การพัฒนาระบบการตรวจวัดภัยดินถล่มด้วยระบบอินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง
Development of Warning System for Landslide Hazard Area with IoT System (Internet of Things)

วิชุดา จำเรือง[1]*, อภินิติ โชติสังกาศ[2] และ สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว[3]

[1]นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
* Corresponding author; E-mail address: wichuda.jam@ku.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการพัฒนาระบบตรวจวัดภัยดินถล่มด้วยระบบอินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง (IoT) เป็นการพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดทางธรณีเทคนิค ซึ่งนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ร่วมกับงานวิศวกรรมปฐพี ให้ทำงานร่วมกันด้วยการสื่อสารผ่านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แสดงผลบนแพลตฟอร์มอินเตอร์เน็ต เพื่อตรวจวัดและนำไปสู่การพัฒนาเกณฑ์เตือนภัยดินถล่มที่เหมาะสม โดยติดตามปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของมวลดิน มีการศึกษาอัตราการเคลื่อนตัวของดินบริเวณเชิงลาดที่มีแนวโน้มส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมเดิม จากผลการใช้งานระบบดังกล่าวในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม ณ บ้านน้ำจูน จังหวัดน่าน พบว่ามีการเคลื่อนตัวของดินระดับตื้น (0.5-1.0 ม.) ประมาณ 30 มม. ที่ปริมาณน้ำฝนสะสม 600 มม. ในช่วงเวลา 3 เดือน อัตราการเคลื่อนตัวของมวลดินมีค่าเท่ากับ 0.015 มม./ชม. การเคลื่อนตัวของมวลดินเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เรียกว่าการคืบคลานของดิน (Soil Creep) มีค่าแรงดูดของดิน (Suction) อยู่ในช่วง 0 – 7 กิโลปาสคาล ซึ่งเป็นดินที่อยู่ในสภาวะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Zone) การบันทึกค่าเหล่านี้ถูกเก็บโดยระบบ IoT ที่ประกอบด้วย Arduino MEGA 2560 และ NB IoT เป็นตัวกลางที่ทำให้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่างๆ สามารถเชื่อมต่อและส่งข้อมูลถึงกันได้

คำสำคัญ: ภัยดินถล่ม, อินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง, เครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดิน, เกณฑ์การเตือนภัยดินถล่ม, ปริมาณน้ำฝนสะสม

Abstract

This paper presents the result of the Internet of Things landslide measurement as the development of geotechnical monitoring tools. They are working together by communication through electronic devices, transmitting information to the Internet platform for monitor and lead to appropriate landslide warning criteria by tracking various factors causing the movement of soil masses and studying of the rate of soil movement that tends to result in a change from the original environment. When tracking the performance of the instrument, in the Ban Namjoon (Nan, Thailand) there is a shallow soil movement (0.5-1.0 m) of approximately 30 mm at a cumulative rainfall of 600 mm over 3-month period. The movement of the soil mass is 0.015 mm./h. (The slow movement of soil masses is called soil creep.) that has the suction of soil is in range 0 – 7 kPa. (Unsaturated Soil). These recordings are stored by an IoT system consisting of Arduino MAGA 2560 and NB IoT as a intermediate connectivity so sensor can communicate with each other.

Keywords: Landslide Hazard, Internet of Things, In-place Inclinometer, landslide warning criteria, cumulative rainfall

1. คำนำ

ลักษณะเชิงลาดในประเทศไทย มักมีการก่อสร้างที่พักอาศัย แหล่งท่องเที่ยว มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้บนภูเขาเพื่อเป็นพื้นที่ทำกิน อีกทั้งประชากรส่วนใหญ่ก็อาศัยอยู่บริเวณลาดเชิงเขา ซึ่งปกติแล้วบริเวณนั้นเป็นบริเวณที่มีการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติอยู่บ่อยครั้ง โดยเฉพาะการเกิดภัยดินถล่ม มวลดินสไลด์ มีหลายเหตุการณ์ที่คร่าชีวิตของผู้คนไปมากมาย อาจจะเนื่องด้วยการเตือนภัยที่ยังล่าช้า ไม่สามารถประเมินสถานการณ์ล่วงหน้าได้ เพื่อให้มีการเตือนภัยที่อาจมีภัยพิบัติเกิดขึ้นโดยสามารถติดตามสถานะได้ตลอดเวลา ไม่ว่าจะอยู่ที่ไหนบนโลก และมีการประเมินสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้น ไม่ว่าใครก็สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ ทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จึงมีการพัฒนาระบบการตรวจวัดภัยดินถล่มโดยมีการออกแบบเครื่องมือการตรวจวัดแบบต่างๆ หลายรูปแบบที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ภัยดินถล่ม ได้แก่ เครื่องมือวัดความเอียงตัวของลาดดิน (In-place Inclinometer), เซนเซอร์ตรวจจับความชื้นของดิน (Moisture Sensor), เซนเซอร์วัดแรงดูดน้ำของดิน (Tensiometer), และกระบอกวัดน้ำฝนอัตโนมัติ (Automatic Rain gauge) ภายใต้การควบคุมด้วยระบบอินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of Things : IoT) ที่จะมีการนำเทคโนโลยีปัจจุบันมาประยุกต์ใช้ เพื่อที่จะได้นำผลการ

