

# การศึกษาผลของปริมาณน้ำในมวลดินที่มีผลต่อการวิเคราะห์เสถียรภาพ ของลาดเอียงโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

## A STUDY OF THE EFFECT OF WATER VOLUME IN SOIL MASS ON SLOPE STABILITY ANALYSIS BY COMPUTER PROGRAM

สุรัชย์ อำนวยพรเลิศ<sup>1</sup>, ณัฐพล พรหมจักร<sup>2</sup>, นภวิชย์ ปัตติโรสง<sup>3</sup> และ เอกพันธ์ ชุ่มมงคล<sup>4</sup>

<sup>1</sup>อาจารย์, สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา  
เชียงราย, 99 หมู่ที่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120, aretomrit@gmail.com  
<sup>2,3,4</sup>นักศึกษา, สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา  
เชียงราย, 99 หมู่ที่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120

Surachai Amnuaypornlert<sup>1</sup>, Nattapon Phommachuk<sup>2</sup>, Napawit Patthaisong<sup>3</sup>  
and Aekkapan Chommongkol<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,  
Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai, 99 Moo 10, Sai Khao Subdistrict,  
Phan District, Chiangrai 57120, Thailand, aretomrit@gmail.com

<sup>2,3,4</sup>Bachelor student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,  
Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai, 99 Moo 10, Sai Khao Subdistrict,  
Phan District, Chiangrai 57120, Thailand

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียงตามธรรมชาติภายใต้สภาวะอิ่มตัว  
ด้วยน้ำโดยทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพของดินและทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง  
กับการทดสอบแรงอัดสามแกนภายใต้เงื่อนไขดินอยู่ในสภาวะ Unconsolidated – Undrained Test  
แล้วนำมาวิเคราะห์เสถียรภาพเพื่อศึกษาอิทธิพลของสภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่มีผลต่อการพังทลาย  
ในการศึกษาได้นำดินจากธรรมชาติโดยเก็บข้อมูลดิน 2 ชนิด บริเวณบ้านห้วยดอกอูน ต.เจริญเมือง  
อ.พาน จ.เชียงราย จากการทดสอบตัวอย่างโดยวิธีแรงอัดสามแกนเปรียบเทียบกับทดสอบแรง  
เฉือนแบบโดยตรง พบว่าการทดสอบแรงอัดสามแกนได้ค่า C น้อยกว่าการทดสอบแรงเฉือนแบบ  
โดยตรงร้อยละ 96.25 ค่า  $\phi$  มากกว่าการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรงร้อยละ 6.84 ถึง 11.49  
ของดินทั้ง 2 ชนิด และเมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีแรงอัดสามแกน และการ  
ทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง นำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า

การทดสอบแรงอัดสามแกนได้อัตราส่วนความปลอดภัยน้อยกว่าการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรงร้อยละ 81.76 ถึง 94.89 ของดินตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด

**คำสำคัญ:** คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพ, ทดสอบวิธีแรงอัดสามแกน, ทดสอบวิธีแรงเฉือนแบบโดยตรง, โปรแกรมสำเร็จรูป

### ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the condition of natural slope stability under saturated condition by making the basic physical properties of the soil. And direct shear test with triaxial compressive strength tests. Under the condition of the soil in the Unconsolidated – Undrained Test state. Then analyzed the stability. To study the influence of soil saturated with water conditions affecting the collapse. In the study, led by Natural soil by the data 2 soil type at Ban Huai dok u, Charoen Muang District, Chiang Rai Province Phan District From the test sample by using Triaxial. Compare with Direct shear test. The Triaxial test (C) has the least Direct shear tests 96.25 percent the  $\phi$  Rather than Direct shear tests 6.84 percent to 11.49. 2 types of soil samples the parameters obtained from the Triaxial test and Direct shear test. Analyzed by the SLOPE/W and SEEP/W program. The results of the analysis Triaxial tests have safety ratio less than a Direct shear test 81.76 to 94.89 percent of the 2 types of soil samples.

**KEYWORDS:** Physical property, Triaxial test, Direct shear test, The computer program

### 1. บทนำ

ภัยพิบัติทางธรรมชาติเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ซึ่งส่งผลให้เกิดอันตรายและสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สิน ภัยพิบัติทางธรรมชาติสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ ภัยจากน้ำและลมฟ้าอากาศ ภัยจากธรณีพิบัติและภัยพิบัติทางชีวภาพซึ่งในภัยพิบัติทั้ง 3 ประเภทนี้ ภัยที่เกิดจากธรณีพิบัติก่อให้เกิดอันตรายและเกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก เนื่องจากเกิดขึ้นโดยไม่มี การคาดการณ์ไว้ล่วงหน้า การพังทลายของลาดดินถือเป็นภัยพิบัติทางธรณีวิทยาอย่างหนึ่ง โดยในทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือของประเทศไทยมีความเสี่ยงต่อการเกิดการพังทลายของดินเนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบสูงและมีประชากรอาศัยอยู่ตามที่ลาดเชิงเขา สาเหตุที่ก่อให้เกิดดินพังทลายในประเทศไทยมี 2 ปัจจัย ได้แก่ มนุษย์ทำให้เกิดขึ้นและเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ โดยสาเหตุที่เกิดจากมนุษย์ เช่นการก่อสร้างในบริเวณเชิงเขาที่ลาดชัน โดยไม่มีการคำนวณด้านวิศวกรรมที่ดีพอ การเกษตรในพื้นที่ลาดเชิงเขาการจัดพืชที่ปกคลุมดินและการตัด

ไม่ทำลายป่าการขุดหรือตัดถนนในบริเวณที่ลาดเชิงเขา กิจกรรมเหล่านี้ส่งผลให้พื้นที่ดังกล่าวมีความลาดชันเพิ่มขึ้นเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลของน้ำผิวดิน ซึ่งก่อให้เกิดดินถล่มหรือโคลนถล่มและสาเหตุที่เกิดจากธรรมชาติสามารถแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ เกิดจากแผ่นดินไหวและเกิดจากฝนตกตกหนักในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคมเนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝนของประเทศไทยจึงทำให้มีปริมาณฝนตกหนักมาก [1] อย่างต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานาน ปริมาณน้ำฝนมากกว่า 150 มิลลิเมตรต่อวัน [2] และหน้าดินขาดรากไม้ยึดเหนี่ยวบริเวณที่ลาดชันสูงจนทำให้เกิดการพังทลาย

ในปัจจุบันการศึกษาความเหมาะสมของการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินได้ใช้หลักการโดยวิธีสมมูลจำกัดและวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ [3] และ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมุมลาดเอียงกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่มีผลต่อการพังทลายภายใต้สภาวะดินอิ่มตัวโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป [4] เพื่อศึกษาหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินและมุมลาดเอียงสมมุติและศึกษาอิทธิพลของสภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำในระดับที่แตกต่างกันและเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีผลต่อการพังทลายของดิน โดยไม่คำนึงถึงรากต้นไม้ที่มีผลต่อการพังทลายและงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาผลของปริมาณน้ำในมวลดินที่มีผลต่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียงโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปยังมีไม่กว้างขวางมากนัก

ทางคณะผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลของระดับน้ำในมวลดินที่มีต่อผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียงโดยใช้โปรแกรม GeoStudio ภายใต้การวิเคราะห์แบบ Slope/w และ Seep/w โดยทำการเก็บตัวอย่างดินจากธรรมชาติที่มีความเสี่ยงต่อการพังทลายนำมาทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินและศึกษาเปรียบเทียบการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินโดยวิธี Direct Shear Test กับ Triaxial Test และนำข้อมูลมาสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม GeoStudio [5]

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินนำมาวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง

2.2 ศึกษาเปรียบเทียบการทดสอบหาคุณสมบัติกำลังรับแรงเฉือนของดินโดยวิธีการทดสอบแบบ Direct Shear Test กับ Triaxial Test

2.3 ศึกษาผลของระดับน้ำในมวลดินที่มีต่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียงโดยใช้โปรแกรม GeoStudio

### 3. วิธีดำเนินการวิจัย

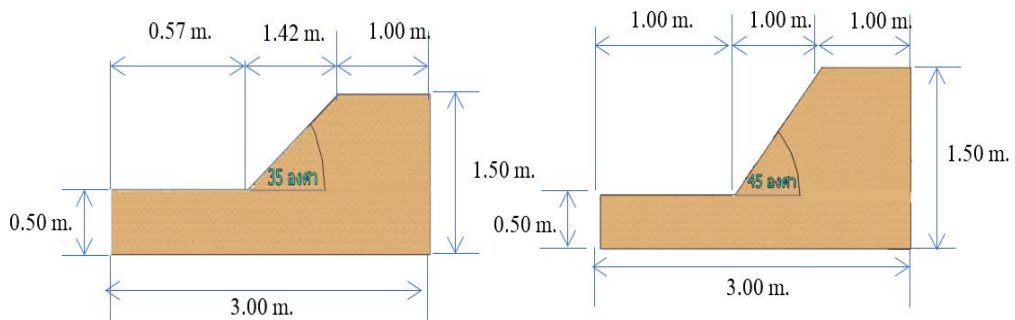
การดำเนินงานวิจัยเริ่มต้นโดยทำการเก็บตัวอย่างดินจากบ้านห้วยดอกกูน ตำบลเจริญเมือง อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นสถานที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดการพังทลายของลาดเอียงมาจำนวนสองชนิดบริเวณใกล้เคียงกัน และนำตัวอย่างดินทั้งสองชนิดมาหาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินเพื่อจำแนกหาประเภทของดินแต่ละชนิด หลังจากนั้นจึงนำดินทั้งสองชนิดมาหาคุณสมบัติกำลังรับแรงเฉือนของดินโดยวิธี Direct shear test ตามมาตรฐาน ASTM D3080 – 98 [6] กับ Triaxial test ตามมาตรฐาน ASTM D2850 - 15 [7] ดังแสดงในรูปที่ 2 และกำหนดขนาดแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาเสถียรภาพหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S) ของลาดเอียง จากนั้นทำการจำลองลาดเอียงสมมุติที่มุมเท่ากับ 35, 45 องศา และกำหนดระดับของชั้นน้ำ จำนวน 6 ระดับที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยโปรแกรม GeoStudio ภายใต้การวิเคราะห์แบบ Slope/w และ สำหรับการวิเคราะห์โดยใช้ Seep/w กำหนดระยะเวลาในการศึกษา เท่ากับ 100 ชั่วโมง



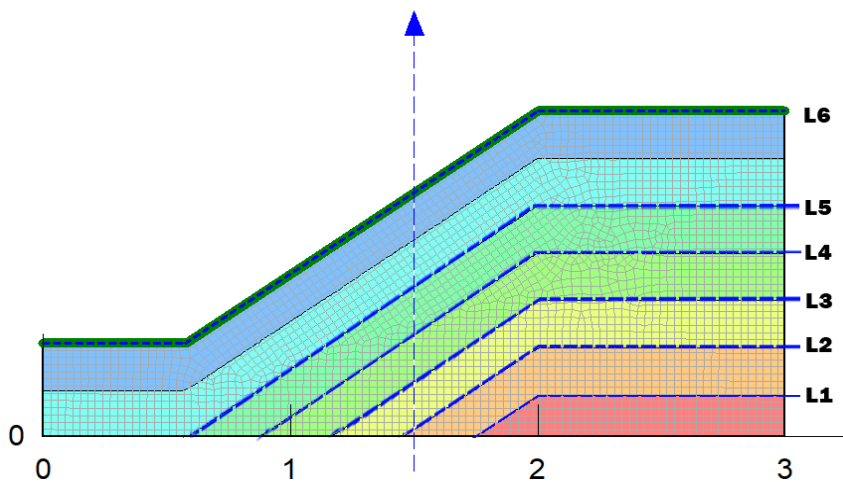
รูปที่ 1 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างดิน บ้านห้วยดอกกูน ต.เจริญเมือง อ.พาน จ.เชียงราย



รูปที่ 2 เครื่องทดสอบ Direct shear test และ เครื่องทดสอบ Triaxial test



รูปที่ 3 ขนาดแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม GeoStudio



รูปที่ 4 ระดับของชั้นน้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยโปรแกรม GeoStudio

ในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณากำหนดจำลองหน้าตัดอย่างง่ายเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียงโดยใช้หลักการวิธีสมมูลขีดจำกัดศึกษาอิทธิพลของค่ากำลังรับน้ำหนักของดิน คือ ค่าแรงยึดเหนี่ยวของเม็ดดิน (Cohesion,  $C$ ) และค่ามุมเสียดทานภายใน (Internal friction angle,  $\phi$ ) โดยหน้าตัดของลาดเอียงแสดงในรูปที่ 3 และเงื่อนไขของการศึกษาซึ่งกำหนดตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์แสดงในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

การวิเคราะห์สมมูลขีดจำกัดเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพลาดเอียงของดินโดยใช้โปรแกรม GeoStudio การวิเคราะห์เป็นแบบ 2 มิติ โดยกำหนดขอบด้านข้างและด้านล่างเป็นผิวเรียบทำการแบ่งชั้นเพื่อการวิเคราะห์โดยค่าที่เหมาะสมของโปรแกรมและทำการกำหนดจุดศูนย์กลางและรัศมีของวงเคลื่อนพังตามการคำนวณแบบอัตโนมัติของโปรแกรมภายใต้การวิเคราะห์แบบ Slope/w และหาอัตราส่วนความปลอดภัยโดยใช้หลักการสมมูลโมเมนต์ของ Simplified Bishop Method

การวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [8] เพื่อสำหรับวิเคราะห์แรงดันน้ำโดยกำหนดระดับชั้นน้ำต่างๆ จำนวน 6 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 4 บนลาดเอียงของดินแล้วใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภายใต้แบบจำลอง Seep/w เป็นการวิเคราะห์แบบ 2 มิติ กำหนดชนิดการวิเคราะห์ตามหลักทฤษฎีการไหลซึมเป็นแบบ Steady-State Analysis ภายใต้ระยะเวลาในจำลอง เท่ากับ 100 ชั่วโมง โดยกำหนดให้ขอบด้านข้างและด้านล่างเป็นผิวเรียบถูกจำลองโดย 15-node triangular element, coarse Mesh Generation และใช้เงื่อนไขการพังทลายของมอร์-คูลอมบ์ (Mohr-Coulomb Failure Criteria) โดยให้มีเงื่อนไขให้ดินมีพฤติกรรมไม่ระบายน้ำ (Undrain Condition) ค่า Dilation angle =  $0^\circ$  ค่า Poisson Ratio = 0.3 สำหรับการจำลองในโปรแกรมให้เป็นดินตะกอนปนทรายและกำหนดค่ามอดูลัสของยัง (Young Modulus,  $E$ ) ให้มีค่าเท่ากับ 8,600 kN/m<sup>2</sup> [9]

**ตารางที่ 1** ค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการศึกษาอิทธิพลของค่ากำลังรับน้ำหนักของดินและอัตราส่วนปลอดภัย

| Soil Type                   | Cohesion<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | Internal friction angle,<br>(degree) | Unit weight<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | Young Modulus [10]<br>(kN/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|
| Direct Shear Test (UU-test) |                                  |                                      |                                     |                                            |
| NSR                         | 8.08                             | 31.3                                 | 13.53                               | 8,600                                      |
| NSW                         | 19.05                            | 31.5                                 | 15.10                               | 8,600                                      |
| Triaxial Test (UU-test)     |                                  |                                      |                                     |                                            |
| NSR                         | 0.00                             | 33.6                                 | 13.53                               | 8,600                                      |
| NSW                         | 1.42                             | 35.5                                 | 15.10                               | 8,600                                      |

ตารางที่ 2 คุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินในการศึกษา

| การทดสอบ                          | ดินทรายสีแดง (NSR)                                            | ดินทรายสีขาว (NSW)                                            |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Sieve (passing No.200)            | 30.7%                                                         | 23.4%                                                         |
| Hydrometer (passing No.200)       | >50 %                                                         | >50 %                                                         |
| Atterberg Limits Test             | LL เท่ากับ 14.7 %<br>PL เท่ากับ 13.3 %<br>PI เท่ากับ 1.4 %    | LL เท่ากับ 12.1 %<br>PL เท่ากับ 10.2 %<br>PI เท่ากับ 1.9 %    |
| Compaction Test                   |                                                               |                                                               |
| Compaction<br>(Standard Method)   | W.C. 8.2%ความหนาแน่น<br>สูงสุด เท่ากับ 19.7 kN/m <sup>3</sup> | W.C. 6.2%ความหนาแน่น<br>สูงสุด เท่ากับ 19.8 kN/m <sup>3</sup> |
| Compaction<br>(Modified)          | W.C. 5.7%ความหนาแน่น<br>สูงสุด เท่ากับ 19.8 kN/m <sup>3</sup> | W.C. 5%ความหนาแน่นสูงสุด<br>เท่ากับ 20.2 kN/m <sup>3</sup>    |
| Specific Gravity of Soil          | 2.72                                                          | 2.94                                                          |
| Field Density<br>(ดินตามธรรมชาติ) | 13.20 kN/m <sup>3</sup>                                       | 1.510 kN/m <sup>3</sup>                                       |
| Permeability Test                 | 0.169 cm/hr                                                   | 0.113 cm/hr                                                   |
| Direct Shear Test                 | UU : C = 8.08 kN/m <sup>2</sup><br>$\phi = 31.3$ degree       | UU : C = 19.05 kN/m <sup>2</sup><br>$\phi = 31.5$ degree      |
| Triaxial Test                     | UU : C = 0.00 kN/m <sup>2</sup><br>$\phi = 33.6$ degree       | UU : C = 1.42 kN/m <sup>2</sup><br>$\phi = 35.5$ degree       |

ในการศึกษาหาอัตราส่วนความปลอดภัย ( $F$ ) จะอาศัยหลักการสมดุลโมเมนต์ของ Simplified Bishop Method ดังสมการที่ (1) ถึง (5) ดังนี้

$$W = N' \cos(\alpha) - ul \cos(\alpha) - T \sin(\alpha) \quad (1)$$

$$N' = \frac{(W - ul \cos(\alpha) - \frac{c'}{F} l \sin(\alpha))}{\cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha) \frac{\tan \phi}{F})} \quad (2)$$



$$\sum (WR \sin(\alpha)) = \sum (R \tau_m l) \quad (3)$$

$$F = \frac{\sum (c' l + N' \tan(\phi'))}{\sum W \sin(\alpha)} \quad (4)$$

เมื่อ  $W$  = น้ำหนักของแต่ละชั้น

$N'$  = กำลังปกติที่ฐานของชั้น

$\alpha$  = มุมของความโน้มเอียงที่ฐานของชั้น

$u$  = แรงดันน้ำ

$l$  = ความยาวของส่วนโค้งที่ฐานของชั้น

$T$  = แรงเฉือนที่ฐานของชั้น

$R$  = รัศมี

แทนค่าในสมการที่ (4) ในสมการ (5)

$$F = \frac{1}{\sum (W \sin(\alpha))} \sum \left[ \frac{c' l \cos(\alpha) + (W - ul \cos(\alpha) \tan(\phi'))}{\cos(\alpha) \left( 1 + \tan(\alpha) \frac{\tan(\phi')}{F} \right)} \right] \quad (5)$$

#### 4. ผลของการศึกษา

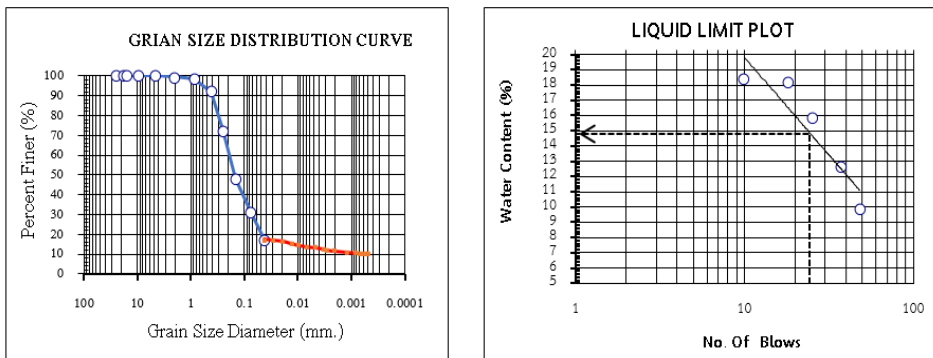
##### 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม (Basic Engineering Soil Properties)

การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมสามารถจำแนกประเภทของดิน ทราบถึงลักษณะความหนาแน่นและขีดจำกัดความเหลวของดิน โดยนำดินมาทดสอบหาค่าต่างๆ ได้จากการทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการต่างๆ เช่น Atterberg's Limit ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 4318-93 [11], Specific Gravity ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 854-00, Total Unit Weight [12], Field Density ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 1556 – 00 [13], Permeability of Granular Soils ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 2434 – 68 [14] และ การทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดินโดยผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Sieve Analysis) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 422-85 [15] การทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 4221-99 [16] ในการศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่างดินจากแหล่งธรรมชาตินำมาทดสอบ จำนวน 2 ชนิด ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



#### 4.1.1 ตัวอย่างดินชุดที่ 1

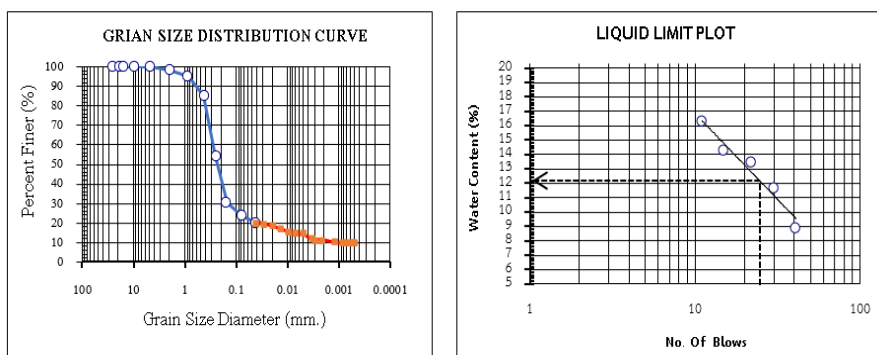
เป็นดินสีแสดมีลักษณะเป็นดินทรายมีตะกอนทรายปน ดังแสดงในรูปที่ 5 เป็นดินกลุ่มเม็ดหยาบผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 30.7 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพิกัดความเหลวเท่ากับ (LL) เท่ากับ 14.73 เปอร์เซ็นต์ พิกัดพลาสติก (PL) เท่ากับ 13.34 เปอร์เซ็นต์ ดัชนีพลาสติก (PI) เท่ากับ 1.39 เปอร์เซ็นต์ จากการจำแนกประเภทของดินแบบ Unified Soil Classification เป็นประเภท คือ SM หรือ ดินทรายปนตะกอนทราย



รูปที่ 5 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานโดยทั่วไปของดินปนทรายสีแสด (NSR)

#### 4.1.2 ตัวอย่างดินชุดที่ 2

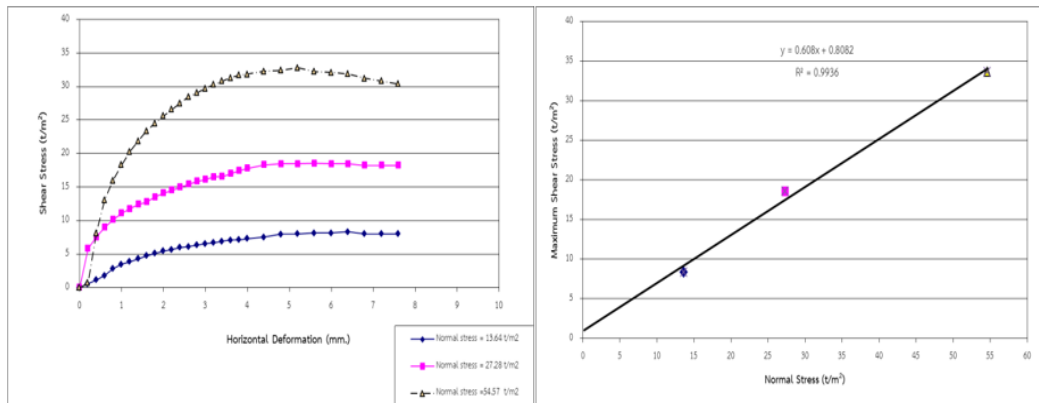
เป็นดินสีขาวมีลักษณะเป็นดินทรายมีตะกอนทรายปน ดังแสดงในรูปที่ 6 เป็นดินกลุ่มเม็ดหยาบ ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 23.4 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพิกัดความเหลวเท่ากับ (LL) เท่ากับ 12.1 เปอร์เซ็นต์ พิกัดพลาสติก (PL) เท่ากับ 10.2 เปอร์เซ็นต์ ดัชนีพลาสติก (PI) เท่ากับ 1.9 เปอร์เซ็นต์ จากการจำแนกประเภทของดินแบบ Unified Soil Classification เป็นประเภท คือ SM หรือ ดินทรายปนตะกอนทราย



รูปที่ 6 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานโดยทั่วไปของดินปนทรายสีขาว (NSW)

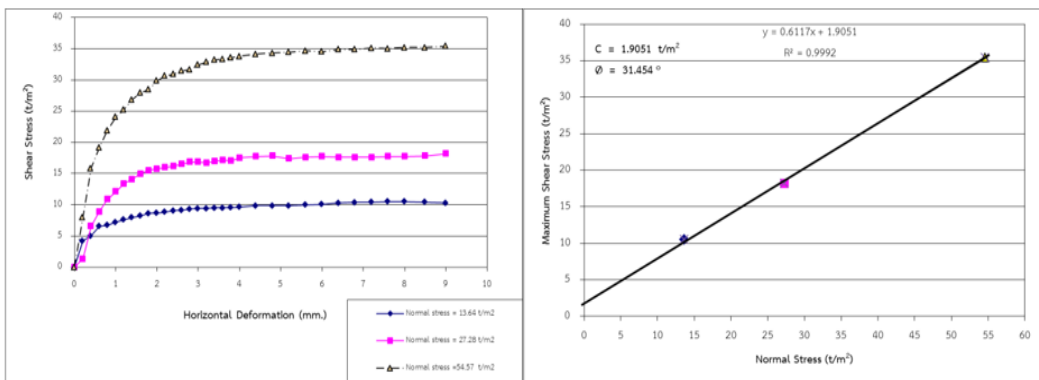
## 4.2 ผลการทดสอบแรงเฉือนของดิน

ดินทรายมีตะกอนทรายปนสีแดง ค่าความสัมพันธ์ระหว่างจุดสูงสุดของแรงเฉือนกับความดันได้แสดงในรูปที่ 7 ทำการคำนวณหาค่าแรงยึดเหนี่ยวและค่ามุมเสียดทานภายในได้ผลคือ ค่า  $C$  เท่ากับ 0.80 ตันต่อตารางเมตรและค่า  $\phi$  เท่ากับ 31.29 องศา



รูปที่ 7 คุณสมบัติกำลังของดินโดยการทดสอบ Direct Shear Test แบบ Unconsolidated – Undrained Test, UU (ดินปนทรายสีแดง)

