

การวิเคราะห์การไหลซึมผ่านฐานรากของเขื่อนคลองท่าด่าน FOUNDATION SEEPAGE ANALYSIS OF KHLONG THA DAN DAM

ชินอรส ทองธรรมชาติ (Chinoros Thongthamchart)

นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วรากร ไม้เรียง (Warakorn Mairaing)

รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ: การไหลซึมของน้ำผ่านฐานรากเขื่อนเป็นปัจจัยต่อเสถียรภาพของตัวเขื่อน การศึกษานี้ได้วิเคราะห์ปัญหาการไหลซึมผ่านฐานรากเขื่อนคลองท่าด่าน ซึ่งเป็นเขื่อนคอนกรีตบดอัดแบบน้ำหนักถ่วงที่ใหญ่ที่สุด สูง 92 ม. ยาว 2600 ม. ตั้งอยู่บนฐานรากหินภูเขาไฟหลากชนิดทั้งที่เป็นหินสดและหินที่ผุพังมาก มีค่าความซึมน้ำสูงและลดลงตามระดับความลึก ระบบควบคุมการไหลซึมประกอบด้วยม่านอัดฉีดน้ำและม่านระบายน้ำ การวิเคราะห์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยนำข้อมูลสำรวจและผลการอัดฉีดม่านน้ำปูนในสนามระหว่างก่อสร้างมาใช้สร้างแบบจำลอง ซึ่งได้แปลงแบบจำลองเป็น 2 มิติเนื่องจากผลกระทบของรูระบายน้ำ ได้มีการศึกษาข้อบกพร่องของม่านอัดฉีดน้ำปูนและม่านระบายน้ำ จำนวน 12 และ 9 กรณี ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าม่านระบายน้ำที่มีประสิทธิภาพทำให้แรงลอยตัวน้อยกว่าที่ออกแบบ ปริมาณน้ำสูญเสียขึ้นกับขนาดของช่องเปิดที่หลงเหลือหลังการอัดฉีดม่านน้ำปูน

ABSTRACT: Foundation seepage analyses are necessary for stability of dam body. This study presents seepage analyses of Khlong Tha Dan Dam which is the largest gravity RCC dam, 92 m high and 2600 m long. The dam foundation is on several volcanic rocks these are fresh to highly weathering. Permeability of rock mass is high near the surface and decreases with depth. The seepage control system is done by grouting curtain and drainage curtain. From exploration data and result of curtain grouting during construction are used to establish model for FEM. In order to simplify the 3D effect of drain holes, the model is transformed to 2D. Twelve and nine cases study in ineffective of grouting and drainage curtain respectively are considered. The result shown that effective drainage curtain reduces uplift pressure less than the original design. The seepage loss is depend on the remained joint opening after curtain grouting.

KEYWORDS: FOUNDATION SEEPAGE, GROUTING CURTAIN, DRAINAGE CURTAIN

1. บทนำ

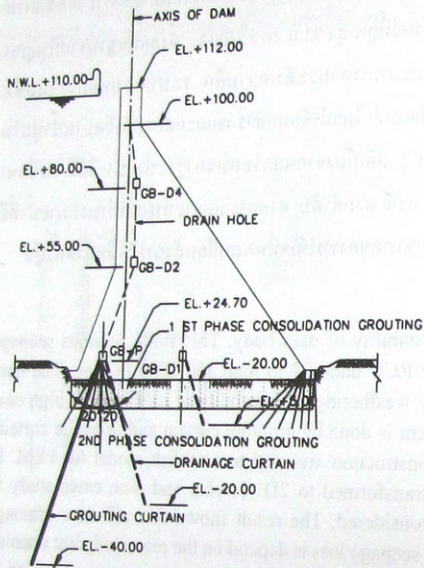
ปัญหาสำคัญของการไหลซึมในเขื่อนคอนกรีตคือ การลดแรงลอยตัวได้ฐานเขื่อนให้อยู่ในเกณฑ์ที่ออกแบบ เพื่อให้เกิดความมั่นคงทั้งต่อการเลื่อนไถล (sliding) และการพลิกคว่ำ (overturning) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ในระหว่างก่อสร้างและยืนยันได้ด้วยการตรวจวัดพฤติกรรมในระหว่างกักเก็บน้ำ

