เครื่องดำนาขนาดเล็กแบบเดินตามสำหรับปักดำต้นกล้าข้าวแบบล้างรากในการปลูกข้าวนาน้ำฝน

SMALL WALKING TYPE RICE TRANSPLANTER WITH ROOT-WASHED SEEDLING FOR RAINED RICE

สมพร หงษ์กง* *วัชรายุทธ ลำดวน*

Somporn Hongkong*, *Watcharayut Lumdoun*

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร

Mechanical Engineering, Faculty of Industrial and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Sakonnakhon Campus, Sakonnakhon.

***Corresponding author, E-mail:** hongkong_s@yahoo.com*

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและทดสอบเครื่องดำนาขนาดเล็ก สำหรับปักดำต้นกล้าข้าวแบบล้างรากครั้งละ 2 แถว โดยมีระยะห่างระหว่างแถวและกอเท่ากับ 30 และ 25 เซนติเมตร ตามลำดับ การทดสอบเครื่องดำนาจะเตรียมแปลงให้มีสภาพที่เหมือนกันมีขนาดแปลงละ 400 ตารางเมตร ใช้ต้นกล้าข้าวพันธุ์ กข 6 ที่มีอายุของต้นกล้าต่างกัน 3 ระดับ คือ 25, 30 และ 35 วัน และใช้ความเร็วของกลไกในการปักดำ 30, 45 และ 60 รอบต่อนาที บันทึกผลการทดสอบการปักดำ ได้แก่ ความลึกในการปักดำ จำนวนต้นกล้าในแต่ละกอ การลื่นไถล จำนวนกอที่ผิดพลาดในการปักดำ อัตราการทำงาน ประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ และการใช้พลังงานเชื้อเพลิง ผลพบว่าความลึกในการปักดำอยู่ในช่วง 4-5 เซนติเมตร โดยมีต้นกล้า 3 ต้นต่อกอ การลื่นไถลร้อยละ 4.62-7.31 มีความผิดพลาดในการปักดำร้อยละ 4.40-5.23 การปักดำที่ใช้ต้นกล้าอายุ 30 วัน จะมีความเหมาะสมสำหรับการปักดำด้วยเครื่องดำนานี้ โดยที่ความเร็วรอบของแขนปักดำ 30 รอบต่อนาที จะมีความผิดพลาดในการปักดำต่ำที่สุด ความสามารถในการทำงานสามารถปักดำได้ 2.34 ไร่ต่อวัน และใช้เชื้อเพลิง 2.85-3.12 ลิตรต่อไร่ เมื่อเปรียบเทียบการปักดำด้วยแรงงานคน เครื่องจะสามารถปักดำได้เร็วกว่า 8 เท่า ซึ่งให้ผลผลิตที่ไม่แตกต่างกันแต่ใช้ต้นทุนที่น้อยกว่าและประหยัดต้นทุนได้ 954 บาทต่อไร่

คำสำคัญ: เครื่องดำนา ต้นกล้าแบบล้างราก นาน้ำฝน

Abstract

This study aims to fabrication and testing a small rice transplanter with 2 row for root-washed seedling. The space between rice rows and hills are 30 and 25 cm, respectively. The experiment of the small rice transplanter process is performed as follows; preparing the rice field with 400 m^2. Then preparing the seedling of rice-RD6 aged 25, 30, and 35 days. The speed of planting is 30, 45, and 60 rpm respectively. The planting experiment

is recorded according to the depth, number of seedlings in each hill, slipping, missing hills planting, working rate, field efficacy, and fuel consumption. The result has shown that the transplanting depth about 5 cm by planted 3 seedling/hill, slipping were 4.62-7.31%, missing hills planting was 4.40-5.23%. The 30 day of seedling aged is suitable for the small rice transplanter. The 30 rpm of transplanting speed is the lowest rate in missing rice planting in each hill. The working rate is 2.34 Rai/day. The fuel consumption rate were 2.85-3.12 L/rai. To compare with the manual, the small rice transplanter is able to plant 8 times faster than human workforce. In addition the yield received has no difference but the cost is less than the man labor performance, which the cost saving is about 954 Baht/rai.

Keywords: Rice Transplanter, Root-Washed Seedling, Rained Rice

บทนำ

จากรายงานสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ประจำปี 2559 [1] พบว่าในระยะตั้งแต่ พ.ศ. 2553-2559 ผลผลิตข้าวในประเทศมีอัตราที่ลดลงจาก 36.00 ล้านตันข้าวเปลือก เป็น 27.42 ล้านตันข้าวเปลือก ปริมาณข้าวที่ลดลงเป็นผลมาจากการผลิตข้าวในช่วงฤดูกาลทำนาปรังเป็นหลัก จากเดิมผลิตได้ 12.24 ล้านตันข้าวเปลือก ลดลงเหลือ 3.94 ล้านตันข้าวเปลือก ขณะที่ปริมาณการผลิตข้าวนาปียังคงอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันทุกๆ ปี ซึ่งผลิตได้ปีละ 23.48-27.23 ล้านตันข้าวเปลือก หากพิจารณาผลผลิตที่ลดลงของข้าวนาปรัง พบว่าเกิดจากสภาพความแห้งแล้งที่เกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2556 ถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะช่วงหน้าแล้งปริมาณน้ำในหลายๆ เขื่อนของประเทศไทยจะประสบปัญหาการขาดแคลน ไม่สามารถจ่ายน้ำให้สำหรับเกษตรกรได้ทำการเพาะปลูกข้าวในช่วงฤดูกาลทำข้าวนาปรังจึงทำให้ผลผลิตลดลง ดังนั้นผลผลิตส่วนใหญ่ของการปลูกข้าวจะได้จากการปลูกข้าวนาปีเป็นหลัก [2]

