การออกแบบ ก่อสร้างและบริหารโครงการ
(DESIGN, CONSTRUCTION AND PROJECT MANAGEMENT)

โครงการไฟฟ้าเขื่อนพลังน้ำเทิน หินบุน ส่วนขยาย (500 MW)

(Thuen - Hinboun Expansion Project, 500 MW)

แขวงบอลิคำไซย, สปป.ลาว

เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ
ACADEMIC CONTIBUTION

พิบูล บุญส่ง
พฤศจิกายน 2561

สารบัญ

	หน้า
บทนำ	1
บทที่ 1 การออกแบบก่อสร้าง	2
1. รายละเอียดโครงการ	
1.1 ชื่อโครงการ	2
1.2 ลักษณะโครงการ	3
ก. เขื่อนน้ำยวงและอาคารประกอบ	3
ก1) เขื่อน	8
1.1ก) การก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัด	13
1.2ก) การติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดเขื่อน	14
1.3ก) สมมติฐานการออกแบบ	16
1.4ก) คุณสมบัติหินฐานราก	21
1.5ก) แรงสถิตที่กระทำต่อเขื่อน	21
1.6ก) แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว	24
1.7ก) การวิเคราะห์คำนวณเสถียรภาพเขื่อน	25
ก2) อาคารระบายน้ำล้น	33
ก3) อาคารับน้ำและอุโมงค์รับน้ำ	36
ก4) อาคารโรงไฟฟ้า	38
ก5) อุโมงค์ผันน้ำ	39
ก6) คันดินกั้นน้ำรั่วซึม	41
ข. ส่วนขยายโรงไฟฟ้าเดิม	43
ข1) อาคารโรงไฟฟ้าเพิ่มเติม	43
ข2) ระบบลำเลียงน้ำเส้นใหม่	43
บทที่ 2 การบริหารและจัดการโครงการ	53
2.1 การจัดตั้งองค์กรบริหารโครงการ	53
2.2 กลยุทธ์ในการบริหารโครงการ	53
2.3 การจัดการสัญญาก่อสร้าง	53
2.4 ระยะเวลาก่อสร้าง	56
บทที่ 3 ปัญหาด้านเทคนิคและการแก้ไข	58

บทที่ 4 สรุปผลสำเร็จ 63

ข้อมูลเทคนิคโครงการ 64
ประมวลรูปถ่ายขณะก่อสร้าง 68-92

บทนำ

เอกสารฉบับนี้ได้เรียบเรียงจากเอกสารโครงการ รวมทั้งเอกสารของผู้รับเหมา EPC และวิศวกรที่ปรึกษา เพื่อเผยแพร่ทางวิชาการแก่ผู้สนใจทั่วไป ข้อมูลทั่วไปของโครงการอาจหาเพิ่มเติมได้ที่ www.thpc.com หากมีข้อบกพร่องหรือข้อสงสัยประการใด โปรดกรุณาติดต่อผู้เขียนได้ที่อีเมล์ khunpiboon@yahoo.com **จักขอบพระคูณยิ่ง**

อนึ่งเนื้อหาในเอกสารนี้ใช้เฉพาะกับโครงการที่กล่าวถึงนี้เท่านั้น หากผู้ใดประสงค์จะนำไปใช้อ้างอิงในโครงการอื่น ให้ขึ้นอยู่กับวิจารณญานและ ความรับผิดชอบของผู้นั้นเอง

This document is compiled from project documents including documents from EPC Contractor and Engineer. It is aimed for academic contribution to interested persons. More information about the project can be found at www.thpc.com. If you have comments or questions, please contact khunpiboon@yahoo.com. Any feedbacks are greatly appreciated.

However, content in this document is applicable specifically to the captioned project. If any person prefers to refer it for other projects, it depends on his/her own discretion and responsibility.

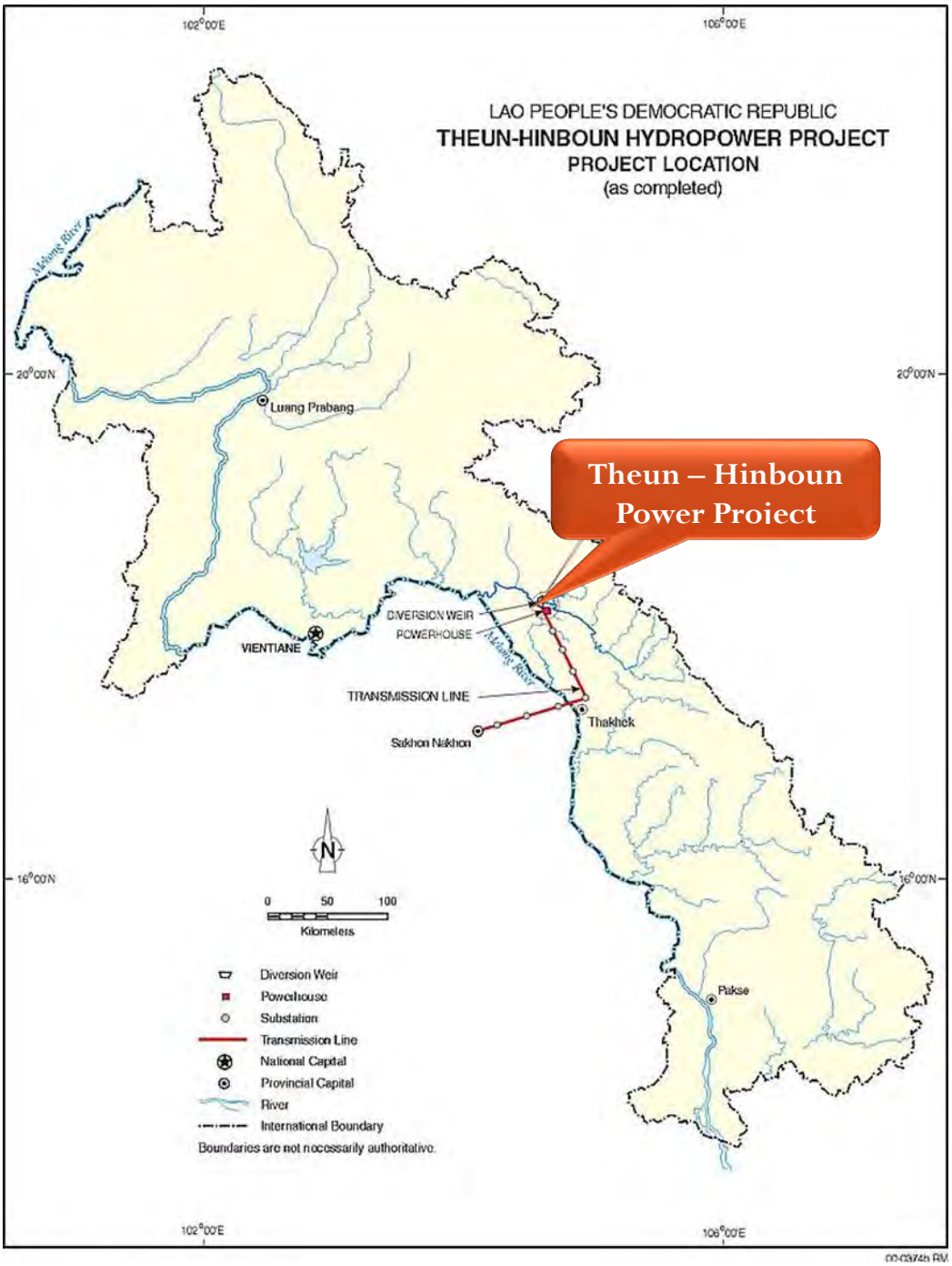
นายพิบูล บุญส่ง
Piboon Boonsong
ผู้จัดการก่อสร้าง
งานบริหารโครงการ

บทที่ 1 การออกแบบและก่อสร้าง

1 รายละเอียดโครงการ

1.1 ชื่อโครงการ

โครงการไฟฟ้าพลังน้ำเทิน-หินบุน (ส่วนขยาย) Theun-Hinboun Expansion Project มีกำลังผลิตรวม 500 เมกกะวัตต์ (ของเดิม 220 เมกกะวัตต์) ตั้งอยู่ที่แขวงบอลิคำไซย สปป. ลาว ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1: แผนที่ที่ตั้งโครงการ

1.2 ลักษณะโครงการ

เป็นโครงการก่อสร้างเพิ่มเติมจากโครงการเดิมซึ่งเป็นแบบ Run Off River (แล้วเสร็จตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541) ให้เป็นแบบมีอ่างเก็บน้ำ (Storage Dam) และเพิ่มกำลังผลิตจาก 220 เมกกะวัตต์ เป็น 500 เมกกะวัตต์ โดยมีแนวความคิด (Concept) ของโครงการดังแสดงในรูปที่ 2 และ 4

การก่อสร้างในส่วนขยายประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่

ก) เขื่อนน้ำยวง Nam Gnouang **(หรือน้ำเทิน 3 เดิม)และอาคารประกอบ**

วัตถุประสงค์เพื่อเป็นอ่างเก็บกักน้ำไว้ส่งป้อนให้โรงไฟฟ้าเดิมซึ่งอยู่ด้านล่างในฤดูแล้งให้มีน้ำผลิตไฟฟ้าได้สม่ำเสมอตลอดทั้งปี และยังสามารถเพิ่มกำลังผลิตที่โรงไฟฟ้าเดิมได้อีก 220 เมกกะวัตต์รวมเป็น 440 เมกกะวัตต์ ขณะที่โรงไฟฟ้าเขื่อนน้ำยวงเอง ยังติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้าได้ 60 เมกกะวัตต์

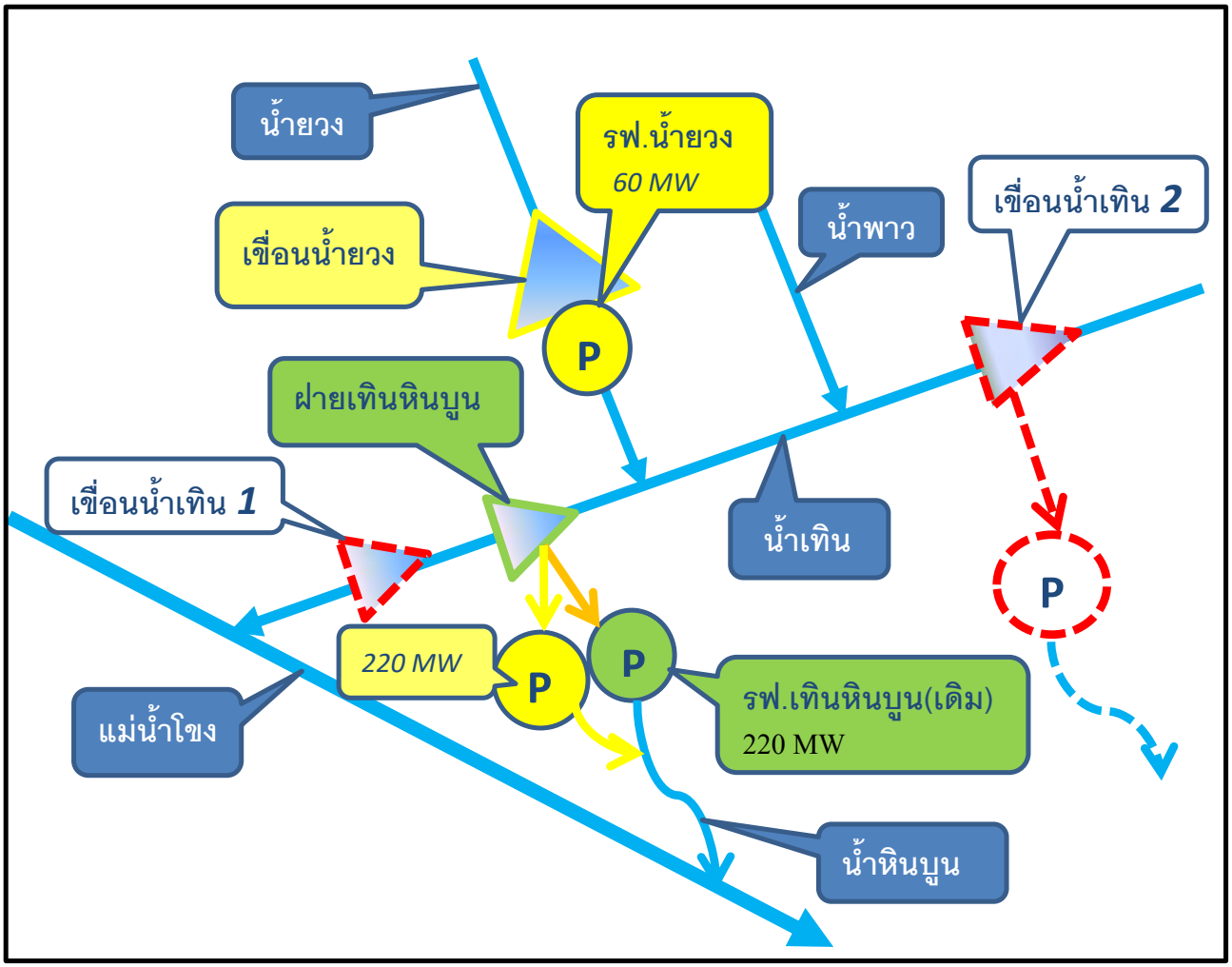
ตัวเขื่อนก่อสร้างกั้นแม่น้ำยวงที่เป็นสาขาหนึ่งของน้ำเทิน ตั้งอยู่เหนือโครงการเดิมประมาณ 20 ก.ม. รูปเขื่อนและอาคารประกอบดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6

ลักษณะเขื่อนและอาคารประกอบมีดังนี้

- เขื่อนคอนกรีตบดอัด Roller Compacted Concrete (RCC) ผิวด้านหน้าเป็นคอนกรีตธรรมดาหนา 0.50 ม. มีความสูง 70 ม. สันเขื่อนยาวประมาณ 495 ม. กว้าง 8 ม. มีปริมาตรตัวเขื่อนทั้งหมดประ380,000 ลบ.ม. ระดับสันเขื่อน EL. 460 m.msl (มี Parapet Wall 1.50 ม.) ระดับเก็บกักสูงสุด EL. 455 m.msl.
- อ่างเก็บน้ำมีพื้นที่รับน้ำ (Catchment Area) = 2,942 ตร.กม. อัตราน้ำเข้าเฉลี่ย 96 ลบ.ม./วินาที เท่ากับปริมาณน้ำเข้าอ่าง 3,033 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี ความจุอ่างรวม 2,450 ลบ.ม. พื้นที่อ่าง 107 ตร.กม.ที่ระดับเก็บกักสูงสุด EL. 455
- ทางระบายน้ำล้น (Spillway) อยู่ร่วมกับตัวเขื่อน เป็นแบบ Radial Gates จำนวน 5 บาน ขนาดกว้างx ยาว = 15.00x16.00 ม. ระบายน้ำสูงสุด 3,145 ลบ.ม/วินาที ต่อ 1 บาน (ที่ Flood PMF)
- ท่อระบายน้ำก้นอ่าง (Bottom Outlet) เป็นอุโมงค์คาดคอนกรีต (Concrete Lined Tunnel) รูปเกือกน้ำผนังตรง กว้าง 6.00 ม. ยาว 158 ม. ระดับปากอุโมงค์น้ำเข้า (Intel Level) = EL.399.00 m.msl. ระบายน้ำได้สูงสุด 358 ลบ.ม/วินาที ประตูปิด-เปิดเป็นแบบยกขึ้นลงตามแนวดิ่ง Vertical Sliding Gate
- การอพยพผู้คนจากพื้นที่ถูกน้ำท่วมจำนวน 12 หมู่บ้าน ประมาณ 750 ครอบครัว ไปยังหมู่บ้านจัดสรรใหม่ จำนวน 4 แห่ง ก่อนจะเริ่มเก็บกักน้ำในอ่าง
- โรงไฟฟ้าน้ำยวง เป็นแบบกึ่งบนดินขนาด กว้าง x ยาว x สูง = 40x50x40 ม. ติดตั้งเครื่องกังหันไฟฟ้าแบบ Francis Turbines จำนวน 2 เครื่องๆ ละ 30 เมกะวัตต์ รวม 60 เมกะวัตต์ อัตราใช้น้ำ 72 ลบ.ม/วินาที ต่อ 1 เครื่อง ที่ความสูงของน้ำสุทธิ (Net Head) 47 ม. ผลิตพลังงานไฟฟ้า

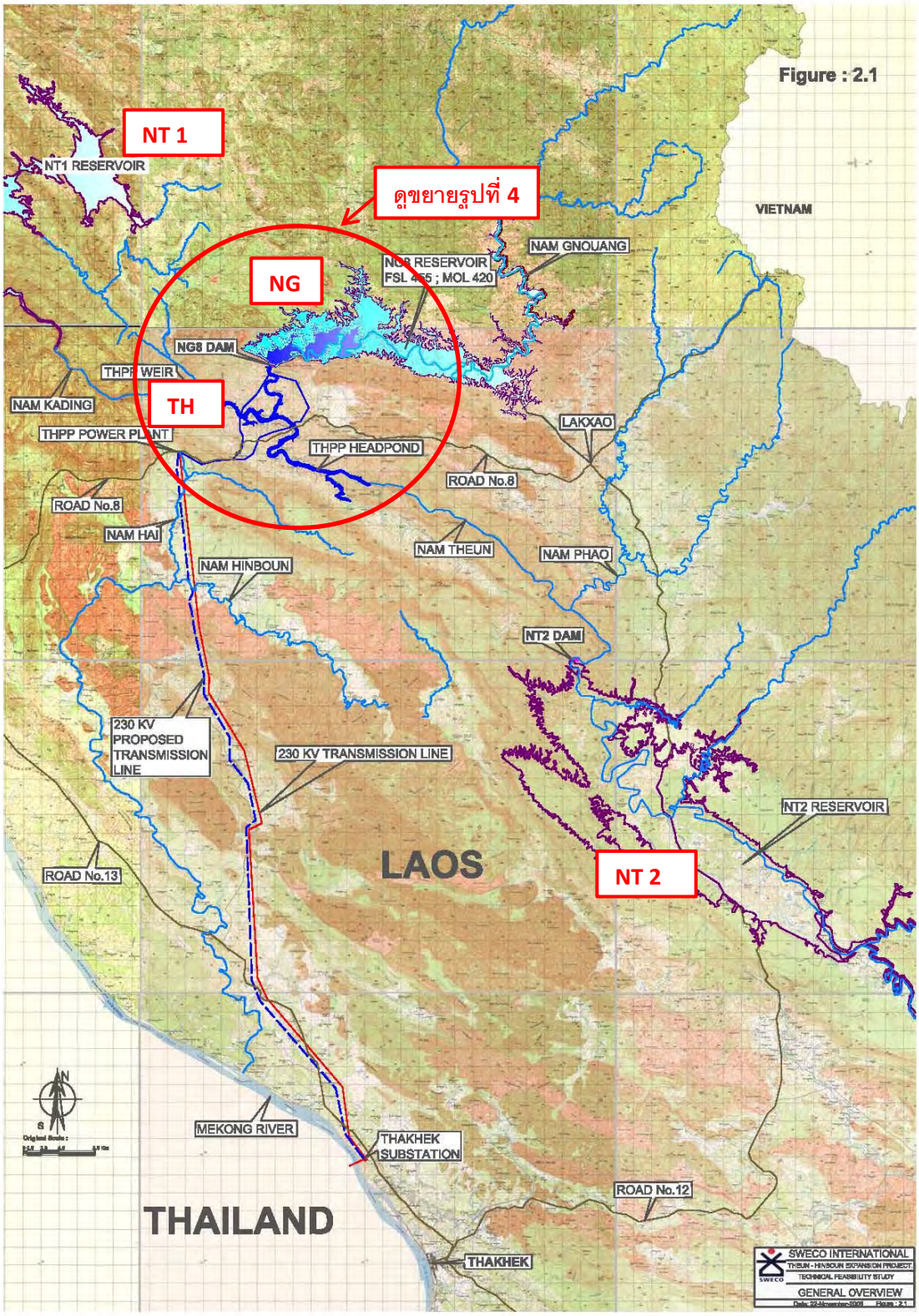
เฉลี่ย 310 ล้านหน่วย (GWh) ต่อปี ส่งจ่ายเข้าระบบสายส่งของการไฟฟ้าลาวที่แรงดัน 115 กิโลโวลต์

- ท่อส่งน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าประกอบด้วยอุโมงค์รูปเกือกม้า เส้นผ่าศูนย์กลาง 5.50 ม. ยาวเฉลี่ย 175 ม. จำนวน 2 อุโมงค์ ต่อกับท่อส่งน้ำ (Penstock) เหล็กหุ้มด้วยคอนกรีตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.50 ม. ยาว 40 ม. จำนวน 2 ท่อ

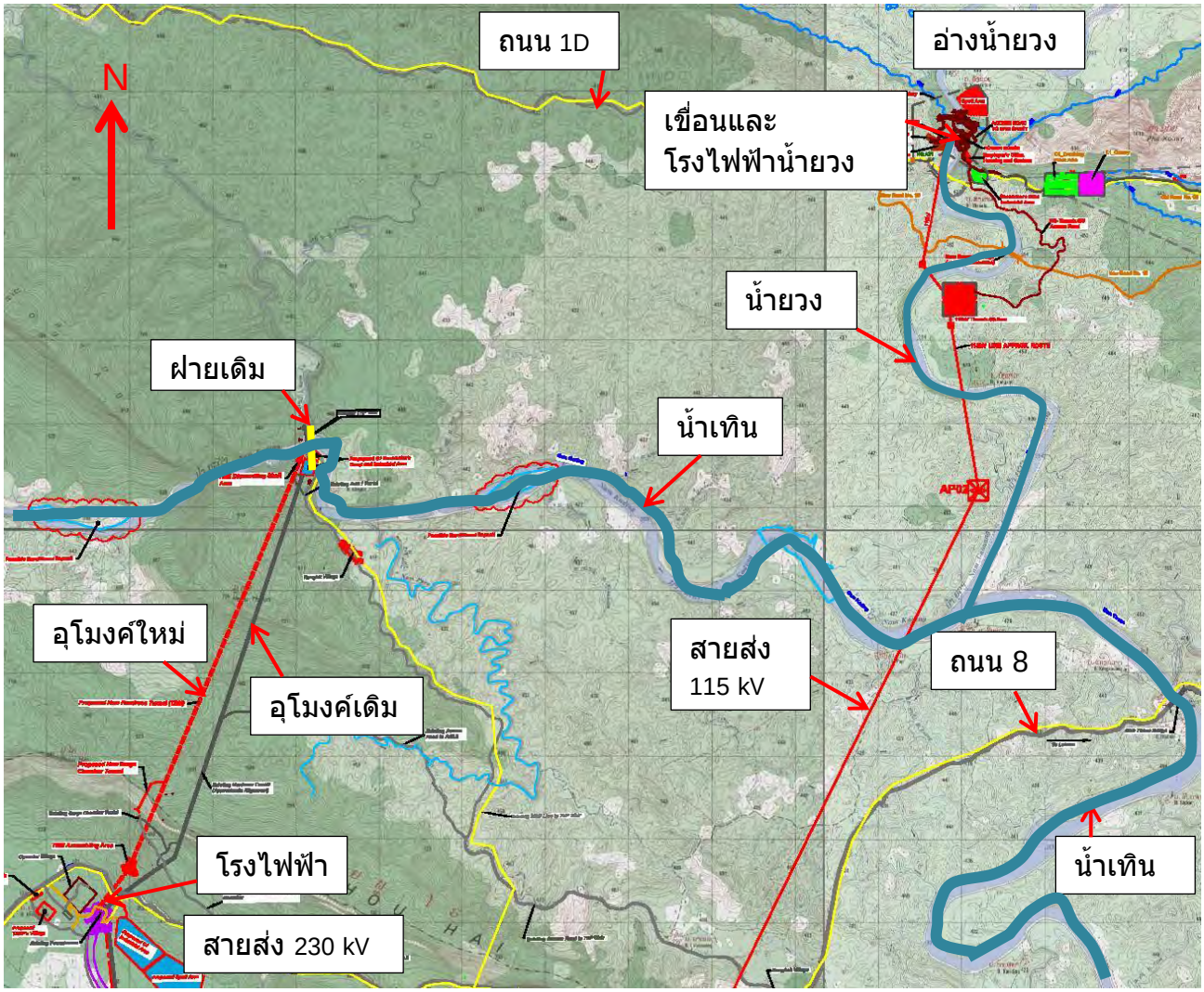


รูปที่ 2 : แผนผังจำลอง Concept ของ โครงการ

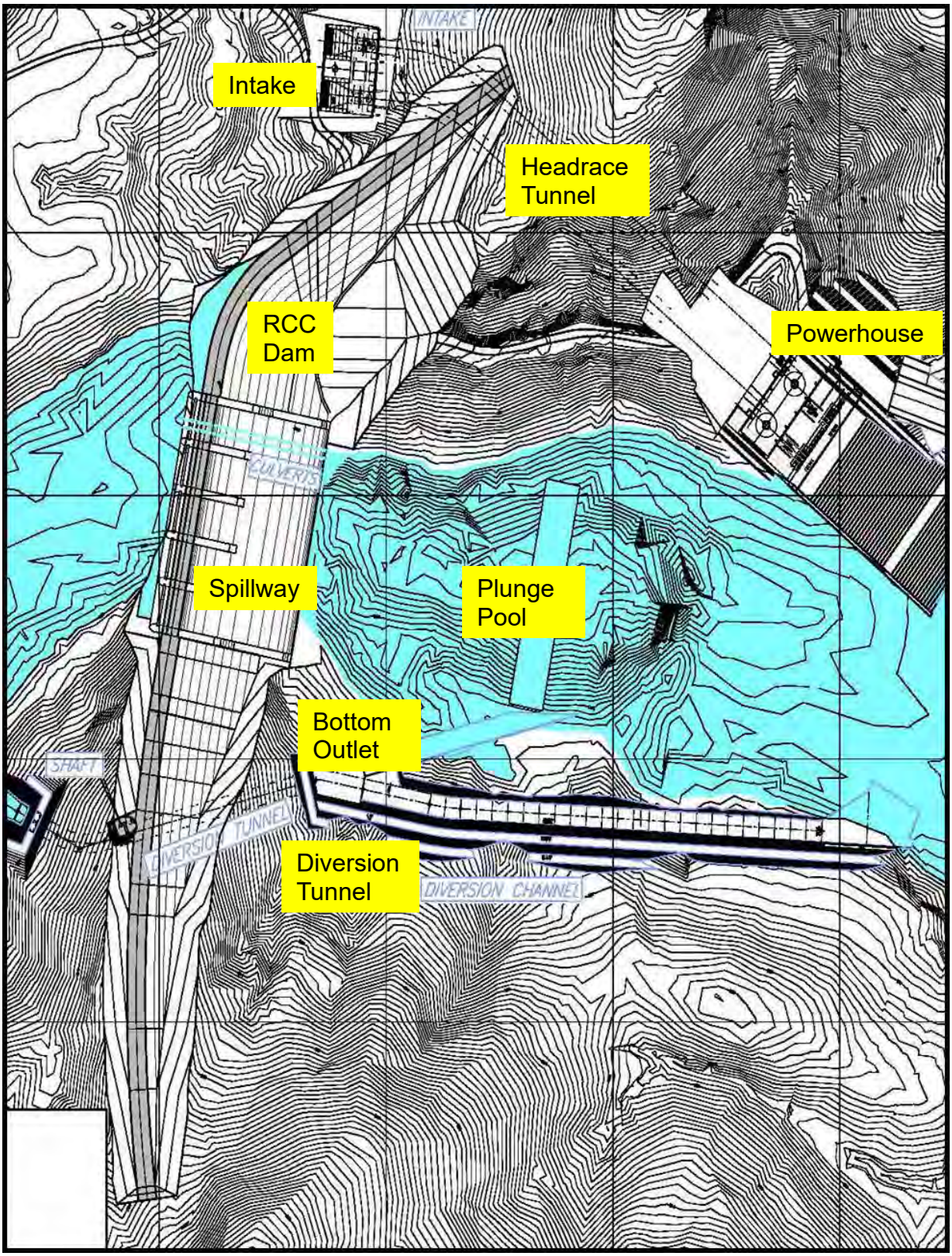
(สีเหลืองคือส่วนขยาย)



