



การศึกษาปัญหาเสถียรภาพเชิงลาดดินคันทางด้วยวิธีสมดุลขีดจำกัด และวิธีไฟไนต์ อิลิเมนต์ กรณีศึกษา ทางหลวงหมายเลข 1270 ตอน กองลอย - แม่แฮใต้ ที่ กม.26+200 - กม.26+450

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

ยศวิศ จันทรา (Yotsawat Chanttra)* ดร.พงศกร พวงชมพู (Dr.Pongsagorn Pongchompu)^{1**}

(Received: June 10, 2020; Revised: September 7, 2020; Accepted: October 1, 2020)

บทคัดย่อ

ถนนเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีความสำคัญด้านเศรษฐกิจ ในภาคเหนือของประเทศไทยส่วนใหญ่นั้น จะเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นภูเขาสูง มักจะพบปัญหาการวิบัติของเชิงลาดอยู่บ่อยครั้ง งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาหาสาเหตุของการวิบัติโดยพิจารณาอัตราส่วนความปลอดภัยของเชิงลาดโดยใช้กรณีศึกษาในทางหลวงหมายเลข 1270 ตอน กองลอย - แม่แฮใต้ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นเส้นทางขนส่งสินค้าทางเกษตร ด้วยวิธีสมดุลขีดจำกัด (Limit Equilibrium Method) และวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite Element Method) ผลการศึกษาพบว่าวิธีสมดุลขีดจำกัดมีค่าสูงกว่าวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ ประมาณร้อยละ 18 และปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการวิบัติของเชิงลาดคือปัญหาการระบายน้ำของคันทางและการกัดเซาะ

ABSTRACT

Roads are an infrastructure of economic importance. In most of the north of Thailand it will be an area that has a high mountain nature slope failure that is often encountered frequently. This research was to investigate the causes of a failure by considering the factor of safety ratio in highway 1270, Kong Loi - Mae Haetai section, Chiang Mai Province which is an agricultural product transportation route. Slope stability analysis by means of the limit equilibrium method and the finite element method. The results of the study showed that the limit equilibrium method was approximately 18% higher than the finite element method. The major factors affecting slope failure are the drainage problem of the road embankment and erosion.

คำสำคัญ: การวิบัติของเชิงลาด วิธีสมดุลจำกัด วิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

Keywords: Slope failure, Limit equilibrium method, Finite element method

¹Corresponding author: ppoungchompu@gmail.com

*นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วิทยาเขตขอนแก่น

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

บทนำ

ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 1270 กองลอย – แม่แฮใต้ เป็นถนนขนาด 2 ช่องจราจร โดยเริ่มต้นจากบ้านกองลอย อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่หรือเริ่มต้นจาก ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 108 ที่บริเวณกิโลเมตรที่ 55 และสิ้นสุดที่บ้านแม่โถ อำเภอแม่ลาน้อย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ภูมิประเทศเป็นภูเขาสูงชันสลับซับซ้อนคดเคี้ยวไปมา คั่นทางคับแคบ และบางช่วงมีความลาดชันมาก สภาพผิวทางและไหล่ทางโดยรวมชำรุดเสียหาย อาคารระบายน้ำต่างๆไม่สมบูรณ์ ทำให้น้ำกัดเซาะคันทางเสียหายหลายแห่ง จึงมักพบปัญหาเกี่ยวกับการวิบัติของเชิงลาดบ่อยครั้งในช่วงฤดูฝน ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการวิบัติมีอยู่หลายปัจจัย ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขา เป็นพื้นที่ที่มีฝนตกชุก เป็นพื้นที่ที่ลาดเขา คุณสมบัติของดิน ความลาดชันของพื้นที่ ผลกระทบจากแผ่นดินไหว หรืออาจมีปัจจัยหลายๆอย่างรวมกัน [1-3] เมื่อปี พ.ศ. 2561 ในช่วงฤดูฝนเกิดการกัดเซาะคันทางในจุดที่ทำการวิจัยแสดงในภาพที่ 1 ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 หน่วยงานที่รับผิดชอบได้ดำเนินการบูรณะเชิงลาดคันทางโดยการก่อสร้างกำแพงเกเบี้ยน (Gabion) สูง 6 เมตร และระบบระบายน้ำแบบท่อคอนกรีต ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร จำนวน 2 แถว ตามแบบมาตรฐานของกรมทางหลวงเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของเชิงลาด และต่อมาในช่วงฤดูฝนของปี พ.ศ.2562 ได้เกิดการวิบัติซ้ำอีกครั้งแสดงในภาพที่ 2 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 [4] วิธีของ Janbu [5] และวิธีของ Morganstern & Price [6-8] เป็นต้น และ วิธีที่สอง วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) ด้วยโปรแกรม Plaxis 2D (โปรแกรม License: Pongsagorn Pongchompu 2021) เป็นโปรแกรมทางการค้าที่นิยมอย่างแพร่หลายในทาง Geotechnical Engineering วิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดด้วยวิธีลดหน่วยแรง ซึ่งเหมาะสมกับพฤติกรรมของดินที่มีความซับซ้อน โดยให้ค่าที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากอีกวิธีหนึ่ง



