โครงงาน

ผลของความหนาแน่นดินจากการชักลาก โดยรถแทรกเตอร์ ในพื้นที่สวนป่าลาดยาว จังหวัดนครสวรรค์

โดย

นางสาววิรากานต์ พรรณสาร

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมป่าไม้ คณะวนศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2567

โครงงาน

เรื่อง

ผลของความหนาแน่นดินจากการชักลาก โดยรถแทรกเตอร์
ในพื้นที่สวนป่าลาดยาว จังหวัดนครสวรรค์

Effect of Soil Compaction from Timber Extraction by Farm Tractor in Lad Yao Plantation, Nakhon Sawan Province

โดย

นางสาววิรากานต์ พรรณสาร

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมป่าไม้ คณะวนศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2567

วิรากานต์ พรรณสาร 2567 : ผลของความหนาแน่นดินจากการชักลาก โดยรถแทรกเตอร์ในพื้นที่สวนป่าลาดยาว จังหวัดนครสวรรค์. ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วนศาสตร์) สาขาวิศวกรรมป่าไม้ อาจารย์ที่ ปรึกษา : ผศ. ดร. ขรรค์ชัย ประสานัย, 44 หน้า

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการชักลากไม้โดยใช้รถแทรกเตอร์ต่อความหนาแน่นของดินในพื้นที่สวนป่าลาดยาว จังหวัดนครสวรรค์ การวิจัยเปรียบเทียบความหนาแน่นของดินระหว่างพื้นที่ที่มีการทำไม้กับพื้นที่ที่ไม่มีการทำไม้ โดยการเก็บข้อมูลในพื้นที่ดังกล่าวใช้เครื่องมือวัดความหนาแน่นของดินสองชนิด ได้แก่ Soil Hardness Tester และ Proving Ring ซึ่งได้เก็บข้อมูลในระดับชั้นผิวดินและดินชั้นล่างผ่านการวัดในตำแหน่งสุ่มที่กำหนดไว้ตลอดเส้นทางการทำงานของรถแทรกเตอร์ ข้อมูลที่เก็บจากการวัดทั้งสองเครื่องมือได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้การทดสอบค่าเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความหนาแน่นดินระหว่างพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการทำงานของรถแทรกเตอร์กับพื้นที่ที่ไม่มีการทำไม้ และระหว่างตำแหน่งต่าง ๆ ที่อยู่ในเส้นทางการชักลากของรถแทรกเตอร์ เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างดินเมื่อมีการใช้เครื่องจักรอย่างต่อเนื่อง

ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ที่มีการทำไม้โดยใช้รถแทรกเตอร์นั้นมีความหนาแน่นของดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะในชั้นผิวดินซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากการชักลากไม้ ความหนาแน่นของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบการทำงานของรถแทรกเตอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องจักรในกระบวนการทำไม้มีผลต่อความหนาแน่น ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่ระบุว่าการอัดแน่นของดินส่งผลต่อการซึมน้ำและการเจริญเติบโตของพืชในพื้นที่ป่า การศึกษานี้จึงมีประโยชน์ต่อการวางแผนจัดการการใช้เครื่องจักรในพื้นที่ป่าไม้ เพื่อลดผลกระทบต่อดินและรักษาความสมดุลของระบบนิเวศในระยะยาว

วิรากานต์ พรรณสาร — ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

31 / ต.ค. / 67

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ขรรค์ชัย ประสานัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ให้ความรู้คำแนะนำ และแนวคิดในการทำโครงงาน อุปกรณ์ในการศึกษา ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆจนกระทั่งโครงงานเสร็จสมบูรณ์และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศกรรมป่าไม้ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้ ให้คำปรึกษา แนะแนวทางก่อให้เกิดประโยชน์ในการทำโครงงาน จนทำโครงงานเสร็จสมบูรณ์

ทั้งนี้ขอขอบคุณหัวหน้าสวนป่า, รองหัวหน้าสวนป่า และบุคลากรสวนป่าลาดยาว จังหวัดนครสวรรค์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกระหว่างการเก็บข้อมูลเพื่อให้การศึกษาครั้งนี้เป็นไปอย่างราบรื่น และขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมป่าไม้ ที่คอยช่วยเหลือ และให้คำปรึกษา

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัวที่คอยให้การสนับสนุน และให้กำลังใจในการทำโครงงานครั้งนี้จนทำให้โครงงานเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

นาวสาววิรากานต์ พรรณสาร

ตุลาคม 2567

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจสอบเอกสาร	3
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
อุปกรณ์และวิธีการ	14
อุปกรณ์	14
วิธีการ	14
การเก็บข้อมูลภาคสนาม	18
ผลและวิจารณ์ผล	22
ผลการศึกษา	22
วิจารณ์ผล	28
สรุปและข้อเสนอแนะ	29
สรุป	29
ข้อเสนอแนะ	30
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	31
ภาคผนวก	32

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดิน โดย Soil Hardness Tester 22
2 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดินโดย Proving Ring 25

ตารางผนวกที่

1 แสดงข้อมูลความหนาแน่นของผิวดินโดย Soil Hardness Tester เส้นที่ 1 33
2 แสดงข้อมูลความหนาแน่นของดินชั้นบนโดย Soil Hardness Tester เส้นที่ 1 34
3 แสดงข้อมูลความหนาแน่นของผิวดินโดย Soil Hardness Tester เส้นที่ 2 36
4 แสดงข้อมูลความหนาแน่นของดินชั้นบนโดย Soil Hardness Tester เส้นที่ 2 38
5 ข้อมูลแสดงความอัดแน่นของดินโดย Proving Ring เส้นที่ 1 40
6 ข้อมูลแสดงความอัดแน่นของดินโดย Proving Ring เส้นที่ 41
7 แสดงความหนาแน่นของผวดินในพื้นที่ไม่มีการท าไม้โดย Soil Hardness 42
8 แสดงความหนาแน่นของดินชั้นบนของพื้นที่ไม่มีการท าไม้โดย Soil Hardness 43
9 แสดงความอัดแน่นของดินในพื้นที่ไม่มีการท าไม้โดย Proving Ring 44

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1 ส่วนประกอบของดิน 4

2 หน้าตัดดิน 6

3 รถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก 10

4 รถแทรกเตอร์ขนาดกลาง 10

5 รถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ 11

6 รถแทรกเตอร์ขับเคลื่อน 2 ล้อ 11

7 รถแทรกเตอร์ขับเคลื่อน 4 ล้อ 12

8 กรอบแนวคิดของวิธีการศึกษา 14

9 สำรวจพื้นที่ 17

10 เก็บข้อมูล โดย Soil Hardness Tester 19

11 เก็บข้อมูล โดย Proving Ring 20

12 ค่าเฉลี่ยผิวดินโดย Soil Hardness Tester 23

13 ค่าเฉลี่ยดินชั้นบนโดย Soil Hardness Tester 24

14 ค่าเฉลี่ยผิวดินโดย Proving Ring 26

ผลของความหนาแน่นดินจากการชักลาก โดยรถแทรกเตอร์ ในพื้นที่สวนป่าลาดยาว จังหวัดนครสวรรค์

Effect of Soil Compaction from Timber Extraction by Farm Tractor in Lad Yao Plantation, Nakhon Sawan Province

คำนำ

การทำไม้ เป็นกระบวนการ เทคนิค วิธีการในการนำไม้ยืนต้นออกจากพื้นที่ป่าหรือสวนป่า เพื่อนำไม้นั้นมาใช้ประโยชน์ โดยครอบคลุมไปจนถึงคันตอนการคัดเลือกไม้ โค่นล้ม ชักลาก ลิดกิ่ง ตัดทอน ตลอดจนขนส่งไม่ไปยังโรงงานอุตสาหกรรม หรือแหล่งที่ใช้ประโยชน์อื่นๆ ทั้งนี้อาจรวมถึงการวางแผนการทำไม้

กระบวนการทำไม้หรือกระบวนการชักลากไม้ในสวนป่าที่มีความชันไม่มากจะนิยมใช้รถแทรกเตอร์ทางการเกษตรหรือสะกิดเดอร์เพื่อชักลากไม้มายังพื้นที่ถนนป่าไม้หรือหมอนไม้ชั่วคราว เพื่อให้รถจอหนังสามารถขนไม้มายังหมอนไม้ถาวรได้

การชักลากไม้อาจส่งผลกระทบต่อกายภาพของดินในพื้นที่ โดยเฉพาะการอัดแน่นของดินในพื้นที่ ซึ่งการอัดแน่นของดินมีผลต่ออัตราการซึมน้ำลงผิวดิน อัตราการชะล้างพังทลายของดิน อีกทั้งส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของไม้ยืนต้น การศึกษาผลการทำงานของเครื่องจักรกลต่อความหนาแน่นของดินในพื้นที่การทำไม้ ทำให้ทราบถึงอัตราการอัดแน่นของดินในพื้นที่กิจกรรมการทำไม้สามารถนำไปสู่กระบวนการประเมินคุณภาพของแผนการทำไม้ในพื้นที่ได้

วัตถุประสงค์

1.เพื่อศึกษาความหนาแน่นของดินจากกระบวนการทำไม้ต่อรอบการทำงานของเครื่องจักร

2.เพื่อศึกษาความเหมาะสมของดินต่อรอบการทำงานของเครื่องจักรจากกระบวนการทำไม้

การตรวจสอบเอกสาร

ดิน (Soil)

ดิน คือวัสดุธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากการผุพังสลายตัวของหินและแร่ ตลิดจนการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ ผสมคลุกเคล้ากัน โดยได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อม เช่น สภาพภูมิอากาศ สภาพพื้นที่ และระยะเวลาในการพัฒนาที่แตกต่างกัน เกิดดินหลากหลายชนิด รวมถึงเป็นแหล่งน้ำและอาหารของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่อาศัยอยู่ในดินและบนดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

องค์ประกอบของดิน

ดินประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ

1. อนินทรียวัตถุ (mineral matter) เป็นส่วนประกอบที่มีปริมาณมากที่สุดในดินทั่วไป ได้มาจากการผุพังสลายตัวของหินและแร่ อนินทรียวัตถุอยู่ในดินในลักษณะที่เรียกว่า อนุภาคดิน ซึ่งมีหลายรูปทรงและมีขนาดแตกต่างกัน แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

    1.1 กลุ่มอนุภาคขนาดเมล็ดทราย (sand) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.00-0.05 ม.ม.

