

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของไถดินดานชนิดสันที่ขา 1 ขา
The Study on Factors Affecting Performance of a Single Shank
Vibrating Subsoiler

ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์^{1/} ชัยยากร จันทร์สุวรรณ^{1/}
Tinnasit Kaisinburasak^{1/} Chaiyakorn Jansuwan^{1/}

ABSTRACT

A Single Shank Vibrating Subsoiler using the hydrostatic system was built for the reduction of vibration which caused rider's discomfort and premature failures of tractor's components. It consists of one blades attached to an unbalanced mass shaft which was driven by hydraulic motor. The system was powered by a PTO shaft of a 50 hp tractor. The experiments were conducted in sandy clay loam soil of 20.60% (db) moisture content, 1.66 g/cm³ dry bulk density and 2.58 MPa cone penetration resistance at two forward speeds (1.39 and 2.09 km/h), four oscillatory frequencies (0, 7, 9 and 11 Hz), two tillage depths (30 and 40 cm) and a constant oscillatory amplitude of 36.5 mm. Comparing between the oscillatory and non-oscillatory modes, it was found that the oscillatory mode gave a maximum reduction of draft force by 32.69% at 11 Hz oscillatory frequency 2.09 km/h forward speed and 30 cm tillage depth. However, the oscillatory mode resulted to 120.55% increase in total power, 19.77% reduction in soil disturbance and 21.99% reduction in dry bulk density. Draft force, total power and soil disturbance increased with increase of forward speed and tillage depth. As a conclusion, the forward speed, oscillatory frequency and tillage depth significantly affected the draft force, total power and soil disturbance. The tractor seat vibration was reduced by 32.14% - 34.22% at the same of forward speed, oscillatory frequency and tillage depth in the hydrostatic power transmission system as compared to the mechanical transmission one. The optimum operating parameters were evaluated by means of questionnaire. The relative importance of parameters was first determined and later used to calculate the weighted arithmetic mean of user satisfactory index. The maximum value was found to be 3.372

^{1/} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลาดยาว จตุจักร กทม. 10900

^{1/} Department of Mechanical Engineering, Kasetsart University Ladyoa Chathuchak Bangkok 10900

which corresponded to 2.09 km/h forward speed, 30 cm tillage depth and 9 Hz oscillatory frequency.

Key words: Hardpan, Single Shank Vibrating Subsoiler, Hydrostatic power transmission system

บทคัดย่อ

ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 1 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต สร้างขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อลดการสั่นสะเทือนที่ส่งผลกระทบต่อคนขับ ชุดถ่ายทอดกำลัง และความคงทนของอุปกรณ์ในรถแทรกเตอร์ โดยชุดไถประกอบด้วยขาไถจำนวน 1 ขา ยึดติดกับชุดลูกตุ้มไม่สมดุลที่ติดกับเพลลาเพลลาจะถูกขับโดยมอเตอร์ไฮดรอลิก ซึ่งได้รับแรงดันน้ำมันจากปั๊มไฮดรอลิก ปั๊มได้รับกำลังขับเคลื่อนจากเพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์ขนาด 50 แรงม้า ทำการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 1 ขา ในพื้นที่ดินร่วนเหนียวปนทรายความชื้นดินเฉลี่ย 20.60 % db ความหนาแน่นดินสภาวะแห้งเฉลี่ย 1.66 ก./ลบ.ซม. และค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินเฉลี่ย 2.58 เมกกะปาสคาล ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 2 ระดับ คือ 1.39 และ 2.09 กม./ชม. ความถี่ในการสั่น 4 ระดับที่ 0 7 9 และ 11 เฮิร์ตซ์ และความลึกในการไถ 2 ระดับ คือ 30 และ 40 ซม. โดยมีความกว้างในการสั่นที่ปลายขาไถคงที่ 36.5 มม. การทดสอบเปรียบเทียบกับไถระเบิดดินดานแบบไม่สั่น พบว่าการสั่นสามารถลดแรงฉุดลากได้มากที่สุด 32.69% ที่ความถี่ในการสั่น 11 เฮิร์ตซ์ ความลึกในการไถ 30 ซม. และความเร็วในการเคลื่อนที่ 2.09 กม./ชม. แต่กำลังรวมจะเพิ่มมากขึ้น 120.55% พื้นที่การ

แตกตัวของดินลดลง 19.77% ค่าความหนาแน่นดินสภาวะแห้งลดลง 21.99% โดยสรุป พบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ ความถี่ในการสั่น ความลึกในการไถส่งผลกระทบต่อแรงฉุดลาก กำลังรวม และพื้นที่การแตกตัวของดิน นอกจากนี้ที่ความถี่ในการสั่นความลึกในการไถ และความเร็วในการเคลื่อนที่เดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 1 ขา แบบที่ใช้งานทั่วไปสามารถลดการสั่นสะเทือนต่อคนขับลงได้ 32.14% - 34.22% ปัจจัยทดสอบที่เหมาะสมในการไถระเบิดดินดานจากแบบสอบถาม ระดับความพึงพอใจของผลการทดสอบโดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก พบว่า ปัจจัยทดสอบที่เหมาะสมในการไถระเบิดดินดานคือ ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ความลึกในการไถ 30 ซม. และความถี่ในการสั่น 9 เฮิร์ตซ์ ให้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนักมากที่สุด 3.372

คำหลัก: ดินดาน, ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 1 ขา, ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต

คำนำ

การปลูกพืชไร่ที่สำคัญหลายชนิด เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง หรืออ้อย นิยมปลูกบนพื้นที่ขนาดใหญ่มีการใช้แทรกเตอร์ เครื่องจักรกล และรถบรรทุกที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ทำงานบนพื้นที่ในแต่ละรอบการผลิตเป็นจำนวนหลายครั้ง จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดชั้นดินดานใต้ผิวดิน ปัญหาการเกิดชั้นดินดานจะส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต เกษตรกรจะแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องทำลายดินดาน หรือ ไถระเบิดดินดาน (Subsoiler) พ่วงติดกับแทรกเตอร์และไถที่ระดับความลึกประมาณ 40-50 ซม. 3-5 ปีต่อครั้ง ซึ่งการไถระเบิดดินดานต้องใช้แรงฉุดลากสูง

ด้วยรถแทรกเตอร์ต้นกำลังขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาไถระเบิดดินดานแบบสั้นเพื่อลดแรงฉุดลาก โดยมีแบบสั้นที่ขาไถ (Vibrating Subsoiler) และแบบสั้นทั้งโครง (Shakareator) ซึ่งทั้ง 2 แบบใช้ต้นกำลังจากเพลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์ ทำให้ความถี่ในการสั่นคงที่ หากต้องการเปลี่ยนความกว้างและความถี่ในการสั่น จะต้องเปลี่ยนชุดเฟือง และเปลี่ยนตุ้มน้ำหนักไม่สมดุล ซึ่งใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูง

Rattana (2009) รายงานว่าการสั่นขณะไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 1 ขา การทำงานจะส่งผ่านจากขาไถชุดเฟืองดอกจอก โครงสำหรับยึดต่อกับรถแทรกเตอร์แบบจุดพ่วง 3 จุดอิสระ เพลาอำนาจกำลังสู่โครงรถแทรกเตอร์ และที่นั่งคนขับ ธัญญาและคณะ (2549) พบว่า ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 1 ขา มีการสั่นตามระนาบขึ้น-ลง จะเกิดการเสียหายในลักษณะการเฉือนขาด (Shear Failure) ของรอยเชื่อมเพลาต่อกับเฟืองดอกจอก (Bevel Gear) ตัวใหญ่ หรือเฟืองบายศรี นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของชิ้นส่วนในชุดถ่ายทอดกำลัง เช่น ลูกปืนของชุดเพลาอำนาจกำลัง และอุปกรณ์ในรถแทรกเตอร์ Mehta *et al.* (2000) รายงานว่าภาวะของการสั่นยังทำให้ผู้ขับแทรกเตอร์รู้สึกไม่สบายเพิ่มมากขึ้นจากภาวะปกติ

เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากการสั่นโดยการใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิตอัตราทดแปรผันต่อเนื่อง ซึ่งใช้น้ำมันไฮดรอลิกเป็นตัวถ่ายทอดกำลัง โดยใช้ต้นกำลังจากเพลาอำนาจกำลัง (PTO) ขับปั๊มไฮดรอลิกเพื่อสร้างความดันให้น้ำมันไฮดรอลิก น้ำมันแรงดันสูงจะถูกส่งผ่านระบบท่อไปขับมอเตอร์ไฮดรอลิก ซึ่งต่อเข้ากับชุดสั้นสะเทือนของไถระเบิดดินดานทำให้เกิดการสั่น การส่งกำลังด้วยวิธีนี้ส่งผลดีคือ สามารถลดผลกระทบจากการสั่น

