ผลงานที่เป็นผลการดำเนินงานที่ผ่านมา

เรื่องที่ ๓

ออกแบบอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ บ้านแม่อ้อนอก หมู่ ๒ ตำบลแม่อ้อ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย (พ.ศ.๒๕๖๔)

โดย

นายเอกสิทธิ์ ตันติมาสน์
ตำแหน่งวิศวกรชลประทานชำนาญการ
(ตำแหน่งเลขที่ ๔๑๔๐)
ฝ่ายออกแบบ
ส่วนวิศวกรรม
สำนักงานชลประทานที่ ๑๒

ผลงานที่เป็นผลการดำเนินงานนี้เป็นเอกสารประกอบการประเมินบุคคล
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งวิศวกรชลประทานชำนาญการพิเศษ
(ตำแหน่งเลขที่ ๔๑๔๐)
ฝ่ายออกแบบ
ส่วนวิศวกรรม
สำนักงานชลประทานที่ ๑๒

คำนำ

ตามที่กรมอนุมัติแผนงานออกแบบ ซึ่งมีหน้าที่ศึกษารวบรวมข้อมูล ออกแบบ คำนวณทางวิศวกรรม และจัดทำแบบร่างโครงการ (Lay-Out) ให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ครบถ้วนตามมาตรฐานและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ต่อไป

เอกสิทธิ์ ตันติมาสน์
พฤษภาคม/พ.ศ.2566

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูป	ง
ส่วนที่ ๑ ข้อมูลบุคคล/ตำแหน่ง	๑
ชื่อผู้ขอประเมิน/ตำแหน่งปัจจุบัน/หน้าที่ความรับผิดชอบของตำแหน่งปัจจุบัน	๑
ส่วนที่ ๒ ผลงานที่เป็นผลการปฏิบัติงานหรือผลสำเร็จของงาน	๒
๑. เรื่องนำเสนอ	๒
๒. ระยะเวลาที่ดำเนินการ	๒
๓. ความรู้ทางวิชาการหรือแนวคิดที่ใช้ในการดำเนินการ	๒
๔. สรุปสาระสำคัญ ขั้นตอนการดำเนินการ และเป้าหมายของงาน	๔๘
๕. ผลสำเร็จของงาน (เชิงปริมาณ/คุณภาพ)	๙๖
๖. การนำไปใช้ประโยชน์/ผลกระทบ	๙๗
๗. ความยุ่งยากและซับซ้อนในการดำเนินการ	๙๗
๘. ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ	๙๘
๙. ข้อเสนอแนะ	๙๘
๑๐. การเผยแพร่ผลงาน (ถ้ามี)	๙๘
๑๑. ผู้มีส่วนร่วมในผลงาน (ถ้ามี)	๙๘
เอกสารอ้างอิง	๑๐๐
ภาคผนวก รูปภาพแผนที่ Watershed Area, น้ำรอบปีต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ	
ภาคผนวก ก รูปภาพระหว่างก่อสร้างและก่อสร้างแล้วเสร็จ	
ภาคผนวก ข แบบอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ	

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
๑	แสดงขนาดของหินทิ้งตาม U.S Corps of Engineers (๑๙๘๔)	๑๑
๒	แสดงความหนาของกรวดทรายรองพื้นตาม Sherard et. aL., (๑๙๖๓)	๑๑
๓	แสดงกรณีการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดตัวเขื่อน และค่าความปลอดภัยต่ำสุด	๑๒
๔	การหาขนาดของกรวดหรือหินย่อย	๒๑
๕	Expansion Coefficient	๔๓

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
๑	แสดง Freeboard อันเนื่องมาจาก Wave Action	๘
๒	แสดงกราฟความสูงของคลื่นเนื่องจากแรงลม	๙
๓	สมมุติฐานของแรงตามวิธี SIMPLIFIED BISHOP	๑๔
๔	แสดงตำแหน่ง Top Flow Line และตัวแปรต่าง ๆ	๑๗
๕	แสดงการเขียน PHREATIC LINE	๑๙
๖	ความเร็วของน้ำที่ตีนฝาย	๒๓
๗	แสดง Hydraulic Jump	๒๗
๘	การแบ่งประเภทของ Hydraulic Jump	๒๙
๙	กราฟสำหรับใช้หาระยะเผื่อล้นของ Stilling Basin	๓๑
๑๐	ความยาว Hydraulic Jump บนพื้นราบ Stilling Basin แบบที่ I ,II และ III	๓๒
๑๑	Stilling Basin แบบที่ II	๓๕
๑๒	Stilling Basin แบบที่ III	๓๖
๑๓	Stilling Basin แบบที่ IV	๓๗
๑๔	Stilling Basin สำหรับ Froude number น้อย	๓๘
๑๕	แสดงที่ตั้งโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแม่อ้อ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย	๕๐
๑๖	แผนที่แสดงขอบเขตความรับผิดชอบของสำนักชลประทานที่ ๒	๕๑
๑๗	แผนที่จังหวัดเชียงรายแสดงที่ตั้งโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแม่อ้อ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย	๕๒
๑๘	ภาพถ่ายทางอากาศ โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ	๕๓
๑๙	แสดงเส้นทางเดินพายุผ่านประเทศไทย	๕๓
๒๐	พื้นที่การเกษตร	๕๔
๒๑	แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเชียงราย	๕๖
๒๒	แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเชียงราย (ต่อ)	๕๗

แบบการเสนอผลงาน
(ระดับชำนาญการพิเศษ)

ส่วนที่ ๑ ข้อมูลบุคคล/ตำแหน่ง

ชื่อผู้ขอประเมิน นายเอกสิทธิ์ ตันติมาสน์

ตำแหน่งปัจจุบัน ปฏิบัติหน้าที่หัวหน้าฝ่ายออกแบบ

หน้าที่ความรับผิดชอบของตำแหน่งปัจจุบัน

๑. ศึกษา พัฒนา กำกับ ดูแล ควบคุม ตรวจสอบ ประยุกต์และปรับปรุง เกี่ยวกับการดำเนินงานด้านออกแบบงานต่างๆ ภายในเขตสำนักงานชลประทานโดยการออกแบบเพื่อพิจารณาจัดทำรายงานความเหมาะสมโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก โครงการพิเศษและงานปรับปรุงโครงการ รวมทั้งการออกแบบโครงการป้องกันและบรรเทาอุทกภัย ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน

๒. ศึกษา กำกับ ดูแล ควบคุม ตรวจสอบ ตรวจสอบ ตรวจสอบวิเคราะห์ข้อมูลด้านวิศวกรรมประกอบการจัดทำเอกสารประกอดราคาจ้างเหมาก่อสร้างและจ้างสำรวจ-ออกแบบ บริหารสัญญาจ้าง-ออกแบบเร่งรัดงานคำนวณออกแบบของบริษัทที่ปรึกษา เพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไปตามแผนที่กำหนด

๓. กำกับ ดูแล ติดตามและประเมินผลการดำเนินงานออกแบบของบริษัทที่ปรึกษาโดยดำเนินการแก้ไขปัญหาทางเทคนิคที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง ตรวจสอบและคำนวณปริมาณงานและราคาที่จะก่อสร้าง รวมทั้งเก็บแบบและพิมพ์แบบ ตลอดจนให้คำแนะนำทางด้านวิชาการและแก้ไขปัญหาทางเทคนิคที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง โดยเป็นผู้ที่กำหนดเงื่อนไข (Specification) ในการก่อสร้างหรือจัดหาให้ถูกต้องครบถ้วน ตามมาตรฐาน หลักเกณฑ์ กฎหมาย ระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการพัสดุและแนวทางปฏิบัติอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อจัดทำเป็นเอกสารประกอบการจัดซื้อจัดจ้างต่างๆ ของสำนักงานชลประทาน

๔. ศึกษา พัฒนา ประยุกต์ และปรับปรุง การออกแบบเพื่อการก่อสร้างโครงการชลประทานขนาดเล็ก ขนาดกลาง ระบบส่งน้ำ และระบบระบายน้ำ เพื่อให้เกิดความเร็ว สะดวกกับการใช้งานประหยัดเวลาและทรัพยากร มีความสอดคล้องกับความต้องการของชุมชนและสิ่งแวดล้อม

๕. ศึกษา วิเคราะห์ วิจัย การพัฒนา แบบมาตรฐานงานด้านระบบชลประทานและอาคารประกอบเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศในเขตพื้นที่รับผิดชอบ (โดยสามารถแสดงถึงการกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบ (Design Criteria)

๖. การศึกษา พัฒนา ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์และการนำเทคโนโลยีโปรแกรมและเครื่องมือสมัยใหม่ในการออกแบบ เพื่อให้โปรแกรมการออกแบบ และแบบที่มีความถูกต้องมีประสิทธิภาพ สามารถนำไปใช้งานได้สะดวกรวดเร็ว

๗. ศึกษา ค้นคว้า วิเคราะห์ ปรับปรุง พัฒนาวิธีการออกแบบ และดำเนินการจัดทำคู่มือการออกแบบและบำรุงรักษาอาคารชลประทานที่ทันสมัยเพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ

๘. ปฏิบัติงานร่วมกับ หรือสนับสนุนการปฏิบัติงานของหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้อง หรือได้รับมอบหมาย เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด

♦ **ตำแหน่งที่จะแต่งตั้ง** วิศวกรชลประทานชำนาญการพิเศษ

หน้าที่ความรับผิดชอบของตำแหน่งที่จะแต่งตั้ง “เช่นเดียวกับหน้าที่ความรับชอบของตำแหน่งปัจจุบัน”

ส่วนที่ ๒ ผลงานที่เป็นผลการปฏิบัติงานหรือผลสำเร็จของงาน
เรื่องที่ ๓

๑. ชื่อผลงาน

ออกแบบอ่างเก็บน้ำและอาคารประกอบโครงการชลประทานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ หมู่ ๒ บ้านแม่อ้อนอก ตำบลแม่อ้อ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย (พ.ศ. ๒๕๖๔)

๒. ระยะเวลาที่ดำเนินการ

มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๔ ถึง ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๖๔

๓. ความรู้ทางวิชาการหรือแนวคิดที่ใช้ในการดำเนินการ

ในการออกแบบโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำได้นำความรู้ด้านวิศวกรรมในสาขาวิชาต่าง ๆ หลายด้านมาประยุกต์ใช้งาน เพื่อให้ได้แบบรายละเอียดที่มีความมั่นคง แข็งแรง และถูกต้องตามหลักวิชาการสำหรับนำไปใช้ก่อสร้าง การออกแบบอ่างเก็บน้ำมีความรู้ด้านวิศวกรรม ที่สำคัญดังนี้

ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบเขื่อนโดยทั่วไป

เกณฑ์การออกแบบชนิดเขื่อน จะพิจารณาร่วมกับสภาพธรณีวิทยาฐานรากบริเวณที่ตั้งเขื่อนและชนิดของวัสดุที่หาได้ในบริเวณใกล้เคียงที่ตั้งโครงการ ดังนั้นหลักการออกแบบเขื่อนมีเกณฑ์ ดังนี้

๑) เขื่อน ฐานราก ฐานยัน (Abutment) จะต้องมีความมั่นคงแข็งแรง สามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจาก การก่อสร้างและการสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหวได้ปลอดภัย

๒) การกำหนดความสูงตัวเขื่อนจะต้องสูงพอและปลอดภัยไม่ให้น้ำไหลข้ามสันเขื่อน (Overtopping) ในขณะที่เกิดปริมาณน้ำสูงสุดไหลลงอ่างเก็บน้ำ โดยพิจารณาข้อมูลความเร็วลม ความสูงของคลื่น กำหนดขนาดของอาคารระบายน้ำล้นและขนาดท่อระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำ เพื่อให้มีความสามารถพอที่จะระบายน้ำได้

๓) การออกแบบระยะเผื่อการทรุดตัวของเขื่อน

๔) ลาดของตัวเขื่อนด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ จะต้องมั่นคงไม่ว่าจะอยู่ใน

- ระหว่างการก่อสร้าง (During Construction)
- ก่อสร้างเสร็จแล้ว (End Construction)
- ระหว่างการเก็บกักน้ำเต็มที่ (Full of Reservoir)
- ระหว่างการลดระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown)

๕) การออกแบบควบคุมการไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อน ฐานราก และฐานยัน (Abutment) ทั้งสองฝั่งโดยยอมให้ซึมผ่านได้บ้าง แต่ต้องออกแบบระบบระบายน้ำให้สามารถควบคุมการไหลซึมให้ผ่านไปตามระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อนที่กำหนดไว้

๖) ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ ต้องป้องกันไม่ให้เกิดการกัดเซาะจากแรงกระแทกของคลื่น ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำรวมทั้งสันเขื่อนจะต้องป้องกันการกัดเซาะเนื่องจากลมและฝนได้

๗) สันเขื่อนต้องมีความกว้างเพียงพอต่อการปฏิบัติงานระหว่างการก่อสร้างและบำรุงรักษาภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ โดยจะต้องมีความกว้างของสันเขื่อนสอดคล้องกับความสูงเขื่อน รวมทั้งมีเสถียรภาพมั่นคงเพียงพอ

ชนิดของเขื่อนดินขนาดเล็ก จำแนกได้เป็น ๒ ชนิด คือ

๑.) Homogeneous Type ตัวเขื่อนถมด้วยดินชนิดเดียว ดินที่มีความเหมาะสมที่ใช้เป็นวัสดุก่อสร้างตัวเขื่อน ได้แก่ กลุ่มดินต่าง ๆ โดยเรียงจากกลุ่มดินที่เหมาะสมมากที่สุดตามลำดับลงไป ได้แก่

๑.๑) GC กรวดผสมดินเหนียวมีทรายผสมอยู่บ้าง คุณสมบัติทึบน้ำ Shear Strength สูง Pore Pressure ไม่สูงขณะบดอัด

๑.๒) GM กรวดผสมดินตะกอน กรวด มีอัตราส่วนคละ คุณสมบัติ รั่วซึมน้อย Shear Strength ค่อนข้างสูง บดอัดง่าย

๑.๓) SC ทรายผสมดินเหนียว คุณสมบัติทึบน้ำดีมาก บดอัดง่าย

๑.๔) SM ทรายผสมตะกอนทรายมีขนาดสม่ำเสมอ คุณสมบัติรั่วซึมค่อนข้างน้อยบดอัดยาก

๑.๕) CL ดินเหนียว มีทรายผสมหรือกรวดละเอียดปนบ้าง คุณสมบัติทึบน้ำดี บดอัดยาก Pore Pressure สูง

๒) Zone Type Dam มีแกนเป็นดินทึบน้ำ โดยความหนาแกนมากกว่าหรือเท่ากับความสูงของเขื่อน เปลือกนอกหุ้มแกนเขื่อนเป็นกลุ่มดินเม็ดหยาบ มีค่า K ค่อนข้างสูงคุณสมบัติบดอัดง่าย Shear Strength สูง ดินที่ใช้เป็นแกนคือ GC, SC, CL, GM, SM ตามลำดับ ดินส่วนเปลือกนอกคือ GW, GP, SW

การเลือกที่สร้างเขื่อนดินควรมีหลักการที่สำคัญในการพิจารณา ดังนี้

๑. ควรสร้างเขื่อนดินในบริเวณที่เขื่อนจะมีความยาวน้อยที่สุด ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณดินถมตัวเขื่อนและค่าก่อสร้าง

๒. ที่สร้างเขื่อนดินขนาดเล็ก หากไม่จำเป็นแล้วไม่ควรสร้างบนฐานรากที่เป็นหิน เพราะจะต้องทำการตรวจสอบฐานรากนั้นให้ละเอียดเสียก่อนว่า หินมีรอยแตกอยู่มากน้อยเพียงใด อาจต้องมีการระเบิดหิน หรืออัดฉีดน้ำปูนเข้าไปอุดรอยแตกร้าวของหินจนตลอดแนวเขื่อนเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งจะทำให้ราคาก่อสร้างเพิ่มมากขึ้นไปด้วย

๓. ไม่ควรสร้างเขื่อนดินบนฐานรากที่มีน้ำพุ ตาน้ำ หรือบริเวณที่ดินของลาดเนินสองฝั่งเคยเลื่อนทลายลง เพราะแสดงว่าฐานรากจะสร้างเขื่อน และเหนือเขื่อนขึ้นไปนั้นมีชั้นทราย หรือกรวดที่รั่วซึมได้สะดวก ซึ่งอาจจะมีความหนามากและทับถมกันอยู่ไม่ค่อยแน่น หากจำเป็นควรตรวจสอบฐานรากและออกแบบปรับปรุงฐานรากเป็นพิเศษ

๔. ควรสร้างเขื่อนให้อยู่ในตำแหน่งสูงที่สามารถจะนำน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำไปใช้ในพื้นที่ ที่ต้องการได้ โดยวิธีปล่อยให้ไหลไปตามคูคลองด้วยแรงดึงดูดของโลก สำหรับการสูบน้ำขึ้นไปใช้จะเสียค่าใช้จ่ายแพง

๕. ทำเลที่สร้างเขื่อนจะต้องมีดินที่มีคุณสมบัติใช้ทำการก่อสร้างตัวเขื่อนได้ในปริมาณที่มากเพียงพอ และอยู่ในบริเวณใกล้เคียง

๖. ควรพิจารณาด้วยว่าตำแหน่งที่จะสร้างเขื่อนนั้นมีถนนอยู่เคียงหรือไม่ หากไม่มีและจำเป็นต้องสร้างถนนไปยังที่ตั้งเขื่อนแล้ว ควรพิจารณาเสียก่อนว่าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายมากน้อยเพียงไร เมื่อเทียบกับค่าก่อสร้างเขื่อน

๗. การกำหนดที่สร้างเขื่อน ควรพิจารณารวมไปถึงตำแหน่งที่ตั้งอาคารระบายน้ำล้นด้วย ว่าสภาพภูมิประเทศและลักษณะดินมีความเหมาะสมต่อการก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้นตามขนาดที่ต้องการได้อย่างประหยัดหรือไม่ ที่ตั้งเขื่อนบางแห่งอาจจะมีภูมิประเทศและดินฐานรากที่ทำการก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้นมีราคาแพงเกินไปก็ได้ จึงควรพิจารณาให้รอบคอบ

๘. ทำเลที่สร้างเขื่อนจะต้องมีพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อนที่มีขนาดใหญ่มากพอที่จะมีน้ำไหลลงมาให้เก็บกักได้เพียงพอกับความต้องการใช้งาน หรือสามารถเก็บกักไว้เต็มอ่างเก็บน้ำได้เกือบทุกปี

๙. เขื่อนดินที่มีขนาดเล็กเก็บกักน้ำได้จำนวนไม่มากนัก ไม่ควรสร้างในที่ลุ่มน้ำที่มีพื้นที่รับน้ำฝนขนาดใหญ่เกินไป เพราะนอกจากจะต้องสร้างอาคารระบายน้ำล้นที่มีขนาดใหญ่เพื่อระบายน้ำจำนวนมากให้ได้ด้วยราคาก่อสร้างที่แพงแล้ว พื้นที่รับน้ำฝนขนาดใหญ่จะต้องมีตะกอนถูกน้ำพัดพามาสะสมในอ่างเก็บน้ำมากด้วยเช่นกัน หากไม่ศึกษาเรื่องนี้ให้ละเอียดก่อนดีเสียก่อน อ่างเก็บน้ำที่มี ความจุน้อยก็อาจจะถูกตะกอนตกทับถมจนเต็มภายในระยะเวลาไม่กี่ปี

โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำถือได้ว่าเป็นโครงการชลประทานประเภทอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก เป็นอาคารหัวงานที่เป็นส่วนสำหรับจัดเตรียมแหล่งน้ำต้นทุน เพื่อช่วยเหลือราษฎร ตำบลขแม่อ้อ ด้านต่างๆ เช่น ด้านการเกษตรกรรมหรือด้านชลประทาน ด้านอุปโภคและบริโภคของราษฎรในพื้นที่และการปศุสัตว์ โดยมีวัตถุประสงค์หลักก็คือ ต้องการเก็บกักน้ำที่ไหลมาในลำน้ำห้วยป่าดำ ในช่วงที่มีฝนตกหรือช่วงฤดูฝนไว้ใช้ในช่วงที่ฝนทิ้งช่วงหรือฤดูแล้ง โดยการก่อสร้างอาคารทำนบดินขวางหรือปิดกั้นลำน้ำไม่ให้ไหลไปทางด้านท้ายน้ำได้โดยอิสระเช่นเดิม และจะมีผลทำให้น้ำที่ไหลเข้ามาลงลำน้ำห้วยป่าดำ ไม่สามารถไหลออกไปได้ ซึ่งจะทำให้มีปริมาณน้ำสะสมเพิ่มมากขึ้นและมีระดับน้ำสูงขึ้น ปริมาณน้ำดังกล่าวจะถูกเก็บกักไว้ตามจำนวนที่ต้องการ เมื่อปริมาณน้ำที่สามารถเก็บกักไว้ได้ ก็สามารถนำไปคิดที่จะใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้ตามต้องการ โดยอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำนี้จะประกอบด้วยอาคารประกอบหลัก ๓ ส่วน ดังต่อไปนี้

๑. เขื่อนดินหรือทำนบดิน (Earth fill Dam) เป็นอาคารที่สร้างปิดกั้นลำน้ำห้วยป่าดำที่มีน้ำจากร่องหุบเขาต่าง ๆ ลำน้ำสาขาย่อยที่อยู่ในพื้นที่รับน้ำฝน (Watershed Area) ที่ไหลมาลงลำน้ำห้วยป่าดำ สามารถเก็บกักน้ำไว้ให้ได้ปริมาณตามที่ต้องการ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความสูงของเขื่อนดินหรือทำนบดินที่เหมาะสม

๒. อาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway) เป็นอาคารที่ออกแบบไว้บริเวณใกล้กับทำนบดิน ตั้งอยู่ทางด้าน Abutment ฝั่งขวาของทำนบดิน ซึ่งทำหน้าที่ระบายน้ำส่วนเกินนอกเหนือจากที่ต้องการเก็บกักไว้ให้ไหลล้นออกไปทางด้านท้ายน้ำเข้าสู่ลำห้วยป่าดำทางเดิม โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายหรือเสียหายกับตัวเขื่อน ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าหากไม่มีอาคารทางระบายน้ำล้น จะทำให้ไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำและระดับน้ำได้ตามที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เนื่องจากระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลมาสะสมในอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำจะเพิ่มมากขึ้นต่อเนื่องไปเรื่อยๆ หากยังมีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำไว้ตลอดเวลา และมากกว่าปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำ จะทำให้น้ำล้นสันทำนบดินของอ่างเก็บน้ำหรือล้นข้ามสันทำนบดิน และเกิดการกัดเซาะที่ตัวทำนบดิน ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อความมั่นคงแข็งแรงของตัวทำนบดินจนถึงขั้นทำให้เกิดการวิบัติได้ในที่สุด และหากปล่อยให้เกิดเหตุการณ์เช่นนี้ได้จะทำให้

เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของราษฎรที่อยู่ท้ายน้ำซึ่งอาจจะทำให้ไม่สามารถที่จะพัฒนาแหล่งน้ำในรูปแบบนี้ได้อีกต่อไป จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ที่จะต้องกำหนดขนาดของอาคารระบายน้ำล้นให้มีขนาดเพียงพอกับการระบายน้ำในช่วงฝนตกหนักในรอบแต่ละปี

๓. อาคารท่อส่งน้ำ (Intake) เป็นอาคารประกอบของตัวเขื่อนดิน หรือทำนบดินโดยอาคารท่อส่งน้ำนี้ จะทำหน้าที่นำน้ำที่กักเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำ นำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ด้านการเพาะปลูกในพื้นที่การเกษตรของราษฎรที่อยู่ท้ายน้ำ โดยการจัดส่งน้ำเข้าคลองส่งน้ำ ที่เป็นระบบชลประทานกระจายน้ำเข้าสู่พื้นที่เป้าหมาย และอีกส่วนหนึ่งก็จะจัดส่งน้ำให้ไหลลงสู่ลำน้ำเดิม เพื่อใช้สำหรับการอุปโภคบริโภค และรักษาสภาพของลำน้ำเดิมให้มีความชุ่มชื่น และมีน้ำไว้ใช้ได้ตลอดทั้งปี

ขั้นตอนในการดำเนินการออกแบบ หรือกระบวนการของการตัดสินใจในการออกแบบ รูปแบบ รูปร่าง ลักษณะของทำนบดิน และอาคารประกอบ ต้องสอดคล้องกับข้อมูลที่มีอยู่ การวิเคราะห์ การคำนวณต้องเป็นไปตามหลักวิศวกรรม เพื่อให้การดำเนินการออกแบบเป็นไปด้วยความถูกต้อง เกิดประสิทธิภาพสูงสุด รวมถึงประหยัดงบประมาณในการก่อสร้าง การออกแบบอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำจึงต้องวางขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

๑. พิจารณาและศึกษาข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งประกอบด้วย

- ข้อมูลรายงานวางโครงการ
- ข้อมูลสำรวจทางภูมิประเทศ ผังบริเวณ รูปตัดลำน้ำ และรูปแปลนเฉพาะแห่ง
- ข้อมูลทางอุทกวิทยา ได้แก่ สถิติน้ำฝนต่างๆ อัตราการระเหย ปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่าง ๆ
- ข้อมูลสำรวจทางปฐพีกลศาสตร์และธรณีวิทยา ของสำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา วิเคราะห์หาการรั่วซึมของน้ำผ่านฐานราก และผลการทดสอบคุณสมบัติของดินด้านวิศวกรรม

๒. ศึกษาภูมิประเทศจริงในสนาม โดยการเดินทางไปตรวจสอบสภาพภูมิประเทศจริงในสนามว่ามีความสอดคล้องกับแผนที่ภูมิประเทศจริงหรือไม่ สภาพท้องลำห้วยเป็นอย่างไร ฐานเขื่อนทั้งสองฝั่งมีสภาพเป็นอย่างไร และดูสภาพภูมิประเทศของจุดที่จะวางแนวอาคารระบายน้ำล้นว่าเหมาะสมหรือไม่

๓. สรุปผลการพิจารณาจากการดำเนินการข้างต้น เพื่อกำหนดแนวที่ตั้งทำนบดินอาคารทางระบายน้ำล้น และวางแนวท่อส่งน้ำลงบนแผนที่ผลสำรวจภูมิประเทศ โดยได้กำหนดแนวของอาคารต่าง ๆ และที่ทำการ Layout เป็นทางเลือกไว้เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันและเลือกแนวที่เหมาะสมที่สุดเพื่อสรุปเค้าโครงและทำแบบต้นร่าง

๔. ออกแบบ คำนวณ ตรวจสอบโครงสร้าง และความมั่นคงของอาคารประเภทต่าง ๆ โดยนำความรู้และประสบการณ์ในสาขาวิชาต่าง ๆ ให้อาคารที่ความมั่นคงแข็งแรง และปลอดภัยทางด้านวิศวกรรม

๕. จัดทำแบบและเขียนแบบแสดงรายละเอียดขอบเขตของตัวทำนบดิน และกำหนดขนาดรายละเอียดของอาคารประเภทต่าง ๆ เพื่อเป็นแบบสำหรับนำไปใช้ในการก่อสร้าง

การนำความรู้เชิงวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้งานด้านออกแบบและคำนวณ

การออกแบบและวิเคราะห์ทางด้านอุทกวิทยา

การใช้ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยามาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำจากสถิติน้ำฝนในพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ โดยการทำ Reservoir Operations Study (R.O.S.) เป็นการกำหนดขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่อ่างเก็บกักน้ำไว้ได้ ให้มีปริมาตรเพียงพอกับความต้องการ ที่จะใช้และให้พอเหมาะกับปริมาณน้ำเฉลี่ยทั้งปีที่คาดว่าจะเกิดจากพื้นที่รับน้ำฝนบริเวณเหนืออ่างเก็บน้ำ โดยปริมาณน้ำที่อ่างเก็บน้ำควรเก็บไว้ทั้งหมดนี้จะรวมถึงน้ำบางส่วนที่ต้องระเหยและซึมหายไปจาก อ่างเก็บน้ำ และรวมถึงปริมาณของตะกอนดินที่ถูกน้ำกัดเซาะแล้วพัดพามาทับถมลงไปในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะทำให้ความจุของอ่างเก็บน้ำมีปริมาตรลดน้อยลงไปทุกปี ๆ ด้วยการกำหนดขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำ มีหลักเกณฑ์และวิธีดำเนินการที่สำคัญ ดังนี้

๑) หาปริมาณน้ำใช้เพื่อการปลูกพืชในฤดูฝนและฤดูแล้งของพื้นที่ทั้งหมดที่ต้องการส่งน้ำให้ซึ่งจะส่งน้ำให้ทั้งหมด ตลอดจนน้ำใช้เพื่อการเกษตรอื่น ๆ และน้ำใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคของราษฎรจากการคำนวณ ทำ Reservoir Operations Study (R.O.S.) ของอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ ซึ่งกำหนดข้าวเป็นพืชในฤดูฝน สามารถส่งน้ำให้พื้นที่ได้ประมาณ ๔๐๐ ไร่ และพืชไร่เป็นพืชฤดูแล้งได้พื้นที่ประมาณ ๕๐ ไร่ โดยต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่เหลือจะต้องไม่น้อยกว่าความจุของน้ำก้นอ่างฯ ที่ระดับน้ำต่ำสุดและเหลือพอสำหรับใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคของราษฎรในแต่ละเดือนอีกด้วย

๒) ประมาณปริมาณน้ำที่คาดว่าจะระเหยและรั่วซึมออกไปจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือนและรวมทั้งปี อัตราการระเหยจากผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นในบรรยากาศความแรงของลมพัด ฯลฯ สำหรับปริมาณน้ำที่รั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำโดยทั่วไป ในทางปฏิบัติเนื่องจากอัตราการรั่วซึมของน้ำจากอ่างเก็บน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับความลึกของน้ำที่ระเหยแล้วมีค่าน้อยมาก

๓) หาปริมาณน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำจากข้อมูลสถิติน้ำฝนเฉลี่ยในรอบปีการเกิดซ้ำที่ ๑๐ ปี ของแต่ละเดือน พื้นที่ผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำและปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำในแต่ละระดับความสูงของอ่างเก็บน้ำ เพื่อดูว่าความจุของอ่างเก็บน้ำในแต่ละชั้นความสูงมีปริมาณน้ำที่เก็บกักได้ประมาณเท่าใด

๔) การคำนวณหาปริมาณตะกอนตกจมในอ่างเก็บน้ำในแต่ละปี สำหรับโครงการชลประทานขนาดเล็กมักจะใช้การกำหนดปริมาณตะกอนที่อายุของอ่างเก็บน้ำที่ ๕๐ ปี แล้วหาปริมาณตะกอนที่ตกจมในแต่ละปี เพื่อเป็นตัวกำหนดระดับน้ำต่ำสุด (Dead Storage)

จากหลักการดังกล่าวโดยสรุปข้างต้น เป็นวิธีการที่ Reservoir Operation Study (R.O.S.) ซึ่งเป็นการศึกษาการใช้น้ำของอ่างเก็บน้ำว่ามีความสามารถที่จะส่งน้ำเพื่อการชลประทานได้เป็นจำนวนเท่าใด โดยจะต้องมีความจุของอ่างเก็บน้ำไว้เท่าใดเพื่อเก็บน้ำสำรองไว้ใช้งานได้อย่างเพียงพอกับความต้องการตลอดทั้งปี โดยจะต้องทำให้ครบทั้ง ๑๒ เดือน (๑ รอบปี) จากการทำ R.O.S. ก็จะเห็นได้ว่าพืชไร่ต้องการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำในเดือนใด และข้าวต้องการใช้น้ำในอ่างเก็บน้ำเดือนไหน ปริมาณเท่าใด ก็จะถูกสรุปออกมาว่าปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ทั้งหมดในแต่ละเดือนมีมากน้อยขนาดไหน อีกทั้งยังบอกถึงปริมาณน้ำที่ล้นอ่างเก็บน้ำในเดือนใดบ้าง ปริมาณน้ำที่เหลือในอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือนจะเหลือเท่าใด โดยจะต้องให้น้ำที่เหลือในอ่างเก็บน้ำไม่ให้น้อยกว่าปริมาณน้ำในระดับน้ำต่ำสุด

โดยหลักการและวิธีการดังกล่าวข้างต้น เป็นวิธีการที่ผู้ประเมินได้คำนวณโดยใช้ข้อมูลจากผลการพิจารณาวางโครงการมาทบทวน ก่อนที่จะออกแบบอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำและอาคารประกอบในขั้นรายละเอียดต่อไป โดยสามารถ สรุปรายละเอียดของโครงการ ดังนี้

สรุปรายละเอียดการออกแบบ

ที่ตั้ง บ้านแม่อ้อนอก หมู่ที่ ๒ ตำบลแม่อ้อ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย

พิกัด ที่ตั้งหัวงานในแผนที่ ๑:๕๐,๐๐๐ พิกัด ๔๗ QNB ๘๗๘-๗๗๗ระวาง ๔๙๔๖ III ลำดับชุด L๗๐๑๘

- พื้นที่รับน้ำฝน ๑.๓๕ ตารางกิโลเมตร
- ปริมาณฝนตกเฉลี่ยตลอดปี ๑,๓๑๒.๓ มิลลิเมตร
- ปริมาณน้ำไหลลงอ่างฯตลอดปี ๔๗๖,๔๒๘ ลูกบาศก์เมตร
- ขนาดหลังคันทำนบดิน กว้าง ๘.๐๐ เมตร
- ระดับสันทำนบ +๔๒๓.๐๐๐ม. (ร.ท.ก.)
- ระดับน้ำสูงสุด +๔๒๒.๐๐๐ม. (ร.ท.ก.)
- โดยมีระดับน้ำกักเก็บที่ระดับ +๔๒๑.๐๐๐ ม. (ร.ท.ก.)
- ความจุของอ่างเก็บน้ำที่ระดับน้ำสูงสุด ๑๘๒,๐๐๐ ลูกบาศก์เมตร
- ความจุของอ่างเก็บน้ำที่ระดับน้ำเก็บกัก ๑๔๕,๑๑๕ ลูกบาศก์เมตร
- พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับน้ำสูงสุด ๓๙,๒๐๐ ตารางเมตร

อาคารประกอบ

ท่อส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำ

ชนิด	Concrete Steel Liner		
จำนวน	๑	แถว	
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	๐.๖๐		เมตร

สามารถส่งน้ำได้สูงสุด ๑.๑๙ cms.

อาคารระบายน้ำล้น

ชนิด	รางเท		
(สันทางระบายน้ำล้นกว้าง ๘.๐๐ ม.) รางเทกว้าง ๕.๐๐			
ระบายน้ำได้	๑๐.๙๔	ลูกบาศก์เมตร/วินาที	
พื้นที่ชลประทาน(ได้รับประโยชน์)			
ฤดูฝน	๔๐๐		ไร่
ฤดูแล้ง	๕๐		ไร่

การออกแบบวิเคราะห์ด้านชลศาสตร์และโครงสร้าง

การคำนวณออกแบบด้านชลศาสตร์และโครงสร้างของทำนบดินพร้อมอาคารประกอบ ต้องทำการทบทวนรายงานการศึกษาโครงการเบื้องต้น และพิจารณาผลสำรวจภูมิประเทศเทียบเคียงกับระดับเส้น Contour จากแผนที่ ๑:๕๐,๐๐๐ เพื่อให้ได้รายละเอียดต่าง ๆ

๑. ความกว้างของสันเขื่อน (Crest Width)

พิจารณาจากความสะดวกปลอดภัยของการใช้เครื่องจักรเครื่องมือ ยวดยานในการก่อสร้าง ตรวจตราและซ่อมบำรุงเขื่อน และจะต้องสัมพันธ์กับความสูงของเขื่อน

โดยจะต้องมีความกว้างต่ำสุด ดังนี้

$B \geq 5.5 + 0.055\,H$ ..... (วรากร ๒๕๔๑)

เมื่อ H = ความสูงจากท้องลำห้วยถึงระดับเก็บกัก

H = ๘.๐๐ ม.

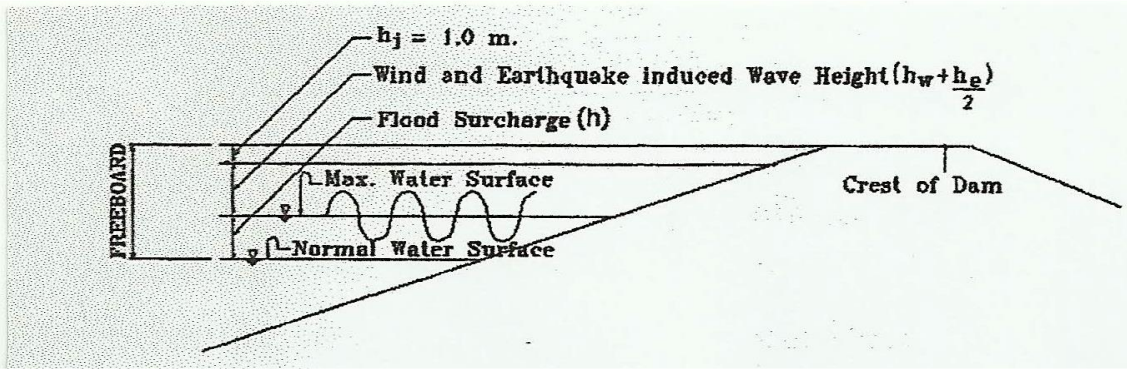
B = ๕.๕ + ๐.๐๕๕x๘.๐๐

= ๕.๙๔๐ ม.

กำหนด B = ๘.๐๐ ม.

๒. ระดับสันเขื่อน

ระดับสันเขื่อนต้องสูงพอที่น้ำในอ่างเก็บน้ำจะไม่ไหลล้นข้าม (Overtopping) ซึ่งเกิดจากคลื่นที่เกิดขึ้นในอ่างฯ เนื่องจากลมหรือแรงกระทำเนื่องจากแผ่นดินไหว



รูปที่ ๑ แสดง Freeboard อันเนื่องมาจาก Wave Action

ระยะพ้นน้ำ (Freeboard, HF) คือ ระยะจากระดับสันเขื่อนถึงระดับน้ำเก็บกัก ทั้งนี้การหาระยะพ้นน้ำ (Freeboard, HF) สามารถแสดงดังรูปที่ ๑ และคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$HF = h + hw + he/2 + ha + hi$$

โดยที่ H_F = ระยะพ้นน้ำจากระดับสันเขื่อนถึงระดับน้ำเก็บกัก , เมตร

H = ความสูงของน้ำเหนือสันฝาย (Flood Surcharge) ในขณะระบายน้ำสูงสุดผ่าน Spillway ด้วยปริมาณที่ออกแบบไว้ / เมตร

h_W = ความสูงคลื่นเนื่องจากแรงลม / เมตร

h_e = ความสูงของคลื่นเนื่องผลกระทบของแผ่นดินไหว

h_a = ความสูงของระดับน้ำเนื่องจากความผิดพลาดในการควบคุมบานระบายน้ำ ใช้ค่ามาตรฐานเท่ากับ ๐.๕๐ เมตร ในกรณีที่อาคารระบายน้ำล้นเป็นแบบบานบังคับ (Gated Spillway) และ ๐.๐๐ เมตร ในกรณีที่อาคารระบายน้ำล้นเป็นแบบ Free Overflow (Ungraded Spillway)

h_i = ความสูงเผื่อ Safety ตามขนิดของเขื่อนใช้ค่ามาตรฐานเท่ากับ ๑.๐๐ เมตร สำหรับเขื่อนดินและเขื่อนดิน – หินถม

สำหรับความสูงคลื่นเนื่องจากแรงลมซึ่งรวม Wave Run up แล้ว (h_W) คำนวณได้จากสูตรของ Molitor – Stevenson ดังสมการ

กรณี $F \leq$ ๓๒ กิโลเมตร ;

h_W = ๐.๐๓๒ ; $h_W = (V*F)^{๑/๒} + ๐.๗๖ - ๐.๒๗(F)^{๑/๔}$

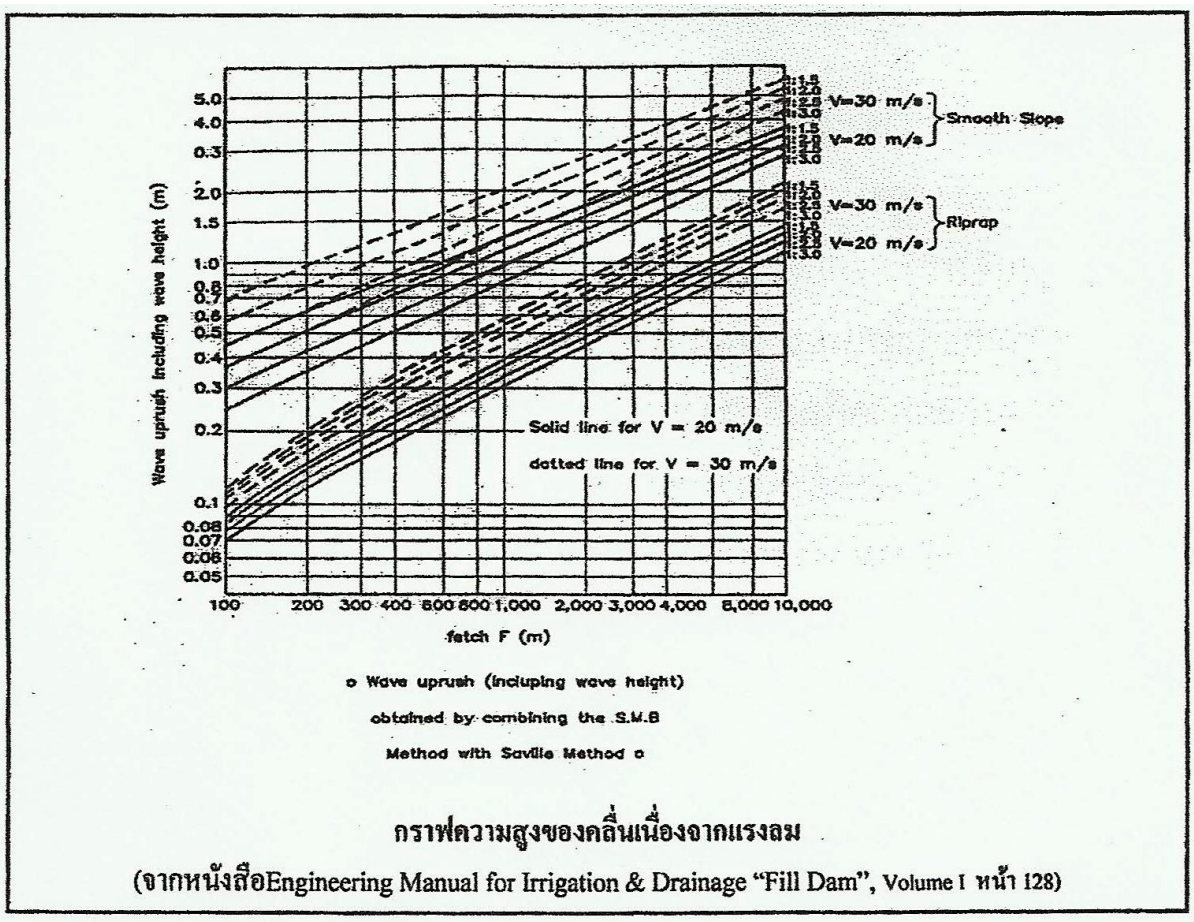
กรณี $F \geq$ ๓๒ กิโลเมตร ;

h_W = ๐.๐๓๒ ; $h_W = (V*F)^{๑/๒}$

โดยที่ V = ความเร็วลม, กิโลเมตร/ชั่วโมง

F = Fetch Length - กิโลเมตร

= ระยะผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำตามทิศทางการพัดของลมเข้าหาตัวเขื่อน ในแนวตั้งฉากกับตัวเขื่อนเป็นกิโลเมตร



กราฟความสูงของคลื่นเนื่องจากแรงลม

(จากหนังสือEngineering Manual for Irrigation & Drainage "Fill Dam", Volume I หน้า 128)

รูปที่ ๒ แสดงกราฟความสูงของคลื่นเนื่องจากแรงลม

๓. ความลึกร่องแกนและความกว้างท้องร่องแกน

กำหนดให้กว้างพอที่จะนำเครื่องจักร เครื่องมือลงไปทำงานได้ แต่ทั้งนี้ต้องกว้างไม่น้อยกว่า ๖.๐๐ เมตร (Design of Small Dam,๑๙๘๗ หน้า ๒๐๖) อย่างไรก็ตามความกว้างของร่องแกนสามารถคำนวณได้จาก

w = h – d

โดยที่ w = ความกว้างท้องร่องแกน, เมตร

h = ความลึกน้ำ วัดจากระดับผิวดินถึงระดับน้ำเก็บกัก - เมตร

= ๖.๐๐ เมตร

d = ความลึก Cutoff Trench วัดจากผิวดินถึงร่องแกน - เมตร

= ๖.๐๐ เมตร

W = ๖.๐๐ – ๖.๐๐

= ๐ เมตร

กำหนด W = ๖.๐๐ เมตร

๔. การป้องกันลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ

การป้องกันลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ ต้องปลอดภัยจากแรงกระแทกของคลื่นในอ่างเก็บน้ำ โดยกำหนดให้มีการทิ้งหินที่ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ ขนาดของหินทิ้งตามคำแนะนำของ U.S. Corps of Engineers (๑๙๘๔) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$W_{50} = \frac{\gamma_r * H^3}{k_{RR}\left(S_r - 1\right)^3 COT\theta}$$

เมื่อ $W_{๕๐}$ = น้ำหนักเฉลี่ยของหิน เป็นกิโลนิวตัน (kN)

H = ความสูงคลื่น เป็นเมตร

S_r = ความถ่วงจำเพาะของหิน ($S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_w}$)

γ_r = ความหนาแน่นของหิน

หน่วย กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร ($kN/m^{๒}$)

γ_w = ความหนาแน่นของน้ำ

= ๙.๘๑ กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร ($kN/m^{๒}$)

θ = มุมลาดเขื่อน เป็นองศา

K_{RR} = Stability Coefficient มีค่าเท่ากับ ๒.๕ สำหรับ Angular Rock

หนักของหินใหญ่สุด ($W_{๑๐๐}$) มีค่าประมาณ ๔ เท่า ของน้ำหนักเฉลี่ย ($W_{๕๐}$) ซึ่งจะได้ขนาดใหญ่สุดของหิน ($D_{๑๐๐}$) มีค่าประมาณ ๑.๕ เท่าของขนาดเฉลี่ย ($D_{๕๐}$) ความหนาของหินทิ้ง (Riprap) จะมีค่าประมาณ ๑ – ๑.๕ เท่าของขนาดหินใหญ่สุด (D๑๐๐)

ตารางที่ ๑ แสดงขนาดของหินทิ้งตาม U.S. Corps of Engineers (๑๙๘๔)

ความสูงคลื่น (เมตร)	ขนาดของหินทิ้ง (เมตร)			
	๓H : ๑V Slope		๒H : ๑V Slope	
	$D_{๕๐}$	$D_{๑๐๐}$	$D_{๕๐}$	$D_{๑๐๐}$
๐.๕	๐.๑๙	๐.๒๗	๐.๒๑	๐.๓๐
๑.๐	๐.๓๗	๐.๕๕	๐.๔๒	๐.๖๓
๑.๕	๐.๕๕	๐.๘๒	๐.๖๓	๐.๙๕
๒.๐	๐.๗๓	๑.๑๐	๐.๘๔	๑.๒๖
๒.๕	๐.๙๒	๑.๓๘	๑.๐๕	๑.๕๘

