

การปรับปรุงเครื่องคัดขนาดผลมังคุด

Improvement of Mangosteen Fruit Sizing Machine

บัณฑิต จริโมภาส¹ สุทธิพร เนียมหอม² อธิยุต สุวรรณประทีป³
Bundit Jarimopas¹ Suttiporn Niamhom² Theerayut Suwanapratheep³

ABSTRACT

This research was to develop a mangosteen fruit sizer. The developed machine was Greefa sizer type: 1,250 mm. wide x 1,350 mm. long x 980 mm. high, and weighed 150 kgs. The machine comprised i) 650 mm. diameter rotating disk, ii) a board padded with cushioning material and placed above the disk rim to measure sizes, iii) 20 kgs. fruit feeder and iv) 3 different size receiving trays. A 1/2 Hp, 220 V, 50 Hz electric motor was used as a power drive. A 1:40 gear reducer and pulley were applied for transmission. Testing procedure included 2 conditions: i) two size ranges (20 & 30 g.), ii) three rotating disk speeds (7, 14 and 21 rpm.) set in factorial in CRD experimental design. Results showed the size range and the speed significantly affected sizing efficiency, throughput and mean contamination ratio at 5% significant level. At speed = 7 rpm and size range = 30 g. the highest sizing efficiency and the lowest mean contamination ratio were 79.9% and 19.4% respectively. At speed = 21 rpm and size range = 30 g., the maximum throughput was 717.7 kg/hr.

Key words : mangosteen, sizing machine

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม 73140

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakornpathom 73140

³ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10903

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Jatujak, Bangkok 10903

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อที่จะพัฒนาเครื่องคัดขนาดผลมังคุด เครื่องเป็นแบบกรรพา มีขนาดกว้าง 1,250 มม. ยาว 1,350 มม. สูง 980 มม. และหนัก 150 กก. เครื่องประกอบด้วยจานคัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 650 มม.แผ่นกันกรูด้วยวัสดุอุดกั้นพลังงานวางเหนือขอบจานหมุนสำหรับสอบเทียบ การคัดขนาดผลมังคุด ด้วย 2 เงื่อนไข ก) ช่วงขนาดผล 2 ช่วง (20 และ 30 กรัม.) ข) ความเร็วรอบจานหมุน 3 ความเร็ว (7, 14 และ 21 รอบ/นาท) จัดการทดสอบแบบ Factorial in CRD ผลการทดสอบปรากฏว่าช่วงขนาด และความเร็วรอบจานหมุน มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการคัดขนาด สมรรถนะ และอัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ย ที่ระดับนัยสำคัญ 5% การเพิ่มช่วงคัดขนาดและลดความเร็วรอบจานคัด ทำให้ประสิทธิภาพการคัดขนาดสูงขึ้น ประสิทธิภาพการคัดขนาดที่สูงที่สุดเท่ากับ 79.9% ช่วงคัดขนาดเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ยต่ำลง ความเร็วรอบจานคัดเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น อัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 19.4% เกิดที่ความเร็ว 7 รอบ/นาท ช่วงขนาด 30 กรัม การเพิ่มช่วงคัดขนาดและการเพิ่มความเร็วรอบของจานคัดทำให้สมรรถนะการคัดขนาดสูงขึ้น สมรรถนะมากที่สุดเท่ากับ 717.7 กิโลกรัม/ชั่วโมง เกิดที่ความเร็วรอบ 21 รอบ/นาท ช่วงขนาด 30 กรัม และเมื่อพิจารณาทั้ง 3 ลักษณะจากรายงานการวิเคราะห์ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการใช้เครื่องคัดขนาดมังคุดต้นแบบนี้ควรเป็นช่วงการคัดขนาด 30 กรัม ที่ความเร็วรอบของจานคัดขนาด 14 รอบ/นาท เพราะให้ประสิทธิภาพสูง อัตราการเจือปนต่ำ สมรรถนะปานกลางและ ตรวจไม่พบความเสียหายที่บังเกิดกับผลมังคุด

คำหลัก : มังคุด เครื่องคัดขนาด

บทนำ

การคัดขนาดผลไม้เป็นกิจกรรมที่จำเป็นในการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว การคัดขนาดทำให้สามารถกำหนดราคาที่แตกต่างกันระหว่างขนาดเล็กขนาดใหญ่ได้ กำหนดปริมาณของผลผลิตและรูปแบบการบรรจุได้ดึงดูดความสนใจลูกค้าดีกว่า และได้รับการป้องกันได้ดีกว่า (Peleg, 1985) สำหรับการส่งออก

ขนาดเป็นตัวแทนหนึ่งในเกณฑ์มาตรฐานการส่งออก ขนาดอาจได้แก่ เส้นผ่าศูนย์กลาง ความยาว ปริมาตร และพื้นที่ภาพฉาย

