

วิจัยและพัฒนาขลุบหมุนตีเทือกสำหรับเตรียมดินขั้นที่สองในนาข้าวชลประทาน
Research and Development of Rotary Puddler for Secondary Tillage
in Irrigated Paddy Field

พัทตร์วิภา สุทธิวารี¹

ขนิษฐ หว่านณรงค์¹

อัศคพล เสนานรงค์²

สุภาสิต เสงี่ยมพงศ์¹

อนุชิต นำสิงห์¹

ยุทธนา เครือหาญชาญพงศ์¹

ประสาธ แสงพันธุ์ตา¹

Phakwipha Sutthiwaree¹

Knit Wannarong¹

Akkapol Senanarong²

Suphasit Sngiamphongse¹

Anuchit Chamsing¹

Yuttana Khaehanchanpong¹

Prasart Sangpanta¹

ABSTRACT

A rotary puddler implementing with a small four-wheel tractor (27 hp) was designed and developed for secondary tillage in irrigated paddy field by the Institute of the Agricultural Engineering Research. The rotary puddler has used to increase a field efficiency and decrease a labour shortage. The rotary puddle is attached with tractor by using 3 point linkage. The power from PTO shaft was transmitted to 35 hp rotary gearbox (ratio 1.46:1) by mean of chain and sprocket (ratio 1.7:1). The rotor speed was 218 rpm at the PTO speed of 540 rpm. The cage wheel type was used. The cutting width of the rotary puddler was 2.40 m. The rotary puddler drum had five cage wheels to mount the blades. Eighteen triangular type blades were fitted on each cage wheel. The cage wheels were located to attain a spiral form of the blade to prevent from cutting soil in the same time. The tests were conducted in an irrigated paddy field at Banpong district, in Ratchaburi province. The primary tillage was operated by tractor that attached rotary and remained the water for 2 days. The tests were conducted with PTO speed of 540 rpm in the first pass and 700 rpm in the second pass.

¹ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมผลิตพืช สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กทม. 10900

Crop Production Engineering Group Institute of Agricultural Engineering Research, Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok 10900

² สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กทม. 10900

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

Results from the test of first pass of 2.27 rai/h with 2.15 km/h travelling speed. Field efficiency was 70.27%. Fuel consumption was 1.97 l/rai and second pass indicated the field capacity 3.67 rai/h with 3.68 km/h travelling speed, field efficiency 69.61%, fuel consumption 1.31 l/rai, respectively. Power requirement of the rotary puddler was 16.95 hp in first pass and 19.46 hp in second pass. Puddling index was 52.24% in the first pass and 62.38% in the second pass.

Key words: rotary puddler, irrigated paddy field

บทคัดย่อ

สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมได้ออกแบบและพัฒนาขลุบหมุนตีเทือกสำหรับเตรียมดินชั้นที่สองในนาข้าวชลประทาน โดยต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาด 27 แรงม้า (20.14 กิโลวัตต์) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานในการเตรียมดินชั้นที่สอง โดยออกแบบขลุบหมุนสำหรับติดพ่วงรถแทรกเตอร์แบบ 3 จุด มีระบบถ่ายทอดกำลังจากตัวรถแทรกเตอร์ผ่านเพลลาอำนาจกำลัง (PTO) ไปยังชุดเกียร์ทดขนาด 35 แรงม้า ที่มีอัตราทด 1.46 : 1 แล้วส่งผ่านกำลังไปยังเฟืองโซ่ที่มีอัตราทด 1.7 : 1 เพื่อขับเพลลาขลุบหมุน ให้หมุนด้วยความเร็วประมาณ 218 รอบ/นาที ที่ความเร็วรอบเพลลาอำนาจกำลังรถแทรกเตอร์ 540 รอบ/นาที ชนิดของใบมีดเป็นแบบ Cage Wheel ซึ่งมีลักษณะเป็นใบมีด

เชื่อมติดกับกรงเหล็กหมุนเรียงสลับกัน จำนวน 18 ใบรวม 5 ชุด รวมใช้ใบมีดทั้งหมด 90 ใบ โดยจัดเรียงใบมีดสลับกันเพื่อให้มีการตีดินไม่พร้อมกัน ขลุบหมุนมีหน้ากว้างการทำงาน 2.40 ม. ได้ทดสอบหาสมรรถนะในการทำงานโดยใช้รถแทรกเตอร์ Kubota รุ่น L 2605 ขนาด 27 แรงม้า (20.14 กิโลวัตต์) เป็นต้นกำลัง ในพื้นที่นาข้าวชลประทาน อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี โดยเตรียมดินชั้นต้นด้วยจอบหมุนตีรถแทรกเตอร์ และปล่อยน้ำแช่ขัง 2 วัน และทดสอบการเตรียมดินชั้นที่สองโดยใช้ขลุบหมุน ซึ่งจะเตรียมดินซ้ำ 2 รอบ การทดสอบเตรียมดินโดยใช้ขลุบหมุน รอบที่ 1 รถแทรกเตอร์ใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ย 2.15 กม./ชม. ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 2.27 ไร่/ชม. ประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่เฉลี่ย 70.27% อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.97 ลิตร/ไร่ ตรวจจับความเป็นเทือกของดินเฉลี่ย 52.24% การทดสอบการเตรียมดินโดยใช้ขลุบหมุนรอบที่ 2 รถแทรกเตอร์ใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ย 3.68 กม./ชม. ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 3.67 ไร่/ชม. ประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่เฉลี่ย 69.61% อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.31 ลิตร/ไร่ ตรวจจับความเป็นเทือกของดินเฉลี่ย 62.38% และพบว่าขลุบหมุนติดพ่วงรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก สามารถใช้เตรียมดินชั้นที่สองได้อย่างรวดเร็วมีประสิทธิภาพ และค่าความเป็นเทือกของดินอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับนาหว่านน้ำตาม

