



การพัฒนาเครื่องตรวจสอบแมลงศัตรูพืชแบบสายพานลำเลียงอัตโนมัติสำหรับกล้วยไม้ตัดดอก

Development of Automatic Conveyor-Belt Insect Pests Inspection Machine for Cut Orchids Flowers

ปริญญวัฒน์ อยู่ทองอินทร์^{1*}, อนุชิต ฉ่ำสิงห์¹, จิรวาส์ เจียรตระกูล¹, พุทธินันท์ จารุวัฒน์¹, ปรีชา อานันท์รัตนกุล¹, พงษ์วี นามวงศ์¹, อานนท์ สายคำฟู¹, พุทธิชาติ ปญวัฒน์², ศรีจันทร์ ศรีจันทร์², ศุภร อ่างบุญพงษ์¹, สุรชาติ ระย้าทอง¹, ณัฐสิทธิ์ อยู่เย็น¹

Parinyawat Yoothongin^{1*}, Anuchit Chamsing¹, Jirawat Chiatrakul¹, Puttinun Jaruwat¹, Preecha ananrattanakul¹, Pongrawee Namwong¹, Arnon Saicomfu¹, Pruettichat Punyawatt², Srijumnun Srijuntra², Kochathorn Angboonpong¹, Surachat Rayathong¹, Nuthasit Youyen¹

¹ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

² สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹ Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok, 10900, Thailand

² Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok, 10900, Thailand

*Corresponding author: Tel: +66-8-6773-2912, Fax: +66-2-940-5791, E-mail: yparinyawat@gmail.com

บทคัดย่อ

กล้วยไม้ตัดดอกที่จะส่งออกไปต่างประเทศต้องมีการตรวจสอบป้องกันแมลงศัตรูพืช โดยเฉพาะหนอนกระทู้ผัก บั่วกล้วยไม้ และเพลี้ยไฟ การตรวจสอบดังกล่าวเป็นงานที่ต้องใช้ความชำนาญ แต่การทำงานติดต่อกันเป็นเวลานานส่งผลให้เกิดความเหนื่อยล้า และประสิทธิภาพในการตรวจสอบลดลง งานวิจัยนี้จึงพัฒนาต้นแบบเครื่องตรวจสอบแมลงศัตรูพืชแบบสายพานลำเลียงอัตโนมัติที่ทำงานโดยใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ โดยลำเลียงกล้วยไม้ด้วยสายพานลำเลียงเข้าไปยังห้องถ่ายภาพ และถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพสีหลายตัวในหลายมุมมองที่แตกต่างกัน ใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชันเพื่อจำแนกหมวดหมู่ภาพ ซึ่งประกอบด้วยหมวดหมู่ภาพของหนอนกระทู้ผัก บั่วกล้วยไม้ เพลี้ยไฟ และการไม่พบแมลง จากการทดสอบการจำแนกหมวดหมู่ของแมลง พบว่า มีประสิทธิภาพในการจำแนกชนิดของแมลง ดังนี้ หนอนกระทู้ผัก 78.6% บั่วกล้วยไม้ 68.0% เพลี้ยไฟ 39.8% ไม่พบแมลง 39.1% โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมาจากการที่แมลงบางชนิด เช่น บั่วกล้วยไม้หรือเพลี้ยไฟ เป็นแมลงที่มีขนาดเล็กมาก ทำให้ภาพของกล้วยไม้ที่มีแมลงปะปนและภาพของกล้วยไม้ที่ไม่มีแมลงปนคล้ายคลึงกัน แบบจำลองจึงแยกแยะผลได้ไม่ดี ค่าความแม่นยำของเครื่องยังไม่เหมาะกับการนำไปใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงต้องพัฒนาแบบจำลองให้สามารถตรวจจับแมลงศัตรูกล้วยไม้ที่มีขนาดเล็กให้แม่นยำมากขึ้นในอนาคต

คำสำคัญ: กล้วยไม้ตัดดอก, แมลงศัตรูพืชกล้วยไม้, ระบบสายพานลำเลียงอัตโนมัติ, โครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชัน

Abstract

Exported cut orchids inflorescences need to be inspected to prevent infestation, especially from common cutworms, orchid midges and cotton thrips. Such an inspection task requires specialized skills; prolonged inspection nevertheless results in fatigue and hence lower inspection efficiency. An automatic conveyor-belt inspection

Received: August 04, 2022

Revised: September 02, 2022

Accepted: September 03, 2022

Available online: January 14, 2023

machine employing image processing technology was therefore developed in the present research. Orchids inflorescences were transported into the photography chamber via a conveyor belt; photos were taken using several cameras installed at several angles. Image data were analyzed via convolutional neural network (CNN) to classify images into those consisting of common cutworms, orchid midges, cotton thrips and those with no insect pests. Based on the classification results, the image classification efficiencies were 78.6% for common cutworms, 68.0% for orchid midges, 39.8% for cotton thrips and 39.1% for non-pest images. Classification errors were due to the excessively smaller sizes of insects, especially in the cases of orchid midges and cotton thrips. These resulted in images with and without insect pests were similar and not distinguishable by the model. Classification accuracy of the machine was not yet at a level suitable for industrial use. The model must be further developed to allow detection of small insect pests with higher accuracy.

Keywords: Orchid cut flower, Orchids Insect pests, Automatic conveyor belts, Convolutional neural network

1 บทนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกกล้วยไม้ตัดดอกเขตร้อน (tropical orchid) ที่สำคัญของโลก โดยมีแหล่งผลิตในจังหวัด นครปฐม สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร ราชบุรี และนนทบุรี

มีคู่ค้าที่สำคัญ ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา อิตาลี สาธารณรัฐประชาชนจีน และอินเดีย โดยในปี 2564 มีการส่งออกทั้งสิ้น 38,795 ตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 69.79 ล้านบาทสหรัฐ (สำนักงานส่งเสริมการค้าลุ่มสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม, 2565) ปัญหาของการส่งออกกล้วยไม้ของประเทศไทย คือการตรวจพบศัตรูพืชกักกันในสินค้า สำหรับศัตรูกล้วยไม้ที่สำคัญ ได้แก่ เพลี้ยไฟ บั่วกล้วยไม้ หนอนกระทุ้ง และหอยทาก เป็นต้น ในการส่งออกกล้วยไม้ไปต่างประเทศ กรมวิชาการเกษตรได้ กำหนดให้กล้วยไม้ต้องผ่านการรมสารเคมีโบโรไมด์และมี ใบรับรองปลอดศัตรูพืช (phytosanitary certificate หรือ PC) กำกับไปกับสินค้ากล้วยไม้ตัดดอก (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2552) ขั้นตอนก่อนที่จะได้รับการรับรองปลอดศัตรูพืชนั้น จะมีการตรวจสอบว่ามีแมลงศัตรูกล้วยไม้ติดไปกับสินค้าหรือไม่ โดยการตรวจสอบจะอาศัยการตรวจพินิจด้วยสายตาของนักวิชาการ ความแม่นยำในการตรวจจำเป็นต้องอาศัยทักษะ และความชำนาญของนักวิชาการเป็นหลัก ถึงแม้ว่านักวิชาการเหล่านี้จะมีความรู้และประสบการณ์ในการตรวจก็ตาม แต่เนื่องจากมีจำนวน กล้วยไม้ส่งออกเป็นจำนวนมาก ทำให้ผู้ตรวจต้องปฏิบัติงาน ติดต่อกันเป็นเวลานาน เกิดความเมื่อยอ่อนล้า ซึ่งจะส่งผลต่อ ประสิทธิภาพในการตรวจได้ หนึ่งในวิธีการปัจจุบันที่ถูกนำมาใช้ กันอย่างแพร่หลายในการนำมาใช้ทดแทนกระบวนการตรวจสอบ ในลักษณะของการแยกแยะด้วยสายตาตามนุษย์คือ เทคนิคการ ประมวลผลภาพ (image processing) เช่น การนำไปใช้ในการ

ประเมินสภาพของต้นกล้วยไม้เพื่อวิเคราะห์การให้สารสารเคมี แบบแม่นยำ (เกรียงไกรและคณะ, 2559) หรือการตรวจสอบ ความหนาแน่นของแมลงด้วยการใช้กับดักล่อแมลงเพื่อ ประกอบการตัดสินใจในการฉีดพ่นยา (Wang et al., 2021)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือการตรวจสอบแมลงศัตรูพืชใน กล้วยไม้ ตัดดอก ด้วยวิธี CNN (convolutional neural network) จากข้อมูลภาพสี (RGB) บนสายพานลำเลียงอัตโนมัติ ที่ประยุกต์มาจากระบบสายพานสำหรับการคัดแยกสั้ววัตถุ ที่ได้ทำ การออกแบบชุดทดลองที่นำข้อมูลจากเซ็นเซอร์คัดแยกสีมาใช้ในการ คัดแยกสั้ววัตถุบนสายพานลำเลียง (สุนทรและคณะ, 2561) ซึ่งเป็นการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ และความ แม่นยำของการตรวจสอบและคัดแยกแมลงศัตรูพืชกล้วยไม้ และ แก้ปัญหาการใช้แรงงานคนในการตรวจสอบ ในกระบวนการของการ ตรวจสอบก่อนการบรรจุหีบห่อในโรงคัดบรรจุก่อนการส่งออก และการช่วยในการตรวจสอบสินค้านำเข้า เป็นการพัฒนาที่ สอดคล้องกับนโยบายเทคโนโลยีเกษตร 4.0 ของรัฐบาล ที่เป็ นการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ตลอดห่วงโซ่การผลิต จนกระทั่ง จำหน่ายหรือส่งออก รวมถึงเป็นเรื่องที่จะมีบทบาทสำคัญในการ สนับสนุนการพัฒนาประเทศต่อไปในอนาคต

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ช่อกล้วยไม้สกุลหวายที่นำมาทำการเก็บข้อมูล

ช่อกล้วยไม้สกุลหวายที่มีแมลงปะปนอยู่ทุกช่อจำนวน 134 ตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบมาด้วยสายตา แบ่งเป็นช่อกล้วยไม้ที่มี หนอนกระทุ้งจำนวน 40 ตัวอย่าง บั่วกล้วยไม้จำนวน 54 ตัวอย่าง และเพลี้ยไฟจำนวน 40 ตัวอย่าง

2.2 ห้องสำหรับการถ่ายภาพแมลง (photography chamber)

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบในส่วนห้องสำหรับการถ่ายภาพแมลง โดยจะมีลักษณะเป็นห้องทรงสี่เหลี่ยมที่ประกอบไปด้วยผนัง 3 ด้าน ลักษณะของตัวอักษร 'U' กลับหัว โดยมีความยาว 1,200 mm. สูง 400 mm. และมีความกว้างจากขอบด้านใน 370 mm. เพื่อให้สามารถประกอบร่วมกับสายพานความกว้างขนาด 350 mm. ตัวโครงห้องถ่ายภาพของเครื่องต้นแบบ ประกอบขึ้นมาจากอลูมิเนียมโพรไฟล์ (aluminum profile) และทำการกันผนังทั้ง 3 ด้านเพื่อลดผลกระทบจากแสงภายนอกที่ส่องเข้ามา มีการติดตั้งหลอดไฟแสงสว่างภายในห้องถ่ายภาพเพื่อให้ภายในห้องถ่ายภาพนั้นมีความสว่างคงที่ตลอดเวลา และทำการติดตั้งกล้องจำนวน 2 ตัวไว้ที่บริเวณมุมด้านบนของห้องถ่ายภาพในตำแหน่งที่มุมตรงข้ามกันสำหรับนำภาพจากกล้องทั้งสองไปใช้กับโปรแกรมตรวจจับต่อไป

ในส่วนของการออกแบบและสร้างต้นแบบห้องถ่ายภาพนั้น มีจุดประสงค์เพื่อที่จะทำการควบคุมสภาวะแวดล้อมหรือปริมาณแสงให้คงที่ ลดการรบกวนของแสงจากปัจจัยภายนอก มีการกำหนดตำแหน่งกล้องถ่ายภาพ และมุมของการถ่ายภาพ เพื่อให้ภาพที่ถ่ายออกมานั้นอยู่ในมุมมองแบบเดียวกัน มีขนาดของวัตถุที่ใกล้เคียงกันจากการยึดตำแหน่งของกล้องไว้ให้คงที่ และมีระดับของแสงที่เท่ากันในทุกครั้งของการถ่ายภาพที่ 3,200 Lux (วัดจากตำแหน่งที่ทำการถ่ายภาพ) ดังแสดงใน Figure 1

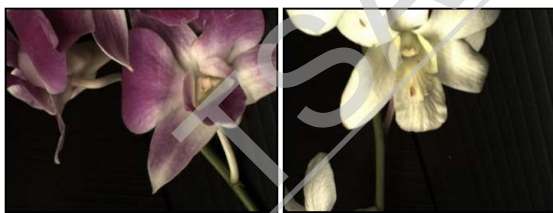


Figure 1 Sample images from light box

2.3 ชุดอุปกรณ์สายพานลำเลียงอัตโนมัติ

ในส่วนของสายพานลำเลียงจะใช้สำหรับการลำเลียงช่อกล้วยไม้เข้าไปยังห้องถ่ายภาพ เป็นสายพานหน้ากว้าง 350 mm. ยาว 1500 mm. สูง 750 mm. ดังแสดงใน Figure 2 ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์แบบที่สามารถหยุดการเคลื่อนที่ได้ เพื่อให้ชุดสายพานสามารถหยุดเคลื่อนสำหรับการถ่ายภาพกล้วยไม้ที่เลื่อนเข้ามาในห้องถ่ายภาพได้

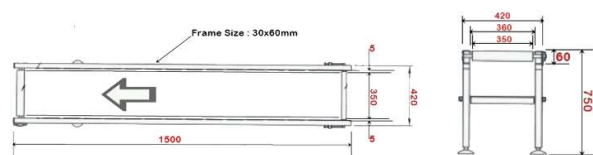


Figure 2 Sketch of conveyor belt

ชุดสายพานลำเลียงจะถูกนำไปประกอบรวมกับห้องถ่ายภาพสำหรับกระบวนการถ่ายภาพแมลงศัตรูกล้วยไม้ ผนังด้านข้างตำแหน่งเหนือสายพานจะมีการติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุไว้ดังแสดงใน Figure 3 เมื่อช่อกล้วยไม้ถูกลำเลียงมาถึงตำแหน่งของเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ สายพานก็จะหยุดเคลื่อนที่เพื่อทำการบันทึกภาพกล้วยไม้ด้วยกล้องภายในห้องถ่ายภาพ แล้วนำภาพที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมการประมวลผลภาพที่พัฒนาเพื่อการตรวจจับศัตรูกล้วยไม้ต่อไป

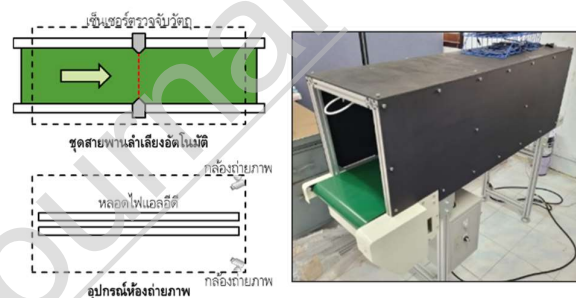


Figure 3 Conveyor belt with photography chamber

2.4 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการสร้างโปรแกรมตรวจจับแมลง

ข้อมูลภาพที่มาจากห้องถ่ายภาพ เป็นภาพที่ได้มาจากกล้องยี่ห้อ Basler รุ่น acA2500 โดยเป็นภาพสี (RGB) ขนาด 5 MP (5MP, 2590 pixel * 1942 pixel) ถ่ายด้วยเลนส์ขนาด 25 mm. ที่รูรับแสง 1.4 (F1.4) ภาพของช่อกล้วยไม้ที่นำมาใช้ในกระบวนการสร้างแบบจำลองแบ่งออกเป็น 4 หมวด ได้แก่ ช่อกล้วยไม้ที่มีหนอนกระพุ่ม บัวกล้วยไม้ หรือเพลี้ยไฟปะปนอยู่ และภาพของกล้วยไม้ที่ไม่มีแมลงปะปนอยู่ โดยเมื่อช่อกล้วยไม้เลื่อนมาตามสายพานจนกระทั่งเซ็นเซอร์ตรวจจับช่อกล้วยไม้ก็จะหยุดสายพานเพื่อทำการถ่ายภาพเก็บข้อมูล

ข้อมูลภาพที่นำมาใช้กับกระบวนการสร้างแบบจำลองและขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง ช่อกล้วยไม้แต่ละช่อจะถูกนำมาถ่ายภาพซ้ำด้วยลักษณะการวางช่อกล้วยไม้ที่แตกต่างกัน แล้วนำมาทำการแยกหมวดหมู่ของแต่ละภาพตามชนิดของแมลงที่ปะปนอยู่ภายในช่อกล้วยไม้ โดยข้อมูลที่เก็บรวบรวมมีจำนวนทั้งหมด 1,272 ภาพ แบ่งออกเป็นภาพของหนอนกระพุ่มจำนวน 262 ภาพ ภาพของบัวกล้วยไม้จำนวน

209 ภาพ ภาพของเพลี้ยไฟจำนวน 480 ภาพ และภาพกล้วยไม้ที่ไม่มีแมลงปะปนจำนวน 321 ภาพ

2.5 แบบจำลองสำหรับตรวจจับแมลงศัตรูกล้วยไม้

แบบจำลองสำหรับตรวจจับแมลงศัตรูกล้วยไม้ถูกพัฒนาขึ้นมาด้วยโปรแกรม Matlab เวอร์ชัน R2020a โดยเป็นการวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชัน (convolutional neural network, CNN) ด้วยวิธี คัดแยกหมวดหมู่ของภาพ (classification) ร่วมกับการแบ่งภาพออกเป็น ส่วนย่อย (image segmentation) ทั้งนี้เนื่องจากภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพโดยตรง คอมพิวเตอร์ต้องใช้ทรัพยากรมากในการประมวลผล และการนำภาพมาย่อขนาดก่อนนำมาประมวลผลจะทำให้รายละเอียดเล็ก ๆ ในภาพขาดหายไป ดังนั้นภาพที่นำมาใช้ในการประมวลผลจึงถูกแบ่งย่อยออกเป็นภาพขนาดเล็กจำนวนหลายภาพ เพื่อให้ได้ภาพที่นำไปประมวลผลนั้นมีขนาดเล็กลง โดยที่ไม่มีการย่อขนาดภาพและรายละเอียดของภาพไม่ขาดหายไป แล้วนำไปให้แบบจำลองทำการประมวลผลว่า แต่ละส่วนของภาพนั้นจัดอยู่ในหมวดหมู่ใด โดยผลลัพธ์ของการตรวจจับแบ่งออกเป็น 4 หมวดหมู่ ได้แก่ หนอนกระทุ้ง บักกล้วยไม้ เพลี้ยไฟ และภาพที่ไม่พบแมลง ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองตรวจสอบเป็นภาพขนาด 324*324 pixel (จากภาพขนาด 5184*3888 pixel) และทำการแยกหมวดหมู่ของภาพย่อยที่แบ่งออกมาด้วยการประเมินจากสายตาผู้เชี่ยวชาญ โดยแบ่งเป็นภาพหนอนกระทุ้งจำนวน 435 ภาพ บักกล้วยไม้จำนวน 237 ภาพ เพลี้ยไฟจำนวน 187 ภาพ และภาพที่ไม่พบแมลงจำนวน 5,691 ภาพ

เนื่องจากภาพในแต่ละหมวดหมู่ของแมลงทั้งสามนั้นมีปริมาณที่แตกต่างกับจำนวนภาพที่ไม่พบแมลงเป็นอย่างมาก ซึ่งส่งผลให้แบบจำลองจะจำแนกภาพส่วนใหญ่เป็นหมวดหมู่ภาพพื้นหลัง และไม่สามารถจำแนกภาพในหมวดหมู่อื่นได้ จึงได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยการเพิ่มจำนวนภาพในหมวดหมู่ของแมลงทั้งสามด้วยการสร้างภาพเพิ่มเติมขึ้นมาจากข้อมูลภาพเดิม (data augmentation) ด้วยวิธีการเลื่อนขนาน (translation) เพื่อให้ได้ภาพแมลงในลักษณะเดิมแต่อยู่ในตำแหน่งภาพที่แตกต่างออกไป ดังแสดงใน Figure 4 โดยภาพที่ได้หลังจากกระบวนการเพิ่มข้อมูล แบ่งออกเป็นภาพหนอนกระทุ้งจำนวน 2,595 ภาพ บักกล้วยไม้จำนวน 1,507 ภาพ เพลี้ยไฟจำนวน 1,231 ภาพ และภาพที่ไม่พบแมลงจำนวน 5,691 ภาพ

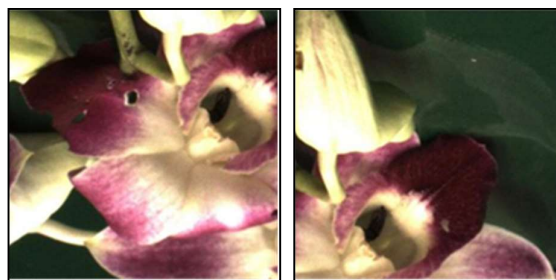


Figure 4 Sample image from augmentation with translation method

ภาพกล้วยไม้ในหลังจากการกระบวนการเพิ่มข้อมูลนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะถูกใช้ในกระบวนการสร้างแบบจำลองจำแนกหมวดหมู่เพื่อทำการสร้างแบบจำลองขึ้นมา และส่วนที่สองจะถูกใช้ในขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองเพื่อทดสอบความแม่นยำในการจำแนกหมวดหมู่ของแบบจำลองด้วยข้อมูลที่ไม่เคยถูกสอนมาก่อน โดยภาพที่ได้มาในแต่ละหมวดหมู่นั้น 80% ของจำนวนภาพจะถูกแบ่งมาเพื่อใช้ในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองและอีก 20% ที่เหลือจะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนของการทดสอบแบบจำลอง

3 ผลและวิจารณ์

จากผลการทดสอบพบว่าความแม่นยำในการจำแนกหมวดหมู่ก่อนทำการเพิ่มข้อมูลแยกตามชนิดของแมลงคือ หนอนกระทุ้ง 44.83% บักกล้วยไม้ 10.64% เพลี้ยไฟ 24.32% และภาพที่ไม่พบแมลง 97.01% แต่หลังจากผ่านกระบวนการเพิ่มข้อมูลเรียบร้อยแล้วแบบจำลองจะมีความถูกต้องแม่นยำในการทำงานที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับแบบจำลองจำแนกหมวดหมู่ก่อนที่จะทำการเพิ่มข้อมูลเข้ามา โดยมีความแม่นยำเพิ่มขึ้นแยกตามหมวดหมู่เป็น หนอนกระทุ้ง 83.82% บักกล้วยไม้ 79.07% เพลี้ยไฟ 59.76% และการไม่พบแมลง 86.99% ดังแสดงใน Table 1

การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองการจำแนกหมวดหมู่จะเป็นการทดสอบทดสอบซ้ำจำนวน 10 ครั้ง โดยจะทำการสุ่มภาพจำนวน 1,000 ภาพในแต่ละหมวดหมู่สำหรับการกระบวนการสร้างแบบจำลองและสุ่มภาพจำนวน 200 ภาพในแต่ละหมวดหมู่สำหรับขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองดังแสดงใน Table 2 พบว่าแบบจำลองมีความแม่นยำเฉลี่ยในการจำแนกหมวดหมู่อยู่ที่ 81.6% สำหรับหนอนกระทุ้ง 88.1% สำหรับบักกล้วยไม้ 64.6% สำหรับเพลี้ยไฟ และ 78.9% สำหรับภาพที่ไม่มีแมลง

Table 1 Splitted image classification accuracy before and after augmentation

Category	Before	After
	Augmentation (Correct image / Total image)	Augmentation (Correct image / Total image)
Cutworm	44.83% (39/87)	83.82% (435/519)
Midge	10.64% (5/47)	79.07% (238/301)
Thrips	24.32% (9/37)	59.76% (147/246)
Non-Pest Detected	97.01% (1104/1138)	86.99% (990/1138)

Table 2 Testing result of splitted image classification

Category	Average Accuracy	Standard Derivation
Cutworm	81.6%	0.081
Midge	88.1%	0.073
Thrips	64.6%	0.106
Non-Pest Detected	78.9%	0.082

การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองสำหรับตรวจจับแมลงศัตรูกล้วยไม้ นั้น จะเป็นการนำแบบจำลองจำแนกหมวดหมู่มาทำการทดสอบการตรวจจับกับภาพที่ได้มาจากห้องถ่ายภาพจริง โดยทำการสุ่มภาพออกมาหมวดหมู่ละ 200 ภาพสำหรับนำมาใช้ในขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพ

ภาพที่นำมาทำการทดสอบแต่ละภาพจะถูกแบ่งออกเป็น 12 ภาพย่อย และนำแบบจำลองจำแนกหมวดหมู่ทั้ง 10 แบบจำลองที่มาจากขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองจำแนกหมวดหมู่ก่อนหน้านี้ มาทำการจำแนกหมวดหมู่ของภาพย่อยแต่ละภาพ ถ้าหากว่าในหมู่ภาพย่อยที่แยกออกมานั้นมีภาพใดภาพหนึ่งที่ถูกระบุว่าหมวดหมู่เป็นแมลงหนึ่งในสามชนิดนี้ ก็ถือว่าไม่ชื่อนั้นก็จะถูกประเมินว่า ‘ตรวจพบแมลง’ ส่วนภาพของช่อกล้วยไม้ที่ภาพย่อยทุกภาพถูกจำแนกหมวดหมู่เป็น ‘ไม่พบแมลง’ ช่อกล้วยไม้ชื่อนั้นก็จะถูกประเมินว่า ‘ตรวจไม่พบแมลง’ ผลการทดสอบการตรวจสอบแมลงภายในห้องถ่ายภาพพบว่ามีความแม่นยำในการทำงานอยู่ที่ 78.6% สำหรับหนอนกระทู้ผัก 68.0% สำหรับบั่วกล้วยไม้ 39.8% สำหรับเพลี้ยไฟ และ 39.1% สำหรับภาพที่ไม่มีแมลง ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Testing result of automatic conveyor belts insect pests screening machines

Category	Average Accuracy	Standard Derivation
Cutworm	78.6%	0.104
Midge	68.0%	0.049
Thrips	39.8%	0.110
Non-Pest Detected	39.1%	0.043

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองสำหรับตรวจจับแมลงศัตรูกล้วยไม้นั้นพบว่าความแม่นยำของแบบจำลองนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของตัวแมลงด้วย ทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำในการตรวจสอบหนอนกระทู้ผักสูงที่สุดเนื่องจากเป็นแมลงที่มีขนาดใหญ่ที่สุด และมีความแม่นยำในการตรวจจับเพลี้ยไฟต่ำที่สุดเนื่องจากเป็นแมลงที่มีขนาดเล็กที่สุด โดยความสามารถในการตรวจจับนั้นไม่สูงมากเนื่องจากปัจจัยต่างๆ เช่น มุมมองในการถ่ายภาพ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการตรวจจับและจำแนกชนิดโดยตรง ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพแบบเดียวกันบนกับดักล่อแมลง เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการตรวจจับเพลี้ยไฟนั้น วิธีการถ่ายภาพจากหลายมุมมองมีความแม่นยำอยู่ที่ 39.8% ส่วนวิธีการตรวจจับบนกับดักล่อแมลงมีความแม่นยำอยู่ที่ 91.23% (Wang et al., 2021)

4 สรุป

มีความเป็นไปได้ที่จะนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบแมลงศัตรูพืชสำหรับกล้วยไม้ตัดดอก โดยการใช้ภาพที่บันทึกด้วยกล้องถ่ายภาพสีที่ถ่ายจาก 2 มุมที่แตกต่างกันภายในห้องถ่ายภาพ ช่อกล้วยไม้จะไม่ถูกลำเลียงเข้ามายังห้องถ่ายภาพด้วยสายพานลำเลียง และหยุดเคลื่อนที่เพื่อทำการบันทึกภาพในห้องถ่ายภาพที่มีการป้องกันแสงจากภายนอก และควบคุมแสงสว่างภายในห้องให้คงที่ได้

แต่เนื่องจากข้อมูลภาพของแมลงที่นำมาทำการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชันนั้นยังไม่มากพอที่จะสร้างแบบจำลองให้มีความแม่นยำได้ จึงต้องมีขั้นตอนการแบ่งภาพออกเป็นส่วย่อย และขั้นตอนการการเพิ่มข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองซึ่งจะเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกหมวดหมู่แมลงจาก 44.83%, 10.64%, 24.32% และ 97.01% เป็น 83.82%, 79.07%, 59.76% และ 86.99% สำหรับหนอนกระทู้ผัก บั่วกล้วยไม้ เพลี้ยไฟ และการไม่พบแมลงตามลำดับ และจากการนำแบบจำลองสำหรับจำแนกหมวดหมู่ไปทดสอบ

การทำงานร่วมกับระบบสายพานลำเลียงพบว่ามีประสิทธิภาพในการตรวจสอบแยกตามชนิดของแมลงคือหนอนกระทู้ผัก 78.6% บั่วกล้วยไม้ 68.0% เพลี้ยไฟเท่ากับ 39.8% ไม่พบแมลง 39.1% ตามลำดับ ด้วยระยะเวลาในการทำงานของเครื่องตรวจสอบที่ 12 วินาทีต่อข้อแบ่ง โดยประกอบไปด้วยระยะเวลาในการลำเลียงข้อกล้วยไม้ 9 s และระยะเวลาในการประมวลผล 3 s ซึ่งใกล้เคียงกับระยะเวลาในการตรวจสอบด้วยแรงงานคนที่ใช้เวลาประมาณ 12 – 15 วินาทีต่อข้อ

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการตรวจสอบ เกิดจากการที่แมลงบางชนิดเช่นบั่วกล้วยไม้หรือเพลี้ยไฟเป็นแมลงที่มีขนาดเล็ก รวมไปถึงการที่ตัวของแมลงไปอยู่ในจุดที่กล้องไม่สามารถบันทึกภาพได้อย่างเช่นบริเวณด้านหลังของใบที่ซ้อนกัน หรือด้านในของกลีบดอกที่ไม่ได้หันเข้ามาหากกล้อง ส่งผลให้ถ่ายภาพติดตัวแมลงได้ยาก ดังนั้นการกำหนดค่าปัจจัยต่าง ๆ ภายในห้องถ่ายภาพ เช่น ความสว่าง ความไวชัตเตอร์ สมดุลแสงขาว หรือระยะโฟกัสให้มีความเหมาะสมจะส่งผลให้แบบจำลองสามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างข้อกล้วยไม้และแมลงได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้การพัฒนาการตรวจสอบแมลงศัตรูพืชด้วยการสังเกตปัจจัยอื่น ๆ เช่น อาการที่ถูกทำลายก็อาจเป็นอีกแนวทางที่เพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับแมลงศัตรูพืชได้

เครื่องตรวจสอบแมลงศัตรูพืชสำหรับกล้วยไม้ตัดดอกแบบสายพานลำเลียงอัตโนมัติที่ใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมชนิดคอนโวลูชันนั้นยังมีความแม่นยำในการตรวจสอบไม่มากพอที่จะนำไปใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมได้ การพัฒนาระบบการถ่ายภาพให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น รวมไปถึงการพัฒนาแบบจำลองให้สามารถการตรวจจับแมลงศัตรูกล้วยไม้ที่มีขนาดเล็ก และมีความแม่นยำในการตรวจสอบที่สูงขึ้นได้ก็จะเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีในการตรวจสอบแมลงศัตรูกล้วยไม้เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานต่อไปได้ในอนาคต

5 เอกสารอ้างอิง

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2552. ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์เรื่องกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร: การปฏิบัติที่ดีสำหรับโรงคัดบรรจุดอกกล้วยไม้. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 126 ตอนพิเศษ 186 ง วันที่ 28 ธันวาคม 2552

เกรียงไกร แคมสุมัง, เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์, อภิรัฐ ปิ่นทอง. 2559. การพัฒนาระบบตรวจสอบโรคกล้วยไม้ควบคุมระยะไกลร่วมกับเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อควบคุมการให้สารเคมีแบบแม่นยำสำหรับโรงเรือนมาตรฐาน. วารสาร

สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 ประจำปี 2559, 7-20.

สุนทร ก้องสินธุ์, อนุชิต สิงห์จันทร์, สมนึก ดำนัย, ณัฐวิรัช สุขสง. 2561. การออกแบบชุดทดลองคัดแยกสปีดโน้ตบนระบบสายพานลำเลียงโดยโมดูลแยกสปีดโน้ต. วารสารวิจัยและนวัตกรรม สถาบันการอาชีวศึกษากรุงเทพมหานคร ปีที่ 1 ฉบับที่ 2, 56-68.

สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ. 2565. สินค้ากล้วยไม้. แหล่งข้อมูล: https://ditp.go.th/ditp_web61/article_sub_view.php?filename=contents_attach/792005/792005.pdf&title=792005&cate=743&d=0. เข้าถึงเมื่อ 23 สิงหาคม 2565.

Wang, D., Wang, Y., Li, M., Yang, X., Wu, J., & Li, W. 2021. Using an Improved YOLOv4 Deep Learning Network for Accurate Detection of Whitefly and Thrips on Sticky Trap Images. Transactions of the ASABE, 64(3), 919-927.



การออกแบบและพัฒนาระบบอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสำหรับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

Design and Development of Heat Pump Drying System for Soybean Seeds

อานนท์ สายคำฟู^{1*}, พินิจ จิรคกุล¹, ภัสสร วัฒนกุลภาคิน², วิชัย โอภาณุกุล¹, ธนพงศ์ แสนจุ่ม¹, เอกภาพ ปานภูมิ¹,
อนุชา เชาวโชติ¹, นิรุติ บุญญา¹

Arnon Saicomfu^{1*}, Pinit Jirakkakul¹, Paphatsorn Wattanakulpakin², Wichai Opanukul¹, Tanapong Sanchum¹,
Akkarpap Panpoom¹, Anucha Chaochot¹, Niruth Boonya¹

¹สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

²กองวิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok, 10900, Thailand

²Seed Research and Development Division, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok, 10900, Thailand

*Corresponding author: Tel: +66-8-6673-1028, Fax: +66-25-5792-757, E-mail: arnon.scf@gmail.com

บทคัดย่อ

การออกแบบและพัฒนาระบบอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องจักรสำหรับลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง โดยออกแบบให้ห้องอบแห้งมีขนาด 1.8x2.5x2.3 m (กว้าง x ยาว x สูง) สำหรับระบบปั๊มความร้อน ใช้คอมเพรสเซอร์ขนาด 7 hp (380V) ใช้สารทำความเย็น R-22 ซึ่งมีความสามารถในการทำความเย็นและความร้อนเท่ากับ 14.3 kW และ 17.3 kW ตามลำดับ ในการทดสอบระบบปั๊มความร้อน กำหนดค่าแรงดันสารทำความเย็นด้านสูง 3 ระดับ ได้แก่ 1.38 1.72 และ 2.07 MPa จากผลการทดสอบ พบว่า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 33±1.02 °C, 39±2.9% RH; 38±0.98 °C, 36±2.3% RH และ 44±1.36 °C, 32±3.1% RH ตามลำดับ โดยพบว่าช่วงแรงดันด้านสูงเท่ากับ 1.72 MPa เป็นค่าแรงดันที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง 250 kg จากความชื้นเริ่มต้น 18% w.b. ให้เหลือ 11% w.b. ใช้ระยะเวลา 5 h จากการวิเคราะห์ต้นทุนเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจซื้อเครื่องจักรมาใช้งาน พบว่า ที่กำลังการผลิต 20, 30, 40 และ 50 tons year⁻¹ มีต้นทุนการใช้งานเฉลี่ยเท่ากับ 3.65, 2.73, 2.28 และ 2 Baht kg⁻¹ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ปั๊มความร้อน ถั่วเหลือง การอบแห้งเมล็ดพันธุ์

Abstract

The design and development of a heat pump drying system in the present research were aimed at developing a machine to reduce the moisture of soybean seeds. The drying chamber was designed to have the dimensions of 1.8 x 2.4 x 2.3 m (width x length x height). The heat pump system utilized a compressor rated at 7 hp (380 V) and R-22 as the refrigerant; its cooling and heating capabilities were 14.3 kW and 17.3 kW, respectively. The heat pump system was tested at the high refrigerant pressures of 1.38, 1.72 and 2.07 MPa. The results showed that the average temperature and relative humidity within the drying chamber were 33±1.02 °C, 39±2.9% RH; 38±0.98 °C, 36±2.3% RH and 44±1.36 °C, 32±3.1% RH, respectively. The refrigerant pressure of 1.72 MPa was noted

Received: August 04, 2022

Revised: August 24, 2022

Accepted: September 01, 2022

Available online: January 16, 2023

to be optimal for controlling the temperature and relative humidity for soybean seeds drying. By drying 250 kg soybean seeds from an initial moisture content of 18% w.b. to 11% w.b. the drying time was around 5 h. The cost analysis revealed that the costs of soybean seeds drying at the capacities of 20, 30, 40, and 50 tons/year were 3.65, 2.73, 2.28, and 2.0 Baht kg^{-1} , respectively.

