

การศึกษาพฤติกรรมการหดและขยายตัวของดินเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง ความชื้นในดิน

Soil Shrinkage and Swell Behavior due to Change in Soil Moisture

ชญาทร แม่นรักษา¹ สุกฤษฎี แสงดวงดาว² และ สันติ ไทยยืนวงษ์^{3*}

^{1,2,3*}สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

*E-mail: santi.tha@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินซึ่งมีผลต่อการเกิดดินถล่มในบริเวณลาดเชิงเขา การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการหด-ขยายตัวของดินเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดิน ตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อลดอิทธิพลของแรงด้านข้าง ในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจะทำการลดและเพิ่มความชื้น และทำการตรวจสอบความชื้นและแรงดันน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป วิธีการลดความชื้นดำเนินการใน 2 วิธี คือ โดยการอบด้วยเตาอบและการปล่อยทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง

ผลการศึกษา พบว่า เมื่อความชื้นในดินลดลง ดินจะเกิดการหดตัวอย่างรวดเร็วจนถึงความชื้น 20% หลังจากนั้นอัตราการหดตัวจะช้าลง ในระหว่างขั้นตอนนี้รอยแตกจะปรากฏขึ้นบนตัวอย่าง และเมื่อทำการเพิ่มความชื้นดินก็เกิดการขยายตัวและรอยแตกก็จะหายไป เมื่อพิจารณาแรงดันน้ำในดินก็พบว่าแรงดันจะสัมพันธ์กับความชื้นในดิน โดยที่ความชื้นสูงแรงดันจะน้อยกว่าที่ความชื้นต่ำกว่า อย่างไรก็ตามเนื่องจากการวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวอย่างไม่ได้วัดขนาดของรอยแตกทำให้การคำนวณอัตราส่วนโพรงสูงกว่าความเป็นจริง

นอกจากนี้การเกิดรอยแตกอาจมีผลทำให้แรงดันน้ำของดินลดลงเนื่องจากดินที่แตกจะสามารถหดตัวได้ง่ายกว่าเนื่องจากไม่ถูกยึดเหนี่ยวจากดินโดยรอบ

คำสำคัญ: การหด-ขยายตัวของดิน แรงดันน้ำของดิน อัตราส่วนช่องว่าง รอยแตก

* Corresponding author, e-mail: santi.tha@rmutr.ac.th

Abstract

This research is to study the behavior of changes in soil moisture which relate to landslides in hillside slopes. The purpose of this study is to study the behavior of soil shrinkage and expansion due to changes in soil moisture. The soil sample used was large to reduce the influence of lateral forces. In the test, the reduction and increase humidity and checking the changing humidity and water absorption force Dehumidification methods are carried out in two methods, one is oven drying and another is leave it at room temperature.

The results of the study showed that when the moisture in the soil decreased, soil shrinks rapidly until to 20% moisture content, after that the shrinkage rate slows down. During this process, cracks appear on the sample. When adding moisture, the soil was swell and cracks disappear. When considering the water suction force in the soil, it was found that the suction force is related to the moisture content in the soil. At high moisture content, the soil suction is less than at lower moisture content. However, because measuring the sample volume change did not measure crack size, the void ratio calculations were higher.

In addition, the formation of cracks may reduce the soil suction as cracked soils tend to contract more easily as they are not bound by the surrounding soil mass.

Keyword: Soil shrinkage-swelling, Soil suction, Void ratio, Crack

1. ที่มาและความสำคัญ

การเกิดดินถล่มในทางวิศวกรรมปฐพี คือ ปัญหาทางด้านเสถียรภาพของการลาดเอียงที่มวลดินมีลักษณะที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Soil) ความชื้นในดินสามารถเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น การเกิดฝนตก หรือฝนแล้ง เป็นต้น ปริมาณความชื้นที่ไม่คงที่นี้มีความสัมพันธ์ต่อเสถียรภาพของการลาดเอียง และการเกิดดินถล่ม กล่าวคือ ในช่วงที่ไม่เกิดฝนตก เช่น ในฤดูแล้งความชื้นในมวลดินจะต่ำ เนื่องจากน้ำไหลซึมลงสู่ชั้นดินด้านล่าง และมีการระเหยอยู่ที่ผิวดินโดยไม่มีน้ำฝนเข้ามาเติม เมื่อดินจะมีแรงดึงดูดระหว่างกันเพิ่มขึ้นทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ลาดดินมีเสถียรภาพสูง จึงมีโอกาสดินถล่มน้อย ในกรณีที่ตรงข้าม เมื่อเกิดฝนตกน้ำฝนจะไหลซึมผ่านชั้นดินลงไป ซึ่งจะไปเพิ่มความชื้นในมวลดิน ทำให้แรงดึงดูดระหว่างกันลดลง กำลังรับแรงเฉือนลดลง ส่งผลให้เสถียรภาพของการลาดเอียงลดลง และมีโอกาสเกิดดินถล่มเพิ่มมากขึ้น

การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินนอกจากจะทำให้แรงดันน้ำในมวลดินเปลี่ยนแปลงไปยังมีผลทำให้ปริมาตรของดินเปลี่ยนแปลงไปอีกด้วย จากการทดสอบของคณะวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ดินตัวอย่างเมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้น ดินจะมีการขยายตัวทั้งในแนวตั้งและแนวนอน ในทางกลับกันหากความชื้นในดินลดลง ดินจะมีการหดตัว

