

การพัฒนาไถระเบิดดินดานสองขาเรียงตามแนวการเคลื่อนที่แบบปรับความลึกขุดอัตโนมัติ

Development of a Subsoiler with Two Tandem Shanks Arranged for Directional Movement and Automated Depth Adjustment

ชานน ชะเอม^{1/} ประเทือง อุษาบริสุทธิ์^{1/*} ชัยยะ จันทรา^{1/} วัชรชาญ สุขเจริญวิภารัตน์^{1/} วันรัฐ อับดุลลาการิม^{1/}
Chanon Chaem^{1/} Prathuang Usaborisut^{1/*} Chaiya Jantra^{1/} Watcharachan Sukcharoenvipharat^{1/}
Wanrat Abdullakasim^{1/}

Received 19 Apr. 2024/Revised 12 Jun. 2024/Accepted 13 Jun. 2024

ABSTRACT

Subsoiling is essential for farmers to rectify soil compaction that reduces crop yields, but it requires high drawbar pull, often exceeding the capabilities of farmers' tractors and increasing costs. This study aimed to develop a tandem-type subsoiler with a front shank equipped with automatic depth adjustment to minimize drawbar pull during subsoiling operations. The front subsoiler shank (FSS) can autonomously adjust its depth, controlled by an automatic depth control system utilizing an Arduino UNO microcontroller. Moreover, the distance between the FSS and the rear subsoiler shank (RSS) is adjustable. Field tests were conducted in Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, where the soil exhibited a moisture content of $5.4 \pm 1.92\%$, a bulk density of $1.5 \pm 0.14 \text{ g/cm}^3$, and a soil penetration resistance ranging from 0 to 50 cm depth, with an average of $1.88 \pm 0.41 \text{ MPa}$. Four key factors were considered during testing: 1) type of FSS point (winged point and fin point), 2) Motor systems for adjusting the depth of the front subsoiler shank (fixed displacement control system and immediate response system), 3) Motor sensitivity (10, 20 and 30%), and 4) Distance between the FSS and RSS (40, 50 and 60 cm). The subsoiling depth during the test was 50 cm. Results demonstrated that the control system facilitated automatic up and down movement of the FSS to determine the optimal drawbar pull. Specifically, the FSS equipped with a fin point exhibited significantly lower drawbar pull compared to the winged point, with values of $14.84 \pm 3.30 \text{ kN}$ and $17.66 \pm 2.87 \text{ kN}$, respectively. Additionally, a distance of 40 cm between the FSS and RSS resulted in the least drawbar pull of $14.42 \pm 3.00 \text{ kN}$. Notably, the tandem-type subsoiler with automatic depth adjustment achieved the lowest drawbar pull of $12.65 \pm 1.33 \text{ kN}$.

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

^{1/} Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

* Corresponding author: fengptu@ku.ac.th

representing a reduction of over 10% compared to a conventional single shank subsoiler, which exhibited a drawbar pull of 14.00 ± 2.01 kN under similar test conditions. Motor systems for adjusting the depth of the front subsoiler shank and sensitivity did not significantly affected drawbar pull. Research results indicate that using a subsoiler with two tandem shanks, where the front shank automatically adjusts its depth, allows farmers to perform subsoiling more efficiently, resulting in better crop yields and reduced costs.

Keywords: tandem-type subsoiler; automatic depth control; soil compaction; precision agriculture

บทคัดย่อ

การไถระเบิดดินดานเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องดำเนินการขณะเตรียมดินก่อนปลูกพืช เพื่อแก้ปัญหาการอัดแน่นของดินซึ่งมีผลทำให้ผลผลิตพืชลดลง แต่การไถระเบิดดินดานนั้นเป็นงานที่ต้องใช้กำลังคนสูง บางครั้งเกินกำลังของเครื่องมือที่เกษตรกรมีอยู่ หรือทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบและสร้างขาไถระเบิดดินดานขาเรียงแบบปรับความลึกขาหน้าอัตโนมัติ เพื่อลดแรงฉุดลากด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO ระยะห่างระหว่างขาหน้าและขาหลังสามารถตั้งปรับได้ และได้ทำการทดสอบไถระเบิดดินดานที่สร้างและพัฒนาขึ้นในแปลงอ้อย ที่ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม ดินมีความชื้น $5.4 \pm 1.92\%$ ความหนาแน่นของดิน 1.5 ± 0.14 ก./ลบ.ซม. ค่าความต้านทานการแทรกทะลุ ช่วงความลึก 0-50 ซม.

มีค่า 1.88 ± 0.41 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ปัจจัยในการทดสอบ 4 ปัจจัย คือ 1) ชนิดเล็บของขาหน้า มี 2 แบบ แบบมีปีกและแบบมีครีบบนไม่มีปีก 2) ระบบการทำงานของมอเตอร์ควบคุมความลึกขาไถหน้า 2 แบบ แบบเคลื่อนที่ตามระยะกำหนดและแบบตอบสนองการเคลื่อนที่ทันที 3) ความไวของการตอบสนองที่ 10 20 และ 30% 4) ระยะห่างระหว่างขาหน้าและขาหลังที่ 40 50 และ 60 ซม. โดยความลึกของการไถระเบิดดินดานที่ทำการทดสอบอยู่ที่ 50 ซม. จากการทดสอบพบว่า ระบบสามารถควบคุมให้ขาหน้าปรับขึ้นลงเพื่อหาแรงฉุดลากต่ำสุดได้ เล็บของขาหน้าแบบมีครีบบนไม่มีปีกมีแรงฉุดลากน้อยกว่าเล็บของขาหน้าแบบมีปีก โดยมีค่าแรงฉุดลาก 14.84 ± 3.30 และ 17.66 ± 2.87 กิโลนิวตัน ตามลำดับ ระยะห่างระหว่างขาหน้ากับขาหลังที่ 40 ซม. มีแรงฉุดลากน้อยที่สุด 14.42 ± 3.00 กิโลนิวตัน ขาไถระเบิดดินดานแบบปรับความลึกอัตโนมัติมีแรงฉุดลากเฉลี่ย 12.65 ± 1.33 กิโลนิวตัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับไถระเบิดดินดานขาเดียวโดยนำขาไถระเบิดดินดานขาหน้าออก มีแรงฉุดลาก 14.00 ± 2.01 กิโลนิวตัน ซึ่งพบว่า สามารถช่วยลดแรงฉุดลากได้มากกว่า 10% ในพื้นที่ทำการทดสอบ และระบบการทำงานของมอเตอร์ควบคุมความลึกขาไถหน้าและความไวในการตอบสนองของมอเตอร์ไม่ส่งผลต่อแรงฉุดลากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการวิจัยการใช้ขาไถแบบที่มี 2 ขา โดยขาหน้าสามารถปรับความลึกได้อัตโนมัติ นั้น ทำให้สามารถไถระเบิดดินดานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการไถระเบิดดินดาน และส่งผลให้ผลผลิตพืชดีขึ้น

