



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

การจัดหมวดหมู่หินทางวิศวกรรมสำหรับประเมินเสถียรภาพของลาดเอียงหิน
บริเวณเขื่อนน้อยศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี

โดย

นายชาญรัตน์ เมินขุนทด
เลขประจำตัวนิสิต 5732714823

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการนี้ (ฉบับต้นฉบับ) มีการจัดส่งไปยังฐานข้อมูล (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

การจัดหมวดหมู่หินทางวิศวกรรมสำหรับประเมินเสถียรภาพของลาดเอียงหิน บริเวณ
เขื่อนน้อย ศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี

นายชาญรัตน์ เมินขุนทด

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560

ENGINEERING ROCK MASS CLASSIFICATION FOR ROCK SLOPE STABILITY
ASSESSMENT AT NOI DAM SITE IN CENTER OF LEARNING NETWORK FOR THE
REGION CHULALONGKORN UNIVERSITY SARABURI PROVINCE

Mister Chanrat Mernkhuntod

A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Science Program in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2017

ชื่อโครงการ	จัดหมวดหมู่หินทางวิศวกรรมสำหรับประเมินเสถียรภาพของลาดเอียงหินบริเวณเขื่อนน้อย ศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี
โดย	นายชาญรัตน์ เมินขุนทด
สาขาวิชา	ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานบ ธิติมากร

วันที่ส่ง.....

วันที่อนุมัติ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานบ ธิติมากร)

นายชาญรัตน์ เมินขุนทด : การจัดหมวดหมู่หินทางวิศวกรรมสำหรับประเมินเสถียรภาพของลาดเอียงหินบริเวณเขื่อนน้อย ศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี. ENGINEERING ROCK MASS CLASSIFICATION FOR ROCK SLOPE STABILITY ASSESSMENT AT NOI DAM SITE IN CENTER OF LEARNING NETWORK FOR THE REGION CHULALONGKORN UNIVERSITY SARABURI PROVINCE อ.ที่ปรึกษาโครงการหลัก : ผ.ศ.ดร.ฐานบ ธิติมากร, 35 หน้า

เขื่อนส่วนใหญ่มักสร้างเชื่อมระหว่างช่องเขา แล้วใช้ลาดเอียงหินเป็นฐานยันเขื่อน ซึ่งต้องรองรับแรงดันมหาศาลจากน้ำหนักของตัวเขื่อนและแรงดันน้ำ ถ้าลาดเอียงหินไม่มีเสถียรภาพอาจทำให้เกิดการพังทลายจนสร้างความเสียหายต่อโครงสร้างของตัวเขื่อน จึงต้องมีการประเมินเสถียรภาพของลาดเอียงหินเพื่อประเมินความมั่นคงและเสนอวิธีป้องกันการพังทลาย โดยทำการศึกษาที่เขื่อนน้อย ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี ทั้งหมด 2 จุดศึกษา ได้แก่ KN1 และ KN2 การประเมินครั้งนี้ใช้วิธี Slope Mass Rating (SMR) ซึ่งเป็นการให้ค่าคะแนนความมั่นคงของหน้าลาดเอียงหิน โดย SMR สามารถประเมินได้ด้วยการรวม Rock Mass Rating (RMR) และพารามิเตอร์เพื่อปรับค่าเพิ่มเติมอีก 4 พารามิเตอร์ ค่าของพารามิเตอร์ RMR ได้จากการสังเกตภาคสนามและการทดสอบทางห้องปฏิบัติการ ในการประเมินรูปแบบการพังทลายจะต้องดำเนินการด้วยวิธี kinematic analysis โดยรูปแบบการพังทลายที่ได้จากการวิเคราะห์ จะเป็นตัวกำหนดพารามิเตอร์ F1, F2 และ F3 ส่วนพารามิเตอร์ F4 ถูกกำหนดจากวิธีที่ทำให้เกิดหน้าลาดเอียงหิน สำหรับทั้ง 2 จุดศึกษาพบรูปแบบการพังทลายแบบลิ้มและลาดเอียงหินเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดแล้วจึงทำการเทียบให้คะแนนจากตารางการให้ค่าคะแนนของพารามิเตอร์แต่ละตัว จากนั้นทำการคำนวณค่าคะแนนความมั่นคงของหน้าลาดเอียงหินตามสมการ SMR จุดศึกษา KN1 ได้ 94.4 คะแนน ส่วนจุดศึกษา KN2 ได้ 94.65 คะแนน ซึ่งเป็นค่าคะแนนที่สูงมาก ทั้ง 2 จุดศึกษาจัดเป็นหน้าลาดเอียงหินที่อยู่ในอันดับ 1 (Class I) มีเสถียรภาพความมั่นคงสูง (Completely stable) และมีค่าโอกาสเกิดการพังทลาย (Probability of failure) เป็น 0 ไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันการพังทลาย (Support) ตามตารางการอธิบายค่าคะแนนความมั่นคงของหน้าลาดเอียงหิน SMR ส่วนรูปแบบการพังทลายแบบลิ้มที่พบจริงในมวลหินของทั้ง 2 จุดศึกษา มีขนาด 30-40 เซนติเมตร ไม่จัดว่าเป็นอันตรายเนื่องจากมีขนาดเล็กและรอยแตกก็ยังยึดแน่นกันอยู่ดี

ภาควิชา..... ธรณีวิทยา..... ลายมือชื่อนิสิต.....
ปีการศึกษา..... 2560..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก.....

5732714823 : MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS : SLOPE MASS / ROCK MASS / KINEMATIC ANALYSIS / NOI DAM

CHANRAT MERNKHUNTOD : ENGINEERING ROCK MASS CLASSIFICATION FOR ROCK SLOPE STABILITY ASSESSMENT AT NOI DAM SITE IN CENTER OF LEARNING NETWORK FOR THE REGION CHULALONGKORN UNIVERSITY SARABURI PROVINCE.
ADVISOR : ASSI PROF THANOP THITIMAKORN, Ph.D., 35 pp.

Majority of dams are built between hill slopes; hence, they must be capable of accommodating tremendous pressure of the dam's weight and water pressure. If the slope is unstable, it can cause damage to the structure of the dam. Therefore, the rock slope stability must be evaluated in order to investigate the stability and to propose ways to prevent failure. This study is conducted at "Noi Dam" located at the north-east of Center of Learning Network for the Region, Chulalongkorn University, Saraburi Province. In this study total of 2 slopes namely KN1 and KN2 were studied. The Slope Mass Rating (SMR), which indicates the stability of the rock slope, is used to assess the slope stability. The SMR can be evaluated by combine Rock Mass Rating (RMR) and 4 adjustment parameters. The RMR parameters are obtained from field observations and laboratory tests. The kinematic analysis must be performed to identify mode of failure and then the parameters F1, F2, and F3 can be defined. The parameter F4 is defined from method of excavation. For both of the slopes, the mode of failure is wedge failure and the method of excavation is natural slope. After defining, each parameter is scored according RMR scoring table. Then the slope stability score is evaluated by using the SMR equation. The results show SMR is 94.4 and 94.65 for KN1 and KN2 respectively. The slopes of the study areas are classified as class I, completely stable with the probability of failure of 0, which does not require any support according to SMR value definition. The failures observed at both of the study areas have the wedge sizes of 30-40 centimeters, which are not dangerous because they are small and still holding together.

Department :.....Geology.....Student's Signature.....

Academic Year :.....2017.....Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้จะไม่สำเร็จล่วงไปได้ หากปราศจากความช่วยเหลือจาก ผ.ศ.ดร. ฐานบ ธิติมากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่คอยให้ความรู้ ความเข้าใจ สนับสนุน เกี่ยวกับหลักการในการดำเนินโครงการนี้ และให้ความอนุเคราะห์ดูแลทั้งที่พัก การเดินทาง อาหาร ในการออกภาคสนามเพื่อทำการเก็บข้อมูลที่ต้องใช้ในงาน ณ จุดศึกษา อีกทั้งความช่วยเหลือจาก นายวิศ นวม นิ่ม นายฉันทบุรณ์ สุราศิริกุล ที่ช่วยในการเก็บข้อมูลในภาคสนาม และนายวัชรินทร์ แก้วมณีวรรณ เจ้าหน้าที่บริการงานช่าง (เทคนิค) ผู้ดูแลความเรียบร้อยในการใช้เครื่องมือ Point Load Test ณ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บุคลากรทุกท่านในภาควิชา และเพื่อนนิสิตธรณีวิทยา รุ่นที่ 58 รวมไปถึงผู้ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำโครงการฉบับนี้ ที่คอยช่วยเหลือ ให้ค่าปรึกษา ให้กำลังใจกันตลอดระยะเวลา 1 ปี ในการจัดทำโครงการฉบับนี้ ทุกท่านคือแรงผลักดันให้โครงการฉบับนี้สำเร็จล่วงไปได้

นายชาวัฒน์ เมินขุนทด

ผู้จัดทำ

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ซ
สารบัญรูปภาพ	ฅ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
บทที่ 2 พื้นที่ศึกษา	3
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	6
บทที่ 4 ผลงานวิจัย	12
4.1 ผลการจำแนกชนิดของมวลหินในภาคสนาม	12
4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของระนาบรอยแตกในภาคสนาม	12
4.3 ผลการกำหนดคุณภาพหิน (RQD) ในภาคสนาม	13
4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลระยะห่างของรอยแตกในภาคสนาม	14
4.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพของรอยแตกในภาคสนาม	15
4.6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพการไหลของน้ำ	18
4.7 ผลของการประเมินรูปแบบของการพังทลายโดยวิธี kinematic Analysis	18
4.8 ผลการวิเคราะห์ค่ากำลังอัดของหินปราศจากความไม่ต่อเนื่องในห้องปฏิบัติการ	19
4.9 ผลของการสังเคราะห์ข้อมูลพารามิเตอร์ แล้วเทียบคะแนนตามตาราง การจัดอันดับมวลหิน Rock Mass Rating (RMR)	24
4.10 ผลการจำแนกคุณภาพของลาดเอียงหินอย่างละเอียดโดยวิธี Slope Mass Rating (SMR)	24
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล	25
5.1 อภิปรายผล	25
5.2 สรุปผล	30
เอกสารอ้างอิง	31

ภาคผนวก	32
---------	----

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 แสดงพื้นที่ศึกษาจากโปรแกรม Google Earth Pro	3
รูปที่ 2.2 แสดงภาพถ่ายมุมกว้างขณะกำลังดำเนินการก่อสร้างเขื่อน	4
รูปที่ 2.3 (ซ้าย) หินโผล่ที่พบบริเวณจุดศึกษา (ขวา) ลักษณะของหินที่พบ	4
รูปที่ 2.4 แสดงบางส่วนของแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทยระหว่าง ND 47-8 ของกองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี (2528) สัญลักษณ์ ★ แทนบริเวณจุดศึกษา	5
รูปที่ 3.1 แสดงวิธีการกำหนดคุณภาพหิน (RQD) หน้าหินโผล่	6
รูปที่ 3.2 แสดงวิธีการกำหนดขนาดของตัวอย่างเพื่อตัดหน้าเรียบ	7
รูปที่ 3.3 แสดงรูปแบบการพังทลายจากวิเคราะห์แบบโคเนมาติก (ลัดดา วรรณขาว, 2542)8	
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะสีหินผุและสด และเนื้อหินจากมวลหิน	12
รูปที่ 4.2 แสดงตาข่ายมิติพร้อมข้อมูลระนาบรอยแตก 50 ข้อมูลของจุดศึกษา KN1	12
รูปที่ 4.3 แสดงตาข่ายมิติพร้อมข้อมูลระนาบรอยแตก 50 ข้อมูลของจุดศึกษา KN2	13
รูปที่ 4.4 แสดงตาข่ายมิติพร้อมข้อมูลระนาบหน้าลาดเอียงหิน รอยแตก พร้อมทั้งรูปแบบการพังทลาย KN1	19
รูปที่ 4.5 แสดงตาข่ายมิติพร้อมข้อมูลระนาบหน้าลาดเอียงหิน รอยแตก พร้อมทั้งรูปแบบการพังทลาย KN2	19
รูปที่ 5.1 แสดงลิ่มที่พบในจุดศึกษา KN1	28
รูปที่ 5.2 แสดงลิ่มที่พบในจุดศึกษา KN2	28
รูปที่ 5.3 แสดงสภาพรอยแตก	29
รูปที่ 5.4 แสดงหินที่ร่วงหล่นอยู่ตามบริเวณหน้าลาดเอียงหิน	29

