

ชื่อแผนงานวิจัย เครื่องจักรกลควบคุมอัตโนมัติสำหรับอ้อย

ชื่อโครงการ ออกแบบ และพัฒนาไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น

โครงการนี้ประกอบด้วย 1 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ออกแบบ และพัฒนาไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น  
Design and Development for a Vibrating Controller of Double Shank Vibrating Subsoiler

คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง

หน่วยงานต้นสังกัด

ตฤณสิทธิ์ ไกรสินบุรศักดิ์

สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

ผู้ร่วมงาน

หน่วยงานต้นสังกัด

दनัย ศาลทูลพิทักษ์, อนุชา เชาวโชนิต

สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

มงคล ตุ่นเฮ้า<sup>1</sup>, พุทธินันท์ จารุวัฒน์<sup>2</sup>, พีรพงษ์ เชาวพงษ์<sup>3</sup>,  
อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์<sup>3</sup>, จิระวิวัฒน์ มหิทธิธนาศักดิ์<sup>4</sup>

## บทคัดย่อ

ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่นในงานวิจัยนี้ ออกแบบและพัฒนาขึ้น โดยมีจุดประสงค์เพื่อช่วยให้การสั่นของไถดินดานคงที่ตลอดการไถ ส่งผลให้ไถดินดานมีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด และเปลี่ยนระบบถ่ายทอดกำลังทางกลเป็นระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต เพื่อลดการสั่นสะเทือนที่ส่งผลต่อคนขับ ชุดถ่ายทอดกำลัง และความคงทนของอุปกรณ์ในรถแทรกเตอร์ การควบคุมความถี่ในการสั่นใช้ตัวควบคุมแบบพีซี มีลักษณะการทำงานโดยการป้อนความถี่ที่ต้องการควบคุมผ่านตัวควบคุมแบบพีซี ตัวควบคุมแบบพีซีจะไปเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลให้น้ำมันไฮดรอลิกไปขับมอเตอร์ ไฮดรอลิกซึ่งต่ออยู่กับชุดสั่นสะเทือนของไถระเบิดดินดานทำให้เกิดการสั่นขึ้น โดยใช้สัญญาณป้อนกลับเป็นอุปกรณ์วัด และประมวลผลเป็นความถี่ที่ติดตั้งไว้ ทำการทดสอบในพื้นที่ดินร่วนเหนียวปนทราย ความชื้นดินเฉลี่ย 20.60 %db ความหนาแน่นดินสภาวะแห้งเฉลี่ย 1.66 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินเฉลี่ย 2.58 เมกกะปาสคาล ที่ความถี่ในการสั่น 4 ระดับ คือ 0 7 9 และ 11 เฮิร์ตซ์ ความเร็วในการเคลื่อนที่ 2.09 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร โดยมีความกว้างในการสั่นที่ปลายขาไถคงที่ 36.5 มิลลิเมตร พบว่า ความถี่ในการสั่น 9 เฮิร์ตซ์ เป็นความถี่ที่เหมาะสม และมีสมรรถนะการทำงานสูงสุดสำหรับไถระเบิดดินดาน นอกจากนี้สามารถลดการสั่นสะเทือนต่อคนขับลงได้ 31.74% - 33.95% ที่ความถี่ในการสั่น ความลึกในการไถ และความเร็วในการเคลื่อนที่เดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังทางกล ส่วนผลการควบคุมพบว่า การสั่นของขาไถเริ่มสั่นจาก 0 Hz จนถึง 9 เฮิร์ตซ์ ใช้ช่วงเวลา Response Time เท่ากับ 14 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Delay Time เท่ากับ 6 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Rise Time เท่ากับ 11 มิลลิวินาที และช่วงเวลา Setting Time เท่ากับ 13 มิลลิวินาที ไม่เกิดค่าพุ่งเกิน ความถี่ในการสั่น 9 - 9.05 เฮิร์ตซ์ ตลอดการไถ

**คำสำคัญ:** ดินดาน, ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา, ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น

-----  
<sup>1</sup>ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น ตำบลบ้านทุ่ม อำเภอมือเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

<sup>2</sup>ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี 27 หมู่ 1 ตำบลพลับพลา อำเภอมือเมือง จังหวัดจันทบุรี 22000

<sup>3</sup>กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

<sup>4</sup>กลุ่มควบคุมพันธุ์พืช สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

## ABSTRACT

The purpose of the design and development for a vibrating controller of Double Shank Vibrating Subsoiler was the stable oscillatory frequency for a tillage and changing the mechanical transmission to hydrostatic power transmission system for the reduction of vibration which caused rider's discomfort and premature failures of tractor's components. The oscillatory frequency was controlled by fuzzy controller. The operation was entered the frequency which was the Input Setpoint into the fuzzy controller. The fuzzy controller will open a proportional valve that the hydraulic oil moves to drive the motor hydraulic which connected the vibration system and using the transducer and sensor was feedback signal. The experiments were conducted in sandy clay loam soil of 20.60%(db) moisture content, 1.66 g/cm<sup>3</sup> dry bulk density and 2.58 MPa cone penetration resistance at forward speed (2.09 km/h), four oscillatory frequencies (0, 7, 9 and 11 Hz), tillage depth (30 cm) and a constant oscillatory amplitude of 36.5 mm. The optimum operating parameters were 9 Hz oscillatory frequency. The tractor seat vibration was reduced by 31.74% - 33.95% 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 results of controller showed that the fuzzy based control gives, the delay time, rise time, setting time and response time were found to be 6 msec, 11 msec, 13 msec and 14 msec, respectively which hadn't overshoot. The oscillatory frequency was 9 – 9.05 Hz.

**Keywords:** Hardpan, Double Shank Vibrating Subsoiler, A Vibrating Controller of Double Shank Vibrating Subsoiler

## คำนำ

การปลูกพืชไร่ที่สำคัญหลายชนิด เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง หรืออ้อย ซึ่งนิยมปลูกบนพื้นที่ขนาดใหญ่มีการใช้แทรกเตอร์ เครื่องจักรกล และรถบรรทุกที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ทำงานบนพื้นที่ในแต่ละรอบการผลิตเป็นจำนวนหลายครั้ง จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดชั้นดินดานใต้ผิวดิน

ปัญหาจากการเกิดชั้นดินดานจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต เกษตรกรจะแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องทำลายดินดาน หรือ ไถระเบิดดินดาน (Subsoiler) พ่วงติดกับแทรกเตอร์ แล้วไถที่ระดับความลึกประมาณ 40-50 เซนติเมตร 3-5 ปีต่อครั้ง การไถระเบิดดินดานต้องใช้แรงฉุดลากสูงด้วยรถแทรกเตอร์ต้นกำลังขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาไถระเบิดดินดานแบบสั่นเพื่อลดแรงฉุดลาก โดยมีแบบสั่นที่ขาไถ (Vibrating Subsoiler) และแบบสั่นทั้งโครง (Shakareator) ทั้ง 2 แบบใช้ต้นกำลังจากเพลาอำนวยการกำลังของรถแทรกเตอร์ เมื่อทำการไถ ความถี่ในการสั่นของไถดินดานมีค่าไม่คงที่ เนื่องจากสภาพของดินมีความแข็งไม่เท่ากัน ส่งผลให้การทำงานของไถดินดานมีค่าไม่เต็มสมรรถนะ นอกจากนี้หากต้องการเปลี่ยนความกว้างและความถี่ในการสั่น จะต้องเปลี่ยนชุดเฟือง และเปลี่ยนตุ้มน้ำหนักไม่สมดุล ซึ่งใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูง

Rattana (2009) รายงานว่า การสั่นขณะไถระเบิดดินดานชนิดสั่นที่ขา 2 ขาทำงาน จะส่งผ่านจากขาไถชุดเฟืองดอกจอก โครงสำหรับยึดต่อกับรถแทรกเตอร์แบบจุดพ่วง 3 จุดอิสระ เพลาอำนวยการกำลัง สู่อุปกรณ์รถแทรกเตอร์ และที่นั่งคนขับ รัญญา และคณะ (2549) พบว่า ไถระเบิดดินดานชนิดสั่นที่ขา มีการสั่นตามระนาบขึ้น-ลง เกิดการเสียหายในลักษณะการเฉือนขาด (Shear Failure) ของรอยเชื่อมเพลากับเฟืองดอกจอก (Bevel Gear) ตัวใหญ่ หรือเฟืองบายศรี นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของชิ้นส่วนในชุดถ่ายทอดกำลัง เช่น ลูกปืนของชุดเพลาอำนวยการกำลัง และอุปกรณ์ในรถแทรกเตอร์ Mehta et al. (2000) รายงานว่าภาระของการสั่นยังทำให้ผู้ขับขี่แทรกเตอร์รู้สึกไม่สบายเพิ่มมากขึ้นจากภาวะปกติ

งานวิจัยนี้แก้ปัญหาที่เกิดจากการสั่นโดยใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิตอัตราทดแปรผันต่อเนื่อง ซึ่งใช้น้ำมันไฮดรอลิกเป็นตัวถ่ายทอดกำลัง โดยใช้ต้นกำลังจากเพลาอำนวยการกำลัง (PTO) ขับปั๊มไฮดรอลิก เพื่อสร้างความดันให้น้ำมันไฮดรอลิก น้ำมันแรงดันสูงจะถูกส่งผ่านระบบท่อไปขับมอเตอร์ไฮดรอลิกซึ่งต่อเข้ากับชุดสั่นสะเทือนของไถระเบิดดินดานทำให้เกิดการสั่น การส่งกำลังด้วยวิธีนี้ส่งผลดีคือ สามารถลดผลกระทบจากการสั่นสะเทือนของไถระเบิดดินดาน ที่มีต่ออุปกรณ์ต่างๆในรถแทรกเตอร์ ชุดถ่ายทอดกำลัง และผู้ขับขี่ นอกจากนี้ได้ออกแบบ และสร้างชุดควบคุมความถี่ในการสั่น เพื่อช่วยให้การสั่นของไถดินดานคงที่ตลอดการไถ ส่งผลให้ไถดิน

งานมีสมรรถนะการทำงานสูงสุด และง่ายต่อการปรับเปลี่ยนความถี่ในการสั่น การควบคุมจะควบคุมที่วาล์วปรับ อัตราการไหล ระบบนี้เรียกว่า Servo Electro-hydraulic System หรือ SEHS (Kwanchai, 2011)

ระบบ SEHS เป็นระบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) การหาสมการที่แม่นยำเพื่อใช้ในระบบควบคุมค่อนข้าง ซับซ้อน (Kwanchai, 2011) ดังนั้นระบบควบคุมแบบ Fuzzy ซึ่งเป็นระบบควบคุมที่มีความคงทนต่อสภาวะการ เปลี่ยนแปลงของระบบทางพลศาสตร์ และไม่ต้องการข้อมูลที่แม่นยำจึงมีความสะดวก และเหมาะสมกับการ นำมาใช้ออกแบบตัวควบคุม

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ คือ 1) เพื่อสร้างไถระเบิดดินดานที่สามารถลดความเสียหายจากการสั่น ของการไถด้วยระบบถ่ายเทกำลังแบบอุทกสถิต 2) เพื่อศึกษาผลของความถี่ในการสั่นที่มีผลต่อสมรรถนะการ ทำงานของไถดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าที่แสดงสมรรถนะของไถดินดานประกอบด้วย แรงดูด ลาก (Draft force) กำลังรวม (Total power) พื้นที่การแตกตัวของดิน (Soil disturbance) การสั่นสะเทือนต่อ คนขับ (Tractor seat vibration) และความหนาแน่นมวลรวมสภาวะแห้งของดิน (Dry bulk density) 3) เพื่อ สร้างระบบควบคุมความถี่ในการสั่นให้คงที่ตลอดการไถ

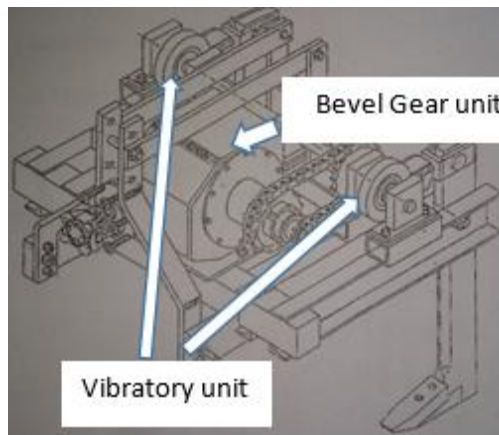
## วิธีดำเนินการ

### อุปกรณ์

#### 1. ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา

ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาที่ใช้ทดลองในงานวิจัยนี้ เป็นไถดินดานที่ออกแบบและสร้างโดยธัญญา และคณะ (2539) ดังแสดงในภาพที่ 1 ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ โครงยึดต่อกับรถแทรกเตอร์แบบจุดพ่วง 3 จุดอิสระ โครงเครื่องมือ ขาไถ และชุดกลไกการสั่น โดยโครงยึดต่อกับรถแทรกเตอร์เชื่อมต่อกับโครงเครื่องมือ ขาไถดินดานมี 2 ขา ขนาดพื้นที่หน้าตัด 150 x 38 มิลลิเมตร สูง 970 มิลลิเมตร ส่วนของเล็บตัดดิน (Share) มี ขนาดยาว 400 มิลลิเมตร กว้าง 70 มิลลิเมตร ยึดทำมุมกับแนวระดับ 30 องศา สามารถถอดเปลี่ยนได้เมื่อสึกหรอ ด้านหน้าของขาไถเป็นมุมแหลมรูปตัววีขนาด 40 องศา ขณะทำงานตัวขาไถสั่นไปมาในระนาบตั้งฉากในแนวตั้ง ตามทิศการเคลื่อนที่ของตัวรถ (ระนาบ X-Y) รอบแกนหมุนที่ติดอยู่บนโครงเครื่องมือ ระยะห่างระหว่างขาไถ 750 มิลลิเมตร