และมีแนวโน้มที่จะมีรอยแตกเกิดขึ้น พหุกรรมเหล่านี้อาจส่งผลต่อเสถียรภาพของลาดดิน เนื่องจากการเกิดรอยแตกก็อาจมีผลทำให้น้ำไหลซึมลงไปในดินได้เร็วขึ้น และการที่ดินขยายตัวก็อาจส่งผลทำให้เกิดแรงดันน้ำ ซึ่งในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินถ้าไม่พิจารณาผลจากพหุกรรมเหล่านี้ก็อาจทำให้ผลการวิเคราะห์โอกาสเกิดดินถล่มต่ำกว่าเป็นจริงได้

อย่างไรก็ตามจากการทดสอบที่ผ่านมามีผู้วิจัยได้ทำการทดสอบในแบบตัวอย่างขนาดเล็ก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $2\frac{1}{2}$ นิ้ว) มีผลทำให้การหด-ขยายตัวของดินถูกจำกัด ดังนั้นคณะนักวิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะศึกษาพฤติกรรมของดินที่เกิดขึ้นในระหว่างที่ทำการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน โดยจะทำการทดสอบโดยใช้แบบตัวอย่างดินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อลดผลกระทบเนื่องจากแรงบังคับที่ขอบด้านข้าง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและแรงดันน้ำ การหด-ขยายตัวของดินรวมทั้งการเกิดรอยแตกร้าว

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการหด-ขยายตัวของดินในช่วงที่ดินมีการเปลี่ยนแปลงความชื้น โดยดินตัวอย่างที่ทำการศึกษาเป็นดินที่เก็บจากพื้นที่ลาดเชิงเขาในตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่เคยเกิดดินถล่มในอดีต ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นแนวทางในการพัฒนาการวิเคราะห์การไหลซึม และโอกาสเกิดดินถล่มต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการพฤติกรรมการหด-ขยายตัว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลดิน
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น แรงดันน้ำของดินและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดิน

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

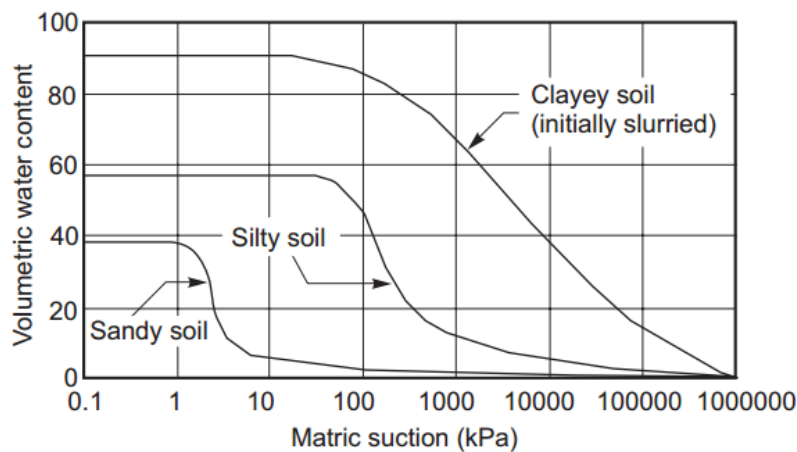
Abramson et al. (1996) ได้แบ่งชั้นดินตามธรรมชาติออกเป็น 2 ส่วน ตามปริมาณน้ำในช่องว่างในมวลดิน ได้แก่ บริเวณที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated zone) ซึ่งอยู่ใต้ระดับใต้ดิน และบริเวณที่เกิดแรงดึงระหว่างน้ำกับเม็ดดิน (Capillary zone) ซึ่งเป็นชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated zone) อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินขึ้นไป ชั้นดินที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะเต็มไปด้วยน้ำ และแรงดันน้ำมีค่าสูงกว่าความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure) มีค่าเป็นบวก ส่วนชั้นดินที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน ช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะประกอบด้วยน้ำและอากาศ แรงดันน้ำจะมีค่าต่ำกว่าความดันบรรยากาศและมีค่าเป็นลบ เรียกว่าแรงดึงน้ำในมวลดิน (Soil suction) ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่ห่างออกจากระดับน้ำใต้ดิน การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในมวลดินจะทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะส่งผลต่อเสถียรภาพของลาดเอียง

เมื่อฝนตกลงสู่พื้นดิน ปริมาณน้ำฝนส่วนหนึ่งจะไหลไปตามผิวดิน (Surface runoff) ด้วยแรงดึงดูดของโลกลงสู่แหล่งน้ำ อีกส่วนหนึ่งจะไหลซึมลงสู่ชั้นใต้ดิน (Infiltration) น้ำฝนส่วนที่ซึมลงไปในชั้นใต้ดินจะไหลไปยังชั้นน้ำใต้ดินโดยผ่านชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวที่อยู่ด้านบน ซึ่งการที่จะผ่านชั้นนี้ลงไปได้ปริมาณน้ำต้องมีมากเพียง

พทที่จะลดแรงดึงน้ำ (Capillary) ที่จะกักไม่ให้น้ำไหลผ่าน ซึ่งการไหลซึมผ่านนี้จะมีผลทำให้ความชื้นในดินที่ไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น ทำให้แรงดึงน้ำในมวลดินลดลงมีผลทำให้หน่วยแรงประสิทธิผลลดลงและกำลังรับแรงเฉือนลดลงและระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้เสถียรภาพของดินลดลง

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil) จะขึ้นอยู่กับ Soil-water characteristic curve (SWCC) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในมวลดิน (Volumetric water content) กับแรงดึงน้ำในดิน (Matric suction) และ Permeability function (PF) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการซึมผ่านของดิน (Hydraulic conductivity) กับแรงดึงน้ำในมวลดิน (Fredlund et al., 1997)

