

การศึกษาลักษณะทอร์กที่กระทำบนเพลลาไถจอบหมุนของใบมีดจอบหมุน 3 แบบ
Study on the Characteristics of Torque Acting on Rotary Shaft
of Three Types of the Rotary Blades

ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล^{1/}

ธัญญา นิชยามา^{1/}

วิลาส สโลเก^{2/}

Sirisak Chertkiattipol^{1/}

Tanya Niyamapa^{1/}

Vilas Salokhe^{2/}

ABSTRACT

The characteristics of torque acting on the rotary shaft of the Japanese C-shaped blade, the European L-shaped blade and the European C-shaped blade, which were related to the positions of the tip blades in the tilling process, were studied in order to understand the tilling processes of all tested rotary blades. These experiments were carried out in the laboratory using soil bin at forward speed of 0.034 and 0.069 m/s and at rotational speeds of 150, 218, 278 and 348 rpm under down-cut process in sandy loam and clay soils. The results showed that the shape of the test rotary blade was an influential and important parameter that affect to the torque characteristic. In the case of the Japanese C-shaped blade, there was raising torque concurrent with the approach of its tip blade in range of 75 to 87°. The torque increased continuously until it achieved to maximum value in range of 108 to 125° and then it decreased. In cases of the European L-shaped blade and the European C-shaped blade, the tilling torque immediately increased while their curvatures between lengthwise blade and tip blade portions were directly cutting into soil mass. These maximum torque values appeared in ranges of 111 to 120° and 102 to 120°, respectively. After the maximum torques was obtained, they also immediately decreased. And then the torque curves characterized in the form of the sinusoidal curves. Moreover, the soil throwing

^{1/} ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

^{1/} Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen district, Nakhorn Pathom province, 73140

^{2/} โครงการวิศวกรรมเกษตรและอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีอาเชียน อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

^{2/} Agricultural and Food Engineering Program, Asian Institute of Technology, Klong Luang district, Pathum Thani province 12120

patterns of the Japanese C-shaped blade, the European L-shaped blade and the European C-shaped blade were also presented.

Key words: torque, Japanese C-shaped blade, European L-shaped blade, European C-shaped blade, sandy loam soil, clay soil

บทคัดย่อ

การศึกษาลักษณะทอร์ก (torque) กระทำบนเพลาจอบหมุนของใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี (Japanese C-shaped blade) ใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวแอล (European L-shaped blade) และใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซี (European C-shaped blade) ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งปลายใบมีดจอบหมุน เพื่อเข้าใจกระบวนการไถพรวนดินของใบมีดจอบหมุน (rotary blade) โดยทำการทดลองในกระบะดิน (soil bin) ภายในห้องปฏิบัติการที่ความเร็วการเดินทาง (forward speed) 0.034 และ 0.069 ม./วินาที ความเร็วการหมุนรอบ (rotational speed) ของใบมีดจอบหมุน 150 218 278 และ 348 รอบ/นาที ใบมีดจอบหมุนไถพรวนดินในลักษณะหมุนทิศทางเดียวกันกับทิศทางการหมุนของล้อรถแทรกเตอร์ (down-cut) และดินที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิดดินร่วนปนทราย (sandy loam soil) และดินเหนียว (clay soil) พบว่ารูปร่างของใบมีดจอบหมุนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อลักษณะทอร์ก โดยทอร์กของใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซีเริ่มต้นเพิ่ม

ขึ้นในช่วงตำแหน่งมุมการหมุน $75-87^\circ$ อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งมีค่าสูงสุดเมื่อตำแหน่งปลายใบมีดจอบหมุนกำลังหมุนอยู่ในช่วงตำแหน่งมุมการหมุน $108-125^\circ$ หลังจากนั้นทอร์กจะลดลง ส่วนใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวแอล และใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซี ทอร์กที่กระทำบนเพลาจอบหมุนมีลักษณะคล้ายกัน คือมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างทันที และจะสูงสุดในช่วงมุมการหมุน $111-120^\circ$ และ $102-120^\circ$ ตามลำดับ ต่อมาจะลดลงอย่างทันที จากนั้นเพิ่มขึ้นและลดลงสลับไปมา นอกจากนั้นยังแสดงลักษณะการโยนดินไปทางด้านหลังของใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี ใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวแอล และใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซี

คำหลัก: ทอร์ก ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี ใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวแอล ใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซี ดินร่วนปนทราย ดินเหนียว

คำนำ

การไถเตรียมดินเป็นขั้นตอนลำดับแรกที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตทางการเกษตร โดยปรับปรุงลักษณะทางกายภาพ (physical property) ของดิน เพื่อให้ดินอยู่ในสภาพที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของพืช (Smith, 1955) และกำจัดวัชพืช และเพื่อลดการแก่งแย่งธาตุอาหารพืช ในการไถเตรียมดิน จำเป็นต้องเลือกใช้อุปกรณ์ไถพรวนดินให้เหมาะสมกับวิธีการเพาะปลูกในแต่ละสภาพการทำเกษตรกรรม

ดังนั้นจึงควรพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการไถเตรียมดินให้เหมาะสมกับสภาพดินและรูปแบบการทำเกษตรกรรมของประเทศนั้นๆ สำหรับประเทศไทยจากการสำรวจของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (นิรนาม, 2550) พบว่าการใช้รถไถเดินตามทั่วประเทศของเกษตรกรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ดังการสำรวจในปี พ.ศ. 2548 พบว่ามีจำนวนรถไถเดินตาม 2,115,782 คัน ซึ่งถูกใช้เป็นเครื่องมือทุ่นแรงเกษตรที่ผลิตในประเทศไทย การใช้งานส่วนมากเป็นการเตรียมดินเพื่อทำนา สับน้ำ งานขนส่งและขนย้ายผลิตภัณฑ์ อีกทั้งอุปกรณ์สำหรับการไถเตรียมดินที่ใช้ร่วมกับรถไถเดินตามก็ยังจำกัดแต่เฉพาะไถกระทะ (disk plow) และไถหัวหมู (mouldboard plow) ซึ่งใช้เพื่อเตรียมดินทำนาเป็นหลัก Ruangrunghchaikul (1996) พบว่ามีการใช้งานรถฟาร์มแทรกเตอร์ (farm tractor) ซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ต่อพ่วงกับเครื่องพรวนจอบหมุน (rotary tiller) เพื่อใช้ในการไถเตรียมดิน นอกจากนี้ในปัจจุบันมีหลายบริษัทในกรุงเทพฯ ที่ผลิตใบมีดจอบหมุน (rotary blade) สำหรับจำหน่าย ซึ่งเป็นใบมีดจอบหมุนที่ถูกออกแบบโดยนักวิจัยต่างประเทศ เพื่อใช้สำหรับการไถเตรียมดินของประเทศนั้นๆ สิ่งเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า มีการใช้เครื่องพรวนจอบหมุนสำหรับการไถเตรียมดินอย่างแพร่หลายในการทำเกษตรกรรม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการพัฒนาใบมีดจอบหมุนสำหรับเครื่องพรวนจอบหมุนดีรอลไถเดินตามให้มีความเหมาะสมกับสภาพดินและรูปแบบการทำเกษตรกรรมของประเทศไทย

Hendrick และ Gill (1971) รวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับปัจจัยการออกแบบเครื่องพรวนจอบหมุน ได้แก่ทิศทางการหมุนของใบมีดจอบหมุน อัตราส่วนระหว่างความเร็วการเดินทาง (forward speed) และความเร็วปลายใบมีดจอบหมุน (peripheral speed) ขณะหมุนรอบเพลลา เครื่องพรวนจอบหมุน และมุม clearance angle ของใบมีดจอบหมุน และนำเสนอเทคนิคการหามุม clearance angle ที่ตำแหน่งปลายใบมีดจอบหมุน Sakai (1977) นำเสนอสมการที่ใช้สำหรับออกแบบขอบโค้ง (edge-curve) ของใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี เพื่อลดการพันของตอซังข้าว และวัชพืชกับเพลลาของเครื่องพรวน จอบหมุน นอกจากนี้มีนักวิจัยบางกลุ่มศึกษาเกี่ยวกับพลศาสตร์ระหว่างใบมีดจอบหมุนและดิน (soil-blade dynamics) Thakur และ Godwin (1990) ศึกษาพลศาสตร์ การตัดดิน (mechanics of soil cutting) ของเส้นลวดที่ความเร็วรอบหมุนต่างๆ กัน โดยพิจารณาให้การตัดดินของเส้นลวดเสมือนเป็นการไถดินที่ตำแหน่งปลายใบมีดจอบหมุน Kataoka และ Shibusawa (2002) ศึกษาพลศาสตร์การไถพรวน (dynamics of tillage) ระหว่างดินกับใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่น Sukui-zume หรือ scooping blade โดยที่ใบมีดจอบหมุนพรวนดินในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการหมุนของล้อรถแทรกเตอร์ (up-cut หรือ reverse rotation) Phongsupasamit และ Laophongsawat (2004) ศึกษาลักษณะแรงลัพท์ที่กระทำบนใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี (Japanese C-shaped blade) และใบมีด

