ประสบการณ์
ในการควบคุมการก่อสร้างเขื่อน

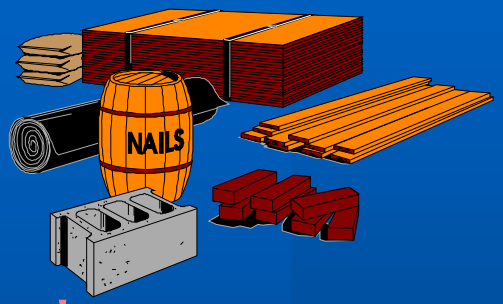
รศ. ดร. วรากร ไม้เรียง
วิศวกรเขื่อน

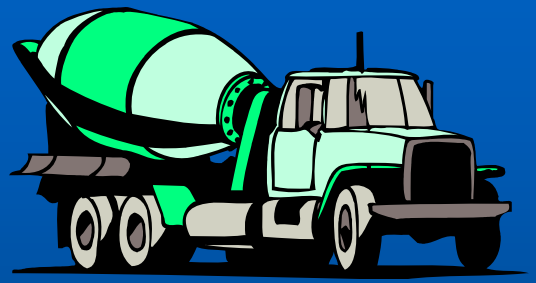
เขื่อนเก็บกักน้ำ (Storage Dams)

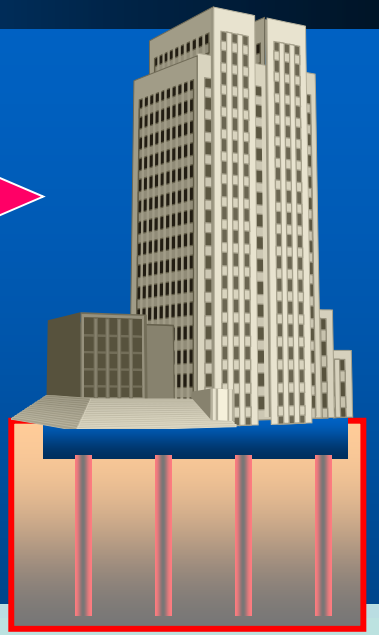
- เขื่อนเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่ใช้ในการพัฒนาแหล่งน้ำ โดยการกักเก็บน้ำส่วนเกินที่จะต้องไหลทิ้งไปสู่ท้ายน้ำไว้ใช้ประโยชน์
- เทคโนโลยีของงานเขื่อนมีลักษณะเป็น สหวิทยาการซึ่งต้องอาศัยความรู้จากหลายด้าน
  - วิศวกรรมแหล่งน้ำและชลศาสตร์
  - วิศวกรรมโยธา และธรณีวิทยา
  - วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เป็นต้น
- เขื่อนยังมิได้มีกฎหมายในการควบคุม ใน การออกแบบ ก่อสร้าง และใช้งาน

แนวคิดของการออกแบบและก่อสร้างเขื่อน

อาคาร, สะพาน: วัสดุที่วิศวกรระบุคุณภาพได้

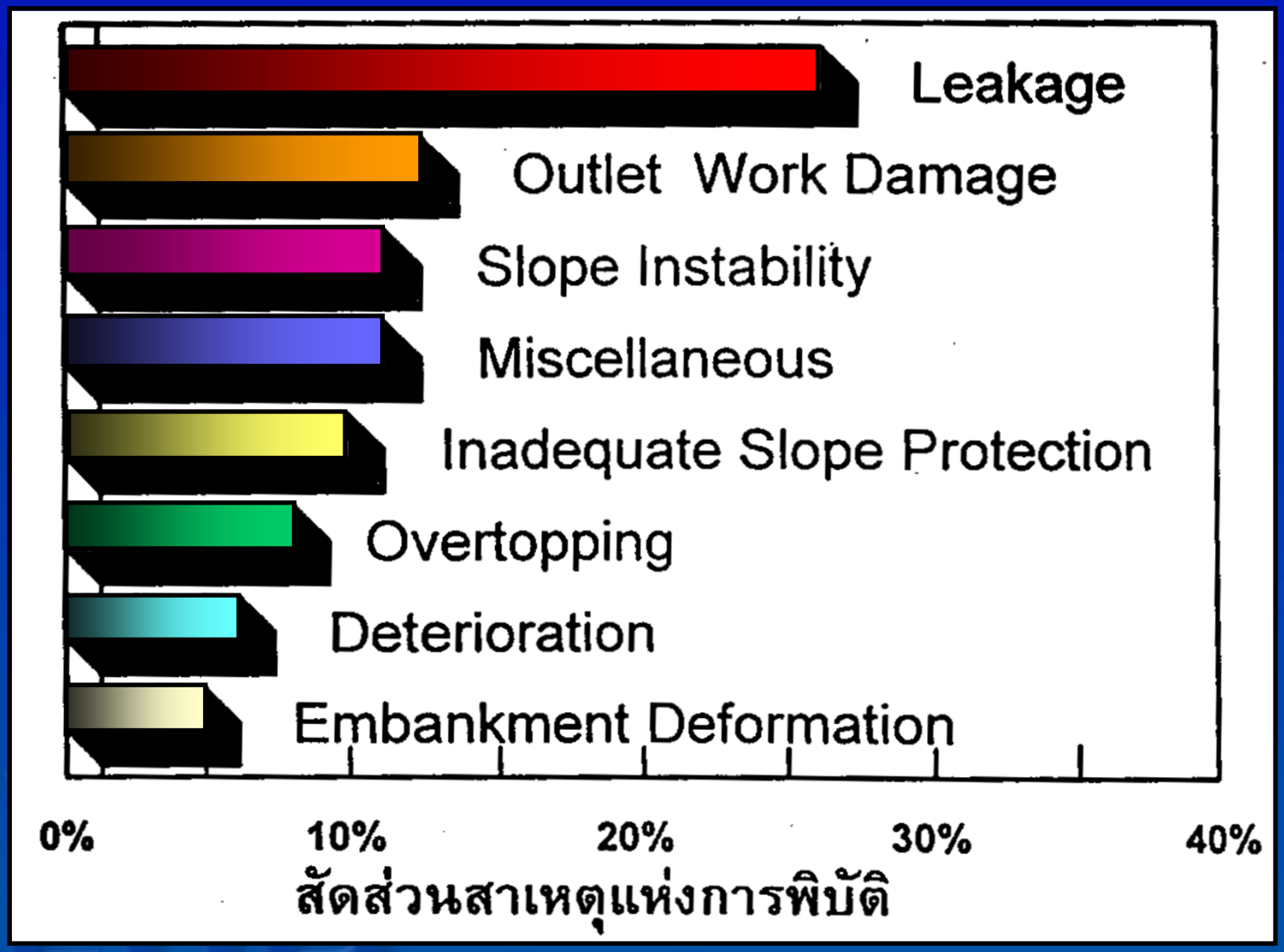




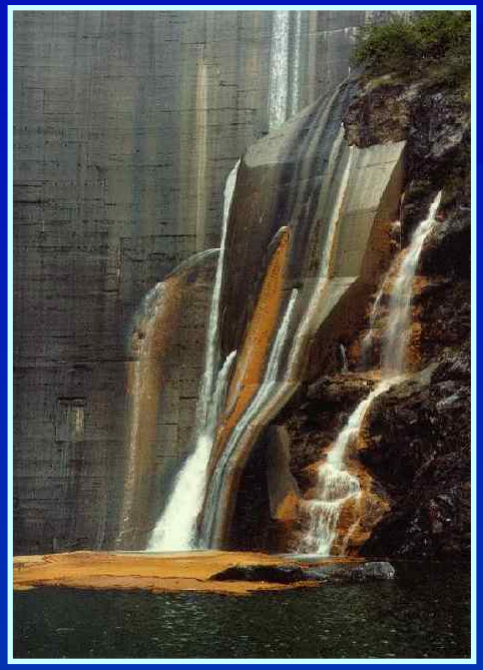


เขื่อน: วัสดุธรรมชาติที่วิศวกรต้องออกแบบให้สอดคล้อง

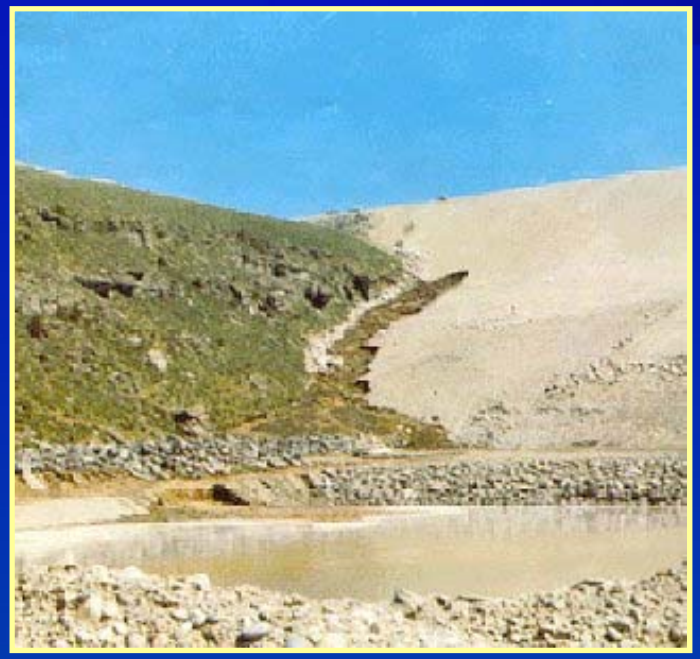
ลักษณะการพิบัติของเขื่อนในสหรัฐ

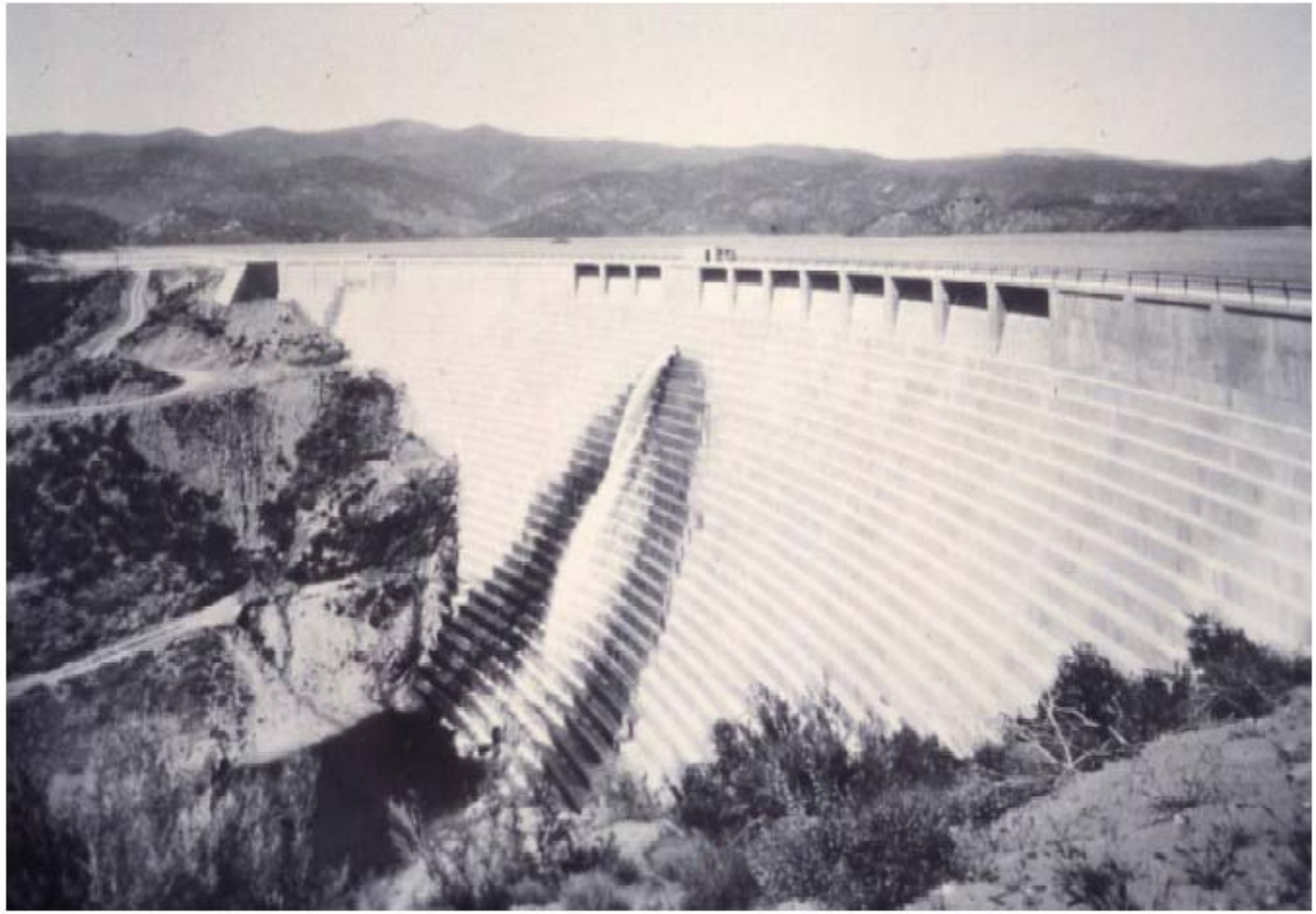


การรั่วซึมและกัดเซาะ



กรณีเขื่อน Teton

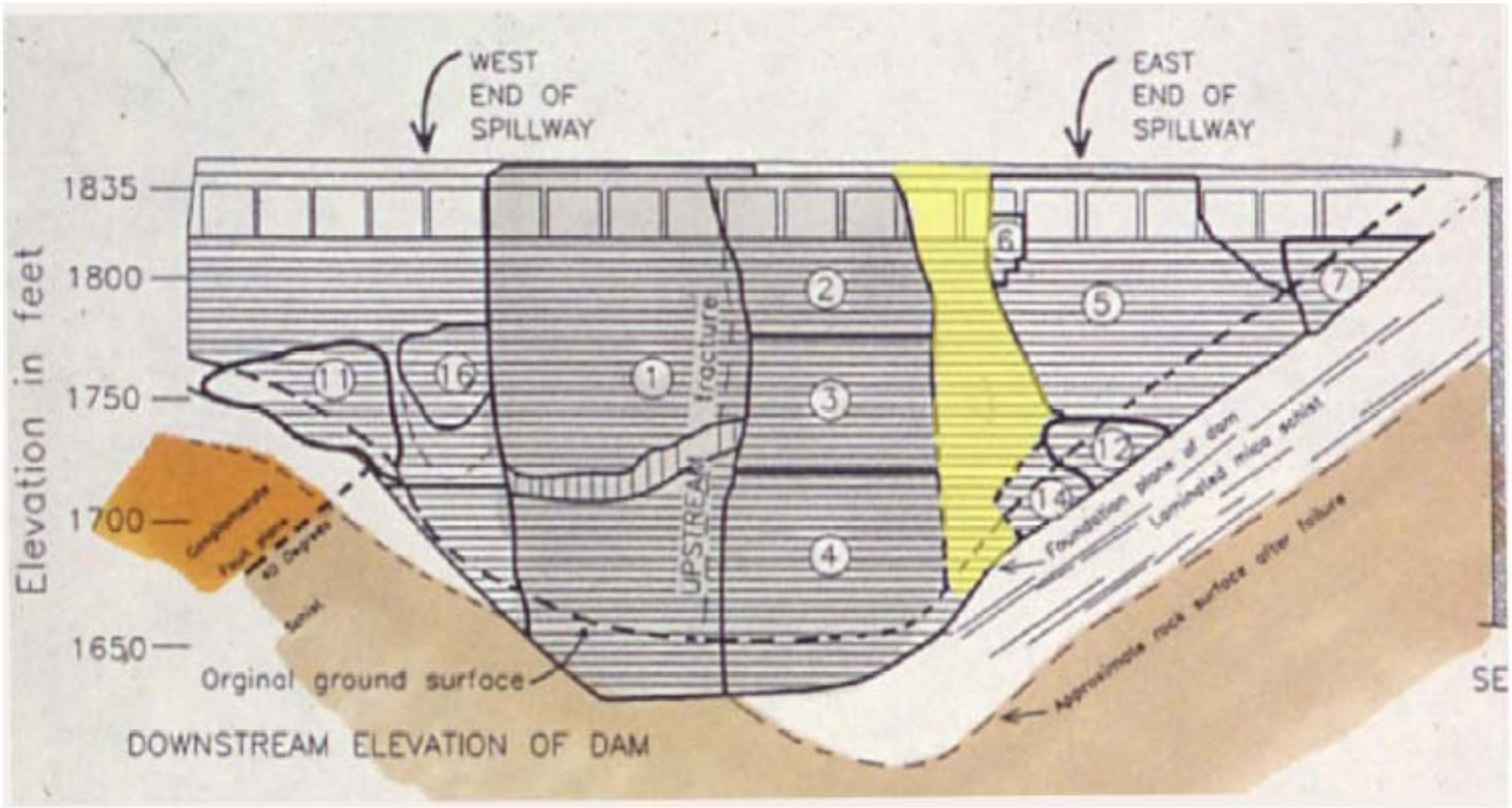




- ***St. Francis Dam*** *was a 200-ft high concrete gravity-arch dam constructed by the City of Los Angeles between 1924-26*
- *It failed catastrophically on March 12-13, 1928, killing at least 420 people, making it the worst American civil engineering failure of the 20th Century*

From J.D. Rogers, U. of Missouri-Rolla

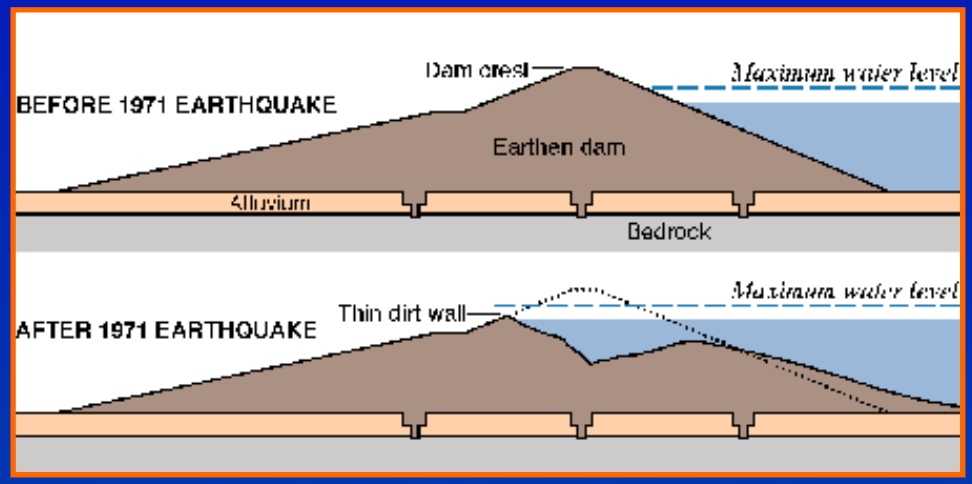
The "Missing Section"



- *The portion of the dam between Blocks 2/3/4 and 5/6/7 (shown in yellow) was not identified in the debris field until months later.*
- *This was referred to as the "missing section"*

From J.D. Rogers, U. of Missouri-Rolla

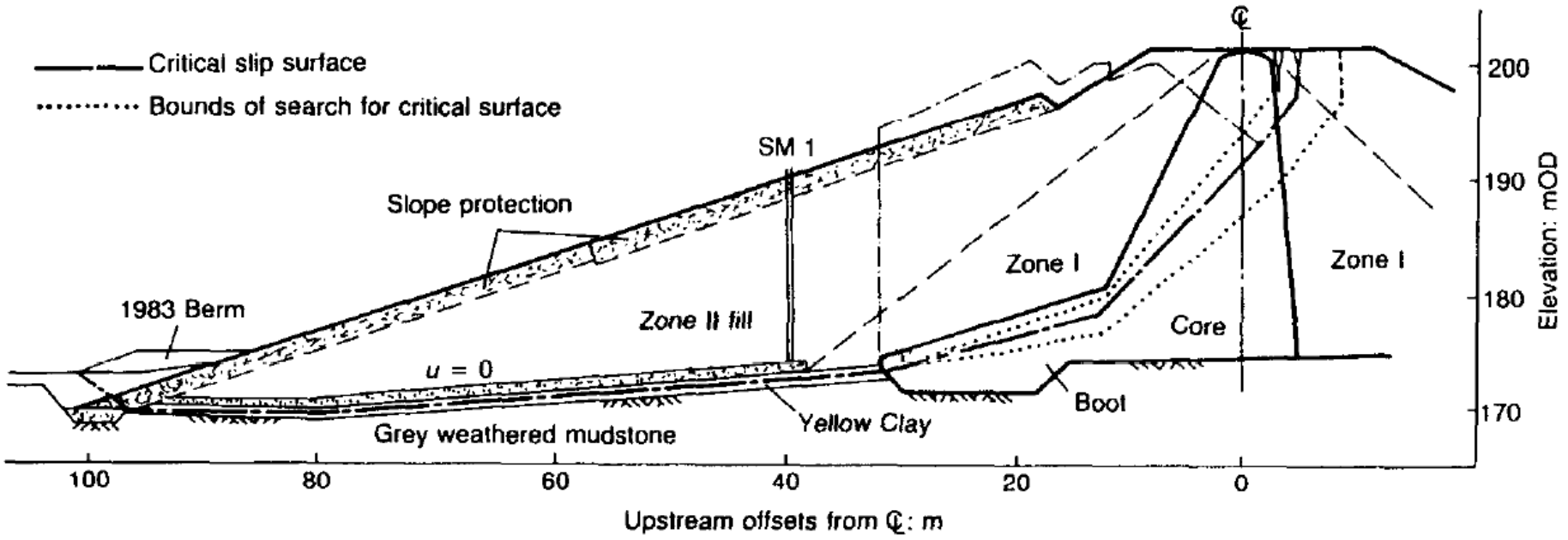
San Fernando Dam, California, U.S.A.

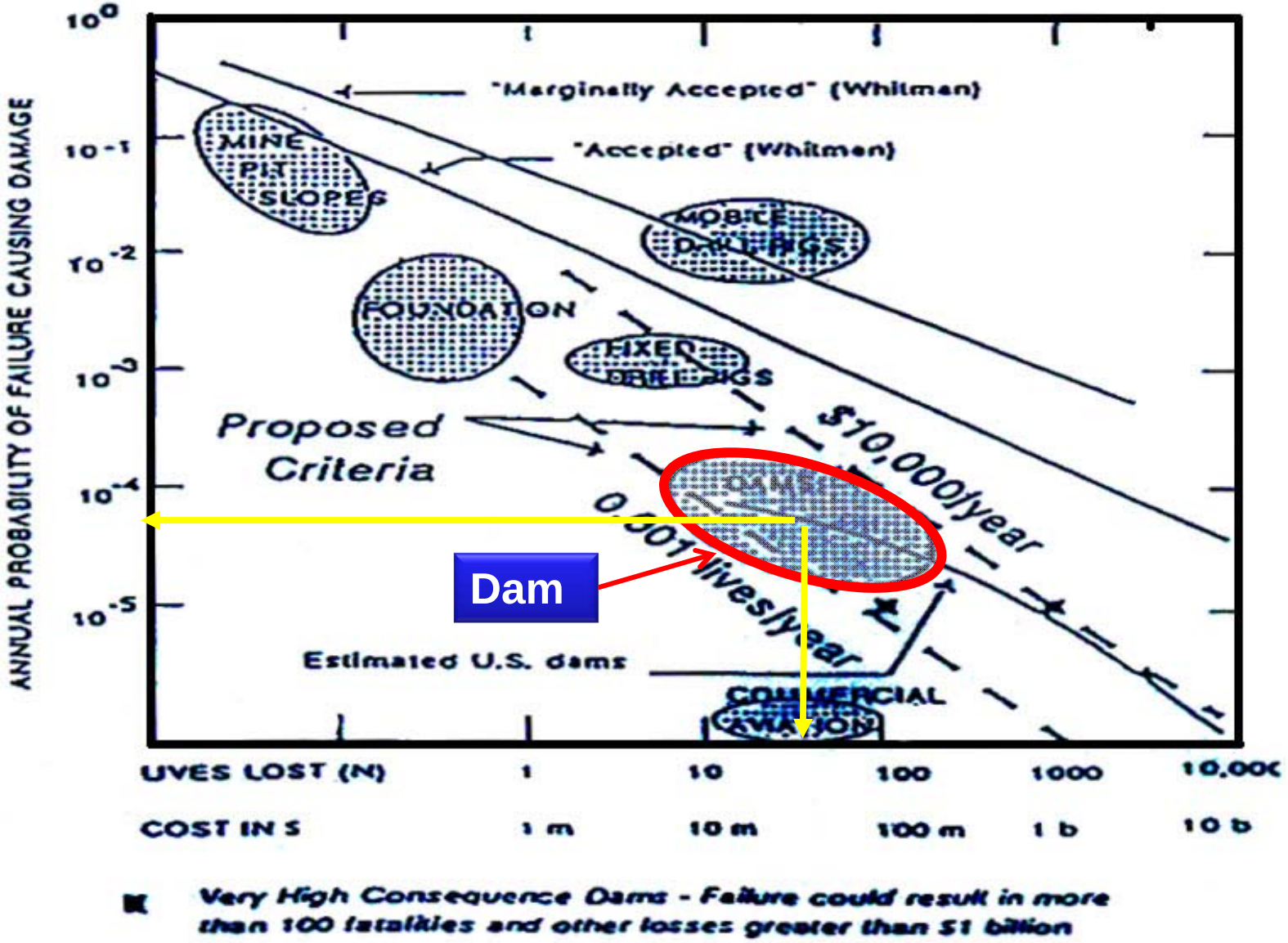


GERD

Slope Failure during Construction of Calaveras Dam, California, 1918.