เนื่องจากความซับซ้อนของสภาพขอบเขต (boundary condition) ของปัญหาและความแปรปรวนของหินฐานราก ในการศึกษาจึงวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method) โดยทำการวิเคราะห์ในส่วนของเขื่อน RCC-B ในบริเวณพื้นที่ราบที่เป็นหินชั้นภูเขาไฟ (pyroclastic rock)
2. ลักษณะของโครงการ
 - 2.1 ตัวเขื่อน

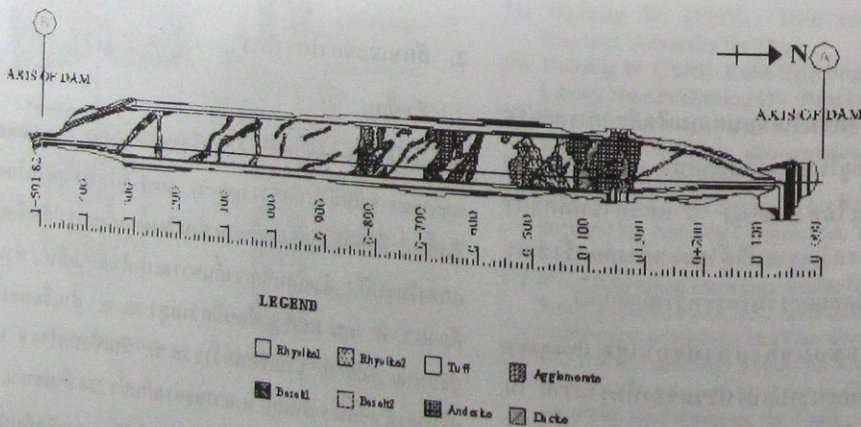
เขื่อนคลองท่าด่านเป็นเขื่อนคอนกรีตบดอัด (roller compacted concrete) ชนิดน้ำหนักถ่วง (gravity dam) ที่ใหญ่ที่สุดในโลก ปิดกั้นน้ำที่ไหลลงสู่คลองท่าด่าน จังหวัดนครนายก รูปตัดเขื่อนแสดงในรูปที่ 1 ตัวเขื่อนมีภูเขากั้นขวางแบ่งตัวเขื่อนเป็น 2 ส่วน คือ RCC-B และ RCC-S เขื่อนมีความสูง 92 ม. สันเขื่อนยาวประมาณ 2600 ม. ฐานเขื่อนกว้าง 86 ม. สันเขื่อนกว้าง 8 ม. ปริมาตรตัวเขื่อน 5 ล้านลบ.ม. ความจุอ่างเก็บน้ำ 224 ล้านลบ.ม.

ระบบควบคุมการไหลซึมในตัวเขื่อนใช้ผิวคอนกรีตที่บดอัด (impervious membrane) ที่ด้านเหนือน้ำและเจาะแนวระบายน้ำ

(drain hole) ในตัวเขื่อน มีขนาด 100 มม. ระยะห่าง 5 ม. ตลอดแนวแกนเขื่อน สำหรับในฐานรากระบบควบคุมการไหลซึม ประกอบด้วยม่านอัดฉีดน้ำปูน (grouting curtain) วางตัวทำมุม 20 องศาไปทางด้านเหนือน้ำ มีความลึกที่สุด 60 ม. และม่านระบายน้ำใต้ฐานเขื่อน (drainage curtain) ซึ่งมีจำนวน 2 แนว ขนาดของรูระบายน้ำเท่ากับ 100 มม. และมีระยะห่าง 5 ม. โดยวางตัวทำมุม 20 องศาไปทางด้านท้ายน้ำ แนวแรกมีความลึกที่สุด 40 ม. และแนวที่สองความลึกสูงที่สุด 20 ม.