จอบหมุนยุโรปรูปตัวแอล (European L-shaped blade) สุภาชิตและอัคคพล (2537) พัฒนารถไถเดินตามติดจอบหมุนสำหรับใช้พรวนดินในงานไร่ โดยใช้สายพานถ่ายทอดกำลังจากเพลลาอำนาจกำลังมายังเพลลาของเครื่องพรวนจอบหมุน ัญญาและคณะ (2540) พัฒนาเครื่องพรวนจอบหมุนติดรถไถเดินตาม (rotary power tiller) สำหรับการเตรียมดินในแปลงปลูกผักโดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี (Japanese C-shaped blade) เพื่อเป็นการเพิ่มขอบเขตการใช้งานของรถไถเดินตามสำหรับการเตรียมดิน อัคคพลและคณะ (2548) พัฒนาเครื่องพรวนจอบหมุนที่ติดตั้งใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซี (European C-shaped blade) เพื่อการผลิตข้าวอินทรีย์ และเครื่องพรวนจอบหมุนสำหรับการพรวนดินในสวนผลไม้

ในการตรวจเอกสารงานวิจัยพบว่ามีงานวิจัยไม่มากที่อธิบายและเปรียบเทียบลักษณะทอร์ก (torque) ที่กระทำบนเพลลาจอบหมุนของกระบวนการไถพรวนดินของใบมีดจอบหมุนที่มีรูปร่างแตกต่างกัน ในทางวิศวกรรมทอร์กหมายถึงแรงที่กระทำกับชิ้นส่วนในลักษณะบิดของกระบวนการไถพรวนดินของใบมีดจอบหมุน ขณะที่ใบมีดจอบหมุนกำลังไถพรวนดิน จะก่อให้เกิดแรงปฏิกิริยากระทำกับใบมีด ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากแรงต้านทานการแตกตัวของดิน (soil strength) และแรงเสียดทาน (friction force) ระหว่างดินกับใบมีดจอบหมุน แรงที่กระทำกับใบมีดจอบหมุนเหล่านี้ส่งผลทำให้เกิดทอร์กกระทำบนเพลลาจอบหมุน (Yatsuk, 1981) ดังนั้น

ลักษณะทอร์กที่กระทำบนเพลลาจอบหมุน ในกระบวนการไถพรวนดินของใบมีดจอบหมุนจึงถูกนำมาใช้ เพื่อแสดงการปฏิสัมพันธ์กันระหว่างใบมีดจอบหมุนและดิน (soil-blade interaction) ปัจจุบันใบมีดจอบหมุนที่ใช้ภายในประเทศไทยแบ่งได้เป็น 2 ชนิด นั่นคือ ใบมีดจอบหมุนยุโรป ได้แก่ ใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวแอล และใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซี ซึ่งถูกออกแบบให้เหมาะสมกับการเตรียมดินในสภาพดินไร่ในประเทศไทย และใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี ซึ่งออกแบบเพื่อลดการพันเกี่ยวของตอซังข้าวกับเพลลาจอบหมุนภายใต้เงื่อนไขการทำงานในประเทศญี่ปุ่น เพื่อที่จะสามารถพัฒนาใบมีดจอบหมุนให้เหมาะสมกับสภาพการทำเกษตรกรรมในประเทศไทย จำเป็นต้องเข้าใจพลศาสตร์ระหว่างดินกับใบมีดจอบหมุน (soil-blade dynamics) ดังนั้นจึงควรศึกษากระบวนการไถพรวนดิน ลักษณะทอร์กที่กระทำบนเพลลาจอบหมุนในกระบวนการไถพรวนดิน และรูปแบบการโยนดินของใบมีดจอบหมุน 3 แบบ ซึ่งเป็นใบมีดจอบหมุนที่เกษตรกรนิยมใช้ คือใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี ใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวแอล และใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซี

อุปกรณ์และวิธีการ

1. เครื่องมือทดลอง

งานวิจัยทั้งหมดทำการทดลองในกระบะดิน (soil bin) กว้าง 50 ซม. ยาว 250 ซม. และสูง 30 ซม. ชุดทดลองสามารถเคลื่อนที่ในแนวระนาบ โดยวิ่งบนราวเหล็กด้านข้างกระบะดิน

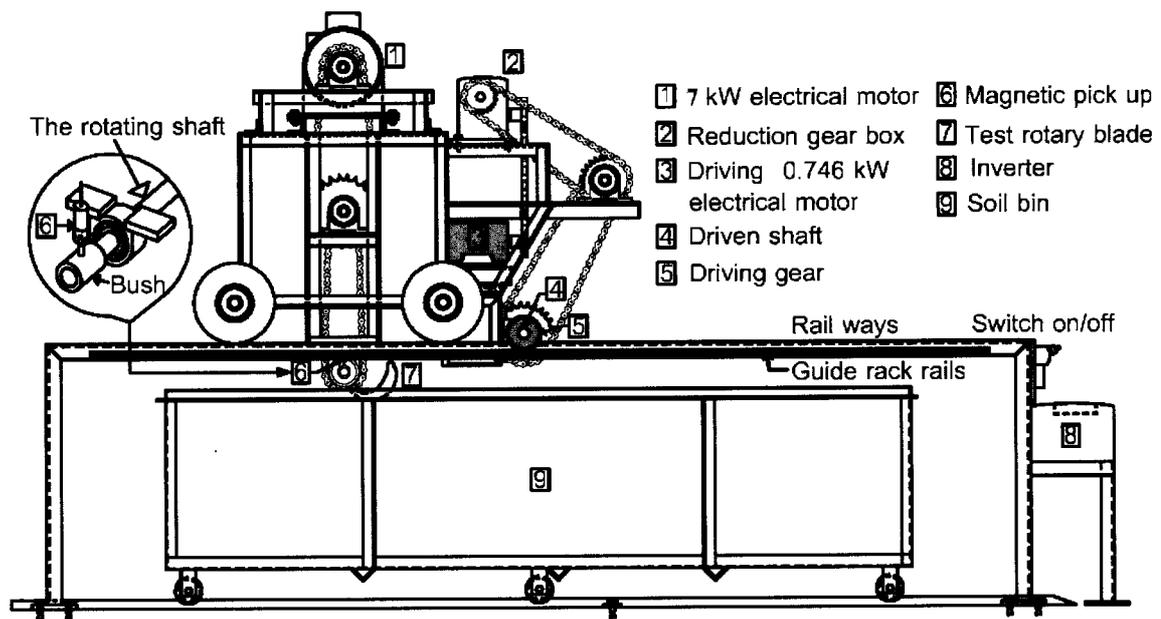


Figure 1. Schematic diagram of laboratory soil bin

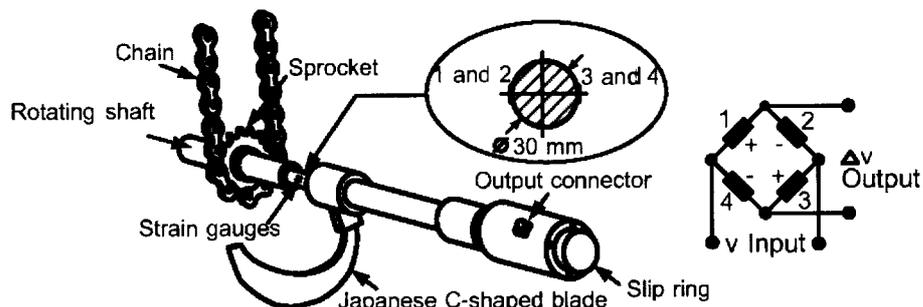


Figure 2. Schematic diagram of two cross-strain gauges bonded on shaft surface

(Figure 1) ชุดทดลองประกอบด้วยระบบชุดส่งกำลังด้วยกลไกเฟืองโซ่ เพลาจอบหมุน และใบมีดจอบหมุน โดยที่มอเตอร์ไฟฟ้า 7 กิโลวัตต์ ถูกติดตั้งไว้ที่ส่วนบนของชุดทดลอง เพื่อใช้เป็นต้นกำลังสำหรับหมุนเพลาจอบหมุน และมอเตอร์ไฟฟ้า 0.746 กิโลวัตต์ ใช้เป็นต้นกำลังสำหรับขับเคลื่อนชุดทดลอง magnetic pick up เป็นเซนเซอร์ใช้สำหรับวัดความเร็วการหมุนรอบของ

