



รายงานโครงการวิจัย

ออกแบบ และพัฒนาไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขาแบบมีชุด  
ควบคุมความถี่ในการสั่น  
Design and Development for a Vibrating Controller of  
Double Shank Vibrating Subsoiler

หัวหน้าโครงการวิจัย  
ตฤณสิทธิ์ ไกรสินบุรศักดิ์  
Tinnasit Kaisinburasak

ปี พ.ศ. 2560



รายงานโครงการวิจัย

ออกแบบ และพัฒนาไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขาแบบมีชุด  
ควบคุมความถี่ในการสั่น

Design and Development for a Vibrating Controller of  
Double Shank Vibrating Subsoiler

หัวหน้าโครงการวิจัย  
ตฤณสิทธิ์ ไกรสินบุรศักดิ์  
Tinnasit Kaisinburasak

ปี พ.ศ. 2560

## คำปรารภ

รายงานโครงการวิจัยสิ้นสุดปี พ.ศ. 2560 เรื่อง ออกแบบ และพัฒนาไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น จัดทำขึ้นตามวงรอบงานปกติเมื่อโครงการวิจัยสิ้นสุดลงของกรมวิชาการเกษตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ นักวิจัย และผู้สนใจ ได้อ่าน และศึกษาถึง สมรรถนะการทำงานของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา ข้อดี และข้อเสียของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา ความถี่ในการสั่นที่ส่งผลกระทบต่อค่าสมรรถนะการทำงานของเครื่อง และการควบคุมความถี่ในการสั่นให้คงที่ตลอดการไถ ซึ่งจะช่วยให้สมรรถนะการทำงานของเครื่องสูงสุดที่ความถี่นั้นๆ และเป็นแนวทางให้นักวิจัยคนอื่นที่สนใจทำวิจัยเรื่อง ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา ทำงานวิจัยต่อยอด หรือใช้เป็นข้อมูลประกอบเพื่อทำวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไป นอกจากนี้เกษตรกร หรือผู้ประกอบการที่สนใจ สามารถนำข้อมูล และการออกแบบไปประยุกต์ใช้กับไถระเบิดดินดานที่มีอยู่ เพื่อให้เกิด ประสิทธิภาพ และสมรรถนะการทำงานสูงสุดในพื้นที่การเกษตรของตนเอง

โครงการวิจัยนี้ประกอบด้วย 1 การทดลอง และมีชื่อเดียวกับโครงการวิจัย ดังนั้นบทบาท วัตถุประสงค์ของการทดลอง บทคัดย่อ วิธีการทดลอง และบทสรุปของการทดลองจึงเหมือนกับหัวข้อของโครงการวิจัย ผู้เขียนได้เขียนรวมเป็นหัวข้อเดียวกันในรายงานโครงการวิจัยสิ้นสุดฉบับนี้ เพื่อสะดวกในการอ่าน และทำความเข้าใจ

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	1
คณะผู้วิจัย	2
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	3
บทนำ	4
บทคัดย่อ	6
ออกแบบ และพัฒนาไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั้น	8
ระเบียบวิธีการวิจัย	9
อุปกรณ์	9
วิธีการ	12
ผลการทดลองและอภิปราย	20
บทสรุปและข้อเสนอแนะ	43
บรรณานุกรม	45

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้อสถานที่ในการสร้างเครื่องต้นแบบ และศูนย์วิจัย และพัฒนาการเกษตรนครราชสีมา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบเครื่องต้นแบบ

ขอบคุณช่าง และนายช่างของกลุ่มสร้าง และผลิต สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมที่ให้ความช่วยเหลือ ตลอดคำแนะนำในการสร้าง และแก้ไขเครื่องขณะมีปัญหาระหว่างการทดสอบซึ่งเป็นประโยชน์ในการทำโครงการวิจัยนี้ ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่เป็นผู้ให้กำลังใจและให้โอกาสการศึกษาอันมีค่ายิ่ง

คณะผู้วิจัย

## คณะผู้วิจัย

ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์, ดนัย ศาลทูลพิทักษ์, อนุชา เชาวโชติ, มงคล ตุ่นแฮ้า<sup>1</sup>,  
พุทธอินันท์ จารุวัฒน์<sup>2</sup>, พีรพงษ์ เชาวพงษ์<sup>3</sup>, อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์<sup>3</sup>, จิระวีณ์ มหิตธิธนาศักดิ์<sup>4</sup>

Tinnasit Kaisinburasak, Danai Saratunpithak, Anucha Chaochot, Mongkol Tunhaw<sup>1</sup>,  
Puttinun Jaruwat<sup>2</sup>, Peerapong Chaovanapong<sup>3</sup>, Anusorn Tiensirihoek<sup>3</sup>,  
Jiravee Mahittithanasak<sup>4</sup>

หัวหน้าโครงการวิจัย    ตฤณสิษฐ์ ไกรสินบุรศักดิ์

สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Agricultural Engineering Research Institute, Department of Agriculture, Lat Yao,  
Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

F reference	=	ค่าอินพุตอ้างอิง
e(k)	=	ค่าผิดพลาดของความถี่ในการสั่น
	=	F reference – F
$\Delta e(k)$	=	อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าผิดพลาดความถี่ในการสั่น
U	=	เอาต์พุตในการเปิด ปิด Proportional Valve
Delay Time	=	ช่วงเวลาที่ใช้ในการตอบสนองของระบบตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเอาต์พุตมีค่าเป็น 50% ของค่าอินพุตอ้างอิง
Rise Time	=	ช่วงเวลาตั้งแต่เอาต์พุตมีค่าเป็น 10% จนถึง 90% ของค่าอินพุตอ้างอิง
Setting Time	=	ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งการแกว่งของเอาต์พุตลดลงอยู่ในขอบเขตที่กำหนด โดยปกติแล้วขอบเขตนี้จะอยู่ในช่วง 5%
Response Time	=	ช่วงเวลาตอบสนองของระบบตั้งแต่เวลาเริ่มต้นจนกระทั่งถึงค่าอ้างอิง
Overshoot (OS)	=	หรือ ค่าพุ่งเกิน เป็นค่า error ที่มากที่สุดระหว่างอินพุต และเอาต์พุต ค่านี้จะใช้ในการประมาณความเสถียรของระบบ ค่า Overshoot จะวัดเป็นสัดส่วนเทียบกับค่าสุดท้ายหรือค่าอินพุตอ้างอิง

## บทนำ

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 แบบใช้ต้นกำลังจากเพลลาอำนวยการสั่นของรถแทรกเตอร์ เมื่อทำการไถ ความถี่ในการสั่นของไถดินดานมีค่าไม่คงที่ เนื่องจากสภาพของดินมีความแข็งไม่เท่ากัน ส่งผลให้การทำงานของไถดินดานมีค่าไม่เต็มสมรรถนะ นอกจากนี้หากต้องการเปลี่ยนความกว้างและความถี่ในการสั่น จะต้องเปลี่ยนชุดเฟืองและเปลี่ยนตมน้ำหนักไม่สมดุล ซึ่งใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูง

Rattana (2009) รายงานว่า การสั่นขณะไถระเบิดดินดานชนิดสั่นที่ขา 2 ขาทำงาน จะส่งผ่านจากขาไถ ชุดเฟืองดอกจอก โครงสำหรับยึดต่อกับรถแทรกเตอร์แบบจุดพ่วง 3 จุดอิสระ เพลลาอำนวยการสั่น สู่อุปกรณ์รถแทรกเตอร์ และที่นั่งคนขับ ธัญญา และคณะ (2549) พบว่า ไถระเบิดดินดานชนิดสั่นที่ขา มีการสั่นตามระนาบขึ้น-ลง เกิดการเสียหายในลักษณะการเฉือนขาด (Shear Failure) ของรอยเชื่อมเพลลาต่อกับเฟืองดอกจอก (Bevel Gear) ตัวใหญ่ หรือเฟืองบายศรี นอกจากนี้ยังส่งผลต่ออายุการใช้งานของชิ้นส่วนในชุดถ่ายทอดกำลัง เช่น ลูกปืนของชุดเพลลาอำนวยการสั่น และอุปกรณ์ในรถแทรกเตอร์ Mehta et al. (2000) รายงานว่าภาระของการสั่นยังทำให้ผู้ขับขี่แทรกเตอร์รู้สึกไม่สบายเพิ่มมากขึ้นจากภาวะปกติ

งานวิจัยนี้แก้ปัญหาที่เกิดจากการสั่นโดยใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิตอัตราทดแปรผันต่อเนื่อง ซึ่งใช้น้ำมันไฮดรอลิกเป็นตัวถ่ายทอดกำลัง โดยใช้ต้นกำลังจากเพลลาอำนวยการสั่น (PTO) ขับปั๊มไฮดรอลิก เพื่อสร้างความดันให้น้ำมันไฮดรอลิก น้ำมันแรงดันสูงจะถูกส่งผ่านระบบท่อไปขับมอเตอร์ไฮดรอลิกซึ่งต่อเข้ากับชุดสั่นสะเทือนของไถระเบิดดินดานทำให้เกิดการสั่น การส่งกำลังด้วยวิธีนี้ส่งผลดีคือ สามารถลดผลกระทบจากการสั่นสะเทือนของไถระเบิดดินดาน ที่มีต่ออุปกรณ์ต่างๆ ในรถแทรกเตอร์ ชุดถ่ายทอดกำลัง และผู้ขับขี่ นอกจากนี้ได้ออกแบบ และสร้างชุดควบคุมความถี่ในการ



สั่น เพื่อช่วยให้การสั่นของไถดินดานคงที่ตลอดการไถ ส่งผลให้ไถดินดานมีสมรรถนะการทำงานสูงสุด และง่ายต่อการปรับเปลี่ยนความถี่ในการสั่น การควบคุมจะควบคุมที่วาล์วปรับอัตราการไหล ระบบนี้ เรียกว่า Servo Electro-hydraulic System หรือ SEHS (Kwanchai, 2011)

ระบบ SEHS เป็นระบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) การหาสมการที่แม่นยำเพื่อใช้ในระบบ ควบคุมค่อนข้างซับซ้อน (Kwanchai, 2011) ดังนั้นระบบควบคุมแบบ Fuzzy ซึ่งเป็นระบบควบคุมที่มีความคงทนต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของระบบทางพลศาสตร์ และไม่ต้องการข้อมูลที่แม่นยำจึงมีความสะดวก และเหมาะสมกับการนำมาใช้ออกแบบตัวควบคุม

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ 1) เพื่อสร้างไถระเบิดดินดานที่สามารถลดความเสียหายจากการสั่นของการไถด้วยระบบถ่ายเทกำลังแบบอุทกสถิต 2) เพื่อศึกษาผลของความถี่ในการสั่นที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของไถดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าที่แสดงสมรรถนะของไถดินดานประกอบด้วย แรงฉุดลาก (Draft force) กำลังรวม (Total power) พื้นที่การแตกตัวของดิน (Soil disturbance) การสั่นสะเทือนต่อคนขับ (Tractor seat vibration) และความหนาแน่นมวลรวมสภาวะแห้งของดิน (Dry bulk density) 3) เพื่อสร้างระบบควบคุมความถี่ในการสั่นให้คงที่ตลอดการไถ

## บทคัดย่อ

ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่นในงานวิจัยนี้ ออกแบบและพัฒนาขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อช่วยให้การสั่นของไถดินดานคงที่ตลอดการไถ ส่งผลให้ไถดินดานมีสมรรถนะการทำงานสูงสุด และเปลี่ยนระบบถ่ายทอดกำลังทางกลเป็นระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิตเพื่อลดการสั่นสะเทือนที่ส่งผลต่อคนขับ ชุดถ่ายทอดกำลัง และความคงทนของอุปกรณ์ในรถแทรกเตอร์ การควบคุมความถี่ในการสั่นใช้ตัวควบคุมแบบพีซีซี มีลักษณะการทำงานโดยการป้อนความถี่ที่ต้องการควบคุมผ่านตัวควบคุมแบบพีซีซี ตัวควบคุมแบบพีซีซีจะไปเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลให้น้ำมันไฮดรอลิกไปขับมอเตอร์ ไฮดรอลิกซึ่งต่ออยู่กับชุดสันสะเทือนของไถระเบิดดินดานทำให้เกิดการสั่นขึ้น 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

<sup>1</sup> ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น ตำบลบ้านทุ่ม อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

<sup>2</sup> ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี 27 หมู่ 1 ตำบลพลับพลา อำเภอเมือง 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.