รูปที่ 1 ภาพตัดขวางตัวเขื่อน RCC-B



รูปที่ 2 สภาพหินฐานรากเขื่อน RCC-B

2.2 สภาพธรณีวิทยา

หินฐานรากเขื่อน RCC-B เป็นหินภูเขาไฟหลายชนิด จำพวก rhyolite, andesite, basalt, agglomerate และ tuff แสดงในรูปที่ 2 ทางด้าน โครงสร้างธรณีวิทยาไม่พบรอยเลื่อนหรือรอยเลื่อนขนาดใหญ่ (major fault/shear) ส่วนใหญ่เป็นรอยเลื่อนหรือรอยเลื่อนขนาดเล็ก (minor fault/shear) และรอยแยก (joint) ที่วางตัวอยู่ในทิศ NE-SW มีมุมลาดเอียง (dip angle) 70-80 องศาไปทางทิศ NE ระดับของการผุพัง (weathering) อยู่ในช่วงเป็นหินสดจนถึงผุพังเล็กน้อย ค่าความซึมน้ำของหินด้านบนส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 5 Lugeon (1 Lugeon เท่ากับ 1.3×10^{-5} ซม./วินาที [1])

3. ทฤษฎี

3.1. การไหลซึมผ่านฐานรากเขื่อน

การไหลซึมผ่านชั้นหินฐานรากเขื่อนเกิดจากน้ำที่กักเก็บมีศักย์น้ำสูงกว่าทางด้านท้ายน้ำ น้ำจึงไหลผ่านช่องว่างหรือรอยแยกที่ต่อเนื่องกันในหินฐานราก ซึ่งมีรูปร่างและทิศทางที่ไม่แน่นอน ความเร็วของการไหลเปลี่ยนแปลงตามขนาดของช่องเปิดนั้น

กฎของดาร์ซี (Darcy's law) แสดงความสัมพันธ์พื้นฐานของการไหลซึมที่ความเร็วของของไหลเป็นสัดส่วนกับความชันทางชลศาสตร์ (hydraulic gradient) และมีค่าความซึมน้ำเป็นค่าคงที่ของความสัมพันธ์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติตามชนิดวัสดุและประมาณได้จาก การทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม

$$v = k \frac{\Delta\phi}{L}$$

(1)

- เมื่อ v = ความเร็วของการไหล, ซม./วินาที
 k = ความซึมผ่านของวัสดุ, ซม./วินาที
 ϕ = ศักย์ของน้ำ, ม.
 L = ความยาวของตัวอย่าง, ม.

และจากสมการความต่อเนื่อง (equation of continuity) เมื่อการไหลซึมผ่านฐานรากเชื่อมเป็นการไหลแบบคงที่ (steady state flow) คือปริมาณหรือน้ำหนักของน้ำที่ผ่านเข้าและออกจากวัสดุในช่วงเวลาหนึ่งมีค่าคงที่ จะได้สมการ Laplace

$$\frac{\delta^2 \phi}{\delta x_T^2} + \frac{\delta^2 \phi}{\delta y_T^2} + \frac{\delta^2 \phi}{\delta z_T^2} = 0 \quad (2)$$

$$\text{เมื่อ } x_T = \frac{x}{\sqrt{k_x}}, y_T = \frac{y}{\sqrt{k_y}}, z_T = \frac{z}{\sqrt{k_z}}$$

3.2. วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการวิเคราะห์การไหลซึมในเขื่อน GEO-SLOPE [2] ได้ใช้วิธี Galerkin สร้างสมการ matrix สำหรับวิเคราะห์การไหลซึม ดังสมการด้านล่าง

$$[K]\{H\} + [M]\{H\}, t = \{Q\} \quad (3)$$

เมื่อ $[K]$ = element characteristic matrix

$\{H\}$ = potential matrix

$[M]$ = mass matrix

$\{Q\}$ = applied flux vector

ซึ่งในกรณีการไหลแบบคงที่ เทอมที่สอง $\{H\}$, t มีค่าเป็นศูนย์ การวิเคราะห์การไหลซึมด้วยวิธี FEM จะได้ค่าแรงดัน (pressure head) ที่แต่ละจุด (node) ในโครงตาข่ายจากแก้ปัญหาโดยสมมติให้การไหลเกิดขึ้นผ่านช่องว่างในหินฐานราก และแรงดันที่ได้สามารถคำนวณหาอัตราการไหลและความชันทางลาดศาสตร์ (hydraulic gradient) ที่จุดต่างในระบบได้ และสร้างโครงข่ายการไหล (flow nets) จากผลของการวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการออกแบบต่อไป

