

การวิจัยและพัฒนาใบมีดจอบหมุนสำหรับพื้นที่เกษตรกรรมในประเทศ ตอนที่ 1 การหาคุณลักษณะและวัดแรงต้านทานพลศาสตร์ที่กระทำกับใบมีดจอบหมุน

Research and Development of Rotary Tiller for Thai Agriculture Area

Part 1: Characteristics and Measurement of Dynamic Resistance Forces Acting on Rotary Blades

สุรินทร์ พงศ์สุสมิทธิ์¹ สราวุธ เหล่าพงษ์สวัสดิ์ กวี ศรีทองกุล²

ธัญญา ตุมราศวิน วรพงษ์ สุรัชกุลวัฒนา สมโภช ชิวหิตานนท์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Surin Phongsupasamit¹, Sarawut Laophongsawat, Kavee Srithongkul²

Tanistha Tumraswin, Worapong Surakulchaiwatana, Somphot Shewahitanon

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University,

Phayathai Rd., Pathumwan, Bangkok, 10330, Thailand

โทร 0-2218-6593, E-mail: surin1950@hotmail.com¹, Kavee.S@Student.chula.ac.th²

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาคุณลักษณะและวัดขนาดแรงต้านทานพลศาสตร์ที่กระทำกับใบมีดขณะพรวนทรายที่องค์การหมุนต่างๆ ใบมีดทดลองมีรูปร่างแตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ใบมีดจอบหมุนชนิดตัวแอล ชนิดตัวซี และชนิดผสม ในการทดลองจะทำการวัดแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดชนิดละ 1 ใบ โดยให้ใบมีดหมุนพรวนตัดทรายละเอียดที่อยู่ในกระบะที่เคลื่อนที่แทนการเคลื่อนที่ของเครื่องพรวนจอบหมุน กำหนดความเร็วรอบหมุนของเพลาใบมีด 120 รอบต่อนาที ระยะการตัดทราย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร ที่ระดับความลึกในการพรวน 12 เซนติเมตร และความหนาแน่นทรายเฉลี่ย 2.8 kg/cm^3 ผลการทดลองพบว่า ใบมีดชนิดตัวแอลที่มีขอบคมตัดเป็นแนวตรงจะทำให้เกิดฝูทรายชั้นล่างหลังการพรวนราบเรียบ ส่วนแรงต้านทานที่กระทำกับใบมีดจะมีลักษณะเป็นแรงกระแทก เนื่องจากแนวขอบคมตัดของใบมีดจะตัดพื้นทรายพร้อมๆ กันตลอดทั้งแนว ซึ่งแรงกระแทกนี้อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนในระบบส่งกำลัง กรณีใบมีดชนิดตัวซี และชนิดผสมที่มีขอบคมตัดเป็นแนวโค้ง เมื่อพรวนทรายส่วนของขอบคมจะฉีกดินตัดทราย ทำให้แรงต้านทานมีลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามพื้นที่ใบมีดตัดดินและตามความลึกการพรวน ดังนั้นแรงต้านทานย่อยในแนวตั้งและแนวนอนในกรณีนี้จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันเหมือนกับในกรณีของใบมีดที่มีขอบคมตัดเป็นแนวตรง ทำให้ไม่เกิดแรงกระแทก ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนต่ำ สำหรับข้อแตกต่างของใบมีดชนิดตัวซีและชนิดผสม คือใบมีดชนิดตัวซีเกิดฝูทรายชั้นล่างหลังการพรวนราบเรียบ เนื่องจากมุมการตัดปลายของใบมีดมีส่วนสัมพันธ์กับรอยการตัดทราย ส่วนใบมีดชนิดผสมแนวโค้งของขอบคมตัดไม่สัมพันธ์กับมุมการตัดของปลายใบมีด ทำให้ส่วนปลายของใบมีดชิดกับทรายชั้นล่าง ส่งผลให้ฝูทรายหลังการพรวนเกิดแนวสันนูนขึ้น

