การเสริมเสถียรภาพและป้องกันการกัดเซาะของลาดถนนด้านหลังผาโดยใช้กระสอบแบบมีปีก เสาเข็มเหล็กสกรู และตะปูดิน ที่บ้านปากเหมือง ถนน กจ.3091 อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี

Slope Stabilization and Erosion Control on Back Slope by Flapped Soi Bags, Steel Screw Pile and Soil Nail in Kanchanaburi

ประกิต ไชยศรี[1,*] อภินิติ โชติสังกาศ[2] วชิรวัติ ประภัสสร[3] และ ศานติ ศรีบุรี[4]

[1] *วิศวกรโยธาชำนาญการ กรมทางหลวงชนบท*
[2] *รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพมหานคร*
[3] *วิศวกรปฐพี บริษัท กรีนกราวด์โซลูชั่นส์ จำกัด*
[4] *ผู้อำนวยการแขวงทางหลวงชนบทกาญจนบุรี แขวงทางหลวงชนบท จ.กาญจนบุรี*
**Corresponding author; E-mail address: pagith_punch@hotmail.com*

บทคัดย่อ

พื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีเต็มไปด้วยภูเขา มักพบปัญหาการกัดเซาะและพังทลายของเชิงลาดในทางหลวงได้บ่อยครั้ง โดยเฉพาะบริเวณทางหลวงชนบท กจ.3091 ช่วง กม.6+050 บ้านปากเหมือง อ. ทองผาภูมิ บทความนี้นำเสนอการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะบริเวณลาดถนนฝั่งหลัง (Back slope) โดยการเรียงกระสอบมีปีก และเสริมเสถียรภาพด้วยตะปูดิน (Soil nail) พร้อมทั้งเสาเข็มเหล็กสกรู (Screw pile) โดยสรุปผลการเจาะสำรวจโดยวิธีการตอกหยั่ง (Kunzelstab Penetration Test) การวิเคราะห์เสถียรภาพ การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยระบบ Internet of Things ในพื้นที่ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัว ความชื้น และปริมาณน้ำฝน เพื่อนำไปประเมินประสิทธิภาพของการแก้ไขภายหลังการก่อสร้างในระยะยาว

คำสำคัญ: กระสอบแบบมีปีก, การเสริมเสถียรภาพของลาดดิน, การป้องกันการกัดเซาะ, หมุดยึดดิน, การบันทึกข้อมูลผ่านระบบอินเตอร์เน็ต

Abstract

Kanchanaburi Province is located in the mountainous area with frequent erosion and slope instability problem, in particular, in rural road Kancahaburi no 3091 in Paag-Mhaung village of Thong Phaa Phum district. This paper presents the slope stabilization work along the back slope of this road, including flapped soil bags for erosion control with soil nail and screw pile for slope stabilization. Also presented are soil profile investigation using Kunzelstab penetration test (KPT), slope stability analysis and IoT field monitoring namely tiltmeter, soil moisture and rain gauge to evaluate the long term performance of the stabilization work.

Keywords: Flapped soil bag, Slope stabilization, Erosion control, Soil nail, IoT slope monitoring

1. คำนำ

ปัญหาการพังทลายและกัดเซาะเชิงลาดบริเวณทางหลวงและทางหลวงชนบทมักพบเกิดขึ้นเสมอในประเทศไทยในช่วงฤดูฝน [1-3] โดยเฉพาะทางหลวงชนบทสาย กจ.3091 แยกทางหลวงหมายเลข 323 – บ้านปากเหมือง ช่วง กม.6+050 ดังรูปที่ 1 พบว่ามักเกิดขึ้นเมื่อปริมาณฝนตกหนักในช่วงฤดูฝนทำให้เกิดดินและหินพังทลายบ่อยครั้ง แขวงทางหลวงชนบทกาญจนบุรี ได้รับการประสานงานจากจังหวัดกาญจนบุรีให้ดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยเร่งด่วน โดยทำการออกแบบป้องกันหินร่วงและดินถล่มในสายทางให้เป็นไปตามหลักวิชาการด้านวิศวกรรมการแก้ไขเสถียรภาพของเชิงลาด เพื่อพัฒนาพื้นฟูพื้นที่ดังกล่าวให้อยู่ในสภาพแข็งแรงและคงทนต่อสภาพแวดล้อมไม่เกิดพังทลายลงมาเกิดความเสียหายกีดขวางต่อถนนแหล่งท่องเที่ยวและส่งผลให้ประชาชนปลอดภัยในการสัญจร นอกจากนี้การติดตามพฤติกรรมของลาดดินยังจำเป็นในการสังเกตุและเรียนรู้พฤติกรรมต่างๆที่ส่งผลต่อลาดดินได้ [4] ได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำใต้ดิน และปริมาณน้ำฝนสะสม เพื่อศึกษาพฤติกรรมการกระจายตัวของน้ำในกำแพงดินแบบเสริมแรง ซึ่งพบว่าน้ำมีการสะสมตัวบริเวณกึ่งกลางของโครงสร้าง ซึ่งช่วยพัฒนาการออกแบบระบบระบายน้ำภายในกำแพง MSE Wall ได้ดีขึ้น บทความนี้นำเสนอกรณีศึกษาการแก้ไขการพังทลายของลาด การสำรวจและออกแบบ การก่อสร้าง รวมถึงการติดตามพฤติกรรมของลาดประสิทธิภาพด้วยระบบตรวจวัดแบบ IoT

