



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การพัฒนาเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลิตภาพและลดความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของเกษตรกรรายย่อย

Development of a prototype fertilizer mixer to improve productivity and reduce ergonomic risks among small-scale farmers

วีรชัย มัฏฐารักษ์ เสรี หนูหลง ชำนาญ พูลสวัสดิ์*

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

Weerachai Madtharak Saree Nulong Chamnan Poonsawat*

Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University, Mueang District, Songkhla, 90000, Thailand

* Corresponding author.

E-mail: chamnan.po@skru.ac.th; Telephone: 0 84 147 6477

วันที่รับบทความ 5 มกราคม 2569; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 20 มีนาคม 2569; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 13 พฤษภาคม 2569

วันที่ตอบรับบทความ 20 พฤษภาคม 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ยสำหรับเกษตรกรรายย่อย และประเมินผลด้านการเพิ่มผลิตภาพและการลดความเสี่ยงทางการยศาสตร์จากการใช้งานจริงในชุมชนบ้านด่าน ตำบลเกาะแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา พื้นที่ศึกษาครอบคลุมกลุ่มเกษตรกรรายย่อยจำนวน 17 ครัวเรือน โดยใช้กระบวนการผสมปุ๋ยด้วยแรงงานคนเป็นกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นงานที่ใช้แรงซ้ำต่อเนื่องและก่อให้เกิดความเมื่อยล้าระหว่างการปฏิบัติงาน กระบวนการวิจัยประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ก่อนการปรับปรุงด้วยวิธี Rapid Upper Limb Assessment (RULA) และ Rapid Entire Body Assessment (REBA) (2) การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ยแบบถังหมุนขนาด 200 ลิตร ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า และสามารถใช้งานแบบมือหมุนได้ (3) การทดสอบสมรรถนะการผสมปุ๋ยปริมาณ 15 กิโลกรัม เปรียบเทียบ 3 วิธี ได้แก่ การกวนผสมด้วยแรงงานคน การใช้เครื่องผสมแบบมือหมุน และการใช้เครื่องผสมแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ โดยทดลองซ้ำวิธีละ 5 ครั้ง และ (4) การประเมินความพึงพอใจโดยผู้ประเมินจำนวน 6 คน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญ 3 คน และผู้ใช้งานจริง 3 คน ผลการประเมินทางการยศาสตร์ก่อนการปรับปรุงพบว่า กระบวนการผสมปุ๋ยด้วยแรงงานคนมีความเสี่ยงอยู่ในระดับสูงมาก โดยมีค่า RULA เท่ากับ 7 และ REBA เท่ากับ 10 หลังการพัฒนาเครื่องต้นแบบ ค่าดังกล่าวลดลงเป็น 3 และ 2 ตามลำดับ ในด้านผลิตภาพ พบว่าเวลาเฉลี่ยในการผสมปุ๋ย 15 กิโลกรัมลดลงจาก 5.12 ± 0.032 นาที ในวิธีแรงงานคน เหลือ 1.17 ± 0.029 นาที ในวิธีมือหมุน และ 1.08 ± 0.029 นาที ในวิธีขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) แสดงให้เห็นว่าเวลาเฉลี่ยของทั้ง 3 วิธีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) นอกจากนี้ ผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 ผลการศึกษาบ่งชี้ว่าเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีส่วนช่วยลดเวลาในการผสมปุ๋ยและลดภาระทางกายของผู้ปฏิบัติงานภายใต้บริบทการทดลองภาคสนามของชุมชน อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาทดสอบเพิ่มเติมกับสูตรปุ๋ย สภาพการใช้งาน และกลุ่มผู้ใช้งานที่หลากหลายขึ้น เพื่อสนับสนุนการประยุกต์ใช้ในระดับที่กว้างขึ้นต่อไป

คำสำคัญ

เครื่องผสมปุ๋ย การเพิ่มผลิตภาพ การประเมินทางการยศาสตร์ RULA REBA

Abstract

This study aimed to develop a prototype fertilizer mixer for small-scale farmers and to evaluate its effectiveness in improving productivity and reducing ergonomic risks under actual operating conditions in Ban Dan Community, Ko Tao Subdistrict, Mueang District, Songkhla Province, Thailand. The study involved 17 small-scale farming households, and manual fertilizer mixing was selected as the case study because the task required repetitive physical effort and caused worker fatigue during operation. The research process consisted of four stages: (1) pre-improvement ergonomic risk assessment using Rapid Upper Limb Assessment (RULA) and Rapid Entire Body Assessment (REBA); (2) the design and construction of a 200-L rotary drum fertilizer mixer powered by a 1-hp motor with an optional manual-crank mode; (3) performance testing of 15 kg fertilizer mixing under three conditions, namely manual mixing, manual-crank mixing, and motor-driven mixing, with five repetitions for each method; and (4) satisfaction evaluation involving six participants, including three experts and three actual users. The ergonomic assessment results showed that, prior to improvement, the manual fertilizer-mixing process involved a very high level of ergonomic risk, with RULA and REBA scores of 7 and 10, respectively. After the prototype had been developed, these scores decreased to 3 and 2, respectively. Regarding productivity, the average mixing time for 15 kg of fertilizer decreased from 5.12 ± 0.032 min in manual mixing to 1.17 ± 0.029 min in the manual-crank condition and 1.08 ± 0.029 min in the motor-driven condition. A one-way analysis of variance (ANOVA) indicated that the mean mixing times among the three methods differed significantly ($p < 0.001$). In addition, the overall satisfaction score was at the highest level, with a mean value of 4.51. The findings suggest that the developed prototype may help reduce fertilizer mixing time and physical workload under the field conditions examined in this study. However, further studies involving different fertilizer formulas, operating conditions, and larger groups of users are still required to confirm its broader applicability in community-based agricultural operations.

