

การออกแบบใบมีดพรุนดินสำหรับอุตสาหกรรมภายในประเทศ

Design of Rotary Blade for Local Industry

สุรินทร์ พงศ์ศุภสมิทธิ์, ขวัญตรี แสงประชานารักษ์, วรพรรณ นิมิตมงคล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

254 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 Email: surin1950@hotmail.com

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของรูปร่างของส่วนต่างๆของใบมีดจอบหมุนที่มีต่อประสิทธิภาพในการพรุน ซึ่งจะนำไปสร้างความรู้และทฤษฎีในการออกแบบใบมีดจอบหมุน โดยศึกษาการทำงานของใบมีด 3 ชนิด ที่มีรูปร่างแตกต่างกัน คือ ใบมีดชนิดตัวแอล ใบมีดชนิดตัวซี และใบมีดแบบผสม นำใบมีดดังกล่าวมาทดลองพรุนในกระบะทราย โดยใช้เทคนิคการวัดขนาดและทิศทางของแรงต้านทานผลลัพธ์ที่กระทำกับใบมีดโดยตรง พิจารณาร่วมกับแบบจำลองการพรุนที่สร้างโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะแรงต้านทานที่เกิดขึ้น กับรูปร่างของใบมีดจอบหมุน

ผลการศึกษาพบว่าส่วนของใบมีดที่มีผลต่อแรงต้านทานที่เกิดขึ้น คือ ขอบคมตัด ลักษณะปลายใบมีด และมุมตัดปลายใบมีด โดยขอบคมตัดที่เป็นแนวตรงจะก่อให้เกิดแรงกระแทก ทำให้แรงต้านทานแนวตั้งและแนวระดับเกิดการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งจะเป็นผลเสียต่อระบบส่งกำลังและเสถียรภาพของเครื่องพรุนจอบหมุน ในขณะที่ขอบคมตัดที่เป็นแนวโค้ง จะไม่ก่อให้เกิดแรงกระแทก และการออกแบบมุมตัดต้องมีความสัมพันธ์กับแนวโค้งของส่วนตัดปลายเพื่อให้ได้พื้นผิวด้านล่างของการพรุนเรียบ และเกิดแรงต้านทานแนวตั้งซึ่งเป็นแรงยกเครื่องพรุนจอบหมุนขึ้น มีขนาดน้อยกว่าแรงต้านทานในแนวระดับที่ช่วยผลักดันเครื่องพรุนจอบหมุนไปข้างหน้า เพื่อลดกำลังที่ใช้ในการทำงาน

คำหลัก ใบมีดจอบหมุน

Abstract

The objective of this research is to study the affects of the shape of rotary blades which can be designed by local farm industries in the future. The experiments conducted to measure resultant forces acting on three types of blade which are L-shape blades, C-shape blades and mixed shape blades. The resultant forces will be analyzed by the simulation of tilling with each type of rotary blade for determining the relationship between the resistance forces and the shape of rotary blades.

The results can be concluded that there are 3 important parts of rotary blade that effect to the resistant forces. They are the shape of blade tip, the cutting edge and the bending angle. The straight cutting edge causes the impacted loads which can damage the transmission parts. Moreover, it causes the rapid changes of vertical and horizontal resistance forces which make high vibration unlike the curve cutting edge. In addition, the design of bending angle should relate with the curve of cutting edge in order to create the smooth bottom tilled surfaces. The vertical resistance forces which lift the rotary tiller upward are smaller than the horizontal forces which push the rotary tiller forward. The latter one has advantage to decrease the engine power.

