

บทคัดย่อ

การเพาะปลูกอ้อยมีความเสี่ยงอย่างมากในการเกิดการอัดแน่นอย่างรุนแรงของดินในไร่อ้อย เนื่องจากมีการใช้เครื่องจักรกลเกษตรในการเพาะปลูก การดูแล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บเกี่ยว และการบรรทุกอ้อยจากแปลงสู่โรงงาน เช่น การใช้รถแทรกเตอร์ลากเทรลเลอร์สามารถทำงานในแปลงได้แม้ดินจะมีความชื้น ซึ่งทำให้เกิดการอัดแน่นของดินอย่างรุนแรง ซึ่งการอัดแน่นของดินนี้จำเป็นต้องบรรเทาหรือกำจัดด้วยการไถระเบิดดินดาน ในปัจจุบันไถระเบิดดินดานที่ใช้อยู่มักมีปัญหาในเรื่องของการใช้น้ำมัน (safety bolt) ในการป้องกันการเสียหายของขาไถ เนื่องจากสภาพดินที่แข็งและมีสิ่งกีดขวางในดินทำให้น้ำมันเกิดความเสียหายบ่อย ดังนั้นในแผนงานนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดผลกระทบของเครื่องจักรกลเกษตรต่อดินในการเพาะปลูกอ้อย และการพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรในการปรับปรุงสภาพดิน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็นสองเรื่องที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมที่กระทำกับดิน ได้แก่ ผลกระทบของการใช้รถแทรกเตอร์ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวต่อการอัดแน่นดินในพื้นที่ปลูกอ้อย และการพัฒนาไถระเบิดดินดานแบบยกตัวได้โดยใช้แหนบสปริงรถยนต์

จากการศึกษาผลกระทบของการใช้รถแทรกเตอร์ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยว เมื่อมีการปฏิบัติงานโดยรถแทรกเตอร์พ่วงเทรลเลอร์ 2 ชนิด คือ รถพ่วงแบบ 2 เพลาติดกัน (รถสาละ) และแบบ 3 เพลา ประกอบด้วยเพลาน้ำ 1 เพลา และเพลาลังติดกัน 2 เพลา (เทรลเลอร์สิบล้อ) พบว่าความหนาแน่นมวลรวมก่อนและหลังการสัญจร มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญและมีค่าลดลงเล็กน้อยหลังจากการสัญจรผ่านไป 1 สัปดาห์ การตรวจสอบค่าความต้านทานการแทงทะลุตามแนวตัดขวางของร่องอ้อย พบว่าในตำแหน่งบริเวณกึ่งกลางร่องอ้อยจะมีค่าที่สูงกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจากผลของการสัญจรทับผ่านในรอบปีที่ผ่านมาและค่าความต้านทานการแทงทะลุดินจะมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการสัญจรและมีค่ามากกว่า 3 เมกกะปาสคาล การวัดอัตราซึมของน้ำแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการสัญจรเกิดขึ้นภายในพื้นที่ปลูกอ้อย ความสามารถในการไหลซึมของน้ำจะลดลงผลกระทบของการสัญจรแพร่ลงสู่ดินได้ในระดับความลึกมากกว่า 45 เซนติเมตร และเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักบรรทุก นอกจากเกิดแรงอัดแล้วจากการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในดินพบว่ายังเกิดแรงเฉือนขึ้นกับดินด้วย โดยเฉพาะรถแทรกเตอร์พ่วงเทรลเลอร์ 2 เพลาติดกัน (รถสาละ) สัดส่วนความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นได้ล้นหลังมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากและแตกต่างกับกรณีพ่วงเทรลเลอร์สิบล้ออย่างชัดเจน ผลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการยืนยันว่า ค่าความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้ง ความต้านทานการแทงทะลุดินและค่าระดับการจมของล้อมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณการสัญจรและแรงกดลากลมีค่าเพิ่มขึ้น การสร้างแบบจำลองการอัดแน่นดินทำนายความหนาแน่นของดินจากค่าความเค้น พบว่า รถแทรกเตอร์พ่วงเทรลเลอร์ (รถสาละ) ที่พิกัดบรรทุก 20 ตัน ก็มีความเสี่ยงทำให้ดินเกิดการอัดแน่นได้ในทุกระดับความลึกที่ทำการทดสอบ ส่วนกรณีของรถแทรกเตอร์ลากเทรลเลอร์สิบล้อ ที่พิกัดบรรทุกเดียวกัน ความเสี่ยงที่ดินจะเกิดการอัดแน่นไม่ปรากฏค่าให้เห็นในระดับความลึกสูงสุดที่ทำการทดสอบ

จากการวิจัยเพื่อการพัฒนาไถระเบิดดินดานแบบยกตัวได้โดยใช้แหนบสปริงรถยนต์ เพื่อแก้ปัญหาการอัดแน่นของดินและทดแทนการใช้น้ำมัน ที่ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนน็อต

