

การศึกษาผลของใบมีดจอบหมุนเชิงเลียนแบบธรรมชาติต่อขนาดของก้อนดินในแปลงนา Effect of Biomimetics Rotary Tiller Blade on Soil Clod Size in a Paddy Field

วิทยากร บัวเฟียน และ รัตนา การุญบุญญานันท์*
Wichayakorn Buaphian and Rattana Karoonboonyanan*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก, 65000
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

* Corresponding author e-mail: rattanakar@nu.ac.th

(Received: 17 September 2025, Revised 10 October 2025, Accepted 17 October 2025)

บทคัดย่อ

เครื่องพรวนจอบหมุนนิยมใช้ในการเตรียมดินแต่มีข้อจำกัดที่แปลงต้องเป็นดินแห้งหรือมีน้ำขัง วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาใบมีดจอบหมุนสำหรับทำงานในแปลงดินชื้น โดยดัดแปลงพื้นผิวของใบมีดจอบหมุนแบบผสมด้วยการเลียนแบบธรรมชาติของสัตว์ในการขุดดิน พัฒนาใบมีดจอบหมุน 4 รูปแบบ คือ 1) แบบลิ้มด้านหน้าใบมีด 2) แบบลิ้มด้านหน้าและด้านหลังใบมีด 3) แบบตุ่มด้านหน้าใบมีด และ 4) แบบตุ่มด้านหน้าและด้านหลังใบมีด ทดสอบการพรวนดินด้วยใบมีดจอบหมุนที่พัฒนาเปรียบเทียบกับใบมีดรูปแบบผสมที่มีใช้โดยทั่วไป ในแปลงนาชนิดดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt Loam) ที่มีค่าขีดจำกัดพลาสติก 18.95 เปอร์เซ็นต์ และค่าขีดจำกัดเหลว 34.13 เปอร์เซ็นต์ ทดสอบที่ความชื้นดิน 28.36, 31.52 และ 34.43%db. ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 1.10 เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบเพลาลูกเบี้ยวใบมีด 231.60 รอบต่อนาที พิจารณาร้อยละขนาดก้อนดินช่วง 0-20 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์พืช พบว่า ใบมีดจอบหมุนแบบลิ้มด้านหน้า โดยลิ้มมีลักษณะเป็นแท่งหน้าตัดครึ่งวงรี ขนาดลิ้มกว้าง 10 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร ปลายลิ้มด้านล่างลาดเอียงแนวเดียวกับคมของใบมีด เป็นรูปแบบที่พรวนดินได้ละเอียดกว่ารูปแบบอื่น พบว่ามีขนาดก้อนดินช่วง 0-20 มิลลิเมตร 49.48 และ 32.05 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าใบมีดแบบผสม 9.73 และ 17.30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำงานในแปลงที่มีความชื้นดิน 28.36 และ 31.52%db. ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ใบมีดจอบหมุนดัดแปลงแบบลิ้มด้านหน้าเหมาะสมสำหรับพรวนดินในแปลงนาที่มีความชื้นดินช่วง 28.36-31.52%db. ซึ่งเป็นช่วงความชื้นดินที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์พืช ช่วยลดการใช้น้ำและต้นทุนการผลิตพืชได้

คำสำคัญ: ใบมีดจอบหมุน, ดินชื้น, ขนาดก้อนดิน, การเลียนแบบธรรมชาติในเชิงเทคนิค

Abstract

Rotary tillers are a popular tool for soil preparation but are limited to working in dry or flooded fields. This research aimed to develop a rotary tiller blade specifically for use in moist soil by modifying the mixed-type blade surface. The modifications were inspired by biomimetic principles, specifically by mimicking the soil-excavating techniques of animals. Four new blade designs were developed: 1) Front-wedge blade, 2) Front-and-rear-wedge blade, 3) Front-stud blade, and 4) Front-and-rear-stud blade. The tillage performance of these modified blades was compared to a conventional mixed-type blade design. The tests were conducted in a silt loam field, plastic limit of 18.95% and liquid limit of 34.13%, at three different soil moisture contents: 28.36%, 31.52%, and 34.43% (dry basis, db.). With the tractor speed of 1.10 m/s, and the blade shaft rotational speed of 231.60 rpm. The optimal blade was considered from the percentage of soil clod size in the 0-20 mm size range, which is suitable for seed germination. The results showed that the front-wedge blade was the most effective design for producing fine soil clod size. This blade featured a semi-elliptical cross-section wedge with a width of 10 mm, a thickness of 3 mm, and a length of 50 mm. The lower tip of the wedge was angled to align with the blade's cutting edge. This modified blade produced 49.48% and 32.05% of soil clod size in the 0-20 mm size range, and these values

represent a significant improvement over the conventional mixed-type blade by 9.73% and 17.30%, when working in fields with soil moisture content of 28.36 and 31.52%db. , respectively. These results indicate that the modified front-wedge blade is suitable for tillage in silt loam soils with moisture content ranging from 28.36 to 31.52%db., which is the ideal range for plant seed germination. Consequently, the implementation of this developed blade has the potential to facilitate reduced water consumption and crop production costs.