การทำนาหรือการปลูกข้าวสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำนาหว่าน นาหยอด นาดำ หรือนาโยน เป็นต้น [3, 4] แต่ละวิธีจะขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ของแปลงนั้นๆ ว่าจะเหมาะสมหรือสามารถทำได้หรือไม่ การทำนาน้ำฝนเป็นการทำนาที่ให้ผลผลิตมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทำนาแบบอื่น [5] ซึ่งการทำนาน้ำฝนยังคงใช้การปักดำด้วยมือ โดยเฉพาะแปลงนาของเกษตรกรในชนบท เพราะการปักดำด้วยมือนั้นสามารถควบคุมแปลงและกำจัดวัชพืชได้ขณะปักดำ แต่ปัญหาการขาดแคลนแรงงานและค่าจ้างที่มีราคาสูงได้ส่งผลกระทบต่อการทำนา ส่งผลทำให้เกษตรกรบางส่วนต้องเปลี่ยนไปทำนาแบบหว่าน ซึ่งอาจจะทำให้ได้ผลผลิตต่ำ สำหรับการใช้เครื่องดำนาตามท้องตลาดแบบ 4 หรือ 8 แถว ได้รับความนิยมจากเกษตรกรที่มีพื้นที่การทำนาแปลงใหญ่และใช้ต้นกล้าแบบกล้าแผ่น ซึ่งต้นกล้าขนาดเล็กอายุประมาณ 15-20 วัน แต่สำหรับเกษตรกรรายย่อยก็ยังไม่ได้รับการนิยม เพราะไม่มีงบประมาณในการลงทุน ประกอบกับการใช้ต้นกล้าขนาดเล็ก เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศหรือปริมาณน้ำสูงขึ้นอย่างรวดเร็วอาจทำให้ต้นกล้าที่มีขนาดเล็กนั้นตายและไม่เจริญเติบโต จึงทำให้เครื่องดำนาแบบต้นกล้าแผ่นไม่ได้รับความนิยมในพื้นที่ที่ไม่สามารถควบคุมระดับน้ำได้ ส่วนเครื่องดำนาต้นกล้าแบบล้างราก เช่น เครื่องดำนาแบบมือหมุนที่นำเข้าจากประเทศจีน จะเป็นเครื่องดำนาที่มีกลไกในการเกาะต้นกล้าที่วางในถาดแนวนอนนำมาปักดำ แต่ยังไม่มี

การใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากความสามารถในการทำงานและการใช้ต้นกล้าที่มีขนาดใหญ่จะทำงานได้ค่อนข้างช้า [6]

การใช้เครื่องดำนาที่เหมาะสมกับลักษณะของสภาพแปลงและงบประมาณจะทำให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีได้ เครื่องดำนาแบบใช้ต้นกล้าแผ่นแบบ 4 หรือ 8 แถว จะเหมาะกับนาแปลงใหญ่และสามารถควบคุมระดับน้ำในแปลงได้ เกษตรกรมีงบประมาณในการลงทุน แต่สำหรับแปลงนาขนาดเล็กที่มีพื้นที่ 2-10 ไร่ เกษตรกรจะใช้การปักดำด้วยแรงงานและใช้ต้นกล้าขนาดใหญ่ คือ ต้นกล้าแบบล้างราก ซึ่งเป็นต้นกล้าที่เกษตรกรเพาะกล้าตามแปลงแบบเปียกพอถึงฤดูกาลจะถอนต้นกล้าและล้างรากเอาตมออก จากนั้นจึงนำไปปักดำลงแปลงต่อไป แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันคือ ขาดแคลนแรงงานและค่าจ้างที่แพงขึ้น ดังนั้นเครื่องดำนาขนาดเล็กที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนี้จะเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดการเกิดปัญหาทางด้านแรงงานค่าจ้าง หรือเกิดโรคระบาดที่เกิดจากการดำนา เพื่อสร้างความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นให้กับเกษตรกรทำนาและมีรายได้เพิ่มขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

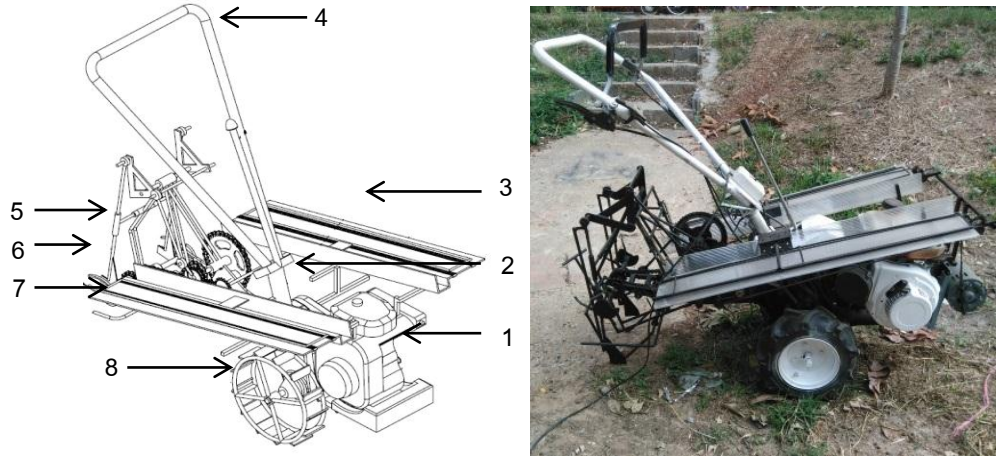
1. เพื่อสร้างเครื่องดำนาขนาดเล็กสำหรับปักดำต้นกล้าแบบล้างรากแบบ 2 แถว

