การหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

Finding the optimum conditions for coffee bean sorting using Factorial experimental design

วรพงศ์ พงศ์ภัทรวุฒิ[1], ณภัทร อินทนนท์[1*], พงศธร เผดิมผล[1], สิริศักดิ์ หอมใส[1] และ อนุพงศ์ ปลั่งกลาง[1]
Worapong Phongphattarawut[1], Naphatara Intanon[1*], Pongsathon Phadoemphon[1],
Sirisak Homsai[1] and Anupong Plangklang[1]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (วิทยาเขตขอนแก่น)
Department of Industrial Technology, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan (Khon Kaen campus)

*Corresponding author Email: naphatara.in@rmuti.ac.th

Received: 27-02-2025 *Revised*: 10-06-2025 *Accepted:* 30-06-2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการคัดแยกเมล็ดกาแฟดิบด้วยเครื่องคัดแยกชนิดตะแกรงโยก เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาได้แก่เครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟดิบที่สร้างขึ้น เป็นชนิดตะแกรง 3 ชั้น ขนาดรูตะแกรง 8, 6 และ 3 มิลลิเมตร เมล็ดกาแฟที่ใช้เป็นพันธุ์โรบัสต้า การออกแบบการทดลองเป็นแบบ 3^2แฟคทอเรียล ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ความเร็วรอบของการโยก 50, 60 และ 70 รอบต่อนาที และระยะของการโยก 20, 30 และ 40 มิลลิเมตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Design Expert 365 ผลของการศึกษาพบว่า ความเร็วรอบสูงลดเวลาในการคัดแยก แต่เพิ่มการปนเปื้อนของเมล็ดกาแฟ โดยความเร็วรอบที่เหมาะสมเท่ากับ 70 รอบต่อนาที ระยะโยกเท่ากับ 20 มิลลิเมตร ประสิทธิภาพของเครื่องเท่ากับ 94.48 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: เมล็ดกาแฟดิบ ตะแกรงโยก การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ประสิทธิภาพการคัดแยก

Abstract

The objective of this research was to identify optimal conditions for separating green coffee bean by screening machine. The equipment utilized in the study was a custom-built coffee screening machine, featuring a 3-layer grid design with grid hole sizes measuring 8, 6, and 3 millimeters respectively. The green coffee bean under investigation is of the Robusta variety. The experimental design employed was 3^2 Factorial Design. The factors investigated in the study were the rotational speed as 50, 60 and 70 rpm., and the stoke range as 20, 30 and 40 millimeters. The findings revealed that high rotational speed reduces separation time. But it increases the contamination of coffee beans. The optimal speed was 70 rpm, with a stoke range of 20 millimeters, resulting in a separation efficiency of 94.48 percent.

Keywords: Green Coffee Bean, Screening machine, Factorial Design, Separated Efficiency

1. บทนำ

กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจตัวใหม่ ที่มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาพืชเศรษฐกิจของไทย [1],[2] ทั้งนี้เพราะปริมาณความต้องการกาแฟทั่วโลก มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปีการผลิต 2565/2566 ทั่วโลกมีความต้องการกาแฟ ประมาณ 10.08 ล้านตัน โดยเพิ่มจากปีการผลิต 2564/2565 คิดเป็น 0.64 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ประเทศที่มีการผลิตและส่งออกเมล็ดกาแฟและกาแฟสำเร็จรูปมากที่สุดได้แก่ประเทศบราซิล มีปริมาณการส่งออกในปีการผลิต 2565/2566 จำนวน 2.20 ล้านตัน ลดลงจากปีก่อน 2.56 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่เวียตนาม มีการส่งออก 1.66 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปีก่อนประมาณ 0.12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประเทศไทยปริมาณการส่งออกนั้นอยู่ในระดับต่ำ เมื่อเทียบการส่งออกรวมของโลก โดยคิดเป็นร้อยละ 0.28 โดยส่งออกไปให้ประเทศเพื่อนบ้านเป็นส่วนใหญ่ได้แก่ ลาว กัมพูชา และพม่า ในขณะเดียวกันประเทศไทยมีการนำเข้าเมล็ดกาแฟ จากประเทศเพื่อนบ้านคือมาเลเซีย เวียตนาม และอินโดนีเซีย โดยปริมาณการนำเข้า สูงกว่าปริมาณการส่งออกประมาณ 3 เท่า ในประเทศไทย จะมีการปลูกกาแฟ 2 สายพันธุ์หลักได้แก่ สายพันธุ์อาราบีก้า (Arabica) นิยมปลูกในภาคเหนือ และสายพันธุ์โรบัสต้า (Robusta) นิยมปลูกในภาคใต้ ในปี พศ. 2566 ประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกกาแฟทั้งสิ้นประมาณ 236,000 ไร่ โดย เป็นเนื้อที่ที่ให้ผลผลิตแล้ว 204,000 ไร่ ร้อยละ 54.4 จะเป็นพื้นที่ภาคเหนือ รองลงมาร้อยละ 39.5 เป็นพื้นที่ภาคใต้ และที่เหลือเป็นพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง โดยในภาคเหนือ จังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกกาแฟมากที่สุดคือ จังหวัดเชียงราย มีพื้นที่ปลูกกาแฟที่ให้ผลผลิตแล้วประมาณ 43,000 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 21.08 ของพื้นที่ปลูกที่ให้ผลผลิต