---

<sup>1</sup>Khon Kean Agricultural Engineering Research Center, Bantum, Muang, Khon Kaen 40000, Thailand

<sup>2</sup>Chanthaburi Agricultural Engineering Research Center, 27 M.1 Plabpha, Muang, Chanthaburi 22000, Thailand

<sup>3</sup>Agricultural Production Sciences Research and Development Office, Department of Agriculture, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

<sup>4</sup>Agricultural Regulatory Office, Department of Agriculture, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

ออกแบบ และพัฒนาไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น

Design and Development for a Vibrating Controller of

Double Shank Vibrating Subsoiler

ตฤณสิทธิ์ ไกรสินบุรศักดิ์, ดนัย ศาลทูลพิทักษ์, อนุชา เชาวโชติ, มงคล ตุ่นเฮ้า, พุทธินันท์ จารูวัฒน์

พีรพงษ์ เชาวพงษ์, อนุสรณ์ เทียนศิริฤกษ์, จิระวีณ์ มหิตธิธนาศักดิ์

Tinnasit Kaisinburasak, Danai Saratunpithak, Anucha Chaochot, Mongkol Tunhaw,

Puttinun Jaruwat, Peerapong Chaovanapong, Anusorn Tiensiroek,

Jiravee Mahittithanasak

**คำสำคัญ:** ดินดาน, ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา, ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบมีชุด  
ควบคุมความถี่ในการสั่น

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

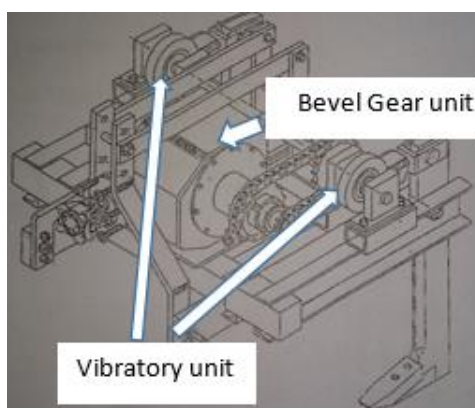
## ระเบียบวิธีการวิจัย

### อุปกรณ์

#### 1. ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา

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

โครงเครื่องมือติดตั้งชุดเฟืองดอกจอก (Bevel Gear) อัตราทด 1:3.75 และชุดกลไกการสั้นแบบแผ่นเยื้องศูนย์กลาง (Eccentric disc) ที่ระยะเยื้อง 6 มิลลิเมตร ติดตั้งที่ส่วนบนของขาไถเพื่อให้ขาไถสั้นลักษณะไป-กลับ กลไกการสั้นถูกขับเคลื่อนจากเพลลา PTO ของรถแทรกเตอร์ โดยมีความถี่ในการสั้นคงที่ 9.4 เฮิรตซ์ ความกว้างในการสั้นที่ปลายขาไถคงที่ 36.5 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 รอบต่อนาที



ภาพที่ 1 ภาพวาด Isometric ของไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา

ที่มา : ธัญญา 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 ครอบป้องกันตาซิ่ง (ความละเอียด 0.01 กรัม)
- 4.3 ชุดตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 10, 20, 30, 40 และ 50
- 4.4 ถาดใส่ดินตัวอย่างเครื่องเขย่าตะแกรงแบบใช้มอเตอร์
- 4.5 ตัวอย่างสำหรับทุบดิน
- 4.6 เครื่องมือทดสอบหา Liquid Limit

- 47 ขวดฉีดน้ำ
- 4.8 แผ่นกระจกรองสำหรับปั้นดิน
- 4.9 ตู้บที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

## 5. รถแทรกเตอร์

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

## 6. อุปกรณ์วัดที่ใช้ทดสอบไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา

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

## 7. เครื่องมือ และวัสดุที่ใช้ในการสร้างไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 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 โข่งกำลังเบอร์ 50 พร้อมเฟือง 2 ชุด
- 7.10 ตลับลูกปืน 6 ตัว พร้อมบุททองเหลือง

## วิธีการ

### 1. การติดตั้งระบบถ่ายทอดกำลังแบบอุทกสถิตกับไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา

ไถระเบิดดินดานในงานวิจัยนี้ ปรับปรุงจากไถระเบิดดินดานของ ชาญญา และคณะ (2539) โดยเปลี่ยนชุดเฟืองดอกจอก ซึ่งเป็นชุดถ่ายทอดกำลังที่ต่อกับชุดกลไกการสั้นของขาไถออก แล้วติดตั้งระบบไฮดรอลิก ดังนี้

1.1 ป้อนไฮดรอลิกขนาด 55 cc/rev โดยต่อกับเพลลาอำนาจกำลังเพื่อใช้เป็นต้นกำลัง

1.2 วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า เพื่อควบคุมความเร็วรอบของ มอเตอร์ไฮดรอลิก

1.3 มอเตอร์ไฮดรอลิกขนาด 100 cc/rev ต่อกับชุดกลไกการสั้นของขาไถ เพื่อสร้างความถี่ในการสั้น

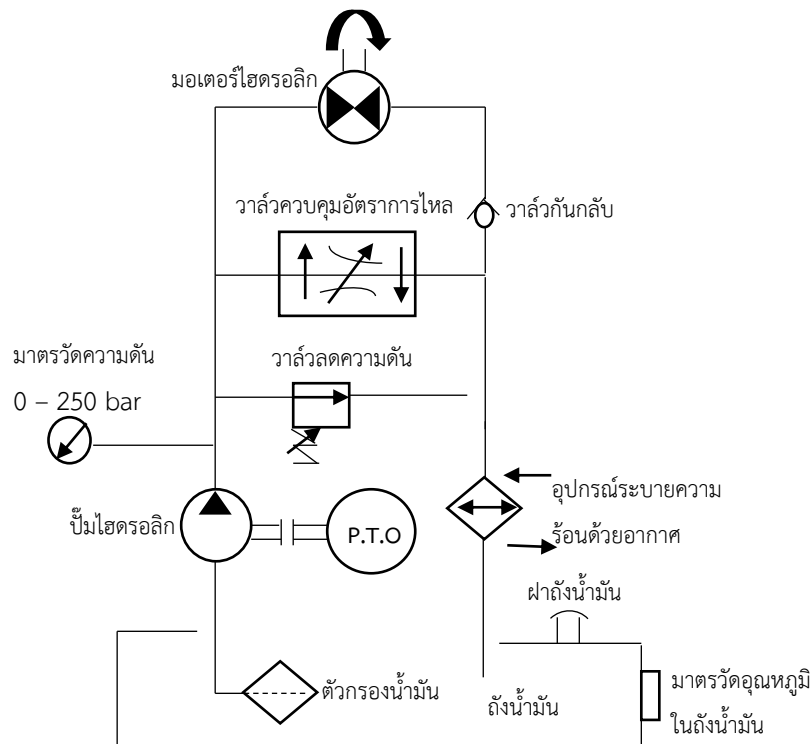
1.4 ถังน้ำมันไฮดรอลิกขนาด 25 ลิตร ติดตั้งบนโครงหลังที่นั่งคนขับ สำหรับส่งน้ำมันไฮดรอลิกไปใช้ในระบบ

1.5 วาล์วลดความดัน ติดตั้งก่อนเข้าวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์จากความดันเกินในระบบ

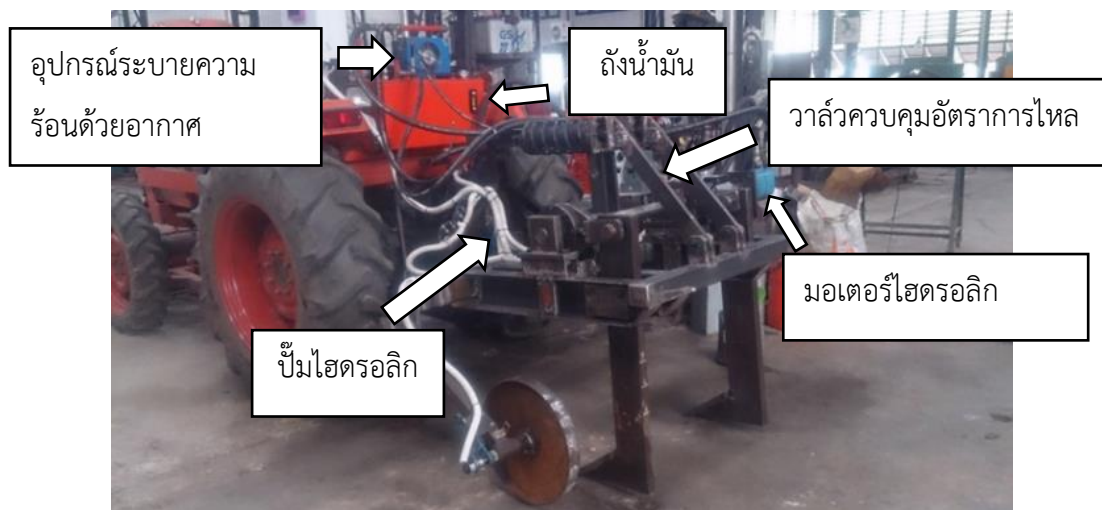
1.6 อุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 250 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยต่อจากมอเตอร์ไฮดรอลิก เพื่อระบายความร้อนของน้ำมันหลังการใช้งาน

แสดงวงจรไฮดรอลิกในการติดตั้งภาพที่ 2 และผลการติดตั้งภาพที่ 3





ภาพที่ 2 วงจรการติดตั้งระบบถ่ายทอดกำลังแบบอุทกสถิตกับไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา



ภาพที่ 3 การติดตั้งระบบถ่ายทอดกำลังแบบอุทกสถิตกับไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา

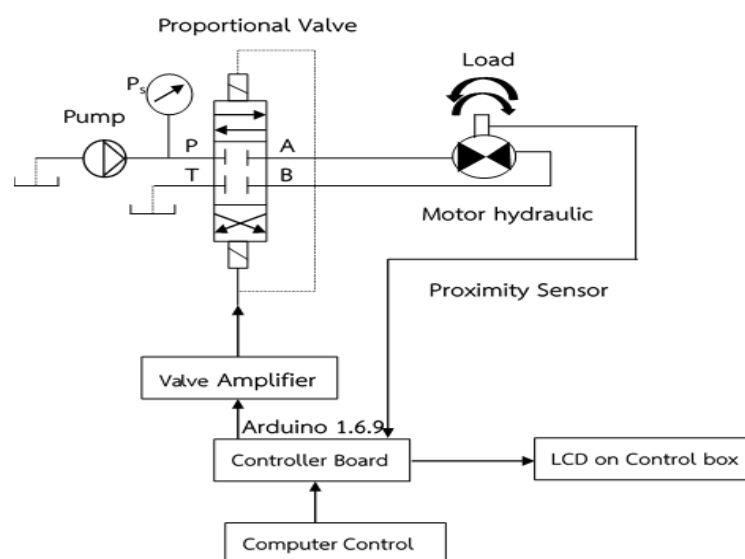
หลักการทำงานเริ่มจาก เพลาอำนาจกำลังหมุนที่ความเร็วรอบ 540 รอบต่อนาที ส่งกำลังผ่านชุดเฟือง อัตราทด 1:4 ขับปั๊มไฮดรอลิกที่ความเร็วรอบ 2,160 รอบต่อนาที มีอัตราการไหลประมาณ 98 ลิตรต่อนาที มีวาล์วควบคุมความดันที่ 250 บาร์ น้ำมันไฮดรอลิกถูกส่งผ่านระบบท่อไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบปรับด้วยไฟฟ้า ซึ่งจะ เปิด หรือปิดวาล์วด้วยตัวควบคุมแบบ

ฟัซซี (Fuzzy Controller) และต่อไปยังมอเตอร์ไฮดรอลิก ซึ่งต่อกับชุดกลไกการสั่นของขาไถ น้ำมันที่ผ่านมอเตอร์ไฮดรอลิกจะเกิดความร้อนซึ่งแปรผันกับขนาดของภาระงานจะถูกส่งไปยังตัวระบายความร้อนแบบพัดลมระบายอากาศเพื่อระบายความร้อน และส่งกลับเข้าถังน้ำมันไฮดรอลิกหมุนเวียนตลอดการใช้งาน

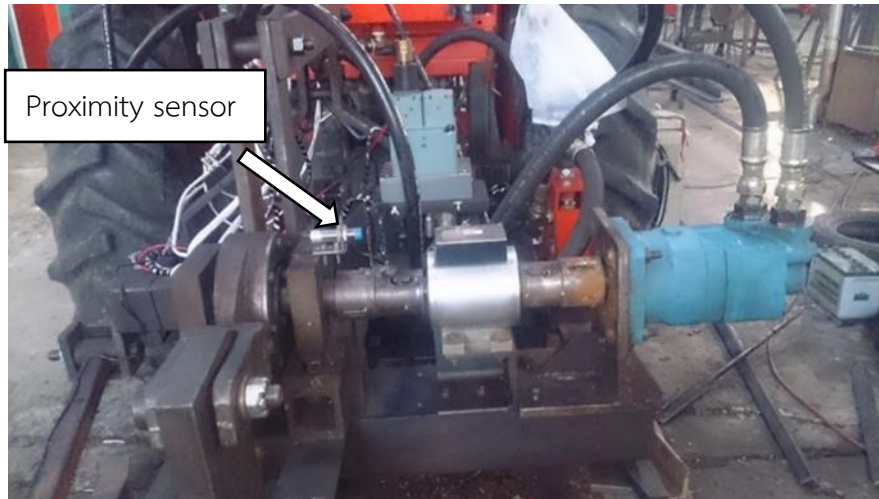
## 2. การติดตั้งอุปกรณ์วัด และควบคุม

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

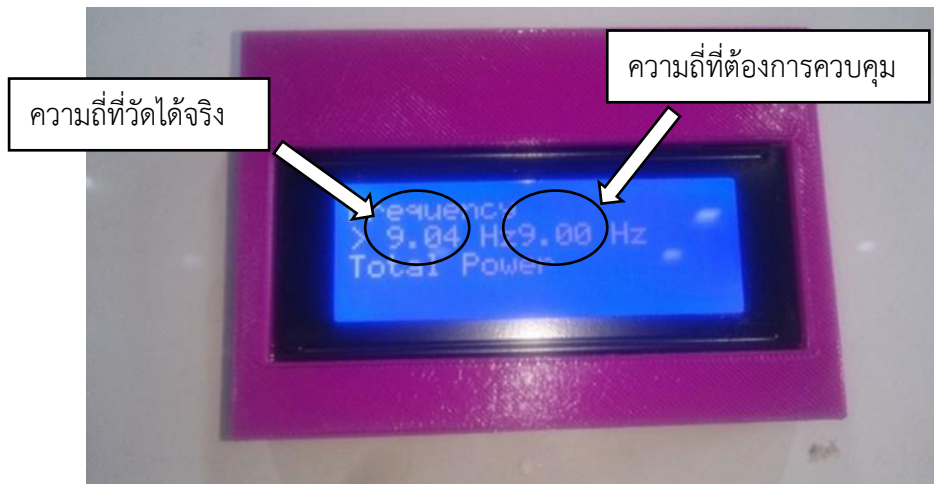
การควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก เพื่อไปควบคุมความเร็วในการหมุนขับภาระของมอเตอร์ไฮดรอลิก กระทำโดยโปรแกรมควบคุมความถี่ด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี ซึ่งเขียนด้วยโปรแกรม Matlab ในคอมพิวเตอร์ผ่านบอร์ดควบคุม ซึ่งจะคำนวณสัญญาณควบคุมตามสัญญาณสั่งงานและสัญญาณป้อนกลับ สัญญาณสั่งงานจากบอร์ดควบคุมจะถูกขยายด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Valve Amplifier) ก่อนส่งไปยังวาล์วควบคุมอัตราการไหล



ภาพที่ 4 แผนภาพการติดตั้งชุดควบคุมความถี่ในการสั่นของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา



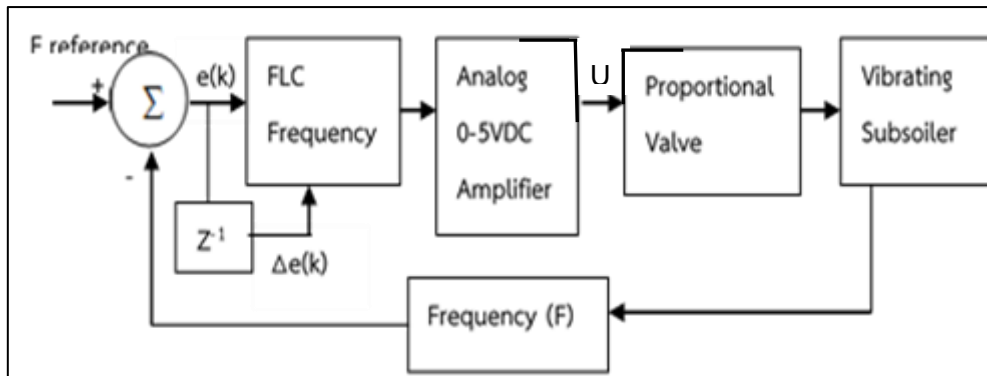
ภาพที่ 5 แสดงการติดตั้ง Proximity Sensor เพื่อวัดการสั่นของขาไถ



ภาพที่ 6 การแสดงผลการวัดความถี่ในการสั่นของขาไถที่หน้าจอ LCD บนตู้ควบคุม

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

การทำงานของระบบมีการทำงานโดยรวมดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 Block Diagram ของตัวควบคุมแบบฟัซซีในการควบคุม 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 อินพุตไปเข้ากฎฟัซซี เพื่อเป็นเอาต์พุตควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้กับวาล์วควบคุมอัตราการไหล ถ้าค่าป้อนกลับมากกว่าค่าอ้างอิงทำให้ค่าผิดพลาดมีค่าเป็นลบ 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

การทดสอบไถดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น ทำการทดสอบที่เงื่อนไขต่างๆดังนี้

ก) ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น ใช้ความถี่ในการสั่น 4 ระดับ คือ 0 เฮิร์ตซ์ (ไม่มีการสั่น) 7 เฮิร์ตซ์ 9 เฮิร์ตซ์ และ 11 เฮิร์ตซ์

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 การทดสอบ โดยทำการสุ่ม (Randomization) พื้นที่ทำการทดสอบในแต่ละแปลงทดสอบ (plot) ขนาด 3 x 20 เมตรต่อกรรมวิธี โดยรายละเอียดของการทดสอบในแต่ละกรรมวิธีแสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** รายละเอียดของการทดสอบในแต่ละกรรมวิธี (treatment, (t))

กรรมวิธี (t)	รายละเอียดในแต่ละกรรมวิธี
1	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ low 2 ความถี่ในการสั่นของขาไถดินดาน 0 เฮิร์ตซ์ ความลึกในการไถเฉลี่ย 30 เซนติเมตร
2	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ low2 ความถี่ในการสั่นของขาไถดินดาน 7 เฮิร์ตซ์ ความลึกในการไถเฉลี่ย 30 เซนติเมตร

## ตารางที่ 1 (ต่อ)

กรรมวิธี (t)	รายละเอียดในแต่ละกรรมวิธี
3	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ low2 ความถี่ในการสั่นของขาไถดินดาน 9 เฮิร์ตซ์ ความลึกในการไถเฉลี่ย 30 เซนติเมตร
4	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ low2 ความถี่ในการสั่นของขาไถดินดาน 11 เฮิร์ตซ์ 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

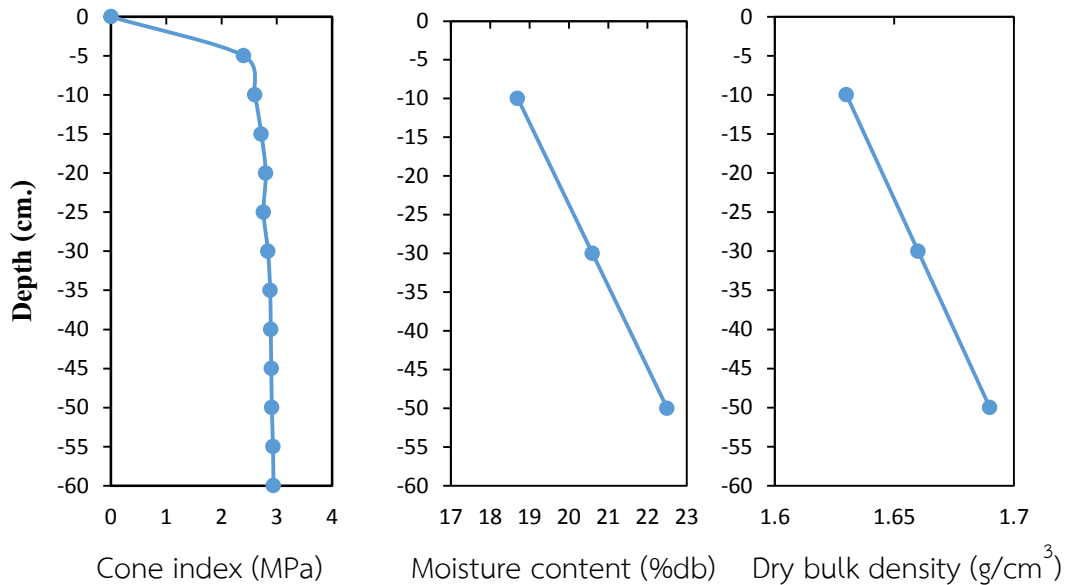
พื้นที่ทำการทดสอบแสดงในภาพที่ 8 ชนิดของดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ดังแสดงในตารางที่ 2 สมบัติของดินในแปลงทดสอบที่ระดับความลึก 0-60 เซนติเมตร มีค่าความชื้นของดินเฉลี่ย 20.60 % db ความหนาแน่นมวลรวมสภาวะแห้งของดินเฉลี่ย 1.66 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 9



