NUEJ
NARESUAN UNIVERSITY
ENGINEERING JOURNAL

# การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลโดยใช้เทคนิค ECRS

# Process Improvement of Separating Seeds Roselle Using ECRS Technique

พีรวัตร ลือสัก[1*] สมควร สงวนแพง[2]

Peerawat Luesak[1*] Somkuan Sanguanpang[2]

[1*,2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120

[*]Corresponding author : Peerawat_ie@hotmail.com

**บทคัดย่อ**

การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล โดยใช้เทคนิคการปรับปรุงงาน (ECRS) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลา และลดของเสีย โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ คือ การศึกษางาน การจับเวลา แผนผังสาเหตุและผล เทคนิคการปรับปรุงงานเพื่อลดความสูญเปล่า ECRS ซึ่งเวลาการทำงานของกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ก่อนการปรับปรุง คือ 214.34 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อคน ผลกระเจี๊ยบแดงไม่เสียรูปทรง เฉลี่ยร้อยละ 94.97 เมื่อวิเคราะห์ผลด้วยแผนผังสาเหตุและผล พบปัญหาของกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลที่ใช้ระยะเวลานาน และขาดเครื่องมือช่วยในการทำงาน ดังนั้นจึงปรับปรุงวิธีการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล โดยใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง และเทคนิคการปรับปรุงงาน ECRS ใช้ระยะเวลา 57.25 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อเครื่อง ผลกระเจี๊ยบแดงไม่เสียรูปทรง เฉลี่ยร้อยละ 99.51 จากผลดังกล่าวทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล คิดเป็นร้อยละ 73.29

คำสำคัญ : เทคนิค ECRS, กระบวนการคัดแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดง, เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง

**Abstract**

The performance of Roselle seed separation process was improved by ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, and Simplify) technique. This study aimed to reduce the time and the defect of this process by implement engineering techniques including work study, time study, cause and effect diagram and ECRS technique. The preliminary data has been collected. The current processing time of seed separation took 714.34 second per kilogram, and the productivity of 94.97 percentage. The analysis of cause and effect diagram presents that the problems of this study process were labor time consuming, and lack of supporting equipment. Therefore, the Roselle seed separation method was improved by the punching Roselle seed machine and ECRS technique. The result showed that the processing time took only 57.25 second per kilogram, and the productivity of 99.51 percentage. Finally, the study can increase the Roselle seed separation process efficiency to be 73.29 percentage.

Keywords: ECRS technique, Roselle Seed Separation Process, Roselle Seed Separation Machine

## 1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการบริโภคกระเจี๊ยบแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากกระเจี๊ยบแดงเป็นพืชสมุนไพรที่มีสรรพคุณเป็นยาระบาย ขับปัสสาวะ ช่วยขับพยาธิตัวจี๊ด ช่วยรักษาโรคกระเพาะ ลำไส้อักเสบ สามารถลดคอเลสเตอรอล และแอลดีแอล ความดันเลือดขณะหัวใจบีบตัว อีกทั้งยังบริโภคได้ตั้งแต่ ใบอ่อน ยอด ผลอ่อน ผลแห้ง เมล็ด กลีบเลี้ยงสีแดง [1, 2] จากการศึกษาการแปรรูป ผลกระเจี๊ยบแดงสด และผลกระเจี๊ยบแดงแห้ง ต้องผ่านกระบวนการนำเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ซึ่งต้องใช้ระยะเวลา และความชำนาญ โดยมีความต้องการกระเจี๊ยบแดงแห้งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ ทำเป็นชากระเจี๊ยบแดง และผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงอบแห้ง ทั้งนี้กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล

ใช้อุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นแท่ง กระทุ้ง แทง หรือคว้านบริเวณขั้วของผลกระเจี๊ยบแดง เพื่อนำเมล็ดออก และต้องคงรูปผล เป็นการเพิ่มมูลค่าของผลกระเจี๊ยบแดง จากการศึกษาพบปัญหาพนักงานมีไม่เพียงพอต่อกระบวนการนำเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล และ ขาดเครื่องมือจึงทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน ส่งผลให้มีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงหาแนวทางการแก้ไขปัญหา โดยศึกษาจากงานวิจัยทางด้านการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการบรรจุภัณฑ์ [3] และการประกอบทางวิศวกรรมประยุกต์เพื่อการปรับปรุงสมดุลสายการผลิต [4] รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของสายการประกอบ โดยใช้หลักการศึกษาการทำงาน [5] อีกทั้งได้นำแนวคิดการวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบแบบโซ่อุปทาน [6] พบว่างานวิจัยมีประสิทธิภาพด้านการปรับสมดุลกระบวนการผลิต การหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา และลดระยะเวลาการทำงาน นอกจากนี้ยังศึกษาจากการปรับปรุงขั้นตอนของกระบวนการเชื่อมระหว่างคนและเครื่องเชื่อมใต้ฟลักซ์ [7] การศึกษาการเพิ่มผลผลิตของโรงงานผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูง และต่ำ [8] รวมถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้โดยใช้เทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหว และเวลา [9] และการเพิ่มผลิตภาพการผลิตเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม [10] ซึ่งลดความซับซ้อนของการทำงาน การแก้ปัญหาคอขวด จัดสมดุลกระบวนการผลิต และกำจัดกระบวนการที่ไม่สำคัญออกจากกระบวนการผลิต อีกทั้งการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงการทำงานระบบการผลิต [11] และการปรับปรุงสายการผลิตผลิตน้ำดื่ม [12] ตลอดจนการปรับปรุงอัตราการผลิตสายการประกอบ [13] สามารถลดเวลาว่างของเครื่องจักร ลดระยะเวลาการทำงาน เพิ่มกำลังการผลิตจากการศึกษางานวิจัยสามารถลดระยะเวลา และลดของเสีย ในกระบวนการนำเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล โดยใช้การวิเคราะห์แผนผังสาเหตุและผล อีกทั้งนำเทคนิคการปรับปรุงงาน ECRS (Elimination, Combine, Rearrange, Simplify) ลดความซับซ้อนของการทำงาน การกำจัดกระบวนการที่ไม่สำคัญออกจากกระบวนการผลิตสามารถลดการทำงานที่ไม่จำเป็นลง การผลิตทำได้เร็วขึ้น การจัดขั้นตอนการผลิตใหม่ เพื่อลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น การปรับปรุงการทำงานให้ง่าย และสะดวกขึ้น โดยออกแบบอุปกรณ์นำเจาะ และจับชิ้นงาน (Jig and Fixture) เข้าช่วยในการทำงาน เพื่อให้การทำงานสะดวกและแม่นยำมากขึ้น สามารถลดของเสียลงได้เพิ่มประสิทธิภาพให้ได้ปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลได้