รูปแบบของ SWCC ของดินแต่ละประเภทก็จะมีแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยที่ค่าความชื้นที่จุดอิ่มตัว และค่า Air-entry โดยทั่วไปจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อดินมีค่า Plasticity สูงขึ้น นอกจากนี้ปัจจัยอื่น เช่น หน่วยแรงกดทับในอดีตก็มีผลต่อรูปร่างของ SWCC ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 1 รูปแบบของ SWCC ของดินประเภทต่างๆ

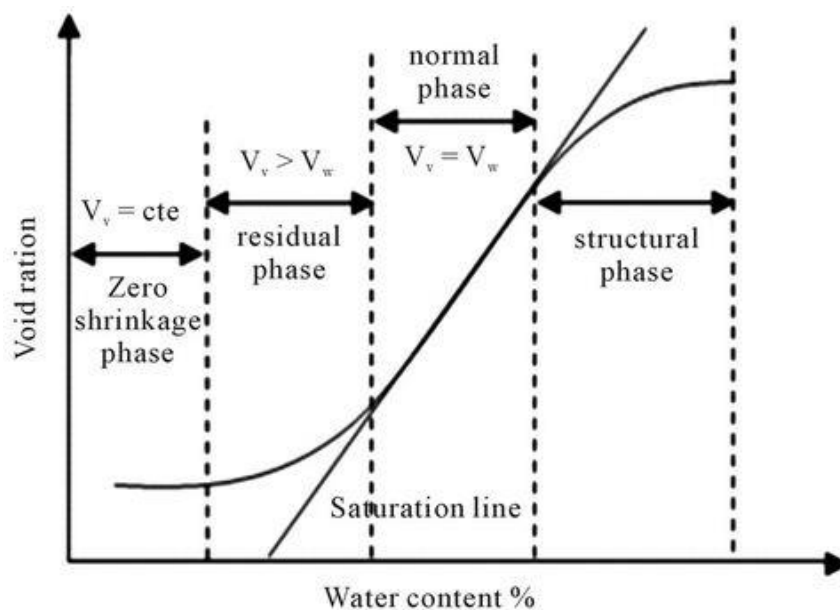
ที่มา: Fredlund and Xing (1994)

เมื่อความชื้นในดินเปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลต่อปริมาตรของมวลดิน ในขณะที่ดินถูกทำให้ความชื้นลดลง (Drying) ปริมาตรของดินจะลดลงเนื่องจากการหดตัว และเกิดการแตกร้าวขึ้นเนื่องจากความเค้นภายใน รอยแตกร้าวจะเกิดขึ้นในบริเวณที่เป็น Weak plane ในมวลดิน ในขณะที่ดินถูกทำให้มีความชื้นเพิ่มมากขึ้น (Wetting) ดินจะเกิดการบวมตัวรอยแตกร้าวจะหายไป (Taboada, 2003)

การหดตัวของดินมีความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Taboada, 2003) เมื่อความชื้นในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำลดลง ช่องว่างระหว่างเม็ดดินซึ่งเต็มไปด้วยน้ำในช่วงเริ่มต้น จะเริ่มมีแรงดูดเกิดขึ้นเมื่อน้ำลดลงไปเรื่อย ๆ น้ำที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินระบายออก เม็ดดินเคลื่อนเข้าชิดกันมากขึ้น

พฤติกรรมการหดตัวของดินมวลคละสามารถแบ่งตามความชื้นได้เป็น 4 ช่วง คือ 1) Structural shrinkage 2) Basic shrinkage 3) Residual shrinkage และ 4) Zero shrinkage จากรูปที่ 2 ในช่วง Structural shrinkage ปริมาตรของดินลดลงน้อยกว่าปริมาณความชื้นซึ่งเป็นน้ำที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่หายไป ในช่วง

Residual shrinkage อากาศจะเข้ามาแทนที่น้ำที่หายไป ในช่วง Normal Shrinkage ปริมาตรจะลดลงใกล้เคียงกับน้ำที่หายไปอีกครั้ง ปริมาตรอากาศในช่วงนี้จะคงที่และมีน้ำอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน (Intra-aggregate) ในช่วง Zero shrinkage อนุภาคดินอยู่ชิดกันมากที่สุดและปริมาตรไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกต่อไป นอกจากอนุภาคจะมีการจัดเรียงตัวใหม่ อย่างไรก็ตามในดินเหนียวอาจไม่มีพฤติกรรมดังกล่าวเสมอไปและในบางครั้งก็แสดงเฉพาะในช่วง Structural shrinkage เท่านั้น (Bensallam et al., 2012)



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในช่วงต่างๆ ของการหดตัว

ที่มา: Bensallam et al. (2012)

รอยแตก (Crack) ที่ผิวดินก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดดินถล่ม ดินที่มีส่วนประกอบเป็นดินเหนียวอยู่มากจะมีการหดและขยายตัวในช่วงที่มีสภาพอากาศแห้งและชื้นสลับกัน ซึ่งจะทำให้เกิดรอยแตกขึ้นได้ จากการศึกษาของ Roger and Selby (1980) ซึ่งได้ทำการศึกษากการเกิดดินถล่มในพื้นที่หุบเขา Greywacke บริเวณเกาะเหนือของ New Zealand ในกรณีที่เกิดช่วงแห้งแล้งยาวนานก่อนเกิดฝนตกรุนแรง ซึ่งพบว่าในช่วงแห้งแล้งผิวดินจะเกิดรอยแตก เมื่อเกิดฝนตกหนักน้ำฝนจะซึมผ่านรอยแตกเหล่านั้นลึกลงไปในดินประมาณ 1 เมตร หรือมากกว่า ทำให้เกิดแรงดันน้ำในมวลดินและทำให้ลาดเอียงเกิดการพิบัติในที่สุด ถึงแม้ว่าดินนั้นจะมีคุณสมบัติการซึมน้ำต่ำก็ตาม

