



ความปลอดภัยของเขื่อนหินถมคาน้ำคอนกรีตเมื่อน้ำไหลผ่านตัวเขื่อนขณะก่อสร้าง กรณีศึกษาเขื่อนแควน้อย

Safety of Concrete Face Rockfill Dam from Flowing Through of Flood During Construction Case of Khwae Noi Dam

สุทธิศักดิ์ สรลัมภ์ (Suttisak Soralump)¹

ภูซงค์ สุวรรณปากแพรก (Puchong Suwanpakprak)²

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมปฐพี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (soralump_s@yahoo.com)

²นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมปฐพี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (s.puchong@yahoo.com)

บทคัดย่อ : โครงการเขื่อนแควน้อย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตั้งอยู่จังหวัดพิษณุโลก ประกอบด้วย 3 เขื่อนติดต่อกัน ได้แก่ เขื่อนแควน้อย เขื่อนสันตะเกียน และเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ เขื่อนแควน้อยเป็นเขื่อนหินถมคาน้ำคอนกรีตมีความสูง 75 เมตร ก่อสร้างโดยใช้หินถมชนิด Sandstone ระหว่างการก่อสร้างเขื่อนแควน้อยในช่วงฤดูน้ำหลากปี พ.ศ.2550 ได้เกิดน้ำไหลล้นข้าม Cofferdam และไหลผ่านตัวเขื่อนแควน้อย (Flow Through) น้ำที่ไหลผ่านตัวเขื่อนแควน้อยนี้อาจทำให้เกิดความไม่มั่นคงต่อเขื่อนในแง่ของการกัดเซาะท้ายน้ำ ความมั่นคงของลาดชัน การทรุดตัวหลังการก่อสร้างและสภาพของวัสดุถมตัวเขื่อน ดังนั้นบทความนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบสภาพการไหลซึมที่เกิดขึ้นกับตัวเขื่อนในระหว่างการก่อสร้างและวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อน ผลการวิเคราะห์ได้ค่า Hydraulic Gradient สูงสุดบริเวณจุดที่น้ำไหลออกด้านท้ายน้ำเท่ากับ 0.169 ซึ่งมีค่าไม่เกินค่าวิกฤต จึงไม่มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการกัดเซาะด้านท้ายน้ำงานเป็นอันตรายต่อเขื่อนและจากผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชันพบว่าลาดเขื่อนมีความมั่นคงเพียงพอซึ่งสอดคล้องกับสภาพที่เกิดขึ้นจริง นอกจากนี้จากการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงรูปของตัวเขื่อนขณะน้ำไหลผ่านและการทรุดตัวของหินถมขณะก่อสร้างไม่พบพฤติกรรมที่ผิดปกติจากเหตุการณ์ดังกล่าวอันจะนำไปสู่การแตกของแผ่นคอนกรีตคาน้ำได้

Abstract : Khwae Noi Dam project is located at Phitsanulok province which consist of 3 dams, Khwae Noi, Santakian and Saddle dam. Khwae Noi Dam is concrete face rockfill dam with a height 75 meter, sandstone was used for rockfill zone. In 2007, During construction of Khwae Noi dam in flood season was happen flow overtopping coffer dam and flow through Khwae Noi dam. The flow through Khwae Noi dam might not stability to dam in case of erodetion downstream, slope stability, settlement after construction and condition of rockfill material in the dam, so this article was analysis for inspect of seepage that happen with the dam during construction and analysis slope stability of dam. The result indicated that the highest of hydraulic gradient in flow out area of the end of the tide was 0.169 wasn't over critical, so there wasn't trend to be the erodetion from the end of the tide which will be the damage to the dam. The result of slope stability indicated that the dam had the enough stability that agree with the real situation. Apart from that the inspect deformation of the dam when the flowing through and settlement of rockfill during construction not found the wrong situation, which will lead to the crack of concrete face slab

