Journal of Industrial Technology Buriram Rajabhat University
Vol. 7, No. 2, July - December 2025

Research Article

J. Ind. Technol. Buriram Rajabhat Univ. 7(2), 54-70
https://doi.org/10.14456/brujit.2025.2

การพัฒนาเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์สำหรับการคัดแยกขนาด เพื่อการลดการสูญเสียจากการเสียดสี

Development of a Cashew Nut Shelling and Size Grading Machine for Loss Reduction

เสกสรรค์ วินยางค์กูล[1*] นคร ไชยวงศ์ศักดา[2] ชัชชัย วรพัฒน์[3] ธีรวัชร แก้วเปี้ย[4] ศศิชา สุขกาย[5]
Xiaoxu Duan[6] และ วิภพ ใจแข็ง[7]
Seksan Winyangkul[1*] Nakorn Chaiwongsakda[2] Chatchai Woraphat[3] Teerawat Kaewpia[4]
Sasicha Sukkay[5] and Wipobh Jaikhang[7]
[1*,2,4] โปรแกรมวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
[3] โปรแกรมวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
[5] โปรแกรมวิชาสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
[6] School of Physics, Electrical and Energy Engineering, Chuxiong Normal University
[7] โปรแกรมวิชาวิศวกรรมพลังงานและเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
[1*,2,3,4,5,7] Address Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University, 80 Moo 9, Phaholyothin Road, Ban Du Sub-district, Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai 57100, Thailand.
[6] School of Physics, Electrical and Energy Engineering, Chuxiong Normal University, Lucheng South Road, Chuxiong Yi Autonomous Prefecture, Yunnan Province, 675000, P.R. China.
*Corresponding author. E-mail: seksan.win@crru.ac.th

Received:	Revised:	Accepted:	Available online:
November 11, 2025	December 19, 2025	December 24, 2025	December 27, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดของเสียในกระบวนการสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้เครื่องสีและคัดแยกขนาดที่พัฒนาขึ้นเพื่อลดการสูญเสียจากกระบวนการผลิต กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือเม็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบที่จำแนกตามชั้นคุณภาพเป็น 3 เกรด ได้แก่ เกรด AA, เกรด A และเกรด B โดยใช้เม็ดมะม่วงหิมพานต์จำนวน 2,160 เม็ดต่อเกรด ภายใต้การออกแบบการทดลองจำนวน 18 เงื่อนไขทดลอง ทำซ้ำเงื่อนไขละ 6 ครั้ง และใช้ตัวอย่างครั้งละ 20 เม็ด ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ระยะห่างระหว่างใบมีด ความเร็วรางเลื่อน และมุมใบมีดก้างปลาตัวล่าง การออกแบบการทดลองอาศัยเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) และทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way Analysis of Variance: Two-Way ANOVA) เพื่อทดสอบผลของตัวแปรหลัก

และปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีต่อปริมาณของเสีย เมื่อพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงทำการทดสอบความแตกต่างของปฏิกิริยาเดี่ยวและปฏิกิริยาร่วมเพิ่มเติม

ผลการวิจัยพบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดของเสียในกระบวนการสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยพิจารณาตัวแปร ได้แก่ ระยะห่างระหว่างใบมีด ความเร็วรางเลื่อน และมุมก้างปลา ผลการศึกษาพบว่าระยะห่างระหว่างใบมีดและความเร็วรางเลื่อนเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณของเสียในทุกเกรดไปในทิศทางเดียวกัน ขณะที่มุมก้างปลาตัวล่างไม่ส่งผลต่อปริมาณของเสียอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดสอบสมรรถนะการผลิตของเครื่องพบว่า เกรด AA ให้ผลผลิตใน 1 ชั่วโมงเท่ากับ 16.12 กิโลกรัม โดยเป็นเมล็ดสมบูรณ์ 12.76 กิโลกรัม และเมล็ดแตกหัก 3.36 กิโลกรัม เมื่อคำนวณในระยะเวลา 8 ชั่วโมง ได้ผลผลิตรวม 128.96 กิโลกรัม เป็นเมล็ดสมบูรณ์ 102.08 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 79.15 ซึ่งอยู่ในระดับดี ส่วนเกรด A (3 ช่อง) ให้ผลผลิตใน 1 ชั่วโมง 24.18 กิโลกรัม เป็นเมล็ดสมบูรณ์ 19.80 กิโลกรัม และเมล็ดแตกหัก 4.38 กิโลกรัม และใน 8 ชั่วโมง ให้ผลผลิตรวม 193.44 กิโลกรัม เป็นเมล็ดสมบูรณ์ 158.40 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 81.88 จัดอยู่ในระดับดีเยี่ยม สำหรับเกรด B (3 ช่อง) ให้ผลผลิตรวมใน 8 ชั่วโมงเท่ากับ 193.44 กิโลกรัม เป็นเมล็ดสมบูรณ์ 153.12 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 79.15 อยู่ในระดับดี เมื่อเปรียบเทียบผลผลิต พบว่าเกรด A และ B ให้ผลผลิตรวมสูงกว่าเกรด AA เนื่องจากมีจำนวนรางเลื่อนมากกว่า อย่างไรก็ตาม เกรด A ให้ปริมาณเมล็ดสมบูรณ์สูงกว่าและมีเมล็ดแตกหักน้อยกว่าเกรด B แสดงให้เห็นว่า เกรด A เป็นขนาดที่ให้ประสิทธิภาพการผลิตโดยรวมดีที่สุดสำหรับเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ศึกษา

คำสำคัญ: มะม่วงหิมพานต์ เครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ การคัดแยกขนาด การลดการสูญเสีย วิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร

Abstract

This study investigates the factors influencing the waste generation rate in the cashew nut peeling process using a newly developed peeling and size-grading machine aimed at loss reduction. The experimental samples consisted of raw cashew nuts classified into three quality grades, namely Grade AA, Grade A, and Grade B. For each grade, a total of 2,160 nuts were tested, derived from a designed experimental scheme comprising 18 experimental conditions with six replications per condition and 20 nuts per replication. The examined operational variables included blade clearance, slider speed, and lower herringbone blade angle. The experimental design was based on the design of experiments (DOE) approach, and the collected data were statistically analyzed using two-way analysis of variance (Two-Way ANOVA) to evaluate the main effects and interaction effects of the operating parameters on waste

generation. When statistically significant differences were detected, simple main effect and interaction analyses were subsequently performed.

The results indicate the factors influencing the waste generation rate in the cashew nut peeling process by examining key operational variables, including the blade clearance, slider speed, and herringbone angle. The results indicate that blade clearance and slider speed consistently affect the amount of waste across all grades in the same direction, whereas the lower herringbone angle does not have a statistically significant effect on waste generation. Performance evaluation of the peeling machine shows that Grade AA yields 16.12 kg, comprising 12.76 kg of whole kernels and 3.36 kg of broken kernels. When extrapolated to an 8-hour operating period, the total output reaches 128.96 kg, of which 102.08 kg are whole kernels, corresponding to 79.15%, which is classified as good quality. For Grade A (three channels), the machine produces 24.18 kg, including 19.80 kg of whole kernels and 4.38 kg of broken kernels. Over 8 hours, the total production amounts to 193.44 kg, with 158.40 kg of whole kernels, representing 81.88% and indicating excellent performance. Similarly, Grade B (three channels) achieves a total output of 193.44 kg over 8 hours, yielding 153.12 kg of whole kernels, or 79.15%, which is considered good quality. Comparative analysis reveals that Grades A and B achieve higher total production than Grade AA due to a greater number of sliding channels. However, Grade A provides a higher proportion of whole kernels and a lower fraction of broken kernels compared with Grade B. These results demonstrate that Grade A offers the best overall production efficiency for the cashew nut peeling machine investigated in this study.

