและเครื่องคัดขนาด โดยแรงงานดังกล่าวนี้เป็นแรงงานที่มีความชำนาญในการคัดขนาดผลชมพูเป็นอย่างดี ความผิดพลาดในการคัดขนาดของแรงงานหาได้จากการสุ่มเลือกผลชมพูที่แรงงานเป็นผู้จำแนกออกเป็นขนาดต่างๆมา จากนั้นตรวจสอบขนาดเทียบกับขนาดที่เรากำหนดไว้ พบว่าการคัดขนาดด้วยเครื่องคัดขนาดสามารถคัดขนาดได้เร็วกว่าใช้คนคัดและมีความผิดพลาดในการคัดขนาดน้อยกว่า คือเครื่องสามารถคัดได้ถึง 1149.67 kg/hr และคัดขนาดผิดเพียง 21.35% ในขณะที่การใช้คนคัดขนาดจะสามารถคัดได้ 211.1 kg/hr และคัดขนาดผิดพลาดถึง 53.97%

## การวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

### ตารางที่ 20 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องคัดขนาดผลชมพู

รายการวัสดุ	จำนวนเงิน
1. มอเตอร์ไฟฟ้า 220 V ½ Hp	2,300
2. ชุดเกียร์ทด อัตราทด 18:1	1,500
3. เหล็กฉาก 1 ½ "×1 ½ "	1,700
4. ตั๊กตา ¾ "	1,900
5. ตู้ควบคุม (พร้อมอุปกรณ์)	2,600
6. ชุดเฟือง	1,700
7. สายพานแบน	2,000
8. โซ่ห้อย	2,500
9. ฟองน้ำ	800
10. ค่าแรงงานและประกอบเครื่อง	8,000
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่องคัดขนาด	25,000

#### 1. ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่อง คำนวณได้จากต้นทุนคงที่ (Fixed cost : FC) และต้นทุนแปรผัน (Variable cost : VC)

ต้นทุนคงที่ (Fixed cost: FC)

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการคัดขนาดผลชมพู/กิโลกรัมสามารถหาได้จาก

$$AC = FC + VC$$

ค่าเสื่อมราคา (คิด โดยวิธีตรง)  $D = \frac{(P - S)}{L}$

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน  $R = \frac{(P+S)}{2} \times i$

โดยที่

P = ราคาซื้อหรือสร้างเครื่องคัดขนาดผลไม้ม (บาท)

L = อายุการใช้งานเครื่องคัดขนาด  $\approx 10$  ปี

S = ราคาเครื่องเมื่อครบ 10 ปี =  $0.1 \times P$  (บาท)

D = ค่าเสื่อมราคา/ปี (บาท/ปี)

R = ค่าเสียโอกาสในการลงทุน/ปี (บาท/ปี)

i = อัตราดอกเบี้ย  $\approx 7.50\%$  ต่อปี

กำหนดให้ ราคาเครื่องคัดขนาดชมพู (P) มีราคา 25000 บาท (ตารางที่ 5)  
มูลค่าซากเครื่องมือเมื่อสิ้นสุดปีที่ 10 คงเหลือ 10% ของราคาเครื่อง  
อัตราดอกเบี้ยต่อปี เท่ากับ 7.50% ต่อปี (17 เมษายน 2549 ธนาคารกรุงเทพ)

ดังนั้น ราคาซากเครื่อง =  $\left(\frac{10}{100}\right) \times 25000 = 2500$  บาท

ค่าเสื่อมราคา (D) =  $\frac{(25000 - 2500)}{10} = 2250$  บาท/ปี

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R) =  $\left(\frac{25000 + 2250}{2}\right) \times \left(\frac{7.50}{100}\right) = 1021.875$  บาท/ปี

รวมต้นทุนคงที่ต่อปี (FC) =  $2,250 + 1,021.875 = 3,271.875$  บาท/ปี

ต้นทุนแปรผัน (Variable cost: VC)

ค่าบำรุงรักษา (Maintenance) คิดเฉลี่ยประมาณวันละ 5 บาท ทำงาน 200 วัน ค่าบำรุงรักษา  
เท่ากับ  $5 \times 200 = 1,000$  บาทต่อปี

ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท สิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.2 หน่วย/ชั่วโมง ใน 1 ปีทำงาน 200 วัน  
อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 190 บาท ทำงาน 1 คน

ดังนั้น  $VC =$  ค่าจ้างแรงงาน (W) + ค่าไฟฟ้า (E) + ค่าบำรุงรักษา (M)

$$\text{ค่าจ้างแรงงาน (W)} = 1 \times 190 \times 200 = 38,000 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า (E)} = 0.2 \times 3 \times 8 \times 200 = 960 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่าบำรุงรักษา (M)} = 5 \times 200 = 1,000 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมต้นทุนแปรผัน (VC)} = 38,000 + 960 + 1,000 = 39,960 \text{ บาท/ปี}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC)} &= \text{ต้นทุนคงที่ (FC)} + \text{ต้นทุนแปรผัน (VC)} \\ &= 3,271.857 + 39,960 \\ &= 43,231.857 \approx 43,232 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

## 2. จุดคุ้มทุนของเครื่องคัดขนาดชมพู

กำหนดให้ค่าจ้างเครื่องคัดขนาดชมพูเท่ากับ 0.1 บาทต่อกิโลกรัม ใน 1 ปีเครื่องทำงาน 200 วัน วันละ 8 ชั่วโมง ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 580 kg/hr ดังนั้นเครื่องสามารถทำงานได้ 928,000 กก./ปี

ดังนั้นจุดคุ้มทุนของเครื่องคัดขนาดชมพูพิจารณาจาก

$$N^* = \frac{F}{p - v}$$

โดยที่

$N^*$	=	ปริมาณผลิตที่จุดคุ้มทุนพอดี
$F$	=	ต้นทุนคงที่
$p$	=	ราคาขายต่อหน่วย
$v$	=	ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

$$\therefore N^* = \frac{3,271.857}{\left(0.1 - \left(\frac{39,960}{928,000}\right)\right)} = 57,461.83 \text{ กิโลกรัม/ปี} \cong 57.46 \text{ ตัน/ปี}$$

### 3. ระยะเวลาคืนทุน

จากรายได้ค่ารับจ้างใช้เครื่องคัดขนาดชมพูเท่ากับ 0.1 บาทต่อกิโลกรัม ใน 1 ปีเครื่องทำงาน 200 วัน วันละ 8 ชั่วโมง ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 580 kg/hr ดังนั้นเครื่องสามารถทำงานได้ 928,000 กก./ปี ดังนั้นจึงมีรายได้  $0.1 \times 928,000 = 92,800$  บาท/ปี การคำนวณระยะคืนทุนหาได้จาก

$$PBP = \frac{MC}{P}$$

$$P = R - AC$$

โดยที่

PBP	=	ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)
MC	=	ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (บาท)
P	=	กำไร (บาท/ปี)
R	=	รายได้ (บาท/ปี)
AC	=	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท/ปี)

$$\therefore \text{กำไร (P)} = 92,800 - 43,232 = 49,568 \text{ บาท/ปี}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (MC)} / \text{กำไร (P)} \\ &= 25,000 / 49,568 \\ &= 0.5 \text{ ปี} \end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม การสร้างเครื่องคัดขนาดชมพูราคา 25,000 บาท และรับจ้างคัดขนาดที่ราคา 0.1 บาท/กิโลกรัม พบว่า

จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 57,461.83 กิโลกรัม/ปี

ระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 5 เดือน

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากการออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องคัดขนาดชมพูแบบสายพานบานออก โดยมี ปัจจัยควบคุมได้แก่ ความเร็วรอบของสายพาน (7, 15, 22 และ 29 m/min) มุมเอียงของสายพาน (75, 80 และ 85 องศา) ในการคัดขนาดชมพูสามพันธุ์คือ พันธุ์ทูลเกล้า, พันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์ทองสามสี 3 ขนาดคือ เล็ก กลาง และใหญ่ ต่อตัวแปรการทำงานของเครื่อง คือ สมรรถนะการคัดขนาด (Q) ประสิทธิภาพการคัดขนาด ( $E_w$ ) และอัตราส่วนเจือปน ( $\overline{C_R}$ ) พบว่าความเร็วรอบของสายพาน มุมเอียงของสายพาน มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความสำคัญ 95% ต่อ Q,  $E_w$ ,  $\overline{C_R}$  ในทุก ซึ่งปัจจัยควบคุมที่เหมาะสมต่อการคัดขนาดชมพูคือ

1. ที่ความเร็วรอบสายพานคัดขนาดเท่ากับ 22 m/min สำหรับทุกพันธุ์
2. มุมเอียงของสายพานที่เหมาะสมสำหรับชมพูพันธุ์ทูลเกล้า, ทับทิมจันทร์ และทองสามสี คือ 75, 80 และ 85 องศา ตามลำดับ
3. โดยที่ค่าสมรรถนะการคัดขนาด (Q) สำหรับพันธุ์ทูลเกล้าเท่ากับ  $471.83 \pm 28.45$  kg/hr. ความผิดพลาดในการคัดขนาด ( $\overline{C_R}$ ) เท่ากับ  $15.16 \pm 1.15$  % และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ( $E_w$ ) เท่ากับ  $84.84 \pm 1.15$  %
4. สำหรับพันธุ์ทับทิมจันทร์ สมรรถนะการคัดขนาด (Q) เท่ากับ  $609.13 \pm 56.87$  kg/hr. ความผิดพลาดในการคัดขนาด ( $\overline{C_R}$ ) เท่ากับ  $14.46 \pm 2.16$  % และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ( $E_w$ ) เท่ากับ  $85.54 \pm 2.16$  %
5. และพันธุ์ทองสามสีมีค่าสมรรถนะการคัดขนาด (Q) เท่ากับ  $727.10 \pm 45.52$  kg/hr. ความผิดพลาดในการคัดขนาด ( $\overline{C_R}$ ) เท่ากับ  $12.96 \pm 4.24$  % และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ( $E_w$ ) เท่ากับ  $88.26 \pm 4.14$  %
6. ประเภทความเสียหายที่พบมากที่สุดคือรอยขาด ร่องลงมาคือรอยถลอก โดยพบมากในพันธุ์ทูลเกล้า เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่บอบบางที่สุด

7. ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องคัดขนาดชมพูคือ 25,000 บาท จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 5,7461.83 กิโลกรัม/ปี ระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 5 เดือน

#### ข้อเสนอแนะ

1. แนวทางการพัฒนาควรมีกลไกที่ปรับมุมได้ง่ายเพื่อความสะดวกและรวดเร็ว
2. ควรเปลี่ยนชนิดวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้าง เพื่อให้เครื่องคัดขนาดมีน้ำหนักเบาขึ้น
3. ความกว้างของสายพานเครื่องคัดขนาดควรมีขนาดที่ลดลงเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้น
4. การป้อนผลชมพูด้วยสายพานลำเลียงควรจะให้ผลชมพูหล่นในระยะที่ไม่สูงเกินไปเพื่อลดความเสียหาย
5. ลูกกลิ้งของสายพานลำเลียงควรมีขนาดที่ลดลงเพื่อลดระยะที่ผลชมพูจะตกลงไปสู่สายพานคัดขนาดและลดความเสียหาย

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ทีมงานเฉพาะกิจ. 2546. คู่มือการทำสวนชมพู่อย่างมืออาชีพ. บริษัท นาคา อินเตอร์มีเดีย จำกัด, กรุงเทพฯ.
- นิก ชากังราว. 2542. ทองสามสีชมพูยักษ์นอกฤดูเงินล้าน. มติชน, กรุงเทพฯ.
- บุญญศักดิ์ ใจจงกิจ. 2524. เครื่องกลขนถ่าย ระบบขนถ่ายต่อเนื่อง. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- บุญยวิช ศิริสวัสดิ์. 2549. การพัฒนาเครื่องคัดขนาดผลส้มโอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- บัณฑิต จริโมภาส, รศ.ดร. 2549. เครื่องจักรกลคัดแยกหลังการเก็บเกี่ยว บรจุภัณฑ์ และเรือนบรรจุผลไม้. ครั้งที่ 1. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟันนี้ พบพิชชิง, กรุงเทพฯ.
- บัณฑิต จริโมภาส, รศ.ดร. 2546. สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม.
- บัณฑิต จริโมภาส, รศ.ดร., เกริก คงวัฒนานนท์ และ สุทธิชัย ชาญวิจิต. 2531. การทดสอบเครื่องคัดขนาดส้มแบบตะแกรงทรงกระบอก, น. 88-98. ใน สัมมนาวิชาการเรื่อง เครื่องมือและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- บัณฑิต จริโมภาส, รศ.ดร., พันธุ์ศักดิ์ ศิริรัชตพงษ์, ธนิตย์ ชัยยะบุญธนิตย์ และ สุทธิพร เนียมหอม. 2534. เครื่องคัดขนาดมะม่วงระบบแปรรูปภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- ปิยดา สิงห์ตระกูล และ อภิชาติ คณิตชัยเดชา. 2547. โครงการวิศวกรรมเรื่อง เครื่องคัดแยกขนาดชมพู่. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

เปรมปรี ฌ.สงขลา. มปป. การลงทุนทำสวนชมพู่อย่างมืออาชีพ. เจริญรัฐการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

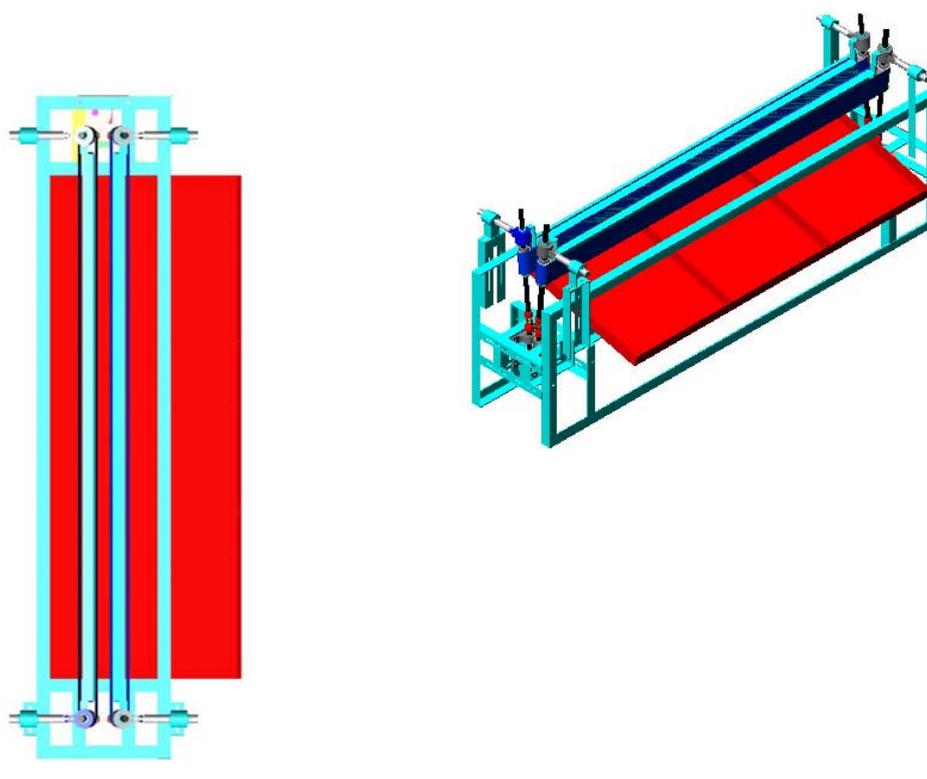
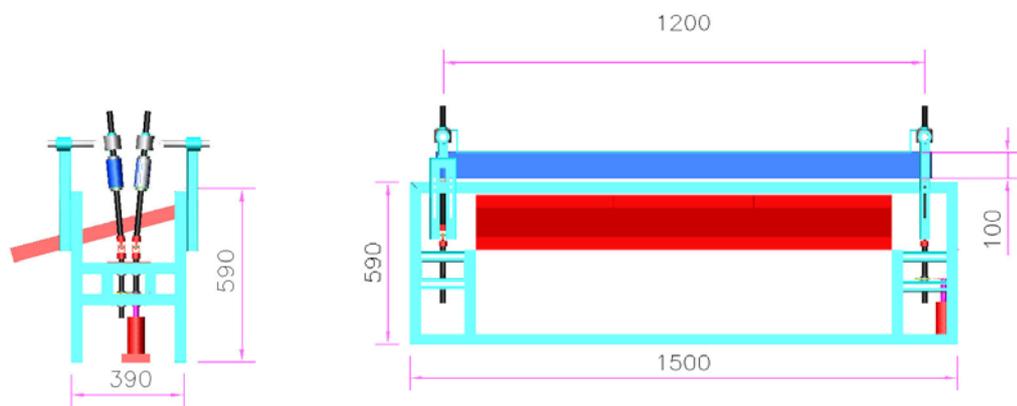
ไพบุลย์ เข้มเพื่อน. 2546. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน),  
กรุงเทพฯ.

Jarimopas B, P.Siriratchatapong, S. Sukharom, S. Srihawong and Y. Goto. 1988. Durian sizing machine. **Kasetsart J** (26): 65-74.

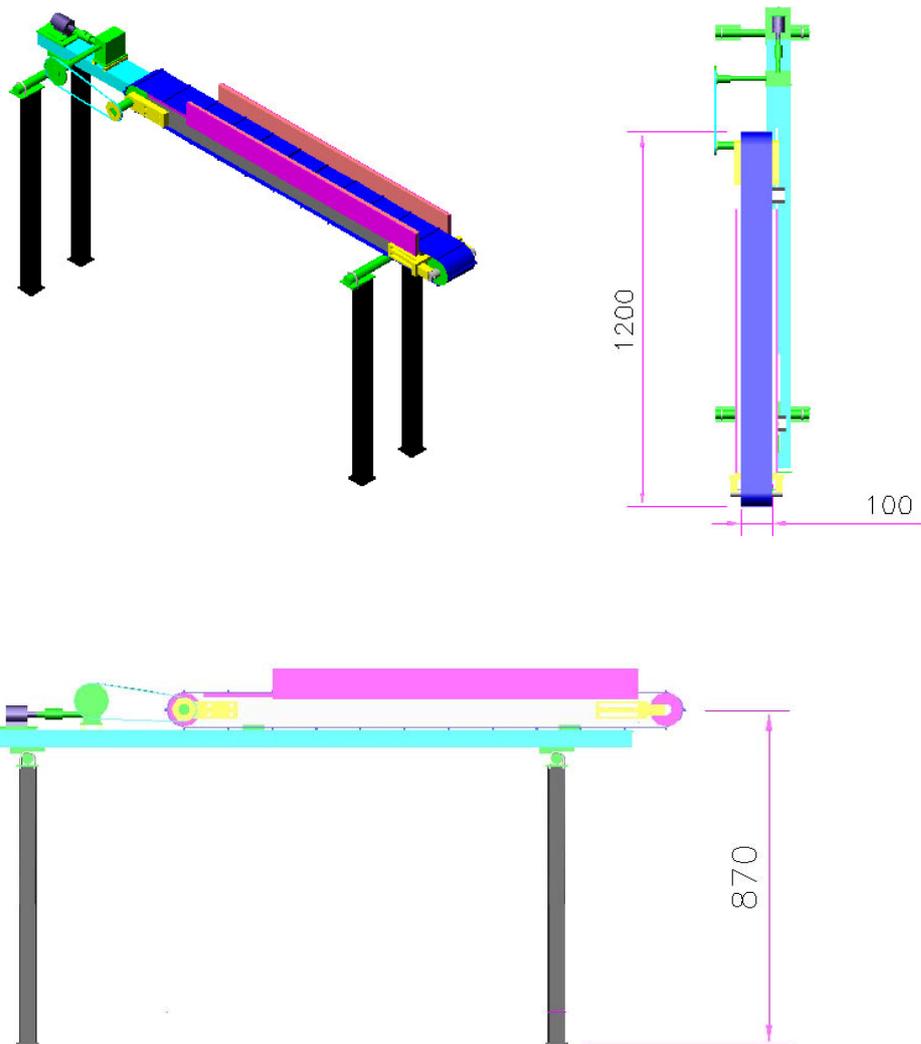
Peleg, K. 1985. **Produce Handling, Packaging and Distribution**. AVI Pub. Co. Inc, Westport.