รูปที่ 3 : **แผนที่ที่ตั้งโครงการและโครงการใกล้เคียง**



รูปที่ 4 : **แผนที่โดยรวมของโครงการ**



รูปที่ 5 : **แผนผังเขื่อนน้ำยวงและอาคารประกอบ**

รูปที่ 6 : **ภาพถ่ายทางอากาศเขื่อนน้ำยวงและอาคารประกอบ (พ.ค** 2554)

ก 1) **<u>เขื่อนน้ำยวง</u>** <u>Nam Gnouang</u>

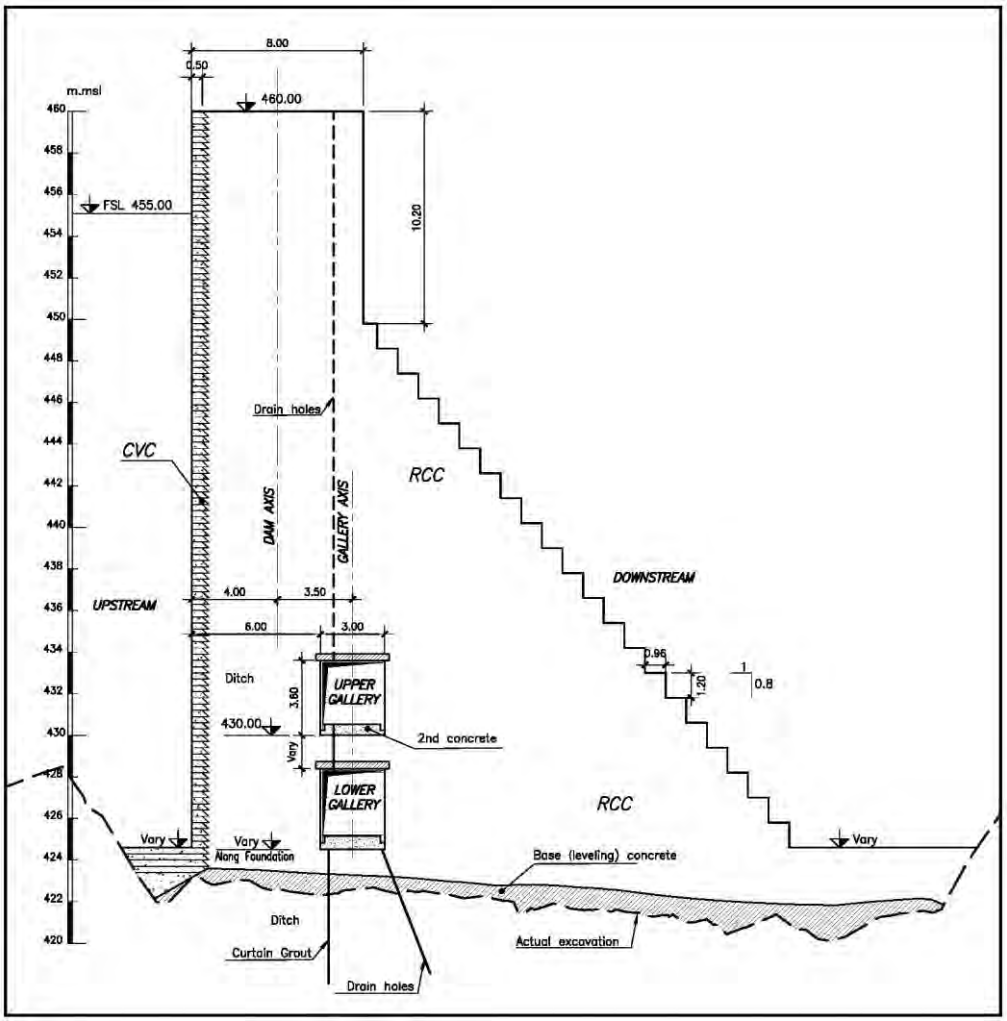
<u>ลักษณะเขื่อน</u>

เป็นเขื่อนคอนกรีตบดอัด Roller Compacted Concrete (RCC) ผิวด้านหน้าเป็นคอนกรีตธรรมดา (Conventional Vibrated Concrete, CVC) หนา 0.50 ม. มีความสูงสุดที่ประมาณ 70 ม. สันเขื่อนยาวประมาณ 495 ม. กว้าง 8 ม. มีปริมาตรตัวเขื่อนทั้งหมดประมาณ 380,000 ลบ.ม. ระดับสันเขื่อนอยู่ที่ EL. 460 m.msl (มี Parapet Wall สูง 1.50 ม.จากสันเขื่อน.) ระดับเก็บกักสูงสุดอยู่ที่ EL. 455.00 m.msl. มี Free Board = 5.0 ม.

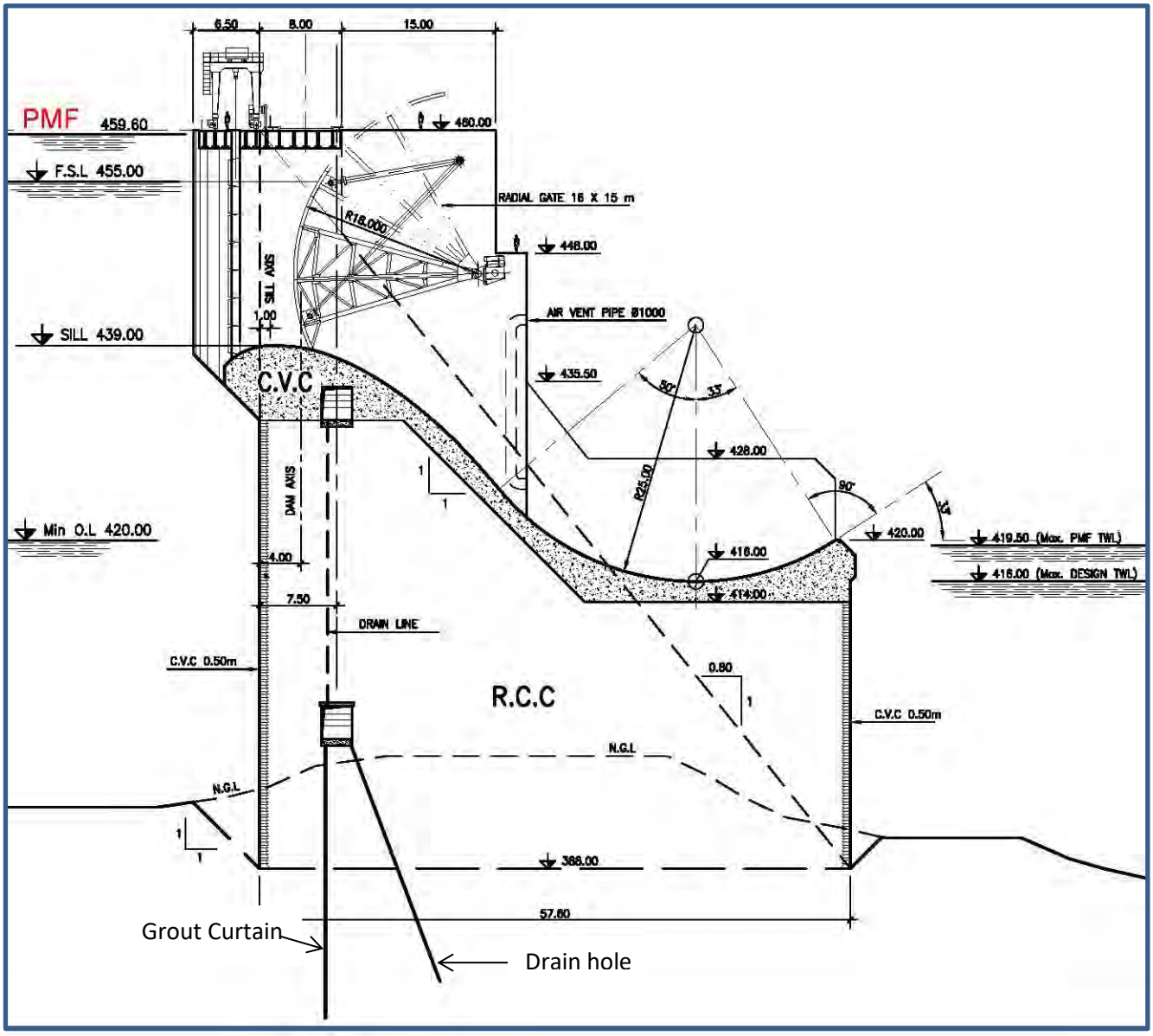
อ่างเก็บน้ำมีพื้นที่รับน้ำ (Catchment Area) = 2,942 ตร.กม. อัตราน้ำเข้าเฉลี่ย 96 ลบ.ม./วินาที ซึ่งเท่ากับปริมาณน้ำเข้าอ่าง 3,033 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี ความจุอ่างรวม 2,450 ลบ.ม. พื้นที่อ่าง 107 ตร.กม.ที่ระดับเก็บกักสูงสุด EL. 455.00 m.msl รูปตัวเขื่อนได้แสดงในรูปที่ 7 ถึง 11

การอพยพผู้คนจากพื้นที่ถูกน้ำท่วมจำนวน 12 หมู่บ้าน ประมาณ 750 ครอบครัว โดยโยกย้ายไปยังหมู่บ้านจัดสรรใหม่ จำนวน 4 แห่ง ก่อนจะเริ่มเก็บกักน้ำในอ่างเมื่อ พ.ศ 2555

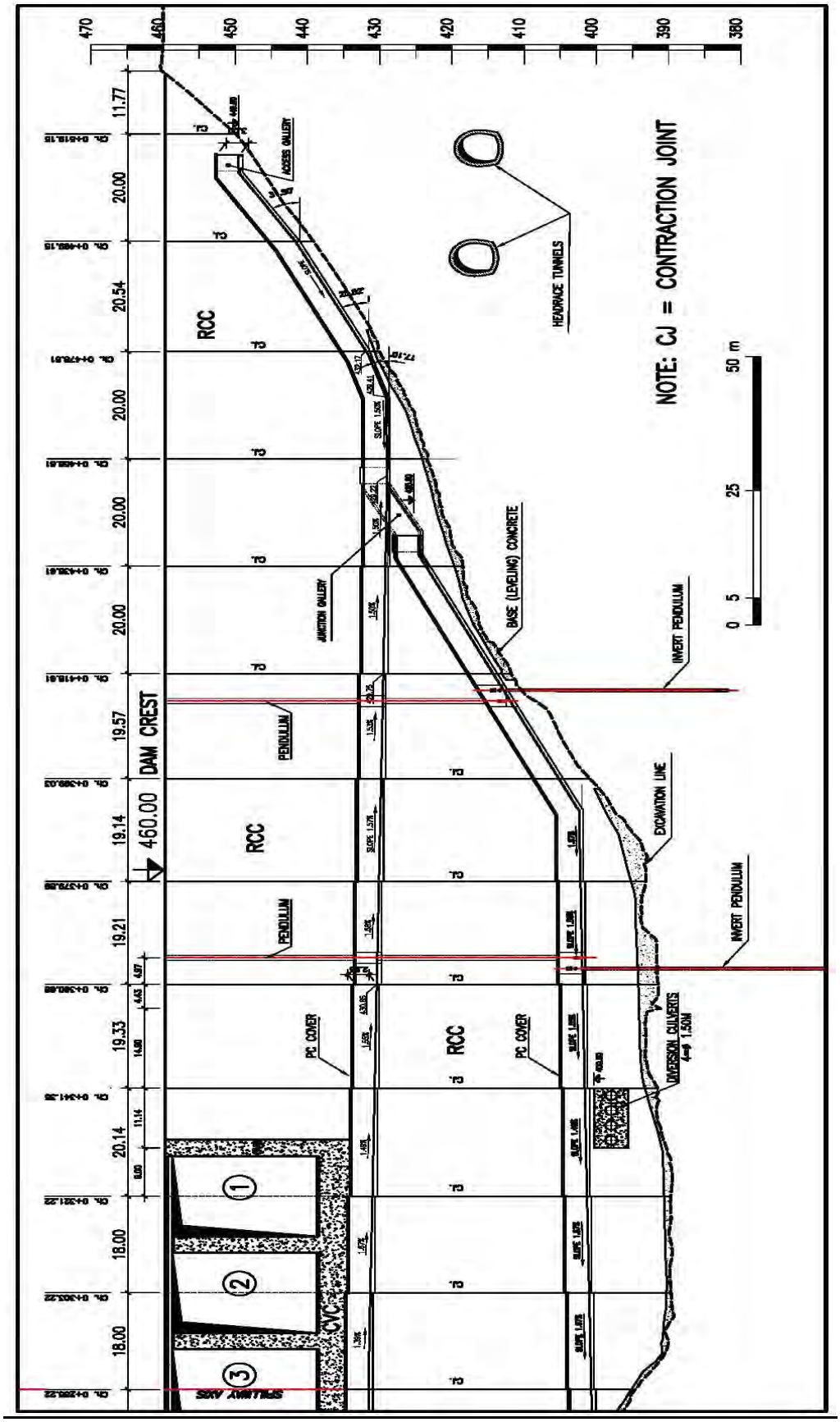
รูปที่ 7 : **เขื่อนน้ำยวงเสร็จสมบูรณ์**



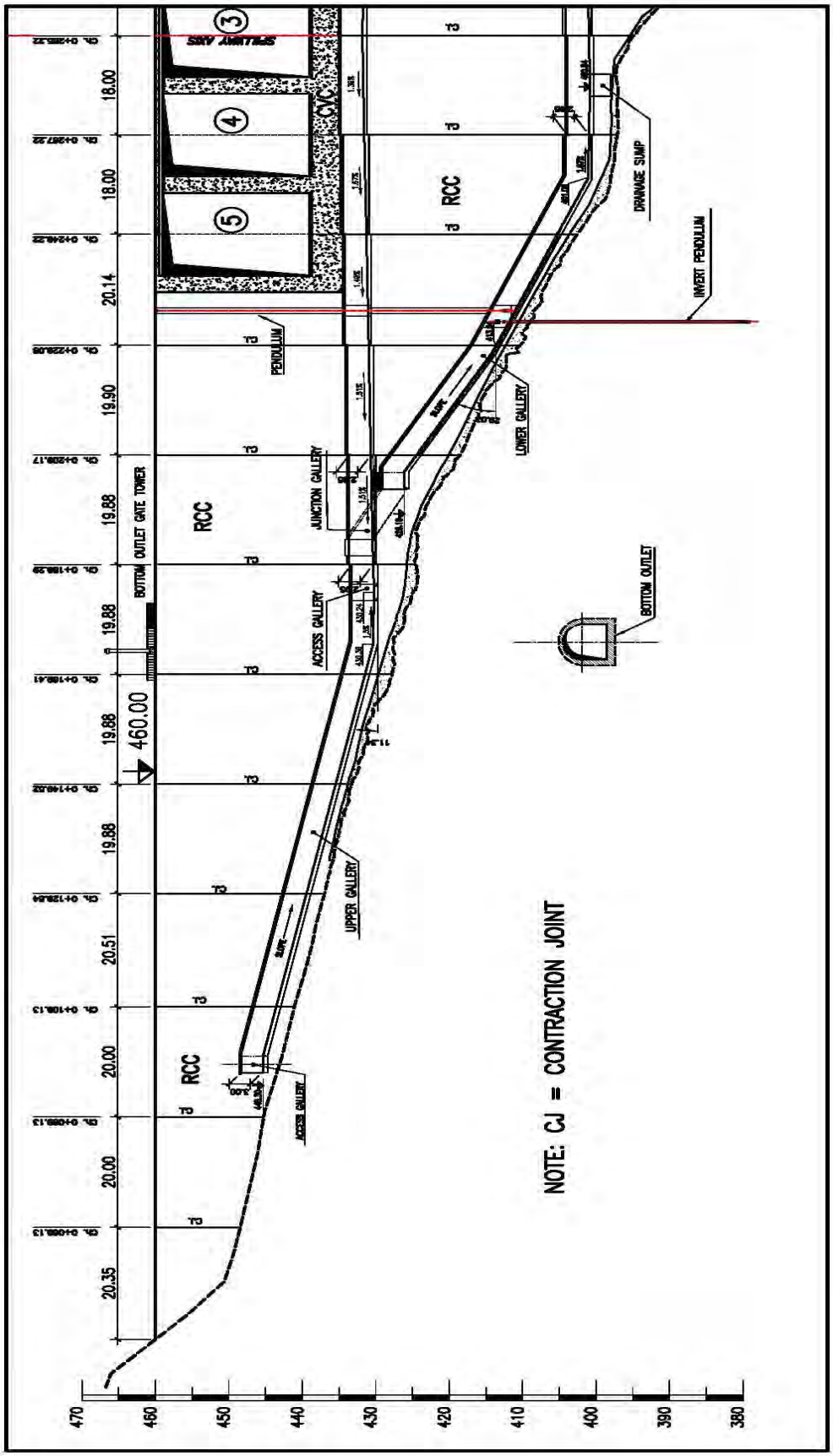
รูปที่ 8 : **รูปตัดตามขวางเขื่อนน้ำยวงส่วน** Non Overflow



รูปที่ 9 : **รูปตัดตามขวางเขื่อนน้ำยวงในส่วนทางระบายน้ำล้น** Spillway



รูปที่ 10 : **รูปตัดตามยาวเขื่อนน้ำยวง (ครึ่งขวามองจากท้ายน้ำ)**



รูปที่ 11: **รูปตัดตามยาวเขื่อนน้ำยวง (ครึ่งซ้าย)**

1.1 ก) การก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัดโดยย่อ

การก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัด (RCC) สรุปโดยย่อได้ดังนี้

- เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้เตรียมวัสดุและก่อสร้าง

- Crushing Plant 200 ton/hr	=	1
- Cement Silo 3,000 ton	=	1
- Fly Ash Silo 2,000 ton	=	1
- Refrigeration Plant 25 m^3/hr (Cooling water)	=	1
- RCC/CVC Batching Plant 95 m^3/hr (2 m^3 Batch)	=	2
- Dump Truck 8 m^3	=	8
- Bulldozer D-4H Caterpillar	=	2
- Roller Compactor 10 ton	=	3
- Roller Walk-Behind	=	1
- Truck Mixer CVC	=	3
- Rotary Brush	=	2
- Portable High Pressure Washer	=	1
- Compressor 200 psi	=	2
- Water Tank Truck	=	1
- Crack Inducer (Joint Cutting)	=	1

- การเกลี่ยและบดอัด RCC (Spreading and Compacting)

เมื่อคอนกรีต RCC ได้ถูกเทลงจาก Dump Truck ให้เกลี่ย (spreading) โดยรถ Bulldozer D4 มีความหนาเมื่อบดอัดแล้ว ประมาณ 30 ซ.ม. พื้นที่ในการเทให้กว้างที่สุดเท่าที่ทำได้ แต่ให้คำนึงถึงความสามารถในการผลิตของ Plant ด้วยการบดอัดใช้รถบดอัด Smooth Steel-drum Vibratory roller หนัก 10 ตัน วิ่งบดอัดจำนวน 8 เที่ยว (4-round trip) ที่ความเร็วไม่เกิน 2.5 กม./ชม.

การบดอัดในส่วนที่ติดกับหินหรือ Form work ใช้เครื่องบดอัดขนาดเล็กแบบเดินตาม (Walk Behind Roller) รูปถ่ายงานก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัด (RCC) แสดงไว้ตามรูปที่ 16

เมื่อบดอัดเสร็จเรียบร้อยแล้วจึง

a) ตัด Contraction Joint โดยใช้ Crack Inducer ตามแนวที่กำหนดไว้ (ห่างกันประมาณ 20 ม.) โดยกดใบมีดหนา 2 ซม. ลึกลงไปประมาณ 5 ซม.

b) การบ่มคอนกรีตบดอัด (Curing) ได้พ่นละอองน้ำ (Water Mist) เพื่อให้ผิดคอนกรีตบดอัดชุ่มชื้นตลอดเวลา โดยเครื่องอัดอากาศที่แรงดันที่เหมาะสม

c) การเตรียมผิว (Lift Joint Treatment) ของการเทคอนกรีตบดอัดแต่ละชั้น

- ในกรณีที่ผิวคอนกรีตบดอัด ถูกทิ้งไว้ไม่เกิน 24 ชม. ก่อนที่จะเทคอนกรีตบดอัดชั้นต่อไปปิดทับ ให้ ถือว่าเป็น Hot Joint การเตรียมผิวให้ทำความสะอาดผิวและเทคอนกรีตทับได้เลย
- ในกรณีที่ผิวคอนกรีตบดอัดที่เทไปแล้วถูกทิ้งไว้เกิน 24 ชม. แต่ไม่ถึง 48 ชม. ถือว่าเป็น Warm Joint ให้ทำความสะอาดผิวและเท Bedding Mortar หนา 10-15 มม. คลุมผิวให้ทั่วถึง ก่อนที่จะเทคอนกรีตบดอัดชั้นต่อไปปิดทับ
- ในกรณีที่ผิวคอนกรีตบดอัดถูกทิ้งไว้เกิน 48 ชม. ถือว่าเป็น Cold Joint ให้พ่นด้วยน้ำแรงดันสูง (High pressure water jet) จนเห็นหินของคอนกรีตบดอัดเดิมโผล่ขึ้นมา แล้วจึงเท Bedding Mortar หนา 10-15 มม. คลุมทับให้ทั่วถึงและจึงเทคอนกรีตบดอัดชั้นต่อไป

รวมระยะเวลาก่อสร้างเขื่อนและ Spillway ประมาณ 28 เดือน เสร็จตามแผนการเก็บกักน้ำที่วางไว้

1.2 ก) การติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดเขื่อนและฐานราก (Dam Instrumentation)

เครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อตรวจวัดพฤติกรรมของตัวเขื่อนและฐานรากประกอบด้วย

(แสดงไว้ในรูปที่ 12)

1. Pressure Cell (PC) เพื่อวัดแรงดันของน้ำในฐานรากจำนวน 25 ชุด

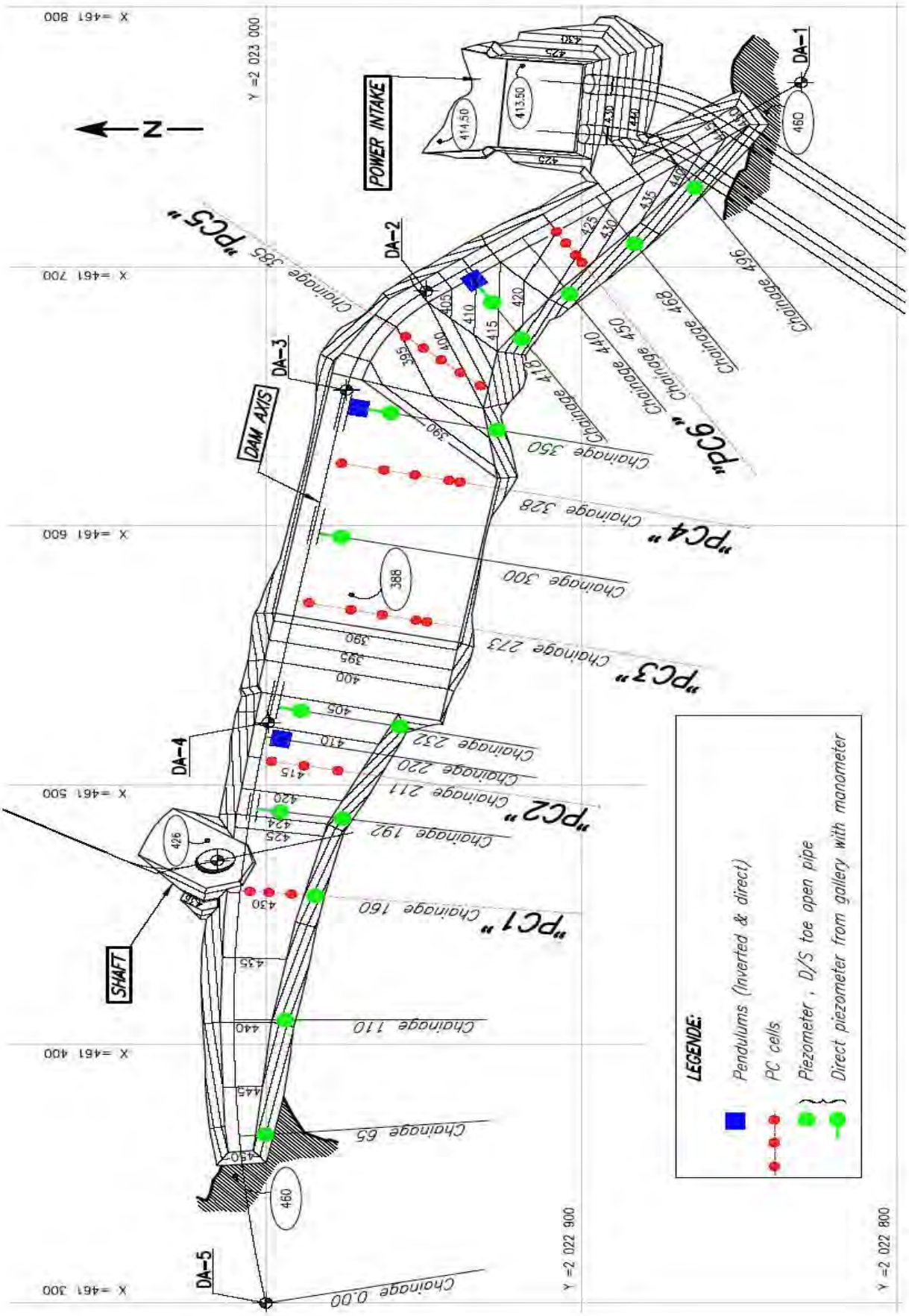
   (สามารถวัดได้ 100 KPa – 3.5 MPa)

