

## การวิเคราะห์สาเหตุการวิบัติเชิงลาดด้วยวิธีสมดุลจำกัด และ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และแนวทางการ ปรับปรุงแก้ไข กรณีศึกษา ทางหลวง 2159 ตอนชัยภูมิ-ห้วยยางดำ ที่ กม.27+700

กฤษณะ มีลักษณะสม<sup>1\*</sup> พงศกร พวงชมพู<sup>2</sup>

คณะวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น<sup>1\*2</sup>

อีเมล : kitsana1934002@hotmail.com<sup>1\*</sup>

วันที่รับบทความ 12 มกราคม 2566

วันแก้ไขบทความ 5 กุมภาพันธ์ 2566

วันที่รับบทความ 16 กุมภาพันธ์ 2566

### บทคัดย่อ

การพังทลายของลาดดินเป็นภัยธรรมชาติทางธรณีวิทยาที่พบได้บ่อยในประเทศเขตร้อน รวมทั้งประเทศไทย ภูมิประเทศโดยทั่วไปของจังหวัดชัยภูมิ ประกอบด้วยป่าไม้และภูเขา พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเทือกเขาสลับซับซ้อน ถนน บางสายที่วิ่งผ่านเนินเขาในช่วงฝนตกมักจะประสบปัญหาความลาดเอียง ซึ่งนำไปสู่ความสำคัญและสูญเสียทาง เศรษฐกิจ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุของการพังทลายของลาดเนินโดยพิจารณาจากปัจจัยด้านความ ปลอดภัยของความมั่นคงเชิงลาด จากกรณีศึกษาทางหลวงหมายเลข 2159 สายชัยภูมิ-เขื่อนห้วยยาง ที่กิโลเมตร 27+700 จังหวัดชัยภูมิ การวิเคราะห์ ดำเนินการตามวิธี สมดุลจำกัด(Limit Equilibrium)และวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์(Finite Element) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ “Slide 2D” และ “Plaxis 2D” ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่า ค่าความปลอดภัยของวิธีสมดุลจำกัด(LEM) สูงกว่า วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์(FEM) ประมาณร้อยละ 3.14 และปัจจัยหลัก ที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของเนินคือน้ำที่ไหลลงมาจากตลิ่งลงสู่เนินที่ไม่มีการป้องกัน ทำให้เกิดการกัดเซาะที่ท้ายเนิน และค่อยๆ ลูกกลม เข้าสู่โครงสร้างหลักและชั้นผิวทาง การเสริมแรงด้วยวิธี Rock and Wire Mattress ได้รับเลือก เนื่องจากเพิ่มความมั่นคง ปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายน้ำตามแนวลาดชัน และลดความเสี่ยงต่อการกัดเซาะ นอกจากนี้ ที่หินและลวดยังสามารถก่อสร้างได้ง่ายและรวดเร็ว รวมทั้งนำไปใช้ในสถานที่ก่อสร้างที่ยากลำบาก และ ใช้วัสดุก่อสร้างและแรงงานในท้องถิ่นที่มีอยู่ในพื้นที่

**คำสำคัญ :** การวิบัติของเชิงลาด เขื่อน วิธีสมดุลจำกัด วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

---

# Study on Slope Failure of Highway Embankment and Remediation, A Case Study No. 2159, Chaiyaphum-Huai Yang Dam Sta.27+700

Meelaksanasom Kitsana<sup>1\*</sup>, Pongchompu Pongsagorn<sup>2</sup>

Faculty of Civil Engineering, Rajamangala University of Technology

Isan Khonkaen Campus<sup>1\*,2</sup>

E – mail : kitsana1934002@hotmail.com<sup>1\*</sup>

Received 12 January 2023

Revised 5 February 2023

Accepted 16 February 2023

## Abstract

Soil slope failure is a common natural geological hazard in tropical countries, including Thailand. The general landscapes of Chaiyaphum Province consist of forests and mountains. Most of the areas are complex mountain ranges. Some roads, which run through hills, during rainfall often encounter slope failure issues that lead to significance and economic loss. The objectives of this research are to determine causes of slope failures by considering safety factor of slope stability based on case study of Highway 2159, Chaiyaphum - Huai Yang Dam section at Km 27+700, Chaiyaphum Province. The analysis was performed according to the Limit Equilibrium Method (LEM) and Finite Element Method (FEM) utilizing “Slide 2D” and “Plaxis 2D” computer program respectively. The results showed that safety factor of Limit Equilibrium Method was approximately 3.14 percent higher than the Finite Element Method, and the main factors which affect slope stability are water flowing down from the embankment onto the unprotected slope, causing erosion at the toe slope and gradually spread into the main structure and pavement layer. Reinforcement by Rock and Wire Mattress method was chosen as it increased stability, improved drainage efficiency along the slope, and reduced risk of erosion. In addition, Rock and Wire Mattress can be constructed easily and quickly as well as adopted in difficult construction sites and utilize construction materials and local workforces available in the area.