Abstract

The objective of this study was to analyze characteristics and measure dynamic resistance forces acting on three types of rotary blade .i.e., L-shaped, C-shape and mixed type blades. The experimental method of this study was to measure resistance forces and a moment at one blade while cutting sand in the bin. The rotational speed of rotary shaft was 120 rpm with the cutting length are 3, 6 and 9 cm. The tilling depth was 12 cm and the density of sand was about 2.8 kg/cm^3 at 12 cm depth. The results were shown that maximum resultant forces acted upon the three-type blades occurred at the cutting length 9 cm. The magnitudes of these forces are 300 N, 250 N and 350 N at the tilling depth 5.27 cm, 11.7 cm and 11.2 cm for L-shaped, C-shaped and mixed type blades, respectively. These characteristics of dynamic resistance forces which directly act on rotary blades were firstly studied. These technical information and phenomena will be used to explain operating conditions of rotary tiller and design suitable shape of rotary blade.

1. บทนำ

1.1 แนวคิดในการออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการหาคุณลักษณะและวัดแรงต้านทานพลศาสตร์ ที่กระทำกับใบมีดจอบหมุน จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Extended Octagonal Ring (EOR) ซึ่งสามารถวัดแรงกด F แรงเฉือน P และโมเมนต์ M ที่เกิดขึ้นบนระนาบที่ตั้งฉากกับรัศมีการหมุนของเพลาใบมีด (Rotary Shaft)

รวมถึงนำ Rotary Encoder มาใช้ระบุองศาการพรวนเพื่อให้ทราบทิศทางของแรงต้านทานที่กระทำกับใบมีดได้ถูกต้องยิ่งขึ้น ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นสัญญาณ Analog และมีจำนวนมาก จึงมีความจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและระบบ Data Acquisition (DAQ) System ร่วมกับโปรแกรม LabView เพื่อใช้เก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง นอกจากนี้โปรแกรม LabView ยังมีความสามารถในการแปลงข้อมูล จากผลการทดลองที่เป็นข้อมูลเลขฐานสอง (Binary file) ไปเป็นข้อมูลที่สามารถเปิดอ่านได้จากโปรแกรมทั่วไป (Spreadsheet) รวมถึงการใช้โปรแกรม CATIA Version 5 จำลองสภาพของใบมีดจอบหมุนขณะพรวน เพื่อสะดวกต่อการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งจะทำให้ทราบลักษณะและขนาดของแรงต้านทาน ที่กระทำกับใบมีดจอบหมุนชนิดต่างๆ ในแต่ละองศาของการพรวน โดยผลที่ได้จากการทดลองจะเป็นฐานข้อมูลในการนำมาใช้วิเคราะห์ เพื่อทำการออกแบบและปรับปรุงลักษณะรูปร่างใบมีดพรวนดินชนิดใหม่ ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่เกษตรกรรมในประเทศ โดยเน้นการลดแรงต้านทานที่กระทำบนใบมีด และคุณภาพของชั้นดินหลังการพรวน

2. อุปกรณ์การทดลอง

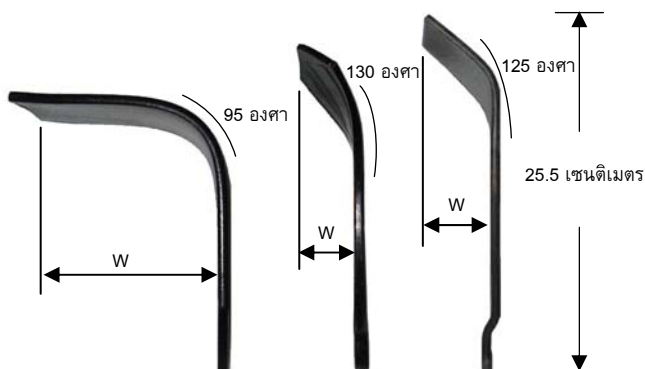
2.1 ชุดจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องพรวนจอบหมุน

2.1.1 ใบมีดชนิดต่างๆ

ใบมีดที่ใช้ในการทดลองมีรูปร่างแตกต่างกัน 3 ชนิด ซึ่งเป็นใบมีดที่เกษตรกรใช้กับเครื่องพรวนจอบหมุน ได้แก่ ใบมีดจอบหมุนชนิดตัวแอล ชนิดตัวซี และชนิดผสม (ดังแสดงในรูปที่ 1) โดยรัศมีการตัดและขนาดโดยสังเขปของใบมีดทั้ง 3 ชนิด มีค่าแตกต่างกัน (ดังแสดงในรูปที่ 2) และข้อมูลจำเพาะของใบมีดทั้ง 3 ชนิด (ดังแสดงในตารางที่ 1)