Keywords

fertilizer mixer; productivity improvement; ergonomic assessment; RULA; REBA

1. บทนำ

ปุ๋ยเป็นปัจจัยการผลิตที่มีความสำคัญต่อเกษตรกรแทบทุกประเภทการเพาะปลูก แต่ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ราคาปุ๋ยมีแนวโน้มทรงตัวในระดับสูงตามต้นทุนวัตถุดิบและพลังงาน ทำให้เกษตรกรรายย่อยต้องเผชิญภาระต้นทุนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การซื้อปุ๋ยสำเร็จรูปจากท้องตลาดแม้จะสะดวก แต่ในหลายกรณีกลับไม่สอดคล้องกับความต้องการของพืชและแร่ธาตุในดินเฉพาะพื้นที่ อีกทั้งการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างไม่เหมาะสมยังอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพดิน สิ่งแวดล้อม และสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานได้ด้วย ในทางปฏิบัติ เกษตรกรรายย่อยจำนวนหนึ่งจึงเลือกผสมปุ๋ยใช้เองเพื่อลดต้นทุนและปรับสูตรปุ๋ยให้เหมาะสมกับการเพาะปลูกของตนเอง อย่างไรก็ตาม กระบวนการผสมปุ๋ยในระดับชุมชนยังคงอาศัยแรงงานคนเป็นหลัก ใช้อุปกรณ์พื้นฐาน เช่น จอบ พลั่ว หรือภาชนะผสมทั่วไป ส่งผลให้การทำงานใช้เวลานาน เกิดความเมื่อยล้า และมีโอกาสเกิดความเสี่ยงทางการเกษตรสูง ในขณะที่แนวคิดด้านการเพิ่มผลิตภาพมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ โดย

พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตและปัจจัยการผลิต เช่น เวลา แรงงาน และวัสดุ การเพิ่มผลิตภาพในระดับชุมชนจึงไม่ได้หมายถึงเพียงการทำงานให้เร็วขึ้นเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการลดความสูญเสีย ลดความเหนื่อยล้า และยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้ปฏิบัติงานด้วย สอดรับกับงานของ Weerasak Somyana [12] ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเกษตรกรที่ได้รับแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตอย่างเหมาะสม มีแนวโน้มเพิ่มขีดความสามารถในการพึ่งพาตนเองและพัฒนาการผลิตได้ดีขึ้น ขณะเดียวกัน แนวคิดการศึกษาการทำงานและการปรับปรุงงานตามหลัก ECRS ยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการออกแบบวิธีทำงานและอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น [8] ในมิติด้านการเกษตร การออกแบบงานและสภาพการทำงานให้สอดคล้องกับสมรรถนะของมนุษย์มีบทบาทสำคัญต่อการลดความเสี่ยงด้านสุขภาพ Sanders and McCormick [10] อธิบายว่า การเกษตรเป็นศาสตร์ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับงาน เครื่องมือ และสภาพแวดล้อม เพื่อนำไปสู่การออกแบบที่ปลอดภัย สะดวก และมีประสิทธิภาพ

ขณะที่ Simachok and Chaikul [11] เน้นว่าการออกแบบงานที่ดีช่วยให้เพิ่มผลิตภาพควบคู่กับการลดอุบัติเหตุและปัญหาสุขภาพจากการทำงานได้ สำหรับการประเมินความเสี่ยงทางกายศาสตร์ วิธี RULA และ REBA เป็นเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย โดยวิธี RULA เหมาะกับการประเมินการใช้ร่างกายส่วนบนและท่าทางการทำงานที่เกี่ยวข้องกับแขน คอ และลำตัว [5] ส่วน REBA เหมาะกับการประเมินท่าทางการทำงานทั้งร่างกาย โดยเฉพาะงานที่มีการก้ม ยก หมุน หรือเคลื่อนไหวเปลี่ยนท่าทางอย่างรวดเร็ว [2] งานศึกษาของ Mattharak et al. [3], [4] และ Paweena Meepradit [7] ต่างยืนยันว่าการประเมินความเสี่ยงทางกายศาสตร์สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับการออกแบบเครื่องมือหรือปรับปรุงสภาพการทำงานเพื่อลดความเมื่อยล้าและลดความเสี่ยงต่อระบบโครงร่างกล้ามเนื้อ ในด้านการพัฒนาเครื่องมือทางเกษตรและเครื่องผสมปุ๋ย มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจำนวนหนึ่ง เช่น การออกแบบและประเมินประสิทธิภาพเครื่องผสมปุ๋ยอินทรีย์ขนาด 5 กิโลกรัมสำหรับเกษตรกรรายย่อย [9] การพัฒนาเครื่องต้นแบบผลิตปุ๋ยหมักอัตโนมัติ [6] และการพัฒนาอุปกรณ์หมักปุ๋ยแบบถังหมุน [1] ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงแนวโน้มการนำเทคโนโลยีระดับเหมาะสมมาช่วยลดแรงงานและเพิ่มประสิทธิภาพในงานเกษตร อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ยังเน้นผลด้านการทำงานของเครื่องหรือการผลิตวัสดุอินทรีย์ มากกว่าการบูรณาการการประเมินด้านผลิตภาพและความเสี่ยงทางกายศาสตร์ไว้ในกรณีศึกษาเดียวกัน โดยเฉพาะในบริบทเกษตรกรรายย่อยระดับชุมชน

