วิชา 203553 การออกแบบเขื่อนดินและหิน

คาบที่ 1

หลักการออกแบบเขื่อนโดยทั่วไป

รศ. ดร. วรากร ไม้เรียง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การออกแบบเขื่อนดินและเขื่อนหิน

DESIGN OF EARTH AND ROCK-FILL DAMS

หัวข้อวิชา (Course Outlines)

1. หลักการออกแบบเขื่อนโดยทั่วไป
2. การพิบัติและปัญหาที่เกิดขึ้นกับเขื่อนถม
3. การสำรวจสำหรับงานเขื่อน
4. การไหลซึมและความดันน้ำบริเวณเขื่อน
5. การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อนและลาดดินที่เกี่ยวข้อง
6. การก่อสร้างเขื่อนถม
7. ความปลอดภัยของเขื่อนและการตรวจวัพฤติกรรมเขื่อน

การวัดผลสัมฤทธิ์ในการเรียน

1.	การสอบ		
	• การสอบกลางภาค	30	%
	• การสอบปลายภาค	40	%
2.	ความสนใจเรียนเข้าเรียนอย่างสม่ำเสมอ	10	%
3.	แบบฝึกหักและโครงการออกแบบ	20	%
	รวม	100	%

แผนการสอน Course Syllabus

ภาคการศึกษา ต้น ปีการศึกษา 2550

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำภาคพิเศษ

รหัสวิชา	203553	**จำนวน**	3 หน่วยกิต
ชื่อวิชา	**การออกแบบเขื่อนดินและเขื่อนหิน**		
	Design of Earth and Rock-fill Dam		

อาจารย์ผู้สอน รศ.ดร. วรากร ไม้เรียง Email: mairaing@ yahoo.com

แผนการสอน

สัปดาห์ที่	วัน/เดือน/ปี	เนื้อหา	กิจกรรม
1	10 มิถุนายน 9.00-12.00	- ชนิดของเขื่อนถม - สิ่งที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบเขื่อน - โครงสร้างประกอบเขื่อนที่ควรทราบ - ความสูงและความกว้างของสันเขื่อน	บรรยาย
1	10 มิถุนายน 13.00-16.00	- การป้องกันการกัดเซาะของลาดเขื่อน - สถิติการพิบัติของเขื่อน - ลักษณะการพิบัติของเขื่อน - กรณีตัวอย่างการพิบัติของเขื่อนถม	บรรยาย
3	24 มิถุนายน 9.00-12.00	- การสำรวจที่เกี่ยวข้องกับงานเขื่อน - การสำรวจความเหมาะสมของโครงการ - การสำรวจภูมิประเทศเกี่ยวกับงานเขื่อน	บรรยาย

แผนการสอน

สัปดาห์ที่	วัน/เดือน/ปี	เนื้อหา	กิจกรรม
4	24 มิถุนายน 13.00-16.00	-การสำรวจทางธรณีเทคนิคสำหรับงานเขื่อน	บรรยาย
5		-ทฤษฎีพื้นฐานการไหลของน้ำใต้ดิน -การวิเคราะห์การซึมของน้ำ	บรรยาย
6	8 กรกฎาคม 13.00-16.00	- การเขียน Flownet ในงานเขื่อน	บรรยาย
7		- แรงดันน้ำในตัวเขื่อนและฐานราก- ปริมาณน้ำที่รั่วซึม และการกัดเซาะ	บรรยาย
8	22กรกฎาคม 13.00-16.00	- การควบคุมป้องกันการกัดเซาะและการรั่วซึม	บรรยาย/ สอบกลางภาค

แผนการสอน

สัปดาห์ที่	วัน/เดือน/ปี	เนื้อหา	กิจกรรม
9		- ลักษณะการพิบัติของลาดดินและลาดหิน - หลักการทั่วไปของการวิเคราะห์ความมั่นคง - ความแข็งแรงของดินและหินที่ใช้ในการวิเคราะห์ความมั่นคง	บรรยาย
10	10 สิงหาคม 13.00-16.00	- วิธีการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน	บรรยาย
11		- การหาอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด - เกณฑ์กำหนดอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด - การแก้ไขซ่อมแซมลาดเขื่อนหรือลาดดินเพื่อเสริมความมั่นคง	บรรยาย
12	10 มิถุนายน 13.00-16.00	- การเตรียมงานก่อนการก่อสร้าง- การควบคุมน้ำในระหว่างการก่อสร้าง- การขุดฐานรากและร่องแกนเขื่อน-การปรับปรุงฐานรากเขื่อน	บรรยาย

แผนการสอน

สัปดาห์ที่	วัน/เดือน/ปี	เนื้อหา	กิจกรรม
13		- การบดอัดตัวเขื่อน - เครื่องจักรเครื่องมือในการก่อสร้างเขื่อน	บรรยาย
14	10 มิถุนายน 13.00-16.00	- วัตถุประสงค์ในการตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน - พฤติกรรมที่สำคัญในระหว่างการก่อสร้างและภายหลังการก่อสร้าง - หลักการของเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน - การอ่านค่า วิเคราะห์ผล และตีความผล	บรรยาย
15		- ปฏิบัติการออกแบบเขื่อน	บรรยาย
16	10 มิถุนายน 13.00-16.00	- เยี่ยมชมการก่อสร้าง และทดสอบปลายภาค	บรรยาย/สอบปลายภาค

การสร้างเขื่อนในภาพรวม

กว่า 5000 ปีมาแล้ว ที่เขื่อนถูกสร้างให้มีการเก็บกักน้ำส่วนเกินไว้ใช้ในยามที่มีการขาดแคลน ในปัจจุบันมีเขื่อนใหญ่มากกว่า 45,000 เขื่อนทั่วโลกที่ใช้งานหลายวัตถุประสงค์ เช่นเพื่อการชลประทาน การป้องกันอุทกภัย การจัดหาน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค การผลิตกระแสไฟฟ้า การคมนาคม การท่องเที่ยว และหลายๆ วัตถุประสงค์รวมกัน

2600 ปีก่อนคริสต์ศักราช

เขื่อน Saad-el-Kafara ประเทศอียิปต์

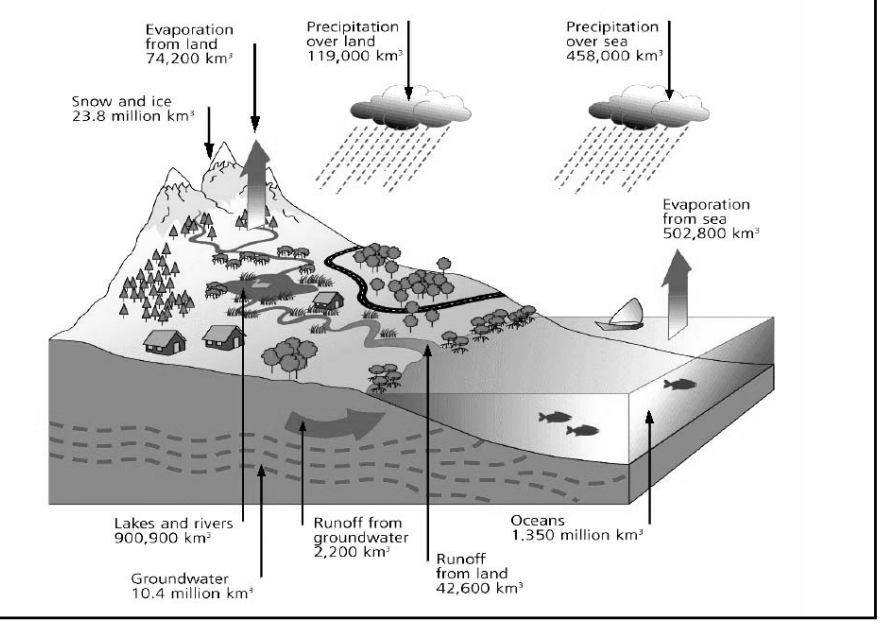
ประมาณ 1000 ปีก่อน

เขื่อน Khaybar Dam ประเทศซาอุดิอาราเบีย

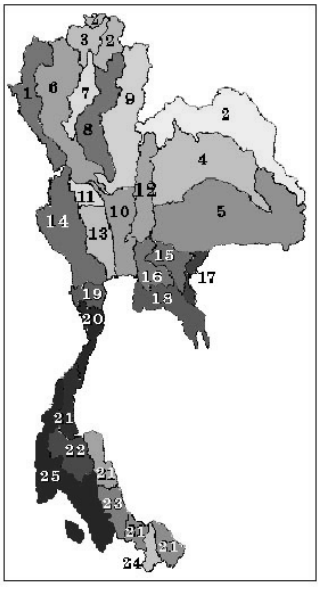
เขื่อนทดน้ำ Mulanbei Dam ในมณฑลฟูเจียนประเทศจีน อายุประมาณ 1000 ปี

เขื่อนยุคโบราณ

วัฏจักรและปริมาณน้ำที่เกี่ยวข้อง



ลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย



แผนที่ 25 ลุ่มน้ำใหญ่

1. แม่สาละวิน
2. แม่น้ำโขง
3. แม่น้ำกก
4. แม่น้ำชี
5. แม่น้ำมูล
6. แม่น้ำปิง
7. แม่น้ำวัง
8. แม่น้ำยม
9. แม่น้ำน่าน
10. แม่น้ำเจ้าพระยา
11. แม่น้ำสะแกกรัง
12. แม่น้ำป่าสัก
13. แม่น้ำท่าจีน
14. แม่น้ำแม่กลอง
15. แม่น้ำปราจีนบุรี
16. แม่น้ำบางปะกง
17. โตนทะเลสาบ
18. ชายฝั่งทะเลตะวันออก
19. แม่น้ำเพชรบุรี
20. ชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์
21. ภาคใต้ฝั่งตะวันออก
22. แม่น้ำตาปี
23. ทะเลสาบสงขลา
24. แม่น้ำปัตตานี
25. ภาคใต้ฝั่งตะวันตก

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำเก็บกักที่นำไปใช้งานได้ในของลุ่มน้ำหลักในประเทศ

รหัสลุ่มน้ำ	ชื่อลุ่มน้ำ	พื้นที่ลุ่มน้ำ	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย/ปี	ปริมาณน้ำเก็บกักใช้งานได้/ปี	ปริมาณน้ำท่าเหลือ/ปี	%น้ำท่าที่เหลือเทียบกับศักยภาพของลุ่มน้ำ
				(ล้าน ลบ.ม.)	(ล้าน ลบ.ม.)	
1	แม่น้ำสาละวิน	17,920	8,156	18	3,134	99.8
2	แม่น้ำโขง	57,422	15,800	1,378	14,422	91.3
3	แม่น้ำกก	7,895	5,119	22	50,97	99.6
4	แม่น้ำชี	49,447	8,035	4,179	3,856	48.0
5	แม่น้ำมูล	69,700	21,767	3,400	18,367	84.4
6	แม่น้ำปิง	33,898	6,686	6,020	666	10.0
7	แม่น้ำวัง	10,791	1,429	120	1,309	91.6
8	แม่น้ำยม	23,616	1,430	75	1,355	94.8
9	แม่น้ำน่าน	34,330	9,581	5,800	3,781	39.5
10	แม่น้ำเจ้าพระยา	20,125	4,925	175	4,750	96.4
11	แม่น้ำสะแกกรัง	5,191	519	162	357	68.8
12	แม่น้ำป่าสัก	16,292	2,708	281	2,427	89.6
13	แม่น้ำท่าจีน	13,682	2,815	267	2,548	90.5
14	แม่น้ำแม่กลอง	30,837	12,943	10,000	2,943	22.7
15	แม่น้ำปราจีนบุรี	10,481	4,502	37	4,465	99.2
16	แม่น้ำบางปะกง	7,978	49,000	94	4,806	98.1
17	โคนเลสาบ(ทะเลสาบเขมร)	4,150	1,193	25	1,168	97.9
18	ชายฝั่งทะเลตะวันออก	13,830	10,623	273	10,350	97.4
19	แม่น้ำเพชรบุรี	5,603	1,410	655	755	53.5
20	ชายฝั่งทะเลตะวันตก	6,745	1,013	510	503	49.7
21	ภาคใต้ฝั่งทะเลตะวันออก	26,353	35,614	4	35,610	100.0
22	แม่น้ำตาปี	12,225	17,380	3,080	14,300	82.3
23	ทะเลสาบสงขลา	8,495	7,301	9	7,292	99.9
24	แม่น้ำปัตตานี	3,858	3,024	1,150	1,874	62.0
25	ภาคใต้ฝั่งตะวันตก	21,172	9,918	12	9,906	99.8
	รวมทั้งประเทศ	**512,066**	**198,791**	**37,746**	**161,047**	**81**

เขื่อนเก็บกักน้ำ (Storage Dams)

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

ความรู้และทฤษฎีที่ต้องเกี่ยวข้อง

1. Soil Mechanics

- การสำรวจและออกแบบฐานรากเขื่อน
- คัดเลือกวัสดุก่อสร้าง
- วิเคราะห์ความมั่นคงของหน้าตัดเขื่อน
- วิเคราะห์การไหลซึมของน้ำผ่านเขื่อนและฐานราก
- การวิเคราะห์การทรุดตัว
- การบดอัดและก่อสร้างตัวเขื่อน

ความรู้และทฤษฎีที่ต้องเกี่ยวข้อง

2. Rock Mechanics and Geology

- การสำรวจและออกแบบฐานรากเขื่อน
- การระเบิดและเหมืองหิน
- วิเคราะห์ความมั่นคงลาดหิน
- งานปรับปรุงฐานรากหิน
- การวิเคราะห์การทรุดตัว
- งานอุโมงค์

ความรู้และทฤษฎีที่ต้องเกี่ยวข้อง

3. Hydraulics and Hydrology

- Flood and Reservoir Simulation
- Wind and Wave
- Spillway and Outlet Design
- Hydropower

1. **<u>กลุ่มวิศวกรรมปฐพีกลศาสตร์</u>** จะต้องรับผิดชอบในการ สำรวจและออกแบบฐานรากเขื่อน คัดเลือกวัสดุก่อสร้าง วิเคราะห์ความมั่นคงของหน้าตัดเขื่อน วิเคราะห์และออกแบบการควบคุมการไหลซึมของน้ำในตัวเขื่อนและฐานราก วิเคราะห์การทรุดตัว กำหนดวิธีการบดอัดและก่อสร้างตัวเขื่อนโดยทั่วไป

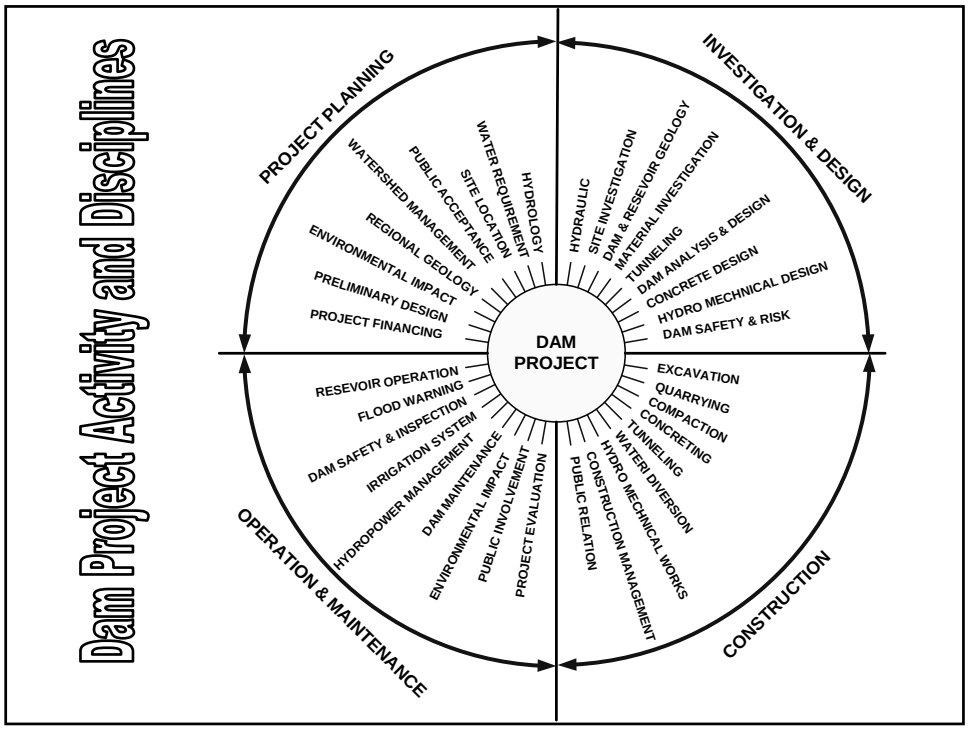
2. **<u>กลุ่มธรณีวิทยาและกลศาสตร์ของหิน</u>** จะต้องผิดชอบในการ สำรวจทางด้านธรณีวิทยาของฐานรากเขื่อน แหล่งวัสดุและเหมืองหิน การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดหิน การปรับปรุงฐานรากเขื่อน การเจาะอุโมงค์ เป็นต้น

3. **<u>กลุ่มวิศวกรรมชลศาสตร์และอุทกวิทยา</u>** จะต้องรับผิดชอบในการคำนวนน้ำหลากเข้าอ่างเก็บน้ำ และการระบายน้ำที่เหมาะสม กำหนดปริมาณเก็บกัก กำหนดขนาดและออกแบบด้านชลศาสตร์ของอาคารประกอบเขื่อน เช่นทางน้ำล้น ท่อส่งน้ำ ร่องผันน้ำ กำหนดชนิดและขนาดของประตูระบายน้ำต่างๆ เป็นต้น ประสานงานในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า คาดการณ์ปริมาณตะกอนเข้าอ่างเก็บน้ำ

4. **<u>กลุ่มวิศวกรรมโยธา สำรวจ และโครงสร้าง</u>** จะต้องรับผิดชอบในการสำรวจภูมิประเทศ วางหมุดหลักฐานเพื่อการก่อสร้าง ออกแบบทางโครงสร้างของอาคารประกอบเขื่อน ควบคุมงานคอนกรีตและโครงสร้างอื่นๆ บริหารการก่อสร้างในเป็นไปตามแผนงาน

5. **<u>กลุ่มวิศวกรรมไฟฟ้า-เครื่องกล</u>** จะต้องรับผิดชอบในการออกแบบรายละเอียดและควบคุมการติดตั้งของเครื่องกว้าน บานระบาย ประตูน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ออกแบบไฟฟ้ากำลังและแสงสว่างในเขื่อน ดูแลบำรุงรักษาและกำหนดลักษณะจำเพาะของเครื่องจักรในการก่อสร้างและบำรุงรักษาเขื่อน

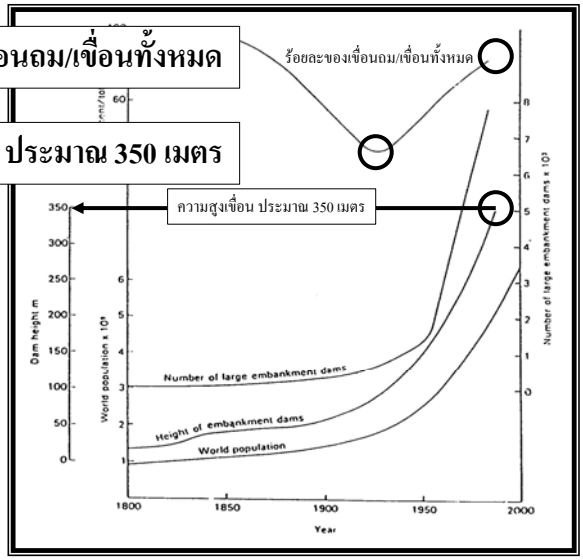
6. **<u>กลุ่มเศรษฐสังคม สิ่งแวดล้อมและ ประชาสัมพันธ์</u>** จะต้องรับผิดชอบในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ ความคุ้มทุน แหล่งที่มาของทุน รายได้ที่จะเกิดขึ้น ทัศนคติของผู้คนและผู้ได้รับผลกระทบ การรักษาสภาวะแวดล้อมในระหว่างการก่อสร้างและการใช้งานเขื่อน การมีส่วนร่วมของประชาชน การให้ความรู้ ฯ



