



คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual)

การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก

คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual)

การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก

รหัสคู่มือ สขป.๒/วศ.๓/๒๕๖๐

หน่วยงานที่จัดทำ

ฝ่ายออกแบบ ส่วนวิศวกรรม

สำนักงานชลประทานที่ ๒

ที่ปรึกษา

ผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่ ๒

พิมพ์ครั้งที่ ๑

จำนวน ๑ เล่ม

เดือน สิงหาคม พ.ศ.๒๕๖๐

คำนำ

ตามที่กรมอนุมัติแผนปฏิบัติการจัดการความรู้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.๒๕๖๐ (KM Action Plan ๒๕๖๐) ของสำนัก/กอง เมื่อวันที่ ๒๗ มิถุนายน ๒๕๖๐ โดยให้มีการจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน นั้น

ฝ่ายออกแบบ ส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่ ๒ ซึ่งมีหน้าที่ศึกษารวบรวมข้อมูล ออกแบบ คำนวณทางวิศวกรรม และจัดทำแบบร่างโครงการ (Lay-Out) ให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ครบถ้วนตามมาตรฐาน และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ จึงได้จัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน (work manual) การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก เพื่อแสดงถึงรายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติงานของ กิจกรรม/กระบวนการต่างๆของฝ่ายออกแบบ ส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่ ๒ และใช้ถ่ายทอดให้กับผู้เข้ามาปฏิบัติงานใหม่ รวมทั้งแสดงหรือเผยแพร่ให้กับบุคคลภายนอกหรือผู้ใช้บริการ ให้สามารถเข้าใจและใช้ประโยชน์จากกระบวนการที่มีอยู่เพื่อขอรับบริการที่ตรงกับความต้องการ

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก จะเป็นประโยชน์ต่อท่านผู้อ่านบ้างไม่มากนัก

คณะผู้จัดทำ ฝ่ายออกแบบ
สำนักงานชลประทานที่ ๒
กรมชลประทาน

สารบัญ

	หน้า
๑. วัตถุประสงค์ของการจัดทำคู่มือ	๑
๒. ขอบเขต	๑
๓. คำจำกัดความ	๑
๔. หน้าที่ความรับผิดชอบ	๒
๕. Work Flow กระบวนการ	๖
๖. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	๘
๗. มาตรฐานงาน	๙
๘. ระบบติดตามประเมินผล	๑๒
๙. เอกสารอ้างอิง	๑๔
๑๐. แบบฟอร์มที่ใช้	๑๕

ภาคผนวก

๑) ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบเงื่อนไขโดยทั่วไป	๑๖
๒) การนำความรู้เชิงวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้งานด้านออกแบบและคำนวณ	๒๐
๓) การออกแบบฝ่าย	๖๘
๔) รายชื่อผู้จัดทำ	๘๘

คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual) การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก

๑. วัตถุประสงค์

๑.๑ เพื่อให้ส่วนราชการมีการจัดคู่มือการปฏิบัติงานที่ชัดเจนอย่างเป็นลายลักษณ์อักษรที่แสดงถึงรายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติงานของกิจกรรม/กระบวนการต่างๆของหน่วยงาน และสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงานที่มุ่งไปสู่การบริหารคุณภาพทั่วทั้งองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพเกิดผลงานที่ได้มาตรฐานเป็นไปตามเป้าหมาย ได้ผลิตผลหรือการบริการที่มีคุณภาพและบรรลุข้อกำหนดที่สำคัญของกระบวนการ

๑.๒ เพื่อเป็นหลักฐานแสดงวิธีการทำงานที่สามารถถ่ายทอดให้กับผู้เข้ามาปฏิบัติงานใหม่ พัฒนาการทำงานให้เป็นมืออาชีพ และใช้ประกอบการประเมินผลการปฏิบัติงานของบุคลากร รวมทั้งแสดงหรือเผยแพร่ให้กับบุคคลภายนอกหรือผู้ใช้บริการ ให้สามารถเข้าใจและใช้ประโยชน์จากกระบวนการที่มีอยู่เพื่อ ขอการรับบริการที่ตรงกับความต้องการ

๑.๓ เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก ให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน

๒. ขอบเขต

คู่มือการปฏิบัติงานนี้ครอบคลุมตั้งแต่ การจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้น จนถึงสิ้นสุดกระบวนการจัดทำแบบและส่งมอบแบบให้กับ โครงการเจ้าของพื้นที่/เจ้าของงาน

๓. คำจำกัดความ

มาตรฐาน คือ สิ่งที่เราเป็นเกณฑ์สำหรับเทียบกำหนด ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ (พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ.๒๕๔๒)

