เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขา โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

กาญจนา กัณหะยูวะ[1], พิทักษ์ รักสัตย์[2], ปรีดานันต์ มณีวงศ์[3], กัมปนาท ขวัญศิริกุล[4] และอุทัย หงส์ใจสี[5]

ส่วนวิศวกรรมธรณี สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา กรมชลประทาน

Email: kanjana__kan@rid.go.th[1], pitak__raksat@rid.go.th[2], preedanan__ja@hotmail.com[3], kompanart__kwan@rid.go.th[4], uthai__hong@rid.go.th[5]

บทคัดย่อ

โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน เป็นโครงการอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง มีความสูงของเขื่อน 61.00 เมตร ความยาวของเขื่อน 335.00 เมตร และกักเก็บน้ำได้ 13.33 ล้านลูกบาศก์เมตร สภาพธรณีวิทยาสัณฐานโดยทั่วไปของโครงการ บริเวณสองข้างของฐานยันเขื่อนเป็นเทือกเขาสูงชันที่อาจเกิดโอกาสการพังทลายของมวลดินและมวลหิน จากกลุ่มดินทรายแป้งที่วางปิดทับมวลหินปูนเนื้อดินที่แทรกสลับกับหินทรายแป้งที่แตกหักในสภาพแห้ง (slaking) การวางตัวของชั้นหิน อยู่ในทิศทาง strike/dip โดยเอียงเทไปทางท้ายน้ำ การวิเคราะห์เสถียรภาพจำแนกออกเป็น 2 วิธี คือ

1) การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินบนลาดไหล่เขา โดยใช้วิธีเจาะสำรวจหาความหนาและคุณสมบัติของชั้นดินด้วยสว่านมือ เพื่อนำไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SLOPE/W ในสภาวะ steady state ที่ระดับการกักเก็บน้ำต่างๆ กัน

2) การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดหินบนลาดไหล่เขา โดยใช้หลักการจลศาสตร์ (Kinematic) เพื่อหาโอกาสการพิบัติของมวลหินในรูปแบบต่างๆ และการวิเคราะห์โดยใช้วิธีของ Bieniawski (1989) เพื่อจำแนกคุณภาพมวลหิน (RMR) แล้วประยุกต์หาคุณภาพมวลหินบนลาดไหล่เขา (SMR) ตามวิธีของ Romana (1993) เพื่อเป็นแนวทางให้กับวิศวกรออกแบบ เพื่อการปรับปรุงพื้นที่บนลาดไหล่เขาให้มีเสถียรภาพที่มั่นคง ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพความมั่นคงของลาดไหล่เขา พบว่ามวลดินบนลาดไหล่เขามีค่าความปลอดภัย (FS) มากกว่า 1.30 จึงไม่พบการพังทลายบริเวณรอบอ่างเก็บน้ำในทุกกรณี ส่วนมวลหินบนลาดไหล่เขามีโอกาสเกิดการพิบัติได้ 3 ลักษณะ ได้แก่ พิบัติแบบรูปลิ่ม พิบัติแบบระนาบ และพิบัติแบบพลิกคว่ำ คุณภาพมวลหินบนลาดไหล่เขา (SMR) โดยการประเมินร่วมกับการตรวจสอบสภาพจริงจากภาคสนาม พบว่า บริเวณลาดไหล่เขาฝั่งขวามีคุณภาพหินดี ส่วนบริเวณลาดไหล่เขาฝั่งซ้ายมีคุณภาพหินปานกลาง ยกเว้นตำแหน่งที่อยู่สูงกว่าอาคารระบายน้ำล้นค่อนไปทางท้ายน้ำ คุณภาพหินไม่ดี วิธีป้องกันการพังทลายและเสริมความมั่นคงของลาดไหล่เขาบริเวณลาดไหล่เขาฐานยันฝั่งขวาใช้วิธีขึงตาข่ายพร้อม

