

เครื่องคัดขนาดมะม่วงด้วยระบบแปรรูปภาพ

Image-processed Mango Sizing Machine

บัณฑิต จริโมภาส¹ พันศักดิ์ ศิริรัชตพงษ์²

ธนิต ชัยยะบุญธนิต² สุทธิพร เนียมหอม¹

Bundit Jarimopas, Pansak Siriruchatapong, Tanit Chaiyabuntanit and Suttiporn Naimhom

ABSTRACT

Development of mango sizing machine is based upon linear relationship between projected area and weight of mango.

The machine comprises a portable TV camera taking a picture of moving mango by the control of the photocell. The picture will be scanned, white-pixel counted and compared with the number of white pixel of the standard size mango by 32 bit, 68008. Then, it will give signal to a solinoid mounted on the conveyor to tap the mango into the corresponding rotary bin.

Sizing maching testing exhibited sizing capacity of 1 ton per hour at the efficiency of sizing 89.77% withignorable mechanical damage. The machine could size mango (Namdoug Mai No.4) into 4 grades (Extra-fruit weight > 360 gm., No.1-fruit weight 310.1 to 360 gm., No.2-fruit weight 250.1 to 310 gm. and No.3-fruit wight 200 to 250 gm.) at belt speed 37.8 cm/ sec.

บทคัดย่อ

เครื่องคัดขนาดมะม่วง ได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นมาบนหลักการที่ว่าพื้นที่ภาพฉาย (Projected Area) ของผลมะม่วงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักของผลมะม่วงนั้น เครื่องคัดขนาดมะม่วงประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ระบบลำเลียง ระบบคัดเลือก และถังรับผลมะม่วง

เครื่องคัดขนาดมะม่วงมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อมะม่วงถูกลำเลียงมาตามสายพานจนถึงเซนเซอร์แล้วจะส่งสัญญาณให้กล้องโทรทัศน์วงจรปิดถ่ายภาพฉายของผลมะม่วง ภาพที่ได้จะถูกส่งให้กับระบบคัดเลือก (68008) คำนวณพื้นที่ภาพฉายของผลมะม่วง เปรียบเทียบกับพื้นที่ภาพฉายของผล

มะม่วงขนาดมาตรฐานในแต่ละชั้น แล้วตัดสินใจว่ามะม่วงผลนั้นเป็นของชั้นอะไร ระบบคัดเลือกจะควบคุมโซลินอยด์ให้พามะม่วงผลนั้นเคลื่อนออกจากสายพานลงไปยังถังรับ

จากการทดสอบการคัดขนาดกับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ 4 ชั้น (ชั้น Extra-น้ำหนัก/ผล มากกว่า 360 กรัม, ชั้น 1-น้ำหนัก/ผล 310.1 ถึง 360 กรัม, ชั้น 2-น้ำหนัก/ผล 250.1 ถึง 310 กรัม และชั้น 3-น้ำหนัก/ผล 200 ถึง 250 กรัม) พบว่าที่ความเร็วสายพาน 37.8 เซนติเมตร/วินาที การป้อนมะม่วงโดยใช้คนสามารถคัดมะม่วงได้ 1 ตัน/ชม. ที่ประสิทธิภาพ 89.77% โดยมีความเสียหายต่อมะม่วงน้อยมาก

¹ ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

² ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

National Agricultural Machinery Center, Kasetsart University.

Dept. of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University Bangkok 10900, Thailand.

คำนำ

จากสถิติการส่งออกของมะม่วงสด ในปี 2532 มีปริมาณการส่งออกจำนวน 9,400 ตัน คิดเป็นมูลค่า 30.17 ล้านบาท (ทัศนีย์, 2533) คุณภาพของมะม่วงถูกจำแนกตามพันธุ์ สีผิว รส และขนาดที่ได้มาตรฐานในประเทศไทย มีการแบ่งชั้นของมะม่วงที่ส่งออกเป็น 4 ชั้น คิดตามน้ำหนักผลเป็นกรัมโดยแบ่งเป็นชั้นพิเศษ, ชั้น 1, ชั้น 2 และชั้น 3 (ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี, 2531) โดยทั่วไปในการคัดขนาดผลมะม่วงในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังคงใช้คนอยู่ การฝึกหัดให้คนคัดขนาดได้ดีสม่ำเสมอต้องใช้เวลา นาน กำลังกายของคนคัดมีขนาดจำกัดและไม่สามารถทำงานให้ได้มาก ๆ ในเวลาจำกัด ไม่สามารถควบคุมให้ได้คุณภาพสม่ำเสมอเมื่อปฏิบัติการที่ใช้เวลานาน

การคัดขนาดมะม่วงโดยใช้น้ำหนักเป็นตัวแบ่งมะม่วงออกเป็นชั้นต่าง ๆ นั้น เครื่องคัดขนาดส่วนใหญ่ใช้หลักการของการใช้น้ำหนักที่ทราบค่ามาเปรียบเทียบกับหลักการทางกลศาสตร์ แล้วแบ่งมะม่วงออกเป็นชั้นต่าง ๆ โดยตรง อีกวิธีการหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปคือการใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความสามารถชั่งได้เป็นกรัม