**ภาคผนวก**

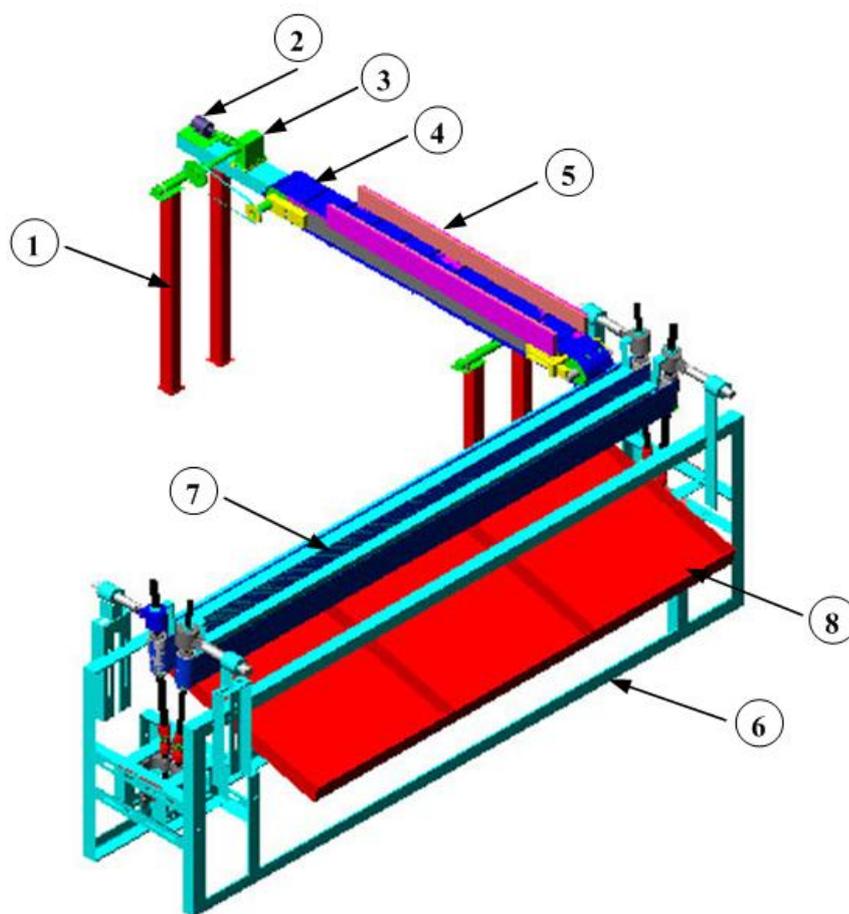
ภาคผนวก ก  
แบบเครื่องคัขนาดและสายพายลำเลียงผลชมพู



ภาพผนวกที่ ก1 ไตอะแกรมด้านต่าง ๆ ของเครื่องคัดขนาดชมพู



ภาพผนวกที่ ก2 ไคอะแกรมด้านต่าง ๆ ของสายพานลำเลียงผลชมพู่



1. โครงเครื่องสายพานลำเลียง
2. มอเตอร์ขับเคลื่อนสายพานลำเลียง
3. เกียร์ขับเคลื่อน
4. สายพานลำเลียงพร้อมช่องแบ่งสายพาน
5. แผ่นราวกัน
6. โครงเครื่องตัดขนาด
7. สายพานตัดขนาด
8. ถาดรับผลชมพู

ภาพผนวกที่ ก3 ไคอะแกรมสายพานลำเลียงผลชมพูและเครื่องตัดขนาด

ภาคผนวก ข  
การคำนวณและออกแบบ

## การคำนวณหาขนาดมอเตอร์

### การคำนวณ

#### 1. การหาปริมาณการขนถ่ายสูงสุด

หาได้จาก (บุญญศักดิ์, 2524)

$$I_{G_{\max}} = Q_{st_{\max}} \times G_{st} \quad (21)$$

เมื่อ

$$I_{G_{\max}} = \text{น้ำหนักวัสดุขนถ่ายต่อชั่วโมง, kN/hr}$$

$$Q_{st_{\max}} = \text{จำนวนชิ้นวัสดุขนถ่าย, ชิ้น/ชั่วโมง}$$

$$G_{st} = \text{น้ำหนักของชิ้นวัสดุแต่ละชิ้น, kN}$$

- ความเร็วสายพานสูงสุด = 12 รอบ/นาที สายพานที่ใช้มีขนาดยาว 2.55 m.

∴ ความเร็วสายพาน =  $12 \times 2.55 = 30.6 \text{ m/min}$  หรือ เท่ากับ  $0.51 \text{ m/s}$

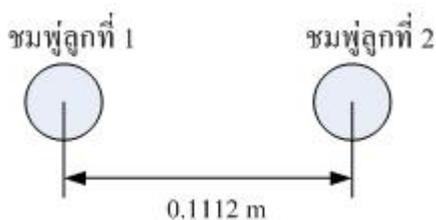
- ชมพู่ 1 ผล  $\approx 106.231 \text{ g.} \approx 1.042 \text{ N}$

$$Q_{st_{\max}} = \frac{3600 \times V}{l_{t_{\min}}} \quad (22)$$

เมื่อ

$$V = \text{ความเร็วของสายพาน, m/s}$$

$$l_{t_{\min}} = \text{ระยะห่างของผลไม้}$$



ภาพผนวกที่ ข1 ระยะห่างระหว่างผลชมพูในสายพาน

$$Q_{st_{max}} = \frac{3,600 \times 0.51}{0.1112}$$

$$= 16,510.79 \text{ ผล}$$

ฉะนั้น

$$I_{G_{max}} = Q_{st_{max}} \times G_{st}$$

$$I_{G_{max}} = 16,510.79 \bullet (1.042 \times 10^{-3} \text{ kN})$$

$$= 17.20 \text{ kN/hr}$$

ดังนั้นจะได้อัตราการขนถ่าย

$$= \frac{17.20 \times 1,000}{9.81} = 1,753.31 \text{ kg/hr}$$

## 2. การคำนวณความเร็วรอบมอเตอร์

เส้นผ่าศูนย์กลางของลูกกลิ้งขับสายพาน = 2'  $\approx$  0.051 m

$$\pi D = \pi (0.051 \text{ m})$$

$$= 0.160 \text{ m}$$

$$30.6 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0.160 \times \text{RPM}$$

$$\text{RPM} = 191.25 \text{ รอบ/นาที}$$

## 3. การหาค่าตั้งมอเตอร์

- สายพานเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.51 m/s
- สายพานกว้าง 20 cm = 0.2 m.

จากสูตร  $q_0 = 600B$  (23)

เมื่อ  $B =$  หน้ากว้างสายพาน

ดังนั้น

$$\begin{aligned} q_0 &= 600 \times 0.2 \\ &= 120 \text{ N/m} \end{aligned}$$

กำลังขับเคลื่อนสายพานเปล่า

$$P_c = q_0 (L + L_x) f_0 v \quad (24)$$

- ความยาวสายพานที่คัดขนาดเท่ากับ 1.12 m.

ดังนั้น

$$\begin{aligned} P_c &= \left( 120 \frac{\text{N}}{\text{m}} \right) (1.12 + 45) (0.03) \left( 0.51 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \\ &= 84.68 \text{ W} \end{aligned}$$

$$P_m = QI f_1 \quad (25)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} P_m &= \left( 0.487 \frac{\text{N}}{\text{s}} \right) (1.12 \text{ m}) (0.04) \\ &= 0.02 \end{aligned}$$

$$P_T = P_c + P_m \quad (26)$$

เมื่อ  $P_T =$  กำลังสำหรับสายพาน  
 $P_c =$  กำลังสำหรับสายพานเปล่า  
 $P_m =$  กำลังสำหรับการเคลื่อนที่วัสดุในแนวนอน

ดังนั้น

$$P_T = 84.68 + 0.02$$

$$= 84.7 \text{ W}$$

กำลังมอเตอร์ที่ต้องการ

ค่า  $P_T$  ที่ได้เป็นค่าที่ล้นซึ่งน้อยกว่ากำลังของมอเตอร์ต้นกำลังเนื่องจากการสูญเสียที่ระบบถ่ายกำลัง ถ้าให้ประสิทธิภาพเชิงกลของมอเตอร์ไฟฟ้า = 90% ดังนั้น

$$N = \frac{P_T}{0.9} \quad (27)$$

$$N = \frac{84.7}{0.9}$$

$$= 94.11 \text{ W}$$

ดังนั้นเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 100 W ในการทดสอบ

### การหามุมเอียงสายพาน

ในการหามุมเอียงของสายพานที่ใช้ในการคัดขนาดสามารถหาได้จาก profile ผลชมพู (ภาพผนวกที่ ข2) โดยวัด Max Diameter = D, X เป็นระยะ Diameter ที่สมนัยกับจุด Slope ของ Surface ชมพูที่เริ่มเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเมื่อรู้ X ก็รู้จุดเริ่มเปลี่ยน Slope

วิธีการคือ ลากเส้นแบ่งกึ่งกลางผล จากนั้นลากเส้น Slope ตัดกับเส้นแบ่งกึ่งกลางผล จะได้ a ฉะนั้นจึงหา  $h_1$  และ  $h_2$  ได้ ก็สามารถหา  $\alpha$  จากสมการ (28) ได้ และจะได้มุมเอียงสายพาน( $\theta$ ) จากสมการ (31)

### การคำนวณและออกแบบ

เมื่อ  $D = \text{Max diameter}$

$h_1 = \text{ระยะจาก max diameter ถึง จุดที่ Slope ตัดกับเส้นแบ่งกึ่งกลางผลที่จุด a}$

ดังนั้นมุมเอียงของสายพาน

$$\theta = 90 - \alpha \quad (28)$$

หรือ หาค่ามุมเอียงได้จากสมการ (5)

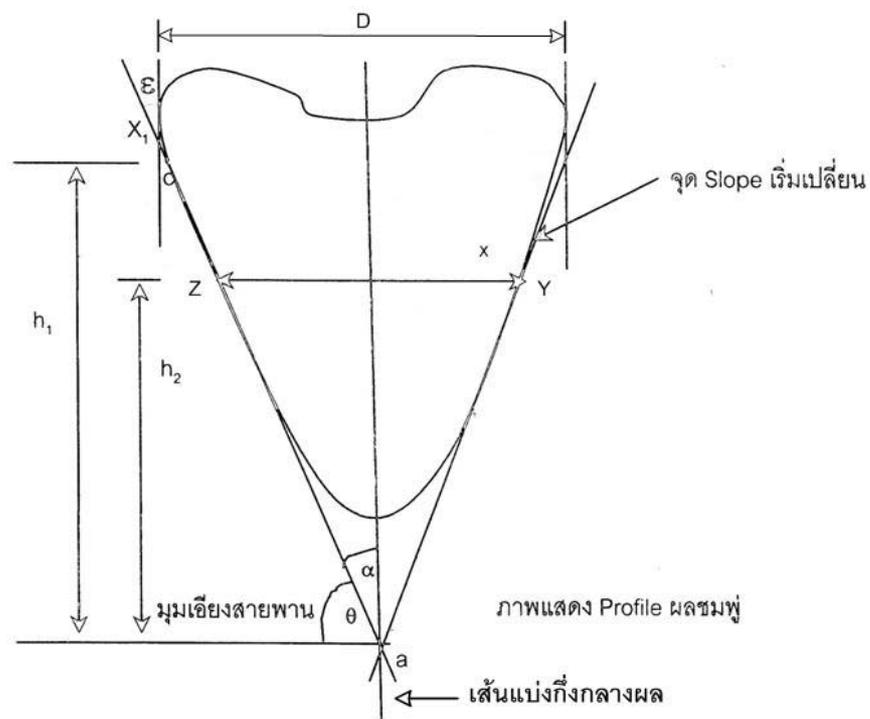
$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{2h_1}{D} \quad (29)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{2h_2}{X} \quad (30)$$

เมื่อ  $X$  = ระยะ Diameter สมนัยกับ Slope

$h_2$  = ระยะจาก  $X$  ถึง จุดที่ Slope ตัดกับเส้นแบ่งกึ่งกลางผล

ดังนั้นจะได้มุมเอียงสายพาน  $\theta = \left( \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right)$  (31)



ภาพผนวกที่ ข2 ลักษณะการหา Profile ผลชมพู

จากภาพภาคผนวกที่ 3

จะได้

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{2h_1}{D}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{2 \times 95}{60}$$

$$\theta_1 = 72.47 \text{ องศา}$$

และ

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{2h_2}{X}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{2 \times 77}{51}$$

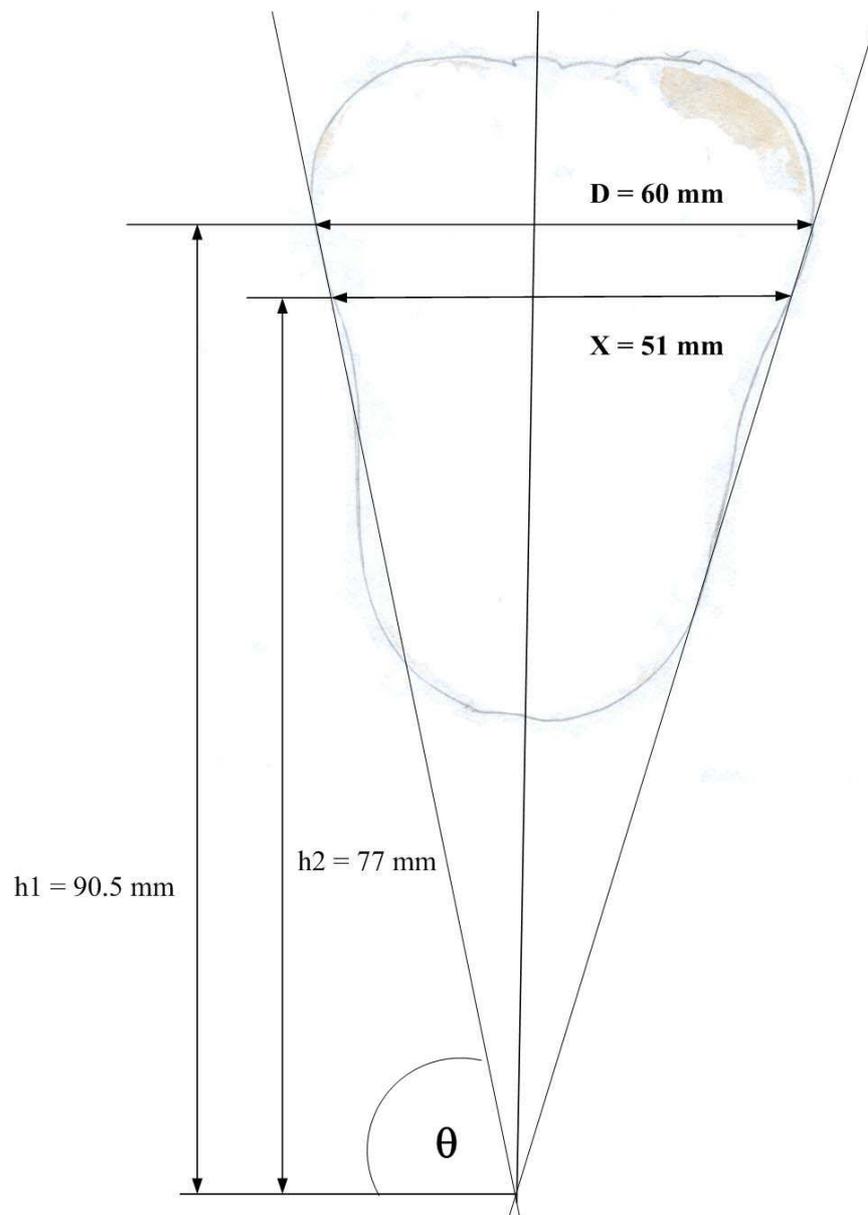
$$\theta_2 = 71.67 \text{ องศา}$$

ดังนั้นจะได้มุมเอียงสายพาน

$$\theta = \left( \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right)$$

$$\theta = \left( \frac{72.47 + 71.67}{2} \right)$$

$$\theta = 72.07 \text{ องศา}$$



ภาพผนวกที่ ข3 ภาพตัวอย่างการหามุมเอียงสายพาน

**ภาคผนวก ค**  
**ผลการทดสอบ**

ตารางผนวกที่ ค1 สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทุผลเกล้าที่มมูมเอียงสายพาน 75 องศา

ประเมินผลการคัดขนาด	ความเร็วรอบสายพาน (m/min)			
	7	15	22	29
Q (kg/hr)	376.55	385.43	497.52	500.04
	409.15	436.29	493.33	517.34
	370.08	404.83	441.92	494.99
	394.47	391.35	486.36	510.70
	376.81	407.22	440.04	523.77
Avg	385.41	405.02	471.83	509.37
SD	16.07	19.71	28.45	11.90
CV	4.17	4.87	6.03	2.34
$C_R$ (%)	5.53	12.77	16.08	13.47
	4.63	10.75	13.75	14.72
	12.68	6.06	16.38	8.66
	2.74	16.02	14.22	13.71
	7.60	14.19	15.37	12.70
Avg	6.64	11.96	15.16	12.65
SD	3.81	3.82	1.14	2.35
CV	57.34	31.95	7.55	18.55
$E_w$ (%)	94.47	87.23	83.92	86.53
	95.37	89.25	86.25	85.28
	87.32	93.94	83.62	91.34
	97.26	83.98	85.78	86.29
	92.40	85.81	84.63	87.30
Avg	93.36	88.04	84.84	87.35
SD	3.81	3.82	1.14	2.35
CV	4.08	4.34	1.35	2.69

ตารางผนวกที่ ค2 สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทุผลเกล้าที่มุ่มเอียงสายพาน 80 องศา

ประเมินผลการคัดขนาด	ความเร็วรอบสายพาน (m/min)			
	7	15	22	29
Q (kg/hr)	389.14	411.19	435.59	496.13
	380.00	393.16	448.20	490.27
	376.35	421.40	452.57	443.70
	363.73	455.32	429.37	470.15
	373.36	423.56	427.39	455.19
Avg	376.52	420.93	438.63	471.09
SD	9.29	22.67	11.26	22.35
CV	2.47	5.39	2.57	4.74
$C_R$ (%)	10.51	14.88	19.19	18.12
	15.86	14.47	14.08	22.61
	10.84	12.57	16.26	18.47
	8.29	7.96	23.75	23.29
	9.47	6.78	16.90	21.17
Avg	10.99	11.33	18.03	20.73
SD	2.90	3.74	3.68	2.36
CV	26.37	33.02	20.39	11.37
$E_w$ (%)	89.49	85.12	80.81	81.88
	84.14	85.53	85.92	77.39
	89.16	87.43	83.74	81.53
	91.71	92.04	76.25	76.71
	90.53	93.22	83.10	78.83
Avg	89.01	88.67	81.97	79.27
SD	2.90	3.74	3.68	2.36
CV	3.26	4.22	4.49	2.98

ตารางผนวกที่ ค3 สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทุผลเกล้าที่มุ่มเอียงสายพาน 85 องศา

ประเมินผลการคัดขนาด	ความเร็วรอบสายพาน (m/min)			
	7	15	22	29
Q (kg/hr)	460.25	470.76	463.53	519.03
	451.90	478.49	540.71	564.96
	450.64	468.76	494.33	530.33
	458.33	467.82	447.42	538.74
	458.03	483.57	465.39	517.95
Avg	455.83	473.88	482.28	534.20
SD	4.27	6.85	36.78	19.21
CV	0.94	1.45	7.63	3.60
$C_R$ (%)	23.98	17.95	13.98	13.71
	23.07	20.68	23.92	14.33
	22.30	13.75	18.95	17.06
	25.98	20.78	18.23	17.45
	21.11	20.59	8.91	14.62
Avg	23.29	18.75	16.80	15.43
SD	1.84	3.04	5.65	1.70
CV	7.88	16.20	33.62	11.02
$E_w$ (%)	76.02	82.05	86.02	86.29
	76.93	79.32	76.08	85.67
	77.70	86.25	81.05	82.94
	74.08	79.22	81.77	82.55
	78.89	79.41	89.45	85.38
Avg	76.72	81.25	82.87	84.57
SD	1.82	3.04	5.10	1.70
CV	2.37	3.74	6.15	2.01