ภาคการเกษตรของไทยปัจจุบันประสบปัญหาแรงงานขาดแคลน และมีราคาแพงทำให้งานการคัดขนาดต้องใช้เครื่องจักรกลเข้ามาช่วย เพราะนอกจากแก้ปัญหาแรงงานขาดแคลนแล้ว ยังจะช่วยให้ทำงานมาก ๆ เสรีในเวลาอันสั้น และประสิทธิภาพการคัดขนาดสูง เครื่องคัดขนาดที่เป็นที่ยอมรับทางการค้าในประเทศไทย ได้แก่ เครื่องคัดขนาดผลส้มเขียวหวาน แบบทรงกระบอกเจาะรู ตัวเครื่องประกอบด้วยตะแกรงทรงกระบอก 5 อัน มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูตะแกรง 51, 56, 60, 67 และ 70 มม. ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 0.5 แรงม้า สามารถคัดขนาดส้มเขียวหวานได้ 6 ขนาดที่สมรรถนะ 1.5 ตัน/ชั่วโมง ประสิทธิภาพการคัดขนาด 87.5 % ลื่นเปลี่ยนกำลังไฟฟ้า 0.32 กิโลวัตต์ (บัณฑิต และคณะ, 2531) ข้อดีของเครื่องคัดส้มนี้คือ โครงสร้างง่าย ให้สมรรถนะสูง และมีความแม่นยำในการคัดขนาดสูง เป็นที่ยอมรับของผู้ใช้ ข้อเสีย คือ (ก) เมื่อป้อนผลส้มเข้ามากเกินไป การไหลของผลส้มจะย้อน หรือชักรันทำให้ส้มบางผลซึ่งเล็กกว่ารูไม่ได้สอบเทียบกับรูและข้ามเกรตนั้น จึงทำให้เกิดผิดเกรต และ (ข) ถ้าปริมาณส้มน้อยเกินไป จะมีส้มบางผลหยุดการเคลื่อนที่ระหว่างทรงกระบอก และไม่ถูกคัดขนาด

บุญส่ง (2540) ได้ประยุกต์นำเครื่องระบบนี้มาคัดขนาดผลมะนาว เขาได้ติดตั้งเครื่องนี้บนผลมะนาวเสริมเข้าไปด้วย ยังไม่มีการทดสอบ ประเมินผลเครื่องคัดขนาดผลมะนาว ดังกล่าว

เครื่องคัดขนาดมังคุดที่ผลิตใช้ทางการค้า ได้แก่

(ก) เครื่องระบบสายพานบานออก

(Jarimopas *et al.*, 1988) ซึ่งประกอบด้วยสายพานผ้าใบ 3 ชั้น ขนาดกว้าง 3 นิ้ว 2 เส้น วางเอียงเข้าหากัน มีความลาดเอียง 25 องศา ความยาวของเครื่อง 4 เมตร ขับเคลื่อนสายพานมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 1 แรงม้า 220 โวลต์ 50 Hz. เครื่องสามารถคัดขนาดผลมังคุดได้ 3 เกรต คือ Extra, A และ B ซึ่งมีน้ำหนักต่อผลมากกว่า 100 กรัม, 75–100 กรัม และน้อยกว่า 75 กรัม ตามลำดับ สมรรถนะของเครื่อง

ประมาณ 1,000 กก./ชม. ที่ประสิทธิภาพการคัดขนาด 80 % ข้อดีของเครื่องแบบนี้คือ สร้างง่าย การบำรุงรักษาน้อย แต่มีข้อเสียคือ ช่องสอบเทียบขนาดไม่คงที่ เพราะสายพานที่ใช้มีผิวไม่เรียบ ทำให้ความแม่นยำในการคัดขนาดไม่ดี และมีขนาดเทอะทะ ความลาดเอียงของสายพานน้อย ทำให้สายพานต้องพาผลไม้เดินทางไกลกว่าจะถูกวัดและคัดขนาด ทำให้ผลไม้มักมีโอกาสเสียหายเพิ่มขึ้นและเครื่องยาวเกินไป

(ข) เครื่องคัดขนาดมั่งคุดระบบกรรพา นำเข้าจากประเทศไต้หวัน กลไกการคัดขนาดประกอบด้วยจานหมุน และแผ่นกั้นที่บูด้วยวัสดุประเภทเบาะและวางอยู่เหนือขอบจานหมุน การทดสอบเครื่องดังกล่าวโดยคัดผลมั่งคุด 4 ขนาด สำหรับช่วงขนาด 10 และ 20 กรัม ปรากฏว่าคัดผิดพลาด 37 % และ 44% ตามลำดับ เครื่องมีสมรรถนะ 500 กก./ชม. (จักรวาลและคณะ, 2542) ข้อเสียของเครื่องคือราคาแพง และคัดผิดพลาดมาก เครื่องไม่ได้ถูกสร้างอย่างถูกหลักวิชาการสำหรับคัดขนาดผลมั่งคุดไทย

(ค) ได้มีการลอกเลียนแบบเครื่องคัดขนาดมั่งคุด ของไต้หวัน โดยชาวสวนจันทบุรีต่อไปอีก และนำมาใช้คัดขนาดผลมั่งคุดได้ 3เกรด มีสมรรถนะ 800 กก./ชม. จานหมุนใช้กระโถนใบบัวซึ่งสะดวกในการก่อสร้าง แต่ขาดหลักวิชาการ ซึ่งความสูงชั้น (มุมเอียงประมาณ 30- 40 องศา) ของกั้นกระโถนมากเกินไปทำให้ผลมั่งคุดเคลื่อนที่ ลงมาชนแผ่นกั้นคัดขนาดอย่างแรงเพิ่มโอกาสการชำรุดเสียหาย การคัดขนาดยังต้องใช้คนทำการคัดแยก ทำให้ล่าช้าและผิดพลาดสูง ข้อดีคือ เครื่องราคาถูก (เสกสรร, 2540)

(ง) เครื่องคัดขนาดโดยระบบน้ำหนักด้วยโหลดเซลล์ เป็นเครื่องนำเข้าจากประเทศออสเตรเลีย ราคาแพงมาก มีหลักการทำงานคือ โหลดเซลล์จะชั่งถาดที่มีผลไม้เพียงหนึ่งผลเท่านั้น แล้วส่งสัญญาณให้