2. เพื่อทดสอบการปักดำด้วยต้นกล้าแบบล้างรากที่อายุและความเร็วในของแขนปักดำที่แตกต่างกัน และหาจุดคุ้มทุนในการใช้งานของเครื่องดำนาขนาดเล็ก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องดำนาขนาดเล็ก

เครื่องดำนาขนาดเล็กแสดงดังภาพที่ 1 ประกอบด้วยเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ขนาด 3.5 แรงม้า สำหรับใช้ในการขับเคลื่อนตัวรถและระบบปักดำ ซึ่งมีกำลังเพียงพอสำหรับการทำงานเพราะเครื่องดำนามีน้ำหนักเพียง 65 กิโลกรัม ในโครงสร้างตัวรถมีระบบเกียร์สำหรับขับเคลื่อนตัวเครื่องในทิศทางเดินหน้า 2 เกียร์ และถอยหลัง 1 เกียร์ การควบคุมการปักดำสามารถปักดำในตำแหน่งเดินหน้าเกียร์ 1 และตำแหน่งเกียร์ว่าง กำลังจากเครื่องยนต์ส่วนหนึ่งที่ผ่านระบบเกียร์ของตัวรถจะถูกส่งไปยังระบบระบบปักดำที่ถูกติดตั้งไว้ท้ายเครื่อง โดยอัตราทดระหว่างล้อสายพานห้องเกียร์กับล้อขับเคลื่อนเท่ากับ 11 : 1 และอัตราทดหว่างล้อรถกับแขนปักดำเท่ากับ 1 : 3 ซึ่งขณะที่ล้อหมุน 1 รอบต่อนาที มีระยะทาง 75 เซนติเมตร จะทำให้แขนปักดำปักดำต้นกล้า 3 รอบต่อนาที ในส่วนการออกแบบระบบปักดำจะอาศัยพื้นฐานของการปักดำด้วยมือ คือ การดำนาด้วยต้นกล้าแบบล้างรากจะเริ่มจากการจับมัดต้นกล้า การจับแยกต้นกล้าออกออกเป็นกอและปักดำต้นกล้าลงในแปลง ขณะดึงต้นกล้าออกมือด้านหนึ่งจะหนีบกล้าเอาไว้ ส่วนมืออีกข้างหนึ่งจะจับเอากอต้นกล้าออกมาปักดำและจะกดกอต้นกล้าลงในแปลง สำหรับส่วนประกอบของเครื่องดำนาขนาดเล็กจะออกแบบให้สามารถปักดำต้นกล้าแบบล้างรากได้ครั้งละ 2 กอ และกำหนดระหว่างแถวและกอเท่ากับ 30 และ 25 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นระยะที่ IRRI ได้แนะนำสำหรับการปลูกข้าวนาน้ำฝน [7] ทั้งนี้ระยะนี้จะต้องตรวจสอบความสมบูรณ์ของแปลง ซึ่งแปลงที่มีความสมบูรณ์ต้นกล้าแตกกอได้ดีสามารถปลูกได้ระยะห่าง 30 เซนติเมตร แต่แปลงที่มีความสมบูรณ์น้อยจะใช้ระยะห่างประมาณ 25 เซนติเมตร สำหรับระยะแถวของเครื่องดำนาขนาดเล็กที่มีระยะห่างแถวเท่ากับ 30 เซนติเมตร จะเป็นระยะที่เท่ากับเครื่องปักดำที่มีขายตามท้องตลาด และเป็นระยะที่สามารถนำเครื่องกำจัดวัชพืชในร่องข้าวทำงานได้



หมายเลข 1. เครื่องยนต์ต้นกำลัง 2. ชุดเกียร์เครื่องดำนา 3. ระบบสายพานลำเลียงต้นกล้า
4. มือจับเครื่องดำนา 5. แขนปักดำ 6. ปากคีบต้นกล้า 7. คานยันตม 8. ล้อเครื่องดำนาขนาดเล็ก

ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องดำนาขนาดเล็ก

2. การเตรียมต้นกล้า

การเตรียมต้นกล้าแบบล้างราก (Root-Washed Seedling) ซึ่งเป็นต้นกล้าที่ถอนจากแปลงตกกล้า มีดินติดมากับรากจะถูกล้างออกไปและแยกกระจายต้นไม่ให้อยู่ติดกัน ซึ่งเครื่องดำนาขนาดเล็กสามารถปักดำต้นกล้าข้าวได้ทุกสายพันธุ์ สำหรับในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้เมล็ดพันธุ์ข้าว กข-6 ซึ่งเกษตรกรในพื้นที่ทดสอบได้มีการปลูกในฤดูกาลนาปีส่วนใหญ่ การตกกล้าจะทำการเพาะในแปลงแบบเปียก โดยให้ต้นกล้าในวันทดสอบปักดำมีอายุ 25 30 และ 35 วัน ความสูงของต้นกล้าอยู่ในช่วง 30-40 เซนติเมตร จำนวนใบ 3-5 ใบ ทำการถอนต้นกล้าและล้างตมให้หลุดออกจากรากของต้นกล้า โดยรากจะมีความยาว 3-6 เซนติเมตร ซึ่งค่าเฉลี่ยในการบันทึกข้อมูลของต้นกล้าจาก 100 ต้น แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะของต้นกล้าอายุ 25 30 และ 35 วัน เฉลี่ยจากต้นกล้า 100 ต้น

อายุของต้นกล้า	25 วัน		30 วัน		35 วัน	
ลักษณะต้นกล้า						
ความสูง	25 - 30	ซม.	30 - 35	ซม.	35 - 40	ซม.
จำนวนใบกล้า	3.6 ±0.5	ใบ	4.0 ±0.5	ใบ	4.7 ±0.5	ใบ
น้ำหนัก	58 ±15	กรัม	95 ±18	กรัม	119 ±24	กรัม
ความยาวของราก	3.3 ±0.7	ซม.	4.6 ±1.2	ซม.	5.8 ±2.1	ซม.