จากการสำรวจข้อมูลชุมชนบ้านด่าน ตำบลเกาะแก้ว อำเภอมะนัง จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นพื้นที่ดำเนินงานด้านบริการวิชาการและวิจัยของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา พบว่าชุมชนมีครัวเรือนเกษตรกรจำนวน 178 ครัวเรือน และมีกลุ่มเกษตรกรรายย่อยจำนวน 17 ครัวเรือนที่มีความสนใจผสมปุ๋ยใช้เองเพื่อลดต้นทุนการผลิต แต่ยังประสบปัญหาเรื่องเวลาในการผสม ความสม่ำเสมอของวัสดุผสม และความเมื่อยล้าจากการทำงานซ้ำ ๆ ในท่าทางที่ไม่เหมาะสม โดยการผสมปุ๋ยคราวละประมาณ 150 กิโลกรัม ใช้เวลารวมประมาณ 1 ชั่วโมงและต้องหยุดพักเป็นระยะจากการสังเกตภาคนามพบว่า ขั้นตอนที่ใช้แรงมากที่สุดคือช่วงการกวนกลับวัสดุผสมและการคลุกเคล้าให้เข้ากัน ผู้ปฏิบัติงานต้องก้มตัวและออก

แรงแขนซ้ำหลายรอบ โดยเฉพาะในช่วงท้ายของการผสมที่วัสดุเริ่มเกาะตัวและเคลื่อนย้ายได้ยากขึ้น สภาพดังกล่าวทำให้ปัญหาไม่ได้จำกัดเฉพาะเรื่องเวลาเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องกับ ความเมื่อยล้าและความต่อเนื่องของการทำงานในชีวิตจริงของเกษตรกร สภาพปัญหาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับบริบทของชุมชน ทั้งใน ด้านขนาดการใช้งาน ต้นทุน และการบำรุงรักษา แม้ว่าจะมีงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องผสมปุ๋ยและการประเมินทางกายศาสตร์อยู่ก่อนแล้ว แต่ยังพบช่องว่างขององค์ความรู้สำคัญ 3 ประการ คือ 1) งานส่วนใหญ่ศึกษาบริบทโรงงานหรือระบบกึ่งอุตสาหกรรมมากกว่าบริบทเกษตรกรรายย่อยระดับชุมชน 2) ยังมีงานวิจัยจำนวนน้อยที่บูรณาการการประเมินด้านผลิตภาพและการกายศาสตร์ไว้ในกรณีศึกษาเดียวกัน และ 3) ยังขาดหลักฐานเชิงประจักษ์เกี่ยวกับการพัฒนาเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ยที่เหมาะสมกับการใช้งานจริงของเกษตรกรรายย่อยในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงมุ่งเติมเต็มช่องว่างดังกล่าวโดยการพัฒนาเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ยที่เหมาะสมกับการใช้งานจริงของชุมชน พร้อมประเมินผลทั้งด้านผลิตภาพและความเสี่ยงทางกายศาสตร์อย่างเป็นระบบ ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ยที่เหมาะสมกับการใช้งานของเกษตรกรรายย่อย 2) เปรียบเทียบผลิตภาพของการผสมปุ๋ยก่อนและหลังการใช้เครื่องต้นแบบ 3) ประเมินความเสี่ยงทางกายศาสตร์ก่อนและหลังการใช้เครื่องต้นแบบ และ 4) ประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานต่อเครื่องต้นแบบ โดยมีคำถามวิจัยสำคัญคือ เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นช่วยให้ลดเวลาในการผสมปุ๋ยและลดความเสี่ยงทางกายศาสตร์ของผู้ปฏิบัติงานได้หรือไม่

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษาและกลุ่มเป้าหมาย

การวิจัยดำเนินการในพื้นที่ชุมชนบ้านด่าน ตำบลเกาะแก้ว อำเภอมะนัง จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีเกษตรกรรายย่อยประกอบอาชีพปลูกพืชและมีการใช้ปุ๋ยอย่างต่อเนื่อง จากการสำรวจพบว่ามียุทธศาสตร์รายย่อยในพื้นที่จำนวน 17 ครัวเรือนที่ผสมปุ๋ยใช้เอง และใช้เป็นบริบทของการศึกษาสำหรับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องต้นแบบ กำหนดการ

ทดลองเปรียบเทียบการผสมปุ๋ย 3 วิธี ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน โดยทดลองซ้ำวิธีละ 5 ครั้ง ส่วนการประเมินความพึงพอใจ ใช้ผู้ประเมินจำนวน 6 คน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมศาสตร์ 3 คน และผู้ใช้งานจริง 3 คน โดยใช้การคัดเลือกแบบเจาะจง ผู้วิจัยได้ชี้แจงรายละเอียดการวิจัยแก่ผู้เข้าร่วมทุกคนก่อนดำเนินการเก็บข้อมูล และได้รับความยินยอมในการเข้าร่วมการวิจัย รวมถึงการบันทึกภาพและข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในงานวิจัย โดยข้อมูลทั้งหมดถูกนำเสนอในภาพรวมเพื่อรักษาความเป็นส่วนตัวของผู้เข้าร่วม เหตุผลที่เลือกพื้นที่ดังกล่าวเนื่องจากเป็นชุมชนที่มีการผสมปุ๋ยใช้เองอย่างต่อเนื่อง และผู้ใช้งานมีความต้องการลดภาระการทำงานจากวิธีเดิม จึงเหมาะสมสำหรับใช้เป็นกรณีศึกษาการพัฒนาเครื่องต้นแบบในระดับชุมชน