คอมพิวเตอร์ซึ่งผู้ใช้สามารถโปรแกรมกำหนดขนาดของผลไม้ได้ทำการประมวลผลเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ว่าเป็นขนาดใด สุดท้ายโปรแกรมจะรอจนกระทั่งผลไม้เคลื่อนไปตรงตำแหน่งของเกรตนั้นแล้วให้สัญญาณกระตุ้นให้รีเลย์บังคับให้ถาดเทผลไม้ ออก เกษตรกรรายย่อยไม่สามารถเป็นเจ้าของได้ ปัจจุบันยังไม่มีการทดสอบประเมินผลเครื่องดังกล่าว ออกตีพิมพ์เผยแพร่

อย่างไรก็ตามความต้องการเครื่องคัดขนาดมั่งคุดที่กะทัดรัด ใช้งานง่าย มีประสิทธิภาพ แต่ราคาย่อมเยามีอยู่มากที่นักวิชาการและโรงงานยังตอบสนองไม่ได้ จำเป็นอย่างยิ่งต้องพัฒนาปรับปรุงเครื่องคัดขนาดผลมั่งคุดขึ้น

การออกแบบและการทดลอง

วิธีการออกแบบ ประกอบด้วย การกำหนดเกณฑ์การออกแบบ การคำนวณแบบจานคัดขนาดและการสร้างเครื่องต้นแบบ

เกณฑ์การออกแบบ คือ

1. เครื่องต้องมีขนาดกะทัดรัด สามารถบรรจุทุกใส่รถกระบะได้
2. กลไกการทำงานไม่ยุ่งยากซับซ้อน มีความปลอดภัย
3. ต้นกำลังควรใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเฟสเดียว 220 โวลต์
4. ระบบถ่ายทอดกำลังควรใช้เกียร์ทดรอบเพื่อให้มีขนาดเล็กกะทัดรัด และใช้สายพานลื่นส่งกำลังระหว่างมู่เลย์
5. ระบบคัดขนาดใช้จานคัดขนาดวงกลมกับแผ่นกั้นที่ปรับความสูง ต่ำ ได้
6. ใช้ได้กับผลไม้ทรงกลมและแบบมีขั้วติดผลไม้
7. ใช้คนควบคุมการทำงาน 1 คน

การคำนวณแบบจานคัดขนาด

Fig. 1 แสดงเส้น ab แทนแนวขอบของ Rotating disk ที่อยู่ในแนวระดับโดย $ab = \pi D$ และ $D =$ เส้นผ่าศูนย์กลางของ disk เส้น mn แสดงแนวแผ่นกั้น (Board) เพื่อให้เกิดการคัดขนาดซึ่งเอียงทำมุม θ กับแนว ab $X_1X_2, X_2X_3, X_3X_4, X_4b$ เป็นช่องที่ผลมั่งคุดขนาด C, B, A และ Extra กลิ้งผ่านช่องว่างที่มีความกว้าง h_2, h_3, h_4, h_5 ตามลำดับออกไปสู่ถาดรับเบื้องล่าง จากการศึกษาข้อมูลคุณลักษณะทางกายภาพของผลมั่งคุด (อัครเดชและคณะ, 2543) ได้ข้อมูลแสดงใน Table 1

Table 1 Data on weight and diameter of mangosteen fruits

Fruit size	Weight (g.)	Average diameter (mm.)
Extra	>120–140	64.9
A	>100–120	60.9
B	>80–100	56.9
C	>60–80	52.9
D	40–60	48.9