Keywords: Cashew Nut, Cashew Nut Peeling Machine, Size Grading, Loss Reduction, Agricultural Machinery Engineering

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์เม็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบเป็นสินค้าเกษตรแปรรูปที่มีการจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ และเป็นหนึ่งในสินค้าเกษตรที่มีบทบาทสำคัญต่อห่วงโซ่มูลค่าเกษตรแปรรูปในระดับสากล [1] อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตในสถานประกอบการส่วนใหญ่ยังประสบปัญหาการขาดมาตรฐาน โดยเฉพาะในขั้นตอนการสีเปลือกเพื่อแยกเปลือกหุ้มเมล็ดออกจากตัวเมล็ด ซึ่งโดยทั่วไปอาศัยเครื่องสีที่ใช้ใบมีดโลหะในการกรีดและเสียดสีให้เปลือกแตกออกจากเมล็ดภายใน [2-3] เครื่องจักรดังกล่าวไม่สามารถปรับตั้งพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีขนาดและคุณสมบัติทางกลแตกต่างกันในแต่ละเกรด ส่งผลให้เกิดการสูญเสียใน

กระบวนการสี และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ โดยมีอัตราการสูญเสียตามน้ำหนักสูงถึงร้อยละ 60–80 [4] การสูญเสียดังกล่าวส่งผลกระทบโดยตรงต่อมูลค่าทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเม็ดมะม่วงหิมพานต์คุณภาพสูง (เกรดพรีเมี่ยม) มีราคาจำหน่ายสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดความเสียหายจากกระบวนการสีอย่างมีนัยสำคัญ [5] โดยเมื่อเม็ดสมบูรณ์ถูกลดระดับเป็นเกรดเบเกอรี่ จะเกิดส่วนต่างราคาประมาณ 100 บาทต่อกิโลกรัม [6] เมื่อพิจารณาในระดับการผลิตของสถานประกอบการที่มีกำลังการแปรรูปประมาณ 50 ตันต่อปี จะพบว่ามูลค่าความสูญเสียรวมอาจสูงถึงประมาณ 1.5 ล้านบาทต่อปี ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงผลกระทบเชิงเศรษฐกิจที่มีนัยสำคัญต่อผู้ประกอบการและความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรม [7] ในเชิงวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร เม็ดมะม่วงหิมพานต์แต่ละเกรด (AA, A, B และ C) มีความแตกต่างกันทั้งด้านขนาด รูปร่าง ความหนาของเปลือก และคุณสมบัติทางกล เช่น ความแข็งแรงต่อแรงเฉือนและแรงอัด ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการแตกของเปลือกในกระบวนการสี [8] งานวิจัยก่อนหน้ารายงานว่าเม็ดมะม่วงหิมพานต์มีสัดส่วนเปลือกประมาณร้อยละ 20–30 ของน้ำหนักทั้งหมด และมีความแปรผันของคุณสมบัติทางกายภาพตามระดับความชื้นและขนาดของเมล็ด [9] นอกจากนี้ ยังพบว่าการกระจายสัดส่วนของเม็ดในแต่ละเกรดแตกต่างกันในกระบวนการผลิตจริง [10] ความแตกต่างดังกล่าวทำให้การใช้ค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรเพียงค่าเดียว เช่น ระยะห่างของใบมีด หรือความเร็วในการลำเลียง ไม่สามารถรองรับเม็ดทุกเกรดได้อย่างเหมาะสม และนำไปสู่การแตกหักของเมล็ดหรือการสีไม่สมบูรณ์ [11] งานวิจัยด้านการออกแบบและพัฒนาเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ชี้ให้เห็นถึงข้อจำกัดของเครื่องจักรเชิงกลแบบดั้งเดิมที่ไม่สามารถปรับตั้งให้เหมาะสมกับลักษณะของเม็ดในแต่ละเกรดได้ [12]

จากมุมมองทางวิศวกรรมการผลิต ปัญหาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่ากระบวนการสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นระบบหลายตัวแปร (multi-factor system) ซึ่งผลลัพธ์ด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์และของเสียไม่ได้ขึ้นกับตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากอิทธิพลร่วมของพารามิเตอร์เชิงกลหลายตัว ได้แก่ ระยะห่างของใบมีด ความเร็วในการลำเลียงเม็ด แรงกดของสปริง และมุมของใบมีดก้างปลาตัวล่าง [13-14] แนวคิดดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตและการศึกษางานในงานวิศวกรรมอุตสาหการ ซึ่งมุ่งเน้นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกระบวนการกับผลลัพธ์ด้านคุณภาพและผลิตภาพ [15-16] รวมถึงแนวคิดการพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตและลดการสูญเสียในกระบวนการแปรรูป [17] ด้วยเหตุนี้ แนวคิดการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) จึงถูกนำมาใช้เป็นกรอบทางทฤษฎีในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เนื่องจาก DOE เป็นเครื่องมือทางวิศวกรรมที่ช่วยให้สามารถวิเคราะห์ผลของตัวแปรหลายตัวพร้อมกัน รวมถึงผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (interaction effects) ได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ โดยใช้จำนวนการทดลองที่เหมาะสม [18-19] การประยุกต์ใช้ DOE ในงานออกแบบและประเมินสมรรถนะเครื่องจักรกลเกษตรได้รับการรายงานอย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านกระบวนการผลิตอาหารและการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร [20] ซึ่งช่วยให้สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์การทำงานที่เหมาะสมเพื่อลดของเสียและเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้อย่างเป็นรูปธรรม

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบโดยอาศัยหลักการทางวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตรร่วมกับทฤษฎีการออกแบบการทดลอง เพื่อแบ่งแยกเม็ดตามลำดับชั้นคุณภาพ ได้แก่ เกรด AA, A และ B และปรับตั้งพารามิเตอร์การทำงานของเครื่องให้เหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพของเม็ดในแต่ละเกรด ซึ่งคาดว่าจะช่วยเพิ่มอัตราการได้เม็ดเต็ม ลดการสูญเสีย และยกระดับประสิทธิภาพของกระบวนการสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบในระดับอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิผลและยั่งยืน [21-22]

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์

2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์

3. สมมติฐานของการวิจัย

ของเสียหลังการใช้เครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ได้รับการออกแบบ และพัฒนาขึ้นตามหลักวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร และเทคนิคการออกแบบการทดลองมีปริมาณน้อยกว่าของเสียก่อนการใช้เครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ทั้งนี้ การเกิดกระบวนการใหม่จากการออกแบบและพัฒนาเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ดังกล่าว รวมถึงการกำหนดค่าพารามิเตอร์การทำงานที่เหมาะสม ได้แก่ ระยะห่างของใบมีด ค่าแรงกดของสปริง และมุมของใบมีดด้านล่าง สำหรับเม็ดมะม่วงหิมพานต์ในขนาดและเกรดที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้สามารถลดการแตกหักของเม็ด เพิ่มอัตราการได้เม็ดมะม่วงหิมพานต์เต็มเม็ด และยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ประกอบการและผู้บริโภค