Slope Failure of Carsington Dam





Acceptable Risk in Dam Projects (USA)

กรณีเขื่อนมูลบน (พ.ศ. 2533)

น้ำรั่วซึมผ่านฐานรากชั้นทราย

หนา 15-20 เมตร

GERD

สาเหตุการเกิดการชำรุดเสียหาย

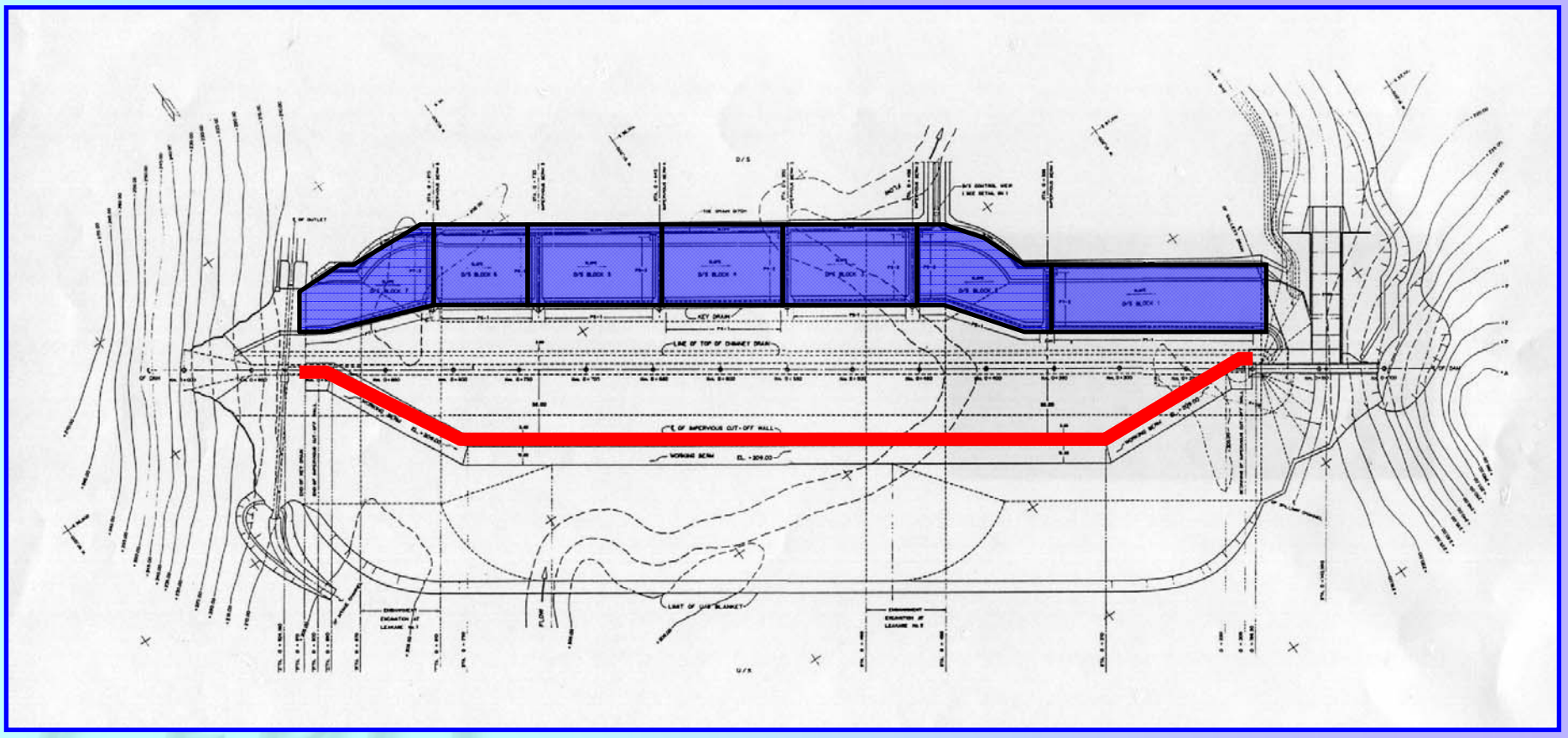
1. การรั่วของเขื่อนเกิดจากการกัดเซาะใต้ฐานรากเขื่อน เนื่องจากเขื่อนไม่มีร่องแกนแต่ใช้ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ ทำหน้าที่ยืดทางเดินของน้ำออกไป

2. ชั้นกรองด้านท้ายน้ำไม่สามารถรับน้ำและระบายน้ำที่ไหลผ่านดินฐานรากได้เพียงพอ

3. จุดรั่วซึมเป็นบริเวณลำน้ำเดิมและลำน้ำที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแนวลำน้ำทำให้มีแถบดินทราบตกตะกอนอยู่เป็นแนวการไหลของน้ำได้ดี

GERD

แนวกำแพงทึบน้ำและชั้นกรองที่มีการออกแบบแก้ไข



ผู้เกี่ยวข้องในการก่อสร้างเขื่อน

กลุ่มผู้เกี่ยวข้อง

1. เจ้าของงาน
2. วิศวกรที่ปรึกษา
3. ผู้รับจ้าง

4. ชุมชนในพื้นที่, นักการเมือง, นักอนุรักษ์ เป็นต้น

เจ้าของงาน: หน่วยงานรัฐบาล เช่น กรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ ร.พ.ช.

วิศวกรที่ปรึกษา: บริษัทวิศวกรที่ปรึกษา กองหรือหน่วยงานในสังกัดของเจ้าของงาน วิศวกรผู้เชี่ยวชาญอิสระ

ผู้รับจ้าง : บริษัทรับเหมาก่อสร้างเอกชน กองหรือหน่วยงานในสังกัดของเจ้าของงาน

ขั้นตอนทั่วไปในการก่อสร้างเขื่อน

- การเตรียมอาคารสำนักงานสนาม โรงงาน และถนนทางเข้า
- ถางปรับพื้นที่ก่อสร้างตัวเขื่อนและอาคารประกอบ
- ผันน้ำและควบคุมน้ำในพื้นที่บ่อก่อสร้าง
- ขุดฐานรากและร่องแกนเขื่อน
- ปรับปรุงฐานรากและอัดฉีดน้ำปูนสร้างม่านทึบน้ำ
- บดอัดตัวเขื่อนและชั้นระบายน้ำ
- ตัดแต่งลาดเขื่อนและป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าเขื่อน
- ติดตั้งเครื่องกว้านบานระบายและอุปกรณ์ประกอบเขื่อน

การเตรียมงานก่อนการก่อสร้าง

ผู้รับเหมาได้รับ”หนังสือแจ้งเข้างาน” (Letter to proceed) จากเจ้าของให้เริ่มดำเนินการได้ ควรจะต้องมีการเตรียมงาน

1. ตรวจสอบหมุดหลักฐานที่ผู้ว่าจ้างกำหนดให้ ว่าถูกต้องทั้งค่าระดับและพิกัด และจะต้องมีการยืนยันความถูกต้องกับผู้ว่าจ้างก่อนใช้อ้างอิงในการก่อสร้างต่อไป
2. ก่อสร้าง ปรับปรุง ถนนและทางลำเลียงให้ใช้ได้ดีทั้งภายในและภายนอกบริเวณหัวงานรวมทั้งเจรจากับผู้เกี่ยวข้อง เพื่อขออนุญาตใช้เส้นทางนอกเขตก่อสร้าง
3. ทำการก่อสร้างอาคารชั่วคราวทั้งของเจ้าของงานเพื่อใช้ในการตรวจสอบงานก่อสร้างหรือของผู้รับเหมาเองเพื่อเป็นที่ทำงาน คลังพัสดุ โรงซ่อมบำรุง ที่พักบุคลากรที่เกี่ยวข้อง
4. ขออนุมัติการใช้สถานที่จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมป่าไม้ กรมทรัพยากรธรณี กองทัพภาค และจังหวัด เป็นต้น

การควบคุมน้ำในระหว่างการก่อสร้าง

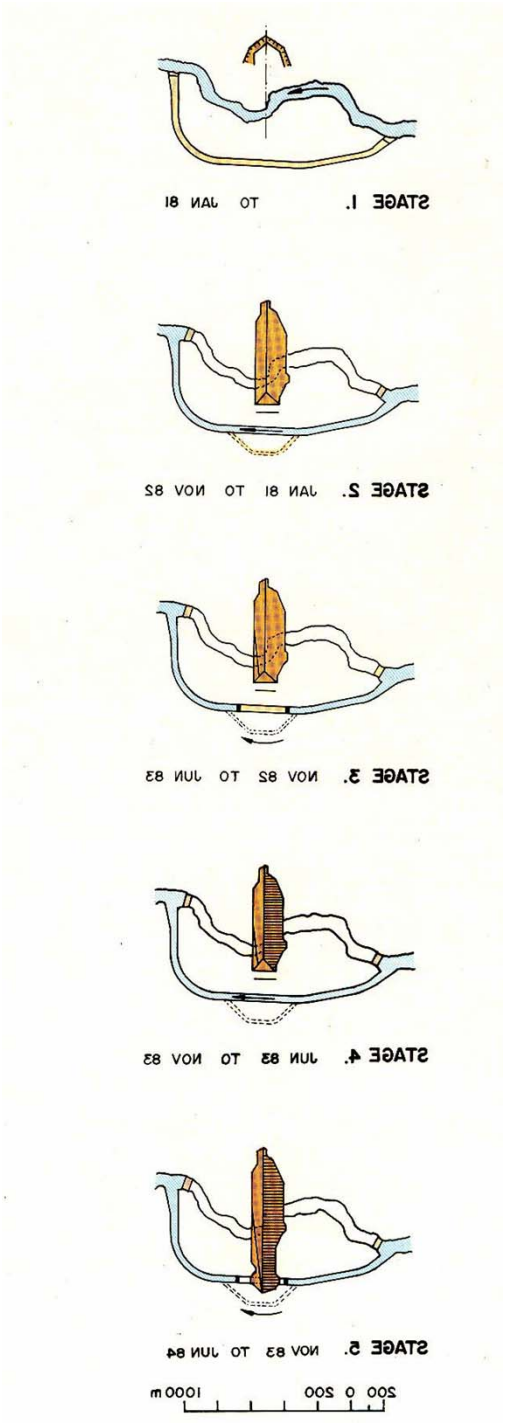
งานควบคุมน้ำในระหว่างการก่อสร้าง ผู้ออกแบบหรือเจ้าของงานจะให้ข้อแนะนำพร้อมข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาแก่ผู้รับเหมา โดยจะต้องให้ผู้รับเหมาเสนอวิธีการอย่างละเอียดมาให้พิจารณา ทั้งนี้เนื่องจากผู้รับเหมาแต่ละรายมีวิธีการ ความชำนาญ และเครื่องจักรเครื่องมือที่แตกต่างกันออกไป

การควบคุมน้ำในระหว่างการก่อสร้าง อาจหมายรวมถึงกิจกรรมดังต่อไปนี้

- การผันน้ำจากลำน้ำเดิมออกจากบริเวณที่ทำการก่อสร้าง (River Diversion)
- การสูบน้ำออกจากบริเวณบ่อก่อสร้าง (Dewatering)
- การส่งน้ำเข้าเลี้ยงลำน้ำเดิม (Ripperial water) หรือ เหมือง ฝายของราษฎรที่ยังใช้งานอยู่ เพื่อหล่อเลี้ยงให้สภาวะแวดล้อมคงเดิม รักษาพืชพรรณและสัตว์ในบริเวณก่อสร้างเขื่อนและตามลำน้ำทางท้ายน้ำ
- สร้างทำนบหรือฝายชั่วคราว (Coffer Dam) เพื่อปิดกั้น หรือเบี่ยงเบนลำน้ำไปยังบริเวณที่ต้องการ

การผันน้ำในระหว่างการก่อสร้าง

River Diversion



การสร้างทำนบหรือฝายชั่วคราว

จำเป็นต้องมีการบังคับน้ำด้วยการสร้าง Coffer dam ขึ้นปิดกั้นลำน้ำ เพื่อเบี่ยงเบนทิศทางการไหลของน้ำ Coffer dam อาจออกแบบให้เป็นส่วนหนึ่งของตัวเขื่อนหลักได้ เช่นที่แสดงขั้นตอนก่อสร้างในรูปที่ 121 การออกแบบ Coffer dam มักจะใช้น้ำหลากในรอบปีตั้งแต่ 10 ถึง 100 ปี แล้วแต่ขนาดเขื่อน และระยะเวลาของการก่อสร้างที่จะต้องผันน้ำ

Coffer Dam

การขุดฐานรากและร่องแกนเขื่อน

ก. การขุดลอกหน้าดิน (Stripping) ในบริเวณฐานรากของตัวเขื่อนทั้งหมดจะต้องมีการขุดลอกหน้าดินออกอย่างน้อย 50 ซม. จากผิวดินหรือพ้นความลึกของรากวัชชพืชหรืออินทรีย์วัตถุที่ทับถมอยู่โดยส่วนหนึ่งของดินนี้ อาจคัดเลือกเป็นดินผิวหน้าใช้ในการปลูกหญ้าที่ลาดเขื่อนได้

การขุดลอกหน้าดิน (Stripping)

การขุดฐานรากและร่องแกนเขื่อน (ต่อ)

ข. การขุดฐานรากทั่วไป (Foundation Excavation) ตัวเขื่อนจะต้องตั้งอยู่บนดิน หรือหินฐานรากที่มีความแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักตัวเขื่อนได้ โดยไม่เกิดการเคลื่อนพังหรือมีการทรุดตัวมากเกินไป ซึ่งถ้าเป็นเขื่อนขนาดเล็กหรือขนาดกลางชั้นดินที่มีค่าการตอกทดลอง (N) มากกว่า 15 blows/ft น่าจะเป็นการเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนักได้ ในขณะที่ถ้าเป็นเขื่อนใหญ่แล้วจะต้องมีการศึกษากำลังแบกทานอย่างละเอียดก่อนกำหนดชั้นของฐานราก

การขุดฐานรากและร่องแกนเขื่อน (ต่อ)

ค. การขุดร่องแกนเขื่อน (Core Trench Excavation) ระดับของร่องแกนเขื่อนจะลึกกว่าฐานรากทั่วไปของเขื่อน นอกจากจะต้องขุดถึงชั้นหินที่รับน้ำหนักเขื่อนได้แล้วยังต้องทึบน้ำเพียงพอหรือสามารถทำการอัดฉีดน้ำปูนให้ทึบน้ำได้ ส่วนผิวหน้าของหินที่ขุดแล้วจะต้องทำให้เรียบโดยการตัดแต่งหรืออุดด้วยปูนทราย (Cement mortar) เพื่อสะดวกต่อการบดอัดต่อไป

FOUNDATION EXCAVATION

THA DAN SADDLE DAM

การขุดฐานรากของอาคารประกอบ

ง. **การขุดบริเวณอาคารประกอบ** อันได้แก่การขุดดินและหิน เพื่อก่อสร้างทางระบายน้ำล้น และท่อส่งน้ำเป็นต้น ซึ่งจะต้องขุดถึงระดับที่กำหนดในแบบ ถ้าคุณสมบัติยังไม่เหมาะสม อาจต้องมีการขุดเพิ่มเติม หรือปรับปรุงสภาพให้ดีขึ้นตามความจำเป็น

การขุดฐานรากของอาคารประกอบ

การปรับปรุงฐานรากเขื่อน

ลักษณะงานของขุดฐานรากเขื่อน

วัสดุที่ทำการขุดอาจจำแนกเป็น 3 ประเภท ขึ้นอยู่กับความยากง่ายของการขุดแล้วยังทำให้ราคาต่อหน่วยแตกต่างกัน

1. การขุดดินหรือวัสดุทั่วไป (Common Excavation)
2. การขุดหินผุ (Weathered Rock Excavation) ซึ่งสามารถทำให้แตกหรือหลวมได้ด้วย Ripper ที่ติดกับรถตีนตะขาบได้
3. การขุดหินแข็ง (Solid Rock Excavation) ซึ่งจะต้องมีการขุดออกโดยการวางระเบิดเป็นบริเวณๆไป

ลักษณะงานของขุดฐานรากเขื่อน

การระเบิดหินฐานรากของร่องแกนเขื่อน RCC-B ลงหาระดับหินที่แข็งแรง

บริเวณช่วง กม.1+040 - กม.1+152

7 เมษายน 2543

Roll No.029

การปรับปรุงฐานรากเขื่อน

การก่อสร้างหรือปรับปรุงฐานรากเขื่อนจะต้องยึดถือคุณสมบัติที่สำคัญ 4 ประการคือ

ก. ฐานรากเขื่อนจะต้องทึบน้ำพอที่จะปิดกั้นการรั่วซึมของน้ำลอดใต้เขื่อนออกไปได้ให้ต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด

ข. ฐานรากใต้แกนดินเหนียวจะต้องมีสัมผัสเชื่อมต่อที่ดีกับส่วนทึบน้ำของเขื่อน

ค. ฐานรากจะต้องแข็งแรงพอที่จะรองรับน้ำหนักของตัวเขื่อนได้

ง. รูปร่างของผิวฐานรากจะต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือความชันมากเกินไปอันเป็นเหตุทำให้เกิดการทรุดตัวต่างกันและเกิดรอยแตกร้าวภายในตัวเขื่อนได้

การเตรียมผิวหน้าหินฐานราก

การขุดดินหรือหินฐานรากก่อนการอัดฉีดน้ำปูน ปกติจะยังไม่ขุดถึงระดับผิวหน้าหินแข็งเลยทีเดียว แต่จะเหลือไว้ 1-2 เมตร ปกคลุมหน้าหินไว้ เพื่อรักษาคุณสมบัติหินให้อยู่ในสภาพเดิม เนื่องจากหินบางชนิด เช่น Shale หรือ Slate อาจมีการพองตัวหรือผุพังได้เร็วมากเมื่อเปิดให้สัมผัสอากาศและสูญเสียความชื้นอยู่เป็นเวลานาน ๆ นอกจากนี้ชั้นที่เหลือไว้จะช่วยการอัดฉีดน้ำปูนให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่ออัดฉีดน้ำปูนเสร็จแล้ว ก่อนการบดอัดตัวเขื่อน จะต้องมีการขุดเปิดหินผุที่เหลือไว้ลงไปจนถึงชั้นหินแข็ง โดยเฉพาะที่บริเวณรองแกน

ขุด ตัด หรือระเบิด ดินหรือหินผุส่วนที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อตัวเขื่อน ออกไปจนถึงหินแข็ง โดยพยายามไม่ให้ผิวหน้าหินเป็นเหลี่ยมมุม หินฐานรากที่ยื่นออกมาเป็นมุมชันกว่า 45 องศาจะต้องตัดให้แบนราบลง เพื่อให้ง่ายต่อการบดอัดภายหลัง

ทำความสะอาดผิวหน้าหิน โดยการเป่าล้างด้วย Water-jet และหัวชะแลง แงะ ล้าง ไล่เศษดินหิน หรือสิ่งสกปรกที่ไม่ต้องการออกให้หมด

ในกรณีที่มีร่อง เหลี่ยม หรือมุม อันเกิดจากรอยแตกของหิน จะต้องมีการอุดปะ (Dental work) โดยใช้คอนกรีต มอร์ต้าอุดแต่ง หรือจะใช้วิธี Shotcrete หรือ Gunnite ก็ได้ตามความเหมาะสม

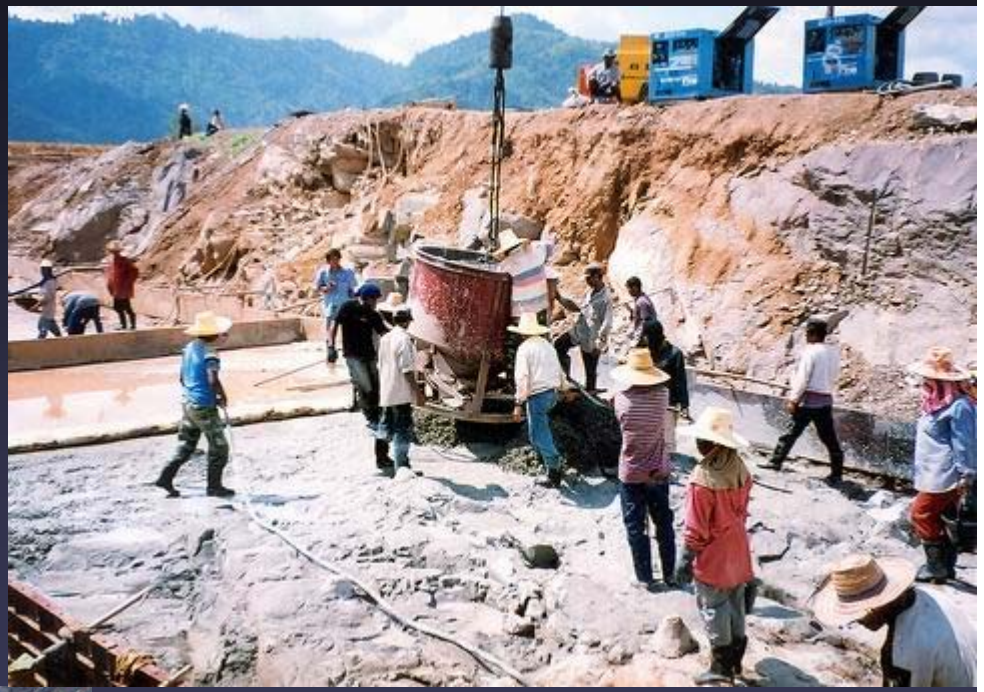
การทดสอบ Plate Bearing Test

การปรับปรุงหน้าหินโดยคอนกรีต และปูนท

THA DAN SADDLE DAM

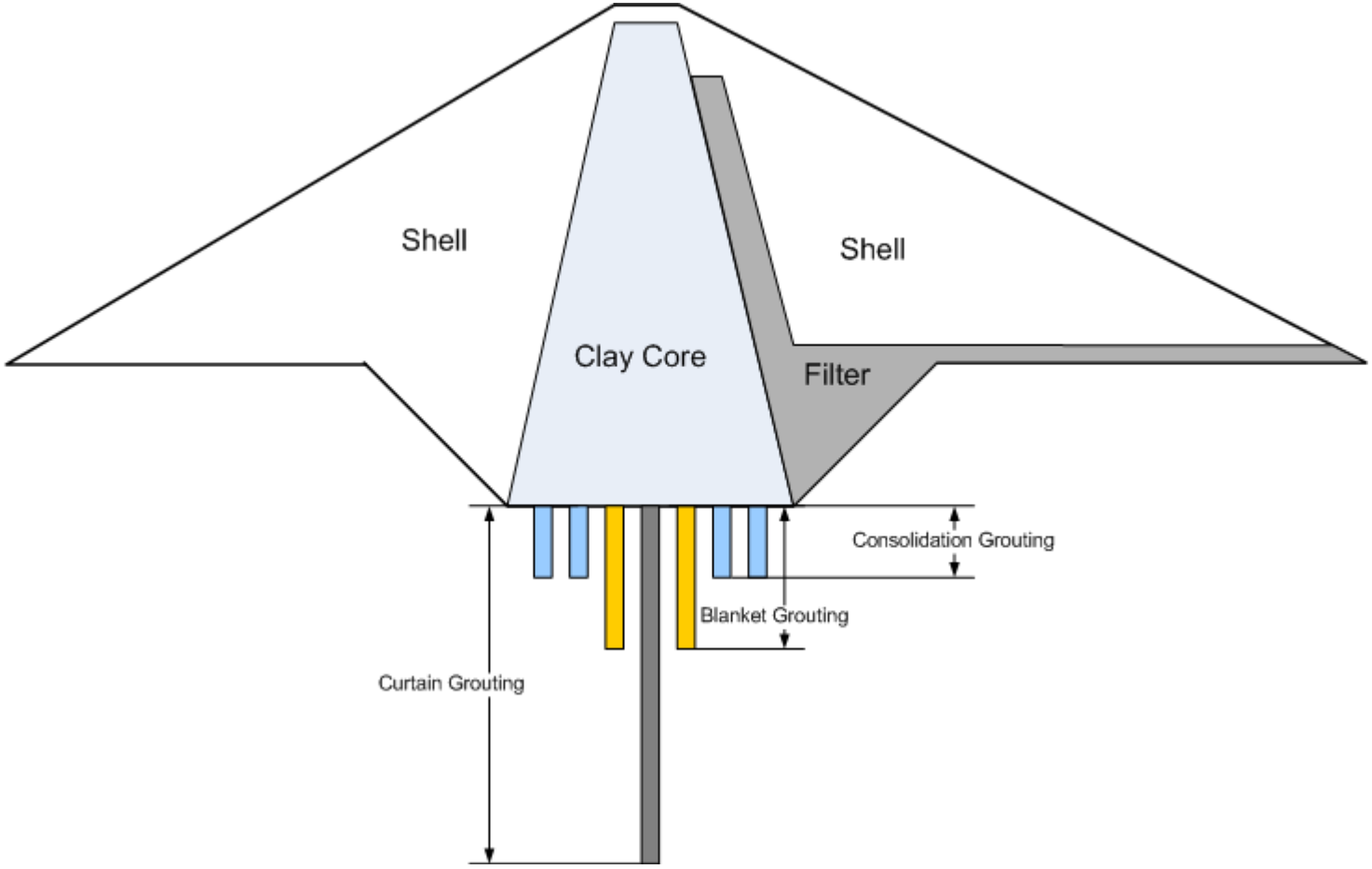
ส่วนของไหล่เขา หรือบริเวณใกล้โครงสร้าง ที่คิดว่าจะทำการบดอัดได้ยากการออกแบบคอนกรีต Cutoff Wall หรือ Cutoff Collar เพื่อกันการไหลแทรกของน้ำอีกชั้นหนึ่ง

