การพัฒนาเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อ

Development of Macadamia Shell Sizing Machine Using Stacked Pipe Gutters

หทัยนุช จันทร์ชัยภูมิ*

Hathainuch Janjchaiyaphoom

Received : April 29, 2020

Revised : July 20, 2020

Accepted : September 8, 2020

บทคัดย่อ

การพัฒนาเครื่องคัดขนาดแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อเพื่อเพิ่มความแม่นยำการคัดขนาดและลดเวลาในการคัดขนาด ทดสอบสมรรถนะเครื่อง และประเมินความพึงพอใจที่มีต่อเครื่อง โดยเครื่องใช้หลักการหมุนของรางท่อคู่ที่ขยายออกและทำมุมตก โดยเรียงซ้อนกันเป็นชั้น เพื่อใช้ในการคัดขนาด 3 ขนาด ซึ่งการทดสอบสมรรถนะเครื่องจะทำการปรับมุมตกและความเร็วรอบมอเตอร์ที่ระดับแตกต่างกัน คือ 15°, 20°, 25°และ 50, 100, 150, 200, 250 rpm ตามลำดับ จากผลการทดสอบสมรรถนะพบว่าการปรับมุมตกที่ 20° และใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ที่ 200 rpm สามารถทำให้เครื่องมีความแม่นยำในการคัดขนาดสูงที่สุดคือ 96.5% อัตราการผลิตเท่ากับ 178.74 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยเครื่องจะมีความแม่นยำในการคัดขนาดสูงกว่าแรงงานคน 17.50% และมีอัตราการผลิตสูงกว่าแรงงานคน 4.88 เท่า สำหรับผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ผลิตแมคคาเดเมียที่มีต่อเครื่อง มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.40 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.71 ซึ่งอยู่ในระดับพึงพอใจมาก

คำสำคัญ: แมคคาเดเมีย / เครื่องคัดขนาด / ชั้นรางท่อ

*อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

Lecturer at the Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology Phetchabun Rajabhat

ABSTRACT

The development of macadamia shell sizing machine using stacked pipe gutters for increase of sizing accuracy and reduce sizing time, test machine performance and evaluate the satisfaction survey of machine. The machine used the rotation principle of the double pipe gutter extends and angle drop by stacked in layers. The sizing machine used for three size. The testing machine performance to adjust the angle drop and motor speed at different levels: 15°, 20°, 25°and 50, 100, 150, 200, 250 rpm respectively. According to performance tests, the adjustment of angle drop at 20° and motor speed at 200 rpm as the result: the highest sizing accuracy of 96.5% and production rate is 178.74 kg/hr. Comparison between the machine and manual sizing: the machine has sizing accuracy and production rate was more than manual sizing: 17.50% and 4.88 time respectively. Result of evaluate the satisfaction survey of machine was average overall satisfaction is 4.40, standard deviation is 0.71, which was very satisfactory level.

Keywords : Macadamias / Sizing Machine / Stacked Pipe Gutters

บทนำ

แมคคาเดเมีย (Macadamia) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ Macadamia Integrifolia ในประเทศไทยปลูกกันที่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ตาก เลย และเพชรบูรณ์ ส่วนของแมคคาเดเมียที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจสูง คือ เมล็ด สำหรับลักษณะของผลแมคคาเดเมียจะมีเปลือกสีเขียวด้านนอกแข็งหนา ดังแสดงในภาพที่ 1(a),(b) มีเปลือกแข็งอีกชั้นหนึ่งหุ้มเนื้อในเรียกว่ากะลา ดังแสดงในภาพที่ 1(c) ในกะลามีเมล็ดเป็นเนื้อแน่น สีขาว รับประทานได้ ดังแสดงในภาพที่ 1(d) เมื่อทำการเก็บเกี่ยวผลสดแมคคาเดเมียแล้วจะนำมาผ่านกระบวนการแปรรูป โดยการนำผลสดแมคคาเดเมียไปแกะเปลือกสีเขียวชั้นนอกสุดออก จากนั้นนำเมล็ดแมคคาเดเมียไปทำการลดความชื้นให้เหลือประมาณร้อยละ 25 ด้วยวิธีการผึ่งลม แล้วนำเมล็ดอบให้แห้งด้วยไฟฟ้าหรือแก๊สหรือพลังงานแสงอาทิตย์ จนทำให้ความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 5 เพื่อให้เมล็ดไม่ติดกะลาซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปกะเทาะกะลาออก จากนั้นจึงนำไปกะเทาะกะลาออกเพื่อให้ได้เมล็ดออกมา (คำรณ และคนอื่นๆ, 2559)

(a) (b) (c) (d)

ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของผลแมคคาเดเมีย (a) ผลสด (b) เปลือกสีเขียวชั้นนอก (c) กะลา (d) เมล็ด