คำหลัก: ขลุบหมุนตีเทือก, นาข้าวชลประทาน

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีพื้นที่นาข้าวทั้งหมดประมาณ 60 ล้านไร่ คิดเป็นพื้นที่ชาวนาปรัง 8 ล้านไร่ (นิรนาม, 2548) การทำนาในเขตชลประทานนิยมทำนาหว่านน้ำตาม ซึ่งเกษตรกรจะสามารถทำได้ 3 ครั้งต่อปี (ประเชิญ, 2542) การเตรียมดินสำหรับการปลูกข้าวนาหว่านน้ำตาม ความเรียบได้ระดับของพื้นนา และการรักษาหรือเพิ่มขึ้นดินดานเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อผลผลิตที่จะได้รับ เนื่องจากชั้นดินดานเป็นชั้นดินที่สามารถช่วยป้องกันไม่ให้น้ำและปุ๋ยรั่วสูญเสียไป (Sakai *et al.*, 1999) และช่วยให้ควบคุมการให้น้ำได้ระดับสม่ำเสมอทั้งแปลง ต้นข้าวได้รับน้ำพอดีกับความต้องการ เมล็ดข้าวที่หว่านจะไม่ถูกน้ำขัง เน่าเสียหาย ซึ่งเกษตรกรจะเตรียมดินชั้นต้นโดยการไถเดินตามพ่วงกับไถงาน หรือรถแทรกเตอร์พ่วงจอบหมุน หลังจากนั้นจะทำการปรับความละเอียดของดินโดยการไถครั้งที่สอง (หรือเรียกว่าการทำเทือก) โดยการไถรถไถเดินตามพ่วงลูกจิมหรือขลุ่ยไม้ลากวนไปมาประมาณ 3 รอบ และปรับระดับของผิวหน้าดินโดยการลูบเทือกด้วยกระดานลูบเทือก แต่ก็ประสบปัญหาเนื่องจากต้องใช้แรงงานและเวลาค่อนข้างมากเพราะการทำนาข้าวในเขตชลประทานสามารถทำนาได้ตลอดทั้งปี ดังนั้น เพื่อลดปัญหาการขาดแคลนแรงงาน และความรวดเร็วในการเตรียมดินให้ทันต่อความต้องการ ได้มีการนำ

เครื่องจักรกลเกษตรมาใช้มากขึ้น ในราวปี พ.ศ. 2535 กองเกษตรวิศวกรรมเดิม หรือสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมในปัจจุบัน ได้ทดลองใช้ขลุ่ยหมุนของประเทศญี่ปุ่น พบว่าสามารถทำงานได้ดี แต่เนื่องจากขลุ่ยหมุนนำเข้ามีราคาแพง และมีปัญหาในการซ่อมแซม บำรุงรักษา ตลอดจนมีขนาดเล็กไม่เหมาะสมกับแปลงนาของประเทศไทย จึงไม่เป็นที่แพร่หลาย สมควรพัฒนาอุปกรณ์ดังกล่าวให้สามารถผลิตได้ภายในประเทศ

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการวิจัยโดยตรวจเอกสารขลุ่ยหมุนจากต่างประเทศ อุปกรณ์สำหรับเตรียมดินชั้นที่สองในนาข้าว และวิธีการทำนาข้าวแบบหว่านน้ำตามในประเทศไทย ซึ่งพบว่าในประเทศไทย ญี่ปุ่นจะใช้ขลุ่ยหมุนดีดรถแทรกเตอร์เตรียมดินชั้นที่สองเพื่อทดแทนแรงงานและประหยัดเวลา ลักษณะของใบมีดขลุ่ยหมุนที่ใช้กันแพร่หลาย (Anon, 2000) มีอยู่ 2 ชนิด คือ

- ใบมีดชนิด Cage Wheel ลักษณะการหมุนของล้อเหล็ก จะช่วยพลิกกลบเศษฟางและวัชพืชได้ดีขึ้น ใบมีดชนิดนี้จะช่วยย่อยดินชั้นบนให้ละเอียดมากขึ้น
- ใบมีดชนิด Tine ใบมีดชนิดนี้มีลักษณะเป็นเหล็กโค้งและแผ่นเหล็กด้านหลัง จะช่วยย่อยดินให้ละเอียด (Figure 1)

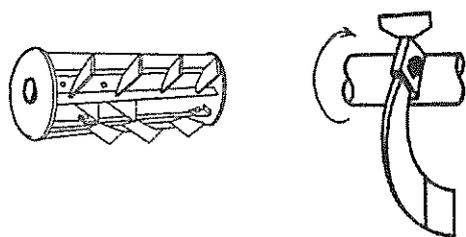


Figure 1. Rotary puddler blade Cage Wheel type (right) and Tine type (left)