นิรภัย จึงได้พัฒนาไถระเบิดดินดานแบบยกตัวได้โดยใช้แหนบสปริงรดยนต์ที่ใช้ต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ที่มีจุดต่อพ่วง 3 จุด ขนาด Category II มีขาไถจำนวน 3 ขา ขาหน้าหนึ่งขา และขาหลัง 2 ขา วางเป็นรูปตัววีคว่ำ เพื่อลดแรงฉุดลาก มีกลไกแหนบสปริงรดยนต์ในการยกขาไถขึ้นเมื่อขาไถกระทบสิ่งกีดขวางในดิน และสามารถปรับตั้งค่าแรงกระทำที่ทำให้ขาไถยกตัวขึ้นได้ โดยพัฒนาขึ้น 2 แบบ แบบแรกมีโครงไถ 2 ชั้น เป็นโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนสามารถสร้างได้ง่าย ขาไถยกได้สูงสุด 50 เซนติเมตร ปรับระยะห่างระหว่างขาไถได้ 45 ถึง 75 เซนติเมตร เมื่อทดสอบในแปลงดินร่วนเหนียวปนทรายที่มีความต้านทานการแทงทะลุมากกว่า 4 เมกะปาสคาล ขาที่แตกต่างกัน 4 แบบ คือ ขาตัวซี่ม 120 องศา ขาตรง ขาเอียง และขาตัวซี่ม 155 องศา ไถระเบิดดินดานแบบยกตัวได้โดยใช้แหนบสปริงรดยนต์สามารถแก้ปัญหาการอัดแน่นของดินดานได้ มีการแตกตัวของดินดี และเมื่อชนกับสิ่งกีดขวางขาไถสามารถยกตัวกลับได้ทำให้ไม่เกิดความเสียหาย จากการทดสอบขาตัวซี่ม 155 องศาใช้แรงฉุดลากน้อยสุด 32.97 กิโลนิวตัน กำลังฉุดลาก 33.20 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วการทำงาน 3.6 กิโลเมตร/ชั่วโมง แรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน 45.62 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร และกำลังฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดิน 45.94 กิโลวัตต์/ตารางเมตร มีสมรรถนะการทำงานระหว่าง 2.58 ไร่/ชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 5.29 ลิตร/ไร่ และประสิทธิภาพเชิงไร่ 70.9% ไถระเบิดดินดานแบบยกตัวได้โดยใช้แหนบสปริงรดยนต์แบบที่ 2 มี 3 ขา มีกลไกแหนบสปริงรดยนต์ในการช่วยยกขาไถเช่นเดียวกับแบบแรก แต่มีระยะระหว่างจุดยึดแขนของขาไถและจุดยึดแขนค้ำน้อยลงทำให้ใช้โครงไถเป็นแบบชั้นเดียวและสามารถใส่ชุดใบมีดกรีดตัดใบอ้อยหรือเศษวัสดุไม่ให้พันขาไถ ขาไถสามารถยกตัวสูงจากพื้นได้ 45 เซนติเมตร และปรับระยะห่างระหว่างขาไถได้ 60 ถึง 75 เซนติเมตร เมื่อทดสอบในแปลงดินร่วนปนทรายที่มีความต้านทานการแทงทะลุ 3 เมกะปาสคาล โดยใช้ขาไถตัวซี่ม 155 องศา พบว่า สามารถทำงานได้ดี และเมื่อชนกับสิ่งกีดขวางที่ทำให้เกิดภาระมากกว่าที่ตั้งไว้ขาไถระเบิดดินดานสามารถยกตัวกลับได้ทำให้ไม่เกิดความเสียหาย จากการทดสอบ ไถระเบิดดินดานมีแรงฉุดลาก 23.04 กิโลนิวตัน แรงในแนวตั้งมีทิศขึ้น 2.39 กิโลนิวตัน กำลังฉุดลาก 20.91 กิโลวัตต์ และแรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดินและกำลังฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวมีค่า 54.02 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร และ 51.02 กิโลวัตต์/ตารางเมตร ตามลำดับ มีสมรรถนะการทำงาน 4.20 ไร่/ชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 2.81 ลิตร/ไร่ ค่าประสิทธิภาพเชิงไร่ 79.92 % ความเร็วในการทำงาน 3.42 กิโลเมตร/ชั่วโมง จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เมื่อไถระเบิดดินดานแบบยกตัวได้โดยใช้แหนบสปริงรดยนต์ที่พัฒนาขึ้นขายในราคา 120,000 บาท อายุการใช้งานไถระเบิดดินดาน 10 ปี โดยมีสมรรถนะการทำงาน 2.58 ไร่/ชั่วโมง น้ำมันเชื้อเพลิง 5.29 ลิตร/ไร่ ในหนึ่งปีระยะเวลาการใช้งาน 60 วัน เวลาในการทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน จำนวนไร่ที่สามารถทำงานได้ 1,238.4 ไร่/ปี ค่าบำรุงรักษารถแทรกเตอร์ 6,000 บาท/ปี ค่าบำรุงรักษาไถระเบิดดินดาน 7,430.4 บาท/ปี ค่าจ้างในการไถระเบิดดินดานอยู่ที่ 450 บาท/ไร่ จะมีต้นทุนคงที่ 11,295 บาท/ปี และต้นทุนผันแปร 188,648.9 บาท/ปี ซึ่งจะทำให้มีจุดคุ้มทุนที่ 37.9 ไร่/ปี และจุดคืนทุน 415.9 ไร่ หรือระยะเวลาคืนทุน 20 วัน

