

การพิสูจน์สภาพดินถล่มเชิงวิศวกรรมในกรณีศึกษาดินถล่ม ในอำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน

THE FORENSIC STUDY ON ENGINEERING LANDSLIDES IN CASE OF LANDSIDES IN NAN

ธีระพงษ์ บุญเทพ¹, ศิวัะ โฉมทรัพย์เย็น², ทิพย์วิมล แตะกระโทก³ และ ชัยวัฒน์ แสงศรีจันทร์^{4*}

Teerapong Boonthep¹, Siwa Chomsubyuen², Thipwimon Taekratok³
and Chaiwat Sangsrichan^{4*}

¹สำนักงานทางหลวงชนบทที่ 10 (เชียงใหม่) กรมทางหลวงชนบท อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย 50120

²วิศวกรโครงการ บริษัท EDMA Maxcon Company Limited อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี ประเทศไทย 11120

³คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

^{4*} คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา อ.เมือง จ.พะเยา ประเทศไทย 56000

¹Bureau of Rural Roads 10 (Chiang Mai), San Pa Tong, Chiang Mai, Thailand, 50120

²Project Engineer, EDMA Maxcon Company Limited, Pakkred, Nonthaburi, Thailand, 11120

³Faculty of Engineering, Naresuan University, Muang Phitsanulok, Phitsanulok, Thailand, 65000

⁴Faculty of Engineering, University of Prayao, Muang, Prayao, Thailand, 56000

*Corresponding author E-mail: chaiwat.sangsrichan@gmail.com

วันที่เข้าระบบ 4 กุมภาพันธ์ 2562

วันที่แก้ไขบทความ 7 มีนาคม 2562

วันที่ตอบรับบทความ 19 เมษายน 2562

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของดินถล่มในด้านความสามารถรับแรงเฉือนโดยมีการวิเคราะห์ล่วงหน้า 50 ปี ในเขต อ.บ่อเกลือ จ.น่าน โดยอ้างอิงการวิเคราะห์จากข้อมูลที่สำรวจในสนามและคู่มือการทำวิจัยเรื่องดิน โดยการวิเคราะห์ที่ใช้วิธี Finite Element Method พิจารณาปัญหาเป็นแบบ 2 มิติในการประมาณค่าผลกระทบจากแรงดันช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Pore-water pressure) เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจพฤติกรรมของเหตุการณ์ดังกล่าว และเป็นพื้นฐานความรู้สำหรับการเตรียมการป้องกันภัยจากดินถล่ม ผลการศึกษาผลกระทบจากแรงดันช่องว่างระหว่างเม็ดดินของดิน หรือช่วงความสามารถในการรับแรงเฉือนในขณะที่ดินเกิดการพังทลาย โดยพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของความลาดชันเป็นตัวคงที่ ซึ่งได้มาจากการทดสอบในสนาม หมู่บ้านนาข่อย จ.น่าน

คำสำคัญ: ดินถล่ม, เสถียรภาพความลาดดิน, วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

This project studies behaviors of landslides in term of shear strengths with an analysis for the next 50 years in Bo Kluea District, Nan Province. The analysis is based on field test data and the manual of soil research. To analyze, Finite Element Method is applied to consider 2-dimension problems to estimate the results from pore-water pressure, and this leads to understanding such incidence and this can be fundamental knowledge to prepare protection against landslides. The results on the impact from the pore-water pressure of the soil or its shear strength range during landslides are studied by considering other constant factors influencing slope stability gained from the field test in Nakhon Village, Nan Province.