ดินทรายนตะกอนทรายสีขาวค่าความสัมพันธ์ระหว่างจุดสูงสุดของแรงเฉือนกับความดันได้แสดงในรูปที่ 8 ทำการคำนวณหาค่าแรงยึดเหนี่ยวและค่ามุมเสียดทานภายในได้ผลคือ ค่า  $C$  เท่ากับ 1.90 ตันต่อตารางเมตรและค่า  $\phi$  เท่ากับ 31.45 องศา

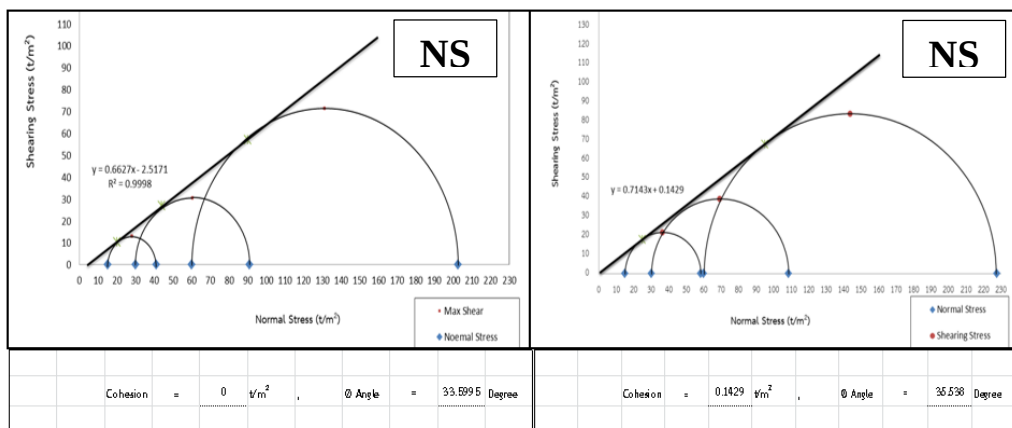


รูปที่ 8 คุณสมบัติกำลังของดินโดยการทดสอบ Direct Shear Test แบบ Unconsolidated – Undrained Test, UU (ดินปนทรายสีขาว)

#### 4.3 ผลการทดสอบแรงอัด 3 แกน (Triaxial Test)

การทดสอบแรงอัดสามแกนของดินโดยวิธี UU จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Shearing Stress กับ Normal Stress ได้แสดงในรูปที่ 9 ด้วยการทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำโดยใช้แรงดันตัวอย่าง 150 Kpa, 300 Kpa, และ 600 Kpa จากการทดสอบทั้งสามอัตราที่ให้แรงดันต่างกันสามารถสรุปได้ด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการหาคุณสมบัติของดินโดยวิธี Mohr's Circle Method

จากผลการศึกษาแสดงในรูปที่ 9 การหาคุณสมบัติของดินปนทรายสีแดงโดยวิธี Mohr's Circle Method สามารถคำนวณหาค่าการความเชื่อมแน่นและ ค่ามุมเสียดทานภายในของดินได้ผลดังนี้คือ ค่า C เท่ากับ 0.00 ตันต่อตารางเมตร ค่า  $\phi$  เท่ากับ 33.59 องศา และสำหรับดินปนทรายสีขาวได้ ค่า C เท่ากับ 0.14 ตันต่อตารางเมตร ค่า  $\phi$  เท่ากับ 35.53 องศา ตามลำดับ

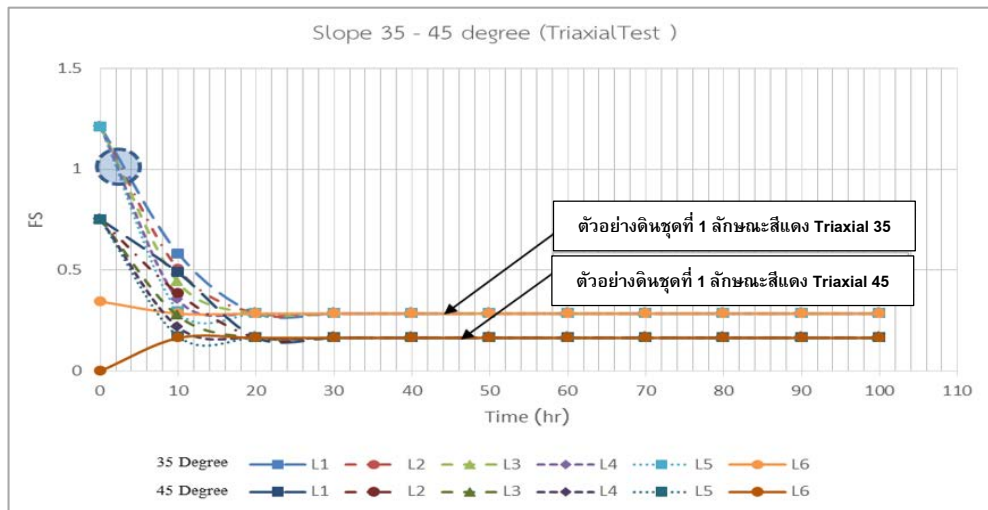


รูปที่ 9 คุณสมบัติกำลังของดินโดยวิธี Mohr's Circle Method โดยทดสอบแบบ Unconsolidated – Undrained Test, UU (ของตัวอย่างดินทั้ง 2 ชุดข้อมูล)

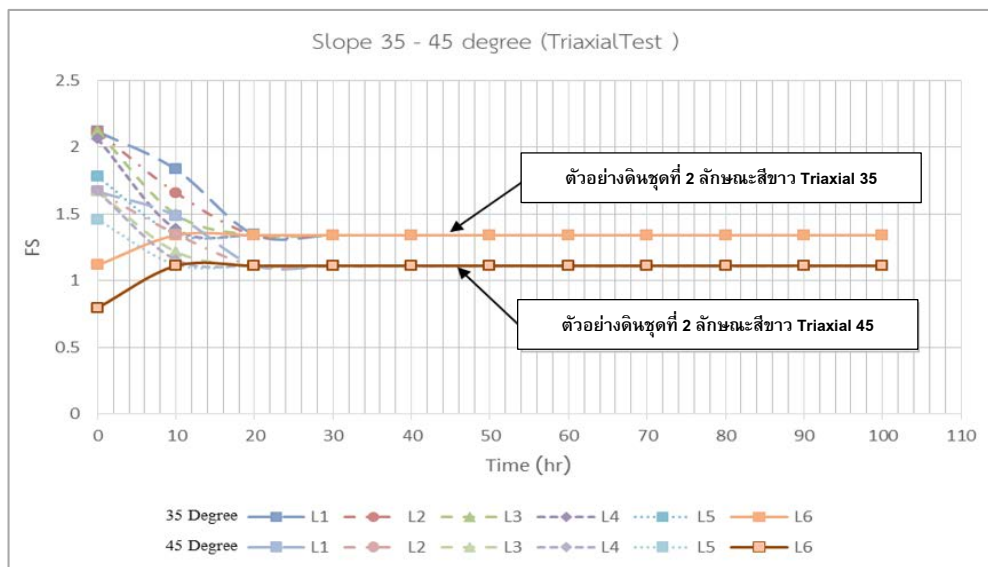
#### 4.4 ผลการหาอัตราส่วนความปลอดภัยโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปโดยวิธีการทดสอบหาคุณสมบัติของดินโดยวิธีแรงเฉือนแบบโดยตรงและการทดสอบแรงอัด 3 แกน