จากการทดลองหาคุณสมบัติทางกายภาพของมะม่วง เปรียบเทียบกันระหว่างพื้นที่ภาพฉาย (Projected Area) กับน้ำหนักผล พบว่ามีความสัมพันธ์แปรผันเชิงเส้นตรง (Coefficient of Correlation, $R^2 = 92\%$) ดังนั้นเราสามารถที่จะใช้พื้นที่หน้าตัดของมะม่วงนี้มาคัดขนาดแทนน้ำหนักได้ เครื่องคัดขนาดต้นแบบที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น โดยใช้กล้องที่วัดถ่ายภาพมะม่วงแล้วนำมาให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลโดยใช้ Digital Image Processing ซึ่งมีการพัฒนาขึ้นในประเทศไทยแล้ว ผลของการทดลองเครื่องคัดขนาดกับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้ประสิทธิภาพ 89% ที่อัตรา 0.42 ตัน/ชั่วโมง (บัณฑิต และคณะ, 2532)

หลังจากที่ได้มีการประเมินราคาของเครื่องคัดขนาดมะม่วงเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในเชิงเศรษฐกิจ

ได้ ปรากฏว่ายังมีราคาสูงอยู่ และยังใช้ระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาเป็นตัวประมวลผลทำให้มีอุปกรณ์บางส่วนที่เกินความจำเป็นถ้าเอาส่วนเกินนี้ออกไปจะเป็นการลดราคาของเครื่องคัดขนาดได้

วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบสร้าง ทดสอบ และปรับปรุงเครื่องคัดขนาดมะม่วงให้มีประสิทธิภาพดี ใช้งาน และประหยัด

การออกแบบโครงสร้างระบบการคัดขนาดผลมะม่วง

ข้อกำหนดในการออกแบบเครื่องคัดขนาดผลมะม่วงมีดังนี้

1. โครงสร้างต้องไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่ต้องแข็งแรงและไม่แพง เกษตรกรสามารถลงทุนซื้อ มาใช้งานได้
2. ต้องมีความสามารถคัดขนาดผลมะม่วงพันธุ์ที่เป็นที่นิยมสำหรับการส่งออก เช่น น้ำดอกไม้ เป็นต้น

จากงานวิจัยและทดลองเครื่องคัดขนาดผลมะม่วงต้นแบบครั้งก่อน (บัณฑิต และคณะ, 2532) พบว่า โครงสร้างของเครื่องต้นแบบมีคุณสมบัติตามต้องการ ในการวิจัยและทดลองครั้งนี้จึงใช้โครงสร้างเดิมนำมาดัดแปลงต่อ

การออกแบบ

เครื่องคัดขนาดผลมะม่วง ถูกออกแบบให้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. ระบบขนถ่าย
2. ระบบคัดเลือก
3. ระบบถังรับ Rotary Bin

1. ระบบขนถ่าย มีส่วนประกอบย่อยคือ

1.1 ชุดโครงสร้างเหล็ก (Figure 1,2) เป็นโครงสร้างเหล็กรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีขนาดสูง 82 ซม. กว้าง 60 ซม. ยาว 600 ซม. ทำโดยใช้เหล็กฉาก 1 นิ้วหนา 1/16 นิ้ว

