

Research Article

การประยุกต์หลักการยศาสตร์เพื่อพัฒนาเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน วราพล เกษมสันต์^{1*} และ อติรัฐ มากสุวรรณ¹

Application of ergonomic for developing agricultural handheld for soil tillage

Warapol Kasemsan^{1*} and Atirat Maksuwan¹

¹ Pathumwan Institute of Technology, Patumwan, Bangkok, 10330

* Corresponding author: warapol.k@pit.ac.th

Naresuan Phayao J. 2023;16(1): 111-127.

Received; 18 October 2021; Revised: 21 June 2022; Accepted: 30 December 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินโดยใช้หลักการยศาสตร์ดำเนินการวิจัยโดย 1) คัดเลือกเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินที่นิยมใช้ในทั่วไปเป็นต้นแบบ 2) ออกแบบและสร้างเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน 3) ทดสอบใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินและ 4) การพัฒนาเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน โดยพิจารณาจากค่าการยศาสตร์ในการใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน พบว่า เครื่องมือทางการเกษตรที่เกษตรกรนิยมใช้ในขั้นตอนดูแลรักษาพืช คือ จอบ ซึ่งเป็นต้นแบบในการออกแบบเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน โดยใช้หลักการเครื่องกลสามัญ คือ หลักการของล้อและเฟลา หลักการของลิ้ม และหลักการของคาน ทดสอบใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน พิจารณาโดยค่าการยศาสตร์ของผู้ใช้เครื่องผ่อนแรงประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ข้อมือ ส่วนที่ 2 แขนส่วนล่าง ส่วนที่ 3 แขนส่วนบนและส่วนที่ 4 ลำตัว ค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบขณะผลักมีเท่ากับ 2.51 และค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบขณะดึงเท่ากับ 2.39 ทำการพัฒนาโดยการเพิ่มขนาดล้อ ความยาวลิ้ม และจำนวนลิ้มรอบล้อ ส่งผลต่ออิริยาบถของผู้ใช้งานทำให้ค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบขณะผลักเพิ่มขึ้นเป็น 2.54 และค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบขณะดึงเพิ่มขึ้นเป็น 3.35 สรุปได้ว่าการประยุกต์หลักการยศาสตร์เพื่อพัฒนาเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินทำให้เกิดการผ่อนแรงของเกษตรกรในการใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินมากขึ้น หรือเกษตรกรออกแรงน้อยลงเมื่อเทียบกับการออกแรงปกติ

คำสำคัญ: การยศาสตร์, เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตร, พรวนดิน

Abstract

The objective of this research was design an agricultural handheld for soil tillage, applied by ergonomic principles. The methodology 1) selecting commonly agricultural handheld for soil tillage to use as a model 2) Design and make agricultural handheld for soil tillage 3) efficiency test of agricultural handheld for soil tillage and 4) Development of agricultural handheld for soil tillage, by considering the ergonomics of using agricultural handheld for soil tillage. The results showed the commonly agricultural handheld that farmers used in plant care process was a hoe. Which is a prototype of agricultural handheld for soil tillage, Using

¹ หลักสูตรเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมเพื่อการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

common principles mechanical was wheel and axle, wedge and lever. Efficiency test of agricultural handheld for soil tillage determined by the user ergonomics, consists of 4 parts was Part 1: wrist, Part 2: Lower arm, Part 3: upper arm and Part 4: body. Total Mechanical Advantage (M.A.) while pushing was 2.51 and total Mechanical Advantage while pulling was 2.39. Developed by increasing the wheel size, wedge length and number of wedges around the wheel, that affect for user behavior. Increased the total Mechanical Advantage while pushing was 2.54 and Increased the total Mechanical Advantage while pulling was 3.35. It can be concluded that application of ergonomic for developing agricultural handheld for soil tillage has low exertion while using agricultural handheld for soil tillage.

Keywords: Ergonomic, Agricultural handheld, Soil tillage

บทนำ

กิจกรรมทางการเกษตร เช่น การผลิตพืช ผลิตสัตว์ และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เป็นกิจกรรมที่ใช้แรงเป็นหลัก ทั้งการขุด การเตรียมแปลงปลูก การบำรุงรักษา การเก็บเกี่ยว ตลอดจนการขนส่ง [1] ส่งผลต่อเนื่องถึงตัวเกษตรกรที่ต้องออกแรงกระทำ เพื่อทำงานด้วยท่าทาง หรืออิริยาบถที่ผิดธรรมชาติจากการใช้เครื่องมือทางการเกษตรที่ต้องใช้แรงงานคนเป็นหลัก โดยเฉพาะอย่างการใช้จอบสำหรับพรวนดินและกำจัดวัชพืช ที่ก่อให้เกิดการบิดโค้งงอของข้อมือข้อแขน การงอศอก การจับ งานที่ต้องก้มศีรษะ ก้มหลัง บิดเอี้ยวตัว ท่าทาง หรืออิริยาบถที่ผิดธรรมชาติเหล่านี้ เป็นปัจจัยคุกคามสุขภาพจากการทำงานที่ส่งผลต่อการเกิดอาการผิดปกติของโครงร่าง และกล้ามเนื้อ เกษตรกรมีอาการปวดหลัง ปวดกล้ามเนื้อซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน และคุณภาพชีวิตของเกษตรกร [2] ดังเช่นผลการศึกษาของ ชวพรพรรณ และธานี [3] เกี่ยวกับ กิจกรรมของเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อน ซึ่งพบว่าเกษตรกรมีการบิดเอี้ยวก้มตัวร้อยละ 99.2 นั่งหรือยืนนานๆ ร้อยละ 97.7 หรือยกของหนักหรือออกแรงเกินกำลังร้อยละ 90.0 ผลของกิจกรรมดังกล่าวทำให้เกิดอาการปวดหลัง เอว ร้อยละ 69.2 ปวดขา เข่า ร้อยละ 63.1 และมีอาการปวดมือ แขน ไหล่ ร้อยละ 56.9 การศึกษาของ Titaporn, Saowanee and Wattasit [4] เกี่ยวกับกิจกรรมการทำนาของชาวนา จังหวัดนครราชสีมา 270 คน ซึ่งพบว่าชาวนามีความผิดปกติในหลังส่วนล่าง ร้อยละ 52 การศึกษาของ Luangwilai et. Al. [4] และ Altaf Hossain Sarker et. Al. [5] เกี่ยวกับความผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูกในเกษตรกร ศัลยกรรมกระดูกและ

ข้อซึ่งพบว่าชาวนาในจังหวัดขอนแก่น 311 คน มีความผิดปกติในหลังส่วนล่าง ร้อยละ 73.3 และไหล่ ร้อยละ 35.0 ถึงร้อยละ 70.0 การศึกษาของ S. Y., Vasave and D. B. Anap [6] เกี่ยวกับความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกในคนงานอ้อย พบว่าเกษตรกรร้อยละ 100 คนมีความผิดปกติในหลังส่วนล่าง ร้อยละ 50.0 การศึกษาของ Yee Guan NG et. al. [7] เกี่ยวกับความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกและความสัมพันธ์กับการสูญเสียผลผลิต: การศึกษาเบื้องต้นในกิจกรรมการเก็บเกี่ยวด้วยตนเองแบบของแรงงานในสวนปาล์มน้ำมัน พบว่าผู้เก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน ประเทศมาเลเซีย 143 คน ความผิดปกติในหลังส่วนล่าง ร้อยละ 58.0 หลังส่วนบน ร้อยละ 28.0 คอ ไหล่ ร้อยละ 32.2 การศึกษาของ Kayla Stankevitz et.al. [8] เกี่ยวกับปัจจัยเสี่ยงของความผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูกในกลุ่มกรีดยางประเทศศรีลังกาพบว่า เกษตรกรชาวสวนยาง ประเทศศรีลังกา จำนวน 300 คน มีความผิดปกติบริเวณไหล่ ร้อยละ 96.7 หลัง ร้อยละ 94.4 และคอ ร้อยละ 83.3 การศึกษาของ Yee Guan NG et.al. [7] เกี่ยวกับความผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูก พบว่าเกษตรกรพืชไร่ พืชสวน ผิดปกติบริเวณเข่า ร้อยละ 30.0 ถึง ร้อยละ 60.0 และจากการศึกษาของตระการ และฤทธิ์ชัย [9] เกี่ยวกับอาการกล้ามเนื้อและกระดูกของเกษตรกรผู้ปลูกยาง พบว่าเกษตรกรปลูกยางพาราพบว่ามีอาการปวดหลังส่วนล่าง ร้อยละ 40.8

จากปัจจัยคุกคามสุขภาพจากการทำงานที่ของเกษตรกรดังกล่าวข้างต้นแล้ว การพัฒนาเครื่องมือทางการเกษตรที่สามารถลดอาการบาดเจ็บได้จึงถูกพัฒนาขึ้น เห็นได้จากการพัฒนาเครื่องพรวนดินซึ่ง

ออกแบบโดยใช้ระบบคันทโยก (Broadfork) สำหรับพรวนดินและกำจัดวัชพืช โดยใช้หลักการโมเมนต์ของคานอันดับหนึ่งของตระการและฤทธิ์ชัย [10] ที่พบว่าสามารถลดการใช้แรงงานคนและลดเวลาการทำงานได้ การพัฒนาการออกแบบและสร้างชุดเครื่องมือพื้นฐานสำหรับผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงโดยใช้หลักการล้อและเพลาร่วมกับการคำนึงถึงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลพบว่า สามารถลดการใช้แรงงานคน และลดเวลาการทำงานได้มากกว่าการใช้จอบ เป็นต้น

ทั้งนี้นอกจากการพัฒนาเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรที่สามารถผ่อนแรงของเกษตรกรดังกล่าวข้างต้นแล้วการออกแบบเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรโดยประยุกต์หลักการกายศาสตร์ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดการบาดเจ็บจากการใช้เครื่องทางการเกษตรได้ เห็นได้จากการออกแบบและสร้างเก้าอี้การเกษตรสำหรับห้องเรียนบรรยายของนคร และคณะ [11] ที่พบว่าสามารถลดภาระของกล้ามเนื้อได้ดีขึ้นก่อนการปรับปรุงเก้าอี้ การศึกษาเรื่องการจัดการความเสี่ยงด้านการเกษตรสำหรับงานประกอบชิ้นส่วนจักรเย็บผ้าของแววตา และคณะ [12] ที่พบว่ามีความเสี่ยงในการแก้ไขปรับปรุงท่าทางในการทำงานให้เหมาะสม ลดอาการบาดเจ็บตัว การไขว้แขน การก้มหลัง และการยกย้ายวัสดุอย่างถูกวิธีเรื่องการพัฒนาเครื่องเลื่อยกระบอกไม้ไผ่ด้วยหลักการยศาสตร์และเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพของสร้อยจิ้น และคณะ [13] ที่พบว่า สามารถปฏิบัติงานเลื่อยไม้ไผ่ได้ประสิทธิภาพสูงขึ้น ลดความเสี่ยงของโรค และการบาดเจ็บอันเนื่องมาจากความเมื่อยล้าได้ออกแบบแท่นบรรยายอเนกประสงค์ต้นแบบตามหลักการยศาสตร์ของสุทธิ [14] ที่พบว่าไม่ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บในขณะนั่ง หรือเมื่อยล้าขณะยืนบรรยาย

จากผลการศึกษาดังกล่าว การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงนำหลักการยศาสตร์มาประยุกต์ในการออกแบบเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินโดยใช้หลักการยศาสตร์แบ่งการดำเนินการวิจัยได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ 1) คัดเลือกเครื่องมือผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินที่นิยมใช้ทั่วไปเป็นต้นแบบ 2) ออกแบบและสร้างเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน 3) ทดสอบใช้เครื่องผ่อนแรงทาง

การเกษตรสำหรับพรวนดินและ 4) การพัฒนาเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน โดยพิจารณาจากค่าการยศาสตร์ในการใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ นอกจากจะสามารถออกแบบเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรที่สามารถลดอาการบาดเจ็บของเกษตรกรได้แล้วยังเป็นส่วนหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้เช่นกัน

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้แบ่งขั้นตอนในการดำเนินการเป็น 4 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. คัดเลือกเครื่องมือทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน โดยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) ร่วมกับการสังเกตแบบมีส่วนร่วม (Participant Observation) เกี่ยวกับความต้องการใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน โดยมีต้นกำลังมาจากแรงคน กับกลุ่มเกษตรกรผู้ให้ข้อมูลสำคัญโดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposing Sampling) มีเกณฑ์ในการคัดเลือก คือ เกษตรกรที่เกินในครอบครัวเกษตรกร ประกอบอาชีพเกษตรกรที่มีการใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับปรับโครงสร้างทางกายภาพของดินที่มีต้นกำลังมาจากแรงคน และยังคงประกอบอาชีพเกษตรกรไม่น้อยกว่า 30 ปี เพื่อให้ได้เครื่องมือทางการเกษตรที่ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินต้นแบบที่มีต้นกำลังมาจากแรงคน

2. ออกแบบและสร้างเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน ประกอบด้วย

2.1 ศึกษาหลักการ และความหมายของเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตร

2.2 วิเคราะห์หลักการเครื่องกลสามัญที่ได้จากผลการคัดเลือกเครื่องมือทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน

2.3 ประยุกต์หลักการเครื่องกลสามัญในออกแบบเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน

3. ทดสอบการใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน เพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องผ่อนแรงทั้ง 3 ด้าน คือ

3.1 ค่าการยศาสตร์ในการใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน ซึ่งค่าการยศาสตร์

ในที่นี้หมายถึงค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับร่างกายขณะที่ใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน ทดสอบโดยผู้วิจัยในพื้นที่แปลงเกษตรขนาด 1.00x2.00 เมตร พร้อมทำการบันทึกภาพด้วยกล้องวิดีโอ

3.2 ค่าความได้เปรียบเชิงกล (MA) หมายถึง ค่าตัวเลขอัตราส่วน (ratio) ระหว่างน้ำหนักของวัตถุต่อแรงพยายามหรือแรงที่ผู้ใช้กระทำพิจารณา 4 ส่วน คือ

- 1) ค่าได้เปรียบเชิงกลของเครื่องผ่อนแรง (MA_{tools})
- 2) ค่าได้เปรียบเชิงกลของผู้ใช้ขณะผลัก ($MA_{body-push}$)
- 3) ค่าได้เปรียบเชิงกลของผู้ใช้ขณะดึง ($MA_{body-pull}$)
- 4) ค่าได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบ (MA_T)

3.3 ค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในดิน (Soil infiltration) หมายถึง ค่าตัวเลขที่แสดงอัตราส่วนการซึมผ่านของน้ำในดิน ณ เวลาหนึ่งได้จากสูตร

$$\text{ค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในดิน} = \frac{\text{ความลึกของดิน (cm)}}{\text{เวลา}}$$

โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

- 1) เลือกพื้นที่ทดสอบ โดยพิจารณาจากพื้นที่ทำเกษตรกรรมที่รอทำการเพาะปลูก (bare land) ในรอบต่อไปเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก ซึ่งที่กำหนดขนาดแปลงของพื้นที่ทดสอบใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรต้นแบบขนาด 2 ตารางเมตรจำนวน 3 แปลง
- 2) สุ่มเก็บตัวอย่างดินโดยใช้ท่อทรงกระบอก (soil moisture can) ก่อนและหลังทดสอบใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรต้นแบบทั้ง 3 แปลง
- 3) นำส่วนปลายของท่อทรงกระบอกกดลงไป ที่ตัวอย่างดินค่อยๆ ตอกส่วนบนของท่อทรงกระบอกด้วยค้อนยางเพื่อให้ท่อทรงกระบอกเคลื่อนที่ลงไปในดินลึกประมาณ 5-10 เซนติเมตร
- 4) ขุดดินโดยรอบของท่อทรงกระบอกออกอย่างระมัดระวังไม่ให้ดินไหลออกจากท่อ พร้อมวัดระยะของดินที่ตอกลงไป
- 5) นำใช้รีดิงค์พลาสติก (Disposable syringe) ที่บรรจุน้ำ 50 ml.

6) ค่อยๆ หยดน้ำจากใช้รีดิงค์พลาสติกที่ส่วนบนของท่อทรงกระบอกอย่างต่อเนื่อง พร้อมจับเวลา

7) สังเกตน้ำซึมที่ส่วนปลายของท่อทรงกระบอกแล้วหยุดเวลา พร้อมบันทึกข้อมูล

4. พัฒนาเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน พิจารณาจากค่าที่ได้จากผลการทดสอบการใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินต้นแบบ แล้วนำมาพัฒนาโดยใช้การคำนวณเป็นค่าที่บ่งชี้ประสิทธิภาพของเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินต่อไป

ผลการทดลอง

1. ผลการคัดเลือกเครื่องมือทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน

ผลการสัมภาษณ์เชิงลึก ร่วมกับการสังเกตแบบส่วนร่วมกับเกษตรกรผู้ให้ข้อมูลสำคัญจำนวน 11 คน ซึ่งเป็นเกษตรกรที่เกินในครอบครัวเกษตรกรประกอบอาชีพเกษตรกรที่มีการใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับปรับโครงสร้างทางกายภาพของดินที่มีต้นกำลังมาจากแรงคน และยังคงประกอบอาชีพเกษตรกรไม่น้อยกว่า 30 ปี พบว่า ผู้ให้ข้อมูลเป็นเกษตรกรชาย จำนวน 4 คน เกษตรกรหญิง 7 คน อายุระหว่าง 50-75 ปี พืชที่ทำกรเพาะปลูกประกอบด้วย 1) พืชไร่จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย ข้าวโพด มันสำปะหลัง และหญ้าเนเปีย โดยเกษตรกรทุกคนปลูกข้าวเป็นพืชหลักมาเป็นเวลา 30 – 60 ปี ขั้นตอนการปลูกพืชประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมดินก่อนปลูก การปลูก การบำรุงรักษา และการเก็บเกี่ยว ทั้งนี้ผู้ให้ข้อมูลสำคัญทั้ง 11 คน ให้ข้อมูลเหมือนกันว่า ในขั้นตอนการดูแลรักษาพืช การใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรที่มีต้นกำลังมาจากเครื่องยนต์มีความเสี่ยงต่อการเกิดความเสี่ยงต่อต้นพืช เนื่องจากการเจริญเติบโตของต้นพืชทำให้เกิดข้อจำกัดของพื้นที่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรที่มีต้นกำลังมาจากแรงคนในขั้นตอนดูแลรักษาพืช พบว่าเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับขั้นตอนการดูแลรักษาพืชที่นิยมใช้มากที่สุด คือ จอบ รองลงมา คือ เสียม จำนวน 11 และ 2 คน ตามลำดับ มีความต้องการใช้จอบเพื่อใช้สำหรับถากวัชพืช และพรวนดิน มีจำนวน

10 และ 6 คน ตามลำดับ ปัญหาที่เกิดจากความต้องการใช้จอบ คือ ออกแรงเยอะใช้เวลานาน และขนานไม่เหมาะสมกับพื้นที่ มีจำนวน 10, 5 และ 4 คน ตามลำดับ ทั้งนี้เกษตรกรทุกคนมีความเห็นในการสร้างเครื่องมือใหม่ จำนวน 11 คน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า เกษตรกรผู้ให้ข้อมูลสำคัญ มีความต้องการเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับขั้นตอนดูแลรักษาพืชรูปแบบใหม่ที่ออกแรงน้อย โดยมีต้นแบบการใช้งานมาจากจอบ

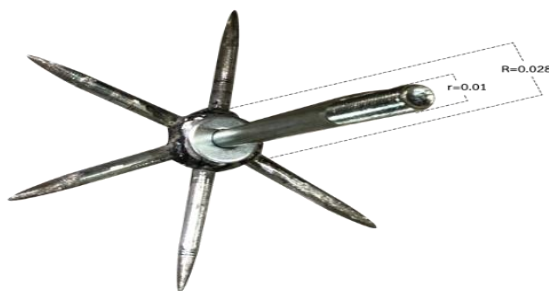
2. ผลการออกแบบ และสร้างเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินรูปแบบใหม่

