



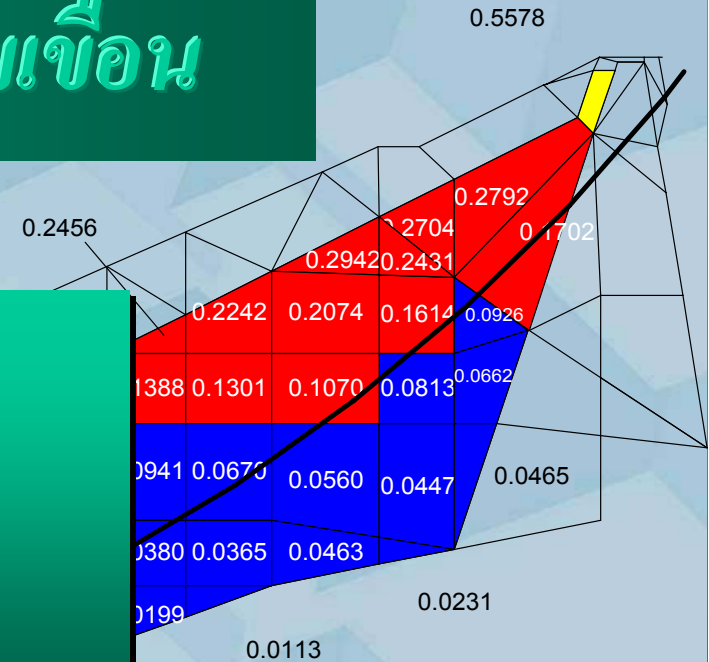
Reference:

สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์. 2554. กรณีศึกษา แบบจำลองเพื่อประเมินความปลอดภัยและปรับปรุงความมั่นคงของเขื่อน. เอกสารประกอบการอบรม "การวิเคราะห์เพื่อออกแบบและประเมินความปลอดภัยเขื่อน", ระหว่างวันที่ 5,7 และ 8 เมษายน 2554, จัดโดย ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ Thai Geotechnical Society (TGS), ณ โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น, กรุงเทพฯ.

# แบบจำลองเพื่อประเมินความปลอดภัยเขื่อน

ผศ.ดร. สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์

๓ เมษายน ๒๕๕๔



0.0128

0.0069

0.0034

0.0020

0.0020

0.0017

**Geotechnical Engineering Research and Development Center (GERD)**  
**Civil Engineering Department, Faculty of Engineering**  
**Kasetsart University, Bangkok, Thailand**  
**WWW.GERD.ENG.KU.AC.TH**





# กรณีศึกษาเขื่อนแควน้อย



นายภูชงค์ สุวรรณปากแพรก  
ผศ.ดร. สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์

สาขาวิศวกรรมปฐพี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7/08/24 08:23



# โครงการเขื่อนแควน้อยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอวัดโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก

พื้นที่อ่างเก็บน้ำ

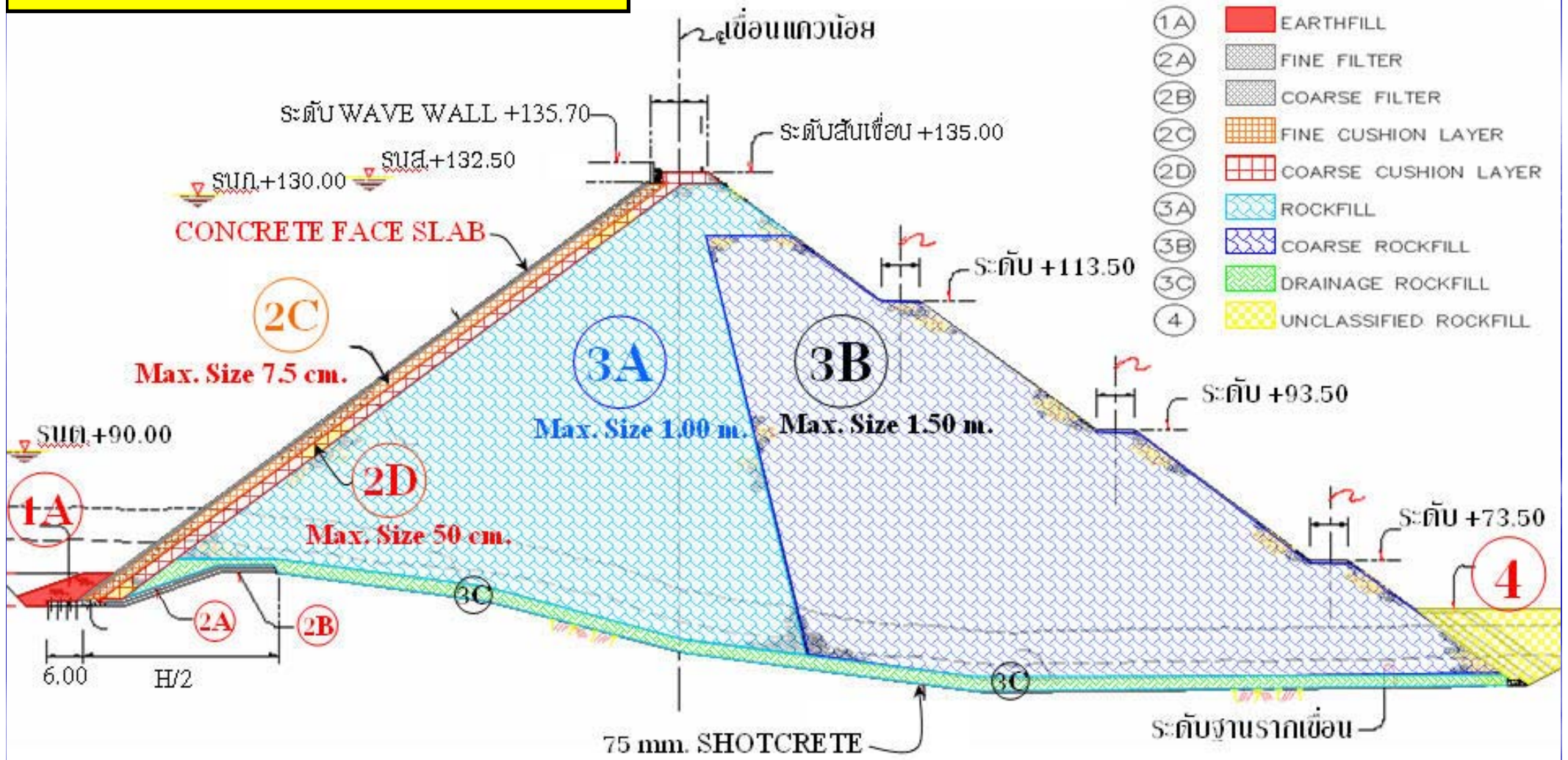


ปริมาณที่ระดับน้ำนองสูงสุด 769 ล้าน.ลบ.ม.  
ปริมาณที่ระดับเก็บกักปกติ 733 ล้าน.ลบ.ม.  
ปริมาณที่ระดับน้ำนองต่ำสุด 36 ล้าน.ลบ.ม.

ระดับน้ำสูงสุด +132.500 ม.รทก.  
ระดับน้ำเก็บกักปกติ +130.00 ม.รทก.  
ระดับน้ำต่ำสุด +90.00 ม.รทก.



# Section of Khwae Noi Dam

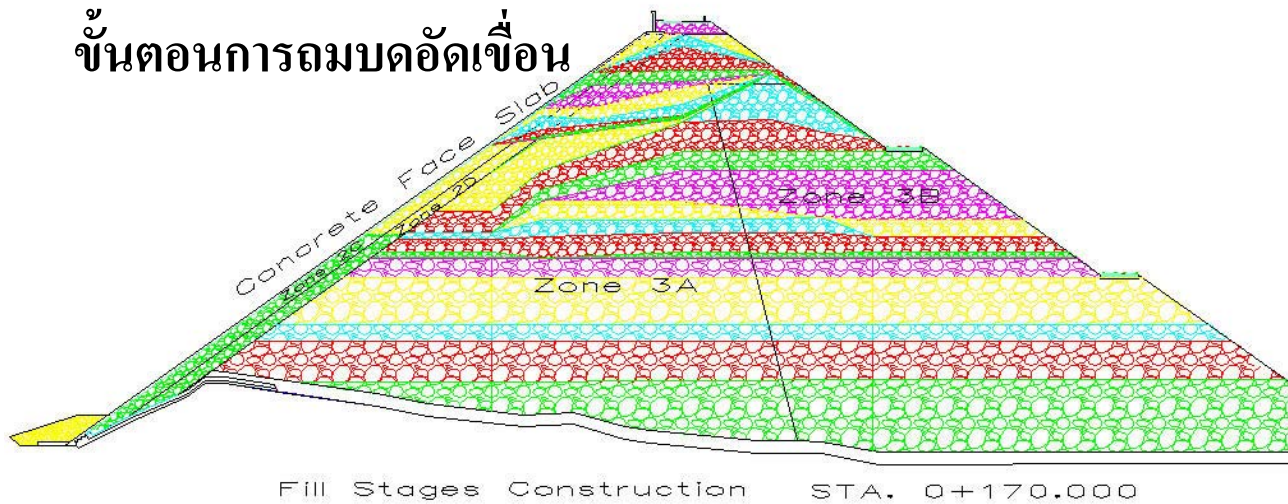


## Construction parameters of Khwae Noi Dam

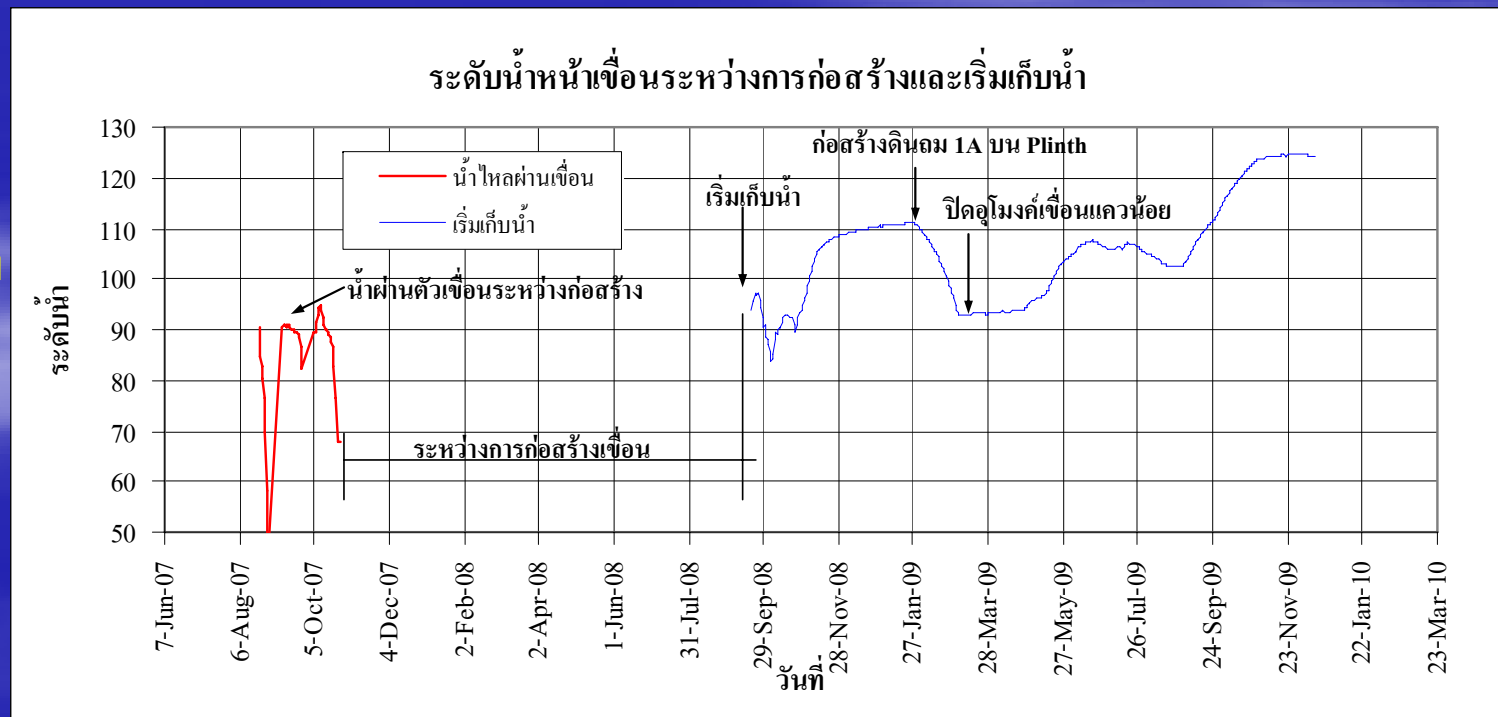
Dam	Height(m.)	Length(m.)	Face Area ( $10^3$ ) (m <sup>2</sup> )	Shape Factor	Slope	Rock Type
Khwae Noi Dam	75.00	681.00	35.843	6.37	1.4,1.4	Sandstone



# ขั้นตอนการถมบดอัดเขื่อน



## ระดับน้ำหน้าเขื่อนช่วงระหว่างการก่อสร้างและเริ่มเก็บน้ำ





# การวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างแบบจำลอง

วิเคราะห์การทรุดตัวของหินถมและ  
แผ่นคอนกรีตคานหน้า

แบบจำลองและขอบเขตปัญหา

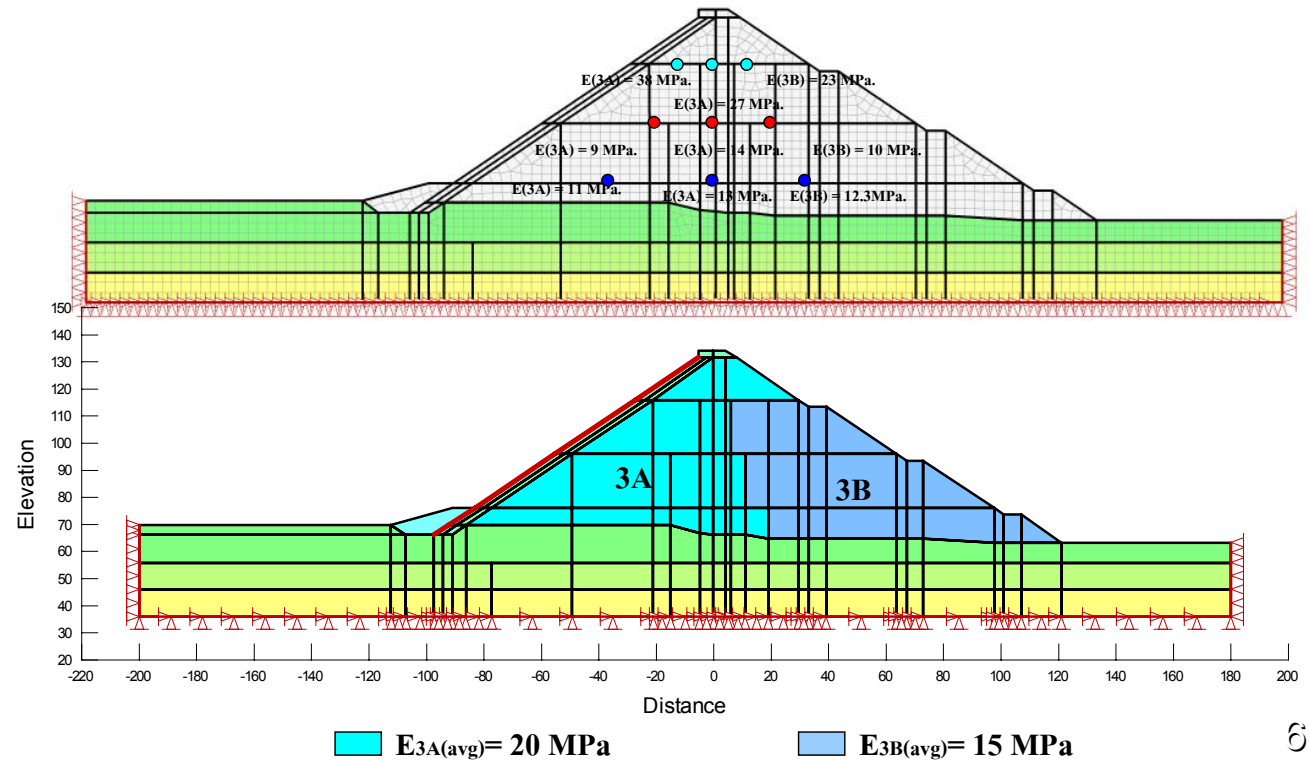
สรุปตัวแปรสำหรับแบบจำลอง  
(Elastic Modulus, Poisson  
Ration, Unit Weight, C,  $\phi$ )

แบบจำลองของวัสดุ  
(Linear Elastic, Elastic-Plastic)

ผลการวิเคราะห์

- การทรุดตัวของหินถม
- การเคลื่อนตัวของแผ่นคอนกรีต

Zone	Description	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	C	E(MPa)	$\nu$
Pervious Rock	Foudation	22.5 <sup>(2)</sup>		0	40 <sup>(2)</sup>	0.30 <sup>(2)</sup>
Semi-Pervious Rock	Foudation	23.6 <sup>(2)</sup>		0	50 <sup>(2)</sup>	0.29 <sup>(2)</sup>
Semi-impervious Rock	Foudation	23.5 <sup>(2)</sup>		0	60 <sup>(2)</sup>	0.28 <sup>(2)</sup>
3A	Rockfill	22.9 <sup>(1)</sup>	38 <sup>(2)</sup>	0	9-38 <sup>(3)</sup>	0.20 <sup>(4)</sup>
3B	Rockfill	22.5 <sup>(1)</sup>	38 <sup>(2)</sup>	0	10-23 <sup>(3)</sup>	0.20 <sup>(4)</sup>
2C	Cushion	21.6 <sup>(1)</sup>	38 <sup>(2)</sup>	0	40 <sup>(2)</sup>	0.20 <sup>(4)</sup>
2D	Cushion	23.1 <sup>(1)</sup>	38 <sup>(2)</sup>	0	40 <sup>(2)</sup>	0.20 <sup>(4)</sup>





# การวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างแบบจำลอง

วิเคราะห์การทรุดตัวของหินถมและ  
แผ่นคอนกรีตคานหน้า

แบบจำลองและขอบเขตปัญหา

สรุปตัวแปรสำหรับแบบจำลอง  
(Elastic Modulus, Poisson  
Ration, Unit Weight,  $C, \phi$ )

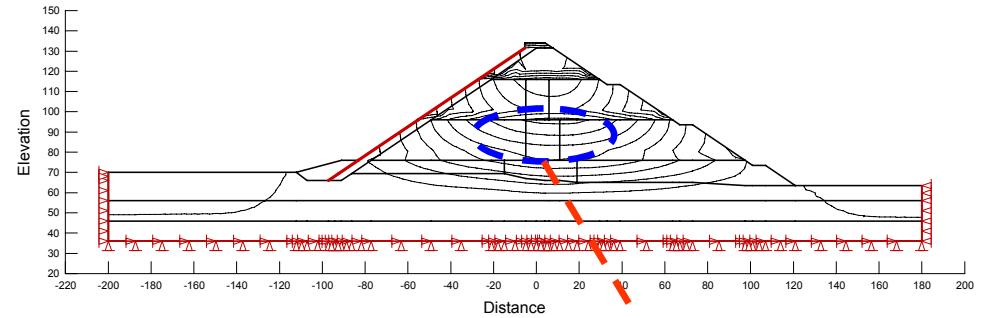
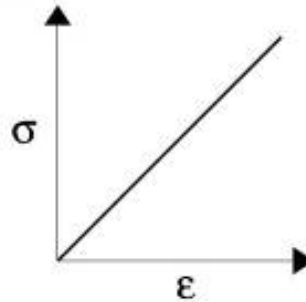
แบบจำลองของวัสดุ  
(Linear Elastic, Elastic-Plastic)

ผลการวิเคราะห์

- การทรุดตัวของหินถม
- การเคลื่อนตัวของแผ่นคอนกรีต

## Linear Elastic (Stage Construction Method)

• Linear-elastic



## Elastic – Plastic (Stress Redistribution)

(End of Construction , First Filling)

การทรุดตัวเปลี่ยนแปลง

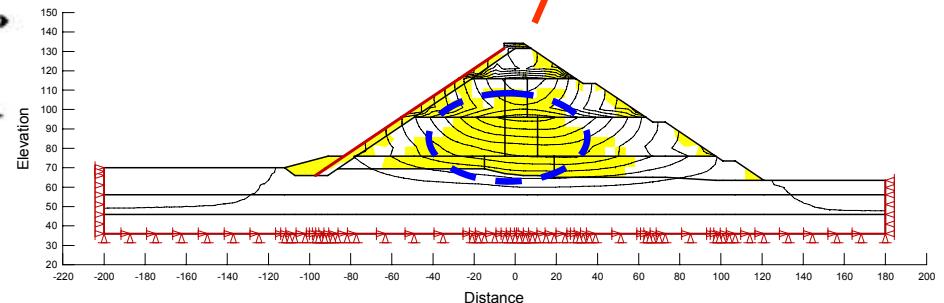
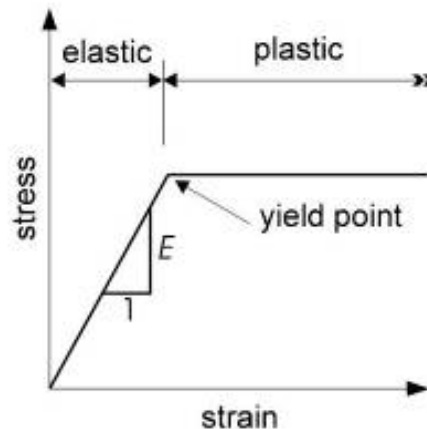


Figure 5-4 Elastic-perfectly plastic constitutive relationship



# ขั้นตอนการวิเคราะห์ (SIGMA/W 2007)

Settlement Analysis 0+170

Foundation [0 sec]

Stage\_1 [0-1 sec]

Stage\_2 [1-2 sec]

Stage\_3 [2-3 sec]

Stage\_4 [3-4 sec]

Stage\_5 [4-5 sec]

Stress Redistribution [5-6 sec]

Finite Element Slope Stability\_END [6 sec]

Load +93.70 [6-7 sec]

Finite Element Slope Stability\_+93.70 [7 sec]

Load +96.00 [6-7 sec]

Finite Element Slope Stability\_+96.00 [7 sec]

Load +108.90 [6-7 sec]

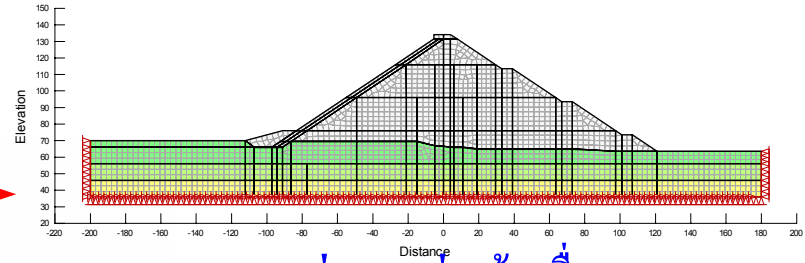
Finite Element Slope Stability\_+108.90 [7 sec]

Load +110.10 [6-7 sec]

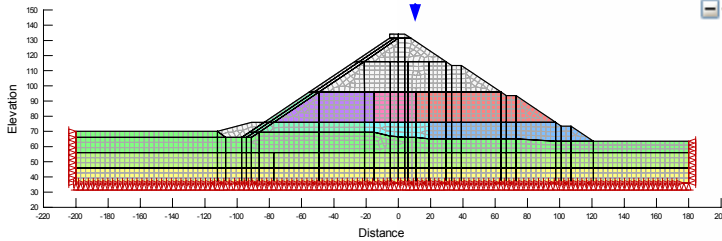
Finite Element Slope Stability\_+110.10 [7 sec]

Load +111.09 [6-7 sec]

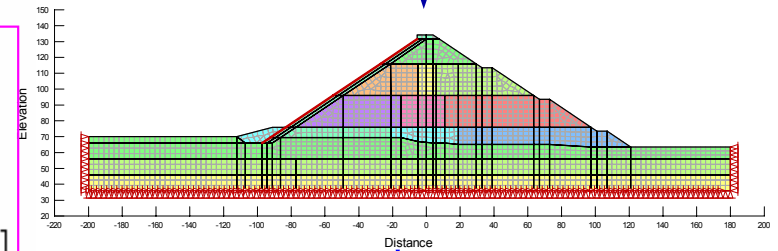
Finite Element Slope Stability [7 sec]



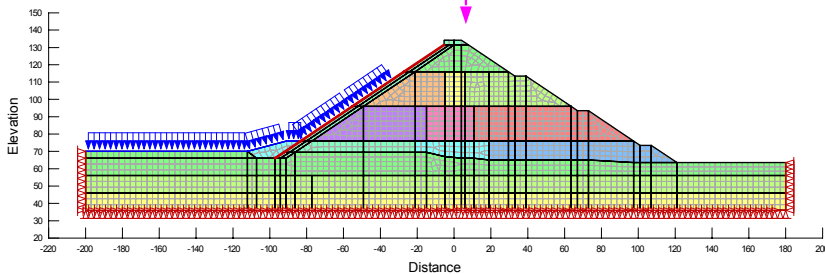
สภาพฐานรากก่อนการก่อสร้างเขื่อน (Insitu)



ระหว่างการก่อสร้างถมหินที่ระดับต่างๆ



ก่อสร้างเขื่อนเสร็จ



สถานะเริ่มเก็บน้ำครั้งแรกที่ระดับน้ำต่างๆ

# ทดสอบความแน่น (Density Test) โดยวิธีแทนที่ด้วยน้ำของโซน 3A



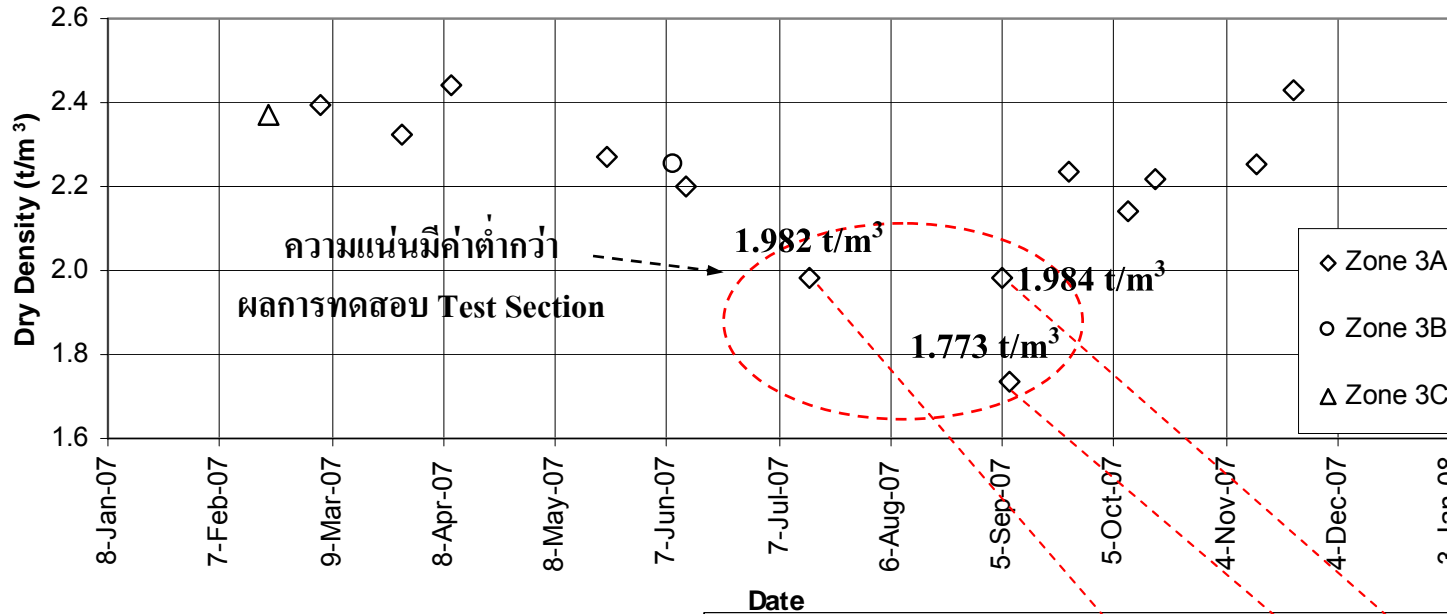


# FIELD COMPACTION 2C

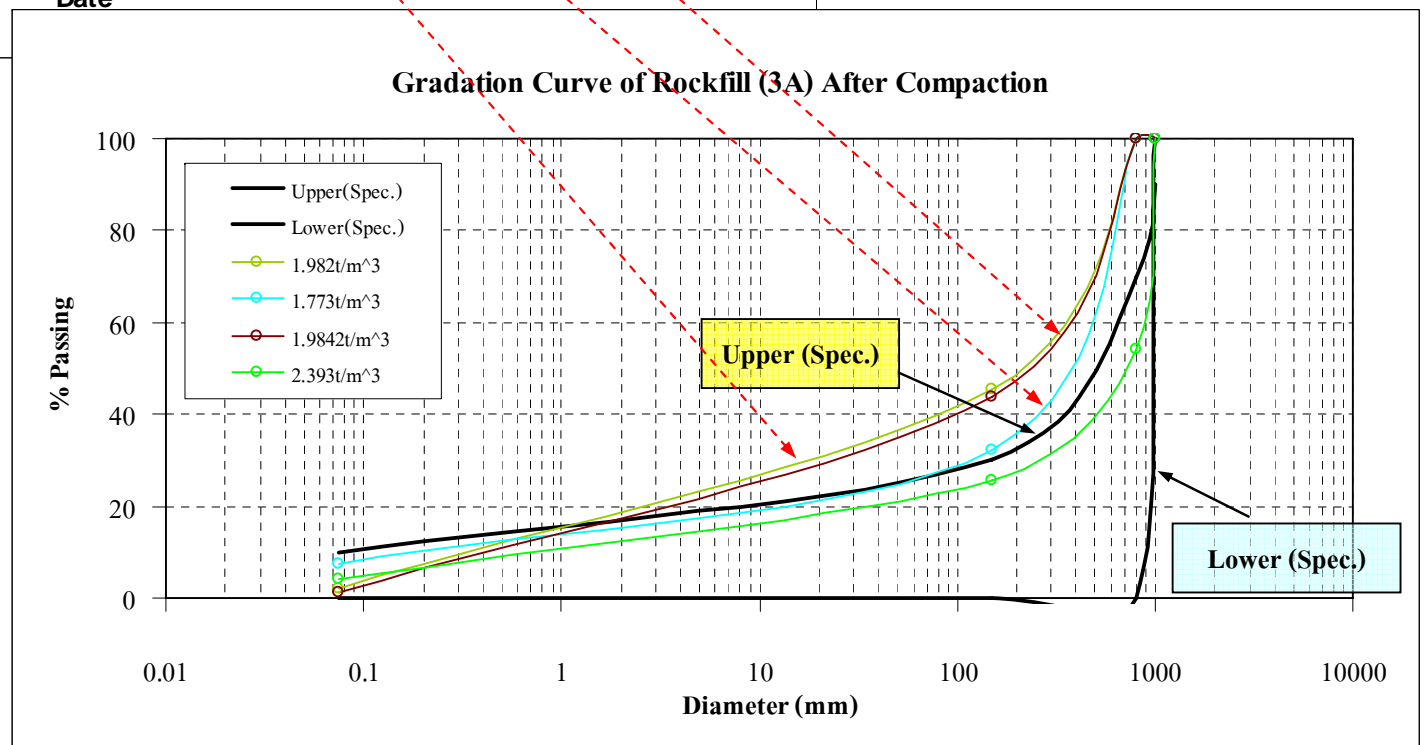


# ผลการทดสอบ Field Density , Gradation Test Rockfill 3A,3B,3C

## Field Density Test of Rockfill 3A,3B,3C



## Gradation Curve of Rockfill (3A) After Compaction



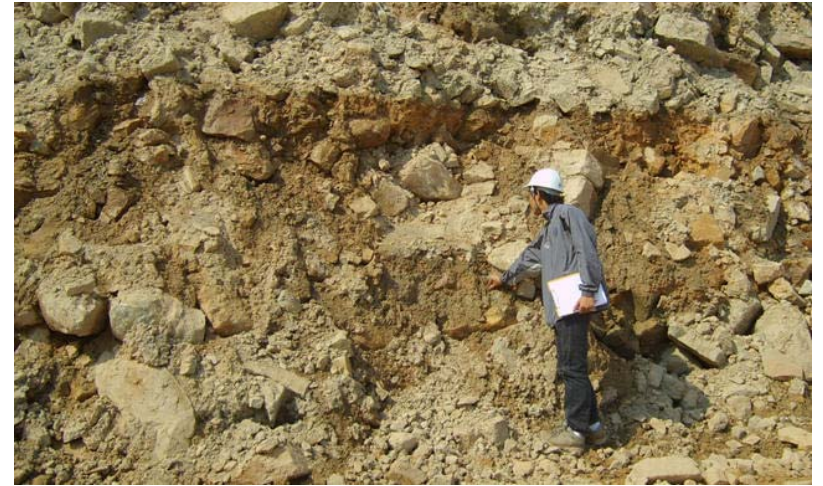


# ผลปรากฏจากการบดอัดที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมเขื่อน

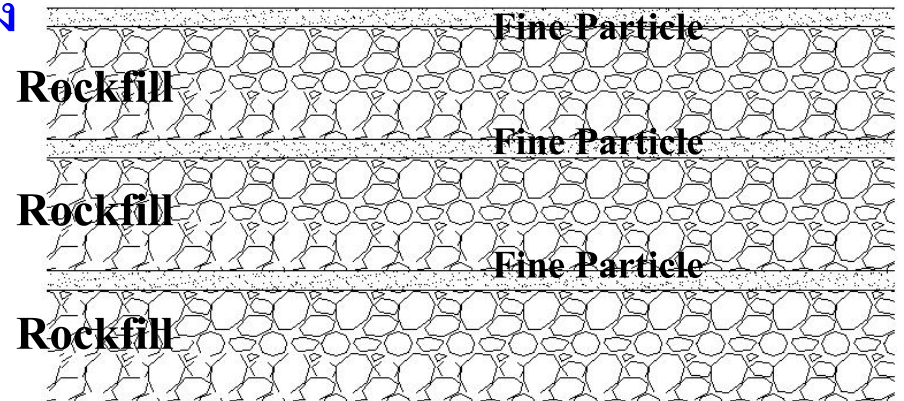
## แหล่งกำเนิดหิน (Slaking)



## ลักษณะหินถมหลังการบดอัด



ความแข็งแรงของวัสดุเมื่อบดอัดแล้วจะแตกบริเวณผิวเกิดน้ำขัง

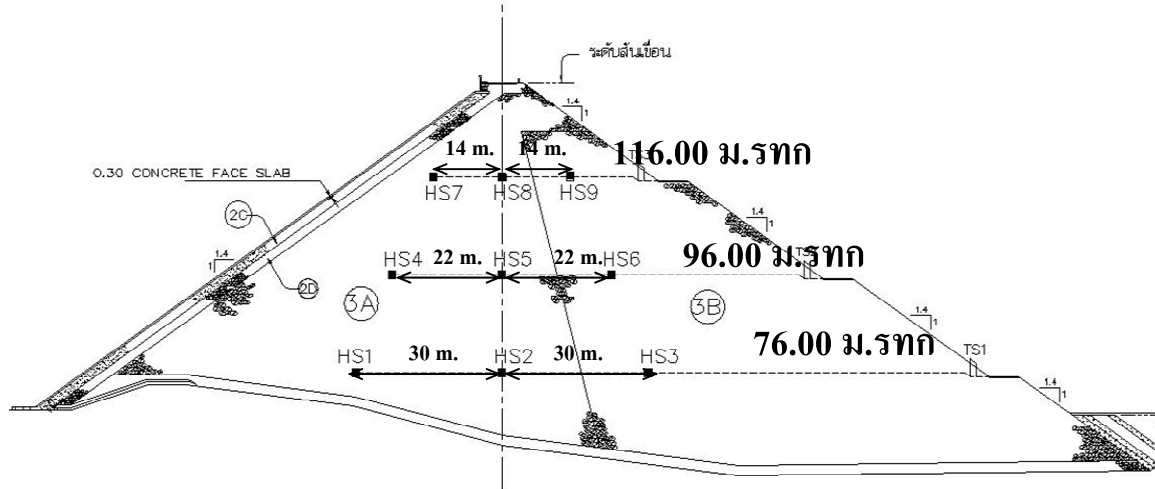


ผลและการวิเคราะห์พฤติกรรมของเขื่อน  
จากการวิเคราะห์เครื่องมือวัดพฤติกรรม

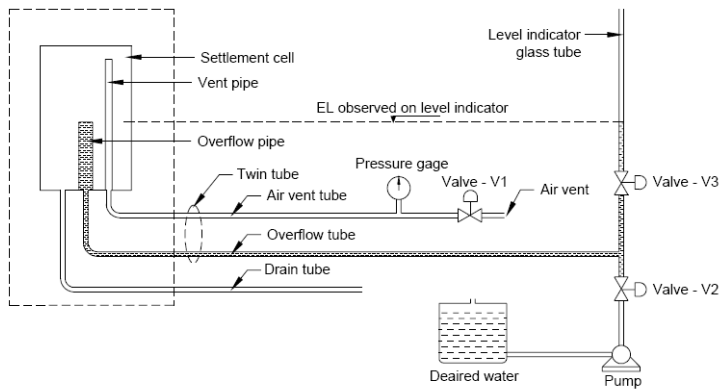


# พฤติกรรมการทรุดตัวของเขื่อน

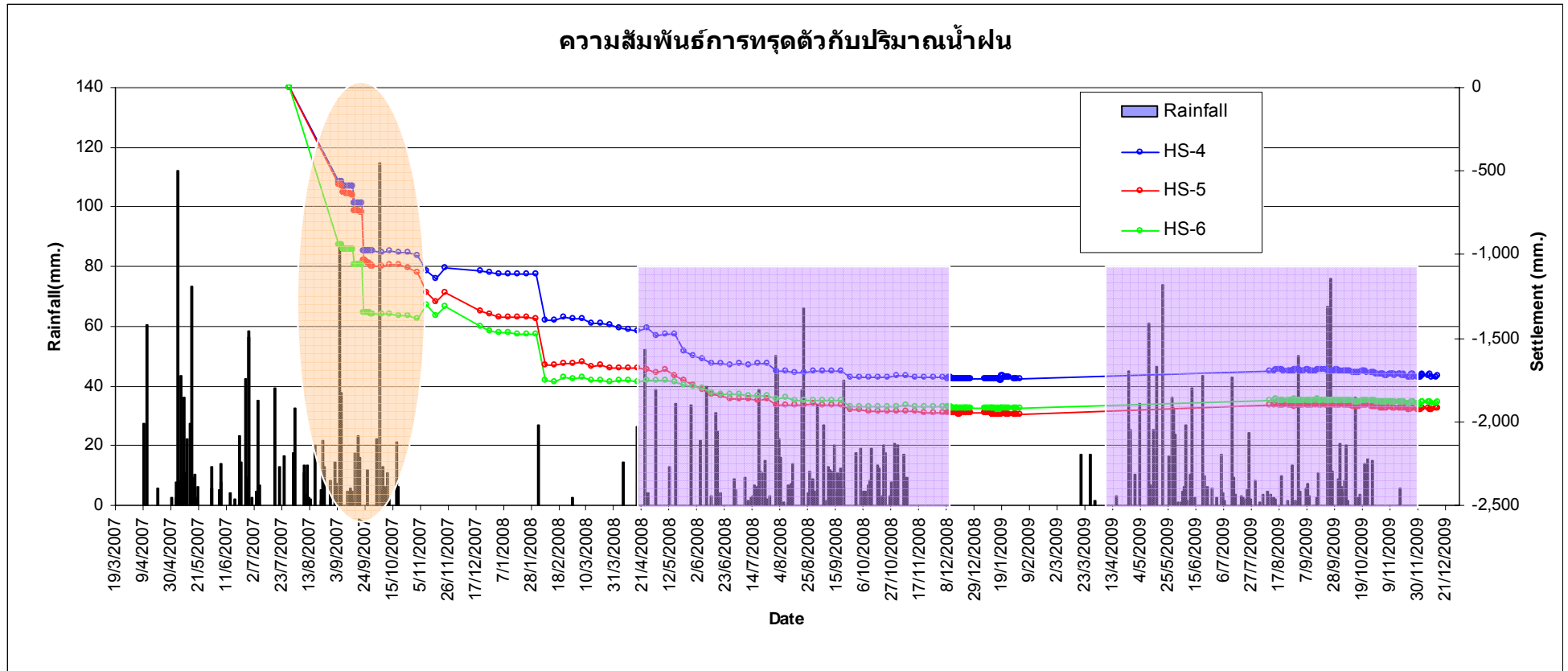
## Hydrostatic Settlement Cell



### SCHEMATIC DIAGRAM



# ผลการทรุดตัวของหินถมกับปริมาณน้ำฝน



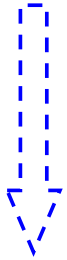
# ผลการทรุดตัวเปรียบเทียบกับการออกแบบ

เวลาที่พิจารณา	ค่าการทรุดตัวของหินถม จากการออกแบบ (ม.)	ค่าการทรุดตัวของหินถม ที่เกิดขึ้นจริง (ม.)
หลังการก่อสร้างเขื่อนเสร็จ	0.43	1.936
เก็บน้ำที่ระดับเก็บกัก	0.45	1.952

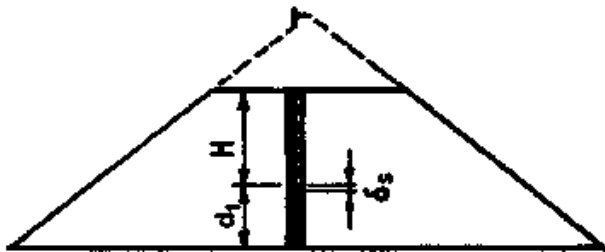


# โมดูลัสของหินถมตัวเขื่อน

(Hunter, 1985)



$$E_{rc} = \gamma H d_1 / \delta_s$$



MODULUS DURING CONSTRUCTION

$$E_{rc} = ((H_t + H_{t-1}) + (\delta_{t-1} + \delta_t)) * \gamma * (d_1 - (\delta_{t-1} + \delta_t)) / \delta_t$$

$E_{rc}$  = Rockfill modulus during construction ,MPa

$H$  = Vertical depth of rockfill above the settlement gage,m

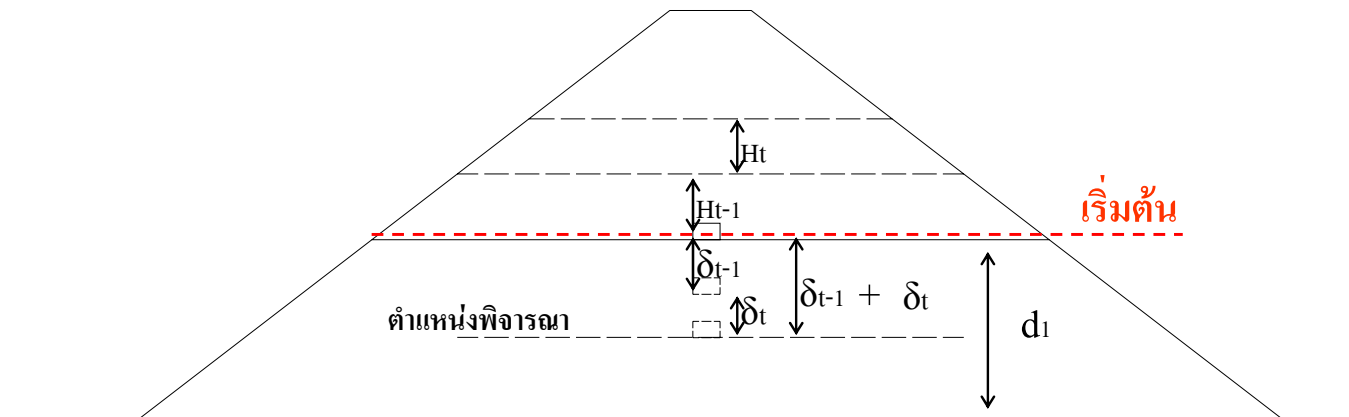
$\gamma$  = Height of fill above that layer ,m.

