

■ Research Article



เครื่องคั่วธัญพืช

Grain Roaster Machine

สิทธิบูรณ์ ศิริพรอัครชัย^{1*} และธัญทิพย์ ศิริพรอัครชัย²

¹ สาขาวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี น่าน 59 ม.13 ต.ฝายแก้ว อ.ภูเพียง จ.น่าน 55000

² สาขาบริหารธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี น่าน 59 ม.13 ต.ฝายแก้ว อ.ภูเพียง จ.น่าน 55000

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อ ออกแบบ สร้าง และทดสอบสมรรถนะของเครื่องคั่วธัญพืช โดยเครื่องจักรประกอบไปด้วย ถังคั่วสแตนเลสทรงกระบอกมีฝาปิดที่มีรูระบาย ความชื้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 นิ้ว ลึก 24 นิ้ว ส่วนกันของถังเป็นรูปโค้งมน ที่ฝังถังด้านในมีใบพัดทวนจำนวน 4 ใบ ที่กันถังคั่วติดตั้งมอเตอร์เกียร์กระแสสลับ ขนาด 1/4 แรงม้า ทำหน้าที่ขับเคลื่อนถังคั่วที่ความเร็ว 8 รอบต่อนาที มีเตาแก๊ส อินฟราเรดให้ความร้อนกับถังคั่วบริเวณกันถังส่วนโค้งมน ทั้งหมดถูกติดตั้งอยู่กับ โครงเหล็กโดยปากถังคั่วทำมุม 30° จากแนวราบ โดยโครงเหล็กนี้ถูกต่อลงสมดุลงบน ฐานรองรับทำให้สามารถถ่วงถังคั่วได้สะดวกและเบาแรง เครื่องจักรทำงานแบบ อัตโนมัติโดยการควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า ตัวเครื่องจักรมีขนาดกว้าง 0.69 เมตร ยาว 1.20 เมตร และสูง 1.20 เมตร จากการทดสอบการทำงานพบว่า การคั่วข้าว มอลต์ในปริมาณ 5 กิโลกรัม/ครั้งเหมาะสมที่สุด ที่สภาวะนี้มีอัตราการคั่ว 8.57 กิโลกรัม/ชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองแก๊ส (LPG) 0.27 กิโลกรัม/ชั่วโมง และใช้ พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 224 วัตต์ เมื่อให้เครื่องจักรทำงานวันละ 8 ชั่วโมง จะมี ระยะเวลาการคืนทุน 0.92 ปี

คำสำคัญ: เครื่องคั่ว เครื่องคั่วแบบถังหมุน ตู้อบแบบถังหมุน

Received:

9 November 2023

Revised:

8 May 2024

Accepted:

7 June 2024

Published:

27 June 2024

Corresponding*Author:**

boontisit@hotmail.com

Copyright:

© Rajamangala

University of

Technology Lanna.

All right reserved

ISSN

Print: 2586-8500

Electronic: 2586-8632

Abstract

The objective of this project was developed, constructed and tested the performances of the grain roaster machine. The conceptual design of the machine consists of the stainless-steel roaster tank and tank cover it's with humidity vent holes. The dimension of roaster tank is 18 inches' diameter and 24 inches deep. The bottom of tank is parabolic shape and has the 4 mixing-vanes are installed on the inside wall of the tank. The ¼ Hp AC electric gear-motor was installed under the tank for drive at 8 rpm. The infrared gas stove was installed under the tank in specific area of the parabolic. All was installed on a frame which is a head of tank angle at 30o from the horizontal. Its frame is balancing on a solid base that can pour the roaster tank easily. The machine worked automatically by electrically controlled. The overall dimensions of the machine were 0.69 m (width), 1.20 m (length) and 1.20 m (high). The experimental tested found that; the optimum roasted malt was 5 kg/ time, this condition roasted at 8.57 kg/hour, gas (LPG) consumption rate at 0.27 kg/hour and the average power consumption of the machine was 224 watts. And when the machine worked at 8 hours/day, the payback period was 0.92 year.