2.1 ผลการศึกษาหลักการ และความหมายของเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตร ซึ่งเครื่องผ่อนแรงหมายถึง เครื่องมือสำหรับใช้ผ่อนแรงให้กับผู้ใช้โดยมีต้นกำเนิดแรงมาจากกล้ามเนื้อของผู้ใช้ โดยเครื่องผ่อนแรงอย่างง่าย มี 6 ชนิด คือ คานล้อ-เพลารอก พื้นเอียง สกรู และลิ้ม โดยสามารถจำแนกตามประเภทของเครื่องกล คือ เครื่องผ่อนแรงโดยใช้หลักการเครื่องกลสามัญ (ใช้หลักการทำงานของเครื่องผ่อนแรงอย่างง่ายเพียง 1 ชนิด) และเครื่องผ่อนแรงโดยใช้หลักการเครื่องกลเชิงซ้อน (ใช้หลักการของเครื่องผ่อนแรงอย่างง่ายมากกว่า 1 ชนิด) [18]

2.2 ผลการวิเคราะห์หลักการเครื่องกลสามัญที่ได้จากผลการคัดเลือกเครื่องมือทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน พบว่า จอบเป็นเครื่องมือที่เกษตรกร

นิยมใช้ในกิจกรรมทางการเกษตรมากที่สุด ซึ่งเป็นเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรที่ใช้หลักการเครื่องกลเชิงซ้อน ประกอบด้วยหลักการของเครื่องผ่อนแรงอย่างง่ายคือ คานและลิ้ม กิจกรรมในการใช้งาน คือ ถากวัชพืช และพรวนดิน ลักษณะการเคลื่อนของการใช้จะขึ้นอยู่กับกิจกรรมการใช้งาน

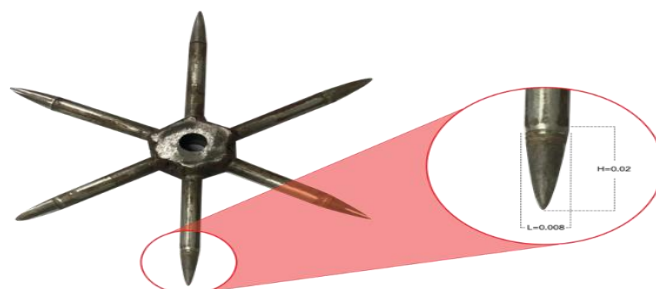
2.3 ผลการประยุกต์หลักการเครื่องกลสามัญในออกแบบเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน พบว่า จอบใช้หลักการของเครื่องผ่อนแรงอย่างง่าย คือ คานและลิ้ม ที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งเพื่อใช้สำหรับกิจกรรมการพรวนดิน ซึ่งมีขั้นตอนการยกจอบขึ้น แล้วเหวี่ยงเพื่อให้ใบจอบที่มีหลักการลิ้มกระแทกลงในเนื้อดิน ทั้งนี้จึงเพิ่มประยุกต์หลักของล้อและเพลารอก ซึ่งเป็นเครื่องกลที่ประกอบด้วยวัตถุทรงกระบอก 2 ขนาด วัตถุทรงกระบอกขนาดใหญ่เรียกว่า ล้อ และวัตถุทรงกระบอกขนาดเล็กเรียกว่า เพลารอก โดยวัตถุ 2 ชิ้นอยู่ติดกันเป็นหน่วยเดียวกัน มีการหมุนไปพร้อม ๆ กันในทิศทางเดียวกัน ด้วยความเร็วที่เท่ากัน จากหลักการของล้อและเพลารอกพบว่า ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อ (R) และความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลารอก (r) ที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพการผ่อนแรงที่ต่างกันด้วย กล่าวคือ ยิ่งขนาดของล้อใหญ่กว่าขนาดของเพลารอกเท่าใด ก็ยิ่งผ่อนแรงมากเท่านั้น [18] ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ล้อและเพลารอก

ดังนั้นการออกแบบเพื่อให้เครื่องมือทางการเกษตรมีการผ่อนแรงมากขึ้นในกิจกรรมการพรวนดิน จึงนำหลักการของลิ้มที่ทำหน้าที่ในการแทรกลงในเนื้อดินติดโดยรอบล้อ เพื่อให้เครื่องมือมีการเคลื่อนที่ในแนวราบ ขนานกับพื้นไปข้างหน้าและถอยหลัง เพื่อเป็นการลดภาระงานในการยกเครื่องมือขึ้นเพื่อกระแทกลิ้มลงในเนื้อดิน ในขณะเดียวกันลิ้มรอบ

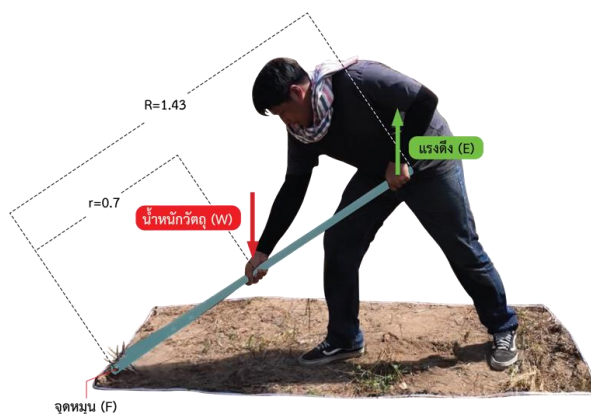
ล้อที่หมุนด้วยความเร็วที่เท่ากันก็ทำหน้าที่แทรกเนื้อดินอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ดินเกิดการแยกตัว เมื่อลิ้มที่แทรกลงในเนื้อดินถูกหมุนด้วยความเร็วของล้อในทิศทางตรงกันข้ามทำให้ลิ้มดึงเนื้อดินจากพื้นขึ้นมาบนผิวดิน ซึ่งเป็นลักษณะการขุดทำซ้ำอย่างต่อเนื่องจนทำให้ก้อนดินมีขนาดเล็กลง หรือการย่อยดินเช่นเดียวกับการพรวนดิน ดังภาพที่ 2



ภาพ 2 ลิ้มรอบล้อสำหรับพรวนดิน

หลักการดังกล่าวทำหน้าที่ที่ส่งผลกับดินโดยติดกับไม้ด้ามจับที่ใช้หลักการของคาน เป็นเครื่องกลที่มีลักษณะเป็นแท่งยาวสม่ำเสมอ ทำด้วยไม้ ในที่นี้ใช้หลักการของคานอันดับ 2 ในการออกแบบเครื่องมือดังกล่าว โดยจุดหมุนหรือลิ้มรอบล้อ (F) อยู่ที่ปลายของ

คาน แล้วใช้มือที่ไม่ถนัดจับบริเวณกลางของคานกดน้ำหนักลงไป (W) ใช้มืออีกข้างออกแรงดึงขึ้น (E) ลักษณะเดียวกับการงัดในทิศทางตรงกันข้ามกับน้ำหนักวัตถุ (W) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 คานอันดับ 2 และลักษณะของการใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตร

3. ผลการทดลองใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน มีรายละเอียดดังนี้

3.1 ค่าการยศาสตร์ในการใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน ผลการศึกษาพบว่า การยศาสตร์ ตามความหมายของราชบัณฑิตยสถาน หมายถึง วิทยาการเกี่ยวกับงานหรือการทำงาน ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงกำหนดความหมายของค่าการยศาสตร์ ในการใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตร

ส่วนที่ 1 ข้อมือ มีจำนวน 6 ค่า รายละเอียดดังตารางที่ 1

รายละเอียด	ค่าการยศาสตร์
1. ระยะทางจากข้อมือถึงจุดศูนย์กลางมวลของมือ (ประมาณเลยกลางหลังมือไปทางนิ้วกลาง; SL_1)	0.07 เมตร
2. มุมระหว่างข้อมือกับฝ่ามือขวาในตำแหน่งที่จับด้ามอุปกรณ์ขณะผลัก (θ_1)	74 องศา
3. มุมระหว่างข้อมือกับฝ่ามือซ้ายในตำแหน่งที่จับด้ามอุปกรณ์ขณะผลัก (θ_1)	78 องศา

สำหรับพรวนดินว่า หมายถึง ค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับร่างกายขณะที่ใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้แบ่งค่าการยศาสตร์เป็น 25 ค่า ตามส่วนต่างๆ ของร่างกายในขณะที่ใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ข้อมือ ส่วนที่ 2 แขนส่วนล่าง ส่วนที่ 3 แขนส่วนบนและส่วนที่ 4 ลำตัว ดังนี้

รายละเอียด	ค่าการยศาสตร์
4. มุมระหว่างข้อมือกับฝ่ามือขวาในตำแหน่งที่จับด้ามอุปกรณ์ขณะดึง (θ_1)	103 องศา
5. มุมระหว่างข้อมือกับฝ่ามือซ้ายในตำแหน่งที่จับด้ามอุปกรณ์ขณะดึง (θ_1)	120 องศา
6. น้ำหนักข้อมือ (WH)	6.12 นิวตัน

ส่วนที่ 2 แขนส่วนล่าง มีจำนวน 7 ค่า รายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการยศาสตร์ส่วนแขนส่วนล่าง

รายละเอียด	ค่าการยศาสตร์
1. น้ำหนักของแขนส่วนล่าง (WLA)	17.33 นิวตัน
2. ความยาวของแขนส่วนล่าง (จากข้อศอกถึงข้อมือ; AL)	0.28 เมตร
3. ระยะระหว่างจากข้อศอกถึงจุดศูนย์กลางมวลของแขนส่วนล่าง (ประมาณกลางข้อมือกับข้อศอก; SL_2)	0.12 เมตร
4. มุมระหว่างข้อศอกถึงข้อมือขวาขณะผลัก (θ_2)	64 องศา
5. มุมระหว่างข้อศอกถึงข้อมือซ้ายขณะผลัก (θ_2)	65 องศา
6. มุมระหว่างข้อศอกถึงข้อมือขวาขณะดึง (θ_2)	110 องศา
7. มุมระหว่างข้อศอกถึงข้อมือซ้ายขณะดึง (θ_2)	116 องศา

ส่วนที่ 3 แขนส่วนบน มีจำนวน 7 ค่า รายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าการยศาสตร์ส่วนแขนส่วนบน