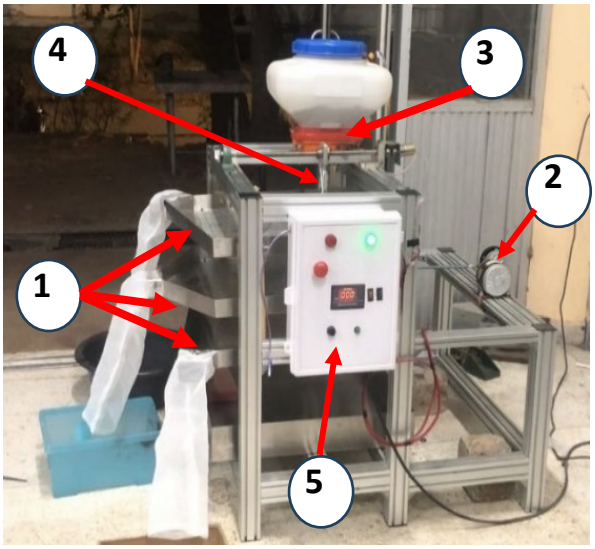
แล้วทั้งหมด หรือร้อยละ 38.7 ของพื้นที่ปลูกกาแฟในภาคเหนือ [3] กระบวนการผลิตกาแฟออกจำหน่ายนั้นมีขั้นหลักที่สำคัญคือ การเก็บเมล็ดกาแฟที่แก่ได้ที่ แล้วนำมาตากให้แห้ง เสร็จแล้วนำไปแกะเปลือกหุ้มออก ซึ่งหลังจากแกะเปลือกหุ้มเล็ดออกแล้วเราจะได้เมล็ดกาแฟดิบ (Green coffee bean) หรือเรียกกันทั่วไปว่า “สารกาแฟ” เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟส่วนใหญ่ก็จะนำสารกาแฟออกจำหน่าย ให้กับบริษัทที่จะนำไปแปรรูปต่อไป ซึ่งก่อนการจำหน่ายนี้เกษตรกรก็จะคัดแยกสิ่งแปลกปลอมเช่นก้อนหิน ดิน หรือเศษไม้ ออกไปก่อน เพราะการมีสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้ปนอยู่จะถือว่าเป็นกาแฟคุณภาพต่ำ มีราคาถูกเมื่อเทียบกับกาแฟที่ไม่สิ่งแปลกปลอมปนอยู่ อย่างไรก็ดีการคัดแยกเมล็ดกาแฟของเกษตรกรนั้นส่วนใหญ่ก็จะใช้แรงงานคนในการคัดแยก ปัญหาที่เกิดคือใช้เวลานาน ต้นทุนสูง และไม่สามารถที่จะแยกขนาดของสารกาแฟได้อย่างสม่ำเสมอ ทำให้เกษตรกรต้องขายในราคาที่ต่ำ เพราะผู้คั่วกาแฟ ต้องนำมาคัดแยกก่อนการคั่ว ทำให้ต้นทุนของกระบวนการคั่วสูงขึ้น หากเกษตรกรสามารถแยกขนาดของสารกาแฟได้ ก็จะสามารถขายในราคาที่สูงขึ้นได้ แต่ปัจจุบันเครื่องคัดแยกที่มีอยู่ในปัจจุบันที่ผู้คั่วกาแฟใช้นั้น เป็นเครื่องคัดแยกขนาดใหญ่ มีราคาแพง เกษตรกรผู้ปลูกไม่สามารถที่จะลงทุนซื้อได้

การศึกษาถึงอิทธิพล(effects) ของปัจจัย (Factors) ตั้งแต่ 2 ปัจจัย ขึ้นไป นิยมใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) โดย การทดลองแบบนี้ จะเป็นการจัดหน่วยทดลองเป็นแบบ แฟคทอเรียล เช่น การทดลองที่มี 2 ปัจจัย (A,B) แต่ละปัจจัย มี 3 ระดับ (1,2,3) หน่วยทดลอง ก็จะเป็นการรวมกันของปัจจัยแต่ละระดับ (Treatment combination) รวมทั้งสิ้น 6 หน่วยทดลอง(A x B) คือ A1B1, A1B2, A1B3, A2B1,A2B2, A2B3 และประโยชน์ที่สำคัญอย่างหนึ่งของการทดลองแบบแฟคทอเรียบคือสามารถที่จะวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยแต่ละปัจจัย (Simple effect) อิทธิพลหลัก (Main effect) และอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction effect) ไปพร้อม ๆ กันได้ อย่างไรก็ดี ในการทดลองแต่ละครั้งนั้น หากผู้ทดลองต้องการหาจุดที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ผู้ทดลองจำเป็นจะต้องหาค่าที่จะทำให้ผลตอบสนอง (Response) ตรงกับสิ่งที่ผู้ทดลองต้องการ โดยการปรับระดับของปัจจัยแต่ละปัจจัยจนกว่าจะได้ผลตอบสนองตรงตามความต้องการ หรือกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยไว้ แล้วทำการคำนวณหาค่าที่จะทำให้ได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการ ซึ่งค่าได้นี้เรียกว่าเป็นค่าพารามิเตอร์ จะเป็นค่าที่จะนำไปใช้งานต่อไป ดังนั้นการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากในปรับตั้งเครื่องจักรต่าง ๆ หากปรับตั้งค่าได้เหมาะสม เครื่องจักรก็จะทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ หรือได้ผลลัพธ์ตรงตามความต้องการ จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้จัดทำเครื่องคัดแยกขนาดเมล็ดกาแฟ ที่มีขนาดเล็กเหมาะสำหรับเกษตรกรที่มีผลผลิตกาแฟประมาณ 500 – 1000 กิโลกรัมต่อปี เพื่อให้เกษตรกรนำไปใช้ในการแยกสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ ออกจากเมล็ดกาแฟ และเพื่อคัดขนาดของเมล็ดกาแฟ เพื่อให้เกษตรกรสามารถขายผลผลิตในราคาที่สูงขึ้นได้ และทำการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะทำให้การใช้งานเครื่องคัดแยกมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีรายละเอียด การดำเนินการดังต่อไปนี้