รูปที่ 1 สภาพความเสียหายบริเวณแนวเชิงลาดถนนเดิม

2. การสำรวจและออกแบบ

2.1 การสำรวจเบื้องต้นและการสำรวจชั้นดิน

ขั้นตอนแรกในการสำรวจภายหลังการพังทลายของลาด ผู้เขียนได้เข้าตรวจสอบสภาพความเสียหายของลาดในเบื้องต้นด้วยสายตา (Visual Inspection) บริเวณช่วงที่เกิดการพังทลายของเชิงลาด ถนนสาย กจ.3091 ช่วงกม.ที่ 6+000 ถึง กม.ที่ 6+100 พร้อมทั้งกำหนดแนวทางการจัดเก็บข้อมูลสำรวจแก่ชุดสำรวจเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบประกอบด้วย

• ตรวจสอบสภาพความเสียหายเบื้องต้นได้แก่ ตำแหน่งและระยะการเคลื่อนพังของเชิงลาด

• กำหนดแนวทางการจัดเก็บข้อมูลสำรวจแก่ชุดสำรวจ ได้แก่ แปลนแสดงตำแหน่งและความยาวของความเสียหาย รูปตัดตามขวาง (Cross Section) รูปแปลน (Plan) และสภาพภูมิประเทศ (Topographic สำรวจเก็บระดับบริเวณพื้นที่ศึกษา เพื่อสามารถนำไปเขียนเส้นชั้นความสูงสำหรับการวิเคราะห์ในรายละเอียดต่อไป

พื้นที่โครงการตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ 1A อุทยานแห่งชาติทองผาภูมิ ซึ่งเป็นถนนเข้าสู่ตำบลสหกรณ์นิคม มีผิวจราจรกว้าง 8.00 เมตร ลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นพื้นที่หินตะกอน จำพวกหินดินดานและหินทรายแป้ง ซึ่งมีแนวโน้มผุพังให้ดินเม็ดละเอียดที่มีกำลังเฉือนต่ำ พื้นที่สูง 465.00 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ถนนตั้งอยู่บนเชิงเขาที่มีความลาดชันสูงและมีปริมาณฝนสะสมที่สูง

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเบื้องต้น เพื่อหาแนวทางการแก้ไขที่เหมาะสม พบว่าสภาพปัญหามีสาเหตุจากการกัดเซาะของน้ำบริเวณเชิงลาดทำให้ดินอุ้มน้ำและกำลังดินลดลงมีความชันที่สูงจึงเกิดความไม่เสถียรภาพของเชิงลาดได้ จนกระทั่งเกิดการเคลื่อนตัวของเชิงลาด จึงทำการเก็บข้อมูลทางด้านกายภาพและเก็บข้อมูลดินในพื้นที่เชิงลาดโดยเก็บตัวอย่างไม่คงสภาพและใช้วิธีทดสอบดินหยั่งแบบเบา (Kunzelstab Penetration Test) เก็บข้อมูลตลอดความลึกของการหยั่งสำรวจจนกระทั่งถึงระดับความลึกถึงชั้นหิน ดังรูปที่ 2 และนำผลทดสอบมาคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักของดิน เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพต่อไป

รูปที่ 2 เก็บข้อมูลดินในพื้นที่เชิงลาดโดยใช้วิธีทดสอบดินหยั่งแบบเบา (Kunzelstab Penetration Test)

จากผลการเก็บข้อมูลทดสอบดินหยั่งแบบเบา (Kunzelstab Penetration Test) ถนน กจ.3091 กม. 6+050 ดังตารางที่

				ϕ
กระสอบมีปีก				

ผลการทดสอบดินในเบื้องต้นพบว่า ดินมีค่า Liquid Limit = 38.30%, Plastic Limit = 21.95%, Plasticity Index = 16.35, มีอนุภาคขนาดกรวด (>4.75 มม.) เท่ากับ 8.8%, ทราย (>0.075 มม.) = 23.7%, ทรายแป้ง (>0.002 มม.) =36.49% และ ดินเหนียว = 30.99% สามารถจำแนกได้เป็นประเภทดินเม็ดละเอียด (ML-CL) ซึ่งสอดคล้องกับหินต้นกำเนิดที่เป็นประเภทหินตะกอน โดยคุณสมบัติกำลังรับแรงเฉือนในแต่ละชั้นดินแสดงในตารางที่ 2

2.2 แนวทางพิจารณาเลือกรูปแบบแก้ไข

ผู้เขียนได้เปรียบเทียบคะแนนของรูปแบบการแก้ไขคืนสภาพแต่ละรูปแบบ มีอ้างอิงหลักการจาก “คู่มือปฏิบัติงานแก้ไข ป้องกันความเสียหายของเชิงลาด” กรมทางหลวงชนบท (2552) โดยมีแนวคิดเปรียบเทียบรูปแบบแก้ไขทั้งหมด 4 รูปแบบ (ดังตารางที่ 3) โดยพบว่า รูปแบบ การเสริมกำลังด้วย Soil Nail นั้นมีความเหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเป็น Soil Slope ดังนั้น ปัญหาที่เกิดขึ้นไม่ได้มีเพียงเสถียรภาพของลาดดินแต่ยังคงมีประเด็นเกี่ยวกับ Erosion ร่วมด้วย ดังนั้น ผู้เขียนจึงได้เสนอให้มีระบบป้องกันการกัดเซาะด้วยวัสดุแผ่นใยสังเคราะห์คลุมดินชนิดเสริมแรง (Reinforced Geomat) รวมถึงการดาดหน้าของเชิงลาดด้วยกระสอบแบบมีปีกร่วมกับพืชพรรณ (Vegetated Flapped Soil Bag)