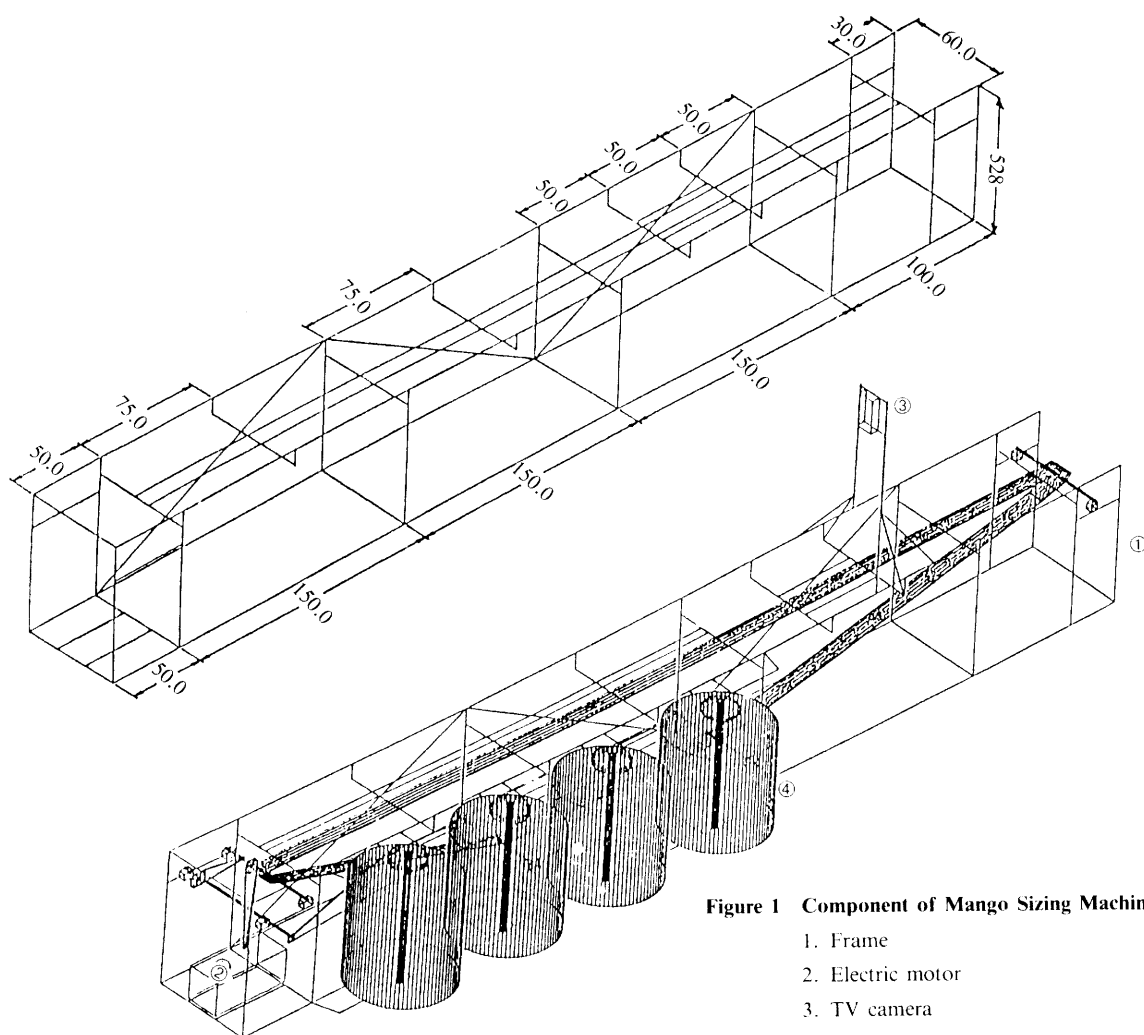


Figure 1 Component of Mango Sizing Machine

1. Frame
 2. Electric motor
 3. TV camera
 4. Rotary bin
- Dimension in centimeter

1.2 ชุดส่งกำลัง ใช้มอเตอร์ ขนาด 3 kw ต่อติดกับเครื่องปรับความเร็วรอบ โดยสามารถปรับความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 0-1,400 รอบ/นาที ส่งกำลังผ่านสายพานลิ้ม (V-belt) ไปขับสายพานคัดขนาด ซึ่งเป็นสายพานแบนชนิดสี่ชั้น กว้าง 10 ซม. ยาวประมาณ 10.2 เมตร นำมาต่อพันเป็นวงติดไว้กับล้อขับสายพานขนาด 3 นิ้ว ยาว 3 นิ้วที่ตอนต้นและปลายของเครื่องคัด ตอนกลางใช้เพลานขนาด 3/4 นิ้ว ต่อเข้ากับตุ๊กตา (Ball bearing) ทั้งสองข้างจำนวน 2 อัน เป็นตัวทำให้สายพานตึง กำลังส่วนหนึ่งได้ถูกส่งไปขับระบบถังรับผลมะม่วง ผ่านสายพานลิ้ม ทั้ง 4 ถังด้วย

2. ระบบคัดเลือก มีโครงสร้างและการทำงานสองส่วนย่อย คือ

2.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ ซึ่งมีระบบการทำงานดังนี้คือ ระบบได้ถูกปรับปรุงขึ้นใหม่แต่ยังทำงานคล้ายกับระบบที่ใช้ PC เดิมอยู่แต่เป็นการลดต้นทุนของการสร้างเครื่องลง เนื่องจากใน PC มีอุปกรณ์ต่าง ๆ เกินความจำเป็นที่จะต้องใส่ เช่น หน่วยติดต่อกับแผ่นจานแม่เหล็กอ่อน ระบบหน่วยเก็บความจำที่มีค่ามากเกินไปเกินความจำเป็น นอกจากนั้นการมีอุปกรณ์ต่าง ๆ มากเกินไป จะทำให้ความเชื่อถือได้ของระบบลดลง ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบระบบใหม่ โดยคงไว้เฉพาะส่วนที่จำเป็น ซึ่งจะทำ