ต่อจากนั้นจึงทำการออกแบบและสร้างขลุบหมุนต้นแบบสำหรับติดพ่วงรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก โดยใช้รถแทรกเตอร์ Kubota รุ่น L 2605 ขนาด 27 แรงม้า (20.14 กิโลวัตต์) เป็นต้นกำลัง กำลังจากเพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์ที่ความเร็วรอบเพลลาอำนาจกำลัง 540 รอบ/นาทีส่งมายังห้องเกียร์ทดขนาด 35 แรงม้า (26.11 กิโลวัตต์) อัตราทด 1.46 : 1 และส่งผ่านกำลังไปยังเฟืองโซ่ ขนาด 10 ฟัน และ 17 ฟัน อัตราทด 1.7 : 1 เพื่อขับเพลลาขลุบหมุน ให้หมุนด้วยความเร็วรอบประมาณ 218 รอบ/นาที ระบบการถ่ายทอดกำลัง (Figure 2) ออกแบบใช้ใบมีดชนิด Cage Wheel เนื่องจากเป็นใบมีดที่ใช้กันแพร่หลายในต่างประเทศ สามารถผลิตได้เอง และมีความสามารถช่วยในการพลิกกลบต่อซังได้ดี โดยต้นแบบที่ 1 มีจำนวนแผงใบมีด 4 ชุด แต่ละแผงประกอบด้วยใบมีด 4 ใบ มีหน้ากว้างในการทำงาน 1.8 ม. และทดสอบเบื้องต้นในนาข้าวชลประทาน อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี โดยพิจารณาความเป็นไปได้ในการใช้งาน ข้อบกพร่องต่างๆ จากผลการทดสอบเบื้องต้น พบว่าสามารถใช้งานได้ดีในระดับหนึ่ง แต่มีจุดบกพร่องที่ต้องแก้ไขคือ ระดับของเพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์ ไม่ได้

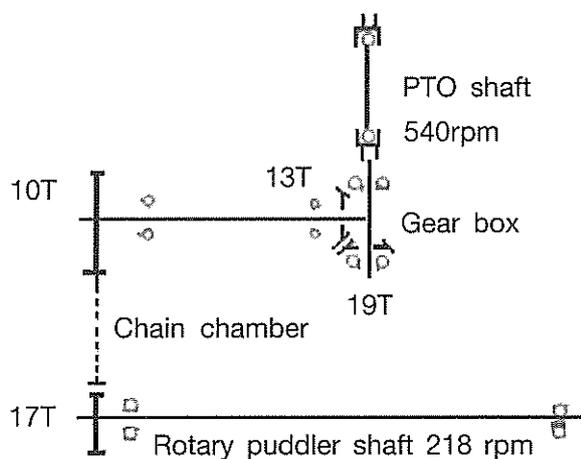


Figure 2. Transmission system

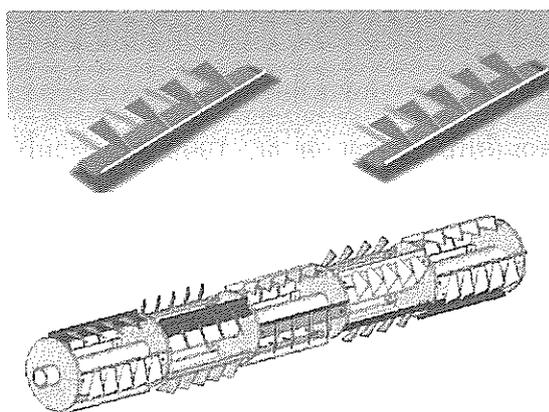


Figure 3. Rotary puddler 5 blade type (left) 4 blades (right) and spiral form of blade

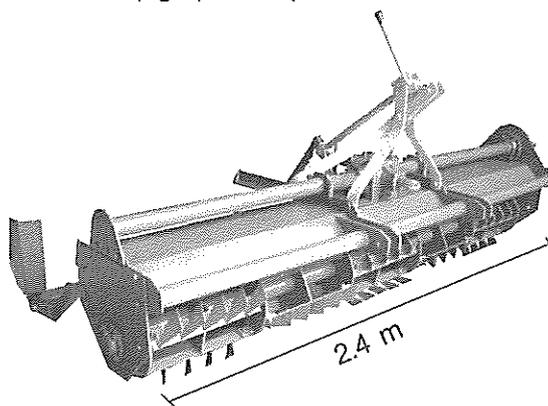


Figure 4. Rotary puddler prototypes 2 ระดับกับเพลลาของชุดเกียร์ทดขลุบหมุนซึ่งจะมีผลต่อการใช้งานในระยะยาว และยังสังเกตเห็นว่าสามารถเพิ่มขนาดหน้ากว้างการทำงานได้อีก โดยไม่เป็นภาระแก่รถแทรกเตอร์ จึงสร้าง

ต้นแบบตัวที่ 2 โดยแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ดังนี้ คือ ปรับระดับความสูงของห้องโซ่จาก 520 มม. เป็น 620 มม. เพื่อให้ระดับของเพลาชุดเกียร์ทดขลุบหมุนได้ระดับกับเพล่าอำนวยการกำลังของรถแทรกเตอร์ และเพิ่มหน้ากว้างการทำงานเป็น 2.4 ม. ประกอบด้วยใบมีดชนิด Cage Wheel จำนวน 5 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยใบมีด 18 ใบ โดยมีแผงใบมีดแบบ 4 ใบ จำนวน 2 แผง และแผงใบมีดแบบ 5 ใบ จำนวน 2 แผง วางเรียงสลับกัน รวมใบมีดทั้งหมด 90 ใบ ลักษณะและการจัดเรียงใบมีดของขลุบหมุนต้นแบบตัวที่ 2 (Figure 3) มีวัสดุยึดแผ่นลูปเทือกเป็นผ้าใบต้นแบบขลุบหมุนตัวที่ 2 (Figure 4)