Abstract

Sugarcane plantation is of agricultural tasks susceptible to the occurrence of severe soil compaction. This is because of intensive use of agricultural machinery throughout the production process particularly in harvesting and the transport of sugarcane between fields and the factories. A tractor-towed trailer can be a useful mean of sugarcane transport even in moist soil, this is, however, can leads to soil compaction. Subsoiling is therefore a rudimentary practice to reduce the soil compaction. Conventional subsoilers typically consist of safety bolts to prevent mechanical damage when subjecting to an excessive load. However, the safety bolts are often damaged due to obstacles in soil. The objectives of the present research were therefore to minimize the effects of agricultural machinery on sugarcane plantation as well as to develop an efficient soil preparation implements. The study was divided into two sub-projects: (i) a study on the effects of the tractor usage in sugarcane harvesting on soil compaction, and (ii) a development of an auto-trip subsoiler using leaf spring.

In the first study, the influences of tractor traffic when towing two types of trailers, i.e. tandem two-axle and three-axle (one on the front and tandem on the rear) trailers, were studied. The result showed that soil bulk density after the trailer passage was significantly increased then slightly decreased after one week. Measurement of the penetration resistance across the profile of the furrow indicated that the compaction was greatest in the middle position of the furrow. Passage of the trailer increased the penetration resistance to a value greater than 3 MPa while decreased the water infiltration rate. Theses effect of vehicle passage could reach a depth deeper than 45 cm, and increased as the axle load increased. Analysis of the soil stress indicated that the soil had subjected not only to the compression stress but also the shear stress, especially for the tandem two-axle trailer by which the shear stress beneath the tractor's rear wheel was obviously greater than that induced by one pulling the three-axel trailer. Experimentation in a soil bin confirmed that the soil bulk density, penetration resistance, and the sinkage increased with the number of passage as well as the drawbar force. The model was applied to predict soil compaction and found that field soil has a high risk of compaction under the two-axle trailer with loading capacities of 20 tons for all studied depths. On the other hand, the compaction risk from the three-axle trailer with the same loading capacity did not appear for all tested depths.

In the second study, two types of auto-trip subsoiler using leaf spring have been developed for three-point hitch of a category II-tractor. The first type of the subsoiler consists of three shanks, i.e. one front and two rear shanks arranging into flipped V shape to reduce draft force. A leaf spring was installed and worked together with force supporting mechanism in order to resist the force at shank tip. The shank can be lift up to maximum displacement of 50 cm. The interval between shanks was adjustable between 45–75 cm. Field experiment has been carried out on a compacted sandy clay loam soil with the penetration resistance greater than 4.0 MPa, using four types of shanks including 120° C-shape, straight, inclined, and 155° C-shape. The results demonstrated that 155° C-shape required the lowest draft force of 32.97 kN and a draft power of 33.20 kW at a speed of 3.6 km/h. The draft force to disturbed soil area was 45.62 kN/m² and the draft power to disturbed area 45.94 kW/m². The working capacity was 2.58 rai/h at a fuel consumption rate of 5.29 l/rai, and the field efficiency of 70.9%. The second type of the subsoiler was similar to the first type but additionally incorporated with a set of coulter in front of the shanks. The maximum uplifting displacement was 45 cm, and the shank span could be adjusted between 60 and 75 cm. Testing in a sandy loam soil with a penetration resistance of 3.0 MPa, using the 155° C-shape shanks showed that the shanks were able to lift and trip over the obstacle. The performance test indicated the required draft force of 23.04 kN, upward vertical force of 2.39 kN, and draft power of 20.91 kW. The draft force to disturbed area was 54.02 kN/m² and the draft power to disturbed area was 51.02 kW/m². The working capacity was 4.20 rai/h and the fuel consumption was 2.81 l/rai. This type of subsoiler provided a field efficiency of 79.92% at a speed of 3.42 km/h. Engineering economic analysis of the first type subsoiler at selling price of 120,000 bahts, subsoiler lifetime of 10 years, working performance of 2.58 rai/h, fuel consumption of 5.29 l/rai, working period of 60 day/year at 8 hour/day, tractor maintenance cost of 6,000 baht/year, the subsoiler maintenance costs of 7430.4 baht/year and subsoiling cost at 450 baht/rai resulted in that fixed cost was 11,295 baht/year and variable cost was 188,648.9 baht/year. Consequently, break-even point was 37.9 rai/year and payback period was 20 working days or at 415.9 rai of working areas.