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

2.1 เครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟ

เครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นเครื่องคัดแยกต้นแบบที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษาการทำงานและหาสภาวะที่เหมาะสมของการทำงาน โดยเครื่องคัดแยกที่สร้างขึ้นเป็นชนิดตะแกรงโยก มีลักษณะรูปร่างและคุณสมบัติดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1 เครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟ

จากภาพที่ 1 เครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟที่สร้างขึ้นมีขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) เท่ากับ 80 x 70 x 92 ซม. โครงสร้างหลักของตัวเครื่องเป็นอลูมิเนียมโปรไฟล์ ขนาดหน้าตัดเท่ากับ 6 x 6 ซม. องค์ประกอบหลักของเครื่องประกอบด้วย

1) ตะแกรงคัดแยก วัสดุเป็นสแตนเลส เกรด 304 แต่ละชั้นมีขนาด (กว้าง x ยาว) 65 x 60 ซม. ขนาดของรูตะแกรง ชั้นบนสุดจะมีขนาด 8 มม. ชั้นที่ 2 และ 3 จะมีขนาด 6 และ 3 มม. ตามลำดับ
2) มอเตอร์สำหรับโยกตะแกรง เป็นมอเตอร์ชนิดไฟกระแสตรง (DC Motor) ขนาด 12 โวลต์ 250 วัตต์ ความเร็วสูงสุด 310 รอบต่อนาที ปรับความเร็วโดยการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์
3) ชุดปิด – เปิดถังบรรจุเมล็ดสารกาแฟ เป็นระบบฝาปิด - เปิด ควบคุมด้วยแผงวงจร Arduino Uno R3
4) ชุดกวาดเมล็ดกาแฟ เป็นระบบบอลสกรู เคลื่อนที่ตามทิศทางของการโยก
5) กล่องควบคุมการทำงาน ภายในกล่องประกอ ด้วยชุดจ่ายไฟ (Power Supply) เครื่องวัfความเร็วรอบ และนาฬิกาจับเวลา

2.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองได้แก่ เมล็ดกาแฟสายพันธ์โรบัสต้า (Robusta) โดยเป็นเมล็ดกาแฟที่ตากแห้งและผ่านกระบวนการกะเทาะเปลือกนอกออกแล้ว ซึ่งมีชื่อเรียกทั่วไปว่า “สารกาแฟ” เมล็ดที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นเมล็ดที่คัดแยกสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ แล้ว และนำมาคัดแยกโดยการร่อนในตะแกรงขนาด 8, 6 และ 3 มิลลิเมตร เพื่อแยกขนาด โดยใช้แรงงานคน เสร็จแล้วชั่งน้ำหนักของแต่ละขนาดบันทึกไว้เป็นข้อมูลเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับการแยกโดยใช้เครื่องคัดแยก ซึ่งเมื่อชั่งน้ำหนักเสร็จแล้วจะนำมาผสมให้คละกันก่อนนำไปทดลอง

2.3 การออกแบบการทดลอง

ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการคัดแยกของเครื่องคัดแยกชนิดตะแกรงโยกได้แก่ ระยะชัก ความเร็วรอบ และมุมเอียง [4-5] แต่จากการศึกษาพบว่า มุมเอียงที่มีความเหมาะสมจะอยู่ที่ประมาณ 7 องศา ดังนั้นในการทดลองศึกษาครั้งนี้ จึงมีการศึกษาเพียง 2 ปัจจัยคือ ระยะชักและความเร็วรอบ โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบ 3^2 แฟคทอเรียล โดยมีปัจจัย 2 ปัจจัย คือ1)ความเร็วรอบในการโยกตะแกรง มี 3 ระดับคือ 50, 60 และ 70 รอบต่อนาที 2) ระยะชัก มี 3 ระดับคือ 20,30 และ 40 มิลลิเมตร สำหรับผลตอบสนอง (Response) คือ ประสิทธิภาพการคัดแยก และ อัตราเร็ว เมล็ดกาแฟที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นสารกาแฟ สายพันธุ์โรบัสต้า เป็นชนิดคละขนาด และนำมาคัดแยกสิ่งแปลกปลอม และแยกขนาด เพื่อกำหนดเป็นค่ามาตรฐานโดยใช้แรงงานคน การทดลองจะใช้สารกาแฟ จำนวน 2 กิโลกรัม หมุนเวียน จนการทดลองครบตามที่กำหนด แต่ละเงื่อนไข (Treatment combination) จะทำการทดลอง 3 ซ้ำ