อย่างไรก็ตามงานวิจัยการออกแบบ และพัฒนาเครื่องอัดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ [14] กระบวนการแยกเมล็ดปาล์มโดยจานหมุน [15] การใช้นิวเมติกส์สำหรับการคว้านเมล็ดมะขามป้อม [16] การออกแบบและพัฒนาเครื่องเจาะเมล็ดมะขามป้อม [17] และการออกแบบ และการพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แบบกึ่งอัตโนมัติ[18] ซึ่งสนับสนุนแนวคิดการแก้ปัญหาด้วยการพัฒนาเครื่องมือช่วยในงานวิจัย เพื่อลดความเมื่อยล้า เพิ่มผลผลิตที่มีคุณภาพต่อกระบวนการนำเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล

ด้วยเหตุนี้งานวิจัยจึงได้นำเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ ได้แก่ การศึกษางาน การจับเวลา การวิเคราะห์สาเหตุและผล ตลอดจนนำเทคนิคการปรับปรุงงาน เพื่อลดความสูญเปล่า ECRS (Elimination, Combine, Rearrange, Simplify) และเครื่องมือช่วยในการทำงาน เพื่อช่วยลดระยะเวลาของกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ลดต้นทุนในการจ้างแรงงาน ประหยัดเวลา เพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ปฏิบัติงาน เพิ่มประสิทธิภาพของการผลิต เพื่อตอบสนองความต้องการทางตลาด รวมถึงสามารถนำวิธีการ หรือเทคโนโลยีไปถ่ายทอดเพื่อการพัฒนาชุมชน กลุ่มเกษตรกร อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์

## 2. วิธีการดำเนินงาน

*2.1 การศึกษา และเก็บข้อมูล*

การศึกษาข้อมูลของกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล เพื่อนำข้อมูลที่ได้เป็นองค์ประกอบสำหรับการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยมีวัตถุประสงค์สามารถลดระยะเวลา และผลกระเจี๊ยบแดงต้องไม่เสียรูปทรง

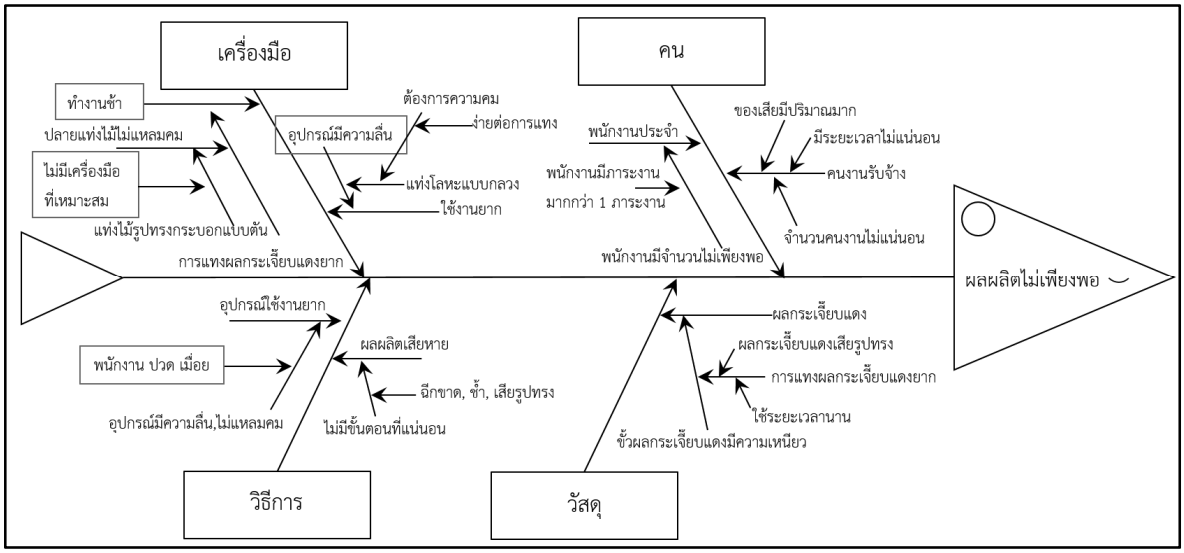
*2.2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา*

กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล นำเครื่องมือในการวิเคราะห์สาเหตุ และผล คือ แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ดังรูปที่ 1 โดยที่กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลแบบเดิมพนักงานใช้อุปกรณ์ตามความถนัด แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ แท่งทรงกระบอกแบบตัน และแท่งทรงกระบอกแบบกลวง เป็นอุปกรณ์สำหรับการแทง เพื่อนำเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ซึ่งกระบวนการทำงานพนักงานหยิบผลกระเจี๊ยบด้วยมือ และใช้แท่งทรงกระบอกแทงที่ขั้วของผล

กระเจี๊ยบแดง และดันให้เมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ดังรูปที่ 2 หากพนักงานหยิบผลกระเจี๊ยบแดงที่มีขนาดเล็ก จะไม่สามารถแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงได้ทำให้เสียระยะเวลาของการแยกเมล็ด และการนำผลกระเจี๊ยบแดงนั้นไปวางไว้อีกตะกร้า เพื่อรอการแปรรูปในกระบวนการอื่นต่อไป

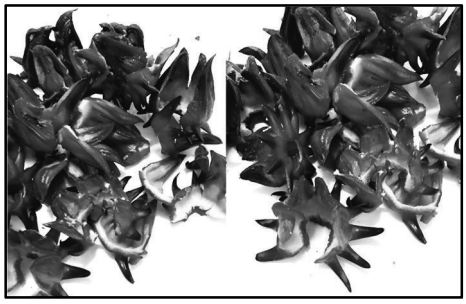
ดังนั้นจากการศึกษาพบว่าปัญหาที่สามารถแก้ไข เพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตกระเจี๊ยบแดง คือ การแก้ปัญหาอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน เนื่องจากส่วนปลายของอุปกรณ์ที่ใช้แทงไม่มีความคม และอุปกรณ์ที่มีความคมทำงานได้รวดเร็วและง่าย แต่มีความลื่น ทำให้พนักงานเกิดความปวดเมื่อย บริเวณนิ้วมือ และมือ ผลกระเจี๊ยบแดงเสียรูปทรง ดังรูปที่ 3 จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณผลกระเจี๊ยบแดงมีไม่เพียงพอ

จากข้อมูลข้างต้น แก้ปัญหาโดยใช้หลักการศึกษางานเพื่อปรับปรุงแก้ไข ให้พนักงานเปลี่ยนอุปกรณ์ ในกระบวนการแทง ผลกระเจี๊ยบแดงเป็นแท่งโลหะที่มีความคม ใส่ปลอกกันลื่น และคัดขนาด จัดวางผลกระเจี๊ยบแดง ให้พร้อมกับการหยิบ จากนั้นทดลองกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล โดยใช้มือ จำนวน 20 ครั้ง ครั้งละ 1 กิโลกรัม ผลกระเจี๊ยบแดง ไม่เสียรูปทรงเฉลี่ยร้อยละ 94.97 ใช้ระยะเวลาเฉลี่ย 214.34 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อคน ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงได้ศึกษาเพิ่มเติม โดยนำแนวคิดของงานวิจัยด้านการออกแบบ และพัฒนา เพื่อให้สามารถลดระยะเวลาของกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล และผลกระเจี๊ยบแดงไม่เสียรูปทรง ดังรูปที่ 4