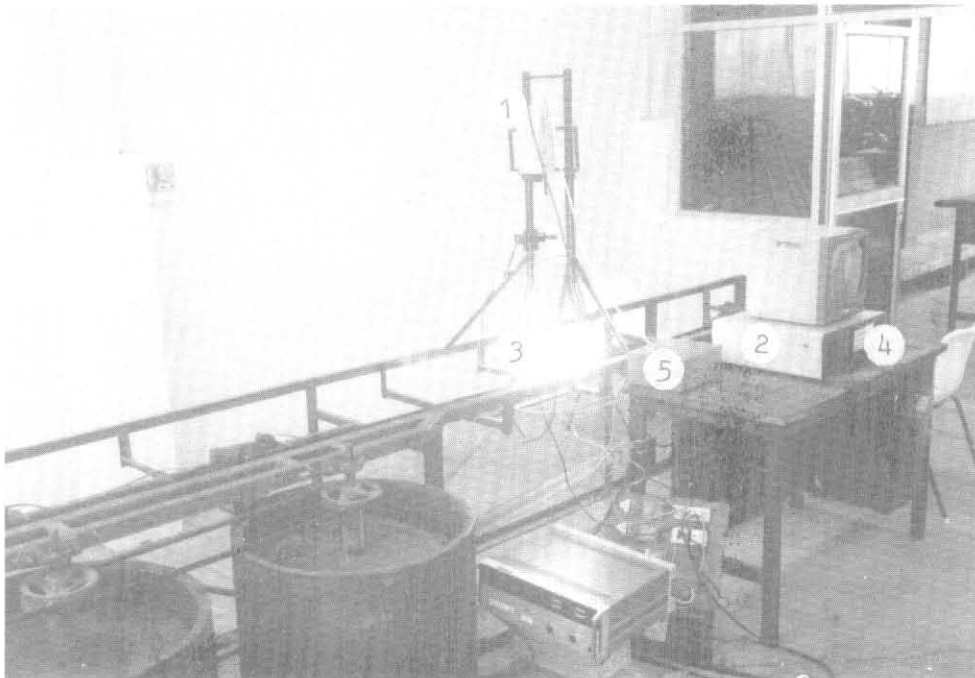
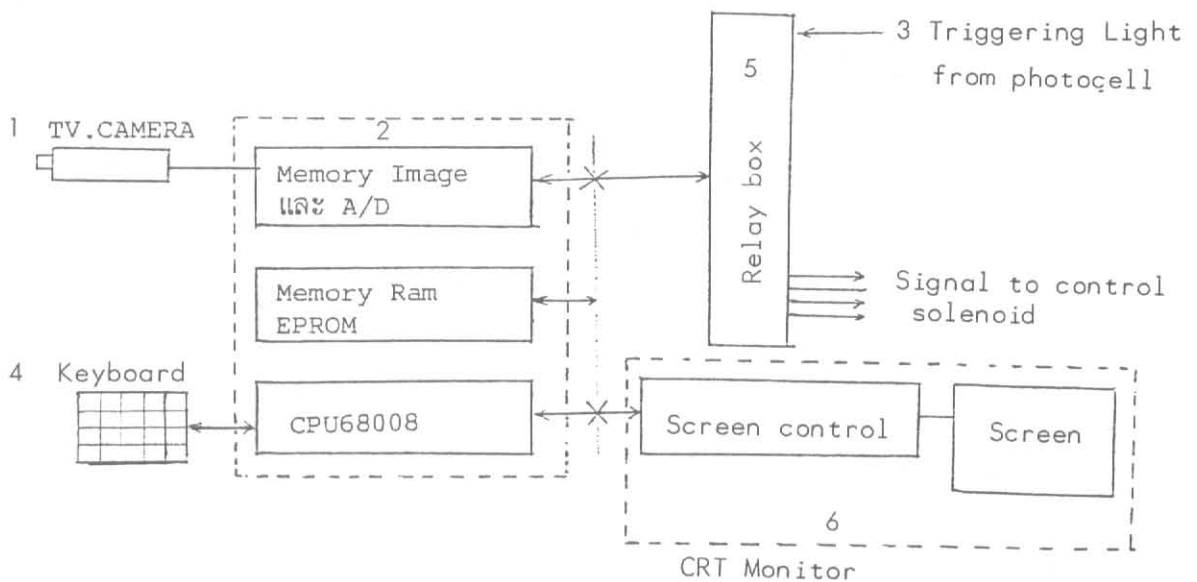


Figure 2 Block diagram

ให้การทำงานมีความเชื่อถือได้สูงและราคาของระบบถูกลง และการใช้งานง่ายสะดวกสำหรับผู้ใช้ที่ไม่มีความรู้เรื่องระบบไมโครคอมพิวเตอร์มาก่อนก็สามารถใช้ได้ รายละเอียดต่าง ๆ ของระบบเป็น ดังนี้

2.1.1 กล้องถ่ายภาพ TV และ Memory Image เป็นระบบเดิมที่ใช้กับเครื่อง IBMPC

2.1.2 ระบบใหม่เพิ่มเติม จะออกแบบหน่วยประมวลผลกลาง 68008 ซึ่งเป็น CPU ขนาด 32 บิต ภายใน และ 8 บิตภายนอก ทำงานที่ความถี่ 8 MHz การที่เลือกใช้หน่วยประมวลผลกลางตัวนี้ เพราะความสามารถทางด้านคณิตศาสตร์และความรวดเร็วในการอ่านภาพจาก Memory

Image ดังนั้นจะสามารถควบคุมเวลาในการกระตุ้น Solenoid โดยโปรแกรมได้ โดยไม่จำเป็นต้องปรับค่าความต้านทานภายนอกเหมือนระบบเดิม

2.1.3 หน่วยแสดงผล เลือกใช้จอภาพ TV ขนาดเล็กมาเป็นหน่วยแสดงผลโดยการสร้างการ์ดควบคุม เพื่อส่งสัญญาณภาพไปยังจอ TV การเลือกใช้หน่วยแสดงผลเป็นจอ TV นี้ ทำให้การติดต่อกับผู้ใช้สะดวกมาก เพราะเพียงแค่ผู้ใช้กดปุ่มหรือเลื่อนตำแหน่งไปยังบริเวณที่จะเปลี่ยนแปลงข้อมูลแล้วเดิมตัวเลขลงไปได้เลย

2.1.4 หน่วย I/O ใช้สำหรับติดต่อกับความหมายปุ่ม Key ต่าง ๆ ที่ผู้ใช้กด นอกจากนั้นแล้วยังรับสัญญาณจากสวิทช์ลำแสงที่ตรวจสอบว่ามีมะม่วงผ่านได้กล้อง TV แล้วหรือยัง พร้อมทั้งส่งสัญญาณไปยังกับ Solenoid และบังคับการทำงานของ Memory Image