ขั้นต่อไปทำการทดสอบกำลังของรถแทรกเตอร์ในแปลงทดสอบและห้องปฏิบัติการโดยการทดสอบในแปลงกำหนดให้มีการไถเตรียมดินขั้นที่สองจำนวน 2 รอบ (Figure 5) ในรอบที่ 1 ให้รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วระดับเกียร์ 3 และความเร็วรอบของเพล่าอำนวยการกำลังที่เกียร์ 1 (540 รอบ/นาที) ในรอบที่ 2 ให้รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วระดับเกียร์ 4 และความเร็วรอบของเพล่าอำนวยการกำลังที่เกียร์ 2 (700 รอบ/นาที) โดยมีการบันทึกข้อมูลต่างๆ ดังนี้

1. คุณสมบัติของดิน

วัดค่าความต้านทานแรงกดของดิน (cone penetration) โดยวิธีของ RNAM Test Code ใช้เครื่องมือทดสอบแรงต้านทานของดิน (Cone Penetrometer) ชนิด SR-2

2. ความแข็งแรงของผิวหน้าเทือก (falling cone depth) (วิชาและคณะ, 2537) โดย

ใช้เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงของผิวหน้าเทือก (Drop Type Cone Penetrometer) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 33 มม. สูง 40 มม. มุมยอด 45 องศา และน้ำหนัก 135 กรัม ทดสอบโดยการปล่อย cone ที่ระยะความสูง 1 ม. วัดระยะความลึกของ cone ที่จมโดยวัดจากผิวหน้าเทือกถึงปลายของ cone

3. วัดค่าดัชนีความเป็นเทือก (puddling index) วิธีของ Sinha และ Dave (1964) ใช้บีกเกอร์เก็บตัวอย่างดินเพื่อวัดค่าดัชนีความเป็นเทือก โดยวัดปริมาตรดินทั้งหมด และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชม. วัดปริมาตรของดินที่ตกตะกอน โดยค่าดัชนีความเป็นเทือก คือ เปอร์เซ็นต์อัตราส่วนระหว่างปริมาตรดินที่ตกตะกอนต่อปริมาตรดินทั้งหมด

4. วัดความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ (effective field capacity) ความสามารถในการทำงานเชิงทฤษฎี (theoretical capacity) ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ (field efficiency) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (fuel consumption) ใช้อุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้ นาฬิกาจับเวลา เทปวัดระยะทาง กระจกตวงวัดน้ำมัน โดย

ความสามารถการทำงานเชิงพื้นที่ (EFC) = $\frac{A}{T}$ ไร่/ชม.

A คือ พื้นที่ทั้งหมด ไร่

T คือ เวลาทำงานทั้งหมด ชม.

ความสามารถการทำงานเชิงทฤษฎี (TFC) = $W_t \times V_t \times C$ ไร่/ชม.

W_t คือ ความกว้างในการทำงาน ม.

V_t คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ กก./ชม.

C คือ ค่าคงที่ = 0.625

ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ = $\frac{\text{ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่}}{\text{ความสามารถในการทำงานเชิงทฤษฎี}} \times 100\%$

วิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ โดย แทรกเตอร์และอุปกรณ์ 7 ปี ค่าใช้จ่ายในการกำหนดให้ราคารถแทรกเตอร์ขนาดเล็กเท่ากับ จ้างรถแทรกเตอร์เตรียมดิน 380 บาท/ไร่ สามารถ 350,000 บาท จอบหมุนขนาด 1.4 ม. ราคา จำนวนจุดค้ำทุ่นและระยะเวลาคืนทุนโดย 40,000 บาท และขลุบหมุนราคา 40,000 บาท สมการได้ดังนี้ รวมราคาทั้งหมด 430,000 บาท โดยใช้งานรถ จุดที่ค้ำทุ่นของการใช้งานสามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\text{ต้นทุนรวมต่อปี}}{\text{พื้นที่การใช้งาน (ไร่/ปี)}} = \text{ค่าใช้จ่ายในการจ้างรถแทรกเตอร์เตรียมดิน.....(1)}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุนของการใช้งานจอบหมุนและขลุบหมุน } P + \frac{(0.1P) \times Y}{2} + (V \times A \times Y) = H \times A \times Y \text{.....(2)}$$

โดยที่

P	=	เงินลงทุนซื้อรถแทรกเตอร์และอุปกรณ์	บาท
A	=	พื้นที่ทำงานต่อปี	ไร่/ปี
V	=	ต้นทุนผันแปร	บาท/ไร่
Y	=	ระยะเวลาการคืนทุน	ปี
H	=	ราคาไร่จ้างต่อไร่	บาท/ไร่
ต้นทุนรวมต่อปี	=	ต้นทุนคงที่รวม + ต้นทุนผันแปรรวม	บาท/ไร่
ต้นทุนคงที่รวม	=	ต้นทุนคงที่ของจอบหมุน + ต้นทุนคงที่ของขลุบหมุน + ต้นทุนคงที่ของรถแทรกเตอร์	
ต้นทุนผันแปรรวม	=	ต้นทุนผันแปรจอบหมุน + ต้นทุนผันแปรของขลุบหมุน + ต้นทุนค่าผันแปรของรถแทรกเตอร์	
ต้นทุนคงที่	=	ค่าเสื่อมราคา + ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน	บาท/ปี
ค่าเสื่อมราคา	=	$P - S$	บาท
ค่าดอกเบี้ย	=	$\frac{(P + S)}{2} \times \left(\frac{i}{100}\right)$	บาท