เพื่อป้องกันไม่ให้คลื่นพัดพาดินถมตัวเขื่อนออกมา จึงจำเป็นต้องวางหินทิ้งอยู่บนกรวดทรายรองพื้น (Bedding Material) โดย Sherard et. al.,(๑๙๖๓) และ U.S.Army Corps of Engineers, (๑๙๘๔) ได้กำหนดความหนาของกรวดทรายรองพื้นแสดงในตารางที่ ๒

ตารางที่ ๒ แสดงความหนาของกรวดทรายรองพื้นตาม Sherard et. al.,(๑๙๖๓)

ความสูงคลื่น (เมตร)	ความหนากรวดทรายรองพื้นต่ำสุด (เซนติเมตร)
๐ – ๑.๒	๑๕.๐
๑.๒ -๒.๔	๒๒.๕
๒.๔ – ๓.๐	๓๐.๐

Sherard et. al.,(๑๙๖๓) และ U.S.Army Corps of Engineers,(๑๙๘๔) ได้แนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับขนาดคละของกรวดทรายรองพื้นไว้ ดังนี้

สำหรับวัสดุรองพื้น (Bedding Material) จะพิจารณาจาก Filter Criteria ของสมการ

$$\frac{D_{๑๕}\text{ของ Filter}}{D_{๘๕}\text{ของ BaseMaterial}} \leq ๕$$

เมื่อ $D_{๑๕}$ = ขนาดวัสดุ (มิลลิเมตร) ที่มีขนาดเล็กกว่าเป็นจำนวน ๑๕% โดยน้ำหนัก

$D_{๘๕}$ = ขนาดวัสดุ (มิลลิเมตร) ที่มีขนาดเล็กกว่าเป็นจำนวน ๘๕% โดยน้ำหนัก

๕. การป้องกันลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ

เพื่อป้องกันการกัดเซาะ (Erosion) เนื่องจากน้ำฝนและลม การป้องกันทำได้หลายแบบ แต่ที่นิยมใช้คือ การปลูกหญ้า เริ่มตั้งแต่สันเขื่อนลงไปจนถึงดินเดิม ก่อนการปลูกหญ้าต้องปูพื้นดินที่มีความอุดมทางอาหารพืช (Top Soil) หนา ๐.๑๕ ม. และหญ้าที่ปลูกต้องเป็นชนิดที่หยั่งรากลึก ทนแล้งและเจริญเติบโตง่าย

วิธีปลูกหญ้านี้จะประหยัดค่าก่อสร้าง แต่ต้องเอาใจใส่บำรุงรักษาอยู่เสมอ อีกวิธีหนึ่งคือปูด้วยหินหรือกรวด ซึ่งราคาค่าก่อสร้างค่อนข้างแพง แต่ประหยัดค่าบำรุงรักษา

๖. การป้องกันการกัดเซาะบนสันเขื่อน

ควรมีการป้องกันการกัดเซาะเนื่องจากคลื่นและน้ำฝน โดยการปูลูกรังบดอัดแน่นหนาประมาณ ๐.๒๕ เมตร โดยการบดอัดแน่นไม่น้อยกว่า ๙๕ % Modified Proctor Compaction Test เพื่อให้ระบายน้ำฝนได้สะดวก ได้แต่งผิวให้เป็นยอดแหลม มีความลาด ๒ % ทั้งสองด้าน

๗. การวิเคราะห์ความมั่นคงของตัวเขื่อน (Slope Stability Analysis)

ในการออกแบบเขื่อนดิน จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดตัวเขื่อน (Slope Stability Analysis) เพื่อที่จะกำหนดค่าความลาดของตัวเขื่อนทั้งด้านหน้าและด้านหลังเขื่อน เพื่อให้ราคาค่าก่อสร้างน้อยที่สุดในขณะที่ต้องมีความปลอดภัยจากการพังทลายของลาดตัวเขื่อนในทุก ๆ กรณี โดยมีค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) อยู่ในเกณฑ์ที่มั่นใจได้อย่างเพียงพอ

กรณีการวิเคราะห์และค่าความปลอดภัย

การออกแบบเขื่อน จะยึดหลักการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดตัวเขื่อน ต่อสภาวะหรือเหตุการณ์ ๓ กรณี ดังนี้

๑) กรณีสิ้นสุดการก่อสร้าง (End of Construction)
๒) กรณีเก็บกักน้ำเต็มอ่าง (Full Reservoir)
๓) กรณีที่ระดับน้ำลดลงกะทันหัน (Rapid Drawdown)

วิเคราะห์ความมั่นคงทั้งลาดเขื่อนด้าน U/S และ D/S โดยปกติการลดลงของน้ำภายในอ่างฯที่มีอัตราเร็วเกินกว่า ๓๐ เซนติเมตร/วัน จะส่งผลให้ตัวเขื่อนมีอัตราเสี่ยงต่อการเกิดพังทลายของลาดเขื่อน แรงดันน้ำที่อยู่ระหว่างเม็ดดิน (Pore Pressure) มีผลต่อการวิเคราะห์ความมั่นคง ซึ่งจำเป็นต้องนำมาคิดรวมอยู่ในการวิเคราะห์นี้

โดยจะกำหนดค่าความปลอดภัยต่ำสุดที่ยอมรับได้ (Minimum Allowable Factor of safety) ที่ได้แนะนำโดย Bharat Singh ในหนังสือ Earth and Rockfill Dams (๑๙๗๖) Table ๗.๑ หน้า ๒๐๘ ดังนี้

ตารางที่ ๓ แสดงกรณีการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดตัวเขื่อน และค่าความปลอดภัยต่ำสุด

กรณีการวิเคราะห์	ค่าความปลอดภัยต่ำสุด	
	Without Seismics	With Seismics
กรณีสิ้นสุดการก่อสร้าง	๑.๒๕	๑.๐๐
กรณีเก็บกักน้ำเต็มอ่าง	๑.๕๐	๑.๒๕
กรณีที่ระดับน้ำลดลงกระทันหัน	๑.๒๕	๑.๐๐

วิธีการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดตัวเขื่อนจะใช้ข้อมูลสมมติฐานในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

๑. พิจารณาปัญหาในมิติ ๒ มิติ

๒. Shear Failure ที่จะคาดว่าจะเกิดขึ้น ตัดผ่านตัวเขื่อนและฐานรากด้วยรูปร่างของ Sliding Surface เป็นเส้นโค้งวงกลม

๓. ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) จะคำนวณมาจากอัตราส่วนของโมเมนต์ของแรงต้านการพังทลายอันเนื่องมาจากกำลังของดิน ต่อโมเมนต์ของแรงซึ่งเคลื่อนให้พังทลายอันเนื่องมาจากน้ำหนักของดินและแรงกระทำอื่น ๆ

การวิเคราะห์ความมั่นคงลาดตัวเขื่อนจะใช้วิธี Simplified Bishop Method ซึ่งสมมติลักษณะการเคลื่อนพังของลาดให้เป็นส่วนโค้งของวงกลม แล้วแบ่งมวลดินออกเป็นชิ้น ๆ ตามแนวดิ่ง และพิจารณาสมดุลของทั้งแรงและโมเมนต์ทีเกิดขึ้นในแต่ละชิ้นของมวลดิน สมการของการวิเคราะห์แสดงในรูปของอัตราส่วนปลอดภัย (Factor-of Safety) ดังนี้

$$F.S. = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\dfrac{Cbi + (W - U)\tan\Phi}{\left[\cos\theta i_i + (\sin\theta_i . \tan\Phi)/FS\right]}\right]}{\sum_{i=1}^{n}\left[W\sin\theta_i + \dfrac{Cs}{R}W.a_i\right]}$$

เมื่อ F.S. = อัตรส่วนปลอดภัย (Factor of Safety against sliding)

n = จำนวนชิ้นของมวลดิน (Number of Slices)

C = ความเหนียวของดิน (Cohesion of Soil)

bi = ความกว้างของ Slice แต่ละชิ้น (Width of the Slice)

hi = ความสูงของ Slice แต่ละชิ้น (Height of the Slice)

W = น้ำหนักของมวลดินแต่ละชิ้น (Total Weight of the Slice)

U = แรงดันน้ำในแนวดิ่งที่กระทำต่อ Failure Surface ของ Slice ชิ้นใดๆ

= $u_i b_i$

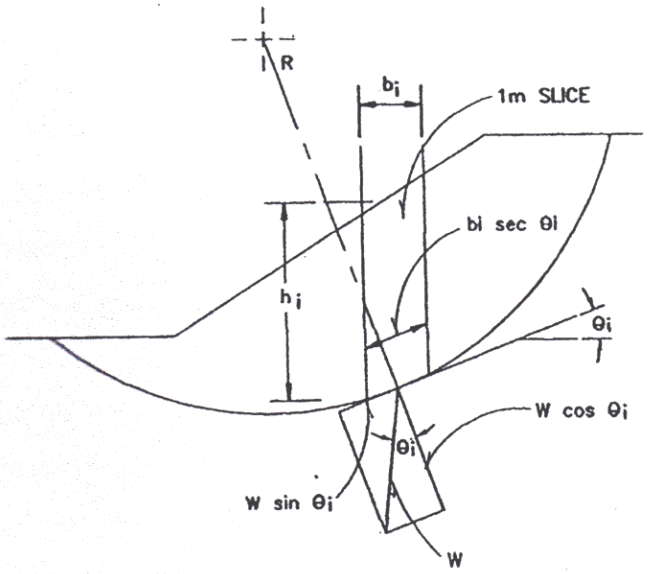
ϕ = มุมของความเสียดทางภายในของดิน (Angle of Internal Friction)

θ_i = มุมเอียงของเส้นสัมผัส (Angle of Inclination)

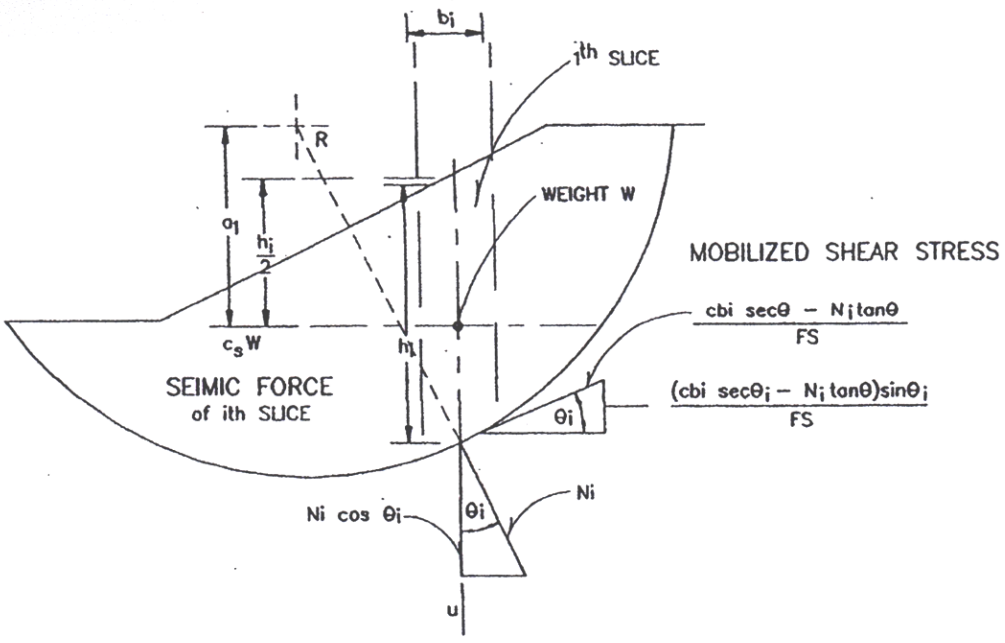
C_S = สัมประสิทธิ์ความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว

R = รัศมีวงกลมของการเคลื่อนพัง

a_i = แขนโมเมนต์



METHOD OF SLICES FOR CIRCULAR SURFACE



VERTICAL FORCES BY SIMPLIFIED BISHOP METHOD

รูปที่ ๓ สมมุติฐานของแรงตามวิธี SIMPLIFIED BISHOP

วิธีการคำนวณค่า Factor of Safety (F.S)

วิธีการคำนวณค่า Factor of Safety (F.S) จะทำการคำนวณตามขั้นตอนต่อไปนี้

๑) เขียนรูปตัดเขื่อนดินที่ต้องการวิเคราะห์ กำหนดแนวชั้นหินและดินฐานรากเส้นแบ่ง Zone ของวัสดุที่ใช้ในตัวเขื่อน ตลอดจนเส้น Phrearic line และลักษณะต่างๆ ทางด้านเรขาคณิต ให้ครบถ้วนตามแนวแกน X และ Y

๒) กำหนด Potential Failure Surface เป็นส่วนของวงกลมโดยมีจุดศูนย์กลางที่ Coordinate ต่างกัน

๓) แบ่งลาดเขื่อนเหนือ Failure Surface เป็น Slices แนวดิ่งเพื่อคำนวณต่อไป

๔) คำนวณค่า F.S. ตามสมการดังกล่าวข้างต้นด้วยค่า Material Properties ที่ได้จากการทดลอง และค่า Pore Pressure หรือ Hydrostatic Water Pressure ของตัวเขื่อนให้เหมาะสมตามกรณีที่ทำการวิเคราะห์ เพื่อคำนวณหาแรงของแต่ละ Slice ที่ Failure Surface

๕) ผลรวมของแรงต่าง ๆ จากการคำนวณในข้อ (๔) ตลอดแนว Failure Surface ได้แก่ ผลรวมของแรง Driving Surface หรือแรงที่กระทำให้ลาดเขื่อนเลื่อนตาม Failure Surface กับผลรวมของแรงต้านการเลื่อน (Resisting Forces)

๖) F.S. จะเท่ากับอัตราส่วนของผลรวมระหว่าง Resisting Forces ต่อผลรวมของ Driving Surface

๗) ทำการคำนวณหาค่า F.S. ใน ข้อ (๖) สำหรับ Failure Surface ซึ่งมีจุดศูนย์กลางต่างๆ กันหลายจุด เพื่อให้ได้ค่า F.S. ที่มีค่าน้อยที่สุด

โดยการวิเคราะห์ในแต่ละกรณี จะเริ่มต้นโดยการกำหนดค่าความลาด และคำนวณหาค่าความปลอดภัยที่ทำให้เกิด Critical Sliding Surface และเปลี่ยนค่าความลาดที่จะทำให้ค่าความปลอดภัยดังกล่าวมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าความปลอดภัยที่ยอมรับได้ และเพื่อความรวดเร็วในการคำนวณจึงได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งได้แก่โปรแกรม Ku slope ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มาช่วยคำนวณ

คุณสมบัติดินด้านวิศวกรรม

คุณสมบัติดินด้านวิศวกรรมที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดตัวเขื่อนประกอบด้วยคุณสมบัติของดินจากแหล่งยืมดินที่จะนำมาถมเป็นตัวเขื่อนทั้งหมด ซึ่งจะได้จาก การทดสอบตัวอย่างดินบดอัดแน่นที่ Optimum Moisture Content และคุณสมบัติของดินฐานราก โดยการทดสอบตัวอย่างดินตามสภาพธรรมชาติ (Undisturbed Sample) คุณสมบัติของดินที่ต้องการ ได้แก่

๑) น้ำหนักดิน ได้แก่ Dry density, Moist density และ Saturated density

๒) สัมประสิทธิ์การรั่วซึม (Coefficient of Permeability)

๓) กำลังแรงเฉือนของดิน (Shear Strength) ซึ่งประกอบด้วยค่า Cohesion (c) และค่า Friction angle (ϕ) จาก Direct Shear Test

Pore Pressure

แรงดันน้ำและอากาศภายในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน หรือที่เรียกว่า Pore Pressure โดยเฉพาะในกรณีของดินเม็ดละเอียด (Fined Grain Soils) เช่น แกนเขื่อน เป็นต้น เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength) ลดลง อันจะเป็นผลให้ความมั่นคงของลาดตัวเขื่อนลดลงด้วย ดังสูตรต่อไปนี้

$$S = C + (\sigma - U)\tan\phi$$

เมื่อ S = Shear Strength
C = Cohesion
ϕ = Friction Angle
σ = Total Stress
U = Pore Pressure

Pore Pressure ที่จะเกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน ได้แก่ Compressibility, Permeability และปริมาณน้ำ / อากาศ ในเนื้อดินเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการบดอัดดินควรต้องระมัดระวังไม่ให้มีความชื้นในดินมากเกินความจำเป็นซึ่งจะมีผลให้ Pore pressure เพิ่มมากขึ้น

การกำหนดค่า Pore pressure ที่จะเกิดขึ้นในตัวเขื่อนนิยมกำหนดด้วย Pore pressure Coefficient (Ru) ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนดังนี้

$$Ru = \frac{\text{Pore Pressure}}{\text{Overburden Pressure}} \qquad \frac{U}{rh}$$

โดยทั่วไปค่า Ru จะมีค่าผันแปรระหว่าง ๐.๒๕ – ๐.๔๐

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม KUslope ในกรณีคิด seismic ได้ ดังนี้

๑) กรณีสิ้นสุดการก่อสร้าง (End of Construction)
-U/S ค่า Factor of safety (min) = ๒.๕๖ >๑.๐๐
-D/S ค่า Factor of safety (min) = ๒.๕๐ >๑.๐๐

๒) กรณีเก็บกักน้ำ
-D/S ค่า Factor of safety (min) = ๒.๑๒ >๑.๒๕

๓) กรณีระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown)
-U/S ค่า Factor of safety (min) = ๑.๑๖ >๑.๐๐

สรุปได้ว่าจากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณหาความมั่นคงของลาดตัวเขื่อนทั้งด้านหน้า (Upper Stream, U/S) และด้านท้ายเขื่อน (Down Stream, D/S) ทั้ง ๓ กรณีผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

๘) การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำผ่านเขื่อนและฐานราก

การวิเคราะห์มีวัตถุประสงค์เพื่อ

ก) ออกแบบการปิดกั้นการไหลของน้ำผ่านตัวเขื่อนและฐานรากพร้อมทั้งประเมินปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเทียบกับมาตรฐานการรั่วซึมที่ยอมรับ

ข) ตรวจบริเวณที่อาจเกิดการกัดเซาะและพัดพาเม็ดดินภายในตัวเขื่อนและฐานรากพร้อมกับประเมินความเหมาะสมในการออกแบบชั้นกรองและระบบระบายน้ำ

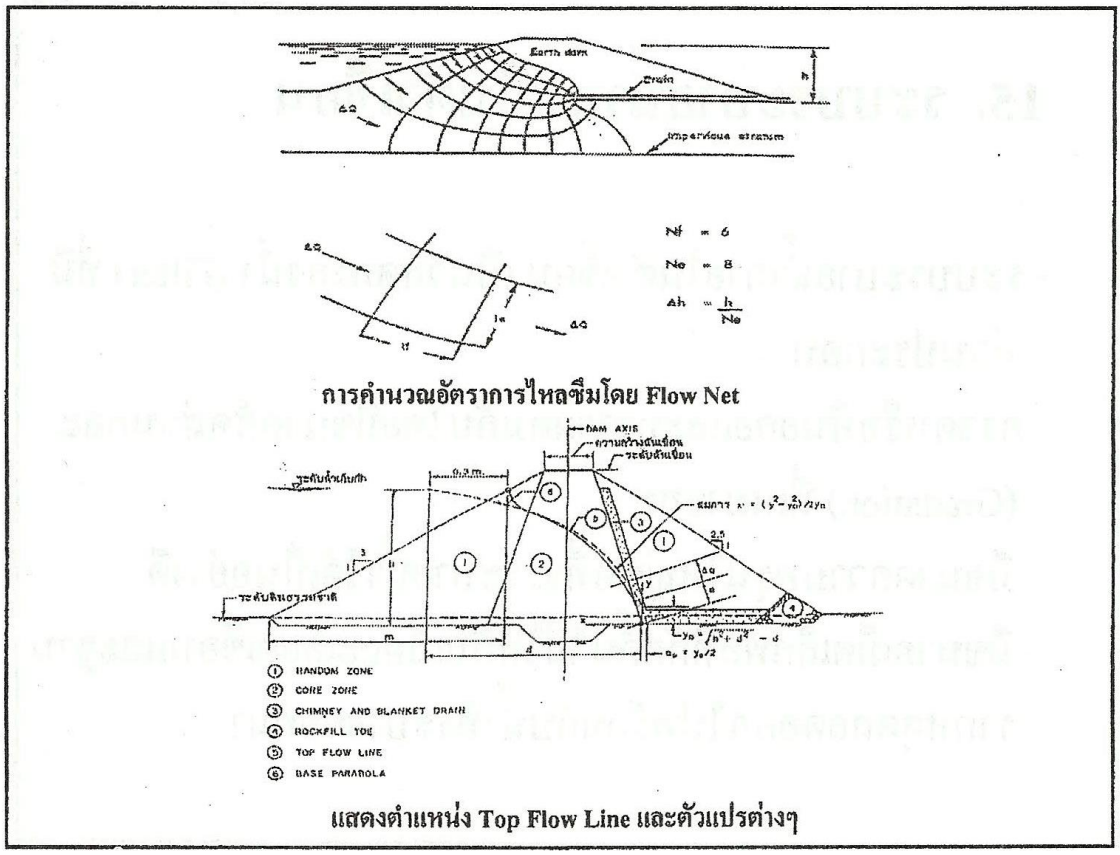
ค) ประเมินความดันน้ำที่เกิดจากการไหลซึม เพื่อนำไปตรวจสอบโอกาสการเกิด Boiling ด้านท้ายน้ำ และความดันน้ำที่มีผลเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อน

ง) เป็นแนวทางในการกำหนดตำแหน่งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน และวัดปริมาณน้ำที่ซึมผ่านเขื่อนในการตรวจสอบความปลอดภัย

การวิเคราะห์โดยทั่วไปจะใช้

๑. การเขียน Flow nets บนหน้าตัดวิกฤติของตัวเขื่อนในขณะที่เส้นผิวน้ำในแกนดินเหนียวทึบน้ำจะคำนวณโดยใช้วิธีของ Casagrande,(๑๙๓๗)

๒. วิธี Finite Element Seepage Analysis ซึ่งกระทำได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งมีสมการ Laplace’s Equation ควบคุมการไหลบนพื้นที่ที่มี Boundary Condition ที่ผิวน้ำปรับให้เคลื่อนที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ ๔



รูปที่ ๔ แสดงตำแหน่ง Top Flow Line และตัวแปรต่าง ๆ

เกณฑ์กำหนดปริมาณน้ำที่ซึมผ่านตัวเขื่อนและฐานรากโดยทั่วไปจะยอมให้มีการรั่วซึมไม่มากกว่า ๐.๐๑% - ๐.๐๕% ของความจุอ่างเก็บน้ำต่อวัน ถ้ามากเกินไปทำให้เกิด Piping ด้านท้ายเขื่อนได้

การเขียนเส้น Phreatic line สำหรับการวิเคราะห์ความมั่นคงของตัวเขื่อนดิน Top flow line หรือ Phreatic line ซึ่งอยู่ภายในตัวทำนบดิน บนเส้นนี้ Hydrostatic pressure มีค่าเป็น “๐” ส่วนใต้เส้นนี้ความดัน Hydrostatic pressure มีค่าเป็นบวก โดยกำหนดใช้ค่าที่เท่ากับระดับน้ำเก็บกักมาพิจารณา คือ +๔๒๑.๐๐๐

คุณสมบัติของ Phreatic line มีดังนี้

๑. ตำแหน่งของ Phreatic line ขึ้นอยู่กับรูปตัดของตัวเขื่อนเท่านั้น ไม่ขึ้นอยู่กับค่า Permeability ถ้าเป็นเขื่อนที่มีเนื้อเดียวกันตลอด (Homogeneous Dam)

๒. Phreatic line เป็นรูป Parabola ยกเว้นจุดเข้าและจุดออก ที่จุดเข้า Phreatic line จะตั้งฉากกับความลาดเทเหนือน้ำ แต่ที่จุดออกจะสัมผัสกับผิวลาดเทถ้าไม่มี Filter

๓. ถ้า Filter อยู่ในแนวราบ หรือมี Rockfill Toe จะต้องมีการปรับแก้ค่าให้ถูกต้อง เมื่อมีชั้น Pervious ใต้เขื่อนดินจะไม่มีผลต่อ Phreatic line

การเขียนเส้น (Phreatic line) โดยวิธีของ Casagrande

๑. หาระยะ m ก่อน ระยะนี้คือ ระยะราบที่ผิวน้ำแตะราบด้านหน้าเขื่อนกับฐานเขื่อน

๒. หาตำแหน่งจุ B′ ที่ผิวน้ำ โดย BB′ = ๐.๓๐ m

๓. หาค่า yo ซึ่งมีค่าเท่ากับ $(d^2 + h^2)^{0.5} - d$ หรืออาจหาได้โดยการใช้วงเวียนก็ได้โดยใช้รัศมี AB′ ตัดฐาน ลากเส้นดิ่งจาก B′ จะได้ค่า yo

๔. วัดระยะจากจุด A ไปทางขวาเท่ากับ $y_o / ๒$ จะได้จุด a_o ซึ่งเป็นจุด Vortek ของ Parabola สมการ Parabola มี Focus ที่จุด Ao คือ $x = (y^2-y_o^2) / (๒*y_o)$ ซึ่งสามารถ Plot รูป Basic Parabola ได้

๕. ต้องมีการปรับ Curve เพื่อให้ถูกต้อง ดังนี้

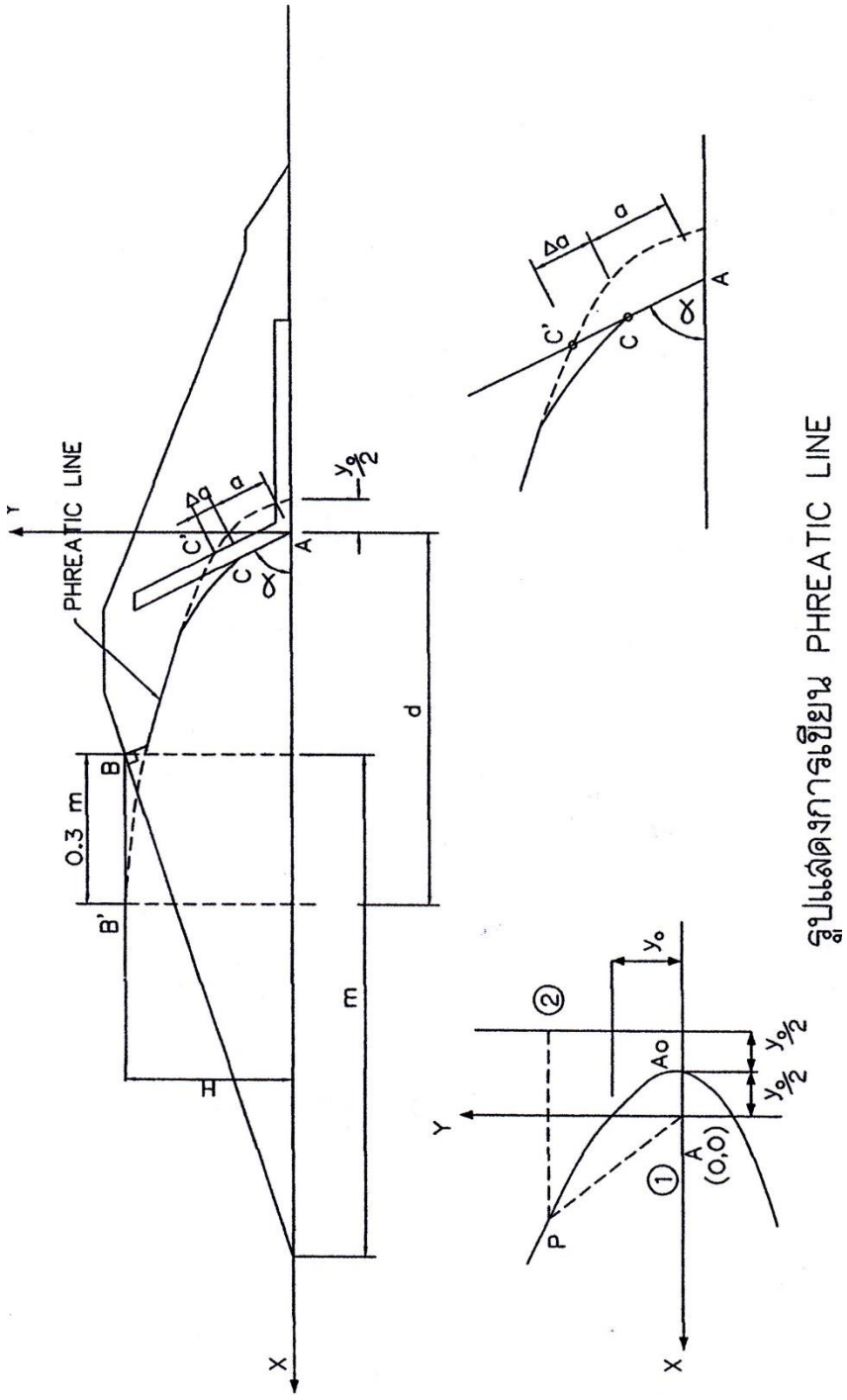
- ที่ทางเข้าสู่ตัวเขื่อน (Point of entrance) ที่จุด B ปรับให้ตั้งฉากกับผิวน้ำ
- ที่ทางออก (Point of Discharge) ที่น้ำซึมออกทางลาดท้ายเขื่อนที่จุด C′ เป็นจุดที่ Basic Parabola ตัดเขื่อนที่ระยะ $a + \Delta a$ ตามลาดท้ายเขื่อน จากจุด A Seepage line ที่ถูกต้องคือจุด C ที่ระยะ Δa ต่ำจากจุด C′

Δa หาได้ ดังนี้

๑) $a+\Delta a = y_o / (๑-\cos\alpha)$

๒) $\frac{\Delta a}{a+\Delta a}$ หาได้จากกราฟหรือตารางการปรับแก้เส้นผิวท้ายน้ำ

3) เมื่อสามารถหาค่า Δa ได้ในที่สุดจะได้ตำแหน่งจุด C



รูปที่ ๕ แสดงการเขียน PHREATIC LINE

๙) Rock fill Toe

เป็นระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อนประเภทหนึ่ง อยู่บริเวณลำน้ำเดิม เพื่อให้สามารถป้องกันการกัดเซาะที่บริเวณฐานเขื่อน อันเนื่องมาจากน้ำท้ายเขื่อนเอ่อท้นขึ้นสูง ระดับ Rock fill Toe

กำหนดให้มีระดับสูงกว่าระดับตลิ่งเล็กน้อย ซึ่งจะพ้นจากระดับน้ำเอ่อท้นท้ายเขื่อนปกติ ทำหน้าที่เป็นระบบระบายน้ำภายนอกตัวเขื่อนที่เชื่อมต่อกับ Contact Drain และ/หรือ Open Drain เช่นกัน

Rock fill Toe มีโครงสร้างเป็นหินที่มีขนาดใหญ่และวางอยู่บนดินจึงจำเป็นต้องมีชั้นกรวดทรายรองหินดังกล่าวก่อนที่จะวางลงบนดินอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันการถูกกดจมลงในชั้นดินและป้องกันการพัดพาดินเม็ดละเอียดให้หลุดลอยออกไปพร้อมกับน้ำที่ระบายออกมา

๑๐) การออกแบบระบบระบายน้ำภายนอกตัวเขื่อน

Contact Drain เป็นการออกแบบไว้ที่ฐานยันเขื่อนทั้งสองฝั่งตั้งแต่ระดับสันเขื่อนลงมาเชื่อมต่อกับ Rock fill Toe อยู่ปลายที่เป็นรอยต่อระหว่างลาดเขื่อนและดินเดิม เขื่อนบางแห่งอาจจะพิจารณาติดตั้ง Contact Drain จนถึงจุดเริ่มเข้าสู่พื้นที่ราบบริเวณสองฝั่งลำน้ำเดิม แล้วจึงเชื่อมต่อกับ Open Drain ต่อไป รูปแบบของ Contact Drain เป็นรางระบายน้ำรูปสามเหลี่ยมที่ใส่กรวดหรือหินย่อยขนาดต่าง ๆ ที่เหมาะสมลงไปจนมีระดับสูงกว่าระดับดินเดิมเล็กน้อย

๑๐.๑) การหาขนาดของกรวดหรือหินย่อย (Gravel or Crushed Rock)

วัสดุที่ต้องนำไปใช้ในการก่อสร้าง Toe Drain หรือ Contact Drain โดยขนาดส่วนคละ (Gradation) คำนวณหาได้ตามเกณฑ์ ดังนี้

$$\frac{D_{๕๐}\ (G/R)}{D_{๕๐}\ (F)} < ๒๕$$

$$\frac{D_{๘๕}\ (G/R)}{D_{OP}} \geq ๒$$

$$C_U = \frac{D_{๖๐}}{D_{๑๐}} \approx ๑๕ - ๘๐$$

เมื่อ $D_{๕๐}(G/R)$ = กรวดหรือหินย่อยที่มีขนาดเล็กกว่า ๕๐%

$D_{๕๐}(F)$ = วัสดุกรองที่มีขนาดเล็กกว่า ๕๐%

$D_{๘๕}(G/R)$ = กรวดหรือหินย่อยที่มีขนาดเล็กกว่า ๘๕%

D_{OP} = ขนาดรูเจาะเพื่อการระบายน้ำที่ท่อระบายน้ำ

C_U = Coefficient of Uniformity

โดยผลจากการคำนวณได้กำหนดไว้ในแบบดังแสดงในตารางที่ ๔

ตารางที่ ๔ การหาขนาดของกรวดหรือหินย่อย

ขนาดของก้อนหิน		ร้อยละของขนาดที่เล็กกว่าที่ระบุโดยน้ำหนัก
เซนติเมตร	น้ำหนักโดยประมาณกิโลกรัม	
๒๐	๑๑	๑๐๐
๑๕	๔.๕	๕๐ - ๑๐๐
๑๐	๑.๔	๓๐ - ๔๐
๔	๐.๑	๐ - ๒๐
ทรายและหินฝุ่น		น้อยกว่า ๕

๑๐.๒) ขนาดคละของกรวดทรายรองพื้น(Bedding Material) มีเกณฑ์ ดังนี้

$$\frac{D_{๑๕}\ (bed)}{D_{๘๕}\ (B)} \leq ๕$$

$$\frac{D_{๑๕}\ (R)}{D_{๘๕}\ (bed)} \leq ๑๐$$

เมื่อ $D_{๑๕}$(bed) = วัสดุรองพื้นที่มีขนาดเล็กกว่า ๑๕%

$D_{๘๕}$(B) = วัสดุถมตัวเขื่อนที่มีขนาดเล็กกว่า ๘๕%

$D_{๑๕}$(R) = วัสดุหินทิ้งที่มีขนาดเล็กกว่า ๑๕%

$D_{๘๕}$(bed) = วัสดุรองพื้นที่มีขนาดเล็กว่า ๘๕%

๑๑) การประเมินการทรุดตัวของเขื่อนและการออกแบบส่วนเผื่อของสันเขื่อน (Camber)

เมื่อได้รับน้ำหนักกดทับดินทึบน้ำที่ใช้ถมตัวเขื่อนจะเกิดการยุบตัวหรือการทรุดตัวของเขื่อนดิน จึงต้องเผื่อระยะทรุดตัวเอาไว้การทรุดตัวของเขื่อนจะขึ้นกับความสูงของสันเขื่อนและคุณสมบัติของดินที่นำมาถมตัวเขื่อนรวมทั้งวิธีการก่อสร้าง การคำนวณการทรุดตัวของเขื่อนหาได้จากสมการต่าง ๆ ดังนี้

- USBR Design standard No.๑๓

สำหรับเขื่อนที่มีความสูงมากกว่า ๑๓.๐๐ เมตร

S = ๐.๐๓๕(H-๑๓)

สำหรับเขื่อนที่มีความสูงไม่เกิน ๑๓.๐๐ เมตร

S = ๐.๐๐๒H ถึง ๐.๐๐๔H

เมื่อ S = ระยะทรุดตัวของเขื่อน หน่วยเป็นเมตร

H = ความสูงของเขื่อน หน่วยเป็นเมตร

คำนวณจาก Empirical Formula ที่เสนอโดย THOMAS (๑๙๗๖)

$$S = ๑๐^{(๐.๐๑๕๖H-๑.๑๖)}$$

เมื่อ H = ความสูงของตัวเขื่อน

คำนวณจาก USBR (๑๙๗๔) ได้เสนอไว้ ๑% ของความสูงเขื่อน

เมื่อ S = ๐.๐๑H

การออกแบบอาคารระบายน้ำล้น (Spillway)

เป็นความรู้สำหรับใช้เพื่อการกำหนดรูปร่างลักษณะของอาคารและส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารระบายน้ำล้น ตรวจสอบความมั่นคงของอาคาร การวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำหลังจากการก่อสร้างอาคาร และการกำหนดการป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจากการไหลของน้ำ ด้านชลศาสตร์ ซึ่งรายละเอียดการออกแบบอาคารระบายน้ำล้นมีหลักการ ดังนี้

๑) การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดผ่านตัวอาคารระบายน้ำล้น โดยใช้ปริมาณน้ำนองรอบปีการเกิดซ้ำที่ ๒๕ ปี (สำหรับงานชลประทานขนาดเล็ก) ซึ่งจะต้องไม่ทำให้เกิดการท่วมเกินระดับที่ยอมรับได้

หาได้จากสูตร

$$Q = CLH^{๓/๒}$$

Q = อัตราการไหลสูงสุดในการออกแบบ เป็นลูกบาศก์เมตร / วินาที

L = ความยาวสันฝาย เป็นเมตร

H = ความสูงของน้ำเหนือสันฝาย เป็นเมตร

C = สัมประสิทธิ์การไหล ขึ้นชนิดของสันฝาย

๒) การออกแบบพื้นด้านหน้า พื้นที่คอนกรีตด้านหน้าอาคารระบายน้ำ ต้องสามารถต้านทานแรงดันยกตัว (Uplift pressure) ใต้ตัวอาคารระบายน้ำได้ ความหนาของพื้นอาคารไม่น้อยกว่า ๐.๓๐ เมตร เพื่อป้องกันแรงกระแทกของน้ำไหลตกจากสันฝายไม่ให้กัดเซาะพื้นอาคาร

การคำนวณหาความหนาของพื้นต้านแรงดันยกตัว ควรเผื่อเกณฑ์ความปลอดภัย ๑.๓ และสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$t = ๑.๓ \frac{\gamma_w - U_x}{\gamma_c}$$

เมื่อ t = ความหนาของพื้น

γ_w = น้ำหนักหนึ่งหน่วยของน้ำ

γ_c = น้ำหนักหนึ่งหน่วยของคอนกรีตเสริมเหล็ก

๓) การออกแบบพื้นด้านท้าย ความยาวของพื้นด้านท้ายฝาย เป็นไปตามขนาดความยาวของอ่างน้ำนิ่ง (stilling basin) ที่เลือกใช้ แต่ไม่ควรจะให้พื้นด้านท้ายน้ำสั้นและหนาน้อยเกินไป เพื่อป้องกันแรงกระแทกของน้ำไหลตกจากสันฝายไม่ให้กัดเซาะท้องน้ำได้ ฉะนั้นพื้นไม่ควรหนาน้อยกว่า ๐.๓๐ เมตร

๔) การคำนวณหาความเร็วที่ตีนฝาย ความเร็วของน้ำที่ตีนฝายมีความสำคัญต่อการเลือกชนิดของอ่างน้ำนิ่ง สามารถคำนวณหาความเร็ว โดยอาศัยหลักการของพลังงานจากสมการต่อไปนี้

การคำนวณหาความเร็วที่ตีนฝาย

$$\Delta z + P + h_o + \frac{V_a^2}{2g} = d_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

เมื่อ Δz = ผลต่างของระดับพื้นด้านหน้าและด้านท้ายฝาย

P = ความสูงของสันฝายจากพื้นด้านหน้า

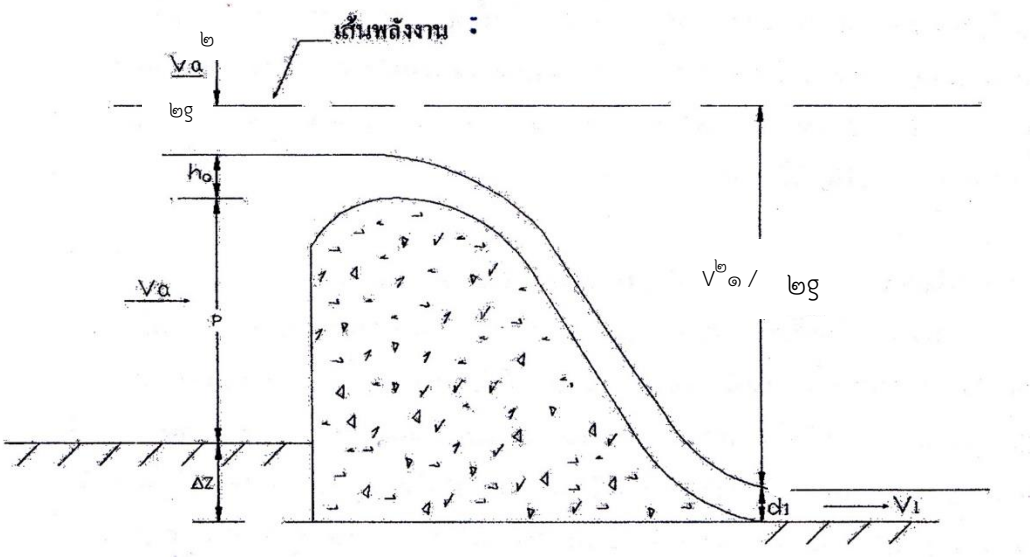
h_o = ความลึกของน้ำเหนือสันฝาย

V_a = $\frac{q}{P+h_o}$ = ความเร็วของน้ำด้านหน้าฝาย

q = ปริมาณการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของ Approach Channel หน้าฝาย

d_1 = ความลึกของน้ำที่ตีนฝาย

V_1 = $\frac{q}{d_1}$ = ความเร็วของน้ำที่ตีนฝาย



รูปที่ ๖ ความเร็วของน้ำที่ตีนฝาย

๕) การวิเคราะห์รูปตัดตามยาวของการไหลของผิวน้ำอาคารระบายน้ำและรางเท

เพื่อกำหนดความสูงของกำแพงรางเท ให้สูงพอที่จะป้องกันน้ำล้นตลิ่งได้ การคำนวณการไหลของปริมาณการไหลต่าง ๆ ตามขนาดรอบปีการเกิดซ้ำที่ ๒๕ ปี สามารถกระทำได้โดยใช้วิธี Direct step method

๖) การวิเคราะห์ความลึกด้านท้ายน้ำ (Analysis of Tailwater Depth)

ความลึกด้านท้ายน้ำ (Tw) เป็นความลึกของน้ำที่เกิดขึ้นตามสภาพปกติ (ไม่มีฝายทดน้ำขวางลำน้ำ) ของลำน้ำและหน้าตัดด้านท้ายของอ่างน้ำนิ่ง (Stilling Basins) ความลึกของน้ำด้านท้ายมีความสำคัญต่อการเกิด Hydraulic Jump และการกำหนดระดับของพื้นอ่างน้ำนิ่ง (Stilling Basins) โดยระดับน้ำด้านท้ายต้องมากกว่าหรือเท่ากับระดับน้ำหลัง Hydraulic Jump มิฉะนั้นแล้วตำแหน่งของการ Hydraulic Jump จะเคลื่อนที่ออกมาทางด้านท้ายน้ำของอ่างน้ำนิ่ง และจะทำให้เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงต่อพื้นและตลิ่งลำน้ำ

ในการกำหนดระดับพื้นของอ่างน้ำนิ่งนั้น จะต้องมีการเปรียบเทียบความลึกด้านท้ายน้ำกับความลึกหลัง Hydraulic Jump เมื่อปริมาณการไหลขนาดต่าง ๆ ไหลตกจากฝายลงมาต้องมีการจัดทำ Rating Curve ของหน้าตัดทางด้านท้ายฝาย ซึ่งโดยปกติจะไม่มีการตรวจวัดข้อมูลระดับน้ำ หรือความลึกของน้ำและปริมาณการไหล จึงต้องมีการพิจารณาจัดทำ Rating Curve โดยอาศัยการคำนวณจากสมการแมนนิ่ง

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลในลำน้ำ, ลูกบาศเมตร/วินาที

n = ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง

A = พื้นที่หน้าตัดของน้ำไหลในคลอง, ตารางเมตร

R = รัศมีชลศาสตร์, เมตร = A/P

P = ความยาวของเส้นของเปียก, เมตร

S = ความลาดเทของเส้นพลังงาน หรือ ความลาดชันของท้องลำน้ำในกรณีการไหลแบบ Uniform

ค่าสัมประสิทธิ์ n สามารถประเมินกำหนดได้จากชนิดของวัสดุหรือดินตามผิวลำน้ำและลักษณะของลำน้ำ (ซึ่งจะที่เลือกใช้ได้จากหนังสือ หรือตำราที่เกี่ยวข้องกับชลศาสตร์ และการไหลในทางปิด)

ขั้นตอนการสร้าง Rating Curve พอสรุปได้ ดังนี้

๑. ทำการสำรวจหน้าตัดของลำน้ำตรงตำแหน่งที่จะสร้างฝาย

๒. ทำการสำรวจความลาดชันของท้องลำน้ำ

๓. เขียนรูปหน้าตัดด้วยมาตราส่วนที่เหมาะสมลงในกระดาษ

๔. กำหนดความลึกของน้ำค่าต่างๆ เพื่อหาค่า A, P และ R

๕. ทำการประเมินกำหนดค่าnตามชนิดของวัตถุหรือดินและลักษณะของลำน้ำ

๖. คำนวณหาค่าความเร็วและอัตราการไหลตามสมการของแมนนิ่ง

๗. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหรือระดับน้ำและอัตราการไหล ซึ่งก็คือ Rating Curve

ในกรณีที่มีการปรับแต่งลำน้ำด้านท้ายต่อจากอ่างน้ำนิ่ง เป็นช่วงระยะความยาวที่เหมาะสม การวิเคราะห์หา Rating Curve จะใช้ข้อมูลหน้าตัดและลักษณะของลำน้ำจากการปรับแต่งลำน้ำ

๗) การป้องกันการกัดเซาะด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ

ในกรณีที่อาคารชลศาสตร์ เช่น ฝายทดน้ำ สร้างขึ้นในลำน้ำธรรมชาติหรือคลอง ต้องมีการป้องกันการกัดเซาะซึ่งอาจจะเกิดขึ้นจากความปั่นป่วนและความแรงของกระแสน้ำ ตรงช่วงต่อของขอบอาคารกับเนื้อดิน โดยเฉพาะด้านท้ายของอาคารสลายพลังงานหรืออ่างน้ำนิ่ง ซึ่งการไหลมีความปั่นป่วนและมีคลื่นผิวน้ำ

การป้องกันการกัดเซาะทั้งพื้นท้องน้ำ และลาดตลิ่งสองฝั่งมักนิยมใช้หินทิ้ง หินเรียง หรือหินเรียงยาวแนว โดยมีความยาวของการป้องกันขึ้นอยู่กับชนิดของดินท้องน้ำและลาดตลิ่ง และความเร็วของกระแสน้ำ

๗.๑) ขนาดของหินทิ้งหรือหินเรียง

ขนาดของหินทิ้งหรือหินเรียงท้ายอาคารสลายพลังงานขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเร็วกระแสน้ำ ทิศทางการไหล สภาพการปั่นป่วนของการไหล และลักษณะคลื่น วิธีการหาขนาดหินที่นิยมใช้ ดังนี้

๑) วิธีของ USBR ใช้โค้ง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหินหรือน้ำหนักกับความเร็วของการไหลที่ท้องน้ำ ซึ่งคำนวณหาได้ยาก ในทางปฏิบัติให้ใช้ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำตรงตำแหน่งของ End sill ของอ่างน้ำนิ่ง (Stilling Basin) สำหรับอาคารชลศาสตร์ที่ไม่มีอาคารสลายพลังงานให้หาความเร็วกระแสน้ำจากสมการต่อไปนี้

$$V_b = \sqrt{๒g\Delta z}$$

เมื่อ Δz = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ ในกรณีฝายทดน้ำให้ ใช้ความสูงของสันฝายเหนือพื้นด้านท้ายน้ำ