2.2 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา โดยประยุกต์แนวทางการวิจัยแบบมีส่วนร่วมของชุมชน ร่วมกับหลักการออกแบบทางวิศวกรรมและการประเมินทางกายศาสตร์ กระบวนการวิจัยประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การศึกษาสภาพปัญหาและกระบวนการทำงานเดิม 2) การประเมินความเสี่ยงทางกายศาสตร์ก่อนการปรับปรุง 3) การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ย และ 4) การทดสอบสมรรถนะ การประเมินหลังการปรับปรุง และการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาด้านการพัฒนาเครื่องมือและการประเมินกระบวนการทำงานในระดับชุมชน ซึ่งไม่กระทบต่อสิทธิหรือความปลอดภัยของผู้เข้าร่วม

2.3 การศึกษาสภาพปัญหาเดิม

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลภาคสนามจากการสังเกตการทำงานจริง การสัมภาษณ์เกษตรกร และการประชุมกลุ่มย่อยเพื่อระบุปัญหาในกระบวนการผสมปุ๋ย พบว่าการทำงานเดิมใช้การกวนผสมด้วยแรงงานคนโดยอาศัยจอบหรือพลั่วเป็นหลัก ผู้ปฏิบัติงานต้องก้มตัว หมุนตัว ออกแรงแขน และทำงานซ้ำเป็นเวลานานต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดความเมื่อยล้าและใช้เวลาในการผสมนาน

ตารางที่ 1 ระดับคะแนนและการแปลผลด้วยวิธี RULA

คะแนน	การแปลผล
1-2	ยอมรับได้แต่อาจจะมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ ถ้ามีการทำงานดังกล่าวซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม
3-4	ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่องอาจจะเป็นที่จะต้องมีการออกแบบงานใหม่
5-6	งานนั้นเริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและควรปรับปรุง
≥7	งานนั้นมีปัญหาทางการยศาสตร์ และต้องมีการปรับปรุงทันที

(ที่มา: McAtamney and Corlett, 1993)

ตารางที่ 2 ระดับคะแนนและแปลผลด้วยวิธี REBA

คะแนน	การแปลผล
1	งานนั้นยอมรับได้ แต่อาจจะมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม
2-3	งานนั้นควรได้รับการพิจารณา ศึกษาละเอียดขึ้น ติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง ออกแบบงานใหม่ อาจมีความจำเป็น
4-7	งานนั้นเริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและรีบดำเนินการปรับปรุงลักษณะงานดังกล่าว
8-11	งานนั้นมีปัญหาด้านการยศาสตร์ ที่ต้องปรับปรุงโดยเร็ว
≥11	งานนั้นมีปัญหาด้านการยศาสตร์ ที่ต้องได้รับการปรับปรุงทันที

(ที่มา: Hignett and McAtamney, 2000)

2.4 การประเมินทางกายศาสตร์ก่อนและหลังการปรับปรุง

การประเมินความเสี่ยงทางกายศาสตร์ใช้ 2 วิธี ได้แก่ Rapid Upper Limb Assessment (RULA) และ Rapid Entire Body Assessment (REBA) โดยประเมินจากท่าทางการทำงานจริงก่อนและหลังการใช้เครื่องต้นแบบ การใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ครอบคลุมทั้งการใช้ร่างกายส่วนบนและการทำงานทั้งร่างกาย โดย RULA ใช้ประเมินท่าทางของแขน คอ ข้อมือ และลำตัวส่วนบน ส่วน REBA ใช้ประเมินท่าทางของคอ ลำตัว ขา แขน และลักษณะการใช้แรงในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของทั้งร่างกาย การประเมิน RULA และ REBA ดำเนินการโดยผู้วิจัยร่วมกับผู้เชี่ยวชาญด้านการยศาสตร์จำนวน 2 คน โดยใช้การสังเกต

ท่าทางการทำงานจริงร่วมกับภาพถ่ายและวิดีโอบันทึกระหว่างการปฏิบัติงาน เพื่อช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการให้คะแนน ทั้งนี้ ได้เลือกประเมินท่าทางหลักที่มีการใช้งานซ้ำและใช้แรงมากที่สุดในการบวนการผสมปุ๋ย การเลือกท่าทางเพื่อประเมินเน้นท่าที่ผู้ปฏิบัติงานใช้ซ้ำบ่อยและมีการออกแรงสูง ได้แก่ ช่วงกวนผสม ช่วงพลิกกลับวัสดุ และช่วงควบคุมการหมุนของเครื่องหลังการปรับปรุง เนื่องจากเป็นช่วงที่สะท้อนภาระทางกายของผู้ปฏิบัติงานได้ชัดเจนกว่าท่าทางช่วงอื่น ๆ

2.5 การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

การออกแบบเครื่องต้นแบบอาศัยข้อมูลจากการศึกษาปัญหาเดิม ความต้องการของเกษตรกร และหลักการออกแบบเพื่อความปลอดภัยและความสะดวกในการใช้งาน เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องผสมปุ๋ยแบบถังหมุนในแนวราบ ใช้ถังขนาด 200 ลิตร การเลือกใช้ถังขนาด 200 ลิตร และโครงสร้างหลักเป็นผลจากการพิจารณาร่วมกับผู้ใช้งานในพื้นที่ เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ซ่อมบำรุงไม่ซับซ้อน และมีขนาดเหมาะสมกับการผสมปุ๋ยในระดับครัวเรือนหรือกลุ่มเกษตรกรรายย่อย โดยติดตั้งบนโครงสร้างหลักและตะแกรงยึดถัง ระบบขับเคลื่อนใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า (220 โวลต์) ร่วมกับเกียร์ทดและชุดส่งกำลังแบบเฟืองโซ่ โดยออกแบบให้ถังหมุนด้วยความเร็วประมาณ 11.2 รอบต่อนาที นอกจากนี้ เครื่องยังช่วยให้ใช้งานแบบมือหมุนได้ในกรณีไม่ต้องการใช้ไฟฟ้า หลักการออกแบบมุ่งลดภาระการกวนผสมด้วยแรงงานคน ลดการก้มตัว ลดการหมุนข้อมือซ้ำ ๆ และเพิ่มความสม่ำเสมอของการผสมวัสดุ โดยพิจารณาให้เครื่องสามารถถอดแยกชิ้นส่วนและบำรุงรักษาได้ง่าย เหมาะกับการใช้งานในระดับชุมชน