โดย

P	=	ราคาซื้อของเครื่องจักร	บาท
S	=	ราคาซากของเครื่องจักร	บาท
รถแทรกเตอร์	=	30 % ของราคาซื้อ	บาท
จอบหมุน	=	10 % ของราคาซื้อ	บาท
ขลุบหมุน	=	10 % ของราคาซื้อ	บาท
N	=	อายุการใช้งาน	ปี
i	=	อัตราดอกเบี้ยต่อปี	10 %
ต้นทุนผันแปร	=	ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง + ค่าน้ำมันหล่อลื่น + ค่าแรงคนขับรถ + ค่าบำรุงรักษารถแทรกเตอร์	บาท/ไร่
ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง	=	24.50	บาท/ลิตร
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	=	20 % ของค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	บาท
ค่าแรงคนขับรถแทรกเตอร์	=	25	บาท/ชม.
ค่าบำรุงรักษาของรถแทรกเตอร์	=	0.50 % ของราคาซื้อ/ชม.	การทำงาน 100 ชม.
ค่าบำรุงรักษาของจอบหมุน	=	5.33 % ของราคาซื้อ/ชม.	การทำงาน 100 ชม.
ค่าบำรุงรักษาของขลุบหมุน	=	3 % ของราคาซื้อ/ชม.	การทำงาน 100 ชม.

ผลการทดลองและวิจารณ์

ทำการทดสอบโดยมีการเตรียมดินขั้นต้นด้วยจอบหมุนติดรถแทรกเตอร์ และทดสอบเตรียมดินขั้นที่สอง จำนวน 2 รอบ/แปลง โดยรอบที่ 1 ใช้ความเร็วรถแทรกเตอร์ที่ระดับเกียร์ 3 และความเร็วรอบของเพลลาอำนาจกำลังที่เกียร์ 1 รอบที่ 2 ใช้ความเร็วรถแทรกเตอร์ที่ระดับเกียร์ 4 และความเร็วรอบของเพลลาอำนาจกำลังที่เกียร์ 2 ผลการทดสอบมีดังนี้

ผลการทดสอบการเตรียมดินขั้นที่สองด้วยขลุบหมุนทั้ง 2 รอบ สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อตีเทือกมากความแข็งแรงของผิวหน้าเทือกก็จะมี

ค่าลดลง (cone drop type จมมากขึ้น) ซึ่งทำให้การเตรียมดินขั้นที่สองรอบที่ 2 สามารถทำได้ง่ายขึ้นความสามารถในการทำงานจึงเพิ่มขึ้นและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง (Figure 6)



Figure 5. Teating in paddy field

Table 1. Result of testing in irrigated paddy field

	Before testing	Pass 1	Pass 2
Falling cone depth (cm)	6.85	8.39	7.58
Traveling speed (km/h)		2.15	3.68
Field efficiency (%)		70.27	69.61
Effective field capacity (rai/h)		2.27	3.67
Fuel consumption (liter/rai)		1.97	1.31
Puddling index (%)		52.24	62.38
Power (hp (kW))		16.95(12.65)	19.46(14.52)

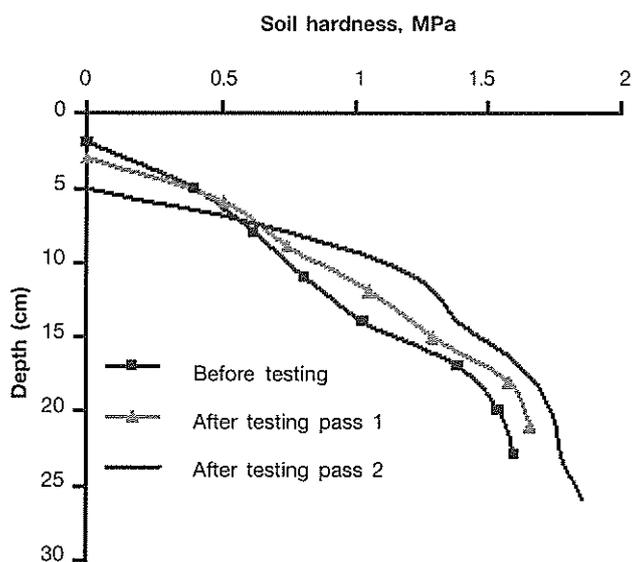


Figure 6. Cone penetration

ที่ระยะความลึกในช่วงราว 0 - 10 ซม. เป็นระยะที่ขลุบหมุนที่ดิน ค่าความต้านทานแรงกดของดินจะมีค่าลดลง เมื่อจำนวนครั้งของการตีดินเพิ่มขึ้น แต่ที่ความลึกตั้งแต่ 10 ซม. ขึ้นไป ค่าความต้านทานแรงกดของดินจะมีค่ามากขึ้นเมื่อจำนวนครั้งของการตีดินเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเตรียมดินชั้นที่สองจะช่วยสร้างชั้นดินดาน ซึ่ง

ตรงตามจุดประสงค์ของการทำนาที่ต้องการชั้นดินดาน (hard pan) เพื่อช่วยในการเก็บกักน้ำ (Figure 6)