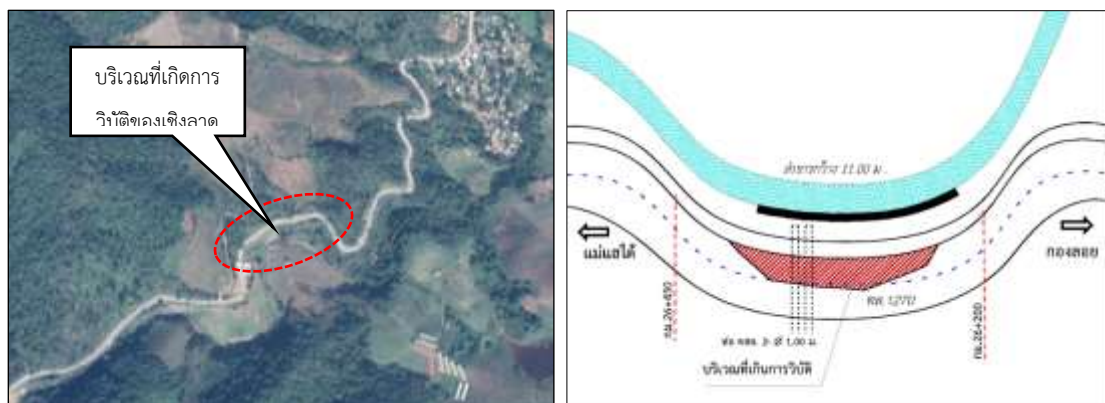
ภาพที่ 1 ความเสียหายจากการกัดเซาะเมื่อปี พ.ศ. 2561 และการบูรณะเมื่อปี พ.ศ.2562 ด้วยการก่อสร้างกำแพงเกวียน (Gabion)



ภาพที่ 2 ความเสียหายหลังการบูรณะเมื่อปี พ.ศ.2562 และปัญหาที่เกิดขึ้นบริเวณท่อระบายน้ำใต้ผิวทาง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

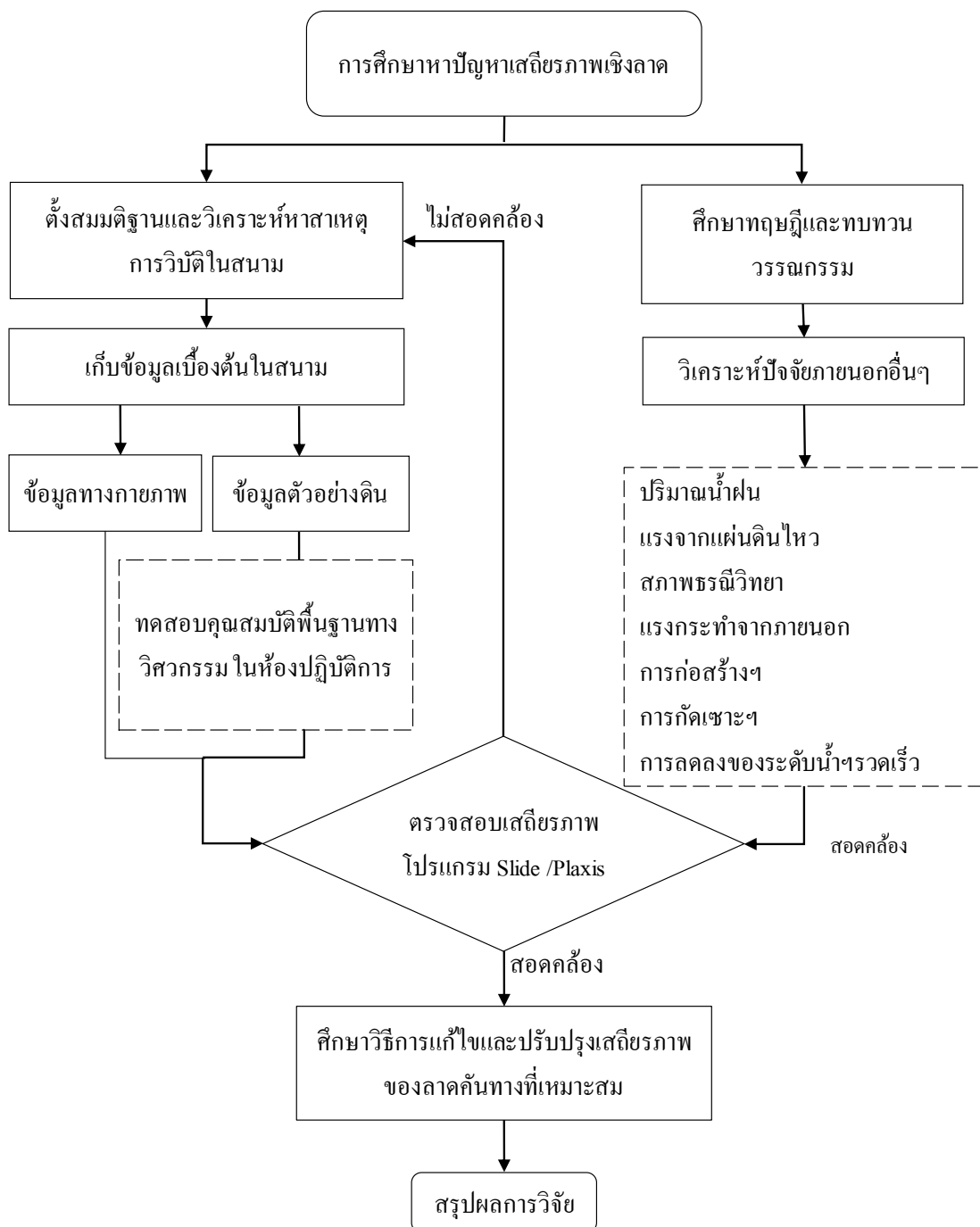
ศึกษาหาสาเหตุของการวิบัติของโครงสร้างเชิงลาดที่เกิดความเสียหาย บริเวณทางหลวงหมายเลข 1270 ตอน กองลอย – แม่แฮใต้ ที่ กม.26+200 – กม.26+450 ซึ่งอาจสามารถประยุกต์ใช้กับกรณีอื่นๆ