ตารางผนวกที่ ค4 สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทับทิมจันทร์ที่มูมเชียงสายพาน 75 องศา

ประเมินผลการคัดขนาด	ความเร็วรอบสายพาน (m/min)			
	7	15	22	29
Q (kg/hr)	467.37	492.41	563.73	581.54
	501.19	510.16	569.51	566.44
	469.99	577.04	613.86	600.88
	478.92	557.71	481.17	611.63
	531.02	487.91	608.57	585.31
Avg	489.70	525.04	567.37	589.16
SD	26.66	40.11	53.17	17.55
CV	5.44	7.64	9.37	2.98
$C_R$ (%)	10.27	20.69	22.66	17.16
	5.03	28.78	26.99	27.15
	13.74	19.12	17.17	23.96
	6.59	18.55	24.11	20.76
	13.61	10.26	16.68	22.87
Avg	9.85	19.48	21.52	22.38
SD	3.98	6.60	4.48	3.72
CV	40.40	33.86	20.82	16.62
$E_w$ (%)	89.73	79.31	77.34	82.84
	94.97	69.61	73.01	72.85
	86.26	80.88	82.83	76.04
	93.41	81.45	72.90	73.22
	86.39	89.74	83.32	77.13
Avg	90.15	80.20	77.88	76.41
SD	3.98	7.18	5.07	4.03
CV	4.41	8.95	6.51	5.27

ตารางผนวกที่ ค5 สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทับทิมจันทร์ที่มูมเชียงสายพาน 80 องศา

ประเมินผลการคัดขนาด	ความเร็วรอบสายพาน (m/min)			
	7	15	22	29
Q (kg/hr)	529.20	578.07	553.69	699.01
	525.48	572.97	692.70	665.62
	492.24	489.27	573.58	714.00
	512.80	581.93	584.66	706.69
	520.11	502.47	641.04	683.63
Avg	515.97	544.94	609.14	693.79
SD	14.63	45.15	56.87	19.36
CV	2.83	8.29	9.34	2.79
$C_R$ (%)	13.24	19.01	13.90	25.68
	18.07	17.95	15.56	22.68
	10.96	15.36	13.59	19.67
	15.82	13.58	17.48	23.24
	16.52	14.20	11.78	14.66
Avg	14.92	16.02	14.47	21.19
SD	2.82	2.36	2.16	4.23
CV	18.89	14.75	14.90	19.96
$E_w$ (%)	86.76	80.99	86.10	74.32
	81.93	82.05	84.44	77.32
	89.04	84.64	86.41	80.33
	84.18	86.42	82.52	76.76
	93.11	85.80	88.22	85.34
Avg	87.01	83.98	85.53	78.81
SD	4.33	2.36	2.16	4.23
CV	4.98	2.81	2.52	5.36

ตารางผนวกที่ ๓6 สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทับทิมจันทร์ที่มูมเชียงสายพาน 85 องศา

ประเมินผลการคัดขนาด	ความเร็วรอบสายพาน (m/min)			
	7	15	22	29
Q (kg/hr)	723.29	653.70	660.62	741.25
	560.70	642.16	638.10	724.32
	565.03	656.39	681.80	706.69
	607.06	631.15	607.85	714.40
	571.37	570.81	626.99	759.56
Avg	605.49	630.84	643.07	729.24
SD	68.35	35.03	28.86	21.31
CV	11.29	5.55	4.49	2.92
$C_R$ (%)	21.72	20.26	29.81	10.67
	32.79	21.71	28.45	18.00
	22.94	23.69	34.76	17.79
	19.37	31.59	38.40	11.91
	17.56	14.48	31.06	24.84
Avg	22.88	22.35	32.50	16.64
SD	5.92	6.20	4.05	5.67
CV	25.87	27.76	12.47	34.05
$E_w$ (%)	78.28	79.74	70.19	89.33
	67.21	77.72	71.55	82.00
	77.06	76.31	65.24	82.21
	80.63	68.41	61.60	88.09
	82.44	85.52	68.94	75.16
Avg	77.12	77.54	67.50	83.36
SD	5.92	6.19	4.05	5.67
CV	7.67	7.99	6.00	6.80

ตารางผนวกที่ ๓7 สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทองสามสีที่มุ่มเอียงสายพาน 75 องศา

ประเมินผลการคัดขนาด	ความเร็วรอบสายพาน (m/min)			
	7	15	22	29
Q (kg/hr)	504.87	526.93	586.21	666.86
	524.36	498.94	580.58	626.68
	476.89	539.78	584.15	593.37
	508.33	541.86	597.68	594.74
	494.95	585.21	553.73	581.73
Avg	501.88	538.54	580.47	612.68
SD	17.52	31.20	16.26	34.58
CV	3.49	5.79	2.80	5.64
$C_R$ (%)	17.34	19.81	17.07	30.57
	10.82	27.23	20.80	29.06
	10.23	16.61	16.96	22.15
	13.51	15.84	15.09	26.36
	13.81	15.91	15.31	28.81
Avg	13.14	19.08	17.04	27.39
SD	2.83	4.84	2.29	3.29
CV	21.54	25.36	13.44	12.02
$E_w$ (%)	82.66	79.10	82.93	69.43
	89.18	72.77	79.20	70.94
	89.77	83.39	83.04	77.85
	87.87	84.16	84.91	73.64
	86.19	84.09	84.69	71.19
Avg	87.13	80.70	82.96	72.61
SD	2.85	4.90	2.29	3.29
CV	3.27	6.08	2.76	4.54

ตารางผนวกที่ ค8 สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทองสามสีที่มุ่มเอียงสายพาน 80 องศา

ประเมินผลการคัดขนาด	ความเร็วรอบสายพาน (m/min)			
	7	15	22	29
Q (kg/hr)	466.58	517.03	574.39	599.79
	465.99	540.71	543.42	561.88
	446.71	553.85	542.23	561.88
	411.65	531.06	579.74	509.00
	452.33	549.66	584.09	561.49
Avg	448.65	538.46	564.77	558.81
SD	22.41	14.84	20.33	32.35
CV	4.99	2.76	3.60	5.79
$C_R$ (%)	15.49	7.29	13.62	33.74
	16.91	11.26	18.34	36.91
	19.88	18.27	19.97	48.11
	13.23	7.49	17.61	36.72
	10.80	10.73	8.53	37.36
Avg	15.26	11.01	15.62	38.57
SD	3.47	4.45	4.60	5.52
CV	22.75	40.39	29.44	14.32
$E_w$ (%)	84.51	92.65	86.38	66.26
	83.09	88.74	81.66	63.09
	80.12	81.73	80.03	51.89
	86.76	92.51	82.39	63.28
	89.20	89.27	91.47	62.64
Avg	84.74	88.98	84.38	61.43
SD	3.47	4.43	4.60	5.52
CV	4.09	4.98	5.45	8.99

ตารางผนวกที่ ๑๑ สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทองสามสีที่มูมเชียงสายพาน 85 องศา

ประเมินผลการคัดขนาด	ความเร็วรอบสายพาน (m/min)			
	7	15	22	29
Q (kg/hr)	443.39	595.52	709.23	677.36
	429.50	629.26	671.63	701.48
	458.22	637.59	658.09	706.90
	494.81	620.86	622.65	784.51
	465.96	629.83	648.56	765.25
	Avg	458.38	622.61	662.03
SD	24.71	16.26	31.89	45.52
CV	5.39	2.61	4.82	6.26
$C_R$ (%)	9.37	6.98	10.86	19.58
	18.88	11.32	10.39	14.24
	14.12	11.48	10.30	14.49
	13.16	3.33	20.29	17.14
	13.48	10.01	12.94	14.87
	Avg	13.80	8.63	12.96
SD	3.40	3.47	4.24	2.28
CV	24.60	40.19	32.71	14.18
$E_w$ (%)	91.81	92.59	90.02	82.97
	83.14	88.80	90.73	87.19
	85.88	88.28	90.87	87.90
	88.92	96.24	81.03	84.62
	89.02	89.70	88.67	87.04
	Avg	87.75	91.12	88.26
SD	3.32	3.31	4.14	2.07
CV	3.79	3.63	4.69	2.41

ตารางผนวกที่ 10 สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทุลเกล้า เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียง

ประเมินผลการคัดขนาด	ความเร็วสายพานลำเลียง (m/min)			
	11	21	31	31 (ป้อน 2 คน)
Q (kg/hr)	253.27	331.66	361.63	614.18
	254.19	307.85	355.81	611.83
	277.26	310.56	338.77	581.91
	277.42	304.22	334.98	570.83
	265.16	311.36	320.98	631.70
Avg	265.46	313.13	342.44	602.09
SD	11.81	10.73	16.41	25.01
CV	4.45	3.43	4.79	4.15
$C_R$ (%)	19.53	21.40	17.92	22.93
	13.63	20.60	19.27	14.23
	12.89	16.97	22.06	18.18
	17.66	20.08	20.28	20.98
	17.79	10.49	19.97	20.48
Avg	16.30	17.91	19.90	19.36
SD	2.88	4.48	1.51	3.33
CV	17.69	24.99	7.58	17.19
$E_w$ (%)	80.47	78.60	82.08	77.37
	86.37	79.40	79.72	85.77
	87.11	83.03	77.94	81.82
	82.34	79.92	79.72	79.02
	84.03	89.51	80.03	79.52
Avg	84.06	82.09	79.90	80.70
SD	2.76	4.48	1.47	3.25
CV	3.29	5.45	1.84	4.03

ตารางผนวกที่ ค11 สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทับทิมจันทร์ เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียง

ประเมินผลการคัดขนาด	ความเร็วสายพานลำเลียง (m/min)			
	11	21	31	31 (เพื่อน 2 คน)
Q (kg/hr)	447.47	568.57	545.58	1034.25
	482.26	536.90	560.86	1128.23
	474.24	534.74	554.79	1143.80
	421.54	525.00	529.86	1076.26
	464.47	573.79	550.58	1040.11
Avg	458.00	547.80	548.33	1084.53
SD	24.16	21.89	11.75	49.98
CV	5.28	4.00	2.14	4.61
$\bar{C}_R$ (%)	7.40	22.55	25.96	21.45
	25.64	19.72	17.53	22.13
	18.27	14.73	25.72	27.12
	14.50	22.84	31.37	15.60
	19.72	17.11	32.95	25.45
Avg	17.11	19.39	26.71	22.35
SD	6.75	3.50	6.05	4.44
CV	39.44	18.04	22.65	19.85
$E_w$ (%)	92.60	77.45	74.04	78.55
	76.82	80.28	82.47	77.87
	81.73	85.27	74.28	75.35
	85.50	77.16	68.63	84.40
	80.28	82.89	61.63	74.55
Avg	83.39	80.61	72.21	78.14
SD	6.02	3.50	7.71	3.88
CV	7.22	4.34	10.67	4.96

**ตารางผนวกที่ 12** สมรรถนะการคัดขนาด, ความผิดพลาดการคัดขนาด และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ของพันธุ์ทองสามสี เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียง

ประเมินผลการคัดขนาด	ความเร็วสายพานลำเลียง (m/min)			
	11	21	31	31 (ป้อน 2 คน)
Q (kg/hr)	477.11	614.56	629.11	1113.77
	508.86	590.84	603.03	1248.09
	475.80	579.85	607.61	1114.24
	498.17	550.42	591.88	1134.68
	483.09	571.26	597.60	1137.59
Avg	488.61	581.39	605.85	1149.67
SD	14.39	23.74	14.27	56.13
CV	2.94	4.08	2.36	4.88
$\bar{C}_R$ (%)	14.42	24.33	22.31	20.10
	17.69	22.50	25.93	20.13
	20.95	15.69	19.93	18.61
	21.71	20.89	21.91	22.46
	22.39	22.80	25.83	25.45
Avg	19.43	21.24	23.18	21.35
SD	3.33	3.34	2.62	2.67
CV	17.15	15.70	11.32	12.52
$E_w$ (%)	85.58	75.67	77.69	79.53
	82.31	77.53	74.07	79.87
	79.05	84.19	80.07	81.39
	78.29	79.11	78.09	77.54
	77.61	77.22	74.17	74.55
Avg	80.57	78.74	76.82	78.58
SD	3.33	3.28	2.62	2.63
CV	4.14	4.17	3.42	3.35

ตารางผนวกที่ ค13 พื้นที่ความเสียหายต่อผลและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยต่อผลของพันธุ์  
ทูลเกล้า เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงที่ความเร็ว  
21m/min

ขนาด	พื้นที่ความเสียหายต่อผล				เปอร์เซ็นต์ความเสียหายต่อผล			
	ซ้ำ (mm <sup>2</sup> )	แตก (mm)	ขาด (mm)	ถลอก (mm <sup>2</sup> )	ซ้ำ	แตก	ขาด	ถลอก
เล็ก	0.00	30	0	262.19	0.00	36.69	0.00	2.98
	0.00	0	0	291.24	0.00	0.00	0.00	3.31
	0.00	0	0	137.38	0.00	0.00	0.00	1.56
	0.00	0	0	124.82	0.00	0.00	0.00	1.42
	0.00	0	6	127.17	0.00	0.00	7.34	1.44
	0.00	0	0	325.78	0.00	0.00	0.00	3.70
	0.00	0	0	187.62	0.00	0.00	0.00	2.13
	0.00	0	0	98.13	0.00	0.00	0.00	1.11
	0.00	0	0	46.32	0.00	0.00	0.00	0.53
	0.00	0	20	19.82	0.00	0.00	24.46	0.23
Avg	0.00	3.00	2.60	162.04	0.00	3.67	3.18	1.84
SD	0.00	9.49	6.40	102.79	0.00	11.60	7.83	1.17
กลาง	0.00	0	25	110.69	0.00	0.00	30.12	1.18
	0.00	0	0	144.44	0.00	0.00	0.00	1.54
	0.00	0	0	204.10	0.00	0.00	0.00	2.17
	0.00	0	0	63.59	0.00	0.00	0.00	0.68
	0.00	0	0	145.23	0.00	0.00	0.00	1.55
	0.00	0	0	12.56	0.00	0.00	0.00	0.13
	0.00	0	0	149.94	0.00	0.00	0.00	1.60
	0.00	0	0	89.49	0.00	0.00	0.00	0.95
	0.00	0	0	145.23	0.00	0.00	0.00	1.55
	0.00	0	0	108.33	0.00	0.00	0.00	1.15
Avg	0.00	0.00	2.50	117.36	0.00	0.00	3.01	1.25
SD	0.00	0.00	7.91	53.38	0.00	0.00	9.52	0.57

## ตารางผนวกที่ ค13 (ต่อ)

ขนาด	พื้นที่ความเสียหายต่อผล				เปอร์เซ็นต์ความเสียหายต่อผล			
	ซ้ำ (mm <sup>2</sup> )	แตก (mm)	บาค (mm)	ถลอก (mm <sup>2</sup> )	ซ้ำ	แตก	บาค	ถลอก
ใหญ่	0.00	0	0	163.28	0.00	0.00	0.00	1.58
	0.00	0	0	177.41	0.00	0.00	0.00	1.72
	0.00	0	34	265.33	0.00	0.00	40.47	2.57
	0.00	0	10	126.39	0.00	0.00	11.90	1.22
	78.50	13	0	153.86	0.76	15.47	0.00	1.49
	0.00	0	9	411.34	0.00	0.00	10.71	3.98
	0.00	0	0	332.06	0.00	0.00	0.00	3.21
	0.00	0	0	53.38	0.00	0.00	0.00	0.52
	0.00	0	15	87.14	0.00	0.00	17.85	0.84
	0.00	0	14	102.84	0.00	0.00	16.66	1.00
Avg	7.85	1.30	8.20	187.30	0.08	1.55	9.76	1.81
SD	24.82	4.11	10.98	114.43	0.24	4.89	13.07	1.11

**ตารางผนวกที่ ค14** พื้นที่ความเสียหายต่อผลและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยต่อผลของพันธุ์  
ทุลเกล้า เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงที่ความเร็ว  
31m/min (ป้อน 2 คน)

ขนาด	พื้นที่ความเสียหายต่อผล				เปอร์เซ็นต์ความเสียหายต่อผล			
	ชำ (mm <sup>2</sup> )	แตก (mm)	ขาด (mm)	ถลอก (mm <sup>2</sup> )	ชำ	แตก	ขาด	ถลอก
เล็ก	0.00	0	0	107.55	0.00	0.00	0.00	1.14
	0.00	0	0	138.95	0.00	0.00	0.00	1.48
	0.00	0	0	134.24	0.00	0.00	0.00	1.43
	28.26	0	10	167.99	0.32	0.00	12.14	1.79
	0.00	0	0	90.28	0.00	0.00	0.00	0.96
	19.63	0	0	105.19	0.22	0.00	0.00	1.12
	0.00	0	21	44.75	0.00	0.00	25.49	0.48
	176.63	0	19	107.55	2.01	0.00	23.06	1.14
	47.89	0	0	83.21	0.55	0.00	0.00	0.89
	0.00	0	0	14.33	0.00	0.00	0.00	0.15
Avg	27.24	0.00	5.00	99.40	0.31	0.00	6.07	1.06
SD	55.03	0.00	8.51	44.99	0.63	0.00	10.33	0.48
กลาง	0.00	0	13	19.63	0.00	0.00	16.05	0.21
	0.00	0	10	109.12	0.00	0.00	12.35	1.17
	19.63	0	0	73.79	0.21	0.00	0.00	0.79
	0.00	0	10	71.44	0.00	0.00	12.35	0.77
	0.00	0	0	489.84	0.00	0.00	0.00	5.25
	0.00	0	0	153.08	0.00	0.00	0.00	1.64
	0.00	0	32	155.43	0.00	0.00	39.52	1.67
	28.26	0	40	78.50	0.30	0.00	49.39	0.84
	0.00	0	0	258.27	0.00	0.00	0.00	2.77
	0.00	0	18	290.45	0.00	0.00	22.23	3.11
Avg	4.79	0.00	12.30	169.95	0.05	0.00	15.19	1.82
SD	10.30	0.00	14.16	140.93	0.11	0.00	17.48	1.51

## ตารางผนวกที่ ค14 (ต่อ)

ขนาด	พื้นที่ความเสียหายต่อผล				เปอร์เซ็นต์ความเสียหายต่อผล			
	ซ้ำ (mm <sup>2</sup> )	แตก (mm)	บาค (mm)	ถลอก (mm <sup>2</sup> )	ซ้ำ	แตก	บาค	ถลอก
ใหญ่	63.59	0	29	102.05	0.62	0.00	34.80	0.99
	0.00	20	12	289.67	0.00	24.00	14.40	2.81
	0.00	0	0	317.14	0.00	0.00	0.00	3.08
	0.00	0	56	63.59	0.00	0.00	67.19	0.62
	0.00	8	5	281.03	0.00	9.60	6.00	2.73
	78.50	0	5	76.15	0.76	0.00	6.00	0.74
	0.00	0	0	298.30	0.00	0.00	0.00	2.89
	0.00	0	0	384.65	0.00	0.00	0.00	3.73
	0.00	0	25	345.40	0.00	0.00	30.00	3.35
	0.00	0	23	202.53	0.00	0.00	27.60	1.97
Avg	14.21	2.80	15.50	236.05	0.14	3.36	18.60	2.29
SD	30.16	6.55	18.02	117.28	0.29	7.85	21.62	1.14

ตารางผนวกที่ ค15 พื้นที่ความเสียหายต่อผลและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยต่อผลของพันธุ์  
ทับทิมจันทร์ เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงที่ความเร็ว  
21m/min