คำสำคัญ: ไถระเบิดดินดานแบบขาเรียง; การควบคุมความลึกอัตโนมัติ; การอัดแน่นของดิน; การเกษตรแม่นยำ

บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ ไทย จากรายงานสถานการณ์พื้นที่ปลูกอ้อยใน ปี 2565/2566 มีพื้นที่การเพาะปลูกอ้อยรวม 11.4 ล้านไร่ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและ น้ำตาลทราย, 2565) การเพาะปลูกอ้อยมีหลาย กระบวนการ เช่น การเลือกพันธุ์อ้อย การเตรียมดิน การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว รวมไปถึงการขนส่ง อ้อยไปยังโรงงานน้ำตาล (Garside et al, 2008; Usaborisut and Sukcharoenvipharat, 2011) ในกระบวนการที่กล่าวมาการเตรียมดินเป็น กระบวนการที่สำคัญ ช่วยเพิ่มผลผลิตของอ้อย โดยการเตรียมดินจะทำให้โครงสร้างของดินเหมาะ สำหรับการเพาะปลูกอ้อย (ประเทือง, 2565) น้ำ สามารถซึมผ่านลงไปดิน และดินสามารถเก็บ ความชื้นไว้ได้ เกิดการไหลเวียนของอากาศ และ ที่สำคัญลดความต้านทานการแทงทะลุของรากอ้อย ลงได้ ในการเตรียมดินของเกษตรกร พบว่า ปัญหา มาจากการเกิดชั้นดินดาน เนื่องจากการใช้ เครื่องจักรขนาดใหญ่ในพื้นที่เพาะปลูกอ้อย รวมไปถึง การขนส่งอ้อยไปยังโรงงานน้ำตาล (Garside et al, 2008; วัชรชาญ และประเทือง, 2553) เมื่อ เกิดชั้นดินดานขึ้น ทำให้รากอ้อยไม่สามารถแทง ทะลุลงไปยังชั้นดินและน้ำใต้ดินไม่สามารถขึ้นมาได้ ซึ่งส่งผลเสียต่อผลผลิตอ้อย

ปัจจุบันเกษตรกรใช้ไถระเบิดดินดานเป็น อุปกรณ์เตรียมดินที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาชั้นดินดาน ในพื้นที่เพาะปลูกอ้อย ชั้นดินดานมีลักษณะแน่น และแข็งมาก การไถระเบิดดินดานจึงเป็นงานที่หนัก ต้องใช้แรงและกำลังฉุดลากจากรถแทรกเตอร์สูง และอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวอุปกรณ์ เตรียมดินได้ การใช้ชาไถระเบิดดินดานแบบขาเรียง ที่มีขาไถหน้าและขาหลังอยู่ในแนวเดียวกัน เป็น

อีกทางเลือกที่สามารถช่วยให้การไถระเบิดดินดาน มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Kasisira and Plessis, 2006) และการเลือกใช้เล็บที่ปลายของขาไถระเบิด ดินดานนั้นส่งผลต่อแรงฉุดลากโดยตรง (Aday and Ramandhan, 2019) แต่แรงฉุดลากนั้นขึ้นกับระยะ ความลึกของขาหน้าเมื่อเทียบกับขาหลัง ระยะห่าง ระหว่างขา และยังขึ้นกับสมบัติของดินด้วย ตาม การทดลองของ Kasisira and Plessis (2006) ซึ่ง ทำการทดลองปรับระยะขาหน้า 4 ระดับ คือ 10 20 30 และ 40 ซม. แบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชาไถระเบิด ดินดานแบบปรับความลึกอัตโนมัติขาหน้าได้ต่อเนื่อง เพื่อลดแรงฉุดลากและเพื่อให้การไถระเบิดดินดานมี ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

ไถระเบิดดินดานแบบขาเรียงที่ขาหน้า สามารถปรับความลึกอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น มีขาไถ 1 ชุด 2 ขา วางเรียงกันในแนวทิศทางการเคลื่อนที่ ของรถแทรกเตอร์ ใช้กับรถแทรกเตอร์ category II ขาไถระเบิดดินดานขาหน้า (front subsoiler shank, FSS) สามารถเคลื่อนที่ขึ้นและลงแบบอัตโนมัติตาม ความแข็งของดินในแปลงเพื่อลดแรงฉุดลาก ด้วย ระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