= Unit weight of rockfill, kN/m<sup>3</sup>

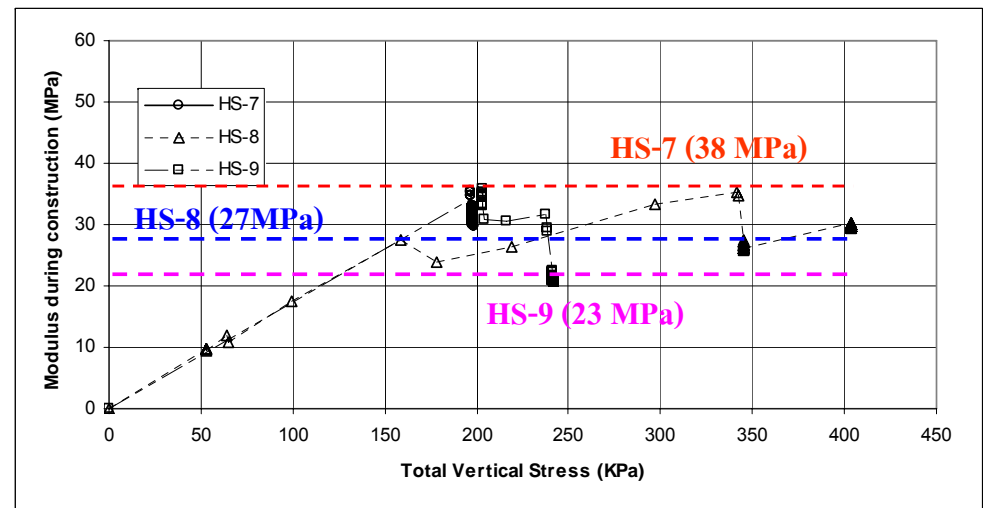
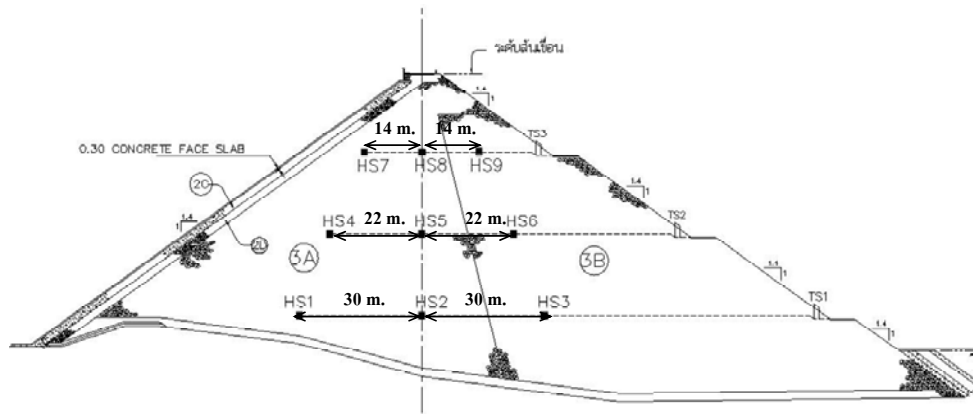
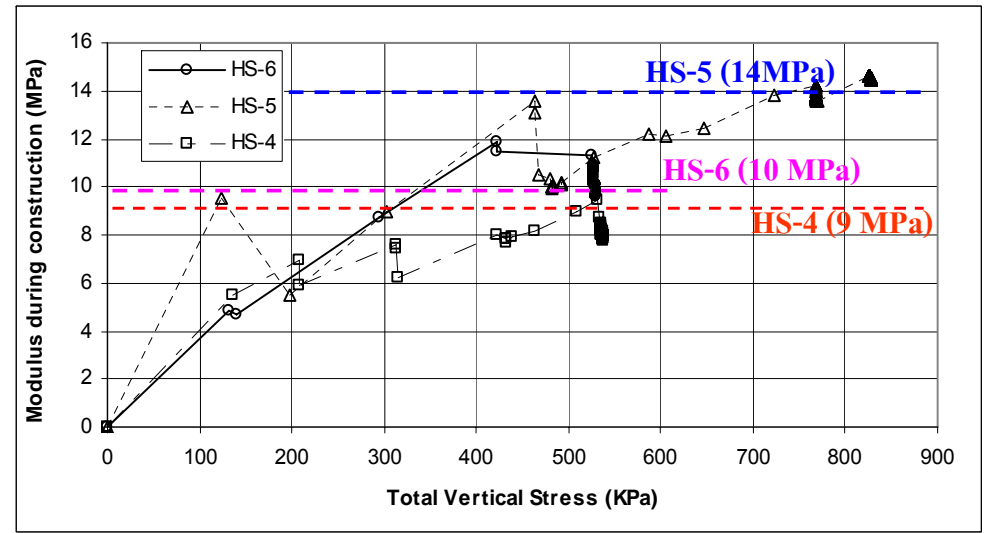
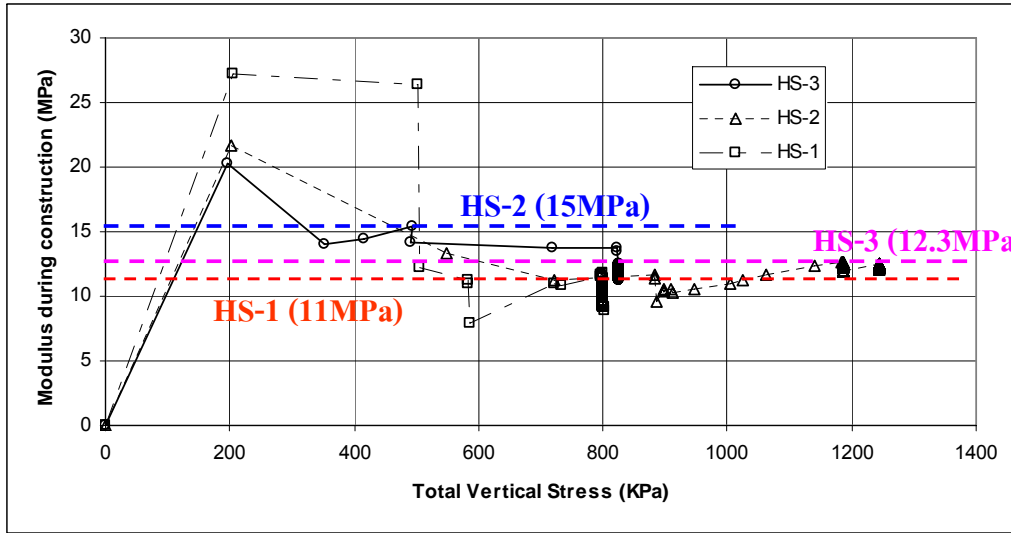
$d_1$  = Column of rockfill below the settlement gage, m.

= a thickness of layer of the dam, m.

$\delta_s$  = Settlement of layer ,m.



# โมดูลัสของหินถมตัวเขื่อน



(ด้านเหนือน้ำ 8-38 MPa ,แนวแกนเขื่อน 7-34 MPa และด้านท้ายน้ำ 8-35 MPa)



# Compaction & Compressibility

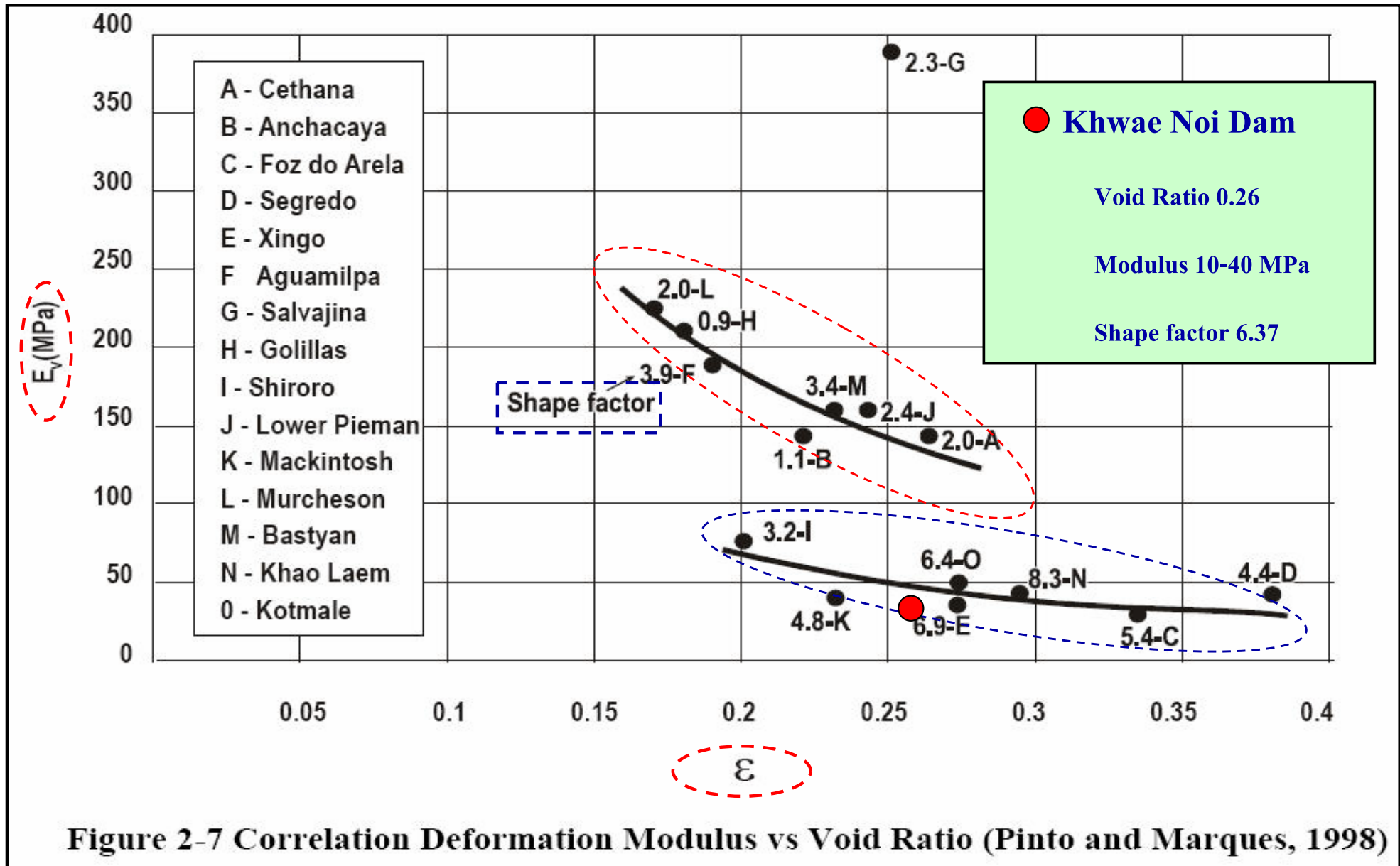
Comparing with Compressibility of **Weak rock** samples were tested by

*Xing, Gong, Zhou and Fu (2006)*

**Table 2.** Results of Compaction and Compressibility Tests

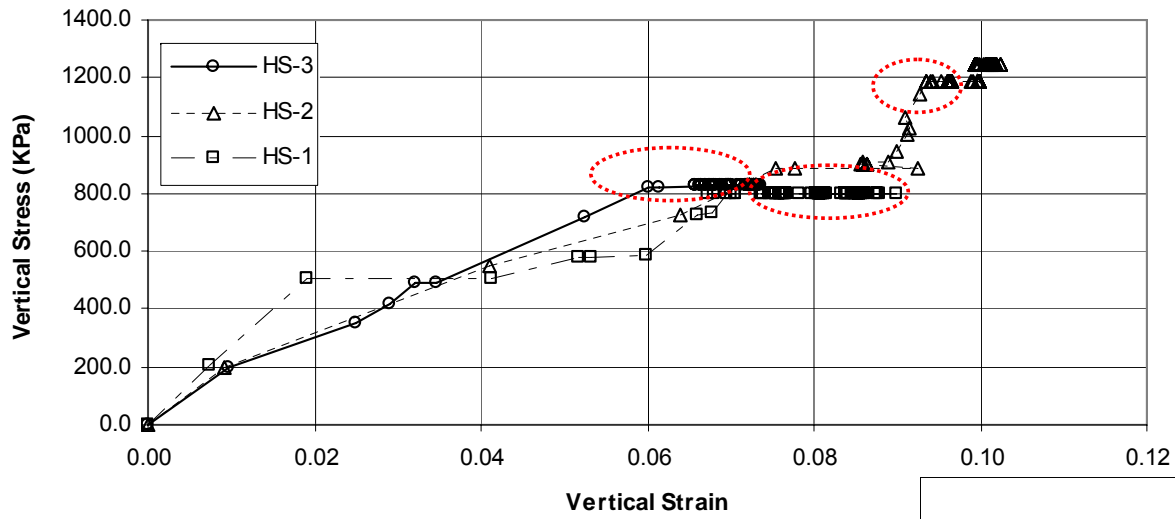
Dam name	Material	Optimum water content (%)	Maximum dry density (kg/m <sup>3</sup> )	Modulus of compressibility (MPa)
Da'ao Dam	Weathered sandstone	—	—	21–62
Yutiao Dam	Mudstone	6	2,280	6.5–54.8
Panshitou Dam	Shale	3	2,060	13.8–40.1
Shuibuya Dam	Shale	8.4	2,000	—
Shisanling Dam	Weathered basalt	—	—	18.6–52.1

# Correlation Deformation Modulus vs Void Ratio



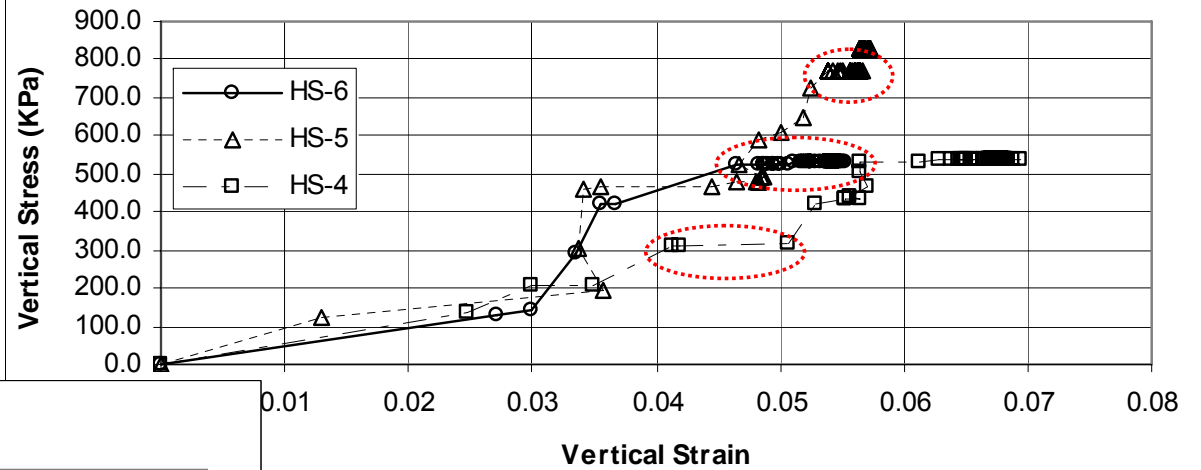


Stress-Strain Curve of Rockfill

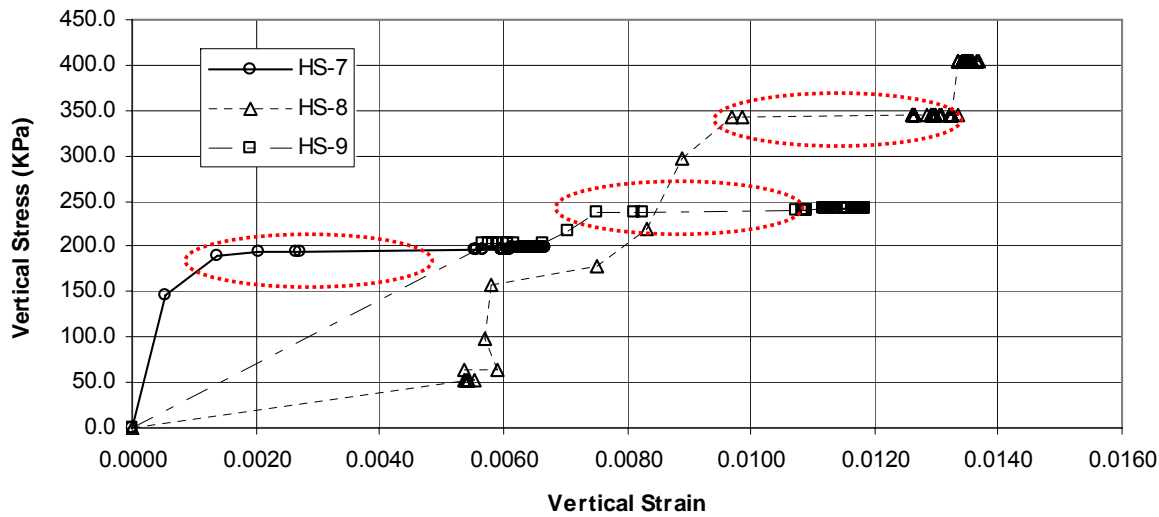


การทรุดตัวที่ขึ้นกับเวลา (Creep Settlement)

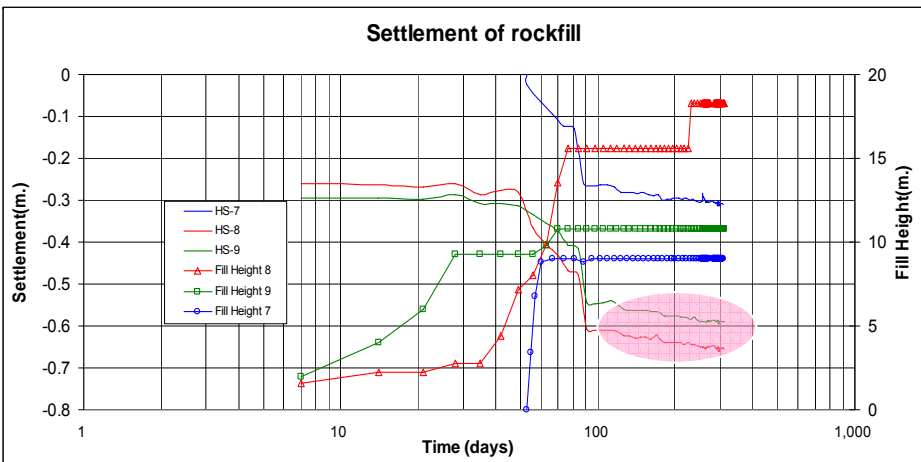
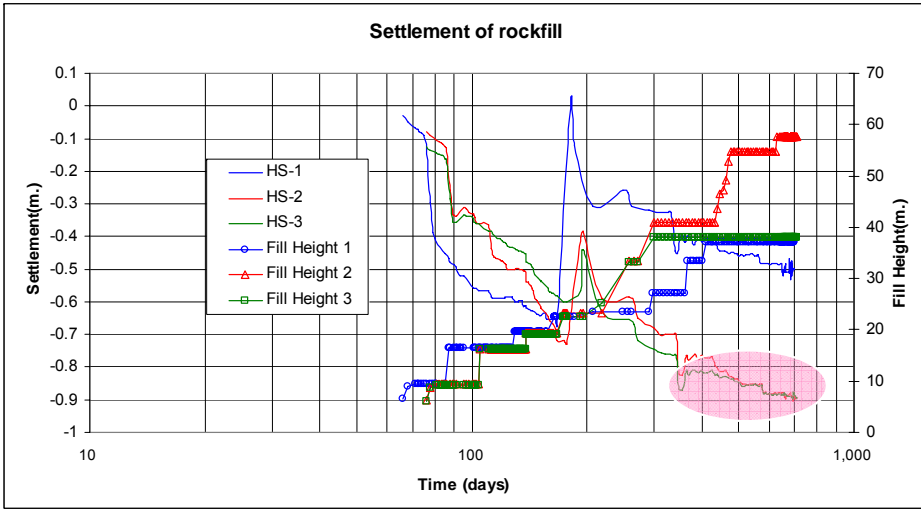
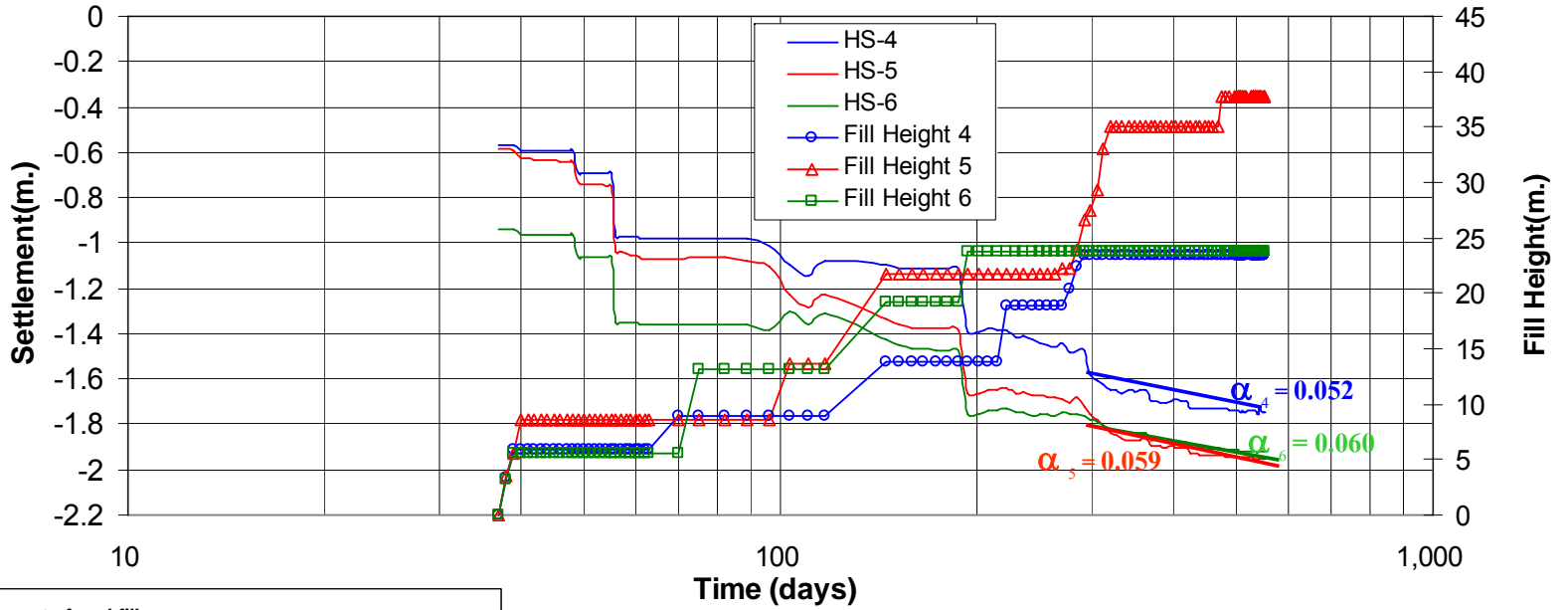
Stress-Strain Curve of Rockfill



Stress-Strain Curve of Rockfill



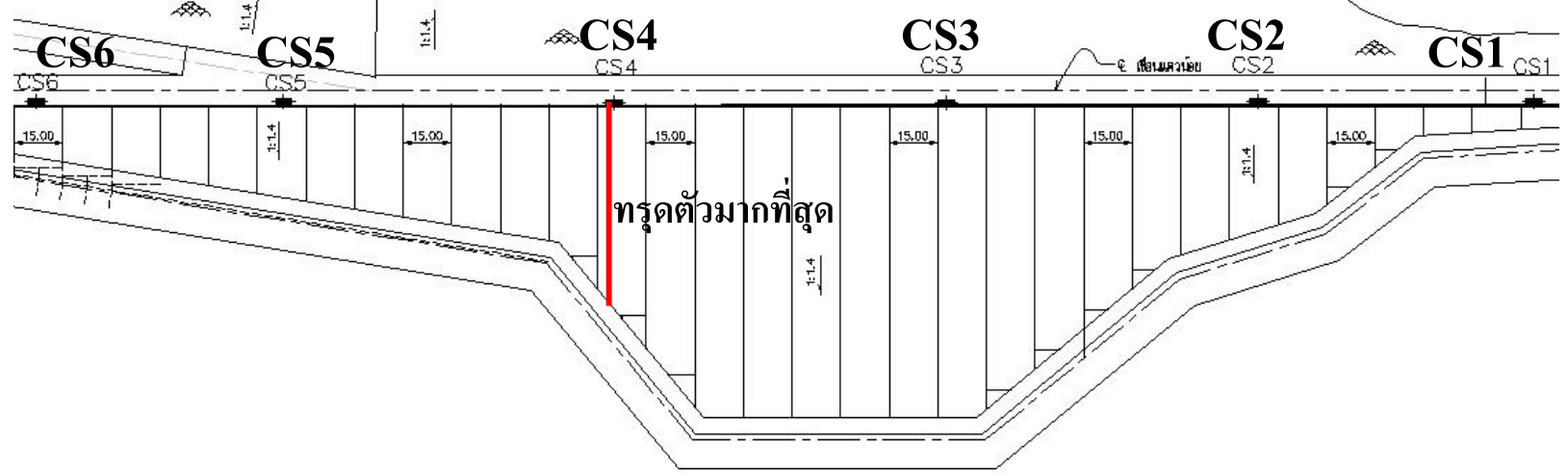
อัตราการทรุดตัว( $\alpha$ )



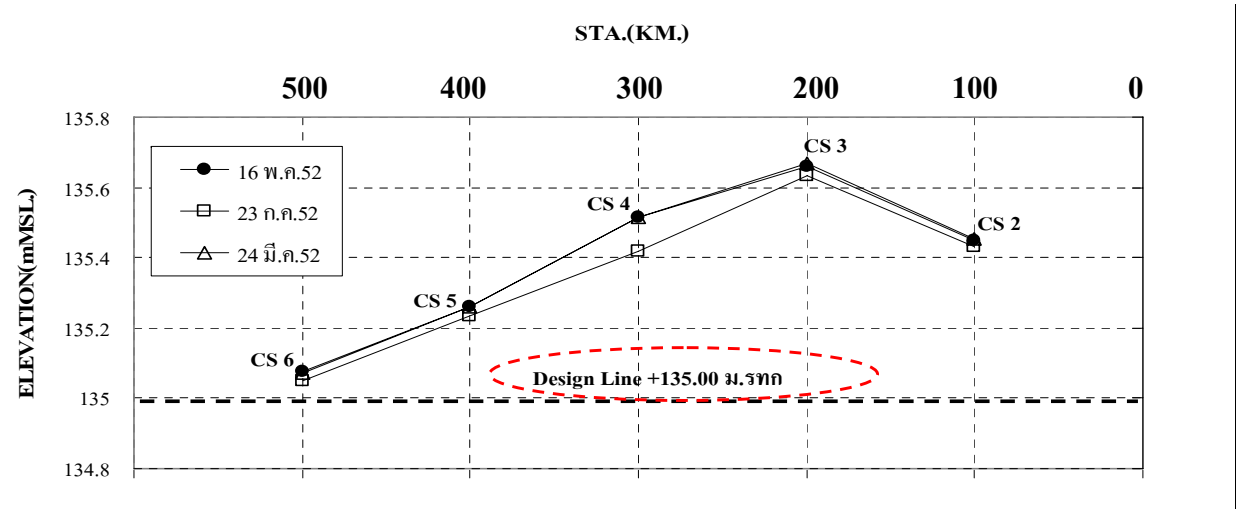
การทรุดตัวที่ขึ้นกับเวลา

Instrument	$\alpha$ (m/day/cycle)	e	H(m.)	$\log(t_2/t_1)$	Settlement(m.)
HS1	0.073	0.27	6.452	0.23	-0.083
HS2	0.077	0.27	9.715	0.23	-0.132
HS3	0.052	0.27	13.144	0.23	-0.121
HS4	0.052	0.27	19.648	0.24	-0.188
HS5	0.06	0.27	19.757	0.24	-0.218
HS6	0.059	0.27	19.963	0.24	-0.217
HS7	0.15	0.27	20.448	0.02	-0.047
HS8	0.152	0.27	19.488	0.07	-0.16
HS9	0.163	0.27	19.15	0.07	-0.168



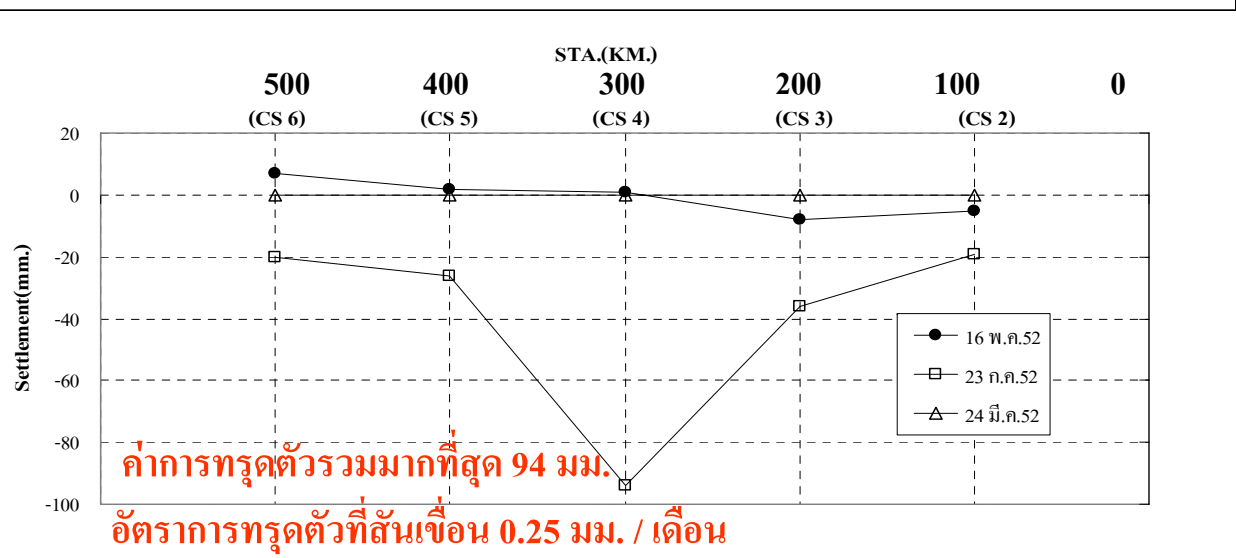


## ผลการทรุดตัวที่กำแพงกันดิน



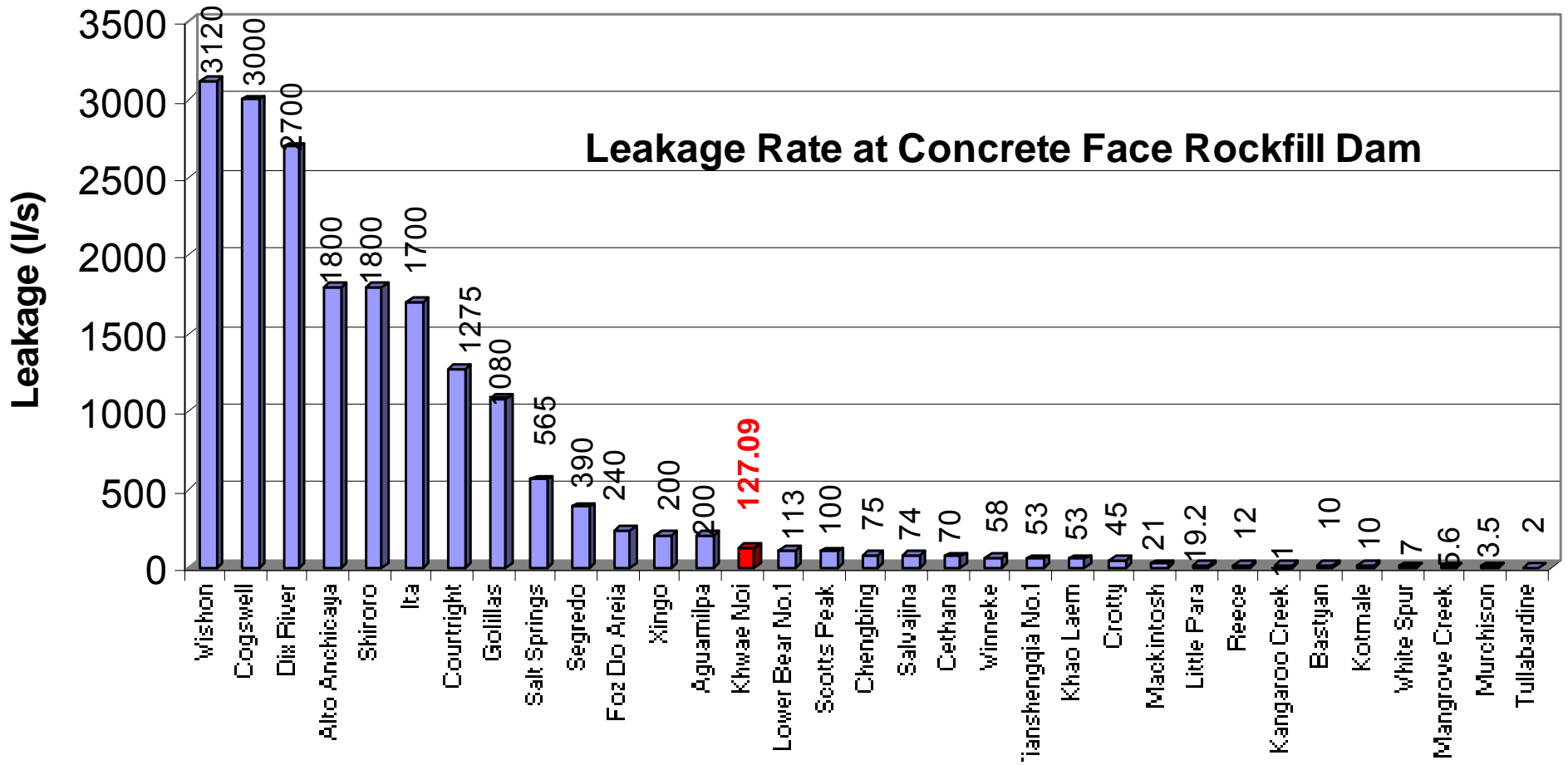
จากการออกแบบอัตราการทรุดตัวที่สันเขื่อนไม่ควรเกิน 0.5 มม./เดือน

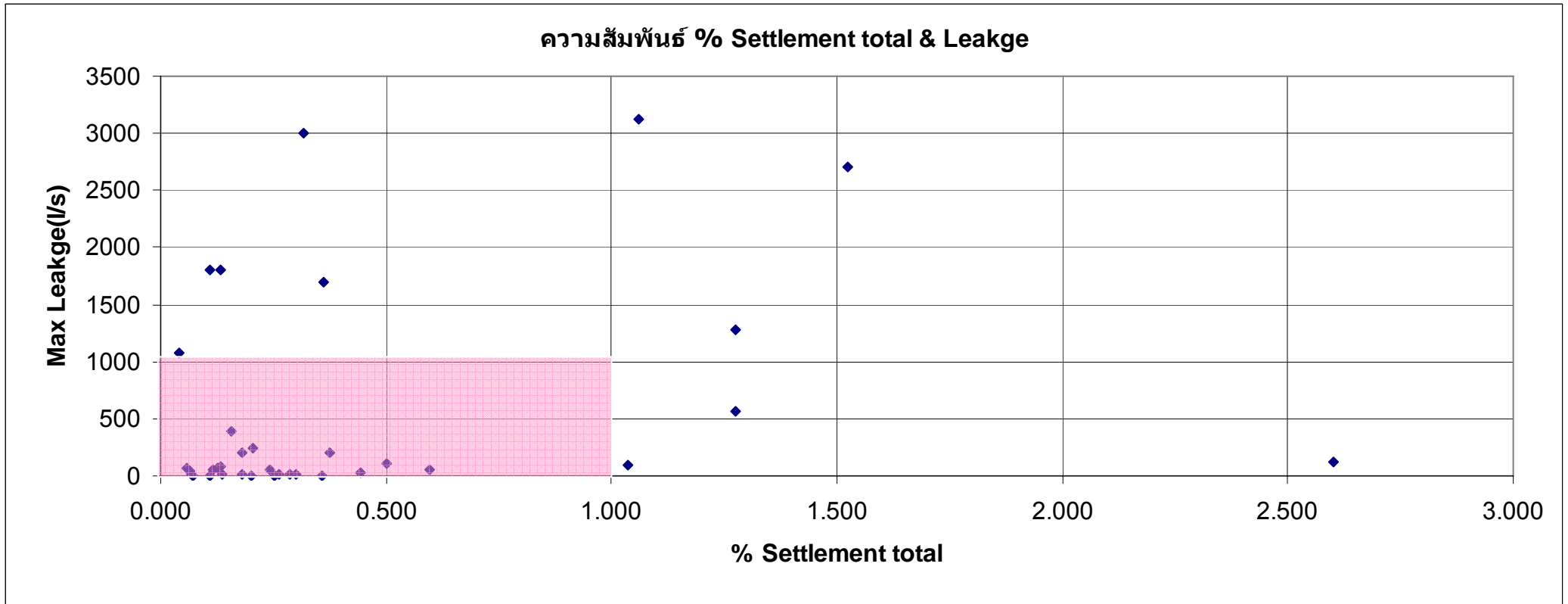
(รายงานการออกแบบเขื่อน, กรมชลประทาน)



ค่าการทรุดตัวรวมมากที่สุด 94 มม.  
อัตราการทรุดตัวที่สันเขื่อน 0.25 มม. / เดือน

เปรียบเทียบปริมาณการไหลซึมของเขื่อนแควน้อยกับเขื่อน CFRD อื่นๆ





สุทธิศักดิ์และชินอรส (2551) ได้สรุปจากข้อมูลHunter ว่าลักษณะการรั่วซึมของเขื่อน CFRD มี 3รูปแบบ

1.เกิดการแตกร้าวและการไหลซึมเพิ่มขึ้นมากเรื่อยๆส่วนใหญ่เกิดจากการทรุดตัวมากกว่า 1%ของความสูง และมีอัตราการไหลซึมมากกว่า 1,000 ลิตร/วินาที

2.พบการรั่วซึมที่สูงในช่วงแรกแต่ลดลงด้วยตัวเองเมื่อเวลาผ่านไปส่วนใหญ่อัตราการไหลซึมน้อยกว่า 100 ลิตร/วินาที

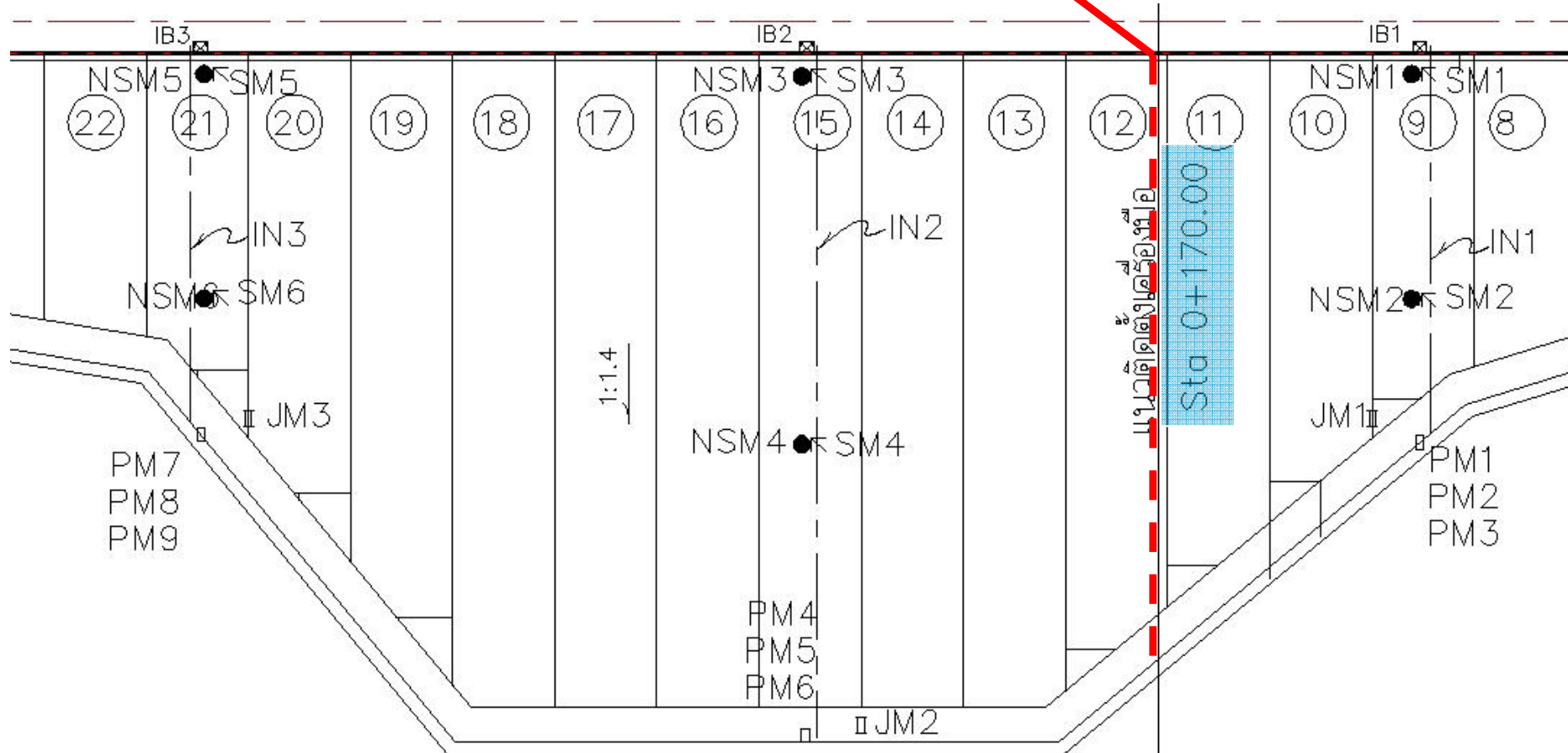
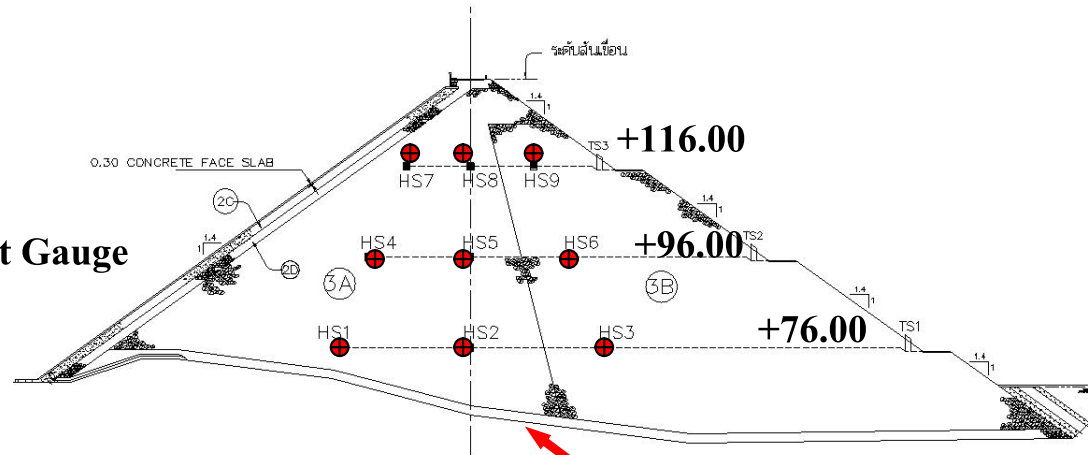
3.พฤติกรรมเกิดจากการซ่อมแซม