รูปที่ 1 ใบมีดที่ใช้ในการทดลอง 3 ชนิด



รูปที่ 2 รัศมีการตัดและขนาดโดยสังเขปของใบมีดทั้ง 3 ชนิด

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของใบมีดจอบหมุน 3 ชนิด

ชนิดใบมีด	ชนิดตัวแอล	ชนิดตัวซี	ชนิดผสม
ความหนาจากด้ามถึงปลาย (มม.)	6	8 – 5 (แบบเรียว)	6
ความกว้างที่ด้ามและที่ปลายใบมีด (มม.)	95 – 88	22 – 55	60
องศาการตัด	95°	130°	125°
รัศมีการตัด (มม.)	30	50	50
รัศมีการหมุน วัดจากกึ่งกลางเพลาลงถึงปลายใบมีด (มม.)	230	197	235
ความกว้างการตัดทราย W (มม.)	140	45	60

2.1.2 กระบะและราง

กระบะสามารถเคลื่อนที่ไปกลับในราง โดยให้กระบะเคลื่อนที่เข้าหาใบมีดที่หมุนอยู่กับที่ เปรียบเสมือนการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ขณะพรวนดิน (ดังแสดงในรูปที่ 3)



รูปที่ 3 กระบะและรางที่ใช้ในการทดลอง

2.1.3 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบหมุนเพลาลใบมีดและกระบะ

อุปกรณ์ชุดนี้ประกอบด้วย Inverter 2 ตัว สำหรับควบคุมความเร็วรอบหมุนเพลาลใบมีดและความเร็วการเคลื่อนที่กระบะ กล้องควบคุมทิศทางกระบะ และชุดเฟืองโซ่ (ดังแสดงในรูปที่ 4)

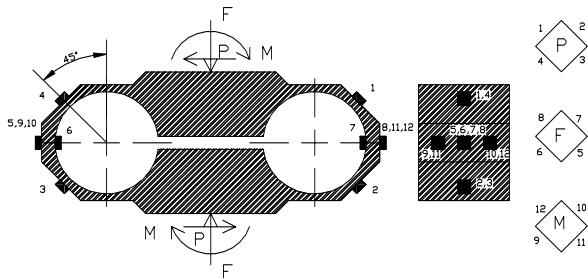


รูปที่ 4 Inverter กล้องควบคุมทิศทางกระบะ และชุดเฟืองโซ่

2.2 ชุดอุปกรณ์วัดขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำกับใบมีด

2.2.1 EOR และสเตอรนเกจ

EOR เป็นอุปกรณ์วัดที่ติดตั้งสเตอรนเกจตามตำแหน่งต่างๆ โดยสัญญาณจะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำกับใบมีดซึ่งจะส่งผลให้ EOR เกิดการเสียรูป (ดังแสดงในรูปที่ 5)



รูปที่ 5 EOR และการติดสเตรนเกจตามตำแหน่งต่างๆ

2.2.2 อุปกรณ์วัดตำแหน่งการหมุนของเพลานำมิต

Rotary Encoder ช่วยให้เราหาจุดเริ่มต้นการหมุนของเพลานำมิตได้อย่างถูกต้อง และยังสามารถรู้ถึงจุดเริ่มต้นการหมุนของเพลานำมิตในรอบการหมุนอื่นๆ ได้อีกด้วย (ดังแสดงในรูปที่ 6)



รูปที่ 6 Rotary Encoder

2.3 ชุดอุปกรณ์และโปรแกรมบันทึก แสดงและประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

2.3.1 Data Acquisition Card (DAQ Card)

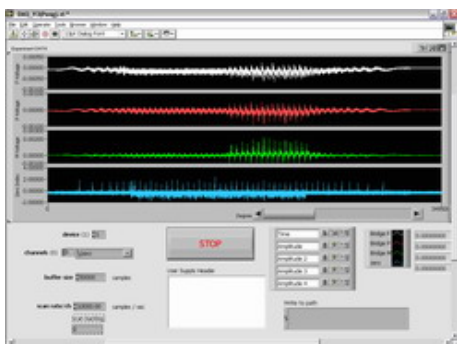
ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ Analog ที่ได้จากชุดอุปกรณ์วัดสัญญาณเป็นสัญญาณ Digital เพื่อนำไปบันทึกเป็นข้อมูลในคอมพิวเตอร์ (ดังแสดงในรูปที่ 7)