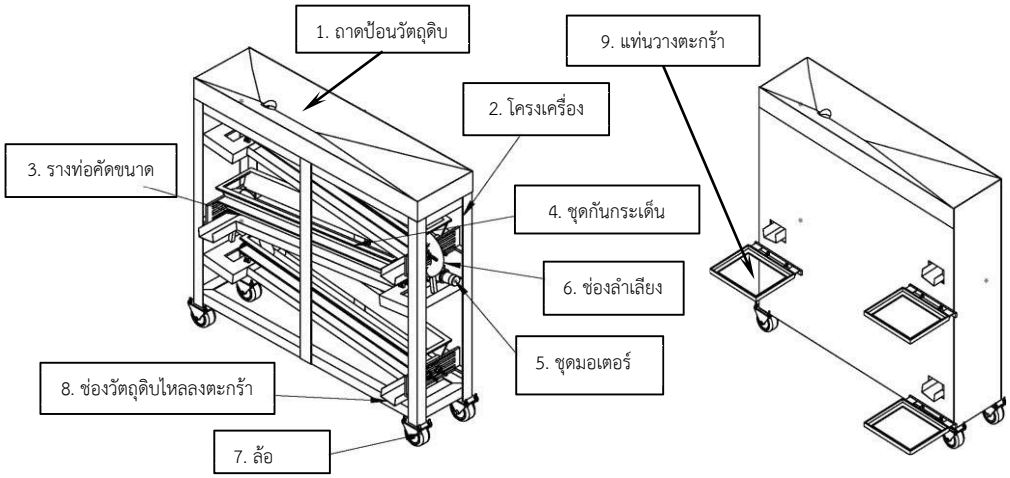
จังหวัดเพชรบูรณ์มีการปลูกแมคคาเดเมียที่อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ กันอย่างแพร่หลาย จึงทำให้มีผลผลิตแมคคาเดเมียปริมาณมาก ซึ่งจะจำหน่าย 2 รูปแบบ คือ กะลาอบ และเมล็ดที่ผ่านการกะเทาะกะลาออกแล้ว ซึ่งจำเป็นต้องนำกะลาแมคคาเดเมียไปทำการคัดขนาดก่อน เนื่องจากกะลาที่มีขนาดใหญ่จะมีราคาที่สูงกว่ากะลาที่มีขนาดเล็ก สำหรับการกะเทาะกะลาแมคคาเดเมียออกนั้น ผู้ผลิตและแปรรูปแมคคาเดเมียจะต้องทำการคัดขนาดกะลาก่อนนำเข้าเครื่องกะเทาะแบบกดอัดอัตโนมัติ เพราะหากไม่ทำการคัดแยกขนาดกะลาก่อนนำเข้าเครื่องจะส่งผลทำให้เมล็ดแมคคาเดเมียที่แตกหักจำนวนมาก ซึ่งจะจำหน่ายได้ได้ราคาที่ต่ำ แต่ถ้าหากทำการคัดขนาดกะลาก่อนทำการกะเทาะ โดยทำการปรับระยะห่างของใบมีดเครื่องกะเทาะให้สัมพันธ์กับขนาดกะลาจะทำให้ได้เมล็ดที่ผ่านการกะเทาะออกมามีคุณภาพ คือ มีลักษณะเต็มเมล็ด แตกหักน้อยมาก จึงทำให้จำหน่ายได้ในราคาสูง ซึ่งปัจจุบันใช้แรงงานคนในการคัดขนาดกะลาโดยวิธีการมองด้วยตาเปล่า เนื่องจากกะลาแมคคาเดเมียมีขนาดใกล้เคียงกันมาก ทำให้ใช้เวลานานในการคัดและต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญ ดังนั้นผู้ผลิตและแปรรูปแมคคาเดเมียจึงมีความต้องการเครื่องสำหรับคัดขนาด เพื่อลดเวลาในการทำงานของแรงงานคน ซึ่งใช้เวลาในการคัดขนาดประมาณ 1.70 นาที/กิโลกรัม ความแม่นยำในการคัด 79% ทางผู้วิจัยจึงได้ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องคัดขนาด ได้แก่ เครื่องคัดขนาดมังคุดแบบจานหมุน (สยาม, 2546) เครื่องคัดขนาดส้มแบบทรงกระบอกเจาะรูสวมซ้อนกันเป็นชั้นๆ โดยในแต่ละชั้นมีขนาดรูที่แตกต่างกัน ใช้การคัดขนาดแบบมุมตก (ทรงศักดิ์, 2548) เครื่องคัดขนาดพุทราโดยใช้ระบบน้ำไหลผ่านชุดรางขยายแบบบานออก (ภัทรชัย, 2554) เครื่องคัดขนาดแบบใช้โหลดเซลล์ชั่งน้ำหนัก (ชลีดล และคนอื่นๆ, 2554) เครื่องคัดขนาดผลหมากแบบใช้ช่องว่างระหว่างเพลาเกลียว (นัสสรา และคนอื่นๆ, 2557) เครื่องคัดขนาดละมุดโดยใช้เพลาหมุนวางคู่แบบขยายบานออกและมุมตก (Wantang, T., 2018) เครื่องคัดขนาดลูกมะนาวโดยใช้ระบบสมองกลฝังตัว (โชคชรัตน์ และคนอื่นๆ, 2562) เป็นต้น หลังจากได้ทำการศึกษาผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อขึ้น โดยใช้หลักการหมุนของรางท่อคู่ที่มีระยะห่างช่องว่างที่ขยายออกและทำมุมตก โดยเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ เพื่อใช้ในการคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมีย 3 ขนาด คือ เล็ก กลาง และใหญ่ เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการคัดขนาด และลดเวลาในการคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมีย จากนั้นจะทดสอบสมรรถนะและประเมินความพึงพอใจที่มีต่อเครื่องที่พัฒนาขึ้นมากับ กลุ่มผู้ผลิตและแปรรูปแมคคาเดเมีย อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ เพื่อให้งานวิจัยนี้เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับผู้ใช้งานจริง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อ