Keyword : Concrete Face Rockfill Dam, CFRD, Seepage Analysis Flow Through

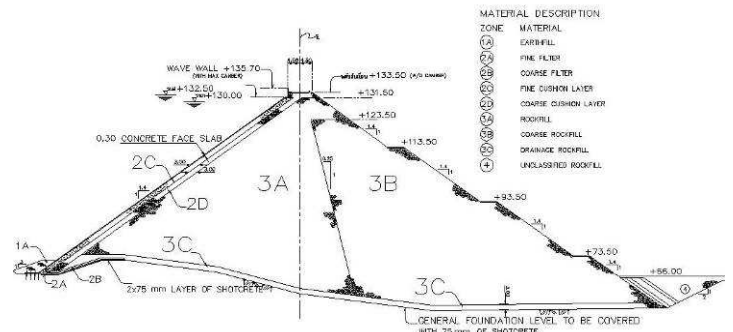
1. บทนำ

โครงการเขื่อนแก่งเสือเต้นอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เป็นโครงการอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ตั้งอยู่อำเภอวังโปสถ์ จังหวัดพิษณุโลก โดยอยู่ภายใต้การดูแลของกรมชลประทาน ซึ่งได้ว่าจ้างกลุ่มบริษัทที่ปรึกษาในการออกแบบและควบคุมงาน ประกอบด้วย บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด บริษัท พี แอนด์ ซี แมนเนจเม้นท์ จำกัด และ บริษัท ริชอสส์ เอนจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด และได้ว่าจ้างผู้รับจ้างในการก่อสร้างเขื่อน ได้แก่ กิจการร่วมค้ายูบีซี เพาเวอร์ ซึ่งประกอบด้วย บริษัท ยูเนี่ยน อินฟาร์เทค จำกัด บริษัท บางกอกมอเตอร์ อีควิปเมนท์ จำกัด และบริษัท เพาเวอร์-พี จำกัด (มหาชน) ตัวเขื่อนในโครงการประกอบด้วย 3 เขื่อนติดต่อกัน ได้แก่ เขื่อนแก่งเสือเต้นเป็นเขื่อนหินถมคาน้ำคอนกรีต (Concrete Face Rockfill Dam) เขื่อนสันตะเคียนเป็นเขื่อนหินถมแกนดินเหนียว (Earth Core Rockfill Dam) และเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ (Earth fill Dam) เป็นเขื่อนดินเนื้อเดียว [1] ภาพที่ 1 แสดงรูปเขื่อนห้วงงาน และภาพที่ 2 รูปตัดเขื่อนแก่งเสือเต้น

เขื่อนแก่งเสือเต้นเป็นเขื่อนหินถมคาน้ำคอนกรีต มีความกว้างสันเขื่อน 9 เมตร มีความยาวสันเขื่อน 570 เมตร ความสูงเขื่อน 75 เมตร ระดับสันตัวหินถมอยู่ที่ระดับ + 133.50 ม.รทก. มีกำแพงคอนกรีตกันคลื่น (Wave Wall) วางอยู่บนสันเขื่อนด้านเหนือน้ำสูง 2 เมตร ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ 1:1.4 (คิง:ราบ) ลาดท้ายเขื่อนมี Berm ทุกช่วงความสูง 20 เมตร มีความกว้าง 6 เมตร ก่อสร้างโดยใช้หินถมชนิด Sandstone ความหนาของแผ่นคอนกรีตคาน้ำเท่ากับ 0.30 ม.



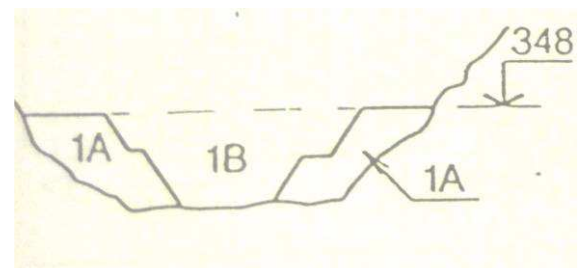
ภาพที่ 1 รูปเขื่อนห้วงงาน [1]



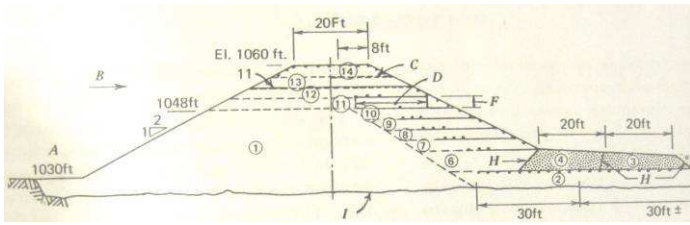
ภาพที่ 2 รูปหน้าตัดเขื่อนแก่งเสือเต้น [1]

การก่อสร้างเขื่อนหินถมคาน้ำคอนกรีตมีข้อดีกว่า การก่อสร้างเขื่อนดินในเรื่องของความเร็วในการก่อสร้าง เนื่องจากขั้นตอนการถมมากกว่าและก่อสร้างได้ในช่วงหน้าฝน นอกเหนือจากนั้นวัสดุหินถมสามารถก่อสร้างในลำน้ำเดิมในลักษณะเป็นไหลริมลำน้ำเดิมโดยเปิดช่องระบายน้ำระหว่างการก่อสร้าง ดังภาพที่ 3 [2] หรือในบางกรณีสามารถที่จะให้น้ำไหลผ่านหินถมได้ในระหว่างก่อสร้างโดยมีการเสริมความมั่นคงที่ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ (Downstream Face Flood Protection) ดังภาพที่ 4 [3] โดยขณะที่น้ำไหลผ่านเขื่อนเขื่อนยังมีความปลอดภัยทั้งนี้เนื่องจากหินถมเป็นวัสดุขนาดใหญ่มีช่องว่างมากกว่าดินถมทำให้แรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลกระทบต่อแรงดันประสิทธิผลระหว่างเม็ดหินมากนัก เนื่องจากมวลหินแต่ละก้อนมีน้ำหนักมากทำให้ Contact Stress สูงและมวลหินยังถูกพัดพาจากการกัดเซาะไปได้ยากกว่าเม็ดดิน

บทความนี้ขอเสนอพฤติกรรมความปลอดภัยของเขื่อนหินถมคาน้ำคอนกรีต กรณีศึกษาเขื่อนแก่งเสือเต้นที่ในขณะที่ก่อสร้างที่มีน้ำไหลผ่านตัวเขื่อน



ภาพที่ 3 การก่อสร้างหินถมก่อนและหลังการผันน้ำระหว่างการก่อสร้างของเขื่อน ITA ประเทศบราซิล [2]



ภาพที่ 4 การก่อสร้างเขื่อนโดยให้น้ำไหลผ่านหินถมระหว่างก่อสร้างโดยมีการเสริมความมั่นคงที่ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำของเขื่อน

Pit 7 Afterbay, California [3]