สถานภาพเขื่อนถมและความสูงเขื่อน ช่วง ค.ศ. 1800-1985 (Penman)

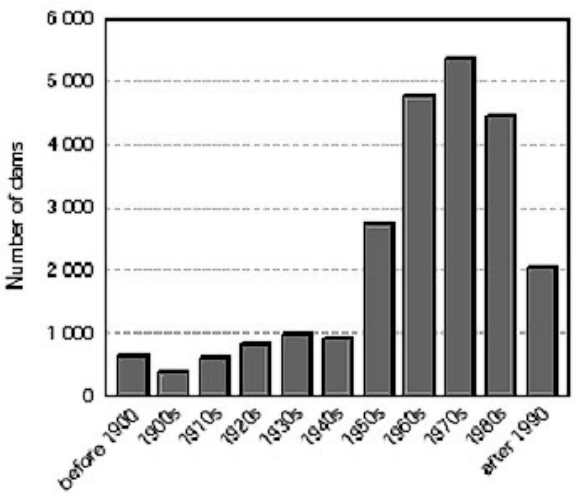
ร้อยละของเขื่อนถม/เขื่อนทั้งหมด

ความสูงเขื่อน ประมาณ 350 เมตร



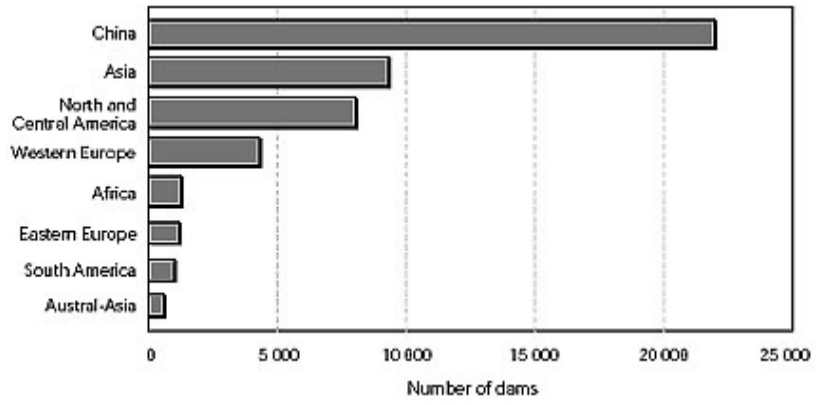
เขื่อนที่สูงที่สุดของโลกถึงปี คศ.1983 (Tawil, 1984)

Order	Name	River	Country	Type	Height (meters)
1	Rogun	Vakhsh	Tadjikistan	E-R	335
2	Nurek	Vakhsh	Tadjikistan	E	300
3	Grande Dixence	Dixence	Switzerland	G	285
4	Inguri	Inguri	Georgia	A	272
5	Vajont	Vajont	Italy	A	262
6	Manuel M. Torres (Chicoasen)	Grijalva	Mexico	E	261
7	Tehri	Bhagirathi	India	E	261
8	Alvaro Obregon (El Gallinero)	Tenasco	Mexico	G	260
9	Mauvoisin	Drance de Bagnes	Switzerland	A	250
10	Alberto Lleras C.	Guavio	Colombia	R	243



Source : ICOLD, 1998.Note: Information excludes dams in China

จำนวนเขื่อนที่สร้างในช่วงศตวรรษที่ 20

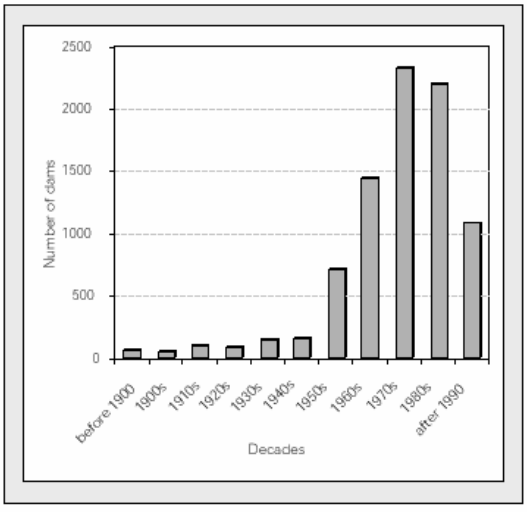


Source : WCDestimates base on ICOLD, 1998 and other sources

จำนวนเขื่อนใหญ่แยกตามส่วนต่างๆของโลก

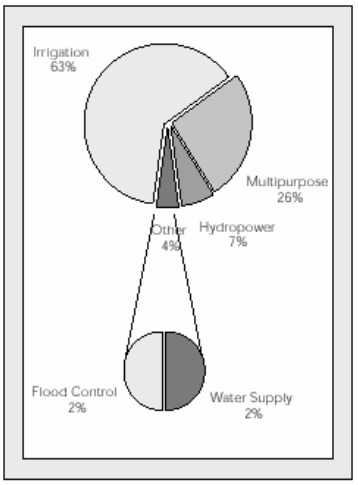
จำนวนเขื่อนและวัตถุประสงค์การใช้งานของเขื่อนในเอเชีย

Figure V.18 Large dams commissioned per decade in Asia



Source: ICOLD, 1998.

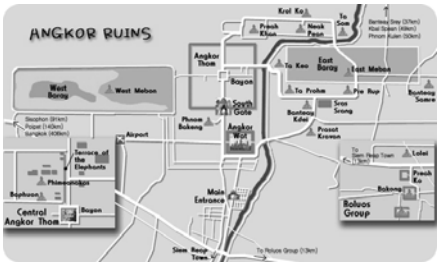
Figure V.19 Breakdown by purpose of dams in Asia



Source: ICOLD 1998. Note: Rates of dam commissioning in the 1990s are underreported. Figures above

ประวัติเขื่อนเก็บน้ำในประเทศไทย

- **สมัยขอมเรืองอำนาจ (พ.ศ. 500 -1000) มีการสร้างเขื่อนผันน้ำและอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ขึ้นในปราสาทที่ต่างๆ เช่น ปราสาทหินพิมาย ปราสาทเมืองต่ำ ปราสาทนครวัดในกัมพูชา**



ประวัติเขื่อนในประเทศไทย

- สมัยพ่อขุนรามคำแหงมหาราช (พ.ศ. 1820-1860) ได้มีการสร้างอ่างเก็บน้ำทางนอกเมืองสุโขทัย เรียกว่า “สรีดภงส์” หรือทำนบกั้นลำคลองเสาหอระหว่างเขาเจดีย์งามไปจดเขาพระบาทใหญ่ยาวประมาณ 400 เมตร
- สมเด็จพระเจ้าปราสาททองในสมัยกรุงศรีอยุธยาได้ทรงสร้างอ่างเก็บน้ำธารทองแดง เพื่อผันน้ำมาใช้สอยในบริเวณ พระราชนิเวศน์ธารเกษม
- รัชสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช ได้ทรงสร้างอ่างเก็บน้ำห้วยซับเหล็ก แล้ววางท่อเคลือบดินเผาส่งน้ำเข้ามาใช้ในเมืองลพบุรี
- เขื่อนทดน้ำแห่งแรกคือเขื่อนพระรามหกสร้างในรัชกาลที่ 6 เสร็จเมื่อ พ.ศ. 2467 กั้นแม่น้ำป่าสักที่ อ.ท่าเรือ จ.พระนครศรีอยุธยา

ประวัติเขื่อนเก็บน้ำในยุคใหม่

- เขื่อนภูมิพลซึ่งเป็นเขื่อนคอนกรีตโค้ง **(Concrete Arch Dam)** กั้นแม่น้ำปิง ที่อ. สามเงา จ. ตาก แล้วเสร็จใน พ.ศ. **2507** เคยสูงเป็นอันดับที่ **7** ของโลก คือ สูง **154** เมตร ยาว **486** เมตร ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ **560,000** กิโลวัตต์
- เขื่อนแก่งกระจาน กันแม่น้ำเพชร ที่อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี ก่อสร้างในระหว่าง พ.ศ. **2504- 2509** เป็นเขื่อนดินสูง **57** เมตร ยาว **760** เมตร
- เขื่อนน้ำพุง จ.สกลนคร สร้างเสร็จเมื่อ พ.ศ. **2508**
- เขื่อนอุบลรัตน์ จ.ขอนแก่น สร้างเสร็จเมื่อ พ.ศ. **2509**
- เขื่อนลำพระเพลิง จ.นครราชสีมา สร้างเสร็จเมื่อ พ.ศ. **2510**
- เขื่อนลำตะคอง สร้างเสร็จเมื่อ พ.ศ. **2512**
- **2512** เขื่อนสิริกิติ์ จ. อุตรดิตถ์ เป็นเขื่อนหินทิ้งแกนดินเหนียวขนาดใหญ่ สูง **113.6** เมตร ยาว **800** เมตร สร้างเสร็จเมื่อ พ.ศ. **2514**
- เขื่อนสิรินธร จ. อุบลราชธานี สร้างเสร็จเมื่อ พ.ศ. **2514**
- เขื่อนจุฬาภรณ์ จ. ชัยภูมิ สร้างเสร็จเมื่อ พ.ศ. **2516**

ข้อมูลเบื้องต้นของเขื่อนใหญ่ในประเทศเรียงตามลำดับความจุ

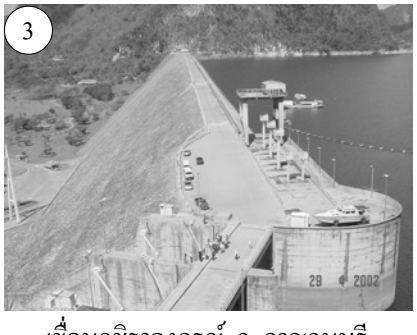
ลำดับที่	ชื่อเขื่อน	ที่ตั้ง	ชนิดของเขื่อน	ปริมาตรอ่าง (ล้านล.บ.ม.)	ความสูง (ม.)	สันเขื่อนยาว (ม.)	หน่วยงาน
1.	ศรีนครินทร์	จ. กาญจนบุรี	RF	17745	140.0	610.0	EGAT
2.	ภูมิพล	จ. ตาก	CA	13462	154.0	486.0	EGAT
3.	สิริกิติ์	จ. อุตรดิตถ์	EF	9510	113.6	800.0	EGAT
4.	วชิราลงกรณ์	จ. กาญจนบุรี	CFRD	8860	92.0	1019.0	EGAT
5.	รัชชประภา	จ. สุราษฎร์ธานี	RF	5639	94.0	761.0	EGAT
6.	อุบลรัตน์	จ. ขอนแก่น	EF	2263	35.1	885.0	EGAT
7.	สิรินธร	จ. อุบลราชธานี	RF	1967	42.0	940.0	EGAT
8.	ลำปาว	จ. กาฬสินธุ์	EF	1430	33.0	7800.0	RID
9.	บางลาง	จ. ปัตตานี	RF	1404	85.0	422.0	EGAT
10.	ป่าสัก	จ. ลพบุรี	EF	960	31.5	4860.0	RID
11.	แก่งกระจาน	จ. เพชรบุรี	EF	710	58.0	760.0	RID
12.	น้ำอูน	จ. สกลนคร	EF	520	29.5	3300.0	RID
13.	ปราณบุรี	จ. ประจวบคีรีขันธ์	EF	445	42.0	1500.0	RID
14.	สียัด	จ. ฉะเชิงเทรา	EF	325	30.5	2462.0	RID
15.	ลำตะคอง	จ. นครราชสีมา	EF	324	40.3	521.0	RID

จำนวนเขื่อนในความรับผิดชอบของหน่วยงานต่างๆ

หน่วยงาน	ความจุของเขื่อน (ล้าน ลบ.ม.)				รวม
	< 1.00	1.01 – 20.00	20.01 – 100.0	> 100.0	
1. กรมชลประทาน	3,461	513	37	16	4,027
2. การไฟฟ้าฝ่ายผลิต	-	-	3	12	15
3. สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท	258	70	-	-	328
4. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน					7

เขื่อนภูมิพล จ. ตาก

เขื่อนสิริกิติ์ จ. อุตรดิตถ์



เขื่อนวชิราลงกรณ์ จ. กาญจนบุรี

เขื่อนขุนด่านปราการชล จ. นครนายก

การใช้ประโยชน์ของเขื่อน

ก) การประปาหรืออุปโภคบริโภค (Domestic uses)

ข) การชลประทาน (Irrigation)

ค) การผลิตไฟฟ้า (Power generation)

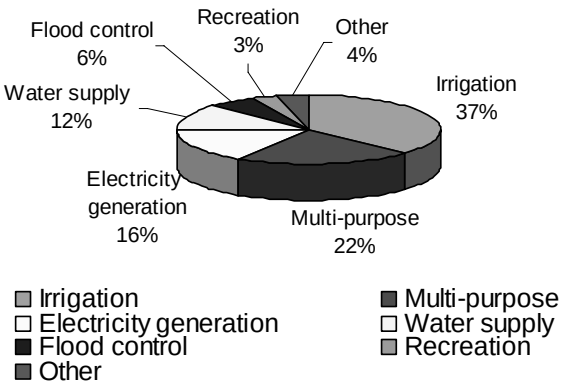
ง) การป้องกันอุทกภัย (Flood protection)

จ) การคมนาคม (Communication)

ฉ) การประมง (Fishery)

ช) การท่องเที่ยวและพักผ่อน (Tourism and Recreation)

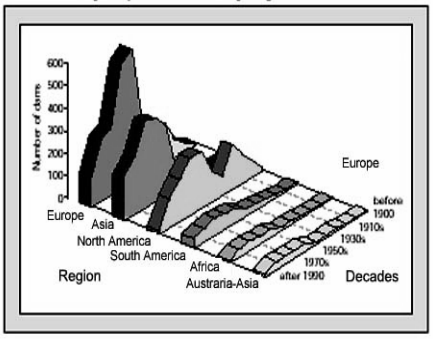
สัดส่วนการใช้ประโยชน์ของเขื่อน (แหล่งข้อมูล: ICOLD World Register of Large Dams, 1998)



การใช้ประโยชน์ของเขื่อนของพื้นที่ต่างๆของโลก

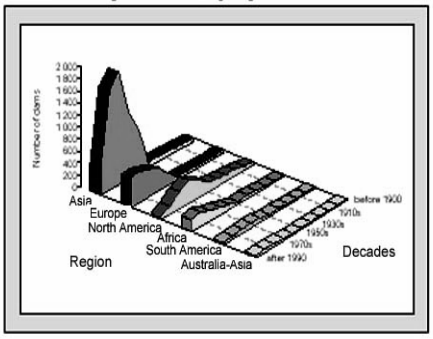
Functions of large dams, by region

Hydropower dams, by region



Source: ICOLD, 1998.

Irrigation dams, by region



Source: ICOLD, 1998.

ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการสร้างเขื่อน

1. มีแหล่งน้ำต้นทุนเพียงพอและมีลักษณะภูมิประเทศที่เหมาะสม
2. มีความต้องการของประชาชนในการใช้น้ำหรือยินยอมให้มีการมีการพัฒนาแหล่งน้ำ
3. มีนโยบายของรัฐบาลในการใช้ประโยชน์
4. มีงบประมาณหรือแหล่งเงินทุนสนับสนุน
5. มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่ยอมรับได้
6. มีความรู้ ความชำนาญ ในการศึกษา ออกแบบ และก่อสร้าง
7. มีการควบคุมการใช้ประโยชน์และบำรุงรักษาที่ถูกต้อง

แนวความคิดเบื้องต้นในการออกแบบเขื่อน

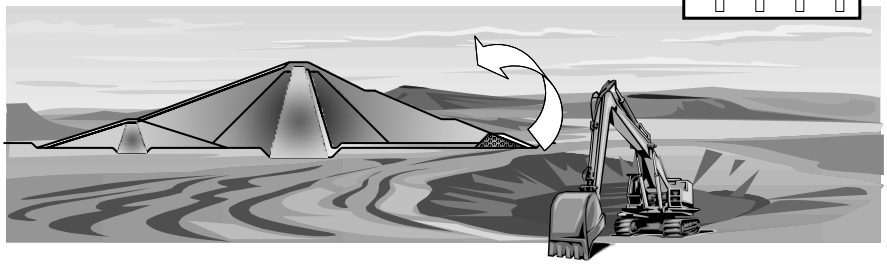
1. <u>ด้านการเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง</u>

- เขื่อนเป็นสิ่งก่อสร้างที่จะต้องใช้วัสดุเป็นปริมาณมากดังนั้นการเลือกใช้วัสดุธรรมชาติที่มีอยู่ในพื้นที่และมีปริมาณมากพอจึงเป็นแนวทางเลือกที่ดี
- เขื่อนจะต้องออกแบบโดยการสำรวจบ่อยืมดินและบริเวณที่จะทำเหมืองหินอย่างละเอียด แล้วประมวลปริมาณและคุณสมบัติวัสดุเป็นหน้าตัดเขื่อนและคุณสมบัติทางวิศวกรรมเพื่อการออกแบบ
- มีการวิเคราะห์ออกแบบได้เรียบร้อยแล้วจึงเขียนข้อกำหนดทางวิศวกรรมให้สอดคล้องวัสดุที่มี จะไม่มีการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างไว้ก่อนล่วงหน้าดังเช่นการออกแบบอาคารคอนกรีต หรือสะพาน ซึ่งผู้รับจ้างจะต้องไปหาวัสดุมาให้ตรงตามแบบที่กำหนด

แนวคิดของการออกแบบและก่อสร้างเขื่อน

อาคาร, สะพาน:วัสดุที่วิศวกรระบุคุณภาพได้

เขื่อน:วัสดุธรรมชาติที่วิศวกรต้องออกแบบให้สอดคล้อง



แนวความคิดเบื้องต้นในการออกแบบเขื่อน (2)

2. ด้านการเลือกตำแหน่งเขื่อน

- ภูมิประเทศที่เหมาะสมเป็นช่องเขาแคบเพื่อให้เขื่อนสั้นและมีพื้นที่อ่างด้านเหนือน้ำเปิดกว้างเพื่อให้จุน้ำได้มาก
- มีลักษณะทางธรณีวิทยาที่ดี ไม่อยู่บนรอยเลื่อนของชั้นหินที่เป็นอันตราย หินฐานรากสามารถปรับปรุงให้ทึบน้ำและกั้นการรั่วซึมผ่านได้
- ไม่อยู่ในสถานที่หวงห้าม เช่น เขตอุทยานหรือพื้นที่ต้นน้ำชนิด 1A เขตหวงห้ามทางศาสนา เป็นต้น
- มีผลกระทบต่อชุมชนน้อย เช่น ต้องอพยพหรือเวรคืนที่ราษฎรน้อย
- สามารถวางตำแหน่งอาคารประกอบเขื่อนได้สอดคล้องกับตัวเขื่อนและลำน้ำ
- สามารถมีความสูงของน้ำที่กักเก็บเพียงพอที่จะส่งน้ำ หรือ ผลิตกระแสไฟฟ้าได้

แนวความคิดเบื้องต้นในการออกแบบเขื่อน (3)

