

Kang Krachan Dam Seepage Analysis Using SEEP/W



MR. WITTHAWIN HORPEANCHAROEN 60010938
MR. KANNITI LIMCHAROEN 60010058

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELLOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
2020

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการงานศึกษาพิเศษ

หัวข้อโครงการ การวิเคราะห์การไหลซึมผ่านเขื่อนแก่งกระจานด้วยแบบจำลอง SEEP/W
Kang Krachan Dam Seepage Analysis Using SEEP/W

นักศึกษา นายวิธวินท์ ห.เพ็ชรเจริญ 60010938
นายกานต์นิธิ ลี้มเจริญ 60010058

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2563

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงการ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ธนาตล คงสมบูรณ์	
รศ.ดร. ศลิษา ไชยพุทธ	
อ.อุบะ ศิริแก้ว	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ 22 พฤษภาคม 2564

สถานที่สอบ สอบออนไลน์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร)

ประธานภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 22 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การวิเคราะห์การไหลซึมผ่านเขื่อนแก่งกระจานด้วยแบบจำลอง SEEP/W

นายวิวัฒน์ ห.เพียรเจริญ 60010938

นายกานต์นิธิ ลิ่มเจริญ 60010058

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.อุษะ ศิริแก้ว

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการใช้การวิเคราะห์การไหลซึมด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ ทำโดยสมมติให้วัสดุหินฐานรากของเขื่อนมีความเป็นเนื้อเดียวต่อเนื่อง ระดับน้ำในเขื่อนคงที่และสนใจศึกษาเฉพาะเขื่อนปิดช่องเขาต่ำที่ 1 ของเขื่อนแก่งกระจานโดยศึกษาการไหลใน 2 มิติเท่านั้น ที่มาของฟังก์ชันการไหลซึม (K-Function) ที่ต้องกำหนดให้แบบจำลอง จะใช้การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมและแอนไอโซโทรปี เป็นหลัก โดยจะต้องลองผิดลองถูกเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่แบบจำลองคำนวณได้กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้อง คล้ายกับการวิเคราะห์ย้อนกลับ (Back Analysis) ผลการสอบเทียบแบบจำลองหัววัดที่สนใจมีทั้งหมด 8 หัววัดนี้ P1,P4,P6 ในชั้นฐานรากมีความคลาดเคลื่อน 1.03-3.88 % และ P5,P7,P8 ไม่มีความสัมพันธ์กับระดับน้ำจึงไม่มีความสัมพันธ์กับแบบจำลอง เนื่องจากอยู่ในแรนดอมโซนด้านท้ายน้ำซึ่งไม่อยู่ในเส้นทางการไหลซึมของน้ำ ส่วน P2,P3 มีความผิดพลาดจากการบันทึกข้อมูลเก่าจึงไม่นำมาวิเคราะห์ แบบจำลองอัตราการไหลซึมผ่านหน้าตัด 6.323 ลบ.ม./วัน คลาดเคลื่อน 6.18 % จากการศึกษาด้านความปลอดภัยต่อการเกิด Piping ยังพบว่าแม้เขื่อนจะมีระดับน้ำเท่ากับระดับสันเขื่อน 106.00 ม.รทก. มีอัตราส่วนความปลอดภัย 1.309 ที่ตำแหน่งรอยต่อระหว่างแกนดินเหนียวกับชั้นกรอง 1.860 ที่ตำแหน่งทางด้านท้ายน้ำ และ 1.983 ที่ตำแหน่งรอยต่อฐานรากกับชั้นกรอง นอกจากนี้หากทราบพารามิเตอร์กำลังของดินก็สามารถคำนวณอัตราส่วนความปลอดภัยต่อการเคลื่อนพังของลาดเขื่อนได้

คำสำคัญ : การวิเคราะห์การไหลซึม , แบบจำลองการไหลซึม , SEEP/W, ไพโซมิเตอร์ (Piezometer) , ฟังก์ชันการไหลซึม (K-function) , วิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) , เขื่อนแก่งกระจาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Kang Krachan Dam Seepage Analysis Using SEEP/W 2D

Mr. Witthawin Horpeancharoen 60010938

Mr. Kanniti Limcharoen 60010058

Adviser : Uba Sirikaew

Academic Year : 2020

Abstract

This thesis is using SEEP/W software to generate seepage model of Kang Krachan dam by assumed condition of foundation rock is homogeneous in 2-dimension with steady state of reservoir water level and focused on DIKE-1 of Kan Krachan Dam. Seepage parameter used to generate K-function provenanced by trial and error the value of hydraulic conductivity and anisotropy. The result of model calculation has plotted with implicated dam's instrument data to find out how similar it was, like back analysis method. The result of 8 piezometer installed in DIKE-1 section has calibrated. 1.03-3.88 % error of P1,P4 and P6 in foundation layer. P5, P7, P8 located above the phreatic line, it was not relationship with model anymore. P2 and P3 found abnormal data collected, the data of P2,P3 cannot use in model. The calculation of seepage through the model established $6.323 \text{ m}^3/\text{day}$, different from average value from V-notch weir in same condition about 6.18 %. From result of the study, even if reservoir water level rise to dam crest elevation at 106.00 m.msl, calculated factor of safety against piping about 1.309 in down stream core zone contact to filter, 1.860 in exit toe slope and 1.983 in foundation contact to filter. Additionally, this model is a primer analysis of GEOSTUDIO software that could use for another analysis such as SLOPE/W, QUAKE/W, SIGMA/W or SEEP/W with advance condition like parent model.

Keyword : Seepage Analysis, Seepage Model, SEEP/W, Piezometer, K-function, Finite Element Method, Kang Krachan Dam.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อุษะ ศิริแก้ว ที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำและช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ลูกศิษย์เสมอ

ขอขอบคุณคณาจารย์กรรมการคุมสอบหัวข้อทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำตลอดจนข้อเสนอแนะจนทำให้โครงการนี้เกิดความสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณวิรุฬห์ ทุมเที่ยง กรรมการผู้จัดการบริษัททวงษ์ วิบูลย์ จำกัด ที่ส่งเสริมและสนับสนุนการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมรวมถึงให้คำแนะนำที่ถูกต้อง

ขอขอบคุณ นายอานันท์ ยานารมย์ วิศวกรปฐพี ที่สอนวิธีการใช้โปรแกรม GEOSTUDIO ทำให้เข้าใจหลักการทำงานที่ถูกต้อง

คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำมอบให้กับบิดามารดาตลอดจนคณาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์วิชาความรู้ที่ดีแก่คณะผู้จัดทำ

วิธวินท์ ห.เพียรเจริญ และ กานต์นิธิ ลิ้มเจริญ
ผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำและความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา	3
2.1 PRESSURE AND HEAD จากทฤษฎีของเบอร์นูลลี	3
2.2 กฎของดาร์ซี (DARCY'S LAW)	4
2.3 ทฤษฎีเส้นข่ายการไหล (CASAGRANDE THOREM)	4
2.4 การวิเคราะห์การไหลซึมด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์	5
2.4.1 วิธีการวิเคราะห์การไหลซึมด้วยโปรแกรม SEEP/W	6
2.4.2 ส่วนประกอบของโปรแกรม SEEP/W	6
บทที่ 3 ตรวจสอบข้อมูลและเครื่องมือวัดพฤติกรรมที่เกี่ยวข้อง	7
3.1 MILE STONE และข้อมูลเชื่อมแก่งกระงานเบื้องต้น	7
3.2 พิโซมิเตอร์ (PIEZOMETER)	8
3.2.1 รูปตัดและตำแหน่งติดตั้งพิโซมิเตอร์	8
3.2.2 รายละเอียดการติดตั้งพิโซมิเตอร์	9
3.3 ฝายวัดอัตราการไหล (SEEPAGE FLOW METER)	12
3.3.1 รูปตัดและตำแหน่งติดตั้ง	12
3.3.2 สรุปรูปแบบของฝายวัดอัตราการไหล	13
บทที่ 4 ผลการอ่านค่าเครื่องมือ	14
4.1 ผลการอ่านค่าพิโซมิเตอร์	14
4.1.1 ผลการอ่านค่าพิโซมิเตอร์ก่อนเปลี่ยนระบบอ่านค่า	14
4.1.2 ผลการอ่านค่าพิโซมิเตอร์หลังเปลี่ยนระบบอ่านค่าออนไลน์	15
4.1.3 เปรียบเทียบผลการอ่านค่าพิโซมิเตอร์ก่อนและหลังเปลี่ยนระบบ	17
4.1.4 สรุปรูปแบบเปรียบเทียบค่าพิโซมิเตอร์ก่อนและหลังเปลี่ยนระบบ	17
4.2 ผลการอ่านค่าฝายวัดอัตราการไหล (SEEPAGE FLOW METER)	17
4.2.1 ผลการอ่านค่า seepage flow meter	17
4.2.3 สรุปรูปแบบการอ่านค่า Seepage flow meter	19

เอกสาร**บทที่ 5 วิธีการศึกษา**นี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด**20**

ไม่ว่าการ**5.1 การสร้างแบบจำลองการไหลซึมผ่านเขื่อนที่น้ำเชื่อม** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ**20**ไปใช้

5.1.1 การขึ้นรูปแบบจำลองใน SEEP/W **20**

5.1.2	ที่มาของคุณสมบัติวัสดุ	21
5.1.3	กำหนดขอบเขตการวิเคราะห์และขนาดของเอลิเมนต์ (Define Boundary Condition and Mesh)	22
5.1.4	กำหนดฟังก์ชันการไหลซึม (Define K-function) กรณี Saturated/Unsaturated	23
5.1.5	กำหนดฟังก์ชันการไหลซึม (Define K-function) กรณี Saturated	25
5.2	ขั้นตอนการวิเคราะห์การไหลซึมด้วย SEEP/W	26
5.3	ผลการประมาณฟังก์ชันการไหลซึม	26
5.3.1	การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข	26
5.3.2	การประมาณฟังก์ชันการไหลซึม	32
5.4	ผลการวิเคราะห์การไหลซึมผ่านเขื่อนและฐานราก	33
5.5	ผลการวิเคราะห์ความปลอดภัยต่อการเกิด PIPING (FACTOR OF SAFETY AGAINST PIPING)	35
5.6	การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเขื่อน	39
บทที่ 6	สรุปผลการศึกษาและอภิปราย	40
6.1	การสร้างแบบจำลองการไหลซึมที่มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมเขื่อนแก่งกระจาน	40
6.2	สรุปผลการคำนวณทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลอง	42
6.3	สรุปผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมของวัสดุในแต่ละโซน	44
6.4	สรุปผลวิเคราะห์ FACTOR OF SAFETY AGAINST PIPING	44
บรรณานุกรม		46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ

บทที่	หน้า
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา	
รูปที่ 2- 1 การไหลผ่านดินที่อิ่มน้ำ	3
รูปที่ 2- 2 ทุกจุดบน EQUIPOTENTIAL LINE เส้นเดียวกันจะมี TOTAL HEAD เท่ากัน	4
รูปที่ 2- 3 แต่ละช่องการไหลที่ผ่าน EQUIPOTENTIAL LINE จะมีค่าศักย์น้ำลดลงจากเดิม	5
บทที่ 3 ตรวจสอบข้อมูลและเครื่องมือวัดพฤติกรรมที่เกี่ยวข้อง	
รูปที่ 3- 1 MILE STONE ของเขื่อนแก่งกระจาน	7
รูปที่ 3- 2 รูปตัด MAIN DAM ของเขื่อนแก่งกระจาน STA. 0+320 แสดงตำแหน่ง PIEZOMETER หมายเลข P1M1 ถึง P9M1	8
รูปที่ 3- 3 รูปตัด MAIN DAM ของเขื่อนแก่งกระจาน STA. 0+610 แสดงตำแหน่ง PIEZOMETER หมายเลข P1M2 ถึง P9M2	8
รูปที่ 3- 4 รูปตัด DIKE 1 ของเขื่อนแก่งกระจาน STA. 0+150 แสดงตำแหน่ง PIEZOMETER หมายเลข P1D1 ถึง P8D1	9
รูปที่ 3- 5 รูปตัด DIKE 2 ของเขื่อนแก่งกระจาน STA. 0+110 แสดงตำแหน่ง PIEZOMETER หมายเลข P1D2 ถึง P1D2	9
รูปที่ 3- 6 ตัวอย่างการติดตั้ง PIEZOMETER เขื่อนแก่งกระจานจำนวน 3 หัว	10
รูปที่ 3- 7 ตำแหน่งติดตั้ง SEEPAGE FLOW METER จำนวน 2 แห่ง ที่ MAIN DAM และ DIKE 1	12
รูปที่ 3- 8 รูปตัด SEEPAGE FLOW METER (SF-1) STA.0+320 ระยะออกฉากแกนเขื่อน 110 เมตร	12
รูปที่ 3- 9 ตัวอย่างการติดตั้งฝายวัดอัตราการไหลรูปตัววี บริเวณ MAIN DAM	13
รูปที่ 3- 10 รูปตัด SEEPAGE FLOW METER (SF-2) STA.0+120 ระยะออกฉากแกนเขื่อน 150 เมตร	13
รูปที่ 3- 11 ตัวอย่างการติดตั้งฝายวัดอัตราการไหลรูปตัววี บริเวณ DIKE 1	13
บทที่ 4 การอ่านค่าข้อมูล	
รูปที่ 4- 1 ผลการอ่านค่าระดับน้ำในเขื่อนแก่งกระจานตลอดปี พ.ศ. 2561	15
รูปที่ 4- 2 ผลการอ่านค่า TOTAL HEAD (M.MSL.) จาก P1D1 ตลอดปี พ.ศ. 2561	16
รูปที่ 4- 3 ผลการอ่านค่า TOTAL HEAD (M.MSL.) จาก P4D1 ตลอดปี พ.ศ. 2561	16
รูปที่ 4- 4 ผลการอ่านค่า TOTAL HEAD (M.MSL.) จาก P5D1 ตลอดปี พ.ศ. 2561	17
รูปที่ 4- 5 เปรียบเทียบค่า Q ของ SF-1 กับระดับน้ำในอ่าง (ระบบอ่านค่าออนไลน์)	18
รูปที่ 4- 6 ค่า อ่านค่า FLOW RATE จาก SF-2 พบ SENSOR DETECT ข้อมูลไม่มีทิศทางแน่นอน	18
บทที่ 5 วิธีการศึกษา	
รูปที่ 5- 1 FLOW CHART การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์การไหลซึม	20
รูปที่ 5- 2 แบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์ของ DIKE 1 STA.0+150 สำหรับการวิเคราะห์การไหลซึม	21
รูปที่ 5- 3 ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมจากชนิดของดิน	21
รูปที่ 5- 4 ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมจากการจำแนกหินฐานราก	22
รูปที่ 5- 5 BOUNDARY CONDITION ที่ใส่เข้าไปในแบบจำลองเรียบร้อยแล้ว และ MESH ขนาดไม่สม่ำเสมอในแบบจำลอง	23
รูปที่ 5- 6 ลำดับของการกำหนดโหมดและพารามิเตอร์ให้ดินแต่ละโซน สำหรับกรณีดิน SATURATED/UNSATURATED	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นจะถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 5- 7 กำหนด VOL. WATER CONTENT FUNCTIONS ประกอบด้วย SATURATED WC, SAMPLE MODEL และ MV.	24
รูปที่ 5- 8 ความสัมพันธ์เชิงประสพการณ์ระหว่าง HYDRAULIC CONDUCTIVITY (CM/S) กับ SATURATED WATER CONTENT (M ³ /M ³)	24
รูปที่ 5- 9 ความสัมพันธ์เชิงประสพการณ์ระหว่าง HYDRAULIC CONDUCTIVITY (M/S) กับ RESIDUAL WATER CONTENT (M ³ /M ³)	24
รูปที่ 5- 10 ลำดับของการกำหนดโหมดและพารามิเตอร์ให้ดินแต่ละโซน สำหรับกรณี SATURATED	25
รูปที่ 5- 11 การเปลี่ยนค่า K ใน SEEP/W (ซ้าย) และการตรวจสอบอัตราการไหลซึมผ่านเขื่อน (ขวา)	26
รูปที่ 5- 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P1D1	27
รูปที่ 5- 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P4D1	27
รูปที่ 5- 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P6D1	28
รูปที่ 5- 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P8D1	28
รูปที่ 5- 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P2D1	29
รูปที่ 5- 17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P3D1	29
รูปที่ 5- 18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P5D1	30
รูปที่ 5- 19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P7D1	30
รูปที่ 5- 20 ตำแหน่งติดตั้งพิโซมิเตอร์ที่ DIKE 1 ทั้งหมด 8 หัววัด จะเห็นว่า P5, P7 ไม่มีน้ำไหลผ่าน	31
รูปที่ 5- 21 ผลวิเคราะห์ PORE WATER PRESSURE และ FLOW RATE ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 99.00 ม.รทก.	33
รูปที่ 5- 22 ผลวิเคราะห์ PORE WATER PRESSURE และ FLOW RATE ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 102.65 ม.รทก.	33
รูปที่ 5- 23 ผลวิเคราะห์ PORE WATER PRESSURE และ FLOW RATE ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 106.00 ม.รทก.	33
รูปที่ 5- 24 ผลวิเคราะห์ TOTAL HEAD และ FLOW RATE ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 99.00 ม.รทก.	33
รูปที่ 5- 25 ผลวิเคราะห์ TOTAL HEAD และ FLOW RATE ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 102.65 ม.รทก.	33
รูปที่ 5- 26 ผลวิเคราะห์ TOTAL HEAD และ FLOW RATE ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 106.00 ม.รทก.	34
รูปที่ 5- 27 ผลวิเคราะห์ TOTAL HEAD และ FLOW RATE ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 99.00 ม.รทก.	34
รูปที่ 5- 28 ผลวิเคราะห์ TOTAL HEAD และ FLOW RATE ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 102.65 ม.รทก.	34
รูปที่ 5- 29 ผลวิเคราะห์ TOTAL HEAD และ FLOW RATE ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 106.00 ม.รทก.	34
รูปที่ 5- 30 แผนภาพมวลดินและแรงดันน้ำที่กระทำในทิศขึ้น ที่มา ; พรพจน์ ต้นเส็ง (2554)	35
รูปที่ 5- 31 การรั่วซึมของฐานรากและตัวเขื่อน ที่มา ; วรกร ไม้เรียง (2542)	36
รูปที่ 5- 32 แสดง NODE ที่ใช้คำนวณ F.S. AGAINST PIPING ตำแหน่ง TOE SLOPE ขนาด MESH SIZE 3X3 M.	36
รูปที่ 5- 33 แสดง NODE ที่ใช้คำนวณ F.S. AGAINST PIPING บริเวณรอยต่อแกนดินเหนียว FILTERและฐานราก MESH3X3M.	37
รูปที่ 5- 34 แสดง NODE ที่ใช้คำนวณ F.S. AGAINST PIPING บริเวณรอยต่อ FILTER และแกนดินเหนียว MESH SIZE 3X3M.	38
รูปที่ 5- 35 CHART การประมาณกำลังของดินเหนียวจากจำนวน SPT ที่มา ; BURT G.LOOK (2007)	39
รูปที่ 5- 36 ผลคำนวณเสถียรภาพของลาดด้านท้ายน้ำ ที่ระดับน้ำสูงสุด 102.65 ม.รทก.ได้ F.S. = 1.123	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและอภิปราย

รูปที่ 6- 1 ตำแหน่งอ่านค่าพิโซมิเตอร์ในแบบจำลองซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกันกับที่ติดตั้งในเขื่อน	41
รูปที่ 6- 2 ผลคำนวณ HYDRAULIC GRADIENT ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำ 106.000 ม.รทก.	44

สารบัญตาราง

บทที่	หน้า
บทที่ 3	
ตารางที่ 3- 1 ตำแหน่งและระดับติดตั้งของพิโซมิเตอร์	11
ตารางที่ 3- 2 ตำแหน่งติดตั้งและระยะออกจาก SEEPAGE FLOW METER	13
บทที่ 4	
ตารางที่ 4- 1 ผลการอ่านค่าความดันน้ำในตัวเขื่อนจากพิโซมิเตอร์ทุกหัววัด ช่วง พ.ศ. 2550-2552	14
ตารางที่ 4- 2 ปริมาณการรั่วซึมของน้ำต่อหน้าตัดที่วัดจาก SEEPAGE FLOW METER โดยคณะที่ปรึกษาโครงการฯ	19
ตารางที่ 4- 3 ผลการคำนวณปริมาณน้ำซึมผ่านหน้าตัด MAIN DAM, DIKE 1, DIKE 2 โดยคณะที่ปรึกษาโครงการฯ ระดับน้ำ 90 ม.รทก.	19
บทที่ 5	
ตารางที่ 5- 1 สรุปผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมจากชนิดของดินเขื่อนแก่งกระจาน	22
ตารางที่ 5- 2 BOUNDARY CONDITION ที่กำหนดสำหรับแบบจำลองการไหลซึมผ่านเขื่อนที่มีการไหลแบบ STEADY STATE	22
ตารางที่ 5- 3 ตัวอย่างการคำนวณการไหลซึม DIKE NO.1 จากแบบจำลอง	26
ตารางที่ 5- 4 ผลการเปรียบเทียบ TOTAL HEAD ในแบบจำลองกับพิโซมิเตอร์และสรุปผลการเปรียบเทียบ	31
ตารางที่ 5- 5 ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลซึมในแบบจำลองสรุปผลการเปรียบเทียบ	31
ตารางที่ 5- 6 สรุปผลการประมาณฟังก์ชันการไหลซึม	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1 บทนำ

1.1 บทนำและความเป็นมา

เขื่อนแก่งกระจานเป็นเขื่อนดินบดอัดแห่งแรกในประเทศไทยก่อสร้างโดยกรมชลประทานร่วมกับบริษัท Engineering Consultants Inc. Denver Colorado U.S.A. ก่อสร้างแล้วเสร็จตั้งแต่ พ.ศ. 2509 เป็นเขื่อนสารพัดประโยชน์ทั้งด้านชลประทานและการป้องกันอุทกภัยเป็นเสมือนหัวใจหลักในการส่งน้ำไปยังพื้นที่ชลประทาน การใช้งานที่ยาวนานย่อมมีความเสี่ยงที่จะเกิดข้อผิดพลาด การประเมินความปลอดภัยเขื่อนเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องมีข้อกำหนดที่ชัดเจนและมีประสิทธิภาพ

เขื่อนแก่งกระจานประกอบด้วยเขื่อนหลัก (Main Dam) 1 แห่ง และเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ (DIKE) อีก 2 แห่ง ภายในตัวเขื่อนแบ่งเป็นโซน มีแกนเป็นดินเหนียวที่บดอัด มีชั้นกรองสำหรับระบายน้ำและสามารถป้องกันการกัดเซาะภายใน มี Random Zone ประกอบด้วยทรายและกรวดบดอัดแน่นเป็นวัสดุหลักซึ่งมีความเป็นชั้นกรองในตัวเองด้วย ก่อนการก่อสร้างตัวเขื่อนมีการอัดฉีดน้ำปูนปรับปรุงฐานรากตลอดความยาวสันเขื่อน (Curtain Grout) บริเวณเขื่อนหลักและเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ 1 ทำให้เขื่อนสามารถเก็บน้ำได้เป็นอย่างดี

การใช้งานเขื่อนต่อเนื่องกว่า 50 ปี โดยมีการบำรุงรักษาแค่ทางกายภาพภายนอกอาจยังไม่สามารถประเมินได้ว่าตัวเขื่อนนั้นยังคงมีปลอดภัยต่อการวิบัติในทุกด้าน จึงต้องมีการศึกษากลไกของการไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนและฐานรากควบคู่กันด้วย แต่ในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาพารามิเตอร์ของดินที่เพียงพอ มีเพียงการตรวจสอบสภาพเขื่อนด้วยคลื่นธรณีฟิสิกส์ที่ทราบกำลังของดินในทางอ้อมและการตรวจสอบสภาพเขื่อนด้วยวิธีดัชนีสภาพโดยกรมชลประทานเท่านั้น

พฤติกรรมการไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนและฐานรากของเขื่อนแก่งกระจานมีความซับซ้อน ไม่สามารถทำได้โดยง่าย การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม Geostudio สามารถวิเคราะห์เงื่อนไขที่มีความซับซ้อนได้ จึงเป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษาพฤติกรรมเขื่อนแก่งกระจานในด้านอื่น ๆ ในอนาคต

สำหรับการจะทดสอบหาสัมประสิทธิ์การไหลซึม (Coefficient of Permeability) ในสนามเพื่อทราบค่าที่แท้จริงของวัสดุทุกโซนในเขื่อนเป็นเรื่องที่ทำได้ยากและการจะเก็บตัวอย่างมาทดสอบค่าการไหลซึมก็เป็นเรื่องที่ลำบากเช่นกัน เนื่องจากดินถมบดอัดมีความทึบน้ำสูง ดังนั้นการใช้โปรแกรมเข้ามาช่วยวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์การไหลซึมและพารามิเตอร์อื่น ๆ ของดินโดยไม่ต้องทดสอบในสนามจึงเป็นทางเลือกที่ดี

การวิเคราะห์การไหลซึมผ่านเขื่อนแก่งกระจานมุ่งเน้นการสร้างแบบจำลองเขื่อนแก่งกระจานและใช้แบบจำลองคำนวณแรงดันน้ำภายในตัวเขื่อนที่ระดับน้ำต่าง ๆ และประมาณพารามิเตอร์ดินโดยใช้ข้อมูลการจำแนกดินและข้อมูลจากเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อนประกอบกัน สามารถนำไปต่อยอดในการศึกษาพฤติกรรมด้านอื่น เช่น เสถียรภาพของลาด การทรุดตัว การเคลื่อนตัวทางข้าง เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) สร้างแบบจำลองการไหลซึมที่มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมเขื่อนแก่งกระจาน
- 2) คำนวณแรงดันน้ำภายในตัวเขื่อนและฐานรากที่ระดับน้ำต่าง ๆ
- 3) ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมของน้ำในแต่ละโซนของเขื่อน
- 4) คำนวณค่าความปลอดภัยต่อการเกิดการวิบัติแบบท่อ (factor safety against piping)

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ศึกษาการไหลซึมในสภาวะที่ระดับน้ำในเขื่อนคงที่ (Steady State Condition) ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณ
- 2) ถือว่าชั้นหินฐานรากและภายในแต่ละโซนวัสดุของเขื่อนมีความเป็นเนื้อเดียวกันสม่ำเสมอ (Homogeneous) ไม่ว่าจะกรณีใดก็ตาม
- 3) ศึกษาเฉพาะเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ 1 (DIKE NO.1)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