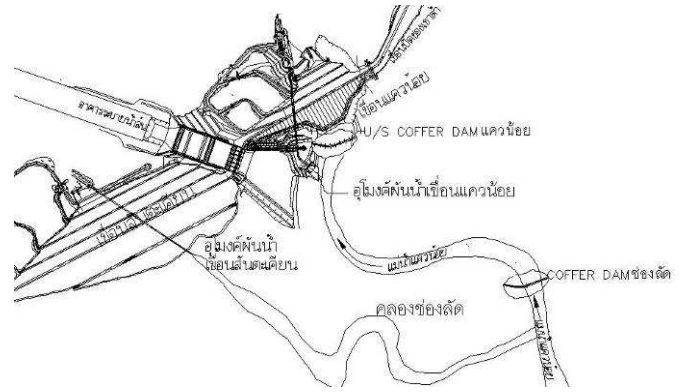
2. วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างแบบจำลองการไหลซึมและตรวจสอบความปลอดภัยเขื่อนจากการกัดเซาะด้านท้ายน้ำและความมั่นคงของลาดเขื่อนขณะที่มีน้ำไหลผ่านตัวเขื่อนระหว่างการก่อสร้างและนำเสนอพฤติกรรมที่ปรากฏต่อวัสดุหินถม ณ ช่วงเวลาดังกล่าว

3. การตรวจสอบสภาพการไหลผ่านหินถมตัวเขื่อนระหว่างก่อสร้าง

การผันน้ำระหว่างการก่อสร้างโครงการเขื่อนแควน้อยมีความสำคัญอย่างยิ่งในระหว่างการก่อสร้างเขื่อน โดยแบ่งช่วงเวลาและทิศทางการผันน้ำ ดังแสดงภาพที่ 5 ช่วงแรกของการก่อสร้างจะผันน้ำออกจากคลองช่องลัดแล้วไหลออกทางอุโมงค์ผันน้ำเขื่อนสันตะเกียน ขณะผันน้ำก็ได้ก่อสร้างอุโมงค์เขื่อนแควน้อยและเมื่อก่อสร้างเสร็จก็ผันน้ำผ่านอุโมงค์แควน้อย ขณะเดียวกันก็ดำเนินการก่อสร้างเขื่อนทำนบดินชั่วคราว(Coffer Dam) หน้าเขื่อนแควน้อยเพื่อป้องกันน้ำไม่ให้ไหลเข้าในเขื่อนขณะก่อสร้าง อนึ่งในระหว่างการก่อสร้างเขื่อนแควน้อยในปี พ.ศ. 2550 ก็เกิดปริมาณน้ำหลากช่วงระหว่างวันที่ 22 - 31 สิงหาคม พ.ศ. 2550 ทั้งนี้เพื่อไม่ให้น้ำไหลล้นข้ามสันเขื่อนแควน้อยและเขื่อนสันตะเกียน จึงได้กำหนดแนวทางการผันน้ำไว้ 3 ทาง คือ 1.อุโมงค์ผันน้ำเขื่อนสันตะเกียน 2.อุโมงค์ผันน้ำเขื่อนแควน้อย และ 3. ให้น้ำไหลซึมผ่านตัวเขื่อนแควน้อย (Flow Through) โดยการขุดเปิดช่องระบายที่สันของทำนบชั่วคราว (Coffer Dam) ที่ตั้งอยู่ด้านหน้าเขื่อนแควน้อยออกและยอมให้น้ำไหลผ่านหินถมบดอัดดังแสดงภาพที่ 6 และ 7 โดยที่ระดับน้ำที่ไหลเข้าเขื่อนมีระดับสูงสุดประมาณ +91.50 ม.รทก. โดยมีระดับต่ำกว่าระดับของเขื่อนหินถมที่ก่อสร้างอยู่ในขณะนั้นซึ่งมีระดับ

อยู่ที่ประมาณ +99.50 ม.รทก.โดยที่เขื่อนมีความสูงประมาณ 40 เมตร ซึ่งในขณะนั้นยังมีได้ก่อสร้างแผ่นคอนกรีตคานหน้าและยังมีได้บดอัดชั้น Cushion Zone



ภาพที่ 5 ลักษณะการผันน้ำเขื่อนแควน้อย

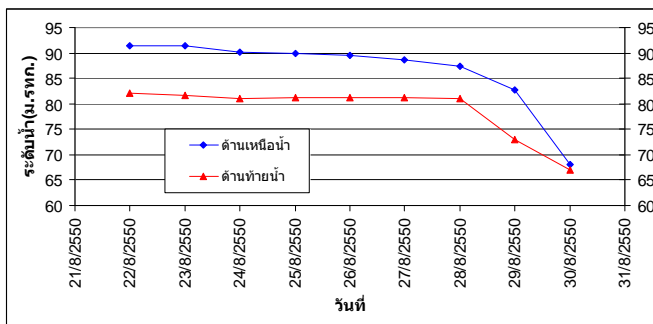


ภาพที่ 6 ปริมาณน้ำหลากทำให้น้ำไหลล้นข้ามCoffer Dam



ภาพที่ 7 น้ำไหลผ่านตัวเขื่อนแควน้อย

ช่วงระหว่างการไหลซึมผ่านได้มีการเก็บข้อมูลระดับที่น้ำไหลเข้าตัวเขื่อนด้านเหนือและระดับที่น้ำไหลออกด้านท้ายน้ำ ดังภาพที่ 8 ระดับน้ำหน้าเขื่อนสูงสุดประมาณ 91.50 ม.รทก. และระดับน้ำที่ซึมด้านท้ายน้ำสูงสุดประมาณ 82.00 ม.รทก. ดังนั้นบทความนี้ได้ทำการวิเคราะห์การไหลซึมที่ระดับน้ำสูงสุดเพื่อตรวจสอบผลการวิเคราะห์กับสภาพที่เกิดขึ้นจริงเมื่อมีน้ำไหลผ่าน ทั้งนี้เพื่อประเมิน Top Flow Line ของน้ำภายในตัวเขื่อนเพื่อนำผลไปวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันต่อไป