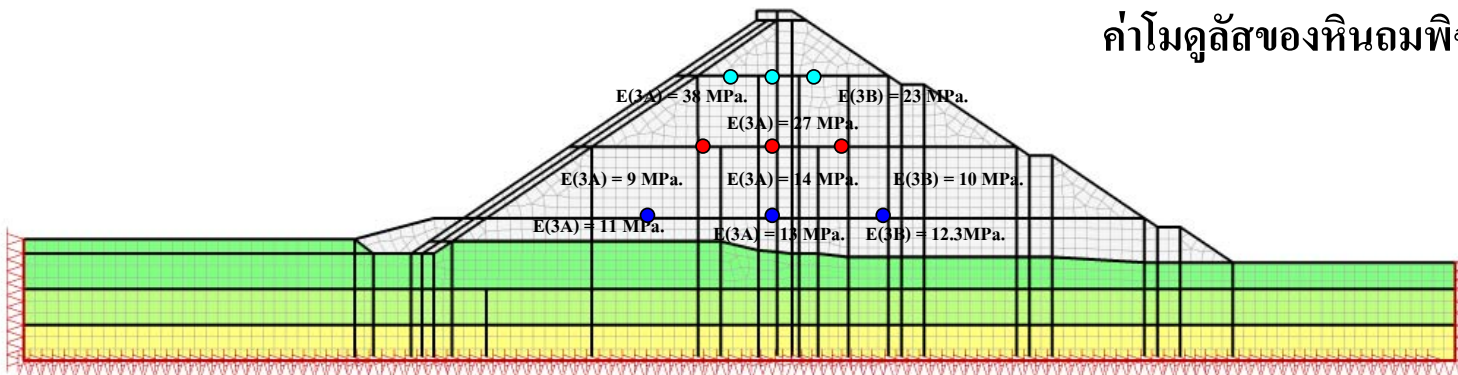
# วิเคราะห์พฤติกรรมการทรดตัวของหินถมและแผ่นคอนกรีตาดหน้า ระหว่างการก่อสร้างและเริ่มเก็บน้ำ

# เครื่องมือวัดพฤติกรรมสำหรับการตรวจสอบผลการวิเคราะห์

 Hydrostatic Settlement Gauge



Zone	Description	Density(KN/m <sup>3</sup> )	Literature		E (MPa)	Literature
			Ø (°)	C		Poisson's ratio
Pervious Rock	Foudation	22.5		0	40	0.30
Semi-Pervious Rock	Foudation	23.6		0	50	0.29
Semi-impervious Rock	Foudation	23.5		0	60	0.28
3A	Rockfill	22.9	38	0	(HS 1-9)	0.20
3B	Rockfill	22.5	38	0	(HS 1-9)	0.20
2C	Cushion	21.6	38	0	40	0.20
2D	Cushion	23.1	38	0	40	0.20

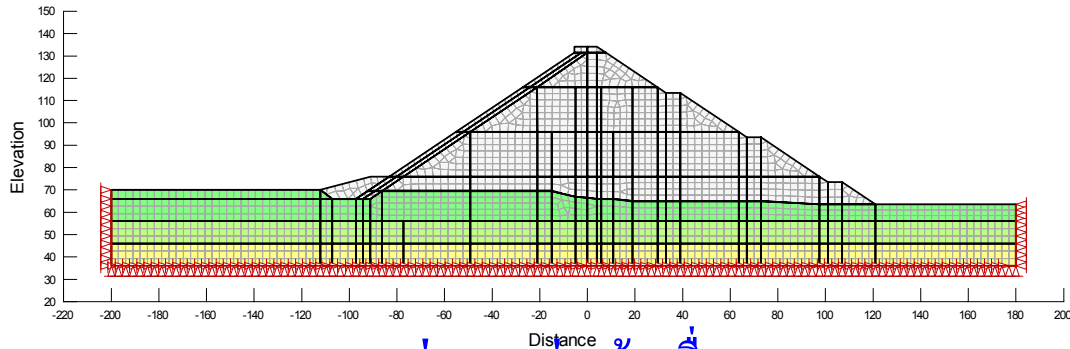


ค่าโมดูลัสของหินถมพิจารณาเป็น 9 โซน

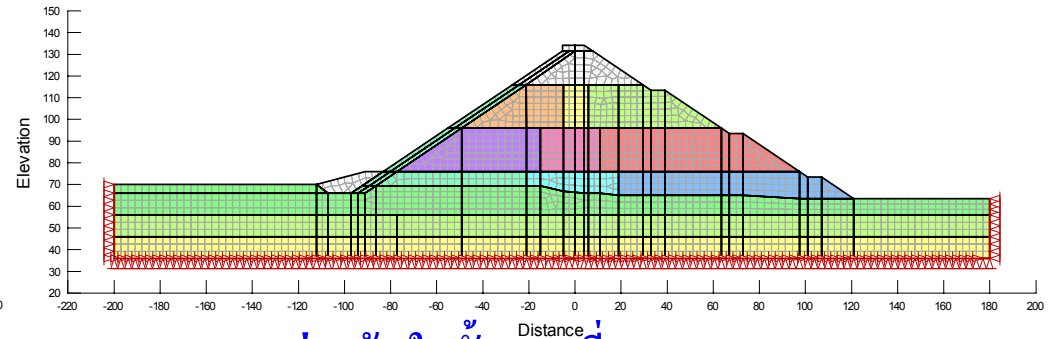


# แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ (SIGMA/W 2007)

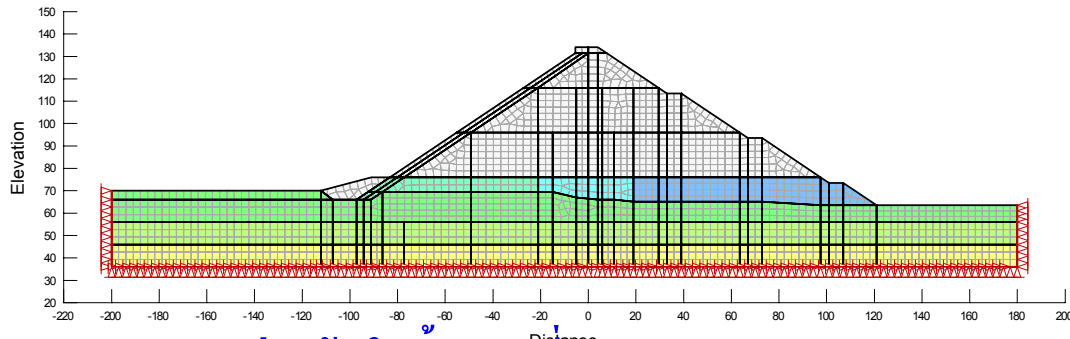
## การจำลองการทรุดตัวของหินถมตามขั้นตอนการก่อสร้าง (Stage Construction)



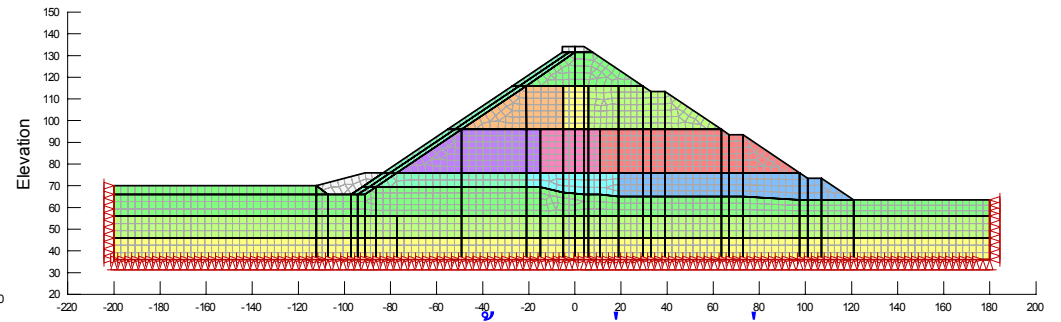
สภาพฐานรากก่อนการก่อสร้างเขื่อน ( Insitu )



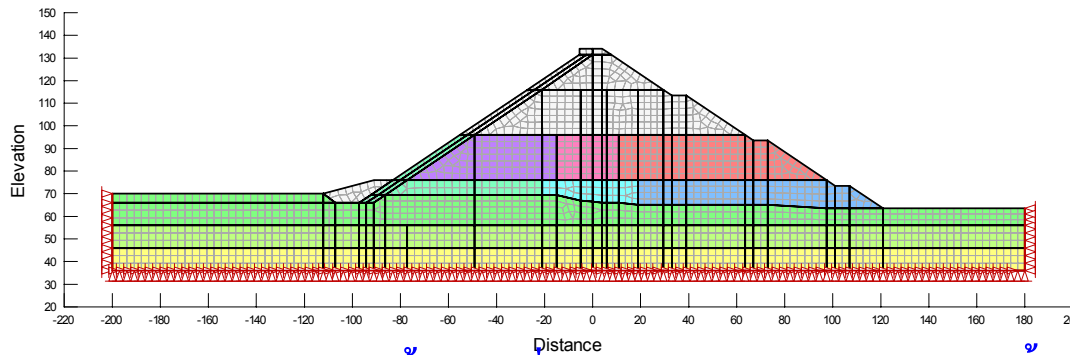
การก่อสร้างในขั้นตอนที่ 3 (+116.00 ม.รทก)



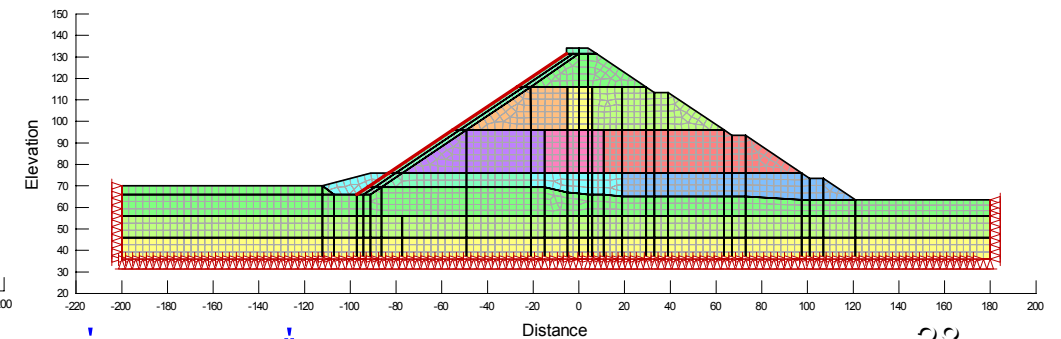
การก่อสร้างในขั้นตอนที่ 1 (+76.00 ม.รทก)



การก่อสร้างในขั้นตอนที่ 4 (สันเขื่อน)



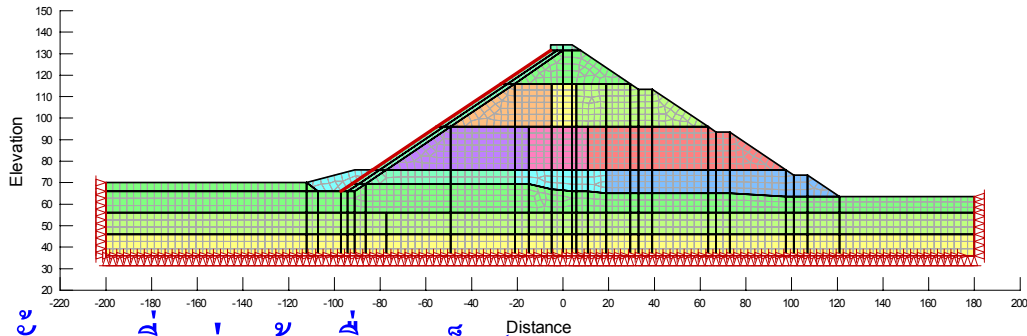
การก่อสร้างในขั้นตอนที่ 2 (+96.00 ม.รทก)



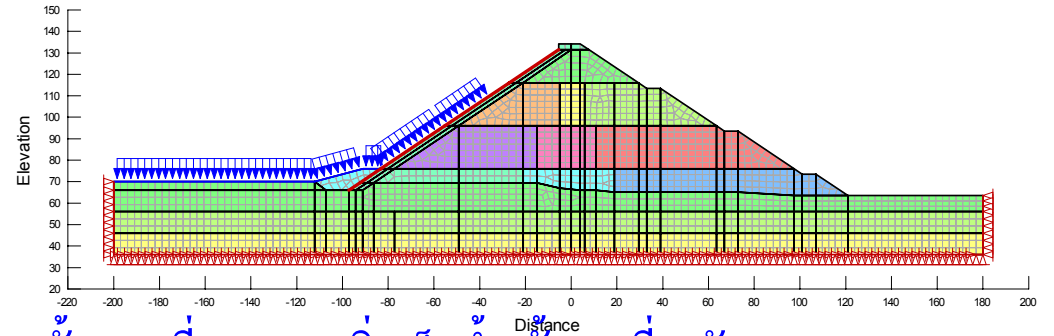
ขั้นตอนที่ 5 ก่อสร้างเขื่อนเสร็จ (Face Slab, Fill 1A และ Wave wall)

# แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ (SIGMA/W 2007)

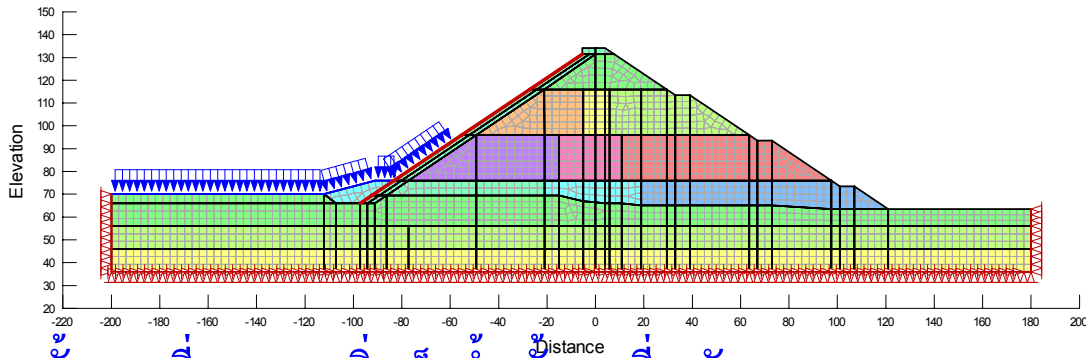
## การจำลองการทรุดตัวของหินถมเมื่อก่อสร้างเสร็จและเริ่มเก็บน้ำครั้งแรก



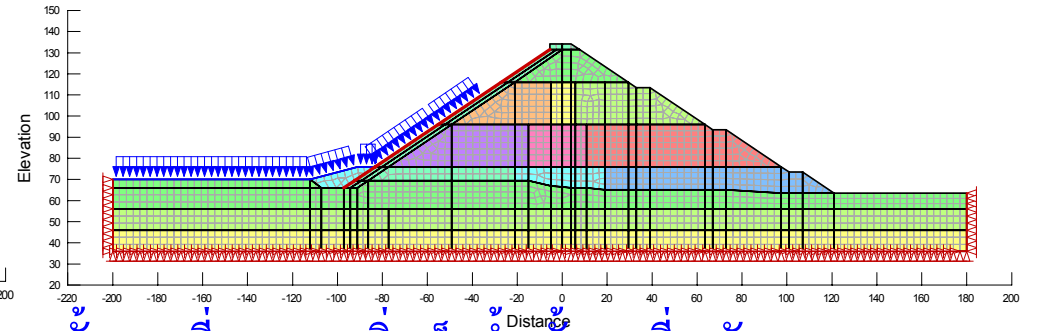
ขั้นตอนที่ 5 ก่อสร้างเขื่อนเสร็จ (Face Slab, Fill 1A และ Wave wall)



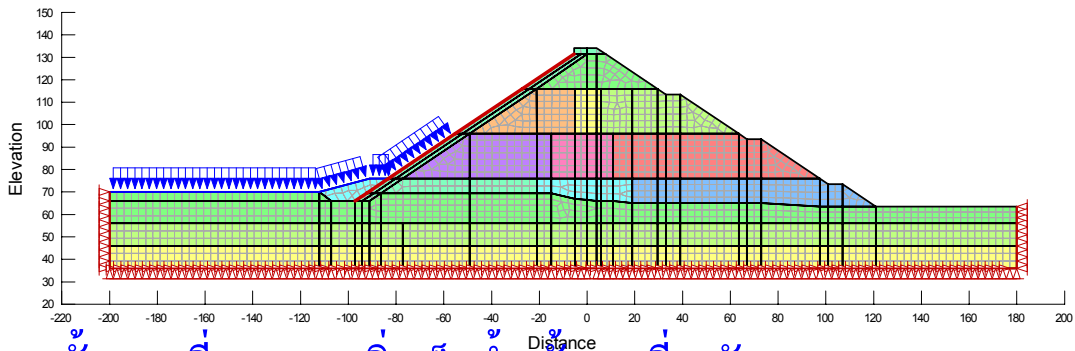
ขั้นตอนที่ 8 สภาวะเริ่มเก็บน้ำครั้งแรกที่ระดับ +108.90 ม.รทก



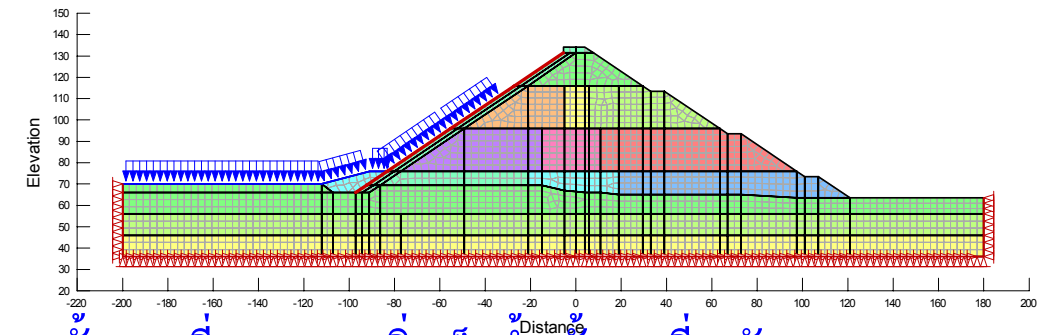
ขั้นตอนที่ 6 สภาวะเริ่มเก็บน้ำครั้งแรกที่ระดับ +93.70 ม.รทก



ขั้นตอนที่ 9 สภาวะเริ่มเก็บน้ำครั้งแรกที่ระดับ +110.10 ม.รทก

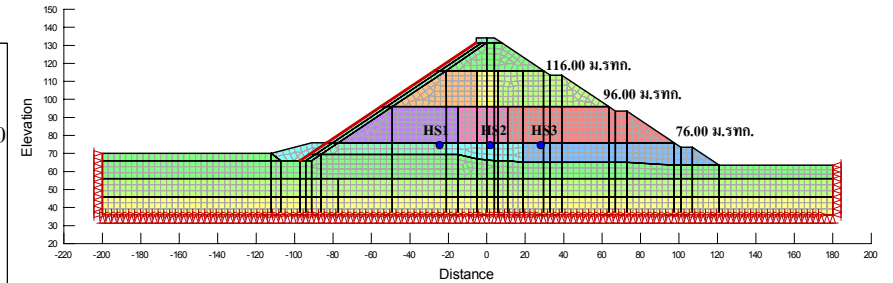
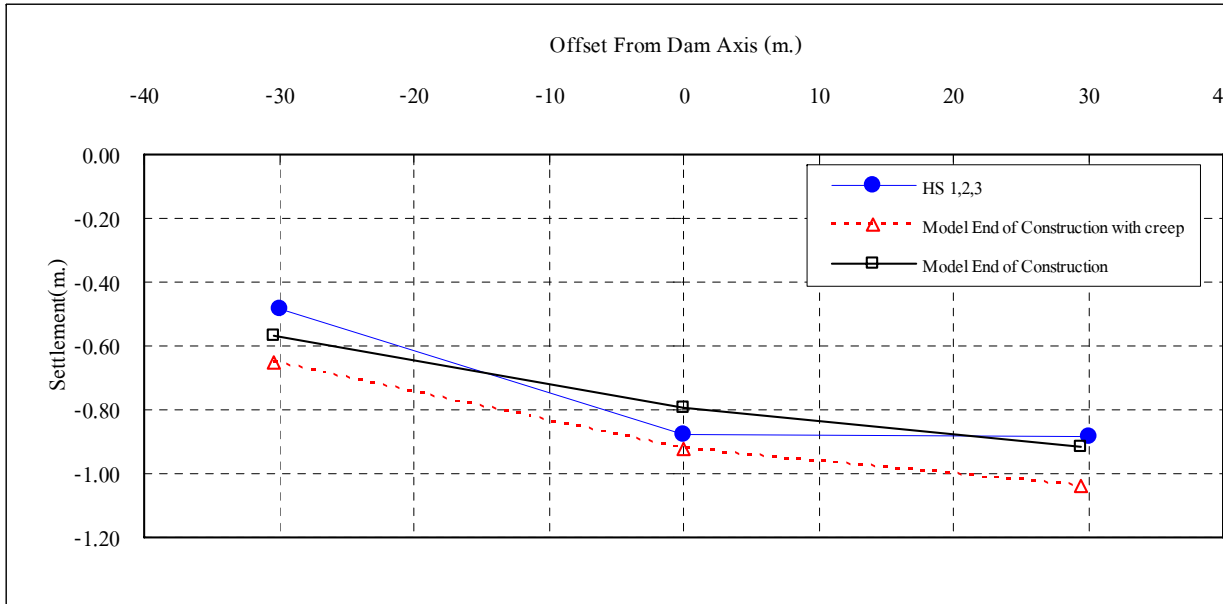


ขั้นตอนที่ 7 สภาวะเริ่มเก็บน้ำครั้งแรกที่ระดับ +96.00 ม.รทก

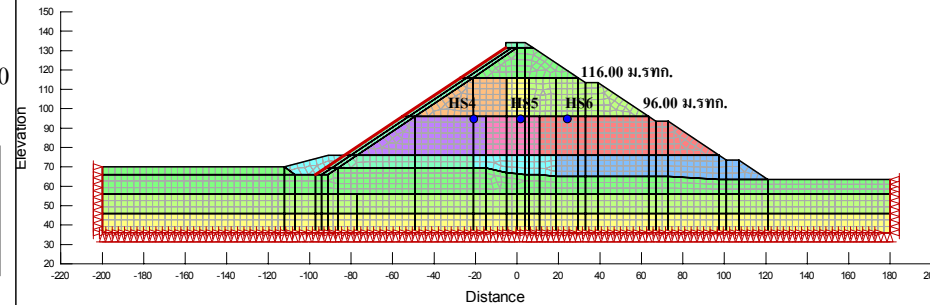
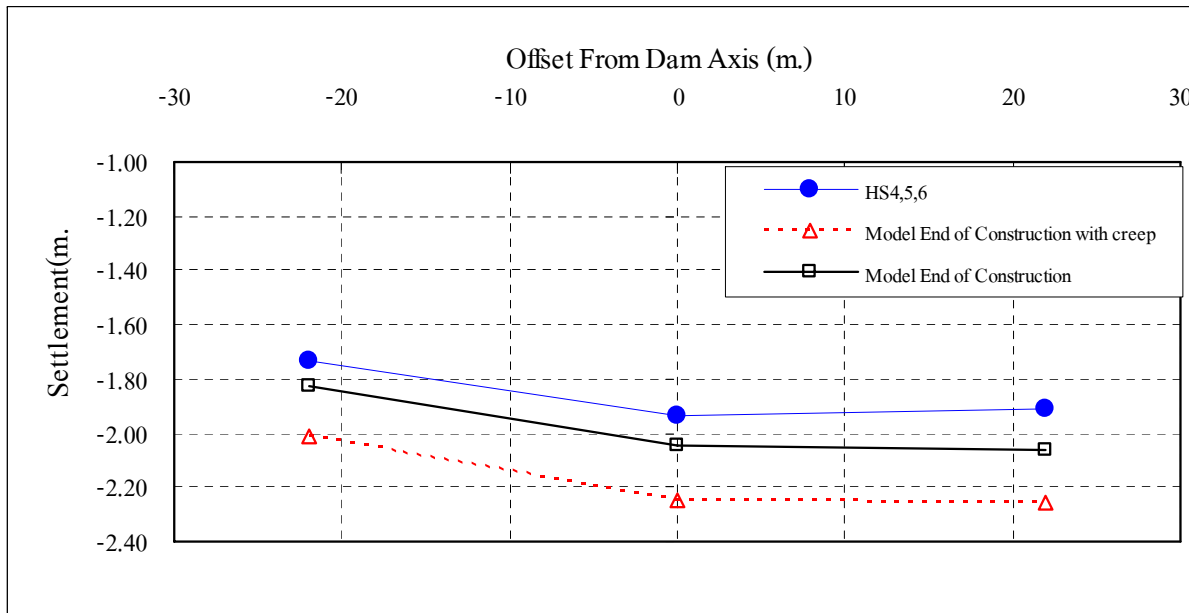


ขั้นตอนที่ 10 สภาวะเริ่มเก็บน้ำครั้งแรกที่ระดับ +111.09 ม.รทก

# ผลการวิเคราะห์การทรุดตัวรวมในแนวตั้ง



ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ  
การทรุดตัวรวมในแนวตั้ง  
ที่ระดับ +76.00 (HS1,2 และ3)

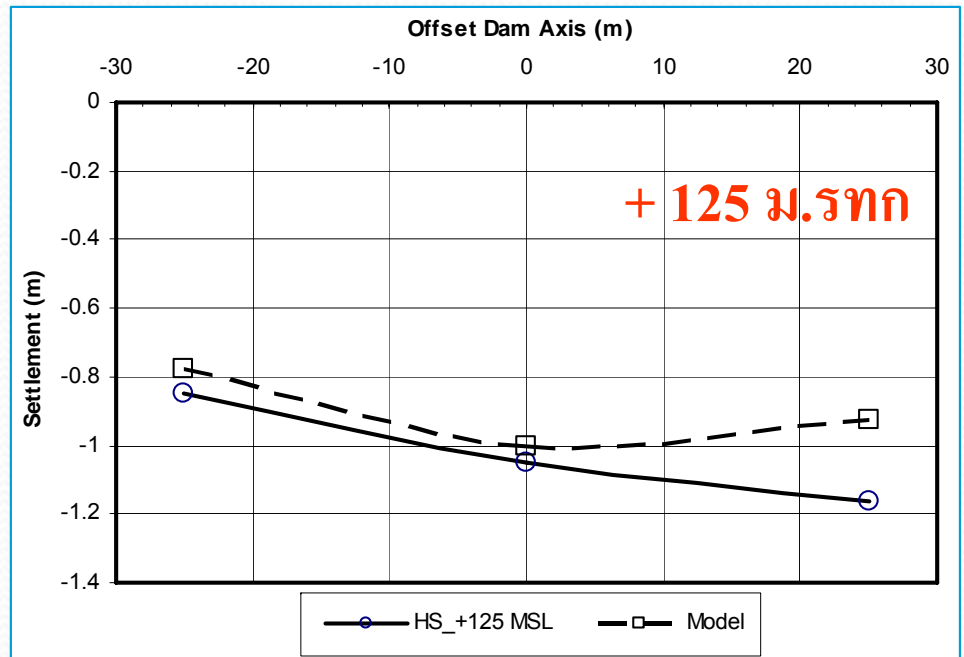
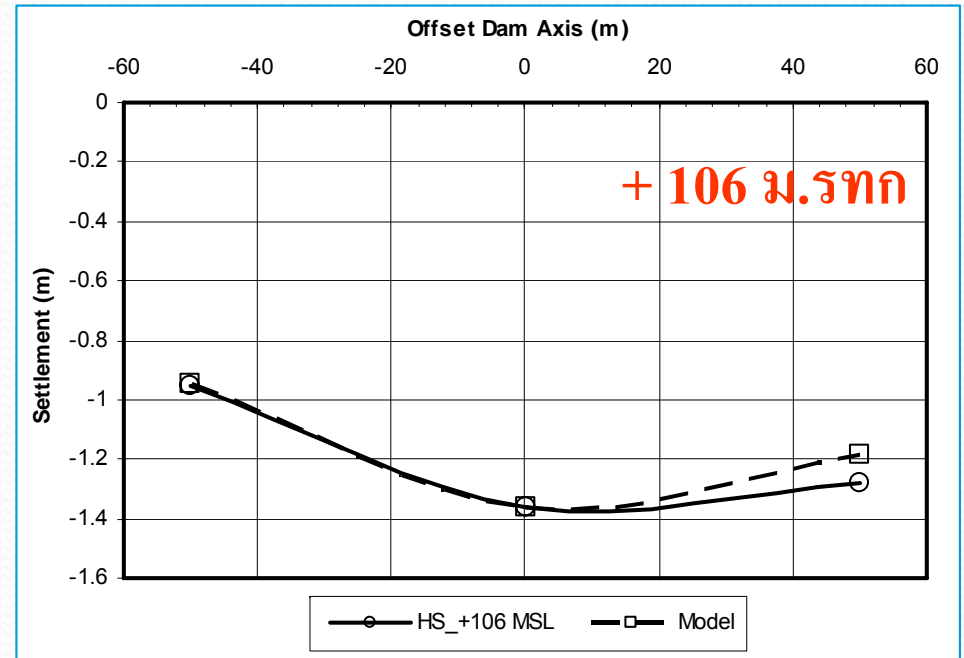
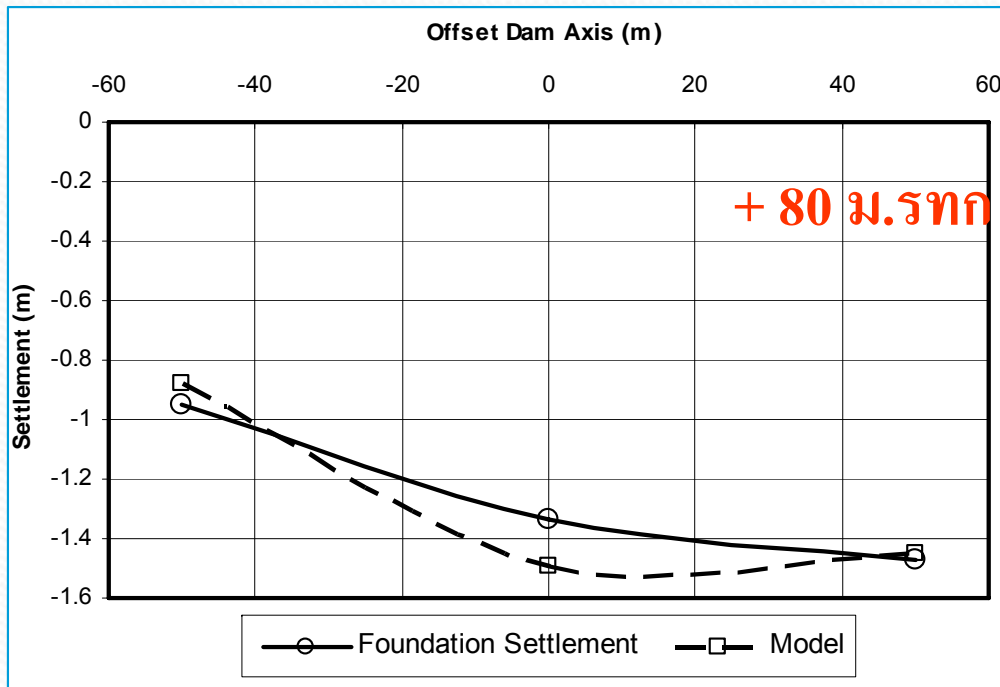


ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ  
การทรุดตัวรวมในแนวตั้ง  
ที่ระดับ +96.00 (HS4,5 และ6)



# เปรียบเทียบกับเขื่อนวีราลงกรณ

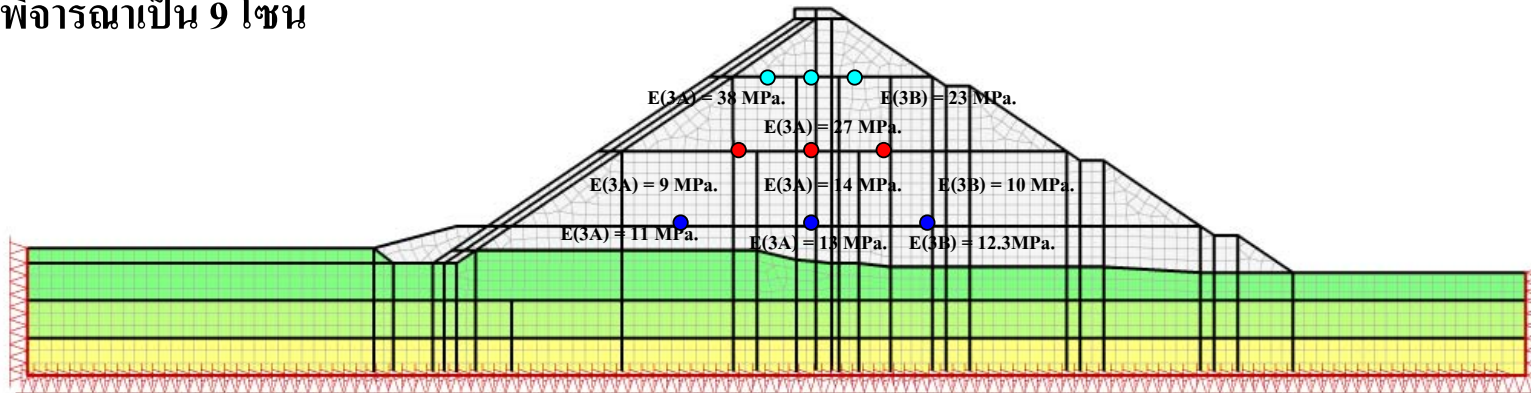
ผลการรุดตัวของหินถมโดยใช้  
แบบจำลอง Hyperbolic ที่  
พิจารณาการเกิด Creep



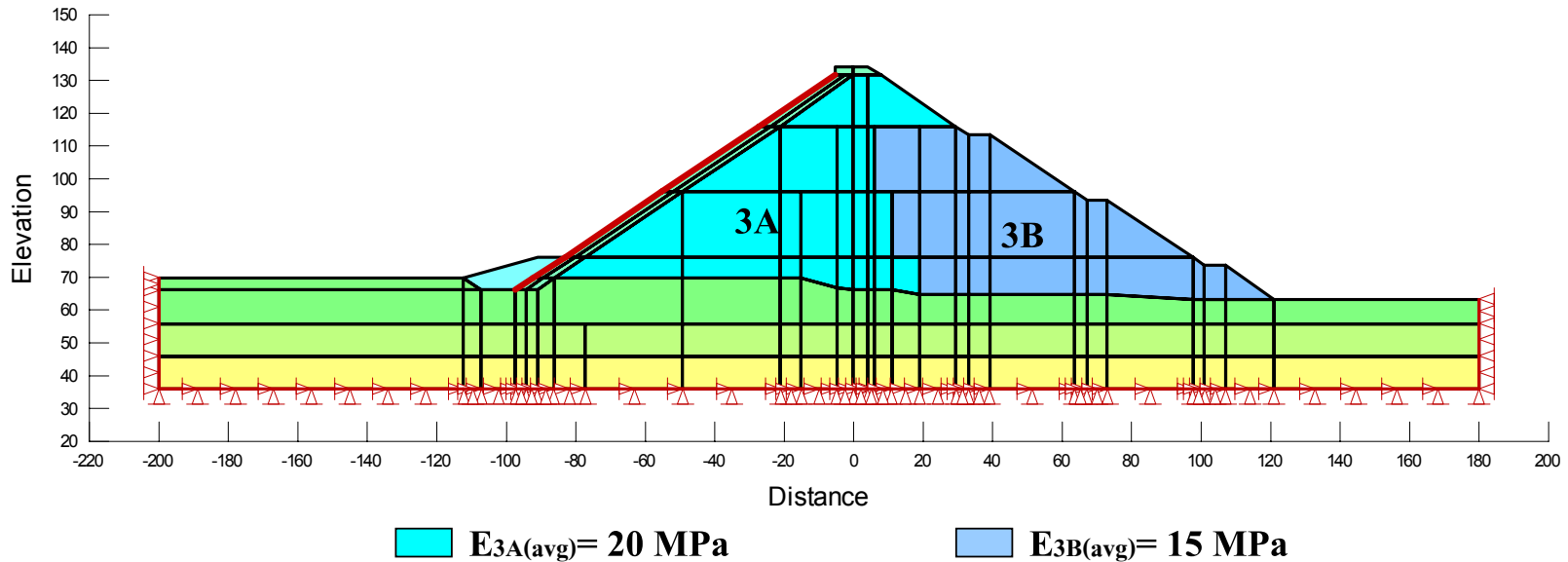
มนตรี, สุทธิศักดิ์และสมชาย (2553)

# อิทธิพลของการแบ่งโซนค่าอีลาสติคโมดูลัส

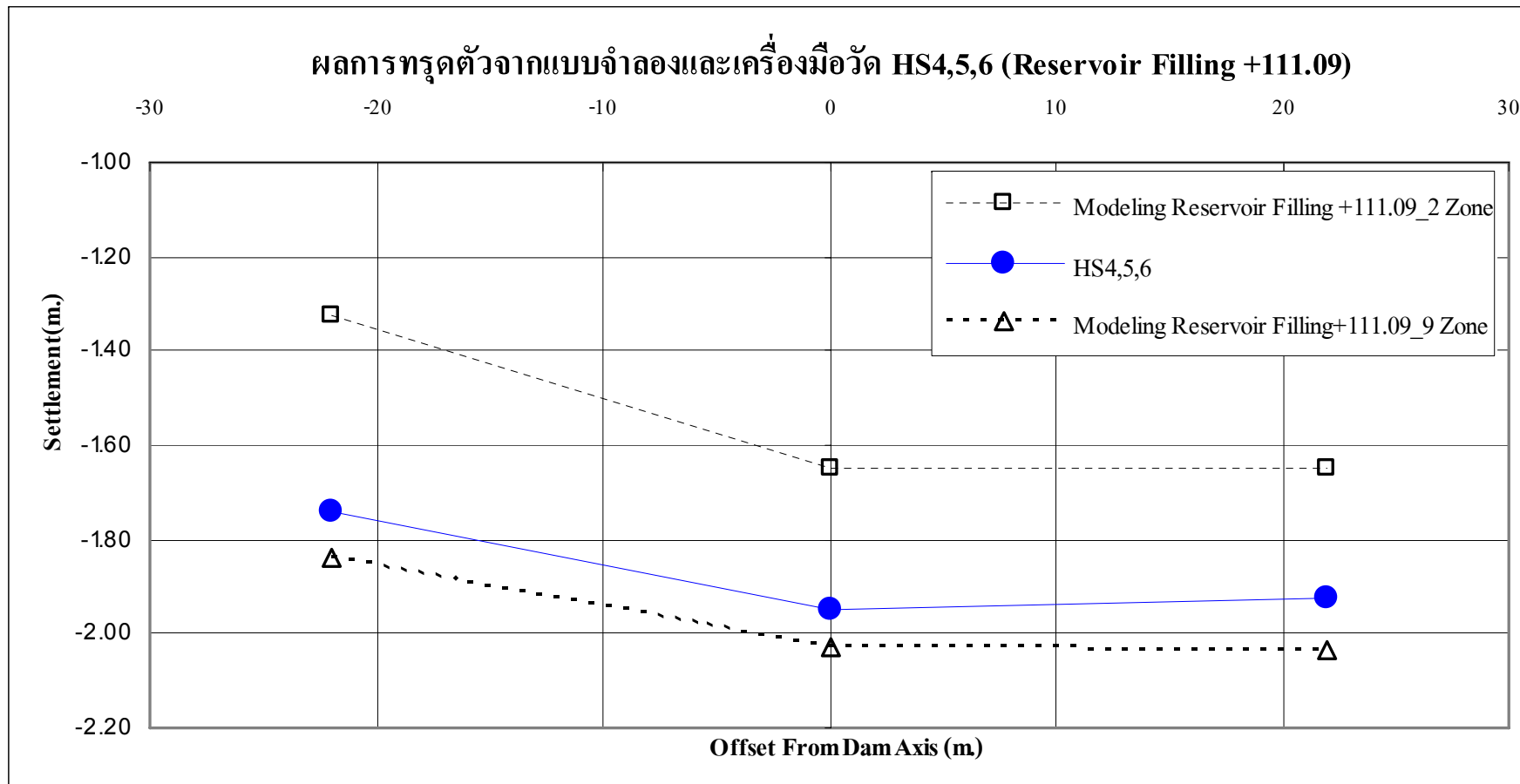
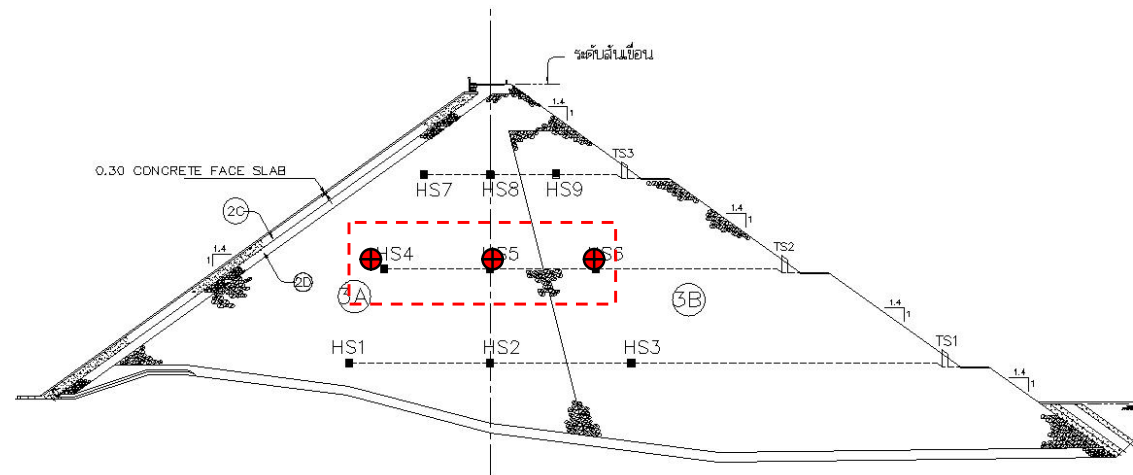
กรณีพิจารณาเป็น 9 โซน



กรณีพิจารณาเป็น 2 โซน



สถานะเริ่มเก็บน้ำครั้งแรก  
(+111.09 ม.รทก)

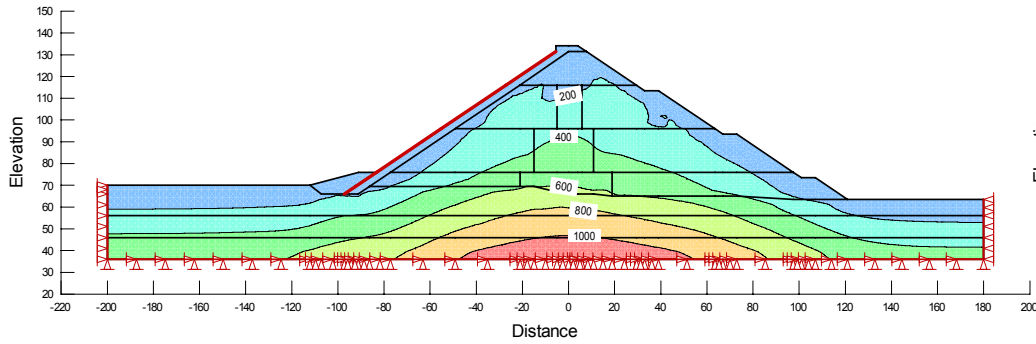




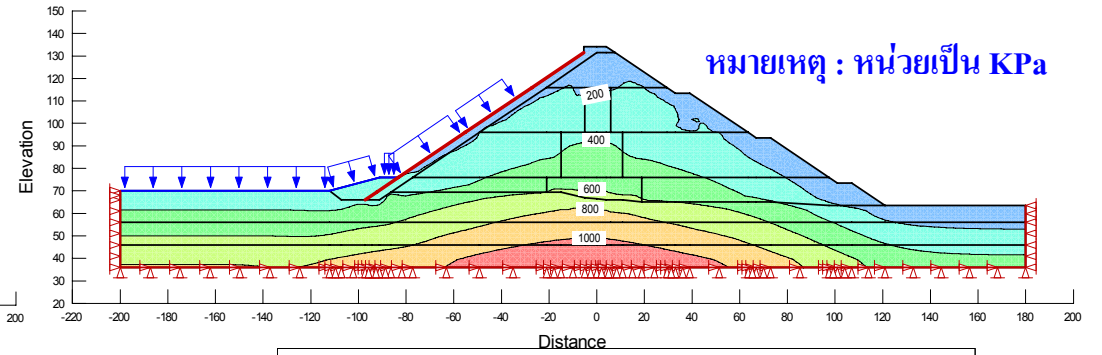
# ผลการวิเคราะห์หน่วยแรง

(Mean effective stress)

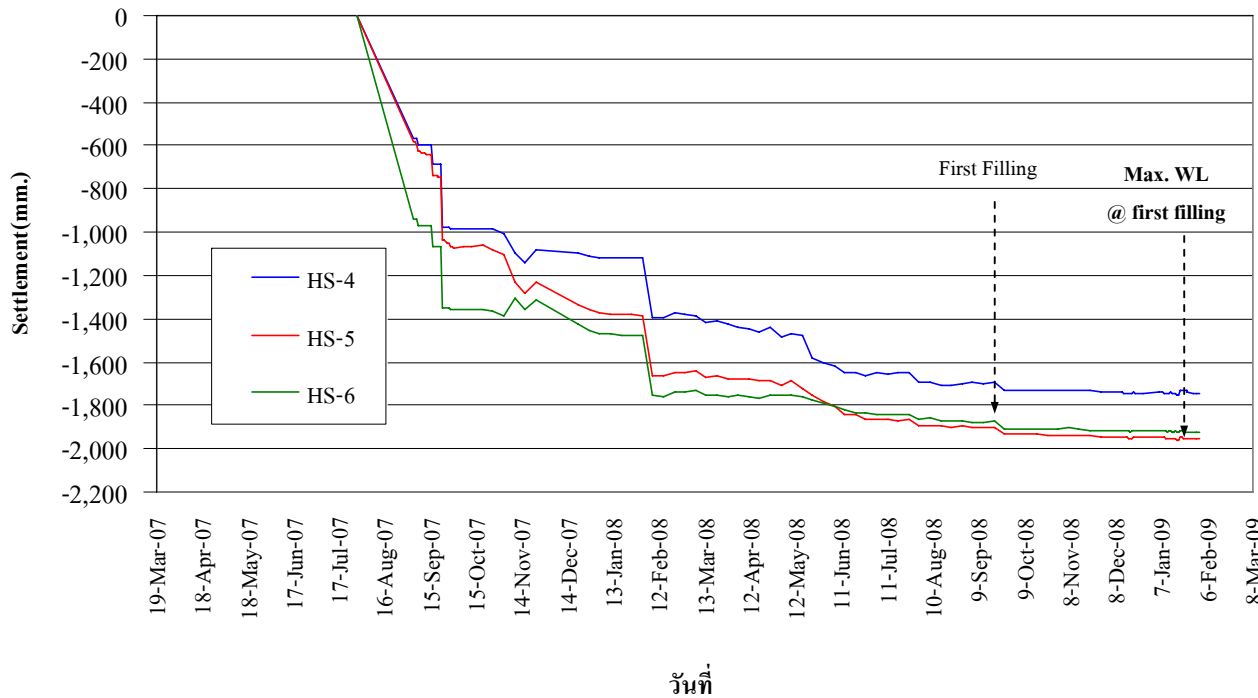
สถานะก่อสร้างเขื่อนเสร็จ ( End of Construction )



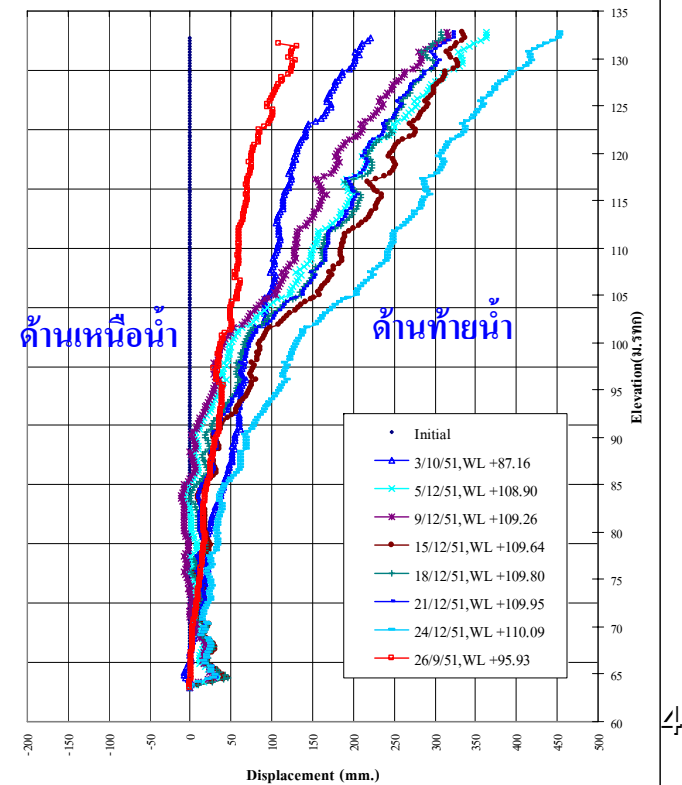
สถานะเริ่มเก็บน้ำครั้งแรกที่ระดับ +111.09 ม.รทก.