Keywords: Heat pump, Soybean, Seed drying

1 บทนำ

การลดความชื้นหรือการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชที่จะหลีกเลี่ยงไม่ได้เนื่องจากในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชโดยเริ่มจากการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว จนมาถึงขั้นตอนการลดความชื้นหรือการอบแห้ง แล้วนำไปคัดแยกและทำความสะอาด และสุดท้ายคือการเก็บรักษาเพื่อรอจำหน่ายหรือนำไปเพาะปลูกในฤดูถัดไปได้ ซึ่งวิธีการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี เช่น การลดความชื้นด้วยวิธีตากแดด การใช้เครื่องลดความชื้นด้วยลมร้อนที่ใช้แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนจาก ฮีตเตอร์ไฟฟ้า น้ำมัน ก๊าซ LPG น้ำมันเตา เป็นต้น เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวมาจากแปลงเพาะปลูกจะมีความชื้นสูงถึง 20-40 %w.b. ซึ่งค่าความชื้นนี้จะขึ้นอยู่กับเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดและขึ้นอยู่กับช่วงเวลาฤดูกาลที่เก็บเกี่ยว โดยในปัจจุบันการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วยังนิยมใช้วิธีการลดความชื้นด้วยแสงแดด (sun drying) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำ และประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นซึ่งมีแสงแดดเพียงพอต่อการลดความชื้น และโดยทั่วไปวิธีดังกล่าวจะใช้เวลาในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ประมาณ 1-2 day ขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพันธุ์และปริมาณแสงแดดในช่วงเวลาที่ลดความชื้น เช่น การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวใช้เวลา 1 day สำหรับในการลดความชื้นจาก 16-18% w.b. ให้ลดลงเหลือ 11-12% w.b. ถั่วเหลืองใช้เวลา 2 วัน สำหรับในการลดความชื้นจาก 18-20% w.b ให้เหลือ 11-12% w.b. และถั่วลิสงใช้เวลา 2 วัน สำหรับในการลดความชื้นจาก 18-20% w.b. ให้ลดลงเหลือ 9-11% w.b. นอกจากนี้ “บุญมีและคณะ (2546)” ได้ทำการศึกษาการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงด้วยเครื่องอบแห้งแบบชนิดลมร้อน พบว่า การลดความชื้นจาก 27% w.b. ให้ลดลงเหลือ 5.7% w.b. ใช้เวลา 36 hr เปรียบเทียบกับการลดความชื้นด้วยวิธีตากแดดบนตะแกรงลวดและวิธีการผึ่งลมในที่ร่มจะใช้เวลามากถึง 3 และ 4 วัน ตามลำดับ นอกจากนี้การลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดดยังจำเป็นต้องใช้แรงงานในการนำเมล็ดพันธุ์พืชตากแดด กลับกองและเก็บเมล็ดพันธุ์ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อเสียในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีแสงแดดน้อย มีฝนตก ความชื้นสัมพัทธ์

ในอากาศสูง จึงทำให้ไม่สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (12-14% w.b.) ได้ภายใน 1-2 วัน ส่งผลให้ขบวนการเมตาบอลิซึมของเมล็ดพันธุ์สูง เชื้อราเจริญเติบโต ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพ ความแข็งแรงต่ำ และอายุการเก็บรักษาสั้น “จวงจันทร (2534); วันชัย (2542)” ดังนั้นการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลดความชื้น อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เพื่อช่วยให้เมล็ดพันธุ์ยังคงมีคุณภาพที่ดีและมีความแข็งแรงสูง ในช่วงฤดูฝนหรือในช่วงที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ อีกทั้งสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (climate changes) ในปัจจุบันที่ค่อนข้างแปรปรวนไม่เป็นที่แน่นอน การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ด้วยเครื่องอบลดความชื้นจึงน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่วและส่งผลให้การจัดการเมล็ดพันธุ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ซึ่งในปัจจุบันเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนก็ได้มีการเริ่มนำมาใช้งานในการลดความชื้นผลิตภัณฑ์ต่างๆ อย่างแพร่หลาย “Hu (2022)” เช่น อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมการผลิตยา อุตสาหกรรมการเกษตร เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมา “จุฑาศินีและศิวิลักษณ์ (2555)” ได้มีการออกแบบใช้ปั๊มความร้อนลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชผักพบว่า ที่อุณหภูมิ 50 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 44.1% RH มีความสามารถในการระเหยน้ำได้ดีและมีค่าสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ และ “Soponronnarit et al. (2000)” ได้ใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวร่วมกับตู้อบแบบเมล็ดไหลคลุกเคล้า “Louisiana State University, LSU type” พบว่าที่อุณหภูมิอบแห้งไม่เกิน 43 °C สามารถลดความชื้นเมล็ดจาก 22.22% w.b. ลดลงเหลือ 12% w.b. ซึ่งหลังจากการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวมีความงอกเฉลี่ย 97% และความแข็งแรงเมล็ด 96%

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้มีการออกแบบและพัฒนาเครื่องลดความชื้นระบบปั๊มความร้อน (Heat Pump) หรือแบบลมแห้ง มาใช้งานสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ซึ่งถือว่าเป็นพืชที่มีปริมาณน้ำมันสูง ถ้าหากการลดความชื้นด้วยอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้เมล็ดพันธุ์มีอัตราการหายใจสูง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เมล็ดพันธุ์บางส่วนสูญเสียคุณภาพในด้านของความงอกและ

ความแข็งแรง โดยระบบปั๊มความร้อนที่ออกแบบนี้จะปรับสภาพอากาศให้อุ่นหมุมที่เหมาะสมคือไม่เกิน 43 °C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำ (25-35% RH) ซึ่งจะทำให้ได้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพที่ดีและเทคโนโลยีที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถแข่งขันให้กับการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชของไทย และผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางพันธุ์พืช (Seed Hub) เมล็ดของอาเซียนและเอเชียในอนาคต ตามแผนแม่บทยุทธศาสตร์ศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2558-2567 ในการพัฒนาเครื่องมือในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานสนับสนุนการผลิตเมล็ดพันธุ์พืชตระกูลถั่ว “สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2559)” ที่กรมวิชาการเกษตรได้รับมอบหมายภารกิจจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การออกแบบระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

การออกแบบสำหรับการลดความชื้นโดยมีเงื่อนไขคือ เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมีความชื้นเริ่มต้น 18-20% w.b. แล้วทำการลดความชื้นให้เหลือ 11% w.b. และสามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ได้ 250 kg ต่อ 1 รอบ โดยใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นไม่เกิน 10 hr ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสม “จวงจันทร (2534)” เนื่องจากจะทำให้เมล็ดพันธุ์ยังคงมีคุณภาพที่ดีและมีความแข็งแรงสูง โดยอุณหภูมิห้องอบอยู่ในระหว่าง 35-43°C และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบ 25-35% RH โดยสามารถคำนวณการออกแบบระบบปั๊มความร้อนได้ดังสมการที่ 1 ถึง 5

สมการคำนวณหาน้ำหนักสุดท้ายของเมล็ดพันธุ์ตามความชื้นที่ต้องการ

$$W_f = W_i \left(\frac{100-M_i}{100-M_f} \right) \quad (1)$$

เมื่อ W_f คือ น้ำหนักเมล็ดพันธุ์หลังการลดความชื้น (kg)

W_i คือ น้ำหนักเมล็ดพันธุ์ก่อนการลดความชื้น (kg)

M_f คือ ความชื้นเมล็ดพันธุ์ที่ต้องการ (% w.b.)

M_i คือ ความชื้นเมล็ดพันธุ์เริ่มต้น (% w.b.)

สมการคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออกจากเมล็ดพันธุ์

$$m_w = W_f - W_i \quad (2)$$

สมการคำนวณอัตราการระเหยปริมาณน้ำที่ออกจากเมล็ดพันธุ์

$$m_w = \frac{(m_w)}{t} \quad (3)$$

เมื่อ m_w คือ ปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออก (kg_{water})

m_w คือ อัตราการระเหยของปริมาณน้ำ (kg_{water} hr⁻¹)

t คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการลดความชื้น (hr)

สมการคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการลดความชื้น

$$m_a = \frac{(m_w)}{(w_f - w_i)} \quad (4)$$

$$Q_a = \frac{m_a}{\rho} \quad (5)$$

เมื่อ m_a คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ใช้ในการลดความชื้น (kg_{dryair} hr⁻¹)

m_w คือ อัตราปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออก (kg_{water} hr⁻¹)

w_f คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศหลังการลดความชื้น (kg_{water} kg_{dryair}⁻¹)

w_i คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศก่อนการลดความชื้น (kg_{water} kg_{dryair}⁻¹)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg m⁻³)

Q_a คือ ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการลดความชื้น (m³ hr⁻¹)

แล้วนำอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ต้องใช้ในการลดความชื้นไปใช้คำนวณหาขนาดคอยล์เย็นและคอยล์ร้อนของระบบปั๊มความร้อน ตามสมการที่ 6 และ 7

สมการคำนวณค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat)

$$Q_s = m_a C_p \Delta T \quad (6)$$

สมการคำนวณค่าความร้อนแฝง (Latent Heat)

$$Q_h = m_a \Delta h \quad (7)$$

เมื่อ Q_s คือ ค่าพลังงานความร้อนเฉพาะ (kW)

Q_h คือ ค่าพลังงานความร้อนแฝง (kW)

m_a คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg_{dryair} hr⁻¹)

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ (J kg⁻¹ K⁻¹)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิก่อนและหลังผ่านคอยล์ (°C)

Δh คือ ผลต่างของค่าเอนทัลปี (Enthalpy) ของ

อากาศก่อนและหลังผ่านคอยล์ (J kg⁻¹)

ซึ่งขนาดของคอยล์เย็นและคอยล์ร้อนสามารถคำนวณได้จากผลรวมของ ค่าพลังงานความร้อนเพาะและค่าพลังงานความร้อนแฝง โดยที่ผลการคำนวณขนาดของคอยล์เย็นนี้สามารถนำไปกำหนดเลือกใช้ขนาดของคอมเพรสเซอร์

2.2 การสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

การสร้างเครื่องต้นแบบตู้อบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ขนาด $1.8 \times 2.4 \times 2.3 \text{ m}^3$ (กว้างxยาวxสูง) สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ได้ 250 kg โดยผนังห้องลดความชื้นใช้โฟมเป็นฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายในออกไปยังภายนอก และระบบปั๊มความร้อนมีอุปกรณ์ในการทำงานหลักๆ คือ คอมเพรสเซอร์ (Compressor) เอ็กซ์แพนชันวาล์ว (Expansion Valve) คอยล์เย็น (Cooler Unit) คอยล์ร้อน (Condenser) ที่ติดตั้งภายในตู้สำหรับสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ดังแสดงแนวคิดการออกแบบการลดความชื้นด้วยระบบปั๊มความร้อนใน Figure 1 คือ ในการออกแบบได้กำหนดให้ อากาศก่อนเข้าคอยล์เย็นมีอุณหภูมิเริ่มต้น (T1) เท่ากับ 38°C และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเท่ากับ 45% RH เมื่ออากาศผ่านคอยล์เย็นแล้ว (T2) จะทำให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 18.7°C และเกิดการควบแน่นของอากาศกลั่นตัวออกมาเป็นหยดน้ำทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์ 100% RH ซึ่งในสภาวะนี้จะทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้ง กระเปาะเปียก และอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point) มีค่าเท่ากัน และเมื่ออากาศผ่านคอยล์ร้อน (T3) อุณหภูมิจะสูงขึ้นเป็น 43°C และความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงเหลือ 25% RH ซึ่งเป็นการดัดแปลงสภาพอากาศให้เป็นลมแห้งก่อนที่จะนำไปลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

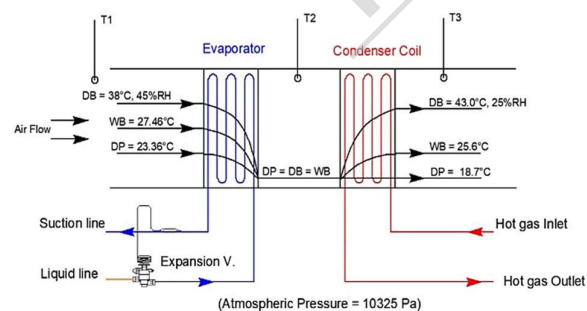


Figure 1 Concept design for temperature and relative humidity control.

ในส่วนของตู้ลดความชื้นได้ออกแบบให้เป็นลดความชื้นแบบระบบปิด (Closed loop system) ดังแสดงใน Figure 2

เนื่องจากการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองนั้น ต้องการอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก และต้องการความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ต่ำ

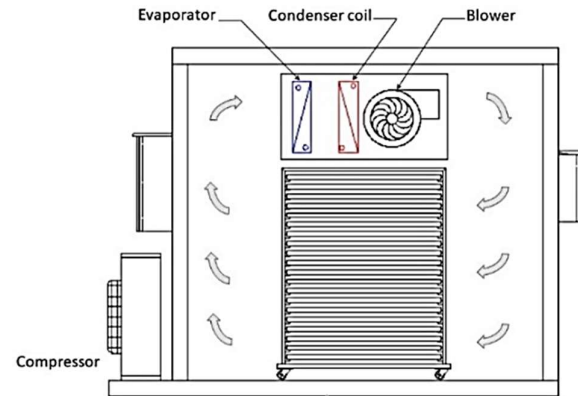


Figure 2 Concept design for chamber of Heat pump dryer.

2.3 ทดสอบการทำงานเบื้องต้น

ทดสอบการทำงานเบื้องต้นในอาคารปฏิบัติการ (Work shop) ซึ่งในขั้นตอนนี้ยังไม่มีกำหนดแรงดันด้านต่ำ (low pressure) และแรงดันด้านสูง (high pressure) ของระบบปั๊มความร้อน เพื่อดูแนวโน้มลักษณะการทำงานเบื้องต้น แล้วใช้ Data logger บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกตู้ลดความชื้น เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์การทำงานของระบบปั๊มความร้อนในเบื้องต้น

2.4 ทดสอบหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของระบบปั๊มความร้อน

โดยในการทดสอบนี้ได้กำหนดการตั้งค่าแรงดันด้านสูง (High Pressure) ของระบบปั๊มความร้อนไว้ 3 ระดับ คือ 1.38 MPa 1.72 MPa และ 2.07 MPa ด้วยการตั้งค่าที่ High pressure switch ของระบบปั๊มความร้อน แต่ในส่วนของการตั้งค่าแรงดันด้านต่ำ (Low pressure) นั้นจะมีค่าแปรผันตามแรงดันด้านสูง แล้วทำการทดลองจำนวน 3 ชั่วโมง และบันทึกผลการทดลองดังนี้ 1) ค่าแรงดันด้านต่ำ 2) ค่าแรงดันด้านสูง และ 3) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบ แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์หาค่าแรงดันด้านสูงที่เหมาะสมในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องลดความชื้น

2.5 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

ทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมของเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนต่อการลดความชื้นพันธุ์ถั่วเหลือง พันธุ์เชียงใหม่ 60 โดยมี

ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 18% w.b. แล้วทำการลดความชื้นให้เหลือ 11% w.b. จำนวน 250 kg ซึ่งในการลดความชื้นนี้ได้ใส่เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองลงในถาดจำนวน 20 tray และมีความหนาของเมล็ดพันธุ์ในแต่ละถาดไม่เกิน 3 cm แล้วทำการเก็บตัวเมล็ดพันธุ์จำนวน 10 ถาด ๆ ละ 3 ตัวอย่าง มาชั่งน้ำหนัก ทุก ๆ 1 hr ดังแสดงใน Figure 3 เพื่อนำมาคำนวณหาความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองระหว่างการลดความชื้น



Figure 3 Sampling of the seeds in the tray for the calculation of the moisture content.

2.6 การประเมินสมรรถนะของเครื่องลดความชื้น

การประเมินสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนที่ได้ออกแบบสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองนี้ ได้ทำการทดสอบตามวิธีการประเมินสมรรถนะเครื่องเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง “สฤทธิพรและสัมพันธ์ (2548)” โดยมีรายละเอียดการประเมินดังนี้

อัตราการดึงความชื้น (Moisture Condensation Rate, MCR)

$$MCR = m_{a,e}(W_{ei} - W_{eo}) \times 3600 \quad (8)$$

อัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (Specific Moisture Extraction Rate, SMER) เป็นค่าที่แสดงปริมาณความชื้นเปลี่ยนแปลงพลังงานในการลดความชื้น

$$SMER = \frac{m_{a,e}(W_{ei} - W_{eo}) \times 3600}{W_{net}} \quad (9)$$

เมื่อ MCR คือ อัตราการดึงความชื้น ($\text{kg}_{\text{water}} \text{ hr}^{-1}$)

SMER คือ อัตราการดึงความชื้นจำเพาะ ($\text{kg}_{\text{water}} \text{ kW}$

¹⁾

$m_{a,e}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็น (kg s^{-1})

W_{ei} คือ อัตราส่วนความชื้นก่อนเข้าอีแวปอเรเตอร์ ($\text{kg}_{\text{water}} \text{ kg}_{\text{dry air}}^{-1}$)

W_{eo} คือ อัตราส่วนความชื้นที่ออกจากอีแวปอเรเตอร์ ($\text{kg}_{\text{water}} \text{ kg}_{\text{dry air}}^{-1}$)

W_{net} คือ งานสุทธิที่ป้อนให้กับระบบ (kWh)

2.7 วิเคราะห์ต้นทุนการใช้งานปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

การประเมินต้นทุนการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยตู้อบแบบปั๊มความร้อนนี้ จะมีต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน ซึ่งต้นทุนคงที่คือ เครื่องจักรที่มีราคา 500,000 Baht ซึ่งมีอายุการใช้งาน 10 years และต้นทุนแปรผันซึ่งได้แก่ ค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าซ่อมบำรุงประจำปี แล้วนำต้นทุนทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับกำลังการผลิตคือ ปริมาณเมล็ดพันธุ์ที่ลดความชื้นใน 1 year เพื่อนำมาประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองต่อ 1 kg

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการออกแบบระบบปั๊มความร้อน

จากเงื่อนไขสำหรับการลดความชื้นคือ เมล็ดพันธุ์มีความชื้นเริ่มต้น 18-20% w.b. แล้วทำการลดความชื้นให้เหลือ 11% w.b. และสามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ได้ 250 kg โดยกำหนดให้ใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นไม่เกิน 10 hr เนื่องจากหากใช้เวลามากกว่านี้จะส่งผลต่อคุณภาพและเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ โดยอุณหภูมิห้องอบอยู่ในระหว่าง 35-43°C และความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบ 25-35% RH และเงื่อนไขสภาพแวดล้อมอื่นๆ ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Conditioning for heat pump system design

Conditioning for heat pump drying system design			
1	Air Temperature	43	°C
2	Relative humidity	35	% RH
3	Soybean	250	kg
4	Drying time	10	hr
5	Initial moisture content of soybean	18	% w.b.
6	final moisture content of soybean	11	% w.b.
7	Air Temperature after drying	38	°C
8	Relative humidity after drying	45	% RH
9	Ambient temperature	30	°C
10	Ambient relative humidity	55	% RH

และจากการคำนวณโดยการใช้คุณสมบัติของอากาศตามแผนภูมิ Psychometrics Chart ทำให้ได้ผลการคำนวณดังแสดงใน Table 2 ซึ่งอัตราการการไหลเชิงมวลของอากาศเท่ากับ $799.31 \text{ kg}_{\text{air}} \text{ hr}^{-1}$ หรือคิดเป็นปริมาณลมที่ต้องการใช้สำหรับการลดความชื้นเท่ากับ $707.98 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1}$

Table 2 The result of Air flow calculation for soybean drying by heat pump dryer system.

Description	Result	unit
Initial wight of soybean	250	kg
Final wight of soybean	230.34	kg
Initial moisture content	18	% w.b.
Final moisture content	11	% w.b.
Drying temperature	43	°C
Relative humidity for drying	35	% RH
Humidity ratio before drying (w_i)	0.0125	$\text{kg}_{\text{water}} \text{ kg}_{\text{dryair}}^{-1}$
Air density (ρ)	1.129	Kg m^{-3}
Air temperature after drying	38	°C
Relative humidity after drying	45	% RH
Humidity ratio after drying (w_f)	0.0166	$\text{kg}_{\text{water}} \text{ kg}_{\text{dryair}}^{-1}$
Ambient temperature	30	°C
Ambient relative humidity	70	% RH
Drying time	10	hr
Water evaporation of soybean	19.66	kg (water)
Evaporation rate of soybean	3.28	$\text{kg}_{\text{water}} \text{ hr}^{-1}$
Mass flow rate of air	799.31	$\text{kg}_{\text{air}} \text{ hr}^{-1}$
Air flow rate for drying	707.98	$\text{m}^3 \text{ hr}^{-1}$

จากผลการคำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ใช้สำหรับการลดความชื้นต้องไม่น้อยกว่า $799.31 \text{ kg}_{\text{air}} \text{ hr}^{-1}$ เมื่อนำมาคำนวณตามสมการค่าร้อนจำเพาะและค่าความร้อนแฝงโดยใช้ค่าคุณสมบัติของอากาศได้จาก Psychrometric chart ดังแสดงใน Figure 4 ซึ่งได้จะขนาดของคอยล์เย็นและคอยล์ร้อนของระบบปั๊มความร้อนเมื่อเพิ่มค่า Safety factor 20% จะเท่ากับ 14.3 kW และ 17.3 kW ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 3

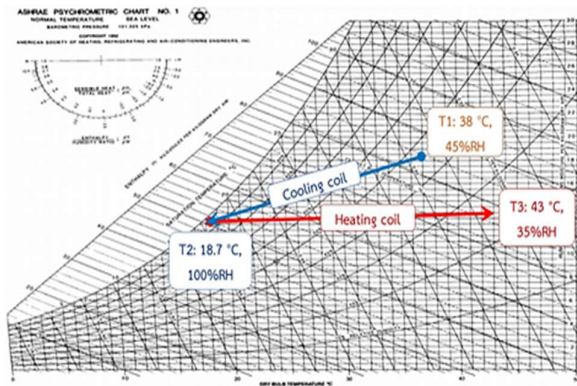


Figure 4 Psychrometrics Chart for cooling and heating coil calculations. (ASHRAE, 1998)

Table 3 The result of calculation of cooling and heating coil for heat pump drying system.

Description	Cooling coil	Heating coil
Air inlet Temp (°C)	38	18.7
Air inlet Humidity (%RH)	45	100
Air Outlet Temp (°C)	18.7	43
Air Outlet Humidity (%RH)	100	35
Specific heat (kW)	4.4	5.6
Latent heat (kW)	7.5	8.8
Safety factor (%)	20	20
Coil capacity (kW)	14.3	17.3

ซึ่งจากผลการคำนวณหาขนาดของคอยล์เย็นจะพบว่า มีขนาดเท่ากับ 14.3 kW ซึ่งสามารถนำค่านี้ไปเลือกใช้ขนาดของคอมเพรสเซอร์ในระบบปั๊มความร้อนได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกคอมเพรสเซอร์ขนาด 7 hp ที่มีความสามารถในการทำความเย็นได้ไม่น้อยกว่า 14.3 kW

3.2 ผลการสร้างต้นแบบระบบปั๊มความร้อน

ผลการสร้างเครื่องต้นแบบในส่วนเครื่องทำความเย็นสำหรับระบบปั๊มความร้อน จากการสร้างตู้ลดความชื้นขนาด 1.8x2.4x2.3 m³ (กว้างxยาวxสูง) ดังแสดงใน Figure 5 จึงได้ดำเนินการสร้างระบบปั๊มความร้อนซึ่งระบบที่ออกแบบเป็นระบบแบบ (Hydro Heat pump) คือ การให้คอมเพรสเซอร์ทำน้ำเย็นก่อน โดยใช้ Shell and Tube เป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับน้ำแล้วใช้ปั๊มส่งน้ำไปยังคอยล์เย็นอีก

ทีหนึ่ง แทนการฉีดสารทำความเย็นผ่านเอ็กแพนชันวาล์ว (Direct refrigerant cooling) เข้าไปในคอยล์เย็นโดยตรง ซึ่งเหตุผลที่ออกแบบให้ระบบปั๊มความร้อนใช้น้ำเย็นเพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันด้านต่ำของระบบสูงเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้แรงดันด้านสูงสูงขึ้นตามไปด้วย และอาจทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานหนักจนเกินไป (Over load) ดังแสดงแผนภาพวงจรระบบใน Figure 6 และส่วนประกอบของระบบปั๊มความร้อนแบบ Hydro Heat pump ดังแสดงใน Figure 7



Figure 5 Prototype of heat pump system for soybean drying.

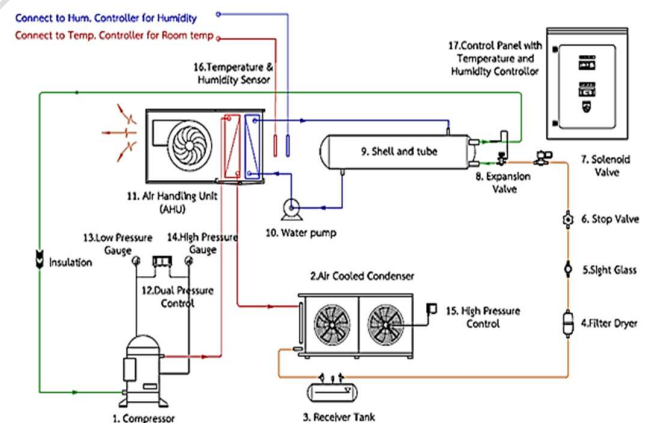


Figure 6 Piping diagram of hydro heat pump system.



Figure 7 Hydro heat pump system component.

3.3 ผลการทดสอบการทำงานเบื้องต้น

หลังจากที่ได้ทำการสร้างเครื่องต้นแบบเรียบร้อยแล้ว จึงได้ดำเนินการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบเบื้องต้น โดยบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกตู้ลดความชื้น ซึ่งผลการทดสอบการบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ดังแสดง Table 4 ซึ่งพบว่าตู้ลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.7 ± 1.04 °C และ $35.20 \pm 0.69\%$ RH ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ชัดเลยว่า ภายในตู้มีอุณหภูมิเฉลี่ย 32.71 ± 1.09 °C และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงถึง $70.99 \pm 3.6\%$ RH ดังแสดง Figure 8 ซึ่งผลการทดสอบนี้บ่งชี้ให้เห็นว่าระบบปั๊มความร้อนสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเหลืองได้ตามคำแนะนำการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์คือ อุณหภูมิที่ใช้ลดความชื้นเมล็ดไม่ควรเกิน 43 °C และความชื้นสัมพัทธ์ต้องต่ำกว่า 40% RH “ASHRAE (1999)” และจากผลการออกแบบตู้แบบปั๊มความร้อนนี้ให้เป็นการไหลเวียนของอากาศแบบระบบปิด (Closed loop system) ทำให้ผลของอุณหภูมิภายในตู้ไม่สูงเกินไปและได้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ต่ำ “Hu (2022)” แต่อย่างไรก็ตาม ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องลดความชื้นยังมีค่าที่ต่ำกว่า 43 °C อยู่ถึง 6 °C จึงจำเป็นต้องทำการทดสอบหาค่าแรงดันสารทำความเย็นของระบบปั๊มความร้อนที่เหมาะสม เพื่อให้ภายในห้องลดความชื้นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

Table 4 The result of temperature and humidity of heat pump drying system. (Pre-testing)

Inside drying chamber		Ambient	
Temperature (°C)	Humidity (%) RH	Temperature (°C)	Humidity (%) RH
$36.7 \pm 1.04^*$	$35.20 \pm 0.69^*$	$32.71 \pm 1.09^*$	$70.99 \pm 3.6^*$

*average $\pm$ SD

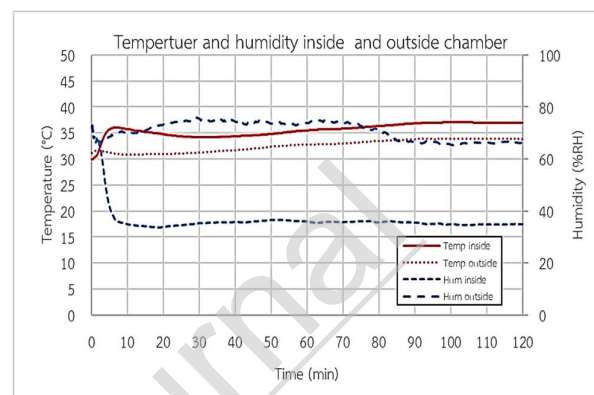


Figure 8 Temperature and humidity inside and outside of heat pump drying system (Pre-testing).

3.4 ผลการทดสอบหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสม

การทดสอบหาสภาวะการทำงานนี้ได้กำหนดตั้งค่าแรงดันด้านสูง (High Pressure) ของระบบทำความเย็นไว้ 3 ระดับ คือ 1.38 MPa 1.72 MPa และ 2.06 MPa แล้วทำการบันทึกผลการทดลองดังนี้ 1) ค่าแรงดันด้านต่ำ (Low pressure) 2) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ โดยจากผลการทดสอบพบว่า ที่แรงดันด้านสูง 1.38 MPa 1.72 MPa และ 2.06 MPa แรงดันด้านต่ำจะมีค่าแปรผันตามแรงดันด้านสูงซึ่งเท่ากับ 0.41 0.48 และ 0.55 MPa ตามลำดับ มีอุณหภูมิภายในห้องลดความชื้นเฉลี่ย 33 ± 1.02 °C, 38 ± 0.98 °C และ 44 ± 1.36 °C ตามลำดับ มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ย $39 \pm 2.9\%$ RH, $36 \pm 2.3\%$ RH และ $32 \pm 3.1\%$ RH ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 4 ซึ่งจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ที่แรงดันด้านสูงเท่ากับ 1.72 MPa เป็นแรงดันสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเหลือง โดยมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้เท่ากับ 38 ± 0.98 °C และ $36 \pm 2.3\%$ RH ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 9 ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวเหลืองที่ต้องไม่เกิน 43 °C แต่อย่างไรก็ตาม หากต้องการอุณหภูมิที่สูงกว่านี้ อาจจะต้องปรับตั้งค่า High pressure เพิ่มขึ้นจาก 1.72 MPa เป็น 1.90

MPa แต่เนื่องด้วยในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดเรื่องการปรับตั้งค่าที่ High pressure switch จึงไม่สามารถปรับตั้งค่าที่ 1.90 MPa ได้ ซึ่งในอนาคตอาจจะปรับเปลี่ยนการตั้งค่า High pressure ด้วยการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์พัดลมคอนเดนเซอร์ (Fan speed motor controller) เข้าไปทดแทน

Table 5 The result of temperature and humidity of heat pump drying system at high pressure (1.38, 1.72 and 2.07 MPa)

High pressure (MPa)	Low pressure (MPa)	Temperature (°C)	Humidity (%RH)
1.38	0.41	33±1.02	39±2.9
1.72	0.48	38±0.98	36±2.3
2.07	0.55	44±1.36	32±3.1

*average±SD

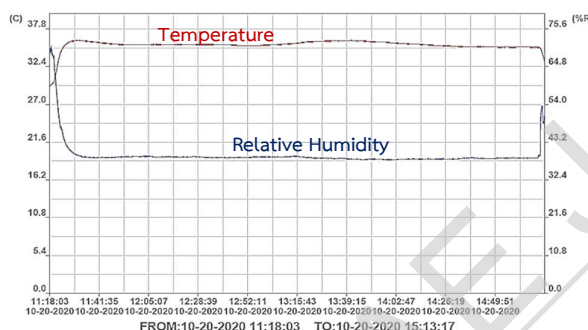


Figure 9 The result of temperature and humidity at a high pressure 1.72 MPa.

3.5 ผลการทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

เมื่อได้สภาวะการทำงานที่เหมาะสมของระบบปั๊มความร้อน ด้วยการตั้งค่าแรงดันด้านสูงไว้เท่ากับ 1.72 MPa จึงได้ทำการทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมของเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนต่อการลดความชื้นพันธุ์ถั่วเหลือง โดยในการทดสอบ เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองมีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 18% w.b. จำนวน 250 kg จากผลการทดสอบ พบว่า การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองให้ลดลงเหลือ 11, 10 และ 9% w.b. ใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นเท่ากับ 5, 8 และ 10 hr ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 10 โดยมีอัตราการดึงความชื้นเฉลี่ย 1.22% w.b. hr⁻¹ ซึ่งผลการทดสอบได้สอดคล้องกับการอบแห้งข้าวแตนเปียกด้วยปั๊มความร้อน “สัมพันธและศิริชัย (2548)” คือ อัตราการลดความชื้นในช่วงแรกจะมีค่าสูงและค่อย ๆ ลดลงตามระยะเวลาการอบแห้ง

ซึ่งจากผลการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองให้ลดลงเหลือ 11% w.b. ก็เพียงพอสำหรับการเก็บรักษามล็ดพันธุ์ไว้ได้นานถึง 6-8 เดือน “จวงจันทร (2534)”

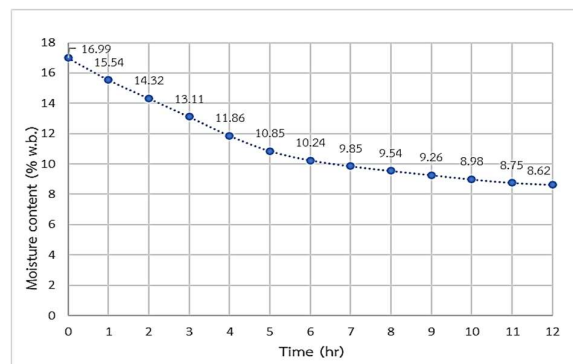


Figure 10 Moisture content of soybean and drying time.