- 4) ศึกษาการไหลใน 2 มิติเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ประมาณสัมประสิทธิ์การไหลซึมของน้ำ (Coefficient of permeability) แต่ละโซนในเขื่อนแก่งกระจานได้โดยไม่ต้องทดสอบในสนาม
- 2) ประเมินความปลอดภัยของเขื่อนในเบื้องต้น แม้ระดับน้ำที่เขื่อนยังไม่เคยเก็บมาก่อน

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

- 1) ศึกษาข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน
- 2) รวบรวมผลการอ่านค่าของเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน
- 3) วิเคราะห์ผลการอ่านค่าของเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน
- 4) สร้างแบบจำลองไฟไนท์เอลิเมนต์ด้วย Geostudio
- 5) ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง
- 6) ตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์
- 7) สรุปผลการศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

2.1 Pressure and Head จากทฤษฎีของเบอร์นูลลี

ของไหลที่มีความหนาแน่นคงที่และไม่มีความหนืด ค่าศักย์น้ำรวม (Total Head) ในการไหลผ่านท่อดังรูปที่ 2-1 จะคงที่ไม่ว่าจะพิจารณาที่จุดใด ซึ่ง Daniel Bernoulli ได้สร้างความสัมพันธ์ดังสมการ

$$H = z + \frac{p}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} \quad (2.1)$$

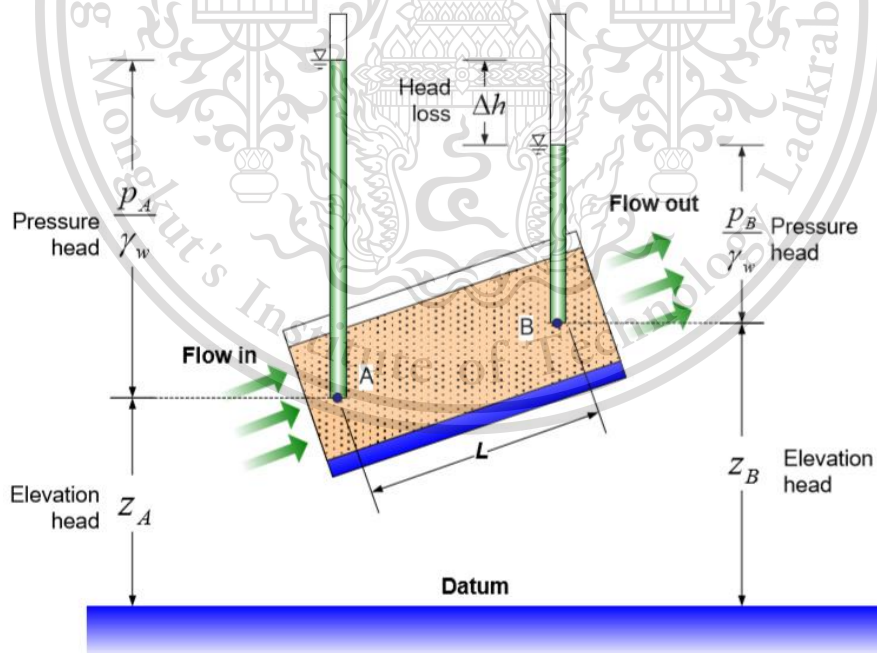
เมื่อ H คือ Total Head ณ ตำแหน่งใดๆ ซึ่งมีค่าคงที่ (m)

Z คือ Elevation Head วัดจาก Datum ถึงจุดศูนย์กลางการไหล (m)

$\frac{p}{\gamma_w}$ คือ Pressure Head ในท่อวัดระดับน้ำ (m)

$\frac{v^2}{2g}$ คือ Velocity Head (m)

พฤติกรรมของการไหลซึมผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานของการไหลไปกับแรงเสียดทาน และเมื่อพิจารณาการไหลผ่านเม็ดดินในทางวิศวกรรมนั้น จะคิดว่าไหลผ่านดินที่อิ่มน้ำ และมีการไหลคงที่ที่มีความเร็วต่ำ ดังนั้น การไหลผ่านเม็ดดินถึงเป็นการไหลแบบ laminar flow ดังนั้นเทอม $v^2/2g$ จึงน้อยมากและไม่นำมารวมในสมการ 2.1



รูปที่ 2- 1 การไหลผ่านดินที่อิ่มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ที่มา; พรพจน์ ดันเส็ง (2554) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อคิดว่าความเร็วในการไหลที่จุด A น้อยมากดังนั้น Total head ที่จุด A จึงเท่ากับ

$$(Total\ Head)_A = z_A + \frac{p_A}{\gamma_w}$$

และ Total Head ที่จุด B เท่ากับ

$$(Total\ Head)_B = z_B + \frac{p_B}{\gamma_w}$$

ค่า Head loss ระหว่างจุด A และ B

$$\Delta h = \left(z_A + \frac{p_A}{\gamma_w} \right) - \left(z_B + \frac{p_B}{\gamma_w} \right)$$

ซึ่ง Head loss นี้เมื่อหารด้วยระยะห่างระหว่างจุดที่เกิด Head loss ในแนวราบ (L) จะได้เป็นความลาดทางชลศาสตร์ (i)

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

2.2 กฎของดาร์ซี (Darcy's law)

Henry Darcy วิศวกรชาวฝรั่งเศสได้ศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำใต้ดิน พบว่าความเร็วของน้ำใต้ดินจากการเคลื่อนที่ของน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน จะแปรผันตามความลาดทางชลศาสตร์ (Hydraulic gradient, i) ความเร็วเฉลี่ยของการไหลของน้ำใต้ดิน คือ อัตราการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัด (A) ของตัวกลางซึ่งเป็นมวลดินหรือหิน ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการไหลของน้ำใต้ดินกับความลาดทางชลศาสตร์ ได้ดังนี้

$$v \propto i$$

$$v = ki$$

โดยที่ k คือ สัมประสิทธิ์ของการไหลซึมของน้ำ (coefficient of permeability)

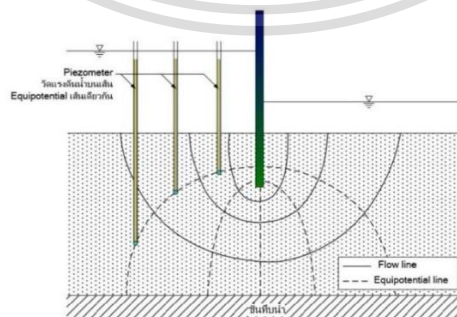
i คือ ความลาดทางชลศาสตร์ (hydraulic gradient) เป็นความลาดของทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน
อัตราการไหล

$$Q = vA$$

$$Q = kiA$$

2.3 ทฤษฎีเส้นข่ายการไหล (Casagrande Thorem)

การเขียน Flow net เป็นวิธีที่ง่ายและค่อนข้างสะดวก ใช้คำนวณอัตราการไหลและอธิบายเกี่ยวกับ Total Head ที่ลดลงจากด้านเหนือน้ำถึงท้ายน้ำได้ที ทุกจุดบน Equipotential line เส้นเดียวกันจะมี Total head เท่ากัน ดังรูปที่ 2-2



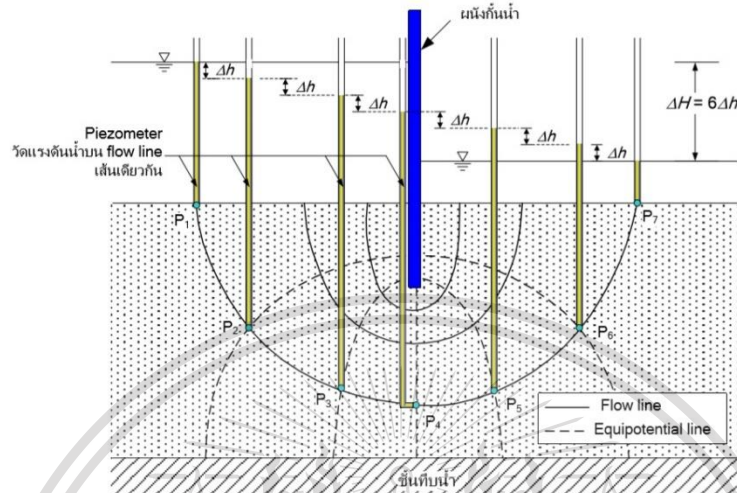
รูปที่ 2- 2 ทุกจุดบน Equipotential line เส้นเดียวกันจะมี total head เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เส้นที่แสดงการไหลของน้ำเรียกว่าเส้นการไหล (Flow line) เป็นเส้นที่แสดงถึงทิศทางการไหลของน้ำที่ไหลจากด้านเหนือน้ำไปด้านท้ายน้ำเสมอ โดยช่องว่างที่อยู่ระหว่างเส้นการไหลแต่ละเส้นเรียกว่าช่องการไหล (Flow Channel) ชุดของ Equipotential line กับ Flow line เรียกว่า Flow net ทุกการไหลที่ผ่าน Equipotential line แต่ละเส้นจะมี total head ลดลงและ Flow line จะตั้งฉากกับ equipotential line เสมอดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2- 3 แต่ละช่องการไหลที่ผ่าน Equipotential line จะมีค่าศักย์น้ำลดลงจากเดิม

ที่มา ; พรพจน์ ดันเส็ง (2554)

ในกรณีที่คำนวณอัตราการไหลจากเส้นข่ายการไหล (flow net)

$$Q = kh \frac{N_f}{N_e}$$

เมื่อ k คือ สัมประสิทธิ์ของการไหลซึมของน้ำ (coefficient of permeability)

h คือ ความต่างศักย์ ณ ตำแหน่งใดๆ บน Equipotential Line

N_f คือ จำนวนช่องการไหล (flow channel)

N_e คือ จำนวนช่องของพลังงานศักย์ (equipotential space)

2.4 การวิเคราะห์การไหลซึมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ซิโนรส ทองธรรมชาติ (2546) ได้อธิบายเกี่ยวกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เบื้องต้นว่า

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นการแก้ปัญหาด้วยวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) ซึ่งปัญหามีสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) ควบคุมไว้ เช่น ปัญหาการไหลซึมเป็นต้น วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีพื้นฐานที่พัฒนาจากวิธีการคณิตศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์โดยการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรม อย่างไรก็ตาม คำว่าไฟไนต์เอลิเมนต์ปรากฏครั้งแรกในปี ค.ศ.1960 โดย Clough (Zienkiewicz and Taylor, 1989) และในปัจจุบันนิยมนำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ไปประยุกต์ใช้กับ

ปัญหาด้านวิศวกรรมต่าง ๆ เพราะสามารถวิเคราะห์ปัญหาที่มีความไม่สม่ำเสมอและมีเงื่อนไขได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.1 วิธีการวิเคราะห์การไหลซึมด้วยโปรแกรม SEEP/W

ซีโนรส ทองธรรมชาติ (2546) ยังอธิบายอีกว่า โปรแกรม SEEP/W เป็นไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับจำลองการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำในดินและหิน ซึ่งอาจจะเป็นวัสดุที่อิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวก็ได้ โดยคุณสมบัติของเอลิเมนต์ ได้แก่ ค่าความซึมน้ำและปริมาณน้ำในดิน สามารถกำหนดให้เป็นฟังก์ชันของแรงดันน้ำ (K-function) สำหรับการวิเคราะห์การไหลซึมสามารถทำได้แบบคงที่ (Steady flow) และไม่คงที่ (Transient flow) จึงสามารถใช้โปรแกรม SEEP/W วิเคราะห์ปัญหาการไหลซึมทางวิศวกรรม เช่น การไหล Confined และ Unconfined การไหล Infiltration และการอัดตัวคายน้ำได้ (Geoslope, 1999)

2.4.2 ส่วนประกอบของโปรแกรม SEEP/W

แบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนการสร้างแบบจำลอง (Define) เป็นส่วนของการกำหนดลักษณะพื้นที่การไหลซึม ส่วนนี้จะใช้การสร้างโครงข่ายเอลิเมนต์ ซึ่งจะเป็เอลิเมนต์สามเหลี่ยมหรือสราเหลี่ยมก็ได้ ใช้กำหนดสมการค่าความซึมผ่านของโซนบดอัดต่าง ๆ ในเขื่อนรวมถึงหินฐานรากด้วย ใช้กำหนดขอบเขตของพื้นที่การไหลซึมต่าง ๆ เช่น total head ของระดับน้ำทั้งทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ total head ของแนวมานระบายน้ำ และขอบเขตการไหลซึม
2. ส่วนการคำนวณและวิเคราะห์ผล (Solve) เป็นส่วนของการคำนวณหาผลเฉลยของปัญหาหลังจากที่ได้กำหนดพื้นที่การไหลซึมแล้วในส่วน Define โดยการคำนวณจะใช้วิธีของ Galerkin ผลจากการคำนวณจะได้ total head และตัวแปรอื่น ๆ เช่น อัตราการไหล ศักย์ความดัน ความเร็วของการไหล ความลาดทางชลศาสตร์ ปริมาณการไหล
3. ส่วนการแสดงผล (Contour) โปรแกรม SEEP/W สามารถแสดงผลวิเคราะห์ของแต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์ แสดงผลวิเคราะห์ในลักษณะของเส้นชั้นความสูง (Contour) และสามารถแสดงทิศทางการไหลผ่านแต่ละเอลิเมนต์ (Vector) และปริมาณการไหลที่หน้าตัดใด ๆ ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

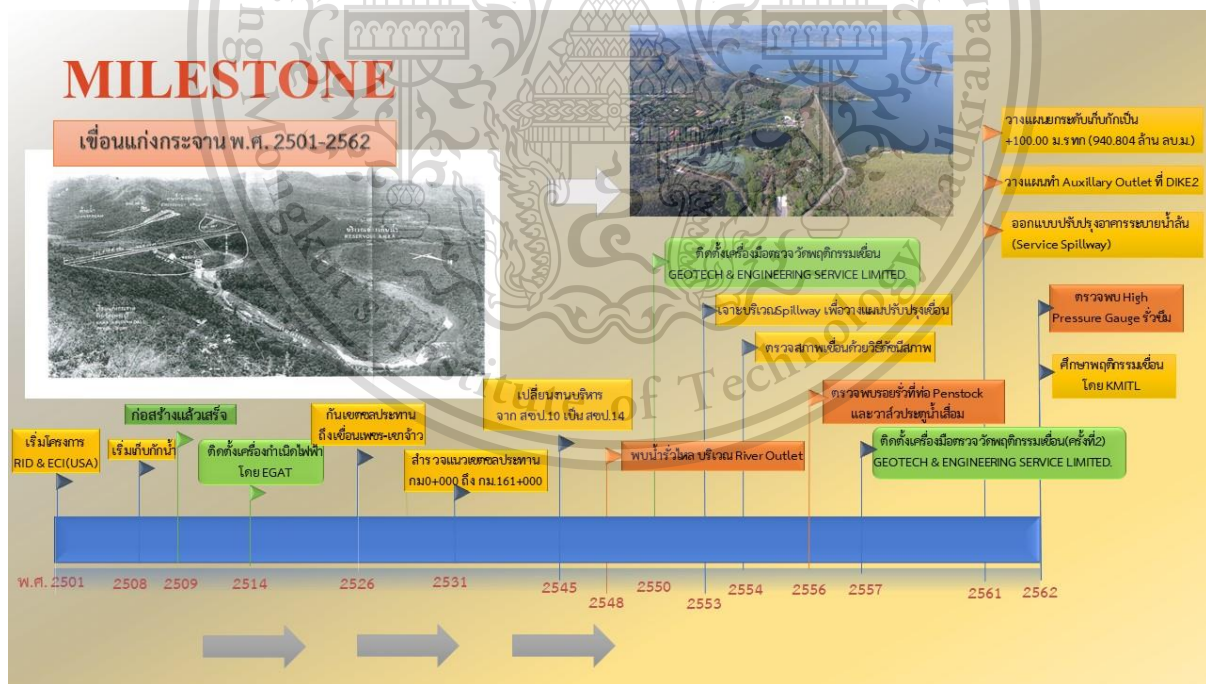
บทที่ 3 ตรวจสอบข้อมูลและเครื่องมือวัดพฤติกรรมที่เกี่ยวข้อง

แบบจำลองที่ดีต้องสร้างขึ้นมาจากข้อมูลที่ถูกต้อง ดังนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องโดยละเอียด เพื่อเข้าใจถึงกลไกการทำงาน ข้อจำกัดของเครื่องมือและสภาพการทำงานของเครื่องมือในปัจจุบัน ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อการเลือกใช้อุปกรณ์

3.1 Mile Stone และข้อมูลเชื่อมแก่กระงานเบื้องต้น

เขื่อนแก่กระงานก่อสร้างเมื่อ พ.ศ. 2504 แล้วเสร็จเมื่อ พ.ศ. 2509 โดยกรมชลประทานร่วมกับบริษัท Engineering Consultants Inc. Denver Colorado U.S.A. ก่อสร้างเป็นเขื่อนดินแห่งแรกของประเทศไทย

เขื่อนแก่กระงานเป็นเขื่อนดินถมบดอัดประกอบด้วยเขื่อนหลัก (Main Dam) 1 แห่ง และเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ (DIKE) อีก 2 แห่ง ตัวเขื่อนหลักมีความยาว 760 เมตร สูง 58 เมตร สันเขื่อนกว้าง 8 เมตร เป็นเขื่อนดินถมบดอัดมีแกนดินเหนียวที่บ้น้ำภายใน มีชั้นกรองประกอบด้วย Chimney drain และ Blanket drain สำหรับระบายน้ำ มีฐานรากเป็นหินตะกอนผุร่อนจึงมีการปรับปรุงฐานรากตั้งแต่ก่อสร้างเขื่อนโดยการทำ Curtain Grout ตลอดความยาวเขื่อน ลึก 30 เมตร นอกจากนี้ยังมีเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ 1 (DIKE 1) ความยาว 305 เมตร สูง 36 เมตร สันเขื่อนกว้าง 8 เมตร เป็นเขื่อนดินถมบดอัดมีโซนภายในและมีการปรับปรุงฐานรากเหมือนเขื่อนหลักและเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ 2 (DIKE 2) ความยาว 255 เมตร สูง 24 เมตร สันเขื่อนกว้าง 8 เมตร เป็นเขื่อนหินถมบดอัดมีแกนดินเหนียวที่บ้น้ำตั้งอยู่บนฐานรากหินแข็ง ไม่มีชั้นกรองนอกจากนี้ DIKE 2 ยังทำหน้าที่เป็น Emergency Spillway ในกรณีน้ำหลากอีกด้วย บริเวณปล่อยน้ำของเขื่อนแก่กระงานมีโรงไฟฟ้าขนาด 19,000 กิโลวัตต์ ให้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยปีละ 70 ล้านกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ติดตั้งเมื่อปี พ.ศ. 2514 และผลิตไฟฟ้าได้ในปี พ.ศ. 2517 เพื่อให้เข้าใจประวัติและเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นกับเขื่อนแก่กระงานสามารถดูได้จาก Mile Stone ดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3- 1 Mile Stone ของเขื่อนแก่กระงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

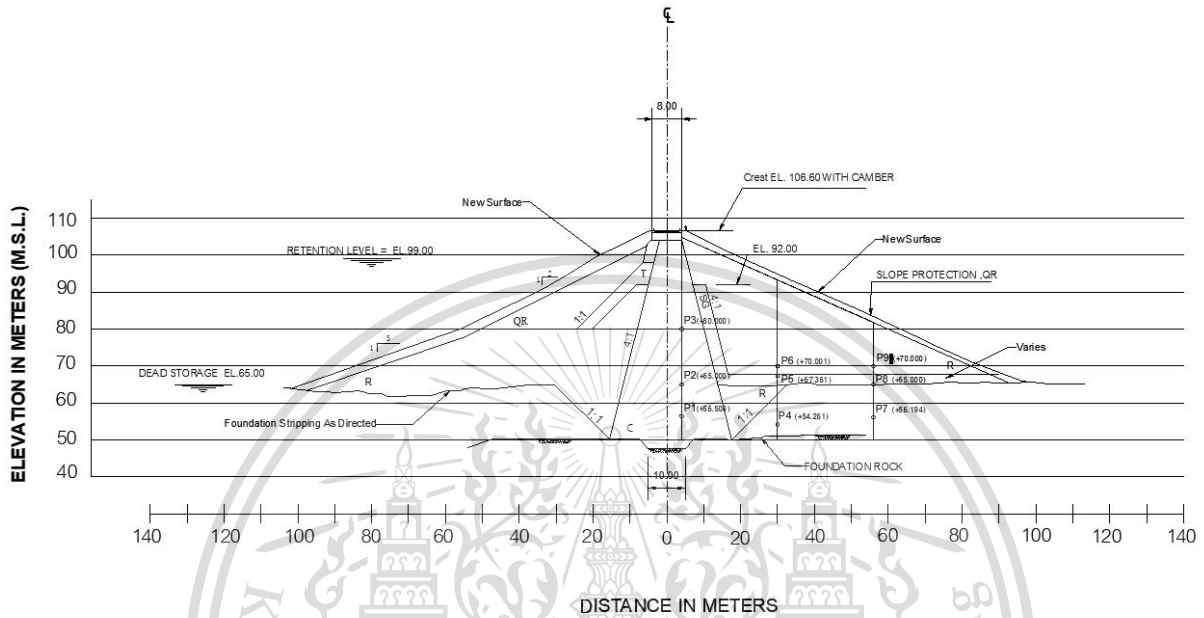
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 พิโซมิเตอร์ (Piezometer)

3.2.1 รูปตัดและตำแหน่งติดตั้งพิโซมิเตอร์

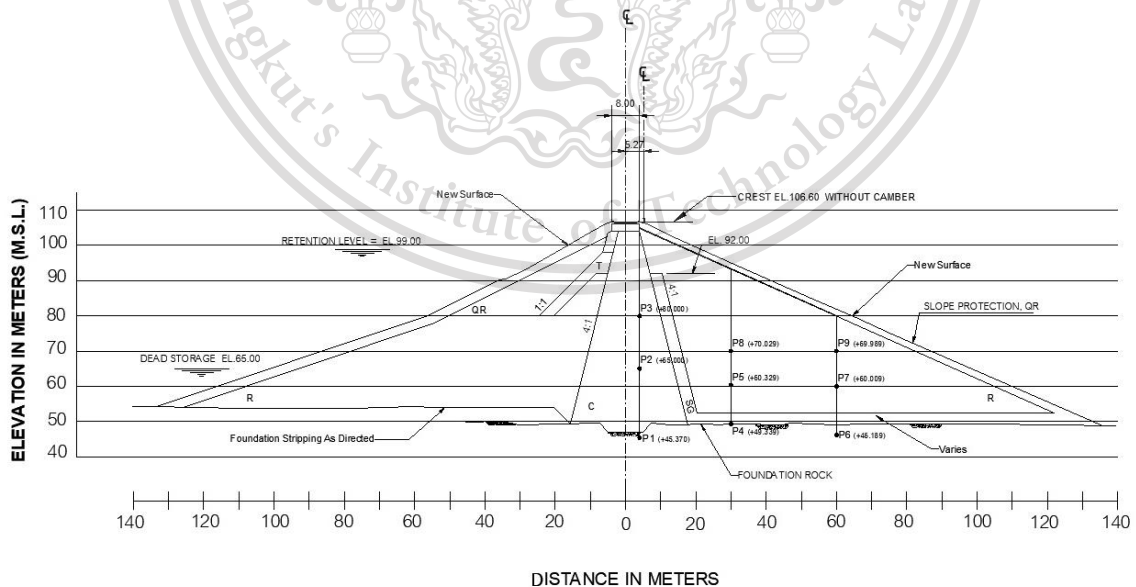
เขื่อนแก่งกระจานติดตั้งพิโซมิเตอร์ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2550 โดยบริษัท Geotech & Engineering Service จำกัด ติดตั้งจำนวน 30 หัว อยู่ที่ Main Dam 18 หัว หน้าตัดละ 9 หัว อยู่ที่ DIKE 1 จำนวน 8 หัวและอยู่ที่ DIKE 2 จำนวน 4 หัว แสดงตำแหน่งติดตั้งดังรูปที่ 3-2 ถึง รูปที่ 3-5



รูปตัดเขื่อนแก่งกระจาน MAIN DAM แสดงตำแหน่ง PIEZOMETER กม. 0+320

รูปที่ 3- 2 รูปตัด Main Dam ของเขื่อนแก่งกระจาน Sta. 0+320 แสดงตำแหน่ง Piezometer หมายเลข P1M1 ถึง P9M1

คัดลอกจาก KANG KRACHAN DAM dwg. KK-156 ถึง KK-160 Engineering Consultant, Inc. Denver 23, Colorado



รูปตัดเขื่อนแก่งกระจาน MAIN DAM แสดงตำแหน่ง PIEZOMETER กม. 0+610

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 3- 3 รูปตัด Main Dam ของเขื่อนแก่งกระจาน Sta. 0+610 แสดงตำแหน่ง Piezometer หมายเลข P1M2 ถึง P9M2

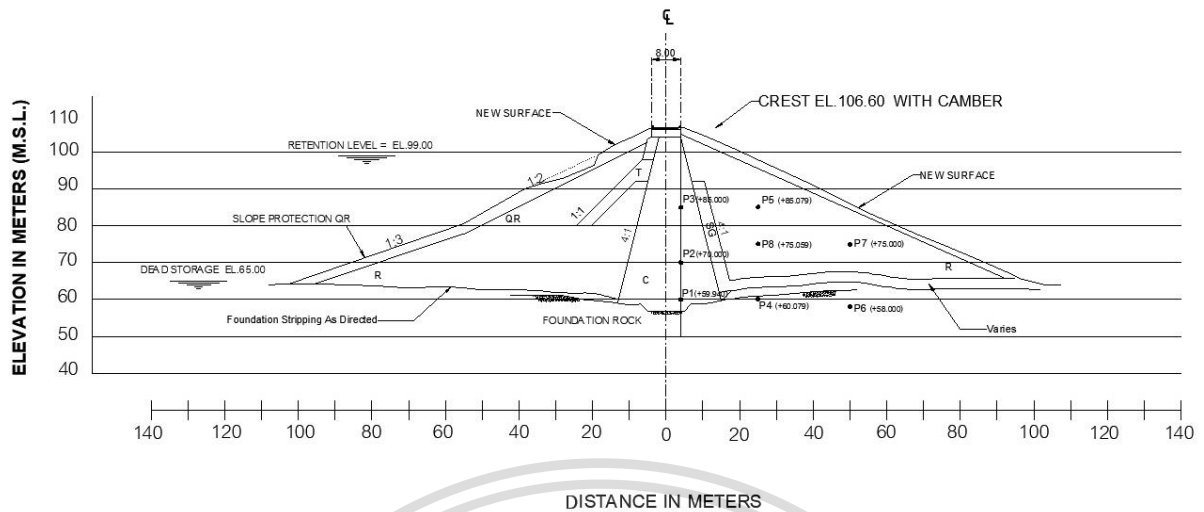
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(หน้าตัดที่ลึกที่สุด)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

