

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาวิจัย ข้อเสนอแนะ และการนำไปใช้ประโยชน์

6.1 สรุปผลการวิเคราะห์เชิงความน่าจะเป็นของเสถียรภาพความลาดของผนังบ่อเหมืองแม่เมาะ พื้นที่ C1 West-wall ด้วยวิธีดิสกรีตเอลิเมนต์ 3 มิติ

- 1) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PEM ประเมิน Probability of Failure เนื่องจากความไม่แน่นอนของสมบัติกำลัง (Contacts shear strength variation) ให้ค่าเฉลี่ยของ FS อยู่ระหว่าง 0.95 – 2.77 โดยกรณี Case 3 แบบจำลองของ Blocks มวลหิน UB ปริมาณ 43 MBCM ที่ทิ้งไว้ตามแนวทิศการปรับแบบของเหมืองแม่เมาะ สภาวะระดับแรงดันน้ำสูงสุด ให้ค่า FS < 1 คิดเป็น Probability of Failure มากที่สุดเท่ากับ 0.50 หรือ 50% (Failure 8 models จากทั้งหมด 16 models) โดยในสภาวะแห้งแบบจำลองทั้งหมดมีเสถียรภาพ
- 2) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Approximate Monte Carlo ประเมิน Probability of Failure เนื่องจากความไม่แน่นอนของทิศทางการวางตัวของธรณี โครงสร้าง (Structures orientation variation) ให้ค่าเฉลี่ยของ FS อยู่ระหว่าง 1.02 – 2.71 โดยกรณี Case 3 แบบจำลองของ Blocks มวลหิน UB ปริมาณ 43 MBCM ที่ทิ้งไว้ตามแนวทิศการปรับแบบของเหมืองแม่เมาะ สภาวะระดับแรงดันน้ำสูงสุด ให้ค่า FS < 1 คิดเป็น Probability of Failure มากที่สุดเท่ากับ 0.22 หรือ 22% (Failure 9 models จากทั้งหมด 40 models) โดยในสภาวะแห้งแบบจำลองทั้งหมดมีเสถียรภาพ
- 3) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นรูปแบบการเคลื่อนตัวของมวลหิน สอดคล้องตามสมมติฐานที่กำหนดให้รูปแบบการเคลื่อนตัวของมวลหินขึ้นอยู่กับการควบคุมโครงสร้างในมวลหิน (Structurally-controlled failure mechanism) โดยรูปแบบการเคลื่อนตัวของมวลหิน (Mode of Failure) เป็นการเลื่อนไถลแบบ Block translational sliding ตามระนาบความไม่ต่อเนื่อง หรือ ที่เหมืองแม่เมาะเรียกเป็น Mode 4 – Blocks sliding along bedding shears or weak layers โดยทิศทางการเคลื่อนตัวออกไปทางหน้าเปิดทิศตะวันออกตรง ๆ มีขนาดความสูงรวมประมาณ 70 เมตร ความกว้าง 250 เมตร โดยบล็อกชุดหน้าบริเวณ Toe slope ส่วนฐานเคลื่อนออกมากที่สุด มีขนาดการเคลื่อนที่ก่อน

การเลื่อนพังทลาย (ถึงเกณฑ์ Stopping criteria ที่พิจารณาให้แบบจำลองหยุดคำนวณ เมื่อกลุ่มบล็อกแสดงสภาวะการพังทลาย) ประมาณ 0.02 ถึง 0.03 เมตร ซึ่งหลังการพังทลายกลุ่มบล็อกจะเลื่อนไถลตัวต่อเนื่อง และมีขนาดการเคลื่อนตัวมากยิ่งขึ้นจนหลุดออกอย่างสมบูรณ์