ภาพที่ 8 ข้อมูลระดับน้ำด้านหน้าเขื่อนและระดับน้ำที่ซึม

การวิเคราะห์การไหลของน้ำผ่านหินถมตัวเขื่อนได้ใช้สมการของ Wilkins's formula [2] พิจารณาการไหลของน้ำแบบ Turbulent Flow ดังสมการ 1 เนื่องจากการไหลผ่านหินถมที่มีช่องว่างมากอาจเกิดพฤติกรรมดังกล่าว

$$V = CI^{0.54} \quad 1$$

$$Q=AV : Q = A CI^{0.54}$$

เมื่อ Q= อัตราการไหล

V= ความเร็วของการไหล

A = พื้นที่ที่น้ำไหลซึมผ่าน

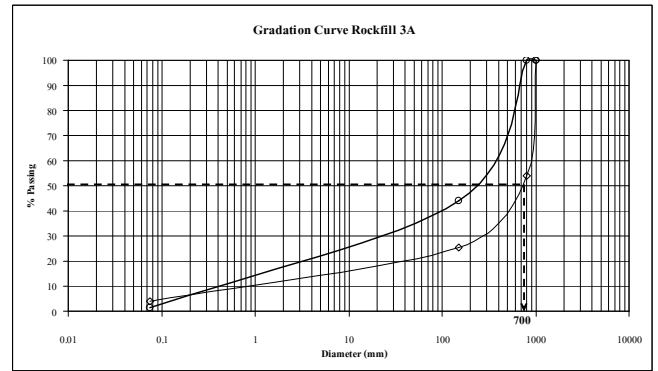
I = Hydraulic gradient

C = Discharge coefficient , $C = 1.79 d_{50} n(n/1-n)^{0.5}$

n = porosity of rockfill

d = ขนาดของเม็ดวัสดุในกรณีนี้ใช้ d_{50} เป็นตัวแทนดัง

ภาพที่ 9



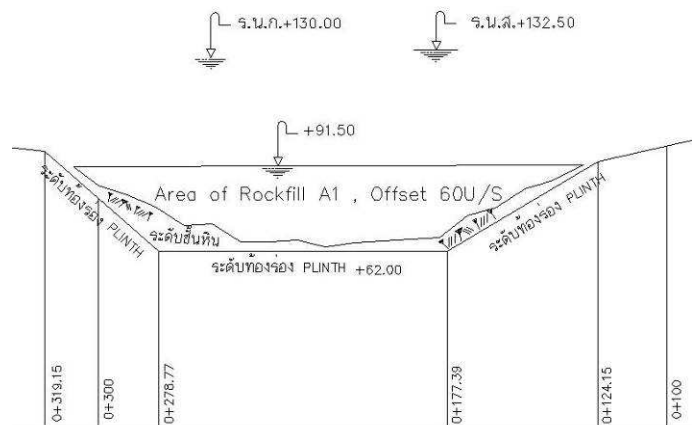
ภาพที่ 9 d_{50} ของวัสดุ 3A เขื่อนแควน้อย

ค่า Discharge coefficient (C) มีความสัมพันธ์กับขนาดของหินถม ความแน่นของหินถมหรือค่าอัตราส่วนช่องว่าง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า Discharge coefficient ของวัสดุหินถมเขื่อนแควน้อย

Zone	d_{50} (m.)	Void ratio of rockfill	n	C
Rockfill 3A	0.7	0.214	0.176	0.122

การคำนวณหาพื้นที่รับน้ำในแต่ละหน้าตัดพิจารณาจากระดับฐานรากในสภาพจริงที่ได้ข้อมูลจากการสำรวจระหว่างการก่อสร้าง ดังตัวอย่างในภาพที่ 10 เพื่อได้ค่าพื้นที่การไหลผ่านของน้ำ

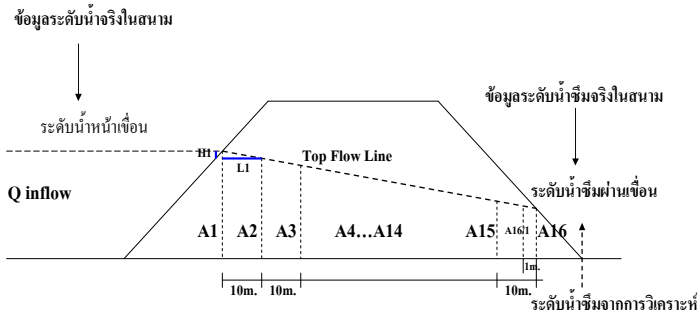


ภาพที่ 10 ตัวอย่างพื้นที่การไหลผ่านของน้ำที่ระดับน้ำ +91.50 ม.รทก.