ตารางที่ 3 รูปแบบทางเลือกการแก้ปัญหาดินถล่มบ้านปากเหมือง กม. 6+050

	รูปแบบการแก้ไขคืนสภาพ					
	รูปแบบที่ 1 (Gravity Wall)		รูปแบบที่ 2 เสริมแรงลาดดินตัด		รูปแบบที่ 3 เสริมแรงลาดดินตัดด้วย Soil nail	รูปแบบที่ 4 ดินเสริมแรงลาดดินตัดร่วมกับ Gabion
	กำแพงกันดิน คสล.	กำแพงกันดิน Gabion wall	เสริมกำลังด้วยวัสดุสังเคราะห์	เสริมกำลังด้วยเหล็ก (MSE WALL)		
ด้านการก่อสร้าง						
1.ระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง	1 (มาก)	2 (ปานกลาง)	3 (น้อย)	3 (น้อย)	3 (น้อย)	2 (ปานกลาง)
2. กระบวนการในการควบคุมคุณภาพงาน	1 (มาก)	2 (ปานกลาง)	3 (น้อย)	3 (น้อย)	3 (น้อย)	2 (ปานกลาง)
3. ความยุ่งยากในการขนส่งวัสดุก่อสร้าง	1 (มาก)	1 (มาก)	1 (มาก)	3 (น้อย)	3 (น้อย)	2 (ปานกลาง)
ด้านราคาค่าก่อสร้าง	1 ($$$$$)	1.5 ($$$$)	3 ($)	2.5 ($$)	2 ($$$)	2 ($$$)
ด้านสิ่งแวดล้อม (ความกลมกลืนกับธรรมชาติ)	1 (น้อย)	1 (น้อย)	2 (ปานกลาง)	1 (น้อย)	3 (มาก)	1 (น้อย)
รวม	5	7.5	12	12.5	15	9

เนื่องจากพื้นที่โครงการที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่แผ่นดินไหวที่รุนแรง รอยเลื่อนศรีสวัสดิ์ และพื้นที่ในการก่อสร้างมีเขตทางที่จำกัด รวมถึงสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในทุกๆปี มีฝนตกสะสมเป็นจำนวนมากนั้น ทำให้เกิดภัยพิบัติดินและหินถล่มในพื้นที่ดังกล่าว จึงต้องพิจารณาปัจจัยดังกล่าว

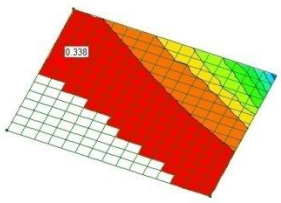
สำหรับการแก้ปัญหา Erosion ได้เลือกใช้วัสดุป้องกันผิวหน้า กระสอบแบบมีปีกร่วมกับพืชพรรณเนื่องจากต้องการให้มีความกลมกลืนกับสภาพทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ โดยเฉพาะในพื้นที่ลุ่มน้ำ 1A

สำหรับการติดตั้งวัสดุเสริมกำลังจากข้อมูลทดสอบดินหยั่งแบบเบา (Kunzelstab Penetration Test) ระยะที่ต้องการติดตั้งวัสดุเสริมกำลังมีแนวโน้มที่อาจจะเป็นชั้นหินซึ่งไม่สามารถติดตั้งสมอดินได้ดังนั้นสำหรับ กม. นี้ จึงใช้วัสดุเสริมกำลังเป็น Soil Nail แทนโดยค่ากำลังรับแรงดึงของ Soil Nail ที่เพียงพอกำหนดจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Geo-Slope คือต้องไม่น้อยกว่า 25 kN

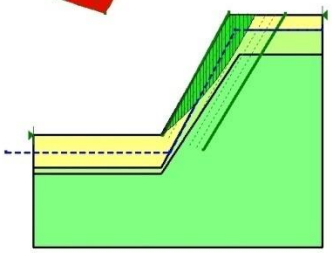
ในการติดตั้งระบบ Horizontal Drain ได้เลือกใช้เพื่อป้องกันระดับน้ำใต้ดินที่อาจสูงเกินไปเนื่องจากพื้นที่เป็นภูเขาซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่มีโอกาศที่จะมีระดับน้ำใต้ดินสูง

2.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพ

ผู้เขียนได้ทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดโดยประยุกต์ใช้โปรแกรมวิเคราะห์แบบจำลองในการตรวจสอบเสถียรภาพโดยรวมของโครงสร้างเพื่อตรวจสอบความมั่นคงปลอดภัยตั้งแต่ก่อนดำเนินการก่อสร้างโดยวิเคราะห์ด้วยรูปแบบ Morgenstern-Price และคุณสมบัติวัสดุที่ใช้วิเคราะห์ได้แสดงในตารางที่ 2 และกำหนดระดับน้ำใต้ดินที่ความลึกเท่ากับ 1 เมตร โดยพิจารณาตามกรณีต่างๆ ดังนี้