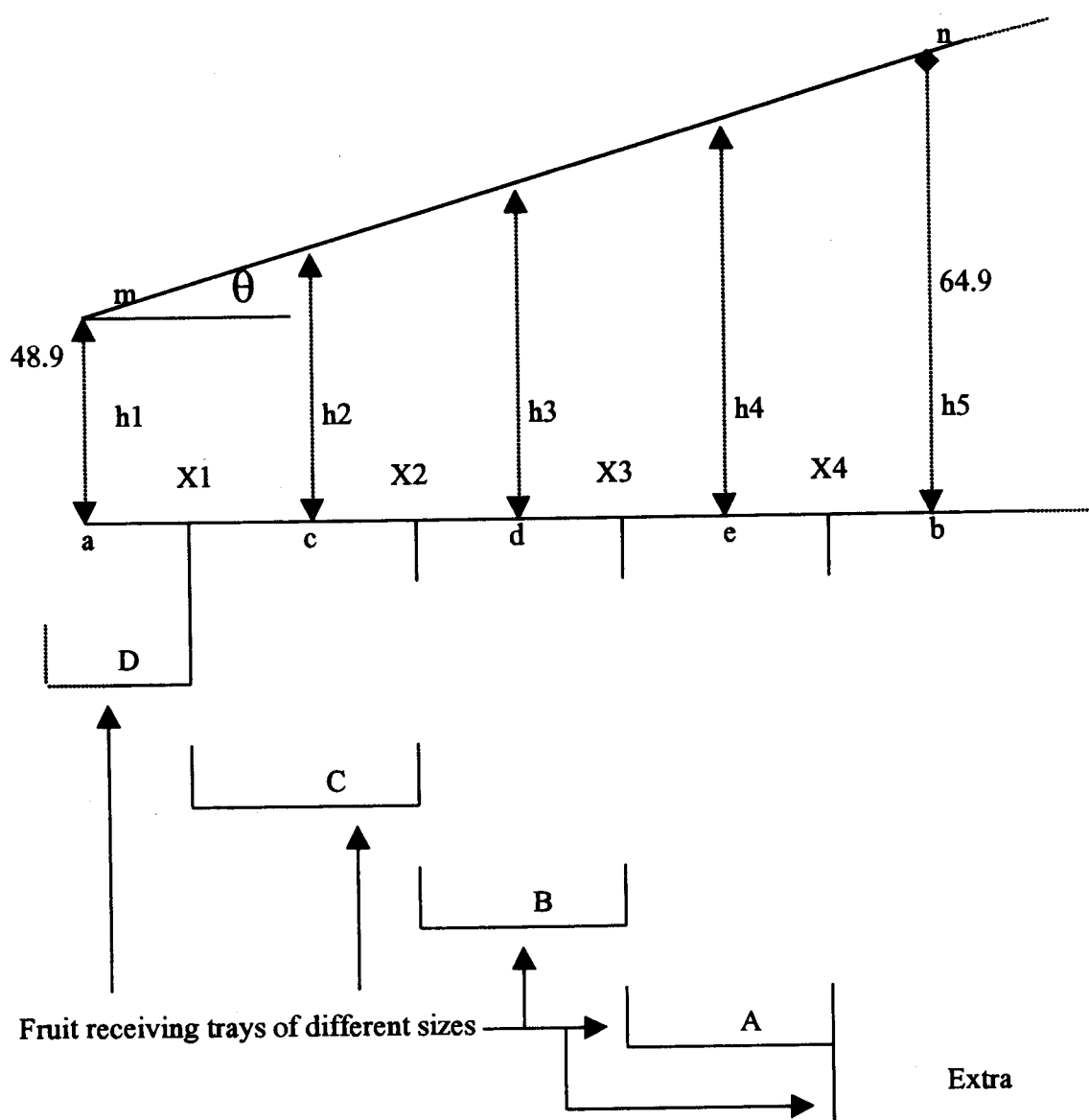


Fig. 1 Conceptual diagram for sizing machine design

$$\begin{aligned} \therefore \tan \theta &= \frac{h_2 - h_1}{ac} && \text{①} && \text{หรือ} \\ \tan \theta &= \frac{h_3 - h_2}{cd} && \text{②} && \text{หรือ} \\ \tan \theta &= \frac{h_4 - h_3}{de} && \text{③} && \text{หรือ} \\ \tan \theta &= \frac{h_5 - h_4}{eb} && \text{④} && \text{หรือ เราอาจกล่าวได้ว่า} \end{aligned}$$

ถ้าระยะ $ac+cd+de+eb = ab$ ----- ⑤ คือ เส้นรอบวงกลมพอดีของ Rotating disk

แทนค่า ac, cd, de และ eb จาก ①, ②, ③ และ ④ ลงใน ⑤

$$\text{นั่นคือ } ab = \frac{(h_2 - h_1) + (h_3 - h_2) + (h_4 - h_3) + (h_5 - h_4)}{\tan \theta} = \frac{h_5 - h_1}{\tan \theta}$$

$$\text{หรือ } \pi D = \frac{h_5 - h_1}{\tan \theta} \quad \text{⑥}$$

$$\begin{aligned} h_5 &\equiv \text{เส้นผ่าศูนย์กลางผลม้งคุดเฉลี่ย} && 64.9 && \text{ มม.} \\ h_1 &\equiv \text{เส้นผ่าศูนย์กลางผลม้งคุดเฉลี่ย} && 48.9 && \text{ มม.} \end{aligned}$$

เนื่องจากช่วงขนาด (Size range) ของแต่ละขนาดแคบ เพื่อการคัดขนาดที่แม่นยำ และ $X_1 X_2, X_2 X_3, X_3 X_4, X_4 b$ ต้องยาวพอสมควรเพื่อให้ผลไม้แยกตกถูกตามขนาดอย่างชัดเจน θ จึงต้องเป็นมุมเล็ก ๆ ไม่เกิน 1 องศา เลือก $\theta = 0.5^\circ$

$$\therefore \pi D = \frac{64.9 - 48.9}{\tan 0.5} \quad \text{⑦}$$

ในแนวทางปฏิบัติเพื่อช่องป้อนผลม้งคุดเข้าสู่การคัดขนาด 100 มม.

$$\therefore D = \left(\frac{16}{\tan 0.5} + 100 \right) / \pi \equiv 615 \text{ มม.}$$