ยึดหมุดลงในเนื้อหิน และพ่นปูนปิดทับ (Shotcrete) ส่วนบริเวณลาดไหล่เขาฐานยันฝั่งซ้ายใช้วิธีป้องกันเช่นเดียวกับบริเวณฐานยันฝั่งขวา แต่ลาดไหล่เขาบริเวณที่อยู่สูงกว่าอาคารทางระบายน้ำล้นค่อนไปทางท้ายน้ำ ควรป้องกันโดยการเจาะและยึดเหล็ก (Anchor Bolt) ในบริเวณมวลหินคุณภาพสูง ส่วนบริเวณคุณภาพมวลหินต่ำปูด้วยตาข่าย (Wire mesh) พ่นปูน (Shotcrete) และสร้างกำแพงกันดิน (Gravity wall) พร้อมทั้งพิจารณาถึงระบบการระบายน้ำที่ดีและเพียงพอในบริเวณฐานยันทั้งสองฝั่ง

คำสำคัญ : *การจำแนกมวลหิน (RMR), การจำแนกมวลหิน (SMR)*

1. บทนำ

ตามที่รองอธิบดีกรมชลประทานฝ่ายก่อสร้าง (นายประพิศ จันทร์มา) พร้อมคณะประกอบด้วยที่ปรึกษากรม ด้านออกแบบ (นายสมเกียรติ ตั้งจตุพร) ได้เดินทางเพื่อติดตามความก้าวหน้าของการก่อสร้างโครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก (รูปที่ 1) เมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2560 และได้ให้ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับความมั่นคงของลาดหินบริเวณลาดไหล่เขาฝั่งซ้ายของอาคารระบายน้ำล้นซึ่งมีการตัดลาดไหล่เขาและเกิดการเคลื่อนตัวของลาดหินแต่ไม่ได้มีการออกแบบเพื่อเสริมความมั่นคงและการป้องกันการกัดเซาะไว้ จึงเห็นสมควรให้สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา ทำการสำรวจ เพื่อวิเคราะห์ปัญหาและหาแนวทางแก้ไขร่วมกัน สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา โดยส่วนวิศวกรรมธรณีซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบเรื่องการศึกษาความมั่นคงของลาดไหล่เขา จึงได้ทำการสำรวจวิเคราะห์ และประเมินความมั่นคงของลาดไหล่เขา ในบริเวณพื้นที่ก่อสร้างและพื้นที่รอบอ่างเก็บน้ำทั้งในส่วนลาดไหล่เขาที่เป็นดินและหิน (Soil and Rock Slope) ที่มีโอกาสที่จะเกิดการพังทลาย (Failures) เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประกอบการพิจารณาในการประเมินรูปแบบของโอกาสที่จะเกิดการพังทลายและแนวทางในการออกแบบเพื่อการป้องกันการพังทลายรวมถึงการกัดเซาะบริเวณลาดไหล่เขาของโครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน

รูปที่ 1 พื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน จังหวัดตาก (ภาพมุมสูง)

2. การศึกษา

2.1 สภาพธรณีวิทยา

สภาพธรณีวิทยาทั่วไปบริเวณโครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน จากข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:50,000 ของกรมทรัพยากรธรณี, พ.ศ. 2542 (รูปที่ 2) พื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษา พบว่าสภาพทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาเรียงตามลำดับอายุอ่อนถึงแก่ประกอบด้วยหินทั้งหมด 6 หน่วยดังนี้ ตะกอนน้ำพายุคควอเทอร์นารี (Qa) ตะกอนน้ำพา : ทราย ทรายแป้ง ดินเคลย์ ดินจากหินแกรนิต ทรายแป้ง ดินเคลย์สีขาว ดินสะสมอยู่กับที่ สีแดง ตะกอนตะพักลุ่มน้ำ

ตะกอนตะพักลุ่มน้ำยุคควอเทอร์นารี (Qt) ตะกอนเชิงเขา (Qt) : กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเคลย์

หินยุคจูแรสซิก (Jurassic) หน่วยหิน J1 ประกอบด้วย หินดินดาน เนื้อปูน สีเทา เป็นชั้นดีถึงเป็นชั้นหนา มีซากดึกดำบรรพ์ จำพวกแอมโมไนต์ หินปูน เนื้อดิน เป็นชั้นดีถึงเป็นชั้นหนา สีเทาถึง สีดำ และหินทรายแป้งพบกระจายตัวต่อเนื่องเป็นบริเวณกว้างทางตอนกลาง