รูปที่ 7 ลักษณะของ DAQ Card

2.3.2 โปรแกรมบันทึกข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะถูกบันทึกเป็น Binary File ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว (ดังแสดงในรูปที่ 8)



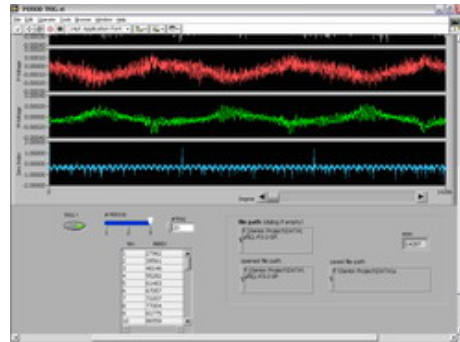
รูปที่ 8 ตัวอย่างการแสดงผลที่ได้ขณะทำการทดลอง

2.3.3 โปรแกรมแปลงข้อมูลจาก Binary File เป็น Spreadsheet

ข้อมูลประเภท Binary File มีข้อดีในการจัดเก็บที่รวดเร็ว แต่ไม่สะดวกที่จะแสดงหรือนำไปใช้ จึงต้องมีโปรแกรมแปลงข้อมูลจาก Binary File ไปเป็น Spreadsheet ที่สะดวกในการนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์ผล

2.3.4 โปรแกรมเลือกช่วงข้อมูล

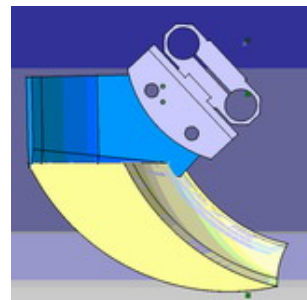
โปรแกรมนี้มีความสามารถในการเลือกช่วงข้อมูลจากการทดลองที่มีความเหมาะสมเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ต่อไป (ดังแสดงในรูปที่ 9)



รูปที่ 9 โปรแกรมเลือกช่วงข้อมูล

2.3.5 โปรแกรม Catia Version 5

โปรแกรม Catia Version 5 มีความสามารถในการจำลองสภาพการพรวนทรายสำหรับช่วยวิเคราะห์การทำงานของไม้มัด เพราะการใช้สายตาสังเกตการทำงานของไม้มัด ขณะทำการพรวนทรายอยู่นั้นกระทำได้อย่างยาก เนื่องจากไม้มัดหมุนเร็ว (ดังแสดงในรูปที่ 10)

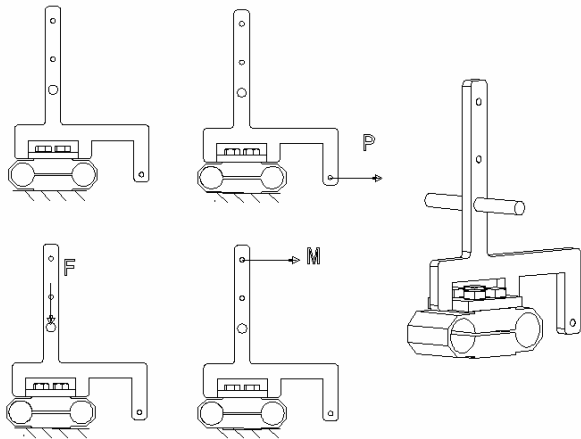


รูปที่ 10 ตัวอย่างโปรแกรมจำลองสภาพการทำงานของไม้มัด

3. วิธีการทดลอง

3.1 การสอบเทียบอุปกรณ์วัดแรง EOR

การติดสเตรนเกจที่ตำแหน่งต่างๆ บน EOR เมื่อนำไปวัดแรงและโมเมนต์พบว่า เกิดความไวข้าม (Cross Sensitivity) ขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจากวงจรบริดจ์ต่างๆ บน EOR กับแรงและโมเมนต์ที่มากระทำ ซึ่งจะพิจารณา รวมถึงผลของความไวข้ามในการคำนวณด้วย จึงจำเป็นต้องสร้างชุดอุปกรณ์สอบเทียบ (ดังแสดงในรูปที่ 11)