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงการให้คะแนนแต่ละพารามิเตอร์ทั้ง 5 ของ RMR_b (Bieniaski, 1989)	9
ตารางที่ 3.2 แสดงการให้คะแนนของพารามิเตอร์ F1-3 (Romana, 1993)	10
ตารางที่ 3.3 แสดงการให้คะแนนของพารามิเตอร์ F4 (Romana, 1993)	10
ตารางที่ 3.4 แสดงการจำแนกระดับ และข้อมูลความเสถียรภาพของลาดเอียงหิน ตามค่า SMR (Romana, 1993)	11
ตารางที่ 3.5 แสดงวิธีการป้องกันการพังทลายตามค่าคะแนนความมั่นคง SMR (Romana, 1993)	11
ตารางที่ 4.1 แสดงชุดของระนาบรอยแตก 4 ชุด ที่ได้จากตาข่ายมิติของจุดศึกษา KN1	13
ตารางที่ 4.2 แสดงชุดของระนาบรอยแตก 4 ชุด ที่ได้จากตาข่ายมิติของจุดศึกษา KN2	13
ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลการกำหนดคุณภาพหิน (RQD) จุดศึกษา KN1	14
ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลการกำหนดคุณภาพหิน (RQD) จุดศึกษา KN2	14
ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลระยะห่างของรอยแตกจุดศึกษา KN1	14
ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลระยะห่างของรอยแตกจุดศึกษา KN2	15
ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลสภาพของรอยแตกจุดศึกษา KN1	15
ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลสภาพของรอยแตกจุดศึกษา KN2	17
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าขนาด กำลังอัด และระยะเลื่อนตัวของหินจากการทดสอบแบบกดจุดของ KN1	20
ตารางที่ 4.10 แสดงการคำนวณหาค่า $I_{s(50)}$ จากการทดสอบแบบกดจุดของ KN1	21
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าขนาด กำลังอัด และระยะเลื่อนตัวของหินจากการทดสอบแบบกดจุดของ KN2	22
ตารางที่ 4.12 แสดงการคำนวณหาค่า $I_{s(50)}$ จากการทดสอบแบบกดจุดของ KN2	23
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าพารามิเตอร์ และการให้คะแนนตามตาราง (RMR) ของจุดศึกษา KN1	24
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าพารามิเตอร์ และการให้คะแนนตามตาราง (RMR) ของจุดศึกษา KN2	24
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าพารามิเตอร์ และการให้คะแนนตามตาราง (SMR) ของจุดศึกษา KN1	25
ตารางที่ 4.16 แสดงค่าพารามิเตอร์ และการให้คะแนนตามตาราง (SMR) ของจุดศึกษา KN2	26
ตารางที่ 4.17 แสดงผลการประเมินความมั่นคงตามวิธี Slope Mass Rating (SMR)	26
ตารางที่ 6.1 แสดงค่าข้อมูลระนาบรอยแตกของจุดศึกษา KN1	32
ตารางที่ 6.2 แสดงค่าข้อมูลระนาบรอยแตกของจุดศึกษา KN2	34

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ความลาดเอียงของมวลหินที่เกิดจากธรรมชาติ หรือที่เกิดจากการออกแบบเชิงวิศวกรรมของมนุษย์ มักมีปัญหาการพังทลายที่ก่อให้เกิดความเสียหายทางด้านทรัพย์สิน ชีวิต การพัฒนาท้องถิ่น การท่องเที่ยว และการคมนาคมอย่างมาก (ปรัชญา เทพนรงค์ 2556) ซึ่งเขื่อนส่วนใหญ่จะสร้างเชื่อมระหว่างช่องเขา เพื่อปิดกั้นทางน้ำให้ได้เป็นอ่างเก็บน้ำ แล้วใช้ไหล่เขาเป็นฐานยันเขื่อน ซึ่งต้องรองรับแรงดันมหาศาลจากน้ำหนักของตัวเขื่อนและแรงดันน้ำ ถ้าลาดเอียงหินนั้นไม่มีเสถียรภาพอาจทำให้เกิดการพังทลายจนสร้างความเสียหายต่อโครงสร้างของตัวเขื่อน จนถึงขั้นทำให้เขื่อนพังทลายที่ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมฉับพลันได้ จึงต้องมีการประเมินเสถียรภาพของลาดเอียงหิน เพื่อดูความมั่นคงของลาดเอียงหิน และเสนอวิธีการป้องกันการพังทลาย ไม่ว่าจะมาก่อน หรือหลังการก่อสร้าง เนื่องจากหินนั้นพุดังตามกาลเวลา และสภาพอากาศ

ในทางวิศวกรรมปกติแล้วจะต้องทำการประเมินเสถียรภาพของลาดเอียงหินตั้งแต่ก่อนการก่อสร้างเขื่อน แต่เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนที่มีอัตราการผุพังของหินสูงที่อาจจะทำมวลหินมีค่าความมั่นคงของลาดเอียงหินลดลงตามเวลา โดยการประเมินในครั้งนี้ได้ใช้วิธี Slope Mass Rating (SMR) ของ Romana (1985) เป็นให้ค่าคะแนนความมั่นคงของลาดเอียงหินตามสูตรสมการ แล้วนำค่าคะแนนที่ได้นั้นมาอธิบายความมั่นคงของลาดเอียงหิน และเสนอวิธีป้องกันการพังทลายจากตารางของ Romana (1985) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับ จากการถูกอ้างถึงมากในงานวิจัย และยังมีการเรียนการสอนในหลักสูตรธรณีวิศวกรรมปัจจุบัน

เขื่อนน้อย เป็นสันเขื่อนของอ่างเก็บน้ำขนาดความจุ 700,000 ลูกบาศก์เมตร ที่กักเก็บน้ำไว้ใช้ทั่วไปในศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาคจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี ก่อสร้างมาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นเวลาถึง 12 ปี นับตั้งแต่ทำการก่อสร้างเขื่อน ซึ่งหน้าลาดเอียงหินที่เป็นฐานยันเขื่อนนั้นอาจถูกรบกวนจากสภาพอากาศ และต้นไม้ พืชพันธุ์ ที่จะมาทำให้ลาดเอียงหินนี้มีการผุพังจากเดิม ดังนั้นพื้นที่นี้จึงควรที่จะต้องทำการประเมินเสถียรภาพของลาดเอียงหิน เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับงานซ่อมแซมทางวิศวกรรมของตัวเขื่อนต่อไปในอนาคต

1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประเมินในครั้งนี้ได้ใช้วิธี Slope Mass Rating (SMR) ของ Romana. (1985) เป็นการให้ค่าคะแนนความมั่นคงของลาดเอียงหินตามสูตรสมการ จากการนำเอาคะแนนจัดอันดับมวลหิน Rock Mass Rating (RMR) ของ Bieniaski. (1989) บวกกับคะแนนพารามิเตอร์ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างระนาบรอยแตกกับหน้าลาดเอียงหิน คือ F1 F2 F3 แต่ก่อนจะได้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 นี้ต้องพบรูปแบบการพังทลายในมวลหินเสียก่อน ซึ่งสามารถหาได้จากวิเคราะห์แบบโคเนมาติก เป็นการวิเคราะห์ด้วยตาข่ายมิติ ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการพังทลาย ทิศทางการเคลื่อนตัวของบล็อกหินได้ถ้ามี และบวกกับพารามิเตอร์ F4 ที่ขึ้นอยู่กับวิธีที่ทำให้เกิดหน้าลาดเอียงหิน โดยค่าของพารามิเตอร์สามารถหาได้จากตารางการเทียบค่าคะแนน RMR ของ Bieniaski. (1989) และ F1 F2 F3 F4 ของ Romana. (1985) เมื่อได้ค่าคะแนนความมั่นคงของลาดเอียงหิน (SMR) ตามการคำนวณของสูตรสมการแล้ว นำค่าคะแนนที่ได้นั้นมาอธิบายความมั่นคงของลาดเอียงหินได้แก่ อันดับความมั่นคง (Class) เสถียรภาพ (Stability) และค่าโอกาสเกิดการพังทลาย (Probability of failure) จากนั้นเสนอวิธีป้องกันการพังทลายแบบเบื้องต้นตามตารางของ Romana. (1985)

Goh et al. (2016) ได้ประเมินเสถียรภาพลาดเอียงหินโดยใช้วิธี Slope Mass Rating (SMR) ที่เขาภูงู ลัง เมืองอโปะห์ รัฐประะก์ ประเทศมาเลเซีย ซึ่งเป็นหินปูนทำการศึกษาทั้งหมด 3 จุดศึกษาได้แก่ GL1 GL2 GL3 ได้ผลว่าจุดศึกษา GL1 GL2 ไม่พบรูปแบบการพังทลายในการวิเคราะห์โคเนมาติก ทำให้ได้ค่าคะแนนความมั่นคง (SMR) เท่ากับคะแนนการจัดอันดับมวลหิน (RMR) คือ 77 ทั้ง 2 จุดศึกษา ทั้งคู่จัดเป็นหน้าลาดเอียงที่มีเสถียรภาพ มีค่าโอกาสเกิดการพังทลาย (probability of failure) 0.2 จึงไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันการพังทลาย ส่วนจุดศึกษา GL3 พบรูปแบบการพังทลายแบบลิ้ม และแบบระนาบเลื่อนทำให้ได้ค่าคะแนนความมั่นคง (SMR) คือ 65 และ 31.5 ตามลำดับ จัดเป็นหน้าลาดเอียงที่มีความเสถียรบางส่วนและไม่เสถียร มีค่าโอกาสเกิดการพังทลาย (probability of failure) 0.4 และ 0.6 ตามลำดับ และได้เสนอวิธีการป้องกันการพังทลายตามตารางของ Romana. (1985) คือ Surface drainage Shotcrete Dental concrete และ Toe walls

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อประเมินเสถียรภาพของลาดเอียงหินทั้ง 2 ฝั่งของฐานยันเขื่อนด้วยวิธีการจัดหมวดหมู่หินทางวิศวกรรม

บทที่ 2 พื้นที่ศึกษา

เขื่อนน้อย เป็นสันเขื่อนของอ่างเก็บน้ำขนาดความจุ 700,000 ลูกบาศก์เมตร ที่กักเก็บน้ำไว้ใช้ทั่วไปในศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี ที่อยู่บริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือของโครงการพัฒนาที่ดินจุฬาฯ สระบุรี ดังรูปที่ 2.1 โดยทำการศึกษาทั้งหมด 2 จุดศึกษา ได้แก่ KN1 และ KN2 ครอบคลุมทั้ง 2 ฝั่งของฐานยันเขื่อน



รูปที่ 2.1 แสดงพื้นที่ศึกษาจากโปรแกรม Google Earth Pro

เขื่อนแห่งนี้มีการก่อสร้างตั้งแต่ปีพ.ศ. 2549 เป็นเขื่อนดินถม (Earth Fill Dam) สร้างเชื่อมระหว่างเขื่อนที่อยู่อีกฝั่งตะวันตกเป็นบริเวณของจุดศึกษา KN1 และเขื่อนที่อยู่อีกฝั่งตะวันออกเป็นบริเวณของจุดศึกษา KN2 ซึ่งเป็นการสร้างเขื่อนปิดกั้นคลองนาดีในช่วงต้นน้ำที่เป็นทางน้ำระหว่างช่องเขา มีแนวสันเขื่อนดิน สูง 12.5 เมตร กว้าง 5 เมตร ยาว 150 เมตร โดยใช้ลาดเอียงหินของภูเขา