**Keywords :** Slope failure, Embankment, Limit equilibrium, Finite element

## 1. บทนำ

ทางหลวง 2159 ตอนชัยภูมิ-ห้วยยางดำ ที่ กม.27+700ด้านซ้าย(บริเวณผาเก็ง) โดยส่วนใหญ่ จะมีรถบรรทุกผลผลิตทางการเกษตรในบริเวณนั้น ดังนั้นถนนสายนี้จึงสำคัญในการขนส่งสินค้าทางการเกษตรลงมาจากแห่งเพาะปลูกซึ่งลักษณะ ทางกายภาพของถนนนั้นมีลักษณะเป็นทางคดโค้งที่ตัดผ่านตามลาดเชิงเขาเป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งไหล่ทางเป็น หน้าผาที่ค่อนข้างสูงชัน ทำให้การใช้สัญจรไปมามีความยากลำบากและข้อจำกัดต่าง ๆ เกิดขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเมื่อเกิดการชำรุดหรือเกิดการความเสียหายของถนนจนทำให้การสัญจรไปมา มีความยากลำบากเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดความเสียหายกับผู้ใช้รถใช้ถนนเส้นทางทางหลวง 2159 ตอนชัยภูมิ-ห้วยยางดำ ซึ่งจากการวิเคราะห์เบื้องต้น อาจเกิดจากองค์ประกอบของลักษณะภูมิประเทศที่มีความลาดชันสูงแนวลาดคั่นทาง (Side Slope) ของถนนที่ก่อสร้างมานานอาจเปลี่ยนไปจากปัจจัยของการกัดเซาะจากน้ำฝนหรือน้ำผิวดิน (Dechpatungwesa P.2019, Yakob A. 2008, Multathong C. 2017, Karim M. Zein A., and Abdel Karim W.2017, Gray DH, Sotir RB. 1996, Price T.2006, Voottipruex P, Maneejaruan J, Inthapichai S, Teerawattanasuk C, Modmoltin C. 2013, Yotsawat Chantra. 2022, Supracha Kamana. 2022) มักจะพบบ่อยครั้งและค่อนข้างรุนแรงและมีผลกระทบอย่างยิ่งจะพบมากในช่วงฤดูฝน ซึ่งพบว่าปัญหาดังกล่าวเกี่ยวกับการสูญเสียเสถียรภาพของโครงสร้างเชิงลาดคั่นทาง จนทำให้เกิดการวิบัติเชิงลาดในเวลาต่อมาเกิดดินสไลด์ ดังเช่น เหตุการณ์เมื่อ 25 กันยายน 2564 เวลา07.30 ในทางหลวง 2159 ตอนชัยภูมิ-ห้วยยางดำ ที่ กม.27+700ด้านซ้าย (บริเวณผาเก็ง) ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อหาสาเหตุของการวิบัติ จากการนำข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงในสนามมาวิเคราะห์ นำไปสู่วิธีการปรับปรุงแก้ไขที่มีความเหมาะสมและยั่งยืน

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินในงานวิศวกรรมปฐพีที่มีความซับซ้อน จำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองให้สอดคล้องกับข้อมูลภาคสนามมากที่สุด ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี ในงานวิจัยนี้เลือกมา 2 วิธีที่เป็นที่นิยมในงานด้านวิศวกรรมปฐพี วิธีแรก วิธีสมดุลจำกัด (Limit Equilibrium Method, LEM) วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Slide (โปรแกรม License: Pongsagorn Pongchompu. 2021) สามารถวิเคราะห์แนวการวิบัติได้ทั้งแบบที่เป็นส่วนของวงกลม (Circular) และแบบที่ไม่เป็นวงกลม (non Circular) รวมทั้งเลือกได้ว่าจะใช้วิธีใดในการวิเคราะห์ซึ่งมีสมมติฐานในการวิเคราะห์แตกต่างกันได้แก่ วิธีของ Bishop (Visudmedanukul P. 2015) วิธี Janbu (Chimoye W. 2001) เป็นต้น เป็นวิธีที่ยังคงใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีสมดุลจำกัดจะให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของความลาดชันและแนวของการเคลื่อนพังของเชิงลาด เท่านั้น ต่อมาได้มีการพัฒนาการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดเพิ่มเติม โดย (Whitman and Bailey Whitman RV, Bailey W A. 1967) เสนอทฤษฎีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite Element Method) เข้ามาประยุกต์ใช้ก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน โดยที่ไฟไนต์อิลิเมนต์จะวิเคราะห์ถึงการเคลื่อนที่ของเชิงลาดที่มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากที่สุด และพบว่าการพังทลายของเชิงลาดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์นั้นมีความสอดคล้องกับธรรมชาติ ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้การใช้ไฟไนต์อิลิเมนต์ จึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจอีกทางเลือกหนึ่งในการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด แต่เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์มีข้อจำกัดในเรื่องของค่าพารามิเตอร์ของดินต่าง ๆ ที่ต้องนำมาใช้นั้นเป็นพารามิเตอร์ที่หาได้ยากจากการทดลอง รวมถึงแบบจำลองของกำลังรับแรงเฉือนของเชิงลาด อาจมีความแตกต่างจากวิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีสมดุลจำกัด เป็นโปรแกรมทางการค้าที่นิยมอย่างแพร่หลายในทาง Geotechnical Engineering วิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดด้วยวิธีลดหน่วยแรง ซึ่งเหมาะสมกับพฤติกรรมของดินที่มีความซับซ้อน โดยให้ค่าที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากอีกวิธีหนึ่ง

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 ศึกษาหาสาเหตุของการวิบัติของโครงสร้างเชิงลาดที่เกิดความเสียหาย บริเวณทางหลวง 2159 ตอน ชัยภูมิ-ห้วยยางดำ ที่ กม.27+700ด้านซ้าย(บริเวณผาเก็ง)และแนวทางการป้องกันและแก้ไขการวิบัติเชิงลาด แสดงในภาพที่ 1 และ ภาพที่ 2