รูปที่ 1 แบบจำลองทางวิศวกรรมของเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ยแบบถังหมุน



รูปที่ 2 เครื่องผสมปุ๋ยต้นแบบ

2.6 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องต้นแบบ

การทดสอบสมรรถนะเปรียบเทียบการผสมปุ๋ย 3 วิธี ได้แก่ 1) การกวนผสมด้วยแรงงานคน 2) การใช้เครื่องผสมแบบมือหมุน และ 3) การใช้เครื่องผสมแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ กำหนดให้ใช้วัสดุผสมปริมาณคงที่ 15 กิโลกรัมต่อรอบการทดลอง ภายใต้เงื่อนไขการทำงานเดียวกัน ทำการทดลองซ้ำวิธีละ 5 ครั้ง และบันทึกเวลาในการผสมเป็นนาที จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบความแตกต่างของเวลาเฉลี่ยระหว่าง 3 วิธีด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 หากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จะทำการเปรียบเทียบรายคู่ด้วยวิธี Tukey's HSD



รูปที่ 3 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องต้นแบบ



รูปที่ 4 ผลผลิตที่ได้จากทดสอบสมรรถนะของเครื่องต้นแบบ

2.7 การประเมินความพึงพอใจต่อเครื่องต้นแบบ

การประเมินความพึงพอใจใช้แบบประเมินประมาณค่า 5 ระดับ โดยแบ่งออกเป็น 4 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านโครงสร้างของเครื่องผสมปุ๋ย 2) ด้านการใช้งาน 3) ด้านคุณภาพของเครื่อง และ 4) ด้านการออกแบบ แบบประเมินได้รับการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อคำถามโดยผู้เชี่ยวชาญก่อนนำไปใช้จริง ผู้ประเมินจำนวน 6 คน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญ 3 คน และผู้ใช้งานจริง 3 คน แบบประเมินครอบคลุมประเด็นความแข็งแรงของโครงสร้าง ความปลอดภัย ความสะดวกในการใช้งาน ความสามารถในการผสม และความคุ้มค่าในการนำไปใช้

2.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับเวลาในการผสมและคะแนนความพึงพอใจ ส่วนการเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยระหว่าง 3 วิธี ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวน ผู้วิจัยได้ตรวจสอบสมมติฐานเบื้องต้นของข้อมูล ได้แก่ การกระจายแบบปกติของข้อมูล (normality) ความแปรปรวนเท่ากันของข้อมูล (homogeneity of variance) และความเป็นอิสระของข้อมูล (independence) ซึ่งพบว่าข้อมูลมีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ด้วย one-way ANOVA อย่างไรก็ตามเนื่องจากจำนวนการทดลองซ้ำยังอยู่ในระดับเบื้องต้น จึงควรตีความผลร่วมกับข้อจำกัดของงานวิจัยและการเปรียบเทียบรายคู่ด้วยวิธี Tukey's HSD ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 สำหรับข้อมูลการประเมินทางการยศาสตร์ นำเสนอในรูปคะแนนและระดับความเสี่ยงก่อนและหลังการปรับปรุง

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการประเมินทางการยศาสตร์ก่อนการปรับปรุง

การประเมินกระบวนการผสมปุ๋ยด้วยแรงงานคนก่อนการปรับปรุง พบว่าผู้ปฏิบัติงานมีลักษณะท่าทางการทำงานที่เสี่ยงต่อปัญหาทางการยศาสตร์หลายประการ ได้แก่ การก้มคอบนกว่า 20 องศา การโน้มลำตัวไปด้านหน้าประมาณ 20–60 องศา การหมุนและเอียงลำตัวขณะกวนผสม การยกแขนส่วนบนไว้ด้านหน้าในช่วงประมาณ 20–45 องศา ร่วมกับการยกหัวไหล่ การใช้ข้อมือในลักษณะงอมากกว่า 15 องศาและมี

การหมุนข้อมือซ้ำ ๆ ตลอดจนการทำงานซ้ำต่อเนื่องมากกว่า 4 ครั้งต่อนาที ลักษณะการทำงานดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าผู้ปฏิบัติงานต้องใช้แรงแขน ข้อมือ ลำตัว และขาอย่างต่อเนื่องในท่าทางที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดความเมื่อยล้าและเพิ่มความเสี่ยงต่อระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ ผลการประเมินด้วยวิธี RULA พบว่ามีคะแนนเท่ากับ 7 ซึ่งแปลผลว่าเป็นงานที่มีปัญหาทางการยศาสตร์และต้องได้รับการปรับปรุงทันที ขณะที่ผลการประเมินด้วยวิธี REBA พบว่ามีคะแนนเท่ากับ 10 ซึ่งอยู่ในระดับความเสี่ยงสูงและควรได้รับการปรับปรุงโดยเร็ว ผลการประเมินทั้งสองวิธีสอดคล้องกันว่า กระบวนการผสมปุ๋ยด้วยแรงงานคนก่อนการปรับปรุงเป็นงานที่มีความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในระดับสูง จึงควรได้รับการออกแบบวิธีทำงานใหม่หรือพัฒนาเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ยเพื่อลดภาระทางกายของผู้ปฏิบัติงานและยกระดับความปลอดภัยในการทำงาน