ทั้ง 2 ผังเป็นฐานยันเขื่อน ที่นับได้ว่าเป็นลาดเอียงให้ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เนื่องจากในการก่อสร้างมีการใช้เพียงแค่รถแบคโฮในการขุดปรับหน้า (Scrape) ลาดเอียงหินให้ราบเรียบ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงภาพถ่ายมุมกว้างขณะกำลังดำเนินการก่อสร้างเขื่อน

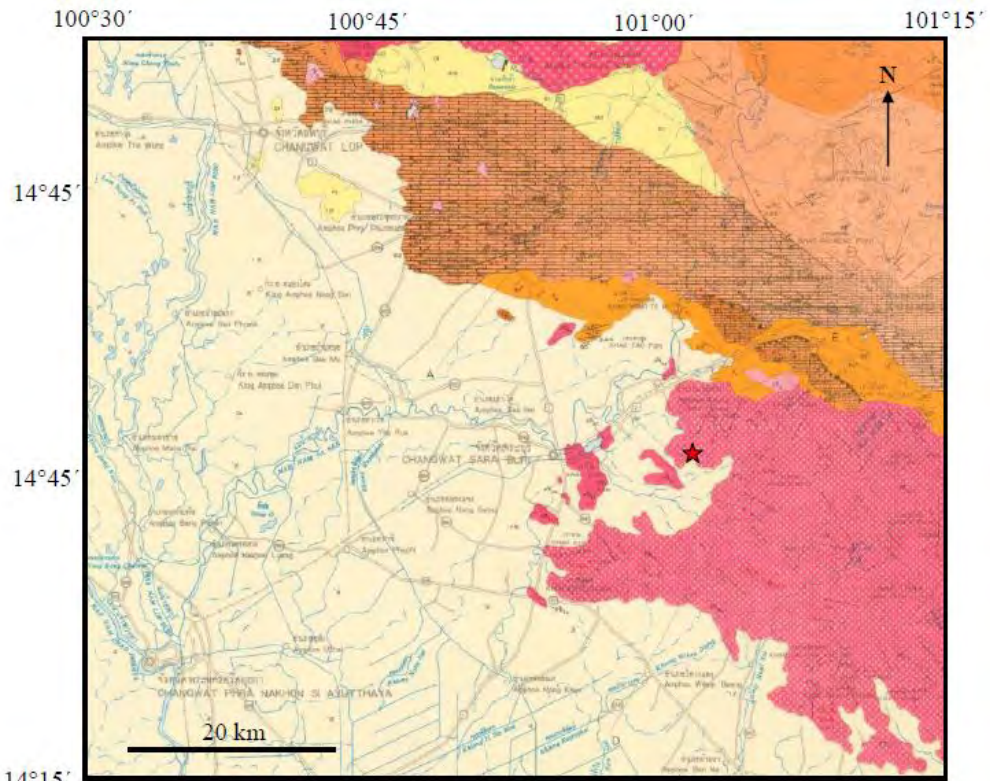
จากรายงานโครงการศึกษาเพิ่มเติมด้านธรณีวิทยา ธรณีวิทยาโครงสร้างและธรณีเคมี เพื่อโครงการพัฒนาที่ดินของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ของภาควิชาธรณีวิทยา (2549) บริเวณสถานที่ก่อสร้างสันเขื่อนกักเก็บน้ำในพื้นที่โครงการฯ ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ $14^{\circ}31'31''$ N $101^{\circ}02'19''$ E ระบบเส้นกริด UTM 197067 (ระวาง 5238 III) สามารถพบหินโผล่ของหินแอนดีไซต์ที่มีสีน้ำตาลถึงน้ำตาลอมม่วงเข้ม มีลักษณะเนื้อหินแบบเนื้อจูน (aphanitic texture) และเนื้อดอก (porphyritic texture) หินโผล่ในบริเวณนี้แสดงลักษณะรอยแยกเป็นระบบหลายแนว ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 (ซ้าย) หินโผล่ที่พบบริเวณจุดศึกษา (ขวา) ลักษณะของหินที่พบ

จากข้อมูลหินที่พบในพื้นที่ศึกษาที่พบเป็นหินแอนดีไซต์ ซึ่งเป็นหินภูเขาไฟเมื่อทำการเทียบเคียงกับแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตรฐาน 1:250,000 ระวาง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ของกองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี (2528) ดังรูปที่ 2.4 สามารถสรุปได้ว่าในบริเวณที่ทำการศึกษานั้นเป็นส่วนหนึ่งของ หินภูเขาไฟเขาใหญ่ (Khao Yai Volcanics) โดยหินที่พบในหมวดหินภูเขาไฟเขาใหญ่ ประกอบด้วย หินไรโอไรต์ หินแอนดีไซต์ หินเถ้าภูเขาไฟ (volcanic tuff) ที่มีส่วนประกอบแบบไรโอไรต์และแอนดีไซต์ หินกรวดภูเขาไฟ และหินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ (กอง

ธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี, 2528) จึงสามารถบอกได้อย่างแน่ชัดว่าหินที่พบบริเวณจุดศึกษาอยู่
หมวดหินภูเขาไฟนี้



รูปที่ 2.4 แสดงบางส่วนของแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย ระหว่าง ND 47-8 (จังหวัดพระนครศรีอยุธยา) ของกอง

ธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี (2528) สัญลักษณ์ ★ แทนบริเวณจุดศึกษา

คำอธิบายแผนที่

SEDIMENTARY ROCKS		
Formation	Group	Age
Quaternary alluvium	}	Quaternary
Quaternary terrace		
Sap Bon	Saraburi	Upper-Middle Permian
Khao Khad		
Pang Asok		
Nong Pong		Middle-Lower Permian
Khao Khwang		
Phu Phc	}	Lower Permian
Huai Som Volcanics		
Khao Yai Volcanics		
Pra Ngam Diorite		
Pang Asok		

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

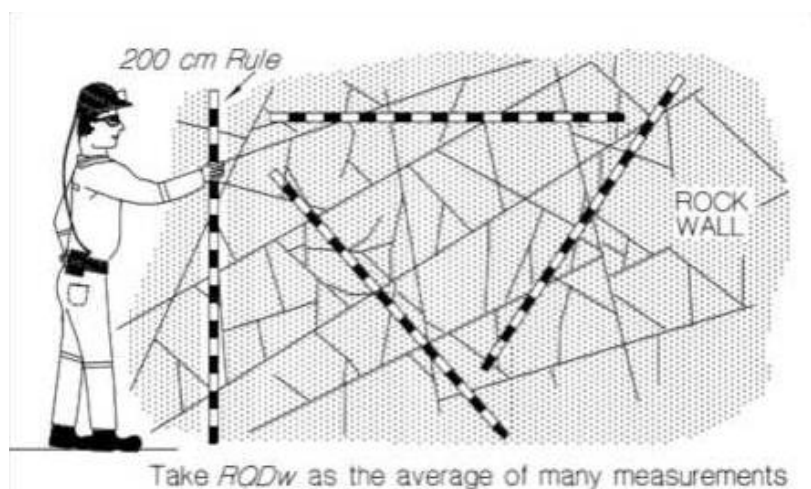
3.1 สํารวจภาคสนามโดยเก็บข้อมูล ชนิด ลักษณะ ทิศทางการวางตัว แนวเอียงเท รอยแตก และความไม่ต่อเนื่องของหิน โครงสร้างทางธรณีวิทยารวมทั้งทิศทาง การวางตัว มุมเอียงเทของหน้าตัดลาดเอียงหินที่ปรากฏบริเวณพื้นที่สํารวจ และเก็บตัวอย่างหินที่จะมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ของ RMR_b ได้แก่ 1.กำลังอัดของหินปราศความไม่ต่อเนื่อง 2.การกำหนดคุณภาพหิน (RQD) 3.ระยะห่างรอยแตก รอยแตก 4.สภาพของรอยแตก 5.สภาพการไหลของน้ำ สำหรับเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเอียงหิน โดยใช้วิธีการจัดการข้อมูลทางสถิติ เช่น การหาค่าเฉลี่ย การหาค่าฐานนิยม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของทั้งจุดศึกษา โดยวิธีการเก็บค่าพารามิเตอร์ในสนาม มีดังนี้

3.1.1 การหาลังอัดของหินปราศความไม่ต่อเนื่อง ต้องทำการเก็บตัวอย่างหินในสนาม ให้ได้เป็นหินที่สด ไม่มีการผุพัง และปราศจากความไม่ต่อเนื่องในหิน เพื่อนำกลับมาเตรียมตัวอย่าง แล้วทดสอบต่อไป

3.1.2 การกำหนดคุณภาพหิน (RQD) อุปกรณ์ที่สำคัญของการเก็บข้อมูลในสนามคือ ไม้ 2 เมตร โดยเมื่ออยู่ที่หน้าหินโพล์ต้องเลือกแนวการวางไม้ 2 เมตร ดังรูปที่ 3.1 แล้วทำการเก็บค่าระยะห่างระหว่างรอยแตกที่มากกว่า 10 เซนติเมตร จากนั้นคำนวณตามสมการ จากลัดดา วรรณขาว (2542)

$$\text{การกำหนดคุณภาพหิน (RQD)} = \frac{\text{ระยะห่างรอยแตกที่มากกว่า 10 เซนติเมตร}}{200 \text{ เซนติเมตร}} \times 100$$

สูตรสมการที่ 1 การกำหนดคุณภาพหิน (RQD)



รูปที่ 3.1 แสดงวิธีการกำหนดคุณภาพหิน (RQD) หน้าหินโพล์ (ลัดดา วรรณขาว, 2542)

3.1.3 ระยะห่างรอยแตก รอยแตก วัดระยะห่างระหว่างรอยแตกในแต่ละชุดของรอยแตก (Joint set)

3.1.4 สภาพของรอยแตก ต้องสังเกตพารามิเตอร์ย่อยอีก 5 ตัว คือ ความยาวของรอยแตก (Length) ระยะเปิดของรอยแตก (Aperture) ความขรุขระของผิวรอยแตก (roughness) การถูกแทนที่ของรอยแตก (Infilling) และการผุพังของรอยแตก (weathering)

3.1.5 สภาพการไหลของน้ำ ต้องใช้การสังเกตจากสายตา ว่าสภาพการไหลของน้ำบริเวณหน้าหินโผล่ หรือตามรอยแตกหรือไม่ ถ้ามีบริเวณหน้าหินโผล่จะสังเกตสภาพโดยรวมว่าเป็นแห้งสนิท ชื้น เปียก หยด หรือไหล แต่ถ้าเป็นการไหลในรอยแตกจะต้องวัดเป็นความดันของน้ำในรอยแตก

3.2 นำตัวอย่างหินมาทดสอบหาค่ากำลังอัดของหินปราศจากความไม่ต่อเนื่อง (Strength of intact rock material) ในห้องปฏิบัติการ โดยวิธีกำลังกดจุด (Point-load strength index) ซึ่งใช้ตัวอย่างหินที่ตัดเป็นบล็อกต้องมีหน้าเรียบอย่างน้อย 2 หน้า แล้วต้องทำการวัดค่าความกว้าง (W) และความหนา (D) ของตัวอย่างไว้ ดังรูปที่ 3.2 เมื่อทำการทดสอบจะได้ค่าแรงดันที่ทำให้หินแตก และระยะเลื่อนตัวของหินแตก จากนั้นต้องนำค่าแรงดันที่ทำให้หินแตกมาคำนวณหาค่า $I_{s(50)}$ ซึ่งต้องเป็นปรับค่าให้ถูกต้องกับขนาดของตัวอย่างแต่ละก้อน ตามสมการ จาก อัมรินทร์ บุญตัน (2534)