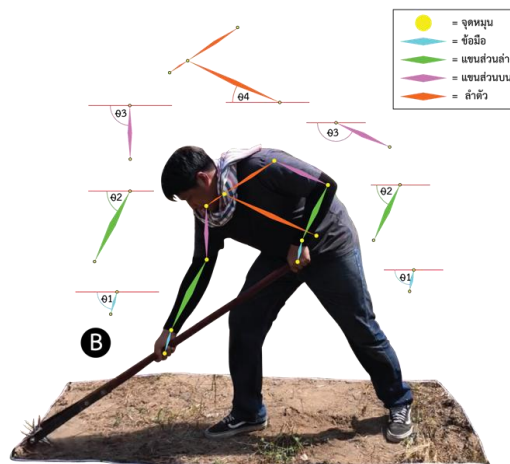
รายละเอียด	ค่าการยศาสตร์
1. น้ำหนักของแขนส่วนบน (WUA)	28.54 นิวตัน
2. ความยาวของแขนส่วนบน (จากหัวไหล่ถึงข้อศอก; UA)	0.3 เมตร
3. ระยะระหว่างจากหัวไหล่ถึงจุดศูนย์กลางมวลของแขนส่วนบน (ประมาณกลางหัวไหล่กับข้อศอก; SL_3)	0.13 เมตร
4. มุมระหว่างหัวไหล่ถึงข้อศอกขวาขณะผลัก (θ_3)	91 องศา
5. มุมระหว่างหัวไหล่ถึงข้อศอกซ้ายขณะผลัก (θ_3)	156 องศา
6. มุมระหว่างหัวไหล่ถึงข้อศอกขวาขณะดึง (θ_3)	134 องศา
7. มุมระหว่างหัวไหล่ถึงข้อศอกซ้ายขณะดึง (θ_3)	190 องศา

ส่วนที่ 4 ลำตัว มีจำนวน 5 ค่า รายละเอียด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าการยศาสตร์ส่วนลำตัว

รายละเอียด	ค่าการยศาสตร์
1. น้ำหนักของลำตัว (WT)	458.64 นิวตัน
2. ระยะระหว่างเอวถึงหัวไหล่ (WT)	0.36 เมตร
3. ระยะระหว่างจากหัวไหล่ถึงจุดศูนย์กลางมวลของลำตัว (ประมาณกลางหัวไหล่กับเอว; SL_4)	0.24 เมตร
4. มุมระหว่างเอวกับแกนกลางของลำตัวขณะผลัก (θ_4)	25 องศา
5. มุมระหว่างเอวกับแกนกลางของลำตัวขณะดึง (θ_4)	39 องศา

และสามารถแสดงสรุปตำแหน่งค่าการยศาสตร์ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายขณะใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตร ได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตำแหน่งค่าการยศาสตร์ตามส่วนต่างๆ ของร่างกายขณะใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตร

(A) ภาพขณะดึง (B) ขณะผลัก

3.2 ค่าการได้เปรียบเชิงกล (MA) ผลการศึกษาพบว่าค่าการได้เปรียบเชิงกล หมายถึง ค่าตัวเลขอัตราส่วน (ratio) ระหว่างน้ำหนักของวัตถุต่อแรงพยายามหรือแรงที่ผู้ใช้กระทำ ซึ่งได้จากการนำค่าการยศาสตร์ที่ได้จากการวัด และคำนวณดังตารางที่ 1-4 มาประกอบการคำนวณ โดยแบ่งความได้เปรียบเชิงกลเป็น 4 ส่วน รายละเอียดมีดังนี้

1) ค่าการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องมือ (MA_{tool}) จำแนกเป็น ค่าได้เปรียบเชิงกลของล้อและเพลลา ค่าได้เปรียบเชิงกลของลิ่ม และค่าได้เปรียบเชิงกลของคาน ผลการศึกษาพบว่า

1.1) ค่าการได้เปรียบเชิงกลของล้อและเพลลา (MA_{pulley}) คำนวณจากสูตร

$$\frac{\text{ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อ (R)}}{\text{ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา (r)}} = \frac{0.028}{0.01} = 2.8$$

ซึ่งหมายความว่า ล้อและเพลลามีประสิทธิภาพในการผ่อนแรงให้ผู้ใช้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.8 เท่า หรือผู้ใช้ออกแรงน้อยลง 2.8 เท่า

1.2) ค่าการได้เปรียบเชิงกลของลิ่ม (MA_{wedge}) คำนวณจากสูตร

$$\frac{\text{ความยาวของลิ่ม (H)}}{\text{ความกว้างของฐานของลิ่ม (L)}} = \frac{0.02}{0.008} = 2.5$$

ซึ่งหมายความว่า ลิ่มมีประสิทธิภาพในการผ่อนแรงให้กับผู้ใช้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.5 เท่า หรือผู้ใช้ออกแรงน้อยลง 2.5 เท่า

1.3) ค่าการได้เปรียบเชิงกลของคาน (MA_{lever}) คำนวณจากสูตร

$$\frac{\text{ระยะทางจากจุดหมุนถึงแรงที่ผู้ใช้กระทำ (R)}}{\text{ระยะทางจากจุดหมุนถึงน้ำหนักของวัตถุ (r)}} = \frac{1.43}{0.7} = 2.04$$

ซึ่งหมายความว่า คานอันดับ 2 มีประสิทธิภาพในการผ่อนแรงให้กับผู้ใช้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.04 เท่า หรือผู้ใช้ออกแรงน้อยลง 2.04 เท่า

ดังนั้นค่าการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องมือ (MA_{tool}) คำนวณได้จากผลรวมของค่าได้เปรียบเชิงกลของล้อและเพลลา ลิ่ม และคานหารด้วย 3 แสดงจากสูตร

$$MA_{tool} = \frac{MA_{pulley} + MA_{wedge} + MA_{lever}}{3} = \frac{2.8 + 2.5 + 2.04}{3} = 2.44$$

ซึ่งหมายความว่าเครื่องมือมีประสิทธิภาพในการผ่อนแรงให้กับผู้ใช้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.44 เท่า หรือผู้ใช้ออกแรงน้อยลง 2.44 เท่า สรุปได้ว่าเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินที่ออกแบบโดยใช้หลักการเครื่องกลสามัญ 3 หลักการ คือ ล้อและเพลลา ลิ่ม และคาน มีประสิทธิภาพในการผ่อนแรงให้ผู้ใช้มีค่า

เท่ากับ 2.44 ทั้งนี้จะนำไปใช้ในการคำนวณค่าการได้เปรียบเชิงกลรวมกับค่าได้เปรียบเชิงกลของผู้ใช้ขณะผลัก ($MA_{body-push}$) และค่าได้เปรียบเชิงกลของผู้ใช้ขณะดึง ($MA_{body-pull}$) ต่อไป

2) ค่าการได้เปรียบเชิงกลของผู้ใช้ขณะผลัก ($MA_{body-push}$) หมายถึง ค่าการได้เปรียบเชิงกลของข้อมือ (MA_α) ข้อศอก (MA_β) และหัวไหล่ (MA_γ) ที่เป็นจุดหมุนทั้งด้านขวาและซ้าย พิจารณาส่วนต่างๆ ของร่างกายเป็นวัสดุแข็งเกร็งโดยนำหลักการสมดุลกลและสมดุลของความสามารถของการหมุน (โมเมนต์) มาใช้ในการคำนวณค่าการได้เปรียบเชิงกลที่เกิดจากแรงกระทำและแรงต้าน รายละเอียดดังนี้

ค่าการได้เปรียบเชิงกลของข้อมือขวามีค่าเท่ากับ 17.42 คำนวณได้จากสูตร

$$(MA_\alpha)_R = \frac{AL \times \cos\theta_2}{SL_1 \times \cos\theta_1} = \frac{0.28 \times 0.438}{0.07 \times 0.276} = 0.58$$

ค่าการได้เปรียบเชิงกลของข้อศอกขวามีค่าเท่ากับ 0.04 คำนวณได้จากสูตร

$$(MA_\beta)_R = \frac{UA \times \cos\theta_3}{AL \times \cos\theta_2} = \frac{0.3 \times 0.017}{0.28 \times 0.438} = 0.04$$

ค่าได้เปรียบเชิงกลของข้อมือซ้ายมีค่าเท่ากับ 39.33 คำนวณได้จากสูตร

$$(MA_\alpha)_L = \frac{AL \times \cos\theta_2}{SL_1 \times \cos\theta_1} = \frac{0.28 \times 0.423}{0.07 \times 0.208} = 8.42$$

ค่าการได้เปรียบเชิงกลของข้อศอกซ้ายมีค่าเท่ากับ 2.32 คำนวณได้จากสูตร

$$(MA_\beta)_L = \frac{UA \times \cos\theta_3}{AL \times \cos\theta_2} = \frac{0.3 \times 0.914}{0.28 \times 0.423} = 2.32$$

ค่าได้เปรียบเชิงกลของหัวไหล่มีค่าเท่ากับ 2.33 คำนวณได้จากสูตร

$$MA_\gamma = \frac{2 \times (T \times \cos\theta_4)}{(UA \times \cos\theta_3)_L + (UA \times \cos\theta_3)_R}$$

$$= \frac{2 \times (0.36 \times 0.906)}{(0.3 \times 0.914)_L + (0.3 \times 0.017)_R} = 2.33$$

ดังนั้นค่าการได้เปรียบเชิงกลของร่างกายผู้ใช้ขณะผลัก ($MA_{body-push}$) คำนวณได้จากผลรวมของค่าการได้เปรียบเชิงกลของข้อมือ (MA_α) ข้อศอก (MA_β)

และหัวไหล่ (MA_γ) ที่เป็นจุดหมุนทั้งด้านขวาและซ้ายหารด้วย 8 มีค่าเท่ากับ 2.58 คำนวณได้จากสูตร

$$MA_{body-push} = \frac{(MA_\alpha + MA_\beta)_L + (MA_\alpha + MA_\beta)_R + 4MA_\gamma}{8}$$

$$= \frac{(8.42 + 2.32)_L + (0.58 + 0.04)_R + 4(2.33)}{8} = 2.58$$

ซึ่งหมายความว่าแรงกระทำและแรงต้านที่เกิดขึ้นกับจุดหมุนทั้งด้านขวาและซ้ายของข้อมือ (MA_α) ข้อศอก (MA_β) และหัวไหล่ (MA_γ) ของผู้ใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินมีค่าการได้เปรียบเชิงกลของผู้ใช้ขณะผลัก ($MA_{body-push}$) เท่ากับ 2.58 ทั้งนี้จะนำไปใช้ในการคำนวณค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบขณะผลัก (MA_{T-push}) ต่อไป