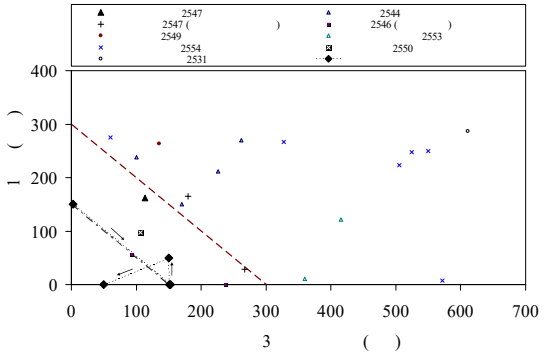
ตรวจวัดไปสร้างเกณฑ์การเตือนภัยดินถล่ม โดยอาศัยการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝนเพื่อสร้างเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนเชิงสถิต ติดตามแรงดันน้ำเพื่อประมาณค่าแรงดันน้ำวิกฤติ และประเมินอัตราการเคลื่อนตัวของมวลดิน

2. วิธีการวิจัย

2.1 ทฤษฎี

แนวทางของกรมทรัพยากรธรณีแนะนำว่า ถ้ามีค่าน้ำฝนสูงกว่าค่าวิกฤติ เช่น 150 มิลลิเมตรต่อวัน ก็จะมีแผนอพยพ หรือเฝ้าระวังตามแต่ระดับความเสี่ยงที่กำหนดไว้ ในบางพื้นที่ที่มีภูมิประเทศ ลักษณะชั้นดิน ลักษณะหิน พืชปกคลุม ฯลฯ ต่างกันก็จะมีผลต่อค่าน้ำฝนวิกฤตินี้ ต้องอาศัยประสบการณ์ในพื้นที่ในการระบุค่าน้ำฝนวิกฤติที่เหมาะสมในแต่ละท้องถิ่น ในบางกรณีแม้ปริมาณน้ำฝนรายวันจะมีค่าน้อยมาก หรือไม่มีฝนตกเลย แต่ก็อาจจะเกิดดินถล่มขึ้นได้หากปริมาณน้ำฝนที่ตกสะสมมาก่อนหน้านี้มีปริมาณมากเพียงพอ

ดังนั้น การเตือนภัยดินถล่มโดยอาศัยเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนควรจะพิจารณาทั้ง ค่าน้ำฝนรายวัน และค่าน้ำฝนสะสมก่อนหน้าด้วย รวมถึงการติดตามและวิเคราะห์ปัจจัยอื่นๆ ที่เป็นตัวกระตุ้นร่วมด้วย



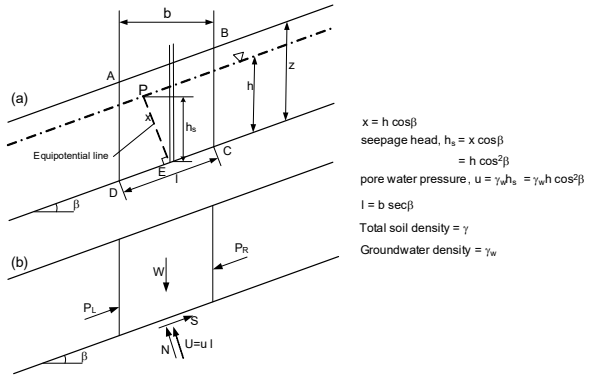
รูปที่ 1 ตัวอย่างการเตือนภัยโดยกราฟน้ำฝนวิกฤติ (Jotisakasa et al., 2010b)