2. Open Stand Pipe Piezometer (Vertical) เจาะจะผิวฐานรากด้านท้ายน้ำ (Dam toe) จำนวน 10 จุด และเจาะจะ Drainage Gallery (เจาะเอียง) จำนวน 5 จุด ใช้วัดระดับน้ำและแรงดันของน้ำ

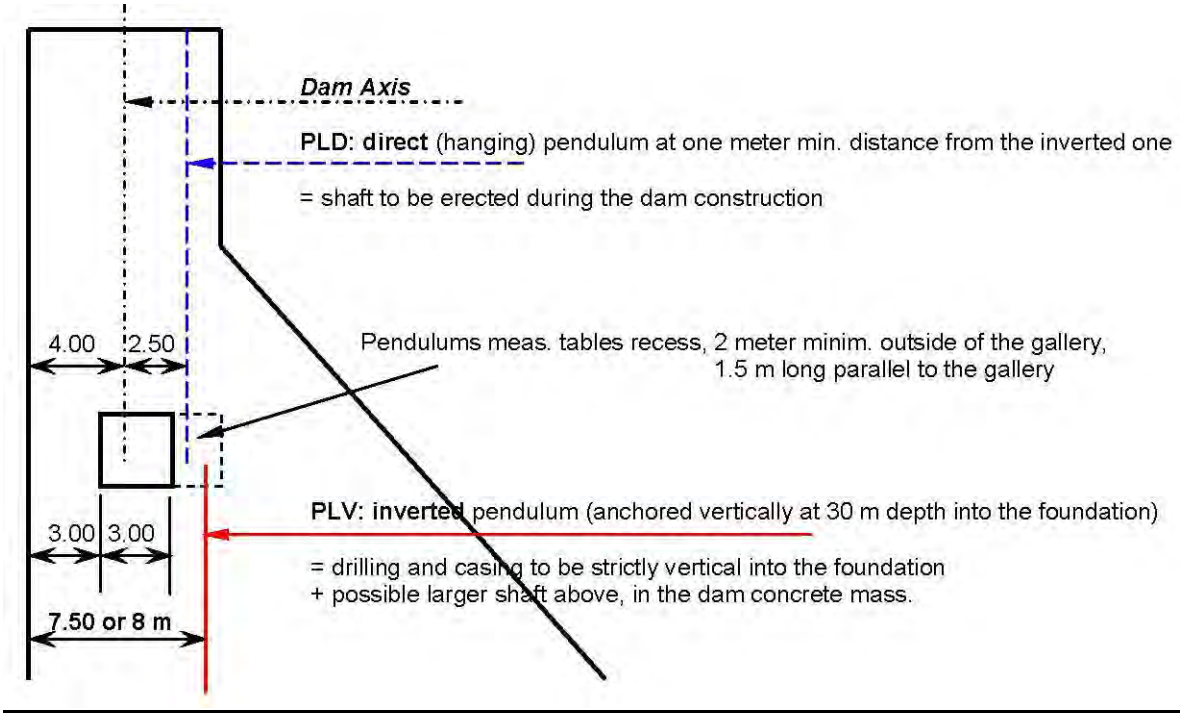
3. Pendulums (Direct and Invert) จำนวน 3 จุด สำหรับ Invert Pendulum ได้เจาะลึกประมาณ 30 ม. ลงให้หินฐานราก เพื่อวัดการเคลื่อนตัว และการเอนเอียงของตัวเขื่อน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 13

อุปกรณ์ย่อยอื่นๆ ประกอบด้วย

4. Thermocouples วัดอุณหภูมิในตัวเขื่อน
5. Leveling Studs วัดการเปลี่ยนระดับของตัวเขื่อน
6. Surface Movement devices วัดการเคลื่อนของตัวเขื่อน
7. Joint Opening Devices วัดการเคลื่อนตัวของรอยต่อ Contraction Joint
8. V-notch Weir วัดการรั่วซึมใน Drainage Gallery



รูปที่ 12: **การติดตั้งเครื่องมือวัดในเขื่อนและฐานราก** (Dam Instrumentation)



รูปที่ 13 : **การติดตั้ง** Direct and Invert Pendulums

1.3 ก) สมมุติฐานการออกแบบเขื่อนน้ำยวง

(Design Criteria for the Nam Gnoung Dam)

a) **มาตรฐานการออกแบบที่ใช้อ้างอิง**

- Federal Energy Regulation Committee of USA (FERC),
- United State Bureau of Reclamation (USBR),
- US Army Corp of Engineer (USACE)

b) **ลักษณะเขื่อน**

เขื่อนเป็นแบบ Gravity Dam ใช้วัสดุคอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete, RCC) และ ผิวด้านหน้าหนา 0.50 ม. เป็นคอนกรีตธรรมดา Conventional Vibrated Concrete (CVC)

c) **คุณสมบัติของคอนกรีตบดอัด** (Roller Compacted Concrete)

อัตราส่วนผสม (mix design) ของ RCC เป็นแบบ High Paste โดยมี Cementitious Material คือ Cement + Fly Ash ประมาณ 150-200 Kg/m3 ตามข้อกำหนดให้ใช้ 160 kg/m3 และให้มี Fly Ash (pozzolan) ไม่น้อยกว่า 80 kg/m3 ในที่นี้ใช้ Cementitious Material 180 kg/m3 ตามตารางที่ 1

Components	Dosage for 1m^3	
Cement (OPC1) Siam City Cement	Kg	90.0
Fly Ash (From Mae Moh Clase F)	kg	90.0
Water	Kg	104.0
Admixture (Daratard water reducer)	Kg	1.08
Crushed sand 0 - 5 mm	Kg	881.7
Agg 5 - 12,5 mm	Kg	516.3
Agg 12,5 - 25 mm	Kg	433.5
Agg 25 - 50 mm	kg	304.6
Total	Kg	2,421.2

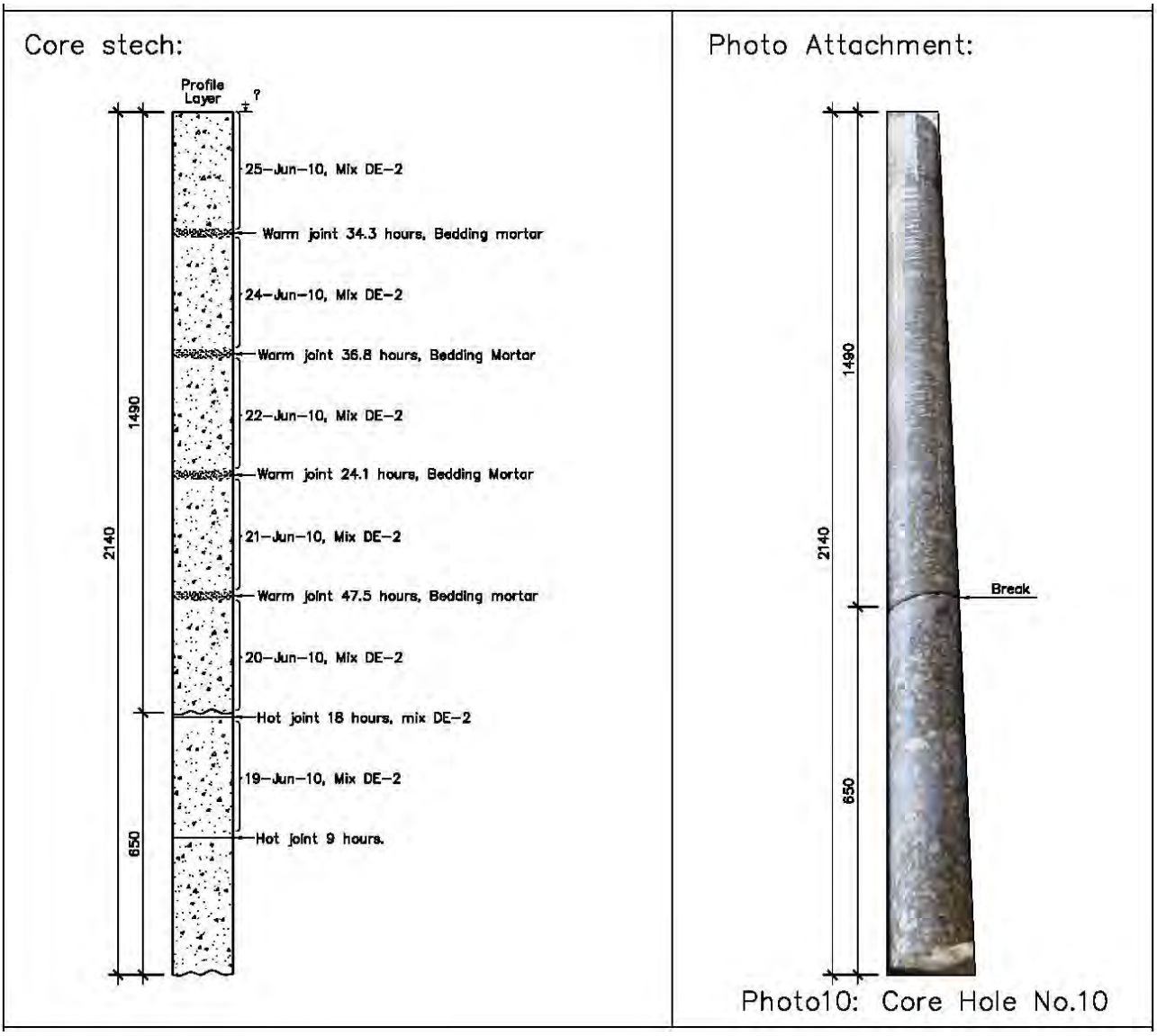
ตารางที่ 1 : **อัตราส่วนผสม ของคอนกรีตบดอัด** (RCC Mix design)

Target VeBe Time 16 วินาที (±2 วินาที) และ การบดอัด ต้องไม่น้อย 98% ของ Theoretical air free density. Target setting time 20 -24 ช.ม

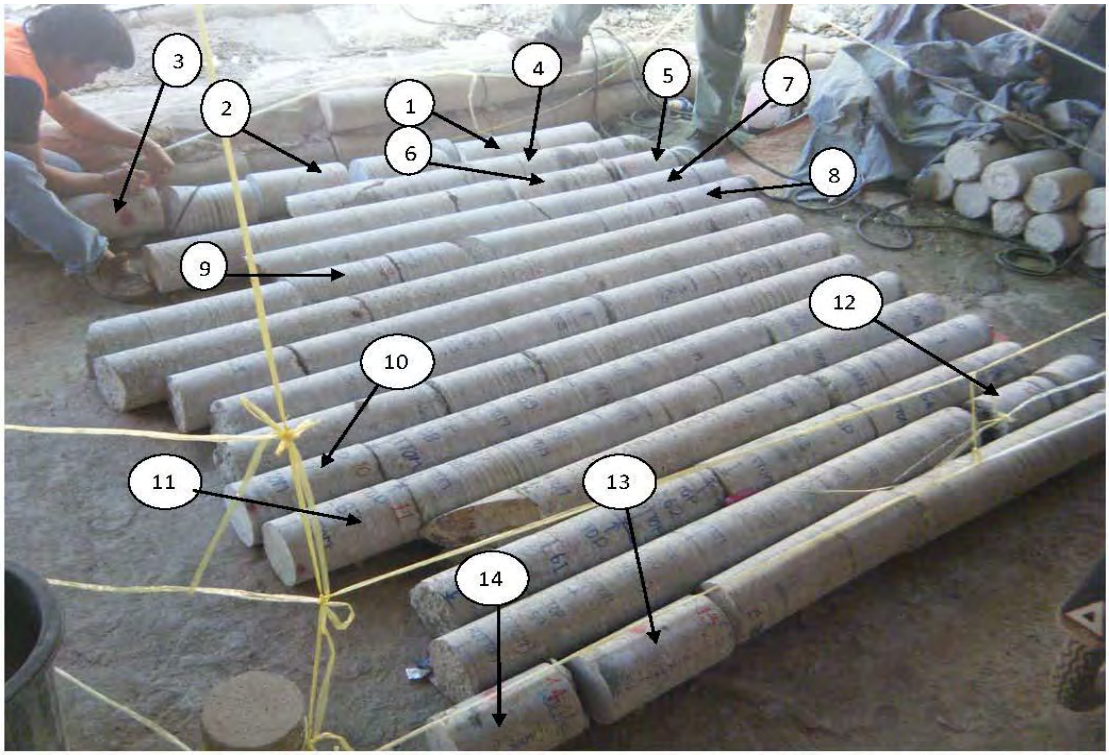
Required compressive strength (cube) = 12 MPa at 90 days age และ 10.8 MPa. at 28 days age (90% of 90 days age). Required tensile strength = 0.50 MPa at 90 days age จากการทดสอบแรงอัดในห้องทดลองจาก Trial Mix ได้ผล compressive strength ดังนี้ 10.8 MPa, 19.8 MPa and 32.25 MPa ที่อายุ 7, 28 and 91 days ตามลำดับ และจากการเจาะ coring Ø 15 cm จากตัวเขื่อน แล้วนำมาทดสอบแรงกด จำนวน 14 ตัวอย่างที่อายุต่างๆ พบว่าได้ค่า Compressive strength เมื่อแปลงเป็น Cube strength ได้ตามข้อกำหนดทุกประการ ดังแสดงใน รูปที่ 14 และ 15 และตารางที่ 2

สำหรับ Base (levelling) concrete และ Facing concrete กำหนดให้มี Cement content 240 kg/m3 และ Compressive strength ไม่น้อยกว่าของ RCC.

คุณสมบัติของ Bedding mortar สำหรับ warm and cold joint กำหนดให้มี Compressive strength ไม่น้อยกว่า 125% ของ RCC., Slump 150 mm. และ Maximum aggregate (sand) size 5 mm



รูปที่ 14 : **ตัวอย่าง** Core Samples **ที่เจาะจากตัวเขื่อน**



รูปที่ 15 : Core Sample **จำนวน** 15 **แท่ง นำมาตัดให้ได้ความยาวประมาณ** 0.30 **ม.ได้** 14 cylinders **เพื่อนำไปทดสอบแรงกด** (Cylinder Compressive Strength)

รูปที่ 16 : **ขณะเทคอนกรีตบดอัดบริเวณช่วงกลาง**

Summary of Compressive strength test of RCC Drilled Cores								
VICHITBHAN CONSTRUCTION CO.,LTD						THEUN HINBOUN EXPANSION PROJECT		
Item No.	Sampling date	Core size (cm)	Age of Concrete (days)	Tested date	Wt. of Specimen before Test (g)	Unit Wt of Specimen Before Test (g/cm^3)	Test result (MPa)	Remarks
01	15-Jul-10	14.960x29.600	98	21-Oct-10	12,606	2.420	24.53	45°
02	14-Jul-10	15.280x29.760	99	21-Oct-10	12,990	2.380	25.15	
03	13-Jul-10	14.940x26.340	100	21-Oct-10	11,570	2.510	20.59	
04	15-Jul-10	14.960x30.140	98	21-Oct-10	12,922	2.440	22.82	45°
05	6-Aug-10	14.960x24.890	76	21-Oct-10	10,558	2.410	20.50	
06	6-Aug-10	14.930x30.090	76	21-Oct-10	12,906	2.450	19.47	
07	19-Aug-10	15.010x30.100	63	21-Oct-10	13,046	2.450	18.41	55°
08	19-Aug-10	14.910x30.050	63	21-Oct-10	12,690	2.420	25.85	60°
09	13-Aug-10	14.910x30.190	69	21-Oct-10	12,736	2.420	24.69	60°
10	13-Aug-10	14.920x30.160	69	21-Oct-10	12,300	2.330	21.51	
11	13-Aug-10	14.920x28.650	69	21-Oct-10	12,998	2.590	32.40	
12	18-Aug-10	14.930x19.860	64	21-Oct-10	8,448	2.430	29.50	
13	11-Jul-10	14.910x29.650	102	21-Oct-10	12,416	2.400	37.04	
14	11-Jul-10	14.900x23.300	102	21-Oct-10	9,976	2.460	39.60	

ตารางที่ 2 : **ผลการทดสอบแรงกด** Cylinder **จาก** Core Samples **ที่อายุต่างๆ กัน**

1.4 ก) คุณสมบัติของหินฐานราก

หินฐานรากเขื่อนประกอบด้วย Sandstone เป็นส่วนใหญ่และอยู่ฝั่งซ้ายของเขื่อน ประมาณ 70% ของพื้นที่ มีชั้นคุณภาพ Fair to Good (RMR 55 - 60) นอกนั้น เป็น Mudstone มี Sandstone แทรกอยู่บ้าง มีชั้นคุณภาพ Poor to Fair (RMR 30-50) และ Fair to Good (RMR 45-60)

Rock Mass Rating (RMR) ตามวิธีของ Bieniawski, Z. T. (1989) จำแนกชั้นคุณภาพหินเป็น 5 กลุ่มดังนี้

RMR	Rock quality
0 - 20	Very Poor
21 - 40	Poor
41 - 60	Fair
61 – 80	Good
81 - 100	Very good

จากการทดสอบคุณสมบัติของหินฐานรากเขื่อนในห้องทดลองและในหน้างานได้ผลสรุปดังนี้

สำหรับ Mudstone (Fair) ใช้ค่า **Global strength =** 2.5 MPa

Peak Values (cohesion and friction angle)	C =0.27MPa	and	φ=38°
Residual values	C = 0 MPa	and	φ=38°

สำหรับ Sandstone (Fair to Good) ใช้ค่า **Global strength =** 8.1 MPa

Peak Values	**C =1.20 MPa**	and	**φ=51°**
Residual values:	**C = 0 MPa**	and	**φ=52°**

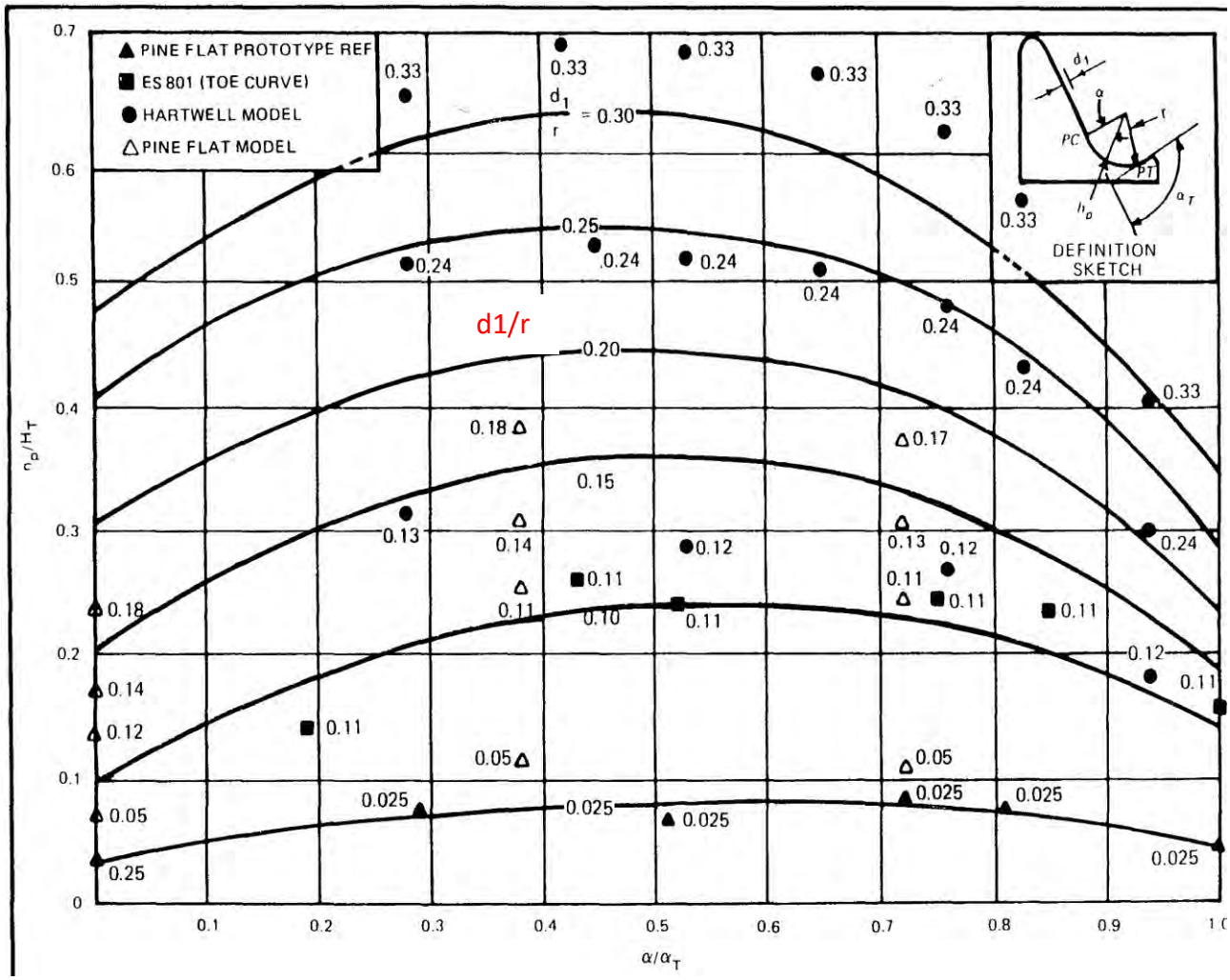
1.5 ก) แรงสถิตที่กระทำต่อตัวเขื่อน (Static Force)

นอกเหนือจาก Own Weight ของตัวเขื่อนแล้ว ยังมีแรง อื่นๆที่กระทำต่อตัวเขื่อนดังนี้

- น้ำหนักบานประตูระบายน้ำ Radial Gates จำนวน 5 บานๆละ 200 ตัน รวม1,000 ตัน
- น้ำหนักสะพานข้าม Spillway 10 ตัน/ม.
- แรงดันน้ำหน้าเขื่อนและหลังเขื่อน (มีแรงกดแนวดิ่งของน้ำบน Spillway ด้วย)
- แรงดันตะกอน (Silt Pressure) มี unit weight = 1.35 ตัน/ลบ.ม. (for horizontal Saturated Silt Pressure) , unit weight = 1.92 ตัน/ลบ.ม. (for vertical Pressure)
  ระดับสูงสุดของตะกอนที่ EL.405 m.msl ซึ่งเท่ากับตะกอนสะสมในระยะ 50 ปี (มีปริมาตรประมาณ $61x10^4$ ลบ.ม) แต่เนื่องมีการปล่อยน้ำผ่าน Bottom Outlet ในฤดูแล้งทุกปีเพื่อส่งน้ำให้

โรงไฟฟ้าเดิมด้านล่าง ตะกอนจะน้อยกว่าที่คาดการณ์ไว้มาก ดังนั้นจึงถือได้ว่าเกิดแรงดันตะกอนน้อยมากเมื่อเทียบกับแรงดันของน้ำ

- แรงยกตัว (Uplift Pressure) คิดเป็น 3 กรณี
  a) ประสิทธิภาพระบบระบายน้ำใต้ฐานเขื่อนทำงานสมบูรณ์ 100%
  b) ระบบระบายน้ำใต้ฐานเขื่อนไม่ทำงาน
  c) เมื่อเกิดรอยร้าวแยกตัวระหว่างฐานเขื่อนและหิน ไม่ถึง Drain line
  d) เมื่อเกิดรอยร้าวแยกตัวระหว่างฐานเขื่อนและหิน เลย Drain line เข้าไปด้านใน
- แรงจากน้ำที่ไหลข้าม Spillway (Nappe Force) ตกกระแทกกับ Flip Bucket ที่ท้ายน้ำ โดยคำนวณจาก Chart ของ USACE - Engineer Manual EM-1110-2-1603 (รูปที่ 17) ดังนี้



รูปที่ 17 : Chart **ของ** USACE - **Engineer Manual EM-1110-2-1603 (Flip Bucket Pressure)**

- H_p is the hydrodynamic pressure equal to the reservoir water elevation $H_{reservoir}$ [m];
- H_T is the head at the bucket entrance [m];
- α is angle between bucket entrance and current point;
- α_T is angle between invert slope and bucket lip;
- R is the bucket radius (R=23 m);
- d_e is water height at the bucket entrance, measured in the direction normal to the spillway apron [m].