Offset 60U/S

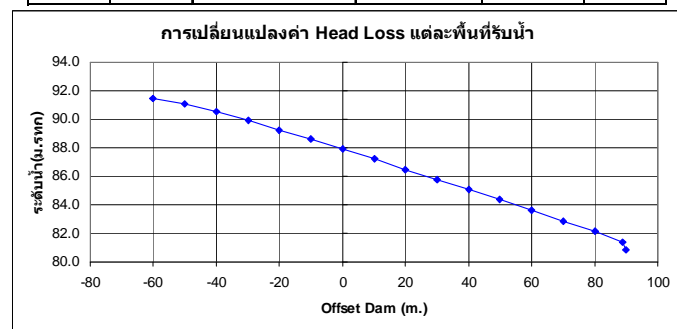
การวิเคราะห์ เริ่มโดยการคำนวณหาอัตราการไหลซึมผ่านตัวเขื่อน (Inflow) ซึ่งหาได้จากอัตราที่น้ำไหลผ่านช่องทางการระบายทั้งหมดโดยวัดได้จากสถานีวัดปริมาณน้ำอยู่ด้านท้ายเขื่อนสถานีหนองบอน อัตราการไหลดังกล่าวจะถูกหักด้วยอัตราที่น้ำที่ไหลผ่านอุโมงค์ผันน้ำเขื่อนแควน้อยและอุโมงค์ผันน้ำเขื่อนสันตะเคียนเพื่อให้ได้อัตราการไหลของน้ำผ่านเขื่อนแคว

น้อย จากนั้นคำนวณหาพื้นที่รับน้ำในแต่ละหน้าตัดคั้งที่กล่าวข้างต้นก็สามารถคำนวณค่า Hydraulic gradient และ Head Loss ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำไหลผ่านหน้าตัดหนึ่งไปสู่น้ำตัดหนึ่งการวิเคราะห์จึงเริ่มที่หน้าตัด A1 และสิ้นสุดที่หน้าตัด A16 แสดงดังภาพที่ 11 ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 12



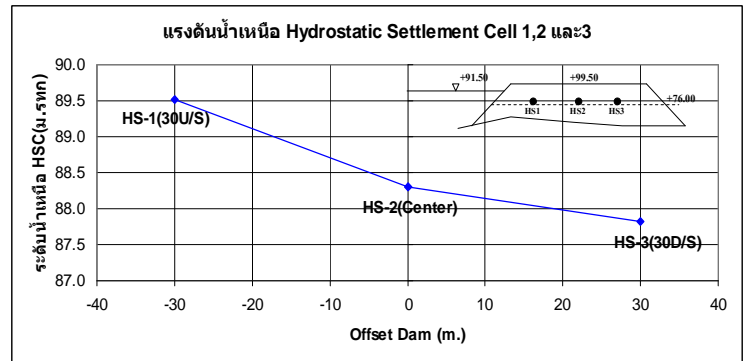
ภาพที่ 11 ขั้นตอนการวิเคราะห์การไหลของน้ำผ่านหินถม
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ระดับน้ำในตัวเขื่อนเมื่อระดับน้ำหน้าเขื่อนเท่ากับ 91.50 ม.รทก.

หน้าตัดที่	พื้นที่รับน้ำ	Discharge coefficient	Flow Gradient	Head Loss	ระดับน้ำ
		C	I	H	ม.รทก.
A1	3,310.00	0.122	0.039	0.390	91.500
A2	2,626.51	0.122	0.060	0.598	91.110
A3	2,581.49	0.122	0.062	0.617	90.513
A4	2,552.73	0.122	0.063	0.630	89.895
A5	2,437.03	0.122	0.069	0.687	89.265
A6	2,428.26	0.122	0.069	0.691	88.578
A7	2,462.29	0.122	0.067	0.674	87.887
A8	2,358.55	0.122	0.073	0.730	87.213
A9	2,414.42	0.122	0.070	0.699	86.483
A10	2,406.94	0.122	0.070	0.703	85.784
A11	2,370.38	0.122	0.072	0.723	85.081
A12	2,330.86	0.122	0.075	0.746	84.358
A13	2,322.68	0.122	0.075	0.751	83.613
A14	2,330.79	0.122	0.075	0.746	82.862
A15	2,295.90	0.122	0.077	0.767	82.116
A16/1	1,750.00	0.122	0.127	0.507	81.349
A16	1,500.00	0.122	0.169	0.506	80.842



ภาพที่ 12 ผลการวิเคราะห์ Head Loss แต่ละพื้นที่หน้าตัด แสดงถึง Top Flow Line ของการไหลภายในตัวเขื่อน

จากผลการวิเคราะห์จะได้ค่า Hydraulic Gradient สูงสุดบริเวณจุดที่น้ำไหลออกด้านท้ายน้ำเท่ากับ 0.169 และค่าระดับน้ำที่ไหลซึมด้านท้ายน้ำจากผลการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับระดับน้ำที่ไหลซึมที่เกิดขึ้นจริง นอกจากนี้เมื่อตรวจสอบระดับน้ำที่วัดได้จาก Hydrostatic Settlement Cell (HSC) หมายเลข 1,2 และ 3 ที่สามารถวัดแรงดันน้ำเหนือ HSC ได้พบว่ามีความใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แรงดันน้ำเหนือ Hydrostatic Settlement Cell 1,2 และ 3

Alberto Marulanda and Pinto (2000) [2] กล่าวว่าเขื่อนหินถมคาน้ำคอนกรีตจะมีความมั่นคงด้านท้ายน้ำต่อการเกิด Flow Through เมื่อ Hydraulic Gradient ในวัสดุถมเขื่อนมีค่าไม่เกิน 0.25-0.30 จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น แสดงให้เห็นว่าด้วยปริมาณน้ำหลากที่ระดับน้ำสูงสุด +91.50ม.รทก.นี้ไม่ก่อให้เกิดการกัดเซาะที่ตัวเขื่อนด้านท้ายน้ำและจากผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับสภาพจริงที่เกิดขึ้นภายหลังจากน้ำไหลผ่านตัวเขื่อนแล้วไม่พบการกัดเซาะที่บริเวณท้ายเขื่อนในลักษณะการพัดพาวัสดุ