การเปรียบเทียบราคาของระบบ PC เดิมกับระบบใหม่

เดิมการออกแบบใช้เครื่อง IBMPC XT เป็นฐานของระบบ ก็เนื่องจากการศึกษาทำให้การ

แก้ไขโปรแกรมต่าง ๆ ได้คล่องตัว เพราะโปรแกรมจะเก็บข้อมูลไว้ในแผ่นจานแม่เหล็ก แต่ระบบนี้มีข้อเสียคือ ความเชื่อถือได้ไม่ค่อยสูง มีอุปกรณ์หลายอย่างที่ไม่จำเป็น เช่น หน่วยเก็บความจำมีมากเกินไป มีเครื่องอ่านแผ่นจากแม่เหล็ก หน่วยแสดงผลขนาดใหญ่เกินไป เป็นต้น ดังนั้นในระบบใหม่ จะตัดส่วนที่ไม่จำเป็นต่าง ๆ ทิ้งออกไป และคงเหลือแต่สิ่งที่จำเป็นสำหรับระบบเท่านั้นเอง เช่น หน่วยเก็บความจำใช้แค่เพียง 2 K byte ก็เพียงพอ เป็นต้น เนื่องจากอุปกรณ์ลดลงเหลือจำนวนไม่มาก ดังนั้นจึงทำให้ความเชื่อถือได้ของระบบดีขึ้นกว่าเดิมมาก

3. ระบบถังรับ (Figure 5) เป็นถังเหล็กทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 ซม. สูง 60 ซม. จำนวน 4 ถังสร้างไว้สำหรับรองรับผลมะม่วงแต่ละชั้น ภายในถังมีถาดรับผลมะม่วงที่สามารถกดตัวลงได้ด้วยน้ำหนักของผลมะม่วงเมื่อมีผลมะม่วงจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ ภายในถังบุฟองน้ำกันกระแทกไว้โดยรอบ เพื่อป้องกันไม่ให้มะม่วงเกิดการชำรุด

ประมาณราคาของระบบเดิม

1. เครื่อง IBMPC XT	1 เครื่อง	23,000	บาท
2. กล้อง + การ์ด Memory Image	1 ชุด	15,000	บาท
3. อุปกรณ์ solenoid	4 ชุด	7,000	บาท
4. สวิทช์ลำแสง	1 ชุด	3,000	บาท
รวม		<u>48,000</u>	บาท

ประมาณราคาของระบบใหม่

1. ระบบ 68008	1 ชุด	12,000	บาท
2. กล้อง + การ์ด Memory Image	1 ชุด	15,000	บาท
3. อุปกรณ์ solenoid	4 ชุด	7,000	บาท
4. สวิทช์ลำแสง	1 ชุด	3,000	บาท
รวม		<u>37,000</u>	บาท

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ระบบ 68008
2. เครื่องวัดความเร็วรอบ
3. นาฬิกาจับเวลา

วิธีการทดลอง แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. การหาตำแหน่งจุดแบ่งชั้น นำมะม่วงที่ทราบชั้นแล้วป้อนเข้าสู่ระบบลำเลียงที่ละผลโดยใช้คนป้อนเข้าสู่เครื่องคัด โดยใช้ความเร็วเชิงเส้นของสายพาน 37.8 เซนติเมตร/วินาที แล้วบันทึกค่าพื้นที่หน้าตัดของผลมะม่วงที่แสดงออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้จากการทดสอบข้างต้น (ดูผลการทดลองและวิจารณ์) ทำให้เราสามารถกำหนดจุดแบ่งชั้นออกมาคร่าว ๆ และทำการทดลองซ้ำอีกเพื่อหาตำแหน่งจุดแบ่งชั้น (Grade) ถาวร และกำหนดค่าเวลาที่จะให้โซลินอยด์บังคับให้มะม่วงถูกนำลงตามชั้นที่ถูกต้อง

2. การหาประสิทธิภาพการคัดขนาด เมื่อได้กำหนดจุดแบ่งชั้นถาวร รวมทั้งกำหนดค่าเวลาเพื่อบังคับให้โซลินอยด์นำมะม่วงลงตามชั้นต่าง ๆ แล้วจึงทำการทดลองป้อนมะม่วงที่ทราบชั้นแล้วเข้าสู่ระบบลำเลียงที่ละผลโดยใช้ความเร็วของสายพานประมาณ 1 ฟุต ใช้ความเร็วสายพานเท่าเดิม ทำการทดลองโดยการวางผลมะม่วงแบบกละชั้นกันทำการทดลองจนเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของผลที่ตกผิดชั้นเริ่มคงที่ บันทึกผลที่ตกถูกชั้นและผลที่ตกผิดชั้นทุก ๆ การทดลองไว้ แล้วนำค่าเหล่านั้นไปหาประสิทธิภาพการคัดขนาดได้ จากนั้น นำผลมะม่วงที่ทราบชั้นแล้วอีกชุดหนึ่ง ชั้นละ 10 ผล ผ่านระบบการคัดขนาด เพื่อนำไปหาความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นจากระบบการคัดขนาดต่อไป

3. การหาความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นในขณะที่ทำการคัดขนาด โดยการนำผลมะม่วงที่ผ่านระบบการคัดขนาดแล้วจำนวนชั้นละ 10 ผล กับผลมะม่วงที่ไม่ได้ผ่านระบบการคัดขนาดชั้นละ 10 ผล นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25-30 องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์ 65-70%) ชั้นละ 4 ผล และเก็บรักษาไว้ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ชั้นละ 1 ผล เพื่อตรวจสอบค่าวิตามินซี และเปอร์เซ็นต์กรด ที่เหลือชั้นละ 5 ผล นำไปเก็บไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 อาทิตย์ แล้วจึงจะนำมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อผลมะม่วงสุกจึงนำมาทำการหาค่าความเสียหาย โดยการเปรียบเทียบกับผลมะม่วงควบคุม (Control) ซึ่งไม่ได้ผ่านระบบการคัดขนาด

การทดลองในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ทำการทดลองที่ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ ส่วนขั้นตอนที่ 3 ได้ให้ห้องปฏิบัติการวิจัยพืชผลหลังการเก็บเกี่ยว CLGC สถาบันวิจัยและพัฒนาฯ กำแพงแสน เป็นผู้ดำเนินการ

การวิเคราะห์ข้อมูล

ประสิทธิภาพการคัดขนาดหาได้จากสมการการวิเคราะห์ (Peleg, 1985) ดังนี้

$$E_w = \Sigma(Pg_i W_i G_i / P_i Q)$$

$$P_w = \Sigma P g_i W_i$$

$$C_w = 1 - P_w$$

โดย

$$P g_i = N g_i / N t_i$$

$$N t_i = N g_i + N_{ij}$$

$$W_i = K_i P_i / \Sigma K_i P_i$$

$$P_i = N_i / \Sigma N_i$$

$$G_i = w_i / t$$

$$Q = w_i / t$$

ราคาต่อกิโลกรัมขายเท่ากันคือ 100 บาท

ให้มะม่วงชั้น Extra, ชั้น 1, ชั้น 2, และชั้น 3 แทนด้วยสัญลักษณ์ e, 1, 2 และ 3

ดังนั้น $K_e : K_1 : K_2 : K_3 = 1 : 1 : 1 : 1$ หมายถึงว่า ราคาเท่ากันทุกชั้น

ที่ซึ่ง E_w = ประสิทธิภาพการคัด Weight Sizing Efficiency)

G_i = อัตราการไหลออก (Outflow rate) ของชั้น i มีหน่วยเป็น (น้ำหนัก/

เวลา) โดยที่ i แทนด้วย e หรือ 1 หรือ 2 หรือ 3

K_i = เศษส่วนมูลค่าหรือราคาที่สัมพันธ์กับชั้น i ต่าง ๆ

N_i = จำนวนวัสดุคิบของชั้น i เมื่อป้อนเข้าสู่การคัดขนาด

ΣN_i = จำนวนวัสดุคิบทั้งหมด n ชั้น

N_{ij} = จำนวนวัสดุคิบ j ที่ตกในชั้นของ i (โดยที่ j เป็นชั้นอื่นที่เหลือ)

Ng_i = จำนวนวัสดุคิบบริสุทธิ์ที่ตกในชั้นของ i (วัสดุคิบบริสุทธิ์ หมายถึง วัสดุคิบที่ต้องการ)

Nt_i = จำนวนวัสดุคิบทั้งหมดที่ตกในชั้นของ i

P_i = เศษส่วนของชั้น i ในวัสดุคิบทั้งหมดเมื่อเริ่มคัดขนาด

Pg_i = เศษส่วนของส่วนบริสุทธิ์ที่คัดได้ในชั้นของ i

Q = อัตราการไหลเข้า (Inflow rate) ของวัสดุที่จะคัดขนาดทั้งหมด (น้ำหนัก/เวลา)

t = เวลาที่ใช้ในการคัดขนาด

W_i = Weighting function

w_i = น้ำหนักรวมของวัสดุคิบที่ตกในชั้นของ i (สมนัยกับ Nt_i)

w_t = น้ำหนักรวมของวัสดุคิบทั้งหมด (สมนัยกับ N_i)

P_w = เศษส่วนของส่วนบริสุทธิ์ของตัวระบบคัดขนาด

C_w = เศษส่วนของส่วนเจือปนที่ระบบคัดได้

ผลและวิจารณ์

จากการทดลองหาพื้นที่ภาพฉายของมะม่วงแต่ละผล (Table 1) เมื่อพิจารณาให้ผลมะม่วงส่วนใหญ่ตกถูกชั้นมากที่สุด เราก็จะได้จัดแบ่งชั้น (Table

2) เมื่อป้อนค่าจัดแบ่งชั้นให้กับระบบคัดขนาดเรียบร้อยแล้วได้ผลการทดลองจากเครื่องคัดขนาด โดยการปล่อยแบบกละชั้นกันทีละผลโดยใช้คนป้อนจำนวน 8 ครั้ง เห็นได้ว่าการทดลองแต่ละครั้งได้ผลไม่แตกต่างกัน (Table 3) จึงหยุดการทดลองแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณประสิทธิภาพ (Table 4,5) ได้ประสิทธิภาพ (E_n) 89.77% ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบเดิมเล็กน้อย (บัณฑิต และคณะ, 2532) ทำให้อนุมานได้น่าจะเกิดจากสมมุติฐานเดิมที่ว่าพื้นที่ภาพฉายเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักผลมะม่วง เพราะค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ค่า R^2 (Coefficient of Correlation) ประมาณ 0.90 อย่างไรก็ตามระบบการคัดขนาดก็มีความแม่นยำสูง และมีความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) กล่าวคือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation) ของ E_n เท่ากับ 2.50 และจากการวัดอัตราการทำงานของเครื่องคัดขนาดมะม่วงได้ประมาณ 1 ตัน/ชม. (Table 6)