ขนาด	พื้นที่ความเสียหายต่อผล				เปอร์เซ็นต์ความเสียหายต่อผล			
	ซ้ำ (mm <sup>2</sup> )	แตก (mm)	ขาด (mm)	ถลอก (mm <sup>2</sup> )	ซ้ำ	แตก	ขาด	ถลอก
เล็ก	0.00	0	16	180.55	0.00	0.00	19.31	1.92
	0.00	0	0	58.88	0.00	0.00	0.00	0.63
	0.00	0	15	145.23	0.00	0.00	18.11	1.55
	0.00	0	0	123.25	0.00	0.00	0.00	1.31
	0.00	0	30	32.19	0.00	0.00	36.21	0.34
	0.00	0	15	63.59	0.00	0.00	18.11	0.68
	0.00	0	0	157.00	0.00	0.00	0.00	1.67
	0.00	0	0	195.47	0.00	0.00	0.00	2.08
	0.00	0	21	28.26	0.00	0.00	25.35	0.30
	0.00	0	4	21.64	0.00	0.00	4.83	0.23
Avg	0.00	0.00	10.10	100.60	0.00	0.00	12.19	1.07
SD	0.00	0.00	10.76	66.95	0.00	0.00	12.99	0.71
กลาง	0.00	0	18	106.76	0.00	0.00	21.17	1.01
	0.00	0	52	121.68	0.00	0.00	61.17	1.16
	0.00	0	27	182.91	0.00	0.00	31.76	1.74
	19.63	0	24	114.61	0.19	0.00	28.23	1.09
	0.00	0	28	113.04	0.00	0.00	32.94	1.07
	0.00	0	0	211.95	0.00	0.00	0.00	2.01
	0.00	0	30	145.23	0.00	0.00	35.29	1.38
	0.00	0	7	157.00	0.00	0.00	8.23	1.49
	12.56	0	35	45.53	0.12	0.00	41.17	0.43
	0.00	0	0	255.13	0.00	0.00	0.00	2.43
Avg	3.22	0.00	22.10	145.38	0.03	0.00	26.00	1.38
SD	6.99	0.00	16.35	59.66	0.07	0.00	19.24	0.57

## ตารางผนวกที่ ค15 (ต่อ)

ขนาด	พื้นที่ความเสียหายต่อผล				เปอร์เซ็นต์ความเสียหายต่อผล			
	ชำ (mm <sup>2</sup> )	แตก (mm)	บาด (mm)	ถลอก (mm <sup>2</sup> )	ชำ	แตก	บาด	ถลอก
ใหญ่	0.00	0	45	19.63	0.00	0.00	49.15	0.17
	0.00	0	60	91.06	0.00	0.00	65.54	0.78
	0.00	0	52	76.93	0.00	0.00	56.80	0.66
	0.00	0	20	28.26	0.00	0.00	21.85	0.24
	0.00	0	45	94.99	0.00	0.00	49.15	0.81
	78.50	0	56	83.21	6.76	0.00	61.17	0.71
	0.00	0	27	38.47	0.00	0.00	29.49	0.33
	113.83	0	20	132.67	9.80	0.00	21.85	1.14
	0.00	0	38	0.00	0.00	0.00	41.51	0.00
	0.00	0	42	141.30	0.00	0.00	45.88	1.21
Avg	19.23	0.00	40.50	70.65	1.66	0.00	44.24	0.61
SD	41.39	0.00	14.24	47.69	3.56	0.00	15.55	0.41

**ตารางผนวกที่ ค16** พื้นที่ความเสียหายต่อผลและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยต่อผลของพันธุ์  
ทับทิมจันทร์ เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงที่ความเร็ว  
31m/min (ป้อน 2 คน)

ขนาด	พื้นที่ความเสียหายต่อผล				เปอร์เซ็นต์ความเสียหายต่อผล			
	ชำ (mm <sup>2</sup> )	แตก (mm)	ขาด (mm)	ถลอก (mm <sup>2</sup> )	ชำ	แตก	ขาด	ถลอก
เล็ก	19.63	0	5	19.63	0.21	0.00	6.07	0.21
	0.00	0	0	19.63	0.00	0.00	0.00	0.21
	0.00	0	23	94.99	0.00	0.00	27.92	1.02
	0.00	0	13	47.89	0.00	0.00	15.78	0.51
	0.00	0	3	119.32	0.00	0.00	3.64	1.28
	0.00	0	10	26.69	0.00	0.00	12.14	0.29
	0.00	0	20	117.75	0.00	0.00	24.28	1.26
	0.00	0	13	19.63	0.00	0.00	15.78	0.21
	0.00	0	15	284.96	0.00	0.00	18.21	3.05
	0.00	0	13	53.38	0.00	0.00	15.78	0.57
Avg	1.96	0.00	11.50	80.38	0.02	0.00	13.96	0.86
SD	6.21	0.00	7.25	82.14	0.07	0.00	8.80	0.88
กลาง	19.63	0	40	19.63	0.18	0.00	45.96	0.18
	0.00	0	30	38.47	0.00	0.00	34.47	0.36
	0.00	0	0	113.83	0.00	0.00	0.00	1.06
	0.00	0	7	204.89	0.00	0.00	8.04	1.90
	0.00	0	37	32.19	0.00	0.00	42.51	0.30
	0.00	0	20	39.25	0.00	0.00	22.98	0.36
	19.63	0	5	78.50	0.18	0.00	5.74	0.73
	0.00	0	25	0.00	0.00	0.00	28.72	0.00
	0.00	0	12	171.92	0.00	0.00	13.79	1.60
	0.00	0	10	12.56	0.00	0.00	11.49	0.12
Avg	3.93	0.00	18.60	71.12	0.04	0.00	21.37	0.66
SD	8.27	0.00	13.95	70.45	0.08	0.00	16.03	0.65

ตารางผนวกที่ ค16 (ต่อ)

ขนาด	พื้นที่ความเสียหายต่อผล				เปอร์เซ็นต์ความเสียหายต่อผล			
	ซ้ำ (mm <sup>2</sup> )	แตก (mm)	บาค (mm)	ถลอก (mm <sup>2</sup> )	ซ้ำ	แตก	บาค	ถลอก
ใหญ่	0.00	0	10	28.26	0.00	0.00	11.24	0.25
	94.99	0	19	128.74	0.85	0.00	21.36	1.16
	0.00	0	15	69.87	0.00	0.00	16.87	0.63
	19.63	0	6	51.03	0.18	0.00	6.75	0.46
	0.00	0	0	97.34	0.00	0.00	0.00	0.87
	0.00	0	0	113.04	0.00	0.00	0.00	1.02
	57.31	0	11	85.57	0.52	0.00	12.37	0.77
	0.00	0	14	78.50	0.00	0.00	15.74	0.71
	0.00	0	0	227.65	0.00	0.00	0.00	2.05
	0.00	0	7	78.50	0.00	0.00	7.87	0.71
Avg	17.19	0.00	8.20	95.85	0.15	0.00	9.22	0.86
SD	32.89	0.00	6.80	54.48	0.30	0.00	7.64	0.49

ตารางผนวกที่ ค17 พื้นที่ความเสียหายต่อผลและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยต่อผลของพันธุ์  
ทองสามสี เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงที่ความเร็ว  
21m/min

ขนาด	พื้นที่ความเสียหายต่อผล				เปอร์เซ็นต์ความเสียหายต่อผล			
	ซ้ำ (mm <sup>2</sup> )	แตก (mm)	ขาด (mm)	ถลอก (mm <sup>2</sup> )	ซ้ำ	แตก	ขาด	ถลอก
เล็ก	0.00	0	10	7.07	0.00	0.00	12.23	0.08
	0.00	0	16	19.63	0.00	0.00	19.57	0.22
	0.00	0	0	110.69	0.00	0.00	0.00	1.26
	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0	0	19.63	0.00	0.00	0.00	0.22
	0.00	0	0	113.04	0.00	0.00	0.00	1.28
	0.00	0	38	69.87	0.00	0.00	46.48	0.79
	0.00	0	52	19.63	0.00	0.00	63.60	0.22
	0.00	0	0	38.47	0.00	0.00	0.00	0.44
	0.00	0	6	16.14	0.00	0.00	7.34	0.18
Avg	0.00	0.00	12.20	41.41	0.00	0.00	14.92	0.47
SD	0.00	0.00	18.41	41.77	0.00	0.00	22.52	0.47
กลาง	0.00	0	29	19.63	0.00	0.00	34.94	0.21
	32.19	0	30	0.00	0.34	0.00	36.14	0.00
	0.00	0	0	31.40	0.00	0.00	0.00	0.33
	0.00	0	23	19.63	0.00	0.00	27.71	0.21
	0.00	0	45	0.00	0.00	0.00	54.21	0.00
	0.00	0	17	40.82	0.00	0.00	20.48	0.43
	0.00	0	5	32.19	0.00	0.00	6.02	0.34
	0.00	0	31	0.00	0.00	0.00	37.34	0.00
	0.00	0	0	78.50	0.00	0.00	0.00	0.84
	0.00	0	5	78.50	0.00	0.00	6.02	0.84
Avg	3.22	0.00	18.50	30.07	0.03	0.00	22.29	0.32
SD	10.18	0.00	15.54	29.33	0.11	0.00	18.72	0.31

## ตารางผนวกที่ ค17 (ต่อ)

ขนาด	พื้นที่ความเสียหายต่อผล				เปอร์เซ็นต์ความเสียหายต่อผล			
	ซ้ำ (mm <sup>2</sup> )	แตก (mm)	ขาด (mm)	ถลอก (mm <sup>2</sup> )	ซ้ำ	แตก	ขาด	ถลอก
ใหญ่	0.00	0	35	0.00	0.00	0.00	41.66	0.00
	0.00	0	8	12.56	0.00	0.00	9.52	0.12
	0.00	0	25	139.73	0.00	0.00	29.75	1.35
	0.00	0	0	12.56	0.00	0.00	0.00	0.12
	0.00	0	9	56.52	0.00	0.00	10.71	0.55
	0.00	0	5	58.09	0.00	0.00	5.95	0.56
	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0	28	28.26	0.00	0.00	33.33	0.27
	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0	16	113.04	0.00	0.00	19.04	1.09
Avg	0.00	0.00	12.60	42.08	0.00	0.00	15.00	0.41
SD	0.00	0.00	12.79	49.76	0.00	0.00	15.22	0.48

ตารางผนวกที่ ค18 พื้นที่ความเสียหายต่อผลและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายเฉลี่ยต่อผลของพันธุ์  
ทองสามสี เมื่อทดสอบเครื่องคัดขนาดร่วมกับสายพานลำเลียงที่ความเร็ว  
31m/min (ป้อน 2 คน)

ขนาด	พื้นที่ความเสียหายต่อผล				เปอร์เซ็นต์ความเสียหายต่อผล			
	ชำ (mm <sup>2</sup> )	แตก (mm)	ขาด (mm)	ถลอก (mm <sup>2</sup> )	ชำ	แตก	ขาด	ถลอก
เล็ก	0.00	0	0	104.41	0.00	0.00	0.00	1.11
	0.00	0	0	70.65	0.00	0.00	0.00	0.75
	0.00	0	8	0.00	0.00	0.00	9.71	0.00
	28.26	0	0	102.84	0.32	0.00	0.00	1.09
	0.00	0	17	19.63	0.00	0.00	20.63	0.21
	0.00	0	10	7.07	0.00	0.00	12.14	0.08
	0.00	0	8	12.56	0.00	0.00	9.71	0.13
	0.00	0	13	91.06	0.00	0.00	15.78	0.97
	0.00	0	20	0.00	0.00	0.00	24.27	0.00
	0.00	0	10	13.79	0.00	0.00	12.14	0.15
Avg	2.83	0.00	8.60	42.20	0.03	0.00	10.44	0.45
SD	8.94	0.00	7.04	44.39	0.10	0.00	8.55	0.47
กลาง	0.00	0	8	63.59	0.00	0.00	9.88	0.68
	0.00	0	24	19.63	0.00	0.00	29.64	0.21
	0.00	0	10	0.00	0.00	0.00	12.35	0.00
	0.00	0	6	0.00	0.00	0.00	7.41	0.00
	0.00	0	21	0.00	0.00	0.00	25.93	0.00
	0.00	0	25	19.63	0.00	0.00	30.87	0.21
	0.00	0	32	19.63	0.00	0.00	39.52	0.21
	28.26	0	10	0.00	0.30	0.00	12.35	0.00
	0.00	0	0	28.26	0.00	0.00	0.00	0.30
	0.00	0	5	19.63	0.00	0.00	6.17	0.21
Avg	2.83	0.00	14.10	17.03	0.03	0.00	17.41	0.18
SD	8.94	0.00	10.56	19.67	0.10	0.00	13.04	0.21

## ตารางผนวกที่ ค18 (ต่อ)

ขนาด	พื้นที่ความเสียหายต่อผล				เปอร์เซ็นต์ความเสียหายต่อผล			
	ซ้ำ (mm <sup>2</sup> )	แตก (mm)	ขาด (mm)	ถลอก (mm <sup>2</sup> )	ซ้ำ	แตก	ขาด	ถลอก
ใหญ่	0.00	0	0	19.63	0.00	0.00	0.00	0.19
	0.00	0	20	19.63	0.00	0.00	24.00	0.19
	12.56	0	22	76.15	0.12	0.00	26.40	0.74
	0.00	0	17	10.21	0.00	0.00	20.40	0.10
	0.00	0	15	0.00	0.00	0.00	18.00	0.00
	0.00	0	16	19.63	0.00	0.00	19.20	0.19
	0.00	0	0	19.63	0.00	0.00	0.00	0.19
	0.00	0	10	0.00	0.00	0.00	12.00	0.00
	0.00	0	8	39.25	0.00	0.00	9.60	0.38
	0.00	0	7	7.07	0.00	0.00	8.40	0.07
Avg	1.26	0.00	11.50	21.12	0.01	0.00	13.80	0.20
SD	3.97	0.00	7.78	22.54	0.04	0.00	9.33	0.22

ตารางผนวกที่ ค19 การหาความกลม (Sphericity) ของผลชมพูพันธุ์ทุลเกล้า

ขนาด	ผลที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เล็ก	Dmax (มม.)	53.36	50.66	52.47	51.85	51.34	51.24	51.91	53.67	51.06	48.59
	Dmin (มม.)	50.44	48.62	50.99	49.29	48.67	48.12	50.32	50.65	48.03	46.18
	ความสูง (มม.)	84.38	86.23	84.35	85.35	79.88	86.45	85.49	83.22	88.23	79.48
	น้ำหนัก (กรัม)	83	77	83	83	66	81	81	88	77	63
	ปริมาตร (ลบ. ซม.)	100	93	101	98	80	95	98	105	92	78
	ความกลม	0.65	0.63	0.65	0.64	0.64	0.63	0.64	0.67	0.61	0.64
	กลาง	Dmax (มม.)	55.21	54.41	56.25	58.2	58.66	56.29	56.21	59.35	58.1
Dmin (มม.)		53.01	52.55	53.71	54.35	56.25	53.39	52.94	55.61	54.86	53.73
ความสูง (มม.)		92.62	83.41	81.12	87.79	82.11	86.36	87.65	83.08	87.03	85.85
น้ำหนัก (กรัม)		98.78	88.65	86.07	101.37	97.75	103.51	94.87	108.41	98.74	94.23
ปริมาตร (ลบ. ซม.)		110.61	104.74	99.53	117.26	113.32	120.87	107.49	120.45	113.98	110.93
ความกลม		0.62	0.67	0.67	0.66	0.69	0.68	0.64	0.69	0.66	0.66

ตารางผนวกที่ ค19 (ต่อ)

ขนาด	ผลที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ใหญ่	Dmax (มม.)	65.92	61.9	59.35	62.08	60.47	60.76	64.26	58.73	61.55	61.02
	Dmin (มม.)	60.89	59.17	56.2	59.71	55.8	57.73	61.46	54.3	57.46	57.76
	ความสูง (มม.)	102.12	101.89	94.84	92.95	93.48	98.12	89.12	91.68	97.09	95.37
	น้ำหนัก (กรัม)	147.84	136.23	121.76	131.25	117.21	130.06	121.06	105.37	128.04	121.75
	ปริมาตร (ลบ. ซม.)	174.14	160.12	139.57	151.37	138.32	152.54	137.68	127.71	143.92	139.78
	ความกลม	0.65	0.63	0.65	0.67	0.65	0.65	0.68	0.65	0.64	0.64

หมายเหตุ 1. Dmax คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุดของผล

2. Dmin คือ เส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยที่สุดของผล

3. ความกลม คือ อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุกับเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่เล็กที่สุดที่ล้อมรอบวัตถุเอาไว้ได้ (Mohsenin, 1978)

4. ปริมาตรของผลส้มโอ = ตัวเลขน้ำหนักน้ำที่ถูกล้างส้มโอแทนที่ (บัณฑิต, 2546)

ตารางผนวกที่ ค20 การหาความกลม (Sphericity) ของผลชมพูพันธุ์ทับทิมจันทิ

ขนาด	ผลที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เล็ก	Dmax (มม.)	57.79	56.69	54.66	58.48	59.42	61.33	62.16	58.85	63.64	54.42
	Dmin (มม.)	55.16	52.74	52.18	55.34	56.49	56.39	58.87	56.43	61.09	51.63
	ความสูง (มม.)	75.7	80.68	81.38	72.3	80.57	82.61	81.05	73.66	79.15	77.46
	น้ำหนัก (กรัม)	86.13	86.74	97.41	88.2	101.43	104.86	107.07	91.26	113.76	80.72
	ปริมาตร (ลบ. ซม.)	88.17	92.86	104.82	90.73	106.53	109.04	110.13	94.58	116.4	86.11
	ความกลม	0.68	0.66	0.68	0.71	0.69	0.67	0.69	0.71	0.71	0.67
	กลาง	Dmax (มม.)	61.58	61.31	63.41	60.77	62.84	64.37	66.18	62.87	61.17
Dmin (มม.)		56.13	57.8	56.03	55.08	55.78	60.3	61.16	58.62	56.04	54.47
ความสูง (มม.)		82.61	88	87.12	86.08	86.64	89.68	89.74	85.61	88.06	84.67
น้ำหนัก (กรัม)		115.34	120.84	104.32	110.99	119.83	124.95	144.8	112.85	119.4	9.02
ปริมาตร (ลบ. ซม.)		122.77	124.96	110.98	116.14	123.57	131.25	147.4	119.77	124.15	105.33
ความกลม		0.70	0.67	0.64	0.66	0.67	0.66	0.69	0.67	0.66	0.65

ตารางผนวกที่ ค20 (ต่อ)

ขนาด	ผลที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Dmax (มม.)	65.27	70.55	74.94	74.48	72.9	67.03	69.13	70.09	67.69	69.75
	Dmin (มม.)	58.1	68.36	70.17	69.67	66.3	63.94	52.2	65.97	65.12	64.63
	ความสูง (มม.)	91.89	96.84	101.69	91.47	90.19	99.05	94.4	92.84	96.31	92.95
ใหญ่	น้ำหนัก (กรัม)	158.39	163.83	186.54	172.71	164.49	159.52	153.85	147.76	154.95	150.85
	ปริมาตร (ลบ. ซม.)	167.95	172.6	198.12	180.13	166.84	168.62	162.07	159.31	156.07	156.11
	ความกลม	0.70	0.67	0.67	0.71	0.70	0.66	0.67	0.68	0.65	0.67