2.2 ศึกษาพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการวิบัติของโครงสร้างเชิงลาด (parametric study)



ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งที่ทำการวิจัย



รูปที่ 2 หน้าตัดเชิงลาดและลักษณะความเสียหายบริเวณททาการวิจัย (มาตราส่วน 1:100)

## 3. วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยสามารถอธิบายรายละเอียดตามแผนผังขั้นตอนการวิจัยตามภาพที่ 5 และสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้

3.1 ดำเนินการตั้งสมมติฐานของการวิบัติทำการตั้งสมมติฐานที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการวิบัติของเชิงลาด โดยเริ่มจากพิจารณา จากองค์ประกอบของรูปแบบของการวิบัติเชิงลาด โดยพิจารณาจากประเภทของดิน และ องค์ประกอบต่างๆ ที่ตรวจพบในบริเวณที่เกิดการวิบัติ และปัจจัยภายนอกที่อาจจะส่งผลกระทบต่อ การวิบัติ

3.2 ดำเนินการวางแผนการสำรวจพื้นที่ของภูมิประเทศในบริเวณที่จะทำการศึกษา โดยเป็นการสำรวจมิติต่าง ๆ ของแนวการวิบัติ ได้แก่ ความกว้าง ยาว และความลึก เป็นต้น ด้วยเทปวัดระยะเพื่อเป็นข้อมูลในการทำแบบจำลอง แสดงในภาพที่ 3 และเก็บตัวอย่างดินไปทดสอบคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ โดยการขุดบ่อทดสอบดิน (Test Pit) จะทำการเก็บตัวอย่างจากความลึกผิวดินเดิมลงไปประมาณ 1.00 ม. – 1.50 ม.จำนวน 3 บ่อทดสอบใน

ตำแหน่งต่าง ๆ ได้แก่ 1.จุดที่ 1 บริเวณ Toe Slope 2.จุดที่ 2 บริเวณ Fill Slope 3.จุดที่ 3 บริเวณ Back Slope แสดงในภาพที่ 4



รูปที่ 3 การสำรวจลักษณะภูมิประเทศ



รูปที่ 4 จุดที่ทำการเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธีขุดจากบ่อทดสอบดิน (Test Pit)

3.3 ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมได้ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากดินที่นำมาทดสอบ ได้จากการขุดจากหลุมทดสอบ (Test Pit) ซึ่งการทดสอบในห้องปฏิบัติการนั้นจะเป็นการหาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม ประกอบไปด้วย

- วิเคราะห์ขนาดเม็ดดินวิธีของ ASTM D422 (ASTM D 422. 2007)
- ทดสอบ Liquid Limit มาตรฐาน ASTM D4318 (ASTM D 4318. 2010)
- การบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor) ASTM D698-78 (ASTM D 698. 2007)
- กำลังรับแรงเฉือนโดยตรงแบบไม่แช่น้ำ (Un-soaked Direct Shear) ASTM D3080 (ASTM D 3080. 2014)

2014)

- กำลังรับแรงเฉือนโดยตรงแบบแช่น้ำ (Soaked Direct Shear) ASTM D3080 (ASTM D 3080. 2014)

3.4 วิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดเป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบด้วยวิธีสมมูลจำกัด (Limit Equilibrium) ด้วยโปรแกรม Slide และวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ ด้วยโปรแกรม Plaxis 2D (Program License: Pongsagorn Pongchompu. 2021) โดยแบ่งการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด ออกเป็น 2 สภาวะ คือ สภาวะของดินที่ความชื้นปกติซึ่งค่าที่ได้จะใกล้เคียงกับความชื้นตามธรรมชาติและให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด และสภาวะ

ของดินที่ความชื้นสูงซึ่งค่าที่ได้จะทำให้ดินอยู่ในสถานะที่วิกฤต โดยที่คุณสมบัติของดินที่ใช้ในแบบจำลองแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

#### 4. ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 Parameters Soil Type Test (ดินที่ความชื้นปกติ)

Parameters Soil Type (Soaked)	Back Slope(CL)	Fill slop(CL)	Top slope(SC)	Rock Granite	Gabions	Unit	Remark
Dry Density	19.2	19.4	19.3	27	22**	kN/m <sup>3</sup>	Tested
Dry Unit Weight	19.1	19	19.2	27	22**	kN/m <sup>3</sup>	Tested
Wet Unit Weight	20.8	20.9	21.2	27	22**	kN/m <sup>3</sup>	Tested
Cohesion	10.6	19.2	15	55100	300**	kN/m <sup>2</sup>	Tested
Friction angle	27.77	26.36	28.82	51	37**	Degrees	Tested
Young s Modulus	21000	21000	24000	5.00E+06	4.00E04**	kN/m <sup>2</sup>	Joseph E. Bpwles.(1988)
Poisson s ratio	0.35	0.35	0.35	0.27	0.30**		Kulhawy et al. 1983,Budhu2000
Horizontal Parmeability	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-08	8.64E+03**	m/day	Whitlow 1995
Vertical parmeability	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-08	8.64E+03**	m/day	Whitlow 1996

\*\* Rock Mass Classification (1999) (ASTM D 3080. 2014)

ตารางที่ 2 Parameters Soil Type Test (ดินที่ความชื้นสูง)