Keywords: Roaster machine, Rotary drum roaster, Rotating drum oven

1. บทนำ

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนน่านมอลต์ จังหวัดน่าน ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2553 ประกอบกิจการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยมีสินค้าหลักที่มาจากข้าวมอลต์ ซึ่งได้จากข้าวสาลีที่เพาะปลูกได้ดีในพื้นที่ ข้าวมอลต์ที่ได้จะนำไปบรรจุภัณฑ์จำหน่ายทันทีหรือนำไปบดเพื่อเป็นส่วนประกอบของขนมต่าง ๆ ได้หลากหลาย ผลิตภัณฑ์มอลต์ของกลุ่มได้จดทะเบียนเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) และได้รับการคัดสรรสุดยอดผลิตภัณฑ์สินค้า 4 ดาว จากการที่ผลิตภัณฑ์มอลต์มีประโยชน์กับร่างกายหลากหลาย จึงเป็นที่นิยมบริโภคทั้งในและต่างประเทศ มีการส่งผลิตภัณฑ์จำหน่ายตามร้านค้า ห้างสรรพสินค้าทั้งในและต่างจังหวัด อีกทั้งยังส่งจำหน่ายในต่างประเทศด้วย เช่น ลาว จีน และญี่ปุ่น [1] ปัจจุบันทางกลุ่มมีเป้าหมายที่จะเพิ่มยอดขายให้ได้ร้อยละ 20 ต่อปี แต่ก็ยังพบอุปสรรคในกระบวนการผลิตหลายอย่างที่ ทำให้ไม่สามารถขยายปริมาณการผลิตให้เป็นรูปธรรมได้อย่างชัดเจน เช่น ผลิตภัณฑ์ของทางกลุ่มส่วนใหญ่แล้วจะต้องผ่านกระบวนการผสมและคั่ว โดยยังใช้แรงงานมนุษย์ทำการผสมและคั่วในกระทะได้ครั้งละประมาณ 1 กิโลกรัม ใช้เวลาครั้งละชั่วโมง หากจะให้ได้ผลผลิตตามต้องการประมาณ 5 กิโลกรัม จะต้องใช้แรงงานสลับเปลี่ยนกัน 5 คน และต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง ในขณะที่กลุ่มต้องการขยายตลาดด้วยอัตราการคั่วข้าวมอลต์ให้ได้ 5 กิโลกรัม/ชั่วโมง ด้วยทรัพยากรเครื่องมือและแรงงานในการปฏิบัติงานอันจำกัดในแต่ละวัน จึงต้องสิ้นเปลืองเวลามากในกระบวนการนี้ เป็นเหตุให้ไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตให้เพียงพอกับความต้องการของตลาดได้ ดังรูปที่ 1 เป็นการแสดงกระบวนการคั่วข้าวมอลต์ในกระทะ และการบรรจุภัณฑ์จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์พร้อมจำหน่ายของกลุ่ม โดยเริ่มต้นจาก (1) ข้าวมอลต์ดิบที่ผ่านการตากแห้งเก็บเป็นวัตถุดิบ (2) นำมาคั่วในกระทะครั้งละประมาณ 1 กิโลกรัม นานครึ่งชั่วโมง (3) คั่วไว้ให้เย็นตักใส่บรรจุภัณฑ์ และ (4) เป็นผลิตภัณฑ์พร้อมจำหน่าย [2] จึงได้ติดต่อมาทางทีมผู้วิจัยเพื่อหาแนวทางพัฒนาเครื่องจักรกลที่ทำงานแทนมนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และแก้ปัญหาเหล่านี้ให้ทางกลุ่มได้ จะทำให้ทางกลุ่มมีศักยภาพในการบริหารจัดการเวลาและแรงงานที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นรองรับกับอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ ส่งผลให้สามารถมีผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเพียงพอแก่เป้าหมายการขยายตลาดอย่างได้ผล โดยเครื่องจักรจะต้องเป็นการลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศด้วยการออกแบบให้เครื่องจักรมีการใช้ชิ้นส่วน/วัสดุ ที่ผลิตได้ในประเทศให้มากที่สุด จึงจะเป็นการทำให้การพัฒนาเครื่องจักรมีประสิทธิภาพพร้อมทั้งมีต้นทุนที่ต่ำลงได้ด้วย



รูปที่ 1 แสดงกระบวนการคั่วข้าวมอลต์โดยแรงงานมนุษย์ของกลุ่มน่านมอลต์

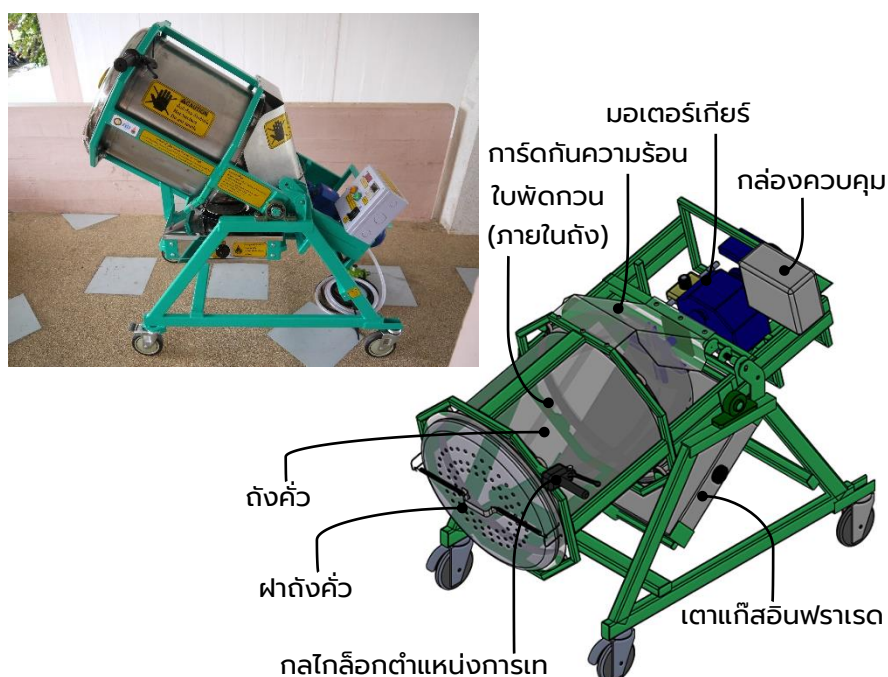
2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อปรับปรุงพัฒนาด้วยการออกแบบ สร้าง และทดสอบ เครื่องคั่วธัญพืช ที่มีขนาดความจุข้าวโมลต์ไม่น้อยกว่า 5 กิโลกรัม
- 2.2 เพื่อสร้างเครื่องจักรใช้ทดแทนหรือเสริมในกระบวนการผลิตระดับชุมชนให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น มีคุณภาพ และสะอาดถูกสุขลักษณะ

3. แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากปัญหาที่เป็นอุปสรรคต่อกระบวนการคั่วข้าวโมลต์ ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนน่านมอลต์ ผู้วิจัยจึงได้หาแนวทางในการสร้างเครื่องจักรโดยคำนึงถึงการใช้งานและบำรุงรักษาได้ง่าย มีความแม่นยำ รวดเร็ว ปลอดภัย มีต้นทุนต่ำเพื่อให้สามารถคืนทุนได้รวดเร็ว [3] ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรจะถูกออกแบบและเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมตามหลักโภชนาการ [4] อาศัยความรู้ตามหลักวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์ [5] การรับแรงและโมเมนต์ตัม [6], [7], [8], [9], [10] การเคลื่อนที่ทางกล [11] ตลอดจนหลักการทางไฟฟ้าและการเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าควบคุม [12] ที่เหมาะสม ชิ้นส่วนที่สัมผัสโดยตรงกับผลิตภัณฑ์จะสร้างจากสแตนเลสที่ผ่านการรับรองมาตรฐานอุตสาหกรรมให้ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่อุปโภคบริโภคได้ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ต้องประกอบและทำงานร่วมกันได้อย่างเรียบง่ายและลงตัว ดังรูปที่ 2 มีขีดความสามารถดังนี้