ตารางผนวกที่ ค21 การหาความกลม (Sphericity) ของผลชมพูพันธุ์ทองสามสี

ขนาด	ผลที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เล็ก	Dmax (มม.)	54.06	57.39	59.07	59.48	59.16	58.68	55.95	53.59	57.84	59.38
	Dmin (มม.)	49.86	52.13	52.47	51.10	53.75	55.88	52.85	51.57	55.43	53.25
	ความสูง (มม.)	79.00	88.64	87.84	80.32	89.42	80.39	76.12	85.77	87.14	74.94
	น้ำหนัก (กรัม)	97.87	101.03	99.03	89.08	109.48	107.91	97.20	96.52	114.05	98.92
	ปริมาตร (ลบ. ซม.)	99.15	103.52	101.28	90.65	111.60	111.98	100.03	99.26	116.86	101.63
	ความกลม	0.69	0.63	0.62	0.65	0.63	0.70	0.71	0.64	0.66	0.72
	กลาง	Dmax (มม.)	61.33	60.82	64.35	65.69	63.28	64.09	58.65	65.16	62.96
Dmin (มม.)		57.62	54.42	60.28	60.38	57.67	58.57	55.82	60.47	58.31	57.93
ความสูง (มม.)		85.62	81.98	83.45	80.48	86.05	85.56	88.15	82.75	86.8	82.97
น้ำหนัก (กรัม)		116.42	126.27	115.88	126.77	121.17	120.06	127.58	125.64	128.2	125.03
ปริมาตร (ลบ. ซม.)		119.53	131.59	119.3	130.24	124.83	125.85	132.5	129.36	132.45	129.13
ความกลม		0.67	0.72	0.68	0.72	0.68	0.68	0.68	0.71	0.69	0.71

ตารางผนวกที่ ค21 (ต่อ)

ขนาด	ผลที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ใหญ่	Dmax (มม.)	65.22	62.53	60.22	63.19	63.19	59.99	64.48	65.31	63.8	62.07
	Dmin (มม.)	62.46	58.28	57.16	58.31	60.2	56.1	60.25	59.16	57.28	58.9
	ความสูง (มม.)	94.55	85.73	87.77	84.16	86.44	85.07	82.55	89.01	83.79	82.64
	น้ำหนัก (กรัม)	161.43	125	137.96	126.39	129.13	121.1	124.44	150.79	123.07	122.58
	ปริมาตร (ลบ. ซม.)	173.04	134.06	147.95	133.62	136.16	131.06	133.74	161.2	131	130.1
	ความกลม	0.69	0.70	0.71	0.71	0.69	0.70	0.72	0.71	0.70	0.71

**ภาคผนวก ง**  
การวิเคราะห์ทางสถิติ

**ตารางผนวกที่ ง1** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะการคัดขนาดพันธุ์ทุผลเกล้าต่อการ  
แปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
มุม	38234.642	2	19117.321	49.746	.000
ความเร็วสายพาน	81312.378	3	27104.126	70.528	.000
ความเร็วสายพาน *	8948.011	6	1491.335	3.881	.003
มุม					
Error	18446.453	48	384.301		
Total	12409611.485	60			

**ตารางผนวกที่ ง2** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความผิดพลาดการคัดขนาดพันธุ์ทุผลเกล้าต่อ  
การแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
มุม	485.728	2	242.864	23.365	.000
ความเร็วสายพาน	106.930	3	35.643	3.429	.024
ความเร็วสายพาน *	618.531	6	103.089	9.918	.000
มุม					
Error	498.925	48	10.394		
Total	15476.920	60			

**ตารางผนวกที่ ง3** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการคัดขนาดพันธุ์ทุผลเกล้าต่อการ  
แปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
มุม	496.618	2	248.309	25.098	.000
ความเร็วสายพาน	112.226	3	37.409	3.781	.016
ความเร็วสายพาน *	607.279	6	101.213	10.230	.000
มุม					
Error	474.884	48	9.893		
Total	433419.720	60			

**ตารางผนวกที่ ๓4** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะการคัดขนาดพันธุ์ทับทิมจีนต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
มุม	120129.997	2	60064.999	38.958	.000
ความเร็วสายพาน	150193.294	3	50064.431	32.471	.000
ความเร็วสายพาน * มุม	15761.717	6	2626.953	1.704	.141
Error	74006.628	48	1541.805		
Total	21623921.902	60			

**ตารางผนวกที่ ๓5** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความผิดพลาดการคัดขนาดพันธุ์ทับทิมจีนต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
มุม	525.725	2	262.862	12.551	.000
ความเร็วสายพาน	367.911	3	122.637	5.856	.002
ความเร็วสายพาน * มุม	923.342	6	153.890	7.348	.000
Error	1005.305	48	20.944		
Total	25672.396	60			

**ตารางผนวกที่ ๓6** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการคัดขนาดพันธุ์ทับทิมจีนต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
มุม	570.203	2	285.101	12.302	.000
ความเร็วสายพาน	472.815	3	157.605	6.801	.001
ความเร็วสายพาน * มุม	940.158	6	156.693	6.761	.000
Error	1112.388	48	23.175		
Total	391514.605	60			

**ตารางผนวกที่ ๗** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะการคัดขนาดพันธุ์ทองสามสีต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
มุม	83433.139	2	41716.570	56.322	.000
ความเร็วสายพาน	226044.507	3	75348.169	101.729	.000
ความเร็วสายพาน * มุม	49306.336	6	8217.723	11.095	.000
Error	35552.498	48	740.677		
Total	19742610.046	60			

**ตารางผนวกที่ ๘** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความผิดพลาดการคัดขนาดพันธุ์ทองสามสีต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
มุม	621.411	2	310.706	20.991	.000
ความเร็วสายพาน	2024.153	3	674.718	45.583	.000
ความเร็วสายพาน * มุม	999.805	6	166.634	11.258	.000
ความผิดพลาด	710.487	48	14.802		
รวม	22479.026	60			

**ตารางผนวกที่ ๙** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการคัดขนาดพันธุ์ทองสามสีต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบสายพาน และมุมเอียงสายพาน

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
มุม	842.370	2	421.185	28.879	.000
ความเร็วสายพาน	1896.048	3	632.016	43.335	.000
ความเร็วสายพาน * มุม	1067.296	6	177.883	12.197	.000
ความผิดพลาด	700.045	48	14.584		
รวม	417860.700	60			

**ตารางผนวกที่ 10** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะในการคัดขนาดพันธุ์ทุผลเกล้าต่อ  
การแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
ความเร็วสายพาน	341618.784	3	113872.928	396.319	.000
Error	4597.219	16	287.326		
Total	3246061.323	20			

**ตารางผนวกที่ 11** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความผิดพลาดในการคัดขนาดพันธุ์ทุผลเกล้า  
ต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
ความเร็วสายพาน	39.097	3	13.032	1.250	.325
Error	166.790	16	10.424		
Total	6952.820	20			

**ตารางผนวกที่ 12** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพในการคัดขนาดพันธุ์ทุผลเกล้าต่อ  
การแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
ความเร็วสายพาน	49.944	3	16.648	1.649	.218
Error	161.490	16	10.093		
Total	133671.654	20			

**ตารางผนวกที่ 13** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะในการคัดขนาดพันธุ์ทับทิมจันทน์ต่อ  
การแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
ความเร็วสายพาน	1230445.118	3	410148.373	443.548	.000
Error	14795.174	16	924.698		
Total	9948398.536	20			

**ตารางผนวกที่ 14** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความผิดพลาดในการคัดขนาดพันธุ์ทับทิม  
 จันท์ต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
ความเร็วสายพาน	257.670	3	85.890	3.013	.061
Error	456.178	16	28.511		
Total	9862.779	20			

**ตารางผนวกที่ 15** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพในการคัดขนาดพันธุ์ทับทิม  
 จันท์ต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
ความเร็วสายพาน	339.927	3	113.309	3.688	.034
Error	491.535	16	30.721		
Total	124351.364	20			

**ตารางผนวกที่ 16** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะในการคัดขนาดพันธุ์ทองสามสีต่อ  
 การแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
ความเร็วสายพาน	1348328.353	3	449442.784	435.864	.000
Error	16498.472	16	1031.154		
Total	11344224.403	20			

**ตารางผนวกที่ 17** การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความผิดพลาดในการคัดขนาดพันธุ์ทองสามสี  
 ต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
ความเร็วสายพาน	35.186	3	11.729	1.294	.311
Error	145.010	16	9.063		
Total	9255.274	20			

ตารางผนวกที่ 18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพในการคัดขนาดพันธุ์ทองสามสี  
ต่อการแปรเปลี่ยนปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วสายพานลำเลียง

Source	ANOVA SS	df	Mean Square	F	Sig.
ความเร็วสายพาน	35.232	3	11.744	1.316	.304
Error	142.739	16	8.921		
Total	123977.804	20			

ภาคผนวก จ  
ผลงานวิจัย

## อัตราส่วนปัวซองและโมดูลัสยั้งของหัวไซเท้า

บัณฑิต จริโมภาส<sup>1\*</sup> พนิดา บุญปลุกษ์<sup>2</sup> ชนิดา บุพคา<sup>3</sup> และ ธนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อที่จะหาอัตราส่วนปัวซองและ โมดูลัสยั้งของหัวไซเท้า วิธีการศึกษาประกอบด้วย ก) การทดสอบ หาค่าอัตราส่วนปัวซองของเนื้อหัวไซเท้าทรงกระบอกที่สุ่มเจาะด้วยหัว Die ในแนวแกนและขวางแกนของหัวไซเท้าที่ถูก กระทำด้วยภาระเกือบสถิตจากเครื่อง Universal Testing Machine Instron รุ่น 5569 ข) การหาค่าโมดูลัสยั้ง โดยวิธี Radial compression และ Die Loading ผลปรากฏว่า ก) อัตราส่วนปัวซองของหัวไซเท้าที่ซื้อมาจากตลาด ตามแนวแกนและแนว ขวางหัวไซเท้าเป็น 0.444±0.07 และ 0.384±0.08 ตามลำดับ ข) เวลาการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของหัวไซเท้า ซึ่งแสดงโดยความสัมพันธ์ของค่าโมดูลัสยั้ง (E) แปรผกผันกับเวลา(t) เป็นสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล สำหรับวิธี Die Loading  $E_u = 3.07e^{-0.004t}$  ( $R^2=0.94$ ) วิธี Radial Compression เมื่อเตรียมชิ้นทดสอบตามแนวแกน  $E_{u,r} = 9.05e^{-0.003t}$  ( $R^2=0.99$ ) เมื่อเตรียม ชิ้นทดสอบตามแนว  $E_{u,t} = 8.66e^{-0.003t}$  ( $R^2=0.95$ )

<sup>1</sup>รองศาสตราจารย์ นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

<sup>2</sup>นิสิตปริญญาเอก โครงการพัฒนานิสิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม

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

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

Bundit Jarimopas<sup>1\*</sup>, Phanida Pushpariksha<sup>2</sup>, Chanida Bupata<sup>3</sup> and Tanarat Srinrungruang<sup>3</sup>

### 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  $E_d = 3.07e^{-0.08t}$  ( $R^2=0.94$ ); 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

---

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

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

## บทนำ

หัวผักกาดขาว หรือรู้จักกันในชื่อหัวไชเท้ามีขายทุกฤดูกาลในตลาดสด แต่จะมีมากที่สุดในช่วงฤดูหนาว คือระหว่างเดือนธันวาคม ถึงมีนาคม ช่วงเวลาดังกล่าวหัวผักกาดขาวจะมีราคาถูกมากและสดน่ารับประทาน หัวผักกาดขาวรับประทานได้ทั้งดิบ ๆ และหุงต้มสุกแล้ว หัวผักกาดขาวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Raphanus sativus Linn* วงศ์ Cruciferae เป็นพืชผักที่อุดมด้วยวิตามินซี และแร่ธาตุบางชนิด เช่น แคลเซียมและฟอสฟอรัส และมีแร่เหล็กอยู่บ้าง ชาวเกาหลีเอาหัวไชเท้าไปผสมทำกิมจิส่วนคนไทยนิยมนำมาทำแกงส้มและทำหัวไชโป๊ว ([www.schoolnet.com](http://www.schoolnet.com))

หัวไชเท้าที่ถูกเก็บเกี่ยวมาวางจำหน่ายบนแผงของแม่ค้าในตลาด พอเวลาผ่านไประยะหนึ่งเนื้อไชเท้าจะพำ (ลักษณะเนื้อเยื่อเป็นเหมือนฟองน้ำมีโพรงอากาศ) และสูญเสียความชื้น นี่เป็นลักษณะของการเสื่อมคุณภาพ ปัจจุบันไม่พบข้อมูลเชิงสรีระวิทยาการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงของหัวไชเท้าตั้งแต่เก็บมาใหม่ ๆ กับระยะเวลาที่อยู่นบนแผงขายของ มีรูปแบบการทดลองทางวิศวกรรมเกษตรบางอย่างที่น่าจะประยุกต์ใช้หาความแข็งแรงของหัวไชเท้า ที่มีลักษณะเป็นหัวยาวคล้ายทรงกระบอก Sherif et al. (1976) ได้พัฒนาโมเดลคณิตศาสตร์สำหรับทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (E) ของทรงกระบอกยืดหยุ่นภายใต้การระดมผัส Jindal และ Techasena (1985) ได้ปรับปรุงสมการหาค่า E ให้ใช้สะดวกขึ้นโดย E เป็นฟังก์ชันของมิติของตัวอย่างทดลองที่วัดครั้งเดียวและค่าแรงและการเปลี่ยนรูปซึ่งจะได้จากกราฟของ Universal Testing Machine (UTM) ในขณะที่สมการของ Sherif et al. (1976) ต้องการวัดความกว้างของรอยสัมผัสระหว่างการทดลองซึ่งยุ่งยาก วิธีการทดลองหาค่า E แบบนี้ เรียกว่า การกดในแนวรัศมี (Radial compression) Jindal และ Techasena (1985) ได้ใช้วิธีนี้หาค่า E ของมันฝรั่งและพบว่า ค่า E วิธีนี้มีความไวสูงสุดในการหาค่า E ระหว่างการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Axial compression และ Plunger contact loading ยังมีการทดลองการระดมผัสอีกแบบคือการใช้ Die Loading ของ Boussinesq Model วิธีนี้จะเหมาะกับตัวอย่างที่เป็นผิวเรียบ ซึ่ง Sirisomboon et al. (2000) ได้ใช้วิธีการดังกล่าวศึกษาหาสมบัติเชิงกลของลูกแพรญี่ปุ่น วิธี Die Loading น่าสนใจตรงที่การหาค่า E ไม่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับอัตราส่วนแรงและการเปลี่ยนรูปของตัวอย่างการทดลองหนึ่ง ๆ เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนปัวซองคงที่ และหัวกด Die มีขนาดคงที่

เนื่องจากข้อมูลสมบัติเชิงกลของหัวไชเท้ายังไม่มีให้ศึกษา การศึกษาด้านนี้จึงเป็นความท้าทาย ดังนั้นการทดสอบนี้จึงมุ่งที่จะหาสมบัติเชิงกลได้แก่ อัตราส่วนปัวซอง ( $\mu$ ) และโมดูลัสยั้งหรือโมดูลัสความยืดหยุ่น (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

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 "วิศวกรรมเกษตรนำไทยสู่ครัวโลก"

30-31 มีนาคม 2548 ณ โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ กรุงเทพฯ

- 390 -

### 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 ทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นโดยวิธี Die loading ของ Boussinesq จำนวน 20 หัว

กลุ่มที่ 1 ทดสอบหา Poisson's ratio

2. เตรียมชิ้นตัวอย่างโดยใช้ Die ทรงกระบอกกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มม. ยาว 30 มม. กดลงในแนวตามแกนและขวางแกน แนวละ 6 ชิ้น 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  $\mu$  = อัตราส่วนปัวซอง

$\Delta w$  = ความเครียดขวาง

$\Delta l$  = ความเครียดตามยาวที่อ่านค่าได้จากกราฟแรง-การเปลี่ยนรูปที่ระดับแรงกด 20, 40 และ 80 นิวตัน

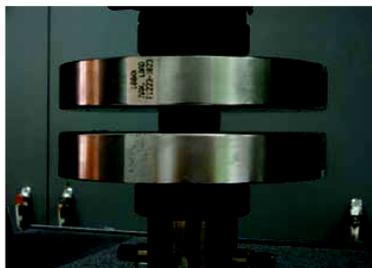
6. ทำการทดสอบซ้ำขั้นตอนที่ 2 - 5 กับหัวไซเท้าอีก 3 หัว

กลุ่มที่ 2 ทดสอบหาค่า E ด้วยวิธี Radial compression

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

8. เตรียมชิ้นตัวอย่างโดยใช้หัว Die กดลงในแนวแกนและแนวขวางผล แนวละ 6 ชิ้น ภายในหัวเดียวกัน ได้ชิ้นตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มม. ยาว 30 มม.

9. วางตัวอย่างด้านยาวสัมผัสกับ Anvil ของ UTM และกดแผ่นแบบแข็งของ 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

- 391 -

## 10. คำนวณโมดูลัสยังจากสูตร

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

- เมื่อ  $\mu$  = อัตราส่วนปัวซอง  
 $D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ  
 $L$  = ความยาวของชิ้นทดสอบ  
 $F$  = แรงที่ใช้  
 $\Delta$  = การเปลี่ยนรูป (deformation)

11. ทำการทดสอบซ้ำขั้นตอนที่ 8-10 โดยทำการทดสอบวันเว้นวัน

## กลุ่มที่ 3 ทดสอบหาค่า E ด้วยวิธี Die Loading

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

13. เตรียมชิ้นตัวอย่างหัวไขเท้าจากกลุ่มที่ 1 โดยแบ่งหัวไขเท้าออกเป็น 4 ส่วนในหนึ่งหัว 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. คำนวณโมดูลัสยังจากสูตร

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

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

16. ทำการทดสอบซ้ำขั้นตอนที่ 12-15 โดยทำการทดสอบวันเว้นวัน

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 "วิศวกรรมเกษตรนำไทยสู่ศรั้วโลก"

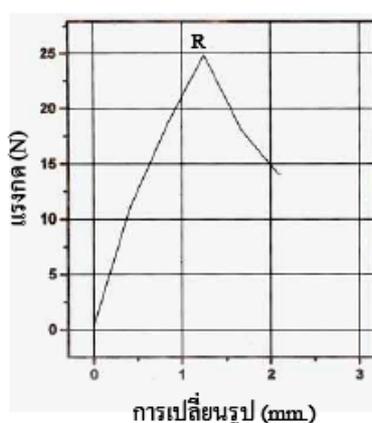
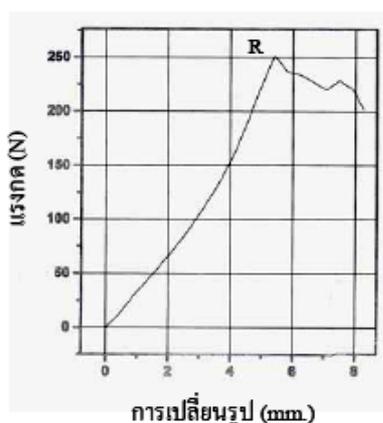
30-31 มีนาคม 2548 ณ โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ กรุงเทพฯ

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 1. ค่าอัตราส่วนปัวซอง

การวิเคราะห์ทางสถิติทำให้ได้ ค่า  $\mu$  ในขั้นตอนทดสอบตามแนวแกนและแนวขวางเฉลี่ย  $0.444 \pm 0.07$  และ  $0.384 \pm 0.08$  ตามลำดับ น่าจะอนุมานได้ว่าเนื้อหัวใจทำในแนวแกนน่าจะแข็งแรงกว่าในแนวขวาง เพราะทำให้ความเครียดน้อยกว่า

#### 2. ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น



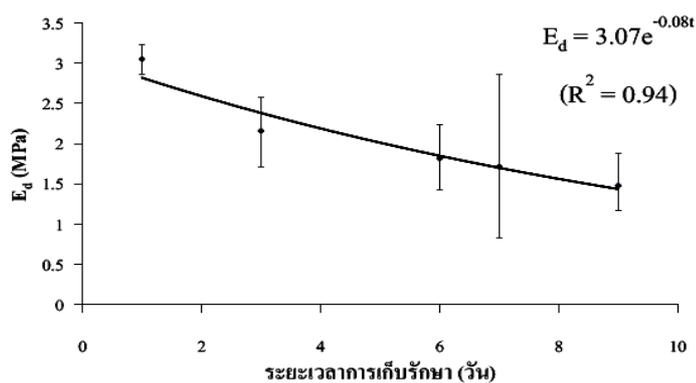
รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูป โดยวิธี Radial compression (ซ้าย) และ Die Loading (ขวา)