๒) วิธีของเบอรี่ (Berry) สำหรับหินที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ ๒.๖๕ สามารหาขนาดของ หินจากสมการต่อไปนี้

$$V_b = ๒.๕๗\sqrt{d}$$

เมื่อ V_b = ความเร็วของกระแสน้ำที่ท้องน้ำที่ท้องน้ำ, ฟุต/วินาที

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหิน, นิ้ว

๓) วิธีของมาวิสและลอซซี่ เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$V_b = \frac{1}{2}\sqrt{d} - \sqrt{s-๑}$$

เมื่อ V_b = ความเร็วของกระแสน้ำที่ท้องน้ำ, เมตร/วินาที

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหิน, มิลลิเมตร

s = ความถ่วงจำเพาะของหิน, ไม่มีหน่วย

๗.๒) ความยาวของการป้องกันการกัดเซาะ

๑) ความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะโดยการใช้หินเรียง มีแนวทางในการวิเคราะห์หาโดยใช้หลักการของการเกิดความลึกที่ถูกกัดเซาะ และสามารถสรุปเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$L_u = ๒.๕๕\ q^{๒/๓} - ๑.๕\ D_u$

$L_d = ๓.๐๐\ q^{๒/๓} - ๑.๕\ D_d$

เมื่อ L_u = ความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะด้านเหนือน้ำ - เมตร

L_d = ความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะด้านท้ายน้ำ - เมตร

q = อัตราการไหลต่อเนื่องหน่วยความกว้างของทางน้ำ - (ลูกบาศเมตร/วินาที/เมตร)

D_u = ความลึกของการไหลที่สอดคล้องกับอัตราการไหลออกแบบตรงตำแหน่งของขอบ Apron ด้านเหนือน้ำของฝาย, เมตร

D_d = ความลึกของการไหลที่สอดคล้องกับอัตราการไหลออกแบบตรงตำแหน่งของขอบ Apron ด้านท้ายน้ำของฝายหรือด้านท้ายของอ่างสลายพลังงาน - เมตร

๒) ความยาวของหินเรียงด้านเหนือน้ำไม่ควรน้อยกว่าความลึกของน้ำเหนือสันฝาย แต่ไม่น้อยกว่า ๕.๐ เมตร

๓) ความยาวของหินเรียงด้านท้ายน้ำไม่ควรน้อยกว่า ๔ เท่าของความลึกด้านท้ายน้ำของอาคารสลายพลังงาน

๘) การออกแบบอาคารสลายพลังงาน

อาคารสลายพลังงาน เป็นอาคารชลศาสตร์ที่ได้รับการออกแบบขึ้นเพื่อให้ทำหน้าที่สลายพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) จากการไหลของน้ำด้วยความเร็วสูงเช่น การไหลจากฝายทดน้ำหรือทางน้ำล้นของเขื่อน การไหลของน้ำผ่านรางเท การไหลลอดผ่านประตูน้ำจะทำการออกแบบให้อาคารสลายพลังงานอยู่ด้านท้ายน้ำของอาคารดังกล่าวเสมอ อาคารสลายพลังงานที่ดีจะต้องสามารถทำให้การไหลของน้ำที่เร็วนั้นช้าลง หรือทำให้พลังงานเนื่องจากความเร็วลดลง โดยไม่ทำให้อาคารหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคารหรือคลองส่งน้ำเสียหาย

๘.๑) การแบ่งประเภทของอาคารสลายพลังงาน

ถ้าพิจารณาตามวิธีที่ใช้สลายพลังงานแล้ว สามารถแบ่งอาคารสลายพลังงานออกได้เป็น ๓ กลุ่มใหญ่ คือ

ก. แบบอ่างน้ำนิ่ง (Stilling Basin)

แบบนี้จะใช้ Hydraulic Jump เป็นตัวสลายพลังงานส่วนเกิน โดยทำให้ Jump เกิดขึ้นภายในอ่างที่กำหนดไว้ พลังงานจะถูกสลายไปจากการไหลอลวน หรือความปั่นป่วนของกระแสน้ำในบริเวณอ่าง ความเร็วของน้ำจะลดลงจากการไหลแบบเหนือวิกฤต เป็นการไหลแบบใต้วิกฤต และถูกปล่อยออกสู่ลำน้ำทางด้านท้ายของอ่างโดยไม่เกิดการอลวนมาก การออกแบบต้องคำนึงถึงว่าต้องเกิด Hydraulic Jump และเกิดภายในอ่างตลอดเวลา และความยาวของอ่างจะต้องน้อยสุด

ข. แบบกระแทก (Impact Type)

ลักษณะของอาคารแบบนี้ก็คือ น้ำที่ไหลมาจะถูกบังคับให้พุ่งกระทบเข้ากับสิ่งกีดขวางหรืออาศัยการกระแทกตัวระหว่างแท่งน้ำต่อแท่งน้ำเอง ทำให้น้ำกระจายไปทุกทิศทุกทาง เป็นผล

ทำให้พลังงานถูกสลายไป ในบางลักษณะของอาคาร พวยน้ำจะพุ่งลงไปในอ่างซึ่งมีน้ำขังอยู่แล้ว ซึ่งก็มีผลทำให้พลังงานถูกสลายไปเช่นกัน

ค. แบบ Bucket

เป็นการเบี่ยงเบนทิศทางการไหลของน้ำให้พุ่งสู่อากาศหรือไหลม้วนตัว การออกแบบอาคารสลายพลังงาน มักจะมาจากผลการศึกษาแบบจำลองว่าถ้าอาคารสลายพลังงานลักษณะนี้ควรจะมีขนาดเป็นอย่างไรสำหรับอัตราการไหลต่าง ๆ แต่ละแบบก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียต่างกันออกไป ดังเช่น แบบอ่างน้ำนิ่ง ถึงแม้ว่าจะทำให้สภาพการไหลของน้ำทางด้านท้ายน้ำราบเรียบดีที่สุด แต่มีราคาแพงมาก ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้กับเขื่อนที่มีความสูงมาก ส่วนอาคารแบบ Flip Bucket หรือ Submerged Roller Bucket มีราคาถูกกว่ามาก แต่ต้องการฐานรากที่เป็นหินแข็ง

๘.๒) การวิเคราะห์ Hydraulic Jump

Hydraulic Jump เป็นปรากฏการณ์ของการไหลที่น้ำเปลี่ยนจากสภาวะการไหลที่มีความลึกน้อยแต่เร็วมากไปสู่สภาวะการไหลที่มีความลึกมากแต่ความเร็วน้อย

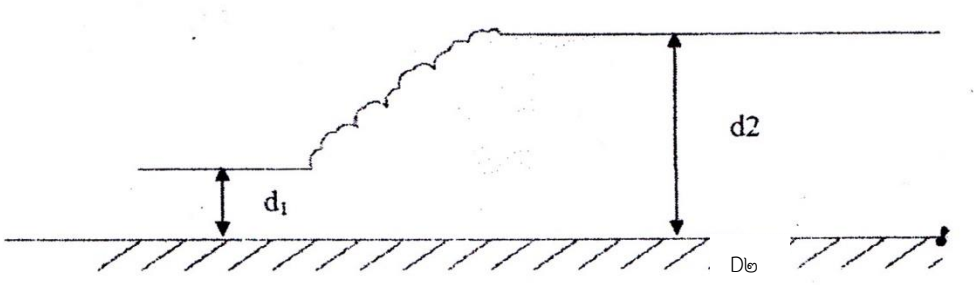
ในการวิเคราะห์ จะใช้ Froude Number (Fr) เป็นดัชนีบอกสภาวะการไหล โดยสภาวะการไหลที่มีความลึกน้อยแต่ความเร็วมาก จะมีค่า Froude Number (Fr) มากกว่า ๑.๐ เรียกว่า Supercritical Flow แต่ถ้าการไหลที่มีความลึกมากแต่ความเร็วน้อย จะมีค่า Froude Number (Fr) น้อยกว่า ๑.๐ เรียกว่า Subcritical Flow

Hydraulic Jump จะเกิดขึ้นในทางน้ำที่มีสภาวะการไหลปกติเป็น Subcritical Flow แต่เมื่อน้ำไหลผ่านอาคารชลศาสตร์ที่ทำให้การไหลด้านท้ายอาคารเป็น Supercritical Flow การไหลจะต้องเปลี่ยนกลับไปเป็น Subcritical Flow ตัวอย่างของการไหลผ่านอาคารที่อาจจะทำให้เกิด Hydraulic Jump

๑. การไหลล้นจากฝายทดน้ำ หรือ Spillway ของเขื่อน

๒. การไหลลอดประตูน้ำกรณีความสูงของการเปิดบานมีค่าน้อย

๓. การไหลลงจาก Chute หรือ รางเท



รูปที่ ๗ แสดง Hydraulic Jump

ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกก่อนและหลังเกิด Jump ในทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือทางน้ำที่มีความกว้างมาก สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{๑+๘F_{๑}^{๒}} - ๑\right)$$

เมื่อ $d_{๑}$ = ความลึกก่อนเกิด Jump

d_2 = ความลึกหลังเกิด Jump

F_1 = Froude Number ของการไหลก่อนเกิด Jump

= $V_1 / \sqrt{gd_1}$

การสลายพลังงานของ Hydraulic Jump การสูญเสียพลังงานของการเกิด Hydraulic Jump บนพื้นราบสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$E_L = \frac{(d_2-d_1)^3}{4d_1d_2}$$

เมื่อ E_L = พลังงานที่สูญเสียไปเมื่อเกิด Jump , หน่วยเป็นเมตร

๘.๓) การแบ่งประเภทของ Hydraulic Jump

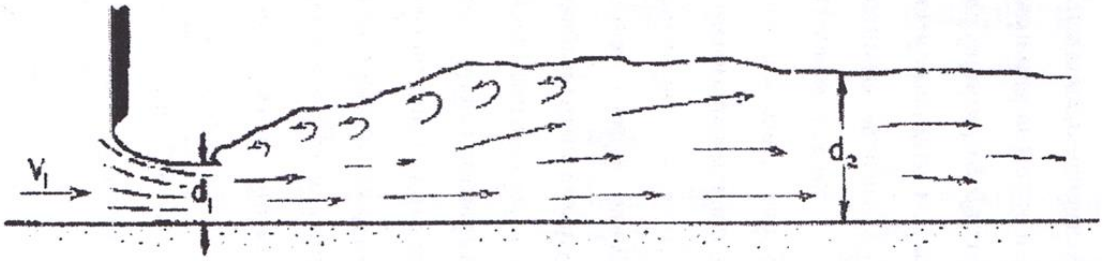
ประเภทของ Jump จะแบ่งตามค่าของ Froude Number ดังต่อไปนี้

แบบที่ ๑ เรียกว่า Pre-jump เมื่อ F_1 = ๑.๗ - ๒.๕ ผิวน้ำเป็นคลื่นขนาดเล็ก ในช่วงนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ Stilling Basin มีการสลายพลังงานประมาณ ๒๐%

แบบที่ ๒ เรียกว่า Transition เมื่อ F_1 = ๒.๕ – ๔.๕ ปกติมักพบเห็นเสมอ ๆ ในอาคารขนาดเล็ก มีการปั่นป่วนของน้ำที่พื้นและที่ผิวน้ำสลับกันไปไม่แน่นอน ทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปทางด้านท้ายน้ำได้เป็นระยะทางหลาย ๆ กิโลเมตร ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อตลิ่งและหินทิ้งได้

แบบที่ ๓ เป็นแบบ Well-Stabilized Jump เมื่อ F_1 = ๔.๕ – ๙.๐ Jump มีความมั่นคงดีและสามารถสลายพลังงาน ระหว่าง ๔๕-๗๐%

แบบที่ ๔ F_1 มากกว่า ๙.๐ น้ำจะพุ่งเข้าสู่ Jump ด้วยความเร็วสูงมาก d_1 และ d_2 จะมีค่าต่างกันมาก กรณีนี้ความยาว Jump จะต้องวัดจากตำแหน่งคลื่นม้วนบนผิวน้ำ เนื่องจากกระแสน้ำความเร็วสูงพุ่งขึ้นจากพื้นก่อนที่จะหมดระยะ Jump คลื่นม้วนอาจเคลื่อนตัวลงตามแนวหน้า Jump สู่กระแสน้ำที่พุ่งด้วยความเร็วสูงทำให้เกิดคลื่นเคลื่อนตัวไปทางด้านท้ายน้ำได้เป็นบางครั้ง ผิวน้ำปั่นป่วนมาก อาจสลายพลังงานได้ถึง ๘๕ % ความยาวของ Jump ในรูป จะสัมพันธ์กับ Jump ชนิดต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้



F_1 = 1.7 to 2.5

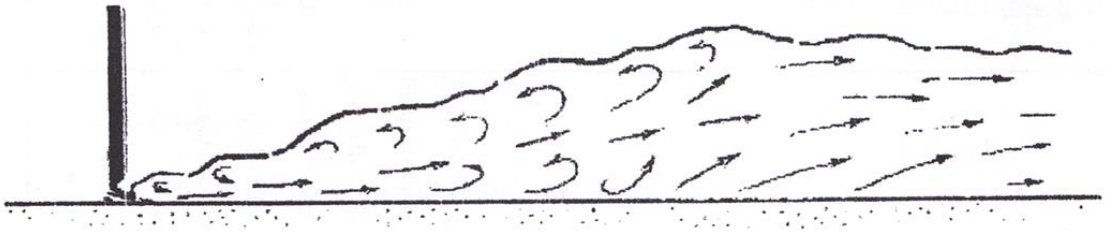
A – Pre – jump – very low energy loss

F_1 = 2.5 to 4.5

B – Transition – rough – water surface

F_1 = 4.5 to 9.0 – range of good jumps

C – Least affected by tail water variations



F_1 = 9.0 upward

D – Effective but rough

รูปที่ ๘ การแบ่งประเภทของ Hydraulic Jump

๘.๔) ข้อพิจารณาในการออกแบบ Stilling Basin

๑) ระยะเผื่อล้น (Free Board) การออกแบบระยะเผื่อล้นจะต้องพิจารณาผลของการกระแทกของน้ำต่อ Floor Blocks, และความปั่นป่วนของกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นและการรวมตัวกันของอากาศกับน้ำ USBR ได้เสนอกราฟเพื่อใช้สำหรับหาระยะเผื่อน้ำล้นของอ่างน้ำนิ่ง เป็นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเผื่อล้นกับ $\frac{QV_1d_1}{A}$ เมื่อ V_1 และ d_1 เป็นความเร็วและความลึกก่อนการเกิด Hydraulic Jump ตามลำดับ และระยะเผื่อล้นเป็นค่าสูงเหนือเส้นพลังงาน (Energy Gradient) ด้านท้ายน้ำ นอกจากกราฟดังกล่าว USBR ยังได้เสนอสูตรที่ใช้หาระยะเผื่อล้นที่มีหน่วยเป็นฟุตสำหรับเขื่อนขนาดเล็กไว้ ดังนี้

$$\text{ระยะเผื่อล้น} = ๐.๑ (V_1 + d_1)$$

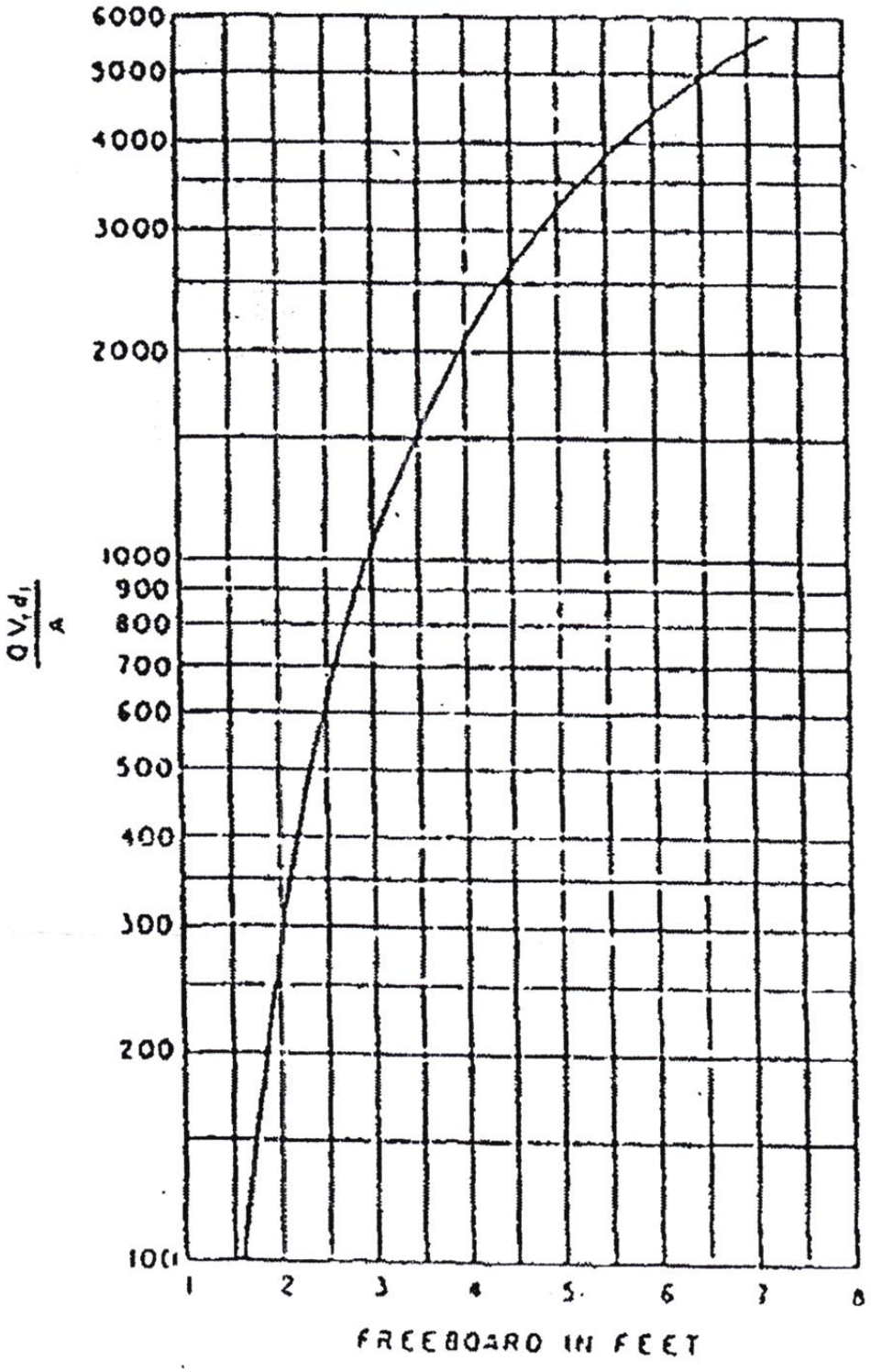
๒) ความกว้างของ Stilling Basin โดยทั่ว ๆ ไปมักจะออกแบบความกว้างของอ่างน้ำนิ่งให้เท่ากับความกว้างของรางเทหรือทางน้ำล้น ยกเว้นในกรณีที่น้ำไหลเข้ามามีความเร็วสูง จะทำการออกแบบให้อ่างน้ำนิ่งมีความกว้างกว่า โดยมีมุมผายออกเพียงเล็กน้อย เพื่อลดความหนาแน่นของอัตราการไหล (Discharge Concentration) ลดการเกิดคลื่นและการปั่นป่วนของกระแสน้ำทางด้านท้ายน้ำของ Jump

การเลือกความกว้างของอ่างน้ำนิ่งจะต้องพิจารณาควบคู่ไปกับการเลือกความยาวเพื่อให้ได้อาคารที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่ง US. Corps of Engineers ได้เสนอแนะการเลือกความกว้างไว้ ดังนี้

๑. จะต้องไม่ให้เกิดแรงดันลอยตัว (Uplift) บนพื้นที่ของอ่างมากเกินไป

๒. ระดับของอ่างจะต้องไม่ต่ำเกินไปเพื่อหลีกเลี่ยงการขุดดินบริเวณฐานรากลึกมากเกินไป

๓. ความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากอ่างจะต้องไม่มากเกินไปจนก่อให้เกิดการกัดเซาะ



รูปที่ ๙ กราฟสำหรับใช้หาระยะเผื่อล้นของ Stilling Basin

และเพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการออกแบบความกว้าง ได้มีผู้เสนอแนะสูตรไว้ ดังนี้

$$W = ๑.๘๑K\sqrt{Q}$$

เมื่อ W = ความกว้างของอ่างน้ำนิ่ง - เมตร

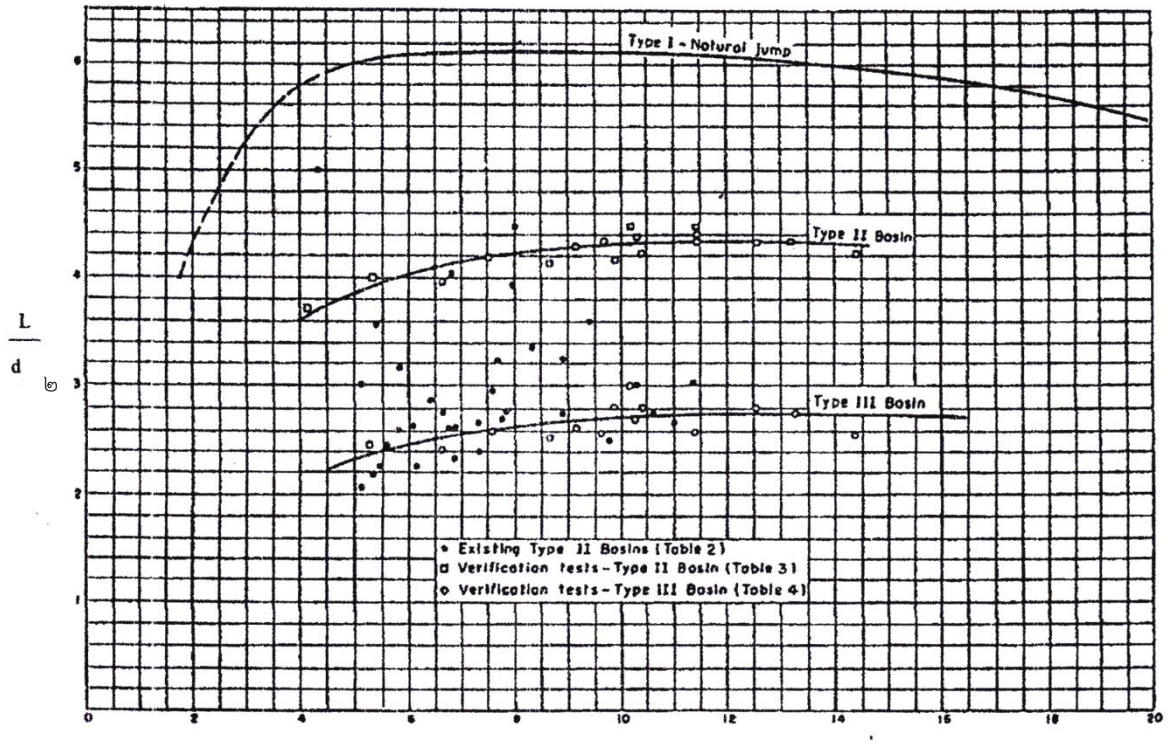
K = ค่าคงที่

= ๑.๐ สำหรับอ่างน้ำนิ่งที่รับน้ำจากรางเทหรือทางน้ำล้น

= ๑.๓ สำหรับอาคารในคลอง

Q = ปริมาณการไหลสูงสุด - ลูกบาศเมตร/วินาที

๓) ความยาวของ Stilling Basin โดยปกติความยาวของอ่างเท่ากับความยาวของ Jump ที่เกิดในอ่าง (ยกเว้น Stilling Basin Type I) และอัตราส่วน $\frac{L}{d_๒}$ จะมีค่าอยู่ระหว่าง ๔ ถึง ๕ และจากการทดลองพบว่าถ้ามีการติดตั้ง Floor Block และ End Sill ที่เหมาะสมอัตราส่วน L/d๒ เท่ากับ ๓ ก็นับว่าเป็นการเพียงพอแล้ว แต่สำหรับบริเวณพื้นทางน้ำไม่มั่นคง ในทางปฏิบัติมักจะใช้ L/d๒ อย่างน้อยเท่ากับ ๔ และสำหรับบริเวณที่พื้นทางน้ำมีความมั่นคงดี อาจจะออกแบบโดยใช้เพียง ๒.๕ เท่านั้น รูปที่ ๑๐ เป็นโค้งที่ใช้หาค่าความยาวของอ่างน้ำนิ่งของ USBR



$$F_๑ = \frac{V_๑}{gd_๑}$$

รูปที่ ๑๐ ความยาว Hydraulic Jump บนพื้นราบ Stilling Basin แบบที่ I ,II และ III

๔) การกำหนดระดับ Stilling Basin Hydraulic Jump จะเกิดเมื่อความลึก หลังเกิด Jump (d_2) หรือความลึก Conjugate ของ d_1 เท่ากับความลึกด้านท้ายน้ำ แต่ตามลักษณะทางชลศาสตร์ ความลึกด้านท้ายน้ำ จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการไหล ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะออกแบบอาคารสลายพลังงานให้มีความลึกหลังเกิด Jump เท่ากับความลึกด้านท้ายน้ำตลอดเวลา บางครั้งความลึกด้านท้ายน้ำอาจมีค่ามากกว่าความลึกหลังเกิด Jump ซึ่งจะทำให้เกิด Drowned Jump หรือบางครั้งความลึกหลังเกิด Jump มากกว่าความลึกด้านท้ายน้ำ จะทำให้ Jump เคลื่อนตัวไปทางด้านท้ายน้ำห่างออกไป ในการออกแบบจะต้องมีการเปรียบเทียบโค้งความลึกหลังการเกิด Jump และโค้งความลึกด้านท้ายน้ำ เพื่อกำหนดระดับพื้นของอ่างน้ำนิ่ง เพื่อให้โค้งของความลึกหลังเกิด Jump เข้าใกล้โค้งของความลึกด้านท้ายน้ำมากที่สุด โดยไม่มีส่วนใดของโค้งความลึกหลังเกิด Jump ในช่วงปริมาณการไหลน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณการไหลสูงสุดผ่านอาคารอยู่เหนือความลึกด้านท้ายน้ำ

นอกจากการกดระดับพื้นอ่างน้ำนิ่ง การกำหนดใช้ความกว้างของอ่างให้เหมาะสม จะมีส่วนช่วยให้โค้งความลึกหลังเกิด Jump เข้าใกล้โค้งความลึกด้านท้ายน้ำมากยิ่งขึ้น การใช้อ่างน้ำนิ่งที่กว้างขึ้น จะทำให้ความลึกหลังเกิด Jump มีค่าน้อยลง ระดับพื้นอ่างจะได้ไม่ต้องอยู่ในระดับที่ลึกมากเกินไป ซึ่งทำให้ต้องเสียค่าขุดดินมาก

ปริมาณการไหลออกแบบสูงสุดอาจจะไม่ใช่เป็นปัจจัยที่ใช้กำหนดระดับพื้นอ่างน้ำนิ่งเสมอไปซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณการไหลที่ทำให้เกิดระยะห่างมากสุด ระหว่างโค้งความลึกหลังเกิด Jump และโค้งความลึกด้านท้ายน้ำ

๘.๕) ประเภทของ Stilling Basin

๑) Stilling Basin แบบที่ I

อ่างน้ำนิ่งแบบนี้เป็นแบบที่ไม่มีการควบคุม Jump ให้เกิด ณ จุดใดจุดหนึ่ง โดยใช้ Chute Blocks และ Baffle Blocks ฉะนั้นเงื่อนไขของการไหลเปลี่ยนไปตำแหน่งที่เกิด Jump ก็จะเปลี่ยนไปด้วย อ่างแบบนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในทางปฏิบัติ เพราะอ่างจะมีความยาวมาก ซึ่งความยาวของอ่างทั้งหมดต้องรวมระยะห่างระหว่างอาคารหลักถึงตำแหน่งก่อนการเกิด Jump ด้วย Stilling Basin แบบที่ I นี้ใช้ควบคุม Jump ซึ่ง Froude number ไม่เกิน ๒.๕

๒) Stilling Basin แบบที่ II

เหมาะสำหรับเขื่อนขนาดสูงและทางน้ำล้นของเขื่อนดิน และอาคารในคลองขนาดใหญ่ ทำการลดความยาวของอ่างโดยการติดตั้งอุปกรณ์พิเศษบางอย่าง เช่น ตัวกันกระแทก และ Block แบบต่าง ๆ Stilling Basin แบบที่ II ใช้ Hydraulic Jump ซึ่ง Froude number มากกว่า ๔.๕ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

๓) Stilling Basin แบบที่ III

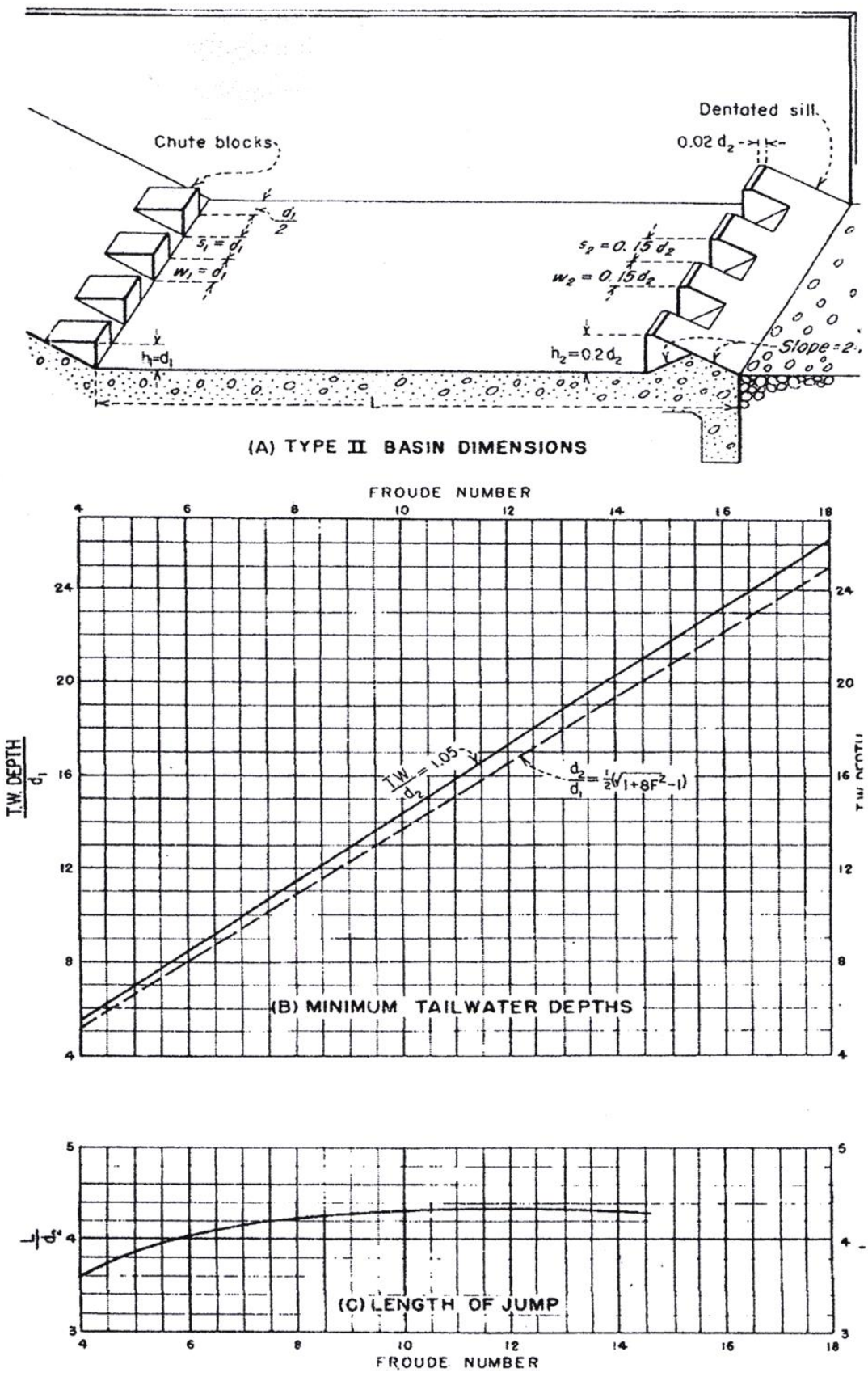
อ่างน้ำนิ่งแบบนี้ไม่ยาวมากเหมาะสำหรับอาคารในคลองชลประทานทั่วไป อาคารทางออก (Outlet Work) และทางน้ำล้นขนาดเล็ก ความเร็วเข้าสู่อ่างไม่เกิน ๑๘ เมตร/วินาที และ q ไม่เกิน ๑๘.๖ ลูกบาศเมตร/วินาที/เมตร อาคารแบบนี้มีราคาถูกกว่าแบบที่ II และจะทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ Froude number เท่ากับหรือมากว่า ๔.๕

๔) Stilling Basin แบบที่ IV

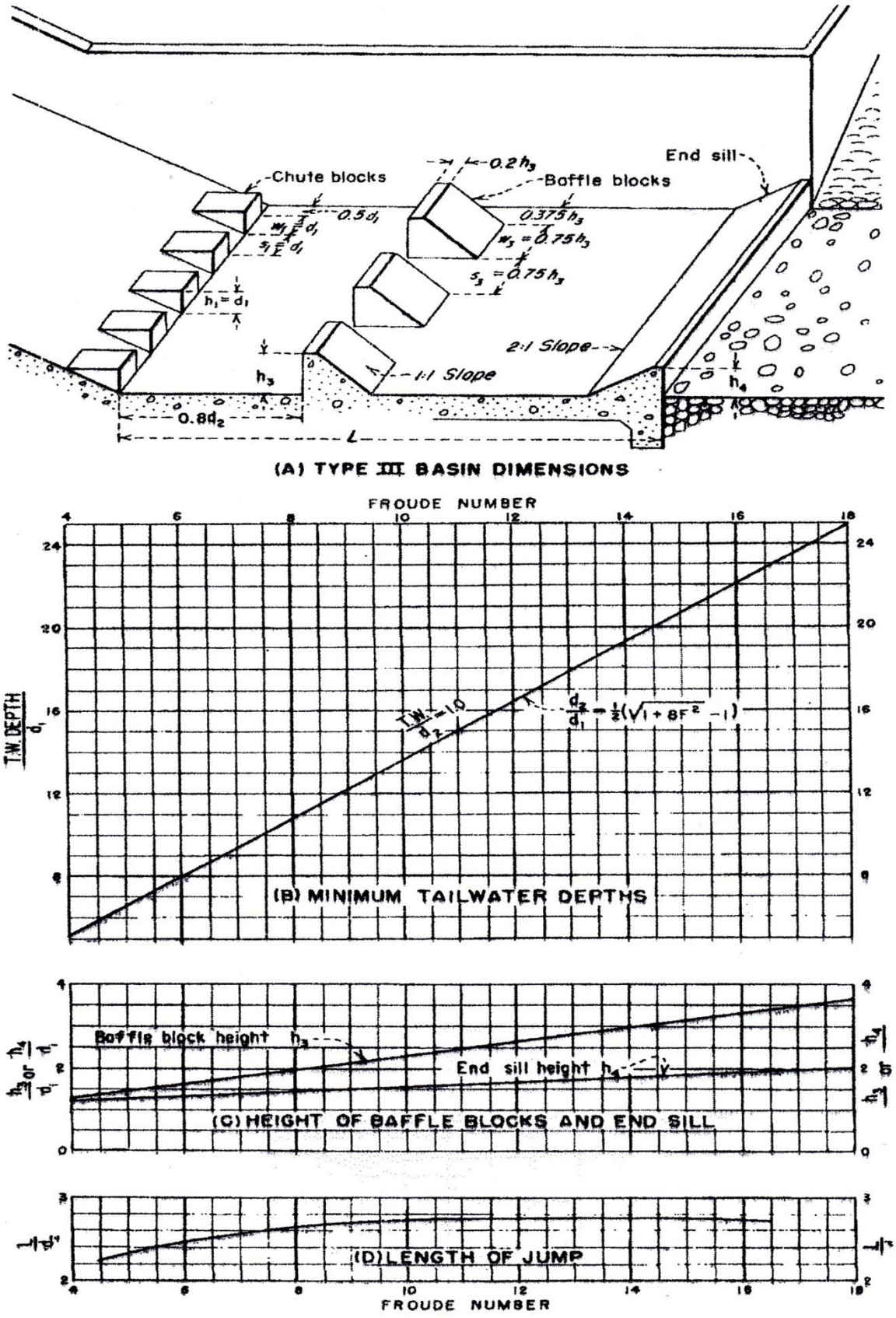
อาคารแบบนี้เหมาะสำหรับอาคารในคลองอาคารทางออก และเขื่อนทดน้ำ ค่า Froude number ของการไหลควรจะอยู่ระหว่าง ๒.๕ และ ๔.๐ Hydraulic Jump จะไม่มั่นคงและจะเกิดคลื่น ซึ่งจะทำความเสียหายให้แก่หินเรียงและคลองที่ไม่ได้ดาด ในกรณีของอาคารทางออก ถ้า H เท่ากับหรือมากกว่า ๑๕ เมตร และ Froude number อยู่ระหว่าง ๒.๕ และ ๔.๕

๕) Stilling Basin สำหรับ Froude number น้อย

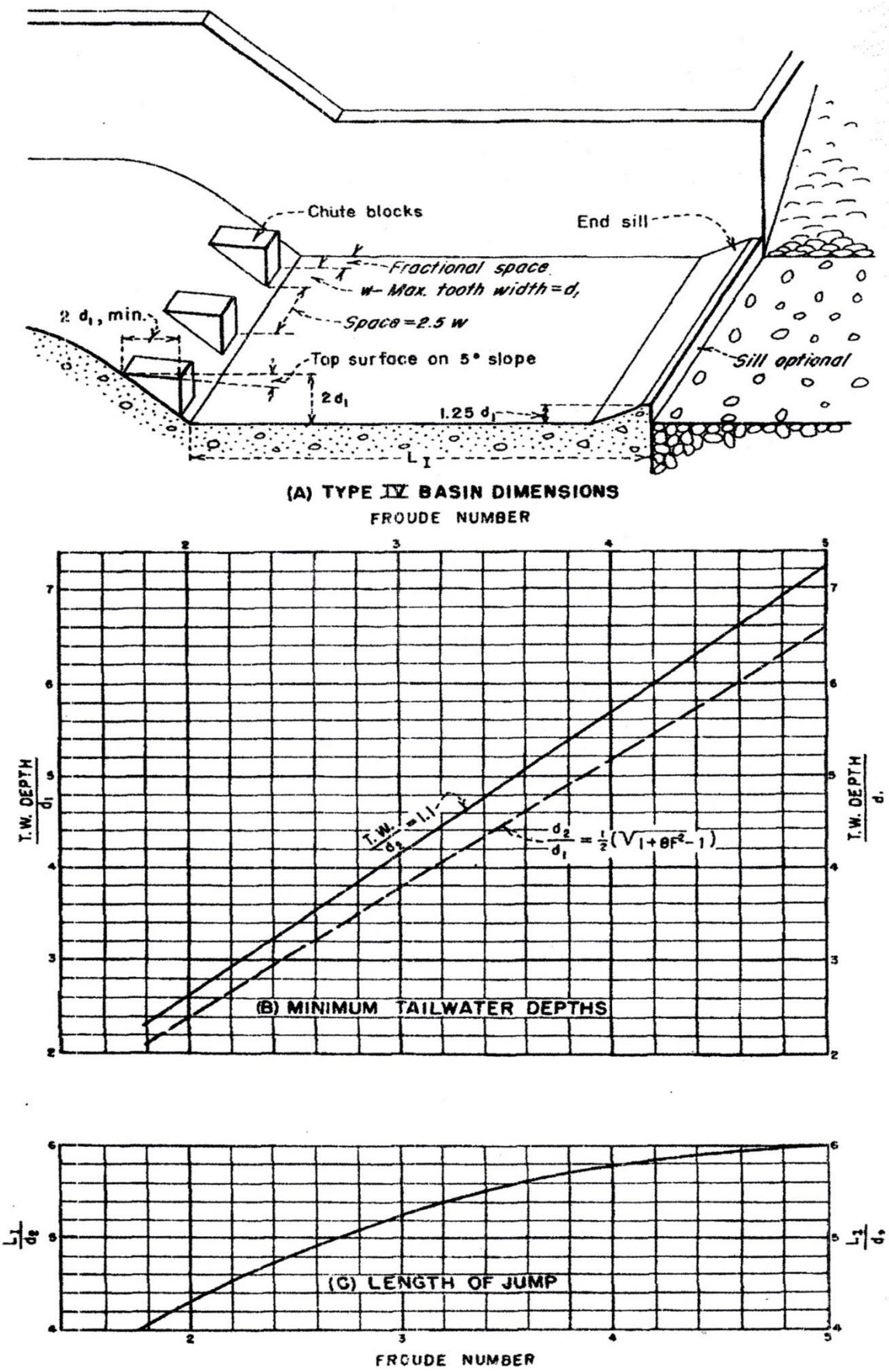
การไหลที่ Froude number มีค่าน้อย โดยเฉพาะในช่วงระหว่าง ๒.๕ ถึง ๔.๕ การไหลจะปั่นป่วนและเกิดคลื่นที่ผิวน้ำและการสลายพลังงานจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า ๕๐ เปอร์เซ็นต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสลายพลังงานและลดความยาวของอ่างน้ำนิ่ง USBR ได้เสนออ่างน้ำนิ่งเผื่อเลือกใช้ทดแทนอ่างน้ำนิ่งแบบที่ I และแบบที่ IV โดยอ่างแบบนี้ประกอบไปด้วย Chute Block, Baffle Block และ Dentate Sill



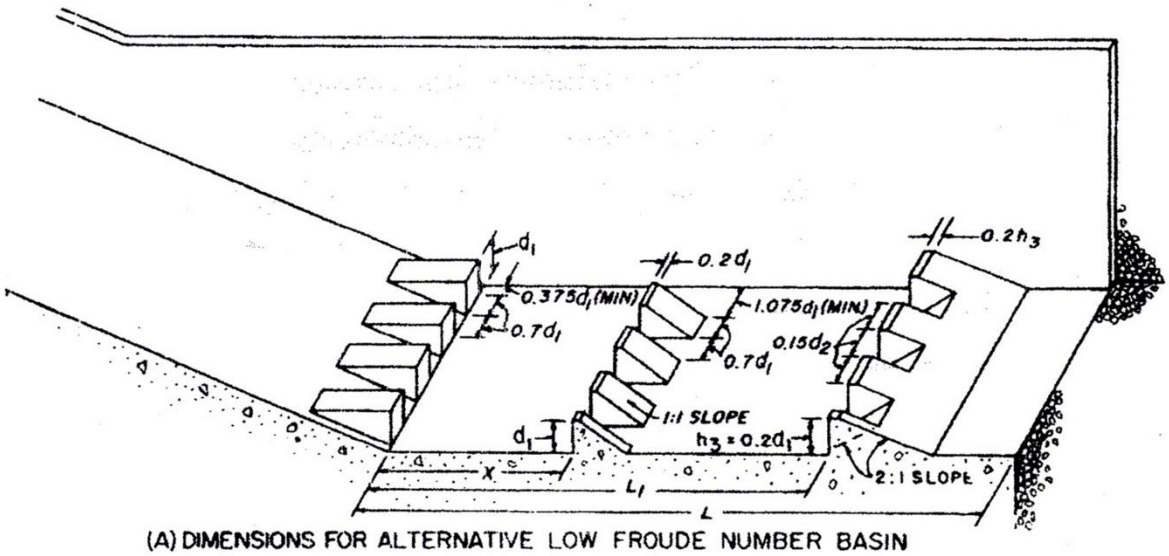
รูปที่ ๑๑ Stilling Basin แบบที่ II



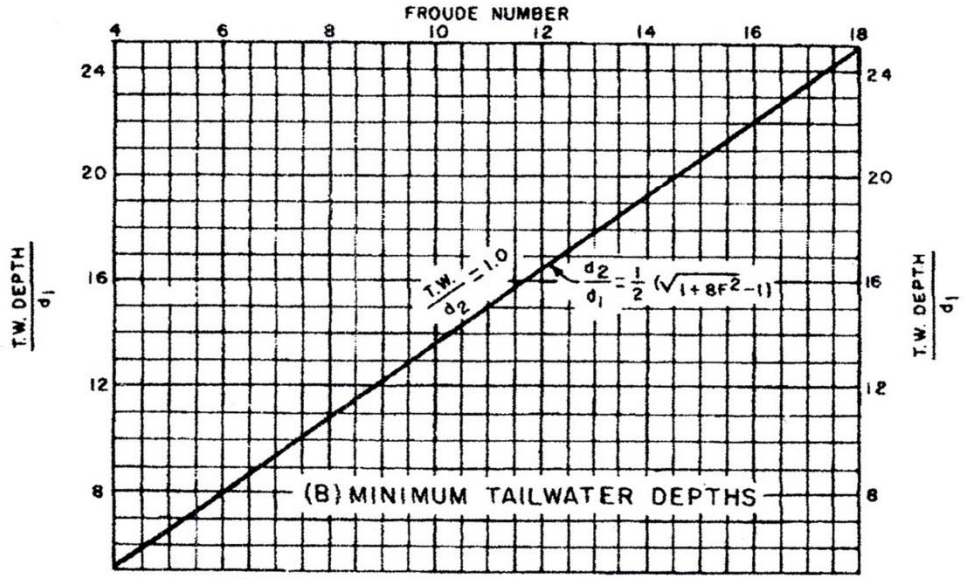
รูปที่ ๑๒ Stilling Basin แบบที่ III

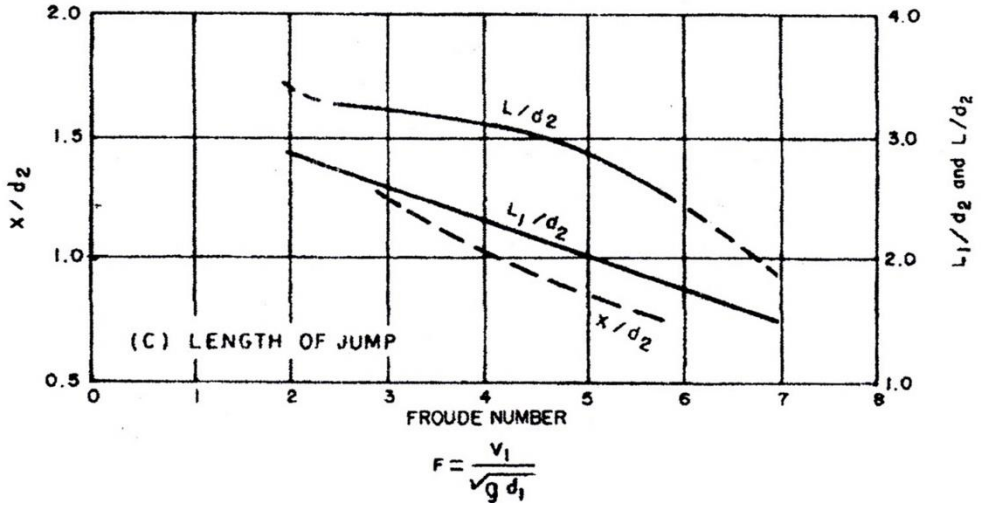


รูปที่ ๑๓ Stilling Basin แบบที่ IV



(A) DIMENSIONS FOR ALTERNATIVE LOW FROUDE NUMBER BASIN





รูปที่ ๑๔ Stilling Basin สำหรับ Froude number น้อย

การออกแบบอาคารท่อส่งน้ำ (Outlet Works)