เมื่อดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำแห้งตัวลงจะกลายเป็นดินที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Soil) แรงดึงน้ำในดินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดินจะมีความแข็งเพิ่มขึ้นและมีการพัฒนากำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีลักษณะเป็นวัสดุ Quasi-brittle ซึ่งในระหว่างที่ดินแห้งตัวลงจะมีรอยแตกเกิดขึ้น (Prat et al., 2002)

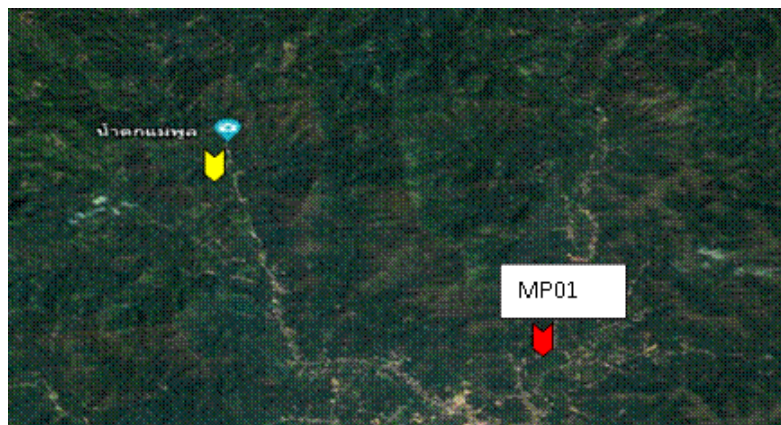
ขนาดของรอยแตกจะขึ้นอยู่กับชนิดของดิน และความเปียกชื้นของดิน (Wetness) ดินที่มีส่วนประกอบเป็นดินเหนียวมาก และมีแร่ประกอบดินเหนียวที่มีคุณสมบัติการขยายตัวสูง มักจะมีรอยแตกที่กว้างและขยาย

ลงไปได้ไกลตามความลึกและมีระยะห่างที่ชิดกัน ส่วนในดินที่มีส่วนประกอบเป็นดินเหนียวน้อย และมีแร่ประกอบดินเหนียวที่ขยายตัวได้น้อย รอยแตกมักจะแคบกว่า (Romkens and Prasad, 2006)

Shin and Santamarina (2011) ได้อธิบายกระบวนการเกิดรอยแตกร้าวในดินเม็ดละเอียด เนื่องจากการระเหยของน้ำ โดยพิจารณาจากชั้นดินที่อิ่มตัว เมื่อน้ำที่อยู่ผิวดินจะระเหยออกไป มวลดินยังไม่เกิดแรงดึง และไม่เกิดการหดตัว เมื่อน้ำระเหยออกไปมากขึ้นปริมาณน้ำในดินยิ่งลดลงกลายเป็นฟิล์มบาง ๆ ที่ผิวหน้าเม็ดดิน ช่องว่างจะเกิดขึ้นและอากาศจะเข้าไปแทนที่ช่องว่างนั้น เมื่อน้ำระเหยออกไปมากขึ้นอีก น้ำจะเกาะตัวเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ รอบ ๆ อนุภาคดิน แรงดึงในมวลดินจะเพิ่มขึ้นและดินจะหดตัวแน่นขึ้น จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่ปริมาณน้ำลดลงมาก อากาศจะไหลเข้าไปในช่องว่างขนาดใหญ่ก่อน แผ่นฟิล์มบางที่ผิวดินจะผลักดันเม็ดดินให้เคลื่อนเข้าไปในช่องว่างในมวลดินและเกิดรอยแตกร้าว และรอยแตกร้าวจะขยายตัวเพิ่มมากขึ้น เกิดการยุบตัวในแนวดิ่งและดินกลายเป็นดินที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated soil)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการโดยนำดินตัวอย่างจาก ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ (รูปที่ 3) โดยสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำเกิดอยู่ บริเวณสองฝั่งของแม่น้ำน่าน สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่ค่อนข้างราบเรียบ มีระดับความสูงของพื้นที่ประมาณ 50-100 เมตรจากระดับน้ำทะเล เป็นพื้นที่ที่เคยเกิดดินถล่มและเกิดน้ำป่าไหลหลากมาก่อน



รูปที่ 3 บริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างดิน

ดินตัวอย่างที่เก็บได้เป็นตัวอย่างแปรสภาพ ซึ่งจะนำมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยมีขั้นตอน ดังนี้

1) การทดสอบคุณสมบัติดินทางกายภาพ ประกอบด้วย

- ทดสอบการหาความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ASTM D 854 – 00
- ทดสอบหาขนาดคละของเม็ดดิน (Sieve Analysis) ASTM D 422 – 63

2) การทดสอบการหด-ขยายตัวของดิน

- การเตรียมตัวอย่างดิน ทำการบดอัดดินลงในแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 2.6 เซนติเมตร โดยให้มีความหนาแน่นเท่ากับที่ดินในสนาม นำตัวอย่างดินที่บดอัดเสร็จไปแช่น้ำระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จากนั้นนำดินขึ้นมาพักไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน ชั่งน้ำหนักและเริ่มทำการทดสอบโดยการนำดินเข้าตู้อบและปล่อยดินตามธรรมชาติ (รูปที่ 4)