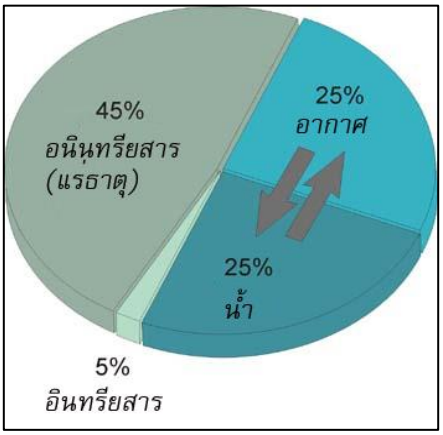
    1.2 กลุ่มอนุภาคขนาดทรายแป้ง (silt) เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05-0.002 ม.ม.

    1.3 กลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว (clay) เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 0.002 ม.ม.

2. อินทรียวัตถุ (organic matter) ส่วนที่มีการเน่าเปื่อยผุพังหรือสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ที่ทับทมอยู่บนดิน อินทรียวัตถุในดินเป็นแหล่งสำคัญของธาตุอาหารพืช และเป็นแหล่งอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์ดินโดยเฉพาะ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน อีกทั้งยังมีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติต่างๆของดินทั้งกายภาพ เคมี และชีวภาพ

3. น้ำในดิน (water) หมายถึง ส่วนของน้ำที่พบอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดินหรือเม็ดดิน มีความสำคัญมากต่อการปลูก และการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากเป็นตัวช่วยในการละลายธาตุอาหารต่างๆในดิน

4. อากาศในดิน (air) หมายถึง ส่วนของกก๊าซต่างๆ ที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินในส่วนที่ไม่มีน้ำอยู่ ก๊าซที่พบทั่วไปในดิน คือ ก๊าซไนโตรเจน(N2) ออกซิเจน(O2) และคาร์บอนไดออกไซด์(CO2)



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของดิน

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (พ.ศ. 2556)

หน้าตัดดิน

หน้าตัดดินประกอบไปด้วยดินที่ทับทมกันเป็นชั้นๆ เรียกว่า ชั้นดิน ชั้นดินบางชั้นอาจจะบางเพียง 2-3 มิลลิเมตร หรือหนามากกว่า 1 เมตรก็ได้ สามารถจำแนกชั้นดินแต่ละชั้นจากสีและโครงสร้างของอนุภาคดินที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นยังใช้สมบัติอื่นๆ ที่แตกต่างกันระหว่างดินชั้นบนและดินชั้นล่างดินบางชั้นเกิดจากการพังทลายและถูกชะล้างโดยกระแสน้ำ ดินบางชั้นเกิดจากตะกอนทับทมกันนาน จึงกำหนดชื่อของชั้นดินโดยลักษณะทางกายภาพดังนี้ (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, 2546)

ชั้น O หรือเรียกว่า ชั้นดินอินทรีย์ คือชั้นที่มีการสะสมอินทรียวัตถุทั้งที่มาจากพืชและสัตว์ ซึ่งส่วนใหญ่มักมาจากพืช เช่น ใบไม้ กิ่งไม้ หญ้า และพืชอื่นๆ ทั้งพวกที่มีการสลายตัวเพียงเล็กน้อย สลายตัวปานกลาง หรือสลายตัวมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นลักษณะของชิ้นส่วนเดิม ดินชั้นโอส่วนใหญ่พบในพื้นที่ป่า ส่วนในพื้นที่การเกษตรไม่มีชั้นโอในหน้าตัด เนื่องจากถูไถพรวนไปหมด

ชั้น A หรือ ชั้นดินบน (Top soil) เป็นส่วนที่มีน้ำซึมผ่าน และชั้นดินที่ประกอบด้วยอินทรียวัตถุที่สลายตัวแล้วผสมคลุกเคล้าอยู่กับแร่ธาตุในดิน มักมีสีคล้ำ

ชั้น E หรือ ชั้นชะล้าง เป็นชั้นดินที่มีสีซีดจาง มีปริมาณอินทรียวัตถุน้อยกว่าชั้นเอ และมักมีเนื้อดินหยาบกว่าชั้นบี ที่อยู่ตอนล่างลงไป

ชั้น B หรือ ชั้นดินล่าง (subsoil) เนื้อดินและโครงสร้างเป็นก้อนเหลี่ยมหรือแท่งผลึก เกิดการชะล้างแร่ธาตุต่างๆของสารละลายต่างๆ เคลื่อนตัวผ่านชั้นเอ ลงมาสะสมในชั้นบี ดินในชั้นบีส่วนใหญ่จะมีสีน้ำตาลปนแดง เนื่องจากการสะสมตัวของเหล็กออกไซด์

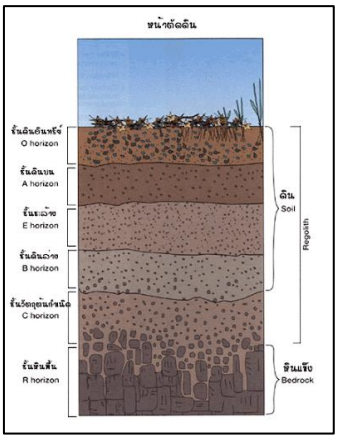
ชั้น C หรือ ชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน เป็นชั้นของวัสดุที่เกาะตัวกันอยู่หลวมๆ อยู่ใต้ชั้นที่เป็นดิน ประกอบด้วยหินและแร่ที่กำลังผุพังสลายตัว

ชั้น R หรือชั้นหินพื้น เป็นชั้นหินของแข็งชนิดต่างๆ ที่ยังไม่ผุพังสลายตัว เป็นชั้นที่เชื่อมติดแน่น

ชั้นต่างๆ ในดินอาจจะแบ่งอย่างง่ายๆ ดังนี้

1. ชั้นดินบน หรือเรียกว่า ชั้นไถพรวน โดยทั่งไปมีความหนาประมาณ 15-30 ซม. เป็นชั้นที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก เพราะเป็นชั้นที่มีอินทรียวัตถุหรือฮิวมัสสูงกว่าชั้นดินอื่นๆ โดยปกติจะมีสีคล้ำ รากพืชส่วนใหญ่จะชอนไชหาอาหารที่อยู่ในช่วงนี้

2. ชั้นดินล่าง เป็นชั้นที่มีอินทรียวัตถุน้อยกว่า รากพืชที่ชอนไชลงมาถึงชั้นนี้ส่วนใหญ่จะเป็นรากของผลไม้หรือไม้ยืนต้นที่ขนาดใหญ่ ทั้งนี้เพื่อยึดเกาะดินไว้ให้พืชทรงตัวอยู่ได้ ไม่โค่นล้มได้ง่าย เมื่อมีลมพัดแรง โดยทั่วไปรากพืชเจริญเติบโตและดูดธาตุอาหารเฉพาะในส่วนที่เป็นดินบนและดินล่าง ซึ่งดินแต่ละชนิดมีความลึกไม่เท่ากัน ดินที่ลึกมีพื้นที่ให้พืชหยั่งรากและดูดธาตุอาหารได้มากกว่าดินที่ตื่น การปลูกพืชให้ได้ผลดีจึงควรคำนึงถึงความลึกของดินด้วย



ภาพที่ 2 หน้าตัดดิน

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (พ.ศ. 2551)

โครงสร้างดิน

เป็นสมบัติทางกายภาพของดินที่เกิดขึ้นจากการเกาะจับกันของอนุภาคที่เป็นของแข็งในดิน เกิดเป็นเม็ดดินหรือเป็นก้อนดินที่มีขนาด รูปร่าง และความคงทนแข็งแรงในการยึดตัวต่างกัน

โครงสร้างของดินมีความสำคัญต่อการซึมผ่านของน้ำ การอุ้มน้ำ การระบายน้ำ และการถ่ายเทอากาศในดิน รวมถึงการแพร่กระจายของรากพืช ดินที่มีโครงสร้างดี มักมีลักษณะร่วนซุย อนุภาคเกาะกันหลวมๆ มีปริมาณช่องว่างและความต่อเนื่องของช่องว่างในดินดี ทำให้มีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศดีดี รากพืชสามารถชอนไชหาอาหารได้ง่าย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

การอัดแน่นของดิน

การอัดแน่นของดิน (soil compaction) เป็นกระบวนการที่เกิดการลดลงของความพรุนและการไหลซึมผ่านของน้ำในดิน มีผลทำให้ความแข็งแรงของดินเพิ่มขึ้น มีความเปลี่ยนแปลงหลายอย่างเกิดขึ้นในโครงสร้างดิน อนุภาคของแข็งถูกบีบให้ชิดกันหรือการลดลงของช่องว่างระหว่างอนุภาค หรือมีอิทธิพลจากการเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ของของแข็งในโครงสร้างดิน การอัดตัวอาจเป็นผลที่เกิดตามธรรมชาติ เช่นการตกกระทบของเม็ดฝน การมีน้ำขังในช่องว่างในดิน

หรืออาจเกิดจากผลของการอัดตัวที่มีน้ำหนักมากระทำ เช่น การถูกเหยียบย่ำ การใช้เครื่องจักรกลทางเกษตร (ประเทือง, 2559)

การชะล้างพังทลายของดิน

การชะล้างพังทลายของดิน (Soil Erosion) เป็นขบวนการที่เกิดจากการที่มีแรงจาก ลม แรงโน้มถ่วงของโลกมากระทำให้อนุภาคดินบนผิวหน้าดินแตกแยกออกจากกัน (Detaching) แล้วเคลื่อนย้ายอนุภาคของดินหรือวัตถุธาตุไปตกตะกอนทับถม (Deposition) ยังอีกที่หนึ่ง ทำให้เกิดการสูญเสียหน้าดิน การลดลงของความอุดมสมบูรณ์ของดินเกิดความม้สื่องโทรม ดินเก็บความชุ่มชื้นได้น้อยการแน่นตัวของผิวหน้าดิน และอัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินน้อยลง ดินเกิดความตื้นเขินกักเก็บน้ำได้น้อยเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินออกจากพื้นที่ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหาย (นิพนธ์, 2526) เกิดขึ้นเนื่องจาก 2 ประการ คือ