- 3.1 สามารถคั่วข้าวโมลต์ให้สุกได้โดยสมบูรณ์ทั่วถึงกันโดยไม่ไหม้ มีความสะอาดถูกหลักอนามัย และต้องใช้เวลาและพลังงานในการคั่วอย่างคุ้มค่าที่สุด
- 3.2 สามารถตั้งเวลาในการคั่วได้ มีเครื่องมือแสดงให้เห็นความร้อนในถังคั่วขณะทำงาน และมีระบบรักษาความปลอดภัยในการใช้เชื้อเพลิงให้ความร้อน อีกทั้งยังต้องรองรับการคั่วธัญพืชทางการเกษตรแบบอื่นได้ในอนาคต
- 3.3 มีความกะทัดรัด แข็งแรง ทนทาน ถูกสุขลักษณะ และมีขีดความสามารถในการคั่วข้าวโมลต์ ได้ไม่น้อยกว่า 5 กิโลกรัม/ชั่วโมง เพื่อรองรับการขยายตลาดของผู้ใช้งานได้ตามต้องการ



รูปที่ 2 แสดงเครื่องคั่วธัญพืชที่ออกแบบสร้างขึ้นใหม่

4. วัธนัฒนการวัธย

4.1 เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ศีกษการณวัธการผลิตของกลุ่มนุชนเป้าหมายด้วยการออกสำรวจ สังเกตการณั และสัมภาษณ์บุคคลากรของกลุ่มนั จดบันทึกปัญหาค่าง ๆ ที่ทางกลุ่มนัประสบอยู่ และนำมาวิเคราะห์เพื่อกิดคั่น ออกแบบ และสร้างนวัตรณณที่ใช้งานได้อย่างเหมาะสมกับกระบวนการผลิต

4.2 คิดคั่น ออกแบบ และสร้างเครื่องจักร

โดยนำข้อมูลทีรวบรวมมาได้มาวิเคราะห์เพื่อกิดคั่นและสร้างเครื่องจักร ที่ต้องทำงานได้อย่างเหมาะสมสอดคล้องกับวัตุประสงค์ของโครงการ

4.3 ทดสอบและปรับแต่งเครื่องจักร

การทดสอบการทำงานของเครื่องจักรนี้ เป็นการทดสอบเพื่พิสูจน์ว่า เครื่องจักรจะสามารถทำงานได้เหมาะสมกับการคว้ข้าวมอลตในปริมาตร 5 กิโลกรัม/ครั้ง จจริงตามสมมติฐานที่ตังไว้หรือไม่ และที่สภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุด (Optimum) นั้น จะต้องตังค่าคุณสมบัติการทำงานให้กับเครื่องจักรอย่างไรบ้าง เช่น ปริมาตรการคว้ข้าวมอลตที่มากสุดในแต่ละครั้ง ระดับการให้ความร้อนกับตังคว้ และระยะเวลาในการคว้ เหล่านี้จะต้องมีจุดที่เหมาะสมที่จะทำให้ผลิตผลจากการคว้เป็นไปอย่างถูกต้องสม่่าเสมอ และต้องประหยัดเวลาและพลังงานให้มากที่สุด เพื่อนำข้อมูลการทดสอบเหล่านี้มากำหนดเป็นบรรทัดฐานการใช้งานเครื่องจักรต่อไป ทั้งนี้ การทดสอบเรื่องการคว้ข้าวมอลต จำเป็นจะต้องอาศัยความชำนาญในการสังเกต เผ้าดูลักษณะของเมล็ดข้าวมอลตว่าสุกได้ที่แล้วหรือยังจากผู้ประกอบการของกลุ่มนุชนเป้าหมายเป็นสำคัญ โดยภายหลังการคว้ข้าวมอลตจนสุกได้ที่แล้วจะมีกลิ่นหอมคล้ายนมข้น เมล็ดมีสีน้ำตาลทอง ความมันวาวของผิวเมล็ดหายไป ขนที่ติดอยู่ตามเมล็ดข้าวต้องหลุดร่วงได้โดยง่ายโดยการลูบเบา ๆ ด้วยฝ่ามือ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

4.3.1 การทดสอบหาปริมาณการคว้ที่เหมาะสมในแต่ละครั้ง

เป็นการทดสอบหาปริมาณวัตุตติบ (ข้าวมอลต) ที่มากที่สุดที่สามารถบรรจุลงไปในตังคว้ของเครื่องจักรเพื่อการคว้ในแต่ละครั้ง แล้วได้ผลลัพธ์เป็นอัตราการคว้สูงสุด กล่าวคือ สามารถประหยัดเวลาและพลังงานได้มากที่สุด ความสุขของเมล็ดข้าวแต่ละเมล็ดมีความสม่่าเสมอ มีการสูญเสียวัตุตติบ (จากการไหม้หรือความสุกไม่เท่ากัน) น้อยที่สุดหรือไม่มีเลย โดยมีขั้นตอนและวัธการทดสอบ ดังนี้