3. แปลงทดสอบ

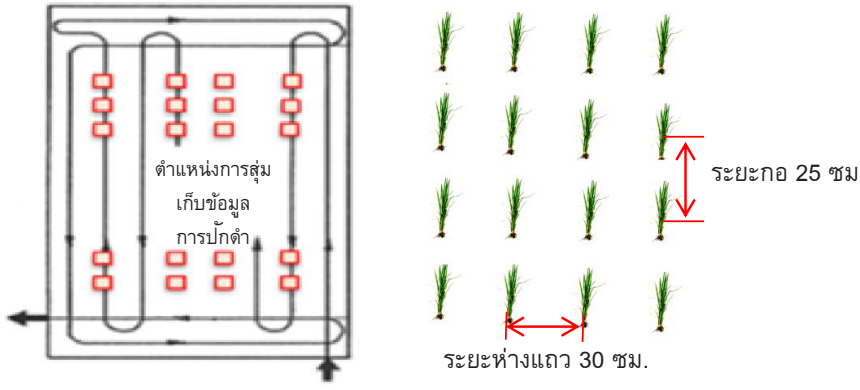
แปลงทดสอบจะมีลักษณะของเนื้อดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) โดยจะเตรียมพื้นที่สำหรับทดสอบขนาด 3 แปลง ตามอายุของต้นกล้า แบ่งการทดสอบแปลงละ 3 ครั้ง ตามความเร็วของการปักดำ และทำซ้ำจำนวน 3 รอบ โดยใช้พื้นที่ครั้งละ 400 ตารางเมตร ขั้นแรกทำการไถดะเพื่อกำจัดวัชพืช หลังจากนั้นจึงใช้จอบหมุนพ่วงรถแทรคเตอร์ปั่นแล้วปรับให้ตมมีความลึก 15-20 เซนติเมตร ทิ้งไว้ 1 คืน แล้วทำการเก็บข้อมูลสภาพแปลง โดยดัชนีความเป็นเทือก จะทำการตวงปริมาตรของตมมาจำนวน 0.5 ลิตร ทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง แล้วทำการวัดชั้นของน้ำและดินเพื่อคำนวณดัชนีความเป็นเทือก [8] ความเหลวของดินจะใช้ลูกดิ่งหนัก 115 กรัม ทรงกรวย 45 องศา ปล่อยลงแปลงที่ระดับ 1 เมตร วัดระยะของลูกดิ่ง ความลึกของแปลงจะใช้แท่งเหล็กเสียบลงในแปลงจนถึงก้นของแปลงนา และวัดระดับน้ำในแปลงซึ่งมีข้อมูลของสภาพแปลงแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สภาพแปลงในการทดสอบเฉลี่ยจากการตรวจวัด 9 จุดทั่วแปลง

รายละเอียด	แปลงที่ 1	แปลงที่ 2	แปลงที่ 3
ชนิดดิน	ร่วนปนทราย	ร่วนปนทราย	ร่วนปนทราย
ดัชนีความเป็นเทือก (ร้อยละ)	60 ± 12	67 ± 6	64 ± 9
ความเหลว (ซม.)	8.3 ± 3.7	7.7 ± 4.1	6.9 ± 3.5
ความลึกของแปลง (ซม.)	18.2 ± 4.2	15.8 ± 5.4	17.1 ± 4.6
ระดับน้ำ (ซม.)	4.2 ± 1.2	3.6 ± 1.5	5.1 ± 0.7

4. การเก็บผล

การทดสอบการทำงานของเครื่องจะดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน RNAM Test Codes & Procedures for Farm Machinery (1983) [9] ได้กำหนดขนาดพื้นที่ทดสอบอย่างน้อย 2,000 ตารางเมตร และมีสัดส่วนความยาวต่อความกว้างเป็น 2:1 แต่เนื่องจากพื้นที่มีขนาดจำกัด ทำให้ต้องทำการทดสอบจากพื้นที่ของแปลงครั้งละ 400 ตารางเมตร (ยาว 40 เมตร กว้าง 10 เมตร) และเครื่องดำนามีหน้ากว้างกว้างเท่ากับ 60 เซนติเมตร ดังนั้น ขนาดความกว้างของแปลง 10 เมตร จึงเพียงพอในการทดสอบ เนื่องจากการสุ่มตัวอย่างการปักดำเท่ากับ 100 แถว (200 กอ) เครื่องดำนาเคลื่อนที่ในลักษณะไป-กลับ แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เส้นทางขับเคลื่อนในการทดสอบ

การเก็บผลในการปักดำจะทำการสุ่มจำนวนกอต้นกล้า จำนวน 100 แถว และทำการวัดระดับความลึกของต้นกล้าที่ถูกปักดำและนับจำนวนต้นกล้าในจุดที่ทำการสุ่ม การทดสอบการทำงานของเครื่องดำนาขนาดเล็กสำหรับใช้ต้นกล้าแบบล้างรากจะทำการทดสอบ การลื่นไถลของรถดำนา ประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ จำนวนกอที่ผิดพลาดในการปักดำ อัตราการทำงาน และการใช้พลังงานเชื้อเพลิง [10-16]

4.1 การลื่นไถล (Slipping Wheel) คือ อัตราส่วนของความพยายามลดการเคลื่อนที่ ซึ่งการลื่นไถลจะมีผลต่อระยะห่างระหว่างกอที่จะแปรเปลี่ยนไปได้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$S = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ S = การลื่นไถล (ร้อยละ)
L_1 = ระยะทางที่เคลื่อนที่ไปบนแปลงนาขณะที่ชุดปักดำไม่ทำงาน (เมตร)
L_2 = ระยะทางที่เคลื่อนที่ไปบนแปลงนาขณะที่กำลังปักดำต้นกล้า (เมตร)