1. การออกแบบและสร้างชุดไถระเบิดดินดาน แบบขาเรียงปรับความลึกอัตโนมัติ

ไถระเบิดดินดานปรับความลึกอัตโนมัติที่ พัฒนาขึ้นมีส่วนประกอบที่สำคัญ (Figure 1) ได้แก่ จุดต่อพ่วงสามจุด (หมายเลข 1) เพื่อยึดชุดขาไถ เข้ากับรถแทรกเตอร์ กลไกควบคุมความลึกอัตโนมัติ สักงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโคร คอนโทรลเลอร์รับสัญญาณแรงฉุดลากจากสลัก

วัดแรงจุดลากทั้ง 3 จุด (หมายเลข 2) โปรแกรมจะประมวลผลและสั่งงานให้มอเตอร์ (หมายเลข 3) หมุนส่งกำลังโดยชุดเฟืองโซ่ (หมายเลข 4) ที่ติดตั้งเพลาเกลียว (หมายเลข 5) เข้ากับ FSS ทำให้ FSS สามารถเคลื่อนที่ขึ้นและลงตามรางสไลด์ (หมายเลข 7) ได้ตั้งแต่ 0-45 ซม.ซึ่งจะมีลูกปืนเตเปอร์ (หมายเลข 8) สำหรับรับแรงที่เกิดขึ้นขณะทำการไถระเบิดดินดาน ชุดขาไถระเบิดดินดานปรับความลึกอัตโนมัติสามารถ

ปรับระยะห่างระหว่าง FSS กับขาไถระเบิดดินดาน ขาหลัง (rear subsoiler shank, RSS) ได้การปรับระยะห่างระหว่าง FSS กับ RSS ทำได้โดยการปรับตำแหน่งของ RSS ด้วยการคลายนอตยึดและเลื่อนประกบ RSS ไปตามระยะที่กำหนดและล็อกนอตยึด และขาหลังสามารถไถระเบิดดินดานได้ลึก 50 ซม. ซึ่งเป็นระดับความลึกที่เหมาะสมสำหรับการไถระเบิดดินดาน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2553)

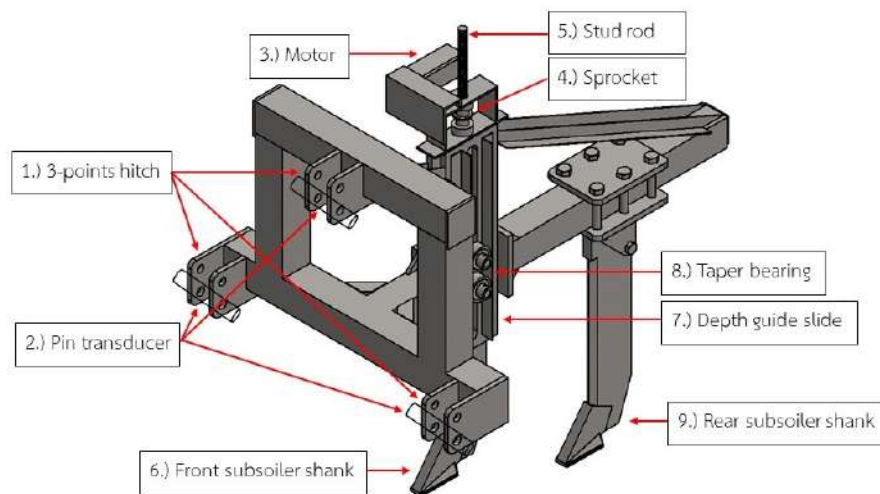


Figure 1 Components of automatic depth adjusting subsoiler

2. ระบบควบคุมความลึกอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ระบบควบคุมความลึกอัตโนมัติควบคุมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 โดยระบบจะมีบอร์ดหลักทำหน้าที่วัดแรงจุดลากด้วยสลักวัดแรงจุดลาก VPG5117 (model 5117, Vishay precision group, USA) และประมวลผลการทำงานของระบบควบคุมความลึกอัตโนมัติแล้วส่งสัญญาณการทำงานไปยังบอร์ดรอง เพื่อให้บอร์ดรองสั่งการทำงานของมอเตอร์ผ่าน servo driver โดยที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้งสองบอร์ดเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกค่าแรงจุดลากแบบเรียลไทม์ โดยโปรแกรม PLX-DAQ (Parallax, USA) ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ของรถแทรกเตอร์ (Figure 2)

3. แผนผังการทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัติ

ระบบควบคุมความลึกอัตโนมัติทำงานดังนี้ เมื่อเริ่มต้นการทำงาน FSS จะอยู่ที่ระยะ 30 ซม. ส่วน RSS อยู่ที่ระยะ 50 ซม. คงที่ตลอดการทำงาน หลังจากนั้นระบบจะวัดแรงจุดลากแล้วนำค่าแรงจุดลากมาคำนวณเป็นผลต่างของแรงจุดลาก ซึ่งโดยกำหนดเป็นความไวในการตอบสนองของระบบ (sensitivity) ถ้าความแตกต่างมากกว่าที่กำหนด ระบบจะสั่งให้ FSS เคลื่อนที่ลงมาช่วยการทำงานของ RSS เพื่อลดแรงจุดลาก จนถึงจุดซึ่งมีค่าแรงจุดลากต่ำสุด โดยเมื่อแรงจุดลากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น FSS จะเคลื่อนที่ขึ้นเพื่อรักษาตำแหน่งที่ทำให้เกิดแรงจุดลากในการไถระเบิดดินดานมีค่าน้อยที่สุด (Figure 3)