Keywords: Landslides, Slope Stability, Finite Element Method

1. บทนำ

ดินถล่ม (Landslide) คือปรากฏการณ์ที่ส่วนของพื้นดิน ไม่ว่าจะเป็นก้อนหิน ดิน หวาย โคลน หรือเศษดิน เศษต้นไม้ไหล เลื่อน เคลื่อน ถล่ม พังทลาย หรือหล่น ลงมาตามที่ลาดเอียง อันเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลกในขณะที่สภาพส่วนประกอบของชั้นดิน ความชื้นและความชุ่มน้ำในดิน ทำให้เกิดการเสียสมดุล ดินถล่มเป็นปรากฏการณ์ที่มีมาแต่สร้างโลกอาจเป็นเพียงเล็กน้อยเพียงก้อนหินก้อนเดียวที่ตกหรือหล่นลงมา หรือเศษของดินจำนวนไม่มากที่ไหลลงมา หรืออาจเกิดรุนแรงใหญ่โต เช่น ภูเขาหรือ หน้าผา หรือลากเขาพังทลายลงมาก็ได้ และอาจเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด หรือค่อยๆ เป็นไปช้าๆ ก็ได้ จนกว่าจะเกิดความสมดุลใหม่จึงหยุด เนื่องจากในระยะหลังๆนี้ดินถล่มปรากฏเป็นข่าวบ่อยมากขึ้นทำให้เกิดความเสียหายแก่ทรัพย์สินและชีวิตมากขึ้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจศึกษาเพื่อหาทางป้องกันและหลีกเลี่ยงอันตรายที่จะเกิดขึ้น

สาเหตุและกลไกการเกิดดินถล่ม-โคลนถล่ม มักจะอธิบายกันง่าย ๆ ว่า ดินถล่มและโคลนถล่มเกิดจากการที่ฝนกระหน่ำลงมาอย่างหนักบนภูเขาที่มีการตัดไม้ทำลายป่า ทำให้ดินอุ้มน้ำไม่ได้มาก และไม่มีรากต้นไม้คอยยึดเกาะเอาไว้ ยิ่งในกรณีที่มี “ผู้ใหญ่” ไปตรวจเยี่ยมหลังน้ำลดแล้วเห็นกองไม้ที่ถูกน้ำป่าพัดพามากองพะเนินสุดแสนอลังการ ก็ยิ่งทำให้มั่นใจในทฤษฎีนี้ ส่งผลให้ “ผู้น้อย” ที่รับผิดชอบในบริเวณนั้นต้องรีบดำเนินการหาผู้กระทำความผิดกันจ้ะหวั่น คำอธิบายที่ว่ามานี้แม้จะไม่ผิดแต่ก็ยังไม่ครบ เพราะยังขาดมุมมองทางธรณีวิทยาและปฐพีวิทยา คำว่า “ดินถล่ม” และ “โคลนถล่ม” ที่สื่อมวลชนและกรมทรัพยากรธรณีชอบใช้นั้นเป็นคำพูดง่าย ๆ ขณะที่นักธรณีวิทยามีศัพท์วิชาการเรียกเหตุการณ์ลักษณะนี้แบบ รวม ๆ ว่า การย้ายมวล (Mass wasting) ซึ่งหมายถึงการที่ดิน โคลน หรือหิน เคลื่อนที่จากที่สูงลงสู่ที่ต่ำเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนคำว่า แผ่นดินถล่มหรือแผ่นดิน

เลื่อน (Landslide) นั้น มีความหมายกว้างกว่า โดยหมายถึงการย้ายมวลกับการเคลื่อนไหวยของ แผ่นดินในรูปแบบอื่น ๆ เช่นแผ่นดินไหวเข้าไปด้วย