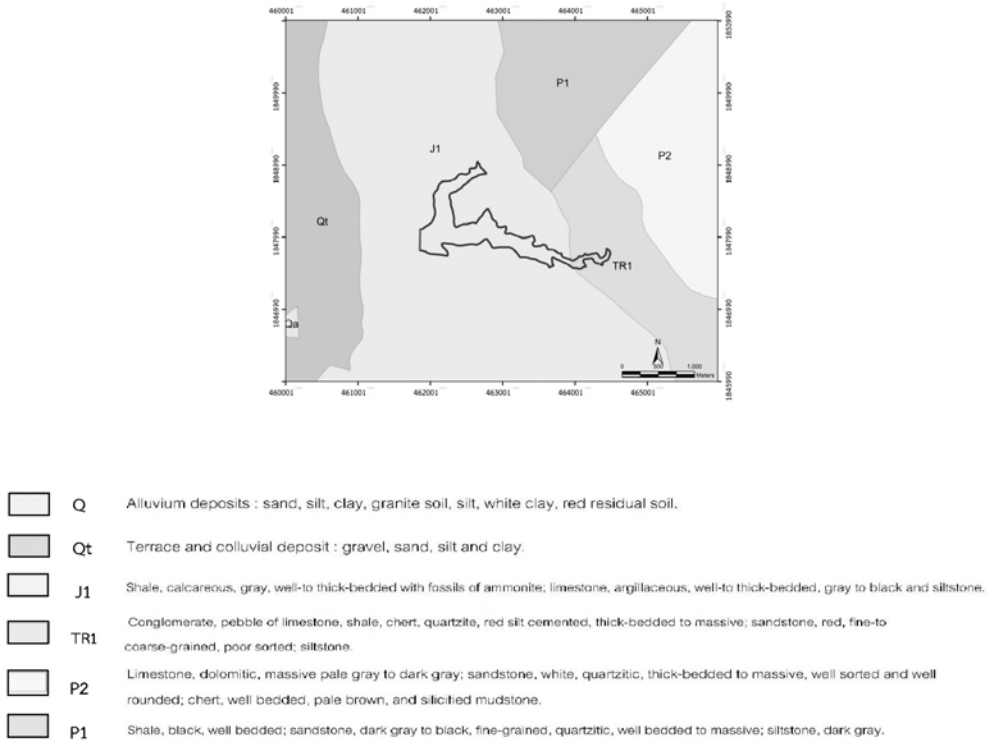
หินยุคไทรแอสซิก (Triassic) หน่วยหิน TR1 ประกอบด้วย กรวดของหินปูน หินดินดาน หินเชิร์ต หินควอร์ตไซต์ สมานเนื้อด้วยทรายแป้งสีแดง เป็นชั้นหนาถึงเป็นปื้น หินทรายสีแดง เนื้อละเอียดถึงหยาบ การคัดขนาดไม่ดี และหินทรายแป้ง พบบริเวณด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา

หินยุคเพอร์เมียน (Permian) สามารถแบ่งหน่วยหินออกเป็น 2 หน่วย คือ

หน่วยหิน P1 ประกอบด้วย หินดินดาน สีดำ แสดงชั้นดี หินทราย สีเทาเข้มถึงดำ เนื้อละเอียด เนื้อควอร์ต แสดงชั้นดีถึงไม่แสดงชั้น หินทรายแป้ง สีเทาเข้ม

หน่วยหิน P2 ประกอบด้วย หินปูนเนื้อโดโลไมต์ สีเทาอ่อนถึงเทาเข้ม ไม่แสดงชั้น หินทราย สีขาว เนื้อควอร์ต ชั้นหนาถึงไม่แสดงชั้น การคัดขนาดดีและความกลมมนดี หินเชิร์ต เป็นชั้นดี สีน้ำตาลอ่อน และหินโคลน เนื้อซิลิกา

หินยุคเพอร์เมียนพบกระจายตัวต่อเนื่องบริเวณขอบด้านตะวันออกและบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา โดยพบว่าหินทั้ง 3 ยุคมีการวางตัวแบบรอยชั้นไม่ต่อเนื่อง (Unconformity) ในบริเวณพื้นที่ศึกษา