รูปที่ 11 แสดงการใส่ภาระแบบต่างๆ ให้กับอุปกรณ์สอบเทียบ

ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจากวงจรบริดจ์ต่างๆ บน EOR กับแรงและโมเมนต์ที่มากระทำ สามารถเขียนเป็นในรูปแบบเมทริกซ์ได้ดังสมการ (1)

$$\begin{bmatrix} V_F \\ V_P \\ V_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{FF} & C_{FP} & C_{FM} \\ C_{PF} & S_{PP} & C_{PM} \\ C_{MF} & C_{MP} & S_{MM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F \\ P \\ M \end{bmatrix} \quad (1)$$

3.2 การทดลองพรุนทราย



รูปที่ 12 ชุดทดลองพรุนทราย

ชุดทดลอง (ดังแสดงในรูปที่ 12) เป็นการจำลองสภาพการทำงานของเครื่องพรุนจอมุนในระดับห้องปฏิบัติการ โดยเฟลาไม้มัดจะหมุนอยู่กับที่ เพื่อให้ไม้มัดหมุนตัดทรายละเอียดที่ถูกอัดอยู่ในกระบะที่เคลื่อนที่แทนการเคลื่อนที่ของเครื่องพรุนจอมุน ซึ่งความเร็วรอบเฟลาไม้มัดและความเร็วการเคลื่อนที่กระบะทราย สามารถควบคุมได้ด้วย Inverter ในการทดลองจะทำการวัดแรงต้านทานกับไม้มัดจอมุน 3 ชนิดๆ ละ 1 ใบ กำหนดความเร็วรอบหมุนของเฟลาไม้มัด 120

รอบต่อนาที ระยะการตัดทราย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร ที่ระดับความลึกในการพรุน 12 เซนติเมตร และความหนาแน่นทรายเฉลี่ย 2.8 kg/cm^2

4. ผลการทดลอง

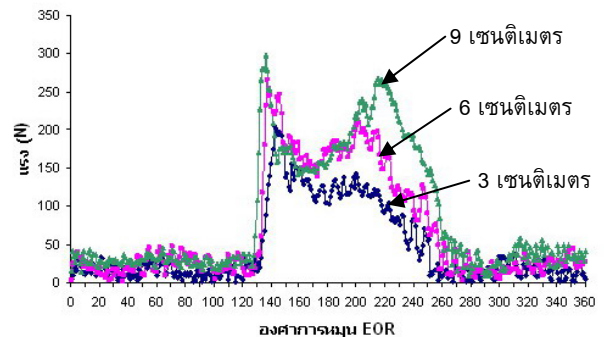
4.1 ผลการสอบเทียบอุปกรณ์วัดแรง EOR

ค่าของความไวข้าม (Cross Sensitivity) ในรูปแบบเมทริกซ์ที่เกิดจากการสอบเทียบเมื่อนำอุปกรณ์ EOR ไปวัดแรงและโมเมนต์ ดังแสดงสมการ (2)

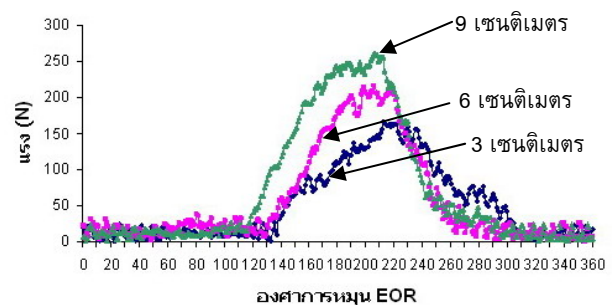
$$\begin{bmatrix} S_{FF} & C_{FP} & C_{FM} \\ C_{PF} & S_{PP} & C_{PM} \\ C_{MF} & C_{MP} & S_{MM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.16 \times 10^{-6} & -7.99 \times 10^{-8} & -2.85 \times 10^{-6} \\ -8.84 \times 10^{-8} & 2.19 \times 10^{-6} & 7.68 \times 10^{-7} \\ 6 \times 10^{-8} & -2 \times 10^{-8} & 3.28 \times 10^{-5} \end{bmatrix} \quad (2)$$