ในการออกแบบ Outlet จะพิจารณาออกแบบอาคารที่ประหยัด ก่อสร้างง่าย เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ โดยทั่วไปจะพิจารณาจากเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

๑. จะวางให้ระดับพื้นอาคารวางอยู่บนชั้นดินเดิมหรือชั้นหินที่มีความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักอาคารได้โดยไม่เกิดการทรุดตัว

๒. แนวอาคารจะต้องวางให้มีระยะสั้นและมีการขุดดินน้อย

๓. สามารถระบายน้ำ หรือส่งน้ำให้ได้ตามปริมาณและระดับที่กำหนดไว้

๔. ถ้ามีความจำเป็นจะพิจารณา ให้สามารถใช้เป็นอาคารช่วยเสริมการผันน้ำ ระหว่างการก่อสร้างได้ด้วย

๕. จะวางแนวอาคารให้สอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศในบริเวณดังกล่าว

๖. คลองระบายน้ำลงลำน้ำเดิม จะต้องเชื่อมต่อกับลำน้ำเดิมให้สอดคล้องกลมกลืนกันไม่กีดขวางการไหลของน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดเซาะในบริเวณจุดตัดของคลองระบายน้ำ และลำน้ำเดิมได้

๗. ใช้ทำหน้าที่ป้องกันอุทกภัยเสริมช่วยอาคารทางระบายน้ำล้น โดยการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำลดระดับลงก่อนจะถึงฤดูน้ำหลาก ทำให้อ่างเก็บน้ำมีปริมาตรเพิ่มสามารถรับน้ำลงอ่างเก็บน้ำได้มากขึ้น

๘. ทำหน้าที่ระบายน้ำทิ้งออกจากอ่างเก็บน้ำ เพื่อทำการตรวจสอบหรือซ่อมแซมตัวเขื่อนและอาคารท่อส่งน้ำ

ในการดำเนินการออกแบบตัวอาคารนี้ บริษัทที่ปรึกษาจะยึดหลักว่าต้องมีความปลอดภัย ก่อสร้างง่าย ประหยัดราคาค่าก่อสร้าง รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ภายหลังจากก่อสร้างเสร็จแล้วโดยการออกแบบจะพิจารณาสรรหาวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างจากแหล่งที่ใกล้กับหัวงานให้มากที่สุด

คลองชักน้ำ (Approach Channel)

คลองชักน้ำเป็นคลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู มีหน้าที่นำน้ำจากอ่างเก็บน้ำเข้าสู่อาคารรับน้ำ เนื่องจากคลองนี้เป็นคลองขุด ถ้ากระแสน้ำที่ไหลในคลองนี้มีความเร็วมากไปจะทำการกัดเซาะตามพื้นและลาดด้านข้างคลองได้ แต่ถ้ากระแสน้ำมีความเร็วน้อยไป อาจจะมีตะกอนตกทับถมที่พื้นคลองทำการขวางการไหลของน้ำในคลองได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหานี้ จึงกำหนดความเร็วกระแสน้ำให้อยู่ในช่วง ๐.๕๐ ถึง ๐.๗๐ เมตร ต่อวินาที สำหรับการคำนวณออกแบบขนาดคลองชักน้ำคำนวณได้จาก Manning

อาคารรับน้ำ (Intake Structure)

อาคารรับน้ำเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มีช่องรับน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีช่องรับน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยม ตั้งฉากกับคลองชักน้ำที่ช่องรับน้ำจะมีตะแกรงดักขยะ (Traxhrack) ปิดอยู่เพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งของลอยน้ำหรือสิ่งที่ไหลมากับน้ำไหลเข้าไปในท่อส่งน้ำ โดยปกติที่ปากทางเข้าท่อส่งน้ำจะมีทางรับน้ำเป็นรูปโค้ง (Entrance Shapes) เพื่อให้การไหลของน้ำเข้าท่อมีความราบเรียบสม่ำเสมอและไหลผ่าน Transition ซึ่งเป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างอาคารรับน้ำ และท่อส่งน้ำ ทั้งนี้เพื่อเปลี่ยนรูปร่างของช่องรับน้ำรูปสี่เหลี่ยม เป็นท่อส่งน้ำรูปวงกลม

ท่อส่งน้ำ (Conduit)

นิยมใช้เป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยมี Steel Liner อยู่ภายในตลอดความยาวซึ่งป้องกันไม่ให้น้ำรั่วเข้าในตัวเขื่อน

๑. Liner จะต้องสามารถรับ Internal Stress ของการระเบิดของน้ำได้

๒. คอนกรีตเสริมเหล็กหุ้มท่อ กำหนดให้รับ External Stress ซึ่งจะรับแรงเฉือน แรงดัดและแรงอัดในแนวแกนของดินที่กระทำต่อเปลือกท่อได้ การกำหนดตำแหน่งและระดับธรณีท่อ

๓. โดยปกติถ้าเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่จะมีทั้ง ๒ ฝั่ง แต่ในกรณีนี้เนื่องจากมีปริมาณน้ำน้อยจึงวางท่อส่งน้ำเพียงจุดเดียวเท่านั้น โดยแยกให้อยู่คนละฝั่งกับอาคารระบายน้ำล้นและจะต้องวางอยู่บนแนวที่เป็นดินเดิม

๔. การกำหนดระดับธรณีท่อจะพิจารณาระดับฐานรากที่มีความมั่นคงประกอบกับระดับของพื้นที่รับประโยชน์ด้านท้ายอ่าง

การคำนวณการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำ (Conduit) ต้องคำนวณการไหลภายใต้ความดัน (Under Pressure Flow) เนื่องจากปลายท่อส่งน้ำ จะมี Gate Valve ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำอยู่ ดังนั้น ในการวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ เพื่อหาปริมาณน้ำไหลผ่านท่อ และ Head Losses ต่าง ๆ ของ Outlet Works ทั้งหมดจึงต้องเริ่มต้นจากIntakes Structureจงถึงปลายท่อส่งน้ำออก(Outlet Conduit)

การคำนวณหาปริมาณน้ำผ่านท่อส่งน้ำ และการหา Head Losses ต่าง ๆ จะใช้ตาม Bernoulli's Equation จากแบบมาตรฐาน

$$H_T = h_t + h_e + h_f + h_c + h_{ex} + h_b + h_g + h_v \quad \text{.....(๑.๑)}$$

เมื่อ H_T = ผลรวมของ Head Losses ต่าง ๆ ทั้งระบบ หน่วยเป็น เมตร

h_t = Trashrack Losses

h_e = Entrance Losses

h_f = Friction Losses

h_c = Contraction Losses

h_{ex} = Expansion Losses

h_b = Bend Losses

h_g = Gate Losses

h_v = Exit Losses

ซึ่ง Head Losses ต่าง ๆที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วย

๑. Trashrack Losses (h_t) หาได้จาก

$$h_t = k_t\left(\frac{V_n^2}{2g}\right) \qquad \text{.....(๑.๒)}$$

h_t = Trashrack Loss Coefficient

= $1.45 - 0.45\ \frac{a_n}{a_g} - \left(\frac{a_n}{a_g}\right)^2$

a_n = พื้นที่น้ำผ่านตะแกรงกันสวะสุทธิ หน่วยเป็น ตารางเมตร

a_t = พื้นที่ทั้งหมดของ Trashrack หน่วยเป็น ตารางเมตร

v_n = ความเร็วการไหลของน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่ Trashrack

= ๐.๖๐ เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก

= ๙.๘๑ เมตร/วินาที^{2}

๒. Entrance Losses ที่ปากท่อส่งน้ำ (h_e) หาได้จาก

$$h_e = K_e\left(\frac{V_e^2}{2g}\right) \qquad \text{.....(๑.๓)}$$

เมื่อ K_e = Entrance Loss Coefficient

= ๐.๑๖ (ค่าเฉลี่ยสำหรับ Square Bellmounth Entrance)

v_e = ความเร็วการไหลของน้ำที่ปากทางเข้า
หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก
๙.๘๑ เมตร/วินาที^{2}

๓. Friction Losses ของท่อส่งน้ำ (h_f) หาได้จาก

$$h_f = 124.5n^2 \frac{L}{D^{4/3}}\left(\frac{V_P^2}{2g}\right) \qquad \text{.....(๑.๔)}$$

เมื่อ n = Roughness Coefficient ของท่อเหล็ก

= ๐.๐๑๒

L = ความยาวท่อส่งน้ำ

V_p = ความเร็วการไหลของกระแสน้ำในท่อส่งน้ำ เมตร/วินาที

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ หน่วยเป็น เมตร

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก

= ๙.๘๑ เมตร/วินาที^{2}

๔. Contraction Losses เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของท่อจากใหญ่ไปเล็ก (h_c) หาได้จาก

$$h_c = K_c\left[\frac{V_d^2 - V_u^2}{2g}\right] \qquad \text{.....(๑.๕)}$$

เมื่อ K_c = Contraction Coefficient

= ๐.๑๐ กรณีค่อย ๆ เปลี่ยนขนาด (Flare Angle ไม่เกิน ๑๐$^\circ$)

= ๐.๕๐ กรณีเปลี่ยนขนาดทันทีทันใด

(For Abrupt Contraction)

V_d = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำด้านท้ายน้ำ

(Downstream Velocity) หน่วยเป็น เมตร/วินาที

V_u = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำด้านเหนือน้ำ

(Upstream Velocity) หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก

= ๙.๘๑ เมตร/วินาที^{2}

๕. Expansion Losses เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของท่อจากเล็กไปใหญ่ (h_{ex}) หาได้จาก

$$h_{ex} = K_{ex}\left[\frac{V_u^{2} - V_d^{\#}}{2g}\right] \qquad \text{.....(๑.๖)}$$

เมื่อ K_{ex} = Expansion Coefficient จะผันแปรตามค่ามุมที่ผายออก (ดูจากตารางที่ ๔.๒-๑)

V_u = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำด้านเหนือน้ำ (Upstream Velocity) หน่วยเป็น เมตร/วินาที

V_d = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำด้านท้ายน้ำ (Downstream Velocity) หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก ๙.๘๑ เมตร/วินาที^{2}

ตารางที่ ๕ Expansion Coefficient

Flar Angle (θ)	๒°	๕°	๑๐°	๑๒°	๑๕°	๒๐°	๒๕°	๓๐°	๔๐°	๕๐°
K_{ex}	๐.๐๓	๐.๐๔	๐.๐๘	๐.๑๐	๐.๑๖	๐.๓๑	๐.๔๐	๐.๔๙	๐.๖๐	๐.๖๗

๖. Bend Losses กรณีที่ท่อส่งน้ำเปลี่ยนแนวทิศทาง (h_b) หาได้จาก

$$h_b = K_b\left[\frac{V^{2}}{2g}\right] \qquad \text{.....(๑.๗)}$$

เมื่อ K_b = Bend Loss Coefficient (ดูรูปที่ ๔.๒-๑)

V = ความเร็วของน้ำในท่อส่งน้ำ หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก

= ๙.๘๑ เมตร/วินาที^{2}

สำหรับ การหาค่า K_b ตามรูปที่ ๔.๒-๑ นี้ ใน USBR, Design of Small Dams ได้กำหนดไว้ว่า กรณีที่ท่อมีขนาดใหญ่ ให้ใช้เส้นกราฟ Adjusted Curve

โดยที่ R_b = รัศมีความโค้งของข้องอ

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ หน่วยเป็น เมตร (กรณีเป็นท่อกลม)

= ความสูงของท่อ หน่วยเป็น เมตร (กรณีเป็นท่อเหลี่ยม)

๗. Gate Losses จะเกิดที่บานระบายน้ำ (Gate Valve) ทั้งสองแห่ง (Guard Gate และ Operating Gate) (h_g) หาได้จาก

$h_g = h_{g๑} + h_{g๒}$ .....(๑.๘)

$$h_{g๑} = K_{g๑}\left(\frac{V_{g๑}^{๒}}{๒g}\right)$$

เมื่อ $h_{g๑}$ = Guard Gate Loss

$h_{g๒}$ = Operating Gate Loss

$K_{g๑}$ = Gate Loss Coefficient สำหรับ Guard Gate

= ๐.๑๙ สำหรับการเปิด Gate เต็มที่ (๑๐๐%)

$K_{g๒}$ = Gate Loss Coefficient สำหรับ Operating Gate ซึ่งขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของการเปิด Gate

= ๐.๑๙ สำหรับการเปิด Gate เต็มที่ (๑๐๐%)

= ๐.๑๕ สำหรับการเปิด Gate เต็มที่ (๗๕%)

= ๕.๖๐ สำหรับการเปิด Gate เต็มที่ (๕๐%)

= ๒๔.๐ สำหรับการเปิด Gate เต็มที่ (๒๕%)

$V_{g๑}$ = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำของ Guard Gate หน่วยเป็น เมตร/วินาที

$V_{g๒}$ = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำของ Operating Gate หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก

= ๙.๘๑ เมตร/วินาที^{๒}

๘. Exit Losses เป็นการสูญเสีย head ที่ปลายท่อส่งน้ำออก (Outlet) (h_v) หาได้จาก

$$h_v = K_V\left(\frac{V^2}{2g}\right) \qquad \text{.....(๑.๙)}$$

เมื่อ K_V = Exit Velocity head Coefficient

= ๑.๐๐ เมื่อน้ำไหลออกจากปลายท่อเป็น Free Discharge

= $\left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2$

เมื่อพื้นที่ปลายท่อถูกขยายจาก a_1 เป็น a_2

V = ความเร็วการไหลของน้ำขณะออกจากท่อส่งน้ำ หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก

= ๙.๘๑ เมตร/วินาที^{2}

จากการคำนวณ Head Losses ต่าง ๆ ของท่อตลอดความยาวแล้ว สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำไหลผ่านท่อได้ดังสมการ

$$Q = A\sqrt{\frac{2gH_T}{K_L}} \qquad \text{.....(๑.๑๐)}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำไหลผ่านท่อในระดับต่าง ๆ ของอ่างเก็บน้ำ หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที

A = พื้นที่ของการเปิดบานระบายน้ำ หน่วยเป็น ตารางเมตร

H_T = Total head Losses หรือความสูงของระดับน้ำจากระดับท่อส่งน้ำ หน่วยเป็น เมตร

K_L = Total Loss Cocfficient

การหาความหนาของท่อ Steel Liner จะพิจารณา ๒ กรณี คือ

๑. การหาความหนาของท่อ Steel Liner เพื่อต้านแรงดังของน้ำ

$$t = \gamma_w \frac{hD}{2f_s} \qquad \text{.....(๑.๑๑)}$$

(จาก Hook Tension Stress ซึ่งเกิดที่ศูนย์กลางท่อ โดยที่)

t = ความหนาของท่อเหล็ก (Steel Liner) หน่วยเป็น เซนติเมตร

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ = ๐.๐๐๑ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

h = ร.น.ส. - ระดับศูนย์กลางท่อที่ตำแหน่งต่ำที่สุด หน่วยเป็น เซนติเมตร

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อส่งน้ำ หน่วยเป็น เซนติเมตร

f_s = หน่วยแรงดึงของเหล็กที่ยอมให้ = ๑,๔๐๐ กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

๒. การหาความหนาของท่อ Steel Liner ต่ำสุด ตามข้อกำหนด

$$t_{min} = \frac{D + 50.8}{400} \qquad \text{.....(๑.๑๒)}$$

เมื่อ t_{min} = ความหนาของท่อ Steel Liner ต่ำสุด หน่วยเป็น เซนติเมตร

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ หน่วยเป็น เซนติเมตร

เปรียบเทียบความหนาระหว่างกรณีที่ ๑ กับ กรณีที่ ๒ ใช้มากกว่าในการออกแบบท่อส่งน้ำ Steel Liner

สำหรับ Stress ที่เกิดขึ้นในผนังท่อที่ยอมรับได้ คำนวณได้จากสมการที่กำหนดไว้ใน Welded Steel Penstocks : USBR ๑๙๖๗ คือ

$$f_s = \frac{Dp}{2te} \qquad \text{.....(๑.๑๓)}$$

เมื่อ f_s = Stress ที่เกิดขึ้นในผนังท่อ หน่วยเป็น กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

t = Thickness of Pipe หน่วยเป็น เซนติเมตร

e = Efficiency of Joint

= ๐.๗ ในกรณีที่รอยเชื่อมเป็นแบบ Double-Welded Butt Joint โดยมีการสุ่มตรวจรอยเชื่อมด้วยวิธี Radio Graghic

D = Inside Diameter of Pipe หน่วยเป็น เซนติเมตร

p = Internal Pressure หน่วยเป็น กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

๓. อาคารท้ายน้ำ(Terminal Structure)

อาคารนี้จะทำหน้าที่สลายพลังงานที่ไหลออกจากปลายท่อส่งน้ำ ที่มีความเร็วการไหลของน้ำไม่เกิน ๑๕ เมตร/วินาที ให้มีพลังงานต่ำจนไม่สามารถทำความเสียหายกับอาคารได้ เหมาะกับท่อส่งน้ำที่มีปริมาณน้ำไหลผ่านน้อย การคำนวณหาขนาดรูปร่างมีรายละเอียด ดังนี้

$$V = \frac{Q_m}{A} \qquad \text{.....(๑.๑๔)}$$

เมื่อ V = ความเร็วการไหลของน้ำที่ไหลออกจากปลายท่อส่งน้ำ

< ๑๕ เมตร/วินาที

Q_m = ปริมาณน้ำไหลผ่านท่อส่งน้ำสูงสุด หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที

A = พื้นที่หน้าตัดท่อส่งน้ำ หน่วยเป็น ตารางเมตร

$$\text{Theoretical Velocity, } V = \sqrt{2gh} \qquad \text{.....(๑.๑๕)}$$

h = ผลต่างระดับน้ำหน้าท่อกับระดับน้ำปลายท่อ
หน่วยเป็น เมตร

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก

= ๙.๘๑ เมตร/วินาที^{๒}

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gd}} \quad \text{.....(๑.๑๖)}$$

เมื่อ Fr = Froude number ซึ่งจะต้องไม่มากกว่า ๙.๐

d = ความลึกของน้ำที่ไหลเข้า Basin

ปกติรูปร่าง และขนาดต่าง ๆ ของอาคารท้ายน้ำหาได้โดยใช้ค่า Fr นำไปหาขนาดและมิติของอาคารท้ายน้ำชนิด Impact Type Stilling Basin

๔. สรุปสาระและขั้นตอนการดำเนินการ

๔.๑ สาระสำคัญ

๔.๑.๑ ความเป็นมา

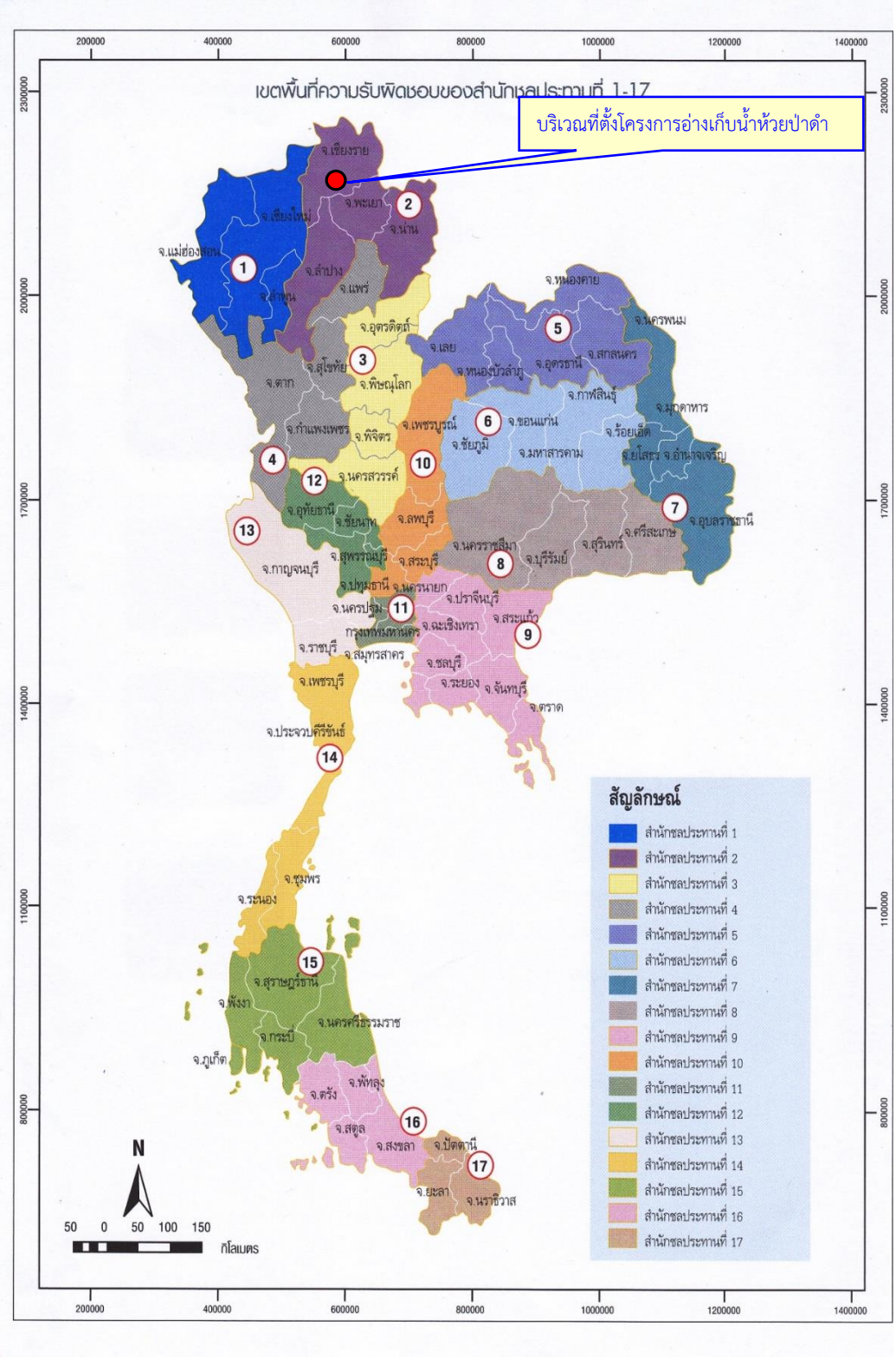
สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (สำนักงาน กปร.) ได้มีหนังสือที่ กร ๐๐๐๕/๓๒๒๕ ลงวันที่ ๒๓ กันยายน ๒๕๕๘ ถึง อธิบดีกรมชลประทาน ความว่า สำนักราชเลขาธิการได้ขอให้สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (สำนักงาน กปร.) พิจารณาตรวจสอบข้อเท็จจริงกรณีนายอินตา เมืองมูล ราษฎรบ้านแม่อ้อนอก หมู่ที่ ๒ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ขอพระราชทานโครงการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ เพื่อช่วยเหลือราษฎร จำนวน ๖ หมู่บ้าน ตำบลแม่อ้อ ซึ่งขาดแคลนน้ำสำหรับทำการเกษตร ในการนี้สำนักงาน กปร. ได้พิจารณาแล้วเห็นว่าเรื่องร้องเรียนดังกล่าวเป็นเรื่องการพัฒนาแหล่งน้ำ ซึ่งกรมชลประทานเป็นหน่วยงานที่สามารถดำเนินงานเพื่อบรรเทาปัญหาความเดือดร้อนของราษฎร ดังนั้น จึงขอความอนุเคราะห์จากกรมชลประทานในการตรวจสอบข้อเท็จจริง พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทาง การให้ความช่วยเหลือราษฎรดังกล่าว เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาในการดำเนินงานของ สำนักงาน กปร. ต่อไป

กรมชลประทาน โดยสำนักงานชลประทานที่ ๒ ได้ให้เจ้าหน้าที่ฝ่ายออกแบบ ส่วนวิศวกรรม เจ้าหน้าที่โครงการชลประทานเชียงราย ทำการตรวจสอบสภาพพื้นที่บริเวณหมู่บ้านที่ร้องขอโครงการ ร่วมกับนายอินตา เมืองมูล ผู้ร้องขอพระราชท่านความช่วยเหลือ นายทองเล็ก กันจินะ รองนายกองค์การบริหารส่วนตำบลแม่อ้อ นายจำเริญ คำน้อย สมาชิกองค์การบริหารส่วนตำบลแม่อ้อ นายอินสม ธรรมสอน ผู้ใหญ่บ้านสันป่าเมา หมู่ที่ ๑๓ พร้อมด้วยราษฎรในพื้นที่ จำนวน ๑๕ คน โดยทำการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมแล้วเห็นว่ามีแนวทางช่วยเหลือได้ ด้วยการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำในลำห้วยป่าดำ เมื่อดำเนินการแล้วเสร็จจะสามารถแก้ไขปัญหาการขาด

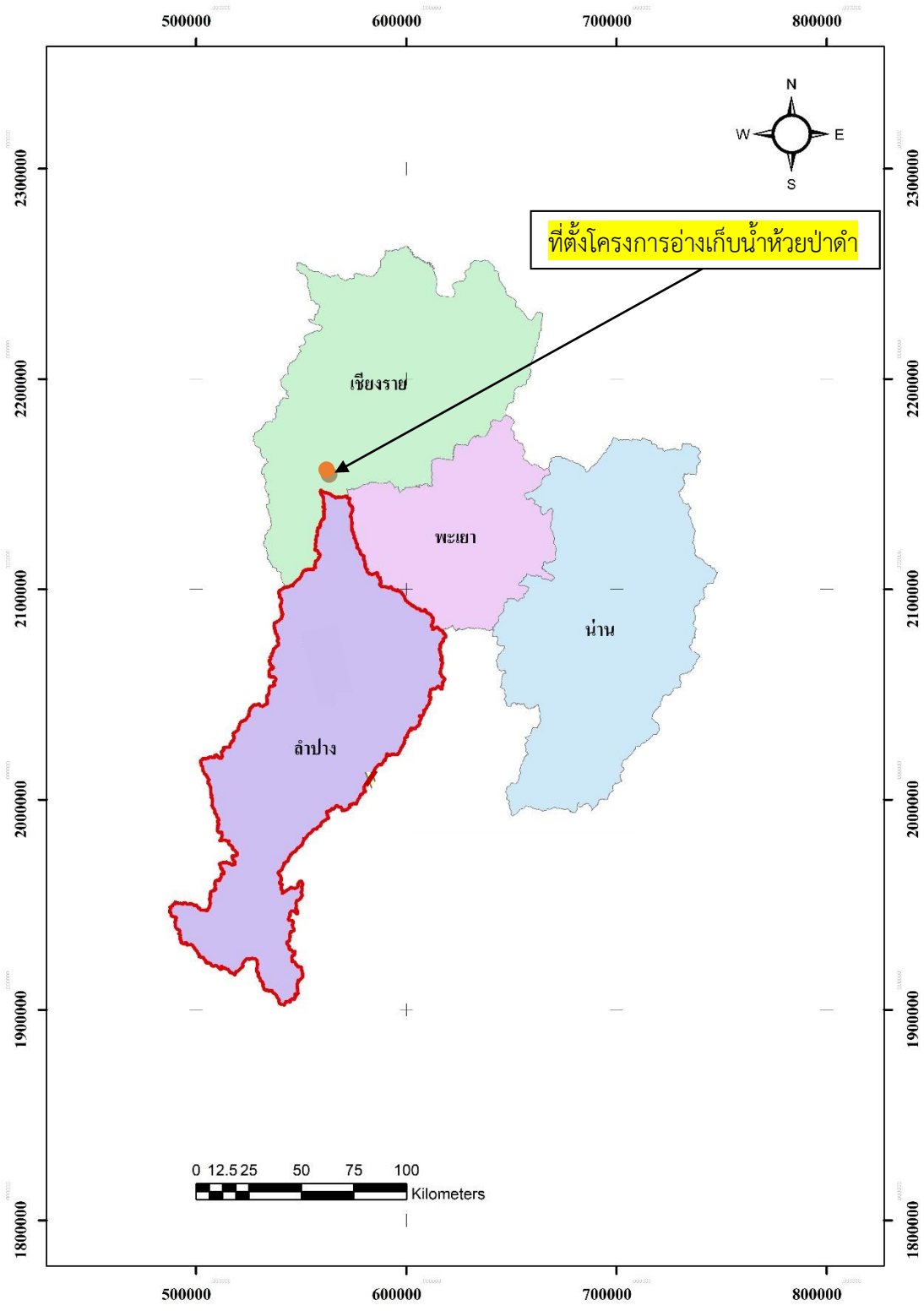
แคลนน้ำ สำหรับทำการเกษตรและการอุปโภคบริโภคของราษฎร รวมถึงการบรรเทาปัญหาอุทกภัยได้ประการหนึ่ง

4.1.2 ที่ตั้ง

บริเวณที่ตั้ง หมู่ที่ ๒ ตำบลแม่อ้อ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย พิกัดหัวงาน โดยประมาณ ๔๗ QNB ๘๗๘-๗๗๗ ระวาง ๔๙๔๖ III แผนที่ลำดับชุด L๗๐๑๘ พิกัด GPS. ๑๙.๖๙๒๓๕๒, ๙๙.๘๓๗๕๘๕



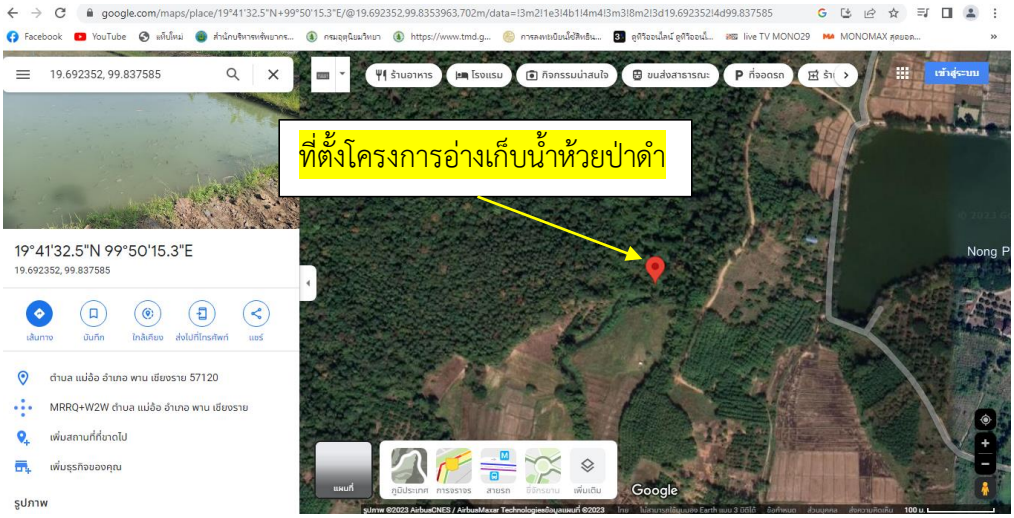
รูปที่ ๑๕ แสดงที่ตั้งโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแม่อ้อ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย



รูปที่ ๑๖ แผนที่แสดงขอบเขตความรับผิดชอบของสำนักงานชลประทานที่ ๒

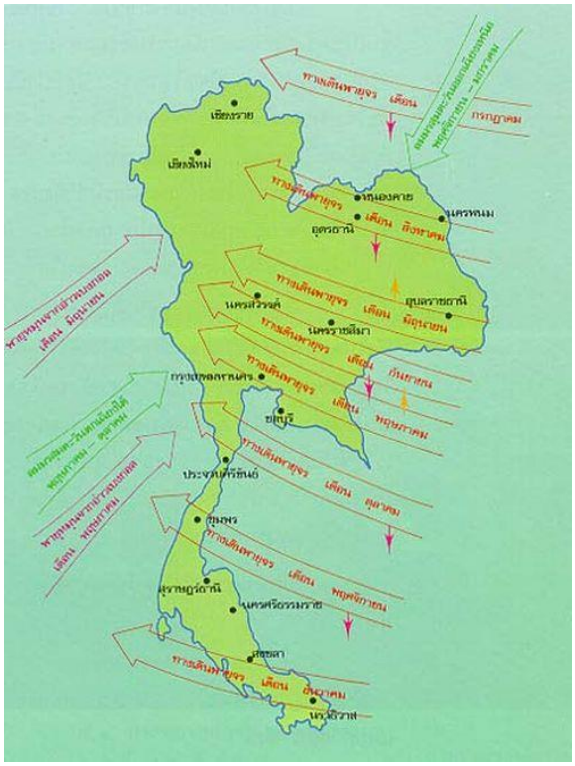
แผนที่จังหวัดเชียงราย

รูปที่ ๑๗ แผนที่จังหวัดพะเยาแสดงที่ตั้งโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแม่อ้อ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย



รูปที่ ๑๘ ภาพถ่ายทางอากาศ โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ

๔.๑.๓ สภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปบริเวณพื้นที่โครงการได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พายุโซนร้อน และพายุดีเพรสชั่น ฤดูฝนเริ่มประมาณเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งพัดพาความร้อนและความชื้นมาจากมหาสมุทรอินเดียตอนใต้ โดยช่วงปลายฤดูฝนระหว่างเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคมมีพายุใต้ฝุ่นในรูปของพายุดีเปรสชั่น ซึ่งเกิดในทะเลจีนใต้เคลื่อนที่มาเป็นครั้งคราวทำให้ฝนตกชุก ฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นลมหนาวจัดและแห้งพัดมาจากสาธารณรัฐประชาชนจีน และฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม



รูปที่ ๑๙ แสดงเส้นทางเดินพายุผ่านประเทศไทย

๔.๑.๔ สภาพเศรษฐกิจสังคม การเกษตร และการปกครอง

ราษฎรบ้านแม่อ้อนอกและหมู่บ้านใกล้เคียงส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตรเป็นหลัก คือ ทำนา ทำไร่ ทำสวน และเลี้ยงสัตว์ เพื่อเสริมรายได้และใช้แรงงาน ส่วนอาชีพรอง คือ การรับจ้างขายแรงงานในภาคบริการ สำหรับการทำการเกษตรของราษฎรในพื้นที่นั้น พบว่าแบ่งเป็นพวกที่ทำการเกษตรโดยใช้น้ำฝนและน้ำจากลำห้วยป่าดำ ซึ่งมีพื้นที่บริเวณที่ราบริมฝั่งลำน้ำถึงที่ดอนที่มีความลาดชันเล็กน้อย พืชที่ปลูกส่วนใหญ่ ได้แก่ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข.๖ พันธุ์สันป่าตอง และข้าวเจ้า ผลผลิตที่ได้ประมาณ ๕๐๐ - ๕๕๐ กิโลกรัมต่อไร่ หลังฤดูกาลเก็บเกี่ยวจะปลูกข้าวนาปรัง (บริเวณห้วยแม่อ้อและพื้นที่ที่มีแหล่งน้ำเอื้ออำนวย) พืชฤดูแล้งต่าง ๆ ส่วนอีกพวกหนึ่งจะเป็นการทำการเกษตรในพื้นที่สูง มีความลาดชันมาก ส่วนใหญ่จะเป็นพืชสวน เช่น ลิ้นจี่ ลำไย ยางพารา ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้าวไร่ ฟักทอง ซึ่งจะอาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียว ผลผลิตที่ได้จึงไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพลมฟ้าอากาศในแต่ละปี

รูปที่ ๒๐ พื้นที่การเกษตร

๔.๑.๕ สภาพทางธรณีวิทยา จังหวัดเชียงราย

ได้จากฝ่ายปฐพีและธรณีวิทยา ส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่ ได้ดำเนินการสำรวจธรณีวิทยาพื้นผิวและเจาะสำรวจธรณีวิทยาใต้พื้นผิว ในแนวศูนย์กลางเขื่อนและอาคารประกอบเพื่อนำข้อมูลมาศึกษาวิเคราะห์ และแปลความหมายสภาพโครงสร้างฐานรากบริเวณเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ และเป็นข้อมูลในการพิจารณาการออกแบบตัวเขื่อนและอาคารชลประทาน และหาวิธีที่เหมาะสมในการปรับปรุงฐานรากได้ถูกต้อง

จากแผนที่ธรณีวิทยา จังหวัดเชียงราย มาตราส่วน ๑ : ๒๕๐,๐๐๐ จัดทาโดย กรมทรัพยากรธรณี, ๒๕๕๑ ระบุชุดตะกอนและชุดหินที่รองรับบริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้าห้วยป่าดา อาเภอพาน จังหวัดเชียงราย และพื้นที่ใกล้เคียงหัวงานโครงการ ดังนี้

ชุดตะกอน :

๑. ชุดตะกอนอายุควอเทอร์นารี (Qt) ประกอบด้วย ตะกอนตะพักลาน้า กรวด ทราย และลูกรังอยู่ทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่โครงการ

ชุดหิน :

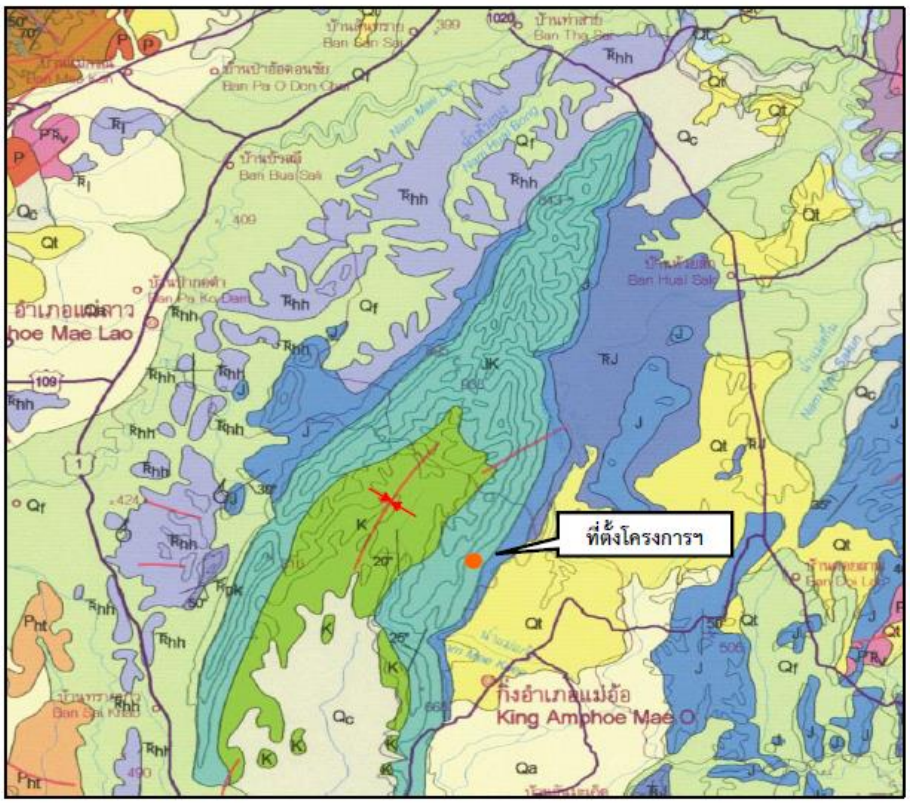
๑. ชุดหินอายุครีเทเชียส (K) ประกอบด้วย หินทรายเนื้ออาร์โคส สีแดงอิฐ แสดงชั้นเฉียงระดับ แทรก
สลับด้วยหินโคลนและหินทรายแป้ง สีน้ำตาลแดง อยู่ทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่โครงการ

๒. ชุดหินอายุจูแรสซิก-ครีเทเชียส (JK) ประกอบด้วย หินทรายเนื้อควอตซ์ สีน้ำตาล สีเทา ชั้นหินหนาแสดงชั้นเฉียงระดับแบบมุมสูง แทรกสลับกับหินทรายแป้ง สีเทาเขียว และหินโคลน สีน้ำตาลแดง **เป็นชุดหินที่รองรับพื้นที่โครงการ**

๓. ชุดหินอายุจูแรสซิก (J) ประกอบด้วย หินกรวดมนสีแดง หินทรายสีน้ำตาลแดง แทรกสลับกับหินทรายแป้งและหินโคลนสีน้ำตาลแดง และหินกรวดมน อยู่ทางด้านทิศตะวันออกติดกับชุดที่รองรับพื้นที่โครงการ

๔. ชุดหินอายุไทรแอสซิก-จูแรสซิก (TRJ) ประกอบด้วย หินกรวดมนสีแดง หินทรายสีเทาเขียว แทรกสลับกับหินโคลน หินทรายแป้ง และหินอารีไนต์เนื้อปนปูน ส่วนล่างพบหินเถ้าภูเขาไฟแทรกสลับ อยู่ทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่โครงการ

แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณที่ตั้งโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ
อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย
จัดทำโดย กรมทรัพยากรธรณี , 2551



สัญลักษณ์

50° แนวระดับและมุมเทของชั้นหิน

ถนน

รอยเลื่อน

รอยคดโค้งรูปประทุนหงาย

รูปที่ ๒๑ แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเชียงราย

คำอธิบาย

EXPLANATION

	ยุค	
K	ครีเทเชียส	หินทรายเนื้ออาร์โคส สีแดงอิฐ แสดงชั้นเฉียงระดับ แทรกสลับด้วยหินโคลนและหินทรายแป้ง สีน้ำตาลแดง มักพบก้อนยิปซัม
JK	จูแรสซิก-ครีเทเชียส	หินทรายเนื้อควอตซ์ สีน้ำตาล สีเทา ชั้นหินหนา แสดงชั้นเฉียงระดับแบบมุมสูง แทรกสลับกับหินทรายแป้ง สีเทาเขียว และหินโคลน สีน้ำตาลแดง
J	จูแรสซิก	หินกรวดมน สีแดง หินทรายสีน้ำตาลแดง แทรกสลับกับ หินทรายแป้งและหินโคลนสีน้ำตาลแดง และหินกรวดมน พบหอยสองฝา
TRJ	ไทรแอสซิก-จูแรสซิก	หินกรวดมนสีแดง หินทรายสีเทาเขียวแทรกสลับกับ หินโคลน หินทรายแป้ง และหินอารีไนต์ เนื้อปนปูน ส่วนล่างพบหินเถ้าภูเขาไฟแทรกสลับ

รูปที่ ๒๒ แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเชียงราย (ต่อ)

ตำบลแม่อ้อ มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ ๑๓๐ ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ ๙๕,๖๐๐ ไร่ มีพื้นที่ปกครองครอบคลุม ๒๐ หมู่บ้าน รายละเอียดแสดงดังตาราง

ลำดับที่	หมู่บ้าน	ประชากร	ครัวเรือน
๑	แม่อ้อใน	๓๖๖	๑๓๙
๒	แม่อ้อนอก	๓๗๓	๑๔๓
๓	แม่แก้วใต้	๖๗๒	๒๕๗
๔	โป่งทะลาย	๔๔๕	๑๙๗
๕	จำผักกูด	๔๙๙	๒๐๔
๖	แม่แก้วกลาง	๔๔๙	๑๘๗
๗	ปอเรียง	๓๑๔	๙๖
๘	ดงชัย	๕๘๔	๑๙๘
๙	เด่นชัย	๕๓๔	๒๑๒
๑๐	แม่แก้วเหนือ	๔๙๕	๑๘๗
๑๑	แม่อ้อหลวง	๖๕๖	๒๖๐
๑๒	ใหม่เจริญ	๓๕๒	๑๒๓
๑๓	สันป่าเมา	๔๖๒	๒๑๒
๑๔	แม่แก้วรุ่งเรือง	๗๐๓	๒๔๕
๑๕	แม่อ้อสันติ	๓๖๘	๑๓๐
๑๖	แม่อ้อ	๔๖๓	๑๗๐
๑๗	แม่แก้วพัฒนา	๓๕๙	๑๒๗
๑๘	ทรายทอง	๓๑๕	๑๐๙
๑๙	แม่แก้ว	๒๗๗	๙๗
๒๐	สักชัยทอง	๕๐๑	๑๖๒
รวม ๒๐ หมู่บ้าน		**๓,๒๕๘**	**๑,๒๖๙**

ที่มา : สำนักงานทะเบียน กรมการปกครอง ณ เดือนมีนาคม ๒๕๕๘

๔.๒ วัตถุประสงค์ของโครงการ

๔.๒.๑ เพื่อเป็นแหล่งน้ำสำหรับทำการเกษตรทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งของราษฎรบ้านแม่อ้อใน หมู่ที่ ๑ จำนวน ๑๓๙ ครัวเรือน ประชากร ๓๖๖ คน บ้านแม่อ้อนอก หมู่ที่ ๒ จำนวน ๑๔๓ ครัวเรือน ประชากร ๓๗๓ คน บ้านแม่แก้วกลาง หมู่ที่ ๓ จำนวน ๑๘๗ ครัวเรือน ประชากร ๔๔๙ คน บ้านแม่อ้อดงชัย หมู่ที่ ๔ จำนวน ๑๙๘ ครัวเรือน ประชากร ๕๘๔ คน บ้านแม่อ้อหลวง หมู่ที่ ๕ จำนวน ๒๖๐ ครัวเรือน ประชากร ๖๕๖ คน บ้านสันป่าเมา หมู่ที่ ๖ จำนวน ๒๑๒ ครัวเรือน ประชากร ๔๖๒ คน บ้านแม่อ้อสันติ หมู่ที่ ๗ จำนวน ๑๓๐ ครัวเรือน ประชากร ๓๖๘ คน รวมทั้งสิ้น ๗ หมู่บ้าน จำนวน ๑,๒๖๙ ครัวเรือน ประชากร ๓,๒๕๘ คน

๔.๒.๒ เพื่อเป็นแหล่งน้ำสำหรับการอุปโภคบริโภคของราษฎรในพื้นที่โครงการและบริเวณใกล้เคียง

๔.๒.๓ เพื่อเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลา

๔.๒.๔ เพื่อบรรเทาปัญหาอุทกภัยทางด้านท้ายน้ำ

๔.๓ เป้าหมาย

๔.๓.๑ ช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกในฤดูฝนได้ ๔๐๐ ไร่

๔.๓.๒ ช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกใน ฤดูแล้งได้ ๕๐ ไร่

๔.๓.๓ เป็นแหล่งน้ำสำหรับอุปโภค บริโภคของราษฎรในพื้นที่โครงการและบริเวณใกล้เคียง

๔.๓.๔ สามารถบรรเทาความเสียหายจากอุทกภัยบริเวณด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำ

๔.๔ ขั้นตอนการดำเนินการ

๔.๔.๑ ศึกษารายละเอียดของรายงานวางโครงการของสำนักชลประทานที่ ๒ และผลสำรวจภูมิประเทศ เพื่อวางแผนการออกแบบเบื้องต้น

๔.๔.๒ พิจารณาสภาพภูมิประเทศในสนาม เพื่อพิจารณาเลือกตำแหน่งที่ตั้งทำนบดิน

๔.๔.๓ ศึกษาข้อมูลทางอุทกวิทยา เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำนองสูงสุด เพื่อใช้ในการ คำนวณออกแบบขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและปริมาณน้ำที่ต้องการเก็บกัก

๔.๔.๔ กำหนดแนวและตำแหน่งของอาคารระบายน้ำล้นให้สามารถระบายน้ำที่เหลือจากระดับน้ำเก็บกักได้สะดวก

๔.๔.๕ กำหนดการวางแนวท่อส่งน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเพื่อลงลำน้ำเดิมและส่งน้ำให้กับพื้นที่เพาะปลูก

๔.๔.๖ ออกแบบและคำนวณทางด้านวิศวกรรมชลศาสตร์และวิศวกรรมโครงสร้าง เพื่อกำหนดขนาด และรูปร่างของทำนบดินและอาคารประกอบให้เป็นไปอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ เพื่อให้ทำนบดินและอาคารประกอบมีความมั่นคงแข็งแรงและประหยัด

๔.๔.๗ เขียนแบบและกำหนดรูปแบบต่าง ๆ เพื่อนำแบบไปใช้ในการก่อสร้าง

๔.๔.๘ ตรวจสอบรายการคำนวณและรายละเอียดของแบบให้ถูกต้องตามหลักวิชาการและมีความปลอดภัยทางด้านวิศวกรรม แล้วนำเสนอแบบเพื่อผ่านความเห็นชอบและอนุมัติต่อไป