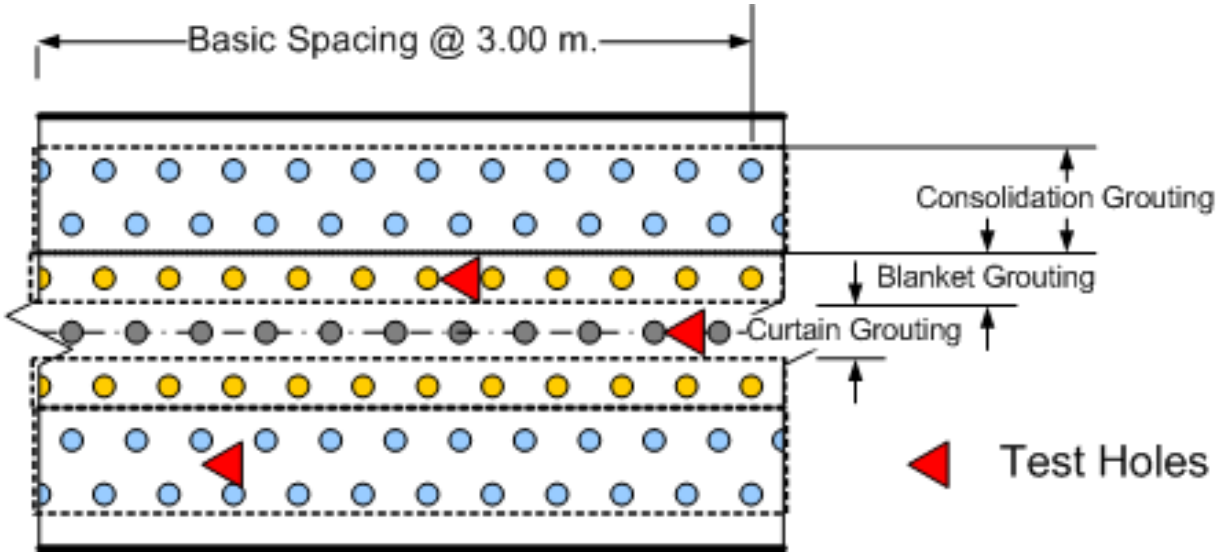
กรณีที่มีร่อง เหลี่ยม หรือมุม อันเกิดจากรอยแตกของหิน จะต้องมีการอุดปะ (Dental work) โดยใช้คอนกรีต



"Contact Clay" เพื่อเป็นตัวเชื่อมระหว่างแกนเขื่อนและชั้นหน้าหินฐานราก

Grouting Pattern for Earth Dam





Consolidation Grouting การอัดฉีดน้ำปูนบริเวณผิวหน้าหินลึกประมาณ 3-5 เมตร เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของหน้าหิน ให้รับน้ำหนักตัวเขื่อนและช่วยปิดกันน้ำส่วนบน

Blanket Grouting การอัดฉีดน้ำปูนลึกประมาณ 5-10 เมตร เพื่อช่วยปิดกันน้ำส่วนบนโดยเพิ่มความหนาของ Curtain Grouting

Curtain Grouting การอัดฉีดน้ำปูนลึกประมาณ 0.5 – 1.0 เท่า ของความสูงของน้ำหน้าเขื่อนเพื่อเป็นแนวหลักในการปิดกันน้ำที่ไหลผ่านฐานรากเขื่อน

วิธีการอัดฉีดน้ำปูน

1.เจาะหลุมสำหรับอัดฉีดน้ำปูนด้วยหัวขนาด EX หรือ NX

2.ทดสอบความรั่วซึมด้วยน้ำ เพื่อระบุความข้นของส่วนผสมที่เหมาะสมในช่วงเริ่มต้น

3. อัดฉีดน้ำปูน แล้วค่อยๆ เพิ่มส่วนผสมให้ข้นขึ้นเรื่อย

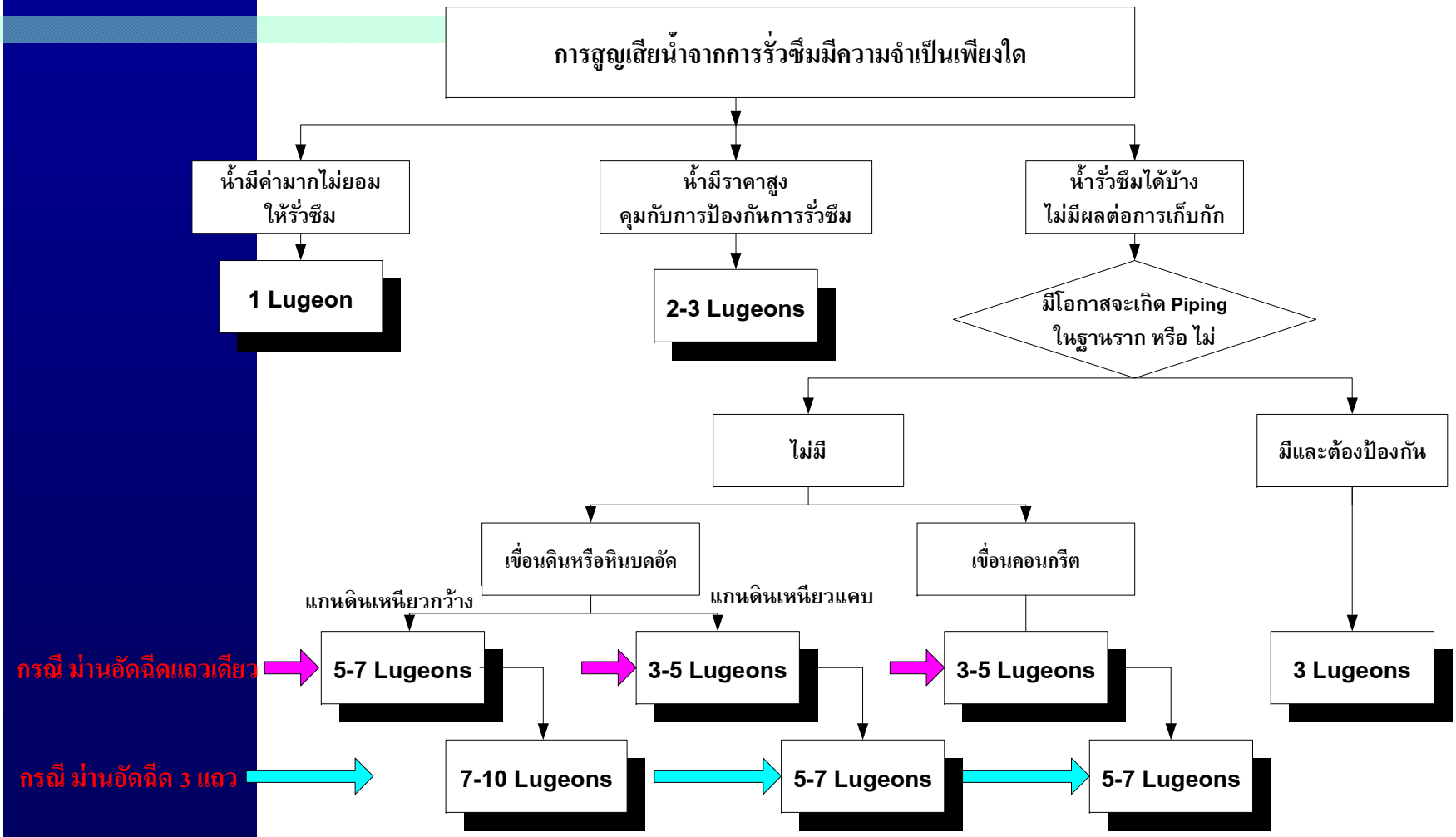
4. ทดสอบความรั่วซึมเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของการอัดฉีด

5. เจาะหลุมอัดฉีดลงไปในชั้นหินที่อยู่ในระดับลึกชั้นถัดไป

วัสดุผสมเพิ่มและสารเคมีในการอัดฉีดน้ำปูนของฐานรากเขื่อน

ชื่อวัสดุ	ลักษณะการใช้	คุณสมบัติ
-Calcium chloride	ผสมเพิ่มในน้ำปูน	เร่งการแข็งตัว
-Sodium hydroxide	"	"
-Gypsum	"	ยืดเวลาการแข็งตัว
-Lime sugar	"	"
-Bentonite -ดินและฝุ่นหิน -Rasin -Acrylamides	" " การอัดฉีดเฉพาะสารเคมี "	ทำให้เหลวและการหดตัวเพิ่ม ปริมาตรและลดค่าใช้จ่าย แทรกในช่องว่าง <.08 mm. แทรกในช่องว่าง <.02 mm.

การอัดฉีดน้ำปูนใต้ฐานเขื่อน

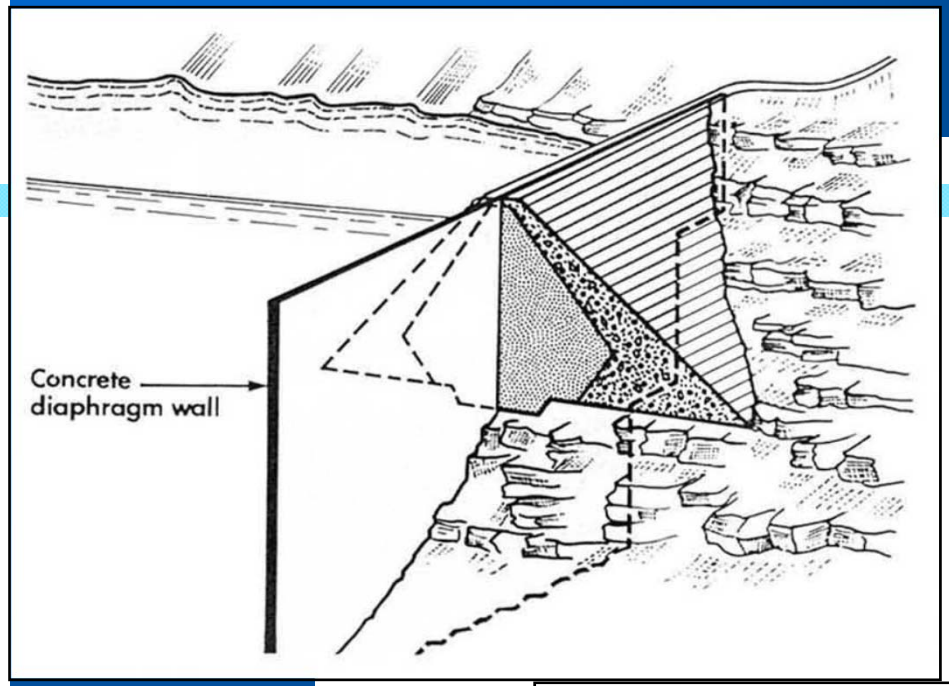


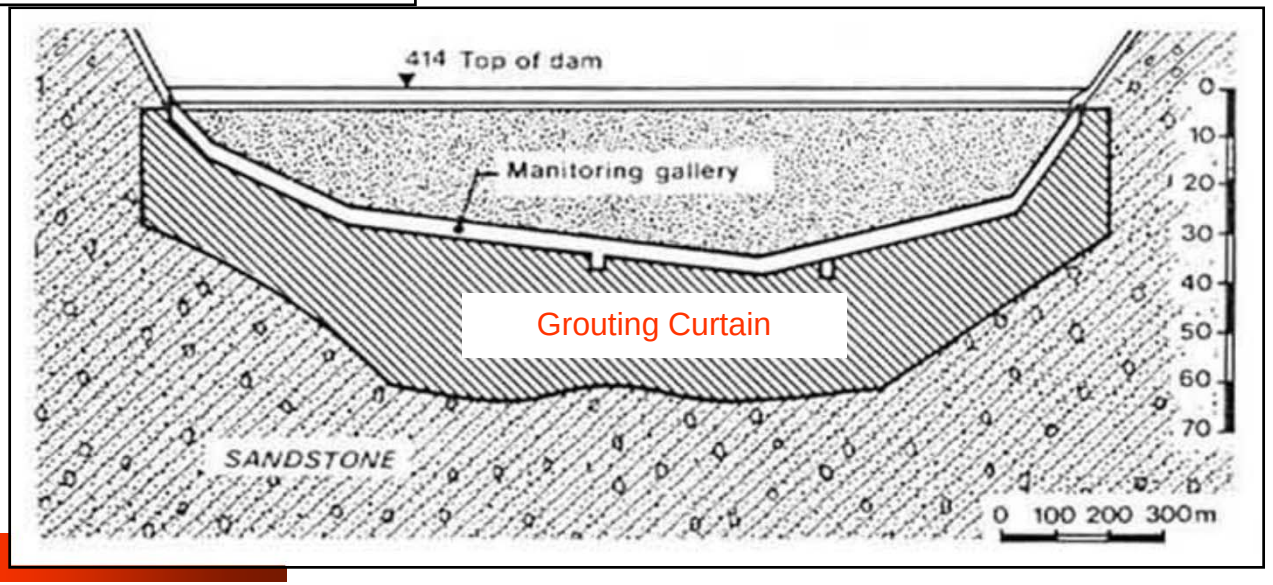
GERD

เครื่องมือและวิธีการ

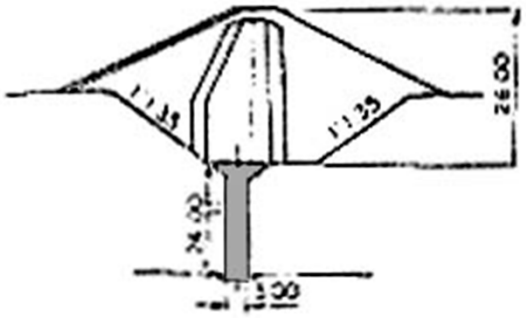
เครื่องมือและวิธีการ

การปิดกั้นการไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนและฐานราก

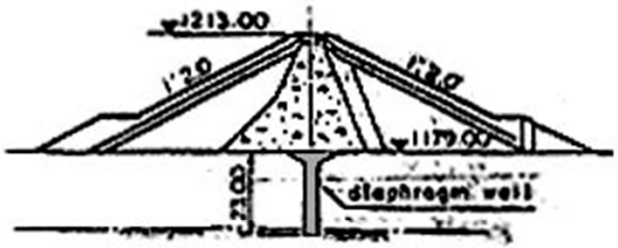




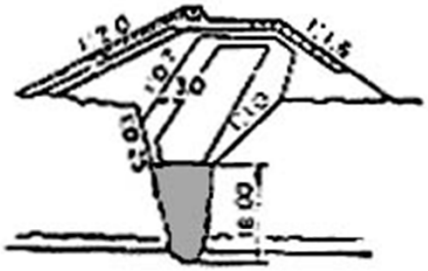
Wanapum Dam - U.S.A., 1962



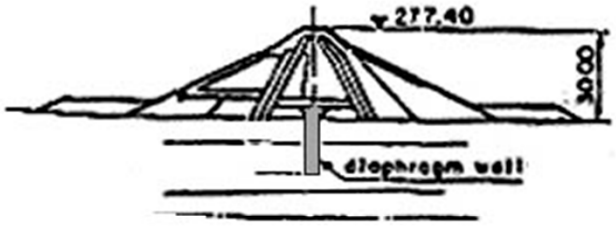
Las Tortolas Dam - Mexico, 1969



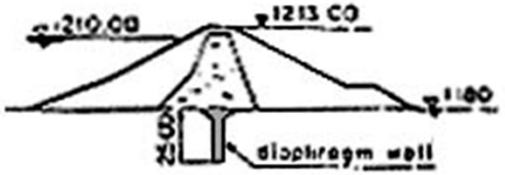
Thorisos Dam - Iceland, 1967



Blenheim Gilboa Lower Dam U.S.A., 1972



Francisco Zarco Dam - Mexico, 1968

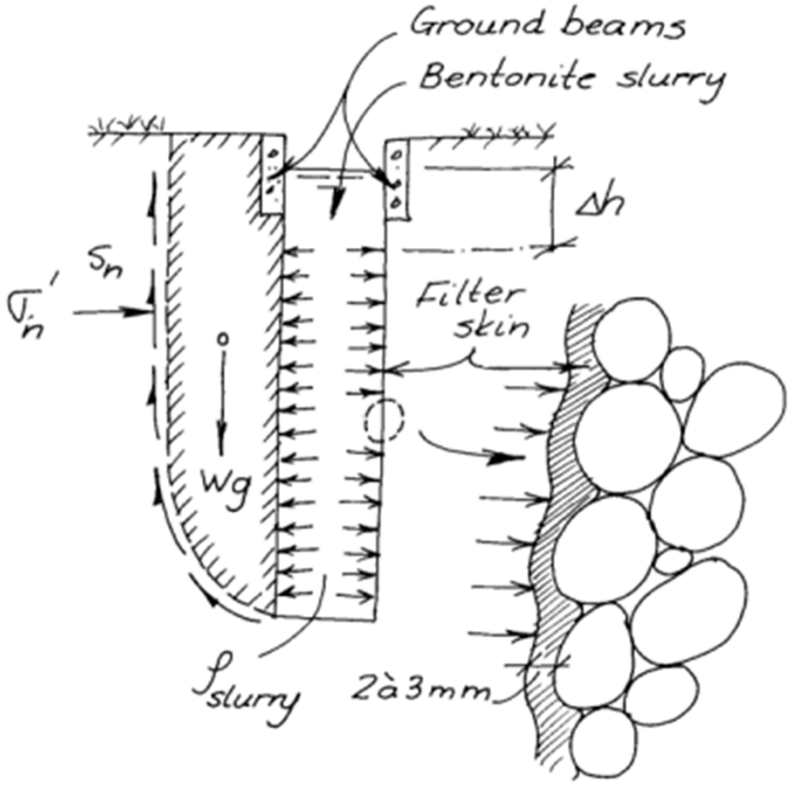


Omataka Dam - Zambia, 1980

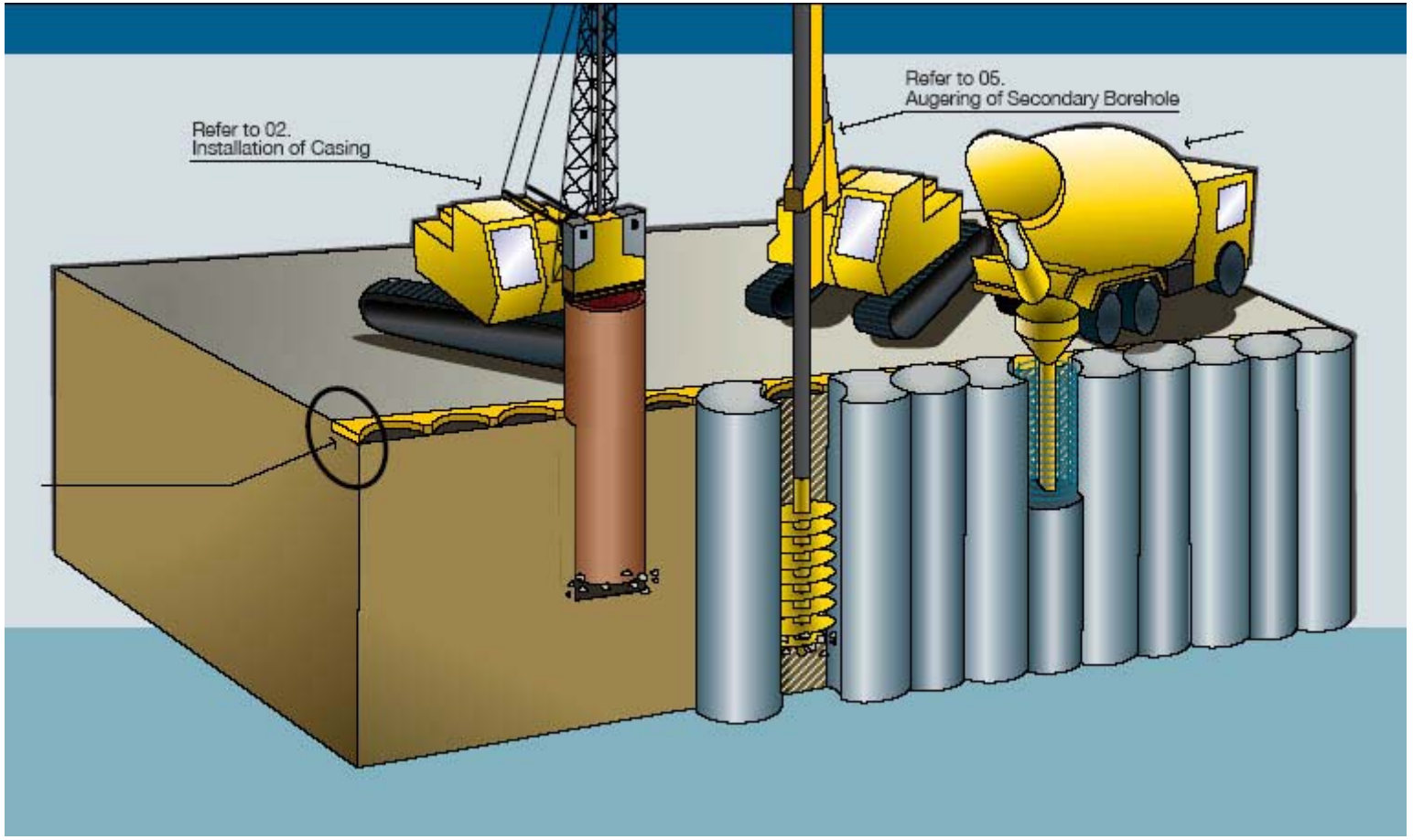
Slurry Wall ที่นำมาใช้ในงานเขื่อนของกรมชลประทาน

ลำดับ	ชื่อโครงการ	ที่ตั้ง	ปี พ.ศ. ที่ก่อสร้างเสร็จ	ลักษณะฐานราก	ประเภทการใช้งาน
1	เขื่อนยางชุม	อ.กุยบุรี จ.ประจวบฯ	2520	กรวดทราย	โครงสร้างถาวร
2	เขื่อนห้วยศาลา	อ.ขุขันธ์ จ.ศรีสะเกษ	2530	ดินตะกอนทราย	โครงสร้างถาวร
3	เขื่อนทับเสลา	อ.ลานสัก จ.อุทัย	2531	ดินตะกอนทราย	โครงสร้างถาวร
4	เขื่อนคลองบึง	อ.เมือง จ.ประจวบฯ	2531	ดินตะกอนกรวดทราย	โครงสร้างถาวร
5	เขื่อนแม่กวง	อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่	2535	กรวดทราย	โครงสร้างชั่วคราว
6	เขื่อนมูลบน	อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา	2537	ดินตะกอนทราย	โครงสร้างถาวร
7	เขื่อนลำแชะ	อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา	2538	ดินตะกอนทราย	โครงสร้างถาวร