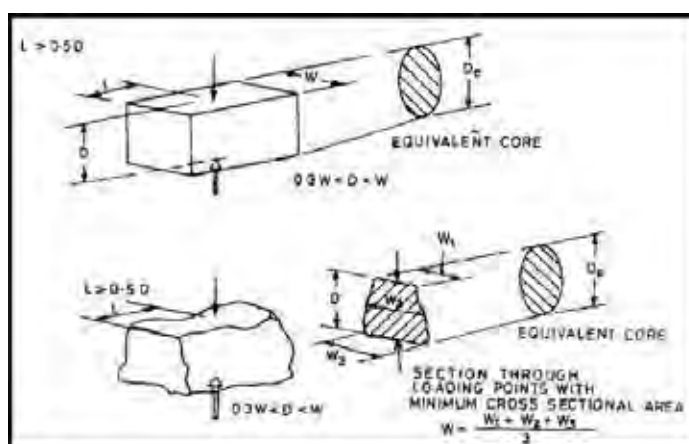
$$I_{s(50)} (F \cdot I_s) \text{ KN/mm}^2 \text{ หรือ } I_{s(50)} \times 0.001 \text{ MPa}$$

สูตรสมการที่ 2 หาค่า Point-load strength index

$$F = (De/50)^{0.45}, I_s = P/De^2 \text{ (KN/mm}^2\text{)}, De^2 = 4A/\pi \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$A = \text{ความกว้าง (W) X ความหนา (D) (mm}^2\text{)}$$

$$P = \text{ค่าแรงดันที่ทำให้หินแตก (KN)}$$



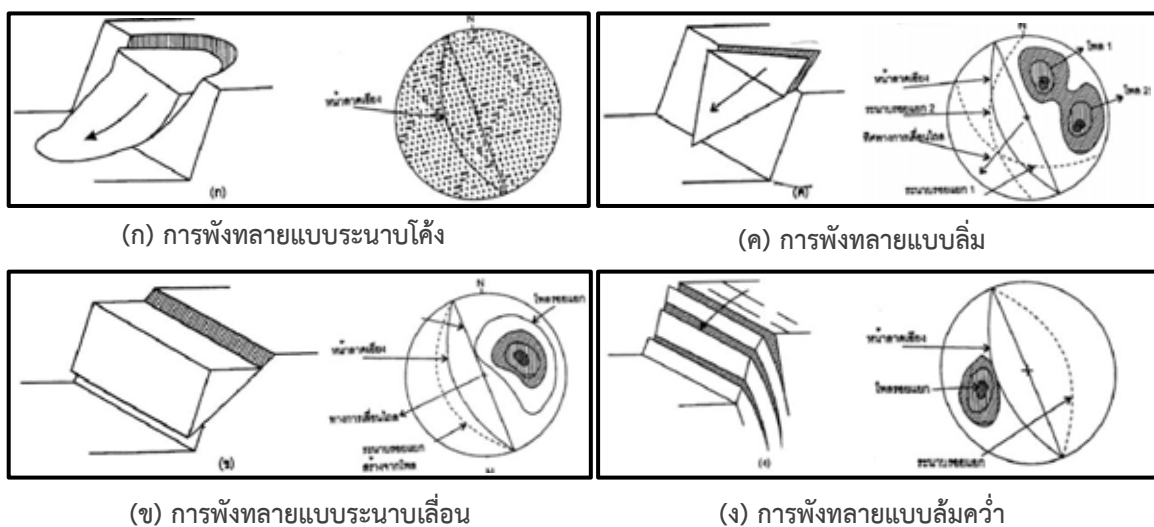
รูปที่ 3.2 แสดงวิธีการกำหนดขนาดของตัวอย่างเพื่อตัดหน้าเรียบ (อัมรินทร์ บุญตัน, 2534)

3.3 ประเมินโอกาสและรูปแบบของการพังทลายโดยวิธี kinematic Analysis (Hoek & Bray, 1977) การวิเคราะห์แบบไคเนมาติกจะแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่จะเกิดการพังทลาย หรือทิศทางการเคลื่อนตัวของบล็อกหิน ตลอดจนทราบถึงรูปแบบการพังทลาย อาศัยการวิเคราะห์โครงสร้างไม่ต่อเนื่องในตาข่ายมิติ (Stereo Net) โดยมีได้คำนึงถึงแรงที่กระทำต่อหน้าลาดเอียงนั้น โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

3.3.1 ทำการสร้างระนาบของหน้าลาดเอียงลงในตาข่ายมิติ

3.3.2 หากการกระจายของระนาบรอยไม่ต่อเนื่องที่วัดได้ในพื้นที่โดยวิธีการเขียนจุดโพล ทำการจัดกลุ่มหรือแยกชุดการกระจายของรอยไม่ต่อเนื่อง นำค่าเฉลี่ยของโพลที่แสดงการกระจายตัวในแต่ละชุดมาสร้างระนาบบนตาข่ายมิติ

3.3.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระนาบหน้าลาดเอียงกับระนาบของรอยไม่ต่อเนื่องในตาข่ายมิติ เพื่อพิจารณารูปแบบการพังทลาย และแนวโน้มการเคลื่อนตัว โดยการที่ระนาบของรอยไม่ต่อเนื่องต้องมีแนวการวางตัวที่อยู่ในแนวใกล้เคียง และมีมุมเอียงเทต่ำกว่าระนาบของหน้าลาดเอียงหินจึงจะปรากฏเห็น (Daylight) เป็นรูปแบบการพังทลายต่างๆทั้ง 4 แบบ ได้แก่ ระนาบเลื่อน ระนาบโค้ง ล้ม และล้มคว่ำ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงรูปแบบการพังทลายจากวิเคราะห์แบบไคเนมาติก (ลัดดา วรรณขาว, 2542)

3.4 จำแนกคุณภาพของลาดเอียงหินอย่างละเอียดโดยวิธี Slope Mass Rating (SMR) ของ (Romana, 1985) เป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับและเป็นที่ยอมรับหลาย ซึ่งพัฒนามาจากการจำแนกคุณภาพมวลหิน Rock Mass Rating (RMR) (Bieniaski, 1989) โดย RMR_b ประกอบด้วย พารามิเตอร์ของหินที่ต้องพิจารณา ได้แก่ 1.กำลังอัดของหินปราศความไม่ต่อเนื่อง 2.การกำหนดคุณภาพหิน (RQD) 3.ระยะห่างรอยแตก รอยแยก 4.สภาพของรอยแตก 5.สภาพการไหลของน้ำ โดย

เมื่อได้ข้อมูลจากภาคสนาม แล้วจึงทำการเทียบตามตารางที่ 3.1 เพื่อให้ค่าคะแนนในแต่ละพารามิเตอร์ทั้ง 5 จากนั้นก็คำนวณเป็นค่า RMR_b ตามสมการนี้

$$RMR_b = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 \text{ โดยที่ } RMR_b \text{ มีค่าคะแนนอยู่ในช่วง } 0-100$$

สูตรสมการที่ 3 หาค่าคะแนน Rock Mass Rating Basic (RMR_b) (Bieniaski, 1989)

ตารางที่ 3.1 แสดงการให้คะแนนแต่ละพารามิเตอร์ทั้ง 5 ของ RMR_b (Bieniaski, 1989)

Parameter		Range of values							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	≥ 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	For this low range – uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial comp. strength	≥ 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa	1 – 5 MPa	< 1 MPa
Rating			15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core Quality RQD		90% – 100%	75% – 90%	50% – 75%	25% – 50%	$\leq 25\%$		
		Rating	20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		≥ 2 m	0.6 – 2. m	200 – 600 mm	60 – 200 mm	< 60 mm		
		Rating	20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities- (See E)		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge > 5 mm thick or Separation 1 – 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick Separation > 5 mm Continuous		
		Rating	30	25	20	10	0		
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel length (litre)	None	< 10	10 - 25	25 – 125	> 125		
		Joint water pressure (Major principal stress)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 – 0.5	≥ 0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
		Rating	15	10	7	4	0		

การวิเคราะห์โดยวิธี Slope Mass Rating (SMR) เป็นการพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการประเมินค่า RMR ร่วมกับพารามิเตอร์เพิ่มเติมจากความสัมพันธ์ของรอยแตกกับมุมเอียงการตัดหน้าลาดเอียงหิน (Joint-slope face relationship) และพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับวิธีการขุดเปิดหรือตัดลาดเอียงหิน โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

F1 ขึ้นอยู่กับความขนานกันระหว่างการวางตัวของรอยแตกและหน้าลาดเอียงหิน

F2 ขึ้นอยู่กับมุมการเอียงเทของรอยแตกในแต่ละรูปแบบของการพังทลาย

F3 ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงเทของรอยแตกและหน้าลาดเอียงหิน

F4 ขึ้นอยู่กับวิธีการที่ทำให้เกิดลาดเอียงหิน

โดยนำค่ามุมในแต่ละพารามิเตอร์ทั้ง F1-3 ที่คำนวณได้มาเทียบค่าตามแต่ละรูปแบบการพังทลายที่หาได้จากการวิเคราะห์แบบโคเนมาติก แล้วได้เป็นคะแนนออกมา ดังตารางที่ 3.2 ส่วน F4 เทียบคะแนน ดังตารางที่ 3.3 แล้วคำนวณคะแนน SMR ร่วมกับค่า RMR ตามสมการนี้

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \text{ โดยที่ } SMR \text{ มีค่าคะแนนอยู่ในช่วง } 0-100$$

สูตรสมการที่ 4 หาค่าคะแนน Slope Mass Rating (SMR) (Romana, 1993)

ตารางที่ 3.2 แสดงการให้คะแนนของพารามิเตอร์ F1-3 (Romana, 1993)

Case of slope failure	Very favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	Very unfavorable
P $ \alpha_j - \alpha_s $ T $ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $ W $ \alpha_i - \alpha_s $	$>30^\circ$	30–20°	20–10°	10–5°	$<5^\circ$
P/W/T F_1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P $ \beta_j $ W $ \beta_i $	$<20^\circ$	20–30°	30–35°	35–45°	$>45^\circ$
P/W F_2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T F_2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
P $ \beta_j - \beta_s $ W $ \beta_i - \beta_s $	$>10^\circ$	10–0°	0°	0 – (–10°)	$<–10^\circ$
T $ \beta_j + \beta_s $	$<110^\circ$	110–120°	$>120^\circ$	—	—
P/W/T F_3	0	–6	–25	–50	–60

P, planar failure; T, toppling failure; W, wedge failure; α_s , slope strike; α_j , joint strike; α_i , plunge direction of line of intersection; β_s , slope dip; β_j , joint dip (see Figure 18.1); β_i , plunge of line of intersection.

