



อิทธิพลของขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยวต่อความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวเมื่อเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์อัญสิริน

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 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 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 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 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

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยวที่มีต่อความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวเมื่อเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์อัญสิริน โดยสุ่มตรวจวัดความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวในเขตจังหวัดขอนแก่นและมหาสารคามในช่วงฤดูการนาปีระหว่างเดือนตุลาคมถึงธันวาคม 2564 จำนวน 24 เครื่อง แบ่งเป็นเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยและเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศจำนวน 15 และ 9 เครื่อง ผลการศึกษา พบว่าขนาดของพื้นที่เก็บเกี่ยวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงบวกกับความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีและความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดไทย แต่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงลบกับความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีและความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดต่างประเทศ นอกจากนี้ ขนาดของพื้นที่เก็บเกี่ยวยังมีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงลบกับประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ของทั้งเครื่องเกี่ยวนวดไทยและเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศ โดยเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยและเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศมีประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ใกล้เคียงกัน 27.90 และ 26.86% ตามลำดับ สำหรับแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่นั้น ทำได้โดยการปรับปรุงร่างของพื้นที่เก็บเกี่ยวให้เป็นที่เหลื่อม 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 มงคลธนธรศ, 2552; Bector and Singh, 1999) ในปัจจุบันใช้รูปแบบการว่าจ้างเก็บเกี่ยวโดยเหมาจ่ายต่อหน่วยพื้นที่ กล่าวคือ หากผู้ประกอบการรับจ้างสามารถทำการเก็บเกี่ยวได้จำนวนพื้นที่ต่อวันมาก จะส่งผลทำให้ได้รับรายได้จากการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ผู้ประกอบการรับจ้างส่วนใหญ่มักมีเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทย และเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศหลายประเภทเพื่อเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่เก็บเกี่ยวของเกษตรกร แต่ในปัจจุบันพบว่าผู้ประกอบการรับจ้างและเกษตรกรยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับการเลือกใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่เก็บ

เกี่ยวของตน ส่งผลทำให้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวไม่สามารถทำการเก็บเกี่ยวได้เต็ม ความสามารถในการทำงานจริงและประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ต่ำ อีกทั้งส่งผลทำให้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวใช้เวลาในการเก็บเกี่ยวนานกว่าที่ควรจะเป็น ผลที่ตามมาคือการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง รายได้ที่ควรจะได้รับของผู้ประกอบการลดลง และการเก็บเกี่ยวไม่ทันต่อระยะเวลาที่เหมาะสมของข้าว ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า ได้มีการศึกษาอิทธิพลของขนาดพื้นที่มีต่อความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องจักรกลเกษตรประเภทต่างๆ ได้แก่ เครื่องดำนา (Saiful et al., 2017) รถแทรกเตอร์ (ประภากรณ แสงวิจิตร และศุภสิทธิ์ สิทธาพานิช, 2558ก) เครื่องเกี่ยวข้าวโพด (Amiama et al., 2008) นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาอิทธิพลของขนาดแปลงนาที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวที่มีขนาดหน้ากว้าง 1.90 m เมื่อทำการเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (ประภากรณ แสงวิจิตร และศุภสิทธิ์ สิทธาพานิช, 2558ข) ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาเป็นการศึกษาโดยเลือกใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวเพียงหนึ่งเครื่องในการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ในพื้นที่ทดสอบที่ได้มีการจัดเตรียมไว้แล้ว แต่การศึกษาที่ทำการสุ่มเก็บข้อมูลความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวในขณะที่กำลังทำการเก็บเกี่ยวในพื้นที่เก็บเกี่ยวของเกษตรกรที่ทำการเพาะปลูกยังมีอยู่ค่อนข้างน้อย

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยวที่มีต่อความสามารถในการทำงานและประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดเมื่อทำการเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 โดยองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษานี้จะสามารถใช้เป็นแนวทางบริหารจัดการเครื่องเกี่ยวนวดข้าวให้มีประสิทธิภาพเชิงพื้นที่และเชิงพลังงานเพิ่มมากขึ้น และลดทุนให้แก่เกษตรกรและผู้ประกอบการรับจ้างต่อไป

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 พื้นที่ที่ทำการศึกษา

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

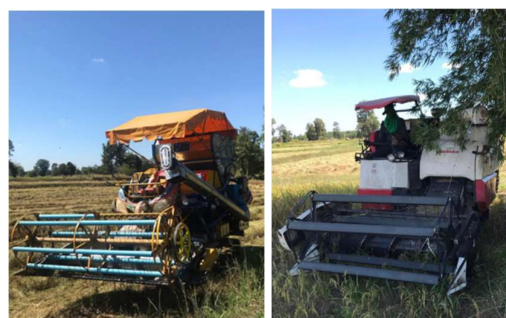


Figure 1 Thai combine harvesters (a) and foreign combine harvesters (b) were randomly assessed for their field performances.