3. การสร้างแบบจำลอง

3.1 สมมติฐานการวิเคราะห์

จากการรวบรวมข้อมูลในเบื้องต้นพบว่ามีสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระบบการไหลซึมอยู่หลายประการ ซึ่งนำมาใช้ตั้งสมมติฐานของปัญหาตามองค์ประกอบในระบบการไหลซึมดังนี้

1. ความซึมผ่านของชั้นหิน ความซับซ้อนทางธรณีวิทยาของหินภูเขาไฟหลากชนิดที่ซ้อนทับกัน ทำให้มีคุณสมบัติความซึมผ่านของหินฐานรากไม่ชัดเจน จึงได้พิจารณาให้มีคุณสมบัติความซึมผ่านแบบเทียบเท่าและไม่มีชั้นกั้นทิศทาง (isotropic equivalent permeability) เพื่อศึกษาพฤติกรรมในเบื้องต้นเท่านั้น
2. ม่านอัดดินน้ำปูน เนื่องจากในระหว่างการศึกษาที่ยังไม่ได้ดำเนินการตรวจสอบหาค่าความซึมผ่านของม่านอัดดินน้ำปูน จึงไม่สามารถระบุค่าความซึมผ่านได้ แต่จากผลการอัดดินน้ำปูนที่ cement take ลดลงอย่างชัดเจนย่อมสรุปในเบื้องต้นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านของม่านอัดดินน้ำปูนน้อยกว่า 5 Lugeon

ประสิทธิภาพของการกั้นน้ำลดลงจากความบกพร่องของม่านอัดดินน้ำปูน ได้แก่

- ช่องลอดใต้ม่านอัดดินน้ำปูน จากความแปรปรวนของชั้นทับน้ำของฐานราก บริเวณ กม. 0+600 ถึง กม. 0+700 ที่ระดับ -40.00 ม.รทก. หินฐานรากมีค่าความซึมผ่านค่อนข้างสูง หากม่านอัดดินน้ำปูนลึกไม่ถึงระดับชั้นหินทับน้ำ จะทำให้หน้าสามารถไหลลอดใต้แนวอัดดินน้ำปูนในบริเวณนี้ได้

- ช่องเปิดของม่านอัดดินน้ำปูน เนื่องจากหินภูเขาไฟที่มีรอยแตก รอยแยก หรือรอยเลื่อน มีมุมลาดเทเกือบอยู่ในแนวตั้ง และผลการอัดดินน้ำปูนในบริเวณกลุ่มหิน Pyroclastic พบว่าในหลุมลำดับที่ 3 และ 4 มีค่า cement take สูง เป็นจุด ๆ ไม้ต่อเนื่องกัน

3. ม่านระบายน้ำ การเสื่อมประสิทธิภาพของม่านระบายน้ำได้ฐานเขื่อนเนื่องจากสาเหตุ ได้แก่ การอุกคั่นของตะกอน ปฏิกิริยาเคมี และแบคทีเรีย กำหนดประสิทธิภาพของม่านระบายน้ำโดยให้ศักย์น้ำรวมเพิ่มขึ้นจากกรณีปกติ

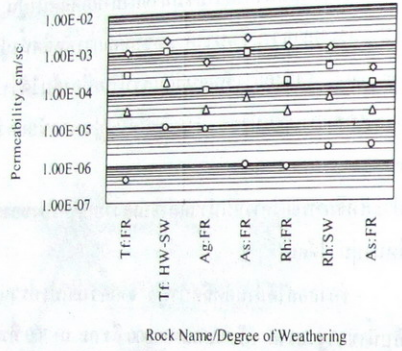
3.2 ค่าความซึมผ่าน

ผลการทดสอบหาค่าความซึมผ่านจากหลุมเจาะสำรวจ 12 หลุม และหลุมอัดดินน้ำปูนนำร่อง (pilot hole) 12 หลุม นำมา