สะเทือนของไถระเบิดดินดาน ที่มีต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในรถแทรกเตอร์ ชุดถ่ายทอดกำลัง และผู้ขับขี่

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อสร้างไถระเบิดดินดานที่สามารถลดความเสียหายจากการสั่นของการไถด้วยระบบถ่ายทอดกำลังแบบอุทกสถิต 2) เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของไถดินดานชนิดสั้นที่ขา 1 ขา และ 3) วิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยต่าง ๆ ที่แสดงสมรรถนะของไถดินดาน ประกอบด้วยแรงฉุดลาก (Draft force) กำลังรวม (Total power) พื้นที่การแตกตัวของดิน (Soil disturbance) การสั่นสะเทือนต่อคนขับ (Tractor seat vibration) และความหนาแน่นมวลรวมสถานะแห้งของดิน (Dry bulk density)

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การติดตั้งระบบถ่ายทอดกำลังแบบอุทกสถิตกับไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 1 ขา

ไถระเบิดดินดานในงานวิจัยนี้ ปรับปรุงจากไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 1 ขา ที่ออกแบบและสร้างโดย ธัญญาและคณะ (2539) ดังแสดงใน Figure 1 ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ โครงยึดต่อกับรถแทรกเตอร์แบบจุดพ่วง 3 จุดอิสระ โครงเครื่องมือ ขาไถ และชุดกลไกการสั่น โดยโครงยึดต่อกับรถแทรกเตอร์เชื่อมต่อกับโครงเครื่องมือ ขาไถดินดานมี 1 ขา ขนาดพื้นที่หน้าตัด 150 x 38 มม. สูง 970 มม. ส่วนของเล็บตัดดิน มีขนาดยาว 400 มม.กว้าง 70 มม.ยึดทำมุมกับแนวระดับ 30 องศา สามารถถอดเปลี่ยนได้เมื่อสึกหรอ ด้านหน้าของขาไถเป็นมุมแหลมรูปตัววี ขนาด 40 องศา ขณะทำงานตัวขาไถสั้นไปมาในระนาบตั้งฉากในแนวตั้งตามทิศทางเคลื่อนที่ของตัวรถ (ระนาบ X-Y) รอบแกนหมุนที่ติดอยู่บนโครงเครื่องมือ

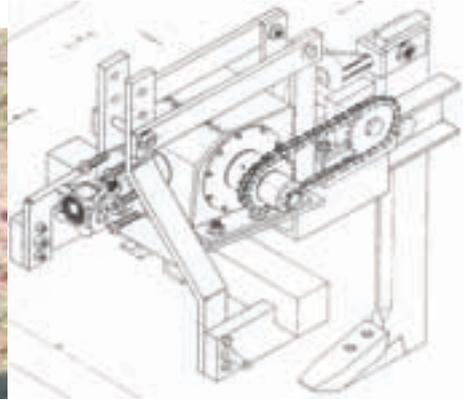


Figure 1 The general Single Shank Vibrating Subsoiler and Isometric drawing

Source: ธีัญญาและคณะ (2539)

ในงานวิจัยนี้ได้เปลี่ยนชุดเฟืองดอกจอก ซึ่งเป็นชุดถ่ายทอดกำลังที่ต่อกับชุดกลไกการสั่นของขาไถออก แล้วติดตั้งระบบไฮดรอลิกดังนี้

1.1 ปัมไฮดรอลิกขนาด 55 cc/rev อัตราการไหล 119 ลิตร/นาที ความเร็วรอบสูงสุด 2,500 รอบ/นาที ที่ความดัน 210 บาร์ โดยต่อกับเพลาอำนาจกำลังเพื่อใช้เป็นต้นกำลัง

1.2 วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฮดรอลิก

1.3 มอเตอร์ไฮดรอลิกขนาด 100 cc/rev แรงบิดสูงสุด 264 นิวตัน-เมตร ความเร็วสูงสุด 3,000 รอบ/นาที ที่ความดัน 172 บาร์ ต่อกับชุดกลไกการสั่นของขาไถเพื่อสร้างความถี่ในการสั่น

1.4 ถังน้ำมันไฮดรอลิกขนาด 25 ลิตร ติดตั้งบนโครงหลังที่นั่งคนขับ สำหรับส่งน้ำมันไฮดรอลิกไปใช้ในระบบ

1.5 วาล์วลดความดัน ติดตั้งก่อนเข้าวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์จากความดันเกินในระบบ

1.6 อุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 250 กิโลแคลอรี/ชม. ที่อุณหภูมิ 30°ซ

โดยต่อจากมอเตอร์ไฮดรอลิก เพื่อระบายความร้อนของน้ำมันหลังการใช้งานวงจรไฮดรอลิกในการติดตั้งและผลการติดตั้งแสดงใน Figure 2

หลักการการทำงานเริ่มจากเพลาอำนาจกำลังหมุนที่ความเร็วรอบ 540 รอบ/นาที ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองอัตราทด 1:4 ขับปั๊มไฮดรอลิกที่ความเร็วรอบ 2,160 รอบ/นาที มีอัตราการไหลประมาณ 98 ลิตร/นาที มีวาล์วควบคุมความดันที่ 250 บาร์ น้ำมันไฮดรอลิกถูกส่งผ่านระบบท่อไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า ซึ่งจะเปิดหรือปิดวาล์วด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer) และต่อไปยังมอเตอร์ไฮดรอลิกซึ่งต่อกับชุดกลไกการสั่นของขาไถ ดังนั้นการควบคุมความถี่ในการสั่นของขาไถ ทำได้โดยการหมุนปรับตัวต้านทานปรับค่า ได้น้ำมันที่ผ่านมอเตอร์ไฮดรอลิก จะเกิดความร้อนซึ่งแปรผันกับขนาดของภาระงาน และถูกส่งไปยังตัวระบายความร้อนแบบพัดลมระบายอากาศ และส่งกลับเข้าถังน้ำมันไฮดรอลิกหมุนเวียนตลอดการใช้งาน

2. อุปกรณ์วัด และการควบคุม

การควบคุมความถี่ในการสั่นของขาไถจะใช้การหมุนปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentio

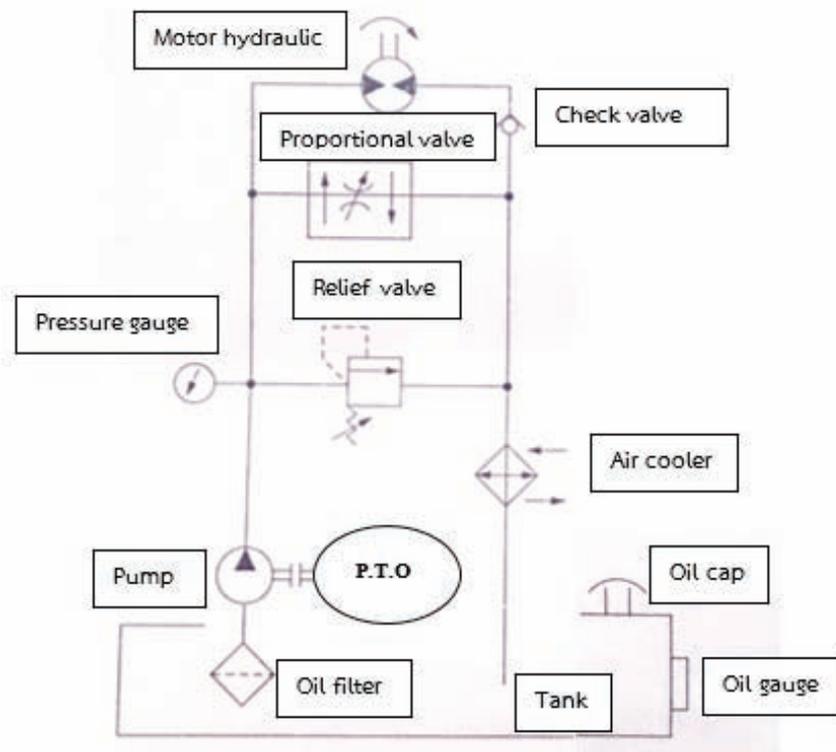


Figure 2 The schematic diagram of hydraulic system for installation on a single shank vibrating subsoiler

meter) ในการหมุนปรับการเปิดหรือปิดวาล์ว โดยต่อผ่านอุปกรณ์ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ก่อนส่งไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหล ส่วน อุปกรณ์วัดประกอบด้วย Proximity Sensor 1 ทำหน้าที่วัดความเร็วรอบการหมุนของเพลลาขับลูก เบี้ยวในหน่วย รอบ/นาที Proximity Sensor 2 ทำหน้าที่วัดความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ โดยวัดการหมุนของล้อช่วยขับในหน่วย รอบ/นาที แล้วเทียบเป็น เมตร/วินาที (1 รอบการหมุนของ ล้อช่วยขับเท่ากับระยะทาง 1.95 ม.) Proximity Sensor 3 ทำหน้าที่วัดความเร็วรอบการหมุนของ เพลลาอำนาจกำลังในหน่วย รอบ/นาที Torque transducer 1 ทำหน้าที่วัดแรงบิดของเพลลาขับลูก เบี้ยวในหน่วย นิวตัน-เมตร Torque transducer 2 ทำหน้าที่วัดแรงบิดของเพลลาอำนาจกำลังในหน่วย