3. ด้านการออกแบบการปิดกั้นน้ำ

การปิดกั้นน้ำที่ไหลซึมผ่านเขื่อนหรือฐานรากไม่สามารถจำกัดทึบน้ำได้โดยสมบรูณ์ แต่จะยอมให้มีการให้มีการไหลในอัตราที่ยอมรับได้และควบคุมได้และจะต้องไม่เกิดอันตรายจากการกัดเซาะและพัดพาวัสดุตัวเขื่อน ฐานรากเขื่อน หรือ ฐานยัน ทำให้เกิดการรั่วซึมที่เพิ่มขึ้นต่อเนื่อง

4. ด้านการออกแบบความมั่นคงของลาดเขื่อนและลาดดิน

ลาดเขื่อนทั้งสองด้าน ลาดดินที่ฐานยัน ลาดดินที่ตัดเหนือทางน้ำล้น ลาดดินธรรมชาติบริเวณขอบอ่างเก็บน้ำ จะต้องมีการตรวจสอบโดยการวิเคราะห์ความมั่นคง และออกแบบให้มีอัตราส่วนปลอดภัยที่เหมาะสมที่จะไม่เกิดการเคลื่อนพิบัติทั้งในระหว่างการก่อสร้างและการใช้งานของเขื่อน

แนวความคิดเบื้องต้นในการออกแบบเขื่อน (4)

5. ด้านการตรวจสอบการทรุดตัว

เขื่อนจะยอมให้มีการทรุดตัวได้ระดับหนึ่งที่จะไม่ให้เกิดอันตรายจากน้ำล้นสันเขื่อน และการแตกร้าวในตัวเขื่อน การทรุดตัวอาจเกี่ยวข้องไปถึงอาคารประกอบเขื่อน เช่น ทางน้ำล้น ท่อส่งน้ำฯ ที่จะต้องไม่ให้เกิดการทรุดตัวที่ต่างกันจนเกิดรอยแตกแยกที่เป็นอันตรายได้

6. ด้านการออกแบบอาคารประกอบเขื่อน

อาคารประกอบเขื่อนนอกจากจะต้องออกแบบให้มีประโยชน์ใช้สอยได้ตามวัตถุประสงค์ เช่นสามารถ ระบายน้ำได้ตามกำหนด ควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ ผลิตกระแสไฟฟ้า ฯ แล้วยังต้องออกแบบให้สอดคล้องกับตัวเขื่อนโดยการวางตำแหน่งและกำหนดระดับให้เข้ากับการออกแบบเขื่อน ขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมใช้งานได้สะดวก และไม่เกิดอันตรายจากกระแสน้ำที่ระบายเกิดการปั่นป่วนวกเข้ามากัดเซาะตัวเขื่อนจนเป็นอันตรายได้

แนวความคิดเบื้องต้นในการออกแบบเขื่อน (5)

7. ด้านการป้องกันการกัดเซาะจากน้ำในอ่างเก็บน้ำ

อ่างเก็บน้ำของเขื่อนมีพื้นที่ผิวน้ำมากทำให้เกิดคลื่น หากพัดเข้าสู่ลาดเขื่อนหรือลาดดินที่ต่อเชื่อมกับเขื่อนจะเกิดการกัดเซาะได้ จึงต้องมีการออกแบบชั้นหินกันคลื่นที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการกัดเซาะ

8. ด้านการป้องกันสภาวะแวดล้อมในระหว่างการก่อสร้างและการใช้งาน

การก่อสร้างหรือใช้งานเขื่อนมักจะมีมลภาวะเกิดขึ้นเสมอ เช่น ฝุ่นจากการระเบิดหรือโม่หิน น้ำเสียจากโรงผสมคอนกรีต การขนส่งวัสดุโรงซ่อมเครื่องจักรก่อสร้าง หรือบ้านพักคนงาน เป็นต้น ผู้ที่เกี่ยวข้องต้องพยายามลดมลภาวะดังกล่าวให้น้อยที่สุด

9. ด้านการตรวจสอบพฤติกรรมเขื่อน

เขื่อนขนาดกลางหรือขนาดใหญ่จะต้องคำนึงถึงการตรวจวัดพฤติกรรมเพื่อให้ทราบพฤติกรรมที่แท้จริงของเขื่อนและเป็นมาตรการความปลอดภัยของเขื่อนทั้งในระหว่างการก่อสร้างและการใช้งานของเขื่อน

ชนิดของเขื่อน

1. เขื่อนถม (ดินและ/หรือหิน)

- เขื่อนดินเนื้อเดียว
- เขื่อนดินแบ่งส่วน
- เขื่อนหินทิ้งแกนดินเหนียว
- เขื่อนหินทิ้งดาดหน้า

2. เขื่อนคอนกรีต

- เขื่อนคอนกรีตถ่วงน้ำหนัก (Concrete Gravity Dam)
- เขื่อนคอนกรีตโค้ง(Concrete Arch Dam)
- เขื่อนคอนกรีตครีบยัน(Concrete Buttress Dam)

การกระจายของชนิดเขื่อน

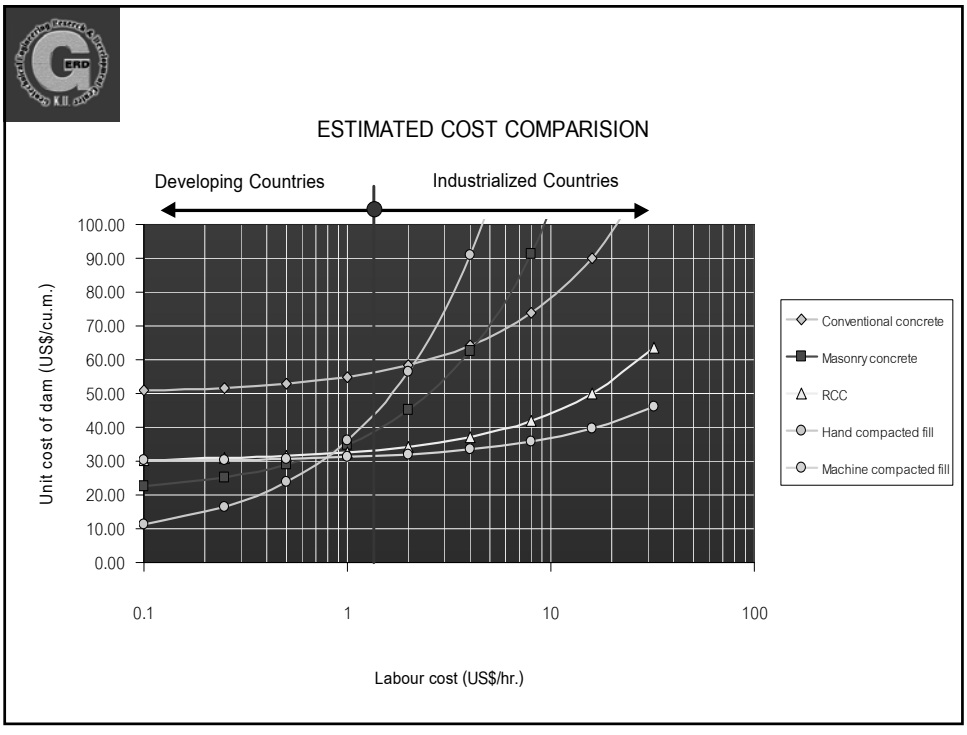
เขื่อนถม		เขื่อนคอนกรีตและหินก่อ			
เขื่อนดิน	เขื่อนหินทิ้ง	Gravity	Arch	Buttress	Multi-Arch
9,890	760	3,970	760	280	140
62.6%	4.8%	25.1%	4.8%	1.8%	0.9%
67.4%		32.6%			

(ICOLD, 1975)

Number of Registered Dams

	Industrialized countries	Developing countries
Number of large dams	15,000	30,000
Gravity	22%	4%
Arch	6%	4%
Buttress and multiple arch	3%	-
Total concrete and masonry dams	32%	8%
Total embankment dams	69%	92%

After: ICOLD (1999)



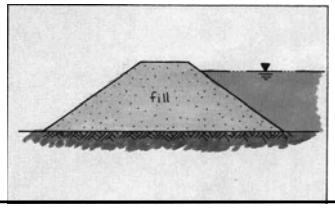
ชนิดของเขื่อนถม

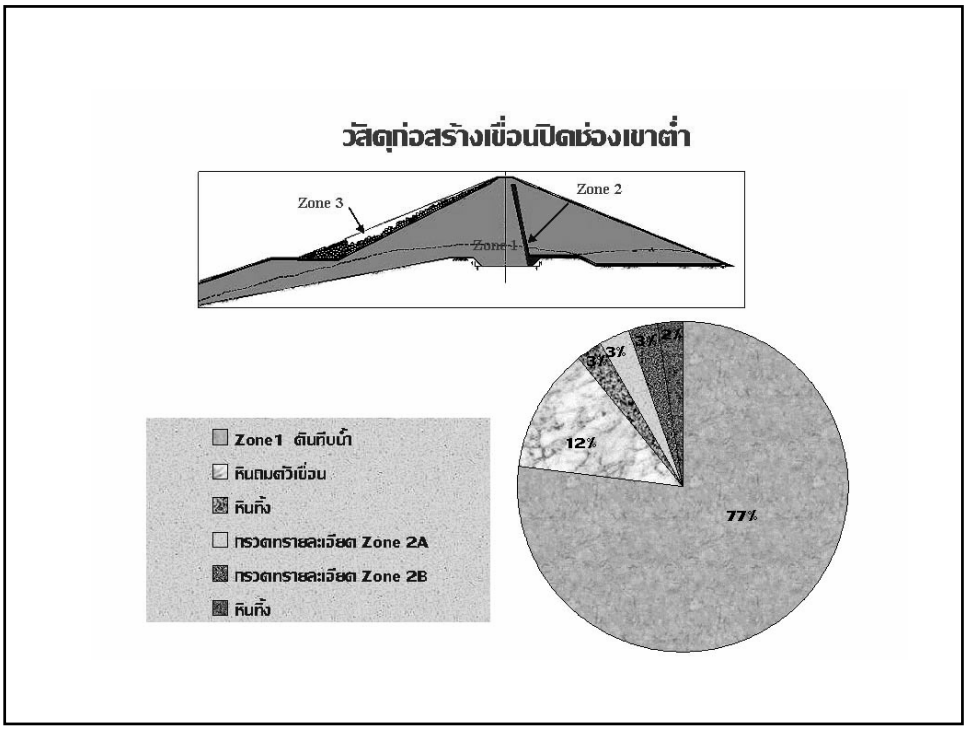
เขื่อนถม (Embankment Dams) มักจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่มซึ่งได้แก่

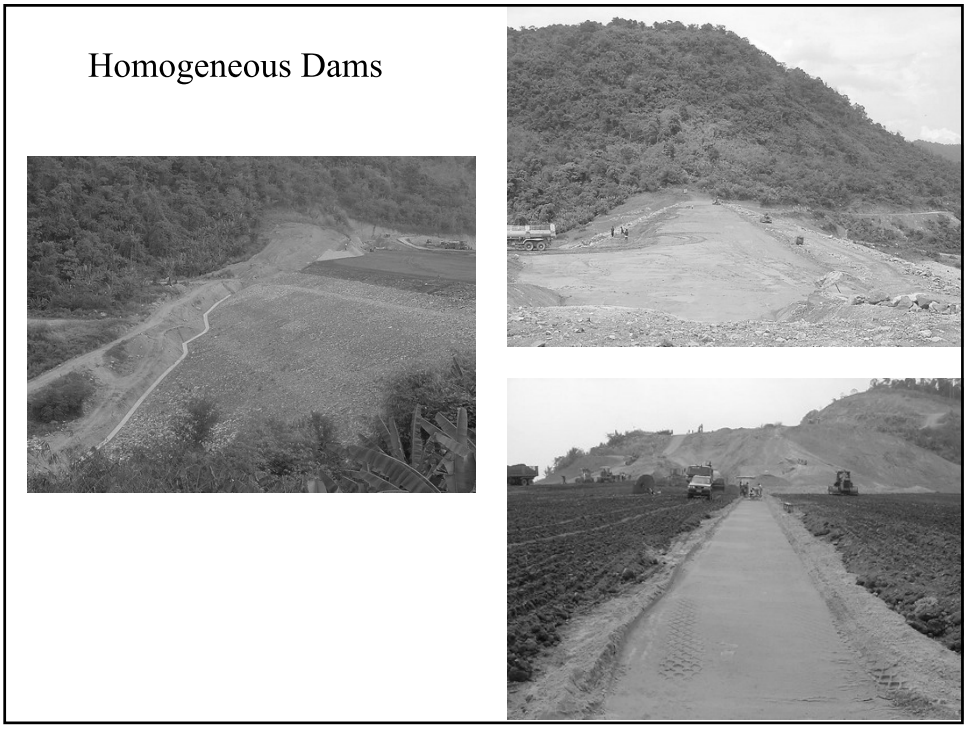
1. **เขื่อนดิน (Earth Dam) ซึ่งวัสดุก่อสร้างส่วนใหญ่เป็นดิน**
   - **เขื่อนดินเนื้อเดียว (Homogeneous Dam)**
   - **เขื่อนดินแบ่งส่วน (Zoned Dam)**
2. **เขื่อนหิน (Rock-filled Dam) โดยมีวัสดุก่อสร้างส่วนใหญ่เป็นหิน**
   - **เขื่อนหินแกนดินเหนียว(Rockfill Clay Core Dams, RFD)**
   - **เขื่อนหินดาดหน้า (Concrete Faced Rockfill Dams ,CFRD)**

เขื่อนดินเนื้อเดียว (Homogeneous Earth Dams)

เขื่อนดินเนื้อเดียว (Homogeneous dam) เป็นเขื่อนที่ก่อสร้างจากการบดอัดวัสดุชนิดเดียวกันเป็นส่วนใหญ่ ส่วนมากจะเป็นดินในกลุ่มของ GC, SC, ML, CL (Unified Soil Classification) ซึ่งสามารถบดอัดได้ดีมีความแข็งแรงและทึบน้ำพอสมควร เขื่อนชนิดนี้จะต้องมีส่วนที่สำคัญ คือชั้นกรองน้ำ (Filter) หรือระบายน้ำ (Drain) ทางด้านท้ายน้ำที่ตีนเขื่อน หรือภายในตัวเขื่อน เพื่อเป็นทางระบายป้องกันการกัดเซาะที่เกิดจากน้ำไหลผ่านตัวเขื่อนหรือฐานราก เนื่องจากวัสดุที่ใช้ไม่มีความแข็งแรงมากนักจึงไม่ควรก่อสร้างเป็นเขื่อนขนาดใหญ่ ซึ่งความสูงเกิน 40 เมตร เพราะจะไม่ปลอดภัยและประหยัด

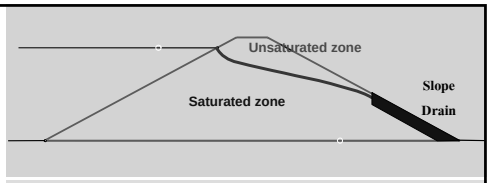



วัสดุก่อสร้างเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ
Zone 3
Zone 2
Zone 1
Zone1 ดินทึบน้ำ
หินถมตัวเขื่อน
หินทิ้ง
กรวดทรายละเอียด Zone 2A
กรวดทรายละเอียด Zone 2B
หินทิ้ง
12%
77%

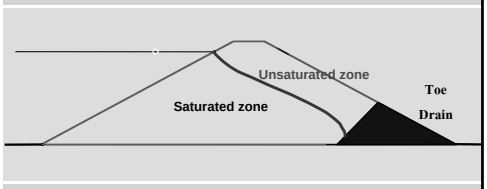

Homogeneous Dams

การจัดชั้นกรองในเขื่อนดินเนื้อเดียว

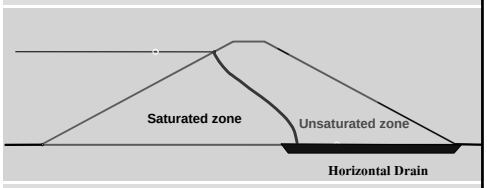
1. Slope Drain



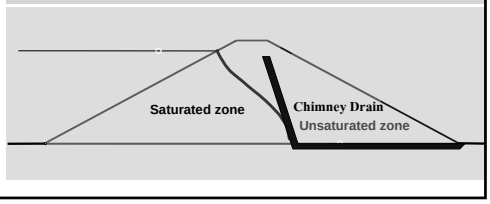
2. Toe Drain



3. Horizontal Drain

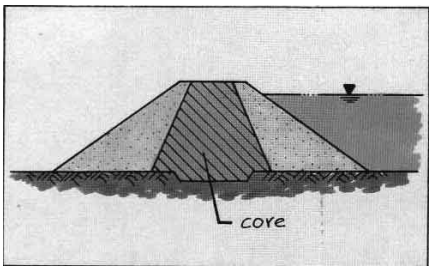


4. Chimney Drain

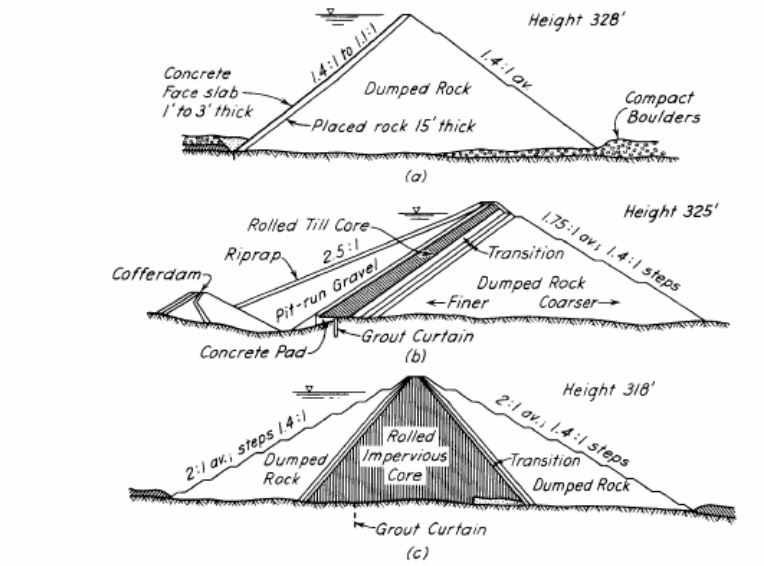


เขื่อนดินแบ่งส่วน (Earth Zoned Dam)

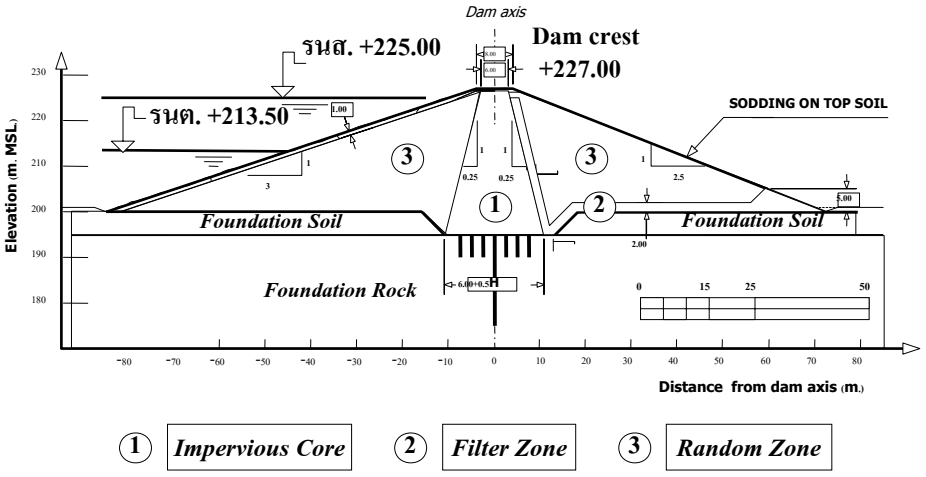
เขื่อนถมแบ่งส่วน (Zoned dam) ใช้ในกรณีเขื่อนถมที่ค่อนข้างใหญ่ มักจะใช้วัสดุหลายชนิดมาประกอบกันโดยเลือกใช้วัสดุให้มีประสิทธิภาพสูงสุดตามศักยภาพ คือ นำเอาคุณสมบัติที่ดีของแต่ละอย่างมาใช้อย่างเต็มที่ เช่น ใช้ดินเหนียวเป็นส่วนที่ทึบน้ำ เรียกว่า "แกนเขื่อน" (Core Zone) ดินปนกรวดหรือหินที่มีความแข็งแรงมากกว่ามาใช้ในส่วนนอก เพื่อให้เกิดความมั่นคง เรียกว่า "ส่วนเปลือก" (Shell) ในกรณีที่มีวัสดุมากกว่า 2 ชนิด