เมื่อฝนตกสะสมสู่ลาดดิน จะเกิดแนวการเปียก (Wetting front) ขึ้นในชั้นดิน และดินถล่มจะเกิดขึ้นเมื่อแนวการเปียกนั้นเคลื่อนที่ลงไปถึงจุดวิกฤติความลึกของหน้าดินที่แนวการเปียก (Wetting front) ที่ทำให้เกิดการพังทลายนั้น นับว่ามีความสำคัญมากในการวิเคราะห์ดินถล่ม อย่างไรก็ตาม ความลึกวิกฤต (D_c) นี้จะมีความแปรปรวนค่อนข้างมากในแต่ละพื้นที่ขึ้นกับสภาวะการระบายน้ำของชั้นหินด้านล่างและกำลังของดินซึ่งจะขึ้นกับปริมาณรากพืช

$$= \left(\theta - \theta \right) \cdot \qquad (1)$$

โดยที่ = น้ำฝนวิกฤต (Critical Rainfall), θ = ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นตามปริมาตร ของดินที่สภาวะดินชุ่มน้ำ (Soaked), θ = ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นตามปริมาตร ที่สภาวะความจุสนาม (Field Capacity), และ = 1.2 ถึง 2 สำหรับ ดินถล่มบริเวณลาดเขาริมถนนเฉพาะจุดที่เสี่ยง และได้ค่า 2-4 เมตร สำหรับดินถล่มบริเวณกว้างหรือ debris flow

ดินถล่มจะเกิดขึ้นเมื่อกำลังรับแรงเฉือนของดินมีค่าน้อยกว่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริง หรือค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง



รูปที่ 2 การวิเคราะห์ลาดดินอนันต์ (ดัดแปลงจาก Cornforth, 2005)

แบบจำลองเสถียรภาพของลาดดินอนันต์ ดังแสดงในรูปที่ 2 เพื่อประมาณหาค่าแรงดันน้ำวิกฤติ ได้ดังสมการที่ (2) และ (3)

$$= \frac{'+(\gamma \cdot \cos^2\beta)\cdot\tan\varphi' - \cdot\tan\varphi''}{\gamma \cdot \sin\beta\cdot\cos\beta} \qquad (2)$$

เมื่อ FS = 1

$$_{cr\,l} = \frac{'+(\gamma \cdot \cos^2\beta)\cdot\tan\varphi' - \gamma \cdot \sin\beta\cdot\cos\beta}{\tan\varphi''} \qquad (3)$$

โดยกำหนดให้ ' คือค่าความเชื่อมแน่นประสิทธิผล, φ' คือมุมเสียดทานภายใน, φ คือมุมเสียดทานภายในเนื่องจากแรงดูด (แรงดันน้ำด้านลบ) กำหนดให้ $\varphi' =$ φ'' เมื่อ > 0 และ $\varphi^* = \varphi$ เมื่อ ≤ 0 ; คือแรงดันน้ำในช่องว่างดิน, γ คือหน่วยน้ำหนักรวมของดิน, β คือความชันของลาด และ คือความลึกถึงระนาบการพัง

2.2 การพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดภัยดินถล่ม

2.2.1 In-place Inclinometer

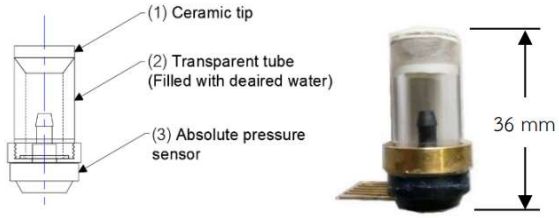
Inclinometer เป็นอุปกรณ์ติดตามการเคลื่อนตัวของดินที่ระดับลึกลงไปจากผิวดิน โดยมีการติดตั้งท่อกลวง (Inclinometer Casing) ที่มีร่องบาก 4 ด้านที่ตั้งฉากกันให้ได้ดิ่ง ซึ่งปลายท่อจะฝังอยู่ในชั้นดินแข็ง จากนั้นจะนำหัววัดความเอียง (Inclinometer Probe) หย่อนให้วิ่งลงไปตามร่องบากจนถึงปลายท่อ บันทึกค่าการระยะดึงขึ้นทุกๆ 0.5 เมตรหรือมากกว่า เพื่อวัดค่าการเอียงตัวของมวลดินของระดับชั้นดินต่างๆ ที่คาดว่าอาจเกิดการเคลื่อนตัว แต่อย่างไรก็ดี การติดตามการเคลื่อนตัวของดินจาก Inclinometer ก็ยังมีข้อจำกัดในการใช้แรงงานคนเพื่อไปเก็บค่าในแต่ละช่วงเวลา

การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดินในรูปแบบเดิม จากการหย่อนหัววัดเป็นเซนเซอร์ติดตั้งถาวรในที่ (In-place Inclinometer) ให้มีความคงทน มีความสามารถเทียบเคียงเครื่องมือที่เป็นมาตรฐาน สามารถ

อ่านค่า และเก็บค่าโดยลดการใช้แรงงานคน การติดตั้งจะเป็นการฝังเซนเซอร์ถาวรภายในท่อ ปัจจุบันอยู่ในระหว่างการดำเนินการขอยื่นอนุสิทธิบัตร