นิวตัน-เมตร Lower link pins transducer ทำหน้าที่วัดแรงฉุดลากในแนวระดับ และแรงยกตัว ในแนวตั้งของแขนต่อพ่วงล่างในหน่วย กิโลนิวตัน Top link transducer ทำหน้าที่วัดแรงกด หรือ แรงดึงที่แขนต่อพ่วงบนในหน่วย กิโลนิวตัน Angle Transducer ทำหน้าที่วัดมุมในการทำงานของ แขนต่อพ่วงบนเทียบกับแนวระดับในหน่วย องศา โดยค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดจะถูกส่งมาบันทึก และวิเคราะห์ในโปรแกรมประมวลผลเพื่อหาแรง ฉุดลาก กำลังฉุดลาก กำลังจากมอเตอร์ไฮดรอลิก กำลังจากเพลลาอำนาจกำลัง กำลังรวม และความถี่ ในการสั่นของขาไถ ซึ่งเขียนด้วยโปรแกรม Arduino 1.6.9 ที่บอร์ดควบคุมและแสดงผลที่ หน้าจอแสดงผลบนตู้ควบคุม (LCD) และหน้าจอ คอมพิวเตอร์ (Figure 3) การสั่นสะเทือนที่รับรู้ได้

โดยผู้ขับขี่วัดได้จากความเร่งของเบาะนั่งคนขับ โดยการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร่งในการสั่น (Accelerometer) ไว้ที่เบาะเพื่อวัดความเร่ง 3 แกน คือ แกน X (แนวการเคลื่อนที่) แกน Y (แนวขวางการเคลื่อนที่) และ แกน Z (แนวตั้ง) สัญญาณที่วัดได้จะถูกส่งมาที่อุปกรณ์แปลง

สัญญาณต่อเนื่องเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Interface card) และต่อไปยังคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Lab VIEW Signal Express เพื่อบันทึกค่าเป็น Duty cycle และวิเคราะห์หาความเร่งในแต่ละแกน แล้วนำไปหาการสั่นสะเทือนต่อคนขับ (3D Weighted seat acceleration)

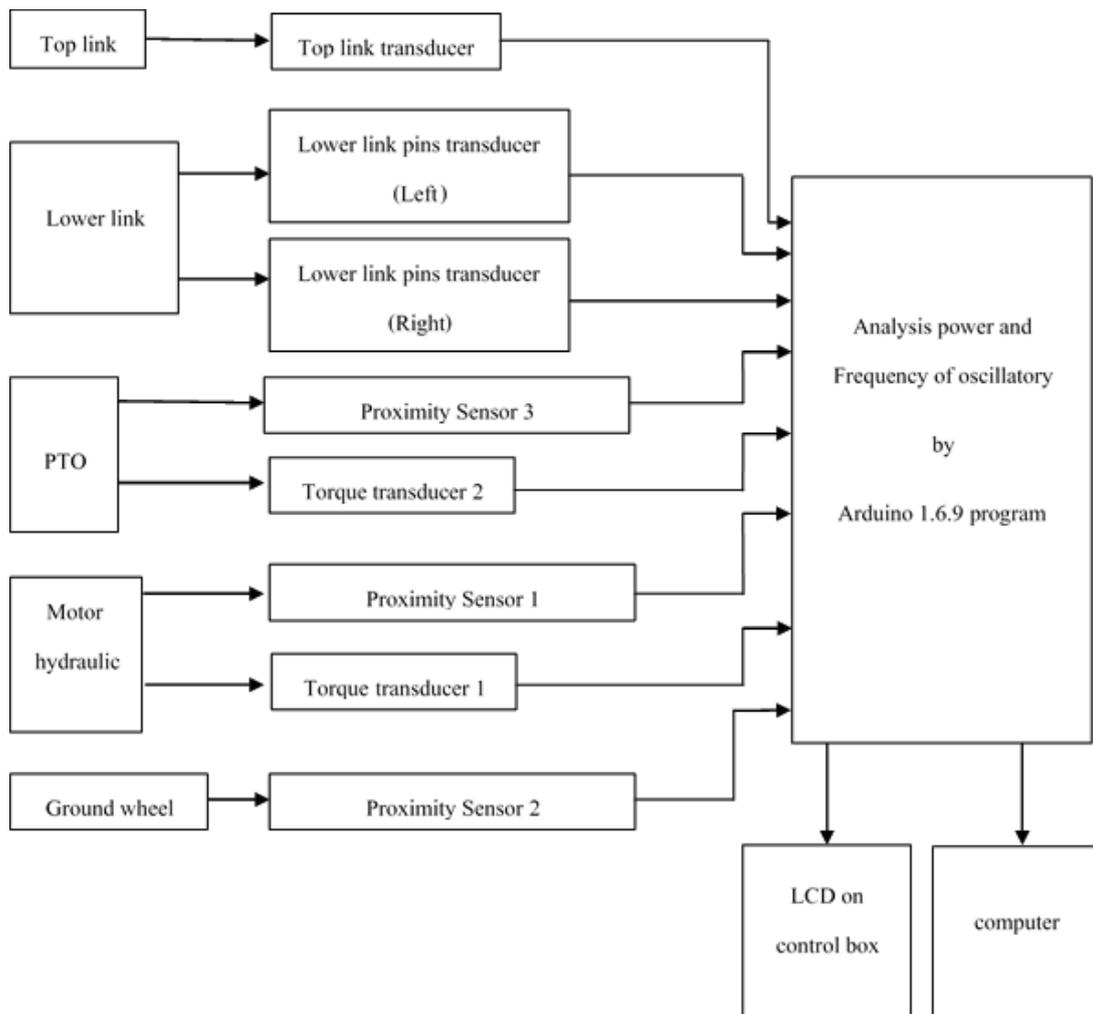


Figure 3 The schematic diagram for installation a vibrating controller and the measuring equipment on a single shank vibrating subsoiler

3. การวิเคราะห์แรง กำลัง ความถี่ และประสิทธิภาพ

Free-Body Diagram ของไถระเบิดดินดานที่ยึดต่อกับรถแทรกเตอร์ แสดงใน Figure 4 สามารถหาแรง กำลัง ความถี่ การสั่นสะเทือน และประสิทธิภาพได้ดังนี้

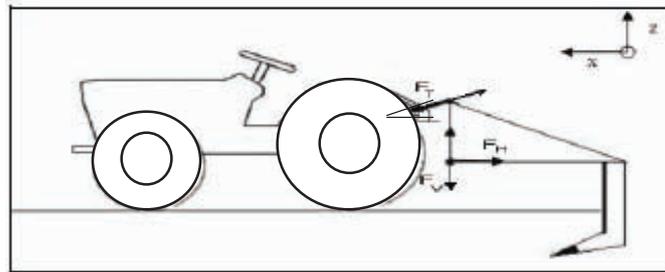


Figure 4 The Free-Body Diagram of a Subsoiler which is connected by tractor.