ภาพที่ 3 แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสถานที่ทำวิจัย และลักษณะความเสียหายบริเวณที่ทำการวิจัย

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยสามารถอธิบายรายละเอียดตามแผนผังขั้นตอนการวิจัยตามรูปที่ 4 และสามารถอธิบายรายละเอียดตามขั้นตอนได้ ดังนี้



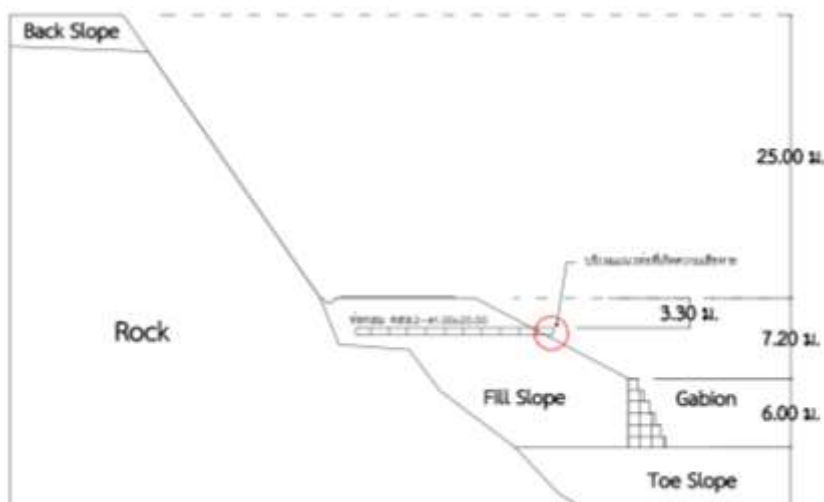
ภาพที่ 4 แผนผังแสดงขั้นตอนการวิจัย

1. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลรวมทั้งหาสาเหตุที่ทำให้มีการวิบัติของลาดคันทางโดยเริ่มอย่างจากพิจารณาจากองค์ประกอบของรูปแบบของการวิบัติ และปัจจัยภายนอกที่อาจจะส่งผลกระทบ ได้แก่ ข้อมูลภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน ข้อมูลด้านธรณีวิทยา ข้อมูลแผ่นดินไหวที่อาจส่งผลกระทบ และปริมาณการจราจรที่ใช้สัญจรในแต่ละวัน

2. ดำเนินการวางแผนการสำรวจพื้นที่ของภูมิประเทศในบริเวณที่จะทำการศึกษา โดยเป็นการสำรวจมิติของความกว้าง ยาว และความลึก ด้วยเทปวัดระยะ ในรายละเอียดต่างๆ ในจุดเกิดการวิบัติแสดงในภาพที่ 5 และรวมไปถึงการสันนิษฐานและวิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้น เพื่อนำรายละเอียดที่ทำการสำรวจไปสร้างแบบจำลองหน้าตัดเชิงลาด และวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดคันทางต่อไป แสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 5 การสำรวจลักษณะภูมิประเทศ



ภาพที่ 6 หน้าตัดเชิงลาด และบริเวณแนวท่อที่เกิดความเสียหาย

3. การเก็บตัวอย่างดินแบบแปลงสภาพ จะทำการเก็บจากบริเวณที่ลาดดินมีสภาพใกล้เคียงกับแนวลาดดินที่เกิดการวิบัติ เพื่อนำตัวอย่างดินที่ได้มาเป็นตัวแทนของลาดดินที่เกิดการวิบัติ เพื่อนำมาหาคุณสมบัติทางวิศวกรรม และต้องการทราบบริเวณที่ทำการวิจัยว่าโครงสร้างของดินว่ามีลักษณะทางวิศวกรรมเป็นอย่างไร ทั้งในด้านสภาวะความชื้นปกติที่มีค่าใกล้เคียงกับความชื้นตามธรรมชาติ และสภาวะวิกฤตของดินที่มีความชื้นสูง เพื่อนำไปทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมในห้องปฏิบัติการ โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างดินบริเวณที่เกิดการวิบัติ จำนวน 3 ตัวอย่าง ซึ่งได้ทำการด้วยวิธีขุดจากหลุมทดสอบ (Test Pit) ที่มีความลึกประมาณ 1.00 ม. -1.50 ม. โดยได้กำหนดจุดที่ทำการเก็บตัวอย่าง