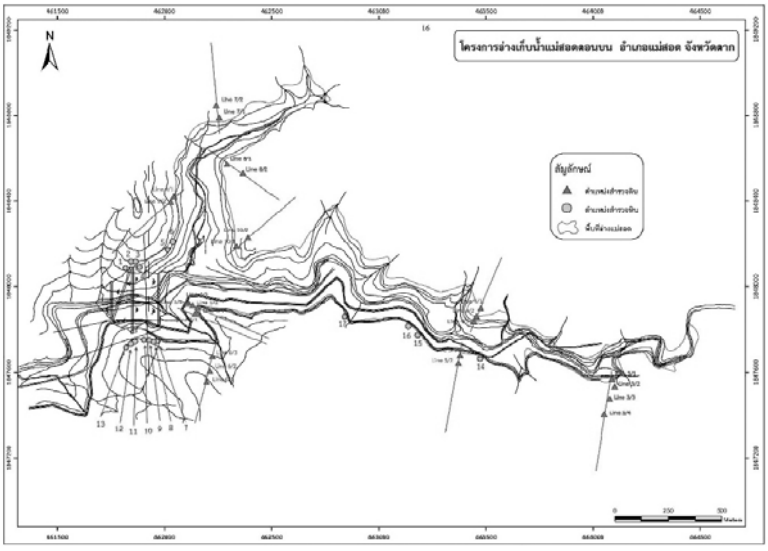


รูปที่ 2 แผนที่ธรณีวิทยาพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก (ดัดแปลงมาจากแผนที่ธรณีวิทยาระวางอำเภอแม่สอด มาตราส่วน 1:50,000 โดยกรมทรัพยากรธรณี, ปี 2542)

2.2 วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษาและวิเคราะห์เสถียรภาพลาดไหล่เขาของโครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบนได้แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ

1) การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน และ 2) การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดหิน รายละเอียดพื้นที่การสำรวจแสดงในรูปที่ 3 ดังนี้

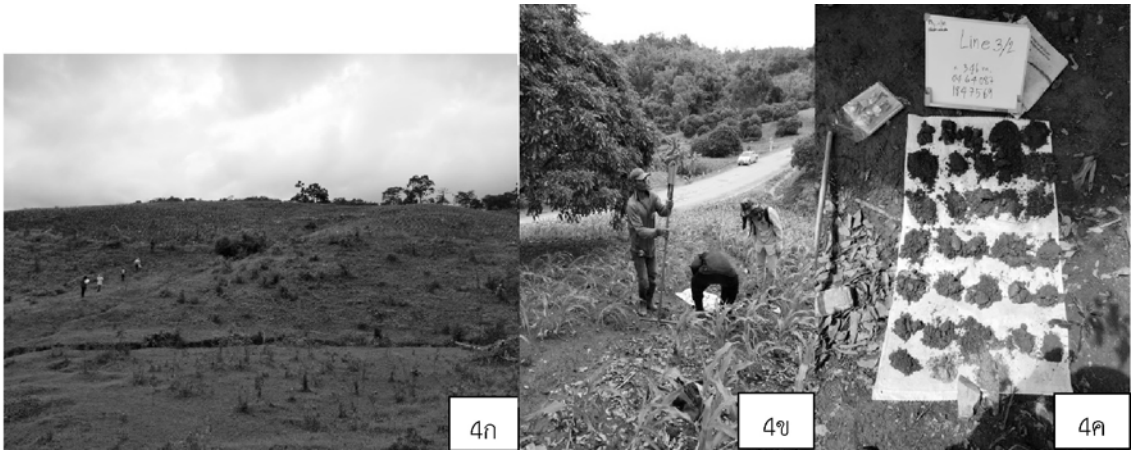


รูปที่ 3 แผนที่แสดงขอบเขตและแนวสำรวจเสถียรภาพลาดไหล่เขาบริเวณพื้นที่ศึกษา

1) การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน พื้นที่สำรวจกำหนดเป็นแนวสำรวจบนลาดไหล่เขาโดยรอบพื้นที่อ่างเก็บน้ำที่มีความลาดชัน และชั้นดินที่คาดว่ามีความหนาพอที่จะมีความเสี่ยงต่อการพังทลายของมวลดินบนลาดไหล่เขา ซึ่งวิธีสำรวจได้กำหนดแนวสำรวจทั้งหมดจำนวน 10 แนว โดยใช้สว่านเจาะดิน (Hand Auger) เจาะอย่างน้อย 3 หลุม