- 1) เตรียมเครื่องจักร นาฬิกาจับเวลา และกลุ่มนัที่ภพพร้อมทดสอบ
- 2) ชั่งน้ำหนักตังแก๊ส LPG ก่อนการทดสอบและบันทึกค่าไว้
- 3) เสียบปลั๊กไฟฟ้าเครื่องจักรผ่านเข้ากับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า
- 4) ตังค่าเวลาการทำงานของเครื่องจักรไว้ที่ 3 ชั่วโมง(เพื่อกิดคั่นไม่ให้เครื่องจักรหยุดทำงานไปก่อนที่การคว้จะสุกได้ที่)
- 5) นำข้าวมอลตตังน้ำหนักรวม 3 กิโลกรัม เทใส่ลงไปในตังคว้ จากนั้นเดินเครื่องจักรให้เริ่มทำงาน เริ่มจุดหัวเตาแก๊สเพื่อให้ความร้อนกับตังคว้ และปรับระดับความร้อนหัวเตาไว้ที่สูงสุด (MAX)
- 6) หมั่นสังเกตการณัเปลี่ยนแปลงของข้าวมอลตในตังคว้ เมื่อพบว่ ข้าวมอลตในตังคว้สุกได้ที่แล้ว ให้ปิดเตาแก๊ส และบันทึกค่าเวลาการคว้ไว้ (ขณะนี้ตังคว้ยังหมุ่นอยู่ต่อไปอีก 4 นาที เพื่อกิดคั่นการระบายความร้อนและป้องกันไม่ให้ความร้อนสะสมสูงขึ้นในจุดใดจุดหนึ่งในผลิตภณทจนทำให้เกิดการคว้ไหม้เป็นเหตุให้ สี กลิ่น รสชาติ และความแห้ง ของผลิตภณทที่มีความไม่สม่่าเสมอเกิดขึ้น)
- 7) เมื่อครบ 4 นาที ภายหลังปิดเตาแก๊สไปแล้ว เครื่องจักรจะหยุดทำงานทั้งหมด โดยอัตโนมัติ เทผลิตภณทในตังคว้ออกให้หมดนำไปชั่งน้ำหนัก และชั่งน้ำหนักตังแก๊ส LPG ภายหลังการคว้เสร็จสิ้น

8) รอให้ถึงคั่วของเครื่องจักรมีอุณหภูมิลดลงมาที่อุณหภูมิห้องปกติจึงทำตามขั้นตอนซ้ำข้อ 5) – 7) โดยการเพิ่มปริมาณข้าวมอลต์ดิบครั้งละ 1 กิโลกรัม จนกระทั่งคำนวณพบว่า อัตราการคั่วลดลง นั่นหมายถึงการเพิ่มปริมาณข้าวมอลต์ดิบไม่เป็นผลให้เกิดการประหยัดเวลาและพลังงาน จึงยุติการเพิ่มปริมาณข้าวมอลต์

9) ทำตามขั้นตอนที่ 1)– 8) ซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อให้ผลการทดสอบมีความแม่นยำและเชื่อถือได้

4.3.2 การทดสอบหาระดับความร้อนที่เหมาะสมในการคั่ว

เพื่อหาระดับความร้อน (ค่าอุณหภูมิ) ที่เหมาะสมที่สุดในการคั่วข้าวมอลต์แต่ละครั้ง แล้วได้ผลลัพธ์เป็นอัตราการคั่วสูงสุด กล่าวคือ สามารถประหยัดเวลาและพลังงานได้มากที่สุด ความสุขของเมล็ดข้าวแต่ละเมล็ดมีความสม่ำเสมอ มีการสูญเสียวัตถุดิบ (จากการไหม้หรือความสุกไม่เท่ากัน) น้อยที่สุดหรือไม่มีเลย โดยมีขั้นตอนและวิธีการทดสอบ ดังนี้

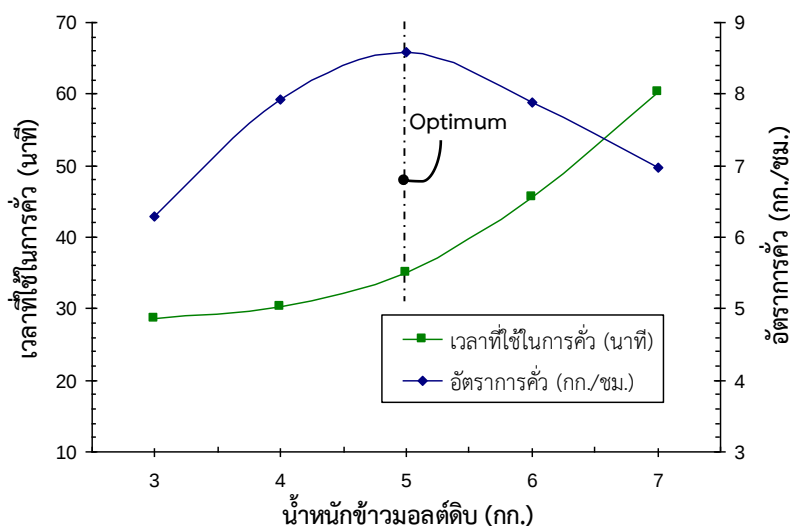
- 1) เตรียมเครื่องจักร นาฬิกาจับเวลา และกล่องบันทึกภาพพร้อมทดสอบ
- 2) ชั่งน้ำหนักถังแก๊ส LPG ก่อนการทดสอบและบันทึกค่าไว้
- 3) เสียบปลั๊กไฟฟ้าเครื่องจักรผ่านเข้ากับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า
- 4) ตั้งค่าเวลาการทำงานของเครื่องจักรไว้ที่ 3 ชั่วโมง (เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์หยุดทำงานไปก่อนที่การคั่วจะสุกได้ที่)
- 5) นำข้าวมอลต์ดิบที่ปริมาณเหมาะสมที่สุดที่หาได้จากหัวข้อการทดสอบที่ 4.3.1 เทใส่ลงไปในถังคั่ว จากนั้นเดินเครื่องจักรให้เริ่มทำงาน เริ่มจุดหัวเตาแก๊สเพื่อให้ความร้อนกับถังคั่ว และปรับระดับความร้อนหัวเตาไว้ที่สูงสุด (MAX)
- 6) หมั่นสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของข้าวมอลต์ในถังคั่ว เมื่อพบว่า ข้าวมอลต์ในถังคั่วสุกได้ที่แล้ว ให้ปิดเตาแก๊ส และบันทึกค่าเวลาการคั่วไว้ (ขณะนี้ถังคั่วยังหม่นอยู่ต่อไปอีก 4 นาที เพื่อเป็นการระบายความร้อนและป้องกันไม่ให้ความร้อนสะสมสูงขึ้นในจุดใดจุดหนึ่งในผลิตภัณฑ์จนทำให้เกิดการคั่วไหม้เป็นเหตุให้ สี กลิ่น รสชาติ และความแห้ง ของผลิตภัณฑ์มีความไม่สม่ำเสมอเกิดขึ้น)
- 7) เมื่อครบ 4 นาที ภายหลังปิดเตาแก๊สไปแล้ว เครื่องจักรจะหยุดทำงานทั้งหมด โดยอัตโนมัติ เทผลิตภัณฑ์ในถังคั่วออกให้หมดนำไปชั่งน้ำหนัก และชั่งน้ำหนักถังแก๊ส LPG หลังการคั่วเสร็จสิ้น
- 8) รอให้ถึงคั่วของเครื่องจักรมีอุณหภูมิลดลงมาที่อุณหภูมิห้องปกติจึงทำตามขั้นตอนซ้ำข้อ 5) – 7) โดยในขั้นตอนที่ 5) เมื่อจุดหัวเตาแก๊สเรียบร้อยแล้วให้ปรับระดับความร้อนมาที่ปานกลาง (MID)
- 9) รอให้ถึงคั่วของเครื่องจักรมีอุณหภูมิลดลงมาที่อุณหภูมิห้องปกติจึงทำตามขั้นตอนซ้ำข้อ 5) – 7) โดยในขั้นตอนที่ 5) เมื่อจุดหัวเตาแก๊สเรียบร้อยแล้วให้ปรับระดับความร้อนมาที่ต่ำสุด (MIN)
- 10) ทำตามขั้นตอนที่ 1) – 9) ซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อให้ผลการทดสอบมีความแม่นยำและเชื่อถือได้