ไว้ คือ จุดที่ 1 บริเวณดินหลังคันทาง (Back slope) จุดที่ 2 บริเวณดินลาดคันทาง Fill slop และ จุดที่ 3 ดินเดิมล่างคันทาง (Toe slop) แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 จุดที่ทำการเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธีขุดจากบ่อทดสอบดิน (Test Pit)

4. ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม (Engineering Properties) การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม ได้ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากดินที่นำมาทดสอบได้จากการขุดจากหลุมทดสอบ (Test Pit) ซึ่งการทดสอบในห้องปฏิบัติการนั้นจะเป็นการหาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม [9] ประกอบไปด้วย

- 1) วิเคราะห์ขนาดเม็ดดินวิธีของ ASTM D422
- 2) ทดสอบ Liquid Limit มาตรฐาน ASTM D4318
- 3) การบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor) ASTM D 698-78
- 4) กำลังรับแรงเฉือนโดยตรงแบบไม่แช่น้ำ (Un-soaked Direct Shear) ASTM D3080
- 5) กำลังรับแรงเฉือนโดยตรงแบบแช่น้ำ (Soaked Direct Shear) ASTM D3080

5. วิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดหลังจากที่ได้ค่าคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมหรือค่าตัวแปรต่างๆแล้ว นำมาวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดเป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับวิธีสมดุลจำกัด (Limit Equilibrium) ด้วยโปรแกรม Slide และ วิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ ด้วยโปรแกรม Plaxis 2D (Program License: Pongsagorn Pongchompu 2021) โดยแบ่งการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด ออกเป็น 2 สภาวะ

1) สภาวะปกติ ใช้ตัวแปรของเชิงลาดจากตัวแทนของตัวอย่างดินในปัจจุบันที่มีความชื้นธรรมชาติ และให้ไม่มีระดับน้ำใต้ดิน

2) สภาวะวิกฤติ จะวิเคราะห์โดยให้ตัวแปรเชิงลาดมีสภาวะความชื้นสูงสุดและให้มีระดับน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นสูงสุด

คุณสมบัติของดินที่ใช้ในแบบจำลองแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของดินที่ความชื้นปกติและความชื้นสูงที่ใช้ในแบบจำลอง

Parameters	Back Slope		Fill Slope		Toe Slope		Rock	Gabions	Unit	Remark
Soil Type	Silty Sand (SC)		Lean Clay With Sand (CL)		Clayey Sand (SM)		Granite			
Dry Density	17.30	17.30*	17.10	17.10*	16.00	16.00*	27	22**	kN/m ³	ใช้ค่าจากผลทดสอบ
Dry Unit Weight	17.20	16.50*	16.30	16.20*	15.20	15.20*	27	22**	kN/m ³	ใช้ค่าจากผลทดสอบ
Wet Unit Weight	20.00	19.10*	19.10	19.00*	17.60	17.60*	27	22**	kN/m ³	ใช้ค่าจากผลทดสอบ
Cohesion	13.20	10.60*	11.30	8.00*	6.70	8.60*	55100	300**	kN/m ²	ใช้ค่าจากผลทดสอบ
Friction angle	28.95	22.07*	33.11	33.71*	37.26	31.95*	51	37**	Degrees	ใช้ค่าจากผลทดสอบ
Young's Modulus	24000	24000*	25000	25000*	21000	21000*	5.00E+06	4.00E+04**	kN/m ²	Joseph E. Bowles. (1988)
Poisson's ratio	0.35	0.35*	0.40	0.40*	0.35	0.35*	0.27	0.30**	-	Kulhawy et al. 1983, Budhu 2000
Horizontal permeability	8.64E-04	8.64E-04*	8.64E-05	8.64E-05*	8.64E-04	8.64E-04*	8.64E-08	8.64E+03**	m/day	whitlow 1995
Vertical permeability	8.64E-04	8.64E-04*	8.64E-05	8.64E-05*	8.64E-04	8.64E-04*	8.64E-08	8.64E+03**	m/day	whitlow 1995

หมายเหตุ * คุณสมบัติของดินที่ความชื้นสูง

** Rock Mass Classification (1999) [10]

ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยในการวิเคราะห์เสถียรภาพ

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด ต้องพิจารณาเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่คำนวณได้ กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดที่ยอมรับสำหรับการออกแบบ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายสภาวะ ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยที่เกณฑ์ในการกำหนดค่าต่ำสุดของอัตราส่วนความปลอดภัย เพื่อพิจารณาความปลอดภัยของงาน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ความแปรปรวนในค่าความแข็งแรงของดินเชิงลาด จำนวนข้อมูลที่สำรวจได้ ความน่าเชื่อถือของข้อมูล รูปหน้าตัดของเชิงลาด การระบายน้ำในดิน ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นจากสภาพต่างๆของเชิงลาด