ต่อหนึ่งแนวสำรวจ กำหนดตำแหน่งเจาะสำรวจตรงตีนเขา กลางเขา และยอดเขา พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างที่เจาะเก็บได้มาจำแนก วิเคราะห์ แบ่งชนิดของกลุ่มดินแต่ละชั้น และหาค่าความหนาของชั้นดินบนลาดไหล่เขา (รูปที่ 4) เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SLOPE/W เพื่อวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าความปลอดภัย

จากการพังทลายของมวลดินบนพื้นที่ลาดชัน ในการคำนวณโดยการใส่ค่าตัวแปรต่างๆ ในสภาวะ steady state เพื่อเปรียบเทียบค่าความปลอดภัย (Factors of Safety) และความมั่นคงมวลดินบนลาดไหล่เขา โดยการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความหนาของชั้นดิน คุณสมบัติของกลุ่มดิน แบ่งหลักการวิเคราะห์ออกเป็น 4 กรณี ได้แก่ (1) กรณีระดับกักเก็บน้ำสูงสุด (2) กรณีระดับกักเก็บน้ำปกติ (3) กรณีระดับกักเก็บน้ำ 50% ของระดับกักเก็บ และ (4) กรณีระดับกักเก็บน้ำต่ำสุด โดยแต่ละกรณีได้เพิ่มการทดสอบความมั่นคงของมวลดินบนลาดไหล่เขาไว้ 3 แบบทดสอบ ได้แก่ (1) ไม่มีน้ำหนักกดทับ (no load) (2) เพิ่มน้ำหนักกดทับบนลาดไหล่เขา (Surcharge Load) และ (3) รับแรงกระทำจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว (seismic load) โดยเป็นการวิเคราะห์ในสภาวะ Steady State ทุกกรณี และทุกแบบทดสอบ โดยให้ชั้นดินทั้งหมดเป็น Silt (ML) ซึ่งเป็นกลุ่มดินส่วนใหญ่ที่กระจายตัวอยู่บนลาดไหล่เขา และเป็น Cohesion Soil เทียบได้กับ Sandy Loan ในตารางแสดงค่ามาตรฐานต่าง ๆ ของกลุ่มดิน โดยชั้นดินกลุ่ม Silt (ML) มีค่าพารามิเตอร์ที่เทียบคุณสมบัติค่าdensity (γ) = 1,600 Kg/m^3 (15.69 KN/m^3) เป็นชนิด Stiff Clay มีค่า Friction angle (Phi) = 15 องศา และมีค่า Cohesion (C) = 2,000 lb/ft2 (95.76 KPa)



รูปที่ 4 แสดงลักษณะของลาดไหล่เขา (4ก) การเจาะดินด้วยสว่านเจาะดิน (Hand Auger) (4ข) และตัวอย่างดินที่เจาะได้ (4ค)

2) การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดหิน ได้ดำเนินการสำรวจชนิด ลักษณะ ทิศทางการวางตัว แนวเอียงเท รอยแตกและความต่อเนื่องของหิน โครงสร้างทางธรณีวิทยา รวมทั้งทิศทางและความลาดชันของลาดไหล่เขาที่ปรากฏบริเวณพื้นที่สำรวจ กำหนดจุดสำรวจทั้งหมดจำนวน 17 จุด เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดไหล่เขาที่เป็นหิน การวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธี Kinematic (Stereographic Interpretation) เพื่อประเมินโอกาสและรูปแบบของการพังทลาย รวมถึงการวิเคราะห์โดยวิธี Rock Mass Rating (RMR) ของ Bieniaski (1989) เพื่อจำแนกคุณภาพของมวลหินโดยทำการวิเคราะห์ร่วมกับวิธี Slope Mass Rating (SMR) ของ Romana (1993) ซึ่งเป็นการพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการประเมินค่า RMR ร่วมกับความสัมพันธ์ของรอยแตกกับมุมลาดชันของการตัดลาดไหล่เขา (Joint-slope face relationship) พารามิเตอร์ที่ใช้ ขึ้นอยู่กับวิธีการขุดเปิดหรือตัดลาดไหล่เขา โดยจะแสดงผลเป็นคะแนนที่จะสามารถบอกคุณภาพของมวลหินบนลาดไหล่เขา พร้อมวิธีการออกแบบปรับปรุงไว้