1. แรงฉุดลาก (Draft force, F_D) คือ แรงที่เกิดจากผลรวมของแรงฉุดลากในแนวระดับที่ Lower link pins กับแรงดึงในแนวระดับของ Top link

$$F_D = F_H + F_T \cos \theta \quad (1)$$

เมื่อ F_H = แรงฉุดลากในแนวระดับที่ Lower link pins (กิโลนิวตัน)

F_T = แรงดึงใน Top link (กิโลนิวตัน)

θ = มุมของ Top link เทียบกับแนวระดับ (องศา)

2. แรงยกตัวในแนวตั้ง (Vertical force, F_V) คือ แรงที่เกิดจากผลรวมของแรงยกตัวในแนวตั้งที่ Lower link pins กับแรงดึงในแนวตั้งของ Top link

$$F_V = F_V + F_T \sin \theta \quad (2)$$

เมื่อ F_V = แรงยกตัวในแนวตั้งที่ Lower link pins (กิโลนิวตัน)

F_T = แรงดึงใน Top link (กิโลนิวตัน)

θ = มุมของ Top link เทียบกับแนวระดับ (องศา)

3. กำลังฉุดลาก (Drawbar power, P_D) คือ ผลคูณของแรงฉุดลาก กับความเร็วรถแทรกเตอร์

$$P_D = F_D \times \mathbf{V} \quad (3)$$

เมื่อ P_D = กำลังฉุดลาก (กิโลวัตต์)

\mathbf{V} = ความเร็วรถแทรกเตอร์ (เมตร/วินาที)

4. กำลังที่เพลานำจ่ายกำลัง (PTO power, P_{PTO}) คือ ผลคูณของแรงบิดที่เพลานำจ่ายกำลัง กับความเร็วเชิงมุมของเพลานำจ่ายกำลัง

$$P_{PTO} = \frac{2\pi N_{PTO} \times T_{PTO}}{60,000} \quad (4)$$

เมื่อ P_{PTO} = กำลังที่เพลานำจ่ายกำลัง (กิโลวัตต์)
 N_{PTO} = ความเร็วรอบของเพลานำจ่ายกำลัง (รอบ/นาที)
 T_{PTO} = แรงบิดที่เพลานำจ่ายกำลัง (นิวตัน-เมตร)

5. กำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิก (Motor hydraulic power, P_{motor}) คือ ผลคูณของแรงบิดที่เพลาลูกเบี้ยว กับความเร็วเชิงมุมของเพลาลูกเบี้ยว

$$P_{Motor} = \frac{2\pi N_{Cam} \times T_{Cam}}{60,000} \quad (5)$$

เมื่อ P_{Motor} = กำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิก (กิโลวัตต์)
 N_{Cam} = ความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยว (รอบ/นาที)
 T_{Cam} = แรงบิดที่เพลาลูกเบี้ยว (นิวตัน-เมตร)

6. ความถี่ในการสั่นของขาไถ (Frequency of oscillatory, f) คือ ความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยวในหน่วย รอบ/วินาที หรือ เฮิรตซ์

$$f = \frac{N_{Cam}}{60} \quad (6)$$

เมื่อ f = ความถี่ในการสั่นของขาไถ (เฮิรตซ์)
 N_{Cam} = ความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยว (รอบ/นาที)

7. กำลังรวม (Total power, P_{Total}) คือ ผลรวมของกำลังฉุดลาก กับกำลังที่เพลานำจ่ายกำลัง

$$P_{Total} = P_D + P_{PTO} \quad (7)$$

เมื่อ P_{Total} = กำลังรวม (กิโลวัตต์)

8. กำลังสูญเสียในระบบไฮดรอลิก (Loss in hydraulic system, P_{Loss}) คือ ผลต่างของกำลัง ที่เพลานำจ่ายกำลัง กับกำลังที่มอเตอร์ไฮดรอลิก

$$P_{Loss} = P_{PTO} - P_{motor} \quad (8)$$

เมื่อ P_{Loss} = กำลังสูญเสียในระบบไฮดรอลิก (กิโลวัตต์)

9. การสั่นสะเทือนต่อคนขับ (3d weighted seat acceleration, V_{3d}) หาได้จากสมการที่ 9

$$V_{3d} = [(A_x \times k_x)^2 + (A_y \times k_y)^2 + (A_z \times k_z)^2]^{0.5} \quad (9)$$

เมื่อ A_x = ความเร่งในแนวแกน x (เมตร/วินาที²)

A_y = ความเร่งในแนวแกน y (เมตร/วินาที²)

A_z = ความเร่งในแนวแกน z (เมตร/วินาที²)

k = แฟกเตอร์ตัวคูณ หาจากค่าแฟกเตอร์ ถ่วงน้ำหนัก สำหรับการถ่วงน้ำหนักตามความถี่ที่ใช้กับผู้ปฏิบัติงานในท่านั่งใช้ค่าแฟกเตอร์ตัวคูณตามมาตรฐาน ISO2631-1

ดังนั้นคือ แนวแกน x: ค่า $k_x = 1.4$

แนวแกน y: ค่า $k_y = 1.4$

แนวแกน z: ค่า $k_z = 1$

10. ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎี (theoretical field capacity, TFC) หาได้จากสมการที่ 10

$$TFC = W_t \times V_t \times 2.25 \quad (10)$$

เมื่อ TFC = ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎี (ไร่/ชั่วโมง)

W_t = หน้ากว้างในการทำงานทางทฤษฎี (หน้ากว้างในการทำงานของเครื่องจักร) (เมตร) (ในการทดสอบหน้ากว้างในการทำงาน ของไถระเบิดดินดาน คือ 1 เมตร)

V_t = ความเร็วเฉลี่ยในการทำงาน (เมตร/วินาที) มีค่าเท่ากับ $(\frac{S}{T})$ โดยที่

s = ระยะทางในการทำงาน (เมตร) (ในการทดสอบนี้ความยาวของแปลงทดสอบในแต่ละกรรมวิธีคือ 10 เมตร)

T_t = เวลาที่ใช้ในการทำงาน (วินาที) โดยที่ไม่รวมเวลาสูญเสียที่ใช้ในการกลับรถ การนำเข้า และใส่ผลผลิต การเติมน้ำมัน การซ่อมแซม และปรับแต่งเครื่อง

4. การทดสอบผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อสมรรถนะ

ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 1 ขา ประกอบด้วย ความถี่ในการสั่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ และความลึกในการไถ การทดสอบเลือกใช้ความถี่ในการสั่น 4 ระดับ คือ 0 7 9 และ 11 เฮิร์ตซ์ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 2 ระดับคือ Low 1 (1.39 กม./ชม.) และ Low 2 (2.09 กม./ชม.) และความลึกในการไถ 2 ระดับคือ 30 และ 40 ซม. โดยมีความกว้างในการสั่นที่ปลายขาไถคงที่ 36.5 มม.วางแผนการทดลองแบบ 2x4x2 factorial in RCBD ประกอบด้วย 16 กรรมวิธี ดังแสดงใน Table 1 แต่ละกรรมวิธี ทำการทดลอง 3 ครั้ง ขนาดแปลงทดสอบ 3x10 ม./กรรมวิธี ทำการทดลองที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครราชสีมา อ. สีคิ้ว จ. นครราชสีมา ชนิดของดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย สมบัติ

ของดินในแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0-60 ซม. มีค่าความชื้นของดินเฉลี่ย 20.60%db ความหนาแน่นมวลรวมสภาวะแห้งของดินเฉลี่ย 1.66 ก./ลบ.ม. รถแทรกเตอร์ที่ใช้ทดสอบเป็นแทรกเตอร์ Kubota รุ่น M 5000 SU ขนาด 50 แรงม้า

การทดสอบในแต่ละกรรมวิธีจะวัดค่าแรงฉุดลากในแนวระดับ กำลังรวม พื้นที่การแตกตัวของดิน การสั่นสะเทือนต่อคนขับ ความหนาแน่นมวลรวม สภาวะแห้งของดินหลังการไถ และอัตราการทำงานทางทฤษฎี โดยให้เกษตรกรจำนวน 35 คน และนักวิชาการเกษตร จำนวน 15 คน ร่วมทำการทดสอบ และตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับระดับความสำคัญของผลการทดสอบ ระดับความพึงพอใจต่อผลการทดสอบ เพื่อวิเคราะห์หากรรมวิธีที่เหมาะสมในการไถระเบิดดินดาน โดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Arithmetic Mean Method) ตามสมการที่ 11

Table 1 The treatment combinations for testing the efficacy of vibrating subsoiler