ประเมินค่าตัวแทนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป โดยพิจารณาให้ค่าความซึมนี้ เป็นแบบเทียบเท่าในหน่วย Lugeon
 จำแนกหินฐานรากประเภทของหินและระดับการผุพังได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

- กลุ่มหิน Pyroclastic ส่วนใหญ่เป็นหิน tuff แทรกด้วยสลับกับหิน agglomerate และ andesite หินที่มีระดับผุพังปานกลางอยู่ระดับสูงกว่า 0.00 ม.รทก. และที่เป็นหินสดอยู่ระดับต่ำกว่า 0.00 ม.รทก. ค่าความซึมนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.03 ถึง 150 Lugeon

- กลุ่มหิน Lava flow มีหิน rhyolite เป็นหลักแทรกด้วยผนังหิน andesite หรือหิน dacite หินที่มีระดับผุพังน้อยอยู่ระดับสูงกว่า -10.00 ม.รทก. และเป็นหินสดอยู่ที่ระดับต่ำกว่า -10.00 ม.รทก. มีค่าความซึมมีค่าอยู่ในช่วง 0.06 ถึง 100 Lugeon



◊ Maximum ◻ 90% Confidential Δ Average ○ Minimum

Rock Name
 TT = Tuff Ag = Agglomerate Rh = Rhyolite As = Andesite
 Degree of Weathering
 FR = Fresh SW = Slightly Weathering HW = Highly Weathering

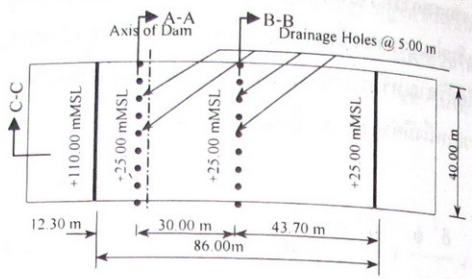
รูปที่ 3 การกระจายของค่าความซึมของหินฐานราก

3.3 การแปลงแบบจำลองให้เป็น 2 มิติ

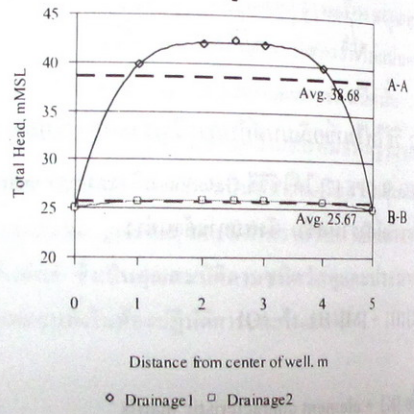
แม้ว่าตัวเชื่อม RCC-B บริเวณพื้นที่ราบมีขนาดยาวกว่า 1000 ม. สามารถจะวิเคราะห์การไหลซึมในลักษณะ plain strain ได้ก็ตาม แต่จากอิทธิพลต่อรูระบายน้ำที่มีต่อศักย์น้ำโดยรอบ ทำให้การไหลซึมเป็นแบบ 3 มิติ จึงไม่สามารถวิเคราะห์การไหลซึมในลักษณะ 2 มิติได้โดยตรง

วิธีการแปลงแบบจำลองเริ่มจากสร้างแบบจำลองในรูปแบบตัดด้านบน (plan view) ดังรูปที่ 4 กำหนดให้ศักย์น้ำรวมที่ปลายรูระบายน้ำเท่ากับ +25.00 ม.รทก. และศักย์น้ำรวมด้านเหนือหน้า