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อ โดยใช้หลักการหมุนของรางท่อคู่ที่ขยายออกและทำมุมตก โดยเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ แบบขั้นบันได เพื่อใช้ในการคัดขนาด 3 ขนาด ได้แก่ เล็ก กลาง และใหญ่ (คำรณ และคนอื่นๆ, 2559) ซึ่งรางท่อคู่แต่ละชั้นจะวางเอียงทำมุมตกที่เท่ากัน มุมตกจะช่วยให้กะลาแมคคาเดเมียเคลื่อนที่แบบไหลลงไปตามรางท่อคู่ได้ รางท่อคู่จะถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เพื่อทำให้รางท่อคู่หมุนด้วยความเร็วที่ระดับต่างๆ และรางท่อคู่จะมีช่องว่างที่ขยายออกไม่เท่ากัน จะขึ้นอยู่กับขนาดของ

กะลาแมคคาเดเมียที่ต้องการคัดในแต่ละชั้น โดยกะลาแมคคาเดเมียจะไหลจากชั้นบนสุดไปยังชั้นล่างสุดในลักษณะบันไดงู เพื่อทำการคัดกะลาจากขนาดเล็ก (ชั้นบน) ไปขนาดกลาง (ชั้นบน) และขนาดใหญ่ (ชั้นบน) ตามลำดับ เมื่อผ่านการคัดขนาดเรียบร้อยแล้วกะลาจะไหลออกจากช่องลงสู่ตะกร้าที่วางไว้ในแต่ละชั้น ดังแสดงในภาพที่ 2



(a) ด้านใน (b) ด้านนอก

ภาพที่ 2 แบบงานเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อ (a) ด้านใน และ (b) ด้านนอก

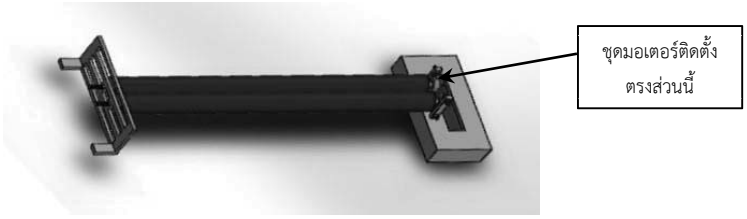
ส่วนประกอบหลักของเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อ มีรายละเอียดดังนี้

1.1 ถาดป้อนวัตถุดิบ ทำหน้าที่ลำเลียงกะลาแมคคาเดเมียเข้าสู่ตัวเครื่อง มีขนาด 30X125X10 cm มีเอียงของถาด 20° เพื่อเป็นการสร้างมุมเทให้วัตถุดิบไหลลงสู่เครื่อง และมีรูป้อนเข้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm สามารถใส่ปริมาณผลผลิตได้ครั้งละ 2 กิโลกรัม

1.2 โครงเครื่อง ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของตัวเครื่องและยึดส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่อง ทำด้วยเหล็กฉากมีขนาด 30 x 125 x 130 cm

1.3 รางท่อคัดขนาด ทำหน้าที่คัดแยกขนาดกะลาแมคคาเดเมียหุ้มกะลา ทำจากท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.81 cm ความยาว 100 cm วางทำมุมตก 15° - 25° ใช้หลักการของท่อที่วางคู่กันโดยมีช่องว่างระหว่างท่อมีการขยายบานออกที่ส่วนปลายท่อ สำหรับการปรับระดับมุมตกจะทำโดยการยึดส่วนหัวของท่อคู่ไว้คงที่ แล้วทำการปรับระดับที่ส่วนปลายของท่อคู่ตามระดับมุมตก 15°, 20°, 25° จากนั้นทำการยึดไว้ด้วยสกรู นอกจากนี้รางท่อคัดขนาดยังมีมอเตอร์ช่วยในการขับเคลื่อนให้ท่อหมุนในทิศทางตรงกันข้ามกัน เพื่อช่วยให้กะลาแมคคาเดเมียเคลื่อนที่ไหลลงมาตามรางท่อได้เร็วขึ้น โดยรางท่อคัดขนาดจะมีทั้งหมด 3 ชั้น เรียงซ้อนกันแบบขั้นบันได เพื่อใช้ในการคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียจากชั้นบนไล่ลงสู่ชั้นล่างเรื่อยๆ ซึ่งรางท่อคัดขนาดจะมีลักษณะเหมือนกันในทุกๆ ชั้น แตกต่างกันที่การปรับปรับตั้งระยะห่างระหว่างรางท่อคู่ที่ส่วนปลายสุด

เท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยจะทำการคัดขนาด 3 ขนาด คือ เล็ก กลาง และใหญ่ (คำรณ และคนอื่นๆ, 2559) ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 3 รางท่อคัดขนาด

ตารางที่ 1 รางท่อคัดขนาดแต่ละชั้นของเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อ

รางท่อคัดขนาดแต่ละชั้น	คัดขนาดกะลาแมคคาเดเมีย	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกะลาแมคคาเดเมีย (mm)	การปรับตั้งระยะห่างระหว่างรางท่อคู่ที่ส่วนปลายสุด (mm)
ชั้นบน	เล็ก	17 – 22 ± 0.50	22.5
ชั้นกลาง	กลาง	23 – 28 ± 0.50	28.5
ชั้นล่าง	ใหญ่	29 – 34 ± 0.50	34.5