- $H_{reservoir}$ is the reservoir water elevation [m ASL];
- z_e is the elevation of spillway apron at the bucket entrance [m ASL];
- θ is the angle of spillway apron with the horizontal at the bucket entrance (θ =48.77°);
- g = 9.81 $m.s^{-2}$;
- L is the width of the spillway [m];

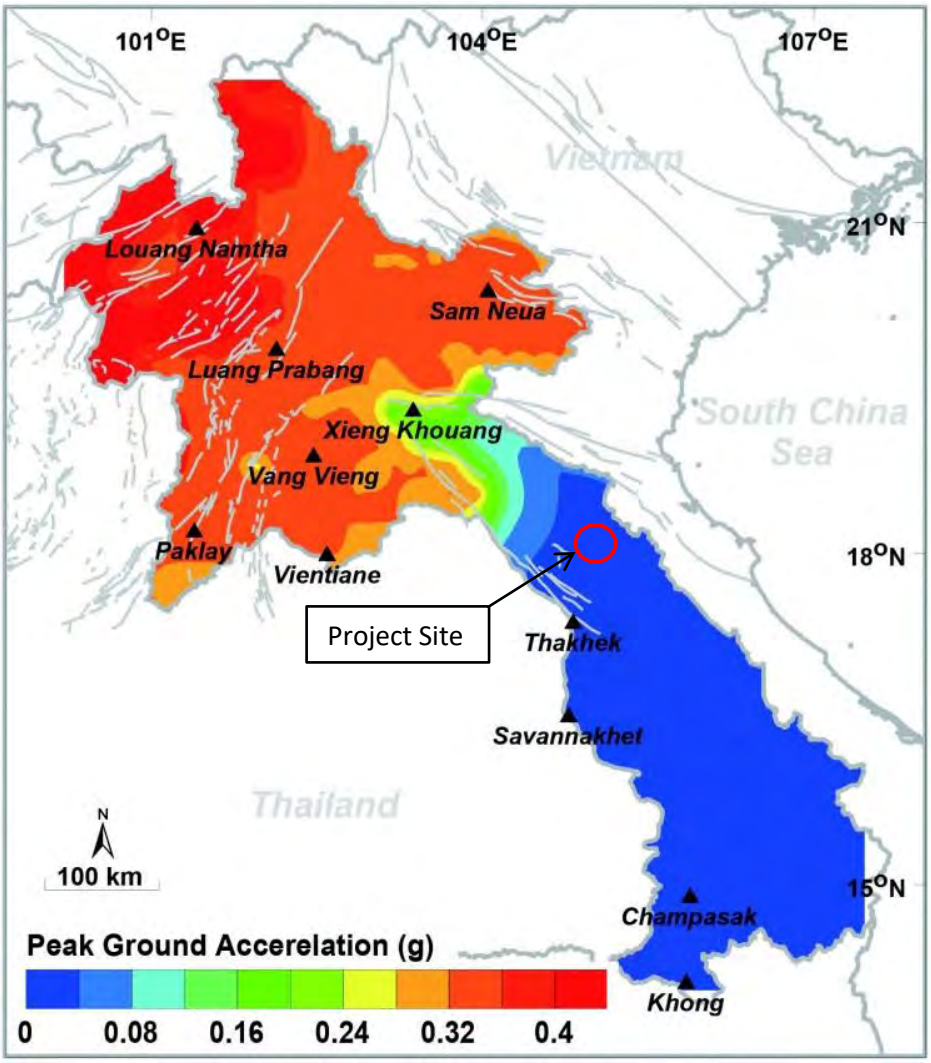
คำนวณแรงกระทำต่อ Flip Bucket ในกรณี Design Flood ต่างๆได้ผลตามตารางที่ 3

	PMF	T = 10000y	T = 1000y	T = 100y
$H_{reservoir}$ [m ASL]	459.68	457.33	455.7	455
z_e [m ASL]	423.84	423.84	423.84	423.84
Q [m^3/s]	15700	12900	11088	8480
L [m]	75	75	75	75
θ [°]	48.77	48.77	48.77	48.77
β [°]	34.35	34.35	34.35	34.35
R [m]	23	23	23	23
H_T [m]	35.84	33.49	31.86	31.16
d [m]	8.60	7.20	6.30	4.80
d/R	**0.37[1]**	**0.31**	**0.27**	**0.21**
F_X [T]	-876	-810	-705	-510
F_Y [T]	-5736	-5175	-4410	-3390
X [m]	39.9	39.8	39.8	39.9
Y [m ASL]	423.1	423.1	423.0	423.1

ตารางที่ 3 : **ผลของแรงที่กระทำต่อ** Flip Bucket

1.6 **ก) แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว** (Seismic Force)

จากค่า Seismic coefficient แบบคร่าวๆ ในแผนที่ Seismic Zone ของ USGS พบว่าพื้นที่โครงการตั้งอยู่ Low seismic activity ดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 18 : **แผนที่** Seismic Zone **ของ สปป.** ลาว

สมมุติฐานการคำนวณแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว (Seismic Force)โดยวิธี Pseudo-static

- แรง Seismic Force กระทำต่อตัวเขื่อนเสมือน Inertia Force กระทำที่จุดศูนย์ถ่วงของตัวเขื่อนโดยมีค่า Ground Acceleration เป็นสัดส่วนของ Gravitational Acceleration (g)คือ

  F = ma

  M = mass of dam body (Kg)

  a = acceleration (m/s^2) เป็นสัดส่วนของ Gravitational acceleration (g)

  Seismic coefficient ใช้ค่า Peak Ground Acceleration (PGA) at the site ที่กำหนดไว้ใน Specification (Employer's Requirements) ซึ่งเป็นสัดส่วนของ Gravitational acceleration (g) ดังนี้

Horizontal PGA (HPGA) = 0.10 g ซึ่งเทียบเท่าเท่ากับ 2/3 ของ Maximum Credible Earthquakeม, MCE = 0.15 g และค่า Operating Basis Earthquake (OBE) = 0.05 g

หลังจากได้ศึกษาทบทวนในขั้น Detailed Design แล้ว พบว่าค่า MCE = 0.18 g และค่า Operating Basis Earthquake (OBE) = 0.12 g, ดังนั้นค่า MCE PGA Horizontal = 0.12g และ OBE PGA Horizontal = 0.093 ส่านค่า Vertical = 50% ของ Horizontal ทั้ง 2 กรณี

- Hydrodynamic Water Pressure

  เมื่อเกิดแรงสั่นสะเทือนจากแผนดินไหวทำให้เขื่อนและอ่างเก็บน้ำมีการสั่นไหว เกิดแรง Dynamic added mass ของน้ำกระทำต่อตัวเขื่อน เมื่อแปลงเป็นแรง static ตามสูตรของ Westergaard คือ

$$F = \frac{7}{12}\, a_h\, \rho g L h^2$$

a_h = peak horizontal acceleration coefficient (e.g. 0.12 for MCE)

ρ = 1000 kg/m^3

g = 9.81 m/s^2

L = width of the dam [m]

h = head difference between reservoir water elevation and bottom elevation [m]

แรง dynamic ของน้ำเมื่อแปลงเป็นแรง static แล้วจะกระทำต่อตัวเขื่อนที่ระยะ 1/5 จากฐานเขื่อน

1.7 ก) การวิเคราะห์คำนวณเสถียรภาพ (Stability Analysis)

การวิเคราะห์เบื้องต้นใช้วิธีสถิตเสมือน Pseudo Static โดยมีหลักการดังต่อไปนี้

- แบ่งตัวเขื่อนเป็น Monolithic Block จำนวน 23 Block มีความกว้าง Block ละประมาณ 20 m. ตามสภาพหินฐานรากและความสูง
- แต่ละ Block ถือว่าเป็น Rigid body แยกอิสระออกจากกัน โดยไม่คิดแรงยึดเหนี่ยว (Bond) ระหว่าง Block
- การจำลอง (Monolithic Block Modeling) มี 2 ส่วนคือ Non Overflow Section ตามรูปที่ 19 และส่วนที่เป็น Spillway ตามรูปที่ 20
- อัตราส่วนค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) เนื่องจากมีหลายมาตรฐานของแต่ละองค์กรได้กำหนดค่าความปลอดภัยเขื่อนแตกต่างกันออกไป ในกรณีนี้ได้อ้างอิงตามมาตรฐานของ FERC (USA) ดังนี้

Factor of safety against sliding แยกเป็น 2 กรณีได้แก่

Shear Friction Factor ใช้ในกรณี sliding ในตัวเขื่อน โดยคิดค่า Cohesion (shear) ด้วย

$$SFF = \frac{cA + F_v tan\emptyset}{F_H}$$

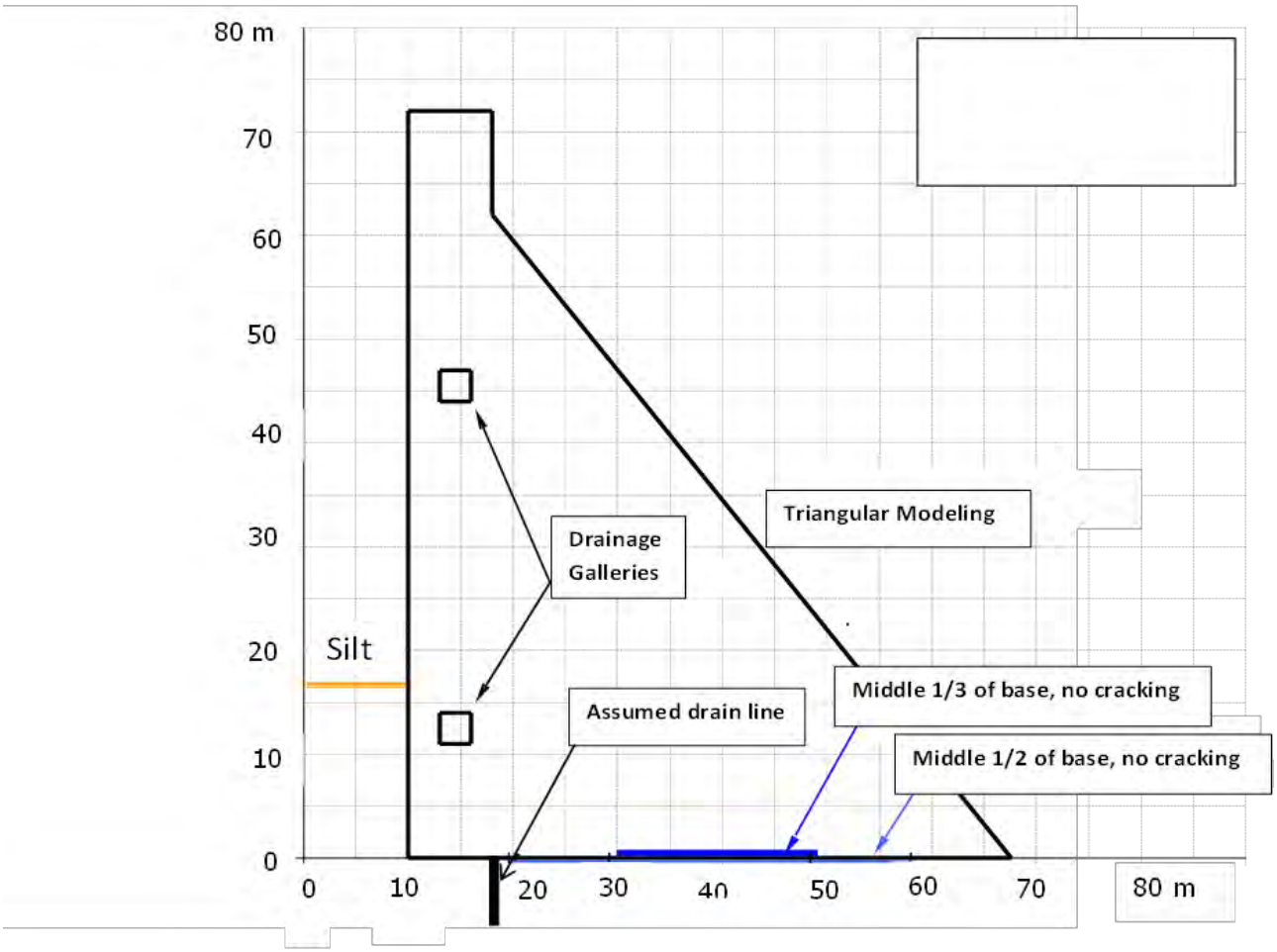
C = cohesion, F_V = Vertical force acting on dam
A = Base Area, F_H = Horizontal force acting on dam
Tan Ø = Friction angle

Friction Factor ใช้สำหรับที่ผิวสัมผัสของฐานเขื่อนกับหินและในหินฐานรากเอง (Concrete/Rock Interface and Rock Foundation) โดยไม่คิดค่า Cohesion (shear)

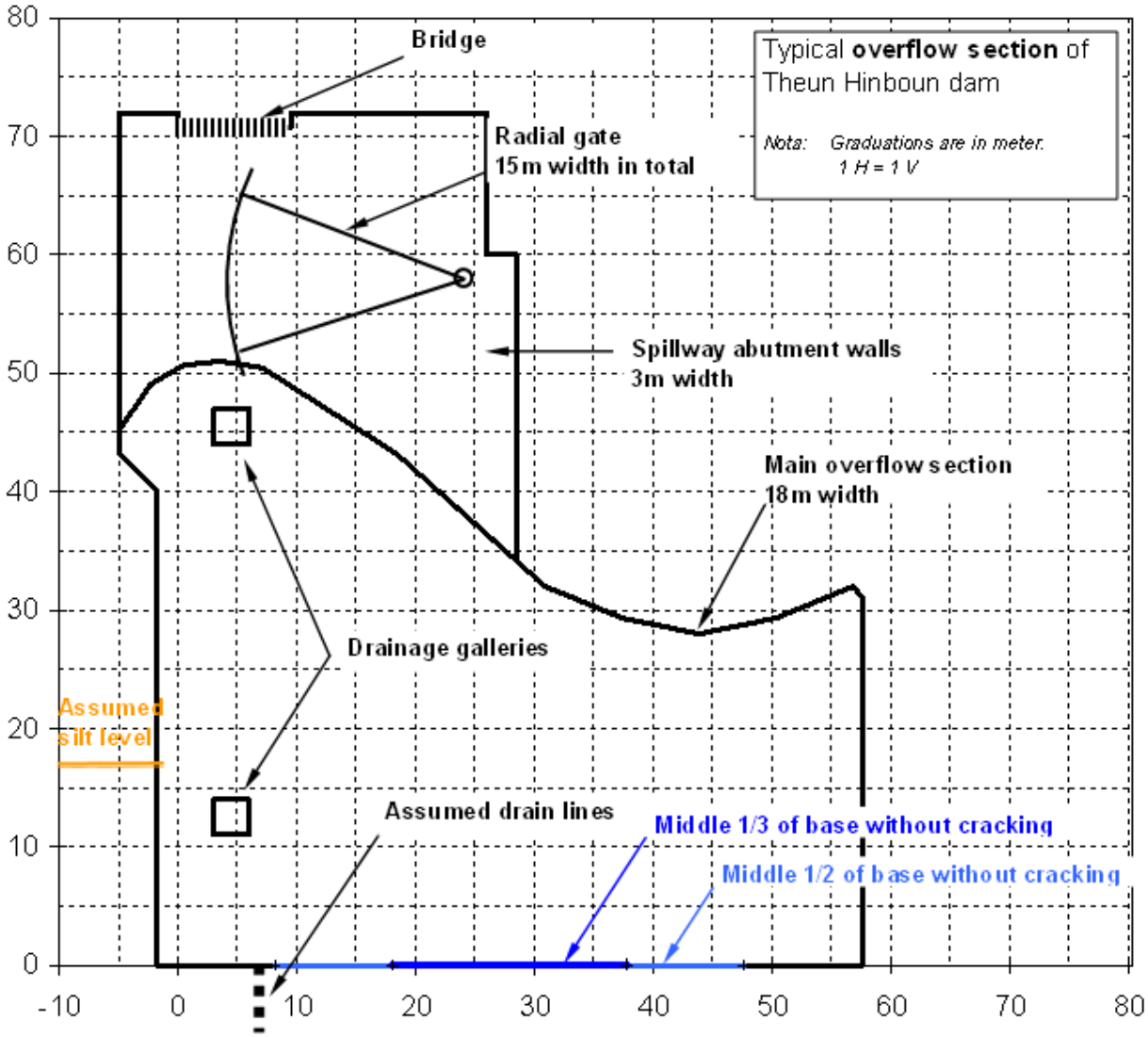
$$FF = \frac{F_v tan\emptyset}{F_H}$$

ค่า Safety Factors และตำแหน่งของ Resultant Force ต้องไม่น้อยกว่าค่าดังต่อไปนี้

	SFF	FF	Uplift	Location of Resultant Force
Usual Case	3	1.5	1.3	Within middle 1/3 of base
Unusual Case	2	1.3	1.2	Within middle 1/2 of base
Extreme Case (OBE)	1.3	1.3	>1	Within base
Extreme Case (MCE)	1.3	1.1	>1	Within base



รูปที่ 19 : **รูปจำลองเขื่อนส่วน** Non Overflow Section **เพื่อ** Stability Analysis



รูปที่ 20 : **รูปจำลองเขื่อนส่วน** Spillway Overflow Section **เพื่อ** Stability Analysis

การจำแนก Loading Combination Cases ในสถานการณ์ต่างๆเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพ Dam Stability Analysis มีดังนี้

Case 1) St1 = FSL

ระดับน้ำในอ่างที่ FSL = EL 455 m.msl ระดับน้ำท้ายเขื่อน EL 398 m.msl ระบบระบายน้ำใต้เขื่อนทำงานสมบูรณ์แบบ

Case 2) St2 = FSL + open gates

ระดับน้ำในอ่างที่ FSL = EL 455 m.msl เปิดบานประตู spillway บางส่วน ระดับน้ำท้ายเขื่อน EL 416 m. msl ระบบระบายน้ำใต้เขื่อนทำงานสมบูรณ์แบบ

Case 3) St3 = MWL + open gates

ระดับน้ำในอ่างที่สูงสุด MWL = EL 451.33 m.msl เปิดบานประตูทั้งหมด (ประมาณ 12,900 m3/s (10,000 years flood) ระดับน้ำท้ายน้ำที่ EL418.8 m.msl ระบบระบายใต้เขื่อนทำงานสมบูรณ์แบบ

Case 4) St4 = FSL, No drain

เหมือน Case 1 แต่ระบบระบายน้ำไม่ทำงาน

Case 5) Ex1 = PMF, open gates

ระดับน้ำที่ PMF = 459.68 m.msl เปิดประตูระบายน้ำทั้งหมด (ประมาณ 15,700 m^3/s,) ระดับน้ำท้ายเขื่อนที่ 421.39 m.msl ระดับระบายน้ำใต้เขื่อนทำงานสมบูรณ์แบบ

Case 6) Ex2 = FSL, Post MCE

ระดับน้ำในอ่างที่ FSL = EL 455 m. msl ระดับน้ำท้ายเขื่อน EL398 m. msl ระบบระบายน้ำทำงานสมบูรณ์แบบ เกิดแผ่นดินไหวที่ MCE คุณภาพของหินฐานรากด้อยลง ใช้ค่า residual friction angle

Case 7) Ex3 = MWL, No drain

ระดับในอ่างสูงสุดที่ MWL = 457.37 m. msl ระดับท้ายน้ำที่ 418 m. msl ระบบระบายน้ำใต้เขื่อนไม่ทำงาน

Case 8) Dyn1 = OBE, empty reservoir

ไม่มีน้ำในอ่าง เกิดแผ่นดินไหวที่ OBE ระดับน้ำท้ายเขื่อนที่ EL 390 m.msl ระบบระบายน้ำใต้เขื่อนทำงานสมบูรณ์แบบ

Case 9) Dyn2 = OBE, FSL

ระดับน้ำในเขื่อนที่ FSL= EL 455 m.msl เกิดแผ่นดินไหวที่ OBE ระดับท้ายเขื่อนที่ EL398.00 m.msl ระบบระบายน้ำใต้เขื่อนทำงานสมบูรณ์แบบ

Case 10) Dyn3 = MCE, FSL

ระดับน้ำในอ่างที่ FSL=455 m.msl ระดับท้ายเขื่อนที่ EL389 m.msl เกิดแผ่นดินไหวที่ MCE ระบบระบายน้ำใต้เขื่อนทำงานสมบูรณ์แบบ

โดยที่ Usual case **คือ** case 1 &2

Unusual case **คือ** case 3, 4 & 9

Extreme case **คือ** case 5, 6, 7, 8 & 10

ผลการคำนวณแรงที่กระทำต่อตัวเขื่อนสำหรับ Selected Monolith Block M15 (Non Overflow)

Load	Force	Direction	X-Center	Y-Center
	t		m	m
1 - Own Weight of the Structure	-4 362	Along Y	17.69	23.21
	0	Along X	17.69	23.21
2 - Hydrostatic Forces	1 947	Along X	0.00	20.45
	0	Along Y	0.00	20.45
3 - Uplift Forces	1 193	Along Y	17.84	0.00
SF uplift = 3.66>1.3	0	Along X	0.00	0.00
4 - Seismic load				
- PGA Seismic Force	0	Along X	17.69	23.21
	0	Along Y	17.69	23.21
- Westergaard Force	0	Along X	0.00	24.80
	0	Along Y	0.00	24.80

ตารางที่ 4 : **Block M_{15} Forces for Case 1 – Usual case**

Load	Force	Direction	X-Center	Y-Center
	t		m	m
1 - Own Weight of the Structure	-4 362	Along Y	17.69	23.21
	0	Along X	17.69	23.21
2 - Hydrostatic Forces	1 762	Along X	-8.83	23.62
Weight of Tailwater	-266	Along Y	46.72	8.60
3 - Uplift Forces	1 960	Along Y	23.23	0.00
SF uplift = 2.36>1.2	0	Along X	0.00	0.00
4 - Seismic load				
- PGA Seismic Force	0	Along X	17.69	23.21
	0	Along Y	17.69	23.21
- Westergaard Force	0	Along X	0.00	25.73
	0	Along Y	0.00	25.73

ตารางที่ 5 : Block M_{15} Forces for Case 3 – Unusual case

Load	Force	Direction	X-Center	Y-Center
	t		m	m
1 - Own Weight of the Structure	-4 362	Along Y	17.69	23.21
	0	Along X	17.69	23.21
2 - Hydrostatic Forces	1 935	Along X	-0.34	20.57
	-10	Along Y	52.27	1.67
3 - Uplift Forces	1 193	Along Y	17.84	0.00
SF uplift = 3.66>1	0	Along X	0.00	0.00
4 - Seismic load				
- PGA Seismic Force	523	Along X	17.69	23.21
	262	Along Y	17.69	23.21
- Westergaard Force	269	Along X	0.00	24.80
	0	Along Y	0.00	24.80

ตารางที่ 6 : Block M_{15} Forces for Case 10 – Extreme case

ผลการคำนวณแรงที่กระทำต่อตัวเขื่อน สำหรับ Selected Monolith Block M12 (Spillway)

Load	Force	Direction	X-Center	Y-Center
	t		m	m
1 - Own Weight of the Structure	-95 262	Along Y	23.20	20.89
2 - Hydrostatic Forces	37 783	Along X	-0.66	21.36
	-2 034	Along Y	1.09	51.41
3 - Uplift Forces	26 677	Along Y	18.91	0.00
SF uplift = 3.65>1.3	0	Along X	0.00	0.00
4 - Seismic load	0			
5 - Forces on flip bucket	0	Along X	0.00	0.00
	0	Along Y	0.00	0.00

ตารางที่ 7: Block M_{12} Forces for Case 1 – Usual case

Load	Force	Direction	X-Center	Y-Center
	t		m	m
1 - Own Weight of the Structure	-95 262	Along Y	23.21	20.91
2 - Hydrostatic Forces	28 884	Along X	-16.32	20.57
SF uplift = 3.24>1.2	1 598	Along Y	-3.32	38.56
3 - Uplift Forces	50 280	Along Y	23.88	0.00
	0	Along X	0.00	0.00
4 - Seismic load	0			
5 - Forces on flip bucket	-803	Along X	0.00	32.05
	-5 176	Along Y	39.82	0.00

ตารางที่ 8: Block M_{12} Forces for Case 4 – Unusual case

Load	Force	Direction	X-Center	Y-Center
	t		m	m
1 - Own Weight of the Structure	-95 262	Along Y	23.20	20.89
2 - Hydrostatic Forces	37 343	Along X	-1.35	21.58
	-2 034	Along Y	1.09	51.41
3 - Uplift Forces	26 677	Along Y	18.91	0.00
SF uplift = 3.49>1	0	Along X	0.00	0.00
4 - Seismic load				
4A- Seismic Force	11 431	Along X	23.20	20.89
	5 716	Along Y	23.20	20.89
4B- Westergaard Force	5 161	Along X	0.00	21.93
	0	Along Y	0.00	0.00
5 - Forces on flip bucket	0	Along X	0.00	0.00
	0	Along Y	0.00	0.00

ตารางที่ 9: Block M_{12} Forces for Case 10 – extremes case

ผลการคำนวณ SFF และ FF ของ selected block ในแต่ละ Load cases แสดงในตาราง ที่ 10 และ 11

Load case	Description	FF	Req. FF	Eccentric from middle of base	Allow. Eccentric	Heel stress	Toe Stress	Allow. comp stress	Crack Base Length	Allow crack length
				m	m	kPa	kPa	kPa	m	m
1	St.1 FSL	1.89	1.5	3.41	8.9	359	801	833	0	0
2	St. 2 FSL+open	1.9	1.5	3.46	8.9	309	700	833	0	0
3	St. 3 MWL	1.76	1.5	5.32	17.9	198	779	1250	0	12.1
4	St.4 FSL+no drain	1.55	1.5	5.43	17.9	185	758	1250	0	13.4
5	Ex.1 PMF	1.63	1.3	7.39	26.8	82	866	2500	0	26.8
6	Ex. 2 Post MCE	1.85	1.3	3.46	26.8	355	804	2500	0	26.8
7	Ex. 3 MWL+no drain	1.46	1.3	7.42	26.8	69	741	2500	0	26.8
8	Dyn.1 OBE+empty r	11.85	1.3	-11.4	17.9	1 731	-208	2500	0	N/A
9	Dyn. 2 OBE	1.35	1.3	9.3	17.9	1	1 109	1250	1	13.4
10	Dyn. 3 MCE	1.24	1.1	11.1	26.8	1	1211	2500	6.4	26.8

ตารางที่ 10: Monolith Block M15 (non overflow) **ตั้งบนหิน** Mudstone
(Compressive Strength = 2.5 MPa, Safety factor =3, 2 and 1 for usual, unusual and extreme loading ตามลำดับ) =usual =unusual = Extreme

oad case	Description	FF	Req. FF	Eccentric from middle of base	Allow. Eccentric .	Heel stress	Toe Stress	Allow. comp stress	Crack Base Length	Allow. crack length
				m	m	kPa	kPa	kPa	m	m
2	St. 2 FSL+open	2.45	1.5	5.85	9.5	220	858	2700	0	0
3	St. 3 MWL	2.37	1.5	6.71	19	170	886	4050	0	11.7
4	St.4 FSL+no drain	1.82	1.5	10.42	19	0	1105	4050	1.6	14.2
5	Ex.1 PMF	2.24	1.3	7.63	28.5	116	899	8100	0	28.5
6	Ex. 2 Post MCE	1.97	1.3	8.69	28.5	73	1137	8100	0	28.5
7	Ex. 3 MWL+no drain	2	1.3	8.94	28.5	43	849	8100	0	28.5
8	Dyn.1 OBE+empty .	11.84	1.3	-6.8	19	1405	263	8100	0	N/A
9	Dyn. 2 OBE	1.52	1.3	12.7	19	0	1412	2700	8.4	11.7
10	Dyn. 3 MCE	1.39	1,1	14.2	28.5	1	1523	8100	13	28.5