จากการศึกษาอัตราส่วนความปลอดภัยโดยใช้โปรแกรม GeoStudio โดยนำข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติของดินโดยวิธีแรงเฉือนโดยตรงและการทดสอบแรงอัด 3 แกน เป็นตัวแปรที่แทนค่าลงในโปรแกรม GeoStudio ประกอบด้วยค่า  $c$ ,  $\phi$ ,  $\gamma$  และ ค่าแรงดันน้ำในมวลดินที่ระดับต่างๆ ภายใต้สมการหลักการสมดุลของ Simplified Bishop Method เพื่อคำนวณหาอัตราส่วนความปลอดภัยและกำหนดแบบจำลองหน้าตัดอย่างง่ายแบบ 2 มิติ ลาดเอียงสมมุติมุม 35 และ 45 องศา จากผลการศึกษาดังรูปที่ 10 แสดงให้เห็นว่าผลการวิเคราะห์โดยนำข้อมูลจากทดสอบแรงอัด 3 แกน (Triaxial compression test) ของดินทรายปนตะกอนทรายสีแดง (NSR) ที่มุมลาดเอียงเท่ากับ 35

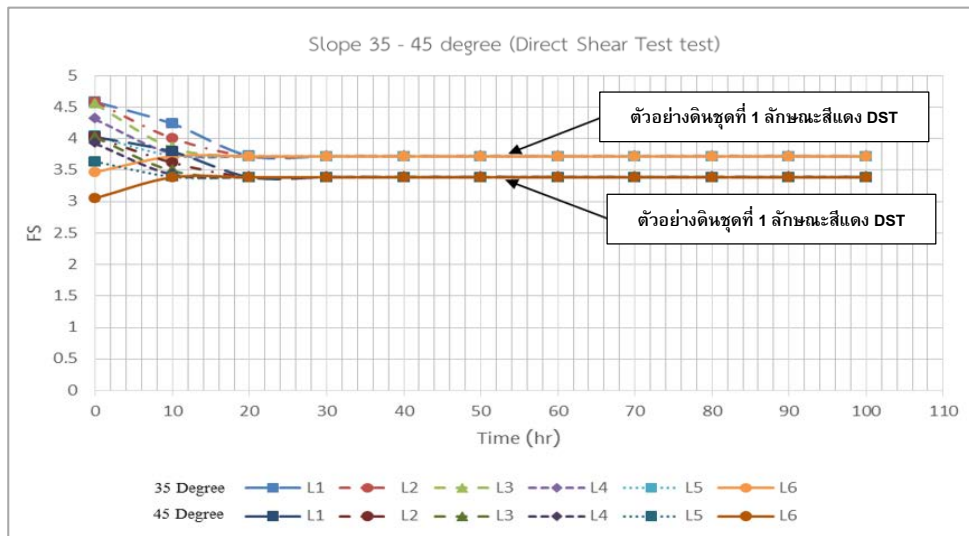
องศา ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S) จะมีค่าเริ่มต่ำกว่า 1 ในช่วงเวลาที่ 2-3 ชั่วโมงเป็นต้นไป และเมื่อเวลาผ่านไป 20 ชั่วโมง มุมลาดเอียงทั้งสองจะมีอัตราส่วนความปลอดภัยคงที่ ขณะที่มุมลาดเอียงเท่ากับ 45 องศา จะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด เท่ากับ 0.173



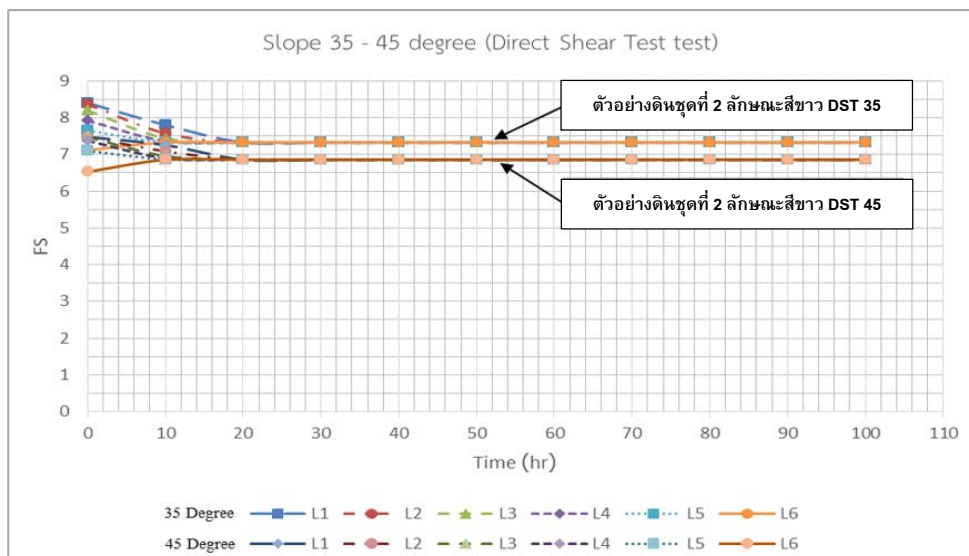
รูปที่ 10 การวิเคราะห์ดินทรายปนตะกอนทรายสีแดงแบบ Triaxial Test ที่มุม 35 และ 45 องศาที่ระดับของน้ำแตกต่างกันโดยโปรแกรม GeoStudio



รูปที่ 11 การวิเคราะห์ดินทรายปนตะกอนทรายสีขาวแบบ Triaxial test ที่มุม 35 และ 45 องศาที่ระดับของน้ำแตกต่างกันโดยโปรแกรม GeoStudio



รูปที่ 12 การวิเคราะห์ดินทรายปนตะกอนทรายสีแดงแบบ Direct shear test ที่มุม 35 และ 45 องศาที่ระดับของน้ำแตกต่างกันโดยโปรแกรม GeoStudio