2.3 ผลการศึกษา

ผลการสำรวจสภาพลาดดินจากภาคสนามพบว่า สภาพภูมิประเทศบริเวณพื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน จังหวัดตาก มีสภาพเป็นภูเขาสูงมีความลาดชันของลาดไหล่เขาประมาณ 20-30 องศา และจากผลการเจาะสำรวจด้วยสว่านมือ (Hand auger) บริเวณพื้นที่สำรวจส่วนใหญ่พบว่า ชั้นดินมีความหนาประมาณ 0.5 - 4.0 เมตร โดยเฉลี่ย 1.5 เมตร ชั้นดินส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดจากการผุพังของหินในพื้นที่ ซึ่งเป็นหินปูนเนื้อดิน (Argillaceous Limestone) แทรกสลับด้วยหินทรายแป้ง (Siltstone) จึงทำให้กลุ่มดินที่พบส่วนใหญ่เป็นดินกลุ่ม SM (Silty Sand) ML (Silt) มีเม็ดตะกอนละเอียด (Fine Grained) มีความเหนียวปานกลาง (Medium Plasticity Fines) สีน้ำตาลอ่อน ถึงเข้ม (Pale Brown to Dark Brown) มีเศษหินปะปน นอกจากนี้ยังมีชั้นดินกลุ่ม SM (Silty Sand) ที่มีเม็ดตะกอนละเอียด ไม่มีความเหนียว ถึงเหนียวเล็กน้อย (non to slight plasticity fines) มีกรวดทางน้ำ (Gravels, Gobbles, Boulders) เศษหินปะปนและเศษหินพลัดหล่น (Rock Fragments)

ผลการสำรวจสภาพลาดหินจากภาคสนามพบว่า พื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน ประกอบด้วย หินปูนเนื้อดิน (Argillaceous Limestone) เป็นชั้นค่อนข้างปานกลางถึงหนามาก (Medium to Thick Bedded) สีเทา (Gray) ครอบคลุมพื้นที่ฐานยันเขื่อนทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวา (รูปที่ 5 และ 6) มีแร่ประกอบหลักเป็นแร่แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และแร่ดิน (Clay Mineral) ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง (HCL Dilute) มีรูพรุนน้อย มีความแกร่งสูง (High Strength) วางตัวแทรกสลับด้วยหินทรายแป้ง (Intercalated with Siltstone) สีเทาเข้ม (Dark Gray) สีม่วงแดง (Purple Red) มีชั้นบางถึงปานกลาง (Thin to Medium Bedded) แตกหักง่าย และเกิดการแตกหักในสภาวะแห้ง (Slaking) จนเป็นเศษหิน

ป่นละเอียด (รูปที่ 7) สภาพธรณีวิทยาโครงสร้างของชั้นหินพบว่า มีแนวแตก (Joint) 3 ทิศทางใหญ่ๆ ได้แก่ แนวที่เกิดจากชั้นหินที่ตกตะกอน (Bedding) เอียงตัวไปทางท้ายน้ำด้วยมุมประมาณ 20-30 องศา และแนวแตกอีก 2 แนววางตัวอยู่ในแนวตั้งฉากกัน มีมุมรอยแตกค่อนข้างชันจนถึงอยู่ในแนวดิ่ง มีสภาพแนวแตกที่ขรุขระ (Rough Surface) ทิศทางการวางตัวของรอยแตกในเนื้อหินจะสอดคล้องกับรอยแตกที่เกิดในชุดหินปูนที่วางตัวปิดทับกันอยู่ (รูปที่ 8) แต่แนวแตกที่เกิดในหินทรายแป้งมีลักษณะค่อนข้างเรียบ (Smooth Surface) จึงทำให้เกิดการเลื่อนไถลของมวลหินไปยังที่ลาดไหล่เขาได้ง่าย มีลักษณะแตกหักที่เกิดจากการแตกหักในสภาพแห้ง (Slaking) จนมีสภาพป่นร่วนเป็นเศษหินขนาดเล็ก เมื่อขุดเปิดหน้าหินบนลาดไหล่เขาจึงเป็นการรบกวนสภาพธรรมชาติของมวลหิน โดยเฉพาะหินทรายแป้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยการผุพังแตกร่วนอย่างรวดเร็ว และการหลุดร่วงลงมาตามลาดไหล่เขา ทำให้หินปูนเนื้อดินส่วนที่ปิดทับด้านบน เกิดการหักหล่น และเลื่อนไถลลงไปตามลาดไหล่เขาด้วย จึงเป็นปัญหาหลักของพื้นที่โครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน (รูปที่ 9)