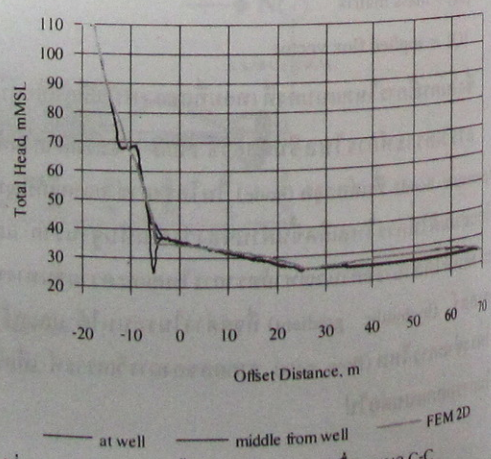
และท้ายน้ำเท่ากับ +110.00 และ +25.00 ม.รทก. ตามลำดับ แล้ววิเคราะห์การไหลซึมด้วย FEM จะได้ว่า การกระจายของศักย์น้ำรวมตลอดแนวรูระบายน้ำมีรูปร่างโค้งระฆังคว่ำดังรูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยศักย์น้ำรวมตามแนวผ่านรูระบายน้ำเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ในรูปตัดตามขวาง (section view) ต่อไป ซึ่งเมื่อนำผลการวิเคราะห์การไหลซึมเปรียบเทียบกัน พบว่าศักย์น้ำมีรูปร่างใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 4 รูปตัดด้านบนของฐานรากเชื่อมผ่านรูระบายน้ำ



รูปที่ 5 การกระจายของศักย์น้ำรวมตลอดแนวผ่านรูระบายน้ำ



รูปที่ 6 การลดลงของศักย์น้ำรวมขวางแนวแกนเชื่อม แนว C-C

3.4 การสร้างแบบจำลอง

แบบจำลอง 2 มิติใช้จำนวนฐานรอกยาว 265 ม. ชั้นหินฐานรอกมี
หนารวม 70 ม. โครงข่ายเอลิเมนต์ (element mesh) แสดงในรูปที่
7 ประกอบด้วย node 13199 จุด element 13028 ชั้น ซึ่งมีความ
หนา 1 ม. ที่ขอบด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำใช้เอลิเมนต์แบบไม่
จำกัดความยาว (infinite element)

คุณสมบัติความชื้นน้ำของหินฐานรอกใช้ค่าความชื้นน้ำในช่วง
ความชื้น 90% มีค่าตามตารางที่ 1 หินฐานรอกเชื่อมสำหรับ
หิน Pyroclastic อยู่ที่ +20.00 ม.รทก.

คัตน้ำรวมด้านเหนือน้ำสำหรับกรณีปกคืออยู่ที่ระดับ +110.00
ม.รทก. ส่วนด้านท้ายน้ำอยู่ที่ระดับเดียวกันกับพื้นอุโมงค์ใน
ภายในตัวเขื่อนที่ระดับ +25.00 ม.รทก. และกำหนดคัตน้ำรวม
ของม่านระบายน้ำได้ที่จากผลการแปลงแบบจำลองให้เป็น 2 มิติ

ตารางที่ 1 สรุปค่าความชื้นน้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์

Zone	Permeability, cm/sec	Permeability Ratio
Pyroclastic Rock Zone		
Fresh	2.4×10^{-4}	1
Slightly - High Weathering	9.8×10^{-4}	1
Consolidation Grouting Zone	1.3×10^{-4}	1
Curtain Grouting Zone	6.5×10^{-5}	1

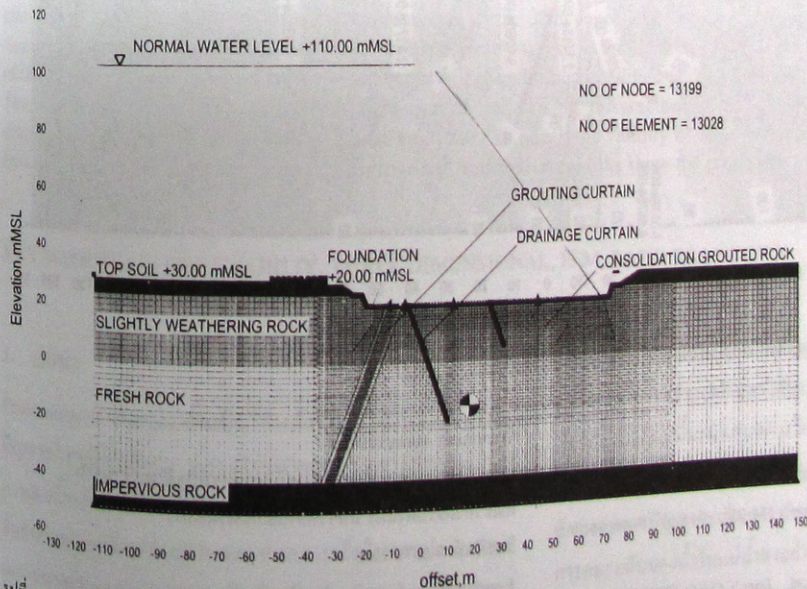
ค่าความชื้นน้ำของหินฐานรอกที่ได้ curtain grouting และ
consolidation grouting มีค่าเท่ากับ 6.5×10^{-5} และ 1.3×10^{-4} ซม./
วินาที ตามลำดับ ส่วนความหนาของม่านอัดฉีดน้ำปูนมีขนาด
กว้าง 3 ม.