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยกำหนดให้ราคารถแทรกเตอร์ขนาดเล็กเท่ากับ 350,000 บาท จอบหมุนขนาด 1.4 ม. ราคา 40,000 บาท และขลุบหมุนราคา 40,000 บาท รวมราคาทั้งหมด 430,000 บาท โดยใช้งานรถแทรกเตอร์และอุปกรณ์ 7 ปี และราคาขายรถแทรกเตอร์และอุปกรณ์หลังการใช้งาน 7 ปีเท่ากับ 113,000 บาท

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีของเกษตรกร โดยเกษตรกรซื้อรถแทรกเตอร์พร้อมจอบหมุน และขลุบหมุนมาเตรียมดินชั้นต้นและชั้นที่สอง จากการคำนวณสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่การใช้งานต่อปี และต้นทุนการทำงาน (Figure 7) จะเห็นว่าต้นทุนในการใช้งานลดลงเมื่อพื้นที่การใช้งานมากขึ้นเกษตรกรสามารถตัดสินใจซื้อเครื่องจักรกลเกษตร

โดยพิจารณาจากต้นทุนในการเตรียมดิน ซึ่งควรมีราคาต่ำกว่าราคาค่าจ้างเตรียมดินในขณะนั้นเช่นในปัจจุบันระบบรับจ้างเตรียมดินขั้นต้นด้วยรถแทรกเตอร์ติดจอบหมุนราคาค่าจ้างประมาณ 200 บาท/ไร่ ส่วนค่ารับจ้างเตรียมดินขั้นที่สองด้วยรถไถเดินตามราคาค่าจ้างประมาณ 180 บาท/ไร่ รวมต้องเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 380 บาท/ไร่ ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่การใช้งานต่อปีกับต้นทุนการทำงาน จะเห็นว่าที่ต้นทุนค่าใช้จ่าย 380 บาท/ไร่ พื้นที่การใช้งานเท่ากับ 420 ไร่/ปี ดังนั้นเกษตรกรที่จะซื้อรถแทรกเตอร์พร้อมจอบหมุนและขลุบหมุนมาใช้งาน ควรมีพื้นที่การเตรียมดินไม่ต่ำกว่า 420 ไร่/ปี หรือมีที่ดินทำนาไม่น้อยกว่า 140 ไร่ ถ้าทำนาปีละ 3 ครั้ง หรือมีที่ดินทำนาไม่น้อยกว่า 210 ไร่ ถ้าทำนาปีละ 2 ครั้ง ถ้าเกษตรกรมีพื้นที่การเตรียมดินน้อยกว่า 420 ไร่/ปี ก็ไม่ควรซื้อรถแทรกเตอร์พร้อมจอบหมุนและขลุบหมุนมาใช้งาน (Figures 7, 8)

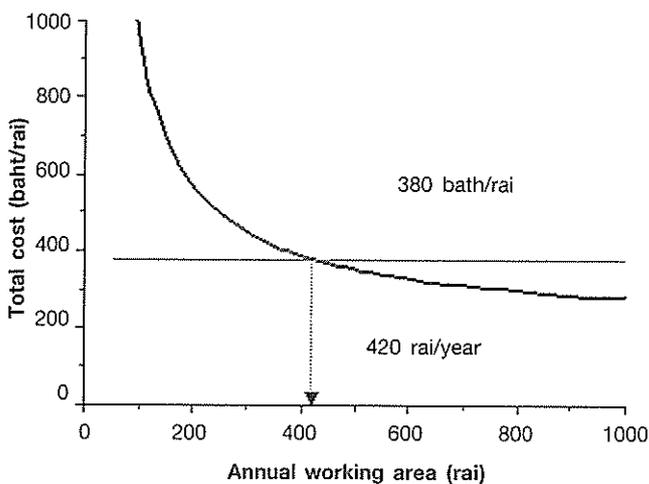


Figure 7. Relationships between annual working area and total cost in case of farmer

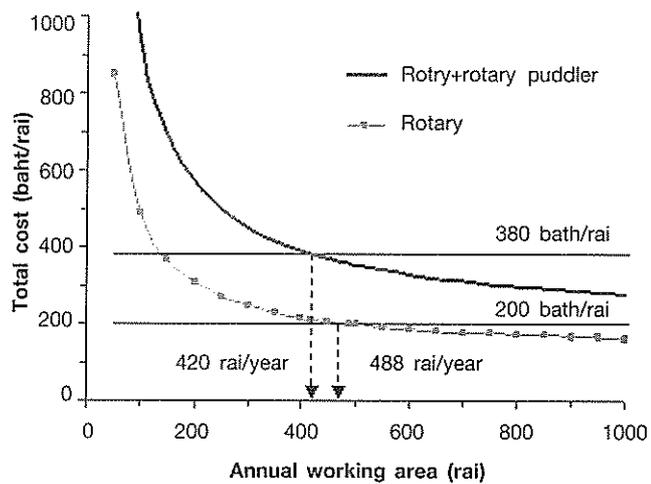


Figure 8. Relationships between annual working area and total cost in case of contractor

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีของผู้รับจ้าง แบ่งเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 ผู้รับจ้างซื้อรถแทรกเตอร์พร้อมจอบหมุนและขลุบหมุนรับจ้างเตรียมดินขั้นต้นและขั้นที่สอง จะเห็นว่าต้นทุนในการทำงานจะลดลงมากขึ้นเมื่อพื้นที่การใช้งานต่อปีมากขึ้น กรณีนี้ควรมีพื้นที่รับจ้าง 420 ไร่/ปีขึ้นไป จึงมีต้นทุนการทำงานต่อไร่ที่ต่ำกว่า 380 บาท/ไร่