โครงเครื่องมือติดตั้งชุดเฟืองดอกจอก (Bevel Gear) อัตราทด 1:3.75 และชุดกลไกการสั่นแบบแผ่นเอียงศูนย์ (Eccentric disc) ที่ระยะเยื้อง 6 มิลลิเมตร ติดตั้งที่ส่วนบนของขาไถเพื่อให้ขาไถสั่นลักษณะไป-กลับ กลไกการสั่น ถูกขับเคลื่อนจากเพลลา PTO ของรถแทรกเตอร์ โดยมีความถี่ในการสั่นคงที่ 9.4 เฮิรตซ์ ความกว้างในการสั่นที่ปลายขาไถ คงที่ 36.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 รอบต่อนาที



ภาพที่ 1 ภาพวาด Isometric ของไถระเบิดดินดานชนิดสั่นที่ขา 2 ขา  
ที่มา : ัญญา และคณะ (2539)

## 2. อุปกรณ์ไฮดรอลิก

2.1 ปั๊มไฮดรอลิกขนาด 55 cc/rev อัตราการไหล 119 ลิตรต่อนาที ความเร็วรอบสูงสุด 2,500 รอบต่อนาที ที่ความดัน 210 บาร์

2.2 มอเตอร์ไฮดรอลิกขนาด 100 cc/rev แรงบิดสูงสุด 264 นิวตัน เมตร ความเร็วรอบสูงสุด 3,000 รอบต่อนาที ที่ความดัน 172 บาร์

2.3 วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า (Proportional Valve)

2.4 วาล์วลดความดัน (Relief Valve) แบบปรับด้วยมือ ช่วงในการปรับ 7-250 บาร์

2.5 อุปกรณ์ระบายความร้อนน้ำมันไฮดรอลิกด้วยอากาศขนาด 250 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

### 3. อุปกรณ์วัดและควบคุม

3.1 Lower link pins transducer

3.2 Top link transducer

3.3 อุปกรณ์วัดแรงบิด (Torque Transducer)

3.4 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบแบบให้สัญญาณออกเป็นอนาล็อก (Proximity sensor analog output)

3.5 บอร์ดควบคุมขนาดเล็ก (Microcontroller) ยี่ห้อ Arduino Mega 2560

3.6 อุปกรณ์วัดความเร่งในการสั่น (Accelerometer) รุ่น ADXL202

3.7 คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Notebook)

3.8 แบตเตอรี่ขนาด 50 แอมป์ 12 โวลต์ 2 ลูกต่ออนุกรม

### 4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และเก็บตัวอย่างดิน

4.1 กระบอกลูกเก็บตัวอย่างดิน (Core sampling)

4.2 กระจังอบดินตาข่าย (ความละเอียด 0.01 กรัม)

4.3 ชุดตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 10, 20, 30, 40 และ 50

4.4 ถาดใส่ดินตัวอย่างเครื่องเขย่าตะแกรงแบบใช้มอเตอร์

4.5 ค้อนยางสำหรับทุบดิน

4.6 เครื่องมือทดสอบหา Liquid Limit

4.7 ขวดชนิดน้ำ

4.8 แผ่นกระจกรองสำหรับปั้นดิน

4.9 ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

### 5. รถแทรกเตอร์

รถแทรกเตอร์ที่ใช้ทดสอบยี่ห้อ KUBOTA รุ่น M 5000 SU เกียร์ 6 Speed ขับเคลื่อน 4 ล้อ ให้แรงม้าสูงสุด 52.2 แรงม้า ที่รอบเครื่องยนต์ 2,500 รอบต่อนาที และมีความเร็วรอบเพลลาอำนาจกำลัง 540 รอบต่อนาที

## 6. อุปกรณ์วัดที่ใช้ทดสอบไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา

- 6.1 ตลับเมตร
- 6.2 นาฬิกาจับเวลา
- 6.3 หลักปักวัดระยะ
- 6.4 กล้องถ่ายรูป
- 6.5 ปูนขาว
- 6.6 อุปกรณ์วัดการแตกตัวของดิน (Profile Meter)
- 6.7 อุปกรณ์วัดความแข็งของดิน (Cone Penetrometer)

## 7. เครื่องมือ และวัสดุที่ใช้ในการสร้างไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา

- 7.1 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า
- 7.2 เครื่องเชื่อมแก๊ส
- 7.3 เครื่องกลึง
- 7.4 เครื่องเจาะ
- 7.5 เครื่องตัด
- 7.6 เครื่องตัด
- 7.7 เหล็กสำหรับทำโครงสร้าง
- 7.8 เหล็กเพลลา
- 7.9 โข่งส่งกำลังเบอร์ 50 พร้อมเฟือง 2 ชุด
- 7.10 ตลับลูกปืน 6 ตัว พร้อมบุททองเหลือง

### วิธีการ

#### 1. การติดตั้งระบบถ่ายทอดกำลังแบบอุทกสถิตกับไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา

ไถระเบิดดินดานในงานวิจัยนี้ ปรับปรุงจากไถระเบิดดินดานของ ธัญญา และคณะ (2539) โดยเปลี่ยนชุดเฟืองดอกจอก ซึ่งเป็นชุดถ่ายทอดกำลังที่ต่อกับชุดกลไกการสั่นของขาไถออก แล้วติดตั้งระบบไฮดรอลิก ดังนี้



1.1 ปั๊มไฮดรอลิกขนาด 55 cc/rev โดยต่อกับเพลานำกำลังเพื่อใช้เป็นต้นกำลัง

1.2 วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า เพื่อควบคุมความเร็วรอบของ มอเตอร์ไฮดรอลิก

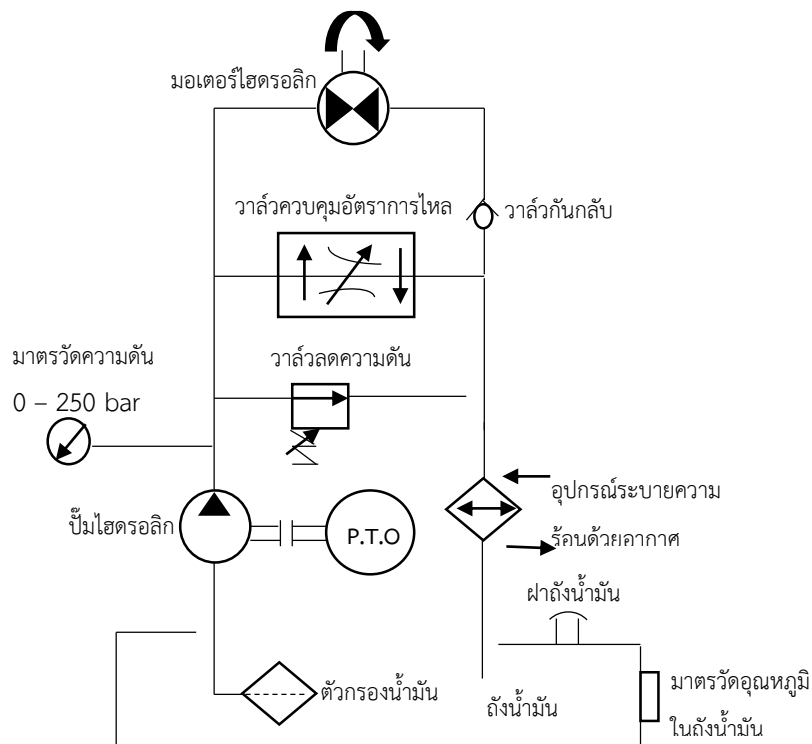
1.3 มอเตอร์ไฮดรอลิกขนาด 100 cc/rev ต่อกับชุดกลไกการสั่นของขาไถ เพื่อสร้างความถี่ในการสั่น

1.4 ถังน้ำมันไฮดรอลิกขนาด 25 ลิตร ติดตั้งบนโครงหลังที่นั่งคนขับ สำหรับส่งน้ำมันไฮดรอลิกไปใช้ในระบบ

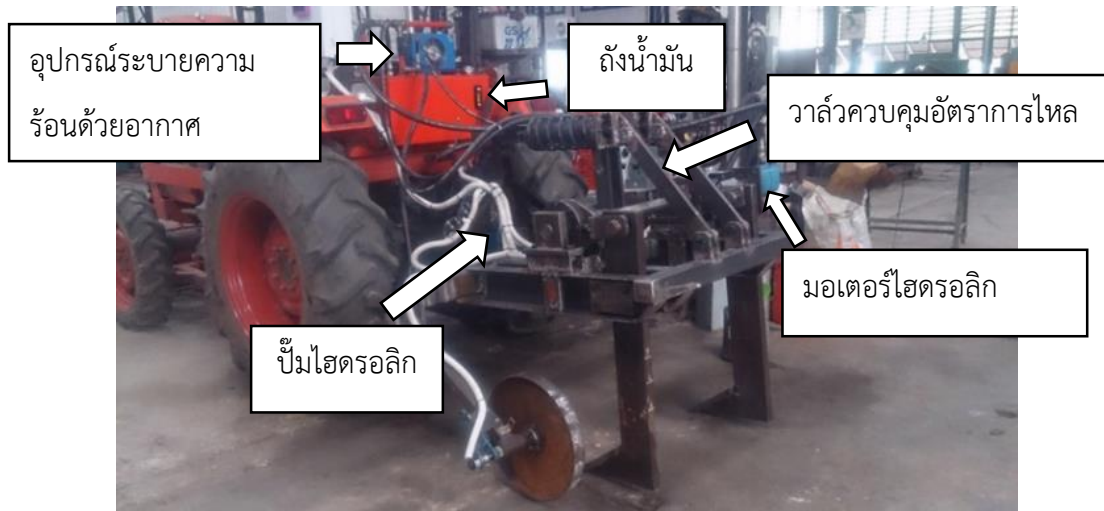
1.5 วาล์วลดความดัน ติดตั้งก่อนเข้าวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า เพื่อป้องกันความเสียหายของ อุปกรณ์จากความดันเกินในระบบ

1.6 อุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 250 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยต่อจากมอเตอร์ไฮดรอลิก เพื่อระบายความร้อนของน้ำมันหลังการใช้งาน

แสดงวงจรไฮดรอลิกในการติดตั้งดังภาพที่ 2 และผลการติดตั้งดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 วงจรการติดตั้งระบบถ่ายเทกำลังแบบอุทกสถิตกับไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา



ภาพที่ 3 การติดตั้งระบบถ่ายทอดกำลังแบบอุทกสถิตกับไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา

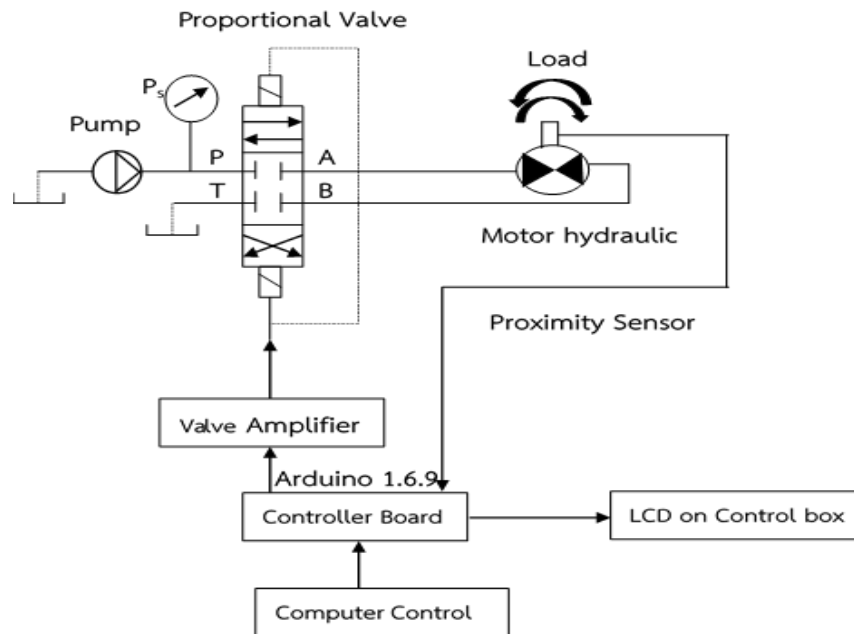
หลักการการทำงานเริ่มจาก เพลาอำนาจกำลังหมุนที่ความเร็วรอบ 540 รอบต่อนาที ส่งกำลังผ่านชุดเฟือง อัตราทด 1:4 ขับปั๊มไฮดรอลิกที่ความเร็วรอบ 2,160 รอบต่อนาที มีอัตราการไหลประมาณ 98 ลิตรต่อนาที มีวาล์วควบคุมความดันที่ 250 บาร์ น้ำมันไฮดรอลิกถูกส่งผ่านระบบท่อไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า ซึ่งจะ เปิด หรือปิดวาล์วด้วยตัวควบคุมแบบ ฟัซซี (Fuzzy Controller) และต่อไปยังมอเตอร์ไฮดรอลิก ซึ่งต่อกับชุดกลไกการสั่นของขาไถ น้ำมันที่ผ่านมอเตอร์ไฮดรอลิกจะเกิดความร้อนซึ่งแปรผันกับขนาดของภาระงานจะถูกส่งไปยังตัวระบายความร้อนแบบพัดลมระบายอากาศเพื่อระบายความร้อน และส่งกลับเข้าถังน้ำมันไฮดรอลิกหมุนเวียนตลอดการใช้งาน