3) ค่าการได้เปรียบเชิงกลของผู้ใช้ขณะดึง ($MA_{body-pull}$) หมายถึง ค่าการได้เปรียบเชิงกลของข้อมือ (MA_α) ข้อศอก (MA_β) และหัวไหล่ (MA_γ) ที่เป็นจุดหมุนทั้งด้านขวาและซ้าย พิจารณาส่วนต่างๆ ของร่างกายเป็นวัสดุแข็งเกร็งโดยนำหลักการสมดุลกลและสมดุลของความสามารถของการหมุน (โมเมนต์) มาใช้ในการคำนวณค่าการได้เปรียบเชิงกลที่เกิดจากแรงกระทำและแรงต้าน รายละเอียดดังนี้

ค่าการได้เปรียบเชิงกลของข้อมือขวามีค่าเท่ากับ 6.33 คำนวณได้จากสูตร

$$(MA_\alpha)_R = \frac{AL \times \cos\theta_2}{SL_1 \times \cos\theta_1} = \frac{0.28 \times 0.342}{0.07 \times 0.225} = 6.33$$

ค่าการได้เปรียบเชิงกลของข้อศอกขวามีค่าเท่ากับ 2.18 คำนวณได้จากสูตร

$$(MA_\beta)_R = \frac{UA \times \cos\theta_3}{AL \times \cos\theta_2} = \frac{0.3 \times 0.695}{0.28 \times 0.342} = 2.18$$

ค่าได้เปรียบเชิงกลของข้อมือซ้ายมีค่าเท่ากับ 3.48 คำนวณได้จากสูตร

$$(MA_\alpha)_L = \frac{AL \times \cos\theta_2}{SL_1 \times \cos\theta_1} = \frac{0.28 \times 0.438}{0.07 \times 0.5} = 3.48$$

ค่าการได้เปรียบเชิงกลของข้อศอกซ้ายมีค่าเท่ากับ 2.41 คำนวณได้จากสูตร

$$(MA_\beta)_L = \frac{UA \times \cos\theta_3}{AL \times \cos\theta_2} = \frac{0.3 \times 0.985}{0.28 \times 0.438} = 2.41$$

ค่าได้เปรียบเชิงกลของหัวไหล่มีค่าเท่ากับ
1.11 คำนวณได้จากสูตร

$$MA_Y = \frac{2 \times (T \times \cos\theta_4)}{(UA \times \cos\theta_3)_L + (UA \times \cos\theta_3)_R}$$

$$= \frac{2 \times (0.36 \times 0.777)}{(0.3 \times 0.985)_L + (0.3 \times 0.695)_R} = 1.11$$

ดังนั้นค่าการได้เปรียบเชิงกลของร่างกายผู้ใช้
ขณะดึง ($MA_{body-pull}$) คำนวณได้จากผลรวมของค่าการ
ได้เปรียบเชิงกลของข้อมือ (MA_α) ข้อศอก (MA_β)
และหัวไหล่ (MA_Y) ที่เป็นจุดหมุนทั้งด้านขวาและซ้าย
หารด้วย 8 มีค่าเท่ากับ 2.35 คำนวณได้จากสูตร

$$MA_{body-pull} = \frac{(MA_\alpha + MA_\beta)_L + (MA_\alpha + MA_\beta)_R + 4MA_Y}{8}$$

$$= \frac{(3.48 + 2.41)_L + (6.33 + 2.18)_R + 4(1.11)}{8} = 2.35$$

ซึ่งหมายความว่าแรงกระทำและแรงต้านที่
เกิดขึ้นกับจุดหมุนทั้งด้านขวาและซ้ายของข้อมือ
(MA_α) ข้อศอก (MA_β) และหัวไหล่ (MA_Y) ของ
ผู้ใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินมีค่า
การได้เปรียบเชิงกลของผู้ใช้ขณะดึง ($MA_{body-pull}$)
เท่ากับ 2.35 ทั้งนี้จะนำไปใช้ในการคำนวณค่าการ
ได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบขณะผลัก (MA_{T-pull}) ต่อไป

4) ค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบ (MA_T)
แบ่งเป็น ค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบขณะผลัก
(MA_{T-push}) และค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบขณะดึง
(MA_{T-pull}) คำนวณได้จากผลรวมของค่าการได้เปรียบ
เชิงกลของเครื่องมือ (MA_{tool}) รวมกับค่าการได้เปรียบ
เชิงกลของผู้ใช้ขณะผลัก ($MA_{body-push}$) หารด้วย 2 และ
ผลรวมของค่าการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องมือ
(MA_{tool}) รวมกับค่าการได้เปรียบเชิงกลของผู้ใช้ขณะดึง
($MA_{body-pull}$) หารด้วย 2 รายละเอียดดังนี้

ค่าการได้เปรียบเชิงกลของทั้งระบบขณะผลัก
(MA_{T-push}) ค่าเท่ากับ 2.51 คำนวณได้จากสูตร

$$MA_{T-push} = \frac{MA_{tool} + MA_{body-push}}{2}$$

$$= \frac{2.44 + 2.58}{2} = 2.51$$

ค่าการได้เปรียบเชิงกลของทั้งระบบขณะดึง
(MA_{T-pull}) ค่าเท่ากับ 2.39 คำนวณได้จากสูตร

$$MA_{T-pull} = \frac{MA_{tool} + MA_{body-pull}}{2}$$

$$= \frac{2.44 + 2.35}{2} = 2.39$$

ซึ่งหมายความว่า การออกแรงทั้งหมดของ
ผู้ใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน
ขณะผลักมีการผ่อนแรงให้กับผู้ใช้เพิ่มขึ้น 2.51 เท่า
หรือผู้ใช้ออกแรงน้อยลง 2.51 เท่า เมื่อเทียบกับการ
ออกแรงปกติ และการออกแรงทั้งหมดของผู้ใช้เครื่อง
ผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินขณะดึง มีการ
ผ่อนแรงให้กับผู้ใช้เพิ่มขึ้น 2.39 เท่า หรือผู้ใช้ออกแรง
น้อยลง 2.39 เท่า เมื่อเทียบกับการออกแรงปกติ

3.3 ค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำใน
ดิน (Soil infiltration) โดยการทดลองใช้เครื่องผ่อนแรง
ทางการเกษตรสำหรับพรวนดินในพื้นที่ที่เคยทำ
การเกษตร เก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการใช้เครื่อง
ผ่อนแรงทางการเกษตรเพื่อนำมาคำนวณอัตราการซึม
ผ่านของน้ำในดินด้วยสูตร

$$\text{ค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในดิน} = \frac{\text{ความลึกของดิน (cm)}}{\text{เวลา (sec)}}$$

ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการซึม
ผ่านของน้ำในดินเฉลี่ยก่อนใช้เครื่องผ่อนแรงทาง
การเกษตรสำหรับพรวนดินปริมาณน้ำที่ใช้เท่ากับ 67
มิลลิตร ที่ความลึกของดินเท่ากับ 8.8 เซนติเมตร
ใช้เวลาในการซึมของน้ำ 1,127 วินาที ค่าความสามารถ
ในการซึมผ่านของน้ำในดินเท่ากับ 0.47 เซนติเมตร/นาที่
หลังจากใช้เครื่องมือปริมาณน้ำที่ใช้เท่ากับ 68 มิลลิตร
ที่ความลึกของดินเท่ากับ 9.2 เซนติเมตร ใช้เวลาในการ
ซึมของน้ำ 640 วินาที ค่าความสามารถในการซึมผ่าน
ของน้ำในดินเท่ากับ 0.87 เซนติเมตร/นาที่ แสดงว่า
เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินทำให้ค่า
ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในดินเพิ่มขึ้นคิดเป็น
ร้อยละ 85

4. ผลการพัฒนาเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน โดยการปรับลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องผ่อนแรง โดยการพิจารณาให้มีค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบเพิ่มขึ้น ผลการศึกษาพบว่าล้อและเพลลาของเครื่องผ่อนแรงต้นแบบมีค่าการได้เปรียบเชิงกลเท่ากับ 2.8 ลิ้มมี

ค่าการได้เปรียบเชิงกลเท่ากับ 2.5 และคานมีค่าการได้เปรียบเชิงกลเท่ากับ 2.04 ทำให้ค่าการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องผ่อนแรงต้นแบบมีค่าเท่ากับ 2.44 จะทำให้ค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบขณะผลักมีค่าเท่ากับ 2.51 และค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบขณะดึงมีค่าเท่ากับ 2.39 แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางสรุปค่าการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องมือต้นแบบ

รายละเอียด		ขณะผลัก	ขณะดึง	
ค่าได้เปรียบเชิงกลของเครื่องมือ	ล้อและเพลลา	2.8		
	ลิ้ม	2.5		
	คาน	2.04		
ผลรวมของค่าได้เปรียบเชิงกลของเครื่องมือ		2.44		
ค่าได้เปรียบเชิงกลของร่างกาย	ด้านขวา	ข้อมือ	0.58	6.33
		ข้อศอก	0.04	2.18
	ด้านซ้าย	ข้อมือ	8.42	3.48
		ข้อศอก	2.32	2.41
	ลำตัว	2.33	1.11	
	ผลรวมของค่าได้เปรียบเชิงกลของร่างกาย		2.58	2.35
ผลรวมทั้งระบบ		2.51	2.39	

ดังนั้นในการพัฒนาเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน ซึ่งใช้หลักการเครื่องเชิงซ้อน ประกอบด้วย ล้อและเพลลา ลิ้ม และคาน ส่งผลต่ออริยาบถของผู้ใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินที่ใช้หลักการเครื่องกลเชิงซ้อนประเภทเดิม จึงทำให้ค่าการยศาสตร์ของผู้ใช้คงเป็นค่าเดิม และค่าการได้เปรียบเชิงกลเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการผ่อนแรงมากขึ้น ซึ่งจะนำมาสู่การออกแบบเครื่อง