ตารางที่ 3.3 แสดงการให้คะแนนของพารามิเตอร์ F4 (Romana, 1993)

Method of excavation	Value of F_4
Natural slope	+15
Pre-splitting	+10
Smooth blasting	+8
Normal blasting or mechanical excavation	0
Poor blasting	–8

โดยค่าคะแนนที่ได้สามารถจำแนกระดับความเสถียรภาพได้ 5 ระดับ อธิบายสภาพหน้าลาดเอียงหิน ความเสถียรภาพ การพังทลาย และประมาณค่าโอกาสเกิดการพังทลาย ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงการจำแนกระดับ และข้อมูลความเสี่ยงสภาพของลาดเอียงหิน ตามค่า SMR (Romana, 1993)

Class No.	V	IV	III	II	I
SMR value	0–20	21–40	41–60	61–80	81–100
Rock mass description	Very bad	Bad	Normal	Good	Very good
Stability	Completely unstable	Unstable	Partially stable	Stable	Completely stable
Failures	Big planar or soil-like or circular	Planar or big wedges	Planar along some joints and many wedges	Some block failure	No failure
Probability of failure	0.9	0.6	0.4	0.2	0

3.5 วิเคราะห์ค่าคะแนนที่ได้จากการจำแนกคุณภาพของลาดเอียงหินอย่างละเอียดจากวิธี Slope Mass Rating (SMR) ของ (Romana, 1993) ตามตารางที่ 3.5 โดยสามารถจัดระดับได้ 9 ระดับ เพื่อแสดงวิธีการป้องกันการพังทลายของลาดเอียงหิน (Supports) ให้เหมาะสมกับเสถียรภาพของลาดเอียงหิน

ตารางที่ 3.5 แสดงวิธีการป้องกันการพังทลายตามค่าคะแนนความมั่นคง SMR (Romana, 1993)

SMR classes	SMR values	Suggested supports
Ia	91–100	None
Ib	81–90	None, scaling is required
IIa	71–80	(None, toe ditch, or fence), spot bolting
IIb	61–70	(Toe ditch or fence nets), spot or systematic bolting
IIIa	51–60	(Toe ditch and/or nets), spot or systematic bolting, spot shotcrete
IIIb	41–50	(Toe ditch and/or nets), systematic bolting/anchors, systematic shotcrete, toe wall and/or dental concrete
IVa	31–40	Anchors, systematic shotcrete, toe wall and/or concrete (or re-excavation), drainage
IVb	21–30	Systematic reinforced shotcrete, toe wall and/or concrete, re-excavation, deep drainage
Va	11–20	Gravity or anchored wall, re-excavation

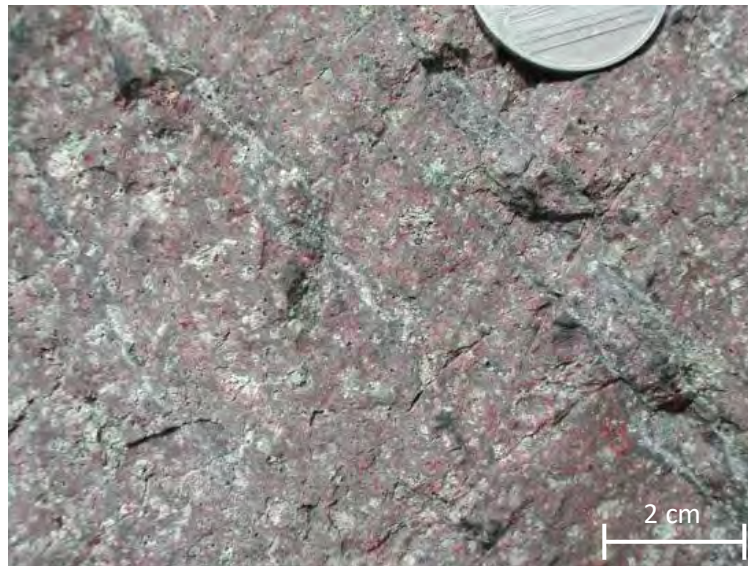
Less popular support measures are given in brackets.

3.6 นำเสนอผลที่ได้ค่าคะแนน ระดับความเสี่ยงสภาพของลาดเอียงหิน รูปแบบและค่าโอกาสที่จะเกิดการพังทลายของลาดเอียงหิน แนวทางการป้องกันการพังทลายของลาดเอียงหิน (Supports)

บทที่ 4 ผลงานวิจัย

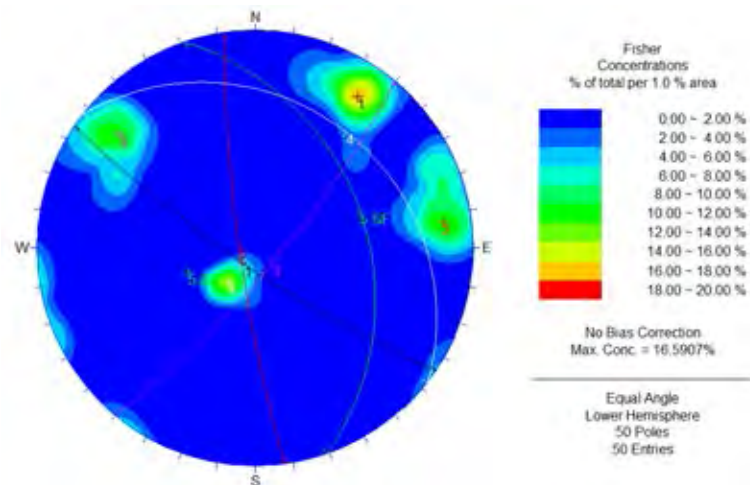
4.1 ผลการจำแนกชนิดของมวลหินในภาคสนาม

มวลหินที่พบทั้ง 2 จุดศึกษา คือ หินหินแอนดีไซต์ (Andesite) ที่มีสีสดเป็นสีเขียวเข้ม และมีสีฝูเป็นสีน้ำตาลถึงน้ำตาลอมม่วงเข้ม มีลักษณะเนื้อหินแบบเนื้อจูน (Phaneritic texture) และเนื้อดอก (Porphyritic texture) ดังรูปที่ 4.1 และพบชุดรอยแตก (Joint Set) หลายชุด จึงได้ทำการวัดค่าการวางตัวระนาบของรอยแตก เพื่อนำมาหาค่าตัวแทนของชุดรอยแตกต่อไป โดยได้เก็บค่ามาจุดศึกษาละ 50 ค่า



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะสีหินฝูและสด และเนื้อหินจากมวลหิน

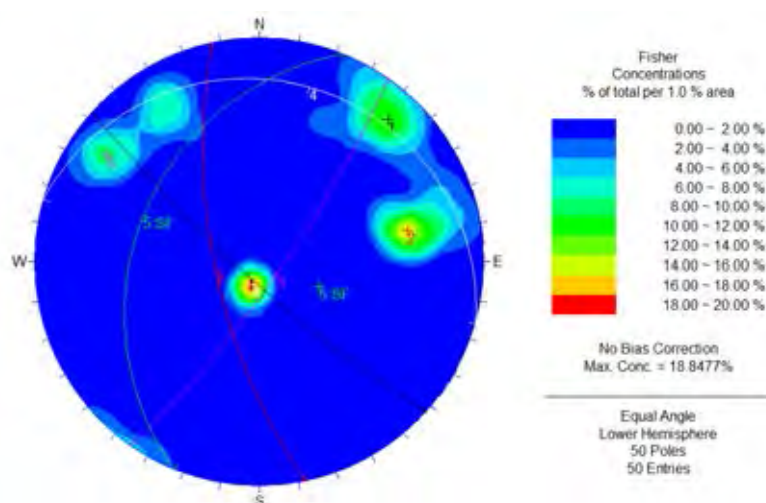
4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของระนาบรอยแตกในภาคสนาม



รูปที่ 4.2 แสดงตาข่ายมิติพร้อมข้อมูลระนาบรอยแตก 50 ข้อมูลของจุดศึกษา KN1

ตารางที่ 4.1 แสดงชุดของระนาบรอยแตก 4 ชุด ที่ได้จากตาข่ายมิติของจุดศึกษา KN1

Joint set	strike	dip angle
1	124	80
2	172	82
3	40	78
4	308	22
Slope Face	340	36



ตารางที่ 4.2 แสดงชุดของระนาบรอยแตก 4 ชุด ที่ได้จากตาข่ายมิติของจุดศึกษา KN2

Joint set	strike	dip angle
1	132	81
2	168	68
3	35	79
4	286	12
Slope Face	202	32

จากรูปภาพ และตารางข้างต้นจะเห็นได้ชัดว่าพระนาบของรอยแตกทั้งหมด 4 ชุด จากฝั่งละ 50 ข้อมูล ใน KN1 KN2 ดังตารางที่ 6.1 และ 6.2 นอกจากนั้นค่าของระนาบรอยแตกมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจจะเป็นระนาบเดียวกันจากทั้ง 2 ฝั่ง ที่เกิดขึ้นในหินชนิดเดียวกัน และในช่วงเวลาเดียวกัน

4.3 ผลการกำหนดคุณภาพหิน (RQD) ในภาคสนาม

การกำหนดคุณภาพหิน (RQD) ในสนามได้ทำจุดศึกษาละ 2 ครั้ง แล้วนำมาเฉลี่ยกัน มีค่าดังนี้ KN1 ได้ 78.75% ดังตารางที่ 4.3 และ KN2 ได้ 75.25% ดังตารางที่ 4.4 เมื่อเทียบกับตารางการให้คะแนน RMR (Bieniaski, 1989) ได้ 17 คะแนนทั้ง 2 ฝั่ง

- การกำหนดคุณภาพหิน (RQD) จุดศึกษา KN1

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลการกำหนดคุณภาพหิน (RQD) จุดศึกษา KN1

Joint length	No.1	12	22	28	52	18	42
>10 cm	No.2	40	33	48	20	-	-
Calculation	$\frac{(12+22+28+52+18+42+40+33+48+20) * 100}{400}$					Average = 78.75%	Rating = 17

- การกำหนดคุณภาพหิน (RQD) จุดศึกษา KN2

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลการกำหนดคุณภาพหิน (RQD) จุดศึกษา KN2

Joint length	No.1	47	13	27	22	20	15
>10 cm	No.2	30	13	37	14	63	-
Calculation	$\frac{(47+13+27+22+20+15+30+13+37+14+63) * 100}{400}$					Average = 75.25%	Rating = 17

4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลระยะห่างของรอยแตกในภาคสนาม

การวัดระยะห่างของรอยแตกนั้นจะต้องวัดเฉพาะในแต่ละแนวของรอยแตก (Joint set) ซึ่งทั้ง 2 จุดศึกษาก็มีแนวของรอยแตก (Joint set) 4 แนว เหมือนกัน โดยทำการวัดมาแนวละ 8 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย มีค่าดังนี้ KN1 426.1 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.5 และKN2 327.8 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.5 เมื่อเทียบกับตารางการให้คะแนน RMR (Bieniaski, 1989) ได้ 10 คะแนนทั้ง 2 ฝั่ง

- ระยะห่างของรอยแตกจุดศึกษา KN1

ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลระยะห่างของรอยแตกจุดศึกษา KN1

Set	Spacing (mm)							Avg
J1	200	160	700	220	560	890	480	458.5
J2	800	200	580	620	720	400	1120	634.3
J3	380	220	430	650	200	190	100	310.0
J4	380	1420	250	220	140	410	300	445.7
Average								426.1
Rating								10

- ระยะห่างของรอยแตกจุดศึกษา KN2

ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลระยะห่างของรอยแตกจุดศึกษา KN2

Set	Spacing (mm)							Avg
J1	240	100	500	300	350	500	400	341.4
J2	250	450	300	320	340	200	500	337.1
J3	250	580	360	400	150	300	370	344.3
J4	200	460	230	130	200	450	350	288.6
Average								327.8
Rating								10

4.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพของรอยแตกในภาคสนาม

การสังเกตสภาพของรอยแตกในภาคสนามต้องสังเกตพารามิเตอร์ย่อยอีก 5 ตัว คือ ความยาวของรอยแตก (Length) ระยะเปิดของรอยแตก (Aperture) ความขรุขระของผิวรอยแตก (roughness) การถูกแทนที่ของรอยแตก (Infilling) และการผุพังของรอยแตก (weathering) โดยแต่ละจุดศึกษาจะมีฝั่งละ 35 ข้อมูล ซึ่งจะเก็บไปพร้อมการเก็บค่าการวางตัวและมุมเอียงเทของระนาบรอยแตก ในแต่ละพารามิเตอร์ย่อย ใช้วิธีการจัดการข้อมูลด้วยการหาฐานนิยม เพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทน ดังนี้ KN1 เป็น Discontinuities length <1 m, separation 0.1-1 mm., slightly rough, no infilling, slightly weathered ดังตารางที่ 4.7 และ KN2 เป็น Discontinuities length <1 m, no separation, slightly rough, no infilling, slightly weathered ดังตารางที่ 4.8 เมื่อเทียบกับตารางการให้คะแนน RMR (Bieniaski, 1989) ได้ 26 และ 24 คะแนน ตามลำดับ

- สภาพของรอยแตกจุดศึกษา KN1

ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลสภาพของรอยแตกจุดศึกษา KN1

NO.	Length (m)	Aperture (mm)	roughness	Infilling (mm)	weathering	rating
1	0.24	none	rough	none	slightly	28
2	0.28	0.1-1	rough	none	slightly	26
3	0.80	none	slightly	none	slightly	26
4	0.43	0.1-1	rough	none	slightly	26
5	0.69	none	rough	none	slightly	28
6	0.18	none	rough	none	slightly	28
7	0.85	1-5	slightly	none	slightly	21