## 2. การติดตั้งอุปกรณ์วัด และควบคุม

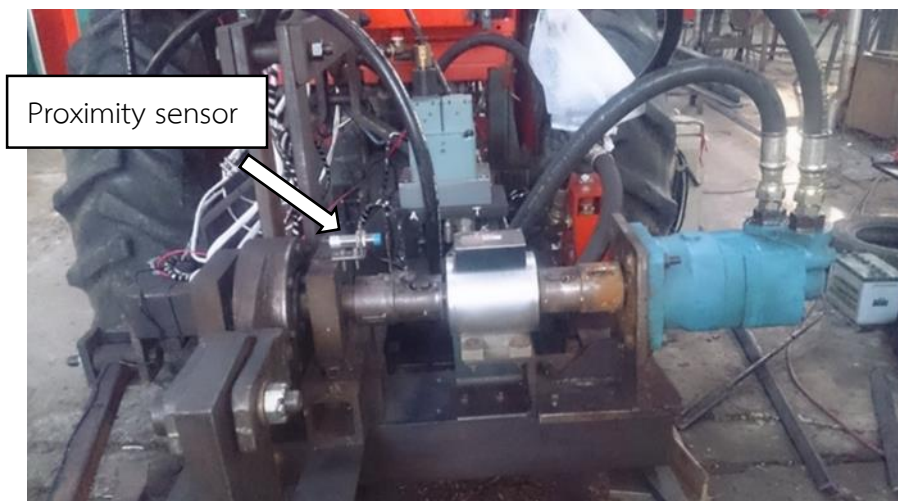
การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความถี่ในการสั่นของขาไถ แสดงวงจรการติดตั้ง และอธิบายการทำงานในภาพที่ 4 มอเตอร์ไฮดรอลิกจะขับภาระซึ่งประกอบไปด้วยชุดสันสะเทือน และขาไถ โดยรับน้ำมันไฮดรอลิกเพื่อใช้ในการถ่ายทอดกำลังจากวาล์วควบคุมอัตราการไหล การสั่นของขาไถจะถูกวัดที่เพลาขับลูกเบี้ยวโดย Proximity Sensor ในหน่วย รอบต่อนาที แสดงในภาพที่ 5 ผ่านโปรแกรมประมวลผลซึ่งเขียนด้วยโปรแกรม Arduino 1.6.9 ในหน่วย เฮิร์ตซ์ ไปแสดงผลที่หน้าจอ LCD ที่ตู้ควบคุม และเป็นสัญญาณป้อนกลับ แสดงในภาพที่ 6

การควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก เพื่อไปควบคุมความเร็วในการหมุนขั้วภาระของมอเตอร์ไฮดรอลิก กระทำโดยโปรแกรมควบคุมความถี่ด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี ซึ่งเขียนด้วยโปรแกรม Matlab ใน

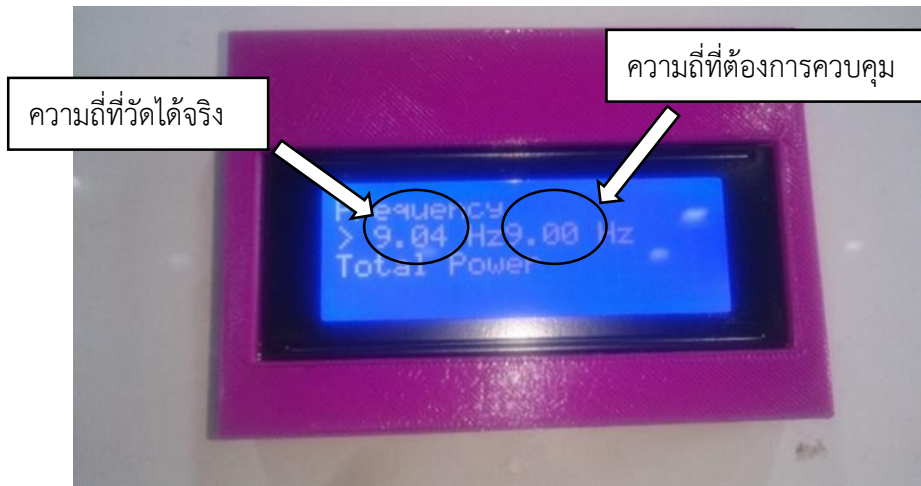
คอมพิวเตอร์ผ่านบอร์ดควบคุม ซึ่งจะคำนวณสัญญาณควบคุมตามสัญญาณสั่งงานและสัญญาณป้อนกลับ สัญญาณสั่งงานจากบอร์ดควบคุมจะถูกขยายด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Valve Amplifier) ก่อนส่งไปยังวาล์วควบคุมอัตราไหล



ภาพที่ 4 แผนภาพการติดตั้งชุดควบคุมความถี่ในการสั่งของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา



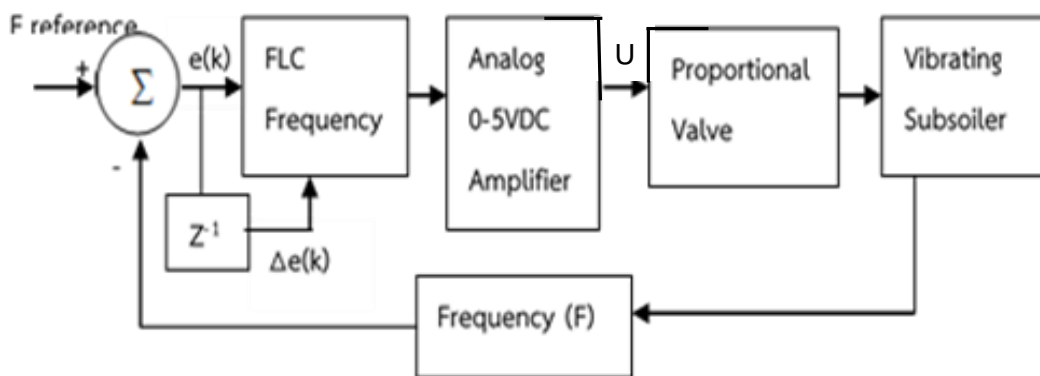
ภาพที่ 5 แสดงการติดตั้ง Proximity Sensor เพื่อวัดการสั่นของขาไถ



ภาพที่ 6 การแสดงผลการวัดความถี่ในการสั่นของขาไถที่หน้าจอ LCD บนตู้ควบคุม

### 3. การออกแบบตัวควบคุมระบบ Servo Electro-hydraulic System หรือ SEHS โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟuzzy (Fuzzy Controller)

การทำงานของระบบมีการทำงานโดยรวมดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 Block Diagram ของตัวควบคุมแบบฟuzzyในการควบคุม Proportional Valve

การทำงานของระบบเริ่มจากการกำหนดค่าอินพุตอ้างอิงเป็น เฮิร์ตซ์ ระบบจะสั่งงานตามค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นค่าแรกในขณะที่ยังไม่มีค่าป้อนกลับ เมื่อทำการไถ และขาไถเริ่มสั่น Proximity Sensor จะเป็นตัวส่งค่าป้อนกลับผ่านโปรแกรมประมวลผลในหน่วย เฮิร์ตซ์ มาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (F reference) มีค่าตั้งแต่ 0 – 13 เฮิร์ตซ์ เพื่อคำนวณหาค่าผิดพลาด ( $e(k)$ ) และอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาด ( $\Delta e(k)$ ) เป็น 2 อินพุตไปเข้า

กฎฟิสิกส์ เพื่อเป็นเอาต์พุตควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้กับวาล์วควบคุมอัตราการไหล ถ้าค่าป้อนกลับมากกว่าค่าอ้างอิง ทำให้ค่าผิดพลาดมีค่าเป็นลบ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะลดลง ถ้าค่าป้อนกลับน้อยกว่าค่าอ้างอิงจะทำให้ค่าผิดพลาดมีค่าเป็นบวก ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้น โดยที่

|               |   |   |
|---------------|---|---|
| F reference   | = | ค่าอินพุตอ้างอิง                              |
| e(k)          | = | ค่าผิดพลาดของความถี่ในการสั่น                 |
|               | = | F reference – F                               |
| $\Delta e(k)$ | = | อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาดความถี่ในการสั่น |
| U             | = | เอาต์พุตในการเปิด ปิด Proportional Valve      |

#### 4. สมรรถนะการทำงานของต้นแบบไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาที่ติดตั้งชุดควบคุมความถี่ในการสั่น

##### 4.1 ทดสอบความถี่ในการสั่นที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา

นำไถดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่นมาทดสอบ โดยแผนการทดสอบที่ใช้ และการเก็บข้อมูลมีรายละเอียดดังนี้

การทดสอบไถดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น ทำการทดสอบที่เงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

ก) ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น

ใช้ความถี่ในการสั่น 4 ระดับ คือ 0 เฮิรตซ์ (ไม่มีการสั่น) 7 เฮิรตซ์ 9 เฮิรตซ์ และ 11 เฮิรตซ์

ข) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ เกียร์ Low 2 (ประมาณ 2.09 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

ค) ความลึกในการไถเฉลี่ย 30 เซนติเมตร

ง) ความกว้างในการสั่นที่ปลายขาไถ (Amplitude) คงที่ 36.5 มิลลิเมตร

การทดสอบทั้งหมดมี 4 กรรมวิธี แต่ละกรรมวิธีทำการทดสอบ 3 ครั้ง ทั้งหมด 12 กรรมวิธี โดยทำการสุ่ม (Randomization) พื้นที่ทำการทดสอบในแต่ละแปลงทดสอบ (plot) ขนาด 3 x 20 เมตรต่อกรรมวิธี โดยรายละเอียดของการทดสอบในแต่ละกรรมวิธีแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของการทดสอบในแต่ละกรรมวิธี (treatment, (t))

| กรรมวิธี (t) | รายละเอียดในแต่ละกรรมวิธี  |
|--------------|--|
| 1            | ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ low 2<br>ความถี่ในการสั่นของขาไถดินดาน 0 เฮิร์ตซ์<br>ความลึกในการไถเฉลี่ย 30 เซนติเมตร |
| 2            | ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ low2<br>ความถี่ในการสั่นของขาไถดินดาน 7 เฮิร์ตซ์<br>ความลึกในการไถเฉลี่ย 30 เซนติเมตร  |
| 3            | ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ low2<br>ความถี่ในการสั่นของขาไถดินดาน 9 เฮิร์ตซ์<br>ความลึกในการไถเฉลี่ย 30 เซนติเมตร  |
| 4            | ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ low2<br>ความถี่ในการสั่นของขาไถดินดาน 11 เฮิร์ตซ์<br>ความลึกในการไถเฉลี่ย 30 เซนติเมตร |

#### 4.2 เวลาและสถานที่

สถานที่ในการทำวิจัยเป็นพื้นที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครราชสีมา กรมวิชาการเกษตร อ. สีคิ้ว จ.นครราชสีมา แปลงทดสอบเป็นแปลงปลูกมะม่วง และเตรียมที่จะรื้อเพื่อปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 และไม่เคยไถดินดานมาก่อน เวลาในการทำวิจัย เริ่มดำเนินงานตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2558 ถึงเดือน กันยายน พ.ศ. 2560

#### 4.3 สมบัติของดินในแปลงทดสอบ

พื้นที่ทำการทดสอบแสดงในภาพที่ 8 ชนิดของดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ดังแสดงในตารางที่ 2 สมบัติของดินในแปลงทดสอบที่ระดับความลึก 0-60 เซนติเมตร มีค่าความชื้นของดินเฉลี่ย 20.60 % db ความหนาแน่นมวลรวมสถานะแห้งของดินเฉลี่ย 1.66 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 9



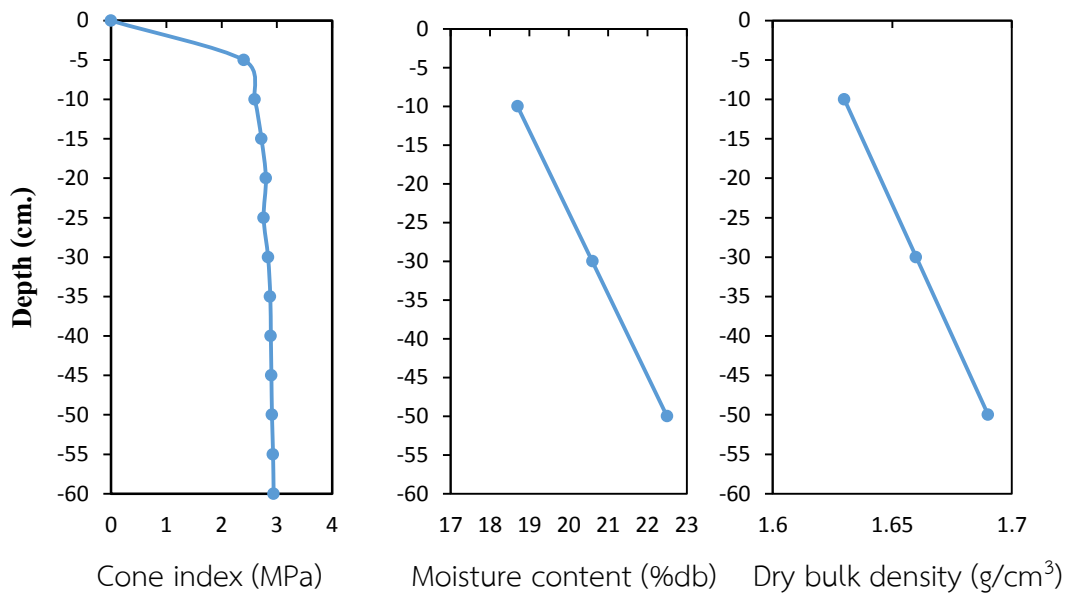
ภาพที่ 8 แปลงทดสอบของศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครราชสีมา กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 2 สมบัติของดินในแปลงทดสอบที่ระดับความลึก 0-60 เซนติเมตร

| Items                                     | Soil properties         |                  |
|---|-------------------------|------------------|
|   | Proportion retained (%) | Size (mm)        |
| 1. Texture and particle size distribution | Clay = 27%              | (2-0.62 mm)      |
|   | Silt = 19%              | (0.62-0.085 mm)  |
|   | Sand = 54%              | (0.085-0.005 mm) |
| 2. Moisture content (% db)                | 20.60                   |                  |
| 3. Dry bulk density (g/cm <sup>3</sup> )  | 1.66                    |                  |
| 4. Cone index (MPa)                       | 2.58                    |                  |
| 5. Strength parameters                    |                         |                  |
| Cohesion, C (kPa)                         | 11.74                   |                  |
| Internal friction, $\phi$ (deg)           | 27.60                   |                  |