1. การชะล้างพังทลายของดินที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การตัดไม้ทำลายป่า, การแผ้วถางพื้นที่, การเหยียบย่ำของคนงานในพื้นที่ที่มีการทำไม้, การทำงานของเครื่องจักรกล เป็นต้น

2. การชะล้างพังทลายตามธรรมชาติ เช่นการกัดชะด้วยฝนหรือลม เนื่องจากการขาดพืชปกคลุมดิน, การกัดเซาะตลิ่งของกระแสน้ำ, ความลาดชันของพื้นที่ เป็นต้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายของดิน

1.อิทธิพลของลมฟ้าอากาศ (Climatic factors) อิทธิพลของฝนแรงตกกระทบของเม็ดฝนทำให้เกิดการแตกแยกออกจากกัน ทำให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินและการเคลื่อนย้ายอนุภาคดิน อิทธิพลของการเปลี่ยนอุณหภูมิมีผลต่อการปรับตัวของโครงสร้างดินและการจับตัวของอนุภาคดิน

2. อิทธิพลของสภาพภูมิประเทศ (Physiographic factors) ความลาดเทของพื้นที่ เมื่อความลาดเทมากขึ้นอัตราการชะล้างพังทลายของดินก็จะมากขึ้น ทำให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินได้มากมีความรุนแรงและรวดเร็ว เพราะดินมีโอกาสเก็บกักน้ำฝนที่ตกลงมาได้น้อย ความนาวของความลาดเท การกัดชะพังทลายของดินจะเกิดขึ้นไม่ได้ ถ้าพลังการกัดชะของน้ำไหลบ่าหน้าดินน้อยกว่าแรงต้านทานของเม็ดดิน ปริมาณของดินที่ถูกกัดชะล้างพังทะลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อความยาว

ของความลาดเทที่ยาวมากขึ้น รูปร่างของความลาดเขา ความลาดเทของแต่ละพื้นที่อาจมีลักษณะของแนวความลาดเทแบบเรียบ ลาดนูนขึ้นและโค้งลง หรือเว้าและงอขึ้น

3. ปัจจัยเกี่ยวกับดิน (Soil factors) ดินแต่ละชนิดจะถูกชะล้างยากง่ายกันออกไป ขึ้นอยู่กับความคงทนต่อการถูกกัดเซาะและเคลื่อนย้าย ตามความลึกของดิน ตามอนุภาคดิน เช่น อนุภาคดินเหนียวยากต่อการกัดเซาะแต่ง่ายต่อการพัดพามากกว่าอนุภาคดินเหนียว อัตราการซึมของน้ำ แตกต่างกันตามคุณสมบัติทางกายภาพดิน การซึมน้ำผ่านผิวดิน การเคลื่อนย้ายที่ของน้ำจากผิวดินสู่ชั้นที่ลึกลงไป จะรวดเร็วในดินค่อนข้างแห้ง และช้าลงเมื่อดินเริ่มเปียก และเข้าสู่สภาพคงที่

4. การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) ชนิดของพืชปกคลุมดิน ลักษณะการปกคลุมผิวหน้าดินแตกต่างกันตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน ช่วยป้องกัน แรงปะทะจากเม็ดฝนไม่ให้ตกกระทบดินโดยตรง ช่วยให้ปริมาณ อัตราน้ำไหลบ่าลดลง การเคลื่อนย้ายดินก็ลดลงตาม ความหนาแน่นของต้นไม้ช่วยลดแรงของการชะล้างพังทลายของน้ำไหลบ่าหน้าดิน รากช่วยยึดเกาะดิน ซากช่วยปรับสภาพดินทำให้การซึมน้ำ การอุ้มน้ำดีขึ้น

การทำไม้

การทำไม้ ภาษาอังกฤษใช้คำว่า Logging หรือ Timber harvesting เป็นกิจกรรมหนึ่งในการทำสวนป่าเศษฐกิจ เป็นขั้นตอนการเก็บเกี่ยวผลผลิตเนื้อไม้ภายหลังการปลูก และดูแลมายาวนาน ด้วยการตัดล้มไม้ ตัดทอน ขนส่งไม้จนถึงปลายทางคือโรงงานแปรรูปไม้หรือบริโภคของห่วงโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมไม้

การทำไม้ประกอบด้วยหลายขั้นตอน เริ่มจาก การล้มไม้ การลิดกิ่ง การตัดทอน การชักลากตอนป่าหรือขนส่งตอนป่า การรวมกอง การขนส่งไม้ขึ้นรถ การขนส่งไม้และงานในหมอนไม้ ซึ่งการทำไม้แต่ละชนิดอาจมีไม่ครบทุกขั้นตอนดังกล่าว หรือลำดับการดำเนินงานสลับขั้นตอนกันได้ เช่น การทำไม้ยางพารา ประกอบด้วย การล้มไม้ การลิดกิ่ง การตัดทอนตามขนาด การขนไม้ขึ้นรถ และการขนส่งไม้ไปยังโรงงานแปรรูปไม้ เป็นต้น ทั้งนี้ขั้นตอนการทำไม้จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น

ชนิดไม้ ขนาดของแปลงปลูก วัตถุประสงค์ในการใช้ไม้ สภาพภูมิอากาศในช่วงการทำไม้ เครื่องจักรกลและแรงงานที่มี เป็นต้น (ลัดดาวรรณ, 2562)

เครื่องจักรกลป่าไม้

เครื่องจักร, เครื่องกล หรือเครื่องจักรกลหมายถึง เครื่องมือหรืออุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ประกอบขึ้นจากส่วนหนึ่งหรือส่วนต่างๆหลายส่วน ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อทำให้บรรลุจุดมุ่งหมายเฉพาะเจาะจงอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง เครื่องจักรเป็นอุปกรณ์ที่มีพลังขับเคลื่อน ซึ่งมักจะเป็นพลังงานเชิงกล เคมี ความร้อน หรือไฟฟ้า เป็นต้น และบ่อยครั้งก็ถูกทำให้เป็นเครื่องยนต์ (ลัดดาวรรณ, 2562)

เครื่องจักรกล ส่วนนำมาใช้เพื่อทุ่นแรงงานมนุษย์ ช่วยให้งานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ลดแรงงานคน เพิ่มผลผลิตหรือผลงาน ลดการเกิดอันตรายต่อคนใช้งาน

เครื่องจักรกลป่าไม้ (Forest Machinery) หมายถึง เครื่องจักรกลที่ใช้ในงานด้านป่าไม้ทั้งในพื้นที่ป่าไม้อนุรักษ์และป่าเศษฐกิจ โดยไม่รวมถึงเครื่องจักรกลในโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์จากป่า

รถแทรกเตอร์ (tractor)

เป็นเครื่องจักรที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้เป็นต้นกำลังในการออกแรงฉุดลากหรือดันเครื่องมือทุ่นแรงชนิดต่างๆ ทดแทนแรงงานคนและสัตว์ เช่น ไถหัวหมู โรตารี พรวนจาน เครื่องหว่านปุ๋ย เครื่องพ่นยา หรือเครื่องสูบน้ำ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันรถแทรกเตอร์ถือเป็นหัวใจหลักของการทำเกษตรกรรมไม่ว่าจะเป็นการเตรียมดิน การปลูก การเขตกรรม หรือการเก็บเกี่ยว เป็นต้น แทรกเตอร์เป็นเครื่องจักรที่สมรรถนะและศักยภาพสูงสามารถทำงานได้ในปริมาณพื้นที่จำนวนมากต่อหน่วยเวลา ทำให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิตและลดเวลาการทำงานต่อพื้นที่ให้น้อยลง (กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2559)

รถแทรกเตอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ตามลักษณะของกำลังม้าและลักษณะของการขับเคลื่อน

รถแทรกเตอร์แบ่งตามกำลังแรงม้าสามารถแบ่งออกเป็น

1.รถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก มีขนาดกำลังแรงม้าน้อยกว่า 40 แรงม้า

ภาพที่ 3 รถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

ที่มา: กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว (พ.ศ. 2559)

2.รถแทรกเตอร์ขนาดกลาง มีขนาดแรงม้าระหว่าง 41 – 80 แรงม้า

ภาพที่ 4 รถแทรกเตอร์ขนาดกลาง

ที่มา: กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว (พ.ศ. 2559)

3.รถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ มีขนาดแรงม้ามากกว่า 81 แรงม้าขึ้นไป

ภาพที่ 5 รถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่

ที่มา: กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว (พ.ศ. 2559)

รถแทรกเตอร์แบ่งตามลักษณะการขับเคลื่อน สามารถแบ่งออกได้เป็น

1.รถแทรกเตอร์ขับเคลื่อน 2 ล้อ มีหลักการทำงาน โดยส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปขับเคลื่อน 2 ล้อหลัง

ภาพที่ 6 รถแทรกเตอร์ขับเคลื่อน 2 ล้อ

ที่มา: กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว (พ.ศ. 2559)

2.รถแทรกเตอร์ขับเคลื่อน 4 ล้อมีหลักการทำงาน โดยส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปขับเคลื่น 2 ล้อหน้าและหลัง โดยส่วนใหญ่รถแทรกเตอร์ประเภทนี้ยังสามารถที่จะขับเคลื่อนได้ 2 ล้อหรือ 4 ล้อก็ได้ ขึ้นอยู่กับต้องการกำลังที่เพิ่มขึ้นหรือไม่