4. ขอบเขตของการวิจัย

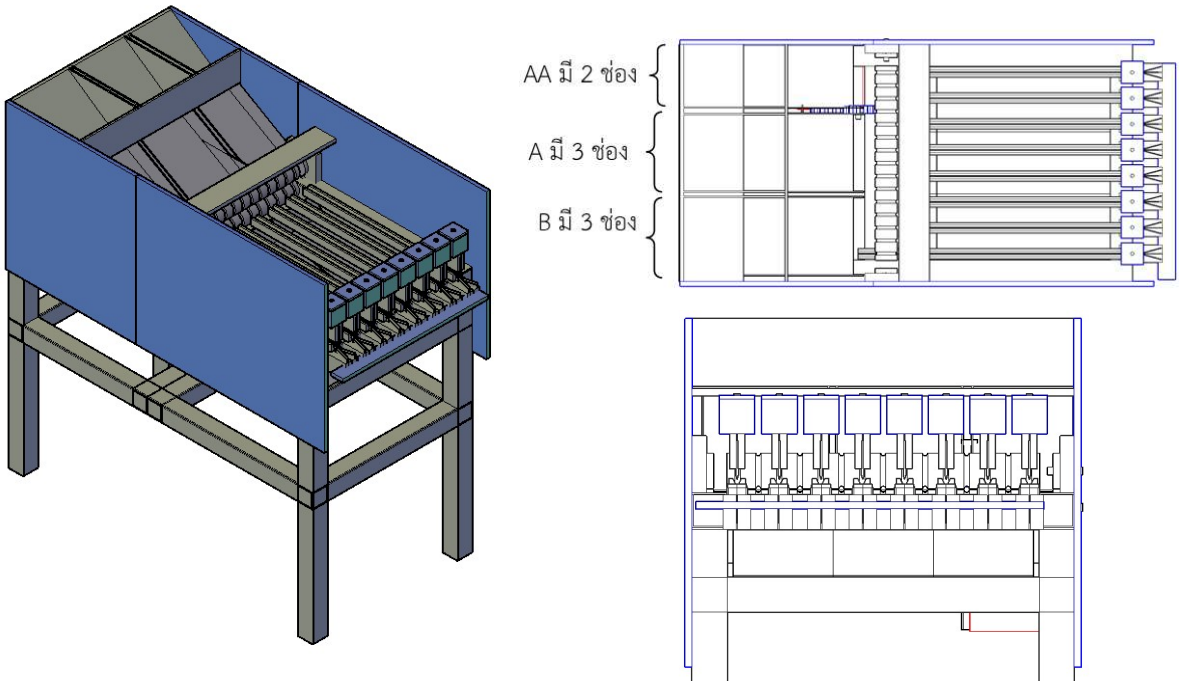
ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องผ่าเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ศึกษาชนิดและเกรดของเม็ดมะม่วงหิมพานต์เพื่อลดการสูญเสียในการกระเทาะของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และศึกษาระยะห่างของใบมีดในระดับที่เหมาะสมในระดับต่างๆ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องผ่าเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจากการตั้งองศาและระยะห่างของใบมีด งานวิจัยนี้ใช้เม็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นกลุ่มตัวอย่างหลัก โดยทำการจำแนกตามลำดับชั้นคุณภาพเป็น 3 เกรด ได้แก่ เกรด AA, A และ B เพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์เชิงกลของเครื่องสีต่อการเกิดของเสียในกระบวนการสีเปลือก เม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนทั้งสิ้น 6,480 เม็ด แบ่งเป็นเกรดละ 2,160 เม็ด การออกแบบการทดลองประกอบด้วย 3 ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ระยะห่างระหว่างใบมีด ความเร็วรางเลื่อน และมุมใบมีดก้างปลาตัวล่าง รวมเป็น 18 เงื่อนไขการทดลอง โดยแต่ละเงื่อนไขทำการทดลองซ้ำ 6 ครั้ง และใช้ตัวอย่างจำนวน 20 เม็ดต่อการทดลองหนึ่งครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความสม่ำเสมอและสามารถวิเคราะห์ทางสถิติได้อย่างเหมาะสม. ข้อมูลจากการทดลองประกอบด้วยจำนวนเมล็ดสมบูรณ์ เมล็ดแตกหัก และของเสีย ซึ่งนำมาคำนวณเป็นร้อยละตามน้ำหนักผลิตภัณฑ์ โดยทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาและการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA) เพื่อศึกษาผล

ของตัวแปรและปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่อปริมาณของเสีย ทั้งนี้ การคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการด้วยโปรแกรม Microsoft Excel

5. ทฤษฎีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

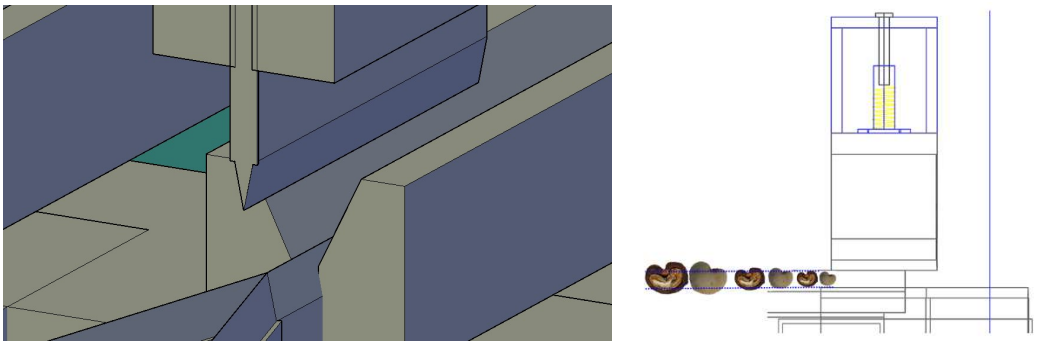
5.1 ทฤษฎี และหลักการเกี่ยวกับกระบวนการสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์

การออกแบบและพัฒนาเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบลักษณะของช่องทางเข้าของมะม่วงหิมพานต์ดิบ จำนวน 3 ช่องซึ่งแบ่งตามลักษณะของลำดับชั้นคุณภาพเป็น เกรด AA , A และ B ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งจะใช้ เกรด AA มีจำนวนของช่องในการสีจำนวน 2 ช่อง และ เกรด A และ B มีจำนวนอย่างละ 3 ช่อง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณโดยวิเคราะห์จากผลผลิตเม็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบที่ได้โดย เกรด AA คิดเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก เกรด A คิดเป็น 35 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก B คิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก จึงทำให้การแบ่งจำนวนช่องของการสีไม่เท่ากัน



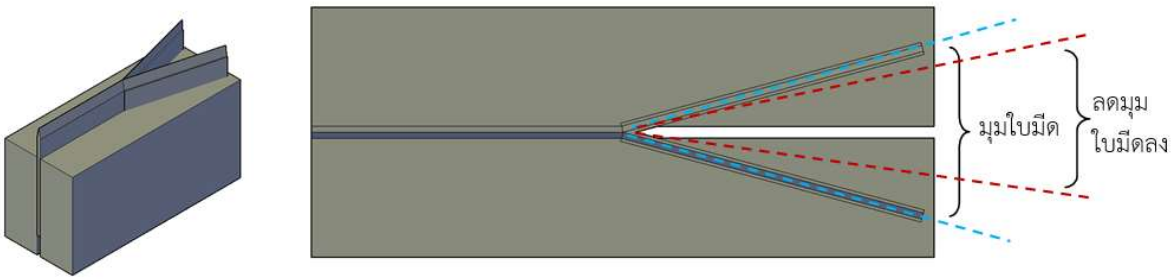
ภาพที่ 1 เครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบลักษณะของช่องทางเข้าของมะม่วงหิมพานต์ดิบ