$$\text{เลือก } D = 650 \text{ มม.}$$

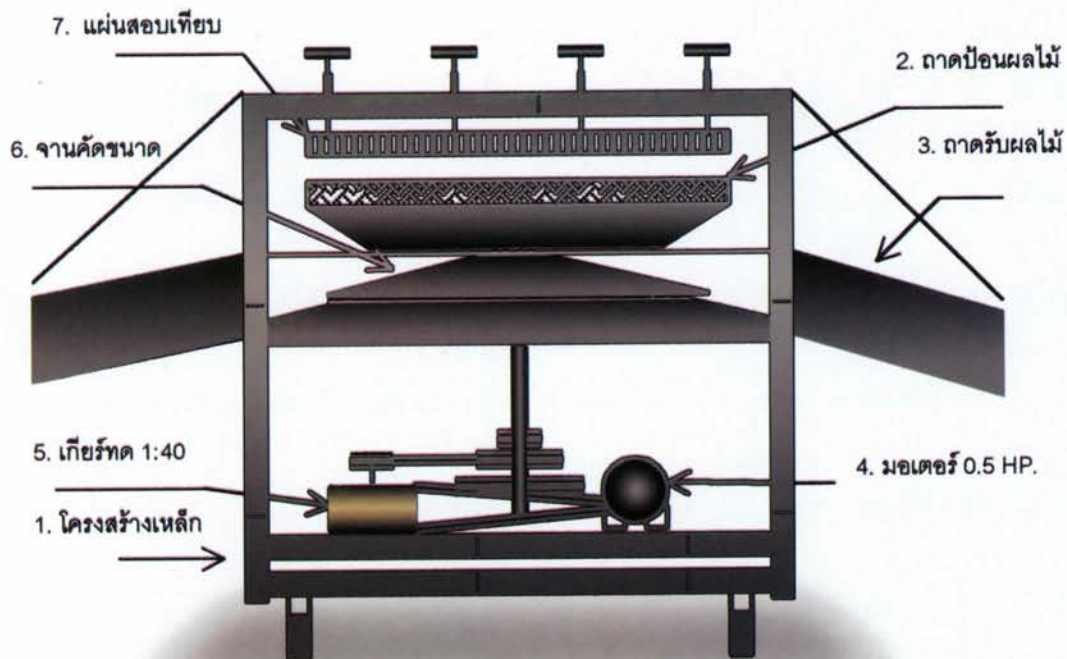


Fig. 2 Schematic diagram of mangosteen sizing machine (side view)

เครื่องต้นแบบ ถูกสร้างที่ศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง มก.กพส. อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

Fig. 2 แสดง Schematic diagram ของเครื่องคัดขนาดผลมังคุดประกอบด้วย (1) โครงสร้างหลัก ทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ (2) ถาดป้อนผลมังคุดเข้าเครื่องคัดขนาด (3) ถาดรับผลมังคุดที่ผ่านการคัดขนาดแต่ละขนาด (4) ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/2 แรงม้า 220 โวลต์ (5) เกียร์ทดรอบ 1:40 (6) จานคัดขนาด และ (7) แผ่นสอบเทียบและอุปกรณ์ ปรับระดับของแผ่นสอบเทียบ

การทดสอบ

เพื่อประเมินความสามารถในการทำงานของเครื่อง จากตัวแปร 3 ตัว คือ

- ประสิทธิภาพการคัดขนาด, E_w
- สมรรถนะการคัดขนาด, Q และ
- อัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ย, \bar{C}_R

ภายใต้การผันแปรของปัจจัยแวดล้อม 2 ปัจจัย คือ

- ช่วงขนาด (Size Range) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ 20 กรัม และ 30 กรัม และ

- ความเร็วรอบของจานคัดขนาด 3 ความเร็ว คือ 7, 14 และ 21 รอบต่อนาที

การวางแผนการทดลองเป็นแบบ 2×3 Factorial in CRD โดยจะคัดมังคุดออกเป็น 4 ขนาด

สำหรับช่วงขนาด 20 ก. ($A = >110 - 130$ กรัม./ผล; $B = >90 - 110$ กรัม./ผล; $C = >70 - 90$ กรัม./ผล; $D = >50 - 70$ กรัม./ผล.)

สำหรับช่วงขนาด 30 ก. ($A = >150 - 180$ กรัม./ผล; $B = >120 - 150$ กรัม./ผล; $C = >90 - 120$ กรัม./ผล; $D = >60 - 90$ กรัม./ผล.)

วัสดุและอุปกรณ์

- นาฬิกาจับเวลา
- เครื่องชั่งขนาด 0-300 ก.

3. Vernier caliper
4. Permanent pen
5. สำหรับแต่ละช่วงขนาดใช้ผลมั่งคุด 20 ผล/ขนาด

การเตรียมการก่อนการทดสอบ

- เลือกผลมั่งคุดที่ไม่มีตำหนิหรือแตกที่ซื้อมาจากสวนเกษตร ออกเป็น 2 ส่วน สำหรับทำการทดสอบกับช่วงของการคัดขนาด 20 และ 30 กรัม ตามลำดับ โดยการชั่งน้ำหนักและ เขียนฉลากกำกับว่าเป็นเกรด A, B, C, หรือ D พร้อมต่อท้ายด้วยหมายเลขประจำผลไม้เรียงลำดับตั้งแต่ 1 ขึ้นไปถึง ผลสุดท้ายของแต่ละเกรด บันทึกค่าน้ำหนักไว้
- วัดเส้นผ่าศูนย์กลางผลมั่งคุดทุกผล บันทึกค่าไว้
- นำค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางของผลมั่งคุดในแต่ละช่วงขนาดมาคำนวณหาค่าจุดแบ่งเกรด และตั้งระดับของแผ่นสอบเทียบที่เครื่องคัดขนาดให้สมนัยกัน
- ปรับระดับของแผ่นสอบเทียบใหม่เมื่อมีการทดสอบกับช่วงการคัดขนาดอื่น

วิธีการทดสอบ

ทำการทดสอบในแต่ละแผนการคัดขนาด (Treatment Combination)