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้คณะผู้วิจัยจะทำการประเมินค่าความถ่วงน้ำหนักในการวิเคราะห์ความ เสี่ยงดินถล่มโดยวิธี Finite Element Method เพื่อหาค่าสัดส่วนความปลอดภัย (Factor Safety, FS.) ของปริมาณน้ำฝนกระทำต่อความลาดชันแล้วนำไปวิเคราะห์ความเสี่ยงการเกิดของดินโคลนถล่ม เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาวิธีการป้องกันภัยจากดินถล่มในเขต จังหวัดน่าน เพื่อศึกษาวิเคราะห์ เสถียรภาพของความลาดของดินซึ่งสามารถทำนายการเกิดภัยธรรมชาติล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำและ ได้ประโยชน์จากการใช้โปรแกรมซึ่งเป็นโปรแกรมที่นำไปใช้งานได้จริง และนำไปแก้ปัญหาทางด้าน วิศวกรรมปฐพีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อนำเสนอวิธีประเมินค่าความถ่วงน้ำหนักในการวิเคราะห์ความเสี่ยงดินถล่มโดยวิธี Finite Element Method เพื่อหาค่าสัดส่วนความปลอดภัย (Factor Safety, FS.) ของปริมาณน้ำฝนกระทำ ต่อความลาดชันที่ส่งผลต่อความเสี่ยงการเกิดของดินโคลนถล่ม

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการทดลองนั้นจะทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติของดิน ความลาด ชัน การศึกษาโปรแกรมเพื่อจะนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเสียก่อน แล้วเข้าสู่ขั้นตอนดังกล่าว ซึ่ง ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลและเอกสารชั้นดินและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องใน สภาวะธรรมชาติ แล้วกรอกข้อมูลลงโปรแกรม Geo Slop 2007 ที่จะใช้ช่วยในการจำลองสถานการณ์ อนาคต

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาภูมิประเทศในบริเวณที่มีความสูงมากจากภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อ นำมาวิเคราะห์หาความลาดชันในพื้นที่จุดต่างๆ ตามบริเวณเชิงเขาทั่วจังหวัดน่าน

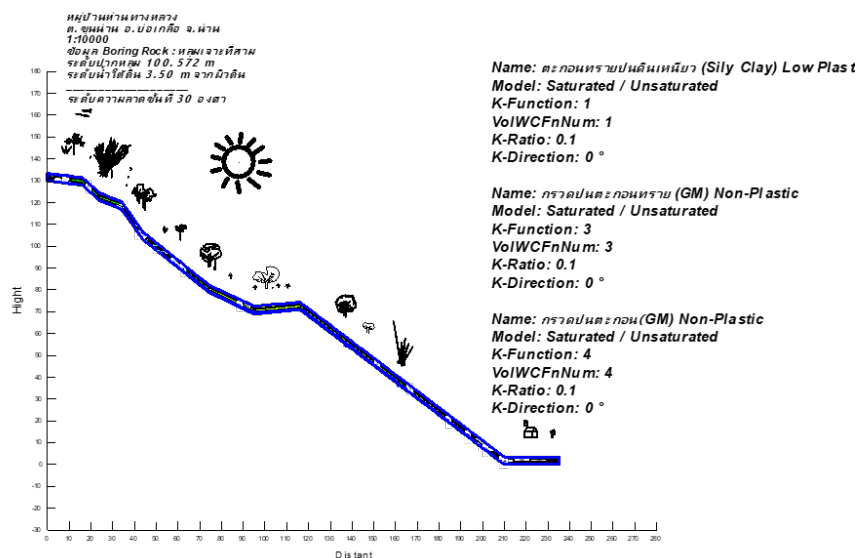
ขั้นตอนที่ 3 เป็นการออกสำรวจดินซึ่งประกอบไปด้วยการสำรวจดินในสนามแบบ Field density และการเจาะสำรวจ เพื่อนำดินบางส่วนมาทดลองในห้องปฏิบัติการ แล้วนำผลการวิเคราะห์ จากการใช้โปรแกรมเพื่อกำหนดเสถียรภาพความลาดชันหรือกำหนดค่าความปลอดภัย (FS.) ในพื้นที่ เชิงเขาที่มีความลาดชันแตกต่างกันไป