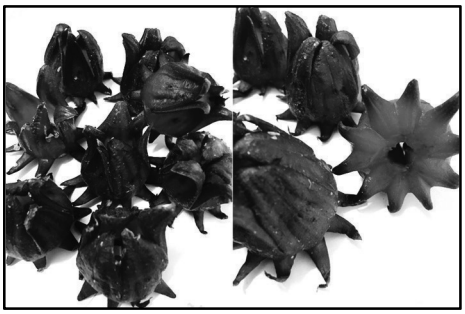



**รูปที่ 1** การวิเคราะห์สาเหตุด้วยแผนผังสาเหตุและผล

**รูปที่ 2** การใช้มือกระทุ้งเอาเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล



**รูปที่ 3** ผลกระเจี๊ยบแดงที่เสียรูปทรง

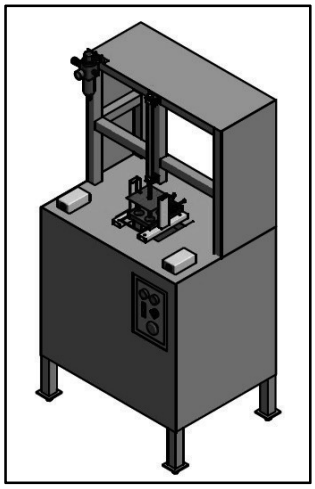


**รูปที่ 4** ผลกระเจี๊ยบแดงที่ไม่เสียรูปทรง

*2.3 การออกแบบ และการสร้างเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง*

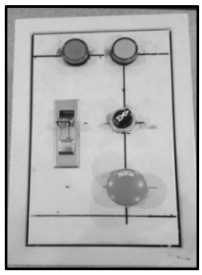
จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) พนักงานมีจำนวนน้อย อีกทั้งเครื่องมือยังต้องใช้แรงงานคน ทำให้เกิดความเมื่อยล้า จึงนำแนวคิดการสร้างเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ให้มีความสะดวก รวดเร็ว แม่นยำ เป็นแนวทางของการเพิ่มปริมาณผลกระเจี๊ยบแดง มีส่วนประกอบที่สำคัญ 7 ส่วนคือ

1. เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง คือ ส่วนประกอบหลักที่สำคัญเป็นโครงสร้างของกระบวนการปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงขึ้นรูปด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า ดังรูปที่ 5

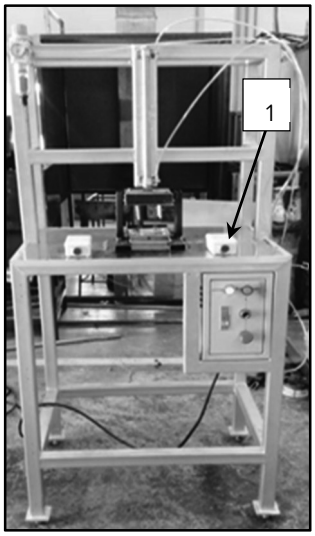


**รูปที่ 5** เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง

2. ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า และนิวเมติกส์ ดังรูปที่ 6 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้า และการทำงานของระบบนิวเมติกส์ควบคุมชุดกระบอกส่งกำลัง โดยชุดควบคุมกระบอกส่งกำลังเคลื่อนที่ขึ้น - ลง ออกแบบเพื่อป้องกันอันตราย ผู้ปฏิบัติต้องกดปุ่ม ทั้ง 2 ข้างพร้อมกัน (ดังแสดงในหมายเลข 1 ดังรูปที่ 7 ) เพื่อปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง ดังรูปที่ 7



**รูปที่ 6** ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า และนิวเมติกส์

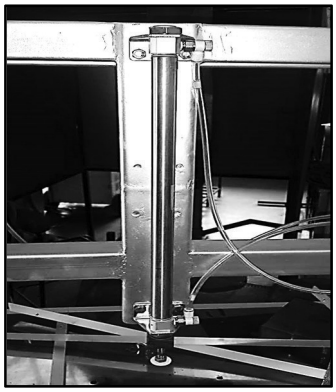



**รูปที่ 7** โครงของเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง และชุดควบคุมการปั๊ม

3. ชุดควบคุมระดับแรงดันลมเป็นส่วนประกอบการปรับแรงดันลม ก่อนส่งไปยังกระบอกส่งกำลัง ทำหน้าที่เพิ่มหรือลดแรงดันลม และควบคุมแรงดันลมให้คงที่สำหรับการปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง ดังรูปที่ 8

**รูปที่ 8** ชุดควบคุมระดับแรงดันลม

4. กระบอกส่งกำลังทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกล ส่งกำลังไปชุดแผ่นปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง ดังรูปที่ 9

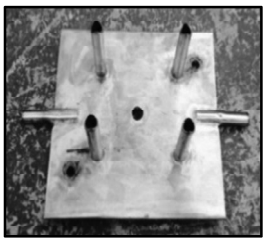


**รูปที่ 9** กระบอกส่งกำลัง

5. ฐานวางผลกระเจี๊ยบแดงเป็นอุปกรณ์ที่วางผลกระเจี๊ยบแดง ใส่ลงในฐานวาง เพื่อรอการปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง ดังรูปที่ 10

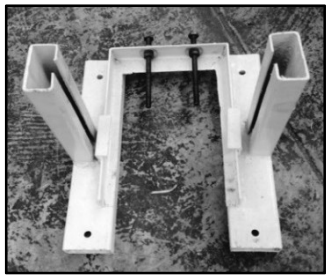
**รูปที่ 10** ฐานวางผลกระเจี๊ยบแดง

6. แผ่นปั๊มกระเจี๊ยบแดงเป็นอุปกรณ์ที่ปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงดังรูปที่ 11 เมล็ดจะตกในตะกร้าที่เตรียมไว้ทางด้านล่าง



**รูปที่ 11** แผ่นปั๊มกระเจี๊ยบแดง

7. ชุดประคองแผ่นกดเมล็ดกระเจี๊ยบแดงเป็นอุปกรณ์ที่ทำขึ้นหลังจากได้นำเทคนิคการปรับปรุงงาน เพื่อลดความสูญเปล่า ECRS ( Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) เพื่อสะดวกต่อการจัดวางของอุปกรณ์ฐานวางผลกระเจี๊ยบแดง และแผ่นปั๊มกระเจี๊ยบแดง ให้ตรงตำแหน่งกัน ดังรูปที่ 12



**รูปที่ 12** ชุดประคองการปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง

**รูปที่ 13** ลักษณะการปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง

*2.4 วิธีทดลองกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล*

กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล มีวิธีการทดลองแบ่งออกเป็น 2 วิธีการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