Keywords: Rotary blade, Moist soil, Soil clod size, Biomimetics

1.บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทย ในปี 2567 มีพื้นที่การเพาะปลูกข้าวนาปีและนาปรัง รวม 72.08 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2568) โดยส่วนใหญ่เกษตรกรจะทำการเก็บเกี่ยวด้วยรถเกี่ยวนา ซึ่งจะมีส่วนของฟางข้าวที่ถูกปล่อยทิ้งออกจากรถเกี่ยวนาและวางอยู่บนตอซึ่งฟางข้าวนี้มีความยาวเฉลี่ย 56.4 เซนติเมตร (รัตน, 2563) ส่งผลให้เครื่องมือไถเตรียมดินไม่สามารถทำงานได้สะดวก ฟางข้าวที่ยาวจะไปพันกับเครื่องมือไถเตรียมดิน ความยาวฟางข้าวที่เครื่องมือไถเตรียมดินโดยทั่วไปสามารถทำงานได้คือความยาวน้อยกว่า 12 เซนติเมตร (ไพโรจน์ และคณะ, 2561) ทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่จำเป็นต้องเผาฟางข้าวก่อนการเตรียมดิน การเผาตอซังและฟางข้าว จะทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM 2.5 ที่ส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อมและปัญหาสุขภาพของมนุษย์ ทำลายโครงสร้างดินทำให้ดินแข็งกระด้าง สูญเสียธาตุอาหารในดิน สูญเสียอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารที่อยู่ในฟาง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) จากการสำรวจในเบื้องต้นของแปลงนาข้าว ณ วันที่เก็บเกี่ยว พบว่ามีความชื้นดินที่สูงเพียงพอต่อการปลูกพืช โดยความชื้นดินที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดพืชคือ 30%db. (ชิตพิทธ์ และคณะ, 2567) ปัจจุบัน เกษตรกรนิยมใช้เครื่องพรวนจอบหมุนในการเตรียมดิน โดยมีลักษณะการทำงาน 2 รูปแบบคือ ทำงานในดินที่แห้งหรือในดินที่มีขังน้ำ จะเห็นได้ว่า การเตรียมดินสำหรับการเพาะปลูกในรอบถัดไปมี 2 รูปแบบคือ จะต้องรอให้ดินแห้งก่อนแล้วทำการไถพรวนดิน หรือสูบน้ำเข้าแปลงให้เพียงพอต่อการไถพรวน ในการเพาะปลูกข้าวต่อฤดูการผลิต พบว่าใช้ปริมาณน้ำ 1,412.85 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ (ฉวีวรรณ และปารณีย์, 2559) ทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำเข้าแปลงนาที่ค่อนข้างสูง ดังนั้น รัตน และธนัชพันธ์ (2561) จึงได้พัฒนาเครื่องมือเพาะปลูกที่สามารถทำงานในแปลงนาที่มีฟางปกคลุมและไม่ต้องเตรียมดินก่อนเพาะปลูก สามารถทำการสับฟาง พรวนดิน หยอดเมล็ดพันธุ์พืช และฟางที่ถูกสับปกคลุมอยู่บนผิวดิน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดการเผาฟางในนาข้าว ลดการใช้น้ำ

และลดต้นทุนการผลิต อย่างไรก็ตาม ยังพบปัญหาการทำงานของใบมีดจอบหมุนที่ไม่สามารถทำการพรวนดินในดินที่มีความชื้นสูงได้ดี พบปัญหาดินติดที่ใบมีดจอบหมุน และดินที่ได้จะมีก้อนขนาดใหญ่

การเลียนแบบธรรมชาติในเชิงเทคนิค (Biomimetics) ของสัตว์เพื่อพัฒนาใบมีดจอบหมุน Jin et al. (2005) ได้ศึกษาลักษณะทางเรขาคณิตในส่วนหัวของด้วงมูลสัตว์ตัวเมีย (*Copris ochus* Motschulsky) ที่มีพื้นผิวที่นูนเป็นตุ่มไว้สำหรับขุดและดันดิน Yuwan et al. (2021) ได้ศึกษาการเลียนแบบกรงเล็บทั้งห้าของหนูตุ่นหรืออ้น (*Scaptochirus*, *Talpidae*) ทดสอบในดินที่มีความชื้น 20.82%db. พบว่าสามารถลดการะบิตและลดลึกลงดินที่ติดบริเวณใบมีดได้ จะเห็นได้ว่า การเลียนแบบพื้นผิวของสัตว์ที่มีความสามารถในการขุดหรือดันดินสามารถลดการะบิตที่กระทำต่อใบมีดและการติดสะสมของดินได้ ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ 1) เพื่อพัฒนาใบมีดจอบหมุนสำหรับทำงานในดินชื้นโดยการดัดแปลงพื้นผิวของใบมีดจอบหมุนรูปแบบผสมด้วยการเลียนแบบธรรมชาติของสัตว์ในการขุดดิน และ 2) การทดสอบการไถพรวนในแปลงนาข้าวเพื่อศึกษาหาผลของการดัดแปลงใบมีดจอบหมุนต่อขนาดก้อนดินเมื่อทำงานไถพรวนดินที่มีความชื้นต่าง ๆ เปรียบเทียบกับใบมีดจอบหมุนรูปแบบผสมที่มีใช้ทั่วไป เพื่อเป็นข้อมูลและทางเลือกให้กับเกษตรกรในการเลือกใช้รูปแบบใบมีดจอบหมุนที่สามารถทำงานในดินชื้นได้ ซึ่งจะช่วยลดการใช้น้ำในการเตรียมแปลง ลดค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำเข้าแปลง และสามารถทำการเพาะปลูกได้เร็วขึ้น

2.อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของแปลงนาข้าวหลังการเก็บเกี่ยว

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินและฟางข้าว โดยเก็บตัวอย่างดินและฟางข้าวในแปลงนาเกษตรกร ณ วันที่ทำการเก็บเกี่ยวข้าวด้วยรถเกี่ยวนา ซึ่งตรงบริเวณช่องว่างระหว่างล้อตันทะขางทั้งสองข้างของรถเกี่ยวนาข้าว แปลงละ 3

ตำแหน่ง การเก็บตัวอย่างดิน เก็บโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินรูปแบบวงแหวนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงแหวน 5.58 เซนติเมตร ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 0-10 เซนติเมตร และ 10-20 เซนติเมตร ซึ่งนำหนักดินก่อนอบ จากนั้นนำตัวอย่างดินไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D2216-98 (ASTM, 1999) และ ASTM D7263-09 (ASTM, 2009) จากนั้นชั่งน้ำหนักดินหลังอบเพื่อนำไปคำนวณหาค่าความชื้นของดินฐานแห้ง (Dry Basis, %db.) และค่าความหนาแน่นมวลรวมของดิน (Soil Bulk Density) การเก็บตัวอย่างตอซังและฟางข้าว เก็บบนพื้นที่ที่รอบเก็บตัวอย่างขนาด 1 x 1 เมตร แปลงละ 3 ตำแหน่ง ซึ่งน้ำหนักบันทึกผล