1. นำผลมั่งคุดที่จะทำการทดลองมาละกันทั้งหมดทุกเกรด
2. ใช้คน 1 คน ทำงานค่อยๆ ป้อนผลมั่งคุดของผลมใหญ่จากถาดป้อนเข้าสู่เครื่องคัดขนาดอย่างต่อเนื่องทีละผล
3. เริ่มจับเวลาตั้งแต่ผลมั่งคุดแรกเข้าสู่ระบบการคัดขนาด จนถึงผลมั่งคุดสุดท้ายเป็นเวลาที่ทั้งหมดที่ใช้ป้อน
4. เมื่อเครื่องคัดขนาดผลมั่งคุดแล้วผลมั่งคุดจะตกลงในถาดรองรับของแต่ละถาด ให้จับเวลาเมื่อผลมั่งคุดลูกแรกของแต่ละขนาดตกลงมาจนถึงผลมั่งคุดลูกสุดท้ายของขนาดนั้น
5. จำแนกและบันทึกว่าผลมั่งคุดที่ตกในแต่ละขนาด มีผลมั่งคุด ตกถูกขนาดหมายเลขเท่าไร และตกผิดขนาดในแต่ละขนาดหมายเลขเท่าไร และไปเทียบหาน้ำหนักผลมั่งคุดจากที่บันทึกไว้แล้ว
6. ระหว่างที่มีการทดลองให้บันทึกค่าการใช้ไฟฟ้า ความเสียหายที่เกิดกับผลมั่งคุดและข้อบกพร่องของเครื่องที่สังเกตได้

7. ทำการทดลองในแต่ละแบบของการคัดขนาด 5 ซ้ำ
8. วิเคราะห์หา Q , E_w และ \bar{C}_R และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลดังกล่าวด้วยเทคนิค ANOVA

การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม

ประสิทธิภาพการคัดขนาด สมรรถนะ และอัตรา การเจือปนเฉลี่ย หาได้จากสมการ การวิเคราะห์ (Peleg, 1985) ดังนี้

$$E_w = \frac{\sum (P_{gi} W_i G_i)}{QP_i}$$

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

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

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

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

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

$$Q = \frac{w_t}{t}$$

$$\bar{C}_R = \frac{\sum N_{ij}}{\sum N_i}$$

ที่ซึ่ง

E_w = ประสิทธิภาพการคัด (Sizing Efficiency)

G_i = อัตราการไหลออก (Outflow rate) ของเกรด i (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

K_i = เศษส่วนมูลค่า หรือราคาที่สัมพันธ์กับเกรด i ต่าง ๆ

N_i = จำนวนผลไม้เกรด i เมื่อป้อนเข้าสู่การคัดขนาด

$\sum N_i$ = จำนวนผลไม้ทั้งหมด n เกรด

N_{ij} = จำนวนผลไม้เกรด j ที่ตกในช่องเกรด i

N_{gi} = จำนวนผลไม้เกรด i ที่ตกในช่องเกรด i (ถูกต้องออกมาถูกต้อง)

N_{ti} = จำนวนผลไม้ทั้งหมดที่ตกในช่องเกรด i

- P_i = เศษส่วนของผลไม้เกรด i ในผลไม้ทั้งหมด เมื่อเริ่มคัดขนาด
- P_{gi} = เศษส่วนของผลไม้ถูกต้อง ที่คัดได้ในช่องเกรด i
- Q = สมรรถนะหรืออัตราการไหลเข้า (Inflow rate) (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
- t = เวลาที่ใช้ในการป้อนผลผลิตเข้าสู่เครื่องคัดขนาด (ชั่วโมง)
- W_i = Weighted function
- w_i = น้ำหนักรวมของผลไม้ที่ตกในช่องเกรด i (สมนัยกับ N_{gi}) (กิโลกรัม)
- w_t = น้ำหนักรวมของผลไม้ทั้งหมด (สมนัยกับ $\sum N_i$) (กิโลกรัม)

\bar{C}_R = อัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ย (Mean Contamination Ratio)

ผลการทดลองและวิจารณ์

Fig. 3 แสดงเครื่องคัดขนาดผลมังคุด มีขนาดกว้าง 1,250 มม. ยาว 1,350 มม. สูง 980 มม.หนัก 150 กก. จานคัดขนาด มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 650 มม. ผิวจานลาดเอียง 10 องศา เพลาจานคัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มม. ยาว 75 ซม. ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/2 HP 220 V, 50 Hz. สายพานลื่น และเกียร์ตรอบ 1:40

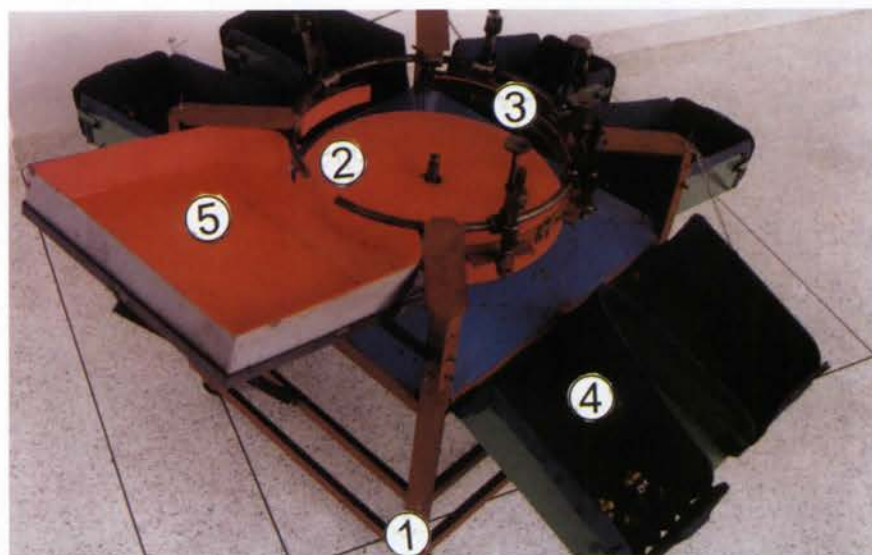


Fig. 3 Real picture of mangosteen fruit sizer

(1 = steel frame, 2 = rotating disk, 3 = adjustable cushioned board, 4 = fruit receiving tray, 5 = feeding tray)

