

## 2. การทดสอบ

### 2.1 การทดสอบเครื่องคัดขนาดผลส้มโอระดับห้องปฏิบัติการ

ประกอบด้วยการวางแผนการทดสอบ เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัยคือ ความเร็วของสายพานคัด มุมเอียงของสายพาน และลักษณะการป้อนผลส้มโอ โดยจัดแผนการทดลองแบบ Split – Plot Design ตัวแปรที่ถูกสังเกตภายใต้การแปรปรวนของปัจจัยควบคุม มี 3 ตัวคือ ประสิทธิภาพในการคัดขนาด ( $E_w$ ), สมรรถนะในการคัดขนาด ( $Q$ ) และความผิดพลาดในการคัดขนาดเฉลี่ย ( $\bar{C}_R$ )

#### 2.1.1 การทดสอบเครื่องคัดขนาดผลส้มโอตอนที่ 1

ทดสอบกับผลส้มโอ 2 พันธุ์คือ พันธุ์ขาวน้ำผึ้งและพันธุ์ขาวทองดี โดยปรับมุมเอียงของสายพานเป็นมุม 70, 75 และ 80 องศา จากแนวระนาบ (มุมที่ได้มาจากการลากเส้น Profile ของผลส้มโอ) ความเร็วของสายพานคัด 4, 8, 12 และ 14.5 เมตร/นาที่ ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่ชุดควบคุมความเร็ว (Inverter) จะควบคุมได้ ส้มโอพันธุ์ละ 3 ขนาดคือ ใหญ่ กลาง และเล็ก ขนาดละ 10 ผล จำนวน 7 ชั่วโมง เพื่อพิจารณาถึงแนวโน้มของปัจจัยที่ต้องการประเมินมีวิธีการดังนี้

#### วิธีการทดสอบ

1. เลือกซื้อผลส้มโอจากเกษตรกร โดยคัดเลือกผลที่ไม่มีตำหนิ
2. นำผลส้มโอแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ให้เป็นไปตามขนาดมาตรฐานแล้วทำเครื่องหมายกำกับแต่ละผลว่าเป็นขนาด (เบอร์) 1, 2 และ 3 พร้อมต่อท้ายด้วยหมายเลขประจำผลไม่ให้เรียงลำดับตั้งแต่หมายเลข 1 ไปจนถึงผลสุดท้าย
3. วัดเส้นรอบวงของผลส้มโอและเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่สุด ชั่งน้ำหนักของผลส้มโอแต่ละผล และบันทึกค่า

ตารางที่ 1 การแบ่งขนาดของผลส้มโอตามมาตรฐานสายพันธุ์

| พันธุ์ส้มโอ | เส้นรอบวงของผลส้มโอ (นิ้ว) |                        |                          |
|-------------|----------------------------|------------------------|--------------------------|
|             | ส้มโอเบอร์ 3               | ส้มโอเบอร์ 2           | ส้มโอเบอร์ 1             |
| ขาวน้ำผึ้ง  | 17-17.99<br>(431.8-457.0)  | 18-19<br>(457.2-482.6) | มากกว่า 19<br>( > 482.6) |
| ขาวทองดี    | 15-15.99<br>(381.0-406.2)  | 16-17<br>(406.4-431.8) | มากกว่า 17<br>( > 431.8) |

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

4. นำค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเส้นผ่านศูนย์กลางผลส้มโอแต่ละขนาดมาคำนวณหาจุดแบ่งเกรดด้วยสมการ (Peleg, 1985) ดังนี้

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

เมื่อ

$\mu_1$  = ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางส้มโอเกรดที่ 1

$\mu_2$  = ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางส้มโอเกรดที่ 2

$\sigma_1^2$  = ความแปรปรวนของเส้นผ่านศูนย์กลางส้มโอเกรดที่ 1

$\sigma_2^2$  = ความแปรปรวนของเส้นผ่านศูนย์กลางส้มโอเกรดที่ 2

5. กำหนดตำแหน่งของช่องแบ่งเกรดตามค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยให้สมนัยกับความกว้างของช่องห่างของสายพานคัดขนาด