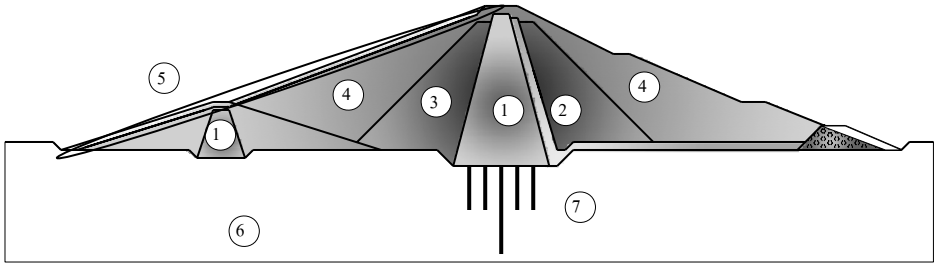
Zoned Earth and Rockfill Dams



เขื่อนห้วยบ้านพุ่ม



หน้าตัดเขื่อนกิ่วคอหมา



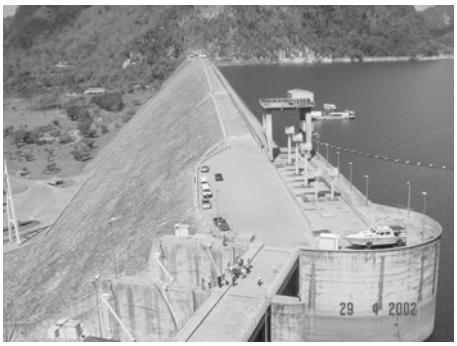
1. Impervious Core Zone
2. Filter Zone
3. Fine Random Zone
4. Coarse Random Zone
5. Rock Riprap
6. Foundation
7. Grouting Zone

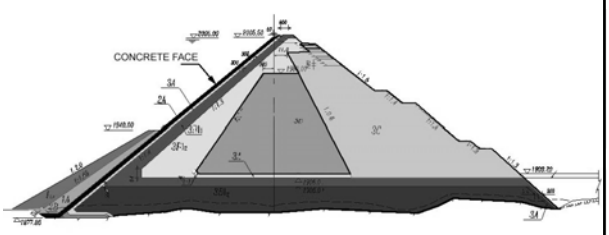
Rockfill Dams

•เขื่อนที่มีองค์ประกอบเป็นหินขนาดต่างๆ ในหน้าตัดโดยมีชั้นทึบน้ำเป็นแกนกลางในแนวดิ่งหรือเอียงไปด้านเหนือน้ำ

หินทำหน้าที่เพิ่มความมั่นคง

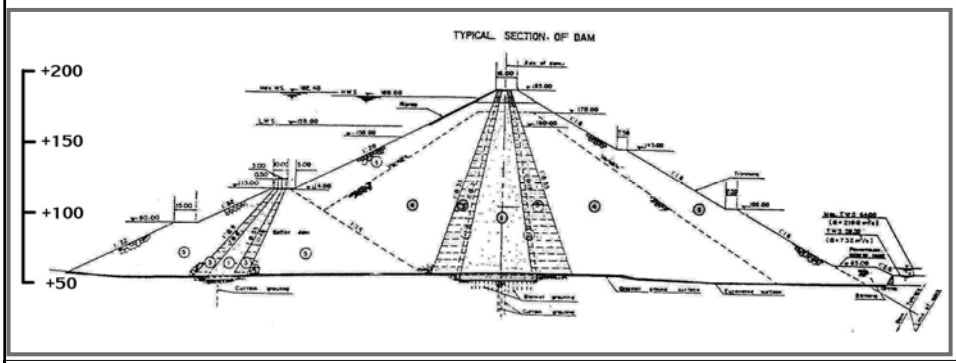
ชั้นทึบน้ำทำหน้าที่ปิดกั้นน้ำ



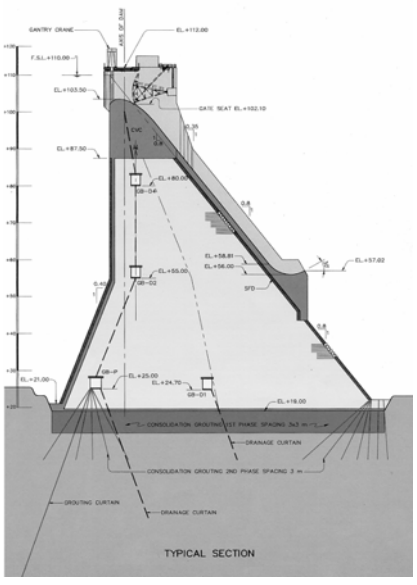


Rock Filled Dam

เขื่อนศรีนครินทร์



ชนิดเขื่อน : เขื่อนหินทิ้งแกนดินเหนียว
ธรณีวิทยา : Quarzite, Sandstone, Limestone
ความสูง : 140 เมตร
ปริมาตรวัสดุถมตัวเขื่อน : 12 ล้าน ลบ.ม.
ระดับสันเขื่อน : +185.00 ม.รทก.
ระดับเก็บกักปกติ : +180.00 ม.รทก.
ความจุอ่างที่ รนส. : 17,745 ล้าน ลบ.ม.
พื้นที่รับน้ำ : 10,880 ตร.กม.



Concrete Gravity Dam

ตัวอย่างเขื่อน Concrete Gravity Dam

Concrete Arch Dam

Figure MF-3. Malpasset Dam before failure (after Bellier, 1967)

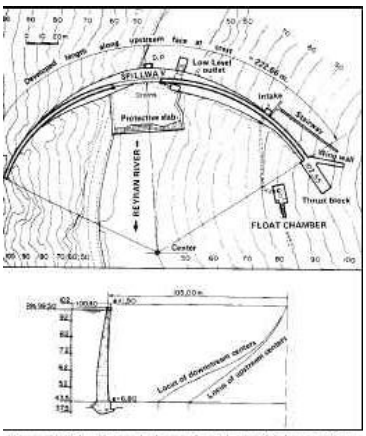
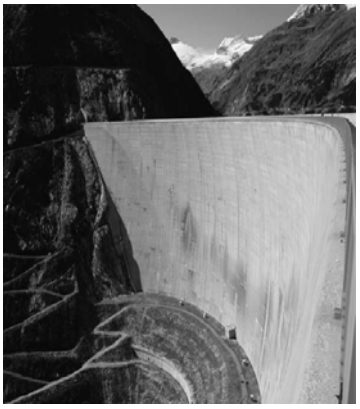
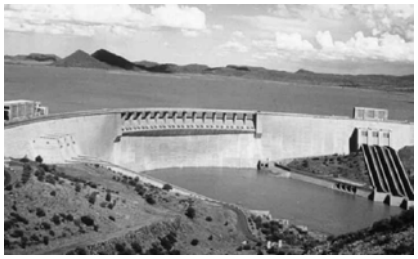


Figure MF-1. General plan and section of Malpasset Dam (after Londe, 1987)

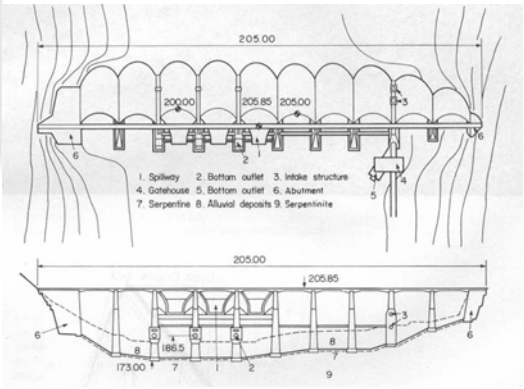
Concrete Arch Dam



ตัวอย่างเขื่อนคอนกรีตโค้ง(Concrte Arch Dams)



Comcrete Buttress Dam

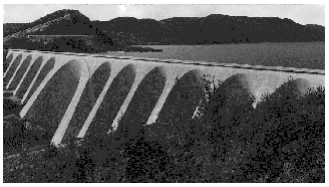


ตัวอย่างเขื่อน Concrete Buttress Dams

The Coolidge Dam

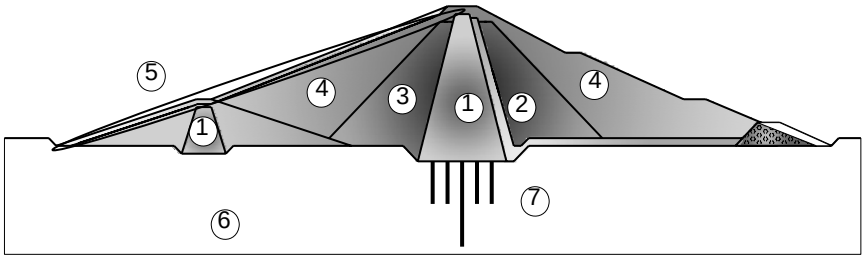
The Itaipu Dam

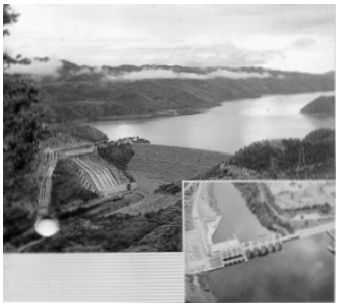
The Daniel-Johnson Dam



เขื่อนพระตำหนักภูพานราชนิเวศน์

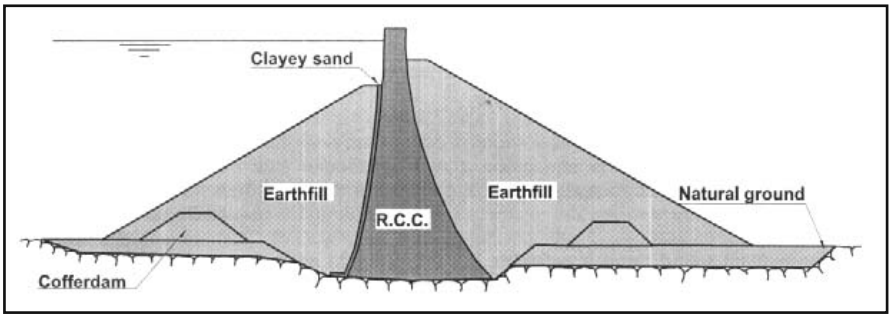
Earth and Rock-filled Dam



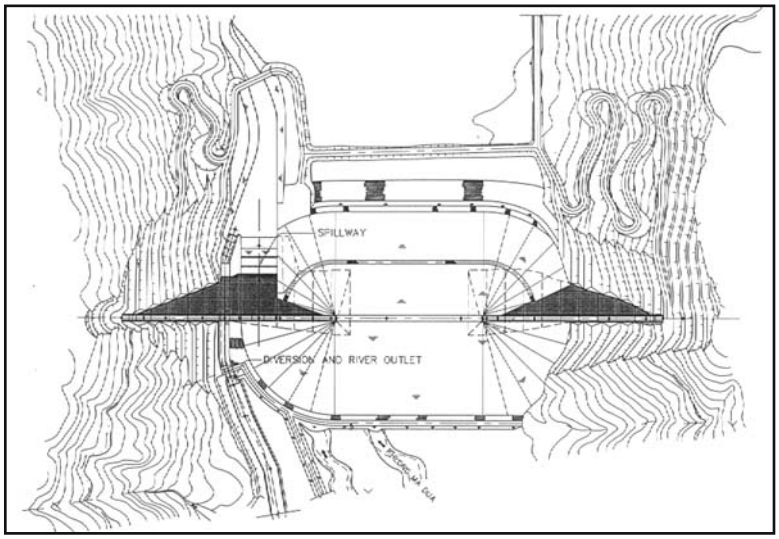


เขื่อนดินและหินถม

หน้าตัดเขื่อนแบบผสม



เขื่อนคลองมะเดื่อ จ.นครนายก



Stability

ตัวเขื่อน ฐานรากและฐานยันของเขื่อน จะต้องมีความมั่นคงต่อการพังทลายในลักษณะการเคลื่อนพิบัติตลอดระยะเวลาการก่อสร้าง การเก็บกักน้ำใช้งาน และการลดระดับอย่างรวดเร็ว

Bearing Capacity

ระดับขุดของดินและหินฐานรากของตัวเขื่อนจะต้องอยู่ในระดับที่มีกำลังรับแรงแบกทาน (Bearing Capacity) ได้เพียงพอที่จะรับน้ำหนักของตัวเขื่อนได้

Seepage Control

น้ำที่ไหลซึมผ่านตัวเขื่อน ฐานรากและฐานยันของเขื่อน จะต้องถูกควบคุมให้การรั่วซึมในระดับต่ำกว่าที่กำหนด และไม่ก่อให้เกิดอันตรายในการกัดเซาะและพัดพาดินเม็ดละเอียดออกจนเป็นรูโพรง (Seepage erosion)

Free Board

ความสูงของสันเขื่อนจะต้องมีความสูงเผื่อ (Freeboard) เพื่อป้องกันการเอ่อล้นของน้ำและคลื่นในอ่าง และยังต้องเผื่อการทรุดตัว (Camber) ที่เกิดภายหลังการก่อสร้างให้เพียงพอเพื่อป้องกันน้ำล้นสันเขื่อน

Erosion Control

ผิวหน้าของลาดเขื่อนจะต้องมีการป้องกันการกัดเซาะจากคลื่นในอ่างในการกัดเซาะของน้ำผิวดินที่เกิดจากฝน

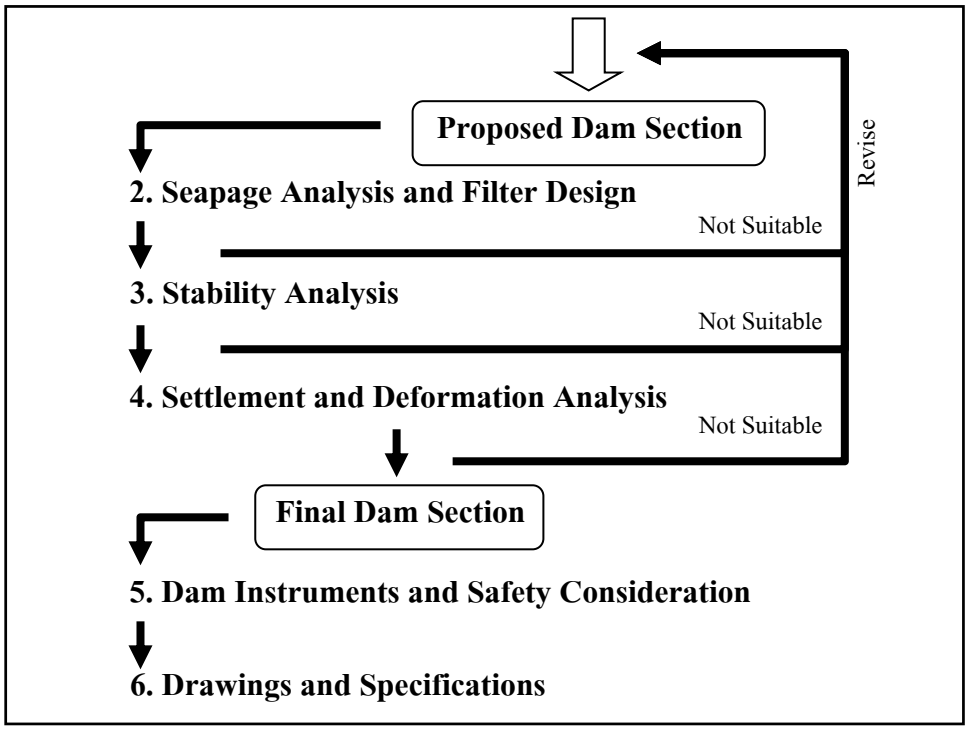
Material Management

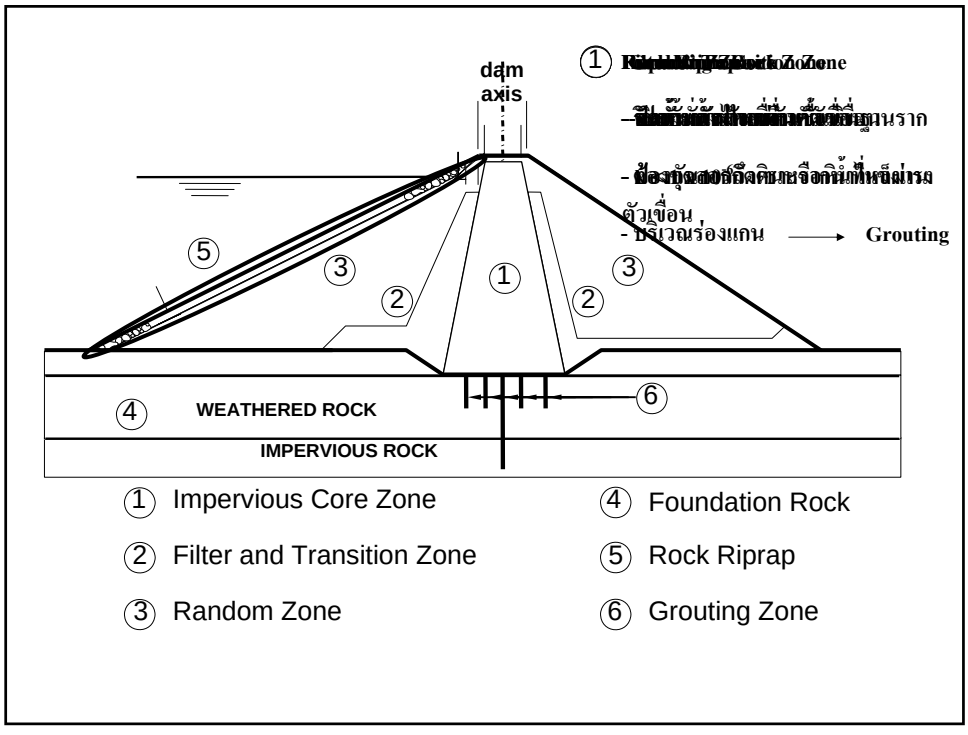
การจัดใช้วัสดุก่อสร้างในตัวเขื่อนจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรม และความประหยัดเป็นเกณฑ์

1. Detail Investigation

Foundation	Construction Material	Loading
Geological profile	Material Quantities	Water
⇩	⇩	⇩
Excavation plan	Material Properties	External Load
⇩	⇩	⇩
Foundation treatment	Borrow Area Concept	Earthquake