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 ผลการทดสอบหาปริมาณการคั่วข้าวมอลต์ที่เหมาะสมในแต่ละครั้ง

ในช่วงการทดสอบเปลี่ยนปริมาณข้าวมอลต์ดิบในการคั่วแต่ละครั้งจาก 3 - 7 กิโลกรัม (เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 กิโลกรัม) ที่ระดับความร้อนสูงสุด (MAX) ที่สภาวะการทดสอบนี้ความร้อนของถังคั่วจะคงที่ที่ 127°C ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 226 วัตต์ อัตราการสิ้นเปลืองแก๊ส LPG เฉลี่ย 0.28 กิโลกรัม/ชั่วโมง ดังรูปที่ 3 พบว่า ที่ปริมาณการคั่ว 3 กิโลกรัม อัตราการคั่วเฉลี่ยจะต่ำสุดเป็น 6.28 กิโลกรัม/ชั่วโมง และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่ 8.58 กิโลกรัม/ชั่วโมง ที่ปริมาณการคั่ว 5 กิโลกรัม

จากนั้นอัตราการคั่วจะเริ่มลดลงอีกครั้งจนมาสิ้นสุดที่ 6.96 กิโลกรัม/ชั่วโมง ที่ปริมาณการคั่ว 7 กิโลกรัม ในขณะที่เวลาที่ใช้ในการคั่วจะแปรผันตรงกับปริมาณข้าวมอลต์ที่ใช้ในการคั่ว ที่ปริมาณการคั่วน้อยกว่า 5 กิโลกรัม ข้าวมอลต์มีความสามารถรับความร้อนได้ทั่วถึงอย่างรวดเร็วจึงสุกได้ทันในเวลาอันสั้น แต่เครื่องจักรก็ต้องสูญเสียความร้อนทิ้งไปเนื่องจากความร้อนทั้งหมดที่ได้จากเตาแก๊สต้องสูญเสียไปกับปริมาตรถังคั่วที่มีความจุไม่เหมาะสมกับปริมาณข้าวมอลต์ในขณะนั้น ๆ จึงทำให้อัตราการคั่วต่ำ ในทำนองเดียวกันที่ปริมาณการคั่วมากกว่า 5 กิโลกรัม ข้าวมอลต์ทั้งหมดจะรับความร้อนได้ทั่วถึงจนกระทั่งสุกได้ก็จะต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากเครื่องจักรมีความสามารถให้ความร้อน ณ ระดับสูงสุดค่า ๆ หนึ่งแล้ว และต้องให้ความร้อนอย่างสม่ำเสมอไปอย่างต่อเนื่องจนกว่าข้าวมอลต์จะสุกได้ทัน จึงต้องใช้ระยะเวลายาวนานขึ้น ทำให้อัตราการคั่วต่ำลงอีกครั้ง ในขณะที่ปริมาณการคั่ว 5 กิโลกรัม ข้าวมอลต์มีความสามารถรับความร้อนได้ทั่วถึงและสุกได้ที่สอดคล้องกับเวลาที่ใช้ไป โดยใช้เวลาเพียง 35 นาที และได้อัตราการคั่วสูงสุดที่ 8.58 กิโลกรัม/ชั่วโมง จึงสรุปได้ว่า เครื่องจักรนี้สามารถคั่วข้าวมอลต์ดิบในปริมาณ 5 กิโลกรัม/ครั้ง เป็นน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุด โดยต้องปรับตั้งค่าเวลาการคั่วไว้ที่ 35 นาที และระดับความร้อนหัวเตาไว้ที่ตำแหน่งสูงสุด (MAX) อีกทั้งยังพบว่าการสูญเสียน้ำหนักไปส่วนหนึ่งจากการสูญเสียความชื้นไปกับการคั่วเฉลี่ย 0.072 กิโลกรัม/กิโลกรัม ทำให้ข้าวมอลต์มีน้ำหนักลดลงจาก 5 กิโลกรัม เหลือ 4.64 กิโลกรัม