2.2.2 Tensiometer

KU-Miniature Tensiometer หรือ เครื่องมือวัดแรงดึงน้ำของดินเป็นเครื่องมืออย่างง่ายเพื่อวัดแรงดึงน้ำในมวลดินที่อยู่สภาวะสมดุลกับน้ำในกระเปาะที่มีหินพรุน โดยสามารถวัดแรงดูดได้เพียงในช่วงของแรงดูดเมทริกซ์ 0-90 kPa ซึ่งถ้าดินมีความชื้นต่ำและเริ่มแห้ง ดินจะค่อยดูดน้ำออกจากกระเปาะนั่นคือดินจะเริ่มมีสภาวะที่มีแรงดูดสูง



รูปที่ 3 อุปกรณ์วัดค่าแรงดึงดูดเมทริกซ์ (KU – Tensiometer) (ณัฐสิทธิ์, 2563)

2.2.3 Moisture Sensor

เซ็นเซอร์วัดความชื้นใช้วัดความชื้นในดิน สามารถวัดค่าความชื้นของดินบริเวณผิว หรือตำแหน่งต่าง ๆ ของดินได้ ซึ่งต้องต่อใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้อนาล็อกอินพุตอ่านค่าความชื้น หรือเลือกใช้สัญญาณดิจิตอลที่ส่งมาจากโมดูล

2.2.4 Automatic Rain-gauge

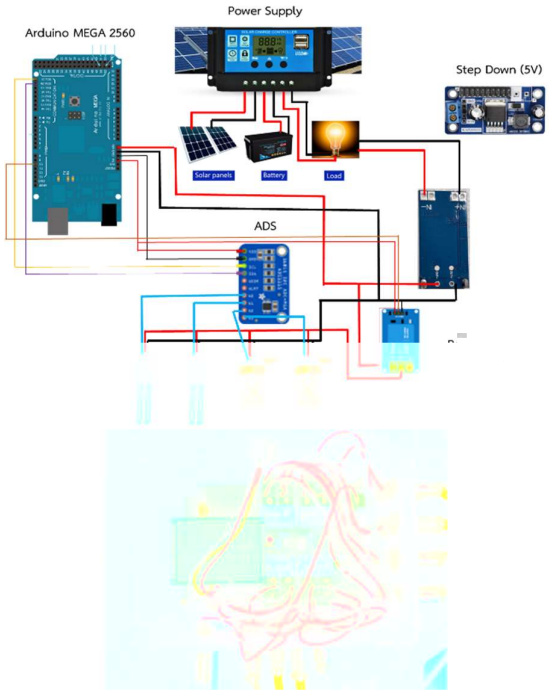
กระบอกวัดน้ำฝนอัตโนมัติ เป็นกระบอกวัดน้ำฝนที่สามารถนับปริมาณฝนได้ โดยสามารถรับปริมาณฝนได้ครั้งละ 0.2 มิลลิเมตร โดยจะส่งสัญญาณทางไฟฟ้าไปยังเครื่องอ่านค่าความต่างศักย์



รูปที่ 4 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนอัตโนมัติ

2.3 ระบบอินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of Things)

ระบบอินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of Things : IoT) ซึ่งเป็นการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เรียกว่า Arduino MEGA 2560 มาเป็นตัวความจำหลักเพื่อรับสัญญาณจากเซนเซอร์ (Sensor) หลายๆ ตัวที่อยู่ในเครื่องมือตรวจวัด โดยจะมีการเขียน Code เข้าไปในโปรแกรม ให้บอร์ด NB IoT เป็นตัวกลางเชื่อมต่อกับแหล่งเก็บข้อมูล (Database) ส่งข้อมูลที่ได้จากการอ่านค่าของ Arduino MEGA 2560 ไปแสดงผลบนแพลตฟอร์มอินเตอร์เน็ต



รูปที่ 5 องค์ประกอบของระบบอินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง (IoT System)

2.4 การสำรวจและติดตั้งเครื่องมือเตือนภัย

บริเวณพื้นที่ศึกษา หลังศูนย์เด็กเล็กบ้านน้ำจูน อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน ลักษณะเป็นเชิงลาดอยู่บนภูเขาสูงชันสลับซับซ้อน มีประชากรส่วนใหญ่เป็นชาวไทยภูเขาเผ่าลั้วะอาศัยอยู่กันเป็นชุมชน มีความสูง 1,000-1,900 เมตร รทก. ปริมาณน้ำฝน 1,504 มม./ปี ลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นหินกรวดมน หินทราย หินทรายแป้ง และหินดินดาน ร้อยละ 73.81% ซึ่งปัญหาการชะล้างพังทะลายของดินอยู่ในระดับปานกลางถึงรุนแรงมาก (อภินิติ และคณะ, 2563)