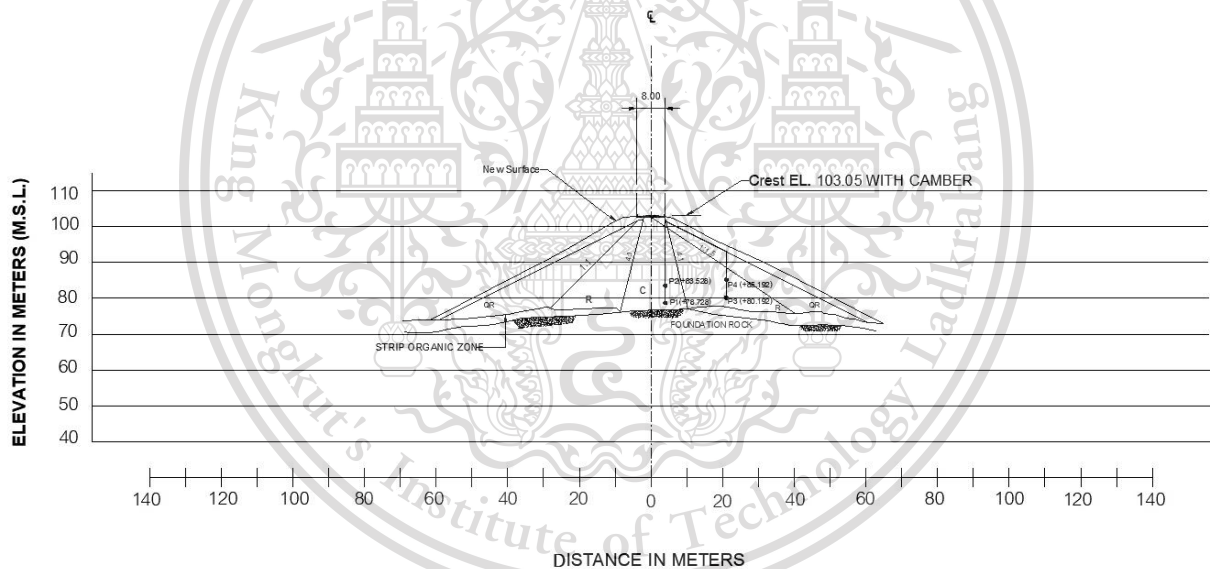
คัดลอกจาก KANG KRACHAN DAM dwg. KK-156 ถึง KK-160 Engineering Consultant, Inc. Denver 23, Colorado



รูปตัดเขื่อนแก่งกระงาน DIKE NO.1 แสดงตำแหน่ง PIEZOMETER กม. 0+150

รูปที่ 3- 4 รูปตัด DIKE 1 ของเขื่อนแก่งกระงาน Sta. 0+150 แสดงตำแหน่ง Piezometer หมายเลข P1D1 ถึง P8D1

คัดลอกจาก KANG KRACHAN DAM dwg. KK-156 ถึง KK-160 Engineering Consultant, Inc. Denver 23, Colorado



รูปตัดเขื่อนแก่งกระงาน DIKE NO.2 แสดงตำแหน่ง PIEZOMETER กม. 0+110

รูปที่ 3- 5 รูปตัด DIKE 2 ของเขื่อนแก่งกระงาน Sta. 0+110 แสดงตำแหน่ง Piezometer หมายเลข P1D2 ถึง P1D2

คัดลอกจาก KANG KRACHAN DAM dwg. KK-156 ถึง KK-160 Engineering Consultant, Inc. Denver 23, Colorado

3.2.2 รายละเอียดการติดตั้งพีโซมิเตอร์

3.2.2.1 การติดตั้งพีโซมิเตอร์

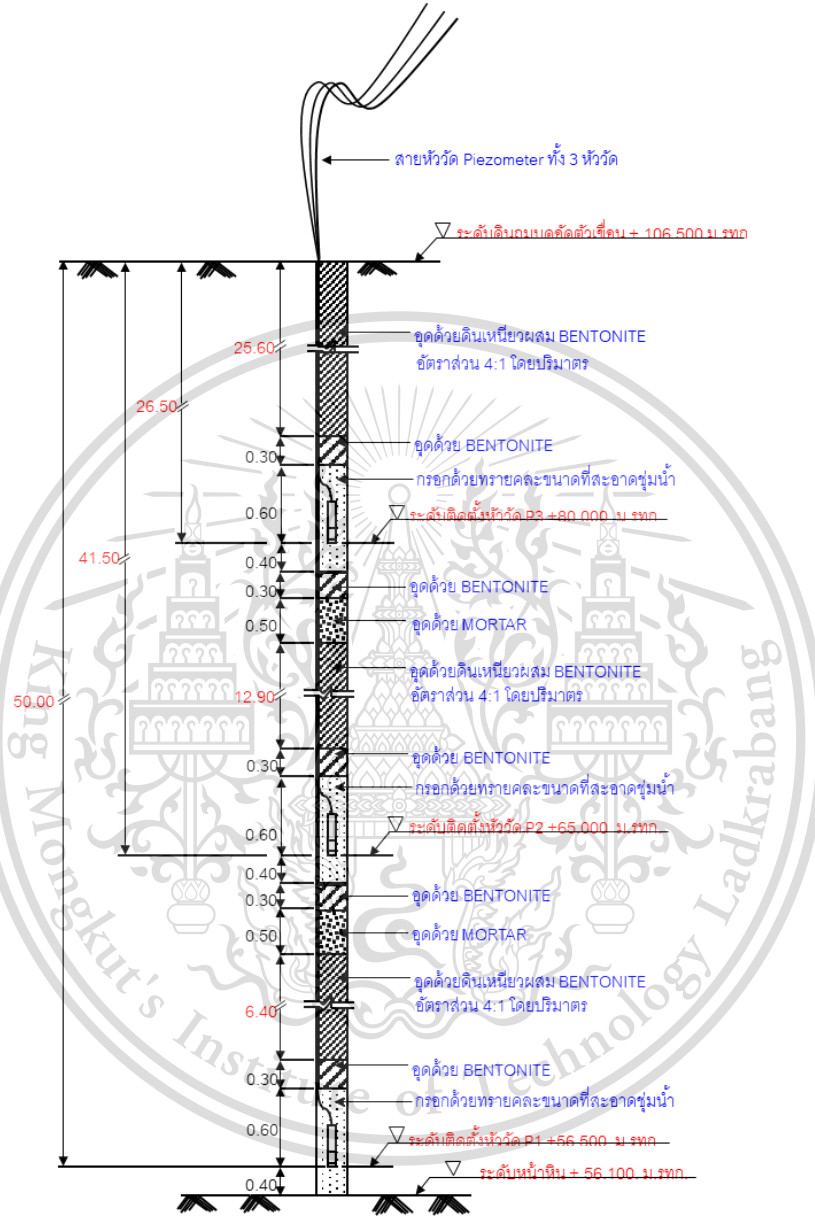
พีโซมิเตอร์มีหน้าที่วัดความดันน้ำในตัวเขื่อน ติดตั้งโดยการสร้างหลุมเจาะลงไปในตัวเขื่อนและหย่อนหัววัดลงไปตาม

ความลึกที่ต้องการติดตั้ง บริเวณที่มีหัววัดอยู่ในหลุมเจาะจะถูกอัดด้วยทรายสะอาดชุ่มน้ำเพื่อให้สามารถไหลผ่าน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม ลิขสิทธิ์ทางปัญญาของงานแปลภาษาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ต่อมาในปี พ.ศ. 2557 กรมชลประทานได้เปลี่ยนระบบการอ่านค่าเครื่องมือจากเดิมที่เป็นระบบปิดไปเป็นระบบ Online บนเว็บไซต์ที่ชื่อว่า Argus Web Monitoring ในจุดนี้เองเป็นจุดเปลี่ยนที่ทำให้ Piezometer ที่ Main Dam และ Dike 1 อ่านข้อมูลได้ไม่เหมือนเดิมจึงสันนิษฐานว่าเครื่องมือ “ແ່ນตรงแต่ไม่ແ່ນย៉า” แล้วและยังไม่มีการแก้ไขจนถึงปัจจุบัน แสดงตัวอย่างการติดตั้ง Vibrating Wire Piezometer ดังรูปที่ 3-6



รูปที่ 3- 6 ตัวอย่างการติดตั้ง Piezometer เชื้อนแก่งกระงานจำนวน 3 หัว

คัดลอกจากแบบฟอร์มการติดตั้ง Piezometer โดย GEOTECH & ENGINEERING SERVICE LIMITED.

3.2.2.2 ข้อจำกัดของพิโซมิเตอร์

ข้อจำกัดของพิโซมิเตอร์คือไม่สามารถวัดความดันน้ำในระดับที่ต่ำกว่าระดับติดตั้งได้ กล่าวคือต้องมีน้ำท่วมหัววัดจึงจะตรวจวัดได้นั่นเอง แต่ก็มักจะมีข้อมูลที่ Piezometer อ่านได้ต่ำกว่าระดับติดตั้งเล็กน้อยหลุดมาอยู่บ้างทั้งนี้อาจเป็นเพราะปัจจัยอื่น เช่น น้ำค้างหลุมเจาะ, ความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยของการติดตั้งจริงกับการบันทึก, บริเวณที่ติดตั้งมีความชื้นน้ำสูง เป็นต้น เมื่อจะใช้ข้อมูลพิโซมิเตอร์ก็ต้องตรวจสอบระดับติดตั้งและตำแหน่งไปพร้อมกันกับข้อมูลที่อ่านได้ด้วย มิเช่นนั้นจะเกิดข้อผิดพลาดและข้อสงสัยตามมาทีหลังได้หากไม่รอบคอบ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

3.2.2.3 สรุปผลการติดตั้งพีโซมิเตอร์

สรุปตำแหน่งติดตั้งพีโซมิเตอร์ได้ดังตารางที่ 3-1 เพื่อนำไปวิเคราะห์การไหลซึมต่อไป

ตารางที่ 3- 1 ตำแหน่งและระดับติดตั้งของพีโซมิเตอร์

หมายเลข หัววัด	ตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือ Piezometer		
	กม. (ม.)	ออกจาก (ม.)	ระดับ ม.(รทก.)
P1/M1	0+320	4.00 D/S	+56.621
P2/M1	0+320	4.00 D/S	+65.109
P3/M1	0+320	4.00 D/S	+80.539
P4/M1	0+320	30.00 D/S	+54.374
P5/M1	0+320	30.00 D/S	+67.910
P6/M1	0+320	30.00 D/S	+70.109
P7/M1	0+320	56.00 D/S	+70.102
P8/M1	0+320	56.00 D/S	+65.103
P9/M1	0+320	56.00 D/S	+70.102
P1/M2	0+610	4.00 D/S	+45.370
P2/M2	0+610	4.00 D/S	+65.000
P3/M2	0+610	4.00 D/S	+80.000
P4/M2	0+610	30.00 D/S	+49.339
P5/M2	0+610	30.00 D/S	+60.329
P6/M2	0+610	60.00 D/S	+46.189
P7/M2	0+610	60.00 D/S	+60.009
P8/M2	0+610	30.00 D/S	+70.029
P9/M2	0+610	60.00 D/S	+69.989
P1/D1	0+150	4.00 D/S	+59.940
P2/D1	0+150	4.00 D/S	+70.000
P3/D1	0+150	4.00 D/S	+85.000
P4/D1	0+150	25.00 D/S	+60.079
P5/D1	0+150	25.00 D/S	+85.079
P6/D1	0+150	50.00 D/S	+58.000
P7/D1	0+150	50.00 D/S	+75.000
P8/D1	0+150	25.00 D/S	+75.059
P1/D2	0+110	4.00 D/S	+78.728
P2/D2	0+110	4.00 D/S	+83.528
P3/D2	0+110	21.00 D/S	+80.192
P4/D2	0+110	21.00 D/S	+85.192

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

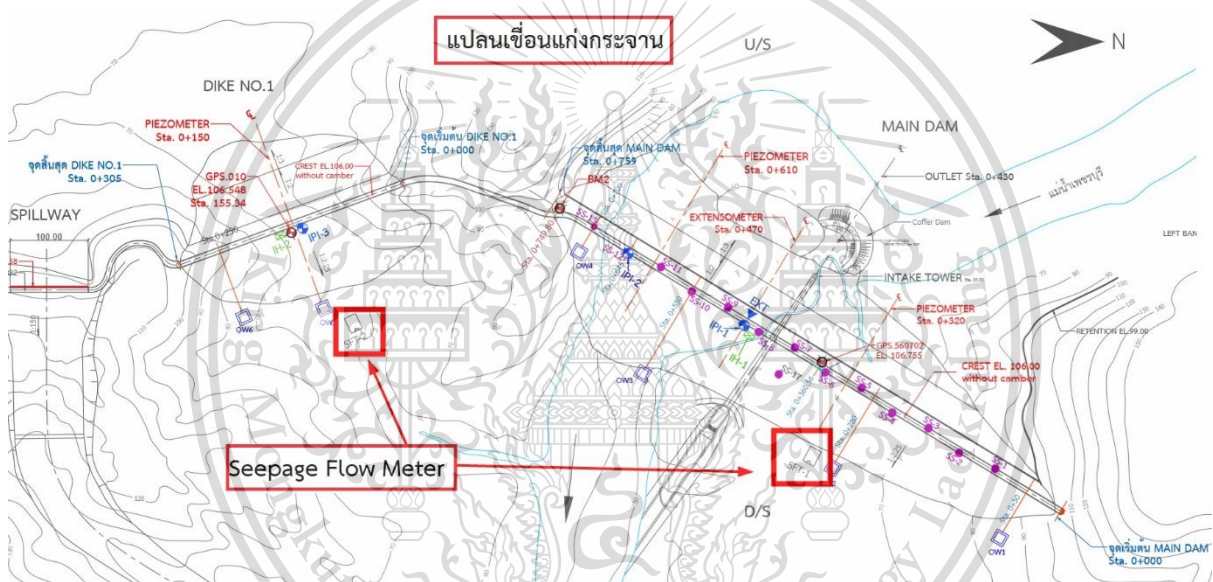
3.3 ฝ่ายวัดอัตราการไหล (Seepage Flow Meter)

การก่อสร้างเขื่อนดินถมบดอัดจะยอมให้น้ำไหลซึมผ่านเขื่อนไปได้ในทิศทางในทิศทางและปริมาณที่กำหนด ปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเขื่อนจะถูกระบายผ่านชั้นกรองในตัวเขื่อนและไหลมารวมกันที่จุดต่ำสุดของเขื่อน ฝ่ายวัดอัตราการไหลจะถูกสร้างขึ้นเพื่อตรวจวัดปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเขื่อนเหล่านี้ก่อนจะระบายสู่ลำน้ำเดิมต่อไป

การวัดอัตราการไหลด้วยฝายในลักษณะนี้มีประโยชน์ในการตรวจสอบการเกิดการกัดเซาะภายในตัวเขื่อน (Internal Erosion) ได้ในภาพกว้างจากการสังเกตของผู้ตรวจสอบภาพเขื่อน เช่น สี ตะกอนดิน อัตราการไหลที่ผิดปกติ เป็นต้น เพราะ การกัดเซาะภายในจะทำให้เกิดรูพรุนในตัวเขื่อน ทำให้ทิศทางของน้ำที่กำลังไหลซึมผ่านเขื่อนเปลี่ยนไปแบบควบคุมไม่ได้ การพบกลางบ่อเหตุได้ไวจะสามารถตัดสินใจแก้ไขปัญหาได้ทันการณ์

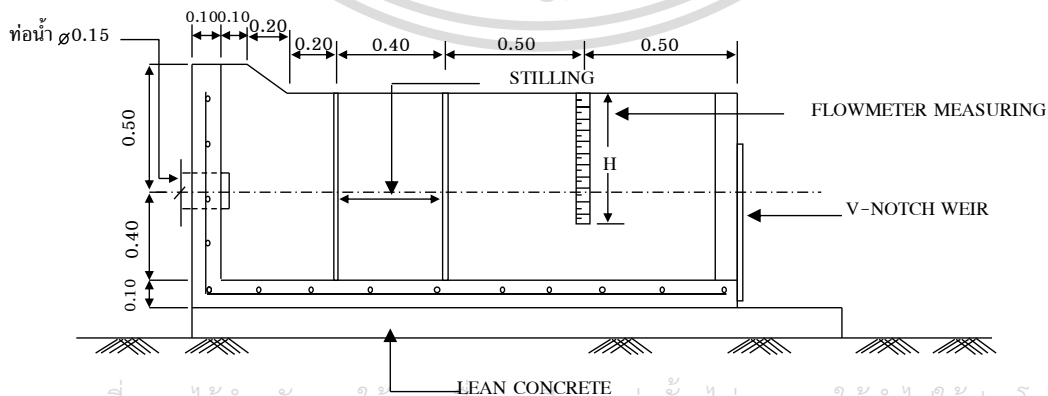
3.3.1 รูปตัดและตำแหน่งติดตั้ง

ฝ่ายวัดอัตราการไหลเป็นฝายรูปตัววี (V-notch weir) มีทั้งหมด 2 แห่ง ติดตั้งอยู่ด้านท้ายน้ำที่ Main Dam และ Dike 1 มีความสำคัญในการวัดอัตราการไหลซึมออกด้านท้ายน้ำแสดงตำแหน่งที่ติดตั้งดังรูปที่ 3-7 แสดงรูปตัดของฝายดังรูปที่ 3-8 และ 3-10



รูปที่ 3- 7 ตำแหน่งติดตั้ง Seepage Flow Meter จำนวน 2 แห่ง ที่ Main Dam และ Dike 1

คัดลอกจาก แปลนแสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือเขื่อนแก่งกระจาน หมายเลข 212496 กรมชลประทาน



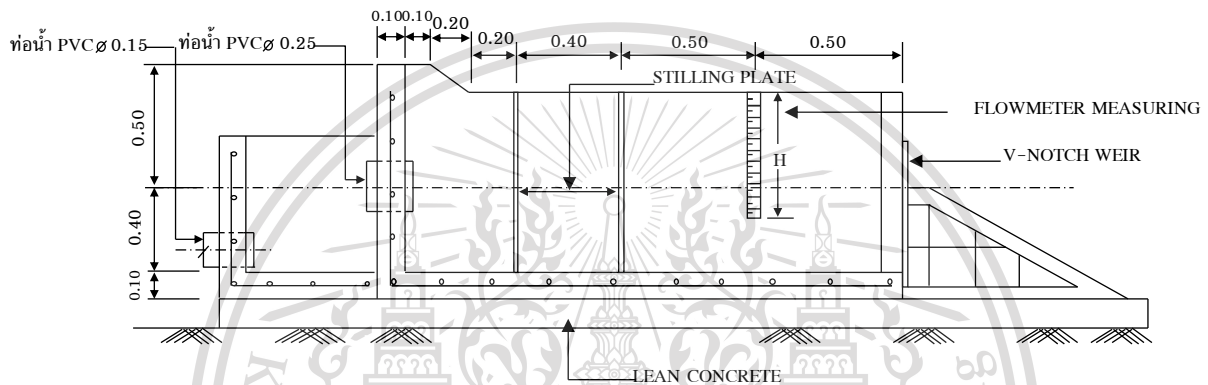
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3- 9 ตัวอย่างการติดตั้งฝายวัดอัตราการไหลรูปตัววี บริเวณ Main Dam



รูปที่ 3- 10 รูปตัด Seepage flow meter (SF-2) Sta.0+120, ระยะออกจากแกนเขื่อน 150 เมตร



รูปที่ 3- 11 ตัวอย่างการติดตั้งฝายวัดอัตราการไหลรูปตัววี บริเวณ DIKE 1

3.3.2 สรุปตำแหน่งของฝายวัดอัตราการไหล

ข้อมูลการติดตั้งฝายวัดอัตราการไหลของเขื่อนแก่งกระจานเป็นไปตามตารางที่ 3-2 อ้างอิงจากผลการสำรวจโดยคณะที่ปรึกษาเกณฑความปลอดภัยเขื่อนจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วันที่ 6 ก.ค. 2562 ตารางที่ 3-2 ตำแหน่งติดตั้งและระยะออกจาก Seepage Flow Meter

หมายเลข หัววัด	ตำแหน่งของ Seepage Flow Meter สำหรับ KMITL พ.ศ. 2562		
	ตำแหน่ง	กม. (ม.)	ออกจาก (ม.)
SF-1	Main Dam	0+312.611	108.066 D/S
SF-2	DIKE 1		

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4 ผลการอ่านค่าเครื่องมือ

การวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องมือวัดก่อนการนำไปใช้เป็นสิ่งจำเป็น ผลการตรวจวัดจากในสนามอาจเกิดข้อผิดพลาดได้เสมอหากไม่ได้มีการตรวจสอบอยู่เป็นประจำ สำหรับเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อนที่ติดตั้งไว้ในเขื่อนแก่งกระจานตั้งแต่ พ.ศ. 2550 มีการอ่านค่าที่ตรวจวัดได้เป็นรายสัปดาห์ ต่อมาเปลี่ยนเป็นการอ่านค่าผ่านระบบออนไลน์ตั้งแต่ พ.ศ. 2557 เมื่อทราบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของระบบอ่านค่าจึงต้องมีการประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลก่อนนำมาใช้

4.1 ผลการอ่านค่าพิโซมิเตอร์

4.1.1 ผลการอ่านค่าพิโซมิเตอร์ก่อนเปลี่ยนระบบอ่านค่า

เมื่อได้ตรวจสอบความดันน้ำที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์ก่อนจะเปลี่ยนระบบ พ.ศ. 2550-2552 ข้อมูลมีอย่างจำกัด เนื่องจากการอ่านค่าจะเป็นการอ่านรายสัปดาห์และไม่พบข้อมูลการอ่านค่าหลังจาก พ.ศ. 2553-2557 แสดงในตารางที่ 4-1 ตารางที่ 4-1 ผลการอ่านค่าความดันน้ำในตัวเขื่อนจากพิโซมิเตอร์ทุกหัววัด ช่วง พ.ศ. 2550-2552

หมายเลข หัววัด	ตำแหน่งหัววัด			วันที่/เดือน/ปีที่อ่านค่า และ Total Head (m)		
	Sta.	Offset (m)	ระดับติดตั้ง (m.msl.)	19/9/2550	5/12/2550	3/7/2552
Reservoir Water Level (m.msl.)				94.990	96.140	91.030
P1/M1	0+320	4.00 D/S	+56.621	72.352	73.051	70.925
P2/M1	0+320	4.00 D/S	+65.109	75.104	75.967	72.789
P3/M1	0+320	4.00 D/S	+80.539	85.372	85.564	81.334
P4/M1	0+320	30.00 D/S	+54.374	67.409	67.652	65.812
P5/M1	0+320	30.00 D/S	+67.910	68.091	67.760	67.108
P6/M1	0+320	30.00 D/S	+70.109	74.354	74.529	72.853
P7/M1	0+320	56.00 D/S	+70.102	67.710	67.905	66.702
P8/M1	0+320	56.00 D/S	+65.103	64.508	64.478	64.541
P9/M1	0+320	56.00 D/S	+70.102	70.730	70.806	71.213
P1/M2	0+610	4.00 D/S	+45.370	67.176	67.896	64.116
P2/M2	0+610	4.00 D/S	+65.000	72.533	72.390	72.008
P3/M2	0+610	4.00 D/S	+80.000	100.895	101.265	83.283
P4/M2	0+610	30.00 D/S	+49.339	54.590	55.242	51.838
P5/M2	0+610	30.00 D/S	+60.329	58.368	58.131	58.391
P6/M2	0+610	60.00 D/S	+46.189	52.216	52.823	51.398
P7/M2	0+610	60.00 D/S	+60.009	58.632	58.717	58.148
P8/M2	0+610	30.00 D/S	+70.029	70.666	70.634	70.697
P9/M2	0+610	60.00 D/S	+69.989	69.396	69.218	69.464
P1/D1	0+150	4.00 D/S	+59.940	79.107	80.395	76.810
P2/D1	0+150	4.00 D/S	+70.000	83.032	82.291	79.221
P3/D1	0+150	4.00 D/S	+85.000	88.247	87.738	85.718

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

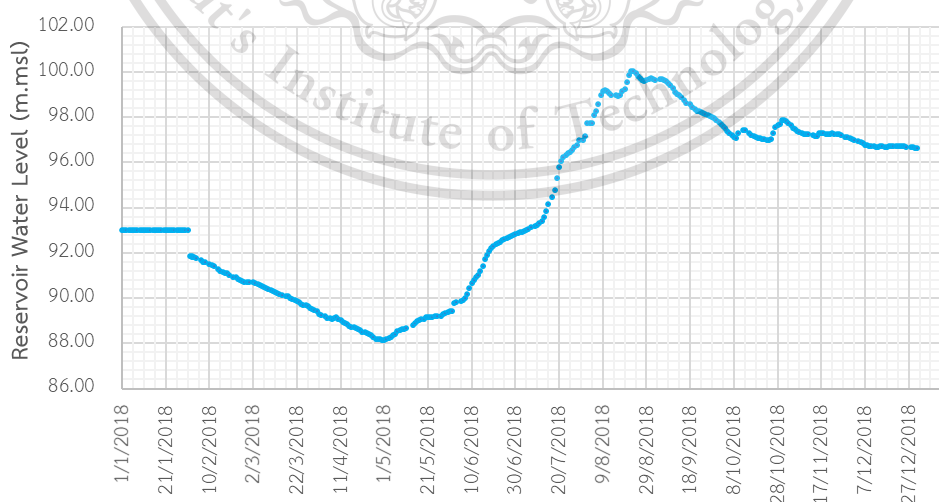
หมายเลข หัววัด	ตำแหน่งหัววัด			วันที่/เดือน/ปี ที่อ่านค่า และ Total Head (m)		
	Sta.	Offset (m)	ระดับติดตั้ง (m.msl.)	19/9/2550	5/12/2550	3/7/2552
ระดับน้ำในอ่าง (m.msl.)				94.990	96.140	91.030
P4/D1	0+150	25.00 D/S	+60.079	70.726	70.885	67.164
P5/D1	0+150	25.00 D/S	+85.079	84.402	84.691	84.886
P6/D1	0+150	50.00 D/S	+58.000	69.327	69.646	65.557
P7/D1	0+150	50.00 D/S	+75.000	73.751	73.639	72.912
P8/D1	0+150	25.00 D/S	+75.059	74.594	74.841	74.063
P1/D2	0+110	4.00 D/S	+78.728	83.844	84.276	79.973
P2/D2	0+110	4.00 D/S	+83.528	85.894	86.275	83.193
P3/D2	0+110	21.00 D/S	+80.192	84.046	84.401	80.071
P4/D2	0+110	21.00 D/S	+85.192	86.183	85.495	84.319