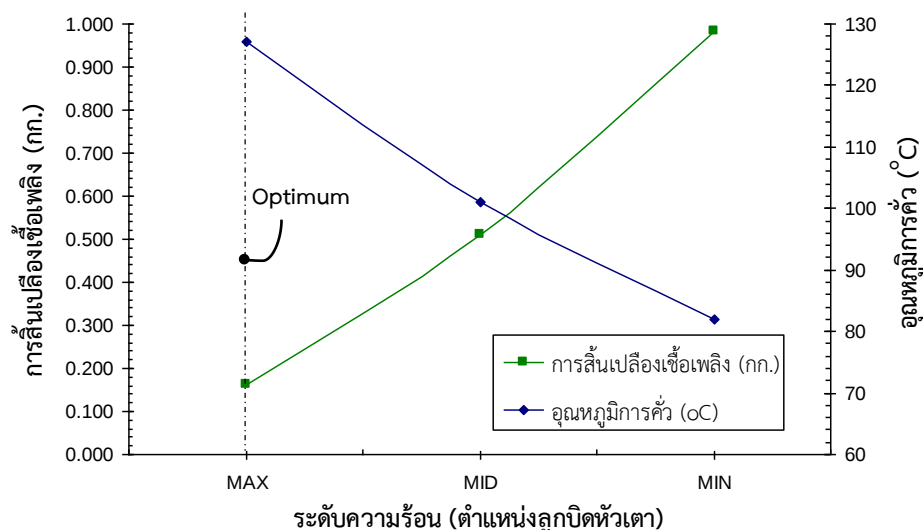


รูปที่ 3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณข้าวมอลต์ในการคั่วแต่ละครั้ง กับเวลาที่ใช้ในการคั่วและอัตราการคั่ว

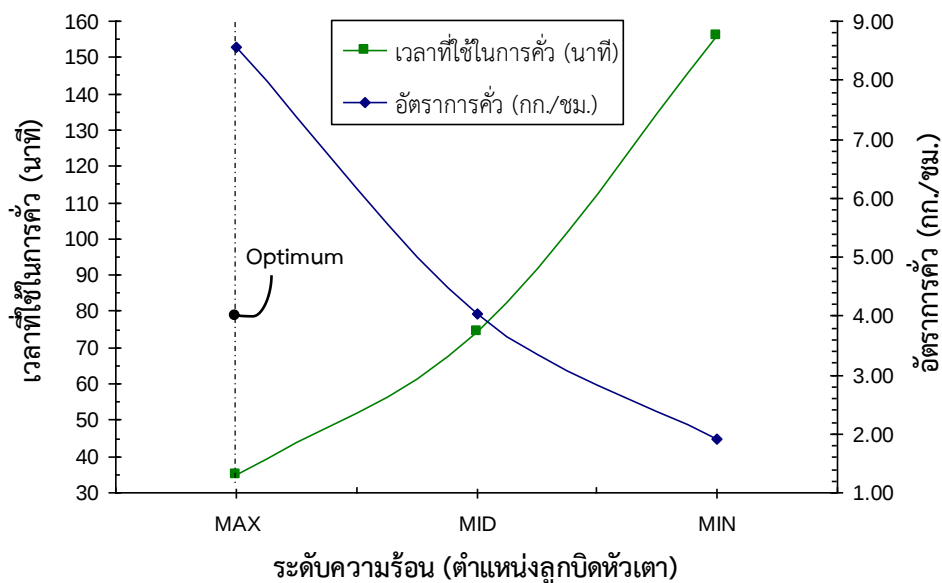
5.2 ผลการทดสอบหาระดับความร้อนที่เหมาะสมในการคั่ว

เมื่อนำข้าวมอลต์ดิบในปริมาณ 5 กิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมของการคั่วในแต่ละครั้ง มาทดสอบหาระดับความร้อนที่เหมาะสมในการคั่วจนสุกได้ทัน ได้ผลดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 พบว่า การทดสอบเปลี่ยนระดับความร้อนในการคั่วจากระดับสูงสุด (MAX), ปานกลาง (MID) และระดับต่ำสุด (MIN) ตามลำดับ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 224 วัตต์ ซึ่งถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเครื่องจักรทำงานที่ความเร็วหมุนถังคั่วและภาระโหลดคงที่ โดยที่ระดับความร้อนสูงสุด ความร้อนของถังคั่วจะคงที่ที่ 127°C ใช้เวลาทั้งหมด 35 นาที ในการคั่วจนสุกได้ทันสิ้นเปลืองแก๊ส LPG 0.163 กิโลกรัม ได้อัตราการคั่วสูงสุดเป็น 8.57 กิโลกรัม/