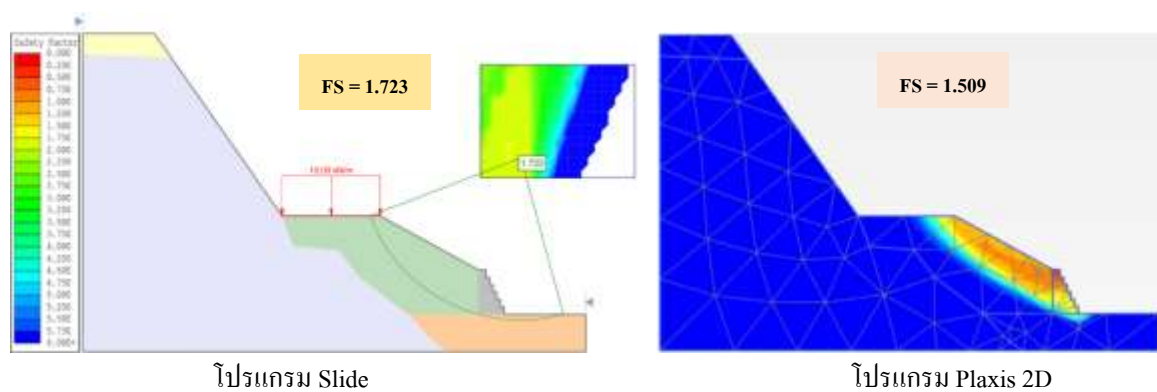
ตารางที่ 2 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาด [11]

ลักษณะของงาน	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดที่ยอมรับ
สำหรับสภาวะน้ำหนักบรรทุกถาวร	1.5
สำหรับสภาวะน้ำหนักชั่วคราว	1.25 ถึง 1.30
เหตุการณ์กรณีพิเศษเกิดขึ้น ได้แก่	1.15 ถึง 2.00
- การเกิดแผ่นดินไหว การลดระดับน้ำพื้นที่ เป็นต้น	

ผลการวิจัย

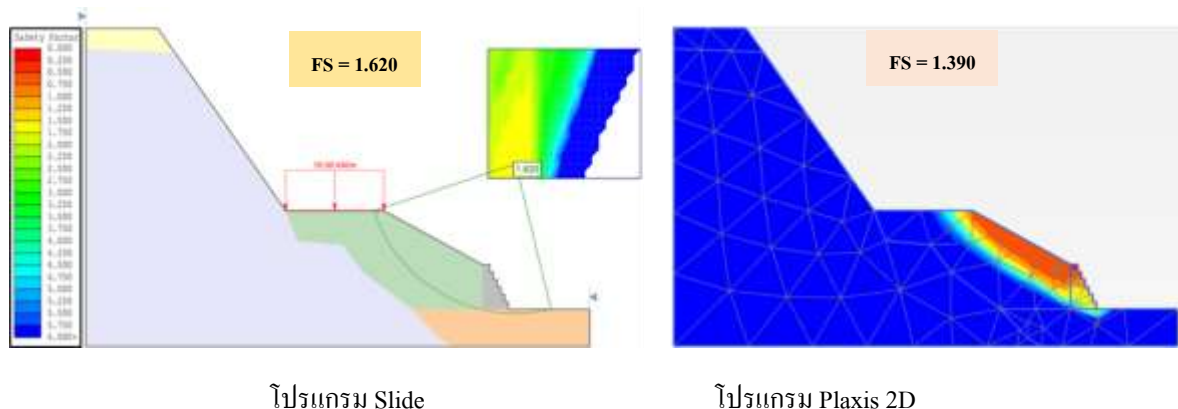
ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด

1. ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดด้วยโปรแกรม Slide และ โปรแกรม Plaxis 2D ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ความชื้นปกติ โดยที่เชิงลาดจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่ความชื้นปกติเท่ากับ 1.723 และ 1.509 แสดงในภาพที่ 8 ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากกว่าเกณฑ์และต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.250 (NAVFAC DM 7.01, 1986) [11]



ภาพที่ 8 ผลการวิเคราะห์เชิง ที่สภาวะความชื้นปกติ ด้วยโปรแกรม Slide และ โปรแกรม Plaxis 2D

2. ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดด้วยโปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่มีความชื้นสูง โดยที่เชิงลาดจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่มีความชื้นสูงเท่ากับ 1.620 และ 1.390 แสดงในภาพที่ 9 ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่าจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.250 (NAVFAC DM 7.01, 1986) [11]



ภาพที่ 9 ผลการวิเคราะห์เชิงลาด ที่สภาวะความชื้นสูง ด้วยโปรแกรม Slide และ โปรแกรม Plaxis 2D

3. ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดด้วยโปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่มีความชื้นสูง ในกรณีที่เชิงลาดถูกกัดเซาะซึ่งเป็นการตั้งสมมติฐานของการวิบัติตามสภาพพื้นที่จริงในสนาม

พงศ์พันธ์ [12] เมื่อปล่อยน้ำลงมาจากส่วนบนของเชิงลาด กระบวนการกัดเซาะจะเกิดขึ้นที่บริเวณฐานของเชิงลาดก่อน แล้วจึงขยายตัวในแนวราบเป็นช่องใหญ่ขึ้น