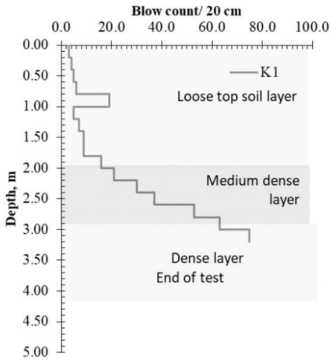


(a)



(b)

รูปที่ 6 (a) พื้นที่ศึกษา เชิงลาดบริเวณหลังศูนย์เด็กเล็กบ้านน้ำจูน (b) การติดตั้งเครื่องมือและระบบเตือนภัยดินถล่ม

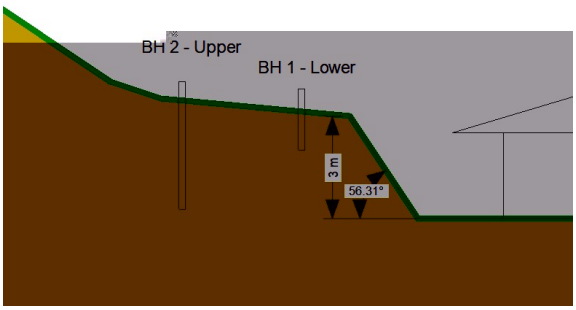


รูปที่ 7 ผลการตอกหยั่งสำรวจความแข็งแรงของชั้นดินด้วยวิธี Kunzelstab penetration บริเวณพื้นที่ศึกษา (อภินิติ และคณะ, 2563)

การติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดจะติดตั้งบนลาดดินหลังศูนย์เด็กเล็ก ที่มีความชันของลาด 60 องศา ความสูง 3 เมตร โดยมีการอ้างอิงผลการทดสอบการตอกหยั่งสำรวจความแข็งแรงของชั้นดินด้วยวิธี Kunzelstab penetration บริเวณพื้นที่ศึกษา (อภินิติ และคณะ, 2563) ดังรูปที่ 7 ประกอบการคำนวณระยะการฝังและจุดการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด ซึ่งได้ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดออกเป็น 2 จุด คือ BH1 (Lower) และ BH2 (Upper) เพื่อติดตามพฤติกรรมของลาดดินให้ครอบคลุม

ตารางที่ 1 ลักษณะและจำนวนของเครื่องมือตรวจวัดที่ติดตั้งบริเวณพื้นที่ศึกษา

ชนิดเครื่องมือเตือนภัย	ลักษณะ	จำนวนเซนเซอร์		
		BH1	BH2	รวม
In-place Inclinometer	แกนวัด : 1 แกน ช่วงการวัด : ±20° หน่วยการวัด : mV ความไว : -140 mV/°	2	3	5
KU - Tensiometer	ช่วงการวัด : 0 - 90 kPa หน่วยการวัด : mV ความไว : 6.6 mV/kPa	2	1	3
Moisture Sensor	ช่วงการวัด : 0 - 100% หน่วยการวัด : mV ความไว : -105 mV/%	3	3	6
Automatic Rain gauge	การเก็บค่าปริมาณฝน : 0.2 mm/1 fall (Pulse)	1		1



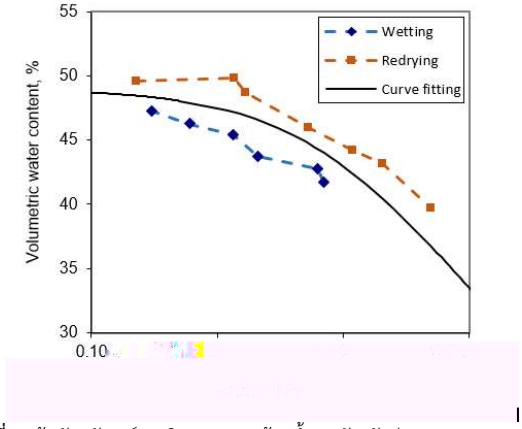
รูปที่ 8 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือเตือนภัยและรูปตัดบริเวณเชิงลาดในพื้นที่ศึกษา ศูนย์เด็กเล็กบ้านน้ำจูน

2.5 การทดสอบตัวอย่างดิน

นอกเหนือจากการทดสอบการหาค่าคุณสมบัติ Index Properties ในตารางที่ 2 แล้ว ในงานวิจัยยังมีการทดสอบแรงดูดน้ำในดิน SWCC ดิน เพื่อทำนายค่าการไหลซึมของน้ำในดิน นำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบการไหลซึมในกับการวัดแรงดูดของดินในสนามแสดงดังรูปที่ 9