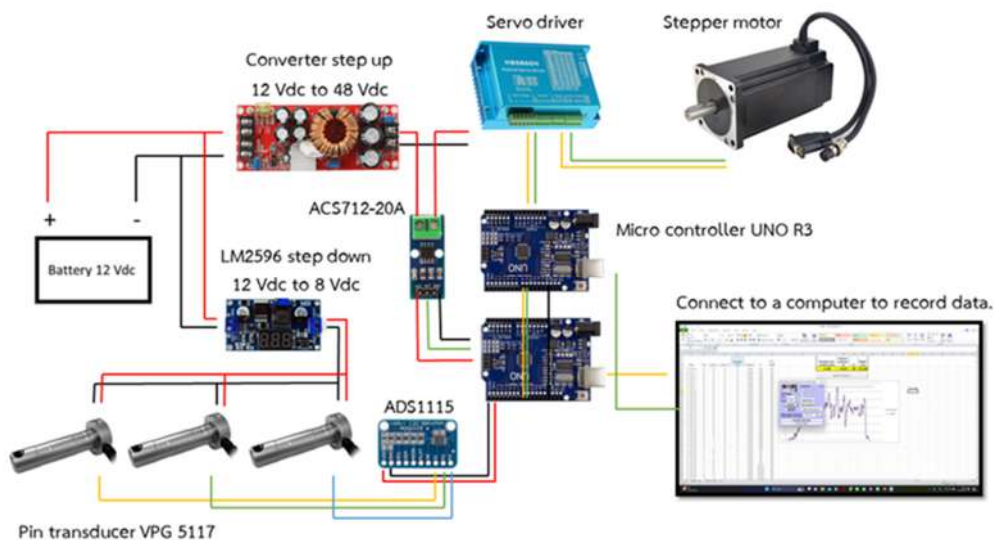


Figure 2 Devices and wiring diagram of automatic depth control system

ระบบควบคุม FSS มี 2 แบบ คือ แบบเคลื่อนที่ตามระยะกำหนด และแบบตอบสนองการเคลื่อนที่ทันที โดยแบบเคลื่อนที่ตามระยะกำหนด ลักษณะการทำงานของระบบควบคุมจะรับค่าผลต่างของแรงดูดลากมาแล้วสั่งให้มอเตอร์ทำงานให้ FSS เคลื่อนที่ขึ้นหรือลงเป็นระยะ 2 ซม. เสร็จแล้วจึงรับค่าผลต่างของแรงดูดลากชุดใหม่ แบบตอบสนองการเคลื่อนที่ทันที เมื่อมอเตอร์ทำงานให้ FSS เคลื่อนที่ขึ้นหรือลงแบบต่อเนื่องและรับค่าผลต่างของแรงดูดลากชุดใหม่ทุก ๆ วินาที ข้อแตกต่างของแบบเคลื่อนที่ตามระยะกำหนดและแบบตอบสนองการเคลื่อนที่ทันที คือ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดูดลากในแปลง แบบเคลื่อนที่ตามระยะกำหนด จะต้องรอคำสั่งการทำงานของมอเตอร์ชุดเก่าให้เสร็จก่อนจึงทำงานคำสั่งใหม่ แต่แบบตอบสนองการเคลื่อนที่ทันที จะสามารถเปลี่ยนแปลงคำสั่งการทำงานของมอเตอร์ได้ในทันทีที่กำหนดให้มี 2 ระบบ นี้เพื่อศึกษาว่า ในสภาพแปลงจริง ที่มีความแตกต่างของความแข็งของดินภายในแปลงนั้น แบบไหนจะตอบสนองต่อการทำงานได้ดีกว่ากัน

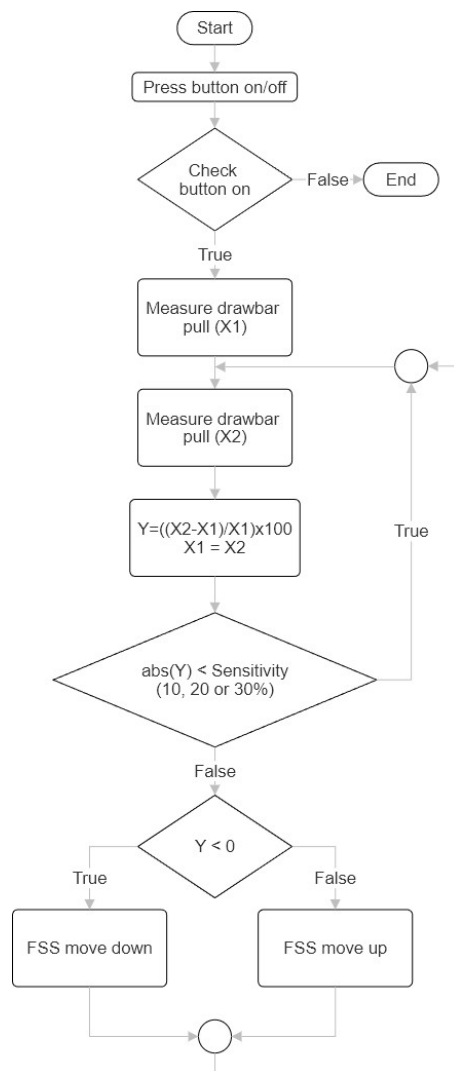


Figure 3 Flow chart of automatic depth control system

4. การทดสอบหาความสัมพันธ์ของระบบควบคุมความลึกอัตโนมัติที่ส่งผลต่อแรงฉุดลาก

4.1 พื้นที่การทดสอบ

แปลงทดสอบเป็นแปลงไร่อ้อย ที่ อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม ขนาด 60x110 ม. โดยแบ่งพื้นที่เป็นแปลงย่อยขนาด 1.5x3 ม. แปลงทดสอบมีเนื้อดินเป็นประเภทดินร่วนปนทราย มีความชื้นดินร้อยละ 5.4 ± 1.92 ความหนาแน่นดิน 1.50 ± 0.14 ก./ลบ.ซม. และค่าความต้านทานการแทรกทะลุเฉลี่ย ช่วง 0-10 10-20 20-30 30-40 40-50 และ 50-60 ซม. มีค่า 2.41 ± 0.72 1.47 ± 0.39 1.45 ± 0.28 2.09 ± 0.38 1.97 ± 0.35 และ 1.90 ± 0.39 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ซึ่งในการทดสอบใช้รถแทรกเตอร์ต้นกำลัง รุ่น Massey Ferguson 4245 ขนาด 85 แรงม้า ความเร็วการเดินทาง 2 กม./ชม. ทำ 3 ซ้ำ ซึ่งได้การทดสอบทั้งหมด 108 การทดสอบ และการทดสอบไถระเบิดดินดานชาเดียวที่ตำแหน่ง 40 ซม. จากตำแหน่งชาไถหน้าเดิมที่นำออกไปอีก 6 การทดสอบ รวมการทดสอบทั้งหมด 114 การทดสอบ โดยใช้ชุดไถระเบิดดินดานแบบชาเรียงปรับความลึกอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น (Figure 4)