4. ผลการวิจัย

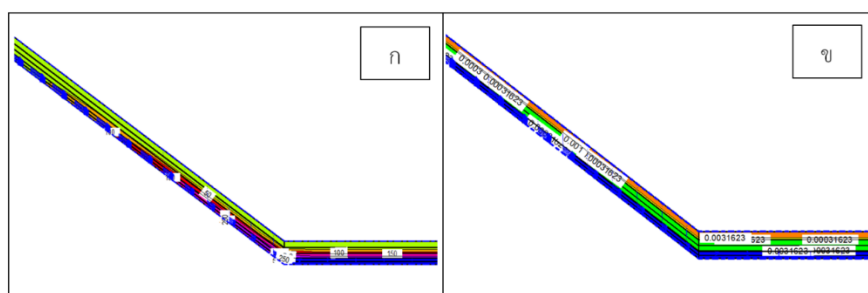
4.1 ผลการวิเคราะห์แรงดันน้ำระหว่างช่องว่างในอากาศ (Pore-water pressures)

จากการจำลองผลกระทบจากปริมาณน้ำฝนที่มีผลต่อความลาดชันของภูเขา ได้กำหนดระยะเวลาการวิเคราะห์ล่วงหน้าไว้ 50 ปี และมีระดับน้ำใต้ดิน (Water table) เท่ากับ 3.5 เมตร โดยกำหนดให้มีระดับน้ำขึ้นสูงสุดจากระดับน้ำใต้ดินเดิม 5 เมตร กระทำกับพื้นที่ ที่มีความลาดชัน ดังภาพที่ 1 และได้มีการจำลองในรูปแบบ V.D.O. Real Time ของ Pore-Water Pressures หรือเป็นการจำลองแบบ Animation สามารถดูได้ในแผ่นซีดีประกอบการวิเคราะห์

โดยสามารถอธิบายได้ว่าอัตราการซึมลงดินสูงสุด (Infiltration capacity) มีค่าลดลงตามระยะเวลา โดยลดลงถึงค่าต่ำสุดและคงที่โดยค่าต่ำสุดนี้จะใกล้เคียงกับ Hydraulic conductivity ของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยค่าของ Hydraulic conductivity นั้นจะขึ้นอยู่กับเนื้อดินเป็นหลัก ถึงกระนั้นยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้อัตราการซึมมากหรือน้อยกว่านี้ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลกระทบจากปริมาณน้ำฝนที่มีผลต่อความลาดชันของภูเขา



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์อัตราการซึมลงดินสูงสุด (infiltration capacity)

