



คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี



3 1001 00380001 9

การพิสูจน์สภาพดินถล่มเชิงวิศวกรรมในกรณีศึกษาดินถล่มในอำเภอเปือยเกลือ

จังหวัดน่าน

The forensic study on engineering landslides,
in case of landslides in Nan

นายธีระพงษ์ บุญเทพ

รหัส 51370294

นายศิวะ โฉมทรัพย์เย็น

รหัส 52370477

วันที่พิมพ์	12 ก.ย. 2556
เลขทะเบียน	16431100
เลขเรียกหนังสือ	พร.
มหาวิทยาลัยธนบุรี	ปี 666 19

2556

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

ปีการศึกษา 2555



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการงาน การพิสูจน์สภาพดินถล่มเชิงวิศวกรรมในกรณีศึกษา
ดินถล่มในอำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน

ผู้ดำเนินโครงการงาน นายศิวะ โฉมทรัพย์เย็น รหัสนิต 52370477
นายธีระพงษ์ บุญเทพ รหัสนิต 51370294

ที่ปรึกษาโครงการงาน ผศ.ทิพย์วิมล ตะกระโทก

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา


.....ที่ปรึกษาโครงการงาน
(ผศ.ทิพย์วิมล ตะกระโทก)


กรรมการ
(ผศ.ดร.ทวีศักดิ์ ตะกระโทก)


กรรมการ
(ผศ.ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชเจริญ)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	การพิสูจน์สภาพดินถล่มเชิงวิศวกรรมในกรณีศึกษา ดินถล่มในอำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายศิวะ	โถมทรัพย์เย็น	รหัสสถิติ 52370477
	นายธีระพงษ์	บุญเทพ	รหัสสถิติ 51370294
ที่ปรึกษาโครงการงาน	ผศ.ทิพย์วิมล และกระโทก		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2555		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของดินถล่มในด้านความสามารถรับแรงเฉือนโดยมีการวิเคราะห์ล่วงหน้า 50 ปี ในเขต อ. บ่อเกลือ จ.น่าน โดยอ้างอิงการวิเคราะห์จากข้อมูลที่สำรวจในสนามและคู่มือการทำวิจัยเรื่องดิน

การวิเคราะห์ใช้วิธี วิธี Finite Element Method พิจารณาปัญหาเป็นแบบ 2 มิติในการประมาณค่าผลกระทบจากแรงดันช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Pore-Water pressure) เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจพฤติกรรมของเหตุการณ์ดังกล่าว และเป็นพื้นฐานความรู้สำหรับการเตรียมการป้องกันภัยจากดินถล่ม

ผลการศึกษาผลกระทบจากแรงดันช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Pore-Water pressure) ของดินหรือช่วงความสามารถในการรับแรงเฉือนในขณะที่ดินเกิดการพังทลาย โดยพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของความลาดชันเป็นตัวคงที่ ซึ่งได้มาจากการทดสอบในสนาม หมู่บ้านนาข่อย จ.น่าน

Project Title : The forensic study on engineering landslides,
in case of landslides in Nan

Name : Mr. Siwa Chomsupyen ID 52370477
: Mr. Teerapong Boonthep ID 51370294

Project Adviser : Asst. Prof. Tipwemol Taekratok

Major : Civil Engineering

Department : Civil Engineering

Academic Year : 2555

Abstract

This project studies behavior of landslides in term of shear strengths at failure in case of Lublae landslide, in the northern part. The analysis is based on field test data and laboratory test data and uses 2-dimension Plaxis Professional theory to estimate the magnitude of shear strength at failure in that case. With this knowledge, the understanding of behavior will be achieved in some level and can be used as one tool to repair, and protect landslide hazard.

The outcome of this study is in term of the approximate value of shear strength or range of shear strength at failure which the others stability factors are considered as constant parameters by testing those parameters in laboratory and field test.

กิตติกรรมประกาศ

ที่โครงการนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น ทางคณะผู้ดำเนินโครงการได้รับความกรุณาอย่างมากจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับคณะผู้ดำเนินโครงการ ได้แก่

ขอขอบคุณอาจารย์ ทิพย์วิมล ตะกระโทก ที่ให้ข้อมูล, หนังสือและคำแนะนำในการทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องสมุดที่ช่วยดำเนินการเรื่องการยืมหนังสือ

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณบิดามารดาที่ให้การอุปการะทั้งทางด้านการเงินและทางด้านจิตใจ จนกระทั่งทำให้โครงการนี้เสร็จสมบูรณ์



คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายคิระ

นายธีระพงษ์

โหมทรัพย์เย็น

บุญเทพ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	3
1.3 สมมุติฐานของโครงการ.....	4
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.5 วิธีการดำเนินโครงการ และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล.....	4
1.6 สรุปวิธีการดำเนินโครงการ.....	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 เสถียรภาพความลาดดิน.....	6
2.3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความลาดชัน.....	10
2.4 คุณสมบัติทางธรณีวิศวกรรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง.....	11
2.5 หลักการวิเคราะห์เสถียรภาพ.....	13
2.6 หลักการและแนวคิดเกี่ยวกับการตกของฝน.....	18

สารบัญ (ต่อ)

2.7 หลักการพื้นฐานของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	19
2.8 ความต่างระหว่างหลักการไฟไนต์เอลิเมนต์กับสภาวะการเกิดดินถล่มจริง.....	22
บทที่ 3 การวิเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยดินโคลนถล่ม.....	24
3.1 การสำรวจพื้นที่เสี่ยงภัยระดับชุมชนจากแผนที่ภูมิประเทศ.....	24
3.2 การจำลองสภาวะธรรมชาติกับโปรแกรม Geo Studio 2007	26
3.3 การกำหนดที่มาของพารามิเตอร์ที่นำไปวิเคราะห์ปัจจัย.....	27
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์.....	31
4.1 ผลการวิเคราะห์แรงดันน้ำระช่องว่างในอากาศ.....	31
4.2 ผลวิเคราะห์วิธี Slop Stability of Finite Element method	33
บทที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์.....	44
สรุปผลการวิเคราะห์จากรูปที่ 5.1.1.....	44
5.2 ผลสรุปจากรูปที่ 5.2.2.....	46
5.3 ผลสรุปจากรูปที่ 5.3.2.....	48
5.4 สรุปผลโดยรวม	50
เอกสารอ้างอิง.....	ญ
ภาคผนวก ก.....	ฎ
ภาคผนวก ข.....	ฏ

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 Slope 30 Excelnt Rain 50.....	34
4.2 Slope 45 Excelnt Rain 50.....	35
4.3 Slope 30 Excelnt Rain 315.....	36
4.5 Slope 60 Excelnt Rain 315.....	38
4.6 Slope 30 Excelnt Rain 115.....	39
4.7 Slope 45 Excelnt Rain 115.....	40
4.8 Slope 60 Excelnt Rain 115.....	41



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนภาพแสดงสาเหตุหลักของการเกิดดินถล่ม ซึ่งเกิดจากฝนตกหนักอย่างต่อเนื่องในพื้นที่เหนือภูเขาที่มีความลาดชันสูง ชั้นดินหนา และรองรับด้วยชั้นหินที่ผุกร่อนง่าย	2
1.2 เศษหินหล่นอาจเกิดจากฝนตกหนักหรือแผ่นดินไหว.....	2
1.3 การไถลตัว.....	2
2.1รูปแบบจำลองลักษณะของ Rock fall	7
2.2รูปแบบจำลองลักษณะของ Rotational slide	..
2.3ลักษณะของ Rotational slide	.
2.4รูปแบบจำลองลักษณะของ Translational slide	
2.5ลักษณะของ Translational slide ที่อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์.....	9
2.6รูปแบบจำลองลักษณะของ Earth flow	.10
2.7ตั้งกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Volumetric water contentกับ Soil Suction	..12
2.8สมดุลของการหมุน (Moment equilibrium).....	13
2.9สัมประสิทธิ์ความเสถียรภาพของ Taylor สำหรับกรณี Taylor (1937).....	14
2.10 Ordinary Method of Slices	1
2.11 Simplified Bishop	..16
2.12วิธีWedgeMethod	.17
2.13วิธีWedgeMethod	.1
2.15 ชิ้นส่วนสามเหลี่ยม.....	22
3.1 พื้นที่เสี่ยงภัยระดับชุมชนจากแผนที่ภูมิประเทศ.....	24
3.2 Cross-Sections and Relief Mapping	25
3.3 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยพื้นฐานกับพื้นที่จำลอง.....	25
3.4 ภาพการจำลองสภาวะธรรมชาติ.....	26
3.5 แบบจำลองการวิเคราะห์ความลาดชันที่ระดับ 45 องศา.....	28
3.6 ผลการวิเคราะห์เส้นคอนทัวร์ของแรงดันน้ำที่กระทำกับผิวดินชั้นบน.....	28

3.7	สถานะการไหลซึมของน้ำเมื่อเทียบกับช่วงเวลาการวิเคราะห์.....	29
3.8	ความสามารถในการนำน้ำของดิน (Hydraulic Conductivity).....	29
3.9	จำลองเส้นคอนทัวร์ที่เกี่ยวข้องกับสถานะการไหลของน้ำที่ขึ้นอยู่กับดินแต่ละประเภท.....	30
3.10	จำลองความเค็มที่สถานะช่วงแรกเริ่ม.....	30
4.1	ผลกระทบจากปริมาณน้ำฝนที่มีผลต่อความลาดชันของภูเขา.....	31
4.2	ผลการวิเคราะห์แรงดันน้ำระดับ 30 องศา.....	32
4.3	ความสามารถในการนำน้ำของดิน (Hydraulic Conductivity).....	32
4.4	ระดับความลาดชันกับปริมาณน้ำฝน 50 มิลลิเมตร.....	42
4.5	ระดับความลาดชันกับปริมาณน้ำฝน 115 มิลลิเมตร.....	42
4.6	ระดับความลาดชันกับปริมาณน้ำฝน 315 มิลลิเมตร.....	42
5.1.1	กราฟสรุปผลวิเคราะห์.....	44
5.1.2	ตารางผลวิเคราะห์.....	45
5.2.1	กราฟสรุปผลวิเคราะห์.....	46
5.2.2	ตารางผลวิเคราะห์.....	47
5.3.1	กราฟสรุปผลวิเคราะห์.....	48
5.3.2	ตารางผลวิเคราะห์	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ดินถล่ม (Landslide) คือปรากฏการณ์ที่ส่วนของพื้นดิน ไม่ว่าจะ เป็นก้อนหิน ดิน ททราย โคลน หรือเศษดิน เศษต้นไม้ไหล เลื่อน เคลื่อน ถล่ม พังทลาย หรือหล่น ลงมาตามที่ลาดเอียง อันเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลกในขณะที่สภาพส่วประกอบของชั้นดิน ความชื้นและความชุ่มน้ำในดิน ทำให้เกิดการเสียสมดุล

ดินถล่มเป็นปรากฏการณ์ที่มีมาแต่สร้างโลกอาจเป็นเพียงเล็กน้อยเพียงก้อนหินก้อนเดียวที่ตกหรือหล่นลงมา หรือเศษของดินจำนวนไม่มากที่ไหลลงมา หรืออาจเกิดรุนแรงใหญ่โต เช่น ภูเขาหรือหน้าผา หรือลากเขาพังทลายลงมาก็ได้ และอาจเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด หรือค่อยๆ เป็นไปช้าๆ ก็ได้ จนกว่าจะเกิดความสมดุลใหม่จึงหยุด

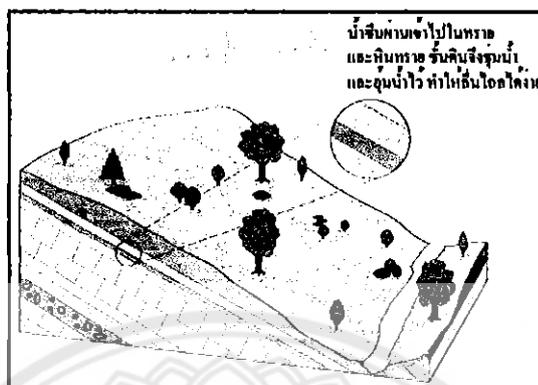
เนื่องจากในระยะหลังๆนี้ดินถล่มปรากฏเป็นข่าวบ่อยมากขึ้นทำให้เกิดความเสียหายแก่ทรัพย์สินและชีวิตมากขึ้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจศึกษาเพื่อหาทางป้องกันและหลีกเลี่ยงอันตรายที่จะเกิดขึ้น

สาเหตุและกลไกการเกิดดินถล่ม-โคลนถล่ม

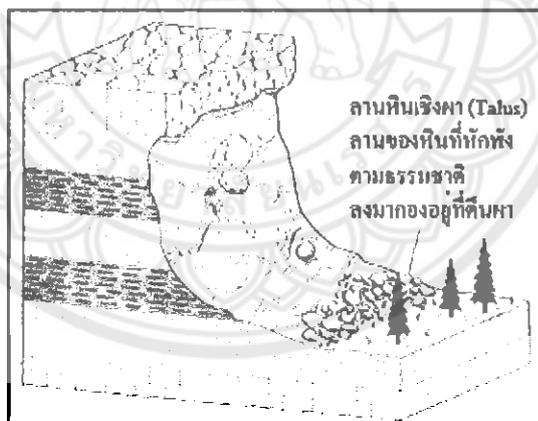
มักจะอธิบายกันง่าย ๆ ว่า ดินถล่มและโคลนถล่มเกิดจากการที่ฝนกระหน่ำลงมาอย่างหนักบนภูเขาที่มีการตัดไม้ทำลายป่า ทำให้ดินอุ้มน้ำไม่ได้มากและไม่มีรากต้นไม้คอยยึดเกาะเอาไว้ ยิ่งในกรณีที่มี “ผู้ใหญ่” ไปตรวจเยี่ยมหลังน้ำลดแล้วเห็นกองไม้ที่ถูกน้ำป่าพัดพามากองพะเนินสุดแสนอลังการก็ยิ่งทำให้มั่นใจในทฤษฎีนี้ ส่งผลให้ “ผู้น้อย” ที่รับผิดชอบในบริเวณนั้นต้องรีบดำเนินการหาผู้กระทำผิดกันจ้าละหวั่น

คำอธิบายที่ว่ามานี้แม้จะไม่ผิดแต่ก็ยังไม่ครบ เพราะยังขาดมุมมองทางธรณีวิทยาและปฐพีวิทยา คำว่า “ดินถล่ม” และ “โคลนถล่ม” ที่สื่อมวลชนและกรมทรัพยากรธรณีชอบใช้นั้นเป็นคำพูดง่าย ๆ ขณะที่นักธรณีวิทยามีศัพท์วิชาการเรียกเหตุการณ์ลักษณะนี้แบบรวม ๆ ว่า การย้ายมวล (mass wasting) ซึ่งหมายถึงการที่ดิน โคลน หรือหิน เคลื่อนที่จากที่สูงลงสู่ที่ต่ำเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนคำว่า แผ่นดินถล่มหรือแผ่นดินเลื่อน (landslide) นั้น มีความหมายกว้างกว่า โดยหมายถึงการย้ายมวล + การเคลื่อนไหวของแผ่นดินในรูปแบบอื่น ๆ เช่นแผ่นดินไหวเข้าไปด้วย

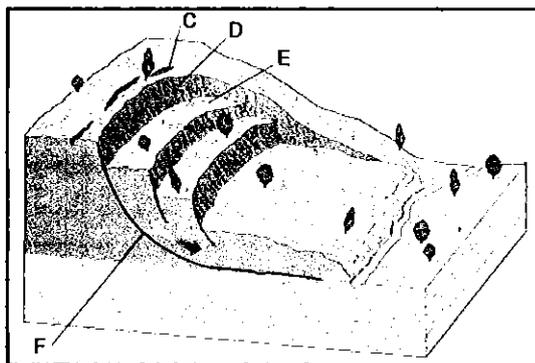
อย่างไรก็ดี คำว่าการย้ายมวลนั้นก็ยังคงค่อนข้างกว้าง เพราะถ้าจะให้ชัดเจนก็ต้องบอกว่า มวลของอะไร ย้ายอย่างไร และเร็วแค่ไหน ตัวอย่างเช่นแผนภาพแสดงสาเหตุหลักของการเกิดดินถล่ม ดังรูป 1.1 และ 1.2



รูปที่ 1.1 แผนภาพแสดงสาเหตุหลักของการเกิดดินถล่ม ซึ่งเกิดจากฝนตกหนักอย่างต่อเนื่องในพื้นที่เหนือภูเขาที่มีความลาดชันสูง ชั้นดินหนา และรองรับด้วยชั้นหินที่ผุร่อนง่าย
(ที่มา :Essentials of Geology, third edition, 2002)



รูปที่ 1.2 เศษหินหล่นอาจเกิดจากฝนตกหนักหรือแผ่นดินไหว
(ที่มา :Essentials of Geology, third edition, 2002)



รูปที่ 1.3 การไถลตัว

(ที่มา :Essentials of Geology, third edition, 2002)

คำอธิบายใต้รูปที่ 1.3

- (C) รอยแตก (Fracture) รอยแตกในหินที่อาจมีการเลื่อนตัวหรือไม่ก็ได้
- (D) ผาชัน หรือ ผาตั้ง (Scarp) หน้าผาที่ชันมาก
- (E) บล็อกเลื่อนไถล (Slump block) พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยาให้ความหมายของคำว่า slump หรือการเลื่อนไถล ไว้หลายความหมาย หนึ่งในนั้นหมายถึง การเคลื่อนที่ของมวลหินหรือเศษดินเศษหินลงมาตามความลาดชัน
- (F) พื้นผิวที่เกิดการแตกแยก (Surface of rupture)
- ถ้าหินร่วงหล่นจากหน้าผาอย่างรวดเร็วก็เรียกว่า เศษหินหล่น (rock fall)
- ถ้าพื้นผิวบริเวณกว้างตามลาดเขาขยับตัวไถลโค้งเคลื่อนลงไปอย่างช้า ๆ ก็เรียกว่า การไถลตัว (slump)
- ถ้าดิน (หรือหินผุ) เลื่อนไหลลงมาจากไหล่เขาอย่างช้าๆ ก็เรียก ดินไหล (earth flow) แต่ถ้ามีปริมาณน้ำมากจนเคลื่อนได้เร็วขึ้น เรียกว่า โคลนไหล (mud flow) ซึ่งอาจเร็วถึง 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ประเมินค่าความถ่วงน้ำหนักในการวิเคราะห์ความเสี่ยงดินถล่มโดยวิธี Finite Element Method

1.3 สมมุติฐานของโครงการ

การวิเคราะห์วิธี Finite Element Method จะได้ค่าสัดส่วนความปลอดภัย (Factor Safety, FS.) ของปริมาณน้ำฝนกระทำต่อความลาดชันแล้วนำไปวิเคราะห์ความเสี่ยงการเกิดของดินโคลนถล่ม

1.4 ขอบเขตการศึกษา

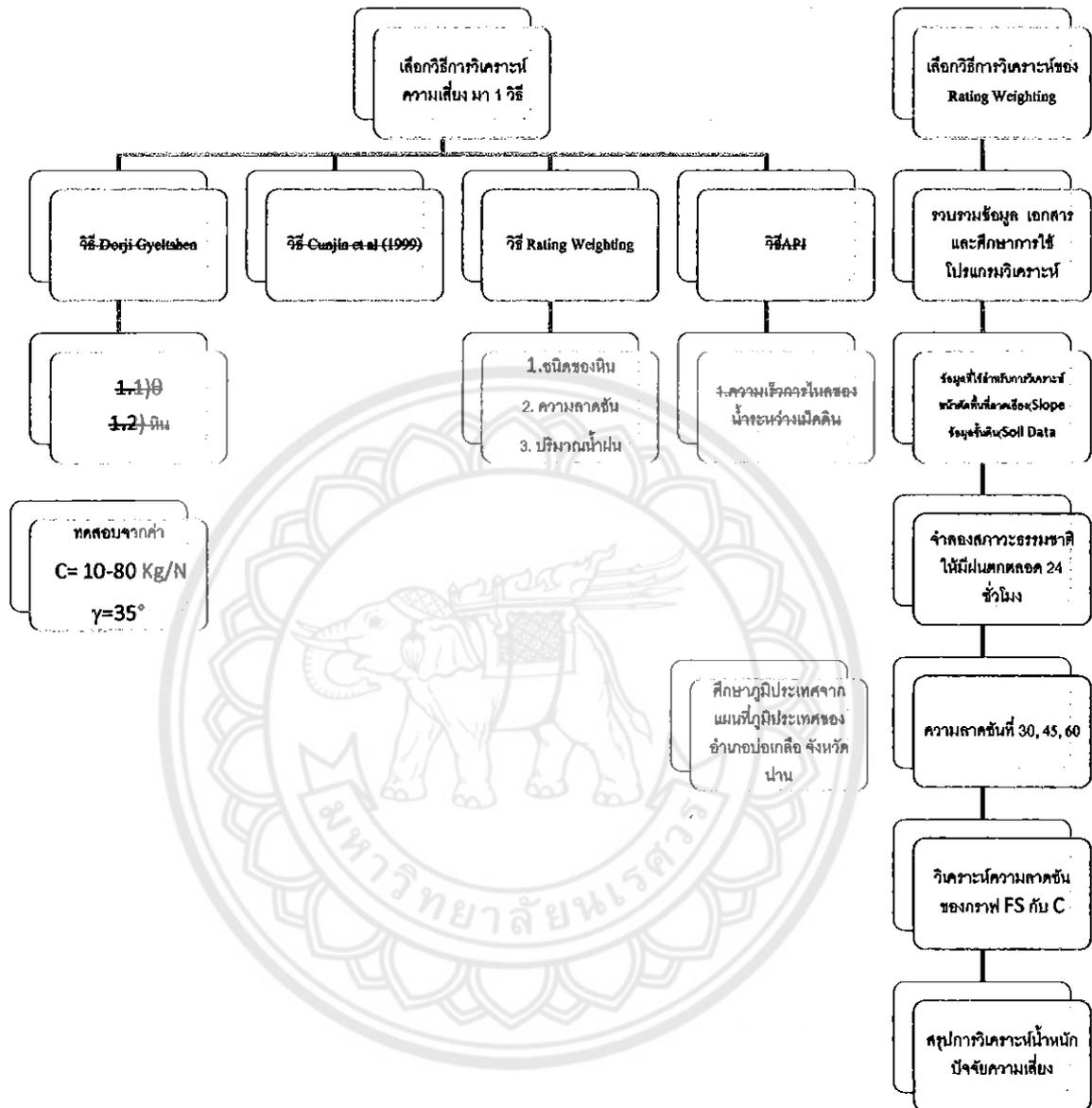
- 1) การวิเคราะห์วิธี Finite Element Method พิจารณาปัญหาเป็นแบบ 2 มิติ
- 2) ศึกษาการทดลองหาค่าความหนาแน่นในดิน (Field Density และการเจาะสำรวจ)
- 3) ดินชั้นบนเพื่อหาค่า γ จากการทดลองเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการจำลองเสถียรภาพความลาดชัน
- 4) การศึกษาภูมิประเทศจากภาพถ่ายดาวเทียมของ หมู่บ้านห่านทางหลวง อ.บ่อเกลือ จ.น่าน มาตราส่วน 1:10000
- 5) 1.4.4 กำหนดช่วงเวลาในการวิเคราะห์ พื้นที่ความลาดชันล้นหน้า 50 ปี
- 6) ใช้โปรแกรม Geo Slope 2007 ในการวิเคราะห์จำลองสภาวะธรรมชาติ

1.5 วิธีการดำเนินโครงการ และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

วิธีการดำเนินการทดลองนั้นจะต้องทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติของดิน ความลาดชัน การศึกษาโปรแกรมเพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเสียก่อน แล้วเข้าสู่ขั้นตอนดังกล่าวซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน

- ขั้นตอนที่ 1 เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลและเอกสารชั้นดินและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในสภาวะธรรมชาติ แล้วกรอกข้อมูลลงโปรแกรม Geo Slop 2007 ที่จะใช้ช่วยในการจำลองสถานการณ์อนาคต
- ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาภูมิประเทศในบริเวณที่มีความสูงมากจากภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อนำมาวิเคราะห์หาความลาดชันในพื้นที่จุดต่างๆตามบริเวณเชิงเขาทั่วจังหวัดน่าน
- ขั้นตอนที่ 3 เป็นการออกสำรวจดินซึ่งประกอบไปด้วยการสำรวจดินในสนามแบบ Field Density และการเจาะสำรวจเพื่อนำดินบางส่วนมาทดลองในห้องปฏิบัติการ แล้วนำผลการวิเคราะห์จากการใช้โปรแกรมเพื่อกำหนดเสถียรภาพความลาดชันหรือกำหนดค่าความปลอดภัย(FS.) ในพื้นที่เชิงเขาที่มีความลาดชันแตกต่างกันไป