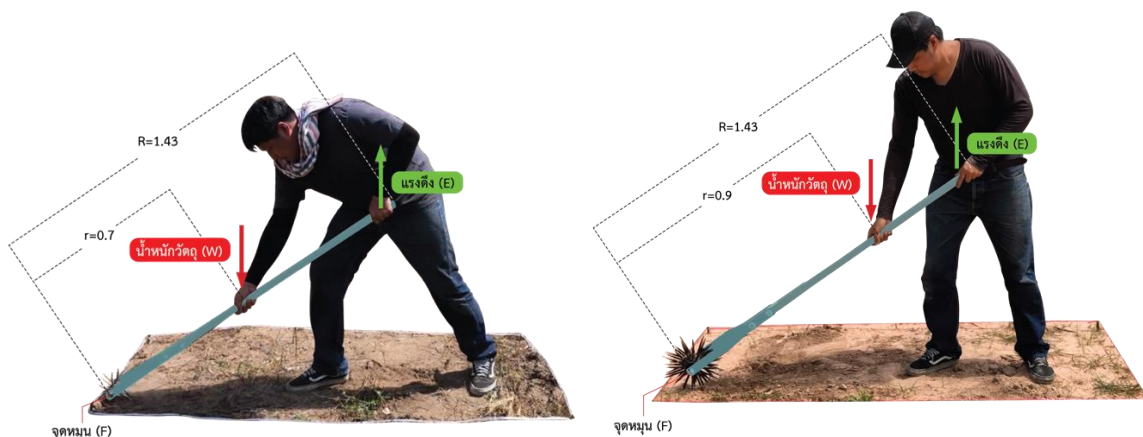
ผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินให้มีค่าการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องมือเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขนาดของล้อและเพลลา จากเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อจากเดิมมีค่าเท่ากับ 0.028 เมตร เป็น 0.05 เมตร ทำให้ค่าการได้เปรียบเชิงกลจากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 2.8 เพิ่มขึ้นเป็น 5 และความยาวลิ้มจากเดิมมีค่าเท่ากับ 0.02 เมตร เป็น 0.028 เมตร ทำให้ค่าการได้เปรียบเชิงกลจากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 2.5 เพิ่มขึ้นเป็น 3.5 และจำนวนลิ้มรอบล้อและเพลลาจากเดิมมี 6 แท่ง เป็น 16 แท่ง แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การพัฒนาเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน

รายละเอียด	เครื่องผ่อนแรงต้นแบบ	เครื่องผ่อนแรงที่พัฒนา
รูปภาพ		
เส้นผ่านศูนย์กลางล้อ	0.028 เมตร	0.05 เมตร
ความยาวลิ้ม	0.02 เมตร	0.028 เมตร
จำนวนลิ้ม	6 แท่ง	16 แท่ง
ค่าได้เปรียบเชิงกลของล้อและเพล	2.8	5
ค่าได้เปรียบเชิงกลของลิ้ม	2.5	3.5

จากตารางที่ 6 เมื่อนำเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินที่ได้รับการพัฒนาโดยเพิ่มขนาดของล้อและเพล ความยาวลิ้ม และจำนวนลิ้ม มาคำนวณค่าได้เปรียบเชิงกลพบว่า ค่าการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องมือจากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 2.44 เพิ่มขึ้นเป็น 3.33 ส่งผลต่ออิริยาบถของผู้ใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตร

สำหรับพรวนดินซึ่งเปลี่ยนแปลงจากการใช้เครื่องผ่อนแรงต้นแบบ กล่าวคือ ระยะของการจับด้ามเครื่องมือหรือคานอันดับ 2 มีค่าเปลี่ยนแปลงจากเครื่องผ่อนแรงต้นแบบ โดยมีการได้เปรียบเชิงกลของคานมีค่าเท่ากับ 2.04 เป็น 1.5 ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ภาพระยะของการกับเครื่องมือหรือคานอันดับ 2

- (1) ภาพซ้ายระยะของการจับด้ามเครื่องผ่อนแรงต้นแบบ
- (2) ภาพขวาระยะของการจับด้ามเครื่องผ่อนแรงที่ผ่านการพัฒนา

เมื่อนำมาคำนวณรวมกับค่าการได้เปรียบเชิงกลของร่างกาย พบว่าค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบขณะผลักจากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 2.51 เพิ่มขึ้นเป็น

2.39 และค่าได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบขณะดึงจากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 2.39 เพิ่มขึ้นเป็น 3.35 แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ตารางสรุปค่าการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องมือที่ผ่านการพัฒนา

รายละเอียด		ขณะผลัก	ขณะดึง	
ค่าได้เปรียบเชิงกลของเครื่องมือ	ล้อและเพลลา	5		
	ลิ่ม	3.5		
	คาน	1.5		
ผลรวมของค่าได้เปรียบเชิงกลของเครื่องมือ		3.33		
ค่าได้เปรียบเชิงกลของร่างกาย	ด้านขวา	ข้อมือ	3	9.95
		ข้อศอก	0.07	0.48
	ด้านซ้าย	ข้อมือ	4.87	12.5
		ข้อศอก	0.81	2.97
	ลำตัว		1.32	0.27
ผลรวมของค่าได้เปรียบเชิงกลของร่างกาย		1.75	3.37	
ผลรวมทั้งระบบ		2.54	3.35	

จากตารางที่ 7 สรุปได้ว่า แนวทางการพัฒนา เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินโดยการ พิจารณาจากค่าการได้เปรียบเชิงกลของเครื่องมือ โดยการเพิ่มขนาดของล้อและเพลลา ความยาวลิ่ม และ จำนวนลิ่มทำให้ค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบขณะ ผลัก และขณะดึงเพิ่มขึ้น กล่าวคือ เกิดการผ่อนแรงของ เกษตรกรในการใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับ พรวนดินมากขึ้นได้ หรือเกษตรกรออกแรงน้อยลงขณะ ใช้เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน

อภิปรายผลและสรุป

ประเด็นการคัดเลือกเครื่องผ่อนแรงทาง การเกษตรสำหรับพรวนดินที่มีต้นกำลังมาจากแรงคน จากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ให้ข้อมูลสำคัญ พบว่า จอบ เป็นเครื่องมือพื้นฐานที่จำเป็นต้องมีติดบ้าน เพื่อใช้ สำหรับการทำการเกษตร ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถ ใช้ได้หลากหลายลักษณะงาน เช่น ขุด ถากหญ้า ตีดิน ทบดินให้แน่น เป็นต้น มีการใช้จอบในขั้นตอนการดูแล รักษา โดยเฉพาะการถากวัชพืช และการพรวนดิน เนื่องจากจอบเป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปใช้ในแปลง ปลูกพืชได้อย่างสะดวก ดูแลรักษา ซ่อมบำรุงได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับฐานข้อมูลเครื่องทุ่นแรงในงาน

เกษตรกรรมท้องถิ่นของ Meerit et al. [15] กล่าวไว้ว่ามี การใช้จอบในการทำงานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากใช้ งานง่าย และใช้งานได้หลายประเภท เช่น ขุด ดาย ถาก สับหรือฟัน ฝัง ทบหรือเคาะ ทำให้จอบจึงเป็นเครื่องมือ สารพัดประโยชน์ในงานเกษตร [16] หรือใช้ในการ เตรียมดินในแปลงเกษตรที่มีขนาดไม่ใหญ่ อีกทั้งจอบ ยังมีราคาถูกและสามารถหาซื้อได้ง่ายเมื่อเกิดการชำรุด เสียหาย ผู้ใช้สามารถซ่อมแซมได้ด้วยตัวเอง แม้ว่าจอบ เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการทำการเกษตร จากการ สัมภาษณ์ยังมีประเด็นปัญหาที่พบกับเครื่องมือ คือ ออกแรงเยอะ ใช้เวลานานในการทำงาน และขนาน ไม่เหมาะสมกับพื้นที่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การออกแรงเยอะ เนื่องจากน้ำหนักของไบ จอบมีน้ำหนัก 2 ปอนด์ 3 ปอนด์ และ 3.5 ปอนด์ ยังไม่ รวมกับน้ำหนักของด้ามจับซึ่งมีความต่างกันขึ้นอยู่กับ วัสดุที่หาได้ตามท้องถิ่น และการใช้งานของผู้ใช้ ดังนั้น เมื่อใช้งานจอบเป็นเวลานานทำให้เกิดอาการล้าของ กล้ามเนื้อ โดยเฉพาะผู้สูงอายุที่เป็นเกษตรกร สอดคล้อง กับผลการศึกษาของอดิรัฐ มากสุวรรณ [2] เรื่องการจับ จอบอย่างไรจึงจะทำให้ออกแรงน้อยที่สุดที่พบว่า เกษตรกรทำงานด้วยท่าทาง หรืออิริยาบถที่ผิด ธรรมชาติ ได้แก่ การบิดโค้งงอของข้อมือ งอแขน การงอ

ศอก การจับ งานที่ต้องก้มศีรษะ ก้มหลัง บิดเอี้ยวตัว เป็นต้น ท่าทาง หรืออิริยาบถที่ผิดธรรมชาติเหล่านี้ เป็นปัจจัยคุกคามสุขภาพจากการทำงานที่ส่งผลต่อการเกิดอาการผิดปกติของโครงร่าง และกล้ามเนื้อของเกษตรกร ส่งผลให้ส่วนใหญ่มีอาการปวดหลัง ปวดกล้ามเนื้อ เป็นต้น เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Meerit et al. [15] ที่กล่าวถึงปัญหาที่เกิดจากการใช้งานจอบ คือ เกิดความเมื่อยล้าขณะทำงาน เนื่องจากต้องออกแรงในการใช้งานค่อนข้างมาก โดยเฉพาะจอบขุดซึ่งต้องใช้แรงมากกว่าดา