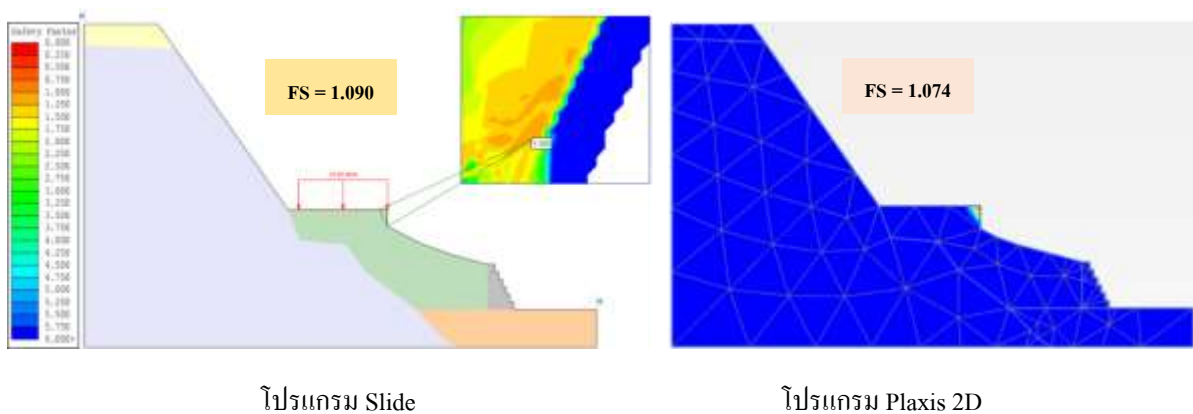
พงษ์ศักดิ์ [13] ดินที่ง่ายต่อการกัดเซาะพังทลายก็คือดินที่มีขนาดของอนุภาคเม็ดดินปานกลาง เช่น ดินที่มีอนุภาคแป้ง (silt) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคในช่วง 0.002 ถึง 0.05 มม. ปะปนอยู่ ดินชนิดใดก็ตามที่มีอนุภาคดินแป้งผสมอยู่ในสัดส่วนประมาณ 40 ถึง 60% จะเป็นดินที่ง่ายต่อการกัดเซาะพังทลายมากที่สุด

พาณิช [14] ได้สรุปการจัดลำดับความสามารถถูกกัดเซาะของชนิดดิน จากมากที่สุดไปยังความสามารถถูกกัดเซาะน้อยที่สุดดังนี้ $ML > SM > SC > MH > OL > CL > CH > GM > SW > GP > GW$

Morgan (1996) [7] กระบวนการกัดเซาะพังทลายแบบร่องลึก เริ่มต้นจากการเป็นหลุมดินขนาดเล็ก (small depression) บริเวณพื้นที่ลาดชันที่มีการปกคลุมของพืชน้อย หรือเป็นบริเวณที่ถูกไฟเผาทำลาย ต่อมาความบ้นป่วนของ

น้ำทำให้หลุมดินนั้นขยายตัวมากขึ้นเรื่อยๆ และก่อตัวเป็นร่องน้ำด้วยกระบวนการกัดเซาะพังทลายบริเวณริมฝั่งของร่องน้ำหรือ (bank erosion) ขนาดของร่องน้ำจะเพิ่มมากขึ้นจากการกัดเซาะในส่วนหัวของร่องลึก ซึ่งเป็นผลมาจากการมีวนตัวกลับของน้ำ

ซึ่งผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด พบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1.241 และ 1.227 แสดงในภาพที่ 10 ตามลำดับ เมื่อเกิดขบวนการวิบัติที่ค่อยๆ ลากขึ้นเรื่อยๆ เข้าสู่โครงสร้างหลักจนถึงชั้นผิวทาง แสดงให้เห็นว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.250 (NAVFAC DM 7.01, 1986) [11] แสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกับสมมติฐานกำหนดไว้



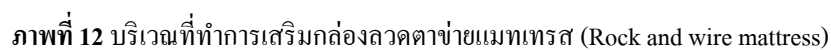
ภาพที่ 10 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดที่ถูกกัดเซาะสภาวะความชื้นสูง ด้วยโปรแกรม Slide และ โปรแกรม Plaxis 2D