1.6 สรุปวิธีการดำเนินโครงการ



1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาวิธีการป้องกันภัยจากดินถล่มในเขต จังหวัดน่าน
- 2) เพื่อศึกษาวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดของดินซึ่งสามารถทำนายการเกิดภัยธรรมชาติล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำ
- 3) ได้ประโยชน์จากการใช้โปรแกรมซึ่งเป็นโปรแกรมที่นำไปใช้งานได้จริง และนำไปแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมปฐพีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 บทนำ

การถล่มของดิน (Landslide) ตามธรรมชาติเกิดจากการเคลื่อนตัวขึ้นหรือลงของวัสดุลาดดิน (Slope material) เนื่องจากการสูญเสียกำลังต้านทานแรงเฉือน การถล่มของแผ่นดินตามธรรมชาติ อาจสังเกตได้จากภาพถ่ายทางอากาศหรือการสำรวจทางธรณี นอกจากการถล่มของดินตามธรรมชาติแล้ว การถล่มของดินยังเกิดขึ้นกับโครงสร้างที่ถูกสร้างขึ้นโดยมนุษย์ เช่น เขื่อนดิน วิศวกร จะต้องให้ความสำคัญกับการเลือกใช้วัสดุและขั้นตอนการก่อสร้างเพื่อหลีกเลี่ยงการวิบัติของลาดดิน ระหว่างและหลังการก่อสร้าง การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินจะเกี่ยวข้องกับการหาค่าอัตราส่วนปลอดภัย (Factor of safety) ด้านการวิบัติของลาดดิน

2.2 เสถียรภาพความลาด ดิน (Slope Stability)

2.2.1 สาเหตุของการพิบัติดิน

ปัจจัยภายนอก ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงเฉือนในขณะที่กำลังต้านทานแรงเฉือนของวัสดุคงเดิม การวิบัติอาจเกิดเนื่องจากการเพิ่มความชันของลาดดิน และแผ่นดินไหว เป็นต้น

ปัจจัยภายใน ได้แก่สาเหตุทั้งหมดที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของมวลดินโดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงความชันและหน่วยแรงเฉือนในวัสดุลาดดิน เกิดเนื่องมาจากการลดลงของกำลังต้านทานแรงเฉือนซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของความดันโพรง การชะล้างของเกลือ (Leaching of salt) การแตกสลายของพันธะเชื่อมประสานธรรมชาติ (Breakage of cementation bonds) และการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) เป็นต้น

กระบวนการเกิดดินถล่ม

- เมื่อฝนตกหนัก น้ำจะซึมลงไปดินอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ดินอุ้มน้ำจนอิ่มตัว แรงยึดเกาะระหว่างมวลดินจะลดลง
- ระดับน้ำใต้ผิวดินสูงขึ้นจะทำให้แรงต้านทานการเคลื่อนไหลของดินลดลง
- เมื่อน้ำใต้ผิวดินมีระดับสูงก็จะไหลภายในช่องว่างของดิน ลงมาตามความชันของลาดเขา
- เมื่อมีการเปลี่ยนความชัน ก็จะเกิดเป็นน้ำผุดและเป็นจุดแรกที่มีการเคลื่อนไหลของดิน

- เมื่อเกิดดินเลื่อนไหลแล้ว ก็จะทำให้ต่อเนื่องขึ้นไปตามลาดเขา

2.2.2 การจำแนกประเภทของการพิบัติ

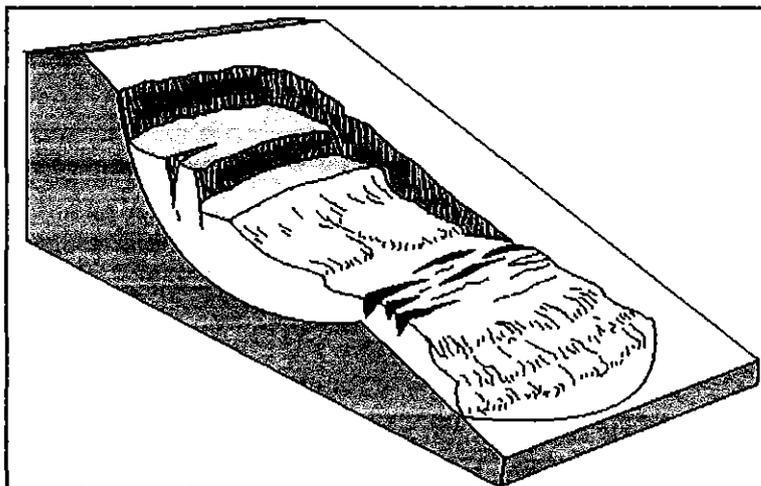
1)การร่วงหล่น (Fall)การร่วงหล่น (Falls) เป็นการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วลงมาตามลาดเขาหรือหน้าผาสูงชัน โดยอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลก อาจเกิดการตกอย่างอิสระ หรือมีการกลิ้งลงมาตามลาดเขาร่วมด้วย โดยมีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องน้อย หรือไม่มีส่วนเกี่ยวข้อง ดังนั้นตะกอนดินหรือหินที่พังทลายลงมาจากกองสะสมกันอยู่บริเวณเชิงเขาหรือหน้าผานั้นเอง ถ้าเป็นหน้าผาหินและตะกอนที่ตกลงมาส่วนมากเป็นหิน เรียกว่า “Rock fall” (รูปที่ 2.1) ส่วนถ้าเป็นหน้าผาดินและตะกอนที่ตกลงมาเป็นดินเม็ดหยาบ เรียกว่า “Debris fall” และถ้าตะกอนที่ตกลงมาเป็นดินเม็ดละเอียด เรียกว่า “Earth fall”



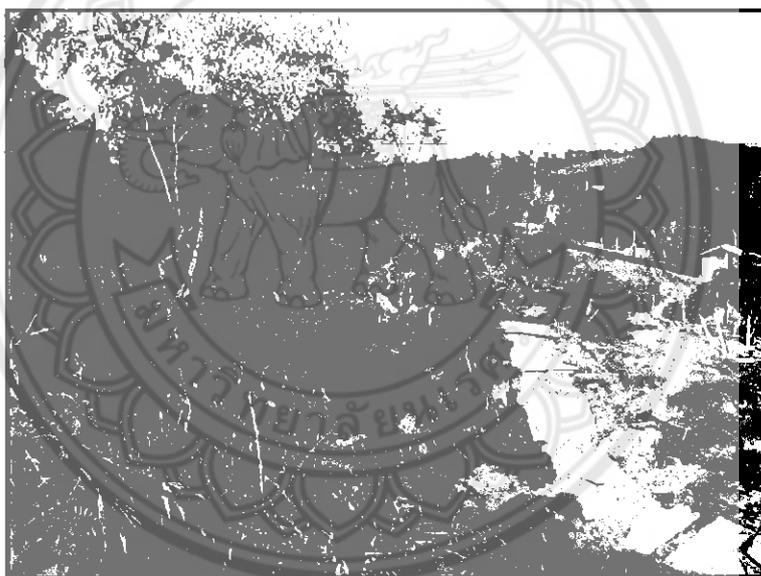
รูปที่2.1รูปแบบจำลองลักษณะของ Rock fall

(คัดลอกจาก L.M. Highland and P. Bobrowsky, 2008)

2)การเคลื่อนหมุน (Rotational Slides)เป็นการสไลด์ ของวัตถุลงมาตามระนาบของการเคลื่อนที่มีลักษณะโค้งครึ่งวงกลมคล้ายช้อน (Spoon-shaped) ทำให้มีการหมุนตัวของวัตถุขณะเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่จะเป็นไปอย่างช้าๆ(รูปที่ 2.2และ 2.3) ซึ่งลักษณะดังกล่าวมักเกิดขึ้นในบริเวณที่ดินมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous material) เช่น บริเวณที่ชั้นดินหนามากหรือ ดินที่นำมาถม เป็นต้น

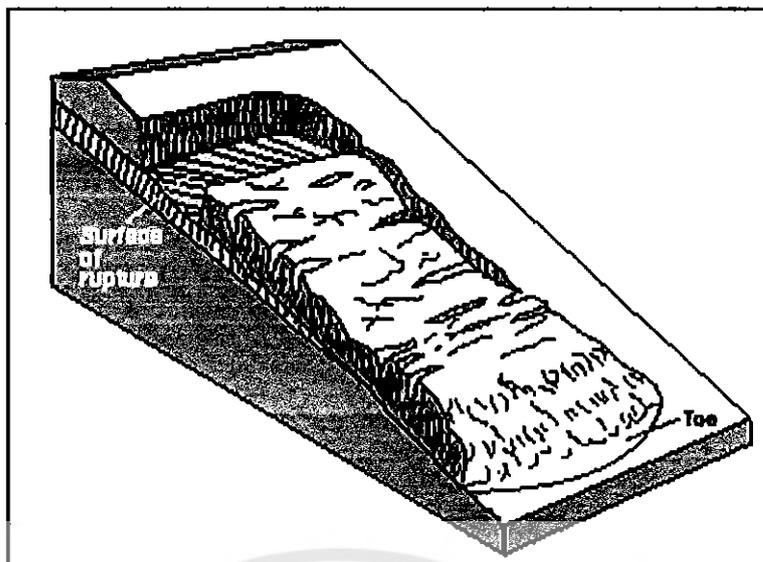


รูปที่ 2.2 รูปแบบจำลองลักษณะของ Rotational slide
(คัดลอกจาก L.M. Highland and P. Bobrowsky, 2008)



รูปที่ 2.3 ลักษณะของ Rotational slide ที่บ้านน้ำทิ อำเภอบึงสามพัน จังหวัดน่าน
เส้นสีแดงแสดงขอบเขตแนวที่เกิดการ slide เส้นสีน้ำเงินแสดงทิศทางการ slide
(ภาพถ่ายโดย ประดิษฐ์ นูเล)

3) การเคลื่อนแนวระนาบ (Translational slide) เป็นการเคลื่อนไถลลงมาตามระนาบการเคลื่อนที่มีลักษณะค่อนข้างตรง ส่วนใหญ่เป็นการเคลื่อนที่ตามระนาบของโครงสร้างทางธรณีวิทยา เช่น ตามระนาบรอยแตก (joint) ระนาบทิศทางการวางตัวของชั้นหิน (bed) รอยต่อระหว่างชั้นดินและหิน (รูปที่ 2.4 และ 2.5)

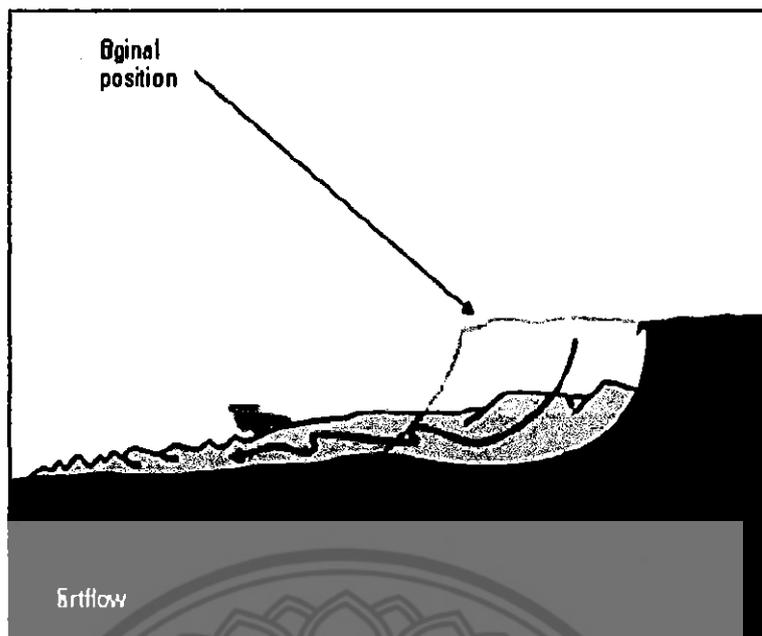


รูปที่ 2.4 รูปแบบจำลองลักษณะของ Translational slide
(คัดลอกจาก L.M. Highland and P. Bobrowsky, 2008)



รูปที่ 2.5 ลักษณะของ Translational slide ที่อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์
ซึ่งเกิดจากกระแสน้ำกัดเซาะบริเวณตีนของลาดเขา (ภาพถ่ายโดย ประดิษฐ์ นูเล)

4) การเลื่อนไหล (Flows) กระบวนการเกิดดินถล่มมีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องมากที่สุด น้ำทำให้ ตะกอนมีลักษณะเป็นของไหลและเคลื่อนที่ไปบนพื้นระนาบลาดเขา ลงไปกองทับถมกันที่ช่วงล่างของ ลาดเขาหรือเชิงเขา ตะกอนอาจเคลื่อนที่ไปได้เป็นระยะทางไกล และความเร็วในการเคลื่อนที่อาจสูงมาก ถ้าลาดเขามีความชันสูง



รูปที่ 2.6 รูปแบบจำลองลักษณะของ Earth flow
(คัดลอกจาก L.M. Highland and P. Bobrowsky, 2008)

2.3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความลาดชัน

1) ลักษณะภูมิประเทศของลาดชัน (Geometry of slope surface) สภาพภูมิประเทศที่ทำให้เกิดดินถล่มได้ง่าย ได้แก่ พื้นที่ที่มีความลาดชันสูง หรือมีทางน้ำคดเคี้ยวจำนวนมากนอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะภูมิประเทศที่เป็นร่องเขาด้านหน้ารับน้ำฝนและบริเวณที่เป็นหุบเขากว้างใหญ่ สลับซับซ้อนแต่มีลำน้ำหลักเพียงสายเดียวจะมีโอกาสเกิดดินถล่มได้ง่ายกว่าบริเวณอื่นๆ สภาพภูมิประเทศโดยทั่วไปของจังหวัดน่าน ส่วนใหญ่ประกอบด้วยภูเขามีสภาพความสูง 600-1,200 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล มีความลาดชันเกินกว่า 30 องศา โดยมีเนื้อที่ประมาณร้อยละ 85 ของเนื้อที่จังหวัด ลักษณะเป็นภูเขาสูงคดเคี้ยวลาดชัน และลูกคลื่นลอนชัน ภูเขาที่มีความสูงมาก ส่วนใหญ่อยู่บริเวณเทือกเขาหลวงพระบางเขตชายแดนติดกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ภูเขาที่สำคัญ ได้แก่ ภูแว ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของเขตอำเภอปัว เป็นต้นภูเขาที่สูงที่สุดในจังหวัดน่าน คือ ดอยภูคา มีความสูง 1,980 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลางตั้งอยู่ทาง ทิศตะวันออกเฉียงใต้ในเขตท้องที่อำเภอปัว เนื่องจากสภาพพื้นที่เป็นภูเขาสูงทำให้มีลุ่มน้ำและแหล่งน้ำที่เป็นต้นกำเนิดของต้นน้ำลำธารสำคัญหลายสาย เช่น แม่น้ำน่าน แม่น้ำสา แม่น้ำว่า แม่น้ำสมุน แม่น้ำหลง แม่น้ำปัว แม่น้ำกอน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีลำธารและลำห้วยจำนวนมากชาวบ้านจึงมักตั้งถิ่นฐานบ้านเรือนอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำ ซึ่งอาจจะเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยต่อดินโคลนถล่มและน้ำป่าไหลหลาก ส่วนพื้นที่ราบลุ่มมีเป็นส่วนน้อย ได้แก่ ที่ราบกว้างใหญ่อยู่ในลุ่มน้ำน่าน – สาดตามลำน้ำน่าน และที่ราบลุ่มแคบๆ อยู่แถบอำเภอนาน้อยตอนใต้ อำเภอท่าวังผา อำเภอปัว อำเภอเชียงกลาง และอำเภอทุ่งช้าง

2) ลักษณะของชั้นดิน / หิน (Soil and/or Rock Profiles) หินต่างชนิดกันจะมีอัตราการผุพังต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ไม่เหมือนกัน และเมื่อผุพังกลายเป็นดินจะให้ลักษณะดินที่แตกต่างกันด้วยเช่น หินแกรนิต มีอัตราการผุพังสูงเมื่อผุพังแล้วจะได้ชั้นดินทรายร่วนหรือดินทรายปนดินเหนียว หินภูเขาไฟมีอัตราการผุพังสูงใกล้เคียงกับหินแกรนิต เมื่อผุพังได้ชั้นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินเหนียวหินดินดาน-หินโคลน เมื่อผุพังจะได้ชั้นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายเป็นต้น ลักษณะทางธรณีวิทยาของจังหวัดน่าน ด้านตะวันออกที่เป็นเทือกเขาหลวงพระบาง ติดชายแดนลาว จะเป็นหินตะกอนจำพวกหินกรวดมน หินทราย หินดินดาน และหินโคลนของยุคจูแรสซิก ถึงครีเทเชียส ตอนกลางของจังหวัด จะเป็นส่วนผสมของหินตะกอนและหินอัคนี จำพวกหินทราย หินปูน หินดินดาน หินทัฟฟ์เนื้อไรโอไลต์ผสมเนื้อแอนดีไซต์ที่ถูกแปรสภาพ ด้านตะวันตก จะมีหินหลากหลายจำพวกที่เกิดในยุคไทรแอสซิกถึงจูแรสซิก ที่สำคัญ ได้แก่ หินกรวดมน หินทราย หินทรายแป้ง และหินโคลนบางส่วน มีหินกลุ่มลำปาง ที่เป็นหินโคลนปนหินปูนผสมหินทราย และ หินทรายแป้ง ปรากฏเป็นบริเวณกว้างในเขตอำเภอสองแคว ท่าวังผา และบ้านหลวง ภายในจังหวัด มีหินอัคนีจำพวกแอนดีไซต์ หินไรโอไลต์ และหินทัฟฟ์ปรากฏแทรกอยู่เป็นแนวในเขตอำเภอบ้านหลวง นอกจากนี้ยังมีหินอัคนีจำพวกหินแกรนิต และหินไพรอกซีนต์ ปรากฏให้เห็นเป็นหย่อมๆ ในเขตอำเภอบ่อเกลือ สันติสุข และแม่จริม

3) ระดับน้ำใต้ดิน หรือ แรงดันน้ำในมวลดิน (Ground Water Level or Pore Pressure)

- จากข้อมูลชั้นดิน (Soil Boring)
- จากเครื่องมือตรวจวัด เช่น Piezometers
- จากการคำนวณหรือการแปรผลข้อมูล
- จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

2.4 คุณสมบัติทางธรณีวิศวกรรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

2.4.1 คุณสมบัติทางธรณีวิศวกรรม (Basic Properties)

คุณสมบัติพื้นฐานทางธรณีวิศวกรรมจะประกอบไปด้วยการทดสอบ การหาค่า ความชื้นแห้ง ความชื้นเปียก (Field Density), การทดสอบหาแรงเฉือนในมวลดิน (Direct Shear)

2.4.2 คุณสมบัติทางด้านกำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength)

กำลังรับแรงเฉือนของดินเป็นคุณสมบัติที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเสถียรภาพของลาดดิน ซึ่ง คุณสมบัติทางด้านนี้จะได้มาจากการทดสอบเฉือนตรง (Direct Shear Test)

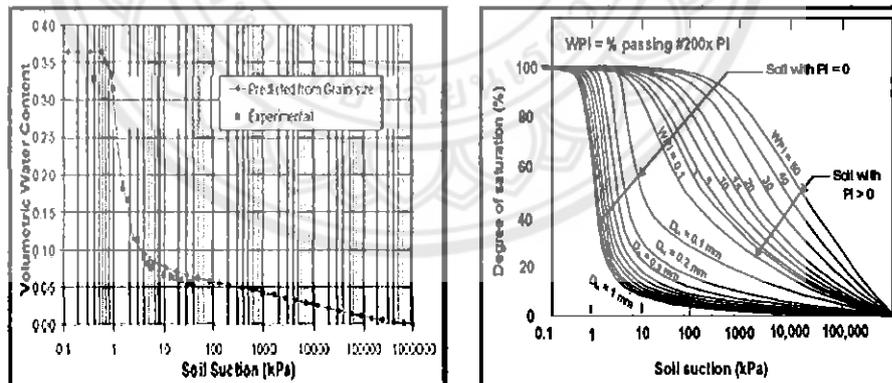
2.4.3 คุณสมบัติทางการไหลซึมของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Permeability Funtion)

การสร้างแบบจำลองการไหลซึมของลาดดินในธรรมชาติ จำเป็นต้องนำความรู้ในทางด้านกลศาสตร์ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำของดิน (Unsatrate Soil Mechanics) มาประกอบเนื่องจากลาดดินจะมีลักษณะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำของดิน (Unsatrate Soil) การสร้างแบบจำลองจำเป็นต้องใช้คุณสมบัติการไหลซึมของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Permeability Funtion) ซึ่งสามารถหาได้จากวิธีการทดสอบและสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

- การทดสอบความซึมในในห้องปฏิบัติการและในสนาม (Permeability Funtion)
- การทำนายเส้นอค์ลักษณะของดิน (SWCC)
- สมการความสัมพันธ์ของแรงดึงน้ำในดินและค่าความชื้นน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามความชื้น (Permeability Funtion)

2.4.4 ลักษณะของเส้นอค์ดลัักษณ์ของดิน (Soil Water Characteristic Curve)

เส้นอค์ดลัักษณ์ของดินเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร (Volumetric water content) กับแรงดึงดูดน้ำในดิน (Matric suction) โดยจะ แสดงลักษณะของแรงดึงน้ำในมวลดินที่เปลี่ยนแปลงของดินแต่ละชนิด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้น พฤติกรรมนี้ทำให้ทราบว่าเมื่อดินได้รับปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเท่าใดจะทำให้เกิดการลดลงของแรงดึงดูดน้ำด้านลบ ดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Volumetric water content กับ Soil Suction

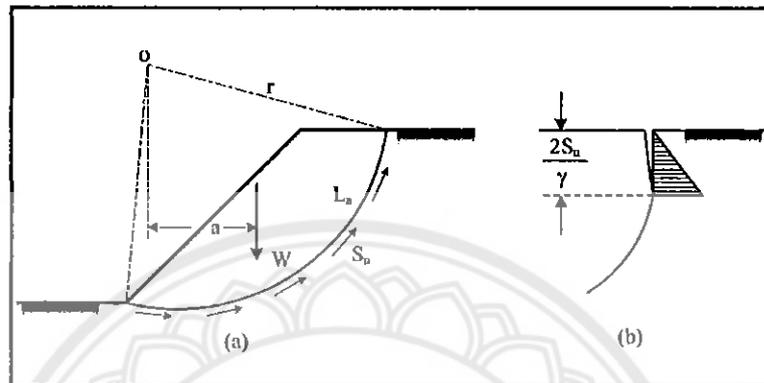


รูปที่ 2.7 ดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Volumetric water content กับ Soil Suction

2.5 หลักการวิเคราะห์เสถียรภาพ

2.5.1 การวิเคราะห์สำหรับกรณี $\phi=0$ วิธีความเค้นรวมTaylor (1937)

วิธีนี้จะเป็นวิธีเหมาะสำหรับวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ (Saturated soil) เพียงแค่อาศัยการวิเคราะห์สมดุลของการหมุน (Moment equilibrium) ระบายที่วิบัติจะถูกพิจารณาให้เป็นส่วนโค้งของวงกลมดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 สมดุลของการหมุน (Moment equilibrium)

ที่มา รองศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข

แรงที่ทำให้เกิดการหมุนของลาดดินรอบจุด O เป็นแรงเนื่องจากน้ำหนักทั้งหมดเหนือระนาบการวิบัติ (W ต่อความยาว 1 หน่วย) ที่สภาวะสมดุลกำลังต้านทานแรงเฉือน (τ_f) ของดินต้องเท่ากับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นตามแนววิบัติ (τ) และสามารถเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\tau = \frac{\tau_f}{FS} = \frac{S_u}{FS}$$

$$Wa = \frac{S_u}{FS} = Lar$$

$$FS = \frac{S_u L_a r}{Wa}$$

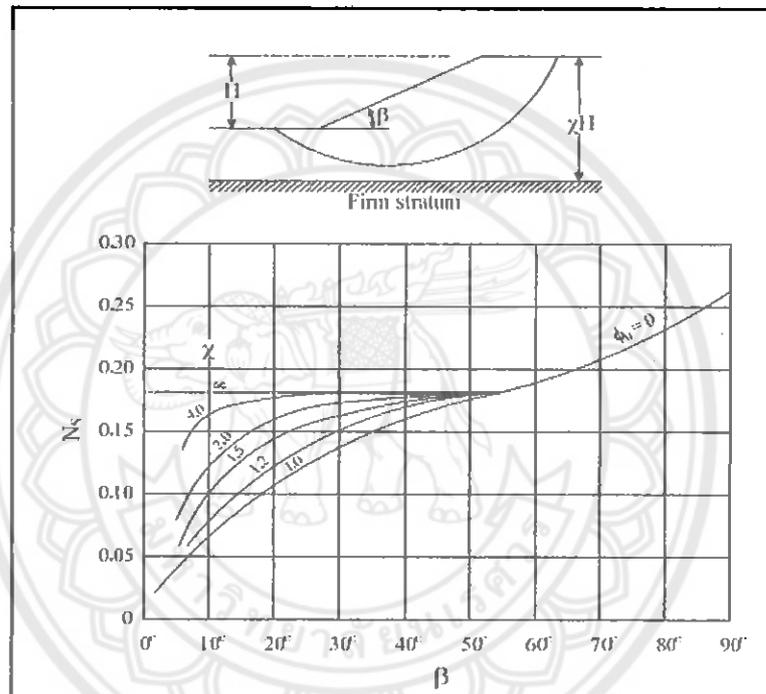
Taylor (1937) ได้เสนอสัมประสิทธิ์ความเสถียรภาพ (Stability coefficient) สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินที่มีคุณสมบัติสม่ำเสมอ และมีความสูงเท่ากับ H สัมประสิทธิ์ความเสถียรภาพ (N_s) สำหรับระนาบวิบัติซึ่งมีค่าอัตราส่วนปลอดภัยสูงสุดคือ

$$N_s = \frac{S_u}{(FS)\gamma H}$$

อัตราส่วนความปลอดภัย (FS) สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$F.S. = \frac{S_u}{(N_s)\gamma H}$$