1.4 ชุดแผงกั้นกันกระเด็น ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้กะลาแมคคาเดเมียกระเด็นออกจากรางท่อระหว่างช่วงเวลาการคัดขนาด ทำจากเหล็กแผ่น มีขนาด 20X100X7 cm

1.5 ชุดมอเตอร์ ทำหน้าที่ขับเคลื่อนให้รางท่อคู่คัดขนาดให้หมุนในทิศทางตรงกันข้ามกัน และสามารถปรับความเร็วรอบในการหมุนของรางท่อคัดขนาดได้ โดยชุดมอเตอร์จะประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) 12 V หมุนได้ 0-400 rpm จำนวน 1 ตัว/ชุด ซึ่งมอเตอร์จะมีเฟืองขับติดตั้งไว้กับส่วนหัวของรางท่อคัดขนาดแต่ละชั้น

1.6 ช่องลำเลียง ทำหน้าที่ลำเลียงกะลาแมคคาเดเมียที่คัดขนาดไม่ผ่าน (มีขนาดใหญ่ที่กำหนดไว้ในชั้นคัดขนาดนั้นๆ) ให้ไหลลงสู่รางท่อคัดขนาดในชั้นถัดไป โดยช่องลำเลียงจะถูกติดตั้งไว้ถัดจากรางท่อคัดขนาดโดยวางทำมุมตก 5° เมื่อมีกะลาที่มีขนาดใหญ่เกินกำหนดไหลลงมาจนสุดปลายท่อคัดขนาดในแต่ละชั้น จะไหลต่อไปสู่ทางเข้าของช่องลำเลียง เพื่อเคลื่อนที่ไปยังรางท่อคัดขนาดในช่องถัดไป ช่องลำเลียงทำจากท่อเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm ขึ้นรูปเป็นลักษณะตัวยู (U) ความยาว 22 cm ดังแสดงในภาพที่ 4

ภาพที่ 4 รางท่อคัดขนาด

1.7 ล้อเหล็ก ทำหน้าที่เป็นช่วยให้เคลื่อนย้ายเครื่องได้ง่ายขึ้น

1.8 ช่องวัตถุดิบไหลลงตะกร้า ทำหน้าที่ลำเลียงกะลาแมคคาเดเมียที่ผ่านการคัดขนาดในแต่ละชั้นให้ไหลออกจากเครื่องเพื่อลงสู่ตะกร้าต่อไป

1.9 แท่นวางตะกร้า ทำหน้าที่รองรับตะกร้าที่นำมาใส่กะลาแมคคาเดเมียที่ผ่านการคัดขนาดเรียบร้อยแล้ว มีขนาด 25X30X2 cm โดยแท่นวางตะกร้าสามารถทำการพับเก็บได้ เพื่อเป็นการประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บเครื่อง ซึ่งสามารถรองรับน้ำหนักกะลาแมคคาเดเมียได้ 10 กิโลกรัม

เมื่อทำการออกแบบเรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการสร้างเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อขึ้นมา ดังแสดงในภาพที่ 5

(a) ด้านใน (b) ด้านนอก

ภาพที่ 5 เครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อ (a) ด้านใน และ (b) ด้านนอก

2. การทดสอบสมรรถนะเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อ

ทดสอบสมรรถนะของเครื่อง ได้แก่ การทดสอบเพื่อหาความแม่นยำในการคัดขนาด และอัตราการผลิตต่อชั่วโมง เพื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับการใช้แรงงานคนในการคัดขนาด ในการทดสอบมีการควบคุมตัวแปร คือ กะลาแมคคาเดเมียที่นำมาคัดขนาดต้องผ่านการอบแห้งให้เหลือชื้นประมาณ 5% โดยกะลาแมคคาเดเมียที่ใช้ในการทดสอบแต่ละครั้งมีทั้งหมด 3 ขนาด มีจำนวน 200 เมล็ด/ขนาด นำกะลาแมคคาเดเมียทั้ง 3 ขนาดมาเทรวมกันเป็นจำนวนทั้งสิ้น 600 เมล็ด/ครั้ง น้ำหนักรวมประมาณ 5 กิโลกรัม/ครั้ง โดยผู้วิจัยจะทำการขนาดกะลาด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ดิจิตอล แล้วทำการทาสีผิวกะลาด้วยสีที่แตกต่างกันเพื่อง่ายต่อการ

สังเกต ได้แก่ 1) ขนาดเล็ก ϕ 17-22 $\pm$ 0.50 mm ทาสีเหลือง 2) ขนาดกลาง ϕ 23-28 $\pm$ 0.50 mm ทาสีขาว และ 3) ขนาดใหญ่ ϕ29-34 $\pm$ 0.50 mmทาสีดำ ดังแสดงในภาพที่ 6

(a) (b) (c)

ภาพที่ 6 ขนาดของกะลาแมคคาเดเมียที่ใช้ในการทดสอบ a) ขนาดเล็ก b) ขนาดกลาง c) ขนาดใหญ่