การทรุดตัวของหินถม (HS 4,5 และ 6)

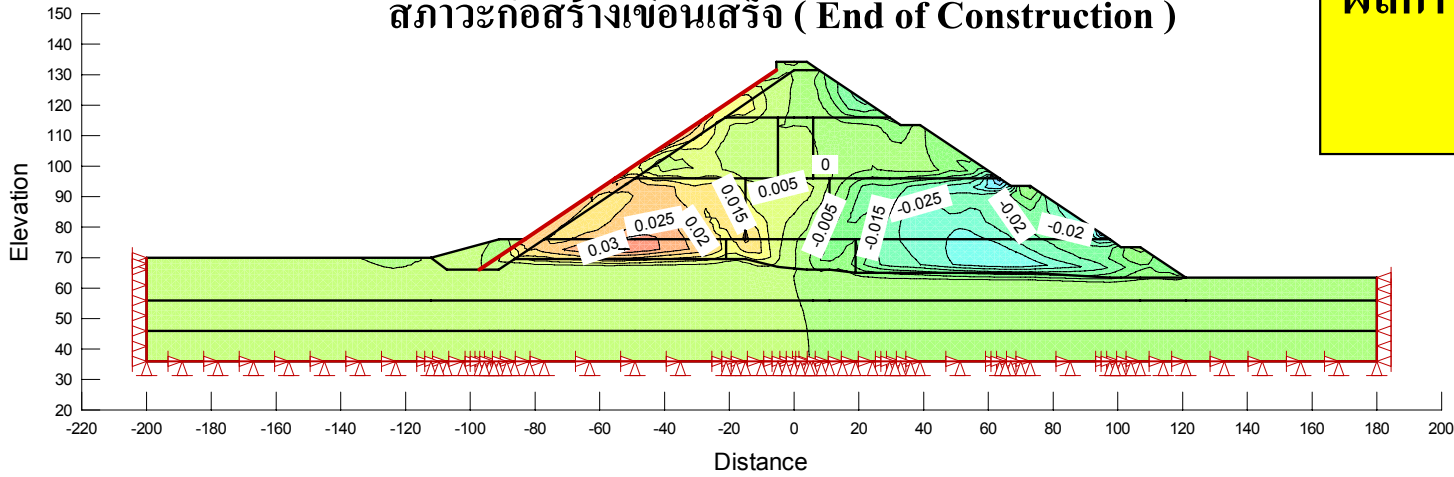


DISPLACEMENT FACE SLAB (Perpendicular to Dam Axis):IN 2

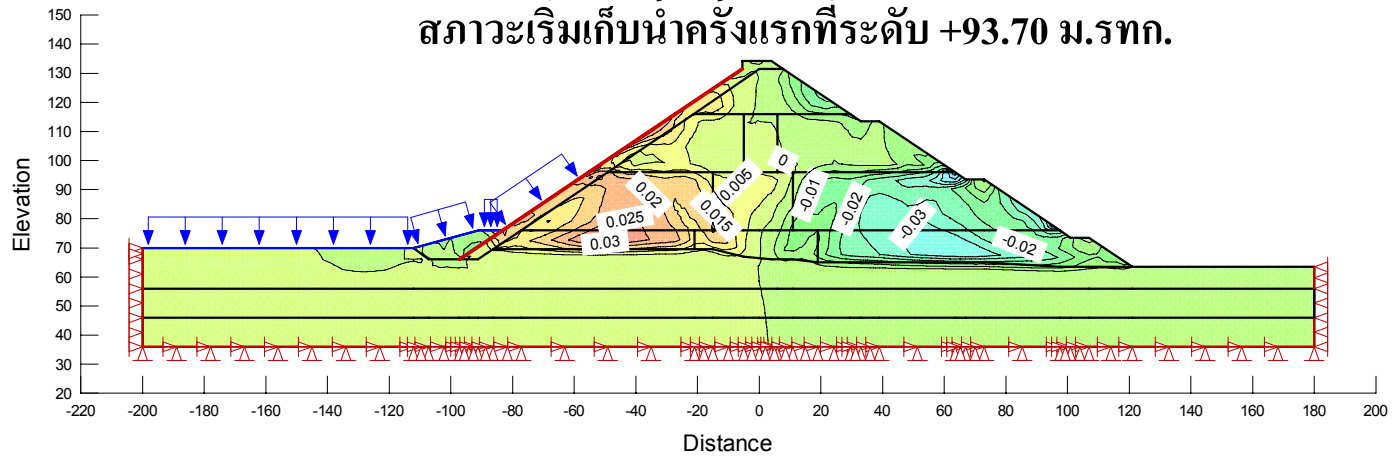


**ผลการวิเคราะห์ความเครียดเฉือน  
(Shear Strain,  $\gamma_{xy}$ )**

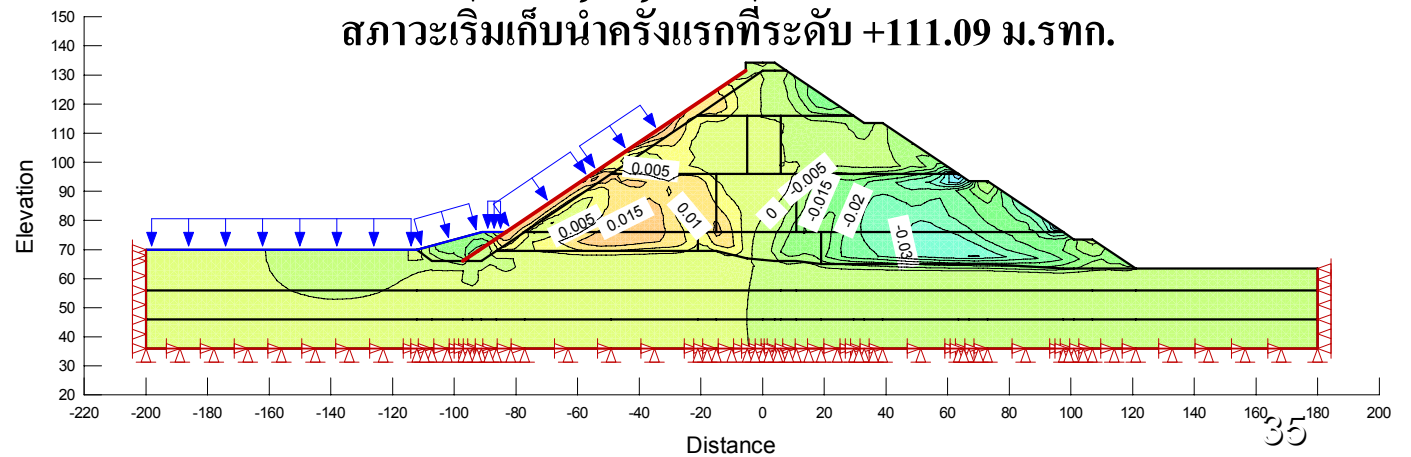
**สถานะก่อสร้างเขื่อนเสร็จ ( End of Construction )**



**สถานะเริ่มเก็บน้ำครั้งแรกที่ระดับ +93.70 ม.รทก.**



**สถานะเริ่มเก็บน้ำครั้งแรกที่ระดับ +111.09 ม.รทก.**



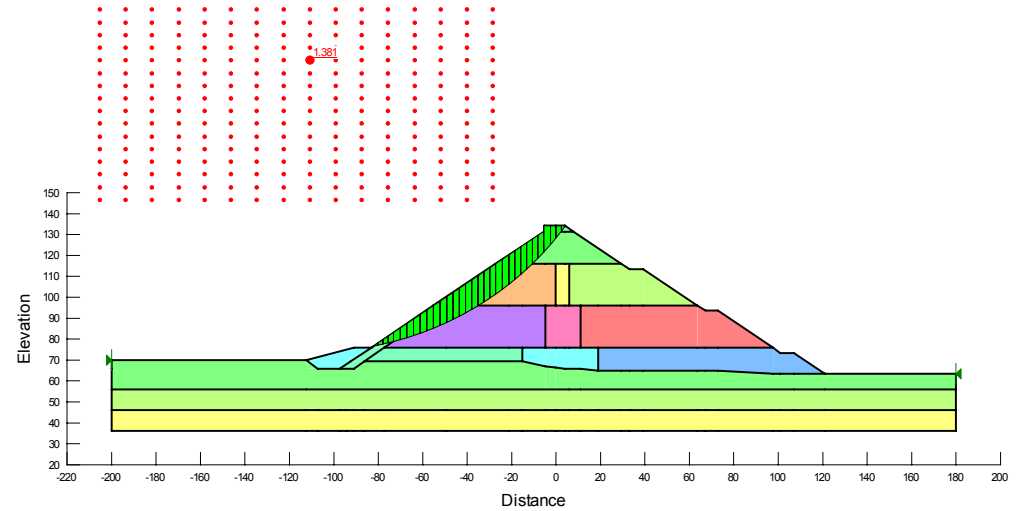
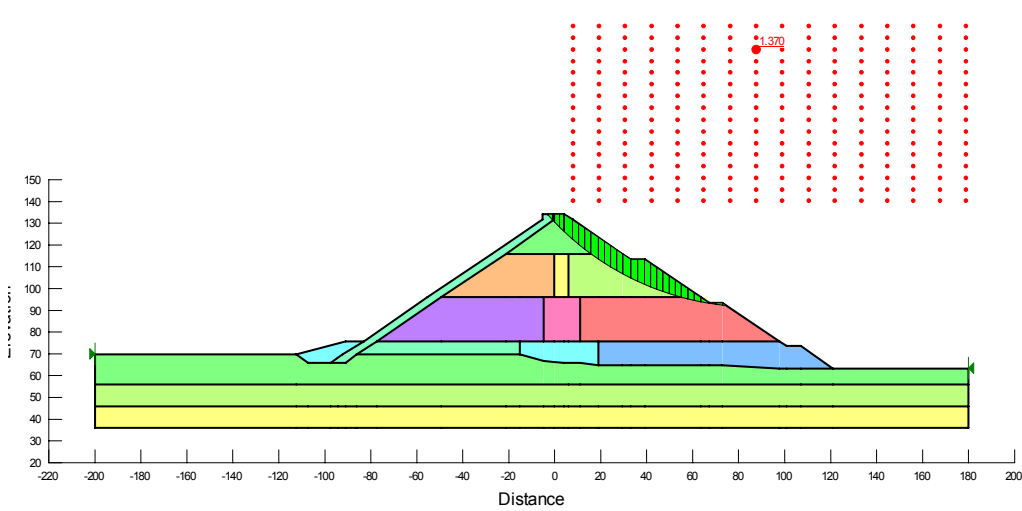
หมายเหตุ : - คือ Compressive

+ คือ Tensile

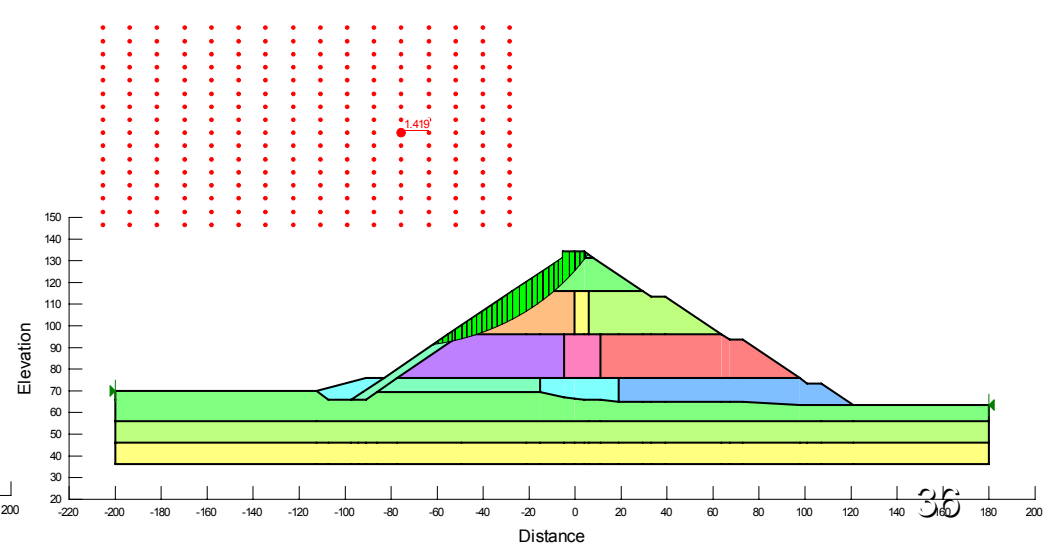
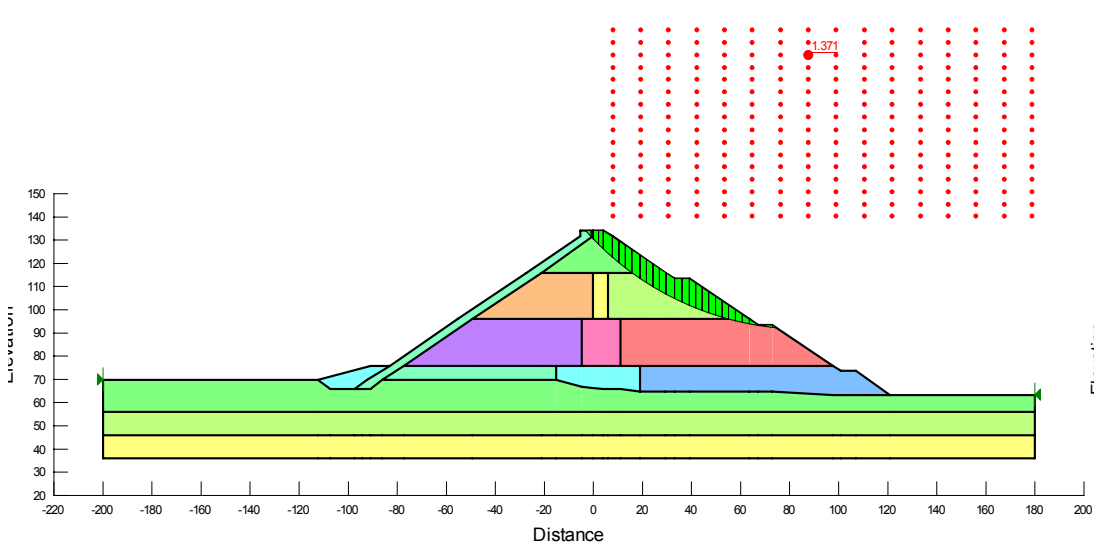
# เสถียรภาพของลาดชันเขื่อน

## วิธีสมมูลจำกัดร่วมกับการการพิจารณาหน่วยแรงในมวลดิน ( Stress Based Method)

### สถานะก่อสร้างเขื่อนเสร็จ ( End of Construction )



### สถานะเริ่มเก็บน้ำครั้งแรกที่ระดับ +93.70 ม.รทก.



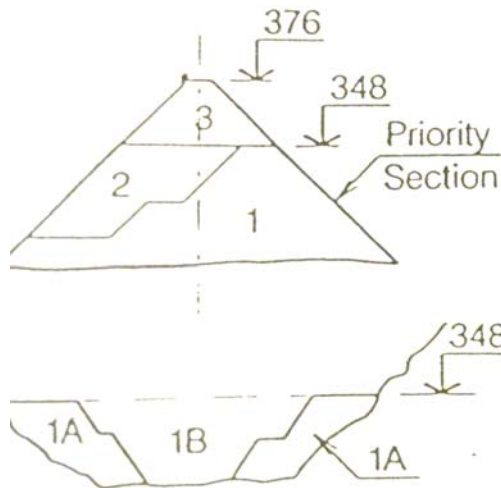


ลักษณะการผันน้ำระหว่างการก่อสร้าง  
ปี 2550



# ข้อดีของการก่อสร้างเขื่อนหินถมลาดหน้าคอนกรีต

ความรวดเร็วในการก่อสร้างเนื่องจากชั้นของการถมหนากว่า และก่อสร้างได้ในช่วงหน้าฝนนอกเหนือจากนั้นวัสดุหินถมสามารถก่อสร้างในลำน้ำเดิมในลักษณะเป็นไหลริมของลำน้ำเดิมโดยเปิดช่องระบายน้ำระหว่างการก่อสร้าง



Ita - 125 m - Brazil

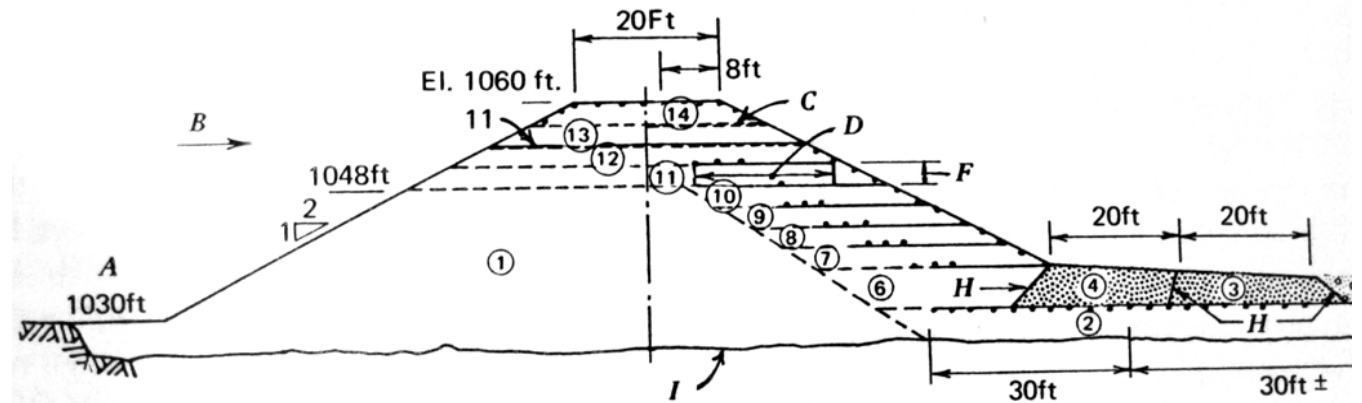
Stage 1A Before Diversion - Both Abutments

Stage 1B Completion Priority Section

Stage 2 Leveling to 348 upstream

Stage 3 Completion of Dam - Slab - F

ขั้นตอนการก่อสร้างและการผันน้ำของเขื่อน ITA ประเทศบราซิล (Thomas M.Leps)



การป้องกันความมั่นคงที่ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำขณะน้ำไหลผ่านหินถม Pit 7 Afterbay, California

# Wilkins's Formula (Turbulent Flow) (J.Barry Cook Volume, Concrete Face Rockfill Dam 2000)

$$V = C I^{0.54}$$

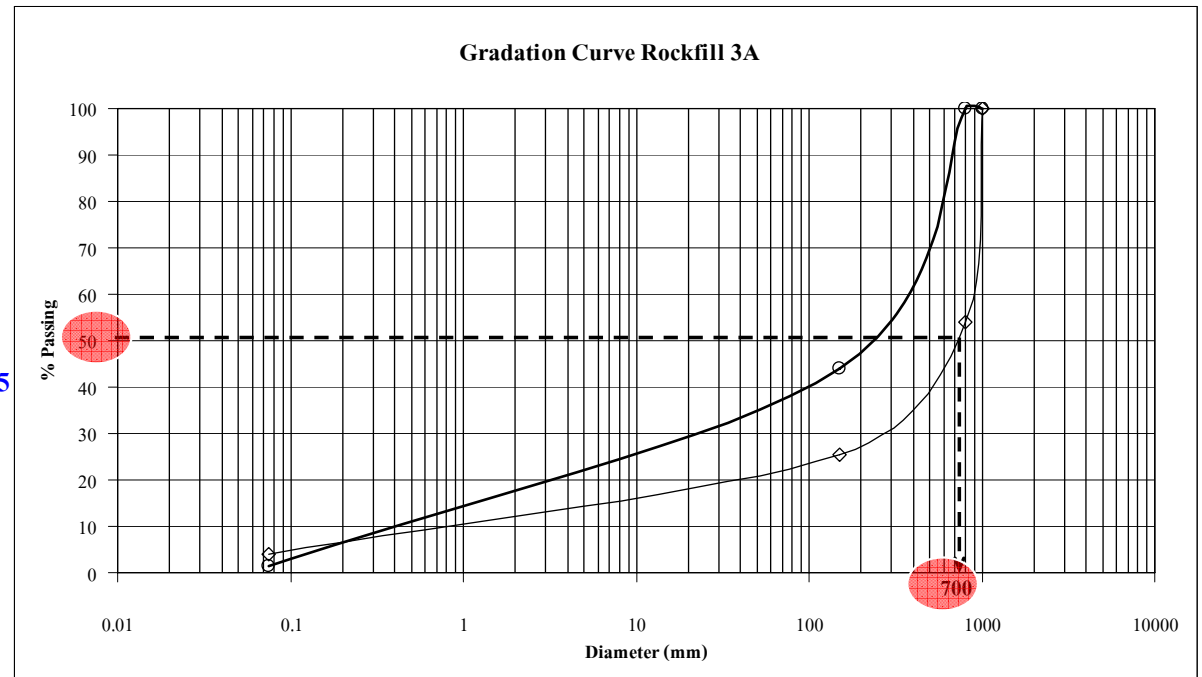
$$Q = AV : A C I^{0.54}$$

เมื่อ A = พื้นที่รับน้ำ ( m<sup>2</sup> )

C = Discharge Coefficient ,  $C = 1.79 d^{-n} (n/1-n)^{0.5}$

V = Flow velocity (m/s)

I = Hydraulic Gradient

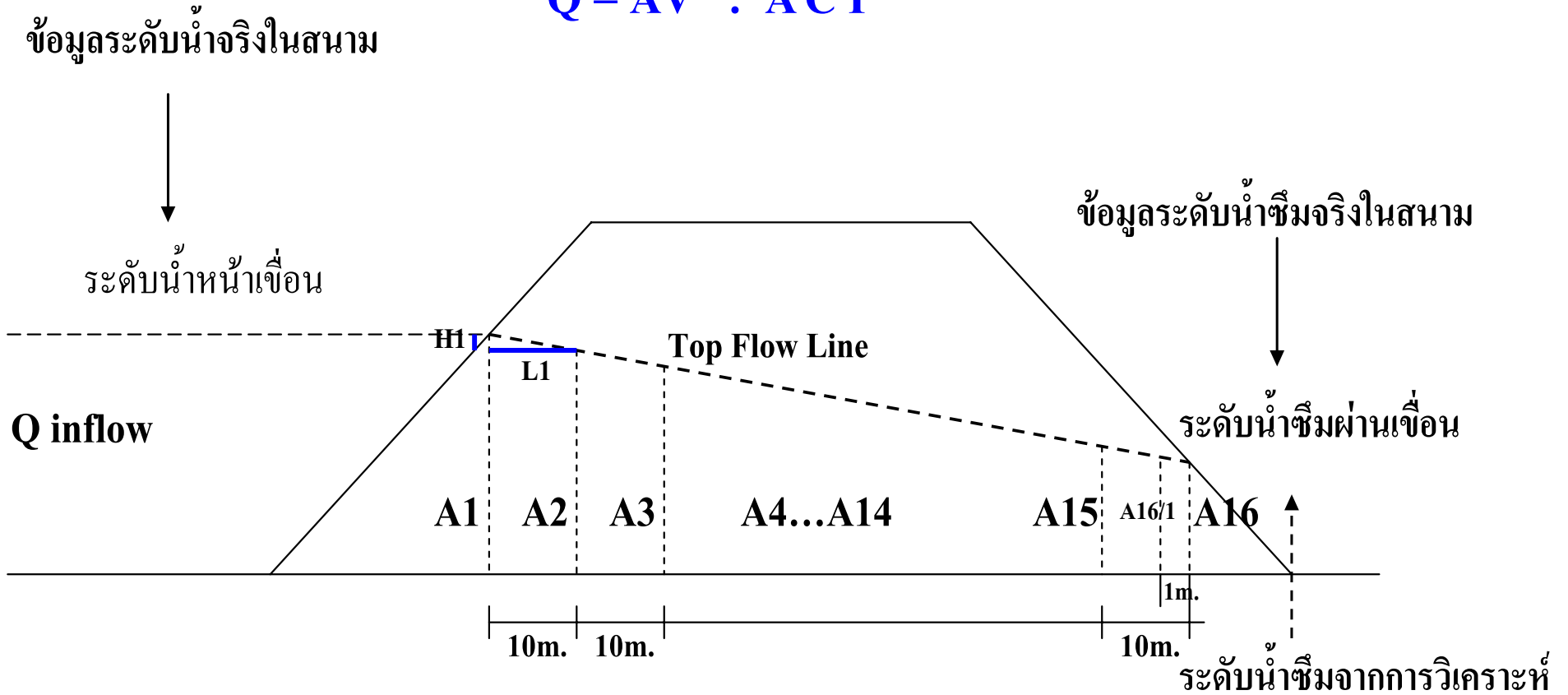


d = ขนาดของเม็ดวัสดุในกรณีนี้ใช้ d<sub>50</sub>

Zone	d <sub>50</sub> (m.)	Void ratio of rockfill	n	C
Rockfill 3A	0.7	0.214	0.176	0.122

# ขั้นตอนการวิเคราะห์การไหลของน้ำผ่านหินถม

$$Q = AV : ACI^{0.54}$$

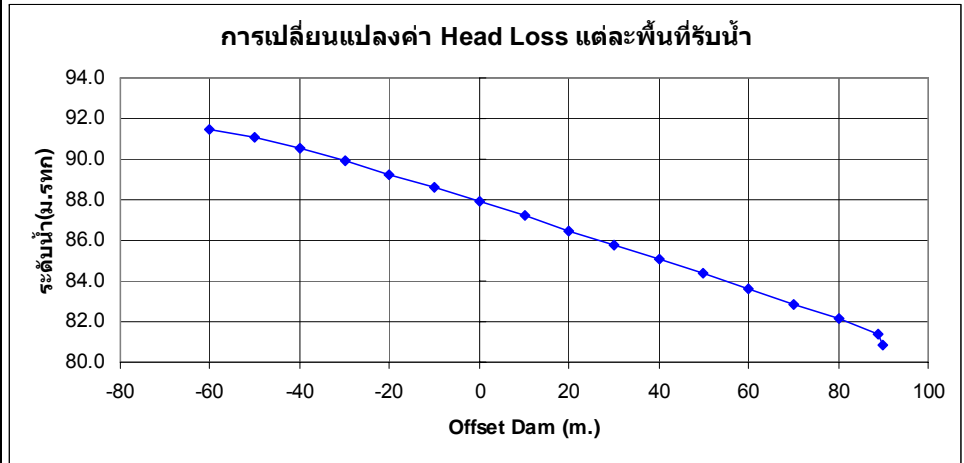


Assumption การไหลผ่าน A1-A2 โดยให้ A คงที่ = A1

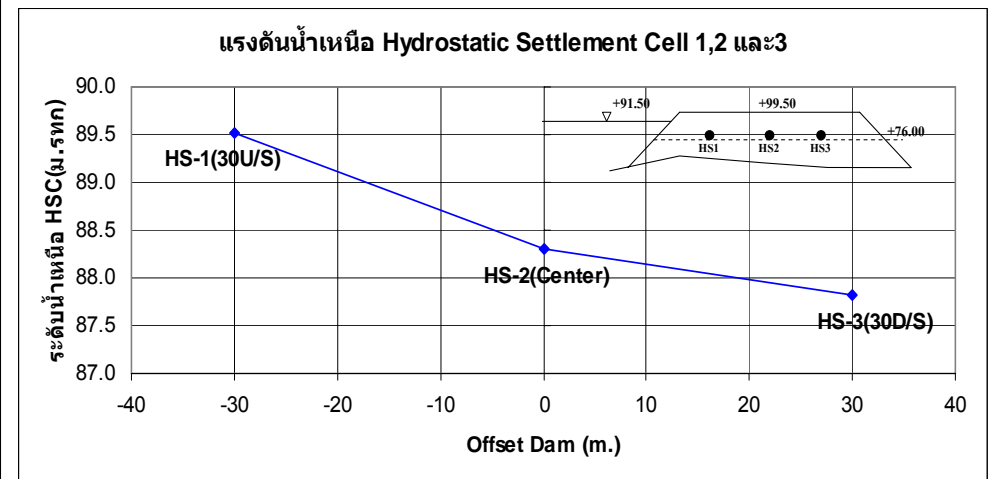
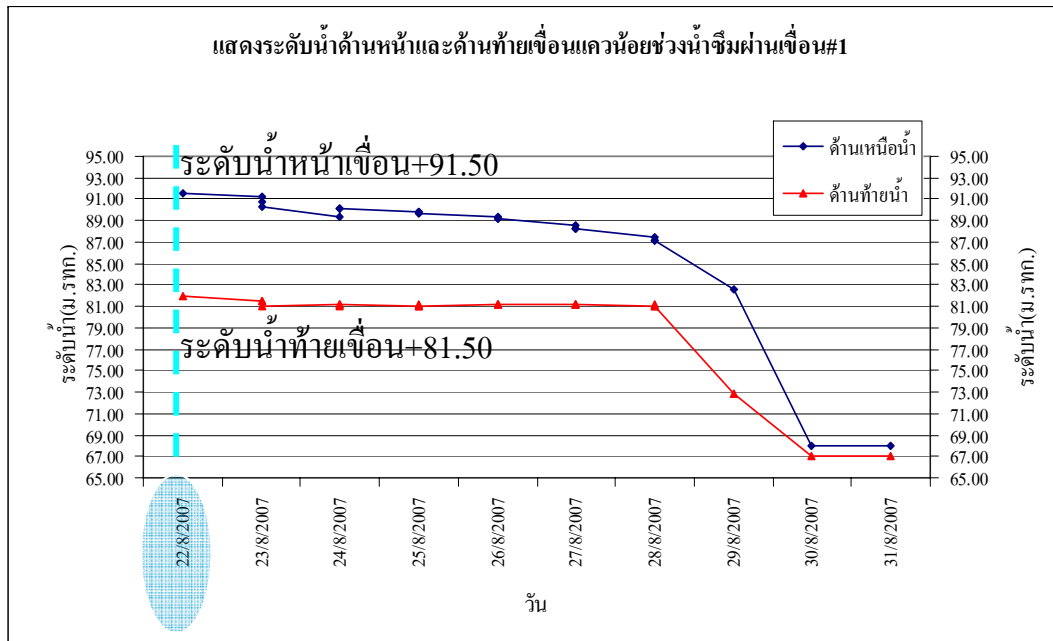


# ผลการวิเคราะห์การไหลของน้ำผ่านหินถม

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

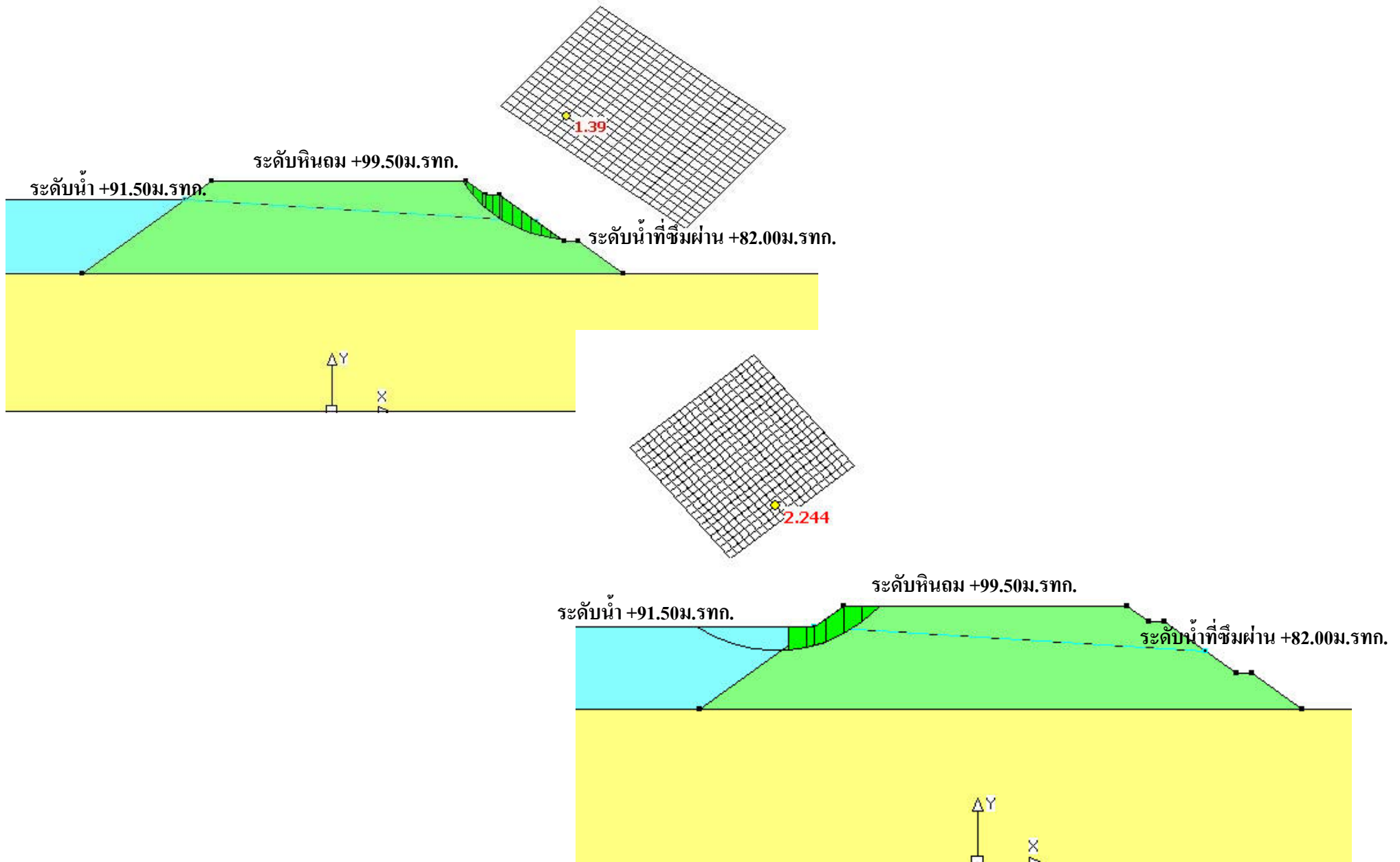


Marulanda และ Pinto (2000) กล่าวว่าเขื่อน Concrete Face Rock fill จะมีความมั่นคงด้านท้ายน้ำต่อการเกิด Flow Through เมื่อ Hydraulic Gradient ในวัสดุถมเขื่อนมีค่าไม่เกิน 0.25 – 0.30



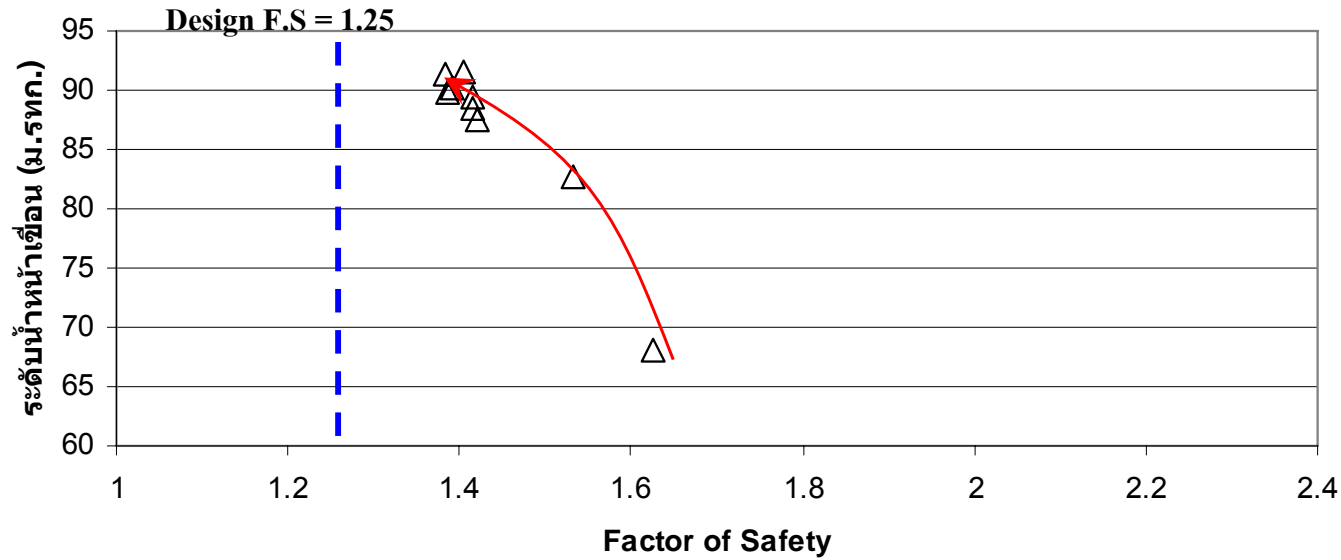
# การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อนระหว่างช่วงน้ำไหลผ่านหินถมตัวเขื่อน

## วิธีสมดุลจำกัด (Limit Equilibrium) โปรแกรม KU-Slope

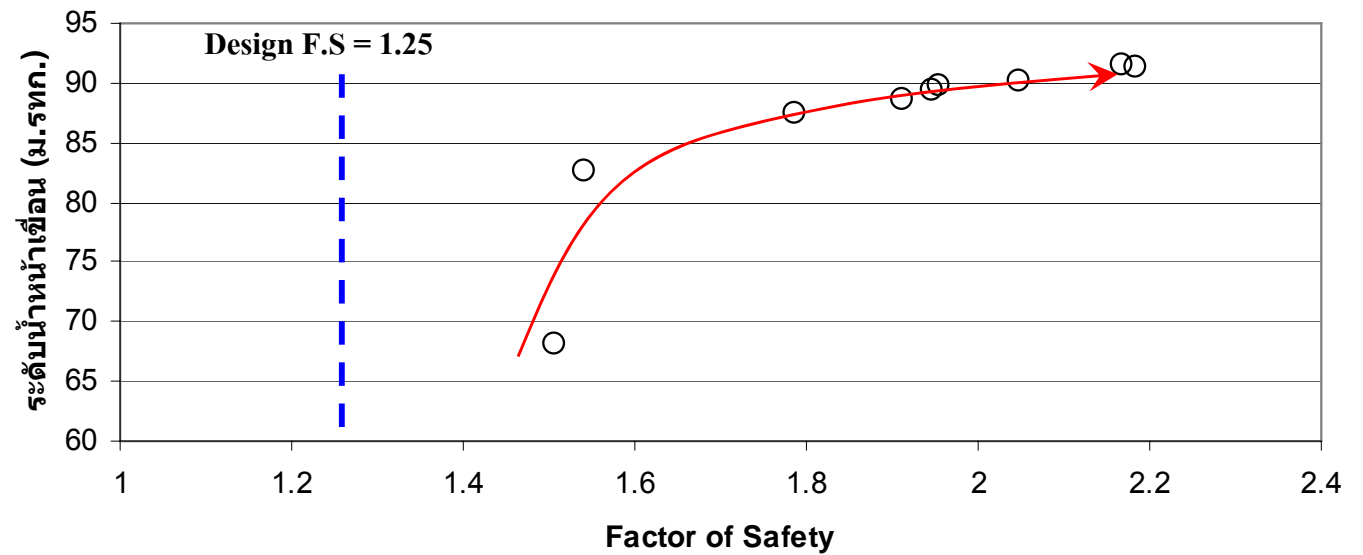


# ผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อน

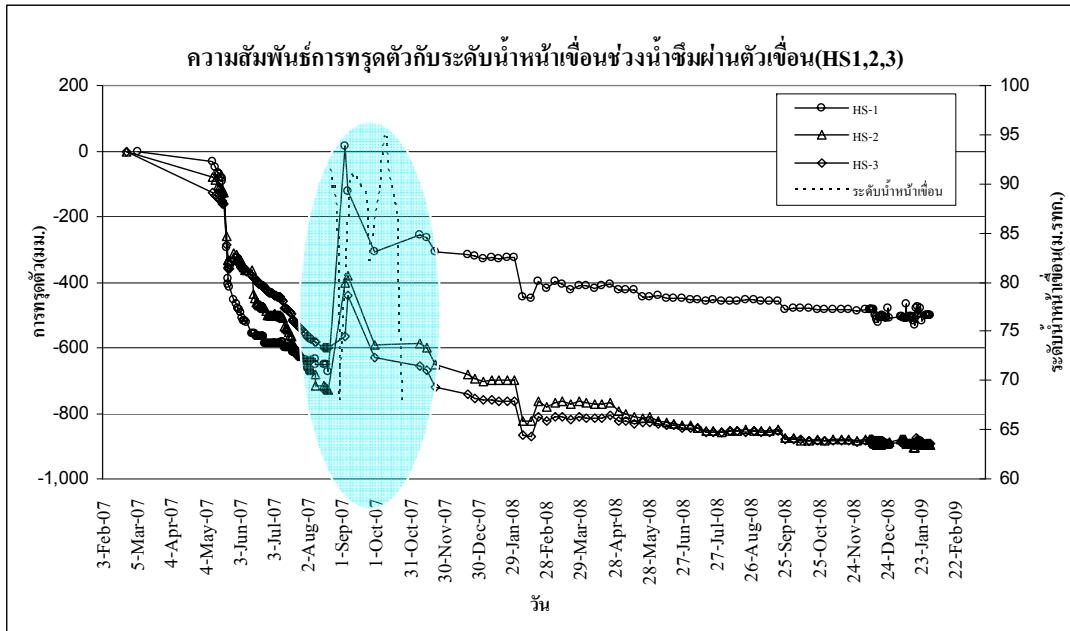
ค่า Factor of Safety ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ



ค่า Factor of Safety ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ



# สภาพการทรุดตัวและการเปลี่ยนแปลงของวัสดุถม



## Hydrostatic Settlement Cell 1,2 และ 3

ไม่สามารถอ่านค่าการทรุดตัวได้



## ตะกอนทราย



## หินโคลน (Mudstone) เกิดการ Slaking





การประเมินความเสี่ยงเพื่อจัดทำแผนป้องกันภัยคุกคามจากเขื่อนแตก  
โครงการเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน  
จังหวัดพิษณุโลก



ผศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์, ชีโนรส ทองธรรมชาติ,  
อภิสิทธิ์ บุญโพธิ์, องอาจ นवलปลอด  
และ ดร.ภัทราภรณ์ เมฆพฤกษาวงศ์



หากเขื่อนพิบัติจะสูญเสียชีวิตอย่างไร  
ความน่าจะเป็นที่เขื่อนจะพิบัติในสภาวะต่าง ๆ เป็นอย่างไร  
เราสามารถที่จะลดความเสี่ยงอย่างไร  
ทำไมต้องประเมินความเสี่ยง ?