ชั่วโมง ที่ระดับความร้อนปานกลาง ความร้อนของถังคั่วจะคงที่ที่ 101°C ใช้เวลาทั้งหมด 74 นาที ในการคั่วจนสุกได้ที่ สิ้นเปลืองแก๊ส LPG 0.510 กิโลกรัม ได้อัตราการคั่วลดลงเหลือ 4.04 กิโลกรัม/ชั่วโมง และที่ระดับความร้อนต่ำสุด ความร้อนของถังคั่วจะคงที่ที่ 82°C ใช้เวลาทั้งหมด 156 นาที ในการคั่วจนสุกได้ที่ สิ้นเปลืองแก๊ส LPG 0.983 กิโลกรัม ได้อัตราการคั่วต่ำสุดเป็น 1.92 กิโลกรัม/ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจาก ที่ระดับความร้อนต่ำ อุณหภูมิของถังคั่วก็จะต่ำไปด้วย อัตราการส่งถ่ายความร้อนก็จะต่ำ เป็นผลให้วัตถุดิบในถังคั่วได้รับความร้อนน้อยลงจึงต้องใช้เวลาในการคั่วจนกระทั่งสุกได้ที่ที่ยาวนานขึ้น ประกอบกับถังคั่วจำเป็นต้องมีพื้นที่ว่างจำนวนหนึ่งเพื่อให้ข้าวโมลต์สามารถเคลื่อนตัวได้ในขณะถังคั่วหมุน และความร้อนก็จำเป็นต้องมีอย่างทั่วถึงเต็มพื้นที่บรรจุของถัง ความร้อนส่วนหนึ่งจึงต้องสูญเสียไปกับพื้นที่ว่างในถังด้วย จึงต้องชดเชยอุณหภูมิที่สูญเสียไปด้วยระยะเวลาการให้ความร้อนระดับนั้น ๆ ที่ยาวนานขึ้น จึงเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและส่งผลให้อัตราการคั่วต่ำลง ในทางตรงกันข้าม หากระดับอุณหภูมิที่ส่งผ่านให้กับวัตถุดิบในถังคั่วมีค่าสูงขึ้น อัตราการส่งถ่ายความร้อนก็จะยิ่งมากขึ้น ถึงแม้ว่าจะมีการสูญเสียความร้อนให้กับพื้นที่ว่างในถังก็ตาม แต่อุณหภูมิที่ส่งถ่ายให้กับวัตถุดิบในถังคั่วอยู่ในปริมาณที่สูงพอ การชดเชยอุณหภูมิที่สูญเสียไปกับพื้นที่ว่างจึงใช้ระยะเวลาสั้นลง การคั่วก็จะสุกได้ที่เร็วขึ้น จึงเป็นการประหยัดพลังงานและส่งผลให้อัตราการคั่วสูงขึ้น จึงสรุปได้ว่า เครื่องจักรนี้จะใช้ข้าวโมลต์ดิบในปริมาณ 5 กิโลกรัม/ครั้ง ให้ได้อัตราการคั่วสูงสุด ประหยัดเวลาและพลังงานมากที่สุด จะต้องปรับระดับความร้อนหัวเตาไว้ที่ตำแหน่งสูงสุด (MAX) และปรับตั้งค่าเวลาการคั่วไว้ที่ 35 นาที ซึ่งยังพบข้อดีบางประการด้วยว่า ข้าวโมลต์ในปริมาณ 5 กิโลกรัม ที่คั่วโดยเครื่องจักรที่สร้างขึ้นนี้ ปราศจากการสูญเสียผลผลิตอันเนื่องมาจากการคั่วไหม้ อีกทั้งยังให้ความแห้ง สี กลิ่น ตลอดจนรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอเท่ากันในทุก ๆ ครั้งของการคั่ว แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน ปริมาณเท่ากัน ที่คั่วโดยแรงงานมนุษย์จะต้องใช้เวลาในการคั่วถึง 3 ชั่วโมง ซึ่งจะพบปัญหาการสูญเสียผลผลิตอันเนื่องมาจากการไหม้ประมาณร้อยละ 10 อีกทั้งยังควบคุมระดับความแห้ง สี กลิ่น ตลอดจนรสชาติของผลิตภัณฑ์ในแต่ละครั้งของการคั่วจะควบคุมได้ยากมาก



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับความร้อนในการคั่วข้าวโมลต์ 5 กิโลกรัม กับการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและค่าอุณหภูมิการคั่ว



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับความร้อนในการคั่วข้าวมอลต์ 5 กิโลกรัม กับเวลาที่ใช้ในการคั่วและอัตราการคั่ว

นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวมอลต์ที่ผ่านการคั่วโดยเครื่องจักรจนสุกได้ที่ จะมีคุณลักษณะเปลี่ยนไป กล่าวคือ ข้าวมอลต์ดิบจะมีกลิ่นคล้ายข้าวที่ผ่านการหมัก เมล็ดข้าวมีสีน้ำตาลทอง มีความมันวาวเล็กน้อยและมีขนตามเมล็ดข้าวที่ค่อนข้างเหนียวหลุดร่วงยาก แต่ภายหลังการคั่วจนสุกได้ที่แล้วข้าวมอลต์จะมีกลิ่นหอมคล้ายนมข้น เมล็ดข้าวมีสีน้ำตาลทอง ความมันวาวของผิวหายไปกลายเป็นลักษณะสีขุ่น ๆ กว้างทั้งเมล็ดและมีขนตามเมล็ดข้าวที่แข็งกรอบ เมื่อใช้มือลูบเพียงเบา ๆ ขนที่ติดอยู่ตามเมล็ดข้าวก็สามารถหลุดร่วงได้โดยง่าย โดยปรากฏลักษณะของผลิตภัณฑ์ภายหลังการคั่วเสร็จสมบูรณ์ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะระหว่างข้าวมอลต์ดิบก่อนคั่ว หลังคั่วจนสุก โดยแรงงานมนุษย์ และหลังคั่วจนสุกโดยเครื่องจักรที่สร้างขึ้น

กลุ่มผู้ประกอบการซึ่งนำเครื่องจักรต้นแบบนี้ไปใช้มีความพึงพอใจกับเทคนิควิธีของเครื่องจักรและผลผลิตที่ได้โดยเครื่องจักร ต่างให้การยอมรับและชื่นชมว่า นอกจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยเครื่องจักรจะมีคุณภาพดีต่อใจก็ความต้องการของผู้ใช้แล้ว

เครื่องจักรยังมีรูปร่างลักษณะประณีตสวยงาม ใช้งานและบำรุงรักษาง่าย ทำงานเงียบ ประหยัดไฟฟ้าและเชื้อเพลิง มีขนาดกะทัดรัดและเคลื่อนย้ายง่าย ให้ผลผลิตที่รวดเร็วและมีคุณภาพคงที่มากกว่าการผลิตโดยแรงงานมนุษย์แบบเดิมอย่างเห็นได้ชัด สามารถแก้ปัญหาความยุ่งยากในกระบวนการผลิตและการควบคุมคุณภาพได้ดีกว่าการผลิตโดยใช้แรงงานมนุษย์เป็นอย่างมาก ยังช่วยลดแรงงานมนุษย์ในการผลิตลงได้ถึงร้อยละ 80 (จาก 5 คน เหลือเพียง 1 คน) ทำให้การปฏิบัติงานเป็นไปด้วยความสะดวกสบายยิ่งขึ้น สร้างความคล่องตัวในการโยกย้ายแรงงานมนุษย์ไปใช้ในกระบวนการผลิตอื่น ๆ ที่สอดคล้องกับการขยายตลาดได้ดียิ่งขึ้น ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การใช้งานเครื่องจักรเพื่อการผลิตจริงโดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชนน่านมอลต์