3.2 ผลการออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบ

เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องผสมปุ๋ยแบบถังหมุนขนาด 200 ลิตร ใช้มอเตอร์ 1 แรงม้า ร่วมกับเกียร์ทดและชุดส่งกำลังแบบเฟืองโซ่ ช่วยให้ผสมวัสดุปริมาณประมาณ 15–20 กิโลกรัมต่อรอบการทำงาน และยังใช้งานได้ทั้งแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์และแบบมือหมุน การออกแบบดังกล่าวช่วยลดภาระงานที่เดิมต้องใช้แรงกวนผสมโดยตรง ทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีบทบาทเปลี่ยนจาก “ผู้กวนผสม” เป็น “ผู้ควบคุมการทำงานของเครื่อง” ซึ่งเป็นการเปลี่ยนลักษณะงานให้สอดคล้องกับหลักการยศาสตร์มากขึ้น ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งาน พบว่า ด้านโครงสร้างของเครื่องผสมปุ๋ยมีค่าเฉลี่ย 4.62 อยู่ในระดับมากที่สุด ด้านการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 4.49 อยู่ในระดับมาก ด้านคุณภาพของเครื่องมีค่าเฉลี่ย 4.45 อยู่ในระดับมาก และด้านการออกแบบมีค่าเฉลี่ย 4.49 อยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมเท่ากับ 4.51 อยู่ในระดับมากที่สุด

3.3 ผลการเปรียบเทียบผลผลิตภาพของการผสมปุ๋ย

ผลการทดสอบเวลาในการผสมปุ๋ยปริมาณ 15 กิโลกรัมเปรียบเทียบ 3 วิธี แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เวลาในการผสม (นาที่ต่อ 15 กิโลกรัม) เปรียบเทียบ 3 วิธี

ครั้งที่	ใช้แรงงานคน แบบกวนผสม	ใช้เครื่องผสม แบบมือหมุน	ใช้เครื่องผสม แบบขับเคลื่อน ด้วยมอเตอร์
1	5.08	1.20	1.05
2	5.12	1.20	1.12
3	5.10	1.15	1.06
4	5.14	1.16	1.09
5	5.16	1.15	1.10
ค่าเฉลี่ย	5.12	1.17	1.08
SD	0.032	0.026	0.029

จากตารางที่ 3 พบว่า วิธีใช้แรงงานคนมีเวลาเฉลี่ยในการผสมสูงที่สุด เท่ากับ 5.12 ± 0.032 นาที่ รองลงมาคือเครื่องผสมแบบมือหมุน เท่ากับ 1.17 ± 0.026 นาที่ และเครื่องผสมแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ใช้เวลาเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 1.08 ± 0.029 นาที่ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวพบว่า เวลาเฉลี่ยในการผสมของทั้ง 3 วิธีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F(2,12) = 31883.74, p < 0.001$) และเมื่อเปรียบเทียบรายคู่ด้วยวิธี Tukey's HSD พบว่าทุกคู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเครื่องผสมแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ใช้เวลาที่น้อยที่สุด รองลงมาคือเครื่องผสมแบบมือหมุน และวิธีใช้แรงงานคนใช้เวลามากที่สุด เมื่อพิจารณาจากการปฏิบัติงานจริง พบว่าวิธีแรงงานคนต้องอาศัยการกวนและพลิกกลับวัสดุซ้ำหลายครั้ง ขณะที่การใช้เครื่องต้นแบบช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานเปลี่ยนบทบาทจากการออกแรงโดยตรงมาเป็นการควบคุมกระบวนการผสม ส่งผลให้การทำงานต่อรอบใช้เวลา น้อยลงและมีความต่อเนื่องมากขึ้น ดังนั้น เครื่องต้นแบบจึงช่วยลดเวลาในการทำงานได้ในระดับที่เห็นได้เมื่อเทียบกับวิธีเดิม

3.4 ผลการประเมินทางกายศาสตร์หลังการปรับปรุง

หลังการนำเครื่องต้นแบบไปใช้งาน ผู้ปฏิบัติงานมีลักษณะท่าทางการทำงานดีขึ้นมาก กล่าวคือ ลดการก้มลำตัวและคอ ลดการหมุนข้อมือและการออกแรงซ้ำ ๆ และเปลี่ยนจากการใช้แรงกวนผสมโดยตรงมาเป็นการควบคุมการทำงานของเครื่อง ผลการประเมินด้วยวิธี RULA หลังการปรับปรุงมีคะแนนเท่ากับ 3 หมายถึงอยู่ในระดับที่ควรศึกษาเพิ่มเติมและติดตามผลอย่างต่อเนื่อง ส่วนผลการประเมินด้วยวิธี REBA มีคะแนน

เท่ากับ 2 หมายถึงมีความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในระดับต่ำ ผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คะแนนการประเมินทางการยศาสตร์ก่อนและหลังการปรับปรุง

วิธีประเมิน	ก่อนการปรับปรุง	ระดับความเสี่ยง	หลังการปรับปรุง	ระดับความเสี่ยง
RULA	7	ต้องปรับปรุงทันที	3	ควรศึกษาเพิ่มเติมและติดตามผล
REBA	10	ความเสี่ยงสูง	2	ความเสี่ยงต่ำ