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	
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

### ผลการทดลองและอภิปราย

ผลการทดลองและอภิปรายแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ 1. ผลการทดสอบความถี่ในการสั่นที่มีผลต่อสมรรถนะของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา 2. ประสิทธิภาพการทำงานของต้นแบบไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น 3. ผลการควบคุมความถี่ในการสั่นของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น และการเลือกความถี่ในการสั่นที่เหมาะสม 4. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น

#### 1. ผลการทดสอบความถี่ในการสั่นที่มีผลต่อสมรรถนะของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา

ผลการทดสอบความถี่ในการสั่นที่มีผลต่อสมรรถนะของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา ทั้งหมด 5 ค่าประกอบด้วย แรงฉุดลากในแนวระดับ กำลังรวม พื้นที่การแตกตัวของดิน การสั่นสะท้อนต่อคนขับ และความหนาแน่นมวลรวมสภาวะแห้งของดินหลังการไถ

##### 1.1 แรงฉุดลากในแนวระดับ (Draft force)

ผลการทดสอบแรงฉุดลากทั้งหมด 4 กรรมวิธี เฉลี่ย 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 3

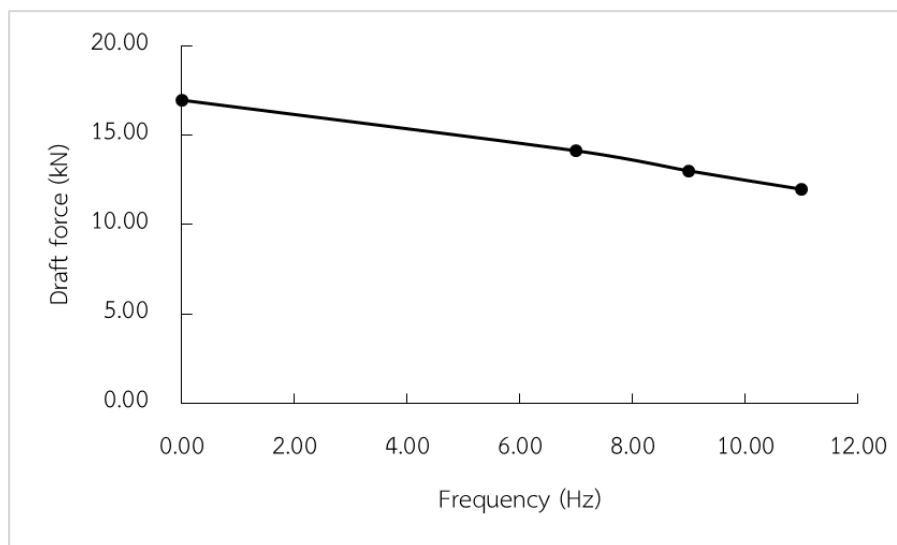


ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยแรงฉุดลากในแนวระดับในแต่ละกรรมวิธี

กรรมวิธี	แรงฉุดลากในแนวระดับ (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% กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงฉุดลาก กับความถี่ในการสั่นแสดงในภาพที่ 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

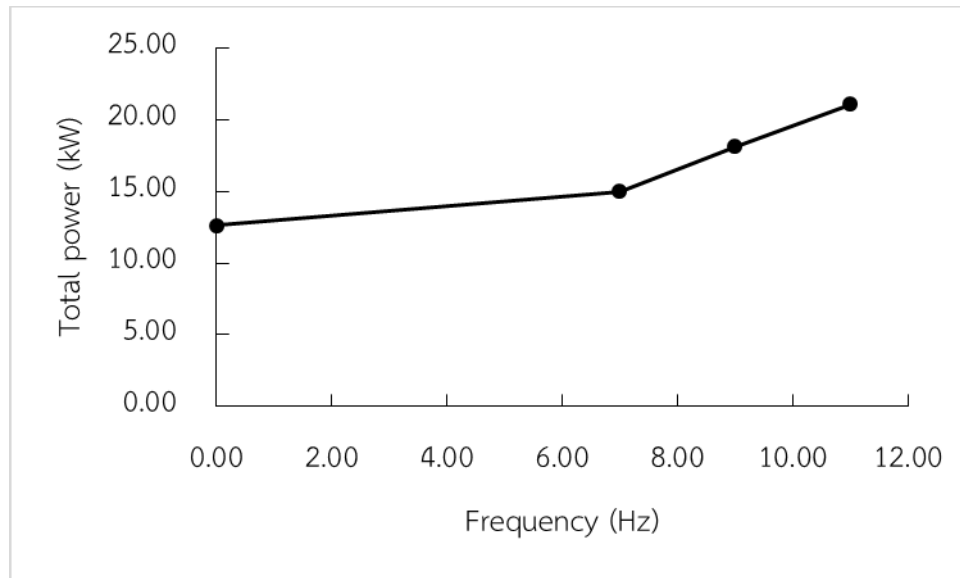
กรรมวิธี	กำลังฉุดลาก (kW)	กำลังจากเพลา อำนาจกำลัง (kW)	กำลังจาก มอเตอร์ไฮดรอลิก (kW)	กำลังรวม (kW)
1	12.64	0	0	12.64
2	8.21	6.81	4.84	15.02
3	7.56	10.57	7.29	18.13
4	6.96	14.15	10.05	21.11

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4 พบว่า

ก) กำลังจากเพลาอำนาจกำลัง เป็นกำลังจริงที่ใช้ในการขับปั๊มไฮดรอลิกซึ่งใช้รอบคงที่เฉลี่ย 540 รอบต่อนาที กำลังจริงจะสูญเสียไปในระบบไฮดรอลิกประมาณ 31% โดยสูญเสียจากอุปกรณ์ไฮดรอลิก ได้แก่ ปั๊มไฮดรอลิก และมอเตอร์ไฮดรอลิก นอกจากนี้ยังสูญเสียจากระบบถ่ายทอดกำลัง โดยใช้เฟืองทด ความดันตกในระบบท่อ และความร้อนในระบบขณะทำงาน โดยกำลังจากเพลาอำนาจกำลังจะถูกนำไปรวมกับกำลังฉุดลากเป็นกำลังรวม (Total power) ส่วนกำลังจากมอเตอร์ไฮดรอลิกเป็นกำลังที่ใช้ในการขับเพลาลูกเบี้ยว ทำให้เกิดการสั่นของขาไถ หาได้จากผลต่างของกำลังจากเพลาอำนาจกำลังกับกำลังจริงที่สูญเสียไปในระบบไฮดรอลิก

ข) ค่าเฉลี่ยกำลังรวมเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 0 เฮิร์ตซ์ (ไม่มีการสั่น) จนถึง 11 เฮิร์ตซ์ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังรวมเพิ่มขึ้นจาก 12.64 กิโลวัตต์ เป็น 21.11 กิโลวัตต์ และยังพบว่า ขณะสั่นด้วยความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ที่ความเร็ว Low 2 ใช้กำลังรวมมาก

ที่สุด 21.11 กิโลวัตต์ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรวม กับความถี่ในการสั่นแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรวม กับความถี่ในการสั่น

### 1.3 พื้นที่การแตกตัวของดิน (Soil disturbance)

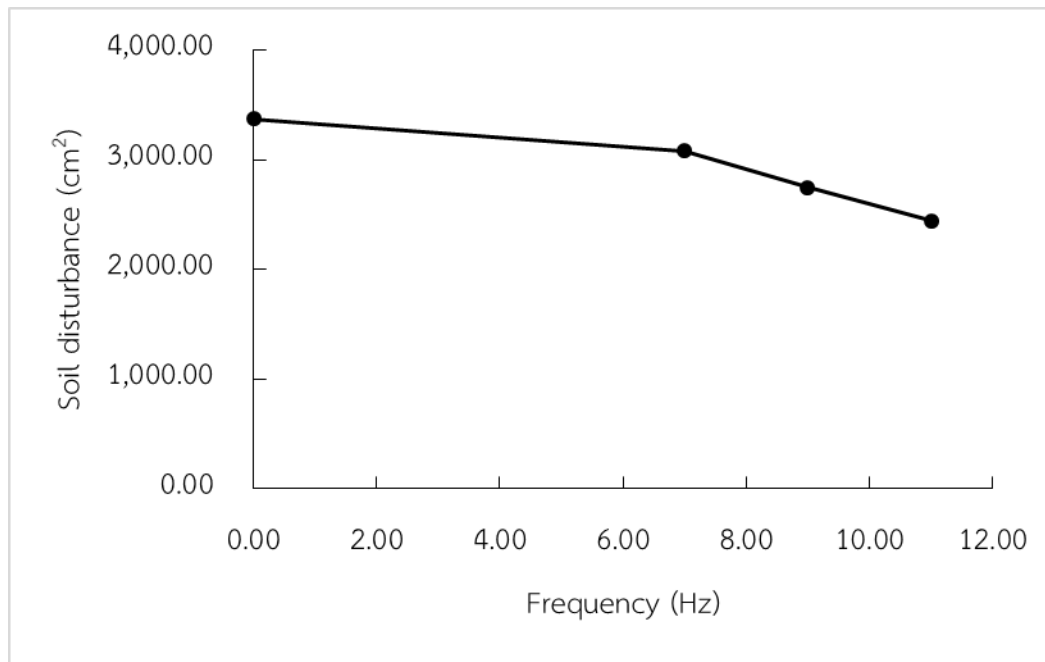
ผลการทดสอบความกว้างในการแตกตัวของดิน พื้นที่การแตกตัวของดิน แรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน และกำลังรวมต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน ทั้งหมด 4 กรรมวิธี เฉลี่ย 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยความกว้างในการแตกตัวของดิน พื้นที่การแตกตัวของดิน แรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน และกำลังรวมต่อพื้นที่การแตกตัวของดินในแต่ละกรรมวิธี

กรรมวิธี	ความกว้าง การ แตกตัว (cm)	พื้นที่การแตกตัว (cm <sup>2</sup> )			แรงฉุดลากต่อ พื้นที่การแตก ตัวของดิน (N/cm <sup>2</sup> )	กำลังรวมต่อ พื้นที่การแตก ตัวของดิน (W/cm <sup>2</sup> )
		ส่วนที่ ยกตัวขึ้น	ส่วนที่เป็น หลุม	พื้นที่รวม		
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