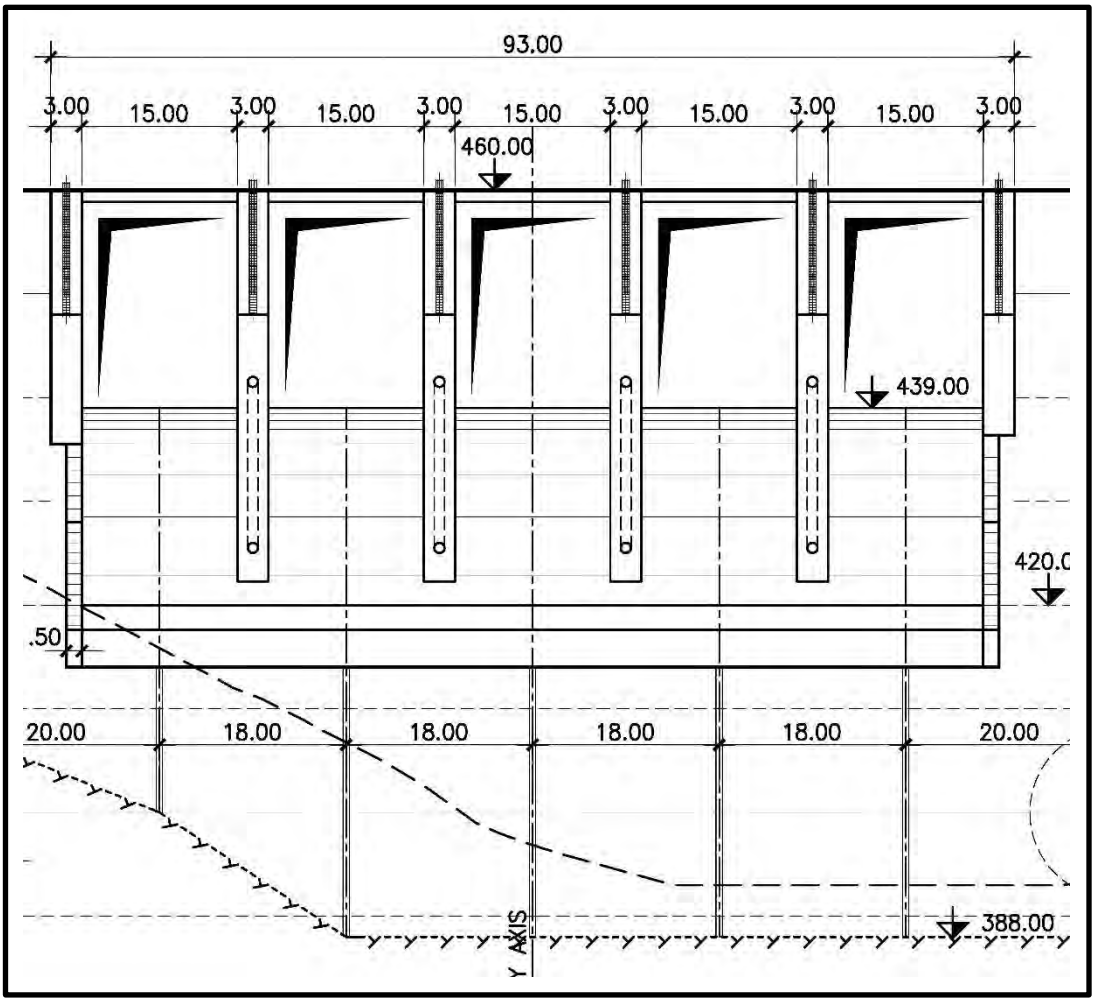
ตารางที่ 11: Monolith Block M12 (spillway) **ตั้งบนหิน** Sandstone
(Compressive Strength = 8.1 MPa, Safety factor =3, 2 and 1 for usual, unusual and extreme loading ตามลำดับ)

สรุปการวิเคราะห์คำนวณเสถียรภาพ โดยวีธี Pseudo Static เขื่อนมีค่าความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ทุกกรณี รวมทั้งตำแหน่งของ Resultant Force ด้วย

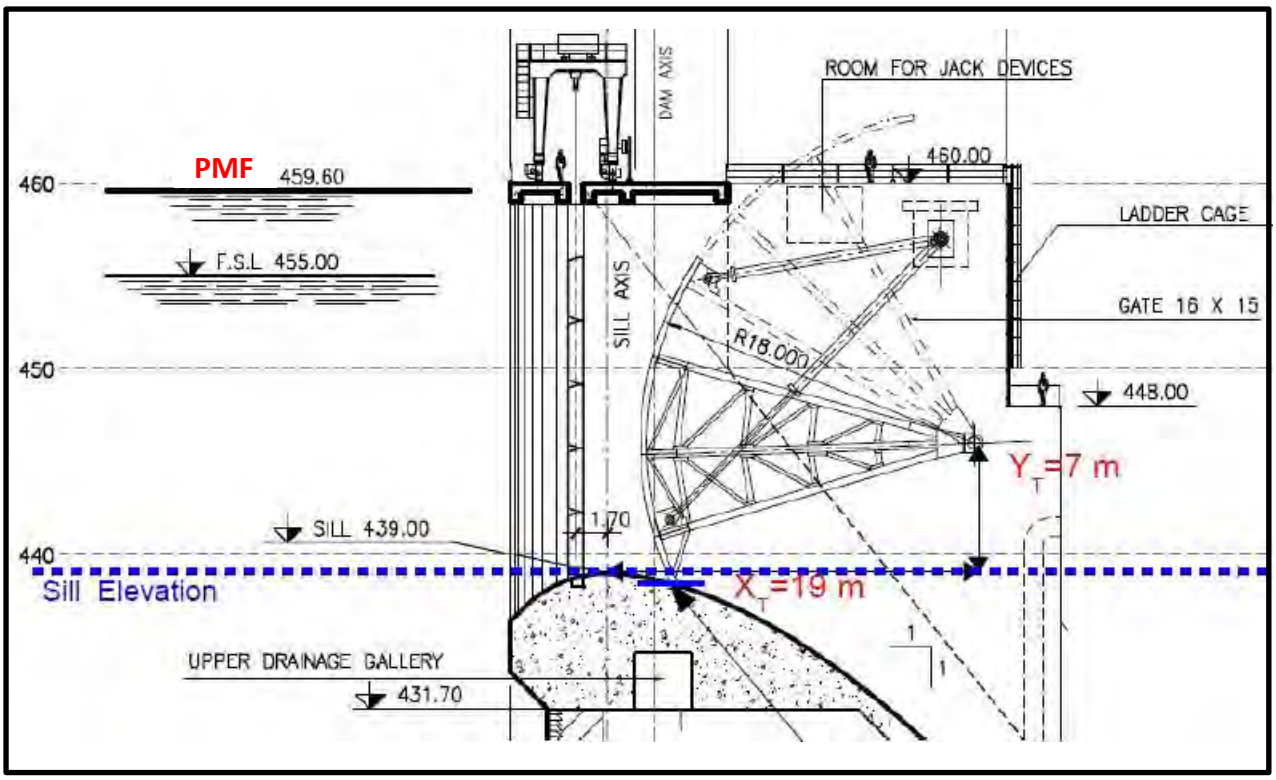
หลังจากนั้นได้มีการวิเคราะห์แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว โดยวิธี Pseudo Dynamic Response Analysis (Chopra and Fenves 1986) และวิเคราะห์ Seismic Hazard (Seismic coefficient) โดยละเอียดอีกครั้งหนึ่ง และวิธี Finite Element Method (Ansys software) ได้ค่า Stresses อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยทุกกรณี พร้อมทั้งการคำนวณ Thermal Analysis ในตัวเขื่อนโดยใช้โปรแกรม TetaBCR ด้วย (ไม่ได้แสดงการคำนวณไว้ในที่นี้)

ก 2) ทางระบายน้ำล้น (Spillway)

ทางระบายน้ำล้น (Spillway) เป็นแบบ Gated spillway โดยมีบานโค้ง Radial Gates จำนวน 5 บาน ขนาด กว้างxยาว = 15.00x16.00 ม. (ตามรูปที่ 21 ถึง 24) ระบายน้ำสูงสุด 3,150 ลบ.ม/วินาที ต่อ 1 บาน หรือทั้งหมดประมาณ 15,750 ลบ.ม/วินาที (ที่ Flood at PMF ระดับน้ำในอ่างที่ EL 459.60)



รูปที่ 21 : **รูปขยายส่วน** Spillway



รูปที่ 22 : **รูปตัดส่วน** Spillway

FLOOD	PMP 5 gates	T=10 000 years 5 gates	T=1000 years 4 gates	T=1 000 years 5 gates	T=1000 years 4 gates	T=100 years 5 gates
Maximum incoming discharge (m^3/s)	19,360	15,180	15,180	12,170	12,170	8,480
Maximum outgoing discharge (m^3/s)	15,720	12,900	11,881	11,088	10,064	8,480
Maximum Mater Level (masl)	459.68	457.33	459.03	455.70	457.09	455.00

ตารางที่ 12 : **ผลประเมิน** Flood Analysis **และ ความสามารถการระบายน้ำของบานประตูในกรณีต่างๆ**

รูปที่ 23 : **ขณะทดสอบการเปิดประตูทางน้ำล้น** 2 **บาน ที่ความสูง** 1 **ม.**

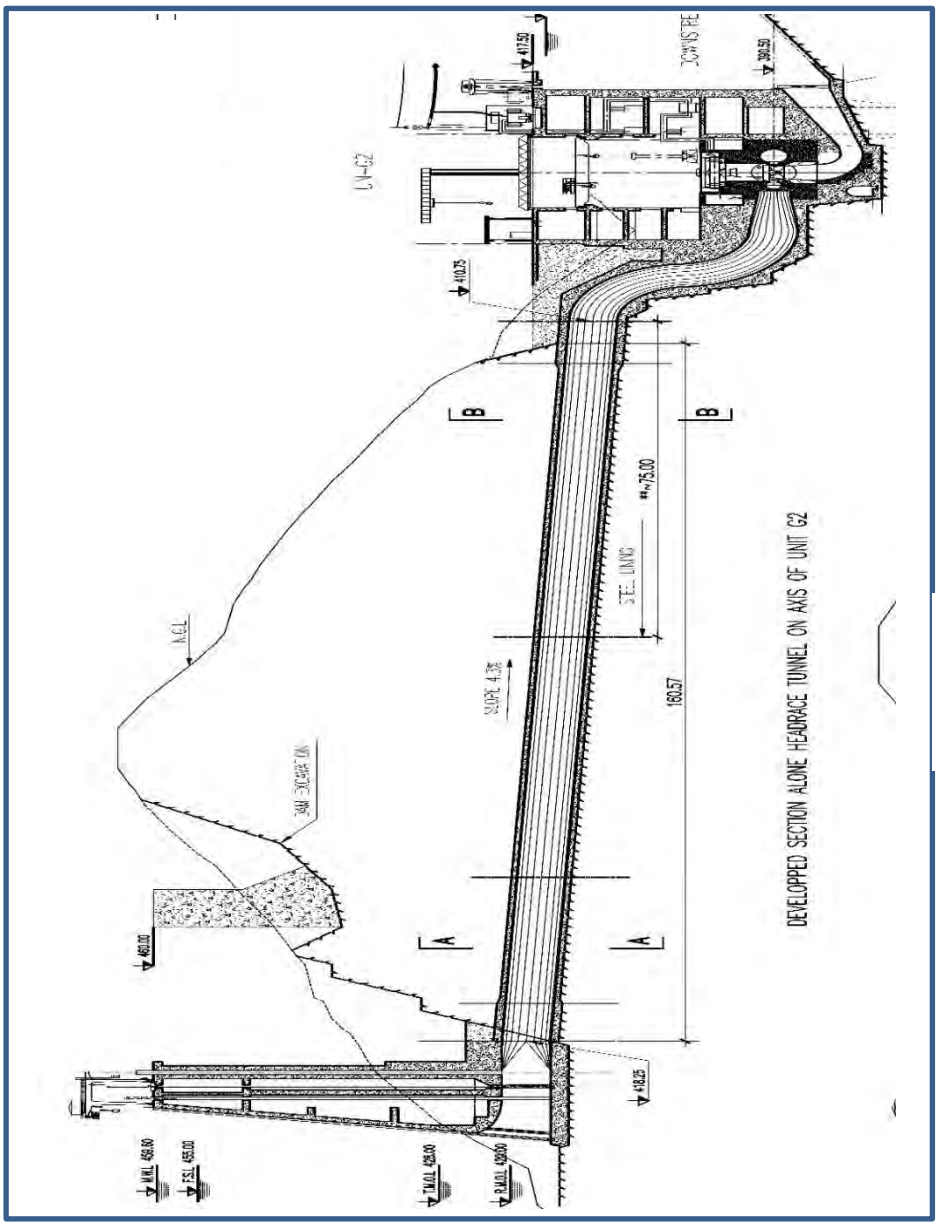
รูปที่ 24 : **บานประตูระบายน้ำแบบบานโค้ง** Radial Gates **(**15.0x16.0 **ม.)**

ก 3) อาคารรับน้ำและอุโมงค์รับน้ำ (Intake and Headrace Tunnel)

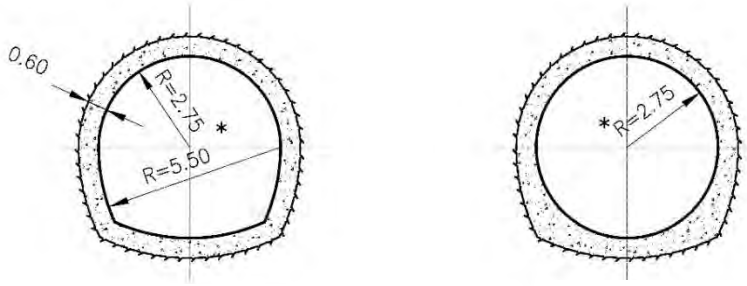
อาคารรับน้ำ (Intake Tower) เป็น อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก สูงประมาณ 45 ม. มีช่องรับน้ำ 2 ช่อ ติดตั้งบานประตู (roller sliding gate) และตะแกรงกันขยะ (Trashrack) พร้อมเครื่องเก็บขยะ มีสะพานเชื่อมต่อกันสันเขื่อน ดังแสดงในรูปที่ 25

ท่อส่งน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าประกอบด้วย อุโมงค์เส้นผ่าศูนย์กลาง 5.50 ม. ยาวเฉลี่ย 175 ม. จำนวน 2 อุโมงค์ ขุดด้วยวีธี เจาะระเบิด (Drill and Blast) อุโมงค์แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ รูปเกือกม้ามี Concrete Lining ยาวประมาณ 100 ม. ที่เหลือเป็นรูปวงกลมมี Steel Lining ซึ่งต่อกับท่อเหล็กส่งน้ำ (Penstock) หุ้มด้วยคอนกรีตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.50 ม. ประมาณยาว 40 ม. จำนวน 2 ท่อ ดังแสดงในรูปที่ 26 และ 27

รูปที่ 25 : **อาคารรับน้ำ** (Intake Tower)



รูปที่ 26 : **รูปตัดตามยาวอุโมงค์ส่งน้ำเข้าโรงไฟฟ้าน้ำยวง**



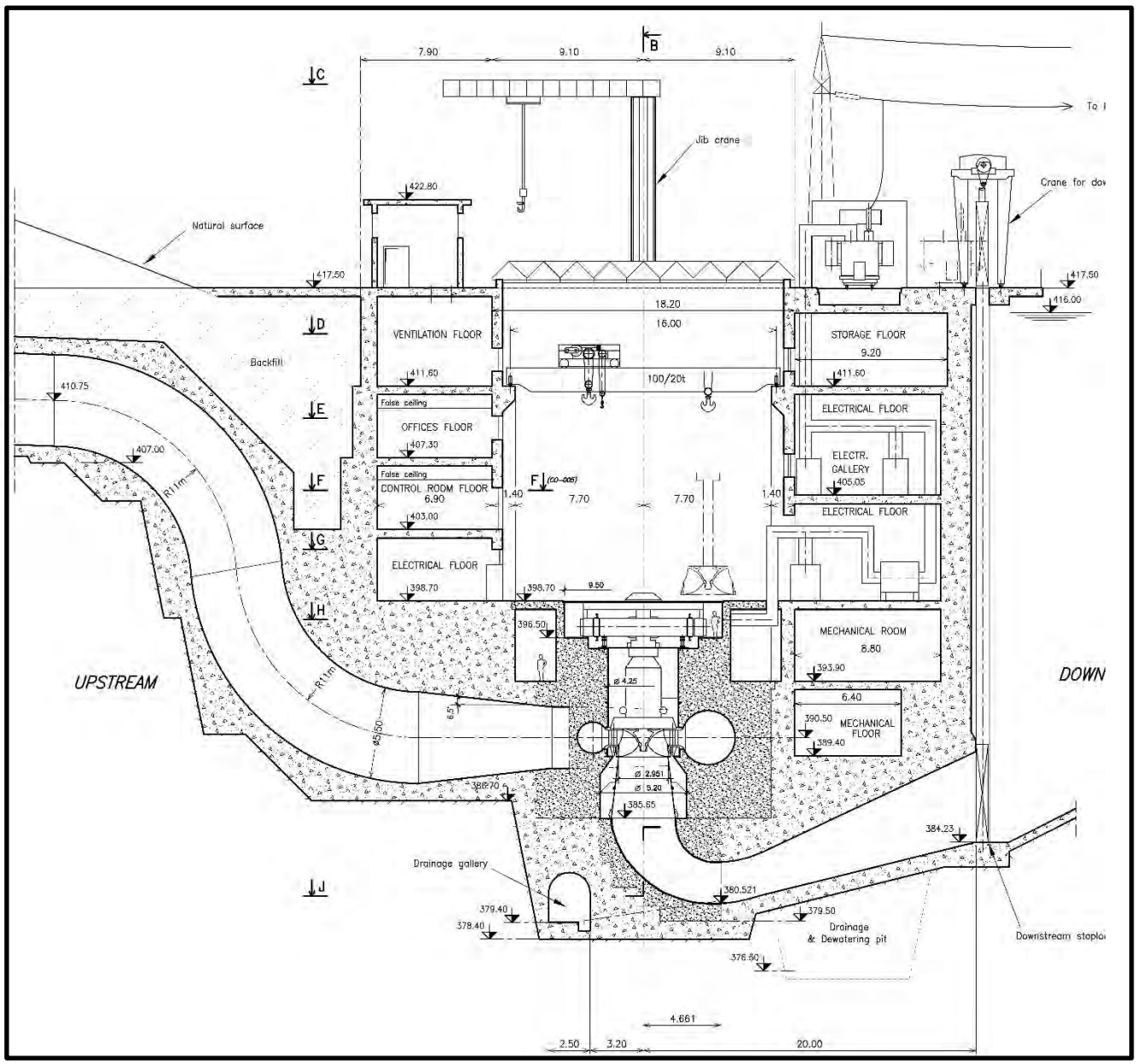
Concrete lining

Steel lining

รูปที่ 27: **รูปตัดอุโมงค์** Headrace Tunnel

ก 4) อาคารโรงไฟฟ้าน้ำยวง (Nam Gnoung Powerhouse)

โรงไฟฟ้าน้ำยวง เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก แบบกึ่งตั้งบนดินขนาด กว้าง x ยาว x สูง = 40x50x40 ม. ติดตั้งเครื่องกังหันไฟฟ้าแบบ Francis Turbines จำนวน 2 เครื่องๆ ละ 30 เมกะวัตต์ รวม 60 เมกะวัตต์ อัตราใช้น้ำ 72 ลบ.ม/วินาที ต่อ 1 เครื่อง ที่ความสูงของน้ำสุทธิ (Net Head) 47 ม. ผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 310 ล้านหน่วย (GWh) ต่อปี ส่งจ่ายเข้าระบบสายส่งของการไฟฟ้าลาวที่แรงดัน 115 กิโลโวลต์ รูปตัดตามขวางโรงไฟฟ้าน้ำยวงแสดงในรูปที่ 28

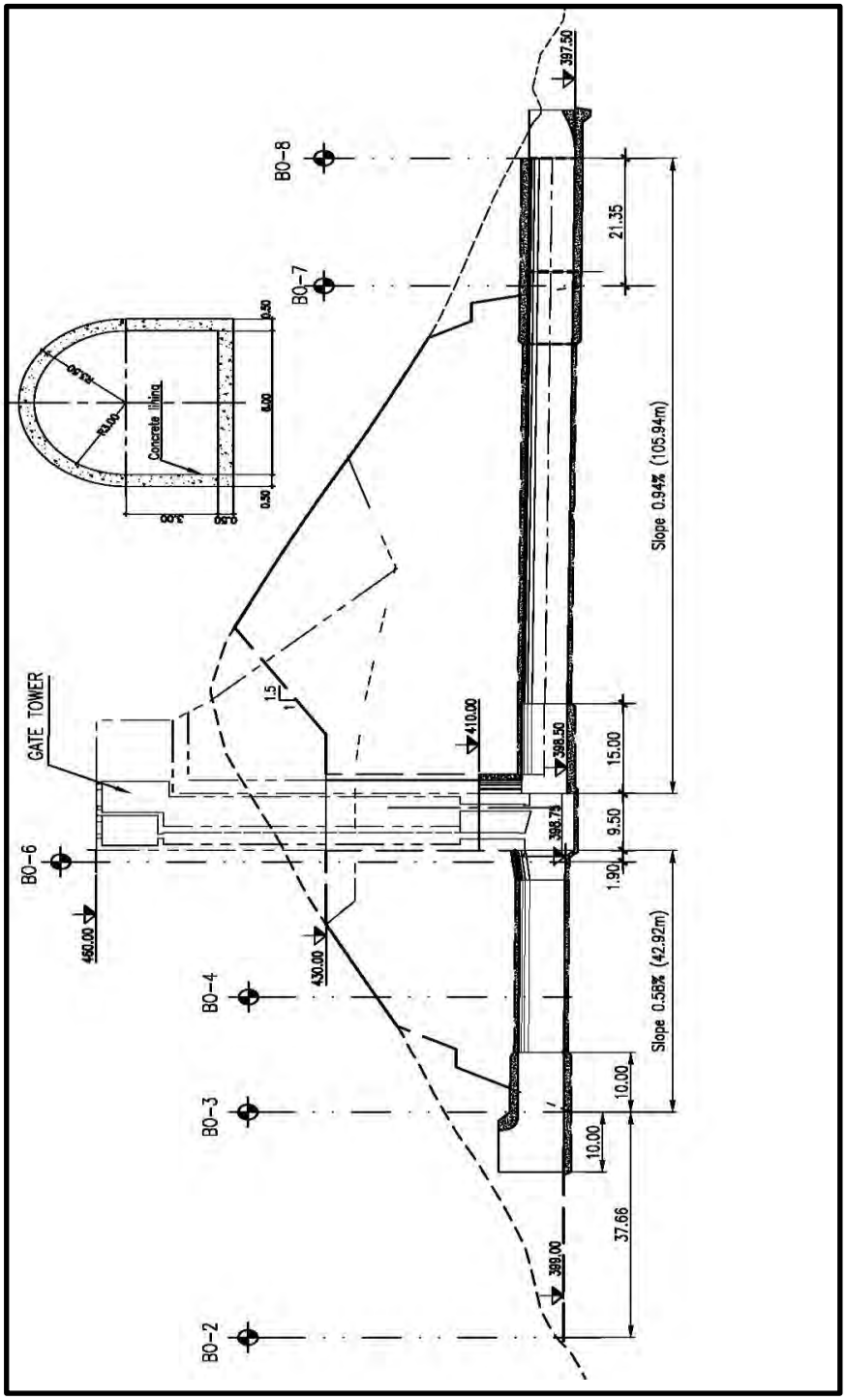


รูปที่ 28 : **รูปตัดตามขวางโรงไฟฟ้าน้ำยวงจำนวน 2** units (2x30 MW)

ก 5) อุโมงค์ผันน้ำ (Diversion Tunnel)

อุโมงค์ผันน้ำ (Diversion Tunnel) เป็นอุโมงค์รูปเกือกม้าผนังตรง เส้นผ่าศูนย์กลาง 6.00 ม. ยาวประมาณ 168 ม. จำนวน 1 อุโมงค์ ติดตั้งบานประตู (roller sliding gate) ใน Gate Tower ดังแสดงในรูปที่ 29 และ 30 เริ่มผันน้ำเมื่อวันที่ 7 ธ.ค 2552 ดังแสดงในรูปที่ 31

ต่อมาเมื่อเขื่อนเสร็จ ได้ทำหน้าที่ เป็น Bottom Outlet เพื่อส่งน้ำไปช่วยโรงไฟฟ้าเทิน-หินบุน ที่อยู่ด้านล่าง โดยสามารถระบายน้ำได้ 357 ลบ.ม/วินาที ที่ระดับ FSL 455.00 m.msl. และ 211 ลบ.ม/วินาทีที่ ระดับ MOL 420.00 m.msl.



รูปที่ 29 : **รูปตัดตามขวางอุโมงค์ผันน้ำ (ได้เปลี่ยนเป็น** Bottom Outlet **ภายหลัง)**

รูปที่ 30 : **ปากทางน้ำเข้าของอุโมงค์ผันน้ำ** (Portal of diversion tunnel)

รูปที่ 31 : **ขณะทำการผันน้ำเข้าอุโมงค์โดยถมปิดเขื่อนกั้นน้ำชั่วคราว** (Cofferdam) **เมื่อวันที่** 7 **ธ.ค** 2551

ก 6) **คันดินกั้นน้ำรั่วซึม** (Seepage Retaining Dike)

วัตถุประสงค์เพื่อกั้นน้ำรั่วซึมออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนน้ำยวง ที่คาดว่าซึมผ่านภูเขาหินปูน *(ผานาป่าหวาน)* ออกไปยังพื้นที่ที่ต่ำกว่าระดับ 455.00 ม. รทก. ภูเขาหินปูนดังกล่าวนี้ตั้งอยู่ฝั่งซ้ายของเขื่อนน้ำยวงติดกับอ่างเก็บน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 32 มีลักษณะเป็นรูพรุน มีโพรงถ้ำโดยทั่วไป (Karstic Limestone) ความยาวที่สัมผัสกับขอบอ่างเก็บน้ำประมาณ 5.5 ก.ม. และความหนาของฐานภูเขาประมาณ 0.5 - 3.0 ก.ม.

การก่อสร้างเขื่อนกั้นน้ำรั่วซึมนี้แบ่งเป็น 2 ระยะ โดยที่ระยะแรกจะก่อสร้างก่อนการเก็บกักน้ำครั้งแรก (First Impoundment) ในฤดูฝนปี พ.ศ 2554 กำหนดให้ระดับสันเขื่อนระยะแรกอยู่ที่ 425.00 ม.รทก.ดังแสดงในรูปที่ 33 แล้วเฝ้าสังเกตุดูการรั่วซึมระหว่างเก็บกักน้ำครั้งแรกนี้จนน้ำขึ้นถึงระดับสูงสุด (Full Supply Level 455.00 ม.รทก.) ถ้าการรั่วซึมมีมากและส่งผลให้สูญเสียน้ำในอ่างอย่างมีนัยสำคัญ ก็จะก่อสร้างระยะที่ 2 ต่อไปจนถึงระดับ 460.00 ม.รทก. เท่ากับระดับสัน Main Dam เขื่อนน้ำยวง

แต่จากการสังเกตุการณ์การรั่วซึมไม่พบการรั่วซึมใดๆ โดยอ่านค่าแรงดันน้ำจาก Piezometers ที่ติดตั้งไว้ที่ตีนเขา ดังนั้นจึงไม่ต้องสร้างเขื่อนกั้นน้ำรั่วซึมระยะที่ 2 อีกต่อไป

รูปที่ 32 : แผนที่ที่ตั้งเขื่อนกั้นน้ำรั่วซึมออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนน้ำยวง

รูปที่ 33 : เขื่อนกั้นน้ำรั่วซึมระยะแรก ระดับสัน 425.00 ม.รทก.