3.6 ผลการประเมินสมรรถนะของเครื่องลดความชื้น

การประเมินสมรรถนะของเครื่องลดความชื้นปั๊มความร้อน สำหรับการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองนี้ พบว่า อัตราการดึงความชื้น (MCR) มีค่าเฉลี่ย 3.17 kg_{water} hr⁻¹ โดยใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 9.87 kWh ทำให้มีอัตราการดึงความชื้นจำเพาะ (SMER) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงปริมาณความสิ้นเปลืองพลังงานในการลดความชื้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.32 kg_{water} kWh ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงอัตราการใช้พลังงานของระบบปั๊มความร้อน และค่าใช้จ่ายสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองซึ่งจะนำไปคิดคำนวณต้นทุนในขั้นตอนต่อไป

3.7 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการใช้งานระบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยตู้อบแบบปั๊มความร้อน เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์ต้นทุนการใช้งาน โดยสามารถแยกเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันดังนี้

1. ต้นทุนคงที่หมายถึงต้นทุนที่ตายตัวคือ ราคาของเครื่องจักรจะประกอบด้วย ระบบทำความเย็นสำหรับปั๊มความร้อน ผนังห้องเย็น ชุดควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการประกอบและติดตั้งเครื่องจักร ซึ่งราคาคำนวณคงที่โดยรวมแล้วประมาณ 500,000 Baht และมีอายุการใช้งาน 10 years

2. ต้นทุนแปรผันหมายถึงต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการใช้งานคือ ค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าซ่อมบำรุงเพื่อดูแลรักษาเครื่องจักร ซึ่งต้นทุนห้องเย็นสำหรับเก็บรักษามล็ดพันธุ์พืชนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 9.87 kWh⁻¹ คิดค่าไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 3.5 Baht kWh⁻¹ ซึ่งสามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองได้ 250

kg และใช้เวลา 5 hr คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.91 Baht kg^{-1} และค่าซ่อมบำรุงประจำปีเฉลี่ยประมาณ 5,000 Baht year^{-1}

เมื่อประเมินความคุ้มค่าและต้นทุนการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองด้วยตู้อบแบบปั๊มความร้อนทั้งต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน เพื่อใช้ในการพิจารณาประกอบการตัดสินใจเลือกใช้งานตู้อบแบบปั๊มความร้อนพบว่า ที่กำลังการผลิต 20, 30, 40 และ 50 tons year^{-1} มีต้นทุนการใช้งานตู้อบแบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเท่ากับ 3.65, 2.73, 2.28 และ 2 Baht kg^{-1} ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 11 อย่างไรก็ดีตามต้นทุนเฉลี่ยการใช้งานจะลดลงตามปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้น

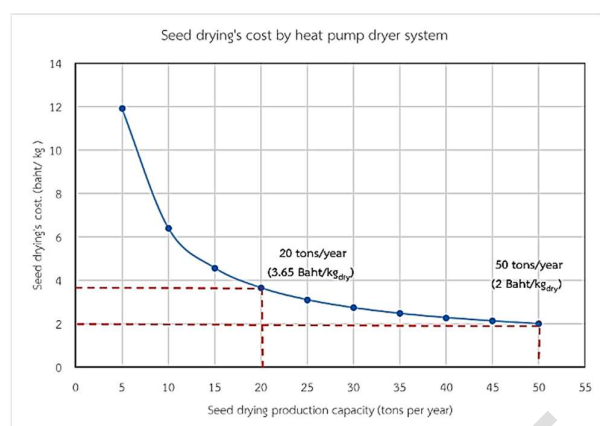


Figure 11 Cost analysis of heat pump's prototype for soybean seeds drying.

4 สรุป

การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองในปริมาณ 250 kg มีขนาด $1.8 \times 2.4 \times 2.3 \text{ m}^3$ (กว้างxยาวxสูง) ใช้คอมเพรสเซอร์ขนาด 7 hp มีความสามารถในการทำความเย็น 14.23 kW (R-22) โดยการตั้งค่าแรงดันน้ำยาตัวสูงของระบบปั๊มความร้อนที่ 1.72 MPa สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย $38 \pm 0.98^\circ\text{C}$ และ $36 \pm 2.3\% \text{ RH}$ ตามลำดับ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง และจากผลการทดสอบประเมินสมรรถนะของเครื่องลดความชื้น โดยทำการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองจำนวน 250 kg จากความชื้นเริ่มต้น 18% w.b. ให้ลดลงเหลือ 11% w.b. โดยใช้ระยะเวลา 5 hr และจากการวิเคราะห์ต้นทุนเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจซื้อเครื่องจักรมาใช้งานพบว่า ที่กำลังการผลิต 20, 30, 40 และ 50 tons year^{-1} มีต้นทุนการใช้งานตู้อบแบบปั๊มความร้อนสำหรับการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเฉลี่ยเท่ากับ 3.65, 2.73,

2.28 และ 2 Baht kg^{-1} ตามลำดับ จากผลการวิจัยเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองนี้ สามารถสร้างอุณหภูมิภายในห้องอบได้สูงสุด 46°C หากต้องการนำเครื่องต้นแบบนี้ไปใช้งานอบผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ต้องการอุณหภูมิสูงกว่าจำเป็นต้องติดตั้งฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มเข้าไป เพื่อสร้างอุณหภูมิให้สูงขึ้นแต่ไม่ควรเกิน 60°C เนื่องจากจะทำให้การทำงานของระบบปั๊มความร้อน(คอมเพรสเซอร์) เกิดสภาวะโอเวอร์โหลดและอาจส่งผลให้ระบบการทำงานเกิดความเสียหายได้

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่กลุ่มวิจัยของศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชพิษณุโลกที่สนับสนุนการปฏิบัติงานให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและบรรลุตามเป้าหมาย และขอขอบคุณ คุณณรงค์ ภูธนะพิบูลย์ กรรมการผู้จัดการ บริษัท เทอร์โมคูล ซัพพลายแอนด์เซอร์วิส จำกัด ที่ได้สนับสนุนอุปกรณ์ระบบเครื่องทำความเย็นสำหรับวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแบบปั๊มความร้อนสำหรับลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

6 เอกสารอ้างอิง

- จุฑาทิพย์ พรพทุทธิ์, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์. 2555. การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งเมล็ดพันธุ์ฝักโดยใช้ปั๊มความร้อน. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 ประจำปี 2555, 556-570. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 4-5 เมษายน 2555, เชียงใหม่.
- จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2534. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- บุญมี ศิริ, บุญจมาภรณ์ สุทธิ, โสภณวงศ์แก้ว. 2546. วิธีการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 34 (4-6 พิเศษ), 187-189.
- วันชัย จันทรประเสริฐ. 2542. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์พืชไร่. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สฤทธิพร วิทย์ผดุง, สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2548. การออกแบบเครื่องลดความชื้นประสิทธิภาพสูงที่ดัดแปลงจากเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 ประจำปี 2548 สาขาวิศวกรรม, 239-246. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. 1-4 กุมภาพันธ์ 2548, จตุจักร, กรุงเทพฯ.
- สัมพันธ์ ไชยเทพ, ศิริชัย สายอ้าย. 2548. การพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวแค้นโดยใช้ปั๊มความร้อนลดความชื้น. การสัมมนา

ทางวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิต
แห่งชาติ ครั้งที่ 3. (หน้า 31). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าธนบุรี; มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์; มหาวิทยาลัยขอนแก่น; สำนักงานกองทุน
สนับสนุนการวิจัย

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2559.

แผนแม่บทยุทธศาสตร์การเป็นศูนย์กลางเมล็ดพันธุ์.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and
Air Conditioning Engineers). 1998. ASHRAE
Fundamentals Handbook (SI unit). Chapter 6
Psychrometric chart.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and
Air Conditioning Engineers). 1999. HVAC Applications
Handbook. American society of heating, refrigerating
and air-conditioning engineers.

Soponronnarit, S., Wetchacama, S., Kanphukdee, T.
2000. Seed drying using heat pump. International
Energy Journal. 1(2): 97-102.

Zicheng Hu, Yang Li, Hany S. El-Mesery, Dixi Yin, Hao Qin
, Fenghua Ge. 2022. Design of new heat pump dryer
system: A case study in drying characteristics of kelp
knots. Case Studies in Thermal Engineering Journal.
32. (16).



ผลของอุณหภูมิต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำปลาร้าผงที่ทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

Effect of Temperature on Physico-Chemical Properties of Fermented Fish Sauce Powder Processed by Drum Dryer

นาฏชนก ปรางปรุ^{1*}, ปนัดดา บุญยิ่ง¹, ชญาดา สายรัตน์¹

Nartchanok Prangpru^{1*}, Panadda Boonying¹, Chayada Sairat¹

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, นครราชสีมา 30000

¹Faculty of Engineering and Technology Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

*Corresponding author: Tel: +66-9-5565-5596, E-mail: nartchanok.pr@rmu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำปลาร้าผง โดยนำน้ำปลาร้ามาผสมกับข้าวคั่วที่อัตราส่วน 10 : 1 โดยน้ำหนัก นำส่วนผสมที่ได้มาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง โดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.1 mm ความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.4 rpm และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของลูกกลิ้ง 4 ระดับ ได้แก่ 100, 110, 120 และ 130 °C ผลการวิจัย พบว่า เมื่ออุณหภูมิภายในของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น ค่าความชื้น ค่าความหนาแน่น ค่า L^* และค่า b^* มีแนวโน้มลดลง แต่ค่า a^* มีแนวโน้มสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ ยังพบว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนั้นหากสูงเกินไป (130 °C) จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะไหม้ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะไหม้มีค่าความชื้นต่ำกว่า 5% w.b. ค่าความหนาแน่นต่ำกว่า 520 kg m⁻³ ค่า L^* ต่ำกว่า 30 ค่า b^* ต่ำกว่า 20 และค่า a^* สูงกว่า 9 เมื่อพิจารณาจากค่าต่าง ๆ ข้างต้นแล้ว อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งน้ำปลาร้าผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งจึงควรอยู่ในช่วง 100-120 °C

คำสำคัญ: น้ำปลาร้า, ปลาร้าผง, เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

Abstract

The objective of this research was to study the effect of temperature on physico-chemical properties of fermented fish sauce powder. Fermented fish sauce was mixed with roasted rice at a ratio of 10:1 by weight. The mixture was then dried by a drum dryer. The distance between drums was 0.1 mm, the drum speed was 0.4 rpm; the temperature inside the drum was varied at 100, 110, 120 and 130 °C. The results revealed that as the temperature increased, the moisture content, bulk density, L^* and b^* values tended to decrease, while a^* value tended to increase ($p \leq 0.05$). In addition, if the higher temperature (130 °C) was used, the product would appear burnt. The burnt product had moisture content of lower than 5% w.b., bulk density lower than 520 kg m⁻³, L^* value lower than 30, b^* value lower than 20 and a^* value higher than 9. Considering the aforementioned results, suitable temperatures for drying fermented fish sauce with a drum dryer should be in the range of 100-120 °C.

Keywords: Fermented Fish Sauce, Pickled Fish Powder, Drum Dryer

Received: August 05, 2022

Revised: August 20, 2022

Accepted: August 31, 2022

Available online: January 16, 2023

1 บทนำ

ปลาร้าเป็นผลิตภัณฑ์อาหารหมักดองที่มีกรรมวิธีการหมักแบบพื้นบ้านซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงภูมิปัญญาท้องถิ่นในการถนอมอาหารที่มีการสืบทอดกันมาแต่โบราณเพื่อเก็บรักษาปลาไว้บริโภคให้นานขึ้น ดังจะเห็นว่าปลาร้าได้อยู่คู่กับวัฒนธรรมการบริโภคของสังคมไทยมาเป็นระยะเวลานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งประชากรในภาคอีสานและภาคเหนือที่นิยมบริโภคปลาร้าเป็นจำนวนมาก ซึ่งปลาร้าสามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบสำหรับปรุงอาหารเพื่อทำให้อาหารมีรสชาติกลมกล่อมและมีเอกลักษณ์มากขึ้น “ชนาภวัฒน์และอุ้นเรือน (2563)” โดยสถิติการสำรวจสำมะโนประชากรสพฐ. รายงานว่า มีประชากรชาวเอเชีย 6 กลุ่มที่อาศัยในสหรัฐฯ ได้แก่ ไทย ลาว พม่า กัมพูชา เวียดนาม และฟิลิปปินส์ จำนวน 5.83 ล้านคน ซึ่งกลุ่มชาวเอเชียที่อาศัยอยู่นี้คุ้นเคยกับการบริโภคปลาร้าเป็นอย่างดี ส่งผลให้ในปี 2564 สหรัฐฯ ได้นำเข้าซอสปรุงรสผลิตจากปลา เป็นมูลค่า 47.64 ล้านดอลลาร์ และขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 15.49 “กระทรวงพาณิชย์ (2565)” จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า การบริโภคปลาร้าก็ยังเป็นที่ยอมรับไม่เสื่อมคลายไปจากสังคมไทย แต่เนื่องจากปลาร้าเป็นอาหารหมักดองที่มีกลิ่นค่อนข้างรุนแรงเมื่ออยู่ในรูปแบบของปลาร้าที่มีน้ำเป็นส่วนผสมจึงอาจทำให้ผู้บริโภคซึ่งเป็นกลุ่มคนที่อยู่ในสังคมเมืองประสบปัญหาเกี่ยวกับขั้นตอนในการปรุงอาหารได้หากปลาร้าเกิดการหกหรือรั่วซึมออกมา ก็อาจเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้ ในปัจจุบันปลาร้าถูกนำมาแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย เพื่อให้เกิดความสะดวกในการพกพาและมีความสะอาดได้มาตรฐานสำหรับการจำหน่ายที่มุ่งเน้นการส่งออกและยกระดับปลาร้าไทยสู่ตลาดสากล เช่น ปลาร้าผง ซึ่งเป็นการผลิตปลาร้าผงโดยใช้แสงแดดด้วยการนำเอาปลาร้าแบบเป็นตัวมาคลุกเคล้าผสมกับข้าวคั่วหรือรำคั่ว และนำมาทำแห้งด้วยการตากแดดให้แห้งก่อนจะนำมาบดให้เป็นผงรวมกับกุ้งและปู แล้วปรุงแต่งกลิ่นรสให้ชวนรับประทานก่อนบรรจุลงในถุงพลาสติกเพื่อการจำหน่ายต่อไป “จนิสตาและบดินทร์ (2563)” ดังจะเห็นว่าการผลิตปลาร้าผงด้วยวิธีการดังกล่าวนี้จะใช้ปลาร้าแบบเป็นตัวจึงทำให้ปลาร้าผงที่ได้มีกลิ่นและรสชาติคล้ายกับปลาหมึก ซึ่งหากมีการนำเอาเฉพาะส่วนน้ำของปลาร้ามาทำแห้งก็อาจช่วยคงกลิ่นและรสชาติที่มีความเป็นเอกลักษณ์ของน้ำปลาร้าเอาไว้ได้ นอกจากนี้การผลิตปลาร้าผงโดยใช้การทำแห้งด้วยการตากแดดนั้นก็อาจทำให้ประสบปัญหาในบางฤดูที่มีแสงแดดไม่เพียงพอหรือปัญหาด้านความไม่สะอาดที่มาจากฝุ่นละอองสัตว์ และแมลงต่าง ๆ ทั้งนี้มีการรายงานว่ากระบวนการทำแห้ง

ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง เป็นเทคนิคที่มีระยะเวลาในการทำแห้งสั้นและมีกำลังการผลิตสูง “เกียรติศักดิ์และคณะ (2564)” อีกทั้ง “สุปรียาและศุภมาส (2560)” ที่ศึกษาการทำแห้งผงวันผลสำเร็จโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งและตู้อบลมร้อนยังได้รายงานข้อดีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งว่าผงวันผลสำเร็จที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งนั้นจะมีการพองตัวเร็วและได้ปริมาณสูงกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ขณะที่ “ธัญญาภรณ์และคณะ (2561)” ที่ศึกษากรรมวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายครีมเทียมผงจากแป้งข้าวด้วยวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ก็ได้รายงานข้อดีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเอาไว้ว่า ครีมเทียมผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งนั้นจะมีลักษณะสัณฐานวิทยาที่มีรูพรุนค่อนข้างมาก ส่งผลให้ครีมเทียมผงมีสมบัติการละลายสูงขึ้น นอกจากนี้ “นัยวัฒน์และคณะ (2563)” ที่ศึกษาการทำแห้งยีสต์สกัดแบบผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง ยังได้รายงานว่า เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งนั้นมีความเป็นไปได้ในการใช้งานเชิงพาณิชย์เนื่องจากสามารถควบคุมและปรับเปลี่ยนสภาวะการทำงานตามวัตถุดิบได้อย่างยืดหยุ่นซึ่งเป็นทางเลือกใหม่ในการผลิตยีสต์สกัดแบบผงให้กับผู้ประกอบการได้เป็นอย่างดี และด้วยข้อดีดังกล่าว หากมีการนำเอาเฉพาะส่วนน้ำของปลาร้ามาทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้งก็อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติการละลายที่ดี ทั้งยังช่วยลดปัญหาในบางฤดูที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ และลดปัญหาในด้านความไม่สะอาดลงได้ ซึ่งด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำน้ำปลาร้ามาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำปลาร้าผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนักเบา สะดวกต่อการขนส่ง สะดวกต่อการจัดเก็บ และสะดวกต่อการนำไปใช้งานได้มากขึ้น

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมน้ำปลาร้า

น้ำปลาร้าที่ใช้ในการวิจัยเป็นสูตรเฉพาะที่มาจากร้านขายน้ำปลาร้าในตลาดสุรนคร จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย ซึ่งจะมีการนำเอาน้ำปลาร้า 3 ประเภท มาผสมกัน ได้แก่ น้ำปลาร้าโหน่ง 25% น้ำปลาร้าโหน่งต้ม 50% และน้ำปลาร้าหอม 25% โดยน้ำปลาร้าที่เตรียมได้จะมีค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย $53.89 \pm 0.12\%$ w.b. และจะมีค่าสี L^* , a^* , b^* เฉลี่ย 24.70 ± 0.27 , 6.14 ± 0.04 , 15.69 ± 0.19 ตามลำดับ

2.2 การทำแห้งน้ำปลาร้าผงดด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

นำน้ำปลาร้าผสมกับข้าวคั่วในอัตราส่วน 10:1 โดยน้ำหนัก ทำการคนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน และพักส่วนผสมไว้ แล้วทำการ ตั้งค่าสภาวะของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ให้ได้ตามสภาวะที่กำหนด ได้แก่ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งคงที่เท่ากับ 0.1 mm ความเร็วรอบของลูกกลิ้งคงที่เท่ากับ 0.4 rpm และเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิภายในของลูกกลิ้งเป็น 4 ระดับ คือ 100, 110, 120 และ 130 °C จากนั้นนำส่วนผสมที่เตรียมไว้มาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ดัง Figure 1 โดยส่วนผสมจะถูกป้อนเข้าเครื่องอบแห้งด้วยการป้อนแบบปล่อย (Nip feed) ซึ่งเป็นการป้อนด้วยการปล่อยสารละลายอาหารลงในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง จากนั้นลูกกลิ้งทั้งสองจะหมุนเข้าหากันเพื่อรีดสารละลายอาหารให้มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง และขณะที่ลูกกลิ้งหมุน สารละลายอาหารก็จะเคลือบติดไปกับผิวของลูกกลิ้ง โดยลูกกลิ้ง จะทำการหมุนอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสารละลายอาหารแห้งลง จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะถูกปาดออกด้วยใบมีดที่ติดไว้บริเวณ ด้านข้างของลูกกลิ้งทั้งสองข้าง และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำแห้งแล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์เฉพาะส่วนที่ใบมีดสามารถปาดออกได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเกล็ดหรือแผ่นบาง (Flake) จึงต้องนำมาบดให้เป็นผงด้วยเครื่องปั่นผสม และนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ก่อนจึงจะได้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำปลาร้าผง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปเก็บรักษาไว้ในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิทก่อนนำไปเก็บในโถดูดความชื้นจนกว่าจะนำไปทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพต่อไป



Figure 1 The structure of double drum dryer used in the experiment.

2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

ค่าผลได้เชิงมวล (Mass Yield) ตามวิธีของ “ปนัดดาและคณะ (2562)” ด้วยการนำน้ำปลาร้ามาชั่งน้ำหนักวัดดูติก่อนเข้าสู่กระบวนการทำแห้ง (M_b) จากนั้นนำน้ำปลาร้าที่ชั่งน้ำหนักแล้ว

ไปทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำแห้งแล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเกล็ดหรือแผ่นบางมาชั่งน้ำหนักวัดดูติก่อนออกจากกระบวนการทำแห้ง (M_p) และนำค่าที่ได้มาหาค่าความแตกต่างของน้ำหนัก ด้วยการคำนวณดังสมการที่ (1) ซึ่งจะมีหน่วยเป็นร้อยละ (%)

$$Mass\ Yield = \frac{M_b}{M_a} \times 100 \quad (1)$$

ค่าความชื้น (Moisture Content) ตามวิธีของ AOAC (2000) ด้วยการนำถ้วยอบแห้งมาชั่งน้ำหนัก (W_1) จากนั้นนำน้ำปลาร้าผงใส่ลงในถ้วยอบแห้งพร้อมกับนำไปชั่งน้ำหนักก่อนอบ 3 g (W_2) และนำมาอบที่อุณหภูมิ 105 °C จนมีน้ำหนักคงที่ แล้วจึงนำถ้วยอบแห้งออกมาใส่ลงในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น ก่อนนำถ้วยอบแห้งที่เย็นแล้วนั้นมาชั่งน้ำหนักหลังอบ (W_3) และนำค่าที่ได้มาคำนวณดังสมการที่ (2) ซึ่งจะมีหน่วยเป็นร้อยละ (% w.b.)

$$Moisture\ Content = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100 \quad (2)$$

ค่าความหนาแน่น (Bulk Density) ตามวิธีของ ดวงพร (2554) ด้วยการนำกระบอกตวงขนาด 25 ml มาชั่งน้ำหนัก (m_1) จากนั้นนำน้ำปลาร้าผงใส่ลงในกระบอกตวง โดยให้น้ำปลาร้าผงมีปริมาตร 10 ml (v) แล้วนำกระบอกตวงที่มีน้ำปลาร้าผงนั้นไปชั่งน้ำหนัก (m_2) แล้วจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณดังสมการที่ (3) ซึ่งจะมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($kg\ m^{-3}$)

$$Bulk\ Density = \frac{m_2 - m_1}{v} \quad (3)$$

ค่าการละลาย (Solubility) ตามวิธีของ “ดวงพร (2554)” ด้วยการนำน้ำปลาร้าผงจำนวน 1 g ใส่ลงในหลอดเซนติพิวีก์ (Mp) เติมน้ำจำนวน 10 ml ผสมให้ละลายด้วยเครื่องเขย้าสาร และนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงสารที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 600 sec จากนั้นเทเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวใสด้านบน (Supernatant) ใส่ลงในถ้วยอบแห้งที่ทราบน้ำหนัก (MS_1) และนำมาอบที่อุณหภูมิ 105 °C จนมีน้ำหนักคงที่ แล้วจึงนำถ้วยอบแห้งออกมาใส่ลงในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น ก่อนนำถ้วยอบแห้งที่เย็นแล้วมาชั่งน้ำหนัก (MS_2) และนำค่าที่ได้มาคำนวณดังสมการที่ (4) ซึ่งจะมีหน่วยเป็นร้อยละ (%)

$$Solubility = \frac{Ms_1 - Ms_2}{Mp} \times 100 \quad (4)$$

ค่าสี (Color) ด้วยการนำน้ำปลาร้าผงจำนวน 40 g ใส่ลงในภาชนะให้กระจายปิดบริเวณก้นภาชนะทั้งหมด และนำมาวัดค่าสีด้วยเครื่อง HunterLab รุ่น MiniScan EZ 4500L ในทอมของ L^* , a^* , b^* โดย L^* หมายถึงค่าความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) ถึง 100 (ขาว) ส่วน a^* หมายถึงค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว ซึ่งเมื่อ a^* เป็นลบจะแสดงความเป็นสีเขียว และเมื่อ a^* เป็นบวกจะแสดงความเป็นสีแดง ส่วน b^* หมายถึงค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน ซึ่งเมื่อ b^* เป็นลบจะแสดงความเป็นสีน้ำเงิน และเมื่อ b^* เป็นบวกจะแสดงความเป็นสีเหลือง

2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของปลาร้าผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของลูกกลิ้งทั้ง 4 ระดับ มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีต้นแคน (Duncan's multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

3 ผลและวิจารณ์

3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

การวิเคราะห์ค่าผลได้เชิงมวลพบว่า น้ำปลาร้าผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยอุณหภูมิภายในของลูกกลิ้ง 100, 110, 120 และ 130 °C จะมีค่าผลได้เชิงมวลแสดงดัง Figure 2 โดยผลได้เชิงมวลเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 41.50 ± 0.99 , 42.01 ± 0.87 , 42.71 ± 0.89 และ $43.38 \pm 0.97\%$ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิภายในของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าผลได้เชิงมวลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p > 0.05$) เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเป็นผลให้น้ำระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ได้อย่างรวดเร็วส่งผลให้ค่าความชื้นลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ “วรัวรณ์และคณะ (2559)” ที่ศึกษาการทำแห้งน้ำมะเกลือผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นกระจายพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้นจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Yield) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยน้ำมะเกลือที่ผสมมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 10 แล้วนำมาทำแห้งด้วยอุณหภูมิลมร้อนเข้า 140 และ 180 °C จะมีค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ 4.32 และ 5.72% ตามลำดับ

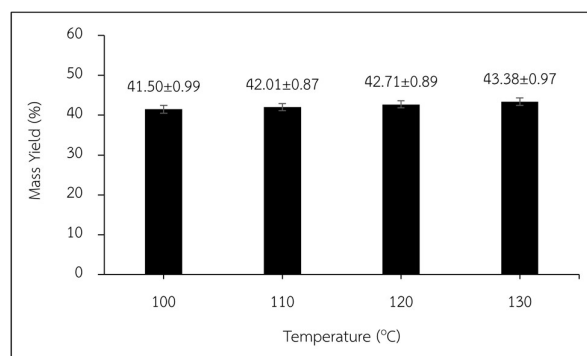


Figure 2 Changes in mass yield of fermented fish sauce powder with different temperatures.

การวิเคราะห์ค่าความชื้นพบว่า น้ำปลาร้าผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยอุณหภูมิภายในของลูกกลิ้ง 100, 110, 120 และ 130 °C มีค่าความชื้นเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ปลาร้าผง (มพช.134/2557) ที่ต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก โดยความชื้นเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 7.80 ± 0.11 , 6.73 ± 0.17 , 5.99 ± 0.33 และ $4.08 \pm 0.17\%$ w.b. ตามลำดับ ดัง Figure 3 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิภายในของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความชื้นมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเป็นผลให้น้ำระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ได้อย่างรวดเร็วส่งผลให้ค่าความชื้นลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ “กฤติยาและคณะ (2563)” ที่ศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้งโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมแกนตะวันโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนพบว่า โจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 130 °C จะมีค่าความชื้นมากกว่าโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 140 และ 150 °C โดยเมื่อทำแห้งเป็นเวลา 70 sec ความชื้นเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 4.29 ± 0.70 , 2.21 ± 0.19 และ $1.95 \pm 0.17\%$ w.b. ตามลำดับ

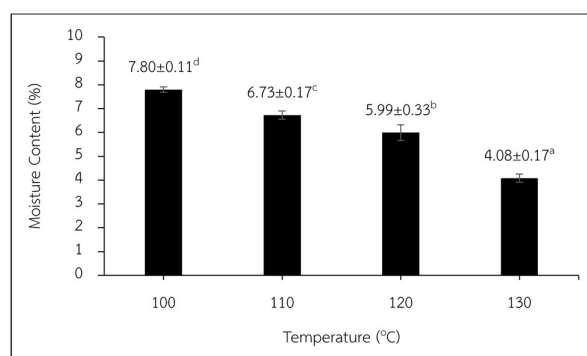


Figure 3 Changes in moisture content of fermented fish sauce powder with different temperatures. ^{abcd}: values with different letters indicate differences significant among each treatment ($p < 0.05$).

การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นพบว่า น้ำปลาร้าผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยอุณหภูมิภายในของลูกกลิ้ง 100, 110, 120 และ 130 °C จะมีค่าความหนาแน่นแสดงดัง Figure 4 โดยความหนาแน่นเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 552.89 ± 11.56 , 542.45 ± 11.45 , 539.37 ± 11.26 และ 512.26 ± 11.91 kg m^{-3} ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิภายในของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้น้ำสามารถระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ได้อย่างรวดเร็วเป็นผลให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่มีความพรุนมากขึ้นจึงส่งผลให้ความหนาแน่นลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ “Jittanit et al. (2011)” ที่ศึกษาการผลิตน้ำมะขามผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งพบว่า น้ำมะขามผงที่ใช้อัตราส่วนของน้ำมะขามต่ออารบิกกัม (AG) เท่ากับ 10:4 และนำมาทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 120 °C จะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าน้ำมะขามผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 140 °C โดยความหนาแน่นเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 0.73 ± 0.03 และ 0.64 ± 0.03 g/ml ตามลำดับ

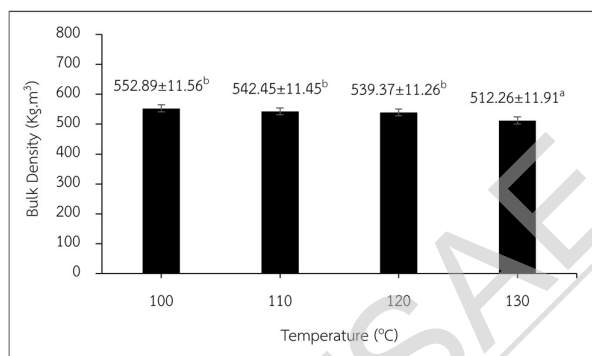


Figure 4 Changes in bulk density of fermented fish sauce powder with different temperatures. ^{ab}: values with different letters indicate differences significant among each treatment ($p \leq 0.05$).

การวิเคราะห์ค่าการละลายพบว่า น้ำปลาร้าผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยอุณหภูมิภายในของลูกกลิ้ง 100, 110, 120 และ 130 °C จะมีค่าการละลายแสดงดัง Figure 5 โดยการละลายเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 39.91 ± 0.09 , 41.86 ± 0.10 , 43.34 ± 0.13 และ $44.63 \pm 0.16\%$ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิภายในของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าการละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากค่าการละลายมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น โดยน้ำปลาร้าผงที่มีค่าความชื้นต่ำจะมีค่าการละลายสูง สังเกตได้จากเมื่อนำผงน้ำปลาร้าไปละลายน้ำผงจะแยกออกจากกันอย่างเป็นอิสระ ทำให้น้ำสามารถเข้าไปทำ

ละลายได้อย่างทั่วถึง ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิภายในของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้น นอกจากจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลให้ค่าความชื้นลดลงแล้วยังจะส่งผลต่อค่าการละลายให้มีค่าเพิ่มขึ้นอีกด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ “พรพิไลและคณะ (2561)” ที่ศึกษากระบวนการผลิตโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่สำเร็จรูป โดยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งพบว่า ดัชนีการละลายน้ำ (WSI) ของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่จะมีค่าสูงเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น โดยดัชนีการละลายน้ำจะมีค่าอยู่ในช่วง 33.20-53.78 เมื่อทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 125-135 °C

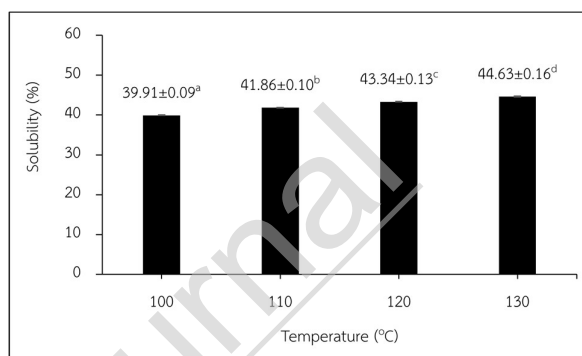


Figure 5 Changes in solubility of fermented fish sauce powder with different temperatures. ^{abcd}: values with different letters indicate differences significant among each treatment ($p \leq 0.05$).

การวิเคราะห์ค่าสี L^* , a^* , b^* พบว่า น้ำปลาร้าผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยอุณหภูมิภายในของลูกกลิ้ง 100, 110, 120 และ 130 °C จะมีค่า L^* แสดงดัง Figure 6 ส่วนค่า a^* แสดงดัง Figure 7 และค่า b^* แสดงดัง Figure 8

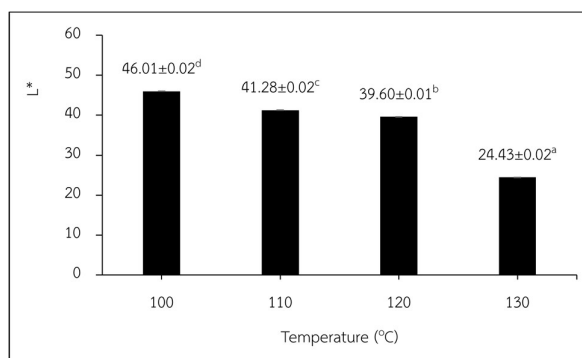


Figure 6 Changes in L^* of fermented fish sauce powder with different temperatures. ^{abcd}: values with different letters indicate differences significant among each treatment ($p \leq 0.05$).

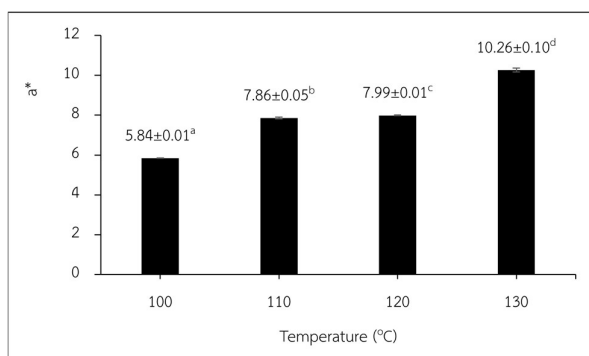


Figure 7 Changes in a^* of fermented fish sauce powder with different temperatures. ^{abcd}: values with different letters indicate differences significant among each treatment ($p \leq 0.05$).

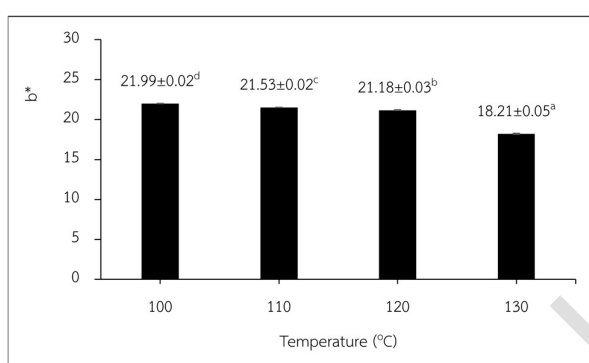


Figure 8 Changes in b^* of fermented fish sauce powder with different temperatures. ^{abcd}: values with different letters indicate differences significant among each treatment ($p \leq 0.05$).