Figure 4 Automatic depth adjusting subsoiler in field testing

4.2 ปัจจัยในการทดสอบของระบบควบคุมความลึกอัตโนมัติที่ส่งผลต่อแรงฉุดลาก

ปัจจัยในการทดสอบมีทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ 1) เล็บของ FSS (point) มี 2 แบบ แบบมีปีก (winged point) และแบบมีครีปไม่มีปีก (fin point) (Figure 5) 2) ระบบการทำงานของมอเตอร์ควบคุมความลึกชาไถหน้า (systems) 2 แบบ แบบเคลื่อนที่ตามระยะกำหนดและแบบตอบสนองการเคลื่อนที่ทันที 3) ความไวของการตอบสนองที่ 10 20 และ 30% 4) ระยะห่างระหว่าง FSS กับ RSS โดยปรับระยะของชาไถระเบิดดินดานด้านหลัง (distance) ที่ 40 50 และ 60 ซม. ซึ่งอยู่ในช่วงการทดสอบเดียวกับงานวิจัยของ Kasisira and Plessis (2006) และความลึกของการไถระเบิดดินดานที่ทำการทดสอบอยู่ที่ 50 ซม.

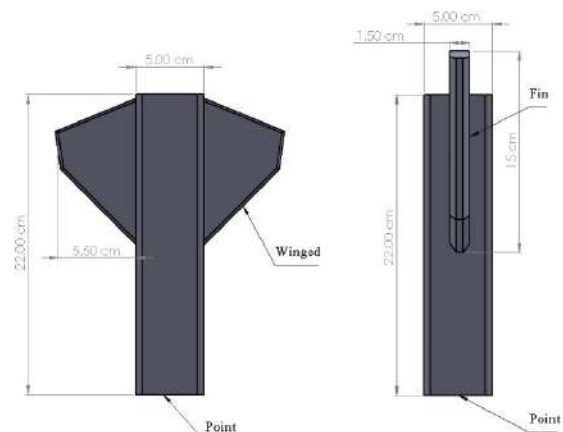


Figure 5 Type of front subsoiler shank point

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การทำงานของชาไถและมอเตอร์ปรับความลึก

การทดสอบการทำงานของชาไถระเบิดดินดานที่พัฒนาขึ้น พบว่า ชาไถหน้ามีการเคลื่อนที่ลงตามค่าแรงฉุดลาก (Figure 6A) ในช่วงเวลาที่ 10-20 วินาที ของการทดสอบมีแรงฉุดลากเพิ่มขึ้น ระบบควบคุมความลึกอัตโนมัติจึงสั่งงานให้ FSS เคลื่อนที่ลงเพื่อช่วยลดแรงฉุดลากช่วงเวลาที่

10-20 วินาที (Figure 6B) เนื่องด้วยดินในแปลงทดสอบมีความแข็งไม่สม่ำเสมอ ระบบควบคุมความลึกอัตโนมัติจะสั่งงานให้ FSS เคลื่อนที่ขึ้นและลงตลอดเวลา จนถึงจุดที่มีแรงฉุดลากคงที่ในช่วงเวลาที่ 30-50 วินาที (Figure 6A) การใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุดของมอเตอร์นั้นเกิดขึ้นในจังหวะที่ FSS เคลื่อนที่ขึ้น ดังเวลาที่ 28 วินาที ใน Figure 6C เนื่องจากจะมีแรงต้านของดินกระทำกับขาไถระเบิดดินดานมากกว่าในจังหวะที่ FSS เคลื่อนที่ลง

2. ผลของปัจจัยที่ทดสอบต่อแรงฉุดลาก

การทดสอบหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ทดสอบไถระเบิดดินดานแบบมีระบบควบคุมความลึกอัตโนมัติของขาหน้า โดยที่ความลึกการไถระเบิด

ดินดานของขาหลังที่ระดับความลึก 50 ซม. ทั้งหมด 108 การทดสอบ (Table 1) พบว่า เล็บของ FSS แบบมีครีบบไม่มีปีก มีแรงฉุดลากน้อยกว่า เล็บของ FSS แบบมีปีก ในทุกระยะห่างระหว่าง FSS กับ RSS ที่ 40 50 และ 60 ซม. (Figure 7) ทั้งนี้เนื่องจาก เล็บของ FSS แบบมีครีบบไม่มีปีก ครีบบช่วยกรีดดิน และมีพื้นที่ในการต้านทานดินขณะไถระเบิดดินดานน้อยกว่าเล็บของ FSS แบบมีปีก ซึ่ง Aday and Ramandhan (2019) กล่าวว่าเล็บแบบมีปีกจะมีแรงต้านทานมากขึ้นเล็บของ FSS แบบมีครีบบไม่มีปีกที่ระยะห่าง FSS กับ RSS มีแรงฉุดลากน้อยที่สุดอยู่ที่ 12.65 ± 1.33 กิโลนิวตัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบของ Kasisira and Plessis (2006) ที่พบว่าเมื่อระยะห่างระหว่าง FSS กับ RSS เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดแรงฉุดลากเพิ่มขึ้นด้วย