2.2 การออกแบบใบมีดจอบหมุนสำหรับดินขึ้น

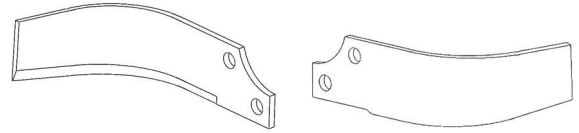
การออกแบบใบมีดจอบหมุนที่ใช้สำหรับดินขึ้นโดยดัดแปลงพื้นผิวของใบมีดรูปแบบผสมที่มีใช้งานทั่วไป ดังรูปที่ 1 ซึ่งใบมีดรูปแบบผสมเป็นการรวมจุดเด่นของใบมีดรูปแบบชนิดตัวซีและชนิดตัวแอลเข้าไว้ด้วยกัน สามารถพรวนดินแข็ง ดินอ่อนและดินที่มีความหนาแน่นของวัชพืชสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สราวุธ, 2546) ข้อมูลลักษณะทางกายภาพและข้อมูลจำเพาะของใบมีดผสมที่มีใช้งานทั่วไป แสดงดังตารางที่ 1 นำมาพัฒนาพื้นผิวสัมผัสโดยใช้การเลียนแบบธรรมชาติในเชิงเทคนิคของสัตว์เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาใบมีดจอบหมุนสำหรับดินขึ้น

ตารางที่ 1 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพและข้อมูลจำเพาะของใบมีด

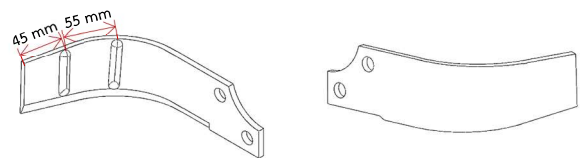
ลักษณะทางกายภาพและข้อมูลจำเพาะ	
ชนิดของใบมีด	รูปแบบผสม
ลักษณะขอบตัดดิน	ขอบตัดดินมีลักษณะโค้ง
ส่วนปลายใบมีด	ปลายใบมีดเรียบเป็นแนวระนาบ
การตัดปลายใบมีด	ตัดตามแนวแกนเฉียง
ชนิดของขอบคม	ขอบคมเดี่ยว
องศาการตัด	125 องศา
รัศมีการตัด	30 มิลลิเมตร
ความกว้างปลายใบมีด	52 มิลลิเมตร
ความหนาของใบมีด	6 มิลลิเมตร
รัศมีการหมุนวัดจากกึ่งกลางเพลาลงไปปลายใบมีด	220 มิลลิเมตร
ความกว้างของระยะตัดดิน	110 มิลลิเมตร

ใบมีดจอบหมุนที่ทำการพัฒนาพื้นผิวสัมผัสดินด้วยลิ้ม โดยติดลิ้มที่มีลักษณะเป็นแท่งหน้าตัดครึ่งวงรี ปลายลิ้มด้านล่างมีความลาดเอียงสอดรับกับคมใบมีด ขนาดลิ้มกว้าง 10 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร และยาว 50 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2 และใบมีดจอบหมุนที่ทำการพัฒนาพื้นผิวสัมผัสดินด้วยตุ้ม โดยตุ้มมี

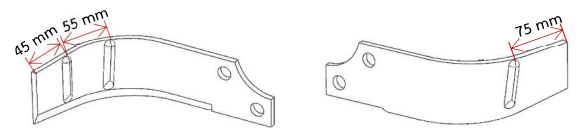
ลักษณะหน้าตัดเป็นครึ่งวงรี ฐานของตุ้มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 ใบมีดจอบหมุนรูปแบบผสมที่มีใช้โดยทั่วไป

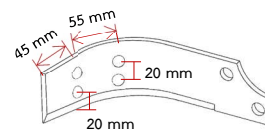


(ก) รูปแบบลิ้มด้านหน้าใบมีด

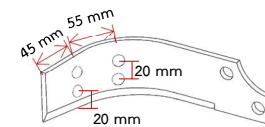


(ข) รูปแบบลิ้มด้านหน้าและด้านหลังใบมีด

รูปที่ 2 รูปแบบใบมีดจอบหมุนแบบเพิ่มผิวสัมผัสด้วยลิ้ม



(ก) รูปแบบตุ้มด้านหน้าใบมีด



(ข) รูปแบบตุ้มด้านหน้าและด้านหลังใบมีด

รูปที่ 3 รูปแบบใบมีดจอบหมุนแบบเพิ่มผิวสัมผัสด้วยตุ้ม

2.3 วิธีการทดสอบใบมีดจอบหมุนสำหรับดินขึ้นในแปลงนา

1) ข้อมูลสภาพแปลงทดสอบ

แปลงทดสอบเป็นแปลงนาข้าว ณ อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ดินชนิดร่วนปนทรายแป้ง (Silt Loam) มีค่าดินทรายแป้ง (Silt) ร้อยละ 68.67 ดินทราย (Sand) ร้อยละ 17.17 และ

ดินเหนียว (Clay) ร้อยละ 14.16 ค่าขีดจำกัดพลาสติก 18.95 เปอร์เซ็นต์ และค่าขีดจำกัดเหลว 34.13 เปอร์เซ็นต์