2) การใช้เวลานาน กล่าวคือ การใช้จอบในการพรวนดิน จำเป็นต้องไถดินจากพื้นที่รอบ ๆ พืชไปยังโคนของต้นพืช ด้วยความกว้าง และความยาวของใบจอบมีอย่างจำกัด ทำให้ดินที่ถูกไถไปสู่โคนต้นพืชมีปริมาณน้อยต่อการไถ 1 ครั้ง สอดคล้องกับ [16] ที่กล่าวถึงการใช้งานจอบไว้ว่า แม้ว่าจอบจะสามารถใช้งานได้หลากหลาย แต่งานหลายอย่างที่ใช้จอบนั้นก็ทำให้ใช้เวลาค่อนข้างมากเช่นกัน

3) เครื่องมือไม่เหมาะกับพืชที่ปลูก ได้แก่ การถากวัชพืชนั้นจำเป็นต้องใช้ความระมัดระวังเป็นอย่างมาก โดยไม่ให้จอบทำความเสียหายต่อโคนต้น ส่งผลทำให้ผลผลิตเสียหายได้ เนื่องพืชแต่ละชนิดมีระยะปลูกที่ต่างกัน ในขณะที่ใบจอบมีขนาดกว้างกว่าระยะปลูกพืชชนิดนั้นๆ จึงทำให้เกษตรกรต้องใช้มือในการถอนวัชพืชแทนการใช้จอบ สอดคล้องกับ [16] การใช้มือถอน หรือเก็บเกี่ยวผลผลิตมีความสะดวกและรวดเร็วกว่าการใช้จอบ เนื่องจากการใช้จอบเป็นงานที่ต้องใช้แรงมาก ทำให้พืชจำนวนหนึ่งขาดตกค้างอยู่ในดิน และพืชได้รับการกระทบกระเทือนจากแรงทุบของจอบ แต่การใช้จอบในการพรวนดินพูนโคน เพื่อเป็นการนำดินมากลบข้อลำต้นของพืชที่อยู่เหนือดิน

ประเด็นการออกแบบและสร้างเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินต้นแบบ ซึ่งต้องพิจารณาหลักในการออกแบบโดยคำนึงถึงเกษตรกรผู้ใช้เครื่องมือดังกล่าว ตามหลักของ Sangnual et al. [17] และ Meerit et al. [15] กล่าวไว้ว่าเครื่องผ่อนแรงในงานเกษตรกรรมต้องมีลักษณะเด่น คือ เป็นอุปกรณ์ที่มีหลักการทำงานไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการใช้งาน สร้างขึ้นจากภูมิปัญญาชาวบ้าน วัสดุที่ใช้หาได้ง่ายตามท้องถิ่น ไม่ต้องดูแลรักษามาก โดยรูปแบบและขนาดจะแตกต่างกันไปตาม

ทักษะและความต้องการของผู้สร้าง โดยมีการพิจารณาโดยใช้หลักการเครื่องกลเชิงซ้อน ซึ่งในการออกแบบเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินมีแนวทางการใช้งานมาจากจอบที่ทำหน้าในการพรวนดิน ในการออกแบบจึงนำหลักการของลิ้มที่ทำหน้าที่ในการแทรกกลลงในเนื้อดินเพื่อให้ดินเกิดการแยกตัว โดยลิ้มทำหน้าที่เป็นคานอันดับ 1 ขณะเดียวกันผิวดินเป็นจุดหมุนเมื่อออกแรงกระทำต่อด้ามของลิ้มที่อยู่เหนือเนื้อดินในทิศทางใดทิศทางหนึ่งจะเกิดการงัดที่ทำให้เนื้อดินที่ถูกแทรกได้ผิวดินถูกงัดขึ้นมาเหนือผิวดิน

ทั้งนี้เมื่อลิ้มนำมาติดรอบล้อเพื่อให้ลิ้มแทงลงในเนื้อดินและเกิดการงัดดินอย่างต่อเนื่อง ลิ้มที่แทรกกลลงในเนื้อดินถูกหมุนด้วยความเร็วของล้อในทิศทางตรงกันข้ามทำให้ลิ้มงัดเนื้อดินจากพื้นขึ้นมาบนผิวดิน ซึ่งเป็นลักษณะการขุดทำซ้ำอย่างต่อเนื่องจนทำให้ก่อนดินมีขนาดเล็กกลง หรือการย่อยดินเช่นเดียวกับการพรวนดิน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของตระกูล และฤทธิ์ชัย [10] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องพรวนดินซึ่งออกแบบโดยใช้ระบบคั่นโยก (Broadfork) สำหรับพรวนดินและกำจัดวัชพืช ซึ่งใช้หลักการโมเมนต์ของคานอันดับหนึ่งกล่าวคือปลายแหลมที่มีลักษณะเหมือนคราดจะถูกกดลงบนผิวดินซึ่งอาศัยแรงกดในแนวตั้งจาก หลังจากนั้นปลายแหลมที่จมลงไปบนดินจะทำหน้าที่เป็นจุดหมุนเมื่อก้าวถอยหลังในขณะเดียวกับออกแรงกดที่ด้ามจับ ซึ่งทำหน้าที่เป็นคานงัดไปด้านหลังจะทำให้เกิดแรงผลักที่ปลายเหล็กแหลม แรงผลักดังกล่าวจะทำให้เนื้อดินเคลื่อนที่ขึ้นมาบนบริเวณผิวดิน และพบว่าสามารถผ่อนแรงในการทำงานได้เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความสามารถในการใช้แรงงานคนและลดเวลาการทำงานได้ ในขณะเดียวกันการนำหลักการของล้อและเพลามาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินโดยคำนึงถึงตำแหน่งของล้อที่ติดอยู่ที่ปลายของเครื่องมือเพื่อให้การเคลื่อนในแนวราบ ออกแรงโดยการผลักและดึงให้มีลักษณะการออกแรงเหมือนรถเข็นซึ่งส่งผลต่อความสมดุลของเครื่องมือ [16]

ประเด็นการพัฒนาเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดิน โดยพิจารณาจากค่าการได้เปรียบเชิงกลที่คำนวณจากหลักการเครื่องเชิงซ้อนประกอบด้วย ล้อและเพลาลิ้ม และคาน ทั้งนี้ในการ

พัฒนาผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโดยการเพิ่มขนาดของล้อและเพลลา จากเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อจากเดิมมีค่าเท่ากับ 0.028 เมตร เป็น 0.05 เมตร ทำให้มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเพื่อลดการออกแรงกด และเป็นการเพิ่มความสมดุลของเครื่องมือเนื่องจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอยู่ตำแหน่งเดียวกับจุดหมุนที่อยู่ปลายของคานอันดับ 2 สอดคล้องกับผลการศึกษาของ กิตติ และคณะ [16] ได้ออกแบบเครื่องมือพรวนดินพูนโคนโดยใช้หลักการของล้อและเพลลาร่วมกับ คำนึงถึงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลขับเคลื่อนโดยการออกแรงผลักไปข้างหน้าซึ่งมีฐานล้อที่กว้างและเพิ่มน้ำหนักถ่วงที่เพลลาและล้อร่วมกับปรับตำแหน่งของการถ่วงน้ำหนักให้ต่างจากเดิมเพื่อให้จุดศูนย์กลางถ่วงต่ำลงเป็นการเพิ่มความสมดุลของเครื่องมือยิ่งขึ้น มีการพัฒนาลิ้มที่ทำหน้าที่ในการแทรกกลในเนื้อดินจากเดิมมีค่าเท่ากับ 0.02 เมตร เป็น 0.028 เมตร โดยพิจารณาจากหลักการของลิ้ม เมื่อความยาวของลิ้ม (H) มีค่ามากกว่าความกว้างของฐาน (L) เท่าใดก็จะส่งผลต่อการผ่อนแรงให้กับผู้ใช้มากขึ้น [2] และ [18] หลังจากได้ทำการพัฒนาแล้วประกอบเครื่องผ่อนแรงทางเกษตรสำหรับพรวนดินที่มีขนาดเล็ก ความยาวลิ้ม และจำนวนลิ้มรอบล้อเพิ่มขึ้น แต่ความยาวของคานเท่าเดิม ผู้วิจัยได้ทำการทดลองใช้เครื่องมือพบว่าอิริยาบถของร่างกายผู้ใช้เครื่องมือมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมคือ ระยะของการจับด้ามจับซึ่งจากเดิมมีมือด้านหน้าอยู่ตำแหน่งกลางด้ามจับ (คาน) เลื่อนมาใกล้ลำตัวมากขึ้นส่งผลให้ค่าการได้เปรียบเชิงกลของคานจากเดิมมีค่า 2.04 เป็น 1.5 ซึ่งทำให้การผ่อนแรงของคานน้อยลง แต่เมื่อคำนวณร่วมกับค่าการได้เปรียบเชิงกลของล้อและเพลลา และลิ้มนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 2.44 เป็น 3.33 โดยสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อล้อที่เป็นจุดหมุนของเครื่องมือมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นทำให้ผู้ใช้สามารถลดแรงกดของมือด้านหน้า (ตำแหน่งกึ่งกลางของเครื่องมือหรือน้ำหนักของวัตถุ : W) เลื่อนมาอยู่ใกล้ลำตัวเพิ่มขึ้นทำให้การกัมขนะผลัก และขณะดึงของลำตัวน้อยลงกล่าวคืออิริยาบถของร่างกายปรับเปลี่ยนไปตามการลักษณะการใช้เครื่องมือเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวได้อย่างเป็นธรรมชาติมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ อติรัฐ [2] พบว่า ผลการปฏิบัติของเกษตรกรกับผลการคำนวณตำแหน่งของการจับจอบ (หลักการของคาน) ที่

จะทำให้ออกแรงน้อยที่สุด ไม่ตรงกับการคาดการณ์ทางทฤษฎี เนื่องจากเมื่อเกษตรกรจับตำแหน่งของการจับที่จะทำให้การใช้จอบออกแรงน้อยที่สุดแล้วนั้น ทำให้ท่าทางการทำงานของเกษตรกรนั้นไม่สะดวกกับการใช้งาน (จับไม่ถนัดมือ) จึงทำให้เกษตรกรทำงานงานด้วยท่าทาง หรืออิริยาบถที่ผิดธรรมชาติ ได้แก่ การบิดงอของข้อมือ งอแขน งอข้อศอก การจับ การก้มเงยศีรษะ ก้มหลัง บิดเอี้ยวลำตัว เป็นต้น ซึ่งเป็นปัจจัยคุกคามสุขภาพจากการทำงานที่ทำให้เกิดอาการผิดปกติของร่างกาย และกล้ามเนื้อ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานเช่นกัน