จากตารางที่ 4-1 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในอ่างมีผลกับความดันน้ำในตัวเขื่อนซึ่งอ่านได้ในรูปของ Total Head มีหน่วยเป็น ม.รทก. พบว่าหัววัด P2D2 มีการบันทึกข้อมูลที่ผิดปกติ สังเกตได้ว่าระดับน้ำเพิ่มขึ้นแต่กลับอ่าน Total Head ได้ลดลง เป็นไปได้ว่าข้อมูลผิดพลาด จึงขอไม่นำหัววัดนี้มาใช้ แต่จะใช้ข้อมูลจากหัววัดอื่น ๆ ใน DIKE 1 แทน

4.1.2 ผลการอ่านค่าพีโซมิเตอร์หลังเปลี่ยนระบบอ่านค่าออนไลน์

ผลอ่านค่าพีโซมิเตอร์ในปี พ.ศ. 2561 เป็นช่วงหลังจากเปลี่ยนระบบการอ่านค่าเครื่องมือเป็นระบบออนไลน์ ตั้งแต่ พ.ศ. 2557 เป็นต้นมาจึงสามารถดึงข้อมูลจากระบบมาสร้างกราฟได้โดยง่าย แสดงระดับน้ำของเขื่อนและผลการอ่านค่าจากพีโซมิเตอร์ดังรูปที่ 4-1, 4-2, 4-3 และ 4-4 ตามลำดับ

สถิติระดับน้ำ พ.ศ. 2561 เขื่อนแก่งกระจาน โดยเครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติ



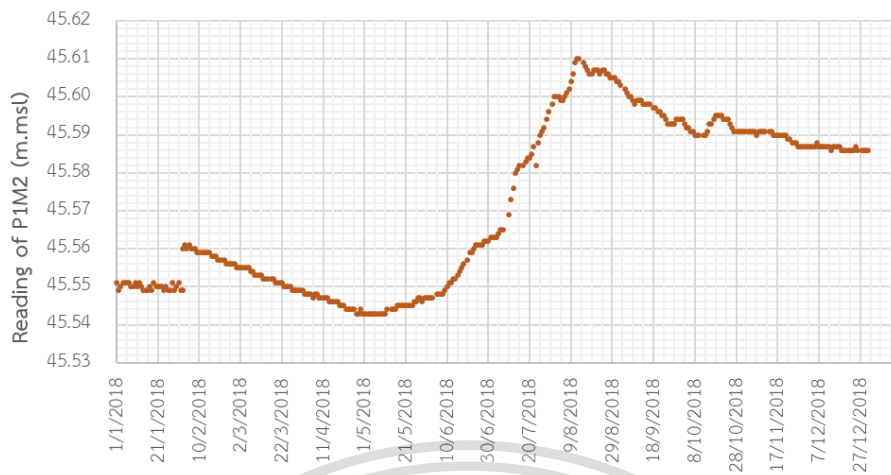
รูปที่ 4-1 ผลการอ่านค่าระดับน้ำในเขื่อนแก่งกระจานตลอดปี พ.ศ. 2561

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

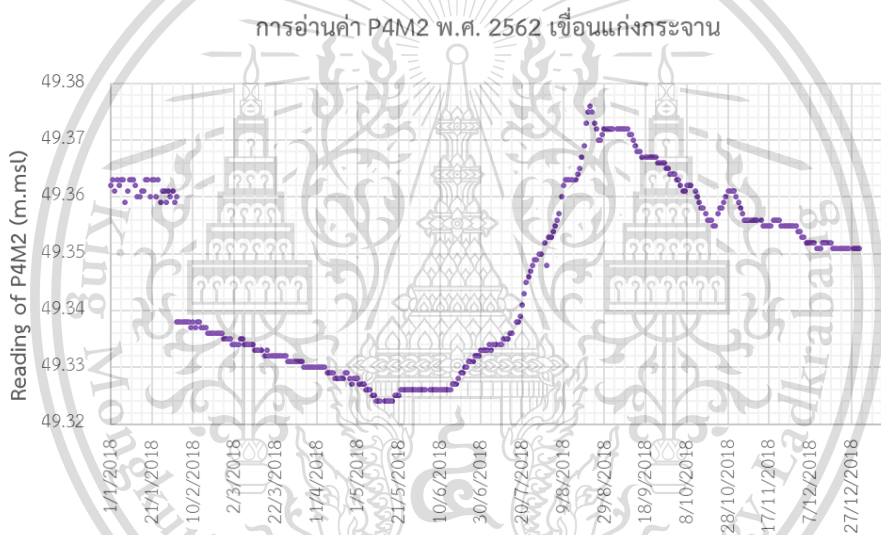
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การอ่านค่า P1M2 พ.ศ. 2561 เขื่อนแก่งกระจาน

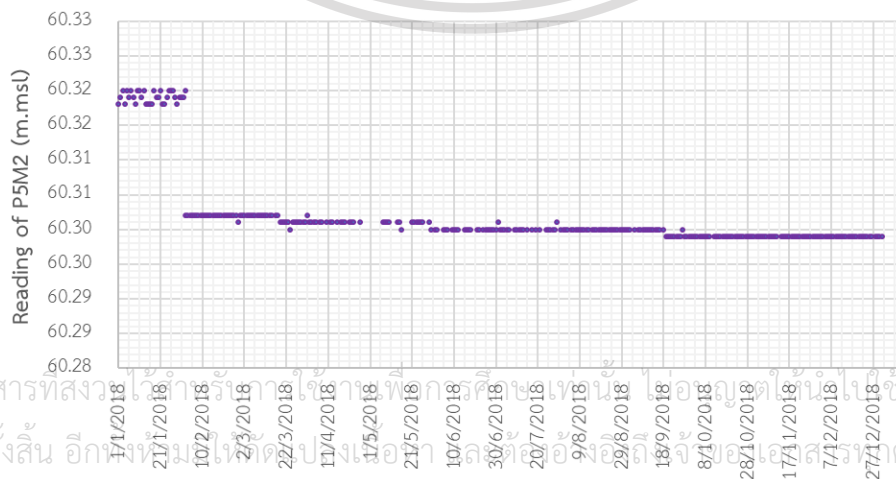


รูปที่ 4- 2 ผลการอ่านค่า Total head (m.msl.) จาก P1D1 ตลอดปี พ.ศ. 2561



รูปที่ 4- 3 ผลการอ่านค่า Total head (m.msl.) จาก P4D1 ตลอดปี พ.ศ. 2561

การอ่านค่า P5M2 พ.ศ. 2562 เขื่อนแก่งกระจาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่สู่สาธารณะได้โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือข้อมูลอันมีลิขสิทธิ์ของเอกสารฯ ภายใต้งานที่การนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4- 4 ผลการอ่านค่า Total head (m.msl.) จาก P5D1 ตลอดปี พ.ศ. 2561

จากรูปที่ 4-2 และ 4-3 เป็นผลการอ่านค่าจาก P1D1 และ P4D1 อยู่ในตำแหน่งที่น้ำไหลผ่านและมีความสัมพันธ์แปรผันตามระดับน้ำในรูปที่ 4-1 ส่วนรูปที่ 4-4 เป็นผลการอ่านค่าจาก P5D1 ซึ่งไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่น้ำไหลผ่านจึงไม่มีความสัมพันธ์กับระดับน้ำ

4.1.3 เปรียบเทียบผลการอ่านค่าพิโซมิเตอร์ก่อนและหลังเปลี่ยนระบบ

เปรียบเทียบผลการอ่านค่าพิโซมิเตอร์ช่วงก่อนและหลังเปลี่ยนระบบอ่านค่าเป็นระบบออนไลน์มีความแตกต่างแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ผลการเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์ก่อนและหลังเปลี่ยนระบบ

หมายเลขหัววัด	ระดับหัววัด (m.msl.)	การเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้ (ม.รทก.)		ผลต่าง (m.msl.)	ผลการเปรียบเทียบ (ปกติ/ผิดปกติ)
		ก่อนเปลี่ยนระบบ	หลังเปลี่ยนระบบ		
ระดับน้ำในอ่าง (ม.รทก.)		96.000	96.000	0.000	-
P1D1	45.370	67.896	67.170	22.312	ปกติ
P4D1	49.339	55.242	54.341	5.901	ปกติ
P5D1	60.329	58.131	60.300	-2.169	ไม่มีน้ำ / ปกติ

4.1.4 สรุปการเปรียบเทียบค่าพิโซมิเตอร์ก่อนและหลังเปลี่ยนระบบ

จากตารางที่ 4-2 พบว่าผลการอ่านค่าเครื่องมือปกติ สามารถใช้ข้อมูลได้ ข้อมูลหลัง พ.ศ. 2557 สรุปสามารถใช้ข้อมูลปัจจุบันเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในบทต่อไป

4.2 ผลการอ่านค่าฝายวัดอัตราการไหล (Seepage Flow Meter)

เขื่อนแก่งกระจานมีการติดตั้ง Seepage Flow meter จำนวน 2 แห่ง อยู่ที่ Main Dam 1 แห่ง ลงพื้นที่ตรวจสอบวันที่ 6 ก.ค. พ.ศ. 2562 พบว่าไม่มีน้ำไหลเข้าฝายที่ SF-1 ส่วน SF-2 มีน้ำไหลผ่านฝายปกติ

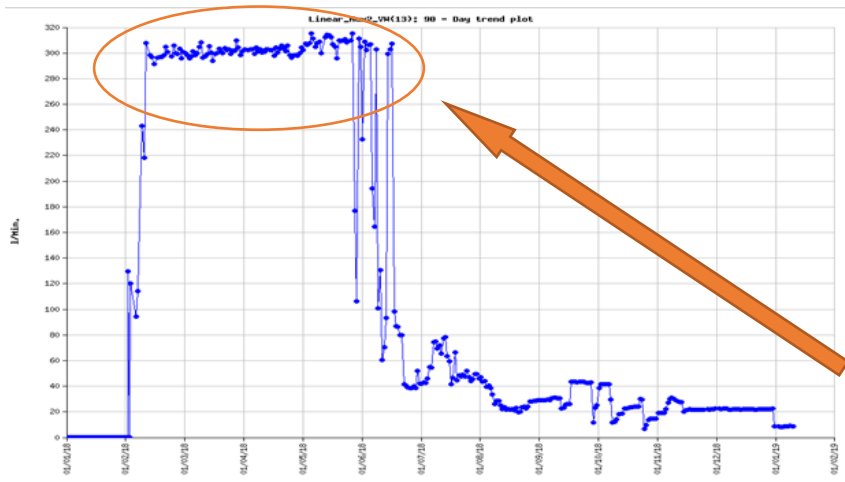
4.2.1 ผลการอ่านค่า seepage flow meter

เนื่องจากการอ่านค่าก่อนปรับปรุงเครื่องมือจะเป็นการอ่านที่ฝายโดยตรงและอาจไม่ได้บันทึกไว้เป็นประจำ จึงไม่มีข้อมูลให้ใช้ หลังจากเปลี่ยนระบบอ่านค่า พ.ศ. 2557 สามารถดึงข้อมูลออนไลน์ผ่าน Argus Web monitoring ของสำนักชลประทานที่ 14 กรมชลประทาน ค่าที่ตรวจวัดและแสดงผลจาก Argus พบว่าอัตราการการไหลของ SF-1 ต่างจากค่าระดับน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4-5 ส่วน SF-2 มีค่าแกว่งมาก ผลข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4-6

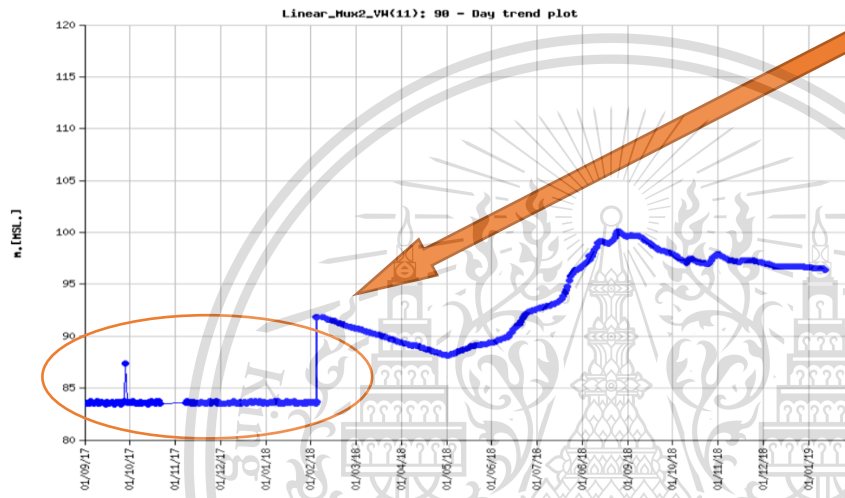
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

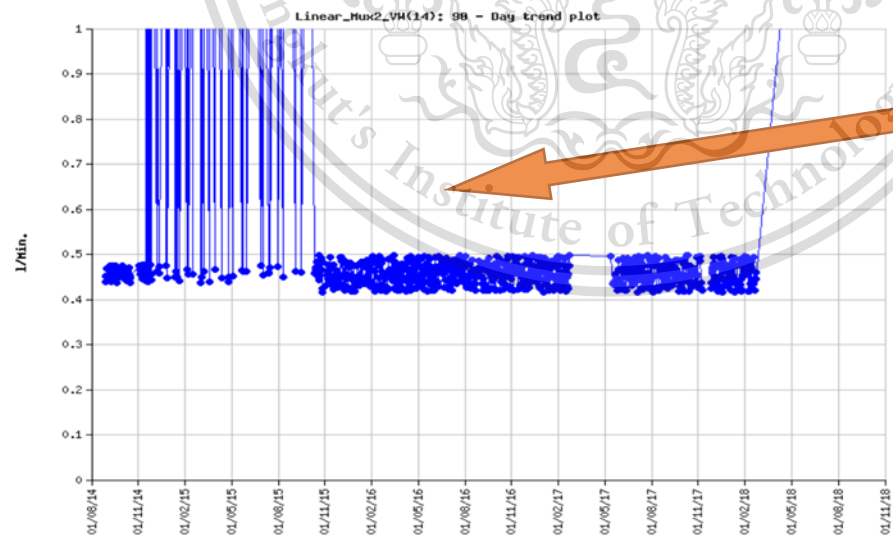


ค่าที่อ่านจาก SF-1
ไม่สัมพันธ์กับระดับน้ำ
ณ เวลาเดียวกัน



ค่าที่อ่านจาก SF-1
ไม่สัมพันธ์กับระดับน้ำ
ณ เวลาเดียวกัน

รูปที่ 4- 5 เปรียบเทียบค่า Q ของ SF-1 กับระดับน้ำในอ่าง (ระบบอ่านค่าออนไลน์)



Sensor Detect ข้อมูล
ไม่มีทิศทางที่แน่นอน

รูปที่ 4- 6 ค่า อ่านค่า flow rate จาก SF-2 พบ Sensor Detect ข้อมูลไม่มีทิศทางแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากข้อมูล flow rate ของ seepage flow meter ที่อ่านจากระบบออนไลน์สรุปในเบื้องต้นว่าไม่น่าเชื่อถือตามรูปที่ 4-5 และ 4-6 สันนิษฐานในเบื้องต้นว่าเป็นที่ระบบการแปลงข้อมูลน่าจะมีข้อผิดพลาด ไม่ใช่เครื่องมือเสีย เนื่องจากยังสามารถไปอ่านค่าที่เครื่องมือได้

ผลอ่านค่าโดยคณะที่ปรึกษาโครงการศึกษาเกณฑ์ความปลอดภัยเขื่อนจากเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนโดย สจล. ลงพื้นที่ตรวจสอบเมื่อวันที่ 6 กค. พ.ศ. 2562 และวัดอัตราการไหลที่ Seepage flow meter ได้ผลดังตารางที่ 4-3
ตารางที่ 4- 2 ปริมาณการรั่วซึมของน้ำต่อหน้าตัดที่วัดจาก Seepage Flow Meter โดยคณะที่ปรึกษาโครงการฯ

เครื่องมือ (ตำแหน่ง)	ข้อมูลจากแบบติดตั้ง พ.ศ. 2550		คณะที่ปรึกษา (KMITL) ตรวจสอบ 6 ก.ค.62		สถานะ เครื่องมือ	H (m)	Q (l/m) (Calibration Eq.)
	Sta.	Offset	Sta.	Offset (m)			
SF-1 (Main Dam)	0+320	110 D/S	0+312.611	108.066 D/S	ใช้ได้ /ไม่มีน้ำ	0	$82,800 \times H^{2.5}$
SF-2 (Dike 1)	0+120	150 D/S	วัดค่าไม่ได้	เพราะป่ารก มาก	ใช้ได้ /มีน้ำ	0.02	4.70 l/min

4.2.3 สรุปการอ่านค่า Seepage flow meter

สรุปได้ว่าไม่มีน้ำไหลผ่าน SF-1 จึงไม่มีข้อมูลและอัตราการไหลผ่าน SF-2 อยู่ระหว่าง 4.677 ถึง 7.760 ลิตรต่อหน้าที่ระดับน้ำ 90 ม.รทก. ที่ปรึกษาโครงการศึกษาเกณฑ์ความปลอดภัยเขื่อนแก่งกระจานได้ประมาณปริมาณการรั่วซึมของเขื่อนแก่งกระจานไว้ดังตารางที่ 4-4
ตารางที่ 4- 3 ผลการคำนวณปริมาณน้ำซึมผ่านหน้าตัด Main Dam, DIKE 1, DIKE 2 โดยคณะที่ปรึกษาโครงการฯ ระดับน้ำ 90 ม.รทก.

หน้าตัด	ระดับน้ำ (m.msl.)	น้ำซึมทั่วพื้นที่ (m ³ /day)	พื้นที่ผิวอ่าง (m ²)	น้ำซึมต่อพื้นที่ (m ³ /m ² /day)	ความยาวเขื่อน (m)	น้ำซึมผ่านตัวเขื่อนประมาณ (m ³ /day)
DIKE 1	90.30	800,000.00	38,000	0.02105	300	6.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

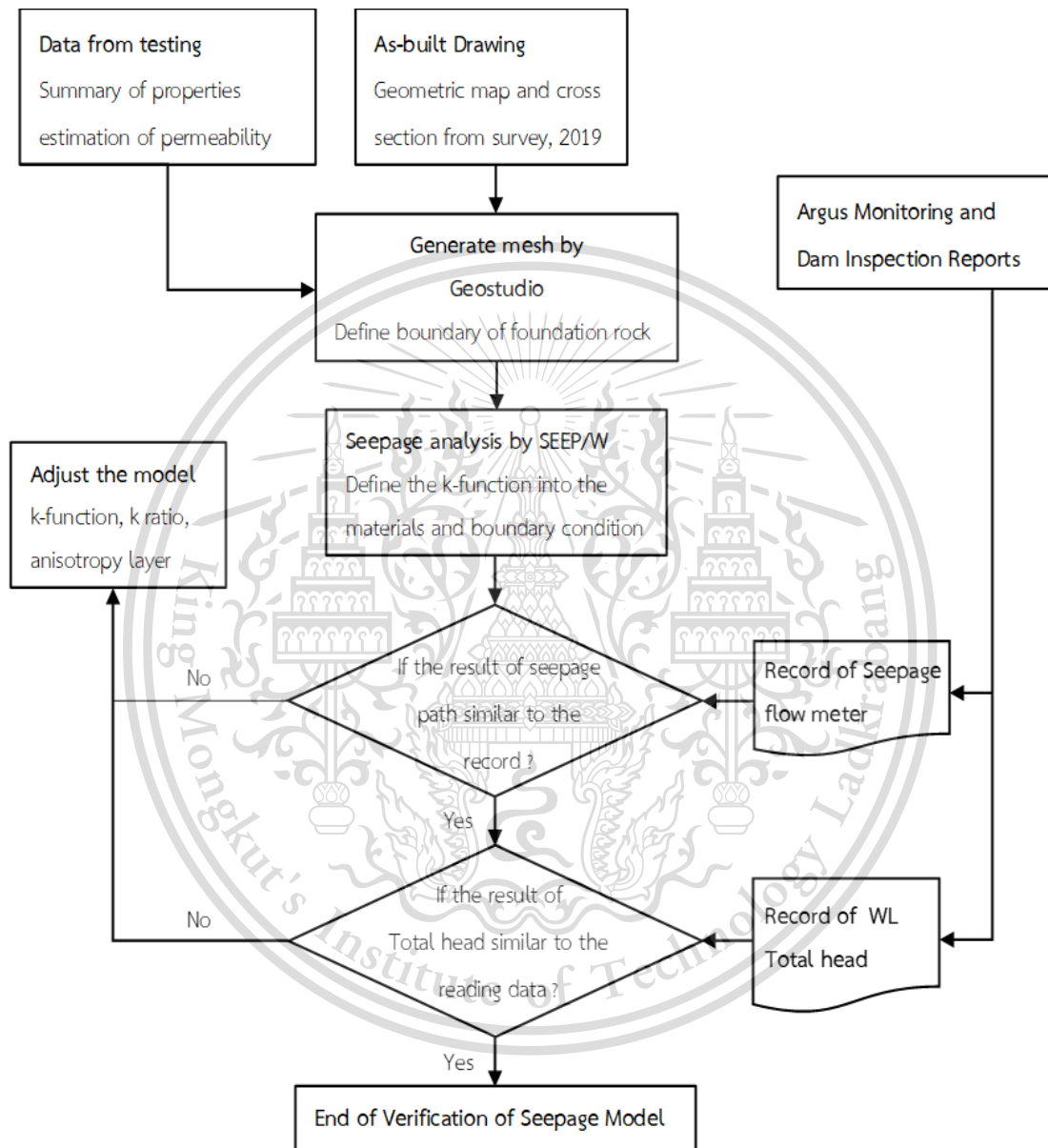
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5 วิธีการศึกษา

แบบจำลองที่นำเชื่อถือย่อมสร้างจากข้อมูลที่ถูกต้อง ในบทนี้จะแสดงวิธีการสร้างแบบจำลองที่เชื่อถือได้ สำหรับวิเคราะห์การไหลซึมผ่านเขื่อนแก่งกระจาน เริ่มตั้งแต่การเก็บข้อมูลจนได้แบบจำลองสำหรับใช้งาน

5.1 การสร้างแบบจำลองการไหลซึมผ่านเขื่อนที่นำเชื่อถือ

วิธีการสร้างแบบจำลองการไหลซึมผ่านเขื่อนที่นำเชื่อถือเป็นไปตาม flow chart ดังรูปที่ 5-1



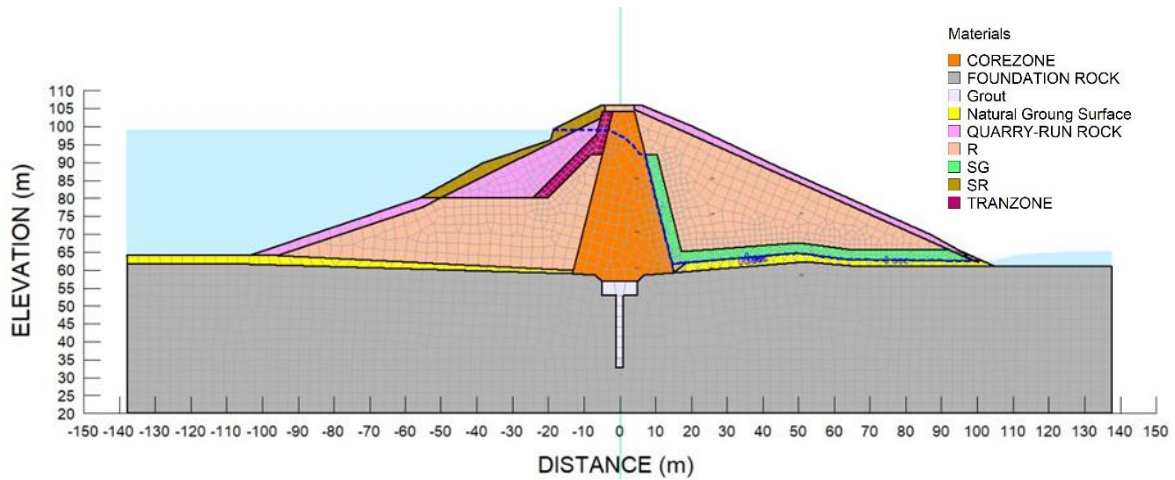
รูปที่ 5- 1 flow chart การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์การไหลซึม

5.1.1 การขึ้นรูปแบบจำลองใน SEEP/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สนใจเฉพาะ เขื่อนปิดช่องเขาต่ำที่ 1 จึงทำแบบจำลองเป็นตัวแทนของการวิเคราะห์ที่ใช้หน้าตัดลึกที่สุด การคำนวณมีพิกัดเริ่มต้นไว้แล้วซึ่งอยู่บริเวณ Sta. 0+150 m. จาก BM-2 ได้ดังรูปที่ 5-2

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5- 2 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของ DIKE 1 Sta.0+150 สำหรับการวิเคราะห์การไหลซึม

5.1.2 ที่มาของคุณสมบัติวัสดุ

เขียนแก่กระงานไม่มีข้อมูลการทดสอบดินโดยวิธีเก็บตัวอย่างคงสภาพไปทดสอบ มีเพียงข้อมูล Gradation Test ที่เก็บตัวอย่างดินไว้จำนวนมากในช่วงก่อสร้างเขื่อน พ.ศ. 2504-2509 จึงสามารถจำแนกชนิดวัสดุที่นำมาบดอัดแน่นในแต่ละโซนได้ ตามมาตรฐานการจำแนกดินของ USC และประมาณค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมของน้ำเป็นช่วงเมื่อทราบชนิดของดินได้ตามคำแนะนำดังรูปที่ 5-4 ประมาณค่าการไหลซึมของหินจากรูปที่ 5-5

Table 8.4 Permeability based on soils classification.