จากนั้นกะลาแมคคาเดเมียที่เตรียมไว้มาป้อนเข้าเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อ โดยทำการควบคุม 2 ปัจจัยในการทดลอง คือ มุมตก และความเร็วรอบมอเตอร์ ซึ่งจะทำการปรับมุมตกที่ระดับแตกต่างกัน คือ 15°, 20°, 25°ตามลำดับ และปรับความเร็วรอบมอเตอร์ที่ระดับแตกต่างกัน คือ 50, 100, 150, 200, 250 rpm ตามลำดับ แล้วทำการเก็บข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดขนาดได้ถูกต้อง เวลาที่ใช้ในการคัดขนาด และอัตราการผลิตต่อชั่วโมง โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab 17 เพื่อหาค่าเฉลี่ย ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA) สมการความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำและเวลาในการคัดขนาด และการปรับตั้งค่ามุมตกและความเร็วรอบมอเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานเครื่อง

3. ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อ ด้วยการประเมิน 4 ด้าน ได้แก่ 1) การออกแบบเครื่อง 2) ความปลอดภัย 3) ความสะดวกในการใช้งาน และ 4) ผลผลิตที่ได้ โดยใช้แบบประเมินเป็นคำถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ตามแบบของลิเคิร์ท (Likert Scale) ที่ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของวัตถุประสงค์ที่ต้องการวัดผลในแบบสอบถามโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน ก่อนที่จะนำไปให้กลุ่มตัวอย่างทำการประเมิน สำหรับวิธีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้แบบเฉพาะเจาะจง คือ ผู้ผลิตและแปรรูปแมคคาเดเมียในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวน 30 ราย การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการนำเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อไปสาธิตการใช้งานก่อน แล้วจึงให้ผู้ผลิตและแปรรูปแมคคาเดเมียในอำเภอเขาค้อทดลองใช้งาน จากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อเครื่อง

ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อ

จากผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องเมื่อทำการปรับมุมตกและปรับความเร็วรอบมอเตอร์ที่ระดับต่างๆ ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องเปรียบเทียบกับแรงงานคน (ตารางที่ 2) พบว่าการปรับตั้งเครื่องด้วยความเร็วรอบมอเตอร์ (Speed) เท่ากับ 200 rpm และมุมตก (Tilt degree) เท่ากับ 20° มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำการคัดขนาด (%Accuracy) สูงที่สุด คือ 96.50% มีอัตราการผลิตเท่ากับ 178.74

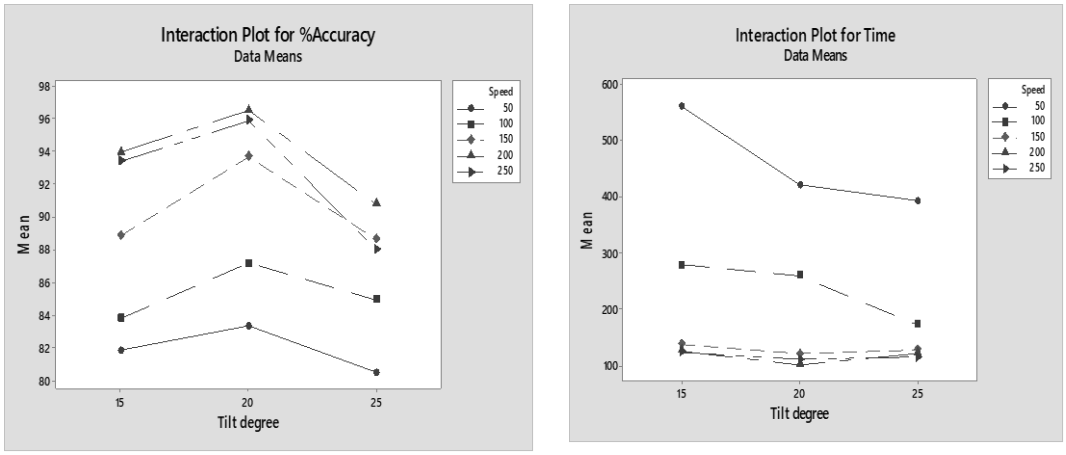
กิโลกรัม/ชั่วโมง ส่วนการใช้แรงงานคนในการคัดขนาด มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำการคัดขนาดเท่ากับ 79% ใช้เวลาเฉลี่ยในการคัดขนาด 493 วินาที มีอัตราการผลิตเท่ากับ 36.61 กิโลกรัม/ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบการใช้เครื่องกับแรงงานคนในการคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมีย พบว่าการใช้เครื่องคัดมีความแม่นยำสูงกว่าแรงงานคน 17.50% และมีอัตราการผลิตสูงกว่าแรงงานคนประมาณ 4.85 เท่า จากนั้นจึงได้ทำการหาปัจจัยที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดขนาดและเวลาในการคัดขนาด โดยการวิเคราะห์ 2 ปัจจัย คือ มุมตกและความเร็วรอบมอเตอร์ ด้วยวิธีการการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องเปรียบเทียบกับแรงงานคน

Comparison	Speed (rpm)	Tilt degree (°)	Average of performance		
			%Accuracy (%)	Time (sec)	production rate (kg/hr)
Machine	50	15	81.83	561	32.07
		20	83.34	421	42.74
		25	80.50	392	45.86
	100	15	83.78	279	64.49
		20	87.17	259	69.47
		25	84.94	172	104.61
	150	15	88.83	138	130.38
		20	93.67	120	149.94
		25	88.61	127	141.30
	200	15	93.94	125	143.94
		20	96.50	101	178.74
		25	90.78	121	148.29
	250	15	93.38	123	146.28
		20	95.89	110	163.08
		25	88.00	114	157.83
Labor	-	-	79.00	493	36.61