2.4 ขั้นตอนการทดลอง

1) ปรับตั้งระยะชักและความเร็วรอบของเครื่องคัดแยกตามที่โปรแกรม design expert ได้กำหนดไว้ และชั่งน้ำหนักเมล็ดกาแฟ 2 กิโลกรัม ใส่ลงในถังบรรจุ

2) เปิดสวิทย์การทำงานของเครื่องคัดแยก รอเวลาประมาณ 30 วินาที เพื่อให้เครื่องทำงานคงที่

3) ปล่อยเมล็ดกาแฟลงสู่ตะแกรงพร้อมจับเวลาเมื่อเมล็ดกาแฟที่อยู่ในตะแกรงทั้ง 3 ตะแกรงหล่นลงสู่ที่เก็บหมด หยุดเครื่อง และบันทึกเวลาของการทดลอง

4) นำเมล็ดกาแฟในแต่ละช่องเก็บมาตรวจสอบขนาดและบันทึกผลการทดลอง

2.5 การคำนวณประสิทธิภาพการทำงาน

เ ครื่องคัดแยกทั่วไป จะวัดประสิทธิภาพจากการแยกสิ่งที่ต้องการออกจากสิ่งที่ไม่ต้องการ เช่นในกระบวนสีข้าว[6] จะวัดความสามารถในการแยกโดยพิจารณาข้าวเปลือก (Paddy rice) ซึ่งเหลือจากกระบวนการกะเทาะเปลือก ออกจากข้าวกล้อง (Brown rice) ว่ามีการไหลลงไปผสมกับข้าวกล้องมากน้อยเพียงใด โดยใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา หรือในกรณีการแยกสิ่งเจือปนออกจากผลผลิตทางการเกษตร [7] ก็วัดโดยการหาน้ำหนักของสิ่งเจือปนที่ผสมอยู่ต่อน้ำหนักของผลิตผลทั้งหมด ในการศึกษาครั้งนี้การหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง จากผลคูณระหว่างประสิทธิภาพการคัดแยก และความเร็วของการทำงาน ซึ่งทั้งสองเป็นปัจจัยที่แสดงถึงความสามารถของเครื่องจักรโดยทั่วไป โดยประสิทธิภาพการคัดแยกคำนวณ จากน้ำหนักเฉลี่ยของเมล็ดกาแฟที่ได้ในแต่ละขนาด เทียบกับน้ำหนักของเมล็ดกาแฟขนาดนั้น ๆ(สมการที่ 1) และความเร็วของการทำงานคำนวณจากเวลาที่ใช้เทียบกับเวลาที่กำหนดไว้(สมการที่ 2) ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการคัดแยก} = \frac{\text{นน.ที่ได้}}{\text{นน.ที่มีจริง}} \quad \ldots \quad (1)$$

$$\text{อัตราเร็ว} = \frac{\text{เวลาที่กำหนดไว้}}{\text{เวลาที่ใช้จริง}} \quad \ldots (2)$$

ประสิทธิภาพรวม
= ประสิทธิภาพการคัดแยก x อัตราเร็ว .....(3)

3. ผลการทดลอง

3.1 ความสามารถในการคัดแยก

เมล็ดกาแฟที่นำมาทดลองในครั้งนี้ เป็นเมล็ดกาแฟที่มีขนาดใหญ่พิเศษ (XL) ซึ่งทางผู้ผลิตทำการคัดแยกโดยใช้คนคัดแยกมาแล้ว แต่ ขนาดของเมล็ดกาแฟก็ยังมีหลายขนาดผสมกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อการควบคุณภาพการคั่ว เพราะเมล็ดที่มีขนาดต่างกันค่อนข้างมาก จะสุกไม่เท่ากัน

ภาพที่ 2 เมล็ดกาแฟก่อนการคัดแยก

ภาพที่ 3 เมล็ดกาแฟที่ผ่านการคัดแยกแล้ว ซ้ายมือขนาด 6-8 มม. ขวามือ ขนาดใหญ่กว่า 8 มม.