ภาพที่ 7 รถแทรกเตอร์ขับเคลื่อน 4 ล้อ

ที่มา: กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว (พ.ศ. 2559)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประเทือง (2559) : ศึกษาสมบัติดินทรายแป้งในแปลงเพาะปลูกอ้อยของเกษตรกรในบริเวณภาคตะวันตกของประเทศไทย ศึกษาส่วนประกอบและผลของชนิดดินทรายแป้งในเนื้อดิน ความชื้นและปริมาณอินทรียวัตถุที่มีต่อสมบัติการบดอัดของดินทรายแป้ง ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอัดแน่นของดินทรายแป้ง ด้วยการวัดค่าความชื้น ค่าความหนาแน่น ค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินทรายแป้ง ศึกษาถึงกลไกการเกิดการอัดแน่น และแนวทางแก้ไขปัญหาหรือการบรรเทาการอัดแน่นของดินประเภททรายแป้งในไร่อ้อย

จากการศึกษาพบว่า การบดอัดดินโดยการประยุกต์ใช้วิธี Modified Proctor Test ได้ค่าความหนาแน่นสูงกว่าจากการทดสอบด้วย oedometer ที่ 200 กิโลปาสคาล ของดินทั้ง 3 ชนิด ดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง และดินร่วนปนทรายแป้ง จากการทดสอบดินทั้งสามชนิด ได้ ข้อสรุปว่า เครื่องจักรกลควรเข้าไปปฏิบัติงานในแปลงไร่อ้อยในช่วงที่ความชื้นในดินไม่เกิน18.74 % สำหรับดินร่วนปนทราย และในช่วงความชื้นของดินไม่เกิน 17.88 % สำหรับดินร่วนเหนียวปนทราย แป้งและช่วงความชื้นของดินไม่เกิน 20.27 %สำหรับดินร่วน และเมื่อเพิ่มอินทรียวัตถุลงไปในดิน ทำให้ความชื้นที่เครื่องจักรสามารถเข้าไปทำงานได้เพิ่มขึ้นเป็น 23.65 % สำหรับดินร่วนปนทราย แป้ง และในช่วงความชื้นของดินไม่เกิน 19.43 %สำหรับดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง และช่วง ความชื้นของดินไม่เกิน 21.97 % สำหรับดินร่วน และเมื่อลดภาระกระทำของดินลงจาก 200 กิโล ปาสคาล เป็น 170กิโลปาสคาล และ150กิโลปาสคาล ทำให้การทำงานของเครื่องจักรสามารถ ทำงานได้ที่ความชื้นในดินร่วนปนทรายเพิ่มขึ้นแต่ไม่เกิน 19.60% และ20.65 % ตามลำดับ

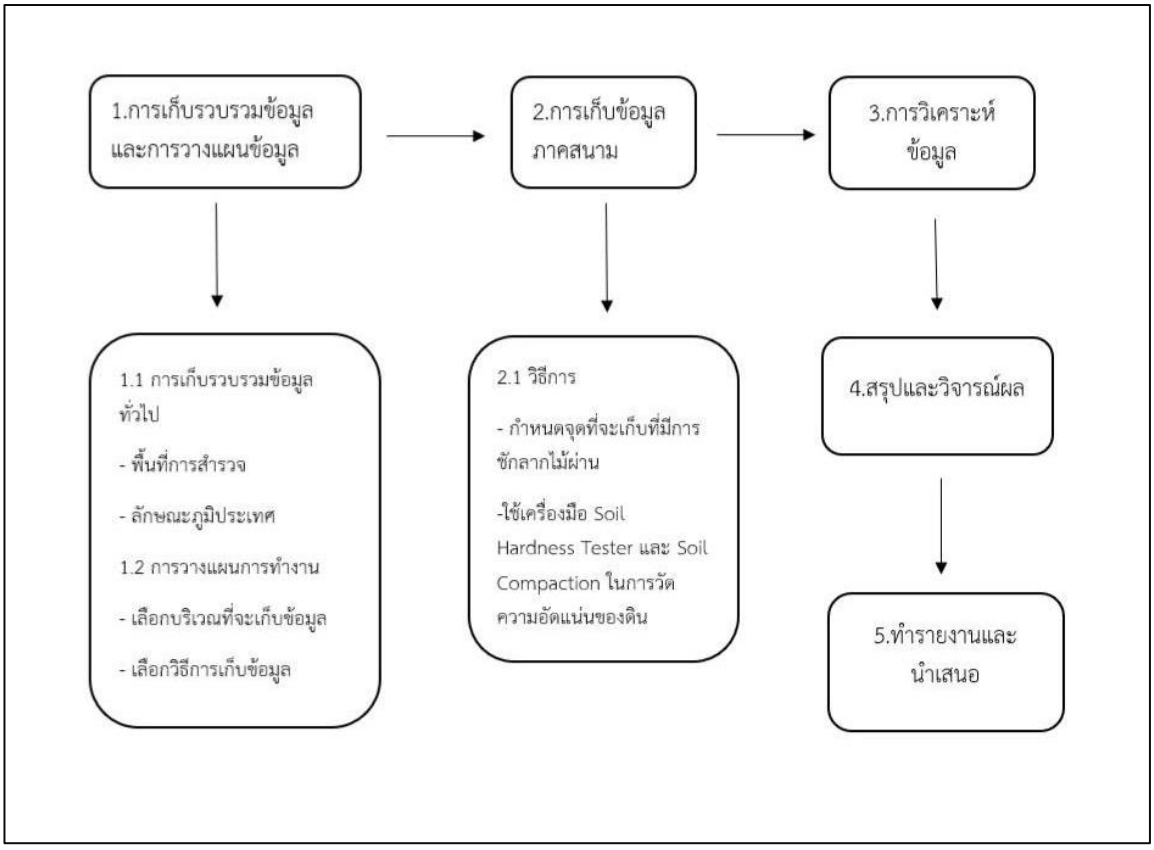
สิทธิชัย (2549) : ศึกษาพฤติกรรมการกระจายความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้งและการกระจายความต้านทานการแทงทะลุดิน เปรียบเทียบผลจากน้ำหนักของล้อยางและจำนวนเที่ยว ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยใช้กระบะดิน ค่าความหนาแน่นมวลรวมสภาพดินแห้งของดินเพิ่มขึ้นตามจำนวนเที่ยว น้ำหนักกดทับของล้อ และความชื้นดินที่เพิ่มขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. Proving ring
2. Soil Hardness Tester
3. แบบทันทึกข้อมูลภาคสนาม
4. คอมพิวเตอร์

วิธีการ



ภาพที่ 8 กรอบแนวคิดของวิธีการศึกษา

1. พื้นที่การสำรวจ

การศึกษาครั้งนี้ ทำการเก็บข้อมูลที่สวนป่าลาดยาว ตำบลแม่เปิน อำเภอแม่เปิน จังหวัดนครสวรรค์ เก็บข้อมูลบริเวณพื้นที่ที่มีการทำไม้โดยชักลากไม้ด้วยรถแทรกเตอร์และบริเวณใกล้เคียงที่ไม่ถูกผลกระทบจากรถแทรกเตอร์นั้นคือพื้นที่ไม่มีการทำไม้ ในบริเวณแปลงปลูกไม้สักปี 2535 มีรูปแบบการทำไม้แบบตัดหมด เริ่มทำไม้ตั้งแต่เดือนมกราคม มีการชักลากไม้ด้วยรถแทรกเตอร์เท่านั้น เพราะสภาพพื้นที่ไม่ได้มีความลาดชันมาก โดยใช้รถแทรกเตอร์เข้าไปขนไม้ที่ถูกตัดและชักลากออกมารวมกองไว้ตามริมเส้นทางการชักลาก เมื่อตัดไม้บริเวณนั้นเสร็จก็จะมาลากไม้ที่กองไว้ไปยังจุดรวมกองหรือหมอนไม้ชั่วคราว เพื่อรอรถหกล้อที่ดัดแปลงสำหรับยกไม้มานำไม้ไปยังหมอนไม้ถาวร

ภูมิประเทศของอำเภอแม่เปินมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ดอน บางส่วนอยู่ในเขตป่าสงวนแห่งชาติสภาพเสื่อมโทรมและภูเขาโดยเป็นที่ราบตั้งแต่ทิศตะวันออกในหมู่ที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 14, 17, 22 และขึ้นสู่ที่ราบสูงและภูเขาไปทางทิศตะวันตกติดต่อกับอำเภอลานสัก จังหวัดอุทัยธานี เป็นป่าต้นน้ำลำธารตั้งอยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติแม่วงก์ และภูมิอากาศมีลักษณะอากาศแบบมรสุมเมืองร้อน มี 3 ฤดู ดังนี้

ฤดูร้อน ตั้งแต่เดือน กุมภาพันธ์ – พฤษภาคม
ฤดูฝน ตั้งแต่เดือน มิถุนายน – กันยายน
ฤดูหนาว ตั้งแต่เดือน ตุลาคม – มกราคม

อาณาเขตติดต่อแม่เปินเป็นประตูสู่มรดกโลกห้วยขาแข้งจังหวัดอุทัยธานี อำเภอแม่เปินตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของจังหวัดนครสวรรค์ อยู่ในโซนฝืนป่าตะวันตกแม่วงก์แม่เปิน อยู่ห่างจากจังหวัดนครสวรรค์ ประมาณ 84 กิโลเมตร มีอาณาเขตติดต่อดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	อ.แม่เปิน	จ.นครสวรรค์
ทิศใต้	ติดต่อกับ	อ.ลานสัก	จ.อุทัยธานี
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	อ.ขุนตาบง	จ.นครสวรรค์
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	อ.ลานสัก	จ.อุทัยธานี

2. การเก็บข้อมูลเบื้องต้น

เก็บข้อมูลบริเวณพื้นที่ที่มีการทำไม้โดยชักลากไม้ด้วยรถแทรกเตอร์และบริเวณใกล้เคียงที่ไม่ถูกผลกระทบจากรถแทรกเตอร์นั้นคือพื้นที่ไม่มีการทำไม้ ในบริเวณแปลงปลูกไม้สักปี 2535 มีรูปแบบการทำไม้แบบตัดหมด เริ่มทำไม้ตั้งแต่เดือนมกราคม มีการชักลากไม้ด้วยรถแทรกเตอร์เท่านั้น เพราะสภาพพื้นที่ไม่ได้มีความลาดชันมาก โดยใช้รถแทรกเตอร์เข้าไปขนไม้ที่ถูกตัดและชักลากออกมารวมกองไว้ตามริมเส้นทางการชักลาก เมื่อตัดไม้บริเวณนั้นเสร็จก็จะมาลากไม้ที่กองไว้ไปยังจุดรวมกองหรือหมอนไม้ชั่วคราว เพื่อรอรถหกล้อที่ดัดแปลงสำหรับยกไม้มานำไม้ไปยังหมอนไม้ถาวร