บทคัดย่อ

ในประเทศไทยรถแทรกเตอร์พ่วงเทรลเลอร์นิยมใช้ในการขนส่งอ้อยระหว่างการเก็บเกี่ยวในพื้นที่เพาะปลูก ผลของการสัญจรอย่างหนาแน่นจะนำไปสู่การอัดแน่นของดินและนำไปสู่ผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของอ้อยในรอบปีต่อไป วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุเชิงกลและพฤติกรรมของการอัดแน่นดินที่เกิดขึ้นในแปลงอ้อย เมื่อมีการปฏิบัติงานโดยรถแทรกเตอร์พ่วงเทรลเลอร์ 2 ชนิด คือ รถพ่วงแบบ 2 เฟลาติดกัน (รถสาเล่) พิกัดบรรทุก 20 และ 30 Mg และแบบ 3 เฟลา ประกอบด้วยเฟลาหน้า 1 เฟลา และเฟลาหลังติดกัน 2 เฟลา (เทรลเลอร์ลิบล้อ) มีพิกัดบรรทุก 20 Mg การดำเนินการวิจัยได้แบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การทดสอบภาคสนามและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

การทดสอบภาคสนาม ค่าความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้ง ค่าความต้านทานการแทงทะลุดินและอัตราซึมซับน้ำถูกสำรวจทั้งก่อนและหลังที่รถแทรกเตอร์พ่วงเทรลเลอร์สัญจรผ่าน เพื่อหาระดับของการอัดแน่นของดินเชิงกายภาพ สภาวะความเค้นแบบไดนามิกส์ที่เกิดขึ้นภายในดินเนื่องจากภาระกระทำของรถแทรกเตอร์พ่วงเทรลเลอร์ถูกวัดด้วยทรานสดิวเซอร์วัดสภาวะความเค้น (SST) ที่ถูกฝังไว้ในดินที่ระดับความลึก 15, 30 และ 45 cm จากการทดสอบพบว่า ภายใต้การสัญจรโดยมีการบรรทุก ความหนาแน่นมวลรวมก่อนและหลังการสัญจร มีค่าแตกต่างกันมีนัยยะสำคัญและมีค่าลดลงเล็กน้อยหลังจากการสัญจร 1 อาทิตย์ การตรวจสอบค่าความต้านทานการแทงทะลุตามแนวหน้าตัดขวางของร่องอ้อย พบว่า ในตำแหน่งบริเวณกึ่งกลางร่องอ้อยจะมีค่าที่สูงกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจากผลของการสัญจรที่ผ่านในรอบปีที่ผ่านมาและค่าความต้านทานการแทงทะลุดินจะมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการสัญจรและมีค่ามากกว่า 3 MPa การวัดอัตราซึมซับน้ำก็ยังแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการสัญจรเกิดขึ้นภายในพื้นที่ปลูกอ้อย ความสามารถในการไหลซึมของน้ำก็จะลดลงด้วย

ในการวิเคราะห์สาเหตุเชิงกลสามารถสังเกตได้ว่า ค่าความเค้นทิศทางแนวดิ่งที่มากกว่า 100 kPa โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีรถแทรกเตอร์พ่วงเทรลเลอร์ (รถสาเล่) สามารถแพร่ลงสู่ดินได้ในระดับความลึกมากกว่า 45 cm และเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักบรรทุก ค่าความเค้นหลัก (σ_1 , σ_2 และ σ_3) แสดงให้เห็นว่า มวลดินเมื่อมีภาระกระทำเนื่องจากการสัญจรของรถแทรกเตอร์พ่วงเทรลเลอร์ทั้ง 2 ชนิด มวลดินไม่ได้อยู่ภายใต้สภาพของการถูกบีบอัดอย่างเดียวนแต่อยู่ภายใต้สภาพของการดึงด้วย ความเค้นออกตะฮีดรัล (σ_{oct} , τ_{oct}) บ่งชี้ว่าดินอยู่ภายใต้สภาพการเฉือนมากกว่าการอัดในทุกๆระดับความลึกและทุกเงื่อนไขของการทดสอบ อัตราส่วนความเค้นออกตะฮีดรัล (OSR) แสดงให้เห็นว่าสภาพการเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก เมื่อพิจารณาที่ค่าความเค้นออกตะฮีดรัล (σ_{oct} , τ_{oct}) ตำแหน่งเดียวกัน การอาศัยน้ำหนักบรรทุกช่วยเพิ่มแรงกดทับให้กับรถแทรกเตอร์พ่วงเทรลเลอร์ (รถสาเล่) ยิ่งส่งผลให้ค่าอัตราส่วนความเค้นออกตะฮีดรัล (OSR) ที่เกิดขึ้นได้ลดลงยับยั้งเคลื่อนด้านหลังของรถแทรกเตอร์พ่วงเทรลเลอร์ (รถสาเล่) เพิ่มขึ้นอย่างมากและแตกต่างกับกรณีพ่วงเทรลเลอร์ลิบล้ออย่างชัดเจน

การทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้ดำเนินการทดสอบการสัญจรของล้อยางเพื่อศึกษาผลกระทบและพฤติกรรมที่เกิดขึ้นต่อการอัดแน่นดิน เนื่องจากการสัญจรของล้อยางขับเคลื่อนในขณะที่ทำการฉุดลากด้วยแรงฉุดลากต่างกัน คือ 245.25 N และ 735.75 N และการทดสอบการอัดแบบสามแกนเพื่อสร้างแบบจำลองการอัดแน่นดินจากความสัมพันธ์ของความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้งและความเค้นออกตะฮีดรัล (σ_{oct} , τ_{oct}) ล้อยางขับเคลื่อนของรถแทรกเตอร์ที่มีรูปทรงเช่นเดียวกับที่ใช้ในการปฏิบัติงานจริง ถูกนำมาทดสอบการสัญจรในกระเบดิน ดินร่วนปนทรายที่ใช้ในการทดสอบถูกนำมาเตรียมในห้องปฏิบัติการให้มีค่าความชื้น 12 % และบดอัดให้มีค่าความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้งเริ่มต้น 1.4 g/cm³ ทรานสดิวเซอร์วัดสภาวะความเค้น (SST) ถูกฝังไว้ที่ระดับความลึก 15 และ 30 cm สภาวะความเค้นภายในดิน ความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้ง ค่าความ

ด้านทานการแทงทะลุ ระยะการยุบตัวของผิวดินและอัตราการสิ้นไกลในขณะที่ดำเนินการทดสอบการสัญญา ตั้งแต่รอบที่ 1 – 10 ได้ถูกทำการตรวจสอบ พบว่า ค่าความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้ง ความต้านทานการแทงทะลุดินและค่าระดับการจมจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณการสัญญาและแรงฉุดลากมีค่าที่เพิ่มมากขึ้น ค่าแรงฉุดลากที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเค้นหลัก (σ_1 , σ_2 และ σ_3) และความเค้นออกตะฮีดรัล (σ_{oct} , τ_{oct}) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความเค้นหลัก σ_1 ที่วัดได้จะมีค่าสูงกว่าความเค้นหลักค่าอื่นและแสดงให้เห็นว่าดินภายใต้การกระทำในทิศทางดังกล่าวเกิดการอัดตัว ค่าความเค้นหลัก σ_2 มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงคาบของเวลาที่ทับผ่านของล้อยางและค่าความเค้นหลัก σ_3 มีค่าในทิศทางตรงกันข้ามกับความเค้นหลัก σ_1 และ σ_2 แสดงว่าในทิศทางนี้ดินจะอยู่ในสภาพถูกกระทำโดยการดึง ค่าความเค้นตั้งเฉือนออกตะฮีดรัล (τ_{oct}) จะมีค่าที่สูงกว่าความเค้นตั้งฉากออกตะฮีดรัล (σ_{oct}) ทุกๆค่าของการทดสอบ แสดงว่าดินจะอยู่ภายใต้สภาพเฉือนมากกว่าอัด

ในขั้นตอนสุดท้ายแบบจำลองการอัดแน่นดินที่ได้สร้างขึ้นตามเงื่อนไขการทดสอบแบบ orthogonal load ดินที่ใช้ทดสอบจะถูกเตรียมที่ความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ให้ความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้ง 1.2, 1.3 และ 1.4 g/cm³ ได้ถูกนำมาทดสอบ ภายใต้เงื่อนไขค่าความเค้นตั้งฉากออกตะฮีดรัลเริ่มต้น คือ 300, 400 และ 500 kPa การทดสอบกระทำจนกระทั่งมวลดินทดสอบถูกอัดแน่นจนถึงค่าสูงสุดที่อ้างอิงมาจาก modified proctor test คือ 1.89 g/cm³ ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยไม่เชิงเส้นพหุคูณ (multiple non-linear regression) เพื่อหาค่าคงที่ในแบบจำลองการอัดแน่นดินแบบจำลองการอัดแน่นดินที่พัฒนาขึ้น ถูกนำไปใช้ในการทำนายผลการอัดแน่น พบว่า รถแทรกเตอร์พ่วงเทรลเลอร์ (รถสาลี่) ที่พิกัดบรรทุก 20 tonne ก็มีความเสี่ยงทำให้ดินเกิดการอัดแน่นได้ในทุกระดับความลึกที่ทำการทดสอบ ส่วนกรณีของรถแทรกเตอร์ลากเทรลเลอร์สปีลล์ ที่พิกัดบรรทุกเดียวกัน ความเสี่ยงที่ดินจะเกิดการอัดแน่นไม่ปรากฏค่าให้เห็นในระดับความลึกสูงสุดที่ทำการทดสอบ

Abstract

In Thailand, a tractor-towed trailer is commonly used in sugarcane transport in the plantation area during the harvest. Intensive traffic of these trailers results in soil compaction which in turn adversely affecting the sugarcane growth in subsequent seasons. The objective of the present study was to investigate the causal mechanism and behavior of soil compaction in sugarcane fields subjecting to two types of trailers, i.e. two-axle trailer with capacities of 20 and 30 Mg and, three-axle trailer with a capacity of 20 Mg. In this research, both in situ and laboratory experiments have been conducted.

In field experiment, the dry bulk density, penetration resistance, and water infiltration rate of the soil were observed before and after the passage of the trailer in order to evaluate the degree of compactness. Dynamic soil stress state was measured using stress state transducers embedded at depths of 15, 30 and 45 cm. The results showed that the soil bulk density significantly increased after the passage of the trailer, and then slightly decreased after one week. Measurement of the penetration resistance across the profile of the furrow indicated that the compaction was greatest in the middle position of the furrow. Passage of the trailer increased the penetration resistance to a value greater than 3 MPa while decreased the water infiltration rate.