ค่า N_s มีค่าขึ้นอยู่กับความชันของลาดดิน (β) และปัจจัยความลึก (χ)



รูปที่ 2.9 สัมประสิทธิ์ความเสถียรภาพของ Taylor สำหรับกรณี Taylor (1937)

ที่มา รองศาสตราจารย์ ดร.สุชนัดดีหอพิบูลสุข

การวิเคราะห์โดยวิธีนี้สามารถใช้ได้กับการวิเคราะห์ทั้งแบบความเค้นรวม ($\phi=0$) และแบบความเค้นประสิทธิผล (c', ϕ_0)

$$\bar{N}_i = W_i \cdot \cos \theta_i - U_i \qquad T_i = W_i \cdot \sin \theta_i$$

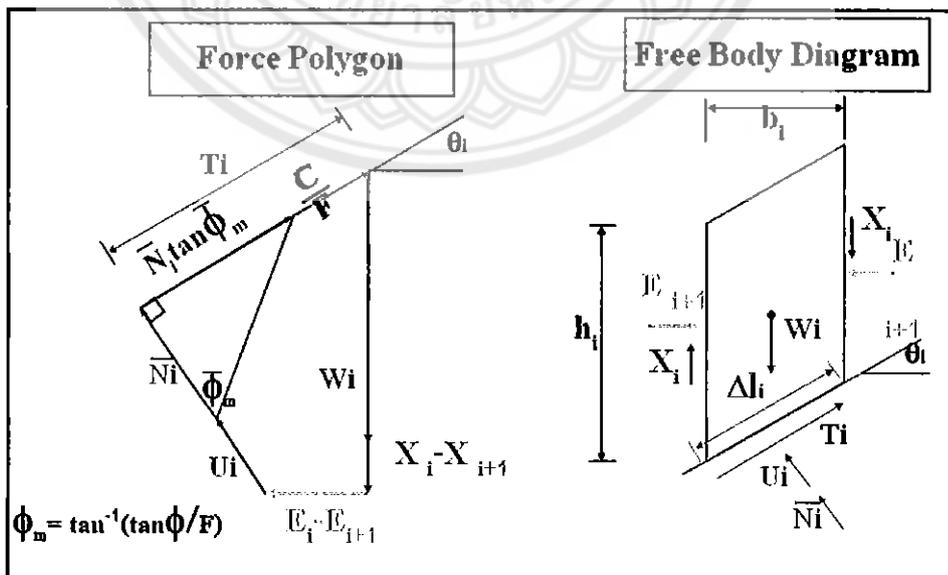
$$R_i = \bar{c} \cdot \Delta l_i + (W_i \cdot \cos \theta_i - U_i) \cdot \tan \bar{\phi}$$

$$F.S. = \frac{\text{Resisting force}}{\text{Sliding force}} = \frac{\bar{c} \cdot \Delta l_i + (W_i \cdot \cos \theta_i - U_i) \tan \bar{\phi}}{W_i \cdot \sin \theta_i}$$

รูปที่ 2.11

2.5.4 วิธี Simplified Bishop

มีการแบ่งมวลดินออกเป็นชั้น หรือแท่งเช่นเดียวกับ Slices Method แต่ได้พิจารณาแรงและสมมูลของแรงละเอียดขึ้น คือ คัดสมมูลของ Moment ของแท่งดินแต่ละแท่งด้วยแทนที่จะคิดเฉพาะแรงของมวลดินทั้งหมดแต่เพียงอย่างเดียว แล้วยังนำเอาแรงที่กระทำด้านข้างของแท่งดินมาพิจารณาด้วย



จากองค์ประกอบของแรง จะได้สมการสุดท้ายดังนี้

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{c_i b_i + b_i (\gamma h_i - \gamma_w h_{wi}) \tan \phi_i}{M \theta} \right]}{\sum_{i=1}^n \gamma b_i h_i \sin \theta_i}$$

$$\text{เมื่อ } M_{\theta} = \cos \theta + (\sin \theta \cdot \tan \phi) / F$$

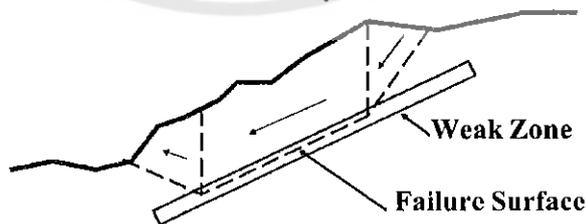


$$F = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{c_i b_i + b_i (\gamma h_i - \gamma_w h_{wi}) \tan \phi_i}{M \theta} \right]}{\sum_{i=1}^n \gamma b_i h_i \sin \theta_i}$$

$$M_{\theta} = \cos \theta + (\sin \theta \cdot \tan \phi) / F$$

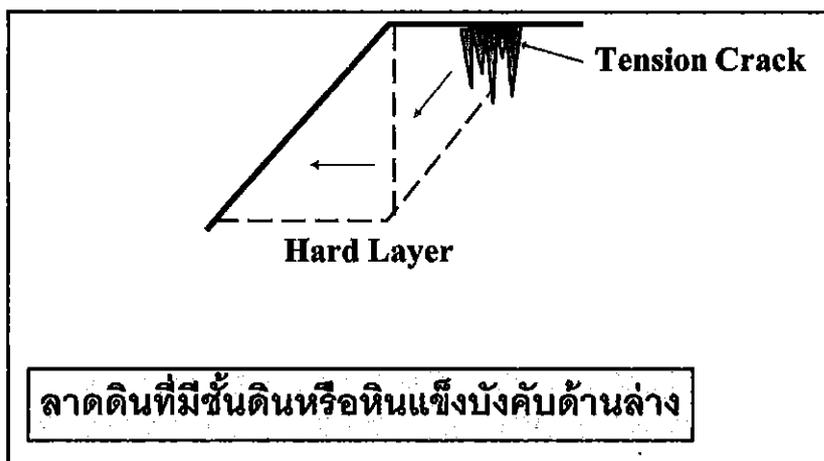
2.5.5 วิธี Wedge Method

ในบางกรณีการเคลื่อนที่อาจเกิดในลักษณะของเส้นตรงเส้นเดียวหรือหลายเส้นประกอบกัน โดยมีมวลดินที่เคลื่อนตัว มีลักษณะคล้ายรูปสี่เหลี่ยมประกอบกัน มากกว่าหนึ่งชิ้นขึ้นไป



ลาดดินหรือลาดหินธรรมชาติที่มีแนวดินอ่อนบังคับแนวพิกัด

รูปที่ 2.12 วิธี Wedge Method



รูป 2.13 วิธี Wedge Method

2.6 หลักการและแนวคิดเกี่ยวกับการตกของฝน

น้ำท่วม และดินถล่ม เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันมาตั้งแต่อดีตกาลโดยมีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากฝนที่ตกหนัก และ/หรือฝนที่ตกนาน ในปัจจุบันเหตุการณ์น้ำท่วม และดินถล่มเกิดขึ้นบ่อยครั้ง และนับวันจะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ นั่นคือ การตัดไม้ทำลายป่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างขาดความรู้ ความเข้าใจ ค่าดัชนีความชุ่มชื้นในดิน (API) มีบทบาทในระบบเตือนภัยน้ำท่วม และดินถล่มโดยเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงความวิกฤติของสถานการณ์น้ำท่วม และดินถล่ม ซึ่งบ่งชี้ถึงศักยภาพของพื้นที่ในการรองรับ ของพื้นที่ลุ่มน้ำ

2.6.1 นิยามเกี่ยวกับค่า API

- 1) เป็นวิธีทางสถิติที่ประเมินปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินซึ่งจะเกิดขึ้นจากลุ่มน้ำ จากการให้น้ำฝนบนฐานของดัชนีความชุ่มชื้นของดิน, ลักษณะทางฟิสิกส์ของลุ่มน้ำ เวลาของปี ช่วงระยะเวลาการไหล ปริมาณน้ำฝน และความหนักเบาของฝน
- 2) เป็นดัชนีที่กักเก็บความชื้นในลุ่มน้ำก่อนฝนตก
- 3) เป็นการรวมค่าน้ำหนักของปริมาณฝนรายวันโดยใช้ดัชนีของความชื้นในดิน ค่าน้ำหนักปริมาณฝนรายวันถูกคิดเอาว่าเป็นฟังก์ชันเอ็กซ์โปเนนเชียลหรือจำนวนเลขที่กลับกัน ของเวลากับปริมาณน้ำฝนล่าสุดซึ่งถูกยอมรับว่าเป็นค่าน้ำหนักที่ดีที่สุด

2.6.2 ทฤษฎีและหลักการประเมินค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (API)

ในอดีตได้มีผู้ศึกษาการประเมินค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน(API)โดยใช้สมการหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบต่าง ๆ กัน ตลอดจนประยุกต์ใช้พารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ศึกษา และวัตถุประสงค์ของการศึกษา ปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน ดังนั้นทางคณะที่ปรึกษาจึงได้รวบรวมการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการดำเนินงานโครงการฯ ต่อไป

$$\text{ความชื้นในดิน(mm)} + \text{ปริมาณน้ำฝน} = \text{Critical API(mm)}$$

2.7 หลักการพื้นฐานของวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

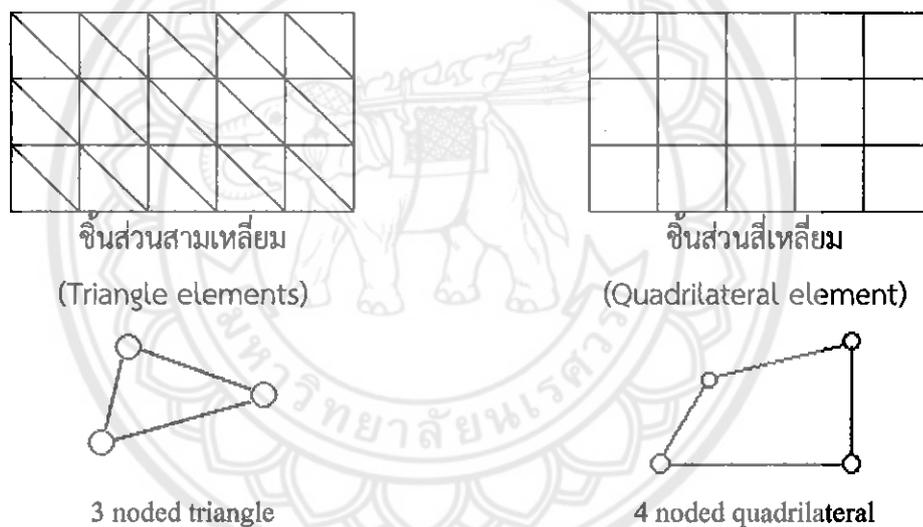
- หลักการสมการหลัก (Global equation) ขั้นตอนการรวมสมการย่อยของแต่ละชิ้นส่วนเป็นสมการหลัก ความสัมพันธ์ของสมการหลักคือ $\{\Delta F_G\} = [K_G]\{\Delta d_G\}$ โดยที่ $[K_G]$ คือเมทริกซ์สติฟเนสรวม (Global stiffness matrix) $\{\Delta F_G\}$ คือเวกเตอร์การเพิ่มของแรงรวม (Vector of all incremental nodal forces) และ $\{\Delta d_G\}$ คือเวกเตอร์การเพิ่มของการเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งจุดเชื่อมต่อรวม (Vector of all incremental nodal displacements)
- เงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) กำหนดเงื่อนไขขอบให้สอดคล้องกับปัญหาจริง เช่น เงื่อนไขด้านแรง (Loading Conditions) ซึ่งจะถูกรวบรวมอยู่ใน $\{\Delta F_G\}$ เงื่อนไขด้านการเคลื่อนที่ (Displacements conditions) ซึ่งถูกรวบรวมอยู่ใน $\{\Delta d_G\}$
- การแก้สมการหลัก (Solve the global equation) เนื่องจากสมการหลักมีขนาดใหญ่มากและประกอบด้วยตัวแปรหลายตัว ส่งผลทำให้ต้องนำเทคนิคในการแก้ระบบสมการเชิงเส้นแบบต่างๆมาใช้ เพื่อเพิ่มความเร็วและความแม่นยำในหารหาผลเฉลย

2.7.1 การแบ่งชิ้นส่วน (Element discretisation)

ก่อนที่จะเริ่มแบ่งชิ้นส่วน วิศวกรจะต้องกำหนดปัญหาค่าขอบ (Boundary value problem) ซึ่งอาจจะได้มาจากสำรวจภาคสนาม อย่างไรก็ตามเงื่อนไขขอบของปัญหานั้นจริงนั้นค่อนข้างยากซับซ้อน อาจจะต้องปรับปรุงให้ง่ายขึ้นก่อน (Simplification) โดยต้องอาศัยประสบการณ์ของวิศวกรเอง วิธีแบ่งชิ้นส่วนนี้จะแทนรูปแบบเชิงเรขาคณิต (Geometry) ของปัญหาค้นหาค่าของชิ้นส่วนจำกัด (Finite element mesh) ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมาประกอบกัน สำหรับปัญหาในสองมิติ รูปแบบชิ้นส่วนที่ใช้มักจะเป็น สามเหลี่ยม (Triangle) หรือ สี่เหลี่ยม (Quadrilateral) (ดัง

แสดงรูปที่ 3.1) ซึ่งจุดต่อ (Node) นั้นจะควบคุมลักษณะรูปร่างชิ้นส่วน ในกรณีจุดที่อยู่เฉพาะที่มุมของรูปเหลี่ยม (Corner nodes) ด้านของรูปเหลี่ยมจะเป็นเส้นตรง แต่ในกรณีที่เพิ่มจุดต่อบริเวณกึ่งกลางด้าน (Mid-side nodes) นั้น รูปเหลี่ยมจะสามารถแสดงลักษณะเส้นโค้ง และแต่ละชิ้นส่วนจะต่อเนื่องกันด้วยและจุดต่อที่ร่วมกัน

เพื่อให้ง่ายแก่การอ้างอิง (Refer) เลขที่อ้างอิงถึงชิ้นส่วนและจุดต่อมักจะเรียงต่อเนื่องกัน อย่างมีระบบ ดังตัวอย่างที่แสดงรูปในที่ 3.2 ซึ่งแสดงปัญหาที่ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมแบบ 4 จุดต่อจำนวน 6 ชิ้น จากตัวอย่างสามารถสังเกตได้ว่า เลขอ้างอิงของจุดต่อและชิ้นส่วนจะเรียงจากซ้ายไปขวาและจากล่างขึ้นบน รายการอธิบายตำแหน่งของชิ้นส่วน (Element connectivity list) เป็นสิ่งที่สำคัญ อีกประการหนึ่ง ที่วิศวกรจะต้องทำไปด้วยขณะแบ่งชิ้นส่วน ตัวอย่างของการอธิบายตำแหน่งชิ้นส่วนเช่น ชิ้นส่วนที่ 2 ถูกอธิบายด้วยจุดต่อ 2 3 7 6 (ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจากมุมซ้ายล่าง)



ข้อสังเกตอื่นๆ บางประการที่จะต้องคำนึงถึงในการแบ่งชิ้นส่วนคือ

- การประมาณรูปแบบเชิงเรขาคณิตของปัญหาด้วยชิ้นส่วนจำกัดจะต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด
- ในกรณีที่ขอบเงื่อนไขเป็นส่วนโค้ง (Curved boundaries) หรือขอบวัสดุเป็นส่วนโค้ง (Curved material interface) จะต้องเลือกใช้ชนิดชิ้นส่วนแบบลำดับสูง (Higher order element) ซึ่งจะประกอบด้วยจุดต่อบริเวณกึ่งกลางด้าน (ดังแสดงในรูปที่ 3.3)
- ในกรณีที่รูปแบบเชิงเรขาคณิตของปัญหาเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuities) เช่น ประกอบไปด้วยรอยแตก (Cracks) หรือมุมปลายแหลม (Sharp corners) หรือ

ประกอบไปด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน (Different material properties) อาจจะต้องกำหนดจุดต่อเพิ่มเพื่อประโยชน์ในการจำลองปัญหา เช่น ตัวอย่างในรูป 3.4a บริเวณปลายของเสาเข็ม และบริเวณจุดมุมมองของปัญหาจะต้องเพิ่มจุดต่อ

- ในบางกรณีอาจจะต้องทำการกำหนดจุดต่อ ให้เอื้อประโยชน์แก่เงื่อนไขขอบด้านแรง (Loading condition) เช่น เพิ่มจุดต่อในตำแหน่งที่แรงกระทำไม่ต่อเนื่อง

นอกจากข้อสังเกตดังกล่าวข้างต้นแล้ว การเลือกรูปแบบ ขนาด และจำนวนชิ้นส่วน ยังขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของวัสดุ (Material behavior) ซึ่งทั้งหมดนี้จะส่งผลกระทบต่อการคำนวณโดยตรง กล่าวคือ ถ้าวัสดุแสดงพฤติกรรมอลาสติกเชิงเส้น การคำนวณเป็นไปได้โดยง่าย ข้อควรระวังในการแบ่งชิ้นส่วนนั้นคือ ควรแบ่งชิ้นส่วนให้ละเอียดในส่วนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความเค้นและความเครียดแบบฉับพลัน หรือในกรณีที่มีการคำนวณเกิดข้อผิดพลาด (Numerical error) ขึ้นเนื่องมาจากการแบ่งชิ้นส่วน ก็อาจจะต้องแบ่งชิ้นส่วนให้ละเอียดขึ้น (Refined mesh) บางครั้งวัสดุอาจไม่เป็นแบบเชิงเส้น การคำนวณจึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคซับซ้อนขึ้น เพื่อให้การคำนวณแม่นยำขึ้น การจัดระเบียบการแบ่งชิ้นส่วนในระหว่างการคำนวณ (Adaptive mesh Algorithm) อาจจะต้องนำมาใช้

2.7.2 ตัวเลือกฟังก์ชันการเคลื่อนตัว (Choice of displacement function)

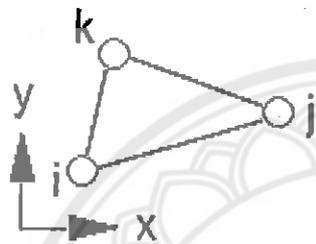
ในทางวิศวกรรมธรณีเทคนิค ตัวแปรหลัก (Primary variable) ที่สนใจในการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นคือ การเคลื่อนตัว (Displacement, u) ส่วนความเค้น และความเครียดนั้นเป็นเพียงตัวแปรรอง (Secondary variables) ซึ่งสามารถคำนวณได้หลังจากทราบค่าการเคลื่อนตัวแล้ว สำหรับปัญหาสองมิตินั้นฟังก์ชันการเคลื่อนตัวจะนิยามโดยใช้ u และ v เป็นตัวแปรการเคลื่อนที่ในทิศทาง x และ y ตามลำดับ และสำหรับรูปแบบฟังก์ชันที่มักใช้คือ ฟังก์ชันพหุนาม (Polynomial function) คือ

$$f(x, y) = a_1 + a_2x + a_3y + a_4x^2 + a_5xy + a_6y^2 + \dots \quad (3.1)$$

โดยที่ a_1, a_2, a_3, \dots เป็นค่าคงตัว และจำนวนพจน์ (Term) ขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนจุดต่อชิ้นส่วนลำดับที่หนึ่ง (1^{st} order element) จะใช้เพียงสามพจน์แรกในการนิยามการเคลื่อนที่ของจุดต่อใดจุดต่อหนึ่ง ดังแสดงในสมการที่ 3.2

$$\begin{aligned} u(x, y) &= a_1 + a_2x + a_3y \\ v(x, y) &= b_1 + b_2x + b_3y \end{aligned} \quad (3.2)$$

ดังนั้นค่าคงตัว 6 ตัวต่อจุดต่อซึ่งประกอบไปด้วย $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นนั้นประกอบไปด้วยจุดต่อมากกว่าหนึ่งจุด ดังนั้นในการนิยามการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน จึงต้องใช้จำนวนสมการทั้งสิ้น $dof \times n$ สมการ โดยที่ dof (Degrees of freedom) คือระดับขั้นความเสรีมีค่าเท่ากับ 2 ในกรณีเป็นปัญหาสองมิตินั้นคือ (u, v) และเท่ากับ 3 ในกรณีเป็นปัญหาสามมิตินั้นคือ (u, v, w) และ k คือจำนวนจุดต่อต่อชิ้นส่วน ตัวอย่างเช่น ชิ้นส่วนรูปสามเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 3.5 จำนวนสมการคือ $2 (dof) \times 3 (จุดต่อ) = 6$ สมการ



$$u_i = a_{1i} + a_{2i}x + a_{3i}y$$

$$u_j = a_{1j} + a_{2j}x + a_{3j}y$$

$$u_k = a_{1k} + a_{2k}x + a_{3k}y$$

$$v_i = b_{1i} + b_{2i}x + b_{3i}y$$

$$v_j = b_{1j} + b_{2j}x + b_{3j}y$$

$$v_k = b_{1k} + b_{2k}x + b_{3k}y$$

รูปที่ 2.15 ชิ้นส่วนสามเหลี่ยม

3 noded element

การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน จะเป็นฟังก์ชันกับการเคลื่อนที่ของจุดต่อทั้งหมด และสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการ 3.3

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = [N] \{u_i u_j u_k v_i v_j v_k\}^T \quad (3.3)$$

ซึ่ง $[N]$ คือเมทริกซ์ฟังก์ชันรูปร่าง (Shape function matrix) สังเกตได้ว่าเมทริกซ์ฟังก์ชันรูปร่างเป็นการเชื่อมโยงระหว่างการเคลื่อนที่ของจุดต่อสู่การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน หรืออาจจะคิดว่าเป็นการประมาณค่าการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนจากการเคลื่อนที่ของจุดต่อ ตัวอย่างเช่น ชิ้นส่วนแบบสามเหลี่ยม 3 จุดต่อ และแบบสี่เหลี่ยม 4 จุดต่อ จะเป็นการประมาณเชิงเส้น (Linear variation) ส่วนชิ้นส่วนแบบสามเหลี่ยม 6 จุดต่อ และแบบสี่เหลี่ยม 8 จุดต่อ จะเป็นการประมาณแบบพาราโบลา (Quadratic variation)

ความแม่นยำของการคำนวณโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นส่วน และแนวทางการประมาณการเคลื่อนตัวของชิ้นส่วน ถ้าต้องการให้ความแม่นยำในการคำนวณเพิ่มมากขึ้น อาจทำได้ 3 วิธีคือ 1) ใช้ชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กโดยการแบ่งชิ้นส่วนให้ละเอียดขึ้น แต่วิธีนี้อาจจะทำให้มีจำนวนชิ้นส่วนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลโดยตรงกับเวลาที่ใช้ในการคำนวณเพราะขนาดของเมทริกซ์สตีเฟนสรวมใหญ่ขึ้น 2) ใช้ชิ้นส่วนที่ลำดับสูงขึ้น การประมาณการเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนก็จะแม่นยำขึ้น แต่การใช้ชิ้นส่วนลำดับสูงนั้นจะต้องเพิ่มจำนวนจุดต่อในแต่ละชิ้นส่วน อย่างไรก็ตามแนวทางการเลือกชนิดและจำนวนชิ้นส่วนนั้นจะต้องคำนึงถึงเงื่อนไขคอมพิวเตอร์ด้วยดังเช่น

- ต้องมีความต่อเนื่องของการเคลื่อนที่ โดยจะต้องปราศจากช่องว่าง (Gaps) และการเหลื่อมล้ำ (Overlaps) ระหว่างชิ้นส่วนในขณะรับแรง
- การประมาณการเคลื่อนที่จะต้องสามารถแสดงการเคลื่อนตัวของวัสดุเกร็งได้ (Rigid body movements)
- การประมาณการเคลื่อนที่ควรจะต้องแสดงอัตราการเกิดความเครียดอย่างคงตัวได้ (Constant strain rate)