Treatments	Forward speed (km/h)	frequency of oscillatory (Hz)	Tillage depth (cm)
1	Low1	0	30
2	Low1	7	30
3	Low1	9	30
4	Low1	11	30
5	Low1	0	40
6	Low1	7	40
7	Low1	9	40
8	Low1	11	40
9	Low2	0	30
10	Low2	7	30
11	Low2	9	30
12	Low2	11	30
13	Low2	0	40
14	Low2	7	40
15	Low2	9	40
16	Low2	11	40

$$\text{ค่าเฉลี่ยเลขคณิต} = \frac{\text{ผลรวมของ (ระดับความพอใจ} \times \text{ระดับความสำคัญของปัจจัย) แต่ละปัจจัย}}{\text{ผลรวมของระดับความสำคัญของปัจจัยแต่ละปัจจัย}} \quad (11)$$

แบบถ่วงน้ำหนัก

ผลและวิจารณ์การทดลอง

1. ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 1 ขา

ผลการทดสอบสมรรถนะของไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 1 ขา ทั้งหมด 6 ค่า แสดงใน Table 2

1.1 แรงฉุดลากในแนวระดับ (Draft force)

เมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์จาก Low 1 เป็น Low 2 จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยแรงฉุดลากของการไถเพิ่มขึ้น ทั้งแบบ

ขาไถสั้นและไม่สั้นขณะทำงาน ที่ความลึกในการไถ 30 ซม. มีค่าเฉลี่ยแรงฉุดลากเพิ่มขึ้นจาก 9.03 กิโลนิวตัน เป็น 10.05 กิโลนิวตัน และที่ความลึกในการไถ 40 ซม. มีค่าเฉลี่ยแรงฉุดลากเพิ่มขึ้นจาก 11.80 กิโลนิวตัน เป็น 13.05 กิโลนิวตัน เมื่อใช้ความเร็ว Low 2 และไม่สั้นขณะทำงาน ที่ความลึกในการไถ 40 ซม. จะทำให้เกิดแรงฉุดลากในแนวระดับมากที่สุด 14.27 กิโลนิวตัน

ความลึกในการไถเพิ่มขึ้นจาก 30 ซม เป็น 40 ซม จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยแรงฉุดลากเพิ่มขึ้น ทั้งแบบขาไถสั้นและไม่สั้นขณะทำงาน

Table 2 Factors which influent the efficacy of a single shank vibrating subsoiler

Treat ment	Draft force (kN)	Seat Acceleration (m/s ²)	Dry bulk density (g/cm ³)	Soil disturbance (cm ²)	Total power (kW)	Theoretical field capacity (rai/h)
1	10.63	1.745	1.52	1,400.31	4.1	0.868
2	9.44	1.892	1.31	1,298.76	7.71	0.868
3	8.36	1.83	1.29	1,268.45	9.18	0.870
4	7.70	1.782	1.15	1,136.46	12.55	0.869
5	13.17	1.811	1.49	1,482.32	5.08	0.869
6	12.34	1.924	1.28	1,303.06	10.44	0.867
7	11.52	1.882	1.24	1,220.84	13.02	0.870
8	10.15	1.869	1.13	1,187.76	15.59	0.868
9	12.48	1.513	1.41	1,577.66	7.25	1.306
10	10.24	1.699	1.23	1,464.67	10.9	1.307
11	9.06	1.6	1.2	1,378.85	12.44	1.307
12	8.40	1.52	1.1	1,265.8	15.99	1.308
13	14.27	1.566	1.43	1,620.54	8.29	1.310
14	13.49	1.683	1.18	1,560.76	14.54	1.308
15	12.69	1.621	1.14	1,498.73	17.1	1.306
16	11.75	1.551	1.01	1,445.61	19.77	1.308

Note: Average of 3 replications.

นอกจากนี้ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยแรงฉุดลากลดลง การสั่นที่ความถี่ 11 เฮิรตซ์ ความลึกในการไถ 30 ซม. และความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 1 ใช้แรงฉุดลากในแนวระดับน้อยที่สุด 7.7 กิโลวัตต์น เมื่อเปรียบเทียบกับแบบไม่สั่นที่ความเร็วเดียวกัน พบว่าสามารถลดแรงฉุดลากได้ 27.56% ถ้าความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 สามารถลดแรงฉุดลากได้มากที่สุด 32.69%

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์และความลึกในการไถเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยแรงฉุดลากของการไถเพิ่มขึ้นทั้งแบบขาไถสั่นและไม่สั่นขณะทำงาน และความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยแรงฉุดลากลดลง

1.2 กำลัง (power)

กำลังรวม (Total power) เป็นกำลังจากเพลอาอานวยกำลังที่ถูกนำไปรวมกับกำลังฉุดลาก

ค่าเฉลี่ยกำลังรวมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นจาก Low 1 เป็น Low 2 ทั้งขาไถสั่น และไม่สั่นขณะทำงานส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังรวมเพิ่มขึ้นจาก 9.71 กิโลวัตต์ เป็น 13.29 กิโลวัตต์ และค่าเฉลี่ยกำลังรวมเพิ่มขึ้นจาก 10.02 กิโลวัตต์เป็น 12.98 กิโลวัตต์ เมื่อความลึกในการไถเพิ่มขึ้นจาก 30 ซม.เป็น 40 ซม.

ค่าเฉลี่ยกำลังรวมเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้น ขณะสั่นที่ความถี่ 11 เฮิรตซ์ ระดับความลึก 40 ซม.ที่ความเร็ว Low 2 ใช้กำลังรวมมากที่สุด 19.77 กิโลวัตต์ และความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ และความลึกในการไถเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังรวมเพิ่มขึ้นทั้งแบบขาไถสั่นและไม่สั่นขณะทำงาน และความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังรวมเพิ่มขึ้น

เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยประกอบด้วยกลุ่มที่ 1. ความถี่ในการสั่น

และความลึกในการไถ พบว่า เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นจาก 0 เฮิรตซ์ (ไม่มีการสั่น) จนถึง 11 เฮิรตซ์ ที่ระดับความลึกเดียวกัน กำลังรวม มีความแตกต่างกัน และที่ความถี่ในการสั่นระดับเดียวกัน ความลึกในการไถเพิ่มขึ้นจาก 30 ซม. เป็น 40 ซม. กำลังรวม มีความแตกต่างกัน โดยความถี่ในการสั่น 11 เฮิรตซ์ ความลึกในการไถ 40 ซม.จะใช้กำลังรวมมากที่สุด 17.675 กิโลวัตต์ (Table 3) กลุ่มที่ 2. ความเร็วรถแทรกเตอร์และความลึกในการไถ พบว่า เมื่อความลึกในการไถเพิ่มขึ้น ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ระดับเดียวกันกำลังรวมมีความแตกต่างกัน และที่ความลึกในการไถระดับเดียวกัน ความเร็วรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นจาก Low 1 เป็น Low 2 กำลังรวมมีความแตกต่างเช่นเดียวกัน โดยที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ความลึกในการไถ 40 ซม. จะใช้กำลังรวมมากที่สุด 14.928 กิโลวัตต์ (Table 4)

1.3 พื้นที่การแตกตัวของดิน (Soil disturbance)

พื้นที่การแตกตัวของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นทั้งแบบขาไถสั่นและไม่สั่นขณะทำงาน โดยที่ความเร็วรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นจาก Low 1 เป็น Low 2 ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแตกตัวของดินเพิ่มขึ้น 8.70-21.71% และความลึกในการไถเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้พื้นที่การแตกตัวของดินเพิ่มขึ้น โดยที่ความลึกในการไถเพิ่มขึ้นจาก 30 ซม. เป็น 40 ซม. ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแตกตัวของดินเพิ่มขึ้น 0.33-14.21% ทั้งแบบขาไถสั่นและไม่สั่นขณะทำงาน

พื้นที่การแตกตัวของดินมีค่าน้อยลงเมื่อความถี่ในการสั่นสูงขึ้นจาก 7 เฮิรตซ์ เป็น 11 เฮิรตซ์ ที่ระดับความลึก 30 และ 40 ซม. การสั่นที่ความถี่ 11 เฮิรตซ์ความลึกในการไถ 30 ซม. ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 1 พื้นที่การแตกตัว

Table 3 The relationship between frequency and tillage depth influent a total power

Frequency (F)	Tillage depth (D)		F-MEAN	DIFF
	D1 = 30 cm	D2 = 40 cm		
F1 = 0 Hz	5.672 d	6.695 d	6.183	-1.023**
F2 = 7 Hz	9.303 c	12.488 c	10.896	-3.185**
F3 = 9 Hz	10.807 b	15.058 b	12.933	-4.252**
F4 = 11 Hz	14.268 a	17.675 a	15.972	-3.407**
D-MEAN	10.013	12.979	11.496	-2.966