โดย L^* เฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 46.01 ± 0.02 , 41.28 ± 0.02 , 39.60 ± 0.01 และ 24.43 ± 0.02 ตามลำดับ ส่วน a^* เฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 5.84 ± 0.01 , 7.86 ± 0.05 , 7.99 ± 0.01 และ 10.26 ± 0.10 ตามลำดับ ส่วน b^* เฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 21.99 ± 0.02 , 21.53 ± 0.02 , 21.18 ± 0.03 และ 18.21 ± 0.05 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า เมื่ออุณหภูมิภายในของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่า L^* และ ค่า b^* มีแนวโน้มลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่ออุณหภูมิภายในของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นกลับส่งผลให้ค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงสีจนกลายเป็นสีน้ำตาลเข้มจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้โมเลกุลของน้ำตาลเกิดการสลายแยกตัวออกมาและเกิดเป็นพอลิเมอร์ไฮดรอกซีของสารประกอบคาร์บอนจนกลายเป็นสารสีน้ำตาล และหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงเกินไป (130°C) ก็จะก่อให้เกิดการทำลาย

ผลิตภัณฑ์จนผลิตภัณฑ์มีลักษณะไหม้ ซึ่งผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนสีเป็นสีแดงเข้มจนถึงสีดำ ทำให้ความสว่างและความเป็นสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่มีค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ “กฤติยาและคณะ (2562)” ที่ศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้งเครื่องต้มกล้วยหอมทองผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า L^* มีแนวโน้มลดลง แต่ค่า a^* จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเครื่องต้มกล้วยหอมทองผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 130 และ 150°C จะมีค่า L^* เฉลี่ยเท่ากับ 73.99 ± 0.77 และ 67.84 ± 0.25 ตามลำดับ ส่วนค่า a^* ของเครื่องต้มกล้วยหอมทองผงที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 130 และ 150°C จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.93 ± 0.09 และ 8.86 ± 0.26 ตามลำดับ นอกจากนี้ผลของค่า b^* ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ “วรรณวิภา (2559)” ที่ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งผงสำเร็จรูปสำหรับหุงข้าวเสาไห้โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า b^* มีแนวโน้มลดลง โดยผงสำเร็จรูปสำหรับหุงข้าวเสาไห้ที่ทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 120 และ 140°C จะมีค่า b^* เฉลี่ยเท่ากับ 12.74 ± 0.29 และ 12.02 ± 0.15 ตามลำดับ

4 สรุป

อุณหภูมิมีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำปลาร้าผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง โดยการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้อัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าผลได้เชิงมวลเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ค่าการละลาย และความเป็นสีแดง (a^*) จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าความชื้น ความหนาแน่น ความสว่าง (L^*) และความเป็นสีเหลือง (b^*) จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งหากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงเกินไป (130°C) ก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะไหม้ โดยจะสามารถสังเกตได้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะไหม้นั้นจะมีความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นสูงกว่า 9 ความชื้นลดลงต่ำกว่า 5% w.b. ความหนาแน่นลดลงต่ำกว่า 520 kg.m^{-3} ความสว่าง (L^*) ลดลงต่ำกว่า 30 และความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลงต่ำกว่า 20 ซึ่งหากพิจารณาค่าต่าง ๆ ตามเกณฑ์ข้างต้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งน้ำปลาร้าผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งจึงควรอยู่ในช่วง $100\text{--}120^\circ\text{C}$ แต่อย่างไรก็ตามนอกจากอุณหภูมิแล้ว คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายก็เป็นสิ่งที่พึงพิจารณาไปพร้อมกัน ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ในการทำแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเพิ่มเติม

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทอุดหนุนทั่วไป และขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพาณิชย์. 2565. โอกาสตลาดสินค้าขอส่น้ำปลาร้าไทยในสหรัฐอเมริกา. แหล่งข้อมูล: https://www.ditp.go.th/ditp_web61/article_sub_view.php?filename=contents_attach/764221/764221.pdf&title=764221&cate=762&d=0. เข้าถึงเมื่อ 16 สิงหาคม 2565.

กฤติยา เชื้อนเพชร, เปี่ยมสุข สุวรรณภูมิ, รวิพร พลพิข, รวิภา จารุอรุณรัตน์. 2562. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องต้มกล้วยหอมทองผงเพื่อสุขภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 27(6), 1023-1037.

กฤติยา เชื้อนเพชร, รวิพร พลพิข, กนกพร ลีวานิชย์กุล, ศิริยา กาวีเขียว. 2563. ผลของชนิดข้าวและวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่สำเร็จรูปผสมแกล่นตะวัน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 28(10), 1813-1833.

เกียรติศักดิ์ ใจโต, เทวรัตน์ ตรีอำรรค, กระวี ตรีอำรรค. 2564 การอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 13(3), 568-583.

จณิสตา ภักธีรวินัย, บดินทร์ อธิพิงษ์. 2563. ปลาร้า (Pla-Ra). แหล่งข้อมูล: https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200615132142_1_file.pdf. เข้าถึงเมื่อ 20 มิถุนายน 2565.

ชนาภวิวัฒน์ ชันทะ, อุ่นเรือน เล็กน้อย. 2563. ปลาแดก : การเชื่อมโยงพหุวัฒนธรรมการบริโภคของคนอีสาน. วารสารวิจัยวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ 4(2), 96-109.

ดวงพร คุณาพรสุจริต. 2554. การผลิตเครื่องต้มลำไยผงโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. เชียงใหม่: สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, ณัฐฐิภา ศิลาฉาย, ธนาภรณ์ เชื้อวงศ์ดี. 2561. กรรมวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการละลายครีมเทียมผงจากแป้งข้าวด้วยวิธีการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 28(1), 73-85.

นัยวัฒน์ สุขทั้ง, วีรกุล มิกกลางแสน, สาวิตรี ประภากร. 2563. การศึกษารูปแบบการทำแห้งยีสต์สกัดในกระบวนการผลิตยีสต์สกัดแบบผง. รายงานการวิจัย. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ปนัดดา อินทร์ดำ, โชคชัย เหมือนมาศ, สุกฤทธิรา รัตนวิไล. 2562. การคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการทอดรีแพคชั้นของทะเลสาบปาล์มโดยใช้การออกแบบการทดลองด้วย. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา) 19(4), 86-99.

พรพิไล นิยมเวช, ปฐมพร สรรพสิทธิ์, อติกานต์ วารี, เพ็ญศิริ คงสิทธิ์. 2561. การพัฒนาสูตรโจ๊กข้าวไรซ์เบอร์รี่สำเร็จรูป. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 23(3), 1638-1654.

มผช. 134/2557, มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนปลาร้าผง. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.

วรรณวิภา โคกครุฑ. 2559. การพัฒนาผงข้าวสำเร็จรูปเพื่อปรับปรุงคุณภาพข้าวเส้าให้. วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิตมหาบัณฑิต. ปทุมธานี: สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

วริวรรณ์ พงษ์พิจารณ์, มาริษา ภูภิญญกุล, พัชรี ตั้งตระกูล. 2559. การพัฒนามะกี่ยงผงสำเร็จรูปโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นกระจาย. วารสารคหเศรษฐศาสตร์ 59(3), 14-25.

สุปรียา สุขเกษม, ศุภมาศ กลิ่นขจร. 2560. สารให้ความคงตัวจากผลสำรอง (Scaphium scaphigerunm) ในผลิตภัณฑ์อาหาร. วารสารวิชาการเกษตร 35(1), 14-30.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. (17th ed.). Maryland, USA: The Association of Official Analytical Chemists, Inc.

Jittanit, W., Chantara-In, M., Deying, T., Ratanavong, W. 2011. Production of tamarind powder by drum dryer using maltodextrin and arabic gum as adjuncts. Songklanakarin Journal of Science and Technology 33(1), 33-41.



การพัฒนาเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนสำหรับเกษตรกรท้องถิ่น

DEVELOPMENT OF DURIAN FLESH SLICING MACHINE FOR LOCAL AGRICULTURISTS

ธีรวัฒน์ ชื่นอัสตงค์^{1*}, ศรายุทธ จิตรพัฒนากุล²

Teerawat Chuenatsadongkot^{1*}, Sarayut Chitphutthanakul²

¹สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี, จันทบุรี, 22000

¹Mechanical Engineering, Institute of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, 22000

²สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี, จันทบุรี, 22000

²Industrial Technology, Institute of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi, 22000

*Corresponding author: Tel.: +66-44-678-296, Fax: - , E-mail: teerawat.c@rbru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนต้นแบบสำหรับเกษตรกรท้องถิ่น และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่นำมาใช้ส่งกำลังของเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียน ระหว่างมอเตอร์ขนาด 1/4 hp ขนาด 1/2 hp และขนาด 1 hp ประเมินประสิทธิภาพเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนต้นแบบโดยใช้ผลทุเรียนที่มีอายุการสุกแก่ 5 ระดับ คือ 100 105 110 115 และ 120 วัน หลังดอกบาน พิจารณาประสิทธิภาพการสไลด์จากปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นในระยะเวลาที่เท่ากันกับการสไลด์เนื้อทุเรียนด้วยมือ ค่าเฉลี่ยความหนาของแผ่นทุเรียนที่ได้ ความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียนที่ได้ ผลการทดสอบ พบว่า ปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนแผ่นบาง อายุผลทุเรียน 100 ถึง 115 วันหลังดอกบาน เพิ่มขึ้นจากกรณีการใช้แรงคน 1 คน ประมาณ 0.80 kg min^{-1} แต่กรณีอายุผลทุเรียน 120 วันหลังดอกบาน ผลผลิตเพิ่มขึ้นประมาณ 0.1 kg min^{-1} ในแง่ความหนาของแผ่นทุเรียนที่ได้ พบว่า มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.10 ถึง 1.50 mm ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด คือ ในช่วง 1 ถึง 2 mm ส่วนในแง่ความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียนที่ได้ พบว่า แผ่นทุเรียนที่ได้จากผลทุเรียนช่วงอายุ 100 ถึง 110 วัน มีความสมบูรณ์สูงกว่าร้อยละ 75 ของแผ่นทุเรียนทั้งหมด ความสมบูรณ์ลดลงเหลือร้อยละ 65 ถึงร้อยละ 75 เมื่อผลทุเรียนมีอายุเพิ่มขึ้นเป็น 115 และ 120 วัน ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลผลิตเมื่อใช้มอเตอร์ส่งกำลังที่มีขนาดแตกต่างกัน พบว่า ปริมาณผลผลิตที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ค่าเฉลี่ยความหนาของแผ่นทุเรียนที่ได้จากมอเตอร์ขนาด 1/4 hp และ 1/2 hp มีค่าใกล้เคียงกัน แต่การใช้มอเตอร์ขนาด 1 hp ให้ค่าเฉลี่ยความหนาของแผ่นทุเรียนมากกว่าเล็กน้อย ความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียนที่ได้จากการใช้มอเตอร์ขนาด 1/4 hp และ 1/2 hp มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนมอเตอร์ขนาด 1 hp ให้ความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียนต่ำกว่าเล็กน้อย

คำสำคัญ: เครื่องสไลด์เนื้อทุเรียน, ทุเรียนแปรรูป, อายุวันหลังดอกบาน, ความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียน, การสไลด์เนื้อทุเรียนด้วยมือ

Abstract

The objective of this research was to design and develop a durian flesh slicer prototype for local agriculturists and to compare the performance of different motors (rated at 1/4, 1/2 and 1 hp) used to transmit the power to the slicer. The prototype was evaluated by using durian with 5 different maturity levels, i.e., 100, 105, 110, 115 and 120 days after bloom. The slicing efficiency was determined from the increased output when compared with that obtainable by manual slicing; average thickness of durian slices, integrity of durian slices were also determined and

Received: June 7, 2022

Revised: June 30, 2022

Accepted: August 12, 2022

Available Online: February 28, 2023

used to assess the efficiency. The results showed that the output increase when using the slicer to prepare thin durian slices from durian fruit of 100 to 115 days after bloom was around 0.80 kg min^{-1} . When durian fruit of 120 days after bloom was used, however, only a slight increase in the productivity (0.1 kg min^{-1}) was noted. In terms of the slice thickness, the thickness was within the specified range of 1 to 2 mm, with the average of 1.10 to 1.50 mm. Integrity of the slices from durian fruit of 100 to 110 days after bloom was higher than 75% of the total slices; the integrity reduced to 65% to 75% when the age of durian fruit increased to 115 and 120 days after bloom. When comparing the efficiency of different motors, the output amounts were not significantly different. Average thickness values of slices obtained when using 1/4-hp and 1/2-hp motors were similar. However, when the 1-hp motor was used, the slice thickness slightly increased. As for the integrity of the slices, 1/4-hp and 1/2-hp motors resulted in similar values, while the 1-hp motor resulted in slightly lower integrity values.

Keywords: Fresh durian slicing machine, Processed durian, Day after bloom, The integrity of durian, manual slicing

1 บทนำ

ทุเรียนเป็นผลไม้ที่ได้รับการยอมรับ และได้รับความนิยมในการเพาะปลูกสูงมากในปัจจุบัน สัดส่วนของทุเรียนโดยรวมแล้วมีปริมาณของผลผลิตต่อปีที่สูงถึง 1,115,999 ตันจากเนื้อที่เพาะปลูกทั้งสิ้น 1,069,668 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) ทุเรียนเป็นผลไม้ที่นิยมรับประทานผลสด และยังสามารถนำมาแปรรูปเพื่อรับประทานได้ การแปรรูปทุเรียนสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การนำมาทำเป็นทุเรียนกวน การทำเป็นทุเรียนแช่แข็ง การนำมาทำเป็นทุเรียนเชื่อม การทำเป็นทุเรียนผงสำหรับต่อยอดไปสู่ผลิตภัณฑ์อื่นๆ และการนำเนื้อทุเรียนมาแปรรูปเป็นทุเรียนทอด กับทุเรียนอบแห้ง (สำนักการค้าสินค้า, 2564) นอกจากนี้ การแปรรูปทุเรียนยังเป็นการเพิ่มมูลค่าเพื่อจำหน่ายทั้งภายในประเทศและสำหรับส่งออก เป็นการสร้างรายได้ให้กับชุมชน การแปรรูปทุเรียนสามารถนำผลที่มีรูปลักษณะภายนอกไม่สมบูรณ์จนสามารถนำผลสดไปขายกับผู้บริโภคได้ มาทำการสร้างรายได้โดยนำเนื้อของทุเรียนมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ทำให้เกิดการสร้างรายได้แบบครบวงจรของเกษตรกร และผู้ประกอบการรายย่อยในท้องถิ่น

จากข้อมูลสถิติของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร ปี 2564 แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของผลผลิตทุเรียนที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภค อันดับที่ 1 คือทุเรียนสด รองลงมาคือทุเรียนทอด และทุเรียนแช่แข็ง (สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า, 2563) ซึ่งในปัจจุบันการสร้างผลิตภัณฑ์ทุเรียนแช่แข็งยังใช้เทคโนโลยีที่ควบคุมมากับงบประมาณที่สูงจนเกินไป ทำให้ยังไม่สามารถนำมามุ่งเน้นให้เกษตรกร และผู้ประกอบการรายย่อยในท้องถิ่นได้ แต่ในทางตรงกันข้ามทุเรียน

ทอดซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมสูงเช่นเดียวกันนั้นสามารถผลิตได้โดยใช้เทคโนโลยีที่มีความเป็นพื้นฐานมากกว่าอุปกรณ์ในการผลิตซึ่งงบประมาณที่น้อยกว่าอย่างมาก โดยในปัจจุบันชุมชนท้องถิ่นทำการผลิตทุเรียนทอดออกมาขายเป็นผลิตภัณฑ์ในท้องถิ่น ยกตัวอย่าง ในจังหวัดจันทบุรีก็มีอยู่หลายชุมชน เช่น ชุมชนเขาบายศรี ก็มีการนำทุเรียนมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอด โดยสร้างแบรนด์ให้มีจุดเด่นเพื่อเป็นสัญลักษณ์ของชุมชน (ภูมิปัญญาท้องถิ่นไทย, 2560) และวิสาหกิจชุมชนบ้านปลายคลอง จังหวัดจันทบุรีได้มีการนำทุเรียนทอดมาสร้างเป็นแบรนด์ตามโครงการ 1 ผลิตภัณฑ์ 1 ตำบล (กรมการพัฒนาชุมชน, 2564) จากปัจจัยที่กล่าวมานั้นแสดงให้เห็นได้ว่ามีชุมชนที่พร้อมจะให้การสนับสนุนและยอมรับถ้ามีการนำเทคโนโลยีที่ท้องถิ่นสามารถเข้าถึงได้ โดยในขั้นตอนการแปรรูปทุเรียนเป็นผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดนั้น มีอยู่หลายขั้นตอนที่ยังใช้แรงงานคน อีกหนึ่งขั้นตอนที่สำคัญอย่างมากและยังประสบปัญหาอยู่มากคือ การนำเนื้อทุเรียนมาหั่น หรือสไลด์ให้เป็นแผ่นบางก่อนที่จะนำไปอบหรือทอด ในปัจจุบันขั้นตอนนี้นี้ยังทำได้ค่อนข้างช้า ใช้ระยะเวลานาน อีกทั้งยังเกิดปัญหาด้านความหนาของแผ่นทุเรียนที่ได้นั้นไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากความเมื่อยล้าของผู้ทำขั้นตอนดังกล่าว ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ โดยการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในกระบวนการผลิต ซึ่งจากการสืบค้นงานวิจัยที่ได้พัฒนาเครื่องจักรสำหรับหั่นหรือสไลด์เนื้อผลไม้ พบว่า ในปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องหั่นหรือสไลด์เนื้อผลไม้อยู่มากโดย พงษ์ศักดิ์และกัมปนาท (2552) ได้ทำการพัฒนาเครื่องฝานกล้วยน้ำว้าสุก ผลที่ได้พบว่าเครื่องที่ทำการพัฒนานั้นมีประสิทธิภาพไม่ด้อยไปกว่าการฝานด้วยมือ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องความหนาของแผ่นกล้วย และระยะเวลาที่ลดลงจากการฝานด้วยมือ นอกจากนั้น ศักรินทร์ (2559) ยังได้ทำการพัฒนาเครื่องปอก

เปลือกฝือก ซึ่งเปลือกของฝือกนั้นถือว่ามีความแน่นในการปก
พอสสมควร ผลที่ได้พบว่า สามารถพัฒนาเครื่องที่ทำงานได้เร็วกว่า
แรงงานคนมากถึง 2 เท่าในระยะเวลา 1 hr จากการสืบค้น
งานวิจัย พบว่า Phonsri and Chantrasa (2019) ได้ทำการ
พัฒนาทุเรียนแท่งด้วยเครื่องจักร โดยได้สร้างเครื่องต้นแบบที่
จังหวัดชลบุรี ประสิทธิภาพของทุเรียนแท่งที่ได้จากเครื่อง มี
ประสิทธิภาพสูงจนสามารถนำทุเรียนแท่งนั้นมาทำเป็น
ผลิตภัณฑ์ขายได้ แต่ยังคงประสบปัญหาในเรื่องขนาดของเครื่องที่
มีขนาดใหญ่ กับการดำเนินการผลิตเครื่องที่สูงมาก จากงานวิจัยที่
กล่าวมานี้ แสดงให้เห็นว่าการนำเครื่องจักรมาประยุกต์ใช้สำหรับ
หั่น หรือปอกผลไม้สามารถทำได้ไม่ดี โดยให้ประสิทธิภาพที่ไม่
ค่อยไปกว่าการใช้แรงงานคนในการทำงานกระบวนการเหล่านี้
แต่ยังคงประสบปัญหาเรื่องขนาดของเครื่องที่ใหญ่และมีน้ำหนัก
มาก รวมทั้งยังมีราคาผลิตที่สูงเกินไป

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นเป็นที่ชัดเจนว่าการพัฒนา
เครื่องจักรที่ใช้หั่นหรือตัดผลไม้มีความสำคัญต่อกระบวนการแปร
รูปผลไม้เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการแปรรูปทุเรียนที่มีราคา
ผลผลิตค่อนข้างสูง แต่การพัฒนาเครื่องก็ไม่ได้มีความสำคัญแค่
เพียงสิ่งเดียว คุณภาพของผลผลิตที่ได้จากเครื่องจักรก็เป็นสิ่ง
สำคัญอย่างมาก ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เน้นหลักไปที่ผลผลิตทุเรียน
ทอด ความหนาของแผ่นทุเรียนที่ได้ออกมาจากเครื่องสไลด์
ทุเรียนเป็นแผ่นบางเพื่อนำไปทอดจึงมีความสำคัญ เนื่องจากถ้า
แผ่นมีความหนาน้อยจนเกินไปจะส่งผลให้ขณะที่นำแผ่นทุเรียน
เข้าสู่กระบวนการทอดเกิดความเสียหายได้ง่าย นอกจากนั้นแผ่น
ทุเรียนทอดเมื่อทอดเสร็จแล้วจะมีความบางมาก จนเกิดการแตก
เป็นเศษชิ้นเล็กได้ง่าย แต่ถ้าแผ่นทุเรียนจากเครื่องสไลด์มีความ
หนามากเกินไป อาจส่งผลให้แผ่นทุเรียนนั้นมีการอมน้ำมัน หรือ
ทั้งแผ่นมีความสุกเมื่อทอดเสร็จไม่เท่ากัน ด้วยเหตุนี้จึง
ทำการศึกษขนาดของแผ่นทุเรียนที่เหมาะสมก่อนนำเข้าสู่
กระบวนการทอด จากการศึกษาพบว่า ความหนาของแผ่นทุเรียน
ที่ได้จากเครื่องสไลด์จะต้องมีความหนาอยู่ในช่วง 1 – 2 mm.
(เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2561)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมิน
สมรรถนะของเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนต้นแบบสำหรับนำไปแปรรูป
เป็นผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอด เพื่อเปรียบเทียบความหนาของแผ่น
ทุเรียนที่ได้จากการใช้มอเตอร์ส่งกำลังที่ต่างกัน และเพื่อ
เปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลผลิตที่ได้จากมอเตอร์ส่งกำลังที่
มีกำลังแตกต่างกัน

2 อุปกรณ์และวิธีการ

ในการวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนสำหรับ
เกษตรกรท้องถิ่นและผู้ประกอบการรายย่อย เพื่อเป็นแนวทางใน
การต่อยอดไปสู่การสร้างแบรนด์ผลิตภัณฑ์สำหรับชุมชน โดยได้
แบ่งวิธีดำเนินงานวิจัยออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาข้อมูลช่วงอายุทุเรียนที่เหมาะสมสำหรับ นำมาแปรรูปเป็นทุเรียนทอด

โดยทั่วไปเนื้อทุเรียนแต่ละช่วงอายุจะมีความแข็งที่แตกต่าง
กันออกไป ซึ่งความแข็งของเนื้อจะส่งผลต่อคุณภาพทุเรียนแผ่น
บางที่ได้ออกมาจากเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียน ถ้าเนื้อมีความแข็ง
มากจนเกินไปหรือทุเรียนยังเป็นทุเรียนอ่อนอยู่ อาจส่งผลโดยตรง
ต่อการทำงานของใบมีด และมอเตอร์ส่งกำลังของเครื่องอาจมีแรง
ไม่เพียงพอ ในทางตรงข้ามถ้าทุเรียนมีการสุกหรือแก่มากเกินไป
อาจส่งผลให้เนื้อทุเรียนมีความนุ่ม และอาจนุ่มจนเกิดการละลาย ก็
อาจส่งผลให้เนื้อทุเรียนแผ่นบางที่ได้ เกิดความเสียหาย มีการฉีก
ขาดของแผ่น และมอเตอร์ที่มีแรงมากเกินไปอาจทำให้เนื้อทุเรียน
ละลาย ไม่สามารถคงรูปเป็นแผ่นบางได้ ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อ
ตรวจสอบช่วงอายุของทุเรียนที่เหมาะสม ต่อการนำมาหั่นเป็น
แผ่นบางเพื่อแปรรูปเป็นทุเรียนทอด จากการศึกษาข้อมูล ทุเรียน
ที่มีความแก่ประมาณ 70% ถึง 80% หรือที่ช่วงอายุ 100 ถึง 110
วันหลังดอกบาน มีความเหมาะสมต่อการนำมาแปรรูปเป็นแผ่น
ที่สุด (เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2561) โดยนอกจากจะพิจารณาเรื่อง
การนำมาหั่นเป็นแผ่นบางด้วยเครื่องแล้ว ยังพิจารณาในส่วนของ
รสชาติและเนื้อสัมผัสเมื่อนำไปบริโภคอีกด้วย

จากการศึกษางานวิจัยของ ชีววัฒน์ และคณะ (2560) ที่ได้ทำ
การทดสอบหาความสัมพันธ์ของอายุผลทุเรียนที่สัมพันธ์กับค่า
ความแน่นเนื้อของทุเรียนด้วยเครื่อง Penetrometer ค่าที่ได้
แสดงออกมาในหน่วยทางกล เป็นหน่วย $N\ cm^{-2}$ ผลการศึกษา
แสดงดัง Figure 1

ซึ่งจาก Figure 1 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มความแน่นเนื้อของ
ทุเรียนลดลงอย่างชัดเจน ตามระยะอายุวันที่เพิ่มขึ้นของทุเรียน
ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ในช่วงทุเรียนอ่อนเนื้อจะมีความแข็งมาก
ที่สุด และเมื่อทุเรียนเริ่มแก่เนื้อจะมีความอ่อนนุ่มลง และเมื่อ
ทุเรียนมีความแก่มากเกินไปเกินระยะสุกงอม เนื้อทุเรียนเย็น
จะอ่อนนุ่มจนเกิดการละลายขึ้น จนไม่สามารถคงรูปอยู่ได้

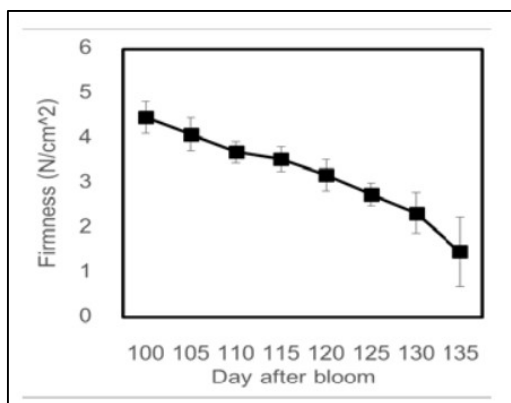


Figure 1 Relationship between durian firmness and day after bloom. ที่มา : ชีรวัฒน์ และคณะ (2560)

ส่วนที่ 2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียน รวมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์ส่งกำลังที่นำมาติดตั้ง จะต้องมีการทดสอบในปริมาณที่มีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าที่ได้ จะต้องนำมาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของค่าทั้งหมดที่ได้ทดสอบ โดยการทดสอบจะเตรียมผลทุเรียนจำนวน 20 ผล โดยผลทุเรียนทุกผลที่เตรียมมานั้นจะมีอายุวันหลังดอกบานอยู่ในช่วงตั้งแต่ 100 วันหลังดอกบาน ถึง 120 วันหลังดอกบาน แบ่งออกเป็น 100 105 110 115 120 วันหลังดอกบาน ช่วงอายุละ 4 ผล โดยใช้ทุเรียนจาก อำเภอแกลง จังหวัดระยอง ที่มีการทำสัญลักษณ์เพื่อนับอายุวันหลังดอกบานตั้งแต่ออกดอก ดังแสดงใน Figure 2



Figure 2 Symbol for counting the days after bloom of durian.

ส่วนที่ 3 การพัฒนาเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนให้เป็นแผ่นบาง

การพัฒนาเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนให้เป็นแผ่นบางนั้น ได้มีการปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานจริงสำหรับเกษตรกร และผู้ประกอบการรายย่อย โดยคำนึงถึง ความสะดวกในการ

เคลื่อนย้ายเครื่องจึงต้องมีน้ำหนักไม่มากจนเกินไป ชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีราคาไม่สูงจนเกินไป และความปลอดภัยในการทำงานเป็นหลัก โดยองค์ประกอบของเครื่องจะมียู 4 องค์ประกอบหลัก ดังแสดงใน Figure 3

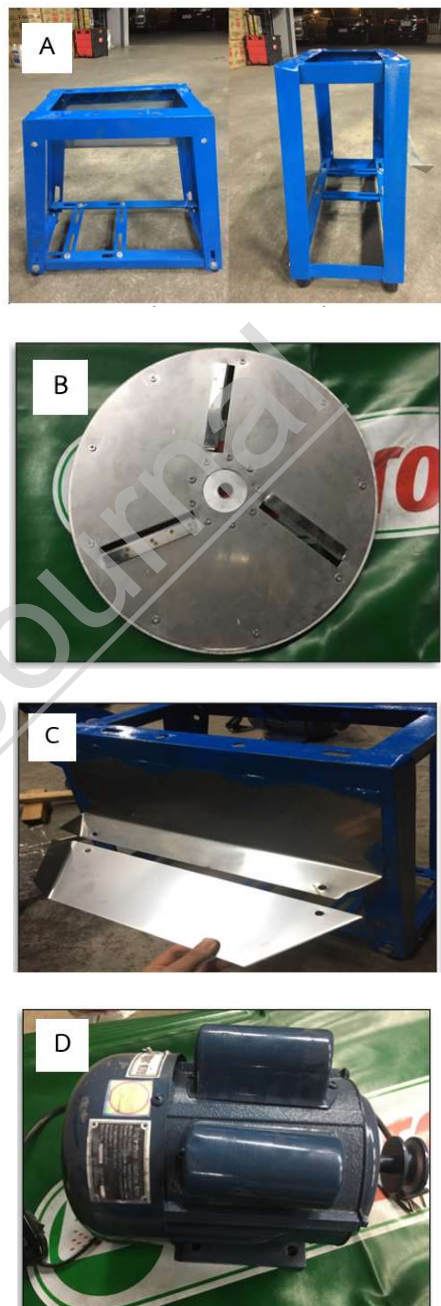


Figure 3 Main components of durian flesh slicing machine. (A) Machine structure (B) Blade (C) Supporting tray (D) Motor

Figure 3 แสดงชุดองค์ประกอบหลักของเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนเป็นแผ่นบาง ได้แก่ [A] ชุดโครงสร้างของเครื่อง [B] ชุดใบมีดหั่น [C] ชุดถาดรองรับทุเรียนแผ่นบาง และ [D] ชุดต้นกำลัง

โดยในส่วนของการทดสอบกำลัง จะทำการนำมอเตอร์ 3 ตัว ที่มีแรงม้าต่างกันประกอบไปด้วย มอเตอร์ 1/4 hp มอเตอร์ 1/2 hp และมอเตอร์ 1 hp มาทำการติดตั้งแล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นเนื้อทุเรียนที่ได้ ว่าการเปลี่ยนมอเตอร์ส่งผลอย่างไรต่อคุณภาพของทุเรียนแผ่นบางที่ได้

ส่วนที่ 4 การประเมินสมรรถนะเครื่องต้นแบบ

การประเมินสมรรถนะของเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนต้นแบบ จะทำได้โดยการกำหนดตัวแปรชี้วัดถึงคุณภาพที่ได้ ในการวิจัยนี้ได้กำหนดมา 3 ตัวแปร ซึ่งครอบคลุมในส่วนของความเร็วในการทำงานของเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนแผ่นบาง และคุณภาพของแผ่นทุเรียนที่ได้ก่อนนำไปทำการกระบวนการทอด หรืออบแห้ง

ตัวแปรที่ 1 ปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นในระยะเวลาที่ใช้เท่ากับการสไลด์เนื้อทุเรียนด้วยแรงงานคน 1 คน เป็นการทดสอบการหั่นเนื้อทุเรียนเป็นแผ่นบางด้วยเครื่อง เปรียบเทียบกับการให้คน 1 คนมาหั่นทุเรียนเป็นแผ่นบาง ในระยะเวลา ตามที่กำหนด โดยใช้เวลาทั้งสิ้น 1 min ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง ทุเรียนที่นำมาใช้จะต้องเป็นทุเรียนในผลเดียวกันระหว่างการทดสอบด้วยเครื่องกับการทดสอบด้วยคน 1 คน โดยแบ่งเป็นพู เช่น ทุเรียนใน 1 ผล อาจจะมีทั้งหมด 6 พู จะทำการเตรียม 4 พูไว้สำหรับทดสอบด้วยเครื่อง และอีก 2 พูไว้ทดสอบด้วยแรงงานคน 1 คน โดยใช้เป็นสัดส่วน 2 ใน 3 ส่วนสำหรับการทดสอบด้วยเครื่อง และ 1 ใน 3 ส่วนสำหรับการทดสอบด้วยแรงงานคน 1 คน การแบ่งสัดส่วนจะทำการชั่งน้ำหนัก ทุเรียนที่นำทดสอบจะต้องนำมาเมล็ดออกให้เรียบร้อยก่อน ดังแสดงใน Figure 4 เพื่อพร้อมสำหรับการนำไปหั่นเป็นแผ่นบางโดยไม่มีอุปสรรคใดๆ โดยปัจจัยสำคัญในการหั่นเป็นแผ่นบางคือ ความหนาของแผ่นทุเรียนที่ได้ จะต้องมีความหนาอยู่ในช่วง 1 – 2 mm. (เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2561) ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานสำหรับการนำไปแปรรูปเป็นทุเรียนทอด หรือทุเรียนอบ



Figure 4 Removing the seeds from the durian pulp.

ผลที่ได้จากการทดสอบตัวแปรที่ 1 จะแสดงออกมาในหน่วยกิโลกรัมต่ออนาที โดยคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยจากทุเรียนทุกผล และทำการคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อตรวจสอบขอบเขตความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ได้

สำหรับการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนมอเตอร์ส่งกำลังทั้ง 3 ตัวนั้น ในการเตรียมทุเรียนสำหรับทดสอบแต่ละช่วงอายุ จะมีทุเรียนทั้งหมด 4 ผล จะทำการนำทุเรียนทั้ง 4 ผลมาแกะเมล็ดออกให้หมดก่อน แล้วจึงแบ่งเป็นสัดส่วนสำหรับทดสอบด้วยเครื่อง กับทดสอบด้วยแรงงานคน 1 คน โดยการทดสอบด้วยเครื่องจะใช้เป็นสัดส่วน 2 ใน 3 ส่วนจากทุเรียนทั้งหมดในช่วงอายุนั้นๆ ซึ่งทุเรียนที่ได้แบ่งมาสำหรับใช้เครื่องทดสอบแล้วนั้น จะถูกนำมาแบ่งเป็น 3 ส่วนอีกครั้ง สำหรับมอเตอร์ 3 ตัว โดยแบ่งด้วยน้ำหนักที่ชั่งได้ด้วยเครื่องวัด น้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

ตัวแปรที่ 2 ค่าเฉลี่ยความหนาของแผ่นทุเรียนที่ได้จากเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนเป็นแผ่นบาง เป็นการนำแผ่นทุเรียนที่ได้ทั้งหมดทั้งจากเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียน และจากที่ใช้แรงงานคน 1 คน มาทำการวัดค่าความหนาโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ การวัดค่าความหนาจะต้องวัดทีละ 1 แผ่น ดังแสดงใน Figure 5



Figure 5 Thickness measurement of durian with vernier caliper.