การใช้ฟังก์ชันพหุนาม ในการประมาณค่าการเคลื่อนตัวนั้น เพียงพอที่จะบรรลุเงื่อนไขคอมพิวเตอร์ได้

2.8 ความแตกต่างระหว่างหลักการไฟไนต์เอลิเมนต์กับสถานะการเกิดดินถล่มจริง

ข้อดีข้อด้อยวิธี Finite Element Method ในการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาด

ข้อดีของ Finite Element Method

- การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ สามารถที่จะคาดคะเนการเคลื่อนตัวของมวลดิน (Ground Movement) และการเปลี่ยนแปลงความเค้นล่วงหน้าได้
- พื้นผิววิกฤติที่คำนวณไม่จำเป็นต้องสมมติล่วงหน้า

ข้อเสียของ Finite Element Method

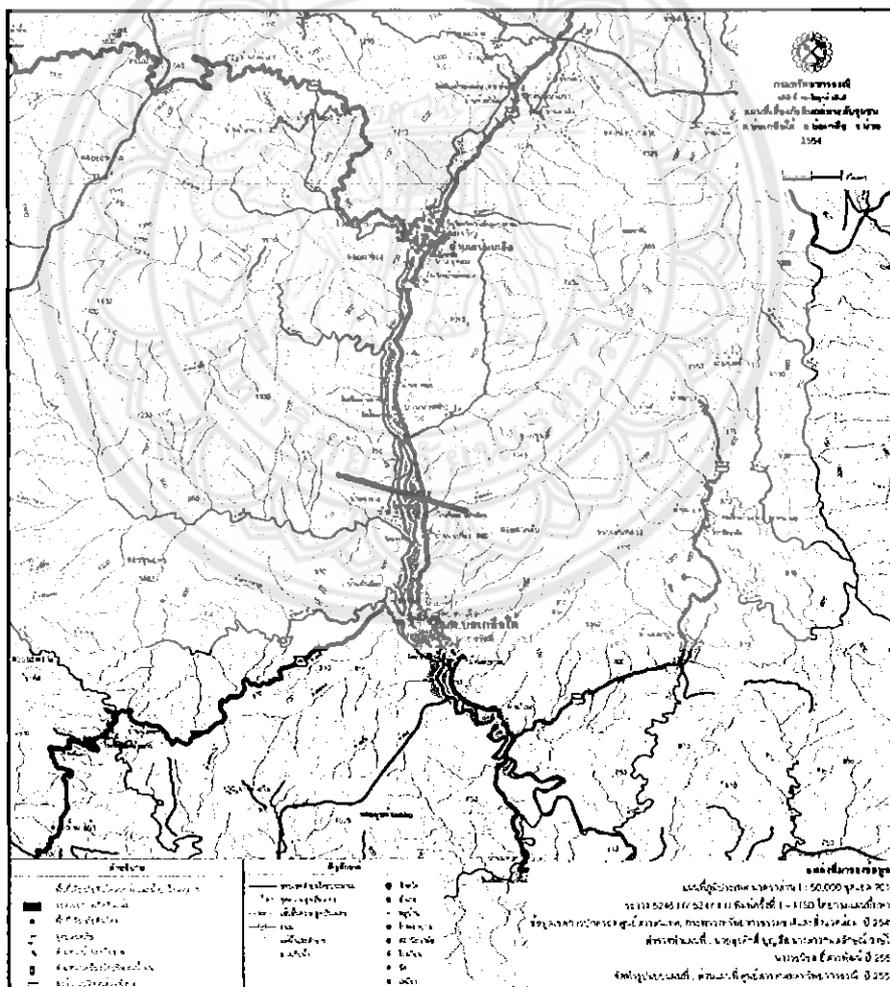
- ผู้ใช้ต้องมีความรู้พื้นฐานวิชาวิศวกรรมปฐพีเป็นอย่างดีเพื่อสำหรับวิเคราะห์และใช้งาน

บทที่ 3

การวิเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยดินโคลนถล่ม

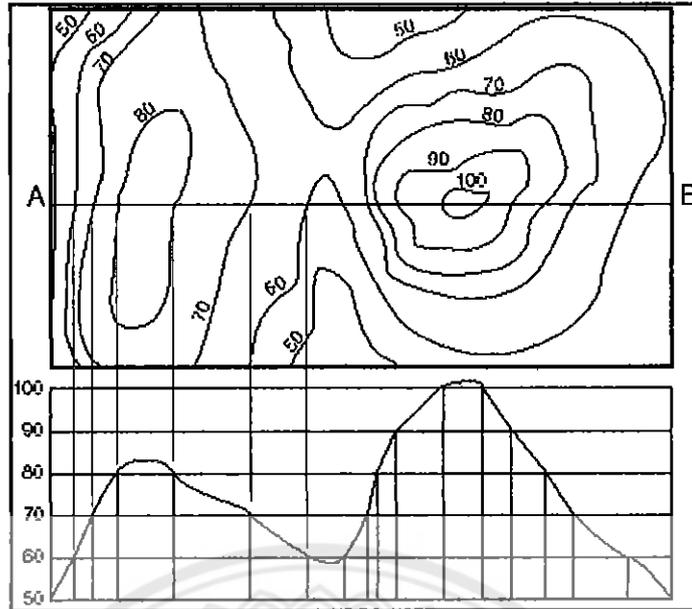
3.1 การสำรวจพื้นที่เสี่ยงภัยระดับชุมชนจากแผนที่ภูมิประเทศ

ก่อนจะทำการวิเคราะห์ปัจจัยนั้นจำเป็นต้องศึกษาลักษณะพื้นที่ภูมิประเทศจากแผนที่เส้นความสูงชันจากจากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:10,000 (กรมทรัพยากรธรณีวิทยา) ดังรูป 3.1 เพื่อนำไปวิเคราะห์หาเสถียรภาพของความลาดชันล่วงหน้า 50 ปี ซึ่งนำมาประกอบการวาดภาพความลาดชัน 2 มิติ (Profile Cross Section) ของภูมิประเทศที่เสี่ยงต่อการเกิดดินโคลนถล่มในระดับชุมชนของอำเภอป่าสัก จังหวัดน่าน ดังรูป 3.2



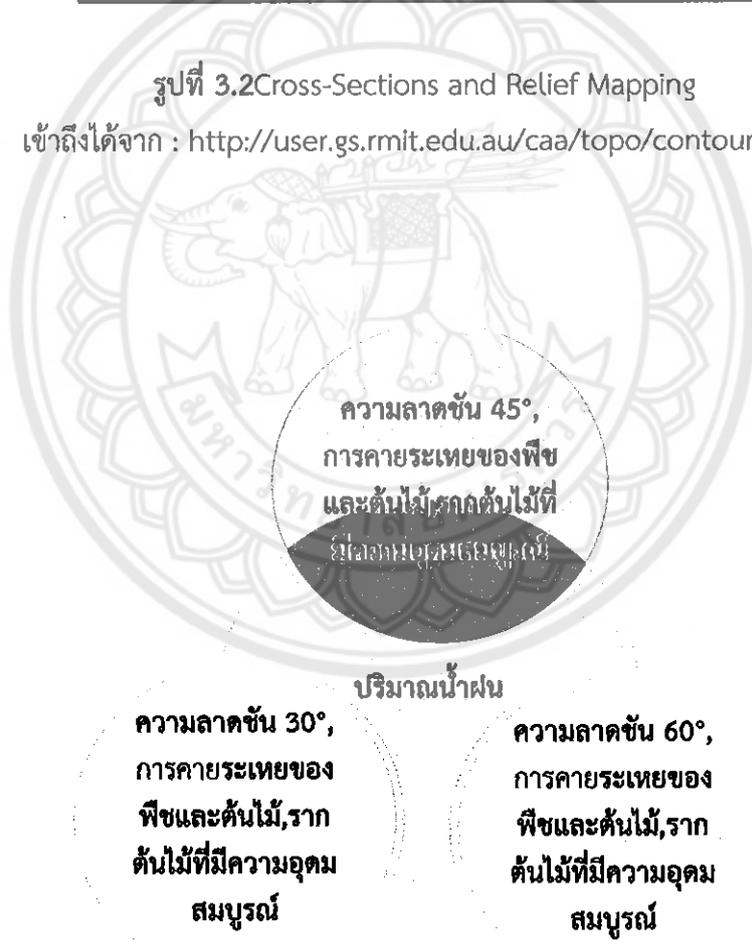
รูปที่ 3.1 พื้นที่เสี่ยงภัยระดับชุมชนจากแผนที่ภูมิประเทศ

มาตราส่วน 1:10,000 กรมทรัพยากรธรณีวิทยา (วันที่คั่นข้อมูล : 27 มีนาคม 2556)



รูปที่ 3.2 Cross-Sections and Relief Mapping

เข้าถึงได้จาก : <http://user.gs.rmit.edu.au/caa/topo/contours.htm>



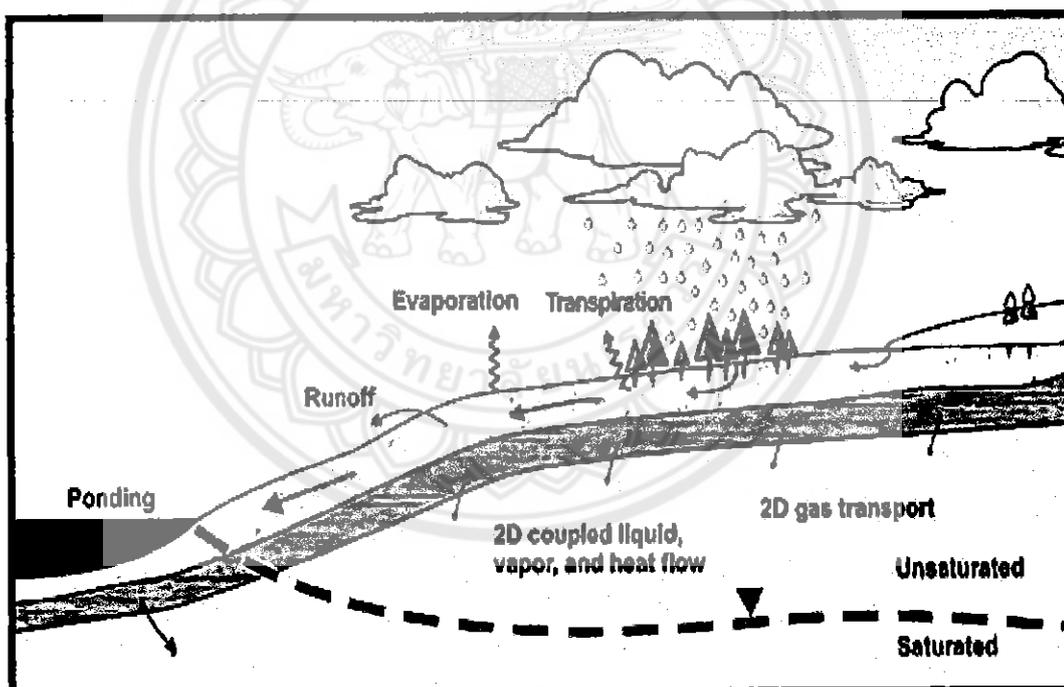
รูปที่ 3.3 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยพื้นฐานกับพื้นที่จำลอง

(วันที่ค้นข้อมูล : 27 มีนาคม 2556)

อธิบายวิธีการวิเคราะห์จำลองสถานการณ์จากแผนภาพ 3.3

- เมื่อมีปริมาณฝนมากกว่า 50, 115, และ 315 มิลลิเมตรต่อ 24 ชั่วโมง พร้อมอัตราการคายระเหยของพืช 10 มิลลิเมตรต่อ 24 ชั่วโมงกระทำกับความลาดชัน 30° องศา
- เมื่อมีปริมาณฝนมากกว่า 50, 115, และ 315 มิลลิเมตรต่อ 24 ชั่วโมง พร้อมอัตราการคายระเหยของพืช 10 มิลลิเมตรต่อ 24 ชั่วโมง กระทำกับความลาดชัน 45° องศา
- เมื่อมีปริมาณฝนมากกว่า 50, 115, และ 315 มิลลิเมตรต่อ 24 ชั่วโมง พร้อมอัตราการคายระเหยของพืช 10 มิลลิเมตรต่อ 24 ชั่วโมง กระทำกับความลาดชัน 60° องศา
- วิเคราะห์ปัจจัยพื้นฐาน โดยกำหนดให้ ค่าการเกาะตัวระหว่างเม็ดดิน Cohesion อยู่ในช่วง 10-80 มุมภายในระหว่างเม็ดดิน $\phi = 35$ องศา

3.2 การจำลองสภาวะธรรมชาติกับโปรแกรม Geo Studio 2007



รูปที่ 3.4 ภาพการจำลองสภาวะธรรมชาติ

(ที่มา :Essentials of Geology, third edition, 2002)

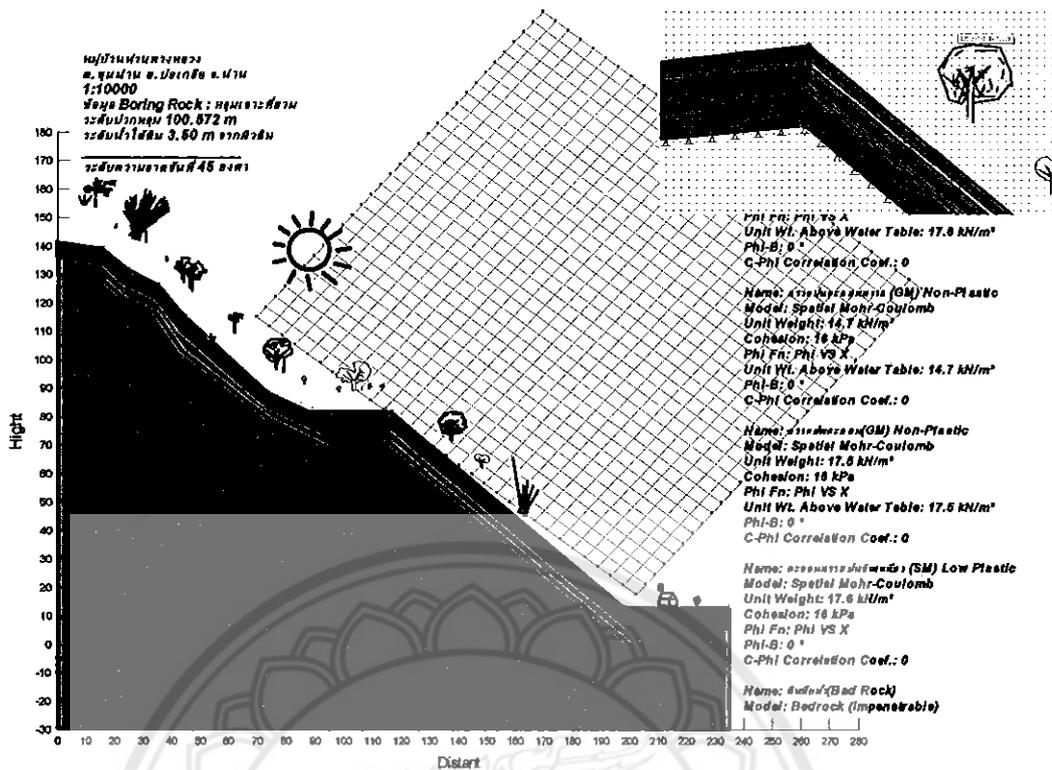
ในการวิเคราะห์โปรแกรมโดยการจำลองสถานการณ์ ซึ่งมีดังนี้

- 1) กำหนดช่วงการวิเคราะห์ระยะเวลา 50 ปี
- 2) ฟังก์ชัน Insituสภาวะความเค้นตามการเกิดของธรรมชาติ
- 3) ฟังก์ชัน Seep, Thermal และชั้นดินช่วง VA dose เพื่อจำลองสภาพอากาศและมีการไหลซึมของน้ำควบคู่ไปกับอุณหภูมิ และการระเหยที่เกิดจากรังสีของดวงอาทิตย์.
- 4) วิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันจากแรงดันน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินจากอดีตถึงปัจจุบัน
- 5) จำลองสภาวะการเจริญเติบโตของป่าไม้ตามธรรมชาติของ อ.บ่อเกลือ จ.น่าน

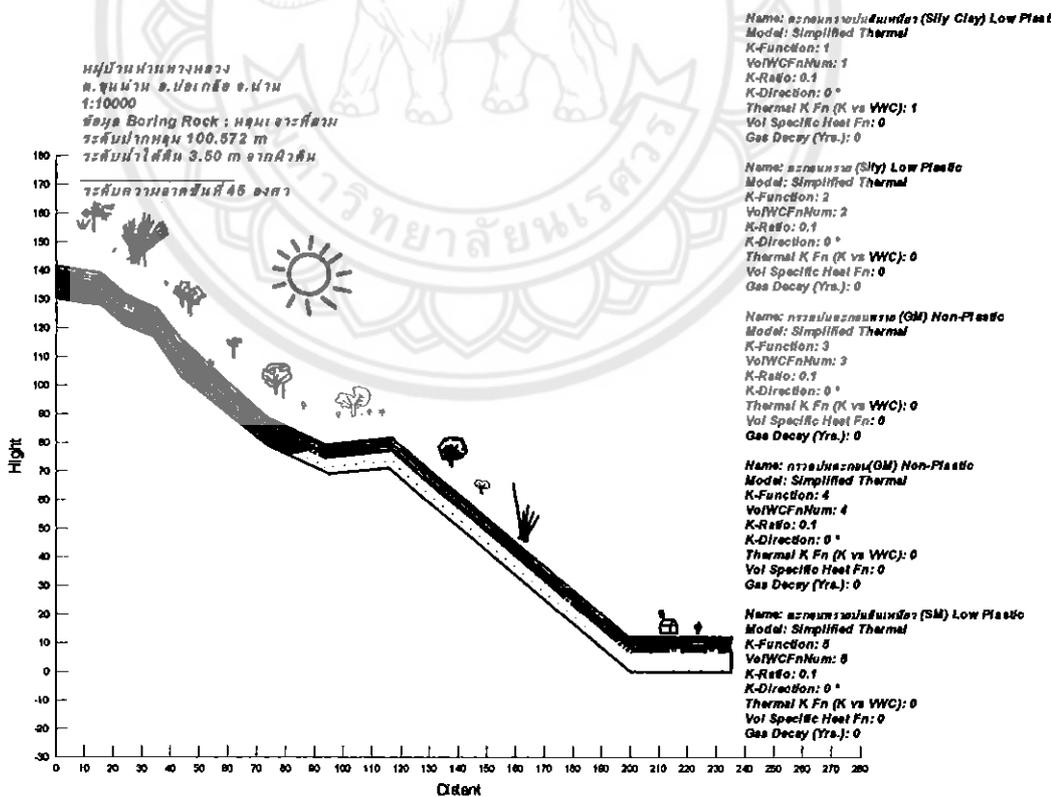
3.3 การกำหนดที่มาของพารามิเตอร์ที่นำไปวิเคราะห์ปัจจัย

ในข้อมูลค่าพารามิเตอร์บางส่วนที่นำมาวิเคราะห์ในการให้คะแนนนั้นซึ่งหาได้จาก กรมทรัพยากรธรณี, กรมทางหลวง, กรมโยธาธิการและผังเมืองนั้นที่ได้นำมาวิเคราะห์ได้แก่

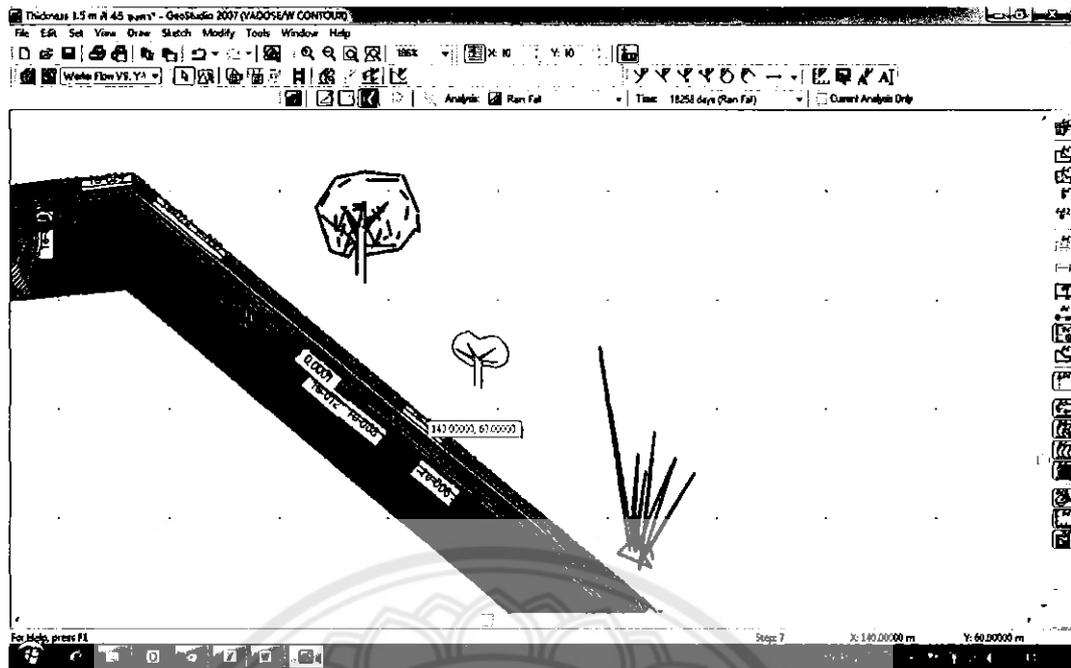
- 1) ค่า $k = 1E-005$ m/s (กรมทางหลวง, วันที่ 25 ธันวาคม 2555)
- 2) ลักษณะทางธรณีวิทยาของจังหวัดน่าน (กรมทรัพยากรธรณี, วันที่ 13 ธันวาคม 2555)
- 3) Chat Boring Log ของอำเภอปัว จังหวัดน่าน เนื่องจากไม่มีข้อมูลในอำเภอบ่อเกลือจึงขอใช้พื้นที่ ซึ่งใกล้เคียงมากที่สุด ซึ่งจะมาศึกษาดูความหนาของดินในแต่ละชั้นและ จะประกอบไปด้วยค่า $\gamma = 18.00$ kg/m ปริมาณความชื้นในดิน(Moisture Content) = 39% โดยเฉลี่ย (กรมโยธาธิการและผังเมือง, กรมทางหลวง, วันที่ 25 ธันวาคม 2555)
- 4) $\tau = 150000$ kpa (กรมทางหลวง, วันที่ 20 มีนาคม 2556)
- 5) ความหนาชั้นดิน (กรมโยธาธิการ, , วันที่ 20 มีนาคม 2556)
- 6) $C = 10-80$ kPa



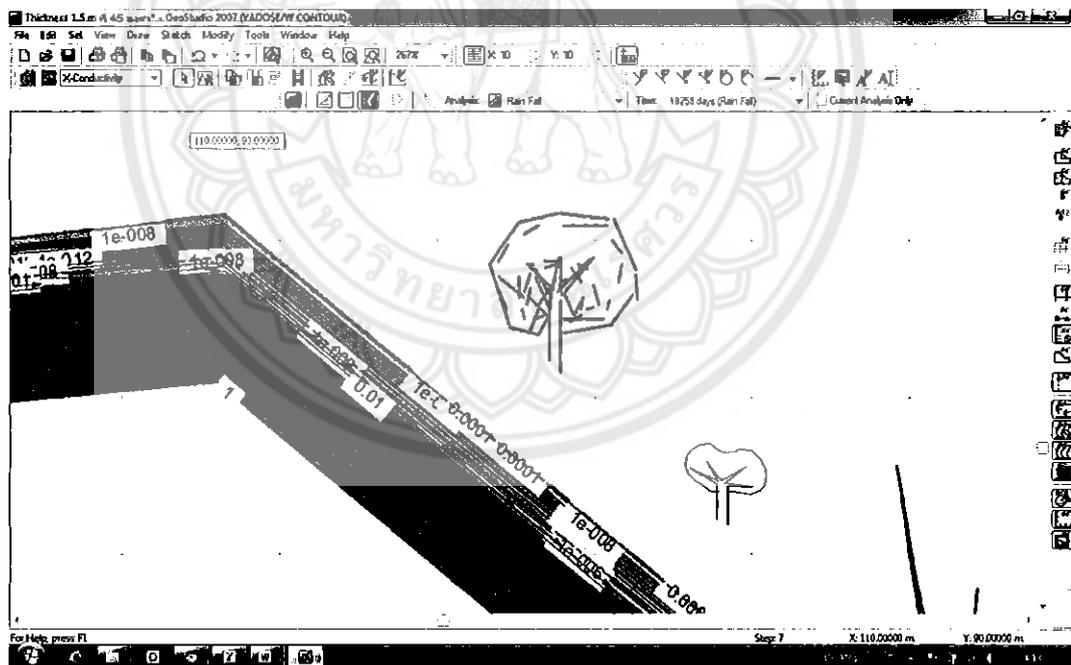
รูปที่ 3.5 แบบจำลองการวิเคราะห์ความลาดชันที่ระดับ 45 องศา