Analysis of stress state showed that the vertical stress was generally greater than 100 kPa. The stress induced by the two-axle trailer propagated deeper than 45 cm and the stress increased with axle load. The principal stresses σ_1 , σ_2 and σ_3 demonstrated that the soil under the trailer loading subjected not only to compression but also tension. Furthermore, analysis of the octahedral stresses $\sigma_{\alpha\alpha}$ and $\tau_{\alpha\alpha}$ indicated that the soil had been influenced by shearing action rather than compression for all depths and testing conditions. The octahedral stress ratio (OSR) suggested that this shearing action increased with depth. The stress distribution under the tractor rear wheels was obviously greater when pulled the two-axle trailer because of weight transfer, differing from when pulling the three-axle trailer.

An experiment in a soil bin has been carried out to observe the compaction behavior of soil as loaded by a pneumatic tire under the draft force of 245.25 and 735.25 N. In addition, a triaxial compression test has been performed to establish a relationship between the octahedral stresses and the dry bulk density. A pneumatic tire of the same pattern with that used in the real tractor was tested in the soil bin. A sandy loam soil was prepared at 12% moisture content and pre-compacted to achieve an initial bulk density of 1.4 g/cm^3 . The SSTs were placed at depths of 15 and 30 cm. The soil stress state, dry bulk density, penetration resistance, sinkage, and slip were recorded from the first to tenth tire passage. The results showed that the dry bulk density, penetration resistance, and the sinkage increased with the number of passage and draft force. Increase in draft force resulted in an increase in the principal stresses σ_1 , σ_2 and σ_3 , as well as the octahedral stresses $\sigma_{\alpha\alpha}$ and

$\tau_{\alpha\alpha}$. The major principal stress σ_1 was greatest, indicating the soil in which direction had been compacted. The σ_2 was more or less constant throughout the period of tire passage. The σ_3 was in the opposite direction of the σ_1 and σ_2 indicating the direction in which the soil is subjected to tension. For all test conditions, the $\tau_{\alpha\alpha}$ was greater than $\sigma_{\alpha\alpha}$ demonstrated that the soil had been exerted by shearing rather than compression.

A soil compaction model has been developed based on triaxial compression test according to the orthogonal loading mode. The soil with moisture content of 12% at the initial bulk densities of 1.2, 1.3 and 1.4 g/cm³ was tested under the initial $\sigma_{\alpha\alpha}$ of 300, 400 and 500 kPa until reaching its maximum density of 1.89 g/cm³ as pre-determined by modified proctor test. A multiple non-linear regression was applied to determine the coefficients of the compaction model for describing the relationship between the stresses and the bulk density. The model was applied to predict soil compaction and found that field soil has a high risk of compaction under the two-axle trailer with loading capacities of 20 tons for all studied depths. On the other hand, the compaction risk from the three-axle trailer with the same loading capacity did not appear for all tested depths.

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาไถระเบิดดินดานแบบยกตัวได้โดยใช้แหวนสปริงรดยนต์นี้ เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาดินดานที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตร ดินดานจะทำให้ผลผลิตของพืชลดลงจึงจำเป็นต้องทำการไถระเบิดดินดานทุก 3-4 ปี การไถระเบิดดินดานเป็นงานหนักที่ต้องใช้แรงและกำลังอุตสาหกรรม ยิ่งการไถในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางในดิน เช่น หิน รากไม้ หรือต่อไม้ หรือแม้แต่น้ำที่แห้งแข็งเกินไปในบางจุด การใช้ไถระเบิดดินดานที่มีโซ่อยู่ในปัจจุบัน ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนน็อตนิรภัย (Safety bolt) หรือที่ร้ายแรงกว่านั้นคือความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวไถระเบิดดินดาน เมื่อผู้ใช้เปลี่ยนขนาดน็อตนิรภัยให้ใหญ่ขึ้น หรือเชื่อมขาไถติดกับโครงไถเนื่องจากความไม่เข้าใจหรือละเลยต่อความสำคัญของน็อตนิรภัย ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้พัฒนาไถระเบิดดินดานที่สามารถยกขาไถขึ้นเพื่อหลบสิ่งกีดขวางในดิน โดยกลไกในการยกขาไถใช้แหวนสปริงรดยนต์ที่ผลิตได้ในประเทศไทยที่มีราคาไม่แพง มาแทนการใช้น็อตนิรภัย