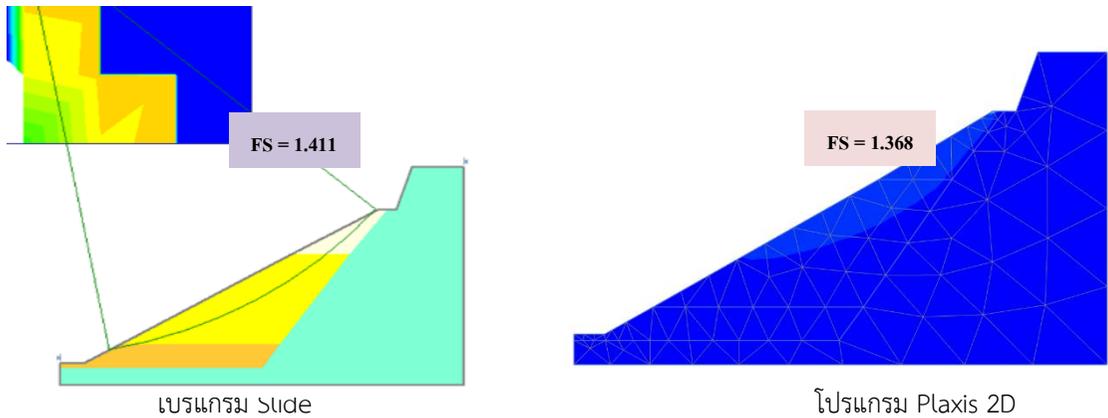
Parameters Soil Type(Unsoaked)	Back Slope(CL)	Fill slop(CL)	Top slope(SC)	Rock Granite	Gabions	Unit	Remark
Dry Density	19.2	19.4	19.3	27	22**	kN/m <sup>3</sup>	Tested
Dry Unit Weight	19	19.1	19	27	22**	kN/m <sup>3</sup>	Tested
Wet Unit Weight	20.8	20.9	21.2	27	22**	kN/m <sup>3</sup>	Tested
Cohesion	29.2	24.7	27.3	55100	300**	kN/m <sup>3</sup>	Tested
Friction angle	30.32	30.27	33.87	51	37**	Degrees	Tested
Young s Modulus	21000	21000	24000	5.00E+06	4.00E04**	kN/m <sup>2</sup>	Joseph E. Bpwles.(1988)
Poisson s ratio	0.35	0.35	0.35	0.27	0.30**		Kulhawy et al. 1983,Budhu2000
Horizontal Parmeability	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-08	8.64E+03**	m/day	Whitlow 1995
Vertical parmeability	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-08	8.64E+03**	m/day	Whitlow 1996

\*\* Rock Mass Classification (1999) (ASTM D 3080. 2014)

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด

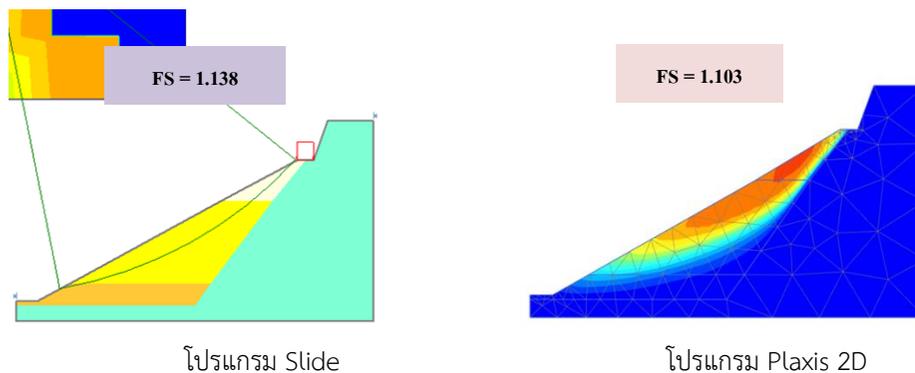
4.1.1 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดด้วยโปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ความชื้นปกติ โดยที่เชิงลาดจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่ความชื้นปกติเท่ากับ 1.411

และ 1.368 แสดงในภาพที่ 5 ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่าจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากกว่าเกณฑ์และต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.250 (NAVFAC DM 7.01. 1986)



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์เชิง ที่สภาวะความชื้นปกติ ด้วยโปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D

4.1.2 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดด้วยโปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ความชื้นสูง โดยที่เชิงลาดจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่ความชื้นสูงเท่ากับ 1.138 และ 1.103 แสดงในภาพที่ 6 ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่าจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.250 (NAVFAC DM 7.01. 1986)

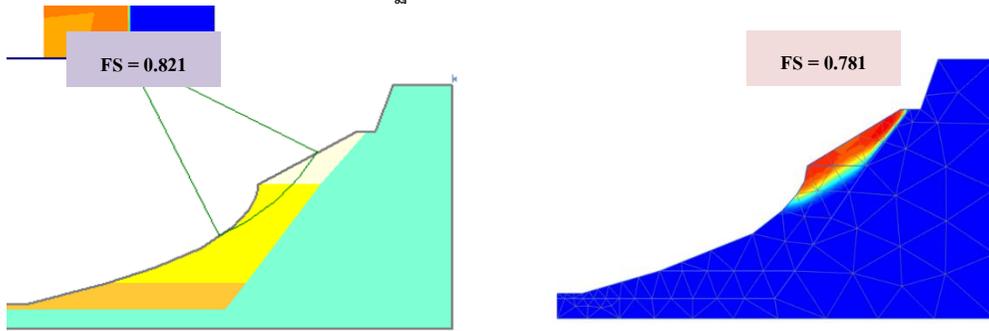


รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์เชิงลาด ที่สภาวะความชื้นสูง ด้วยโปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D