ข) <u>**ส่วนขยายที่โรงไฟฟ้าเดิม** (Theun – Hinboun Expansion)</u>

ส่วนขยายที่โรงไฟฟ้าเดิมประกอบด้วย

<u>**ข** 1) **อาคารโรงไฟฟ้าเพิ่มเติม** (Powerhouse Expansion)</u>

ประกอบด้วย

- งานก่อสร้างเพิ่มเติมที่โรงไฟฟ้าเดิมเพื่อติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้าอีก 1 เครื่องขนาด 220 เมกกะวัตต์ ติดกับของเดิมที่มีอยู่ 2 เครื่องๆละ 110 เมกกะวัตต์ รวมเป็น 3 เครื่อง 440 เมกกะวัตต์
- โรงไฟฟ้าส่วนขยายเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กแบบกึ่งตั้งบนดิน (Surface Powerhouse) ขนาด กว้าง x ยาว x สูง = 37.10 x 43.30 x 57.00 ม. ดังแสดงในรูปที่ 42 และ 43
- ติดตั้งเครื่องกังหันไฟฟ้าแบบ Francis Turbine ขนาดกำลังผลิต 220 เมกะวัตต์จำนวน 1 เครื่อง อัตราใช้น้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า 110 ลบ.ม/วินาที ที่ความสูงของน้ำสุทธิ (Net Head) 228 ม. (Gross Head = 235 ม. Head Loss = 7 ม.) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ย 1,440 ล้านหน่วยต่อปี รวมกับเครื่องเดิมเป็น 2,700 ล้านหน่วยต่อปี ส่งจ่ายให้ระบบส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่จังหวัดนครพนม

<u>**ข** 2) **ระบบลำเลียงน้ำใหม่** (New Water Conveyance System)</u>

ประกอบด้วย

- อาคารรับน้ำ (Power Intake) โดยการรื้อทุบฝายน้ำล้นเดิมออก 1 ช่อง. ดัดแปลงเป็นช่องรับน้ำใหม่ พร้อมติดตั้งตระแกรงกันขยะ Trashrack และประตูน้ำ Sliding Gate ขนาด 6.00x6.00 ม. ดังแสดงในรูปที่ 37
- อุโมงค์และท่อส่งน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า (Headrace Tunnel and Penstock) ประกอบด้วย อุโมงค์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (ID) 6.90 ม. มีแนวขนานกลับอุโมงค์เดิม ยาว ประมาณ 5,500 ม. อัตราการไหล Flow rate = 110 ลบ.ม/วินาที ความลาดเอียง Invert Slope 1.15 % ดังแสดงในรูปที่ 34 และ 35

  โดยมีส่วนที่เจาะด้วยหัวเจาะ TBM (Hard Rock Tunnel Boring Machine) ยาว5,220 ม. ขนาดรูเจาะ 7.65 ม. ปิดผิวหินภายในด้วย Precast Concrete Segments หนา 280 มม. ดังแสดงในรูปที่ 38 และ 39 ส่วนที่เหลือที่ปลายทั้งสองเจาะด้วยวิธีเจาะและระเบิดธรรมดา (Drill & Blast) ปิดผิวหินด้วย Concrete and steel lining.

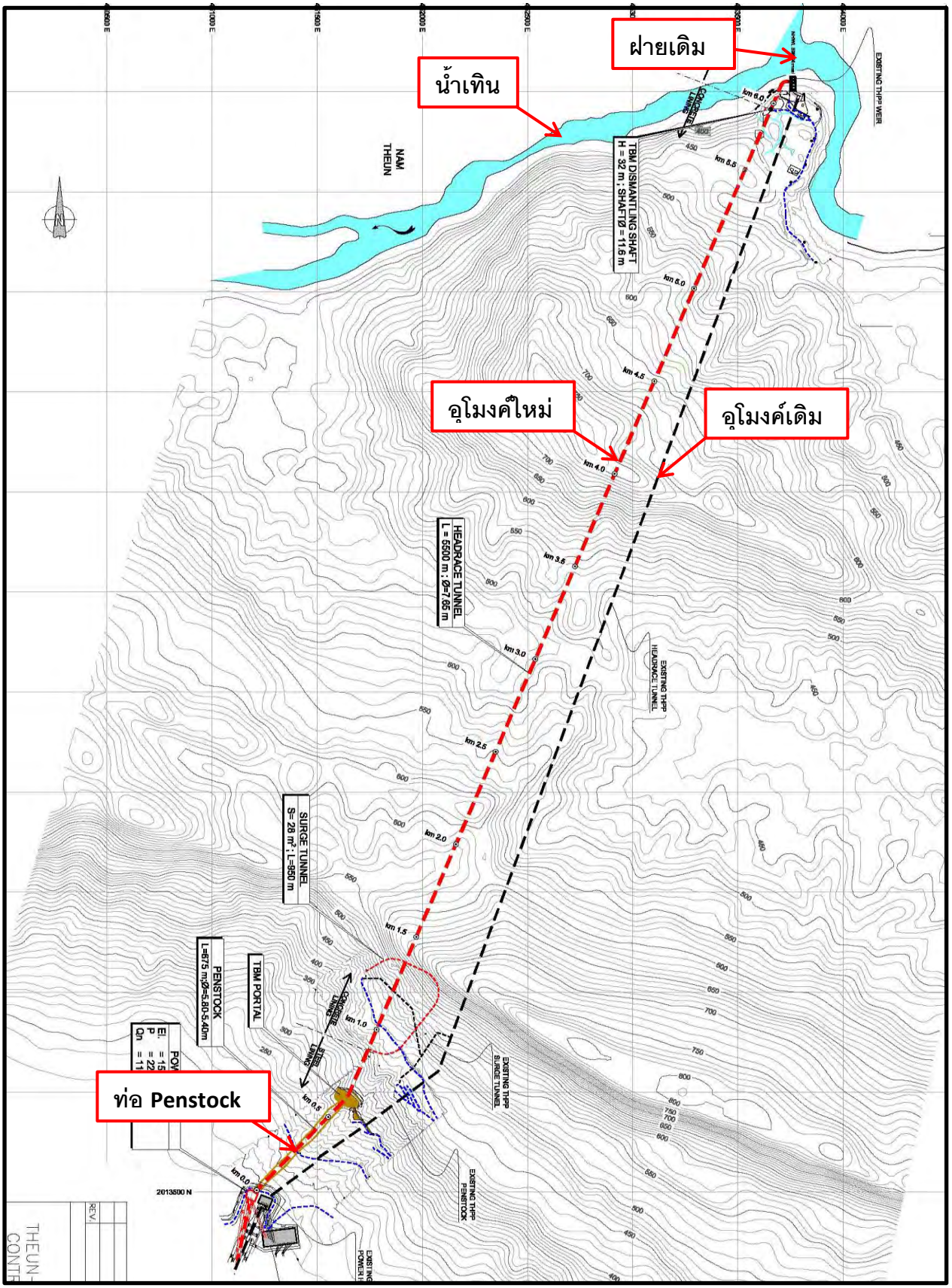
  ลัษณะหินเป็น Sandstone และ Mudstone แบบแข็งดีและพอใช้ (good to fair) 95% ที่ เหลือเป็นแบบ Poor Rock มี Fault zone ยาวประมาณ 15.0 ม. (Sta. 4+700) ต้องทำการ grout ก่อน

  ท่อส่งน้ำ Penstock ยาวประมาณ 685 ม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 5.80 – 5.00 ม.

  อุโมงค์ Surge Tunnel รูปเกือกม้า(ผนังตรง) เส้นผ่าศูนย์กลาง 5.60 ม. ยาว ประมาณ 950 ม. ระดับน้ำกระเพื่อมสูงสุด (Up surge) EL. 436.00 m.msl

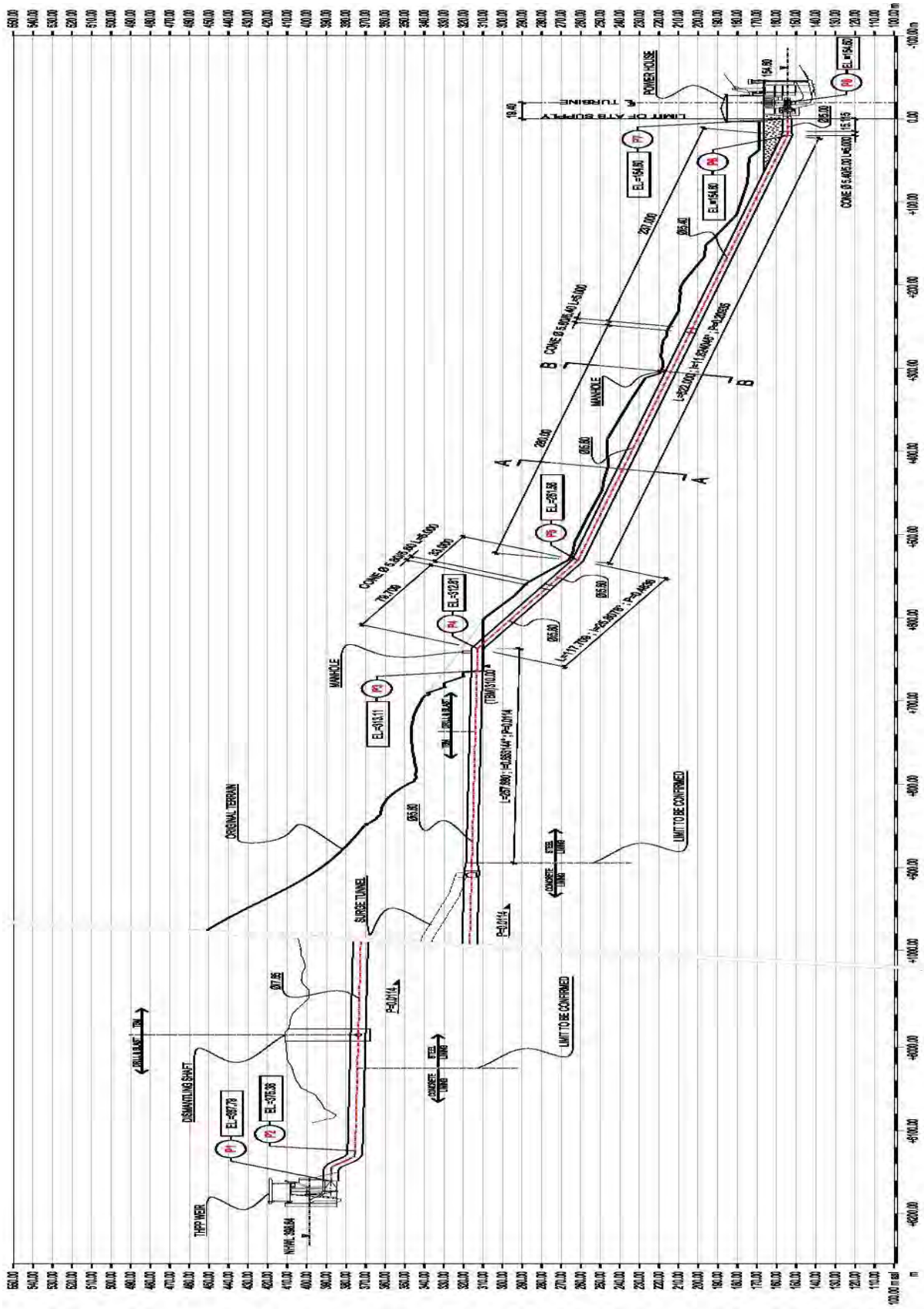
รูป Profile ของระบบส่งน้ำแสดงไว้ในรูปที่ 36 รวมความยาวของระบบส่งน้ำ Waterway System ทั้งหมด ประมาณ 6,175 ม.

- คลองระบายน้ำท้ายน้ำ (Tailrace Canal) ได้ทำการเสริมความสูงของหินกันเซาะ Riprap เพื่อระบายน้ำที่เพิ่มมากขึ้น จาก 110 m^3/s เป็น 220 m^3/s

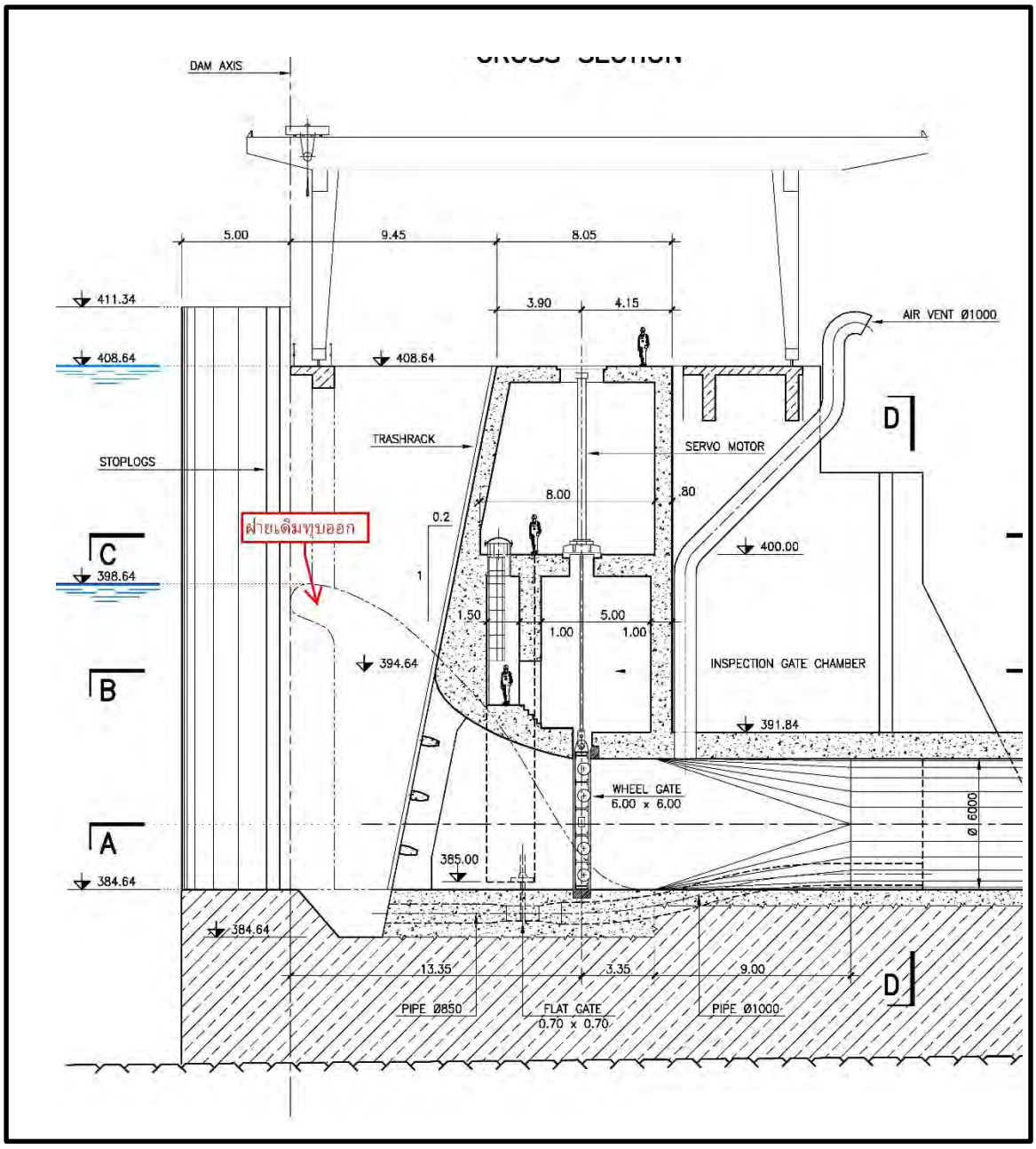


รูปที่ 34 : **แผนผังส่วนขยายในบริเวณโครงการเดิม**

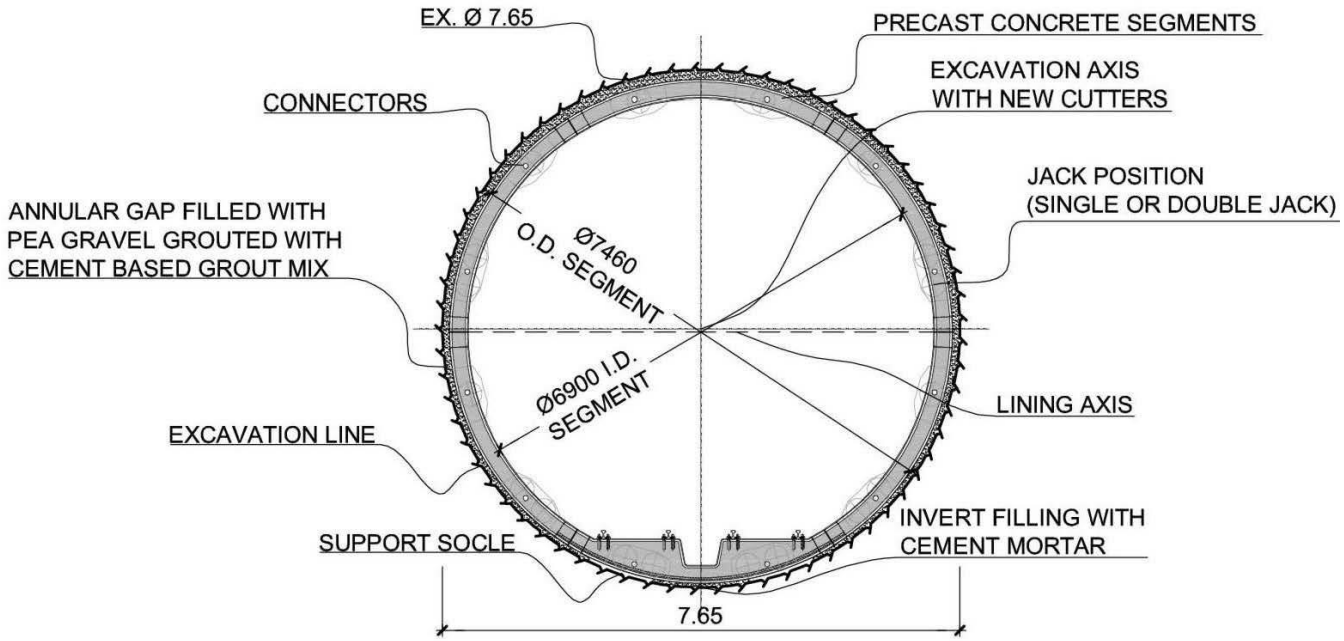
รูปที่ 35 : **ภาพถ่ายทางอากาศของท่อส่งน้ำจากอุโมงค์ถึงโรงไฟฟ้าส่วนขยาย**



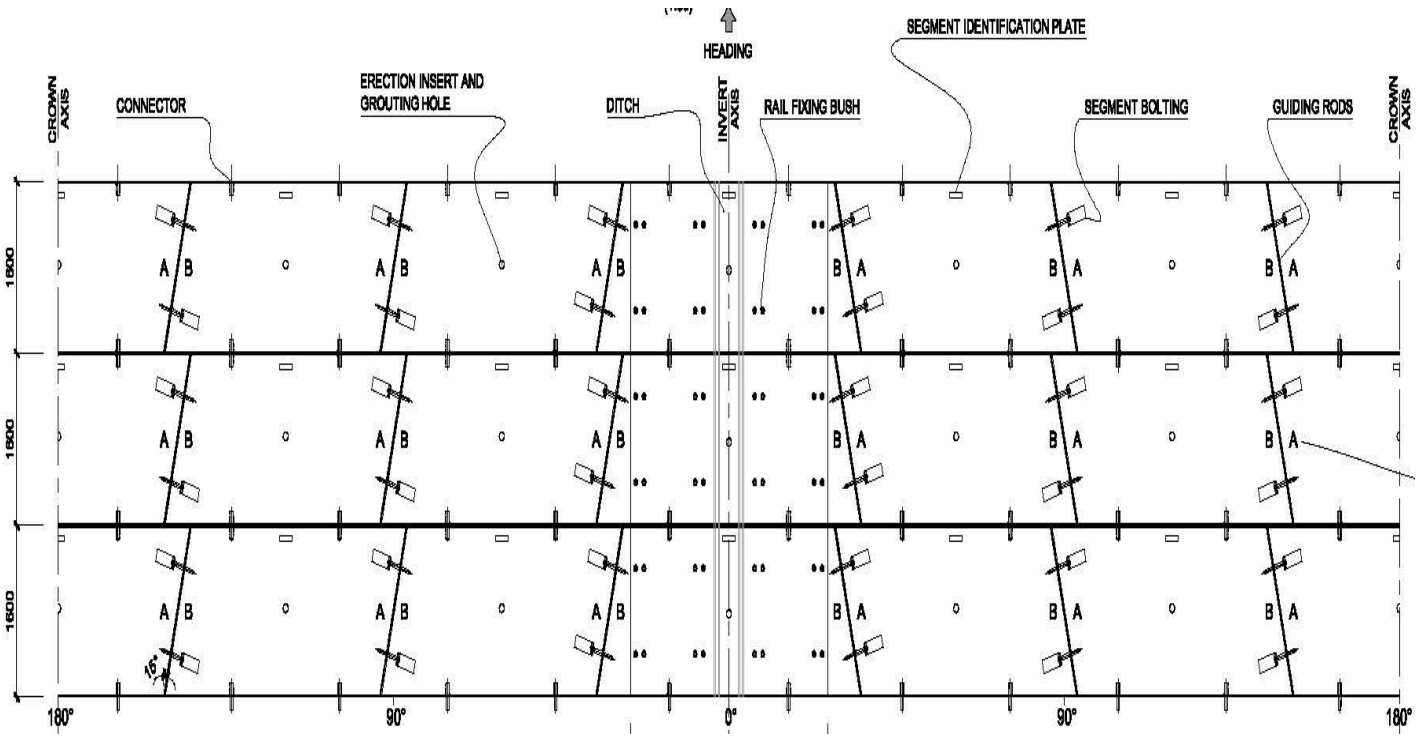
รูปที่ 36 : **รูป** Profile **ของอุโมงค์ส่งน้ำและท่อส่งน้ำจากฝายถึงโรงไฟฟ้าส่วนขยาย**



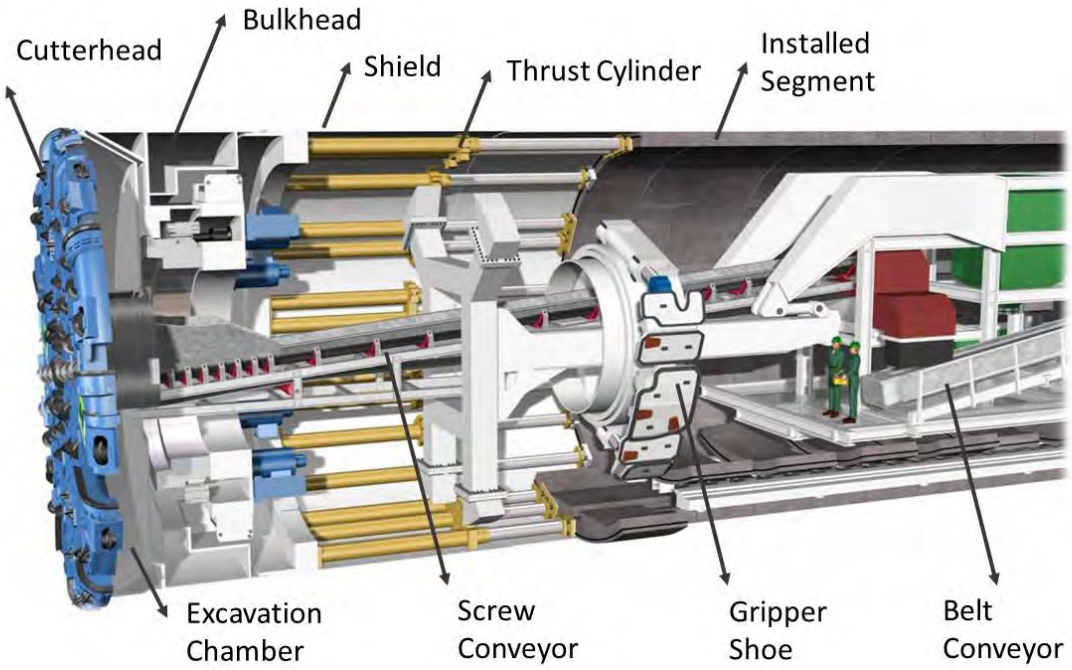
รูปที่ 37 : **รูปตัดอาคารรับน้ำ** (Intake)



รูปที่ 38 : **รูปตัดอุโมงค์ที่เจาะโดย** TBM

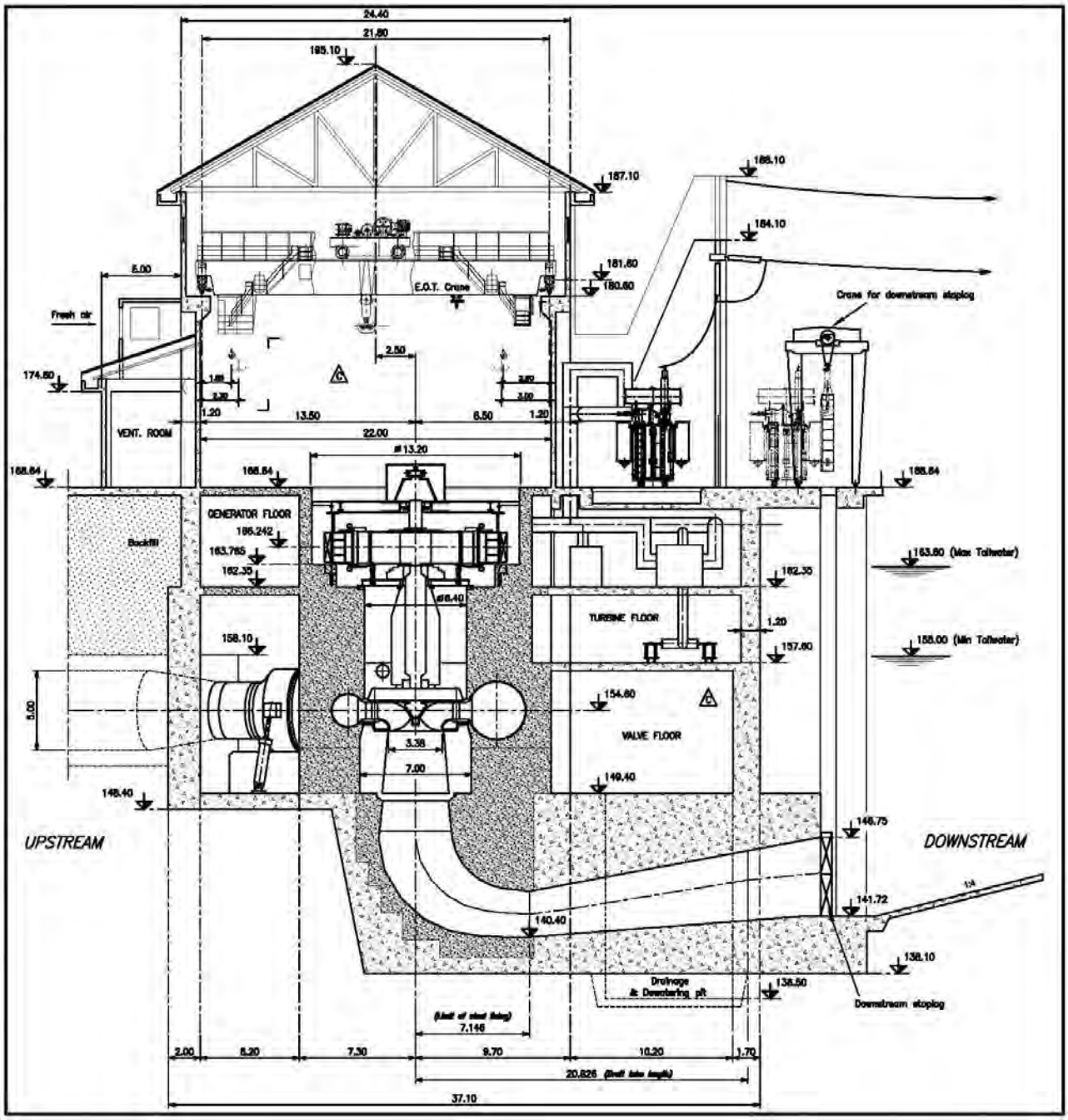


รูปที่ 39: **รูป** Develop **ของ** PC Concrete lining **จำนวน 6 ท่อนต่อกันเป็นวงแหวนยาว** 1.60 **ม.**