จากภาพที่ 3 พบว่าเมื่อคัดแยกแล้ว เมล็ดกาแฟแต่ละกลุ่มจะมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นถึงความสามารถของเครื่องคัดแยกว่าสามารถที่จะคัดแยกเมล็ดกาแฟได้ตามที่กำหนด อย่างไรก็ตามการพิจารณาในเชิงคุณภาพแต่เพียงอย่างเดียวไม่สามารถแสดงประสิทธิภาพของเครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟได้ ดังนั้นต้องมีการพิจารณาในเชิงปริมาณด้วย เพื่อให้เห็นถึงระดับของประสิทธิภาพของเครื่อง

3.2 ประสิทธิภาพการคัดแยกของเครื่อง

ในการทดลองจะชั่งน้ำหนักของเมล็ดแต่ละขนาดที่เครื่องคัดแยกได้ และเทียบกับน้ำหนักจริง ในแต่ละขนาด และอัตราเร็วจะคำนวณจากเวลาที่ใช้ เทียบกับเวลาที่กำหนดไว้คือ 90 วินาที ผลการที่ได้เป็นดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพและอัตราเร็วในการคัดแยก

run	Speed (rpm)	Stoke (mm)	ประสิทธิภาพการคัดแยก	อัตราเร็ว
1	50	20	0.94	0.64
2	50	20	0.95	0.64
3	50	20	0.95	0.63
4	50	30	0.86	0.71
5	50	30	0.87	0.71
6	50	30	0.90	0.71
7	50	40	0.86	1.03
8	50	40	0.86	1.03
9	50	40	0.88	1.02
10	60	20	0.97	1.11
11	60	20	0.97	1.13
12	60	20	0.96	1.13
13	60	30	0.89	1.15
14	60	30	0.91	1.14
15	60	30	0.91	1.15
16	60	40	0.90	1.20
17	60	40	0.91	1.22
18	60	40	0.90	1.20
19	70	20	0.95	1.25
20	70	20	0.96	1.23
21	70	20	0.96	1.25
22	70	30	0.90	1.25
23	70	30	0.89	1.23
24	70	30	0.90	1.27
25	70	40	0.84	1.30
26	70	40	0.86	1.29
27	70	40	0.84	1.30

จากตารางที่ 1 พบว่า ประสิทธิภาพ มีค่าระหว่าง 0.84 ถึง 0.97 หรือคิดเป็น 84 – 97 % เมื่อเทียบกับน้ำหนักของเมล็ดที่ใส่ลงไป และอัตราเร็วจะมีค่าระหว่าง 0.63 (เวลาที่ใช้มากกว่าเวลาที่กำหนดไว้) ถึง 1.30 (เวลาที่ใช้น้อยกว่าเวลาที่กำหนดไว้) เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติผลที่ได้เป็นดังนี้

3.3 อิทธิพลของแต่ละปัจจัย

ในการวิเคราะห์หาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลเป็นดังนี้

ตารางที่ 2 อิทธิพลของแต่ละปัจจัยต่อประสิทธิภาพการคัดแยก

Source	SS	df.	MS	F-value	p-value
Model	0.0418	8	0.0052	46.98	< 0.0001
A-Speed	0.0041	2	0.0021	18.63	< 0.0001
B-Stoke	0.0351	2	0.0175	157.73	< 0.0001
AB	0.0026	4	0.0006	5.78	0.0036
Error	0.0020	18	0.0001		
Total	0.0438	26			

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่า F-value ของตัวแบบ (Model) มีค่าเท่ากับ 46.98 และ p-value < 0.0001 หมายว่าตัวแบบที่ได้มีความเหมาะสมกับชุดข้อมูลสามารถแสดงความสัมพันธ์ของผลลัพธ์ (Response) กับปัจจัยทั้งสองปัจจัยได้ ค่า F-value ของปัจจัย A (Speed) มีค่าเท่ากับ 18.63 และค่า P-value <0.0001 ซึ่งต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) หมายความว่า ความเร็วรอบ (Speed) ที่แตกต่างกัน ทำให้ค่าประสิทธิภาพการคัดแยกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เช่นเดียวกันกับ ปัจจัย B (Stoke) ที่มีค่า p-value < 0.0001 ก็หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงของระยะโยก มีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพการคัดแยกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สำหรับปัจจัยร่วม (AB) ค่า p-value <0.0036 หมายความว่า ปัจจัยทั้งสองต่างก็มีอิทธิผลต่อค่าประสิทธิภาพของการคัดแยก และปัจจัยทั้งสองจะมีปฏิสัมพันธ์กัน (Interaction) ซึ่งการมีอิทธิพลต่อผลตอบสนองในทางตรงกันข้าม เมื่อปัจจัยหนึ่งให้ผลในทางบวก อีกปัจจัยหนึ่งให้ผลในทางลบ ซึ่งต้องมีการวิเคราะห์กราฟปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสองอีกครั้งหนึ่ง

ตารางที่ 3 อิทธิพลของแต่ละปัจจัยต่ออัตราเร็ว

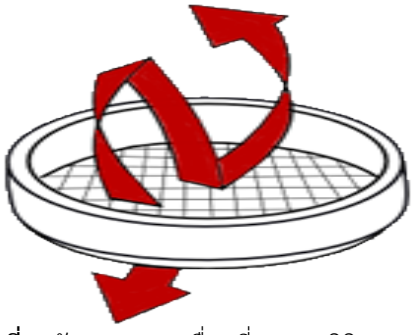
Source	SS	df.	MS	F-value	p-value
Model	1.38	8	0.1727	1665.08	< 0.0001
A-Speed	1.11	2	0.5537	5339.68	< 0.0001
B-Stoke	0.1558	2	0.0779	750.96	< 0.0001
AB	0.1182	4	0.0295	284.84	< 0.0001
Error	0.0019	18	0.0001		
Total	1.38	26			