Keywords rotary blade

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องพรุนจอบหมุน (Rotary tiller) เป็นเครื่องจักรกลการเกษตรที่ใช้ในการพรุนดิน ทำงานโดยอาศัยกำลังจากเครื่องยนต์ส่งผ่านเพลาลำนำของรถไถเดินตามหรือรถแทรกเตอร์ ซึ่งในปัจจุบันจากการสำรวจของกองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตรพบว่า เกษตรกรที่ประกอบอาชีพ ทำนาและทำไร่สวนผสม มีความต้องการใช้แทรกเตอร์ติดอุปกรณ์พรุนดินแบบจอบหมุนมาก เนื่องจากเครื่องพรุนจอบหมุนสามารถพลิกหน้าดินและย่อยดินได้โดยการพรุนเพียงครั้งเดียวซึ่งเป็นการประหยัดเวลาในการทำงาน แต่เนื่องจากใบมีดจอบหมุนเป็นชิ้นส่วนที่สึกแล้วเกิดการสึกหรอ และใบมีดส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นใบมีดที่นำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง ซึ่งการเปลี่ยนชุดใบมีดเป็นต้นทุนที่สูงสำหรับเกษตรกร ดังนั้นบริษัทเอกชนผู้ผลิตรถไถเดินตามและอุปกรณ์ไถภายในประเทศจึงมีความต้องการที่จะผลิตใบมีดจอบหมุนเองแต่ยังขาดข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับเครื่องพรุนและใบมีดจอบหมุนจึงยังไม่สามารถผลิตเครื่องพรุนและใบมีดจอบหมุนได้เอง นอกจากลอกเลียนแบบของต่างประเทศ ผลจากการศึกษานี้จะเป็นการสร้างความรู้และทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบใบมีดจอบหมุนสำหรับรถแทรกเตอร์เกษตรกรรมให้แก่เอกชนกลุ่มเครื่องจักรกลเกษตร

1.2 ขอบเขตของโครงการ

1.2.1 ประยุกต์ใช้เทคนิคการวัดแรงต้านทานโดยตรง ในการทดลองใบมีดจอบหมุน โดยปรับปรุงชุดทดลองและอุปกรณ์วัดสัญญาณ

1.2.2 วัดและวิเคราะห์แรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดจอบหมุน 3 ชนิด คือ แบบตัวแอล แบบตัวซี และแบบผสม เมื่อพรุนด้วยใบมีดใบเดียวและเมื่อติดใบมีดข้างเคียง โดยใช้วิธีการประมวลผลสัญญาณด้วยโปรแกรม LabVIEW

1.2.3 ทดลองวัดแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดใบเดียวที่ความเร็วรอบหมุนของเพลาลำนำ 120 รอบต่อนาที โดยทำการทดลองที่ความลึกในการพรุน 12 เซนติเมตร ความหนาแน่นทรายเป็น 25 kg/cm^2 และ

ระยะการตัด 3, 6 และ 9 เซนติเมตร ตามลำดับ

1.2.4 ประมวลข้อมูลต่างๆจากการทดลอง เพื่อสร้างเป็นทฤษฎีการออกแบบใบมีดจอบหมุนสำหรับรถแทรกเตอร์เกษตรกรรม

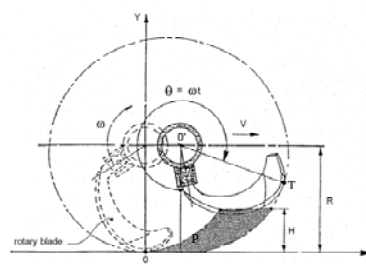
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถวิเคราะห์ผลจากการทดลอง สร้างความรู้และทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบใบมีดจอบหมุนสำหรับรถแทรกเตอร์เกษตรกรรมได้ และผลจากการศึกษานี้ เอกชนกลุ่มเครื่องจักรกลเกษตรสามารถนำไปออกแบบเพื่อผลิต ปรับปรุง และพัฒนาใบมีดจอบหมุน รวมถึงใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องพรุนจอบหมุนได้ ซึ่งจะทำให้เอกชนสามารถนำไปออกแบบและผลิตใบมีดได้เอง จะช่วยลดการนำเข้าใบมีดจอบหมุนจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง นอกจากนั้น เกษตรกรจะได้ใช้ใบมีดที่ผลิตเองในประเทศ ซึ่งเหมาะสมกับสภาพพื้นที่การเกษตร