Note:**= significant at 5% level

Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by LSD

Table 4 The relationship between forward speed and tillage depth influent a total power

Tillage depth(D)	Forward speed (S)		D-MEAN	DIFF
	S1 = 1.39 km/h	S2 = 2.09 km/h		
D1 (30 cm)	8.384	11.641	10.013	-3.257**
D2 (40 cm)	11.030	14.928	12.979	-3.898**
S-MEAN	9.707	13.285	11.496	-3.578
DIFF	-2.646**	-3.288**	-2.967	

Note:**= significant at 5% level

Comparison S.E.D. LSD (5%) LSD (1%)

2-S*D means 0.116 0.237 0.319

ของดินมีค่าน้อยที่สุด 1,136.46 ตร.ม ในขณะทีความเร็วแทรกเตอร์ Low 2 ขาไถไม่มีการสั่น ที่ความลึกในการไถ 40 ซม.พื้นที่การแตกตัวของดินมีค่ามากที่สุด 1,620.54 ตร.ม นอกจากนี้เมื่อใช้ความเร็วแทรกเตอร์ Low 1 ขาไถไม่มีการสั่น ที่ความลึกในการไถ 40 ซม.เมื่อเปรียบเทียบกับแบบขาไถสั่นที่ความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ ความเร็ว และความลึกระดับเดียวกัน พบว่า พื้นที่การแตกตัวของดินเฉลี่ยเพิ่มมากที่สุด 19.87%

ผลกระทบของอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัยประกอบด้วย กลุ่มที่ 1. ความเร็วแทรกเตอร์ Low 1 ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 0 เฮิร์ตซ์ จนถึง

11 เฮิร์ตซ์ ที่ความลึกระดับเดียวกัน พบว่า พื้นที่การแตกตัวของดินมีความแตกต่างกันในแต่ละระดับความถี่ แต่ที่ระดับความถี่ 30 ซม. ความถี่ในการสั่น 7 เฮิร์ตซ์ และ 9 เฮิร์ตซ์ พื้นที่การแตกตัวของดินไม่มีความแตกต่างกัน และที่ระดับความถี่ 40 ซม.ความถี่ในการสั่น 9 เฮิร์ตซ์และ 11 เฮิร์ตซ์ พื้นที่การแตกตัวของดินไม่มีความแตกต่างเช่นเดียวกัน ที่ความถี่ในการไถเพิ่มขึ้นจาก 30 ซม. เป็น 40 ซม.ที่ความถี่ในการสั่นระดับเดียวกัน พื้นที่การแตกตัวของดินมีความแตกต่างกันในแต่ละระดับความถี่ แต่ที่ความถี่ในการสั่น 7 และ 9 เฮิร์ตซ์ พื้นที่การแตกตัวของดินไม่มีความ

แตกต่างกัน กลุ่มที่ 2. ความเร็วแทรกเตอร์ Low 2 ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 0 เฮิร์ตซ์ จนถึง 11 เฮิร์ตซ์ ที่ความลึกระดับเดียวกัน พบว่า พื้นที่การแตกตัวของดินมีความแตกต่างกันในแต่ละระดับความถี่ และความลึกในการไถเพิ่มขึ้นจาก 30 ซม. เป็น 40 ซม. ที่ความถี่ในการสั่นระดับเดียวกัน พื้นที่การแตกตัวของดินมีความแตกต่างกันในแต่ละระดับความถี่เช่นเดียวกัน (Table 5)

1.4 ความหนาแน่นมวลรวมสถานะแห้งของดิน (Dry bulk density)

ความเร็วรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นจาก Low 1 เป็น Low 2 ค่าเฉลี่ย Dry bulk density มีแนวโน้มลดลง ที่ความลึกในการไถ 40 ซม. และค่าเฉลี่ยลดลงมากที่สุด 10.62% ทั้งแบบชาไถสั่นและไม่สั่นขณะทำงาน เมื่อความลึกในการไถเพิ่มขึ้นจาก 30 ซม. เป็น 40 ซม. ค่าเฉลี่ย Dry bulk density มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน

ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 0 เฮิร์ตซ์ เป็น 11 เฮิร์ตซ์ ค่าเฉลี่ย Dry bulk density มีค่าลดลง โดยค่าเฉลี่ยที่ความลึกในการไถ 40 ซม. สำหรับการทำงานขณะชาไถสั่นที่ความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ ความเร็ว Low 2 มีค่า 1.01 ก./ลบ.ม. ลดลงจากค่าเฉลี่ยเดิมก่อนการไถ 40% และลดลงมากกว่าขณะเครื่องมือไม่สั่นที่ความเร็ว และความลึกระดับเดียวกัน 29.37% โดยความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 7 เฮิร์ตซ์ เป็น 11 เฮิร์ตซ์ ค่าเฉลี่ย Dry bulk density ลดลง 10.57% - 14.41% เมื่อเปรียบเทียบกับแบบชาไถไม่สั่น พบว่า ค่าเฉลี่ย Dry bulk density ลดลง 21.99% - 29.37% ซึ่งตรงกับผลการวิจัยของ Niyamapa and Salokhe (1993) ที่รายงานว่าเมื่อใช้ไถดินดานแบบสั่นที่ชา ดินมีโอกาสแตกตัวเป็นก้อนเล็กได้มากกว่าเมื่อชาไถไม่สั่น

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์

Table 5 The relationship of a forward speed, frequency and tillage depth influential a soil disturbance

Frequency (F)	Tillage depth (D)		F-MEAN	DIFF
	D1 = 30 cm	D2 = 40 cm		
forward speed (S) = 1.39 km/h				
F1 = 0 Hz	1,400.31 a	1,482.32 a	1,441.32	-82.01**
F2 = 7 Hz	1,298.76 b	1,303.06 b	1,300.91	-4.30 ^{NS}
F3 = 9 Hz	1,268.45 b	1,220.84 c	1,244.65	47.61 ^{NS}
F4 = 11 Hz	1,136.46 c	1,187.76 c	1,162.11	-51.30*
forward speed (S) = 2.09 km/h				
F1 = 0 Hz	1,577.66 a	1,620.54 a	1,599.10	-42.88 ^{NS}
F2 = 7 Hz	1,464.67 b	1,560.76 b	1,512.72	-96.09**
F3 = 9 Hz	1,378.85 c	1,498.73 c	1,438.79	-119.88**
F4 = 11 Hz	1,265.80 d	1,445.61 d	1,355.71	-179.81**
D-MEAN	1,348.87	1,414.95	1,381.91	-66.08

Note: *, ** = significant at 5% level, NS = not significant

Means in the same column, followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by LSD.

และความลึกในการไถเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ย Dry bulk density มีแนวโน้มลดลงทั้งแบบขาไถสั้นและไม่สั้นขณะทำงาน

1.5 การสั่นสะเทือนต่อคนขับ (Tractor seat vibration)

การสั่นสะเทือนต่อคนขับ พบว่า เมื่อความเร็วแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นจาก Low 1 เป็น Low 2 การสั่นสะเทือนต่อคนขับมีแนวโน้มลดลง 10.20%-17.01% ทั้งแบบขาไถสั้นและไม่สั้นขณะทำงาน และความลึกในการไถเพิ่มขึ้นจาก 30 ซม. เป็น 40 ซม. การสั่นสะเทือนต่อคนขับมีแนวโน้มสูงขึ้น 1.31%-4.88% ทั้งแบบขาไถสั้นและไม่สั้น เมื่อความถี่ในการสั่นของขาไถเพิ่มขึ้นจาก 7 เฮิร์ตซ์ เป็น 11 เฮิร์ตซ์ การสั่นสะเทือนต่อคนขับมีแนวโน้มลดลง 5.81% - 10.54% พบว่า ที่ความเร็วแทรกเตอร์ Low 1 ความถี่ในการสั่น 7 เฮิร์ตซ์

และความลึกในการไถ 40 ซม. ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนต่อคนขับมากที่สุด 1.924 เมตร/วินาที²

ผลการเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนต่อคนขับระหว่างไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 1 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังทางกล กับไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 1 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต พบว่า การใช้ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 1 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต สามารถลดการสั่นสะเทือนต่อคนขับลงได้ โดยค่า 3D Weighted seat acceleration ลดลง 32.14%-34.22% ทั้งแบบขาไถสั้นและไม่สั้นขณะทำงาน (Figure 5)