รูปที่ 5 พื้นที่ลาดไหล่เขาบริเวณฐานยันฝั่งซ้ายของเขื่อน (เสถียรภาพลาดไหล่เขาคุณภาพปานกลางถึงไม่ดี)

รูปที่ 6 พื้นที่ลาดไหล่เขาบริเวณฐานยันฝั่งขวาของเขื่อน (เสถียรภาพลาดไหล่เขาคุณภาพดี)

รูปที่ 7 แสดงสภาพของหินทรายแป้ง (Siltstone) ที่มีการผุพังแตกตัวในสภาพแห้ง (slaking)

รูปที่ 8 แสดงสภาพหินปูนเนื้อดิน (Argillaceous Limestone) วางตัวอยู่บนหินทรายแป้ง (Siltstone)

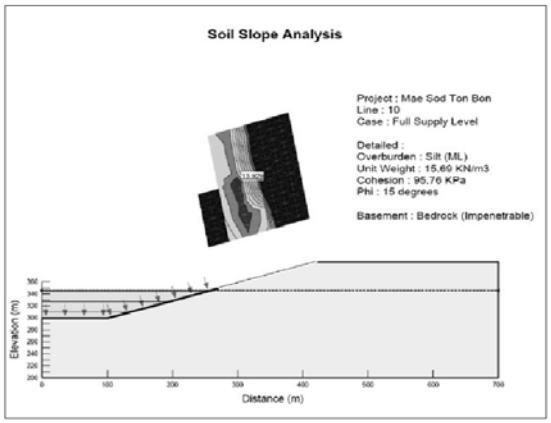
รูปที่ 9 ลักษณะการพังทลายของมวลหินบนที่ลาดชัน บริเวณฐานยันฝั่งซ้าย

ผลการวิเคราะห์มวลดินและหินบนลาดไหล่เขาโดยใช้โปรแกรมสรุปได้ดังนี้

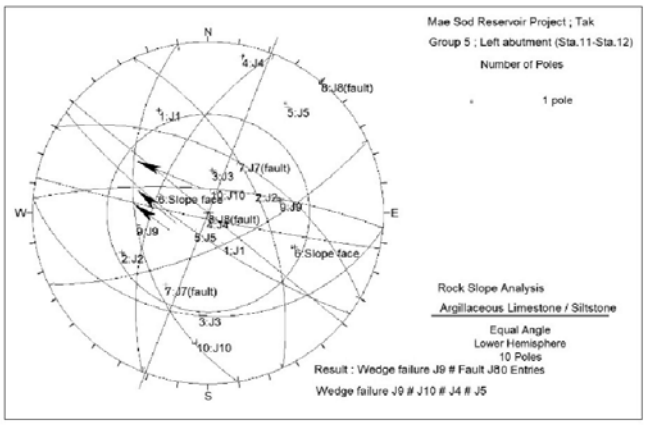
1. ชั้นดินบริเวณพื้นที่ลาดไหล่เขาในอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน มีความหนาไม่มาก โดยเฉลี่ย 1.5 เมตร และเป็นดินทรายแป้งที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินค่อนข้างมาก เมื่อทำการวิเคราะห์ความมั่นคงโดยโปรแกรม SLOPE/W (รูปที่ 10) แล้วมีค่าความปลอดภัยที่สูง (FS>1.3) จึงไม่พบโอกาสที่จะเกิดการพังทลายทุกกรณีของแบบทดสอบ

2. มวลหินบนลาดไหล่เขาที่ทำการขุดเปิด หลังจากทำการวิเคราะห์ทางจลศาสตร์ (kinematic analysis) โดยใช้โปรแกรม dip/dip-direction (รูปที่ 11) พบว่ามีโอกาสเกิดการพิบัติอยู่ 3 รูปแบบใหญ่ๆ ได้แก่ พิบัติแบบรูปลิ่ม (Wedge Failure) พิบัติแบบระนาบ (Plane Failure) และพิบัติแบบพลิกคว่ำ (Toppling Failure) ซึ่งบริเวณที่มีโอกาสเกิดการพิบัติทั้ง 3 รูปแบบ พบอยู่บริเวณฐานยันฝั่งซ้าย ตรงตำแหน่งที่อยู่สูงกว่าอาคารระบายน้ำล้นค่อนไปทางท้ายน้ำ และกระจายตัวอยู่เล็กน้อยบริเวณต้นน้ำบริเวณลาดไหล่เขาภายในพื้นที่อ่างเก็บน้ำ