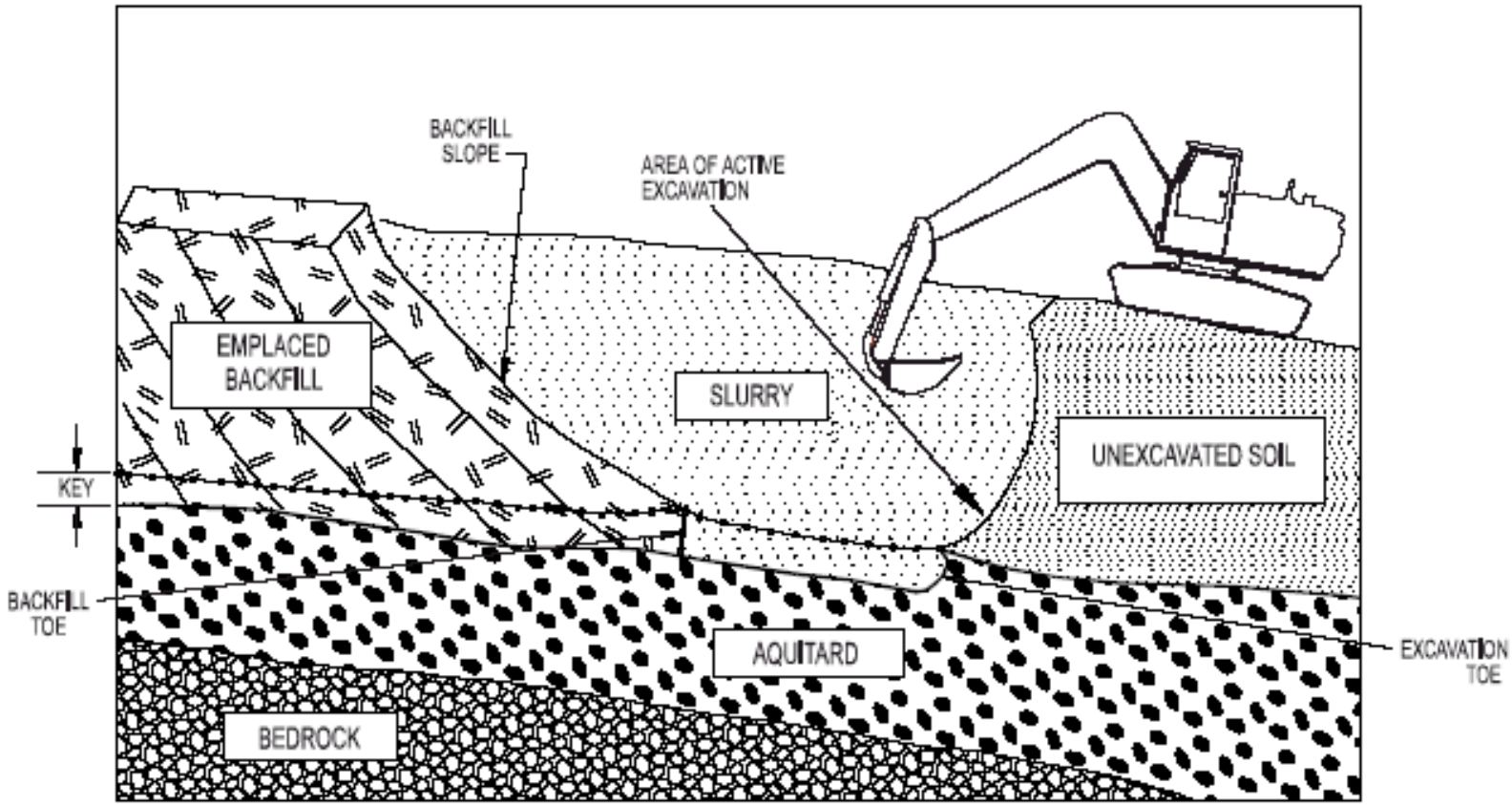
Bentonite Slurry for Trench Stabilization



Secant Pile Wall

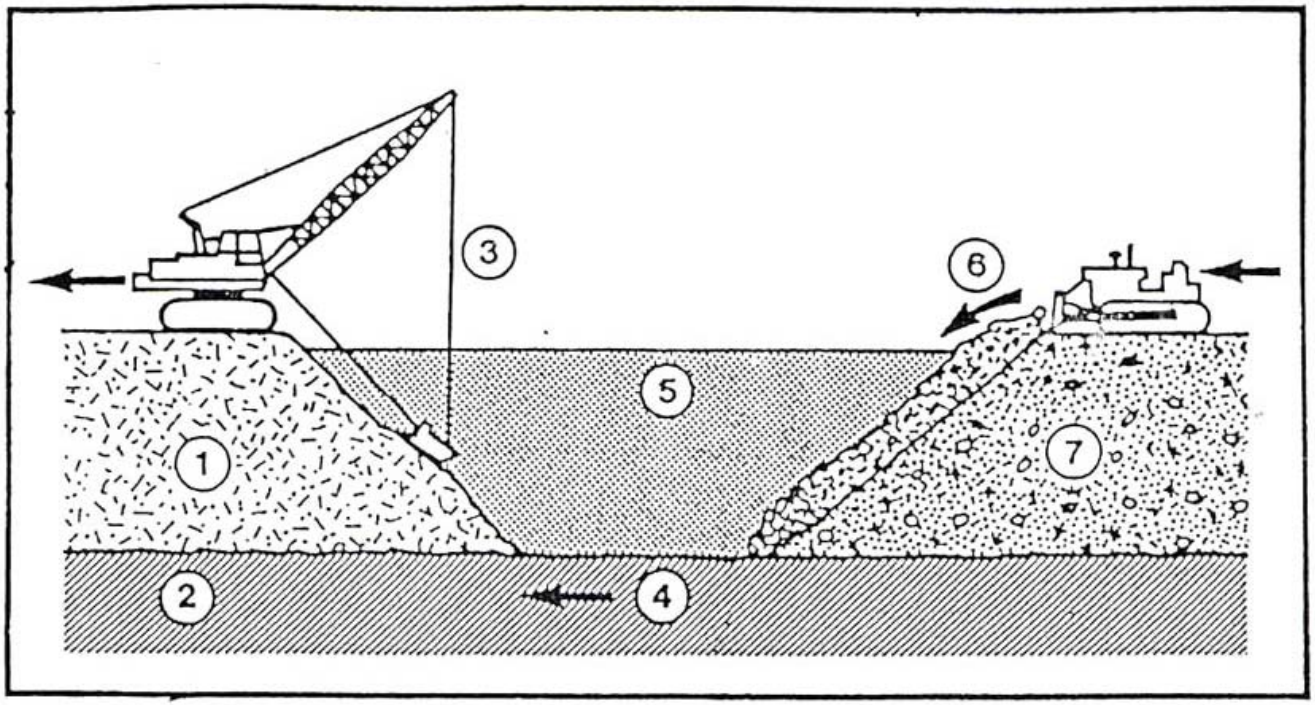


SOIL-BENTONITE SLURRY WALL



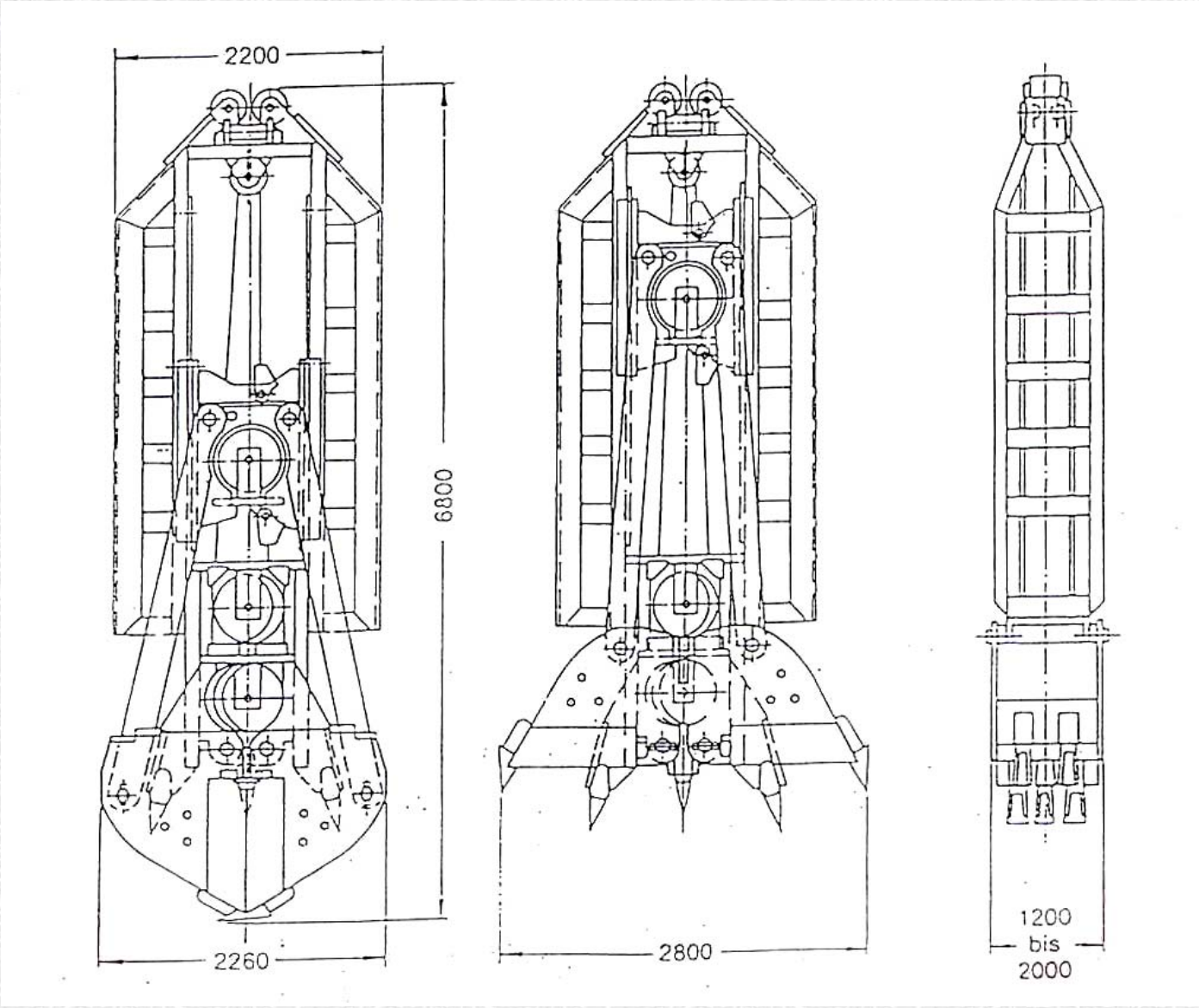
1. การก่อสร้างแบบขุดเป็นร่องต่อเนื่อง

มักใช้กับงานทำกำแพงทึบน้ำดิน-เบนโทไนท์ ในฐานรากเขื่อน



① ดินฐานรากที่จะทำการขุด ② ชั้นฐานรากทึบน้ำ ③ ขุดร่องกำแพงโดยใช้ Drag Line
④ ทิศทางการขุดร่องกำแพง ⑤ น้ำโคลนเบนโทไนท์ ⑥ ถมวัสดุเนื้อกำแพง
⑦ วัสดุเนื้อกำแพงที่ถมเสร็จแล้ว

Clamshell สำหรับการขุดร่องกำแพง



ก่อสร้าง Working Berm

รูปตัดของ Temporary Guide Wall และการก่อสร้างในสนาม

การขุดดินร่องกำแพง
โดยใช้ Cable Suspended Clamshell

การเทวัสดุเนื้อกำแพง โดยใช้ Tremie Pipe

การบดอัดตัวเขื่อน

การบดอัดดิน (Soil Compaction)

การให้พลังงานบดอัดและความชื้นที่พอเหมาะแก่มวลดิน เพื่อให้เนื้อดินเข้ามาเรียงตัวชิดแน่นขึ้นทำให้เกิดผลดี คือ

1. ลดช่องว่างในมวลดิน → ความหนาแน่นสูงขึ้น → ทรุดตัวน้อยลง
2. เพิ่มกำลังและแรงเสียดทาน → มั่นคงและรับน้ำหนักได้มากขึ้น
3. ลดความซึมน้ำของมวลดิน → ทึบน้ำและปิดกั้นการรั่วซึม
4. ลดการยืด-หดตัวของมวลดิน

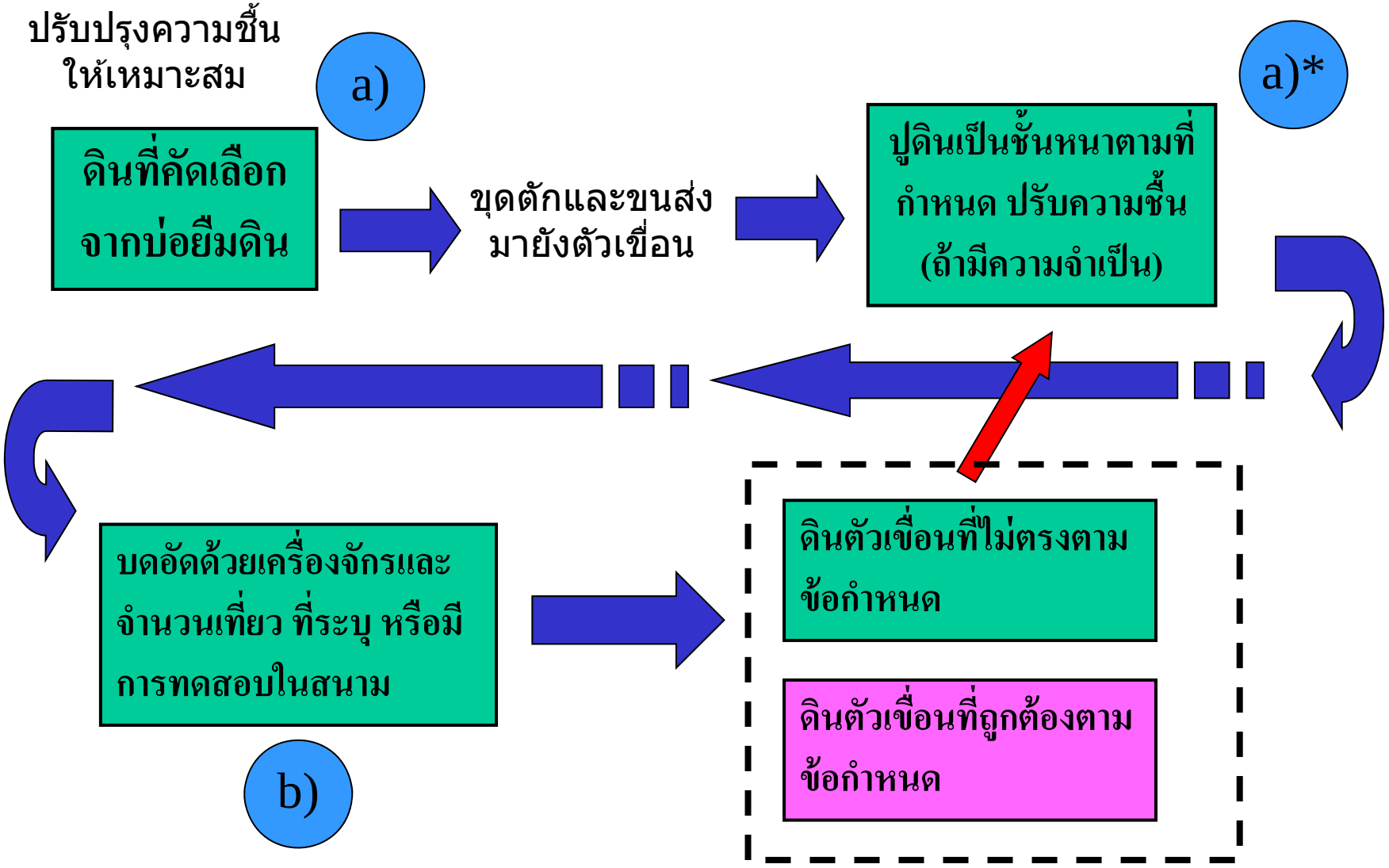
GERD

ปัจจัยที่มีผลต่อการบดอัด

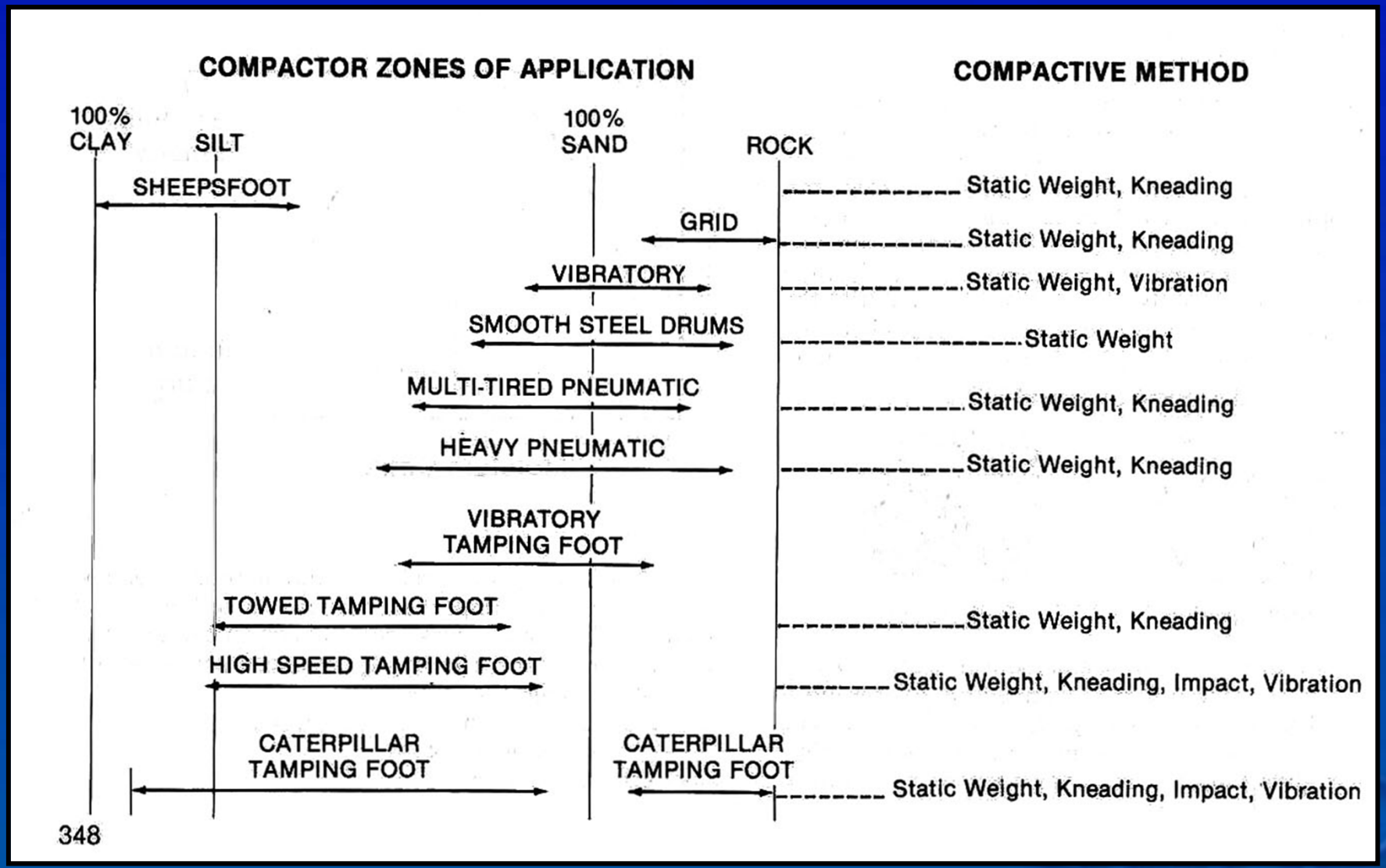
1. พลังงานที่ใช้บดอัดต่อปริมาตรของดิน
2. วิธีการในการบดอัด
3. ความชื้นที่เหมาะสม
4. ชนิดของดิน ความเหนียว และขนาดคละ
5. สารผสมเพิ่มในดินและการบ่ม