Quail Creek, Utah



Baldwin Hills Dam failure aftermath

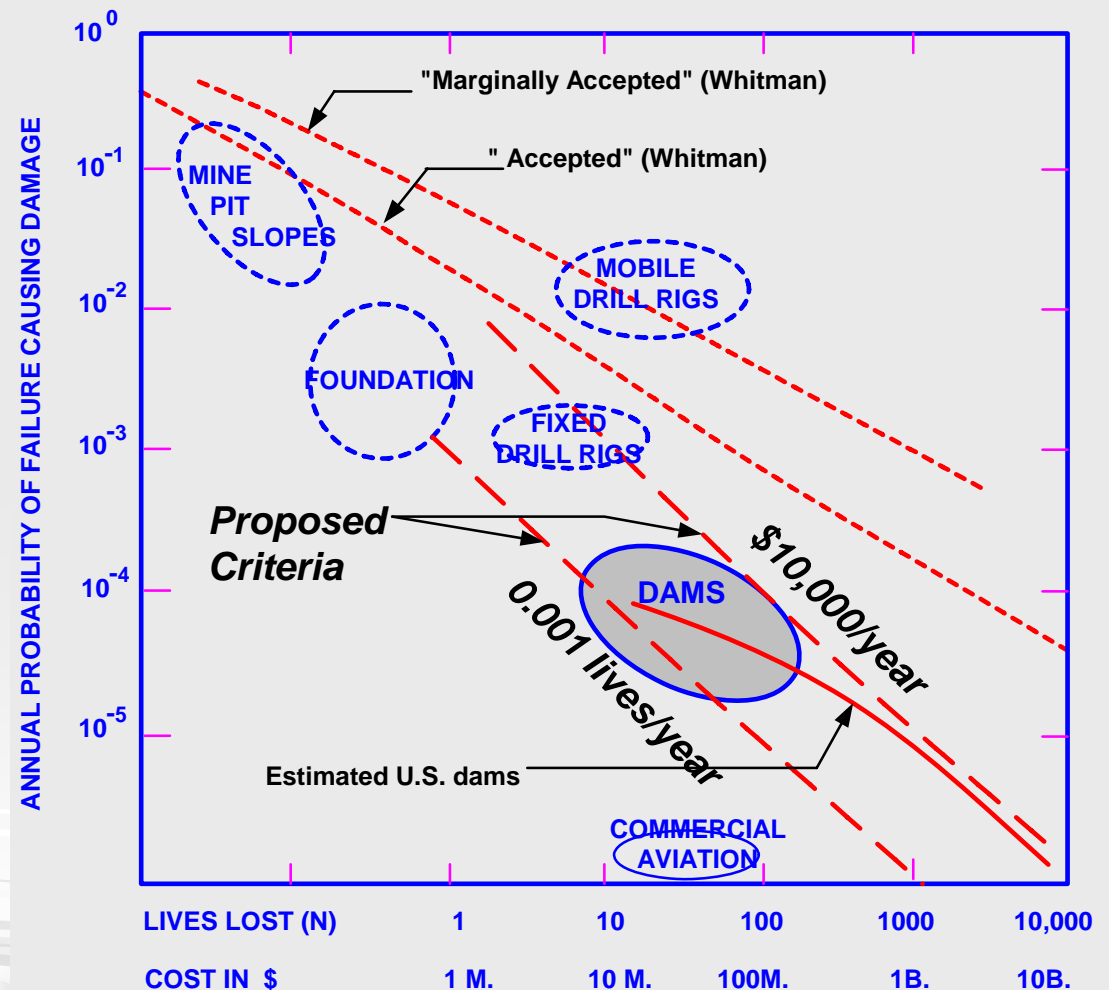
# การประเมินความเสี่ยง

**ความเสี่ยง = ความน่าจะเป็น X ผลกระทบ**

โดยทั่วไปประเมินโอกาสเกิดการพิบัติ  
เป็นรายปี (Annual Probability)

ค่าความน่าจะเป็น หรือ โอกาสเกิดของ  
เหตุการณ์ ประเมินได้โดย

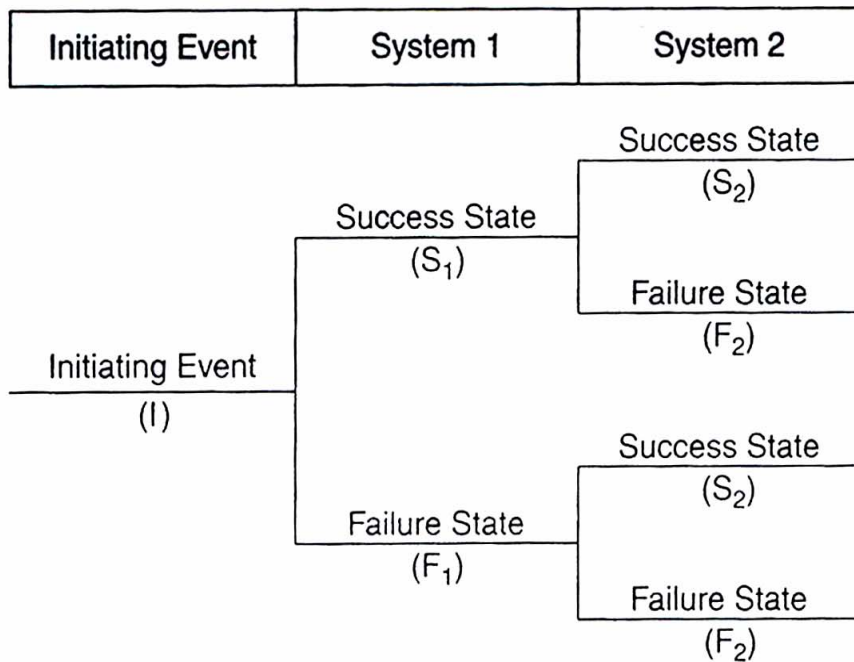
- 1) การใช้หลักทางสถิติ
- 2) การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และแบบจำลอง
- 3) ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ



# การประเมินความเสี่ยง

ความสูญเสีย (Consequences) จากการพิบัติของเขื่อน ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ Dam-Break

ความน่าจะเป็นรวม (Pathway Probability) ซึ่งได้จากแผนภูมิเหตุการณ์ (Event tree)



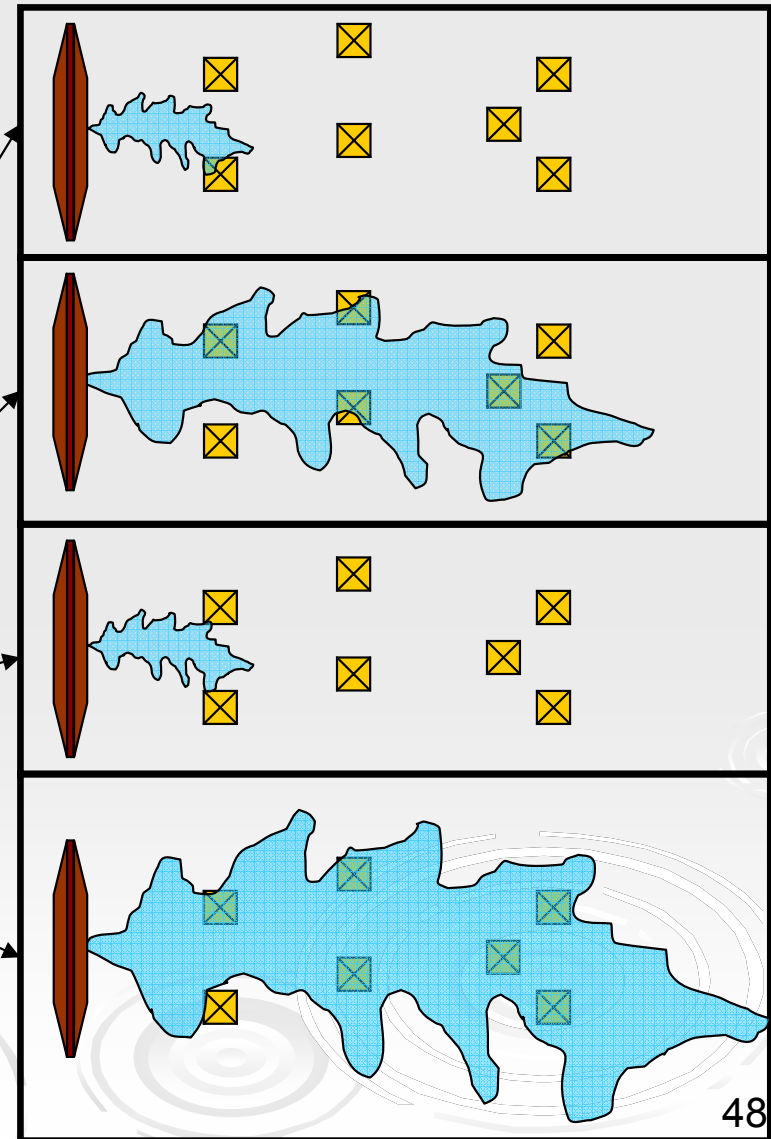
Accident Sequences

(IS<sub>1</sub>S<sub>2</sub>)

(IS<sub>1</sub>F<sub>2</sub>)

(IF<sub>1</sub>S<sub>2</sub>)

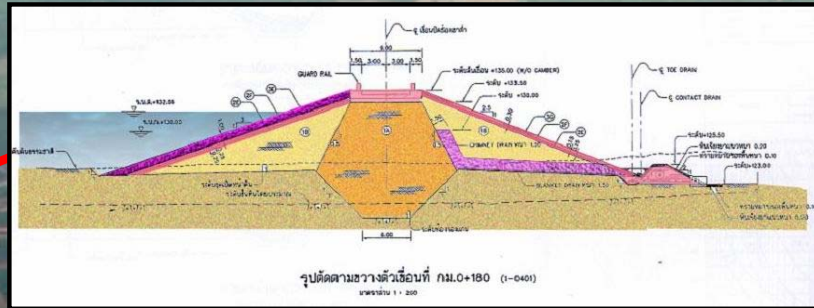
(IF<sub>1</sub>F<sub>2</sub>)



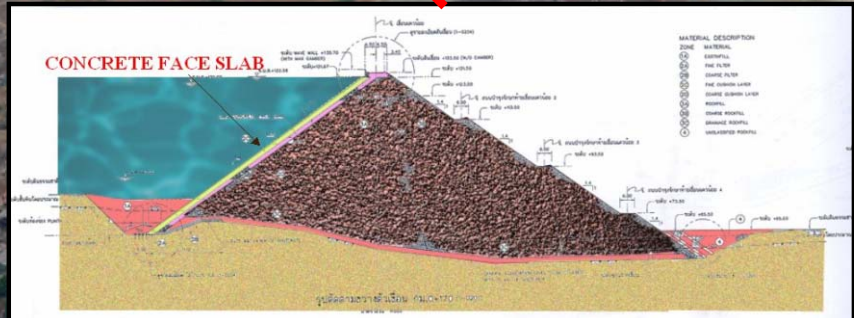
(US Nuclear Regulatory Commission, 1975)



# ลักษณะของโครงการเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน

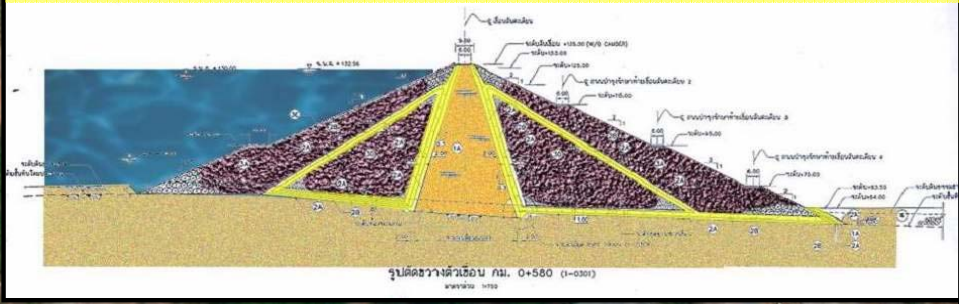


**เขื่อนปิดช่องเขาต่ำ ( Earthfill Dam )**  
 ระดับสันเขื่อน **+135.00 ม.รทก.**  
 ความยาวสันเขื่อน **640 เมตร**  
 ความสูงเขื่อน **16 เมตร**



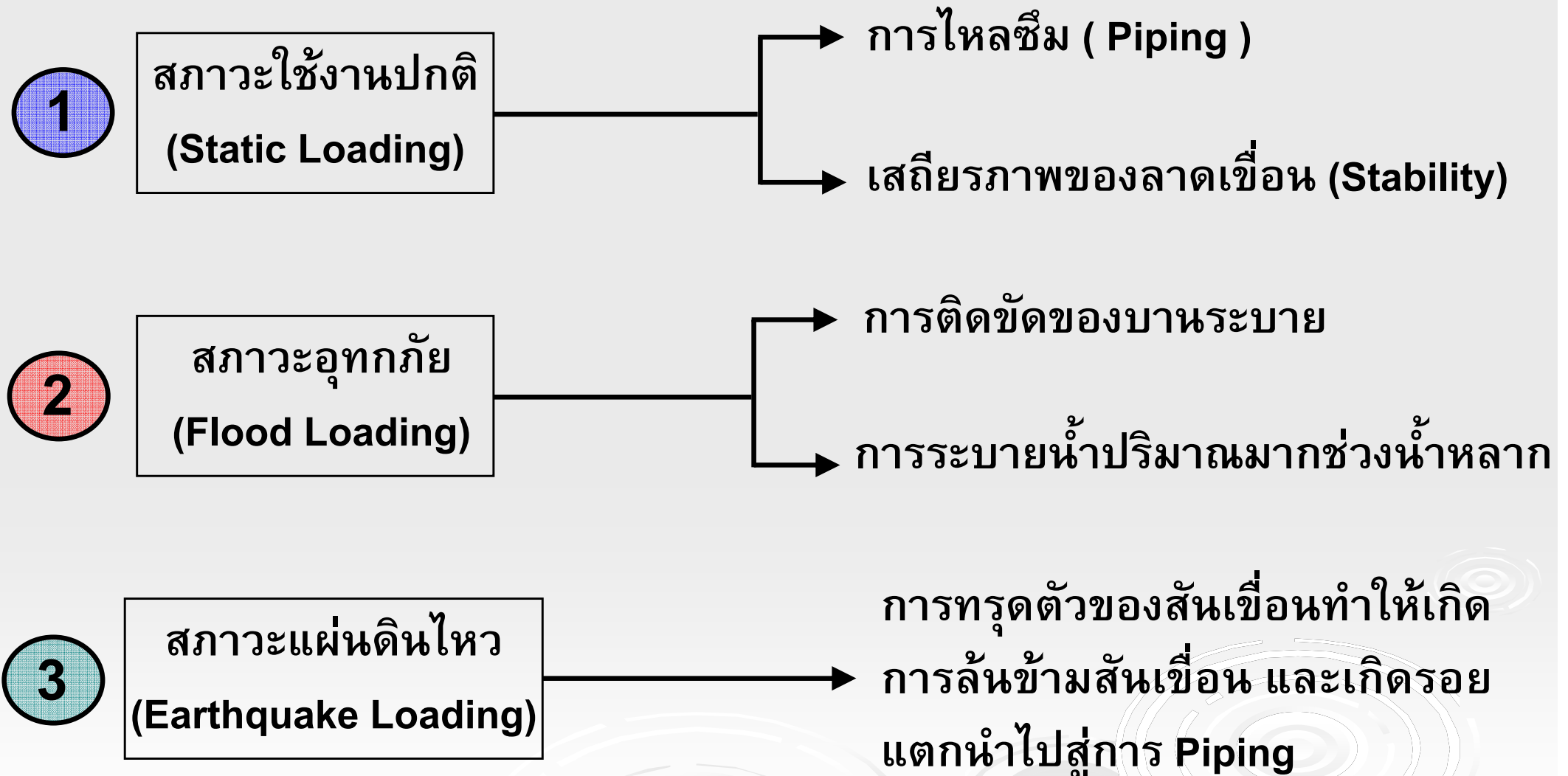
**เขื่อนแควน้อย ( Concrete Faced Rockfill Dam )**  
 ระดับสันเขื่อน **+135.00 ม.รทก.**  
 ความยาวสันเขื่อน **681 เมตร**  
 ความสูงเขื่อน **75 เมตร**

**เขื่อนสันตะเคียน ( Earth Core Rockfill Dam )**  
 ระดับสันเขื่อน **+135.00 ม.รทก.**  
 ความยาวสันเขื่อน **1,260 เมตร**  
 ความสูงเขื่อน **80 เมตร**





# สาเหตุและรูปแบบการพิบัติของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน



# 1

## สภาวะใช้งานปกติ (Static Loading)

### กรณี Piping เชื้อเพลิงตะเคียนและเชื้อเพลิงปิดช่องเขาต่ำ

	Water Level	Outcome
Static (Piping)	90-100 MSL	No Fail
	100-110 MSL	Piping Failure
		No Fail
	110-120 MSL	Piping Failure
		No Fail
	120-130 MSL	Piping Failure
No Fail		

การวิเคราะห์ใช้หลักการ

ทางคณิตศาสตร์

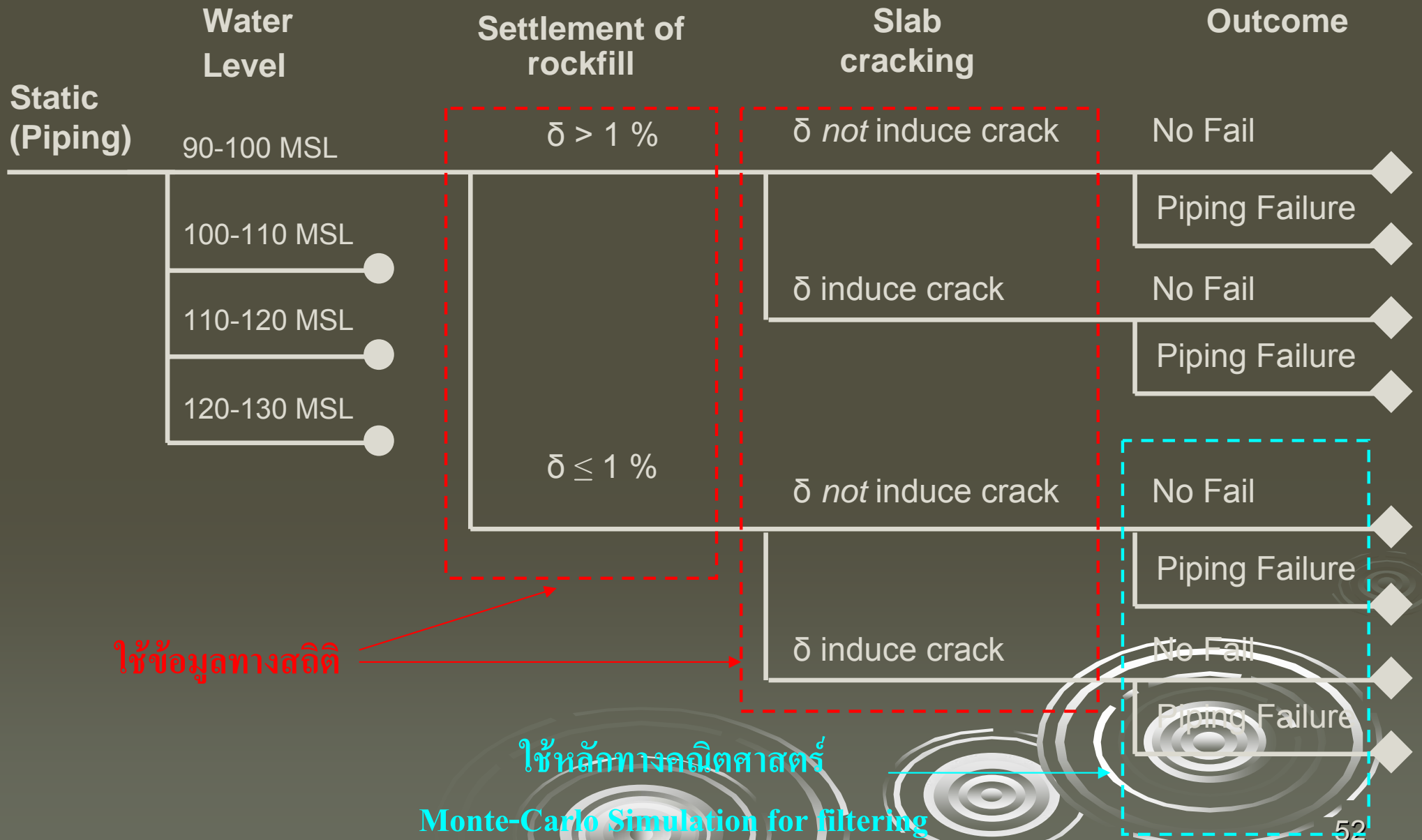
การวิเคราะห์ใช้หลักการทางสถิติ

ตาม Foster and Fell (2003)

# 1

## สภาวะใช้งานปกติ (Static Loading)

### กรณี Piping เชื้อนแคว่น้อย





# 1

## สภาวะใช้งานปกติ (Static Loading)

### กรณี Stability เชื้อนสันตะเคียนและเชื้อนปิดช่องเขาต่ำ

Static (Stability)	Water Level	Outcome
	90-100 MSL	No Breach from Slope Failure
		Breach from Slope Failure
	100-110 MSL	No Breach from Slope Failure
		Breach from Slope Failure
	110-120 MSL	No Breach from Slope Failure
		Breach from Slope Failure
	120-130 MSL	No Breach from Slope Failure
		Breach from Slope Failure

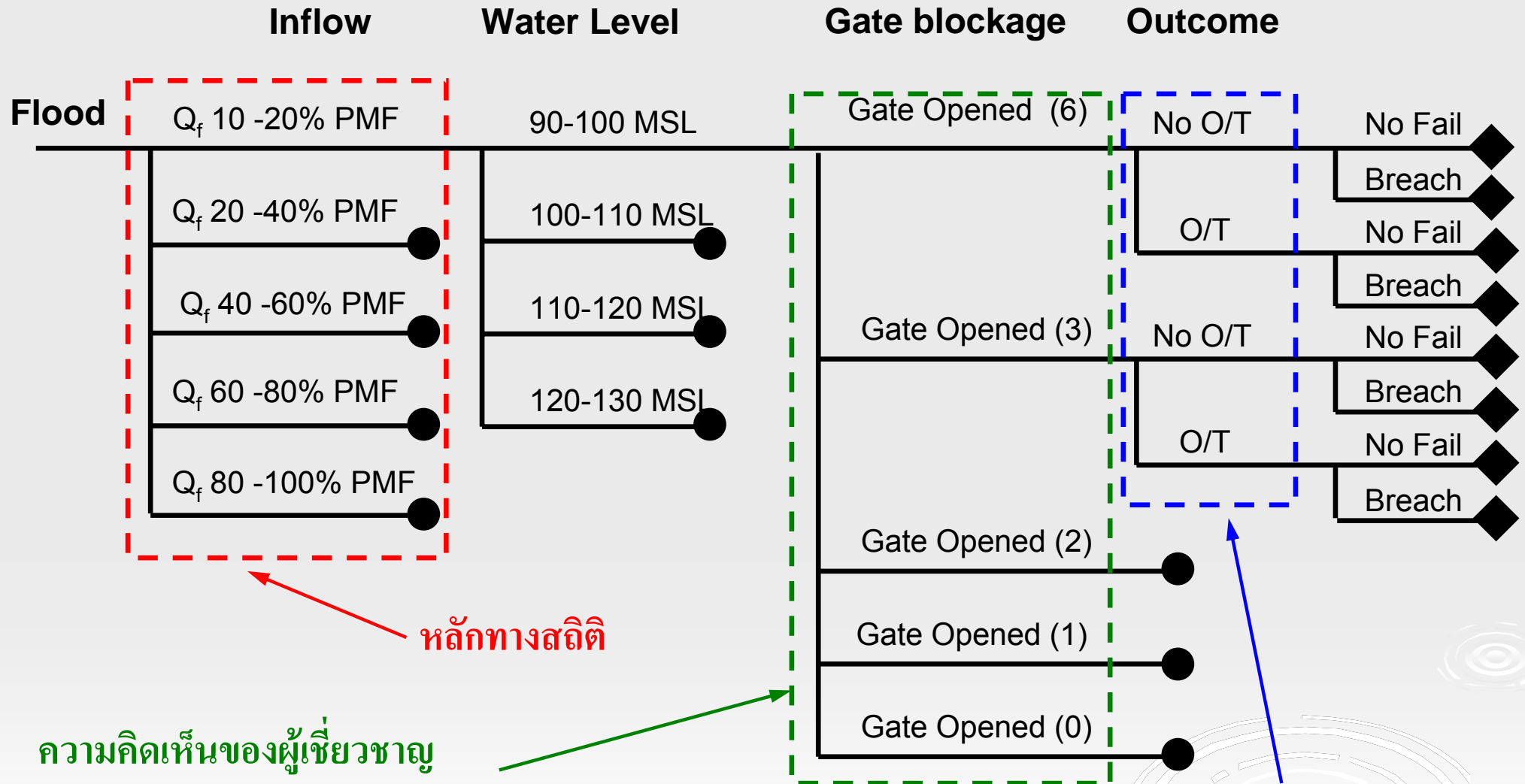
การวิเคราะห์ใช้หลักการ  
ทางคณิตศาสตร์

ใช้หลักทางคณิตศาสตร์โดยวิธี  
Monte-Carlo Simulation

สำหรับเชื้อนแควน้อยเป็นเชื้อน CFRD หากก่อสร้างตามที่ออกแบบไว้ การพังทลายจากการเคลื่อน  
พังของลาดเชื้อนมีโอกาสน้อยมากถึงไม่มีโอกาส เนื่องจากกำลังรับแรงเฉือนของหินถมมีกำลังสูงและ  
แรงดันน้ำไม่สะสมในมวลหิน

# 2

## สภาวะอุทกภัย (Flood Loading)



ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

Expertise by Bowles "Reliability of gates"

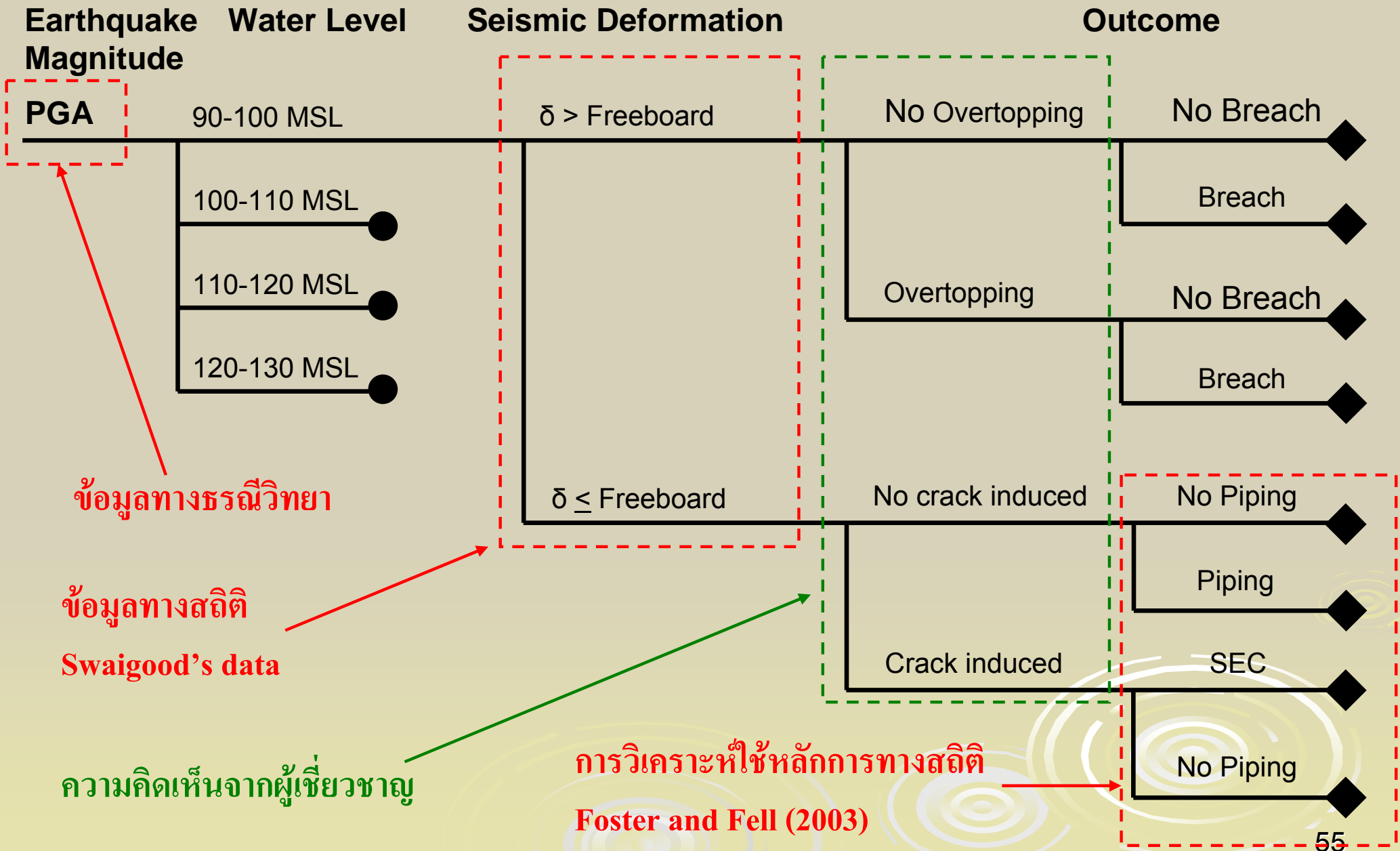
No of closed gates: 0, 1, 2, 3, 6

Flood routing by Excel  
(Deterministic analysis)

# 3

## สภาวะแผ่นดินไหว (Earthquake Loading)

### กรณี เขื่อนสันตะเคียนและเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ

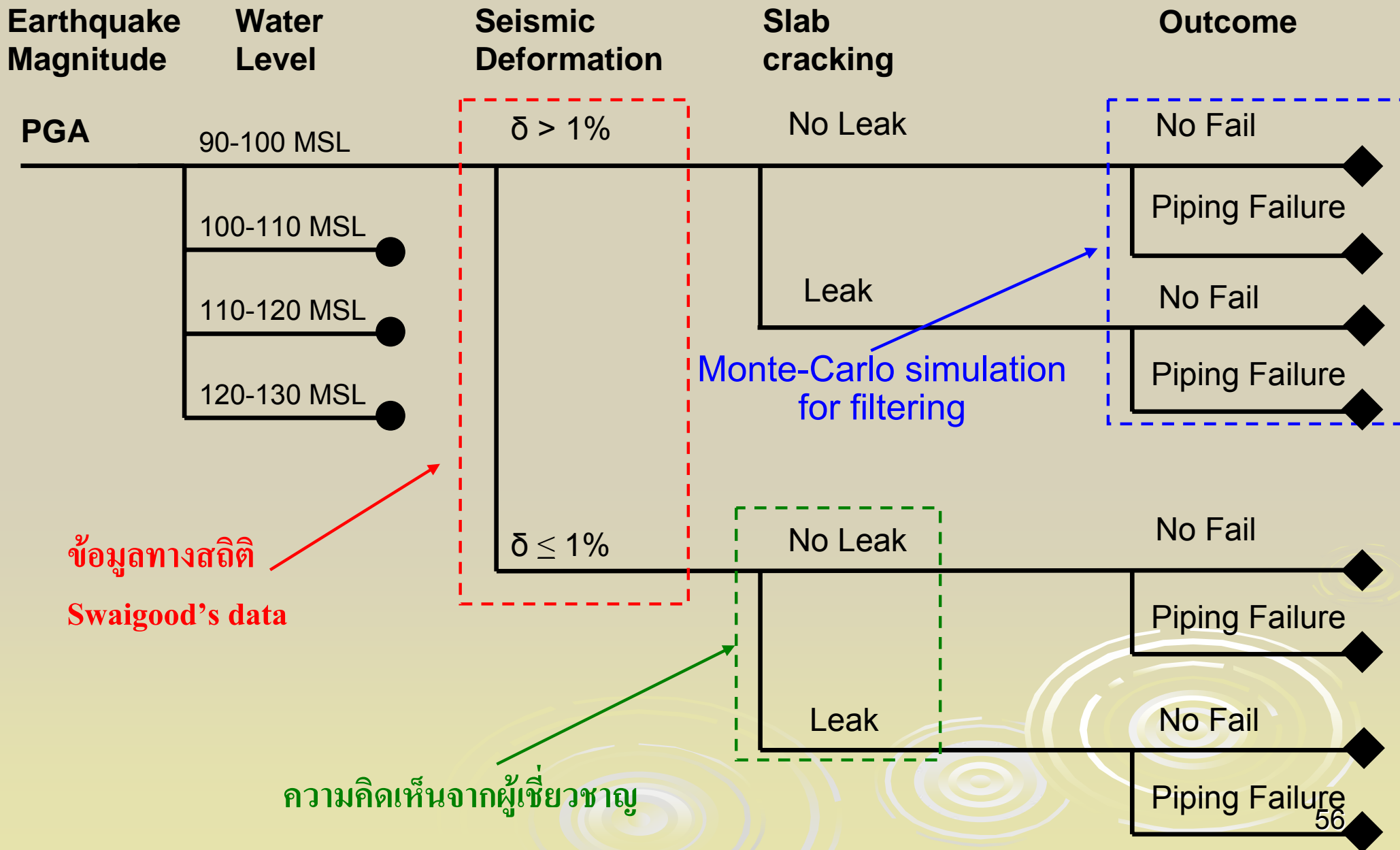




# 3

## สภาวะแผ่นดินไหว (Earthquake Loading)

### กรณี เชื้อนแคว่น้อย



# ความน่าจะเป็นของการพิบัติรวม

เขื่อน	Annual Probability of Failure, Pf (per year)					
	Static				Flooding	Earthquake
	Piping		Stability			
	$\leq 5$ ปี	$> 5$ ปี	U/S	D/S		
แควน้อย	0		0		0	0
สันตะเคียน	$1.82 \times 10^{-4}$	$1.80 \times 10^{-5}$	0	$6.94 \times 10^{-4}$	$3.74 \times 10^{-8}$	$2.19 \times 10^{-6}$
ปิดช่องเขา	$5.52 \times 10^{-4}$	$4.60 \times 10^{-5}$	0	0	$1.07 \times 10^{-6}$	$4.13 \times 10^{-7}$

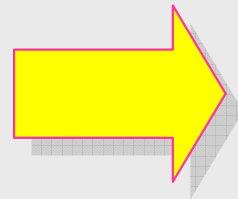
จากตารางด้านบน สามารถสรุปได้ว่า

1. เขื่อนแควน้อยไม่มีโอกาสการพิบัติที่ทำให้เกิด Breaching ได้
2. เขื่อนสันตะเคียนมีโอกาสพิบัติจากการเคลื่อนพังของลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำมากที่สุด
3. เขื่อนปิดช่องเขาต่ำและเขื่อนสันตะเคียนมีโอกาสพิบัติจากการ Piping ในสภาวะปกติ

# กรณีการพิบัติของเขื่อน (Dam-Break) ที่ก่อให้เกิดความสูญเสีย

## 1. Rainy day สำหรับสภาวะน้ำหลาก

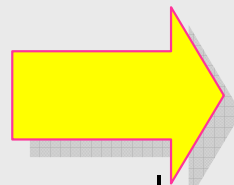
ระดับปริมาณน้ำหลาก (%PMF)  
ระดับน้ำเก็บกัก  
การปิดของประตูระบายน้ำล้น



Overtopping case 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7  
Overtopping case 10, 11, 12, 13  
Overtopping case 15, 16  
Overtopping case 18

## 2. Sunny day สำหรับสภาวะปกติและแผ่นดินไหว

ชนิดของเขื่อน  
ระดับน้ำเก็บกัก  
ความรุนแรงแผ่นดินไหวคงที่  
(0.25g - 0.35g)



Piping KN case 3, 4

Piping STK case 2, 3, 4, 5

Piping PCKT case 2, 3, 4

EQ KN case 1

EQ STK case 1, 2, 3, 4

EQ PCKT case 1, 2, 3

# สรุปกรณีการพิบัติของเขื่อน ที่ก่อให้เกิดความสูญเสีย

## Rainy day

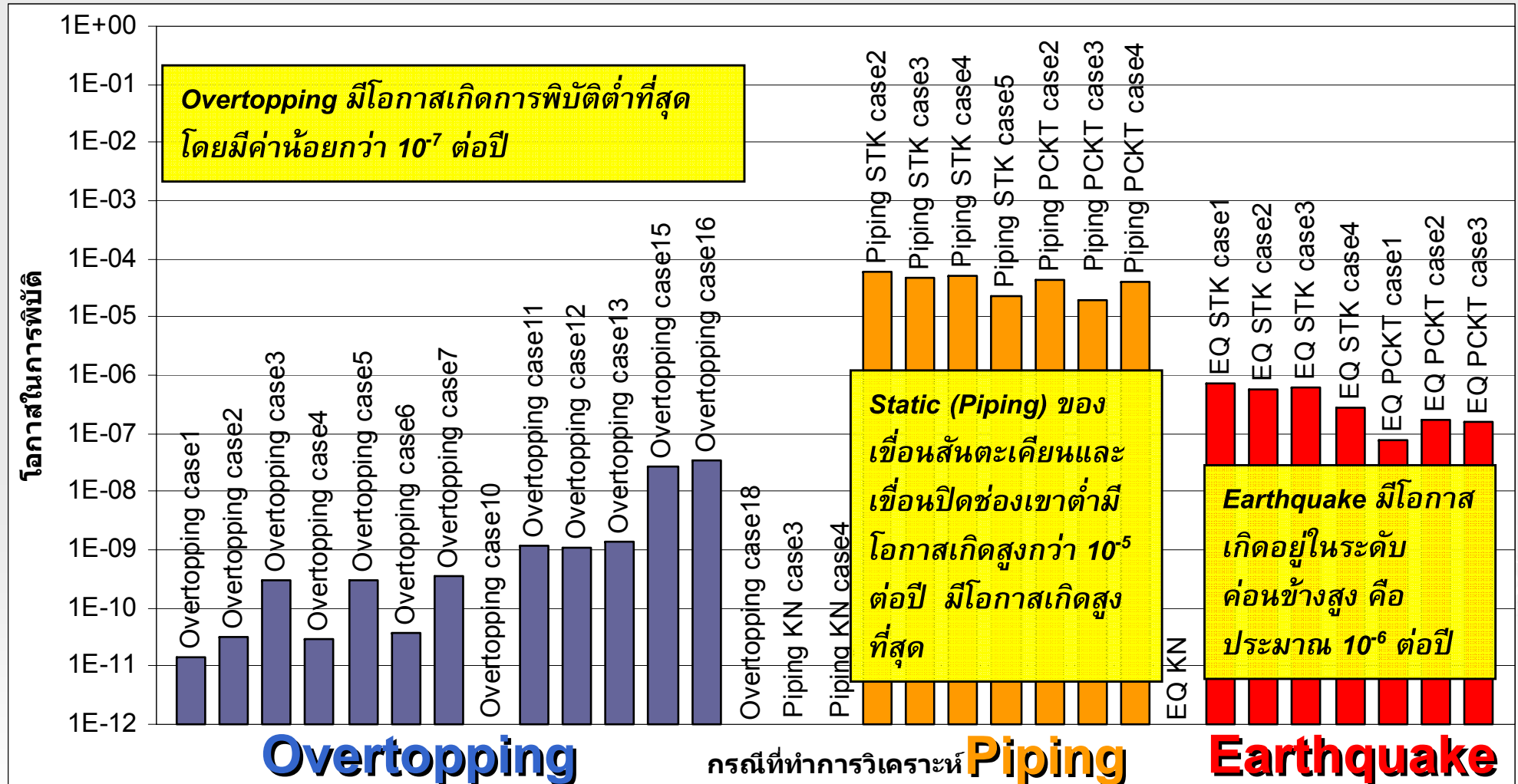
กรณีวิเคราะห์ Dam-Break	%PMF	ระดับน้ำเริ่มต้น	จำนวนบานที่เปิด
Overtopping case1	90	+95	0
Overtopping case2	90	+105	0
Overtopping case3	90	+105	3
Overtopping case4	90	+115	0
Overtopping case5	90	+115	3
Overtopping case6	90	+125	0
Overtopping case7	90	+125	3
Overtopping case10	70	+95	0
Overtopping case11	70	+105	0
Overtopping case12	70	+115	0
Overtopping case13	70	+125	0
Overtopping case15	50	+115	0
Overtopping case16	50	+125	0
Overtopping case18	30	+125	0

## Sunny day

กรณีวิเคราะห์ Dam-Break	เขื่อนที่พิบัติ	รูปแบบ	ระดับน้ำ
Piping KN case3	แควน้อย	Piping	+125
Piping KN case4	แควน้อย	Piping	+115
Piping STK case2	สันตะเคียน	Piping	+125
Piping STK case3	สันตะเคียน	Piping	+115
Piping STK case4	สันตะเคียน	Piping	+105
Piping STK case5	สันตะเคียน	Piping	+95
Piping PCKT case2	ปิดช่องเขาต่ำ	Piping	+129
Piping PCKT case3	ปิดช่องเขาต่ำ	Piping	+127
Piping PCKT case4	ปิดช่องเขาต่ำ	Piping	+125
Earthquake KN case1	แควน้อย	Earthquake	+125
Earthquake STK case1	สันตะเคียน	Earthquake	+125
Earthquake STK case2	สันตะเคียน	Earthquake	+115
Earthquake STK case3	สันตะเคียน	Earthquake	+105
Earthquake STK case4	สันตะเคียน	Earthquake	+95
Earthquake PCKT case1	ปิดช่องเขาต่ำ	Earthquake	+129
Earthquake PCKT case2	ปิดช่องเขาต่ำ	Earthquake	+127
Earthquake PCKT case3	ปิดช่องเขาต่ำ	Earthquake	+125