3. ผลการวิเคราะห์คุณภาพหินโดยการจำแนกหินบนลาดไหล่เขา ประเมินร่วมกับสภาพจริงจากภาคสนาม พบว่า บริเวณลาดไหล่เขาฝั่งขวา มีคุณภาพหินไม่ดี มีค่า SMR อยู่ในช่วง 21-40 จำนวน 1 พื้นที่ คุณภาพหินปานกลาง มีค่า SMR อยู่ในช่วง 41-60 จำนวน 1 พื้นที่ และมีคุณภาพหินดี มีค่า SMR อยู่ในช่วง 61-80 จำนวน 1 พื้นที่ ส่วนบริเวณลาดไหล่เขาฝั่งซ้าย มีคุณภาพหินปานกลาง มีค่า SMR อยู่ในช่วง 41-60 จำนวน 4 พื้นที่ คุณภาพหินดี มีค่า SMR อยู่ในช่วง 61-80 จำนวน 6 พื้นที่ และคุณภาพหินดีมาก มีค่า SMR อยู่ในช่วง 81-100 จำนวน 1 พื้นที่



รูปที่ 10 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยใช้โปรแกรม SLOPE/W



รูปที่ 11 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ทางจลศาสตร์ (kinematic analysis) โดยใช้โปรแกรม dip/dip - direction

3. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการสำรวจและวิเคราะห์มวลดินและหินบนลาดไหล่เขาของโครงการอ่างเก็บน้ำแม่สอดตอนบน จังหวัดตาก ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อประเมินความมั่นคงของลาดดิน และหิน และรูปแบบของโอกาสที่จะเกิดการพังทลายของลาดไหล่เขา พบว่า ควรดำเนินการป้องกันการพังทลายและเสริมความมั่นคงของลาดไหล่เขา บริเวณฐานยันฝั่งขวาควรป้องกันการพิบัติของมวลหินบนลาดไหล่เขาโดยการขึงตาข่ายพร้อมยึดหมุดลงไปในเนื้อหิน และทำการพ่นปูนปิดทับ (Shotcrete) พร้อมทั้งจัดระบบการระบายน้ำ (pipe drain) ให้ดี และเพียงพอ ส่วนบริเวณลาดไหล่เขาฐานยันฝั่งซ้ายใช้วิธีป้องกันเช่นเดียวกับบริเวณฐานยันฝั่งขวา แต่ลาดไหล่เขาบริเวณที่อยู่สูงกว่าอาคารทางระบายน้ำล้นค่อนไปทางท้ายน้ำ ควรป้องกันการพิบัติของมวลหินบนลาดไหล่เขา โดยการปรับพื้นที่ลาดชันให้มีความชันลดลง และเสริมความมั่นคงของพื้นที่ลาดไหล่เขา โดยการเจาะและยึดเหล็ก (Anchor bolt) ในมวลหินที่มีคุณภาพสูง ส่วนบริเวณพื้นที่คุณภาพมวลหินต่ำทำการปูด้วยตาข่าย (Wire mesh) และพ่นปูน (Shotcrete) พร้อมทั้งสร้างกำแพงกันดิน (Gravity wall) ในบริเวณฐานยันโดยให้พิจารณาถึงระบบการระบายน้ำที่ดี และเพียงพอ

4. บรรณานุกรม

วรากร ไม้เรียง. 2552. หลักการวิเคราะห์และปรับปรุงเสถียรภาพของลาดดิน เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินและการใช้โปรแกรม KU-slope คณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพีฯ.

Bieniawski, Z.T. (1989), The Geomechanics Classification in Rock Engineering Application, Proceedings 4th International Congress on Rock Mechanics, Montreux, 2-8 September 1979, Vol. 2, P 41-48.

Hoek, E. and Bray, J.W. (1981), "Rock Slope Engineering", Revised 3rd Edition, The Institution of Mining and Metallurgy, London, P 341-351.

Romanna M. (1993), "A geomechanics classification for slopes: Slope Mass Rating", (In "Comprehensive Rock Engineering".Ed. J. Hudson), Pergamon, Vol 3, P 575-600.