ใบมีดจอบหมุนอินเวอร์เตอร์ (inverter) ใช้สำหรับควบคุมความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้า 7 กิโลวัตต์ ใบมีดจอบหมุนที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 3 แบบ ได้แก่ ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี ใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวแอล และใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซี

การศึกษาลักษณะเทอร์กที่กระทำบนเพลาจอบหมุน จะทำการทดลองภายใต้เงื่อนไข

ดินร่วนปนทรายและดินเหนียว ที่ความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้ง 1.00 ก./ลบ.ซม. ความลึกการไถพรวน 12 ซม. ความเร็วการเดินทาง 0.034 และ 0.069 ม./วินาที และความเร็วการหมุนรอบของใบมีดจอบหมุน (rotational speed) 150 218 278 และ 348 รอบ/นาที ซึ่งเป็นความเร็วการหมุนรอบที่เหมาะสมสำหรับการไถพรวนในสภาพดินชนิดต่างๆ (Sakai, 1999)

2. การวัดทอร์กและความเร็วการเดินทาง

Cross-strain gauge ถูกนำมาใช้สำหรับวัดทอร์กที่กระทำบนเพลาจอบหมุน โดยติด cross-strain gauge จำนวน 2 อัน บนเพลาจอบหมุนในตำแหน่งตรงกันข้าม กันลวดนำสัญญาณของ cross-strain gauge แต่ละอันถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันในลักษณะวงจร Wheatstone bridge (Figure 2) ความเร็วในการเดินทางของชุดทดสอบวัดได้โดยการกำหนดตำแหน่ง A และ B บนราวเหล็กที่มีระยะทางระหว่างตำแหน่งทั้งสอง 120 ซม. ซึ่งเป็นระยะทางระหว่างแนวการเคลื่อนที่ของชุดทดสอบ เวลาที่ชุดทดสอบใช้สำหรับเคลื่อนที่ผ่านระยะทางระหว่างตำแหน่ง A และ B จะถูกบันทึก จากนั้นคำนวณหาความเร็วการเคลื่อนที่ของชุดทดลอง

3. กระบวนการจัดเก็บข้อมูล

ในระหว่างการไถพรวนดินของใบมีดจอบหมุน สัญญาณแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากทอร์กของ cross-strain gauge รุ่น KFG-5-350-D16-11 และสัญญาณแรงดันไฟฟ้าของความเร็วการ

หมุนรอบของใบมีดจอบหมุนจาก magnetic pick up จะถูกบันทึกใน instrumentation tape รุ่น TEAC CT-90 Type II โดยเครื่อง cassette data recorder รุ่น TEAC MR-30 จากนั้นถ่ายโอนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอะนาล็อก (analog) จาก instrumentation tape ไปยังเครื่อง analyzing recorder รุ่น AR 1200 เพื่อแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นข้อมูลตัวเลข

4. การกำหนดตำแหน่งมุมการหมุนของใบมีดจอบหมุน

การอ้างอิงตำแหน่งปลายใบมีดจอบหมุนในกระบวนการไถพรวนดินของใบมีดจอบหมุน (Figure 3) ใช้วิธีการกำหนดให้มุมเริ่มต้นการไถพรวนดินของใบมีดจอบหมุน ($\theta = 0^\circ$) เป็นตำแหน่งที่ปลายใบมีดจอบหมุนอยู่ในระนาบแนวตั้งเดียวกันกับจุดศูนย์กลางของเพลาจอบหมุน ดังแสดงใน Figure 3(I) ที่ตำแหน่ง (a) ขณะที่ Figure 3(II) 3(III) และ 3(IV) แสดงตำแหน่งของปลายใบมีดจอบหมุนที่ตำแหน่ง (b) (c) (d) และ (e) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มุมการหมุน 90° 180° 270° และ 360° ตามลำดับ ในการทดลองรัศมีของใบมีดจอบหมุนเท่ากับ 21 ซม. และมีมุม rake angle (∞) 75° ซึ่งเป็นมุมระหว่างเส้นแนวรัศมีและเส้นสัมผัสผิวด้านในของ scoop surface ที่ตำแหน่งปลายใบมีดจอบหมุน (Figure 3)

5. วิธีประมาณตำแหน่งกอนดินในกระบวนการไถพรวนดิน

การประมาณตำแหน่งกอนดินที่ถูกไถ

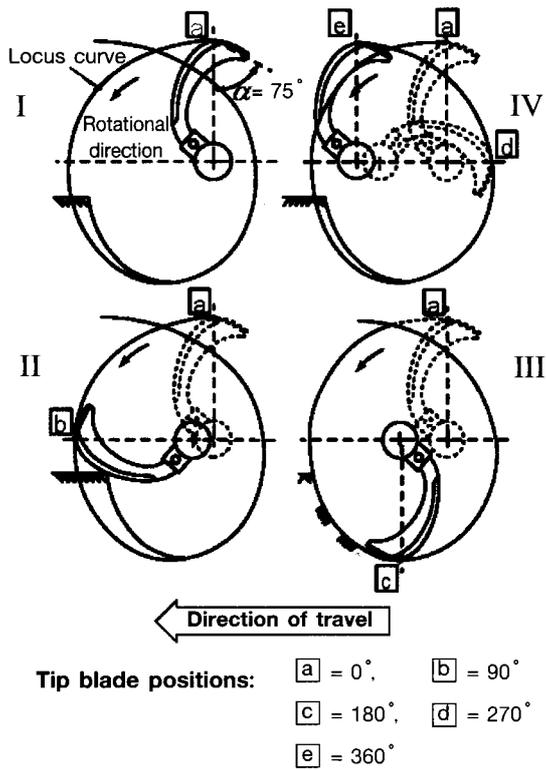


Figure 3. Diagrams of the tilling process and the position of blade tip

ไปทางด้านหลังใบมีดจอบหมุน คำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงของเส้นตารางอ้างอิงบนฉากหลัง ขนาด 4x4 ซม. (4x4 cm square-grid screen) และเส้นตารางอ้างอิงบนผิวดิน (square grid on soil surface) เทียบกับระยะของเส้นตารางอ้างอิงบนภาพถ่าย (Figure 4) โดยพิจารณาให้ก่อนดินที่ต้องการประมาณหาตำแหน่งอยู่บนระนาบจินตภาพ (imaginary plane) ทั้งนี้เนื่องจากระยะ Ae และ Af สามารถวัดได้โดยตรงจากภาพถ่าย ดังนั้นจึงสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะ Ae, Af และ ef ได้ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$\frac{Ae}{ef} + \frac{Af}{ef} = 1 \quad \dots(1)$$

โดยที่

Ae, Af, ef หมายถึงระยะทางบนระนาบจินตภาพในภาพถ่าย

จากนั้นคำนวณหาระยะ หรือบนระนาบจินตภาพด้วยอัตราส่วนระหว่างระยะจริงในการทดลองเทียบกับระยะความยาวของเส้นตารางอ้างอิงบนภาพถ่ายดังแสดงในสมการที่ (2)

$$\left. \begin{aligned} Be' &= e'f' \frac{Ae}{ef} \\ Be' &= e'f' \frac{Ae}{ef} \end{aligned} \right\} \text{หรือ} \quad \dots(2)$$

โดยที่

Be', Bf', e'f' หมายถึงระยะทางบนระนาบจินตภาพในภาพถ่าย

ตำแหน่ง B ถูกนำมาใช้คำนวณหาสัดส่วนระยะทางที่สัมพันธ์กับแนวเส้นอ้างอิง และบนผิวดิน ซึ่งเป็นเส้นอ้างอิงระยะที่ใกล้ที่สุด

$$\frac{Bg}{gh} + \frac{Bh}{gh} = 1 \quad \dots(3)$$

โดยที่

Bg, Bh, gh หมายถึงระยะทางบนระนาบจินตภาพในภาพถ่าย

ในการทำงานเดียวกันตำแหน่ง C (อยู่บนเส้นอ้างอิงที่ผิวดิน) หาได้โดยการคำนวณระยะ Cg' หรือ Ch' จากการเทียบสัดส่วนระยะทางดังแสดงโดย