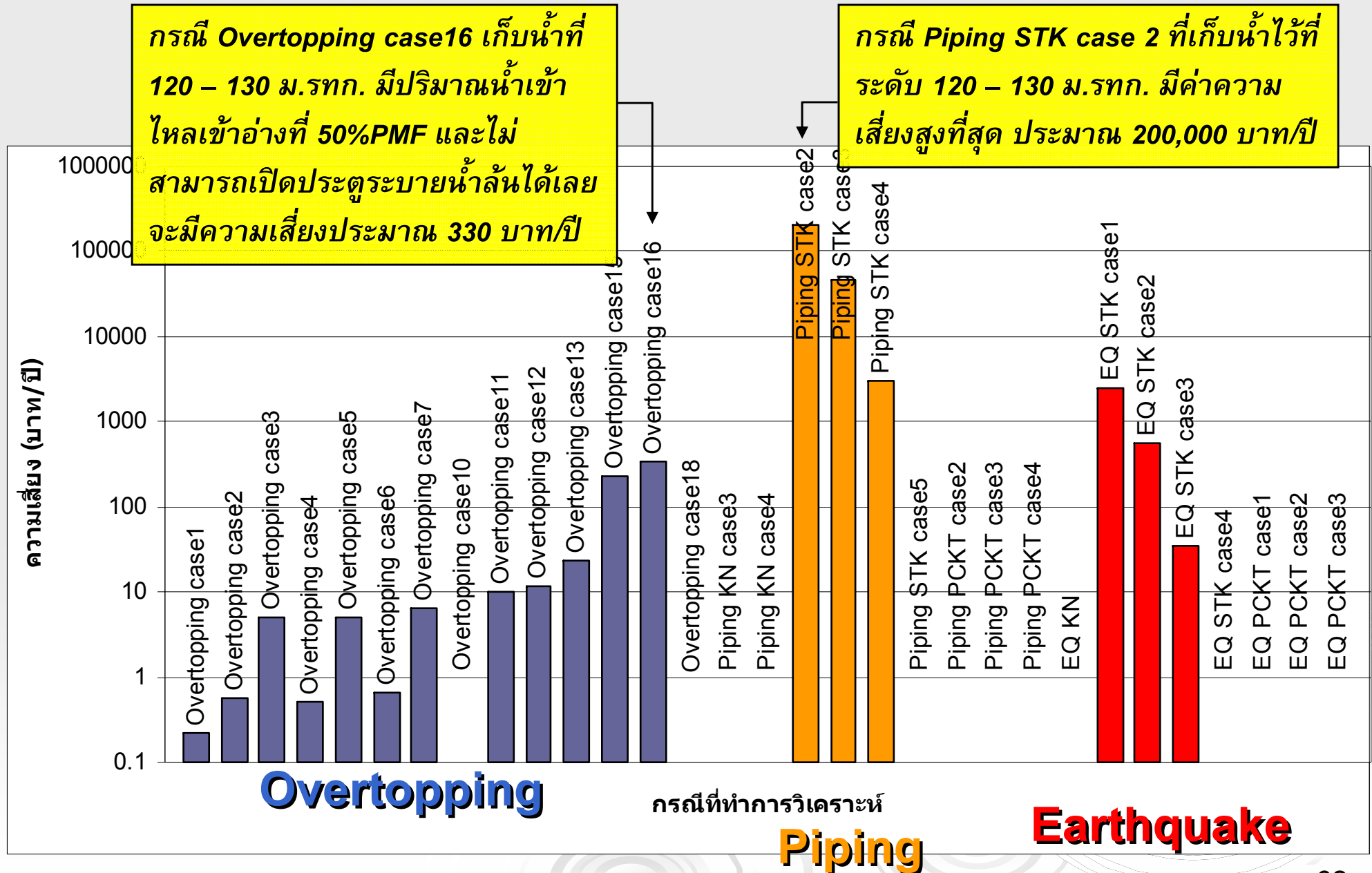


# ผลการประเมินความน่าจะเป็น

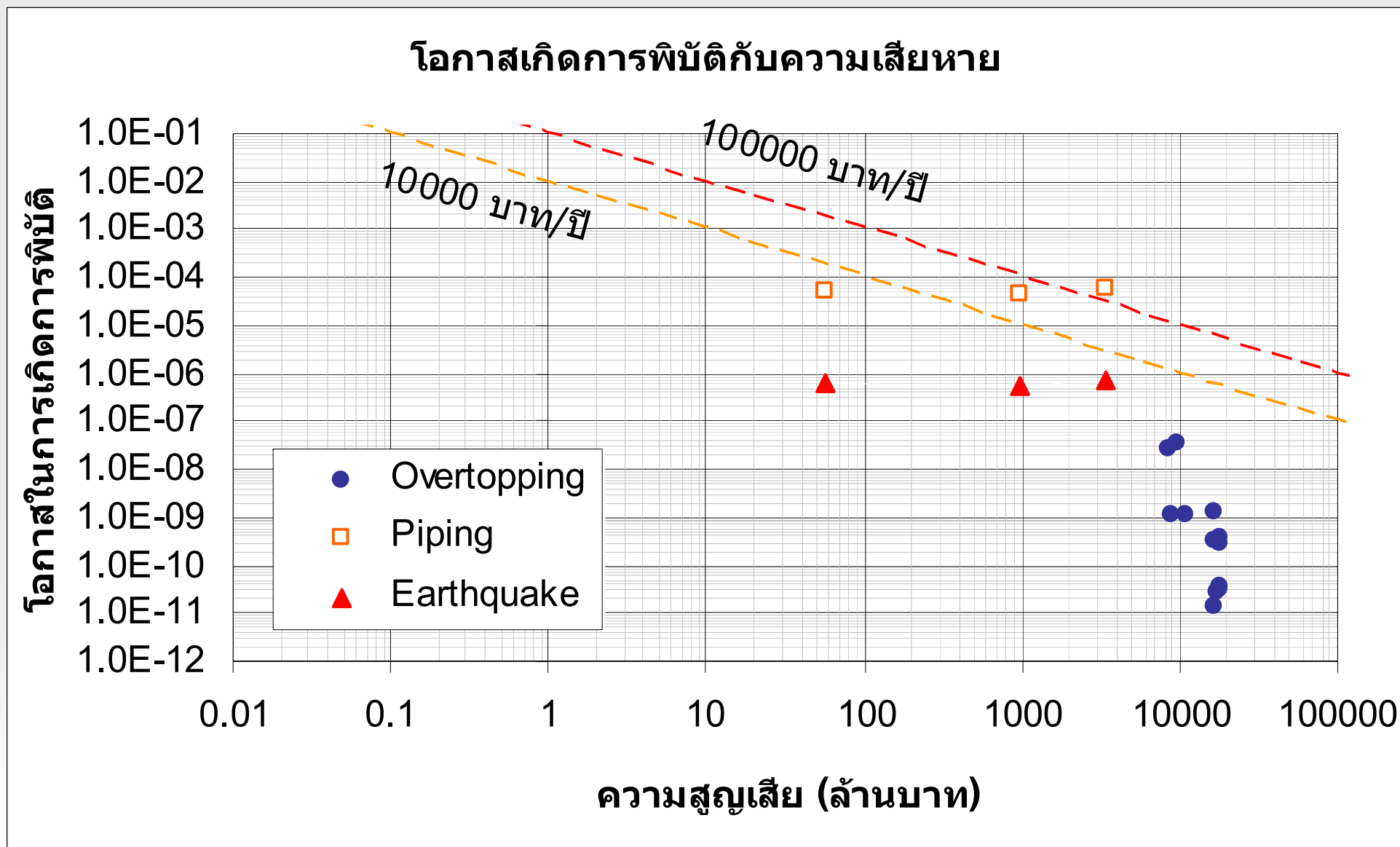




# ผลการประเมินความเสี่ยง

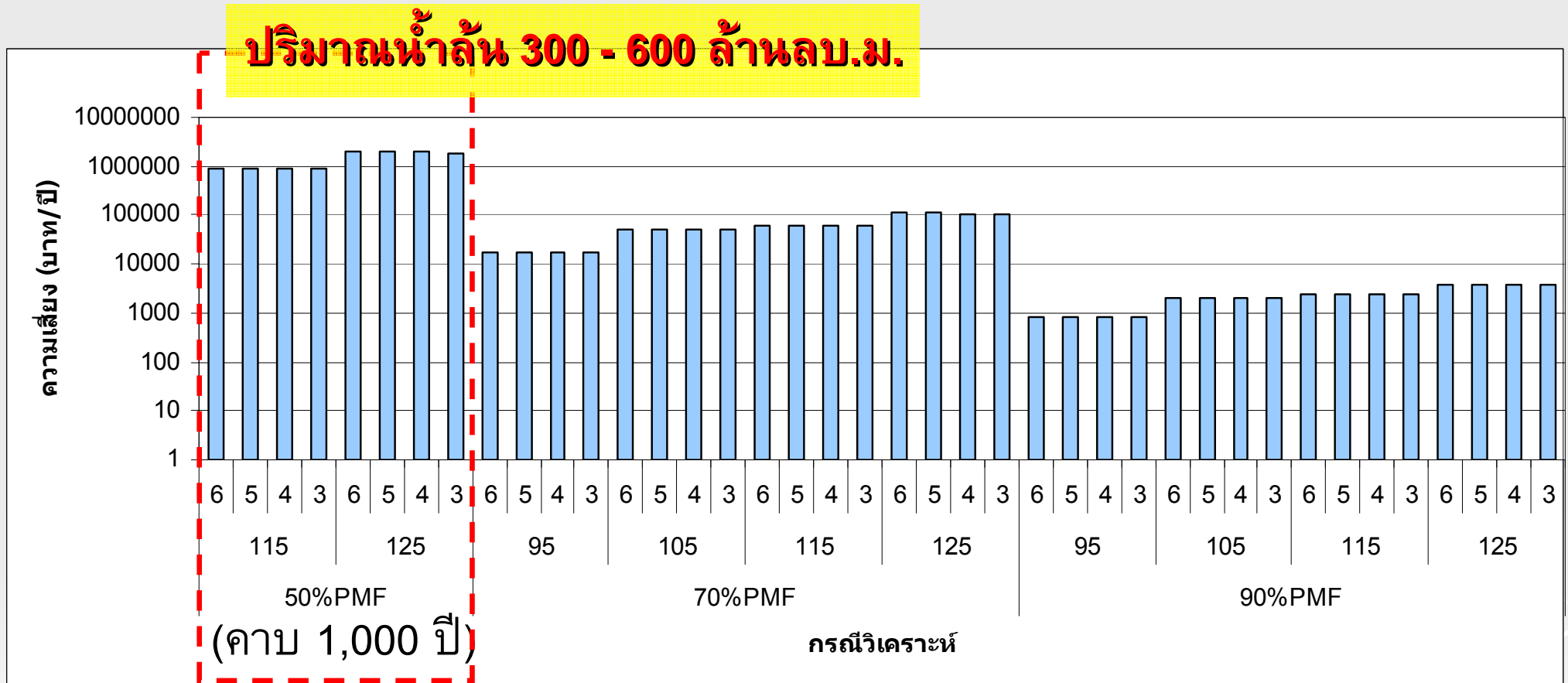


# F-N Chart ของการพิบัติเขื่อน



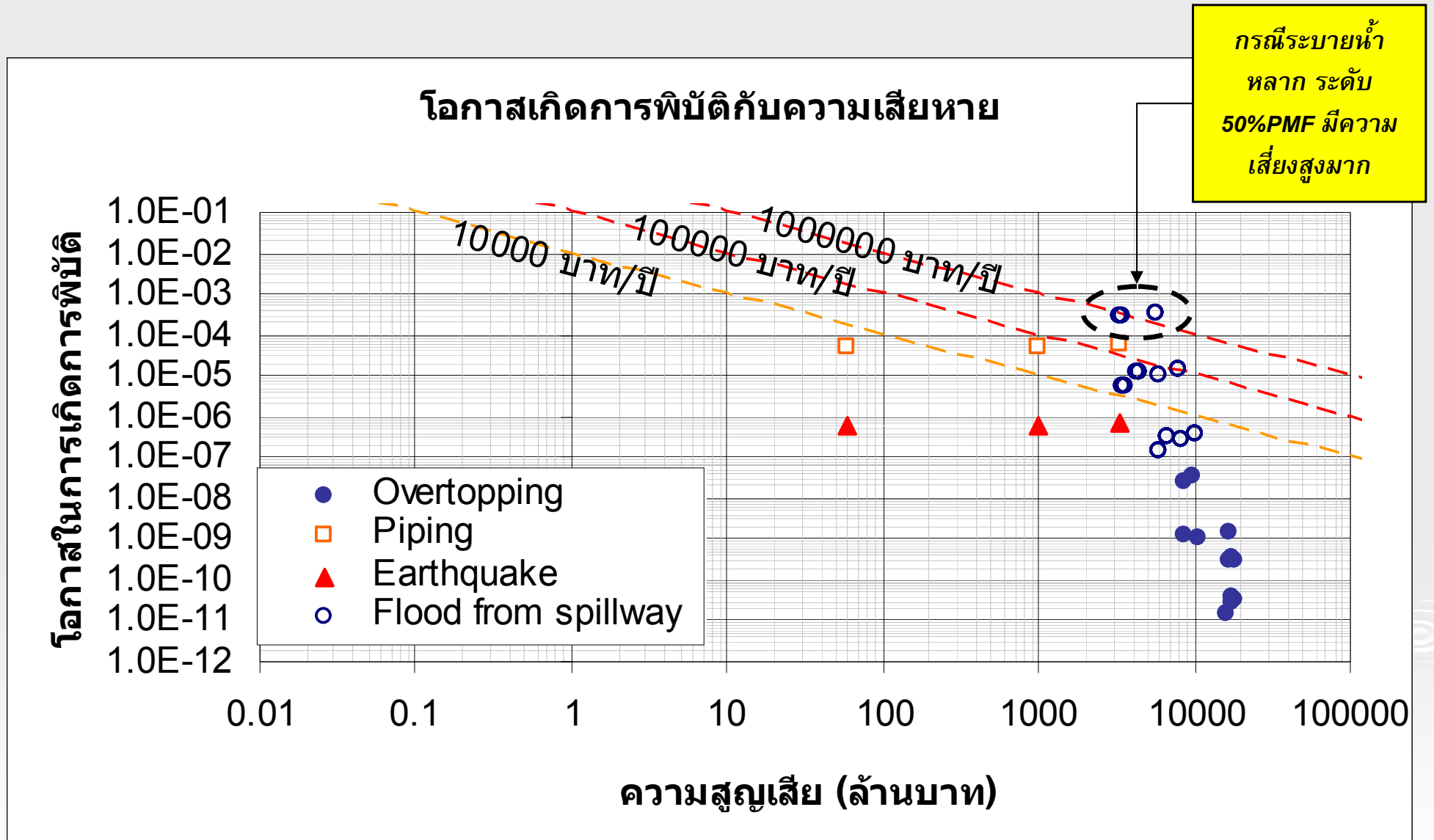


# ความเสี่ยงของการระบายน้ำล้น

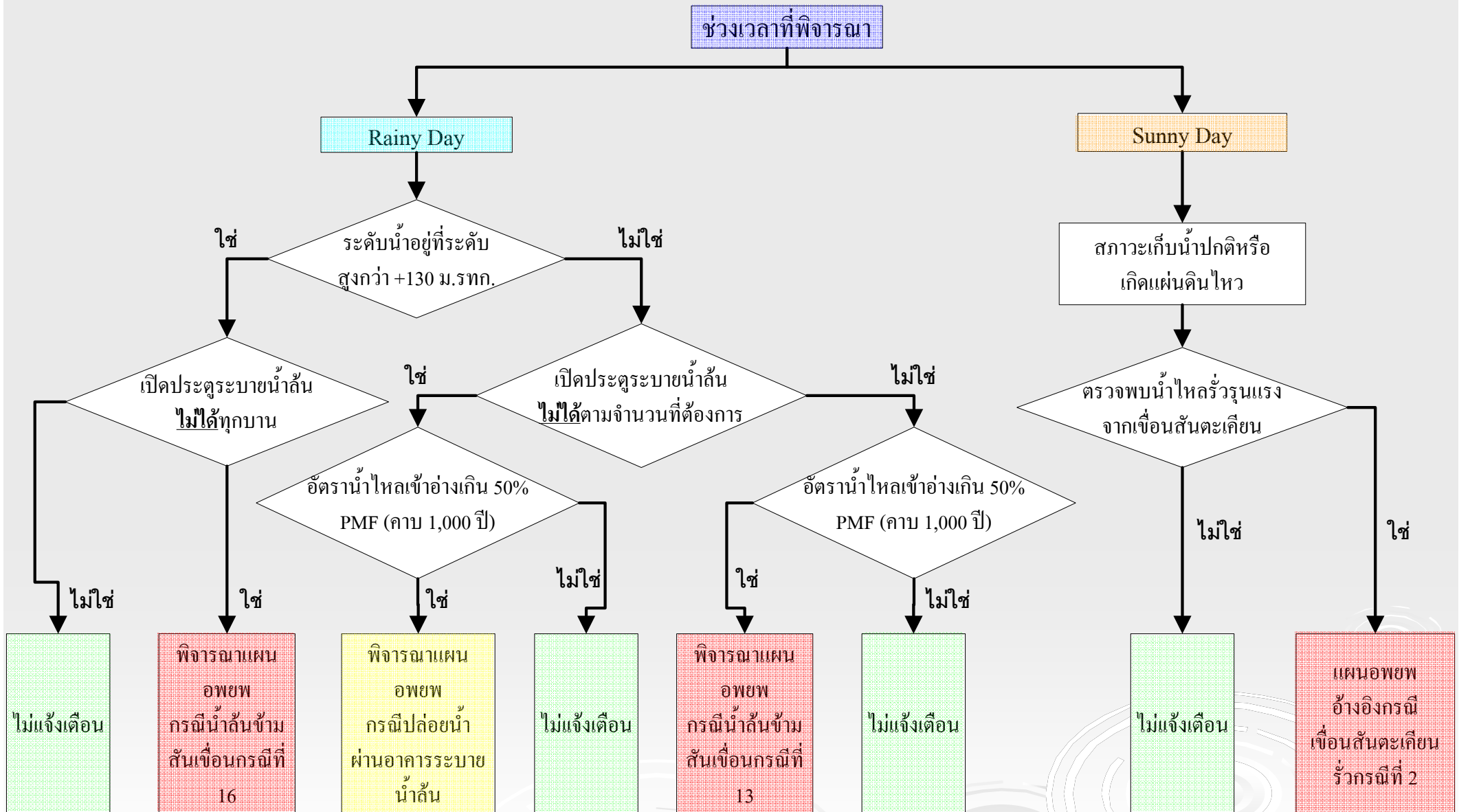


**มาตรการลดผลกระทบจากการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้น ควรระบุในแผนบริหารจัดการน้ำ**

# ความเสี่ยงของการระบายน้ำล้น



# แผนภูมิเพื่อการตัดสินใจเชิงเตือนอพยพ



# โอกาสการสูญเสียชีวิตในพื้นที่เสี่ยงภัย

รายการ	จำนวนประชากรที่สูญเสียชีวิตในกรณีต่าง ๆ (คน)		
	กรณีฝนตกหนักและ เขื่อนพิบัติ	กรณีฝนไม่ตกแต่เขื่อนพิบัติ	กรณีเขื่อนระบายน้ำเป็นปริมาณมาก
(PAR)	6,580	4,986	6,045
(LOL)กรณี <b>ไม่มี</b> การแจ้งเตือนภัย	3,290	2,493	3,022
(LOL)กรณี <b>มี</b> การแจ้งเตือนภัย	1.30 ( 2 )	0.98 ( 1 )	1.19 ( 2 )



# ขอขอบคุณ



โครงการเขื่อนขุนด่านปราการชลอันเนื่องมาจากพระราชดำริกรม  
ชลประทาน

โครงการเขื่อนแควน้อย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ กรมชลประทาน



การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด



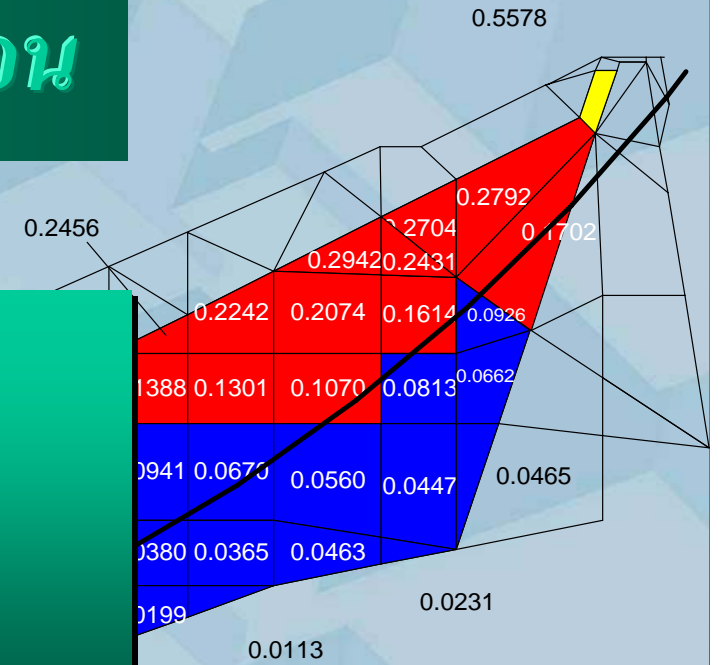
ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก

สามารถDownload บทความจากกรณีศึกษาที่ได้นำเสนอได้ที่ [www.gerd.eng.ku.ac.th](http://www.gerd.eng.ku.ac.th)



# ความปลอดภัยและการบำรุงรักษาเขื่อน

ผศ.ดร. สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์  
๓ เมษายน ๒๕๕๔



**Geotechnical Engineering Research and Development Center (GERD)**  
**Civil Engineering Department, Faculty of Engineering**  
**Kasetsart University, Bangkok, Thailand**  
**WWW.GERD.ENG.KU.AC.TH**



# ข้อมูลเขื่อน

## เขื่อนในความรับผิดชอบของหน่วยงานต่าง ๆ

ขนาดเขื่อน	หน่วยงาน			
	กรมชลประทาน	กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่ง ประเทศไทย	รวม
ใหญ่	23	3	11	37
กลาง	246	5	1	252
เล็ก	112	3	0	115
รวม	381	11	12	404

## ขนาดเขื่อนของประเทศไทยเท่าที่มีข้อมูลเพื่อการจัดลำดับความเสี่ยงภัย

ขนาด	ใหญ่	กลาง	เล็ก	รวม
จำนวนเขื่อน	35	189	77	301

ผศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์ และคณะ (2549)



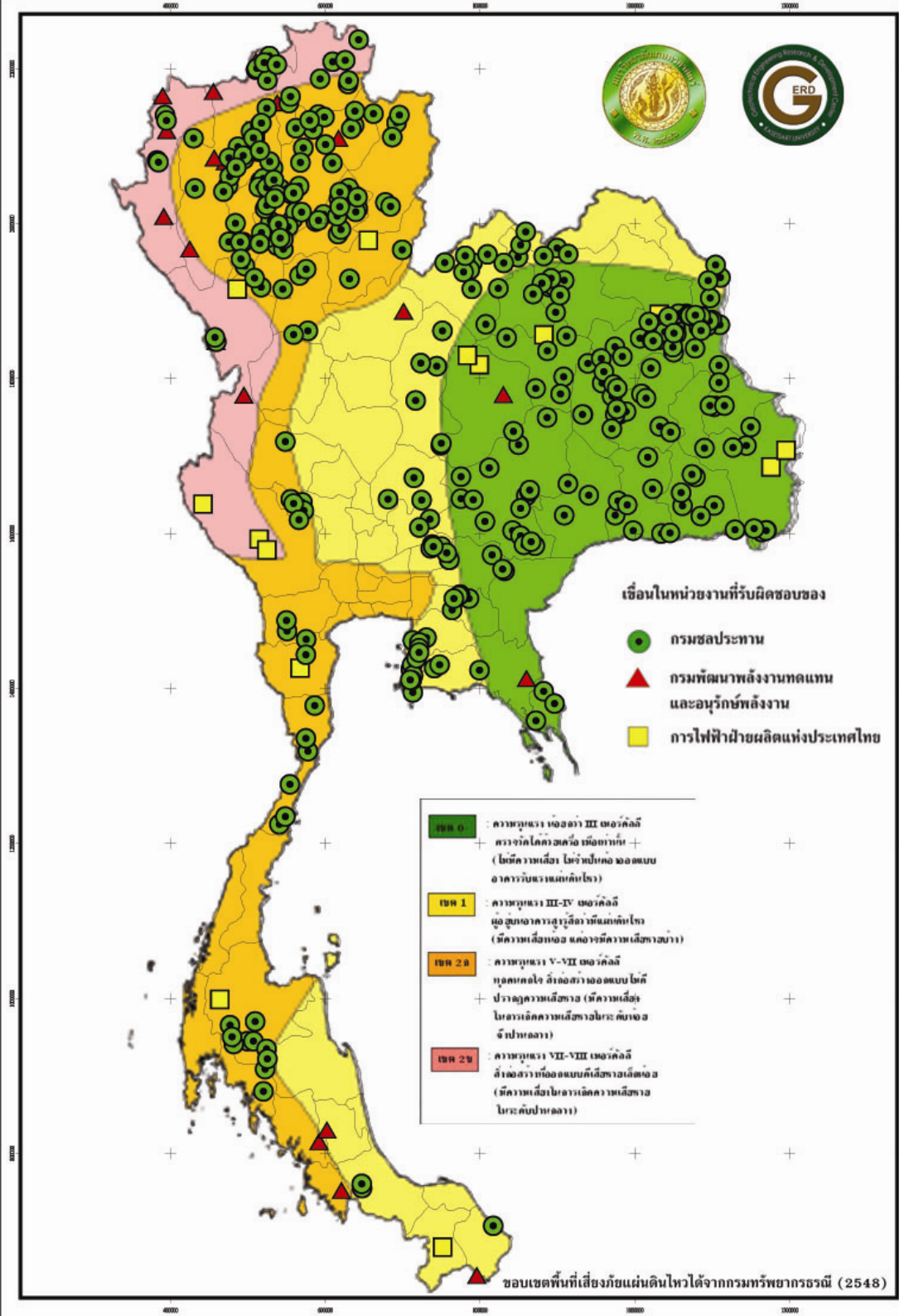
# ตำแหน่งเขื่อนบนแผนที่ บริเวณเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย

สัญลักษณ์	ขอบเขต	MMI*
	เขต 0	< III
	เขต 1	III-IV
	เขต 2ก	V-VII
	เขต 2ข	VII-VIII

MMI\* = ความรุนแรง (เมอร์คัลลี)

ตำแหน่งเขื่อนบนแผนที่บริเวณเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย  
จากขอบเขตพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวได้จากกรมทรัพยากรธรณี (2548)

สุทธิศักดิ์ และคณะ (2549)





# ลักษณะการพิบัติของเขื่อน



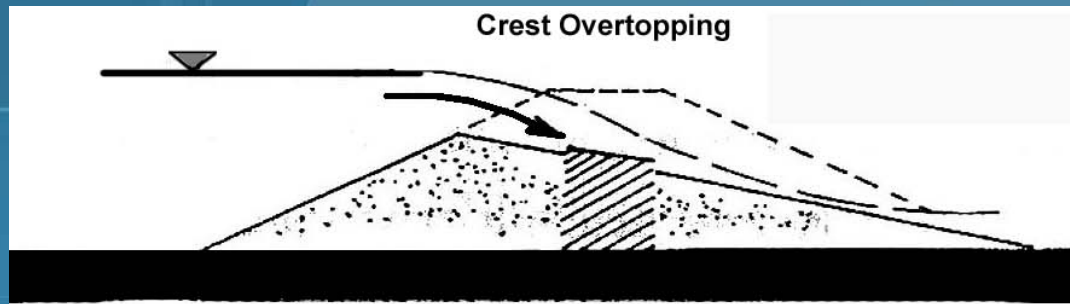
1. การไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping)



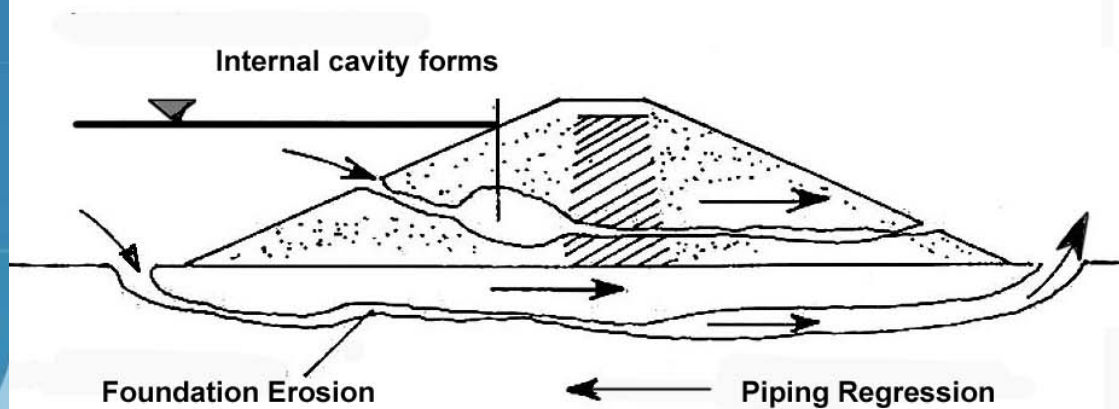
2. การกัดเซาะภายใน (Piping)



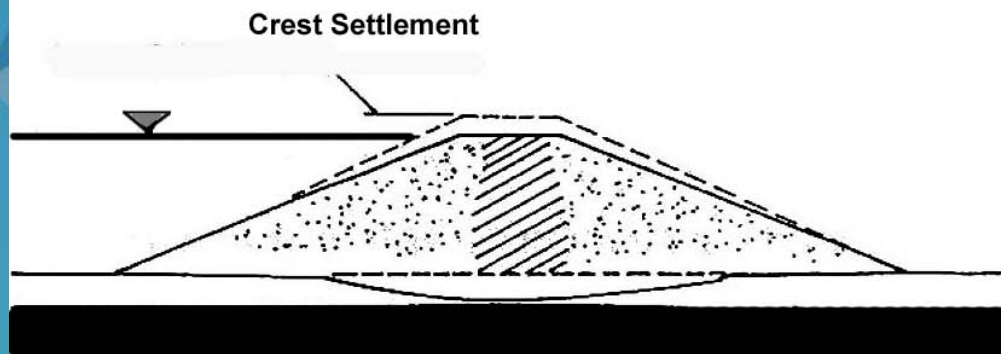
3. การเคลื่อนตัวของเขื่อน (Mass movement)



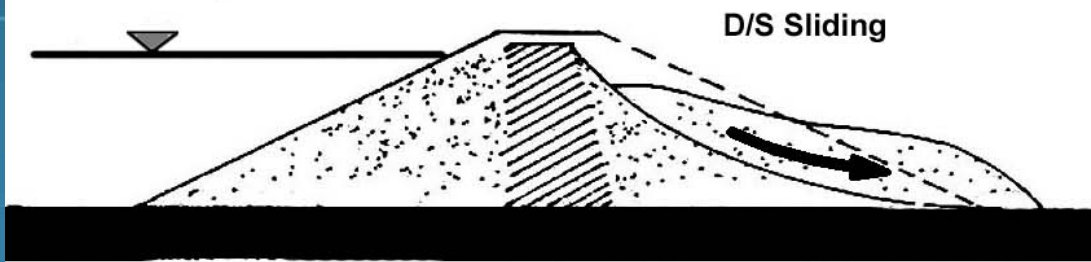
a) Overtopping leading to washout: less cohesive silts, sands etc. at greatest short-term risk.



b) Internal erosion and piping with migration of fines from core etc. (note regression of "pipe" and formation of internal cavities: may initiate by formation of internal crack or by seepage along culvert perimeter etc.)

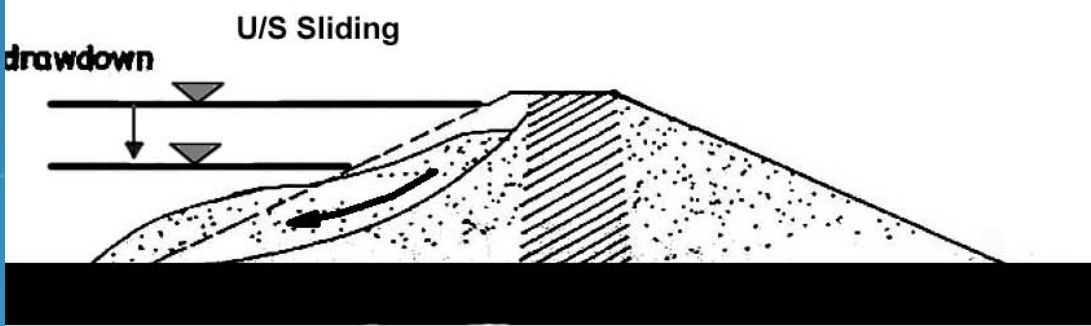


c) Embankment and foundation settlement (defomation and internal cracking) : note also cross-valley deformation modes:



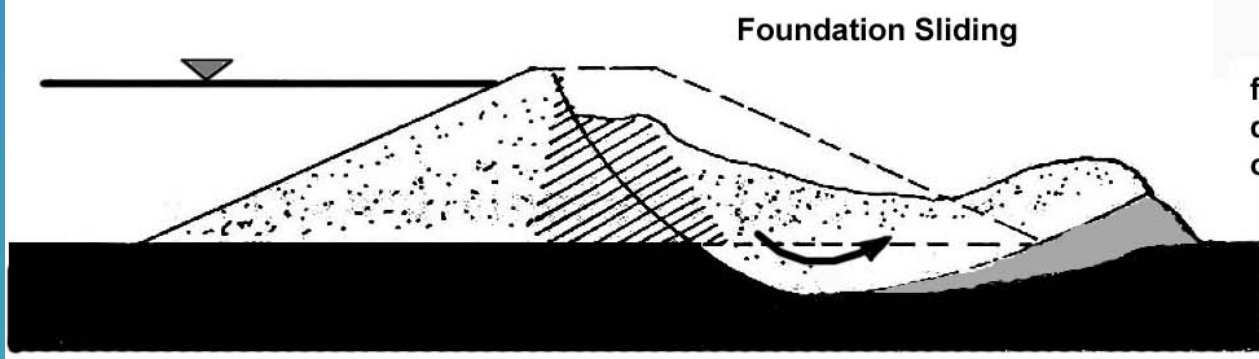
**D/S Sliding**

**d) Instability (1):** downstream slope too high and/or too steep in relation to shear strength of the shoulder material.



**U/S Sliding**

**e) Instability (2):** upstream slope slips following rapid drawdown of water level.

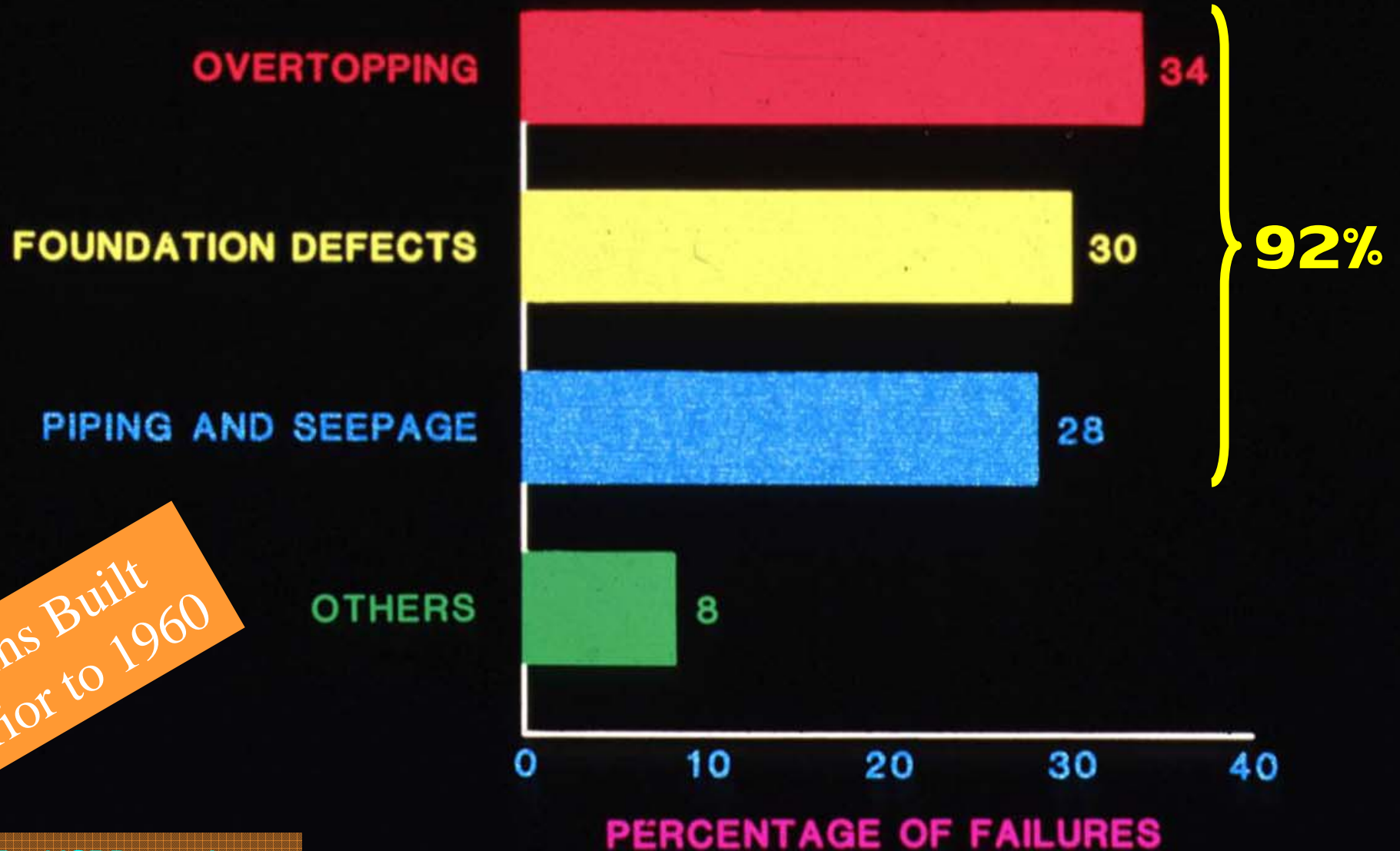


**Foundation Sliding**

**f) Instability (3):** failure of downstream foundation due to overstress of soft horizons.



# FAILURE CAUSES FOR ALL TYPES OF DAMS MORE THAN 15 METERS HIGH (ICOLD 1973)



Dams Built  
Prior to 1960

SOURCE : USBR seminar



# สถิติสาเหตุแห่งการพิบัติของเขื่อนในโลก

ลำดับที่	สาเหตุแห่งการพิบัติ	เปอร์เซ็นต์
1	ความเสียหายจากฐานรากเขื่อน	40
2	อาคารระบายน้ำล้นมีขนาดไม่เพียงพอ	23
3	การก่อสร้างไม่ดี	12
4	การทรุดตัวอย่างรุนแรง	10
5	แรงดันน้ำในตัวเขื่อนสูงมาก	5
6	เกิดจากสงคราม	3
7	การไหลเลื่อนของลาดเขื่อน	2
8	วัสดุก่อสร้างไม่ดี	2
9	การใช้งานเขื่อนไม่ถูกต้อง	2
10	แผ่นดินไหว	1

90%

อ้างอิงจากหนังสือ **Dams and Public Safety, 1983**

จะเห็นได้ว่าปัญหาจากแผ่นดินไหวมีโอกาสดังขึ้นได้น้อยที่สุด แม้ว่าเขื่อนจะตั้งอยู่ในเขตพื้นที่แผ่นดินไหวรุนแรงก็ตาม ในขณะที่ประเทศไทยไม่อยู่ในโซนรุนแรง



- **Maximum flood discharge emanating from gap in dam's right abutment, just after noon on June 5<sup>th</sup>, 1976**





- **Teton Dam was designed as an earthfill embankment using wind blown loess as the principal fill material (seen here as light colored material) with river sand and gravel (shown as grey color), as the free draining material.**

# กลไกการเกิด Piping

1. **Concentrated leaks** -transverse cracks, seepage along structures
2. **Suffusion** –internal erosion, dispersive materials, crack propagation
3. **Piping** –no good filtering, backward erosion



# การป้องกันการเกิด Piping

1. **Concentrated leaks** –extend flow paths, minimize chance of transverse cracks, check seepage velocity and exit hydraulic gradient, provide enough drainage
2. **Suffusion** –avoid dispersive material, use self healing material
3. **Piping** –check filter criteria

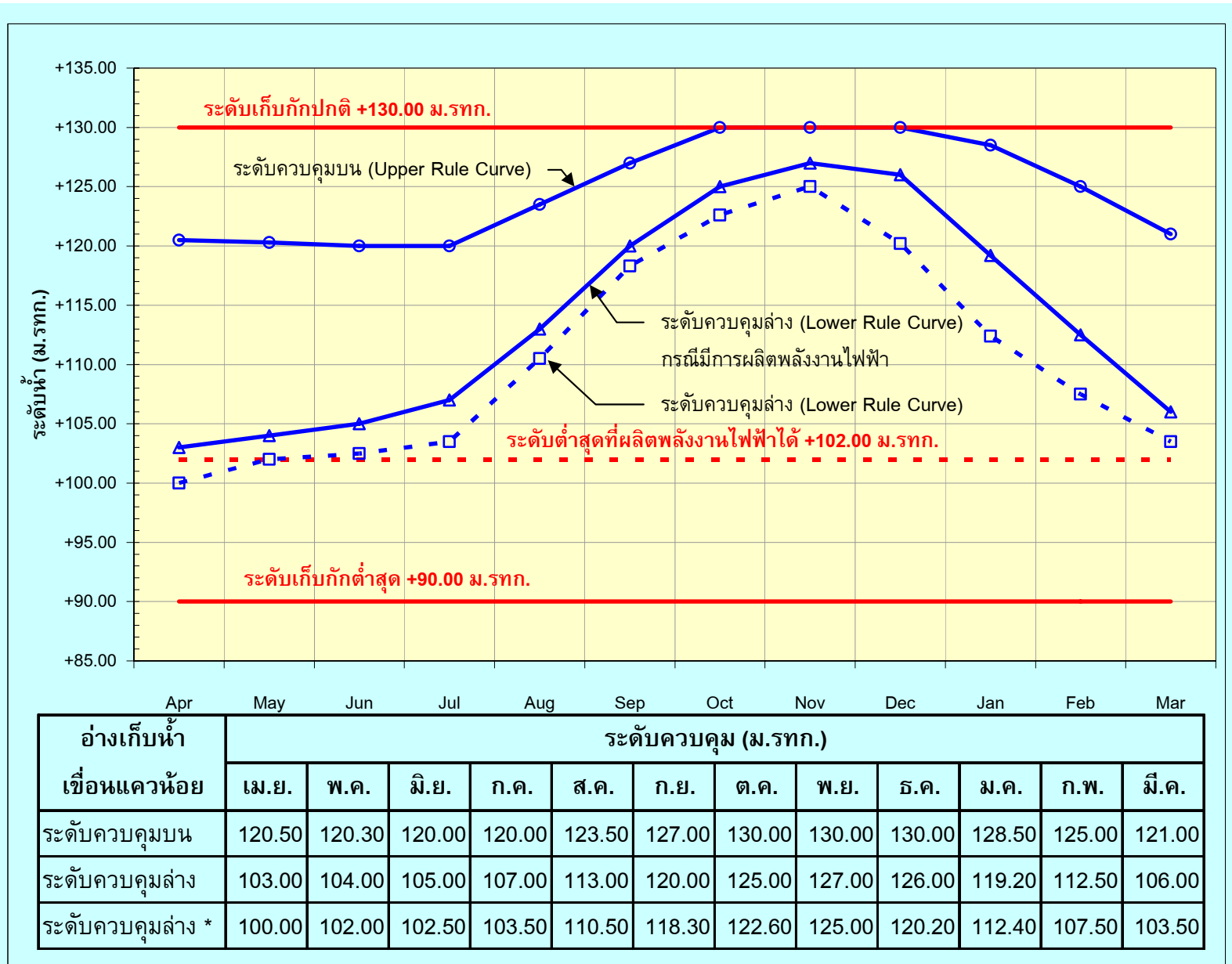


Rainbow Dam, Michigan 1986



# การวิเคราะห์แผนการควบคุมอ่างเก็บน้ำ (ต่อ)

## ผลการวิเคราะห์ระดับควบคุม (Rule Curve) กรณีไม่มีและมีการผลิตพลังงานไฟฟ้า



หมายเหตุ \* กรณีไม่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้า

# Operation

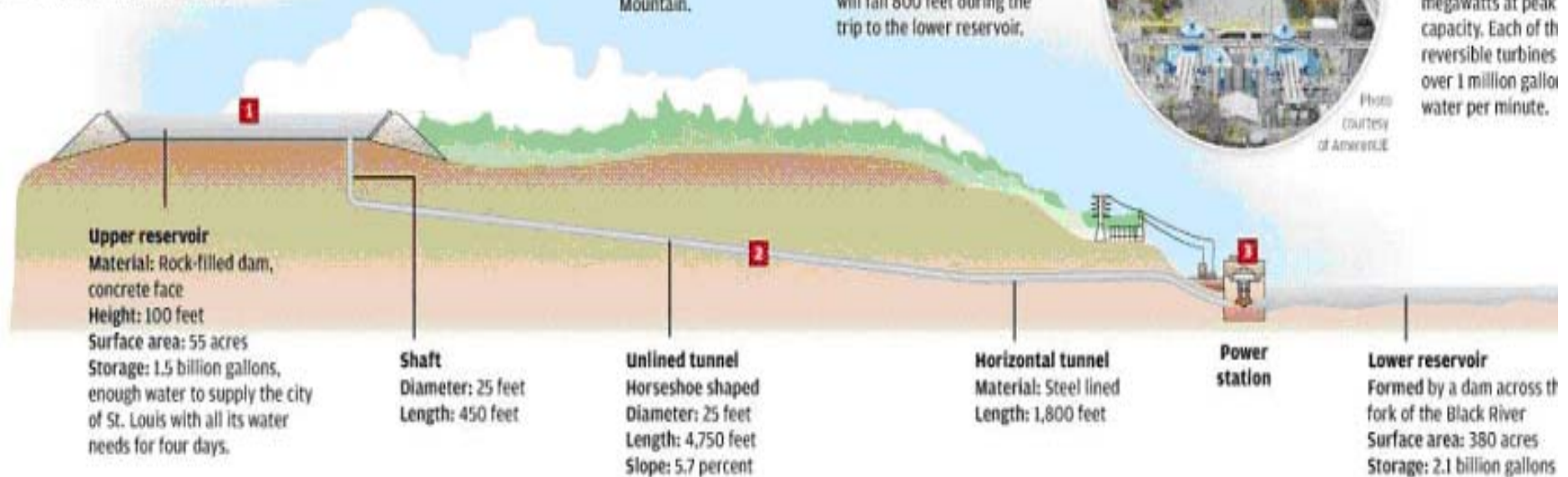
## How the Taum Sauk plant works

The Taum Sauk is a "pumped-storage" hydroelectric plant. At high demand, during the day, it creates electricity by letting water flow from the upper to lower reservoir. It pumps the water back up the hill at night during low demand.