2. ทฤษฎี

2.1 การเคลื่อนที่ของใบมีดจอบหมุน

เมื่อเครื่องพรุนจอบหมุนทำงาน เพลาลำนำจะหมุนทำให้ใบมีดตัดดินพร้อมกับเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ทำให้ใบมีดที่ติดอยู่บนเพลาลำนำเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง (Locus curve) ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้งโทรคอยด์ (Trochoid curve)



รูปที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของใบมีด

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา มีดังนี้

P คือ ระยะตัดดิน (เมตร)

H คือ ระดับความลึกการพรุน (เมตร)

R คือ รัศมีของใบมีด (เมตร)

V คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของเพลาลำนำ (เมตรต่อวินาที)

ω คือ ความเร็วเชิงมุมของเพลลาไรมิต (เรเดียนต่อวินาที)

t คือ เวลา (วินาที)

$\omega t = \theta$ คือ ค่ามุมที่ไรมิตหมุนไปในช่วงเวลา t โดยทั่วไปความเร็วรอบหมุนของเพลลาไรมิตสามารถได้จากสมการได้ดังนี้

$$\omega = \frac{n\pi}{30} \quad (1)$$

เมื่อ n คือ ความเร็วรอบหมุนของเพลลาไรมิต (รอบต่อนาที)

2. ระยะตัดดิน (Tillage pitch, P)

ระยะตัดดิน คือระยะห่างที่ไรมิตหมุนตัดดินในแต่ละรอบหมุน สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P = \frac{60}{Z\xi} \quad (2)$$

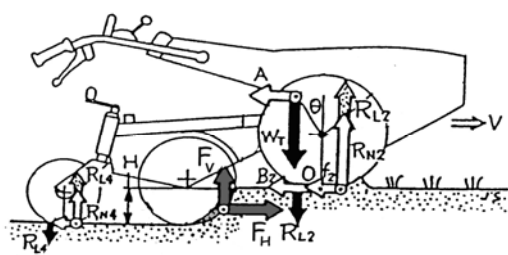
เมื่อ Z คือ จำนวนไรมิตบนหนึ่งระนาบของเพลลาไรมิต

ξ คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วรอบหมุนต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของเพลลาไรมิต

โดย
$$\xi = \frac{n}{V} \quad (3)$$

3. เป้าหมายในการออกแบบไรมิตจอบหมุน

สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบไรมิตจอบหมุน คือ ผลของการพรวนเป็นไปตามที่ต้องการ และเครื่องพรวนจอบหมุนมีเสถียรภาพในการทำงาน ซึ่งเสถียรภาพของเครื่องพรวนจอบหมุนจะพิจารณาจากการวิเคราะห์แรงต้านทานแนวตั้ง F_V และแรงต้านทานแนวระดับ F_H ซึ่งเป็นผลรวมของแรงต้านทานลัพธ์ที่กระทำบนไรมิตจอบหมุนที่อยู่บนเพลลาไรมิต ณ เวลาใดๆ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แรงภายนอกที่กระทำต่อรถไถเดินตามติดเครื่องพรวนจอบหมุน

ดังนั้น เป้าหมายในการออกแบบคือ

1. ผิวชั้นดินด้านล่างการพรวนควรมีความเรียบสม่ำเสมอ เนื่องจากการที่ผิวดินด้านล่างขรุขระ จะเป็นอุปสรรคขัดขวางการเจริญเติบโตของรากพืช เพราะดินที่ไม่ถูกพรวนเหล่านี้มีความแข็งและแน่นรากพืชทะลุผ่านได้ยาก พืชจึงไม่สามารถแผ่ขยายรากได้ และยังเป็นอุปสรรคต่อการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตรในการเพาะปลูกอื่นๆ ความเรียบของผิวดินหลังการพรวนนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและรอยการตัดดินของไรมิต ซึ่งความสูงของผิวดินที่ไม่ถูกพรวนไม่ควรเกิน 0.2 เท่าของระยะความลึกในการพรวน โดยรอยตัดดินนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของไรมิต ซึ่งควรออกแบบให้เกิดรอยการตัดดินที่เรียบ