*2.4.1 กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยมือ*

การทดลองให้พนักงานประจำทั้งหมด 4 คน ใช้แท่งโลหะที่มีความคม ใส่ปลอกกันลื่น และคัดขนาด จัดวางผลกระเจี๊ยบแดง ให้สะดวกต่อการหยิบ จากนั้นพนักงานทั้ง 4 คน ทดลองการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ทดลองครั้งละ 1 กิโลกรัม จำนวน 20 ครั้ง และบันทึกผล การจับระยะเวลา ปริมาณผลกระเจี๊ยบแดงที่ไม่เสียรูปทรง และผลกระเจี๊ยบแดงที่เสียรูปทรง ของกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงในแต่ละครั้ง เมื่อทดลองครบ 20 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยของระยะเวลาให้มีหน่วยเท่ากัน คือ ระยะเวลาต่อกิโลกรัมต่อคน และค่าเฉลี่ยของผลกระเจี๊ยบแดงไม่เสียรูปทรง

*2.4.2 กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง*

*1. เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิม*

การทดลองใช้พนักงานประจำทั้งหมด 2 คน โดยพนักงานคนแรกทำหน้าที่เรียงผลกระเจี๊ยบแดงใส่ในฐานวางผลกระเจี๊ยบ ดังรูปที่ 10 และพนักงานคนที่ 2 หาตำแหน่งการวางฐานวางผลกระเจี๊ยบ และ กดชุดควบคุมการปั๊มกระเจี๊ยบแดง

ทดลองครั้งละ 1 กิโลกรัม จำนวน 20 ครั้ง และบันทึกผลการจับระยะเวลา ปริมาณผลกระเจี๊ยบแดงที่ไม่เสียรูปทรง และผลกระเจี๊ยบแดงที่เสียรูปทรง ของกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงในแต่ละครั้ง เมื่อทดลองครบ 20 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยของระยะเวลาให้มีหน่วยเท่ากัน คือ ระยะเวลาต่อกิโลกรัมต่อคน และค่าเฉลี่ยของผลกระเจี๊ยบแดงไม่เสียรูปทรง

*2. เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนา*

การทดลองใช้พนักงานประจำทั้งหมด 2 คน โดยพนักงานคนแรกทำหน้าที่เรียงผลกระเจี๊ยบแดงใส่ในฐานวางผลกระเจี๊ยบ ดังรูปที่ 10 และพนักงานคนที่ 2 กดชุดควบคุมการปั๊มกระเจี๊ยบแดง ซึ่งเครื่องปั๊มที่พัฒนาไม่ต้องหาตำแหน่งการวางฐานวางผลกระเจี๊ยบ ดังรูปที่ 13 ทดลองครั้งละ 1 กิโลกรัม จำนวน 20 ครั้ง และบันทึกผล การจับระยะเวลา ปริมาณผลกระเจี๊ยบแดงที่ไม่เสียรูปทรง และผลกระเจี๊ยบแดงที่เสียรูปทรง ของกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดง ในแต่ละครั้ง เมื่อทดลองครบ 20 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยของระยะเวลาให้มีหน่วยเท่ากัน คือ ระยะเวลาต่อกิโลกรัมต่อคน และค่าเฉลี่ยของผลกระเจี๊ยบแดงไม่เสียรูปทรง

*2.5 วิธีการเก็บตัวอย่างการคำนวณ และการตั้งสมมติฐาน*

*2.5.1 การเลือกสุ่มตัวอย่าง (Sampling Process)*

การเลือกสุ่มตัวอย่าง เป็นการสุ่มตัวอย่างรูปแบบหนึ่งของข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากความแปรปรวนของงาน ความเร็วของพนักงานในการทำงาน และอื่นๆ เพื่อให้จำนวนครั้งของการทดลองกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ให้มีความเชื่อถือ ที่ระดับความเชื่อถือร้อยละ 95 สามารถคำนวณจากสมการต่อไปนี้ [19]

$$N = \left[ 40 \frac{\sqrt{n\Sigma Xi^2 - (\Sigma Xi)^2}}{\Sigma Xi} \right]^2 \qquad (1)$$

เมื่อ N = จำนวนข้อมูลที่แท้จริงของการศึกษา

n = จำนวนข้อมูลที่เก็บตัวอย่างของการศึกษา

$X_i$ = ค่าเวลาที่อ่านได้ของแต่ละงานย่อย

*2.5.2. การตั้งสมมติฐานความแตกต่างของค่าเฉลี่ย*

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติมีตัวแปรที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ดังนี้

ตัวแปรต้น คือ กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล มี 3 วิธี คือ การใช้มือ (Hands) การใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิม (MC 1) และการใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนา (MC 2)

ตัวแปรตามคือ ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล

ตัวแปรที่วัดผล คือ ผลของกระเจี๊ยบแดงต้องไม่เสียรูปทรง

1. การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระยะเวลา ในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ระหว่างการใช้มือกับการใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิม สมมติฐานของการทดสอบดังนี้

ตั้งสมมติฐานหลัก $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

ตั้งสมมติฐานรอง $H_1 : \mu_1 > \mu_2$

2. การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระยะเวลาในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ระหว่างการใช้มือกับการใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนา สมมติฐานของการทดสอบดังนี้

ตั้งสมมติฐานหลัก $H_0 : \mu_1 = \mu_3$

ตั้งสมมติฐานรอง $H_1 : \mu_1 > \mu_3$

3. การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระยะเวลา ในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ระหว่างการใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิมกับการใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนา สมมติฐานของการทดสอบดังนี้

ตั้งสมมติฐานหลัก $H_0 : \mu_2 = \mu_3$

ตั้งสมมติฐานรอง $H_1 : \mu_2 > \mu_3$

กำหนดตัวแปรให้

$\mu_1$ = ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยมือ

$\mu_2$ = ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิม

$\mu_3$ = ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนา

กำหนดให้ทุกสมมติฐานของค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล เมื่อกำหนดให้ค่าระดับนัยสำคัญ($\alpha$) เท่ากับ 0.05 ที่ระดับความเชื่อถือร้อยละ 95

**3. ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูล**

ผลการทดลองการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยมือ เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิม และเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนา มีผลการทดลองดังนี้