2) การจัดเตรียมใบมีดจอบหมุน โดยนำใบมีดจอบหมุนทั้ง 5 รูปแบบ คือ 1) รูปแบบใบมีดผสมที่มีใช้โดยทั่วไป (ควบคุม) 2) รูปแบบลิ้มด้านหน้าใบมีด 3) รูปแบบลิ้มด้านหน้าและด้านหลังใบมีด 4) รูปแบบตุ้มด้านหน้าใบมีด และ 5) รูปแบบตุ้มด้านหน้าและด้านหลังใบมีด ประกอบเข้ากับชุดเครื่องพรวนจอบหมุน โดยเรียงลำดับจากทางด้านซ้ายไปด้านขวาของรถแทรกเตอร์ ตามลำดับ โดยใส่ใบมีดแต่ละรูปแบบจำนวน 6 ใบ ใบขวา 3 ใบ และใบซ้าย 3 ใบ หันเข้าหากัน ดังรูปที่ 4



แบบตุ้ม ด้านหน้าและด้านหลังใบมีด แบบตุ้ม ด้านหน้าใบมีด แบบลิ้ม ด้านหน้าและด้านหลังใบมีด แบบลิ้ม ด้านหน้าใบมีด แบบใบมีดผสมที่มีใช้โดยทั่วไป

รูปที่ 4 เครื่องพรวนจอบหมุนที่ทำการติดตั้งใบมีด 5 รูปแบบ

3) วิธีการทดสอบ

เลือกพื้นที่ในแปลงนาทดสอบ โดยเลือกบริเวณที่ดินมีความชื้นที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ทำการพรวนดินโดยใช้เครื่องพรวนจอบหมุนดีรตแทรกเตอร์ขนาด 47 แรงม้า รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่โดยใช้เกียร์ต่ำ Low-3 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,250 รอบต่อนาที และความเร็วรอบเพลาลำใบมีดจอบหมุน 231.60 รอบต่อนาที ทำการจับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์บนระยะทาง 30 เมตร จำนวน 3 ซ้ำ คำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนที่และหาค่าเฉลี่ย

4) วิธีการเก็บข้อมูล

หลังการไถพรวน เก็บข้อมูลผลการทำงานของใบมีดจอบหมุนทั้ง 5 รูปแบบ วัดระดับความลึกดินโดยวัดระยะจากผิวดินลึกจนถึงพื้นดินแข็ง และเก็บตัวอย่างดินหลังการพรวนในพื้นที่การพรวน ยาว 40 เซนติเมตร ลึกจนถึงพื้นดินแข็งที่พรวนไม่ถึง ใส่ถุงพลาสติก รูปแบบใบมีดละ 3 ซ้ำ นำดินที่ได้มาตากให้แห้ง

5) การวิเคราะห์หาขนาดก้อนดินเฉลี่ย

การวิเคราะห์หาขนาดของก้อนดินเฉลี่ย ทำโดยนำก้อนดินแต่ละก้อนซึ่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลยี่ห้อ OHAUS SCOUT SPX6201, 6200G × 0.1G ที่มีความละเอียด 0.1 กรัม และบันทึกผล คำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนดินจากความสัมพันธ์ของความหนาแน่นมวลรวมของดินกับมวล

ของก้อนดิน คำนวณหาขนาดของก้อนดินเฉลี่ย ได้จากสมการที่ 1 (Smith et al., 1994)

$$\text{Mean soil clod} = \frac{1}{W} \times (5A + 15B + 25C + 35D + 45E + NF) \quad (1)$$

- โดยที่ A คือ มวลรวมของก้อนดินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร, กรัม
- B คือ มวลรวมของก้อนดินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10–20 มิลลิเมตร, กรัม
- C คือ มวลรวมของก้อนดินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20–30 มิลลิเมตร, กรัม
- D คือ มวลรวมของก้อนดินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30–40 มิลลิเมตร, กรัม
- E คือ มวลรวมของก้อนดินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40–50 มิลลิเมตร, กรัม
- F คือ มวลรวมของก้อนดินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 มิลลิเมตร, กรัม
- N คือ ค่าเฉลี่ยมวลของก้อนดินที่วัดได้บนตะแกรงขนาดใหญ่ที่สุด, กรัม
- W คือ มวลรวมของก้อนดินทุกขนาด, กรัม

6) การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของข้อมูลความชื้นดิน และขนาดของก้อนดินเฉลี่ย โดยใช้โปรแกรม Minitab 16[®] สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อทดสอบความแตกต่างของข้อมูลที่มีนัยสำคัญที่ระดับ $p \leq 0.05$ ด้วยวิธี One-way Anova Fisher's Least Significant Difference (LSD)

3.ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแปลงนาข้าวหลังการเก็บเกี่ยว

1) ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นมวลรวมของดินและความชื้นของดิน ณ วันทำการเก็บเกี่ยวข้าวด้วยรถเกี่ยวนาข้าวจำนวน 3 แปลง ในพื้นที่อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก สถานที่เก็บข้อมูล แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า ดินในแปลงนาที่ระดับความลึก 0–10 และ 10–20 เซนติเมตร มีค่าความหนาแน่นมวลรวมของดินเฉลี่ย 1.10 และ 1.46 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าความชื้นของดินเฉลี่ย 43.21 และ 33.15%db. ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ข้อมูลสถานที่ที่ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแปลงนาหลังการเก็บเกี่ยว

แปลงที่	สถานที่	พันธุ์ข้าว
1	หมู่ที่ 4 บ้านโป่งหม้อข้าว ต.ท่านางงาม อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	กข.43
2	หมู่ที่ 4 บ้านโป่งหม้อข้าว ต.ท่านางงาม อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	กข.43
3	หมู่ที่ 18 บ้านศรีมงคล ต.เทศบาลบางระกำ เมืองใหม่ อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	กข.61