การก่อสร้างเขื่อนแควน้อยแล้วยังก่อสร้างไม่เสร็จ โดยเฉพาะส่วนของคอนกรีตคาน้ำหากมีปริมาณน้ำหลากมาในรอบปีต่อไปนั้นมีโอกาสที่น้ำจะไหลผ่านตัวเขื่อนอีกครั้ง โดยระดับน้ำมีโอกาสสูงถึงระดับอาคารระบายน้ำล้นที่ +120.00 ม.รทก. ถ้ามีการปิดท่อน้ำเขื่อนสันตะเกียนและปิด Bulkhead Gate ของอาคารระบายน้ำล้นน้ำเดิมโอกาสที่จะเกิดปัญหาการกัดเซาะด้านท้ายน้ำเนื่องจากการไหลผ่านหินถมจะมีสูงขึ้นเนื่องจากค่า Hydraulic Gradient จะเพิ่มขึ้น อย่งไรก็ตามเหตุการณ์ดังกล่าวไม่ได้เกิดขึ้นเนื่องจากการก่อสร้างคอนกรีตคาน้ำสามารถดำเนินการได้ทัน

4. การตรวจสอบความมั่นคงของลาดเขื่อนระหว่างช่วงน้ำไหลผ่านหินถมตัวเขื่อน

เมื่อน้ำไหลผ่านเขื่อนความมั่นคงของลาดชันจะมีการเปลี่ยนแปลงดังนั้นผู้เขียนจึงได้วิเคราะห์ตรวจสอบความมั่นคงของลาดเขื่อนตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง โดยอาศัยการเก็บข้อมูลระดับน้ำหน้าเขื่อน ระดับน้ำที่ซึมด้านท้ายน้ำและระดับหินถมขณะเกิดเหตุการณ์จริง ณ ช่วงเวลาต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับน้ำหน้าเขื่อน,ระดับน้ำที่ซึมด้านท้ายน้ำและระดับหินถม

วันที่	ระดับน้ำหน้าเขื่อน ม.รทก.	ระดับน้ำที่ซึมผ่าน ด้านท้ายน้ำ ม.รทก.	ระดับหินถม ม.รทก.
22/8/2550	91.5	82	99.5
23/8/2550	91.3	81.54	99.5
24/8/2550	90.14	81.09	99.5
25/8/2550	89.84	81.12	99.5
26/8/2550	89.42	81.15	99.5
27/8/2550	88.54	81.13	99.5
28/8/2550	87.43	81.07	99.5
29/8/2550	82.65	72.86	99.5
30/8/2550	68.06	67	99.5

มุมเสียดทานภายในของวัสดุถมตัวเขื่อนได้จากรายงานการคำนวณเพื่อการออกแบบเขื่อน โครงการเขื่อนแควน้อย ของกรมชลประทาน [1] ดังแสดงตารางที่ 4 สำหรับค่าความหนาแน่นได้จากการทดสอบในสนามซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.282 t/m³ ดังแสดงตารางที่ 5 และระดับน้ำภายในตัวเขื่อนได้จำลองเป็นเส้นตรงเชื่อมต่อด้านน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากผลการวิเคราะห์การไหลซึมที่ผ่านมาพบว่าเส้น Top Flow Line ที่ได้จากการวิเคราะห์ค่อนข้างเป็นเส้นตรง

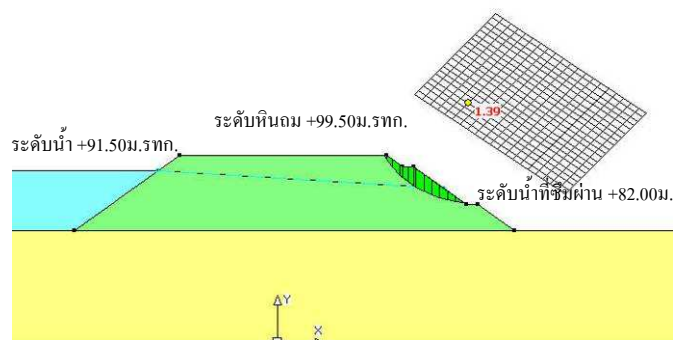
ตารางที่ 4 สรุปค่ามุมเสียดทานภายใน (Friction Angle) [1]

Zone	Description	Friction Angle Degree
3A	Rockfill	45°
3B	Rockfill	38°

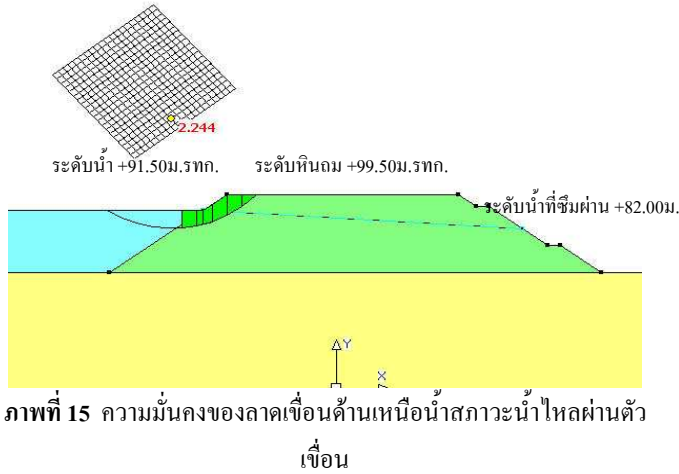
ตารางที่ 5 ค่าความหนาแน่นของหินถมจากการทดสอบในสนาม