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของปัจจัยที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดขนาดของเครื่อง พบว่าทุกปัจจัยมีค่า P-value เท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 (ความเชื่อมั่น 95%) ดังนั้นระดับความเร็วรอบมอเตอร์มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ ระดับมุมตกมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ และระดับความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับระดับมุมตกส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดขนาด ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากการวิเคราะห์ด้วยกราฟ Interaction Plot (ภาพที่ 7a) พบว่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด คือ การปรับตั้งเครื่องด้วยความเร็วรอบมอเตอร์ 200 rpm และมุมตก 20° สามารถทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ความ

แม่นยำในการคัดขนาดสูงที่สุด เมื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบสาเหตุที่ระดับความเร็วรอบมอเตอร์น้อยไป ($n \leq 100$ rpm) ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำมีค่าน้อย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของกะลาแมคคาเดเมียจะต้องอาศัยแรงขับเคลื่อนจากการหมุนรางท่อคู่ เมื่อรางท่อหมุนช้าเกินไปจะทำให้กะลาแมคคาเดเมียบางเมล็ดไปติดค้างอยู่บริเวณระหว่างรางท่อคัดขนาด ซึ่งหากมีกะลาที่ถูกป้อนเข้ามาใหม่ไหลมาชน จะทำให้เกิดการไหลข้ามกันระหว่างกะลาโดยที่ไม่ได้สัมผัสรางท่อคัดขนาด จึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำมีค่าน้อย ส่วนที่ระดับความเร็วรอบมอเตอร์สูงไป ($n \geq 250$ rpm) ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำมีค่าน้อยนั้น เกิดจากกะลาแมคคาเดเมียเคลื่อนที่เร็วเกินไปในรางท่อคัดขนาดจนยังไม่ทันได้ถูกคัดขนาดอย่างสมบูรณ์ จึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำมีค่าน้อย เช่นเดียวกับมุมตกที่แปรผันตรงกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของกะลาแมคคาเดเมียระหว่างรางท่อคัดขนาด หากมุมตกน้อยเกินไป ($n=15^{\circ}$) ทำให้กะลาแมคคาเดเมียเคลื่อนที่ได้ช้า เกิดการไหลมากองรวมกันในลักษณะคอขวด จนกระทั่งเกิดการไหลข้ามกันโดยไม่ได้สัมผัสรางท่อคัดขนาด หากมุมตกมากไป ($n=25^{\circ}$) จะกะลาแมคคาเดเมียเคลื่อนที่ได้เร็ว จนทำให้รางท่อยังไม่ทันได้ถูกคัดขนาดอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นหากมุมตกมากเกินไปหรือน้อยเกินไปจะส่งทำให้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำมีค่าน้อยลง



(a) (b)

ภาพที่ 7 กราฟการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำและเวลาในการคัดขนาด
(a) Interaction Plot ที่ส่งผลต่อความแม่นยำ และ (b) Interaction Plotที่ส่งผลต่อเวลา

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางของปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาในการคัดขนาดของเครื่อง พบว่าทุกปัจจัยมีค่า P-value เท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 (ความเชื่อมั่น 95%) ดังนั้น ระดับความเร็วรอบมอเตอร์มีผลต่อเวลา ระดับมุมตกมีผลต่อเวลา และระดับความเร็วรอบมอเตอร์ร่วมกับระดับมุมตกส่งผลต่อเวลาในการคัดขนาดที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากการวิเคราะห์ด้วยกราฟ Interaction Plot (ภาพที่ 7b) พบว่าการปรับตั้งความเร็วรอบมอเตอร์ที่ระดับ 150, 200 และ 250 rpm มีค่าเวลาในการคัดขนาดใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาการปรับตั้งเครื่องด้วยความเร็วรอบมอเตอร์ 200 rpm และมุมตก 20° สามารถทำให้