จากตารางที่ 3 พบว่า ค่า F-value ของตัวแบบ (Model) มีค่าเท่ากับ 1665.08 และ p-value < 0.0001 หมายว่าตัวแบบที่ได้มีความเหมาะสมกับชุดข้อมูลสามารถแสดงความสัมพันธ์ของผลลัพธ์ (Response) กับปัจจัยทั้งสองปัจจัยได้ค่า p-value ของปัจจัย A (Speed) มีค่า <0.0001 ซึ่งต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) หมายความว่า ความเร็วรอบ ที่แตกต่างกัน ทำให้อัตราเร็วแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เช่นเดียวกันกับ ปัจจัย B (Stoke) ค่า p-value <0.0001 หมายความว่าระยะโยกที่แตกต่างกัน ทำให้อัตราเร็วแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และปัจจัยร่วม (AB) ค่า p-value <0.0001 หมายความว่าปัจจัยทั้งสอง มีปฏิสัมพันธ์กัน และมีผลกระทบต่ออัตราเร็วในการคัดแยกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

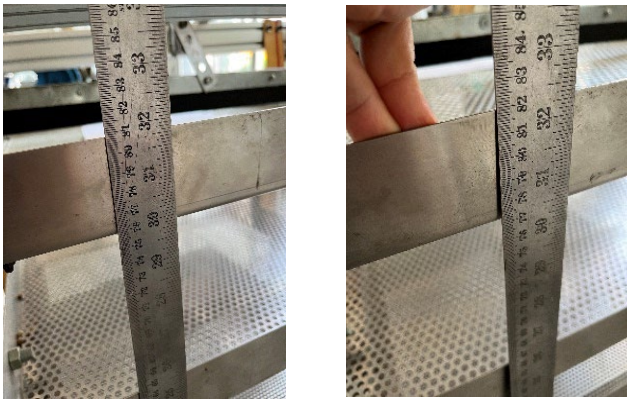
4.อภิปรายผล

4.1 ผลกระทบของความเร็วรอบต่อประสิทธิภาพและอัตราเร็วของการคัดแยก

การทำงานของเครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟที่สร้างขึ้นนี้ มีลักษณะการสั่นเป็นแบบ 3 มิติ (ภาพที่ 4) เนื่องจากว่าตัวตะแกรงจะถูกแขวนไว้ด้วยสายพาน เมื่ออยู่ในจังหวะปกติ ระดับของตะแกรงชั้นบนสุดอยู่สูงจากพื้นประมาณ 81 ซม. และเมื่อมอเตอร์ดึงตะแกรงไปในจังหวะไกลสุด ตระแกรงจะถูกยกขึ้นและมีความสูงจากพื้นประมาณ 82 ซม. (ภาพที่ 5) ซึ่งการโยกหน้า-หลัง ทำให้ตระแกรงเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นลงไปพร้อมกันด้วย เมื่อเพิ่มความเร็วรอบที่สูงจะทำให้เมล็ดกาแฟ กระดอนขึ้นลง และถ้าในจังหวะที่ตกลงมานั้นเป็นการตกในแนวดิ่ง จะทำให้เมล็ดกาแฟผ่านรูตะแกรงได้ดีกว่า การตกลงในในแนวนอน ซึ่งในระดับความเร็วรอบต่ำ การกระดอนขึ้นไป ไม่สูง เมล็ดกาแฟก็จะตกลงมาในแนวนอน จึงทำให้เมล็ดที่มีขนาดเล็กกว่ารูตะแกรงหล่นลงไปในชั้นถัดไปได้เร็วกว่าเมื่อใช้ความเร็วรอบต่ำ ด้วย



ภาพที่ 4 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ [5]



ภาพที่ 5 ระดับความสูงของตะแกรงต่ำสุดและสูงสุด ในรอบการทำงาน

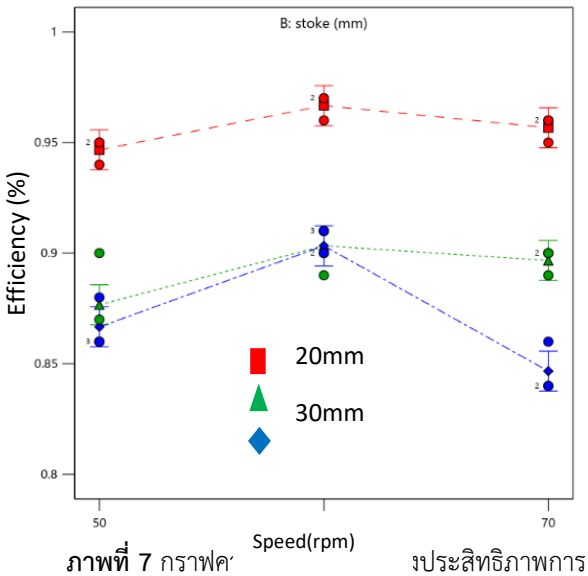
อย่างไรก็ตามที่ความเร็วรอบสูงนั้นเมล็ดกาแฟเกิดการกระดอนแรงเกินไป ทำให้มีเมล็ดหลุดออกจากพื้นที่ตะแกรงและไปผสมกับเมล็ดขนาดอื่น ทำให้ค่าประสิทธิภาพการคัดแยกลดลง นอกจากนั้น จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำ จะเกิดการติดรูตะแกรง (ภาพที่ 6) เนื่องจากที่ความเร็วรอบต่ำเมล็ดกาแฟไม่เกิดการกระดอนขึ้นลงและไม่มีแรงกด เมล็ดกาแฟจึงแทรกตัวผ่านรูตะแกรงได้ช้า และบางเมล็ดก็จะไม่สามารถแทรกตัวผ่านรูตะแกรงได้ เมล็ดที่มีขนาดเล็กที่ยังไม่ผ่านรูตะแกรงก็จะไหลไปรวมตัวกับเมล็ดที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ประสิทธิภาพการคัดแยกลดลง