ตารางที่ 2 (ต่อ)

| Items                              | Soil properties         |           |
|------------------------------------|-------------------------|-----------|
|                                    | Proportion retained (%) | Size (mm) |
| 6. Adhesion parameters             |                         |           |
| Soil adhesion, Ca (kPa)            | 4.02                    |           |
| Soil tool friction, $\delta$ (deg) | 8.36                    |           |
| 7. Consistency Limit               |                         |           |
| Liquid limit (% db)                | 37.45                   |           |
| Plastic limit (% db)               | 20.77                   |           |
| Plastic index (% db)               | 16.94                   |           |



ภาพที่ 9 สมบัติของดินในแปลงทดสอบที่ระดับความลึก 0-60 เซนติเมตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองและวิจารณ์แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ 1. ผลการทดสอบความถี่ในการสั่นที่มีผลต่อสมรรถนะของไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา 2. ประสิทธิภาพการทำงานของต้นแบบไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น 3. ผลการควบคุมความถี่ในการสั่น ของไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขาแบบ



มีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น และการเลือกความถี่ในการสั่นที่เหมาะสม 4. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของ  
ไถระเบิดดินดานชนิดสั่นที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น

## 1. ผลการทดสอบความถี่ในการสั่นที่มีผลต่อสมรรถนะของไถระเบิดดินดานชนิดสั่นที่ขา 2 ขา

ผลการทดสอบความถี่ในการสั่นที่มีผลต่อสมรรถนะของไถระเบิดดินดานชนิดสั่นที่ขา 2 ขา ทั้งหมด 5 ค่า ประกอบด้วย แรงฉุดลากในแนวระดับ กำลังรวม พื้นที่การแตกตัวของดิน การสั่นสะเทือนต่อคนขับ และความหนาแน่นมวลรวมสภาวะแห้งของดินหลังการไถ

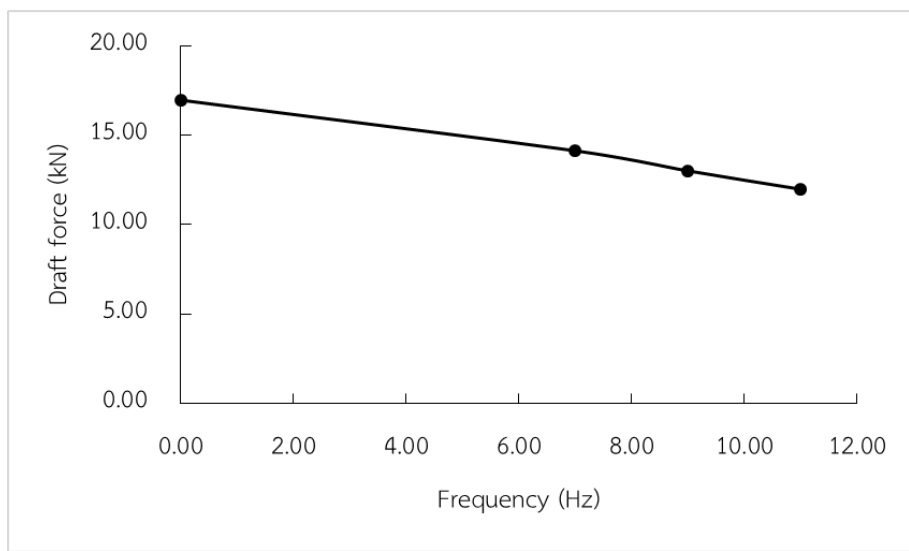
### 1.1 แรงฉุดลากในแนวระดับ (Draft force)

ผลการทดสอบแรงฉุดลากทั้งหมด 4 กรรมวิธี เฉลี่ย 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 3  
ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยแรงฉุดลากในแนวระดับในแต่ละกรรมวิธี

| กรรมวิธี | แรงฉุดลากในแนวระดับ<br>(kN) |
|----------|-----------------------------|
| 1        | 16.97                       |
| 2        | 14.13                       |
| 3        | 13.01                       |
| 4        | 11.98                       |

จากผลการทดสอบในตารางที่ 3 พบว่า

ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยแรงฉุดลากลดลง การสั่นที่ความถี่ 11 เฮิรตซ์ ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร และความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ใช้แรงฉุดลากในแนวระดับน้อยที่สุด 11.98 กิโลนิวตัน เมื่อเปรียบเทียบกับแบบไม่สั่น พบว่าสามารถลดแรงฉุดลากได้ 29.40% กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงฉุดลากกับความถี่ในการสั่นแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงฉุดลากกับความถี่ในการสั่น

### 1.2 กำลังรวม (Total power)

ผลการทดสอบกำลังฉุดลาก (Drawbar power) กำลังจากมอเตอร์ไฮดรอลิก (Motor Hydraulic Power) กำลังจากเพลาอำนาจกำลัง (PTO power) และกำลังรวม (Total power) ทั้งหมด 4 กรรมวิธี เฉลี่ย 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 4

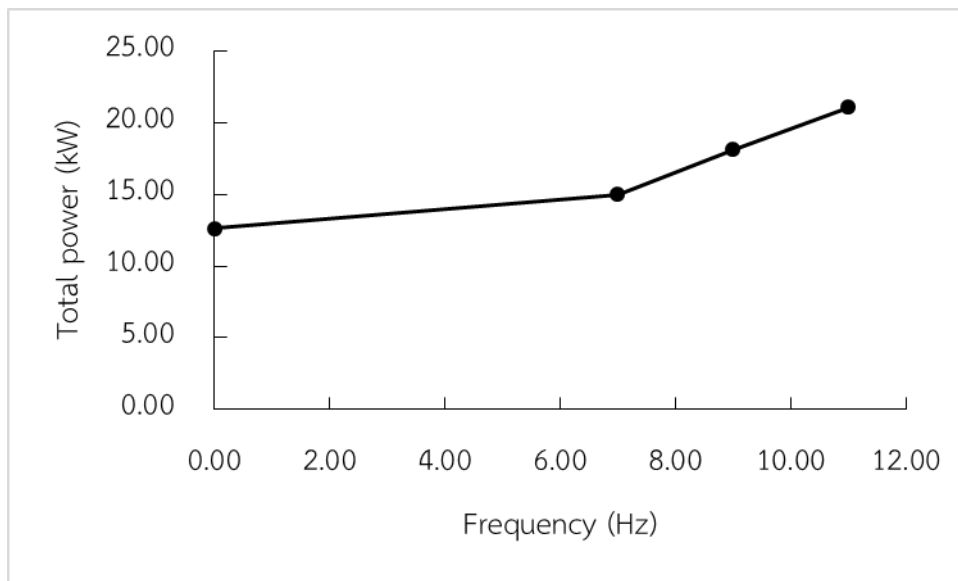
ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยกำลังฉุดลาก กำลังจากมอเตอร์ไฮดรอลิก กำลังจากเพลาอำนาจกำลัง และกำลังรวมในแต่ละกรรมวิธี

| กรรมวิธี | กำลังฉุดลาก<br>(kW) | กำลังจากเพลา<br>อำนาจกำลัง<br>(kW) | กำลังจาก<br>มอเตอร์ไฮดรอลิก<br>(kW) | กำลังรวม<br>(kW) |
|----------|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| 1        | 12.64               | 0                                  | 0                                   | 12.64            |
| 2        | 8.21                | 6.81                               | 4.84                                | 15.02            |
| 3        | 7.56                | 10.57                              | 7.29                                | 18.13            |
| 4        | 6.96                | 14.15                              | 10.05                               | 21.11            |

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4 พบว่า

ก) กำลังจากเพลลาอำนาจกำลัง เป็นกำลังจริงที่ใช้ในการขับปั๊มไฮดรอลิกซึ่งใช้รอบคงที่เฉลี่ย 540 รอบต่อนาที กำลังจริงจะสูญเสียไปในระบบไฮดรอลิกประมาณ 31% โดยสูญเสียจากอุปกรณ์ ไฮดรอลิก ได้แก่ ปั๊มไฮดรอลิก และมอเตอร์ไฮดรอลิก นอกจากนี้ยังสูญเสียจากระบบถ่ายทอดกำลังโดยใช้เฟืองทด ความดันตกในระบบท่อและความร้อนในระบบขณะทำงาน โดยกำลังจากเพลลาอำนาจกำลังจะถูกนำไปรวมกับกำลังฉุดลากเป็นกำลังรวม (Total power) ส่วนกำลังจากมอเตอร์ ไฮดรอลิกเป็นกำลังที่ใช้ในการขับเพลาลูกเบี้ยว ทำให้เกิดการสั่นของขาไถหาได้จากผลต่างของกำลังจากเพลลาอำนาจกำลังกับกำลังจริงที่สูญเสียไปในระบบไฮดรอลิก

ข) ค่าเฉลี่ยกำลังรวมเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 0 เฮิร์ตซ์ (ไม่มีการสั่น) จนถึง 11 เฮิร์ตซ์ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังรวมเพิ่มขึ้นจาก 12.64 กิโลวัตต์ เป็น 21.11 กิโลวัตต์ และยังพบว่าขณะสั่นด้วยความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ที่ความเร็ว Low 2 ใช้กำลังรวมมากที่สุด 21.11 กิโลวัตต์ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรวม กับความถี่ในการสั่นแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรวม กับความถี่ในการสั่น

### 1.3 พื้นที่การแตกตัวของดิน (Soil disturbance)

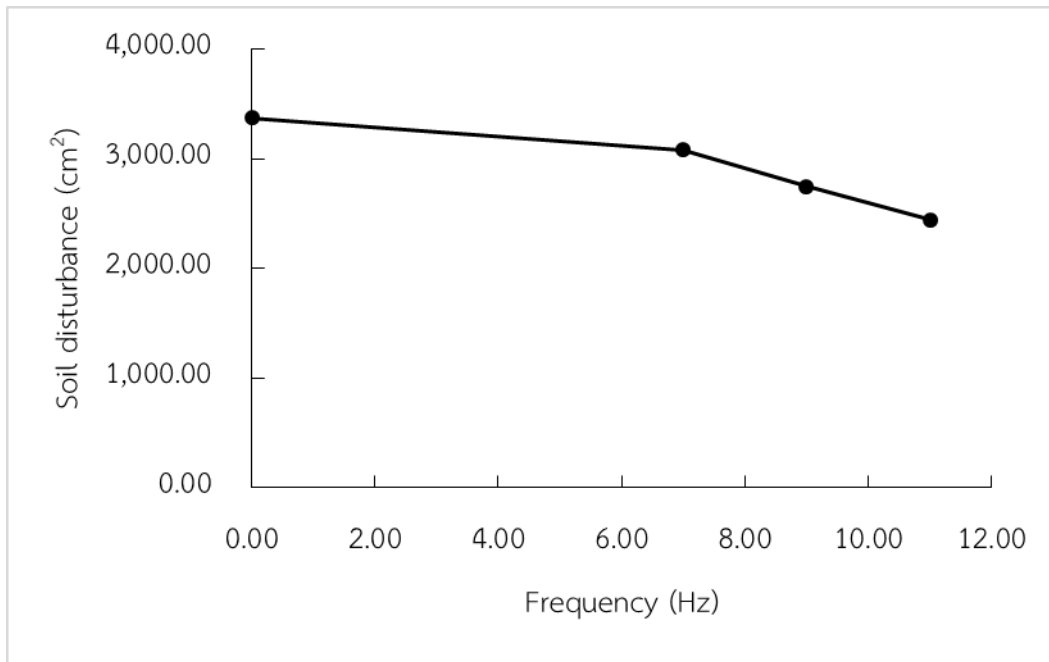
ผลการทดสอบความกว้างในการแตกตัวของดิน พื้นที่การแตกตัวของดิน แรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน และกำลังรวมต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน ทั้งหมด 4 กรรมวิธี เฉลี่ย 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยความกว้างในการแตกตัวของดิน พื้นที่การแตกตัวของดิน แรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน และกำลังรวมต่อพื้นที่การแตกตัวของดินในแต่ละกรรมวิธี

| กรรมวิธี | ความกว้าง      | พื้นที่การแตกตัว (cm <sup>2</sup> ) |                 |            | แรงฉุดลากต่อ                                | กำลังรวมต่อ                                 |
|----------|----------------|-------------------------------------|-----------------|------------|---|---|
|          | การแตกตัว (cm) | ส่วนที่ยกตัวขึ้น                    | ส่วนที่เป็นหลุม | พื้นที่รวม | พื้นที่การแตกตัวของดิน (N/cm <sup>2</sup> ) | พื้นที่การแตกตัวของดิน (W/cm <sup>2</sup> ) |
| 1        | 250.94         | 477.62                              | 2893.51         | 3371.13    | 5.03  | 3.75  |
| 2        | 217.24         | 377.52                              | 2699.32         | 3076.84    | 4.59  | 4.88  |
| 3        | 192.86         | 297.66                              | 2447.07         | 2744.73    | 4.74  | 6.61  |
| 4        | 141.86         | 200.72                              | 2240.93         | 2441.65    | 4.91  | 8.65  |