6. นำผลส้มโอที่ต้องการคัดขนาดมาละกันทุกขนาด

7. กำหนดความเร็วของสายพานคัดที่ 4 เมตร/นาที่ และตั้งมุมเอียงของสายพานคัดขนาดที่ 70 องศา
8. ใช้คนป้อนผลส้มโอที่ละผลอย่างต่อเนื่องโดยจับให้ขั้วผลส้มโอกว้างไปในช่องระหว่างสายพานคัดขนาด (การวางผลส้มโอลักษณะอื่นไม่เป็นการวัดที่ตำแหน่งเส้นรอบวงผล)
9. เริ่มจับเวลาตั้งแต่ผลส้มโอผลแรกเข้าสู่ระบบการคัดขนาด จนถึงผลส้มโอผลสุดท้ายเป็น เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการป้อน
10. ผลส้มโอตกลงในถาดรับของแต่ละขนาด ให้เริ่มจับเวลาเมื่อผลส้มโอลูกแรกตกลงในช่องนั้นจนถึงผลส้มโอลูกสุดท้ายของขนาดนั้น
11. จำแนกและบันทึกว่า ผลส้มโอที่ตกลงในถาดรับแต่ละขนาด ทั้งที่ผลตกถูกขนาดและผลที่ตกผิดขนาดพร้อมบันทึกค่า
12. บันทึกความเสียหายเชิงกล ที่เกิดขึ้นกับผลส้มโอและข้อบกพร่องต่างๆของเครื่องคัดขนาดที่สังเกตได้ระหว่างทำการทดสอบ
13. ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 6-12 อีก 6 ครั้ง
14. ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 6-12 อีก 7 ครั้ง โดยเปลี่ยนมุมเอียงของสายพานคัดขนาดไปที่ 75 และ 80 องศา
15. ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 6-13 ตั้งความเร็วของสายพานคัดขนาดที่ 8, 12 และ 14.5 เมตร/นาที่ กับมุมเอียงของสายพานคัดขนาดที่ 70, 75 และ 80 องศา ตามลำดับ
16. วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล ค่าความผิดพลาดในการคัดขนาดเฉลี่ย ( $\bar{C}_R$ ) สมรรถนะในการคัดขนาด (Q) และประสิทธิภาพในการคัดขนาด ( $E_w$ ) ด้วยเทคนิคANOVA
17. ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 6-16 โดยเปลี่ยนพันธุ์ส้มโอและทำให้ครบทุกปัจจัยควบคุม

### 2.1.2 การทดสอบเครื่องคัดขนาดผลส้มโอตอนที่ 2

จากการทดสอบ 2.1.1 ทำให้ได้ค่าความเร็วของสายพานคัดขนาด และมุมเอียงสายพานคัดที่เหมาะสม (ที่ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายเชิงกลแก่ผลส้มโอ) มาทำการทดสอบเครื่องคัดขนาดผลส้มโอตอนที่ 2 โดยทำการทดสอบกับส้มโอพันธุ์ขาวทองดี และพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ขนาดละ 10 ผล จำนวน 7 ซ้ำ ใช้ความเร็วของสายพานคัดขนาด และมุมเอียงสายพานคัดที่เหมาะสมคงที่ ปรับเปลี่ยนปัจจัยควบคุมเป็นลักษณะการป้อน 2 ลักษณะ คือ แบบคว่ำข้าวผลและแบบหงายข้าวผล เก็บข้อมูลค่าความผิดพลาดการคัดขนาดเฉลี่ย ( $\bar{C}_R$ ) สมรรถนะการคัดขนาด (Q) และประสิทธิภาพการคัดขนาด ( $E_w$ ) นำไปวิเคราะห์ผลด้วย ANOVA ต่อไป

### 2.2 การทดสอบเครื่องคัดขนาดผลส้มโอพร้อมกับเครื่องป้อนผลส้มโอ

ใช้ปัจจัยควบคุม 3 ตัวคือ ความเร็วของสายพานคัดขนาด มุมเอียงสายพานคัด และการป้อนผลส้มโอที่เหมาะสม คงที่ ทำการทดสอบเครื่องคัดขนาดผลส้มโอทำงานร่วมกับเครื่องป้อนผลส้มโอแบบสุ่ม (Random) และต่อเนื่อง ครั้งละหลาย ๆ ผล ทดสอบกับผลส้มโอทั้งพันธุ์ขาวทองดีและขาวน้ำผึ้ง พันธุ์ละ 3 ขนาดคือ ใหญ่ กลาง และเล็ก ขนาดละ 30 ผล จำนวน 5 ซ้ำ เพื่อทดสอบหาความผิดพลาดในการคัดขนาดเฉลี่ย ( $\bar{C}_R$ ) และสมรรถนะในการคัดขนาด (Q) มีวิธีการดังนี้

#### วิธีการทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักผลส้มโอจำนวน 90 ผล พร้อมแบ่งผลส้มโอออกเป็น 3 กลุ่มคือ ขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก พร้อมทำเครื่องหมายที่ผลส้มโอ
2. เดินเครื่องคัดขนาดและเครื่องป้อนผลส้มโอ ป้อนผลส้มโอและเริ่มจับเวลาตั้งแต่ผลส้มโอผลแรกเข้าสู่เครื่องป้อน จนถึงผลส้มโอผลสุดท้ายเป็นเวลาที่หมดที่ใช้ในการป้อน
3. จำแนกและบันทึกจำนวนผลส้มโอและชั่งน้ำหนักผลที่ตกผิดขนาด
4. ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-3 อีก 4 ครั้ง

5. นำน้ำหนักผลส้มโอที่ตกผิคนาดและน้ำหนักผลทั้งหมดที่ป้อนเข้า มาคำนวณหาค่าความผิดพลาดในการคัดขนาดเฉลี่ย ( $\bar{C}_R$ ) และน้ำหนักทั้งหมดของผลส้มโอที่ป้อนเข้ากับเวลาที่ใช้ในการคัดขนาดมาทำการหาสมรรถนะในการคัดขนาด (Q) (ข้อ3)

6. ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนพันธุ์ส้มโอ

### 3. การวิเคราะห์ความผิดพลาดในการคัด สมรรถนะการคัดและประสิทธิภาพการคัด

ประสิทธิภาพการคัด สมรรถนะการคัดและความผิดพลาดในการคัด หาได้จากสมการ (Peleg, 1985) ดังนี้

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

$$P_{gi} = \frac{N_{gi}}{N_{ti}} \quad (3)$$

$$P_i = \frac{N_i}{\sum N_i} \quad (4)$$

$$W_i = \frac{K_i P_i}{\sum K_i P_i} \quad (5)$$

$$G_i = \frac{W_i}{t} \quad (6)$$

$$\bar{C}_R = \frac{\sum N_{ij}}{\sum N_i} \quad (7)$$

$$N_{ti} = N_{gi} + N_{ij} \quad (8)$$

$$Q = \frac{W_t}{t} \quad (9)$$

เมื่อ  $E_w$  = ประสิทธิภาพการคัดขนาด (Sizing Efficiency)

$G_i$  = อัตราการไหลออก (Outflow Rate) ของเกรด  $i$

$K_i$  = เศษส่วนมูลค่าหรือราคาที่สัมพันธ์กับเกรด  $i$  ต่างๆ

$N_i$  = จำนวนผลส้มโอเกรด  $i$  เมื่อป้อนเข้าสู่การคัดขนาด

$\sum N_i$  = จำนวนผลส้มโอทั้งหมด  $n$  เกรด

$N_{gi}$  = จำนวนผลส้มโอเกรด  $i$  ที่ตกลงในช่องเกรด  $i$  (คัดออกมาถูกต้อง)

$N_{ji}$  = จำนวนผลส้มโอเกรด  $j$  ที่ตกลงในช่องเกรด  $i$

$N_{ti}$  = จำนวนผลส้มโอทั้งหมดที่ตกลงในช่องเกรด  $i$

$P_i$  = เศษส่วนของผลส้มโอเกรด  $i$  ในผลส้มโอทั้งหมดที่เริ่มคัดขนาด

$P_{gi}$  = เศษส่วนของผลส้มโอถูกต้องที่คัดได้ในช่องเกรด  $i$

$Q$  = อัตราการไหลเข้า (Inflow Rate) หรือสมรรถนะ (น้ำหนัก / เวลา)

$W_i$  = ฟังก์ชันน้ำหนัก (Weight Function) ที่หาได้จากสมการ

$w_i$  = น้ำหนักรวมของผลส้มโอที่ตกลงในช่องเกรด  $i$  (สมนัยกับ  $N_{ti}$ )

$w_t$  = น้ำหนักรวมของผลส้มโอทั้งหมด (สมนัยกับ  $\sum N_i$ )

$t$  = เวลาที่ใช้ในการคัดขนาด

$\bar{C}_R$  = ความผิดพลาดในการคัดหรืออัตราการเจือปนเฉลี่ย (Contamination Ratio)