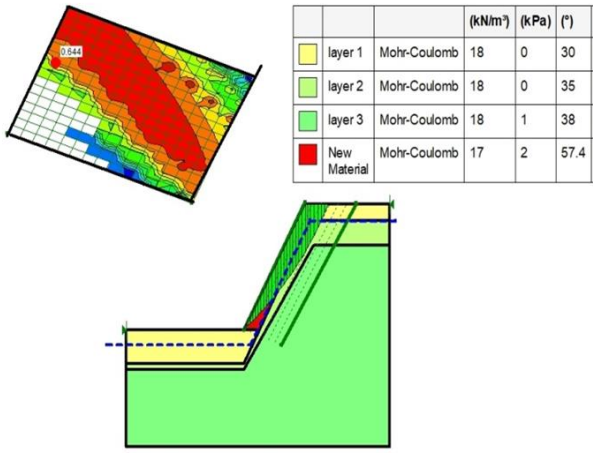


			(kN/m³)	(kPa)	(°)	(°)	
	layer 1	Mohr-Coulomb	18	0	30	0	1
	layer 2	Mohr-Coulomb	18	0	35	0	1
	layer 3	Mohr-Coulomb	18	1	38	0	1



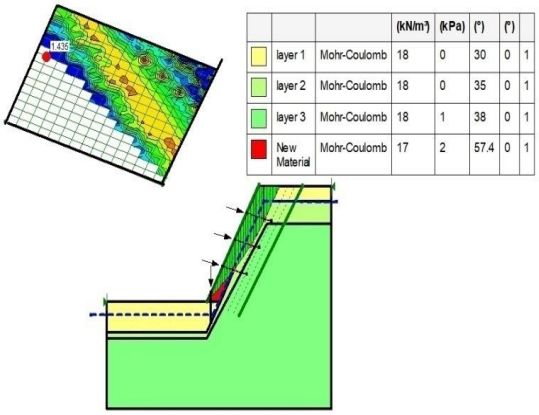
รูปที่ 3 วิเคราะห์แบบจำลองในการตรวจสอบเสถียรภาพโดยรวมก่อนการก่อสร้าง

จากรูปที่ 3 แสดงการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิดลาดก่อนการแก้ไข พบว่า FS = 0.338 <1.300 ซึ่งไม่มีความปลอดภัยต่อเสถียรภาพโดยรวม



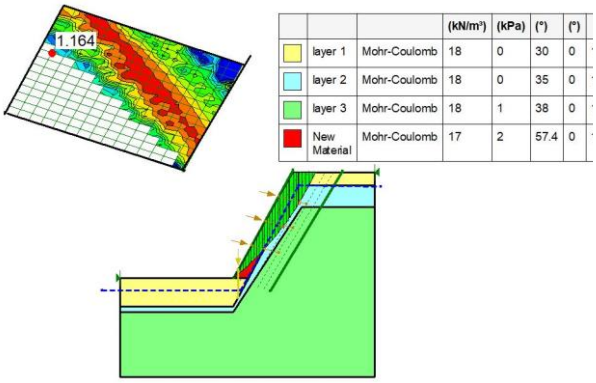
รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์รูปแบบปรับปรุงด้วยกระสอบแบบมีปีกทับผิวหน้า ปากเหมือง กม. 6+050

จากรูปที่ 4 การวิเคราะห์เสถียรภาพเชิดโดยปรับปรุงด้วยกระสอบแบบมีปีกป้องกันการกัดเซาะด้านผิวหน้าเพียงอย่างเดียว พบว่า FS = 0.644 <1.300 ซึ่งไม่มีความปลอดภัยต่อเสถียรภาพโดยรวม



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์รูปแบบปรับปรุงด้วยกระสอบแบบมีปีก ร่วมกับ Soil Nail 3 ตัวและ Screw Pile 1 ตัว ปากเหมือง กม. 6+050

จากรูปที่ 5 การวิเคราะห์เสถียรภาพเชิดลาดโดยปรับปรุงด้วยกระสอบแบบปีก ร่วมกับ Soil Nail 3 ตัว และ Screw Pile 1 ตัว พบว่า FS = 1.436 ›1.300 ซึ่งมีความปลอดภัยต่อเสถียรภาพโดยรวม



รูปที่ 6 จากผลการวิเคราะห์รูปแบบปรับปรุงด้วยกระสอบแบบมีปีก ร่วมกับ Soil Nail 3 ตัว และ Screw Pile 1 ตัว ปากเหมือง กม. 6+050 ในสภาวะแผ่นดินไหว

เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวมีความเสี่ยงการเกิดแผ่นดินไหวรุนแรง ซึ่งเป็นพื้นที่โซน 3 ตามกฎกระทรวงการต้านทานแผ่นดินไหว ปี 2564 ทางผู้เขียนผลงานทำการวิเคราะห์ปัจจัยของแรงแผ่นดินไหวร่วมด้วยในกระบวนการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดด้วยวิธี Limit Equilibrium ที่แรงเฉื่อยจากการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวถูกแทนด้วยแรงกระทำในแนวราบที่คงที่ (มีค่าเท่ากับน้ำหนักของมวลส่วนที่เกิดการเลื่อนตัวคูณด้วยสัมประสิทธิ์ตัวหนึ่ง) ซึ่งมักจะเรียกว่า วิธีวิเคราะห์แบบ Pseudo ในกรณีที่ไม่มีการสูญเสียกำลังของมวลวัสดุ [5] วิธีนี้จะทำให้ผลที่ได้อยู่ในเกณฑ์เผื่อที่ค่อนข้างสูง เพราะค่าอัตราเร่งสูงสุด (HPGA) กระทำต่อมวลวัสดุในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เท่านั้น ในทิศทางเดียวสำหรับการออกแบบเขื่อนใหม่ต้านแรงแผ่นดินไหว (ซึ่งเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรมที่ถือว่ามีความสำคัญมากในบรรดาโครงสร้างทางวิศวกรรม) วิธีการที่กำหนด คือ