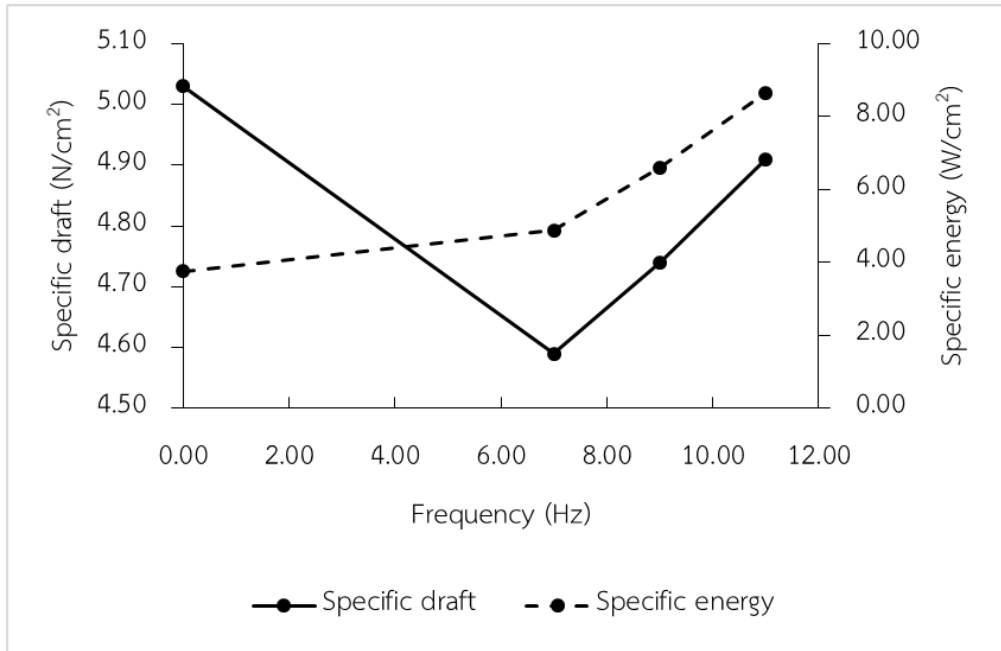
จากผลการทดสอบในตารางที่ 5 พบว่า

ก) พื้นที่การแตกตัวของดินมีค่าน้อยลง เมื่อความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความถี่ในการสั่นจาก 7 เฮิร์ตซ์ เป็น 11 เฮิร์ตซ์ ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแตกตัวของดินลดลง 20.64% การสั่นที่ความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 พื้นที่การแตกตัวของดินมีค่าน้อยที่สุด 2,441.65 ตารางเซนติเมตร ในขณะที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ขาไถไม่มีการสั่น ที่ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร พื้นที่การแตกตัวของดินมีค่ามากที่สุด 3,371.13 ตารางเซนติเมตร นอกจากนี้เมื่อใช้ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ขาไถไม่มีการสั่น ที่ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับแบบขาไถสั่นที่ความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ ความเร็ว และความลึกระดับเดียวกัน พบว่าพื้นที่การแตกตัวของดินเฉลี่ยลดลง 27.57% กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่การแตกตัวของดิน กับความถี่ในการสั่นแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่การแตกตัวของดิน กับความถี่ในการสั่น

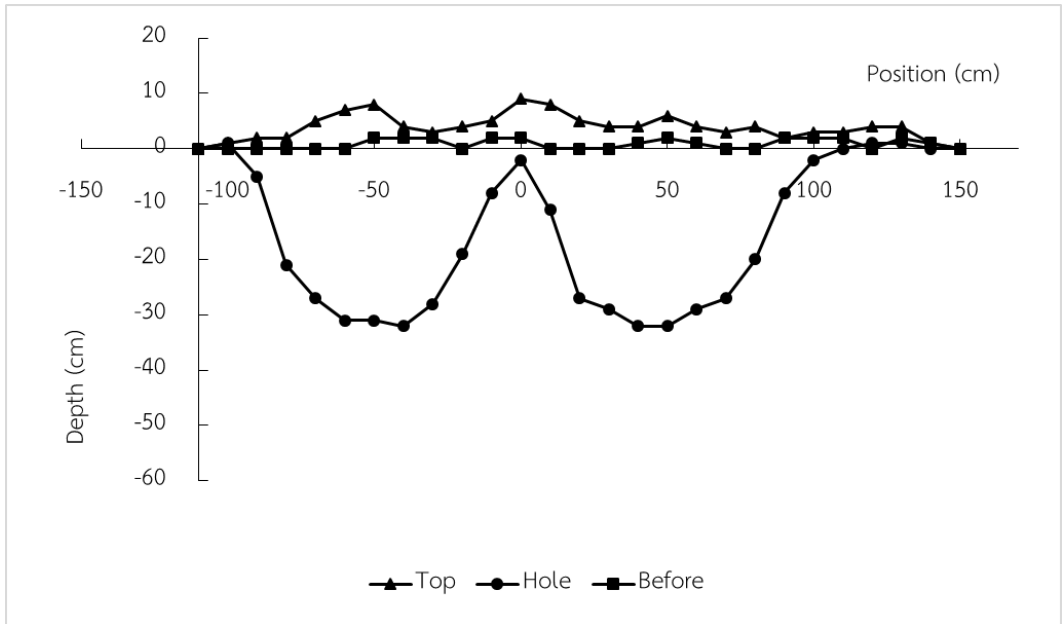
ข) ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 0 เฮิรตซ์ (ไม่มีการสั่น) เป็น 7 เฮิรตซ์ แรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดินลดลง 8.75% แต่เมื่อเพิ่มความถี่ในการสั่นจาก 7 เฮิรตซ์ เป็น 11 เฮิรตซ์ แรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดินเพิ่มขึ้น 6.97% ส่วนความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังรวมต่อพื้นที่แตกตัวของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 0 เฮิรตซ์ (ไม่มีการสั่น) เป็น 11 เฮิรตซ์ กำลังรวมต่อพื้นที่แตกตัวของดินเพิ่มขึ้น 130.67% กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน และกำลังรวมต่อพื้นที่แตกตัวของดิน กับความถี่ในการสั่นแสดงในภาพที่ 13



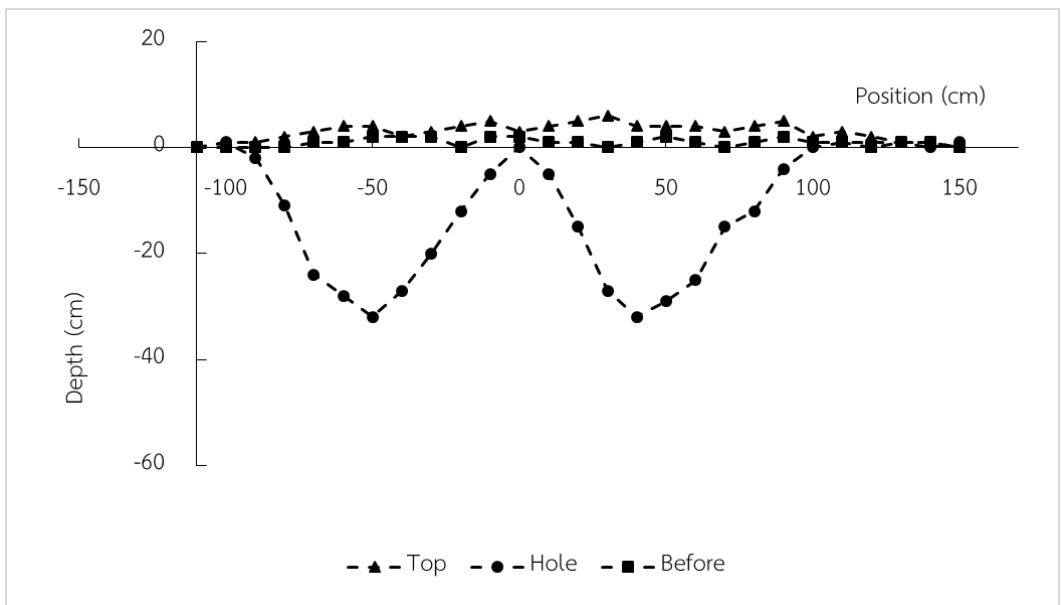
ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน และกำลังรวมต่อพื้นที่แตกตัวของดิน กับความถี่ในการสั่น

แรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดินควรมีค่าลดลงเมื่อความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้น แต่การทดลองนี้ พบว่าแรงฉุดลาก และพื้นที่การแตกตัวของดินมีค่าลดลงไม่มากพอเมื่อความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 7 เฮิร์ตซ์ เป็น 11 เฮิร์ตซ์ ส่งผลให้ค่าแรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดินมีค่าสูงกว่าความถี่ในการสั่น 7 เฮิร์ตซ์

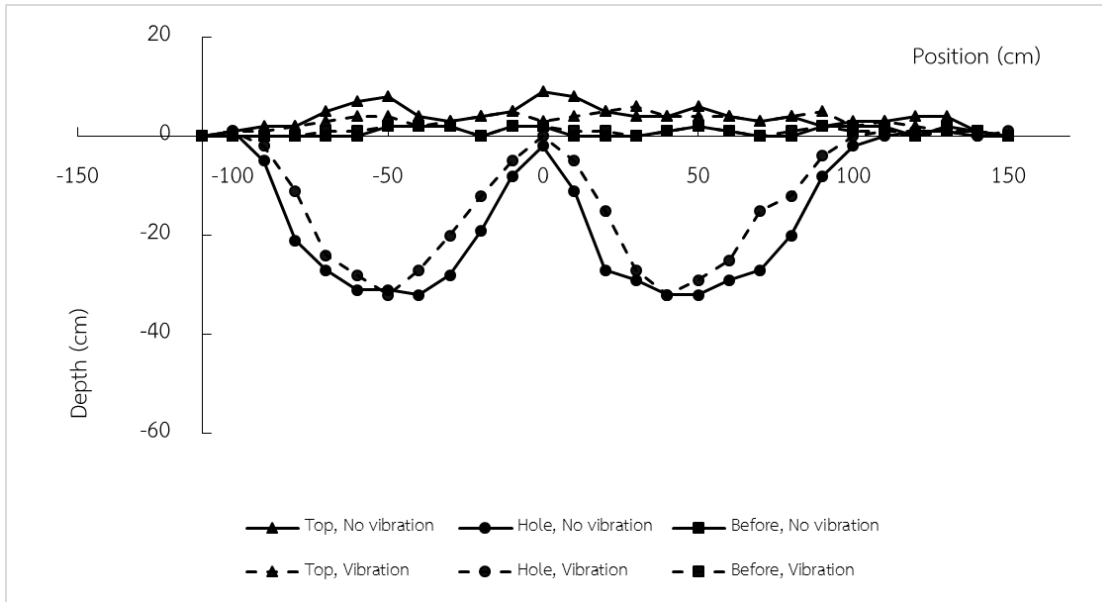
พื้นที่หน้าตัดการแตกตัวของดินขณะขาไถไม่สั่นที่ความเร็วแทรกเตอร์ Low 2 ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 14 และพื้นที่หน้าตัดการแตกตัวของดินขณะขาไถสั่นที่ความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ ความเร็วแทรกเตอร์ Low 2 ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 15 เปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดการแตกตัวของดินทั้งสองเงื่อนไขแสดงในภาพที่ 16 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่การแตกตัวของดินมีค่าลดลง เมื่อความถี่ในการสั่นสูงขึ้น



ภาพที่ 14 การแตกตัวของดินขณะขุดไม่สั่นที่ความเร็วแทรกเตอร์ Low 2 ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร



ภาพที่ 15 พื้นที่หน้าตัดการแตกตัวของดินรวมขณะขุดไม่สั่นที่ความเร็วในการสั่น 11 เฮิร์ตซ์ ความเร็วแทรกเตอร์ Low 2 ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร



ภาพที่ 16 เปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดการแตกตัวของดินรวมขณะขุดไส้ที่มีความถี่ในการสั่น 11 เฮิร์ตซ์กับขุดไส้ที่ไม่สั่น ที่ความเร็วแทรกเตอร์ Low2 ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร



ภาพที่ 17 แสดงการวัดพื้นที่การแตกตัวของดินในส่วนที่เป็นหลุมโดยใช้ Profile meter



#### 1.4 ความหนาแน่นมวลรวมสถานะแห้งของดินหลังการไถ (Dry bulk density)

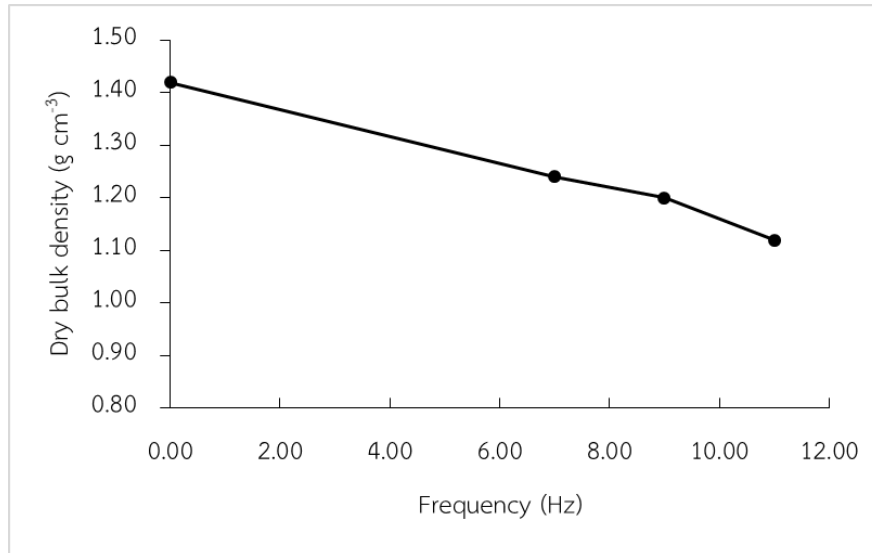
ผลการทดสอบหาความหนาแน่นมวลรวมสถานะแห้งของดินหลังการไถทั้งหมด 4 กรรมวิธี เฉลี่ย 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความหนาแน่นมวลรวมสถานะแห้งของดินหลังการไถในแต่ละกรรมวิธี

| กรรมวิธี | ความหนาแน่นมวลรวมสถานะแห้ง<br>ของดินหลังการไถ<br>(g cm <sup>-3</sup> ) |
|----------|--|
| 1        | 1.42   |
| 2        | 1.24   |
| 3        | 1.20   |
| 4        | 1.12   |