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 m^2 (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 m^2 (1.10 ถึง 4.00 ไร่) 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) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากเมื่อเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยทำการเก็บเกี่ยวในพื้นที่เก็บเกี่ยวที่มีขนาดใหญ่ เครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยสามารถใช้หน้ากว้างในการเก็บเกี่ยวและความเร็วในการเก็บเกี่ยวได้สูงสุดเท่าที่เครื่องจะทำได้ เมื่อเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยสามารถใช้หน้ากว้างในการเก็บเกี่ยวสูงสุด ส่งผลทำให้เครื่องสามารถทำการเก็บเกี่ยวได้พื้นที่จำนวนมากขึ้นและส่งผลทำให้ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยเพิ่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Ebrahimi Nik et al., 2009)

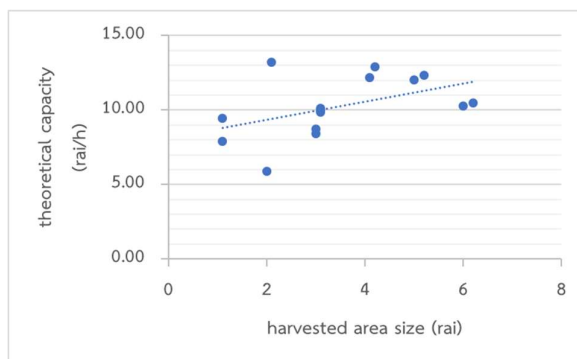


Figure 4 Relationship between size of harvested area and theoretical capacity of Thai combine harvesters

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 ส่งผลทำให้จำนวนครั้งและเวลาที่สูญเสียเนื่องจากการในการถ่ายเมล็ดออกจากเครื่องลดลง (Doungpueng et al., 2019) จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้นจะเห็นว่าขนาดของพื้นที่ที่เก็บเกี่ยวมีผลต่อความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยค่อนข้างมาก เพราะเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยสามารถใช้หน้ากว้างหัวเกี่ยวและความเร็วที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวได้สูงสุด โดยไม่จำเป็นต้องเลี้ยวโค้งบริเวณหัวแปลงบ่อยครั้ง ทำให้เวลาที่สูญเสียเนื่องจากการเลี้ยวโค้งบริเวณหัวแปลงและเวลาที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวทั้งหมดลดลง ส่งผลทำให้ความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่เพิ่มขึ้น

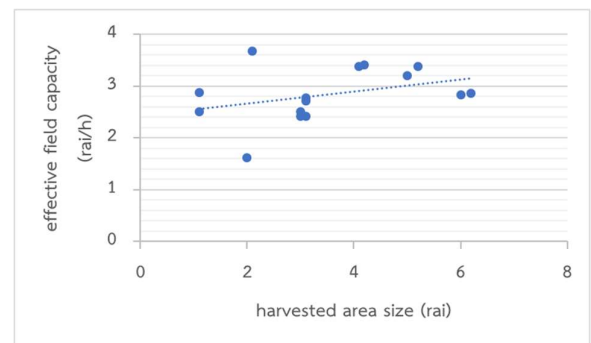


Figure 5 Relationship between size of harvested area and effective field capacity of Thai combine harvesters

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)

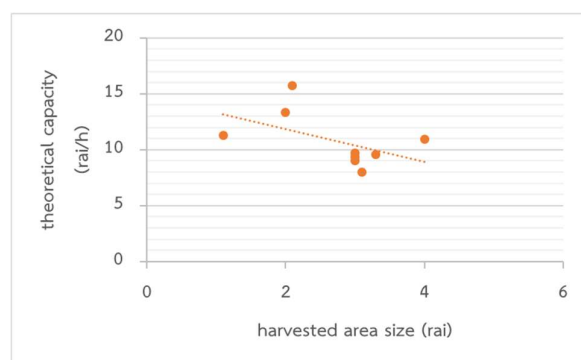


Figure 6 Relationship between size of harvested area and theoretical capacity of foreign combine harvesters

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

เป็นสาเหตุทำให้ความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดต่างประเทศลดลง