ให้ใช้ค่า Seismic Coefficient = 0.1 ในเขตแผ่นดินไหว เขต 3 seismic coefficient = 0.15 ในเขตแผ่นดินไหว เขต 4 โดยให้มีค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ต่ำสุดไม่น้อยกว่า 1.0

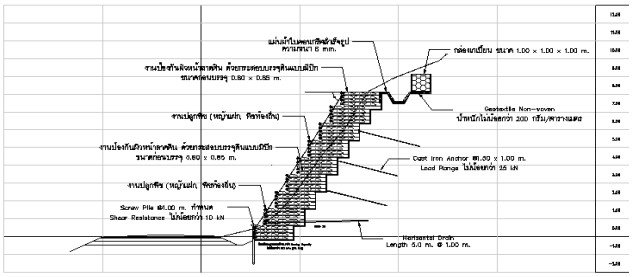
จากการวิเคราะห์แบบเสถียรภาพโดยรวม ดังรูปที่ 6 พบว่า FS = 1.164 ›1.300 ซึ่งมีความปลอดภัยต่อเสถียรภาพโดยรวม

จากการวิเคราะห์ทั้งหมด 6 เงื่อนไขพบว่า เสถียรภาพของลาดดินในบริเวณนี้จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงด้วยกระสอบแบบมีปีก, Soil Nail 3 ตัว และ Screw Pile 1 ตัวเพื่อให้ลาดดินมีเสถียรภาพเพียงพอในสถานะการณ์ปกติ (F.S. > 1.30) และในสภาวะที่เกิดแผ่นดินไหวโดยเลือกใช้ค่า Seismic Coefficient ในโซน 2B (0.15) แบบค่อนข้างอนุรักษ์ ตามเอกสารแนบในภาคผนวก (F.S. > 1.10) โดยจากการวิเคราะห์พบว่าอัตราส่วนความปลอดภัยของระบบในสถาวะปกติและสภาวะเกิดแผ่นดินไหว เท่ากับ 1.164 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปค่า F.S. ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย Slope w ปากเหมือง กม. 6+050

เงื่อนไขที่	รูปแบบ	F.S.
1	ก่อนการปรับปรุง	0.338
2	ปรับปรุงด้วยกระสอบแบบมีปีก	0.644
3	ปรังปรุงด้วยกระสอบแบบมีปีก และ Soil Nail 3 ตัว	1.305
4	ปรับปรุงด้วยกระสอบแบบมีปีก ร่วมกับ Soil Nail 3 ตัว และ Screw Pile 1 ตัว	1.435
5	ปรังปรุงด้วยกระสอบแบบมีปีก และ Soil Nail 3 ตัว ในสภาวะแผ่นดินไหว	1.068

6	ปรับปรุงด้วยกระสอบแบบมีปีก ร่วมกับ Soil Nail 3 ตัว และ Screw Pile 1 ตัว สภาวะเกิดแผ่นดินไหว	1.164



รูปที่ 7 แบบรูปตัดการก่อสร้างรูปแบบปรับปรุงด้วยกระสอบแบบมีปีก ร่วมกับ soil nail 3 ตัว และ Screw Pile 1 ตัว บ้านปากเหมือง ถนน กจ.3091 กม. 6+050

3. การดำเนินการก่อสร้าง

การก่อสร้างแก้ไขคันทางทรุดตัวบริเวณพื้นที่ศึกษา มีความเสี่ยงเป็นอย่างมากในการเกิดอันตรายในขณะดำเนินการก่อสร้าง เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวตั้งอยู่บนเชิงเขาสูง มีพื้นที่หน้างานจำกัด อีกทั้ง พื้นที่ดังกล่าวยังมีปริมาณฝนสะสมที่สูง ผู้ควบคุมงานต้องมีการบริหารจัดการการก่อสร้างอย่างรัดกุม และติดตั้งป้ายเตือนระหว่างการก่อสร้างให้เห็นชัดเจนเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุขณะดำเนินการก่อสร้าง รูปที่ 8 แสดงลักษณะการติดตั้ง Soil Nail และรูปที่ 9 ติดตั้งระบบระบายน้ำภายในทางลาดร่วมกับเสาเข็มสกรู ซึ่งสามารถดำเนินการโดยใช้ระบบไฮดรอลิกช์ติดตั้งกับรถบรรทุก สะดวกต่อการทำงานในบริเวณลาดชัน



รูปที่ 8 แสดงขั้นตอนเจาะหลุมงาน Soil Nail



รูปที่ 9 แสดงการติดตั้ง Horizental Drain และ Screw Pile

เมื่อติดตั้งเสาเข็มเหล็กแล้วเสร็จ จึงเริ่มงานเรียงกระสอบแบบมีปีก จากปัญหาหน้างาน พบว่าการทำงานในพื้นที่ลาดชันเป็นไปได้ยากลำบาก คนงานต้องมีความชำนาญในการทำงานเฉพาะด้านในการติดตั้งเสาเข็มสกรู และการวางกระสอบแบบมีปีก รวมทั้งสภาพร่างกายที่พร้อมในการทำงานตลอดเวลา ในส่วนการบริหารจัดการหน้างานนั้นทางผู้ควบคุมงานต้องตระหนักเรื่องความปลอดภัยในการทำงานอย่างเคร่งครัด