6. บทสรุป

เครื่องจักรที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้ตามขั้นตอน มีความแม่นยำตามที่ได้ออกแบบไว้ ภายใต้สภาวะการทำงานเครื่องจักรที่เหมาะสม ควรบรรจุข้าวมอลต์ดิบในปริมาณ 5 กิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมของการคั่วในแต่ละครั้ง โดยต้องปรับระดับความร้อนหัวเตาไว้ที่ตำแหน่งสูงสุด (MAX) และตั้งค่าเวลาการคั่วไว้ที่ 35 นาที ที่สภาวะเหมาะสมนี้เครื่องจักรจะใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 224 วัตต์ ความร้อนของถังคั่วจะคงที่ที่ 127°C สิ้นเปลืองแก๊ส LPG 0.163 กิโลกรัม ได้อัตราการคั่วสูงสุดเป็น 8.57 กิโลกรัม/ชั่วโมง และยังพบข้อดีอีกว่า ข้าวมอลต์ที่ผ่านการคั่วโดยเครื่องจักรนี้ จะปราศจากการสูญเสียผลผลิตอันเนื่องมาจากการคั่วไหม้ ให้ความแห้ง สี กลิ่น ตลอดจนรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่สม่ำเสมอในทุก ๆ ครั้งของการคั่ว แตกต่างกับการคั่วโดยแรงงานมนุษย์ที่ปริมาณข้าวมอลต์เท่ากันจะต้องใช้เวลาในการคั่วถึง 3 ชั่วโมง (มากกว่าคั่วโดยเครื่องจักร 6 เท่า) และพบปัญหาการสูญเสียผลผลิตอันเนื่องมาจากการคั่วไหม้ประมาณร้อยละ 10 อีกทั้งยังควบคุมระดับความแห้ง สี กลิ่น ตลอดจนรสชาติของผลิตภัณฑ์ในแต่ละครั้งของการคั่วทำได้ยากมาก อย่างไรก็ตามการทดสอบนี้เป็นการทดสอบคั่วข้าวมอลต์เท่านั้น หากจะประยุกต์เครื่องจักรนี้ไปใช้คั่วผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ควรที่จะทำการทดสอบการคั่วผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เพื่อให้ได้ความแม่นยำจำเพาะของแต่ละผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ เมื่ออ้างอิงการคั่วข้าวมอลต์โดยเครื่องจักรนี้วันละ 8 ชั่วโมง จะทำให้กลุ่มชุมชนเป้าหมายมีผลผลิตเพียงพอแก่ความต้องการของตลาดและยังมีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นเพื่อต่อการขยายตลาดได้ง่ายขึ้นอีกด้วย มีรายได้สุทธิเพิ่มขึ้นประมาณ 4.6 ล้านบาท/ปี เมื่อเทียบกับการทำการผลิตโดยแรงงานมนุษย์แบบเดิม และคืนทุนภายในระยะเวลา 0.92 ปี อีกทั้งการใช้

เครื่องจักรยังนำไปสู่การขยายผลเชิงธุรกิจได้ เช่น นำไปประยุกต์ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อื่นที่มีลักษณะการผลิตเดียวกันนี้ เป็นการเพิ่มความหลากหลายการแปรรูปผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องจักรแบบเดียวกัน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยี สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ร่วมกับสถาบันไทย-เยอรมัน ผู้ให้การสนับสนุนงบประมาณ ตลอดจนให้คำแนะนำ และติดตามประเมินผล และขอบคุณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนน่านมอลต์ ผู้ร่วมสนับสนุน เอื้อเพื่อข้อมูล สถานที่ วัตถุดิบ ทดสอบ ตลอดจนร่วมทดสอบเครื่องจักรต้นแบบ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Chairangsinan, 2015. "History of the Nan Malt Community Enterprise Group," presented by Group President at the Nan Malt Community Enterprise Group, Wiang Sa District, Nan, Feb 3-4 (in Thai).
- [2] M. Chairangsinan, 2015. "Production process, sales and financial affairs of the Nan Malt Community Enterprise Group," presented by Managing Director at the Nan Malt Community Enterprise Group, Wiang Sa District, Nan, Feb 3-4 (in Thai).
- [3] W. Tia, 1997. "Energy analysis of economics and saving study of energy conservation in the industry," presented at the Faculty of Energy and Inventories, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Mar 2-5 (in Thai).
- [4] S. Chaiphet, 2021. "Innovation for Enhance the Premium Robusta Coffee and Its Products of Coffee Farmers Group in the Banthat Mountains, Nayong District, Trang Province" Full research report, Faculty of Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla, Sep 20 (in Thai).
- [5] B. Sornnin and S. Wattanasriyakul, 2006. *Manual Table of the Metal Work*, 1st ed., Bangkok, Textbook Production Center, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok (in Thai).
- [6] W. Ungphakorn and C. Thnad-Ngan, 1984. *Mechanical Design 1*, 3rd ed., Bangkok, SE-EDUCATION, pp. 29-36 (in Thai).
- [7] W. Ungphakorn and C. Thnad-Ngan, 1983. *Mechanical Design 2*, 1st ed., Bangkok, SE-EDUCATION, pp. 45-51 (in Thai).
- [8] C. kasipar, 1985. *Strength of Material*, 9th ed, Bangkok, Chwn Phimp, pp. 31-38 (in Thai).
- [9] S. Rungwattanapong, 2005. *Solid Mechanics*, 10th ed, Bangkok, SE-EDUCATION, pp. 54-62 (in Thai).
- [10] HOPKINS, R. B., 1961. *Calculating Deflections in Stepped Shafts and Nonuniform Beams, Machine Design*, John Wiley&Sons, Inc., New York, pp. 108-123.
- [11] Smith, C. E., 1982. *Applied Mechanics: Dynamics*, 2nd ed., John Wiley&Sons, Inc., New York, pp. 86-97.

- [12] Rashid, M. H., 1993. *Power electronics; circuit, device, and application*, 2nd ed., Inc., Prentice-Hall, New Jersey, pp. 91-107.