Soil type	Description	USC symbol	Permeability, m/s
Gravels	Well graded	GW	10^{-3} to 10^{-1}
	Poorly graded	GP	10^{-2} to 10^0
	Silty	GM	10^{-7} to 10^{-5}
	Clayey	GC	10^{-8} to 10^{-6}
Sands	Well graded	SW	10^{-5} to 10^{-3}
	Poorly graded	SP	10^{-4} to 10^{-2}
	Silty	SM	10^{-7} to 10^{-5}
	Clayey	SC	10^{-8} to 10^{-6}
Inorganic silts	Low plasticity	ML	10^{-9} to 10^{-7}
	High plasticity	MH	10^{-9} to 10^{-7}
Inorganic clays	Low plasticity	CL	10^{-9} to 10^{-7}
	High plasticity	CH	10^{-10} to 10^{-8}
Organic	with silts/clays of low plasticity	OL	10^{-8} to 10^{-6}
	with silts/clays of high plasticity	OH	10^{-7} to 10^{-5}
Peat	Highly organic soils	Pt	10^{-6} to 10^{-4}

รูปที่ 5- 3 ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมจากชนิดของดิน

ที่มา ; Burt G. Look (2007). Handbook of geotechnical investigation and design tables. pp 93.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Lugeon Range	Classification	Hydraulic conductivity Range (cm/sec)	Condition of Rock Mass Discontinuities	Reporting Precision (Lugeons)
< 1	Very Low	< 1x10 ⁻⁵	Very Tight	< 1
1-5	Low	1x10 ⁻⁵ -6x10 ⁻⁵	Tight	± 0
5-15	Moderate	6x10 ⁻⁵ -2x10 ⁻⁴	Few Partly Open	± 1
15-50	Medium	2x10 ⁻⁴ - 6x10 ⁻⁴	Some Open	± 5
50-100	High	6x10 ⁻⁴ -1x10 ⁻³	Many Open	± 10
> 100	Very High	> 1x10 ⁻³	Open Closely spaced or voids	> 100

รูปที่ 5- 4 ประมาณสัมประสิทธิ์การไหลซึมจากการจำแนกหินฐานราก

ที่มา ; <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.373>

ตารางที่ 5- 1 สรุปผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมจากชนิดของดินเชื่อมแก่กัระจวน

No.	Zone	Soil Type (UCS) / Rock Type	K (m/s)
1	Core (C)	CH, CL, MH, ML, SC, SM, GC, GM	10 ⁻⁹ -10 ⁻⁷
2	Random (R)	SC, SM, GC, GM, GW	10 ⁻⁷ -10 ⁻⁵
3	Filter (SG)	GW, GP, SC, SM	10 ⁻⁷ -10 ⁻⁵
4	Transition Zone (T)	GM, GC, GW	10 ⁻⁷ -10 ⁻⁵
5	Quarry Run Rock (QR)	Compacted Broken Rock (Sandstone)	10 ⁻³ -10 ⁻¹
6	Selected Rock (SR)	Selected Rock ø 5-70 cm.	10 ⁻² -10 ⁻¹
7	Foundation Rock	Moderate durability (Mudstone & Siltstone)	10 ⁻⁹ -10 ⁻⁷

5.1.3 กำหนดขอบเขตการวิเคราะห์และขนาดของเอลิเมนต์ (Define Boundary Condition and Mesh)

Boundary Condition หรือเงื่อนไขขอบเขตของการไหลซึมที่วิเคราะห์ที่จำเป็นต้องกำหนด ได้แก่ ระดับน้ำ (Water Level), ตำแหน่งที่ให้ความดันเป็นศูนย์ (Zero Pressure) ซึ่งใช้กำหนดจุดที่ให้น้ำไหลไปรวมกันและขอบเขตการระบายน้ำ (Drainage) ใช้บอกว่าจะไม่มีการไหลเลยขอบเขตนี้ไปได้หากมีน้ำไหลมาถึง

Mesh หรือขนาดของแต่ละเอลิเมนต์ ส่งผลต่อจำนวนเอลิเมนต์ในแต่ละโซน ยิ่งจำนวน Mesh มากความละเอียดในการวิเคราะห์ก็จะมากตาม แต่ก็ตามมาด้วยเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ในแต่ละรอบ ถ้าหยาบเกินไปผลวิเคราะห์ก็จะไม่น่าเชื่อถือ สำหรับแบบจำลองการไหลซึมผ่านเขื่อนกำหนด Mesh ละเอียดในบริเวณที่น่าจะมีการไหลซึมผ่านและบริเวณรอยต่อระหว่างโซนที่ต้องการความแม่นยำในทิศทางการไหล แสดง Boundary Condition ที่กำหนดก่อนวิเคราะห์ไว้ในตารางที่ 5-2 ตารางที่ 5- 2 Boundary Condition ที่กำหนดสำหรับแบบจำลองการไหลซึมผ่านเขื่อนที่มีการไหลแบบ Steady State

Boundary Name	Type	Constant	Function
Water Level	Head (H)	96 m.	-
Zero Pressure	Pressure Head (P)	0 m.	-
Drainage	Total Flux (Q)	0 m ³ /sec.	-

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

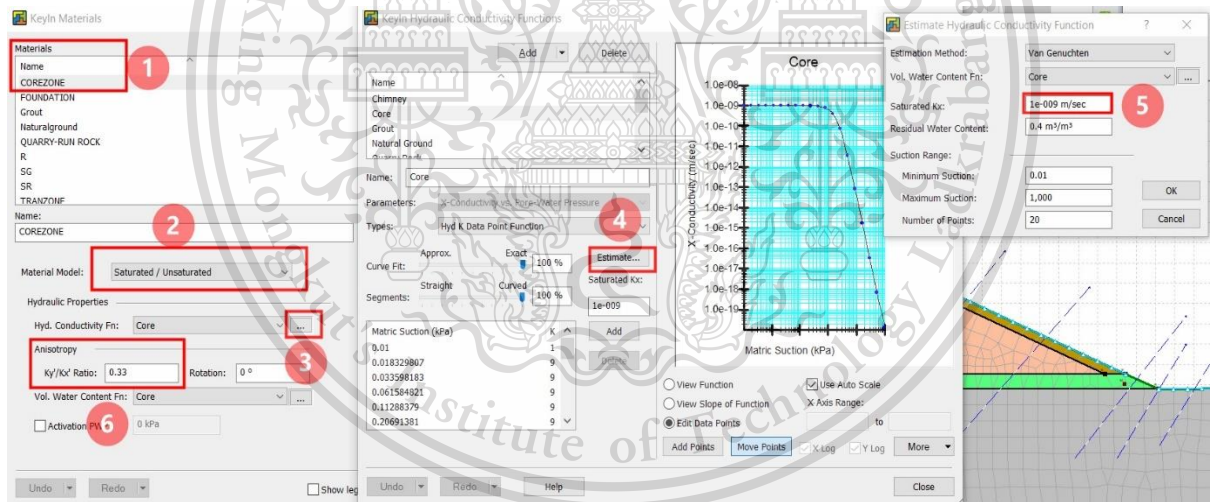
การกำหนด Boundary Condition สามารถสร้างฟังก์ชันได้ถ้าจำเป็น ยกตัวอย่างในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์การไหลแบบ Transient และสมมติให้ระดับน้ำในอ่างลดลงหรือเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แบบนั้นจะต้องกำหนดฟังก์ชันของการลดลงหรือเพิ่มขึ้นให้โปรแกรมทราบด้วย สำหรับการไหลแบบคงที่ (Steady State) ไม่ต้องมีฟังก์ชัน



รูปที่ 5- 5 Boundary Condition ที่ใส่เข้าไปในแบบจำลองเรียบร้อยแล้ว และ Mesh ขนาดไม่สม่ำเสมอในแบบจำลอง

5.1.4 กำหนดฟังก์ชันการไหลซึม (Define K-function) กรณี Saturated/Unsaturated

การกำหนดฟังก์ชันการไหลซึม(K-function) มีพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดในฟังก์ชันหลายตัว อธิบายพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดใน K-function ตามลำดับดังรูปที่ 5-8



รูปที่ 5- 6 ลำดับของการกำหนดโหมดและพารามิเตอร์ให้ดินแต่ละโซน สำหรับกรณีดิน Saturated/Unsaturated

อธิบายรูปที่ 5-8 ตามหมายเลขที่แสดงในรูปดังนี้

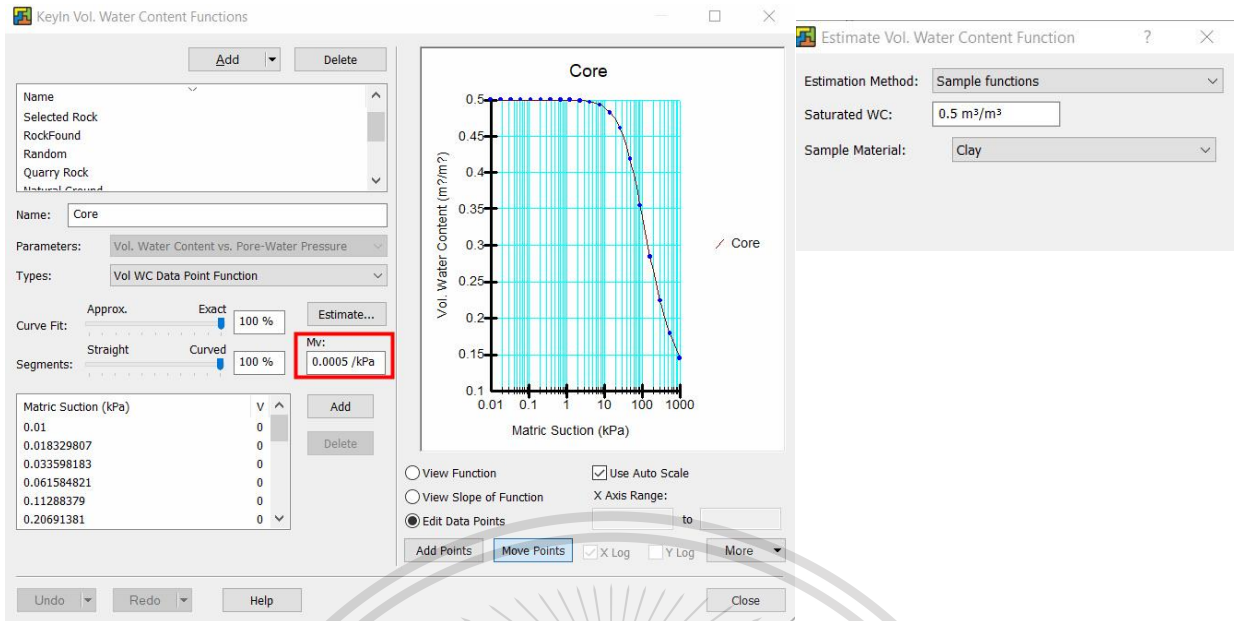
หมายเลข 1 แสดงชื่อของโซนวัสดุที่กำหนดไว้เป็นสีต่าง ๆ

หมายเลข 2 สำหรับกำหนด Materials Model ว่าจะให้วัสดุโซนนี้อิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวก็ได้ กรณี Saturated/Unsaturated ซึ่งมีพฤติกรรมการไหลที่ซับซ้อน จะต้องกำหนดฟังก์ชันความชื้น (Vol. Water content) ไว้ก่อนด้วย ความสัมพันธ์เชิงประสบการณ์ในรูปที่ 5-9

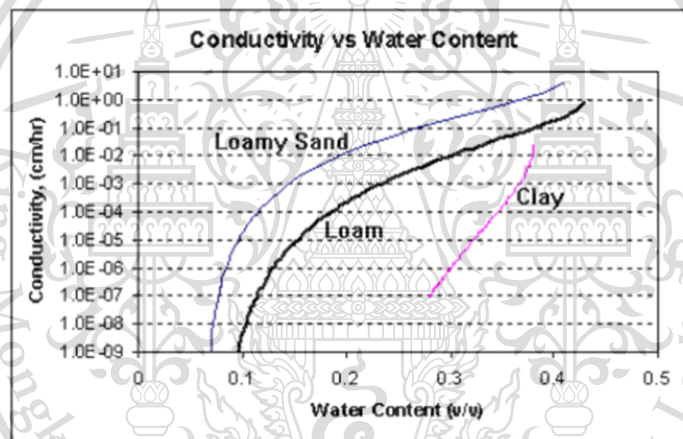
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

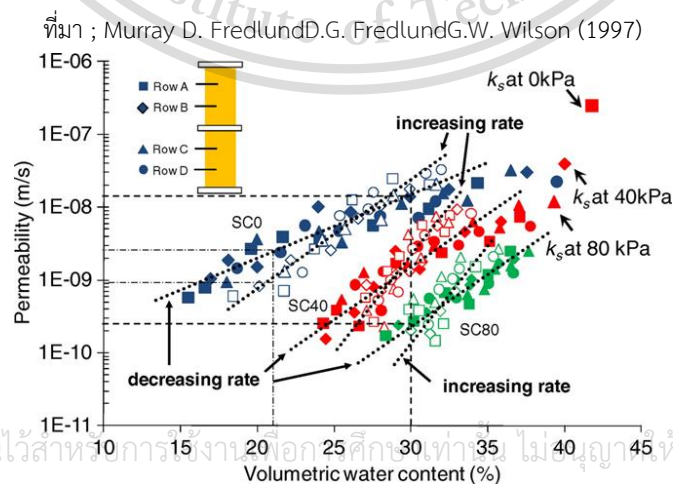
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5- 7 กำหนด Vol. Water content functions ประกอบด้วย Saturated WC, Sample Model และ Mv.



รูปที่ 5- 8 ความสัมพันธ์เชิงประสพการณ์ระหว่าง Hydraulic Conductivity (cm/s) กับ Saturated Water Content (m^3/m^3)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ารูปที่ 5- 9 ความสัมพันธ์เชิงประสพการณ์ระหว่าง Hydraulic Conductivity (m/s) กับ Residual Water Content (m^3/m^3)

ที่มา ; C. W. W. Ng, F.ASCE; and A. K. Leung (2012)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

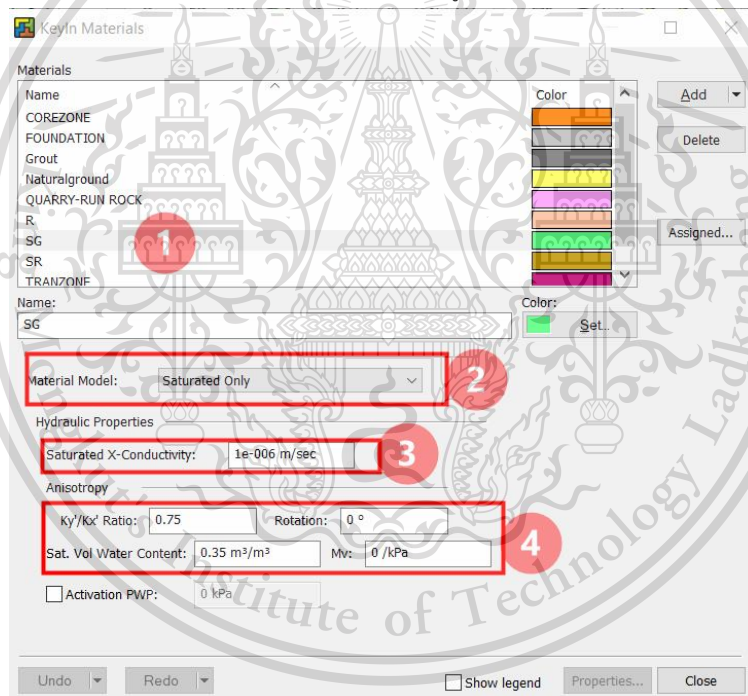
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หมายเลข 3 สำหรับกำหนด K-function เมื่อคลิกแล้วจะเปิดหน้าต่าง Key in hydraulic conductivity function
 หมายเลข 4 สำหรับประมาณค่า Hydraulic conductivity และ Residual Water Content ใช้ค่า Hydraulics conductivity ที่ประมาณไว้ในตารางที่ 5-1 มาประมาณ Residual Water Content จากความสัมพันธ์เชิงประสบการณ์ในรูปที่ 5-10
 หมายเลข 5 ใส่ค่า Hydraulic conductivity หรือค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมมันเอง โดยเลือกใช้ในตารางที่ 5-1
 หมายเลข 6 กลับมาที่หน้า Key in Materials เพื่อกำหนดคุณสมบัติการไหลอีกค่าหนึ่งคือ Anisotropy บ่งบอกถึงคุณภาพการบาดุดดินในเบื้องต้น การบาดุดที่ดี ดินจะมีความทึบน้ำสูง anisotropy น้อย เช่น วัสดุ Core Zone มี $k_y/k_x = 0.25$ หมายถึง อัตราการไหลของน้ำในแนวราบเป็น 4 เท่าของอัตราการไหลของน้ำในแนวตั้ง เป็นต้น สำหรับในแบบจำลอง anisotropy ส่งผลให้ total head เปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน ต้องกำหนดให้มีความสอดคล้องกับความเป็นจริงด้วย

$$\text{Anisotropy} = \frac{k_y}{k_x} = \frac{1}{4} = 0.25$$

5.1.5 กำหนดฟังก์ชันการไหลซึม (Define K-function) กรณี Saturated

การกำหนดฟังก์ชันการไหลซึม(K-function) มีพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดในฟังก์ชันหลายตัว อธิบายพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดใน K-function กรณีดินอิ่มตัว (Saturated) ตามลำดับดังรูปที่ 5-12



รูปที่ 5- 10 ลำดับของการกำหนดโหมดและพารามิเตอร์ให้ดินแต่ละโซน สำหรับกรณี Saturated

อธิบายรูปที่ 5-12

หมายเลข 1 แสดงชื่อของโซนวัสดุที่กำหนดไว้เป็นสีต่าง ๆ

หมายเลข 2 สำหรับกำหนด Materials Model กรณี Saturated ช่องว่างในเมื่อดินเต็มไปด้วยน้ำจึงไม่ต้องกำหนดฟังก์ชันความชื้น เมื่อตั้งเป็น Saturated Only รูปแบบของเมนู Key in Materials จะเปลี่ยนเป็นรูปที่ 5-12 แทนที่

หมายเลข 3 กำหนด K-function โดยใส่ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมที่ประมาณไว้ในตารางที่ 5-1

หมายเลข 4 กำหนดคุณสมบัติการไหลอีกค่าหนึ่งคือ Anisotropy บ่งบอกถึงคุณภาพการบาดุดดินในเบื้องต้น การบาดุดที่ดี ดินจะมีความทึบน้ำสูง anisotropy น้อย เช่น วัสดุ Core Zone มี $k_y/k_x = 0.25$ หมายถึง อัตราการไหลของน้ำในแนวราบ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เป็น 4 เท่าของอัตราการไหลของน้ำในแนวตั้ง เป็นต้น สำหรับในแบบจำลอง anisotropy ส่งผลให้ total head เปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน ต้องกำหนดให้มีความสอดคล้องกับความเป็นจริงด้วย

5.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์การไหลซึมด้วย SEEP/W

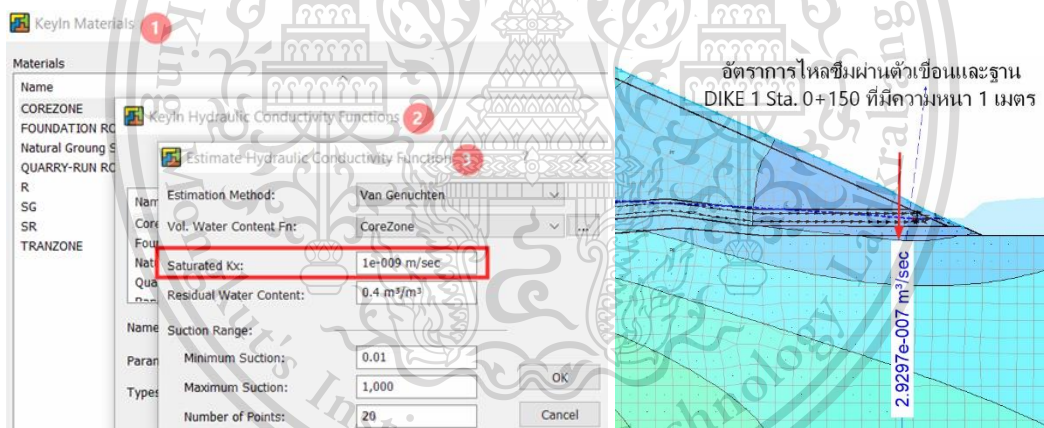
1) กำหนด Boundary Condition ลงในแบบจำลองให้ถูกต้องและสอดคล้องกับเงื่อนไขที่จะวิเคราะห์รวมถึงสอดคล้องกับโซนต่าง ๆ ในเขื่อน เพื่อให้โปรแกรมวิเคราะห์ที่ได้ถูกต้อง

2) ลอง Trial ค่า K ให้วัสดุตามช่วงค่าในตารางที่ 5-1 ในเมนู Define ของ SEEP/W ซึ่งแบ่งไว้ตามโซนแล้วโดยใส่ค่าใดก็ได้ที่อยู่ในช่วงดังกล่าวแล้วตรวจสอบอัตราการไหลซึมตัวเชื่อมต่อน้ำตัด ในเมนู Solve ของ SEEP/W ดังรูปที่ 5-12 (ขวา) ต้องลองผิดลองถูกไปจนอัตราการไหลซึมผ่านตัวเชื่อมมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลจริงจาก Seepage flow meter แสดงการคำนวณอัตราการไหลในตารางที่ 5-3

3) เปรียบเทียบ Total Head ในแบบจำลองกับ Total Head จากพิโซมิเตอร์ที่ตำแหน่งเดียวกันซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการ Trial ค่า K ในข้อ 2) โดยแบบจำลองที่ถูกต้องควรอ่านค่า Total Head ได้เท่ากับพิโซมิเตอร์ ในขั้นตอนนี้ต้องทราบข้อจำกัดของพิโซมิเตอร์ซึ่งได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 2 ด้วย มิฉะนั้นอาจสับสนกับการ Trial ได้

4) ปรับ ky/kx ratio หรือ anisotropy เพิ่มเติมหาก Total Head ในแบบจำลองยังไม่เข้าใกล้กับพิโซมิเตอร์ต้องสังเกตแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่า Total Head ซึ่งแสดงในรูปแบบของ Contour แต่โดยปกติแล้วสำหรับดินถมบดอัดแน่น anisotropy ไม่ควรเกิน 1

5) สิ้นสุดขั้นตอนเมื่อตรวจสอบแล้วว่าอัตราการไหลซึมตัวเชื่อมและ total head ในแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงผลจากเครื่องมือวัด



รูปที่ 5- 11 การเปลี่ยนค่า K ใน SEEP/W (ซ้าย) และการตรวจสอบอัตราการไหลซึมผ่านเขื่อน (ขวา)

ตารางที่ 5- 3 ตัวอย่างการคำนวณการไหลซึม DIKE NO.1 จากแบบจำลอง

อัตราการไหลซึมจากโปรแกรม	อัตราการซึมจากโปรแกรม	Seepage flow meter	ผลต่าง
Q (m ³ /s)	Q (m ³ /day)	(m ³ /day)	(m ³ /day)
2.93x10 ⁻⁷	2.93x10 ⁻⁷ x86400x250 = 6.323	6.740	0.417

5.3 ผลการประมาณฟังก์ชันการไหลซึม

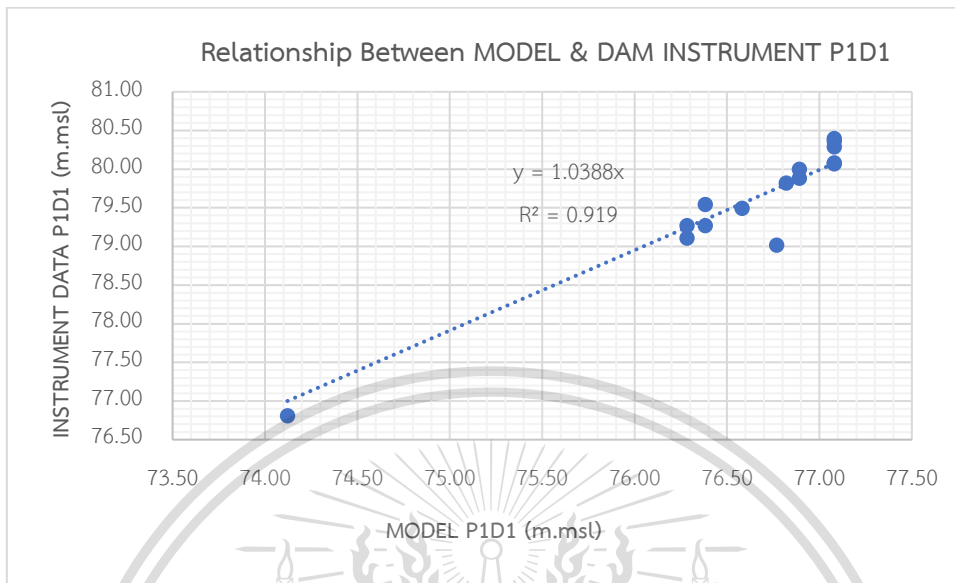
5.3.1 การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข

นอกจากการขึ้นรูปเขื่อนตามแบบแล้ว ยังต้องกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลซึมให้แบบจำลองด้วย เรียกพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลซึมที่ต้องกำหนดให้โปรแกรมว่า K-Function มีทั้งหมด 5 ดังที่ได้อธิบายวิธีการประมาณไม่ว่าวิธีใด ๆ สิ่งที่ต้องจำไว้คือแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้นต้องอ้างอิงกับข้อมูลจริงที่เหมือนกับการนำป้

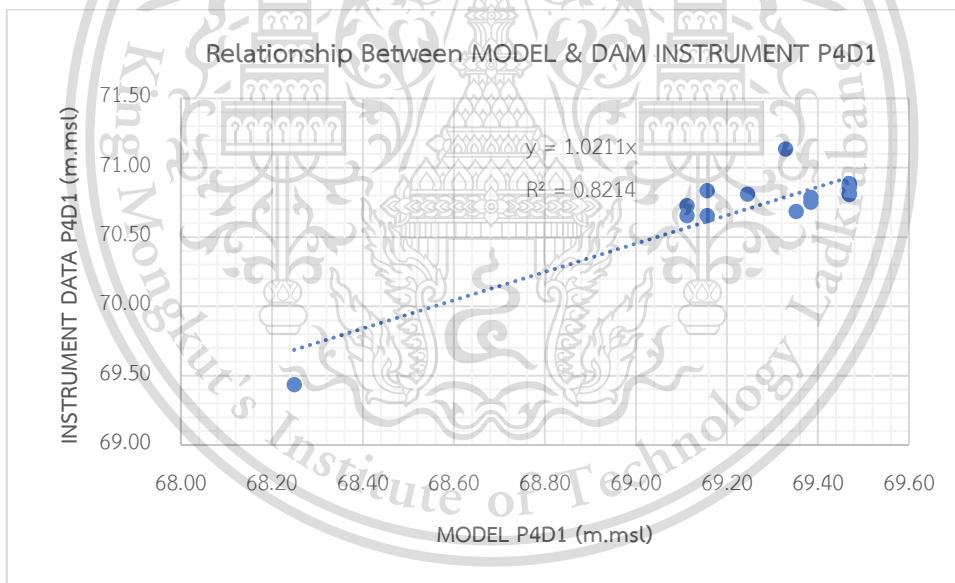
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ถ้าสามารถสร้างฟังก์ชันการไหลซึมที่ทำให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือตรวจวัดเป็นแบบฟังก์ชันเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 1 ที่ระดับน้ำคงที่ใด ๆ แล้ว แบบจำลองนั้นจะสัมพันธ์กับพฤติกรรมเขื่อน แสดงดังรูปที่ 5-12,14