รูปที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์เส้นคอนทัวร์ของแรงดันน้ำที่กระทำกับผิวดินชั้นบน



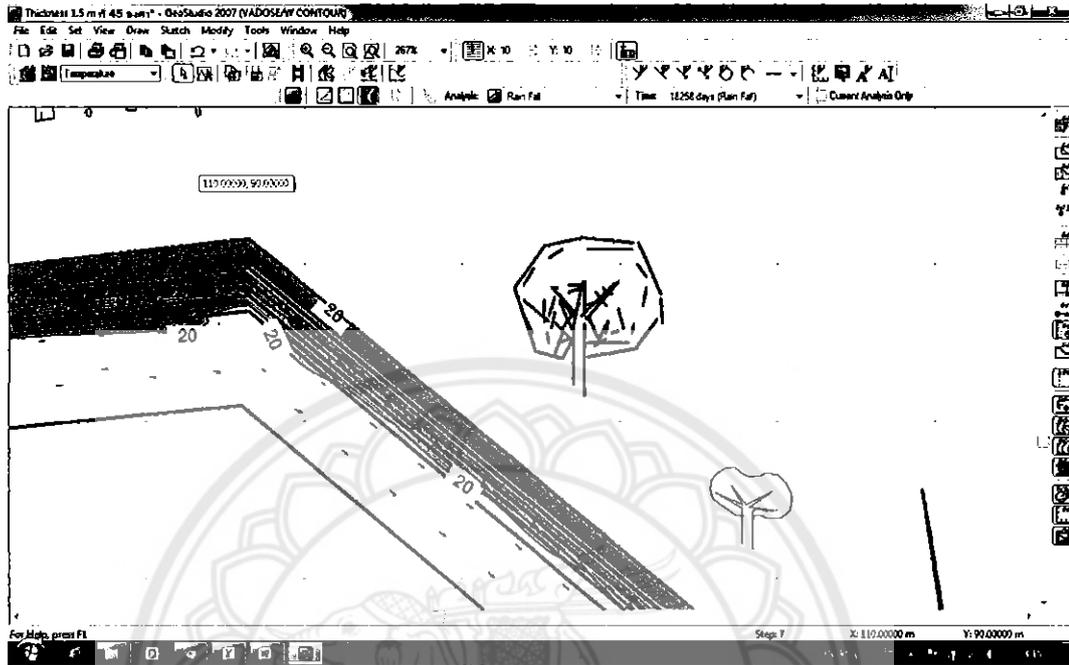
รูปที่ 3.7 สถานะการไหลซึมของน้ำเมื่อเทียบกับช่วงเวลาการวิเคราะห์



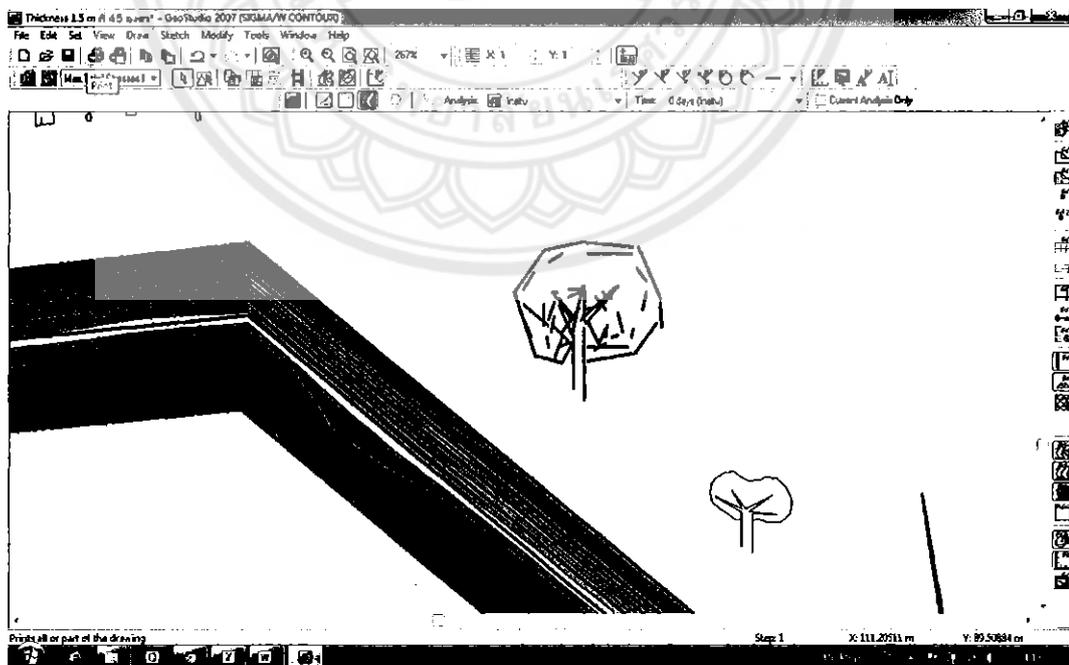
รูปที่ 3.8 ความสามารถในการนำน้ำของดิน (Hydraulic Conductivity)

จากรูป 3.6 และ 3.7 สามารถอธิบายได้ว่าอัตราการซึมลงดินสูงสุด (infiltration capacity) มีค่าลดลงตามระยะเวลา โดยลดลงถึงค่าต่ำสุดและคงที่โดยค่าต่ำสุดนี้จะใกล้เคียงกับ hydraulic

conductivity ของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยค่าของ hydraulic conductivity นั้นจะขึ้นอยู่กับเนื้อดินเป็นหลัก ถึงกระนั้นยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้อัตราการซึมมากหรือน้อยกว่านี้



รูปที่ 3.9 จำลองเส้นคอนทัวร์ที่เกี่ยวข้องกับสภาวะการไหลของน้ำที่ขึ้นอยู่กับดินแต่ละประเภท



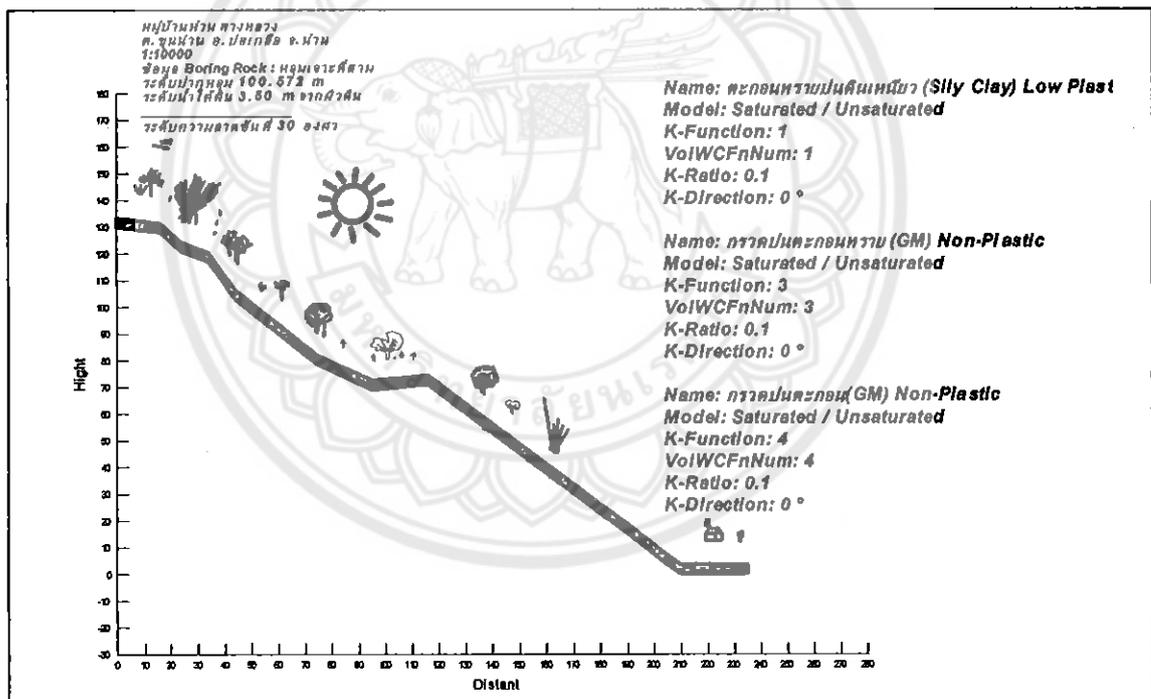
รูปที่ 3.10 จำลองความเค้นที่สภาวะช่วงแรกเริ่ม

บทที่ 4

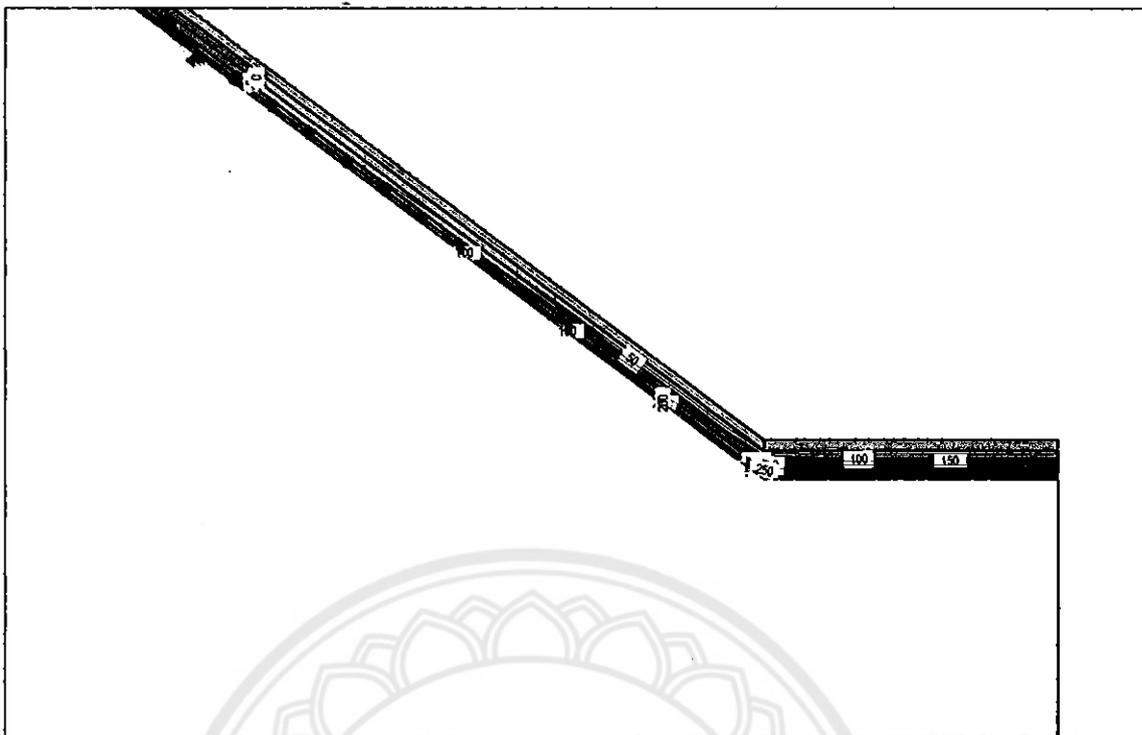
ผลการวิเคราะห์

4.1 ผลการวิเคราะห์แรงดันน้ำระหว่างช่องว่างในอากาศ pore-water pressures

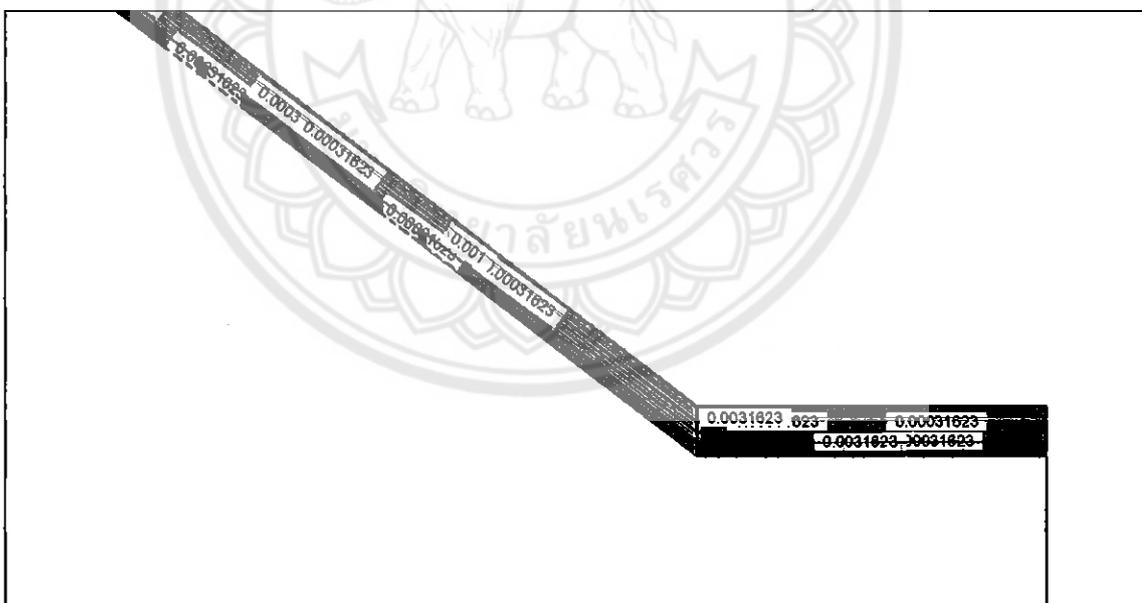
จากการจำลองผลกระทบจากปริมาณน้ำฝนที่มีผลต่อความลาดชันของภูเขา ได้กำหนดระยะเวลาการวิเคราะห์ล่วงหน้าไว้ 50 ปี และมีระดับน้ำใต้ดิน (Water table) เท่ากับ 3.5 เมตร โดยกำหนดให้มีระดับน้ำขึ้นสูงสุดจากระดับน้ำใต้ดินเดิม 5 เมตร กระทำกับพื้นที่ที่มีความลาดชัน ดังรูปที่ 4.1 และได้ มีการจำลองในรูปแบบ V.D.O. Real time ของ pore-water pressures หรือเป็นการจำลองแบบ Animation สามารถดูได้ในแผ่นซีดีประกอบการวิเคราะห์



รูปที่ 4.1 ผลกระทบจากปริมาณน้ำฝนที่มีผลต่อความลาดชันของภูเขา



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์แรงดันน้ำระดับ 30 องศา



รูปที่ 4.3 ความสามารถในการนำน้ำของดิน (Hydraulic Conductivity)

จากรูป 4.1 และ 4.3 สามารถอธิบายได้ว่าอัตราการซึมลงดินสูงสุด (infiltration capacity) มีค่าลดลงตามระยะเวลา โดยลดลงถึงค่าต่ำสุดและคงที่โดยค่าต่ำสุดนี้จะใกล้เคียงกับ hydraulic conductivity ของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยค่าของ hydraulic conductivity นั้นจะขึ้นอยู่กับเนื้อดินเป็นหลัก ถึงกระนั้นยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้อัตราการซึมมากหรือน้อยกว่านี้

4.2 ผลการวิเคราะห์วิธี Slope Stability of Finite Element Method

เพื่อหาผลกระทบจากปัจจัยของปริมาณน้ำฝนสะสมล่วงหน้า 50 ปี ที่มีผลต่อความลาดชัน ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยความเสี่ยงจากตารางที่ 4.1 ความปลอดภัย(FS.) ของพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยเสถียรภาพของความลาดชันลาดชันนั้นจะมีค่าความปลอดภัย(FS.) เพิ่มขึ้นไปตามระดับของค่า Cohesion ที่กำหนดไว้ในในช่วง 10-80 kPaของปัจจัยเสี่ยง เมื่อกำหนดค่าความปลอดภัยของคุณสมบัติดินใน ต.บ่อเกลือ จ.น่าน ละเอียดของจังหวัดน่าน FS.=1.2 เมื่ออ้างอิงจากทฤษฎีค่าความปลอดภัยของเสถียรภาพความลาดชัน (วรากรไม้เรียง และคณะ, 2546, โครงการวิจัยการพัฒนากาจัดการภัยธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินถล่ม)



4.2.1 ผลจากการวิเคราะห์ที่ปัจจัยความเสี่ยง

ตารางที่ 4.1 Slope 30 Excelnt Rain 50

Slope 30 Excelnt Rain 50						
Parametric study/N	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพป่า	ความลาดชัน°	γ
1.00	10.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	0.8
2.00	15.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	0.8
3.00	20.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	0.96
4.00	25.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.1643
5.00	30.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.24231
6.00	35.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.284
7.00	40.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.37067
9.00	45.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.54396
8.00	50.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.57685
11.00	55.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.71984
10.00	60.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.75157

ตารางที่ 4.2 Slope 45 Excelnt Rain 50

Slope 45 Excelnt Rain 50						
Parametric study/N	Cohesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพน้ำ	ความลาดชัน	↓
1.00	25.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	0.
2.00	30.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	0.95
3.00	35.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.035
4.00	40.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.1232
5.00	45.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.2176
6.00	50.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.31631
7.00	55.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.42571
8.00	60.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.53577
9.00	65.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.64935
10.00	70.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.7632
11.00	75.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.87821

ตารางที่ 4.3 Slope 30 Excelnt Rain 315

Slope 30 Excelnt Rain 315						
Parametric study/N	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพป่า	ความลาดชัน	
1.00	10.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	
2.00	15.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.874
3.00	20.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.9520
4.00	25.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.0314
5.00	30.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.11122
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

ตารางที่ 4.4 Slope 45 Excelnt Rain 315

Slope 45 Excelnt Rain 315						
Parametric study(N)	Cohesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพป่า	ความลาดชัน	↓
1.00	0.00	35.00	315.00	Excellent	30.00	
2.00	5.00	35.00	315.00	Excellent	30.00	0
3.00	10.00	35.00	315.00	Excellent	30.00	1.00
4.00	15.00	35.00	315.00	Excellent	30.00	1.036
5.00	20.00	35.00	315.00	Excellent	30.00	1.120
0.48	25.00	35.00	315.00	Excellent	30.00	1.20792
7.00	30.00	35.00	315.00	Excellent	30.00	1.45719
8.00	35.00	35.00	315.00	Excellent	30.00	1.56194
9.00	40.00	35.00	315.00	Excellent	30.00	1.66526
10.00	45.00	35.00	315.00	Excellent	30.00	1.77591
11.00	50.00	35.00	315.00	Excellent	30.00	1.88959

ตารางที่ 4.5 Slope 60 Excelnt Rain 315

Slope 60 Excelnt Rain 315						
Parametric study/N	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพป่า	ความลาดชัน°	↓
1.00	20.00	35.00	315.00	Excelnt	30.00	0
2.00	25.00	35.00	315.00	Excelnt	30.00	0
3.00	30.00	35.00	315.00	Excelnt	30.00	0.9216
4.00	35.00	35.00	315.00	Excelnt	30.00	0.9781
5.00	40.00	35.00	315.00	Excelnt	30.00	1.06777
6.00	45.00	35.00	315.00	Excelnt	30.00	1.15751
7.00	50.00	35.00	315.00	Excelnt	30.00	1.24733
8.00	55.00	35.00	315.00	Excelnt	30.00	1.256
9.00	60.00	35.00	315.00	Excelnt	30.00	1.34566
10.00	65.00	35.00	315.00	Excelnt	30.00	1.43398
11.00	70.00	35.00	315.00	Excelnt	30.00	1.54473

ตารางที่ 4.6 Slope 30 Excelnt Rain 115

Slope 30 Excelnt Rain 115						
Parametric study/N	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพป่า	ความลาดชัน°	ค่า
1.00	20.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	
2.00	25.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	
3.00	30.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	
4.00	35.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.
5.00	40.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.778
6.00	45.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.779
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	1.6589
11.00	70.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	2.1786

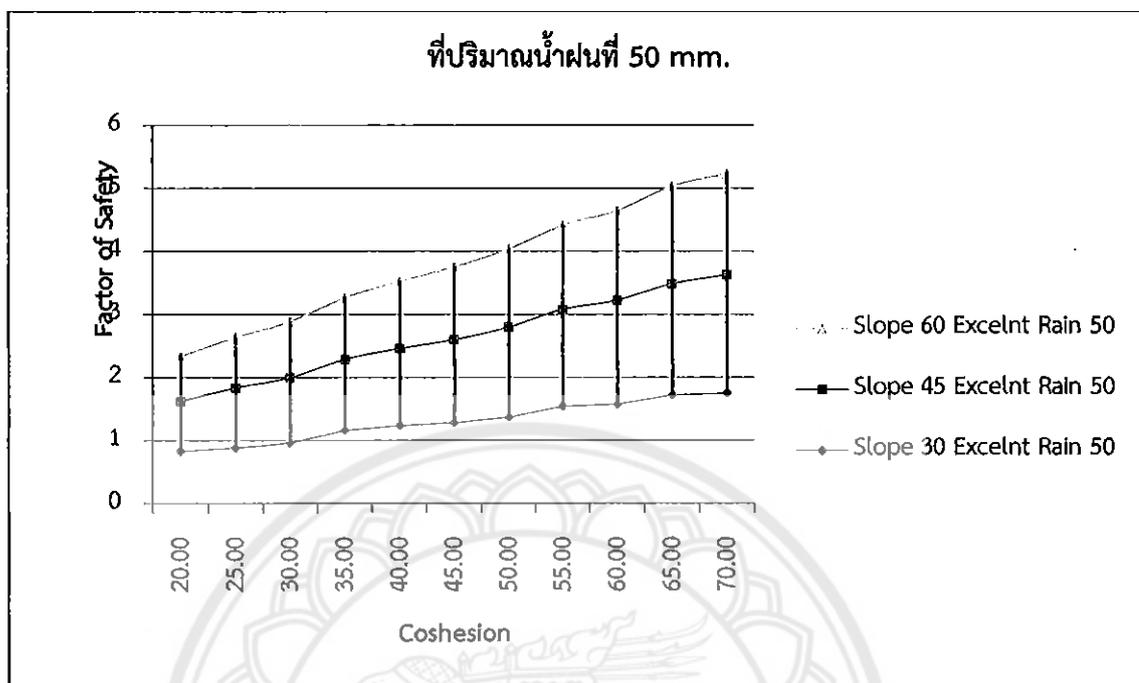
ตารางที่ 4.7 Slope 45 Excelnt Rain 115

Slope 45 Excelnt Rain 115						
Parametric study/N	Cohesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพป่า	ความลาดชัน	↓
1.00	20.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	
2.00	25.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	
3.00	30.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	
4.00	35.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	0.
5.00	40.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	0.778
6.00	45.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	0.779
7.00	50.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.03606
8.00	55.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.12367
9.00	60.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	1.2174
10.00	65.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	3.6589
11.00	70.00	35.00	115.00	Excelnt	30.00	4.1786

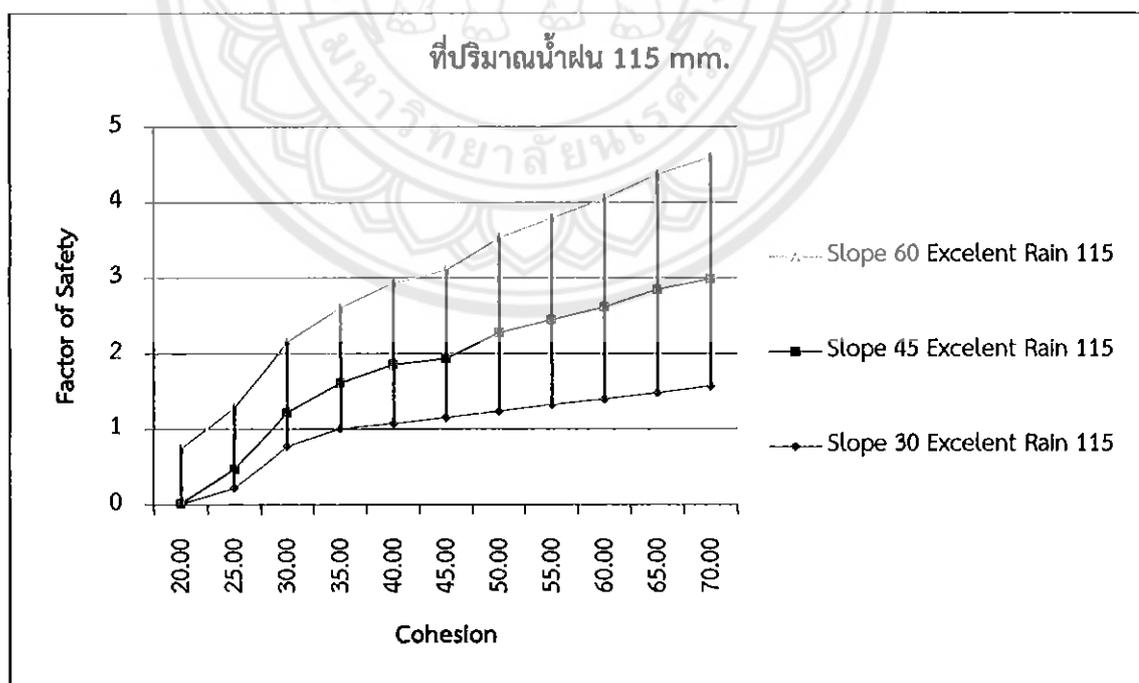
ตารางที่ 4.8 Slope 60 Excelnt Rain 115

Slope 60 Excelnt Rain 115						
Parametric study/N	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพน้ำ	ความลาดชัน	γ
1.00	20.00	35.00	115.00	Excellent	30.00	0.7
2.00	25.00	35.00	115.00	Excellent	30.00	0.80
3.00	30.00	35.00	115.00	Excellent	30.00	0.9295
4.00	35.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.98709
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