รูปที่ 10 ติดตั้งกระสอบแบบมีปีกเพื่อป้องกันการกัดเซาะผิวหน้า

4. การติดตามประเมินผลพฤติกรรมหลังการก่อสร้าง

จากการประเมินสภาพของลาดด้วยสายตา ประมาณครึ่งปีภายหลังก่อสร้างแล้วเสร็จแสดงดังรูปที่ 11 พบว่าลาดชันยังอยู่ในสภาพเดิม ไม่พบร่องรอยการทรุดตัวของผิวหน้าลาดหรือการเคลื่อนตัวของกระสอบ ทั้งนี้ได้มีการเปรียบเทียบพื้นที่ก่อสร้างกับบริเวณข้างเคียงในโครงการซึ่งได้มีการปลูกหญ้าแฝกเพื่อป้องกันการกัดเซาะด้วย ดังแสดงในรูปที่ 12 และมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของลาดชันทั้งสองบริเวณ ประกอบไปด้วย Tiltmeter วัดการเอียงของหัวเสาเข็มสกรู (#1) และติดตั้งบนท่อเหล็กยาว 0.7ม.ที่ตอกไว้บนกระสอบ (#2, #3, #7) และ Soil moisture sensor (#4,#5,#6) และ Rain gauge วัดปริมาณน้ำฝน

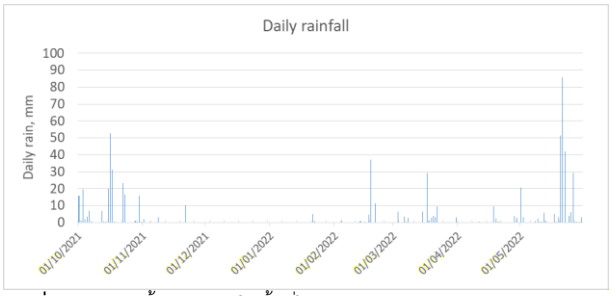


รูปที่ 11 สภาพพื้นที่วันที่ 24/3/65 (ประมาณ 6 เดือนภายหลังก่อสร้างเสร็จ) และอุปกรณ์วัด

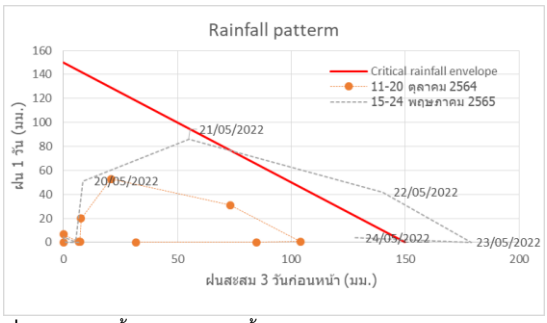


รูปที่ 12 ตำแหน่งเซนเซอร์ที่ติดตั้ง

รูปที่ 13 แสดงปริมาณน้ำฝนรายวันบริเวณพื้นที่โครงการระหว่างในช่วงเวลา 7 เดือนแรกภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ พบว่ามีสองช่วงเหตุการณ์ซึ่งปริมาณน้ำฝนมีค่าสูง ได้แก่ช่วงที่ 1 (11-20 ตุลาคม 2564) และช่วงที่ 2 (15-24 พฤษภาคม 2565) และได้นำปริมาณน้ำฝนรายวัน พล็อตร่วมกับปริมาณน้ำฝนสะสมสามวันก่อนหน้า (Antecedent Three-day Rainfall) เปรียบเทียบกับกราฟน้ำฝนวิกฤติซึ่งเสนอโดย [6] Mairaing et al (2012) ดังแสดงในรูปที่ 14 เห็นได้ว่าช่วงที่ 1 (ต.ค. 2564) มีปริมาณน้ำฝนไม่มากกว่าค่าวิกฤติ ในขณะที่ช่วงที่ 2 (พ.ค. 2565) มีปริมาณน้ำฝนสูงกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งเป็นระดับที่จะมีการเตือนภัยความเสี่ยงภัยดินถล่ม ในปัจจุบันระบบตรวจวัดในพื้นที่ศึกษานี้สามารถส่งสัญญาณเตือนภัยได้ผ่านระบบ Internet of Things (IoT) และ Line Notify