GERD

การบดอัดตัวเขื่อน

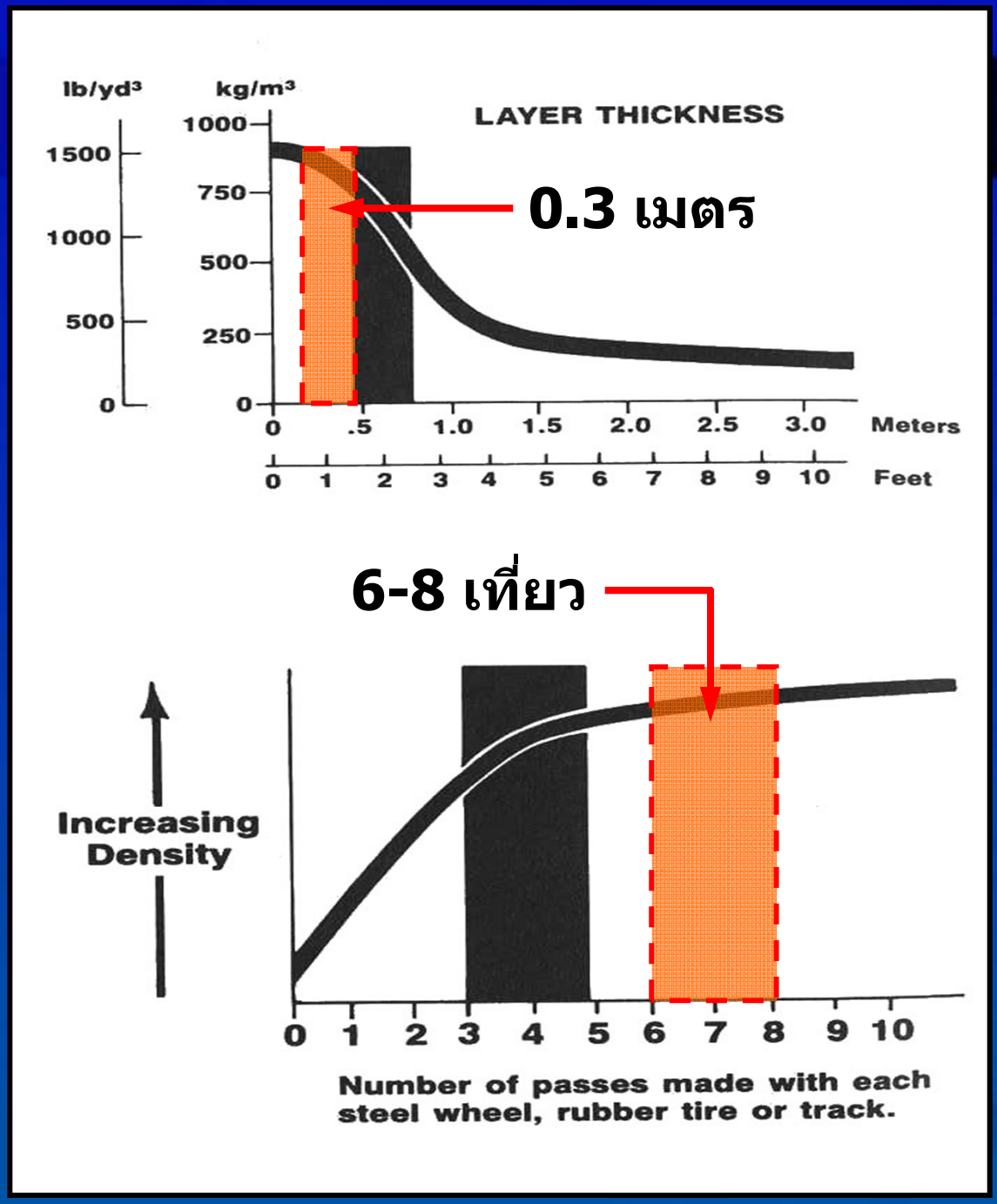


ชนิดของการบดอัด



ความหนาของชั้นดิน และจำนวนเที่ยว

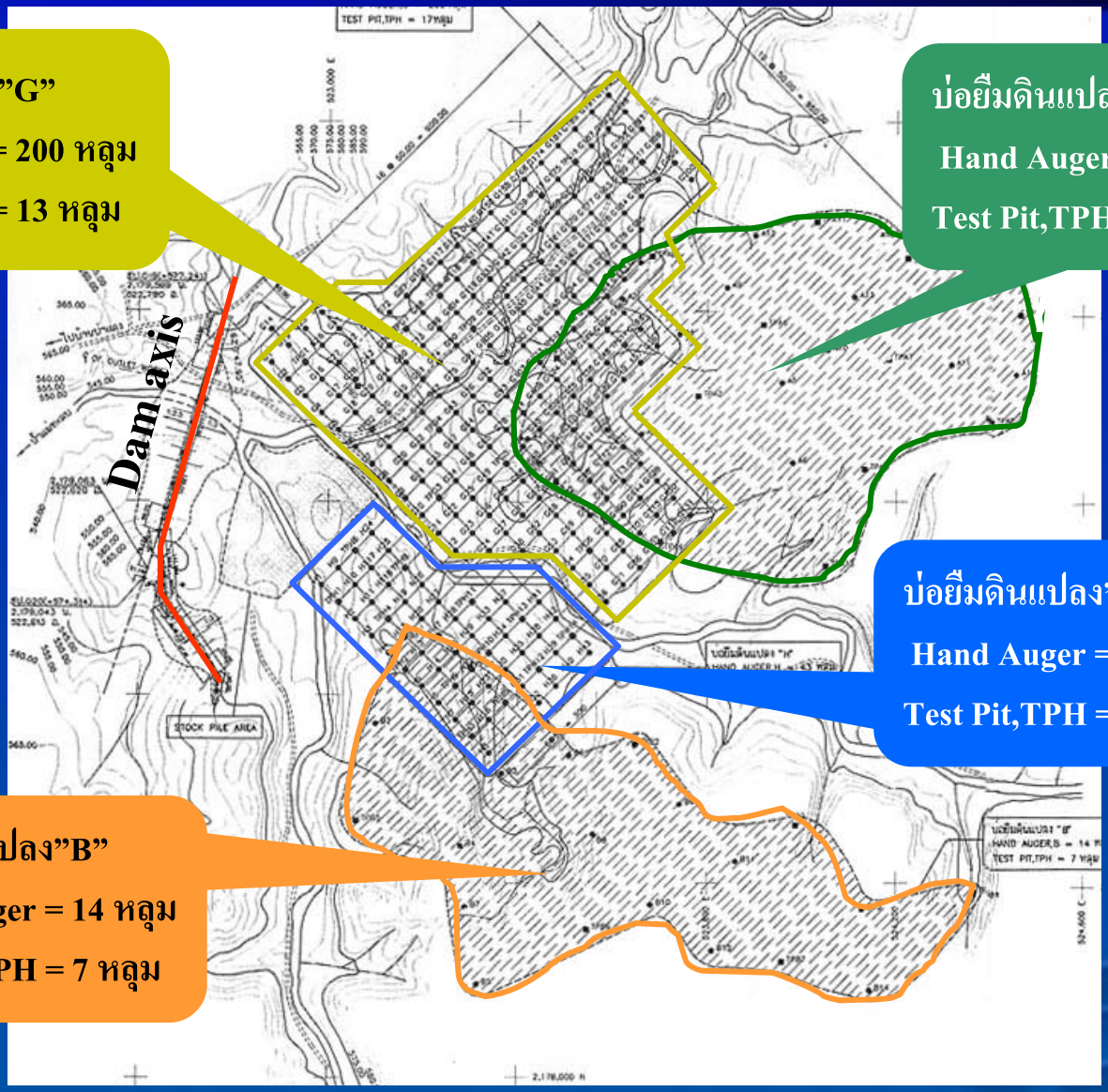
*** ต้องมีการทดสอบ ***
จริงในสนาม



การบดอัดดิน ตัวเขื่อน

GERD

ผังการสำรวจดินที่บ่อยืมดิน



บ่อยืมดินแปลง"G"
Hand Auger = 200 หลุม
Test Pit,TPH = 13 หลุม

บ่อยืมดินแปลง"A"
Hand Auger = 18 หลุม
Test Pit,TPH = 13 หลุม

บ่อยืมดินแปลง"H"
Hand Auger = 43 หลุม
Test Pit,TPH = 14 หลุม

บ่อยืมดินแปลง"B"
Hand Auger = 14 หลุม
Test Pit,TPH = 7 หลุม

QUALITY CONTROL TEST

Zone	% Compaction	Field Moisture Content, %	Permeability cm/sec
Zone 1 : Impervious Earth Fill	≥ 97% S.P.C.T*	$W_{opt} \pm 2\%$	$< 1 \times 10^{-5}$
Zone 2 : Filter	75% ≤ Dr* < 85%	Abrasion < 45% Soundness < 14%	
Zone 3 : Rockfill and Rip-rap	Specific Gravity > 2.5, % Absorption < 5% d^* > 2.00 ton/m3 (Field Test for Rockfill)		

Note: * Dr = Relative density ; S.P.C.T. = Standard Proctor Compaction Test

$_d$ = Dry Unit Weight obtained from Field Density Test

THA DAN SADDLE DAM

GERD

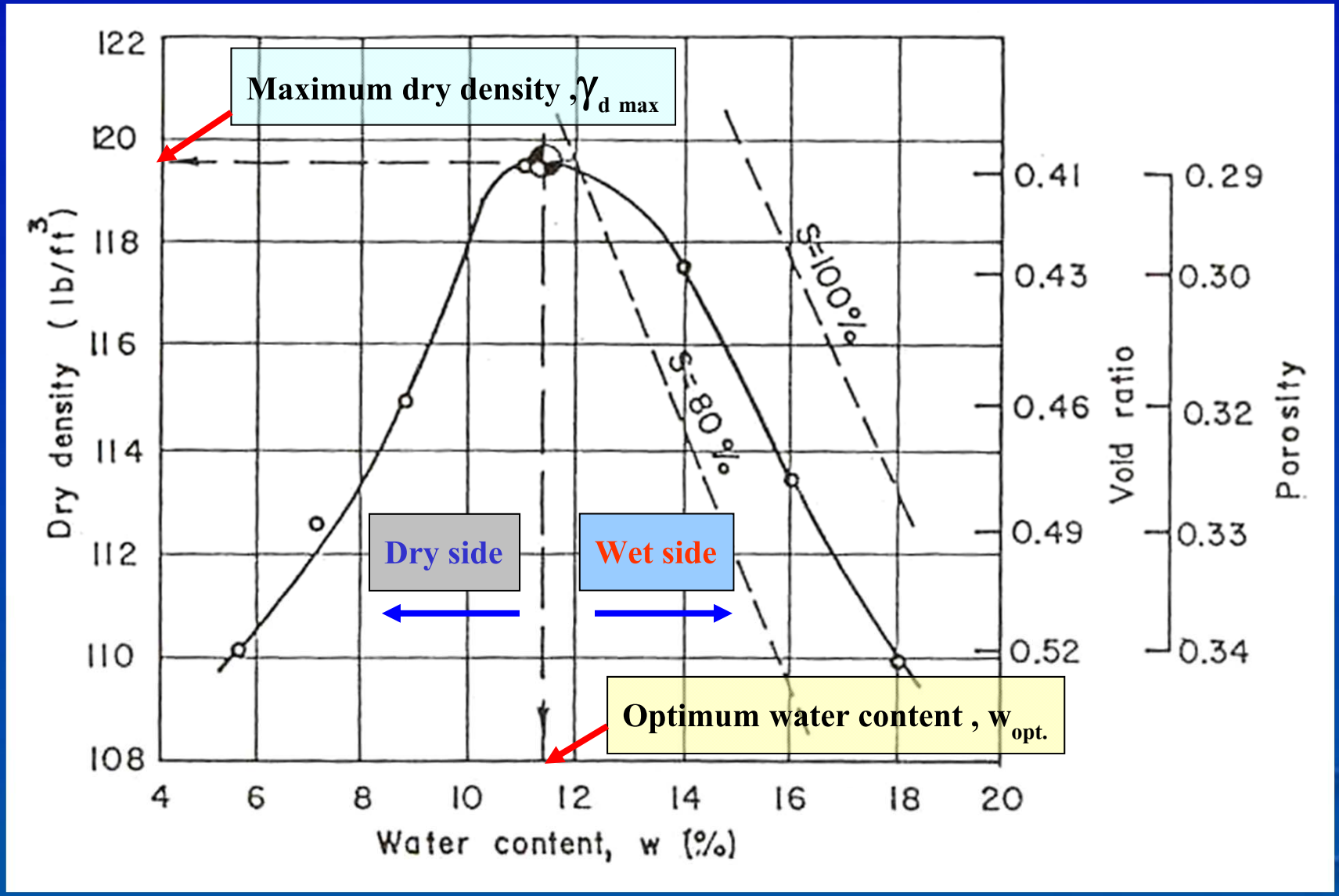
FREQUENCY OF CONTROL TEST

Zone	Type of Test	Frequency	Reference
Zone 1 : Impervious Earthfill			
(a) At Borrow Area	1.1 Moisture Content	Every Working	ASTM D-2216
	1.2 Specific Gravity	day	ASTM D-854
	1.3 Gradation		ASTM D-422
	1.4 Atterberg,s Limit	Every 30,000 m3	ASTM D-423 & D-424
	1.5 Compaction Test	or when changing	ASTM D-698
	1.6 Triaxial Test	the borrow area	
	a) UU-Test		ASTM D-2850
	b) CU-Test	Every 50,000 m3	ASTM D-4767
		Every 50,000 m3	
(b) At Dam Embankment	1.7 Field Density Test	Every 3,000 m3	EARTH MANUAL E-24
	1.8 Field Permeability	Every 50,000 m3	EARTH MANUAL E-19
	1.9 Gradation	Every 30,000 m3	ASTM D-422

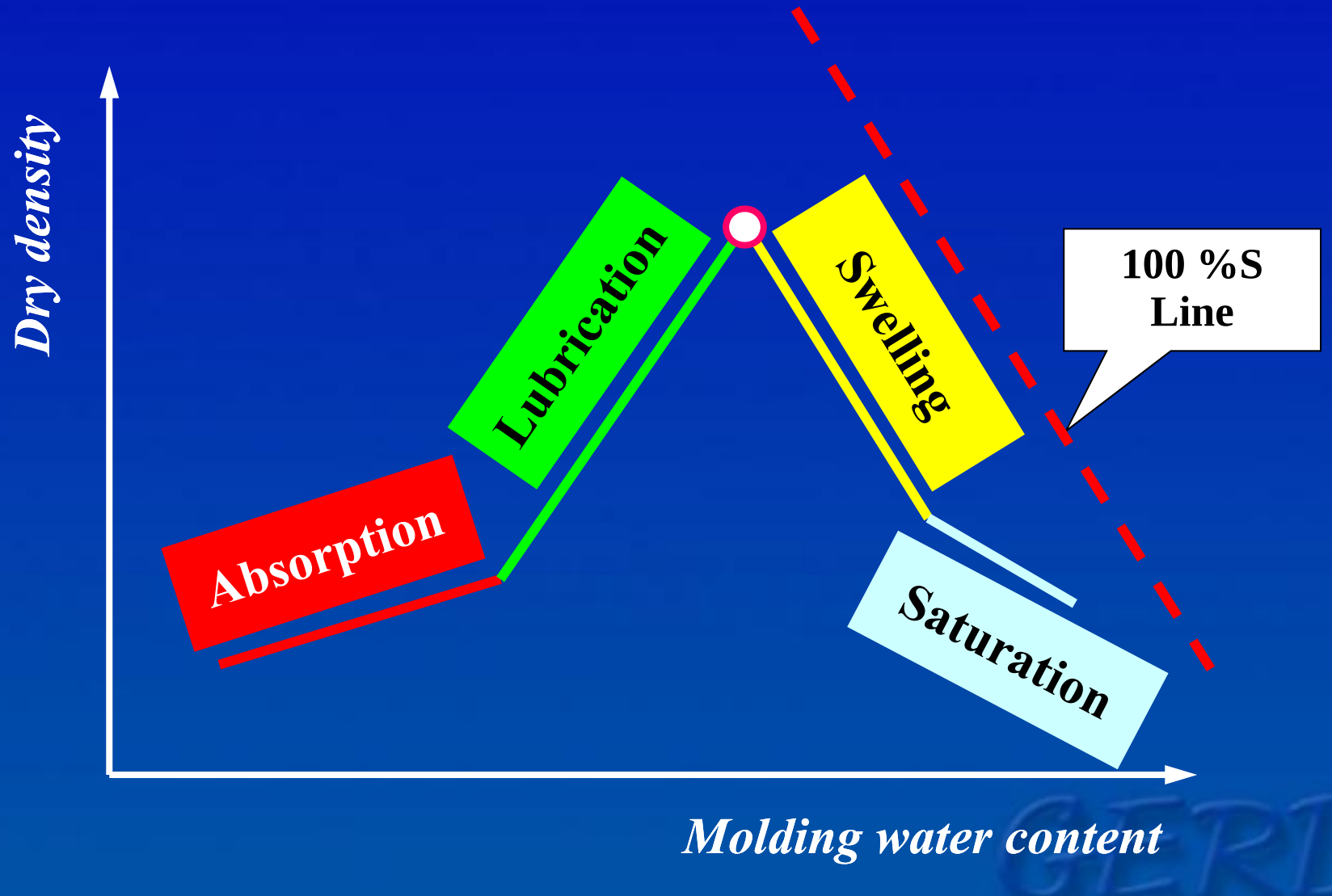
FREQUENCY OF CONTROL TEST

Zone	Type of Test	Frequency	Reference
Zone 2 : Filter Matereal			
(a) At the Source	2.1 Abrasion Test	Every 30,000 m3	ASTM C-535
	2.2 Soundness Test	Every 30,000 m3	ASTM C-88
(b) At Dam Embankment	2.3 Field Density Test	Every 3,000 m3	EARTH MANUAL E-24
	2.4 Relative Density Test	Every 10,000 m3	ASTM D-2049
	2.5 Gradation	Every 5,000 m3	ASTM D-422
Zone 3 : Rockfill and Rip-rap			
At Dam Embankment	3.1 Field Density Test	Every 3,000 m3	EARTH MANUAL E-24/ WATER REPLACEMENT
	3.2 Specific Gravity	Every 10,000 m3	ASTM C-127
	3.3 Absorption Test	Every 10,000 m3	ASTM C-56-78
	3.4 Gradation	Every 10,000 m3	ASTM D-422

Compaction Curve



Compaction curve theory by Hogentogler (1936)



KASETSART UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, Geotechnical Laboratory

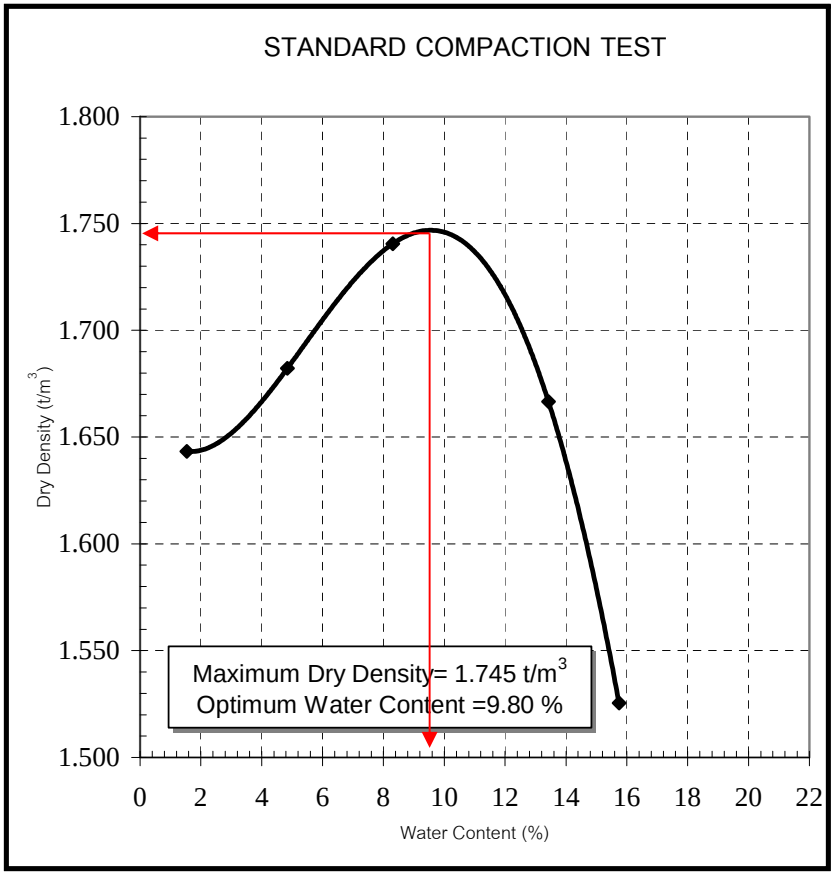
STANDARD COMPACTION TEST

For:	Land Development Department	Compaction method		Standard	
Project :	JIRCASS	Weight of Hammer		5.5	lb.
Station:		Height of Drop		12	in.
Location:		Blows Per Layer		25	
Soil Description	Sandy Soil SP20	No. of Layers		3	
Date	27/01/2546	Mould Size	Diameter	10.16	cm
Tested by	Chalermchai-Petai		Hight	11.68	cm
		Volume of Mould, V		946.935	cm^3

COMPACTION	Test No.	1	2	3	4	5	6	7
Assumed Water Content	%							
Weight of Air Dry Soil Used	g							
Water Content of Air Dry Soil	%							
Amount of Water Added	cc							
Weight of Wet Soil+Mould	g	3640.0	3730.0	3845.0	3850.0	3732.0		
Weight of Mould	g	2060.0	2060.0	2060.0	2060.0	2060.0		
Weight of Wet Soil,W	g	1580.0	1670.0	1785.0	1790.0	1672.0		
Wet Density , $\gamma t=W/V$	g/cm^3	1.669	1.764	1.885	1.890	1.766		
Dry Density,$\gamma d=100\gamma t/(100+w)$	g/cm^3	1.643	1.682	1.740	1.667	1.526		

WATER CONTENT

Container No.								
Weight of Wet Soil+Container	g	185.8	108.2	138.1	171.3	199.9		
Weight of Dry Soil+Container	g	183.4	104.2	129.6	154.0	176.3		
Weight of Water	g	2.4	4.1	8.6	17.2	23.6		
Weight of Container	g	24.3	20.3	26.6	25.9	26.2		
Weight of Dry Soil	g	159.1	83.9	103.0	128.2	150.0		
Water Content,w	%	1.53	4.84	8.30	13.43	15.74		



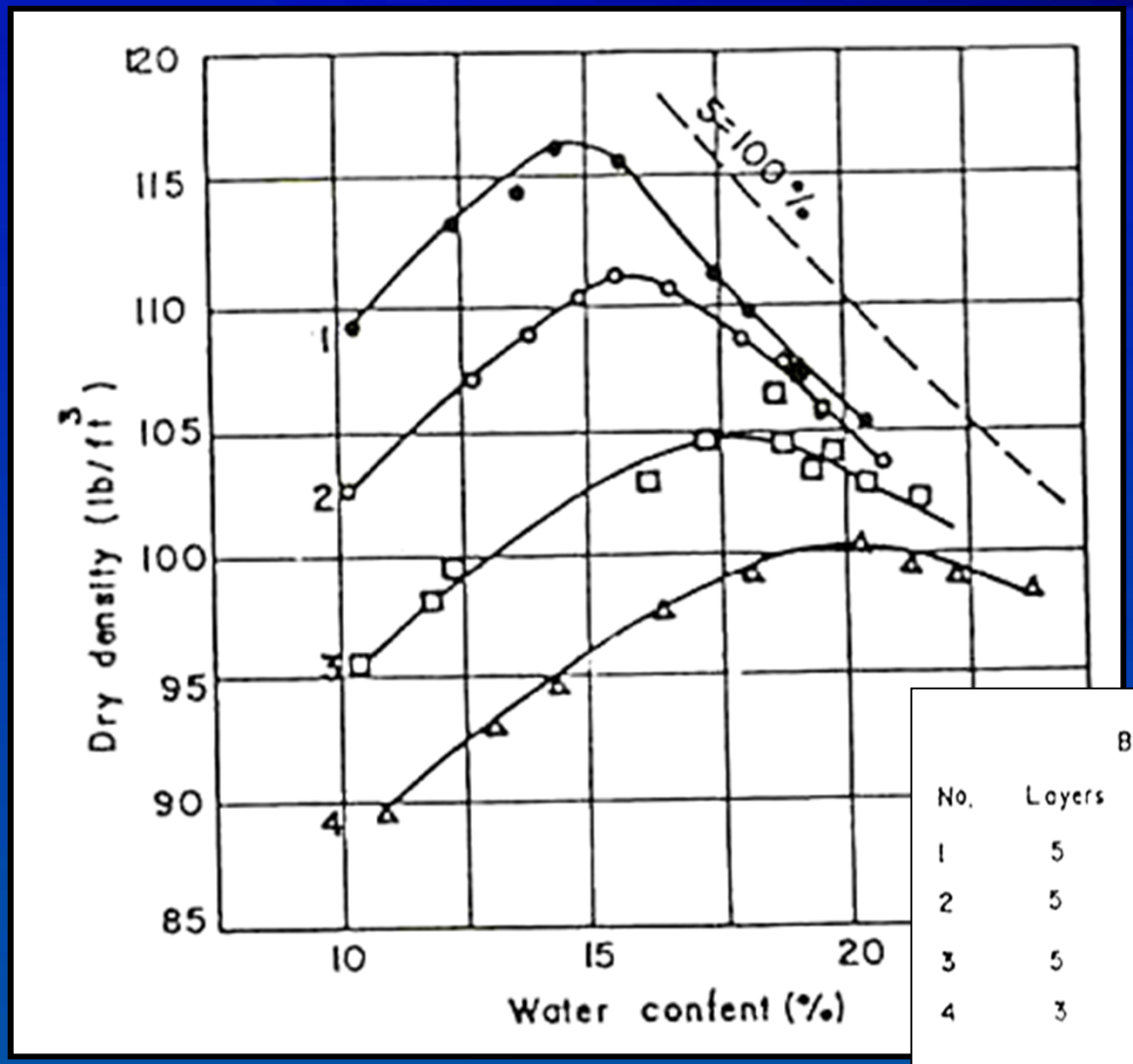
Checked and approved by: _____

Dr. Suttisak Soralump

Remarks: 1) Certification applies to test samples only.

2) Information under "For", "Project", are supplied by client. These are not certified.

Effect of Compaction Energy

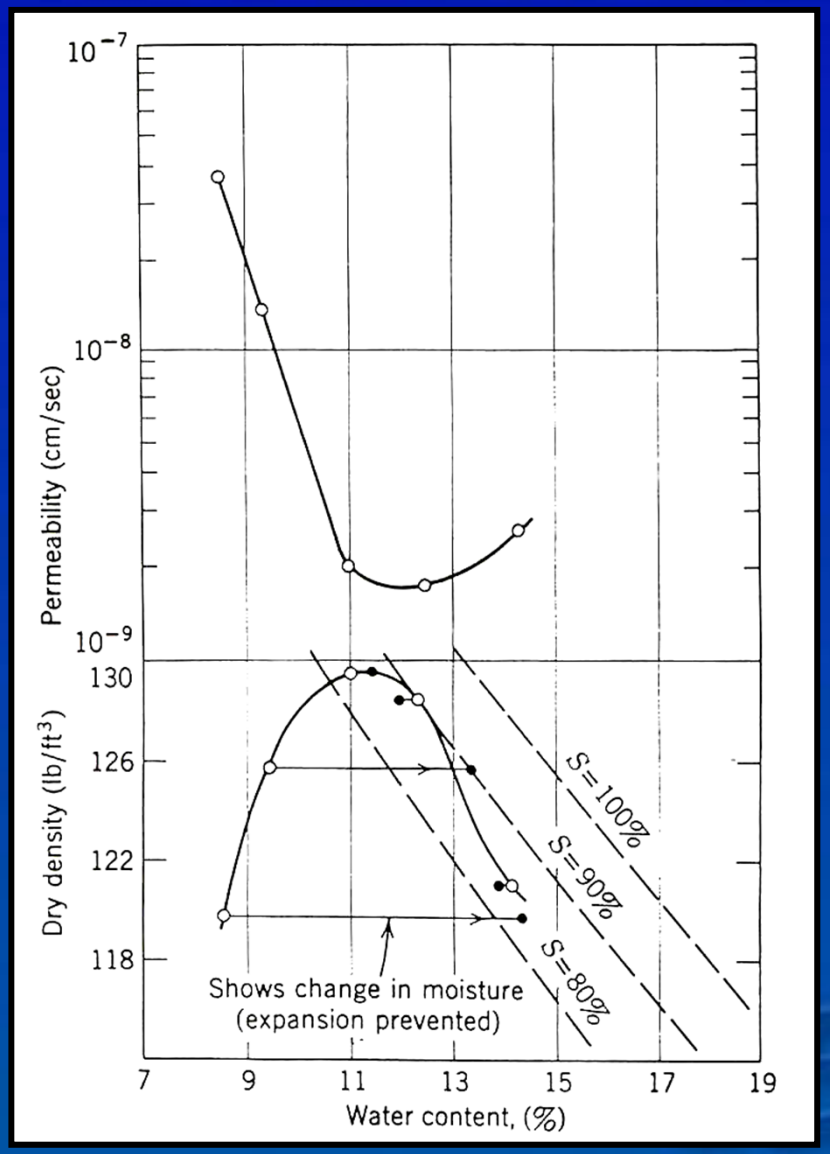


No.	Layers	Blows per Layer	Hammer Weight	Hammer Drop	
1	5	55	10 lb	18 in	(Mod. AASHO)
2	5	26	10	18	
3	5	12	10	18	(Std. AASHO)
4	3	25	$5\frac{1}{2}$	12	

Note. 6 in diameter mold used for all tests.