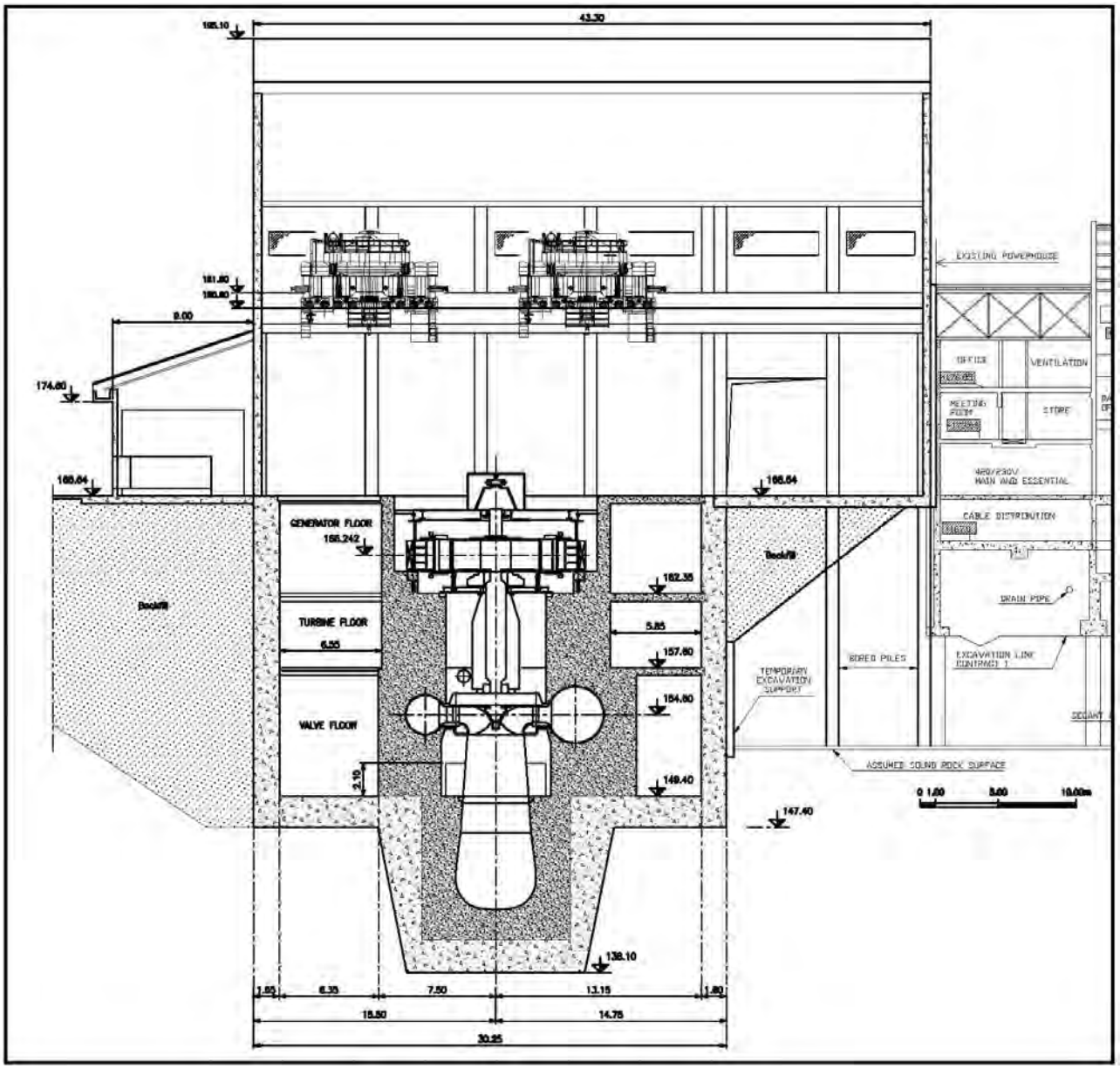


รูปที่ 40 : **ส่วนประกอบของ** Single Shield TBM

รูปที่ 41 : **ขณะเจาะและติดตั้ง** PC. Segment **ความก้าวหน้าเฉลี่ย** 19 **ม**/**วัน ทำได้สูงสุด** 34 **ม**/**วัน ใช้เวลาเจาะประมาณ** 275 **วัน** (5,220 **ม**)



รูปที่ 42 : **รูปตัดตามขวาง โรงไฟฟ้าเทิน-หินบุนส่วนขยายใหม่** (220 MW)



รูปที่ 43 : **รูปตัดตามยาวโรงไฟฟ้าเทิน-หินบุนส่วนขยายใหม่ ติดกับโรงไฟฟ้าเดิมด้านขวา**

บทที่ 2 การบริหารและจัดการโครงการ

2.1 การจัดตั้งองค์กรบริหารโครงการ

การจัดตั้งองค์กรบริหารโครงการ (Project organization chart)แสดงดังในแผนผังที่ 1 โดยที่เจ้าของโครงการคือ Theun-Hinboun Power Company (THPC) ถือหุ้นโดย Electricité du Lao (60%), GMS Power PLC ประเทศไทย (20%) และ Statkraft ประเทศนอร์เวย์ (20%)

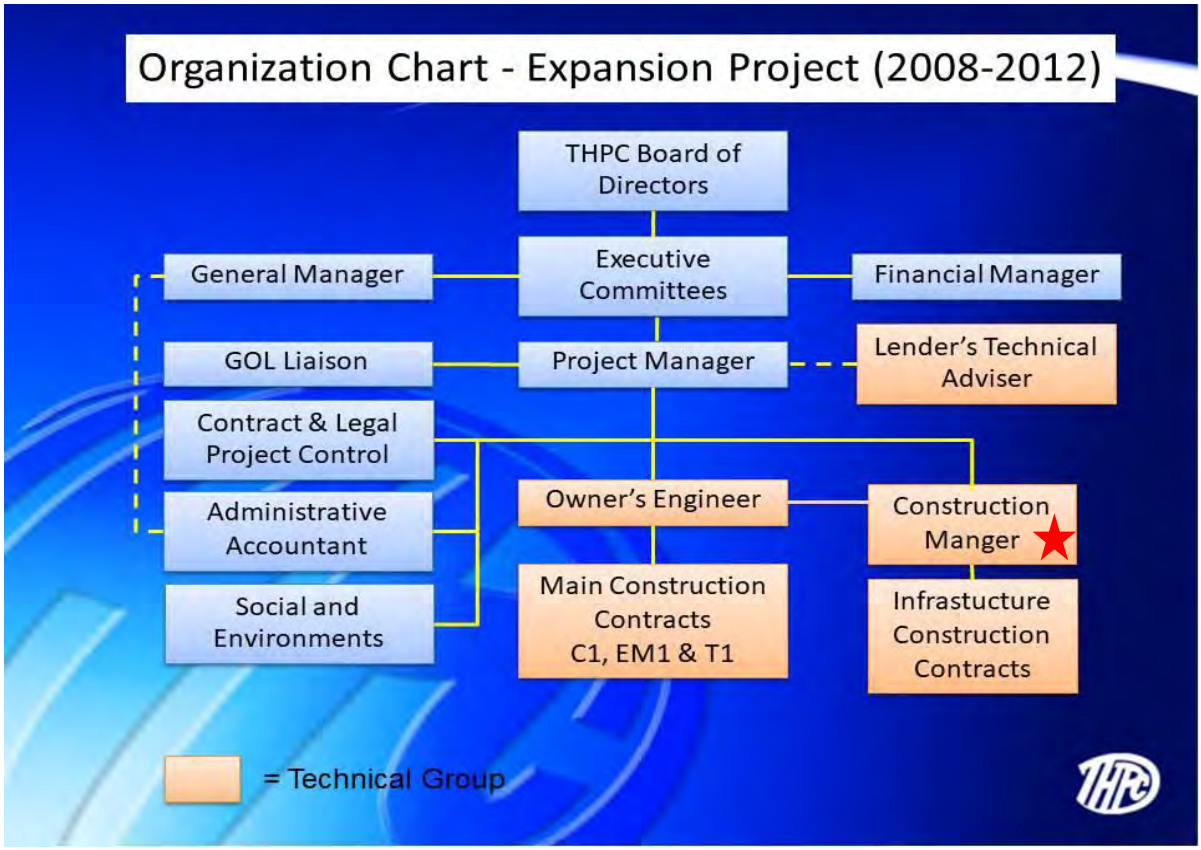
ผู้จัดการฝ่ายก่อสร้าง (Construction Manager) มีหน้าที่บริหารจัดการในสัญญางานโยธาโดยร่วมปฏิบัติงานกับวิศวกรที่ปรึกษา (Owner's Engineer) เป็นหลัก และงานก่อสร้างเบ็ดเตล็ดอื่นๆ เช่นงานในโครงการอพยพประชาชนจากบริเวณน้ำท่วมในอ่างเก็บน้ำ รวมทั้งงานโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ (Infrastructures) ของโครงการ

2.2 กลยุทธ์ ในการบริหารโครงการ

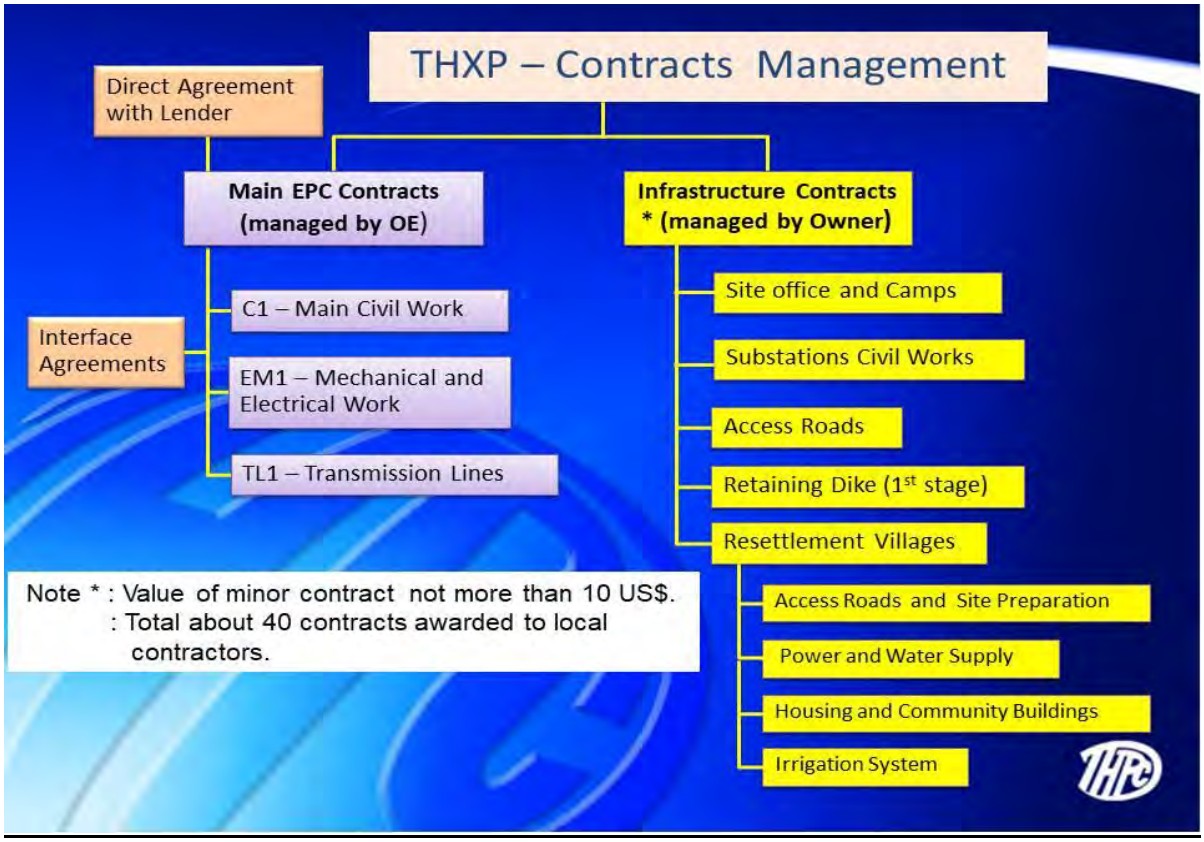
2.3 การจัดการสัญญาก่อสร้าง (Contracts Management)

เพื่อให้การควบคุมดูแล และประสานงานระหว่างผู้เหมาของแต่ละสัญญาให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ได้แบ่งแยกสัญญาหลักเป็น 3 สัญญาดังแสดงในแผนผังที่ 2 โดยใช้เงื่อนไขสัญญา (Conditions of Contract) ตาม FIDIC Yellow Book (Design – Build Contract) มีการประชุม Coordination Meeting เดือนละครั้ง

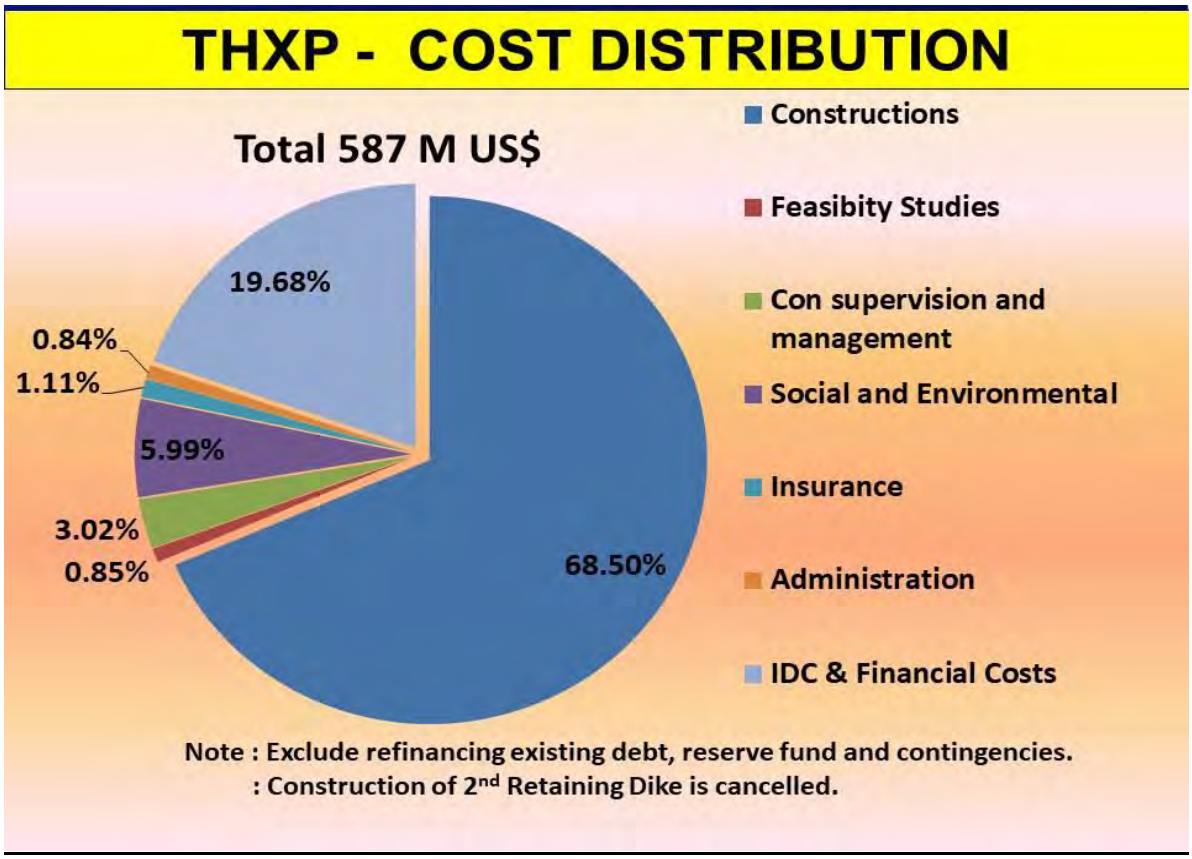
การบริหารจัดการสัญญาก่อสร้าง (Contracts Management)แสดงไว้ตามแผนผังที่ 2
งบประมาณโครงการ จำแนกไว้ตามแผนผังที่ 3
ผู้รับเหมาหลักแสดงไว้ตามตารางที่ 13



แผนผังที่ 1: **การจัดตั้งองค์กรบริหารโครงการ** (Project Organization Chart)



แผนผังที่ 2: **การบริหารจัดการสัญญาก่อสร้าง** (Contracts Management)



แผนผังที่ 3:**งบประมาณโครงการ**

Contract	Description	Contractors
C1	Main Civil Work	CMC DI RAVENNA (Italy)
EM1	Electrical and Mechanical Work	ANDRITZ HYDRO (Austria)
TL1	Transmission Lines Work	LOXLEY – RCR (Thailand)

ตารางที่ 13 : **ผู้รับเหมาหลักและมูลค่าสัญญา**

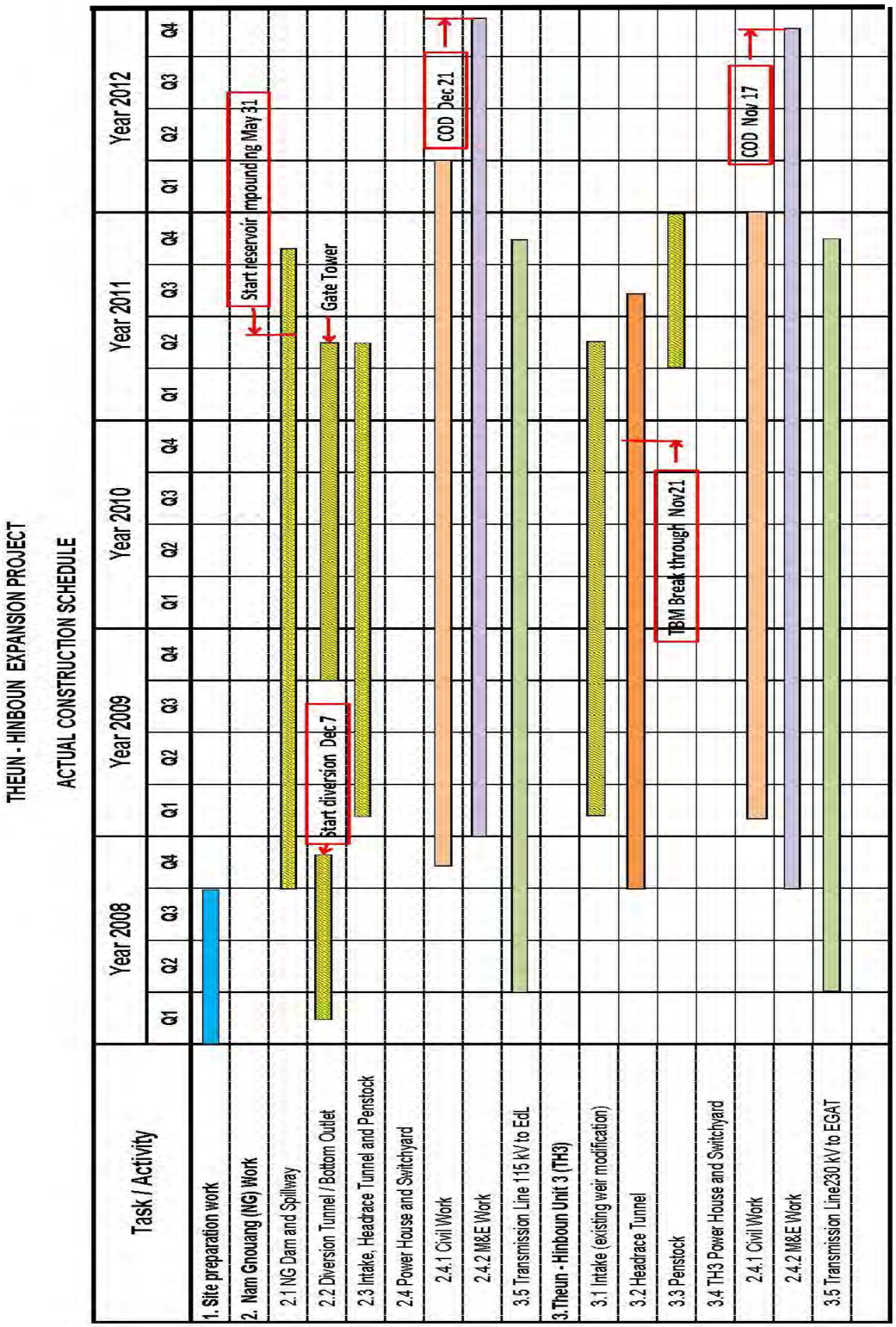
โดยมี SWECO of Sweden เป็น Owner's Engineer (OE) และ Coyne Et Bellier of France เป็น Contractor's Engineer for Civil Work.

2.4 **ระยะเวลาก่อสร้าง** (Construction Schedule)

ระยะเวลาปฏิบัติงานได้ดำเนินการระหว่างปี พ.ศ 2551 – 2555 (คศ. 2008 - 2012) เป็นเวลาประมาณ 5 ปี ช้ากว่าแผนในส่วนงานเครื่องกลไฟฟ้า ประมาณ 1 เดือนแต่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ กฟผ. (ยอมให้ได้ 6 เดือน ถ้ามีเหตุผลเพียงพอ)

หมายกำหนดการก่อสร้างจริง (Actual Construction Schedule) แสดงไว้ตามแผนผังที่ 4.

โดยมีจำนวนผู้ปฏิงานมากสุด (Peak workforce) 2,900 คน



แผนผังที่ 4 : ระยะเวลาก่อสร้างจริง (Actual Construction Schedule)

บทที่ 3 ปัญหาด้านเทคนิคและการแก้ไข

โครงการนี้เป็นโครงการใหญ่ย่อมมีปัญหาด้านเทคนิคและด้านบริหารสัญญาเกิดขึ้นเป็นธรรมดา เหมือนโครงการทั่วไป แต่ก็สามารถแก้ปัญหาสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ตัวอย่างเช่นปัญหาการรั่วซึมของน้ำเข้าสู่บ่อก่อสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ที่อยู่ติดกับโรงไฟฟ้าเดิม โดยมีความลึกของบ่อประมาณ 30 เมตรจากระดับถนน ลักษณะหินฐานรากเป็นหินปูนแบบมีรูโพรงมาก (Karst Limestone) มีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอน เมื่อขุดลึกลงไปที่ 25 ม. หรือระดับ ประมาณ EL 145 m.msl มีการรั่วซึมของน้ำอย่างรุนแรง จุดที่สำคัญคือรั่วมาจากท้ายน้ำของโรงไฟฟ้าเดิม (ดังแสดงในรูปที่ 43 – 45)

เมื่อได้ทดสอบโดยการฉีดสีลงไปตามแนวเขตที่ติดกับคลองระบายน้ำเดิมพบว่าสีนั้นได้ไหลเข้ามาในบ่อขุดใหม่ จึงเป็นเครื่องพิสูจน์ได้ว่าน้ำในคลองกับน้ำที่ไหลรั่วซึมเข้ามานั้นมีความสัมพันธ์กัน

ขั้นแรกได้ทดลองทำการอัดฉีดด้วย Geo Foam อุดตามแนวที่สันนิษฐานว่าเป็นรูรั่ว Geo Foamนี้ซึ่งใช้ได้ดีกับรอยรั่วในอุโมงค์ ที่มีปริมาณไม่มากนัก เมื่อทิ้งไปเป็นเวลา 2 -3 วัน Geo Foam ที่อุดไว้ได้ถูกน้ำที่ชะล้างออกไปพร้อมกันดินโคลนที่ติดในรูพรุนของหิน เป็นเหตุรูรั่วขยายใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ น้ำก็ไหลแรงขึ้น จากการวัดประมาณน้ำจากเครื่องสูบน้ำจำนวน 18 ตัว พบว่าประมาณน้ำรั่วซึมประมาณ 1 ลบ.ม./วินาที การอัดฉีดด้วย Geo Foam จึงไม่ได้ผล

ขั้นตอนต่อไป จึงใช้วิธีขอให้โรงไฟฟ้าเดิมหยุดเดินเครื่อง 3 วัน เพื่อให้น้ำในคลองแห้ง แล้วลงไปสำรวจหาต้นเหตุ และอุดรูระบายน้ำ (Weep Holes)ประมาณ 50 รู Ø 50 มม. ที่บริเวณพื้นและกำแพงคอนกรีตคลองท้ายน้ำเดิม ที่คาดว่าเป็นจุดชักน้ำเข้ามายังบ่อก่อสร้าง และทำการเทคอนกรีต คลุม Riprap ที่ต่อออกไปไว้ (ดังแสดงในรูปที่ 46)

โดยวิธีนี้ทำให้น้ำค่อยๆหยุดไหลเข้าบ่อก่อสร้าง เมื่อแห้งเพียงพอจึงอุดรูรั่วด้วยคอนกรีตอย่างรวดเร็ว แล้วให้โรงไฟฟ้าเดิมทดลองเดินเครื่อง ปล่อยน้ำลงสู่คลอง ปรากฏว่าไม่มีการรั่วซึมเข้ามาอีก สำหรับรูรั่วเล็กๆน้อยๆในจุดอื่นๆก็สามารถรวบรวมน้ำมาลง sump แล้วสูบทิ้งออกไปได้ เมื่อบ่อก่อสร้างอยู่ในสภาพแห้งแล้วก็สามารถขุดหินต่อลงไปถึงฐานรากระดับสุดท้าย (ดังแสดงในรูปที่ 47) สรุปใช้เวลาจัดการกับน้ำรั่วนี้ประมาณ 1.5 เดือน

รูปที่ 44 : เมื่อขุดลึกลงไปประมาณ 25 ม.เกิดเหตุการณ์น้ำรั่วเข้าบ่อก่อสร้าง ซึ่งไหลซึมผ่านรูโพรงจากคลองระบายน้ำท้ายน้ำ (Tailrace Canal) เดิม เฉลี่ยประมาณ 1 ลบ.ม/วินาที

รูปที่ 45 : บริเวณจุดน้ำรั่วที่ใหญ่ที่สุด

รูปที่ 46 : สภาพบ่อก่อสร้างที่ถูกน้ำท่วม

รูปที่ 47 : ขณะอุดรู Weep holes ที่คลองระบายเดิมแล้วและเทคอนกรีตคลุมส่วน Riprap ที่อยู่บน slope ปรากฏว่าหยุดน้ำรั่วได้