๔.๕ ส่วนของงานที่ผู้ขอรับการประเมินเป็นผู้ปฏิบัติ

นายเอกสิทธิ์ ตันติมาสน์ ผู้เสนอผลงาน ตำแหน่งวิศวกรชลประทานชำนาญการ ทำหน้าที่หัวหน้าฝ่ายออกแบบ เสนอแบบให้เห็นชอบต่อไป และตรวจสอบรายการคำนวณและรายละเอียดแบบต้นฉบับโครงการ การเขียนแบบและทำแบบเพื่อส่งตรวจต่อไป สัดส่วนผลงานร้อยละ ๘๐

ขั้นตอนการออกแบบอ่างเก็บน้ำสำหรับโครงการชลประทานขนาดเล็ก

๑. ตรวจสอบแผนงานและงบประมาณค่าออกแบบ โดยต้องมีความสัมพันธ์ตั้งแต่ผลพิจารณาโครงการและผลสำรวจภูมิประเทศด้วย

๒. ตรวจสอบข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ คือ ผลพิจารณาโครงการและผลสำรวจภูมิประเทศแล้ว

๓. ตรวจสอบผลพิจารณาโครงการและผลสำรวจภูมิประเทศโดยการออกไปดูสภาพภูมิประเทศจริงในสนาม

๔. หลังจากไปดูงานในสนามและตรวจสอบข้อมูลแล้ว เริ่มทำการออกแบบโดยกำหนดแนวศูนย์กลางอ่างเก็บน้ำในผลสำรวจและทำการวัดพื้นที่เส้นชั้นความสูงทุก ๑.๐๐ เมตร ทางด้านเหนือน้ำจากระดับท้องลำน้ำสูงขึ้นไปประมาณ ๒๐ เมตร หรือจนสุดเส้นชั้นความสูง เพื่อหาโค้งความจุและ

พื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำ เพื่อนำไปหาระดับน้ำต่ำสุดต่อไปได้ซึ่งเป็นตัวกำหนดระดับธรณีท่อส่งน้ำของอ่างเก็บน้ำ รวมทั้งทำ RESERVOIR OPERATION STUDY ต่อไป

๕. เมื่อได้โค้งความจุอ่างฯ สามารถทำ RESERVOIR OPERATION STUDY ได้เพื่อจะหาขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำต้นทุน และพื้นที่ส่งน้ำซึ่งทำให้ทราบระดับเก็บกักต่อไป

๖. เมื่อกำหนดระดับเก็บกักได้ ก็สามารถหาระดับสันทำนบดินได้ โดยหาความสูงของคลื่นลาดด้านเหนือน้ำเขื่อนดินและระดับน้ำสูงสุดซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณน้ำสูงสุดที่ใช้ในการออกแบบทางระบายน้ำล้น และรวมค่า FREEBOARD ด้วย ซึ่งทำให้ทราบความสูงของทำนบดินโดยวัดจากระดับสันทำนบดินถึงจุดลึกสุดที่กลางลำน้ำ สำหรับการออกแบบเผื่อการทรุดตัวของเขื่อน สำหรับโครงการชลประทานขนาดเล็ก ใช้ไม่เกิน ๑% ของความสูงเขื่อนเพราะไม่มีการทดสอบดิน และได้เผื่อไว้ใน FREEBOARD แล้ว

๗. คำนวณหาขนาดความกว้างของสันทำนบดินได้โดยสัมพันธ์กับความสูงของทำนบดิน แล้วนำไปเขียนแปลนทำนบดิน โดยกำหนดลาดทำนบดินด้านเหนือน้ำ ๑:๓ และลาดทำนบดินด้านท้ายน้ำ ๑:๒.๕ ตามเกณฑ์คร่าวๆ ระดับน้ำต่ำสุด และความกว้างของ BERM ที่ระดับน้ำต่ำสุดและความกว้างของ BERM ของลาดด้านท้ายน้ำ

๘. วางแนวศูนย์กลางท่อส่งน้ำ โดยให้ธรณีท่อด้านเหนือน้ำ อยู่ที่ระดับน้ำต่ำสุด และให้ดูจากผลพิจารณาโครงการว่าอยู่ทางฝั่งใดของลำน้ำ

๙. วางแนวศูนย์กลางทางระบายน้ำล้นให้เข้ากับสภาพภูมิประเทศ โดยต้องทำการตัดดินไม่มาก

๑๐. กำหนดตำแหน่งและจำนวนหลุมเจาะตามแนวศูนย์กลางเขื่อนดิน ท่อส่งน้ำ และทางระบายน้ำล้น ลำน้ำธรรมชาติ โดยส่งไปฝ่ายปฐพีและธรณีวิทยาต่อไป

๑๑. จากกำหนดแนวศูนย์กลางเขื่อนดิน และเขียนแปลนทำนบดินแล้วสามารถคำนวณหาปริมาตรที่นำมาใช้ทำเขื่อนดินได้ และส่งข้อมูลให้ฝ่ายปฐพีและธรณีวิทยาให้หา BORROW AREA ต่อไปโดยจะเผื่อไว้ประมาณ ๑.๕ - ๒ เท่า ของดินที่นำมาทำตัวเขื่อนดิน

๑๒. ขณะอยู่ในระหว่างรอข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้ส่งไปก็สามารถทำการออกแบบต่อไปได้โดยการออกแบบเบื้องต้นคร่าว ๆ และอาจออกแบบเบื้องต้นเพื่อออกไปดูงานในสนามอีกครั้ง

๑๓. เมื่อได้ข้อมูล BORROW AREA จากฝ่ายปฐพีและธรณีวิทยาก็นำมาเลือกดินที่นำไปประกอบการออกแบบ และเลือกตัวอย่างดินส่งไปทดสอบดินทางด้านวิศวกรรมและดินทางด้านวิทยาศาสตร์

๑๔. เมื่อได้รับผลธรณีฐานรากจากฝ่ายปฐพีและธรณีวิทยานำมาใช้ เพื่อที่จะกำหนดความลึกของร่องแกนของทำนบดิน และกำหนดความลาดเทของทางระบายน้ำล้นให้สัมพันธ์กับชั้นแนวหินด้วย

๑๕. จากผลฐานรากข้อ ๑๔ ได้ส่งต่อไปวิเคราะห์การรั่วซึมของน้ำ ผ่านฐานรากจากฝ่ายวิศวกรรมธรณี เพื่อจะได้เป็นข้อมูลใช้ในการปรับปรุงฐานรากว่าจะใช้วิธีใด เป็นการปู CLAY BLANKET หรือทำการ GROUTING

๑๖. จากข้อ ๑๓ และได้รับข้อมูลผลดินทางด้านวิศวกรรม ก็นำมาออกแบบเขื่อนดินต่อไปโดยต้องใช้ข้อมูลดินทางด้านวิทยาศาสตร์มาใช้ประกอบในการเลือกชนิดของดินและข้อมูลอื่นๆ ร่วมกันด้วย เพราะไม่ใช้ดินกระจายตัว (DISPERSIVE SOILS)

๑๗. กำหนดชนิดและขนาดของวัสดุของลาดเขื่อนดินทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ

๑๘. จากผลวิเคราะห์ของน้ำรั่วซึมฐานรากและเขื่อนดิน ทราบค่าปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเขื่อนและฐานราก นำไปออกแบบความหนาของ CHIMNEY PRAIN และ FINGER DRAIN ตลอดจนการออกแบบชั้นกรอง (FILTER)

๑๙. จากข้อ๑๘ ได้ข้อมูลในการพิจารณาปรับปรุงฐานรากว่าใช้วิธีอะไรบ้างขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ยอมให้น้ำมีการรั่วซึมและค่า EXIT GRADIEN ไม่เกิน ๐.๒๕

๒๐. ทำการวิเคราะห์ความมั่นคงและเสถียรภาพของลาดเขื่อน (SLOPE STABILITY) โดยนำผลข้อมูลดินที่ได้มาทำการตรวจสอบและวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อนดินเพื่อหาอัตราส่วนความปลอดภัยต่อการเลื่อนตัว โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ KU SLOPE ช่วยในการคำนวณหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยดังกล่าว ให้ได้ค่าที่ปลอดภัยของแต่ละกรณี ถ้าค่าดังกล่าวไม่ได้อยู่ในช่วงปลอดภัยก็ต้องทำการเปลี่ยนลาดเขื่อนให้ราบขึ้น หรืออาจใช้ลาดเดิมแต่เพิ่มความกว้างของ BERM ด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ แล้วทำการตรวจสอบหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยใหม่ ซึ่งอยู่ในช่วงปลอดภัยทุกกรณีคือหลังจากก่อสร้างเสร็จ ขณะเก็บกักน้ำเต็มที่และช่วงลดระดับน้ำ

๑.การออกแบบความสูงของระดับทำนบดิน

ระดับของสันเขื่อนดินจะต้องสูงอย่างน้อยเท่ากับระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ ณ ช่วงเวลาต่างๆบวกด้วยระยะเผื่อพ้นน้ำ (Freeboard) ซึ่งคำนวณได้จากความสูงของน้ำหลาก (Flood Surcharge) คลื่นจากลมและแผ่นดินไหว ความสูงของน้ำที่เพิ่มขึ้นจากความผิดพลาดในการเปิดบานระบาย และชนิดของตัวเขื่อน

Hf = hw+he/๒+hi

เมื่อ Hf = ระยะเผื่อพ้นน้ำ - เมตร

hw = ความสูงของคลื่นเนื่องจากแรงลม - เมตร

he = ความสูงของคลื่นเนื่องจากแผ่นดินไหว - เมตร

hi = ความสูงเผื่อเนื่องจากชนิดของเขื่อน สำหรับเขื่อนดินเมื่อมีน้ำล้นสันเขื่อนจะเกิดอันตรายสูง ให้เผื่อความสูงไว้ ๑ เมตร

การคำนวณความสูงคลื่นจากแรงลม

การคำนวณความสูงคลื่นเนื่องจากแรงลมที่พัดในอ่างเก็บน้ำ(hw) จะคำนวณโดยวิธีของ SAVILLE ซึ่งจะพิจารณาได้จาก
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคลื่นกับระยะผิวน้ำที่ตั้งฉากกับตัวเขื่อน(Fetch) และความลาดเอียงของตัวเขื่อน
(Riprap Slope) โดยกำหนดความเร็วของลมบริเวณอ่างเก็บน้ำไว้ประมาณ ๗๒ กิโลเมตร/ชั่วโมง

โดย V = ความเร็วลมในบริเวณอ่างเก็บน้ำ ประมาณ ๗๒ กิโลเมตร/ชั่วโมง หรือ ๒๐เมตร/วินาที

F = ระยะผิวน้ำตั้งฉากกับตัวเขื่อน ประมาณ ๑๗๓.๗ เมตร

Riprap Slope = ๑:๓

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น เมื่อนำไปพิจารณาจากกราฟ จะได้ความสูงของคลื่น (ดูภาคผนวกหน้า ๓)

hw = ๐.๑๐ เมตร

การคำนวณความสูงคลื่นจากแผ่นดินไหว

การคำนวณความสูงคลื่นจากแผ่นดินไหว (he) จะใช้สมการของ SEICHI SATO คือ

$he = Ks \times (gH)^{0.5}/(2 \times E)$

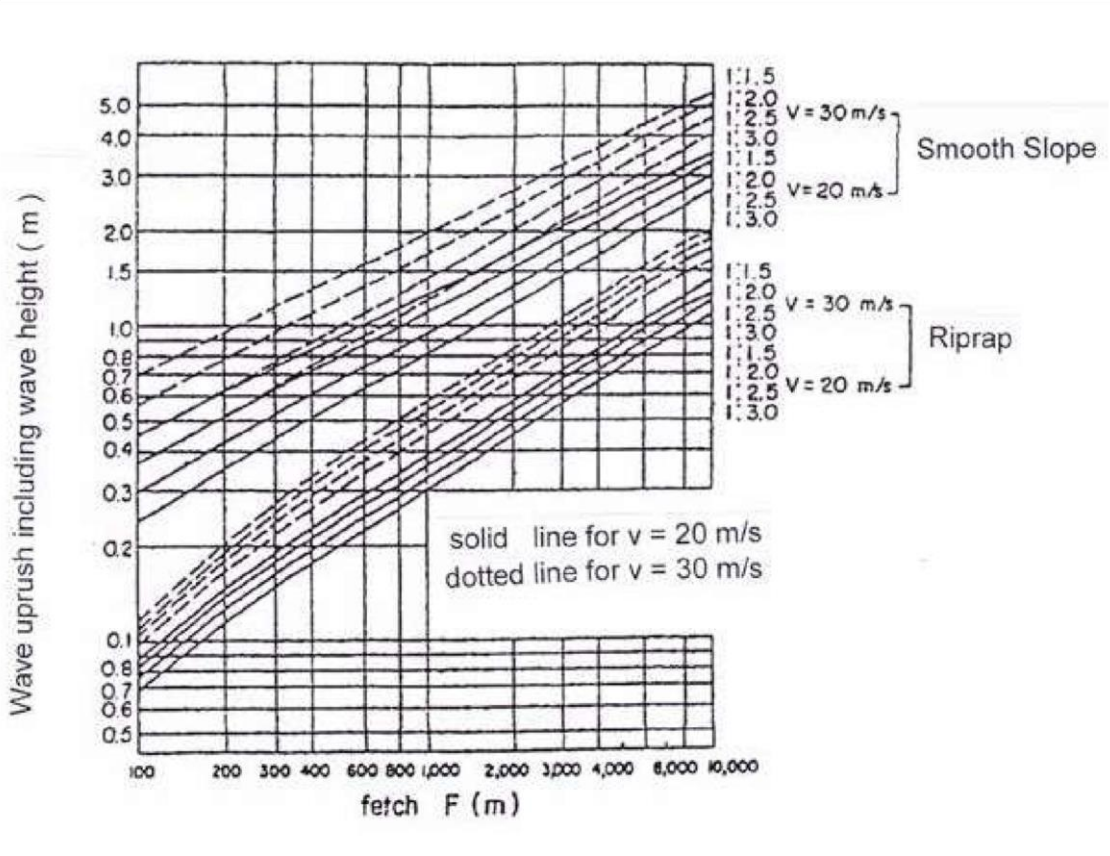
K = สัมประสิทธิ์ความสั่นสะเทือนแนวราบ = ๐.๐๕ g

E = คาบเวลา (Period) ของคลื่นแผ่นดินไหว ประมาณ ๒ วินาที

g = ความเร่งของแรงดึงดูดของโลก= ๙.๘๐๗ เมตร/วินาที

H = ความลึกของน้ำหน้าเขื่อน ประมาณ ๑๐ เมตร

ความสูงคลื่นเนื่องจากแผ่นดินไหว สำหรับเขื่อนดินขนาดเล็กจะไม่นำมาคิด



In order to determine wave run-up height (R), Fetch (F), wind velocity (u), wave height (hw) and wave length (L) are required To be found by the S.M.B. method, and slope and slope roughness by the Saville method

รูปที่ 2.3-1 แสดงการกำหนดค่าความสูงคลื่น

เอกสารอ้างอิง : Fill Dam, Engineering Manual for Irrigation and Drainage

Japan Institute of Irrigation and Drainage, March 1988

รูปที่ ๑ แสดงการกำหนดค่าความสูงคลื่น

ดังนั้น ระยะเผื่อพ้นน้ำ (Freeboard) อ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก = +๑.๐๐ เมตร
ระดับสันเขื่อน = ระดับน้ำสูงสุด + Freeboard
ดังนั้น ระดับสันเขื่อน = +๔๒๓.๐๐๐ เมตร(ร.ท.ก.)
ระดับน้ำสูงสุด = +๔๒๒.๐๐๐ เมตร(ร.ท.ก.)
ระดับน้ำเก็บกัก = +๔๒๑.๐๐๐ เมตร(ร.ท.ก.)

การออกแบบความกว้างของสันทำนบดิน (Dam Crest Width)

ความกว้างของสันเขื่อนพิจารณาจากความสูงของเขื่อน ความกว้างของเครื่องจักร ในการก่อสร้าง และความสะดวกในการใช้ยวดยานตรวจตราบำรุงรักษาเขื่อน มาตรฐานการออกแบบของญี่ปุ่น (Japanese Code ๑๙๕๗) ได้ระบุไว้ว่าความกว้างของสันเขื่อนมีความสัมพันธ์กับความสูงดังสมการ

$$B = ๓.๖H^{๑/๓} - ๓$$

B = ความกว้างของสันทำนบ - เมตร
H = ความสูงของตัวทำนบดินเหนือท้องน้ำ - เมตร
H = ๑๐.๐๐ เมตร
B = $๓.๖ \times ๑๐^{๑/๓} - ๓$
= ๕.๐๐๖ ม.

๒.ความกว้างของสันเขื่อน (Crest Width)

พิจารณาจากความสะดวกปลอดภัยของการใช้เครื่องจักรเครื่องมือ ยวดยานในการก่อสร้าง ตรวจตราและซ่อมบำรุงเขื่อน และจะต้องสัมพันธ์กับความสูงของเขื่อน

โดยจะต้องมีความกว้างต่ำสุดดังนี้

$B \geq ๕.๕ + ๐.๐๕๕ H$ ..... (วรากร ๒๕๔๑)

เมื่อ H = ความสูงจากท้องลำห้วยถึงระดับเก็บกัก
H = ๑๑.๐๐ ม.
B = ๕.๕ + ๐.๐๕๕x๑๑.๐๐
= ๖.๐๑๕ ม.
กำหนด B = ๘.๐๐ ม.

๓.ความลึกร่องแกนและความกว้างท้องร่องแกน

กำหนดให้กว้างพอที่จะนำเครื่องจักร เครื่องมือลงไปทำงานได้ แต่ทั้งนี้ต้องกว้างไม่น้อยกว่า ๖.๐๐ เมตร (Design of Small Dam,๑๙๘๗ หน้า ๒๐๖) อย่างไรก็ตามความกว้างของร่องแกนสามารถคำนวณได้จาก

$$w = h - d$$

โดยที่ w = ความกว้างท้องร่องแกน, เมตร

h = ความลึกน้ำ วัดจากระดับผิวดินถึงระดับน้ำเก็บกัก, เมตร
= ๑๐.๐๐ เมตร
d = ความลึก Cutoff Trench วัดจากผิวดินถึงร่องแกน, เมตร
= ๕.๐๐ เมตร
W = ๑๐.๐๐ – ๕.๐๐
= ๕.๐๐ เมตร
กำหนด ความกว้างท้องร่องแกน = ๖.๐๐ เมตร

๔.การป้องกันลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ

การป้องกันลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ ต้องปลอดภัยจากแรงกระแทกของคลื่นในอ่างเก็บน้ำ โดยกำหนดให้มีการทิ้งหินที่ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ ขนาดของหินทิ้งตามคำแนะนำของ U.S. Corps of Engineers (๑๙๘๔) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$W_{50} = \frac{\gamma_r * H^3}{K_{RR}(S_r - 1)^3 COT\theta}$$

เมื่อ W_{50} = น้ำหนักเฉลี่ยของหิน เป็นกิโลนิวตัน (kN)
H = ความสูงคลื่น เป็นเมตร
S_r = ความถ่วงจำเพาะของหิน ($S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_w}$)
γ_r = ความหนาแน่นของหิน
หน่วย กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (kN/m^3)
γ_w = ความหนาแน่นของน้ำ
= ๙.๘๑ กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร(kN/m^3)
θ = มุมลาดเขื่อน เป็นองศา
K_{RR} = Stability Coefficient มีค่าเท่ากับ ๒.๕ สำหรับ Angular Rock

หนักของหินใหญ่สุด (W_{100}) มีค่าประมาณ ๔ เท่าของน้ำหนักเฉลี่ย (W_{50}) ซึ่งจะได้ขนาดใหญ่สุดของหิน (D_{100}) มีค่าประมาณ ๑.๕ เท่าของขนาดเฉลี่ย (D_{50})

ตารางที่ ๑ แสดงขนาดของหินทิ้งตาม U.S. Corps of Engineers (๑๙๘๔)

ความสูงคลื่น (ม.)	ขนาดของหินทิ้ง (ม.)			
	๓H : ๑V Slope		๒H : ๑V Slope	
	D_{50}	D_{100}	D_{50}	D_{100}
๐.๕	๐.๑๙	๐.๒๗	๐.๒๑	๐.๓๐
๑.๐	๐.๓๗	๐.๕๕	๐.๔๒	๐.๖๓
๑.๕	๐.๕๕	๐.๘๒	๐.๖๓	๐.๙๕
๒.๐	๐.๗๓	๑.๑๐	๐.๘๔	๑.๒๖
๒.๕	๐.๙๒	๑.๓๘	๑.๐๕	๑.๕๘

ความหนาของหินทิ้ง (Riprap) จะมีค่าประมาณ ๑ – ๑.๕ เท่าของขนาดหินใหญ่สุด ($D_{๑๐๐}$)

เพื่อป้องกันไม่ให้คลื่นพัดพาดินถมตัวเขื่อนออกมา จึงจำเป็นต้องวางหินทิ้งอยู่บนกรวดทรายรองพื้น (Bedding Material) โดย Sherard et. al.,(๑๙๖๓) และ U.S.Army Corps of Engineers,(๑๙๘๔) ได้กำหนดความหนาของกรวดทรายรองพื้นแสดงในตารางที่ ๒

ตารางที่ ๒ แสดงความหนาของกรวดทรายรองพื้นตาม Sherard et. al.,(๑๙๖๓)

ความสูงคลื่น (ม.)	ความหนากรวดทรายรองพื้นต่ำสุด (ซม.)
๐ – ๑.๒	๑๕.๐
๑.๒ -๒.๔	๒๒.๕
๒.๔ – ๓.๐	๓๐.๐

Sherard et. al.,(๑๙๖๓) และ U.S.Army Corps of Engineers,(๑๙๘๔) ได้แนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับขนาดคละของกรวดทรายรองพื้น ไว้ดังนี้

สำหรับวัสดุรองพื้น (Bedding Material) จะพิจารณาจาก Filter Criteria ของสมการ

$$\frac{D_{๑๕}\ \text{ของ}Filter}{D_{๘๕}\ \text{ของ}BaseMat \qquad erial} \leq ๕$$

เมื่อ $D_{๑๕}$ = ขนาดวัสดุ (มม.) ที่มีขนาดเล็กกว่าเป็นจำนวน ๑๕% โดยน้ำหนัก

$D_{๘๕}$ = ขนาดวัสดุ (มม.) ที่มีขนาดเล็กกว่าเป็นจำนวน ๘๕% โดยน้ำหนัก

F = ระยะผิวน้ำตั้งฉากกับตัวเขื่อน ประมาณ ๑๗๓.๗ เมตร หรือ ๑๐๘.๕๖๒๕ ไมล์

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น เมื่อนำไปพิจารณาจากกราฟรูปที่ ๑ จะได้ความสูงของคลื่น (hw) เท่ากับ ๐.๗๒ เมตร

ดังนั้น จากตารางที่๑ และ๒ เลือกใช้ Slope Protection ด้านเหนือน้ำ เป็นหินทิ้งขนาด ๐.๔๐ เมตร บนกรวดทรายรองพื้นหนา ๐.๒๐ เมตร

5. การป้องกันลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ

เพื่อป้องกันการกัดเซาะ (Erosion) เนื่องจากน้ำฝนและลม การป้องกันทำได้หลายแบบ แต่ที่นิยมใช้คือ การปลูกหญ้า และในการออกแบบอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำเลือกใช้การปลูกหญ้า เริ่มตั้งแต่สันเขื่อนลงไปจนถึงดินเดิม ก่อนการปลูกหญ้าต้องปูพื้นดินที่มีความอุดมทางอาหารพืช (Top Soil) หนา 0.15 ม. และหญ้าที่ปลูกต้องเป็นชนิดที่หยั่งรากลึก ทนแล้ง และเจริญเติบโตง่าย

๖. การป้องกันการกัดเซาะบนสันเขื่อน

ควรมีการป้องกันการกัดเซาะเนื่องจากคลื่นและน้ำฝน โดยการปูลูกรังบดอัดแน่นหนา ประมาณ ๐.๒๕ โดยการบดอัดแน่นไม่น้อยกว่า ๙๕ % Modified Proctor Compaction Test เพื่อให้ระบายน้ำฝนได้สะดวก ได้แต่งผิวให้เป็นยอดแหลม มีความลาด ๒ % ไปทางหน้าอ่างเก็บน้ำ

๗. การวิเคราะห์ความมั่นคงของตัวเขื่อน (Slope Stability Analysis)

ในการออกแบบเขื่อนดิน จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดตัวเขื่อน (Slope Stability Analysis) เพื่อที่จะกำหนดค่าความลาดของตัวเขื่อนทั้งด้านหน้าและด้านหลังเขื่อน เพื่อให้ราคาค่าก่อสร้างน้อยที่สุดในขณะที่ต้องมีความปลอดภัย จากการพังทลายของลาดตัวเขื่อนในทุก ๆ กรณี โดยมีค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) อยู่ในเกณฑ์ที่มั่นใจได้อย่างเพียงพอ

กรณีการวิเคราะห์และค่าความปลอดภัย

การออกแบบเขื่อน จะยึดหลักการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดตัวเขื่อน ต่อสภาวะหรือเหตุการณ์ ๓ กรณี ดังนี้

๑) กรณีสิ้นสุดการก่อสร้าง (End of Construction)

๒) กรณีเก็บกักน้ำเต็มอ่าง (Full Reservoir)

๓) กรณีที่ระดับน้ำลดลงกะทันหัน (Rapid Drawdown)

วิเคราะห์ความมั่นคงทั้งลาดเขื่อนด้าน U/S และ D/S โดยปกติการลดลงของน้ำภายในอ่างฯที่มีอัตราเร็วเกินกว่า ๓๐ ซม./วัน จะส่งผลให้ตัวเขื่อนมีอัตราเสี่ยงต่อการเกิดพังทลายของลาดเขื่อน แรงดันน้ำที่อยู่ระหว่างเม็ดดิน (Pore Pressure) มีผลต่อการวิเคราะห์ความมั่นคง ซึ่งจำเป็นต้องนำมาคิดรวมอยู่ในการวิเคราะห์นี้

โดยจะกำหนดค่าความปลอดภัยต่ำสุดที่ยอมรับได้ (Minimum Allowable Factor of safety) ที่ได้แนะนำโดย Bharat Singh ในหนังสือ Earth and Rockfill Dams (๑๙๗๖) Table ๗.๑ หน้า ๒๐๘ ดังนี้

ตารางที่ ๓ แสดงกรณีการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดตัวเขื่อน และค่าความปลอดภัยต่ำสุด

กรณีการวิเคราะห์	ค่าความปลอดภัยต่ำสุด	
	Without Seismics	With Seismics
กรณีสิ้นสุดการก่อสร้าง	๑.๒๕	๑.๐๐
กรณีเก็บกักน้ำเต็มอ่าง	๑.๕๐	๑.๒๕
กรณีที่ระดับน้ำลดลงกะทันหัน	๑.๒๕	๑.๐๐

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม KUslope ในกรณีคิด seismic ได้ ดังนี้

๑) กรณีสิ้นสุดการก่อสร้าง (End of Construction)

-U/S ค่า Factor of safety (min) = ๒.๕๖ >๑.๐๐

-D/S ค่า Factor of safety (min) = ๒.๕๐ >๑.๐๐

๒) กรณีเก็บกักน้ำ

-D/S ค่า Factor of safety (min) = ๒.๑๒ >๑.๒๕

๓) กรณีระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown)

-U/S ค่า Factor of safety (min) = ๑.๑๖ >๑.๐๐

สรุปได้ว่าจากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณหาความมั่นคงของลาดตัวเขื่อน ทั้งด้านหน้า (Upper Stream, U/S) และด้านท้ายเขื่อน (Down Stream, D/S) ทั้ง ๓ กรณีผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

๘) การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำผ่านเขื่อนและฐานราก

การวิเคราะห์มีวัตถุประสงค์ เพื่อ

ก) ออกแบบการปิดกั้นการไหลของน้ำผ่านตัวเขื่อนและฐานรากพร้อมทั้งประเมินปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเทียบกับมาตรฐานการรั่วซึมที่ยอมรับ

ข) ตรวจบริเวณที่อาจเกิดการกัดเซาะและพัดพาเม็ดดินภายในตัวเขื่อนและฐานรากพร้อมกับประเมินความเหมาะสมในการออกแบบชั้นกรองและระบบระบายน้ำ

ค) ประเมินความดันน้ำที่เกิดจากการไหลซึม เพื่อนำไปตรวจสอบโอกาสการเกิด Boiling ด้านท้ายน้ำ และความดันน้ำที่มีผลเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อน

ง) เป็นแนวทางในการกำหนดตำแหน่งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน และวัดปริมาณน้ำที่ซึมผ่านเขื่อนในการตรวจสอบความปลอดภัย

การวิเคราะห์โดยทั่วไปจะใช้

๑. การเขียน Flow nets บนหน้าตัดวิกฤติของตัวเขื่อนในขณะที่เส้นผิวน้ำในแกนดินเหนียวทึบน้ำจะคำนวณโดยใช้วิธีของ Casagrande,(๑๙๓๗)

๒. วิธี Finite Element Seepage Analysis ซึ่งกระทำได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งมีสมการ Laplace’s Equation ควบคุมการไหลบนพื้นที่ที่มี Boundary Condition ที่ผิวน้ำปรับให้เคลื่อนที่ได้ ดังแสดงในรูป

Seepage through Earth Dam

การคำนวณหาปริมาณน้ำผ่านเขื่อนโดยการใช้ Flownets เส้นแรกของ Flow line หรือ Seepage line ที่จะต้องเขียนขึ้นมาก่อนคือ Top flow line หรือ Phreatic line ซึ่งอยู่ภายในตัวเขื่อนบนเส้นนี้ Hydrostatic pressure มีค่าเป็น “ ๐ “ เหนือเส้นนี้เป็นขอบเขตของ Capillary rise ซึ่งโดยปกติจะไม่นำมาพิจารณาใต้เส้นนี้ความดันจะเป็น Hydrostatic pressure มีค่าเป็นบวก

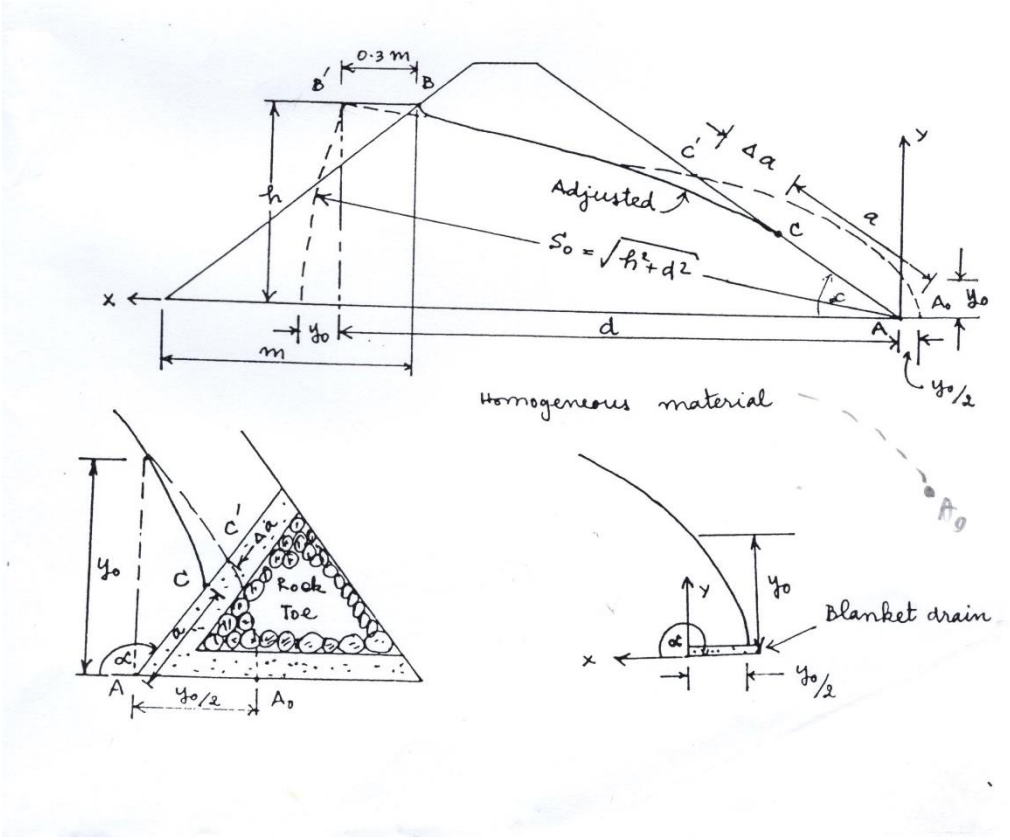
Phreatic lineนี้ใช้วิเคราะห์ความมั่นคงของตัวเขื่อน

คุณสมบัติของ Phreatic line มีดังนี้

๑.ตำแหน่งของ Phreatic line ขึ้นอยู่กับรูปตัดของตัวเขื่อนเท่านั้น ไม่ขึ้นอยู่กับค่า Permeability ถ้าเป็นเขื่อนที่มีเนื้อเดียวกันตลอด (Homogeneous Dam)

๒. Phreatic line เป็นรูป Parabola ยกเว้นจุดเข้าและจุดออก ที่จุดเข้า Phreatic line จะตั้งฉากกับความลาดเทเหนือน้ำ แต่ที่จุดออกจะสัมผัสกับผิวลาดเทถ้าไม่มี Filter

๓. ถ้า Filter อยู่ในแนวราบ หรือมี Rockfill Toe จะต้องมีการปรับแก้ค่าให้ถูกต้อง
๔. เมื่อมีชั้น Pervious ใต้เขื่อนดินจะไม่มีอิทธิผลต่อ Phreatic line
ขั้นตอนการเขียนเส้น (Phreatic line) โดยวิธีของ Casagrande



รูปที่ ๒ คำนวณ Seepage through Earth Dam ,Phreatic Line, ของ Homogeneous Dam

เมื่อไม่มี Filter

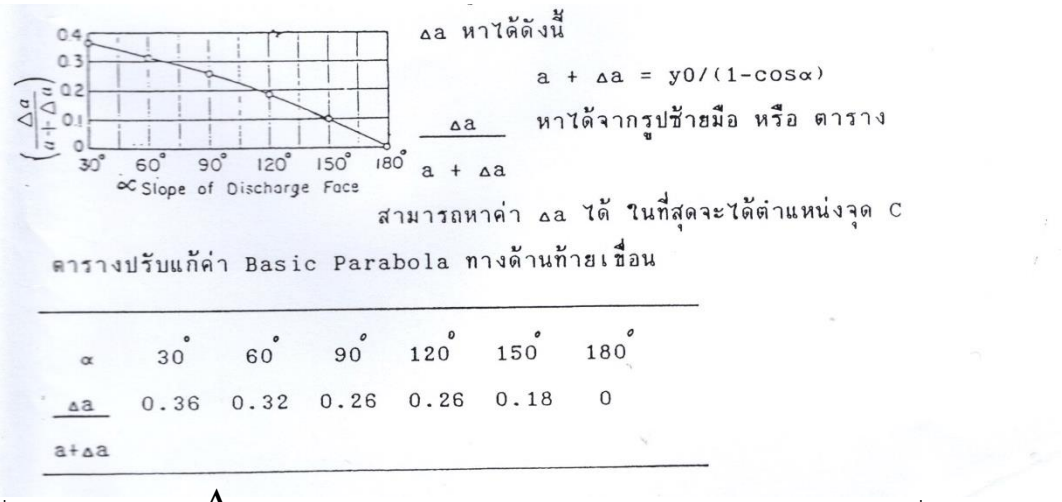
๑. หาระยะ m ก่อน ระยะนี้คือ ระยะราบที่ผิวน้ำแตะราบด้านหน้าเขื่อนกับฐานเขื่อน
๒. หาตำแหน่งจุ B′ ที่ผิวน้ำ โดย BB′ = ๐.๓๐ m
๓. หาค่า yo ซึ่งมีค่าเท่ากับ $(d^2 + h^2)^{0.5} - d$ หรืออาจหาได้โดยการใช้วงเวียนก็ได้โดยใช้รัศมี AB′ ตัดฐาน ลากเส้นดิ่งจาก B′ จะได้ค่า yo
๔. วัดระยะจากจุด A ไปทางขวาเท่ากับ $y_o/2$ จะได้จุด a_o ซึ่งเป็นจุด Vortek ของ Parabola สมการ Parabola มี Focus ที่จุด Ao คือ $x = (y^2-y_o^2) / (2*y_o)$ ซึ่งสามารถ Plot รูป Basic Parabola ได้
๕. ต้องมีการปรับ Curve เพื่อให้ถูกต้องดังนี้
   - ที่ทางเข้าสู่ตัวเขื่อน (Point of entrance) ที่จุด B ปรับให้ตั้งฉากกับผิวน้ำ
   - ที่ทางออก (Point of Discharge) ที่น้ำซึมออกทางลาดท้ายเขื่อนที่จุด C′ เป็นจุดที่ Basic Parabola ตัดเขื่อนที่ระยะ a + Δa ตามลาดท้ายเขื่อนจากจุด A Seepage line ที่ถูกต้องคือจุด C ที่ระยะ Δa ต่ำจากจุด C′

Δa หาได้ดังนี้

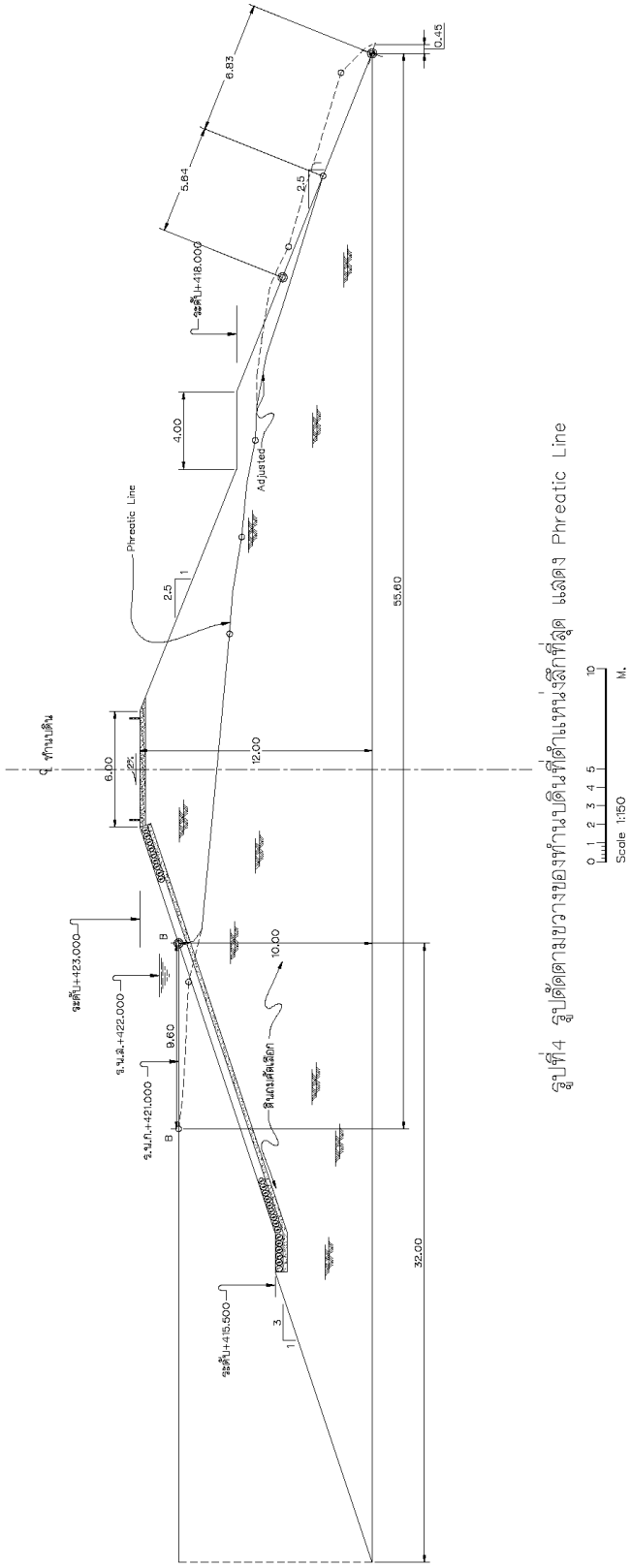
๑) $a+\Delta a = y_o / (1-\cos\alpha)$

๒) $\frac{\Delta a}{a+\Delta a}$ หาได้จากกราฟหรือตารางการปรับแก้เส้นผิวท้ายน้ำ

๓) เมื่อสามารถหาค่า Δa ได้ในที่สุดจะได้ตำแหน่งจุด C



รูปที่ ๓ การหาค่า $\frac{\Delta a}{a+\Delta a}$ และ ตารางปรับแก้ค่า Basic Parabola ทางด้านท้ายเขื่อน



ภูมิที่4 ภูมิที่ตามขวางของทำนบดินที่ตำแหน่งที่ลึกที่สุด และที่ตั้ง Phreatic Line

ขั้นตอนการเขียนPhreatic line โดยวิธีของ Casagrande

๑.หาระยะ m ก่อน ระยะนี้คือ ระยะราบที่ผิวน้ำแตะราบด้านหน้าเขื่อนกับฐานเขื่อน

๒.หาตำแหน่งจุด B' ที่ผิวน้ำ โดย BB' = ๐.๓ m

m = ๓๒ ม.

BB' = ๐.๓ x ๓๒

= ๙.๖๐๐ ม.

๓. หาค่า

y_o = $(d^2+h^2)^{0.5}-d$

d = ๕๕.๖๐๐ ม.

h = ๑๐.๐๐๐ ม. คิดที่ระดับน้ำระดับน้ำเก็บกัก

y_o = ๐.๘๙๒ ม.

$y_o/2$ = ๐.๔๔๖ ม.

๔.วัดระยะจากจุด A ไปทางขวาเท่ากับ $y_o/2$ จะได้จุด A_o ซึ่งเป็นจุด Vortex ของ Parabola สมการ Parabola มี Focus ที่จุด A_o คือ $x = (y^2-y_o^2)/2y_o$ ซึ่งสามารถ Plot รูป Basic Parabola ได้

x	y
0	0.000
1	1.606
10	4.317
20	6.040
25	6.738
30	7.370
50	9.487
55	9.946

๕.ต้องมีการปรับ Curve เพื่อให้ถูกต้องดังนี้

ที่ทางเข้าสู่ตัวเขื่อน (Point of Discharge) ที่น้ำซึมออกทางลาดท้ายเขื่อนที่จุด C' เป็นจุดที่ Basic Parabola ตัดเขื่อนที่ระยะ $a+\Delta a$ ตามลาดท้ายเขื่อนจากจุด A Seepage line ที่ถูกต้องคือจุด C ที่ระยะ Δa ต่ำจากจุด C'

α = ๒๑.๘๐ องศา

ถ้า α < ๓๐ องศา ค่า α สามารถคำนวณได้จากสมการ

a = $SO-(SO^2-(h^2/(\sin^2\alpha))^{(0.50)}$

= ๕๖.๔๙๒ - (๕๖.๔๙๒^2- (๑๐^2 /(sin^2 ๒๐.๘๐))$^{(0.50)}$

= ๖.๘๓๐ ม.

SO = $(h^2+d^2)^{(0.5)}$

= $(๑๐^2+๕๕.๖^2)^{(0.5)}$

= ๕๖.๔๙๒ ม.

ถ้า α < ๓๐ และไม่พิจารณาเส้นพาราโบล่าและ Δa

ดังนั้นใช้สูตร Schaffernak นี้แทน

$a+\Delta a$ = $y_o/(1-\cos \alpha)$

Δa = ๑๒.๔๗๓๑๘๓๓ - ๖.๘๓๐

= ๕.๖๔๔ ม.

แสดงว่าน้ำไหลผ่านจุด C ตรงตำแหน่ง Filter พอดีแสดงว่าปลอดภัย O.K.

และจากการรายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำผ่านฐานรากเขื่อน และการตรวจสอบฐานราก โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ อ.พาน จ.เชียงราย ชั้นดินธรณีอยู่ในสภาพเหมาะสมสามารถก่อสร้างได้อย่างปลอดภัย

การออกแบบอาคารระบายน้ำล้น (Spillway)

๑.ความสามารถของอาคารระบายน้ำล้นของอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำในการระบายน้ำ

การคำนวณความสามารถของฝายในการระบายน้ำจะต้องทราบปริมาณน้ำมากที่สุดและระดับน้ำสูงสุดตามธรรมชาติในลำน้ำตรงที่สร้างฝายเสียก่อน แล้วจึงพิจารณาได้ว่าในขณะที่ปริมาณน้ำมากที่สุดไหลข้ามฝายไปนั้นมีน้ำท่วมสันฝายลึกเท่าไร ระดับน้ำบนสันฝายสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดด้านท้ายฝายเท่าไร ความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสองนี้เรียกว่า Afflux หลักการออกแบบฝายโดยทั่วไปนิยมให้การไหลของน้ำผ่านสันฝายในลักษณะ Free flow ซึ่งเป็นกรณีที่ระดับน้ำด้านท้ายฝายอยู่ต่ำสันฝาย เรียกว่า Free Overfall Weir ซึ่งสูตรที่ใช้คำนวณปริมาณน้ำผ่านฝายมีดังนี้

ในกรณี Free Over fall Weir; $Q = CLH^{๑.๕๐}$

ในเมื่อ Q = ปริมาณน้ำมากที่สุดที่ไหลข้ามสันฝาย, ม.^{๓}/วท.

L = ความยาวของสันฝาย, ม.

H = Afflux, ม.

และ C = ค่าคงที่

๒ ข้อกำหนดในการออกแบบ

- การออกแบบใช้รอบปีการเกิดซ้ำที่ ๕๐ ปี สำหรับสถิติน้ำฝน-น้ำท่า		
- ค่าหน่วยน้ำหนักคอนกรีตล้วนปนหินใหญ่	๒,๒๐๐	กก/ม.^{๓}
- ค่าหน่วยน้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก	๒,๔๐๐	กก/ม.^{๓}
- ค่าหน่วยน้ำหนักของดินอิ่มตัว, γsat	๒,๑๕๐	กก/ม.^{๓}
- มุมเสียดทานภายในของดิน, $\varnothing$	๓๐$^{\circ}$	
- ค่ากำลังแบกทานได้ของดินฐานราก	๑๐,๐๐๐	กก/ม.^{๒}
- ส.ป.ส. ความขรุขระสำหรับคลองดาดคอนกรีต, n	๐.๐๑๘	
- ส.ป.ส. ความขรุขระสำหรับคลองดิน, n	๐.๐๒๐	
- ส.ป.ส. ความขรุขระสำหรับท่อคอนกรีต, n	๐.๐๑๒	
- ค่าชลภาระ	๐.๐๐๐๒๕	ม.^{๓}/วินาที/ไร่
- กำลังอัดของคอนกรีตที่ ๒๘ วัน, fc’	๑๗๕	กก./ซม.^{๒}
- หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมกลมผิวเรียบ, fs	๑,๒๐๐	กก./ซม.^{๒}
- หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กข้ออ้อย, fs	๑,๕๐๐	กก./ซม.^{๒}

๓ การหาปริมาณน้ำนองสูงสุดที่อาจจะเกิดขึ้นได้โดยใช้สูตร Rational formula

ที่ตั้งหัวงานอยู่ในแผนที่ ๑:๕๐,๐๐๐ พิกัด ๔๗ QNB ๘๗๘ - ๗๗๗ ระวาง ๔๘๔๗ II ลำดับชุด L๗๐๑๘

- มีพื้นที่ลุ่มน้ำ (Watershed area , W.A) = ๑.๓๕ กม.^{๒}
- ความยาวของลำน้ำ ๓๐.๐๐ กม. = ๑.๕๐ กม.
- ระดับสูงสุดของลำน้ำ = + ๘๘๐.๐๐๐ (ร.ท.ก.)
- ระดับต่ำสุดของลำน้ำ = + ๔๑๒.๐๐๐ (ร.ท.ก.)
- ท้องน้ำเป็นกรวดปนทรายและหินใหญ่และมีน้ำไหลตลอดปี
- พื้นที่รับผลประโยชน์ประมาณ ๔๐๐ ไร่

เนื่องจากมีพื้นที่ลุ่มน้ำน้อยกว่า ๒๕ ตร.กม. ใช้สูตร Rational formula จาก

$$Q = ๐.๒๗๘\ CiA$$

หาค่า i จากค่า Tc (Time of concentration) จาก

$$Tc = \left[\frac{๐.๘๗L^{๓}}{H}\right]^{๐.๓๘๕}$$

$$= \left[\frac{๐.๘๗ \times ๑.๕๐^{๓}}{๘๘๐ - ๔๑๒}\right]^{๐.๓๘๕}$$

$$= ๐.๑๔ \text{ ชม.}$$

จากกราฟ Rainfall intensity-duration-frequency average curve of upper northern part (ดูภาคผนวกหน้า ๘๗)

ที่รอบปีการเกิดซ้ำ ๕๐ ปี ค่า i = ๑๖๐ มม./ชม.