ตารางที่ 2 สรุป Index Properties ของดินบริเวณบ้านน้ำจูน

Soil Type	LL (%)	PI (%)	Total Unit Weight (t/m^3)	G_s	e
ML	38.30	16.35	1.634	2.71	1.27

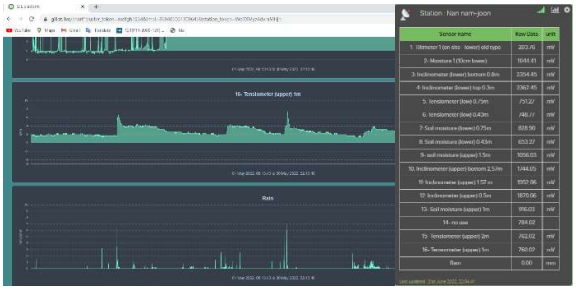


รูปที่ 9 เส้นอัตตลักษณ์ของดิน (SWCC) บ้านน้ำจูน จังหวัดน่าน

เส้นอัตตลักษณ์ของดิน หรือ SWCC สามารถหาได้จากการวัดค่าแรงดูดจากเครื่องมือ KU – Tensiometer (Jotisankasa et al. 2007) การทดสอบจะทดสอบทั้งการเพิ่มน้ำในมวลดิน และการปล่อยให้ดินแห้งเหมือนในสภาพธรรมชาติ เพื่อวัดความสามารถในการดึงน้ำของมวลดิน โดยดินแห้งมีความสามารถดึงน้ำเข้าหาตัวได้ดีกว่าดินที่เปียก ซึ่งที่แรงดูด 0.1 kPa หรือสภาวะดินเกือบอิ่มตัว ดินจะมีความชื้นโดยปริมาตร 0.48 แสดงว่าภายในมวลดินมีช่องว่าง และความพรุนอยู่ และมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการลดหรือเพิ่มปริมาณน้ำ

2.6 การติดตามผลการตรวจวัด

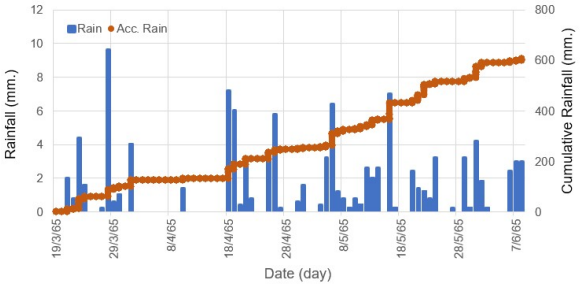
ผลการตรวจวัด สามารถติดตามผลได้บนแพลตฟอร์มอินเตอร์เน็ต มีการตั้งค่าพื้นที่ และเซนเซอร์ตรวจวัดต่างๆ เพื่อให้แสดงผลเป็นค่าทางวิศวกรรมปฐพี ซึ่งในบริเวณพื้นที่ศึกษามีการตรวจวัดถึงการเอียงตัวของลาดดิน แรงดันน้ำของดิน ความชื้นของดิน และค่าปริมาณน้ำฝน โดยให้ NB IoT ส่งค่าไปยังแพลตฟอร์มเว็บไซต์ทุกๆ 5 นาที



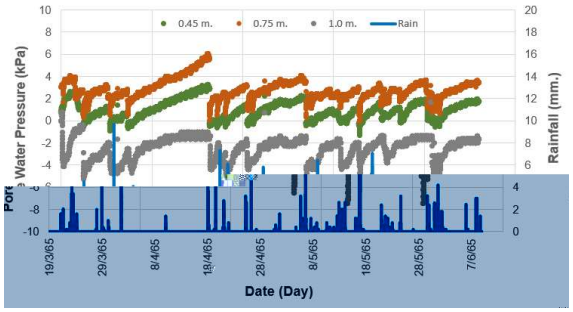
รูปที่ 10 การแสดงผลหน้าเว็บไซต์ในการติดตามค่าการตรวจวัดภัยดินถล่ม

3. ผลงานวิจัย

ในพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ที่มีฝนตกบ่อยครั้งหลายเวลาภายในช่วงการตรวจวัดตั้งแต่เดือนมีนาคม 2565 - มิถุนายน 2565 มีปริมาณน้ำฝนสะสม 600 มิลลิเมตรภายในระยะเวลา 3 เดือน ซึ่งจะเห็นว่าในพื้นที่ศึกษา ที่ความลึกที่ผิวดินจนถึง 0.75 ม. ลักษณะของผิวดินจะเป็นลักษณะหน้าตัดดินที่กำลังเปียก (Wetting Front) มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างรวดเร็ว โดยที่ระดับลึกลงไปดินจะเริ่มมีความชื้นลดลง (ดินแห้งจะมีแรงดูด) ประมาณ 5 – 7 kPa อย่างไรก็ตามเมื่อผ่านเหตุการณ์ฝนตกผ่านไปก็ทำให้ดินที่ระดับความลึกมากกว่า 0.75 เมตร มีแรงดันน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากการไหลซึมของน้ำที่ผิวดินไหลลงสู่ดินด้านล่างดังรูปที่ 11