Zone	Elevation	Dry Density (t/m ³)
3A	78.418	2.393
3A	82.229	2.324
3A	83.5	2.442
3A	85.922	2.269
3A	99.484	1.984
Average		2.282

การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อนในสภาวะน้ำไหลผ่านตัวเขื่อนใช้วิธีสมมูลจำกัด(Limit Equilibrium) โดยอาศัยโปรแกรม KU-Slope [4] ดังแสดงในภาพที่ 14-15 และมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดเขื่อนที่วิเคราะห์ได้ทั้งด้านท้ายน้ำและด้านเหนือน้ำมีค่าสูงกว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดเขื่อนจากการคาดการณ์จากการออกแบบซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.25 [1] โดยค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดเขื่อนทางด้านเหนือน้ำจะมีค่าสูงกว่าทางด้านท้ายน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 16-17 โดยค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชันทางด้านเหนือน้ำมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับน้ำสูงขึ้นเนื่องจากแรงลอยตัวช่วยลดแรงผลักดันกลไก ในขณะที่ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยลดลงเมื่อระดับน้ำสูงขึ้นเนื่องจากส่วนของแรงด้านส่วนใหญ่อยู่ใต้ระดับน้ำแต่ส่วนของแรงผลักดันอยู่เหนือระดับน้ำทำให้อัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชันลดลง นอกจากนี้จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชันทางด้านท้ายน้ำเริ่มที่จะคงที่เมื่อระดับน้ำเหนือเขื่อนเกินค่าระดับหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักของหินถมส่วนที่เป็นแรงผลักดันอาจไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมมูลดังนั้นหากการก่อสร้างขณะนั้นมีการถมสูงกว่าที่เป็นระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลไม่ปลอดภัยต่อลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำได้

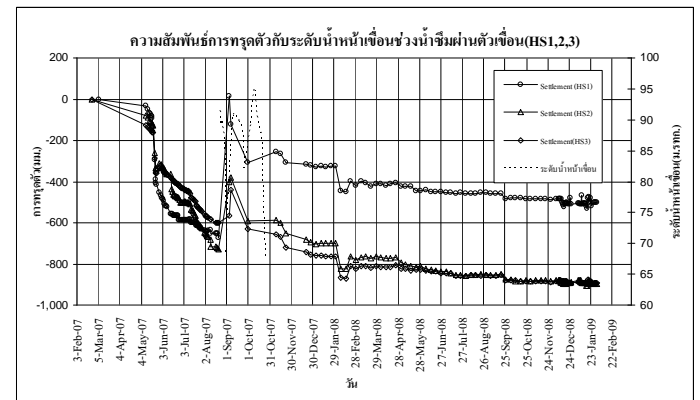


ภาพที่ 14 ความมั่นคงของลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำสภาวะน้ำไหลผ่านตัวเขื่อน



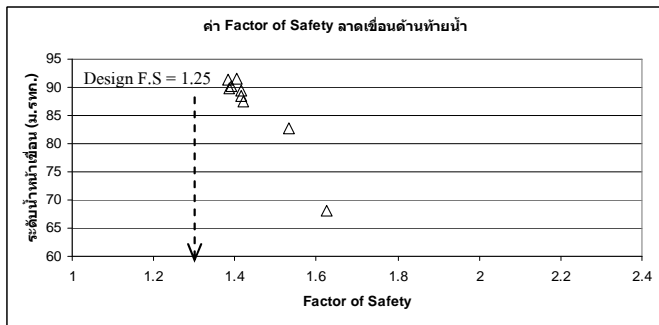
5. สภาพการทรุดตัวและการเปลี่ยนแปลงของวัสดุถม

ขณะเกิดน้ำไหลผ่านตัวเขื่อนได้มีการตรวจสอบการทรุดตัวและการเปลี่ยนรูปของลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ จากการตรวจสอบไม่พบพฤติกรรมทรุดตัวที่ผิดปกติแต่อย่างใด สำหรับเครื่องมือวัดการทรุดตัวภายในตัวเขื่อนประเภท Hydrostatic Settlement Cell หมายเลข 1,2 และ 3 ไม่สามารถอ่านค่าการทรุดตัวได้เนื่องจากน้ำไหลท่วมเครื่องมือ (ภาพที่ 18) แต่ทำให้ค่าแรงดันน้ำภายในอุปกรณ์อ่านค่าตามความสูงของน้ำที่อยู่เหนือตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ดังแสดงผลการตรวจวัดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

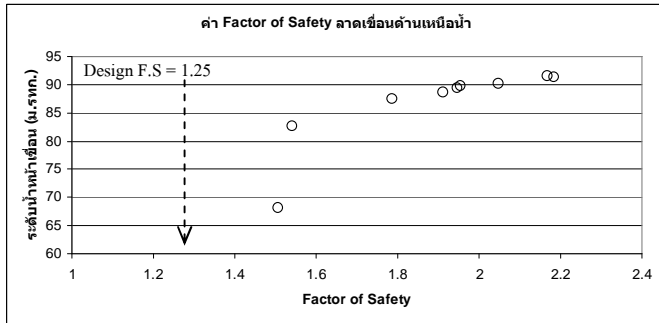


ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวของหินถมกับระดับน้ำหน้าเขื่อน