- การทดสอบในกระบวนการลดความชื้น (Drying Path) ดำเนินการ 2 วิธี คือ การใช้ความร้อน โดยนำตัวอย่างดินเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 24 ชั่วโมงและการปล่อยให้ระเหยตามธรรมชาติในอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาวัดการหดตัวของดินเป็นระยะ ๆ และวัดค่าแรงดูดน้ำ (Suction) และตรวจสอบรอยแตกลำมา เปรียบเทียบกันของทั้งสองตัวอย่าง

- การทดสอบในกระบวนการเพิ่มความชื้น (Wetting Path) หรือการทดสอบการขยายตัวของดิน โดยนำตัวอย่างดินตัวอย่างที่ปล่อยให้แห้งมาทำการเพิ่มความชื้นครั้งละ 5% จากนั้นทำการวัดการขยายตัว และวัดค่าแรงดูดน้ำของดิน

- การตรวจวัดค่าแรงดูดน้ำของดิน Suction ในดินตัวอย่าง ใช้ Tensiometer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ใช้ในการวัดแรงดูดของน้ำในแบบตัวอย่างดินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร โดยวัดจำนวน 3 จุด เพื่อตรวจสอบว่าจุดไหนค่าการดูดน้ำมากหรือน้อยกว่ากัน โดยสัญญาณไฟจาก sensor (Suction)

- การวัดรอยแตกของดิน จะวัดความกว้าง และความลึกของรอยแตก



แบบทดสอบ



การวัดแรงดูดน้ำของดิน



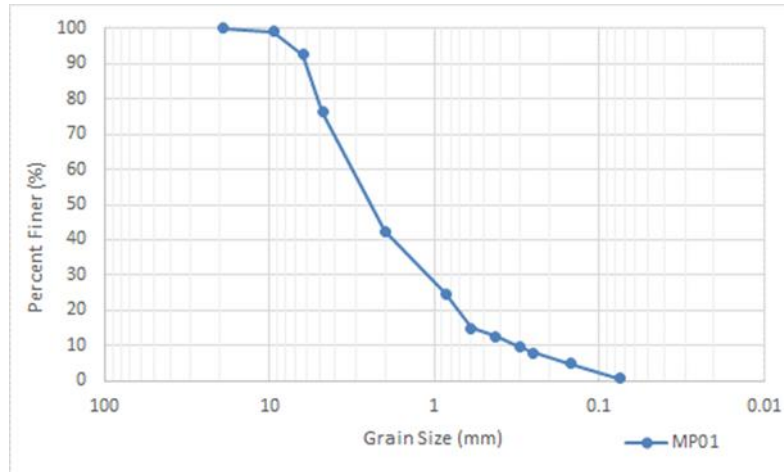
การวัดขนาดรอยแตก

รูปที่ 4 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดสอบ

5. ผลและวิจารณ์

5.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติดินทางกายภาพ

จากการทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดินโดยวิธีใช้ตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) สามารถจำแนกดิน ออกได้เป็นดินจำพวกดินทรายที่มีขนาดคละกันดี (SW) ลักษณะการกระจายตัวดังแสดงในกราฟรูปที่ 5 มีความชันธรรมชาติ 28.31% ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.67



รูปที่ 5 แสดงการกระจายตัวของเม็ดดิน

5.2 ผลการทดสอบการหดและขยายตัวของดิน

การทดสอบพฤติกรรมของการหด-ขยายตัวของดินตัวอย่าง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน ในครั้งนี้ ดำเนินการเป็น 2 รูปแบบสำหรับในช่วงการลดความชื้นในดิน คือ ลดโดยการอบที่อุณหภูมิ 60 °C และโดยการปล่อยให้ในอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 27 °C) สำหรับวิธีการอบได้ดำเนินการลดและเพิ่มความชื้น 2 รอบ ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นก็จะทำการวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร แรงดูดน้ำ และสังเกตการเกิดรอยแตกร้าว

ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตร แรงดูดน้ำตามความชื้นแสดงในรูปที่ 6 และ 7 และลักษณะรอยแตกร้าวแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

ก. การหดและขยายตัวของดิน โดยการอบรอบที่ 1

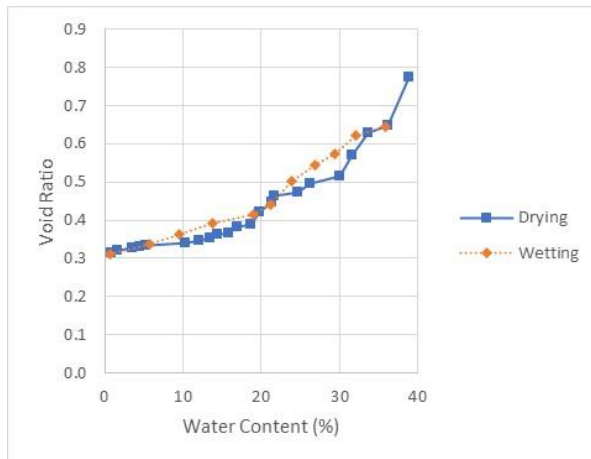
จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดินโดยการนำดินไปเข้าตู้อบในอุณหภูมิ 60 °C ระยะเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง รอบที่ 1 โดยทำการตรวจวัดขนาดและชั่งน้ำหนักเป็นระยะ ๆ พร้อมทั้งตรวจวัดค่าแรงดูดน้ำของดิน โดยความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรซึ่งแสดงในรูปของอัตราส่วนโพรง (Void Ratio) แสดงในรูปที่ 6ก และความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินและแรงดูดน้ำของดินแสดงในรูปที่ 6ค พบว่า เมื่อความชื้นในมวลดินลดลง (Drying Path) อัตราส่วนโพรงลดลงสัมพันธ์กับความชื้นที่ลดลง จนกระทั่งดินมีความชื้นต่ำกว่า 20% อัตราส่วนโพรงจะลดลงโดยมีอัตราการลดลงต่ำกว่าช่วงแรก โดยดินจะมีรอยแตกร้าวเกิดขึ้นโดยมีความกว้างใหญ่สุด ประมาณ 5 มิลลิเมตร และลึกประมาณ 2 เซนติเมตร ดังรูปที่ 8ก โดยจะไม่ลึกจนถึงด้านล่าง ส่วนค่าแรงดูดน้ำในดิน (Suction) จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0 kPa จนถึงประมาณ 60 kPa โดยอัตราการลดมีขนาดเพิ่มมากขึ้นเมื่อดินมีความชื้นต่ำกว่า 20% และมีความชื้นเข้าใกล้ศูนย์ ดินจะมีอัตราส่วนโพรง ประมาณ 0.3