จากผลการทดสอบในตารางที่ 6 พบว่า

ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 0 เฮิร์ตซ์ (ไม่มีการสั่น) เป็น 11 เฮิร์ตซ์ ค่าเฉลี่ย Dry bulk density มีค่าลดลง โดยค่าเฉลี่ย Dry bulk density ที่ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร สำหรับการทำงานขณะขาไถสั่นที่ความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ ความเร็ว Low 2 มีค่า 1.12 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ลดลงจากค่าเฉลี่ย Dry bulk density เดิมก่อนการไถ 32.53% และลดลงมากกว่าขณะเครื่องมือไม่สั่นที่ความเร็ว และความถี่ระดับเดียวกัน 21.13% โดยที่ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 7 เฮิร์ตซ์ เป็น 11 เฮิร์ตซ์ ค่าเฉลี่ย Dry bulk density ลดลง 9.68% ซึ่งตรงกับผลการวิจัยของ Niyamapa and Salokhe (1993) ที่รายงานว่าเมื่อใช้ไถดินดานแบบสั่นที่ขา ดินมีโอกาสแตกตัวเป็นก้อนเล็กได้มากกว่าเมื่อขาไถไม่สั่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นมวลรวมสถานะแห้งของดินหลังการไถ กับความถี่ในการสั่นแสดงในภาพที่ 18



**ภาพที่ 18** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นมวลรวมสถานะแห้งของดินหลังการไถกับความถี่ในการสั่น

ขนาดเม็ดดินที่แตกตัวจากการสั่นของไถระเบิดดินดานจะส่งผลต่อค่า Dry bulk density โดยการสั่นของขาไถมีค่าสูงขึ้น เม็ดดินที่แตกตัวจะมีขนาดเล็กลง เมื่อนำไปหาค่า Dry bulk density พบว่า ภายในของเม็ดดินเกิดรูพรุนซึ่งส่งผลให้ค่า Dry bulk density มีค่าลดลง เวลานำดินไปปลูกพืช รากพืชสามารถหาอาหารได้ดีกว่าก่อนดินที่มีขนาดใหญ่ ค่า Dry bulk density สูง (Niyamapa and Salokhe, 1993) ภาพที่ 19 แสดงการแตกตัวของดินขณะขาไถสั่นที่ความถี่ 11 เฮิรตซ์ ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ Low 2 และภาพที่ 20 แสดงการแตกตัวของดินขณะขาไถไม่สั่น ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ Low 2



**ภาพที่ 19** การแตกตัวของดินขณะขาไถสั่นที่ความถี่ 11 เฮิรตซ์ ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ Low 2



ภาพที่ 20 การแตกตัวของดินขณะขุดไม่สั่น ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ Low 2

### 1.5 การสั่นสะเทือนต่อคนขับ (Tractor seat vibration)

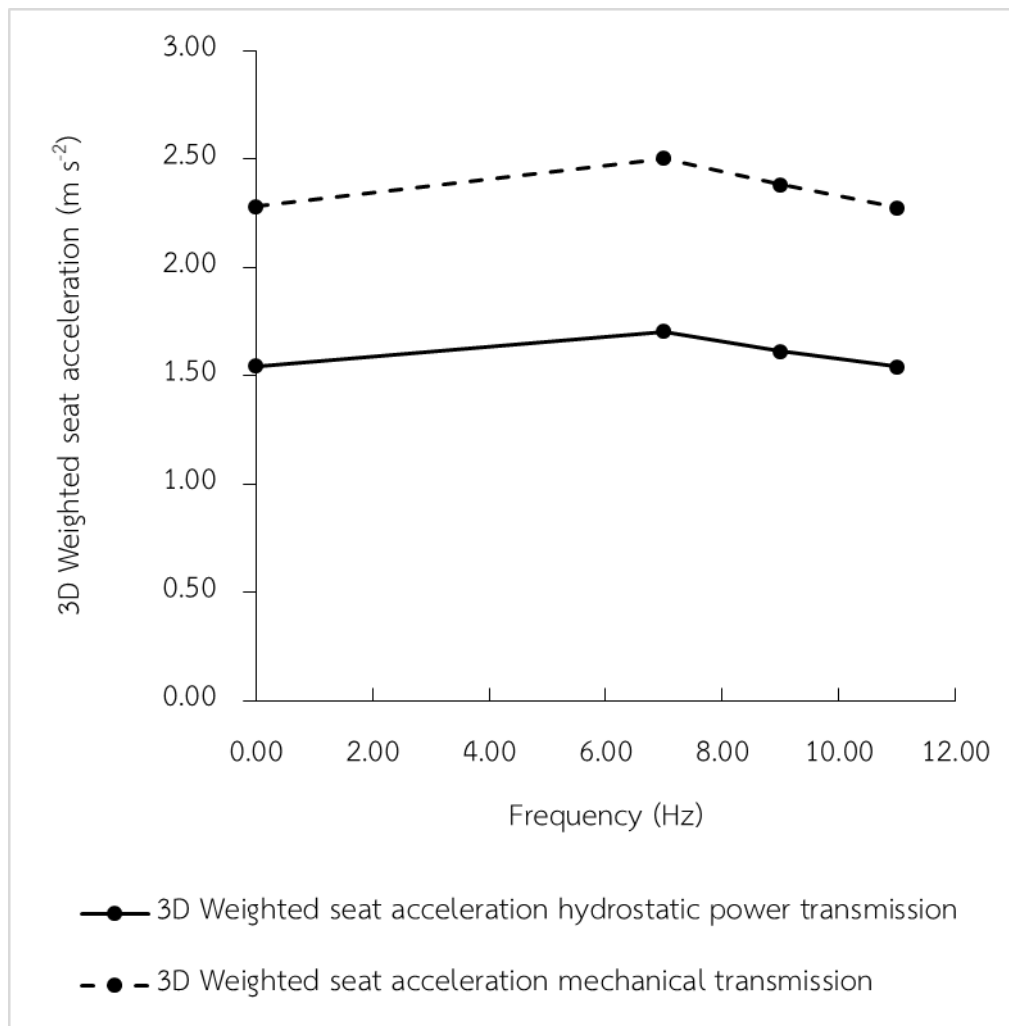
การสั่นสะเทือนต่อคนขับ สามารถดูได้จากค่า 3D weighted seat acceleration ทั้งหมด 4 กรรมวิธี เฉลี่ย 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ย 3D weighted seat acceleration ในแต่ละกรรมวิธี

| กรรมวิธี | 3D weighted seat<br>acceleration<br>Hydrostatic power<br>transmission<br>(m s <sup>-2</sup> ) | 3D weighted seat<br>acceleration<br>Mechanical transmission<br>(m s <sup>-2</sup> ) |
|----------|---|---|
| 1        | 1.546   | 2.282   |
| 2        | 1.703   | 2.504   |
| 3        | 1.612   | 2.381   |
| 4        | 1.541   | 2.275   |

จากผลการทดสอบในตารางที่ 7 พบว่า

ความถี่ในการสั่นของขาไถเพิ่มขึ้นจาก 7 เฮิร์ตซ์ เป็น 11 เฮิร์ตซ์ การสั่นสะเทือนต่อคนขับมีแนวโน้มลดลง 9.51% สำหรับระบบถ่ายทอดกำลังแบบอุทกสถิต และ 9.15% สำหรับระบบถ่ายทอดกำลังทางกล และการสั่นที่ความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ เมื่อเทียบกับแบบขาไถไม่สั่น พบว่าการสั่นสะเทือนต่อคนขับมีค่าไม่แตกต่างกันทั้ง 2 ระบบ โดยที่ความเร็วแทรกเตอร์ Low 2 ความถี่ในการสั่น 7 เฮิร์ตซ์ และความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนต่อคนขับมากที่สุด 1.703 เมตรต่อวินาที<sup>2</sup> สำหรับระบบถ่ายทอดกำลังแบบอุทกสถิต และ 2.504 เมตรต่อวินาที<sup>2</sup> สำหรับระบบถ่ายทอดกำลังทางกล กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนต่อคนขับของระบบทั้ง 2 แบบ กับความถี่ในการสั่นแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนต่อคนขับของระบบทั้ง 2 แบบ กับความถี่ในการสั่น

เมื่อเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนต่อคนขับระหว่างไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังทางกล กับไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต พบว่า การใช้ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต สามารถลดการสั่นสะเทือนต่อคนขับลงได้มากกว่าไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังทางกล โดยค่า 3D weighted seat acceleration ลดลง 47.70% ทั้งแบบขาไถสันและไม่มีสันขณะทำงาน ที่ความถี่ในการสั่น ความลึกในการไถ และความเร็วในการเคลื่อนที่เดียวกัน

## 2. ประสิทธิภาพการทำงานของต้นแบบไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาที่มีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น

ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ทั้งหมด 3 ครั้ง โดยที่หน้ากว้างการทำงานของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาที่ติดตั้งชุดควบคุมความถี่ในการสั่น คือ 1.2 เมตร และกำหนดให้ระยะทางในการทำงานคือ 20 เมตร สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎี และกำหนดให้ความกว้างของแปลงทดสอบ คือ 20 เมตร ความยาวของแปลงทดสอบ คือ 40 เมตร สำหรับประสิทธิภาพการทำงาน of เครื่องจักรจริง

ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ ประสิทธิภาพการทำงาน of เครื่องจักรเชิงทฤษฎี ประสิทธิภาพการทำงาน of เครื่องจักรจริง อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และเวลาสูญเสียรวม ทั้งหมด 4 กรรมวิธี เฉลี่ย 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 8

**ตารางที่ 8.** ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎี ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรจริง อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และเวลาสูญเสียรวมในแต่ละกรรมวิธี

| กรรมวิธี | ประสิทธิภาพการทำงาน<br>ของ<br>เครื่องจักรจริง<br><br>(ไร่/ชั่วโมง) | ประสิทธิภาพการทำงาน<br>ของ<br>เครื่องจักรเชิง<br>ทฤษฎี<br><br>(ไร่/ชั่วโมง) | ประสิทธิภาพ<br>การทำงานเชิง<br>พื้นที่<br><br>(%) | อัตราการใช้น้ำมัน<br>เชื้อเพลิง<br><br>(ลิตร/ไร่) | เวลาที่ใช้ในการ<br>ทดสอบ<br><br>(วินาที) | เวลาสูญเสียสำหรับ<br>การกลับรถ<br><br>(วินาที) | เวลาสูญเสีย<br>รวม<br><br>(วินาที) | อัตราสิ้นเปลือง<br><br>(%) |
|----------|--|---|---|---|--|--|------------------------------------|----------------------------|
| 1        | 1.04   | 1.49  | 69.80   | 3.12  | 1,730.77                                 | 214.15   | 214.15                             | 9.42                       |
| 2        | 1.07   | 1.51  | 70.86   | 3.64  | 1,682.24                                 | 235.45   | 235.45                             | 9.03                       |
| 3        | 1.11   | 1.54  | 72.08   | 3.98  | 1,621.62                                 | 231.74   | 231.74                             | 8.61                       |
| 4        | 1.17   | 1.57  | 74.52   | 4.52  | 1,538.46                                 | 238.57   | 238.57                             | 7.02                       |

หมายเหตุ ระยะห่างระหว่างรอยไถ 75 เซนติเมตร

จากผลการทดสอบในตารางที่ 8 พบว่า

ก) ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรขึ้นอยู่กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรสูงขึ้น โดยที่เมื่อใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ Low 2 มีค่าเฉลี่ย 2.09 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎีมีค่า 1.49 – 1.57 ไร่ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรจริงมีค่า 1.04 – 1.17 ไร่ต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่มีค่า 69.80 – 74.52% ซึ่งในทางทฤษฎีถ้าทำการทดสอบโดยให้มีความเร็วในการเคลื่อนที่เท่ากันทุกกรรมวิธี ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจะมีค่าเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติความเร็วในการเคลื่อนที่จะมีค่าไม่เท่ากันเนื่องจากสภาพของดิน ประกอบด้วย ความแข็งของดิน ความชื้นของดิน ซึ่งในแต่ละพื้นที่การทดสอบมีค่าไม่เท่ากัน ส่งผลให้ความเร็วในการเคลื่อนที่มีค่าไม่เท่ากัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.91 – 2.09 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ข) ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้น ทำให้กำลังรวมที่ใช้มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้น

ค) เมื่อความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้การสิ้นเปลืองลดลง โดยที่ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 0 เฮิร์ตซ์ (ไม่มีการสั่น) จนถึง 11 เฮิร์ตซ์ การสิ้นเปลืองลดลง 25.48%

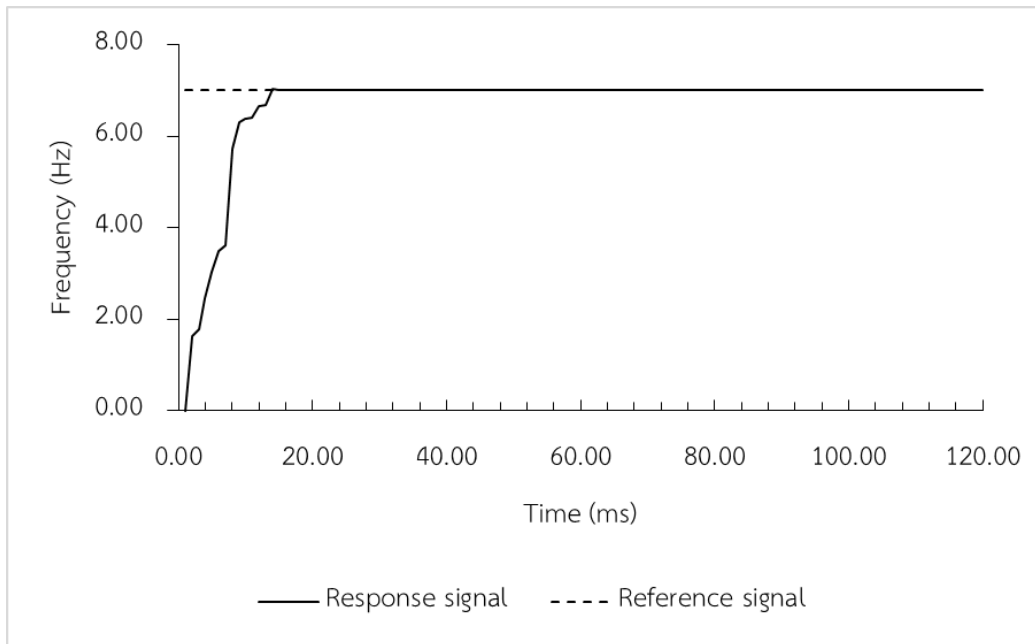
ง) การสิ้นเปลืองเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรลดลง