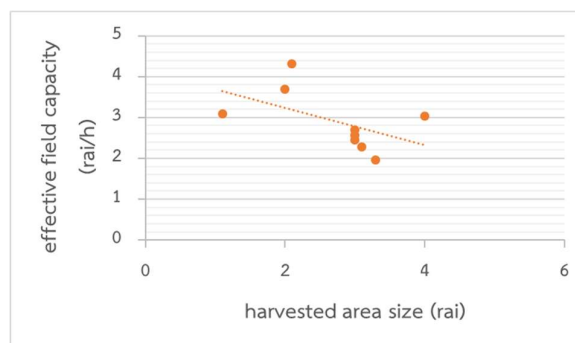


Figure 7 Relationship between size of harvested area and effective field capacity of foreign combine harvesters

Figure 8 และ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยวและประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยและเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงลบกับขนาดของพื้นที่เก็บเกี่ยว (Negative and linear correlation) โดยเมื่อขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ที่มีแนวโน้มลดลง (Dongpueng et al., 2020) โดยทั้งเครื่องเกี่ยวนวดข้าวไทยและเครื่องเกี่ยวนวดข้าวต่างประเทศมีประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ที่ใกล้เคียงได้แก่ 27.90 และ 26.86% ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อทำการวิเคราะห์จากสมการที่ 3 พบว่า ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่จะแปรผันตรงกับความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่ และแปรผกผันกับความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี อย่างไรก็ตามหากวิเคราะห์ในส่วนของประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่แล้วพบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ที่สามารถทำได้ 2 กรณีคือการเพิ่มความสามารถในการทำงานจริงเชิงพื้นที่หรือการลดความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี อย่างไรก็ตามการลดความสามารถในการทำงานทางทฤษฎีอาจทำได้ค่อนข้างยาก เพราะมีความเกี่ยวข้องกับการปรับแต่งขนาดของหน้ากว้างหัวเกี่ยวและความเร็วที่ใช้ในการเก็บเกี่ยว รวมถึงพฤติกรรมการขับเครื่องเกี่ยวนวดข้าวของผู้ขับเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย 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)

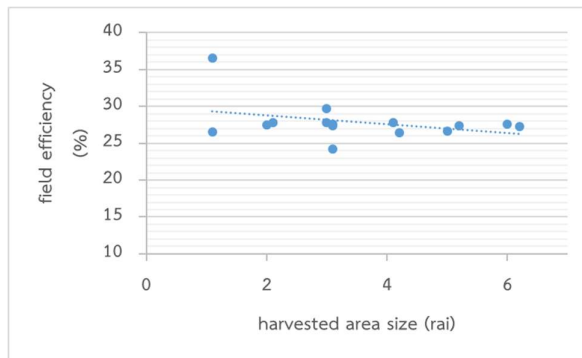


Figure 8 Relationship between size of harvested area and field efficiency of Thai combine harvesters

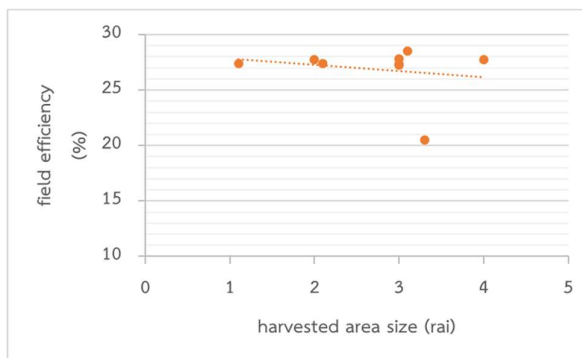


Figure 9 Relationship between size of harvested area and field efficiency of foreign combine harvesters

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.
- ประภากรณ แสงวิจิตร, ศุภสิทธิ์ สิทธาพานิช. 2558ก. อิทธิพลของขนาดแปลงนาต่อสมรรถนะของรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กในการเตรียมดิน. การประชุมสัมมนาวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8, 317-323. กรุงเทพฯ.
- ประภากรณ แสงวิจิตร, ศุภสิทธิ์ สิทธาพานิช. 2558ข. อิทธิพลของขนาดแปลงนาต่อสมรรถนะของเครื่องเกี่ยวขนาดข้าว. การประชุมสัมมนาวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 16 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 8, 329-334. กรุงเทพฯ.
- วินิต ชินสุวรรณ, นิพนธ์ ป้องจันทร์, สมชาย ขวนอุดม, วราจิต พะยอม. 2546. ผลของความเอียงของแถบขึ้นวดและระยะห่างช่องว่างระหว่างซี่ตะแกรงนวดที่มีต่อสมรรถนะการ

- ขนาดของเครื่องนวดข้าวแบบไหลตามแกน. วารสารสมาคม
วิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 10(1), 15-20.
- สมชาย ชวนอุดม. 2556. เครื่องเก็บเกี่ยวเมล็ดพืช. ขอนแก่น: โรง
พิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- 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.