*3.1 ผลการทดลองการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดง*

**ตารางที่ 1** ระยะเวลากระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดง ด้วยมือ

| ครั้งที่ | เวลาที่ใช้ (s) | เมล็ด (kg) | ไม่เสียรูปทรง (kg) | เสียรูปทรง (kg) | ไม่เสียรูปทรงร้อยละ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 199.76 | 0.367 | 0.600 | 0.033 | 96.70 |
| 2 | 219.71 | 0.351 | 0.593 | 0.056 | 94.40 |
| 3 | 187.34 | 0.375 | 0.577 | 0.048 | 95.20 |
| 4 | 217.06 | 0.364 | 0.572 | 0.064 | 93.60 |
| 5 | 223.02 | 0.360 | 0.555 | 0.085 | 91.50 |
| 6 | 203.78 | 0.379 | 0.590 | 0.031 | 96.90 |
| 7 | 216.43 | 0.351 | 0.574 | 0.075 | 92.50 |
| 8 | 229.03 | 0.343 | 0.571 | 0.086 | 91.40 |
| 9 | 220.66 | 0.376 | 0.533 | 0.091 | 90.90 |
| 10 | 223.18 | 0.367 | 0.611 | 0.022 | 97.80 |
| 11 | 210.65 | 0.312 | 0.653 | 0.035 | 96.50 |
| 12 | 207.34 | 0.328 | 0.650 | 0.022 | 97.80 |
| 13 | 233.30 | 0.336 | 0.610 | 0.054 | 94.60 |
| 14 | 200.63 | 0.312 | 0.652 | 0.036 | 96.40 |
| 15 | 209.86 | 0.372 | 0.585 | 0.043 | 95.70 |
| 16 | 215.03 | 0.324 | 0.646 | 0.030 | 97.00 |
| 17 | 229.82 | 0.283 | 0.660 | 0.057 | 94.30 |
| 18 | 200.75 | 0.387 | 0.592 | 0.021 | 97.90 |
| 19 | 202.48 | 0.408 | 0.555 | 0.037 | 96.30 |
| 20 | 237.02 | 0.399 | 0.520 | 0.081 | 91.90 |
| **ค่าเฉลี่ย** | **214.34** | **0.35** | **0.59** | **0.05** | **94.97** |
| **SD** | **13.00** | **0.03** | **0.04** | **0.02** | **2.32** |

จากตารางที่ 1 การหาจำนวนครั้งของการทดลองกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยมือ คำนวณจากสมการที่ 1 ได้ค่า N = 5.595 ครั้ง หรือ 6 ครั้ง แสดงว่าการเก็บข้อมูล มีความเพียงพอต่อการวิเคราะห์หาจำนวนครั้งการทดลอง ที่ระดับความน่าเชื่อถือของข้อมูลร้อยละ 95 ใช้ระยะเวลาการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล เฉลี่ย 214.34 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อคน ผลกระเจี๊ยบแดงไม่เสียรูปทรง เฉลี่ยร้อยละ 94.97

**ตารางที่ 2** ระยะเวลากระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงด้วยเครื่องแบบเดิม

| ครั้งที่ | เวลาที่ใช้ (s) | เมล็ด (kg) | ไม่เสียรูปทรง (kg) | เสียรูปทรง (kg) | ไม่เสียรูปทรงร้อยละ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 142.63 | 0.412 | 0.535 | 0.053 | 94.70 |
| 2 | 153.68 | 0.409 | 0.564 | 0.027 | 97.30 |
| 3 | 166.73 | 0.403 | 0.597 | 0.000 | 100.00 |
| 4 | 161.33 | 0.408 | 0.592 | 0.000 | 100.00 |
| 5 | 162.45 | 0.307 | 0.678 | 0.015 | 98.50 |
| 6 | 141.12 | 0.310 | 0.627 | 0.063 | 93.70 |
| 7 | 167.60 | 0.305 | 0.695 | 0.000 | 100.00 |
| 8 | 152.87 | 0.368 | 0.617 | 0.015 | 98.50 |
| 9 | 154.42 | 0.386 | 0.599 | 0.015 | 98.50 |
| 10 | 138.20 | 0.372 | 0.583 | 0.045 | 95.50 |
| 11 | 154.98 | 0.395 | 0.557 | 0.048 | 95.20 |
| 12 | 159.77 | 0.357 | 0.633 | 0.010 | 99.00 |
| 13 | 165.47 | 0.362 | 0.638 | 0.000 | 100.00 |
| 14 | 147.94 | 0.384 | 0.578 | 0.038 | 96.20 |
| 15 | 152.89 | 0.385 | 0.590 | 0.025 | 97.50 |
| 16 | 164.30 | 0.300 | 0.700 | 0.000 | 100.00 |
| 17 | 146.75 | 0.296 | 0.704 | 0.000 | 100.00 |
| 18 | 164.27 | 0.321 | 0.679 | 0.000 | 100.00 |
| 19 | 153.18 | 0.326 | 0.651 | 0.023 | 97.70 |
| 20 | 132.98 | 0.380 | 0.550 | 0.070 | 93.00 |
| **ค่าเฉลี่ย** | **154.18** | **0.36** | **0.62** | **0.02** | **97.77** |
| **SD** | **10.07** | **0.04** | **0.05** | **0.02** | **2.31** |

จากตารางที่ 2 การหาจำนวนครั้งของการทดลองกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยเครื่องแบบเดิม คำนวณจากสมการที่ 1 ได้ค่า N = 6.490 ครั้ง หรือ 7 ครั้ง แสดงว่าการเก็บข้อมูล มีความเพียงพอต่อการวิเคราะห์หาจำนวนครั้งการทดลอง ที่ระดับความน่าเชื่อถือของข้อมูลร้อยละ 95 ใช้ระยะเวลาการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล เฉลี่ย 154.18 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อเครื่อง ผลกระเจี๊ยบแดงไม่เสียรูปทรง เฉลี่ยร้อยละ 97.77

**ตารางที่ 3** ระยะเวลากระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงด้วยเครื่องที่พัฒนา

| ครั้งที่ | เวลาที่ใช้ (s) | เมล็ด (kg) | ไม่เสียรูปทรง (kg) | เสียรูปทรง (kg) | ไม่เสียรูปทรงร้อยละ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 55.76 | 0.303 | 0.684 | 0.013 | 98.70 |
| 2 | 62.39 | 0.363 | 0.637 | 0.000 | 100.00 |
| 3 | 53.60 | 0.276 | 0.724 | 0.000 | 100.00 |
| 4 | 54.83 | 0.416 | 0.584 | 0.000 | 100.00 |
| 5 | 58.01 | 0.307 | 0.693 | 0.000 | 100.00 |
| 6 | 59.45 | 0.368 | 0.632 | 0.000 | 100.00 |
| 7 | 55.42 | 0.276 | 0.706 | 0.018 | 98.20 |
| 8 | 55.51 | 0.323 | 0.665 | 0.012 | 98.80 |
| 9 | 60.89 | 0.321 | 0.679 | 0.000 | 100.00 |
| 10 | 56.07 | 0.364 | 0.626 | 0.010 | 99.00 |
| 11 | 55.26 | 0.270 | 0.714 | 0.016 | 98.40 |
| 12 | 57.42 | 0.300 | 0.690 | 0.010 | 99.00 |
| 13 | 54.11 | 0.260 | 0.740 | 0.000 | 100.00 |
| 14 | 63.29 | 0.320 | 0.680 | 0.000 | 100.00 |
| 15 | 52.00 | 0.263 | 0.737 | 0.000 | 100.00 |
| 16 | 53.93 | 0.272 | 0.728 | 0.000 | 100.00 |
| 17 | 60.46 | 0.404 | 0.596 | 0.000 | 100.00 |
| 18 | 61.25 | 0.407 | 0.583 | 0.010 | 99.00 |
| 19 | 56.95 | 0.387 | 0.603 | 0.010 | 99.00 |
| 20 | 58.30 | 0.372 | 0.628 | 0.000 | 100.00 |
| **ค่าเฉลี่ย** | **57.25** | **0.33** | **0.67** | **0.00** | **99.51** |
| **SD** | **3.17** | **0.05** | **0.05** | **0.01** | **0.65** |