2. แรงต้านทานในแนวตั้ง F_V ควรมีขนาดเหมาะสม เพื่อลดการยกตัวของเครื่องพรวนจอบหมุน และการเปลี่ยนแปลงของแรง F_V ที่เกิดขึ้นเนื่องจากรูปร่างของไรมิตและการจัดเรียงไรมิตบนเพลลา ควรจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแรง F_V ที่มีค่าแตกต่างกันมาก จะก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนของเครื่องพรวนจอบหมุนในแนวตั้ง ซึ่งทำให้ระยะความลึกในการพรวนไม่คงที่ ผิวดินหลังการพรวนจะไม่เรียบ หากเป็นเครื่องพรวนจอบหมุนติดท้ายรถไถเดินตาม ก็จะทำให้คันมือถือคัน เกษตรกรผู้ใช้เกิดการเมื่อยล้าได้ง่าย อันเป็นสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ

3. การเปลี่ยนแปลงของแรงต้านทาน F_H ซึ่งช่วยผลักเครื่องพรวนจอบหมุนไปข้างหน้า ไม่ควรมีค่าแตกต่างกันมากนัก เนื่องจากจะก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนในลักษณะการดันตามจังหวะของเครื่องพรวนจอบหมุนต่อรถแทรกเตอร์หรือรถไถเดินตาม ซึ่งทำให้การควบคุมการทำงานและควบคุมขนาดของกอนดินทำได้ยาก

4. ให้มีการพันตัวของเศษวัชพืชที่ไรมิตและที่เพลลาเครื่องพรวนจอบหมุนให้น้อยที่สุด

5. ส่วนประกอบของไรมิตที่ประกอบด้วย ด้าม ส่วนตรง และส่วนตัดปลาย มีความทนทานเพียงพอที่จะรับความเค้นที่เกิดขึ้น โดยมีต้นทุนการผลิตต่ำ

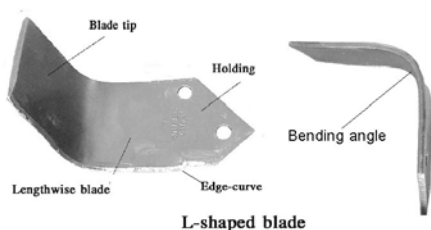
4. การทดลองพรวนทราย

เนื่องจากปัญหาขาดความรู้เกี่ยวกับใบมีดจอบหมุน จึงได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการทำงานของใบมีดที่มีการใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 3 ชนิด คือ ใบมีดชนิดตัวแอล ชนิดตัวซี และแบบผสม ในการทดลองจะจำลองสภาพการทำงานของเครื่องพรวนจอบหมุน โดยให้เพล ใบมีดหมุนอยู่กับที่ ส่วนกระบะทรายนั้นเคลื่อนที่แทนการเคลื่อนที่ของเครื่องพรวนจอบหมุน ซึ่งสามารถขับเคลื่อนได้โดยใช้มอเตอร์ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองและโซ่ และสามารถควบคุมความเร็วได้ด้วยอินเวอร์เตอร์ แล้วทำการวัดแรงต้านทานที่เกิดขึ้น รวมทั้งพิจารณาผลที่ได้จากการพรวน แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลของรูปร่างที่ต่างกันของใบมีดทั้ง 3 ชนิด โดยจะพิจารณา 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนตรงของใบมีด ซึ่งมีหน้าที่ตัดเฉือนดินตามทิศทางการเคลื่อนที่ และส่วนดัดปลายของใบมีด ซึ่งทำหน้าที่ตัดและพลิกกลับดิน