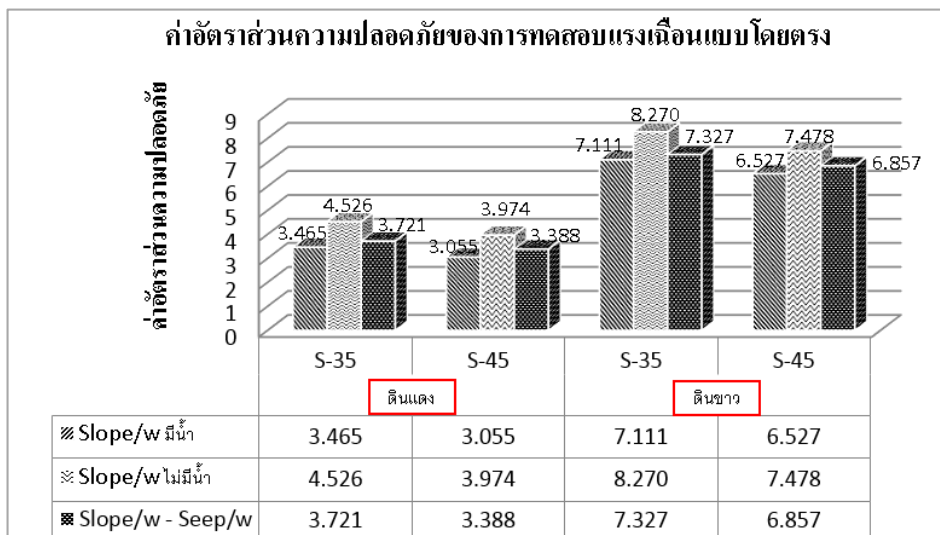


รูปที่ 13 การวิเคราะห์ดินทรายปนตะกอนทรายสีขาวแบบ Direct shear test ที่มุม 35 และ 45 องศาที่ระดับของน้ำแตกต่างกันโดยโปรแกรม GeoStudio

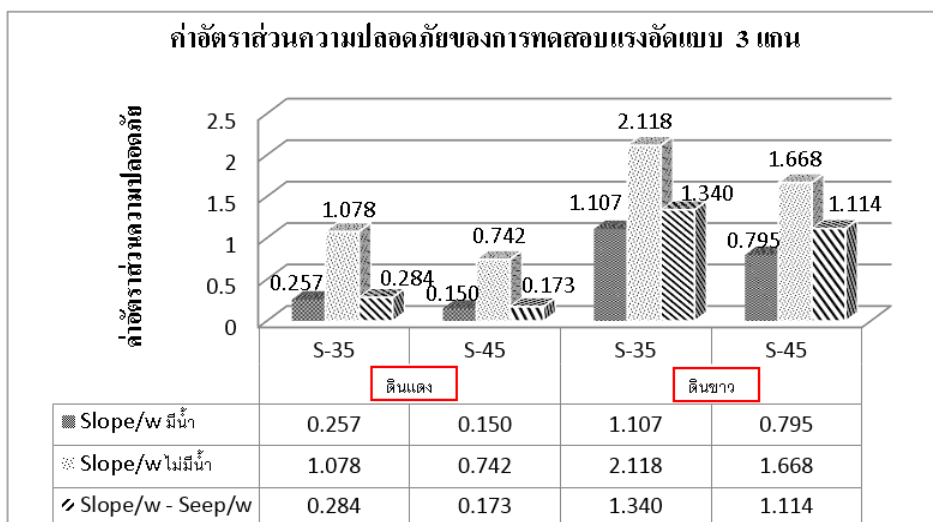
จากรูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม GeoStudio โดยการทดสอบแบบ Triaxial Test ของดินทรายปนตะกอนทรายสีขาว ที่มุม 35 องศา ได้อัตราส่วนความปลอดภัยคงที่ เท่ากับ 1.340 และ ที่มุม 45 องศา ได้อัตราส่วนความปลอดภัยคงที่ เท่ากับ 1.114

จากรูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม GeoStudio โดยการทดสอบแบบ Direct Shear Test ของดินทรายปนตะกอนทรายสีแดง ที่มุม 35 องศา ได้อัตราส่วนความปลอดภัยคงที่ เท่ากับ 3.721 และ ที่มุม 45 องศา ได้อัตราส่วนความปลอดภัยคงที่ เท่ากับ 3.388

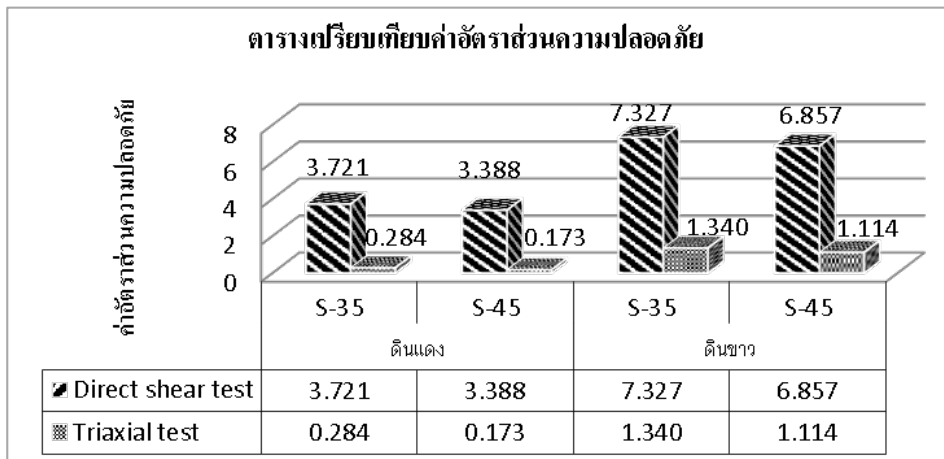
จากรูปที่ 13 ผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม GeoStudio โดยการทดสอบแบบ Direct Shear Test ของดินทรายปนตะกอนทรายสีขาว ที่มุม 35 องศา ได้อัตราส่วนความปลอดภัยคงที่ เท่ากับ 7.327 และ ที่มุม 45 องศา ได้อัตราส่วนความปลอดภัยคงที่ เท่ากับ 6.857



รูปที่ 14 เปรียบเทียบอัตราส่วนความปลอดภัยของการทดสอบโดยวิธีแรงเฉือนแบบโดยตรง



รูปที่ 15 เปรียบเทียบอัตราส่วนความปลอดภัยของการทดสอบโดยวิธีแรงอัด 3 แกน



**รูปที่ 16** เปรียบเทียบอัตราส่วนความปลอดภัยระหว่างการทดสอบโดยวิธีแรงเฉือนแบบโดยตรง และ วิธีแรงอัด 3 แกน

จากรูปที่ 14 ถึง รูปที่ 16 แสดงให้เห็นผลเปรียบเทียบการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปจากข้อมูลการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรงจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสูงกว่าการทดสอบโดยวิธีแรงอัด 3 แกนโดยเฉลี่ยร้อยละ 88.17 เพราะว่า การทดสอบโดยวิธีแรงเฉือนแบบโดยตรงจะได้ค่าแรงยึดเหนี่ยวของเม็ดดิน (C) สูงกว่าการทดสอบแรงอัด 3 แกน จึงทำให้ได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสูงขึ้นตามไปด้วย