จากการทดสอบการคัดขนาด 6 แบบ (Treatment Combination) จาก 2 เงื่อนไข คือ ช่วงขนาด 2 ช่วง (20 และ 30 กรัม) และความเร็วรอบของจานคัดขนาด 3 ระดับ ความเร็ว (7, 14 และ 21 รอบ/นาทีตามลำดับ) เพื่อหาอิทธิพลของเงื่อนไขดังกล่าวต่อประสิทธิภาพการคัดขนาด E สมรรถนะการคัดขนาด Q และอัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ย \bar{C}_R ผลปรากฏว่ามีอิทธิพลร่วมของ 2 เงื่อนไขดังกล่าว สำหรับสมรรถนะการคัดขนาด Q และอัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ย ยกเว้นการให้ประสิทธิภาพการคัดขนาดดังนี้

จาก Table 2 พบว่า ที่ช่วงขนาด 20 กรัม มีประสิทธิภาพการคัดขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.71 และที่ช่วงของขนาด 30 กรัม มีประสิทธิภาพการคัดขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.77 โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าช่วงขนาดที่น้ำหนักน้อย หมายถึง ช่วงขนาดที่เส้นผ่าศูนย์กลางแคบด้วย ทำให้ความแตกต่างระหว่างผลมังคุดต่างขนาด โดยเฉพาะขนาดที่ติด ๆ กันมีน้อย ซึ่งเครื่องไม่ sensitive พอที่จะแยกแยะได้ เมื่อเพิ่มขนาดของช่วงคัดขนาดจะทำให้เครื่อง sensitive เพิ่ม

ขึ้น เพราะฉะนั้นการคัดมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาความเร็วรอบของจานคัดขนาดที่ใช้พบว่าความเร็วรอบของจานคัดขนาด 21 รอบ/นาที ให้ประสิทธิภาพการคัดขนาดต่ำสุด คือ 0.71 และความเร็วรอบของการคัดขนาด 7 รอบ/นาที ให้ประสิทธิภาพการคัดขนาดสูงสุด คือ 0.77 โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ความเร็วรอบของจานคัดขนาดสูงจะทำให้ประสิทธิภาพการคัดขนาดลดลง สำหรับผลที่มีขนาดโตใกล้ ๆ กับขนาดที่จุดแบ่งเกรด จะเข้าไปอีกขนาดที่อยู่ถัดไปได้เมื่อความเร็วของจานคัดขนาดสูงขึ้น ทำให้ผลมังคุดลื่นไถลข้ามจุดแบ่งเกรดไปตกเกรดผิดเกรดได้

จาก Table 3 พบว่า ผลของการเพิ่มช่วงคัดขนาดและเพิ่มความเร็วรอบของจานคัดขนาด จะทำให้มีสมรรถนะการคัดขนาดมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 5% โดยที่ช่วงคัดขนาด 20 กรัม มีสมรรถนะการคัดขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 404.2 กก./ชม. และช่วงขนาด 30 กรัม มีสมรรถนะการคัดขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 561.7 กก./ชม. จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มขนาดของช่วงคัดขนาดจะทำให้การคัดมีสมรรถนะสูงขึ้น แต่จะทำให้ผลไม้ที่คัดได้มีขนาดไม่สม่ำเสมอ และเมื่อพิจารณาความเร็วรอบของจานคัดขนาดที่สูงขึ้นจะทำให้สมรรถนะการคัดขนาดเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อความเร็วของจานสูงขึ้น จำนวนผลมังคุดจะถูกพาไปสู่การคัดขนาดได้มากขึ้นต่อหนึ่งหน่วยเวลา ดังนั้น ยิ่งเพิ่มช่วงขนาดกว้างขึ้นและเพิ่มความเร็วรอบของจานคัดขนาด จะทำให้สมรรถนะเพิ่มขึ้น จากการทดสอบ

พบว่าที่ความเร็วรอบของจานคัดขนาด 21 รอบ/นาที ช่วงคัดขนาด 30 กรัม จะให้สมรรถนะการคัดขนาดสูงสุดคือ 717.7 กก./ชม.

จาก Table 4 พบว่า ผลของการลดช่วงคัดขนาดที่ความเร็วรอบของจานคัดขนาด 14 rpm. จะทำให้มีอัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ยมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 5% แต่ที่ความเร็วรอบของจานคัดขนาด 7 และ 21 rpm. ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อใช้ความเร็วรอบช้าๆ (7 rpm.) การสอบเทียบกับแผ่นกันที่เกิดตรงรอยต่อของจุดแบ่งเกรดมีความผิดพลาดได้ง่ายผลมังคุดไม่มีแรงเหวี่ยงพอที่จะตกไปยังเกรดต่อไปซึ่งเป็นเกรดที่ถูกได้ เช่นเดียวกับการใช้ความเร็วรอบเร็วๆ (21 rpm.) การสอบเทียบกับแผ่นกันก็ไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ผลมังคุดบางลูกตกเลยเกรด ทำให้มีอัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ยสูงขึ้น จากการทดสอบที่ช่วงคัดขนาด 30 กรัม มีอัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ยเท่ากับ 0.25 และช่วงคัดขนาด 20 กรัม มีอัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ยเท่ากับ 0.28 ที่ความเร็วรอบของจานคัดขนาด 7 รอบ/นาที ช่วงคัดขนาด 30 กรัม ให้อัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ยต่ำสุดคือ 19.4%