แนวทางการปรับปรุงแก้ไข

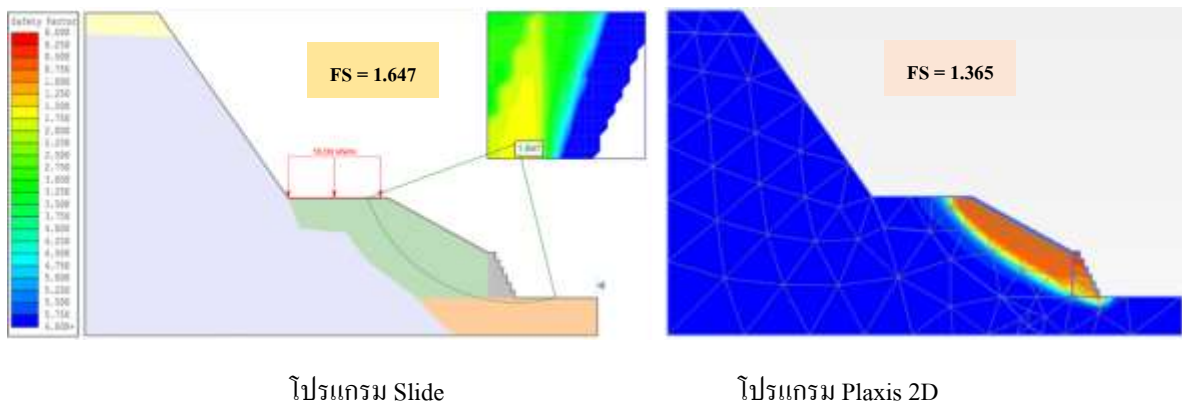
การแก้ปัญหาเสถียรภาพของคันทางบริเวณทางหลวงหมายเลข 1270 ตอน กองลอย – แม่แฮใต้ ที่ กม. 26+200 – กม. 26+450 ด้วยวิธีการก่อสร้างกำแพงเกเบี้ยน (Gabion) และระบบระบายน้ำแบบท่อคอนกรีตยังไม่สามารถแก้ปัญหาการกัดเซาะและพังทลายได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายน้ำตลอดแนวเชิงลาดเพิ่มเสถียรภาพลดความเสี่ยงจากการกัดเซาะ ก่อสร้างง่ายและรวดเร็ว มีความยืดหยุ่น สามารถใช้กับพื้นที่ก่อสร้างที่ยากได้ จึงพิจารณาการแก้ปัญหาด้วยวิธีการเสริมกล่อกลวดตาข่ายแมทเทรส ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง STABILITY AND EROSION PROTECTION [16] และคู่มือการแนะนำแก้ไขการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาดของกรมทางหลวง [17]

กล่อกลวดตาข่ายแมทเทรส (Rock and wire mattress)

กล่อกลวดตาข่ายแมทเทรส (Mattress) สร้างขึ้นจาก แผ่นตาข่ายถักเป็นรูป หกเหลี่ยม ซึ่งดีดยืดหยุ่นด้วย ลวดเหล็กทั้งชนิดเคลือบสังกะสี เคลือบสังกะสีผสมอลูมิเนียม (AL-ZINC) และเคลือบสังกะสีหุ้มฟิวิซี เป็นต้น กล่อกลวดตาข่ายแมทเทรสจะต้องมีแผงล่าง แผงด้านข้าง แผงด้านปลาย แผงกั้นไคอะแฟรม และฝาปิดกล่อกลวดตาข่ายจะถูกแบ่งเป็นช่องด้วยแผ่นไคอะแฟรม ที่ระยะ 1 ม. ตามความยาวของกล่อ จะมีแผ่นกระบังกัน เพื่อความแข็งแรงของกล่อ แผ่นตาข่ายแต่ละชิ้น ประกอบขึ้นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับกล่อเกเบี้ยน แต่มีขนาดช่องตาข่าย และลวดที่ใช้เล็กกว่า การจัดวางกล่อเป็นชั้นๆ หรือเป็นผืนระนาบตามโครงสร้างเพื่อใช้ในงานป้องกัน การกัดเซาะต่าง ๆ ทนทานต่อแรงน้ำ และการไหลเวียนของน้ำได้ดี ซึ่งกล่อกลวดตาข่ายทำหน้าที่เป็นโครงสร้างกันดินช่วยพยุง ป้องกันการพังทลาย หรือการเคลื่อนตัวของมวลดิน เป็นการเพิ่มแรงต้านทานให้กับเชิงลาด เป็นต้น แสดงใน ภาพที่ 11



ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดด้วยการเสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรส (Rock and wire mattress) [15] ด้วยโปรแกรม Slide และ โปรแกรม Plaxis 2D ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่มีความชันสูง โดยที่เชิงลาดจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่มีความชันสูง เท่ากับ 1.647 และ 1.365 แสดงในภาพที่ 13 ตามลำดับซึ่ง แสดงให้เห็นว่า จะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.250 (NAVFAC DM 7.01, 1986) [11]



ภาพที่ 13 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดด้วยการเสริมกล่องลวดตาข่ายเมทเทรส (Rock and wire mattress)
สภาวะความชื้นสูง ด้วยโปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดในสภาวะความชื้นปกติ สภาวะความชื้นสูง สภาวะที่ถูกกัดเซาะที่ความชื้นสูง และ
สภาวะที่เสริมเสถียรภาพด้วยเมทเทรส ด้วยโปรแกรม Slide และโปรแกรม Plaxis 2D

โปรแกรม	ความชื้นปกติ	ความชื้นสูง	สภาวะกัดเซาะความชื้นสูง	เสริมเสถียรภาพด้วยเมทเทรส
Slide	1.723	1.620	1.090	1.647
Plaxis 2D	1.509	1.390	1.074	1.365
% แตกต่าง	12.42	14.20	1.470	17.12

ผลการวิเคราะห์เชิงลาดพบว่าเมื่อเสริมเสถียรภาพด้วยเมทเทรส จะเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัย ของโปรแกรม Slide จะมีค่าที่สูงกว่า โปรแกรม Plaxis 2D เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ถึงจะมีค่าน้อยกว่าที่สภาวะความชื้นปกติ สภาวะความชื้นสูง แต่เมื่อเกิดกระบวนการการกัดเซาะจะเกิดขึ้น การเสริมเสถียรภาพด้วยเมทเทรส จะช่วยเพิ่มเสถียรภาพ เพิ่มประสิทธิภาพในการระบายน้ำตลอดแนวเชิงลาดลดความเสี่ยงจากการกัดเซาะ และมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยผ่านเกณฑ์ค่าความปลอดภัยที่กำหนดไว้