**1** During the day, water is released from the upper reservoir atop Proffit Mountain.

**2** The water rushes downhill through a 7,000-foot tunnel carved inside the mountain. The water will fall 800 feet during the trip to the lower reservoir.

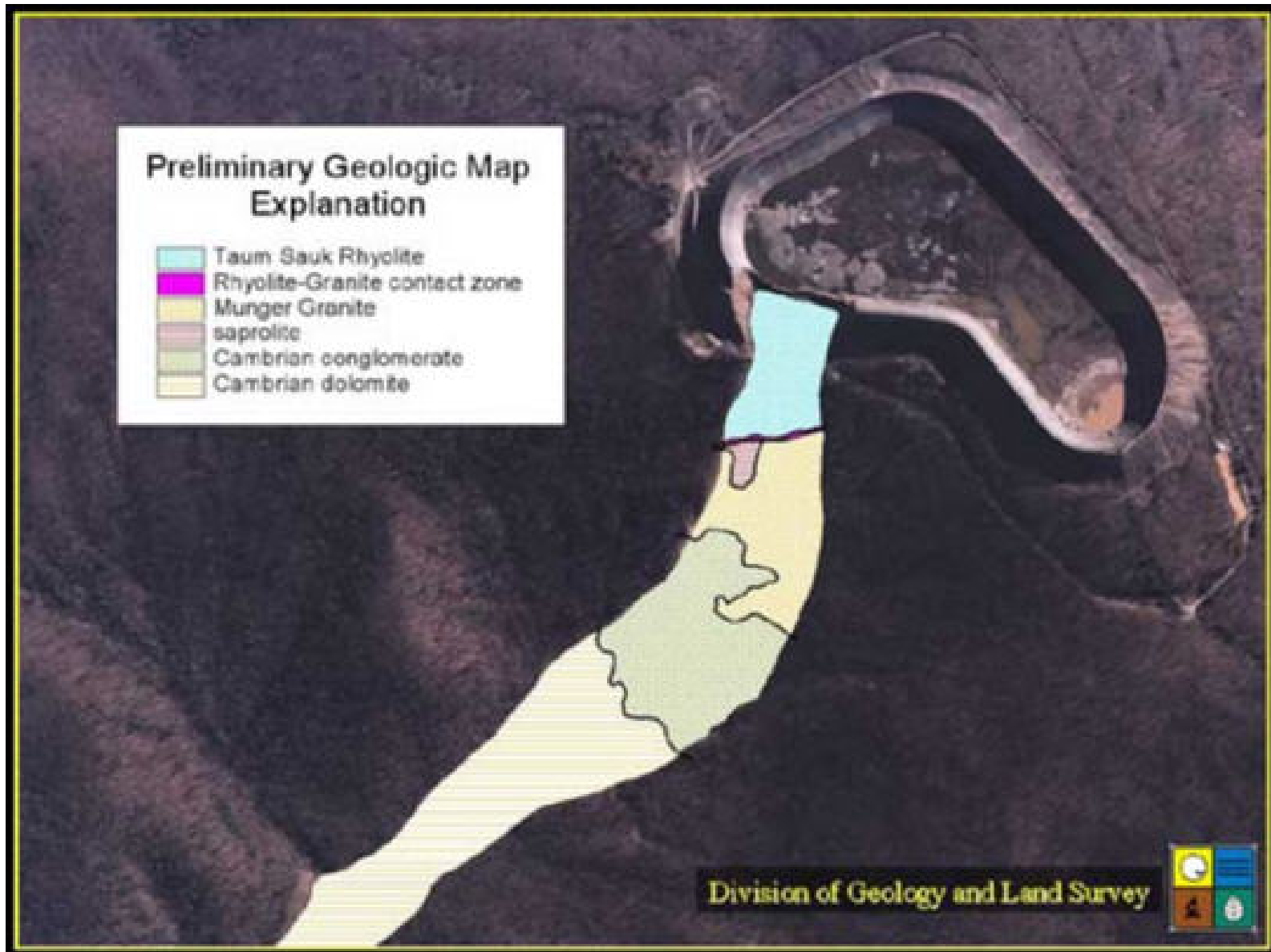
**3** Power is generated as the water rushes through the two reversible turbines, providing megawatts at peak capacity. Each of the reversible turbines over 1 million gallons of water per minute.



SOURCES: AmerenUE, Post-Dispatch research, Post-Dispatch Archives | Post-Dispatch



# Reservoir failure



# Instrumentation Error





Note turnbuckle  
unthreaded from lower  
bolt.

DEC 15 2005



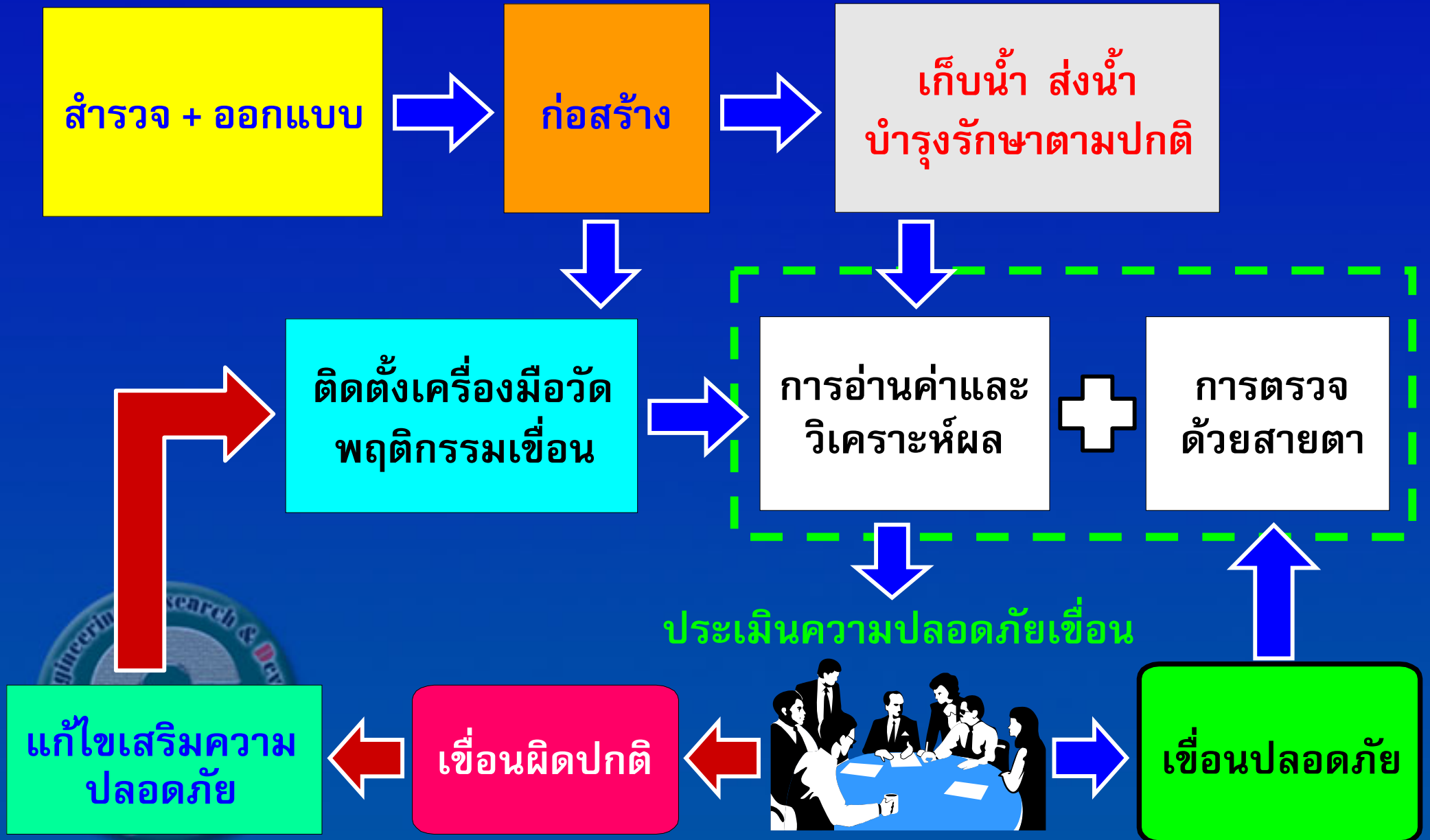
DEC 15 2005

# การดำเนินการเพื่อความ ปลอดภัยของเขื่อน

GERD



# การประเมินความปลอดภัยของเขื่อน



# กิจกรรมและการวิเคราะห์ที่จำเป็นในแต่ละช่วงเวลา

การจัดทำ As-built drawing และ As-built report

การจัดทำเกณฑ์ในการเตือนภัยด้วยเครื่องมือวัดพฤติกรรม

**ออกแบบ-ก่อสร้าง**

การจัดทำ Log Book รวมเหตุการณ์ระหว่างการใช้งาน

การตรวจสอบสภาพเขื่อน

การวิเคราะห์เครื่องมือวัดพฤติกรรม

การตั้งงบประมาณในการบำรุงรักษา

การวิเคราะห์และปรับปรุงสภาพ

**ระหว่างใช้งาน**

การวิเคราะห์ Dam Break

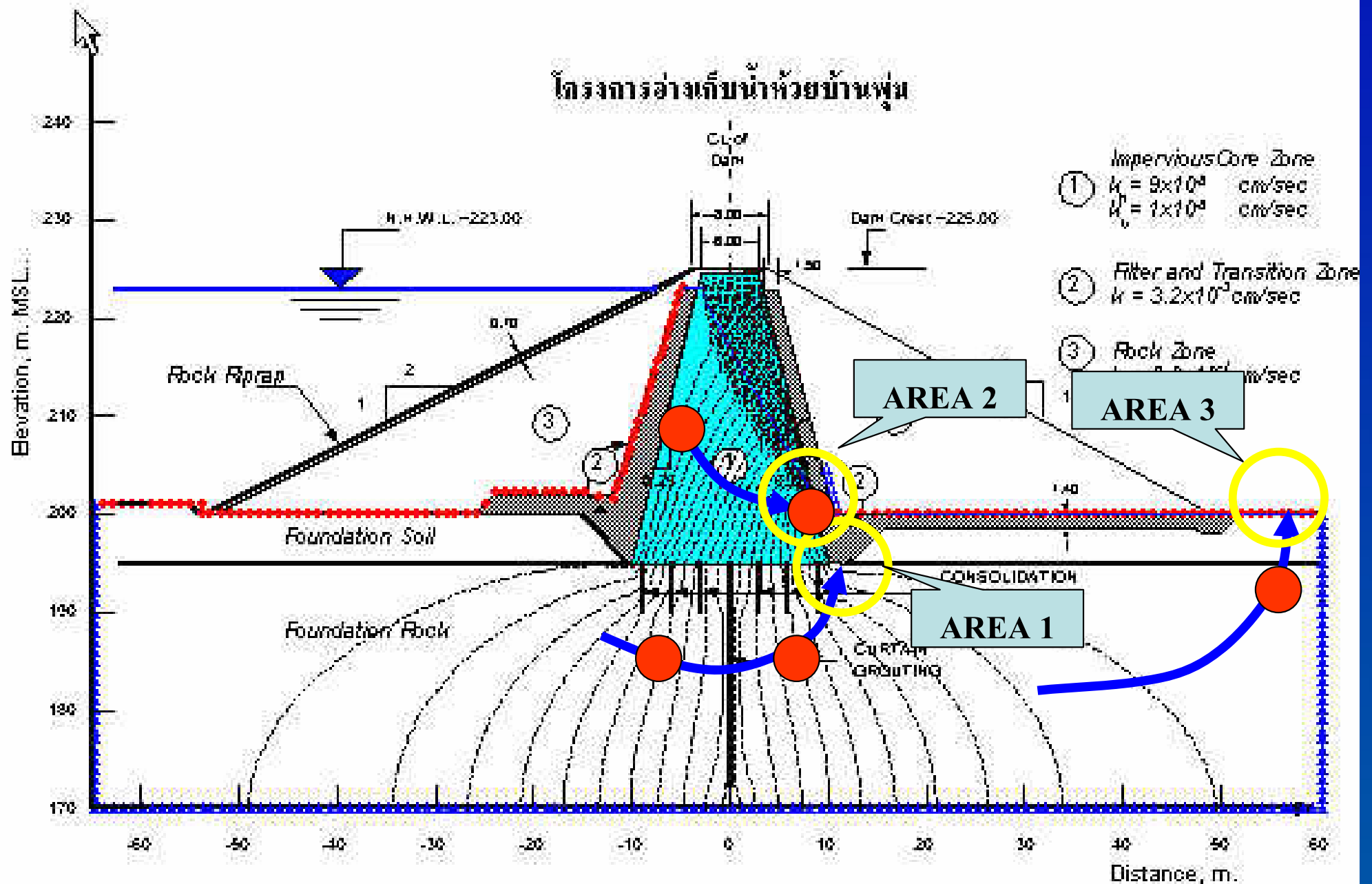
การวิเคราะห์ความเสี่ยง

การจัดทำแผนเตือนภัย

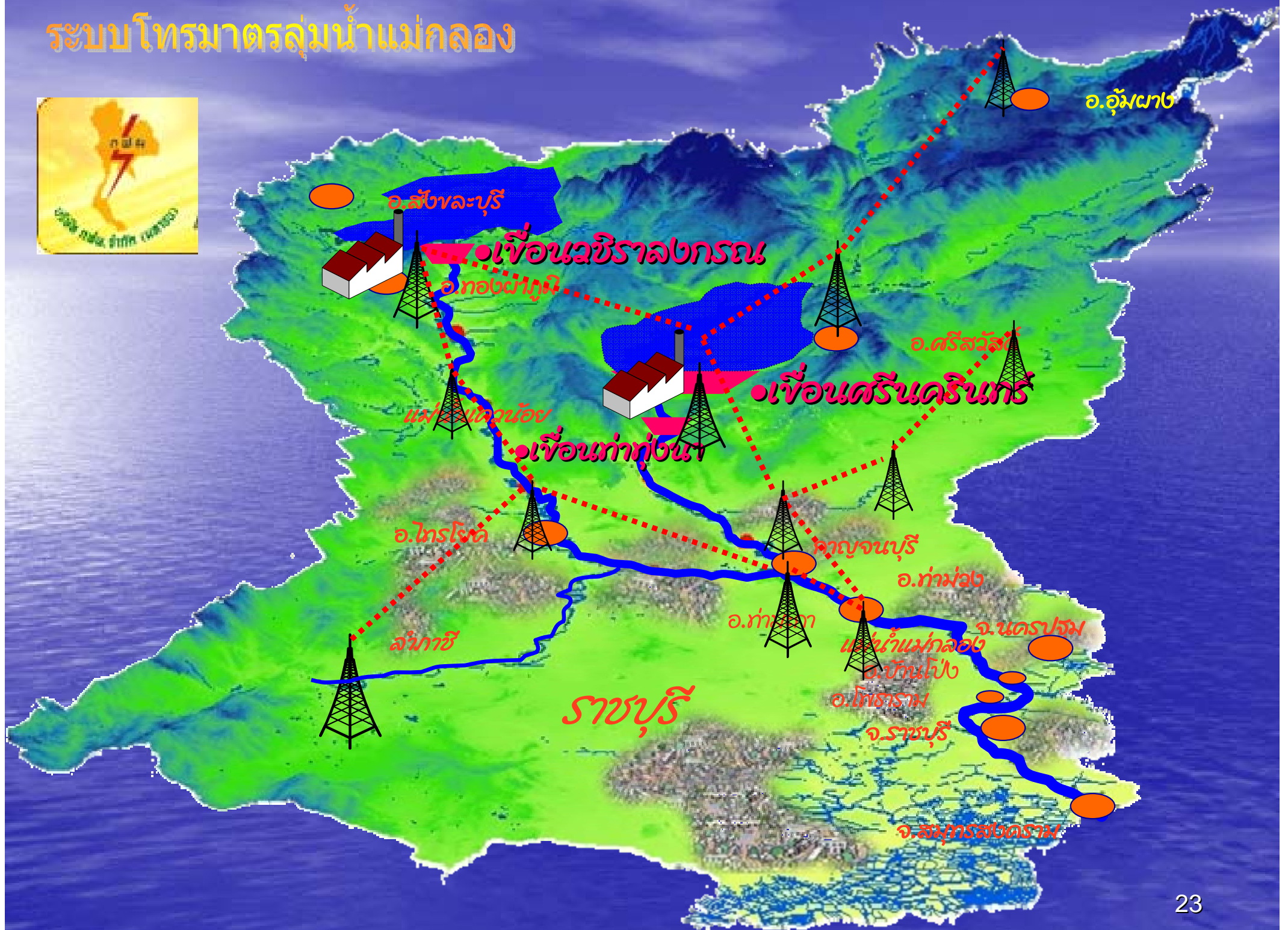
การจัดทำแผนอพยพ

**การลดความสูญเสียเมื่อเกิดการพิบัติ**

# จุดวิกฤตของการไหลซึมผ่านของเขื่อนและฐานราก



# ระบบโทรมาตรลุ่มน้ำแม่กลอง



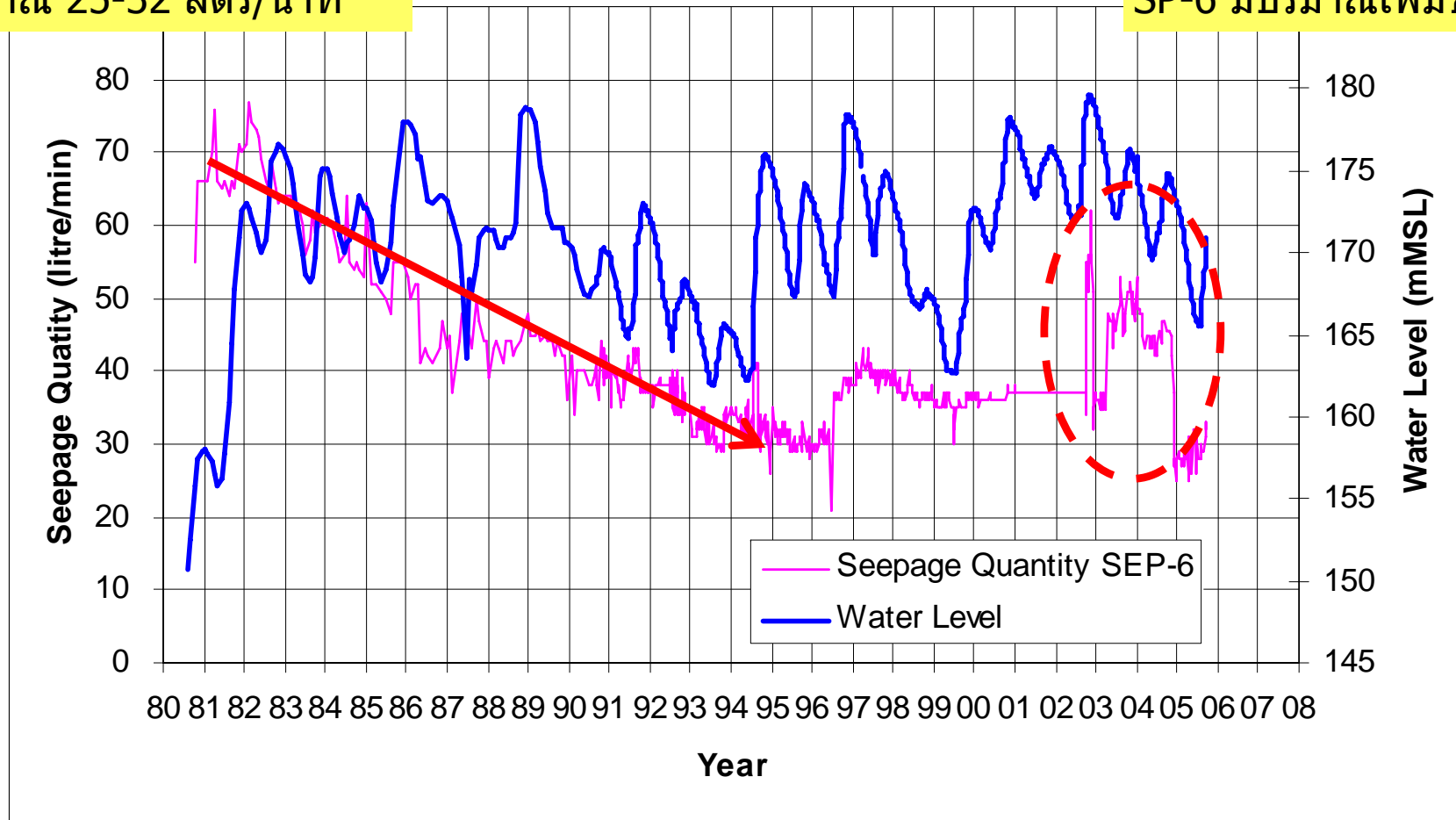


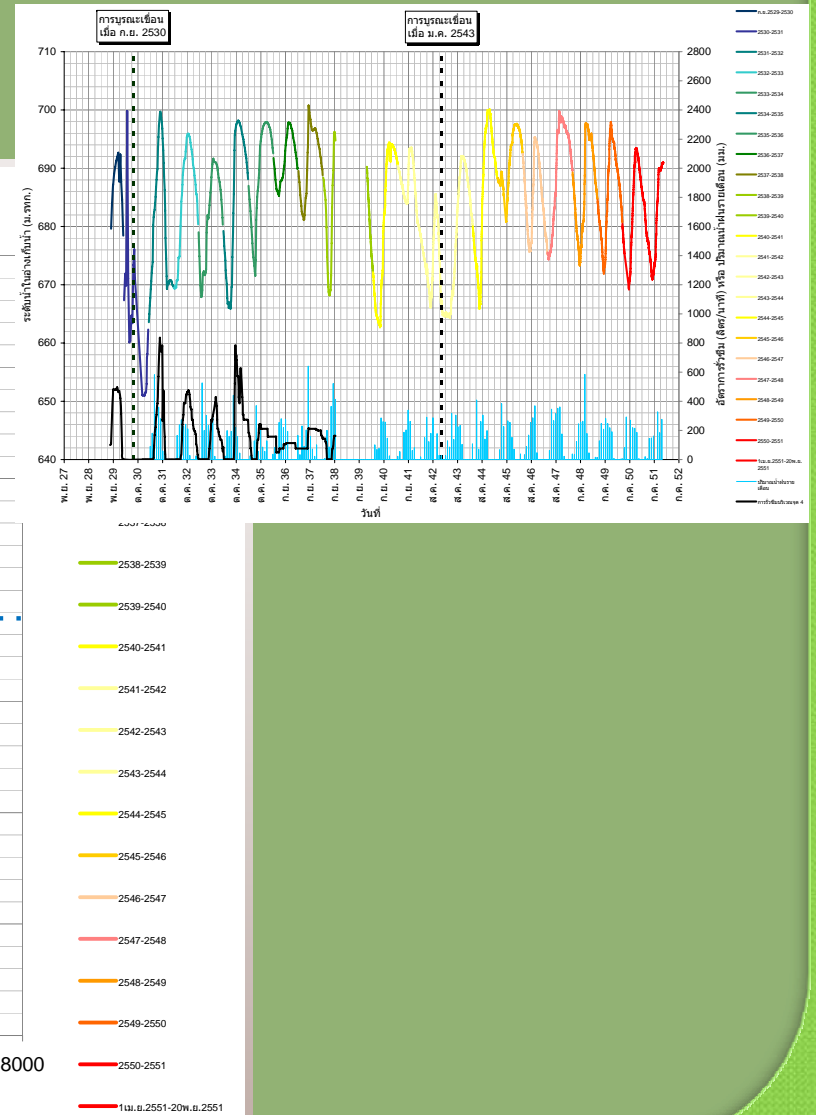
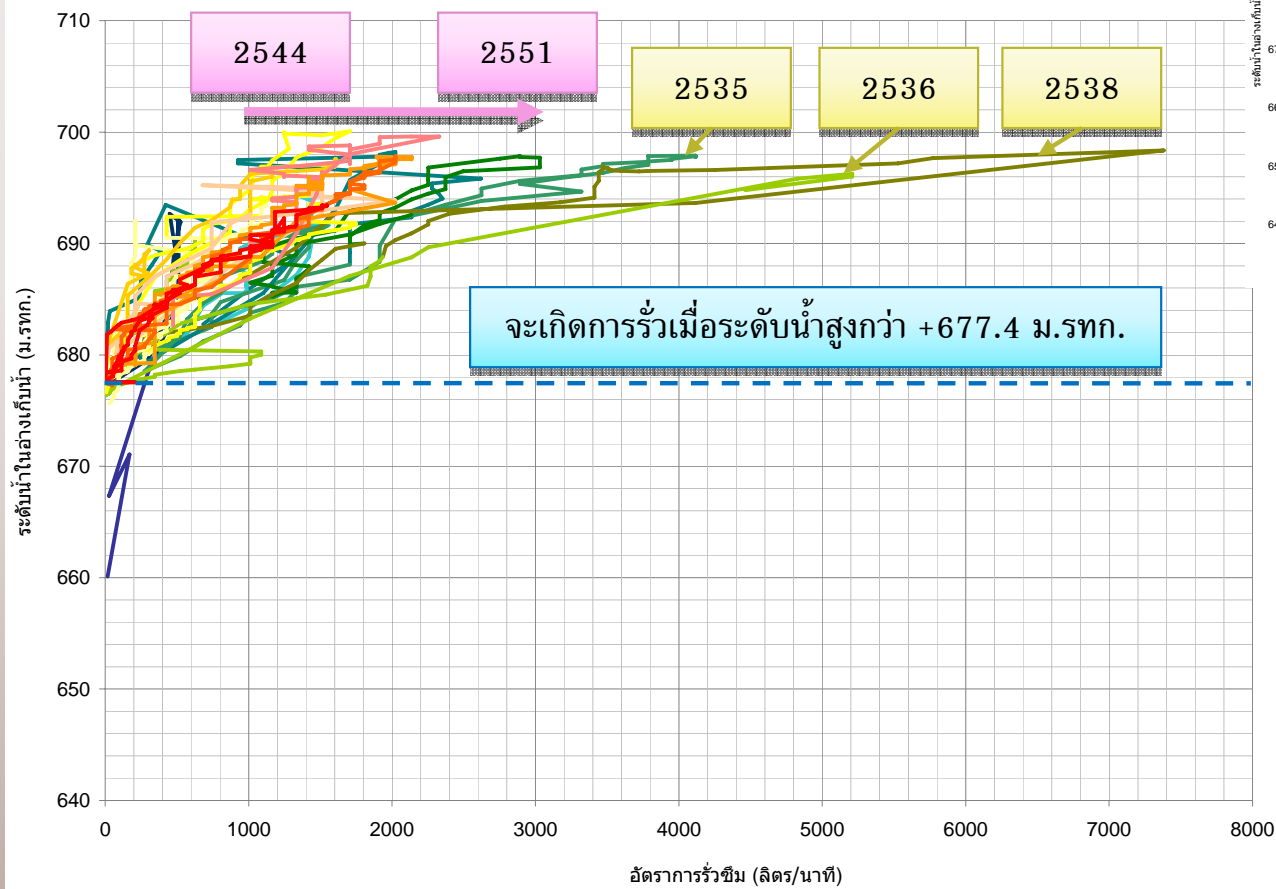
ลำดับ	อุปกรณ์วัด	ช่วงเวลาการอ่านค่า			
		ระหว่างการก่อสร้าง ดำเนินการโดย ผู้รับจ้าง		หลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ ดำเนินการ โดยเจ้าหน้าที่กรมชลประทาน	
		ระหว่างการ ก่อสร้าง	ก่อนเก็บกัก น้ำ	ระหว่างเก็บกัก น้ำ	เก็บกักน้ำเต็มอ่าง
1	Hydrostatic Settlement Gauges	ทุกสัปดาห์	ทุกวันเป็นเวลา 1 อาทิตย์	ทุกวัน	- ทุกวันเป็นเวลา 1 สัปดาห์ - หลังจาก 1 สัปดาห์ ทุก 2 วันเป็นเวลา 1 เดือน - หลังจาก 1 เดือน ทุกสัปดาห์เป็นเวลา 1 ปี - หลังจาก 1 ปี ทุก 1 เดือน
2	Crest and Surface Settlement Points ( Survey Monument ) ,Reference Benchmarks	ทุกสัปดาห์		ทุกวัน	
3	Open Standpipe Piezometers	ทุกสัปดาห์		ทุกวัน	
4	Vibrating Wire Piezometers	ทุกสัปดาห์		ทุกวัน	
5	Seepage Measuring Weirs	ทุกวัน		ทุกวัน	
6	Staff gauges	ทุกวัน		ทุกวัน	
7	Inclinometers	ทุกสัปดาห์		ทุกวัน	
8	Joint Meters and Perimetric Joint Meters	ทุกสัปดาห์		ทุกวัน	
9	Strain Meter and Non-Stress Strain Meter	ทุกสัปดาห์		ทุกวัน	

# Seepage Quantity

- ปริมาณการไหลลดลงตามเวลา จากในปีแรกมีปริมาณการไหลรวม 65-77 ลิตร/นาทีย ในปัจจุบันมีการไหลซึมรวมประมาณ 25-32 ลิตร/นาทีย

- ในปลายปีพ.ศ. 2545 ระดับน้ำในอ่างสูงสุดที่ +179 ม.รทก. ปริมาณการไหลซึมของน้ำที่วัดได้จาก SP-6 มีปริมาณเพิ่มขึ้น





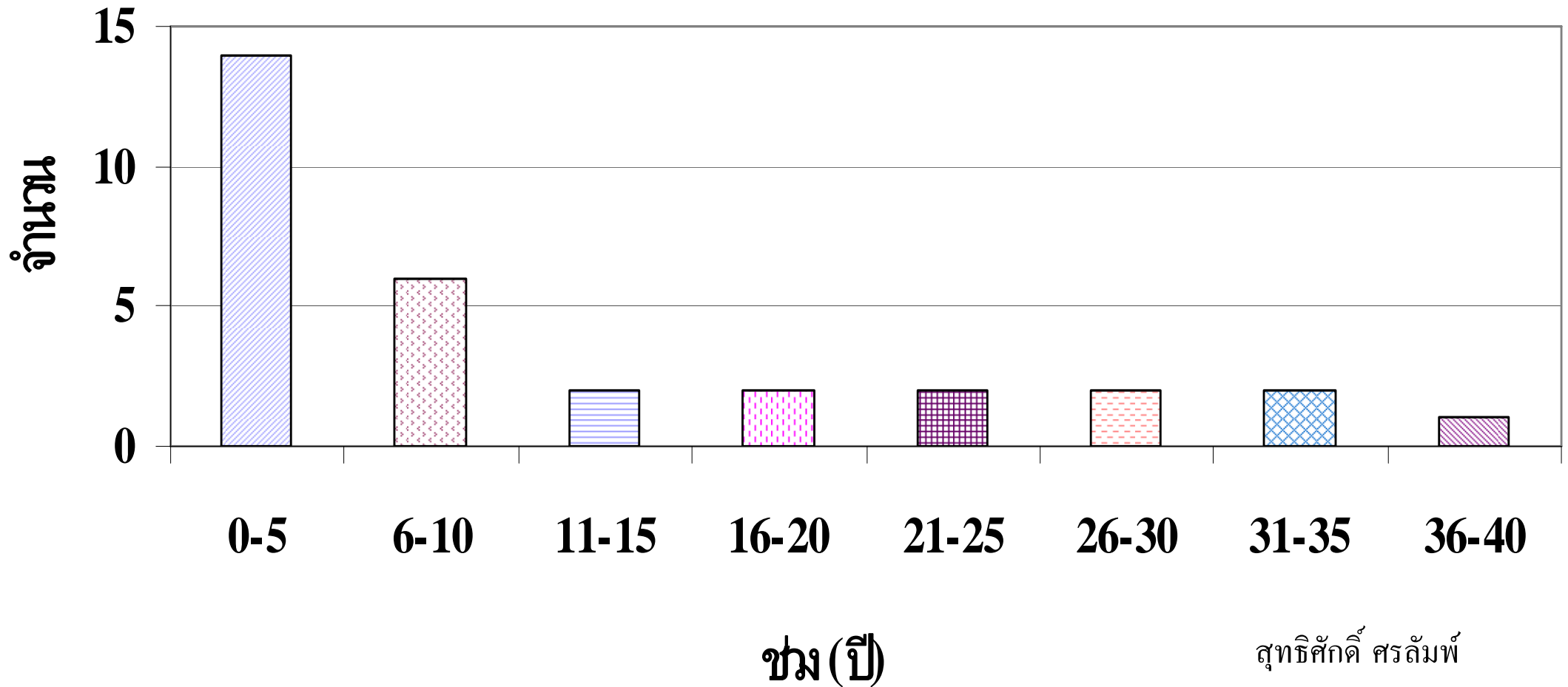
เชื่อมมีอายุการใช้งานซึ่งกำหนดไว้ตั้งแต่การออกแบบ (Design life) ประมาณ 50-100 ปี ดังนั้น เมื่อเชื่อมถูกใช้งานไปย่อมมีการเสียหายทั้งที่เกิดจาก

- การเสื่อมตามอายุ (Deterioration)
- ความเสียหายที่ผิดปกติ (Damage)

ซึ่งอาจนำไปสู่การพิบัติหรือความไม่ปลอดภัยของเชื่อม  
ในอนาคตได้



## การปิดตัวของเขื่อนตามช่วงอายุหลังก่อสร้างเสร็จ



# การตรวจสอบและประเมินความปลอดภัยเขื่อน



## การตรวจสอบเขื่อน โดยเจ้าหน้าที่ประจำเขื่อน

- ตรวจสอบเป็นประจำทุกสัปดาห์
- ตรวจสอบกรณีพิเศษเมื่อมีแผ่นดินไหวในรัศมี 200 กม.
- ตรวจสอบกรณีพิเศษเมื่อ ปริมาณน้ำในอ่างฯ เกิน 90%



## การตรวจสอบเขื่อน

- อายุเขื่อนน้อยกว่า 2 ปี ตรวจสอบทุก 6 เดือน
- อายุเขื่อน 2-5 ปี                      ตรวจสอบปีละ 1 ครั้ง
- อายุเขื่อน 5 ปีขึ้นไป                ตรวจสอบ 2 ปีครั้ง



## ประเภทของการประเมินความปลอดภัยเขื่อน

1. การประเมินสภาพด้วยสายตาโดยผู้เชี่ยวชาญ

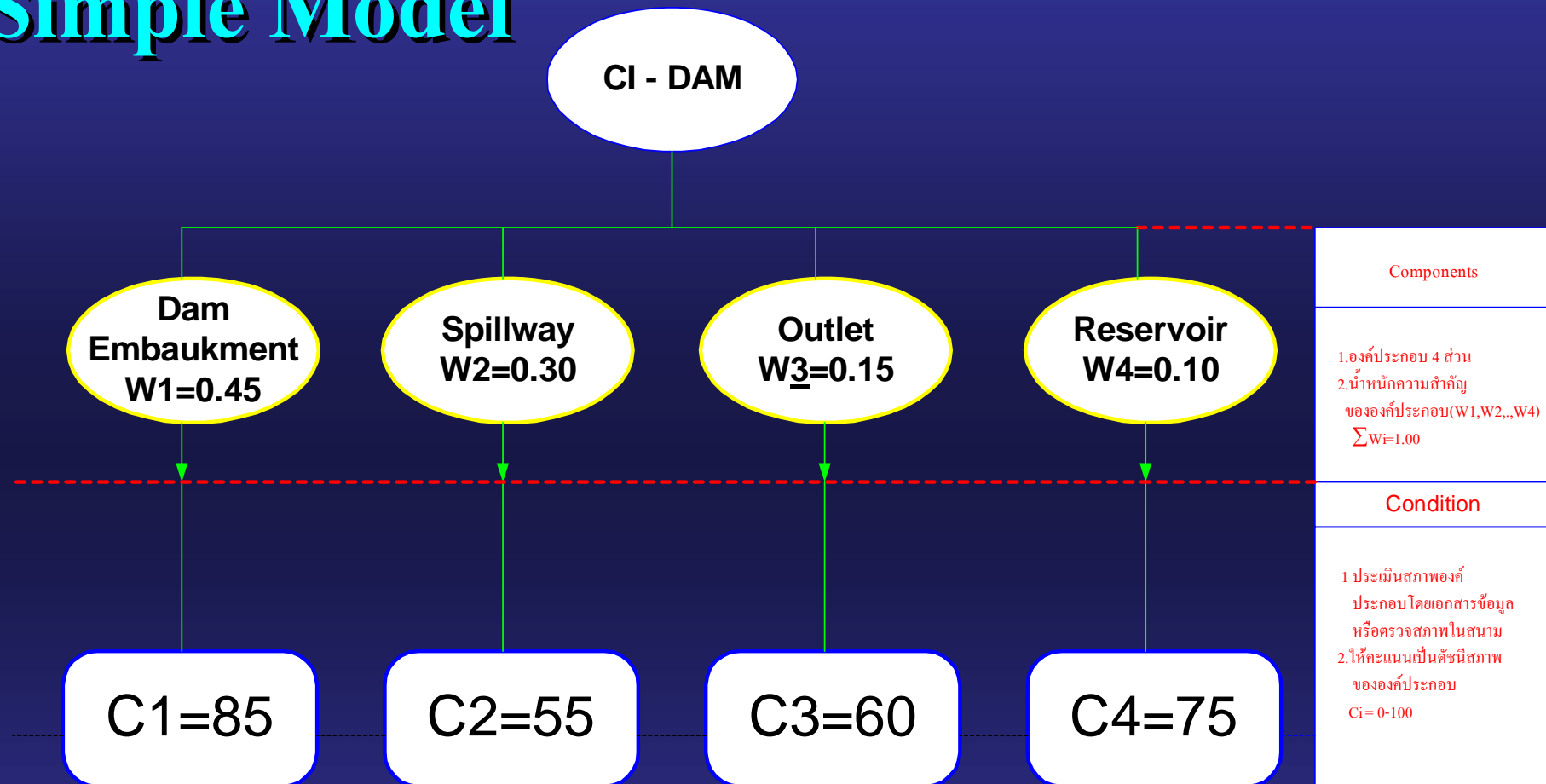
2. การประเมินสภาพด้วยสายตาโดยการให้คะแนน

3. การประเมินโดยการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม

4. การประเมินโดยการวิเคราะห์ความเสี่ยง

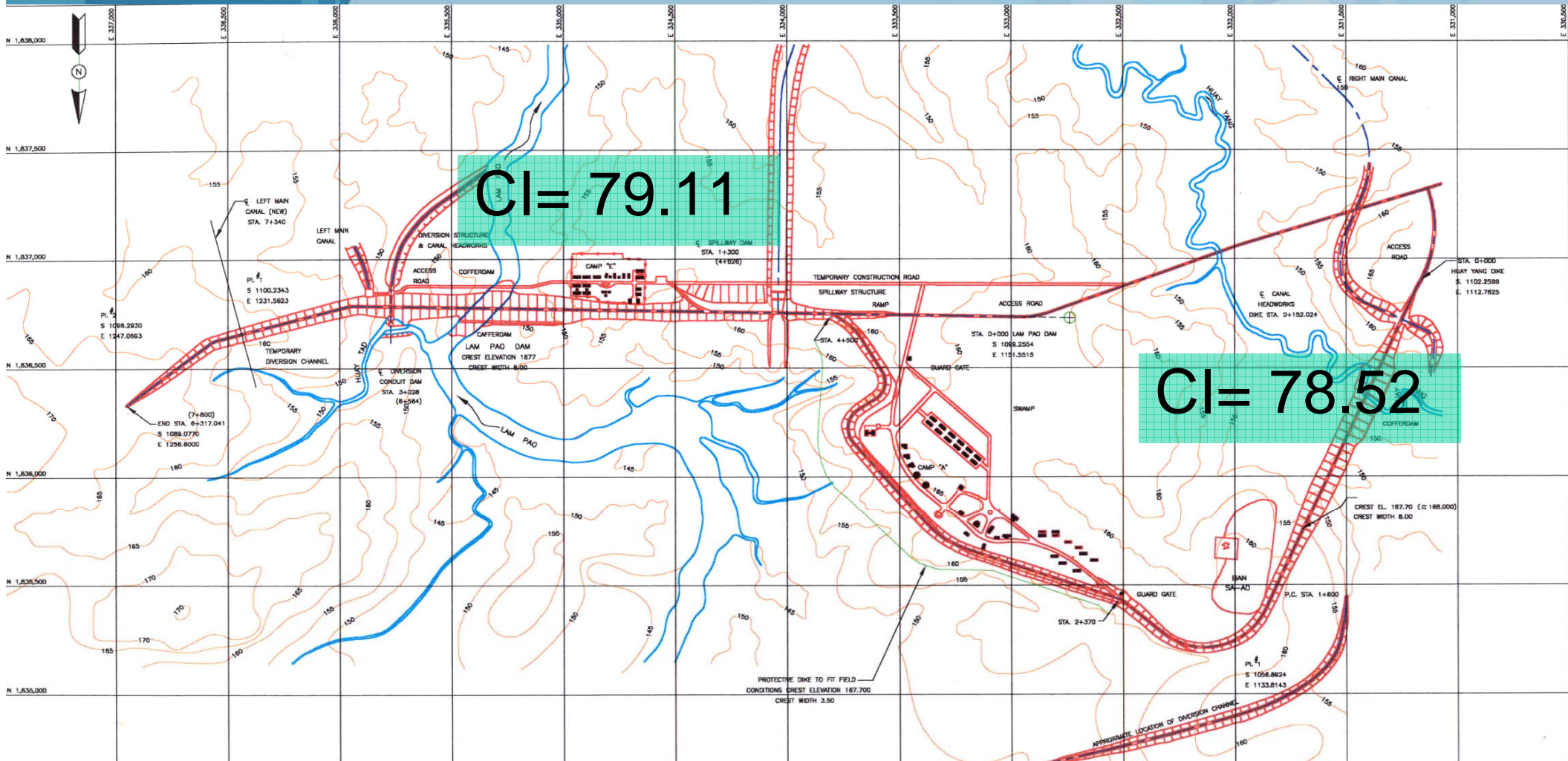
# Condition Index System

## Simple Model



$$\begin{aligned} \text{ตัวอย่าง CI - Dam} &= \sum W_i \cdot C_i = W_1 C_1 + \dots + W_4 C_4 \\ &= 0.45 \times 85 + 0.30 \times 55 + 0.15 \times 60 + 0.10 \times 75 \\ &= 71.25 \end{aligned}$$