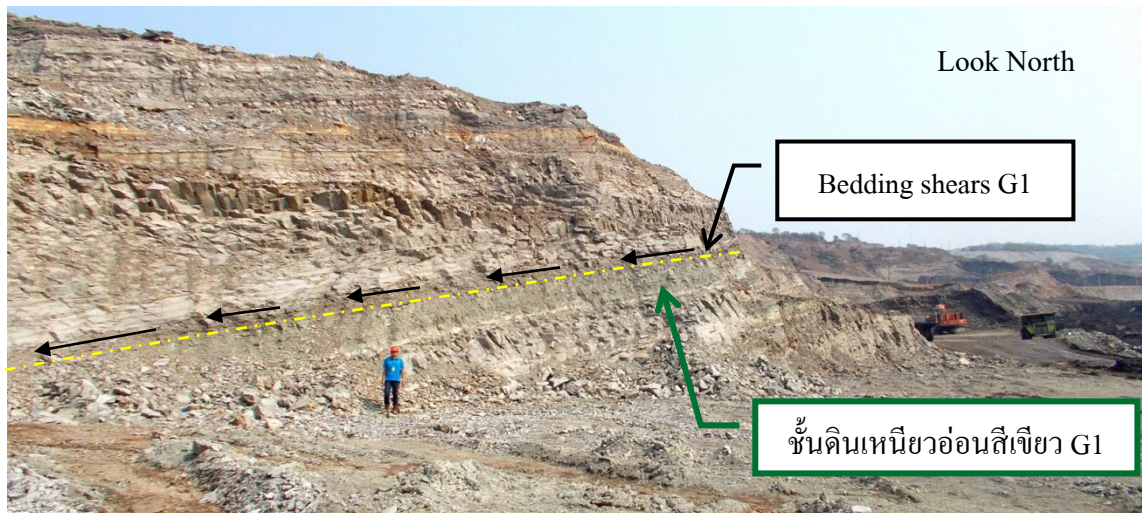
- 4) ระดับแรงดันน้ำในโครงสร้างตามแนวย่อยแตก และระนาบรอยเลื่อน มีผลต่อเสถียรภาพของผนังบ่อเหมืองเป็นอย่างมาก ดังผลการวิเคราะห์ใน Case 3 และ Case 4 ที่ระดับน้ำสูงสุด (Saturated condition) เสมอระดับผิวเปิด หรือ คิดเป็นระดับหัวแรงดัน (Head) เต็มที่เท่ากับความสูงเชิงลาด 150 เมตร โดยเพิ่มโอกาสการพังทลายของกลุ่มบล็อกถึงสูงสุด 50%

6.2 สรุปความเสี่ยงด้านเสถียรภาพของผนังบ่อเหมืองแม่เมาะพื้นที่ C1 West-wall

ผลจากการวิเคราะห์ แสดงให้เห็นแนวโน้มของรูปแบบการพังทลาย และขอบเขตพื้นที่ที่มีศักยภาพที่จะเกิดการพังทลายของกลุ่มมวลหิน ถึงแม้ทิศทางการวางตัวของธรณี โครงสร้างชั้นหินมีทิศทางเอียงตัวค่อนข้างมาทางทิศใต้ ด้วยมุมเอียงเทค่อนข้างราบ โดยเฉพาะพื้นที่ในส่วนทิศเหนือของ C1 West-wall แสดงดังรูปที่ 6.1