$\therefore$ Q = ๐.๒๗๘ x ๐.๑๐ x ๑๖๐ x ๑.๓๕

= ๓.๙๗๘ ม.^{๓}/วท

หรือจากการวิเคราะห์แจกแจงความถี่ปริมาณน้ำหลากฉับพลันที่รอบปีต่าง ๆ บริเวณภาคเหนือของประเทศไทยสำหรับลุ่มน้ำอิง เนื่องจากมี Watershed area เท่ากับ ๑.๓๕ กม.^{๒}

จากสูตร The regression equation $Q = aA^{b}$ (ดูภาคผนวกหน้า ๘๘)

ที่รอบปีของการเกิดซ้ำ ๕๐ ปี

$$Qpeak = ๙.๓๙๐๗ \times ๑.๓๕^{\ ๐.๕๑๐๕}$$

$$= ๑๐.๙๔๕ \text{ ม.}^{๓}\text{/วท.}$$

กำหนดใช้ Qdesign = ๑๐.๙๕ ม.^{๓}/วินาที . ส่วนปริมาณน้ำที่มากเกินให้ใช้ Freeboard เป็นตัวรับไป

ออกแบบ Spillway กำหนดใช้ แบบมาตรฐานทางระบายน้ำล้น หมายเลข ๑๐๙๘๓๔ก๑

จาก H = ร.น.ส. – ร.น.ก.

แต่ = ๑ ม. ,

y_c = ๒/๓H = ๒/๓x๑ = ๐.๖๖๗ ม.

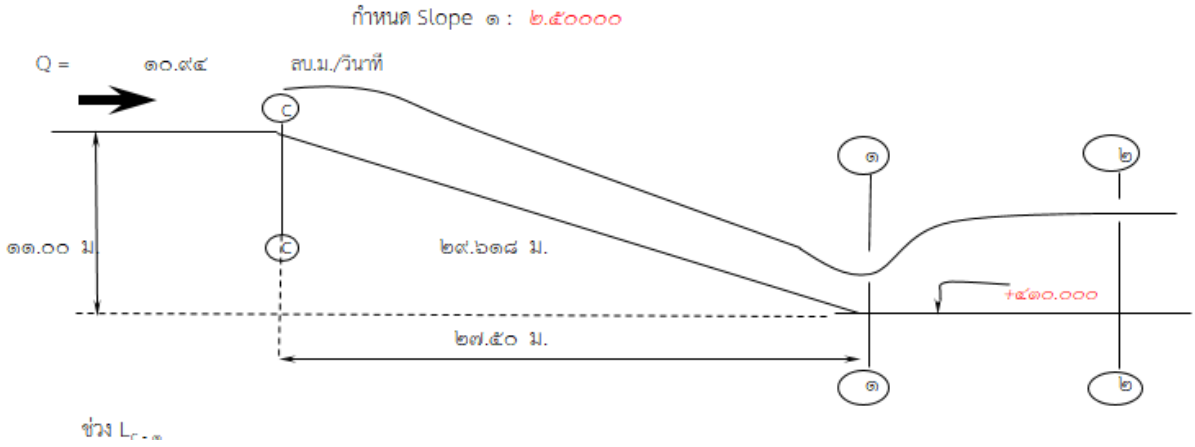
V_c = $(g\ y_c)^{๑.๕}$ = $(๙.๘๑x๐.๖๖๗)^{๑.๕}$ = ๒.๕๕๗ ม.

สมมติ B_c = ๘.๐๐ ม.

Qc = A_c x V_c = ๘.๐๐x๐.๖๖๗x๒.๕๕๗ = ๑๓.๖๓๙ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ดังนั้น Qdesign ใกล้เคียง Qmax O.K.

กำหนด Slope ๑ : ๒.๕๐



สมการ $E_๑$ = $E_๒$

E_c = E_c+h_f

$y_c + (V^๒_c /๒g) + Z_c$ = $y_๑ + (V_๑^๒/๒g) + [(S_c + S_๑)/๒ \times L_{c-๑}]$

เมื่อแทนค่าลงในสมการจะได้ L. S. = ๑๒.๐๐

n = ๐.๐๑๒

A_c = b_c x y_c = ๕.๓๓

P_c = b_c x ๒yc = ๙.๓๓

R_c = A_c/P_c = ๐.๕๗

โดยการ Trial & error ค่า $y_๑$ เพื่อให้ L.S. = R.S.

ให้ $y_๑$ = ๐.๑๑๘ ม. $b_๑$ = ๘.๐๐ ม.

$A_๑$ = $b_๑$ x $y_๑$ = ๐.๙๔๗ ตร.ม.

$P_๑$ = $b_๑$x ๒$y_๑$ = ๘.๒๓๖ ม.

$R_๑$ = $A_๑/P_๑$ = ๐.๑๑๕ ม.

$V_๑$ = Q/A = ๑๑.๕๔๘ ม./วินาที

$S_๑$ = $\frac{V^{๒}_{๑} \times n^{๒}}{R_{๑}^{๔/๓}}$ = ๐.๓๔๓

เมื่อแทนค่าลงในสมการจะได้ R.S. = ๑๒.๐๐๐

จะได้ว่า L.S. = ๑๒.๐๐ = R.S. ≈ ๑๒.๐๒ O.K.

ความลึกของน้ำตรงจุดที่เปลี่ยนลาด Slope = ๐.๑๑๘ ม.

และความเร็วก่อนเปลี่ยนลาด Slope = ๑๑.๕๔๘ ม./วินาที

$Fr_๑$ = $\frac{V_๑}{(g\, y_๑)^{๑/๒}}$ = ๑๑.๕๔๘/(๙.๘๑x๑๑๘) $^{๑/๒}$ = ๑๐.๗๑๔ > ๑.๐๐

เมื่อน้ำไหลลงมาปลายสุดรางเทจะเกิด Hydraulic Jump หาความลึก $y_๒$ โดยใช้สมการโมเมนตัม

$M_๑$ = $M_๒$

$(QV_๑/g)+(y_๑/๒)A_๑$ = $(QV_๒/g)+(y_๒/๒)A_๒$

L.S. = (๑๐.๙๔*๑๑.๕๔๘/๙.๘๑) + (๐.๑๑๘x๐.๙๔๗/๒)

= ๑๒.๙๓๔

โดยการ Trial & error ค่า $y_๒$ เพื่อให้ L.S. = R.S.

ให้ $y_๒$ = ๒.๑๗๓ ม.

$b_๒$ = ๕ ม.

$A_๒$ = ๒.๑๗๓x๕ = ๑๐.๘๖๖ ตร.ม.

$V_๒$ = ๑๐.๙๔/๑๐.๘๖๖ = ๑.๐๐๗ ม./วินาที

เมื่อแทนค่าลงในสมการจะได้ R.S. = ๑๒.๙๓๐

ความลึกของน้ำหลังเกิด Hydraulic Jump ($y_๒$) = ๒.๑๗๓ ม.

และความเร็วของน้ำหลังเกิด Hydraulic Jump($V_๒$) = ๑.๐๐๗ ม./วินาที

$Fr_๒$ = $\frac{V_๒}{(g\, y_๒)^{๑/๒}}$ = ๑.๐๐๗/(๙.๘๑x๒.๑๗๓) $^{๑/๒}$ = ๐.๒๑๘

หาความสูงของกำแพงรางเท = $y_๑$ + Freeboard

กำหนด Slope ๑ : ๒.๕ ; F๑ = ๐.๖๑+ ๐.๐๔$V_๑y_๑^{๑/๓}$

= ๐.๙๕๕ ม.

ใช้ = ๑.๕๐ ม.

ความสูงของกำแพง Stilling Basin = y_c + F๑

= ๒.๑๗๓ + ๐.๙๑๔ม.

= ๓.๐๘๗

ใช้ = ๓.๐๐ ม.

ออกแบบ Stilling Basin

$V_๑$ = ๑๑.๕๕๘ ม./วินาที

$Fr_๑$ = ๑๐.๗๒๔

q_1 = Q/b_1 = ๑๐.๙๕/๘ x ๓๕.๓๑๗/๓.๒๘๑

= ๑๔.๗๓๓ ลบ.ฟุต /วินาที

เลือกใช้ Stilling Basin Type II

Chute Block มี

ความสูง $h_1 = y_1$ = ๐.๑๑๘ ใช้ ๐.๒๕ ม.

ความกว้าง $w_1 = y_1$ = ๐.๑๑๘ ใช้ ๐.๒๕ ม.

ระยะระหว่าง Chute Block

$s_1 = y_1$ = ๐.๑๑๘ ใช้ ๐.๒๕ ม.

Dentated Still มี

ความสูง $h_1 = ๐.๒๐y_2$ = ๐.๔๓๕ ใช้ ๐.๕๐ ม.

ความกว้าง $w_1 = ๐.๑๕y_2$ = ๐.๓๒๖ ใช้ ๐.๔๐ ม.

ระยะระหว่าง Dentated Still

$s_1 = ๐.๑๕y_2$ = ๐.๓๒๖ ใช้ ๐.๔๐ ม.

สันหนา $t_1 = ๐.๐๒y_2$ = ๐.๐๔๓ ใช้ ๐.๒๐ ม.

หาความยาวของ Stilling Basin

Fr_1 = ๑๐.๗๒๔

อ่านค่าจากกราฟได้ค่า L / y_2 = ๔.๔๘

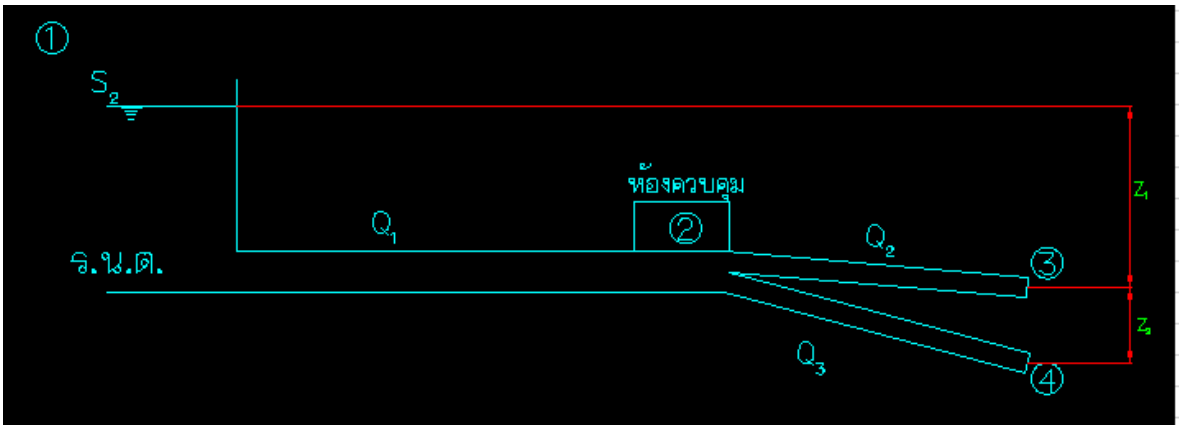
L = ๙.๗๓๖ ม.

ใช้ ความยาวของ Stilling Basin= ๑๒.๐๐ ม.

การออกแบบอาคารท่อส่งน้ำ (Outlet Works)

รายการคำนวณและออกแบบ ท่อส่งน้ำ และ BAFFLED OUTLETS

ส่วนที่ 1 กำหนดค่า และ Parameter



- ท่อลอด (Drop pipe)..... (๑)
- จุดระบายน้ำสู่ระบบนิเวศเดิม (BAFFLED OUTLETS$_{๑}$).....(๒)

- จุดระบายน้ำสู่ระบบส่งน้ำเพื่อการเกษตร (BAFFLED OUTLETS$_{๒}$).....(๓)

- $S_{๒}$ ๔๒๑ เมตร
- ร.น.ต ๔๑๖ เมตร
- ค่าความดันบรรยากาศ P ๑๐.๓ เมตร
- f (loss) = ๐.๐๔

ส่วนที่ ๒ คำนวณหาค่า อัตราการไหล Q,ความเร็วของการไหล V

หาค่า V๑ เปรียบเทียบระหว่างจุด (๑) และ (๒)

$P_{๑}$= $P_{๒}$=
$G_{๑}$= $G_{๒}$=
$Z_{๑}$= ๗.๕ $Z_{๒}$=
$V_{๑}$= $V_{๒}$=
$Q_{๑}$= $Q_{๒}$=
f= ๐.๐๔

P/g= ๑๗.๘ + -๐.๓๑๖๐๐๔๐๗๗ $V^{๒}_{๑}$ .....(A)

หาค่า $V_{๒}$ เปรียบเทียบระหว่างจุด (๒) และ (๓)

$P_{๒}$= $P_{๓}$=
$G_{๒}$= $G_{๓}$=
$Z_{๒}$= $Z_{๓}$=
$V_{๒}$= $V_{๓}$=
$Q_{๒}$= $Q_{๓}$=
f= ๐.๐๔

P/γ= ๑๐.๓ + ๐.๖๓๗๑๐๕ $V^{๒}_{๒}$ .....(B)

หาค่า $V_{๓}$ เปรียบเทียบระหว่างจุด (๒) และ (๔)

$P_{๒}$= $P_{๓}$=

$G_{๒}$= $G_{๓}$=

$Z_{๒}$= -๐.๕ $Z_{๓}$=

$V_{๒}$= $V_{๓}$=

$Q_{๒}$= $Q_{๓}$=

f= ๐.๐๔

P/γ= ๑๐.๘ + ๐.๐๒๕๔๘๔๒ $V^{๒}_{๓}$ .....(C)

จาก $Q_{๑}=Q_{๒}+Q_{๓}$ จะได้ .....(D)

$Q_{๑}$ = ๐.๒๘๒ $V_{๑}$

$Q_{๒}$ = ๐.๑๒๕ $V_{๒}$

$Q_{๓}$ = ๐.๑๒๕ $V_{๓}$

๐.๒๘๒๗๔๓๓๓๙ $V_{๑}$ = ๐.๑๒๕๖๖๓๗๐๖ $V_{๒}$ + ๐.๑ $V_{๓}$

$V_{๑}$ = ๐.๔๔๔ $V_{๒}$ + ๐.๔๔๔ $V_{๓}$

สมมุติ $V_{๓}$= $mV_{๒}$

$V_{๑}$= ๐.๔๔๔๔ $V_{๒}$ + ๐.๔๔๔ $mV_{๒}$

(A) = (B)

๑๗.๘ + -๐.๒๘๘๘๒ $V^{๒}_{๑}$ = ๑๐.๓ + ๐.๖๓๗ $V^{๒}_{๒}$

๗.๕ = ๐.๒๘๘๘ (๐.๔๔๔m+๐.๔๔๔๔)" $V^{๒}_{๒}$ + ๐.๓๔๑๔๘๘๒๗๗ $V^{๒}_{๒}$

๗.๕ = ๐.๒๘๘๘ (๐.๑๙๗๕ $m^{๒}$ + ๐.๓๙๕๐๖๒ m + ๐.๒)$V^{๒}_{๒}$ + ๐.๖๓๗๑๐๕ $V^{๒}_{๒}$

๗.๕ = (๐.๐๕๗๐๕๑๐๔๘ $m^{๒}$ + ๐.๑๑๔๑ m + ๐.๐๕๗๐๕)$V^{๒}_{๒}$ + ๐.๖๓๗๑๐๕ $V^{๒}_{๒}$

๗.๕ = (๐.๐๕๗๐๕๑๐๔๘ $m^{๒}$ ๐.๐๗๐๒๒๓๑๒๘ m + ๐.๔๐๓๙๐๘๘๓๖) $V^{๒}_{๒}$

๑ = (๐.๐๐๗๖๐๖๘๐๖ $m^{๒}$ ๐.๐๑๕ m + ๐.๐๕๓๘๕๔๕๑๑) $V^{๒}_{๒}$.....(E)

(B) = (C)

๑๐.๓ +๐.๓๔๑๔๘๘๒๗๗ $V_{๒}^{๒}$ = ๑๐.๘ + ๐.๓๕๓๓๘๐๙๐๔ $V_{๓}^{๒}$

-๐.๕ = -๐.๖๓๗ $V_{๒}^{๒}$ + ๐.๐๒๕ $V_{๓}^{๒}$

-๐.๕ = -๐.๖๓๗ $V_{๒}^{๒}$ + ๐.๐๒๕ $(mV_{๒})^{๒}$

-๐.๕ = ๐.๐๒๕๕ $m_{๒}$ $V_{๒}^{๒}$ + -๐.๓๖๗$V_{๒}^{๒}$

-๐.๕ = (๐.๐๒๕๔๘๔๒ $m^{๒}$ + -๐.๖๓๗) $V_{๒}^{๒}$

๑ = (-๐.๐๕๐๙๖๘๔ $m^{๒}$ + ๑.๒๗๔๒) $V_{๒}^{๒}$.....(F)

(E) = (F)

$am^{๒}$ bm c $am^{๒}$ bm c

๐.๐๐๗๖๐๖๘๐๖ ๐.๐๑๕๒๑๓๖๑๓ ๐.๐๙๒๕๕๔๑๓๙ = -๐.๐๕๐๙๖๘๔

๑.๒๗๔๒๐๙๙๙

๐.๐๕๘๕๗๕๒๐๖ ๐.๐๑๕๒๑๓๖๑๓ -๑.๑๘๑๖๕๕๘๕๑ = ๐

-b = -๐.๐๑๕๒๑๓๖๑๓

$b^{๒}$ = ๐.๐๐๐๒๓๑๔๕๔

๔ac = -๐.๒๗๖๘๖๒๙๔

๒a = ๐.๑๑๗๑๕๐๔๑๒

$m_{๑}$ = ๔.๓๖๓๔๘๔๐๐๙

$m_{๒}$ = -๔.๖๒๓๒๑๑๘๖๗

ใช้ ๔.๓๖๓๔๘๔๐๐๙๐.๙๓๕๑๔๗๑๒๔

$m^{๒}$ = ๑๙.๐๓๙๙๙๒๖๙

m = ๔.๓๖๓๔๘๔๐๐๙

$V_{๑}$ = ๔.๓๒๕๐๔๔๔๗๓

$V_{๒}$ = ๑.๘๑๔๓๗

$V_{๓}$ = ๗.๙๑๖๙๗๙๐๒๓

$Q_{๑}$ = ๐.๒๘๓ $V_{๑}$ = ๑.๒๒๓

$Q_{๒}$ = ๐.๑๒๖ $V_{๒}$ = ๐.๒๒๘

$Q_{๓}$ = ๐.๑๒๖ $V_{๓}$ = ๐.๙๙๕

ส่วนที่ ๒คำนวณ เพื่อหาค่า Q และ V จะได้

	ขนาดท่อ		ความยาว		ระดับ ,เมตร	Q		V	
$Q_{๑}$	๐.๖	เมตร	๗๐	เมตร	๔๑๕	$Q_{๑}$	๑.๒๒๓	$V_{๑}$	๔.๓๒๕
$Q_{๒}$	๐.๔	เมตร	๑๒๕	เมตร	๔๑๓.๕	$Q_{๒}$	๐.๒๒๘	$V_{๒}$	๑.๘๑๔
$Q_{๓}$	๐.๔	เมตร	๕	เมตร	๔๑๔	$Q_{๓}$	๐.๙๙๕	$V_{๓}$	๗.๙๑๗

ตรวจสอบ $Q_{๑} = Q_{๒}+Q_{๓}$

ถูกต้อง

ส่วนที่ ๓ Design Baffled Outlets

- ท่อลอด (Drop pipe)..... (๑)
- จุดระบายน้ำสู่ระบบนิเวศเดิม (BAFFLED $OUTLETS_{๑}$).....(๒)

- จุดระบายน้ำสู่ระบบส่งน้ำเพื่อการเกษตร (BAFFLED $OUTLETS_{๒}$).....(๓)

Baffle Outlet ๑

จาก $Q_{๒}$ = ๐.๔๙๓

$V_{๒}$ = ๓.๙๒๕

และ $d = A_{๑}/๒$ = ๐.๓๕

และ $F = V/(gd)^{๑/๒}$ = ๒.๑๐

จาก Design width of basin chart เพื่อหาค่า w (width)

w/d = ๖.๒๐

w = ๒..๑๙๘

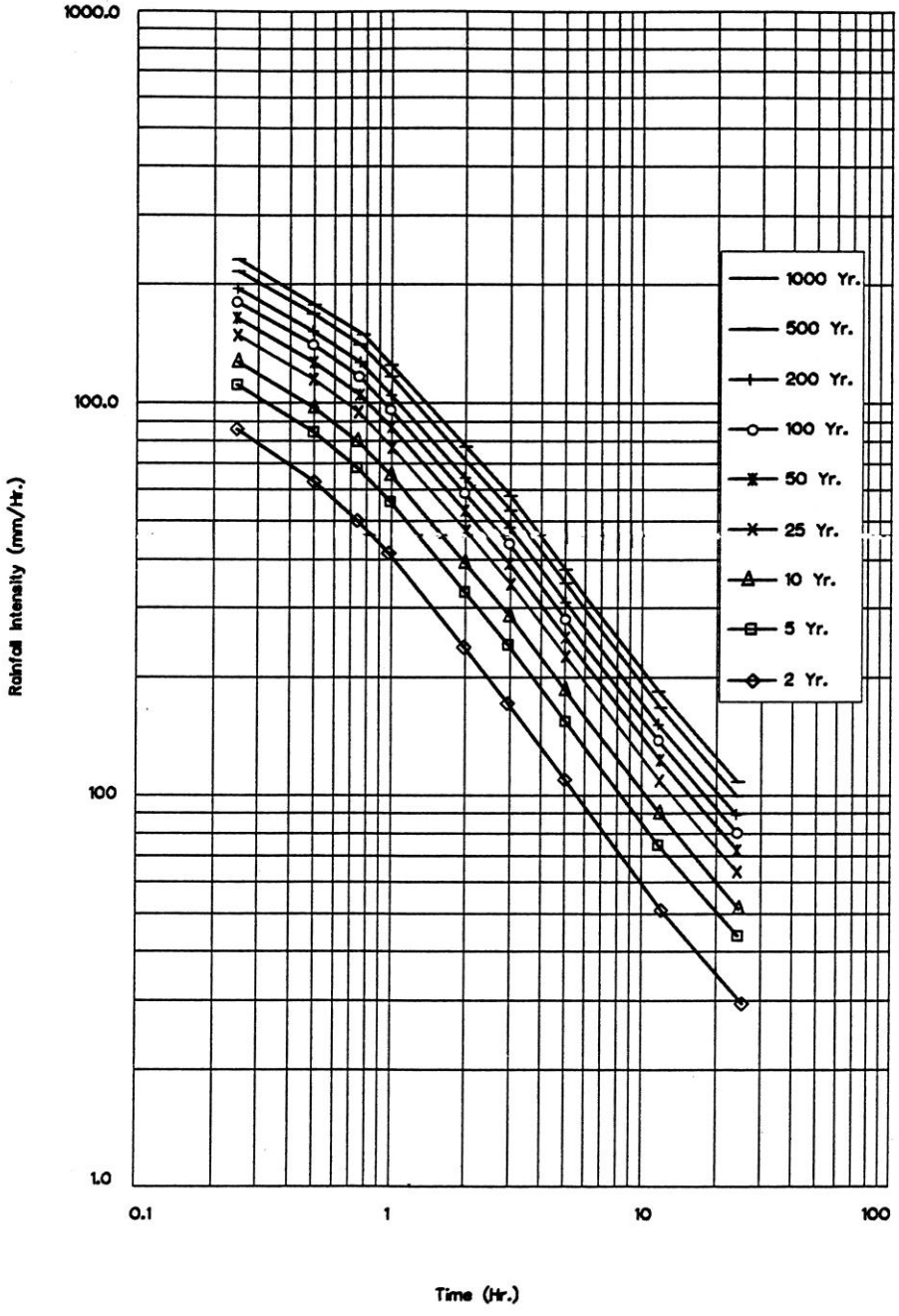
ดังนั้น ใช้ w = ๑.๑๙

ปรับแก้เป็น ๒.๒๐ เมตร

ขนาดท่อ	ความยาว	ระดับ ,เมตร	Q		V	
๐.๖ เมตร	๗๐ เมตร	๔๑๕	$Q_{๑}$	๑.๒๒๓	$V_{๑}$	๔.๓๒๕
๐.๔ เมตร	๑๒๕ เมตร	๔๑๓.๕	$Q_{๒}$	๐.๒๒๘	$V_{๒}$	๑.๘๑๔
๐.๔ เมตร	๕ เมตร	๔๑๔	$Q_{๓}$	๐.๙๕๙	$V_{๓}$	๗.๙๑๗

Rainfall Intensity–Duration–Frequency Average Curve of

Upper Northern Part



ตารางที่ 1 แสดงค่า a , b และ r ของสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุด (Q_{Tr}) และพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) ในรอบปีการเกิดซ้ำของลุ่มน้ำภาคเหนือ

เมื่อ $Q_{Tr} = a A^{b}$; r = regression coefficient

ลุ่มน้ำที่ศึกษา	ค่าสมการ	รอบปีการเกิดซ้ำ								
		2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1000 ปี
ปิง ตอนบน	a	1.1187	2.4016	3.3030	4.4726	5.3557	6.2405	7.1293	8.3083	9.2028
เหนือเขื่อน	b	0.6998	0.6579	0.6436	0.6317	0.6253	0.6204	0.6165	0.6123	0.6098
ภูมิพล	r	0.9583	0.9404	0.9316	0.9234	0.9186	0.9147	0.9115	0.9080	0.9057
ปิง ตอนล่าง	a	0.0221	0.0376	0.0464	0.0572	0.0650	0.0727	0.0803	0.0904	0.0979
ใต้เขื่อน	b	1.3780	1.3952	1.4043	1.4125	1.4169	1.4205	1.4233	1.4264	1.4283
ภูมิพล	r	0.9299	0.8553	0.8329	0.8162	0.8081	0.8020	0.7974	0.7926	0.7899
วัง	a	0.8983	2.6246	3.8600	5.4715	6.6821	7.8924	9.1047	10.7100	11.9270
	b	0.7313	0.6698	0.6532	0.6408	0.6347	0.6302	0.6267	0.6231	0.6210
	r	0.9788	0.9802	0.9766	0.9724	0.9699	0.9678	0.9660	0.9641	0.9629
ยม	a	5.9644	15.8110	22.8000	31.9060	38.7640	45.6310	52.5150	61.6450	68.5710
	b	0.5435	0.4928	0.4780	0.4666	0.4608	0.4564	0.4530	0.4495	0.4473
	r	0.9704	0.9424	0.9288	0.9164	0.9095	0.9040	0.8995	0.8005	0.8917
น่าน	a	12.9490	27.4200	36.5990	47.9640	56.2920	64.4970	72.6320	83.3180	91.3690
ตอนบน	b	0.5335	0.5058	0.4993	0.4948	0.4928	0.4914	0.4903	0.4893	0.4887
เหนือเขื่อนสิริกิต	r	0.9929	0.9783	0.9894	0.9872	0.9855	0.9839	0.9825	0.9809	0.9798
น่าน	a	3.6564	18.8970	36.3310	66.4160	94.0960	125.6600	160.7800	212.1500	254.3700
ตอนล่าง	b	0.5771	0.4328	0.3784	0.3032	0.3032	0.2816	0.2637	0.2442	0.2318
ใต้เขื่อนสิริกิต	r	0.9617	0.9006	0.8586	0.8081	0.7731	0.7409	0.7112	0.6755	0.6510
กก	a	1.4851	3.6201	5.2869	7.5843	9.3907	11.2490	13.1520	15.7270	17.7130
	b	0.6508	0.6669	0.5488	0.5241	0.5105	0.4996	0.4907	0.4811	0.4750
	r	0.9654	0.9560	0.9503	0.9438	0.9395	0.9356	0.9320	0.9279	0.9251
อิง	a	0.0121	0.0221	0.0288	0.0372	0.0435	0.0497	0.0559	0.0641	0.0703
	b	1.1941	1.1806	1.1765	1.1732	1.1750	1.1702	1.1692	1.1681	1.1675
	r	0.9975	0.9948	0.9936	0.9927	0.9921	0.9917	0.9914	0.9950	0.9908
สาละวิน	a	0.3868	0.7660	1.0161	1.3323	1.5663	1.7991	2.0310	2.3365	2.5677
	b	0.8572	0.8282	0.8197	0.8131	0.8098	0.8073	0.8053	0.8033	0.8021
	r	0.9568	0.9541	0.9521	0.9501	0.9489	0.9480	0.9473	0.9465	0.9459

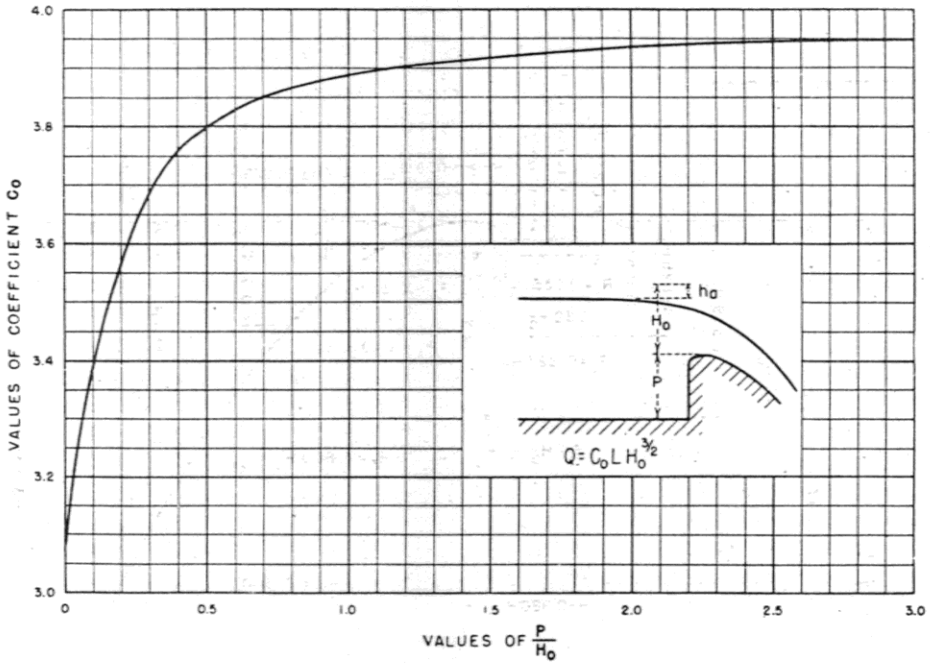


Figure 249. Discharge coefficients for vertical-faced ogee crest. 288–D–2409.

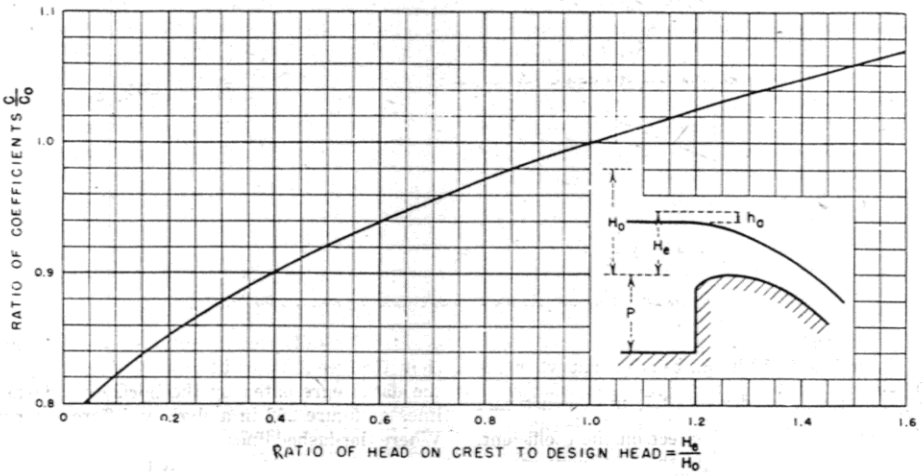
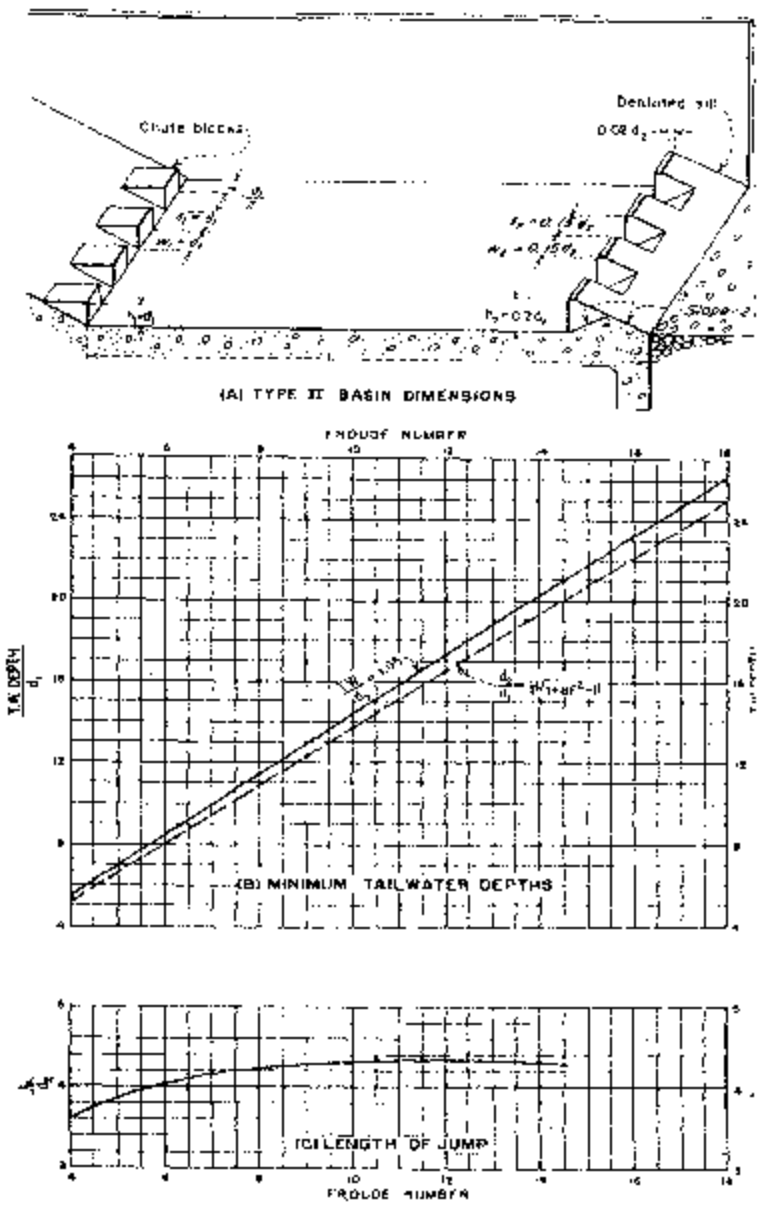


Figure 250. Coefficient of discharge for other than the design head. 288—D—2410.



รูปที่ ๑๑ Stilling Basin แบบที่ II

Mr.Lane แนะนำ Weighted Creep Ratio สำหรับดินฐานรากไว้ดังนี้

ชนิดดินฐานราก	Weighted Creep Ratio
ทรายละเอียดมากหรือดินตะกอน	8.5
ทรายละเอียด	7.0
ทรายหยาบปานกลาง	6.0
ทรายหยาบ	5.0
กรวดละเอียด	4.0
กรวดหยาบปานกลาง	3.5
กรวดหยาบ	3.0
หินใหญ่มีกรวดแทรกอยู่	2.5
ดินเหนียวอ่อน	3.0
ดินเหนียวแข็งปานกลาง	2.0
ดินเหนียวแข็ง	1.8
ดินเหนียวแข็งมากหรือดินดาน	1.6

รายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำซึมผ่านฐานรากเขื่อน
โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย

ฝ่ายปฐพีและธรณีวิทยา
ส่วนวิศวกรรม
สำนักงานชลประทานที่ 2
กรมชลประทาน

รายงาน ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำซึมผ่านฐานรากเขื่อน
โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ อ.พาน จ.เชียงราย

ชนิดของปัญหา เสนอข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการประเมินปริมาณน้ำซึมลอดผ่านฐานรากเขื่อน รวมทั้งวิธีการปรับปรุงฐานรากเขื่อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับน้ำหนัก และลดปริมาณการไหลซึมของน้ำผ่านฐานรากเขื่อน

ผลการประเมิน จากผลการวิเคราะห์ พบว่า หากไม่มีการดำเนินการปรับปรุงฐานรากเขื่อนด้วยวิธีการใดๆ พบว่าปริมาณน้ำซึมผ่านฐานราก มีค่าประมาณ 30,615 ลบ.ม./ปี (วิธีที่ 1) แต่หากมีการปรับปรุงฐานรากโดยวิธีดังต่อไปนี้

1.) วิธีที่ 3. Cutoff Trench and U/S Impervious Blanket 6H : ทำการขุดเปิดร่องแกนเขื่อนและปูดินถมบดอัด Clay Blanket โดยกำหนดรูปแบบให้เหลือคงสภาพอยู่ 6 เท่าของความสูงเขื่อน ซึ่งคาดว่าเกิดความเสียหายกับดินถมบดอัดความยาว 12 เท่าของความสูงเขื่อนตามแบบ

2.) วิธีที่ 4. Cutoff Trench and U/S Impervious Blanket 12H : ทำการขุดเปิดร่องแกนเขื่อนและปูดินถมบดอัด Clay Blanket ความยาว 12 เท่าของความสูงเขื่อน ความหนา 1.50 เมตร

3.) วิธีที่ 5. Cutoff Trench and Grouting Depth 4.0/8.0 m. (3 Row , 5 Lugeon) : ทำการขุดเปิดร่องแกนเขื่อนจนถึงชั้นหินและทำการเจาะ-อัดฉีดน้ำปูน ความลึก 4.0 และ 8.0 เมตร เพื่อป้องกันการรั่วซึมน้ำผ่านชั้นหินฐานราก

วิธีการปรับปรุงฐานรากทั้ง 3 วิธี จะทำให้ฐานรากเขื่อนมีประสิทธิภาพป้องกันการไหลซึมของน้ำได้ 46.13 %, 52.35 % และ 51.75 % ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 วิธีทำให้ค่าความเร็ววิกฤต บริเวณจุด B ลดลงจนมีค่าน้อยกว่า 0.01 m./sec. และมีค่า Hydraulic Gradient บริเวณจุด B เท่ากับ 0.25 ซึ่งจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยโดยไม่เกิดโอกาสของการกัดพา (Piping)

ข้อแนะนำ จากสภาพทางธรณีวิทยาฐานราก พบว่า ชั้นดิน ความหนา 3.00-18.00 ม. ชั้นหินฐานรากประกอบด้วย หินทราย และหินโคลน วิธีการปรับปรุงฐานรากที่เหมาะสม เห็นควรทำการปรับปรุงฐานรากเขื่อน โดยทำการขุดเปิดร่องแกนเขื่อนจนถึงชั้นหินและทำการปูดินถมบดอัด Clay Blanket ความยาว 12 เท่าของความสูงเขื่อน ความหนา 1.50 เมตร หรือ ทำการขุดเปิดร่องแกนเขื่อนจนถึงชั้นหินและทำการเจาะ-อัดฉีดน้ำปูน ความลึก 4.0 และ 8.0 เมตร เพื่อป้องกันการรั่วซึมน้ำผ่านชั้นหินฐานราก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำไหลซึมผ่านฐานรากเขื่อน

Analysis Method (Case)	Seepage through Dam & Foundation ($m.^3/sec./m.$)	Seepage through Foundation ($m.^3/sec./m.$)	Foundation Improved* %
1. No Foundation Improvement	8.8255e-006	7.8640e-006	-
2. Cutoff Trench	7.6284e-006	7.3957e-006	13.56
3. Cutoff Trench & U/S Impervious Blanket 6H	4.7499e-006	4.5179e-006	46.18
4. Cutoff Trench & U/S Impervious Blanket 12H	4.2053e-006	3.9787e-006	52.35
5. Cutoff Trench & Grouting Depth 4.0/8.0 m. (3 row, 5 lugeon)	4.2580e-006	3.9949e-006	51.75

% Foundation Improved* = $\frac{\text{(Seepage through Dam \& Foundation Case 1) - (Seepage through Dam \& Foundation Case 2..5)}}{\text{(Seepage through Dam \& Foundation Case 1)}} \times 100$

ผลการวิเคราะห์ค่า Hydraulic Gradient และค่า Velocity ณ จุด A (บริเวณ Filter) และ จุด B (บริเวณท้ายเขื่อน) ที่มีโอกาสเกิด Piping

Analysis Method (Case)	Velocity (m./sec.)		Hydraulic Gradient	
	Point A	Point B	Point A	Point B
1. No Foundation Improvement	1.3786e-006	1.3423e-006	0.32	0.31
2. Cutoff Trench	1.2881e-006	1.6430e-006	0.30	0.27
3. Cutoff Trench & U/S Impervious Blanket 6H	7.3304e-007	7.2694e-007	0.17	0.17
4. Cutoff Trench & U/S Impervious Blanket 12H	6.4033e-007	6.4574e-007	0.15	0.15
5. Cutoff Trench & Grouting Depth 4.0/8.0 m. (4 row, 5 lugeon)	6.0847e-007	6.5575e-007	0.15	0.15

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำซึมผ่านฐานรากเขื่อนในครั้งนี้ เป็นการศึกษาเพื่อมุ่งเน้นหาปริมาณการไหลซึมของน้ำผ่านฐานรากเขื่อน ทั้งนี้ก็เพื่อเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงฐานรากแบบต่างๆ โดยใช้ Section และข้อกำหนดอย่างเดียวกัน โดยอ้างอิงจากรายงานผลการสำรวจธรณีวิทยาฐานรากโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ อ.แม่สรวย จ. เชียงราย

2 เมื่อพิจารณาจากค่าปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเขื่อนและฐานราก พบว่า ปริมาณน้ำส่วนใหญ่จะไหลซึมผ่านฐานรากเขื่อนมากกว่าตัวเขื่อน ในการพิจารณาได้ทำการพิจารณาในหลาย Section ตามข้อมูลหลุมเจาะสำรวจธรณีที่ทำการสำรวจ แต่นำมาแสดงในรายงานเฉพาะใน Section ของหลุมเจาะที่มีค่าการรั่วซึมอยู่ในเกณฑ์สูงและอยู่ในช่วงลึกของตัวเขื่อน และเนื่องจากหลุมเจาะสำรวจมีระยะห่างกันซึ่งไม่ครอบคลุมตลอดความยาวเขื่อน จึงไม่สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำซึมผ่านที่เป็น Excessive Seepage ได้

3 จากผลการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพการปรับปรุงฐานรากเขื่อน ในทั้ง 5 กรณี พบว่า วิธีการปรับปรุงฐานรากที่เหมาะสมที่สุด คือ

วิธีที่ 4 : ทำการขุดเปิดร่องแกนเขื่อนและปูดินถมบดอัด Clay Blanket ความยาว 12 เท่าของความสูงเขื่อน ความหนา 1.50 เมตร

วิธีที่ 5 : ทำการขุดเปิดร่องแกนเขื่อนและทำการเจาะ-อัดฉีดน้ำปูนความลึก 4.0/8.0 เมตร เพื่อป้องกันการรั่วซึมน้ำผ่านชั้นหินฐานราก (3 row, 5 lugeon)

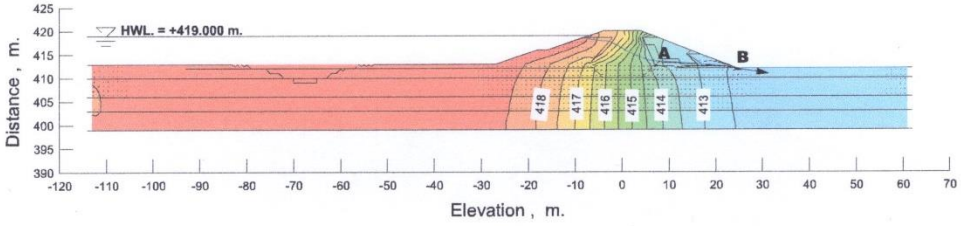
ซึ่งสามารถป้องกันการรั่วซึมน้ำผ่านชั้นหินฐานราก และทำให้ฐานรากเขื่อนมีประสิทธิภาพป้องกันการไหลซึมของน้ำได้ 52.35 % และ 51.75 % ตามลำดับ และทำให้ค่าความเร็ววิกฤต บริเวณจุด B ลดลงจนมีค่าน้อยกว่า 0.01 m./sec. และมีค่า Hydraulic Gradient บริเวณจุด B เท่ากับ 0.25 ซึ่งจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยโดยไม่เกิดโอกาสของการกัดพา (Piping)

อย่างไรก็ตาม การประเมินผลนี้เป็นการเปรียบเทียบทางทฤษฎี โดยสมมุติว่าชั้นดินและชั้นหินฐานรากมีความสม่ำเสมอ ซึ่งในธรรมชาติชั้นดินและชั้นหินฐานรากอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินมาจากผลสำรวจธรณีวิทยาฐานรากที่มีเท่านั้น

Seepage Analysis of Huai Pha Dam Project ; Amphoe Phan , Changwat Chiang Rai

1. No Foundation Improvement
   Seepage through Dam and Foundation = 8.8255e - 006 cu.m./sec./m.
   Seepage through Foundation = 7.8640e - 006 cu.m./sec./m.

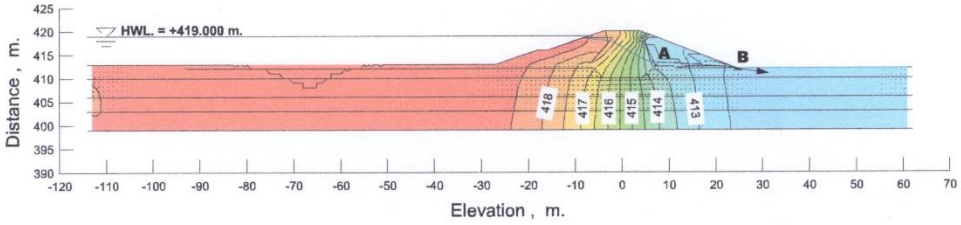
Point	Velocity (m./sec.)	Hydraulic Gradient
A	1.3786e - 006	0.32
B	1.3423e - 006	0.31



Seepage Analysis of Huai Pha Dam Project ; Amphoe Phan , Changwat Chiang Rai

2. Cutoff Trench
   Seepage through Dam and Foundation = 7.6284e - 006 cu.m./sec./m.
   Seepage through Foundation = 7.3957e - 006 cu.m./sec./m.