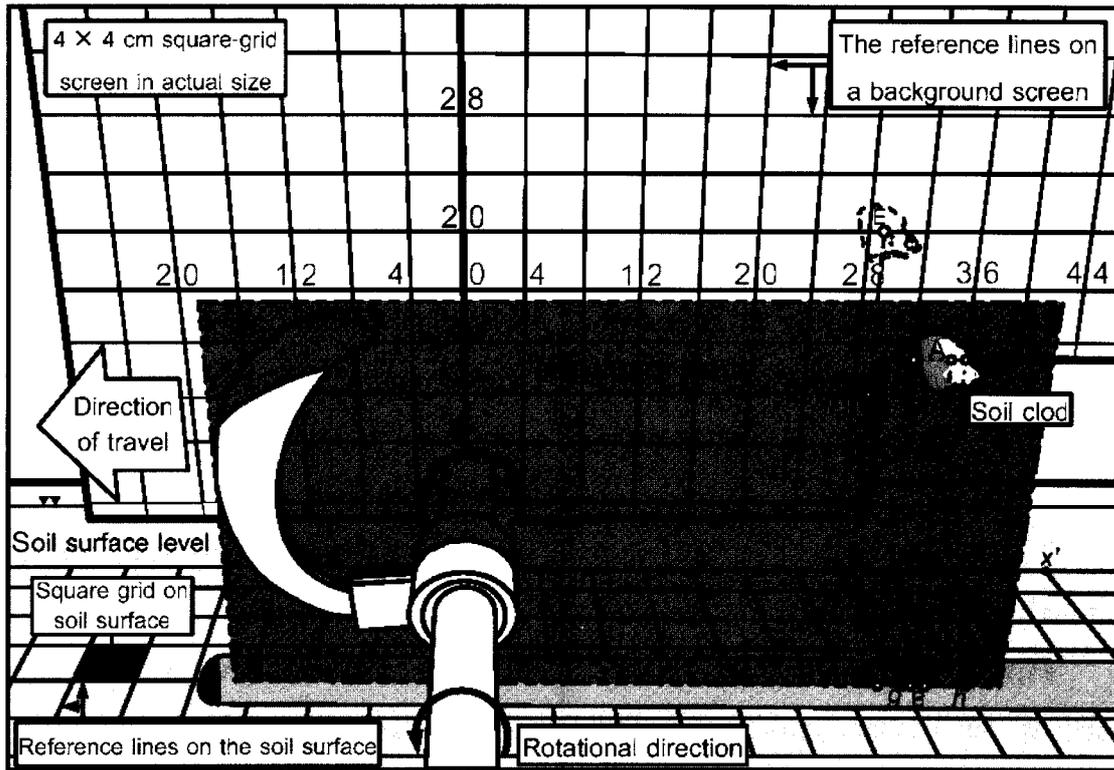


Figure 4. Schematic diagram of the positional estimation of soil clod

สมการที่ (4)

$$\left. \begin{aligned} Cg' &= g'h' \frac{Bg}{gh} \\ Ch' &= g'h' \frac{Bh}{gh} \end{aligned} \right\} \text{หรือ } \dots(4)$$

$$\frac{Ci}{ih'} + \frac{Ch'}{ih'} = 1 \quad \dots(5)$$

โดยที่

Ci, Ch', ih' หมายถึงระยะทางขนาน
แนวเส้นอ้างอิงบนระนาบผิวดิน

โดยที่

$Cg', Ch', g'h'$ หมายถึงระยะทาง
ขนานแนวเส้นอ้างอิงบนระนาบผิวดินในภาพถ่าย
เพื่อหาตำแหน่งกอนดินบนเส้นตารางอ้างอิงบน
ฉากหลังดังนั้นจึงต้องคำนวณหาตำแหน่ง C เทียบ
กับเส้นอ้างอิง ii' และ $h'j'$ กรณีที่แสดงใน
Figure 4 เส้นอ้างอิง ee' (อยู่บนระนาบจินตภาพ)
และ $h'j'$ (อยู่บนระนาบฉากหลัง) เป็นเส้นตรง
เดียวกัน

และเพื่อหาตำแหน่ง D เทียบกับเส้นอ้างอิงใน
แนวระนาบบนพื้นฉากหลัง เส้นตรง $i'j'$ จึงถูก
สร้างขึ้น จากนั้นคำนวณหาตำแหน่ง D จาก
อัตราส่วนระยะทาง Di' หรือ Dj'

$$\left. \begin{aligned} Di' &= i'j' \frac{Ci}{ih'} \\ Dj' &= i'j' \frac{Ch'}{ih'} \end{aligned} \right\} \text{หรือ } \dots(6)$$

โดยที่

$D_j, D_i', i'j$ หมายถึงระยะทางขนาน
แนวเส้นอ้างอิงบนฉากหลัง

ขั้นตอนสุดท้ายทำการวาดเส้นตรงเริ่มต้นจาก
ตำแหน่ง C ลากผ่านตำแหน่ง D ไปสิ้นสุดที่
ตำแหน่ง E ซึ่งเป็นตำแหน่งจุดศูนย์กลางก้นดิน
บนพื้นฉากหลัง โดยที่ระยะ CE มีขนาดเท่ากับ
ระยะ AB

6. การเตรียมดินในกระบะดิน

ดินที่ใช้สำหรับทดลองเป็นดินในแปลง
เกษตรกรรม ที่นำมาจากศรีสะเกษและนครปฐม
จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์(hydrometer)
ผลปรากฏว่า ดินศรีสะเกษประกอบด้วยอนุภาค
ทราย (sand) 59.83% อนุภาคทรายแป้ง (silt)
25.14% อนุภาคดินเหนียว (clay) 15.03% จัด
อยู่ในชนิดดินร่วนปนทราย (sandy loam) ซึ่งมี
พิกัดพลาสติก (plastic limit) และขีดจำกัดเหลว
(liquid limit) เท่ากับ 12.89 และ 16.01% (dry
basis) ตามลำดับ และดินนครปฐมประกอบด้วย
อนุภาคทราย 5.25% อนุภาคทรายแป้ง 32.67%
อนุภาคดินเหนียว 62.08% จัดอยู่ในชนิดดินเหนียว
ซึ่งมีค่าพิกัดพลาสติก และขีดจำกัดเหลวเท่ากับ
23.20 และ 44.30% (dry basis) ตามลำดับ ดิน
ที่ใช้สำหรับการทดลองถูกนำมาร่อนผ่านตะแกรง
ร่อนมาตรฐานที่มีขนาดรูตะแกรง 2 มม. และนำ
มาปรับความชื้น โดยที่ค่าความชื้นเฉลี่ยของดิน
สำหรับการทดลองนี้คือ 11.3% (dry basis) บรรจุ

ดินที่ผ่านการปรับความชื้นลงในถุงพลาสติก บ่ม
ดินไว้ในถุงพลาสติกอย่างน้อย 24 ชม. เพื่อให้
ความชื้นในดินสม่ำเสมอ ดินที่ผ่านขั้นตอนการ
ปรับความชื้นจะถูกนำมาเทลงในกระบะดินชั้นละ
15 ซม. จากนั้นทำการอัดแน่นดินในกระบะดิน
ด้วยเครื่องมืออัดดิน (compactor) เพื่อเตรียม
สภาพดินก่อนการทดลองให้อยู่ในสภาพดินแห้ง
(dry soil) ที่ความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้ง
ของดิน (dry bulk density of soil) 1.00 ก./
ลบ.ซม. ความต้านทานการแทงทะลุ (penetration
resistance) ที่เงื่อนไขดินร่วนปนทราย 250 กิโล
ปาสคาล และความต้านทานการแทงทะลุที่
เงื่อนไขดินเหนียว 1,150 กิโลปาสคาล

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. กระบวนการไถพรวนดินของใบมีดจอบหมุน

ลักษณะการตัดและการโยนดินของใบ
มีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี ใบมีดจอบหมุนยุโรป
รูปตัวแอล และใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซี โดย
กำหนดให้ช่วงมุมการหมุนจาก 0–90°, 90–180°,
180–270° และ 270–360° คือ ควอดแรนท์ที่ 1
(the first quadrant, Q1) ควอดแรนท์ที่ 2 (the
second quadrant, Q2) ควอดแรนท์ที่ 3 (the
third quadrant, Q3) และควอดแรนท์ที่ 4 (the
fourth quadrant, Q4) ตามลำดับ (Figure 5)
พบว่าใน Q1 ถึงแม้ว่าใบมีดจอบหมุนยังไม่ได้ไถ
พรวนดิน แต่มีดินบางส่วนกำลังถูกโยนออกจาก
scoop surface ของใบมีดจอบหมุนไปทางด้าน
หลังชุดทดลอง ซึ่งเป็นดินจากรอบการไถพรวน