ตารางที่ 3 ข้อมูลความหนาแน่นมวลรวมของดินและความชื้นของดิน

แปลงที่	ความหนาแน่นมวลรวมของดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)		ความชื้นของดิน (%db.)	
	ความลึก 0-10 ซม.	ความลึก 10-20 ซม.	ความลึก 0-10 ซม.	ความลึก 10-20 ซม.
1	1.25±0.08	1.61±0.08	45.80±8.63	35.35±4.49
2	1.18±0.08	1.43±0.04	42.65±2.82	34.59±2.19
3	0.86±0.04	1.33±0.04	40.91±1.84	29.52±1.56

2) ผลการศึกษาปริมาณตอซังและฟางข้าว จำนวน 3 แปลง (ตารางที่ 2) แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า มีปริมาณตอซังและฟางข้าวแห้งเฉลี่ย 1,320.6 กิโลกรัมต่อไร่ และเป็นปริมาณฟางข้าวคิดเป็นร้อยละ 62.7 ของปริมาณตอซังและฟางข้าวแห้งทั้งหมด

ตารางที่ 4 ข้อมูลปริมาณตอซังและฟางข้าวแห้ง ณ วันทำการเก็บเกี่ยวด้วยรถเกี่ยวนาข้าว

แปลงที่	ปริมาณฟางข้าว (กิโลกรัมต่อไร่)	ปริมาณตอซัง (กิโลกรัมต่อไร่)	ปริมาณฟางรวม (กิโลกรัมต่อไร่)
1	944.9±69.6	509.7±73.8	1,454.6±26.0
2	755.1±74.3	511.7±40.5	1,266.8±73.0
3	783.1±80.4	457.1±122.8	1,240.2±102.6

3.2 ผลการทดสอบใบมีดจอบหมุนสำหรับดินขึ้นในแปลงนา

1) แปลงนาทดสอบ ณ หมู่ที่ 18 บ้านศรีมงคล ตำบลเทศบาลบางระกำเมืองใหม่ อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ดินชนิดร่วนปนทรายแป้ง (Silt Loam) ความชื้นดินที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร แสดงดังตารางที่ 5 พบว่า ค่าความชื้นของดินทั้ง 3 แปลงย่อย มีความชื้นที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่า แปลงย่อยที่ 1 และ 2 มีค่าความชื้นดินที่สูงกว่าค่าขีดจำกัดพลาสติกคือ 18.95 เปอร์เซ็นต์ แต่ยัต่ำกว่าค่าขีดจำกัดเหลวคือ 34.13 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แปลงย่อยที่ 3 มีค่าความชื้นดินสูงกว่าค่าขีดจำกัดเหลว

ตารางที่ 5 ข้อมูลความชื้นของดินในแปลงนาทดสอบ

แปลงย่อย	ความชื้นดิน (%db.)
1	28.36±0.78c
2	31.52±0.76b
3	34.43±1.78a
P-value	<0.05*

ค่าเฉลี่ยในแต่ละสดมภ์ที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

2) เครื่องพรวนจอบหมุนที่ติดตั้งใบมีด 5 รูปแบบ ต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาด 47 แรงม้า ทำการทดสอบในแปลงนาพบว่า รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.10 เมตรต่อวินาที หรือ 3.97 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเพลาลับมีดจอบหมุน 231.60 รอบต่อนาที จากผลการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า รูปแบบใบมีดจอบหมุนไม่มีผลต่อความลึกดินหลังพรวนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่า ความชื้นของดินมีผลต่อความลึกดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า ความลึกดินจะแปรผันตามกับความชื้นของดิน ทั้งนี้เนื่องมาจากดินที่มีความชื้นสูงจะอ่อนตัวมากกว่าดินที่มีความชื้นต่ำ ส่งผลให้สปีปรับความลึกของเครื่องพรวนจอบหมุนจมลงไปในดิน เป็นผลให้ใบมีดจอบหมุนตัดดินได้ลึกกว่าการทำงานในบริเวณดินที่มีความชื้นต่ำ

ตารางที่ 6 ข้อมูลความลึกดินหลังพรวนที่ความชื้นดินต่างๆ

ความชื้นดิน (%db.)	ความลึกดินหลังพรวน (เซนติเมตร)
28.36	8.93±0.77c
31.52	9.90±0.90b
34.43	11.98±0.92a
P-value	<0.05*

ค่าเฉลี่ยในแต่ละสดมภ์ที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

3) ผลการเก็บข้อมูลขนาดก้อนดินเฉลี่ยเมื่อทำการไถพรวนด้วยใบมีดจอบหมุน 5 รูปแบบ พบว่า รูปแบบใบมีดจอบหมุนไม่มีผลต่อขนาดของก้อนดินเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่า ความชื้นดิน และตัวแปรร่วมระหว่างรูปแบบใบมีดจอบหมุนและความชื้นดิน มีผลต่อขนาดของก้อนดินเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขนาดของก้อนดินเฉลี่ยแปรผันตามกับความชื้นดิน เมื่อความชื้นดินสูงขึ้น ขนาดของก้อนดินเฉลี่ยจะใหญ่ขึ้น แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลของความชื้นดินที่มีผลต่อขนาดของก้อนดินเฉลี่ย

ความชื้นดิน (%db.)	ขนาดก้อนดินเฉลี่ย (มิลลิเมตร)
28.36	28.26±4.74c
31.52	42.96±7.72b
34.43	67.60±8.38a
P-value	<0.05*

ค่าเฉลี่ยในแต่ละสตรัมที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

ผลของรูปแบบใบมีดจอบหมุนและความชื้นของดินต่อขนาดของก้อนดินเฉลี่ย (ตารางที่ 8) พบว่า ที่ความชื้นดินที่ 28.36%db. รูปแบบของใบมีดจอบหมุนไม่มีผลต่อขนาดของก้อนดินเฉลี่ย แต่พบว่า ที่ความชื้นดิน 31.52 และ 34.43%db. ใบมีดจอบหมุนทั้ง 4 รูปแบบที่ทำการพัฒนาเปรียบเทียบกับรูปแบบใบมีดที่มีใช้โดยทั่วไป มีผลต่อขนาดของก้อนดินเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยรูปแบบลิมด้านหน้าใบมีด ลิมด้านหน้าและด้านหลังใบมีด ตุ่มด้านหน้าใบมีด และตุ่มด้านหน้าและด้านหลังใบมีด มีขนาดของก้อนดินเฉลี่ยที่เล็กกว่าใบมีดรูปแบบผสมที่มีใช้กันโดยทั่วไป และพบว่า ที่ความชื้นดิน 34.43%db. รูปแบบลิมด้านหน้า และลิมด้านหน้าและด้านหลังใบมีด มีขนาดก้อนดินเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน และพบว่ามีขนาด