Proposed Dam Section

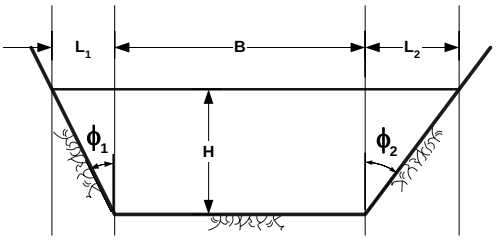

Proposed Dam Section
2. Seapage Analysis and Filter Design
Not Suitable
3. Stability Analysis
Not Suitable
4. Settlement and Deformation Analysis
Not Suitable
Revise
Final Dam Section
5. Dam Instruments and Safety Consideration
6. Drawings and Specifications


dam axis
ตัวเขื่อน
Grouting
WEATHERED ROCK
IMPERVIOUS ROCK
① Impervious Core Zone
② Filter and Transition Zone
③ Random Zone
④ Foundation Rock
⑤ Rock Riprap
⑥ Grouting Zone

ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกชนิดเขื่อน

1. สภาพภูมิประเทศ
2. สภาพฐานรากและไหล่เขา
3. วัสดุก่อสร้าง
4. ลักษณะการใช้สอย
5. ลักษณะการผันน้ำ
6. ระยะเวลาการก่อสร้าง
7. สภาพภูมิอากาศ

ลักษณะช่องเขา



Shape Valley Factor, K $K = \dfrac{B+H\,(\tan\phi_1 + \tan\phi_2)}{H}$

เมื่อ K < 3 ช่องเขาลึกหรือเหว (Gorge) ⇒ เขื่อนคอนกรีต

3 < K < 6 ช่องเขาแคบ (Narrow Valley) ⇒ เขื่อนคอนกรีต / เขื่อนหิน

K > 6 ช่องเขาผายกว้าง(Wide Valley) ⇒ เขื่อนหิน /เขื่อนดิน

Working Classification of Soils for Use as Fill Materials for Rolled Earth Dams

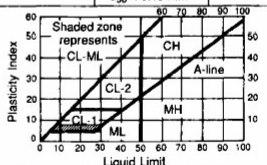
Major Divisions			Sym-bol	Typical Name	Laboratory Classification Criteria			Behav-ior
Coarse Grained Soils d_{50} > No. 200 Mesh (0.074 mm)	Sands and Gravels	Clean	GW	Well graded gravel; sandy gravels	Determine percentages of gravel and sand. Depending on percentage of fines (200 mesh), coarse grained soils are classified as follows: Less than 5%—GW, GP, SW, SP. More than 12%—GC, GM, SC, SM. 5% to 12%—Boarderline cases	C_u>4; 1≤Cc≤3	$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}}$	I
			GP	Poorly graded gravels; sandy gravels		C_u4 or 1>Cc>3		
			SW	Well graded sands; gravelly sands		C_u>6; 1≤Cc≤3	$Cc = \frac{d_{30}^2}{d_{10} d_{60}}$	
			SP	Poorly graded sands; gravelly sands		C_u6 or 1>Cc>3		
		With Clay Fines	GC	Clayey gravels; sandy, clayey gravels		Atterberg limits above A-line		II
			SC	Clayey sands; gravelly, clayey sands		Atterberg limits above A-line		
		With Silt Fines	GM	Silty gravels; sandy, silty gravels		Atterberg limits below A-line		III
			SM-1	Coarse silty sands		(#100 sieve) $d_{50} \geq 0.15$ mm	Atterberg limits below A-line	
			SM-2	Fine silty sands		(#100 sieve) $d_{50} < 0.15$ mm		IV
Fine Grained Soils d_{50} ≤ No. 200 Mesh (0.074 mm)	Silts and Clays	LL < 50	ML	Silts; rock flour; ash; very fine silty sands; sandy, clayey silts				V
			CL-1	Clays of low plasticity; silty clays; sandy, gravelly clays (PI < 15)				VI
			CL-2	Clays of medium plasticity; silty, sandy, or gravelly clays (PI ≥ 15)				
		LL ≥ 50	CH	Clay of high plasticity; fat clay				VII
			MH	Elastic silts; micaceous and diatomaceous silt				VIII
		Organic	OL	Organic silts and clays	Same as ML	$\frac{\text{LL (oven dry soil)}}{\text{LL (air dry soil)}} < 0.75$		IX
			OH	Organic silts and clays	Same as MH			

Figure 4–I4.—**Unified classification and properties of soils.**

Typical Names	IMPORTANT PROPERTIES						Unified Soil Classes
	Shear Strength	Compress-ibility	Workability as Construction Material	Permeability When Compacted	Permeability K Cm. Per Sec.	Permeability K Ft. Per Day	
Well graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines.	Excellent	Negligible	Excellent	Pervious	$K > 10^{-2}$	K > 30	GW
Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines.	Good	Negligible	Good	Very Pervious	$K > 10^{-2}$	K > 30	GP
Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures.	Good to Fair	Negligible	Good	Semi-pervious to Impervious	$K = 10^{-3}$ to 10^{-6}	$K = 3$ to 3×10^{-3}	GM
Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures.	Good	Very Low	Good	Impervious	$K \cdot 10^{-6}$ to 10^{-8}	$K = 3 \times 10^{-3}$ to 3×10^{-5}	GC
Well graded sands, gravelly sands, little or no fines.	Excellent	Negligible	Excellent	Pervious	$K > 10^{-3}$	K > 3	SW
Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines.	Good	Very Low	Fair	Pervious	$K > 10^{-3}$	K > 3	SP
Silty sands, sand-silt mixtures.	Good to Fair	Low	Fair	Semi-pervious to Impervious	$K = 10^{-3}$ to 10^{-6}	$K = 3$ to 3×10^{-3}	SM
Clayey sands, sand-clay mixtures.	Good to Fair	Low	Good	Impervious	$K = 10^{-6}$ to 10^{-8}	$K = 3 \times 10^{-3}$ to 3×10^{-5}	SC
Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands or clayey silts with slight plasticity.	Fair	Medium to High	Fair	Semi-pervious to Impervious	$K = 10^{-3}$ to 10^{-6}	$K = 3$ to 3×10^{-3}	ML
Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays.	Fair	Medium	Good to Fair	Impervious	$K = 10^{-6}$ to 10^{-8}	$K = 3 \times 10^{-3}$ to 3×10^{-5}	CL
Organic silts and organic silty clays of low plasticity.	Poor	Medium	Fair	Semi-pervious to Impervious	$K = 10^{-4}$ to 10^{-8}	$K = 3 \times 10^{-3}$ to 3×10^{-3}	OL
Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts.	Fair to Poor	High	Poor	Semi-pervious to Impervious	$K = 10^{-4}$ to 10^{-6}	$K = 3 \times 10^{-1}$ to 3×10^{-3}	MH
Inorganic clays of high plasticity, fat clays.	Poor	High to Very High	Poor	Impervious	$K = 10^{-6}$ to 10^{-8}	$K = 3 \times 10^{-3}$ to 3×10^{-5}	CH
Organic clays of medium to high plasticity, organic silts.	Poor	High	Poor	Impervious	$K = 10^{-6}$ to 10^{-8}	$K = 3 \times 10^{-3}$ to 3×10^{-5}	OH
Peat and other highly organic soils	Not Suitable for Construction						Pt

Figure 4–14.—**Unified classification and properties of soils — Continued.**

EMBANKMENTS								
Compaction Characteristics	Standard Procter Unit Density (Lbs. per cu. ft.)	Type of Roller Desirable	Relative Characteristics: Permeability	Relative Characteristics: Compressibility	Resistance to Piping	Ability to Take Plastic Deformation Under Load Without Shearing	General Description & Use	Unified Soil Classes
Good	125-135	Crawler tractor or steel wheeled & vibratory	High	Very Slight	Good	None	Very stable, pervious shells of dikes and dams.	GW
Good	115-125	Crawler tractor or steel wheeled & vibratory	High	Very Slight	Good	None	Reasonably stable, pervious shells of dikes and dams.	GP
Good with close control	120-135	Rubber-tired or sheepsfoot	Medium	Slight	Poor	Poor	Reasonably stable, not well suited to shells but may be used for impervious cores or blankets.	GM
Good	115-130	Sheepsfoot or rubber-tired	Low	Slight	Good	Fair	Fairly stable, may be used for impervious core.	GC
Good	110-130	Crawler tractor & vibratory or steel wheeled	High	Very Slight	Fair	None	Very stable, pervious sections, slope protection required.	SW
Good	100-120	Crawler tractor & vibratory or steel wheeled	High	Very Slight	Fair to Poor	None	Reasonably stable, may be used in dike with flat slopes.	SP
Good with close control	110-125	Rubber-tirad or sheepsfoot	Medium	Slight	Poor to Very Poor	Poor	Fairly stable, not well suited to shells, but may be used for impervious cores or dikes.	SM
Good	105-125	Sheepsfoot or rubber-tired	Low	Slight	Good	Fair	Fairly stable, use for impervious core for flood control structures.	SC
Good to Poor, Close control essential	95-120	Sheepsfoot	Medium	Medium	Poor to Very Poor	Very Poor	Poor stability, may be used for embankments with proper control. *Varies with water content.	ML
Fair to Good	95-120	Sheepsfoot	Medium	Medium	Good to Fair	Good to Poor	Stable, impervious cores and blankets.	CL
Fair to Poor	80-100	sheepsfoot	Medium to Low	Medium to High	Good to Poor	Fair	Not suitable for embankments.	OL
Poor to Very Poor	70-95	Sheepsfoot	Medium to Low	Very High	Good to Poor	Good	Poor stability, core of hydraulic fill dam, not desirable in rolled fill construction.	MH
Fair to Poor	75-105	Sheepsfoot	Low	High	Excellent	Excellent	Fair stability with flat slopes, thin cores, blanket & dike sections.	CH
Poor to Very Poor	65-100	Sheepsfoot	Medium to Low	Very High	Good to Poor	Good	Not suitable for embankments.	OH
Do Not Use for Embankment Construction								Pt

Figure 4–14.—**Unified classification and properties of soils — Continued.**

TENTATIVE FOR TRIAL USE ONLY

CHANNELS: Long duration to constant flows. RELATIVE DESIRABILITY		FOUNDATION: Foundation soils, being undisturbed, are influenced to a great degree by their geologic origin. Judgment and testing must be used in addition to these generalizations. RELATIVE DESIRABILITY					Unified Soil Classes
					Requirements for Seepage Control		
Erosion Resistance	Compacted Earth Lining	Bearing Value	Seepage Important	Seepage Not Important	Permanent Reservoir	Floodwater Retarding	
1	—	Good	—	1	Positive cutoff or blanket	Control only within volume acceptable plus pressure relief if required.	GW
2	—	Good	—	3	Positive cutoff or blanket	Control only within volume acceptable plus pressure relief if required.	GP
4	4	Good	2	4	Core trench to none	None	GM
3	1	Good	1	6	None	None	GC
6	—	Good	—	2	Positive cutoff or upstream blanket & toe drains or wells	Control only within volume acceptable plus pressure relief if required.	SW
7 if gravelly	—	Good to poor depending upon density	—	5	Positive cutoff or upstream blanket & toe drains or wells	Control only within volume acceptable plus pressure relief if required.	SP
8 if gravelly	5 erosion critical	Good to Poor depending upon density	4	7	Upstream blanket & toe drains or wells	Sufficient control to prevent dangerous seepage piping	SM
5	2	Good to Poor	3	8	None	None	SC
—	6 erosion critical	Very Poor; susceptible to liquefication	6, if saturated or pre-wetted	9	Positive cutoff or upstream blanket & toe drains or wells	Sufficient control to prevent dangerous seepage piping.	ML
9	3	Good to Poor	5	10	None	None	CL
—	7 erosion critical	Fair to Poor; may have excessive settlement	7	11	None	None	OL
—	—	Poor	8	12	None	None	MH
10	8 volume change critical	Fair to Poor	9	13	None	None	CH
—	—	Very Poor	10	14	None	None	OH
—	—	REMOVE FROM FOUNDATION					Pt

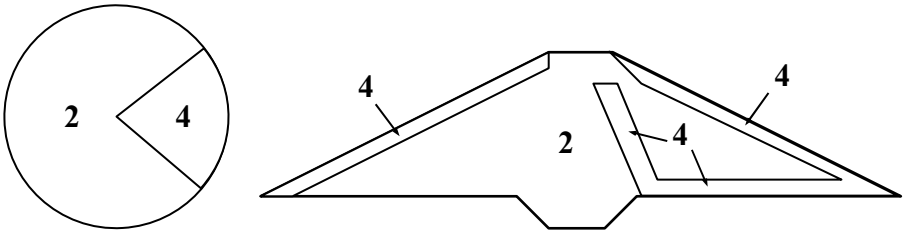
Table 4–I5.—**Characteristics of compacted fill materials**

Behavior Group	Relative Resistance to Failure (1) Greatest to (6) Least			Relative Characteristics		
	Shearing	Piping	Cracking	Permeability	Compressibility	Compaction
1	2	3	4	5	6	7
I	1	—	—	High	Very Slight	Good; crawler tractor steel-wheeled roller.
II	3	3	4	Low	Slight	Fair; sheepsfoot roller rubber-tired roller.
III	2	5	3	Medium	Slight	Good; rubber-tired roller; sheepsfoot roller.
IV	3	6	6	Medium	Slight to Medium	Good to poor; sheepsfoot roller; close control essential.
V	4	4	5	Low	Medium	Good to fair; sheepsfoot roller; close control essential.
VI	5	2	2	Low	Medium to High	Good to fair; sheepsfoot roller; rubber-tired roller.
VII	6	1	1	Low	High	Fair to poor; sheepsfoot roller.
VIII	6	Variable	Variable	Medium-Low	Very High	Poor to very poor; sheepsfoot roller.
IX	6	Variable	Variable	Medium-Low	Very High	Very poor; not suitable for embankments.

Table 4–I6.—**Characteristics of foundation materials**

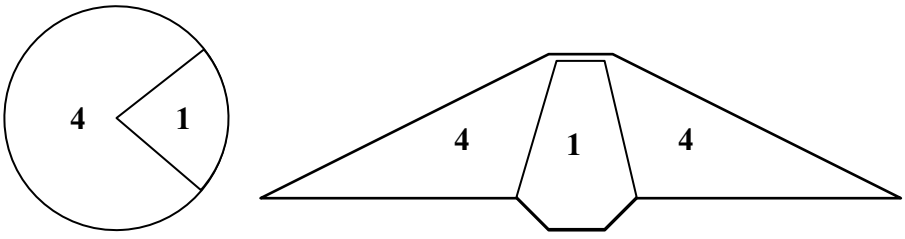
Group Symbol	Characteristics Influencing Embankment Design				Seepage Control Requirements
	Shear Strength	Sensitivity to Shock	Compressibility [2]	Permeability	
1	2	3	4	5	6
GW	High	None	Very Slight	High	Positive Cutoff
GP	High	None	Very Slight	High	Positive Cutoff
GM	High	None	Very Slight	Medium-Low	Toe Trench to None
GC	High	None	Slight	Low	None
SW	High	None	Very Slight	High	U.S. Blanket & Toe Drainage;
SP	Usually High [2]	High for loose fine sand	Very Slight	High	cutoff U.S. Blanket & Toe Drainage; cutoff U.S.
SM	Usually High [1]	High for loose fine sand	Very Slight	Medium	Blanket & Toe Drainage; cutoff
SC	High	None	Slight	Low	None
ML	Medium	High for loose silts	Medium	Medium	Toe Trench
CL	Medium	None	Medium	Medium-Low	None
OL	Low	None	High	Low	None
MH	Low	High for loose silts	Very High	Low	None
CH	Medium to Low [2]	None	Usually Very High	Low	None
OH	Low	None	Very High	Low	None
Pt	Very Low	None	Very High	Very High	Remove from foundation

เขื่อนดินเนื้อเดียว



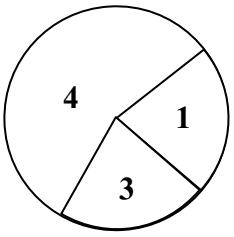
1	Impervious Material	4	Pervious Material
2	Semi-Impervious Material	5	Mixed Material (Random)
3	Semi-Pervious Material		