มาตรฐานการปฏิบัติงาน (Performance Standard) เป็นผลการปฏิบัติงานในระดับใดระดับหนึ่งซึ่งถือว่าเป็นเกณฑ์ที่น่าพอใจหรืออยู่บนระดับที่ผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่ทำได้ โดยจะมีกรอบในการพิจารณา กำหนดมาตรฐานหลายๆด้าน อาทิ ด้านปริมาณ คุณภาพระยะเวลา ค่าใช้จ่าย หรือพฤติกรรมของผู้ปฏิบัติงาน

ผวศ.ขป.๒ ผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่ ๒

อบ.ขป.๒ หัวหน้าฝ่ายออกแบบ สำนักงานชลประทานที่ ๒

พค.ขป.๒ หัวหน้าฝ่ายพิจารณาโครงการ สำนักงานชลประทานที่ ๒

ปธ.ขป.๒ หัวหน้าฝ่ายปฏิและธรณีวิทยา สำนักงานชลประทานที่ ๒

สร.ขป.๒ หัวหน้าฝ่ายสำรวจภูมิประเทศ สำนักงานชลประทานที่ ๒

มาตรฐานงานออกแบบของสำนักงานชลประทานที่ ๒ ใช้รูปแบบมาตรฐานการออกแบบและเขียนแบบของสำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม กรมชลประทาน

มาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีตงานออกแบบของสำนักงานชลประทานที่ ๒ ใช้รูปแบบจากมาตรฐานการออกแบบและเขียนแบบของกรมชลประทาน

๔. หน้าที่ความรับผิดชอบ

๔.๑ ผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรม มีหน้าที่รับผิดชอบในการพิจารณางานที่ได้รับการร้องขอ และ
อำนวยความสะดวกในการบริหารงานบรรลุนิติบุคคลกระบวนการ

๔.๒ หัวหน้าฝ่ายออกแบบ มีหน้าที่รับผิดชอบในการจัดทำแผนงาน กำกับ ดูแลการดำเนินงานให้เป็นไป
ตามแผนงานและมาตรฐานวิชาการ ตรวจสอบแบบให้ถูกต้องตามหลักวิชา รวมถึงแก้ไขปัญหาทางานที่ยุ่งยาก
ซับซ้อน

๔.๓ วิศวกรชลประทานปฏิบัติการ/ชำนาญการ วิศวกรชลประทาน มีหน้าที่รับผิดชอบในการศึกษา
รวบรวมข้อมูล ออกแบบคำนวณทางวิศวกรรม และจัดทำแบบร่างโครงการ (Lay-Out) โดยต้องคำนึงถึงความ
ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ครบถ้วนตามมาตรฐาน การนำไปใช้ประโยชน์ และตรงตามวัตถุประสงค์/ความ
ต้องการของราษฎร

๔.๔ นายช่างชลประทาน/ช่างเขียน มีหน้าที่รับผิดชอบในการนำแบบร่างโครงการ (Lay-Out) มาจัดทำ
เป็นแบบให้สมบูรณ์เพิ่มเติมองค์ประกอบ ให้ครบถ้วนตามมาตรฐานการเขียนแบบ ถูกต้องตามมาตรฐาน

สรุปกระบวนการจัดทำคู่มือการออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก

กระบวนการจัดทำคู่มือการปฏิบัติงานของกรมชลประทาน ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ ดังนี้

๑.๑ มอบหมายงานแก่ผู้ออกแบบ ขั้นตอนนี้หัวหน้าผ่านออกแบบ จะเป็นผู้มอบหมาย แก่ข้าราชการ/พนักงานราชการ ตำแหน่งวิศวกรชลประทาน ปฏิบัติการ/ชำนาญ วิศวกรชลประทาน ทำหน้าที่รับผิดชอบหลักในการออกแบบ

๑.๒ รวบรวมข้อมูลเบื้องต้น ในขั้นตอนการทำงานนี้ ผู้ที่ได้รับมอบหมายงานออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็กจะต้องเป็นผู้รวบรวมข้อมูล ที่จำเป็นต่อการออกแบบ ได้แก่ ผลศึกษาพิจารณาโครงการเบื้องต้น (ติดต่อขอรับจาก ฝ่ายพิจารณาโครงการ สขป.๒), ผลสำรวจภูมิประเทศ (ขอรับได้จากฝ่ายสำรวจภูมิประเทศ) และ ผลสำรวจทางธรณีวิทยา (ติดต่อขอรับจาก ฝ่ายปฐพีและธรณีวิทยา สขป.๒)