ผลการทดสอบหาความเสียหายที่เกิดจากการคัดขนาด (Table 7) ความซ้ำเสียหายเชิงกลของมะม่วงที่ผ่านระบบการคัดขนาดเปรียบเทียบกับมะม่วงควบคุม (Control) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่มีค่าความซ้ำเฉลี่ยแล้วไม่เกิน 1% และผลของการเก็บรักษามะม่วงไว้ในห้องเย็นนอกจากจะยืดอายุการเก็บรักษาไว้นานขึ้นแล้วยังทำให้เกิดความเสียหายเชิงกลน้อยลงอีกด้วย

สรุป

เครื่องคัดขนาดมะม่วงได้ถูกออกแบบ สร้าง และทดสอบว่าใช้คัดขนาดมะม่วงได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้ระบบคัดเลือกชนิด 68008 การป้อนแบบใช้คนป้อน ที่ความเร็วเชิงเส้นของสายพาน 37.8 เซนติเมตร/วินาที พบว่าเครื่องมีประสิทธิภาพในการคัดขนาด 89.77% และสามารถคัดได้เฉลี่ย 3,169 ผล/ชั่วโมง หรือประมาณ 1 ตัน/ชั่วโมง โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายเชิงกลกับผลมะม่วง

Table 1 Projected Area (P.A.) of mangoes produced by mango sizing machine compare with fruit weight.

Number of white dots (pixels)												
Extra Grade			Grade 1			Grade 2			Grade 3			
Code	Weight	P.A.	Code	Weight	P.A.	Code	Weight	P.A.	>	Code	Weight	P.A.
A1	458.4	44.42	B1	360.0	35.28	C1	299.3	32.76		D1	244.9	26.69
A2	435.5	41.67	B2	358.1	34.61	C2	299.0	33.72		D2	238.6	26.13
A3	429.9	40.83	B3	357.6	36.81	C3	296.4	31.64		D3	235.9	26.10
A4	426.3	42.11	B4	357.1	34.53	C4	296.2	31.01		D4	234.3	24.27
A5	421.2	40.44	B5	353.6	35.37	C5	289.0	30.65		D5	230.2	24.80
A6	410.9	41.25	B6	351.2	34.80	C6	283.8	31.70		D6	227.5	25.93
A7	406.6	40.77	B7	349.1	33.19	C7	283.7	31.60		D7	226.3	25.15
A8	400.2	39.14	B8	345.9	35.74	C8	269.5	29.06		D8	220.0	27.20
A9	398.9	37.87	B9	344.6	35.09	C9	268.7	29.74		D9	213.4	22.82
A10	397.0	39.12	B10	344.1	34.55	C10	265.1	29.49		D10	210.9	22.17
A11	390.0	36.20	B11	343.4	35.31					D11	207.4	22.87
A12	386.8	37.73	B12	342.3	34.51					D12	196.0	23.21
A13	386.1	38.38	B13	330.2	34.22							
A14	385.8	38.16	B14	327.1	34.40							
A15	382.1	38.46	B15	325.0	34.23							
A16	380.3	37.41	B16	324.3	33.39							
			B17	319.8	34.00							
			B18	316.2	32.61							
			B19	314.0	32.14							
			B20	311.1	32.39							

Table 2 Range of projected area (P.A.) of mango (Namdoug Mai No.4) and time delay for solinoid.

Grade	Weight (gm.)	Range of P.A. (%)	Time delay before solinoid operation (sec.)
Grade	> 360	> 36.0	10.3
1	310.1-360	32.51-36.00	8.1
2	250.1-310	27.51-32.50	5.8
3	200-250	< 27.50	3.5

Table 3 Raw data of mango sizing machine testing

Test Grade (Sum of correct fruit) Number			Grade (Sum of uncorrect fruit) Number		
1	Extra	(16) 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16			
1	(17)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17	2	(1)	2
2	(9)	1,3,4,5,6,7,8,9,10	1	(3)	18,19,20
3	(12)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12			
2	Extra	(15) 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16			
1	(16)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17	Extra	(1)	11
			2	(1)	2
2	(9)	1,3,4,5,6,7,8,9,10	1	(4)	7,18,19,20
3	(12)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12			
3	Extra	(15) 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16	1	(1)	3
1	(16)	1,2,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16	Extra	(1)	11
			2	(1)	2
2	(9)	1,3,4,5,6,7,8,9,10	1	(3)	18,18,20
3	(12)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12			
4	Extra	(15) 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16	1	(1)	3
1	(15)	1,2,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,17	Extra	(1)	11
			2	(2)	1,2
2	(8)	3,4,5,6,7,8,9,10	1	(4)	16,18,19,20
3	(12)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12			
5	Extra	(15) 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16	1	(1)	3
1	(16)	1,2,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17	Extra	(1)	11
			2	(1)	2
2	(9)	1,3,4,5,6,7,8,9,10	1	(3)	18,19,20
3	(12)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12			
6	Extra	(15) 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16	1	(1)	3
1	(16)	1,2,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17	Extra	(1)	11
			2	(1)	2
2	(9)	1,3,4,5,6,7,8,9,10	1	(3)	18,19,20
3	(12)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12			
7	Extra	(16) 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16			
1	(16)	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17	2	(1)	2
2	(9)	1,3,4,5,6,7,8,9,10	1	(4)	7,18,19,20
3	(12)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12			
8	Extra	(15) 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16	1	(1)	3
1	(16)	1,2,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17	Extra	(1)	11
			2	(2)	1,2
2	(8)	3,4,5,6,7,8,9,10	1	(3)	18,19,20
3	(12)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12			

Table 4 Raw data for efficiency Analysis of mango sizing machine.