4.1 รูปร่างของใบมีด 3 ชนิด

4.1.1 ใบมีดชนิดตัวแอล

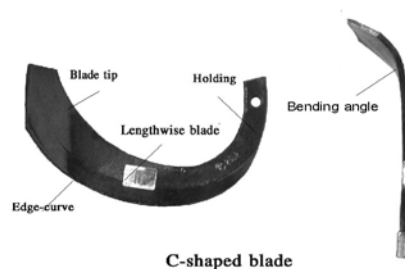
ใบมีดชนิดนี้มีความหนาเท่ากันตลอด มีขนาดใหญ่กว่าใบมีดชนิดอื่น ส่วนขอบคมตัดของส่วนตรงจะเป็นแนวเส้นตรง และส่วนดัดปลายทำมุมกับส่วนตรงประมาณ 95 องศา ซึ่งส่วนขอบคมเป็นแนวตรงเช่นกัน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะของใบมีดชนิดตัวแอล

4.1.2 ใบมีดชนิดตัวซี

ใบมีดชนิดตัวซีมีรูปร่างที่ซับซ้อน มีความหนามากที่สุดที่ด้ามจับยึด และความหนาน้อยที่สุดที่ส่วนปลายใบ ส่วนขอบคมตัดของส่วนตรงและส่วนปลายเป็นแนวโค้ง มีมุมการดัดปลายประมาณ 130 องศา ความกว้างในการพรวนของใบมีดตัวซีจะน้อยกว่าใบมีดตัวแอล ดังรูปที่ 4

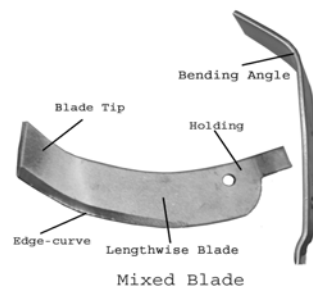


C-shaped blade

รูปที่ 4 ลักษณะของใบมีดตัวซี

4.1.3 ใบมีดแบบผสม

ใบมีดชนิดนี้มีความหนาเท่ากันตลอดเช่นเดียวกับใบมีดชนิดตัวแอล แต่มีขอบคมตัดของส่วนตรงและส่วนดัดปลายของใบมีดเป็นแนวโค้ง โดยที่มุมการดัดจะน้อยกว่าใบมีดตัวแอล ดังรูปที่ 5

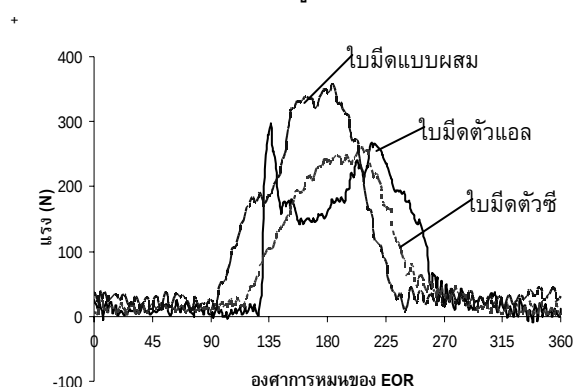


Mixed Blade

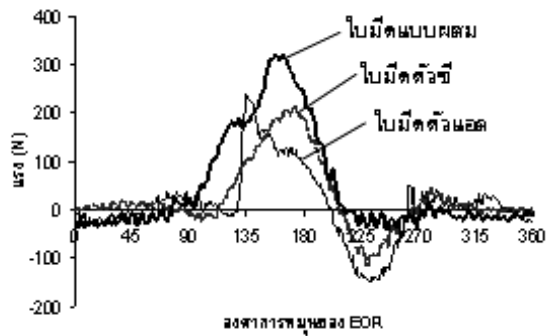
รูปที่ 5 ลักษณะของใบมีดแบบผสม

4.2 แรงต้านทานลัพท์ที่กระทำบนใบมีดใน 1 รอบการพรวน

แรงต้านทานที่คำนวณจากสัญญาณที่ได้จากการทดลอง สามารถแสดงได้ดัง รูปที่ 6, 7 และ 8



รูปที่ 6 กราฟแสดงแรงต้านทานลัพท์จากการพรวนด้วยใบมีดชนิดตัวแอล ชนิดตัวซี และแบบผสม ระยะตัด 9 เซนติเมตร