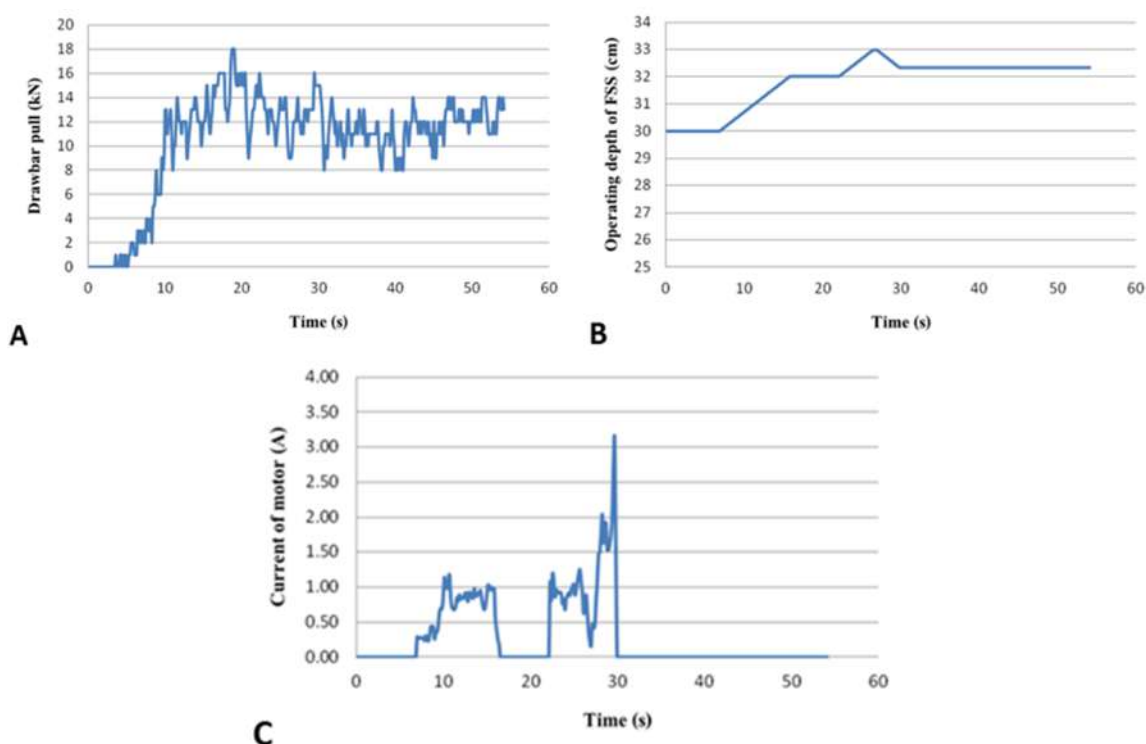


Figure 6 (A) Drawbar pull, (B) Operating depth of FSS, (C) Current consumption of motor

Table 1 Test results in a sugarcane field

Factors			Drawbar pull (kN) (Average $\pm$ SD)	
System	Distance	Sensitivity	Winged point	Fin point
Fixed displacement control	40	10	14.41 $\pm$ 0.72 a	10.67 $\pm$ 2.88 a
		20	19.09 $\pm$ 1.47 b	13.21 $\pm$ 4.46 a
		30	16.89 $\pm$ 0.39 ab	13.61 $\pm$ 1.20 a
	50	10	19.27 $\pm$ 0.78 b	13.76 $\pm$ 0.05 a
		20	21.95 $\pm$ 3.54 b	15.79 $\pm$ 1.02 a
		30	19.74 $\pm$ 3.92 b	15.05 $\pm$ 3.40 a
	60	10	18.36 $\pm$ 2.11 ab	16.72 $\pm$ 1.57 ab
		20	17.52 $\pm$ 3.15 ab	16.45 $\pm$ 2.24 ab
		30	17.55 $\pm$ 1.02 ab	15.66 $\pm$ 5.77 ab
Immediate response	40	10	15.20 $\pm$ 1.92 a	11.45 $\pm$ 2.74 a
		20	16.43 $\pm$ 1.62 a	14.15 $\pm$ 1.00 a
		30	15.10 $\pm$ 1.46 a	12.80 $\pm$ 3.65 a
	50	10	18.06 $\pm$ 2.91 ab	14.27 $\pm$ 2.72 ab
		20	18.92 $\pm$ 5.24 ab	16.96 $\pm$ 2.91 ab
		30	18.39 $\pm$ 1.23 ab	14.52 $\pm$ 3.69 ab
	60	10	19.78 $\pm$ 1.22 ab	16.37 $\pm$ 2.65 ab
		20	17.80 $\pm$ 2.07 ab	18.22 $\pm$ 3.01 ab
		30	17.30 $\pm$ 0.40 ab	17.46 $\pm$ 5.50 ab

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

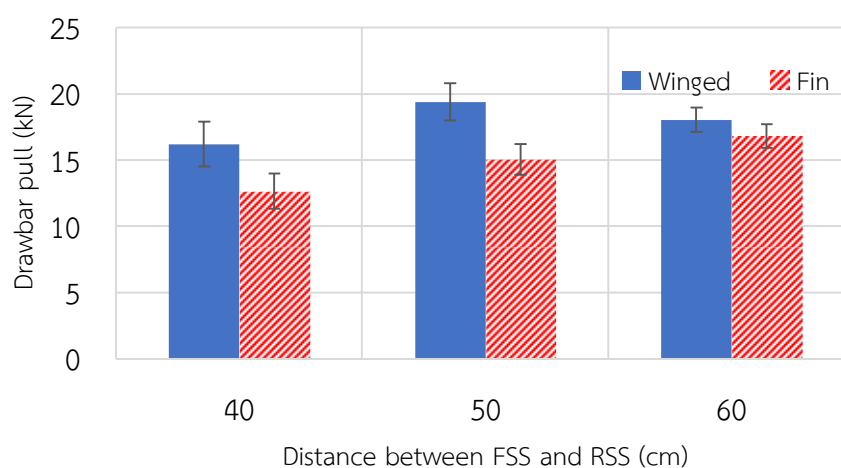


Figure 7 Drawbar pull under different shank point types and distances between FSS and RSS