ภาพที่ 6 เมล็ดกาแฟติดรูตะแกรง

4.2 ผลกระทบของระยะโยกต่อประสิทธิภาพและอัตราเร็วของการคัดแยก

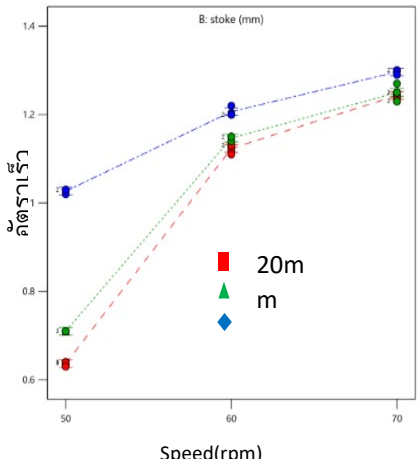
ระยะโยกตัวของตะแกรงจะทำให้เมล็ดกาแฟมีการกระจายตัวได้ดีกว่า โดยเฉพาะในกรณีที่ความเร็วรอบในการทำงานสูง การกระจายตัวของเมล็ดกาแฟจะกระจายได้เร็ว เนื่องจากระยะโยกที่ต่างกันทำให้ การเปลี่ยนแปลงความสูงของตะแกรงแตกต่างกัน เป็นผลทำให้เมล็ดกาแฟกระดอนสูงแตกต่างกันด้วย และเมื่อระยะโยกเพิ่มมากขึ้นตำแหน่งที่ของการกระดอนขึ้นและตกลงมาก็จะมีความแตกต่างกันมากขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลกระทบโดยตรงต่อการกระจายตัวของเมล็ดกาแฟ เมื่อเมล็ดกาแฟมีการกระจายตัวที่ดี อัตราเร็วของการคัดแยกจึงเร็วแตกต่างกัน

4.3 ปฏิสัมพันธ์ของความเร็วรอบและระยะโยกที่มีผลต่อประสิทธิภาพการคัดแยก



ภาพที่ 7 กราฟค งประสิทธิภาพการคัดแยกกับความเร็วรอบและระยะโยก

เมื่อพิจารณาจากกราฟประสิทธิภาพการตัดแยก ที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างความเร็วรอบและระยะโยก (ภาพที่ 7) พบว่า ที่ระดับความเร็ว 60 ต่อนาที ระยะโยก 20 มิลลิเมตร จะให้ประสิทธิภาพการคัดแยกสูงที่สุด และเมื่อเพิ่มความเร็วรอบเป็น 70 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพของการคัดแยกจะลดลงเล็กน้อย แต่กรณีระยะโยก 40 มิลลิเมตรจะลดลงค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณากราฟอัตราเร็ว ที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและระยะโยก (ภาพที่ 8) จะพบว่าเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นอัตราเร็วจะเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ระยะโยก



ภาพที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วกับความเร็วรอบและระยะโยก

4.3 การหาค่าที่เหมาะสมในการใช้งาน

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการคัดแยก (ภาพที่ 7) และอัตราเร็ว (ภาพที่ 8) จะพบว่าความเร็วรอบและระยะโยกจะให้ผลที่แตกต่างกัน โดยหากต้องการให้เมล็ดกาแฟแต่ละขนาดแยกตัวออกจากกัน ไม่มีการปะปนกัน จะต้องใช้ความเร็วรอบในการโยกปานกลาง (60 รอบต่อนาที) และระยะโยก 20 มิลลิเมตร แต่หากต้องการใช้เวลาในการคัดแยกที่ต่ำกว่า หรือต้องการอัตราเร็วที่สูงกว่า จะต้องใช้ความเร็วรอบ 70 รอบต่อนาทีและระยะโยก 40 มิลลิเมตร เพื่อหา สภาวะการทำงานที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยกำหนดให้เป้าหมายที่ต้องการคือ ประสิทธิภาพการคัดแยกและอัตราเร็วสูงที่สุด (Maximize) ผลจากการคำนวณค่า ความต้องการตามเป้าหมายที่กำหนด (Desirability) ผลเป็นดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าความต้องการตามที่กำหนดและสภาวะกาทำงาน