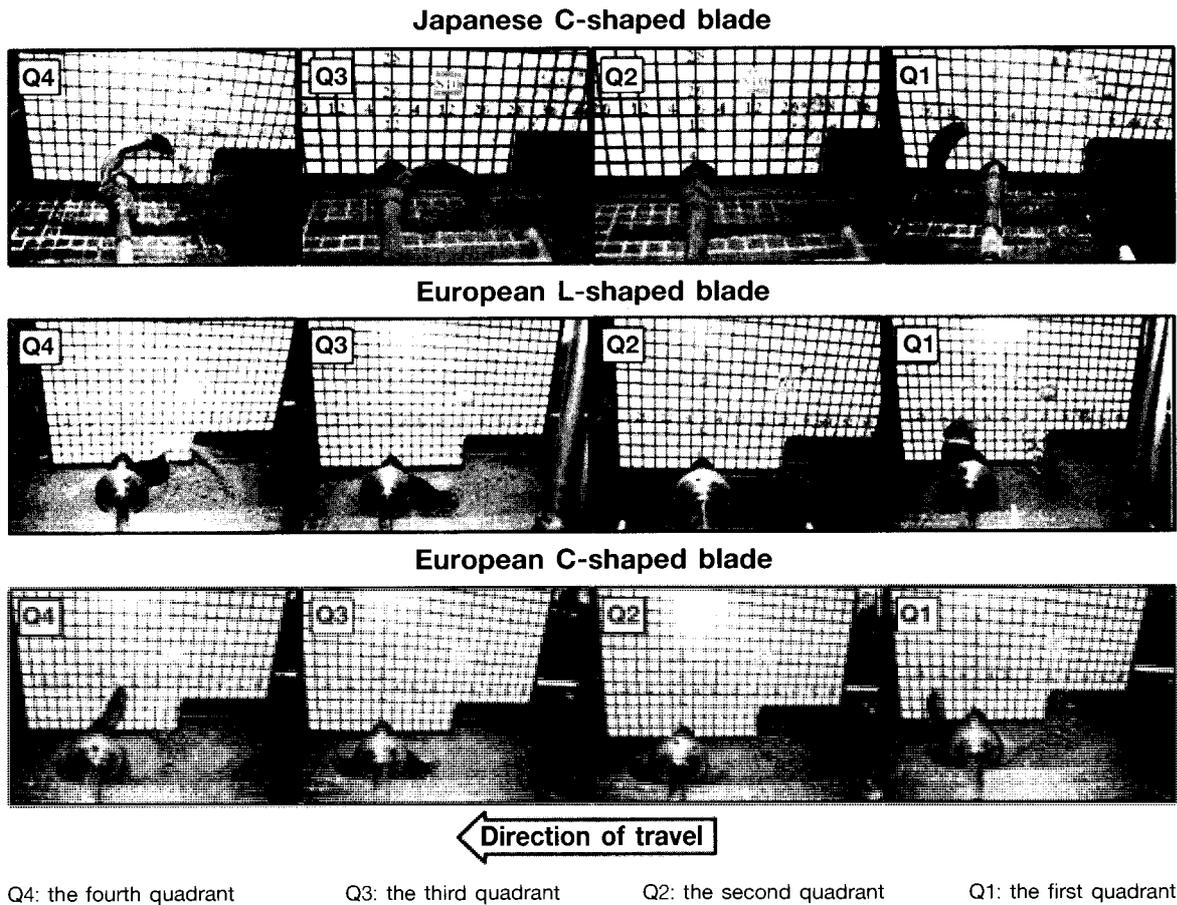


Figure 5. The tilling processes of three types of the rotary blades

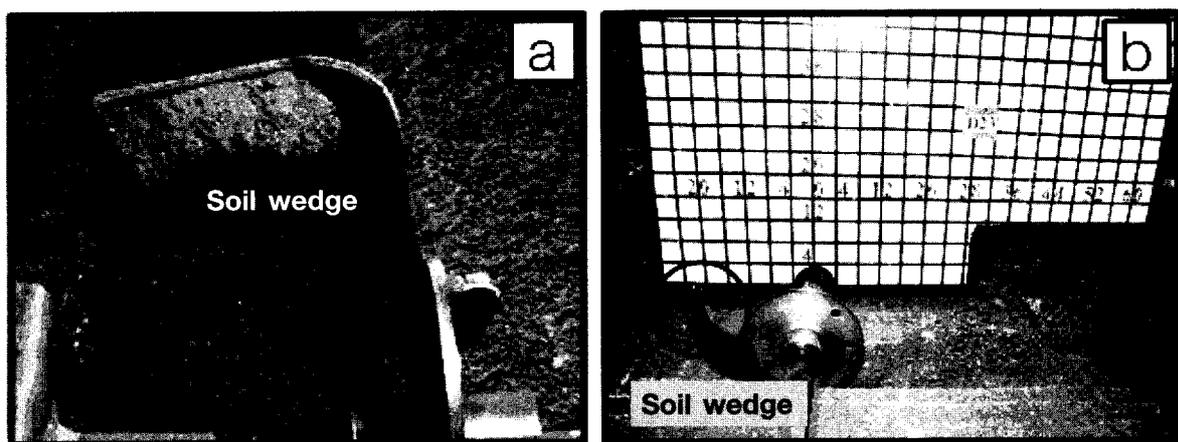


Figure 6. A soil wedge on the scoop surface of (a) the European L-shaped blade and (b) the European C-shaped blade

ก่อนหน้านี้ Q2 แสดงช่วงมุมการหมุนที่ใบมีด จอบหมุนแต่ละแบบกำลังไถพรวนดิน และ Q3 และ Q4 แสดงลักษณะการไยอนดินของใบมีด จอบหมุนแต่ละแบบ และในควอแดรนต์ทั้งสอง ยังมีดินบางส่วนค้างอยู่บน scoop surface ของ ใบมีดจอบหมุน และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ การไยอนดินของใบมีดจอบหมุนทั้ง 3 แบบ แสดง ผลอย่างชัดเจนว่าลักษณะการไยอนดินของใบมีด จอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี แตกต่างจากลักษณะการ ไยอนดินของใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวแอล และ ใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซี กรณีใบมีดจอบหมุน ญี่ปุ่นรูปตัวซี ในระหว่างที่ใบมีดจอบหมุนกำลัง หมุนใน Q3 และ Q4 ดินที่ถูกไถจาก Q2 จะ เลื่อนไกลจากส่วนหน้าไปยังส่วนท้ายของ scoop surface แล้วจึงถูกไยอนออกไปทางด้านหลังเพลลา จอบหมุน สำหรับกรณีการไยอนดินของใบมีดจอบ หมุนยุโรปทั้งสองแบบ ดินถูกไยอนออกจากส่วน หน้าของ scoop surface ซึ่งมีสาเหตุมาจากการ ปรากฏขึ้นของลิ่มดิน (soil wedge) ที่ยึดเกาะ อยู่บน scoop surface (Figure 6) การยึด เกาะของลิ่มดินส่งผลให้การเลื่อนไกลของดินจาก ส่วนหน้าไปยังส่วนท้ายบน scoop surface ถูก กีดขวาง ดังนั้นจึงทำให้ดินบางส่วนถูกไยอนออก ทางส่วนหน้าของ scoop surface อย่างไรก็ตาม ยังมีดินบางส่วนถูกไยอนไปทางด้านหลังเช่นเดียวกับกรณีใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี

2. ลักษณะทอร์กในกระบวนการไถพรวนดิน ของใบมีดจอบหมุน

ลักษณะทอร์กที่กระทำบนเพลลาจอบหมุน

ในกระบวนการไถพรวนดินของใบมีดจอบหมุน ที่ ระดับความลึกการไถพรวน 12 ซม. ความหนา แน่นมวลรวมสภาพแห้งของดิน 1.00 ก./ลบ.ซม. แสดงอย่างชัดเจนว่าทอร์กในกระบวนการไถพรวน ดินเหนียวมีขนาดสูงกว่าทอร์กในกระบวนการ ไถพรวนดินร่วนปนทราย ลักษณะทอร์กในกรณี ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี แตกต่างจาก ลักษณะทอร์กในกรณีใบมีดจอบหมุนยุโรปทั้งสอง แบบ (Figure 7)