จากนั้นนำความหนาที่ได้จากทุเรียนทุกแผ่นมาทำการคำนวณออกมาเป็นค่าความหนาเฉลี่ย หน่วยเป็น mm.

ตัวแปรที่ 3 ความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียนที่ได้จากเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนเป็นแผ่นบาง เป็นการนำทุเรียนทุกแผ่นที่ได้มาทั้งจากการใช้เครื่องสไลด์เป็นแผ่นบาง และการใช้แรงงานคน 1 คน มาทำการตรวจสอบอีกครั้งว่ามีความสมบูรณ์เพียงใด โดยจะมีการกำหนดมาตรฐานแผ่นทุเรียนที่สมบูรณ์ก่อนในขั้นตอนแรก ซึ่งแผ่นที่สมบูรณ์จะต้องมีความหนาอยู่ในช่วง 1 – 2 mm. แผ่น

ทุเรียนทั้งแผ่นจะต้องไม่มีการฉีกขาดเป็นรอยที่เห็นได้ชัด และแผ่นทุเรียนเมื่อทำการจับขึ้นมาจะต้องคงรูปเป็นแผ่นไว้ได้ ไม่ละจนเสียรูปทรงไป เมื่อได้ผลการวัดจากทุเรียนทุกแผ่นมาแล้วนั้น จะนำมาคำนวณเป็นอัตราส่วนทุเรียนแผ่นที่สมบูรณ์ต่อแผ่นทุเรียนทั้งหมด โดยสามารถกำหนดเป็นร้อยละได้ ได้จากสมการที่ (1)

$$\% \text{ความสมบูรณ์} = \frac{\text{จำนวนแผ่นทุเรียนที่สมบูรณ์}}{\text{จำนวนแผ่นทุเรียนทั้งหมด}} \times 100 \quad (1)$$

3 ผลและวิจารณ์

1. ผลการพัฒนาเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนแผ่นบาง

การพัฒนาเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนเป็นแผ่นบาง ได้ทำการพัฒนาโดยอ้างอิงโครงสร้างจากเครื่องหั่น หรือปอกผลไม้ที่มีการใช้งานอยู่ในท้องตลาด โดยมีการพัฒนาให้โครงสร้างมีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไป เพื่อสามารถเคลื่อนย้ายที่ตั้งของเครื่องได้ง่าย รวมทั้งมีราคาต้นทุนในการผลิตที่ไม่สูง โดยเป็นการนำเทคโนโลยีแบบพื้นฐานเข้ามาใช้ เพื่อเข้าถึงทั้งเกษตรกรในท้องถิ่น และผู้ประกอบการรายย่อยในชุมชน ในการพัฒนาได้ทำการเขียนแบบโครงสร้างภายในของเครื่อง ดังแสดงใน Figure 6

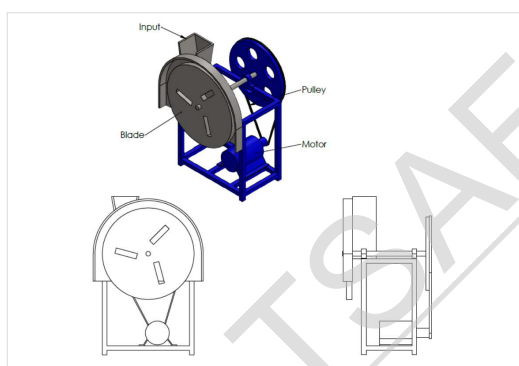


Figure 6 Internal structure of durian flesh slicing machine.

Figure 6 ชุดโครงเครื่องได้ออกแบบให้มีความสูงประมาณ 70 cm. กว้างประมาณ 60 cm. เพื่อจะได้มีพื้นที่ติดตั้งมอเตอร์ในบริเวณติดกับฐานของโครงเครื่อง ด้านบนของโครงเครื่องจะติดตั้งเพลาส่งกำลังยื่นออกมาทางด้านหน้าเครื่องเพื่อติดตั้งชุดใบมีดชุดกันใบมีด วัสดุที่เลือกใช้สำหรับโครงสร้างเครื่องจะเป็นเหล็กฉากขนาด 40x40 mm. และ 30x30 mm. การส่งกำลังจากมอเตอร์ไปสู่ชุดใบมีด ได้เลือกใช้พูลเลย์ สายพานร่อน A และเพลาส่งกำลัง เพื่อทำงานประสานกัน น้ำหนักโดยรวมของเครื่องไม่เกิน 60 kg ซึ่งมีน้ำหนักที่สามารถยกเคลื่อนย้ายได้โดยเมื่อนำ

ฝาดครอบใบมีดมาติดตั้งเพื่อป้องกันอันตรายจากการใช้งานแล้ว จะมีลักษณะดัง Figure 7



Figure 7 Durian flesh slicing machine when blade guard is installed.

2. ผลของการทดสอบปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้น

ในการทดสอบปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้น ได้ทำการทดสอบในหน่วย กรัมต่อนาที โดยระยะเวลาที่ใช้คือ 1 min โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณที่ได้จากเครื่องกับแรงงานคน 1 คน นอกจากนั้นยังได้เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตที่ได้ระหว่างมอเตอร์ 1/4 hp มอเตอร์ 1/2 hp มอเตอร์ 1 hp ได้ผลแสดงดัง Table 1 ซึ่งจะแสดงผลลัพธ์ให้เห็นได้ว่าการใช้เครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนแผ่นบางเมื่อเทียบกับใช้แรงงานคน 1 คนแล้ว ได้ผลผลิตในปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยในช่วงอายุวัน 100 ถึง 110 ที่เนื้อทุเรียนยังคงมีความแน่นเนื้ออยู่มาก ปริมาณผลผลิตจากเครื่องเพิ่มขึ้นจากการใช้คน 1 คนในสัดส่วนประมาณ 2 เท่า แต่เมื่อเนื้อทุเรียนมีอายุเพิ่มมากขึ้น จะเห็นได้ว่าปริมาณผลผลิตที่ได้จากเครื่องลดลงอย่างชัดเจน ลดลงจนมีปริมาณที่ใกล้เคียงกับใช้คน 1 คนหันเป็นแผ่นบาง ในส่วนของการเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตที่ได้จากมอเตอร์ส่งกำลังที่แตกต่างกัน 3 ตัว พบว่าปริมาณผลผลิตที่ได้ในทุกช่วงอายุวันหลังดอกบานมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จึงกล่าวได้ว่าค่าแรงม้าของมอเตอร์ที่นำมาใช้ 3 ตัว ได้แก่ 1/4 hp 1/2 hp และ 1 hp ไม่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ในระยะเวลาเท่ากัน

3. ผลค่าเฉลี่ยความหนาของแผ่นทุเรียน

ผลที่ได้จากการวัดค่าความหนาของทุเรียนในแต่ละแผ่นด้วยเวอร์เนียสคาลิปเปอร์ ค่าที่ได้จะแสดงออกมาในหน่วย มิลลิเมตร เป็นค่าเฉลี่ยที่แสดงพร้อมกับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำค่าที่ได้ทั้งจากการใช้แรงงานคน 1 คน จากมอเตอร์ทั้ง 3 ตัว มาคำนวณให้เห็น โดยแสดงค่าดัง Table 2

Table 1 Durian quantity after processing

Day after Bloom	Durian quantity (kg/min)			
	1/4 hp motor	1/2 hp motor	1 hp motor	One-person manual slicing
100	1.70	1.65	1.75	0.80
105	1.75	1.80	1.90	0.95
110	1.80	1.75	1.85	0.90
115	1.55	1.50	1.60	0.85
120	0.90	0.80	0.80	0.70

Table 2 Average thickness of durian slices after processing

Day after Bloom	Average thickness of durian (mm)			
	1/4 hp motor	1/2 hp motor	1 hp motor	One-person manual slicing
100	1.213 ± 0.116	1.154 ± 0.135	1.254 ± 0.163	1.605 ± 0.344
105	1.226 ± 0.102	1.208 ± 0.112	1.261 ± 0.171	1.682 ± 0.280
110	1.188 ± 0.154	1.172 ± 0.204	1.250 ± 0.220	1.584 ± 0.361
115	1.210 ± 0.201	1.250 ± 0.163	1.283 ± 0.215	1.720 ± 0.313
120	1.311 ± 0.228	1.344 ± 0.231	1.365 ± 0.256	1.956 ± 0.460

จาก Table 2 แสดงให้เห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยความหนาของทุเรียนแผ่นบางที่ได้จากเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนแผ่นบางมีความหนาที่น้อยกว่าการใช้คน 1 คนในการหั่นเป็นแผ่นบางอย่างชัดเจน และความคลาดเคลื่อนของความหนาในแต่ละแผ่นเมื่อใช้เครื่องก็มีค่าน้อยกว่าใช้แรงงานคนเช่นเดียวกัน เพราะใบมีดที่ติดตั้งอยู่ในเครื่องนั้นถูกดัดอย่างแข็งแรงแน่นหนา ทำให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของแต่ละช่วงอายุของผลทุเรียน ที่ช่วงอายุ 100 ถึง 110 วันที่มีความแน่นเนื้อมาก ความหนาของแผ่นทุเรียนที่ได้ค่อนข้างคงที่ และมีความหนาที่น้อยมาก แต่เมื่อทุเรียนมีอายุเพิ่มขึ้นที่ 120 วัน ความหนาที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อันเนื่องมาจากความแน่นเนื้อของทุเรียนลดลง เกิดความนุ่มมากขึ้น ส่งผลให้เมื่อขณะที่เนื้อทุเรียนถูกใบมีดหั่น เนื้อมีการเคลื่อนที่มากขึ้นเล็กน้อย ทำให้ความหนาของแผ่นทุเรียนที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนของผลการเปรียบเทียบ

ความหนาของแผ่นทุเรียนที่ได้เมื่อใช้มอเตอร์สักร่างที่ต่างกัน พบว่า ที่มอเตอร์ 1/4 hp กับมอเตอร์ 1/2 hp ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาแผ่นทุเรียน แต่เมื่อใช้มอเตอร์ 1 hp ค่าเฉลี่ยความหนามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทุกช่วงอายุผลทุเรียน แต่อย่างไรก็ตามความหนาของแผ่นทุเรียนที่นำไปใช้แปรรูปเป็นทุเรียนแผ่นทอด และทุเรียนอบแห้งแบบแผ่นนั้น ควรมีความหนาอยู่ในช่วง 1 – 2 mm ซึ่งผลที่ได้ก็พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงความหนาดังกล่าวในสัดส่วนปริมาณมาก มีเพียงจำนวนน้อยที่มีความหนาน้อยกว่า 1 mm ซึ่งถ้านำผลที่ได้จากเครื่อง มาเทียบกับจากแรงงานคน 1 คน ผลจากเครื่องมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดมากกว่าอย่างชัดเจน เพราะการหั่นเป็นแผ่นบางด้วยคน 1 คนนั้น มีบางส่วนที่ความหนาของแผ่นทุเรียนเกิน 2 mm เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายจึงได้คำนวณร้อยละของแผ่นทุเรียนที่ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดแสดงใน Table 3

Table 3 Durian slices with off thickness

Day after Bloom	Durian slices with off thickness (%)			
	1/4 hp motor	1/2 hp motor	1 hp motor	One-person manual slicing
100	5	4	5	9
105	4	7	6	11
110	7	10	9	10
115	9	12	11	16
120	13	13	15	19

แสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าจำนวนชิ้นแผ่นทุเรียนที่ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดจากการใช้แรงงานคนมีมากกว่าการใช้เครื่องสไลด์เป็นแผ่น และโดยรวมจะมีจำนวนชิ้นที่ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดเพิ่มขึ้นตามอายุวันหลังดอกบานของผลทุเรียน แต่ในทางกลับกัน การที่แผ่นทุเรียนมีความบางมากจะส่งผลให้เกิดการฉีกขาดได้ง่ายขึ้น แต่แผ่นทุเรียนที่มีความหนาจะเกิดการฉีกขาดได้ยากกว่า การประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบจึงได้พิจารณาเป็นตัวแปรความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียนโดยรวม ซึ่งเป็นการคิดรวมทั้งความหนาของแผ่น และการฉีกขาดของแผ่นทุเรียนในส่วนต่อไป

4. ผลความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียน

จากที่กล่าวมาข้างต้นในการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียนที่ได้ แผ่นทุเรียนในแผ่นนั้นๆ จะต้องมีความหนาอยู่ในช่วง 1 – 2 mm. ไม่มีรอยฉีกขาดที่เห็นได้ชัด และเมื่อจับขึ้นมาจะตึงไม่เสียหายหรือเสียรูปทรงไป แผ่นทุเรียนที่เข้าเงื่อนไข 3 เงื่อนไขถึงจะถูกนับว่าเป็นแผ่นที่ สมบูรณ์ การตรวจสอบจะทำทีละ 1 แผ่นเพื่อตรวจสอบถูกต้องของผลที่ได้ โดยผลที่ได้แสดงออกมาเป็นร้อยละ จากการคำนวณในสมการที่ 1 แสดงค่าดัง Table 4

จาก Table 4 แสดงให้เห็นได้ว่าความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียนที่ได้จากเครื่องมือเทียบกับการใช้คน 1 คนในการหั่นเป็นแผ่นบาง ที่ช่วงอายุผลเดียวกัน การใช้เครื่องยังมีความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียนที่น้อยกว่าการใช้แรงงานคนอยู่เล็กน้อย โดยความเสียหายของแผ่นทุเรียนจากการใช้แรงงานคนส่วนใหญ่จะเกิดจากความหนาของแผ่นที่มากจนเกินไป ส่วนความเสียหายของแผ่นทุเรียนจากการใช้เครื่องส่วนใหญ่เกิดจากรอยฉีกขาดที่เกิดขึ้นในแผ่นทุเรียน โดยความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียนยังมีแนวโน้มที่ชัดเจนตามอายุผลของทุเรียน ซึ่งแนวโน้มความสมบูรณ์ของทุเรียนแผ่นบางมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุผลทุเรียน

เพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้จากค่าความแน่นเนื้อของทุเรียน ในช่วงอายุ 100 ถึง 110 days ความแน่นเนื้อมีความมาก ทำให้การสไลด์เนื้อทุเรียนเป็นแผ่นบางยังทำได้ง่าย เพราะถึงทุเรียนจะโดนสไลด์จนเป็นแผ่นบาง เนื้อก็ยังคงมีความแข็ง จึงสามารถคงรูปอยู่เป็นแผ่น หรือคงความเป็นรูปทรงเดิมได้มาก โดยไม่เกิดรอยฉีกขาดและเสียรูปทรงไป แต่เมื่อผลทุเรียนมีอายุเพิ่มมากขึ้นในอายุ 115 และ 120 days ความแน่นเนื้อของทุเรียนมีค่าลดลงอย่างมาก เนื้อมีความนุ่ม เกิดความละของเนื้อมากขึ้น ทำให้เมื่อนำมาสไลด์เป็นแผ่นบาง 1 ถึง 2 mm. จึงทำให้แผ่นทุเรียนที่ได้เกิดความเสียหายทั้งมีรอยฉีกขาดมากขึ้น และมีการเสียรูปทรงเมื่อทำการจับเคลื่อนย้ายใส่ภาชนะ และสุดท้ายผลของการเปรียบเทียบความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียนที่ทำได้ด้วยการติดตั้งมอเตอร์ส่งกำลังแตกต่างกัน ผลที่ได้พบว่า ที่มอเตอร์ 1/4 hp และ 1/2 hp ความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียนที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีความแตกต่างกับผลจากการใช้มอเตอร์ 1 hp ซึ่งมีความสมบูรณ์ที่น้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด จากผลที่ได้สามารถอธิบายได้ว่าการสไลด์เนื้อทุเรียนด้วยเครื่องจักร ควรใช้มอเตอร์ที่มีกำลังไม่สูงมากนัก เนื่องจากเนื้อทุเรียนไม่ได้มีความแข็งมากจนต้องใช้กำลังที่สูงในการหั่น หรือสไลด์เป็นแผ่นบาง โดยเฉพาะในช่วงอายุผลที่มาก เนื้อจะมีความอ่อนนุ่มมากขึ้น การนำมอเตอร์กำลังสูงมากมาใช้ส่งกำลังจะส่งผลให้เนื้อทุเรียนเกิดความละได้มากขึ้น

Table 4 Durian integrity after processing

Day After Bloom	Durian integrity (%)			
	1/4 hp motor	1/2 hp motor	1 hp motor	One-person manual slicing
100	85	81	83	88
105	85	86	81	86
110	81	78	75	88
115	78	73	72	81
120	70	66	64	77

4 สรุป

เครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนเป็นแผ่นบางที่พัฒนาขึ้นมีขนาด สูงประมาณ 70 cm กว้างประมาณ 60 cm น้ำหนักไม่เกิน 60 kg เพื่อสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนเป็นแผ่นบาง ปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เครื่องสไลด์เนื้อทุเรียนเป็นแผ่นบาง ในช่วงอายุผลทุเรียน 100 ถึง 115 days หลังดอกบาน มีผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการใช้แรงคน 1 คน ประมาณ 0.80 kg min^{-1} แต่ที่อายุผลทุเรียน 120 days หลังดอกบาน มีผลผลิตเพิ่มขึ้นประมาณ 0.1 kg min^{-1} ด้านความหนาของแผ่นทุเรียนที่ได้พบว่ามีความหนาประมาณ 1.10 ถึง 1.50 mm ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนด้านความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียนที่ได้พบว่าผลทุเรียนในช่วงอายุ 100 ถึง 110 days จะมีความสมบูรณ์ที่มากกว่าร้อยละ 75 ของแผ่นทุเรียนทั้งหมดและความสมบูรณ์จะลดลงเหลือร้อยละ 65 ถึงร้อยละ 75 เมื่อผลทุเรียนมีอายุเพิ่มขึ้นที่ 115 และ 120 days ด้านการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลผลิตเมื่อใช้มอเตอร์ส่งกำลังที่แตกต่างกันที่มอเตอร์ 1/4 hp 1/2 hp และ 1 hp ปริมาณผลผลิตที่ได้มีความใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ค่าเฉลี่ยความหนาของแผ่นทุเรียนที่ได้จากมอเตอร์ 1/4 hp กับ 1/2 hp มีความใกล้เคียงกัน แต่ที่มอเตอร์ 1 hp จะมีค่าเฉลี่ยความหนาของแผ่นทุเรียนมากกว่าเล็กน้อย ส่วนความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียนที่ได้จากมอเตอร์ 1/4 hp และ 1/2 hp มีความสมบูรณ์ที่ใกล้เคียงกัน ส่วนมอเตอร์ 1 hp จะได้ความสมบูรณ์ของแผ่นทุเรียนที่น้อยกว่าเล็กน้อย การสไลด์เนื้อทุเรียนด้วยเครื่องจักร จึงควรใช้มอเตอร์ที่มีกำลังไม่สูงมากนัก เนื่องจากเนื้อทุเรียนไม่ได้มีความแข็งมากจนต้องใช้กำลังที่สูงในการสไลด์เป็นแผ่นบาง โดยเฉพาะในช่วงอายุผลที่มาก เนื้อจะมีความอ่อนนุ่มมากขึ้น การนำ

มอเตอร์กำลังสูงมากมาใช้ส่งกำลังจะส่งผลให้เนื้อทุเรียนเกิดความเสียหายมากขึ้น

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีที่ให้การสนับสนุนด้านการเผยแพร่วารสารในครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- กรมการพัฒนาชุมชน. 2564. Otop Today ทุเรียนทอดกรอบ. แหล่งข้อมูล : https://www.otoptoday/view_product.php?product_id=60032. เข้าถึงเมื่อ 29 มิถุนายน 2565.
- เทคโนโลยีชาวบ้าน. 2561. เผยสูตรทุเรียนทอดกรอบ. กลุ่มเกษตรกรบ้านยายดาพัฒนา จ.ระยอง. แหล่งข้อมูล : <https://www.technologychaoban.com/marketing/>. เข้าถึงเมื่อ 21 มีนาคม 2565.
- ธีรวัฒน์ ชื่นอัสตังคต, เทวรัตน์ ตรีอำรรค, กระวี ตรีอำรรค. 2560. การจำแนกความสุก-แก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยการวิเคราะห์เชิงภาพถ่าย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 48(3 พิเศษ) : 303-306.
- พงษ์ศักดิ์ นาใจคง, กัมปนาท ถ่ายสูงเนิน. 2552. การวิจัยและพัฒนาเครื่องผ่านกล้วยน้ำว้าสุก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.
- ภูมิปัญญาท้องถิ่นไทย. 2560. ทุเรียนทอด จังหวัดจันทบุรี. แหล่งข้อมูล : <https://souvenirbuu.wordpress.com/ภูมิปัญญาท้องถิ่นไทย/ภูมิปัญญาภาคกลาง/ทุเรียน>. เข้าถึงเมื่อ 26 มีนาคม 2565.

ศักรินทร์ หนูนม. 2559. การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกเผือก.

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: คณะ

วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

สำนักงานการค้าสินค้า. 2564. สินค้าทุเรียนและผลิตภัณฑ์.

แหล่งข้อมูล : [https://api.dtn.go.th/files/v3/606ffb08](https://api.dtn.go.th/files/v3/606ffb08ef4140a89b03bf59/download)

ef4140a89b03bf59/download. เข้าถึงเมื่อ 15 มีนาคม

2565.

สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า. 2563. ทุเรียน ราชา

แห่งผลไม้ไทยถูกใจคนต่างแดน. แหล่งข้อมูล :

<http://www.tpsa.moc.go.th/sites/default/files/thueri>

lyn_240863.pdf. เข้าถึงเมื่อ 15 มีนาคม 2565.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. ข้อมูลสถิติการเพาะปลูก

ทุเรียน ปีพ.ศ. 2563. แหล่งข้อมูล : [http://mis-](http://mis-app.oae.go.th/product/%E0%B8%97%E0%B8%B8%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%99?fbclid=IwAR0u7jgzF2DecCL6E0jYbfWOwAue2deqtwJo7NOvcPVLeBlW-Z1lFU2RhMw)

[app.oae.go.th/product/%E0%B8%97%E0%B8%B8%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%99?fbclid=IwAR0u7jgzF2DecCL6E0jYbfWOwAue2deqtwJo7NOvcPVLeBlW-Z1lFU2RhMw](http://mis-app.oae.go.th/product/%E0%B8%97%E0%B8%B8%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%99?fbclid=IwAR0u7jgzF2DecCL6E0jYbfWOwAue2deqtwJo7NOvcPVLeBlW-Z1lFU2RhMw)

[wAue2deqtwJo7NOvcPVLeBlW-Z1lFU2RhMw](http://mis-app.oae.go.th/product/%E0%B8%97%E0%B8%B8%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%99?fbclid=IwAR0u7jgzF2DecCL6E0jYbfWOwAue2deqtwJo7NOvcPVLeBlW-Z1lFU2RhMw). เข้าถึง

เมื่อ 15 มีนาคม 2565.

Charnchai Phontri, Ruephuwan Chantrasa. 2019.

Innovation development of durian stick processing

machine for transferring knowledge to foundation

community. Asia-Pacific Journal of Science and

Technology: Volume: 24(04).



อิทธิพลของขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยวต่อความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวเมื่อเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์อัญลิติน

Influence of harvested area size on field capacity and field efficiency of rice combine harvesters when harvesting Thanyasirin rice variety

คุณนิตี ดวงผึ้ง^{1,2,3}, ชนินทร์ อุปถัมภ์^{2,3,4*}, สิงห์ธัญ ชารี⁵, เอกราช ไชยเพียร¹

Khunnithi Doungpueng^{1,2,3}, Chanin Oupathum^{2,3,4*}, Singrun Charee⁵, Eakarach Chaiphia¹

¹โปรแกรมวิชาช่างกลเกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, ขอนแก่น, 40000

²Department of Farm Mechanics, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus, Khon Kaen, 40000

³ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กองส่งเสริมและประสานเพื่อประโยชน์ทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม, สำนักงานปลัดกระทรวง, กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม, กรุงเทพมหานคร, 10400

⁴Postharvest Technology Innovation Center, Science, Research and Innovation Promotion and Utilization Division, Office of the Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation 10400

⁵ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น, 40002

³Agricultural Machinery and Postharvest Technology Center, Khon Kaen University, Khon Kean, 40002

⁴สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, ขอนแก่น, 40000

⁴Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus, Khon Kaen, 40000.

⁵สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา, พระนครศรีอยุธยา, 13000

⁵Department of Farm Machinery Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Hantra, PhraNakhon Si Ayutthaya, 13000

*Corresponding author: Tel: +66-8-8058-9398, E-mail: chanin9398@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยวที่มีต่อความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวเมื่อเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์อัญลิติน โดยสุ่มตรวจวัดความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวในเขตจังหวัดขอนแก่นและมหาสารคามในช่วงฤดูการนาปีระหว่างเดือนตุลาคมถึงธันวาคม 2564 จำนวน 24 เครื่อง แบ่งเป็นเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยและเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศจำนวน 15 และ 9 เครื่อง ผลการศึกษา พบว่าขนาดของพื้นที่เก็บเกี่ยวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงบวกกับความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีและความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดไทย แต่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงลบกับความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีและความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดต่างประเทศ นอกจากนี้ ขนาดของพื้นที่เก็บเกี่ยวยังมีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงลบกับประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ของทั้งเครื่องเกี่ยวนวดไทยและเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศ โดยเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยและเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศมีประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ใกล้เคียงกัน 27.90 และ 26.86% ตามลำดับ สำหรับแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่นั้น ทำได้โดยการปรับปรุงร่างของพื้นที่เก็บเกี่ยวให้เป็นสี่เหลี่ยม หรือการรวมพื้นที่เก็บเกี่ยวขนาด

Received: August 03, 2022

Revised: February 01, 2023

Accepted: August 27, 2022

Available Online: February 28, 2023

เล็กให้เป็นพื้นที่เก็บเกี่ยวที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพราะจะทำให้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวทำการเก็บเกี่ยวได้อย่างต่อเนื่อง ลดเวลาที่ใช้ในการเกี่ยว บริเวณหัวแปลง ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวทั้งหมดลดลง ความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

คำสำคัญ: เครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทย, ผลกระทบของขนาดพื้นที่, สมรรถนะเชิงพื้นที่, ข้าวเหนียว

Abstract

The objective of this research was to study the influence of harvested area size on field capacity and field efficiency of rice combine harvesters when harvesting Thanyasirin rice variety. Twenty-four combine harvesters, which were harvesting in Khon Kaen and Mahasarakham provinces during the in-season rice between October and December 2021, were randomly collected. The collected combine harvesters were classified into 15 and 9 Thai and foreign combine harvesters, respectively. The results showed that the harvested area size had a positive and linear correlation with the theoretical effective field capacity of the Thai combine harvesters, but a negative and linear correlation with the theoretical effective field capacity of the foreign combine harvesters. The harvested area size had a negative and linear correlation with the field efficiency of both the Thai and foreign combine harvesters. The Thai and foreign combine harvesters exhibited the field efficiency values of 27.90 and 26.86%, respectively. Adjusting the harvested area into a square shape or combining small harvested areas into larger harvested ones would allow the combine harvesters to harvest more continuously and reduce the headland turning time. As a result, the total harvesting time could be reduced and hence the increased field capacity and field efficiency.

Keywords: Thai combine harvester, effect of area size, field performance, sickly rice

1 บทนำ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเป็นแหล่งเพาะปลูกข้าวเหนียวที่สำคัญของประเทศ โดยมีการเพาะปลูกข้าวเหนียวคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 13,787,484 ไร่ หรือ 22% ของพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) แต่ปัจจุบันเกษตรกรผู้เพาะปลูกข้าวเหนียวต้องประสบกับปัญหาโรคใบไหม้ทำให้ผลผลิตเสียหาย ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์และกรมการข้าว จึงได้ทำการพัฒนาข้าวเหนียวสายพันธุ์ใหม่ขึ้นเพื่อแก้ปัญหาโรคใบไหม้ และรับพระราชทานนามจากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีว่า “ข้าวพันธุ์ธัญสิริน” ข้าวพันธุ์ธัญสิริน เป็นข้าวเหนียวสายพันธุ์ใหม่ที่เกิดจากการปรับปรุงพันธุ์แบบการผสมข้ามสายพันธุ์เพื่อรวมยีน โดยใช้เครื่องหมายดีเอ็นเอในการคัดเลือกร่วมกับการปรับปรุงพันธุ์แบบมาตรฐาน ข้าวพันธุ์ธัญสิริน เป็นข้าวนาปีที่มีความไวต่อช่วงแสง สามารถต้านทานต่อโรคไหม้และโรคขอบใบแห้ง มีขนาดลำต้นสูงเฉลี่ย 130 cm ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวได้ง่าย มีการแตกกอดี ลำต้นมี

ความแข็งแรง จึงส่งผลทำให้ไม่หักล้มง่าย (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2565) จากจุดเดิנדังกล่าวจึงทำให้ในปัจจุบันข้าวพันธุ์ธัญสิริน กำลังได้รับความนิยมจากเกษตรกรในเขตจังหวัดขอนแก่นและมหาสารคามเพื่อทำการเพาะปลูกทดแทนข้าวพันธุ์ กข.6

ในปัจจุบันในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวนิยมใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าว เพราะเนื่องจากเครื่องเกี่ยวนวดข้าวเป็นเครื่องจักรกลเกษตรที่รวมเอาทุกขั้นตอนในการเก็บเกี่ยวมาไว้ในเครื่องเดียวกัน ส่งผลทำให้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ลดระยะเวลาและจำนวนแรงงานในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวได้ (วินิต ชินสุวรรณ, 2546; จารุวัฒน์ มงคลธนทรศ, 2552; Bector and Singh, 1999) ในปัจจุบันใช้รูปแบบการว่าจ้างเก็บเกี่ยวโดยเหมาจ่ายต่อหน่วยพื้นที่ กล่าวคือ หากผู้ประกอบการรับจ้างสามารถทำการเก็บเกี่ยวได้จำนวนพื้นที่ต่อวันมาก จะส่งผลทำให้ได้รับรายได้จากการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ผู้ประกอบการรับจ้างส่วนใหญ่มักมีเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทย และเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศหลายประเภทเพื่อเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่เก็บเกี่ยวของเกษตรกร แต่ในปัจจุบันพบว่าผู้ประกอบการรับจ้างและเกษตรกรยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับการเลือกใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่เก็บ

เกี่ยวของตน ส่งผลทำให้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวไม่สามารถทำการเกี่ยวเกี่ยวได้เต็ม ความสามารถในการทำงานจริงและประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ต่ำ อีกทั้งส่งผลทำให้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวใช้เวลาในการเกี่ยวเกี่ยวนานกว่าที่ควรจะเป็น ผลที่ตามมาคือการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง รายได้ที่ควรจะได้รับของผู้ประกอบการลดลง และการเกี่ยวเกี่ยวไม่ทันต่อระยะเวลาที่เหมาะสมของข้าว ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า ได้มีการศึกษาอิทธิพลของขนาดพื้นที่มีต่อความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องจักรกลเกษตรประเภทต่างๆ ได้แก่ เครื่องดำนา (Saiful et al., 2017) รถแทรกเตอร์ (ประภากรณ แสงวิจิตร และศุภสิทธิ์ สิทธาพานิช, 2558ก) เครื่องเกี่ยวเกี่ยวข้าวโพด (Amiama et al., 2008) นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาอิทธิพลของขนาดแปลงนาที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวที่มีขนาดหน้ากว้าง 1.90 m เมื่อทำการเกี่ยวเกี่ยวข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (ประภากรณ แสงวิจิตร และศุภสิทธิ์ สิทธาพานิช, 2558ข) ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาเป็นการศึกษาโดยเลือกใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวเพียงหนึ่งเครื่องในการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ในพื้นที่ทดสอบที่ได้มีการจัดเตรียมไว้แล้ว แต่การศึกษาที่ทำการสุ่มเก็บข้อมูลความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวในขณะที่กำลังทำการเกี่ยวเกี่ยวในพื้นที่เก็บเกี่ยวของเกษตรกรที่ทำการเพาะปลูกยังมีอยู่ค่อนข้างน้อย

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยวที่มีต่อความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดเมื่อทำการเกี่ยวเกี่ยวข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 โดยองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษานี้จะสามารถใช้เป็นแนวทางบริหารจัดการเครื่องเกี่ยวนวดข้าวให้มีประสิทธิภาพเชิงพื้นที่และเชิงพลังงานเพิ่มมากขึ้น และลดทุนให้แก่เกษตรกรและผู้ประกอบการรับจ้างต่อไป

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 พื้นที่ที่ทำการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ได้ดำเนินการสุ่มตรวจวัดความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวที่กำลังทำการเกี่ยวเกี่ยวข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในเขตจังหวัดขอนแก่นและมหาสารคาม ในช่วงฤดูการนาปีระหว่างเดือนตุลาคมถึงธันวาคม 2564 (Figure 1)

2.2 การเก็บข้อมูลพื้นฐาน

2.2.1 การเก็บข้อมูลพื้นฐานด้านสภาพพื้นที่เก็บเกี่ยว

1. ขนาดและรูปร่างของพื้นที่ ทำการวัดขนาดและรูปร่างของพื้นที่โดยใช้แอปพลิเคชัน Ling (Figure 2) และบันทึกข้อมูลที่ได้ลงในแบบบันทึกข้อมูล

2. ความชื้นของดิน ทำการสุ่มวัดความชื้นของดินโดยใช้เครื่องวัดความชื้นของดิน 4 in 1 Soil Survey Instrument รุ่น AMT-300 (Figure 3) ทำการวัดจำนวน 3 ครั้ง บริเวณหัวแปลง กลางแปลง และท้ายแปลง

3. ความหนาแน่นของต้นข้าว ทำการสุ่มวัดความหนาแน่นของต้นข้าวในพื้นที่เก็บเกี่ยวในรอบเก็บข้อมูลสี่เหลี่ยมขนาด 1 m x 1 m ทำการสุ่มวัดความหนาแน่นต้นข้าวจำนวน 3 จุด บริเวณหัวแปลง กลางแปลง และท้ายแปลง

2.2.2 การเก็บข้อมูลพื้นฐานด้านสภาพเครื่องเกี่ยวนวดข้าว

1. ยี่ห้อ รุ่น อายุการใช้งาน ความจุถังบรรทุกข้าว เครื่องยนต์ต้นกำลัง บันทึกข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม

2. ความกว้างของหัวเกี่ยว ทำการวัดระยะจากปลายของหัวแบ่ง (divider) ช้ายสุดถึงปลายของหัวแบ่งขวาสุด

3. ความเร็วที่ใช้ในการเกี่ยวเกี่ยวข้าว โดยใช้การปักหลักระยะในการเก็บข้อมูล โดยหลักที่ 1 ถึงหลักที่ 2 มีระยะห่างเท่ากับ 20 เมตร โดยเริ่มจับเวลาเมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งที่เป็นจุดอ้างอิงบนเครื่องเกี่ยวนวดข้าวเคลื่อนที่ผ่านหลักที่ 1 และหยุดจับเวลาเมื่อจุดอ้างอิงบนเครื่องเกี่ยวนวดข้าวเคลื่อนที่ถึงหลักที่ 2 ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 3 ซ้ำ แล้วบันทึกข้อมูล

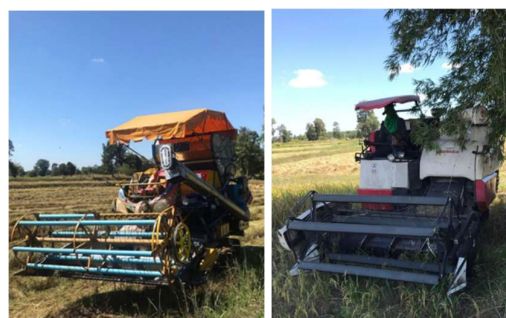


Figure 1 Thai combine harvesters (a) and foreign combine harvesters (b) were randomly assessed for their field performances.