การตั้งระยะห่างระหว่างใบมีดที่ระดับชั้นเกรดต่างๆ ที่ตั้งไว้มีระยะที่เท่าเหมาะสมกับโดยจะทำการพิจารณาถึงความสูง รวมกับความหนาของชั้นเปลือกที่เหมาะสม เมื่อเม็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบไล่ไปตามช่องและถูกดันให้เข้าไปเฉือนกับชุดใบมีดตัวล่างและตัวบน โดยจะตั้งค่าให้ได้ระยะที่พอดีกับค่าเฉลี่ยของเมล็ดในแต่ละเกรด ซึ่งในเกรด AA , A และ B ตามช่องทางเข้าของมะม่วงหิมพานต์ดิบจำนวน 3 ช่องซึ่งจะมีระยะห่างที่แตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้ลดปัญหาของการสีไม่แตก หรือเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สีได้แตกหักเสียหาย ดังภาพที่ 2



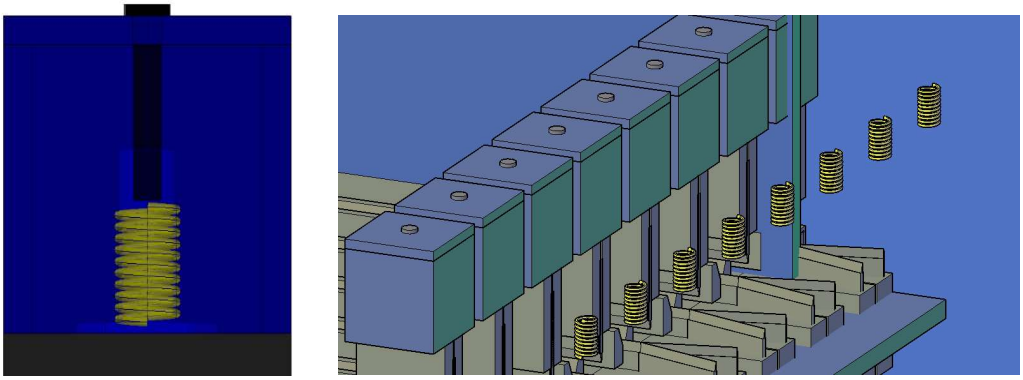
ภาพที่ 2 การตั้งระยะห่างระหว่างใบมีดที่ระดับชั้นเกรดต่างๆ ให้มีความเหมาะสม

มุมของใบมีดก้างปลาตัวล่างมีค่าที่เหมาะสมสำหรับเกรดต่างๆ เนื่องการเฉือนให้เม็ดแตกออกจากกันนั้นจะใช้ลักษณะของมุมของใบมีดซึ่งมุมที่ใช้ในปัจจุบันของทางโรงงานมีค่าสูงทำให้เม็ดแตกออกโดยทันทีซึ่งจะทำให้เม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สีได้แตกหักเสียหาย ในที่นี้ต้องมีการปรับปรุงให้สามารถลดมุมของใบมีดลงดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 มุมของใบมีดก้างปลาตัวล่าง

ค่าความแข็งของสปริงที่ใช้กดในการสีเปลือกโดยสปริงจะต้องใช้ให้เหมาะสมกับเมล็ดในแต่ละเกรด ได้อย่างเหมาะสมและมีค่าการปรับ และค่าความแข็งที่แน่นอน เป็นมาตรฐาน ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 สปริงที่ใช้กดในการสีเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบ

5.2 งานวิจัยด้านการออกแบบ และพัฒนาเครื่องสีเมล็ดพืช

งานวิจัยทั้งในและต่างประเทศได้รายงานการพัฒนาเครื่องสีเมล็ดพืชหลายชนิด เช่น มะม่วงหิมพานต์ และแมคคาเดเมีย โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงโครงสร้างเครื่องจักรและกลไกการเฉือนเพื่อเพิ่มอัตราการได้เม็ดสมบูรณ์ [10-12] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ยังคงใช้การตั้งค่าพารามิเตอร์แบบคงที่ ซึ่งไม่สามารถรองรับความแปรปรวนของเม็ดในแต่ละเกรดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อจำกัดดังกล่าวเป็นช่องว่างทางวิชาการที่งานวิจัยนี้นำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องสีที่สามารถปรับตั้งได้ตามเกรดของเม็ดมะม่วงหิมพานต์ จากมุมมองทางวิศวกรรมการผลิต กระบวนการสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นระบบหลายตัวแปร ซึ่งผลลัพธ์ด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์และของเสียขึ้นอยู่กับอิทธิพลร่วมของพารามิเตอร์เชิงกลหลายปัจจัย เช่น ระยะห่างของใบมีด ความเร็วในการลำเลียง แรงกดของสปริง และมุมของใบมีดก้างปลา [13-15] การปรับตั้งเครื่องจักรโดยอาศัยประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานเพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างเป็นระบบ การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตในภาคเกษตรแปรรูปชี้ให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้หลักการทางวิศวกรรม การวิเคราะห์เชิงสถิติ และการปรับตั้งพารามิเตอร์อย่างเป็นระบบ สามารถช่วยลดของเสีย เพิ่มผลผลิตที่ได้มาตรฐาน และยกระดับความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจได้อย่างยั่งยืน [6], [17], [19], [21-22] ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของงานวิจัยนี้ในการพัฒนาเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับบริบทการใช้งานในอุตสาหกรรมไทย

6. ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย

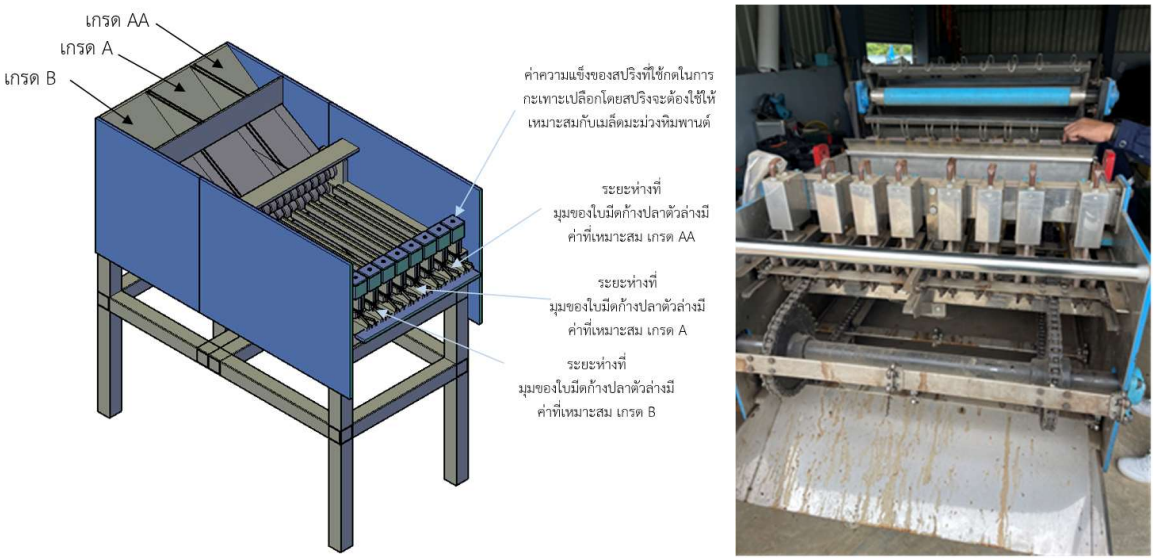
กำหนดลักษณะของปัจจัยในการสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบ โดยการตั้งระยะห่างระหว่างใบมีดที่ระดับชั้นเกรดต่างๆที่เหมาะสม มุมของใบมีดก้างปลาตัวล่างมีค่าที่เหมาะสม รวมถึงค่าความแข็งของสปริงที่ใช้กดในการสีเปลือกที่มีคุณภาพได้มาตรฐานให้ชัดเจน จากนั้นทำการออกแบบกระบวนการ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การตั้งระยะห่างระหว่างใบมีดที่ระดับชั้นเกรดต่างๆที่เหมาะสม ได้แก่ การตั้งระยะห่างของใบมีดในแต่ละขนาดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ออกเป็นขนาด 3 ขนาด ได้แก่ AA, A, และ B
2. ลักษณะมุมของใบมีดก้างปลาตัวล่างมีค่าที่เหมาะสม ได้แก่ การเลือกมุมที่มีความแตกต่างกันโดยกำหนดให้องศาเท่ากับ 15 และ 20 องศา
3. ค่าความแข็งของสปริงที่ใช้กดในการสีเปลือก ได้แก่ การเลือกสปริงที่ใช้มีค่าความแข็งที่ 10 kg/mm. โดยการตั้งเป็นระยะห่างจากระดับรางลำเรียงเม็ดมะม่วงหิมพานต์
4. ความเร็วของการลำเลียงเม็ดมะม่วงหิมพานต์โดยการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จ่ายแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 100% (24.5 cm/s), 80% (18.76 cm/s) และ 60% (14.26 cm/s)