4.2 ประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ (Field Efficiency, *Eff*) เป็นอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่เทียบกับความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$Eff = \frac{C}{C_o} \times 100 \ \% \qquad (2)$$

เมื่อ C = ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ = $\frac{A}{T}$ (ตารางเมตรต่อชั่วโมง)
A = พื้นที่ปักดำ (ตารางเมตร)
T = เวลารวม (ชั่วโมง)
C_o = ความสามารถในการทำงานทางทฤษฎี = $W \cdot V$ (ตารางเมตรต่อชั่วโมง)
W = ความกว้างในการทำงานของเครื่อง (เมตร)
V = ความเร็วของเครื่อง (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

4.3 กอที่ไม่ได้รับการปักดำ (Percent Missing Hill, P_o) คือ กอที่ไม่ได้รับการปักดำมีสาเหตุมาจากกลไกของอุปกรณ์ปักดำและการกระจัดกระจายของต้นกล้าหรือความหนาแน่นของต้นกล้าที่ไม่สม่ำเสมอกัน ร้อยละของกอที่ไม่ได้รับการปักดำสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$P_o = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{M} \times 100\% \qquad (3)$$

เมื่อ P_o = ร้อยละของกอที่ไม่ได้รับการปักดำ (ร้อยละ)
M = จำนวนกอที่ปักดำทั้งหมด
M_1 = จำนวนกอที่ผิดพลาดในการปักดำ ได้แก่ ตำแหน่งที่ไม่มีต้นกล้าและต้นกล้ามีจำนวนมากกว่า 7 ต้น
M_2 = จำนวนกอที่จม
M_3 = จำนวนกอที่ลอยหรือล้ม

4.4 การหาอัตราการทำงาน (Working Rate, WR) คือพื้นที่ทำงานจริงต่อหน่วยเวลา ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$WR = \frac{A}{T_1 + T_2 + T_3 + T_4} \times 100\% \quad (4)$$

เมื่อ A = พื้นที่ปักดำ (ตารางเมตร)
T_1 = เวลาที่ใช้ในการปักดำจริง (ชั่วโมง)
T_2 = เวลาที่ใช้ในการใส่แผ่นกล้า (ชั่วโมง)
T_3 = เวลาที่ใช้ในการเลี้ยวกลับหัวงาน (ชั่วโมง)
T_4 = เวลาที่ใช้ในการปรับแต่งเครื่อง (ชั่วโมง)

ผลการวิจัย

1. ผลการปักดำ

การทดสอบความผิดพลาดในการปักดำของการใช้ความเร็วในการปักดำและอายุของต้นกล้าที่แตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าเมื่อใช้ต้นกล้าอายุ 25 วัน ต้นกล้ามีลักษณะอ่อนและขนาดเล็ก สามารถปักดำได้ดีที่ความเร็วในการปักดำต่ำ และเมื่อเพิ่มความเร็วขึ้นจะทำให้ความผิดพลาดในการปักดำเพิ่มขึ้น สำหรับต้นกล้าที่มีอายุ 30 วัน จะให้ผลการปักดำที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบการการใช้ต้นกล้าที่มีอายุ 25 และ 35 วัน เมื่อเพิ่มความเร็วในการปักดำขึ้นพบว่าต้นกล้าอายุ 30 วัน ยังไม่เกิดความผิดพลาดที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากกลไกของการปักดำยังสามารถแยกกอและปักดำต้นกล้าได้ดี ส่วนต้นกล้าอายุ 35 วัน ต้นกล้ามีความแข็งและรากยาวส่งผลทำให้กลไกจับต้นกล้าและแยกกอได้ไม่มีเพราะรากของต้นกล้าติดกันและจะดึงต้นที่อยู่ติดกันออกมาด้วยทำให้เกิดความผิดพลาดมากสุดเมื่อเพิ่มความเร็วปักดำจะทำให้เกิดผิดพลาดมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความผิดพลาดจากการปักดำ (ทดสอบ 3 ซ้ำ)

อายุของต้นกล้า	รายละเอียดของสภาพต้นกล้า	ความเร็วแขนปักดำ/รอบครื่องยนต์ (rpm)	ความผิดพลาด	
			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน
ต้นกล้า อายุ 25 วัน	ความสูง 25 - 30 ซม.	30/1,200	5.36	1.53
	จำนวนใบกล้า 3.6 ใบ	45/1,800	5.88	2.17
	น้ำหนัก 58 กรัม	60/2,400	6.89	3.00
	ความยาวของราก 3.3 ซม.			
ต้นกล้า อายุ 30 วัน	ความสูง 30 - 35 ซม.	30/1,200	4.40	0.81
	จำนวนใบกล้า 4 ใบ	45/1,800	4.84	1.04
	น้ำหนัก 95 กรัม	60/2,400	5.23	0.97
	ความยาวของราก 4.6 ซม.			
ต้นกล้า อายุ 35 วัน	ความสูง 35 - 40 ซม.	30/1,200	7.50	4.58
	จำนวนใบกล้า 4.7 ใบ	45/1,800	8.75	3.30
	น้ำหนัก 119 กรัม	60/2,400	9.25	1.26
	ความยาวของราก 5.8 ซม.			