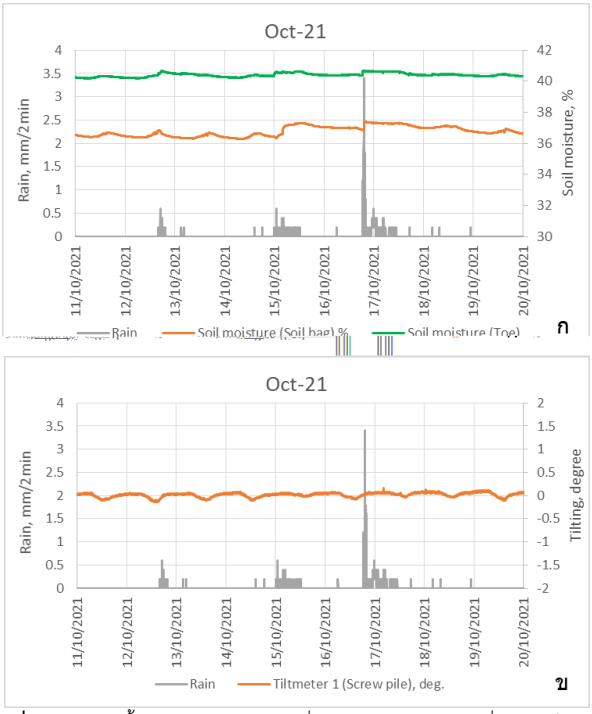


รูปที่ 13 ปริมาณน้ำฝนรายวันในพื้นที่โครงการระหว่างเดือนต.ค. 2564 ถึง พ.ค. 2565



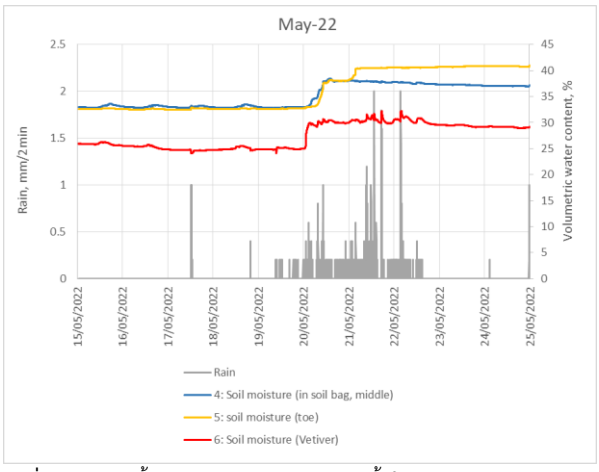
รูปที่ 14 ปริมาณน้ำฝนรายวันและน้ำฝนสะสมก่อนหน้า 3 วันเปรียบเทียบกับกราฟน้ำฝนวิกฤติในช่วงฝนตกหนักสองเหตุการณ์

รูปที่ 15 แสดงปริมาณน้ำฝนต่อ 2 นาทีเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นในพื้นที่โครงการและการเคลื่อนตัวของกระสอบมีปีกและการเอียงตัวของเสาเข็มสกรูด้านหน้า ในช่วงเดือนตุลาคม 2564 จากผลการตรวจวัดพบว่าความชื้นที่ปริมาณฐานลาด (Slope Toe) มีค่าความชื้นโดยปริมาตรเท่ากับ 40% ซึ่งอยู่ใกล้ระดับอิ่มตัวด้วยน้ำตลอดช่วงฝน ในขณะที่ความชื้นที่กระสอบมีปีกมีความชื้นเอยู่ในช่วง 36-38% ซึ่งน้อยกว่าที่บริเวณฐานเล็กน้อยแสดงให้เห็นว่าดินในกระสอบอยู่ในสภาวะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ การเคลื่อนตัวของเสาเข็มปรากฏให้เห็นน้อยมาก มีค่าน้อยกว่า 0.1 องศา ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนที่น้อยกว่าค่าวิกฤติ

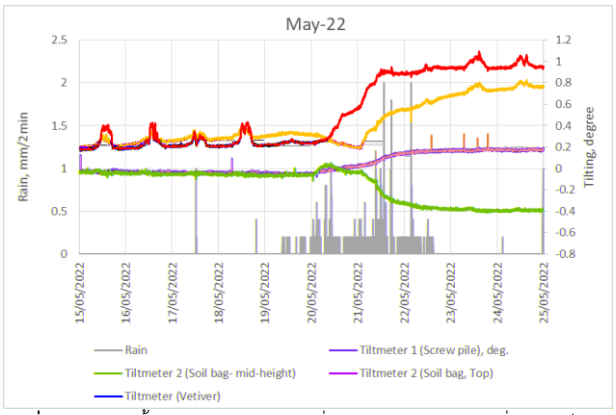


รูปที่ 15 ปริมาณน้ำฝนต่อ 2 นาที การเคลื่อนตัวจาก Tiltmeter ที่หัวเสาเข็มสกรูและปริมาณความชื้นในดินบริเวณกระสอบมีปีก ช่วงเดือนตุลาคม 2564

รูปที่ 16 และ 17 แสดงปริมาณน้ำฝนต่อ 2 นาทีเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นในพื้นที่โครงการและการเคลื่อนตัวของลาดในช่วงเดือนพฤษภาคม 2565 ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนสูงกว่าระดับเตือนภัย จากผลการตรวจวัดพบว่าความชื้นที่ปริมาณฐานลาด (Slope Toe) มีค่าความชื้นเพิ่มขึ้นหลังฝนตกสะสมและมีค่าสูงสุดในช่วงวันที่ 21 พ.ค. 2565 ซึ่งสอดคล้องกับกราฟน้ำฝนวิกฤติในรูปที่ 14 ซึ่งเป็นช่วงที่ค่าน้ำฝนเข้าใกล้กราฟน้ำฝนวิกฤติ (Critical Rainfall Envelop) โดยมีน้ำฝนสะสม 3 วันเท่ากับ 140 มม. อย่างไรก็ดีแม้ว่าน้ำฝนจะเข้าเริ่มเข้าสู่สภาวะวิกฤติเมื่อพิจารณาการเคลื่อนตัวของลาดพบว่าการเอียงตัวของ Tiltmeter ยังอยู่ในระดับต่ำ โดยพบว่าการเอียงตัวบริเวณแปลงหญ้าแฝกมีค่าสูงสุด (0.8 องศา) และบริเวณหัวเสาเข็มสกรูมีค่าน้อยสุด (0.2 องศา) สำหรับบริเวณกระสอบพบว่าการขยับตัวของกระสอบด้านบนมีค่ามากกว่ากระสอบบริเวณกึ่งกลาง ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่สามารถนำไปประเมินรูปแบบการพิบัติของกระสอบแบบมีปีก สำหรับการพัฒนาการวิเคราะห์ได้ต่อไปในอนาคต