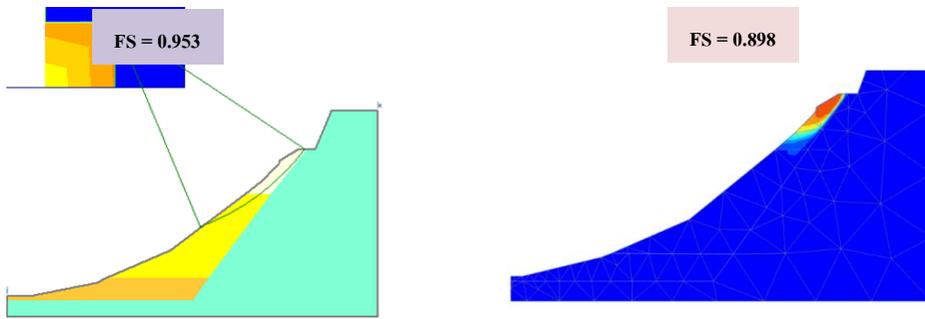
4.1.3 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดด้วยโปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ความชื้นสูง ในกรณีที่เชิงลาดถูกกัดเซาะซึ่งเป็นการตั้งสมมติฐานของการวิบัติตามสภาพพื้นที่จริงในสนาม

ซึ่งผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด พบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 0.821 และ 0.781 แสดงในภาพที่ 7 ตามลำดับ เมื่อเกิดขบวนการวิบัติที่ค่อยๆ ลุกกลามขึ้นเรื่อย ๆ เข้าสู่โครงสร้างหลักจนถึงชั้นผิวทาง

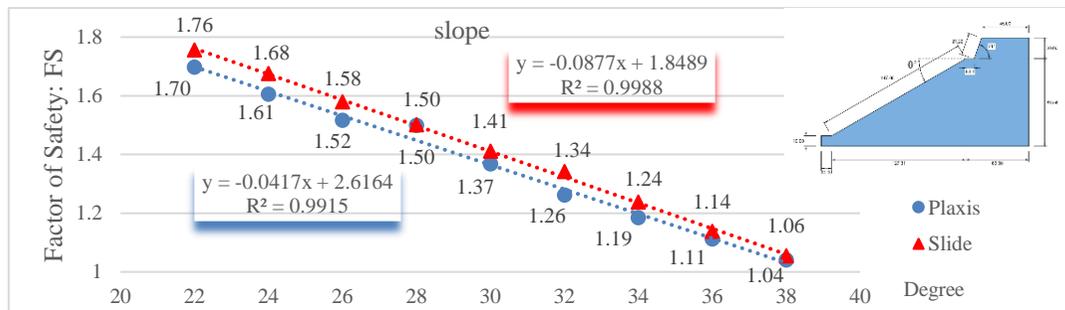
แสดงให้เห็นว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.250 (NAVFAC DM 7.01. 1986) แสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกับสมมติฐานกำหนดไว้



รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดที่ถูกกัดเซาะสถานะความชื้นสูง ด้วยโปรแกรม Slideและโปรแกรม Plaxis 2D



รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดที่ถูกกัดเซาะและลูกกลมจนถึงชั้นผิวทางสถานะความชื้นสูงด้วยโปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D



รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์ parametric study ที่ ค่า slope ด้วยโปรแกรม Slideและ Plaxis 2D

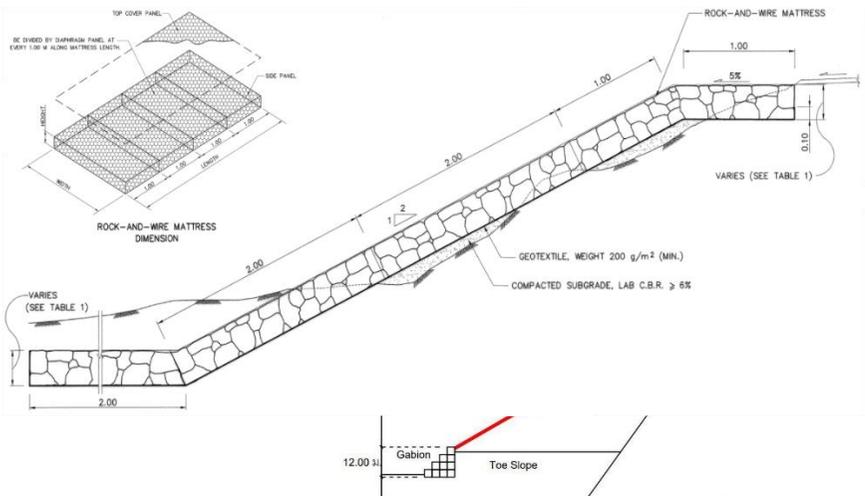
จากกราฟ ภาพที่ 9 จะพบว่าแนวลาดเอียงที่มีความลาดชัน (Slope) เพิ่มขึ้น (ค่าระยะราบลดลง) ส่งผลต่อเสถียรภาพลาดคันทางที่ต่ำลงอย่างชัดเจน (Mooltatong C, Chairatanangamdej G,Poungchoompu P. 2017) (Hamid Fathi Shoob, Amin Nooralizadeh & Hamed Zamenian. 2017, Mashhour, I. M., & El-Marassi, M. A. 2022) เมื่อลาดคันทางถูกกัดเซาะจากน้ำและลมเป็นเวลานานๆ จนลาดคัน ทางมีความลาดชัน มากขึ้นเรื่อย ๆ พบว่าการณีความลาดชัน มีสัดส่วน ระยะราบต่อระยะตั้งน้อยกว่า1ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะอยู่ระดับที่ต่ำ กว่า