4.2 ผลการทดลองพรุนทราย

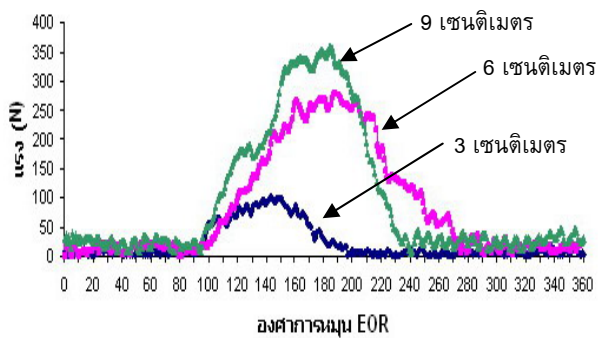
จากการทดลองพรุนทรายด้วยไม้มัดจอมุนทั้ง 3 ชนิดๆ ละ 1 ใบ สามารถแสดงรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงต้านทานลัฟท์ที่กระทำกับไม้มัดจอมุนกับ ตำแหน่งองศาการหมุนของอุปกรณ์วัดแรง EOR (ดังแสดงในรูปที่ 13, 14 และ 15) และจากการบันทึกภาพถ่ายรอยการตัดทรายที่เกิดขึ้นจากการพรุนด้วยไม้มัดจอมุนทั้ง 3 ชนิดจะสามารถนำไปวิเคราะห์ เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของการพรุนของไม้มัดทั้ง 3 ชนิดได้ (ดังแสดงในรูปที่ 16)



รูปที่ 13 กราฟแสดงแรงต้านทานลัฟท์จากการพรุนด้วยไม้มัดแอล ที่ระยะตัดทราย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร



รูปที่ 14 กราฟแสดงแรงต้านทานลัฟท์จากการพรุนด้วยไม้มัดซี ที่ระยะตัดทราย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร



รูปที่ 15 กราฟแสดงแรงต้านทานลัทธิจากการพรุนด้วยไบนิตผสม ที่ระยะตัดทราย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร



รูปที่ 16 แสดงรอยการพรุนทรายของไบนิตชนิดแอล ซี และผสม

4.3 ผลการทดลองจากการใช้โปรแกรม Catia Version 5

จากการใช้ข้อมูลมิติของไบนิตจอบหมุนทั้ง 3 ชนิดกับโปรแกรม Catia Version 5 ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่มีความสามารถในการจำลองภาพ 3 มิติ โดยกำหนดให้โปรแกรมจำลองสภาพการพรุนทรายใน 1 รอบการหมุนเพลไบนิต เพื่อแสดงรูปร่าง 3 มิติ ของก้อนทรายที่ถูกตัด นอกจากนั้นโปรแกรมนี้ยังสามารถคำนวณพื้นที่ผิว และปริมาตรของรูปทรงที่จำลองขึ้นได้อีกด้วย (ดังแสดงในตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะขนาดพื้นที่และปริมาตรการพรุนทรายของไบนิตทั้ง 3 ชนิด ที่ระยะการตัดทราย 3, 6 และ 9 เซนติเมตร

ชนิดของไบนิต	ระยะตัดทราย (cm.)	พื้นที่รอยการตัดทราย		ปริมาตรก้อนทราย	
		ลักษณะ	พื้นที่ (cm. ²)	ลักษณะ	ปริมาตร (cm. ³)
ชนิดตัวแอล	3		38		432
	6		76		860
	9		114		1273

ชนิดตัวซี	3		10		113
	6		21		246
	9		31		359
ชนิดผสม	3		17		179
	6		35		355
	9		52		521