โดยปริมาณที่ใช้ทดสอบต่อเกรด AA, A และ B จากการออกแบบการทดลอง จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน 18 ลักษณะที่ทดสอบ และในแต่ลักษณะจะทำการทดสอบจำนวน 6 ครั้ง แต่ละครั้งใช้เม็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบ 20 เม็ด โดยจะใช้ปริมาณเม็ดมะม่วงหิมพานต์ เกรด AA , A และ B จำนวน 2,160 เม็ดต่อเกรด

7. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

รูปแบบของเครื่องที่เครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์จากการพัฒนาจะมีลักษณะที่แตกต่างจากเดิมดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งจะสามารถแยกเม็ดในการสีได้เป็น 3 ช่องตามลักษณะของขนาด 3 ขนาด ได้แก่ AA , A, B โดยเกรด AA มีจำนวนของช่องในการสีจำนวน 2 หัว และ เกรด A และ B มีจำนวนอย่างละ 3 หัว ซึ่งจะมีการตั้งระยะห่างที่เหมาะสมในแต่ละหัวตามขนาด และมุมของใบมีดก้างปลาตัวล่างมีค่าที่เหมาะสมสำหรับเกรดต่างๆ รวมถึงได้สปริงที่มี ค่าความแข็งของสปริงที่ใช้กดในการสีเปลือกโดยสปริงจะต้องใช้ให้เหมาะสมกับเมล็ดในแต่ละเกรด ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจะสามารถลดของเสียลดลงจากเดิมที่ 60-80 เปอร์เซ็นต์ เป็น 30-50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5 เครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ได้จากการพัฒนา

7.1 การทดลองคัดแยกเกรดขนาดเม็ดมะม่วงหิมพานต์

ในการทดลองคัดแยกเกรดขนาดเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ได้นำเม็ดมะม่วงหิมพานต์มาทำการทดลองจำนวน 6 กิโลกรัม โดยแบ่งเป็น เกรด AA โดยจะทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการคัดแยกเกรดขนาดของเครื่องคัดแยกเกรดขนาดเม็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยขนาดค่าความยาว ความสูง ของเม็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบโดยเฉลี่ยของตัวอย่างที่ทำการวัดจากเม็ดมระม่วงหิมพานต์โดยการสุ่มจำนวน 3 กิโลกรัม ของชั้นคุณภาพ AA , A, B ของเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ในการยัดแยกเมล็ดให้ได้เกรด AA, A และ B ตามที่ต้องการจะใช้เครื่องคัดแยกแบบทรงกระบอกโดยจะทำการคัดแยกครั้งละประมาณ 10 กิโลกรัม โดยได้สัดส่วนของเกรด AA ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ , A ที่ 40 เปอร์เซ็นต์ เกรด B ที่ 30 เปอร์เซ็นต์ และ ตกเกรดคือที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวที่ 31 mm. ความสูงที่ 23 mm. ที่ 15 เปอร์เซ็นต์

7.2 การแบ่งขนาดตามชั้นคุณภาพของเม็ดมะม่วงหิมพานต์

การคัดเกรดเม็ดมะม่วงหิมพานต์ในกระบวนการแปรรูปมะม่วงหิมพานต์จากการนำเมล็ดที่ผ่านการตากแดด แล้วจะนำมาทำการคัดแบ่งขนาด หากขนาดของเมล็ดได้มาตรฐานราคาของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์นั้นก็จะสูงโดยผ่านกระบวนการคัดแยกขนาด ในปัจจุบันสำหรับโรงแปรรูปมะม่วงหิมพานต์ที่ผู้วิจัยได้รวมทำวิจัยจะใช้วิธีการคัดแยกเมล็ดกาแฟด้วยเครื่องแบ่งขนาดแบบตะแกรงทรงกระบอก ขั้นตอนการทำงาน เครื่องคัดแบ่งขนาดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ถูกกำหนดให้มีตะแกรงทรงกระบอกเป็นตัวกรองเมล็ด ซึ่งจะมีจำนวน 3 ชั้น และมีรูเพื่อให้มะม่วงหิมพานต์ตกลงและค้างอยู่ในทรงกระบอกไล่จากรูใหญ่สุดเป็นทรงกระบอกอยู่ด้านใน ไล่มาจนถึงขนาดเล็กสุดอยู่ด้านนอก โดยทำงานด้วยการปล่อยเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ผ่านตะแกรงทรงกระบอก 3 ชั้น เพื่อร่อนแบ่งขนาดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ออกเป็นขนาด 4 ขนาด ได้แก่ AA , A, B และ C (ตกเกรด) โดยเกรดของขนาดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ชั้นคุณภาพของเม็ดมะม่วงหิมพานต์จะแบ่งออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ (ข้อมูลของทางโรงงานที่ดำเนินการอยู่) โดยเฉลี่ยแล้วถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักดังแสดง

1. AA คิดเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก
2. A คิดเป็น 35 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก
3. B คิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก
4. C (ตกเกรด) คิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก

โดยสามารถแบ่งลำดับชั้นคุณภาพ AA , A, B และ C (ตกเกรด) ตามขนาดของเมล็ด และความหนาของผิวเปลือกได้ดังแสดงในภาพที่ 6 และในตารางที่ 1

ภาพที่ 6 ความยาว ความสูง และความหนาของผิวเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์