กรณีที่ 2 เป็นวิธีดั้งเดิมที่ไม่ใช้ขลุบหมุน กล่าวคือ ผู้รับจ้างซื้อรถแทรกเตอร์พร้อมจอบหมุนมาเตรียมดินขั้นต้น แต่ไม่ได้ซื้อขลุบหมุนจากการคำนวณดังแสดงในกราฟจะเห็นว่าต้นทุนในการทำงานลดลงมากขึ้นเมื่อพื้นที่การใช้งานต่อปีมากขึ้น กรณีนี้ควรมีพื้นที่รับจ้าง 488 ไร่/ปี ขึ้นไป จึงมีต้นทุนการทำงานต่อไร่ที่ต่ำกว่า 200 บาท/ไร่

ทั้งสองกรณีมีพื้นที่รับจ้างขั้นต่ำไม่ต่างกันมาก ถ้าพื้นที่การทำงานมากขึ้น เช่น มีพื้นที่ทำงาน 1,000 ไร่/ปี กรณีที่ 1 มีต้นทุนในการใช้

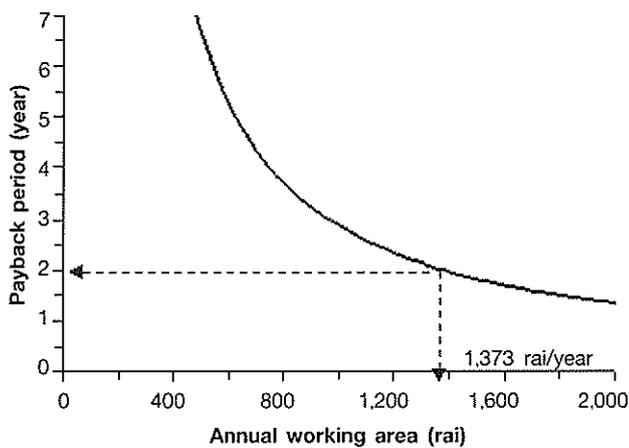


Figure 9. Relationships between pay back period and annual working area

งาน 280 บาท/ไร่ ถ้ารับจ้างไร่ละ 380 บาท ได้กำไร 100 บาท/ไร่ หรือคิดเป็นกำไร 100,000 บาท/ปี ในกรณีที่ 2 มีต้นทุนในการใช้งาน 162 บาท/ไร่ ถ้ารับจ้างเตรียมดินขั้นต้นไร่ละ 200 บาท ได้กำไร 38 บาท/ไร่ หรือคิดเป็นกำไร 38,000 บาท/ปี เห็นว่าถ้าเกษตรกรซื้อขลุบหมุนมารับจ้างด้วยจะได้กำไรมากขึ้นอีก 62,000 บาท/ปี

ในการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนพบว่าถ้านำรถแทรกเตอร์ไปรับจ้างเตรียมดินเป็นพื้นที่มากก็คืนทุนเร็ว ถ้าเกษตรกรต้องการคืนทุนในสองปี ก็จะต้องนำรถแทรกเตอร์ไปรับจ้างเป็นจำนวนพื้นที่ 1,373 ไร่ ในราคาไร่ละ 380 บาท การรับจ้างในพื้นที่ 1,373 ไร่/ปี นี้ ในแต่ละปีผู้รับจ้างต้องทำงานประมาณ 156 วัน โดยทำงานวันละ 10 ชม. และเงินที่ได้รับจากการขายรถแทรกเตอร์ และอุปกรณ์จะถือเป็นกำไรที่ได้รับจากการทำงานในช่วง 2 ปี (Figure 9) โดยภาพรวมแล้วมีความสามารถการทำงานและคุณภาพเป็นที่น่าพึงพอใจ และการที่ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ไม่สูงมากนักเป็นเพราะพื้นที่

การทดสอบมีขนาดค่อนข้างเล็ก จึงคาดว่าขลุบหมุนจะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตข้าวในนาชลประทาน จะช่วยให้เกษตรกรสามารถเตรียมดินขั้นที่สองได้อย่างมีประสิทธิภาพและทันตามความต้องการ ดินที่เรียบสม่ำเสมอช่วยทำให้ต้นข้าวได้รับน้ำอย่างเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตตลอดจนการที่ขลุบหมุนทำให้เกิดชั้นดินดานที่ดีจะช่วยประหยัดน้ำ และลดการสูญเสียของปุ๋ย นอกจากนี้ การที่ขลุบหมุนสามารถผลิตได้ภายในประเทศโดยสามารถซ่อมแซมได้โดยโรงงานท้องถิ่น จะช่วยให้เกษตรกรไม่ประสบปัญหาในการบำรุงรักษาขลุบหมุน

ปัจจุบันบริษัท ก. แสงยนต์ ลูกแก อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี ได้นำต้นแบบขลุบหมุนไปผลิตเพื่อจำหน่ายไปแล้วประมาณ 5 เครื่อง โดยใช้ชิ้นส่วนในประเทศเป็นส่วนใหญ่ ในราคา 40,000 บาท ได้มีการเผยแพร่ทางโทรทัศน์รายการก้าวไกลกับกรมวิชาการเกษตร ในวันที่ 5 พฤศจิกายน พ.ศ. 2548 ร่วมจัดนิทรรศการในงานปทุมธานี Expo 2005 วันที่ 4-15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2548 เผยแพร่ขลุบหมุนที่โรงสีข้าวสหกรณ์ลำลูกกาและสหกรณ์การเกษตรจ.ปทุมธานี ในวันที่ 19-23 ธันวาคม พ.ศ. 2548 และเผยแพร่ทางรายการร่วมแรง ร่วมใจ กับวิจัยวิชาการเกษตร ของสถานีวิทยุ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในวันที่ 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549