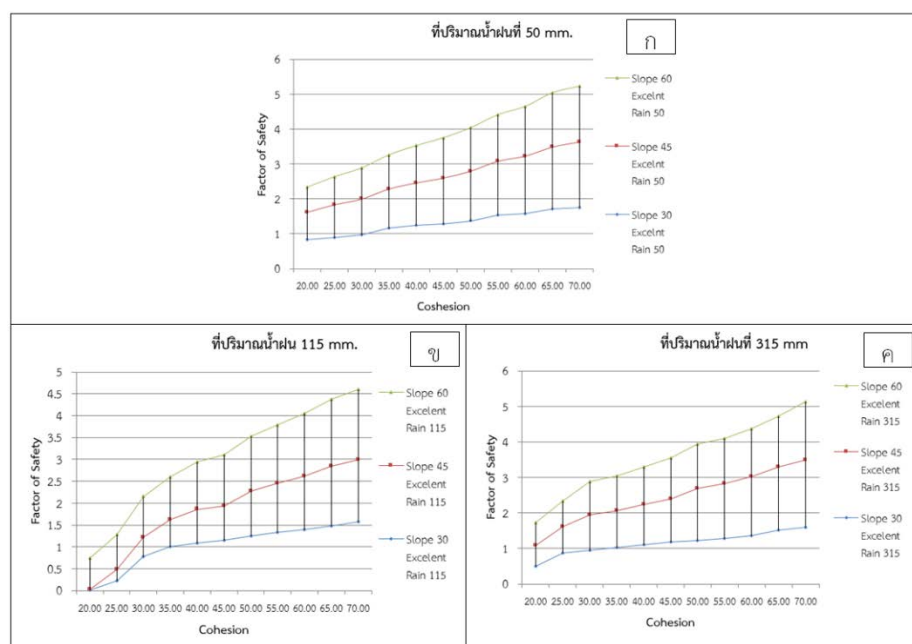
ก) ผลการวิเคราะห์แรงดันน้ำระดับ 30 องศา

ข) ความสามารถในการนำน้ำของดิน

4.2 ผลการวิเคราะห์วิธี Slope stability of finite element method

ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยความเสี่ยง ความปลอดภัย (FS.) ของพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยเสถียรภาพของความลาดชันลาดชันนั้นจะมีค่าความปลอดภัย (FS.) เพิ่มขึ้นไปตามระดับของค่า Cohesion ที่กำหนดไว้ ในในช่วง 10-80 kPa ของปัจจัยเสี่ยง เมื่อกำหนดค่าความปลอดภัยของคุณสมบัติดินใน ต.บ่อเกลือ จ.น่าน ละเอียดของจังหวัดน่าน FS. = 1.2 เมื่ออ้างอิงจากทฤษฎีค่าความปลอดภัยของเสถียรภาพความลาดชัน ของ วรากร ไ้มะเรียง (2542)

เมื่อพิจารณาจากกราฟการวิเคราะห์ ดังภาพที่ 3 เมื่อมีการเพิ่มปริมาณน้ำฝนที่กระทำกับระดับความลาดชันต่างๆ จะเห็นว่าอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนที่กระทำต่อความลาดชันมีการเปลี่ยนแปลงของขีดจำกัดความปลอดภัยน้อยมากเนื่องจากผลทำการวิเคราะห์นั้นได้กำหนดปริมาณการซึมลงดินได้เข้าจากดินชั้นบน



ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความลาดชันกับปริมาณน้ำฝน

ก) ระดับความลาดชันกับปริมาณน้ำฝน 50 มม.

ข) ระดับความลาดชันกับปริมาณน้ำฝน 115 มม.

ค) ระดับความลาดชันกับปริมาณน้ำฝน 315 มม.



ผลการวิเคราะห์ความลาดชันที่ 30 45 และ 60 ตามลำดับ ในสภาพป่าสมบูรณ์และมีฝนตกอยู่ที่ 50 mm สรุปได้ว่า ความลาดชันที่ 30 โดยกำหนดค่าความเชื่อมแน่นอยู่ในช่วง 10-75 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า $c = 25$ kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.164 ความลาดชันที่ 45 โดยกำหนดค่าความเชื่อมแน่นอยู่ในช่วง 25-75 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า $c = 40$ kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.12327 และความลาดชันที่ 60 โดยกำหนดค่าความเชื่อมแน่นอยู่ในช่วง 10-75 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า $c = 45$ kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.15284 ดังแสดงในภาพที่ 4

Slope 30 Excelt Rain 50							
Parametric study/N	Cohesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Factor Safety	ค่า FS ที่น้อยกว่า 1.2
1.00	10.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	0.834566	Not be safe
2.00	15.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	0.884577	Not be safe
3.00	20.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	0.962777	Not be safe
4.00	25.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.16437	Not be safe
5.00	30.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.24231	be safe
6.00	35.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.284	be safe
7.00	40.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.37067	be safe
8.00	45.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.54396	be safe
9.00	50.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.57685	be safe
11.00	55.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.71984	be safe
10.00	60.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.81984	be safe
						1.309432727	ปริมาณน้ำฝนที่ 50 mm
Slope 45 Excelt Rain 50							
Parametric study/N	Cohesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Factor Safety	ค่า FS ที่น้อยกว่า 1.2
1.00	25.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	0.787654	Not be safe
2.00	30.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	0.952536	Not be safe
3.00	35.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.03588	Not be safe
4.00	40.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.12327	Not be safe
5.00	45.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.2176	be safe
6.00	50.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.31631	be safe
7.00	55.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.42571	be safe
8.00	60.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.53577	be safe
9.00	65.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.64935	be safe
10.00	70.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.7632	be safe
11.00	75.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.87821	be safe
						1.335044545	
Slope 60 Excelt Rain 50							
Parametric study/N	Cohesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Factor Safety	ค่า FS ที่น้อยกว่า 1.2
1.00	20.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	0.71729	Not be safe
2.00	25.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	0.802061	Not be safe
3.00	30.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	0.888743	Not be safe
4.00	35.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	0.976526	Not be safe
5.00	40.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.06421	Not be safe
6.00	45.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.15284	Not be safe
7.00	50.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.2427	be safe
8.00	55.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.33246	be safe
9.00	60.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.42107	be safe
10.00	65.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.53551	be safe
11.00	70.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.59738	be safe
						1.158947273	

ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความลาดชันที่ 30 45 และ 60
ในสภาพป่าสมบูรณ์และมีฝนตกอยู่ที่ 50 mm

ผลการวิเคราะห์ความลาดชันที่ 30 45 และ 60 ตามลำดับ ในสภาพป่าสมบูรณ์และมีฝนตกอยู่ที่ 115 mm สรุปได้ว่า ความลาดชันที่ 30 โดยกำหนดค่าความเชื่อมแน่นอยู่ในช่วง 0-70 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า $c = 25$ kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.15814 ความลาดชันที่ 45 โดยกำหนดค่าความเชื่อมแน่นอยู่ในช่วง 0-70 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า $c = 55$



kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.12367 และความลาดชันที่ 60 โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่นแน่นอยู่ในช่วง 0-70 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า $c = 45$ kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.1667 ดังแสดงในภาพที่ 5

Slope 30 Excelent Rain 115						
Parametric study	c	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพป่า	ความลาดชัน°	FS.
1.00	0.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	0.015351
2.00	5.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	0.225306
3.00	10.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	0.775394
4.00	15.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.01422
5.00	20.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.07999
0.48	25.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.15814
7.00	30.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.24158
8.00	35.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.32495
9.00	40.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.40198
10.00	45.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.48364
11.00	50.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.57156
						1.026191909
Slope 45 Excelent Rain 115						
Parametric study	Cohesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Factor Safety
1.00	20.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.0080839
2.00	25.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.252287
3.00	30.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.446898
4.00	35.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.607351
5.00	40.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.778602
6.00	45.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.779425
7.00	50.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.03606
8.00	55.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.12367
9.00	60.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.2174
10.00	65.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.36589
11.00	70.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.41786
						0.821229718
Slope 60 Excelent Rain 115						
Parametric study	Cohesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Factor Safety
1.00	20.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.722823
2.00	25.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.80791
3.00	30.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.929512
4.00	35.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.987096
5.00	40.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.07702
6.00	45.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.1667
7.00	50.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.25657
8.00	55.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.34592
9.00	60.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.43422
10.00	65.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.52256
11.00	70.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.61087
						1.169200091

ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความลาดชันที่ 30 45 และ 60
ในสภาพป่าสมบูรณ์และมีฝนตกอยู่ที่ 115 mm

ผลการวิเคราะห์ความลาดชันที่ 30 45 และ 60 ตามลำดับ ในสภาพป่าสมบูรณ์และมีฝนตกอยู่ที่ 315 mm สรุปได้ว่า ความลาดชันที่ 30 โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่นแน่นอยู่ในช่วง 10-75 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า $c = 35$ kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.19228 ความลาดชันที่ 45 โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่นแน่นอยู่ในช่วง 10-75 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า $c = 20$ kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.1204 และความลาดชันที่ 60 โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่นแน่นอยู่ในช่วง 10-75 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า $c = 45$ kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.1575 ดังแสดงในภาพที่ 6