8	0.26	none	rough	none	slightly	28
9	0.73	0.1-1	slightly	None	slightly	24
10	0.44	none	slightly	none	slightly	26
11	0.82	none	rough	none	slightly	28
12	0.06	none	slightly	none	slightly	26
13	0.11	none	slightly	none	slightly	26
14	0.66	none	slightly	none	slightly	26
15	0.23	none	slightly	none	slightly	26
16	0.22	none	slightly	none	slightly	26
17	1.1	none	rough	none	slightly	28
18	0.54	0.1-1	slightly	none	slightly	24
19	1.74	none	slightly	none	slightly	24
20	0.47	none	slightly	none	slightly	26
21	0.34	none	rough	none	slightly	28
22	0.40	none	rough	none	slightly	28
23	0.36	none	rough	none	slightly	28
24	0.19	none	slightly	none	slightly	26
25	0.09	0.1-1	veryrough	none	slightly	27
26	0.57	>5	slightly	Soft>5	moderately	12
27	0.75	>5	slightly	Soft>5	moderately	12
28	0.58	>5	slightly	Soft>5	moderately	12
29	0.86	none	rough	none	slightly	28
30	1.95	>5	slightly	Soft>5	moderately	10
31	0.77	0.1-1	slightly	none	slightly	24
32	0.93	>5	slightly	Hard>5	slightly	16
33	0.41	none	slightly	none	slightly	26
34	0.54	none	slightly	none	slightly	26
35	0.89	none	rough	none	slightly	28
<u>Mode</u>	<1	none	slightly	none	slightly	26

- สภาพของรอยแตกจุดศึกษา KN2

ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลสภาพของรอยแตกจุดศึกษา KN2

NO.	Length (m)	Aperture (mm)	roughness	Infilling (mm)	weathering	rating
1	0.55	0.1-1	slightly	none	slightly	24
2	0.98	1-5	rough	Soft<5	moderately	20
3	0.30	0.1-1	slightly	none	slightly	24
4	0.50	None	slightly	none	slightly	26
5	0.44	0.1-1	rough	none	slightly	27
6	0.50	1-5	rough	Hard<5	slightly	21
7	0.65	None	rough	none	slightly	28
8	0.24	0.1-1	slightly	none	slightly	24
9	1.43	1-5	rough	Hard<5	slightly	19
10	0.95	0.1-1	rough	none	slightly	26
11	0.98	None	rough	none	slightly	28
12	0.73	1-5	rough	none	slightly	23
13	0.70	0.1-1	rough	Hard<5	slightly	24
14	1.00	None	slightly	none	slightly	24
15	0.25	0.1-1	slightly	none	slightly	24
16	0.47	None	rough	none	slightly	28
17	0.60	1-5	rough	Hard<5	slightly	21
18	0.90	0.1-1	slightly	none	slightly	24
19	0.75	None	rough	none	slightly	28
20	0.82	None	veryrough	none	slightly	29
21	0.40	0.1-1	slightly	none	slightly	24
22	1.00	0.1-1	slightly	none	slightly	22
23	0.78	1-5	veryrough	Hard<5	slightly	22
24	0.65	None	slightly	none	slightly	26
25	0.78	None	rough	none	slightly	28
26	0.35	0.1-1	slightly	none	slightly	24
27	0.60	1-5	rough	Hard<5	slightly	21
28	0.25	0.1-1	rough	none	slightly	26

29	0.63	0.1-1	slightly	none	slightly	24
30	0.64	None	rough	none	slightly	28
31	0.84	None	slightly	none	slightly	26
32	0.62	0.1-1	slightly	none	slightly	24
33	0.60	1-5	rough	Hard<5	slightly	21
34	0.55	None	rough	none	slightly	28
35	1.00	0.1-1	slightly	none	slightly	23
<u>Mode</u>	<1	0.1-1	slightly	none	slightly	24

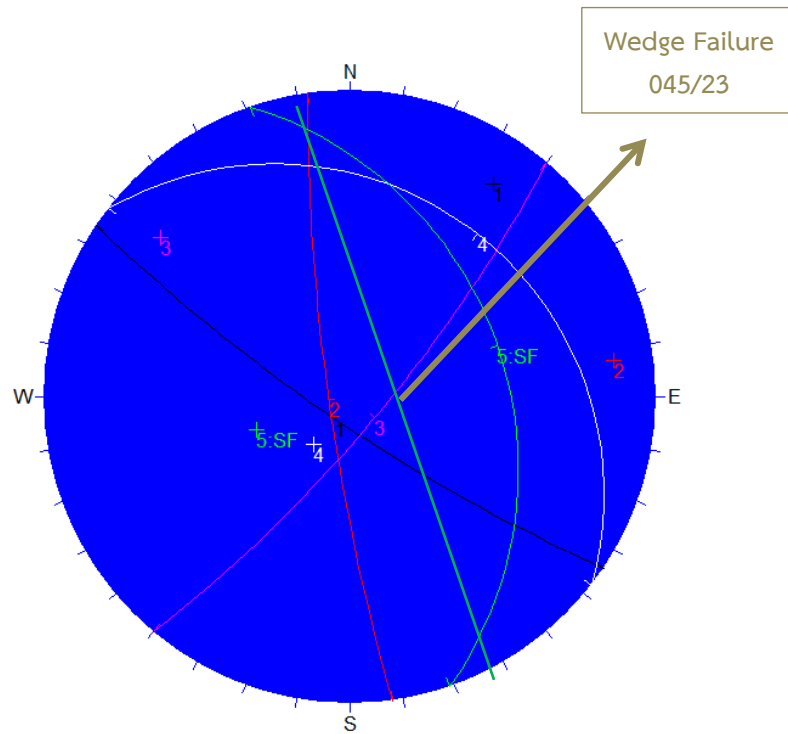
4.6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพการไหลของน้ำ

ข้อมูลสภาพการไหลของน้ำเป็นแค่เพียงการสังเกต แล้วให้คะแนนได้เลย ซึ่งในวันที่ทำการออกภาคสนามเมื่อสังเกตแล้วตามสภาพทั่วไปไม่มีการไหลของน้ำเลยทั้ง 2 ฝั่ง จึงให้เป็นสภาพแห้ง (completely dry) และไม่มีจำนวนข้อมูล เมื่อเทียบกับตารางการให้คะแนน RMR (Bieniaski, 1989) ได้ 15 คะแนนทั้ง 2 ฝั่ง

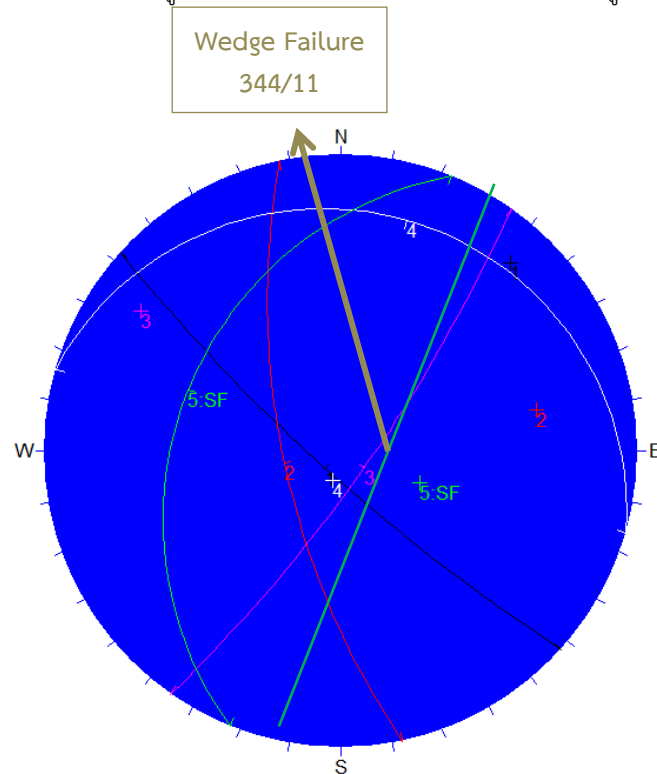
4.7 ผลของการประเมินรูปแบบของการพังทลายโดยวิธี kinematic Analysis

ผลจากการประเมินรูปแบบการพังทลาย พบดังนี้ KN1 และ KN2 พบเฉพาะการพังทลายแบบล้มเพียงชนิดเดียว โดยสังเกตจากที่มีระนาบรอยแตกตัดกัน และมีมุมเอียงเทต่ำกว่าระนาบของหน้าลาดเอียงหินจึงจะปรากฏเห็น (Daylight) ซึ่งใน KN1 พบเป็นระนาบรอยแตก J3 และ J4 ตัดกันในแนวเส้น Trend 045° Plunge 23° ดังรูปที่ 4.3 ส่วน KN2 พบเป็นระนาบรอยแตก J2 และ J4 ตัดกันในแนวเส้น Trend 344° Plunge 11° ดังรูปที่ 4.4

แต่ในการประเมินครั้งนี้ค่ามุมเสียดทานสูงสุด ที่จะแสดงในตาข่ายมิติในรูปของกรวยเสียดทาน ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมโอกาสของการเกิดการพังทลายด้วย เพราะเมื่อเราใส่กรวยเสียดทานลงไปแล้ว จะมีบริเวณพื้นที่ไม่เสถียรภาพที่เป็นพื้นที่ที่ระนาบของหน้าลาดเอียงหินตัดกับกรวยเสียดทาน ไม่สามารถใช้ได้เนื่องจากการประมาณค่ามุมเสียดทานสูงสุดจากค่าคะแนน RMR นั้นได้ค่าสูง คือ > 45° ซึ่งเป็นมุมที่สูงกว่าระนาบของหน้าลาดเอียงหิน เมื่อใส่ลงไปแล้วทำให้ไม่พื้นที่ไม่เสถียรภาพ จะใช้เพียงแค่การสังเกตเบื้องต้นว่ารูปแบบการพังทลายนั้นปรากฏเห็น (Daylight) หรือไม่



รูปที่ 4.4 แสดงตาข่ายมิติพร้อมข้อมูลระนาบหน้าลาดเอียงหิน รอยแตก พร้อมทั้งรูปแบบการพังทลาย KN1



รูปที่ 4.5 แสดงตาข่ายมิติพร้อมข้อมูลระนาบหน้าลาดเอียงหิน รอยแตก พร้อมทั้งรูปแบบการพังทลาย KN2

4.8 ผลการวิเคราะห์ค่ากำลังอัดของหินปราศจากความไม่ต่อเนื่องในห้องปฏิบัติการ

การหาค่ากำลังอัดของหินปราศจากความไม่ต่อเนื่อง ทำโดยวิธีการทดสอบกำลังกดจุด (Point load strength index) นั้นจะได้ออกมาเป็นแรงดันที่กดหินจนแตก และระยะเลื่อนตัว ดัง

ตารางที่ 4.11 จากนั้นต้องนำมาคำนวณเพื่อปรับค่าตามขนาดของหินจนได้เป็นค่ากำลังกดจุด $I_{s(50)}$ ในหน่วย MPa แล้วเฉลี่ยจากจุดศึกษาละ 20 ตัวอย่าง เป็นค่าดังนี้ KN1 ได้ 11.03 MPa KN2 ได้ 12.39 MPa ดังตารางที่ 4.12 เมื่อเทียบกับตารางการให้คะแนน RMR (Bieniaski, 1989) ได้ 15 คะแนนทั้ง 2 ฝั่ง

- ค่ากำลังอัดของหินปราศจากความไม่ต่อเนื่อง $I_{s(50)}$ จากการทดสอบแบบกดจุดของ KN1

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าขนาด กำลังอัด และระยะเคลื่อนตัวของหินจากการทดสอบแบบกดจุดของ KN1