จ) เวลาสูญเสียสำหรับการกลับรถขณะเครื่องไถสั่นใช้เวลามากกว่าขณะไม่สั่น เนื่องจากช่วงเวลากลับรถคนขับจะทำการยกขาไถขึ้น และปิดระบบสั่นสะเทือน เมื่อทำการกลับรถเสร็จเพื่อทำการไถแถวใหม่ จึงลากขาไถลงดินแล้วทำการเปิดระบบสั่นสะเทือนอีกครั้ง โดยเครื่องไถแบบไม่สั่นไม่ต้องเสียเวลาในการเปิดปิดระบบสั่นสะเทือน

**3. ผลการควบคุมความถี่ในการสั่น ของไถระเบิดดินดานชนิดสั่นที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น และการเลือกความถี่ในการสั่นที่เหมาะสม**

### **3.1 ผลตอบสนองของความถี่ในการสั่น 7 เฮิร์ตซ์**

กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมความถี่ในการสั่นแบบพีซีซี ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ความถี่ในการสั่น 7 เฮิร์ตซ์ และความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 22



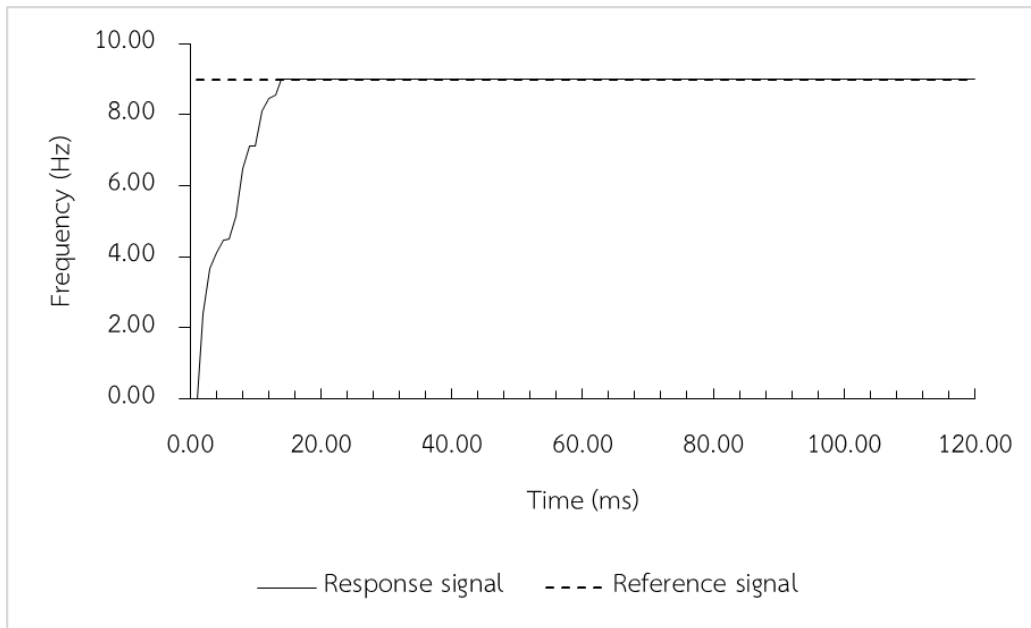
**ภาพที่ 22** ผลตอบสนองความถี่ในการสั่ง 7 เฮิร์ตซ์ โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีซีเปรียบเทียบด้วยสัญญาณอ้างอิง

กำหนดให้ความถี่ในการสั่ง Input Setpoint ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมแบบพีซีคือ 7 เฮิร์ตซ์ โดยภาพที่ 22 แสดงกราฟผลตอบสนองระหว่างความถี่ในการสั่งกับเวลา พบว่า การสั่งของขาไถเริ่มสั่งจาก 0 เฮิร์ตซ์ (ไม่มีการสั่ง) จนถึง 7 เฮิร์ตซ์ ใช้ช่วงเวลา Response Time = 15 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Delay Time = 6 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Rise Time = 9 มิลลิวินาที และช่วงเวลา Setting Time = 12 มิลลิวินาที ไม่เกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot)

### 3.2 ผลตอบสนองความถี่ในการสั่ง 9 เฮิร์ตซ์

กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมความถี่ในการสั่งแบบพีซี ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ความถี่ในการสั่ง 9 เฮิร์ตซ์ และความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 23



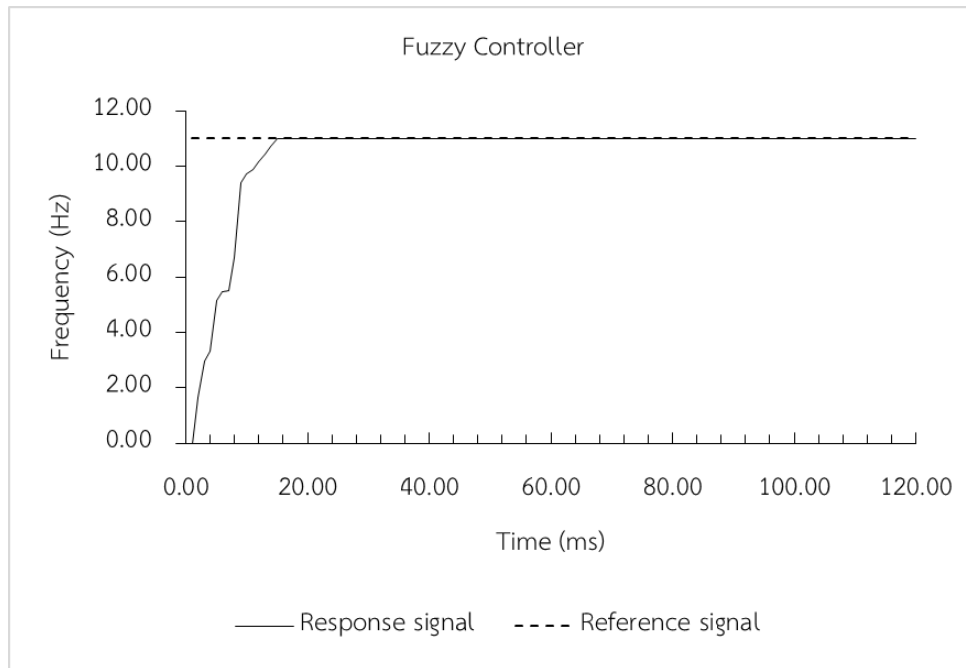


**ภาพที่ 23** ผลตอบสนองความถี่ในการสั่ง 9 เฮิร์ตซ์ โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีซีซีเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง

กำหนดให้ความถี่ในการสั่ง Input Setpoint ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมแบบพีซีซีคือ 9 เฮิร์ตซ์ โดยภาพที่ 23 แสดงกราฟผลตอบสนองระหว่างความถี่ในการสั่งกับเวลา พบว่า การสั่งของขาไถเริ่มสั่งจาก 0 เฮิร์ตซ์ (ไม่มีการสั่ง) จนถึง 9 เฮิร์ตซ์ ใช้ช่วงเวลา Response Time = 14 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Delay Time = 6 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Rise Time = 11 มิลลิวินาที และช่วงเวลา Setting Time = 13 มิลลิวินาที ไม่เกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot)

### 3.3 ผลตอบสนองความถี่ในการสั่ง 11 เฮิร์ตซ์

กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมความถี่ในการสั่งแบบพีซีซี ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ความถี่ในการสั่ง 11 เฮิร์ตซ์ และความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 24



**ภาพที่ 24** ผลตอบสนองความถี่ในการสั่น 11 เฮิร์ตซ์ โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่เปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง

กำหนดให้ความถี่ในการสั่น Input Setpoint ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมแบบฟัซซี่คือ 11 เฮิร์ตซ์ โดยภาพที่ 24 แสดงกราฟผลตอบสนองระหว่างความถี่ในการสั่นกับเวลา พบว่า การสั่นของขาไถเริ่มสั่นจาก 0 เฮิร์ตซ์ (ไม่มีการสั่น) จนถึง 11 เฮิร์ตซ์ ใช้ช่วงเวลา Response Time = 15 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Delay Time = 7 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Rise Time = 11 มิลลิวินาที และช่วงเวลา Setting Time = 13 มิลลิวินาที ไม่เกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ความถี่ในการสั่น 11 – 11.07 เฮิร์ตซ์ ตลอดการไถ

### 3.4 การเลือกความถี่ในการสั่นที่เหมาะสม

การเลือกความถี่ที่เหมาะสมในการไถขึ้นกับสภาพแปลง ชนิดของพืชที่ปลูก และต้นกำลังของรถแทรกเตอร์ที่เจ้าของแปลงมี สำหรับการปลูกอ้อยในแปลงทดสอบนี้ แนะนำให้ใช้ความถี่ในการสั่น 9 เฮิร์ตซ์ เนื่องจาก

ก) ความถี่ในการสั่น 9 เฮิร์ตซ์ การสั่นสะท้อนต่อคนขับมีค่า 1.612 เมตร/วินาที<sup>2</sup> แรงฉุดลากในแนวระดับมีค่า 13.01 กิโลนิวตัน และความหนาแน่นมวลรวมสภาวะแห้งของดินหลังการไถมีค่า 1.20 กรัม/ลบ.ซม. ส่วนความถี่ในการสั่น 11 เฮิร์ตซ์ การสั่นสะท้อนต่อคนขับมีค่า 1.541 เมตร/วินาที<sup>2</sup> แรงฉุดลากในแนวระดับมีค่า 11.98 กิโลนิวตัน และความหนาแน่นมวลรวมสภาวะแห้งของดินหลังการไถมีค่า 1.12 กรัม/ลบ.ซม. โดยทั้ง 3 ค่ามีค่าไม่แตกต่าง

กันมากนัก ส่วนพื้นที่การแตกตัวของดินมีค่า 2,744.73 ตารางเซนติเมตร ที่ความถี่ในการสั่น 9 เฮิร์ตซ์ มากกว่าความถี่ในการสั่น 11 เฮิร์ตซ์ อยู่ 303.08 ตารางเซนติเมตร และกำลังรวมมีค่า 18.13 กิโลวัตต์ น้อยกว่าความถี่ในการสั่น 11 เฮิร์ตซ์ อยู่ 2.98 กิโลวัตต์ ทำให้อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่า โดยอ้อยต้องการพื้นที่แตกตัวค่อนข้างดี ขนาดดินที่แตกตัวไม่ต้องละเอียดมาก และสามารถใช้รถแทรกเตอร์ขนาดกลาง 50 แรงม้า ลากไปได้ ส่วนความถี่ในการสั่น 7 เฮิร์ตซ์ การสั่นสะท้อนต่อคนขับมีค่า 1.703 เมตร/วินาที<sup>2</sup> และมีค่าสูงสุด ทำให้ขณะเครื่องไถทำงานต้องคอยตรวจอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องไถ และรถแทรกเตอร์ ส่วนความหนาแน่นมวลรวมสภาวะแห้งของดินหลังการไถมีค่า 1.24 กรัม/ลบ.ซม. ซึ่งมีค่าสูงทำให้อ่อนดินที่แตกตัวมีขนาดใหญ่ รากอ้อยหาสารอาหารได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความถี่ในการสั่น 9 เฮิร์ตซ์ ดังนั้นความถี่ในการสั่น 7 เฮิร์ตซ์ ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกอ้อย

ข) ความถี่ในการสั่น 9 เฮิร์ตซ์ ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎีมีค่า 1.54 ไร่ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรจริงมีค่า 1.11 ไร่ต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่มีค่า 72.08% ส่วนความถี่ในการสั่น 11 เฮิร์ตซ์ ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎีมีค่า 1.57 ไร่ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรจริงมีค่า 1.17 ไร่ต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่มีค่า 74.52% โดยทั้ง 3 ค่ามีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ความถี่ในการสั่น 9 เฮิร์ตซ์ต่ำกว่า 0.54 ลิตรต่อไร่

#### 4. ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น

ตารางที่ 9 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น

| รายการ  | จำนวนเงิน (บาท) |
|---|-----------------|
| วัสดุทำเครื่องต้นแบบ  |                 |
| 1. เหล็กโครงสร้าง   | 12,450          |
| 2. โข่งส่งกำลังเบอร์ 50 พร้อมเฟือง 2 ชุด                          | 2,000           |
| 3. มอเตอร์ไฮดรอลิกขนาด 100 cc/rev<br>แรงบิดสูงสุด 264 นิวตัน-เมตร | 11,500          |
| 4. ปั๊มไฮดรอลิกขนาด 55 cc/rev<br>อัตราการไหล 119 ลิตรต่อนาที      | 12,000          |
| 5. วาล์วปรับอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า                           | 20,000          |

|   |         |
|---|---------|
| 6. สายไฮดรอลิก และข้อต่อไฮดรอลิก            | 7,500   |
| 7. ตลับลูกปืน 6 ตัว พร้อมบุททองเหลือง       | 9,500   |
| 8. อุปกรณ์ไฟฟ้า และอุปกรณ์วัดคุม            | 35,000  |
| 9. อื่นๆ                                    | 10,000  |
| รวมค่าวัสดุในการสร้างเครื่อง                | 119,950 |
| ค่าแรงประกอบสร้างและอื่นๆ                   | 5,000   |
| รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่องต้นแบบ | 124,950 |

|   |   |                                 |                                   |
|---|---|---------------------------------|-----------------------------------|
| 1. ราคาค่าไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา<br>แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น   | = | 124,950                         | บาท                               |
| 2. อายุการใช้งานของไถระเบิดดินดานชนิดสัน<br>ที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น  | = | 5                               | ปี                                |
| 3. มูลค่าซาก  | = | 10% ของราคาเครื่อง              |                                   |
|   | = | $\frac{10 \times 124,950}{100}$ |                                   |
|   | = | 12,495                          | บาท                               |
| 4. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ   | = | 10                              |                                   |
| 5. จำนวนชั่วโมงในการทำงาน   | = | 6                               | ชั่วโมงต่อวัน                     |
| 6. เฉลี่ยอัตราการการทำงานของไถระเบิดดินดานชนิดสัน<br>ที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น   | = | 1.10                            | ไร่ต่อชั่วโมง                     |
| 7. ความเร็วในการทำงานเกียร์ Low 2 เฉลี่ย  | = | 2.09                            | กิโลเมตร/ชั่วโมง                  |
| 8. ค่าบำรุงรักษาไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา<br>แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น   | = | 1.2%                            | ของราคาซื้อ/ชั่วโมงการทำงานต่อวัน |
| 9. น้ำมันดีเซลลิตรละ (ราคาเมื่อวันที่ 14 ก.ย. 2560)   | = | 25.49                           | บาท                               |
| 10. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของ<br>ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุด<br>ควบคุมความถี่ในการสั่น ( 0, 7, 9 และ 11 เฮิร์ตซ์) | = | 3.12, 3.64, 3.98 และ 4.52       | ลิตรต่อไร่                        |
| 11. สมมติใช้ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 1 ขา<br>แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่นปีละ   | = | X                               | ไร่                               |