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูปจากการกดตัวอย่างหัวใจที่ถูกเตรียมเป็นทรงกระบอกด้วยวิธี Radial Compression โดย Rigid flat surface และการกดหัวใจทำทั้งเปลือก แต่เป็นท่อนตัดออกมาจากหัวใจแล้วผ่าครึ่ง (การเตรียมตัวอย่างหัวใจทำด้วยวิธีนี้ เพื่อให้การเปลี่ยนรูปที่ฐานหัวใจทำสัมผัสกับ Envil ของ UTM มีน้อยมากและลดผลกระทบและความคิดพลาด ของการเปลี่ยนรูปที่วัดได้ ให้เป็นเฉพาะบริเวณหัวใจ Die สัมผัสผิวหัวใจเท่านั้น) วิธี Die loading โดยใช้หัว die กด ปรากฏว่า เมื่อแรงกดเพิ่มหัวใจจะเปลี่ยนรูปหรือยุบตัวเพิ่มขึ้น ปรากฏการนี้จะยุบตัวไปเรื่อย ๆ จนถึงจุด R ที่เนื้อเยื่อหัวใจแตกแยก แรงกดลดลงอย่างรวดเร็ว แต่การยุบตัวยังเป็นต่อไป ใน Die loading หัว die ตรงจุด R แทะทะลุเข้าไปในเนื้อหัวใจพอดี

2.1 ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า E (คำนวณที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ของแรงกดแตก) ที่มาจากวิธี Die Loading ปรากฏว่าค่า E ของหัวใจทำในช่วง 1-3 วัน ไม่ได้รับอิทธิพลจากตำแหน่งของตัวอย่างหัวใจทำในหัวใจทำ แต่ในช่วงวันที่ 5-9 วัน หลังจากที่ทำมาทดลอง ตำแหน่งมีอิทธิพลต่อค่า E อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5% นี้ อาจจะ เป็นได้ว่า ส่วนกลาง ๆ ผลจะสูญเสียเล็กน้อยกว่าส่วนปลายผล เพราะส่วนปลายมีพื้นที่สัมผัสอากาศมากกว่าทำให้สูญเสีย ความชื้นได้มากกว่า ส่งผลให้เสื่อมคุณภาพเร็วกว่าและแข็งแรงน้อยกว่าส่วนกลาง ๆ ผล

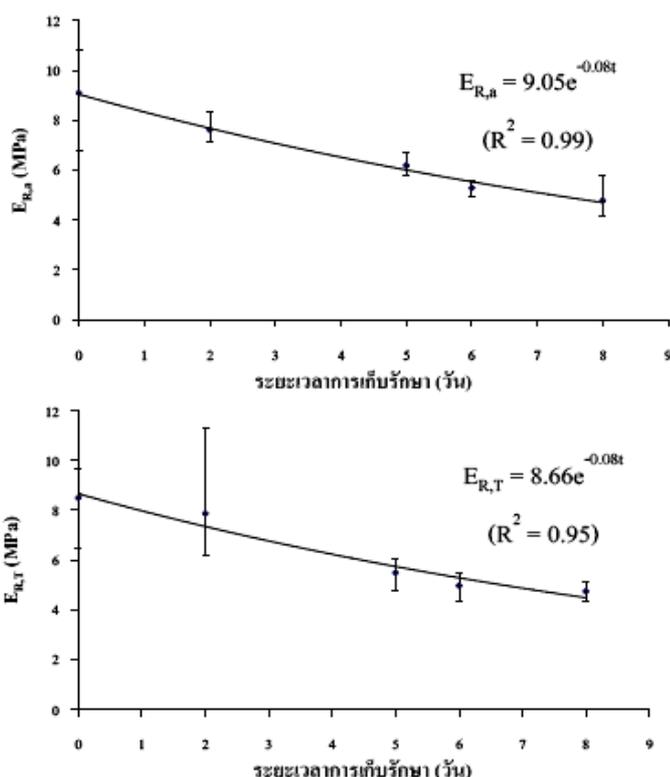
ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าโมดูลัสยังจากวิธี Die Loading

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 ( $E_d$ ) เมื่อวันที่ข้อหัวไซเท้ามาทดลองหรือวันเริ่มต้นของการเก็บรักษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $3.051 \pm 0.18$  Mpa เวลาการเก็บรักษา(t) มีอิทธิพลต่อค่า  $E$  อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $E_d$  กับ t เป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล  $E_d = 3.07e^{-0.084t}$  ( $R^2=0.94$ )



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสยังกับเวลา ที่ทดสอบ โดยวิธี Radial Compression

(บน) ตัวอย่างการทดสอบลูกเตรียมแนวตามแกน และ

(ล่าง) ตัวอย่างการทดสอบลูกเตรียมตามแนวขวาง

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

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

### สรุป

ค่า Poisson's ratio ของหัวไซเท้าแนวตามแกนและขวางแกนมีค่า 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 ขึ้นทดสอบหัวไซเท้าแนวตามแกน  $E_{r,r} = 9.05e^{-0.08t}$  ( $R^2=0.99$ ), ขึ้นทดสอบหัวไซเท้าแนวขวางแกน  $E_{r,t} = 8.66e^{-0.08t}$  ( $R^2=0.95$ ) และขึ้นทดสอบหัวไซเท้าด้วย Boussinesq  $E_d = 3.07e^{-0.08t}$  ( $R^2=0.94$ ) ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่ายังโมดูลัส เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นค่ายังโมดูลัสจะลดลง

### คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (ADB) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่กรุณาสนับสนุนการวิจัย

### 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](http://www.schoolnet.com)

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 "วิศวกรรมเกษตรนำไทยสู่ครัวโลก"

30-31 มีนาคม 2548 ณ โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ กรุงเทพมหานคร

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

## พฤติกรรมเชิงกลของผลแก้วมังกร Mechanical Behavior of Dragon Fruit

บัณฑิต จริโมภาส<sup>1</sup> ชนิตา บุพตา<sup>1</sup> ธนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง<sup>1</sup> ศักดา จันทร์ทอง<sup>1</sup>  
Bandit Jarimopas<sup>1</sup> Chanida Bupata<sup>1</sup> Tanarat Srinungruang<sup>1</sup> Sukda Junthong<sup>1</sup>

### 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 และการกระจายผลผลิตไปสู่แหล่งบริโภคทำให้ผลแก้วมังกรได้รับภาวะเชิงกลตลอดเกิดความเสียหายและซ้ำ 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 ในขณะที่อัตราการเคลื่อนที่มีอิทธิพลต่อแรงกดและการเปลี่ยนรูปที่จุดแตกอย่างมีนัยสำคัญ ข้อมูลละเอียดของสมบัติเชิงกลถูกนำเสนอในบทความนี้

**คำสำคัญ:** แก้วมังกร, พฤติกรรมเชิงกล, โมดูลัสความยืดหยุ่น

### คำนำ

แก้วมังกร มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ Hylo-cereus undatus (HAW) ชื่อสามัญ Pitahaya, Dragon fruit เป็นพืช ในตระกูลตะบองเพชร ผลมีรสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ถิ่นกำเนิดในอเมริกากลาง ทรงผลอาจจะเป็นทรงรูปไข่ สีผลโดยทั่วไปมีสีแดง บานเย็นเกือบทั้งผล กลีบบนผลมีสีเขียว แต่โคนกลีบมีสีแดงบานเย็น ลักษณะภายใน เมื่อผ่าผลออก (ตามยาว) ก็เห็นเนื้อสีขาวขุ่นคล้ายน้ำกะทิ มีเมล็ดสีดำฝังตัวกระจายอยู่ทั่วไป เนื้อแน่น กรอบนุ่ม รสชาติหวานอมเปรี้ยว ความหวานที่เคียววัดได้สูงสุดคือ 19% บริเวณส่วนกลางของ เนื้อผล เนื้อส่วนอื่นเช่นที่ใกล้เปลือก ด้านก้านผล และปลายผลมีความหวานน้อยกว่าที่ส่วนกลาง ส่วนใหญ่จะชอบบริโภคสด และให้มีรสชาติต้องแช่ตู้เย็น นอกจากนี้แล้วยังนำไปแปรรูปได้ เช่น เครื่องดื่มไวน์-แยม ผลแก้วมังกรมีคุณค่าทาง

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม

<sup>1</sup> Department of Agricultural Engineering, Kamphaengsaen Engineering Faculty, Kasetsart University, Nakomphothom

อาหาร โดยเฉพาะอุดมด้วยแร่ธาตุต่างๆ เช่น โพแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม และวิตามินซี เป็นต้น (สุรพงษ์,2544) ผลแก้วมังกรจะเกิดความเสียหายและการชำ จากการเก็บเกี่ยว ขนย้าย

Mohsenin (1996) กล่าวว่า ความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางกายภาพของวัสดุเกษตรจะประกอบกันเป็นข้อมูลทางวิศวกรรมที่สำคัญในการออกแบบเครื่องจักร กระบวนการ โครงสร้าง การควบคุม การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องจักรปฏิบัติและงานแปรรูปทางการเกษตร เทคนิคการทดสอบวัสดุเกษตรตามรูปทรงธรรมชาติของมัน หรือการทดสอบภาระสัมผัสได้ถูกนำมาใช้หาสมบัติเชิงกลของผลไม้และผักในหลายงานวิจัย (บัณฑิต และอุดมศักดิ์ , 2547 ; Chen et al., 1996; บัณฑิต และคณะ , 2548a; บัณฑิต และคณะ , 2548b; Jarimopas et al., 1990 ; Jarimopas, 1984; Sirisomboon et al., 2000 ;) ในการทดสอบภาระสัมผัสมักจะนิยมใช้หัวกดแบบแผ่นแบนแข็ง (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) ทดสอบหาโมดูลัสความยืดหยุ่นโดยใช้อัตรากระเดียดสำหรับการกดอัดแบบเกือบสถิตย์ ในอดีตที่ผ่านมาหัว plunger และ die ถูกใช้ต่างขนาดกันนี้ทำให้เกิดความสงสัยว่า การเปลี่ยนแปลงขนาดของหัวกด และอัตรากระเดียดทำให้เกิดผลกระทบอย่างไรบ้างต่อสมบัติเชิงกลของผักผลไม้ที่หาได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะหาสมบัติเชิงกล ได้แก่ โมดูลัสความยืดหยุ่น ความแน่นเนื้อ การตอบสนองของด้วยแรง 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)

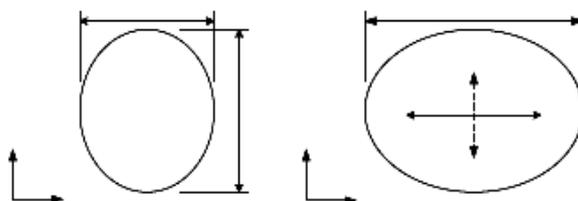


Figure 1 Profile of Dragon Fruit

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

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

ซึ่งน้ำหนักของแก้วมังกรโดยเครื่องชั่งละเอียด แล้วผ่าครึ่งแก้วมังกรตามแนวแกน 1 วัดความหนาเปลือกแก้วมังกร และบันทึกผล

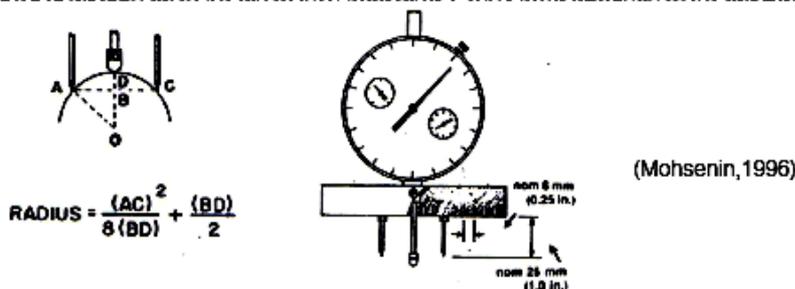


Figure 2 A Meter Measuring Radius of Curvature

**2. การทดสอบหาค่าโมดูลัสยัง**

2.1 วิธี 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./นาที (ASAE standard, 1998) จนถึงจุดแตกหัก (Rupture) และเอาภาระออก 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;  $\mu$  = Poisson's ratio (ใช้ค่า  $\mu$  ของผลแอปเปิ้ล = 0.26) ทดลองซ้ำที่ความเร็วหัวกด 25 และ 250 มม./นาที ตามลำดับ และ Die ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 และ 8 มม. โดยใช้ขึ้นทดสอบแก้วมังกรสำหรับ 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./นาที จนถึงจุดแตกหักและเอาภาระออก บันทึกกราฟแรงและเปลี่ยนรูป ทดลอง 10 ซ้ำ คำนวณโมดูลัสยังจากสมการ (4) ทดลองซ้ำ ที่ความเร็วหัวกดเป็น 25 และ 250 มม./นาที 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 ลอกเปลือกออก วางขึ้นทดสอบบน Anvil ของ UTM และกด Flat plate ของ Crosshead ลงบนขึ้นทดสอบ (Figure 5) ด้วยความเร็ว 2.5 มม./นาที จนถึงจุดแตกและเอาภาระออก บันทึกกราฟแรงและเปลี่ยนรูป ทดลองซ้ำ 10 ซ้ำ คำนวณโมดูลัสยังจากสมการ (5) ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนความเร็ว Flat plate เป็น 25 และ 250 มม./นาที 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  $75.80 \pm 1.98$  มม. ความหนา  $78.51 \pm 1.86$  มม. และความยาว  $134.27 \pm 5.73$  มม. น้ำหนักเฉลี่ย  $426.03 \pm 19.50$  กรัม ความหนาเปลือก  $2.85 \pm 0.87$  มม. และรัศมีความโค้งแนว 1 และแนวที่ 2 มีค่า  $94.20 \pm 15.62$  และ  $49.16 \pm 7.00$  มม. ตามลำดับ สำหรับการทดสอบโดยใช้เครื่อง UTM จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูป (Figure 6a,b,c) จากการกดตัวอย่างแก้วมังกรที่ถูกผ่าครึ่ง เมื่อใช้หัว Die กด ปรากฏว่าเมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นการเปลี่ยนรูปเพิ่มขึ้น อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงการเปลี่ยนรูป 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 Biopoly 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. ( $CV \cong 5.8\%$ )

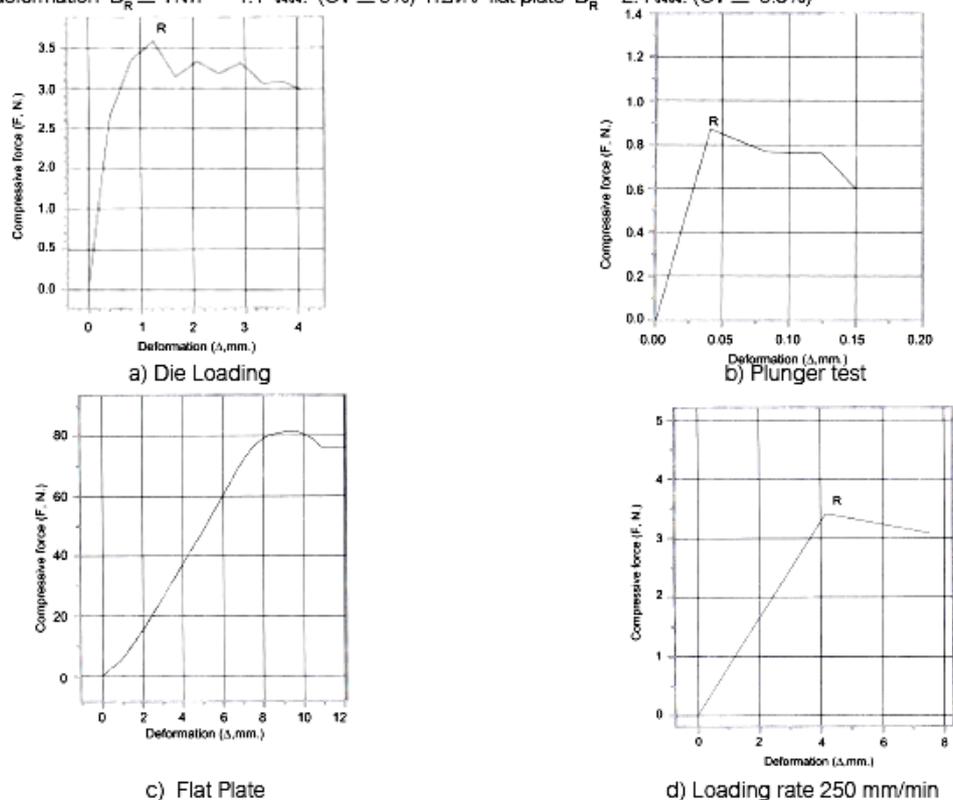


Figure 6 Typical force-deformation responses of dragon fruit for loading rate 2.5 and 25 mm/min (a,b,c) and loading rate 250 mm/min (d)

## 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 พบว่าค่าโมดูลัสยังจะลดลง การทดสอบแบบ Die Loading ที่ความเร็วหนึ่ง ๆ พบว่าเมื่อขนาดของหัวกดเพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสยังจะลดลงเช่นเดียวกัน แต่ในกรณีของหัว Plunger สำหรับ LR หนึ่ง ๆ เมื่อหัว Plunger มีขนาดใหญ่ขึ้น จะทำให้ได้ค่าโมดูลัส (E) ลดลง ซึ่งเป็นจริงในกรณี ความเร็ว 2.5 และ 25 มม./นาที แต่เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นมาเป็น 250 มม./นาที ปรากฏการณ์เป็นตรงกันข้ามค่าโมดูลัสยังกลับเพิ่มขึ้น เมื่อหัว Plunger มีขนาดใหญ่ขึ้นนี้อาจอธิบายได้จากสมการ (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 โมดูลัสยังจึงกลับเพิ่มขึ้น เมื่อหัว Plunger มีขนาดใหญ่ขึ้น สำหรับ Flat plate เมื่อ LR เพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสยังจะเพิ่มขึ้นด้วยสอดคล้องกับ Jarimopas (1984) ได้ทำการทดสอบแบบ Quasi – static และ Impact compression กับ Apple พันธุ์ Golden delicious ด้วย Flat plate ผลการทดสอบปรากฏว่าค่าโมดูลัสยังมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จาก 7.43 เป็น 7.50 MPaตามลำดับ

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

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	123.882	3	41.294	527.759	.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 เมื่ออัตราภาวะเพิ่มขึ้น 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
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 เมื่อกดแก้วมังกรที่อัตราภาระสูง = 250 มม./นาที  $D_R$  ของแก้วมังกรตบสองของหัวกดทั้งแบบ Die และ Plunger ที่ค่าค่อนข้างคงที่ (ในทุกๆ ขนาด) เฉลี่ย 1.098 มม (cv  $\cong$  8.9%) แก้วมังกรตบสองของตบ 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	2.305 ± 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 โกลิยะจินดา, 2544. แก้วมังกร พืชเศรษฐกิจ ผลไม้สู่สุขภาพ. สมาคมพืชสวนแห่งประเทศไทย กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- บัณฑิต จริโนภาส และ อุคมศักดิ์ กิจทวี. 2547. การรับรู้ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงภายใต้การกระทบ. *วิศวกรรมสาร* มก. 18 (52) : 19-26.
- บัณฑิต จริโนภาส, พนิดา บุชปฤกษ์, ชนิตา บุพเตา และธนรัตน์ ศรีรุ่งเรือง. 2548a. อัตราส่วนผิวของและโมดูลัสของหัวไซเท้า. *บทความวิจัยเสนอในการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 6 จัดโดยสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ร่วมกับ คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คลอง 6 ระหว่างวันที่ 30-31 มีนาคม 2548 ณ โรงแรมแกรนด์มิราเคิล กรุงเทพฯ*
- บัณฑิต จริโนภาส, บุลยวิษ ศิริสวัสดิ์, นิติพงษ์ ใจสิน และพนิดา บุชปฤกษ์. 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-Altisent, 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.