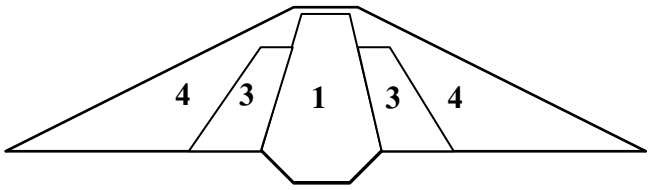
เขื่อนหินทิ้งแกนดินเหนียว



1	Impervious Material	4	Pervious Material
2	Semi-Impervious Material	5	Mixed Material (Random)
3	Semi-Pervious Material		

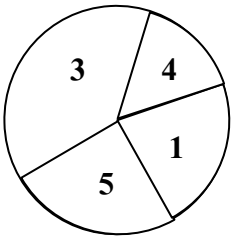
เขื่อนดินแบ่งส่วน

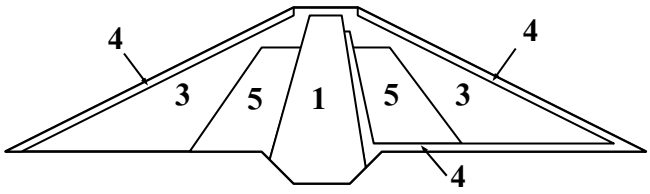




1	Impervious Material
2	Semi-Impervious Material
3	Semi-Pervious Material
4	Pervious Material
5	Mixed Material (Random)

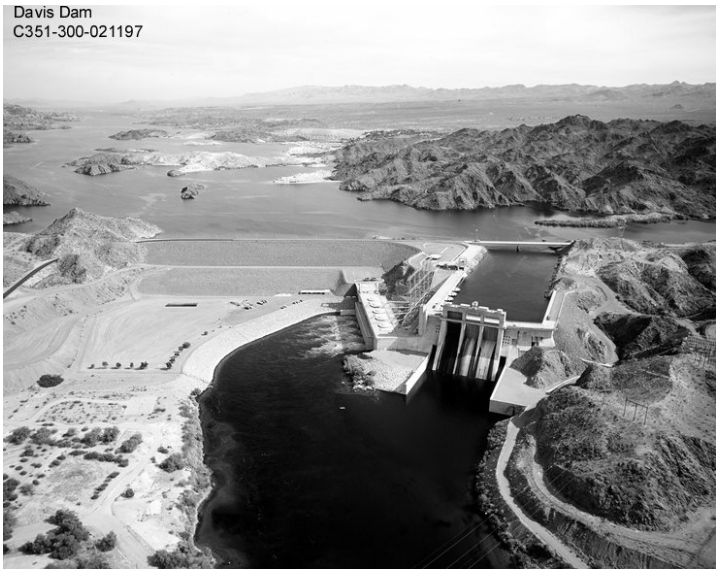
เขื่อนดินแบ่งส่วนแบบมี Random Zone



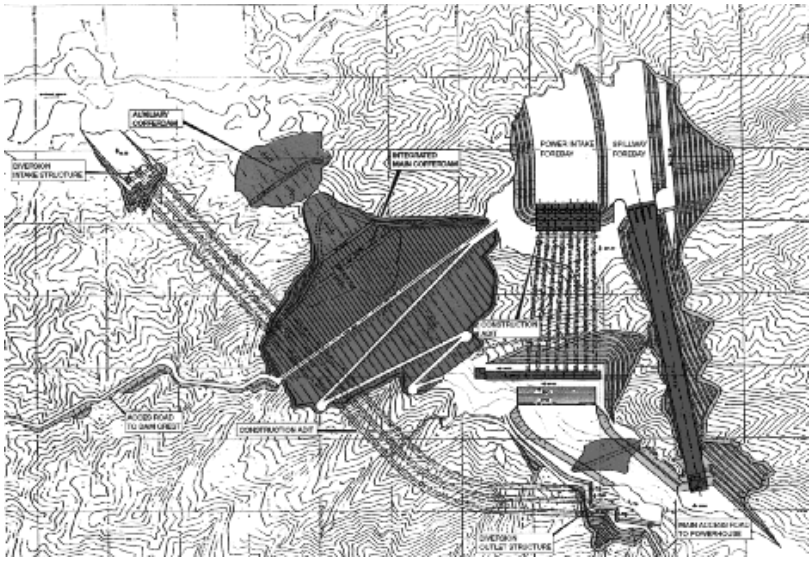


1	Impervious Material
2	Semi-Impervious Material
3	Semi-Pervious Material
4	Pervious Material
5	Mixed Material (Random)

เขื่อนและอาคารประกอบเขื่อนที่สำคัญ



อาคารประกอบเขื่อน



Three Gorges Dam Project

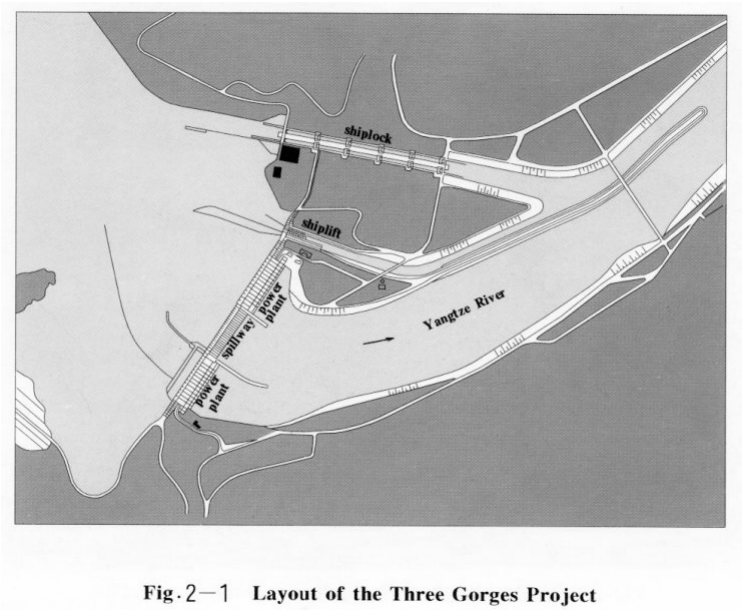
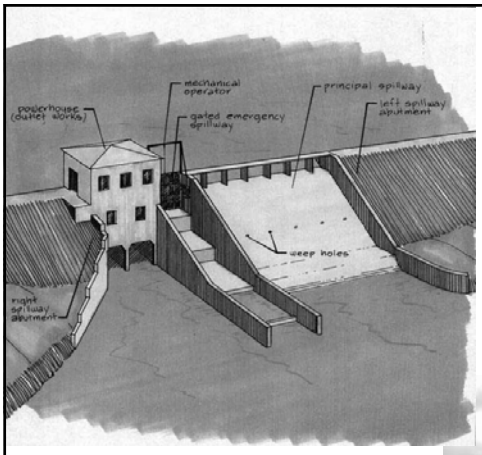
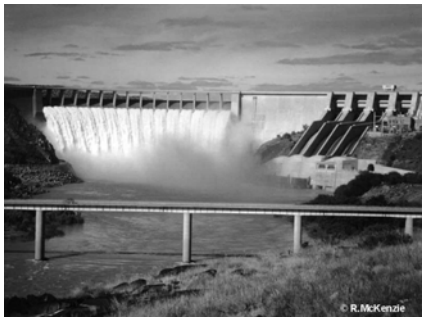


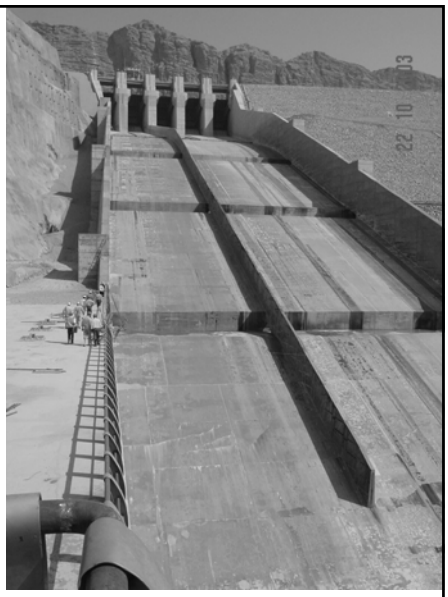
Fig.2—1 Layout of the Three Gorges Project



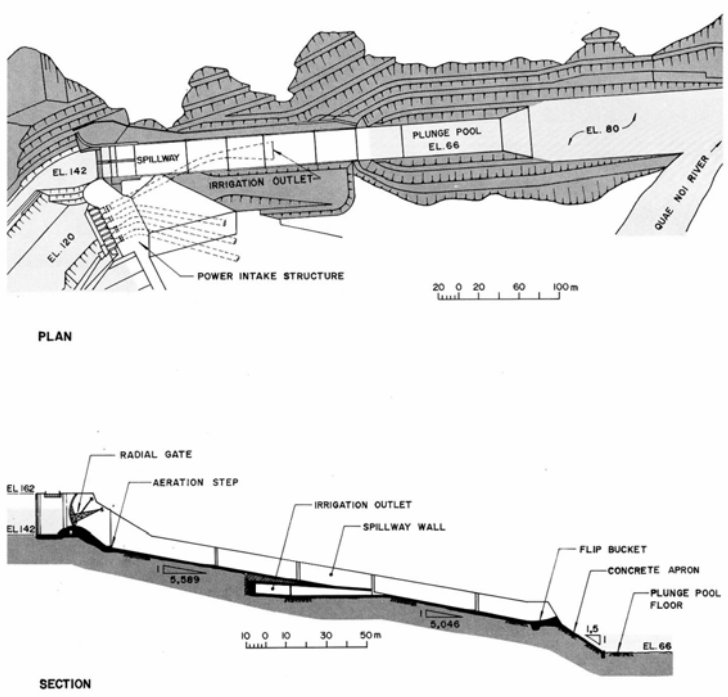
Service Spillway

ทางระบายน้ำล้น



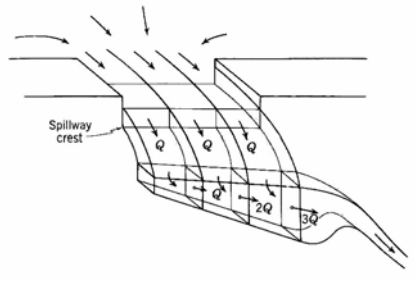


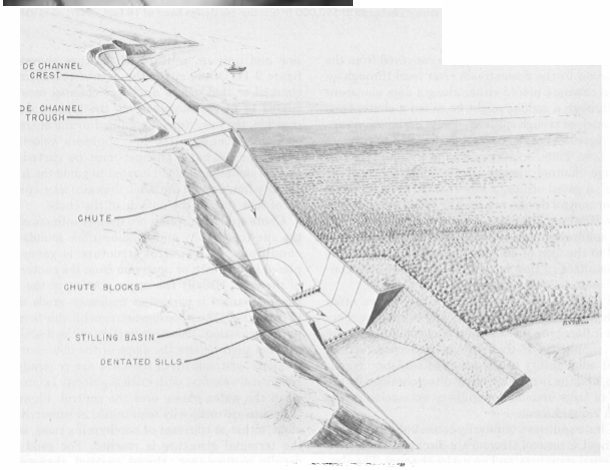
Spillway and Irrigation Outlet



ทางระบายน้ำล้นและโรงไฟฟ้าเขื่อนวชิราลงกรณ

Sid

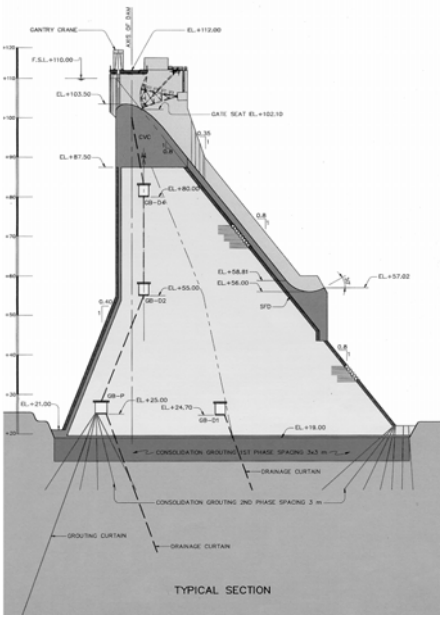


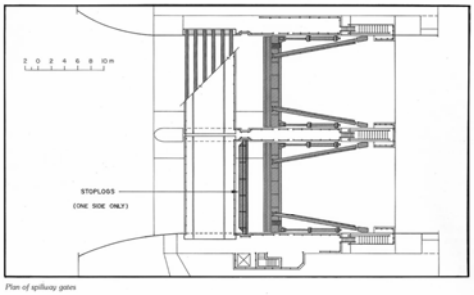


Side

Channel

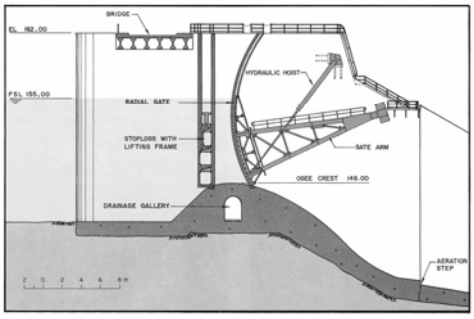
Spillway





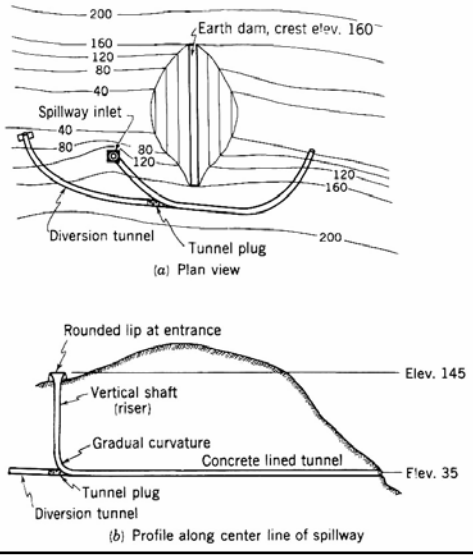
Plan of spillway gates

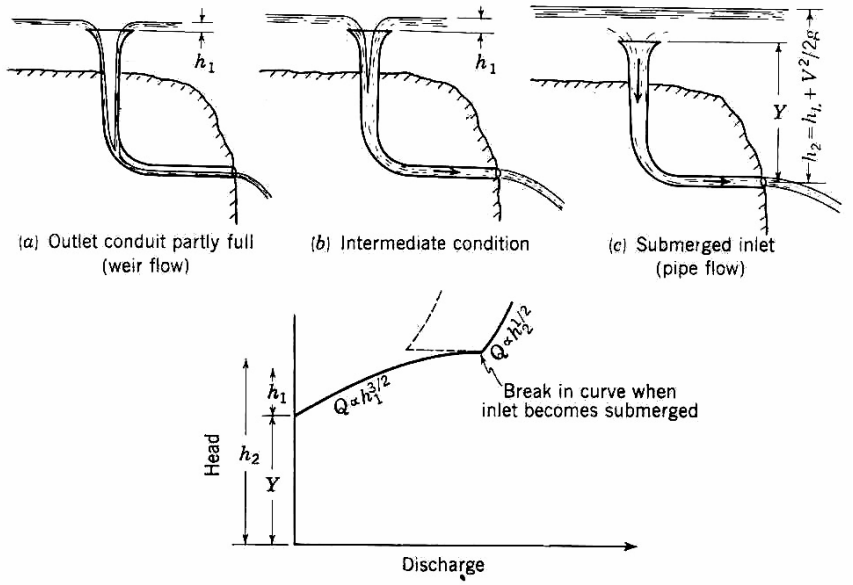
Section of spillway gate



Spillway ของเขื่อนขุนด่านปราการชล

Tunnel Spillway

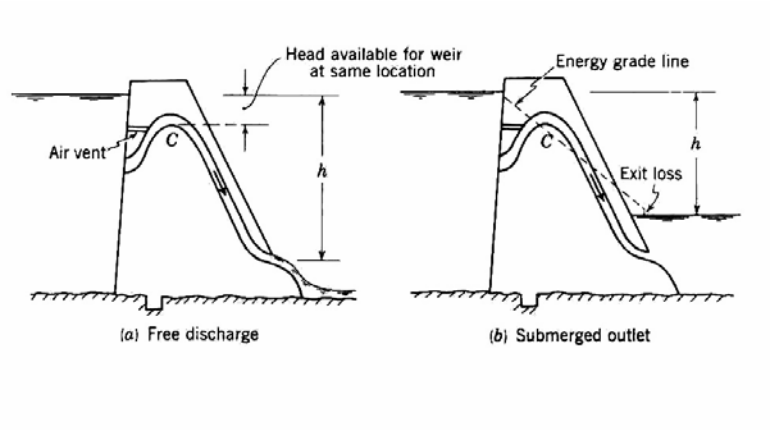




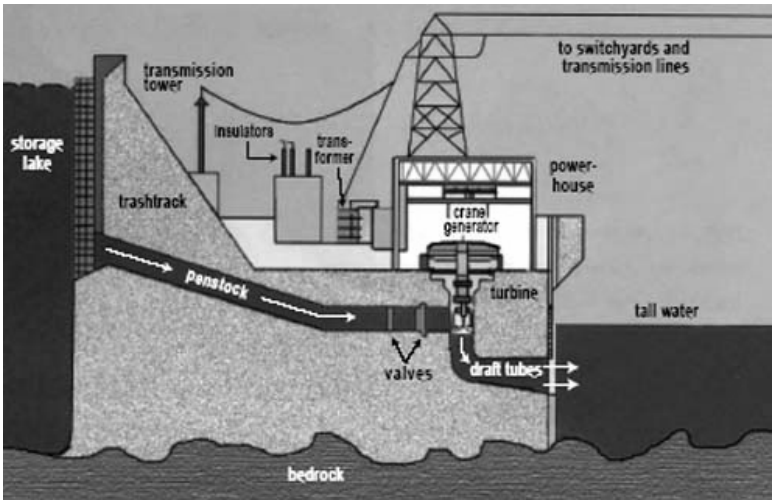
Flow Conditions in Shaft Spillway

Morning Glory Spillway

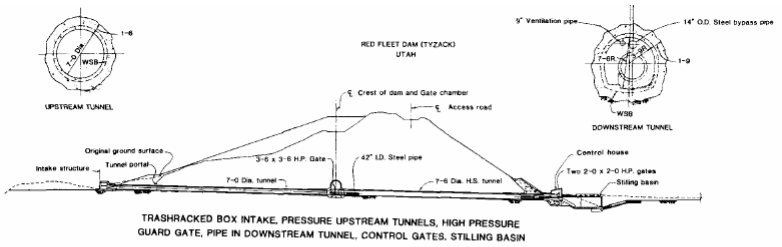
Siphon Spillway



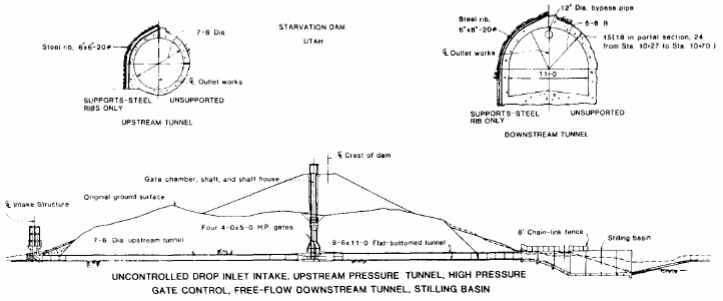
Hydro-power System



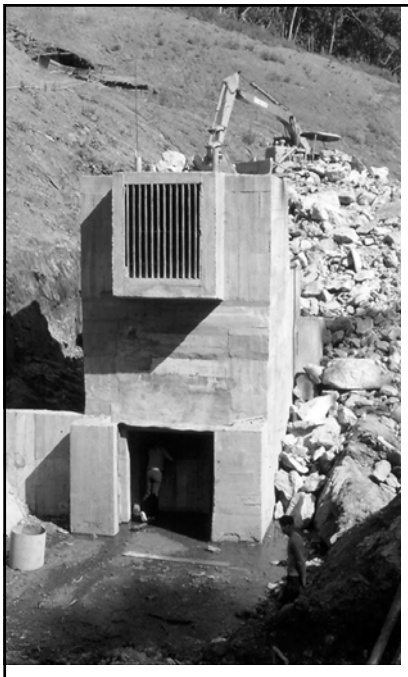
Outlets



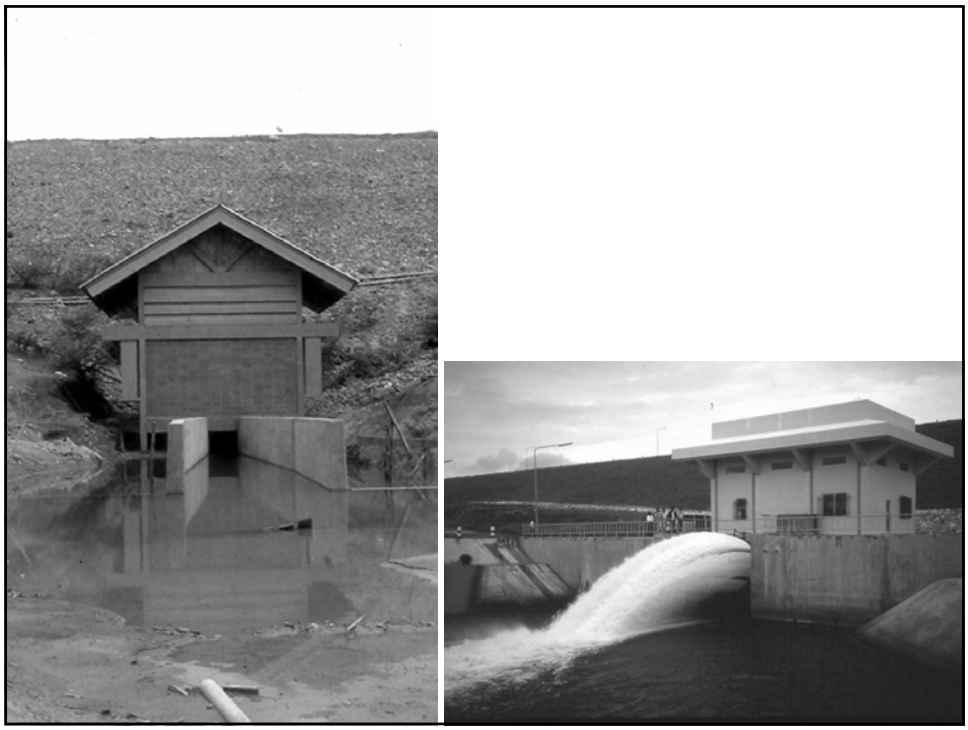
TRASHRACKED BOX INTAKE, PRESSURE UPSTREAM TUNNELS, HIGH PRESSURE GUARD GATE, PIPE IN DOWNSTREAM TUNNEL, CONTROL GATES, STILLING BASIN