Figure 2 The Ling application was utilized to measure size and shape of harvested area.



Figure 3 Soil moisture meter.

2.3 บันทึกเวลาที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวทั้งหมด

ทำการบันทึกเวลาที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวทั้งหมดโดยเริ่มจับเวลาเมื่อเครื่องเกี่ยวนวดข้าวเริ่มทำการเก็บเกี่ยวในพื้นที่เก็บเกี่ยวที่ได้ทำการวัดขนาดไว้แล้ว และหยุดเวลาเมื่อเครื่องเกี่ยวนวดข้าวทำการเก็บเกี่ยวเสร็จสิ้น

2.4 ค่าชี้ผลการศึกษา

ค่าชี้ผลการศึกษาได้แก่ ความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ (สมชาย ขวนอุดม, 2556; Doungpueng et al., 2020)

$$C = \frac{A}{T} \quad (1)$$

เมื่อ C คือ ความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ (rai h⁻¹)
A คือ พื้นที่ทำการเก็บเกี่ยว (rai)

T คือ เวลาที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวทั้งหมด (h)

$$C_{th} = W \times S \times 2.25 \quad (2)$$

เมื่อ C_{th} คือ ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี (rai h⁻¹)

W คือ ความกว้างของหัวเกี่ยว (m)

S คือ ความเร็วที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวข้าว (m s⁻¹)

$$E = \frac{C}{C_{th}} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ E คือ ประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ (%)

3 ผลและวิจารณ์

การศึกษาในครั้งนี้ได้ดำเนินการสำรวจวัดความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวที่กำลังทำการเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์อัญสิรินในเขตจังหวัดขอนแก่นและมหาสารคาม ในช่วงฤดูกาลนาปีระหว่างเดือนตุลาคมถึงธันวาคม 2564 จำนวน 24 เครื่อง โดยสามารถแบ่งเป็นเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยและเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศจำนวน 15 และ 9 เครื่องตามลำดับ

ผลการศึกษาพบว่า เครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยที่ทำการสุ่มเก็บข้อมูลทั้งหมดทำการเก็บเกี่ยวในพื้นที่เก็บเกี่ยวที่มีขนาดระหว่าง 1,760 ถึง 9,920 m² (1.10 ถึง 6.20 ไร่) และความหนาแน่นของต้นข้าวเฉลี่ยระหว่าง 270,400 ถึง 387,733 rice rai⁻¹ เครื่องเกี่ยวนวดไทยมีอายุใช้งานระหว่าง 1 ถึง 10 yr เครื่องยนต์ต้นกำลังมีขนาดระหว่าง 210 ถึง 260 hp ความกว้างของหัวเกี่ยวเฉลี่ยระหว่าง 3.00 ถึง 3.15 m และความเร็วที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวข้าวเฉลี่ยระหว่าง 0.87 ถึง 2.17 m s⁻¹ (3.13 ถึง 7.06 km h⁻¹) ดังแสดงใน Table 1

ในขณะที่เครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศที่ทำการสุ่มเก็บข้อมูลทั้งหมดทำการเก็บเกี่ยวในพื้นที่เก็บเกี่ยวที่มีขนาดระหว่าง 1,760 ถึง 6,400 m² (1.10 ถึง 4.00 rai) และความหนาแน่นของต้นข้าวเฉลี่ยระหว่าง 234,133 ถึง 387,200 rice rai⁻¹ เครื่องเกี่ยวนวดต่างประเทศมีอายุใช้งานระหว่าง 4 ถึง 8 yr เครื่องยนต์ต้นกำลังมีขนาดระหว่าง 69 ถึง 118 hp ความกว้างของหัวเกี่ยวเฉลี่ยระหว่าง 2.06 ถึง 2.76 m และความเร็วที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวข้าวเฉลี่ยระหว่าง 1.67 ถึง 3.40 m s⁻¹ (6.01 ถึง 12.24 km h⁻¹) ดังแสดงใน Table 2

Table 1 Crop, field and machine conditions of Thai combine harvesters.

No.	Crop condition				Field condition					Machine condition				
	Rice plant height	Angle of inclination	Aging of rice plant	Grain moisture content	Harvested area size		Area shape*	Density	Aging of machine	Header width	Engine	Speed		Grain tank
	m	Degree from vertical	d	% w.b.	m ²	rai	-	Rice/rai	yr	m	hp	m s ⁻¹	km h ⁻¹	kg
A1	0.68	26.67	130	21.60	4,960.00	3.10	T	342,933	5	3.00	260	1.50	5.40	2,500
A2	0.72	22.26	120	19.01	3,360.00	2.10	T	353,067	5	3.00	260	1.96	7.06	2,500
A3	0.78	26.91	120	21.73	1,760.00	1.10	T	339,200	5	3.00	260	1.40	5.04	2,500
A4	0.67	26.49	150	22.07	4,960.00	3.10	S	350,933	10	3.00	260	1.48	5.33	2,500
A5	0.69	21.55	120	22.56	8,320.00	5.20	T	322,133	1	3.15	260	1.74	6.26	2,500
A6	0.75	25.32	120	21.68	6,560.00	4.10	T	387,733	1	3.15	260	1.72	6.19	2,500
A7	0.72	20.27	120	15.56	6,720.00	4.20	P	378,667	3	3.00	260	1.91	6.88	2,500
A8	0.70	26.92	130	21.68	4,800.00	3.00	R	387,200	1	3.00	260	1.25	4.50	2,500
A9	0.70	28.79	130	21.53	4,800.00	3.00	R	360,000	1	3.00	260	1.29	4.64	2,500
A10	0.68	25.82	120	23.21	4,960.00	3.10	R	297,067	4	3.00	260	1.46	5.26	2,500
A11	0.77	22.18	120	17.75	8,000.00	5.00	R	270,400	4	3.00	260	1.78	6.41	2,500
A12	0.73	20.12	130	20.43	9,600.00	6.00	R	372,267	4	3.00	260	1.52	5.47	2,500
A13	0.75	20.75	140	21.79	9,920.00	6.20	R	386,133	4	3.00	260	1.55	5.58	2,500
A14	0.69	32.57	130	20.66	3,200.00	2.00	S	362,667	4	3.00	260	0.87	3.13	2,500
A15	0.71	20.73	120	20.56	1,760.00	1.10	R	380,267	4	3.00	210	1.17	4.21	2,400
min	0.67	20.12	120	15.56	1,760.00	1.10	-	270,400	1	3.00	210	0.87	3.13	2,400
max	0.78	32.57	150	23.21	9,920.00	6.20	-	387,733	10	3.15	260	1.96	7.06	2,500
avg	0.72	24.49	127	20.79	5,578.67	3.49	-	352,711	4	3.02	257	1.51	5.42	2,493

*Remarks: P = Polygon, R = Rectangle, S = Square, T = Trapezoid.

Table 2 Crop, field, and machine conditions of foreign combine harvesters.

No.	Crop condition				Field condition				Machine condition					
	Rice plant height	Angle of inclination	Aging of rice plant	Grain moisture content	Harvested area size	Area shape*	Density	Aging of machine	Header width	Engine	Speed	Grain tank		
	m	Degree from vertical	d	% w.b.	m ²	rai	rice/rai	yr	m	hp	m/s	km/h	kg	
B1	0.73	25.63	150	23.23	4,800.00	3.00	S	361,067	8	2.08	69	2.08	7.49	1,000
B2	0.72	21.33	130	23.26	3,200.00	2.00	T	256,000	8	2.08	69	2.86	10.30	1,000
B3	1.03	21.40	110	20.56	1,760.00	1.10	R	234,133	4	2.76	105	1.82	6.55	1,400
B4	0.66	29.56	120	18.96	5,280.00	3.30	S	387,200	6	2.06	82	2.07	7.45	900
B5	0.72	20.51	130	21.72	6,400.00	4.00	P	304,000	4	2.76	105	1.76	6.34	1,400
B6	0.62	27.50	130	22.16	4,960.00	3.10	P	244,267	4	2.06	82	1.72	6.19	900
B7	1.03	25.13	120	19.89	4,800.00	3.00	R	354,667	4	2.08	69	1.93	6.95	1,000
B8	0.78	20.62	120	17.41	3,360.00	2.10	R	379,733	4	2.06	82	3.40	12.24	900
B9	0.68	25.26	130	22.54	4,800.00	3.00	R	351,467	4	2.50	118	1.67	6.01	1,400
min	0.62	20.51	110	17.41	1,760.00	1.10	-	234,133	4	2.06	69	1.67	6.01	900
max	1.03	29.56	150	23.26	6,400.00	4.00	-	387,200	8	2.76	118	3.40	12.24	1,400
avg	0.77	24.10	127	21.08	4,373.33	2.73	-	319,170	5	2.27	87	2.15	7.72	1,100

*Remarks: P = Polygon, R = Rectangle, S = Square, T = Trapezoid.

เมื่อพิจารณาที่ความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ ผลการศึกษาพบว่า เครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยมีความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ระหว่าง 1.62 ถึง 3.68 rai h^{-1} ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีระหว่าง 5.87 ถึง 13.23 rai h^{-1} และประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ระหว่าง 24.26 ถึง 36.55% (Table 3) ในขณะที่เครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศมีความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ระหว่าง 1.97 ถึง 4.32 rai h^{-1} ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีระหว่าง 7.97 ถึง 15.76 rai h^{-1} และประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ระหว่าง 20.54 ถึง 28.52% ดังแสดงใน Table 4

Figure 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพื้นที่ที่เก็บเกี่ยวและความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทย พบว่า ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงบวกกับขนาดของพื้นที่ที่เก็บเกี่ยว (Positive and linear correlation) โดยเมื่อขนาดพื้นที่ที่เก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีมีค่าเพิ่มขึ้น (Landers, 2000; Amiama et al., 2008) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากเมื่อเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยเมื่อทำการเก็บเกี่ยวในพื้นที่เก็บเกี่ยวที่มีขนาดใหญ่ เครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยสามารถใช้หน้ากว้างในการเก็บเกี่ยวและความเร็วในการเก็บเกี่ยวได้สูงสุดเท่าที่เครื่องจะทำได้ เมื่อเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยสามารถใช้หน้ากว้างในการเก็บเกี่ยวสูงสุด ส่งผลทำให้เครื่องสามารถทำการเก็บเกี่ยวได้พื้นที่จำนวนมากขึ้นและส่งผลทำให้ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยเพิ่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Ebrahimi Nik et al., 2009)

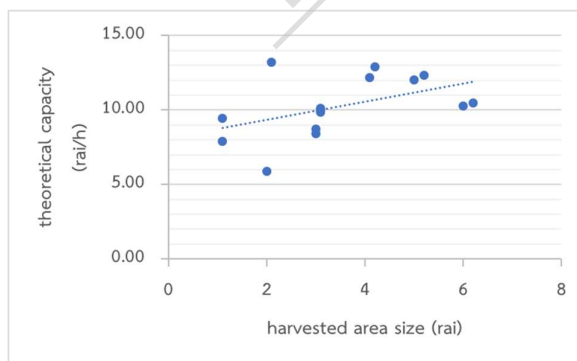


Figure 4 Relationship between size of harvested area and theoretical capacity of Thai combine harvesters

Figure 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพื้นที่ที่เก็บเกี่ยวและความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวด

ข้าวไทย พบว่า ความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงบวกกับขนาดของพื้นที่ที่เก็บเกี่ยว (Positive and linear correlation) ทั้งนี้เมื่อเครื่องเกี่ยวนวดข้าวทำการเก็บเกี่ยวในพื้นที่เก็บเกี่ยวที่มีขนาดใหญ่ เครื่องเกี่ยวนวดข้าวจะมีลักษณะเก็บเกี่ยวที่ต่อเนื่องและเป็นเส้นตรง โดยลักษณะการเก็บเกี่ยวดังกล่าวส่งผลทำให้เวลาที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวทั้งหมดลดลง เช่นเดียวกับการเก็บเกี่ยวที่ต่อเนื่องจะส่งผลทำให้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวมีจำนวนครั้งในการเลี้ยวหัวแปลงลดลง นั่นส่งผลทำให้เวลาที่สูญเสียเนื่องจากการเลี้ยวโค้งบริเวณหัวแปลงลดลงตามไปด้วย (Palmer et al, 2003; Wahby, 1976) อีกทั้งเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยจากการสุ่มตรวจมีความจุถังบรรทุกข้าวเฉลี่ย 2,493 kg หรือประมาณ 2,500 kg (Table 1) ทำให้สามารถทำการเก็บเกี่ยวได้ยาวนานต่อเนื่อง ส่งผลทำให้จำนวนครั้งและเวลาที่สูญเสียเนื่องจากการในการถ่ายเมล็ดออกเครื่องลดลง (Dongpueng et al., 2019) จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้นจะเห็นว่าขนาดของพื้นที่ที่เก็บเกี่ยวมีผลต่อความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยค่อนข้างมาก เพราะเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยสามารถใช้หน้ากว้างหัวเกี่ยวและความเร็วที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวได้สูงสุด โดยไม่จำเป็นต้องเลี้ยวโค้งบริเวณหัวแปลงบ่อยครั้ง ทำให้เวลาที่สูญเสียเนื่องจากการเลี้ยวโค้งบริเวณหัวแปลงและเวลาที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวทั้งหมดลดลง ส่งผลทำให้ความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่เพิ่มขึ้น

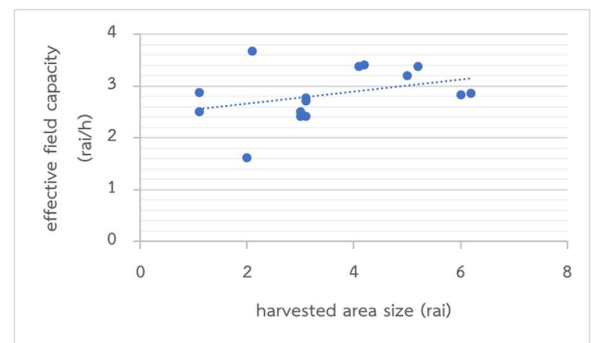


Figure 5 Relationship between size of harvested area and effective field capacity of Thai combine harvesters

Table 3 Field performance of Thai combine harvesters.

No.	Total harvesting time		Effective field capacity	Theoretical capacity	Field efficiency
	s	h	rai/h	rai/h	%
A1	4,020	1.12	2.78	10.13	27.42
A2	2,052	0.57	3.68	13.23	27.85
A3	1,580	0.44	2.51	9.45	26.52
A4	4,605	1.28	2.42	9.99	24.26
A5	5,539	1.54	3.38	12.33	27.41
A6	4,356	1.21	3.39	12.19	27.80
A7	4,430	1.23	3.41	12.89	26.47
A8	4,308	1.20	2.51	8.44	29.71
A9	4,464	1.24	2.42	8.71	27.78
A10	4,104	1.14	2.72	9.86	27.59
A11	5,616	1.56	3.21	12.02	26.68
A12	7,618	2.12	2.84	10.26	27.64
A13	7,805	2.17	2.86	10.46	27.33
A14	4,457	1.24	1.62	5.87	27.51
A15	1,372	0.38	2.89	7.90	36.55
min	1,372	0.38	1.62	5.87	24.26
max	7,805	2.17	3.68	13.23	36.55
avg	4,422	1.23	2.84	10.25	27.90

Table 4 Field performance of foreign combine harvesters.

No.	Total harvesting time		Effective field capacity	Theoretical capacity	Field efficiency
	s	h	rai/h	rai/h	%
B1	3,996	1.11	2.70	9.71	27.83
B2	1,944	0.54	3.70	13.35	27.74
B3	1,280	0.36	3.09	11.30	27.37
B4	6,028	1.67	1.97	9.59	20.54
B5	4,752	1.32	3.03	10.93	27.73
B6	4,909	1.36	2.27	7.97	28.52
B7	4,393	1.22	2.46	9.01	27.28
B8	1,750	0.49	4.32	15.76	27.41
B9	4,210	1.17	2.57	9.39	27.31
min	1,280	0.36	1.97	7.97	20.54
max	6,028	1.67	4.32	15.76	28.52
avg	3,696	1.03	2.90	10.78	26.86

Figure 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยวและความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศ พบว่า ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศมีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงลบกับขนาดของพื้นที่เก็บเกี่ยว (Negative and linear correlation) (Landers, 2000; Amiama et al., 2008) โดยเมื่อขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีที่มีค่าลดลง ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากหน้ากว้างหัวเกี่ยวของเครื่องเกี่ยวนวดต่างประเทศที่ทำการสุ่มตรวจวัดมีค่าเฉลี่ย 2.27 m ซึ่งน้อยกว่าหน้ากว้างหัวเกี่ยวของเครื่องเกี่ยวนวดไทยที่เท่ากับ 0.73 m (หน้ากว้างหัวเกี่ยวของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยเฉลี่ยเท่ากับ 3.02 m) ดังแสดงใน Table 1 และ 2 จึงทำให้เครื่องเกี่ยวนวดต่างประเทศทำการเก็บเกี่ยวได้พื้นที่จำนวนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทย ส่งผลทำให้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศต้องทำการเลี้ยวบริเวณหัวแปลงบ่อยครั้งและเวลาที่สูญเสียเนื่องจากการเลี้ยวโค้งบริเวณหัวแปลงเพิ่มขึ้น (Ebrahimi Nik et al., 2009; Palmer et al., 2003)

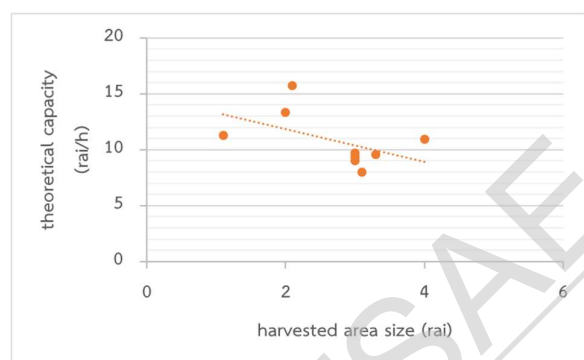


Figure 6 Relationship between size of harvested area and theoretical capacity of foreign combine harvesters

Figure 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยวและความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศ พบว่า ความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศมีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงลบกับขนาดของพื้นที่เก็บเกี่ยว (Negative and linear correlation) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากความจุถังบรรทุกข้าวของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศที่ทำการสุ่มตรวจวัดมีค่าเฉลี่ย 1,178 kg (Table 2) ซึ่งน้อยกว่าความจุถังบรรทุกข้าวของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทย จึงส่งผลทำให้การเก็บเกี่ยวของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศไม่ต่อเนื่องเพราะต้องทำการถ่ายเมล็ดข้าวออกจากเครื่องบ่อยครั้งและมีเวลาที่สูญเสียเนื่องจากการในการถ่ายเมล็ดออกเครื่องเพิ่มขึ้น (Dongpueng et al., 2019) จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้น

เป็นสาเหตุทำให้ความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดต่างประเทศลดลง

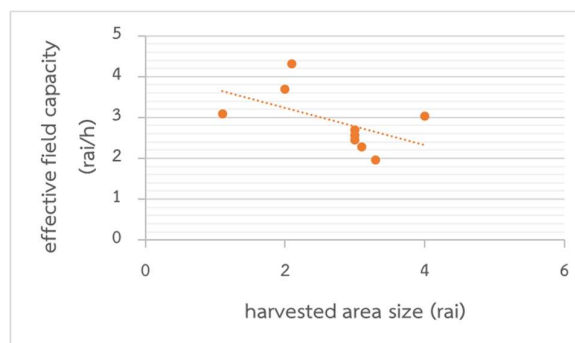


Figure 7 Relationship between size of harvested area and effective field capacity of foreign combine harvesters

Figure 8 และ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยวและประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยและเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงลบกับขนาดของพื้นที่เก็บเกี่ยว (Negative and linear correlation) โดยเมื่อขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่มีแนวโน้มลดลง (Dongpueng et al., 2020) โดยทั้งเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยและเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศมีประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ใกล้เคียงได้แก่ 27.90 และ 26.86% ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อทำการวิเคราะห์จากสมการที่ 3 พบว่า ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่จะแปรผันตรงกับความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ และแปรผกผันกับความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี อย่างไรก็ตามหากวิเคราะห์ในส่วนของประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่แล้วพบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ที่สามารถทำได้ 2 กรณีคือการเพิ่มความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่หรือการลดความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี อย่างไรก็ตามการลดความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีอาจทำได้ค่อนข้างยาก เพราะมีความเกี่ยวข้องกับการปรับแต่งขนาดของหน้ากว้างหัวเกี่ยวและความเร็วที่ใช้ในการเก็บเกี่ยว รวมถึงพฤติกรรมการขับเคลื่อนของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวของผู้ขับเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้น การเพิ่มความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่จึงเป็นแนวทางที่เกษตรกรสามารถเริ่มปฏิบัติได้ด้วยตนเอง คือ การปรับปรุงร่างของพื้นที่เก็บเกี่ยวให้มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือจตุรัส ซึ่งจะส่งผลทำให้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวมีเวลาที่ใช้ในการเลี้ยวบริเวณหัวแปลงลดลง (Landers, 2000; Amiama et al., 2008) รวมถึง

การรวมพื้นที่เก็บเกี่ยวขนาดเล็กให้เป็นพื้นที่เก็บเกี่ยวที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้เครื่องเกี่ยวขนาดข้าวสามารถทำการเก็บเกี่ยวได้อย่างต่อเนื่อง ไม่หยุดบ่อยครั้ง เพราะการหยุดทำการเก็บเกี่ยวบ่อยย่อมส่งผลทำให้เวลาที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวทั้งหมดเพิ่มขึ้น ความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ลดลง และประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ลดลงตามไปด้วย (Palmer et al., 2003; Saiful Islam et al., 2017)

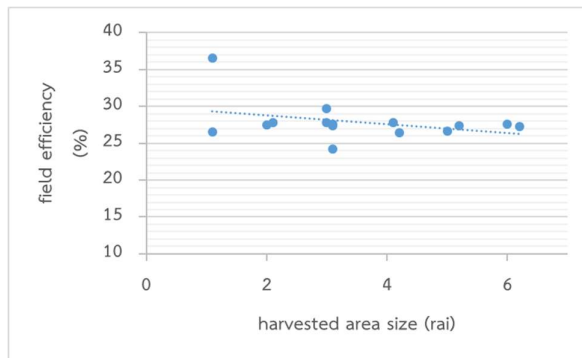


Figure 8 Relationship between size of harvested area and field efficiency of Thai combine harvesters

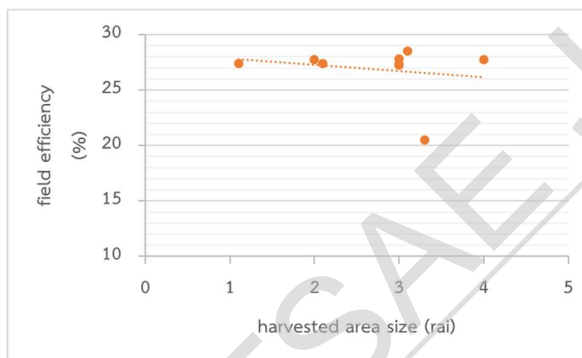


Figure 9 Relationship between size of harvested area and field efficiency of foreign combine harvesters

4 สรุป

การศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าขนาดของพื้นที่เก็บเกี่ยวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงบวกกับความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีและความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวขนาดไทย แต่ขนาดของพื้นที่เก็บเกี่ยวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงลบกับความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีและความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวขนาดต่างประเทศ แต่อย่างไรก็ตามขนาดของพื้นที่เก็บเกี่ยวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงลบกับประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวขนาดข้าวไทยและเครื่องเกี่ยวขนาดข้าวต่างประเทศ ทั้งนี้ เครื่องเกี่ยวขนาดข้าวไทยและเครื่องเกี่ยวขนาดข้าว

ต่างประเทศยังมีประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้น แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่สามารถทำได้ 2 กรณีคือ การเพิ่มความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่หรือการลดความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี แต่การลดความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีกระทำได้ค่อนข้างยากและเกษตรกรไม่สามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเอง ดังนั้น การเพิ่มความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่จึงเป็นแนวทางเกษตรกรสามารถลงมือปฏิบัติได้ ได้แก่ การปรับปรุงร่างของพื้นที่เก็บเกี่ยวให้มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมหรือการรวมพื้นที่เก็บเกี่ยวขนาดเล็กให้เป็นพื้นที่เก็บเกี่ยวที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพราะจะทำให้เครื่องเกี่ยวขนาดข้าวทำการเก็บเกี่ยวได้อย่างต่อเนื่องและลดเวลาที่ใช้ในการเลี้ยวบริเวณหัวแปลง ส่งผลทำให้เวลาที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวทั้งหมดลดลง ความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โปรแกรมวิชาช่างกลเกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น และศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- จารุวัฒน์ มงคลธนทรศ. 2552. 36 ปี เครื่องจักรกลเกษตร. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ประภากรณ์ แสงวิจิตร, ศุภสิทธิ์ สิทธิพานิช. 2558ก. อิทธิพลของขนาดแปลงนาต่อสมรรถนะของรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กในการเตรียมดิน. การประชุมสัมมนาวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8, 317-323. กรุงเทพฯ.
- ประภากรณ์ แสงวิจิตร, ศุภสิทธิ์ สิทธิพานิช. 2558ข. อิทธิพลของขนาดแปลงนาต่อสมรรถนะของเครื่องเกี่ยวขนาดข้าว. การประชุมสัมมนาวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8, 329-334. กรุงเทพฯ.
- วินิต ชินสุวรรณ, นิพนธ์ ป้องจันทร์, สมชาย ขวนอุดม, วราจิต พะยอม. 2546. ผลของความเอียงของแถบขึ้นนวดและระยะห่างช่องว่างระหว่างซี่ตะแกรงนวดที่มีต่อสมรรถนะการ

- ขนาดของเครื่องนวดข้าวแบบไหลตามแกน. วารสารสมาคมวิศวกรรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 10(1), 15-20.
- สมชาย ชวนอุดม. 2556. เครื่องเก็บเกี่ยวเมล็ดพืช. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2565 NSTDA Open House. แหล่งข้อมูล: [https:// www.nstda.or.th /nac/2021/](https://www.nstda.or.th/nac/2021/). เข้าถึงเมื่อ 13 มกราคม 2565.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565 ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร. แหล่งข้อมูล: <https://www.oae.go.th/view/>. เข้าถึงเมื่อ 1 มิถุนายน 2565.
- Amiama, C., Bueno, J., & Álvarez, C.J. 2008. Influence of the physical parameters of fields and of crop yield on the effective field capacity of a self-propelled forage harvester. *Biosystems Engineering*, 100(2), 198-205.
- Bector, V., Singh S. 1999. Timeliness Loss Factor for Different Operations of Major Crops in Punjab. *Journal of Institution of Engineers of India*, 79, 32-35.
- Doungpueng, K., Chuan-Udom, S., Numsong, A., Chansrakoo, W. 2019. Lost times of harvesting processes of the thai combine harvesters. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 301.
- Doungpueng, K., Pachanawan, A., Chuan-Udom, S. 2020. Factors Effect on the Effective Field Capacity of Thai Combines Harvesters when Harvesting: A Case Study of the Phitsanulok-2 Rice Variety. *KKU Research Journal (Graduate Studies)* 20(4), 120-132.
- Ebrahimi-Nik, M.A., Khademolhosseini, N., Abbaspour-Fard, M.H., Mahdinia, A., Alami-Saied, K. 2009. Optimum utilisation of low-capacity combine harvesters in high-yielding wheat farms using multi-criteria decision making. *Biosystems Engineering*, 103(3), 382-388.
- Landers, A. 2000. *Farm Machinery: Selection, Investment and Management*. West Sussex: Farming Press.
- Palmer, R., Wild, D., Runtz, K. 2003. Improving the efficiency of field operations. *Biosystems Engineering*, 84, 283-288.
- Saiful Islam, K. M., Shahjahan Kabir, Md. and Ismail Hossain, Md., 2017. Present land size with shape and effect on the operational efficiency of rice transplanter. *Journal of Science Technology Environment. Informatics*. 5(2), 402-412
- Wahby, M.F. 1976. Studied on Mechanization of Planting and Harvesting in Wheat and Parley in Tahrir Province. Master thesis in Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Al-Azhar University, Egypt.



การวิจัยและพัฒนาเครื่องผลิตวัสดุปลูกชีวภาพเชิงพาณิชย์สำหรับกล้วยไม้

Research and Development of a Commercial Bio-growing Media for Orchids Production Machine

บัณฑิต จิตรจันงค์^{1*}, พุทธินันท์ จารุวัฒน์¹, พีรพงษ์ ชมภู¹, ทนงศักดิ์ เสือสุด¹, อุทัย ธาณี², พินิจ จิรคกุล³, อนุสรณ์ สุวรรณเวียง¹, ธนาวัฒน์ ทิพย์ชิต⁴, ประวีณา ศรีวงเขต¹, นิวัต อาระวิล¹

Bundit Jitjumnong^{1*}, Puttinun Jaruwat¹, Peerapong Chompoo¹, Tanongsak Siasood¹, Uthai Tanee², Pinit Jirakkakul³, Anusorn Suwanviang¹, Thanawat Tipchit⁴, Praweena Sriwangkheth¹, Niwat Arawil¹

¹ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี สถาบันเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร, จ.จันทบุรี 22000

¹Chanthaburi Agricultural Engineering Research Center, Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Chanthaburi 22000

²สถาบันเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ 10900

²Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Bangkok 10900

³ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น สถาบันเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร, จ.ขอนแก่น 40000

³Khonkaen Agricultural Engineering Research Center, Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Khonkaen 40000

⁴ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมสุราษฎร์ธานี สถาบันเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร, จ.สุราษฎร์ธานี 84170

⁴Suratthani Agricultural Engineering Research Center, Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Suratthani 84170

*Corresponding author: Tel.: 039-609652, Fax: 039-609652, E-mail: tumbandit@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องผลิตวัสดุปลูกชีวภาพเชิงพาณิชย์สำหรับกล้วยไม้ขนาด (กว้างxยาวxสูง) 0.5x2x1 m โดยใช้ระบบไฮดรอลิคควบคุมการทำงานด้วยวาล์วไฟฟ้าแบบกึ่งอัตโนมัติ อัตราวัสดุปลูกที่แรงดัน 10 MPa ความสามารถของเครื่องในการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้เป็น 100 ก้อนต่อชั่วโมง วัสดุปลูกกล้วยไม้ที่อัดแล้วมีขนาด (กว้างxยาวxสูง) 22x36x8 cm ก้อนวัสดุปลูก 1 ก้อนสามารถปลูกกล้วยไม้ได้ 4 ต้น มีสมบัติและความแข็งแรงเหมาะสมสำหรับปลูกกล้วยไม้ และมีอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 3 ปี วัสดุเกษตรที่ใช้ทำวัสดุปลูกชีวภาพ ได้แก่ ต้นกระถินสับย่อยและทางปาล์มน้ำมันสับย่อย อัตราส่วนผสมของตัวประสานเถ้าลอยที่เหมาะสมสำหรับผสมเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ คือ 40% ซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 25% เมื่อเทียบกับการใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว วัสดุปลูกที่ได้มีสมบัติทางกายภาพ และผลการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ไม่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องต้นแบบให้สูงขึ้นจากเครื่องต้นแบบเดิม 3.3 เท่า ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่า เครื่องผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้ชีวภาพเชิงพาณิชย์มีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตก้อนวัสดุปลูกชีวภาพ 8 บาทต่อก้อน มีจุดคุ้มทุนเมื่อทำการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ชีวภาพ 213,333 ก้อนต่อปี และระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 ปี ที่ราคาขายก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ 9 บาทต่อก้อน

คำสำคัญ: เครื่องผลิตวัสดุปลูก, วัสดุปลูกชีวภาพ, กล้วยไม้

Received: August 5, 2022

Revised: August 25, 2022

Accepted: September 15, 2022

Available Online: February 28, 2023

Abstract

The present research involved the development of a commercial scale bio-growing media for orchids production machine, with the dimensions (width x length x height) of 0.5x2x1 m. A hydraulic system was used to control the operation via the use of a semi-automatic electric valve. The planting material was pressed at a pressure of 10 MPa. The machine has the capability of producing 100 piece h^{-1} of the plant material, with the dimensions (width x length x height) of 22x36x8 cm. One piece of the planting material can be used to grow 4 orchids; the material possesses properties and strength suitable for growing orchids. Its service life is not less than 3 years. Agricultural materials used to make bio-planting materials were chopped acacia and chopped palm oil. Optimal mix ratio of fly ash binder, which was used in the mixture to reduce the amount of cement, was 40%. At such a ratio, the production cost could be reduced by 25% compared with the cost that would occur with the sole use of cement; the obtained planting material has physical properties and yielded growth response of orchids similar to the cement-based material. The present research can increase the prototype's production capacity from that of the original prototype by 3.3 folds. Based on engineering economic analysis results, the developed machine has a cost of producing bio-planting material of 8 Baht piece⁻¹. The break-even point would be reached when producing 213,333 pieces year⁻¹, while the payback period would be around 1 year at the selling price of a piece of orchid planting material of 9 Baht.