### ค่าต้นทุนคงที่

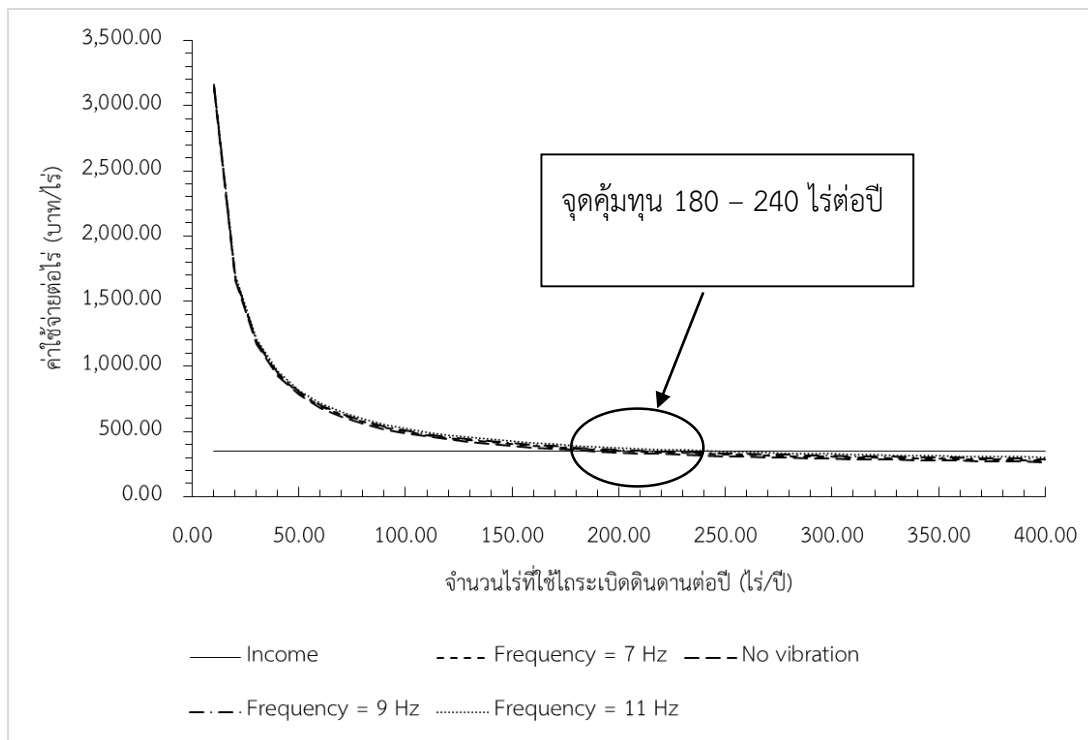
$$\begin{aligned} 12. \text{ ค่าเสื่อมราคาของไถระเบิดดินดาน} &= (124,950 - 12,495)/5 \\ \text{ชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น} &= 22,491 \quad \text{บาทต่อปี} \\ 13. \text{ ค่าดอกเบี้ยในการลงทุนของไถระเบิดดินดานชนิดสัน} &= (0.1(124,950 + 12,495))/2 \\ \text{ที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น} &= 6,872.25 \quad \text{บาทต่อปี} \\ 14. \text{ ค่าเสื่อมราคาของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา} &= 22,491/X \quad \text{บาทต่อไร่} \\ \text{แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่นต่อไร่} & \\ 15. \text{ ค่าดอกเบี้ยในการลงทุนไถระเบิดดินดานชนิดสัน} &= 6,872.25/X \quad \text{บาทต่อไร่} \\ \text{ที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่นต่อไร่} & \end{aligned}$$

### ค่าต้นทุนแปรผัน

$$\begin{aligned} 16. \text{ ค่าใช้จ่ายจากน้ำมันเชื้อเพลิง} &= (3.12, 3.64, 3.98, 4.52) \times 25.49 \\ (0, 7, 9 \text{ และ } 11 \text{ เฮิร์ตซ์}) &= (79.53, 92.78, 101.45, 115.21) \\ &\quad \text{บาทต่อไร่} \\ 17. \text{ ค่าใช้จ่ายจากคนขับรถแทรกเตอร์ ทำงานวันละ} &= 1.10 \times 6 \\ 500 \text{ บาท} &= 6.6 \quad \text{ไร่ต่อวัน} \\ &= 500/6.6 \\ &= 75.76 \quad \text{บาทต่อไร่} \\ 18. \text{ ค่าบำรุงรักษาไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา} &= (1.2 \times 124,950)/(100 \times 6 \times 6 \times 1.10) \\ \text{แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่นต่อไร่} &= 37.86 \quad \text{บาทต่อไร่} \\ 19. \text{ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด} &= (79.53, 92.78, 101.45, 115.21) \\ &\quad + 75.76 + 37.86 + (22,491/X) + \\ &\quad (6,872.25/X) \quad \text{บาทต่อไร่} \\ &= (193.15, 206.40, 215.07, 228.83) \\ &\quad + (29,363.25/X) \quad \text{บาทต่อไร่} \\ \text{ค่าจ้างไถดินดานด้วยไถระเบิดดินดานชนิดสัน} &= 350 \quad \text{บาทต่อไร่} \\ \text{ที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น} & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
20. \text{ จุดคุ้มทุนสำหรับการใช้ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น} \\
350 &= (193.15, 206.40, 215.07, 228.83) + (29,363.25/X) \\
350X &= (193.15X, 206.40X, 215.07X, 228.83X) + 29,363.25 \\
(350 - (193.15, 206.40, 215.07, 228.83))X &= 29,363.25 \\
(156.85, 143.6, 134.93, 121.17)X &= 29,363.25 \\
X &= 187.21, 204.48, 217.62, 242.33 \text{ ไร่ต่อปี}
\end{aligned}$$

เมื่อใช้ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่นที่ความถี่ 0, 7, 9 และ 11 เฮิรตซ์ จะมีจุดคุ้มทุน 187.21, 204.48, 217.62, 242.33 ไร่ต่อปี ตามลำดับ แสดงในภาพที่ 25 และการทำงานของไถดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น แสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 25 แสดงจุดคุ้มทุนในการใช้ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่นที่ความถี่ 0, 7, 9 และ 11 เฮิรตซ์



ภาพที่ 26 แสดงการทำงานของไถดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสัน

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต สามารถลดการสั่นสะเทือนต่อคนขับ โดยค่า 3D Weighted seat acceleration ลดลง 31.74% - 33.95% ทั้งแบบขาไถสันและไม้สัน ที่ความถี่ในการสัน ความลึกในการไถ และความเร็วในการเคลื่อนที่เดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบที่ใช้ระบบถ่ายทอดกำลังทางกล ส่งผลให้อายุการใช้งานของชิ้นส่วนในชุดถ่ายทอดกำลัง และอุปกรณ์ในรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ภาระการสั่นที่น้อยลงส่งผลให้ผู้ขับขี่แทรกเตอร์รู้สึกสบายขึ้น
2. ความถี่ในการสั่นส่งผลต่อค่าสมรรถนะการทำงานของไถระเบิดดินดานที่ความลึกในการไถ และความเร็วในการเคลื่อนที่เดียวกัน โดยที่ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยแรงฉุดลากลดลง การสั่นที่ความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบไม้สัน พบว่าสามารถลดแรงฉุดลากได้ 29.40% ค่าเฉลี่ยกำลังรวมเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้น การสั่นความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบไม้สัน พบว่ากำลังรวมเพิ่มขึ้น 40.12% ค่าเฉลี่ยพื้นที่การแตกตัวของดินมีค่าน้อยลง เมื่อความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้น การสั่นที่ความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบไม้สัน พบว่าพื้นที่การแตกตัวของดินเฉลี่ยลดลง 27.57% ค่าเฉลี่ย Dry bulk density มีค่าลดลงเมื่อความถี่ในการ

สั้นเพิ่มขึ้น การสั้นที่ความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ ค่าเฉลี่ย Dry bulk density ลดลงจากค่าเดิมก่อนการไถ 32.53% และลดลงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบบไม่สั้น 21.13% ความถี่ในการสั้นของชาไถเพิ่มขึ้นจาก 7 เฮิร์ตซ์ เป็น 11 เฮิร์ตซ์ ค่าเฉลี่ยการสั้นสะท้อนต่อคนขับมีแนวโน้มลดลง ทั้งไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ชา 2 ชา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังแบบอุทกสถิต และระบบถ่ายทอดกำลังทางกล โดยการสั้นที่ความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ เมื่อเทียบกับแบบชาไถไม่สั้น พบว่าค่าเฉลี่ยการสั้นสะท้อนต่อคนขับมีค่าไม่แตกต่างกันทั้ง 2 ระบบ

3. ความถี่ในการสั้น 3 ระดับ คือ 7, 9 และ 11 เฮิร์ตซ์ จากการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีชซีของ ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ชา 2 ชา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั้น มีค่า 7 – 7.08, 9 – 9.05 และ 11 – 11.07 เฮิร์ตซ์ ตลอดการไถ ทำให้ไถระเบิดดินดานมีค่าเต็มสมรรถนะที่ความถี่นั้นๆ

### การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นมีข้อดีคือสามารถลดแรงฉุดลาก ทำให้ใช้รถแทรกเตอร์ขนาด 50 แรงม้า ซึ่งเป็นแทรกเตอร์ขนาดกลางที่เกษตรกรส่วนใหญ่มีใช้งาน สามารถลากไถเพื่อระเบิดดินดานได้ นอกจากนี้ยังทำให้ดินแตกตัวเป็นก้อนเล็กละเอียด ทำให้รากพืชสามารถหาอาหารได้ง่าย แต่ในปัจจุบันประเทศไทยยังคงนิยมใช้ไถระเบิดดินดานแบบที่ไม่มีการสั้น เนื่องจากภาระการสั้นทำให้ชิ้นส่วนในชุดถ่ายทอดกำลังของไถระเบิดดินดาน และอุปกรณ์ในรถแทรกเตอร์เสียหายได้รวดเร็ว นอกจากนี้ภาระการสั้นส่งผลให้ผู้ขับขี่แทรกเตอร์รู้สึกไม่สบายขณะทำงาน

ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ชา 2 ชา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั้น และเป็นแบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิตที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถลดการสั้นสะท้อนต่อคนขับ อายุการใช้งานของชิ้นส่วนในชุดถ่ายทอดกำลัง และอุปกรณ์ในรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับระบบถ่ายทอดกำลังทางกลซึ่งเป็นระบบเดิม นอกจากนี้สามารถควบคุมความถี่ในการสั้นให้คงที่ตลอดการไถ ทำให้ได้สมรรถนะการทำงานเต็มที่ที่ความถี่ในการสั้นนั้นๆ จากข้อดีดังกล่าวนี้สามารถลดข้อด้อยของไถระเบิดดินดานชนิดสั้นแบบเดิม เมื่อมีการเผยแพร่และอบรมการใช้งานแก่เกษตรกร หน่วยงานของรัฐและเอกชน ผู้ได้การอบรมสามารถนำเครื่องต้นแบบไปใช้งานในสภาพพื้นที่ ชนิดของพืชที่ปลูก และต้นกำลังแทรกเตอร์ที่มีให้เกิดประสิทธิภาพ และสมรรถนะการทำงานสูงสุด นอกจากนี้ยังมีความรู้ในด้านการควบคุมความถี่ในการสั้น และการติดตั้งระบบไฮดรอลิกเข้ากับไถระเบิดดินดานชนิดสั้น สามารถถ่ายทอดสู่ผู้ประกอบการ และเกษตรกรผู้สนใจได้



## เอกสารอ้างอิง

ธัญญา นิชมาภา และชัยรัตน์ รางแดง. 2539. ไถดินดานชนิดสั้น. รายงานการวิจัยและพัฒนาฉบับสมบูรณ์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ประจำปี 2539, 76-95.

ธัญญา นิชมาภา พินิจ จิระคกุล ณรงค์ อุ่นคง วิชัย หมอชาติ ชัยรัตน์ รางแดง ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล และนฤมล บุญกระจ่าง. 2549. เผยแพร่ไถดินดานชนิดสั้นที่ผลิตในประเทศไทยสู่เกษตรกร. รายงานการวิจัยและพัฒนาฉบับสมบูรณ์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ประจำปี 2549, 36-78.

Kwanchai Sinthipsomboon, Issaree Hunsacharoonroj, Joseph Khedari, Watcharin Pongaen and Pornjit Pratumswan. 2011. A Hybrid of Fuzzy and Fuzzy self-tuning PID Controller for Servo Electro-hydraulic System. Transactions of the IEEE 6, 220-225.

Mehta, C.R., Shyam, M., Singh, P. and Verma, R.N., 2000. Ride vibration on tractor implement system, Technical note. Applied Ergonomics 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