โมเดลคณิตศาสตร์ประเมินปริมาตรและการจัดเกณฑ์คุณภาพของผลชมพูไทย  
Mathematical Model Estimating Volume and Quality Grading of Thai Rose Apple Fruit

บัณฑิต จริโมภาส<sup>1</sup> และ ชนิดา บุพตา<sup>1</sup>  
Bundit Jarimopas<sup>1</sup> and Chanida Bupata<sup>1</sup>

Abstract

The purpose of this research was to a.) design a mathematical model estimating volume of a rose apple fruit based on conical shape assumption, b.) study quality grading of rose apple for 3 cultivars, i.e. Toon Glao, Tubtimjan and Thongsamsri graded by growers. Result showed that the linear regression between true volume ( $V_t$ ) and estimated volume ( $V_e$ ) for the 3 cultivars is  $V_t = 1.8528V_e - 54.298 \text{ cm}^3$  ( $R^2 = 0.92$ ),  $V_t = 0.792V_e + 20.187 \text{ cm}^3$  ( $R^2 = 0.99$ ),  $V_t = 0.888V_e - 2.9392 \text{ cm}^3$  ( $R^2 = 0.98$ ) respectively.

Toon Glao cultivar were divided into 3 classes namely Yod, Piset, Taeg with average fruit weight 100.70, 73.13 and 88.96 grams respectively. Tubtimjan cultivar for the foreign market consisted of 5 grades, i.e. 4A (152.09 gm), 3A (131.73 gm), 2A (119.54 gm), A (94.98 gm) and blemish respectively. For the local market there were 3 grades, i.e. big (128.78 gm), medium (111.23 gm), blemish respectively. Thongsamsri was divided into 6 grades, i.e. 5A (3-4 fruit/kg), 4A (4-5 fruit/kg), 3A (6 fruit/kg), 2A (8 fruit/kg), A (10 fruit/kg), blemish. Each grade when exported must be premium quality and without blemish.

Keywords : Mathematical Model, Grading, Rose Apple

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อที่จะ ก.) สร้างสมการเพื่อคาดคะเนปริมาตรของผลชมพู ข.) ศึกษาการจัดเกณฑ์คุณภาพของชมพู โดยใช้ผลชมพู 3 พันธุ์ คือ ทูลเกล้า ทับทิมจันทร์ และทองสามสีที่คัดแยกโดยเกษตรกร ผลการศึกษาปรากฏว่า สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรจริง ( $V_t$ ) และปริมาตรประเมิน ( $V_e$ ) โดยใช้สมมติฐานว่าชมพูมีรูปร่างคล้ายทรงกรวยสำหรับชมพูพันธุ์ทูลเกล้า, ทับทิมจันทร์ และทองสามสี เป็น  $V_t = 1.8528V_e - 54.298 \text{ cm}^3$  ( $R^2 = 0.92$ ),  $V_t = 0.792V_e + 20.187 \text{ cm}^3$  ( $R^2 = 0.99$ ),  $V_t = 0.888V_e - 2.9392 \text{ cm}^3$  ( $R^2 = 0.98$ ) ตามลำดับ

ชมพูทูลเกล้าแบ่งเป็น 3 เกรด คือ ยอด พิเศษ เบอร์แตก มีน้ำหนักเฉลี่ยแต่ละเกรดดังนี้ 100.70, 73.13 และ 88.96 กรัม ตามลำดับ ส่วนชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์แบ่งเป็นตลาดต่างประเทศและตลาดในประเทศ ซึ่งตลาดต่างประเทศมี 5 เกรด คือ 4A, 3A, 2A, A และ ตำนาน มีน้ำหนักเฉลี่ยดังนี้ 152.09, 131.73, 119.54, 94.98 และ 117.08 กรัม ตามลำดับ ส่วนตลาดในประเทศแบ่งเป็น 3 เกรด คือ ใหญ่ กลาง และ ตำนาน มีน้ำหนักเฉลี่ยดังนี้ 128.78, 111.23, 136.02 กรัม ตามลำดับ และชมพูพันธุ์ทองสามสี แบ่งเป็น 6 เกรด คือ 5A, 4A, 3A, 2A, A และ แดก ซึ่งมีเกณฑ์ดังนี้ 3-4 ผล/kg, 4-5 ผล/kg, 6 ผล/kg, 8 ผล/kg, 10 ผล/kg, เบอร์แตกจะรวมทุกขนาด แต่ละเกรดของชมพูทุกพันธุ์ที่ขายในตลาดต่างประเทศจะต้องมีคุณภาพดีที่สุด ผลปลอดจากตำหนิ ยกเว้นตำหนิเล็กน้อยที่ไม่สามารถมองเห็นได้ และไม่มีผลต่อรูปลักษณะทั่วไปของผล ส่วนตลาดภายในประเทศผลจะมีตำหนิได้เล็กน้อย และเบอร์แตกหรือตำหนิคือส่วนที่ผลมีตำหนิอย่างชัดเจน เช่น รอยแตก ที่ไม่ทำให้เน่าเสีย

คำสำคัญ : โมเดลคณิตศาสตร์, เกณฑ์คุณภาพ, ชมพูไทย

คำนำ

ชมพูเป็นผลไม้ของเขตร้อนที่สำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทย ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยนั้นมีการส่งออกชมพูมากถึง 65,000 ตันปี (ข้อมูลปี 41) โดยมีการปลูกชมพูกันมากในจังหวัดเพชรบุรี และนครปฐม (จันทร์จิรา, 2546) ปัจจุบันชมพูได้รับความนิยมจากผู้บริโภคไม่แพ้ผลไม้ชนิดอื่น ดังนั้นพื้นที่ปลูกชมพูจึงขยายตัวมากขึ้นเป็นลำดับ มีการปลูกเป็นลำเป็นสันมากขึ้นและมีการพัฒนาวิธีการปลูกและการปฏิบัติที่ช่วยให้ชมพูออกดอกติดผลตามช่วงเวลาที่ต้องการได้ ผลผลิตส่วนใหญ่ใช้บริโภคกันภายในประเทศ นอกจากนี้ยังส่งไปต่างประเทศ ได้แก่ฮ่องกงและสิงคโปร์ (สุพจน์, 2543)

ชมพูที่ปลูกกันในปัจจุบันนั้นมียูหลายพันธุ์ แต่พันธุ์เศรษฐกิจที่น่าสนใจมีดังนี้(เปรมปรี, มปป) ทูลเกล้า, ทับทิมจันทร์ และทองสามสี พันธุ์ทูลเกล้าปลูกมากในแถบอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม ทูลเกล้าเป็นชมพูที่มีรูปทรงผลสวย ผลค่อนข้างยาว สีผลออกสีเขียวอมเหลือง แต่ในช่วงร้อนสีจะออกขาวซีด ส่วนชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ ปลูกมากในอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม และอำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในตลาด โดยที่เป็นชมพูที่มีผลขนาดใหญ่ ไม่มีเมล็ด รูปร่างผลสวยทรงระฆัง สีแดงเข้ม ผิวมันเป็นประกาย มีสันขึ้น เป็นแนวตามยาวของผล และชมพูพันธุ์ทองสามสีพบมากในอำเภอดำเนินสะดวก อำเภอวัดเพลง จังหวัดราชบุรี พันธุ์นี้มีความโดดเด่นทางด้านรสชาติที่หวานกรอบ มีสีแดงสวยงามน่ารับประทาน ทรงผลคล้ายระฆัง ไม่มีเมล็ด

การขายชมพูของเกษตรกรในปัจจุบันจะมีการแยกเป็นเกรดต่างๆ การคัดขนาดเรียกเป็นเกรดหรือเป็นเบอร์ตามขนาดในแต่ละพันธุ์หรือสวนหรือแหล่งจำหน่ายจะมีการคัดขนาดผลแตกต่างกันไปทั้งขนาดและการเรียกชื่อ ขนาดผลนั้นโดยทั่วไปจะคัดขนาดผลตามความรู้สึกที่เห็น เช่นอาจแบ่งเป็นผลขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็ก เช่นชมพูเพชรเบอร์ใหญ่มีจำนวน 7 ผลต่อกิโลกรัม เป็นต้น ชมพูแต่ละพันธุ์มีการคัดขนาดผลแตกต่างกัน (สุพจน์, 2543)

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระบบการจัดการจัดเก็บคุณภาพของชมพูพันธุ์เศรษฐกิจเพื่อตลาดบริโภคผลสด
  2. เพื่อสร้างสมการสำหรับการคาดคะเนปริมาณของผลชมพูพันธุ์เศรษฐกิจ
- ผลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาแบบและอุปกรณ์คัดแยกคุณภาพผลชมพู

### อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการศึกษาเป็นดังนี้ คือ

#### 1.) การหาโมเดลคณิตศาสตร์ประเมินปริมาณผลชมพู

ผลชมพูถูกสมมุติว่ามีพื้นฐานใกล้เคียงกับรูปทรงกรวยซึ่งสามารถหาปริมาตรได้จาก  $V = \frac{\pi}{24} \tan \theta \cdot d^3$  เมื่อ  $\theta$  (มุมความลาดเอียงของตัวผลกับระนาบของก้นผล) = 75 องศา (พันธุ์ทูลเกล้า), 79 องศา (ทับทิมจันทร์และทองสามสี) วัดเส้นผ่าศูนย์กลางมากที่สุด ( $d_{Max}$ ) เส้นผ่าศูนย์กลางน้อยที่สุด ( $d_{Min}$ ) ความสูง (h) ของแต่ละผล ซึ่งนำหนักชมพูในอากาศ (W), น้ำหนักในน้ำของแต่ละผล ตัวเลขน้ำหนักในน้ำเป็นกรัมคือค่าปริมาตรจริงของผลชมพู  $V_f$  เป็น  $cm^3$  (บัณฑิต, 2545) คำนวณค่าเฉลี่ย  $d_{Max}$  และ  $d_{Min}$  ของแต่ละผล แล้วนำค่าเฉลี่ยนี้ไปคำนวณหา  $V_o$  (ปริมาตรประเมิน) นำค่าที่ได้ต่างๆ ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_f$  กับ  $V_o$  เพื่อวิเคราะห์หาสมการที่เหมาะสมและค่า  $R^2$  ใช้ตัวอย่างผลชมพูแต่ละพันธุ์ ขนาดละ 60 ผล (3 ขนาด เล็ก กลาง ใหญ่)

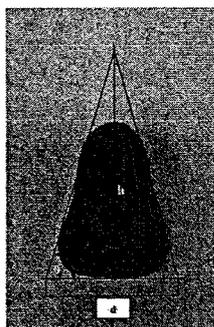


Figure 1 assume shape rose apple look like a cone.

#### 2.) การหาเกณฑ์คุณภาพของชมพูไทย

เก็บข้อมูลจากแหล่งปลูกชมพูแต่ละพันธุ์ ใช้ตัวอย่างจำนวน 5 สวน (ทูลเกล้า 1 สวน ทับทิมจันทร์ 3 สวน ทองสามสี 1 สวน) โดยสุ่มมาขนาดละ 20 ผล (เล็ก กลาง ใหญ่) วัดเส้นผ่าศูนย์กลางมากที่สุด ( $d_{Max}$ ) เส้นผ่าศูนย์กลางน้อยที่สุด ( $d_{Min}$ ) ความสูง ซึ่งนำหนักชมพูของแต่ละผล คำนวณค่าเฉลี่ย  $d_{Max}$  และ  $d_{Min}$  ของแต่ละผล สังเกตตำหนิที่เกิดขึ้น และแยกประเภทของตำหนิออกเป็น 4 ชนิด ดังนี้ ข้ำ, กลอก, บาด, แตก พร้อมทั้งคำนวณหาขนาดของรอยตำหนิ สอบถามข้อมูลการคัดขนาดและการจัดเกรดจากเกษตรกรโดยใช้แบบสอบถามที่เตรียมไป

## ผลการทดลองและวิจารณ์

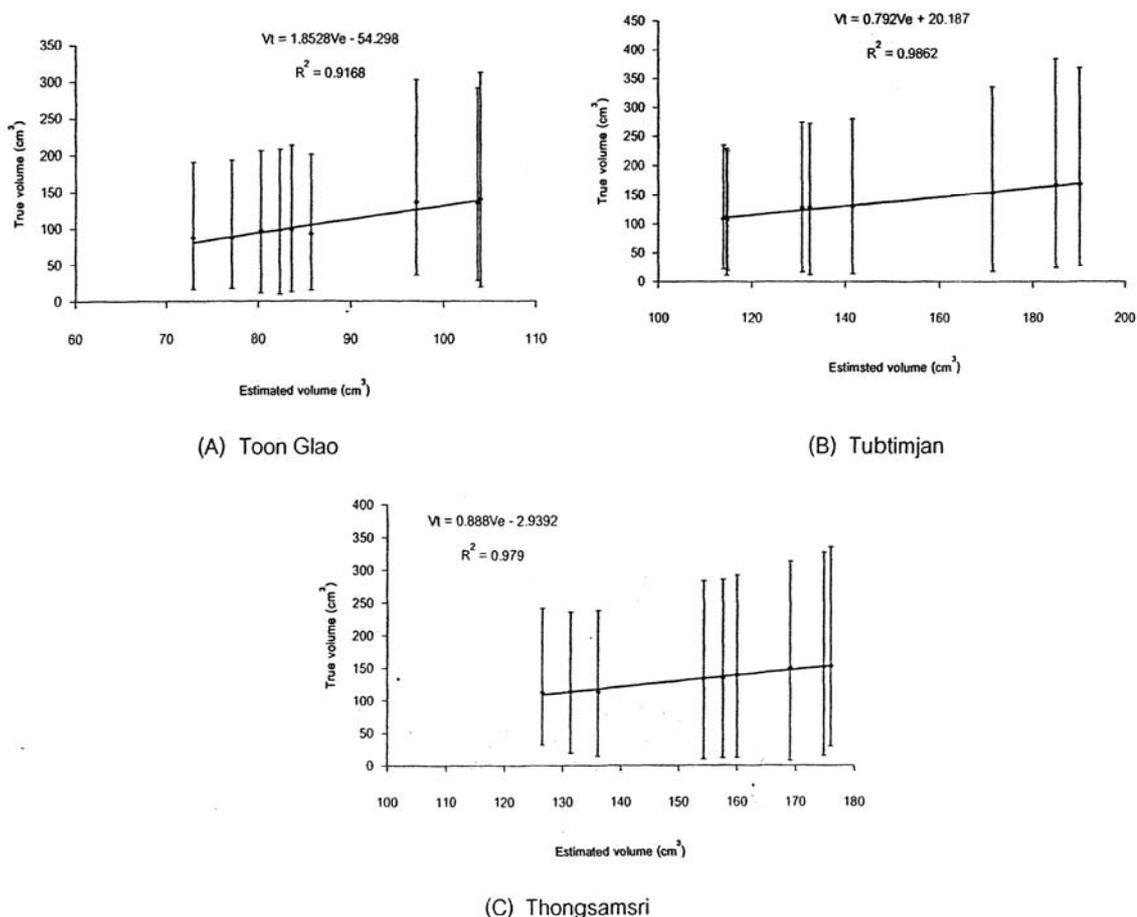


Figure 2 Linear regression of the true volume and estimated volume

เมื่อให้สมมติฐานว่าชมพูมีลักษณะใกล้เคียงกับทรงกรวย และนำเอาปริมาตรชมพูจริงมาทำ linear regression กับ ปริมาตรที่คำนวณได้จากเส้นผ่าศูนย์กลางผลจะได้สมการพหุนามกำลังสาม, ทับทิมจันทร์ และทองสามสี ดังนี้  $V_t = 1.8528V_e - 54.298$  ( $R^2 = 0.92$ ),  $V_t = 0.792V_e + 20.187$  ( $R^2 = 0.99$ ),  $V_t = 0.888V_e - 2.9392$  ( $R^2 = 0.98$ ) ตามลำดับ (figure 2) นี้ทำให้เห็นตัวเลขปริมาตรผลชมพูขึ้นอยู่กับเส้นผ่าศูนย์กลางผลอย่างเดียว

จากการสำรวจตลาดเก็บข้อมูลของชมพูพันธุ์ทูลเกล้า, ทับทิมจันทร์ และทองสามสีจากแหล่งปลูกพบว่า ในแต่ละพันธุ์ จะมีการแบ่งเกรดแตกต่างกันออกไป โดยชื่อที่ใช้เรียกแต่ละเกรดก็จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพ่อค้าคนกลางจะเป็นผู้กำหนด การแบ่งเกรดของชมพูพันธุ์ทูลเกล้าแบ่งเป็น 3 เกรด คือ ยอด พิเศษ เบอร์แตก มีน้ำหนักเฉลี่ยแต่ละเกรดดังนี้ 100.70, 73.13 และ 88.96 กรัม ตามลำดับ ส่วนชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์แบ่งเป็นตลาดต่างประเทศและตลาดในประเทศ ซึ่งตลาดต่างประเทศมี 5 เกรด คือ 4A, 3A, 2A, A และ ตำนี มีน้ำหนักเฉลี่ยดังนี้ 152.09, 131.73, 119.54, 94.98 และ 117.08 กรัม ตามลำดับ ส่วนตลาดในประเทศแบ่งเป็น 3 เกรด คือ ใหญ่ กลาง และ ตำนี มีน้ำหนักเฉลี่ยดังนี้ 128.78, 111.23, 136.02 กรัม ตามลำดับ และชมพูพันธุ์ทองสามสี แบ่งเป็น 6 เกรด คือ 5A, 4A, 3A, 2A, A และ แดก ซึ่งมีเกณฑ์ดังนี้ 3-4 ผล/kg, 4-5 ผล/kg, 6 ผล/kg, 8 ผล/kg, 10 ผล/kg, เบอร์แตกจะรวมทุกขนาด และในการตรวจสอบปริมาณความเสียหายหรือรอยตำหนิ ของชมพู โดยแบ่งประเภทของตำหนิออกเป็น 4 ประเภท คือ ข้ำ ถลอก แตก บาด จาก Table 1 พบว่าชมพูที่ขายในประเทศ สำหรับทุกพันธุ์จะมีความเสียหายมากกว่าชมพูที่ส่งขายต่างประเทศ เบอร์ตำหนิจะมีความเสียหายสูงที่สุดในทุกๆ พันธุ์ ชมพู ที่ส่งขายตลาดต่างประเทศถึงแม้จะมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหาย ข้ำและถลอกใกล้เคียงกับตลาดในประเทศ แต่เมื่อดูพื้นที่ความเสียหายเฉลี่ยต่อผลพบว่าจะมีค่าน้อยกว่า ส่วนแตกและบาดจะน้อยกว่าผลที่ขายในประเทศ ซึ่งจะเห็นได้ว่ารอยแตกและบาด

เป็นรอยที่เห็นได้ชัดเจนแต่พบในชมพูที่ส่งออกน้อยหรือเกิดเป็นรอยเล็กๆ เท่านั้น ความเสียหายส่วนหนึ่งอาจเกิดขึ้นในขณะที่นำชมพูมาทดสอบโดยชมพูบางส่วนไม่ได้มีการหุ้มด้วยโฟมตาข่ายในขณะที่ขนย้ายจากสวนมาทำการทดสอบ

Table 1 Comparison of damage area per fruits and damage percent per fruits for rose apple.

cultivar	Market	calss	average damage area per fruits				average damage percent			
			bruising (cm <sup>2</sup> )	abrasion (cm <sup>2</sup> )	crack (cm)	cut (cm)	bruising (%)	abrasion (%)	crack (%)	cut (%)
Toon glao	Local market	yod	0.23	0.36	0.97	0.06	55.0	50.0	80.0	10.0
		piset	0.30	0.09	0.39	0.00	55.0	30.0	55.0	0.0
		tæg	0.72	0.55	0.92	1.40	80.0	75.0	65.0	40.0
Tubtimjua	Local market	big	0.08	0.01	0.30	0.00	25.0	15.0	55.0	0.0
		medium	0.03	0.03	0.30	0.00	20.0	15.0	40.0	0.0
	Export	blemish	0.23	0.04	0.47	4.42	55.0	20.0	50.0	100.0
		4A	0.25	0.04	0.00	0.80	50.0	15.0	0.0	55.0
Thongsamsri	Local market	3A	0.11	0.01	0.03	0.24	40.0	15.0	5.0	25.0
		2A	0.05	0.00	0.00	0.23	10.5	0.0	0.0	26.3
	and Export	A	0.45	0.04	0.00	0.24	50.0	50.0	0.0	20.0
		3A	0.06	0.23	0.09	0.00	35.0	70.0	20.0	0.0
		2A	0.08	0.30	0.05	0.04	25.0	85.0	10.0	0.0
blemish	0.81	1.52	0.23	0.00	48.0	100.0	24.0	12.0		