สรุปผลการทดลอง

ได้ออกแบบและพัฒนาขลุบหมุนดีเทือกสำหรับเตรียมดินขั้นที่สองในนาข้าวชลประทาน

ที่ใช้ติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาด 27 แรงม้า (20.14 กิโลวัตต์) ความเร็วรอบขลุบหมุน 218 รอบ/นาที่ ที่ความเร็วรอบเพลลาอำนาจกำลัง 540 รอบ/นาที่ ใช้ใบมีดชนิด Cage Wheel จำนวน 90 ใบ หน้ากว้างในการทำงาน 2.4 ม. เมื่อทดสอบเตรียมดินชั้นที่สองในนาข้าวชลประทานในแปลงที่มีการเตรียมดินชั้นต้นด้วยจอบหมุนติดรถแทรกเตอร์ และปล่อยน้ำแช่ซัง 2 วัน จึงทำการเตรียมดินชั้นที่สองด้วยขลุบหมุน จำนวน 2 รอบรอบที่ 1 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 2.15 กม./ชม. พบว่าความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 2.27 ไร่/ชม. ประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่เฉลี่ย 70.27 % อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.97 ลิตร/ไร่ ดรรชนีความเป็นเทือกของดินเฉลี่ย 52.24 % และรอบที่ 2 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 3.68 กม./ชม. ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 3.67 ไร่/ชม. ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่เฉลี่ย 69.61 % อัตราการสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.31 ลิตร/ไร่ ดรรชนีความเป็นเทือกของดินเฉลี่ย 62.38 %

ขลุบหมุนที่ออกแบบใช้ชุดเกียร์ทดขนาด 35 แรงม้า (26.11 กิโลวัตต์) จึงสามารถใช้ได้กับรถแทรกเตอร์ที่มีกำลังขนาด 27 - 35 แรงม้า (20.14-26.11 กิโลวัตต์) และสามารถปรับใช้กับรถแทรกเตอร์ที่มีกำลังน้อยกว่า 27 แรงม้า (20.14 กิโลวัตต์)ได้ โดยการลดความยาวของขลุบหมุนให้เหมาะสม จากการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ถ้าเกษตรกรที่จะลงทุนซื้อรถแทรกเตอร์ จอบ

หมุน และขลุบหมุนไว้ใช้เอง ต้องมีพื้นที่นาไม่น้อยกว่า 140 ไร่ ในกรณีที่ทำนาปีละ 3 ครั้ง หรือมีพื้นที่นาไม่น้อยกว่า 210 ไร่ ในกรณีที่ทำนาปีละ 2 ครั้ง สำหรับผู้รับจ้างด้านล่างทุนซื้อรถแทรกเตอร์ จอบหมุน และขลุบหมุน แล้วรับจ้างเตรียมดินรวมชั้นแรกและชั้นที่สองในราคา 380 บาท/ไร่ เป็นพื้นที่ปีละ 1,000 ไร่ จะได้กำไรปีละ 100,000 บาท

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ หจก. ก. แสงยนต์ (ตลาดลูกแก อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี) ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย โดยให้ยืมรถแทรกเตอร์ Kubota และจัดหาแปลงทดสอบตลอดจนอำนวยความสะดวกในการทดสอบเป็นอย่างดี และบริษัท เค แอนด์ โอ เอ็นจิเนียริง จำกัด ที่ช่วยจัดหาชิ้นส่วนต่าง ๆ เพื่อสร้างต้นแบบ เช่น ห้องเกียร์ ฯลฯ ซึ่งช่วยให้การสร้างต้นแบบเป็นไปตามความต้องการ

ขอขอบคุณลูกจ้างของกลุ่มวิจัยวิศวกรรมผลิตพืชในการสร้างและปรับปรุงขลุบหมุนต้นแบบตลอดจนเสนอข้อคิดเห็นทางเทคนิค ที่เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบ งานวิจัยแล้วเสร็จ

เอกสารอ้างอิง

- ประเชิญ กาญจนไทย์. 2542. *การทำนาหว่านน้ำ ตมแผนใหม่*. เซ็นเตอร์ดีสคัฟเวอรี กรุงเทพฯ. 5 หน้า.
- นิรินาม.2548. *สถานการณ์และมาตรการข้าว นาปรัง 2548*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

- 96 หน้า.
- วิชา หมั่นทำการ ประยุทธ์ สุวรรณชีวะกร และ
เสกสรร สีหงษ์. 2537. เครื่องมือวัดและ
เครื่องมือทดสอบ. *ข่าวสารศูนย์เครื่องจักร
กลเกษตรแห่งชาติ* 7 : 5-8.
- Anon. 2000. *Yanmar Green Revolution*.
Printed in Japan. 49 p.
- Sakai, J. and S. Pongsupamit. 1999. *Two-
Wheel Tractors Engineering for Asian
Wet Land Farming*. Shin-norinsha Co.,
Tokyo, Japan. 14 p.
- Sinha, M.P. and A.K. Dave, 1964. *A Study of
the Measurement of Puddling and
Comparative Performance of Differ-
ent Implements for Puddling in Rice
Cultivation*. Food and Agriculture
Organization of The United Nation,
International Rice Commission,
Manila, Philippines. 5 p.