ใน Q1 ถึงแม้ว่าส่วนปลายของใบมีด จอบหมุนทั้ง 3 แบบ ยังไม่ไถพรวนดิน แต่ผล การทดลองแสดงให้เห็นว่ามีทอร์กกระทำบน เพลลาจอบหมุน ทอร์กดังกล่าวเกิดขึ้นจากโมเมนต์ ฉื่อย (moment of inertia) ที่เกิดจากการหมุน รอบเพลลาของใบมีดจอบหมุน อย่างไรก็ตามกรณี ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี ทอร์กเพิ่มขึ้นขณะที่ ตำแหน่งปลายใบมีดจอบหมุนหมุนเข้าใกล้ ตำแหน่งมุมการหมุน 90° สาเหตุเนื่องจากส่วน ตรงของใบมีด (lengthwise blade portion) จอบ หมุนญี่ปุ่นรูปตัวซีที่มีลักษณะโค้งเริ่มไถพรวนดิน เป็นส่วนแรก พิจารณาลักษณะทอร์กใน Q2 ซึ่งเป็นช่วงมุมการหมุนที่ใบมีดจอบหมุนแต่ละแบบ กำลังไถพรวนดิน ซึ่งเรียกว่า tilling stage กรณี ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี ทอร์กเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งทอร์กมีค่าสูงสุดซึ่งปรากฏขึ้น ในช่วงมุมการหมุน $108-125^\circ$ จากนั้นทอร์กจะ ลดลง ขณะที่กรณีใบมีดจอบหมุนยุโรปทั้งสองแบบ ทอร์กเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันซึ่งมีสาเหตุมาจากการ ไถพรวนดินอย่างทันทีที่ระดับผิวดินในลักษณะ กระแทก จากนั้นทอร์กลดลงอย่างทันทีเช่นกัน

โดยที่ค่าทอร์กสูงสุดปรากฏขึ้นในช่วงมุมการหมุน 111–120 ° และ 102–120 ° สำหรับกรณีใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวแอลและใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซีตามลำดับ ต่อจากนั้นทอร์กจะเพิ่มขึ้นและลดลงสลับไปมาในลักษณะ sinusoidal curve ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า cyclicality ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับแรงปฏิกิริยาระหว่างดินกับใบมีดจอบหมุน โดยสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนที่เงื่อนไขดินเหนียว เหตุผลเนื่องจากอนุภาคดินของดินเหนียวมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคดินของดินร่วนปนทราย ดังนั้นอนุภาคดินของดินเหนียวจะจัดเรียงใกล้กันมากกว่าอนุภาคดินของดินร่วนปนทรายซึ่งส่งผลทำให้แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคดิน (cohesive force) ของดินเหนียวสูงกว่าแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคดินของดินร่วนปนทราย เป็นสาเหตุทำให้แรงที่ใช้เพื่อทำให้ดินเหนียวแตกตัวเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ทอร์กที่เงื่อนไขดินเหนียวสูงกว่าเงื่อนไขดินร่วนปนทราย (Yong and Warkentin, 1975) ขณะที่ Makanga และคณะ (1997) และ Kataoka และ Shibusawa (2002) อธิบายว่า cyclicality เป็นปรากฏการณ์ของแรงปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการวิบัติของดิน (soil failure) ที่เกิดขึ้นกับเครื่องมือไถเตรียมดิน และเมื่อพิจารณาลักษณะทอร์กใน Q3 และ Q4 ของใบมีดจอบหมุนทั้ง 3 แบบ กรณีใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี เมื่อเปรียบเทียบขนาดทอร์กใน Q3 และ Q4 กับขนาดทอร์กใน Q1 พบว่าทอร์กมีขนาดไม่แตกต่างกัน ขณะที่กรณีใบมีดจอบหมุน

ยุโรปทั้งสองแบบ ทอร์กใน Q3 และ Q4 มีขนาดมากกว่าเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดทอร์กใน Q1 เหตุผลเพราะการยึดเกาะของลึมหินบน scoop surface และปริมาณดินที่ยังคงเลื่อนไถลอยอยู่บน scoop surface ของใบมีดจอบหมุนยุโรปส่งผลทำให้แรงเฉื่อยกระทำกับใบมีดจอบหมุนขณะกำลังหมุนอยู่ใน Q3 และ Q4 เพิ่มขึ้น เป็นสาเหตุทำให้ทอร์กที่กระทำบนเพลาจอบหมุนใน Q3 และ Q4 สูงกว่าทอร์กที่กระทำบนเพลาจอบหมุนใน Q1 และนอกจากนั้นผลการทดลองยังพบว่าเมื่อความเร็วการเดินทางของชุดทดลองเพิ่มขึ้น ทอร์กที่กระทำบนเพลาจอบหมุนในช่วง tilling stage เพิ่มขึ้น เหตุผลคือ เมื่อความเร็วการเดินทางเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาตรดินต่อรอบการไถพรวนเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาตรดินต่อรอบการไถพรวนเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้แรงกระทำบนใบมีดจอบหมุนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากแรงเสียดทานจากความเสียดทานภายใน (angle of internal friction) และแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคดิน (cohesive force) เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นปริมาตรดินที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้แรงดึงดูดระหว่างอนุภาคดินและผิวใบมีดจอบหมุน (adhesive force) เพิ่มขึ้นด้วย

ลักษณะของทอร์กเหล่านี้ แสดงว่ารูปร่างของใบมีดจอบหมุนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อลักษณะทอร์ก เนื่องจากรูปร่างของใบมีดจอบหมุนที่แตกต่างกัน เป็นสาเหตุทำให้ลักษณะการไถพรวนดินของใบมีดจอบหมุนแต่ละแบบแตกต่างกัน กรณีใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี (Figure 8a)