Slope 30 Excelent Rain 315						
Parametric study(N)	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Factor Safety
1.00	10.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.506348
2.00	15.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.874387
3.00	20.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.952044
4.00	25.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.0314
5.00	30.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.11132
7.00	35.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.19228
6.00	40.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.22714
8.00	45.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.2735
9.00	50.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.35192
10.00	55.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.52032
11.00	60.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.60348
						1.149458091
Slope 45 Excelent Rain 315						
Parametric study(N)	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Factor Safety
1.00	0.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.580434
2.00	5.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.749059
3.00	10.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.00267
4.00	15.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.03662
5.00	20.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.1204
0.48	25.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.20792
7.00	30.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.45719
8.00	35.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.56194
9.00	40.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.66526
10.00	45.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.77591
11.00	50.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.88959
						1.276999364
Slope 60 Excelent Rain 315						
Parametric study(N)	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพป่า	ความลาดชัน°	Factor Safety
1.00	20.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.637274
2.00	25.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.722152
3.00	30.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.921647
4.00	35.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.978155
5.00	40.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.06777
6.00	45.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.15751
7.00	50.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.24733
8.00	55.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.256
9.00	60.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.34566
10.00	65.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.43398
11.00	70.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.64473
						1.128382545

ภาพที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความลาดชันที่ 30 45 และ 60
ในสภาพป่าสมบูรณ์และมีฝนตกอยู่ที่ 315 mm

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ควรมีการศึกษา วิเคราะห์ความเสี่ยงการเกิดของปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของความลาดชันในพื้นที่จังหวัดอื่นๆ เพื่อที่จะสามารถนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบได้

เมื่อฝนตกหนักเป็นเวลานานโดยน้ำฝนจะไหลซึมลงไปในชั้นดินจนกระทั่งชั้นดินชุ่มน้ำไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ เนื่องจากความดันของน้ำในดินเพิ่มขึ้น (Piezometric head) เป็นการเพิ่มความดันในช่องว่างของเม็ดดิน (Pore pressure) ดันให้ดินมีการเคลื่อนที่ลงตามลาดเขาได้ง่ายขึ้น และนอกจากนี้แล้วน้ำที่เข้าไปแทนที่ช่องว่างระหว่างเม็ดดินทำให้แรงยึดเกาะ ระหว่างเม็ดดินลดน้อยลงส่งผลให้ดินมี กำลังรับแรงต้านทานการไหลของดินลดลงทำให้ความปลอดภัยของลาดดิน ลดลงไปด้วย และถ้าหากปริมาณน้ำในมวลดินเพิ่มขึ้นจนมวลดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ทวีศักดิ์ แตะกระโทก และ ผศ.ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชเชริญ คณะอาจารย์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง และการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาดำเนินการวิจัย ตลอดจนหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านข้อมูล และคำปรึกษาทุกท่านที่ทำงานวิจัยในครั้งนี้ประสบความสำเร็จด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- บรรพต กุลสุวรรณ. (2548). การศึกษาพฤติกรรมการพิบัติของลาดดินในพื้นที่ต้นน้ำของกลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำจันทบุรี. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วรกร ไม้เรียง. (2542). วิศวกรรมเขื่อนดิน (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ไลบรารีนาย.
- วินิต ช่อวิเชียร และวัฒนา ธรรมมงคล. (2532). ปฐพีกลศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ: ป.สัมพันธ์พาณิชย์.
- ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี. (2548). การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างประตูลอยนตด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- สง่า ตั้งชัชวาล. (2541). เสถียรภาพการขุดเจาะ (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สรารุณ จริตงาม. (2545). กลศาสตร์ของดิน (พิมพ์ครั้งที่ 1). สงขลา: ชานเมืองการพิมพ์.
- Fredlund, D.G. & Rahardjo, H. (1993). **Soil mechanics for unsaturated soils** (1st ed.). New York: John Wiley & Son, INC.