ที่	Speed (rpm)	Stoke (mm)	การคัดแยก	อัตราเร็ว	Desir-ability
1	70	20	0.957	1.24	0.906
2	60	20	0.967	1.12	0.847
3	60	40	0.903	1.21	0.648
4	70	30	0.897	1.25	0.635
5	60	30	0.903	1.15	0.613

จากตารางที่ 4 พบว่า ค่าความต้องการตามเป้าหมายที่กำหนด สูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.906 หมายความว่า สามารถทำได้ใกล้เคียงกับเป้าหมายมี่วางไว้ 90.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป้าหมายที่วางไว้คือประสิทธิภาพการคัดแยกสูงที่สุด (0.97) และอัตราเร็วสูงสุด (1.30) แต่ในสภาวะที่ดีที่สุดของปัจจัยแต่ละตัวนั้น ประสิทธิภาพโดยรวมไม่ดีที่สุด ดังนั้นเพื่อให้ปัจจัยโดยรวมดีที่สุด ต้องมีการปรับระดับของปัจจัยแต่ละตัว โดยระดับของปัจจัยที่มีความเหมาะและทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมใกล้เคียงกับเป้าหมายที่กำหนดมากที่สุดคือ สภาวะการทำงานที่ความเร็วรอบ 70 รอบต่อนาทีและ

[9] ที่พบว่า มีปัจจัยหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการคัดแยกและแต่ละปัจจัยมีผลกระทบซึ่งกันและกัน (Interactions)

5.สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้ง 2 ปัจจัย คือความเร็วรอบ และระยะโยก และปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วรอบกับระยะโยก มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของเครื่องคัดแยกเมล็ดกาแฟชนิดตะแกรงโยก โดยความเร็วรอบมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการคัดแยกคือความเร็วรอบต่ำ ให้ประสิทธิภาพการคัดแยกที่สูงกว่า แต่ ความเร็วรอบสูงทำให้อัตราเร็วสูงกว่า ส่วนปัจจัยระยะโยกมีอิทธิพลคือ ที่ระยะโยกต่ำอัตราเร็วจะต่ำและที่ระยะโยกสูง อัตราเร็วก็จะสูงด้วย ซึ่งระดับของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพการคัดแยกโดยรวมเหมาะสมที่สุดคือ ความเร็วรอบ 70 รอบต่อนาที และระยะชัก 20 มิลลิเมตร ซึ่งมีประสิทธิภาพการคัดแยก 0.957 และ อัตราเร็ว 1.24 และมีค่าความต้องการตามเป้าหมายที่กำหนด เท่ากับ 0.906

6. เอกสารเอกสารอ้างอิง

[1] กรมส่งเสริมการเกษตร.*กาแฟพืชเศรษฐกิจ*.[ออนไลน์]. http://www.agriman.doae.go.th/home/t.n/t.n1/3fruit_Requirement/05_coffee.pdf (เข้าถึงเมื่อ 11 มกราคม 2567).

[2] กลุ่มสารสนเทศการเกษตร สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดแม่ฮ่องสอน. *ฐานข้อมูลเพื่อการวางแผนการผลิตสินค้าเกษตรจังหวัดแม่ฮ่องสอน*. [ออนไลน์]. https://www.opsmoac.go.th/mae - hongson-dwl-files-421591791144. (เข้าถึงเมื่อ 11 มกราคม 2567).

[3] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.*ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2566*.[ออนไลน์]. https://www. Oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดกาแฟ/TH – TH. (เข้าถึงเมื่อ 1 มีนาคม 2567)

[4] จรัล มงคลวัย และพิศมาส หวังดี. การศึกษาและพัฒนาเครื่องคัดแยกในการคัดแยกข้าวกล้องและข้าวเปลือกหอมทอง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 1 (พิเศษ) มกราคม-เมษายน 2554

[5] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร(องค์การมหาชน) การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องต้น แบบของเครื่องคัดขนาดเมล็ดสารกาแฟโรบัสต้าแบบตะแกรงหมุน[ออนไลน์] https://tarr.arda.or.th/preview/item/NxRuV3HvWaPOGKooHdH16

[6] Preeda Prakotmak, Sathaphon Wangchai. Discrete element simulation of brown rice and paddy rice on shaking separator machine. *Agriculture and Natural Resources.* Vol. 56 p. 1007–1018, 2022.

[7] Yu N Mekshun, D V Loparev, S G Lopareva and A V Fominykh. Experimental studies of grain material separation by a sieve track. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* Vol. 341, p. 012128, 2019.

[8] สุชาติ ธำรงสุข และวิชญาพร เครือเยี่ยม. การเพิ่มประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตมอลต์สกัด. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.* ปีที่ 33 ฉบับที่ 4, p.1-8 ต.ค. – ธ.ค. 2566.

[9] KeShun Liu. Some factors affecting sieving. Performance and efficiency. *Powder Technology*. Volume 193, Issue2, p.208-213. July 2009.

[10] K. JEZSÓ and P. PECIAR. Influence of The Selected Sieving Parameters on The Sieving Efficiency of Material MCC Avicel PH102. *Strojnicky casopis - Journal of MECHANICAL ENGINEERING.* Vol.72, No. 1, p.77-88, 2022.