รูปที่ 5- 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพีโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P1D1

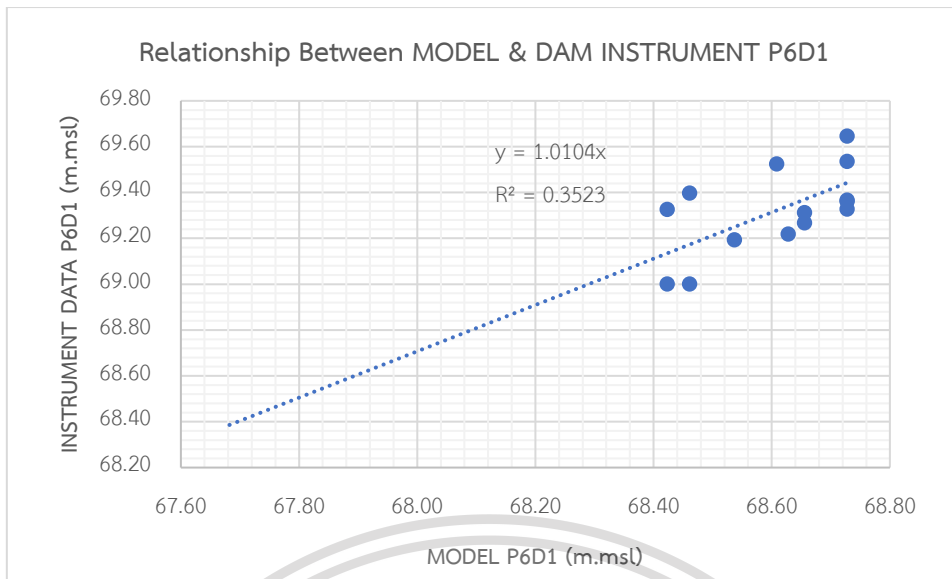


รูปที่ 5- 13กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพีโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P4D1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

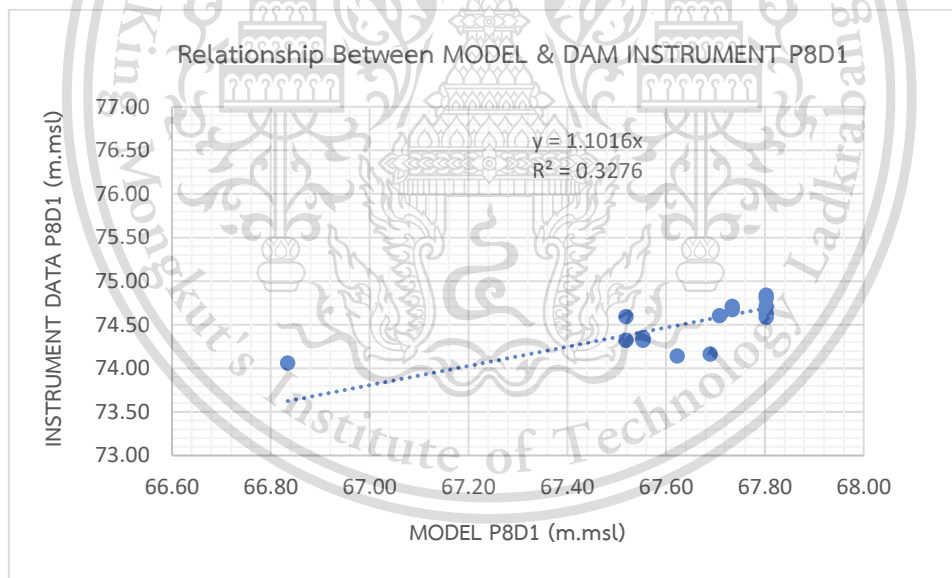
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5- 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P6D1

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ข้อมูลที่วัดได้จริงจากพิโซมิเตอร์ (Instrument) เป็นแกน y กับแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม (Model) เป็นแกน x เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น ที่ให้ค่า y ใกล้เคียงกับค่า x ต่างกันเพียง 1-4% และค่า $R^2 = 1$ สมการเส้นตรงนี้มีความใกล้เคียงกับชุดข้อมูลแสดงว่า สมการนี้สามารถเป็นตัวแทนข้อมูลชุดนี้ได้ จึงสรุปได้ว่าค่าที่ได้แบบจำลองมีความใกล้เคียงความเป็นจริง แบบจำลองนี้จึงใช้ได้



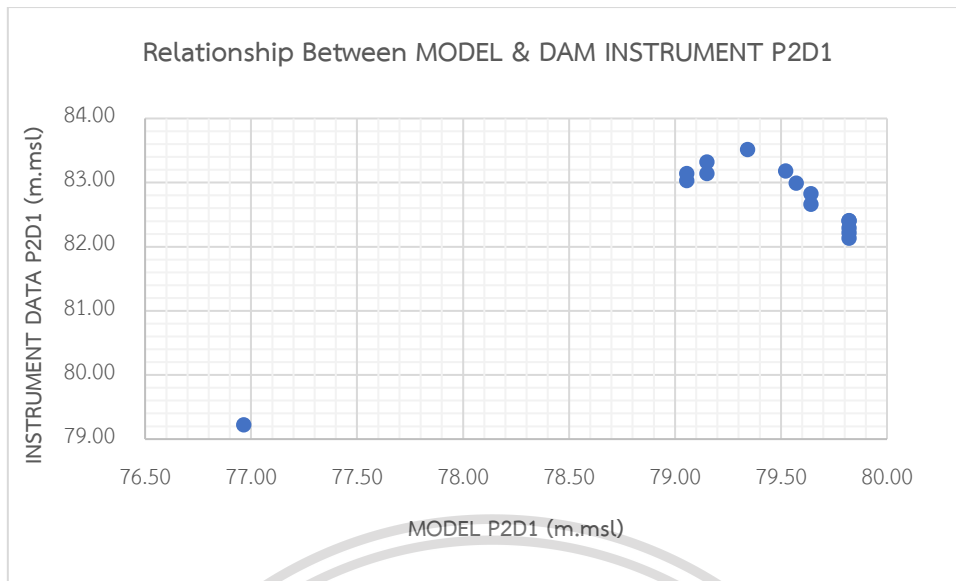
รูปที่ 5- 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P8D1

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ข้อมูลที่วัดได้จริงจากพิโซมิเตอร์ (Instrument) เป็นแกน y กับแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม (Model) เป็นแกน x เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น ที่ให้ค่า y กับค่า x ต่างกัน 10% และค่า $R^2 = 1$ สมการเส้นตรงนี้มีความใกล้เคียงกับชุดข้อมูลแสดงว่า สมการนี้สามารถเป็นตัวแทนข้อมูลชุดนี้ได้ สรุปได้ว่า หากนำแบบจำลองนี้ไปใช้กับ P8 จะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ประมาณ 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

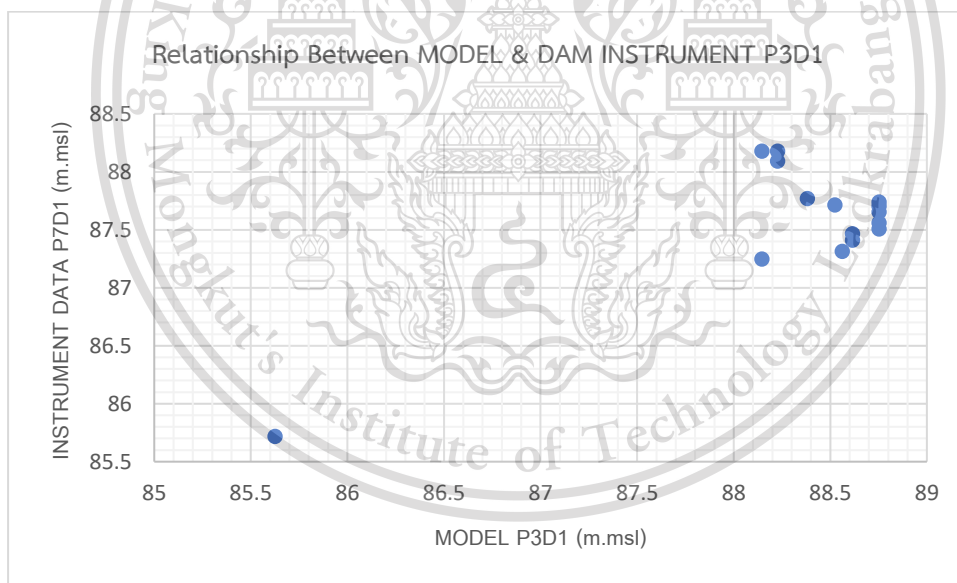
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5- 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P2D1

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ข้อมูลที่วัดได้จริงจากพิโซมิเตอร์ (Instrument) เป็นแกน y กับแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม(Model) เป็นแกน x ซึ่งเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้น ค่าที่อ่านได้จากแบบจำลองจะเพิ่มขึ้น แต่ ค่าที่วัดได้จริงกลับลดลง ซึ่งไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง

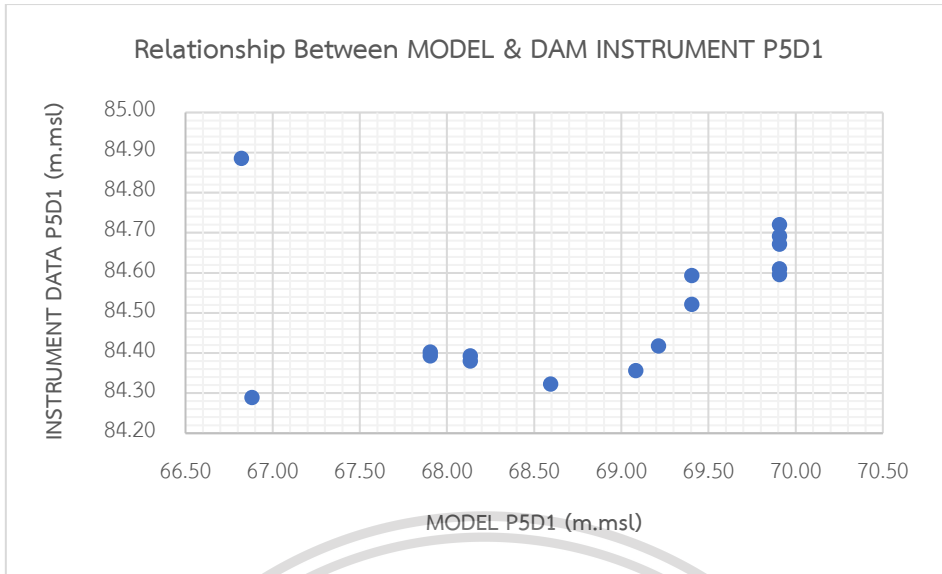


รูปที่ 5- 17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P3D1

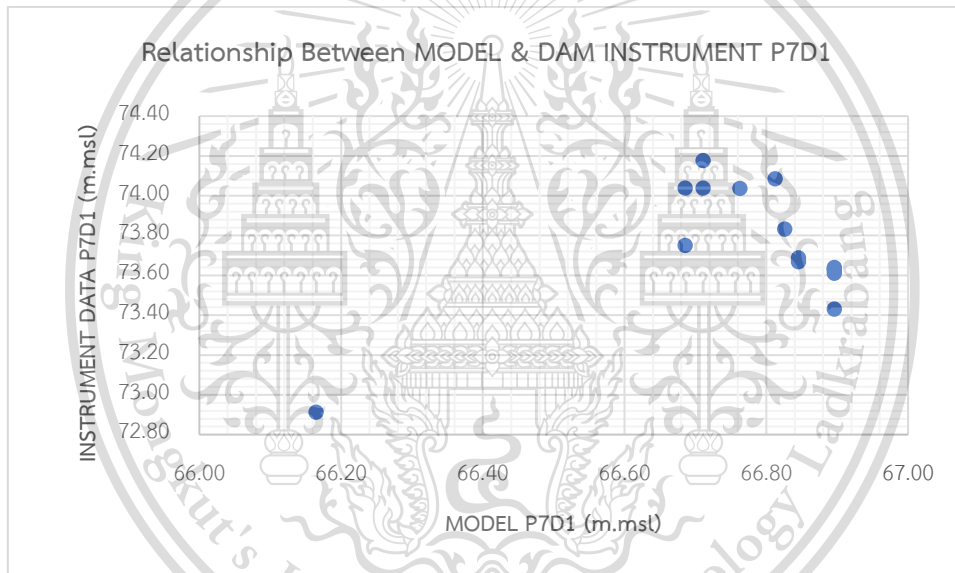
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5- 18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P5D1



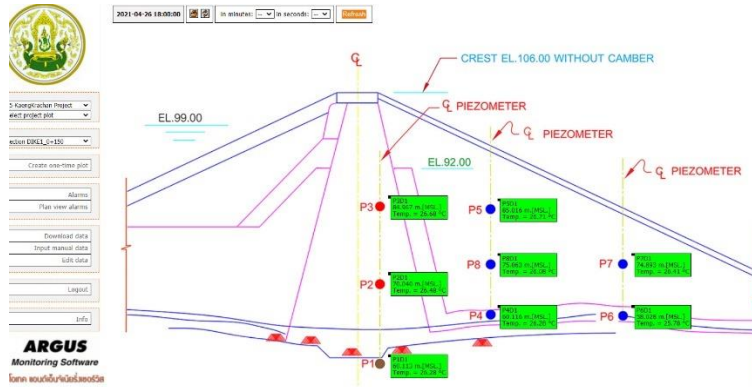
รูปที่ 5- 19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์กับค่าที่อ่านได้จากโมเดล เฉพาะหัววัด P7D1

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ข้อมูลที่วัดได้จริง(Raw Data) เป็นแกน y กับแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม (Model) เป็นแกน x ซึ่งค่าที่อ่านได้จากแบบจำลอง ไม่มีความสัมพันธ์กับ ค่าที่วัดได้จริง เป็นเช่นนี้ถูกต้องแล้วเพราะพิโซมิเตอร์ดังกล่าวไม่ได้อยู่ในเส้นทางการไหล (flow path) จึงไม่มีความสัมพันธ์กับระดับน้ำ ดังรูปที่ 5-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปตัด DIKE No.1 กม. 0+150

รูปที่ 5- 20 ตำแหน่งติดตั้งพีโซมิเตอร์ที่ DIKE 1 ทั้งหมด 8 หัววัด จะเห็นว่า P5, P7 ไม่มีน้ำไหลผ่าน

จากการศึกษายังพบว่าอัตราการไหลซึมผ่านเขื่อนเป็นสิ่งที่ต้องนำมาใช้เปรียบเทียบกับค่า total head ด้วย อัตราการไหลซึมผ่านเขื่อนและฐานรากทราบได้จาก Seepage flow meter คำนวณต่อหน้าตัดแล้วได้ประมาณ $3 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ เปรียบเทียบการอ่านค่าจากเครื่องมือกับแบบจำลองในรูปแบบตาราง แสดงในตารางที่ 5-4 และ 5-5 ตารางที่ 5- 4 ผลการเปรียบเทียบ Total Head ในแบบจำลองกับพีโซมิเตอร์และสรุปผลการเปรียบเทียบ

ตารางเปรียบเทียบ TOTAL HEAD จากเครื่องมือวัด กับ แบบจำลอง							
หมายเลข หัววัด	ตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือ Piezometer			TOTAL HEAD เครื่องมือ	TOTAL HEAD แบบจำลอง	ผิดไปจาก เครื่องมือ (ม.รทก.)	แบบจำลอง สัมพันธ์กับ เครื่องมือ
	กม. (ม.)	ออกฉาก (ม.)	ระดับ ม.(รทก)	(ม.รทก.)	(ม.รทก.)		
	R.WL.			96.00	96.00	-	-
P1/D1	0+150	4.00 D/S	+59.940	80.395	79.273	1.122	ยอมรับได้
P2/D1	0+150	4.00 D/S	+70.000	82.291	81.151	1.14	ยอมรับได้
P3/D1	0+150	4.00 D/S	+85.000	87.738	88.039	-0.301	ยอมรับได้
P4/D1	0+150	25.00 D/S	+60.079	70.885	69.447	1.438	ยอมรับได้
P5/D1*	0+150	25.00 D/S	+85.079	84.691	84.604	0.087	ยอมรับได้
P6/D1	0+150	50.00 D/S	+58.000	69.646	68.694	0.952	ยอมรับได้
ตารางเปรียบเทียบ TOTAL HEAD จากเครื่องมือวัดกับแบบจำลอง							
หมายเลข หัววัด	ตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือ Piezometer			TOTAL HEAD เครื่องมือ	TOTAL HEAD แบบจำลอง	ผิดไปจาก เครื่องมือ (ม.รทก.)	แบบจำลอง สัมพันธ์กับ เครื่องมือ
	กม. (ม.)	ออกฉาก (ม.)	ระดับ ม.(รทก)	(ม.รทก.)	(ม.รทก.)		
P7/D1*	0+150	50.00 D/S	+75.000	73.639	68.337	5.302	ยอมรับได้
P8/D1*	0+150	25.00 D/S	+75.059	74.841	73.859	0.982	ยอมรับได้

เครื่องหมาย * หมายถึง พีโซมิเตอร์ที่ติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ไม่มีน้ำไหลผ่าน จึงไม่มีความสัมพันธ์กับระดับน้ำในอ่างและอ่านค่าได้ใกล้เคียงระดับติดตั้งของตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ตารางที่ 5- 5 ผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลซึมในแบบจำลองสรุปผลการเปรียบเทียบ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ผลอ่านค่าเครื่องมือ SF		ประมาณโดยที่คณะปรึกษาฯ	แบบจำลอง	
	Q / Section (m ³ /s/m)	Q _{total} (l/min)	Q _{total} (l/min)	Q / Section (m ³ /s/m)	Q _{total} (l/min)
ระดับน้ำ +90.00 m.msl.					
DIKE 1	2.90x10 ⁻⁷	4.7	4.389	2.92x10 ⁻⁷	4.730

สรุปผลการเปรียบเทียบได้ว่าพฤติกรรมการไหลซึมของน้ำในแบบจำลองสอดคล้องกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือตรวจวัดหรืออาจถือว่าสามารถยืนยันความถูกต้อง (Verify) ของแบบจำลองได้แล้ว จบขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการไหลซึม

5.3.2 การประมาณฟังก์ชันการไหลซึม

สรุปพารามิเตอร์ที่ใช้ในฟังก์ชันการไหลซึมและฟังก์ชันความชื้นของวัสดุแต่ละโซนของ DIKE1 เขื่อนแก่งกระจาน กม. 0+150 แสดงในตารางที่ 5-6
ตารางที่ 5- 6 สรุปผลการประมาณฟังก์ชันการไหลซึม

คุณสมบัติวัสดุที่ได้จากผลวิเคราะห์การไหลซึมผ่านเขื่อน						
1	2	3	4	5	6	7
DIKE 1 Model Sta. 0+150	Zone	Saturated WC(m ³ /m ³)	Coefficient of vol. compressibility(kPa) ⁻¹	Residual Water(m ³ /m ³)	K (m./sec.)	Anisotropy Ky/Kx ratio
	Core Zone (C)	0.5	5E-04	0.4	1.0E-09	0.20
	Foundation Rock	0.45	0	0.4	5.0E-08	0.25
	Natural Ground Surface	0.4	0	0.2	1.0E-08	0.40
	Quarry Run Rock (QR)	0.3	0	0.01	5.0E-03	0.50
	Random (R)	0.4	1.00E-04	0.05	1.0E-07	0.33
	Chimney Drain (SG)	0.35	3.00E-04	0.01	1.0E-06	0.60
	Selected Random (SR)	0.3	1.00E-04	0.05	5.0E-02	0.6
	Transition Zone (T)	0.35	1.00E-04	0.1	1.0E-06	0.50
	Curtain Grouting Zone	0.60	0	0.1	7.0E-10	0.10

อธิบายตารางที่ 5-6

ช่องที่ 1 คือ ตำแหน่งของหน้าตัดจากจุดอ้างอิง (BM)

ช่องที่ 2 คือ แสดงชื่อเรียกโซนต่าง ๆ สัญลักษณ์อักษรย่อของโซนนั้น

ช่องที่ 3 คือ ความชื้นมวลดินที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ ประมาณจาก รูปที่ 5-9

ช่องที่ 4 คือ สัมประสิทธิ์การอัดตัว (สัญลักษณ์ ; Mv) ประมาณจากลักษณะของดินที่มีผลต่อการทรุดตัว

ช่องที่ 5 คือ ความชื้นในมวลดินตามธรรมชาติ ประมาณจากรูปที่ 5-10

ช่องที่ 6 คือ ค่าความสามารถในการไหลซึมของน้ำ (สัญลักษณ์ ; K) หาได้จากการประมาณค่า K ในแบบจำลอง

ช่องที่ 7 คือ Anisotropy สำหรับดินถมบดอัดแน่นค่า ky/kx หาได้จากการประมาณเช่นเดียวกัน

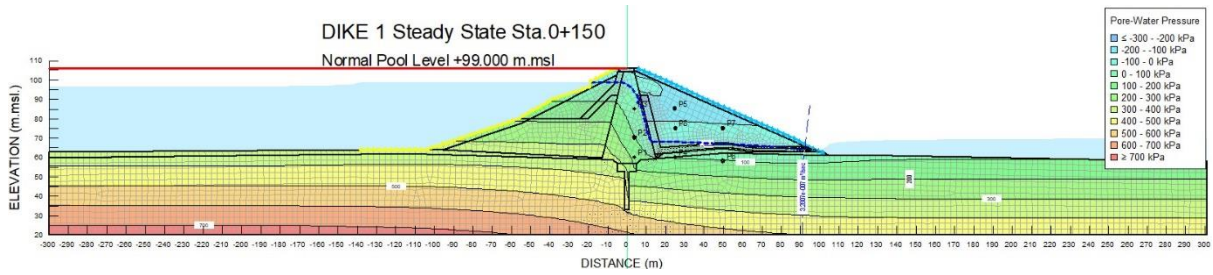
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีศึกษาเพื่อปรับปรุงและพัฒนา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

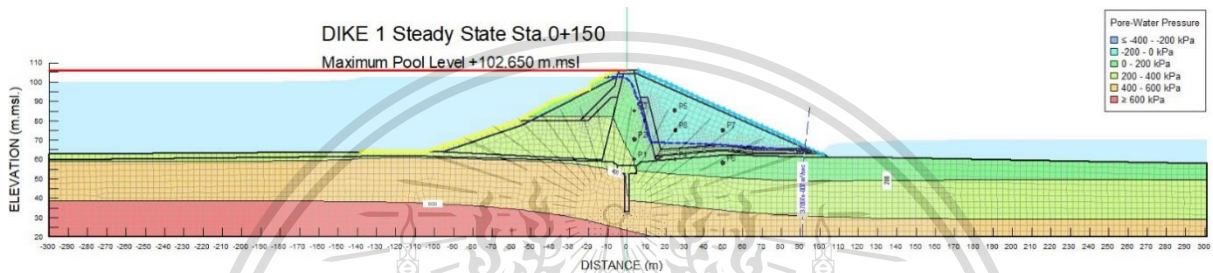
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.4 ผลการวิเคราะห์การไหลซึมผ่านเขื่อนและฐานราก

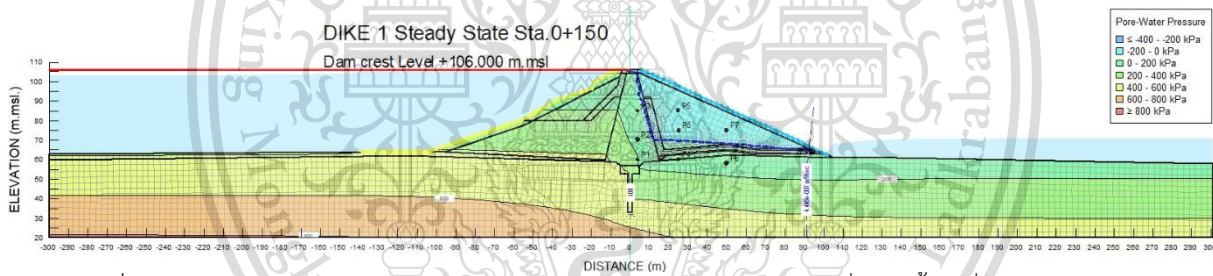
ผลคำนวณค่าความดันน้ำ (Pore water Pressure) ค่าความลาดชันทางชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient) และ อัตราการไหล (Flow rate) แสดงในรูปที่ 5-20 ถึงรูปที่ 5-25



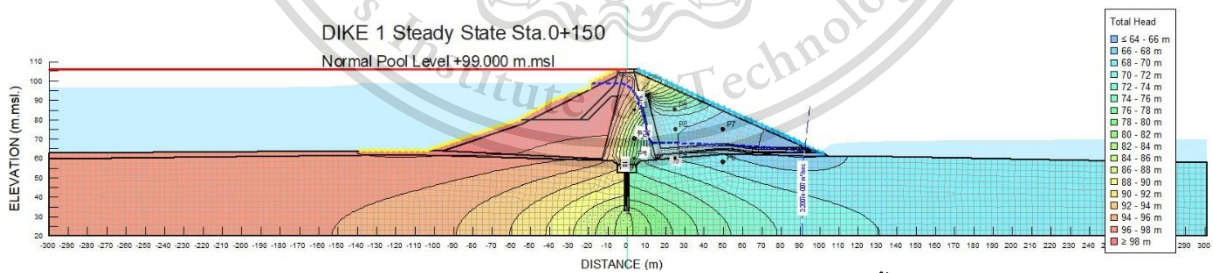
รูปที่ 5- 21 ผลวิเคราะห์ Pore water pressure และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 99.00 ม.รทก.