ไถระเบิดดินดานแบบยกตัวได้โดยใช้แหวนสปริงรดยนต์แบบที่ 1 ที่พัฒนาขึ้นมีขาไถจำนวน 3 ขา ขาหน้าหนึ่งขา และขาหลัง 2 ขา วางเป็นรูปตัววีคว่ำเพื่อลดแรงอุตสาหกรรม มีกลไกแหวนสปริงรดยนต์ในการยกขาไถขึ้นเมื่อขาไถกระทบสิ่งกีดขวางในดิน ขาไถยกได้สูงสุด 50 เซนติเมตร ปรับระยะห่างระหว่างขาไถได้ 45-75 เซนติเมตร และสามารถปรับตั้งค่าแรงกระทำที่ทำให้ขาไถยกตัวขึ้นได้ เมื่อทำการทดสอบพบว่าเมื่อชนกับสิ่งกีดขวางขาไถสามารถยกตัวหลบสิ่งกีดขวางได้ดี และเมื่อทดสอบการไถในแปลงดินร่วนเหนียวปนทรายที่มีความต้านทานการแทงทะลุมากกว่า 4 เมกะปาสกาล มีความชื้นเฉลี่ย 11.54 % และความหนาแน่นเฉลี่ย 1.66 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร กับขาไถต่างกัน 4 แบบ คือ ขาตัวซี่ม 120 องศา ตามด้วยขาตรง ขาเอียง และขาตัวซี่ม 155 องศา พบว่า สามารถทำให้ดินดานแตกตัวได้ ขาตัวซี่ม 120 องศา มีแรงอุตสาหกรรมสูงสุด 45.23 กิโลนิวตัน ตามด้วยขาตรง 41.44 กิโลนิวตัน ขาเอียง 39.04 กิโลนิวตัน และขาตัวซี่ม 155 องศา มีแรงอุตสาหกรรมน้อยสุด 32.97 กิโลนิวตัน แรงอุตสาหกรรมต่อพื้นที่การแตกตัวของดินขาตัวซี่ม 155 องศา มีค่า 45.62 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร และขาตัวซี่ม 155 องศา มีกำลังอุตสาหกรรมต่อพื้นที่การแตกตัว 45.94 กิโลวัตต์/ตารางเมตร แรงอุตสาหกรรมต่อพื้นที่การแตกตัวของดินและกำลังอุตสาหกรรมต่อพื้นที่การแตกตัวมีค่าเรียงจากมากไปน้อยดังนี้ ขาตัวซี่ม 120 องศา 67.13 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร ขาตรง 55.71 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร ขาเอียง 52.01 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร และขาตัวซี่ม 155 องศา 45.62 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร และกำลังอุตสาหกรรมต่อพื้นที่การแตกตัวมีค่าเรียงจากมากไปน้อยดังนี้ ขาตัวซี่ม 120 องศา 63.97 กิโลวัตต์/ตารางเมตร ขาเอียง 52.14 กิโลวัตต์/ตารางเมตร ขาตรง 51.12 กิโลวัตต์/ตารางเมตร และขาตัวซี่ม 155 องศา 45.94 กิโลวัตต์/ตารางเมตร ไถทั้ง 4 แบบ มีสมรรถนะการทำงานระหว่าง 2.25- 2.58 ไร่/ชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 5.29 -6.56 ลิตร/ไร่ มีอัตราการสิ้นเปลือง 12.54%-17.28% พื้นที่การแตกตัวของดินต่อขาไถ 0.2408-0.2501 ตารางเมตร และค่าประสิทธิภาพเชิงไร่ 69.1-72.8% ความเร็วในการทำงาน 3.30-3.63 กิโลเมตร/ชั่วโมง

ไถระเบิดดินดานแบบยกตัวได้โดยใช้แทนบสปริงรถยนต์แบบที่ 2 ที่พัฒนาขึ้นมีการเพิ่มชุดใบมีดตัดสิ่ง กีดขวางหน้าขาไถ ขาไถยกได้สูงสุด 45 เซนติเมตร ปรับระยะห่างระหว่างขาไถได้ 60-75 เซนติเมตรเมื่อ ทดสอบในแปลงดินร่วนปนทรายที่มีความต้านทานการแทงทะลุ 3 เมกะปาสคาล มีความชื้นเฉลี่ย 14.22 % และความหนาแน่นเฉลี่ย 1.92 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้ขาไถตัวซีมม 155 องศา พบว่า สามารถ ทำงานได้ดี และเมื่อชนกับสิ่งกีดขวางที่ทำให้เกิดภาระมากกว่าที่ตั้งไว้ขาไถระเบิดดินดานสามารถยกตัวหลบได้ ทำให้ไม่เกิดความเสียหาย จากการทดสอบไถระเบิดดินดานมีแรงฉุดลาก 23.04 กิโลนิวตัน แรงในแนวตั้งมีทิศ ขึ้น 2.39 กิโลนิวตัน กำลังฉุดลาก 20.91 กิโลวัตต์ และแรงฉุดลากต่อพื้นที่การแตกตัวของดินและกำลังฉุด ลากต่อพื้นที่การแตกตัวมีค่า 54.02 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร และ 51.02 กิโลวัตต์/ตารางเมตร ตามลำดับ มี สมรรถนะการทำงาน 4.20 ไร่/ชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 2.81 ลิตร/ไร่ มีอัตราการสิ้นเปลือง 7.84% พื้นที่การแตกตัวของดินต่อขาไถ 0.1358 ตารางเมตร และค่าประสิทธิภาพเชิงไร่ 79.92 % ความเร็ว ในการทำงาน 3.42 กิโลเมตร/ชั่วโมง