เกณฑ์และเมื่อระยะราบต่อระยะตั้งน้อยกว่า 0.30ลาดดินคัน ทางจะเกิดการวิบัติได้จากค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยกว่า 1 จะเห็นได้ว่าความลาดชัน (slope) มีผลต่อค่าอัตราส่วนความปลอดภัยยิ่งพื้นที่ภาคสนามหรือพื้นที่การก่อสร้างมีความชันมาก ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยยิ่งน้อยลงเนื่องจากน้ำหนักของตัวความลาดชันเองและมีค่าแรงโน้มถ่วง (Gravitational Force) มาเกี่ยวข้อง ซึ่งการกัดเซาะจะทำให้รูปร่าง เรขาคณิตของคันดินเปลี่ยนแปลงจนอาจก่อให้เกิดการวิบัติของคันดิน จากผลการศึกษาพบว่าวิธีสมดุลชิดจำกัดมีค่าสูงกว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประมาณร้อยละ 3.3 และค่า  $R^2$  ที่ได้เท่ากับ 0.9915 และ 0.9988 ตามลำดับ

แนวทางการปรับปรุงแก้ไข การแก้ปัญหาเสถียรภาพของคันทางบริเวณทางหลวง 2159 ตอนชัยภูมิ-ห้วยยางดำ ที่ กม.27+700 ดำเนินด้วยวิธีการ ก่อสร้างกำแพงเกเบียน (Gabion) และเสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรส เป็นวิธีที่นิยมและเหมาะสมเนื่องจากลาดชันมีขนาดใหญ่พื้นที่ก่อสร้างมีลักษณะทางธรณีวิทยายากต่อการเข้าถึงมีลักษณะสูงชันเป็นหน้าผา มีความอันตราย จึงพิจารณาการแก้ปัญหาด้วยวิธีการก่อสร้างกำแพงเกเบียน (Gabion) และเสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรสตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง STABILITY AND EROSION PROTECTION (Department of Highways. 2018) และคู่มือการแนะนำแก้ไขการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาดของกรมทางหลวง (Department of Highways. 2008) เป็นการแก้ปัญหาที่จะไม่รบกวนต่อพื้นที่การวิบัติเชิงลาดอาจเกิดการวิบัติของเชิงลาดได้รอบที่ 2 และวัสดุในการก่อสร้างยังมีอยู่ในพื้นที่

กล่องลวดตาข่ายแมทเทรส (Rock and wire mattress)

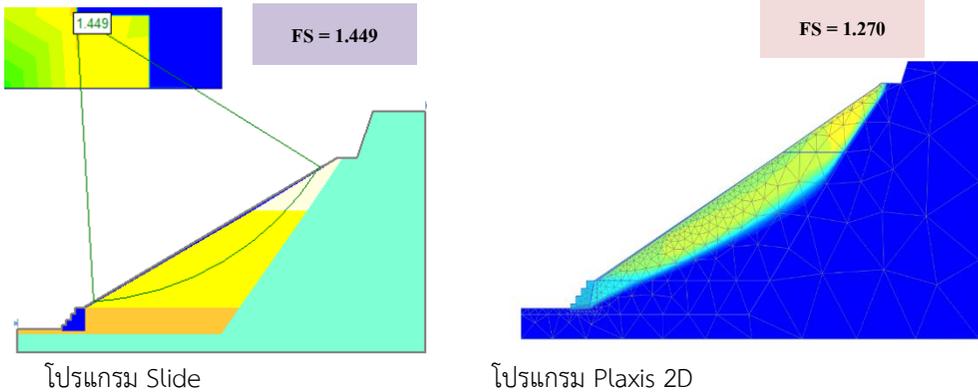
กล่องลวดตาข่ายแมทเทรส (Mattress) สร้างขึ้นจาก แผ่นตาข่ายถักเป็นรูป หกเหลี่ยม ซึ่งติเกลียวคู่ด้วย ลวดเหล็กทั้งชนิดเคลือบสังกะสี เคลือบสังกะสีผสมอลูมิเนียม (AL-ZINC) และเคลือบสังกะสีหุ้มพีวีซี เป็นต้น กล่องลวดตาข่ายแมทเทรสจะต้องมีแผงล่าง แผงด้านข้าง แผงด้านปลาย แผงกันไคอะแฟรม และฝาปิดกล่องลวดตาข่ายจะถูกแบ่งเป็นช่องด้วยแผ่นไคอะแฟรม ที่ระยะ 1 ม. ตามความยาวของกล่อง จะมีแผ่นกระบังกัน เพื่อความแข็งแรงของกล่อง แผ่นตาข่ายแต่ละชั้น ประกอบขึ้นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับกล่องเกเบียน แต่มีขนาดช่องตาข่าย และลวดที่ใช้เล็กกว่า การจัดวางกล่องเป็นชั้นๆหรือเป็นผืนระนาบตามโครงสร้างเพื่อใช้ในงานป้องกัน การกัดเซาะต่าง ๆ ทนทานต่อแรงน้ำ และการไหลเวียนของน้ำได้ดี ซึ่งกล่องลวดตาข่ายทำหน้าที่เป็นโครงสร้างกันดินช่วยพยุง ป้องกันการพังทลายหรือการเคลื่อนตัวของมวลดิน เป็นการเพิ่มแรงต้านทานให้กับเชิงลาด เป็นต้น แสดงในภาพที่ 11