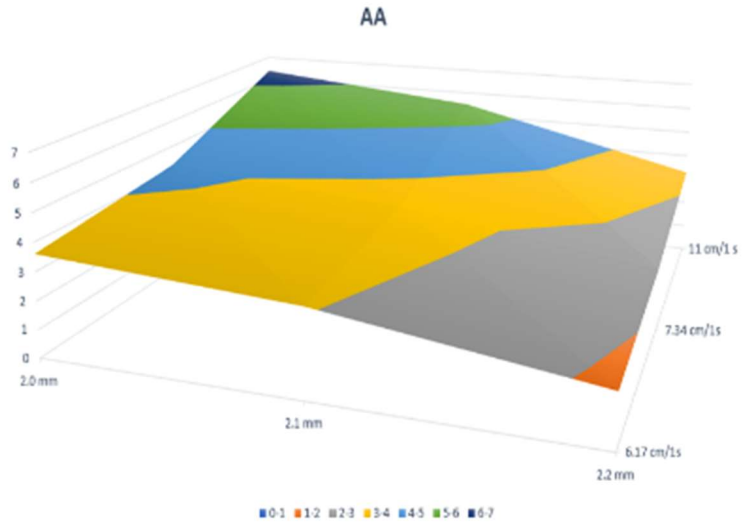
ตารางที่ 1 ค่าความยาว ความสูง และความหนาของผิวเปลือก เม็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบโดยเฉลี่ยของชั้นคุณภาพ AA , A, B และ C (ตกเกรด)

ประเภทชั้นคุณภาพ	ความยาวเฉลี่ย, L (mm.) (STD)	ความสูงเฉลี่ย, H (mm.) (STD)	ความหนา, S (mm.) (STD)
ชั้นคุณภาพ AA	37.25 (1.704)	29.77 (1.693)	3.5 - 4.2 (0.175)
ชั้นคุณภาพ A	35.64 (2.045)	27.84 (1.876)	3.45 – 4.05 (0.128)
ชั้นคุณภาพ B	32.27 (1.784)	25.06 (2.465)	3.37 – 3.85 (0.187)
ชั้นคุณภาพ C (ตกเกรด)	น้อยกว่า 30	น้อยกว่า 23	3.35 – 3.77 (0.128)

การศึกษาปัจจัยของคุณภาพเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีผลจากตัวแปรของเครื่องจักรได้แก่ การกำหนดตัวแปรระยะห่างของใบมีด ความเร็วที่ในการลำเลียงเม็ดมะม่วงหิมพานต์ มุมใบมีดก้างปลาตัวล่างมีค่าที่เหมาะสม

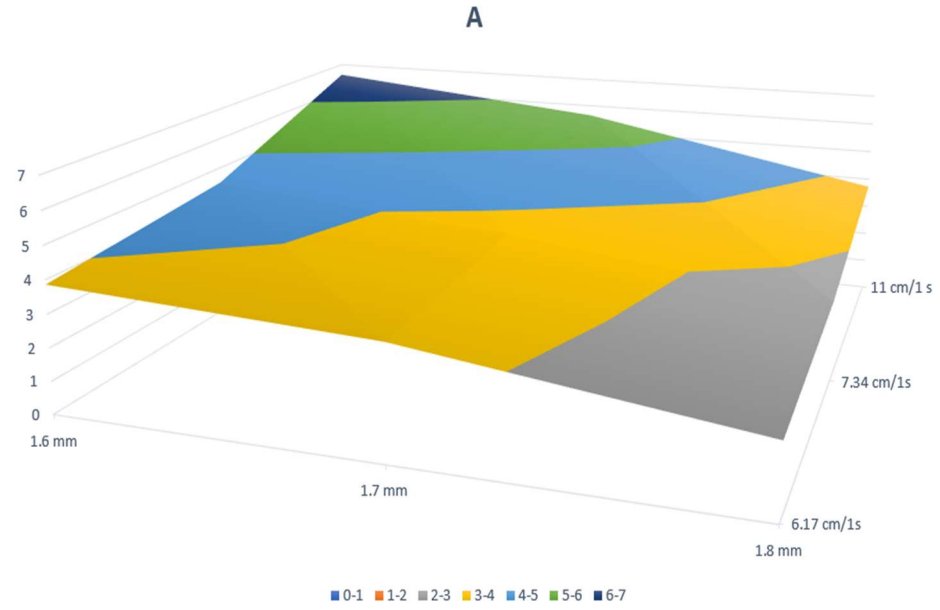
กลุ่มตัวอย่างได้แก่ เม็ดมะม่วงหิมพานต์เกรด AA, A, B ปริมาณที่ใช้ในการพิจารณา และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลการวิจัย สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two Way Analysis of Variance) และพบว่าข้อใดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงทำการทดสอบความแตกต่างตามปฏิกริยาเดี่ยว และปฏิกริยาร่วม

ผลการวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์สำหรับการคัดแยกขนาดเพื่อการลดการสูญเสียจากการเสียดสี มีผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการสี มีประเด็นที่สามารถนำมาอภิปรายผลได้ ดังนี้ จากการวิจัยในครั้งนี้พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการสี ที่สุด คือ ระยะห่างของใบมีด ความเร็วที่ในการลำเลียงเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ส่วนมุมใบมีดก้างปลาตัวล่างมีค่าที่เหมาะสม ไม่ส่งผลต่อของเสียที่เกิดขึ้นตั้งนั้นจึงสามารถเลือกใช้ค่าตามที่เหมาะสม โดยค่าที่เหมาะสมในการสีมะม่วงหิมพานต์เกรด AA, A, B ของตัวแปรดังแสดงในภาพที่ 7 ถึง 9 และตารางที่ 2



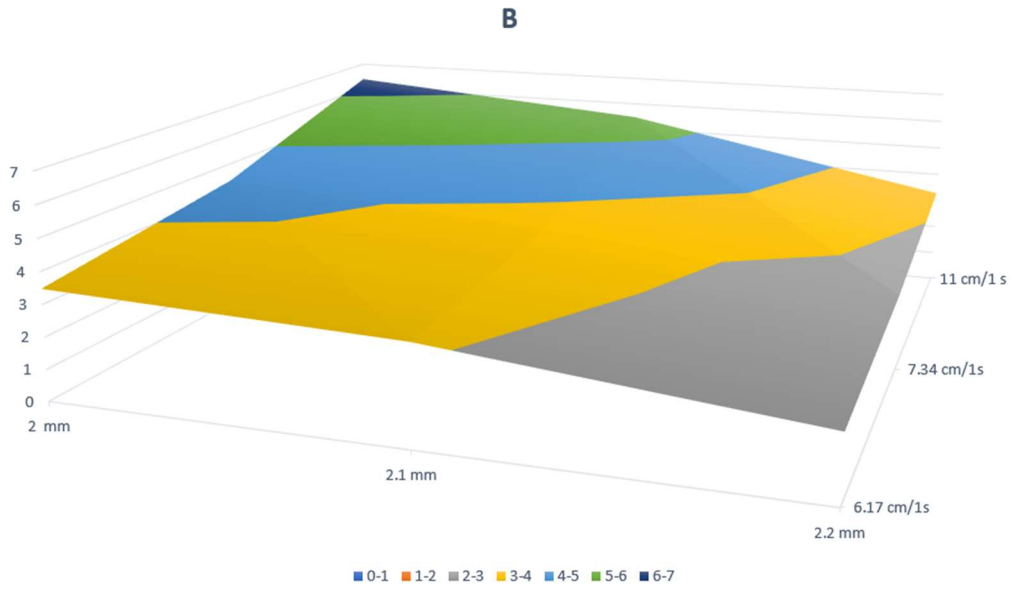
ภาพที่ 7 ผลผลิตของ เมล็ด AA ที่สมบูรณ์

จากภาพที่ 7 ผิวตอบสนองของผลผลิตของ เมล็ด AA ที่สมบูรณ์ ในตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ ความเร็วในการลำเลียงเมล็ดอยู่ที่ 11 cm/s และระยะของความห่างที่ 2.0 cm. ซึ่งจะสามารถให้การประมาณผลผลิตที่สามารถทำได้ของเกรด AA ของเมล็ด สมบูรณ์ที่ 6.38 กิโลกรัม