4. ผลและวิจารณ์

ในกรณีปกคัตน้ำอัดฉีดน้ำปูนช่วยลดแรงดันน้ำลงได้ เห็นได้จาก
ความชันทางชลศาสตร์มีค่า 8 - 10 ในบริเวณตอนบน 15 เมตร
จากหินฐานรอก และนั่นเมื่อผ่านม่านอัดฉีดน้ำปูน น้ำมีทิศทาง
ไหลซึมสู่แนวรูของม่านระบายน้ำตลอดความลึก ปริมาณน้ำที่
ไหลเข้าสู่ม่านระบายน้ำทั้งสองมีค่า 1.41×10^4 และ 7.61×10^5
ม.³/ม.วินาที ตามลำดับ หรือคิดเป็น 61 และ 33 % ของปริมาณ
การไหลซึมทั้งหมด ส่วนที่เหลือไหลออกด้านท้ายน้ำ ตัวอย่างผล
การวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 8

4.1 การศึกษาข้อบกพร่องของม่านอัดฉีดน้ำปูน

ข้อสังเกตได้ฐานเขื่อนส่งผลกระทบททำให้แรงดันน้ำและ
ปริมาณน้ำที่ระบายเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่สัดส่วนการกระจาย
ของปริมาณน้ำที่ระบายจากแนวที่ 1 และ 2 มีค่าคงที่ไม่แปรตาม
ขนาดของช่องลอด



รูปที่ 7 แบบจำลองการไหลซึมของเขื่อนคลองท่าด่าน

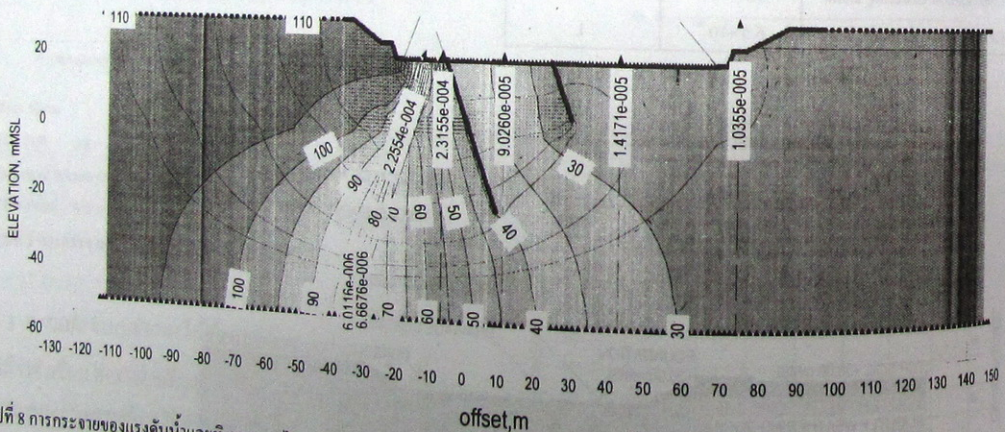
ช่องเปิดที่เหลือหลังการอัดฉีดน้ำปูนไม่เป็นปัจจัยทำให้แรงดันน้ำใต้ฐานเขื่อนโดยรวมเพิ่มขึ้น เพราะมีค่าความดันน้ำก่อนผ่านม่านอัดฉีดน้ำปูนน้อยกว่า ขณะที่ม่านระบายน้ำยังระบายน้ำได้ดีจึงไม่ทำให้แรงดันมีค่าสูงกว่ากรณีปกติ ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านฐานรากขึ้นกับขนาดความลึกและตำแหน่งของช่องเปิดนั้น ช่องเปิดที่อยู่ด้านบนจะมีปริมาณการไหลซึมสูงกว่าที่อยู่ด้านล่าง