2. ความลึกและจำนวนต้นกล้าหลังการปักดำ

การสุ่มตรวจวัดความลึกและจำนวนกอต้นกล้าในแปลงทดสอบโดยกระจายทั่วทั้งแปลง จำนวน 100 แถวๆ ละ 2 กอ (ซ้าย 100 กอ และขวา 100 กอ) ผลสรุปแสดงดังตารางที่ 4 โดยที่ D คือความลึกต้นกล้าที่ถูกปักดำ (เซนติเมตร) และ N จำนวนต้นกล้าที่ถูกปักดำในแต่ละกอ

ตารางที่ 4 จำนวนต้นกล้าและความลึกในการปักดำที่ความเร็วและอายุต้นกล้าต่างกัน

ความเร็ว	ค่าสถิติ	อายุต้นกล้า 25 วัน				อายุต้นกล้า 30 วัน				อายุต้นกล้า 35 วัน			
		แถวซ้าย		แถวขวา		แถวซ้าย		แถวขวา		แถวซ้าย		แถวขวา	
		D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N
30 rpm	Mean	4.9	3.1	5.0	3.5	5.2	3.1	5.0	3.4	4.5	3.0	5.0	3.2
	SD	0.6	1.4	0.6	1.4	0.5	1.4	0.5	1.4	1.4	1.7	0.9	1.5
	CV(%)	11.3	46.8	11.5	41.0	9.4	44.6	10.9	41.1	32.4	55.5	18.5	45.4
45 rpm	Mean	5.0	3.5	4.9	3.3	4.9	3.0	4.3	3.0	4.9	3.6	4.9	3.1
	SD	0.6	1.0	0.5	1.2	1.5	0.9	0.9	1.2	0.5	1.1	0.5	1.0
	CV(%)	12.2	29.9	10.9	36.5	30.1	30.7	21.5	36.5	10.3	31.2	11.1	32.8
60 rpm	Mean	4.9	2.9	4.9	3.2	4.6	3.1	4.4	3.0	4.9	3.2	4.5	3.0
	SD	0.6	1.3	0.6	1.2	1.3	1.4	1.6	1.4	0.9	1.4	1.5	1.4
	CV(%)	11.9	44.8	12.2	38.9	27.8	44.4	35.6	47.0	18.4	43.5	32.5	45.5

ผลพบว่าต้นกล้าในแต่ละกอจะมีเฉลี่ย 3 ต้น โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) อยู่ที่กอละ 1.5 ต้น และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (CV) ในการจับกอต้นกล้าอยู่ในช่วงร้อยละ 32-56 ซึ่งการวางต้นกล้าในสายพานจะวางต้นกล้าที่ 3 ต้นต่อระยะสายพาน 1 เซนติเมตร และความลึกในการปักดำอยู่ในช่วง 4-5 เซนติเมตร มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.5-1.5 เซนติเมตร และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (CV) ร้อยละ 9-36 ซึ่งความแปรปรวนต่ำจะส่งผลต่อจำนวนกอต้นกล้าในแต่ละกอใกล้เคียง 3 ต้นต่อกอ สำหรับการทดสอบและเก็บข้อมูล แสดงดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 การทดสอบและเก็บข้อมูลการปักดำต้นกล้า

3. สมรรถนะของเครื่องดำนา

จากข้อมูลการทดสอบในตารางที่ 3 การปักดำที่เหมาะสมที่มีความผิดพลาดน้อยจะอยู่ในช่วงอายุ 30 วัน โดยมีลักษณะของต้นกล้าแสดงดังตารางที่ 1 และเมื่อทำการทดสอบสมรรถนะการทำงานจะได้ผลตามตารางที่ 5 ซึ่งความสามารถของการทำงานของเครื่องดำนาขนาดเล็กนี้สามารถทำงานได้ 1.72-2.34 ไร่ต่อวัน (ทำงาน 8 ชั่วโมง) ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในการทำงานของเครื่องยนต์และการเตรียมต้นกล้าให้เหมาะสม จากการลื่นไถลของล้อรถดำนาที่อยู่ในช่วงร้อยละ 4.62-7.31 ส่งผลทำให้ระยะห่างระหว่างกอของต้นกล้าที่ปักดำลงแปลงอยู่ในช่วงระยะ 23.17-23.85 เซนติเมตร ซึ่งระยะที่ออกแบบไว้คือ 25 เซนติเมตร แต่ระยะนี้ก็ยังอยู่ในช่วงที่ต้นกล้าสามารถแตกกอได้ดี [7] ในส่วนของประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่เครื่องดำนาขนาดเล็กมีความสามารถในการทำงานได้ถึงร้อยละ 81-84 โดยมีความผิดพลาดในการปักดำร้อยละ 4.40-5.23 และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงคิดเป็น 3.12 ลิตรต่อไร่ หากใช้ความเร็วในการปักดำ 30 รอบต่อนาที

ตารางที่ 5 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องดำนา ต้นกล้า อายุ 30 วัน

ลำดับ	ค่าการวัด	ความเร็วของแขนการปักดำ (รอบต่อนาที)		
		30	45	60
1	การลื่นไถลของเครื่องดำนา (ร้อยละ)	4.62	5.07	7.31
2	ประสิทธิภาพในการทำงานเชิงพื้นที่ (ร้อยละ)	84	82	81
3	ความผิดพลาดในการปักดำ (ร้อยละ)	4.40	4.84	5.23
4	อัตราการทำงาน (ไร่/วัน/8 ชม.)	1.72	2.09	2.34
5	การสิ้นเปลืองพลังงาน (ลิตร/ไร่)	3.12	2.98	2.85

4. การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

ต้นทุนการทำนาตั้งแต่เริ่มฤดูกาลจนถึงเก็บเกี่ยวในพื้นที่ ตำบลแร่ อำเภอพังโคน จากเกษตรทั้งหมด 20 ราย ที่ปลูกข้าวแบบนาหว่าน นาหยอด ปักดำด้วยแรงงานคน ปักดำด้วยเครื่องดำนาขนาดเล็กและเครื่องดำนาแบบ 4 แถว มีค่าใช้จ่ายในแสดงดังตารางที่ 6 พบว่าค่าใช้จ่ายในการปักดำด้วยมือจะมีค่าใช้จ่ายสูงสุด ให้ผลผลผลิตสูงเพราะในแปลงไม่มีวัชพืช ส่วนการทำนาหว่านลงทุนน้อยแต่จะให้ผลผลิตต่ำ เพราะไม่สามารถกำจัดวัชพืชได้และต้นข้าวแตกกอได้น้อย โดย 1 กอ มีรวงข้าวไม่เกิน 10 รวง ส่วนนาดำจะมีมากถึง 40 รวง สำหรับการใช้เครื่องปักดำตามท้องตลาดจะมีต้นทุนใกล้เคียงกับเครื่องดำนาขนาดเล็กจะแตกต่างกันที่การเตรียมต้นกล้า ซึ่งเครื่องดำนาขนาดเล็กจะใช้ต้นกล้าต้นใหญ่ส่วนตามท้องตลาดจะใช้ต้นกล้าแบบแผ่นอายุ 15-20 วัน

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนในการใช้เครื่องดำนาขนาดเล็ก ซึ่งเครื่องดำนามีอายุการใช้งาน 5 ปี เมื่อนำต้นทุนมาเปรียบเทียบกับการปลูกข้าวนาดำ จะสามารถคำนวณหาจุดคุ้มทุนได้จากสมการการคืนทุน (Capital Recovery, CR) [17, 18] แสดงดังสมการที่ 5

$$CR = (P - SV)(A/P, i, n) + i \cdot SV \quad (5)$$

เมื่อ CR = การคืนทุน, SV = มูลค่าซาก 10% ของราคาเครื่อง, i = อัตราดอกเบี้ย 10%, N = จำนวนปี (5 ปี), A/P = เงินรายปีที่อัตราดอกเบี้ย 10% ของ 5 ปี เท่ากับ 0.2638, P = เงินปัจจุบัน

แทนค่าในสมการ (5) จะได้ $CR = (40,000-4,000)(0.2638) + (0.1)(4,000)$

$= 9,896.8$ บาทต่อปี

จากการคำนวณหาจุดคุ้มทุน หากเกษตรกรใช้การปักดำด้วยมือที่มีค่าใช้จ่าย 4,355 บาทต่อไร่ เปลี่ยนเป็นการใช้เครื่องดำนาขนาดเล็กที่มีค่าใช้จ่าย 3,401 บาทต่อไร่ ซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายไร่ละ 954 บาท ดังนั้น ต้องใช้เครื่องดำนาขนาดเล็กปักดำ เท่ากับ 9,896.8/954 = 10.8 ไร่ต่อปี แต่ความสามารถของเครื่องสามารถทำงานสูงสุดถึง 2.34 ไร่ต่อวัน หากเกษตรกรมีพื้นที่ 10 ไร่ สามารถปักดำด้วยเครื่องดำนาขนาดเล็กเป็นระยะเวลา 4.5 วันต่อปี หรือจะคืนทุนในปีนั้นจะต้อง

ปักดำอย่างน้อย 22.5 ไร่ ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูกาลปลูกข้าวนาปี นอกจากนี้ยังสามารถนำเครื่องไปรับจ้างปักดำแปลงนาเกษตรกรรายอื่นเพื่อให้ได้คืนทุนเร็วขึ้น

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบต้นทุน (บาท/ไร่) สำรวจข้อมูลของการของการปลูกข้าวนาปี (สำรวจการทำนาปี ช่วง มิ.ย. 2558-พ.ย. 2558 ต.แร่ อ.พังโคน จำนวน 20 ราย)

ต้นทุนการจัดการ (บาท/ไร่)	วิธีการปลูก				
	หว่าน	หยอด	ปักดำคนปักดำ	เครื่องดำนาขนาดเล็ก	เครื่องดำนาแบบ 4 แถว
ค่าเครื่อง	-	20,000	-	40,000	485,000
ค่าเตรียมแปลง (ไถและปั่นดิน)	500	500	600	600	600
ค่าถาดเพาะกล้า		-	-	-	*
ค่าเมล็ดพันธุ์	300	90	165	165	200
ค่าเพาะกล้า	-	-	100	100	100
ค่าแรงถอนกล้า	-	-	640	640	-
ค่าแรงงาน หว่าน/หยอด/ดำ	50	100	1,200	150	700
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	-	40	-	96	50
ค่าปุ๋ย	950	950	950	950	950
ค่ากำจัดวัชพืช	300	300	-	-	-
ค่าเกี่ยวนวด	700	700	700	700	700
ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)	**425**	**504**	**518**	**524**	**530**
ราคารวม (ไม่รวมค่าเครื่อง)	**2,800**	**2,680**	**4,355**	**3,401**	**3,300**

* สำหรับแปลงใหญ่สามารถเพาะกล้าในแปลง โดยไม่ต้องซื้อถาดเพาะ

สรุปและอภิปรายผล

การทำนาน้ำฝนนิยมปักดำด้วยมือเพราะสามารถกำจัดวัชพืชและกำหนดระยะห่างขณะปักดำได้ แต่มักประสบกับปัญหาด้านแรงงานและค่าว่าจ้างแพง ในส่วนของการปักดำถือว่าเป็นช่วงที่มีค่าใช้จ่ายสูงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงอื่นๆ เครื่องดำนาขนาดเล็กในงานวิจัยนี้จึงเป็นเครื่องสำหรับปักดำต้นกล้าแบบล้างราก ได้ครั้งละ 2 แถว ระยะห่างระหว่างแถวและกอ 30 และ 25 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นระยะที่มีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของการปลูกข้าวนาน้ำฝน เครื่องดำนาขนาดเล็กใช้คนงาน จำนวน 1 คน การทดสอบเครื่องดำนาขนาดเล็กทำให้ทราบถึงสภาพต้นกล้าและความเร็วของแขนปักดำที่เหมาะสม พบว่าต้นกล้าอายุ 30 วัน มีความเหมาะสมในการปักดำมากสุด และสามารถใช้ความเร็วในการปักดำได้ถึง 60 รอบต่อนาที โดยที่ความผิดพลาดไม่แตกต่างจากการใช้ความเร็วรอบต่ำ แต่ได้พื้นที่ปักดำมากและอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่ประหยัดกว่า

เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนในส่วนของการปักดำ การใช้แรงงานคนปักดำด้วยมือจะมีค่าใช้จ่ายมากกว่าการใช้เครื่องดำนาขนาดเล็กอยู่ไร่ละ 954 บาท และเครื่องดำนาขนาดเล็กนี้จะสามารถปักดำได้เร็วกว่าคน 8 เท่า ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรสามารถปักดำต้นกล้าได้เร็วทันตามอายุของ

ต้นกล้า มีความเป็นแนวและแถวดีกว่าการปักดำด้วยมือ และความแตกต่างจากเครื่องปักดำตามท้องตลาดคือการทำนาที่ต้องรอฤดูกาลจำเป็นต้องใช้ต้นกล้าต้นใหญ่ที่ต้นกล้ามีอายุยาวนาน พอถึงฤดูกาลจึงถอนต้นกล้ามาปักดำในแปลงใหญ่ ซึ่งกล้าแผ่นต้องปักดำตามอายุของต้นกล้า อย่างไรก็ตามเครื่องดำนาขนาดเล็กนี้ยังต้องมีการพัฒนาและทดสอบการใช้งานจากเกษตรกรอีกต่อไป โดยเฉพาะรูปแบบการปักดำซึ่งอาจมีการระบบที่สามารถปักดำแบบสับหว่าง เพื่อให้การปักดำที่มีความหลากหลาย ซึ่งเป็นประเด็นที่จะต้องมีการออกแบบและพัฒนาเครื่องต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเครือข่ายบริหารการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้การสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.)

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559). *ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร.* สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2559, จาก http://www.oae.go.th

[2] สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. (2559). *ผลการผลิตข้าว*. สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2559, จากhttp://www.thairiceexporters.or.th/production.htm

[3] ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2013). ผลจากการใช้เทคโนโลยีเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์ข้าว สำหรับการปลูกข้าวแบบนาน้ำตม. *วารสารการวิจัยเพื่อชุมชน.* 6(1): 15-30.

[4] Rajan Bhatt; and Surinder S. Kukal. (2015). *Direct Seeded Rice in South Asia. 18th ed. In Sustainable Agriculture Reviews*. Springer International Publishing. pp. 217-252.

[5] สมพล อุชชิน; นงลักษณ์ มาเที่ยง; และ สำลี บุญญาวิวัฒน์. (2539). *การทำนาน้ำฝน.* สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[6] สมพร หงษ์กง; ณรงค์ หูชัยภูมิ; และ บัญชาล้ำเลิศ. (2556). ชุดปักดำแบบพ่วงติดรถไถนาเดินตาม. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร*. 5(9): 97-108.

[7] IRRI. (2559). *Transplanting*. สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2559, จาก http://www.knowledgebank.irri.org

[8] Mori, Y. (1975). Performance evaluation of rice transplanters evaluated by national test. *JARQ.* 9(3): 152-155.

[9] Regional Network for Agricultural Machinery (RNAM). (1983). *Test Codes & Procedures for Farm Machinery, Technical Series No. 12, Regional Network for Agricultural Machinery.* Economic and Social Commission for Asia and Pacific. p. 297.

[10] นัย บำรุงเวช. (2546). *เครื่องดำนา.* คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง.

[11] คนึงศักดิ์ เจียรนัยกุ. (2540). ทดสอบและพัฒนาประสิทธิภาพการใช้เครื่องดำนา. ใน *รายงานการวิจัยการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการกองเกษตรวิศวกรรม.* กรมวิชาการเกษตร.

[12] Behera B. K., Varshney B. P, Goel A. K. (2009). *Effect of Puddling on Puddled Soil Characteristics and Performance of Self-propelled Transplanter in Rice Crop.* Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Vol. X. Manuscript PM 08 020. September, 2009.

[13] Baboo, B. (1976). *Effect of lug angle of cage wheel on traction and puddling performance of dual wheels.* M. Tech. diss., Dept. of Farm Machinery and Power. Engineering, G. B. Pant Univ. of Agriculture and Technology. Pantnagar: India.

[14] Meheta, M. L., S. R. Verma, S. K. Mishra, V. K.Shrama. (1975). *NATIC.* Ludhiana: India. P: 253.

[15] ผดุงศักดิ์ วานิชชัง. (2535). *การประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องดำนาในสภาพดินทราย.* กรุงเทพฯ: ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตรศาสตร์บางพระ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

[16] อนุชิต ฉ่ำสิงห์. (2548). *ทดสอบประเมินผลการใช้เครื่องจักรกลเกษตรสำหรับเตรียมดินในนาข้าวชลประทาน.* สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร.

[17] ไพบูลย์ แย้มเผื่อน. (2542). *การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน: เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.* พิมพ์ครั้งที่ 25. กรุงเทพฯ: ซีเอ็นยูเคชั่น.

[18] อนุสรณ์ สรพรหม. (2541). *การคืนทุน: เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.* กรุงเทพฯ: แมคกรอ-ฮิล.