พิทักษ์ชน [15] ได้สรุปผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินระหว่างวิธีสมมูลชิดจำกัด และวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยของวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์มีความเหมาะสมผลกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีสมมูลชิดจำกัด รวมทั้งผลที่ออกมาแสดงให้เห็นว่าวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์มีสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยที่ต่ำกว่าวิธีสมมูลชิดจำกัดอยู่เล็กน้อย

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาหาปัญหาเสถียรภาพเชิงลาดดินคันทางที่เกิดการวิบัติซ้ำในทางหลวงหมายเลข 1270 ตอน กองลอย – แม่แฮใต้ ที่ กม.26+200 – กม.26+450 ด้วยวิธีสมมูลชิดจำกัดและวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ แสดงให้เห็นว่าวิธีสมมูลชิดจำกัดมีค่าสูงกว่าวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ประมาณร้อยละ 11 จากการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดดินคันทางที่ความชื้นปกติและความชื้นสูง พบว่าเสถียรภาพเชิงลาดของบริเวณที่ทำการศึกษานี้ลดลง แต่ไม่ได้อยู่ในระดับที่วิกฤตจนทำให้เชิงลาดเกิดการวิบัติ การศึกษาได้วิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติมจากข้อมูลสภาพพื้นที่ในสนาม ร่วมกับผลการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

นำไปจำลองรูปแบบและวิเคราะห์พฤติกรรมการวิบัติโดยใช้โปรแกรม Slide และ โปรแกรม Plaxis 2D พบว่าวิธีการก่อสร้างกำแพงเกวียน (Gabion) และระบบระบายน้ำแบบท่อคอนกรีตยังไม่สามารถแก้ปัญหาการกัดเซาะและพังทลายได้ จึงเลือกวิธีการเสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรส ซึ่งเป็นการเพิ่มเสถียรภาพ เพิ่มประสิทธิภาพในการระบายน้ำตลอดแนวเชิงลาดลดความเสี่ยงจากการกัดเซาะ และสามารถก่อสร้างง่ายและรวดเร็ว มีความยืดหยุ่น สามารถใช้กับพื้นที่ก่อสร้างที่ยากได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณ โกมลย์ ชัยรัตนงามเดช ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค ที่ให้คำปรึกษาในการวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่หมวดทางบ่อสลี แขวงทางหลวงเชียงใหม่ที่ 1 ที่ช่วยเหลือเรื่องสถานที่ ช่วยเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปทดสอบ และให้ข้อมูลประวัติพื้นที่จุดที่ทำการศึกษา และขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Dechpatungwesa P. Study on Slope Failure of Highway Embankment No.1194 Mae Sariang - Mae Saplaep Route sta. 21+150. 2019.
2. Yakob A. Assessment of slope stability improvement at highway no. 41 segment of Thung Song district - Rom Phibun district, Southern Thailand. 2008.
3. Multathong C. Study on Slope Failure of Highway Embankment No.1349, Samoeng - Wat Chan Route sta. 34+450. 2017.
4. Visudmedanukul P. Foundation Engineering Handbook, SE-EDUCATION Public Company Limited, Bangkok. 2015.
5. Chimoye W. Foundation analysis and design, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University. 2001.
6. Morgan RPC. Soil Erosion and Conservation in Britain, Process in Physical Geography. 1996.
7. Morgan RPC. Soil Erosion and Conservation Longman. UK. 1996.
8. Sutejo Y. Effect of Area Development on the Stability of Cut Slops, Procedia Engineering 125, 331-337. 2015.
9. AASHTO. Standard Specifications for Highway Bridge. Washington DC, USA. 2002.
10. Bhawani S. Rock mass classification University of Roorkee, Roorkee, India. 1999.
11. Navfac Design Manual 7.01 Soil Mechanic, Department of the Naval Facilities Engineering Command, Chapter 7, Slope Stability and Protection. 1986.
12. Kanjanakaroon P. The Study of Embankment Breach from Overtopping Flow near, Hydraulic Structure by Physical Model, SWU Engineering Journal, Vol.10 (1), 12-21 2015.
13. Witthawatchutikul P. Basin hydrology model River Basin Group, Research and Development Section Forest environment. FOREST RESEARCH AND DEVELOPMENT OFFICE, 1991.



14. Voottipruex P. The Prevention of Soil Erosion Using a Combination of Natural Fiber with, Vetiver Grass and Ruzi Grass. The Journal of KMUTNB, Vol. 23 (2): May.-Aug. 2013.
15. Tunmung P. Comparisons of Analysis Results of Slope Stability between Limit Equilibrium Method and Finite Element Method, Thai Science and Technology Journal, Vol.24 (1). 2016.
16. Department of Highways. Standard Drawing for Highways Design and Construction (revision 2015), Ministry of transport, Thailand. 2018.
17. Department of Highways. Guide to correcting and operating the erosion and slope movement, Bureau of Road Research and Development, Department of Highways, ministry of transport, Thailand. 2008.