(a)



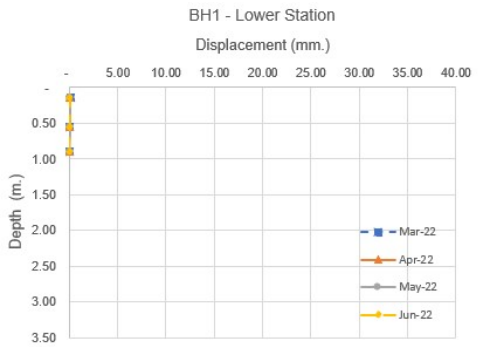
(b)

รูปที่ 11 ข้อมูลการติดตามการตรวจวัด (a) กราฟน้ำฝนรายวันและน้ำฝนสะสม (b) แรงดันน้ำในมวลดินที่ระดับความลึก 0.45, 0.75 และ 1.0 เมตร

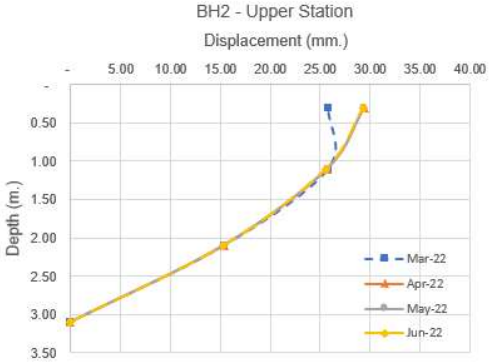
สภาพชั้นดินเชิงลาด ดินที่ระดับ 1 ม. อยู่ในสภาวะที่มีความชื้นน้อยหรือมีความแห้งกว่าดินด้านบนในทุกช่วงเวลาการติดตามตามผล แม้มีการ

ไหลซึมของน้ำจากดินด้านบนลงมาสู่ดินที่ระดับ 1 ม. ก็ยังคงมีแรงดูดอยู่ เป็นดินในสภาวะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ เป็นไปได้ว่าระดับน้ำใต้ดินของพื้นที่ศึกษานั้นอยู่ลึกมากกว่า 1 ม. ซึ่งในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำเหนือระดับน้ำ (Water table) เป็นตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เสถียรภาพ ซึ่งโดยปกติแล้วในการสูญเสียเสถียรภาพของลาดดินมักเกิดขึ้นที่ระดับตื้นเพราะเป็นพื้นที่ที่มีการไหลซึมสูง และเป็นจุดเชื่อมผ่านระหว่างน้ำในชั้นเหนือ water table กับน้ำในชั้น water table

การเคลื่อนตัวของมวลดิน ที่ตรวจวัดด้วย In-place Inclinometer นั้น การเคลื่อนตัวที่ BH1 (Lower Station) ความลึกหลุมเจาะ 1 ม. แทบไม่เกิดการเคลื่อนตัวของมวลดินเลย แต่ BH2 (Upper Station) ความลึกของหลุมเจาะ 3.2 ม. มีการเคลื่อนตัวไปประมาณ 30 มม. ซึ่งคิดเป็นอัตราการเคลื่อนตัวของมวลดิน 0.015 มม./ชม. ดังรูปที่ 12 จากงานวิจัยการสร้างเกณฑ์การเตือนภัยจากการเคลื่อนตัวของมวลดิน (Dixon and Spriggs, 2007) นั่นถือว่ายังมีอัตราการเคลื่อนตัวระดับช้ามาก (Very Slow Movement)



(a)



(b)

รูปที่ 12 ข้อมูลการติดตามการตรวจวัด (a) กราฟน้ำฝนรายวันและน้ำฝนสะสม (b) แรงดันน้ำในมวลดินที่ระดับความลึก 0.45, 0.75 และ 1.0 เมตร

ผลการเคลื่อนตัวของเชิงลาดบ้านน้ำจูน จะเห็นว่ามีการเคลื่อนตัวของดินตั้งแต่บริเวณผิวดินลงไปจนถึง 1 ม. ที่ Upper Station แต่ไม่มีการเคลื่อนตัวที่บริเวณ Lower Station เลย ทั้งที่ Lower Station เป็นเชิงลาดหลังศูนย์เด็กเล็กที่โดนตัดหน้าดินออก และมีความชันสูงประมาณ 60 องศา อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดของระยะฝังของเซนเซอร์ In-place Inclinometer ที่อยู่ตื้นเกินไป