จากตารางที่ 4 ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ยช่วยให้ลดความเสี่ยงทางการยศาสตร์ได้จริง การลดลงของคะแนนดังกล่าวสอดคล้องกับลักษณะงานที่เปลี่ยนไป โดยเฉพาะการลดการก้มลำตัว การลดการบิดเอี้ยวขณะกวนผสม และการลดการใช้ข้อมือในลักษณะหมุนซ้ำต่อเนื่อง ซึ่งเป็นท่าทางที่พบเด่นชัดในวิธีแรงงานคนก่อนการปรับปรุง ทั้งในมิติของท่าทางการทำงาน การใช้แรง และลักษณะการเคลื่อนไหวของร่างกาย

4. อภิปรายผล

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ยที่พัฒนาขึ้นมีส่วนช่วยเพิ่มผลิตภาพและลดความเสี่ยงทางการยศาสตร์ได้จริงสาเหตุสำคัญมาจากการเปลี่ยนรูปแบบงานจากการกวนผสมด้วยแรงงานคน ซึ่งต้องใช้แรงแขน ข้อมือ และลำตัวอย่างต่อเนื่อง ไปสู่การใช้เครื่องต้นแบบที่อาศัยการหมุนถังผสมแทนการออกแรงโดยตรงของผู้ใช้งาน กลไกการออกแบบดังกล่าวช่วยลดการก้มตัว ลดการหมุนข้อมือซ้ำ ๆ และลดภาระการทำงานซ้ำต่อระบบกล้ามเนื้อและโครงร่าง จึงส่งผลให้คะแนน RULA และ REBA ลดลง ผลที่ได้สอดคล้องกับแนวคิดของ Sanders and McCormick [10] และ Simachok and Chaikul [11] ที่ชี้ว่าการออกแบบเครื่องมือและระบบงานให้เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงานช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดปัญหาสุขภาพจากการทำงานได้ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานของ

Mattharak et al. [3], [4] ที่พบว่า การประเมินทางกายศาสตร์ยังใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการปรับปรุงงานเพื่อลดความเมื่อยล้าและลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของแรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในด้านผลผลิตภาพ เครื่องต้นแบบช่วยลดเวลาเฉลี่ยในการผสมปุ๋ยจาก 5.12 นาที เหลือ 1.08 นาทีเมื่อใช้เครื่องผสมแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในระดับชุมชนช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้เวลาได้มาก เมื่อพิจารณาในเชิงร้อยละพบว่าเครื่องผสมแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ช่วยลดเวลาในการผสมปุ๋ยได้ประมาณร้อยละ 78.9 เมื่อเทียบกับวิธีใช้แรงงานคน ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพของเครื่องต้นแบบในการเพิ่มผลผลิตภาพของกระบวนการทำงานและแม้ว่าค่าที่ได้จากแต่ละรอบการทดลองจะมีความใกล้เคียงกัน แต่ผลการวิเคราะห์ทางสถิติยังแสดงให้เห็นความแตกต่างของเวลาในการผสมระหว่างแต่ละวิธีอย่างชัดเจน ทั้งนี้ อาจอธิบายได้ว่ากลไกการหมุนของถังผสมช่วยลดภาระการออกแรงซ้ำของผู้ปฏิบัติงานและทำให้การคลุกเคล้าวัสดุผสมเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ในบางรอบการทดลอง ผู้ปฏิบัติงานยังต้องช่วยจัดตำแหน่งวัสดุผสมภายในถังในช่วงเริ่มต้นของการหมุน โดยเฉพาะเมื่อวัสดุมีความชื้นหรือจับตัวกันเป็นก้อน ส่งผลให้ทั้งประสิทธิภาพด้านเวลาและความเหมาะสมของท่าทางการทำงานดีขึ้นพร้อมกัน อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินด้านเวลาในการทำงานและความเสี่ยงทางกายศาสตร์เป็นหลัก จึงยังไม่ได้ประเมินคุณภาพความสม่ำเสมอของส่วนผสมเชิงเทคนิค เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนขององค์ประกอบปุ๋ย หรือดัชนีความสม่ำเสมอของการผสม ซึ่งถือเป็นประเด็นสำคัญที่ควรศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต เพื่อยืนยันประสิทธิภาพด้านคุณภาพของกระบวนการผสมอย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น อีกประเด็นหนึ่งที่สำคัญคือ การพัฒนาเครื่องต้นแบบครั้งนี้ใช้แนวทางแบบมีส่วนร่วมของชุมชน ทำให้ผู้วิจัยสามารถปรับรายละเอียดของเครื่องให้เหมาะกับลักษณะการใช้งานจริงของชุมชนมากขึ้นส่งผลให้ระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ผู้ใช้งานรับรู้ถึงความสะดวก ความปลอดภัย และความคุ้มค่าของเครื่องต้นแบบ ซึ่งสะท้อนแนวโน้มการยอมรับเทคโนโลยีในระดับชุมชนเบื้องต้น อย่างไรก็ตาม ผลการประเมินดังกล่าวเป็นเพียงการประเมินเบื้องต้นจากผู้ประเมินจำนวนจำกัด จึงควรมีการขยายกลุ่มตัวอย่างเพื่อยืนยันผลการ