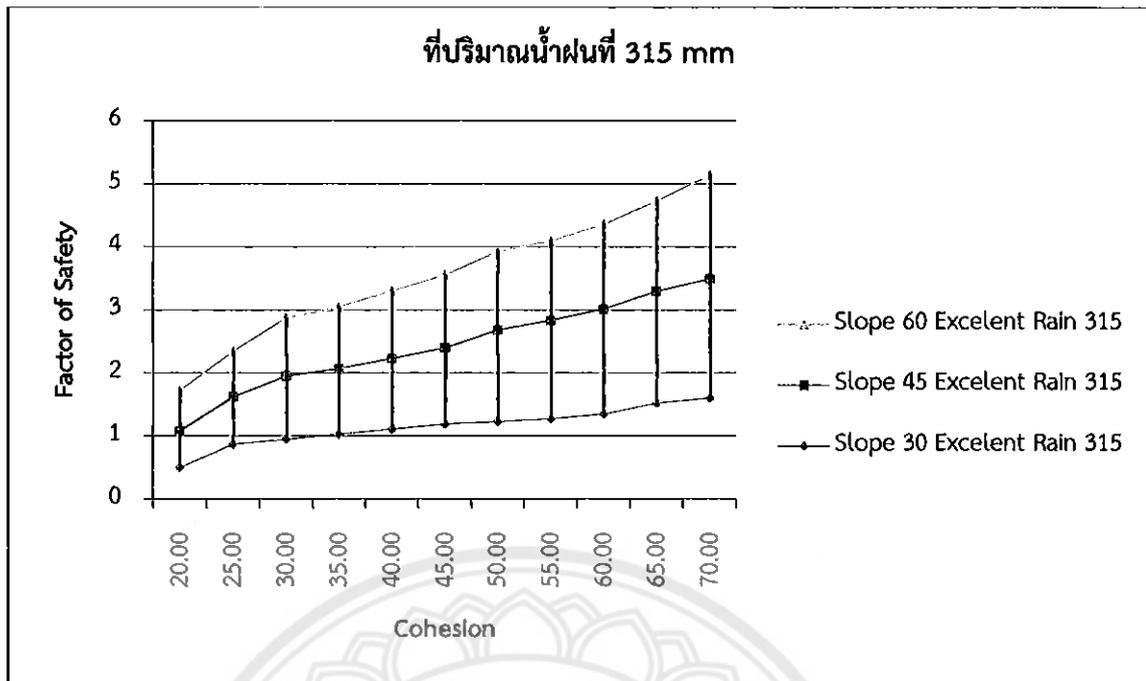
4.2.2 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความลาดชันกับปริมาณน้ำฝน



รูปที่ 4.4 ระดับความลาดชันกับปริมาณน้ำฝน 50 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.5 ระดับความลาดชันกับปริมาณน้ำฝน 115 มิลลิเมตร



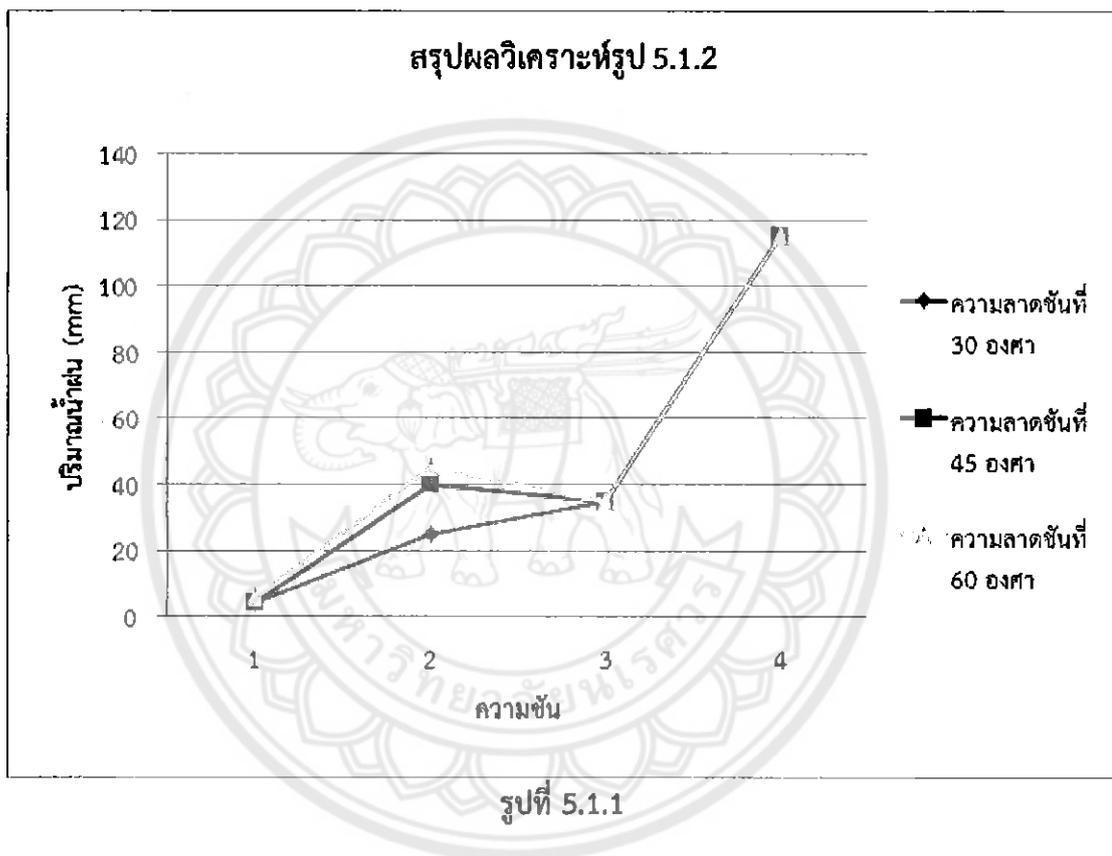
รูปที่ 4.6 ระดับความลาดชันกับปริมาณน้ำฝน 315 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาจากกราฟการวิเคราะห์ เมื่อมีการเพิ่มปริมาณน้ำฝนที่กระทำกับระดับความลาดชันต่างๆ จะเห็นว่าอิทธิพลของปริมาณน้ำฝนที่กระทำต่อความลาดชันมีการเปลี่ยนแปลงของขีดจำกัดความปลอดภัยน้อยมากเนื่องจากผลทำการวิเคราะห์นั้นได้กำหนดปริมาณการซึมลงดินได้ช้าจากดินชั้นบน

บทที่ 5

สรุปผลการวิเคราะห์

5.1 สรุปผลจากรูปที่ 5.1.2

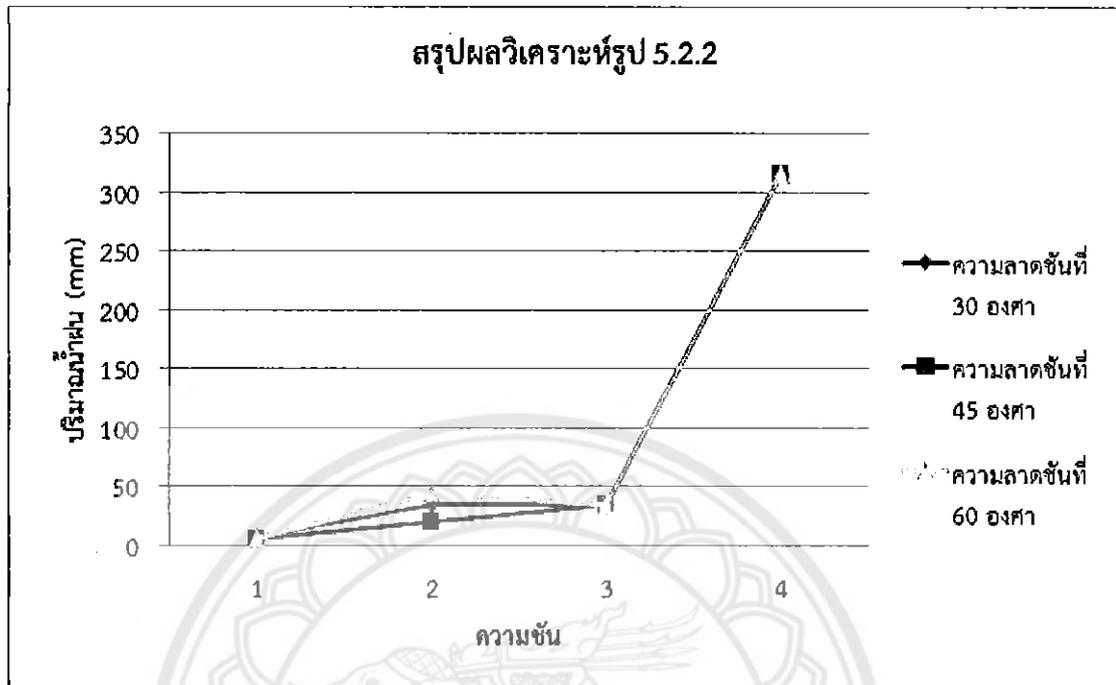


วิเคราะห์ความลาดชันที่ 30,45,60 มีสภาพป่าสมบูรณ์และมีฝนตกอยู่ที่ 50 mm โดยกำหนดค่าความชื้นแน่นอยู่ในช่วง 10-75ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า $c = 25,40,45\text{kPa}$ และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.164,1.12327,1.15284

Slope 30 Excelnt Rain 50						
Parametric study(N)	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพที่	ความลาดชัน*	
1.00	10.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	0.8777
2.00	15.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	0.8777
3.00	20.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	0.96
4.00	25.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.1643
5.00	30.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.24231
6.00	35.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.284
7.00	40.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.37067
9.00	45.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.54396
8.00	50.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.57685
11.00	55.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.71984
10.00	60.00	35.00	50.00	Excelent	30.00	1.81984
						1.30943272
Slope 45 Excelnt Rain 50						
Parametric study(N)	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพที่	ความลาดชัน*	
1.00	25.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	0.8777
2.00	30.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	0.93
3.00	35.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.03
4.00	40.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.1237
5.00	45.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.2176
6.00	50.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.31631
7.00	55.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.42571
8.00	60.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.53577
9.00	65.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.64935
10.00	70.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.7632
11.00	75.00	35.00	50.00	Excelnt	45.00	1.87721
						1.33504454
Slope 60 Excelnt Rain 50						
Parametric study(N)	Coshesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพที่	ความลาดชัน*	
1.00	20.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	0.8777
2.00	25.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	0.8777
3.00	30.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	0.8777
4.00	35.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	0.97678
5.00	40.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.064
6.00	45.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.15284
7.00	50.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.2427
8.00	55.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.33246
9.00	60.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.4207
10.00	65.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.53531
11.00	70.00	35.00	50.00	Excelent	60.00	1.59738
						1.158947

รูปที่ 5.1.2 ตารางผลวิเคราะห์

5.2 สรุปผลจากรูปที่ 5.2.2



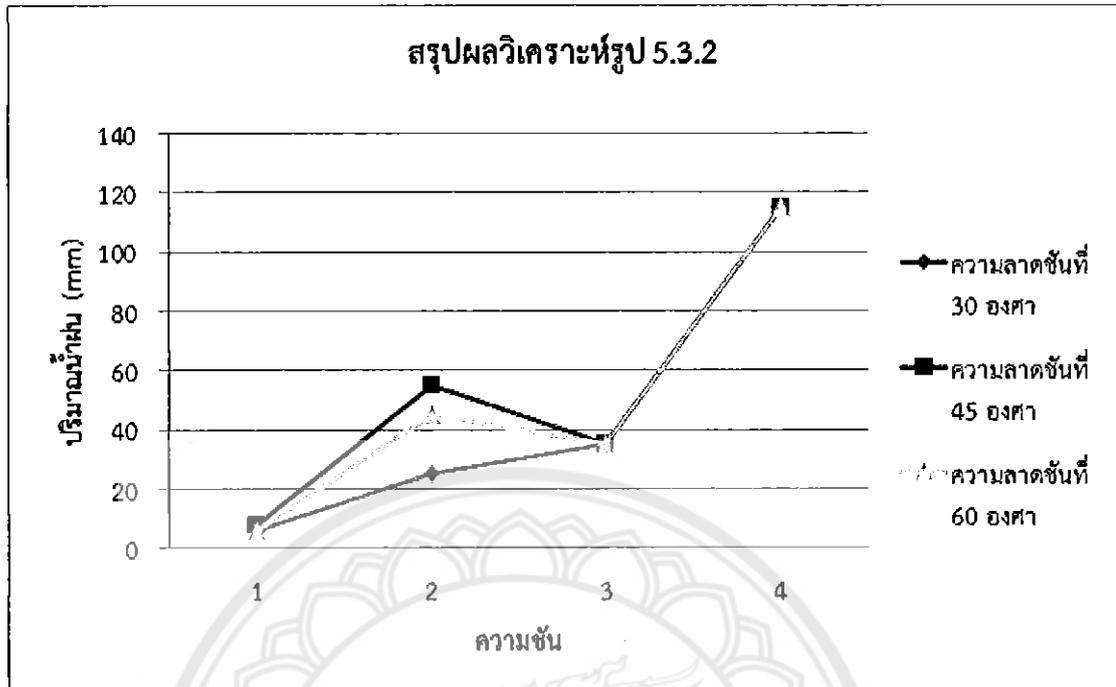
รูปที่ 5.2.1

วิเคราะห์ความลาดชันที่ 30,45,60 มีสภาพป่าสมบูรณ์และมีฝนตกอยู่ที่ 315 mm โดยกำหนดค่าความเชื่อมแน่นอยู่ในช่วง 10-75 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า $c = 35,20,45$ kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.19228,1.1204,1.1575

Slope 30 Excelent Rain 315							
Parametric study(N)	Cohesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพน้ำ	ความลาดชัน*		
1.00	10.00	35.00	315.00	Excelent	30.00		
2.00	15.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.87	
3.00	20.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.93	
4.00	25.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.03	
5.00	30.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.1112	
7.00	35.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.1922	Not be safe
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	
						1.149458	
Slope 45 Excelent Rain 315							
Parametric study(N)	Cohesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพน้ำ	ความลาดชัน*		
1.00	0.00	35.00	315.00	Excelent	30.00		
2.00	5.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.7998	
3.00	10.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.00	
4.00	15.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.036	
5.00	20.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.1204	Not be safe
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	1.66826	
10.00	45.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.77591	
11.00	50.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.88349	
						1.769934	
Slope 60 Excelent Rain 315							
Parametric study(N)	Cohesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพน้ำ	ความลาดชัน*		
1.00	20.00	35.00	315.00	Excelent	30.00		
2.00	25.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.77	
3.00	30.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.92	
4.00	35.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	0.97	
5.00	40.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.067	
6.00	45.00	35.00	315.00	Excelent	30.00	1.1573	Not be safe
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	
						1.128382	

รูปที่ 5.2.2 ตารางผลวิเคราะห์

5.3 สรุปผลจากรูปที่ 5.3.2



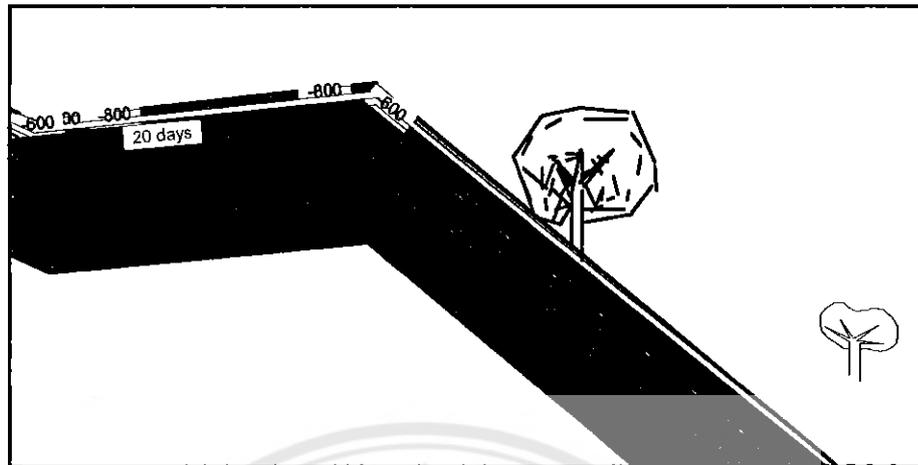
รูปที่ 5.3.1

วิเคราะห์ความลาดชันที่ 30,45,60 มีสภาพป่าสมบูรณ์และมีฝนตกอยู่ที่ 115 mm โดยกำหนดค่าความชื้นแน่นอยู่ในช่วง 0-70 ซึ่งจะพบว่าดินจะเกิดการถล่มที่ค่า $c = 25, 55, 45$ kPa และจะมีค่าความปลอดภัย FS. อยู่ที่ 1.15814, 1.12367, 1.1667

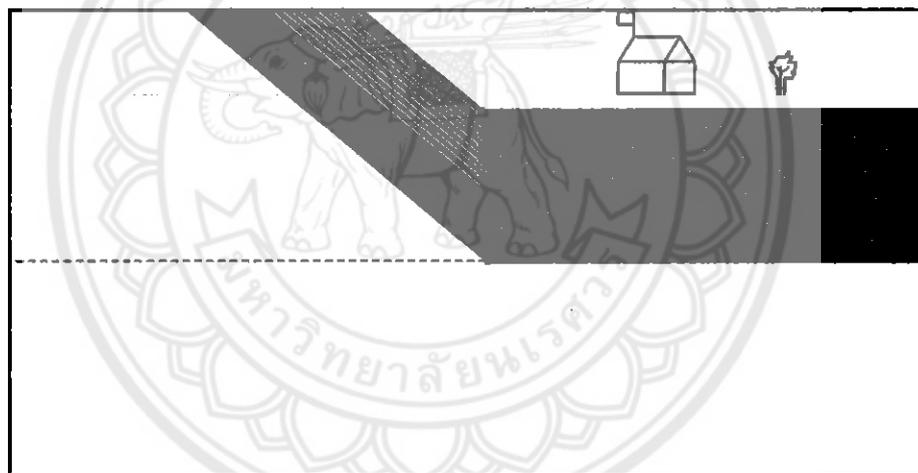
Slope 30 Excelent Rain 115							
Parametric study/ก	c	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพน้ำ	ความลาดชัน°		
1.00	0.00	35.00	115.00	Excelent	30.00		
2.00	5.00	35.00	115.00	Excelent	30.00		
3.00	10.00	35.00	115.00	Excelent	30.00		
4.00	15.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.010	
5.00	20.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.079	
6.00	25.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.15814	Not be safe
7.00	30.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.24158	
8.00	35.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.32495	
9.00	40.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.40198	
10.00	45.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.48364	
11.00	50.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.57156	
						1.02610	
Slope 45 Excelent Rain 115							
Parametric study/ก	Cohesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพน้ำ	ความลาดชัน°		
1.00	20.00	35.00	115.00	Excelent	30.00		
2.00	25.00	35.00	115.00	Excelent	30.00		
3.00	30.00	35.00	115.00	Excelent	30.00		
4.00	35.00	35.00	115.00	Excelent	30.00		
5.00	40.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.7000	
6.00	45.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.7000	
7.00	50.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.0300	
8.00	55.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.12347	Not be safe
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	
						0.8201341	
Slope 60 Excelent Rain 115							
Parametric study/ก	Cohesion	phi	ปริมาณน้ำฝน(mm)	สภาพน้ำ	ความลาดชัน°		
1.00	20.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.7000	
2.00	25.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.7000	
3.00	30.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.9200	
4.00	35.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	0.9800	
5.00	40.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.0770	
6.00	45.00	35.00	115.00	Excelent	30.00	1.1667	Not be safe
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	
						1.169200	

รูปที่ 5.3.2 ตารางผลวิเคราะห์

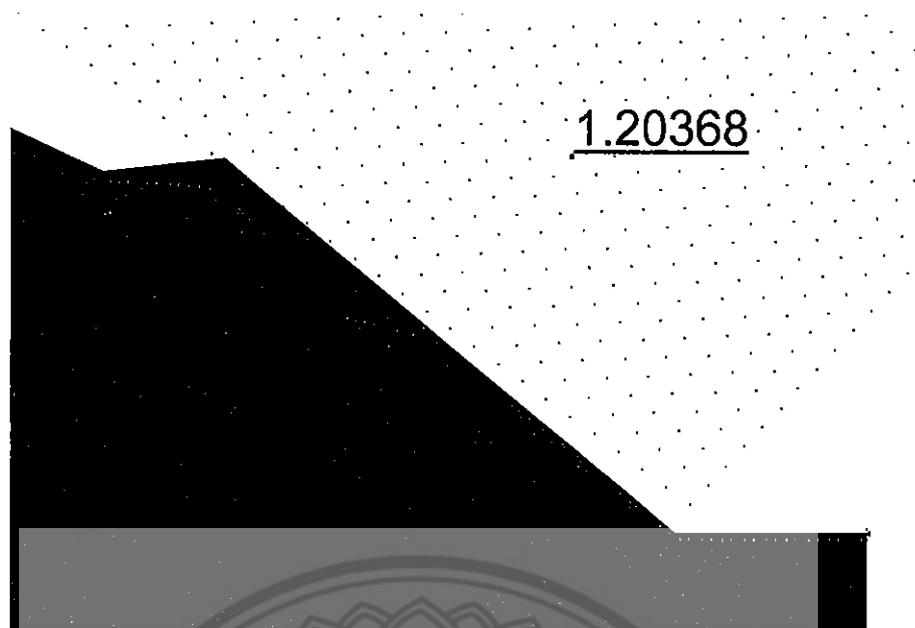
5.4 สรุปผลการทดลองโดยรวม



รูปที่ 5.7 เส้นคอนทิวแรงดันน้ำกับช่องว่างระหว่างเม็ดดิน



รูปที่ 5.5 ระดับน้ำใต้ดิน



รูปที่ 5.6 Slope Stability Analysis with PWP

5.5 สรุปการวิเคราะห์ผลโดยรวม

เมื่อฝนตกหนักเป็นเวลานานโดยน้ำฝนจะไหลซึมลงไปในพื้นที่ดินจนกระทั่งชั้นดินชุ่มน้ำ ไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ เนื่องจากความดันของน้ำในดินเพิ่มขึ้น (Piezometric head) เป็นการเพิ่มความดันในช่องว่างของเม็ดดิน (Pore Pressure) ดันให้ดินมีการเคลื่อนที่ลงมาตามลาดเขาได้ง่ายขึ้น และนอกจากนี้แล้วน้ำที่เข้าไปแทนที่ช่องว่างระหว่างเม็ดดินทำให้แรงยึดเกาะ ระหว่างเม็ดดินลดน้อยลง ส่งผลให้ดินมีกำลังรับแรงต้านทานการไหลของดินลดลงทำให้ความปลอดภัยของลาดดิน ลดลงไปด้วย และถ้าหากปริมาณน้ำในมวลดินเพิ่มขึ้นจนมวลดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ

เอกสารอ้างอิง

วินิต ช่อวิเชียร และ วัฒนา ธรรมมงคล. ปฐพีกลศาสตร์. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

สง่า ตั้งชัชวาล. เสถียรภาพการขุดเจาะ กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2541)

สรารุจ จริตงาม. กลศาสตร์ของดิน สงขลา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,
2545

ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างประตुरถยนต์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2548

วรารกร ไม้เรียง. 2542. วิศวกรรมเขื่อนดิน. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บรรพต กุลสุวรรณ, 2548. การศึกษาพฤติกรรมการพิบัติของลาดดินในพื้นที่ต้นน้ำของกลุ่มน้ำย่อย
แม่น้ำจันทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Fredlund, D.G. and H. Rahardjo. 1993. Soil Mechanics for Unsaturated Soils. John
Wiley & Son, INC., New York.