4.2 การศึกษาการเสื่อมประสิทธิภาพของม่านระบายน้ำ

เมื่อม่านระบายน้ำเกิดการอุดตัน แรงดันน้ำที่ใต้ฐานเขื่อนจะสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อม่านระบายน้ำแนวแรกเสื่อมประสิทธิภาพ จะมีปริมาณน้ำที่ระบายได้ลดลงอย่างมากเป็นสัดส่วนกับความต่างศักย์ที่สูงขึ้นจากปกติ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของม่านระบายน้ำกับปริมาณน้ำที่ไหลซึม

Case No.	Condition		Quantity of Seepage (m ³ /m/sec)			
	1 st Drainage	2 nd Drainage	1 st Drainage	2 nd Drainage	Downstream	Total Loss
1	Normal	Normal	1.41×10 ⁻⁰⁴	7.61×10 ⁻⁰⁵	1.42×10 ⁻⁰⁵	2.32×10 ⁻⁰⁴
2	Abnormal	Normal	0.00×10 ⁻⁰⁴	1.58×10 ⁻⁰⁴	2.30×10 ⁻⁰⁵	1.81×10 ⁻⁰⁴
3	Normal	Abnormal	1.96×10 ⁻⁰⁴	0.00×10 ⁻⁰⁴	3.52×10 ⁻⁰⁵	2.31×10 ⁻⁰⁴
4	Abnormal	Abnormal	0.00×10 ⁻⁰⁴	0.00×10 ⁻⁰⁴	1.12×10 ⁻⁰⁴	1.12×10 ⁻⁰⁴



รูปที่ 8 การกระจายของแรงดันน้ำและทิศทางการไหลซึมใต้ฐานรากในกรณีปกติ

เอกสารอ้างอิง

[1] Houbly, A.C. Grouting in Rock Masses, pp. In Bell, F.G. (eds), *Engineering in Rock Masses*: 334-350. Oxford: Butterworth - Heinemann Ltd, 1992.
 [2] GEO-SLOPE International Ltd. *User's Guide SEEP/W for Finite Element Seepage Analysis*. Canada: 1998.

4.3 เสถียรภาพของตัวเขื่อน

หลังจากได้ค่าแรงลอบตัวได้ฐานเขื่อน นำมาหาค่าปัจจัยความปลอดภัยตามวิธีของ USACE ได้ผลดังตารางที่ 3 พบว่าที่จะดับกักเก็บน้ำปกติ ในกรณีศึกษาต่าง ๆ ตัวเขื่อนมีความมั่นคง

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของตัวเขื่อน

Case	Condition	SFF	σ	e	Result
1	Normal	3.29	51.82	6.45	OK
2	Ineffective drainage	2.67	14.63	11.12	OK
3	without friction	2.01	51.82	6.45	OK

SFF = Shear Friction Factor σ = Normal Stress e = eccentric length

5. สรุป

1. ม่านอัดฉีดน้ำปูนมีหน้าที่ปิดกั้นการไหลซึมของน้ำผ่านหินฐานราก และสำหรับม่านระบายน้ำมีหน้าที่ลดแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นใต้ฐานเขื่อนโดยการระบายน้ำตั้งแต่ในชั้นหินฐานราก
2. ผลการวิเคราะห์ที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลจากเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน เช่น piezometer V-notch weir เพื่อใช้ประเมินความปลอดภัยเขื่อนตลอดจนซ่อมแซมแก้ไขเขื่อนได้ อีกทั้งยังใช้เป็นแนวทางในการออกแบบในอนาคต

ชื่อ: ชินโรส ทองธรรมชาติ

สถานที่ติดต่อ: ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทรศัพท์: 0-2579-2265

E-mail address: t_chinoros@yahoo.com