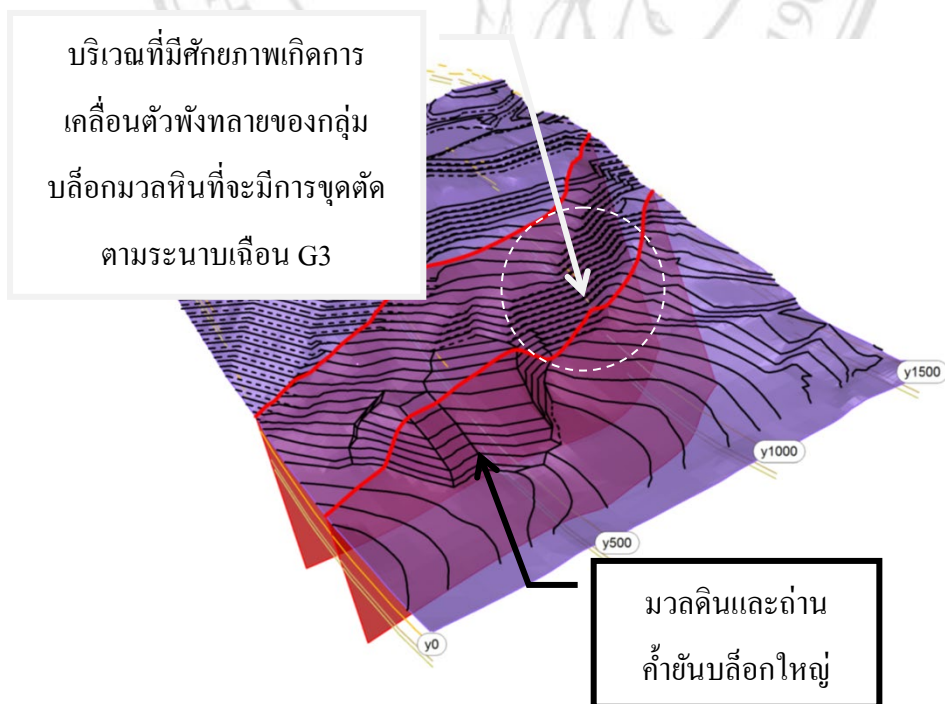


รูปที่ 6.1 สภาพเชิงลาดหน้าชุดพื้นที่ C1 West-wall สภาพการณ์ปี 2559



รูปที่ 6.1 (ต่อ) สภาพเชิงลาดหน้าจุดพื้นที่ C1 West-wall สภาพการณ์ปี 2559

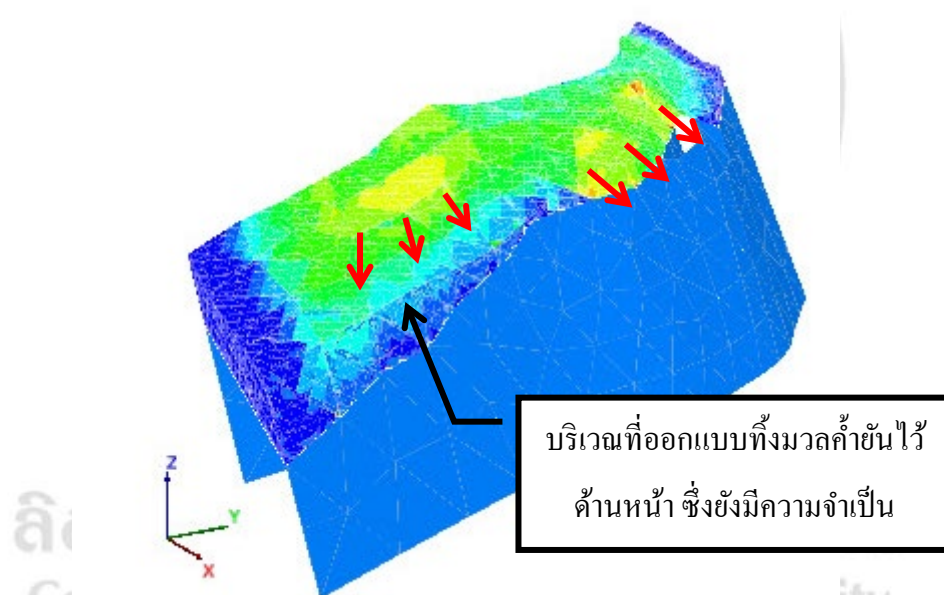
โดยสรุปพบว่า รูปแบบการเคลื่อนตัวของกลุ่มบล็อกมวลหิน UB claystones ครอบคลุมบริเวณ ส่วนบนเหนือ Bedding shears plane และ Weak layers ชั้น G3 แสดงดังรูปที่ 6.2 ซึ่งต้อง พิจารณาวิธีการเสริมเสถียรภาพของมวลหินส่วนนี้เพิ่มเติม อาจด้วยวิธีการทิ้งมวลค้ำยันเพิ่ม หรือ ปรับแบบลดความชัน โดยชุดมวลหินส่วนหนึ่งออก