ก้อนดินเฉลี่ยเล็กกว่ารูปแบบอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีขนาดก้อนดินเฉลี่ย 59.84 มิลลิเมตร

ตารางที่ 8 ผลของรูปแบบใบมีดจอบหมุนและความชื้นของดินที่มีผลต่อขนาดของก้อนดินเฉลี่ย

รูปแบบใบมีด	ขนาดก้อนดินเฉลี่ย (มิลลิเมตร)		
	ความชื้นดิน 28.36%db.	ความชื้นดิน 31.52%db.	ความชื้นดิน 34.43%db.
ใบมีดรูปแบบผสมที่มีใช้โดยทั่วไป	31.35±4.76	53.08±2.52a	80.15±4.30a
ลิมด้านหน้าใบมีด	25.79±4.83	38.76±8.01b	59.37±3.60d
ลิมด้านหน้าและด้านหลังใบมีด	27.88±6.08	39.08±10.69b	60.31±2.98d
ตุ่มด้านหน้าใบมีด	26.41±2.89	41.87±2.06b	66.48±1.39c
ตุ่มด้านหน้าและด้านหลังใบมีด	29.89±4.67	42.03±2.36b	71.69±2.57b
P-value	>0.05	<0.05*	<0.05*

ค่าเฉลี่ยในแต่ละสตรัมที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

ตารางที่ 9 ร้อยละของช่วงขนาดก้อนดินเมื่อพรวนดินด้วยใบมีดจอบหมุนรูปแบบและความชื้นดินต่าง ๆ

รูปแบบใบมีด	ร้อยละขนาดของก้อนดิน (เปอร์เซ็นต์)								
	ความชื้นดิน 28.36%db.			ความชื้นดิน 31.52%db.			ความชื้นดิน 34.43%db.		
	0-20 mm	20-30 mm	>30 mm	0-20 mm	20-30 mm	>30 mm	0-20 mm	20-30 mm	>30 mm
ใบมีดรูปแบบผสมที่มีใช้งานโดยทั่วไป	39.75±3.81	0.98±1.45	59.27±4.74	14.75±1.83	0.00±0.00	85.25±1.83	3.27±2.10	0.23±0.46	96.50±1.87
ลิมด้านหน้าใบมีด	49.48±10.31	0.41±0.82	50.11±10.12	32.05±11.62	0.00±0.00	67.95±11.62	4.96±2.23	0.71±0.94	94.33±2.70
ลิมด้านหน้าและด้านหลังใบมีด	40.59±9.68	0.75±0.87	58.66±9.74	29.96±11.56	0.00±0.00	70.04±11.56	3.48±1.74	1.30±1.21	95.22±2.61
ตุ่มด้านหน้าใบมีด	41.46±12.74	3.70±2.71	54.84±10.22	24.55±4.23	0.00±0.00	75.45±4.23	2.33±0.91	0.50±0.60	97.17±0.88
ตุ่มด้านหน้าและด้านหลังใบมีด	44.79±6.13	0.30±0.61	54.91±6.12	24.47±0.91	0.00±0.00	75.53±0.91	2.95±1.75	0.41±0.54	96.64±1.61

จากตารางที่ 9 เมื่อพิจารณารายละเอียดของช่วงขนาดก้อนดินเมื่อพรวนด้วยใบมีดจอบหมุนรูปแบบต่าง ๆ พบว่า เมื่อความชื้นดินสูงขึ้น มีร้อยละของขนาดก้อนดินที่ใหญ่กว่า 30 มิลลิเมตร เพิ่มขึ้น ในขณะที่ร้อยละของขนาดก้อนดินช่วง 0-20 มิลลิเมตร มีค่าลดลง และร้อยละของขนาดก้อนดินช่วง 20-30

มิลลิเมตร มีค่าที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดก้อนดินช่วงอื่น ๆ ทั้ง 3 ระดับความชื้นดิน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีระยะตัดดินของใบมีดจอบหมุนที่ได้จากการคำนวณ 95 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะที่กว้าง ประกอบกับดินมีความชื้นสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแปลงที่ความชื้นดิน 34.43 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความชื้นดินสูง

กว่าค่าขีดจำกัดเหลว ส่งผลให้ดินไม่แยกออกจากกันและจับตัวเป็นก้อนใหญ่

จากผลการศึกษาโดย Yumei et al. (2004) พบว่า ขนาดก้อนดินเฉลี่ยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0-20 มิลลิเมตร เป็นขนาดก้อนดินที่เหมาะสมต่อการงอกของพืช เมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง พบว่า ความชื้นดินมีผลต่อร้อยละของขนาดก้อนดินเฉลี่ยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่วง 0-20 มิลลิเมตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อความชื้นดินสูงขึ้นขนาดก้อนดินช่วง 0-20 มิลลิเมตร มีร้อยละที่ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลของความชื้นดินที่มีผลต่อร้อยละขนาดของก้อนดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่วง 0-20 มิลลิเมตร

ความชื้นดิน (%db.)	ร้อยละขนาดก้อนดิน (เปอร์เซ็นต์)
28.36	43.21±8.88a
31.52	25.16±9.15b
34.43	3.40±1.84c
P-value	<0.05*