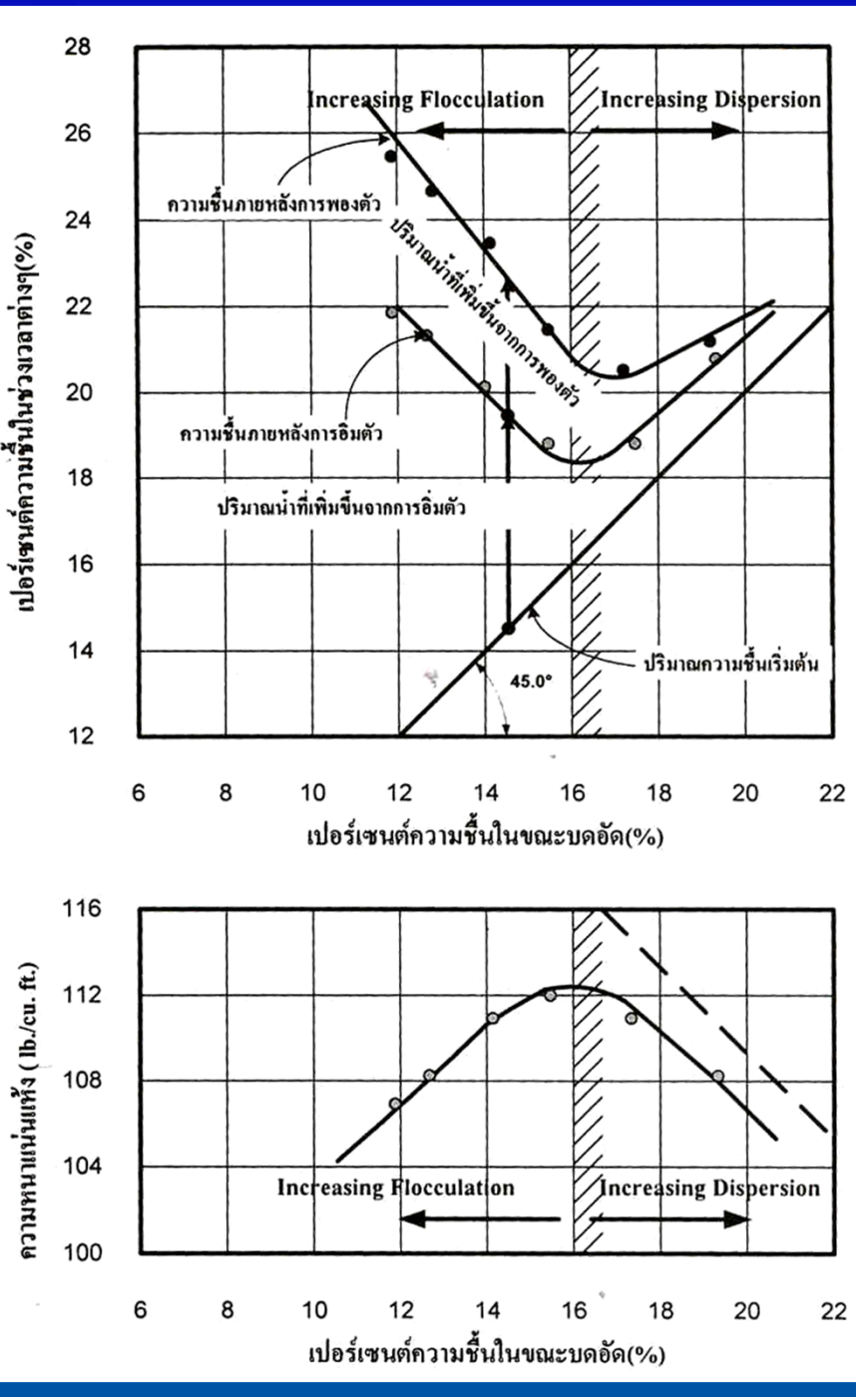
Compacted soil Properties

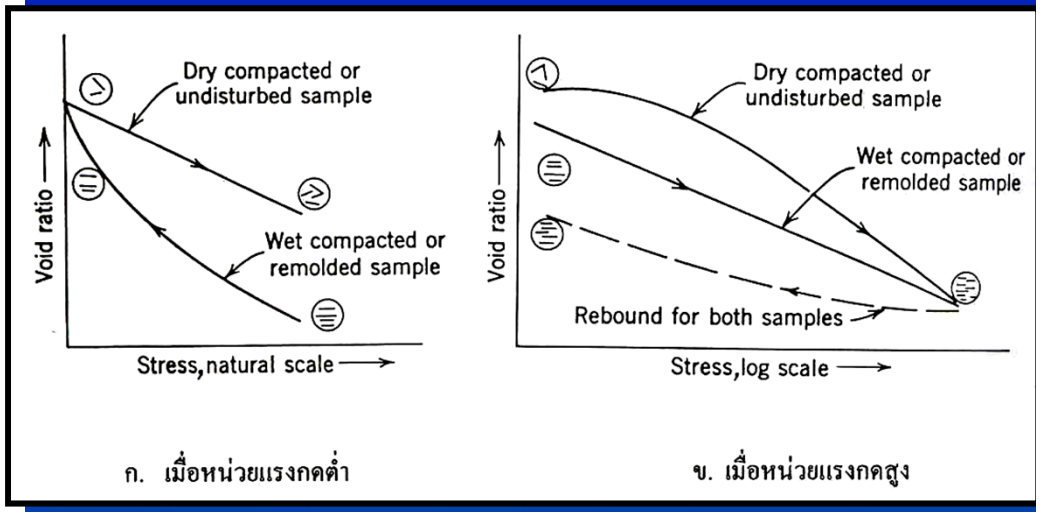
2. Permeability



Compacted soil Properties

3. Water Absorption and Swelling





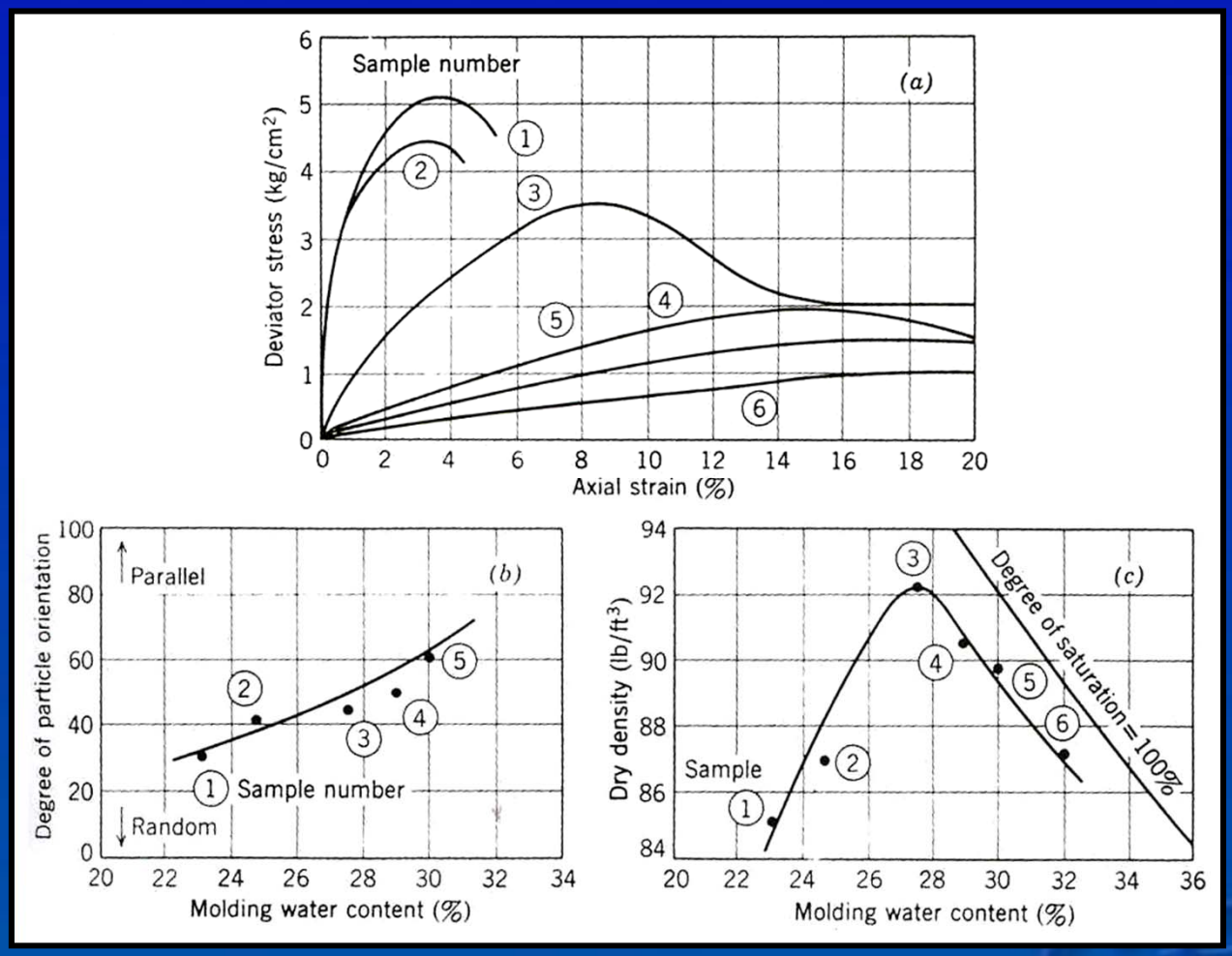
ก. เมื่อหน่วยแรงกดต่ำ ข. เมื่อหน่วยแรงกดสูง

Compressibility

Absorption and Swelling

Compacted soil Properties

4. Strength

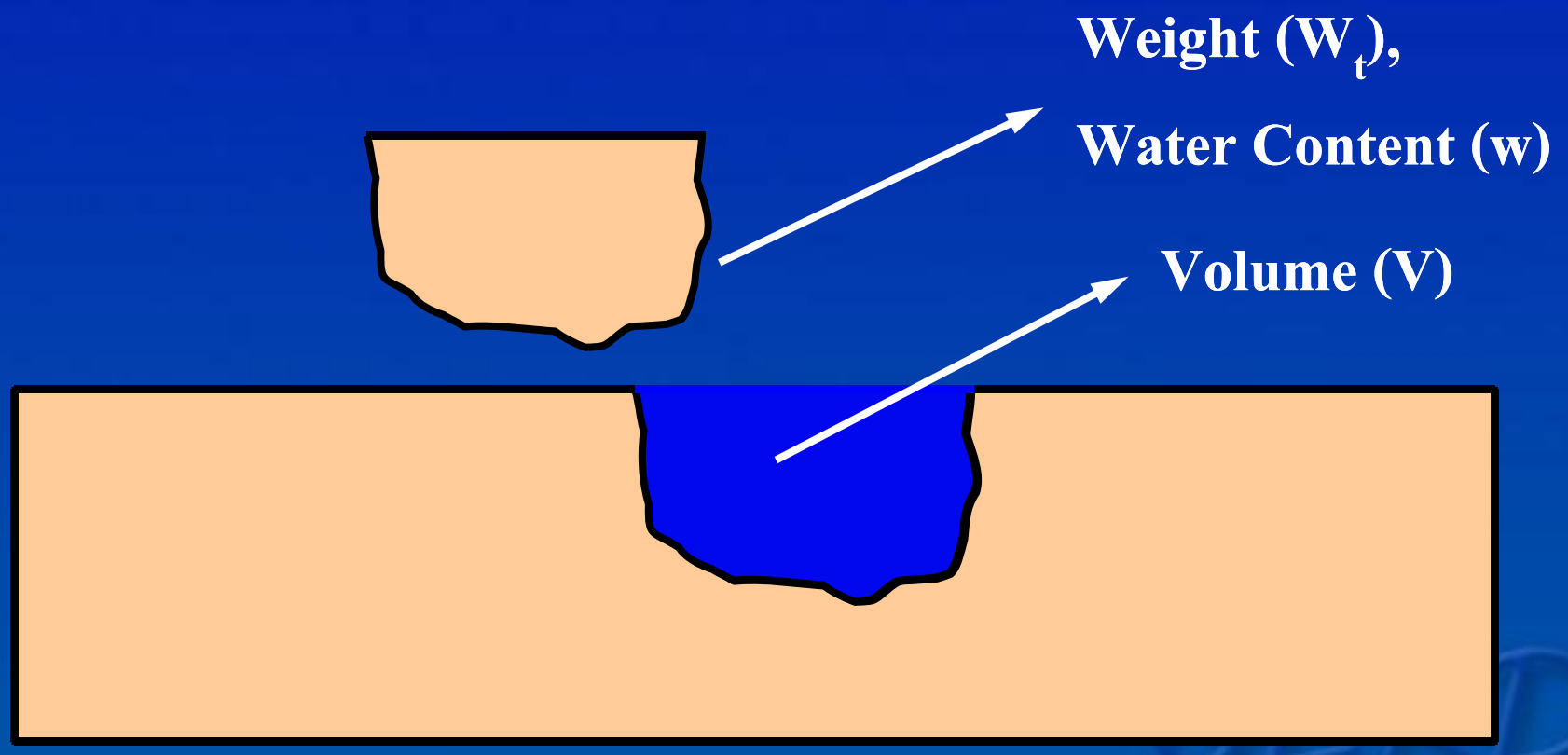


Stress-Strain relationship of compacted soil

Field Density Test

$$\text{Total density} = \frac{W_t}{V}$$

$$\text{Dry density} = \frac{W_s}{V} = \frac{\text{Total Density}}{(1+w)}$$



Sand Cone Test

KASETSART UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, Geotechnical Laboratory

FIELD DENSITY TEST

Project: [illegible]

Location:

Tested by Petai & Team Date 19/9/2546

Material [illegible]

Test No.		1		2		3		4	
Weight of Wet Soil+Container	g	153.52	132.44	180.01	125.68	147.99	177.52	144.14	132.59
Weight of Dry Soil+Container	g	146.97	126.66	174.03	121.79	143.53	172.26	140.36	128.75
Weight of Water	g	6.55	5.78	5.98	3.89	4.46	5.26	3.78	3.84
Weight of Container	g	24.26	25.13	27.87	25.39	26.25	26.62	26.04	24.26
Weight of Dry Soil	g	122.71	101.53	146.16	96.40	117.28	145.64	114.32	104.49
Water Content, w	%	5.34	5.69	4.09	4.04	3.80	3.61	3.31	3.67
Average Water Content, w	%	5.52		4.06		3.71		3.49	

Test No.		1	2	3	4
Weight of Wet Soil	g	650.59	619.08	601.47	577.95
Final Reading	cc	630	640	630	640
Initial Reading	cc	360	360	360	360
Volume of Hole	cc	270	280	270	280
Corrected Volume of Hole	cc	300	280	270	280

Test No.		1	2	3	4
Wet Density , γ_t=W/V	gm/cc	2.41	2.21	2.23	2.06
Dry Density,γ_d=100γ_t/(100+w)	gm/cc	2.28	2.12	2.15	1.99
Dry Density	pcf	142.51	132.59	134.04	124.46
Percent Proctor Density %		**116.28**	**108.19**	**109.38**	**101.56**

Field Dry Density / Max Dry Density (Lab) X 100

Compaction Data

Type		Modified
Test Reference Number		4555
Maximum Dry Density	pcf	122.55

Percent Compaction

Approved by:

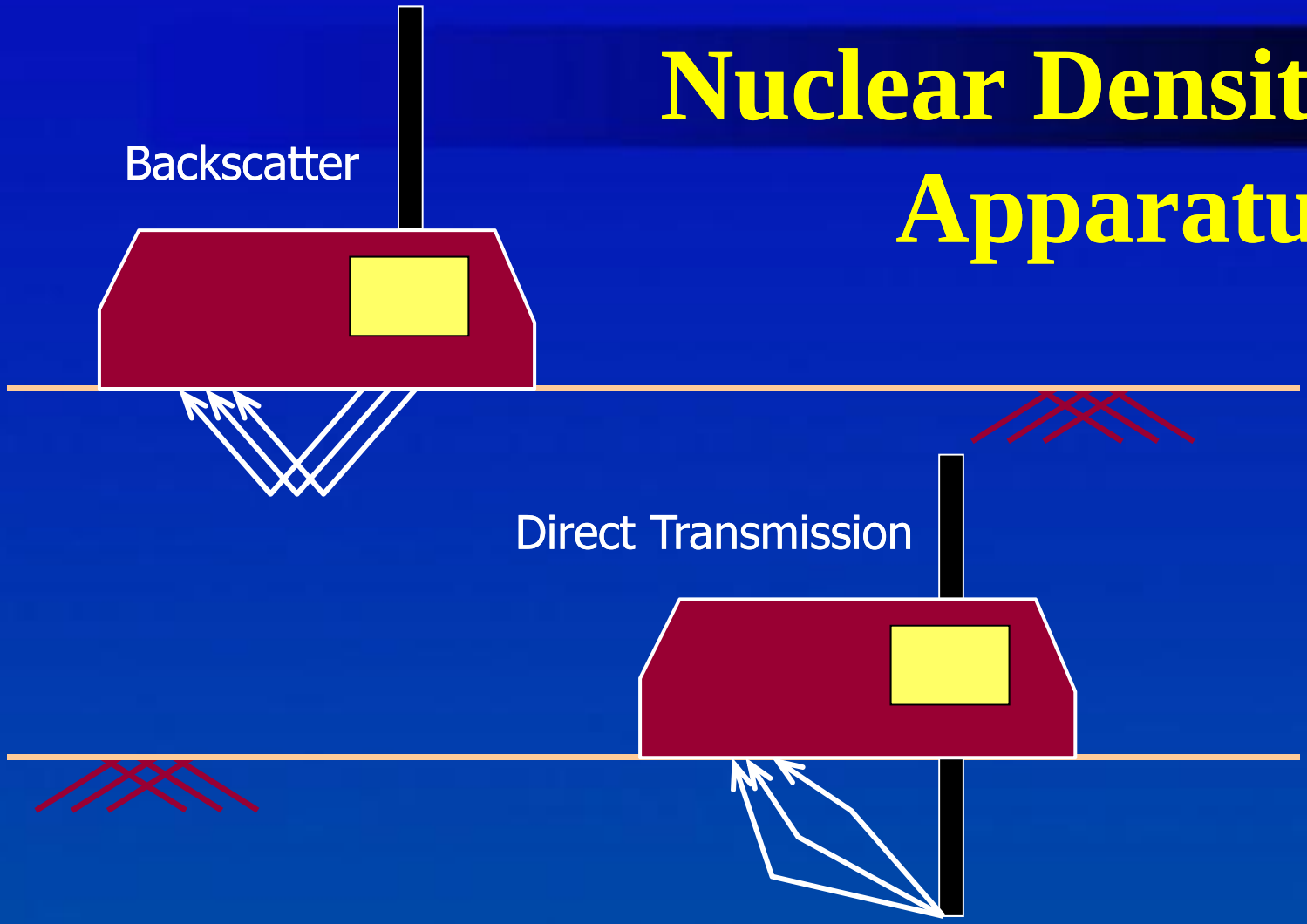
Dr. Suttisak Soralump

Remarks: 1) Certification applies to test samples only.

2) Information under "For", "Project", are supplied by client. These are not certified.

3)This certificate is invalid without appropriate signature and seal.