รูปที่ 48 : ขณะเทคอนกรีตปิดบริเวณโพรงที่น้ำเคยรั่วซึมเข้ามา

รูปที่ 49 : เมื่อน้ำในบ่อก่อสร้างแห้ง ก็เริ่มทำงานต่อได้ เสียเวลาจัดการกับน้ำรั่วประมาณ 1.5 เดือน

บทที่ 4 สรุปผลสำเร็จ

โครงการนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีในปลายปี พศ. 2555 และอยู่ในงบประมาณที่ตั้งไว้ แม่ว่างานติดตั้งเครื่องกลไฟฟ้าจะล่าช้าไปบ้าง แต่ก็อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

จากผลการการผลิตไฟฟ้า ตั้งแต่ปี พ.ศ 2556 จนถึงปัจจุบัน ถือว่าอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยดีมาก คือ ผลิตพลังงานไฟฟ้า (Net Electrical Output) จำหน่ายให้ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ) ที่จุดซื้อขาย ณ.พรมแดน (หลังจากหักลบการสูญเสียในสายส่ง และ Local use แล้ว) ยังได้ใกล้เคียงกับพลังงานที่ประมาณการไว้ (ประมาณ 2,700 GWh ต่อปี ยังไม่ได้หักลบการสูญเสียในสายส่ง และ Local use) ตลอดจนได้จ่ายค่าภาคหลวง (Royalty 5% ของรายได้) และภาษีเงินได้ 15% แก่ รัฐบาล สปป. ลาวมาอย่างสม่ำเสมอ

ข้อมูลด้านเทคนิคของโครงการ

PROJECT FEATURES		TECHNICAL DATA
NG Dam	Type	Concrete Gravity (roller compacted concrete)
	Dam Volume	Approx. RCC = 355,000 m^3, CVC facing = 25,000 m^3
	Crest Elevation	El 460 m.msl.
	Crest Length	495 m
	Crest Width	8 m
	Maximum Height	70 m
NG Spillway	Type	Gated ogee crest (crest EL 439) with flip bucket and plunge pool
	Spillway Gates	5 radial gates, 15 m wide x 16 m high
	Discharge capacity	2,300 m^3/s / gate (@FSL)
NG Bottom Outlet	Type	Concrete lined tunnel ("D" shaped) w= 6.00 m, L = 158 m
	Inlet Level	EL.399 m.msl.
	Discharge Capacity	211 m^3/s (@MOL), 358 m^3/s (@FSL)
	Gates	One guard gate (sliding) and one operating gate (fixed wheel)
NG Reservoir	Catchment Area	2,942 km^2
	River impoundment	50 km of river
	Peak flood	15,180 m^3/s (1 in 10,000 year), 19,360 m^3/s (PMF)
	Mean flow	96 m^3/s
	Mean annual inflow	3,027 MCM
	Total storage	2,450 MCM
	Live storage	2,261 MCM
	Full Supply Level (FSL)	El 455 m.msl.
	Minimum Operating Level	El 420 m.msl.
	Surface Area at FSL	107 km^2
Resettlement Program	Affected villages	12
	Affected households	730 (approx.)
	New resettlement villages	4

PROJECT FEATURES		TECHNICAL DATA	
NG Retaining Dike		**1st Stage**	**Full scale**
(Saddle dam for	Type	Earth dam	Earth dam
retaining possible	Dike volume	50,000 cu.m	5,600,000 cu.m
leakage water from	Crest Elevation	El. 425	EL. 460
NG reservoir)	Crest Length	830 m	2,000 m
CANCELED	Crest Width	4.00 m	4.00 m
	Maximum Height	5.00 m	40 m
	Spillway	Overflow at El. 424	Overflow at El. 452.5
Retaining Pond	Max Level (ML)	EL. 424 m.msl.	EL. 455 m.msl.
	Total storage (@ML)	1.5 MCM	35 MCM
	Surface Area at ML	0.3 M m^2	1.55 M m^2
NG Powerhouse	Type	Semi Outdoor, 50m (L) x 40m (W) x 40m x (H) Roof at ground level EL.417.5 m.msl.	
	Installed capacity	Francis turbines 2 units @ 30.71 MW = 61.42 MW (rated) Rated net head = 47 m. Rated flow 2 x 72 m^3/s = 144 m^3/s	
	Annual Energy	310 GWh	
NG Intake	Type	Concrete tower, bridged to dam crest.	
	Inlet level	EL 415.5 m.msl.	
	Gate	One maintenance gate (sliding) and one control gate (fixed wheel) for each headrace tunnel.	
NG Waterway	Headrace Tunnels	2 x 5.50 m diameter (horseshoe shaped), approx. 2 x 175 m long. Excavated by drill/blast with reinforced concrete lining and steel lining at the end.	
	Penstock	Steel pipe 5.50 m diameter encased with concrete, approx 2x 40 m long	
NG Switchyard and Transmission Line	Type	Outdoor, platform at EL 425 m.msl.	
	Bay	Two bays of 115 kV	
	Transmission Line	Double circuit 115 kV, 51.2 km long connected to EdL grid at Khongsong.	

PROJECT FEATURES		DATA
TH3 Intake	Type Gate Level Silt flushing	Reinforced concrete structure on the third bay of existing weir (demolished). One gate 6m x 6m (fixed wheel) with existing stop logs. Sill at EL 384.64 m.msl, top platform at EL 408.64 m.msl. Two steel pipe 850 mm with flat gates, silt trap at EL 382.64
TH3 waterway	Headrace Tunnel Penstock Surge Tunnel	5,500 m long of 6.90 m diameter, run almost parallel with an existing tunnel. • 5,220 m excavated by TBM with bored diameter of 7.65 m and lined with precast concrete segments • 280 m by drill/blast method lined with reinforced concrete at the two ends. • Geological condition is dominated by mudstone, siltstone and sandstone with fair to good condition. Steel pipe 5.80 – 5.00 m diameter and 685 m long, encased with concrete and buried. 950 m long tunnel 5.60 m wide (invert “D “shape) with shotcrete lining, and to be used as access tunnel. Invert level at portal = EL 436.0 m.msl.
TH3 Powerhouse	Type Installed capacity *Existing installed* Annual Energy	Semi Outdoor, 50m (L) x 40m (W) x 40m x (H) with superstructure above ground. Francis turbine, 1 unit @224 MW = 224 MW (rated) Rated net head = 228 m Rated discharge= 105.8 m^3/s *Francis turbine, 2 units @110 MW = 220 MW (rated)* 2,700 GWh (including two existing units), increased by 1,440 GWh
TH3 Tailrace canal	Type Discharge capacity	Open channel, 10.00 m bed width and 200 m long joining with existing tailrace canal (3.5 km long) which is upgraded by adding riprap 1 m above existing one. 220 m^3/s (including existing), discharging into Nam Hai and Nam Hinboun respectively

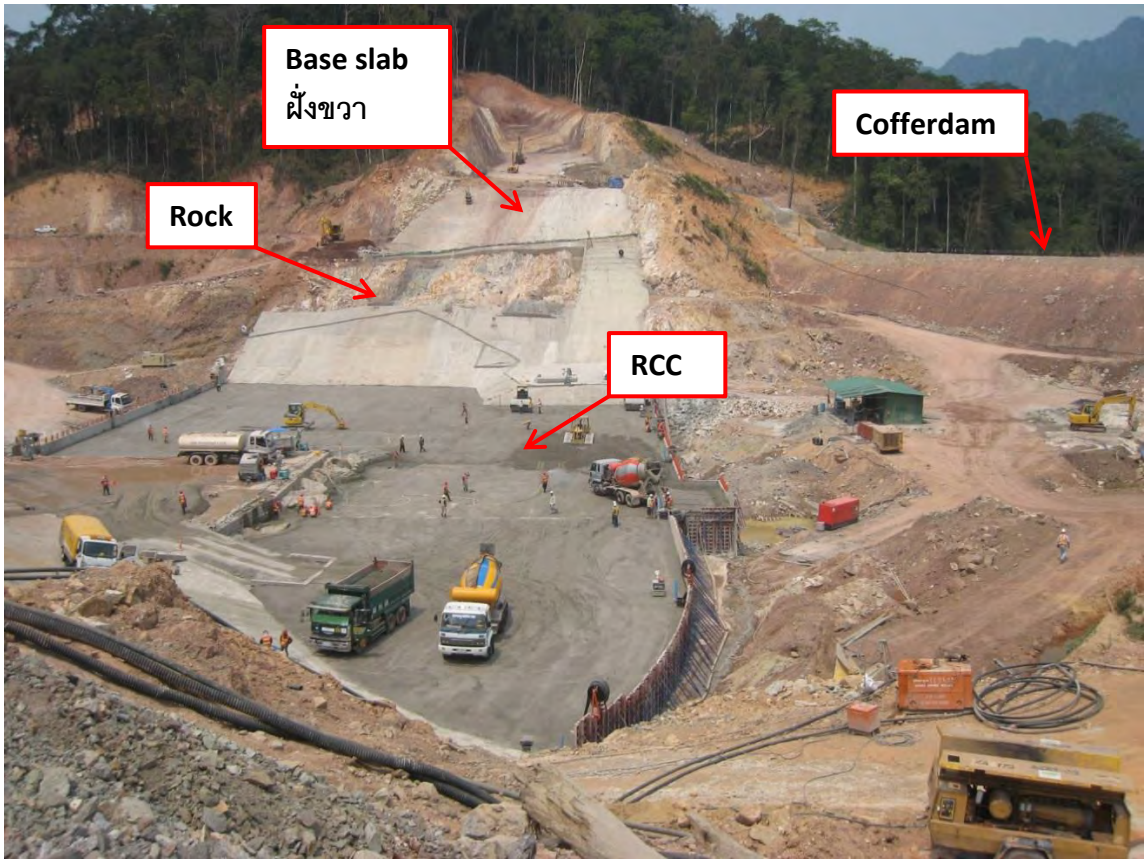
TH3 Switchyard and Transmission Line	Type Bay Transmission Line	Outdoor, extension of existing switchyard Two bays of 220 kV Double circuit 220 kV, 85.3 km long to Thakhek Substation and crossing Mekong to Nakhon Phanom, Thailand.

ประมวลรูปถ่ายขณะก่อสร้าง

รูปถ่ายที่ 1 : ปากอุโมงค์ผันน้ำทางน้ำออก (Outlet of Diversion Tunnel)

รูปถ่ายที่ 2 : ขณะทำการคาดคอนกรีตผิวอุโมงค์ผันน้ำ (Tunnel Lining)

รูปถ่ายที่ 3 : เริ่มงานคอนกรีตบดอัด (RCC) บริเวณฐานรากท้องแม่น้ำ

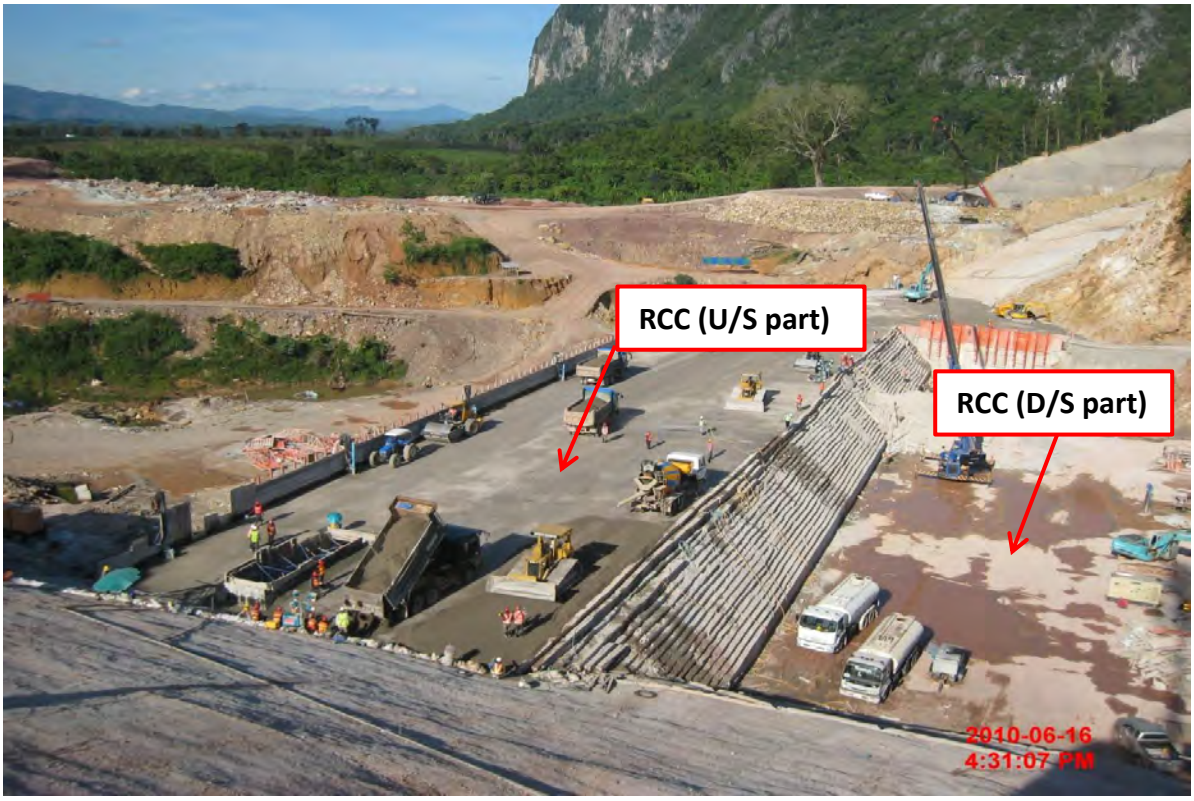


รูปถ่ายที่ 4 : คอนกรีตบดอัด (RCC) บริเวณส่วนกลางและ Base concrete ส่วนบนฝั่งขวา

รูปถ่ายที่ 5 : คอนกรีตบดอัด (RCC) บริเวณส่วนกลางและ Base concrete slab ส่วนบนฝั่งซ้ายและขวา

รูปถ่ายที่ 6 : ท่อ Pipe Culvert Ø1.50 m. จำนวน 4 ท่อน เพื่อใช้ระบายน้ำในฤดูแล้ง (2- yr return period ประมาณ 50 m^3/s) หลังจากเปิด Coffer Dam. ลดน้ำในอุโมงค์เพื่อเข้าทำงานติดตั้งบานประตู

รูปถ่ายที่ 7 : คอนกรีตบดอัด (RCC) ส่วนหน้าและส่วนหลัง โดยทำส่วนหน้าก่อนให้สูงกว่าส่วนหลัง



รูปถ่ายที่ 8 : คอนกรีตบดอัด (RCC) ส่วนหน้าและส่วนหลัง โดยทำส่วนหน้าก่อนให้สูงกว่าส่วนหลัง

รูปถ่ายที่ 9 : **เกิดเหตุการณ์น้ำได้ไหลหลากข้าม** Cofferdam **และ** RCC **ส่วนหน้า เมื่อ** 28 **สิงหาคม** 2553 (**ได้คาดการณ์ไว้แล้ว**)

รูปถ่ายที่ 10 : **น้ำไหลข้าม** RCC **ส่วนหน้า แต่ไม่เป็นอันตรายต่อ** RCC **แต่อย่างใด เมื่อน้ำลดก็ทำงานต่อไปได้**

รูปถ่ายที่ 11 : เมื่อน้ำลดแล้วทำความสะอาดแล้วเตรียมเท RCC ต่อ

รูปถ่ายที่ 12 : ขณะทำการเท RCC ต่อ

รูปถ่ายที่ 13 : ขณะเท RCC เต็มพื้นที่และ Spillway flip bucket (Conventional Vibrated Concrete, CVC)

รูปถ่ายที่ 14 : เมื่อเท RCC เทได้ระดับที่เหมาะสมก็เริ่มเก็บกักน้ำเข้าอ่าง

รูปถ่ายที่ 15 : ขณะทำงานในเวลากลางคืน

รูปถ่ายที่ 16 : งานก่อสร้าง Spillway จำนวน 5 ช่องบริเวณช่วงกลางของเขื่อน

รูปถ่ายที่ 17 : งานก่อสร้าง Spillway มองจากด้านซ้าย

รูปถ่ายที่ 18 : สภาพอ่างเก็บน้ำใกล้จะถึงระดับเก็บกักสูงสุดที่ EL. 455.00 m.msl.

รูปถ่ายที่ 19 : ขณะติดตั้งตะแกรงกันขยะและเครื่องตักขยะหน้าอาคารรับน้ำ (Intake Tower)

รูปถ่ายที่ 20 : อาคารโรงไฟฟ้าเขื่อนน้ำยวงอยู่ท้ายเขื่อน

รูปถ่ายที่ 21 : ภายในอาคารโรงไฟฟ้าเขื่อนน้ำยวง Unit 1 (30 MW)

รูปถ่ายที่ 22 : ภายในอาคารโรงไฟฟ้าเขื่อนน้ำยวง Unit 1 และ 2 (2x30 =60 MW)

รูปถ่ายที่ 23 : อาคารโรงไฟฟ้าเขื่อนน้ำยวงแล้วเสร็จสมบูรณ์

รูปถ่ายที่ 24 : ฝายกั้นแม่น้ำเทินของเดิม (Existing Weir) ก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อพ.ศ. 2540

รูปถ่ายที่ 25 :งานแก้ไขปรับปรุงฝายเดิมเพื่อเพิ่มท่อรับน้ำเข้าอุโมงค์ใหม่

(Weir modification for new intake)

รูปถ่ายที่ 26 : ท่อเหล็กรับน้ำต่อเข้ากับอุโมงค์ส่งน้ำเข้าโรงไฟฟ้าใหม่

รูปถ่ายที่ 27 : หัวเจาะ แบบ Single Shied Rock Tunnel Boring Machine Ø 7.40 m (Robbins USA)

รูปถ่ายที่ 28 : หัวเจาะ และ Backup system เตรียมเคลื่อนเข้าอุโมงค์

รูปถ่ายที่ 29 : Precast Concrete Segment ในโรงงานหล่อ

รูปถ่ายที่ 30 : TBM **เจาะทะลุถึง** Dismantle Shaft (Breakthrough) **เมื่อ** 21 **พ.ย** 2553

รูปถ่ายที่ 31 : เจาะทะลุสมบูรณ์แบบ เตรียมยกหัวเจาะ TBM **ออกทาง** Dismantle Shaft

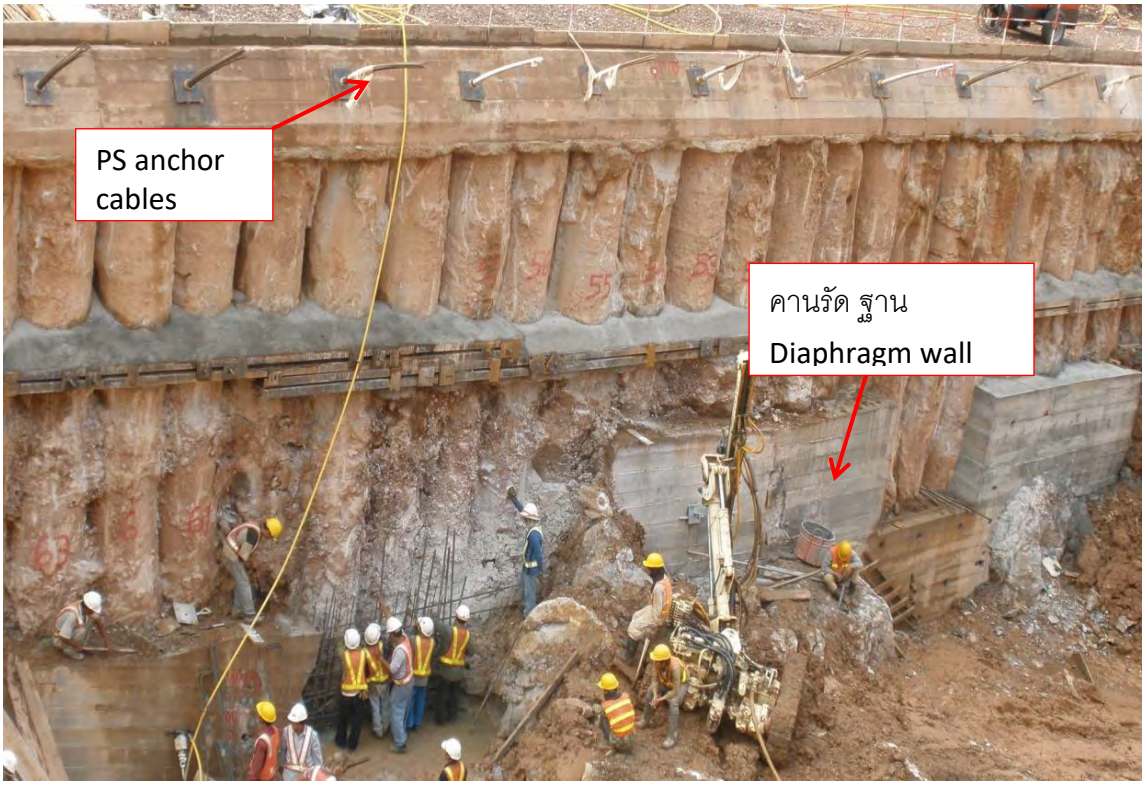
รูปถ่ายที่ 32 : ท่อส่งน้ำ (Penstock) เป็นแบบท่อเหล็ก Ø5.50 ม. หุ้มด้วยคอนกรีตฝังดิน ต่อจากอุโมงค์เข้าโรงไฟฟ้าใหม่

รูปถ่ายที่ 33 : ท่อส่งน้ำ (Penstock) เป็นแบบท่อเหล็ก Ø5.50 ม. หุ้มด้วยคอนกรีตฝังดิน ต่อจากอุโมงค์เข้าโรงไฟฟ้าใหม่ มองจากด้านบน

รูปถ่ายที่ 34 : งานขุดฐานรากโรงไฟฟ้าใหม่มีลักษณะเป็นหินปูนมีโพรง (Krast limestone)

รูปถ่ายที่ 35 : เนื่องจากโรงไฟฟ้าใหม่อยู่ติดกับโรงไฟฟ้าเดิม ดังนั้นงานขุดฐานรากต้องป้องกันการเคลื่อนตัวของดิน โดยติดตั้ง Diaphragm Wall ตลอดแนวที่อยู่ติดกัน

รูปถ่ายที่ 36 : ภาพมองจากเหนือน้ำ



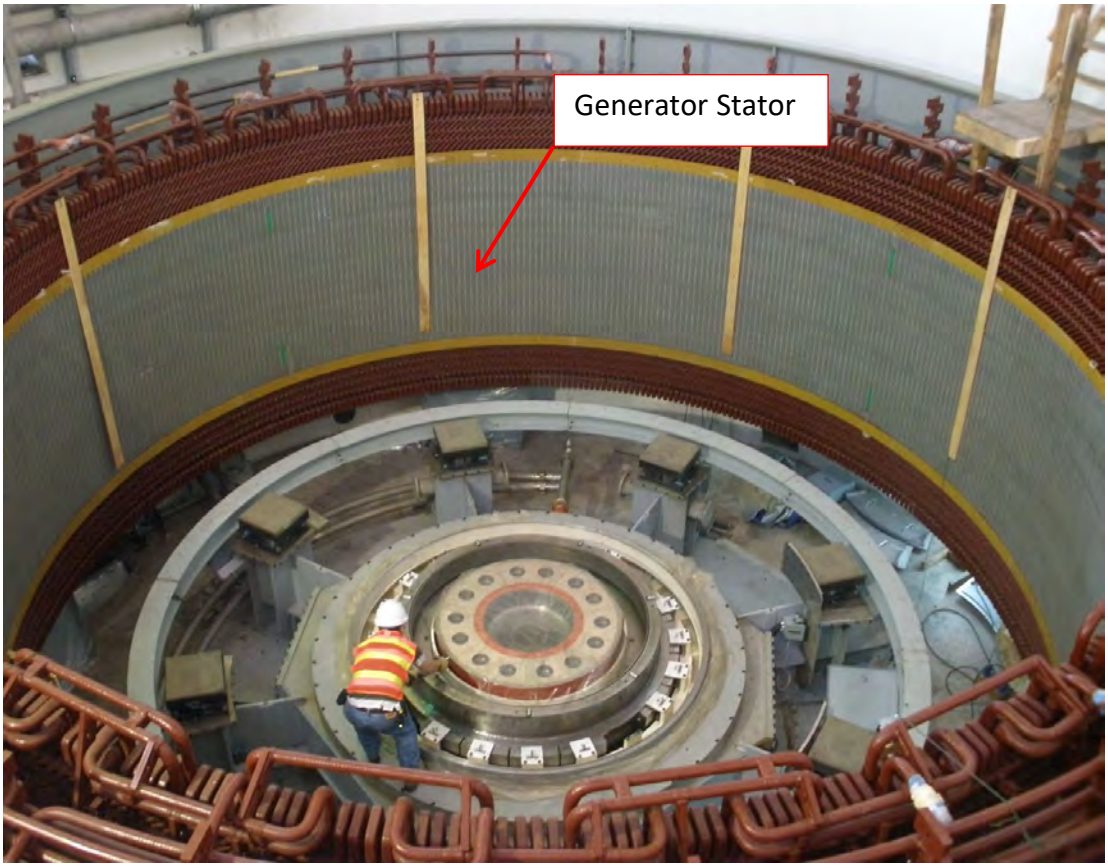
รูปถ่ายที่ 37 : งานก่อสร้าง Diaphragm Wall และติดตั้ง Prestressed Anchor Cable 3 ระดับ เนื่องจากปลาย Wall (Pile Tip) ฝังอยู่หินประมาณ 0.30 ม. จึงต้องเทคอนกรีตหุ้มฐาน และติดตั้ง PS Anchor Cable ด้วย

รูปถ่ายที่ 38: งานติดตั้ง Draft Tube เป็นส่วนที่อยู่ใต้เครื่อง Turbine เพื่อระบายน้ำหลังจากที่ปั่น Turbine แล้วออกคลองท้ายน้ำ

รูปถ่ายที่ 39 : งานติดตั้ง Spiral Case รับน้ำมาหมุนเครื่อง Turbine

รูปถ่ายที่ 40 : ติดตั้ง Spiral Case แล้วเสร็จเตรียมคอนกรีตหุ้ม

รูปถ่ายที่ 41 : เครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่วนหมุน Rotor



รูปถ่ายที่ 42 : เครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่วนอยู่กับที่ Stator

รูปถ่ายที่ 43 : โรงไฟฟ้าส่วนขยายแล้วเสร็จสมบูรณ์

รูปถ่ายที่ 44 : งานติดตั้งเสาสายส่ง 230 kV ไปจังหวัดนครพนม ระยะทางประมาณ 86 ก.ม. ในภาพเป็นช่วงที่ข้ามภูเขาหินปูน (Limestone Ridge) ต้องใช้ Helicopter ในการขนส่งวัสดุทั้งหมด

รูปถ่ายที่ 45 : งานขึงสายไฟฟ้าแรงสูงโดย Helicopter บนภูเขาหินปูน