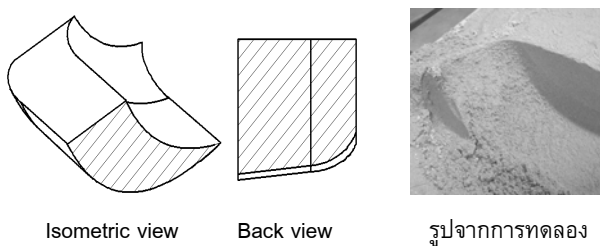
รูปที่ 7 กราฟแสดงแรงต้านทานแนวตั้งที่กระทำบน ใบมีดชนิดตัวแอล ชนิดตัวชี้ และแบบผสม ในการทดลองพรวนที่ระยะตัด 9 เซนติเมตร



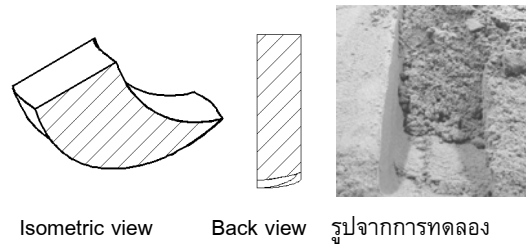
รูปที่ 8 กราฟแสดงแรงต้านทานแนวระดับที่กระทำบน ใบมีดชนิดตัวแอล ชนิดตัวชี้ และแบบผสม ในการทดลองพรวนที่ระยะตัด 9 เซนติเมตร

4.3 ผลที่ได้จากการพรวนโดยใบมีด 3 ชนิด

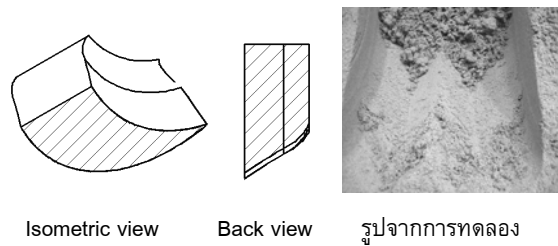
ผลการพรวนสามารถสังเกตได้จากการทดลอง และจากการสร้างแบบจำลองการทำงานในโปรแกรม CATIA ซึ่งเป็นโปรแกรม CAD 3 มิติ ได้ผลดังรูปที่ 9 10 และ 11



รูปที่ 9 ลักษณะก่อนทรายที่พรวนโดยใบมีดตัวแอล



รูปที่ 10 ลักษณะก่อนทรายที่พรวนโดยใบมีดตัวชี้



รูปที่ 11 ลักษณะก่อนทรายที่พรวนโดยใบมีด แบบผสม

4.4 สรุปผลของรูปร่างที่มีต่อแรงต้านทานที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพในการพรวน

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์แรงต้านทาน ที่กระทำกับใบมีดจอบหมุน 3 ชนิด ร่วมกับการใช้ โปรแกรมจำลองการพรวนของใบมีดแต่ละชนิด แสดงให้เห็นว่า

1. ขนาด และแนวของแรงต้านทานที่กระทำกับ ใบมีด 3 ชนิดนี้ สัมพันธ์กับระยะการตัดทราย ขนาดของ ก้อนทราย และลักษณะรูปร่างของใบมีด
2. ส่วนของใบมีดที่มีผลต่อแรงต้านทานที่เกิดขึ้น มากที่สุด คือ ลักษณะปลายใบมีด ขอบตัดดิน และมุม ดัดปลายใบมีด
3. ใบมีดชนิดตัวแอลที่มีขอบคมตรง แรงต้านทาน ที่กระทำกับใบมีดจะเป็นแรงกระแทก เนื่องจากขอบคม ตลอดทั้งใบมีดจะกระทบกับทรายพร้อมๆกัน ซึ่งแรง กระแทกนี้จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนส่งกำลัง ได้
4. การที่ใบมีดชนิดตัวชี้และแบบผสมมีขอบคม ดัดโค้ง เมื่อพรวนทรายส่วนของขอบคมจะกระทบกับ ทรายเป็นจุดเล็กๆ แล้วเลื่อนไปตามแนวโค้ง เป็น