การทดสอบในช่วงเพิ่มความชื้น (Wetting Path) โดยการเติมน้ำ ซึ่งจะพบว่ามวลดินไม่เกิดการขยายตัวในทันทีแต่จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นหลังจากที่เติมน้ำลงไปในตัวอย่าง ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินและอัตราส่วนโพรง (Void Ratio) และความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินและแรงดูดน้ำของดินมีลักษณะใกล้เคียงกับช่วงที่ทำการลดความชื้น (รูปที่ 6ก และ 6ค) การทดสอบดำเนินการจนกระทั่งดินมีความชื้นเข้าใกล้กับความชื้นเริ่มต้น

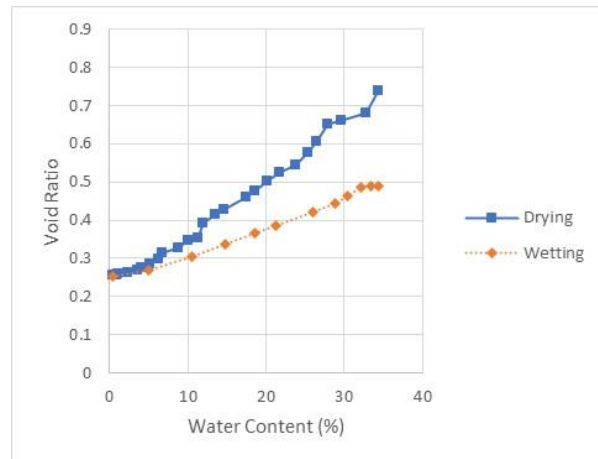
ข. การหดและขยายตัวของดิน โดยการอบรอบที่ 2

ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดินรอบที่ 2 โดยนำดินไปเข้าตู้อบในอุณหภูมิ 60 °C ระยะเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง (รูปที่ 6ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินและอัตราส่วนโพรง (Void Ratio) ค่อนข้างเป็นเส้นตรง โดยจะเกิดรอยแตกกว้างของดินขึ้นดังรูปที่ 8ข โดยดินจะมีรอยแตกกว้างสูงสุดประมาณ 7 มิลลิเมตร รอยแตกของดินในรอบที่ 2 นี้จะมีรอยแตกที่กว้างและลึกกว่าดินในรอบที่ 1 ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดูดน้ำในดิน (Suction) จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0 kPa ที่ความชื้นประมาณ 35% แรงดูดน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนถึงที่ความชื้นประมาณ 20% แรงดูดน้ำจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่เร็วขึ้นดังรูปที่ 6ง

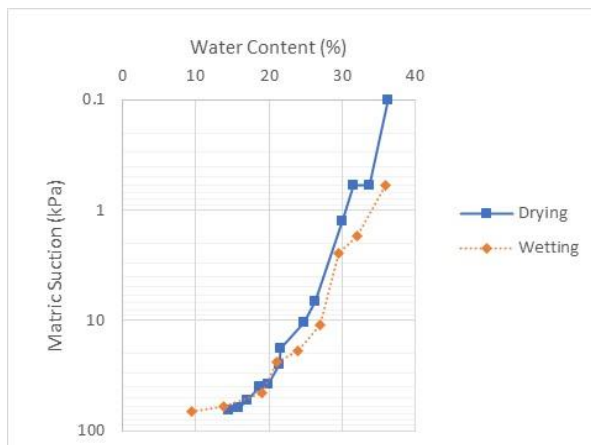
จากการทดสอบการเพิ่มความชื้น (Wetting Path) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินและอัตราส่วนโพรง (Void Ratio) ค่อนข้างเป็นเส้นตรงเช่นเดียวกับในช่วงลดความชื้น (Drying Path) แต่มีแนวโน้มที่อัตราส่วนโพรงจะต่ำกว่าที่ความชื้นเดียวกัน (รูปที่ 6ข) สำหรับการตรวจวัดค่าแรงดูดน้ำในดินพบว่ามีแนวโน้มคล้ายคลึงกันกับในช่วงลดความชื้น แต่แรงดูดน้ำจะต่างกันที่ความชื้นมากกว่า 20% (รูปที่ 6ง)



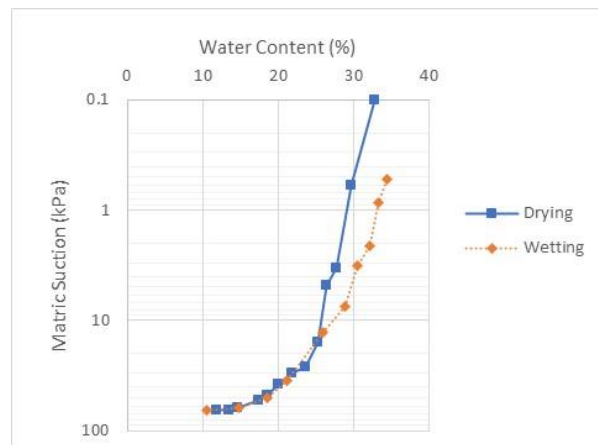
ก) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจาก ความชื้นตัวอย่าง MP-01 ครั้งที่ 1