## 5. สรุปผลการทดสอบ

จากผลการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนโดยตรงเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบแรงอัดสามแกน ค่ามุมเสียดทานภายใน ( $\phi$ ) ได้จากการทดสอบแรงอัดสามแกนมีค่ามากกว่าร้อยละ 6.84 ถึง 11.49 ของดินทั้ง 2 ชนิด ส่วนค่าแรงยึดเหนี่ยวของเม็ดดิน (C) จากวิธีการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนโดยตรงจะมีมากกว่าการทดสอบแบบแรงอัดสามแกน [17] ร้อยละ 96.25 จากการศึกษาการทดสอบของทั้ง 2 วิธี สามารถแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนและสรุปได้ว่าการทดสอบทั้งสองวิธีจะให้ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวแตกต่างกันเพราะขั้นตอนวิธีการทดสอบและเครื่องมือทดสอบมีหลักการต่างกัน โดยวิธีการทดสอบแบบ Direct Shear Test จะกำหนดระนาบการพังทลายของตัวอย่างแต่วิธีของ Triaxial Test จะปล่อยให้ระนาบการพังทลายขึ้นโดยอิสระ ในลักษณะใกล้เคียงกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติมากกว่า [17] ในส่วนค่า  $\phi$  ทั้งสองการทดสอบจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก เมื่อนำคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินจากการทดสอบมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม GeoStudio ซึ่งวิเคราะห์สภาวะดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำและสภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่ระดับแตกต่างกันและกำหนดลาดเอียงสมมุติเท่ากับ 35 และ 45 องศา พบว่า ค่า F.S ของดินเหนียวปน



ทรายสีแดงทดสอบโดย Direct Shear Test มีค่าเท่ากับ 3.721 และ 3.388 ตามลำดับ ส่วนดินเหนียวปนทรายสีแดงทดสอบโดย Triaxial Test เมื่อค่า C มีค่าลดลงและอิทธิพลของระดับน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ FS ต่ำลงมีค่าเท่ากับ 0.284 และ 0.173 ตามลำดับ ส่วนของดินเหนียวปนทรายสีขาวทดสอบโดย Direct Shear Test มีค่าเท่ากับ 7.327 และ 6.857 ตามลำดับ และดินเหนียวปนทรายสีขาวทดสอบโดย Triaxial Test เมื่อค่า C มีค่าลดลงและอิทธิพลของระดับน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ FS ต่ำลงมีค่าเท่ากับ 1.340 และ 1.114 ตามลำดับ จากผลการศึกษาในแบบจำลองด้วยโปรแกรมแสดงให้ว่าเมื่อดินทั้งสองชนิดมีค่า C ที่ลดลงจะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยลดลงตามไปด้วย

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณสำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่การทดสอบและอุปกรณ์การทดสอบจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

### References

- [1] Charoenratchapark C. Thai encyclopedia for youth, Volume 2. Rainfall measurement [Internet]. [cited 2018 March 2]. Available from: <http://202.129.59.73/wm/water6/rain.pdf>. (In Thai)
- [2] Department of Mineral Resources. Daily geological situation report, Rainfall 2011 [Internet]. 2011 [cited 2018 March 10]. Available from: [http://library.dmr.go.th/Document/DMR\\_Technical\\_Reports/2554/30080.pdf](http://library.dmr.go.th/Document/DMR_Technical_Reports/2554/30080.pdf). (In Thai)
- [3] Karakdee W, et al. Study of slope stability analysis by comparing the limit equilibrium, finite element and stress based method. 18<sup>th</sup> National Convention on Civil Engineering; 2013 May 8-10; The Empress Hotel, Chiang Mai, Thailand. (In Thai)
- [4] Aphinangalakorn A, et al. Relationship between artificial slope angle - engineering properties of the soil that affects landslide under saturated soil conditions by the computer program [Civil Engineering]. Chiangrai: Rajamangala University of Technology Lanna; 2016. (In Thai)
- [5] Geotechnical Engineering Research and Development Center, Kasetsart University (GERD). The use of soil mass seepage analysis program using SEEP/W 2012 program Manual [Internet]. 2016 [cited 2018 March 5]. Available from: <http://water.rid.go.th/damsafety/document/2559/Train/07%20SeepW%202012.pdf>. (In Thai)

- [6] Geotechnical Engineering Research and Development Center, Kasetsart University (GERD). Direct shear test [Internet]. [cited 2018 February 25]. Available from: [http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Cai/Ch12/ch144\\_Accessories.htm](http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Cai/Ch12/ch144_Accessories.htm). (In Thai)
- [7] Geotechnical Engineering Research and Development Center, Kasetsart University (GERD). Triaxial test [Internet]. [cited 2018 February 25]. Available from: <http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Cai/Ch14/ch014.htm>. (In Thai)
- [8] Likitlerang S. Finite element method in Geotechnical engineering. Bangkok: Chulalongkorn University; 2007. (In Thai)
- [9] Geotechnical Info.com [Internet]. Young's Modulus of Soil; c2017-12. Available from: [http://www.geotechnicalinfo.com/youngs\\_modulus.html](http://www.geotechnicalinfo.com/youngs_modulus.html)
- [10] American Society for Testing and Materials. ASTM D 854 – 00, Standard test methods for Specific Gravity of Soil Solids by water pycnometer. USA: ASTM; 2014.
- [11] American Society for Testing and Materials. ASTM D 4318-93, Test method for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. USA: ASTM; 2017.
- [12] American Society for Testing and Materials. ASTM D 4718 – 87, Practice for correction of unit weight and water content for soils containing oversize particles. USA: ASTM; 2016.
- [13] American Society for Testing and Materials. ASTM D 1556 – 00, Standard test method for density and unit weight of soil in place by the Sand-Cone method. USA: ASTM; 2015.
- [14] American Society for Testing and Materials. ASTM D 2434-68, Standard test method for permeability of granular soils. USA: ASTM; 2006.
- [15] American Society for Testing and Materials. ASTM D 422, Standard test method of particle size analysis of soils. USA: ASTM; 1963.
- [16] American Society for Testing and Materials. ASTM D 4221 – 99, Standard test method for dispersive characteristics of clay soil by double hydrometer. USA: ASTM; 2018.
- [17] Royal Irrigation Department. Royal Irrigation Department: Bureau of Research and Development, situation report, 1997 [Internet]. [cited 2018 September 2]. Available from: <http://research.rid.go.th/webdata/ab30-53.pdf>. (In Thai)

### ประวัติผู้เขียนบทความ



**ดร.สุรัชย์ อำนวนพรเลิศ** ตำแหน่งอาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา สถานที่ทำงาน สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย 99 หมู่ที่ 10 ต.ทรายขาว อ.พาน จ.เชียงราย 57120 โทรศัพท์ 094-6407557 E-mail: aretomrit@gmail.com



**ณัฐพล พรหมจักร** นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย 99 หมู่ที่ 10 ต.ทรายขาว อ.พาน จ.เชียงราย 57120



**นภวิชย์ ปัตไธสง** นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย 99 หมู่ที่ 10 ต.ทรายขาว อ.พาน จ.เชียงราย 57120



**เอกพันธ์ ชุ่มมงคล** นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย 99 หมู่ที่ 10 ต.ทรายขาว อ.พาน จ.เชียงราย 57120

---

#### Article History:

Received: October 18, 2018

Revised: March 17, 2019

Accepted: April 11, 2019