รูปที่ 11 บริเวณที่ทำการเสริมกำแพงเกเบียน (Gabion) และกล่องลวดตาข่ายแมทเทรส (Rock and wire mattress)

### ผลการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงเสถียรภาพของเชิงลาด

1. ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดด้วยการเสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรส (Rock and wire mattress) [33] ด้วยโปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ความชันสูง โดยที่เชิงลาดจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่ความปกติ เท่ากับ 1.449 และ 1.270 แสดงในภาพที่ 16 ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่าจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.250 (NAVFAC DM 7.01. 1986)



### รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดด้วยการเสริมการก่อสร้างกำแพงเกเบียน (Gabion) และ

เสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรส(Rock and wire mattress) ด้วยโปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D

ผลการวิเคราะห์เชิงลาดพบว่าเมื่อเสริมเสถียรภาพด้วยกำแพงเกเบียน (Gabion) และเสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรสจะเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัย ของโปรแกรม Slide จะมีค่าที่สูงกว่า โปรแกรม Plaxis 2D เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเกิดกระบวนการกัดเซาะจะเกิดขึ้น การเสริมเสถียรภาพด้วยกำแพงเกเบียน (Gabion) และเสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรสจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพ เพิ่มประสิทธิภาพในการระบายน้ำตลอดแนวเชิงลาดลดความเสี่ยงจากการกัดเซาะ และมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยผ่านเกณฑ์ค่าความปลอดภัยที่กำหนดไว้

### 5. อภิปรายผลและสรุปผล

จากการศึกษาหาปัญหาเสถียรภาพเชิงลาดดินคันทางที่เกิดการวิบัติในทางหลวง 2159 ตอนชัยภูมิ-ห้วยยางดำ ที่ กม.27+700ด้วยวิธีสมดุลขีดจำกัดและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แสดงให้เห็นว่าวิธีสมดุลขีดจำกัดมีค่าสูงกว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประมาณร้อยละ3.14 จากการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดดินคันทางที่ความชันปกติและความชันสูง พบว่าเสถียรภาพเชิงลาดของบริเวณที่ทำการศึกษานี้ลดลง แต่ไม่ได้อยู่ในระดับที่วิกฤตจนทำให้เชิงลาดเกิดการวิบัติโดยที่ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อเสถียรภาพของเชิงลาดนั้นคือน้ำที่ไหลลงจากบริเวณคันทางแล้วลงสู่เชิงลาดที่ไม่มี การป้องกัน ทำให้การกัดเซาะจะเริ่มต้นที่ปลายเชิงลาด (Toe Slope) และค่อยๆลุกลามเข้าไปสู่โครงสร้างหลักจนถึงชั้นผิวทาง โดยแนวทางการป้องกันควรเริ่มจากการป้องกันน้ำไม่ให้ซึมเข้าสู่โครงสร้างเชิงลาด ซึ่งอาจจะมีการจัดระบบการระบายน้ำที่ดี รวมทั้งการป้องกันการกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาด (Toe Slope) ซึ่งเป็นขบวนการเริ่มแรกของการขยายตัวของแนววิบัติ การศึกษานี้ได้วิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติมจากข้อมูลสภาพพื้นที่ในสนามและพาราเมตริก สตาร์ทที่ ร่วมกับผลการศึกษาที่เกี่ยวข้อง นำไปจำลองรูปแบบและวิเคราะห์พฤติกรรมการวิบัติโดยใช้โปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D พบว่าวิธีการ ก่อสร้างกำแพงเกเบียน (Gabion) และเสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรส เป็นวิธีที่เหมาะสมเนื่องจากลาดชันมีขนาดใหญ่พื้นที่ก่อสร้างมีลักษณะทางธรณีวิทยาการวิบัติโดยใช้โปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D พบว่าวิธีการ ก่อสร้างกำแพงเกเบียน (Gabion) และเสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรส เป็นวิธีที่เหมาะสมเนื่องจากลาดชันมีขนาดใหญ่พื้นที่ก่อสร้างมีลักษณะทางธรณีวิทยาการวิบัติโดยใช้

เสถียรภาพ เพิ่มประสิทธิภาพในการระบายน้ำตลอดแนวเชิงลาดลดความเสี่ยงจากการกัดเซาะ และสามารถก่อสร้างง่ายและรวดเร็ว มีความยืดหยุ่น สามารถใช้กับพื้นที่ก่อสร้างที่ยากได้ วัสดุในการก่อสร้างยังมีอยู่ในพื้นที่และสามารถใช้คนในพื้นที่ได้

## 6. ข้อเสนอแนะ

6.1 พฤติกรรมของดินเป็นพฤติกรรมที่ค่อนข้างมีความสลับซับซ้อน ดังนั้นในการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (FS.) เพื่อจะทราบถึงของความปลอดภัยและแนวของการเคลื่อนพังของเชิงลาด ควรใช้ทฤษฎีสมดุลงัด แต่ถ้าหากต้องการทราบถึงรายละเอียดที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ควรใช้ทฤษฎีไฟไนต์อิลิเมนต์ เนื่องจากใช้ค่าตัวแปรที่ใช้ในการจำลองจะมีความแตกต่างกันอย่างมากซึ่งทฤษฎีสมดุลงัดจะค่อนข้างที่จะไม่ยุ่งยาก ซึ่งแตกต่างจากทฤษฎีไฟไนต์อิลิเมนต์ที่อยู่ยากกว่าในการจำลองและวิเคราะห์ โดยที่ผลลัพธ์ที่ออกมา นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน

6.2 การศึกษาเพิ่มเติมควรจำลองดินที่มีความหลากหลาย และรูปแบบของภูมิประเทศที่แต่แตกต่างกันออกไป รวมทั้งรูปแบบการกัดเซาะหลาย ๆ รูปแบบที่เกิดขึ้น ซึ่งจะได้ทราบถึงสาเหตุลักษณะของการวิบัติของดินแต่ชนิดและรูปแบบที่แตกต่างกัน เพื่อสามารถเก็บเป็นข้อมูลพิจารณาศึกษาและแก้ไขปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณสุประชา คามะนา และคุณศวัศ จันทรา ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค ที่ให้คำปรึกษาในการวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ กรมทางหลวง ที่ช่วยเหลือเรื่องสถานที่ ช่วยเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปทดสอบ และให้ข้อมูลประวัติพื้นที่จุดที่ทำการศึกษา และขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- Adun Yakob. (2008). **Assessment of slope stability improvement at highway no. 41 segment of Thung Song district- Rom Phibun district, Southern Thailand.** Bachelor of Engineering Thesis Department of Civil Engineering (Geotechnics) Prince of songkla University.
- ASTM D 422. (2007). **Standard test method for particle-size analysis of soils.** In Annual Book of ASTMStandards.04.08. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D 698.( 2007). **Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using.** Standard Effort, USA.
- ASTM D 4318. (2010). **Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity index of Soils.** In Annual Book of ASTM Standards. 04.08. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM D 3080. (2014). **Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions.** In Annual Book of ASTM Standards. 04.08. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, USA.
- Bhawani S. (1999). **Rock mass classification.** University of Roorkee, Roorkee, India.
- Chimoye W. (2001). **Foundation analysis and design.** Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,Thammasat University.

- Department of Highways. (2008). **Guide to correcting and operating the erosion and slope movement, Bureau of Road Research and Development.** Department of Highways, ministry of transport, Thailand.
- Department of Highways. (2018). **Standard Drawing for Highways Design and Construction.** Ministry of transport, Thailand..
- Gray DH, Sotir RB. (1996). **Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization A Practical Guide for Erosion Control.** John Wiley & Sons.
- Hamid Fathi Shoob, Amin Nooralizadeh & Hamed Zamenian. (2017). Parametric Study of the Stabilization of Sloped Surfaces Bedding with Geotextiles. **Global Journal of Research in Engineering.** 17(4) :36 – 44.
- Karim M. Zein A., and Abdel Karim W. (2017- October). “Stability of Slopes on Clays of Variable Strength by Limit Equilibrium and Finite Element Analysis Methods”. **International Journal of GEOMATE.** 13(38) : pp.157-164.
- Mashhour, I. M., & El-Marassi, M. A. (2022) **A Parametric Study on Benched Slopes using Limit Equilibrium Method.** Department of Construction and Building Engineering.
- Mooltatong C, Chairatanangamdej G,Poungchoompou P. (2017). Study on Slope Failure of Highway Embank No.1349, Samoeng-Wat Chan Route. **The 22 National Convention on Civil Engineering.** 18-20 July. NakhonRatchasima, Thai.
- Multathong C. (2017). **Study on Slope Failure of Highway Embankment No.1349, Samoeng - Wat Chan Route sta. 34+450.**
- Navfac. (1986). **Design Manual 7.10 Soil Mechanic.** Department of the Naval Facilities Engineering Command, Chapter7, Slope Stability and Protection.
- Poramethee Dechpatungwesa. (2019, October - Decenber). “Study on Slope Failure of Highway Embankment No.1194 Mae Sariang - Mae Saplaep Route sta. 21+150”. **KKU Research Journal (Graduate Studies).** 19(4) : 127 – 138.
- Price T.( 2006). Warwick University.[Online]. Available : <http://fbe.wvc.uk/pubric/geocal/Slope/Slopes>. retrieved October 3,2022.
- Supracha Kamana. (2022, January-March). Study on Slope Failure by Limit Equilibrium Method And Finite Element Method of Highway Embankment and Remediation A Case Study No.1270, Kong Loi – Mae Hae tai Route - sta. 21+000. **KKU Research Journal (Graduate Studies).** 22(1) :13-25.
- Visudmedanukul P. (2015). **Foundation Engineering Handbook.** SE-EDUCATION Public Company Limited, Bangkok.
- Voottipruex P, Maneejaruan J, Inthapichai S, Teerawattanasuk C, Modmoltin C. (2013, May-August). The Prevention of soil Erosion Using a Combination of Natural Fiber with Vetiver and Ruzi Grass. **The Journal of KMUTNB.** 23(2) : 295 – 304.
- Whitman RV, Bailey W A. (1967). **Use of computers for slope stability analysis.** J. Soil Mech. Found, Div, ASCE 93.



Yotsawat Chantra. (2022, January-March). Study on Slope Failure by Limit Equilibrium Method And Finite Element Method of Highway Embankment A Case Study No.1270, Kong Loi – Mae Haetai Route sta.26+200 – sta.26+450. *KKU Research Journal (Graduate Studies)*. 22(1) : 38-50.

#### คุณค่าทางวิชาการ

ทราบถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดการวิบัติของเชิงลาดคันทางและเสถียรภาพเชิงลาดที่สภาวะแตกต่างกันของคันทาง อีกทั้งทราบถึงแนวทางการป้องกันและวิธีการซ่อมแซมแก้ไข ที่มีความเหมาะสมทั้งด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านวิศวกรรม