NO.	W*D (mm*mm)	Size (A) (mm ²)	(Value (KN))	Displacement (mm)
1	50*30	1500	31	80
2	50*40	2000	33	70
3	60*60	3600	39.5	100
4	60*40	2400	35	80
5	70*60	4200	45	120
6	60*50	3000	42	120
7	60*30	1800	29	60
8	60*60	3600	42	80
9	50*30	1500	30	80
10	70*60	4200	45	100
11	60*30	1800	35	70
12	60*60	3600	41	80
13	60*50	3000	38	60
14	40*40	1600	32	80
15	60*30	1800	31	60
16	60*35	2100	35	90
17	60*50	3000	44.5	100
18	50*30	1500	29	60
19	50*40	2000	34	80
20	60*50	3000	40	100
Avg	-	2577.5	36.55	83.5

ตารางที่ 4.10 แสดงการคำนวณหาค่า $I_{s(50)}$ จากการทดสอบแบบกดจุดของ KN1

NO.	De^2 (4A/TT) mm ²	I_s (P/De ²) KN/mm ²	F (De/50) ^{0.45}	$I_{s(50)}$ (F*I _s) KN/mm ²	$I_{s(50)}$ MPa
1	1909.1	0.0162	0.7946	0.0129	12.90
2	2545.5	0.0130	0.9045	0.0117	11.73
3	4581.8	0.0086	1.0855	0.0094	9.36
4	3054.5	0.0115	0.9045	0.0104	10.36
5	5345.5	0.0084	1.1253	0.0095	9.47
6	3818.2	0.0110	1.0000	0.0110	11.00
7	2290.9	0.0127	0.7946	0.0101	10.06
8	4581.8	0.0092	1.0855	0.0100	9.95
9	1909.1	0.0157	0.7946	0.0125	12.49
10	5345.5	0.0084	1.0855	0.0091	9.14
11	2290.9	0.0153	0.7946	0.0121	12.14
12	4581.8	0.0089	1.0855	0.0097	9.71
13	3818.2	0.0100	1.0000	0.0100	9.95
14	2036.4	0.0157	0.9045	0.0142	14.21
15	2290.9	0.0135	0.7946	0.0108	10.75
16	2672.7	0.0131	0.8517	0.0112	11.15
17	3818.2	0.0117	1.0000	0.0117	11.65
18	1909.1	0.0152	0.7946	0.0121	12.07
19	2545.5	0.0134	0.9045	0.0121	12.08
20	3818.2	0.0105	1.0000	0.0105	10.48
<u>Avg</u>	3280.5	0.0121	0.9352	0.0110	11.03

- ค่ากำลังอัดของหินปราคาจากความไม่ต่อเนื่อง $I_{s(50)}$ จากการทดสอบแบบกดจุดของ

KN2

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าขนาด กำลังอัด และระยะเลื่อนตัวของหินจากการทดสอบแบบกดจุดของ KN2

NO.	W*D (mm*mm)	Size (A) (mm ²)	Value	Displacement (mm)
1	40*30	1200	32	100
2	50*30	1500	34	120
3	50*50	2500	45	80
4	70*70	4900	51	110
5	40*40	1600	35	60
6	70*70	4900	56	120
7	65*65	4225	54	100
8	50*50	2500	40	100
9	50*30	1500	28	80
10	40*30	1200	29	80
11	70*65	4500	52	100
12	50*50	2500	45	100
13	60*55	3300	48	120
14	65*65	6225	52	110
15	40*30	1200	31	100
16	70*70	4900	56	140
17	70*70	4900	51	150
18	55*55	3025	45	130
19	50*40	2000	32	80
20	50*45	2250	40	120
<u>Avg</u>	-	3041.25	43	105

ตารางที่ 4.12 แสดงการคำนวณหาค่า $I_{s(50)}$ จากการทดสอบแบบกดจุดของ KN2

NO.	De^2 (4A/TT) mm ²	I_s (P/De ²) KN/mm ²	F (De/50) ^{0.45}	$I_{s(50)}$ (F*I _s) KN/mm ²	$I_{s(50)}$ MPa
1	1527.3	0.0210	0.7946	0.0166	16.65
2	1909.1	0.0178	0.7946	0.0142	14.15
3	3181.8	0.0141	1.0000	0.0141	14.14
4	6236.4	0.0082	1.1635	0.0095	9.51
5	2036.4	0.0172	0.9045	0.0155	15.55
6	6236.4	0.0090	1.1635	0.0104	10.45
7	5377.3	0.0100	1.1253	0.0113	11.30
8	3181.8	0.0126	1.0000	0.0126	12.57
9	1909.1	0.0147	0.7946	0.0117	11.65
10	1527.3	0.0190	0.7946	0.0151	15.09
11	5727.3	0.0091	1.1253	0.0102	10.22
12	3181.8	0.0141	1.0000	0.0141	14.14
13	4200.0	0.0114	1.0438	0.0119	11.93
14	7922.7	0.0066	1.1253	0.0074	7.39
15	1527.3	0.0203	0.7946	0.0161	16.13
16	6236.4	0.0090	1.1635	0.0104	10.45
17	6236.4	0.0082	1.1635	0.0095	9.51
18	3850.0	0.0117	1.0438	0.0122	12.20
19	2545.5	0.0126	0.9045	0.0114	11.37
20	2863.6	0.0140	0.9537	0.0133	13.32
<u>Avg</u>	3870.7	0.0130	0.9927	0.0124	12.39

4.9 ผลของการสังเคราะห์ข้อมูลพารามิเตอร์ แล้วเทียบคะแนนตามตารางการจัดอันดับมวลหิน Rock Mass Rating (RMR)

เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ ทั้ง 5 ค่า คือ 1.กำลังอัดของหินปราศความไม่ต่อเนื่อง 2.การกำหนดคุณภาพหิน (RQD) 3.ระยะห่างรอยแตก รอยแยก 4.สภาพของรอยแตก 5.สภาพการไหลของน้ำ แล้วก็ต้องทำการนำค่าของแต่ละพารามิเตอร์นั้นไปเทียบค่าคะแนนตามตารางให้คะแนน RMR (Bieniaski, 1989) จากนั้นทำการรวมคะแนนในแต่ละจุดศึกษาตามสูตรสมการที่ 2 ได้ออกมาเป็นค่าคะแนน RMRb ที่นำไปใช้ต่อใน SMR

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าพารามิเตอร์ และการให้คะแนนตามตาราง (RMR) ของจุดศึกษา KN1

Paramter	Value	Rating
1.กำลังอัดของหินปราศความไม่ต่อเนื่อง	11.03 MPa	15
2.การกำหนดคุณภาพหิน (RQD)	78.75%	17
3.ระยะห่างรอยแตก รอยแยก	426.1 mm.	10
4.สภาพของรอยแตก	Discontinuities length <1 m, no separation, slightly rough, no infilling, slightly weathered	26
5.สภาพการไหลของน้ำ	completely dry	15
RMRb		83

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าพารามิเตอร์ และการให้คะแนนตามตาราง (RMR) ของจุดศึกษา KN2

Paramter	Value	Rating
1.กำลังอัดของหินปราศความไม่ต่อเนื่อง	12.39 MPa	15
2.การกำหนดคุณภาพหิน (RQD)	75.25%	17
3.ระยะห่างรอยแตก รอยแยก	327.8 mm.	10
4.สภาพของรอยแตก	Discontinuities length <1 m, separation 0.1-1 mm, slightly rough, no infilling, slightly weathered	24
5.สภาพการไหลของน้ำ	completely dry	15
RMRb		81

4.10 ผลการจำแนกคุณภาพของลาดเอียงหินอย่างละเอียดโดยวิธี Slope Mass Rating (SMR)

ตามสมการของ SMR (Romana, 1985) ที่มีพารามิเตอร์ที่เพิ่มขึ้นมา ได้แก่ F1 F2 F3 F4 นั้นเมื่อวิเคราะห์แล้วได้คะแนนดังนี้ F1 ทั้ง 2 ฝั่งได้เท่ากันคือ 0.15 แสดงว่าทิศทางการเอียงเทของลาด

เอียงหิน กับทิศทางการลื่นนั้นวางตัวไม่ค่อยขนาน F2 KN1 ได้ 0.40 แต่ KN2 ได้ 0.15 เนื่องจากมุมเอียง
 เทของลื่นนั้น KN1 ชันกว่า KN2 F3 ทั้ง 2 ฝั่งได้เท่ากันคือ -60 เพราะมุมเอียงเทของลื่นนั้นต่ำกว่ามุม
 เอียงเทของหน้าลาดเอียงหิน ซึ่งจะทำให้มีการปรากฏเห็น (Day light) และ F4 โดยหน้าลาดเอียงหิน
 นี้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จึงได้คะแนน 15 เหมือนกันทั้ง 2 ฝั่ง ดังตารางที่ 4.15 และ 4.16

- การจำแนกคุณภาพของลาดเอียงหินอย่างละเอียดโดยวิธี SMR จุดศึกษา KN1

Mode of failure : Wedge failure

Method of excavation : Natural slope

Slope dip direction α_s : 70 degree

Plunge direction of line of intersection α_i : 35 degree

Slope dip β_s : 36 degree

Plunge of line of intersection β_i : 23 degree

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าพารามิเตอร์ และการให้คะแนนตามตาราง (SMR) ของจุดศึกษา KN1

Parameter	Degree	Rating
F1 $\alpha_s - \alpha_i$	35	0.15
F2 β_i	23	0.40
F3 $\beta_i - \beta_s$	-13	-60
F4	Natural slope	15

- การจำแนกคุณภาพของลาดเอียงหินอย่างละเอียดโดยวิธี SMR จุดศึกษา KN2

Mode of failure : Wedge failure

Method of excavation : Natural slope

Slope dip direction α_s : 292 degree

Plunge direction of line of intersection α_i : 344 degree

Slope dip β_s : 32 degree

Plunge of line of intersection β_i : 11 degree

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าพารามิเตอร์ และการให้คะแนนตามตาราง (SMR) ของจุดศึกษา KN2

Parameter	Degree	Rating
F1 $\alpha_s - \alpha_i$	52	0.15
F2 β_i	11	0.15
F3 $\beta_i - \beta_s$	-21	-60
F4	Natural slope	15

จากการนำค่า RMR_b ที่มีค่าสูงเนื่องจากมวลหินมีความแข็งแรงมาก มาพิจารณาต่อตามสมการของ SMR (Romana, 1985) โดยมีพารามิเตอร์ที่เพิ่มขึ้นมา ได้แก่ F1 F2 F3 F4 ซึ่งจะต้องพบรูปแบบการพังทลายจากการทำ kinematic Analysis ที่ทั้ง 2 ฝั่ง พบเป็นแบบลิ้ม หน้าลาดเอียงหน้ากับลิ้มก็ไม่ขนานกันเท่าไร มุมเอียงเทของลิ้มก็ไม่สูงมาก แต่มุมเอียงเทของลิ้มนั้นต่ำกว่ามุมเอียงเทของหน้าลาดเอียงหิน ซึ่งจะทำให้มีการปรากฏเห็น (Day light) และหน้าลาดเอียงหินทั้ง 2 ฝั่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เมื่อทำการคำนวณออกมาจึงได้ค่าคะแนนของ Slope Mass Rating (SMR) เท่ากับ 94.4 และ 94.65 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก จัดได้ว่าเป็นหน้าลาดเอียงให้ที่อยู่ในอันดับ 1 (Class I) มีเสถียรภาพความมั่นคงสูง (Completely stable) และมีค่าโอกาสเกิดการพังทลาย (Probability of failure) เป็น 0 ดังตารางที่ 4.17 เมื่อเป็นหน้าลาดเอียงหินที่แข็งแรงถึงระดับนี้จึงไม่จำเป็นต้องมีการป้องกันการพังทลาย (Support) ใดๆ

ตารางที่ 4.17 แสดงผลการประเมินความมั่นคงตามวิธี Slope Mass Rating (SMR)

Slope	Mode of failure	RMR _b	F1	F2	F3	F4	SMR	Class	Stability	Probability of failure
KN1	Wedge	83	0.15	0.40	-60	15	94.4	I	Completely stable	0
KN2	Wedge	81	0.15	0.15	-60	15	94.65	I	Completely stable	0

บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล

5.1 อภิปรายผล

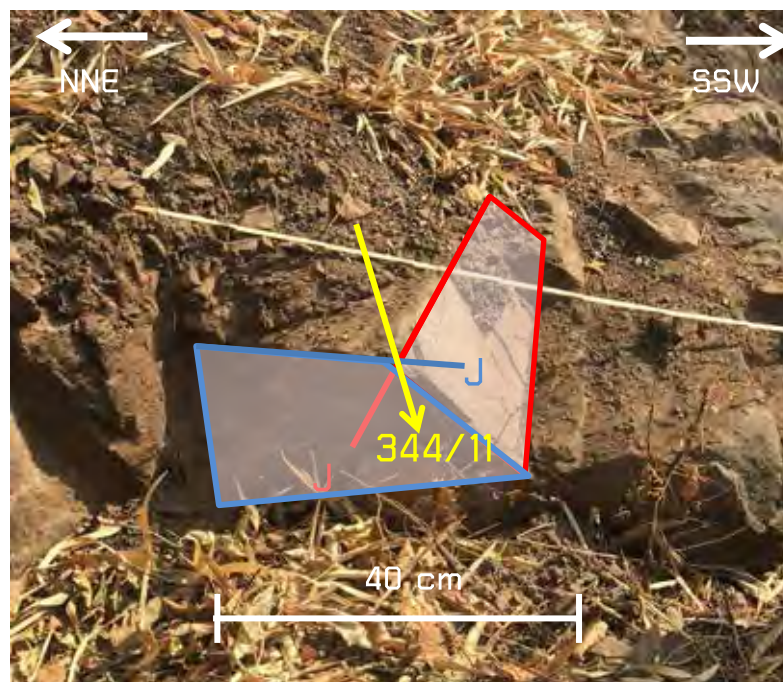
จากการประเมินเสถียรภาพของลาดเอียงหินตามวิธี Slope Mass Rating (SMR) ทั้ง KN1 KN2 เท่ากับ 94.4 และ 94.65 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ไม่ต่างกัน และสูงมาก จัดได้ว่าเป็นหน้าลาดเอียงให้ที่อยู่ในอันดับ 1 (Class I) มีเสถียรภาพความมั่นคงสูง (Completely stable) และมีค่าโอกาสเกิดการพังทลาย (Probability of failure) เป็น 0 ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากค่าคะแนนการจัดอันดับมวลหิน Rock Mass Rating (RMR) ได้คะแนนสูงถึง 83 และ 81 ตามลำดับ เพราะเป็นหินแอนดีไซต์ มีความแข็งแรงสูง แล้วการวิเคราะห์แบบโคเนมาติกประเมินรูปแบบการพังทลายที่ได้เป็น แบบลิ้ม ทั้ง 2 ฝั่ง เนื่องแนวการวางตัวของลิ้มมีความขนานกันต่อกับระนาบของหน้าลาดเอียงหิน มุมเอียงของลิ้มมีความลาดชันต่ำ และมุมเอียงของหน้าลาดเอียงหินก็มีความลาดชันต่ำเช่นกัน จึงมีความเป็นไปได้สูงที่ในการประเมินครั้งนี้ ได้ค่าคะแนน Slope Mass Rating (SMR) สูงมาก

ส่วนรูปแบบการพังทลายที่พบเป็นแบบลิ้มนั้น เมื่อทำการสำรวจในภาคสนามแล้ว มีการพบเป็นลิ้มที่เกิดจากการตัดกันของแนวรอยแตก 2 รอย ตามการวิเคราะห์แบบโคเนมาติกจริงทั้ง 2 ฝั่ง ดังรูปที่ 5.1 และ 5.2 แต่เนื่องจากรอยแตกนั้นมีระยะห่างกันตั้งแต่ 10 ถึง 40 เซนติเมตร เพียงเท่านั้น ซึ่งเป็นตัวควบคุมขนาดของลิ้ม อีกทั้งสภาพของรอยแตกส่วนใหญ่ มีความยาวของรอยแตกละเอียดกว่า 1 เมตร การเปิดของรอยแตกมีตั้งแต่ปิดถึงเพียงแค่ว่า 1 มิลลิเมตร ทำให้ได้รับผลกระทบจากแรงดันน้ำน้อย ความขรุขระของรอยแตกที่สูงทำให้มีแรงยึดเหนี่ยว และยังมีการผูกพันของรอยแตกที่ต่ำ ดังรูปที่ 5.3 จึงพบเป็นแค่เพียงลิ้มขนาดเล็กที่มีการยึดเกาะอยู่ในมวลหินอย่างแข็งแรง

ถึงแม้ว่าต่อไปในอนาคตหินมีการผุพังเพิ่มมากตามกาลเวลาและสภาพอากาศ จนอาจส่งผลให้หน้าลาดเอียงหินนี้มีการพังทลาย ก็จะมีเพียงแค่การพังทลายแบบลิ้มขนาดเล็ก และหินร่วงหล่น (Rock Fall) ที่มีขนาดเล็กตามระยะห่างของรอยแตกที่น้อย และเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจากการที่มีรอยแตกตัดกันถึง 4 แนว โดยการสันนิษฐานนี้มีหลักฐานสนับสนุนจาก การพบหินร่วงหล่น (Rock Fall) ที่มีขนาดเล็กเป็นรูปทรงกล่องอยู่ตามพื้นบริเวณหน้าลาดเอียงหิน ดังรูปที่ 5.4 ที่อาจเกิดจากการพังทลายในอดีต จึงไม่เป็นอันตรายต่อโครงสร้างของตัวเขื่อนที่ใช้หน้าลาดเอียงหินนี้เป็นที่ค้ำยัน แต่ถ้ากังวลว่าจะเป็นอันตรายจากหินที่ร่วงหล่นแล้วอยู่เดิมก็สามารถทำป้ายเตือนหินร่วงหล่น หรือทำตาข่ายป้องกันการร่วงหล่นของหินบริเวณที่หน้าลาดเอียงหินได้ตามงบประมาณ



รูปที่ 5.1 แสดงลิ้มที่พบในจุดศึกษา KN1



รูปที่ 5.2 แสดงลิ้มที่พบในจุดศึกษา KN2



รูปที่ 5.3 แสดงสภาพรอยแตก



รูปที่ 5.4 แสดงหินที่ร่วงลงอยู่ตามบริเวณหน้าลาดเอียงหิน

5.2 สรุปผล

จากการประเมินเสถียรภาพของลาดเอียงหินด้วยวิธี Slope Mass Rating (SMR) ได้คะแนนความมั่นคงของจุดศึกษา KN1 และ KN2 เท่ากับ 94.4 และ 94.65 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก จัดได้ว่าเป็นหน้าลาดเอียงให้ที่อยู่ในอันดับที่ 1 (Class I) มีเสถียรภาพความมั่นคงสูง (Completely stable) และมีค่าโอกาสเกิดการพังทลาย (Probability of failure) เป็น 0 เมื่อเป็นหน้าลาดเอียงหินที่แข็งแรงถึงระดับนี้จึงไม่จำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันการพังทลาย (Support) ใดๆ

แม้ว่าจะพบการพังทลายรูปแบบลิ่มตามการวิเคราะห์แบบโคเนมาติกจริงทั้ง 2 ฝั่ง ถือว่าเป็นลิ่มที่มีขนาดเล็ก และยังคงยึดติดอยู่กับมวลหินอย่างเหนียวแน่นตามการประเมินด้วยวิธี Slope Mass Rating (SMR) ที่ได้ค่าความมั่นคงสูงมาก จึงให้ความมั่นใจได้ว่าเป็นหน้าลาดเอียงหินที่แข็งแรงสามารถเป็นฐานยันเขื่อนรองรับแรงดันจากน้ำหนักของโครงสร้างตัวเขื่อน และน้ำได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี. 2528. แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย 1:250,000 ราวาง ND47-8 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.
- ปรัชญา เทพนรงค์. 2556. รายงานการวิจัยการประเมินเสถียรภาพและการพังทลายของความลาดเอียงมวลหินตามแนวถนนทางหลวงในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์: สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ลัดดา วรรณขาว. 2542. เอกสารคำสอนกลศาสตร์หินเบื้องต้น (Fundamental of Rock Mechanics) : ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ภาควิชาธรณีวิทยา. 2549. โครงการศึกษาเพิ่มเติมด้านธรณีวิทยา ธรณีวิทยาโครงสร้างและธรณีเคมี เพื่อโครงการพัฒนาที่ดินของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี : ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- อัมรินทร์ บุญตัน. 2534. คู่มือปฏิบัติการกลศาสตร์หิน (Rock Mechanics Laboratory) : ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- Bieniawski, Z. T. 1989. Engineering rock mass classifications (p. 251). New York: John Wiley.
- Goh et al. 2016. Rock Slope Stability Assessment Using Slope Mass Rating (SMR) Method: Gunung Lang Ipoh Malaysia.
- Hoek,E. and Bray, J. 1977. Rock stope Engineering, Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Romana, M. 1985. New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. In International Symposium on the Role of Rock Mechanics (pp. 49–53). Zacatecas, Mexico.

ภาคผนวก

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าข้อมูลระนาบรอยแตกของจุดศึกษา KN1

NO.	Set	strike	dip angle	dip direction
1	1	128	78	218
2	1	127	77	217
3	1	126	82	216
4	1	122	79	212
5	1	130	89	220
6	1	120	83	210
7	1	125	82	215
8	1	122	84	212
9	1	132	68	222
10	1	118	77	208
11	1	110	79	200
12	1	127	81	217
13	1	107	80	197
14	2	159	86	249
15	2	157	87	247
16	2	154	86	244
17	2	176	79	266
18	2	172	82	262
19	2	142	61	232
20	2	158	80	248
21	2	168	85	258
22	2	172	84	262
23	2	177	84	267
24	2	168	73	258
25	2	169	72	259
26	2	174	88	264
27	3	40	85	130

28	3	42	80	132
29	3	30	87	120
30	3	40	82	130
31	3	45	78	135
32	3	32	85	122
33	3	40	78	130
34	3	44	70	134
35	3	20	70	110
36	3	25	70	115
37	3	33	69	123
38	3	33	75	123
39	4	273	24	3
40	4	270	10	0
41	4	290	25	20
42	4	305	20	35
43	4	310	25	40
44	4	306	27	36
45	4	315	25	45
46	4	320	30	50
47	4	320	22	50
48	4	309	13	39
49	4	313	23	43
50	4	300	15	30

ตารางที่ 6.2 แสดงค่าข้อมูลระนาบรอยแตกของจุดศึกษา KN2

NO.	Set	strike	dip angle	dip direction
1	1	135	83	225
2	1	142	78	232
3	1	160	60	250
4	1	137	80	227
5	1	130	73	220
6	1	128	80	218
7	1	131	80	221
8	1	120	88	210
9	1	133	87	223
10	1	120	86	210
11	1	111	68	201
12	1	128	83	218
13	1	122	72	212
14	2	154	80	244
15	2	163	83	253
16	2	172	85	262
17	2	171	61	261
18	2	170	64	260
19	2	169	72	259
20	2	165	77	255
21	2	169	71	259
22	2	163	65	253
23	2	162	64	252
24	2	169	73	259
25	2	173	68	263
26	2	172	69	262
27	3	29	84	119
28	3	64	80	154
29	3	64	64	154

30	3	47	72	137
31	3	58	48	148
32	3	57	77	147
33	3	57	79	147
34	3	60	76	150
35	3	40	81	130
36	3	36	77	126
37	3	37	78	127
38	3	33	77	123
39	4	286	8	16
40	4	285	15	15
41	4	270	14	0
42	4	275	13	5
43	4	290	15	20
44	4	303	14	33
45	4	295	14	25
46	4	312	10	42
47	4	308	20	38
48	4	280	24	10
49	4	282	7	12
50	4	268	12	358