สำหรับสภาพของวัสดุหินถมพบว่าหินโคลน (Mudstone) เมื่อถูกน้ำไหลผ่านได้เกิดการแตกตัว (Slake) ดังแสดงในภาพที่ 19 อย่างไรก็ตามเนื่องจากวัสดุหินถมเขื่อนส่วนใหญ่เป็นหินทรายซึ่งมีสภาพดีแม้มีน้ำไหลผ่านเนื่องจากไม่เกิดการ Slaking ทำให้ไม่ปรากฏพฤติกรรมการยุบตัวของเขื่อน นอกจากนั้นภายหลังจากเหตุการณ์การไหลผ่านของน้ำพบว่า มีตะกอนทรายจำนวนหนึ่งไหลมากองบริเวณดินเขื่อนด้านท้ายน้ำ ดังภาพที่ 20 ตะกอนทรายดังกล่าวน่าจะเป็นตะกอนทรายที่เป็นผลจากการบดอัดหินทราย อย่างไรก็ตามเนื่องจากมีปริมาณไม่มากจึงไม่ปรากฏผลการทรุดตัวเมื่อตรวจสอบจากเครื่องมือวัดพฤติกรรมการทรุดตัว



ภาพที่ 16 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ



ภาพที่ 17 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ

สรุปผลจากการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อนได้ว่าตัวเขื่อนยังคงมีความมั่นคงทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำโดยไม่เกิดการเคลื่อนพังเมื่อมีน้ำหลากด้วยปริมาณน้ำสูงสุดที่ระดับ +91.50 ม.รทก. ซึ่งสอดคล้องกับสภาพที่เกิดขึ้นจริง อย่างไรก็ตามหากความสูงเขื่อนและระดับน้ำในตัวเขื่อนสูงขึ้นความมั่นคงของลาดชันจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปโดยความมั่นคงของลาดชันด้านท้ายน้ำจะมีค่าลดต่ำลงดังที่เหตุผลได้กล่าวมาแล้ว



ภาพที่ 19 หิน โคลน (Mudstone) เมื่อถูกน้ำไหลผ่านได้เกิดการแตกตัว (Slake)



ภาพที่ 20 พบตะกอนทรายบริเวณลำน้ำเดิม ด้านท้ายน้ำของเขื่อน

6. สรุปผลการศึกษา

1.กรณีน้ำหลากไหลผ่านตัวเขื่อนแควน้อย (Flow Through) จากผลการวิเคราะห์พบว่าการไหลซึมผ่านตัวเขื่อนที่ระดับน้ำ +91.50 ม.รทก.นี้ไม่ก่อให้เกิดการกัดเซาะที่ตัวเขื่อนด้านท้ายน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับสภาพจริงที่เกิดขึ้นโดยภายหลังจากน้ำไหลผ่านตัวเขื่อนแล้วไม่ปรากฏการกัดเซาะที่บริเวณท้ายเขื่อน

2.การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อนทั้งด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำพบว่ามีค่าความมั่นคงสอดคล้องกับสภาพที่เกิดขึ้นจริง

3. เขื่อนหินถมลาดหน้าคอนกรีตมักจะเกิดการรั่วซึมหากเกิดพฤติกรรมการทรุดตัวหลังการก่อสร้างที่มากเกินไป การไหลของน้ำผ่านหินถมตัวเขื่อนหากเกิดขึ้นในขณะที่คอนกรีตลาดหน้าก่อสร้างเสร็จแล้วหรือเกิดขึ้นเมื่อก่อสร้างเขื่อนขึ้นไปสูงอาจส่งผลให้เกิดการทรุดตัวมากในช่วงที่คอนกรีตลาดหน้าได้ก่อสร้างไปแล้วซึ่งจะทำให้คอนกรีตลาดหน้าเกิดการแตกได้ อย่างไรก็ตามในกรณีของเขื่อนแควน้อยเนื่องจากขณะเกิด

เหตุการณ์เขื่อนได้ถูกก่อสร้างไปสูง 40 เมตร จาก 75 เมตร ทำให้ถึงแม้วัสดุอาจเกิด Slaking บ้างขณะน้ำไหลผ่านแต่มวลหินถมที่จลนสูงขึ้นไปจะกดทับและทำให้การทรุดตัวเกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้างเป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นพฤติกรรมปกติของเขื่อนประเภทนี้

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กรมชลประทาน โครงการเขื่อนแควน้อย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ กลุ่มบริษัทที่ปรึกษาและผู้รับจ้างที่ได้กล่าวถึงในช่วงต้นของบทความสำหรับข้อมูลต่างๆที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนการวิจัย

8. บรรณานุกรม

- [1] กรมชลประทาน (2545). การคำนวณเพื่อการออกแบบและอาคารประกอบ โครงการแควน้อย จังหวัดพิษณุโลก. โดยบริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด, บริษัท พี แอนด์ ซี และบริษัท ศรีเอทีพี เทคโนโลยี จำกัด.
- [2] J.Barry Cook Volume (2000). Concrete Face Rockfill Dam.
- [3] Thomas M.Leps.Flow Through Rockfill. Pit7 Afterbad Dam (California,1965)
- [4] รัฐธรรม อิศโรพาร.คู่มือการใช้โปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน KUslope 2.0. ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.