รูปที่ 6.2 C1 West-wall ตามแบบที่มีมวลค้ำยันอยู่ด้านล่าง

ทั้งนี้ เนื่องจากแรงดันน้ำในรอยแตกเป็นปัจจัยสำคัญที่กระทบต่อเสถียรภาพของบล็อกมวลหิน ดังนั้น แนวทางที่เป็นไปได้มากที่สุดในการปฏิบัติ และเหมาะสมสอดคล้องกับการทำเหมืองปัจจุบัน คือ การควบคุมระดับแรงดันน้ำในรอยแตกของมวลหิน ด้วยหลุมเจาะระบายน้ำแนวนอน (Horizontal drain) ร่วมกับหลุมสูบควบคุมระดับแรงดันน้ำใต้ดินบริเวณฐานมวลหินในระดับลึกลงไป (Depressurization wells)

ด้านมวลค้ำยันบริเวณ N 19 – N 21 จะยังมีความจำเป็น เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ในช่วงต้น ที่พฤติกรรมเคลื่อนตัวของกลุ่มบล็อกมวลหินจะมีการเคลื่อนตัวสูงในช่วง N 17 – N 20 สอดคล้องกับทิศทางการวางตัวของระนาบชั้นหินและรอยเลื่อน ที่เอียงทำมุมชันมากยิ่งขึ้น ทำให้แนวโน้มและทิศทางการเคลื่อนตัวของบล็อกเล็ก ๆ ส่วนบน จะหลุดออกจากหน้าเปิด ทิศตะวันออก และทิศตะวันออกเฉียงใต้ หากไม่มีมวลค้ำยันอยู่ด้านหน้า



รูปที่ 6.3 ภาพรวมการเคลื่อนตัวของบล็อกมวลหินที่ C1 West-wall จากแบบจำลอง

6.3 บทเรียนจากปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะ

- การวิเคราะห์ปัญหาในงานวิศวกรรมกลศาสตร์หิน ด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลข เป็นงานที่ต้องอาศัยการเรียนรู้ฝึกฝน มีรายละเอียด ข้อจำกัด ความสามารถ ประเด็นสำคัญที่ต้องศึกษา ทำความเข้าใจในระเบียบวิธีให้ลึกซึ้งก่อนใช้งาน ที่สำคัญยิ่ง ผู้ใช้ต้องมีความรู้หลักวิชาการพื้นฐานในระดับสูง จึงจะสามารถใช้ประโยชน์จาก Code หรือโปรแกรมแบบจำลอง ได้อย่างถูกต้องเหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุด
- งานขึ้นรูปแบบจำลอง 3 มิติ ด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง เป็นงานที่ทำหาย ไม่เพียงต้องใช้มุมมองและทักษะทางด้านวิศวกรรมในการพิจารณากำหนดขอบเขต คัดกรอง และเลือกใช้ข้อมูลธรณี โครงสร้างที่จำเป็นต่อการสร้างแบบจำลอง ทั้งนี้ ยังต้องอาศัยทักษะด้านงานศิลปะ การฝีมือ ความอดทน ที่จะเรียนรู้ฝึกฝน เพิ่มประสบการณ์ในการทำงาน เพื่อให้เกิดความชำนาญคล่องแคล่ว
- การวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพของผนังบ่อเหมืองแม่เมาะพื้นที่ C1 West-wall ในงานศึกษาวิจัยนี้ พบความยุ่งยากในการใช้คำสั่งอัตโนมัติใน 3DEC Code หากำ FS ด้วยเทคนิค SSR โดยส่วนหนึ่งเป็นเพราะ แนวทางการวิเคราะห์โดยพิจารณามวลหินเป็นมวลหินแตกหัก (Jointed rock mass) ประกอบไปด้วย Rigid blocks จำนวนมาก เกิดเป็นมวลรวมของก้อนขนาดใหญ่ (The assemblage of large rigid bodies) และเมื่อเทียบกับสเกลขนาดของพื้นที่ปัญหากับขนาด Blocks หิน ซึ่งมีสัดส่วนแตกต่างกันมาก คล้ายกับการพิจารณาเม็ดกรวดทรายในกระบะขนาดใหญ่ จึงเกิดปัญหาเนื่องจาก Scale effect ต้องแก้ปัญหาโดยการประยุกต์เทคนิค Manual SSR ซึ่งต้องใช้เวลาในการ Simulation แต่ละกรณีนานขึ้น ต้องคอยติดตามตรวจสอบพฤติกรรมของแบบจำลองและเลือกใช้ Stopping criteria ที่เหมาะสมกับปัญหาด้วยตนเอง
- แนวทางการวิเคราะห์เพิ่มเติมด้วยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3 มิติ ประเภท DEM ให้เหมาะสมกับลักษณะปัญหายิ่งขึ้น คือ พิจารณามวลหินในภาพรวม ปรับใช้การวิเคราะห์ด้วย Deformable blocks ซึ่งจะยังมีปัญหาสำคัญอีกข้อ และถือเป็นหัวข้องานที่ยากมากในเชิงกลศาสตร์ธรณีที่ต้องพิจารณาให้เหมาะสม คือ การประเมินพารามิเตอร์ Rock mass strength และ Deformability ให้ใกล้เคียงกับสภาพของมวลหินจริงในสนาม
- ตลอดระยะเวลาการทำงานศึกษาวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดของผนังบ่อเหมืองในครั้งนี้ ทำให้เข้าใจและตระหนักชัดว่า งานค้นคว้าวิจัย งานออกแบบวิศวกรรม และ