CI= 79.11

CI= 78.52

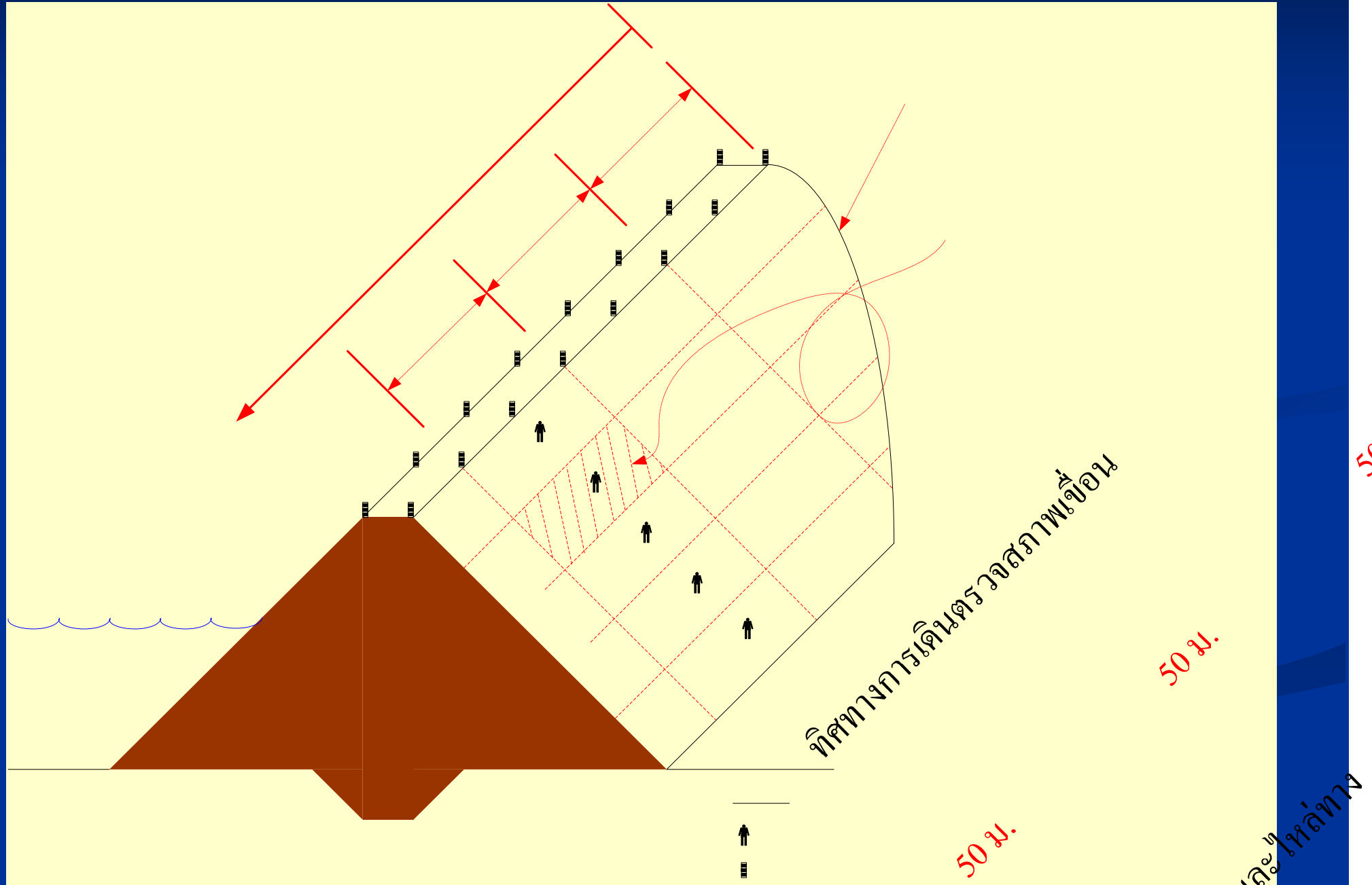
# สรุปผลการตรวจ

ลำดับ	องค์ประกอบเขื่อน	ค่า CI	
		เขื่อนห้วยยาง	เขื่อนลำปาว
ดัชนีสภาพของตัวเขื่อน		78.52	79.11

ระดับ	ดัชนีสภาพ	เกณฑ์ความปลอดภัย	คำแนะนำในการบำรุงรักษา
คะแนน			
A	85-100	มีความปลอดภัยดีเยี่ยม	ยังไม่ต้องซ่อมแซม / ปรับปรุง
B	70-85	มีความปลอดภัยดี	ซ่อมแซมบำรุงรักษาตามปกติ เพื่อรักษาสภาพ
C	55-70	มีความปลอดภัยพอใช้	ควรมีการสำรวจรายละเอียดเพื่อการ
			ซ่อมแซมหรือปรับปรุงในปีงบประมาณต่อไป

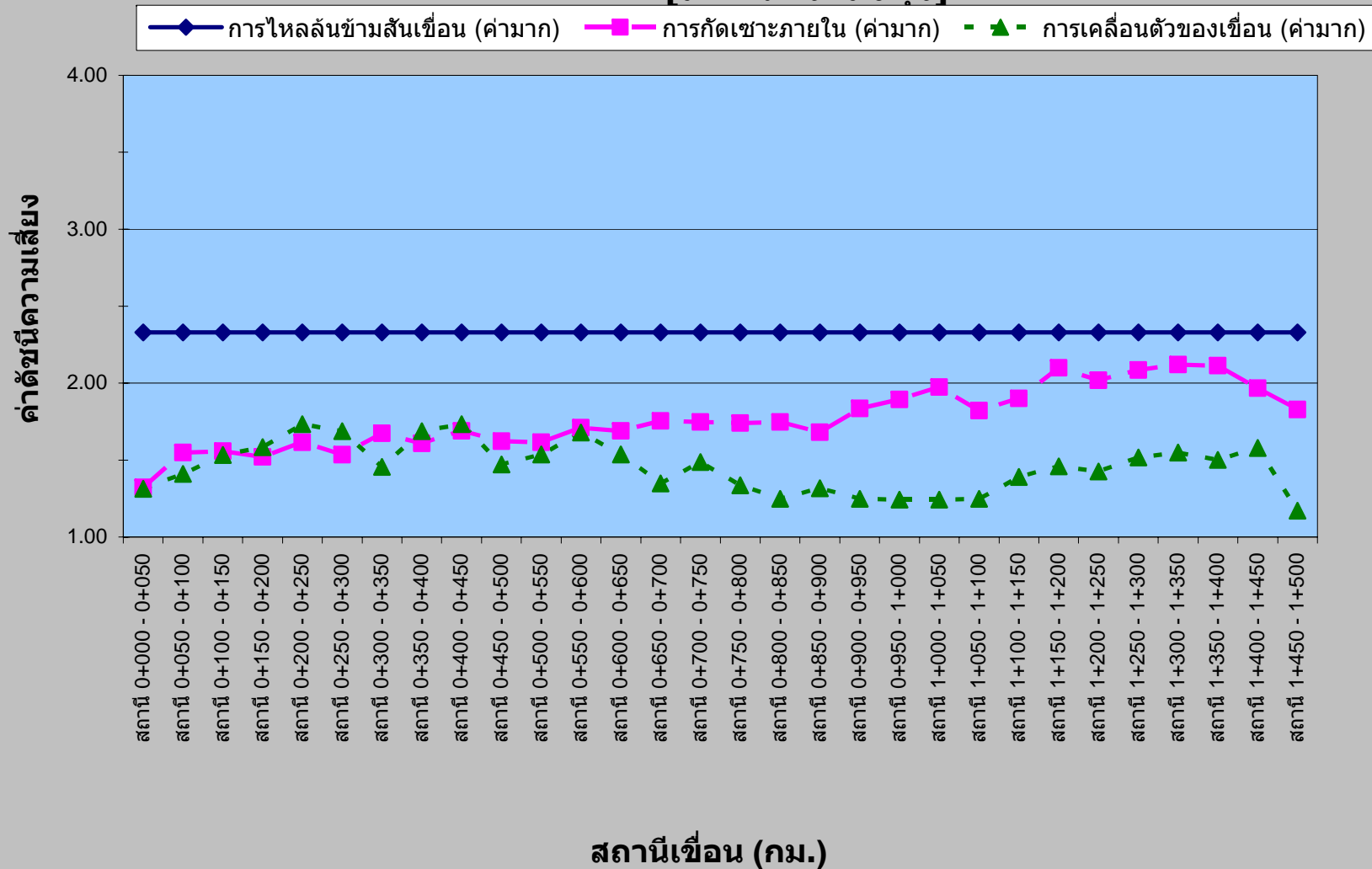
# วิธีดัชนีความเสี่ยง (Risk Index, RI)

ผศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์ และคณะ (2549)



# ค่าดัชนีความเสี่ยงตามสถานีเขื่อน

กราฟแสดงค่าดัชนีความเสี่ยงของเขื่อน กับสถานีเขื่อน  
[เขื่อนปราณบุรี]





# องค์ประกอบการตรวจสอบสภาพเขื่อน



พื้นที่ด้านเหนือน้ำ

สันเขื่อน



ระบบเครื่องมือวัดสภาพตัวเขื่อน

ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ

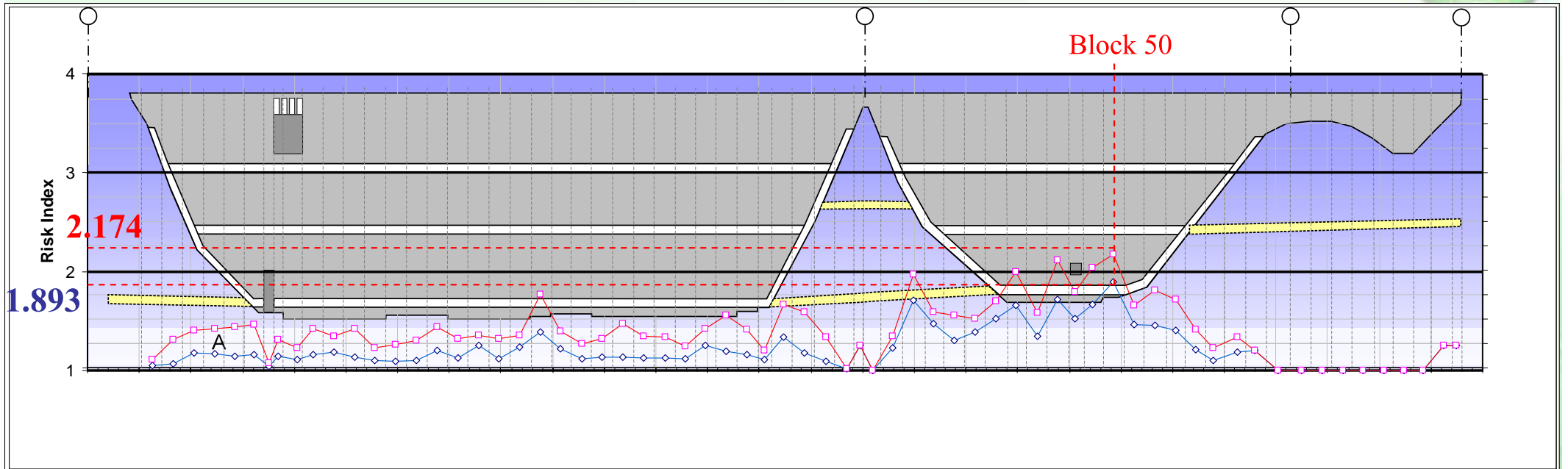
อุโมงค์ภายในตัวเขื่อน

พื้นที่ดินเดิมด้านท้ายน้ำ



# การตรวจสอบเขื่อนเพื่อการประเมินสภาพเสี่ยงภัย

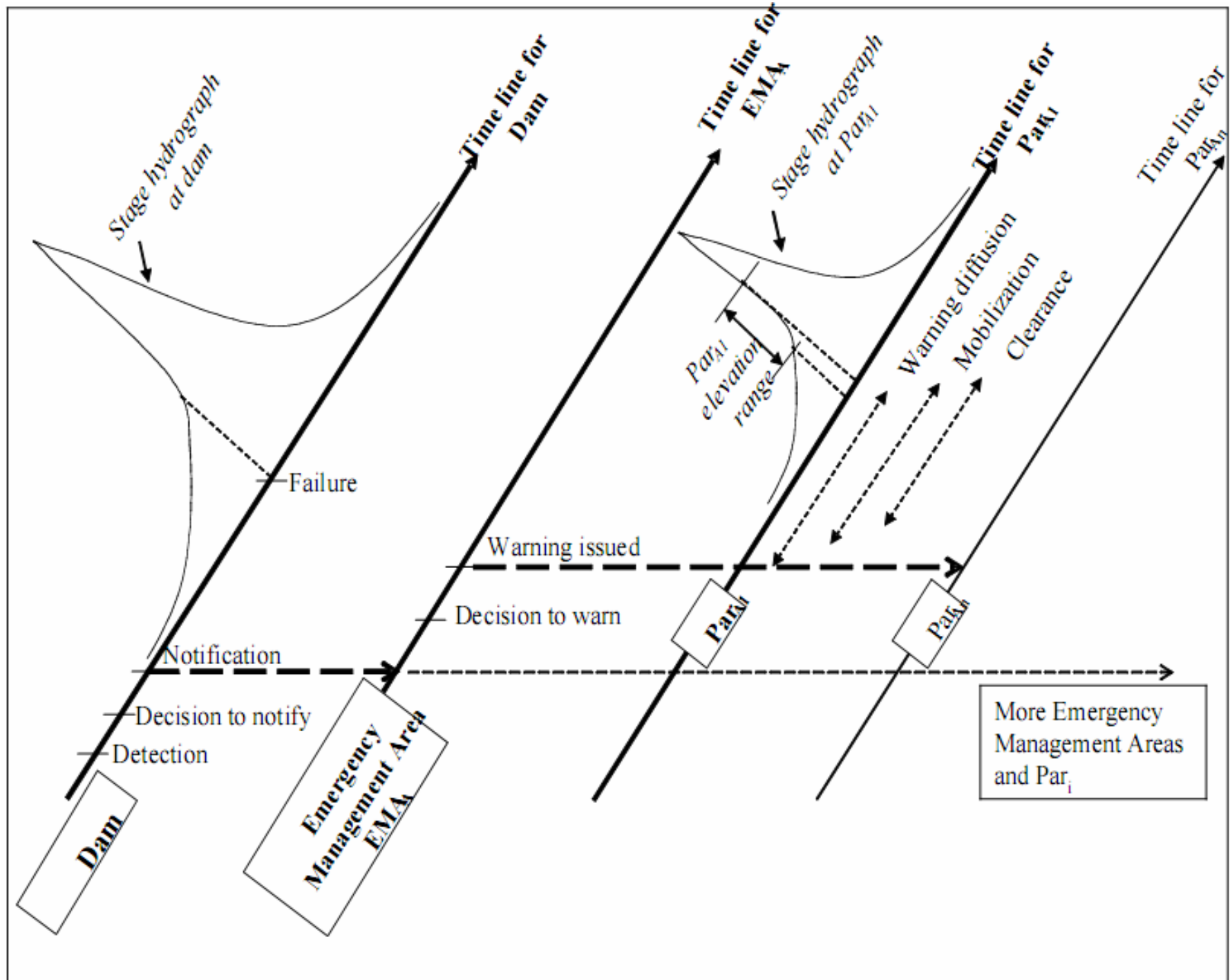
## ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความเสี่ยงในแต่ละ Block



$$RI_{max} = 2.174$$

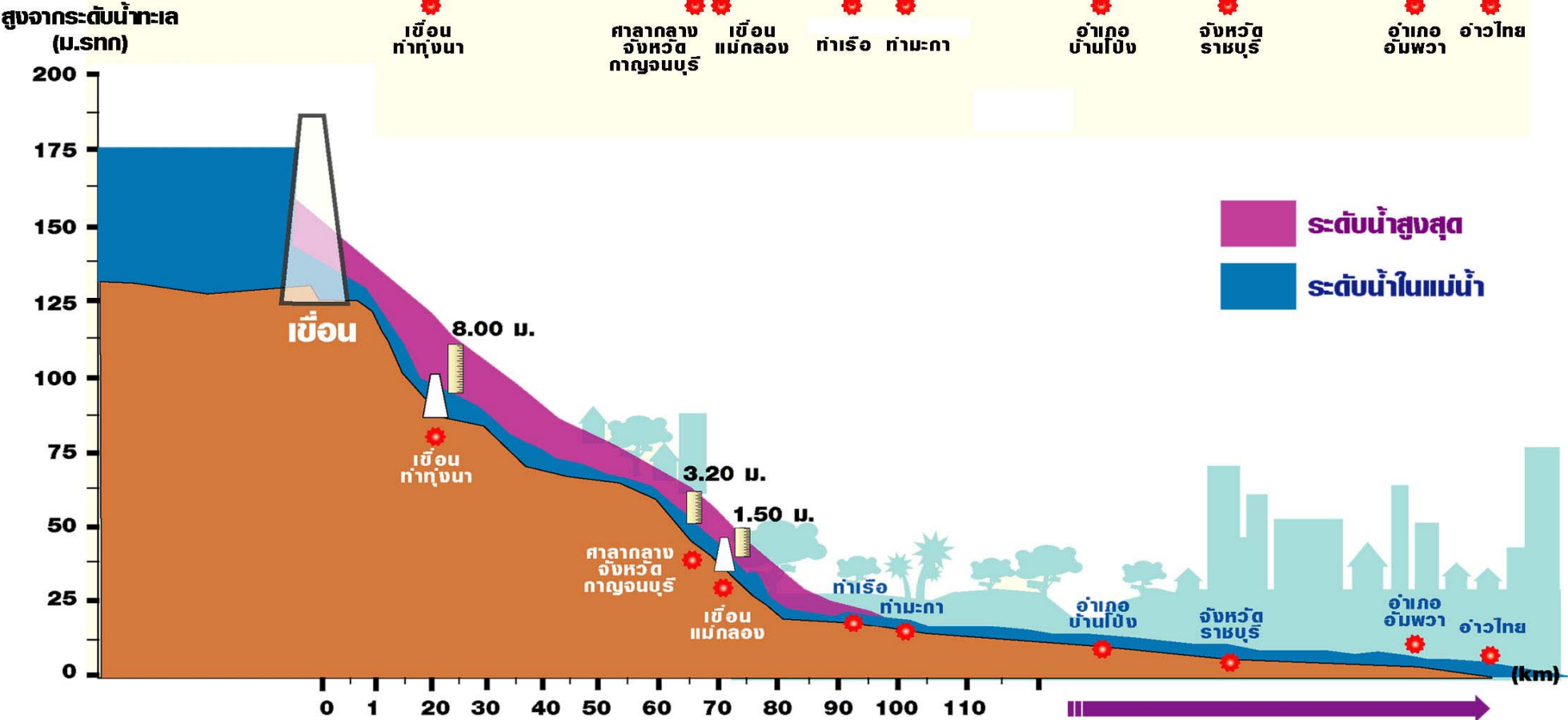
$$RI_{average} = 1.893$$



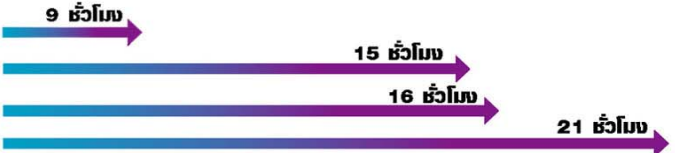


# ภาพจำลองน้ำท่วมในบางจังหวัด กรณีเขื่อนศรีนครินทร์แตก

## เหตุการณ์สมมติ



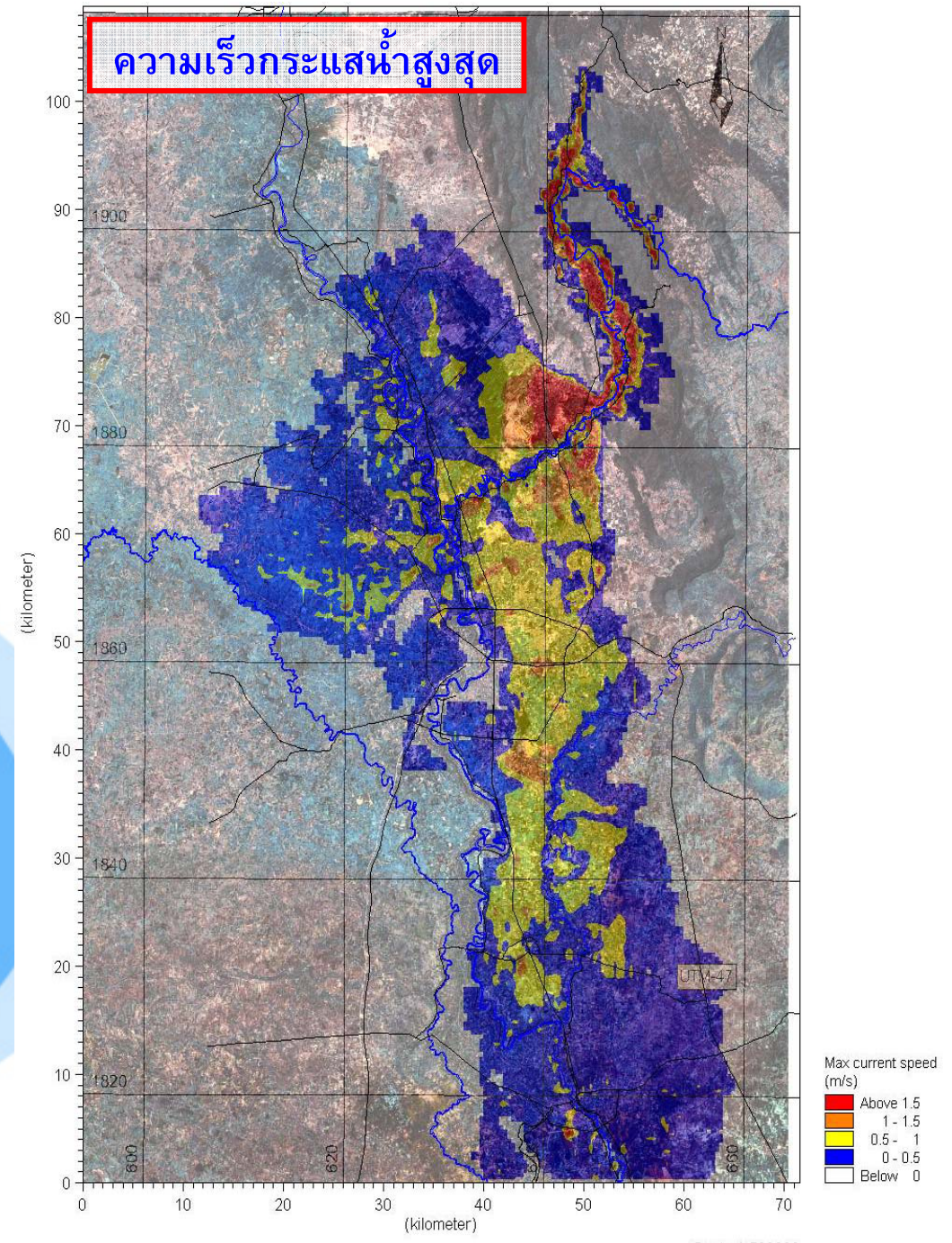
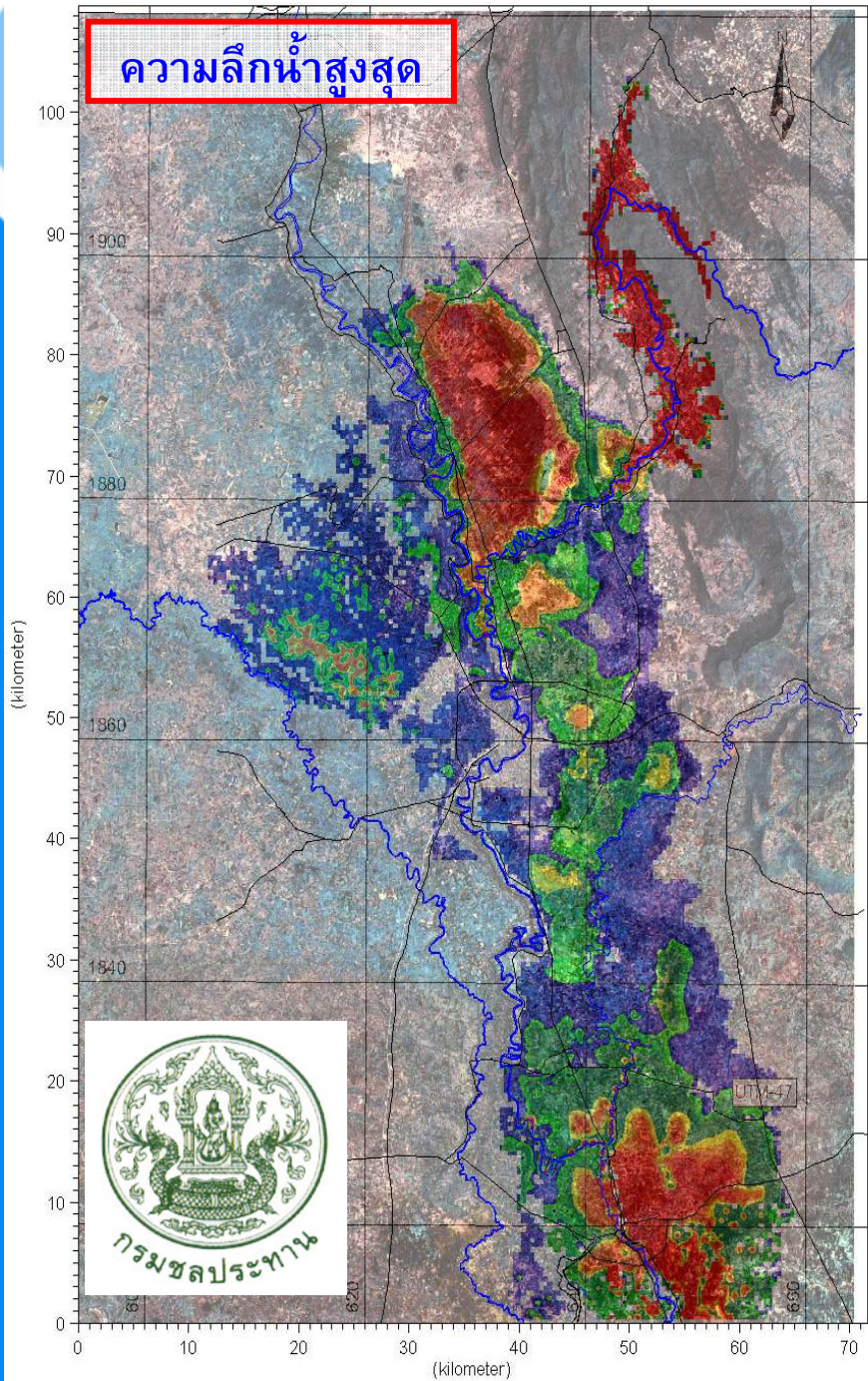
**ระยะเวลาที่  
น้ำเคลื่อนที่ถึง**



ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

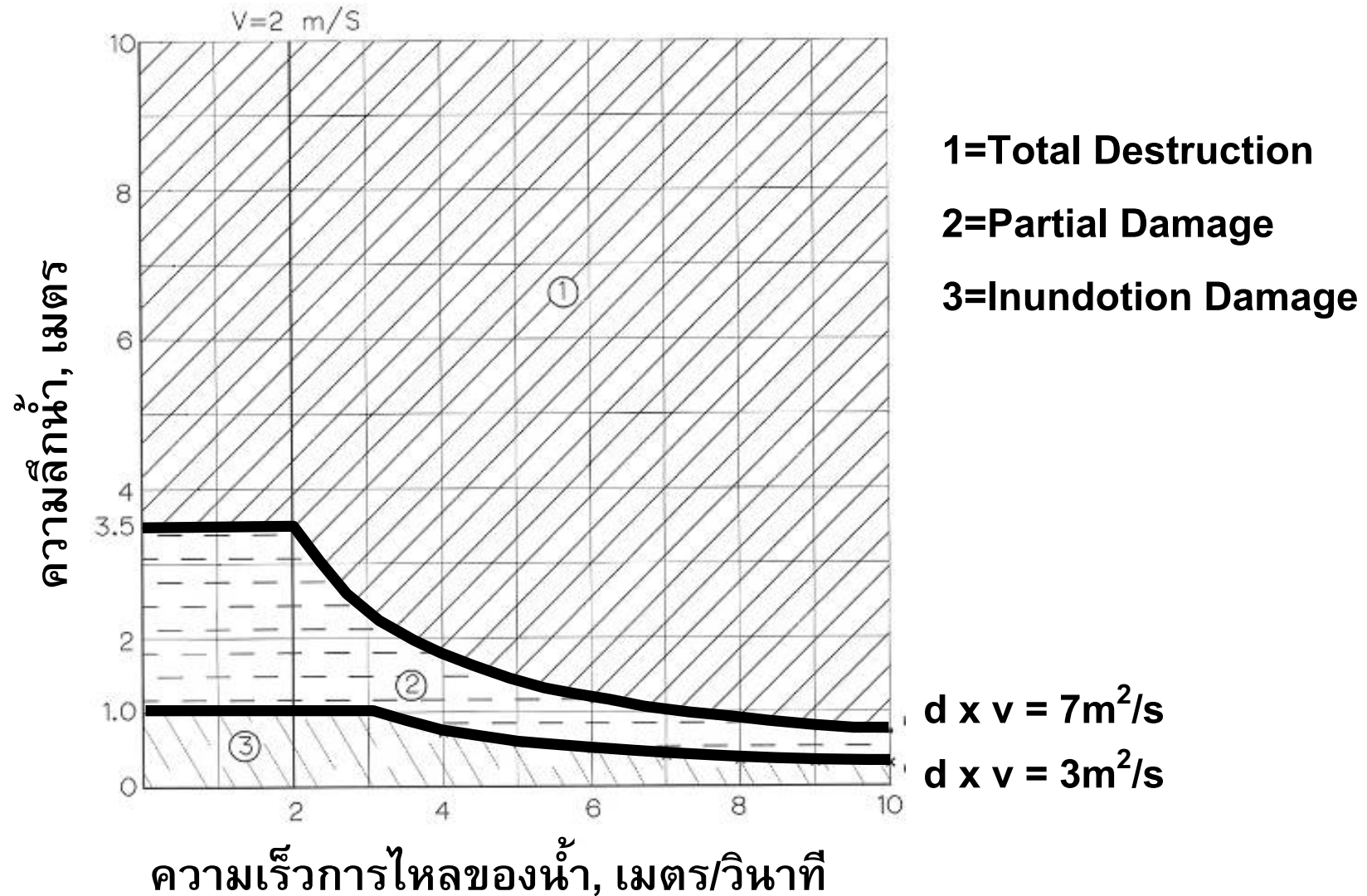


ความลึกน้ำและความเร็วกระแสน้ำในกรณีเกิดแผ่นดินไหวทำให้พิบัติที่กึ่งกลางเขื่อนทั้ง 3 เขื่อน โดยเกิด Flood PMF ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และฝนตกในพื้นที่ด้านล่างช่วงน้ำท่วมปีพ.ศ.2549 (กรณีที่ 1)



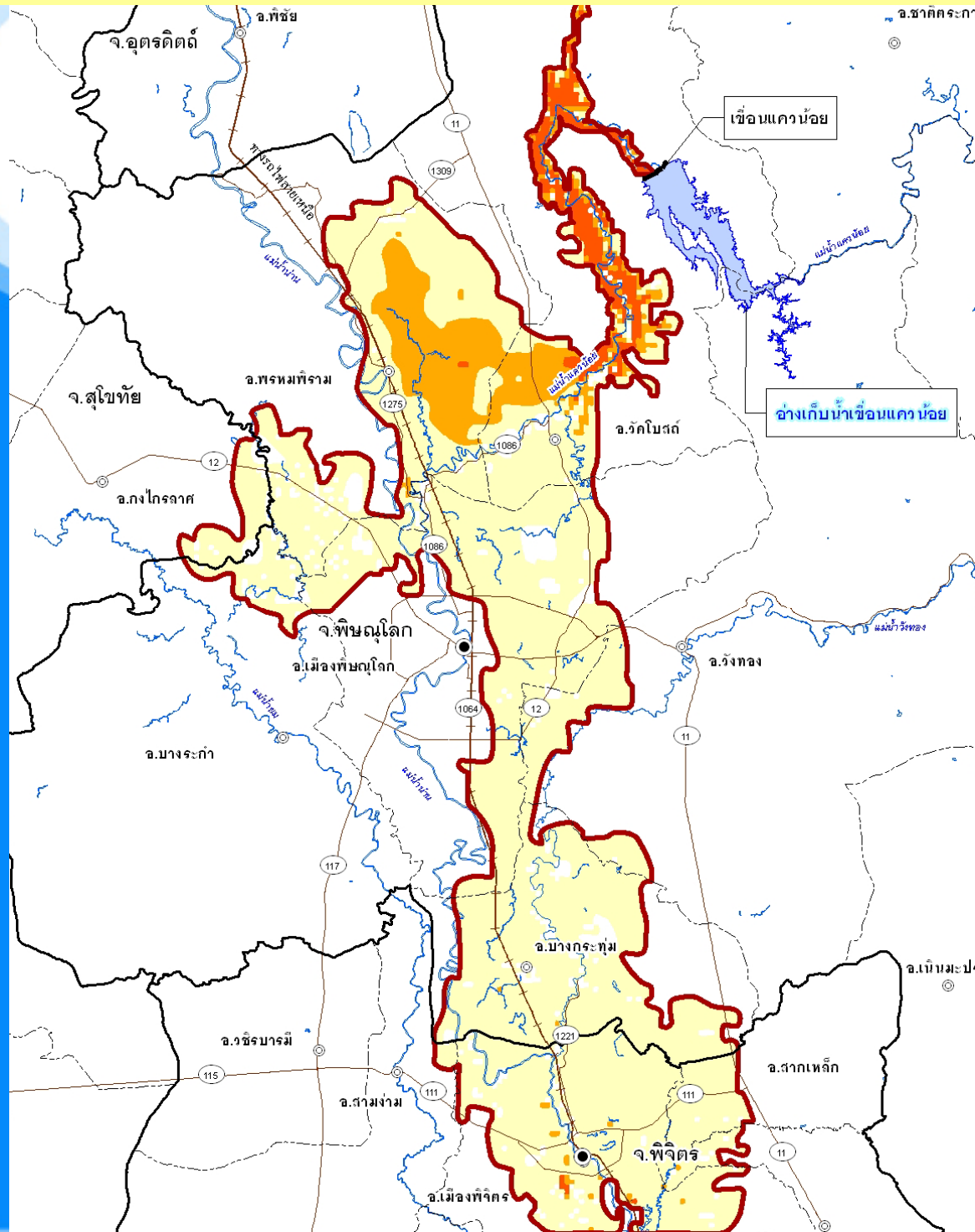


# สมมุติฐานของระดับความรุนแรง (Hazard Criteria)



อ้างอิงจาก : Binnie & Partners (1991) Estimation of flood damage following potential dam failur : Guidelines, Department of the Environment, UK

# ระดับความรุนแรงของน้ำ



## ระดับความรุนแรง



รุนแรงน้อย



รุนแรงปานกลาง



รุนแรงมาก



กรมชลประทาน

**Risk = Probability x Consequences**



# Dam Safety Risk Management

Decision-Making

Risk Assessment

Decision Recommendation

Risk

Control

Risk Analysis

Risk Evaluation

- Structural

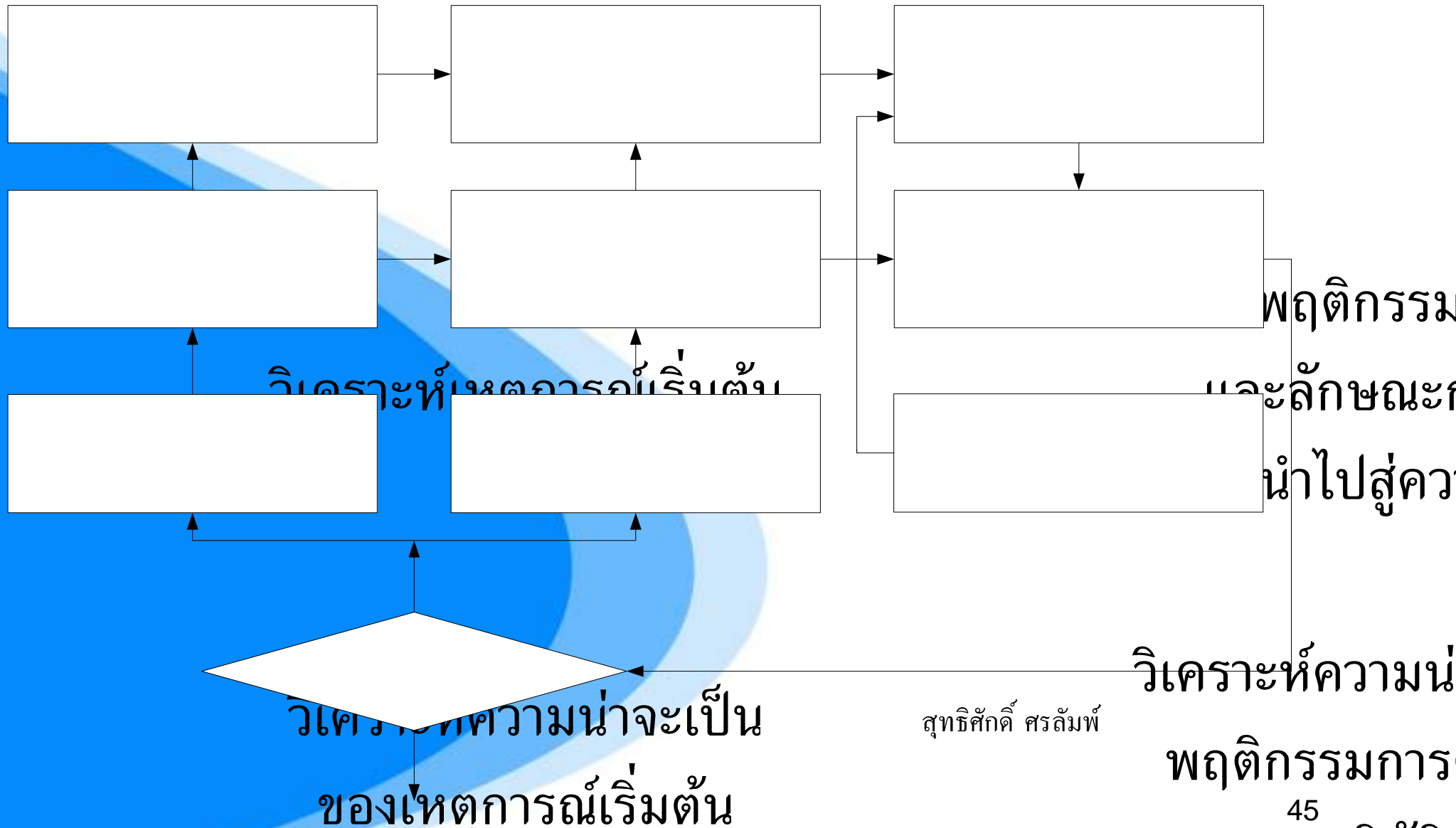
- Recurrent activities

Failure Modes Identification

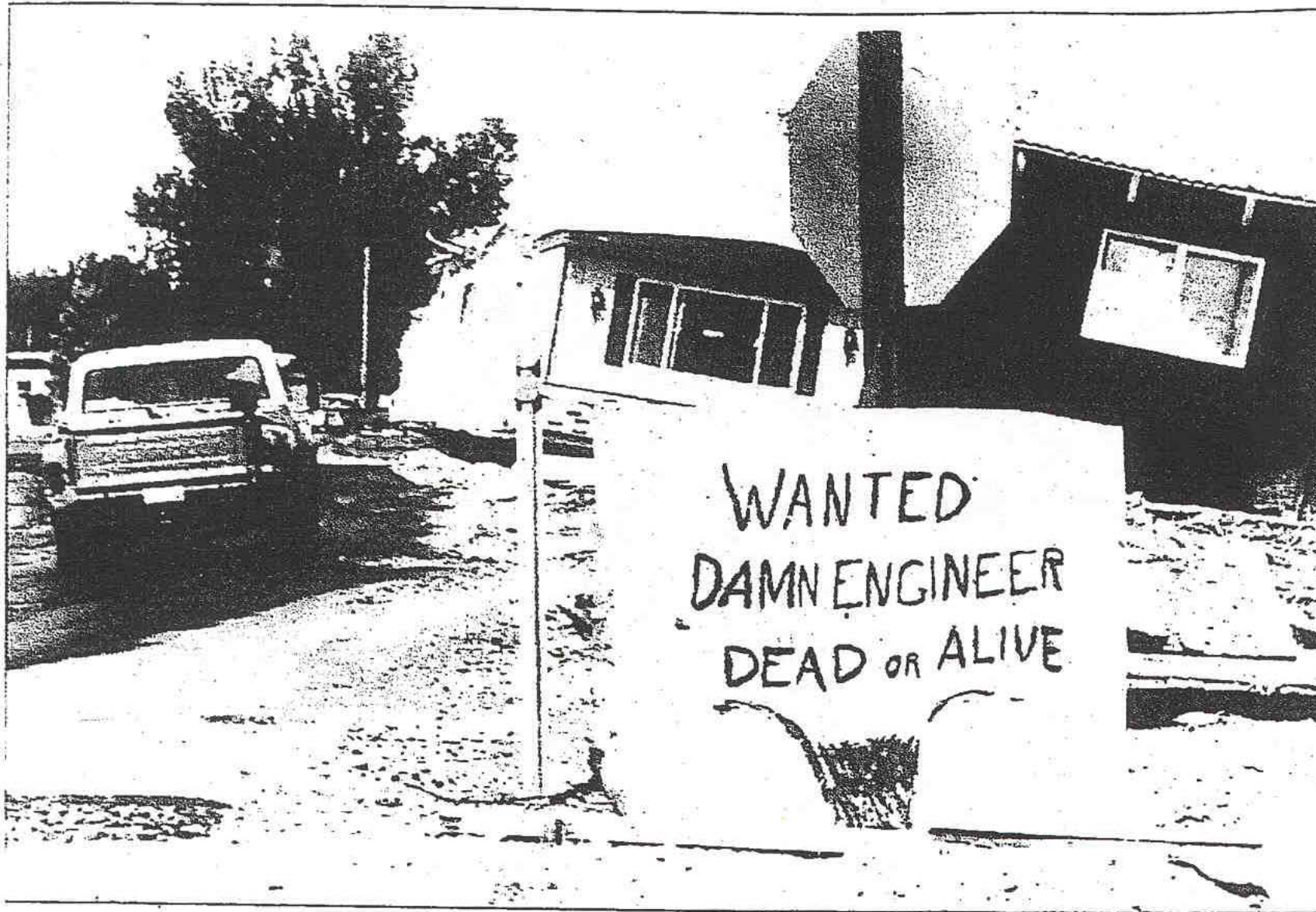
Risk Estimation

- Periodic Reassessment

# กระบวนการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงของเขื่อน



สุทธศักดิ์ ศรีลัมพ์



A sign expressing feelings concerning the Teton Dam was posted next to wrecked homes in Rexburg during cleanup efforts.

Post Register file photo

Who wants to be next?



# Geotechnical Engineering Research and Development Center



กรมชลประทาน



การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย



กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

[www.gerd.eng.ku.ac.th](http://www.gerd.eng.ku.ac.th)