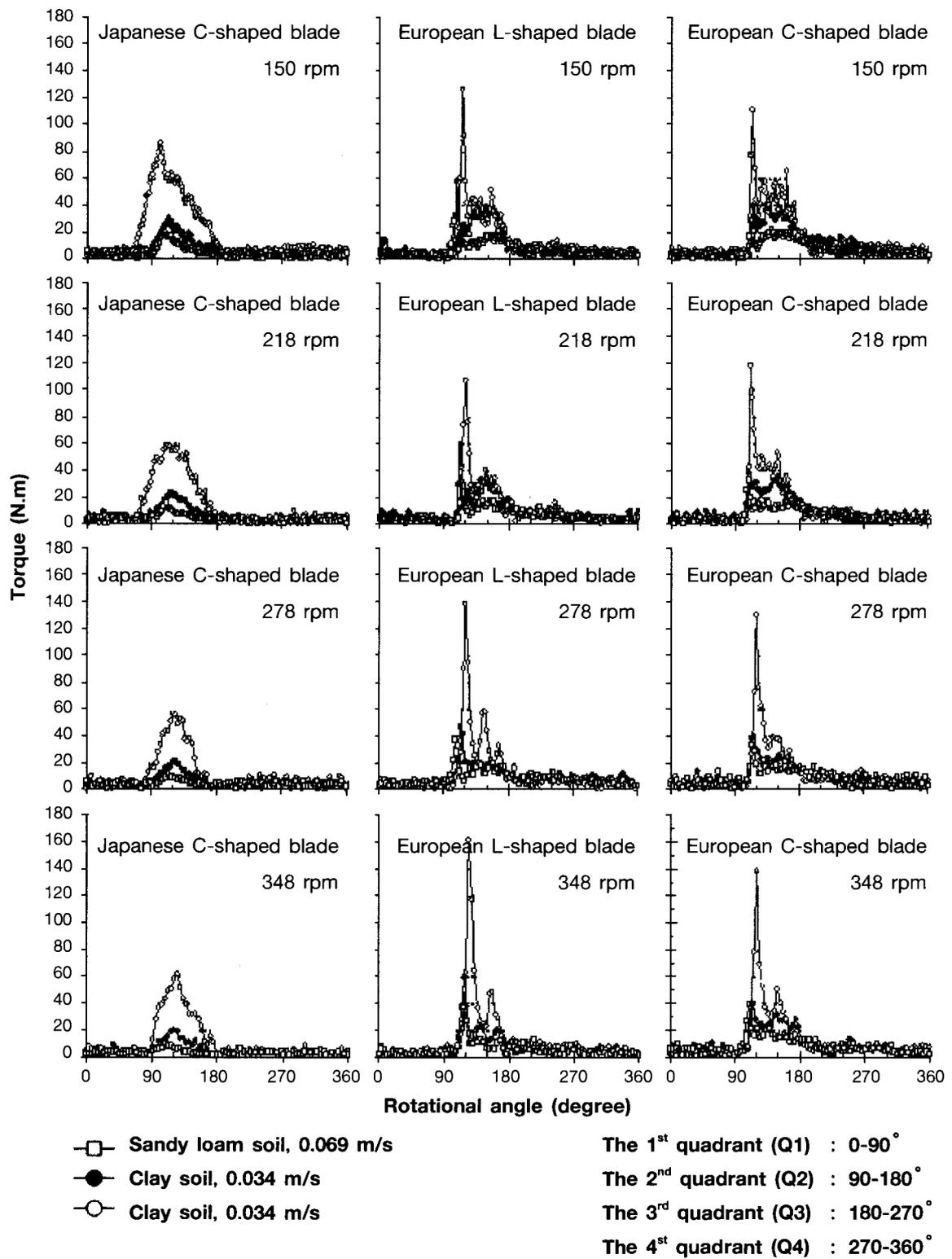


Figure 7. Characteristics of torque curve

เนื่องจากส่วนตรงของใบมีดจอบหมุน ที่มีลักษณะโค้ง ดังนั้นคมใบมีดจอบหมุนบนส่วนตรงจึงเป็นส่วนแรกที่เริ่มต้นไถพรวนดิน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ทอร์คกระทำบนเพลลาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสำหรับกรณีใบมีดจอบหมุนยุโรปทั้งสองแบบ เนื่องจากส่วนโค้งตำแหน่งที่อยู่ระหว่างส่วนตรง (lengthwise portion) และส่วนปลายของใบมีดจอบหมุน (tip blade portion) เป็นส่วนแรกที่เริ่มไถพรวนดินโดยไถพรวนดินทันทีในลักษณะกระทัดรัดแสดงใน (Figures 8b and 8c) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ทอร์คเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด และจากการสังเกตพบว่าความกว้างการไถพรวนที่ส่วนปลายของใบมีดจอบหมุนยุโรปทั้งสองแบบที่มากกว่าความกว้างการไถพรวนกรณีใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซีส่งผลทำให้ลักษณะทอร์คของ

ใบมีดจอบหมุนยุโรปแสดงปรากฏการณ์ cyclicity ซึ่งไม่ปรากฏในกรณีของใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี ในช่วงที่ส่วนปลายใบมีดจอบหมุนกำลังไถพรวนดิน

นอกจากนี้ลักษณะทอร์คที่เพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใดเนื่องจากการกระทัดรัดขณะที่ใบมีดจอบหมุนยุโรปเริ่มไถพรวนดิน แสดงให้เห็นว่าใบมีดจอบหมุนยุโรปไม่เหมาะกับการนำมาใช้สำหรับการไถพรวนดินโดยใช้รถไถเดินตามเป็นต้นกำลัง เนื่องจากแรงกระทัดรัดที่เกิดขึ้นเป็นสาเหตุของการลั่นสะเทือนที่รุนแรงซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการควบคุมรถไถเดินตามของเกษตรกร

ดังนั้นใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซีจึงมีความเหมาะสมมากกว่าใบมีดจอบหมุนยุโรป

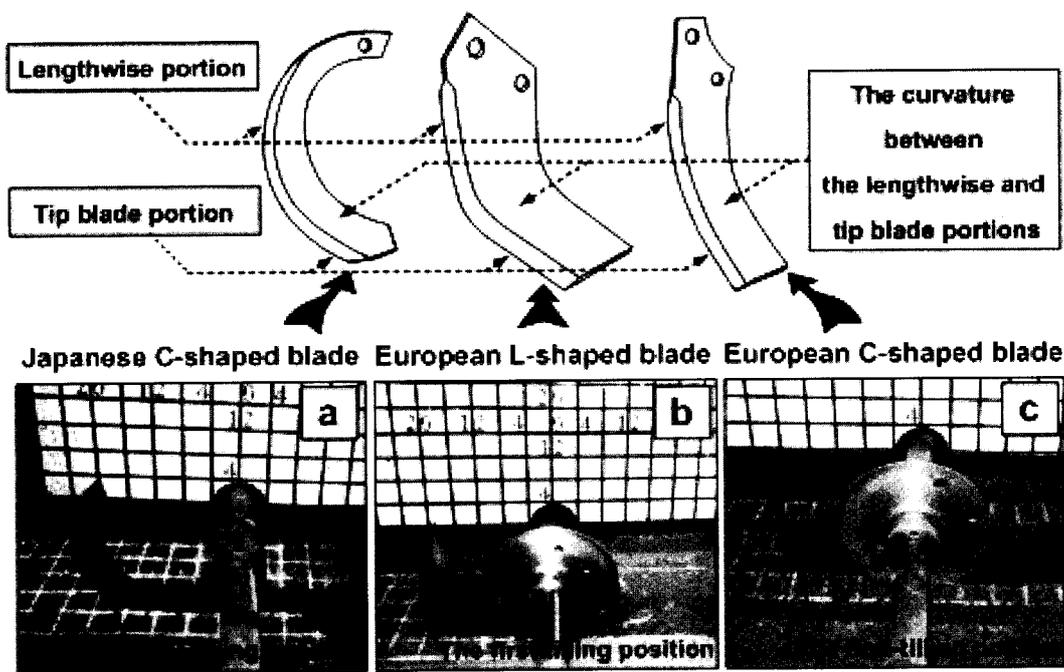


Figure 8. The first-tilling position of (a) the Japanese C-shaped blade, (b) the European L-shaped blade and (c) the European C-shaped blade

สำหรับการนำมาติดตั้งบนเครื่องพรวนจอบหมุน
ติตรถไถเดินตามเพื่อใช้ในการไถพรวนดิน

3. รูปแบบการโยนดินของใบมีดจอบหมุน

การประมาณตำแหน่งก่อนดินที่อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ และการพิจารณาแนวการโยนดินจากภาพวิดีโอ จึงสามารถแสดงรูปแบบแนวโน้มการโยนดินของใบมีดจอบหมุนแต่ละแบบที่ใช้ในการทดลอง (Figure 9) กรณีใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซีสามารถจำแนกรูปแบบการโยนดินที่แตกต่างกันได้ 4 รูปแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วการหมุนรอบของใบมีดจอบหมุน ที่ความเร็วรอบหมุน 150 รอบ/นาที ดินบางส่วนถูกโยนตกลงไปในร่องไถ ขณะที่ดินอีกส่วนหนึ่งถูกโยนไปทางด้านหลังชุดทดลอง และถูกโยนไปในทุกทิศทางตามการหมุนของใบมีดจอบหมุน (Figure 9a) ที่ความเร็วการหมุนรอบ 218 รอบ/นาที ปริมาณดินจากการไถพรวนเกือบทั้งหมดถูกโยนไปทางด้านหลังชุดทดลอง (Figure 9b) และที่เงื่อนไขความเร็วการหมุนรอบ 278 และ 348 รอบ/นาที รูปแบบการโยนดินมีลักษณะคล้ายกัน คือ ดินที่ผ่านการไถพรวนจะถูกโยนไปทางด้านหลังและตกลงในร่องไถเกือบทั้งหมด (Figures 9c และ 9d) อย่างไรก็ตามที่ความเร็วการหมุนรอบของใบมีดจอบหมุน 348 รอบ/นาที ดินจะถูกโยนไปทางด้านหลังไกลกว่าที่ความเร็วรอบหมุน 278 รอบ/นาที สำหรับกรณีรูปแบบการโยนดินของใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวแอลและใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซี (Figure 9e) และใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซี (Figure 9f) ถึงแม้ว่า

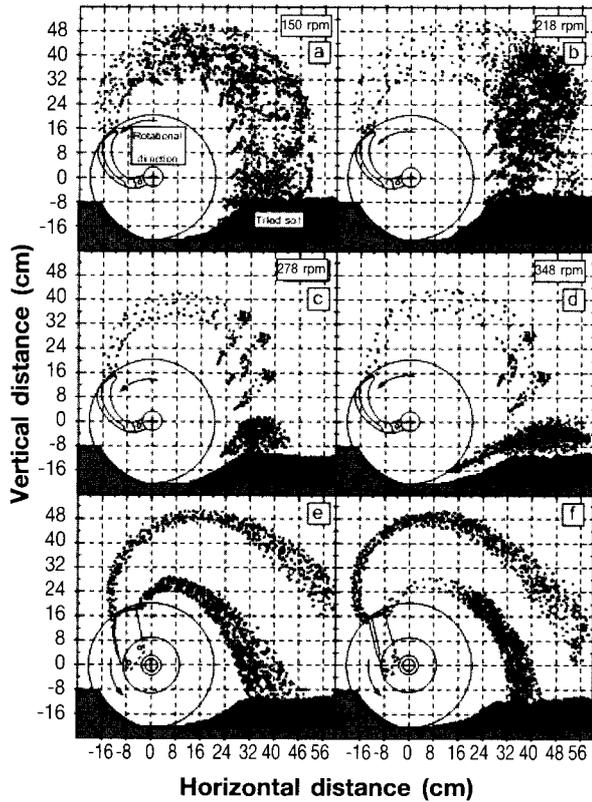


Figure 9. Throwing pattern of three types of rotary blade: Japanese C-shaped blade (a, b, c, and d), European L-shaped blade (e), and European C-shaped blade (f)