ลักษณะของการเฉือนตัด แรงต้านทานที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะของแรงเสียดทานซึ่งค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ที่ใบมีดตัดเฉือนเพิ่มมากขึ้น แรงต้านทานแนวตั้ง และแนวระดับในกรณีนี้จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันเหมือนกับกรณีขอบคมตัดเป็นแนวตรง ทำให้การสั่นสะเทือนต่ำ การทำงานมีเสถียรภาพ และไม่เกิดแรงกระแทก

5. มุมการตัดปลายของใบมีดมีส่วนสัมพันธ์กับรอยการตัดทราย ขนาดก้อนทราย และผิวทรายด้านล่างหลังการพรวน โดยการตัดปลายที่ดีควรสร้างให้เกิดผิวด้านล่างหลังการพรวนเรียบ อย่างเช่น ใบมีดชนิดตัวแอลและตัวซี นั่นคือต้องคำนึงถึงการเคลื่อนที่ของแนวขอบคมของส่วนตัดปลาย ให้แนวกวาดนี้ขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องพรวนจอบหมุนให้มากที่สุด ซึ่งการกำหนดแนวขอบคมนี้อาจทำได้โดยการกำหนดสมการการเคลื่อนที่ หรือการสร้างแบบจำลอง 3 มิติในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ต้องคำนึงถึงด้านหลังใบมีดของส่วนตัดปลายต้องไม่เสียดสีกับแนวที่ขอบคมได้ตัดพรวนไปแล้ว

6. ในกรณีใบมีดแบบผสมแนวโค้งของขอบคมตัดไม่สัมพันธ์กับมุมการตัดของปลายใบมีด ส่วนปลายของใบมีดจึงขัดกับทรายชั้นล่าง ก่อให้เกิดแรงต้านทานการพรวนที่สูง และทำให้ผิวทรายส่วนล่างเกิดเป็นสันนูนอีกด้วย

7. การสึกหรอของใบมีดจะเกิดมากที่บริเวณขอบคมตัดของใบมีด ซึ่งเป็นขอบคมคู่ การสึกหรอจะเกิดทั้ง 2 ด้านของใบมีด แต่ถ้าเป็นขอบคมเดี่ยวการสึกหรอจะเกิดด้านที่มีการลับคมเท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

รายงานโครงการวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้สามารถจัดขึ้นได้ โดยได้รับความร่วมมือและความช่วยเหลืออย่างดี จากบุคคลหลายท่าน ซึ่งทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

-ศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ พงศ์สุสมิทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ให้คำปรึกษาและคอยตรวจสอบการทำงานในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด

-ทุนอุดหนุนวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการโครงการอุตสาหกรรมสนับสนุนสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2546 ที่สนับสนุนการศึกษาวิจัยโครงการนี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารอ้างอิง

1. สราวุธ เหล่าพงศ์สวัสดิ์ : การศึกษาเปรียบเทียบแรงที่กระทำบนใบมีดจอบหมุน 3 ชนิด **Studying the Forces Acting on three types of rotary blades**, โครงการวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2546.

2. ชรินทร์ สิงขรวัดน์ และ ชัยรัตน์ นฤพนธ์
จิกุล: การศึกษาแรงที่กระทำต่อใบมีดพรวนจอบหมุนในกระบะทราย **Studying the Forces Acting on the Rotary Blade in the Sand Bin**, โครงการวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2544.

3. สุรินทร์ พงศ์สุสมิทธิ์, ไพศาล มานิตย์โชติพิสิฐ และคณะ: การศึกษาแรงต้านทานที่กระทำกับใบมีดพรวนจอบหมุนในกระบะทราย **Study of Resistance Forces acting on the Rotary Blade in the Sand Bin**, การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, พ.ศ.2545.

4. ศ.ดร.สุรินทร์ พงศ์สุสมิทธิ์: วิศวกรรมรถไถเดินตาม, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2539.

5. Jun Sakai: **Designing Process and Theories of Rotary Blades for Better Rotary Tillage (Part 1)**, Agricultural Research Quarterly (JARQ) Vol.12 No.2, 1978.