รูปที่ 16 ปริมาณน้ำฝนต่อ 2 นาที ปริมาณความชื้นในดินบริเวณกระสอบมีปีกเปรียบเทียบกับพื้นที่หญ้าแฝก ช่วงเดือนพฤษภาคม 2565



รูปที่ 17 ปริมาณน้ำฝนต่อ 2 นาที การเคลื่อนตัวจาก Tiltmeter ที่หัวเสาเข็มสกรูและกระสอบ เปรียบเทียบกับพื้นที่หญ้าแฝก ช่วงเดือนพฤษภาคม 2565

5. บทสรุป

พื้นที่เชิงลาดบริเวณทางหลวงชนบทสาย กจ.3091 บ้านปากเหมือง จ.กาญจนบุรี มักพบการพังทลายของลาดเหนือคันทาง (Back Slope) บ่อยครั้งในช่วงฤดูฝนเนื่องจากการกัดเซาะและการขาดเสถียรภาพของลาด บทความนี้นำเสนอกรณีศึกษาการสำรวจออกแบบ และดำเนินการก่อสร้างแก้ไขและปรับปรุงเสถียรภาพและป้องกันการกัดเซาะบริเวณทางหลวงดังกล่าวในช่วง กม.6+050 โดยการเสริมเสถียรภาพด้วยตะปูดิน (Soil Nail) เรียงกระสอบมีปีก พร้อมทั้งติดตั้งเสาเข็มเหล็กสกรู (Screw Pile) บริเวณฐานลาด และติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัว ความชื้น และปริมาณน้ำฝน และนำไปประเมินประสิทธิภาพของการแก้ไขภายหลังการก่อสร้างในระยะยาว ในช่วงปีแรกภายหลังการก่อสร้างพบว่าเสถียรภาพของลาดมีความมั่นคง พบการเอียงตัวของหัวเสาเข็มเหล็กสกรูน้อยกว่า 0.2 องศา และการเอียงตัวของกระสอบมีปีก 0.4 องศาแม้ว่าปริมาณน้ำฝนสะสม 3 วันมีค่า 140 มม. ซึ่งเริ่มเข้าสู่ระดับเตือนภัย ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการติดตามตรวจวัดพฤติกรรมของลาดต่อไปในระยะยาว โดยสามารถนำระบบ IoT Monitoring ดังกล่าวเพื่อประเมินความปลอดภัยของลาดและแจ้งผลเตือนภัยต่อผู้ดูแลเส้นทางหลวงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กรมทางหลวงชนบท นิสิตปริญญาโทสาขาวิศวกรรมปฐพี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผู้ช่วยงานภาคสนาม และผู้ที่เกี่ยวข้องในการทำงานครั้งนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจและเป็นที่รักยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

[1] อัคคพัฒน์ สว่างสุรีย์, จิรโรจน์ ศุกลรัตน์, อภินิติ โชติสังกาศ และ เอกนรินทร์ จินะวงศ์ (2555). การศึกษารูปแบบการแก้ไขปัญหาการชะล้างพังทลายของลาดคันทาง กรณีศึกษา ทางหลวงหมายเลข 1009 ตอนแยกทางหลวงหมายเลข 108 (จอมทอง) – ดอยอินทนนท์ บริเวณ กม. 42. *วารสารทางหลวง,* ปีที่ 49, ฉบับที่ 3, พฤษภาคม-มิถุนายน 2555, หน้า 20-27

[2] Rahardjo, H., Satyanaga, A., Hoon, K., Sham, W.L., Aaron, Ong, C.L., Huat, B.B.K., Fasihnikoutalab, M.H., Asadi, A., Rahardjo, P.P., Jotisankasa, A., Thu, T.M. & Viet, T.T. (2015). Slope Safety Preparedness in Southeast Asia for Effects of Climate Change. *In Joint Technical Committee JTC-1, JTC-1 TR3,* 17 and 18 November 2015, Naples, Italy

[3] ประกิต ไชยศรี, อภินิติ โชติสังกาศ และพิสิฐ ศรีวรานันท์ (2562). ผลกระทบจากสภาวะน้ำใต้ดินต่องานออกแบบปรับปรุงเสถียรภาพของลาดคันทาง ถนนบริเวณเชิงเขาด้วยวัสดุเสริมแรง : กรณีศึกษาถนนทางหลวงชนบท กจ.4088 อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24,* วันที่ 10-12 กรกฎาคม 2562, จ.อุดรธานี, หน้า 2684-2691

[4] วชิรวัติ ประภัสสร (2564). เสถียรภาพและแรงดันน้ำด้านลบของกำแพงดินเสริมแรงในสภาวะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ, วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร

[5] Geotechnical Design Manual M 46-03.01, Washington State Department of Transportation (WSDOT), January 2010.

[6] Mairaing, W., Jotisankasa, A. and Soralump, S. (2012). Some applications of unsaturated soil mechanics in Thailand: an appropriate technology approach. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA,* Vol. 43, No.1, March 2012 ISSN 0046-5828. pp. 1-11.