Keywords: Growing medias production machine, Bio growing medias, Orchid

1 บทนำ

อุตสาหกรรมกล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับ เป็นสินค้าเกษตรกลุ่มหนึ่งที่มีความสำคัญสามารถส่งออกและสร้างรายได้ให้กับประเทศไทย โดยกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายมีการผลิตและส่งออกมากเป็นอันดับหนึ่งของประเทศประมาณร้อยละ 90 ของผลผลิตกล้วยไม้ทั้งหมด ประเทศไทยคู่ค้าที่สำคัญได้แก่ จีน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา อินเดียและเวียดนาม โดยใน พ.ศ. 2564 มีปริมาณการผลิต 33,729 ตัน ปริมาณการส่งออก 12,564 ตัน คิดเป็นมูลค่า 1,894 ล้านบาท ส่วนที่เหลือจะจำหน่ายภายในประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) โดยมีแรงสนับสนุนหลายๆ ปัจจัยที่ทำให้ประเทศไทยมีจุดแข็ง ทั้งจากการส่งเสริมของภาครัฐและเอกชน ตลอดจนสมาคมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง แต่ในปัจจุบันเกษตรกรและผู้ประกอบการยังพบกับปัจจัยเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อ การส่งออก ทั้งปัญหาด้านการตลาด ปัจจัยการผลิตที่สูงขึ้น การขยายพื้นที่เพาะปลูกยังทำได้จำกัด และปัญหาความเสี่ยงจากมาตรการกีดกันทางการค้าของประเทศคู่ค้าโดยเฉพาะในสหภาพยุโรป

วัสดุปลูกหรือเครื่องปลูกมีหน้าที่ให้รากเกาะยึดเพื่อให้ลำต้นของกล้วยไม้ตั้งตรง ไมโอนอนหรือล้ม วัสดุปลูกยังทำหน้าที่เก็บความชื้นและธาตุอาหารเพื่อให้รากดูดไปใช้ ขณะเดียวกันวัสดุปลูกก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศ

รอบๆ ระบบราก การพิจารณาเลือกวัสดุปลูกต้องคำนึงถึงคุณสมบัติคือ ช่วยให้ระบบรากและต้นกล้วยไม้เจริญงอกงามดีหาได้ง่าย ต้นทุนต่ำทนทาน ไม่ย่อยสลายเร็วเกินไป ปราศจากสารพิษเจือปนและสะดวกต่อการใช้ปลูกวัสดุปลูกที่นิยมใช้ในการปลูกกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายได้แก่ กาบมะพร้าว ปัจจุบันสืบเนื่องจากปัญหาผลผลิตมะพร้าวของไทยลดลงอย่างมาก จากพื้นที่การเพาะปลูกที่ลดลงและปัญหาเนื่องจากการระบาดของแมลงดำหนามและแมลงอื่นๆ ทำให้ส่งผลกระทบต่อเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวาย ซึ่งจำเป็นต้องใช้กาบมะพร้าวเป็นวัสดุปลูก ทำให้กาบมะพร้าวมีไม่เพียงพอและราคาสูงขึ้น จากเดิมกระบะปลูกกล้วยไม้ ราคา 5-7 บาท ขยับเป็น 15-20 บาท หรือกาบมะพร้าวเหมารถ 6 ล้อต่อคัน 2,500 บาท เพิ่มขึ้นเป็นมากกว่า 5,000 บาท โดยทั่วไปเกษตรกรที่ปลูกกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายหลังจากปลูกไปแล้วทุกๆ 3-5 ปีจะต้องมีการรื้อต้นกล้วยไม้เก่าและกาบมะพร้าวที่เป็นวัสดุปลูกออกเพื่อปลูกต้นใหม่เนื่องจากกล้วยไม้มีจำนวนลำลูกกล้วยมากและหนาแน่น การระบายอากาศไม่ดีและมีการสะสมของโรคในลำเก่าๆ ประกอบกับกาบมะพร้าวจะเริ่มผุและเปื่อยยุ่ยส่งผลให้ผลผลิตดอกกล้วยไม้ลดลง โดยเกษตรกรเจ้าของแปลงกล้วยไม้ต้องมีการวางแผนในการหา กาบมะพร้าวให้ได้แน่นอนก่อนที่จะทำการรื้อแปลงเพราะหากหา กาบมะพร้าวไม่ได้จะต้องทิ้งแปลงให้ว่างเปล่าส่งผลให้ขาดรายได้ การศึกษาและพัฒนาวัสดุปลูกที่เหลือทิ้งทางการเกษตร

สำหรับนำมาใช้ในการปลูกกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายทดแทนกาบมะพร้าว จะเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยลดปริมาณการใช้กาบมะพร้าว ช่วยลดต้นทุนการผลิตให้เกษตรกรผู้ปลูกกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายได้ และช่วยเพิ่มมูลค่าเพิ่มของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้อีกแนวทางหนึ่ง

ปัญหาการกบมะพร้าวซึ่งเกษตรกรใช้เป็นวัสดุปลูกสำหรับกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายมีราคาสูงขึ้น เนื่องจากพื้นที่ปลูกและผลผลิตที่ลดลงซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตกล้วยไม้ของเกษตรกร ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี พุทธิพันธ์และคณะ (2558) ได้มีการศึกษานำดินกระถินและทางปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นวัสดุปลูกทดแทนกาบมะพร้าว โดยนำมาหั่นย่อยและผสมกับปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุประสาน ในอัตราส่วน 1:2.5 kg ทำให้สามารถอัดขึ้นรูปเป็นก้อนวัสดุปลูกที่มีโครงสร้างแข็งแรง และผลการศึกษาพบว่าวัสดุปลูกกระถิน ทางปาล์มน้ำมันและกาบมะพร้าว ให้ผลการเจริญเติบโตและการออกดอกของกล้วยไม้ที่ไม่แตกต่างกัน เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติ บัณฑิตและคณะ (2559) ได้มีการวิจัยและพัฒนาเครื่องต้นแบบผลิตก้อนวัสดุปลูกซึ่งมีขนาด 0.5x1.4x1 m ชุดอัดก้อนวัสดุปลูกทำงานด้วยระบบ ไฮดรอลิกที่ควบคุมการทำงานด้วยวาล์วไฟฟ้า และ Programmable Logic Controller (PLC) ที่ แรงอัดส่วนผสมของก้อนวัสดุปลูก 10 MPa เครื่องต้นแบบมีความสามารถในการผลิตก้อนวัสดุปลูก 30 ก้อนต่อชั่วโมง หรือวันละ 240 ก้อน ขนาดก้อนวัสดุปลูก (กว้างxยาวxสูง) ประมาณ 22x36x8 cm แต่อย่างไรก็ตามการรีดแปลงกล้วยไม้เพื่อปลูกใหม่ของเกษตรกรจะใช้ก้อนวัสดุปลูกประมาณ 3,000 ก้อน/ไร่ ดังนั้นกำลังการผลิตของเครื่องจึงไม่เพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร การวิจัยและพัฒนาเครื่องผลิตวัสดุปลูกชีวภาพระดับเชิงพาณิชย์สำหรับกล้วยไม้ จะปรับปรุงกำลังการผลิตจากงานวิจัยเครื่องผลิตวัสดุปลูกทดแทนกาบมะพร้าวสำหรับกล้วยไม้ให้เพิ่มขึ้น เพื่อให้กำลังการผลิตของเครื่องต้นแบบนี้สามารถรองรับเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยไม้เนื้อที่ 5-10 ไร่ ช่วยแก้ปัญหาการผลิตที่ไม่เพียงพอต่อการรีดแปลงกล้วยไม้เพื่อปลูกใหม่ของเกษตรกร และทำการศึกษาและพัฒนาส่วนผสมของก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ชีวภาพ โดยหาตัวประสานใหม่และอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม ในส่วนของตัวประสานใหม่ เพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ และลดต้นทุนการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ชีวภาพคือ เถ้าลอย (Fly ash) ณิชชา (2560) เป็นเถ้าถ่านหินชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นวัตถุพลอยได้ (by-product) ที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงใน

การเผาไหม้ (combustion process) โดยในกระบวนการนี้พบเถ้าลอยในปริมาณที่สูงถึงร้อยละ 90 โดยน้ำหนักของปริมาณเถ้าถ่านหินทั้งหมดเนื่องจากองค์ประกอบหลักทางเคมีของเถ้าลอยคือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อะลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) จึงนิยมนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตปูนซีเมนต์หรือวัสดุก่อสร้าง

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์

เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 20 kg. ใช้ชั่งส่วนผสมของวัสดุปลูกกล้วยไม้ นาฬิกาจับเวลาหาค่าลังการผลิตของเครื่องต้นแบบต่อชั่วโมง

2.2 วิธีการ

2.2.1 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบในการผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้ โดยให้เครื่องสามารถผลิตได้มากกว่าเครื่องต้นแบบเดิมให้มีความสามารถในการผลิตวัสดุปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.2 การทดสอบและประเมินผลเครื่องต้นแบบ

1) ทดสอบส่วนผสมของวัตถุดิบ 2 ชนิด (กระถินสับย่อย, ทางปาล์มน้ำมันสับย่อย) กับตัวประสานใหม่ 3 อัตราส่วนผสม โดยเพิ่มการใช้เถ้าลอยเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ในการเป็นตัวประสาน ทำการทดลองทั้งหมด 6 กรรมวิธีดังนี้

1.1) กระถินสับย่อย 1 kg ปูนซีเมนต์ 2.00 kg (80%) เถ้าลอย 0.50 kg (20%)

1.2) กระถินสับย่อย 1 kg ปูนซีเมนต์ 1.75 kg (70%) เถ้าลอย 0.75 kg (30%)

1.3) กระถินสับย่อย 1 kg ปูนซีเมนต์ 1.50 kg (60%) เถ้าลอย 1.00 kg (40%)

1.4) ทางปาล์มน้ำมันสับย่อย 1 kg ปูนซีเมนต์ 2.00 kg (80%) เถ้าลอย 0.50 kg (20%)

1.5) ทางปาล์มน้ำมันสับย่อย 1 kg ปูนซีเมนต์ 1.75 kg (70%) เถ้าลอย 0.75 kg (30%)

1.6) ทางปาล์มน้ำมันสับย่อย 1 kg ปูนซีเมนต์ 1.50 kg (60%) เถ้าลอย 1.00 kg (40%)

ตัวประสานปูนซีเมนต์ 2.5 kg คือ 100% โดยในการทดสอบนี้จะใช้อัตราส่วนผสมของวัสดุปลูกกล้วยไม้เดิมคือ กระถินสับย่อย 1 kg ปูนซีเมนต์ 2.5 kg และทางปาล์มน้ำมันสับย่อย 1

กิโลกรัม ปูนซีเมนต์ 2.5 kg เป็นตัวเปรียบเทียบในการทดสอบ ปลุกกล้วยไม้ (control)

2) ทดสอบเก็บข้อมูลเครื่องมือต้นแบบในการผลิตวัสดุปลูกสำหรับกล้วยไม้ ได้แก่ ความสามารถในการผลิต การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น

3) เก็บข้อมูลอายุการใช้งานของวัสดุปลูกผลิตขึ้น และบันทึกการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ วางแผนการทดลองแบบ (Randomized Complete Block Design: RCBD) จำนวน 7 กรรมวิธี (อัตราส่วนผสม ข้อ 1.1-1.6 โดยปลูกเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกกล้วยไม้เดิม) กรรมวิธีละ 10 ซ้ำ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.2.3 การวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

วิเคราะห์ผลการทดสอบและวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมสำหรับการผลิตวัสดุปลูกด้วยเครื่องมือต้นแบบ สรุปรายงานผลการศึกษา จัดทำรายงานผลการดำเนินงาน และเผยแพร่สู่กลุ่มเป้าหมาย

3 ผลและวิจารณ์

ได้ทำการออกแบบเครื่องต้นแบบผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้ชีวภาพ (Figure 1) โดยเครื่องต้นแบบมีโต๊ะอัดก้อนมีขนาด(กว้าง x ยาว x สูง) 0.4x1x1 m จำนวน 2 ชุด โต๊ะอัดก้อนมีช่องอัดวัสดุปลูกกล้วยไม้ 2 ช่อง ขนาด 22x36x20 cm มีเพลขนาด 40 cm 4 จุด เพื่อให้ก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้มีรูสำหรับปลุกกล้วยไม้ 4 ต้น/ก้อน ใช้กระบอกไฮดรอลิกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 cm ช่วงชัก 30 cm จำนวน 2 กระบอก เพื่อสร้างแรงอัดก้อน แรงดันที่ใช้ในการอัด 10 MPa



Figure 1 The machine prototype structure

ระบบไฮดรอลิก ใช้ต้นกำลังขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 3 hp มีวาล์วควบคุมทิศทางการไหล (Control valve) ของน้ำมันไฮดรอลิก วาล์วระบายแรงดัน (Pressure

relief valve) ใช้ปรับตั้งค่าแรงดันที่ใช้งานคือ 10 MPa วาล์วควบคุมการไหล (Flow control valve) ใช้ปรับอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก (Figure 2)



Figure 2 Hydraulic system kit

ระบบควบคุม ใช้ Programmable Logic Controller (PLC) ควบคุมการทำงานของเครื่องต้นแบบ เป็นตัวควบคุมสั่งเปิด ปิด วาล์ว โดยใช้สัญญาณจากปุ่มควบคุม และเซนเซอร์ (proximity sensor) ชุดวาล์วไฟฟ้ามี วาล์วระบายแรงดัน (Relief valve) เพื่อตั้งค่าแรงดันไฮดรอลิกไม่ให้เกินค่าที่ต้องการใช้งานคือ 10 MPa (Figure 3) การใช้ PLC ควบคุมการทำงานของเครื่องมือผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้ เพื่อความสะดวกในการทำงานให้สามารถเริ่มต้นทำงานโดยการกดปุ่ม Start Auto ครั้งเดียวเครื่องจะทำการอัดวัสดุปลูกกล้วยไม้จนเสร็จพร้อมนำไปตากให้แห้ง

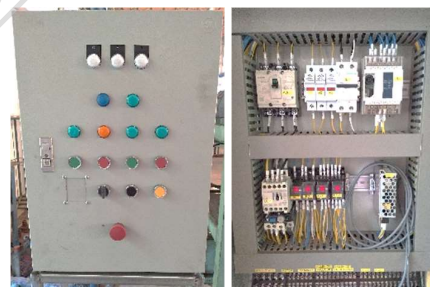


Figure 3 Control cabinet with PLC

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้ ควบคุมด้วย PLC : Programmable Logic Controller มีขั้นตอนดังนี้

1 ใส่วัสดุปลูกกล้วยไม้ที่ผสมแล้วลงในช่องอัด

2 ปิดฝาบน ใส่สลักล็อกฝาบน เซนเซอร์ที่ใส่สลักจะส่งสัญญาณไปที่ PLC ทำให้เครื่องสามารถพร้อมอัดได้ ถ้าหากลิ้นใส่สลักล็อกเซนเซอร์จะไม่ส่งสัญญาณไปที่ PLC จะไม่สามารถทำการอัดได้ เพื่อความปลอดภัยขณะทำงานหากลิ้นใส่สลักล็อกฝาบน

3 กดปุ่ม Start Auto ที่ตู้ควบคุม ระบบไฮดรอลิกจะทำการอัดก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้อัตโนมัติ โดยอัดจนกระบอกไฮดรอลิกมี

แรงดัน 10 MPa แล้วจะเลื่อนกระบอกลอยไฮดรอลิกลงเป็นเวลา 2 s จากนั้นจะอัดอีกครั้งที่แรงดัน 10 MPa แล้วกระบอกลอยไฮดรอลิกจะเลื่อนลงเล็กน้อยเพื่อย้ายชิ้นงาน

4 ถอดสลักและเปิดฝานอกเซนเซอร์ที่เลื่อนขึ้นฝานจะส่งสัญญาณไปที่ PLC ทำให้กระบอกลอยไฮดรอลิกเลื่อนขึ้นจนสุดเพื่อย้ายชิ้นงานออกด้านบนของตัวเครื่อง

5 นำก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ออกจากเครื่องเพื่อนำไปตากให้แห้ง

6 โยกฝานอกจากเซนเซอร์ฝานเล็กน้อย สัญญาณจะส่งไปที่ PLC ทำให้กระบอกลอยไฮดรอลิกเลื่อนลงเพื่อทำการอัดวัสดุปลูกครั้งต่อไป

ทดสอบเครื่องผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้ชีวภาพต้นแบบที่สวนกล้วยไม้ของผู้ประกอบการ ณ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา (Figure 4) ผลิตก้อนวัสดุปลูกชีวภาพโดยใช้ส่วนผสมของวัตถุดิบ 2 ชนิด (กระถินสับย่อย, ทางปาล์มน้ำมันสับย่อย) (Figure 5) กับตัวประสานคือ เถ้าลอย (Figure 6) 3 อัตราส่วนผสม ตามวิธีการดำเนินงาน ผลการทดสอบพบว่าเครื่องผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้ชีวภาพมีความสามารถในการผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้ประมาณ 100 piece h⁻¹ เครื่องต้นแบบ (Figure 7) ใช้กำลังไฟฟ้ารวม 1.92 kW นำวัสดุปลูกกล้วยไม้อัตราส่วนผสมต่างๆ ที่ผลิตได้ ทดสอบวางปลูกกล้วยไม้ในสวนกล้วยไม้ของผู้ประกอบการ (Figure 8) เพื่อเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ เช่น จำนวนหน่อ ใบ รากของกล้วยไม้ ขนาดหน่อ ใบ รากกล้วยไม้ เป็นต้น เพื่อทดสอบว่าอัตราส่วนผสมไหนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ โดยเก็บข้อมูลทุกเดือน เป็นระยะเวลา 9 เดือน ผลการทดสอบเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของกล้วยไม้พบว่า กล้วยไม้ที่ปลูกในก้อนวัสดุปลูกที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ในทุกกรรมวิธีทดลอง ให้ผลการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงใน Table 1 ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราส่วนผสมเถ้าลอย 40% สำหรับการผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้ชีวภาพทั้งวัสดุเกษตรที่เป็นกระถินและทางปาล์มน้ำมัน ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้มากที่สุดประมาณ 25% เมื่อเทียบกับการใช้ตัวประสานปูนซีเมนต์เพียงชนิดเดียว จากการทดลองปลูกกล้วยไม้ด้วยวัสดุปลูกพบว่า มีอายุการใช้งานมากกว่า 3 year โดยที่ก้อนวัสดุปลูกยังคงสภาพดีไม่มีการผุแตกหัก ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่าเครื่องผลิตวัสดุปลูกชีวภาพระดับเชิงพาณิชย์สำหรับกล้วยไม้มีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการ

ผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ 8 baht piece⁻¹ มีจุดคุ้มทุนเมื่อทำการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ 213,333 piece year⁻¹ ระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 year ที่ราคาขายก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ 9 baht piece⁻¹



Figure 4 Prototype test at Pak Chong District, Nakhon Ratchasima Province



Figure 5 Chopped palm oil and chopped acacia



Figure 6 Fly ash



Figure 7 Commercial Bio-growing Media for Orchids Production Machine



Figure 8 Planting material for orchid planting experiments

Table 1 Growth of orchids in each planting material at 9 months old.

Growing Medium	Original orchid shoots			New orchid shoots			Original orchid roots		New orchid roots		Orchid leaves			New shoots		
	Number of shoots	Width (cm)	Length (cm)	Number of shoots	Width (cm)	Length (cm)	Number of roots	Length (cm)	Number of roots	Length (cm)	Number of leaves	Width (cm)	Length (cm)	Number of leaves	Width (cm)	Length (cm)
Acacia + cement	3	1.89a	28.3a	1	1.24a	5.5a	11.7a	5.01a	4	2ab	6	4.6a	10.4a	4	2.5a	3.9a
Palm oil + cement	3	1.87a	29.5a	1	1.19a	5.2a	11.4a	5.35a	4	1.8b	5	4.63a	11.9a	3	2.0a	3.1a
Acacia + fly ash instead of cement 20%	3	1.81a	28.0a	1	1.20a	5.0a	11.1a	4.52a	4	2.0a	6	4.55a	10.2a	3	2.4a	3.5a
Acacia + fly ash instead of cement 30%	3	1.84a	28.1a	1	1.18a	5.2a	11.3a	4.65a	4	1.9a	5	4.48a	9.7a	4	2.5a	3.6a
Aacacia + fly ash instead of cement 40%	3	1.88a	28.1a	1	1.19a	5.1a	11.2a	4.44a	4	1.9a	6	4.41a	9.6a	4	2.35a	3.4a
Palm oil + fly ash instead of cement 20%	3	1.79a	28.3a	1	1.18a	5.1a	11.0a	5.12a	3	1.7a	5	4.35a	11.9a	3	1.89a	3.0a
Palm oil + fly ash instead of cement 30%	3	1.82a	28.5a	1	1.19a	5.2a	10.9a	5.23a	4	1.8a	5	4.32a	11.2a	4	1.94a	2.95a
Palm oil + fly ash instead of cement 40%	3	1.86a	28.2a	1	1.18a	5.0a	11.2a	5.09a	4	1.8a	6	4.38a	11.6a	4	1.88a	2.89a

4 สรุป

เครื่องผลิตวัสดุปลูกชีวภาพระดับเชิงพาณิชย์สำหรับกล้วยไม้ มีขนาด (กว้างxยาวxสูง) 0.5x2x1 m ใช้ระบบไฮดรอลิคควบคุมการทำงานด้วยวาล์วไฟฟ้าแบบกึ่งอัตโนมัติ วัสดุปลูกที่แรงดัน 10 MPa ความสามารถของเครื่องในการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ได้ 100 piece h⁻¹ วัสดุปลูกกล้วยไม้ที่อัดแล้วมีขนาด (กว้างxยาวxสูง) 22x36x8 cm ก้อนวัสดุปลูก 1 piece สามารถปลูกกล้วยไม้ได้ 4 ต้น เครื่องมือผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้สามารถใช้ผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้ที่มีความแข็งแรงและคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับปลูกกล้วยไม้ อายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 3 year วัสดุเกษตรที่ใช้คือ ดินกระถินสับย่อย และทางปาล์มน้ำมันสับย่อย ส่วนผสมเถ้าลอยที่นำมาใช้ผสมเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ ลดต้นทุนการผลิต สามารถใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ได้ 40% โดยมีคุณสมบัติทางกายภาพ ผลการตอบสนองทางการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ไม่แตกต่างจากการใช้ปูนซีเมนต์เป็นตัวประสานเพียงอย่างเดียว

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะผู้ร่วมงานและเจ้าหน้าที่ทุกท่านของศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี และขอขอบคุณเกษตรกรสวนกล้วยไม้สุภาพาร์ม ตำบลคลองม่วง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา สำหรับการอำนวยความสะดวกในเรื่องของสถานที่ทดสอบและข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดจนความสนใจในการนำไปใช้งานจริงต่อไป

6 เอกสารอ้างอิง

- ณิชา บุณยสิงห์. 2560. ประโยชน์ของเถ้าลอยจากการผลิตกระแสไฟฟ้า วัสดุทดแทนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม. บทความวิชาการ กุมภาพันธ์ 2560 สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการผู้แทนราษฎร. แหล่งข้อมูล: <http://www.paliament.go.th> เข้าถึงเมื่อ 7 พฤษภาคม 2561.
- บัณฑิต จิตรจำนงค์. 2559. วิจัยและพัฒนาเครื่องผลิตวัสดุปลูกทดแทนกาบมะพร้าวสำหรับกล้วยไม้. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ปีที่ 3 ฉบับพิเศษ ประจำปี 2559. หน้า 57-63.
- พุทธอินทร์ จารุวัฒน์. 2558. การวิจัยและพัฒนาวัสดุสำหรับกล้วยไม้. กรมวิชาการเกษตร. แหล่งข้อมูล:

<http://www.doa.go.th/research/showthread.php?tid=2009>. เข้าถึงเมื่อ 29 มีนาคม 2560.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. กล้วยไม้ตัดดอก. แหล่งข้อมูล: http://www.agriman.doe.go.th/home/news/Year%202013/022_Orchid.pdf, เข้าถึงเมื่อ 18 กุมภาพันธ์ 2564.



การลดความสูญเสียในการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุดแบบจานโค้งชนิดติดท้ายแทรกเตอร์

Reduction of Cassava Tuber Loss during Harvesting by Weight Addition on a Curved-Plate Digger Mounted to a Tractor

เกียรติสุตา สุวรรณปา¹ และ บัณฑิต สุริยวงศ์พงศา^{1*}

Kiatsuda Suvanapa¹ and Bundit Suriyavongpongsa^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ 46000

¹Agricultural Machinery Engineering, Kalasin University, Kalasin 46000

*Corresponding author: Tel.: +66-8-9229-2997, Fax: +66-43-813-070, E-mail: s.bundit1@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดความสูญเสียในการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังด้วยผลชุดแบบจานโค้งชนิดติดท้ายแทรกเตอร์ด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุด ทั้งนี้เก็บข้อมูลในแปลงมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 อายุเก็บเกี่ยว 8 เดือน ซึ่งปลูกและเก็บเกี่ยวด้วยวิธีที่นิยมปฏิบัติของเกษตรกรบ้านนา ตำบลเหนือ อำเภอมือ จังหวัดกาฬสินธุ์ ศึกษาสมบัติทางกายภาพด้านความลึกของเหง้ามันสำปะหลังก่อนขุด ความลึกของผลชุดแบบไม่ถ่วงน้ำหนัก (ความลึกที่เกษตรกรใช้ในการเก็บเกี่ยว) และความลึกของผลชุดแบบถ่วงน้ำหนัก 50 kg จากผลการศึกษา พบว่า ความลึกของหัวมันสำปะหลังก่อนขุด เมื่อวัดจากตำแหน่งผิวดินมีค่าเฉลี่ย สูงสุด และต่ำสุด เท่ากับ 20.97 29.30 และ 14.50 cm ตามลำดับ ความลึกของผลชุดแบบไม่ถ่วงน้ำหนักมีค่าเฉลี่ย 19.07 cm (ครอบคลุมความลึกของหัวมันสำปะหลังทั้งแปลงที่ 48.89%) การเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุด ทำให้ความลึกในการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3.13 cm หรือเท่ากับ 22.20 cm (ครอบคลุมความลึกของหัวมันสำปะหลังทั้งแปลงที่ 81.11%) ส่งผลให้ความสูญเสียในการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังลดลง 0.99% เกษตรกรมีรายรับเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 117.56 Baht Rai⁻¹

คำสำคัญ: การสูญเสียผลผลิต, เหง้ามันสำปะหลัง, ผลชุด

Abstract

This research aimed to study losses reduction in cassava tubers harvesting by using a curved plate ploughed type to increase weight at the position of the digger disc. Data collection was conducted at a cassava field planted with Kasetsart 50 variety and harvested at an age of 8 months. The planting and harvesting methods followed the conventional methods practiced by farmers in Kalasin, Thailand. Physical properties of cassava rhizome before digging depth of digger curved plate without weight (typical depth of digger used by the farmer) and depth of digger curved plate attached with 50 kg weight were determined. The results showed that the depth of cassava tubers buried beneath the soil surface had a mean value of 20.97 cm, the highest value of 29.30 cm and the lowest value of 14.50 cm. The depth of the digger curved plate without weight had a mean value of 19.07 cm, covering the depth of cassava tubers beneath the soil surface in the field by 48.89%. Harvesting by adding the

Received: February 21, 2022

Revised: August 31, 2022

Accepted: October 04, 2022

Available Online: March 17, 2023

weight at the digger disc increased the depth of the digger curved plate by 3.13 cm, or equal to the total depth of the digger curved plate of 22.20 cm; this depth covered the depth of cassava tubers beneath the soil surface of the field by 81.11%. Adding the weight at the position of the digger disc reduced the losses in cassava harvesting by 0.99%. This helped increase the income of the farmers at 117.56 Baht Rai¹

Keywords: Yield loss, Cassava Tubers, Digger

1 บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชตระกูลหัวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ในปี 2564 มีพื้นที่เพาะปลูก 10,919,014 Rai ผลผลิต 35,094,485 ton (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) โดยปลูกกันมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออก หรือประมาณ 30% ของพื้นที่ปลูกทั้งหมด ซึ่งเกษตรกรจะนิยมปลูกมันสำปะหลังในช่วงปลายฤดูฝน (ช่วงเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน) เนื่องจากดินมีความชื้นสูงที่มีผลต่อการความงอกของท่อนพันธุ์ (ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, ม.ป.ป.) และการปลูกมันสำปะหลังในช่วงฤดูฝนจะให้ผลผลิตหัวสดสูงกว่าการปลูกในฤดูแล้ง (ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม). (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, ม.ป.ป.). การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของเกษตรกร มี 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) การเก็บเกี่ยวด้วยแรงงานคนในทุกกิจกรรม ทั้งการขุด การตัดเหง้าและการขนย้ายหัวมันสดขึ้นรถบรรทุกและ 2) การใช้ผลชุดแบบใช้แทรกเตอร์เป็นต้นกำลังในกิจกรรมการขุด แทนวิธีการขุดด้วยแรงงานคน (เสรีและพิศาล, 2556) และทำการเก็บเกี่ยวระหว่าง 8-18 months ซึ่งขึ้นอยู่กับความจำเป็น เช่น ราคา แรงงาน เป็นต้น ซึ่งอายุที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณแบ่งลดลงตามสัดส่วนของเส้นใยที่สูงขึ้น แต่หากยืดอายุเก็บเกี่ยวออกไปมากจะส่งผลกระทบต่อการฤดูกาลปลูกในปีต่อไป

ปัญหาการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในสภาพที่ดินมีความชื้นต่ำ ที่การถอนหรือขุดด้วยแรงงานคนทำได้ยาก เกษตรกรจะเลือกใช้ผลชุดแบบใช้แทรกเตอร์เป็นต้นกำลัง มาใช้ในกิจกรรมการขุดหรือถอน ซึ่งพบว่า มีการสูญเสียของผลผลิตที่หลงเหลือในดินระหว่าง 2.27-17.04% (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์ จังหวัดพะเยา, 2563) เนื่องจากความแข็งดินที่ทำให้ผลชุดไม่สามารถขุดได้ลึกที่ครอบคลุมความลึกของหัวมันสำปะหลังในแปลง

จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องขุดมันสำปะหลังในประเทศไทย พบว่า ในการทดสอบและพัฒนาเครื่องขุดมันสำปะหลังให้เหมาะสมกับพื้นที่ในเขตภาคตะวันออก มีการ

สูญเสียของเครื่องขุดที่พัฒนาขึ้น 8.34% ซึ่งเกิดจากปัญหาความสูงของชุดโครงที่ไม่เหมาะสม และไม่สามารถปรับความลึกในการขุดได้ (คุรุวรรณ และคณะ, 2556) และปัญหาการทำงานของเครื่องขุดมันสำปะหลังแบบไถหัวหมู แบบพวงรถแทรกเตอร์ที่ไม่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และการสูญเสียส่วนใหญ่ (40%) เกิดจากการแตกหักและการหลุดของหัวออกจากลำต้น ซึ่งจะมีความสูญเสียและความเสียหายสูงมาก เมื่อทำการขุดมันสำปะหลังในสภาพดินแห้งและแข็งมาก โดยพบว่า เครื่องขุดแบบจานโค้งสามารถขุดมันสำปะหลังได้ดีกว่าผลชุดภาพแบบอื่น (อนุชิต และคณะ, 2551) และการทำงานของเครื่องขุดและลำเลียงเห้งมันสำปะหลังออกด้านข้างแบบติดท้ายแทรกเตอร์ ซึ่งเป็นผลชุดแบบสามเหลี่ยม พบว่า มีการสูญเสียของหัวมันสำปะหลัง 15% (สมนึก, 2537) ส่วนเครื่องขุดมันสำปะหลัง มข. 46 ที่ใช้แทรกเตอร์ขนาด 65 hp เป็นต้นกำลัง มีปริมาณมันสำปะหลังหลังขุดหลงเหลือในร่องชุด 22-36% ซึ่งต้องใช้แรงงานคนคอยเก็บออกกรองปลูก (เสรีและสมนึก, 2548) ซึ่งพบว่า เครื่องขุดมันสำปะหลังที่ใช้รถไถเดินตามเป็นต้นกำลัง ในพื้นที่ดินเหนียวปนทรายและพื้นที่ดินทรายปนร่วน มีความสูญเสียเฉลี่ยเท่ากับ 8.65 และ 8.30% โดยการสูญเสียส่วนใหญ่เกิดจากผลชุดไปตัดส่วนของหัวมันสำปะหลัง และตกค้างอยู่ในดิน ซึ่งการสูญเสียจะมีค่าสูงมาก เมื่อเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งที่ดินมีความแข็งมาก (เสรี, 2551)

ผลการตรวจเอกสารงานวิจัยในต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังแบบผลชุด พบว่า การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในประเทศกานาด้วยกลไกของผลชุด TEK มีการแตกหักของหัวมันสำปะหลังต่ำสุด 9.91% ที่ความลึกของผลชุด 20.70-30.10 cm (Amponsah, 2011) และการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของเครื่อง TEK MCH 2 และ TEK MCH 6 เมื่อทดสอบในแปลงมันสำปะหลังพันธุ์ Afisiati และพันธุ์ Bankyehemaa มีการแตกหักของหัวมันสำปะหลัง 16-27% ที่ความลึกในการขุด 13-40 cm (Bobobee et al. 2014) และมีการศึกษาพัฒนาเครื่องมือเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังแบบไฮดรอลิกเพื่อลดการสูญเสียของหัวมันสำปะหลังที่เกิดการแตกหักภายหลังการขุดอีกด้วย (Kumar et al. 2021) ซึ่งผลการทดสอบความลึกในการขุดหัวมัน

ลำปะหลังระหว่าง 22.39-26.86 cm พบว่า มีการแตกหักของหัวมันสำปะหลัง 4.32-19.55% (Amponsah et al. 2017) ส่วนผลการทดสอบเครื่องเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในประเทศไนจีเรีย ที่ความลึกในการขุด 13.80 cm ทำให้เกิดการเสียหายของหัวมันสำปะหลัง 43.03% (Isinkaye et al. 2021) ส่วนการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของประเทศฟิลิปปินส์ที่ความลึกในการขุด 30.00 cm มีประสิทธิภาพในการขุด 96.00% (Mysel et al. 2020) ซึ่งตั้งข้อสังเกตได้ว่า ความลึกในการขุดที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเสียหายของหัวมันสำปะหลังลดลง และมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการขุดเพิ่มขึ้น และการทำงานของอุปกรณ์สับใบอ้อย หากนำเหล็กถ่วงน้ำหนักที่อุปกรณ์สับใบอ้อย จะสามารถไถสับใบและเศษซากอ้อยคลุมเคล้าลงดินได้ดี (ไทยเกษตรศาสตร์, ม.ป.ป) การนำน้ำหนักถ่วงที่ขุดผลพลรวม ช่วยให้การพรวนสับใบได้ดีขึ้น (มิตรผลโมเดิร์นฟาร์ม, 2563)

จากปัญหาการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในช่วงเดือนเมษายนของเกษตรกรบ้านนาตา ตำบลเหนือ อำเภอมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ ที่ดินมีความชื้นต่ำและแข็งมาก ซึ่งนิยมใช้ผลขุดแบบจานกลมที่ติดท้ายแทรกเตอร์ ในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง เนื่องจากการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในสภาวะดังกล่าวไม่สามารถทำการขุดหรือถอนด้วยคนได้ และมักพบปัญหาหัวมันสำปะหลังถูกตัดด้วยผลขุดและตกค้างอยู่ในดินจำนวนมาก ซึ่งคาดว่าจะเกิดจากข้อจำกัดของผลขุดที่ไม่สามารถขุดได้ครอบคลุมความลึกของหัวมันสำปะหลังในแปลง ซึ่งเกษตรกรนิยมนำกระสอบทราย ถัอรหรือเหล็กที่มีน้ำหนักมากไปยึดที่ตำแหน่งผลขุดเพื่อเพิ่มน้ำหนักแก่ผลขุด และทำให้ความลึกในการขุดเพิ่มขึ้น และจากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า รูปแบบการทำงานดังกล่าวยังเป็นการแก้ปัญหาในระดับเกษตรกรแต่ยังไม่มีการศึกษาหรืองานวิจัยเกี่ยวข้องในนำน้ำหนักไปถ่วงที่ตำแหน่งผลขุดที่สัมพันธ์กับความลึกของหัวมันสำปะหลังก่อนขุดในสภาพดินแข็ง เพื่อลดการสูญเสียของหัวมันสำปะหลังในพื้นที่ได้ ดังนั้นในการศึกษานี้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาการลดการสูญเสียในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังโดยการนำน้ำหนักไปถ่วงที่ตำแหน่งผลขุด ที่สัมพันธ์กับความลึกของหัวมันสำปะหลังก่อนขุดซึ่งคาดว่าจะสามารถลดการสูญเสียของหัวมันสำปะหลัง หลังขุดในแปลงได้ ทำให้เกษตรกรสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้มากขึ้นและมีรายรับเพิ่มขึ้น

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเหง้ามันสำปะหลังก่อนขุด

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาสมบัติทางกายภาพของหัวมันสำปะหลังก่อนขุด ได้แก่ ความลึกของหัวมันสำปะหลังก่อนขุดจากตำแหน่งผิวดิน (cm) การแผ่ของหัวมันสำปะหลังจากตำแหน่งกึ่งกลางลำต้น (cm) จำนวนหัวต่อเหง้า (root) และน้ำหนักต่อเหง้า (kg) เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้ในการเลือกใช้

กลุ่มตัวอย่างมันสำปะหลังที่ใช้ในการเก็บข้อมูล คือ มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (KU 50) ที่ปลูกในพื้นที่ดินทรายปนร่วน อายุในการเก็บเกี่ยว 8 months. ปลูกในพื้นที่ บ้านนาตา ตำบลเหนือ อำเภอมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 90 Rep ที่สุ่มจากตำแหน่งหัวแปลง กลางแปลง และท้ายแปลง เป็นการเก็บข้อมูลแบบเรียงต้น ดังแสดงใน Figure 1

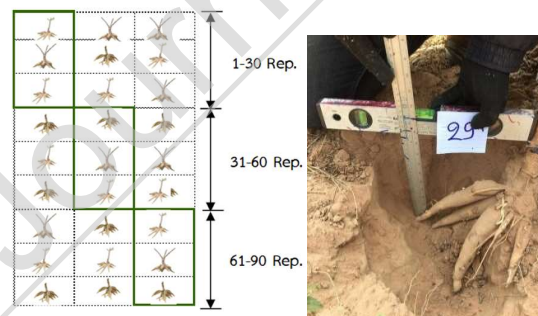


Figure 1 Cassava sampling and depth measurement of cassava before excavation from the soil surface level.