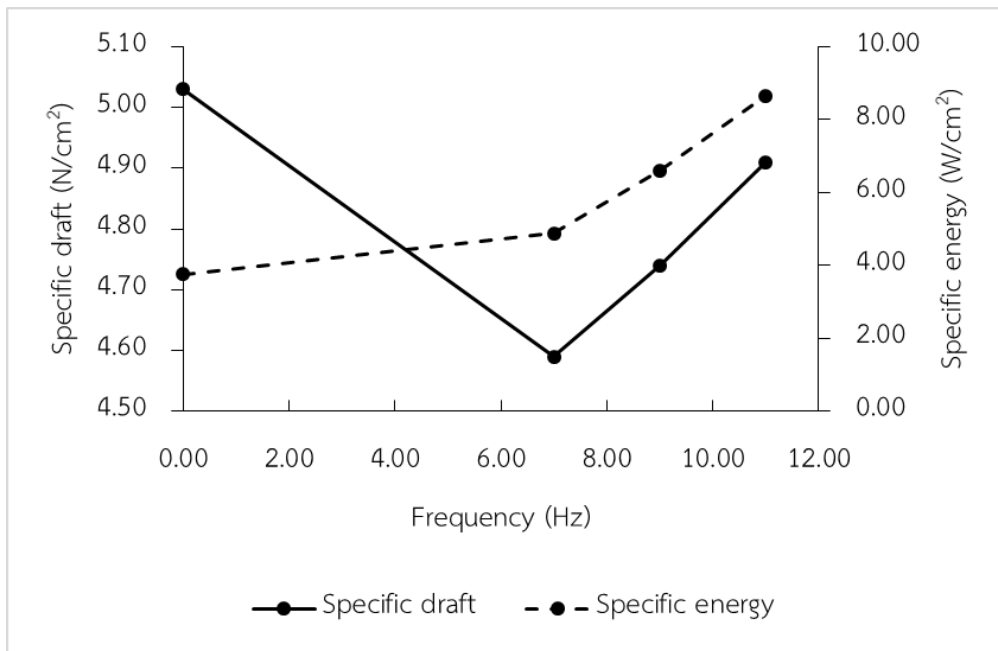
จากผลการทดสอบในตารางที่ 5 พบว่า

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% กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่การแตกตัวของดินกับความถี่ในการสั่นแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่การแตกตัวของดิน กับความถี่ในการสั่น

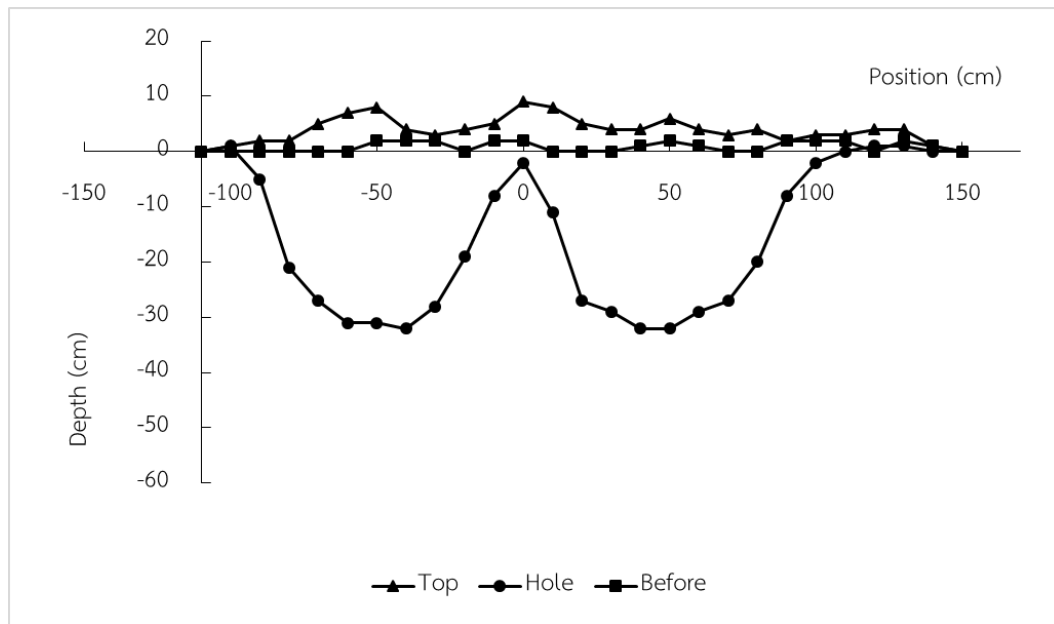
ข) ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 0 เฮิรตซ์ (ไม่มีการสั่น) เป็น 7 เฮิรตซ์ แรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดินลดลง 8.75% แต่เมื่อเพิ่มความถี่ในการสั่นจาก 7 เฮิรตซ์ เป็น 11 เฮิรตซ์ แรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดินเพิ่มขึ้น 6.97% ส่วนความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังรวมต่อพื้นที่แตกตัวของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น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



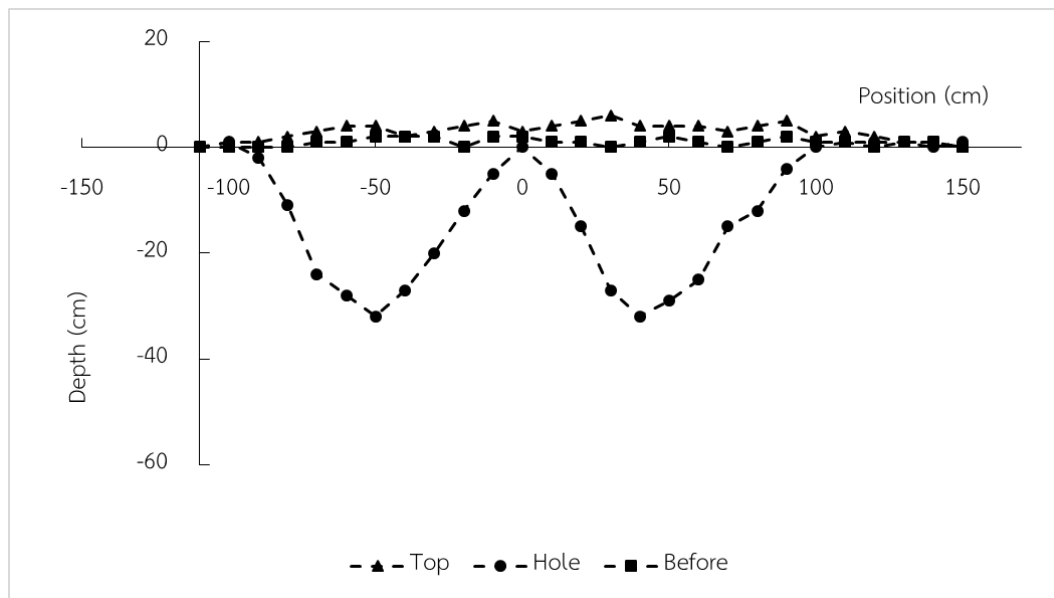
ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน และกำลังรวมต่อพื้นที่แตกตัวของดิน กับความถี่ในการสั่น

แรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดินควรมีค่าลดลงเมื่อความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้น แต่การทดลองนี้ พบว่า แรงฉุดลาก และพื้นที่การแตกตัวของดินมีค่าลดลงไม่มากพอเมื่อความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 7 เฮิรตซ์ เป็น 11 เฮิรตซ์ ส่งผลให้ค่าแรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดินมีค่าสูงกว่าความถี่ในการสั่น 7 เฮิรตซ์

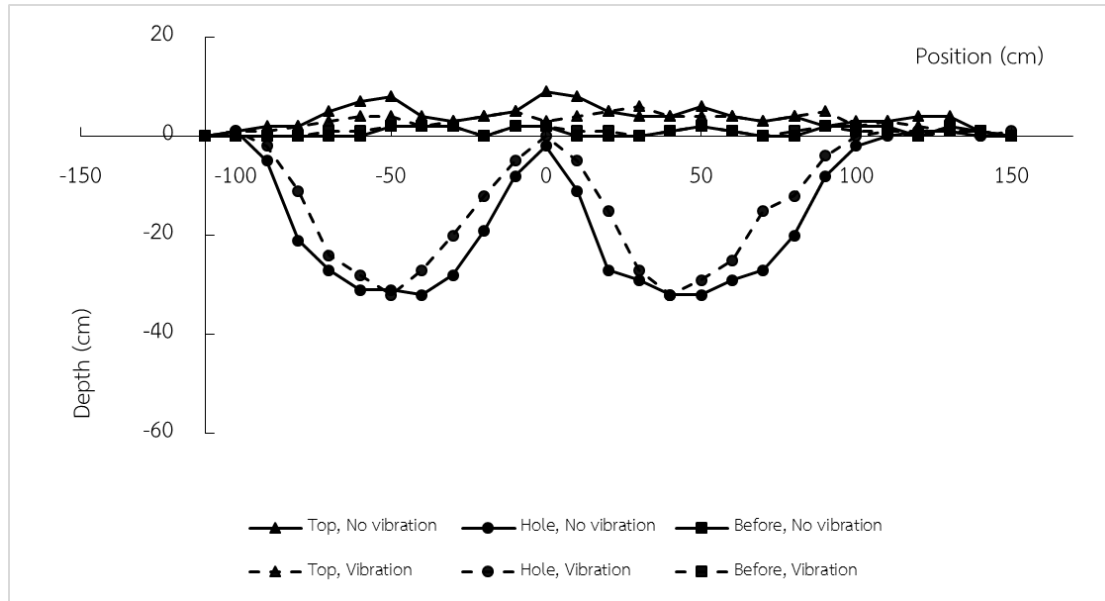
พื้นที่หน้าตัดการแตกตัวของดินขณะขาไถไม่สั่นที่ความเร็วแทรกเตอร์ Low 2 ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 14 และพื้นที่หน้าตัดการแตกตัวของดินขณะขาไถสั่นที่ความถี่ 11 เฮิรตซ์ ความเร็วแทรกเตอร์ Low 2 ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 15 เปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดการแตกตัวของดินทั้งสองเงื่อนไขแสดงในภาพที่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



ภาพที่ 14 การแตกตัวของดินขณะขุดไม่สั่นที่ความเร็วแทรกเตอร์ Low 2 ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร



ภาพที่ 15 พื้นที่หน้าตัดการแตกตัวของดินรวมขณะขุดสั่นที่ความเร็วในการสั่น 11 เฮิร์ตซ์ ความเร็วแทรกเตอร์ Low 2 ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร



ภาพที่ 16 เปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดการแตกตัวของดินรวมขณะขุดไส้ที่ความถี่ในการสั่น 11 เฮิร์ตซ์กับขุดไส้ที่ไม่สั่น ที่ความเร็วแทรกเตอร์ Low2 ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร



ภาพที่ 17 แสดงการวัดพื้นที่การแตกตัวของดินในส่วนที่เป็นหลุมโดยใช้ Profile meter



#### 1.4 ความหนาแน่นมวลรวมสถานะแห้งของดินหลังการไถ (Dry bulk density)

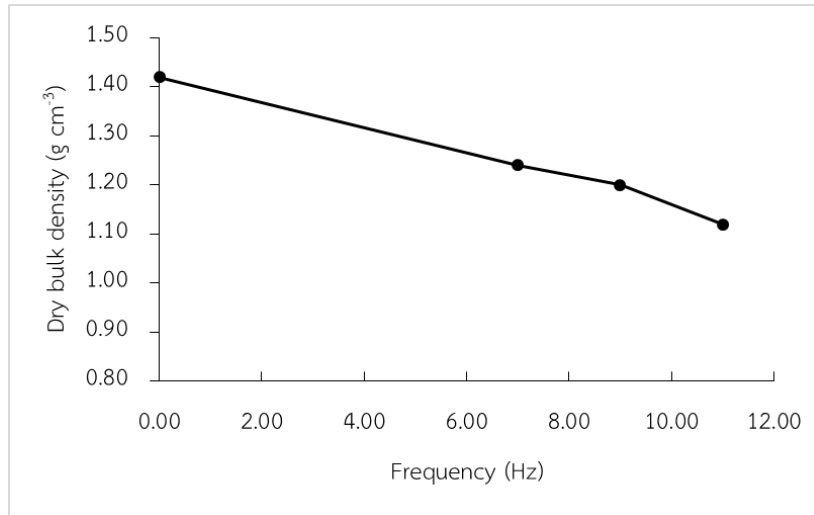
ผลการทดสอบหาความหนาแน่นมวลรวมสถานะแห้งของดินหลังการไถทั้งหมด 4 กรรมวิธี เฉลี่ย 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความหนาแน่นมวลรวมสถานะแห้งของดินหลังการไถในแต่ละกรรมวิธี

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

จากผลการทดสอบในตารางที่ 6 พบว่า

ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 0 เฮิรตซ์ (ไม่มีการสั่น) เป็น 11 เฮิรตซ์ ค่าเฉลี่ย Dry bulk density มีค่าลดลง โดยค่าเฉลี่ย Dry bulk density ที่ความถี่ในการไถ 30 เซนติเมตร สำหรับการทำงานขณะไถสั่นที่ความถี่ 11 เฮิรตซ์ ความเร็ว Low 2 มีค่า 1.12 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ลดลงจากค่าเฉลี่ย Dry bulk density เดิมก่อนการไถ 32.53% และลดลงมากกว่าขณะเครื่องมือไม่สั่นที่ความเร็ว และความถี่ระดับเดียวกัน 21.13% โดยที่ความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้นจาก 7 เฮิรตซ์ เป็น 11 เฮิรตซ์ ค่าเฉลี่ย Dry bulk density ลดลง 9.68% ซึ่งตรงกับผลการวิจัยของ Niyamapa and Salokhe (1993) ที่รายงานว่าเมื่อใช้ไถดินดานแบบสั่นที่ขา ดินมีโอกาสแตกตัวเป็นก้อนเล็กได้มากกว่าเมื่อไถไม่สั่น 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 การแตกตัวของดินขณะชาไถไม่สั้น ความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ Low 2

### 1.5 การสั่นสะเทือนต่อคนขับ (Tractor seat vibration)

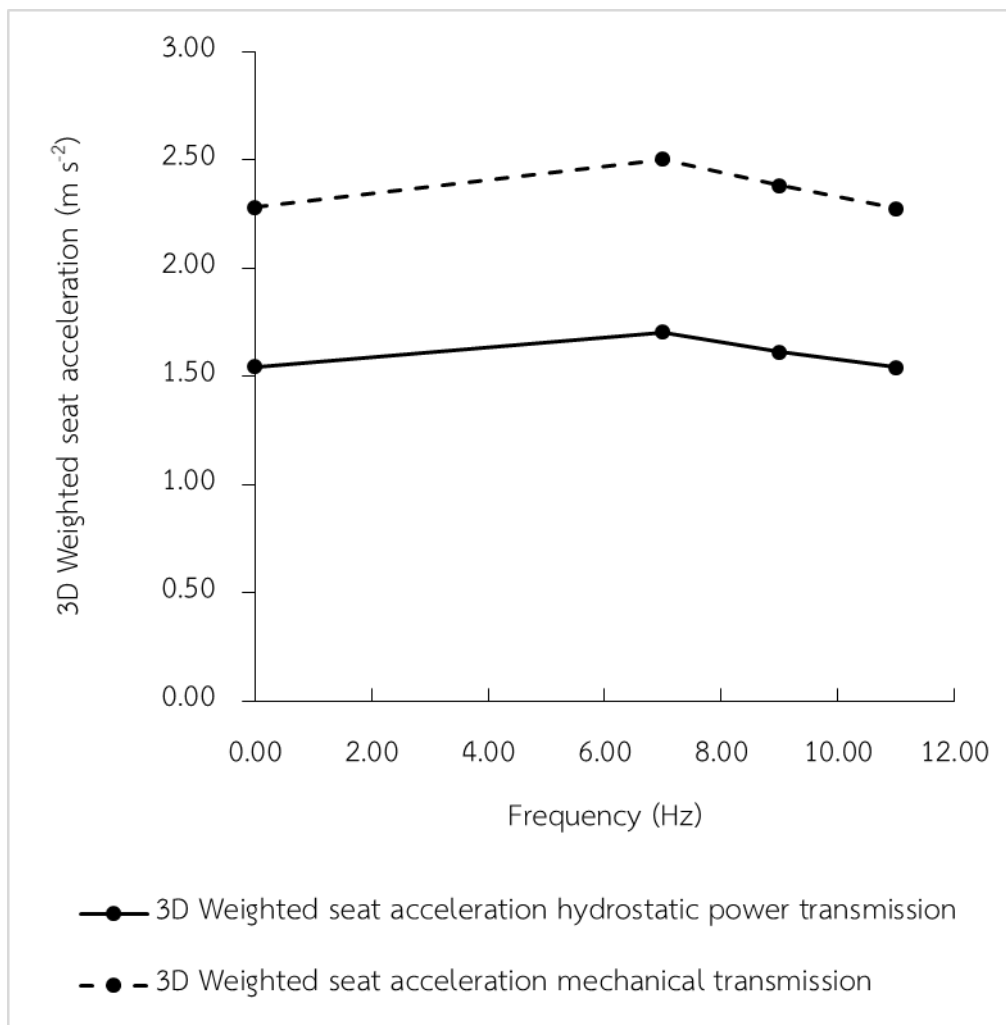
การสั่นสะเทือนต่อคนขับ สามารถดูได้จากค่า 3D weighted seat acceleration ทั้งหมด 4 กรรมวิธี เฉลี่ย 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ย 3D weighted seat acceleration ในแต่ละกรรมวิธี

กรรมวิธี	3D weighted seat acceleration Hydrostatic power transmission ( $m s^{-2}$ )	3D weighted seat acceleration Mechanical transmission ( $m s^{-2}$ )
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 ลดลงประมาณ 47 - 48% ทั้งแบบขาไถสันและไม่สันขณะทำงาน ที่ความถี่ในการสั่น ความลึกในการไถ และความเร็วในการเคลื่อนที่เดียวกัน

## 2. ประสิทธิภาพการทำงานของต้นแบบไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาที่มีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น

ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ทั้งหมด 3 ครั้ง โดยที่หน้ากว้างการทำงานของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาที่ติดตั้งชุดควบคุมความถี่ในการสั่น คือ 1.2 เมตร และกำหนดให้ระยะทางในการทำงาน คือ 20 เมตร สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎี และกำหนดให้ความกว้างของแปลงทดสอบ คือ 20 เมตร ความยาวของแปลงทดสอบ คือ 40 เมตร สำหรับประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรจริง

ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเชิงทฤษฎี ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรจริง อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และเวลาสูญเสียรวม ทั้งหมด 4 กรรมวิธี เฉลี่ย 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 8

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

กรรมวิธี	ประสิทธิภาพการทำงาน ของ เครื่องจักรจริง  (ไร่/ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพการทำงาน ของ เครื่องจักรเชิง ทฤษฎี  (ไร่/ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพ การทำงานเชิง พื้นที่  (%)	อัตราการใช้น้ำมัน เชื้อเพลิง  (ลิตร/ไร่)	เวลาที่ใช้ใน การทดสอบ  (วินาที)	เวลาสูญเสียสำหรับ การกลับรถ  (วินาที)	เวลาสูญเสีย รวม  (วินาที)	อัตราสิ้นเปลือง  (%)
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 (ไม่มีสั่น) จนถึง 11 เฮิร์ตซ์ การสิ้นเปลืองลดลง 25.48%

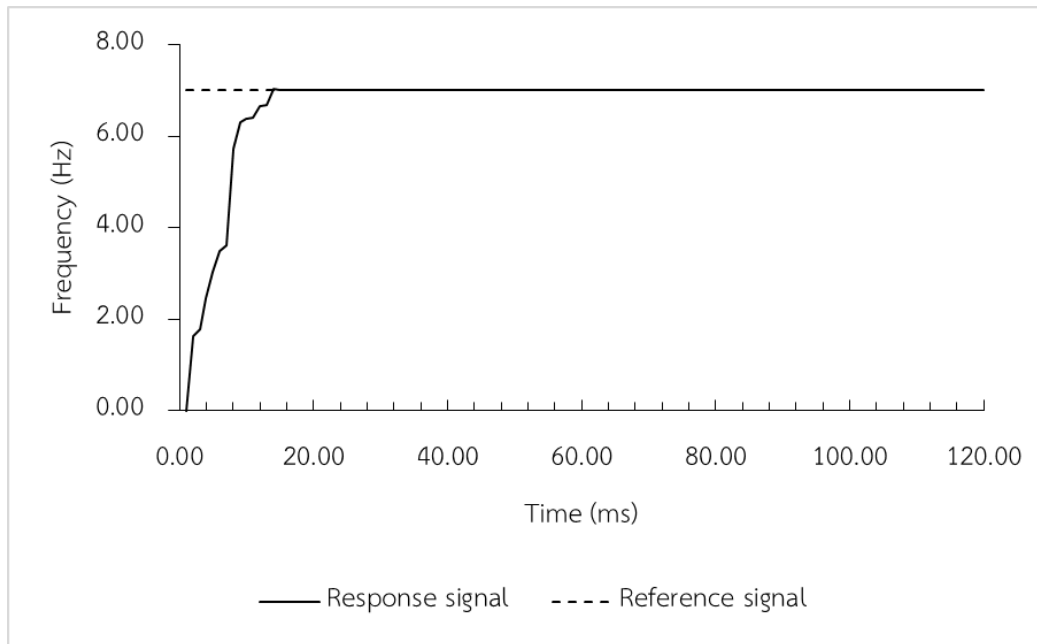
ง) การสิ้นเปลืองเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรลดลง

จ) เวลาสูญเสียสำหรับการกลับรถขณะเครื่องไถสั่นใช้เวลามากกว่าขณะไม่สั่น เนื่องจากช่วงเวลากลับรถคนขับจะทำการยกขาไถขึ้น และปิดระบบสั่นสะเทือน เมื่อทำการกลับรถเสร็จเพื่อทำการไถแถวใหม่ จึงลากขาไถลงดินแล้วทำการเปิดระบบสั่นสะเทือนอีกครั้ง โดยเครื่องไถแบบไม่สั่นไม่ต้องเสียเวลาในการเปิดปิดระบบสั่นสะเทือน

**3. ผลการควบคุมความถี่ในการสั่น ของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น และการเลือกความถี่ในการสั่นที่เหมาะสม**

### 3.1 ผลตอบสนองความถี่ในการสั่ง 7 เฮิร์ตซ์

กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมความถี่ในการสั่งแบบพีซีซี ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ความถี่ในการสั่ง 7 เฮิร์ตซ์ และความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 22