ค่าเฉลี่ยในแต่ละสมรรถที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

ผลของรูปแบบใบมีดจอบหมุนและความชื้นของดินที่มีผลต่อขนาดก้อนดินเฉลี่ยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่วง 0-20 มิลลิเมตร (ตารางที่ 11) พบว่า ความชื้นดินที่ 28.36 และ 34.43%db. รูปแบบใบมีดทั้ง 4 รูปแบบที่ทำการพัฒนาเปรียบเทียบกับใบมีดรูปแบบผสมที่มีใช้โดยทั่วไป ร้อยละของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดินช่วง 0-20 มิลลิเมตร ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่า ที่ความชื้นดิน 28.36%db. มีขนาดก้อนดินช่วง 0-20 มิลลิเมตรเฉลี่ย 43.21 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ดินที่มีความชื้นสูง 34.43%db. ซึ่งสูงกว่าค่าขีดจำกัดเหลว ดินจะถูกเฉือนให้ตัดขาดจากกันและไหลกลับมารวมกันเป็นก้อนใหญ่ ส่งผลให้มีขนาดก้อนดินช่วง 0-20 มิลลิเมตร เฉลี่ย 3.40 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ความชื้นดิน 31.52%db. พบว่า รูปแบบของใบมีดจอบหมุนแบบลิ้มด้านหน้าใบมีด ให้ขนาดก้อนดินช่วง 0-20 มิลลิเมตร 32.05 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใบมีดจอบหมุนรูปแบบอื่นๆ แต่ไม่แตกต่างจากใบมีดจอบหมุนแบบลิ้มด้านหน้าและด้านหลังใบมีดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 11 ผลของรูปแบบใบมีดจอบหมุนและความชื้นของดินที่มีผลต่อขนาดก้อนดินเฉลี่ยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่วง 0-20 มิลลิเมตร

รูปแบบใบมีด	ร้อยละขนาดก้อนดิน (เปอร์เซ็นต์)		
	ความชื้นดิน 28.36%db.	ความชื้นดิน 31.52%db.	ความชื้นดิน 34.43%db.
ใบมีดรูปแบบผสมที่มีใช้โดยทั่วไป	39.75±3.81	14.75±1.83b	3.27±2.10
ลิ้มด้านหน้าใบมีด	49.48±10.31	32.05±11.62a	4.96±2.23
ลิ้มด้านหน้าและด้านหลังใบมีด	40.59±9.68	29.96±11.56a	3.48±1.74
ตุ้มด้านหน้าใบมีด	41.46±12.74	24.55±4.23ab	2.33±0.91
ตุ้มด้านหน้าและด้านหลังใบมีด	44.79±6.13	24.47±0.91ab	2.95±1.75
P-value	>0.05	<0.05*	>0.05

ค่าเฉลี่ยในแต่ละสมรรถที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD

เมื่อพิจารณาจากร้อยละขนาดของก้อนดินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่วง 0-20 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นช่วงขนาดก้อนดินที่เหมาะสมต่อการงอกของพืช พบว่า ใบมีดรูปแบบลิ้มด้านหน้าสามารถพรวนดินได้ละเอียดกว่ารูปแบบอื่น ทั้งนี้เนื่องมาจากรูปแบบลิ้มที่เป็นแนวยาวตลอดใบมีดจะช่วยเฉือนและแยกดินออกจากกัน ในขณะที่รูปแบบตุ้ม ดินจะถูกเฉือนและแยกออกในช่วงสั้น ๆ และดินเคลื่อนที่ไปกระทบกับตุ้มที่สองซึ่งอยู่ในตำแหน่งถัดไป อาจส่งผลให้ดินม้วนกลับและจับตัวกันเป็นก้อนได้ จากผลการทดสอบในตารางที่ 11 พบว่า ในแปลงที่มีความชื้นดิน 28.36 และ 31.52%db. ใบมีดรูปแบบลิ้มด้านหน้า พบร้อยละขนาดก้อนดินช่วง 0-20 มิลลิเมตร 49.48 และ 32.05 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าใบมีดแบบผสม 9.73 และ 17.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ใบมีดรูปแบบลิ้มด้านหน้าจึงมีความเหมาะสมต่อการทำงานในแปลงนาชนิดดินร่วนปนทรายแข็ง ที่ดินมีความชื้นช่วง 28.36-31.52%db. ซึ่งเป็นช่วงความชื้นดินที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์พืช

4.สรุป

ผลการศึกษาและเก็บข้อมูลแปลงนาข้าวและผลของการดัดแปลงใบมีดจอบหมุนต่อขนาดของก้อนดิน สามารถสรุปได้ดังนี้

1) แปลงนาหลังการเก็บเกี่ยวข้าวด้วยรถเกี่ยวนาชนิดข้าว มีปริมาณตอซังและฟางข้าวแห้งเฉลี่ย 1,320.6 กิโลกรัมต่อไร่

ร้อยละ 62.7 เป็นปริมาณฟางข้าว ดินที่ระดับความลึก 0-10 และ 10-20 เซนติเมตร มีความชื้นดินเฉลี่ย 43.21 และ 33.15%db. และความหนาแน่นมวลรวมของดิน 1.10 และ 1.46 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ

2) ผลของการตัดแปลงพื้นผิวของใบมีดจอบหมุน 4 รูปแบบ คือ รูปแบบลิ้มด้านหน้าใบมีด รูปแบบลิ้มด้านหน้าและด้านหลัง ใบมีด รูปแบบตุ่มด้านหน้าใบมีด และรูปแบบตุ่มด้านหน้าและด้านหลังใบมีด เปรียบเทียบกับใบมีดรูปแบบผสมที่มีใช้ โดยทั่วไป ทดสอบในแปลงนาชนิดดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt Loam) พบว่า ที่ความชื้นดิน 31.52 และ 34.43%db. ใบมีดจอบหมุนที่ทำการพัฒนาสามารถพรุนดินให้มีขนาดของก้อนดินเฉลี่ยที่เล็กกว่าใบมีดรูปแบบผสมที่มีใช้โดยทั่วไป แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3) ใบมีดจอบหมุนรูปแบบลิ้มด้านหน้าใบมีด มีความเหมาะสมต่อการทำงานในแปลงนาชนิดดินร่วนปนทรายแป้ง และสามารถทำงานได้ในดินที่มีความชื้นดินช่วง 28.36-31.52 %db. และพบว่า ที่ความชื้นดิน 28.36 และ 31.52%db. พบ ร้อยละขนาดก้อนดินช่วง 0-20 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดก้อนดินที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์พืช 49.48 และ 32.05 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าใบมีดแบบผสม 9.73 และ 17.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การตัดแปลงใบมีดจอบหมุนให้มีลิ้มด้านหน้า โดยลิ้มมีลักษณะเป็นแท่งหน้าตัดครึ่งวงรี ขนาดลิ้มกว้าง 10 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร ปลายลิ้มด้านล่างมีความลาดเอียงแนวเดียวกับคมของใบมีด เป็นรูปแบบใบมีดที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับชุดพรวนจอบหมุนที่เกษตรกรมีใช้อยู่แล้วให้สามารถทำการพรุนดินที่มีความชื้นช่วง 28.36-31.52%db. ได้ ซึ่งเป็นช่วงความชื้นดินที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดพันธุ์พืช จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้น้ำในการเพาะปลูกพืช ลดค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำเข้าแปลงเพื่อเตรียมแปลงเพาะปลูก ทำการเพาะปลูกได้เร็วขึ้น และเป็นแนวทางช่วยให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ อย่างไรก็ตาม ควรมีการทดสอบผลของระยะการตัดดินต่อขนาดของก้อนดินเพิ่มเติม

5.กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียน ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับการสนับสนุนทั้งบุคลากร เจ้าหน้าที่ เครื่องมือในการทำวิจัย ตลอดจนทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี 2563 ของนายวิษยากร บัวเขียน

6.เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2548). *คู่มือดินเผาต่อซัง สร้างดินยั่งยืน พื้นสิ่งแวดล้อม*. สืบค้นเมื่อวันที่ 29 สิงหาคม 2568, จาก https://www.ddd.go.th/manual_stump/stump.pdf, 20 หน้า.
- ฉวีวรรณ สุดจิตร และ ปารณีย์ เผ่าภูธร. (2559). การศึกษาการให้น้ำชลประทานแก่ข้าวนาปรังในเขตภาคเหนือ โดยกำหนดระดับน้ำต่ำกว่าผิวดิน 5 เซนติเมตร. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2568, จาก <https://water.rid.go.th/hwm/cropwater/iwmd/omdirw/paper/paper006.pdf>, 6 หน้า.
- ชิตีพัทธ์ นุ่มนวล, ธนพล พูลสุข และ ศิริชัย ฤทธิเนติกุล. (2567). *การพัฒนาชุดหดยอดเมล็ดพันธุ์อย่างแม่นยำ, ปริญญาโท*. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 93 หน้า.
- ไพโรจน์ นะเที่ยง, จันทรเพ็ญ ชุมแสง และ กันต์ อินทวงศ์. (2561). เครื่องตัดสับสำหรับลดขนาดทางกายภาพฟางและตอซังข้าวแบบลากจูง. *วารสารวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัล (Journal of Engineering and Digital Technology)*, 6(1), 43-48.
- รัตนา การุญบุญญานันท์ และ ธนัชสิทธิ์ พูนไพบุลย์พิพัฒน์. (2561). *การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรสำหรับปลูกพืชแบบไม่ไถเตรียมดินสำหรับระบบเกษตรอินทรีย์หลังนา*, รายงานฉบับสมบูรณ์. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.) และสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช), 70 หน้า.
- รัตนา การุญบุญญานันท์. (2563). *การพัฒนาชุดสับฟางข้าวสำหรับบรรเทาความเสียหายเพื่อลดการเผาฟางในนาข้าว*, รายงานฉบับสมบูรณ์. โครงการส่งเสริมและสนับสนุนบุคลากรด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการจัดการจากภาครัฐและสถาบันอุดมศึกษาไปปฏิบัติงานเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันในภาคการผลิตและบริการ (Talent Mobility), 71 หน้า.
- สราวุธ เหล่าพงศ์สวัสดิ์. (2546). *การศึกษาเปรียบเทียบแรงที่กระทำกับใบมีดจอบหมุน 3 ชนิด*, วิทยานิพนธ์. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 181 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2568). *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2567*. สืบค้นเมื่อวันที่ 29 สิงหาคม 2568,

จาก <https://www.opsmoac.go.th/chumphon-dwl-files-471091791226>, 228 หน้า.

ASTM. (1999). ASTM D2216-98: Standard test method for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass. The American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, USA.

ASTM. (2009). ASTM D7263-09: Standard test methods for laboratory determination of density (unit weight) of soil specimens. The American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, USA.

Jin, T., Jiyu, S., Donghui, C. & Shujun, Z. (2005). Geometrical features and wettability of dung beetles and potential biomimetic engineering applications in tillage implements. *Soil & Tillage Research*, 80(1-2), 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.12.012>.

Smith, D.W., Sims, B.G. & O'Neill, D.H. (1994). *Testing and evaluation of agricultural machinery and equipment*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Agricultural Engineering Service, 274 pages.

Yumei, S., Michiaki, I., Hajime, A. & Yoneji, Y. (2004). Effect of soil clod-size on the emergence and growth in some crops. *Japanese Journal of Farm Work Research*, 39(3), 151-156, <https://DOI : 10.4035/jsfwr .39.151>.

Yuwan, Y., Jin, T., Yuxiang, H., Jinguang, L. & Xiaohu, J. (2021). Biomimetic rotary tillage blade design for reduced torque and energy requirement. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2021(3), 1-16, <https://doi.org/10.1155/2021/8573897>.