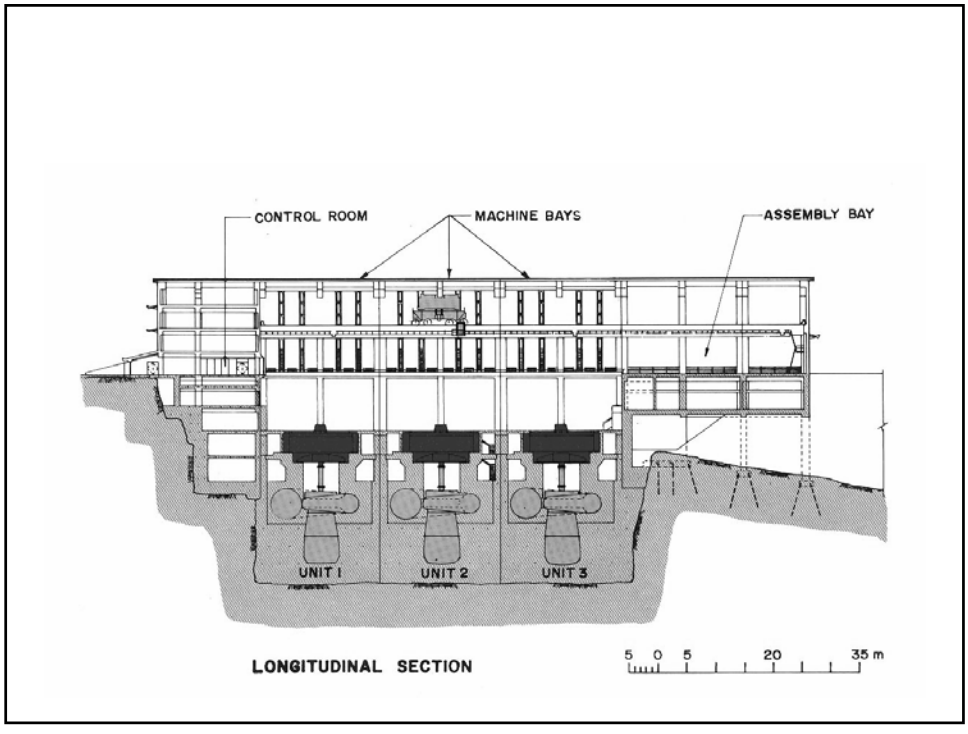


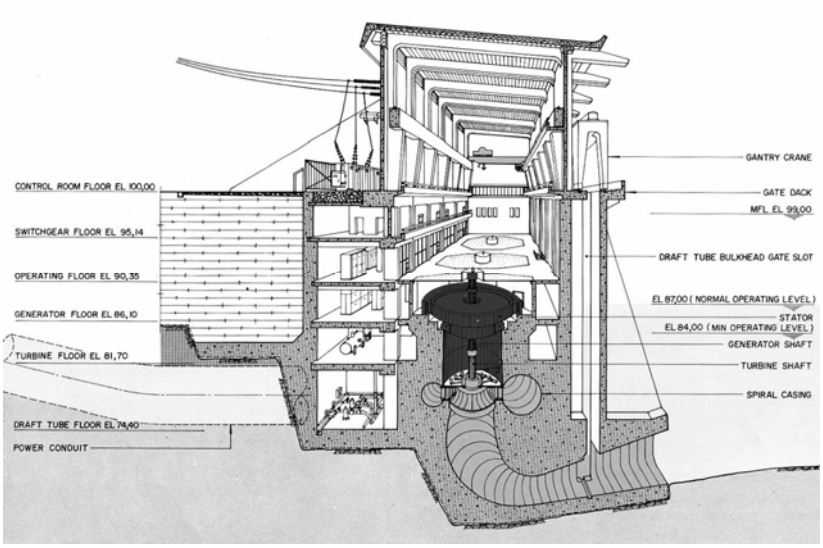
UNCONTROLLED DROP INLET INTAKE, UPSTREAM PRESSURE TUNNEL, HIGH PRESSURE GATE CONTROL, FREE-FLOW DOWNSTREAM TUNNEL, STILLING BASIN

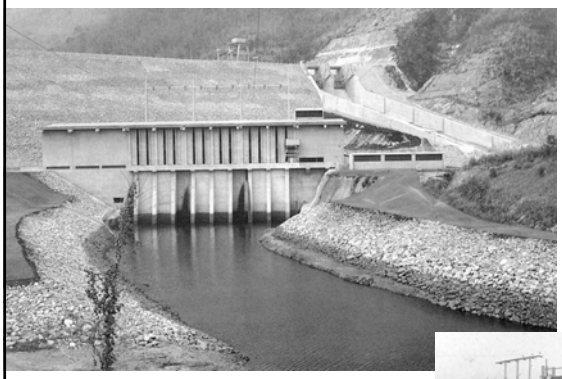


'93 9 29

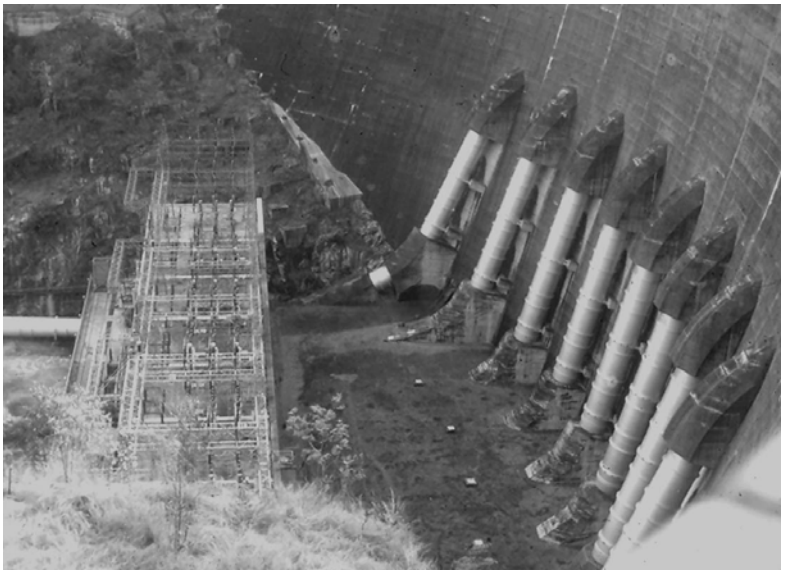



CONTROL ROOM
MACHINE BAYS
ASSEMBLY BAY
UNIT 1
UNIT 2
UNIT 3
LONGITUDINAL SECTION
5 0 5 20 35 m

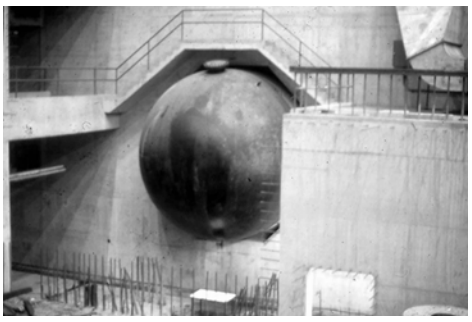

CONTROL ROOM FLOOR EL 100,00
SWITCHGEAR FLOOR EL 95,14
OPERATING FLOOR EL 90,35
GENERATOR FLOOR EL 86,10
TURBINE FLOOR EL 81,70
DRAFT TUBE FLOOR EL 74,40
POWER CONDUIT
GANTRY CRANE
GATE DACK
MFL EL 99,00
DRAFT TUBE BULKHEAD GATE SLOT
EL 87,00 (NORMAL OPERATING LEVEL)
STATOR
EL 84,00 (MIN OPERATING LEVEL)
GENERATOR SHAFT
TURBINE SHAFT
SPIRAL CASING



Power Plant



ท่อ Penstock



Petton Turbine

for hydraulic head up to 500 m.

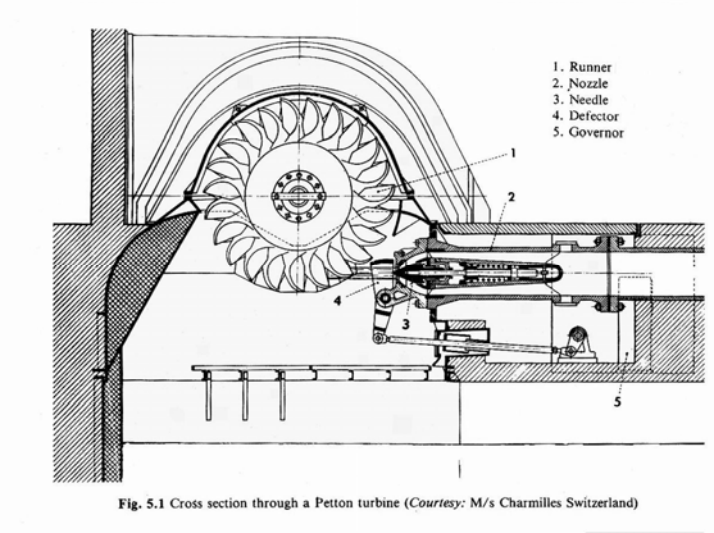


Fig. 5.1 Cross section through a Petton turbine (*Courtesy:* M/s Charmilles Switzerland)

Francis Turbine

for Medium Hydraulic Head up to 200 m.

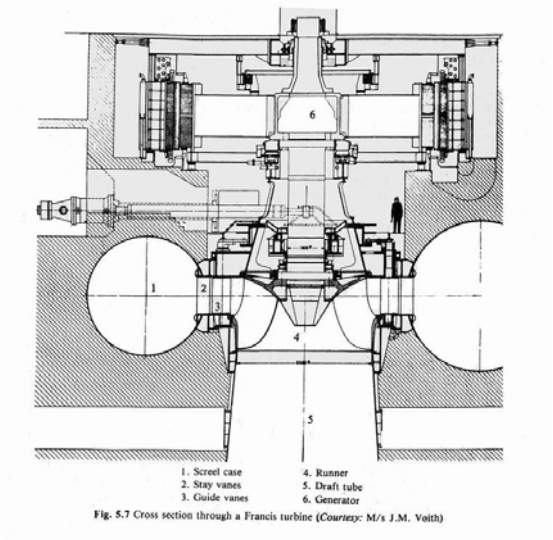


Fig. 5.7 Cross section through a Francis turbine (*Courtesy:* M/s J.M. Voith)

Kaphan Turbine

for Low Hydraulic Head up to 80 m.

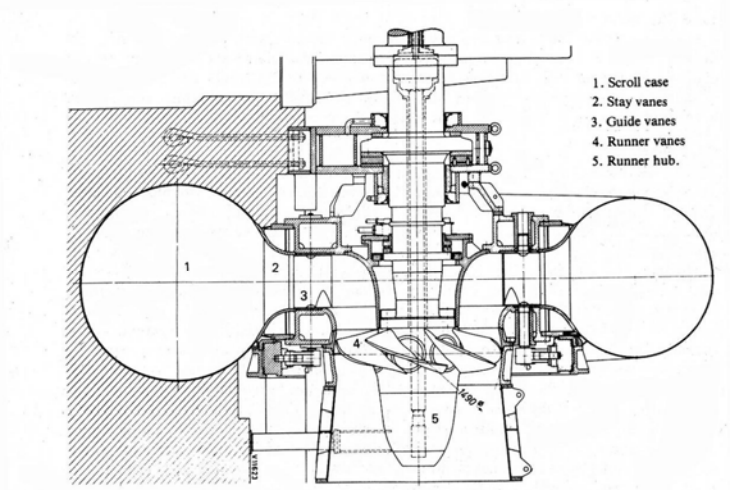
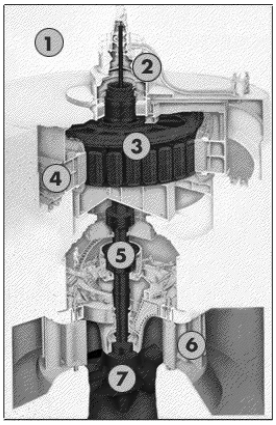
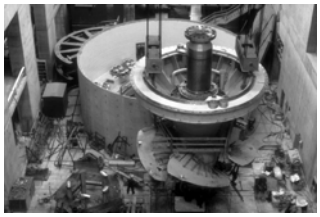


Fig. 5.12 Cross Section through a Kaplan turbine (*Courtesy:* M/s J.M. Voith)

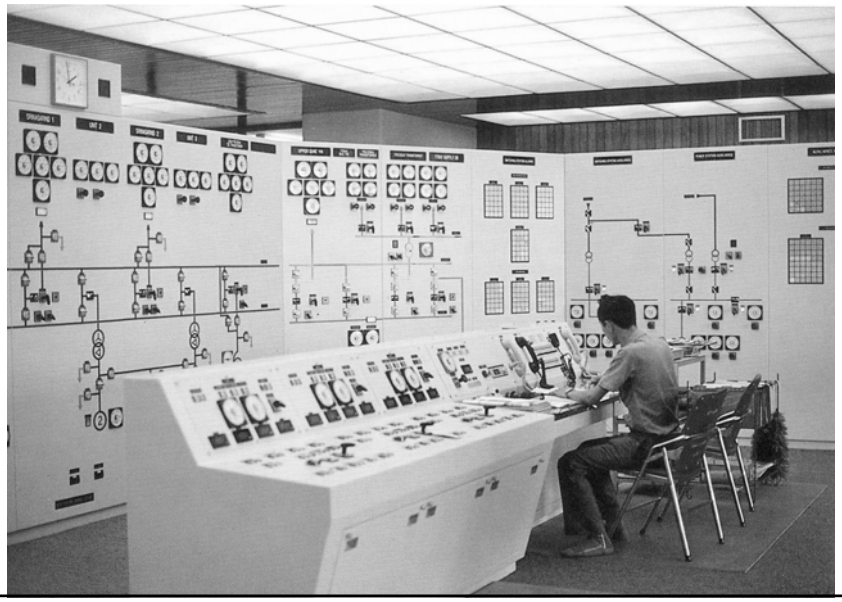
Hydropower Generator



การติดตั้ง Turbine และ Generator



Power Plant Control Room



1.4 นิยามศัพท์และเกณฑ์มาตรฐานทั่วไปในการออกแบบ

1.4.2 องค์ประกอบของเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ

โครงการเขื่อนและอ่างเก็บน้ำจะต้องมีองค์ต่างๆที่จะทำให้ใช้งานได้อย่างสมบรูณ์ตามวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

ก. องค์ประกอบที่จำเป็นต้องมี

ตัวเขื่อน (Dam Embankment) เพื่อเป็นโครงสร้างที่ปิดกันลำน้ำและเก็บกักน้ำ

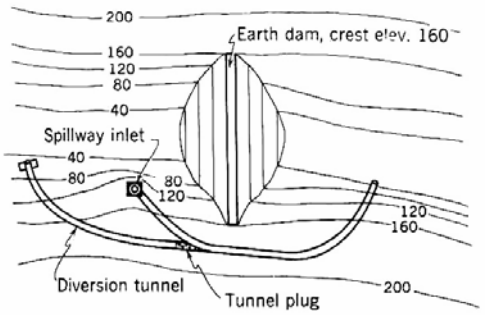
- ✓ ทางระบายน้ำล้น (Spillway) เพื่อระบายน้ำหลากที่เกินกว่าปริมาตรเก็บกักให้ไหลออกได้โดยสะดวกและไม่เกิดอันตรายต่อตัวเขื่อน
- ✓ ทางส่งน้ำลงลำน้ำเดิม (River Outlet) เพื่อการระบายน้ำลงลำน้ำเดิมในปริมาณที่เพียงพอที่จะรักษาสภาพทางธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของลำน้ำ
- ✓ ทางส่งน้ำใช้งาน (Service Outlet) เพื่อส่งน้ำไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ เช่น สู่ระบบชลประทาน ระบบประปา เป็นต้น
- ✓ อ่างเก็บน้ำ (Reservoir) พื้นที่เหนือเขื่อนใต้ระดับเก็บกักที่มีพื้นที่และปริมาตรความจุเพียงพอที่จะเก็บน้ำไว้ใช้ประโยชน์โดยไม่สูญเสียน้ำมากเกินไป

1.4 นิยามศัพท์และเกณฑ์มาตรฐานทั่วไปในการออกแบบ

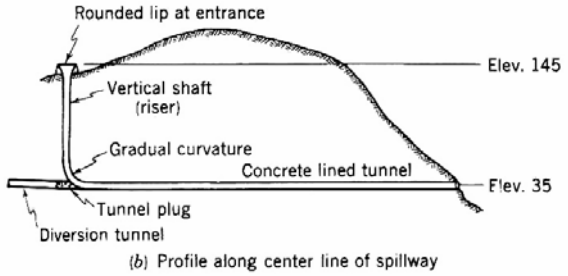
ข.องค์ประกอบอาจมีตามความจำเป็น

- ✓ ตัวเขื่อนเปิดช่องเขาต่ำ (Saddle Dam) เพื่อปิดกั้นช่องเขาหรือภูมิประเทศที่ระดับต่ำกว่าระดับสันเขื่อนหลักไม่ให้น้ำรั่วออกจากอ่างเก็บน้ำ
- ✓ ทางระบายน้ำล้นฉุกเฉิน (Emergency Spillway) เพื่อช่วยระบายน้ำส่วนเกินที่หลากมามากจนเกินความสามารถของทางระบายน้ำล้นใช้งานจะระบายได้ทัน

Tunnel Spillway



(a) Plan view

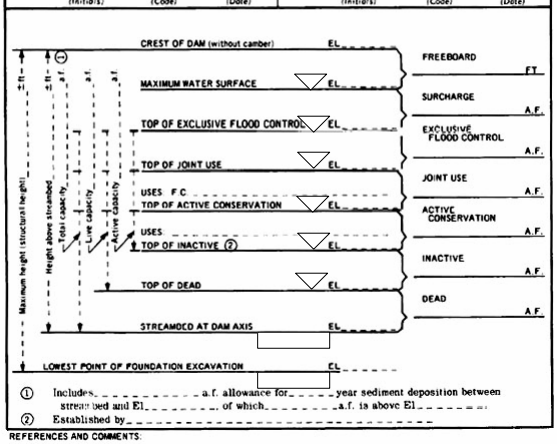


(b) Profile along center line of spillway

Reservior Elevations

RESERVOIR CAPACITY ALLOCATIONS

TYPE OF DAM		REGION	STATE
OPERATED BY			RESERVOIR
CREST LENGTH	FT; CREST WIDTH FT		DAM
VOLUME OF DAM	CU YD		PROJECT
CONSTRUCTION PERIOD			DIVISION
STREAM			UNIT
RES AREA	ACRES AT EL		STATUS OF DAM
ORIGINATED BY: (Initials) (Code) (Date)		APPROVED BY: (Initials) (Code) (Date)	



① Includes _____ a.f. allowance for _____ year sediment deposition between stream bed and El _____ of which _____ a.f. is above El _____

② Established by _____

REFERENCES AND COMMENTS:

นิยามศัพท์และเกณฑ์มาตรฐานทั่วไปในการออกแบบ

ระดับและความสูงที่เกี่ยวกับงานเขื่อน

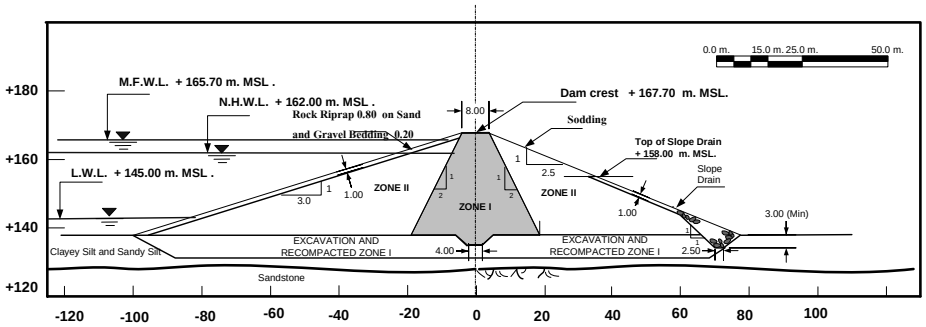
ความสูงของเขื่อน คือ “ความสูงทั้งหมดจากระดับก้นร่องน้ำลึกที่ตำแหน่งแนวแกนเขื่อนตัดผ่านไปจนถึงระดับสันเขื่อนไม่นับรวมขอบทางเท้าหรือผนังกันคลื่น” ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำที่สัมพันธ์กับตัวเขื่อนประกอบด้วยระดับต่างๆดังนี้

ก) ระดับน้ำเก็บกักต่ำสุด (ร.น.ต.) คือระดับน้ำต่ำที่สุดในอ่างที่สามารถส่งผ่านท่อส่งน้ำเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ ระดับน้ำที่ต่ำกว่านี้เป็นน้ำตายที่เผื่อไว้ใช้ในการเก็บตะกอนก้นอ่าง

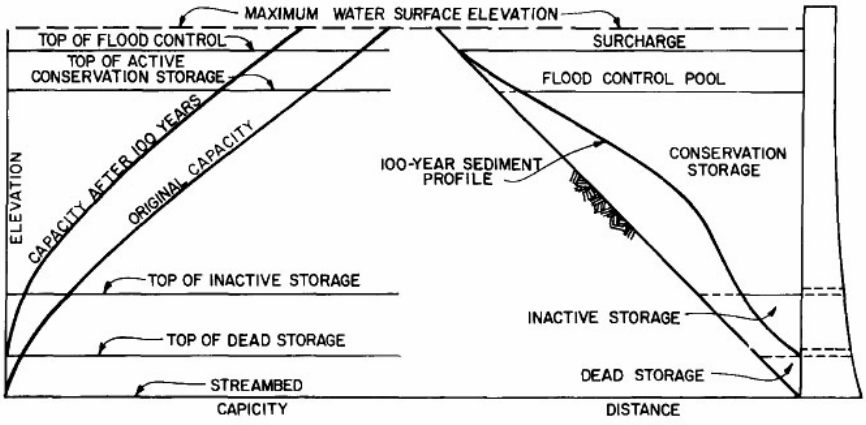
ข) ระดับน้ำเก็บกักปกติ (ร.น.ก.) คือระดับน้ำเก็บกักเต็มความจุของอ่างซึ่งโดยทั่วไปอยู่ที่ระดับสันของทางระบายน้ำล้น

ค) ระดับน้ำสูงสุด (ร.น.ส.) คือระดับน้ำสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำส่วนของปริมาณน้ำที่สูงพ้นระดับสันทางระบายน้ำล้นจะค่อยๆระบายลงท้ายน้ำจนเท่ากับ ร.น.ก.