สภาวะที่เหมาะสมในการใช้เครื่องคัดขนาดมังคุดต้นแบบนี้ น่าจะเป็นความเร็วของจานคัดขนาด 14 rpm. ช่วงการคัดขนาด 30 กรัมเพราะได้ประสิทธิภาพสูง อัตราการเจือปนเฉลี่ยต่ำ และสมรรถนะปานกลางเพียงพอที่เกษตรกรสามารถนำไปใช้งานได้ และตรวจไม่พบความเสียหายที่เกิดกับผลมังคุดแต่อย่างใด

Table 2 Sizing efficiency at different disk speeds and size ranges

Disk speed (rpm)	Sizing efficiency		Average
	Size range 20 g.	Size range 30 g.	
7	0.7344	0.7990	0.7667 a
14	0.6958	0.7934	0.7446 ab
21	0.7030	0.7108	0.7069 b
average	0.7111 b	0.7677 a	0.7394

CV = 6.2%

Note : In a row (or column), means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level

Table 3 Throughput capacity (kg./hr.) at different disk speeds and size ranges

Disk speed (rpm)	Throughput capacity (kg./hr.)		Difference
	Size range 20 g.	Size range 30 g.	
7	229.3 b	368.9 c	-139.7 **
14	497.0 a	598.4 b	-101.4 **
21	486.2 a	717.7 a	-231.5 **
average	404.2	561.7	

CV = 3.5%

Note : In each column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% level

** = significant at 1% level

Table 4 Mean contamination ratio at different disk speeds and size ranges

Disk speed (rpm)	Mean contamination ratio		Difference
	Size range 20 g.	Size range 30 g.	
7	0.2384 a	0.1940 a	0.0444 ns
14	0.3008 b	0.2220 a	0.0788 **
21	0.3112 b	0.3151 b	-0.0078 ns
average	0.2835	0.2450	

CV =14.1%

Note : In each column, means followed by a common letter are not significant at the 5% level.

ns = not significant.

** = significant at 1% level

สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการทดสอบปรากฏว่า ช่วงขนาด และ ความเร็วจานหมุนมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการคัดขนาด สมรรถนะ และ อัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ย ที่ระดับนัยสำคัญ 5% การเพิ่มช่วงคัดขนาดและลดความเร็วรอบจานคัด ทำให้ประสิทธิภาพการคัดขนาดสูงขึ้น ประสิทธิภาพการคัดขนาดที่สูงที่สุดเท่ากับ 79.9% ช่วงคัดขนาดเพิ่มขึ้นทำให้อัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ยต่ำลง ความเร็วรอบจานคัดเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราส่วน

การเจือปนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น อัตราส่วนการเจือปนเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 19.4% เกิดที่ความเร็ว 7 รอบ/นาที ช่วงขนาด 30 กรัม การเพิ่มช่วงคัดขนาดและการเพิ่มความเร็วรอบของจานคัดทำให้สมรรถนะการคัดขนาดสูงขึ้น สมรรถนะมากที่สุดเท่ากับ 717.7 กิโลกรัม/ชั่วโมง เกิดที่ความเร็วรอบ 21 รอบ/นาที ช่วงขนาด 30 กรัม และเมื่อพิจารณาทั้ง 3 ลักษณะ เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เครื่องคัดขนาดมั่งคุดต้นแบบนี้ พบว่าควรใช้ช่วงการคัดขนาด 30 กรัมที่ความเร็วรอบของจานคัดขนาด 14 รอบ/นาที เพราะให้ประสิทธิภาพสูง

อัตราการใช้แป้นและสมรรถนะปานกลาง อย่างไรก็ตาม เครื่องต้นแบบเครื่องคัดขนาดผลมังคุดนี้ควรได้รับการพัฒนาต่อไปร่วมกับโรงงานผู้ผลิตเครื่องจักรกลการเกษตร เพื่อให้ได้เครื่องต้นแบบในเชิงพาณิชย์พร้อมการทดสอบ ประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรม

เอกสารอ้างอิง

จักรารุณ รุ่งสรวง ภูวนิตย์ จินวงษ์ วิชัย สถาวระ และ แสนชัย ก่อประเสริฐสุด. 2542. การทดสอบเครื่องคัดขนาดมังคุดที่จันทบุรี รายงานปัญหาพิเศษปริญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน 50 หน้า

บัณฑิต จริโมภาส เกริก คงพัฒนานนท์ และสิทธิชัย ชาญวิชิต. 2531. การทดสอบเครื่องคัดขนาดส้มแบบตะแกรงทรงกระบอก. หน้า 88-89 ใน : รายงานการวิจัยเสนอในการสัมมนาวิชาการเรื่องเครื่องมือและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 6-7 ตุลาคม.

บุญส่ง ปานเจริญ. 2540. การติดต่อส่วนตัว

เสกสรร สีหวงษ์. 2540. เครื่องคัดขนาดมังคุดแบบ ถาดหมุน *ข่าวสารศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน* 10(3) : 2-3

อัครเดช เพชรสมัย กิตติสमान วงษ์พิพัฒน์ อังกูร เพ็ง ผาสุข มาลัย ไกรทอง และ สิทธิลักษณ์ พรหมประสิทธิ์ 2543. การทดสอบเครื่องคัดขนาดมังคุดแบบ สายพานถ่าง. รายงานปัญหาพิเศษ. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

Jarimopas, B., Krirk Kongwatananon, Chairat Rangdang and Ritsuya Yamashita. 1988. Mangosteen Sizing Machine. *Kasetsart J. Nat. Sci. Suppl.* 22:91-96.

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