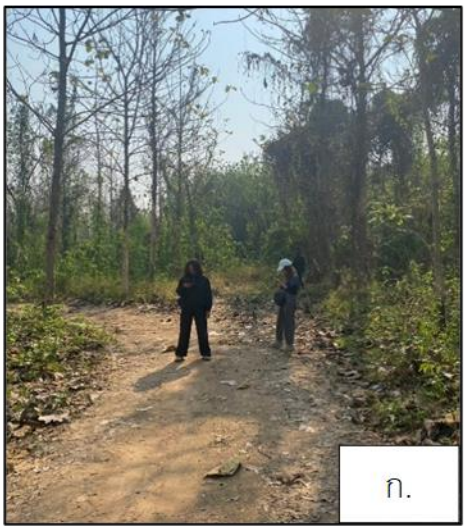
2.1 สำรวจพื้นที่ (ภาพที่ 9) และการทำงานของคนงาน โดยสำรวจพื้นที่ 2 แบบ นั้นคือ พื้นที่ที่มีการทำไม้หรือพื้นที่ที่มีการชักลากไม้ และพื้นที่ไม่มีการทำไม้หรือพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการทำงานของเครื่องจักร

2.2 สอบถามเส้นทางการทำงานของเครื่องจักร

2.3 พื้นที่ที่มีการทำงานของเครื่องจักรเก็บ 2 เส้นทาง การทำงานของเครื่องจักร

2.4 เมื่อได้พื้นที่ที่จะทำการศึกษา สุ่ม 2 จุด โดยใช้อุปกรณ์ 2 ชนิด Soil Hardness Tester Proving Ring

2.5 ทำการเก็บข้อมูลทุกครั้งที่รถแทรกเตอร์ทำการชักลากไม้ไปยังหมอนไม้ชั่วคราว



ภาพที่ 9 สำรวจพื้นที่ (ก. การสำรวจพื้นที่แปลงทำงาน) (ข. การวางจุดสุ่ม)

3.ค่าการเก็บข้อมูลภาคสนาม

การศึกษาในครั้งนี้ทำการเก็บข้อมูลจากดินที่มีผลกระทบจากกระบวนการทำไม้ โดยใช้รถแทรกเตอร์ชักลากไม้ เก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ทั้งหมด 2 ชนิด ได้แก่ Soil Hardness Tester และ Proving Ring เพื่อนำข้อมูลความหนาแน่นของดินมาวิเคราะห์ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์สมบัติของดินในด้านกายภาพ นั้นคือ ลักษณะความหนาแน่นของดิน

3.1. เลือกบริเวณที่จะเก็บข้อมูล

เลือกพื้นที่ที่มีการชักลากไม้ด้วยรถแทรกเตอร์ และพื้นที่ที่ไม่มีการชักลากไม้ เมื่อได้พื้นที่ที่จะเก็บข้อมูล ให้ทำการสุ่มตำแหน่งพื้นที่ที่จะทำการเก็บข้อมูลดิน โดยใช้เส้นทางที่รถแทรกเตอร์ทำการชักลากไม้ผ่านในแต่ละครั้งจำนวน 2 จุด รวมถึงศึกษาข้อมูลจำนวนเที่ยวการชักลากไม้ของรถแทรกเตอร์ในแต่ละวัน และสุ่มตำแหน่งพื้นที่ที่ไม่มีการใช้รถแทรกเตอร์ชักลากไม้ผ่านจำนวน 2 จุด และเก็บข้อมูลดิน 2 เส้นทางการทำงานของรถแทรกเตอร์ เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกัน

3.2. วิธีการการเก็บข้อมูล

3.2.1 เมื่อสุ่มตำแหน่งที่รถแทรกเตอร์ชักลากไม้ผ่าน 2 จุดแล้ว ทำการเก็บซ้ำตามรอบที่รถแทรกเตอร์ผ่านเส้นทางเดิม โดยตำแหน่งที่เก็บข้อมูลอยู่บริเวณใกล้กัน จนทำการชักลากไม้เสร็จ

3.2.2 เก็บข้อมูล โดยใช้ Soil Hardness tester

ทำการวัดตำแหน่งที่สุ่มไว้ 2 จุด โดยวัดที่ผิวดินบน 3 ครั้ง และบันทึกค่าที่อ่านได้ และทำการขุดดินลึกประมาณ 30 เซนติเมตร ทำการวัดดินชั้นล่าง 3 ครั้งและบันทึกค่าที่อ่านได้

ภาพที่ 10 เก็บข้อมูล โดย Soil Hardness Tester (ก. การวัดค่าความหนาแน่นของดิน)

(ข. ลุ่มที่ขุด 30 เซนติเมตร)

3.2.3 เก็บข้อมูล โดย Proving Ring ทำการวัดตำแหน่งที่สุ่มไว้ วัดทั้งหมด 3 ครั้งต่อจุดสุ่ม และบันทึกค่าที่อ่านได้

3.2.4 ทำการเก็บข้อมูลดังข้อ 2.2 และ 2.3 ซ้ำจนกว่ารถแทรกเตอร์จะชักลากไม้เสร็จ ส่วนพื้นที่ไม่มีการทำไม้ทำครั้งเดียว

ภาพที่ 11 เก็บข้อมูล โดย Proving Ring

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 Soil Hardness Tester

4.1.1นำข้อมูลที่จดบันทึกในภาคสนามลง Excel ข้อมูลที่เก็บมานั้นเป็นผิวดินบนและดินบน ซึ่งทำการเก็บข้อมูลตามจำนวนรอบการทำงานของรถแทรกเตอร์ และมีจุดเก็บ 2 จุดต่อรอบการทำงาน จึงนำข้อมูลมาเฉลี่ย

4.1.2 เมื่อเฉลี่ยข้อมูลแล้ว ข้อมูลที่เก็บมาได้นั้นมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อพื้นที่ จึงทำการเปลี่ยนหน่วยให้เป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยสูตร

$$\mathrm{p} = \frac{100\mathrm{x}}{0.7952(40 - \mathrm{x})^2}$$

4.1.3 นำค่าที่เปลี่ยนหน่วยแล้วนั้นมาเฉลี่ยให้เหลือรอบการทำงานของรถแทรกเตอร์เพียงรอบละ 1 ข้อมูล จากเดิมที่มี 2 ข้อมูล

4.1.4 นำค่าที่ได้จากการเฉลี่ยข้อมูลดินแล้วไปวิเคราะห์

4.2 Proving Ring

4.2.1 นำข้อมูลที่เก็บจากภาคสนามลง Excel ซึ่งแต่ละรอบการทำงานของรถแทรกเตอร์เก็บข้อมูลมา 3 ค่า จึงต้องทำการเฉลี่ย

4.2.2 นำค่าที่เฉลี่ยไปวิเคราะห์ข้อมูล

4.3 นำข้อมูลที่วิเคราะห์แล้วเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูล โดยใช้หลักสถิติ

ผลและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษา

1. ผลการศึกษา โดยใช้เครื่องมือ Soil Hardness Tester

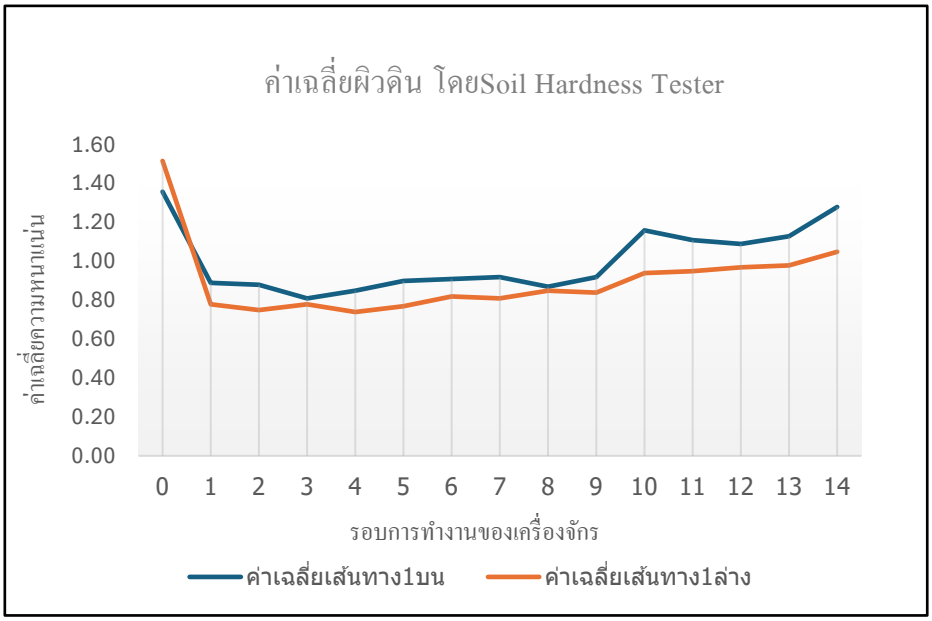
จากการศึกษาความแข็งของดินด้วยอุปกรณ์ Soil Hardness Tester ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลดินบริเวณพื้นที่ไม่มีการทำไม้และบริเวณที่มีการทำไม้ด้วยรถแทรกเตอร์ โดยเก็บข้อมูลจากการทำงานของรถแทรกเตอร์ที่ชักลากไม้ผ่านพื้นที่ดินบริเวณนั้นจำนวน 2 เส้นทาง เก็บทุกครั้งที่รถแทรกเตอร์ชักลากไม้ผ่านจนกว่ารถแทรกเตอร์จะหยุดการทำงานของวันนั้นทั้งหมด 14 รอบ ซึ่งหนึ่งรอบการทำงานจะวางจุดสุ่ม 2 จุด ทุกจุดสุ่มจะต้องเก็บผิวดินและดินชั้นบน อย่างละ 3 ครั้งเพื่อนำมาเฉลี่ยค่า โดยดินชั้นบนต้องขุดดินลงไปลึกประมาณ 30 เซนติเมตร จากข้อมูลที่เก็บมามีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อพื้นที่เปลี่ยนเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และนำมาเฉลี่ยให้เหลือรอบละหนึ่งค่า ปรากฏว่าลักษณะความหนาแน่นของดินสูงสุดที่รอบการทำงานของเครื่องจักรรอบที่14 ตาม (ตารางที่ 1) ซึ่งมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเมื่อมีจำนวนรอบการทำงานของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นดัง (ภาพที่ 12 และ 13)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดิน โดย Soil Hardness Tester