ภาพที่ 8 ผลผลิตของ เมล็ด A ที่สมบูรณ์

จากภาพที่ 8 ผิวตอบสนองของผลผลิตของ เมล็ด A ที่สมบูรณ์ ในตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ ความเร็วในการลำเลียงเมล็ดอยู่ที่ 11 cm/s และระยะของความห่างที่ 1.6 cm. ซึ่งจะสามารถให้การประมาณผลผลิตที่สามารถทำได้ของเกรด A ของเมล็ด สมบูรณ์ที่ 6.6 กิโลกรัม



ภาพที่ 9 ผลผลิตของ เมล็ด B ที่สมบูรณ์

จากภาพที่ 9 ผิวตอบสนองของผลผลิตของ เมล็ด B ที่สมบูรณ์ ในตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ ความเร็วในการลำเลียงเมล็ดอยู่ที่ 11 cm/s และระยะของความห่างที่ 1.5 cm. ซึ่งจะสามารถให้การประมาณผลผลิตที่สามารถทำได้ของเกรด B ของเมล็ด สมบูรณ์ที่ 6.38 กิโลกรัม

ตารางที่ 2 ค่าที่เหมาะสมของตัวแปรในการสีมะม่วงหิมพานต์เกรด AA, A, B

เกรด	ระยะห่างของใบมีด	ความเร็วที่ในการลำเลียง	มุมใบมีดก้างปลาตัวล่าง
AA	2.0	100% (11 cm/s)	15 - 20 องศา
A	1.6	100% (11 cm/s)	15 - 20 องศา
B	1.5	100% (11 cm/s)	15 - 20 องศา

โดยการประมาณของเสียที่เกิดขึ้นและลดลงจากการสีแบบเดิมดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประมาณของเสียที่เกิดขึ้นและลดลงจากการสีแบบเดิม

เกรด	ของเสียหลังการพัฒนาเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ (เปอร์เซ็นต์)	ของเสียก่อนการพัฒนาเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ (เปอร์เซ็นต์)	ผลต่างของเสียก่อน และหลังการพัฒนาเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ (เปอร์เซ็นต์)
AA	21-27	80	59-53
A	15-21	80	65-59
B	17-26	80	63-54

จึงสรุปได้ว่าตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ ของเกรด AA, A, B มีตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณของเสียไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด คือ A=ระยะห่างระหว่างใบมีด B=ความเร็วรางเลื่อนและ ตัวแปรที่ไม่ส่งผลต่อปริมาณของเสีย คือ C=มุมก้างปลาตัวล่าง โดยระยะใบมีดและความเร็วที่เหมาะสม ได้แก่ ระดับAA=2.0 cm ที่ความเร็ว 11 cm/s ระดับA=1.6 cm ที่ความเร็ว 11 cm/s
และ ระดับB=1.5 cm ที่ความเร็ว 11 cm/s

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ในการควบคุมเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์โดยระบบเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์เดิมซึ่งทำงานภายใต้การควบคุมความเร็วแบบคงที่ที่ 6.17 cm/s (30 รอบต่อนาที) แบบเดิมมีข้อจำกัดในการรองรับความแปรผันของขนาด และคุณสมบัติเชิงกลของเมล็ด ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสีไม่สม่ำเสมอและเกิดอัตราการแตกหักของเมล็ดในระดับสูง ภายหลังจากการปรับปรุงระบบควบคุมให้สามารถปรับความเร็วรอบได้ และทำการทดสอบเชิงทดลองเพื่อหาค่าความเร็วที่เหมาะสม พบว่าความเร็ว 11 cm/s (50 รอบต่อนาที) ให้ผลการทำงานที่เสถียรกว่าอย่างชัดเจน

จากการดำเนินงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทราบว่าตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในระดับ AA, A, B คือ A, B และได้ทราบค่าที่เหมาะสมของระยะห่างใบมีดกับความเร็วของรางเลื่อนจากการทดลองที่ใช้ในขนาดต่างๆ

1) ขนาด AA ใช้ระยะห่างของใบมีด 2.0 cm ความเร็วที่ 11 cm/s เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของความกว้างในแนวสูงของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ของเกรด AA โดยค่าเฉลี่ยที่ 2.72 cm. นั้นจะได้เห็นได้ว่ามีระยะที่ใกล้เคียงเมื่อลบความหนาของเปลือกโดยมีระยะที่แตกต่างกัน 0.72 cm. ส่วนความเร็วที่ 11 cm/s เป็นความเร็วที่เหมาะสมและได้ของเสียน้อยที่สุดเนื่องจากสีได้ในปริมาณที่มากและในการสีต้องอาศัยแรงเฉือนในการเคลื่อนที่สูงจึงจะสามารถสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ได้อย่างสมบูรณ์เต็มเมล็ด

2) ขนาด A ระยะห่างของใบมีด 1.6 cm ความเร็วที่ 11 cm/s เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของความกว้างในแนวสูงของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ของเกรด A โดยค่าเฉลี่ยที่ 2.66 cm. นั้นจะได้เห็นได้ว่ามีระยะที่ใกล้เคียงเมื่อลบความหนาของเปลือกโดยมีระยะที่แตกต่างกัน 1.06 cm. ส่วนความเร็วที่เหมาะสมจะเหมือนกันกับของขนาด AA, B

3) ขนาดของ B ระยะห่างของใบมีด 1.5cm ความเร็วที่ 11 cm/s เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของความกว้างในแนวสูงของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ของเกรด B โดยค่าเฉลี่ยที่ 2.49cm. นั้นจะได้เห็นได้ว่ามีระยะที่ใกล้เคียงเมื่อลบความหนาของเปลือกโดยมีระยะที่แตกต่างกัน 0.99 cm. ส่วนความเร็วที่เหมาะสมจะเหมือนกันกับของขนาด AA, A

จากการศึกษาพบว่า ในการทำงานของเครื่องสีเมล็ดมะม่วงหิมพานต์การทำงานที่ได้ผลผลิตเยอะที่สุดจอยู่ที่ขนาด A (193.44 kg) และขนาด B (193.44 kg) เนื่องจากขนาด A,B มีรางเลื่อน 3 รางซึ่งมากกว่าขนาด AA ไป 1 รางทำให้ผลผลิตของ A และ B มีมากกว่า ขนาด AA (128.96 kg) และขนาด A ได้ผลผลิตเมล็ดที่สมบูรณ์ใน 8 ชั่วโมงได้ผลผลิต (158.4 kg) มากกว่าขนาด B (153.12 kg) เมล็ดที่แตกหักก็ยังน้อยกว่าขนาด B ทำให้เห็นว่า ขนาด A มีผลผลิตที่ดีที่สุดในเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์

8. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้ 1) การออกแบบและพัฒนาเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ตามหลักวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร ทำให้เครื่องสามารถปรับตั้งพารามิเตอร์การทำงานได้อย่างเหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพของเม็ดมะม่วงหิมพานต์ในแต่ละเกรด ส่งผลให้กระบวนการสีมีความสม่ำเสมอและลดความเสียหายของเมล็ด และ 2) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่พัฒนาขึ้นแสดงให้เห็นว่าเครื่องสามารถเพิ่มอัตราการได้เม็ดสมบูรณ์และลดปริมาณเมล็ดแตกหักและของเสียเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการปรับปรุง โดยเฉพาะเม็ดมะม่วงหิมพานต์เกรด A ซึ่งให้ประสิทธิภาพการผลิตโดยรวมดีที่สุด สะท้อนให้เห็นว่าเครื่องสีที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองวัตถุประสงค์ของการวิจัยและเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในระดับอุตสาหกรรม. ผลการทดลองชี้ให้เห็นการออกแบบช่องแยกตามเกรด (AA, A, B) และการทำให้แต่ละช่องสามารถปรับระยะใบมีด มุมก้างปลา และความเร็วได้ เป็นทางออกเชิงวิศวกรรมที่สอดคล้องกับความแตกต่าง

ทางคุณสมบัติของเมล็ดตามเกรด และแนวทางในงานพัฒนาเครื่องสีอื่น ๆ [1],[10],[14] เครื่องที่พัฒนาทำให้สามารถตั้งระยะใบมีด 2.0, 1.6 และ 1.5 cm และความเร็วรางเลื่อน 11 cm/s ซึ่งเข้ากับค่าเฉลี่ยมิติของเมล็ดที่วัดได้ ทำให้ลดการแตกหักและเพิ่มสัดส่วนเมล็ดสมบูรณ์ได้จริง (สอดคล้องกับหลักการออกแบบกลไกเฉือนและการถ่ายเทพลังงาน) [7],[8],[12] และผลการทดสอบแสดงว่าเครื่องที่พัฒนาลดของเสียจากร้อยละ 60–80 เหลือประมาณร้อยละ 30–50 (โดยน้ำหนัก) และเกรด A ให้สัดส่วนเมล็ดสมบูรณ์สูงสุด (81.88%) ซึ่งสอดคล้องกับผลงานที่ชี้ว่าการปรับพารามิเตอร์เชิงกลอย่างเป็นระบบสามารถเพิ่มอัตราได้ผลิตและลดของเสียได้จริงในกระบวนการแปรรูปเมล็ด [9],[18],[21]

9. ข้อเสนอแนะ

9.1 ควรศึกษาขนาดของเมล็ดและคัดเมล็ดในแต่ละเกรดก่อนการทดลองเพราะเครื่องคัดแยกไม่สามารถคัดแยกขนาดของเมล็ดได้ตามขนาดที่ต้องการทั้งหมด เช่น อาจมีเมล็ดขนาด B ปนไปกับ A หรือ AA

9.2 เนื่องด้วยรางลำเลียงเมล็ดมะม่วงหิมพานต์อาจสกปรกจากเศษเปลือกของมะม่วงหิมพานต์ที่แตกหักเป็นจำนวนมาก อาจต้องมีการทำความสะอาดรางลำเลียงเป็นบางครั้ง

9.3 จากผลการวิจัย พบว่า แนะนำให้ทำความสะอาดเครื่องสีเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทุกครั้งหลังใช้งาน เนื่องจากเศษเมล็ดจะติดในรางทำให้ในรอบต่อไปติดขัดและเกิดปัญหาระหว่างการทำงานได้

9.4 การควบคุมเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์หรือเครื่องสีเม็ดมะม่วงหิมพานต์ในปัจจุบันเป็นแบบระบบเชิงกลแบบควบคุมคงที่ ควรมีการพัฒนาระบบควบคุมอัจฉริยะที่สามารถปรับพารามิเตอร์การทำงานได้ตามสภาพจริงของวัตถุดิบ และกระบวนการ

9.5 การออกแบบสปริงหรือระบบไฮดรอลิก/นิวเมติกที่ปรับแรงกดได้ เพื่อให้การเฉือนมีแรงกดที่เหมาะสมและทนต่อการสึกหรอ

เอกสารอ้างอิง

[1] Singharat, P., & Therdwongworakul, A. (1999). Cashew nut shelling machine and cashewnut size grading machine. In Proceedings of the compilation of research abstracts by Thai university faculty members (1997–1999) (pp. 112–118). Bangkok, Thailand.

[2] Adekunle, J. A. (2008). Physical properties of cashew nut relevant to processing. Journal of Food Engineering, 88(3), 390–394. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.006

[3] Olukunle, O. J., & Akinnuli, B. O. (2012). Investigating some engineering properties of cashew nut for mechanization. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 14(2), 120–126.

[4] Akinoso, R., & Raji, A. O. (2011). Physical properties of cashew nut as affected by moisture content. Journal of Food Process Engineering, 34(6), 1930–1942.

[5] Amarit, S., Phaosanthatphanishsomdej, C., Thaita, T., & Thongchan, P. (2010). Research and development of a green husk macadamia nut shelling machine. Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Thailand.

[6] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). Cashew processing handbook. FAO.

[7] Ajayi, A. O., & Olajide, J. O. (2008). Mechanical properties of cashew nut relevant to shelling operation. Journal of Agricultural Engineering, 45(4), 201–208.

[8] Olajide, J. O. (2000). Effect of moisture content on cracking characteristics of cashew nut. Journal of Agricultural Engineering Research, 76(3), 345–350.

[9] Bamgboye, A. S., & Adejumo, O. A. (2006). Performance evaluation of a locally developed cashew nut sheller. Journal of Food Engineering, 76(3), 372–377.

[10] Olukunle, O. J. (2005). Some physical properties of cashew nut relevant to shelling. Journal of Agricultural Engineering and Technology, 13(1), 17–25.

[11] Adebayo, S. A. (2014). Development of a motorized cashew nut shelling machine. International Journal of Engineering Research and Technology, 3(5), 1125–1131.

[12] Jain, R. K., & Bal, R. (2006). Design considerations for cashew nut shelling machines. Biosystems Engineering, 93(3), 313–320.

[13] Borompichaitigul, C., Pichaibanditkul, B., & Chaiwong, W. (2007). Factors affecting macadamia nut shelling using compressive force. Thai Journal of Agricultural Science, 38(5, Special Issue), 349–352.

[14] Saenyakul, S., & Wongtha, N. (2013). Macadamia nut shelling machine: Design and construction project. Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand.

[15] Phunikom, K. (2017). Process improvement in manufacturing efficiency using work improvement techniques: A case study of a drinking water factory (Master's thesis). Ubon Ratchathani University, Thailand.

[16] Benjasiriwan, K. (2008). Work study and logistics improvement in wooden furniture component manufacturing. Dhurakij Pundit University, Thailand.

[17] Thiminkul, K. (2013). Research and development of agricultural machinery to increase the value of sunflower products. Department of Agriculture, Thailand.

[18] Angkasith, P., & Warit, B. (1999). Integrated coffee production technology. Department of Agricultural Extension, Thailand.

[19] Naka, P., et al. (2004). Coffee (Academic Document No. 17/2004). Department of Agriculture, Thailand.

[20] Korkerd, J. (2019). Improvement of production processes using work study techniques: A case study of vegetarian pork rinds (Master's thesis). Chiang Rai Rajabhat University, Thailand.

[21] Phumipipat, W. (2017). Productivity improvement in manufacturing processes: A case study of a fermented rice noodle factory (Master's thesis). Chiang Rai Rajabhat University, Thailand.

[22] United Nations Industrial Development Organization. (2020). Agro-processing for cashew value chains. UNIDO.