### สรุป

สมการคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับประเมินปริมาณชมพูพันธุ์ทุลเกล้า, ทับทิมจันทร์ และทองสามสี ดังนี้  
 $V_t = 1.8528V_e - 54.298$ ,  $V_t = 0.792V_e + 20.187$ ,  $V_t = 0.888V_e - 2.9392$

สำหรับการแบ่งเกรดของชมพูแต่ละพันธุ์ขึ้นอยู่กับเกรดระหว่างผู้ปลูกกับพ่อค้า ซึ่งรวมไปถึงการเรียกชื่อเกรดต่างด้วย โดยตลาดที่ขายชมพูแบ่งเป็น 2 ตลาด คือ ตลาดภายในประเทศและตลาดต่างประเทศ โดยตลาดต่างประเทศจะเป็นชมพูที่มีคุณภาพสูงกว่าชมพูที่ขายในตลาดภายในประเทศ ซึ่งจะเป็นผลที่ไม่มีตำหนิหรือมีตำหนิที่มองไม่เห็น ส่วนผลที่มีตำหนิน้อยจะขายในตลาดในประเทศ และผลที่มีตำหนิมากจะขายเป็นเบอร์ตำหนิหรือเบอร์แตก ซึ่งมักจะนำไปทำเป็นผลไม้ตัดแต่งที่ขายตามตลาดนัดทั่วไป

### คำขอขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการพัฒนาด้านทิศศึษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว (ADB) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่กรุณาสนับสนุนการวิจัย

ขอขอบคุณเกษตรกรใน อ.สามพราน, อ.กำแพงแสน จ. นครปฐม และ อ.ดำเนินสะดวก จ.ราชบุรี ที่กรุณาสละเวลาตอบแบบสัมภาษณ์การผลิตและให้รายละเอียดการผลิตชมพู

### เอกสารอ้างอิง

- แปรมปรี ณ.สงขลา. มปพ. การลงทุนทำสวนชมพูอย่างมืออาชีพ. เจริญรัฐการพิมพ์. กรุงเทพฯ 162 น.  
 สุพจน์ ตั้งจิตพร. 2543. เอกสารประกอบการเรียนการสอนเรื่อง ชมพู. วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีชลบุรี. ชลบุรี 280 น.  
 ถนอมพรรณ เลิศไกร. 2539. การประเมินผลการจัดชั้นมาตรฐานของชมพูทุลเกล้าโดยผู้ปลูก. ปัญหาพิเศษปริญญาตรีภาควิชาพืชสวน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 33 น.  
 กวีร์ วานิชกุล. 2542. การประเมินผลการจัดชั้นคุณภาพของผลชมพูพันธุ์ทุลเกล้าและเพชรสายรุ้ง. รายงานการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2542. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 36 น.  
 ปิติพร ตอพรหม, นัยวัฒน์ สุขทั้ง และบัณฑิต จริโมภาส. 2548. การออกแบบและทดสอบบรรจุภัณฑ์ชมพูทองสามสี. บทความวิจัยเสนอในการสัมมนาทางวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติ แห่งชาติครั้งที่ 3 จัดโดยโครงการพัฒนาด้านทิศศึษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ระหว่างวันที่ 10-11 ตุลาคม 2548 ณ. โรงแรมทิพย์วิมานรีสอร์ท หาดชะอำ จังหวัดเพชรบุรี .



Faculty of Engineering  
Khon Kaen University



Thai Society of  
Agricultural Engineering



American Society of  
Agricultural and Biological Engineers

## Conditions Influencing Design of A Java Apple Fruit Sizing Machine

Chanida Bupata<sup>1</sup> Bundit Jarimopas<sup>2</sup> Sakda Chantong<sup>3</sup>

### Abstract

The purpose of this research was to determine conditions influencing the design of java apple fruit sizing machine. Modelling fruit volume as a function of fruit diameter was presented and mechanical sizing of diverging belt was consequently proposed. Variation of two design conditions, i.e. belt speed  $S$  and belt angle  $A$  against the performance of the sizing machine was carried out. Testing and statistical analysis were conducted with the experimental sizing machine.

Results showed that  $S$  and  $A$  significantly influenced the machine performance in terms of mean contamination ratio, sizing efficiency and sizing capacity. The appropriate conditions contributing the best sizing were the belt speed of 12 m/min and the belt angle of 80 degrees.

**Keywords** : Java apple , sizing

### Introduction

Java apple is one of the favorite fruit of Thailand. It is tenderly sweet, crunchy and rich of nutritional values (Reference). Normally, fresh java apple production includes sizing in order to increase revenue and encourage packaging. Java apple sizing is typically manual which requires lots of labor. Nowadays, agricultural labor is expensive, hardly available and difficultly managed. Therefore, development of a sizing machine for java apple fruit becomes essential.

Development of an agricultural machine necessarily uses engineering design. Fundamentally, the design should incorporate the understanding of conditions (e.g engineering, physical characteristics, geometry of the agricultural material and machine) influencing the machine performance. For example, variation of rotating disk speed and pattern of sizing aperture against sizing error, efficiency and capacity were determined before selection of the proper design of the mangosteen fruit sizing machine (Jarimopas et al., 2007a). Effects of knife angles and fruit rotating speed (Jarimopas. et al., 2007b; Jarimopas and Pechsamai, 2002) on the trimming quality of young coconut fruit was determined before the decision of the appropriate design of the young coconut fruit trimming machine. Influence of machine component dimension, roller speed, belt speed upon sorting effectiveness between soil clod and onion or between soil clod and potato was determined before the proper design of the sorting machine was selected (Feller et al., 1984; Feller et al., 1985).

The purpose of this research was then to determine the conditions influencing the design of java apple fruit sizing machine and obtain the proper design conditions.

---

<sup>1,2,3</sup> Graduate Student , Associate Professor, Assistant Professor and Technician, Department of Agricultural Engineering,  
Kamphaengsaen Engineering Faculty, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakohnpathom, THAILAND

## Material and Method

### 1. Determination of the condition of sizing mechanism

Growers often visually size java apple by fruit length and width. Java apple of several cultivars looks like cone. If this concept is true, the fruit volume should be proportional to fruit width or base of the cone (Fig.1). And sizing mechanism would be easily selected. Sixty newly harvested, damage free java apple fruits of Toonklao cultivar were randomly selected for small, medium and big size, 20 fruits each. True volume (V) of each sample was measured by water displacement method presented by Mohsenin (1996). Maximum fruit width d was measured by vernier caliper. Estimated volume ( $V_e$ ) of each sample could be calculated as follows:-

$$V_e = \frac{\pi}{24} \tan \theta d^3 \quad \dots\dots\dots(1)$$

Where

d	=	maximum width of the fruit sample
$V_e$	=	Estimated volume of a java apple sample
$\theta$	=	slope angle of the fruit body (degree)

For Toonklao, Tubtimjan and Tongamsri  $\theta = 75$  and  $79$  respectively. Correlation between V and  $V_e$  was analyzed and sizing mechanism was chosen.

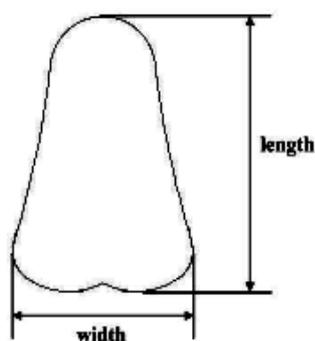


Fig 1 Typical java apple fruit

### 2. Determination of belt speed and angle condition

Testing of the sizing machine to evaluate mean contamination ratio (error), sizing efficiency and sizing capacity was performed by varying two conditions of belt speed (4 levels : 3, 6, 9, 12 m/min) and belt angle (2 levels : 75 and 80 degrees). Forty five apple fruits (15 fruits/size) of Toonklao cultivar were for a replication and five replications were used for a combination of speed and belt angle. The previous procedure was repeated with the other two cultivars of Tubtimjan and Tongamsri. ANOVA was done and proper condition of the sizing machine was selected.

$$\bar{C}_R = \frac{\sum N_{ij}}{\sum N_i} \quad \dots(1)$$

$$E_w = \frac{\sum (P_{gi} W_i G_i)}{Q P_i} \quad \dots(2)$$

$$Q = \frac{w_t}{t} \quad \dots(3)$$

where

$$P_{gi} = \frac{N_{gi}}{N_{ti}}$$

$$W_i = \frac{K_i P_i}{\sum K_i P_i}$$

$$G_i = \frac{w_i}{t}$$

$$P_i = \frac{N_i}{\sum N_i}$$

$$N_{ti} = N_{gi} + N_{ij}$$

$\bar{C}_R$  = Mean contamination Ratio

$E_w$  = Sizing efficiency (%)

$Q$  = Inflow rate of java apple (kg/hr)

$N_{ij}$  = Number of size i dropping into receiving tray size j

$N_i$  = Number of java apple size i inputting to the sizing machine

$\sum N_i$  = Total number of java apple inputting to the sizing machine

$P_{gi}$  = Fraction of fruit size i to total fruit dropping into receiving tray size i

$N_{gi}$  = Number of size i dropping correctly into receiving tray size i

$N_{ti}$  = Total number of fruit dropping into receiving tray size i

$W_i$  = Weighted function

$K_i$  = Relative value fraction of grade i

$P_i$  = Fraction of size i to total fruit at the beginning of sizing

$G_i$  = Outflow rate of java apple size i (kg/hr)

$w_i$  = Total weight of java apple fruit in receiving tray size i

$w_t$  = Total weight of java apple corresponding to  $\sum N_i$

$t$  = Sizing time

## Results and Discussion

### 1. Sizing mechanism

Good correlation was found between  $V$  and  $V_c$ . The associated linear regression was as follows:-

$$V \text{ (Toonkiao)} = 1.85 V_c - 54.30 \quad (R^2 = 0.92) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$V \text{ (Tubtimjan)} = 0.79 V_c - 20.19 \quad (R^2 = 0.99) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$V \text{ (Tongsamsri)} = 0.89 V_c - 2.94 \quad (R^2 = 0.9) \quad \dots\dots\dots(4)$$

This could be deduced that the java apple width was reasonably applied to be the sizing diameter. As a result, the diverging belt the operation principle of which was fruit diameter was selected as the sizing mechanism. The java apple sizing machine featured 2 food grade, 1.2 m long diverging belts mounted inclined to the horizontal plane at  $\gamma$  angle (Fig. 2). The  $\gamma$  angle was so designed as to be adjustable. Diverging angle of each belt was  $\beta$  degree to the machine axis. The belt was powered by a 220 V. 60 hz gear motor. The sizing machine could size java apple into 3 sizes (small, medium, big). The sized java apple fell out of the belts down to receiving tray.

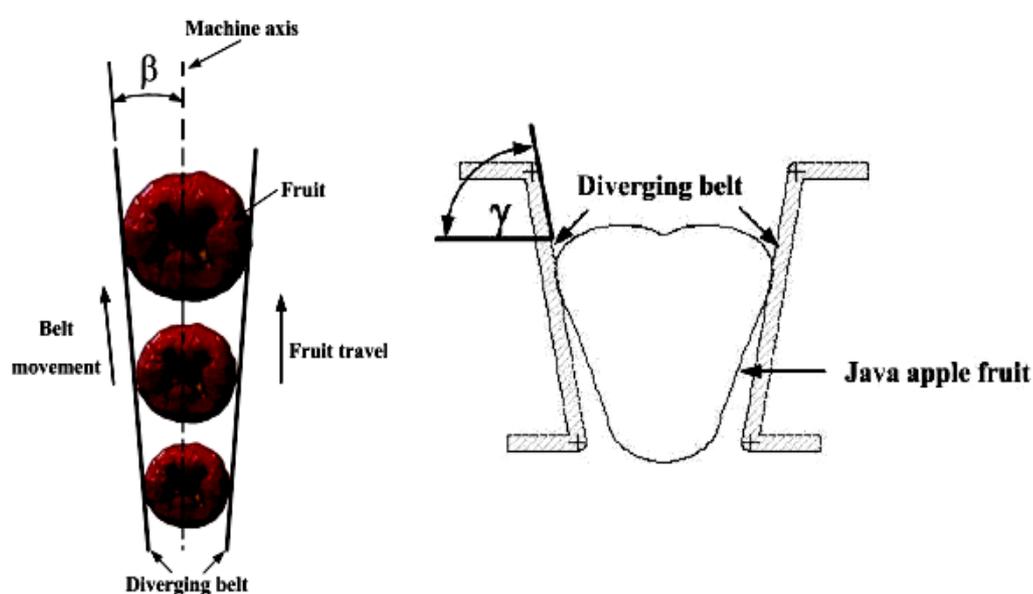


Fig 2 Schematic diagram of belt angle

## 2. Fruit physical characteristics

Table 1 showed maximum diameter,  $D_{max}$ , height  $h$  and weight  $W$  of java apple fruit categorized to size and cultivar. For Toonklao,  $D_{max}$ ,  $h$  and  $W$  were 59.3 mm, 86.4 mm, 100.7 gm of the big size; 55.6 mm, 78.1 mm, 75.5 gm of the medium; and 54.7 mm, 76.1 mm, 70.8 gm of the small respectively. For Tubtimjan,  $D_{max}$ ,  $h$  and  $W$  were 65.6 mm, 88.1 mm, 152.1 gm of the big; 62.4 mm, 84.7 mm, 131.7 gm of the medium; and 61.0 mm, 83.7 mm, 119.5 gm of the small respectively. For Tongsamsri,  $D_{max}$ ,  $h$  and  $W$  were 63.7 mm, 88.9 mm, 139.7 gm of the big; 62.6 mm, 80.4 mm, 118.3 gm of the medium; 59.7 mm, 82.5 mm, 110.2 gm of the small respectively.

Table 1 Physical characteristics of the mature java apple fruit of Toonklao, Tubtimjan and Tongsamsri cultivar

Cultivar	Size	D <sub>max</sub> (mm)	h (mm)	W (gm)
Toonklao	B	59.3±3.4 a*	86.4±5.1 a	100.7±11.0 a
	M	55.6±1.9 b	78.1±2.4 b	75.5±4.7 b
	S	54.7±2.7 c	76.1±3.6 c	70.8±5.3 c
Tubtimjan	B	65.6±3.6 a	88.1±3.8 a	152.1±18.8 a
	M	62.4±3.4 b	84.7±6.8 b	131.7±7.9 b
	S	61.0±2.6 c	83.7±3.2 c	119.5±7.8 c
Tongsamsri	B	63.7±2.9 a	88.9±6.0 a	139.7±9.2 a
	M	62.6±2.5 b	80.4±3.3 b	118.3±6.0 b
	S	59.7±2.2 c	82.5±3.0 c	110.2±6.1 c

Note : D<sub>max</sub> = maximum diameter; h = fruit height ; W = fruit weight

\* For a certain cultivar, the same letters following the numbers in the same column implies insignificant difference at the significance level of 5%.

### 3. Belt speed and angle

Belt speed and angle of Tongsamsri sizing significantly affected mean contamination ratio, sizing efficiency and sizing capacity at the significance level of 5%. Due to interaction effect of speed and angle, Table 2 presented mean and standard deviation of  $\bar{C}_R$ ,  $E_w$  and Q regarding the speed and angle. Minimum  $\bar{C}_R$  of 15.6% and maximum  $E_w$  of 84.4% happened at the belt angle of 80 degree and the belt speed of 9 rpm.

Table 2 Statistics of sizing performance of Tongsamsri listed in different combinations of belt angle and speed

Belt angle (degree)	Belt speed (rpm)	Q (kg/hr)	$\bar{C}_R$ (%)	$E_w$ (%)
75	3	501.9±17.5 a*	13.1±2.8 a	87.1±2.8 a
	6	538.5±31.2 b	19.1±4.8 b	80.7±4.9 b
	9	580.5±16.3 c	17.0±2.3 c	83.0±2.3 c
	12	612.7±34.6 d	27.4±3.3 d	72.6±3.3 d
80	3	448.7±22.4 a	15.3±3.5 a	84.7±3.5 a
	6	538.5±14.9 b	11.0±4.4 b	89.0±4.4 b
	9	564.8±20.3 c	15.6±4.6 c	84.4±4.6 c
	12	558.8±32.4 d	38.6±5.5 d	61.4±5.5 d

Note : \* For a certain belt angle, the same letters following the numbers in the same column implies insignificant difference at the significance level of 5%.

Belt speed and angle of Tubtimjan sizing significantly influenced mean contamination ratio and sizing efficiency at the significance level of 5%. The interaction between belt angle and speed significantly affected only the sizing capacity. Table 3 showed the sizing capacity of Tubtimjan at different combinations of belt angle and speed. Table 4 showed the results of Duncan Multiple Range Test of  $\bar{C}_R$  and  $E_w$  affected by belt speed and belt angle. The minimum  $\bar{C}_R$  of 12.3% occurred at the belt angle of 80 degree and the belt speed of 9 rpm resulted the proper sizing capacity without facing much error. In conclusion, the proper condition of java apple fruit sizing machine was probably at the belt angle of 80 degree and the belt speed of 9 rpm.

Table 3 Statistics of sizing capacity Q of Tubtimjan

Belt angle (Degree)	Belt speed (rpm)	Q (kg/hr)
75	3	489.7±26.6 a*
	6	525.0±40.1 b
	9	567.4±53.2 c
	12	589.2±17.6 d
80	3	398.2±19.6 a
	6	453.0±21.0 b
	9	512.4±27.8 c
	12	529.4±15.7 d

Note : \* For a certain belt angle, the same letters following the numbers in the same column implies insignificant difference of the significance level of 5%.

Table 4 Mean contamination ratio and sizing efficiency by means of Duncan Multiple Rang test

Belt Speed (rpm)	$\bar{C}_R$ (%)	$E_w$ (%)
3	8.5±3.4 a*	91.5±3.4 a
6	16.2±6.0 b	83.7±6.3 b
9	17.4±5.9 b	82.3±6.3 b
12	19.0±5.0 b	80.4±5.6 b

Note : \* The same letters following the numbers in the same column implies insignificant difference at the significance level of 5%.

Table 5 Mean contamination ratio and sizing efficiency by means of Duncan Multiple Rang test

Belt Angle (degree)	$\bar{C}_R$ (%)	$E_{\#}$ (%)
75	18.3±6.8 a**	81.2±7.3 a
80	12.3±4.4 b	87.8±4.4 b

Note : \*\* The same letters following the numbers in the same column implies insignificant difference at the significance level of 5%.

#### Conclusion

The conditions influencing design of a java apple sizing machine included sizing mechanism, belt angle and belt speed. Determination of the conditions using two cultivars of Tongsamsri and Tubtimjan as samples of design was presented. The proper condition was characterized by diverging belt sizing, the belt speed of 9 rpm and the belt angle of 80 degree.

#### Acknowledgement

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

#### References

1. Jarimopas , B. and N. Ruttanadat. 2007. Development of a young coconut fruit trimming machine. Journal of Food Engineering 79(2007):752-757.
2. Jarimopas, B. and S. Toomsaengtong and C. Inprasit. 2007. Design and testing of a mangosteen fruit sizing machine. Journal of Food Engineering 79(2007):745-751.
3. Jarimopas, B and Pechsamai, A. 2002. Design and development of young coconut peeling machine. Thai Agricultural Research Journal. 20(2):91-110 (in Thai)
4. Feller, R., D. Nahir, C.G. Coble. 1984. Separation of soil clods from onions using impact. Transaction of the ASAE. 27(2):353-357.
5. Feller, R., E. Margolin, A. Zacharin, H. Pasternak. 1985. Development of a clod separator for potato packing houses. Transaction of the ASAE. 28(4): 1019-1023.