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เมื่อไถระเบิดดินดานแบบยกตัวได้โดยใช้แทนบสปริง รถยนต์ที่พัฒนาขึ้นขายในราคา 120,000 บาท อายุการใช้งานไถระเบิดดินดาน 10 ปี ไถมีสมรรถนะการ ทำงาน 2.58 ไร่/ชั่วโมง น้ำมันเชื้อเพลิง 5.29 ลิตร/ไร่ ในหนึ่งปีระยะเวลาการใช้งาน 60 วัน เวลาในการ ทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน จำนวนไร่ที่สามารถทำงานได้ 1,238.4 ไร่/ปี ค่าบำรุงรักษารถแทรกเตอร์ 6,000 บาท/ปี ค่าบำรุงรักษาไถระเบิดดินดาน 7,430.4 บาท/ปี ค่าจ้างในการไถระเบิดดินดานอยู่ที่ 450 บาท/ไร่ จะมีต้นทุนคงที่ 11,295 บาท/ปี และต้นทุนผันแปร 188,648.9 บาท/ปี ซึ่งจะทำให้มีจุดคุ้มทุนที่ 37.9 ไร่/ปี และจุดคืนทุน 415.9 ไร่ หรือระยะเวลาคืนทุน 20 วัน

Abstract

The present research on the development of an auto-trip subsoiler using automotive leaf spring aimed at solving soil compaction problem induced by intensive use of agricultural machines. Since compacted soil can causes substantial reduction in crop yield, subsoiling every 3–4 years has been therefore of common practice. Subsoiling is a heavy task which requires high draft force and power, especially in a field that contains underground obstacles such as stones, tree roots, or stubbles. Conventional subsoilers usually consist of safety bolts to prevent mechanical damage when the subsoilers encounter excessive load. The use of such a conventional subsoiler may therefore inconvenient for the operator when changing the damaged safety bolt is needed. Some illiterate farmers even replace with a larger safety bolt or fixing the shank with the frame by welding which might cause severe damage to the implement. The objective of this study was to develop a subsoiler which is capable of uplifting when encounter an obstacle and return when the load is released. The low-cost automotive leaf spring has been used instead of the safety bolt.

In the present study, two types of subsoilers have been developed. The first type of the subsoiler consists of three shanks, i.e. one front and two rear shanks arranging into flipped V shape to reduce draft force. A leaf spring was installed and worked together with force supporting mechanism in order to resist the force at shank tip. The shank can be lift up to maximum displacement of 50 cm. The interval between shanks was adjustable between 45–75 cm, and the loading threshold to trigger the shank uplifting can also be adjusted. The performance test showed that the subsoiler shank was satisfactorily able to lift when encountered the obstacle. Experiments was carried out in a compacted sandy clay loam soil with the penetration resistance greater than 4.0 MPa, the moisture content of 11.54%, and the bulk density of 1.66 g/cm³ in average. Four types of shanks including 120° C-shape, straight, inclined, and 155° C-shape have been tested. The 120° C-shape shank required highest draft force of 45.23 kN, followed by the straight, inclined and 155° C-shape which required draft force of 41.44, 39.04, and 32.97 kN respectively. The draft force to disturbed soil area as arranging in decreasing order were 67.13 kN/m² for 120° C-shape, 55.71 kN/m² for straight, 52.01 kN/m² for inclined, and 45.62 kN/m² for 155° C-shape shanks. The draft power to disturbed area as arranging in decreasing order were 63.97 kW/m² for 120° C-

shape, 52.14 kW/m² for incline, 51.12 kW/m² for straight, and 45.94 kW/m² for 155° C-shape shanks. All of the four types provided a working capacity of 2.25–2.58 rai/h, the fuel consumption of 5.29–6.56 l/rai, slip of 12.54–17.28%, soil disturbance per shank of 0.2408–0.2501 m², field efficiency of 69.1–72.8%, and the speed of 3.30–3.63 km/h.

The second type of the subsoiler has been developed by adding a set of coulters in front of the shanks. The maximum uplifting displacement was 45 cm, and the shank span could be adjusted between 60 and 75 cm. Testing in a sandy loam soil with a penetration resistance of 3.0 MPa, moisture content of 14.22%, and a bulk density of 1.92 g/cm³ using the 155° C-shape shanks showed that the shanks were able to lift upon tripping the obstacle. The performance test indicated the required draft force of 23.04 kN, upward vertical force of 2.39 kN, and draft power of 20.91 kW. The draft force to disturbed area was 54.02 kN/m² and the draft power to disturbed area was 51.02 kW/m². The working capacity was 4.20 rai/h and the fuel consumption was 2.81 l/rai. The slip was 7.84% while the soil disturbance per shank was 0.1358 m². This type of subsoiler provided a field efficiency of 79.92% at a speed of 3.42 km/h.

Engineering economic analysis of the first type subsoiler at selling price of 120,000 bahts, subsoiler lifetime of 10 years, working performance of 2.58 rai/h, fuel consumption of 5.29 l/rai, working period of 60 day/year at 8 hour/day, tractor maintenance cost of 6,000 baht/year, the subsoiler maintenance costs of 7430.4 baht/year and subsoiling cost at 450 baht/rai resulted in that fixed cost was 11,295 baht/year and variable cost was 188,648.9 baht/year. Consequently, break-even point was 37.9 rai/year and payback period was 20 working days or at 415.9 rai of working areas.