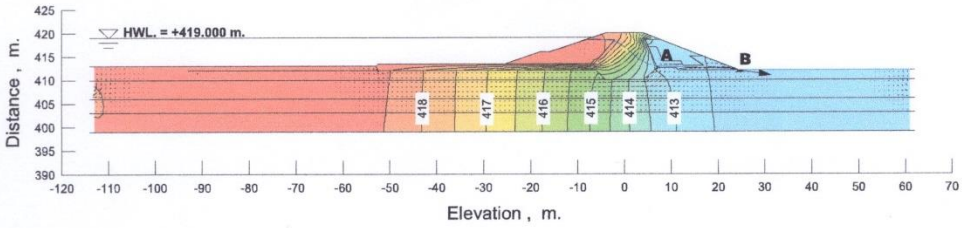
Point	Velocity (m./sec.)	Hydraulic Gradient
A	1.2881e - 006	0.30
B	1.6430e - 006	0.27



Seepage Analysis of Huai Pha Dam Project ; Amphoe Phan , Changwat Chiang Rai

3. Cutoff Trench and U/S Impervious Blanket 6H (Thickness = 1.50 m.)
   Seepage through Dam and Foundation = 4.7499e - 006 cu.m./sec./m.
   Seepage through Foundation = 4.5179e - 006 cu.m./sec./m.

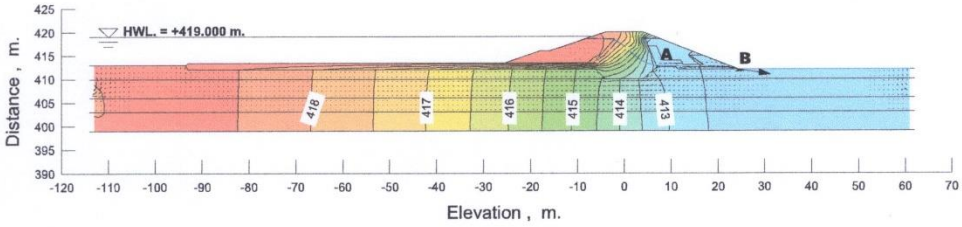
Point	Velocity (m./sec.)	Hydraulic Gradient
A	7.3304e - 007	0.17
B	7.2694e - 007	0.17



Seepage Analysis of Huai Pha Dam Project ; Amphoe Phan , Changwat Chiang Rai

4. Cutoff Trench and U/S Impervious Blanket 12H (Thickness = 1.50 m.)
   Seepage through Dam and Foundation = 4.2053e - 006 cu.m./sec./m.
   Seepage through Foundation = 3.9787e - 006 cu.m./sec./m.

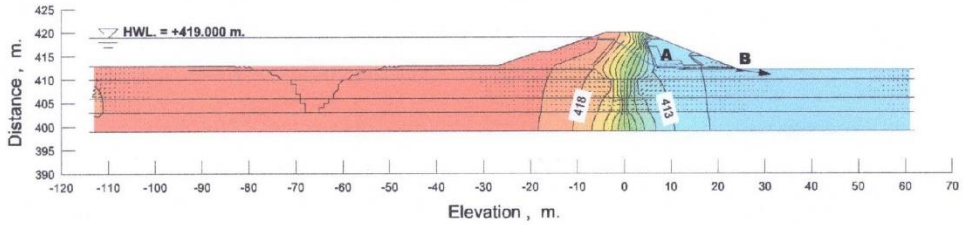
Point	Velocity (m./sec.)	Hydraulic Gradient
A	6.4033e - 007	0.15
B	6.4574e - 007	0.15



Seepage Analysis of Huai Pha Dam Project ; Amphoe Phan , Changwat Chiang Rai

5. Cutoff Trench and Grouting Depth 4.0/8.0 m. (3 Row , 5 Lugeon)
   Seepage through Dam and Foundation = 4.2580e - 006 cu.m./sec./m.
   Seepage through Foundation = 3.9949e - 006 cu.m./sec./m.

Point	Velocity (m./sec.)	Hydraulic Gradient
A	6.0847e - 007	0.15
B	6.5575e - 007	0.15



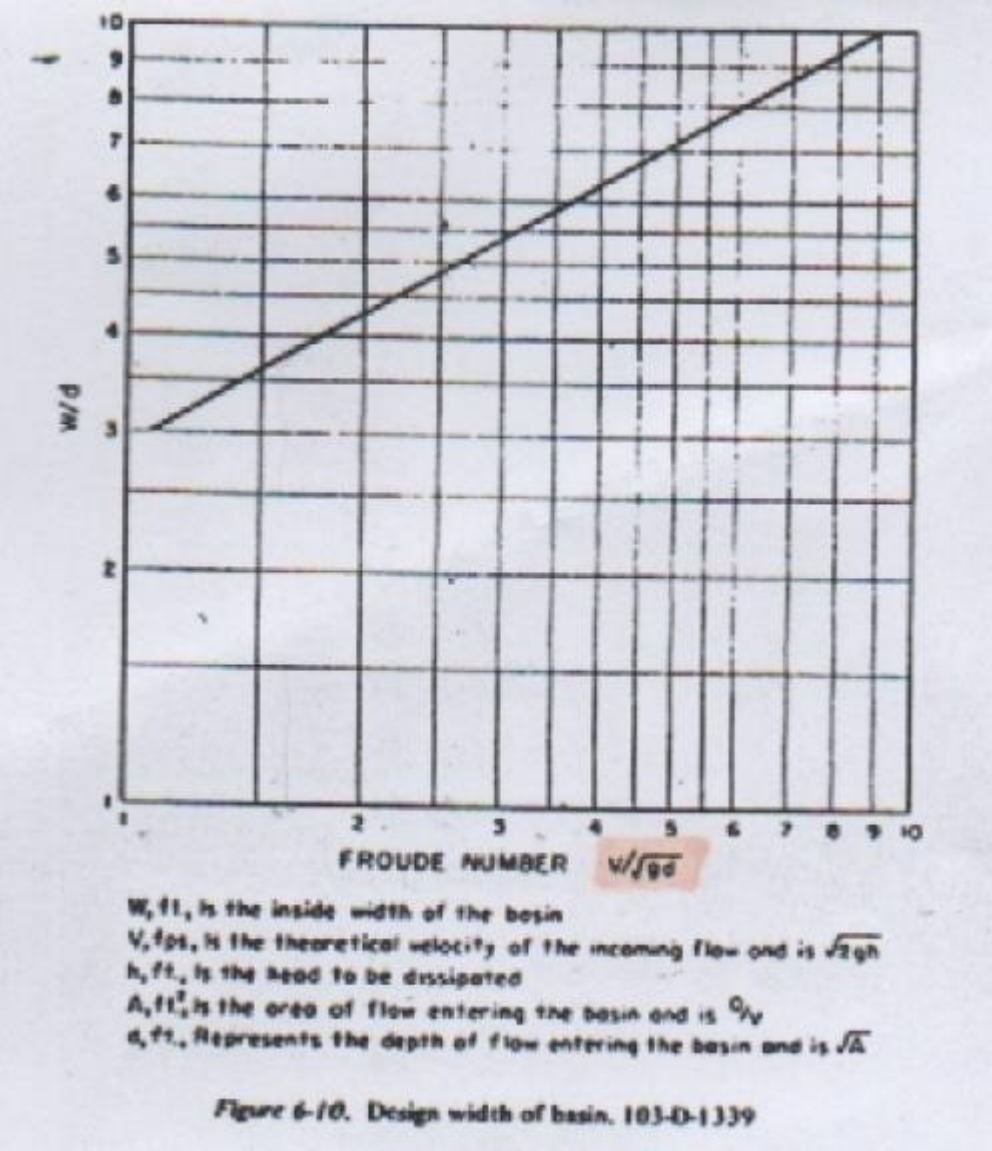


Figure 6-10. Design width of basin. 103-D-1339

๕. ผลสำเร็จของงาน (เชิงปริมาณ/คุณภาพ)

๕.๑ ผลสำเร็จของงานเชิงปริมาณ คือ ผลงานที่เกิดจากการปฏิบัติงาน มีผลสำเร็จที่เกิดขึ้น ตามขั้นตอนในการดำเนินงาน

๕.๒ ผลสำเร็จของงานเชิงคุณภาพ คือ ผลงานที่ได้แสดงให้เห็นถึงการตอบสนองวัตถุประสงค์

ผลงานของงานออกแบบอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ และอาคารประกอบโครงการชลประทาน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ได้ดำเนินการออกแบบแล้วเสร็จและได้ผ่านการอนุมัติแล้วโดยผู้อำนวยการสำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมปฏิบัติหน้าที่แทนอธิบดีกรมชลประทาน เป็นแบบกระดาษไขขนาด A๑ จำนวนทั้งหมด ๑๒ แผ่น ดังรายละเอียด ในตารางที่ ๖

ตารางที่ ๖ แสดงแบบรายละเอียดโครงการชลประทานอันเนื่องมาจากพระราชดำริอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ

แผ่นที่	หมายเลข	ชื่อแบบแปลน
๑	ชร.-๖๓-๕๔-๑/๕	ทำนบดิน รูปตัด จุดที่ตั้งโครงการและหมายเหตุแบบประกอบ
๒	ชร.-๖๓-๕๔-๒/๕	ทำนบดิน ขอบเขตอ่างเก็บน้ำและรายละเอียดโครงการ
๓	ชร.-๖๓-๕๔-๓/๕	ทำนบดิน รูปตัดตามยาว โค้งความความจุอ่างและพื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำ
๔	ชร.-๖๓-๕๔-๔/๕	ทำนบดิน รูปตัดลึกสุด การต่อท่อส่งน้ำในห้องควบคุมและตารารายละเอียด
๕	ชร.-๖๓-๕๔-๕/๕	ทางระบายน้ำล้น รูปตัด รูปขยาย การเสริมเหล็กและตารางรายละเอียด

๖. การนำไปใช้ประโยชน์/ผลกระทบ

การออกแบบอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำและอาคารประกอบโครงการชลประทานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแม่อ้อ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย (พ.ศ. ๒๕๖๔) สามารถนำแบบที่ได้รับการอนุมัติแล้วนำไปคิดปริมาณงาน ถอดราคางาน และตั้งประมาณการราคา ค่าก่อสร้างตลอดจนสามารถนำแบบไปดำเนินการก่อสร้างได้ตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของโครงการ ซึ่งทำการก่อสร้างเสร็จแล้วประมาณ ๙๐% เมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. ๒๕๖๖ ที่ผ่านมา

ผลประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการชลประทานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ ตำบลแม่อ้อ อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย คือ สามารถส่งน้ำช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกเพื่อทำการเกษตรของราษฎรในฤดูฝนได้ 400 ไร่ และฤดูแล้งได้ 50 ไร่ ใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับการอุปโภคบริโภคของราษฎร ในเขตโครงการได้ตลอดทั้งปี สามารถบรรเทาความเสียหายเนื่องจากอุทกภัยพื้นที่บริเวณด้านท้ายของอ่างเก็บน้ำ

นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ด้านอื่น ๆ ที่ได้จากอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำเช่นเพิ่มความชุ่มชื้นแก่พื้นดินและป่าไม้ เป็นแหล่งน้ำสำหรับสัตว์ป่า เป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ รวมไปถึงสามารถพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยว ช่วยให้ราษฎรในพื้นที่มีรายได้เพิ่มขึ้น

๗. ความยุ่งยากและซับซ้อนในการดำเนินการ

โครงการชลประทานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำเป็นโครงการที่ราษฎรได้ขอพระราชทานความช่วยเหลือในการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ และเป็นโครงการที่ราษฎรจะต้องเสียสละที่ดินเองจึงไม่มีปัญหาเรื่องที่ดิน จากการเข้าไปตรวจสอบพื้นที่พบว่าในลำน้ำห้วยป่าดำไม่มีอาคารชลประทานใด ๆ และจากการสอบถามราษฎรที่ร่วมตรวจสอบพื้นที่และการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำของลำท้ายห้วยป่าดำจะมีน้ำไหลมากที่สุดในเดือน พฤษภาคมและตุลาคม ได้ 6 เดือน ถ้าทำเป็นฝายจะช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกได้ในฤดูฝนได้น้อย และในฤดูแล้งช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกได้น้อยมาก

และไม่มีน้ำเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภค ดังนั้นการแก้ปัญหาหาแหล่งน้ำต้นทุนให้สามารถทำการเก็บกักน้ำในช่วงที่มีมากเกินความต้องการไว้ใช้ในช่วงที่ขาดแคลน และยังมีน้ำสำหรับการอุปโภคของราษฎร ที่อาศัยในบริเวณโครงการ และใกล้เคียงตลอดปี นอกจากนั้นยังสามารถบรรเทาความเสียหายเนื่องจากอุทกภัยทางด้านท้ายน้ำเป็นประจำทุกปีได้อีกด้วย โดยทำเป็นโครงการประเภทอ่างเก็บน้ำ ซึ่งมีประโยชน์มากกว่าการทำเป็นฝาย เพราะยังสามารถเก็บกักน้ำบางส่วนไว้ใช้ได้ตลอดปี ในเรื่องการอุปโภคบริโภค สาเหตุที่อ่างเก็บน้ำมีความจุน้อย จึงทำให้ต้องออกแบบทางระบายน้ำล้นต้องมีปริมาณน้ำมากเพราะว่าที่ตั้งของอ่างเก็บน้ำมีพื้นที่หน้าอ่างเก็บน้ำน้อยมากและลาดลำน้ำชันมาก ถ้าต้องการให้ความจุอ่างเก็บน้ำมากก็ต้องเลื่อนลงมาด้านล่างซึ่งมีปัญหาเรื่องที่ดินของราษฎร และเข้าเขตอุทยานแห่งชาติแม่ปืม

๘. ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ

ปัญหาอุปสรรคของอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำจากการพิจารณาสภาพภูมิประเทศตำแหน่งที่ตั้งของทำนบดิน Abutment ฝั่งซ้ายมีความลาดชันสูง Abutment ฝั่งขวามีเป็นลูกเนิน ในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งทำนบดินที่เหมาะสม จะต้องพิจารณาถึงการวางแนวของอาคารระบายน้ำล้นและการวางแนวท่อส่งน้ำด้วย จึงต้อง Layout แนวของทำนบดินไว้ในหลายทางเลือกพร้อมกับ Layout อาคารระบายน้ำล้น และแนวท่อส่งน้ำ เพื่อเปรียบเทียบและเลือกแนวที่เหมาะสมและประหยัดที่สุด

อาคาระบายน้ำล้นเลือกที่จะวางแนวที่ด้าน Abutment ฝั่งขสา ซึ่งเป็นลูกเนินที่ค่อนข้างชันไม่มาก สามารถทำทางระบายน้ำล้นได้ เพราะตัวอาคารมีความยาวไม่มากและไม่มีระบบท่อส่งน้ำมากีดขวาง ซึ่งถ้าวางทางระบายน้ำล้นด้าน Abutment ฝั่งซ้าย ถึงแม้ต้องทำให้ขุดปิดลาดข้างเขาไม่มาก แต่ตัวอาคารมีความยาวมากที่จะต้องขุดทางชักน้ำไปลงลำน้ำห้วยป่าดำ และทำให้กีดขวางกับระบบท่อส่งน้ำฝั่งซ้ายด้วย อาจเป็นการไม่เป็นการประหยัดในการที่เลือกทางระบายน้ำล้นอยู่ทางฝั่งซ้ายและประกอบกับราษฎรไม่ยอมให้ที่ดินด้วย

การวางแนวท่อส่งน้ำเลือกที่จะวางไว้ตลิ่งฝั่งซ้าย ไม่สามารถวางแนวไว้ฝั่งขวาได้เช่นกัน เนื่องจากตลิ่งมีความลาดชันสูง ปัญหาและอุปสรรคก็คือพื้นที่ส่งน้ำเดิมอยู่ฝั่งขวา เนื่องจากสภาพพื้นที่มีลักษณะเป็นลูกเนิน การส่งน้ำด้วยระบบส่งน้ำจะได้ผลดีกว่าการส่งน้ำแบบคลองเปิด ในแง่การประหยัดน้ำและราคาค่าก่อสร้างด้วย

๙. ข้อเสนอแนะ

เสนอการเจาะธรณีวิทยาเพิ่มเติมพิเศษ เมื่อมีการเปลี่ยนแนวจากเดิมที่เจาะไปเรียบร้อยแล้ว

๑๐.ผู้มีส่วนร่วมในผลงาน

๑. นายศุภชัย พินิจสุวรรณ

ตำแหน่ง ผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรม

ทำหน้าที่ผ่านแบบเพื่อพิจารณาเห็นชอบ อนุมัติ สัดส่วนผลงานร้อยละ ๒๐

ขอรับรองผลงานดังกล่าวข้างต้นเป็นจริงทุกประการ

ลงชื่อ.....
(นายเอกสิทธิ์ ตันติมาสน์)
ผู้ขอประเมิน
วันที่.....

ขอรับรองว่าสัดส่วนหรือลักษณะงานในการดำเนินงานของผู้เสนอข้างต้นถูกต้องตรงกับความเป็นจริงทุกประการ (ผู้ร่วมดำเนินการทุกรายลงลายมือชื่อรับรอง)

(ลงชื่อ) .....
(นายศุภชัย พินิจสุวรรณ)
วันที่ .....
(ผู้ร่วมดำเนินการ)

เอกสารอ้างอิง

๑. กรมชลประทาน : “มาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีต” , มีนาคม ๒๕๓๕

๒. จรูญ กมลรัตน์ และคณะกรมชลประทาน : “มาตรฐานคู่มือการออกแบบอาคารชลประทานในระบบส่งน้ำและระบายน้ำ” , สิงหาคม ๒๕๓๕

๓. มนเทียร กังศศิเทียม : “กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม” ,กองวิจัยและทดลอง กรมชลประทาน , มิถุนายน ๒๕๓๙

๔. ปราโมทย์ ไม้กลัด : “คู่มืองานเขื่อนดินขนาดเล็กและฝาย” สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์

๕. ดร.วรากร ไม้เรียง : “วิศวกรรมฐานราก” ,คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

๖. ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์ :“การออกแบบอาคารบังคับน้ำ”,คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

๗. ร.ศ.สันติ ทองพำนัก : “ประมวลหลักวิชาชีพในการออกแบบฝาย” คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

๘. USBR : “Design of Small Dams”,๑๙๘๗

๙. Bharat Singh : “Earth and Rockfill Dam”,๑๙๗๖

๑๐. Cedegren, H.R. : “Seepage, Drainage, and Flow Nets” ,๑๙๖๗

๑๑. Ven Te Chow : “Open – Channel Hydraulics”,๑๙๕๙

๑๒. วิทยาลัยการชลประทาน :”หลักสูตรเพิ่มพูนทักษะในการสอบขอใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรม (กว. พิเศษ สาขาโยธา)” ๒๕๓๗

๑๓. วรรณี ศุขสาตร : “วิศวกรรมฐานราก” ,๒๕๔๙

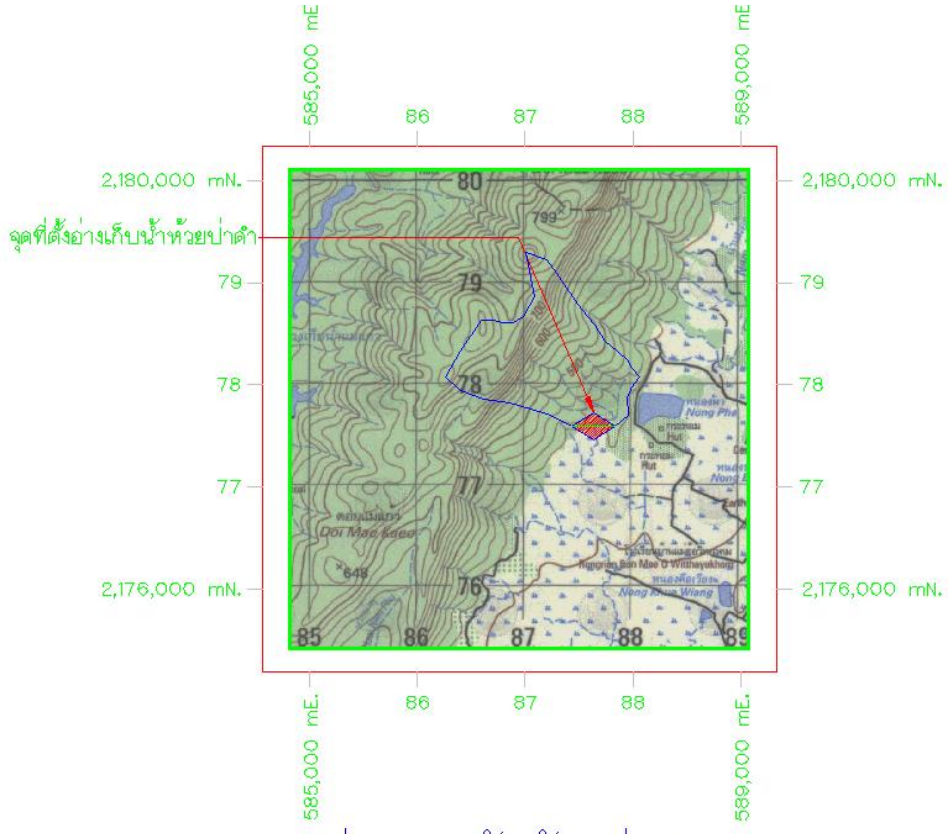
๑๔.ชยพล เตชะฐิตินันท์ : “วิศวกรรมชลศาสตร์ (Hydraulic Engineering)” , ๒๕๓๘

๑๕.สนั่น เจริญเผ่า และวินิต ช่อวิเชียร : “คอนกรีตเสริมเหล็ก” ,๒๕๔๕

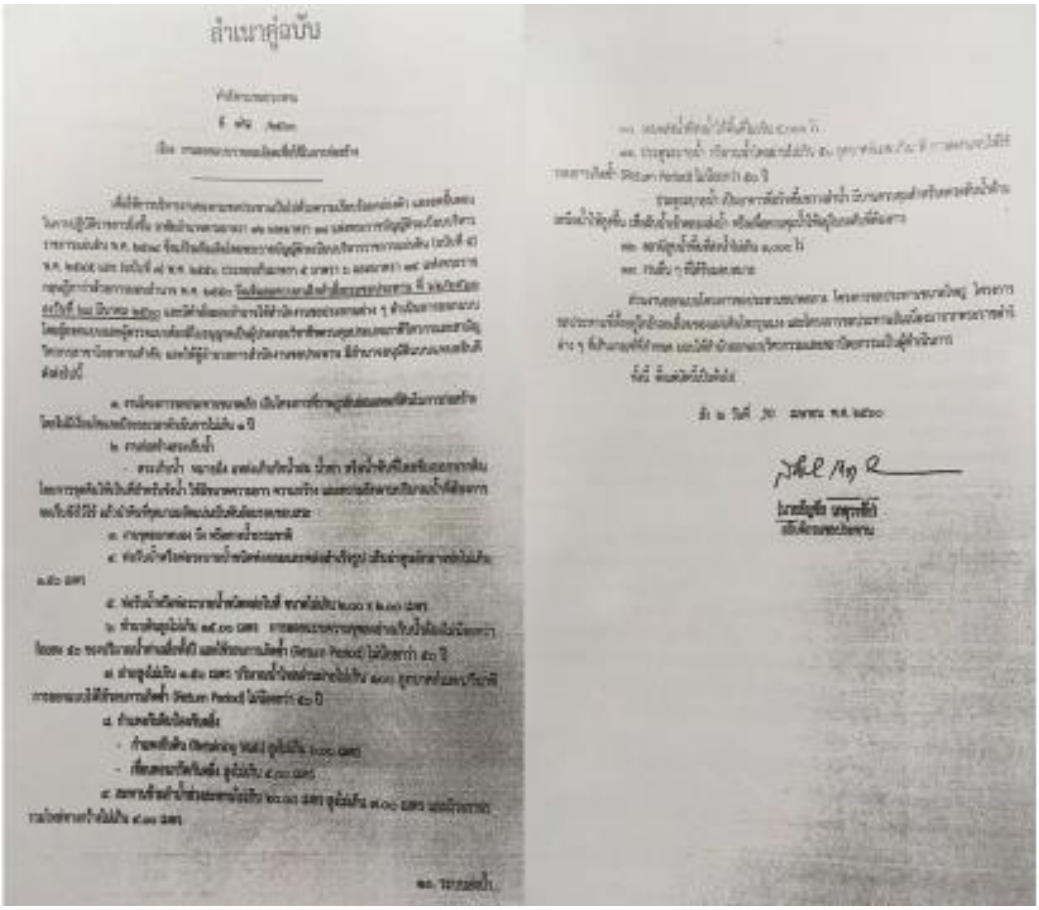
๑๖.ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ : การศึกษาความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาคสำหรับลุ่มน้ำในประเทศไทย

๑๗.คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานโครงการชลประทานขนาดเล็ก :”แนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็กประเภทอ่างเก็บน้ำ” ,๒๕๕๕

ภาคผนวก



รูปภาพแผนที่ Watershed Area อ่างเก็บน้ำห้วยป่า อันเนื่องมาจากพระราชดำริ



สำเนาคู่ฉบับ

น้ำรอบปีต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบ

น้ำรอบปี	ใช้สำหรับอาคาร
๑๐ปี	งานออกแบบ Coffer Dam เขื่อนขนาดกลาง
๒๐ปี	ก.งานออกแบบ Coffer Dam เขื่อนใหญ่
	ข.งานออกแบบท่อระบายน้ำลอดถนน
๓๐ปี	งานออกแบบฝายกึ่งถาวร
๕๐ปี	งานออกแบบฝายถาวร
๑๐๐ปี	ก.งานออกแบบป.ต.ร.
	ข.งานออกแบบ Service Spillway เขื่อนขนาดกลางและขนาดใหญ่
๕๐๐ปี	งานออกแบบ Emergency Spillway ของปตร.และเขื่อนขนาดกลาง
๑,๐๐๐ปี	งานออกแบบ Emergency Spillway ของเขื่อนขนาดใหญ่

ภาคผนวก ก

คำสั่งกรมชลประทาน

ที่ ๑๖๓ /๒๕๖๔

เรื่อง งานออกแบบรายละเอียดเพื่อใช้ในการก่อสร้าง

เพื่อให้การบริหารงานของกรมชลประทานเป็นไปด้วยความเรียบร้อยคล่องตัว และลดขั้นตอนในการปฏิบัติราชการยิ่งขึ้น อาศัยอำนาจตามมาตรา ๓๒ และมาตรา ๓๘ แห่งพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน พ.ศ. ๒๕๓๔ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติระเบียบบริหารราชการแผ่นดิน (ฉบับที่ ๕) พ.ศ. ๒๕๔๕ และ (ฉบับที่ ๗) พ.ศ. ๒๕๕๐ ประกอบกับมาตรา ๕ มาตรา ๖ และมาตรา ๑๔ แห่งพระราชกฤษฎีกาว่าด้วยการมอบอำนาจ พ.ศ. ๒๕๕๐ จึงเห็นสมควรยกเลิกคำสั่งกรมชลประทาน ที่ ๗๖/๒๕๖๐ ลงวันที่ ๑๐ เมษายน ๒๕๖๐ และมีคำสั่งมอบอำนาจให้สำนักงานชลประทานต่าง ๆ ดำเนินการออกแบบโดยผู้ออกแบบและผู้ตรวจแบบต้องมีใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพควบคุมประเภทภาคีวิศวกรและสามัญวิศวกรสาขาโยธาตามลำดับ และให้ผู้อำนวยการสำนักงานชลประทาน มีอำนาจอนุมัติแบบแทนอธิบดี ดังต่อไปนี้

๑. โครงการชลประทานขนาดเล็ก เป็นโครงการที่ราษฎรยินยอมสละที่ดินในการก่อสร้างโดยไม่มีเงื่อนไขและมีระยะเวลาดำเนินการก่อสร้างไม่เกิน ๑ ปี

๒. สระเก็บน้ำ ความจุสระเก็บน้ำไม่เกิน ๑ ล้านลูกบาศก์เมตร

๓. ขุดลอกหนอง บึง แก้มลิง หรือทางน้ำธรรมชาติ

๔. ท่อรับน้ำหรือท่อระบายน้ำ

๕. ทำนบดินสูงไม่เกิน ๑๕.๐๐ เมตร ความจุอ่างเก็บน้ำไม่เกิน ๒ ล้านลูกบาศก์เมตร การออกแบบความจุของอ่างเก็บน้ำต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ ๕๐ ของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั้งปี และใช้รอบการเกิดซ้ำ (Return Period) ไม่น้อยกว่า ๕๐ ปี

๖. ฝายสูงไม่เกิน ๓.๕๐ เมตร ปริมาณน้ำไหลผ่านฝายไม่เกิน ๑๐๐ ลูกบาศก์เมตร/วินาที การออกแบบให้ใช้รอบการเกิดซ้ำ (Return Period) ไม่น้อยกว่า ๕๐ ปี

๗. กำแพงกันดินป้องกันตลิ่ง

- กำแพงกันดิน (Retaining Wall) สูงไม่เกิน ๖.๐๐ เมตร
- เขื่อนคอนกรีตกันตลิ่ง สูงไม่เกิน ๔.๐๐ เมตร

๘. สะพานข้ามลำน้ำช่วงสะพานไม่เกิน ๒๐.๐๐ เมตร

๙. ระบบส่งน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่ไม่เกิน ๓,๐๐๐ ไร่ พร้อมมีแผนที่โครงการแสดงพื้นที่ชลประทาน

๑๐. ประตูระบายน้ำ ปริมาณน้ำไหลผ่านไม่เกิน ๑๐๐ ลูกบาศก์เมตร/วินาที การออกแบบให้ใช้รอบการเกิดซ้ำ (Return Period) ไม่น้อยกว่า ๕๐ ปี

- ประตูระบายน้ำ เป็นอาคารที่สร้างขึ้นขวางลำน้ำ มีบานควบคุมสำหรับยกระดับน้ำด้านเหนือน้ำให้สูงขึ้น เพื่อผันน้ำเข้าคลองส่งน้ำ หรือเพื่อควบคุมน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการ

๑๑. สถานีสูบน้ำ...

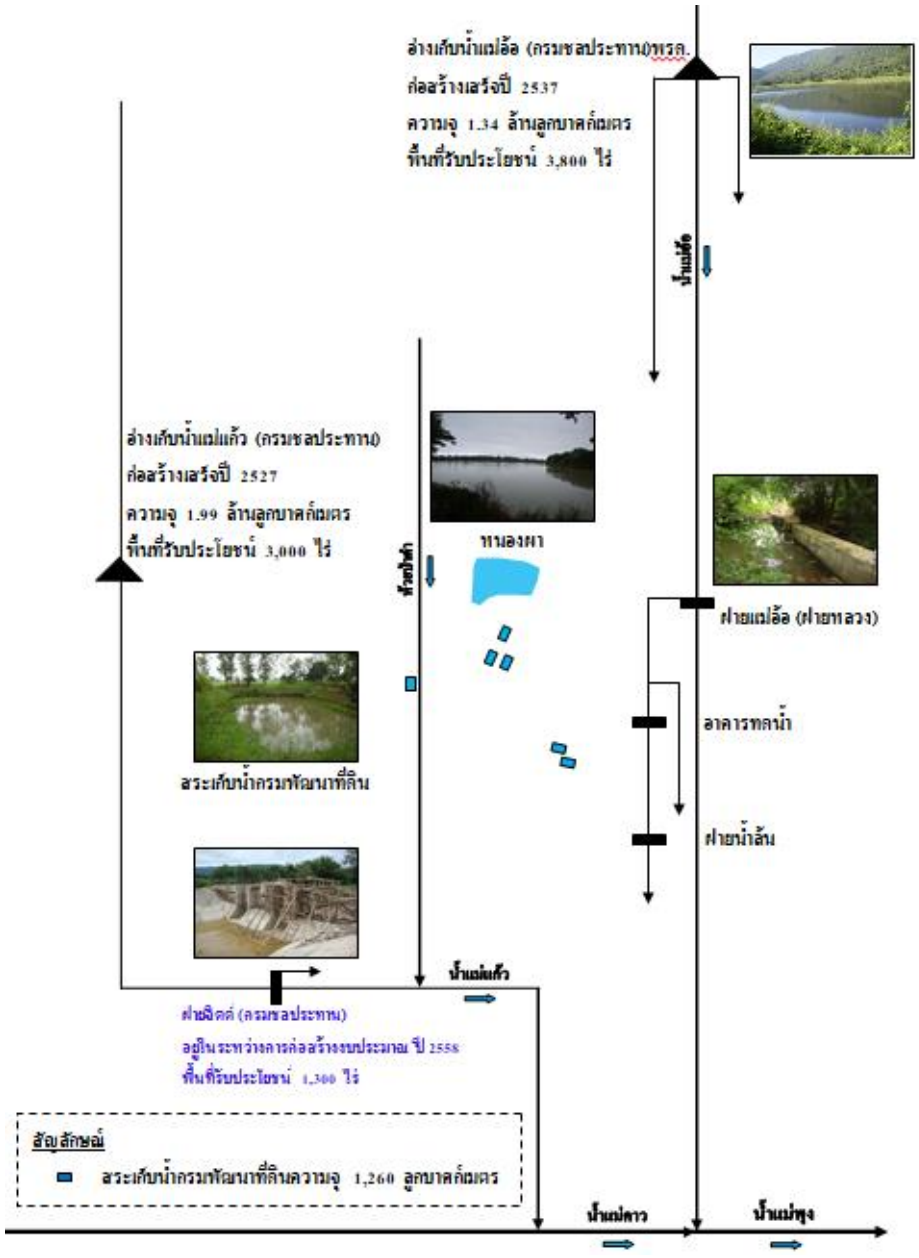
๑๑. สถานีสูบน้ำพื้นที่ส่งน้ำไม่เกิน ๓,๐๐๐ ไร่ พร้อมมีแผนที่โครงการแสดงพื้นที่ชลประทาน

นอกจากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น ให้อยู่ในความรับผิดชอบของสำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม

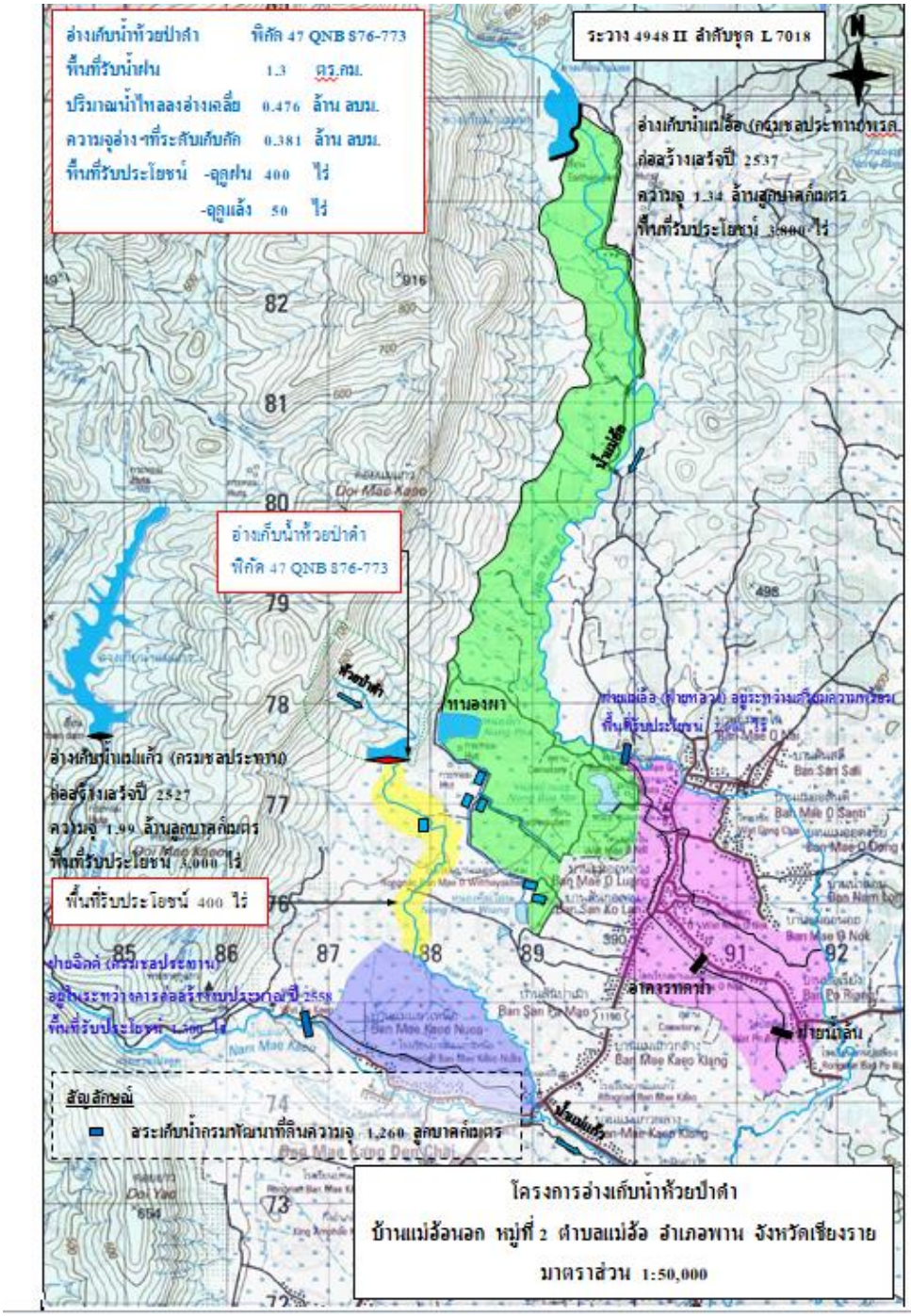
ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๒ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๖๔

(นายประพิศ จันทร์มา)
อธิบดีกรมชลประทาน



รูปภาพแผนภูมิแสดงการใช้น้ำในปัจจุบันของราษฎรบ้านแม่อ้อนอกและหมู่บ้านใกล้เคียง



รูปภาพแสดงตำแหน่งก่อสร้างอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ ในแผนที่ ๑:๕๐,๐๐๐

รูปภาพพื้นที่ทำการเพาะปลูก

รูปภาพอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ ระหว่างก่อสร้าง

รูปภาพระหว่างก่อสร้าง RIVER OUTLET

รูปภาพระหว่างก่อสร้าง RIVER OUTLET

รูปภาพระหว่างก่อสร้างวางไม้แบบ Stilling Basin และ ลูกปูนสำหรับทดสอบ

รูปภาพระหว่างก่อสร้าง RIVER OUTLET

รูปภาพระหว่างก่อสร้างอ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ ห้องควบคุมControl Room

รูปภาพก่อสร้างงานป้ายโครงการพระราชดำริ และ Spillways ก่อสร้างทั้งหมดแล้วเสร็จ เดือนมิถุนายน พ.ศ.2566

ขั้นตอนการออกแบบอ่างเก็บน้ำสำหรับโครงการชลประทานขนาดเล็ก

๑. มีแผนและงบประมาณค่าออกแบบ

๒. มีข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ คือ ผลพิจารณาโครงการ และผลสำรวจภูมิประเทศแล้ว

๓. ตรวจสอบผลพิจารณาโครงการผลสำรวจภูมิประเทศ และการออกไปดูสภาพภูมิประเทศ

๔. กำหนดแนวศูนย์กลางอ่างเก็บน้ำในผลสำรวจและทำการวัดพื้นที่เส้นชั้นความสูงทุก ๑.๐๐ เมตร ทางด้านเหนือน้ำจากระดับท้องลำน้ำสูงขึ้นไปประมาณ ๒๐ เมตร หรือจนสุดเส้นชั้นความสูง เพื่อหาโค้งความจุและพื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำ เพื่อนำไปหาระดับน้ำต่ำสุดต่อไปได้ซึ่งเป็นตัวกำหนดระดับธรณีท่อส่งน้ำของอ่างเก็บน้ำ รวมทั้งทำ Reservoir Operation Study ต่อไป

๕. เมื่อได้โค้งความจุ อ่างฯ สามารถทำ Reservoir Operation Study ได้เพื่อจะหาขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำต้นทุน และพื้นที่ส่งน้ำซึ่งทำให้ทราบระดับเก็บกักต่อไป

๖. เมื่อกำหนดระดับเก็บกักได้ ก็สามารถหาระดับสันทำนบดินได้ โดยหาความสูงของคลื่นลาดด้านเหนือน้ำเขื่อนดินและระดับน้ำสูงสุดซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณน้ำสูงสุดที่ใช้ในการออกแบบทางระบายน้ำล้น และรวมค่า FREEBOARD ด้วย ซึ่งทำให้ทราบความสูงของทำนบดินโดยวัดจากระดับสันทำนบดินถึงจุดลึกสุดที่กลางลำน้ำ สำหรับการออกแบบ เผื่อการทรุดตัวของเขื่อน สำหรับโครงการชลประทานขนาดเล็ก ใช้ไม่เกิน ๑% ของความสูงเขื่อนเพราะไม่มีการทดสอบดิน และได้เผื่อไว้ใน FREEBOARD แล้ว

๗. คำนวณหาขนาดความกว้างของสันทำนบดินได้โดยสัมพันธ์กับความสูงของทำนบดินแล้วนำไปเขียนแปลนทำนบดิน โดยกำหนดลาดทำนบดินด้านเหนือน้ำ ๑:๓ และลาดทำนบดินด้านท้ายน้ำ ๑:๒.๕ ตามเกณฑ์คร่าวๆ ระดับน้ำต่ำสุด และความกว้างของ BERM ที่ระดับน้ำต่ำสุดและความกว้างของ BERM ของลาดด้านท้ายน้ำ

๘. วางแนวศูนย์กลางท่อส่งน้ำ โดยให้ธรณีท่อด้านเหนือน้ำ อยู่ที่ระดับน้ำต่ำสุด และให้ดูจากผลพิจารณาโครงการว่าอยู่ทางฝั่งใดของลำน้ำ

๙. วางแนวศูนย์กลางทางระบายน้ำล้นให้เข้ากับสภาพภูมิประเทศ โดยต้องทำการตัดดินไม่มาก

๑๐. กำหนดตำแหน่งและจำนวนหลุมเจาะตามแนวศูนย์กลางเขื่อนดิน ท่อส่งน้ำ และทางระบายน้ำล้น โดยส่งไปฝ่ายสำรวจธรณีวิทยาต่อไป

๑๑. จากกำหนดแนวศูนย์กลางเขื่อนดิน และเขียนแปลนทำนบดิน สามารถคำนวณหาปริมาตรที่นำมาใช้ทำเขื่อนดินได้ และส่งข้อมูลให้ฝ่ายสำรวจปฐพีกลศาสตร์ให้หาBORROW AREA ต่อไปโดยจะเผื่อไว้ประมาณ ๑.๕-๒ เท่าของดินที่นำมาทำตัวเขื่อนดิน

๑๒. ขณะอยู่ในระหว่างรอข้อมูลต่างๆที่ได้ส่งไปก็สามารถทำการออกแบบต่อไปได้โดยการออกแบบเบื้องต้นคร่าวๆและอาจออกแบบเบื้องต้นเพื่อออกไปดูงานในสนาม

๑๓. เมื่อได้ข้อมูล BORROW AREA จากฝ่ายสำรวจปฐพีกลศาสตร์ก็นำมาเลือกดินที่นำไปประกอบการออกแบบ และเลือกตัวอย่างดินส่งไปทดสอบดินทางด้านวิศวกรรมและดินทางด้านวิทยาศาสตร์

๑๔. เมื่อได้รับผลธรณีฐานรากจากฝ่ายสำรวจธรณีวิทยานำมาใช้เพื่อที่จะก่อสร้างทำนบดินและความลึกร่องแก่นของทำนบดิน และกำหนดความลาดเทของทางระบายน้ำล้นให้สัมพันธ์กับชั้นแนวหินด้วย

๑๕. จากผลฐานรากข้อ ๑๔ ได้ส่งต่อไปวิเคราะห์การรั่วซึมของน้ำ ผ่านฐานรากจากฝ่ายวิศวกรรมธรณี(หรือฝ่ายปฐพีและธรณีวิทยา ส่วนวิศวกรรม ภายในสำนักงานชลประทาน) เพื่อจะได้เป็นข้อมูลใช้ในการปรับปรุงฐานรากว่าจะใช้วิธีใด เป็นการปู Clay Blanket หรือทำการ Grouting

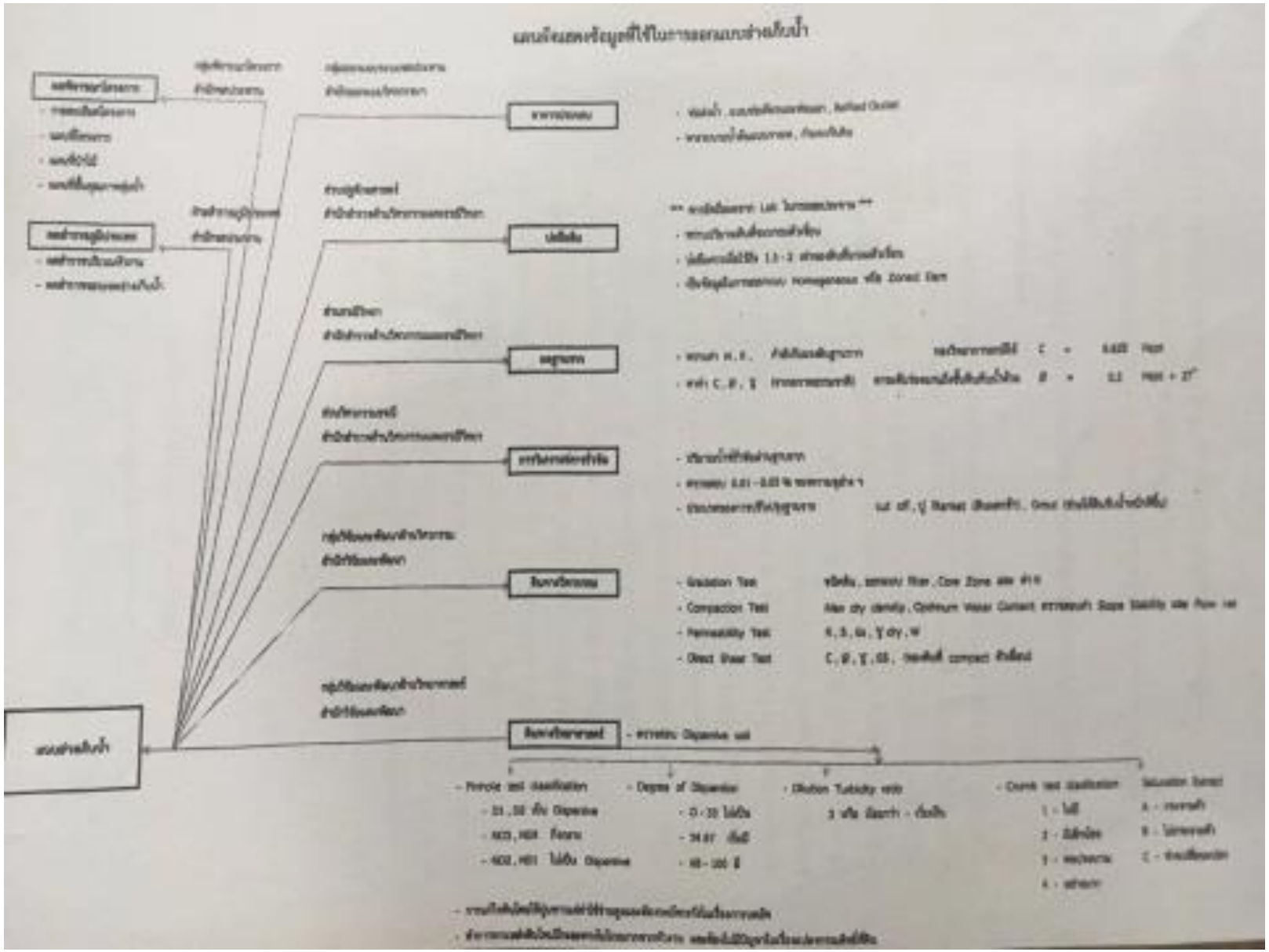
๑๖. จากข้อ ๑๓ และได้รับข้อมูลผลดินทางด้านวิศวกรรม ก็นำมาออกแบบเขื่อนดินต่อไปโดยต้องใช้ข้อมูลดินทางด้านวิทยาศาสตร์มาใช้ประกอบในการเลือกชนิดของดินและข้อมูลอื่นๆร่วมกันด้วย เพราะไม่ใช้ดินกระจายตัว (Dispersive)