Test	Sum of fruit in correct grade				Total weight (kg) w_t	Grade's weight (kg)			
	Ng_c	Ng_1	Ng_2	Ng_3		w_c	w_1	w_2	w_3
1	16	17	09	12	18.8066	6.4960	6.1324	3.4930	2.6852
2	15	16	09	12	18.8066	6.1060	6.1733	3.8421	2.6852
3	15	16	09	12	18.8066	6.4636	6.1648	3.4930	2.6852
4	15	15	08	12	18.8066	6.4636	6.1398	3.5180	2.6852
5	15	16	09	12	18.8066	6.4636	6.1648	3.4930	2.6852
6	15	16	09	12	18.8066	6.4636	6.1648	3.4930	2.6852
7	16	16	09	12	18.8066	6.4960	5.7834	3.8421	2.6852
8	15	16	08	12	18.8066	6.4636	6.4641	3.1937	2.6852

Test	Sum of mango in each grade (fruits)				Total (fruits) Nt
	Nt_c	Nt_1	Nt_2	Nt_3	
1	16	18	12	12	58
2	15	18	13	12	58
3	16	18	12	12	58
4	16	18	12	12	58
5	16	18	12	12	58
6	16	18	12	12	58
7	16	17	13	12	58
8	16	19	11	12	58

Table 5 Analysis of the efficiency of mango sizing machine.

Test	Pg_c	Pg_1	Pg_2	Pg_3	Pw	Cw	Ew
1	1.000	0.944	0.750	1.000	0.938	0.062	0.935
2	1.000	0.889	0.692	1.000	0.909	0.091	0.901
3	0.938	0.889	0.750	1.000	0.901	0.099	0.896
4	0.938	0.833	0.667	1.000	0.868	0.132	0.862
5	0.938	0.889	0.750	1.000	0.901	0.099	0.896
6	0.938	0.889	0.750	1.000	0.901	0.099	0.896
7	1.000	0.941	0.692	1.000	0.927	0.073	0.919
8	0.938	0.842	0.727	1.000	0.881	0.119	0.878
AV(%)	96.09	88.96	72.23	100.00	99.33	9.67	89.77 (2.50*)

N_c	N_1	N_2	N_3	K_c	K_1	K_2	K_3
16	20	10	12	1	1	1	1
P_c	P_1	P_2	P_3	W_c	W_1	W_2	W_3
0.276	0.345	0.172	0.207	0.276	0.345	0.172	0.207

*Coefficient of Variation

Table 6 Operating rate of mango sizing machine at linear belt speed 37.8 cm/s

Test	Started time (s)	Finished time (s)	Labors (Man)	Rate (Fruit/hr.)
1	70	5	4	2983
2	64	14	4	3263
3	63	13	4	3314
4	67	14	4	3116
Average				3169

Table 7 Analysis of Variation of mechanical damage K by vary b.

> USE MANGO 7

VARIABLES IN SYSTAT FILE ARE:

A	B	C	D	E
F	G	H	I	J
K	L			

> BY B

> STATS K/DUN = 0.05

THE FOLLOWING RESULTS ARE FOR:

B = 1.000

TOTAL OBSERVATIONS: 20

K

N OF CASES 20

MEAN 1.025

STANDARD DEV 0.112

THE FOLLOWING RESULTS ARE FOR:

B = 2.000

TOTAL OBSERVATIONS: 19

K

N OF CASES 19

MEAN 1.029

STANDARD DEV 0.115

SUMMARY STATISTICS FOR K

BARTLETT TEST FOR HOMOGENEITY OF GROUP VARIANCES = .012

APPROXIMATE F = .012 DF = 1, 4099 PROBABILITY = .878

OVERALL MEAN = 1.026 STANDARD DEVIATION = 0.112

POOLED WITHIN GROUPS STANDARD DEVIATION = 0.113

T STATISTIC = .036 PROBABILITY = 0.971

Note : B (= 1.000) refers to the mango which was sized by machine

(= 2.000) is the control

K refers to the mango which was externally damaged

The internally-injured mango amounts to 0.5% while the control was not injured. In brief, the internal damage of tested mangoes was insignificant.

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการอีสานเขียว
ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงได้

เอกสารอ้างอิง

ทัศนีย์ สุทธภักดี. 2533. แนวทางการส่งออกของ
ผลิตภัณฑ์สด เอกสารประกอบการสัมมนา
ทางวิชาการเรื่อง กลยุทธ์การส่งออกผักและ
ผลไม้ของไทย ระหว่าง 15-16 มิถุนายน ณ
ห้องชมพูนุท โรงแรมอิมพีเรียล กรุงเทพฯ
หน้า 12-71.

ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี สถาบันวิจัยพืชสวน กรม
วิชาการเกษตร. 2531. มติการประชุมและ
สัมมนากำหนดมาตรฐานทุเรียน เงาะ และ
มะม่วง เพื่อการส่งออก.

บัณฑิต จริโมภาส, พันธุ์ศักดิ์ ศิริรัชตพงษ์, ธนิตย์
ชัยยะบุญธนิตย์ และสุทธิพร เนียมหอม.
2532. รายงานการวิจัยและพัฒนาเครื่องคัด
ขนาดมะม่วง 18 หน้า

Peleg, K. 1985. Produce Handling, Packaging
and Distribution AVI Pub. Co. Inc.
Connectiont, 625 p.