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากอิทธิพลหลัก 4 ปัจจัย พบว่า ความเร็วแทรกเตอร์ความถี่ในการสั่น ความลึกในการไถ และระบบการสั่น 2 แบบ คือ ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 1 ขา แบบใช้

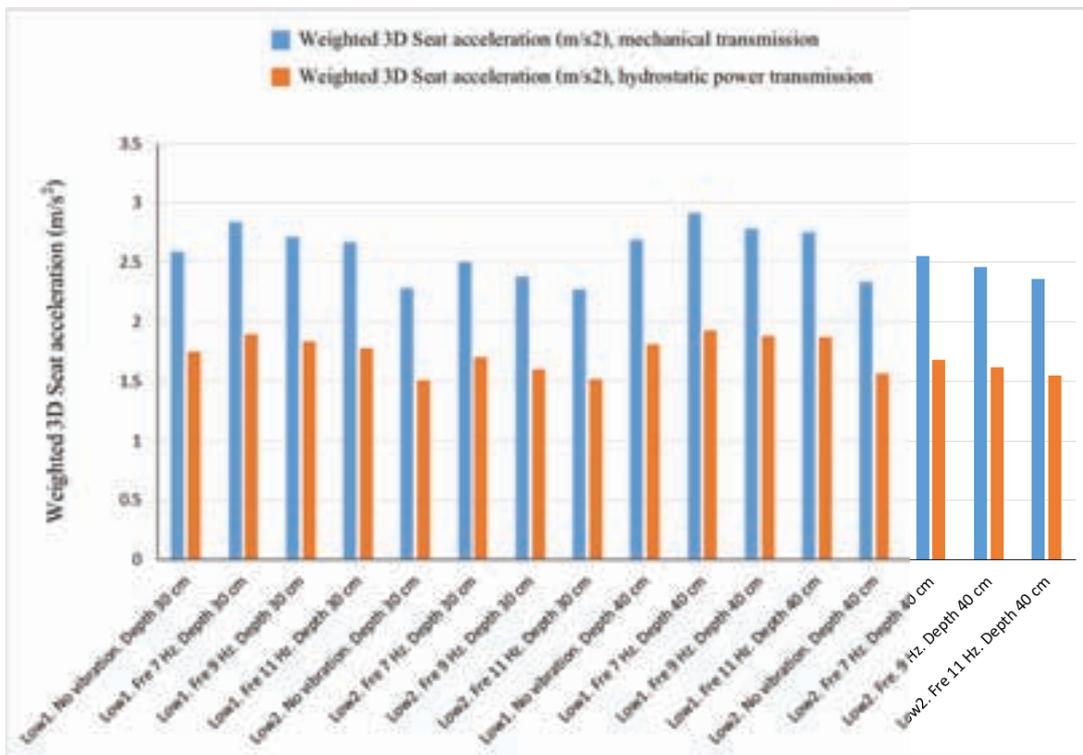


Figure 5 Weighted 3D seat acceleration of a single shank vibrating subsoiler in the hydrostatic transmission systems as compared to the mechanical transmission

ระบบถ่ายทอดกำลังทางกล และไถระเบิดดินดาน ชนิดสันที่ขา 1 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลัง อุทกสถิต ส่งผลกระทบต่อการสั่นไหวต่อคนขับ

ผลกระทบของอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย ประกอบด้วยกลุ่มที่ 1 ความลึกในการไถและระบบการสั่น พบว่า ที่ความลึกระดับเดียวกันการสั่นต่อคนขับของระบบทั้งสองมีความแตกต่างกัน โดยที่ความลึกในการไถ 30 ซม.ไถระเบิดดินดาน ชนิดสันที่ขา 1 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลัง อุทกสถิต มีการสั่นต่อคนขับน้อยที่สุด 1.698 เมตร/วินาที² (Table 6) กลุ่มที่ 2 ความถี่ในการสั่น และระบบการสั่น พบว่า ที่ระบบแบบเดียวกัน การสั่นต่อคนขับมีความแตกต่างกันในแต่ละระดับความถี่ แต่ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 1 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต ที่ความถี่ในการสั่น 11 เฮิรตซ์การสั่นต่อคนขับ ไม่มีความแตกต่างกับที่ความถี่ในการสั่น 0 เฮิรตซ์ และความถี่ในการสั่นระดับเดียวกัน ระบบทั้งสอง มีความแตกต่างกันโดยความถี่ในการสั่น 0 เฮิรตซ์ ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 1 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต มีการสั่นต่อคนขับน้อยที่สุด 1.660 เมตร/วินาที² (Table 7) กลุ่มที่ 3 ความเร็วรถแทรกเตอร์และระบบการสั่น พบว่า

ที่ความเร็วแทรกเตอร์ระดับเดียวกัน การสั่นต่อคนขับของระบบทั้งสองมีความแตกต่างกัน และความเร็วแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นจาก Low 1 เป็น Low 2 ที่ระบบแบบเดียวกัน การสั่นต่อคนขับมีความแตกต่างกัน โดยที่ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 1 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต ความเร็วแทรกเตอร์ Low 2 มีการสั่นต่อคนขับน้อยที่สุด 1.594 ม./วินาที² (Table 8) กลุ่มที่ 4. ความเร็วแทรกเตอร์ และความถี่ในการสั่นของขาไถ พบว่า ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 0 เฮิรตซ์จนถึง 11 เฮิรตซ์ ที่ความเร็วแทรกเตอร์ระดับเดียวกัน การสั่นสั่นต่อคนขับมีความแตกต่างกันในแต่ละระดับความถี่ แต่ที่ความเร็วแทรกเตอร์ low 2 ความถี่ในการสั่นของขาไถ 0 เฮิรตซ์ การสั่นต่อคนขับไม่มีความแตกต่างกับความถี่ในการสั่นของขาไถ 11 เฮิรตซ์ ความเร็วแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นจาก Low 1 เป็น Low 2 ที่ความถี่ในการสั่นระดับเดียวกัน การสั่นต่อคนขับมีความแตกต่างกันโดยความถี่ในการสั่นของขาไถ 0 เฮิรตซ์ ความเร็วแทรกเตอร์ Low 2 มีการสั่นต่อคนขับน้อยที่สุด 1.923 เมตร/วินาที² (Table 9)

Table 6 The relationship of a vibratory system and tillage depth influential a tractor seat vibration

System of vibratory (Y)	Tillage depth (D)		Y-MEAN	DIFF
	D1 = 30 cm	D2 = 40 cm		
Y1 = General	2.530	2.606	2.568	-0.076**
Y2 = Hydraulic	1.698	1.738	1.718	-0.040**
D-MEAN	2.114	2.172	2.143	-0.058
DIFF	0.832**	0.869**	0.851	

Note:**= significant at 5% level

Comparison	S.E.D.	LSD (5%)	LSD (1%)
2-D*Y means	0.010	0.020	0.027

Table 7 The relationship between frequency and vibratory system influential on tractor seat vibration

Frequency (F)	System of vibratory (Y)		F-MEAN	DIFF
	Y1 = General	Y2 = Hydraulic		
F1 = 0 Hz	2.473 d	1.660 c	2.066	0.813**
F2 = 7 Hz	2.702 a	1.798 a	2.250	0.905**
F3 = 9 Hz	2.585 b	1.733 b	2.159	0.852**
F4 = 11 Hz	2.513 c	1.680 c	2.096	0.833**
Y-MEAN	2.568	1.718	2.143	0.851

Note:**= significant at 5% level

Means in a column followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by LSD

Comparison	S.E.D.	LSD (5%)	LSD (1%)
2-F*Y means	0.014	0.029	0.038

Table 8 The relationship between a system of vibratory and forward speed influential on tractor seat vibration

System of vibratory (Y)	Forward speed (S)		Y-MEAN	DIFF
	S1 = 1.39 km/h	S2 = 2.09 km/h		
Y1 = General	2.744	2.393	2.568	0.351**
Y2 = Hydraulic	1.841	1.594	1.718	0.248**
S-MEAN	2.293	1.993	2.143	0.300
DIFF	0.903**	0.799**	0.851	

Note:**= significant at 5% level

Comparison	S.E.D.	LSD (5%)	LSD (1%)
2-S*Y means	0.010	0.020	0.027

Table 9 The relationship between frequency and forward speed influent on tractor seat vibration

Frequency (F)	Forward speed (S)		F-MEAN	DIFF
	S1 = 1.39 km/h	S2 = 2.09 km/h		
F1 = 0 Hz	2.210 d	1.923 c	2.066	0.287**
F2 = 7 Hz	2.393 a	2.108 a	2.250	0.285**
F3 = 9 Hz	2.303 b	2.015 b	2.159	0.288**
F4 = 11 Hz	2.265 c	1.928 c	2.096	0.338**
S-MEAN	2.293	1.993	2.143	0.300

Note:**= significant at 5% level

Means in a column followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT.