ข) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเนื่องจาก ความชื้นตัวอย่าง MP-01 ครั้งที่ 2



ค) ค่าการดูดน้ำ (Suction) ตัวอย่าง MP-01 ครั้งที่ 1

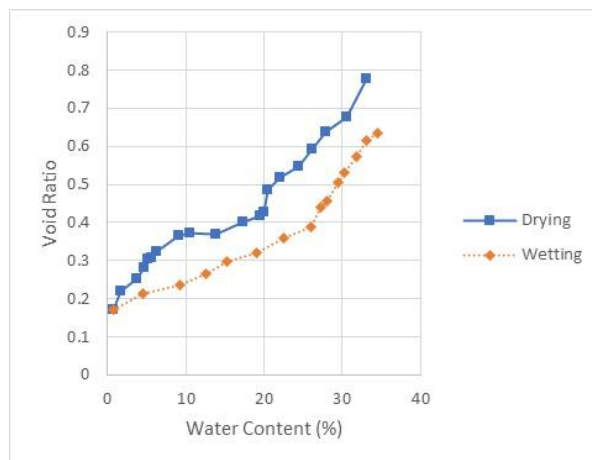


ง) ค่าการดูดน้ำ (Suction) ตัวอย่าง MP-01 ครั้งที่ 2

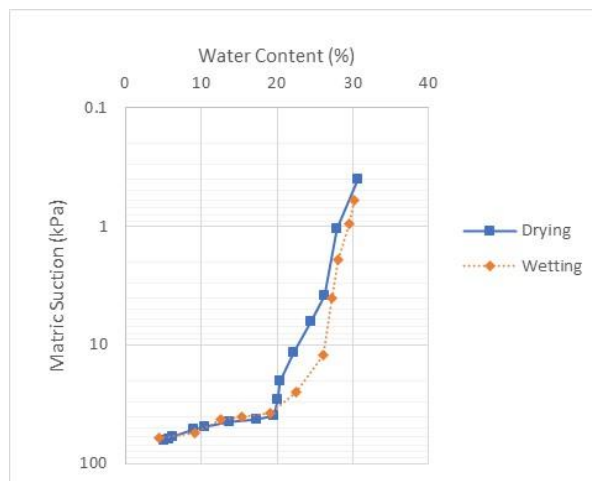
รูปที่ 6 ผลการทดสอบการหด-ขยายตัวของดินตัวอย่างโดยการเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C

ค. การหดและขยายตัวของดินที่อุณหภูมิห้อง

สำหรับการทดสอบการหดตัวของดินโดยการนำดินปล่อยให้แห้งตามอุณหภูมิห้อง ใช้เวลาในการทดสอบ 5 วัน (รูปที่ 7ก) พบว่า เมื่อความชื้นในมวลดินลดลง อัตราส่วนช่องว่างลดลงสัมพันธ์กับอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นจนถึงที่มีความชื้นเหลือ 20% อัตราส่วนโพรงจะลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นก็จะลดลงช้า ๆ จนความชื้นลดลงเหลือ 10% อัตราส่วนโพรงก็จะลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้ง การทดสอบในขั้นตอนนี้จะพบรอยแตกกว้าง (รูปที่ 8ค) โดยมีขนาดความกว้างสูงสุดประมาณ 5 มิลลิเมตร ความลึกสูงสุดประมาณ 1.5 เซนติเมตร โดยรอยแตกจะมีความกว้างแต่ไม่ลึก ส่วนค่าแรงดูดน้ำในดิน (Suction) จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0 kPa จนถึงประมาณ 70 kPa โดยที่ความชื้นต่ำกว่า 20% ดินจะมีค่าแรงดูดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว



ก) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรความชื้นโดยปล่อยให้แห้งในอุณหภูมิห้อง



ข) ค่าแรงดูดน้ำ ของดินโดยปล่อยให้แห้งในอุณหภูมิห้อง

รูปที่ 7 ผลการทดสอบการหด-ขยายตัวของดินตัวอย่างโดยให้แห้งในอุณหภูมิห้อง



ก) อบที่อุณหภูมิ 60 °C ครั้งที่ 1



ข) อบที่อุณหภูมิ 60 °C ครั้งที่ 2



ค) ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

รูปที่ 8 ภาพถ่ายรอยแตกจากการทดสอบในขั้นตอนลดน้ำ

ส่วนการทดสอบโดยการเพิ่มความชื้น ดินจะมีการขยายตัว (รูปที่ 7ก) โดยมีความสัมพันธ์คล้ายคลึงกับในช่วงที่ทำการลดความชื้นแต่มีอัตราส่วนโพร่งต่ำกว่าที่ความชื้นเดียวกัน ส่วนผลการตรวจวัดแรงดันน้ำของดิน (รูปที่ 7ข) พบว่า ใกล้เคียงกับช่วงที่ทำการลดความชื้น

จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินตัวอย่างทั้ง 3 กรณี เมื่อทำการลดความชื้น พบว่าดินจะเกิดการหดตัวและมีรอยแตกเกิดขึ้น ซึ่งรอยแตกจะมีผลทำให้การวัดอัตราส่วนโพร่งที่ลดลงต่ำกว่าที่ควรจะเป็นเนื่องจากปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปจะทำการวัดภาพรวม ไม่ได้คิดหักออกจากปริมาตรรอยแตก หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการวัดอัตราส่วนโพร่งแบบรวมไม่ใช่อัตราส่วนโพร่งของดินที่มีความต่อเนื่องกันเพียงอย่างเดียว ในกรณีที่มีการเพิ่มความชื้นอัตราส่วนโพร่งของดินตัวอย่างที่ความชื้นเดียวกันจะมีค่าต่ำกว่าตอนลดความชื้น เนื่องจากการขยายตัวเกิดขึ้นเมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้น โดยในรอยแตกล้ำน้ำจะเข้าไปสะสมได้มากกว่าบริเวณข้างตัวอย่าง จึงอาจทำให้ดินขยายตัวบริเวณรอยแตกได้เร็วกว่าบริเวณด้านข้างเมื่อทำการวัดภาพรวมจึงทำให้เห็นว่าอัตราส่วนโพร่งน้อยกว่า

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงความชื้นยังมีผลต่อแรงดันน้ำของดินด้วยเช่นกัน เมื่อทำการลดความชื้นแรงดันน้ำจะเพิ่มสูงขึ้น และจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อดินมีความชื้นต่ำกว่า 20% ในทางกลับกันเมื่อทำการเพิ่มความชื้นดินจะมีแรงดันน้ำลดลงจนถึงที่ความชื้น 20-25% แรงดันจะมีอัตราการลดน้อยลง การเกิดรอยแตกก็เป็นผลมาจากแรงดันนี้ เนื่องจากเมื่อความชื้นลดลงจะเกิดแรงดันที่เพิ่มสูงขึ้น และดินเกิดการหดตัวในทุกพื้นที่ จุดที่มีกำลังน้อยก็จะเกิดเป็นรอยแตกซึ่งจะช่วยลดแรงดึงเนื่องจากแรงดันน้ำลง

6. สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการหด-ขยายตัวของดินเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความชื้น โดยพยายามลดอิทธิพลของขอบด้านข้างของตัวอย่างดินโดยการใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่ในขั้นตอนการดำเนินงาน ได้ทำการทดสอบการลดความชื้นทั้งแบบใช้ตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C และแบบปล่อยให้เกิดการระเหยที่อุณหภูมิห้อง

ผลการทดสอบพบว่ามีความโน้มเอียงเหมือนกันคือ เมื่อทำการลดความชื้นดินจะเกิดการหดตัว และมีรอยแตกเกิดขึ้น และเมื่อทำการเพิ่มความชื้นดินก็จะเกิดการขยายตัวและรอยแตกก็จะลดลงและหายไป รอยแตกนี้มีผลต่อการวัดปริมาตรเพื่อคำนวณอัตราส่วนโพรง เนื่องจากการวัดปริมาตรที่กระทำเป็นระยะ ๆ จะวัดที่ขอบนอกของตัวอย่าง ดังนั้นจึงเป็นการวัดโดยภาพรวมไม่ใช่การวัดเฉพาะดินที่มีความต่อเนื่องกัน

เมื่อพิจารณาถึงแรงดูดน้ำในดิน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นแรงดูดน้ำก็จะเปลี่ยนแปลงด้วย ในกรณีที่ทำการลดความชื้นแรงดูดจะเพิ่มสูงขึ้นและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความชื้นอยู่ในช่วง 20-25 % ส่วนกรณีที่เพิ่มความชื้นแรงดูดก็จะลดลงโดยมีความโน้มเอียงคล้ายคลึงกับตอนที่ทำการลดความชื้น อย่างไรก็ตามการเกิดรอยแตกในระหว่างที่ทำการลดความชื้นก็อาจมีผลทำให้แรงดูดลดลงเนื่องจากรอยแตกจะให้ความความเครียดในดินเนื่องจากการหดตัวลดลงนั่นเอง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ รวมทั้งสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Abramson, W.L., L.S. Thomas, S. Sunil and B.M. Glenn. 1996. Slope stability and stabilization method. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [2] Bensallam, S., L. Bahi, H. Ejjaouani and V. Shakhirev (2012). "A New Shrinkage Curve Model, Applied to Moroccan Clayey Soil." International Journal of Geosciences 3(03): 507.
- [3] Fredlund, M.D., G.W. Wilson and Fredlund, D.G. 1997. Indirect procedures to determine unsaturated soil property functions. In Proceedings of the 50th Canadian Geotechnical Conference, Golden Jubilee, Ottawa, Ont., 20–22 October 1997. BiTech Publishers Ltd., Richmond, B.C. Vol. 1, pp. 407–414.
- [4] Fredlund, D.G. and A. Xing. 1994. Equation for the soil-water characteristic curve. Canadian.
- [5] Prat, P.C., A. Ledesma, M.R. Lakshmikantha, H. Levatti and J. Tapia. 2008. Fracture Mechanics for Crack Propagation in Drying Soils. The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), 1-6 October, 2008. Goa, India.
- [6] Rogers, N.W. and M.J. Selby. 1980. Mechanisms of shallow translational landsliding during summer rainstorms: North Island, New Zealand. Geografiska Annaler 62A: 11-21.
- [7] Romkens, M.J. and S. Prasad. 2006. Rain infiltration into swelling/shrinking/cracking soils. Agricultural Water Management. 86:196-205.

- [8] Shin H. & Santamarina J. C. (2011). Desiccation cracks in saturated fine-grained soils: particle level phenomena and effective stress analysis. *Geotechnique* 61, No. 11, 961–972.
- [9] Taboada MA. 2003. Soil shrinkage characteristics in swelling soils. College on Soil Physics, Trieste.