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า ชนิดเล็บของขาหน้าและระยะห่างระหว่าง FSS กับ RSS ส่งผลต่อแรงฉุดลากโดยตรง โดยที่เล็บของ FSS แบบมีปีกมีแรงฉุดลากเฉลี่ย 17.66 ± 2.87 กิโลนิวตัน เล็บของ FSS แบบมีครีปไม่มีปีก มีแรงฉุดลากเฉลี่ยน้อยกว่าที่ 14.84 ± 3.3 กิโลนิวตัน และระยะห่างระหว่าง FSS กับ RSS ที่ระยะ 40 ซม.

มีแรงฉุดลากเฉลี่ย น้อยที่สุด 14.42 ± 3.0 กิโลนิวตัน ซึ่งที่ระยะ 50 และ 60 ซม. มีค่าแรงฉุดลากเฉลี่ย 17.21 ± 3.52 กิโลนิวตัน และ 17.11 ± 2.92 กิโลนิวตัน ตามลำดับ ในส่วนของ system และ sensitivity ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Table 2)

Table 2 The statistical analysis of the factors affecting drawbar pull

Factors		Drawbar pull (kN) (Average $\pm$ SD)
Point	Winged	17.66 ± 2.87 b
	Fin	14.84 ± 3.30 a
Systems	Fixed displacement control	16.22 ± 3.56 a
	Immediate response	16.28 ± 3.23 a
Sensitives	10%	15.69 ± 3.33 a
	20%	16.89 ± 3.50 a
	30%	16.16 ± 3.32 a
Distance	40 cm	14.42 ± 3.00 a
between	50 cm	17.21 ± 3.52 b
FSS and RSS	60 cm	17.11 ± 2.92 b

FSS: Front subsoiler shank, RSS: Rear subsoiler shank

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

3. การเปรียบเทียบแรงฉุดลากระหว่างขาไถ

ผลการทดสอบขาไถระเบิดดินดานปรับความลึกอัตโนมัติ ในเงื่อนไขของระบบควบคุมความลึกอัตโนมัติที่มีแรงฉุดลากน้อยที่สุดคือ เล็บของ FSS แบบมีครีปไม่มีปีก ระยะห่างระหว่าง FSS กับ RSS ที่ระยะ 40 ซม. มีแรงฉุดลากอยู่ที่ 12.65 ± 1.33 กิโลนิวตัน และทดสอบการไถระเบิดดินดานแบบ

ทั่วไป คือ การไถเฉพาะ RSS ขาเดียวนั้น ได้ตั้งระยะขาไถไว้ที่ระยะ 40 ซม. จากระยะขาหน้าเดิมที่นำออกไปมีแรงฉุดลากอยู่ที่ 14.00 ± 2.01 กิโลนิวตัน เนื่องจากในแปลงทดสอบหรือไร่อ้อยมีความแข็งของดินที่ไม่สม่ำเสมอ การเคลื่อนที่ขึ้นและลงของ FSS ผ่านระบบควบคุมความลึกอัตโนมัติ จึงสามารถช่วยลดแรงฉุดลากได้ (Figure 8)

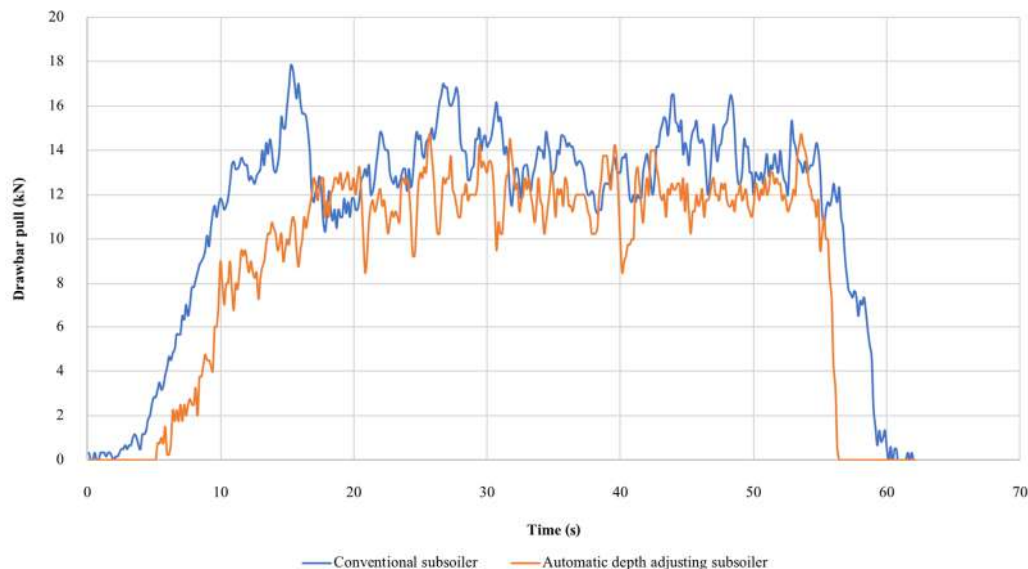


Figure 8 Drawbar pull between conventional subsoiler and developed automatic depth adjusting subsoiler

การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นพบว่า สามารถทำงานได้ดีและสามารถช่วยลดแรงฉุดลากลงได้ และค่าที่ดีที่สุดพบภายใต้ความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรหนึ่งในแปลงทดสอบที่เป็นดินร่วนปนทราย ซึ่งในการทำงานจริงนั้นสภาพดินมีความหลากหลาย แต่ทั้งนี้เนื่องจากการปรับความลึกขาไถทำได้อัตโนมัติ จุดเหมาะสมในการทำงานอาจเปลี่ยนแปลงไป ถ้ามีการส่งเสริมให้มีการใช้งานโดยเกษตรกรมากขึ้น จะช่วยทำให้การพัฒนาในระดับอุตสาหกรรมทำได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ไถระเบิดดินดานที่พัฒนาขึ้นนี้กำหนดความลึกการไถไว้สูงสุดที่ 50 ซม. ที่ เป็นความลึกของการไถระเบิดดินดานที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำการไถพรวนทั่วไปในการทำ การเกษตรในประเทศไทย ถ้าต้องการไถที่ความลึกมากกว่านี้ ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ อาจเปลี่ยนแปลงไป ทั้งระยะห่างระหว่างขาหน้าและขาหลัง ความลึกในการปรับขาไถขาหน้า และการออกแบบ อุปกรณ์ต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น

สรุปผลการทดลอง

ไถระเบิดดินดานแบบขาเรียงปรับความลึกขาไถอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น มีลักษณะ 2 ขาวางเรียงกัน ตามแนวทิศทางการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ โดยขาหน้ามีชุดควบคุมความลึกอัตโนมัติและขาหลังไถระเบิดดินดานที่ระดับความลึก 50 ซม. จากการทดสอบพบว่าระบบควบคุมความลึกอัตโนมัติสามารถควบคุมการปรับขึ้นลงของขาหน้าเพื่อให้ได้แรงฉุดลากที่ต่ำลงได้ตามสภาพพื้นที่ ปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงฉุดลากคือ ชนิดเล็บของ FSS และ ระยะห่างระหว่าง FSS กับ RSS โดยเล็บของ FSS แบบมีครีบบนไม่มีปีกมีแรงฉุดลากน้อยกว่าเล็บของ FSS แบบมีปีกในทุกระยะห่างระหว่าง FSS กับ RSS โดยที่ขาไถระเบิดดินดานปรับความลึกอัตโนมัติที่ขาหน้ามีเล็บแบบครีบบนไม่มีปีก ระยะห่างระหว่าง FSS กับ RSS ที่ระยะ 40 ซม. มีแรงฉุดลากน้อยที่สุด 12.65 ± 1.33 กิโลนิวตัน เมื่อเทียบกับไถระเบิดดินดานแบบ RSS ขาเดียวมีแรงฉุดลาก

14.00±2.01 กิโลนิวตัน ซึ่งส่งผลให้ไถระเบิดดินดานแบบขาไถหน้าปรับความลึกอัตโนมัติสามารถลดแรงฉุดลากได้มากกว่า 10% ที่ความลึกการทำงานของ FSS 65% ของ RSS ในสภาพดินในแปลงทดสอบ ส่วนระบบการทำงานของมอเตอร์ควบคุมความลึกขาไถหน้า และความไวในการตอบสนองของมอเตอร์ไม่ส่งผลต่อแรงฉุดลากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการวิจัยการใช้ขาไถแบบที่มี 2 ขา โดยขาหน้าสามารถปรับความลึกได้อัตโนมัตินั้นสามารถช่วยให้เกษตรกรไถระเบิดดินดานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ได้ผลผลิตที่ดีขึ้นและช่วยลดค่าใช้จ่ายในการไถระเบิดดินดาน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โครงการระบบการพัฒนาศักยภาพการวิจัยขั้นสูงเพื่อการแข่งขันด้านการเกษตรและอาหาร รหัสโครงการ FF(KU) 51.67 ขอขอบคุณทุนสนับสนุนภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน และศูนย์เครื่องจักรกลแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนสิ่งอำนวยความสะดวกและบุคลากรในการสร้างและทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2553. การไถระเบิดดินดาน (Subsoiler). เอกสารวิชาการเล่มที่ 1. ศูนย์ส่งเสริมวิศวกรรมเกษตรที่ 2 จังหวัดพิษณุโลก กองส่งเสริมวิศวกรรมเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 264 หน้า.
 วัชรชาญ สุขเจริญวิภารัตน์ และประเทือง อุษาบริสุทธิ์. 2553. การศึกษาศักยภาพการขนส่งผลิตผล

เกษตรด้วยรถแทรกเตอร์ลากเทรลเลอร์. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการด้านโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประเทือง อุษาบริสุทธิ์. 2565. การศึกษาผลของเทคนิคการเพาะปลูกอ้อยที่เสนอต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยปลูก. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2565. รายงานสถานการณ์การปลูกอ้อย ปีการผลิต 2565/66. กลุ่มเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กองยุทธศาสตร์และแผนงาน สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 79 หน้า.

Aday, S.H. and M.N. Ramandhan. 2019 Comparison between the draft force requirements and the disturbed area of a single tine, parallel double tines and partially swerved double tines subsoiler. Elsevier, Soil and Tillage Research. 191(4): 238-244.

Garside, A., B. Salter and J. Kidd. 2008. Soil compaction is a major issue operating against the development of sustainable sugarcane cropping systems. Proceedings of the 14th Australian Agronomy Conference. Adelaide, South Australia, 21-25 September 2008.

Kasisira, L.L. and H.L.M. du Plessis. 2006. Energy optimization for subsoilers in tandem in a sandy clay loam soil. Soil and Tillage Research. 86(2): 185-198.

Usaborisut, P. and W. Sukcharoenvipharat. 2011. Soil compaction in sugarcane fields induced by mechanization. American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 6: 418-422.