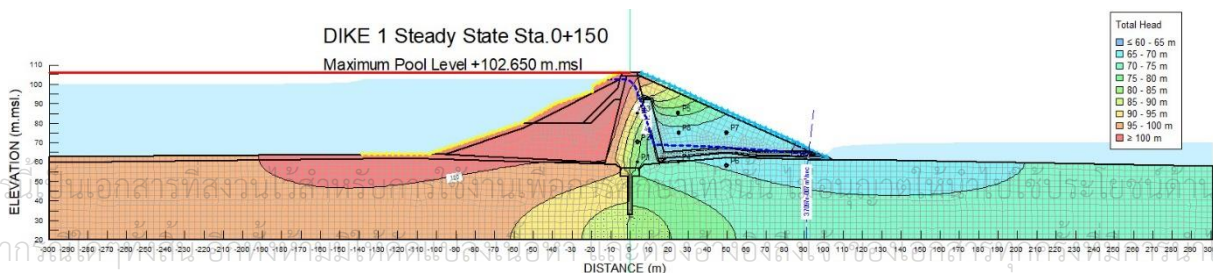
รูปที่ 5- 22 ผลวิเคราะห์ Pore water pressure และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 102.65 ม.รทก.



รูปที่ 5- 23 ผลวิเคราะห์ Pore water pressure และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 106.00 ม.รทก.



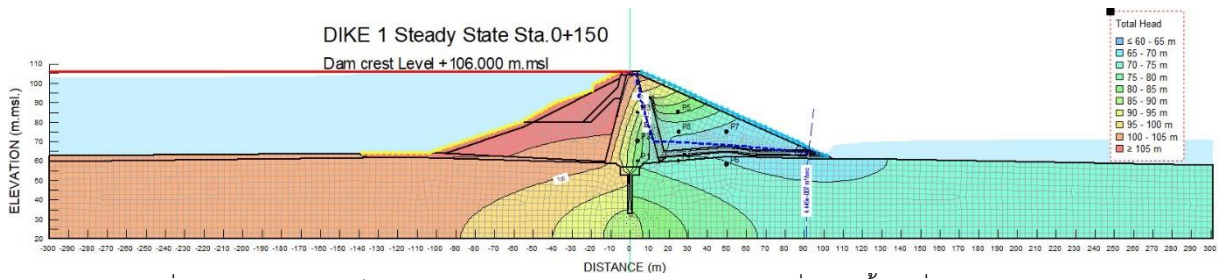
รูปที่ 5- 24 ผลวิเคราะห์ Total Head และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 99.00 ม.รทก.



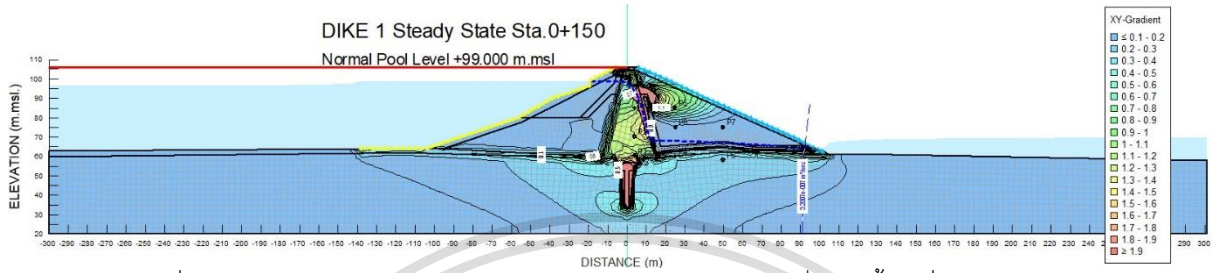
รูปที่ 5- 25 ผลวิเคราะห์ Total Head และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 102.65 ม.รทก.

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

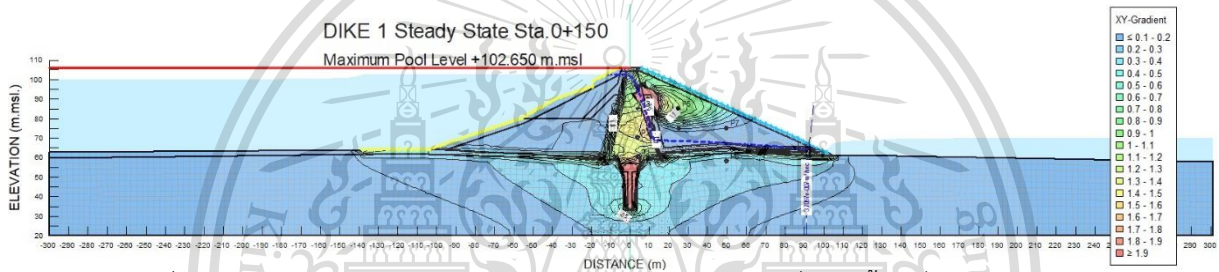
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



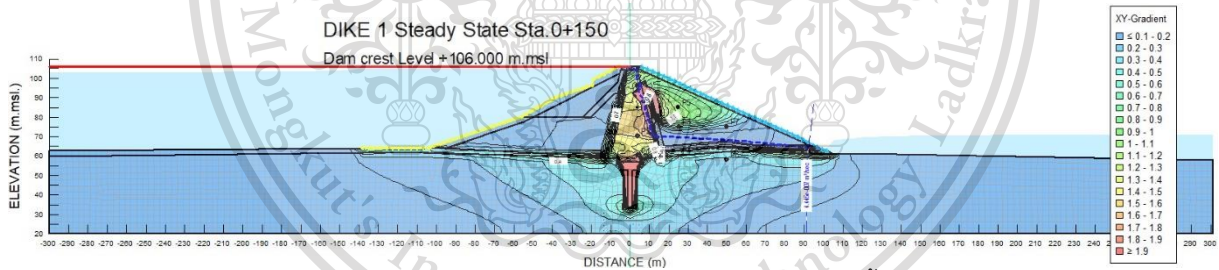
รูปที่ 5- 26 ผลวิเคราะห์ Total Head และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 106.00 ม.รทก.



รูปที่ 5- 27 ผลวิเคราะห์ Total Head และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 99.00 ม.รทก.



รูปที่ 5- 28 ผลวิเคราะห์ Total Head และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 102.65 ม.รทก.



รูปที่ 5- 29 ผลวิเคราะห์ Total Head และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 106.00 ม.รทก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

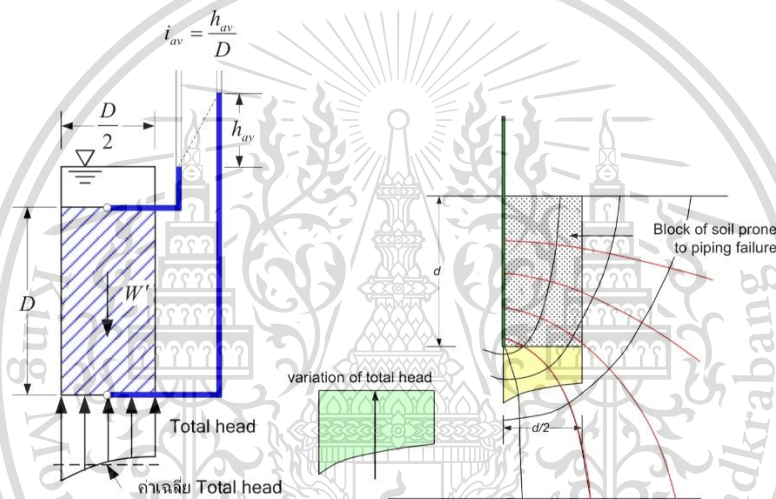
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.5 ผลการวิเคราะห์ความปลอดภัยต่อการเกิด Piping (Factor of safety against piping)

เมื่อน้ำไหลผ่านดินจะเกิดแรงเนื่องจากการไหลของน้ำกระทำต่อดิน (seepage force) ขึ้น ซึ่ง seepage force ที่เกิดมากจนถึงจุดที่ทำให้หน่วยแรงประสิทธิผลของดิน ที่อยู่ด้านท้ายน้ำลดลงน้อยกว่าแรงดันน้ำที่เกิดขึ้น ($\sigma = \sigma - u$) อาจทำให้สมดุลของดินเสียไปและอาจทำให้เกิดสภาพะทรายไหลตามมา ถ้าน้ำหนักประสิทธิผลมากกว่าแรงดันไหลขึ้น ดินด้านท้ายน้ำจะมีเสถียรภาพเพียงพอ

การวิบัติจาก piping เกิดเนื่องจากสาเหตุที่เป็นลำดับดังนี้

- Soil gran moving apart
- Increase permeability
- Increase flow
- Quick condition
- Loss of strength
- Catastrophic collapse



รูปที่ 5- 30 แผนภาพมวลดินและแรงดันน้ำที่กระทำในทิศขึ้น ที่มา ; พรพจน์ ดันเส็ง (2554)

พิจารณารูปที่ 5-32 น้ำหนักของดินจมน้ำซึ่งเป็นน้ำหนักประสิทธิผล W' ของดินขนาดกว้าง $D/2$ ลึก D คือ

$$W' = D \left(\frac{D}{2} \right) (\gamma_{sat} - \gamma_w) = \frac{1}{2} (D^2 \gamma')$$

แรงดันน้ำที่กระทำต่อดิน U ขนาดกว้าง $D/2$ ลึก D คำนวณได้จากแรงเนื่องจากการไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

$$U = D \frac{D}{2} (i_{av} \gamma_w) = \frac{1}{2} D^2 i_{av} \gamma_w$$

เมื่อ i_{av} คือ ค่าเฉลี่ยของ vertical hydraulic gradient ได้มวลดินส่วนที่แรงๆ ดังนั้นค่าแรงต้านทานเนื่องจากน้ำหนักต่อแรงที่เกิดจากการไหลขึ้นของน้ำคือสัดส่วนปลอดภัย ดังสมการ 5-1

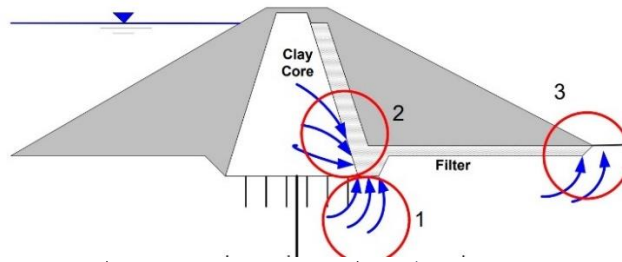
$$F.S. = \frac{W'}{U} = \frac{\gamma'}{i_{av} \gamma_w}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้... $F.S. = \frac{(\gamma_{sat} - \gamma_w)}{i_{av} \gamma_w}$ สมการที่ 5-1 ด้านการค้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

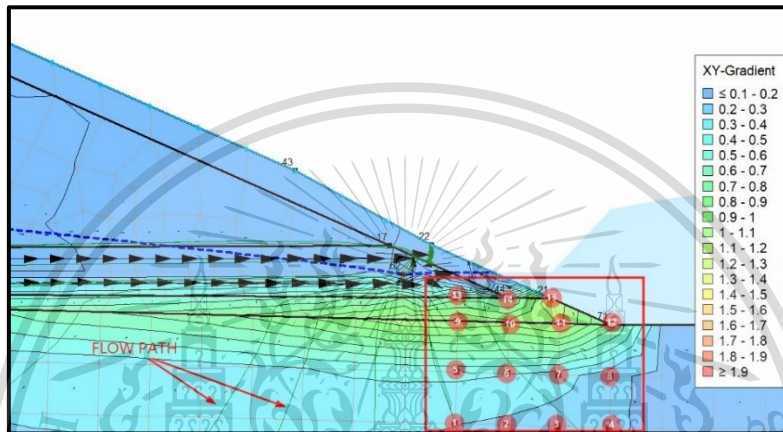
จากการศึกษาพบว่าตำแหน่งที่เสี่ยงต่อการเกิด piping ของเขื่อนดินถมจะเป็นดังรูปที่ 5-33

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.



รูปที่ 5- 31 การรั่วซึมของฐานรากและตัวเขื่อน ที่มา ; วรากร ไม้เรียง (2542)

บริเวณที่ 1 รอยต่อของฐานราก แกนดินเหนียว และ Filter น้ำจากฐานรากที่ไหลผ่านแนวน้ำปูนจะไหลเข้าสู่ Filter โดยเร็ว
 บริเวณที่ 2 รอยต่อของแกนดินเหนียว และ Filter ด้านท้ายน้ำ โดยน้ำที่ซึมผ่านแกนจะไหลเข้าสู่ Filter
 บริเวณที่ 3 ฐานรากด้านท้ายน้ำ โดยน้ำที่ซึมจากฐานรากจะไหลขึ้นสู่ผิวดินอาจเกิดการลอยตัวของเม็ดดิน (Boiling) ได้



รูปที่ 5- 32 แสดง node ที่ใช้คำนวณ F.S. against piping ตำแหน่ง Toe slope ขนาด Mesh size 3x3 m.

จากรูปที่ 5-31 เป็นการวิเคราะห์ที่ระดับน้ำ 106.00 ม.รทก. ซึ่งเป็นระดับสันเขื่อนและเป็นกรณีที่วิกฤตที่สุด สามารถคำนวณ ค่า vertical hydraulic gradient ของ node ทั้ง 15 node ได้ดังนี้

Node	Vertical Hydraulic Gradient
1	1.03566
2	1.100195
3	0.705629
4	0.39853
5	0.33945
6	0.204739
7	0.636374
8	1.199015
9	0.743099
10	1.096882
11	0.419581
12	0.303375
13	0.275916
14	0.239217
15	0.209084
Average ; i_{av}	0.593783

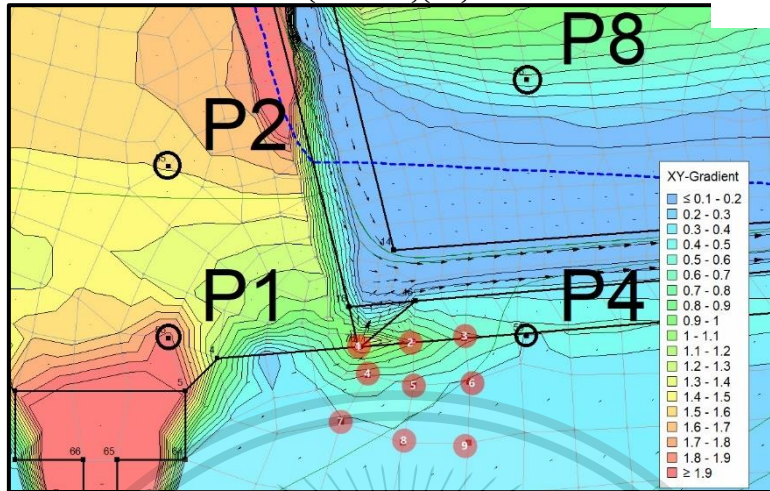
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากสมการ 5.1 แทนค่า ;

$$F.S. = \frac{(2.1-1.0)}{(0.593783)(1.0)} = 1.86 > 1.00 \text{ O.K.}$$



รูปที่ 5- 33 แสดง node ที่ใช้คำนวณ F.S. against piping บริเวณรอยต่อแกนดินเหนียว filterและฐานราก Mesh3x3m.

จากรูปที่ 5-32 เป็นการวิเคราะห์ที่ระดับน้ำ 106.00 ม.รทก. ซึ่งเป็นระดับสันเขื่อนและเป็นกรณีที่วิกฤตที่สุด สามารถคำนวณ ค่า vertical hydraulic gradient ของ node ทั้ง 9 node ได้ดังนี้

Node	Vertical Hydraulic Gradient
1	1.0275011
2	0.90624573
3	0.62760165
4	0.57996902
5	0.42615356
6	0.37080992
7	0.35972017
8	0.35170091
9	0.3423001
Average ; i_{av}	0.554667

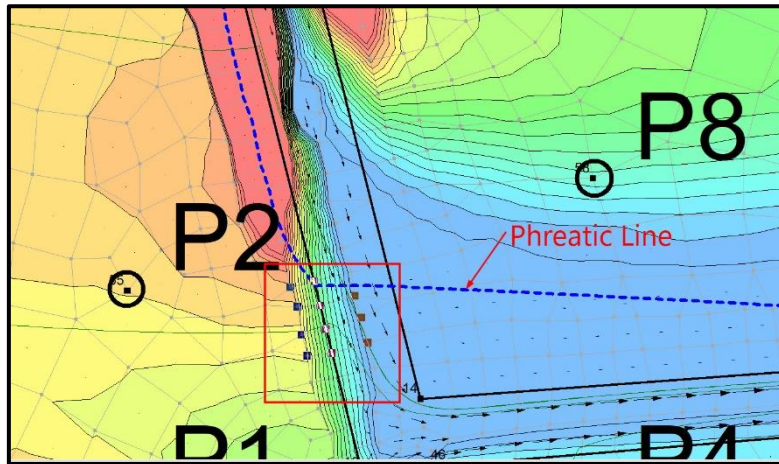
จากสมการ 5.1 แทนค่า ;

$$F.S. = \frac{(2.1 - 1.0)}{(0.554667)(1.0)} = 1.983 > 1.00 \text{ O.K.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5- 34 แสดง node ที่ใช้คำนวณ F.S. against piping บริเวณรอยต่อ filter และแกนดินเหนียว Mesh size 3x3m.

จากรูปที่ 5-33 เป็นการวิเคราะห์ที่ระดับน้ำ 106.00 ม.รทก. ซึ่งเป็นระดับสันเขื่อนและเป็นกรณีวิกฤตที่สุด สามารถคำนวณ ค่า vertical hydraulic gradient ของ node ทั้ง 11 node ได้ดังนี้

Node	Vertical Hydraulic Gradient
1	0.028527
2	0.791205
3	0.746198
4	0.027559
5	1.671354
6	1.574815
7	1.460335
8	1.418365
9	0.707073
10	0.026334
11	0.858319
Average ; i_{av}	0.846371

จากสมการ 5.1 แทนค่า ;

$$F.S. = \frac{(2.1 - 1.0)}{(0.846371)(1.0)} = 1.309 > 1.00 \text{ O.K.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.6 การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเขื่อน

หากทราบข้อมูลความแข็งแรงของดิน (soil strength parameter) ก็สามารถวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเขื่อนได้ หัวข้อนี้ต้องการแสดงการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดด้วยวิธี Bishop ในเงื่อนไขระดับน้ำในอ่างคงที่ (steady state) 102.65 ม.รทก. และหลักการจำแนกดินและข้อมูล SPT-N ที่ทราบจากการสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยคลื่นมาใช้ประมาณกำลังของดิน ดังรูปที่ 5-37 วิเคราะห์โดยใช้ค่าขอบล่าง (lower bound) ได้ผลวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดด้านท้ายดังรูปที่ 5-38 แสดงผล gradation test ของแต่ละโซน(เท่าที่มี) ไว้ในภาคผนวก

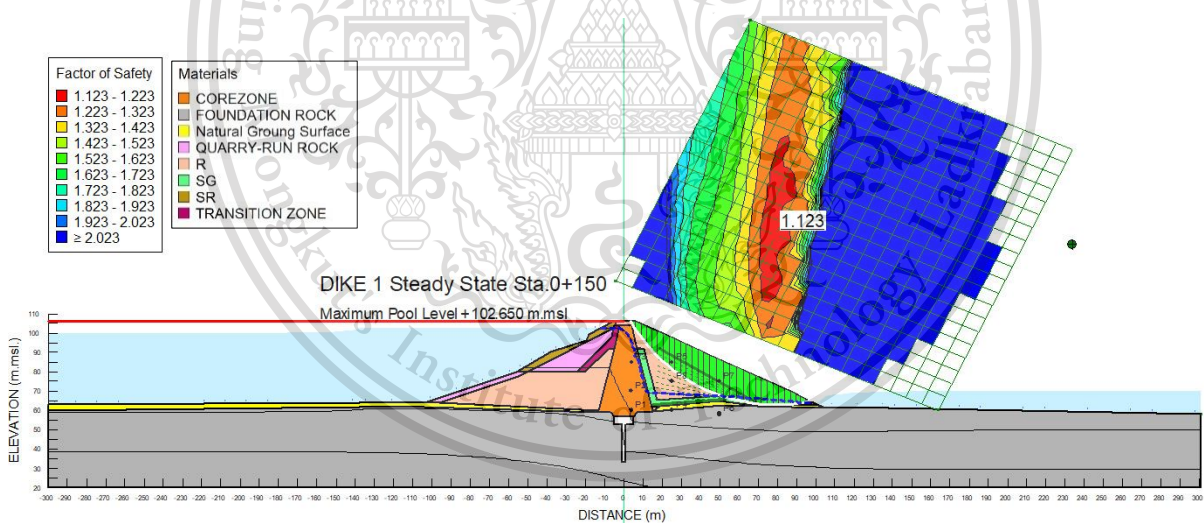
Table 5.3 Clay strength from SPT data.

Material	Description	SPT – N (blows/300 mm)	Strength
Clay	V. Soft	≤2	0–12 kPa
	Soft	2–5	12–25 kPa
	Firm	5–10	25–50 kPa
	Stiff	10–20	50–100 kPa
	V. Stiff	20–40	100–200 kPa
	Hard	>40	>200 kPa

Table 5.5 Strength from corrected SPT value on clean fine and coarse size sands.

Description	Relative density D_r	Corrected SPT – N (blows/300 mm)			Strength
		Fine sand	Medium	Coarse sand	
V. Loose	< 15%	$(N_o)_{60} \leq 3$	$(N_o)_{60} \leq 3$	$(N_o)_{60} \leq 3$	$\phi < 28^\circ$
Loose	15–35%	$(N_o)_{60} = 3-7$	$(N_o)_{60} = 3-8$	$(N_o)_{60} = 3-8$	$\phi = 28-30^\circ$
Med dense	35–65%	$(N_o)_{60} = 7-23$	$(N_o)_{60} = 8-25$	$(N_o)_{60} = 8-27$	$\phi = 30-40^\circ$
Dense	65–85%	$(N_o)_{60} = 23-40$	$(N_o)_{60} = 25-43$	$(N_o)_{60} = 27-47$	$\phi = 40-45^\circ$
V. Dense	> 85%	$(N_o)_{60} > 40$	$(N_o)_{60} > 43$	$(N_o)_{60} > 47$	$\phi = 45-50^\circ$
	100%	$(N_o)_{60} = 55$	$(N_o)_{60} = 60$	$(N_o)_{60} = 65$	$\phi = 50^\circ$

รูปที่ 5- 35 Chart การประมาณกำลังของดินเหนียวจากจำนวน SPT ที่มา ; Burt G.Look (2007)



รูปที่ 5- 36 ผลคำนวณเสถียรภาพของลาดด้านท้ายน้ำ ที่ระดับน้ำสูงสุด 102.65 ม.รทก.ได้ F.S. = 1.123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและอภิปราย

6.1 การสร้างแบบจำลองการไหลซึมที่มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมเขื่อนแก่งกระจาน

เขื่อนแก่งกระจานมีเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมติดตั้งอยู่ภายในเขื่อนหลายชนิด แต่ในการวิเคราะห์การไหลซึมผ่านเขื่อนจะใช้ข้อมูลจาก เครื่องวัดระดับน้ำ พิโซมิเตอร์ และฝายวัดอัตราการไหลมาใช้ในการทำ Model Verification โดยอาศัยหลักสมมติฐานที่ว่า *ถ้าสามารถสร้างฟังก์ชันการไหลซึมที่ทำให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองสัมพันธ์กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือตรวจวัดเป็นแบบฟังก์ชันเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 1 ที่ระดับน้ำคงที่ใด ๆ แล้ว แบบจำลองนั้นจะสัมพันธ์กับพฤติกรรมเขื่อนมีผลการศึกษาดังนี้*

6.1.1 การสร้างฟังก์ชันการไหลซึม (Define K-function)

ตารางที่ 6-1 สรุปค่าพารามิเตอร์ในฟังก์ชันการไหลซึมที่กำหนดให้แบบจำลอง

Define K-Function						
DIKE 1 Model Sta. 0+150	Zone	Saturated WC(m ³ /m ³)	Coefficient of vol. compressibility(kPa) ⁻¹	Residual Water(m ³ /m ³)	K (m./sec.)	Anisotropy Ky/Kx ratio
	Core Zone (C)	0.5	5E-04	0.4	1.0E-09	0.20
	Foundation Rock	0.45	0	0.4	5.0E-08	0.25
	Natural Ground Surface	0.4	0	0.2	1.0E-08	0.40
	Quarry Run Rock (QR)	0.3	0	0.01	5.0E-03	0.50
	Random (R)	0.4	1.00E-04	0.05	1.0E-07	0.33
	Chimney Drain (SG)	0.35	3.00E-04	0.01	1.0E-06	0.60
	Selected Random (SR)	0.3	1.00E-04	0.05	5.0E-02	0.6
	Transition Zone (T)	0.35	1.00E-04	0.1	1.0E-06	0.50
	Curtain Grouting Zone	0.60	0	0.1	7.0E-10	0.10

6.1.2 เปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองกับเครื่องมือตรวจวัด

ที่ระดับน้ำคงที่ใด ๆ แบบจำลองจะสามารถคำนวณแรงดันน้ำในหน่วย ม.รทก. และอัตราการไหลซึมท้ายน้ำในหน่วย ลบ.ม./หน้าตัด/เวลา ซึ่งจะสามารถเปรียบเทียบกับพิโซมิเตอร์และฝายวัดอัตราการไหลได้ ที่ระดับน้ำเดียวกัน

DIKE1 เขื่อนแก่งกระจานมีพิโซมิเตอร์ทั้งหมด 8 หัววัด ติดตั้งครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2550 เป็นแบบ Vibration Wire ระบบไฟฟ้า อ่านค่าจาก Instrument House บริเวณเขื่อน พบว่ามีการอ่านค่าเครื่องมือตลอดปี พ.ศ. 2550 และขาดช่วงไป พบว่ามีการอ่านค่าอีกครั้งใน พ.ศ. 2552 และไม่พบอีกจนกระทั่ง พ.ศ. 2557 ซึ่งเป็นปีที่มีการเปลี่ยนระบบการอ่านค่าเครื่องมือเป็นระบบเครือข่ายข้อมูล สามารถดึงข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตได้ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา

จากการอ่านค่าพิโซมิเตอร์พบว่าหลัง พ.ศ. 2557 ถึงปัจจุบัน มีความผิดปกติ คือค่าที่บันทึกไว้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าช่วง พ.ศ. 2552 มาก ต่างกันเกิน 100% รวมถึงไม่พบข้อมูลการสอบเทียบหัววัดหลัง พ.ศ.2557 จึงไม่อาจเชื่อถือข้อมูลชุดหลัง พ.ศ. 2557 ได้ แม้จะมีการปรับปรุงให้สามารถอ่านค่าได้แบบ Real-time จึงเชื่อถือข้อมูลชุดเก่าซึ่งมีในช่วง พ.ศ. 2550-2552 ในช่วงปีดังกล่าวเขื่อนมีระดับน้ำในช่วง 85.000-97.000 ม.รทก.เท่านั้น ทำให้มีข้อจำกัดในการใช้ข้อมูลในช่วงระดับน้ำที่จำกัด ถึงแม้ว่าแบบจำลองจะสามารถคำนวณแรงดันน้ำและอัตราการไหลได้ทุกระดับน้ำ แต่ในการทำ Model Verification ก็จะต้องเปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่มีการบันทึกข้อมูลซึ่งมีอย่างจำกัด

รูปตัดและตำแหน่งของหัววัดพิโซมิเตอร์แสดงในรูปที่ 6-1 และสรุปผลการทำ Model Verification เทียบกับ

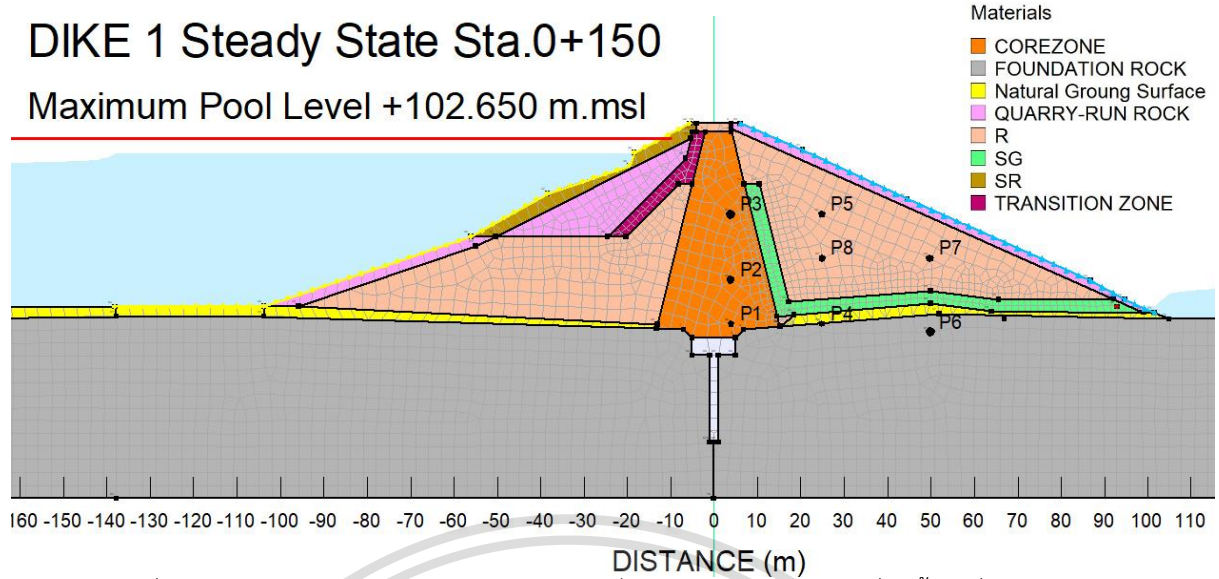
ไม่ว่าเครื่องมือตรวจวัดที่ติดตั้งที่เขื่อนไว้ในตารางที่ 6-1 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DIKE 1 Steady State Sta.0+150

Maximum Pool Level +102.650 m.msl



รูปที่ 6-1 ตำแหน่งอ่านค่าพิโซมิเตอร์ในแบบจำลองซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกันกับที่ติดตั้งในเขื่อน

รูปที่ 6-1 ตำแหน่งอ่านค่าพิโซมิเตอร์ในแบบจำลองซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกันกับที่ติดตั้งในเขื่อน

ตารางที่ 6-1 สรุปผล Model Verification และความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเทียบกับค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์ในเขื่อน

Piezometer NO.	Zoned Location	Equation	Error (%)	Remark
P1D1	Core Zone	$y=1.0388x$	3.88	Located in flow direction
P2D1	Core Zone	-	Not related	Data Correction Error
P3D1	Core Zone	-	Not related	Data Correction Error
P4D1	Foundation Rock	$y=1.021x$	2.11	Located in flow direction
P5D1*	D/S Random zone	-	Not related	Not located in flow direction
P6D1	Foundation Rock	$y=1.0104x$	1.04	Located in flow direction
P7D1*	D/S Random zone	-	Not related	Not located in flow direction
P8D1*	D/S Random zone	$y=1.1016x$	11.01	Not located in flow direction

จากตารางที่ 6-1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ใช้พิโซมิเตอร์ทั้งหมด 8 หัววัดในการเทียบ จากการศึกษพบว่าไม่สามารถนำหัววัด P2, P3 มาใช้ได้เนื่องจากการบันทึกข้อมูลผิดพลาดไม่สอดคล้องกับพฤติกรรม ส่วนแบบจำลองหัววัด P1 P4 และ P6 ซึ่งอยู่ในทิศทางที่น้ำไหลผ่านมีความคลาดเคลื่อนในช่วง 1-4 % และหัววัด P5 P7 P8 ไม่อยู่ในทิศทางที่น้ำควรไหลผ่าน จึงไม่มีความสัมพันธ์กับแบบจำลอง เนื่องจากแบบจำลองจะอ่านค่าความดันได้ดีดล แต่เครื่องมือจริงไม่สามารถอ่านค่าดลได้ จบการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเขื่อนแก่งกระจานเพียงเท่านี้

6.1.2 อภิปรายผลการสร้างแบบจำลอง

แบบจำลอง finite element เขื่อนแก่งกระจานนี้สร้างโดยใช้ Software ของ Geostudio 2016 โหมด SEEP/W สามารถวิเคราะห์ความดันน้ำ อัตราการซึมผ่าน และข้อมูลเชิงคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องได้ โดยการใส่ Input ค่าระดับน้ำตั้งแต่ 40.000 ถึง 106.000 ในหน่วย ม.รทก. หากพารามิเตอร์ดินที่ใส่ให้ฟังก์ชันไหลซึมคล้ายพารามิเตอร์จริงในเขื่อนแล้ว ก็จะ

สามารถวิเคราะห์และคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้ตามคำสั่งที่ออกให้โปรแกรม ในเนื้อหาของการศึกษานี้ได้ทดลองคำนวณ

ไม่ว่าแรงดันน้ำที่ระดับน้ำสูงสุดและระดับสันเขื่อนซึ่งเป็นระดับที่เขื่อนไม่เคยเก็บน้ำสูงขนาดนี้ได้สำเร็จและสรุปวิเคราะห์ผลด้านอื่น

ในหัวข้อต่อไป

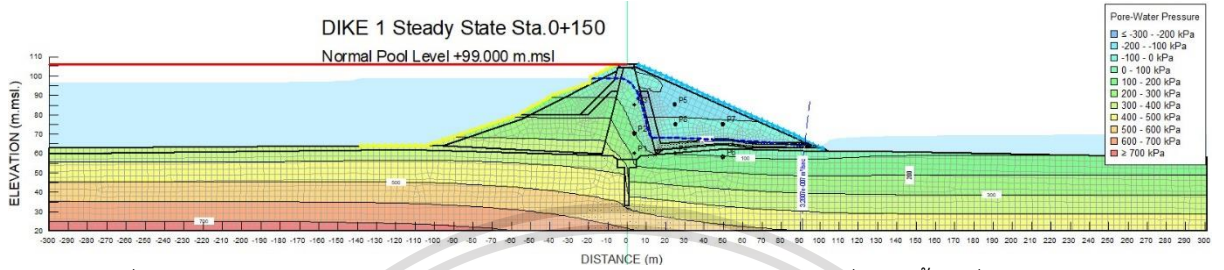
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

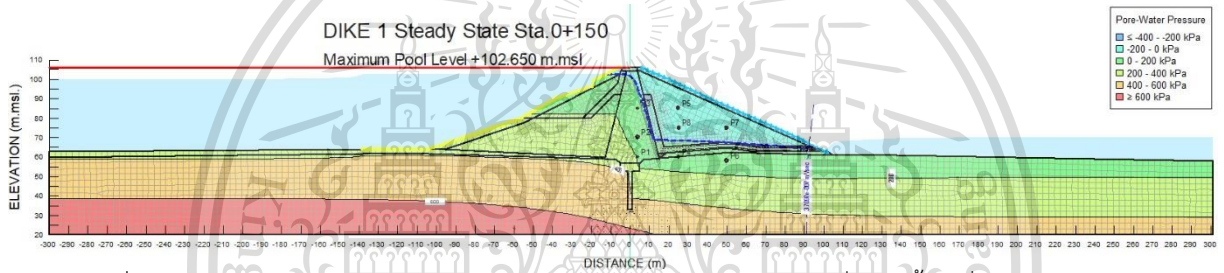
6.2 สรุปผลการคำนวณทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลอง

ผลการคำนวณที่ SEEP/W วิเคราะห์ ได้แก่ Flow net, Flow path, Finite element method และสามารถคำนวณ Pore water pressure, Total head, Hydraulic gradient ได้ผลเหมือนที่แสดงในบทที่ 5 ดังรูปที่ 5-20 ถึง 5-28

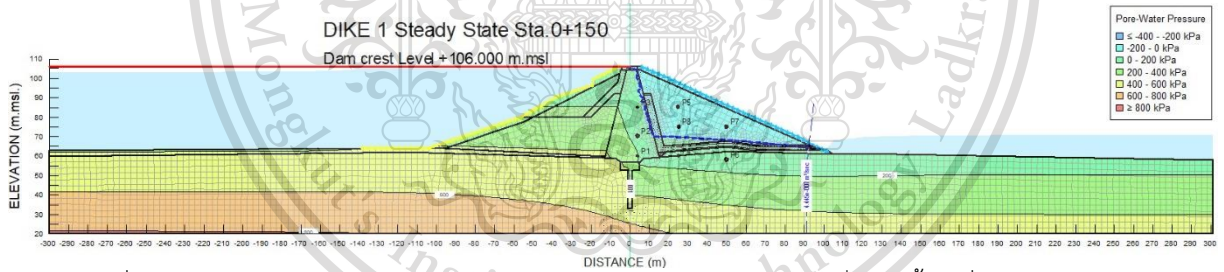
ผลคำนวณค่าความดันน้ำ (Pore water Pressure) ค่าความลาดชันทางชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient) และอัตราการไหล (Flow rate) แสดงในรูปที่ 5-20 ถึงรูปที่ 5-28



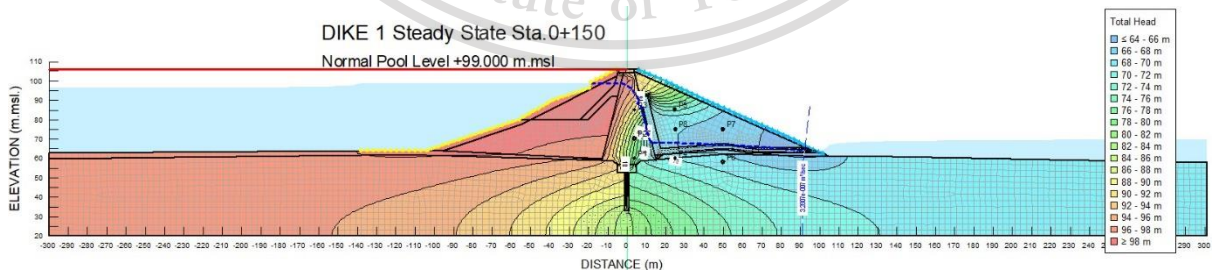
รูปที่ 5-20 ผลวิเคราะห์ Pore water pressure และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำค้างที่ 99.00 ม.รทก.



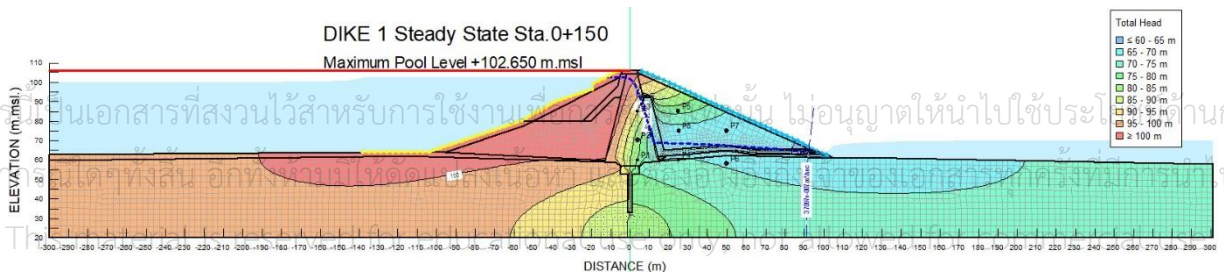
รูปที่ 5-21 ผลวิเคราะห์ Pore water pressure และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำค้างที่ 102.65 ม.รทก.



รูปที่ 5-22 ผลวิเคราะห์ Pore water pressure และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำค้างที่ 106.00 ม.รทก.

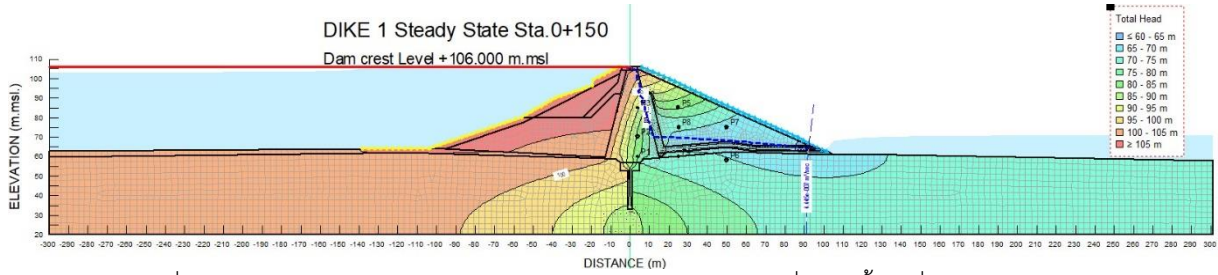


รูปที่ 5-23 ผลวิเคราะห์ Total Head และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำค้างที่ 99.00 ม.รทก.

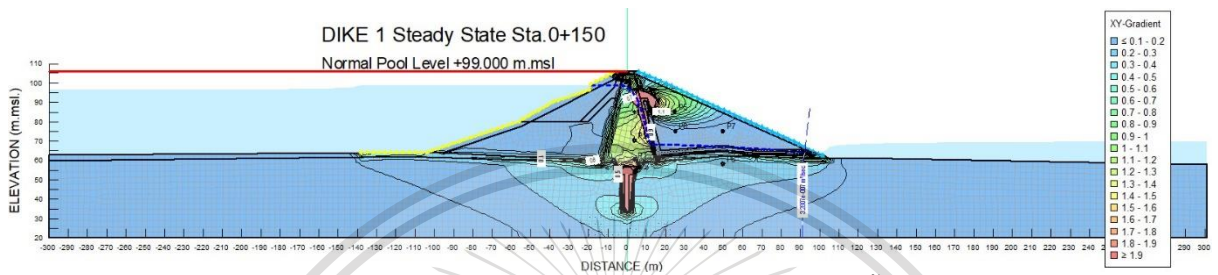


Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

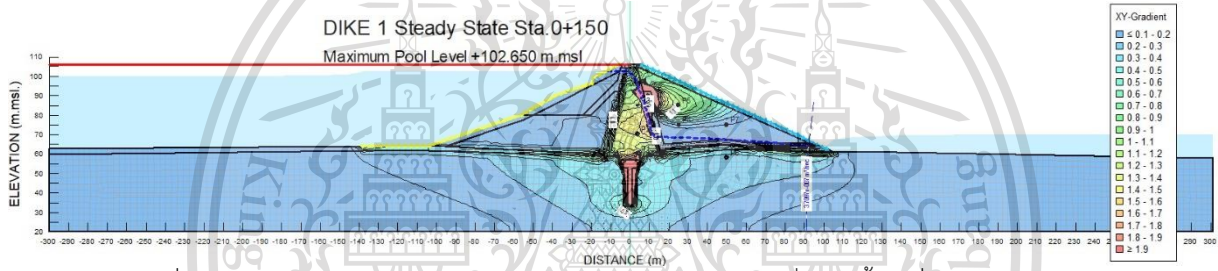
รูปที่ 5-24 ผลวิเคราะห์ Total Head และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 102.65 ม.รทก.



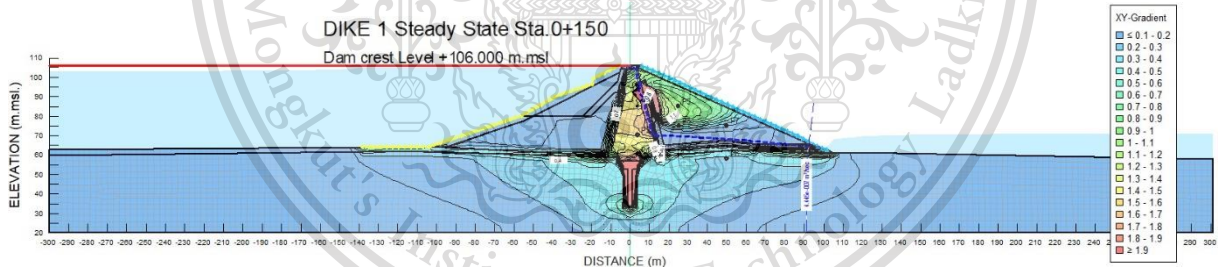
รูปที่ 5-25 ผลวิเคราะห์ Total Head และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 106.00 ม.รทก.



รูปที่ 5-26 ผลวิเคราะห์ Total Head และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 99.00 ม.รทก.



รูปที่ 5-27 ผลวิเคราะห์ Total Head และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 102.65 ม.รทก.



รูปที่ 5-28 ผลวิเคราะห์ Total Head และ Flow rate ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำคงที่ 106.00 ม.รทก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6.3 สรุปผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมของวัสดุในแต่ละโซน

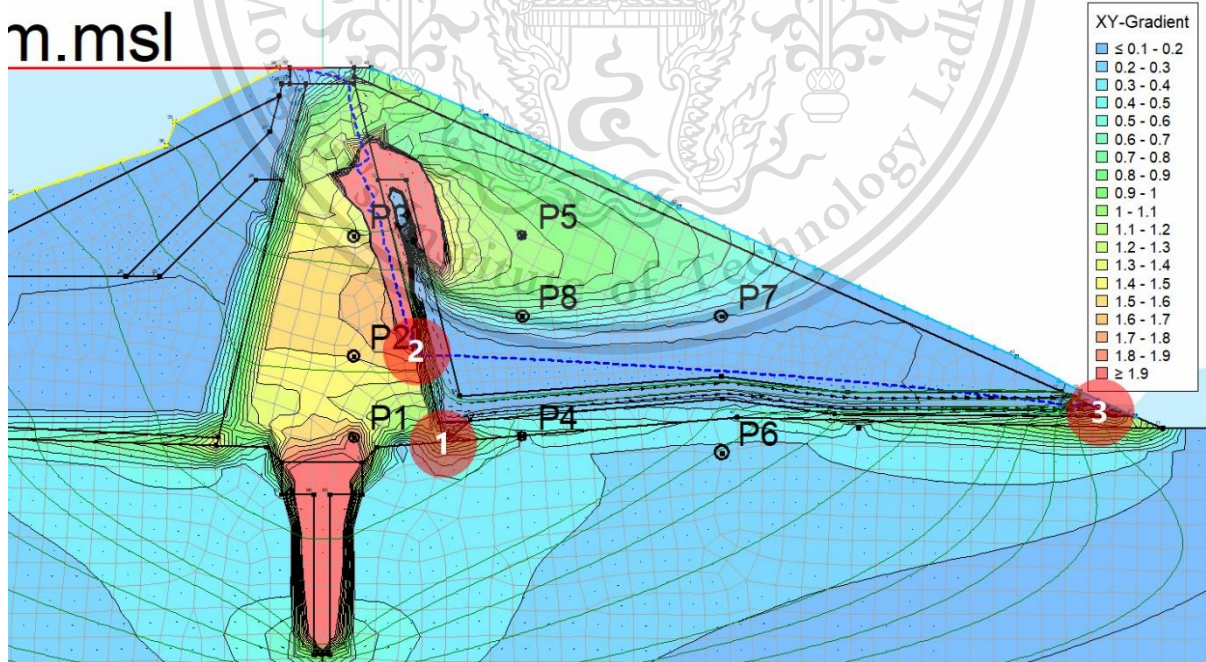
ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึม (Hydraulic Conductivity) หรือค่า K เป็นพารามิเตอร์หนึ่งในฟังก์ชันการไหล (K-function) มีความสำคัญในการวิเคราะห์การไหลซึมผ่านเขื่อนมาก การเปลี่ยนแปลงค่า K มีผลทำให้แรงดันน้ำและทิศทางการไหลของน้ำเปลี่ยนไป สรุปค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมของวัสดุในโซนเขื่อนได้ตามตารางที่ 6-2

ตารางที่ 6-2 สรุปผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมของวัสดุในแต่ละส่วนภายในตัวเขื่อน

Zone	USC ASTM D-2487	Hydraulic Conductivity (K) (m./sec.)
Core Zone (C)	SM,SC,MH,ML,CH,CL,GC,GM	1.0E-09
Foundation Rock	-	5.0E-08
Natural Ground Surface	-	1.0E-08
Quarry Run Rock (QR)	-	5.0E-03
Random (R)	SM,SC,GW,GC,GM	1.0E-07
Chimney Drain (SG)	GW,GP,SM,SC	1.0E-06
Selected Random (SR)	-	5.0E-02
Transition Zone (T)	-	1.0E-06
Curtain Grouting Zone	-	7.0E-10

6.4 สรุปผลวิเคราะห์ Factor of safety against piping

จากการวิเคราะห์ Factor of safety ในตำแหน่งสำคัญ 3 ตำแหน่ง ได้แก่ บริเวณที่ 1 รอยต่อระหว่างแกนดินเหนียวฐานรากและ filter บริเวณที่ 2 รอยต่อหลังแกนดินเหนียวและ filter บริเวณที่ 3 ฐานรากด้านท้ายน้ำ แสดงค่า hydraulic gradient ดังรูปที่ 6-2



รูปที่ 6-2 ผลคำนวณ hydraulic gradient ของ DIKE1 ที่ระดับน้ำ 106.000 ม.รทก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิยอนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าเมื่อ i_{av} คือ ค่าเฉลี่ยของ vertical hydraulic gradient ได้มวลดินส่วนที่แรงเฉือน ดังนั้นค่าแรงต้านทานเนื่องจากน้ำหนักต่อแรงที่เกิดจากการไหลขึ้นของน้ำคือสัดส่วนปลอดภัย ดังสมการ 5-1

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$F.S. = \frac{W'}{U} = \frac{\gamma'}{i_{av}\gamma_w}$$

$$F.S. = \frac{(\gamma_{sat} - \gamma_w)}{i_{av}\gamma_w}$$

สมการที่ 5-1

สรุปผลการคำนวณ F.S. against piping ทั้ง 3 ตำแหน่งอ้างอิงตามรูปที่ 6-2 ในตารางที่ 6-3

ตารางที่ 6-3 คำนวณ vertical hydraulic gradient และ factor of safety ในตำแหน่งรอยต่อของเขื่อน

Location	Average Vertical Hydraulic Gradient (i_{av})	Factor of safety against piping ($F.S.$)
Zone 1	0.554667	1.983
Zone 2	0.846371	1.309
Zone 3	0.593783	1.860

6.4.1 อภิปรายผลการคำนวณ

การเลือกตำแหน่งคำนวณ F.S. ในบริเวณที่เป็นรอยต่อเนื่องจากมีความเสี่ยงที่จะเกิดรอยร้าวมากที่สุด hydraulic gradient ที่เฉลี่ยเกิดจากการเลือก node ในตำแหน่งที่สนใจกว้าง D ลึก D/2 ความลึกจะเป็นทิศทางเดียวกับการไหล และคำนวณด้วยสมการที่ 5.1 พบว่าที่ระดับน้ำสูงเท่าสันเขื่อน +106.000 ม.รทก. ปลอดภัยต่อการเกิด piping เกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ FEMA อยู่ที่ 1.25

อย่างไรก็ตามต้องวิเคราะห์ความเป็นชั้นกรองในตัวเองของวัสดุบดอัดด้วย การคำนวณ F.S. against piping เป็นเพียงตัวแปรความปลอดภัยหนึ่งเท่านั้น การป้องกันการพัดพาและความเป็นชั้นกรองในตัวเองคือเกราะป้องกันไม่ให้เกิดชั้นตอนแรกของ Internal Erosion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- Atypon** Ascelibrary [ออนไลน์]. - 2004. - 16 4 2563. - <https://ascelibrary.org/cms/asset/3a5c48d9-8db4-4608-8252-17c9d27a47b1/10.jpg>.
- Burt G.L.** Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables [หนังสือ]. - London : Taylor & Francis Group, 2007.
- D.G. Fredlund and G.W. Wilson Murray D. Fredlund** Prediction of the Soil-Water Characteristic Curve from Grain-Size Distribution and Volume-Mass Properties [รายงานการประชุม] // 3rd Brazilian Symposium on Unsaturated Soils, Rio de Janeiro, Braz. - Rio de Janeiro : [ไม่ปรากฏผู้แต่ง], 1997.
- Engineering Consultants Inc., Denver, Colorado** Petchaburi Project Kang Krachan Dam Monthly Report [รายงาน]. - Bangkok : RID.Library, 2506.
- Engineering Consultants Inc., Denver, Colorado** Technical Record of Design and Construction [รายงาน]. - Bangkok : RID.Library, 2509.
- กรมชลประทาน** รายการคำนวณหัววัดแรงดันน้ำในตัวเขื่อน [รายงาน]. - เพชรบุรี : สำนักชลประทานที่ 14, 2550.
- ซีโนรส ทองธรรมชาติ** การวิเคราะห์การไหลซึมผ่านฐานรากของเขื่อนคลองท่าด่าน [รายงาน]. - กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- พรพจน์ ตันเล็ง** ปฐพีกลศาสตร์ [หนังสือ]. - นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2554.
- यीไอเทค แอนด์เอ็นจิเนียริงเซอร์วิส** ผลการอ่านค่าเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน [รายงาน]. - กรุงเทพมหานคร : กรมชลประทาน, 2557.
- ศรัลัมภ์ สุทธิศักดิ์ และ วรากร ไม้เรียง** การพิบัติของเขื่อน [รายงานการประชุม] // โครงการอบรม ความปลอดภัยเขื่อนในสภาวะปกติและสภาวะอันตราย. - กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก, 2550.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.