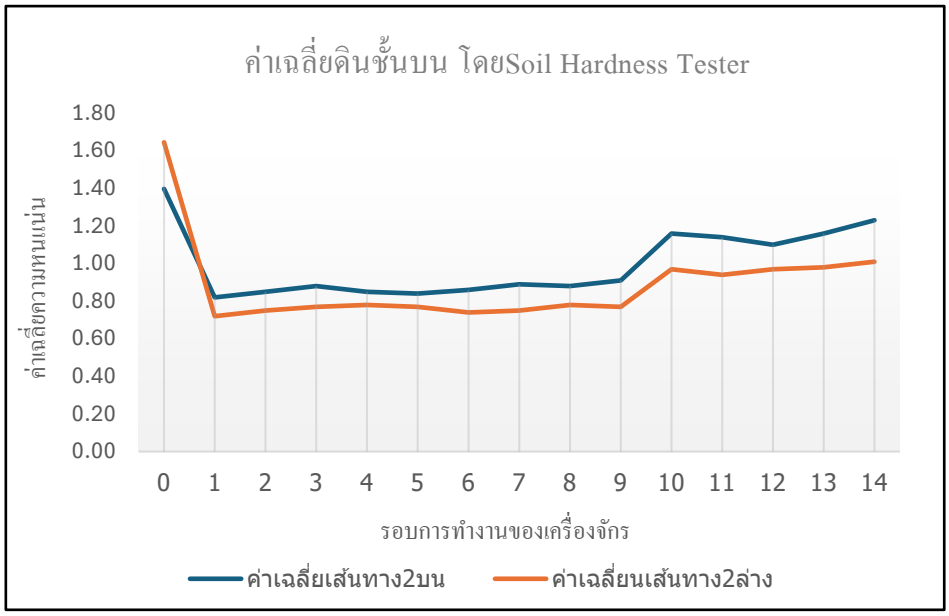
ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดิน โดย Soil Hardness Tester				
รอบการทำงานของรถแทรกเตอร์	ผิวดิน เส้นทางที่1	ดินชั้นบน เส้นทางที่1	ผิวดิน เส้นทางที่2	ดินชั้นบน เส้นทางที่2
1	0.89	0.78	0.82	0.72
2	0.88	0.75	0.85	0.75
3	0.81	0.78	0.88	0.77
4	0.85	0.74	0.85	0.78
5	0.90	0.77	0.84	0.77
6	0.91	0.82	0.86	0.74

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดิน โดย Soil Hardness Tester				
รอบการทำงานของรถแทรกเตอร์	ผิวดิน เส้นทางที่1	ดินชั้นบน เส้นทางที่1	ผิวดิน เส้นทางที่2	ดินชั้นบน เส้นทางที่2
7	0.92	0.81	0.89	0.75
8	0.87	0.85	0.88	0.78
9	0.92	0.84	0.91	0.77
10	1.16	0.94	1.16	0.97
11	1.11	0.95	1.14	0.94
12	1.09	0.97	1.10	0.97
13	1.13	0.98	1.16	0.98
14	1.28	1.05	1.23	1.01
รวม	13.73	12.02	13.58	11.70



ภาพที่ 12 ค่าเฉลี่ยผิวดินโดย Soil Hardness Tester



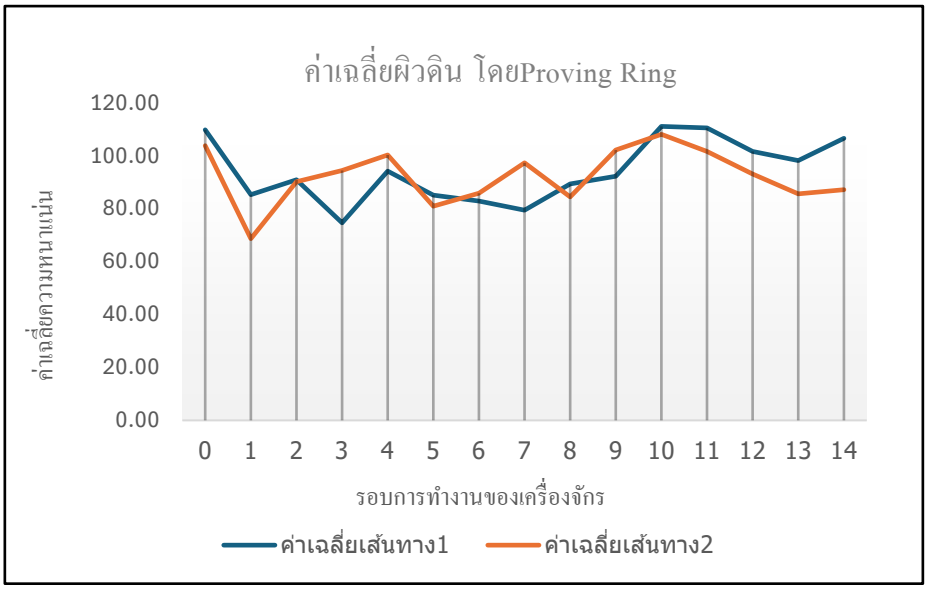
ภาพที่ 13 ค่าเฉลี่ยดินชั้นบนโดย Soil Hardness Tester

2. ผลการศึกษา โดยใช้เครื่องมือ Proving Ring

จากการศึกษาความหนาแน่นของดิน โดยอุปกรณ์ Proving Ring ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลโดยอาศัยแรงกดจากเรา ซึ่งเก็บข้อมูลในเส้นทางเดียวกับอุปกรณ์ Soil Hardness Tester ทำการเก็บข้อมูลทุกรอบการทำงานของรถแทรกเตอร์ทั้งหมด 14 รอบ เก็บข้อมูล 3 ครั้งต่อหนึ่งรอบการทำงานของรถแทรกเตอร์ โดยเก็บบริเวณใกล้เคียงกัน เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละรอบการทำงานของรถแทรกเตอร์ เก็บทั้ง 2 เส้นทาง และมีแนวโน้มที่ดินจะมีความแข็งจะเพิ่มขึ้นเมื่อรอบการทำงานของเครื่องจักรเพิ่ม ดัง (ตารางที่ 2 และภาพที่ 14)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดินโดย Proving Ring

ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดินโดย Proving Ring		
รอบการทำงานของรถแทรกเตอร์	ค่าเฉลี่ยเส้นทางที่ 1 (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยเส้นทางที่ 2 (กก./ตร.ซม.)
1	85.33	68.70
2	90.97	90.27
3	74.70	94.50
4	94.27	100.33
5	85.17	80.97
6	82.93	85.87
7	79.50	97.37
8	89.40	84.50
9	92.30	102.23
10	111.17	108.17
11	110.60	101.70
12	101.70	93.17
13	98.27	85.63
14	106.63	87.23
รวม	1302.93	1280.63



ภาพที่ 14 ค่าเฉลี่ยผิวดินโดย Proving Ring

3. การทดสอบทางสถิติ

การทดสอบทางสถิติในงานวิจัยนี้ใช้วิธี T-Test เพื่อตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดินในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการทำไม้โดยใช้รถแทรกเตอร์ เปรียบเทียบระหว่างชั้นผิวดินและดินชั้นบนในแต่ละเส้นทาง รวมถึงการเปรียบเทียบระหว่างสองเส้นทางการทำงานของเครื่องจักร โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดความแข็งของดินสองชนิด ได้แก่ Soil Hardness Tester และ Proving Ring ผลการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

3.1. การเปรียบเทียบระหว่างผิวดินกับดินชั้นบนในเส้นทางที่ 1 (Soil Hardness Tester) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดินระหว่างผิวดินและดินชั้นบนในเส้นทางที่ 1 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับตามความเชื่อมั่น 95% (t-test เท่ากับ 2.583 และค่า p-value เท่ากับ 0.0158)

3.2 การเปรียบเทียบระหว่างผิวดินกับดินชั้นบนในเส้นทางที่ 2 (Soil Hardness Tester) การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดินระหว่างผิวดินและดินชั้นบนในเส้นทางที่ 2 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (t-test เท่ากับ 2.696 และค่า p-value เท่ากับ 0.0121)

3.3 การเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางที่ 1 และเส้นทางที่ 2 (Proving Ring)

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของดินระหว่างเส้นทางที่ 1 และเส้นทางที่ 2 โดยใช้เครื่องมือ Proving Ring พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-statistic เท่ากับ 0.388 และค่า p-value เท่ากับ 0.7015)

วิจารณ์ผล

จากผลการศึกษาความหนาแน่นของดินในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการทำงานของรถแทรกเตอร์พบว่า ความหนาแน่นของดินเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในพื้นที่ที่มีการชักลากไม้ด้วยเครื่องจักร เมื่อเทียบกับพื้นที่ที่ไม่มีการทำไม้ ผลการทดสอบทั้งจากเครื่องมือ Soil Hardness Tester และ Proving Ring แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการอัดแน่นของดินที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบการทำงานของเครื่องจักร โดยเฉพาะในผิวดิน ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากการชักลากไม้

จากข้อมูลที่วิเคราะห์ พบว่าค่าความแข็งของดินจาก Soil Hardness Tester มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดในแต่ละรอบการทำงานของรถแทรกเตอร์ โดยค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อรอบการทำงานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ค่าความหนาแน่นจากการใช้เครื่อง Proving Ring ยังยืนยันว่าความหนาแน่นของดินเพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องจักรในกระบวนการทำไม้มีผลต่อความหนาแน่นของดินอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการวิจัยก่อนหน้าที่ระบุว่าการอัดแน่นของดินมีผลกระทบต่อการซึมน้ำและอากาศในดิน ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในอนาคต โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ดินมีการอัดตัวสูง การฟื้นฟูสภาพดินให้กลับสู่สภาพเดิมจะต้องใช้เวลาและทรัพยากร

อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของการศึกษานี้คือการใช้ข้อมูลจากพื้นที่เพียงสองเส้นทาง ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมถึงสภาพภูมิประเทศและการทำงานของเครื่องจักรในพื้นที่ที่แตกต่างกัน การศึกษาในอนาคตอาจพิจารณาขยายพื้นที่การศึกษาเพิ่มเติมและใช้ข้อมูลจากเครื่องจักรหลายชนิดเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมมากขึ้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ โดยใช้อุปกรณ์ Soil Hardness Tester และ Proving Ring เพื่อวัดความหนาแน่นของดินในพื้นที่ที่มีการทำไม้และพื้นที่ที่ไม่มีการทำไม้ ในพื้นที่สวนป่าลาดยาว จังหวัดนครสวรรค์ พบว่า

1. ความหนาแน่นของดินในพื้นที่ที่มีการชักลากไม้โดยใช้รถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่ไม่มีการทำไม้ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของดินนี้ สอดคล้องกับจำนวนรอบการทำงานของรถแทรกเตอร์ที่ผ่านเส้นทางเดิมซ้ำ ๆ โดยเฉพาะ ในชั้นผิวดิน

2. เครื่องมือ Soil Hardness Tester แสดงให้เห็นว่าความแข็งของดินเพิ่มขึ้นในแต่ละรอบการทำงานของรถแทรกเตอร์ ส่วนเครื่องมือ Proving Ring ก็แสดงผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันคือความหนาแน่นของดินเพิ่มขึ้นในพื้นที่ที่มีการทำงานของเครื่องจักร

3. ผลจากการวัดด้วยทั้งสองเครื่องมือยังบ่งชี้ว่าความหนาแน่นของดินในพื้นที่ที่มีการทำไม้จะเพิ่มขึ้นตามรอบการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องจักรมีผลต่อการอัดแน่นของดินอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้เครื่องจักรในกระบวนการทำไม้ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของดิน ซึ่งอาจมีผลต่อการซึมน้ำ การระบายอากาศในดิน และการเจริญเติบโตของพืชในพื้นที่สวนป่าลาดยาว การจัดการดินหลังการใช้เครื่องจักรจึงเป็นสิ่งที่ควรได้รับการพิจารณาเพื่อฟื้นฟูสภาพดินให้เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องจักรหรือรถแทรกเตอร์ในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการศึกษา จำนวนรอบมีผลต่อความอัดแน่นของดินและส่งผลต่อความอัดแน่นของดิน ดังนั้นการทำไม้ควรมีการวางแผนสำหรับใช้เส้นทางการชักลากที่ชัดเจน จะทำให้ผลกระทบในพื้นที่สามารถแก้ไขปัญหาได้ง่ายมากขึ้น

2. การศึกษาครั้งนี้เน้นที่ผลกระทบเฉพาะด้านความหนาแน่นของดินในช่วงที่มีการใช้งานเครื่องจักร ควรทำการศึกษาต่อเนื่องในระยะยาว เพื่อประเมินผลกระทบต่อสภาพดินในระยะยาว เช่น การเปลี่ยนแปลงของสมบัติดินในด้านอื่น ๆ ความสามารถในการอุ้มน้ำ การซึมซับสารอาหารของดิน รวมถึงแนวทางการฟื้นฟูดินหลังจากการใช้งานของเครื่องจักร ซึ่งอาจต้องใช้ระยะเวลาและวิธีการในการฟื้นฟูที่แตกต่างกันไปตามลักษณะดิน

3. การศึกษานี้ครอบคลุมเฉพาะพื้นที่สวนป่าลาดยาวในจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศที่ไม่ซับซ้อนและมีความลาดชันต่ำ ควรมีการศึกษาต่อยอดในพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศแตกต่างกัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมการข้าว. 2559. **องค์ความรู้เรื่องข้าว** (Rice Knowledge Bank). กองวิจัยและพัฒนาข้าว. เลขที่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900.

ข้อมูลสารสนเทศ กรมป่าไม้. ม.ป.ป. **ข้อมูลสวนป่า**. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมป่าไม้. แหล่งที่มา : https://forestinfo.forest.go.th/fCon_detail.aspx?id=2321, 1 มีนาคม 2567.

ประเทือง อุษาบริสุทธิ์. 2559. **การอัดแน่นของดินทรายแป้งในไร่อ้อย**. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. แหล่งที่มา : https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=26153, 17 กุมภาพันธ์ 2567.

ลัดดาวรรณ เหรียญตระกูล. 2562. **การทำไม้**. แหล่งที่มา : https://sites.google.com/view/forest-lab/TimberHarvesting/meaning, 21 กุมภาพันธ์ 2567.

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ (LESA). 2546. **ดิน(SOIL)**. แหล่งที่มา : https://www.lesa.biz/, 20 กุมภาพันธ์ 2567.

สิทธิชัย ดาศรี. 2549. **การศึกษาพฤติกรรมการอัดแน่นของดินทางการเกษตร ภายใต้การวิ่งผ่านของล้อยางที่มีภาระการทำต่างกัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. ม.ป.ป. **ความรู้เรื่องดินสำหรับเยาวชน**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ แหล่งที่มา : http://osl101.ldd.go.th/easysoils/s_meaning.htm, 24 กุมภาพันธ์ 2567.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 แสดงข้อมูลความหนาแน่นของผิวดินโดย Soil Hardness Tester เส้นที่ 1

ผิวดิน						
จุดที่	ครั้งที่1 (m.m.)	ครั้งที่2 (m.m.)	ครั้งที่3 (m.m.)	เฉลี่ย(m.m.)	เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ยต่อรอบ
รอบที่ 1						
1	7.5	6	8	7.17	0.84	0.89
2	8	8.5	7	7.83	0.95	
รอบที่ 2						
3	8.5	6	7.5	7.33	0.86	0.88
4	8	7	7.5	7.50	0.9	
รอบที่ 3						
5	7.5	6	7	6.83	0.78	0.81
6	7	6.5	8	7.17	0.84	
รอบที่ 4						
7	6.5	8.5	6	7.00	0.81	0.85
8	8.5	7	7	7.50	0.89	
รอบที่ 5						
9	8	6	6.5	6.83	0.78	0.90
10	8	7.5	9	8.17	1.01	
รอบที่ 6						
11	6.5	8.5	7	7.33	0.86	0.91
12	7.5	7	9	7.83	0.95	
รอบที่ 7						
13	8	7.5	8.5	8.00	0.98	0.92
14	6.5	8	7.5	7.33	0.86	
รอบที่ 8						
15	8	7.5	8	7.83	0.95	0.87
16	7	6	7.5	6.83	0.78	
รอบที่ 9						
17	8.5	8	7	7.83	0.95	0.92
18	8	7	7.5	7.50	0.89	

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ผิวดิน						
จุดที่	ครั้งที่1 (m.m.)	ครั้งที่2 (m.m.)	ครั้งที่3 (m.m.)	เฉลี่ย(m.m.)	เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ยต่อรอบ
รอบที่ 10						
19	9	9.5	8	8.83	1.14	1.16
20	9.5	8.5	9	9.00	1.18	
รอบที่ 11						
21	8.5	10	8	8.83	1.14	1.11
22	8	8.5	9	8.50	1.08	
รอบที่ 12						
23	8	9	8.5	8.50	1.08	1.09
24	8.5	9.5	8	8.67	1.11	
รอบที่ 13						
25	9	9.5	8.5	9.00	1.18	1.13
26	8.5	9	8	8.50	1.08	
รอบที่ 14						
27	10	10.5	8.5	9.67	1.32	1.28
28	8.5	9	10.5	9.33	1.25	
รวม				222.67	27.45	13.73

ตารางผนวกที่ 2 แสดงข้อมูลความหนาแน่นของดินชั้นบนโดย Soil Hardness Tester เส้นที่ 1

ดินชั้นบน						
จุดที่	ครั้ง ที่1(m.m.)	ครั้ง ที่2(m.m.)	ครั้ง ที่3(m.m.)	เฉลี่ย(m.m.)	เฉลี่ย(กก./ตร. ซม.)	เฉลี่ยต่อรอบ
รอบที่ 1						
1	7	6	7.5	6.83	0.78	0.78
2	6.5	7.5	6.5	6.83	0.78	
รอบที่ 2						
3	6	5.5	6	5.83	0.63	0.75
4	7.5	8	6.5	7.33	0.86	

ตารางผนวกที่ 2 (ค่อ)

ดินชั้นบน						
จุดที่	ครั้งที่1 (m.m.)	ครั้งที่2 (m.m.)	ครั้งที่3 (m.m.)	เฉลี่ย(m.m.)	เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ยต่อรอบ
รอบที่ 3						
5	8	7.5	6.5	7.33	0.86	0.78
6	6.5	5.5	7	6.33	0.70	
รอบที่ 4						
7	7	7	5.5	6.50	0.73	0.74
8	6	6.5	7.5	6.67	0.75	
รอบที่ 5						
9	7.5	6.5	6	6.67	0.75	0.77
10	6	7	7.5	6.83	0.78	
รอบที่ 6						
11	7.5	7	6.5	7.00	0.81	0.82
12	7	6.5	8	7.17	0.84	
รอบที่ 7						
13	7.5	6.5	8	7.33	0.86	0.81
14	5.5	7.5	7	6.67	0.75	
รอบที่ 8						
15	7	7	7.5	7.17	0.84	0.85
16	6.5	8.5	7	7.33	0.86	
รอบที่ 9						
17	7.5	7	8	7.50	0.89	0.84
18	7.5	6	7	6.83	0.78	
รอบที่ 10						
19	7.5	8	7	7.50	0.89	0.94
20	8.5	7	8.5	8.00	0.98	
รอบที่ 11						
21	7	8.5	7.5	7.67	0.92	0.95
22	8.5	7.5	8	8.00	0.98	
รอบที่ 12						
23	7	8.5	8	7.83	0.95	0.97
24	7.5	9	7.5	8.00	0.98	