Comparison	S.E.D.	LSD (5%)	LSD (1%)
2-S*F means	0.014	0.029	0.038

Table 10 The level of satisfaction and signification of results for testing

Test results	Level	Level of satisfaction	Level of signification (%)
Dry bulk density	< 1 (g/cm ³)	4	12.63
	1 – 1.2 (g/cm ³)	3	
	1.2 – 1.4 (g/cm ³)	2	
	> 1.4 (g/cm ³)	1	
Tractor seat vibration	< 1.62 (m/s ²)	4	28.62
	1.62 - 1.7 (m/s ²)	3	
	1.7 - 1.83 (m/s ²)	2	
	> 1.83 (m/s ²)	1	
Total power or Fuel consumption	<6 (kW) or < 1.56 (liter)	4	25.08
	6 – 10 (kW) or 1.56 – 3.0 (liter)	3	
	10 – 14 (kW) or 3.0 – 4.0 (liter)	2	
	> 14 (kW) or > 4.0 (liter)	1	
Soil disturbance	>1,300 (cm ²)	4	20.20
	1,300-1,200 (cm ²)	3	
	1,200-1,100 (cm ²)	2	
	<1,100 (cm ²)	1	
Theoretical field capacity	> 1.3 (rai/hr)	4	13.47
	1.3 – 0.85 (rai/hr)	3	
	0.85 – 0.75 (rai/hr)	2	
	< 0.75 (rai/hr)	1	

Note: 4 = very good, 3 = good, 2 = medium and 1 = not good

Table 11 Weighted arithmetic mean of experiments

Treatment	Seat Acceleration		Dry bulk density		Soil disturbance		Total power		Theoretical field capacity		Weighted Arithmetic Mean
	(m/s ²)	Level	(g/cm ³)	Level	(cm ²)	level	(kW)	level	(rai/h)	level	
1	1.745	2	1.52	1	1,400.31	4	4.1	4	0.868	3	2.914
2	1.892	1	1.31	2	1,298.76	3	7.71	3	0.868	3	2.301
3	1.83	2	1.29	2	1,268.45	3	9.18	3	0.870	3	2.588
4	1.782	2	1.15	3	1,136.46	2	12.55	2	0.869	3	2.261
5	1.811	2	1.49	1	1,482.32	4	5.08	4	0.869	3	2.914
6	1.924	1	1.28	2	1,303.06	3	10.44	2	0.867	3	2.051
7	1.882	1	1.24	2	1,220.84	3	13.02	2	0.870	3	2.051
8	1.869	1	1.13	2	1,187.76	2	15.59	1	0.868	3	1.598
9	1.513	4	1.41	1	1,577.66	4	7.25	3	1.306	4	3.370
10	1.699	3	1.23	2	1,464.67	4	10.9	2	1.307	4	2.960
11	1.6	4	1.2	3	1,378.85	4	12.44	2	1.307	4	3.372
12	1.52	4	1.1	3	1,265.8	3	15.99	1	1.308	4	2.919
13	1.566	4	1.43	1	1,620.54	4	8.29	3	1.310	4	3.370
14	1.683	3	1.18	3	1,560.76	4	14.54	1	1.308	4	2.835
15	1.621	3	1.14	3	1,498.73	4	17.1	1	1.306	4	2.835
16	1.551	4	1.01	3	1,445.61	4	19.77	1	1.308	4	3.121

Note: 4 = very good, 3 = good, 2 = medium and 1 = not good

2. ผลการหาปัจจัยที่เหมาะสม สำหรับไถระเบิดดินดาน

ผลการตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับระดับความสำคัญของผลการทดสอบ และระดับความพึงพอใจของผลการทดสอบทั้งหมด 5 ค่า ประกอบด้วย ความหนาแน่นมวลรวม สภาวะแห้งของดิน การสั่นสะเทือนต่อคนขับ กำลังรวม หรือ อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง พื้นที่การแตกตัวของดิน และอัตราการทำงานทางทฤษฎี (Table 10) เมื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับระดับความพึงพอใจ แล้วหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนักพบว่า ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนักในกรรมวิธีที่ 11 ให้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบถ่วงน้ำหนักมากที่สุด 3.372 แสดงให้เห็นว่า ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ความถี่ในการสั่น 9 เฮิร์ตซ์ และความลึกในการไถ 30 ซม. เป็นปัจจัยทดสอบที่เหมาะสม และมีสมรรถนะการทำงานสูงสุดสำหรับไถระเบิดดินดานในแปลง (Table 11)

สรุปผลการทดลอง

ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 1 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต สามารถลดการสั่นสะเทือนต่อคนขับได้โดยค่า 3D Weighted seat acceleration ลดลง 32.14% - 34.22% ทั้งแบบขาไถสันและไม่สันที่ความถี่ในการสั่นความลึกในการไถ และความเร็วในการเคลื่อนที่เดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 1 ขาแบบที่ใช้งานทั่วไปส่งผลให้อายุการใช้งานของชิ้นส่วนในชุดถ่ายทอดกำลัง และอุปกรณ์ในรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ภาระการสั่นที่น้อยลงส่งผลให้ผู้ขับขี่แทรกเตอร์รู้สึกสบายขึ้น

ความเร็วในการเคลื่อนที่ ความถี่ในการสั่น ความลึกในการไถ และไถดินดานชนิดสันที่ขา 1 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังทางกล กับแบบ

ที่ใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต ส่งผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนต่อคนขับเมื่อความเร็วเพิ่มมากขึ้น ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้น ทำให้การสั่นสะเทือนต่อคนขับลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ความลึกในการไถเพิ่มขึ้นทำให้การสั่นสะเทือนต่อคนขับเพิ่มขึ้น โดยความเร็วแทรกเตอร์ Low 1 ความถี่ในการสั่น 7 เฮิร์ตซ์ และความลึกในการไถ 40 ซม. ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนต่อคนขับมากที่สุด ทั้งไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 1 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังทางกล และแบบที่ใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต และพบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ Low 2 ความถี่ในการสั่น 9 เฮิร์ตซ์ และความลึกในการไถ 30 ซม. เป็นปัจจัยทดสอบที่เหมาะสม และมีสมรรถนะการทำงานสูงสุดสำหรับไถระเบิดดินดาน โดยมีแรงฉุดลาก 9.06 กิโลนิวตัน ใช้กำลัง 12.44 กิโลวัตต์ มีพื้นที่การแตกตัวของดิน 1,378.85 ตร.ซม. มีค่าความหนาแน่นมวลรวม สภาวะแห้งของดิน 1.2 ก./ลบ.ซม.เกิดการสั่นสะเทือนต่อคนขับ เพียง 1.6 เมตร/วินาที² มีประสิทธิภาพในการทำงาน 1.307 ไร่/ชม.

เอกสารอ้างอิง

- ัญญา นิยมภา และชัยรัตน์ รางแดง. 2539. *ไถดินดานชนิดสัน*. รายงานการวิจัยและพัฒนาระบบสมรรถนะ, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- ัญญา นิยมภา พินิจ จิรัศกุล ณรงค์ อุ่นคง วิชัย หมอยาดี ชัยรัตน์ รางแดง ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล และนฤมล บุญกระจ่าง. 2549. *เผยแพร่ไถดินดานชนิดสันที่ผลิตในประเทศไทยสู่เกษตรกร*. รายงานการวิจัยและพัฒนาระบบสมรรถนะ, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

Mehta, C.R., M.Shyam.,P.Singh. and R.N.Verma. (2000). Ride vibration on tractor implement system, Technical note. *Appl. Ergon.* 31:323-328.

Niyamapa, T and V.M. Salokhe. 1993. Laboratory investigations into soil failure under vibratory tillage tools. *Journal of Terramechanics*, 30(6): 395-403.

Rattana, Karoonboonyanan. 2009. *Development of a vibratory subsoiler*. Ph.D. Thesis, Asian Institute of Technology School of Environment, Resource and Development Thailand.