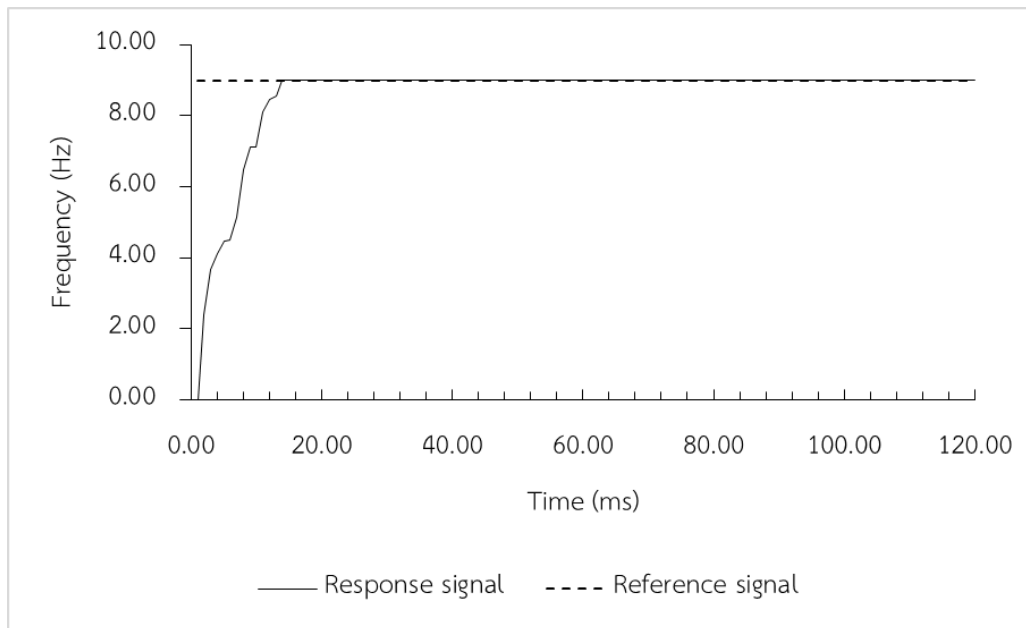
ภาพที่ 22 ผลตอบสนองความถี่ในการสั่ง 7 เฮิร์ตซ์ โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีซีซีเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง

กำหนดให้ความถี่ในการสั่ง Input Setpoint ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมแบบพีซีซีคือ 7 เฮิร์ตซ์ โดยภาพที่ 22 แสดงกราฟผลตอบสนองระหว่างความถี่ในการสั่งกับเวลา พบว่า การสั่งของขาคไถเริ่มสั่งจาก 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

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



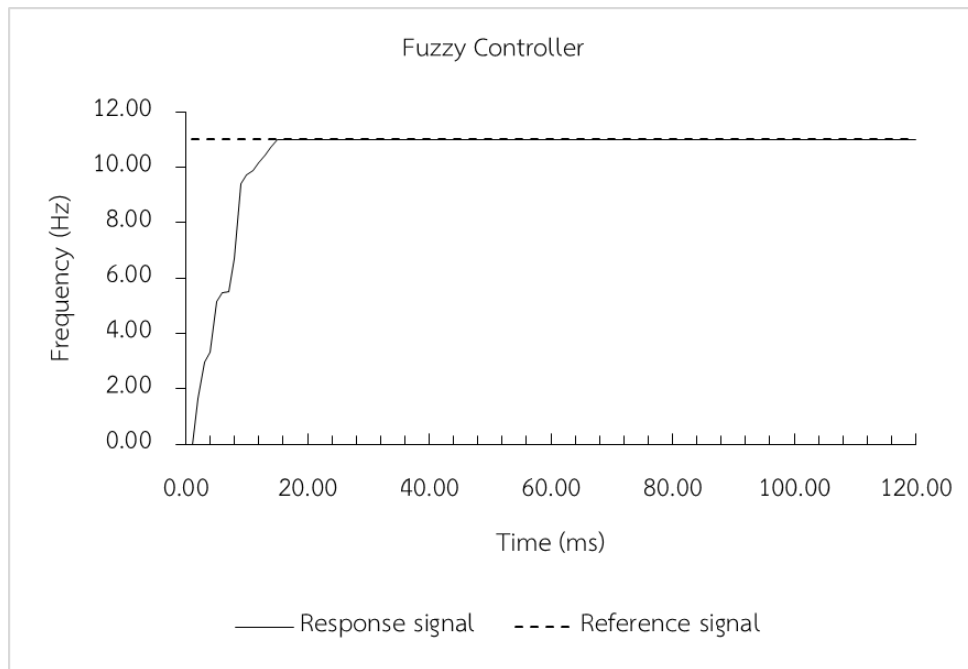


**ภาพที่ 23** ผลตอบสนองความถี่ในการสั่น 9 เฮิรตซ์ โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีซีซีเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง

กำหนดให้ความถี่ในการสั่น Input Setpoint ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมแบบพีซีซีคือ 9 เฮิรตซ์ โดยภาพที่ 23 แสดงกราฟผลตอบสนองระหว่างความถี่ในการสั่นกับเวลา พบว่า การสั่นของขาไถเริ่มสั่นจาก 0 เฮิรตซ์ (ไม่มีการสั่น) จนถึง 9 เฮิรตซ์ ใช้ช่วงเวลา Response Time = 14 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Delay Time = 6 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Rise Time = 11 มิลลิวินาที และช่วงเวลา Setting Time = 13 มิลลิวินาที ไม่เกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot)

### 3.3 ผลตอบสนองความถี่ในการสั่น 11 เฮิรตซ์

กราฟผลตอบสนองของระบบควบคุมความถี่ในการสั่นแบบพีซีซี ที่ความเร็วรถแทรกเตอร์ Low 2 ความถี่ในการสั่น 11 เฮิรตซ์ และความลึกในการไถ 30 เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ผลตอบสนองความถี่ในการสั่ง 11 เฮิรตซ์ โดยใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซี่เปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง

กำหนดให้ความถี่ในการสั่ง Input Setpoint ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมควบคุมแบบฟัซซี่คือ 11 เฮิรตซ์ โดยภาพที่ 24 แสดงกราฟผลตอบสนองระหว่างความถี่ในการสั่งกับเวลา พบว่า การสั่งของขาไถเริ่มสั่งจาก 0 เฮิรตซ์ (ไม่มีการสั่ง) จนถึง 11 เฮิรตซ์ ใช้ช่วงเวลา Response Time = 15 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Delay Time = 7 มิลลิวินาที ช่วงเวลา Rise Time = 11 มิลลิวินาที และช่วงเวลา Setting Time = 13 มิลลิวินาที ไม่เกิดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ความถี่ในการสั่ง 11 – 11.07 เฮิรตซ์ ตลอดการไถ

### 3.4 การเลือกความถี่ในการสั่งที่เหมาะสม

การเลือกความถี่ที่เหมาะสมในการไถขึ้นกับสภาพแปลง ชนิดของพืชที่ปลูก และต้นกำลังของรถแทรกเตอร์ที่เจ้าของแปลงมี สำหรับการปลูกอ้อยในแปลงทดสอบนี้ แนะนำให้ใช้ความถี่ในการสั่ง 9 เฮิรตซ์ เนื่องจาก

ก) ความถี่ในการสั่ง 9 เฮิรตซ์ การสั่งสะท้อนต่อคนขับมีค่า 1.612 เมตร/วินาที<sup>2</sup> แรงฉุดลากในแนวระดับมีค่า 13.01 กิโลนิวตัน และความหนาแน่นมวลรวมสภาวะแห้งของดินหลังการไถมีค่า 1.20 กรัม/ลบ.ซม. ส่วนความถี่ในการสั่ง 11 เฮิรตซ์ การสั่งสะท้อนต่อคนขับมีค่า 1.541 เมตร/วินาที<sup>2</sup>

แรงฉุดลากในแนวระดับมีค่า 11.98 กิโลนิวตัน และความหนาแน่นมวลรวมสภาวะแห้งของดินหลังการไถมีค่า 1.12 กรัม/ลบ.ซม. โดยทั้ง 3 ค่ามีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนพื้นที่การแตกตัวของดินมีค่า 2,744.73 ตารางเซนติเมตร ที่ความถี่ในการสั่น 9 เฮิรตซ์ มากกว่าความถี่ในการสั่น 11 เฮิรตซ์ อยู่ 303.08 ตารางเซนติเมตร และกำลังรวมมีค่า 18.13 กิโลวัตต์ น้อยกว่าความถี่ในการสั่น 11 เฮิรตซ์ อยู่ 2.98 กิโลวัตต์ ทำให้อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่า โดยอ้อยต้องการพื้นที่แตกตัวค่อนข้างดี ขนาดดินที่แตกตัวไม่ต้องละเอียดมาก และสามารถใช้รถแทรกเตอร์ขนาดกลาง 50 แรงม้า ลากไปได้ ส่วนความถี่ในการสั่น 7 เฮิรตซ์ การสั่นสะท้อนต่อคนขับมีค่า 1.703 เมตร/วินาที<sup>2</sup> และมีค่าสูงสุด ทำให้ขณะเครื่องไถทำงานต้องคอยตรวจอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องไถ และรถแทรกเตอร์ ส่วนความหนาแน่นมวลรวมสภาวะแห้งของดินหลังการไถมีค่า 1.24 กรัม/ลบ.ซม. ซึ่งมีค่าสูงทำให้ก้อนดินที่แตกตัวมีขนาดใหญ่ รากอ้อยหาสารอาหารได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความถี่ในการสั่น 9 เฮิรตซ์ ดังนั้นความถี่ในการสั่น 7 เฮิรตซ์ ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกอ้อย

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

#### 4. ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น

ตารางที่ 9 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
วัสดุทำเครื่องต้นแบบ	
1. เหล็กโครงสร้าง	12,450
2. โซ่ส่งกำลังเบอร์ 50 พร้อมเฟือง 2 ชุด	2,000
3. มอเตอร์ไฮดรอลิกขนาด 100 cc/rev	11,500
แรงบิดสูงสุด 264 นิวตัน-เมตร	

4. ปัมไฮดรอลิกขนาด 55 cc/rev	12,000
อัตราการใช้ไฮดรอลิก 119 ลิตรต่อนาที	
5. วาล์วปรับอัตราการใช้ไฮดรอลิกแบบปรับด้วยไฟฟ้า	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	=	124,950	บาท
แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น			
2. อายุการใช้งานของไถระเบิดดินดานชนิดสัน	=	5	ปี
ที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น			
3. มูลค่าซาก	=	10%	ของราคาเครื่อง
	=	$10 \times 124,950$	
		100	
	=	12,495	บาท
4. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ	=	10	
5. จำนวนชั่วโมงในการทำงาน	=	6	ชั่วโมงต่อวัน
6. เฉลี่ยอัตราการทำงานของไถระเบิดดินดานชนิดสัน	=	1.10	ไร่ต่อชั่วโมง
ที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น			
7. ความเร็วในการทำงานเกียร์ Low 2 เฉลี่ย	=	2.09	กิโลเมตร/ชั่วโมง
8. ค่าบำรุงรักษาไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา	=	1.2%	ของราคาซื้อ/ชั่วโมงการทำงานต่อวัน
แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั่น			
9. น้ำมันดีเซลลิตรละ (ราคาเมื่อวันที่ 14 ก.ย. 2560)	=	25.49	บาท
10. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของ	=	3.12, 3.64, 3.98 และ 4.52	
ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุด			
ควบคุมความถี่ในการสั่น ( 0, 7, 9 และ 11 เฮิร์ตซ์)			ลิตรต่อไร่

$$11. \text{ สมมติใช้ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 1 ขา} = X \text{ ไร่}$$

แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสัปดาห์

#### ค่าต้นทุนคงที่

$$12. \text{ ค่าเสื่อมราคาของไถระเบิดดินดาน} = (124,950 - 12,495)/5$$

$$\text{ชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสัปดาห์} = 22,491 \text{ บาทต่อปี}$$

$$13. \text{ ค่าดอกเบี้ยในการลงทุนของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสัปดาห์} = (0.1(124,950 + 12,495))/2 = 6,872.25 \text{ บาทต่อปี}$$

$$14. \text{ ค่าเสื่อมราคาของไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสัปดาห์ต่อไร่} = 22,491/X \text{ บาทต่อไร่}$$

$$15. \text{ ค่าดอกเบี้ยในการลงทุนไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสัปดาห์ต่อไร่} = 6,872.25/X \text{ บาทต่อไร่}$$

#### ค่าต้นทุนแปรผัน

$$16. \text{ ค่าใช้จ่ายจากน้ำมันเชื้อเพลิง ( 0, 7, 9 และ 11 เฮ็คตาร์)} = (3.12, 3.64, 3.98, 4.52) \times 25.49 = (79.53, 92.78, 101.45, 115.21) \text{ บาทต่อไร่}$$

$$17. \text{ ค่าใช้จ่ายจากคนขับรถแทรกเตอร์ ทำงานวันละ 500 บาท} = 1.10 \times 6 = 6.6 \text{ ไร่ต่อวัน} = 500/6.6 = 75.76 \text{ บาทต่อไร่}$$

$$18. \text{ ค่าบำรุงรักษาไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสัปดาห์ต่อไร่} = (1.2 \times 124,950)/(100 \times 6 \times 6 \times 1.10) = 37.86 \text{ บาทต่อไร่}$$

$$19. \text{ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด} = (79.53, 92.78, 101.45, 115.21) + 75.76 + 37.86 + (22,491/X) + (6,872.25/X) \text{ บาทต่อไร่} = (193.15, 206.40, 215.07, 228.83) + (29,363.25/X) \text{ บาทต่อไร่}$$

ค่าจ้างไถดินดานด้วยไถระเบิดดินดานชนิดสั้น = 350 บาทต่อไร่  
ที่ชา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั้น

20. จุดคุ้มทุนสำหรับการใช้ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ชา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั้น

$$350 = (193.15, 206.40, 215.07, 228.83) + (29,363.25/X)$$

$$350X = (193.15X, 206.40X, 215.07X, 228.83X) +$$

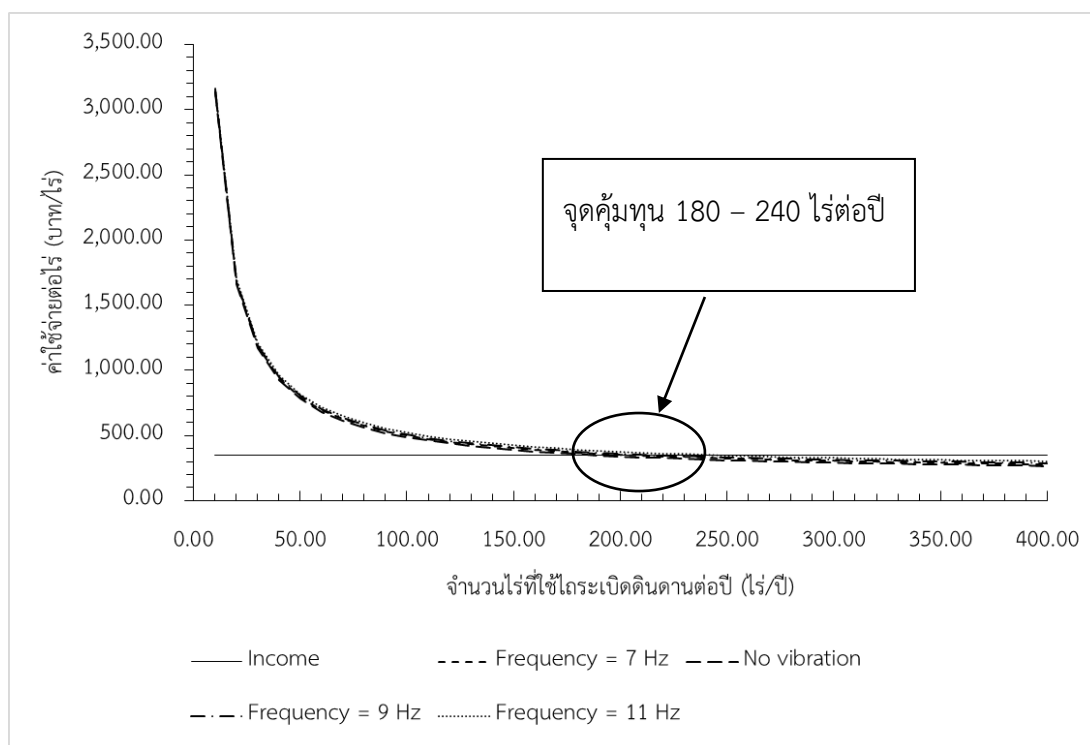
29,363.25

$$(350 - (193.15, 206.40, 215.07, 228.83))X = 29,363.25$$

$$(156.85, 143.6, 134.93, 121.17)X = 29,363.25$$

$$X = 187.21, 204.48, 217.62, 242.33 \text{ ไร่ต่อปี}$$

เมื่อใช้ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ชา 2 ขาแบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั้นที่ความถี่ 0, 7, 9 และ 11 เฮิรตซ์ จะมีจุดคุ้มทุน 187.21, 204.48, 217.62, 242.33 ไร่ต่อปี ตามลำดับ แสดงในภาพที่ 25 และการทำงานของไถดินดานชนิดสั้นที่ชา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั้น แสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 25 แสดงจุดคุ้มทุนในการใช้ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ชา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั้นที่ความถี่ 0, 7, 9 และ 11 เฮิรตซ์



ภาพที่ 26 แสดงการทำงานของไถดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสัน

#### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

1. ไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิต สามารถลดการสั่นสะเทือนต่อคนขับ โดยค่า 3D Weighted seat acceleration ลดลงประมาณ 47 - 48% ทั้งแบบขาไถสันและไม้สัน ที่ความถี่ในการสัน ความลึกในการไถ และความเร็วในการเคลื่อนที่เดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับไถระเบิดดินดานชนิดสันที่ขา 2 ขาแบบที่ใช้ระบบถ่ายทอดกำลังทางกล ส่งผลให้อายุการใช้งานของชิ้นส่วนในชุดถ่ายทอดกำลัง และอุปกรณ์ในรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การการสั่นที่น้อยลงส่งผลให้ผู้ขับขี่แทรกเตอร์รู้สึกสบายขึ้น
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 มีค่าลดลงเมื่อความถี่ในการสั่นเพิ่มขึ้น การ

สั้นที่ความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ ค่าเฉลี่ย Dry bulk density ลดลงจากค่าเดิมก่อนการไถ 32.53% และลดลงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบบไม่สั้น 21.13% ความถี่ในการสั้นของขาไถเพิ่มขึ้นจาก 7 เฮิร์ตซ์ เป็น 11 เฮิร์ตซ์ ค่าเฉลี่ยการสั้นสะท้อนต่อคนขับมีแนวโน้มลดลง ทั้งไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา แบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังแบบอุทกสถิต และระบบถ่ายทอดกำลังทางกล โดยการสั้นที่ความถี่ 11 เฮิร์ตซ์ เมื่อเทียบกับแบบขาไถไม่สั้น พบว่าค่าเฉลี่ยการสั้นสะท้อนต่อคนขับมีค่าไม่แตกต่างกันทั้ง 2 ระบบ

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

ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นมีข้อดีคือสามารถลดแรงฉุดลาก ทำให้ใช้รถแทรกเตอร์ขนาด 50 แรงม้า ซึ่งเป็นแทรกเตอร์ขนาดกลางที่เกษตรกรส่วนใหญ่มีใช้งาน สามารถลากไถเพื่อระเบิดดินดานได้นอกจากนี้ยังทำให้ดินแตกตัวเป็นก้อนเล็กละเอียด ทำให้รากพืชสามารถหาอาหารได้ง่าย แต่ในปัจจุบันประเทศไทยยังคงนิยมใช้ไถระเบิดดินดานแบบที่ไม่มีการสั้น เนื่องจากภาระการสั้นทำให้ชิ้นส่วนในชุดถ่ายทอดกำลังของไถระเบิดดินดาน และอุปกรณ์ในรถแทรกเตอร์เสียหายได้รวดเร็ว นอกจากนี้ภาระการสั้นส่งผลให้ผู้ขับขี่แทรกเตอร์รู้สึกไม่สบายขณะทำงาน

ไถระเบิดดินดานชนิดสั้นที่ขา 2 ขา แบบมีชุดควบคุมความถี่ในการสั้น และเป็นแบบใช้ระบบถ่ายทอดกำลังอุทกสถิตที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถลดการสั้นสะท้อนต่อคนขับ อายุการใช้งานของชิ้นส่วนในชุดถ่ายทอดกำลัง และอุปกรณ์ในรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับระบบถ่ายทอดกำลังทางกลซึ่งเป็นระบบเดิม นอกจากนี้สามารถควบคุมความถี่ในการสั้นให้คงที่ตลอดการไถ ทำให้ได้สมรรถนะการทำงานเต็มที่ที่ความถี่ในการสั้นนั้นๆ จากข้อดีดังกล่าวนี้สามารถลดข้อด้อยของไถระเบิดดินดานชนิดสั้นแบบเดิม เมื่อมีการเผยแพร่และอบรมการใช้งานแก่เกษตรกร หน่วยงานของรัฐและเอกชน ผู้ได้การอบรมสามารถนำเครื่องต้นแบบไปใช้งานในสภาพพื้นที่ ชนิดของพืชที่ปลูก และต้นกำลังแทรกเตอร์ที่มีให้เกิดประสิทธิภาพ และสมรรถนะการทำงานสูงสุด นอกจากนี้องค์ความรู้ในด้านการควบคุมความถี่ในการสั้น และการติดตั้งระบบไฮดรอลิกเข้ากับไถระเบิดดินดานชนิดสั้น สามารถถ่ายทอดสู่ผู้ประกอบการ และเกษตรกรผู้สนใจได้



### บรรณานุกรม

ัญญา นิยมภา และชัยรัตน์ รางแดง. 2539. ไถดินดานชนิดสั้น. รายงานการวิจัยและพัฒนาบับสมบูรณ์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ประจำปี 2539, 76-95.

ัญญา นิยมภา พินิจ จิรัคคกุล ณรงค์ อุ่นคง วิชัย หมอชาติ ชัยรัตน์ รางแดง ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล และนฤมล บุญกระจ่าง. 2549. เผยแพร่ไถดินดานชนิดสั้นที่ผลิตในประเทศไทยสู่เกษตรกร. รายงานการวิจัยและพัฒนาบับสมบูรณ์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ประจำปี 2549, 36-78.

Kwanchai Sinthipsomboon, Issaree Hunsacharoonroj, Joseph Khedari, Watcharin Pongae 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