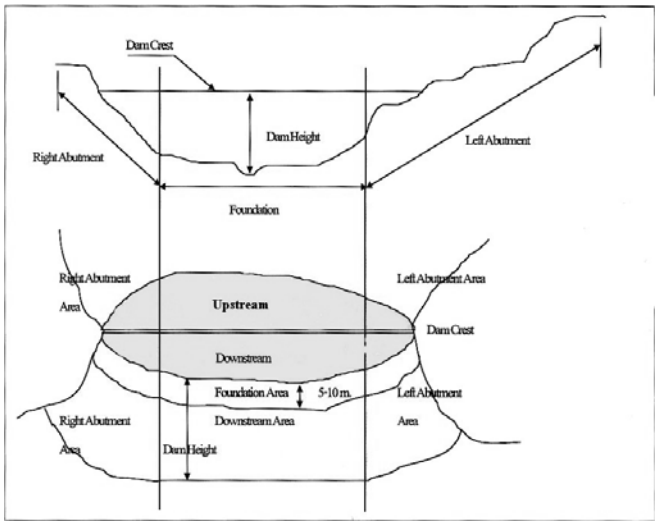
ระดับที่สำคัญของเขื่อน



Reservior Capacity



SCHEMATIC DIAGRAM – RESERVOIR ALLOCATIONS, SEDIMENT DEPOSITION



รูปแสดงขอบเขตของพื้นที่ไหลเขาและฐานราก

นิยามศัพท์และเกณฑ์มาตรฐานทั่วไปในการออกแบบ

น้ำหนักและแรงกระทำ

แรงกระทำต่อตัวเขื่อนในกรณีของเขื่อนถม อาจแยกเป็น 2 ประเภท คือ

ก.แรงภายในตัวเขื่อนเอง (Internal forces) เป็นส่วนสำคัญ เช่น น้ำหนักของตัวเขื่อน และแรงดันน้ำภายในตัวเขื่อน เป็นต้น

ข.แรงกระทำภายนอกตัวเขื่อน (External forces) ซึ่งได้แก่

- ✓ **แรงดันน้ำด้านเหนือเขื่อน (Head water)**
- ✓ **แรงดันน้ำด้านท้ายเขื่อน (Tail water)**
- ✓ **แรงจากน้ำหนักเครื่องจักรและสิ่งก่อสร้างบนสันเขื่อน**

นิยามศัพท์และเกณฑ์มาตรฐานทั่วไปในการออกแบบ

หลักการออกแบบโดยทั่วไป

การออกแบบและก่อสร้างเขื่อนดิน มีหลักเกณฑ์ทั่วไปที่จะต้องคำนึงถึง ดังต่อไปนี้

ก. <u>ความมั่นคง</u> (Stability) ของลาดเขื่อน ลาดเขาที่เขื่อนเกาะอยู่ และลาดดินขอบอ่างเก็บน้ำจะต้องมีเสถียรภาพไม่เกิดการพลังทลายในทุกสภาวะ ทั้งในขณะก่อสร้างและในระหว่างการใช้งาน

ข. <u>การไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนและใต้ฐานเขื่อน</u> (Seepage) จะต้องมีปิดกั้นและการควบคุมที่ดีเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียน้ำหรือการกัดเซาะพัดพาวัสดุตัวเขื่อนออกไปได้

ค. <u>การกระจายน้ำหนักของตัวเขื่อนสู่ฐานราก</u> (Bearing Stress) จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของดินหรือหินฐานรากใต้เขื่อนไม่ให้เกิดการพิบัติ

ง. <u>สันเขื่อนจะต้องสูงกว่าระดับน้ำเก็บกักมากพอ</u>(Freeboard) ที่จะป้องกันไม่ให้น้ำล้นสันเขื่อน อันเนื่องมาจากน้ำหลาก คลื่นซึ่งเกิดจากลมหรือแผ่นดินไหวในอ่างเก็บน้ำ

จ. <u>ทางระบายน้ำล้น</u> (Spillway) จะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะระบายน้ำปริมาณน้ำที่หลากเข้าในอ่างเก็บน้ำส่วนที่เกินความต้องการที่จะเก็บกักไว้ใช้ประโยชน์ โดยไม่ล้นสันเขื่อน

ฉ. <u>สันเขื่อนจะต้องมีส่วนเผื่อสูงกว่าระดับที่ต้องการทางด้านวิศวกรรม</u> (Camber) เพื่อทดแทนการทรุดตัวที่คาดว่าจะเกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของเขื่อน

การกำหนดความสูงของสันเขื่อน

ระดับสันเขื่อนจะต้องอยู่สูงกว่าระดับน้ำเก็บกักปกติ (Normal high water level) เท่ากับระยะเผื่อที่เรียกว่า "Freeboard" บวกด้วยระยะเผื่อจากการทรุดตัวของตัวเขื่อน ที่เรียกว่า "Camber"

ระยะเผื่อ Freeboard, H_f พิจารณาจากผลรวมของระยะต่อไปนี้

- ความสูงเอ่อขึ้นเนื่องจากน้ำหลากตามคาบการเกิดที่ออกแบบ (500-10000 ปี), Δh
- ความสูงของคลื่นเนื่องจากลมพัดผ่านผิวน้ำในอ่าง, h_w
- ความสูงของคลื่นเนื่องจากแผ่นดินไหว, h_e
- ความสูงของน้ำเนื่องจากความผิดพลาดในการเปิดบานระบาย, h_a ~ 0.5 เมตร
- ความสูงเผื่อตามชนิดของเขื่อน h_i สำหรับเขื่อนดินหรือหินเท่ากับ 1.0 เมตร

การกำหนดความสูงของสันเขื่อน

ดังนั้น $$H_f = \Delta h + (h_w \text{ หรือ } h_e/2) + h_a + h_i$$

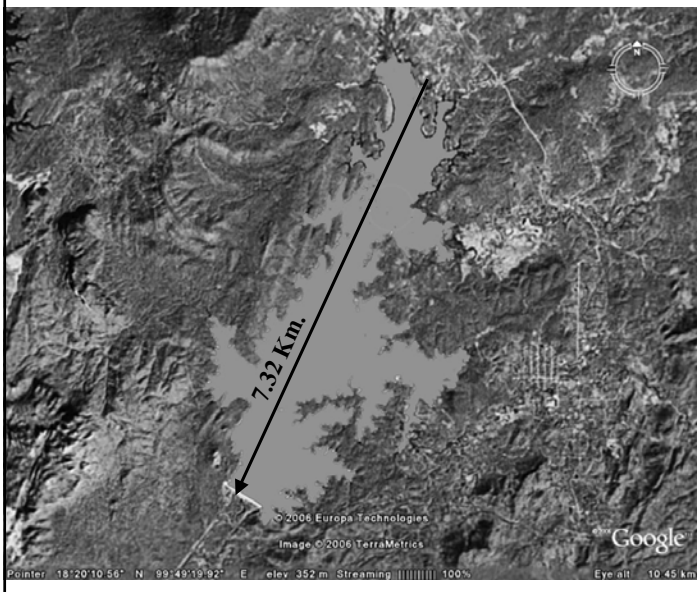
สำหรับ h_w หรือ $h_e/2$ ให้ใช้ค่าใดที่มากกว่า

Δh = ระยะน้ำเอ่อสูงกว่าระดับ NHWL. เนื่องจากน้ำหลากคำนวณได้จากวิธีการทางอุทกวิทยา (Spillway Routing) โดยพิจารณาปริมาณน้ำ ลักษณะทาง ระบายน้ำล้นพื้นที่อ่างและตามเวลาในคาบย้อนเกิดที่เหมาะสม

h_w = ระยะที่คลื่นซัดขึ้นบนลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำจึงขึ้นอยู่กับความเร็วลมในอ่างเก็บน้ำหรือบริเวณข้างเคียง ค วามยาวของอ่างเก็บน้ำในทิศทางลม (Fetch length) และลักษณะพื้นผิวของลาดเขื่อน รูปที่ 14

h_e = ความสูงคลื่นในอ่างจากแผ่นดินไหวได้จากวิธีของ Seiichi Sato

ระยะ Fetch Length



ระยะ Fetch Length ของเขื่อนกระเสียว

ความสูงของคลื่นจากแผ่นดินไหว โดย Seiichi Sato

$$h_e = \frac{k_s . t}{2\pi} \sqrt{g . H_O}$$

เมื่อ k_s = สัมประสิทธิ์ความสั่นสะเทือน (0.05-0.15 สำหรับประเทศไทย)

t = ระยะเวลาของการเกิดแผ่นดินไหวช่วงวิกฤต, วินาที

g = ความโน้มถ่วงของโลก = 9.8 เมตร/วินาที^{2}

H_o = ความลึกของน้ำในอ่างบริเวณหน้าเขื่อน, เมตร

ระยะ Freeboard ต่ำสุดเป็นเมตรจากระดับเก็บกักปกติ

ความสูงของเขื่อน	เขื่อนคอนกรีต	เขื่อนถม
น้อยกว่า 50 ม.	1.0	2.0
50-100 ม.	2.0	3.0
มากกว่า 100 ม.	2.5	3.5

ความกว้างของสันเขื่อน

ความกว้างของสันเขื่อนพิจารณาจากความสูงของเขื่อน ความกว้างของเครื่องจักรในการก่อสร้าง และความสะดวกในการใช้ยวดยานตรวจตราบำรุงรักษาเขื่อน ซึ่งมักจะไม่เกิน 15 เมตรและไม่ต่ำกว่า 6 เมตร โดยอาจจะประมาณได้จากสมการ

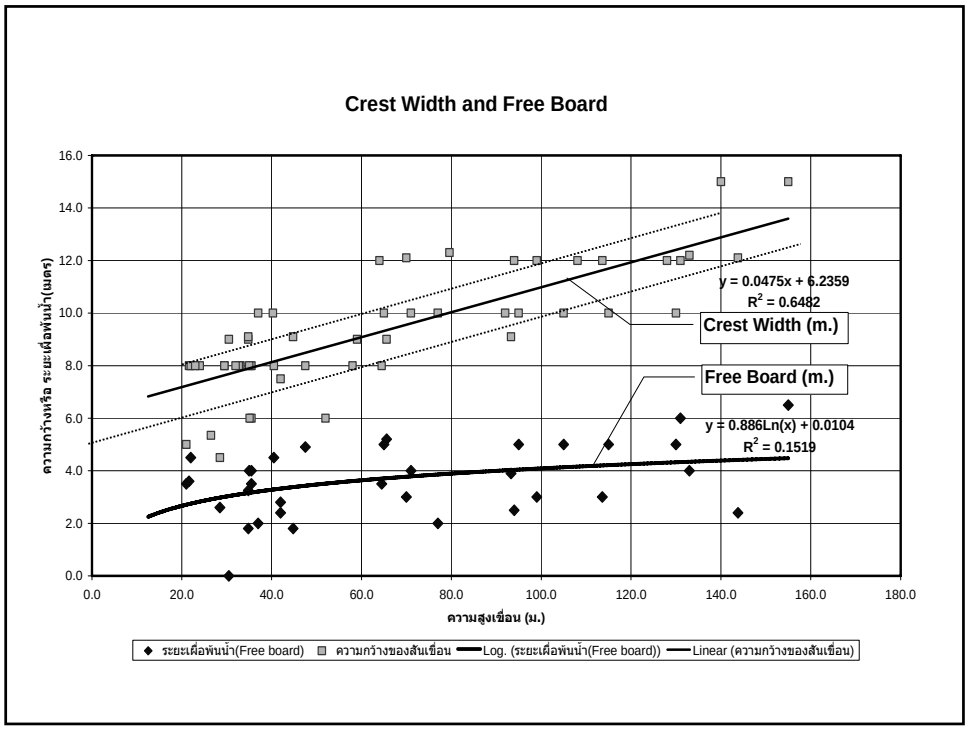
$$B = 3.6\ H^{1/3} - 3.0$$ (Japanese Code 1957)

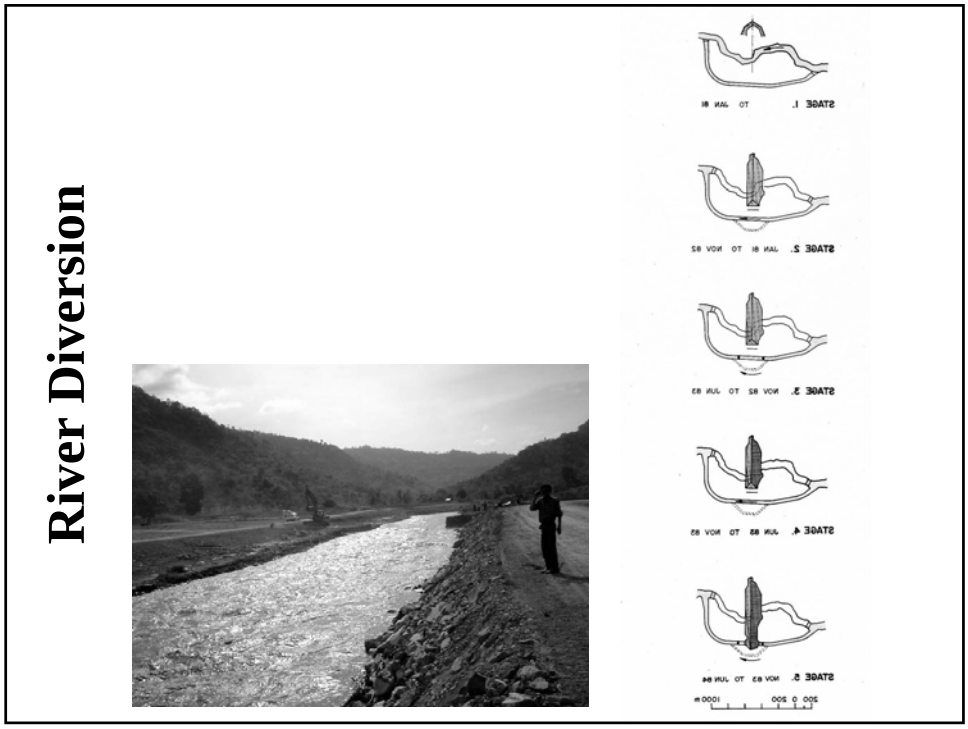
เมื่อ B = ความกว้างของสันเขื่อนเป็นเมตร

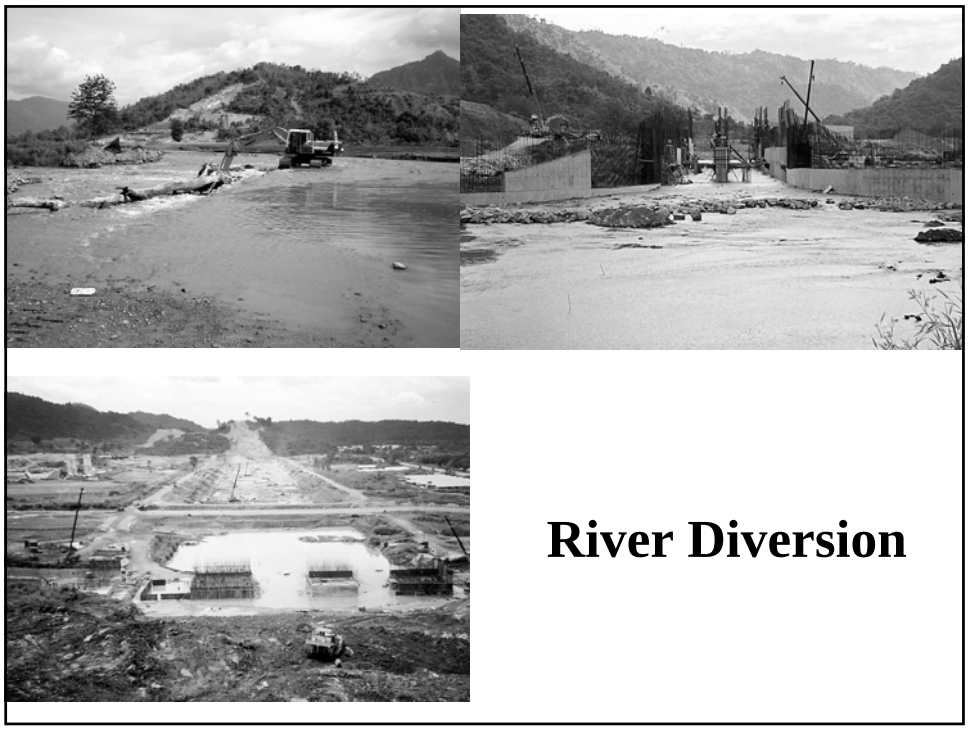
H = ความสูงของเขื่อนที่จุดสูงสุดเป็นเมตร

หรือการสำรวจจากเขื่อนที่ได้มีการก่อสร้างแล้วและใช้งานได้ดีทั้งของประเทศไทยและต่างประเทศ

$$B = 6.0 + .05\ H$$ (วรากร 2549)


Crest Width and Free Board
ความกว้างหรือ ระยะเผื่อพ้นน้ำ(เมตร)
ความสูงเขื่อน (ม.)
y = 0.0475x + 6.2359
R2 = 0.6482
Crest Width (m.)
Free Board (m.)
y = 0.886Ln(x) + 0.0104
R2 = 0.1519
ระยะเผื่อพ้นน้ำ(Free board)
ความกว้างของสันเขื่อน
Log. (ระยะเผื่อพ้นน้ำ(Free board))
Linear (ความกว้างของสันเขื่อน)


River Diversion



River Diversion