จากการเลื่อนตำแหน่งการจับด้ามจับของมือด้านหน้าส่งผลต่ออิริยาบถในการก้มของลำตัวขณะผลักลดลงจากเดิมมีค่า 65 องศา เป็น 17 องศา และขณะดึงจากเดิมมีค่า 51 องศา เป็น 9 องศาจากแนวตั้งฉาก เมื่อการก้มตัวมีค่าลดลงทำให้สามารถลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของหลังได้ เมื่อนำหลักการประเมินการทำงานเพื่อวิเคราะห์งานทางการยศาสตร์เบื้องต้นด้วยตัวเองโดยใช้ RULA (Rapid Upper Limb Assessment) พบว่าการก้มของลำตัวขณะผลักเอนไปด้านหน้า มากกว่า 60 องศา พิจารณาคะแนนเท่ากับ +4 และขณะดึงเอนไปด้านหน้า 51 องศา พิจารณาคะแนนเท่ากับ +3 เมื่อคะแนนเต็มไม่เกิน 6 พบว่าการก้มของลำตัวมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดอาการบาดเจ็บที่หลัง ซึ่งต้องทำการปรับอิริยาบถของการทำงานทันที ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของวีรชัยและคณะ [19] เกี่ยวกับการศึกษาทางกายศาสตร์เบื้องต้นเพื่อประเมินความเสี่ยงจากการทำงานในการเก็บน้ำยางจากสวนของเกษตรกรชาวสวนยางพาราด้วยวิธีการ พบว่าการพิจารณาด้วย RULA ที่มีคะแนนสูงหมายถึงการทำงานมีความเสี่ยงสูง ซึ่งจำเป็นต้องทำการตรวจสอบและปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงานเพื่อช่วยแก้ปัญหาเรื่องสุขภาวะอนามัยในการทำงานของเกษตรกร แม้การก้มตัวที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการได้เปรียบเชิงกลที่เกิดจากแรงกระทำและแรงต้าน อันเนื่องมาจากมุมระหว่างเอวกับแกนกลางของลำตัวหรือการก้ม และน้ำหนักของลำตัวส่วนบน ประกอบด้วย น้ำหนักของมือ แขนส่วนล่าง แขนส่วนบน และลำตัว มีค่าการได้เปรียบเชิงกลขณะผลักลดลงมีค่าจากเดิม 2.33 เป็น 1.11 และขณะดึงมีค่าจากเดิม 1.32 เป็น 0.27 หรือเกิดการผ่อนแรงให้กับผู้ใช้ลดลง

แต่ก็สามารถลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของหลังได้ เมื่อพิจารณาค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบ พบว่าค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบขณะผลึกเพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีค่า 2.51 เป็น 2.54 และค่าการได้เปรียบเชิงกลทั้งระบบขณะดึงเพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีค่า 2.39 เป็น 3.35 จึงสรุปได้ว่า เครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินที่ผ่านการพัฒนามีประสิทธิภาพทำให้ผู้ใช้เกิดการผ่อนแรงเพิ่มขึ้น รวมทั้งส่งผลต่อการลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ และเกิดการเคลื่อนไหวได้อย่างเป็นธรรมชาติมากขึ้น

ประเด็นด้านการปรับโครงสร้างทางกายภาพของดินพบว่าเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินหลังจากพัฒนาแล้วทำให้ค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในดิน (Soil infiltration) เพิ่มขึ้น หรือกล่าวได้อีกอย่างว่าดินมีสัดส่วนที่เป็นน้ำเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าดินมีค่าความหนาแน่นรวม (bulk density : BD) และจุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point: PWP) ที่ต่ำลง ส่งผลให้ ดินมีความพรุน และความจุความชื้นสนาม (field capacity: FC) สูงขึ้น จึงทำให้ค่าความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (available water capacity: AWC) ของดินเพิ่มขึ้นด้วย สอดคล้องกับผลการศึกษาขององลงกรณ์ และคณะ [20] พบว่า สัดส่วนที่เป็นน้ำในดินมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับ AWC นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ร่วมกับสัดส่วนที่เป็นอากาศ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอนุภาคดินเหนียว และปริมาณรากพืช อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p < 0.01$)

ข้อเสนอแนะ

การประยุกต์หลักการการยศาสตร์เพื่อออกแบบเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินในครั้งนี้ พบว่าเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินมีประสิทธิภาพสามารถผ่อนแรงให้กับผู้ใช้เครื่องมือได้ ในขณะที่เดียวกันก็สามารถลดความเสี่ยงจากการอาการบาดเจ็บของผู้ใช้เช่นกัน อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งต่อไปควรทำการทดสอบเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินที่พัฒนาแล้วกับกลุ่มเกษตรกรที่มีความแตกต่างทั้งเพศ อายุ และสัดส่วนของร่างกาย เพื่อนำมาคำนวณค่าการยศาสตร์ของเกษตรกรผู้ใช้จริงทั้งผู้หญิง และผู้ชาย เพื่อนำมาสู่

การพัฒนาเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ของการทำเกษตร และพิจารณาประสิทธิภาพของเครื่องผ่อนแรงทางการเกษตรสำหรับพรวนดินด้วยขนาดของก้อนดิน ความหนาแน่นดินรวม และความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในดินก่อนและหลังพรวน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Charee S, Santimitra V, Kongkaew S. Development of energy-saving tool in integrated cropproduction in line with the context of area and community. Faculty of agricultural technology and agro-industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. 2019.
- [2] Maksuwan A. Principles and Mechanical Advantage Values of Simple Machine and Complex Machine for Agricultural Hand tools. Journal of vocational institute of agriculture, 2020; 4(1): 1-19.
- [3] Chanprasit C, Kaewthummanukul T. Occupational Health Hazards, Work-Related Illness and Injury, Work Behaviors Among Informal Workforce: Case Study in Baby Corn Planting Farmer Group. The public health journal of burapha university, 2010; 5(12): 41-50.
- [4] Luangwilai T, Norkaew S, Siriwong W. Factors Associated with Musculoskeletal Disorders among Rice Farmers: Cross Sectional Study in Tamlalord Sub-District, Phimai District, Nakhonratchasima Province, Thailand. Journal of Health Research 2014; 28: S85-S91.
- [5] Altaf Hossain Sarker, Mohammad Shariful Islam, Md Monoarul Haque, Tarafder Nahid Parveen. Prevalence of Musculoskeletal Disorders among Farmers. Orthopedics & Rheumatology 2016; 4(1).

- [6] S. Y. Vasave, D. B. Anap. Prevalance of musculoskeletal disorders among sugarcane workers – A cross sectional study. *Basic and Applied Medical Research*, 2016; 5(2): 756-62.
- [7] Yee Guan NG, Shamsul Bahri Mohd TAMRIN, Wai Mun YIK, Irwan Syah Mohd YUSOFF, Ippei MORI. The Prevalence of Musculoskeletal Disorder and Association with Productivity Loss: A Preliminary Study among Labour Intensive Manual Harvesting Activities in Oil Palm Plantation. *Industrial Health*, 2013; 52(1): 78–85.
- [8] Kayla Stankevitz, Ashley Schoenfisch, Vijitha de Silva, Hemajith Tharindra, Marissa Stroo, Truls Ostbye. Prevalence and risk factors of musculoskeletal disorders among Sri Lankan rubber tappers. *Occupational and Environmental Health* 2016; 22(2): 91-8.
- [9] Joomjee R, Bureelard O, Songserm N, Theppitak C. Prevalence of musculoskeletal symptoms among the para-rubber farmers. Thailand National Ergonomics Conference 2016. Retrieved 12-1-2017 from http://www.est.or.th/ErgoCon2016_Proceedings/docs/F08.pdf.
- [10] Rattanawongcharoen T, and Phumkumarn R. Invention of broadforkfor organic farming (research report). Bangkok: Department of Agricultural Engineering Faculty of Engineering (Kamphaeng Saen) Kamphaeng Saen Campus Kasetsart University 2015.
- [11] Dongkeaw N, Choontu N, Surin P. Design and instruction ergonomics chair by classroom lectures. *Kasem bundit engineering* 2016; 6(2): 72-86.
- [12] Wongkom W, Lertwisuttiipaiboon S, Soontornchai S. Ergonomics risk management for sewing machine assembly work. *Journal of health and health management* 2015; 2(3): 7-17.
- [13] Jitman S, Chaibankud T, Jamsai P, Ariyajunya B, Sukhasem R, Chantrasa R. Development of bamboo tube sawing machine by ergonomics and quality function deployment. *Engineering Journal Chiang Mai University* 2021; 28(2): 100-115.
- [14] Sriburapha S. Study and design of a prototype multipurpose lecturer based on ergonomic principles. *CRMA journal* 2013; 11(11): 37-43.
- [15] Meerit C, Phunlawong T, Lohanet W, Yarid S. Development of local-wisdom agricultural tools database. Naresuan University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering 2002.
- [16] Wongpichet K, Wongpichet S, Thani S, Raoprasert K, Choprakarn K., Palasan S. Set of basic equipment for peanut seed production. *Thai Agricultural Research Journal* 2003; 21: 115-135.
- [17] Sangnual K., Kuasakul K, Pirojrutchata S, Saengprom A, Punsungwon A, Suwunnarit J, Kaikaew K. Local agricultural tools database development. (Thesis). Naresuan University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering 2001.
- [18] Maksuwan A, Changjan A. Principle of mechanical for agricultural. Rangsit Unicersty printery 2019.
- [19] Madtharak W, Tuktian P. Namsai A. The study of basic ergonomics to risk assessment from work trend for keeping fresh field natural rubber latex from the garden of the agriculturist of para rubber. Graduate Research Conference, Khon Kaen University 2011.
- [20] Wongmun A, Chuenchooklin S, Choosumrong S. Boonyanuphap J. Assessment of soil water content in Landslide-Damaged upstream ecosystems using soil and water assessment tool (SWAT) model. *Thai Journal of Forestry* 2019; 38(1): 96-111.