ใบมีดจอบหมุนยุโรปทั้งสองแบบไถพรวนดินที่ความเร็วการหมุนรอบและความเร็วการเดินทางแตกต่างกัน จากการพิจารณาจากรูปถ่ายและจากการคำนวณประมาณตำแหน่งก่อนดินที่ถูกโยนแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการโยนดินของใบมีดจอบหมุนยุโรปที่แต่ละเงื่อนไขการทดลองมีรูปแบบเดียวกัน และแสดงให้เห็นว่าใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวแอลและใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซีมีรูปแบบการโยนดินเหมือนกัน ขณะที่รูปแบบการโยนดินของใบมีดจอบหมุนยุโรปทั้งสองแบบ

แตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการโยนดินของใบมีดจอบหมุน ฎีปุ่นรูปตัวซี เมื่อพิจารณารูปแบบการโยนดินของใบมีดจอบหมุนยุโรปเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีแนวการโยนดินปรากฏขึ้นสองแนว คือมีแนวการโยนดินออกจากส่วนหน้าและส่วนท้าย scoop surface การที่ดินถูกโยนออกจากส่วนหน้าของ scoop surface มีสาเหตุเนื่องมาจากการมีลิ่มดินเกาะอยู่บน scoop surface ของใบมีดจอบหมุนยุโรปในกระบวนการไถพรวนดิน โดยที่ลิ่มดินดังกล่าวจะกีดขวางการเลื่อนไถลตัวของดินจากส่วนหน้าไปยังส่วนท้ายของ scoop surface ส่งผลทำให้มีดินส่วนหนึ่งถูกโยนไปทางด้านหน้าชุดทดลองซึ่งในการทำงานจริงก่อนดินที่ถูกโยนไปทางด้านหน้าจะถูกไถพรวนซ้ำอีกครั้งเป็นสาเหตุทำให้ปริมาตรดินต่อรอบการไถพรวนเพิ่มขึ้น ดังนั้นย่อมส่งผลทำให้พลังงานสำหรับการไถพรวนเพิ่มขึ้น

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาลักษณะทอร์กที่กระทำบนเพลาจอบหมุนในกระบวนการไถพรวนดินของใบมีดจอบหมุนฎีปุ่นรูปตัวซี ใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวแอล และใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซี แสดงให้เห็นลักษณะทอร์กที่สัมพันธ์กับตำแหน่งปลายใบมีดจอบหมุนของใบมีดจอบหมุนแต่ละแบบ พบว่ารูปร่างของใบมีดจอบหมุนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อลักษณะทอร์ก จากลักษณะทอร์กในช่วงที่ใบมีดจอบหมุนกำลังไถพรวนดิน

กรณีใบมีดจอบหมุนฎีปุ่นรูปตัวซีทอร์กจะเพิ่มขึ้นก่อนที่ส่วนปลายของใบมีดจอบหมุนเริ่มไถพรวนดิน โดยที่ทอร์กเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งมีค่าสูงสุดจากนั้นทอร์กจะลดลง ขณะที่ทอร์กของใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวแอล และใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวซี มีลักษณะเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างทันทีทันใด จากนั้นลักษณะทอร์กแสดงให้เห็นปรากฏการณ์ cyclicity ในระหว่างที่ส่วนปลายใบมีดจอบหมุนยุโรปทั้งสองแบบกำลังไถพรวนดิน และพบว่ามีลิ่มดินยึดเกาะบน scoop surface ของใบมีดจอบหมุนยุโรปทั้งสองแบบในกระบวนการไถพรวนดิน นอกจากนั้นลักษณะทอร์กยังแสดงให้เห็นว่าใบมีดจอบหมุนฎีปุ่นเหมาะกับการนำมาใช้งานเตรียมดินที่ใช้รถไถเดินตามเป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังมากกว่าใบมีดจอบหมุนยุโรป และเมื่อพิจารณารูปแบบการโยนดินพบว่า รูปแบบการโยนดินของใบมีดจอบหมุนยุโรปทั้งสองแบบแตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการโยนดินของใบมีดจอบหมุนฎีปุ่นรูปตัวซี

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย และคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ที่สนับสนุนให้ทุนอุดหนุนวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนด้านเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ และสถานที่ทำการทดลองห้องปฏิบัติการพลศาสตร์ดินและการประยุกต์

เอกสารอ้างอิง

- ธัญญา นิยมภา และชัยรัตน์ รางแดง. 2540. รายงานการวิจัยและพัฒนา ฉบับสมบูรณ์: ไถจอบหมุนติดรถไถเดินตาม. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 185 หน้า.
- นิรนาม. 2550. ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ตัวชี้วัดทางเศรษฐกิจการเกษตรประเทศไทย. 2548. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. http://www.oae.go.th/indicator/indicator48/07__chapter%205.pdf, 5/4/2550.
- สุภาษิต เสงี่ยมพงศ์ และอัคคพล เสนาณรงค์. 2537. การพัฒนารถไถเดินตามติดจอบหมุน. สถาบันวิจัยวิศวกรรมเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 25 หน้า.
- อัคคพล เสนาณรงค์ ชนิษฐ์ หว่านณรงค์ ประสาทแสงพันธุ์ตา และสุภาษิต เสงี่ยมพงศ์. 2548. จอบหมุนติดรถไถเดินตามสำหรับพรวนดินสวนผลไม้. สถาบันวิจัยวิศวกรรมเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 108 หน้า.
- อัคคพล เสนาณรงค์ ยุทธนา เครือหาญชาญพงศ์ ชนิษฐ์ หว่านณรงค์ สุภาษิต เสงี่ยมพงศ์ และอนุชิต ฉ่ำสิงห์. 2548. จอบหมุนติดรถไถเดินตามเพื่อการผลิตข้าวอินทรีย์. สถาบันวิจัยวิศวกรรมเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 44-57.
- Hendrick, J.G. and W.R. Gill. 1971a. Rotary tiller design parameters part I: direction of rotation. *Trans. ASAE*. 14(4): 669-683.
- _____. 1971b. Rotary tiller design parameters part II: depth of tillage. *Trans. ASAE*. 14(4): 675-678.
- _____. 1971c. Rotary tiller design parameters part III: ratio of peripheral and forward velocities. *Trans. ASAE*. 14(4): 679-683.
- _____. 1971d. Rotary tiller design parameters part IV: blade clearance angle. *Trans. ASAE*. 17(1): 4-7.
- Kataoka, K.T. and S. Shibusawa. 2002. Soil-blade dynamics in reverse-rotational rotary tillage. *J. Terramech*. 39(2): 95-113.
- Makanga, J.T.; V.M. Salokhe and D. Gee-Clough. 1997. Effects of tine rake angle and aspect ratio on soil reactions in dry loam soil. *J. Terramech*. 34(4): 235-250.
- Sakai, J. 1977. Some design know-hows of edge-curve angle of rotary blades for paddy rice cultivation. *Agric. Mech. Asia Africa and Latin America (Spring)*:

- 49-57.
- Sakai, J. 1999. *Two-wheel Tractor Engineering for Asian Wet Land Farming*. Shin-norinsha Co., Ltd., Tokyo. 311 p.
- Smith, A.E. 1955. *Farm Machinery and Equipment*. McGraw Hill Book Company Inc., New York. 387 p.
- Phongsupasamit, S. and S. Laophongsawat. 2004. Characteristics of Resultant Forces Acting on Two Types of Rotary Blades. Pages 15-18. *In: Proceeding of the 2nd International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Bio-systems Engineering*, 21-23 September 2004, Kobe University, Japan.
- Ruangrungruchaikul, T. 1996. *The Utilization of Second-hand Tractors in Lopburi Province, Thailand*. M.S. Thesis No. AE-96-7, Asian Institute of Technology, Bangkok. 137 p.
- Yatsuk, E.P.; I.M. Panov; D.N. Efimov; O.S. Marchenko and A.D. Chernenkov. 1981. *Rotary Soil Working Machines*. Amerind publishing Co., Pvt., Ltd., New Delhi, Bombay, Calcutta, New York. 161 p.
- Thakur, T.C. and R.J. Godwin. 1990. The mechanics of soil cutting by a rotating wire. *J. Terramech.* 27(4): 291-305.
- Yong, R.N. and Warkentin, B.P. 1975. *Soil Properties and Behaviour*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Oxford, New York. 448 p.