#### 4. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

วันชัยและช่อม (2538) กล่าวว่าเศรษฐกิจวิศวกรรมเป็นการวิเคราะห์เพื่อให้เกิดการประหยัดทรัพยากร โดยเน้นความคุ้มค่าและก่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด แต่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดเป็นการประเมินต้นทุนเทียบกับผลตอบแทนที่ได้รับจากการลงทุน ในการประเมินค่าใช้จ่าย ของการสร้างเครื่องและการคำนวณผลสัมฤทธิ์เป็นดังนี้ (คิดเฉพาะราคาที่จัดซื้อหรือสร้างไม่คิดค่าที่ดิน โรงเรือน ค่าประกันโรงเรือนและอื่นๆ)

##### 4.1 ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First Cost)

ต้นทุนเริ่มแรกคือ ค่าใช้จ่ายสำหรับลงทุนเริ่มต้น เช่น เครื่องจักร ที่ดิน เป็นต้น

##### 4.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating Cost)

ต้นทุนในการดำเนินการ คือ ค่าใช้จ่ายที่ต้องเตรียมไว้เพื่อดำเนินการกับทรัพย์สินที่ต้องลงทุนไป เพื่อให้เกิดผลผลิต แบ่งเป็น

4.2.1 ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) คือ ค่าใช้จ่ายที่คงที่ไม่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคาของเครื่องคำนวณผลสัมฤทธิ์ ค่าเสียโอกาสของทุนในเครื่องคำนวณผลสัมฤทธิ์

4.2.2 ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) คือค่าใช้จ่ายที่แปรไปตามปริมาณการผลิต เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนตามปริมาณผลสัมฤทธิ์ที่นำมาคำนวณ

ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการคำนวณผลสัมฤทธิ์หาได้จาก

$$AC = FC + VC \quad (10)$$

เมื่อ

$AC$  = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการคำนวณผลสัมฤทธิ์ต่อปี (บาทต่อปี)

$FC$  = ค่าเสื่อมราคาของเครื่องคำนวณ (D) + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)

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

ค่าเสื่อมราคา (คิดวิธีเส้นตรง)

$$D = \frac{(P - S)}{L} \quad (11)$$

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน

$$R = \frac{(P + S)}{2} \times I \quad (12)$$

เมื่อ

P = ราคาซื้อหรือสร้างเครื่องจักรขนาดผลสัมไอ (บาท)

L = อายุการใช้งานเครื่องจักรขนาด (สิ่กหรอน้อย) = 10 ปี

S = ราคาเครื่องเมื่อครบ 10 ปี = 0.1 P (บาท)

D = ค่าเสื่อมราคาต่อปี (บาท/ปี)

R = ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (บาท/ปี)

I = อัตราดอกเบี้ย 4.5% ต่อปี (เมื่อเดือนสิงหาคม 2549)

จุดคุ้มทุน (Break even point, BEP)

$$BEP_s = FC / (SU_U - VC_U) \quad (13)$$

เมื่อ

BEP<sub>s</sub> = จุดคุ้มทุน (หน่วย)

FC = ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)

SU<sub>U</sub> = ราคาขายต่อหน่วย (บาท/หน่วย)

VC<sub>U</sub> = ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อหน่วย (บาท/หน่วย)

ระยะเวลาในการคืนทุน

$$PBP = MC/P \quad (14)$$

เมื่อ

PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)

MC = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (บาท)

P = กำไร (บาท/ปี)

ในการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมมีสมมุติฐานของการลงทุน

1. ราคาผลิตภัณฑ์คงที่ เพราะฉะนั้นรายได้จากการวิเคราะห์จะเป็นเส้นตรง
2. ผลิตภัณฑ์สามารถขายได้หมดไม่ว่าจะผลิตเท่าไร
3. อัตราดอกเบี้ยคงที่
4. ต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันแยกออกจากกันได้ชัดเจน
5. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเศรษฐกิจไม่มีผลต่อราคาผลิตภัณฑ์
6. นโยบายระดับบริหารวิทยาการและประสิทธิภาพของการดำเนินงานไม่เปลี่ยนแปลง

### สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน และศูนย์เครื่องจักรกล  
การเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

### ระยะเวลาในการทดสอบ

เริ่มทำการทดสอบตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2548 ถึงสิ้นสุดเดือนสิงหาคม 2549