๑๗. กำหนดชนิดและขนาดของวัสดุของลาดเขื่อนดินทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ

๑๘. จากผลวิเคราะห์ของน้ำรั่วซึมฐานรากและเขื่อนดิน ทราบค่าปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเขื่อนและฐานราก (นำไปออกแบบความหนาของ CHIMNEY DRAIN และ FINGER DRAIN ชนิดอ่างฯ Zone Type) ตลอดจนการออกแบบชั้นกรอง(FILTER) ของอ่างเก็บน้ำเนื้อเดียว(Homogeneous) และหลังจากการขุดเปิดหน้าดินการไปตรวจสอบธรณีฐานราก

๑๙. จากข้อ๑๘ ได้ข้อมูลในการพิจารณาปรับปรุงฐานรากว่าใช้วิธีอะไรบ้างขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ยอมให้น้ำมีการรั่วซึม และสภาพธรณีฐานรากของอ่างเก็บน้ำหลังจากขุดเปิดหน้าดินแล้ว

๒๐. ทำการวิเคราะห์ความมั่นคงและเสถียรภาพของลาดเขื่อน(SLOPE STABILITY) โดยนำข้อมูลที่ได้รับการตรวจสอบและวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อนดินเพื่อหาอัตราส่วนความปลอดภัยต่อการเลื่อนตัว โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ


แผนผังแสดงข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบอ่างเก็บน้ำ
แบบอ่างเก็บน้ำ
- Particle size classification
- Degree of Dispersion
- Dilution Turbidity ratio
- Crumb test classification
- Saturation Percent

ภาคผนวก ข

หมายเหตุ

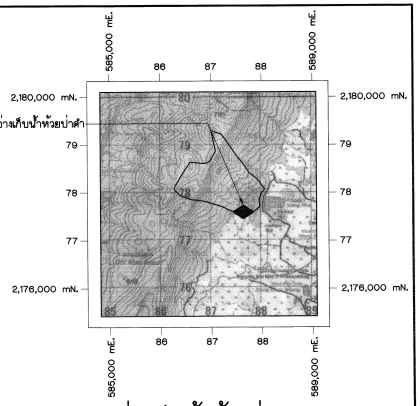
1. ระดับ (ร.ท.ก.) และมิติต่างๆ เป็นเมตร ระยะทางเป็นกิโลเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
2. ในกรณีที่รายละเอียดต่าง ๆ ในแบบไม่ตรงกันแบบมาตรฐานให้ยึดถือตามแบบชุดนี้เป็นหลัก
3. วัสดุที่ใช้ก่อสร้างทำนบดิน ZONE C เป็นดินประเภท GC,CL,SC,ML,MH บดอัดแน่นไม่น้อยกว่า 98% STANDARD PROCTOR COMPACTION TEST วัสดุที่ใช้ก่อสร้างทำนบดิน ZONE IIC เป็นดินประเภท GM,SM,GC,CL,SC,ML,MH บดอัดแน่นไม่น้อยกว่า 95% STANDARD PROCTOR COMPACTION TEST โดยดินถมทั้ง ZONE C และ ZONE IIC นี้ต้องมีค่า PERMEABILITY ไม่มากกว่า 10^{-5} ซม./วินาที ดินถมตัดเลือกที่ใช้ ก่อนนำมาบดอัดแน่น ต้องมีการตรวจสอบการกระจายตัว หากพบว่าเป็นดินกระจายตัวให้ดำเนินการหาแหล่งดินใหม่
4. การถมดินบดอัดแน่นด้วยแรงกล ให้ถมดินเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นหนาไม่เกิน 0.10 ม. กรณีที่บดอัดด้วยเครื่องจักรให้ถมดินเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นหนาไม่เกิน 0.15 ม. ในการบดอัดดินชั้นต่อไปให้คราด (SCARIFY) หน้าดินชั้นล่างก่อนเพื่อให้หน้าดินแต่ละชั้นประสานกันได้ดีขึ้น
5. ก่อนที่จะทำการบดอัด หรือระหว่างที่ทำการบดอัดแน่นอยู่ ดินที่นำมาใช้ต้องมีค่าความชื้นไม่มากกว่าหรือน้อยกว่า 2% ของค่าความชื้นสูงสุดที่ชั้นความหนาแน่นมากที่สุด (OPTIMUM MOISTURE CONTENT) และดินแต่ละชั้นต้องมีความชื้นเท่ากันโดยสม่ำเสมอ
6. การเปิดลาดข้างเขาใช้ลาด 1:1 และทำ BERM กว้าง 1.00 ม. ทุกๆ ระดับความสูง 4.00 ม. หรืออยู่ในดุลพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน
7. อาคารต้องสร้างบนดินเดิมหรือบนดินถมบดอัดแน่นแล้วเท่านั้น
8. ก่อนทำการบดอัดแน่นให้ขุดลอกหน้าดินเดิมออกไม่น้อยกว่า 0.50 ม. หรือตามคำแนะนำของนายช่างผู้ควบคุมโครงการ
9. เมื่อก่ออาคารเสร็จแล้ว ต้องถมดินรอบตัวอาคาร แล้วปลูกหญ้าทับหน้าตามลาดต่างๆ ของดินถม ก่อนปลูกหญ้าให้ปูดิน TOP SOIL หนา 0.15 ม. ระดับ ขนาดและรูปร่างของดินถมรอบตัวอาคาร อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพในสนาม ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลพินิจของนายช่างผู้ควบคุมโครงการ
10. ดินฐานรากอาคารต้องรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยไม่น้อยกว่า 10 ตัน/ม.^{2}
11. คอนกรีตต้องรับแรงกดสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 175 กก./ซม.^{2} โดยการทดสอบแท่งคอนกรีตมาตรฐานรูปทรงกระบอก Ø15x30 ซม. เมื่ออายุได้ 28 วัน
12. ขนาดของเหล็กเสริมกำหนดไว้เป็นมิลลิเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
13. เหล็กเสริมใช้เหล็กข้ออ้อย (DEFORMED BARS) ชั้นคุณภาพ SD40 (Fy ≥4,000 กก./ซม.^{2}) มอก. 24-2548 และเหล็กข้ออ้อย (DEFORMED BARS) ชั้นคุณภาพ SD30 (Fy ≥3,000 กก./ซม.^{2}) มอก. 24-2548 และเหล็กเส้นกลมผิวเรียบ (ROUND BARS) ใช้ชั้นคุณภาพ SR 24 (Fy ≥2,400 กก./ซม.^{2}) มอก. 20-2543 สำหรับเหล็กเสริมขนาดตั้งแต่ Ø10 มม. ขึ้นไปให้ใช้เหล็กเส้นกลมผิวข้ออ้อย (DEFORMED BARS)
14. คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมให้เป็นไปตามมาตรฐาน ดังนี้
    14.1 เหล็กเสริมชั้นเดียว ถ้าไม่แสดงไว้เป็นอย่างอื่นให้วางตรงกึ่งกลางความหนา
    14.2 เหล็กเสริมสองชั้น ระยะระหว่างผิวเหล็กถึงผิวคอนกรีตติดกับแบบให้ใช้ 5 ซม. และถ้าติดกับดินหรือหินหรือสัมผัสกับน้ำตลอดเวลาให้ใช้ 8 ซม. นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
15. การต่อเหล็กเสริมโดยวิธีทาบ (LAPPED SPLICES) ถ้าไม่แสดงไว้เป็นอย่างอื่น ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ดังนี้
    15.1 ระยะทาบของเหล็กข้ออ้อยต้องไม่น้อยกว่า 24 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม โดยปลายไม่ต้องงอขอมาตรฐาน
    15.2 ระยะทาบของเหล็กเส้นกลมต้องไม่น้อยกว่า 48 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม โดยปลายต้องงอขอมาตรฐาน และ 60 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริมถ้าปลายไม่งอขอมาตรฐาน
    15.3 การต่อเหล็กเสริมในแต่ละแนวให้ต่อเหลื่อมกัน อย่างน้อยห่างกันเท่ากับระยะทาบ
16. กล่องลวดตาข่ายเหล็กถักเคลือบสังกะสี ต้องมีคุณสมบัติและขนาดของเส้นลวดฯ ตามมาตรฐาน มอก.71-2532 หรือตามทะเบียนงานเลขที่ 25-148-36 และ 25-149-36 ของสำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม กรมชลประทาน ขนาดกล่องที่ใช้ 2.00x1.00x0.50 ม. (GABIONS) และ 3.00x2.00x0.30 ม. (MATTRESS)
17. การยึดกล่องลวดเหล็กถักเคลือบสังกะสีบรรจุด้วยหินเข้าด้วยกัน ต้องทำยึดลวดโครงกล่องเข้าด้วยกันด้วยลวดผูกกล่องอย่างหนาแน่นโดยผูกลอดผ่านทุกช่องตาข่ายที่ติดกับลวดโครงกล่องในลักษณะผูก 2 รอบ/ช่อง ลดับกันผูก 1 รอบ/ช่อง ไปกับโดยตลอด
18. แผ่นใยวัสดุสังเคราะห์ (GEOTEXTILES) ต้องมีคุณสมบัติดังนี้
    - น้ำหนักไม่น้อยกว่า 200 กรัม/ม.^{2}
    - TEAR STRENGTH ไม่น้อยกว่า 300 นิวตัน/75 มม.
    - 90% PORE SIZE ไม่น้อยกว่า 180 ไมครอน
    - PERMEABILITY (AT 10 CM. HEAD) ไม่น้อยกว่า 50 ลิตร/ม.^{2}/วินาที
    - TENSILE STRENGTH ไม่น้อยกว่า 1.6 กิโลนิวตัน/200 มม.
19. การต่อทาบแผ่นวัสดุสังเคราะห์ ให้ว้างทาบกันไม่น้อยกว่า 0.30 ม.
20. เส้นใยสังเคราะห์จะต้องยึดกันเป็นแผ่นไม่หลุด รอนออกจากกันได้ง่าย
21. แผ่นยางกันน้ำรั่ว (R.W.S.) จะต้องยึดติดต่อเนื่องกันตลอดและที่จุดต่อของแผ่นที่ขึ้นคอนกรีตเสริมเหล็กแผ่นยางกันน้ำรั่วจะต้องต่อทับทาบกัน รายละเอียดดูในแบบหมายเลข 29282
22. อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่วางบนชั้นดินหรือหิน ให้วางบนคอนกรีตหยาบรองพื้นอย่างน้อย 5 ซม.
23. ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมที่แสดงไว้ เป็นระยะระหว่างศูนย์กลางเหล็กยึงศูนย์กลางเหล็ก
24. ลบมุมส่วนอาคารที่มองเห็นได้ 2 ซม. นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
25. แบบชุดนี้เป็นแบบอาคารที่จำกวดเร่งด่วน สำหรับโครงการชลประทานขนาดเล็กเร่งด่วน ข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบไม่สมบูรณ์พอ นายช่างผู้ควบคุมโครงการต้องพิจารณาตรวจสอบให้รอบคอบ เปรียบเทียบกับที่ระบุไว้ในแบบ หากคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยให้พิจารณาปรับปรุงแก้ไขในสนามได้ หากคลาดเคลื่อนมากให้ปรึกษาผู้ออกแบบก่อนทำการก่อสร้าง
26. แบบชุดนี้ใช้ข้อมูลผลสำรวจของ ลป.ปป.2 หมายเลข ลง.3426-1/4 ถึง 4/4 จำนวน 4 แผ่น
27. ที่หมุด BM.1 อยู่โคนต้นไม้ใกล้ ปป.437 มีค่าระดับเป็น+430.342 และผลสำรวจของ ลป.ปป.2 หมายเลขผลสำรวจ ลร.3539-1/2 และ 2/2 จำนวน 2 แผ่น

หมุด	แบริ่ง	หมายยาน	ระยะ(ม.)	ระดับ
ปป.437	105°-35'-00"	ต้นยางพาราา	2.25	+429.985
ปป.191	149°-00'-00"	หลักเขตอุทยาน	7.00	+424.027
ปป.446	288°-57'-05"	ต้นมะเกิ้ม	1.80	+424.260
ปป.447	160°-00'-00"	ต้นตีง	1.80	+429.661

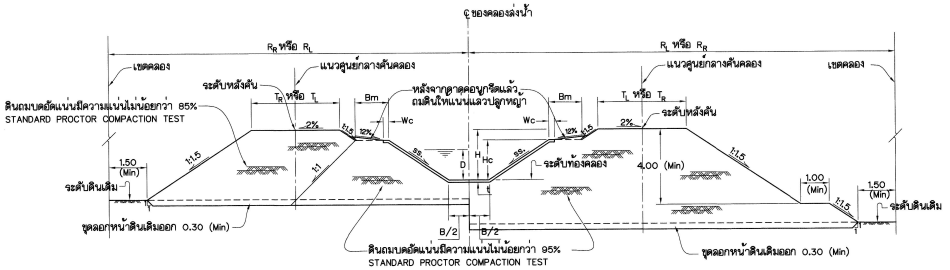
28. แบบชุดนี้ใช้ข้อมูลผลงานวิฐานจากเขื่อนของฝ่ายปฐพีและธรณีวิทยา ส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่ 2 แบบหมายเลข ลข่ป.2-ปธ-6-112/2564-1/2 และ ลข่ป.2-ปธ-6-112/2564-2/2 ส่วนงานสำรวจปฐพีกลศาสตร์ (แหล่งบ่อยืมดิน) แบบหมายเลข ลข่ป.2-ปธ-1ป-081/2564
29. ให้ทำป้ายโครงการโดยใช้แบบหมายเลข 73588 และ 73589
30. แบบชุดนี้ก่อนนำมาใช้ก่อนก่อสร้างต้องทำการทดลองดินด้านวิศวกรรมและดินด้านวิทยาศาสตร์ให้ได้คุณสมบัติเบื้องต้นตามหมายเหตุข้อ 3 และนำผลทดลองที่ได้มาให้พิจารณาออกแบบสำนวนความมั่นคงของทำนบดินและ GRADATION OF FILTER MATERIALS และอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรให้ใช้แบบชุดนี้ทำการก่อสร้างต่อไป
31. ในกรณีที่ดินจากบ่อยืมดินไม่เพียงพอ จำเป็นต้องหาดินจากบ่อยืมดินใหม่ ซึ่งไม่มีปัญหาเกี่ยวกับกรรมสิทธิ์ที่ดิน และดินใหม่ต้องคำเนินการตามหมายเหตุข้อ 30

แบบประกอบ

	หมายเลข
1. ทำนบดิน ขอบเขตอ่างเก็บน้ำและรายละเอียดโครงการ	ชร.-63-54-2/5
2. ทำนบดิน รูปตัดตามยาว โค้งความจุและพื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำ	ชร.-63-54-3/5
3. ทำนบดิน รูปตัดสิกสุด การต่อท่อส่งน้ำในห้องควบคุมและตารางรายละเอียด	ชร.-63-54-4/5
4. ทางระบายน้ำล้น รูปตัด รูปขยาย การเสริมเหล็กและตารางรายละเอียด	ชร.-63-54-5/5
5. แบบมาตรฐานทำนบดิน	109842
6. แบบมาตรฐานทางระบายน้ำล้น (สำหรับพื้นกว้างไม่เกิน 10.00 ม.)	109834/11
7. เล่าและขาวละพาน แปลน รูปตัดและรูปขยาย	84783
8. แบบมาตรฐานคลองส่งน้ำ	149920
9. แบบมาตรฐานป้ายโครงการ	73588 และ 73589
10. แบบมาตรฐานท่อส่งน้ำ Ø0.20-0.50 ม.	109825
11. แบบมาตรฐานท่อส่งน้ำ Ø0.60-0.90 ม.	109836
12. แบบมาตรฐาน CONTROL ROOM	109837
13. แบบมาตรฐาน BAFFLED OUTLET	109827
14. แบบมาตรฐานตะแกรงกันละวะหน้าท่อส่งน้ำของอ่างเก็บน้ำ	109824
15. แผ่นยางกันน้ำรั่ว	29282
16. EXPANSION & CONTRACTION JOINT STRUCTURE DETAILS	29456
17. แบบมาตรฐานท่อลดแรงดัน	มม.-04-001



อ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ
ในแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ระวาง 4948 II ลำดับชุด L7018
พิกัดโดยประมาณ 47 QNB 878-777



รูปตัดตามขวางของคลองส่งน้ำ (ดูแบบหมายเลข 149920)
ไม่แสดงมาตราส่วน

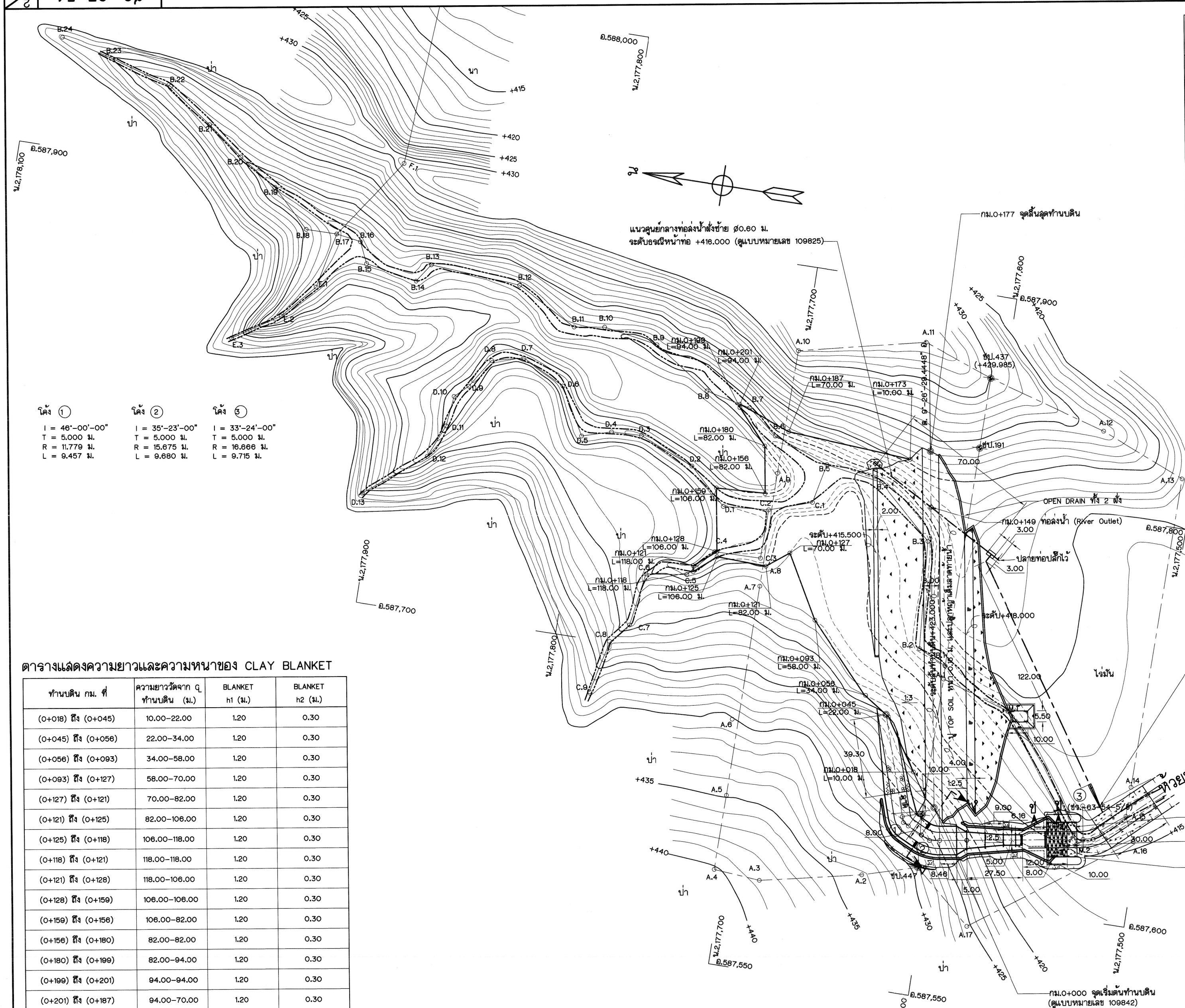
ครั้งที่	ตำแหน่ง	รายการแก้ไข	วัน เดือน ปี	ตรวจ เสนอ	ผ่าน เห็นชอบ	อนุมัติ

กรมชลประทาน
โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ
อ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ
ม.2 บ.แม่ออ้อนอก ต.แม่ออ้อ อ.พาน จ.เชียงราย
ทำนบดิน
รูปตัด จุดที่ตั้งโครงการและหมายเหตุแบบประกอบ

ออกแบบ	เอกสิทธิ์ (วิศวกรโยธา ศันสนีย์)	เสนอ	อบ.ปป.2
เขียน	ฤทธิ์เดช แสนสีหา	ผ่าน	สว.ค.ปป.2
ลอก	ฤทธิ์เดช แสนสีหา	เห็นชอบ	ผล.ปป.2
ตรวจ	ไชยวัฒน์ (แทน)	อนุมัติ	ออธ.

ฝ่ายออกแบบ ส่วนวิศวกรรม 2 ธ.ค. 64
สำนักงานชลประทานที่ 2 จ.ลำปาง วันที่

ชร.-63-54 1/5



รายละเอียดโครงการ

รายการ	ขนาดหรือปริมาณ	หน่วย
-ที่ตั้งหัวงานในแผนที่ 1:50,000 พิกัด 47 QNB 878-777	-	-
ระวาง 4946 III ลำดับชุด L7018	-	-
-พื้นที่รับน้ำฝน	1.35	กม.^{2}
-ปริมาณฝนตกเฉลี่ยตลอดปี	1,312.3	มม.
-ปริมาณน้ำไหลลงอ่างฯตลอดปี	476,428	ม.^{3}
-ขนาดของทำนบดิน ยาว	177.00	ม.
-ขนาดของทำนบดิน สูงสุด	11.00	ม.
-ขนาดหลังคันทำนบดิน กว้าง	8.00	ม.
-ระดับสันทำนบดิน	+423.000	ม.(ร.ท.ก.)
-ระดับน้ำสูงสุด	+422.000	ม.(ร.ท.ก.)
-ระดับน้ำเก็บกัก	+421.000	ม.(ร.ท.ก.)
-ระดับน้ำต่ำสุด	+416.000	ม.(ร.ท.ก.)
-ความจุของอ่างเก็บน้ำที่ระดับน้ำสูงสุด	182,000	ม.^{3}
-ความจุของอ่างเก็บน้ำที่ระดับน้ำเก็บกัก	145,115	ม.^{3}
-ปริมาณน้ำใช้การ	126,005	ม.^{3}
-พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับน้ำสูงสุด	39,420	ม.^{2}
-ทางระบายน้ำล้นแบบรางเท (สันทางระบายน้ำล้นกว้าง 8.00 ม.) รางเทกว้าง	5.00	ม.
-ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านทางระบายน้ำล้นสูงสุด	10.95	ม.^{3}/วินาที
-ท่อส่งน้ำฝั่งซ้ายขนาด ø0.60 ม. ยาว 70.00 ม. สามารถส่งน้ำได้สูงสุด	1.19	ม.^{3}/วินาที
-ช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกในฤดูฝน	400	ไร่
-ช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกในฤดูแล้ง	50	ไร่

หมายเหตุ

1. ระดับ (ร.ท.ก.) และมิติต่างๆ เป็นเมตร ระยะทางเป็นกิโลเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
2. หมายเหตุทั่วไปให้ดูแบบหมายเลข ชร.-63-54-1/5

แบบประกอบ

	หมายเลข
1. ทำนบดิน รูปตัด จุดที่ตั้งโครงการและหมายเหตุแบบประกอบ	ชร.-63-54-1/5

ตารางแสดงความยาวและความหนาของ CLAY BLANKET

ทำนบดิน กม. ที่	ความยาววัดจาก ¢ ทำนบดิน (ม.)	BLANKET h1 (ม.)	BLANKET h2 (ม.)
(0+018) ถึง (0+045)	10.00-22.00	1.20	0.30
(0+045) ถึง (0+056)	22.00-34.00	1.20	0.30
(0+056) ถึง (0+093)	34.00-58.00	1.20	0.30
(0+093) ถึง (0+127)	58.00-70.00	1.20	0.30
(0+127) ถึง (0+121)	70.00-82.00	1.20	0.30
(0+121) ถึง (0+125)	82.00-106.00	1.20	0.30
(0+125) ถึง (0+118)	106.00-118.00	1.20	0.30
(0+118) ถึง (0+121)	118.00-118.00	1.20	0.30
(0+121) ถึง (0+128)	118.00-106.00	1.20	0.30
(0+128) ถึง (0+159)	106.00-106.00	1.20	0.30
(0+159) ถึง (0+156)	106.00-82.00	1.20	0.30
(0+156) ถึง (0+180)	82.00-82.00	1.20	0.30
(0+180) ถึง (0+199)	82.00-94.00	1.20	0.30
(0+199) ถึง (0+201)	94.00-94.00	1.20	0.30
(0+201) ถึง (0+187)	94.00-70.00	1.20	0.30
(0+187) ถึง (0+173)	70.00-10.00	1.20	0.30

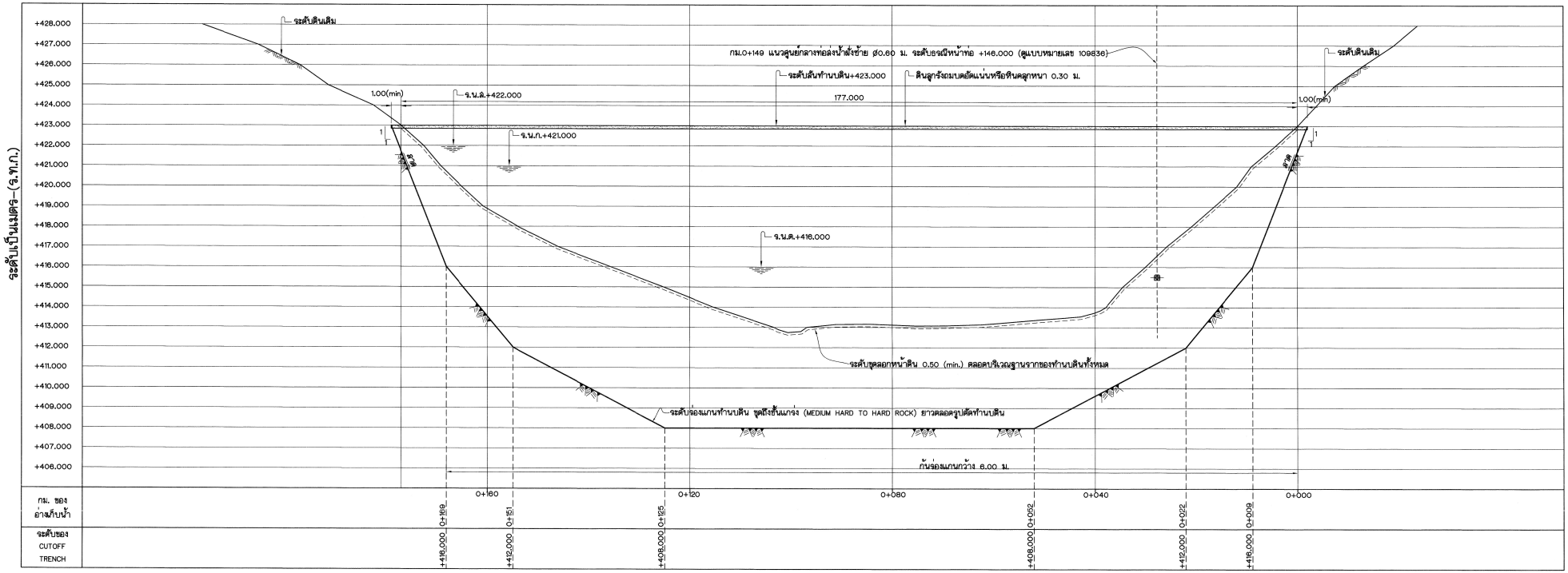
ตารางแสดงรายละเอียดและมิติต่างๆของทำนบดิน (ดูแบบหมายเลข 109842)

ระดับ								มิติ								หมายเหตุ
ร1	ร2	ร3	ร4	ร5	ร6	ร7	ร.น.ล.	ย1	ย2	ย3	ย4	ล1	ล2	ค	H	
+423.000	+421.000	+412.000	+418.000	+416.000	+415.000	+414.500	+422.000	8.00	70.00	4.00	2.00	1:3	1:2.5	0.60	11.00	

ครั้งที่	ตำแหน่ง	รายการแก้ไข	วัน เดือน ปี	ตรวจ / เสนอ	ผ่าน / เห็นชอบ	อนุมัติ

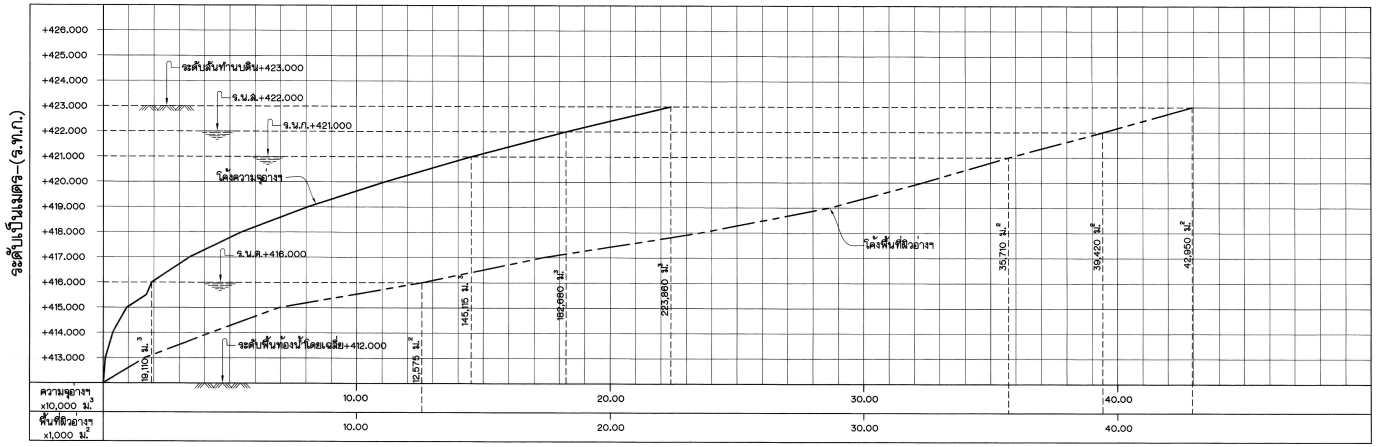
กรมชลประทาน
โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ
อ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ
ม.2 บ.แม่อ้อนอก ต.แม่อ้อ อ.พาน จ.เชียงราย
ทำนบดิน
ขอบเขตอ่างเก็บน้ำและรายละเอียดโครงการ

ออกแบบ		เสนอ		อบ.ชป.2
เขียน		ผ่าน		ผวศ.ชป.2
ลอก		เห็นชอบ		ผส.ชป.2
ตรวจ		อนุมัติ	(แทน)	ผชช.
ฝ่ายออกแบบ ส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่ 2 จ.ลำปาง	2 ธ.ค. 64 วันที่	ชร.-63-54		2/5



รูปตัดตามยาวทำนบดิน

มาตราส่วน { แนวตั้ง 1:100
แนวราบ 1:400



โค้งความจุและพื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำ

หมายเหตุ

1. ระดับ (ร.ท.ก.) และมิติต่างๆ เป็นเมตร ระยะทางเป็นกิโลเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
2. หมายเหตุทั่วไปให้ดูแบบหมายเลข ชร.-63-54-1/5

แบบประกอบ

หมายเลข

1. ทำนบดิน รูปตัด ชุดที่สิ้นโครงการและหมายเหตุแบบประกอบ ชร.-63-54-1/5

กรมชลประทาน

โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ
อ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ
ม.2 บ.แม่อ้อนอก ต.แม่อ้อ อ.พาน จ.เชียงราย

ทำนบดิน

รูปตัดตามยาว โค้งความจุและพื้นที่ผิวอ่างเก็บน้ำ

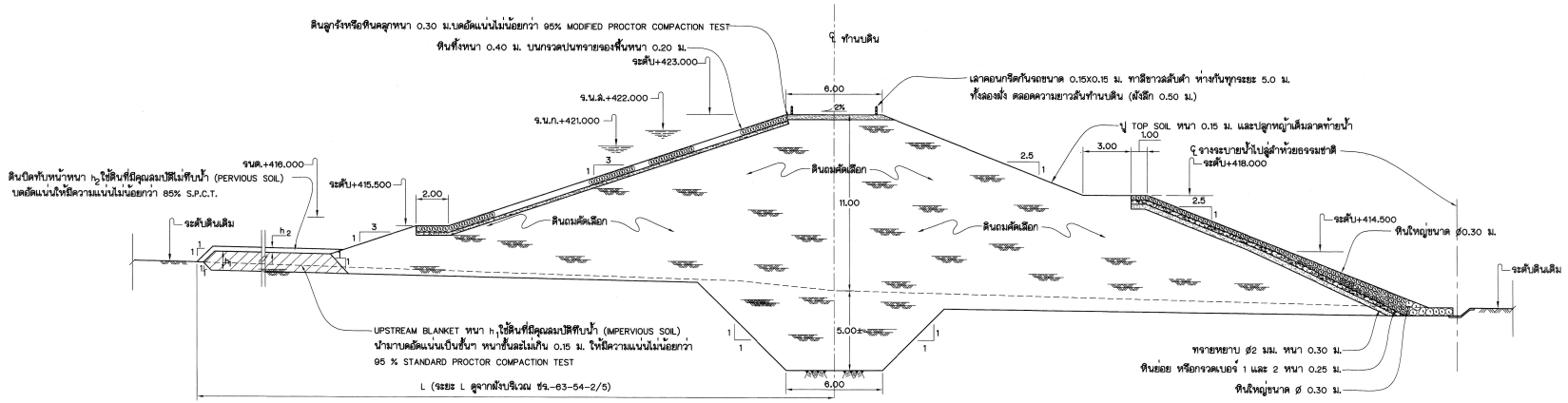
ออกแบบ		เสนอ			อบ.ชป.2
เขียน		ผ่าน			มวล.ชป.2
ลอก		เห็นชอบ			ผส.ชป.2
ตรวจ		อนุมัติ	(แทน)		ออธ.

ครั้งที่	ตำแหน่ง	รายการแก้ไข	วัน เดือน ปี	ตรวจ เสนอ	ผ่าน เห็นชอบ	อนุมัติ

ฝ่ายออกแบบ ลวนวิศวกรรม 2 ธ.ค. 64
สำนักงานชลประทานที่ 2 จ.ลำปาง วันที่

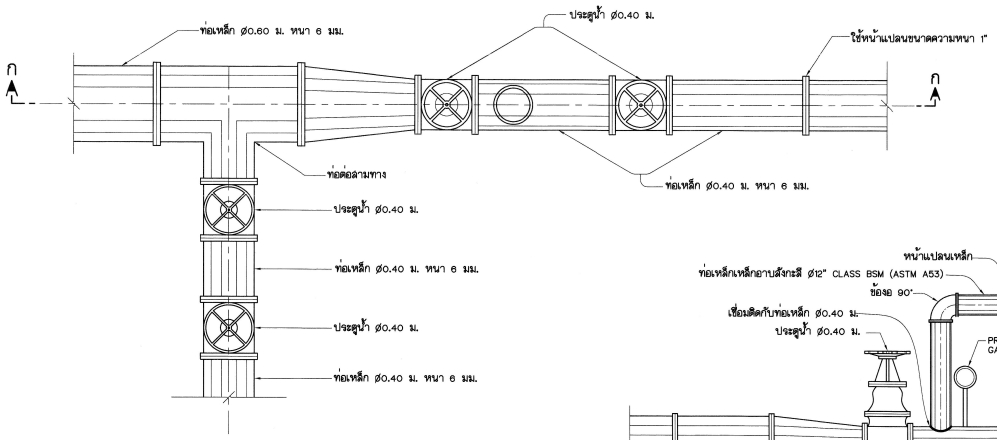
ชร.-63-54

3/5



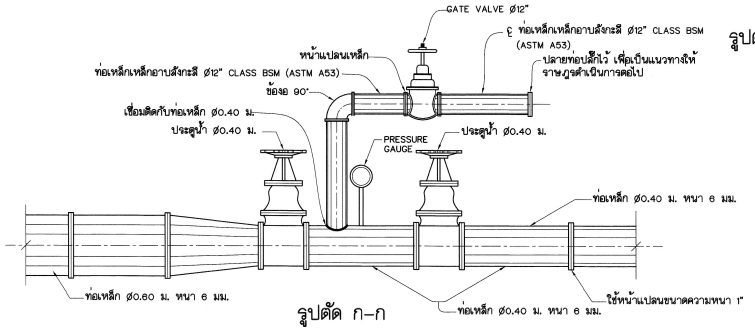
รูปตัดตามขวางของทำนบดินที่ตำแหน่งลึกที่สุด

มาตราส่วน 1:150



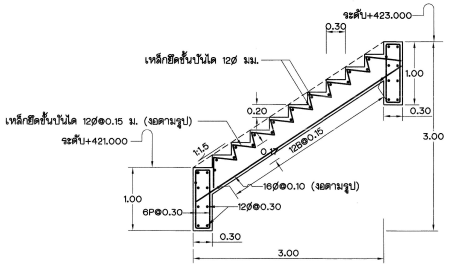
แปลนแสดงการต่อท่อส่งน้ำในห้องควบคุม

มาตราส่วน 1:20



รูปตัด ก–ก

มาตราส่วน 1:25



รูปตัด ง–ง แสดงการเสริมเหล็กบันไดคอนเริดเสริมเหล็ก (ชร.-63-54-2/5)

มาตราส่วน 1:40

หมายเหตุ

1. ระดับ (ร.ท.ก.) และมิติต่างๆ เป็นเมตร ระยะทางเป็นกิโลเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
2. หมายเหตุทั่วไปให้ดูแบบหมายเลข ชร.-63-54-1/5

แบบประกอบ

หมายเลข

1. ทำนบดิน รูปตัด ชุดที่ตั้งโครงการและหมายเหตุแบบประกอบ _____ ชร.-63-54-1/5

ตารางรายละเอียดคลองส่งน้ำ (ดูแบบหมายเลข 149920)

กม. ถึง กม.		Q_{des} ม.³/วินาที	A_s ม.²	V ม./วินาที	R	n	S	SS.	B	D	H_C	H	t	W_C	B_m	T_L	T_R	R_L	R_R	หมายเหตุ
0+000	0+012	1.01	1.140	0.890	0.360	0.018	1:1,000	1:1.5	1.00	0.80	0.80	1.40	0.08	0.15	0.30	1.00	1.00	–	–	ด้านท้าย BAFFLED OUTLET ①

ตารางรายละเอียด BAFFLED OUTLET (ดูแบบหมายเลข 109827)

มิติ													หมายเหตุ
n_1	n_2	y_3	y_4	a_1	a_2	a_3	a_4	u_1	u_2	u_3	u_4	B	
2.20	1.75	2.90	1.10	1.65	0.80	0.35	0.75	0.15	0.25	0.15	0.25	1.00	BAFFLED OUTLET ①

กรมชลประทาน

โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

อ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ

ม.2 บ.แม่ออนอก ต.แม่ออ อ.พาน จ.เชียงราย

ทำนบดิน

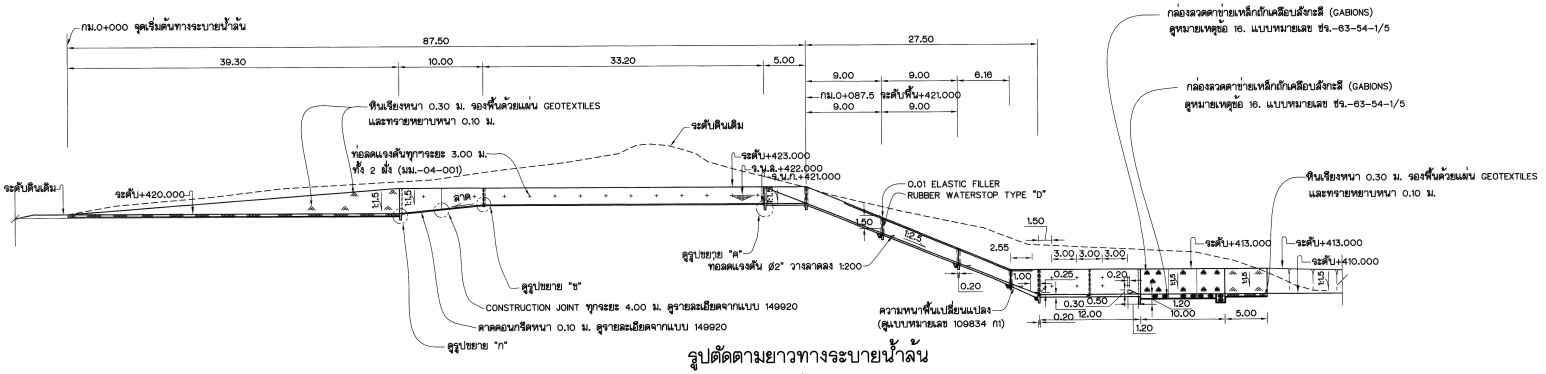
รูปตัดลึกสุด การต่อท่อส่งน้ำในห้องควบคุมและตารางรายละเอียด

ครั้งที่	ตำแหน่ง	รายการแก้ไข	วัน เดือน ปี	ตรวจ	พาน	อนุมัติ
				เลนอ	เห็นชอบ	

ออกแบบ	[illegible]	เลนอ	อบ.ชป.2
เสียน	[illegible]	พาน	สวส.ชป.2
ลอก	[illegible]	เห็นชอบ	ผส.ชป.2
ตรวจ	[illegible]	อนุมัติ	(แทน) ออช.

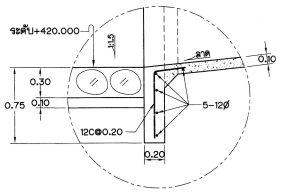
สำนักงานชลประทานที่ 2 จ.ลำปาง วันที่ 2 ธ.ค. 64

ชร.-63-54 4/5



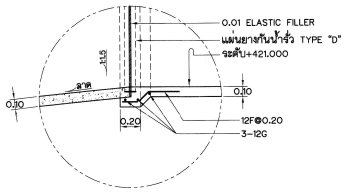
รูปตัดตามยาวทางระบายน้ำล้น

มาตราส่วน 1:300



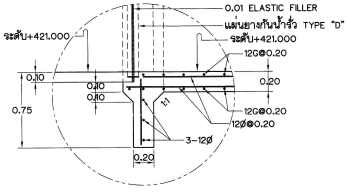
รูปขยาย "ก"

มาตราส่วน 1:25



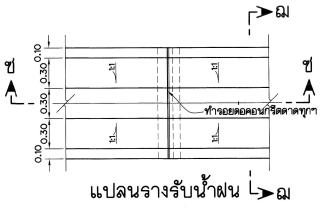
รูปขยาย "ข"

มาตราส่วน 1:25



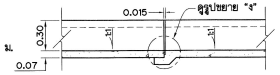
รูปขยาย "ค"

มาตราส่วน 1:25



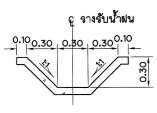
แปลนรางรับน้ำฝน

มาตราส่วน 1:25



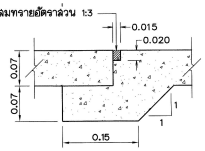
รูปตัด ช-ช

มาตราส่วน 1:25



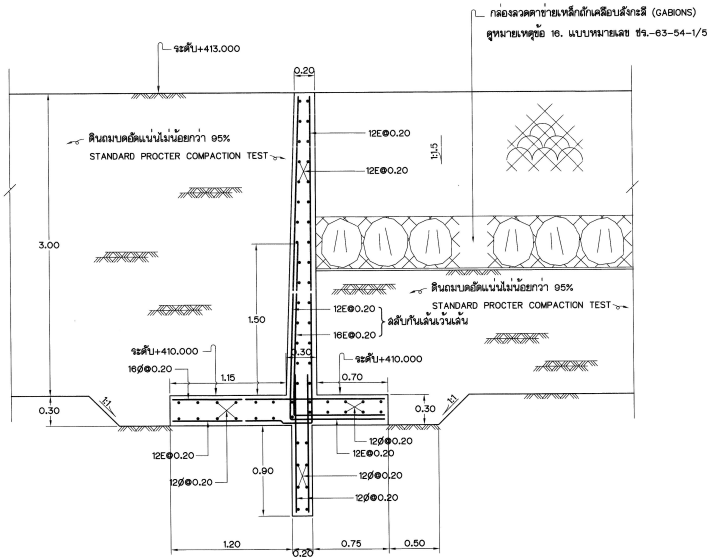
รูปตัด ฌ-ฌ

มาตราส่วน 1:25



รูปขยาย "ง"

มาตราส่วน 1:5



รูปตัด ช-ช (ช.ร.-63-54-2/5)

มาตราส่วน 1:25

ตารางรายละเอียดทางระบายน้ำล้น (ดูแบบหมายเลข 109834ก1)

Q ม.³/วินาที	มิติ																						
	n_3	n_4	n_5	y_5	y_8	y_7	y_8	y_9	u_4	u_5	u'_5	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}	u_{11}	u_{12}	z_6	z_7	z_8	z_9	S
10.95	8.00	5.00	8.00	5.00	9.00	12.00	2.55	10.00	0.20	0.20	0.20	0.30	0.20	0.25	0.40	0.20	0.60	0.15	1.50	0.25	0.40	1.20	1:2.5

ระดับ					การเสริมเหล็ก						หมายเหตุ
จ.น.ล.	v_1	v_2	v_3	v_4	z_1	z'_1	z_2	z_3	z_4	z_5	
+422.000	+423.000	+421.000	+410.000	+413.000	12E@0.20	16E@0.20	12ø@0.20	16ø@0.20	12ø@0.20	12ø@0.20	

หมายเหตุ

1. ระดับ (จ.ท.ก.) และมิติต่างๆ เป็นเมตร ระยะทางเป็นกิโลเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
2. หมายเหตุที่มิได้ระบุดูแบบหมายเลข ช.ร.-63-54-1/5

แบบประกอบ

หมายเลข

1. ทำนบดิน รูปตัด จุดที่ได้โครงการและหมายเหตุแบบประกอบ _____ ช.ร.-63-54-1/5

ครั้งที่	ตำแหน่ง	รายการแก้ไข	วัน เดือน ปี	ตรวจ เสนอ	ผ่าน เห็นชอบ	อนุมัติ

กรมชลประทาน

โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

อ่างเก็บน้ำห้วยป่าดำ

ม.2 บ.แม่ออ้อนอก ต.แม่ออ้อ อ.พาน จ.เชียงราย

ทางระบายน้ำล้น

รูปตัด รูปขยาย การเสริมเหล็กและตารางรายละเอียด

ออกแบบ	เอกวุฒิ (เจษฎาพงศ์ คงสมหมาย)	เสนอ	อบ.ชป.2
เขียน	ลูกเจ้าหน้าที่	ผ่าน	สวล.ชป.2
ลอก	ลูกเจ้าหน้าที่	เห็นชอบ	ผล.ชป.2
ตรวจ	เอกวุฒิ	อนุมัติ	อธช. (แทน)
ฝ่ายออกแบบ สวนวิศวกรรม 25 ส.ค. 64		ช.ร.-63-54	5/5
สำนักงานชลประทานที่ 2 จ.ลำปาง วันที่			