จากตารางที่ 3 การหาจำนวนครั้งของการทดลองกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยเครื่องที่พัฒนา คำนวณจากสมการที่ 1 ได้ค่า N = 4.655 ครั้ง หรือ 5 ครั้ง แสดงว่าการเก็บข้อมูล มีความเพียงพอต่อการวิเคราะห์หาจำนวนครั้งการทดลอง ที่ระดับความน่าเชื่อถือของข้อมูลร้อยละ 95 ใช้ระยะเวลาการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล เฉลี่ย 57.25 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อเครื่อง ผลกระเจี๊ยบแดงไม่เสียรูปทรง เฉลี่ยร้อยละ 99.51

*3.2 ผลการปรับปรุงกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล*

การใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิม มีปริมาณการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงนำเทคนิคการปรับปรุงงาน ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ โดยนำอุปกรณ์มารวมกัน (Combine) และปรับการทำงานให้ง่าย (Simplify) โดยมีข้อมูลดังนี้

*3.2.1 กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลก่อนการปรับปรุง*

กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลก่อนการปรับปรุง ใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง มีชุดปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง 2 ขนาด คือ แบบ 2 หัวกด และ 4 หัวกด จากการทดลอง ขนาด 2 หัวกด ทำงานได้ช้ากว่า 4 หัวกด ใช้พนักงาน 2 คน คนแรกทำหน้าที่เรียงผลกระเจี๊ยบแดงใส่ในฐานวางผล คนที่สองทำหน้าที่ปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง ใช้ระยะเวลาเฉลี่ย 154.18 วินาทีต่อกิโลกรัม ผลกระเจี๊ยบแดงไม่เสียรูปทรงเฉลี่ยร้อยละ 97.77 ดังตารางที่ 4 กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลก่อนการปรับปรุง

**ตารางที่ 4** กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลก่อนการปรับปรุง

| กระบวนการ | ก่อนการปรับปรุง | จำนวนพนักงาน | เวลา (วินาที) |
|---|---|---|---|
| Combine; C ชุดปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง แบบ 4 หัวกด รายละเอียดดังรูปที่ 14 และ 15 | | 2 คน | 154.18 |

*3.2.2 กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลหลังการปรับปรุง*

กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลหลังการปรับปรุง ใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนา โดยนำเทคนิคการปรับปรุงงาน ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) มาประยุกต์ใช้สามารถนำอุปกรณ์มารวมกัน (Combine) และออกแบบการทำงานให้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว (Simplify) มีรายละเอียดดังนี้

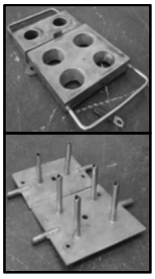
1. การรวมกันของชุดปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง (Combine; C) แบบ 2 หัวกด และ 4 หัวกด นำทั้ง 2 แบบ มารวมกันเป็น 6 หัวกด สามารถลดระยะเวลาได้ ดังตารางที่ 5 กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลหลังการปรับปรุง

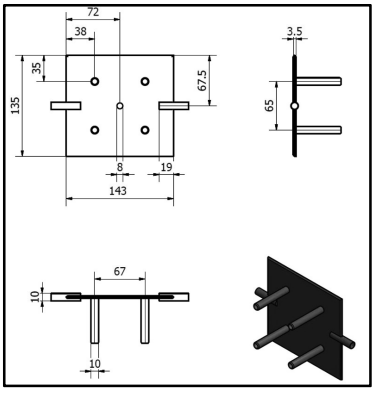
2. การทำให้ง่าย สะดวก และรวดเร็วขึ้น (Simplify; S) จากเดิมชุดปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงวางไว้ตรงกลาง

ไม่มีอุปกรณ์จับยึดตำแหน่ง ทำให้เสียเวลาการวางตำแหน่ง แก้ไขโดยออกแบบอุปกรณ์ช่วยจับ (Fixture) ดังรูปที่ 16 เพื่อให้การทำงานสะดวก และแม่นยำมากขึ้น สามารถลดการเคลื่อนที่และลดการทำงานที่ไม่จำเป็นลดระยะเวลา ปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 5 กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล หลังการปรับปรุง

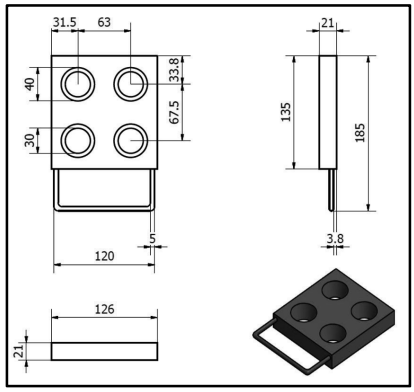
ดังนั้นเทคนิคการปรับปรุงงาน ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) สามารถปรับปรุงการแยกเมล็ดออกจากผลกระเจี๊ยบแดงให้ง่าย และสะดวก โดยออกแบบอุปกรณ์ช่วยจับ (Fixture) ช่วยการทำงาน เพื่อการทำงานสะดวก และแม่นยำมากขึ้น ลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น และลดการทำงานที่ไม่จำเป็น สามารถแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ใช้ระยะเวลาเฉลี่ย 57.25 วินาทีต่อกิโลกรัมผลกระเจี๊ยบแดงไม่เสียรูปทรง เฉลี่ยร้อยละ 99.51

**ตารางที่ 5** กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล หลังการปรับปรุง

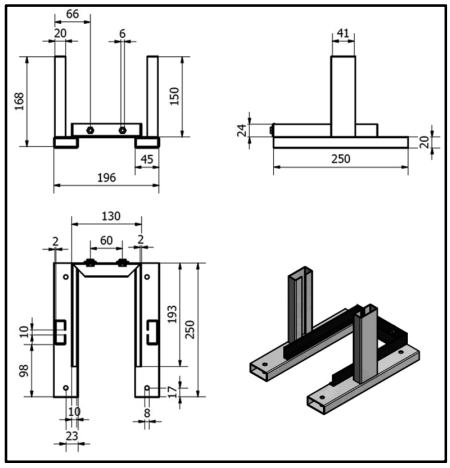
| กระบวนการ | หลังการปรับปรุง | จำนวนพนักงาน | เวลา (วินาที) |
|---|---|---|---|
| Combine; C ชุดปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง แบบ 6 หลุม |  | 2 คน | 57.25 |
| Simplify; S ชุดประคองการปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง | | | |




**รูปที่ 14** รายละเอียดของแผ่นปั๊มกระเจี๊ยบแดงแบบ 4 หลุม




**รูปที่ 15** รายละเอียดของฐานวางผลกระเจี๊ยบแดงแบบ 4 หลุม




**รูปที่ 16** รายละเอียดของชุดประคองการปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง

*3.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูล*

3.3.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระยะเวลาในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ระหว่างการใช้มือกับการใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิม มีผลการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 17

**Two-Sample T-Test and CI: Hands, MC 1**

**Two-sample T for Hands vs MC 1**

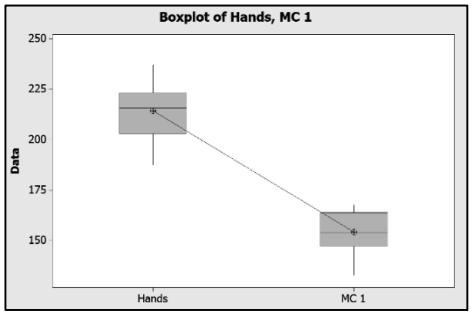
| | N | Mean | StDev | SE Mean |
|---|---|---|---|---|
| Hands | 20 | 214.3 | 13.0 | 2.9 |
| MC 1 | 20 | 154.2 | 10.1 | 2.3 |

**Difference = mu (Hands) - mu (MC 1)**
**Estimate for difference: 60.16**
**95% CI for difference: (52.70, 67.63)**
**T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 16.36 P-Value = 0.000**

**รูปที่ 17** ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระยะเวลา ระหว่าง Hands กับ MC 1

การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระยะเวลาในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ระหว่างการใช้มือกับการใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิม ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ ($\alpha$) เท่ากับ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ($H_0$) และยอมรับสมมติ

ฐานรอง ($H_1$) นั้นหมายความว่า กระบวนการมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ซึ่งมีค่าเฉลี่ยระยะเวลาของกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงด้วยมือ มากกว่าการใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อถือร้อยละ 95




**รูปที่ 18** แผนภูมิ Boxplot ระหว่าง Hands กับ MC1

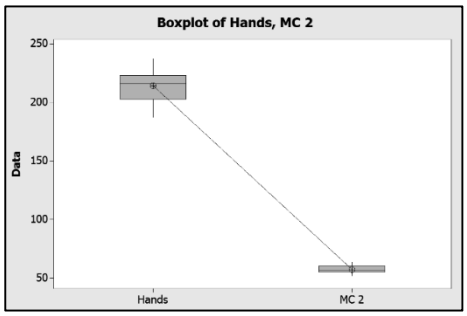
จากรูปที่ 18 การวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ Boxplot กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยมือ มีระยะเวลาการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดง อยู่ในช่วง 205 – 225 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อคน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดง 214.34 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อคน และกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ด้วยเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิม มีระยะเวลาการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดง อยู่ในช่วง 148 – 170 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อเครื่อง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดง 154.18 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อเครื่อง แสดงว่าค่าเฉลี่ยระยะเวลาของเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิมเร็วกว่าการใช้มือ

3.2.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระยะเวลาในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ระหว่างการใช้มือกับการใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนา ดังรูปที่ 19

```
Two-Sample T-Test and CI: Hands, MC 2

Two-sample T for Hands vs MC 2

        N   Mean  StDev  SE Mean
Hands  20  214.3   13.0      2.9
MC 2   20  57.25   3.17     0.71


Difference = mu (Hands) - mu (MC 2)
Estimate for difference:  157.10
95% CI for difference:  (150.87, 163.32)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 52.49  P-Value = 0.000
```

**รูปที่ 19** ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระยะเวลา ระหว่าง Hands กับ MC2

การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระยะเวลาในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ระหว่างการใช้มือกับการใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนา ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ ($\alpha$) เท่ากับ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ($H_0$) และยอมรับสมมติฐานรอง ($H_1$) นั้นหมายความว่า กระบวนการมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ซึ่งมีค่าเฉลี่ยระยะเวลาของกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงด้วยมือ มากกว่าการใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนาอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อถือร้อยละ 95




**รูปที่ 20** แผนภูมิ Boxplot ระหว่าง Hands กับ MC2

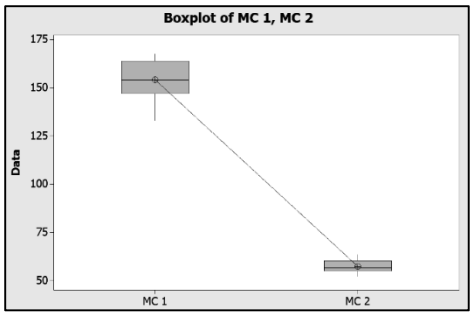
จากรูปที่ 20 การวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ Boxplot กระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยมือ มีระยะเวลาการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดง อยู่ในช่วง 205 – 225 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อคน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดง 214.34 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อคน และกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ด้วยเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนา มีระยะเวลาการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงอยู่ในช่วง 50 – 60 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อเครื่อง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดง 57.25 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อเครื่อง แสดงว่าค่าเฉลี่ยระยะเวลาของเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนาเร็วกว่าการใช้มือ

2.3.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระยะเวลา ในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ระหว่าง การใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิมกับการใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนาดังรูปที่ 21

```
Two-Sample T-Test and CI: MC 1, MC 2

Two-sample I for MC 1 vs MC 2

        N   Mean  StDev  SE Mean
MC 1   20  154.2   10.1      2.3
MC 2   20  57.25   3.17     0.71


Difference = mu (MC 1) - mu (MC 2)
Estimate for difference:  96.93
95% CI for difference:  (92.04, 101.83)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 41.05  P-Value = 0.000
```

**รูปที่ 21** ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระยะเวลา ระหว่าง MC1 กับ MC2

การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระยะเวลาในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ระหว่างการใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิมกับการใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนา ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ ($\alpha$) เท่ากับ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ($H_0$) และยอมรับสมมติฐานรอง ($H_1$) นั้น หมายความว่า กระบวนการมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล ซึ่งมีค่าเฉลี่ยระยะเวลาของกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิมมากกว่า การใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนาอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อถือร้อยละ 95




**รูปที่ 22** แผนภูมิ Boxplot ระหว่าง MC1 กับ MC2

จากรูปที่ 22 การวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ Boxplot กระบวนการ แยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิม มีระยะเวลาการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดง อยู่ในช่วง 148 – 170 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อเครื่อง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดง 154.18 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อเครื่อง และกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนา มีระยะเวลาการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดง อยู่ในช่วง 50 – 60 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อเครื่อง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดง 57.25 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อเครื่อง แสดงว่าค่าเฉลี่ยระยะเวลาของเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนาเร็วกว่าเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิม

ดังนั้นจากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยระยะเวลาในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยมือ มีระยะเวลานานที่สุด และการใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนา มีระยะเวลาเร็วที่สุด มีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้ง 3 ข้อมูล อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อถือร้อยละ 95

## 4. สรุปผลการทดลอง

การปรับปรุงวิธีการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล สามารถสรุปผลการทดลอง ดังนี้

4.1.1 การปรับปรุงวิธีการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยมือ ใช้ระยะเวลาการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล เฉลี่ย 214.34 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อคน ผลกระเจี๊ยบแดงไม่เสียรูปทรงเฉลี่ยร้อยละ 94.97

4.1.2 การปรับปรุงวิธีการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงแบบเดิม ใช้ระยะเวลาการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล เฉลี่ย 154.18 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อเครื่อง ผลกระเจี๊ยบแดงไม่เสียรูปทรง เฉลี่ยร้อยละ 97.77

4.1.3 การปรับปรุงวิธีการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลด้วยใช้เครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนา ใช้ระยะเวลาการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล เฉลี่ย 57.25 วินาทีต่อกิโลกรัมต่อเครื่อง ผลกระเจี๊ยบแดงไม่เสียรูปทรง เฉลี่ยร้อยละ 99.51

จากผลดังกล่าวเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนามีระยะเวลากระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลดีกว่าการใช้มือ คิดเป็นร้อยละ 73.29 และผลกระเจี๊ยบแดงไม่เสียรูปทรงดีกว่าการใช้มือ คิดเป็นร้อยละ 4.56 ซึ่งเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดงที่พัฒนายังมีข้อจำกัดของการใช้แรงงานคนเข้ามาช่วย ในกระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผล จำนวน 2 คน การใช้ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติเข้ามาช่วยสามารถลดจำนวนพนักงานเหลือเพียงหนึ่งคนสำหรับการควบคุมเครื่องปั๊มเมล็ดกระเจี๊ยบแดง ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการแยกเมล็ดกระเจี๊ยบแดงออกจากผลต่อไป

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะสำเร็จไม่ได้หากไม่ได้รับความเอื้อเฟื้อเผื่อแผ่จากโครงการหลวงดอยสะโง้ะที่ให้ข้อมูล และวัตถุดิบสำหรับการทดลอง ขอขอบคุณทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ที่สนับสนุนงบวิจัย และอนุญาตให้ใช้สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย และที่สำคัญไปกว่านั้นขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอบพระคุณและขอบคุณไว้ในโอกาสนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง


[1] Intarit P., Pava K.K., Itharat A., & Chinsoi P. (2012). Comparative Study on the Efficacy and Side Effects of Hibiscus sabdariffa Linn. Extract Versus Simvastatin in Reducing Blood Lipids Levels on Hyperlipidemias Patient (Clinical Trial Phase II). *Thammasat Medical Journal 12 (3)*, 506-517. (in Thai)

[2] Thavorn K., Chaiyakunapruk N., & Thamalikitkul V. (2006). A Systematic Review of Clinical Efficacy of Hibiscus Sabdariffa. *Thai Pharmaceutical and Health Science Journal (3)*, 219-215. (in Thai)

[3] Sritarathorn K., Phung-on I., Mounjun P., & Warinsiriruk E. (2010). Improvement of Efficiency in Biodegradable Packaging Process. *The 2nd RMUTP International Conference*, 278-282. (in Thai)

[4] Li-xin M., Hai-hong X., & Jian-bo Z. (2009). Assembly Process Reengineering Applied to Production Line Balancing. *International Conference on Electronic Commerce and Business Intelligence*, 95-98. doi:10.1109/ECBI. 2009.94

[5] Lan S., Wang X., & Li-xin M. (2009). Optimization of Assembly Line Based on Work Study. *Industrial Engineering and Engineering Management International Conference 16*, 813-816

[6] Dobrusskin C. (2016). On The Identification of Contradictions Using Cause Effect Chain Analysis. *Procedia CIRP* (*39)*, 221–224

[7] Su H., Hu J, & Guo H. (2010). Submerged Arc Welding Procedure Improvement Based on Human-Machine Operation Analysis. *International Conference on Information Management Innovation Management and Industrial Engineering 3*, 486-489

[8] Pipatpanyanugoon K., Rakkhot S., Buaphan S., & Laolest A. (2015). The Productivity Improvement of a High and Low Voltage Products' Factory. *IE Network Conference*, 292-297. (in Thai)

[9] Kritworakarn C. (2015). Wooden Furniture Process Improvement Using Motion and Time Study Technique. *IE Network Conference*, 266-270. (in Thai)

[10] Moontongchun S., & Yodpijit N. (2015). Productivity Improvement for Beverage Dispensing Machine. *IE Network Conference*, 404-409. (in Thai)

[11] Sun X. F., Cheng G., & Li W. (2009). Study on Work Improvement in a Packaging Machine Manufacturing Company. *Industrial Engineering and Engineering Management International Conference 16*, 1155-1159

[12] Wajanawichakon K., & Srimitee C. (2012). ECRS's Principles for a Drinking Water Production Plant. *IOSR Journal of Engineering 2(5)*, 956-960

[13] Sindhuja D., Mohandas Gandhi N., & Madhumathi P. (2012). Redesigning of Horn Assembly Line Using ECRS Principles. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) (3)*, 214-217. DOI:10.1109/ICIII.2010.123

[14] Pradhan R.C., Naik S.N., Bhatnagar N., & Vijay V.K. (2010). Design, Development and Testing of Hand-Operated Decorticator for Jatropha Fruit. *Applied Energy 87*, 762–768. doi:10.1016/j.apenergy. 2009.09.019

[15] Koya O.A., & Faborode M.O. (2006). Separation Theory for Palm Kernel and Shell Mixture on a Spinning Disc. *Bio Systems Engineering 95(3)*, 405–412

[16] Eyarkai Nambi V., Thangavel K., & Manohar Jesudas D. (2012). A Pneumatic Assisted Electronically Controlled Continuous Aonla Seed Removing Machine. *Agric Eng Int CIGR Journal 14(2)*, 94-101

[17] Ganvir A.P., & Awate P. (2015). Design & Development of Aonla Fruits Seed Removal& Shredding Machine. *International Journal & Magazine of Engineering Technology Management and Research2(4)*, 192-195

[18] Sni Z., Dunyakul Y., Sirikun W., & Rojananukun J. (2011). Design and Development of Semi-Automatic Cashew Nut Sheller Machine. *IE Network Conference*, 1019-1024

[19] Rachavarn Kanjanapanyakom. (2009). Industrial Work Study. Bangkok: TOP, 258-261. (in Thai)

## 7. ชีวประวัติ

นายพีรวัตร ลือสัก
อาจารย์ประจำหลักสูตร
วิศวกรรมอุตสาหการ
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
เชียงราย

นายสมควร สงวนแพง
อาจารย์ประจำหลักสูตร
วิศวกรรมโลจิสติกส์
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
เชียงราย