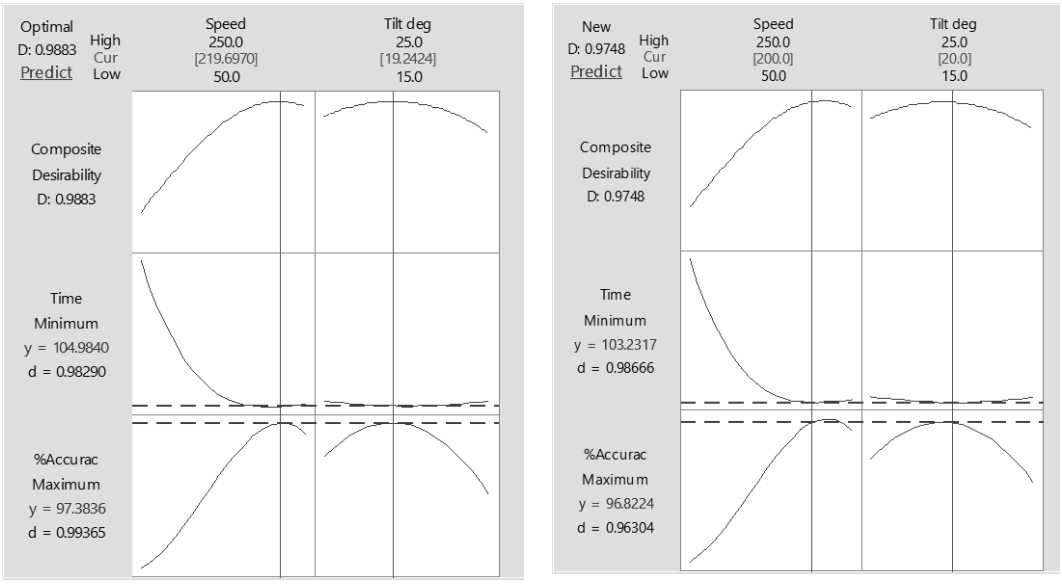
ได้เวลาที่ใช้ในการคัดขนาดน้อยที่สุด เมื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบสาเหตุที่ระดับความเร็วรอบมอเตอร์น้อยไป ($n \leq 100$ rpm) ทำให้มีเวลาการคัดขนาดมีค่ามาก เนื่องจากกะลาแมคคาเดเมียเคลื่อนที่ในรางท่อคัดขนาดช้า จึงส่งผลให้เวลามากในการคัดขนาด ส่วนที่ระดับความเร็วรอบมอเตอร์สูงไป ($n \geq 250$ rpm) ทำให้เวลาการคัดขนาดมีค่ามากขึ้นนั้น เกิดจากกะลาแมคคาเดเมียเคลื่อนที่เร็วเกินไปจนเกิดการไหลไปรวมกันมากที่บริเวณจุดเชื่อมระหว่างรางท่อคัดขนาดกับช่องลำเลียง จนกระทั่งไปปิดที่ทางเข้าของช่องลำเลียง จึงทำให้กะลาแมคคาเดเมียไหลลงสู่รางคัดขนาดถัดไปได้ยากขึ้น จึงส่งผลให้ใช้เวลามากในการคัดขนาด เช่นเดียวกับมุมตกที่แปรผันตรงกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของกะลาแมคคาเดเมียระหว่างรางท่อคัดขนาด

จากผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อที่พัฒนาขึ้นมา สามารถหาสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดขนาด (%Accuracy) ได้ดังสมการที่ 1 และสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาในการคัดขนาด (Time) ได้ดังสมการที่ 2

$$\begin{aligned} \%Accuracy = {} & 65.2 - 0.4605\ Speed + 2.26\ Tilt\ degree + 0.002216\ Speed^2 \\ & - 0.0655\ Tilt\ degree^2 + 0.03057\ Speed \times Tilt\ degree \\ & - 0.000004\ Speed^3 - 0.000031\ Speed^2 \times Tilt\ degree \\ & - 0.000591\ Speed \times Tilt\ degree^2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Time = {} & 1660 - 15.69\ Speed - 50.79\ Tilt\ degree + 0.05825\ Speed^2 \\ & + 0.524\ Tilt\ degree^2 + 0.2760\ Speed \times Tilt\ degree \\ & - 0.000067\ Speed^3 - 0.000638\ Speed^2 \times Tilt\ degree \end{aligned} \quad (2)$$

จากผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อ เมื่อทำการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Speed) และมุมตก (Tilt degree) ที่ระดับต่างๆ สามารถทำการทำนายเพื่อหาค่าความเร็วรอบมอเตอร์ (Speed) และมุมตก (Tilt degree) ที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดขนาดสูงที่สุดและเวลาในการคัดขนาดต่ำที่สุด จากการคำนวณคือความเร็วรอบมอเตอร์ เท่ากับ 219.6970 rpm และมุมตก 19.2424 มีความแม่นยำในการทำนาย 98.80% (ภาพที่ 8a) แต่เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องไม่สามารถทำการตั้งค่าได้ละเอียดเท่ากับค่าจากคำนวณได้ข้างต้น ดังนั้นจึงใช้ค่าการปรับตั้งความเร็วรอบมอเตอร์และมุมตกที่มีค่าใกล้เคียงและเครื่องสามารถทำได้จริง คือ ที่ความเร็วรอบมอเตอร์ เท่ากับ 200 rpm และมุมตก 20 มีความแม่นยำในการทำนาย 97.48% (ภาพที่ 8b) เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งานจริง



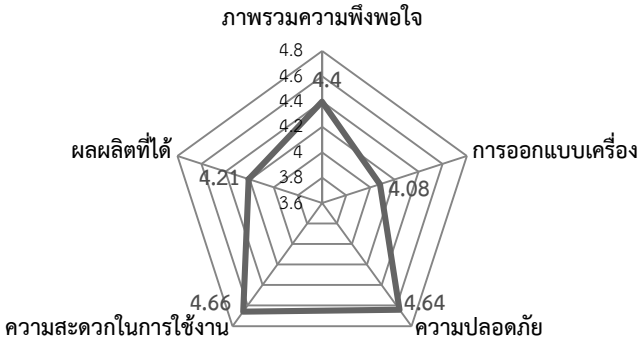
(a) (b)

ภาพที่ 8 กราฟผลการทำนาย

(a) การปรับตั้งค่าที่เหมาะสมที่สุดจากการคำนวณ และ (b) การปรับตั้งค่าที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งานจริง

2. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

จากผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อ โดยกลุ่มตัวอย่างผู้ผลิตและแปรรูปแมคคาเดเมียในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวน 30 ราย ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อเครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อ