การหาความชื้นของดิน โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 10 cm จากระดับผิวดิน จำนวน 3 Rep ที่ตำแหน่งหัวแปลง กลางแปลง และท้ายแปลง และนำตัวอย่างดินมาอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นระยะเวลา 24 h (RNAM Test Codes & Procedures for Farm Machinery, 1995) พบว่าความชื้นของดินขณะเก็บเกี่ยวมีค่าเฉลี่ย 4.73% M.C._{w.b.}

การเก็บข้อมูลความลึก และการแผ่ของหัวมันสำปะหลังจากตำแหน่งกึ่งกลางลำต้นของหัวมันสำปะหลังก่อนขุด โดยการใช้จอบหรือเสียมค่อยๆ ขุดดินออกจากเหง้ามันสำปะหลังทีละด้าน โดยไม่ให้ตำแหน่งของเหง้ามันสำปะหลังเกิดการเปลี่ยนแปลง จากนั้นทำการวัดทีละค่า บันทึกข้อมูลการทดสอบ และนำค่าที่ได้จากการทดสอบไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูล ด้วย Shapiro-Wilk และ Spearman Rank Correlation

2.2 การศึกษาการลดความสูญเสียด้วยการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุดแบบงานโค้งชนิดติดท้ายแทรกเตอร์ เพื่อเพิ่มระดับความลึกในการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลัง

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการลดความสูญเสีย ด้วยการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุด เพื่อเพิ่มความลึกในการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (KU 50) อายุเก็บเกี่ยว 8 months. ทดสอบเปรียบเทียบวิธีการไม่ถ่วงน้ำหนัก กับวิธีการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุด ขนาดแปลงมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดสอบ มีขนาด กว้าง×ยาว เท่ากับ 9.90×111.10 m (12 row) ปลุกแบบยกร่อง และปักท่อนพันธุ์แบบปักเอียง มีระยะห่างระหว่างต้นเฉลี่ย 85.50 cm ระยะห่างระหว่างแถวเฉลี่ย 89.28 cm รูปแบบการทำงานเป็นแบบวนซ้ำ (Headland Pattern, From Boundaries)

ใช้แทรกเตอร์ ขนาด 47 hp เป็นต้นกำลัง และต่อพ่วงชุดผลแบบ 3 จุด (Three point hitch) กับผลชุดแบบงานกลม ใช้การควบคุมระดับความลึกของผลชุดแบบไม้อัดโนมิติ (Position Control) ทดสอบการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังโดยใช้เกียร์ H2 (ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,800 rpm) ส่วนผลชุดแบบงานกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 inches ดังแสดงใน Figure 2 มีขนาดโครงชุดโต เท่ากับ 614 ×1,004×1,010 mm มุมเอียงของผลชุดเท่ากับ 18° และมีค่าใช้ผลที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่

1) การสูญเสีย (%) ได้แก่

- การสูญเสียของหัวมันสำปะหลัง (%) หมายถึง สัดส่วนของน้ำหนักของหัวมันสำปะหลังหลังชุดที่ตกค้างอยู่ในแปลงต่อน้ำหนักมันสำปะหลังทั้งหมด ซึ่งคิดเป็นการสูญเสียโดยน้ำหนักต่อเหง้า

- จำนวนเหง้ามันสำปะหลังที่ชุดไม่หมด (%) หมายถึง สัดส่วนของจำนวนเหง้ามันสำปะหลังที่ชุดไม่หมดต่อจำนวนเหง้ามันสำปะหลังทั้งแปลง ซึ่งคิดเป็นการสูญเสียของจำนวนเหง้าต่อไร่

2) ความลึกในการชุดของผาน (cm) หมายถึง ความลึกของผลชุดที่วัดจากตำแหน่งผานดิน

3) ความสามารถในการทำงาน (Rai h⁻¹) หมายถึง ปริมาณพื้นที่

4) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (l Rai⁻¹) หมายถึง ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อพื้นที่

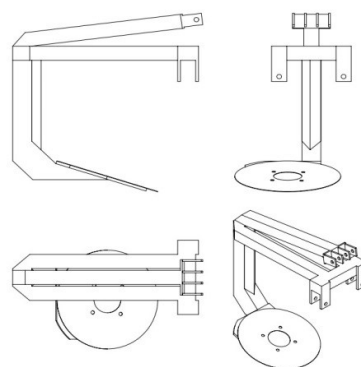


Figure 2 A curved-plate digger used in the study.

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบเบื้องต้นโดยใช้น้ำหนักถ่วงที่ตำแหน่งผลชุด เพื่อเพิ่มความลึก โดยใช้น้ำหนักกระสอบทราย 5 ระดับ ได้แก่ 0, 25, 50, 75 และ 100 kg ทำการทดสอบการชุดมันสำปะหลัง จำนวน 3 rep ที่ระยะทาง 30 m และสุ่มวัดความลึกจำนวน 10 point rep⁻¹ ในแต่ละน้ำหนัก เพื่อเลือกน้ำหนักกระสอบทรายที่นำไปถ่วงที่ตำแหน่งผลชุดตลอดการศึกษานี้ ซึ่งเกณฑ์ในการเลือกน้ำหนักถ่วงที่ตำแหน่งผลชุดคือ เลือกน้ำหนักถ่วงที่เกษตรกรยอมรับได้ ไม่เป็นภาระหนักของรถแทรกเตอร์ ดังแสดงใน Figure 3



Figure 3. Preliminary test of weighting at the digger disc position.

2.3 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ โดยเปรียบเทียบของวิธีการไม่ถ่วงน้ำหนักกับวิธีการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุดที่สามารถลดการสูญเสียของหัวมันสำปะหลัง สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้มากขึ้น มีรายรับมากขึ้น และนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อให้เกษตรกรได้เลือกใช้ มีเงื่อนไข ดังนี้

1) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (l Rai⁻¹)

2) การคำนวณหาต้นทุนการใช้งาน และจุดคุ้มทุนเพื่อเลือกวิธีการในการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลัง (วินิต, 2530) ดังนี้

ก. ต้นทุนคงที่ ได้แก่ ค่าเสื่อมราคา และค่าดอกเบี้ย เท่านั้น ส่วนค่าโรงเรือน ภาษี และค่าประกันไม่นำมาพิจารณา เนื่องจาก

ส่วนใหญ่ไม่มีการสร้างโรงเรือนเพื่อเก็บรักษา ไม่มีการจ่ายภาษี และค่าประกัน ดังสมการ ดังนี้

- ต้นทุนคงที่ = ค่าเสื่อมราคา+ดอกเบี้ย

- ค่าเสื่อมราคา = $(P-S)/L$ (1)

- ค่าดอกเบี้ย = $(P+S)/2 \times (i/100)$ (2)

โดย

P = ราคาซื้อของเครื่องจักร, Baht

S = ราคาซากของเครื่องจักร, Baht

L = อายุการใช้งาน, yr

i = อัตราดอกเบี้ย, % yr⁻¹

ต้นทุนผันแปร เป็นค่าใช้จ่ายที่ขึ้นอยู่กับการทำงาน ได้แก่ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าน้ำมันหล่อลื่น ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา ค่าจ้างแรงงาน

ค. จุดคุ้มทุน เป็นข้อมูลในการตัดสินใจว่าควรเลือกรีการใดในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยผลผลิต เมื่อคำนึงถึงการสูญเสียในพื้นที่ และรายรับที่เพิ่มขึ้น ดังนี้

$$= (Fm \cdot 0.2 + Fi) / A + (Vm + Vi) \quad (3)$$

เมื่อ

Fm = ต้นทุนคงที่ของรถแทรกเตอร์, baht yr⁻¹

Fi = ต้นทุนคงที่ของผานชุดแบบจานกลม, baht yr⁻¹

Vm = ต้นทุนผันแปรของรถแทรกเตอร์, baht yr⁻¹

Vi = ต้นทุนผันแปรของผานชุดมันสำปะหลัง, baht tr⁻¹

A = พื้นที่ทำงานต่อปี, rai yr⁻¹

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาศักยภาพของเหง้ามันสำปะหลังก่อนชุด

3.1.1 ผลการศึกษาความลึกของหัวมันสำปะหลังก่อนชุด

ผลการวัดความลึกของเหง้ามันสำปะหลังก่อนชุดจากตำแหน่งผิวดิน (Figure 4) ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลแบบเรียงเหง้าจำนวน 90 Rep. พบว่า ความลึกของหัวมันสำปะหลังก่อนชุดส่วนใหญ่ (95.56% ของจำนวนเหง้ามันสำปะหลังทั้งหมด) มีค่าระหว่าง 25-26 cm ซึ่งพบว่า ความลึกที่สามารถครอบคลุมจำนวนเหง้ามันสำปะหลังทั้งแปลง (100%) จะต้องให้ความลึกในการชุด

ในช่วง 29-30 cm ดังแสดงใน Table 1 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ (Mysel et al, 2020)

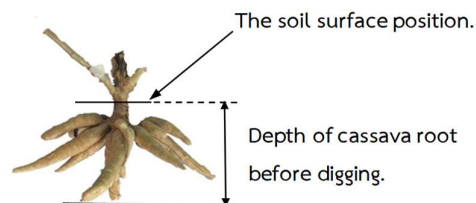


Figure 4 Depth measurement of cassava tubers before digging from soil surface level.

3.1.2 ผลการศึกษาระยะแผ่ของหัวมันสำปะหลัง จำนวนหัวต่อเหง้า และน้ำหนักต่อเหง้ามันสำปะหลัง

ผลการศึกษาระยะแผ่ของหัวมันสำปะหลังจากตำแหน่งกึ่งกลางเหง้า (Figure 5) พบว่า ระยะแผ่ของหัวมันสำปะหลังจากกึ่งกลางลำต้นไปทางด้านซ้ายและขวามีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าระยะแผ่จากกึ่งกลางลำต้นไปทางด้านซ้ายมีค่า สูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย เท่ากับ 30.30, 21.60 และ 26.15 cm ระยะแผ่จากกึ่งกลางลำต้นไปทางด้านขวามีค่า สูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย เท่ากับ 30.70, 20.60 และ 26.98 cm ระยะแผ่รวมของหัวมันสำปะหลัง (ซ้าย+ขวา) มีค่า สูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย เท่ากับ 59.40, 45.40 และ 53.13 cm จำนวนหัวต่อเหง้า มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 7.07 roots และน้ำหนักต่อเหง้าเฉลี่ย เท่ากับ 2.61 kg (Table 2)

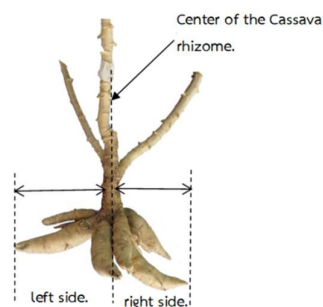


Figure 5 Measurement of the spread of cassava tubers from the stem center position.

จากผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเหง้ามันสำปะหลังก่อนชุด ได้แก่ ความลึกของหัวมันสำปะหลังจากตำแหน่งผิวดิน ระยะแผ่ของหัวมันสำปะหลัง จำนวนหัวต่อเหง้า และน้ำหนักของหัวมันสำปะหลัง มาวิเคราะห์เพื่อแจกแจงข้อมูลด้วย Shapiro-Wilk พบว่า มีค่า P-Value ของตัวแปรบางตัวที่แสดงว่ามีบางข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ดังแสดงใน Table

3 และ Table 4 ดังนั้น จึงต้องใช้ Spearman Rank Correlation ในการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรดังกล่าว ซึ่งพบว่า

- ความลึกและจำนวนหัวมันสำปะหลัง มีทิศทางตรงข้ามกัน
- ความลึกและน้ำหนักของหัวมันสำปะหลังมีทิศทางตรงข้ามกัน

- ความลึกและการแผ่ของหัวมันสำปะหลัง มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน

Table 1 Depths of Cassava tubers from the soil surface position.

Depth range (cm)	Cumulative number (%)	Cumulative frequency (%)
14-15	1.11	1.11
15-16	8.89	10.00
16-17	1.11	11.11
17-18	7.78	18.89
18-19	3.33	22.22
19-20	17.78	40.00
20-21	8.89	48.89
21-22	11.11	60.00
22-23	10.00	70.00
23-24	11.11	81.11
24-25	8.89	90.00
25-26	5.56	95.56
26-27	1.11	96.67
27-28	1.11	97.78
28-29	1.11	98.89
29-30	1.11	100.00

Table 2 Depth measurement of cassava tuber before digging.

Physical property	Maximum	Minimum	Average	SD
Depth				
The spread of the cassava tuber. (cm)				
- left side	30.30	21.60	26.15	1.81
- right side	30.70	20.60	26.98	2.17
- Total (left + right)	59.40	45.40	53.13	2.98
Number of Cassava Tuber (roots)	9.00	5.00	7.07	1.07
Weight of Cassava Tuber (kg.)	4.28	1.82	2.61	0.57

Table 3 Results on normality test

Variable	R ²	df	P-Value
Depth of cassava tubers (cm)	.985	90	.402
Spanning distance of cassava tubers (cm)	.979	90	.165
Number of cassava tubers (roots)	.905	90	.000
Weight of cassava tubers (kg)	.939	90	.000

Table 4 Results on the analysis for the correlation of the variables

Analysis for the correlation		Spreading distance	Number of root	Weight
Spearman's rho	depth	correlation coefficient	.210	-.020
		Spearman		
		P-value	.047*	.797
	spreading distance	correlation coefficient	-.080	.011
		Spearman		
		P-value	.452	.918
	number of root	correlation coefficient		.207
		Spearman		
		P-value		.050*

3.2 ผลการศึกษาการลดความสูญเสียด้วยการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุดแบบจานโค้งชนิดติดท้ายแทรกเตอร์ เพื่อเพิ่มระดับความลึกในการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลัง

ผลการทดสอบเบื้องต้นในการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุดโดยใช้น้ำหนักกระสอบทราย 5 ระดับ ได้แก่ 0, 25, 50, 75 และ 100 kg พบว่า การถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุดเพิ่มขึ้น ในการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังที่ดินมีความแข็งหรือมีความชื้นต่ำ มีผลทำให้ความลึกของผลชุดเพิ่มขึ้น เท่ากับ 19.23, 21.80, 22.50, 23.75 และ 24.74 cm ตามลำดับ ซึ่งเป็นระยะที่ครอบคลุมความลึกของหัวมันสำปะหลังก่อนชุด เท่ากับ 40.00, 60.00, 70.00, 81.11 และ 90.00% ตามลำดับ ซึ่งพบว่า การนำน้ำหนักไปถ่วงที่ตำแหน่งผลชุดที่ 100 kg จะสามารถครอบคลุมความลึกของหัวมันสำปะหลัง ได้ 90.00% และคาดว่าจะป็นน้ำหนักที่ควรนำไปแนะนำให้ใช้ในระดับเกษตรกร และเนื่องจากในการทดสอบเบื้องต้นนี้ ได้ดำเนินการทดสอบในพื้นที่แปลงของเกษตรกร ในขณะที่เก็บเกี่ยวจริง มีโดยเกษตรกรที่มีแทรกเตอร์และผลชุดแบบจานกลมที่เก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังในพื้นที่ตัวเองและรับจ้างในพื้นที่ร่วมทำการทดสอบในครั้งนี้ด้วย ทำให้ผู้วิจัยพบข้อจำกัดในการเลือกใช้งาน คือ เกษตรกรนิยมใช้การควบคุมความลึกของผลชุดแบบไม่อัตโนมัติ (Position Control) และเข้าใจว่าการ

ถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุดที่มากเกินไปนอกจากจะทำให้ระบบไฮดรอลิกของแทรกเตอร์รับภาระหนักมาแล้ว ยังอาจส่งผลให้ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษามากขึ้นด้วย โดยน้ำหนักถ่วงที่ตำแหน่งผลชุดที่เกษตรกรยอมรับได้อยู่ที่ 50 kg สำหรับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก (47 hp) ที่เกษตรกรใช้เป็นต้นกำลัง ซึ่งมีผลทำให้ผลชุดสามารถขุดได้ลึกขึ้น และรถแทรกเตอร์ไม่ส่ายหรือคันขณะทำงาน ซึ่งเป็นการรักษาเสถียรภาพของรถแทรกเตอร์ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงเลือกน้ำหนักถ่วงที่ตำแหน่งผลชุด 50 kg ตลอดการศึกษาความลึกและความสูญเสียในการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลัง ด้วยวิธีการไม่ถ่วงน้ำหนักเปรียบเทียบกับวิธีการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุด ผลการศึกษามีรายละเอียด ดังนี้

3.2.1 ผลการศึกษาระดับความลึกในการขุดมันสำปะหลัง

ผลการทดสอบเปรียบเทียบความลึกในการขุดมันสำปะหลังด้วยวิธีการไม่ถ่วงน้ำหนักเปรียบเทียบกับวิธีการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุด พบว่า ระดับความลึกของผลชุดแบบไม่ถ่วงน้ำหนัก มีค่าสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ย เท่ากับ 20.80, 15.40 และ 19.07 cm ตามลำดับ ส่วนการถ่วงน้ำหนัก 50 kg ที่ตำแหน่งผลชุด มีผลทำให้ความลึกในการขุดเพิ่มขึ้น มีค่าสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ย เท่ากับ 23.60, 20.40 และ 22.20 cm ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 6

และพบว่าค่าระดับความลึกของผลผลิต ดังแสดงใน Figure 7 แบบไม่ถ่วงน้ำหนัก (วิธีการเดิมของเกษตรกร) ที่มีค่าเฉลี่ย 19.07 cm เป็นค่าความลึกที่ครอบคลุมค่าความลึกของหัวมันสำปะหลังก่อนขุดเพียง 40.00% (Table 1) ซึ่งเป็นระดับความลึกในการขุดที่ไม่ลึกเพียงพอในสภาพดินแข็ง ทำให้เกิดการสูญเสีย เนื่องจากผลผลิตไปติดส่วนของหัวมันสำปะหลังและตกค้างอยู่ในดิน ดังแสดงใน Figure 8 ซึ่งการนำน้ำหนัก 50 kg ไปถ่วงที่ตำแหน่งผลผลิต มีผลทำให้ความลึกในการขุดเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 3.13 cm และครอบคลุมค่าความลึกของหัวมันสำปะหลังก่อนขุดถึง 70.00% โดยมีความลึกของผลผลิตเฉลี่ย 22.20 cm ซึ่งคาดว่าจะได้สามารถลดความสูญเสียได้ 30.00% เมื่อเปรียบเทียบระดับความลึกของหัวมันสำปะหลังก่อนขุดและความลึกในการขุดของผลผลิต

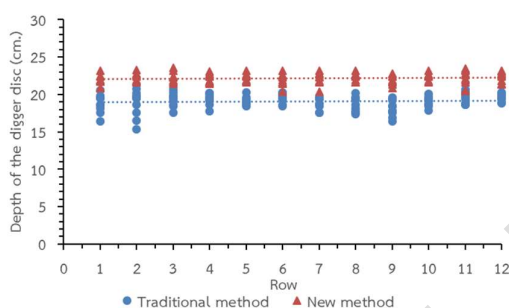


Figure 6 Comparison of depth without weighting and weighting at the digger disc position.

3.2.2 ผลการศึกษาความสูญเสียในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง

ผลการทดสอบเปรียบเทียบความสูญเสียในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง (kg Rai^{-1}) ด้วยวิธีการไม่ถ่วงน้ำหนักกับวิธีการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลผลิต พบว่า การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง

แบบไม่ถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลผลิต มีการสูญเสียของหัวมันสำปะหลังที่ขุดไม่หมดเฉลี่ย 1.31% หรือเท่ากับ $62.23 \text{ kg Rai}^{-1}$ และเมื่อนำน้ำหนัก 50 kg มีผลทำให้การสูญเสียของหัวมันสำปะหลังที่ขุดไม่หมดเฉลี่ย 0.32% ซึ่งพบว่า การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังแบบถ่วงน้ำหนัก ทำให้การสูญเสียลดลง 0.99% หรือลดการสูญเสียได้ประมาณ $47.03 \text{ kg Rai}^{-1}$

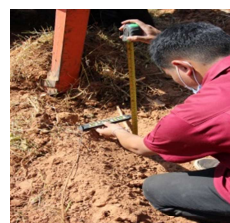


Figure 7 Measurement of the depth of digging with a digger disc



Figure 8 Percentage of harvesting loss when using a digger disc.

จำนวนเหง้ามันสำปะหลังที่ขุดไม่หมด (rhizome Rai^{-1}) โดยการนับจำนวนเหง้าที่ขุดไม่หมดต่อแถว จำนวน 12 row (12 Rep) พบว่า การเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังด้วยผลผลิตแบบไม่ถ่วงน้ำหนัก และแบบถ่วงน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 257.48 และ 85.83 rhizome Rai^{-1} หรือเท่ากับ 8.01 และ 2.67% (ของจำนวนเหง้ามันสำปะหลังทั้งหมด) ตามลำดับ ซึ่งพบว่า การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักทำให้จำนวนเหง้าที่ขุดไม่หมดมีค่าลดลง 5.34% ดังแสดงใน Table 5

Table 5 Comparison study results of cassava harvesting by farmer's practice (traditional method) and by adding weight at the digger disc (new method).

Method	Traditional method	New method
1) Depth of the digger disc.		
Average (cm)	19.07	22.20
maximum (cm)	20.80	23.60
Minimum (cm)	15.40	20.40
2) Loss of Cassava Tuber after digger.		
(%)	1.31	0.32
(kg Rai ⁻¹)	62.23	15.20
3) The number of cassava rhizomes not digger.		
(%)	8.01	2.67
Method	Traditional method	New method
(rhizome Rai ⁻¹)	257.48	85.83
4) Field capacity (Rai hr ⁻¹)	1.08	0.95
5) Fuel consumption		
(l Rai ⁻¹)	2.04	2.18
(Baht Rai ⁻¹)	61.18	65.38
6) Income (rai-1) (yield amount x purchase price) (Baht l ⁻¹)	11,719.44	11,837.00

3.3 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ ในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของวิธีการไม่ถ่วงน้ำหนักกับวิธีการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุด มีเงื่อนไข ดังนี้

ราคาแทรกเตอร์	602,000 Baht
ราคาผลชุด	10,500 Baht
มูลค่าซากากรถ	10% ของราคาแรกซื้อ
แทรกเตอร์	
มูลค่าซากผลชุด	10% ของราคาแรกซื้อ
L	= อายุการใช้งาน 10 yr
i	= อัตราดอกเบี้ย (10.97%)
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	= 29.99 Baht l ⁻¹
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	= 20% ของค่าน้ำมันเชื้อเพลิง
(บาท)	
ค่าจ้างแรงงาน	= 300 Baht persons ⁻¹
ค่าบำรุงรักษา	= 0.50% ของราคาแรกซื้อ
แทรกเตอร์	
ค่าบำรุงรักษาผลชุด	= 3% ของราคาแรกซื้อ

ระยะเวลาในการทำงาน	= 90 d หรือ 720 hr ⁻¹ yr ⁻¹
อัตรารับจ้างชุด	= 400 Baht Rai ⁻¹
ผลผลิตต่อไร่	= 4,750 kg
ราคารับซื้อหัวมันฯ	= 2.50 Baht kg ⁻¹
ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย และระยะเวลาคืนทุน เมื่อนำมาใช้ในการสูญเสียในพื้นที่ และรายรับที่เพิ่มขึ้น ในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยวิธีแบบไม่ถ่วงน้ำหนัก และการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุด พบว่า	
1) การถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุด 50 kg มีผลทำให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (l Rai ⁻¹) เพิ่มขึ้น 0.14 l Rai ⁻¹ หรือมีผลทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น 4.20 baht Rai ⁻¹ ดังนี้	
ก. วิธีการแบบไม่ถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุด	
- การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง เท่ากับ 2.04 l Rai ⁻¹	
- ค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยว	
$\frac{2.04 \text{ l}}{\text{Rai}} \times \frac{29.99 \text{ Baht}}{\text{l}} = 61.18 \text{ Baht Rai}^{-1}$	
ข. วิธีการแบบถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลชุด	

- การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง เท่ากับ 2.18 l Rai⁻¹
- ค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยว

$$\frac{2.18 \text{ l}}{\text{Rai}} \times \frac{29.99 \text{ Baht}}{\text{l}} = 65.38 \text{ Baht Rai}^{-1}$$

2) ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย และระยะเวลาคืนทุน เมื่อสามารถลดการสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวได้

การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยวิธีการที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ (แบบไม่ถ่วงน้ำหนัก) มีจุดคุ้มทุนที่ 777.60 Rai yr⁻¹ และมีจำนวนวันปฏิบัติงานขั้นต่ำได้ปีละ 90 days (คิดการทำงานวันละ 8 hr และช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของเกษตรกรประมาณ 90 day หรือ 3 months) มีการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว 1.31% หรือ 62.23 kg Rai⁻¹ จะมีระยะเวลาเวลาในการคืนทุน 6.62 yr จึงจะคุ้มกับการลงทุน

และด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลผลิต มีจุดคุ้มทุนที่ 684.00 Rai yr⁻¹ และมีจำนวนวันปฏิบัติงานขั้นต่ำได้ปีละ 90 days (คิดการทำงานวันละ 8 hr และช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของเกษตรกรประมาณ 90 day หรือ 3 months) ที่มีการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว 0.32% หรือ 15.20 kg Rai⁻¹ จะมีระยะเวลาเวลาในการคืนทุน 5.40 yr จึงจะคุ้มกับการลงทุน จากผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์จะเห็นได้ว่า หากเกษตรกรเลือกใช้รูปแบบการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลผลิตในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง จะทำให้ระยะเวลาในการคืนทุนเร็วขึ้น 1.23 yr เนื่องจากสามารถลดการสูญเสียและทำให้มีรายรับเพิ่มขึ้น 117.56 Baht Rai⁻¹ มีทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น 60,316.31 Baht yr⁻¹

4 สรุป

จากผลการศึกษาการลดความสูญเสียด้วยการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลผลิตแบบงานโค้งชนิดติดท้ายแทรกเตอร์ เพื่อเพิ่มระดับความลึกในการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลัง สามารถสรุปได้ดังนี้

1) สมบัติทางกายภาพ ด้านความลึกของหัวมันสำปะหลังก่อนเก็บเกี่ยวจากตำแหน่งผิวดิน พบว่า ที่ระยะความลึก 19-20 cm ซึ่งเป็นระยะขุดด้วยวิธีการที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติโดยทั่วไป (ไม่ถ่วงน้ำหนัก) เป็นระยะที่มีหัวมันสำปะหลังสะสมเพียง 40% ทำให้เกิดความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวไม่หมด ส่วนระยะแผ่ของหัวมันสำปะหลัง ชาย-ขวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.13 ซึ่งเป็นระยะที่อยู่ในช่วงความกว้างของผลผลิต (22 inches)

2) การศึกษาการลดความสูญเสียด้วยการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลผลิตแบบงานโค้งชนิดติดท้ายแทรกเตอร์ เพื่อเพิ่มระดับความลึกในการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลัง พบว่า การเพิ่มน้ำหนักที่ตำแหน่งผลผลิต ขนาด 50 kg ทำให้ระยะขุดเพิ่มขึ้น 3.13 cm มีผลทำให้การสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวลดลง 0.99%

3) จากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า วิธีการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลผลิต ทำให้ระยะเวลาในการคืนทุนเร็วขึ้น 1.23 ปี มีรายรับเพิ่มขึ้น 117.56 Baht Rai⁻¹ และเกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น 60,316.31 Baht yr⁻¹

4) แนวทางนำไปประยุกต์ใช้ในระดับเกษตรกร คือ การให้เกษตรกรเลือกใช้ความลึกของผลผลิตที่สัมพันธ์กับความลึกของหัวมันสำปะหลัง โดยการสู่วัดค่าความลึกของหัวมันสำปะหลังจากตำแหน่งผิวดินแบบเรียงต้น และใช้เทคนิคการถ่วงน้ำหนักที่ตำแหน่งผลผลิต จะสามารถลดการสูญเสียของหัวมันสำปะหลังหลังขุดได้

ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อ

- 1) ควรมีการศึกษาระดับความลึกของหัวมันสำปะหลังพันธุ์อื่นๆ และพื้นที่ปลูกอื่นๆ
- 2) ควรมีการศึกษาระดับความลึกของผลผลิตแบบต่างๆ ที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง เพื่อแนะนำการใช้งานของเกษตรกร

5 กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ในการสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- ศุภวรรณ งามมัตย์ โสภิตา สมคิด อนุชิต ฉ่ำสิงห์. 2556. ทดสอบและพัฒนาเครื่องขุดมันสำปะหลังให้เหมาะสมกับพื้นที่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. แหล่งข้อมูล: https://kukr.lib.ku.ac.th/db/index.php?/BKN/search_detail/result/13457
- ไทยเกษตรศาสตร์. ม.ป.ป. เครื่องสับใบและเศษซากอ้อย. แหล่งข้อมูล: <https://www.thaikasetsart.com/>
- มิตรผลโมเดิร์นฟาร์ม. 2563. บำรุงอ้อยด้วยการพรวนหลังตัด. แหล่งข้อมูล: <http://www.mitrpholmodernfarm.com/news/2020/12>
- มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี. ม.ป.ป. ระยะเวลาเพาะปลูก. แหล่งข้อมูล: <https://>

- tapiocathai.org/pdf/Tapioca%20Plan/g_planting%20period.pdf
- วินิต ชินสุวรรณ. 2530. เครื่องจักรกลเกษตรและการจัดการเบื้องต้น. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. ม.ป.ป. มันสำปะหลังพันธุ์ใหม่ สำหรับปลูกปลายฝน. แหล่งข้อมูล: http://web.sut.ac.th/cassava/index.php?name=11cas_esearch&file=readknowledge&id=62
- สมนึก ชูศิลป์. 2537. การออกแบบและพัฒนาเครื่องขุดมันสำปะหลัง. (แผ่นพับ). กรุงเทพฯ: สำนักส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์ จังหวัดพะเยา. 2563. มันสำปะหลังจังหวัดพะเยา ปี 2563. แหล่งข้อมูล: <https://www.opsmoacgothphayao-dwl-preview-421491791913>
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. มันสำปะหลังโรงงาน : เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ แยกตามชนิดพันธุ์ ระดับจังหวัด. แหล่งข้อมูล: <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/varitties%20casava63.pdf>
- เสรี วงษ์พิเชษฐ สมนึก ชูศิลป์. 2548. การพัฒนากระบวนการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยเครื่องขุดมันสำปะหลัง. (รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์). คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เสรี วงษ์พิเชษฐ พิศาล หมั่นแก้ว. 2556. การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังในประเทศไทย. แหล่งข้อมูล: <https://www.phtnet.org/2013/06/131/>
- เสรี วงษ์พิเชษฐ. 2551. การวิจัยและพัฒนาเครื่องขุดมันสำปะหลังโดยใช้รถไถเดินตามเป็นต้นกำลัง. (รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์). ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อนุชิต น้าสิงห์ อัครพล เสนาณรงค์ สุภาจิต เสี่ยมพงษ์ พักตร์วิภา สุทธิวารีย์ ยุทธนา เครือหาญชาญพงศ์ ชนิษฐ์ หวานณรงค์ ประสาท แสงพันธุ์ตา. 2551. วิจัยและพัฒนาเครื่องขุดมันสำปะหลังแบบไถหัวหมู. ผลงานวิจัยและพัฒนา ปี 2551. กลุ่มวิจัยวิศวกรรมผลิตพืช สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม.
- แหล่งข้อมูล: <https://www.doa.go.th/research/showthread.php?tid=1510>
- Amponsah, Shadrack Kwadwo. 2011. Performance evaluation of the TEK mechanical cassava harvester in three selected locations of Ghana. Available at: <http://ir.knust.edu.gh/handle/123456789/3960>
- E. Y. H. Bobobee, J. B. Okyere, W. A. Agyare, S. K. Amponsah, S. R. King, J. Aveyire, J. Sarkodie-Addo. 2014. Performance evaluation of prototype mechanical cassava harvester in three agro-ecological zones in Ghana. Available at: <https://www.ajol.info/index.php/gjas/article/view/116239>
- Isinkaye O.D., Koyenikan O.O., Osadare T. 2021. DEVELOPMENT OF A CASSAVA HARVESTER. Available at: https://www.researchgate.net/publication/356586856_Development_of_a_Cassava_Harvester.
- K. Pradeep Kumar, Vaishali V., Lakshmi Priya. B, Mohamudha Jumana Hasin. A Logeshwaren. T. 2021. Hydraulic Cassava Harvester. Available at: <https://www.irjet.net/archives/V8/i3/IRJET-V8I3551.Pdf>.
- MYSEL E. TALADHAY. 2020. Design, Fabrication, And Performance Evaluation of a Cassava Digger Attached to A Tractor prime Mover. Available at: <https://repository.cpu.edu.ph/handle/20.500.12852/1190>
- RNAM. 1995. Test Code & Procedures for Farm Machinery. Economic and Social Commission for Asia and Pacific Regional Network for Agricultural Machinery. Bangkok.Thailand.468 p.
- Shadrack Kwadwo Amponsah, Joseph Nketiah Berchie, Joseph Manu-Aduening, Eric Owusu Danquah, Jonas Osei Adu, Adelaide Agyeman Enoch Bessah. 2017. Performance of an improved manual cassava harvesting tool as influenced by planting position and cassava variety. Available at: <https://academic>