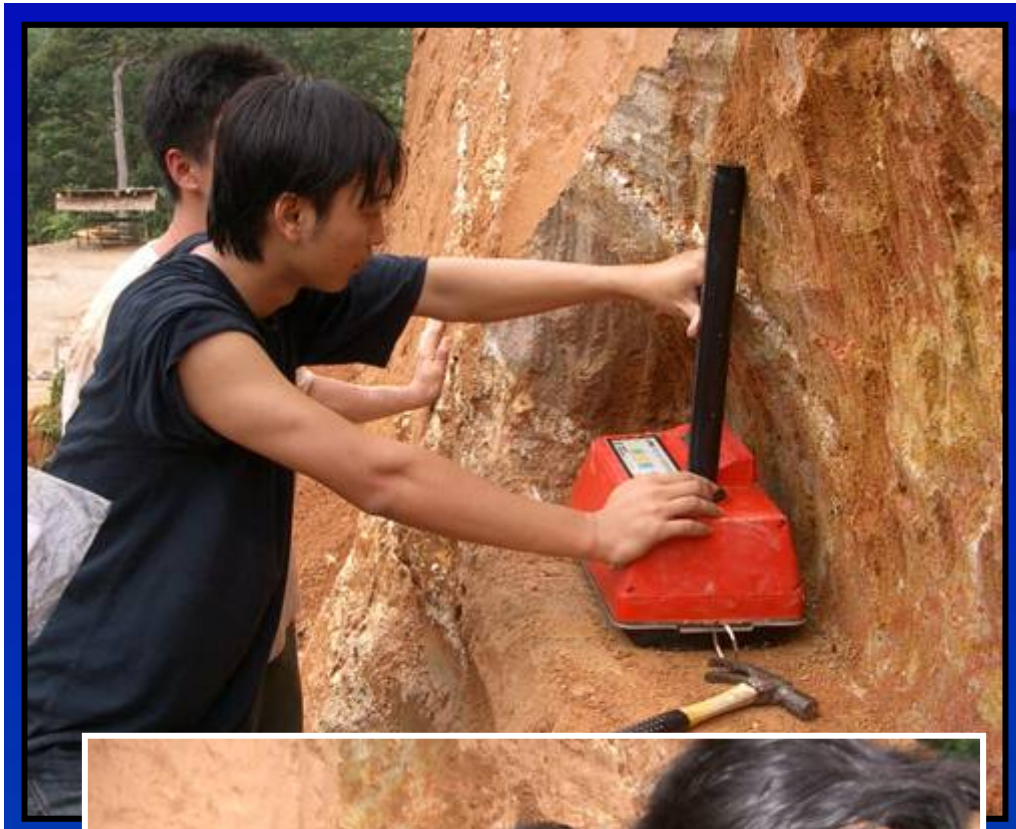
Nuclear Density Apparatus



Neutron ⇨ **Moisture Content**

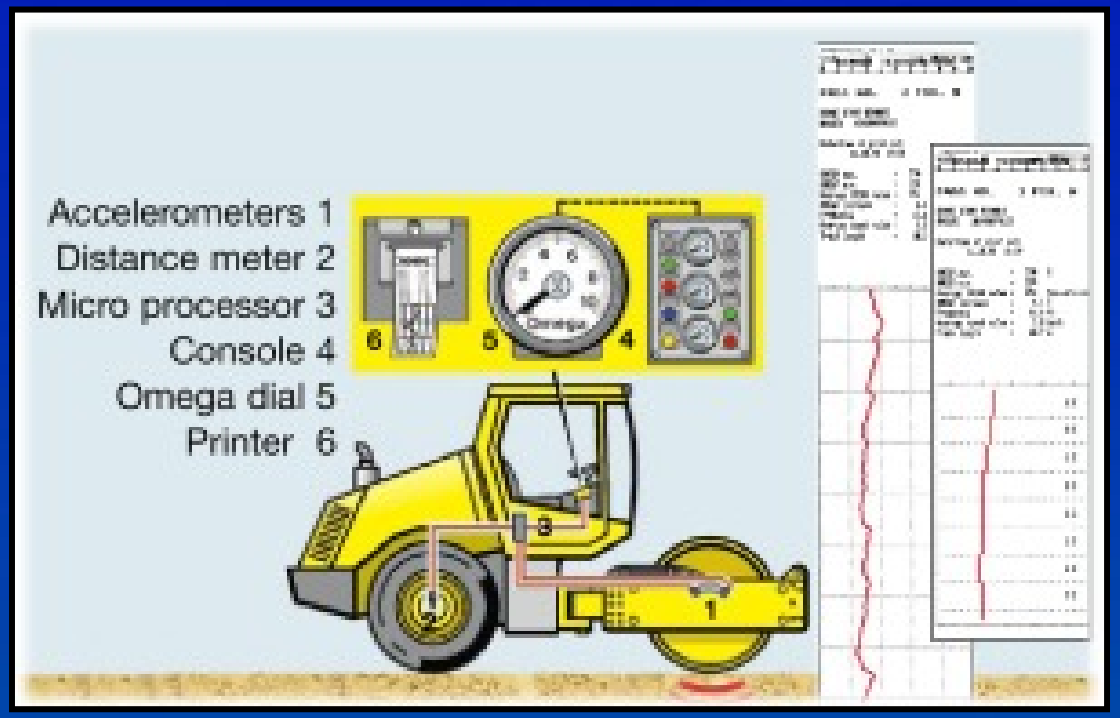
Gamma Ray ⇨ **Density**

GERD



GERD

การตรวจสอบความแน่นของดินบดอัด



บดอัดและหาค่าความหนาแน่นพร้อมกัน

GERD

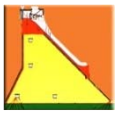
Sheep Foot Roller

Sand Filter Compaction

GERD

การปูชั้นกรองด้านท้ายน้ำ

การปรับแต่งลาดเขื่อน และปูพื้นด้านท้ายน้ำ



THA DAN SADDLE DAM

การล้มกอง RCC โดย Tractor ขนาด D6

การปรับระดับ RCC โดย Motor Grader ก่อนการบดทับ

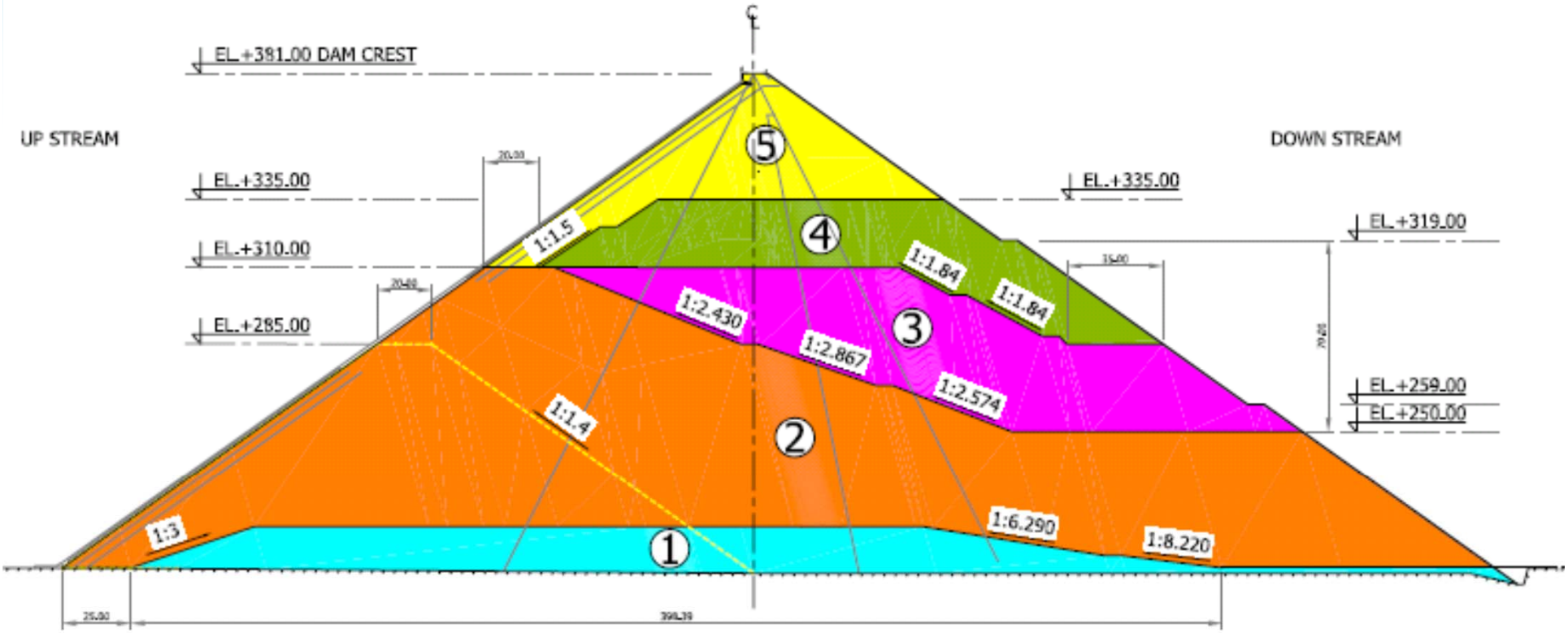
752C
752C

การบดอัดเขื่อนหิน
และการทดสอบความหนาแน่น

LOGO

02 June 2007
11:30 Hrs.

DAM EMBANKMENT CONSTRUCTION SEQUENCES

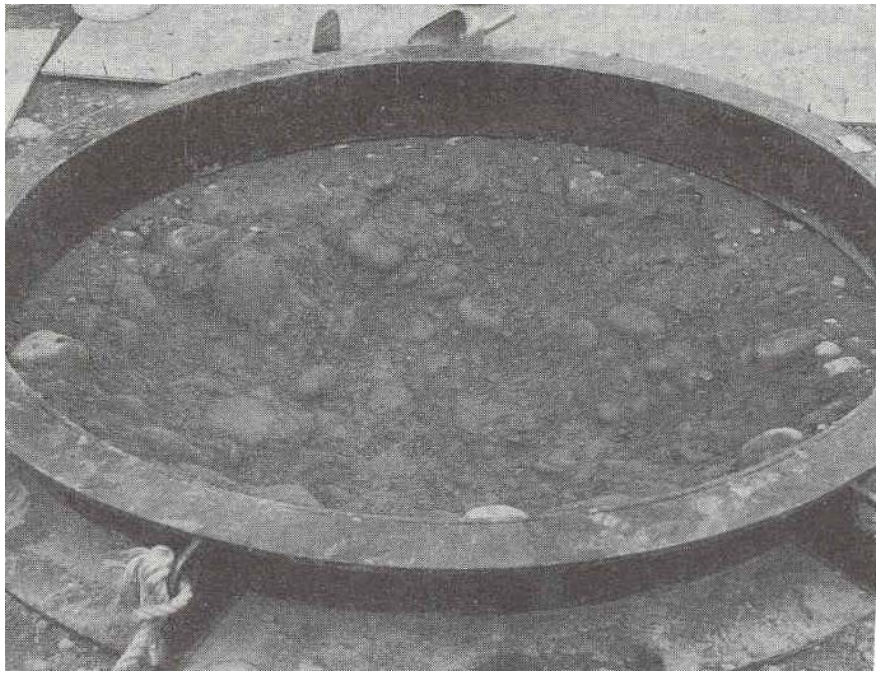


NOTE:

1. 1st Stage Face slab Below EL.+285.00 will start after completing rockfill placement stage 1 and 2 to EL.+310.00
2. While working on 1st Stage Face slab, CK intend to work on stage 3 and 4 rockfill placement
3. CK expects to complete rockfill placement to EL.+310.00 (Stage 1 and 2) In 7 months.

CAT
320

ข.การช่าง
ข.การช่าง



Rock Fill Density Test

TYPE A

TYPICAL FOR:

20 inch Sand cone

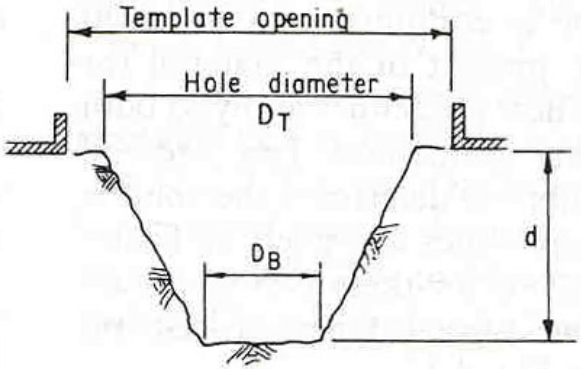
24 and 30 inch Square frame

4 ft. Diameter ring

$$Vol = \frac{d}{3}(B + C + \sqrt{BC})$$

B = Area of top $= \frac{\pi}{4} D_T^2$

C = Area of bottom $= \frac{\pi}{4} D_B^2$

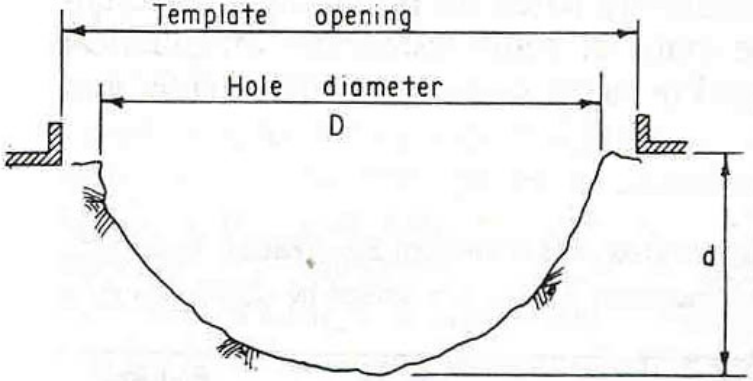


TYPE B

TYPICAL FOR:

6 ft. and 9 ft. Diameter ring

$$Vol = \frac{\pi}{24} d\,(3D^2 + 4d^2)$$



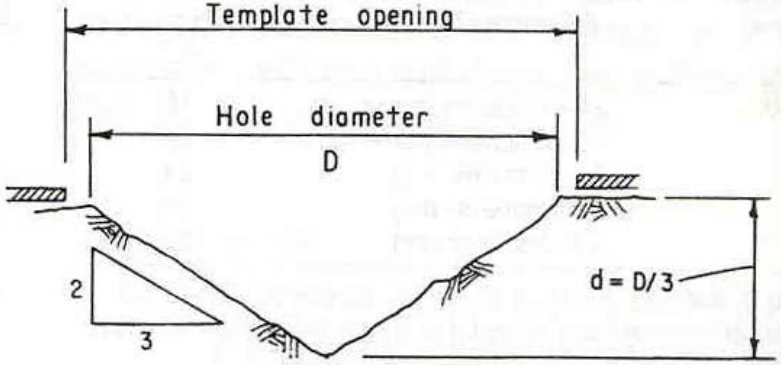
TYPE C

TYPICAL FOR:

Cohesionless Soils

"worst case"

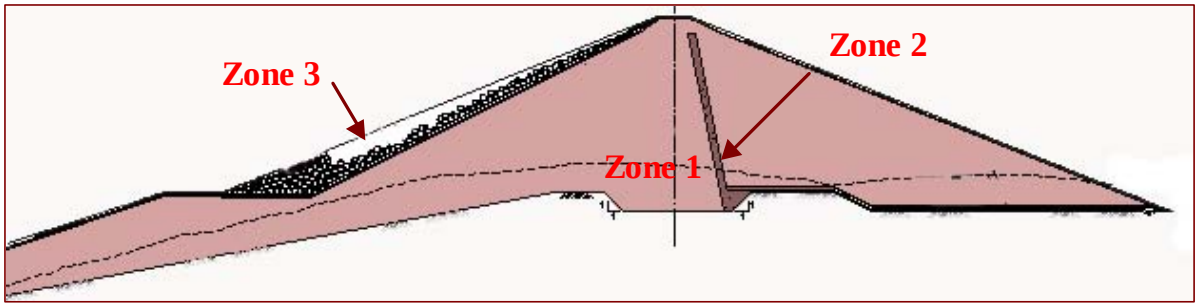
$$Vol = \frac{\pi}{12} D^2 d$$



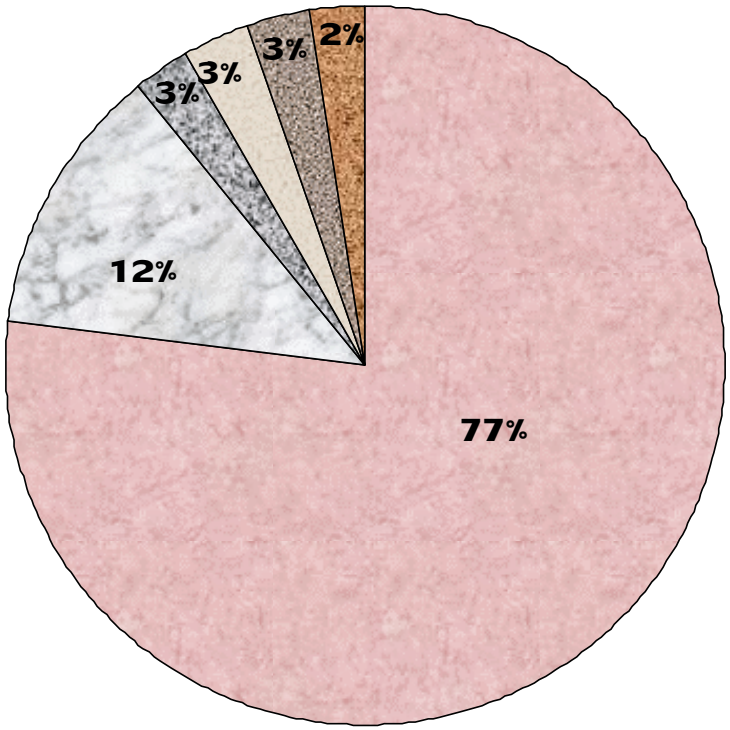
Test Pit Configurations

การใช้ฐานข้อมูลและสถิติในการควบคุมคุณภาพงาน

วัสดุก่อสร้างเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ



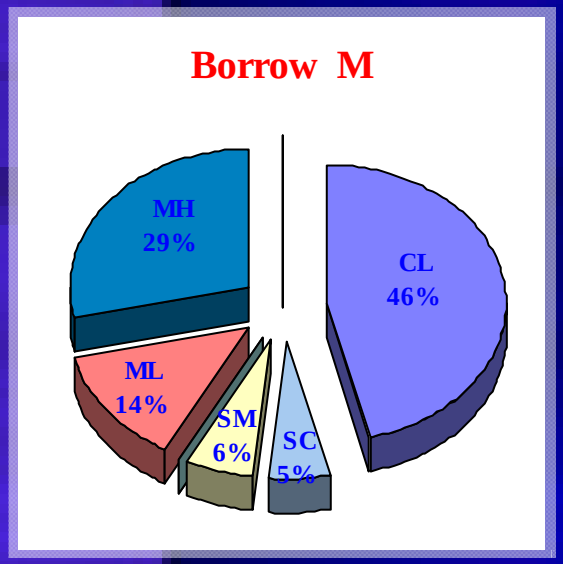
- Zone1 ดินทึบน้ำ
- หินถมตัวเขื่อน
- หินทิ้ง
- กรวดทรายละเอียด Zone 2A
- กรวดทรายละเอียด Zone 2B
- หินทิ้ง