ยอมรับเทคโนโลยีในระดับที่กว้างขึ้น ทั้งนี้ การมีส่วนร่วมของเกษตรกรยังช่วยให้เกิดการเรียนรู้ร่วมกันและเพิ่มศักยภาพในการดูแลรักษาอุปกรณ์ในระยะยาว อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดบางประการ ได้แก่ 1) การทดลองดำเนินการในพื้นที่ศึกษาเพียงแห่งเดียว 2) การทดสอบสมรรถนะใช้วัสดุผสมปุ๋ยภายใต้เงื่อนไขและสูตรปุ๋ยบางรูปแบบเท่านั้น 3) จำนวนการทดลองซ้ำยังอยู่ในระดับเบื้องต้น และ 4) การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ข้อมูลตัวอย่างขนาดเล็ก ดังนั้น งานวิจัยในอนาคตควรขยายผลโดยทดสอบกับสูตรปุ๋ยหลายประเภท ทดสอบในบริบทพื้นที่ที่แตกต่างกัน เพิ่มจำนวนรอบการทดลอง และใช้การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อสนับสนุนข้อสรุปให้แข็งแรงยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ควรศึกษาประเด็นด้านต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และการออกแบบที่ช่วยลดน้ำหนักของเครื่องเพื่อให้สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายมากขึ้น

5. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องต้นแบบผสมปุ๋ยสำหรับเกษตรกรรายย่อยในชุมชนบ้านด่าน ตำบลเกาะแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา และนำไปทดสอบเปรียบเทียบกับวิธีการผสมด้วยแรงงานคนแบบเดิม ผลการทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบช่วยลดเวลาในการผสมปุ๋ยจากค่าเฉลี่ย 5.12 นาที เหลือ 1.17 นาทีในแบบมือหมุน และ 1.08 นาทีในแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ต่อการผสมปุ๋ย 15 กิโลกรัม ผลดังกล่าวบ่งชี้ว่าเครื่องต้นแบบมีแนวโน้มช่วยเพิ่มผลผลิตภาพของกระบวนการผสมปุ๋ยในระดับชุมชนได้ ในด้านการกายศาสตร์ ผลการประเมินก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงให้เห็นว่าความเสี่ยงทางกายศาสตร์ลดลงโดยค่า RULA ลดจาก 7 เหลือ 3 และค่า REBA ลดจาก 10 เหลือ 2 บ่งชี้ว่าเครื่องต้นแบบช่วยลดภาระทางกาย ลดความเหนื่อยล้า และทำให้ลักษณะการทำงานเหมาะสมขึ้น ขณะที่ผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด แสดงถึงศักยภาพของเครื่องต้นแบบในการนำไปใช้จริงในระดับชุมชน ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงแนวโน้มว่าเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเกษตรกรรายย่อยในระดับชุมชนได้ โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการลดภาระการทำงานและเพิ่มความสะดวกในการผสมปุ๋ยทั้งในด้านการเพิ่มผลผลิตภาพ การลด

ความเสี่ยงทางการยศาสตร์ และการยกระดับคุณภาพชีวิตการทำงานของเกษตรกร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ตลอดจนการอำนวยความสะดวกในการลงพื้นที่ศึกษา ขอขอบคุณผู้ช่วยงานออกแบบและการทดลอง ได้แก่ นายสิทธิกร รัตนบุญโชติ นายอัศรพล แซ่แต้ นายรัชชานนท์ ศรีวงษา นายกิตตินันท์ หวัดพงษ์ นายลิปกร แทนโป และนายอดิสร ปานแก้ว รวมทั้งขอขอบคุณนางพวงเพ็ญ สุวรรณ ผู้ประสานงานกลุ่มเกษตรกรรายย่อย และเกษตรกรชุมชนบ้านด่าน ตำบลเกาะแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Fungdet S, Kulsuwan N, Thambut T, Singkaew C. Prototype of automatic composting machine from water hyacinth using a closed rotary aeration tank system. Undergraduate thesis. Khon Kaen: Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus; 2017.
- [2] Hignett S, McAtamney L. Rapid entire body assessment (REBA). *Applied Ergonomics*. 2000;31(2):201–205.
- [3] Mattharak W, Homsesethi R, Sangkhapong O. Ergonomic work improvements to reduce fatigue among workers in a smoked sheet rubber factory. *Journal of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok*. 2024;20(2):165–183.
- [4] Mattharak W, Homsesethi R, Sangkhapong O. The ergonomics risk and fatigue of workers in a rubber smoked sheets factory. *Thai Journal of Ergonomics*. 2021;4(2):24–42.
- [5] McAtamney L, Corlett EN. RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*. 1993;24(2):91–99.
- [6] Phakul P, Pipithhirunkarn P, Yabusdi P. Development of an automatic composting machine. In: *Proceedings of the 10th National Conference on Academic and Research Presentations*. Khon Kaen: Northeastern University; 2023:507–517.
- [7] Meepradit P. *Ergonomic risk assessment*. Bangkok: OS Printing Publishing; 2016. (in Thai)
- [8] Ritchirawanich W. *Work study: Principles and case studies*. 5th ed. Bangkok: Chulalongkorn University Press; 2007.
- [9] Rattanajan R, Imsomboon P, Janlad E. Design and performance evaluation of a 5-kilogram organic fertilizer mixer for small-scale farmers. *Journal of Innovation in Industrial Technology*. 2024;2(3):57–69.
- [10] Sanders MS, McCormick EJ. *Human factors in engineering and design*. 7th ed. New York (NY): McGraw-Hill; 1993.
- [11] Simachok V, Chaikul K. *Ergonomics: Work design for productivity and safety*. 2nd ed. Bangkok: Thai-Japanese Technology Promotion Association; 1997.
- [12] Somyana W. Guidelines for performance evaluation for farmers seeking to improve their efficiency in Chiang Mai Province. *Journal of Humanities and Social Sciences, Phranakorn Rajabhat University*. 2021;15(2):33–42.