ปฏิบัติการ ที่เกี่ยวกับกลศาสตร์ธรณี เป็นเรื่องท้าทายอย่างยิ่งขุด เนื่องจากปัญหา พื้นฐานของวัสดุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีความแปรปรวนไม่แน่นอนสูง มีความไม่ ต่อเนื่อง ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีสมบัติทางวิศวกรรมในแต่ทิศทางไม่เท่ากัน บ่อยครั้ง ข้อมูลที่เป็นจริงมักคลาดเคลื่อนเหนือการคาดการณ ดังนั้น การพิจารณาแก้ปัญหาในงาน ธรณีวิศวกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องพิจารณาปัญหาในภาพรวม เช่นมวลหิน (Rock mass) จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยพื้นฐานความไม่แน่นอนเหล่านี้ โดยใช้ทักษะ แนวคิด และ วิจารณ์งานเชิงวิศวกรรมที่ดีประกอบในการพิจารณา ดังที่ Prof. Leopold Müller ผู้ ก่อตั้ง International Society for Rock Mechanics (ISRM) ได้กล่าวไว้ในปี 1966 ดังนี้

Design has been going beyond our understanding. “...*discontinuity and anisotropy* are the most characteristic properties of the material rock ... the properties of jointed media depend much more upon the joints of the unit rock block system than upon the rock material.” (ISRM Congress 1966)

Prof. Leopold Müller.
ISRM Founder

Malpasset Dam Site; ca 1971

Designs going beyond our understanding.

...discontinuity and anisotropy
are the most characteristic properties of the material rock
the properties of jointed media depend much more upon the joints of the unit
rock block system than upon the rock material. (ISRM Congress 1966)

add
Heterogeneity!

* Site visit led by Pierre Londe (right front); Behind (left to right) C.Fairhurst, E.Hoek, H.Kutter.

Columnar basalt
10~20 cm 'diameter
(Baihetan Dam, China)

รูปที่ 6.4 Quote of Prof. Leopold Müller presented in the ISRM online lecture

“Why Rock Mechanics and Rock Engineering?” by Prof. Charles Fairhurst, April 2017

<http://www.isrm.net/gca/?id=1309>