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ดินชั้นบน						
จุดที่	ครั้งที่1 (m.m.)	ครั้งที่2 (m.m.)	ครั้งที่3 (m.m.)	เฉลี่ย(m.m.)	เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ยต่อรอบ
รอบที่ 13						
25	8.5	9	7.5	8.33	1.05	0.98
26	7.5	8.5	7	7.67	0.92	
รอบที่ 14						
27	9	9	7	8.33	1.05	1.05
28	7.5	8	9.5	8.33	1.05	
รวม				203.83	24.05	12.02

ตารางผนวกที่ 3 แสดงข้อมูลความหนาแน่นของผิวดินโดย Soil Hardness Tester เส้นที่ 2

ผิวดิน						
จุดที่	ครั้งที่1 (m.m.)	ครั้งที่2 (m.m.)	ครั้งที่3 (m.m.)	เฉลี่ย(m.m.)	เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ยต่อรอบ
รอบที่ 1						
1	8	6	7.5	7.17	0.84	0.82
2	6.5	7	7.5	7.00	0.81	
รอบที่ 2						
3	6.5	8	7.5	7.33	0.86	0.85
4	7	6	8.5	7.17	0.84	
รอบที่ 3						
5	7	6.5	7.5	7.00	0.81	0.88
6	7	8.5	8	7.83	0.95	
รอบที่ 4						
7	6	7.5	6.5	6.67	0.75	0.85
8	8	7	8.5	7.83	0.95	
รอบที่ 5						
9	6.5	7.5	7	7.00	0.81	0.84
10	7.5	7	7.5	7.33	0.86	

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ผิวดิน						
จุดที่	ครั้งที่1 (m.m.)	ครั้งที่2 (m.m.)	ครั้งที่3 (m.m.)	เฉลี่ย(m.m.)	เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ยต่อรอบ
รอบที่ 6						
11	8	7	6.5	7.17	0.84	0.86
12	7	7.5	8	7.50	0.89	
รอบที่ 7						
13	8.5	7	7.5	7.67	0.92	0.89
14	7	8.5	6.5	7.33	0.86	
รอบที่ 8						
15	7.5	7	8.5	7.67	0.92	0.88
16	6.5	8	7	7.17	0.84	
รอบที่ 9						
17	9	7.5	7	7.83	0.95	0.91
18	7.5	8	6.5	7.33	0.86	
รอบที่ 10						
19	8	9	8.5	8.50	1.08	1.16
20	10.5	8	9.5	9.33	1.25	
รอบที่ 11						
21	8.5	7.5	10	8.67	1.11	1.14
22	9	8.5	9.5	9.00	1.18	
รอบที่ 12						
23	7.5	8	8.5	8.00	0.98	1.10
24	8	10	9.5	9.17	1.21	
รอบที่ 13						
25	9	8.5	10	9.17	1.21	1.16
26	8.5	9.5	8	8.67	1.11	
รอบที่ 14						
27	8.5	10	9.5	9.33	1.25	1.23
28	9	9.5	9	9.17	1.21	
รวม				221.00	27.17	13.58

ตารางผนวกที่ 4 แสดงข้อมูลความหนาแน่นของดินชั้นบนโดย Soil Hardness Tester เส้นที่ 2

ดินชั้นบน						
จุดที่	ครั้งที่1 (m.m.)	ครั้งที่2 (m.m.)	ครั้งที่3 (m.m.)	เฉลี่ย(m.m.)	เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ยต่อรอบ
รอบที่ 1						
1	7	6	7.5	6.83	0.78	0.78
2	6.5	7.5	6.5	6.83	0.78	
รอบที่ 2						
3	6	5.5	6	5.83	0.63	0.75
4	7.5	8	6.5	7.33	0.86	
รอบที่ 3						
5	8	7.5	6.5	7.33	0.86	0.78
6	6.5	5.5	7	6.33	0.70	
รอบที่ 4						
7	7	7	5.5	6.50	0.73	0.74
8	6	6.5	7.5	6.67	0.75	
รอบที่ 5						
9	7.5	6.5	6	6.67	0.75	0.77
10	6	7	7.5	6.83	0.78	
รอบที่ 6						
11	7.5	7	6.5	7.00	0.81	0.82
12	7	6.5	8	7.17	0.84	
รอบที่ 7						
13	7.5	6.5	8	7.33	0.86	0.81
14	5.5	7.5	7	6.67	0.75	
รอบที่ 8						
15	7	7	7.5	7.17	0.84	0.85
16	6.5	8.5	7	7.33	0.86	
รอบที่ 9						
17	7.5	7	8	7.50	0.89	0.84
18	7.5	6	7	6.83	0.78	

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

ดินชั้นบน						
จุดที่	ครั้งที่1 (m.m.)	ครั้งที่2 (m.m.)	ครั้งที่3 (m.m.)	เฉลี่ย(m.m.)	เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ยต่อรอบ
รอบที่ 10						
19	7.5	8	7	7.50	0.89	0.94
20	8.5	7	8.5	8.00	0.98	
รอบที่ 11						
21	7	8.5	7.5	7.67	0.92	0.95
22	8.5	7.5	8	8.00	0.98	
รอบที่ 12						
23	7	8.5	8	7.83	0.95	0.97
24	7.5	9	7.5	8.00	0.98	
รอบที่ 13						
25	8.5	9	7.5	8.33	1.05	0.98
26	7.5	8.5	7	7.67	0.92	
รอบที่ 14						
27	9	9	7	8.33	1.05	1.05
28	7.5	8	9.5	8.33	1.05	
รวม				203.83	24.05	12.02

ตารางผนวกที่ 5 ข้อมูลแสดงความอัดแน่นของดินโดย Proving Ring เส้นที่ 1

ผิวดิน				
ค่าที่อ่านได้ (กก./ตร.ซม)				
จุดที่	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)
1	85	93	78	85.33
2	115.4	101	56.5	90.97
3	67	84.1	73	74.70
4	103	92.5	87.3	94.27
5	75.5	86	94	85.17
6	79	87.8	82	82.93
7	83.5	79	76	79.50
8	86.1	85.3	96.8	89.40
9	94	97.5	85.4	92.30
10	106	115.5	112	111.17
11	119	95.5	117.3	110.60
12	127	105	73.1	101.70
13	92.3	104	98.5	98.27
14	102.6	99.3	118	106.63
		รวม		1302.93

ตารางผนวกที่ 6 ข้อมูลแสดงความอัดแน่นของดินโดย Proving Ring เส้นที่ 2

ผิวดิน				
ค่าที่อ่านได้ (กก./ตร.ซม)				
จุดที่	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)
1	64.6	73.5	68	68.70
2	91.5	95	84.3	90.27
3	87.8	99.7	96	94.50
4	110.5	103.5	87	100.33
5	92	78.4	72.5	80.97
6	83	98.6	76	85.87
7	108.8	102	81.3	97.37
8	92	75	86.5	84.50
9	102.2	97.5	107	102.23
10	108.5	112	104	108.17
11	108.6	101	95.5	101.70
12	85	95.5	99	93.17
13	82.5	86	88.4	85.63
14	82	85.7	94	87.23
		รวม		1280.63

ตารางผนวกที่ 7 แสดงความหนาแน่นของผวดินในพื้นที่ไม่มีการทำไม้โดย Soil Hardness

ผิวดิน					
จุดที่	ครั้งที่1(m.m.)	ครั้งที่2(m.m.)	ครั้งที่3(m.m.)	เฉลี่ย(m.m.)	เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)
1	11	10.5	11	10.83	1.60
2	10	10.5	9.5	10.00	1.40
3	9.5	12	10	10.50	1.52
4	11.5	10.5	11	11.00	1.64
5	10	9.5	11.5	10.33	1.48
6	9.5	11	11.5	10.67	1.56
7	9.5	9.5	10.5	9.83	1.36
8	11	10.5	10	10.50	1.52
9	11.5	10	11.5	11.00	1.64
10	10.5	10	10	10.17	1.44
11	11.5	9	9.5	10.00	1.40
12	10	11	11.5	10.83	1.60
13	11.5	9	10	10.17	1.44
14	12	11	11	11.33	1.73
		รวม		147.17	21.32

ตารางผนวกที่ 8 แสดงความหนาแน่นของดินชั้นบนของพื้นที่ไม่มีการทำไม้โดย Soil Hardness

ดินชั้นบน					
จุดที่	ครั้งที่1(m.m.)	ครั้งที่2(m.m.)	ครั้งที่3(m.m.)	เฉลี่ย(m.m.)	เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)
1	11.5	10.5	11	11.00	1.64
2	11	11.5	10.5	11.00	1.64
3	10	12	11.5	11.17	1.69
4	11.5	11	10	10.83	1.60
5	12.5	10.5	11	11.33	1.73
6	10.5	11.5	12	11.33	1.73
7	10	10.5	11	10.50	1.52
8	11.5	12	12.5	12.00	1.92
9	11	11	13.5	11.83	1.88
10	12.5	11.5	12	12.00	1.92
11	13.5	11.5	11	12.00	1.92
12	11.5	10	12	11.17	1.69
13	10.5	10	12.5	11.00	1.64
14	13	11.5	13	12.50	2.08
รวม				159.67	24.63

ตารางผนวกที่ 9 แสดงความอัดแน่นของดินในพื้นที่ไม่มีการทำไม้โดย Proving Ring

ค่าที่อ่านได้ (กก./ตร.ซม)				
จุดที่	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย(กก./ตร.ซม.)
1	97.2	86	94.5	92.57
2	109	107.6	113	109.87
3	113	101.3	109.5	107.93
4	96	73.5	98.1	89.20
5	103	98.4	106.3	102.57
6	84.5	76.5	87	82.67
7	110.7	95	106	103.90
8	99	107	103.8	103.27
9	98.5	76	79.6	84.70
10	89	78.8	84	83.93
11	97.4	81	76.5	84.97
12	94.6	105	95.1	98.23
13	101.5	108.6	103	104.37
14	109	102	89.8	100.27
		SUM		1348.43