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบตรวจวัดภัยดินถล่ม ซึ่งได้พัฒนาอุปกรณ์การวัดการเคลื่อนตัวของมวลดินให้เป็นต้นแบบ เพื่ออำนวยความสะดวกในการติดตามผล ใช้ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่มีความง่ายต่อการรับส่งข้อมูล ลดแรงงานคนในการเก็บข้อมูล นั่นคือระบบอินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง มีการตรวจวัดในบริเวณพื้นที่ศึกษาตั้งแต่เดือนมีนาคม 2565 - มิถุนายน 2565 พบว่าระบบการตรวจวัดและเครื่องมือเตือนภัยมีการรับส่งข้อมูลไปยังแพลตฟอร์มที่สร้างขึ้นได้อย่างเรียลไทม์ สามารถทำงานได้ปกติเมื่อมีฝนตกลงสู่ลาดดิน ส่งผลต่อตัวแปรอื่นๆ เช่น แรงดันน้ำในมวลดิน และการเคลื่อนตัวของดิน แบบไปในทิศทางเดียวกัน โดยอัตราการเคลื่อนตัวบริเวณพื้นที่ศึกษามีอัตราการเคลื่อนตัวเพียง 0.015 มม./ชม. เป็นลักษณะการเคลื่อนตัวแบบคืบ (Soil Creep) ที่มวลดินจะเคลื่อนตัวอย่างช้าๆ ไม่ส่งผลให้เกิดการพังทลายของลาดดิน และการพัฒนาเกณฑ์ดินถล่มเพื่อเตือนภัยนั้น จะต้องมีการติดตามปัจจัยต่างๆ เพิ่มอีกหลายปัจจัยเพื่อวิเคราะห์ความมั่นคงของลาด การติดตั้งเครื่องมือเตือนภัยที่เหมาะสม ที่จะส่งผลให้การเตือนภัยมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นำไปสู่การสร้างเกณฑ์การเตือนภัยได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณพ่อและแม่ที่สนับสนุน ขอบคุณอาจารย์อภินิติ โชติสังกาศ ที่ให้โอกาสในเรื่องทุนการศึกษา รวมถึงวิชาความรู้ และขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่มิได้เอ่ยนาม ขอบคุณเพื่อนนิสิต ป.โท ที่ให้คำปรึกษา ขอบคุณเพื่อนหอในที่ยังคอยช่วยเหลือปรับทุกข์ ขอบคุณเพื่อนมัธยมปลายที่คอยเป็นที่พึ่ง รวมไปถึงทุกคนที่มิได้เอ่ยนามที่ให้กำลังใจ ขอบคุณคุณสุดาภรณ์ ยาโน ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านและดูแลมาตลอด

เอกสารอ้างอิง

1. Nguyen TS., Likitlersuang S. and Jotisankasa A. (2017). Stability analysis of vegetated residual soil slope in Thailand under rainfall conditions. *Environmental Geotechnics*, https://doi.org/10.1680/jenge.17.00025
2. Sheikh MR., Nakata Y., Shitano M. and Kaneko M. (2021). Rainfall-induced unstable slope monitoring and early warning through tilt sensors. *Soils and Foundations61*, pp. 1033–1053.
3. Jotisankasa A., Mairaing W. (2010). Suction-Monitored Direct Shear Testing of Residual Soils from Landslide-Prone Areas. J. Geotech. *Geoenviron. Eng*., 2010, 136(3): 533-537
4. Junghwan K., Yongmin K., Sangseom J., and Moonhyun H. (2017). Rainfall-induced landslides by defcit feld matric suction in unsaturated soil slopes. *Environmental Earth Sciences*, 2017, 76, pp. 808
5. Aurelian C.Trandafir., Roy C. Sidle., Takashi Gomi., Toshitaka Kamai. (2007). Monitored and simulated variations in matric suction during rainfall in a residual soil slope. *Environ Geol*, 2008, 55, pp. 951–961
6. สลิลยา เศษเพ็ง, เทพไท ไชยทอง และ สุทธิศักดิ์ศรลัมพ์ (2563). การประเมินความแม่นยำของแบบจำลองปริมาณน้ำฝนสะสมวิกฤติ (AP-Model) ในการคาดการณ์พื้นที่ระดับ ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มล่วงหน้า. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563
7. ชลดา กาญจนกุล. (2559). *การประเมินความไวตัวของการวิเคราะห์ลาดดินพิบัติธรรมชาติสำหรับระบบการเตือนภัย*. ปรัชญาดุษฎีบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หน้า 4-41.