5. อภิปรายผลการทดลอง

จากการศึกษา ลักษณะและวัดขนาดแรงต้านทานลัทธิที่กระทำกับไบนิตที่มีรูปร่างแตกต่างกัน 3 ชนิด ขณะพรุนทรายที่องค์การหมุนต่างๆ เมื่อพรุนในกระเบทรายที่ความลึกของการพรุนมีค่าคงที่ เมื่อพิจารณาที่ระยะการตัดทรายต่างๆ กัน สามารถอธิบายได้ว่า ระยะตัดทรายที่มากจะก่อให้เกิดขนาดของก้อนทรายที่ใหญ่ และพื้นที่สัมผัสของแรงต้านทานการพรุนที่มากกว่า ส่งผลทำให้แรงต้านทานลัทธิมีค่ามากกว่าตามไปด้วย

5.1 การพรุนด้วยไบนิตจอบหมุนชนิดตัวแอล

แรงต้านทานลัทธิที่มุมการหมุนของ EOR ประมาณ 130 องศา เส้นกราฟแรงต้านทานจะเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด เนื่องจากแนวขอบคมตัดของไบนิตจะกระทบกับพื้นทรายพร้อมๆ กันตลอดทั้งแนว ไบนิตที่กระทบกับทราย จะทำให้ทรายชั้นบนจะเกิดการแตกตัว ส่งผลให้ความแน่นทรายลดลง แรงต้านทานจึงลดลง เมื่อไบนิตหมุนตัดทรายต่อไป ความลึกการพรุนจะเพิ่มขึ้น ทำให้ความแน่นของชั้นทรายเพิ่มมากขึ้น แต่ความหนาของก้อนทรายจะลดลง ความแน่นของชั้นทรายที่เพิ่มมากขึ้น และความหนาของก้อนทรายที่ถูกตัดยังคงมีขนาดใหญ่ จึงก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงต้านทานอีกครั้ง ต่อจากนั้น แรงต้านทานที่กระทำกับไบนิตจะลดลงอีกครั้งที่มุมประมาณ 200 องศา และจากลักษณะรูปร่างทรายที่ถูกตัด จะเห็นว่าผิวทรายชั้นล่างหลังการพรุนมีลักษณะราบเรียบ

5.2 การพรวนด้วยใบมีดจอบหมุนชนิดตัวซี

เมื่อใบมีดสัมผัสทรายจะเกิดแรงต้านทานขึ้น โดยแรงที่กระทำกับใบมีดจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงจุดสูงสุด หลังจากนั้นแรงต้านทานจะค่อยๆ ลดลง การเกิดแรงต้านทานลักษณะนี้ มีผลมาจากปัจจัย 2 ส่วน คือ การที่ความแน่นทรายจะเพิ่มมากขึ้น แต่ความหนาของก้อนทรายจะลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น และการที่ขอบคมของใบมีดมีลักษณะโค้งตลอดทั้งใบมีด ดังนั้น เมื่อใบมีดหมุนตัดทราย พื้นที่แรงเสียดทานระหว่างใบมีดและทรายจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้น รวมกับทรายที่มีความแน่นเพิ่มขึ้น แรงต้านทานจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนเมื่อใบมีดหมุนตัดทรายจนถึงระดับที่ความหนาของก้อนทรายน้อย ความแน่นของทรายที่ถูกตัดจะลดลง แรงต้านทานจึงค่อยๆ ลดลง และจากลักษณะรูปร่างทรายที่ถูกตัดจะเห็นว่าผิวทรายชั้นล่างหลังการพรวนมีลักษณะราบเรียบ

5.3 การพรวนด้วยใบมีดจอบหมุนชนิดผสม

เมื่อใบมีดสัมผัสทรายจะเกิดแรงต้านทานขึ้น โดยแรงที่กระทำกับใบมีดชนิดผสมมีลักษณะเดียวกันกับแรงที่กระทำกับใบมีดชนิดตัวซี แต่ใบมีดชนิดผสมแนวโค้งของขอบคมตัดไม่สัมพันธ์กับมุมการตัดของปลายใบมีด ทำให้ส่วนปลายของใบมีดขัดกับทรายชั้นล่าง ส่งผลให้ผิวทรายหลังการพรวนเกิดแนวสันนูนขึ้น

6. สรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 3 สรุปเปรียบเทียบลักษณะกายภาพและลักษณะของแรงจากการพรวนที่กระทำกับใบมีดจอบหมุน 3 ชนิด