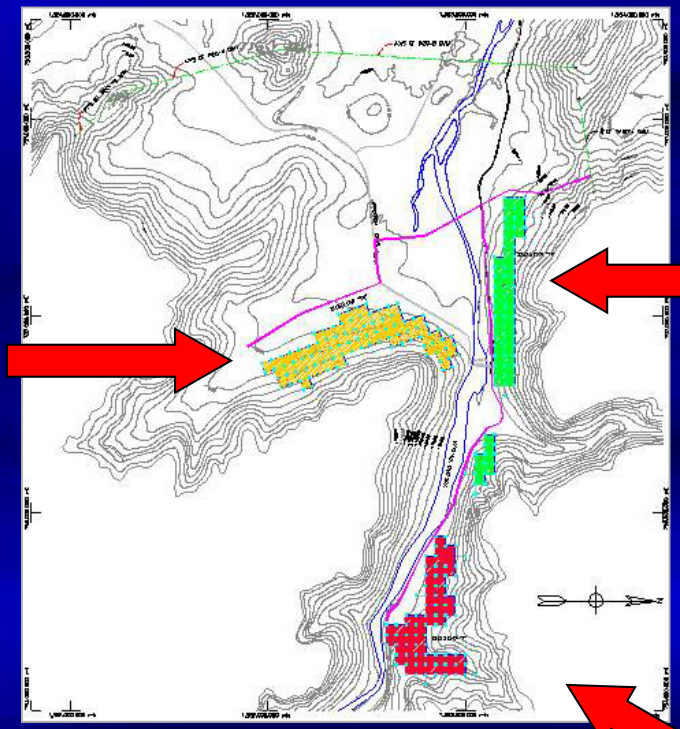


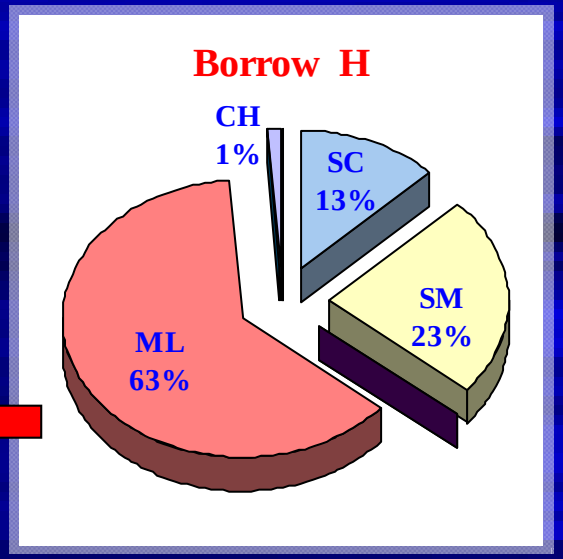
THA DAN SADDLE DAM

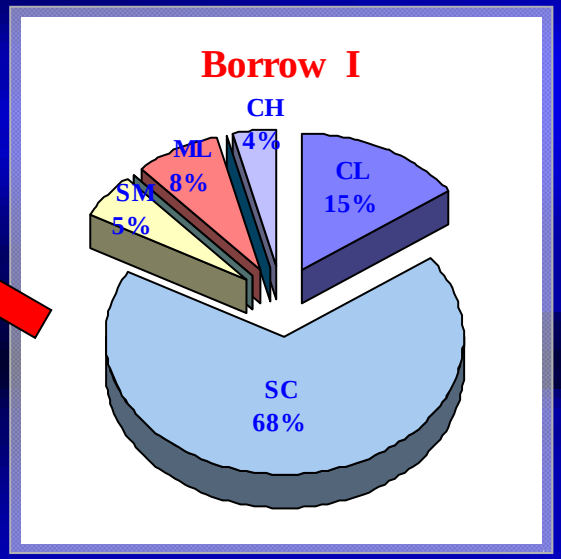
การกระจายชนิดของดินในบ่อยืม

MATERIAL DISTRIBUTION



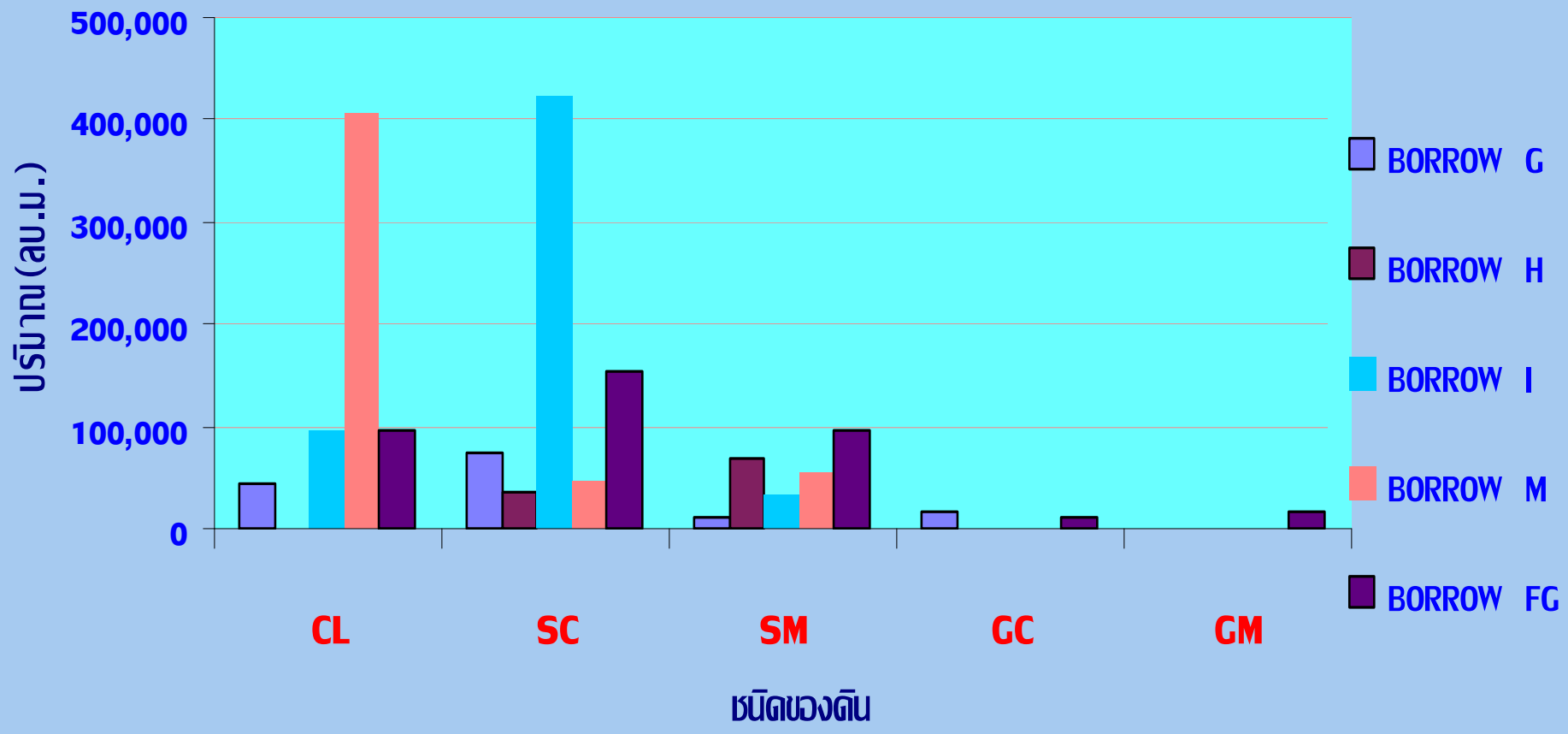




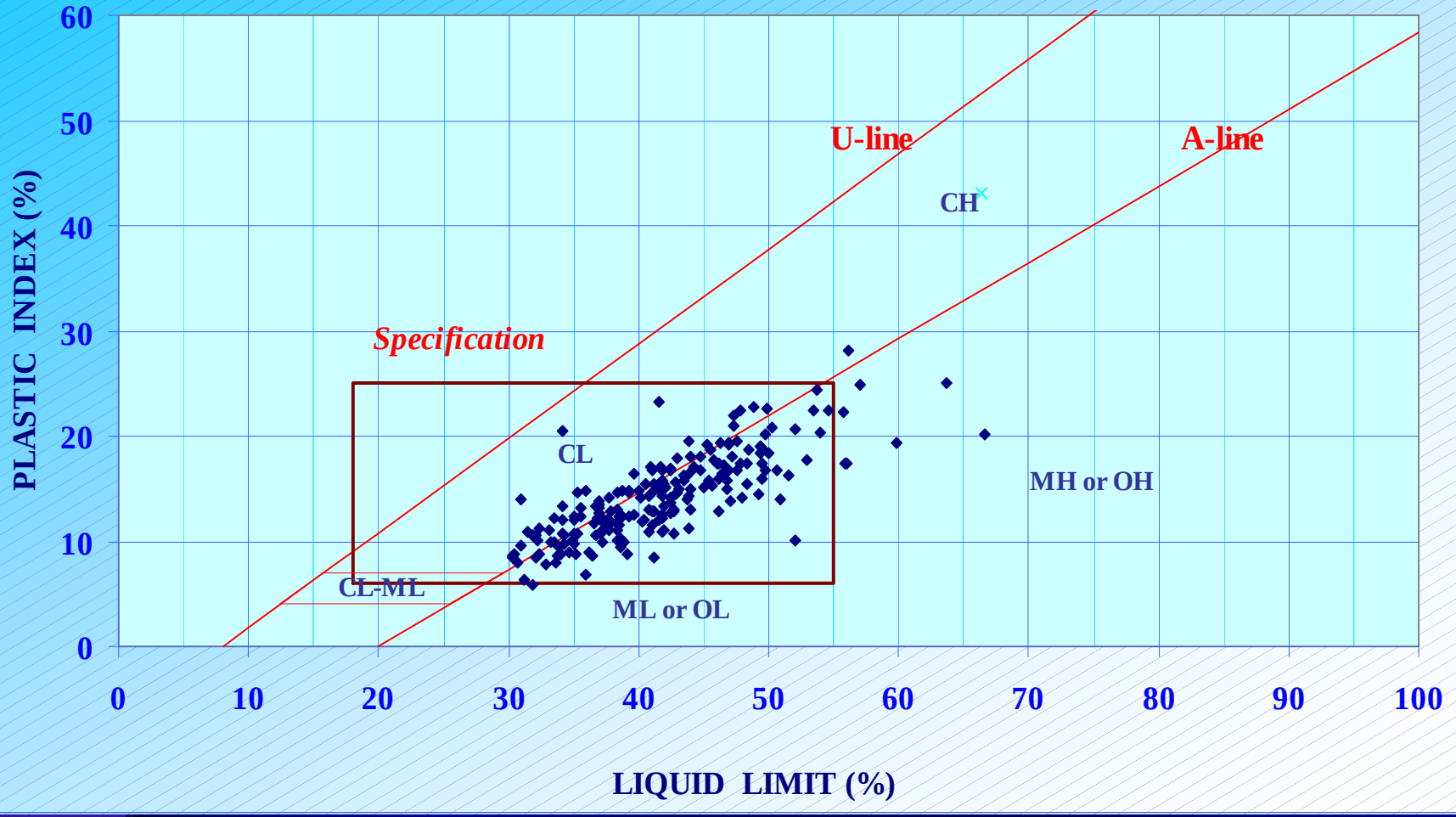


THA DAN SADDLE DAM

ปริมาณแต่ละชนิดของดินจากบ่อยืม

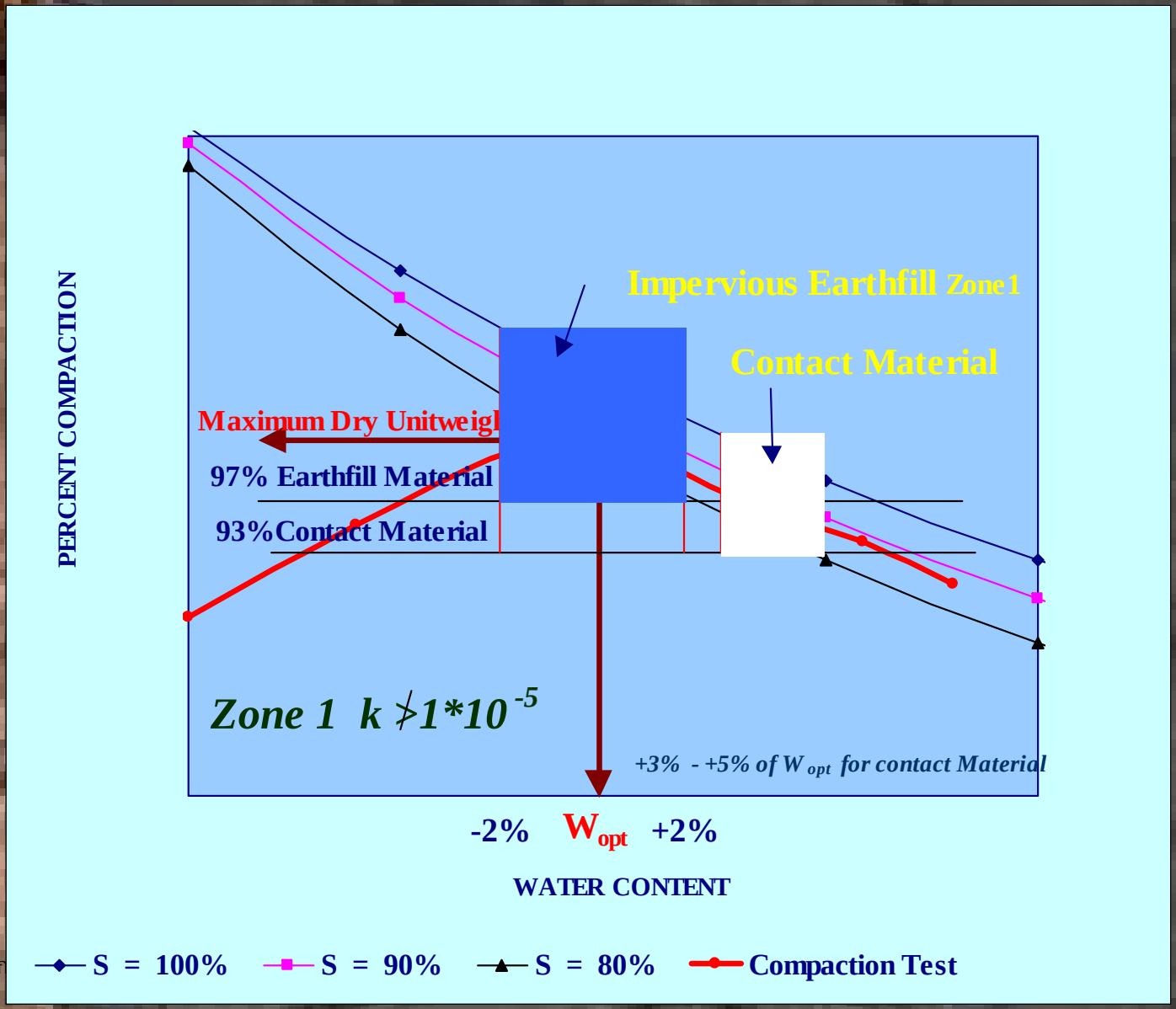


PLASTICITY CHART

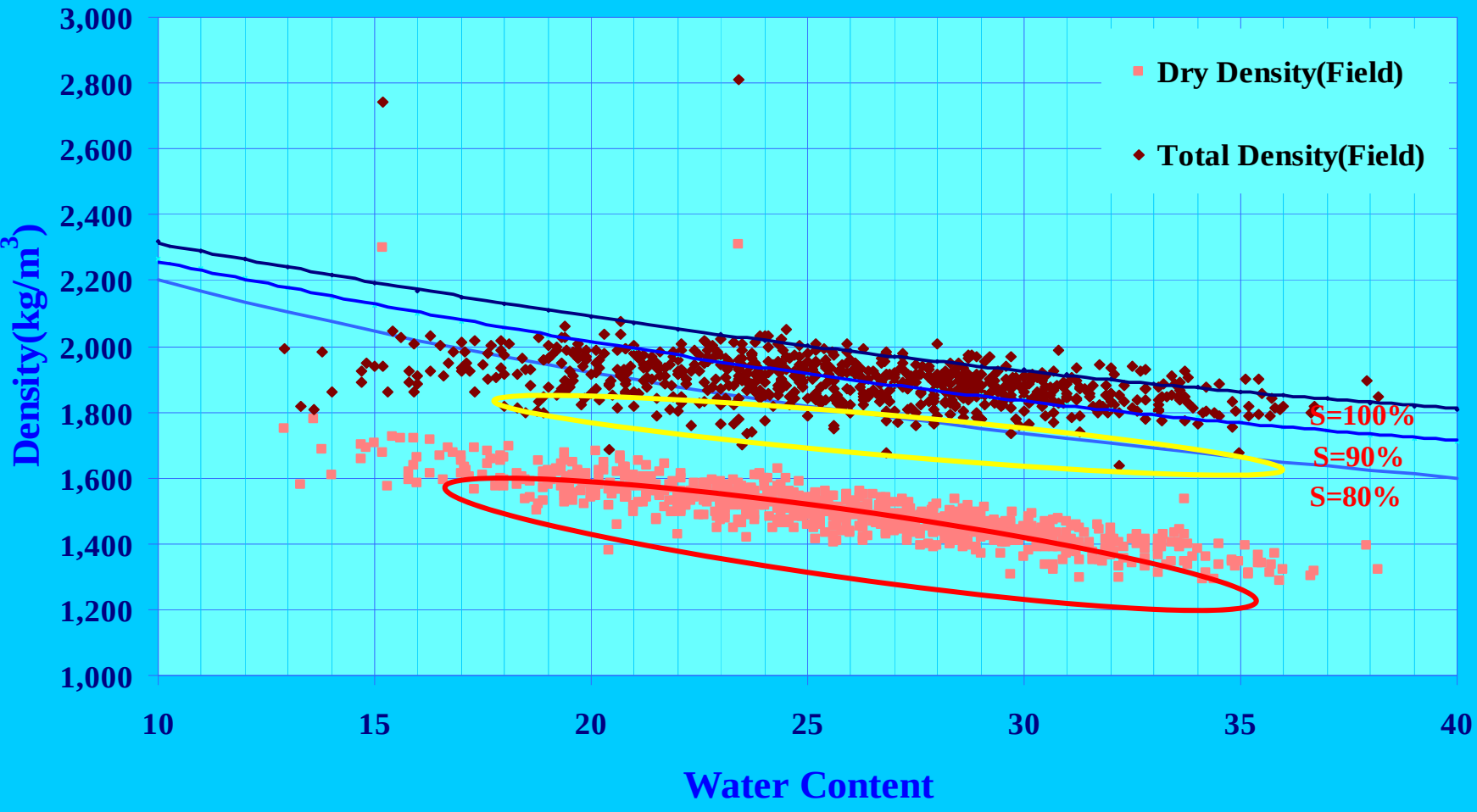


THA DAN SADDLE DAM

ช่วงการควบคุมความหนาแน่นในการบดอัด

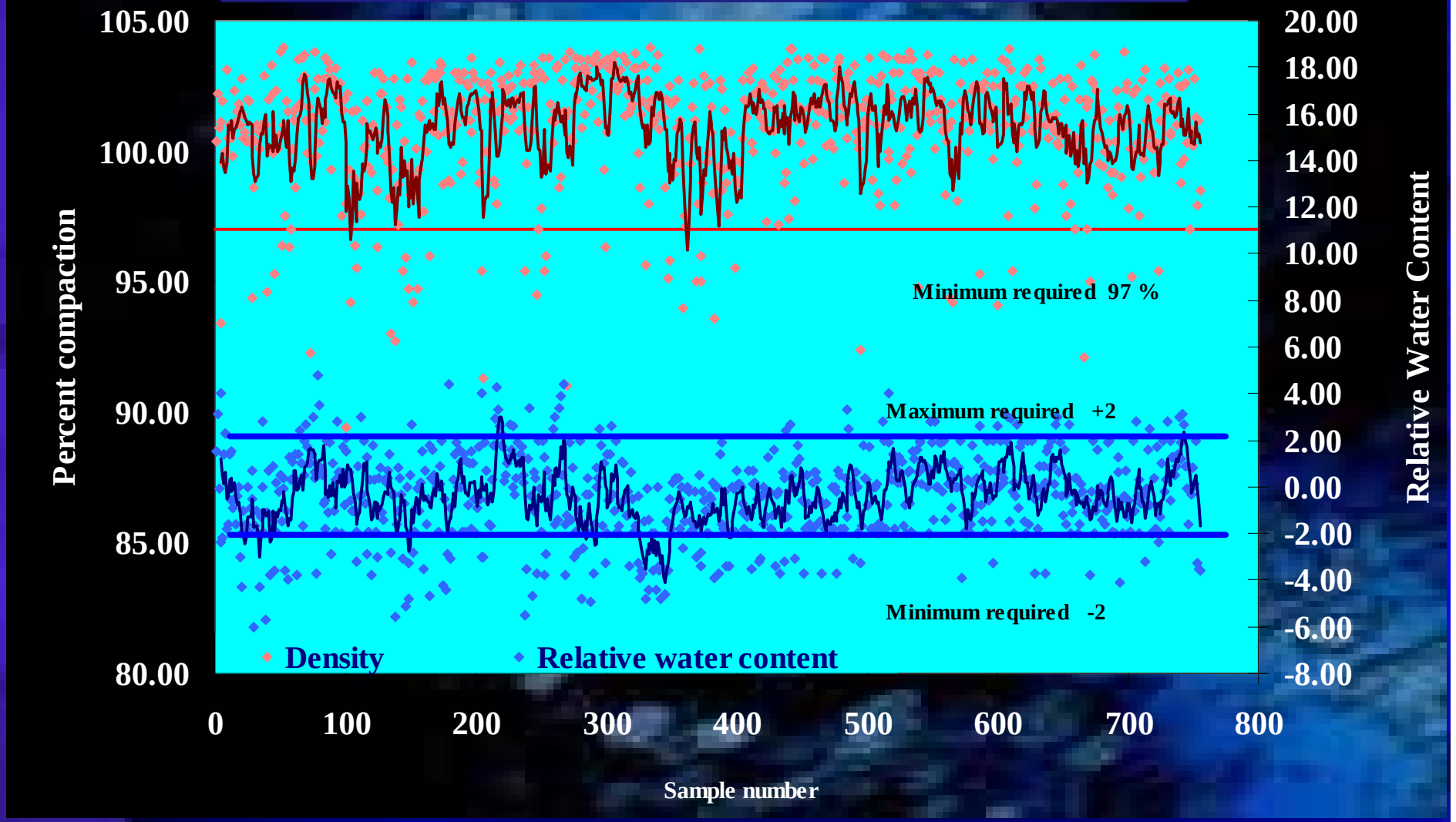


ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความชื้น



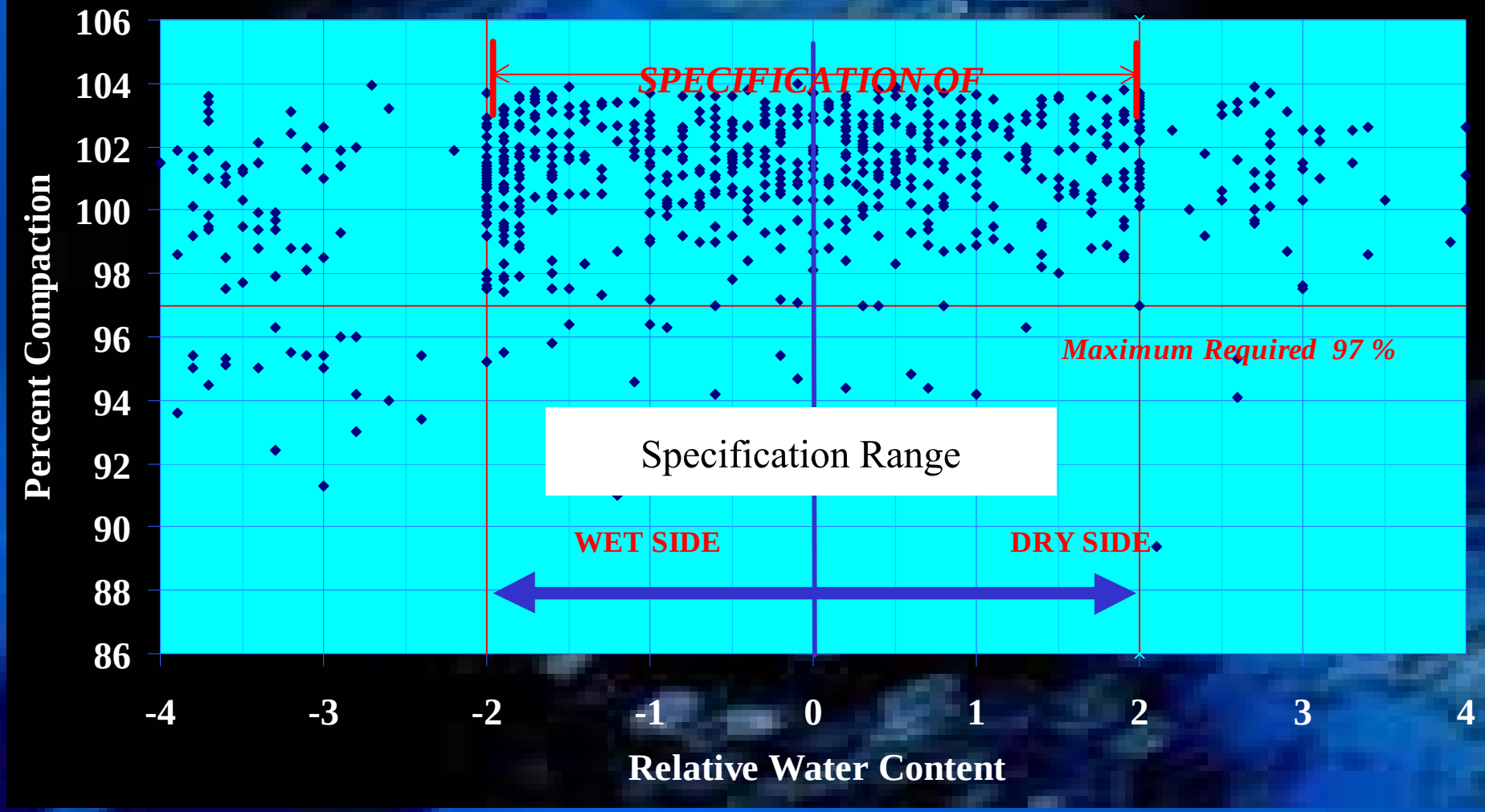
THA DAN SADDLE DAM

เปอร์เซนต์การบดอัดและความชื้น

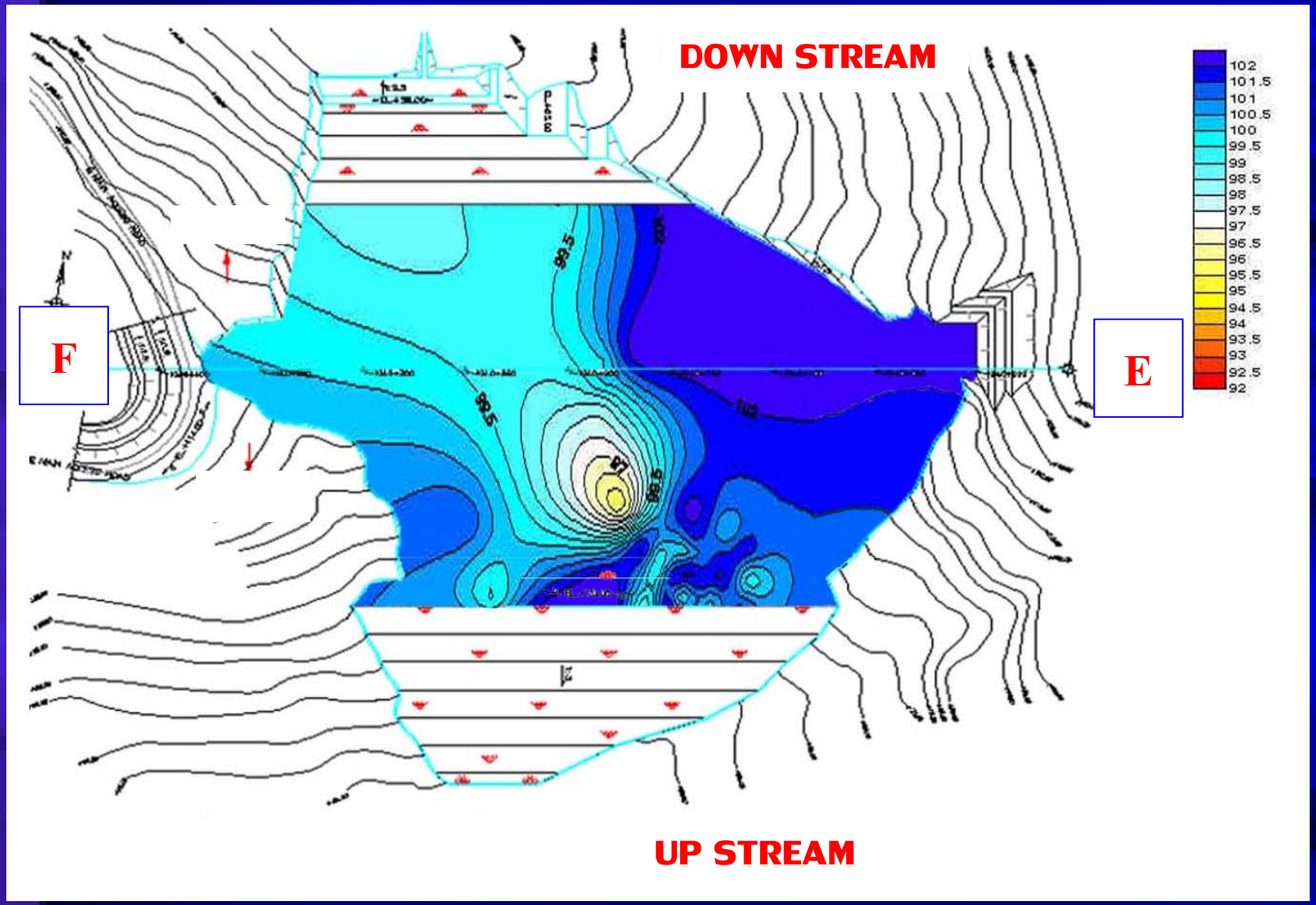


THA DAN SADDLE DAM

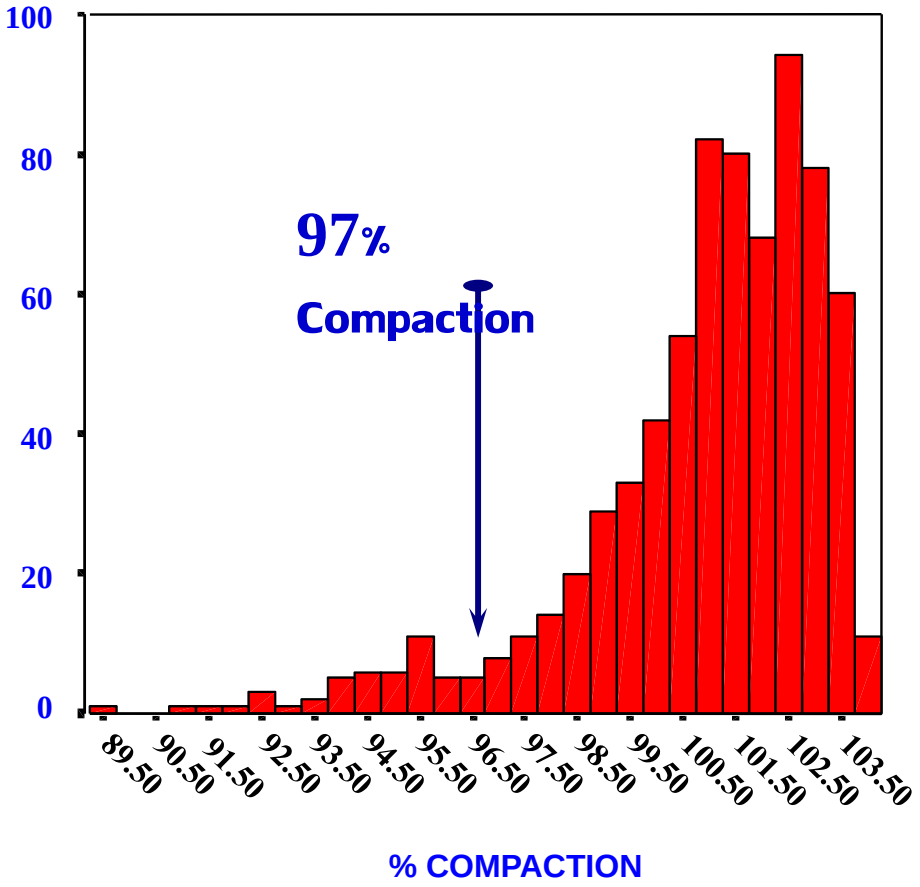
เปอร์เซนต์การบดอัดและความชื้นตามข้อกำหนด

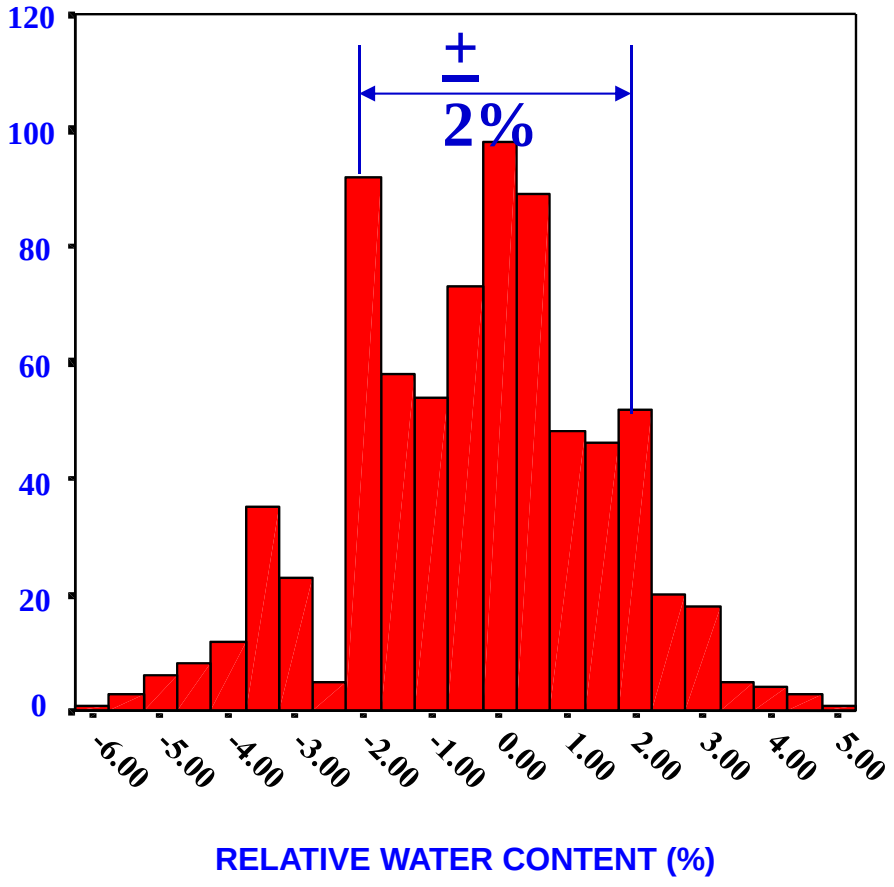


เส้นชั้นความหนาแน่นการบดอัดที่ระดับ +70.00 m.MSL



การกระจายของข้อมูล % COMPACTION และ RELATIVE WATER C





จบการบรรยาย