ภาคผนวก ก

ตัวอย่าง การใช้โปรแกรม Geo Studio2007 ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ

ความลาดชันของพื้นที่หมู่บ้านห่านทางหลวง ตำบลภูฟ้า อ.บ่อเกลือ

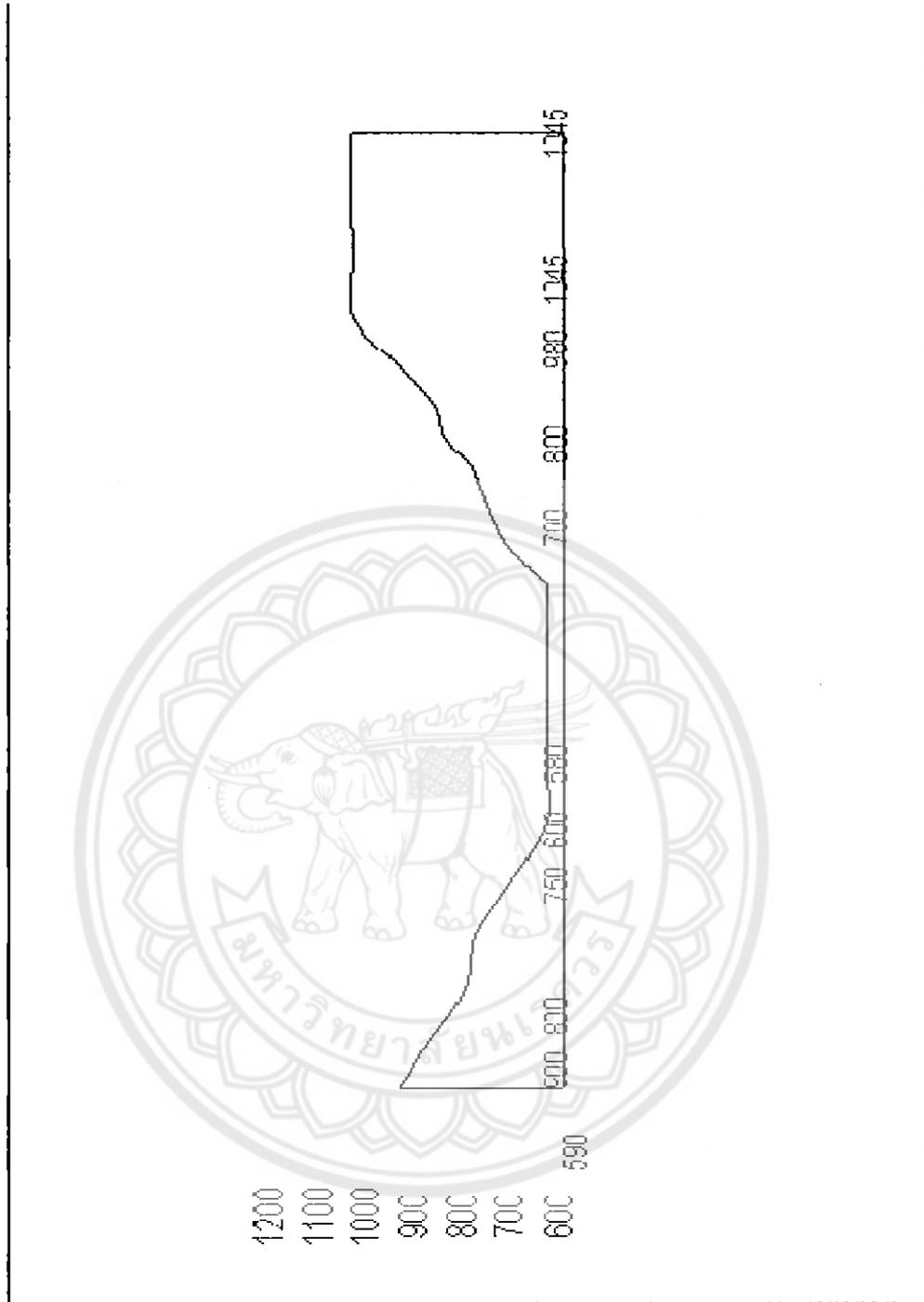
จังหวัดน่าน โดยการใช้งานตัวช่วยป้อนข้อมูล

ก.1 ชั้นตอนที่ 1

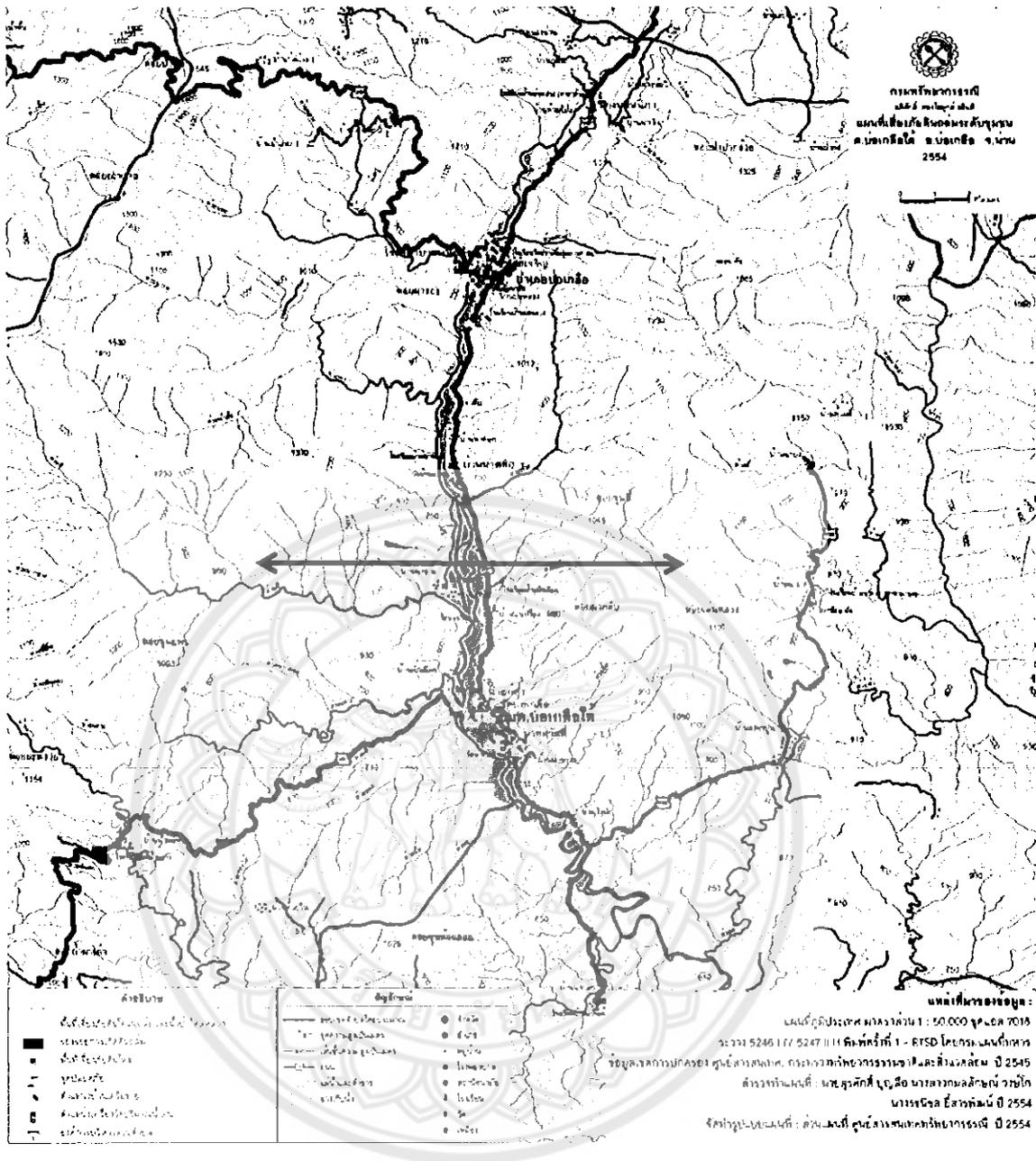
การวาดหน้าตัดความลาดชันและชั้นดินจากแผนที่มาตราส่วน 1:10,000 (กรมแผนที่ทหาร, วันที่ 3 เม.ย. 2556) ใส่พิกัดจุดแต่ละตำแหน่งจากโดย Auto cad 2010

X	Y	Z
270.6219	-235.9874,	0
271.4358	-236.3344,	0
273.1257	-237.0549,	0
275.5876	-237.8135,	0
277.6878	-239.0030,	0
279.6374	-239.9900,	0
281.6072	-240.9870,	0
283.9356	-242.2335,	0
288.2962	-243.5469,	0
293.0893	-243.1064,	0
296.8956	-244.9315,	0
298.9492	-245.9956,	0
300.9903	-247.0428,	0
303.1303	-247.9239,	0
305.294	-249.1089,	0
307.7088	-249.9421,	0
311.5826	-251.7916,	0
319.7138	-250.8741,	0
328.2235	-251.2998,	0
334.9097	-251.2618,	0
340.0898	-251.2469,	0
343.9598	-251.5030,	0
348.1299	-251.1317,	0
349.2615	-249.8871,	0
350.7367	-248.9838,	0
352.289	-247.9406,	0
354.1706	-246.8281,	0
356.7704	-245.8387,	0
360.0114	-244.9946,	0
363.3218	-244.0106,	0
366.7418	-243.2299,	0
369.3899	-240.3130,	0
373.1989	-240.3536,	0
376.011	-239.1857,	0
377.7786	-238.0015,	0
379.3186	-236.9421,	0
380.9251	-236.0292,	0
382.403	-235.0517,	0
383.6644	-234.0432,	0
384.8374	-232.7586,	0
386.8849	-231.8580,	0
389.9891	-230.5502,	0
396.6813	-231.3650,	0
402.6083	-230.9755,	0
409.0297	-230.9918,	0
412.543	-230.9867,	0
415.6092	-230.9872,	0
416.6404	-230.9874,	0
270.6219	-235.9874,	0

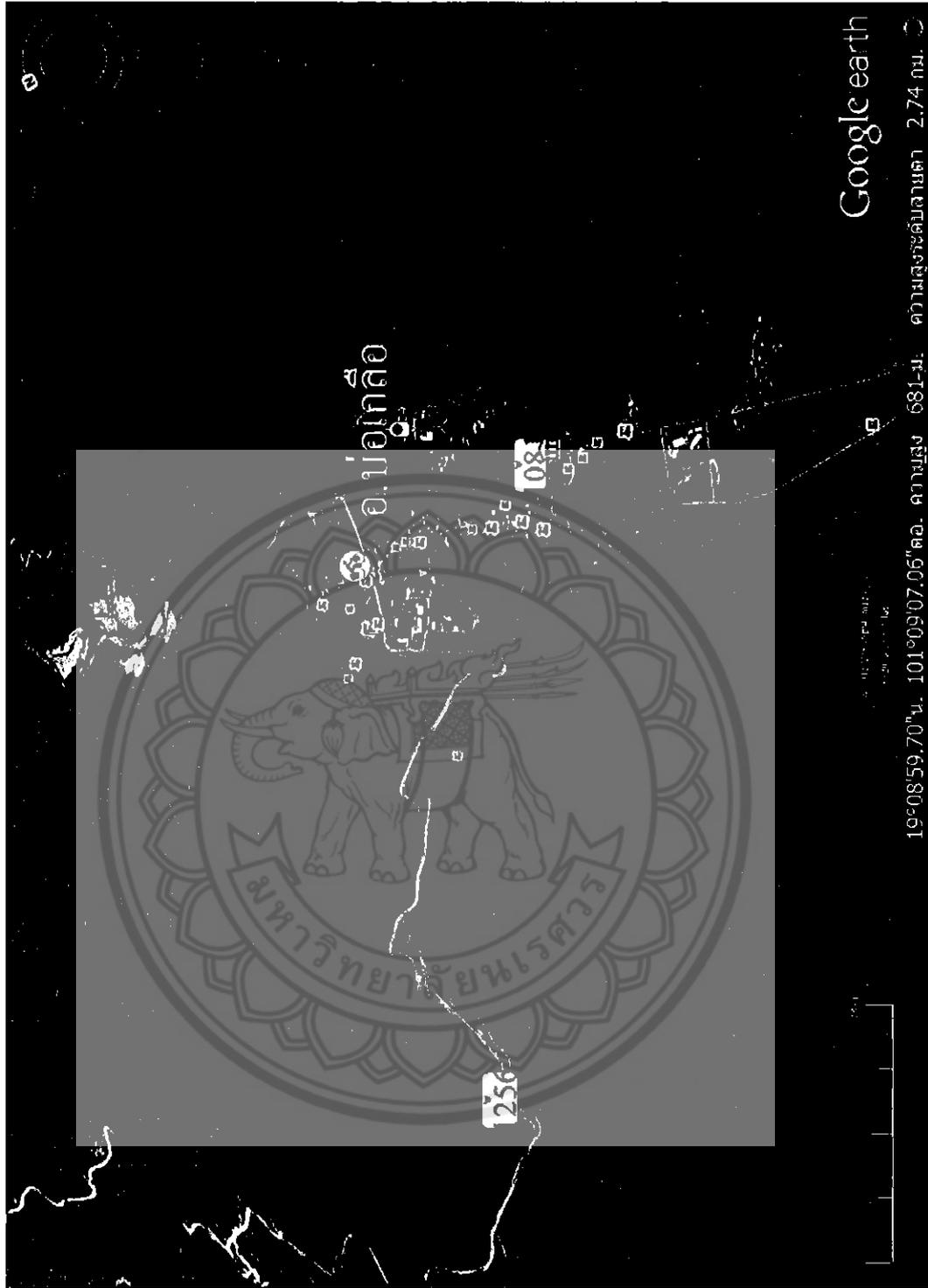
273.0809	-236.9874,	0
275.7569	-237.9874,	0
277.6946	-238.9874,	0
279.6324	-239.9874,	0
281.5896	-240.9874,	0
283.6003	-241.9874,	0
286.9222	-242.9874,	0
294.6734	-243.9874,	0
296.9803	-244.9874,	0
298.9366	-245.9874,	0
300.9481	-246.9874,	0
303.1628	-247.9874,	0
305.1928	-248.9874,	0
307.6843	-249.9874,	0
310.2122	-250.9874,	0
317.5221	-251.2586,	0
331.0732	-251.2586,	0
336.1103	-251.2586,	0
337.5495	-251.2586,	0
346.5957	-251.2586,	0
347.9854	-250.9874,	0
349.2685	-249.9874,	0
350.7077	-248.9874,	0
352.2496	-247.9874,	0
353.9972	-246.9874,	0
356.497	-245.9874,	0
359.9595	-244.9874,	0
363.5574	-243.9874,	0
366.4764	-242.9874,	0
369.3243	-240.9874,	0
373.7102	-239.9874,	0
376.2169	-238.9874,	0
377.7926	-237.9874,	0
379.2967	-236.9874,	0
380.9528	-235.9874,	0
382.448	-234.9874,	0
383.6656	-233.9874,	0
384.7399	-232.9874,	0
386.6021	-231.9874,	0
389.4644	-230.9874,	0
394.2909	-230.9874,	0
406.0979	-230.9874,	0
407.4421	-230.9874,	0
413.547	-230.9874,	0
416.6404	-230.9874,	0



รูปที่ 6 Profile Cross Section ที่สกัดจากแผนที่ภูมิประเทศของ หมู่บ้านท่าทางหลวง ตำบลภูฟ้า
อ.บ่อเกลือ จังหวัดน่าน



รูปที่ 7 แผนที่ภูมิประเทศของ หมู่บ้านผ่านทางหลวง ตำบลภูฟ้า อ.บ่อเกลือ จังหวัดน่าน
(กรมแผนที่ทหาร, วันที่ 3 เม.ย. 2556)

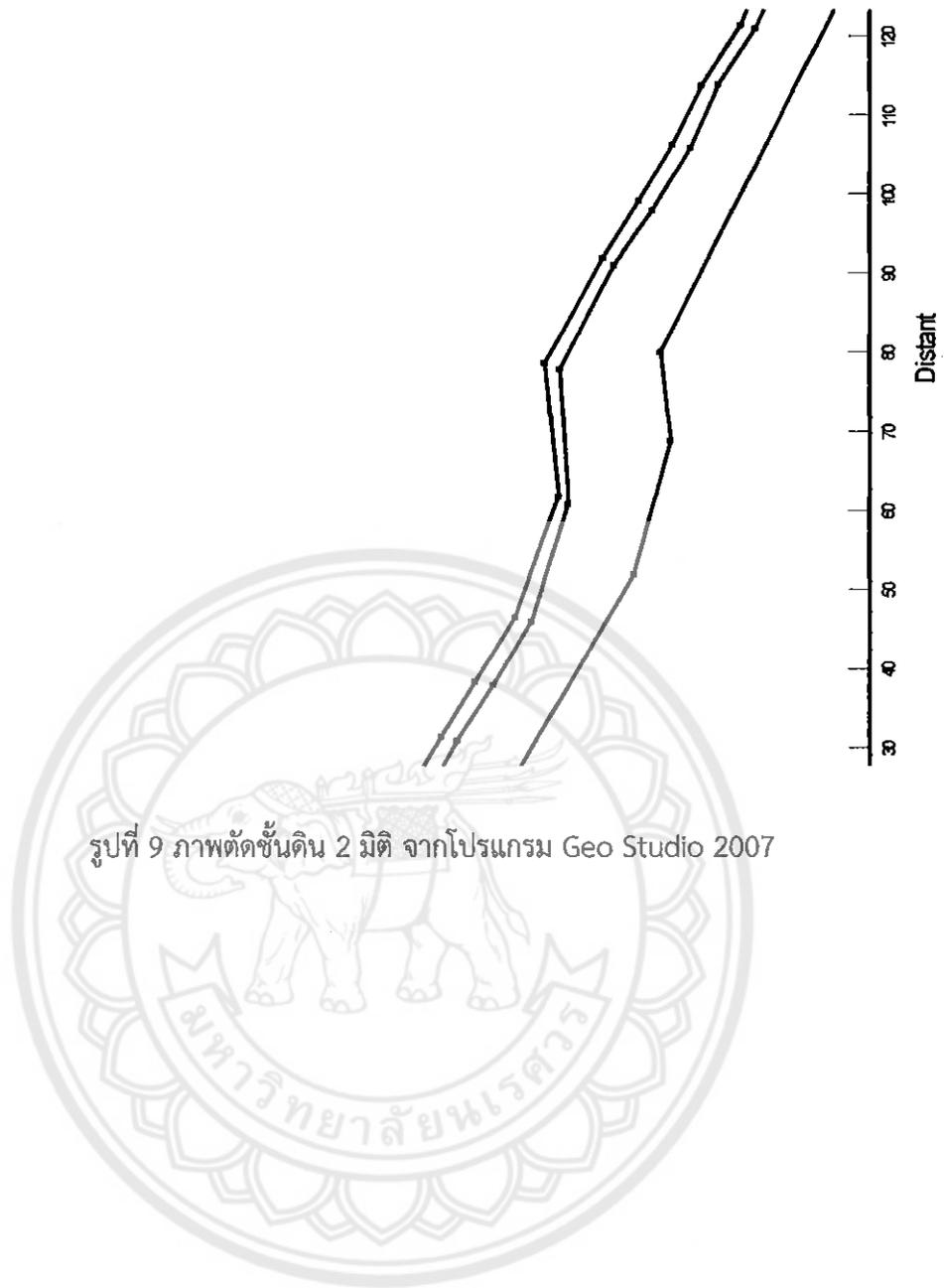


รูปที่ 8 ภาพสามมิติจาก Google Earth

ก.2 ชั้นตอนที่ 2

ตัดแบ่งครึ่งรูปโปรไฟล์เพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพดังรูปที่ 9

ตารางพิกัดโปรไฟล์		
X	Y	Z
0	59.5	0
2.8487	58.2855	0
8.7631	55.7638	0
17.3798	53.1086	0
24.7306	48.9453	0
31.5542	45.4911	0
38.4483	42.0015	0
46.5979	37.6386	0
61.86	33.042	0
78.6356	34.5837	0
91.9577	28.1958	0
99.1455	24.4714	0
106.2894	20.8063	0
113.7792	17.7224	0
121.3523	13.5748	0
129.8042	10.6587	0
139.9491	5.8149	0
147.8862	5.3387	0
152.7428	5.4398	0



ก.3 ชั้นตอนที่ 3

เลือกรูปแบบกำลังของดิน (Strength Model) คือ Mohr-Coulomb Material ป้อนข้อมูลคุณสมบัติของชั้นดิน (Soil properties) จากชั้นล่างสุดขึ้นบน และปิดท้ายชั้นบนสุดด้วยชั้นอากาศเสมอ ดังตารางต่อไปนี้

Soil No.	Description	ความลึก (m)	Unit Weight (kgN/m ²)	K (m/s)	LL	ปริมาณความชื้น (%)	การกระจายตัวของเม็ดดิน		
							No.4	No.200	PI
1	SC	1.5	19.93	1.00E-05	20.95	18.78	96.34 (PL)	53.21	0.69
2	SC	1.95	14.7	1.00E-06	19.8	14.55	96.83 (NP)	96.21	
3	GM	3.45	17.5	1.00E-02	N/A	8.39	47.45 (NP)	14.8	
4	GM	4.95	18.4	1.00E-02	N/A	12.36	50.93 (NP)	7.88	
5	SM	6.45	17.6	1.00E-03	20.15	11.57	80.59 (PL)	43.15	0.18

** อัตราส่วนปัวซองของโมดูลัสยืดหยุ่น (Poisson's Ratio) = 0.3-0.35

โมดูลัสยืดหยุ่นของดิน กก/ซม²

ซิลท์ ทรายแป้ง = 70-120 กก/ซม²

ทรายแน่นปนกรวด = 980 กก/ซม²

(ที่มา: หนังสือประกอบการเรียนวิชา Soil Mechanics, อ.วินิต ช่อวิเชียร, 2556, หน้า 241)

ตัวอย่างการจำแนกดินแต่ละชั้น ของ อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน

ดิน	ลักษณะดิน	ค่า
1	ดินเม็ดหยาบหรือละเอียด	ละเอียด
	เหตุผล	%F#200>50%
	กรวดหรือทราย	ดินเม็ดละเอียด
	เหตุผล	%F#200>50%
	ละเอียดมากหรือน้อย	ละเอียด
	เหตุผล	%F#4มากถึง96.34
	การกระจายตัวของเม็ดดิน	
	เหตุผล	ดินละเอียดไม่ต้องพิจารณาCu,Cc
	ส่วนเม็ดละเอียดเป็นจำพวกใด	Silt and Clay
	เหตุผล	L.L.<50%
	สัญลักษณ์	กรวดและทรายปนตะกอนทรายหรือดินเหนียว
	เหตุผล	L.L.-30
	Liquid Limit สูงหรือต่ำ	ต่ำ
	เหตุผล	L.L.<50%
	อยู่ในพื้นที่ใดของ Plasticity Chart	A-5
	เหตุผล	L.L. = 20.95% และ P.I. = 0.69%
	สัญลักษณ์ของดินเม็ดละเอียด	SC

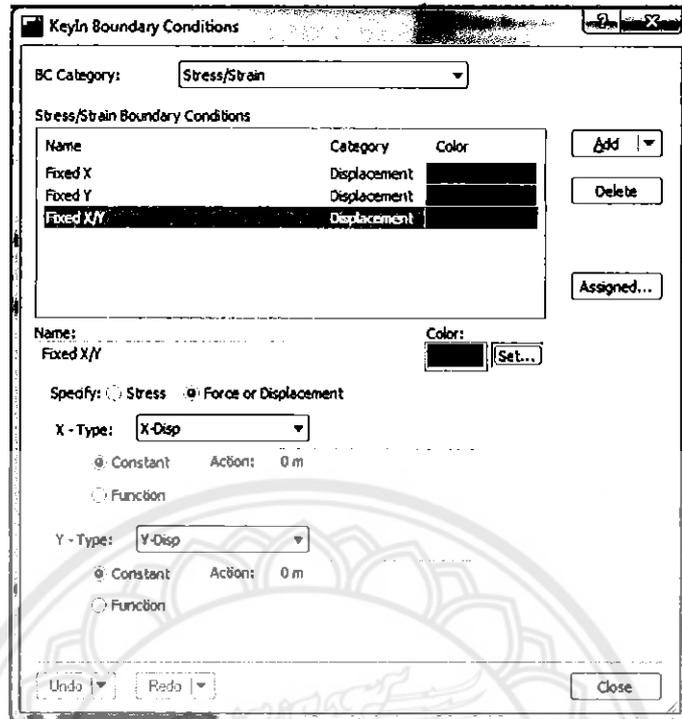
2	ดินเม็ดหยาบหรือละเอียด	ละเอียดมาก
	เหตุผล	%F#200>50%
	กรวดหรือทราย	ดินเม็ดละเอียด
	เหตุผล	%F#200>50%
	ละเอียดมากหรือน้อย	ละเอียด
	เหตุผล	%F#4มากถึง96.83
	การกระจายตัวของเม็ดดิน	
	เหตุผล	ดินละเอียดไม่ต้องพิจารณาCu,Cc
	ส่วนเม็ดละเอียดเป็นจำพวกใด	Silt and Clay
	เหตุผล	L.L.<50%
	สัญลักษณ์	กรวดและทรายปนตะกอนทรายหรือดินเหนียว
	เหตุผล	L.L.-30
	Liquid Limit สูงหรือต่ำ	ต่ำ
	เหตุผล	L.L.<50%
	อยู่ในพื้นที่ใดของ Plasticity Chart	A-4
	เหตุผล	L.L. = 20.95% และ P.I. = 0.146%
	สัญลักษณ์ของดินเม็ดละเอียด	SC