ผลการประเมินความพึงพอใจทั้ง 4 ด้าน พบว่าด้านการออกแบบเครื่อง ด้านความปลอดภัย ด้านความสะดวกในการใช้งาน และ ด้านผลผลิตที่ได้ มีผลการประเมินเท่ากับ 4.08, 4.64, 4.66 และ 4.21 ตามลำดับ

และผลการประเมินความพึงพอใจเฉลี่ยรวมทั้ง 4 ด้าน มีค่าเท่ากับ 4.40 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.71 ซึ่งอยู่ในระดับพึงพอใจมาก

อภิปรายผล

เครื่องคัดขนาดกะลาแมคคาเดเมียแบบชั้นรางท่อที่ได้พัฒนาขึ้นมา สามารถคัดขนาดกะลาแมคคาเมียได้ 3 ขนาด คือ คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ จากผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องโดยทำการปรับความเร็วรอบมอเตอร์และมุมตกที่ระดับแตกต่างกัน พบว่าระดับความเร็วรอบมอเตอร์และระดับมุมตกส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำและเวลาในการคัดขนาดที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานเครื่อง คือ การปรับมุมตกที่ระดับ 20° และใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ที่ระดับ 200 rpm สามารถทำให้เครื่องมีความแม่นยำในการคัดขนาดสูงที่สุดคือ 96.5% อัตราการผลิตเท่ากับ 178.74 กิโลกรัม/ชั่วโมง ดังนั้นการใช้งานเครื่องควรจะทำการปรับตั้งให้เหมาะสม เนื่องจากความเร็วรอบมอเตอร์และมุมตกจะแปรผันตรงกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของกะลาแมคคาเดเมียบนรางท่อคัดขนาด หากกะลาแมคคาเดเมียเคลื่อนที่ช้าเกินไป จะทำให้เกิดคอขวดขึ้นและเกิดการไหลข้ามกันของกะลาแมคคาเดเมียระหว่างกระบวนการคัดขนาด ส่งผลให้ความแม่นยำในการคัดขนาดลดลง หากกะลาแมคคาเดเมียเคลื่อนที่เร็วเกินไปจะทำให้กระบวนการคัดขนาดทำได้ไม่สมบูรณ์และเกิดการกองรวมกันปิดทางเข้าช่องลำเลียงกะลาแมคคาเดเมียที่จะเคลื่อนที่ไปยังชั้นคัดขนาดถัดไป จึงทำให้ความแม่นยำในการคัดขนาดลดลงและใช้เวลาในการคัดขนาดมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบเครื่องกับแรงงานคน พบว่าการใช้เครื่องทำให้มีความแม่นยำในการคัดขนาดสูงกว่าแรงงานคน 17.50% และมีอัตราการผลิตสูงกว่าแรงงานคน 4.88 เท่า จึงช่วยคุณภาพในการคัดขนาดดีขึ้นและลดเวลาในการทำงานได้ เมื่อพิจารณาต้นทุนในการสร้างเครื่อง 20,000 บาท จะสามารถช่วยประหยัดค่าแรงงานได้ 284.25 บาท/ชั่วโมง (ค่าแรงงาน 2 บาท/กิโลกรัม) ระยะเวลาคืนทุน 70.36 ชั่วโมง การพัฒนาต่อยอดงานวิจัยนี้สามารถทำการพัฒนาผิวสัมผัสของรางท่อคัดขนาดให้มีความต้านทานเพิ่มมากขึ้น เพื่อเพิ่มความสามารถให้การคัดขนาดให้ดีขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยเกษตรที่สูงเขาค้อ และวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตและแปรรูปแมคคาเดเมียเขาค้อ ที่ให้ข้อมูลประกอบการวิจัยและให้ความช่วยเหลือสนับสนุนจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

คำรณ แก้วผัด และคนอื่นๆ. (2559, กันยายน). เครื่องกะเทาะกะลาแมคคาเดเมียแบบหมุนเหวี่ยงเชิงมุม. **วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 10**(2), 76-85.

โชคชรัตน์ ฤทธิ์เย็น, วีรเมธ ปุ้ยหลวง และวรายุทธ แก้วสุข. (2562, มกราคม-มิถุนายน). เครื่องคัดแยกขนาดลูกมะนาวโดยใช้ระบบสมองกลฝังตัว. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา, 4**(1), 16-24.

ทรงศักดิ์ ลิขิตชีวัน. (2548). **เครื่องคัดขนาดอัตโนมัติแบบกระบอกคัดซ้อนกันหลายชั้น**. สิทธิบัตรไทย เลขที่ 18014. 10 มกราคม 2548.

นัสสรา มีอินทร์, อัมพร กุญชรรัตน์ และธนรัตน์ แต้วัฒนา. (2557, กรกฎาคม-ธันวาคม). การพัฒนาเครื่องคัดแยกขนาดและผ่าผลหมากด้วยเทคนิควิศวกรรมคุณค่า. **วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 8**(2), 13-23.

สยาม ตุ้มแสงทอง. (2546). **การปรับปรุงเครื่องคัดขนาดผลมังคุดแบบจานหมุน**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Wantang, T. (2018, January-June). The Development of the Expanding Rollers, Sapodilla Sizing Machine Model 2. **The Thai Society of Agricultural Engineering Journal (TSAEJ), 24** (1), 23-30.