ชนิดของใบมีด	ชนิดตัวแอล	ชนิดตัวซี	ชนิดผสม
ลักษณะทั่วไป	ใบมีดขนาดใหญ่ ความหนาเท่ากันตลอดใบมีด	รูปร่างซับซ้อน ความหนาแต่ละส่วนไม่เท่ากัน	ใบมีดมีลักษณะหนา ยาว และใหญ่
ลักษณะขอบตัดดิน	ขอบตัดดินเป็นแนวตรงตลอดใบมีด	ขอบตัดดินโค้ง	ขอบตัดดินโค้ง
ส่วนปลายใบมีด	เรียบเป็นระนาบ ความยาวประมาณ 14 เซนติเมตร	มีการตัดเป็นผิวโค้ง มีมุมต่างๆ จำนวนมาก	ปลายใบมีดเรียบเป็นระนาบ
การตัดปลายใบมีด	ตัดตามแกนในแนวตั้ง มุมการตัดประมาณ 95°	ตัดตามแนวโค้งของวงกลม มุมการตัดปลายประมาณ 130°	ตัดตามแกนในแนวเฉียง มุมการตัดปลายประมาณ 125°
ชนิดของขอบคม	ขอบคมคู่	ขอบคมคู่	ขอบคมเดี่ยว

ลักษณะของแรงต้านทานลัพท์สูงสุด (พิจารณาที่ระยะตัดทราย 9 เซนติเมตร)	เป็นแรงกระแทกเมื่อแนวขอบคมตัดของใบมีดกระทบกับทรายพร้อมกัน แรงต้านทานลัพท์มากที่สุดเมื่อใบมีดหมุนตัดทรายลึก 11.7 เซนติเมตร จากนั้นแรงต้านทานจะลดลง	แรงต้านทานลัพท์ค่อยๆ เพิ่มขึ้น และมากที่สุดเมื่อใบมีดหมุนตัดทรายลึก 11.2 เซนติเมตร จากนั้นแรงต้านทานจะลดลง	แรงต้านทานลัพท์ค่อยๆ เพิ่มขึ้น และมากที่สุดเมื่อใบมีดหมุนตัดทรายลึก 11.2 เซนติเมตร จากนั้นแรงต้านทานจะลดลง
ผิวทรายล่าง หลังการพรวน	ผิวทรายล่าง หลังการพรวนเรียบไม่เกิดเป็นสันนูน	ผิวทรายล่าง หลังการพรวนเรียบเนื่องจากรอยการตัดทรายของใบมีดเกือบเป็นมุมฉาก	เกิดเป็นสันนูนสูงประมาณ 4 เซนติเมตร ตลอดแนวการพรวนเนื่องจาก การตัดทรายของปลายใบมีดที่มีลักษณะเฉียง

กิตติกรรมประกาศ

- โครงการทุนอุดหนุนการศึกษาระดับปริญญาตรี ประจำปี 2546 ฝ่ายอุดหนุนการศึกษาระดับปริญญาตรี สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่ให้ทุนอุดหนุนโครงการวิจัยและพัฒนา
- ศูนย์เครื่องจักรกลเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ยืม Slip Ring สำหรับใช้ในการทดลอง
- กองเกษตรวิศวกรรม ที่กรุณาให้ยืม เครื่องวัดความแข็งแรงดิน

เอกสารอ้างอิง

- [1] สราวุธ เหล่าพงศ์สวัสดิ์, "การศึกษาเปรียบเทียบแรงที่กระทำกับใบมีดจอบหมุน 3 ชนิด", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546
- [2] สุรินทร์ พงศ์ศุภสมิทธิ์ และ สราวุธ เหล่าพงศ์สวัสดิ์, "แรงต้านทานลัพท์ที่กระทำกับใบมีดจอบหมุนชนิดตัวแอล", การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5, ประจำปี 2547
- [3] Gu, Y., Kushwaha R. L. and Zoerb G. C. "Cross-sensitivity Analysis of Extended Octagonal Ring Transducer", American Society of Agricultural Engineers, Vol.36 (parts 6) 1993, pp.1967-1972
- [4] Sakai, J. and Shibata, Y. "Studies on the Design Engineering of Rotary Blades for the Rotary Tillage of Tractors (Parts 3)", The Bulletin of the Faculty of Agriculture, Mie University. March, 1976, pp.145-155