ชนิดดิน	คุณสมบัติ	หมายเหตุ
3	ดินเม็ดทรายหรือละเอียด	หยาบ
	เหตุผล	%F#200<50%
	กรวดหรือทราย	ค่อนข้างหยาบ
	เหตุผล	%F#200<50%
	ละเอียดมากหรือน้อย	ละเอียด
	เหตุผล	%F#4หยาบปานกลางถึง47.45
	ส่วนเม็ดละเอียดเป็นจำพวกใด	Silt and Clay
	เหตุผล	ไม่มีความเชื่อมั่น
	สัญลักษณ์	กรวดและทรายปนตะกอนทรายหรือดินเหนียว
	เหตุผล	LL-30
	Liquid Limit สูงหรือต่ำ	ต่ำ
	เหตุผล	L.L.<50%
	อยู่ในพื้นที่ใดของ Plasticity Chart	ไม่มีความเชื่อมั่น
	เหตุผล	ไม่มีความเชื่อมั่น
	สัญลักษณ์ของดินเม็ดละเอียด	GM

ชนิดดิน	คุณสมบัติ	หมายเหตุ
4	ดินเม็ดทรายหรือละเอียด	หยาบ
	เหตุผล	%F#200<50%
	กรวดหรือทราย	กรวดและทรายปนตะกอนทรายหรือดินเหนียว
	เหตุผล	%F#200<50%
	ละเอียดมากหรือน้อย	หยาบมาก
	เหตุผล	%F#4หยาบปานกลางถึง47.45
	ส่วนเม็ดละเอียดเป็นจำพวกใด	G
	เหตุผล	ไม่มีความเชื่อมั่น
	สัญลักษณ์	G
	เหตุผล	ไม่มีความเชื่อมั่น
	Liquid Limit สูงหรือต่ำ	ไม่มีความเชื่อมั่น
	เหตุผล	ไม่มีความเชื่อมั่น
	อยู่ในพื้นที่ใดของ Plasticity Chart	ไม่มีความเชื่อมั่น
	เหตุผล	ไม่มีความเชื่อมั่น
	สัญลักษณ์ของดินเม็ดละเอียด	GM

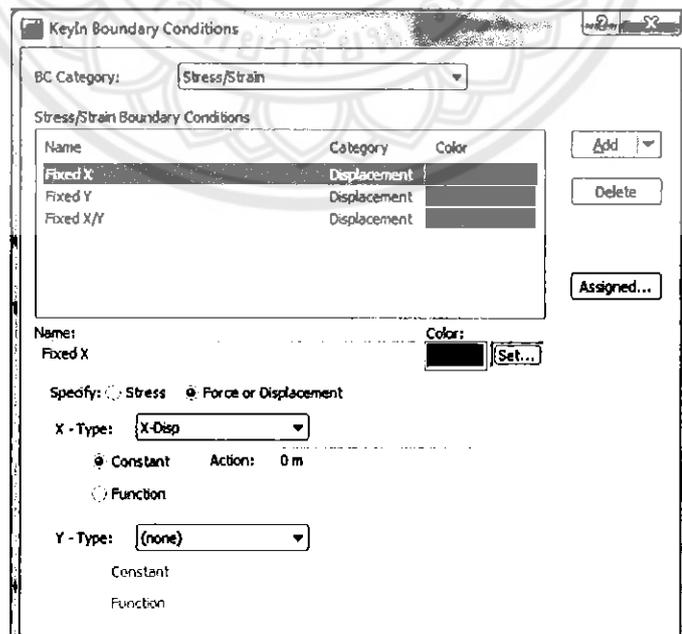
ข้อมูลเบื้องต้น		
No.	ชื่อ	ค่า
5	ดินเม็ดหยาบหรือละเอียด	ละเอียด
	เหตุผล	%F#200>50%
	กรวดหรือทราย	ดินเม็ดละเอียด
	เหตุผล	%F#200>50%
	ละเอียดมากหรือน้อย	ละเอียด
	เหตุผล	%F#4มากถึง80.59
	การกระจายตัวของเม็ดดิน	
	เหตุผล	ดินละเอียดไม่ต้องพิจารณาCu,Cc
	ส่วนเม็ดละเอียดเป็นจำพวกใด	Silt and Clay
	เหตุผล	L.L.<50%
	สัญลักษณ์	กรวดและทรายปนตะกอนทรายหรือดินเหนียว
	เหตุผล	L.L.-30
	Liquid Limit สูงหรือต่ำ	ต่ำ
	เหตุผล	L.L.<50%
	อยู่ในพื้นที่ใดของ Plasticity Chart	A-4
	เหตุผล	L.L. = 20.95% และ P.I. = 0.16%
	สัญลักษณ์ของดินเม็ดละเอียด	SM

ก.4 ขั้นตอนที่ 4



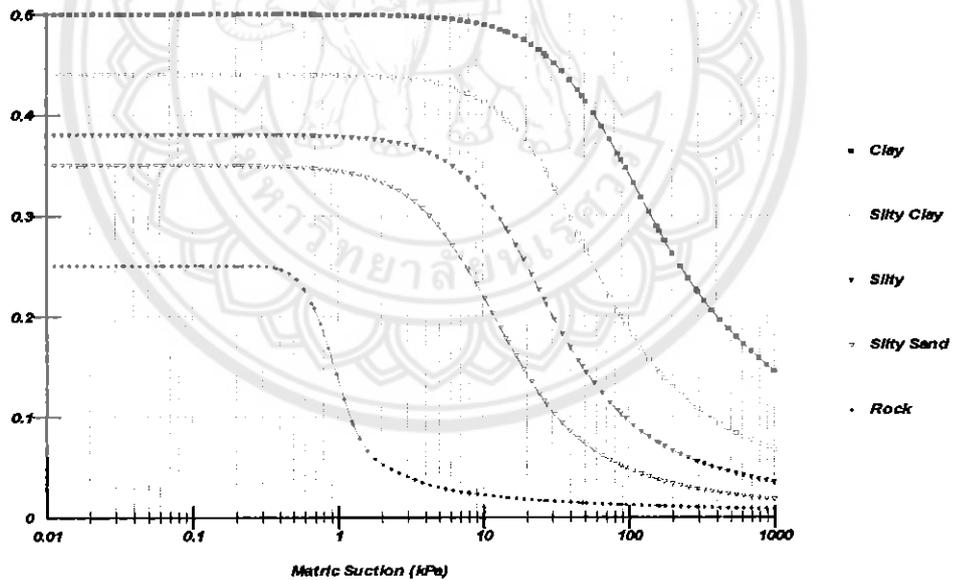
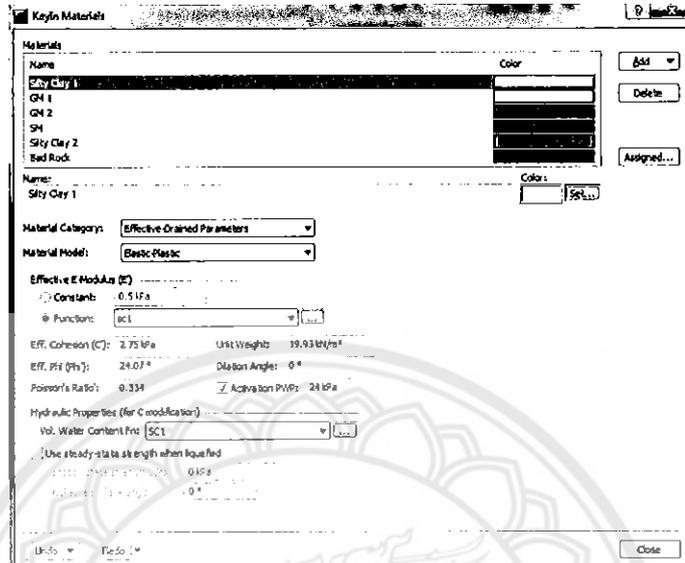
ก.5 ขั้นตอนที่ 5

กำหนดขอบเขตให้แกน X หรือพื้นล่างสุดไม่มีการเคลื่อนที่ทั้งแนวราบและแนวตั้ง $X=0$ m; $Y=0$ m;



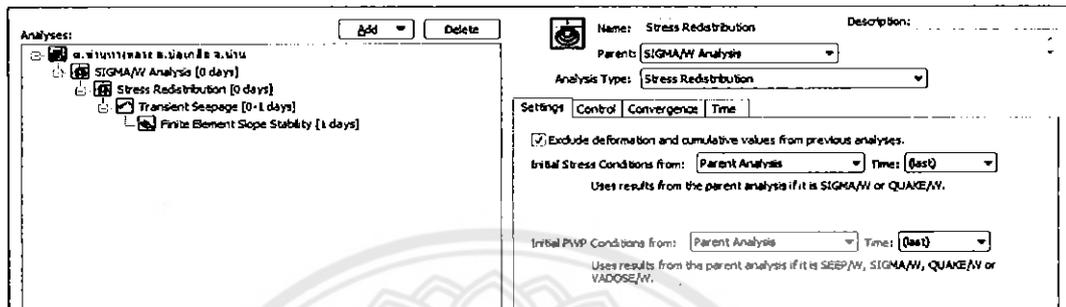
ก.6 ชั้นตอนที่ 6

กำหนดขอบเขตให้แกน Y ไม่มีการเคลื่อนที่ทางในแนวราบ $X=0$ m;



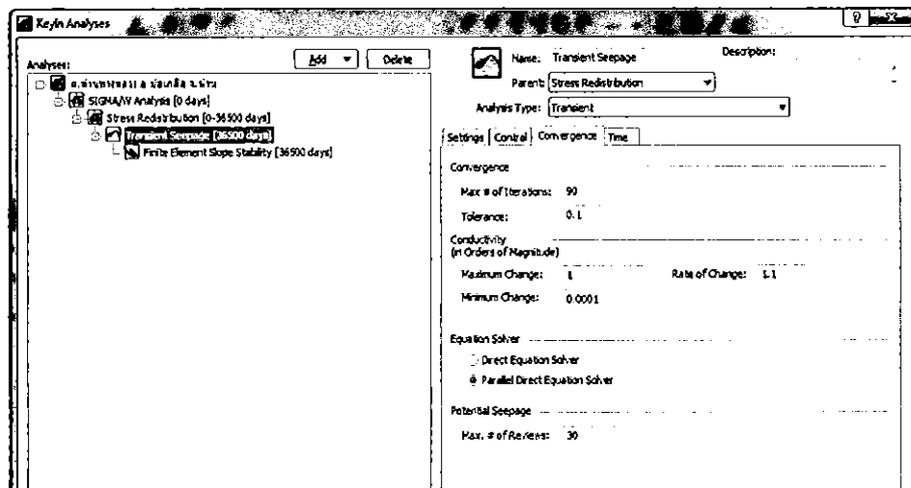
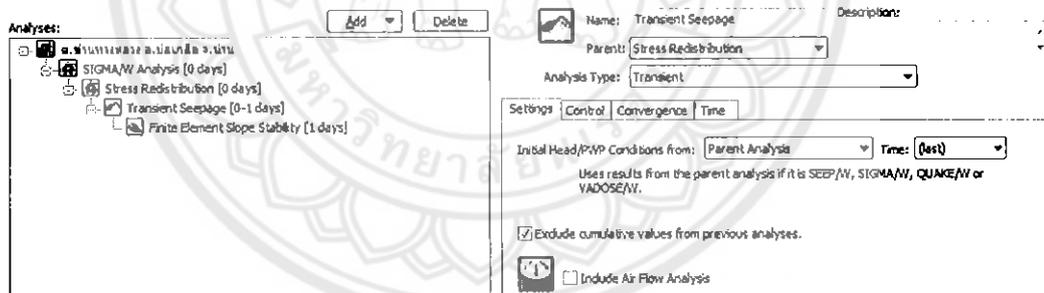
ก.7 ขั้นตอนที่ 7

ป้อนคุณสมบัติความชื้นและชนิดของดินแต่ละชั้นจากวันที่เริ่มทำการวิเคราะห์ให้มีปริมาณความชื้นของพื้นที่ และความเร็วการไหลของน้ำใต้ดินซึ่งวิเคราะห์จากขนาดของเม็ดดินจากการผ่านตะแกรงเบอร์#4, #200 ของตำบลบ่อเกลือ จังหวัดน่าน



ก.8 ขั้นตอนที่ 8

กำหนดขอบเขตของการยุบตัวของชั้นดินจากด้านบนเนื่องจากแรงกดทับของชั้นดิน และแรงดันน้ำแต่ละชั้นเมื่อช่วงเวลาผ่านไป 50 ปี





ภาคผนวก ข
ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์วิธีไฟไนท์อิเลเมนต์



ค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติของดิน อ.ป่อเกล้า จ.น่าน (Soil properties)
(กรณีโยธาธิการ, 3 เมษายน 56)

2) ฐานรากแผ่ในดินที่ไม่มี cohesion (Cohesionless soil)

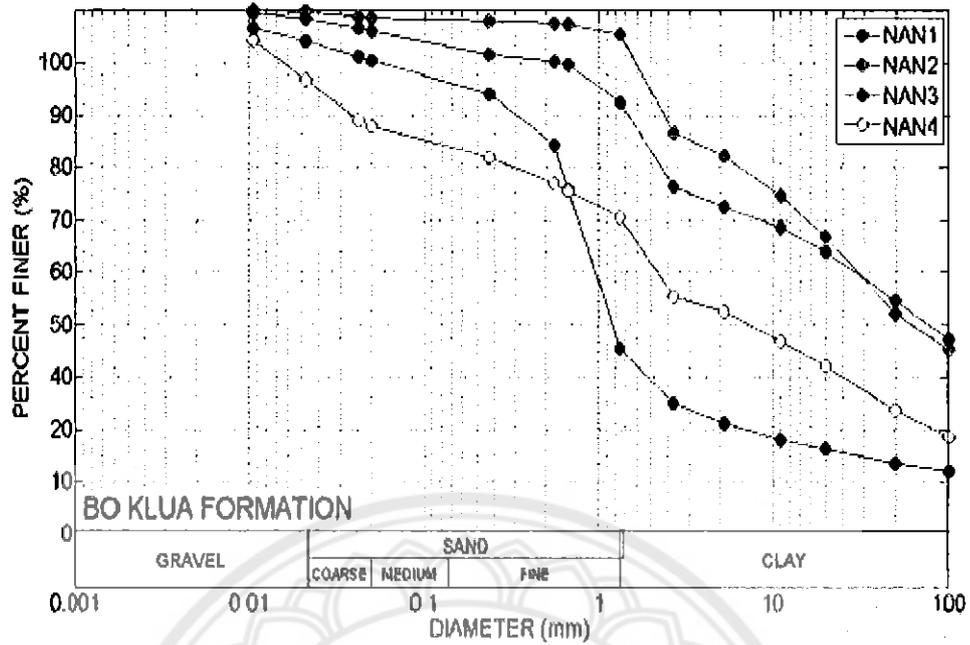
ดินประเภทนี้มีเม็ดดินขนาดใหญ่ และมีความซึมน้ำได้สูง (High permeability) เมื่อชั้นดินประเภทนี้รับน้ำหนักจะเกิดการทรุดตัวได้เร็ว ดังนั้น ข้อกำหนดในการออกแบบฐานรากได้พิจารณาโดยใช้ Allowable bearing pressure ของ Peck, Hanson และ Thornburn(1974) ที่ยอมให้การทรุดตัวไม่เกิน 25 มิลลิเมตร และต้องคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจากระดับน้ำใต้ดินเป็นสำคัญด้วย

ความสามารถในการรับน้ำหนักปลอดภัยของชั้นดิน บริเวณหลุมเจาะที่ 2 และ 3 ไม่อาจทราบได้จากความลึกไม่น้อยกว่า 3.00 และ 4.60 เมตร จากปากหลุมเจาะ ตามลำดับ ทำให้ยากที่จะหาข้อมูลได้เกินกว่า 20 ต้นต่อตารางเมตร เมื่อใช้ค้ำมีจชัยปลอดภัยเท่ากับ 3

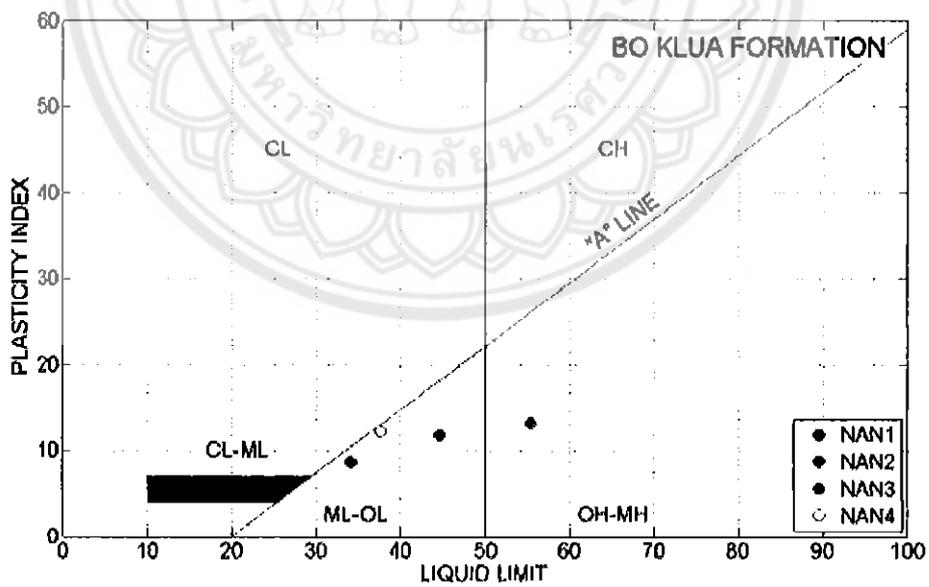
ส่วนบริเวณหลุมเจาะที่ 1 และ 4 นั้นเนื่องจากสามารถเก็บข้อมูลได้เพียงจากการตอกชั่ง (Sounding test) เพื่อหาแนวโน้มความแน่นของชั้นดิน ซึ่งทำได้ลึกเพียง 2.40 เมตร และ 1.60 เมตร จากผิวดินบริเวณหลุมเจาะทั้งสอง ตามลำดับ ทำให้ยากแก่การกำหนดระดับฐานราก ดังนั้น จึงควรทำการขุดเปิดหน้าดิน เพื่อสังเกตชั้นดิน และพิจารณาฐานรากไว้ที่ชั้นดินชั้นเดียวกับหลุมเจาะที่ 2 และ 3 ทั้งนี้ น้ำหนักจากฐานรากที่จะถ่ายลงสู่ชั้นดินนั้น จะต้องไม่เกินกำลังความสามารถในการรับน้ำหนักของชั้นดิน และต้องเป็นที่ยืนยันไว้ว่า ไม่มีชั้นดินอ่อนแวกที่อยู่ข้างใต้ชั้นดินที่วางฐานราก

ข้อมูลนี้เป็นเพียงแนวทางเพื่อประกอบการพิจารณา
การนำไปใช้ต้องอยู่ในดุลยพินิจของวิศวกร
ถ้ากรณีชั้นดินในบริเวณใดตรงการก่อสร้างอีกตรงหนึ่ง





กราฟการกระจายตัวของเม็ดดินของ อ.บ่อเกลือ จ.น่าน(ประกอบการวิเคราะห์ดินชั้นบน)
(สำนักเทคโนโลยีธรณีกรมทรัพยากรธรณี, 3 เมษายน 56 ใช้ Nan1)



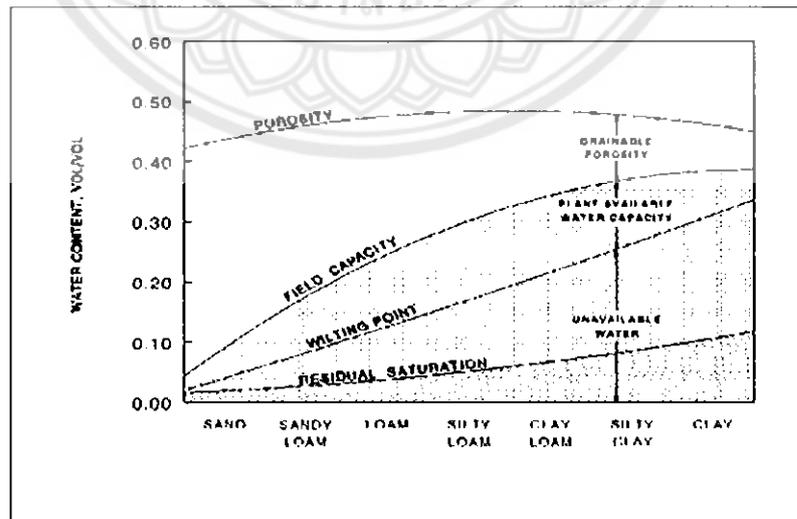
ขีดจำกัดความเหลวของดิน(LL.)ของ อ.บ่อเกลือ จ.น่าน(ประกอบการวิเคราะห์ดินชั้นบน)
(สำนักเทคโนโลยีธรณีกรมทรัพยากรธรณี, 3 เมษายน 56)

ตัวอย่าง	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (ซม. ต่อ วินาที)
NAN1	6.500×10^{-7}
NAN2	4.871×10^{-6}
NAN3	8.033×10^{-6}
NAN4	1.656×10^{-6}

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของ อ.บ่อเกลือ จ.น่าน(ประกอบการวิเคราะห์ดินชั้นบนใช้ Nan1)
(สำนักเทคโนโลยีธรณีกรมทรัพยากรธรณี, 3 เมษายน 56)

ตัวอย่าง	ค่าความยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (kso)	ค่ามุมเสียดทานภายใน (degree)
NAN1	2.75	24.08
NAN2	1.71	21.34
NAN3	1.26	33.23
NAN4	3.73	27.66
NAN 5	1.52	25.28
NAN 6	0.38	32.74
NAN 7	1.81	32.48
NAN 8	1.67	22.32

ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของแรงเฉือนของ อ.บ่อเกลือ จ.น่าน
(ประกอบการวิเคราะห์ดินชั้นบน ใช้ Nan1)
(สำนักเทคโนโลยีธรณีกรมทรัพยากรธรณี, 3 เมษายน 56)



ความจุความชื้น
(ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพี ม.ก.)

ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำ (hydraulic conductivity, Ks)		ลักษณะการนำน้ำ (water flow)
ช่วงค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำ (cm/d)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำ (cm/d)	
< 0.2	2.36×10^{-10}	ช้ามาก (very slow)
0.2-0.5	$(2.36-5.91) \times 10^{-10}$	ช้า (slow)
0.5-1.4	$(0.59-1.65) \times 10^{-9}$	ช้าปานกลาง (moderate)
1.4-1.9	$(1.65-2.24) \times 10^{-9}$	เร็วปานกลาง (moderately rapid)
1.9-3.0	$(2.24-3.54) \times 10^{-9}$	เร็ว (rapid)
> 3.0	$> 3.54 \times 10^{-9}$	เร็วมาก (very rapid)

การแบ่งชั้นของสภาพน้ำขังในดิน (Ks) ของดิน
(ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพี ม.ก.)

ประเภทดิน	ลักษณะการนำน้ำ (cm/d)				ค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำ (cm/d)
	AWCA	PWP	FC	AWCA	
หยาบ	1-2	3-6	6-16	3-10	21-31
ปานกลาง	2-5	12-15	27-35	15-20	31-47
ละเอียด	5-10	24-34	38-53	14-19	38-90

ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและการอุ้มน้ำของดินที่สภาวะต่างๆ (%โดยมวล)

** ความจุความชื้นสนาม (field capacity, FC) คือ ระดับความชื้นของดินที่ยังคงเหลืออยู่ เมื่อดินอุ้มน้ำด้วยน้ำแล้ว 2-3 วัน หลังจากที่ไม่มีการไหลของน้ำด้วยอิทธิพลของแรงโน้มถ่วง น้ำจะขังอยู่ในช่องขนาด $\leq 50 \mu\text{m}$ มีความดันวัสดุพื้น 6 kPa

** (เอกสารจุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point, PWP) คือ ระดับความชื้นที่พืชเริ่มแสดงอาการเหี่ยวและไม่ฟื้นตัวแม้จะอยู่ในบรรยากาศที่ชื้นจัดเป็นเวลาข้ามคืน น้ำจะขังอยู่ในช่องขนาด $< 0.2 \mu\text{m}$ มีความดันวัสดุพื้น 1,500 kPa

** ความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (available water capacity, AWCA) คือ ผลต่างของระดับความจุความชื้นสนาม (FC) กับจุดเหี่ยวถาวร (PWP)

(ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพี ม.ก.)

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายศิวะ โฉมทรัพย์เย็น
ภูมิลำเนา 8 หมู่ 6 ต.กองทุล อ.หนองไผ่ จ. เพชรบูรณ์
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยม เพชรละครวิทยา จ.เพชรบูรณ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: siwa_engi@hotmail.com



ชื่อ นายธีระพงษ์ บุญเทพ
ภูมิลำเนา 201/1 หมู่ 5 ต.ทุ่งรวงทอง อ.จุน
จ.พะเยา

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยม จุนวิทยาคม จ.พะเยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Civil_0294@hotmail.com