๑.๓ ติดต่อ/ประสานงาน หน่วยงาน เพื่อตรวจสอบข้อมูล ในขั้นตอนนี้ เมื่อได้รับข้อมูลเบื้องต้นจากหน่วยงานต่างๆ ผู้ได้รับมอบหมายควรทำการตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้น ได้แก่ ตรวจสอบว่าข้อมูลจากฝ่ายต่างๆตรงกัน ได้แก่ชื่อโครงการชลประทานขนาดเล็กนั้นๆ ทั้งทางด้านที่ตั้ง พิกัดแผนที่ ตลอดจนความถูกต้องของข้อมูลว่าเป็นปัจจุบัน /หรือเป็นฉบับสมบูรณ์ชุดล่าสุด เมื่อทำการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นตรงกันแล้ว จะต้องติดต่อประสานงานไปยัง โครงการชลประทานจังหวัด/โครงการส่งน้ำ เจ้าของพื้นที่/เจ้าของโครงการ เพื่อขอตรวจสอบพื้นที่หน้างานจริง สอบถามข้อมูลเบื้องต้น ศึกษาผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น เพื่อให้โครงการที่เกิดขึ้นตรงตามวัตถุประสงค์ของราษฎร

๑.๔ ดำเนินการออกแบบ ทำรายการคำนวณทางด้านวิศวกรรม (ด้านชลศาสตร์) พร้อมทำแบบโครงร่าง (Lay-out) เมื่อทำการตรวจสอบโครงร่าง ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมแล้ว จึงดำเนินการออกแบบรายละเอียดจากแบบโครงร่าง เช่น ออกแบบโครงสร้าง และรายละเอียดอื่นๆที่เกี่ยวข้อง และเมื่อรายละเอียดครบถ้วนแล้วจึงมอบหมายให้ช่างเขียน/ลอก จัดแบบ และทำรายละเอียดแบบให้สมบูรณ์ ครบถ้วน

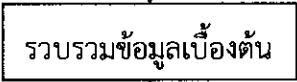
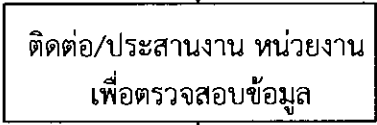
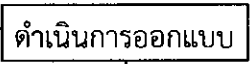
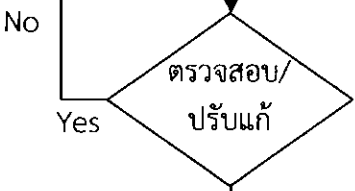
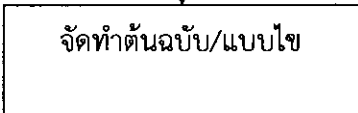
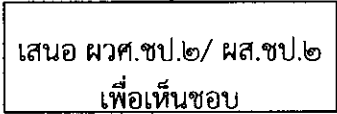
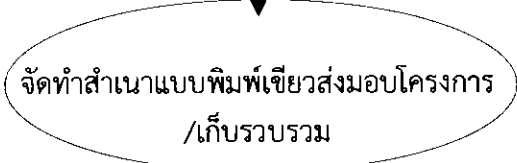
๑.๕ ตรวจสอบ/ปรับแก้ ตรวจสอบความถูกต้องของแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก ให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมชลศาสตร์ และถูกต้องตามมาตรฐานการเขียนแบบ

๑.๖ จัดทำต้นฉบับ/แบบไซ เมื่อแบบโครงการชลประทานขนาดเล็กได้จัดทำให้สมบูรณ์ครบถ้วน ตามหลักวิชาวิศวกรรม และมาตรฐานงานเขียนแบบแล้ว ให้จัดทำแบบไซ ขนาด A๑ เพื่อเสนออนุมัติ ในลำดับต่อไป

๑.๗ เสนอ ผวศ.ขป.๒/ ผส.ขป.๒ เพื่อเห็นชอบ

๑.๘ จัดทำสำเนาแบบพิมพ์เขียวส่งมอบโครงการ/เก็บรวบรวม

Work Flow กระบวนการจัดทำคู่มือการออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก

ลำดับที่	ผังกระบวนการ	เวลา(วัน)
๑		๑
๒		๒
๓		๑
๔		๒๐
๕		๕
๖		๑
๗		๑
๘		๑

๕. Work Flow กระบวนการ

ชื่อกระบวนการ : การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก

ตัวชี้วัดผลลัพธ์กระบวนการจัดการข้อร้องเรียน :

ลำดับที่	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา	ผู้รับผิดชอบ	รายละเอียดงาน
๑.	มอบหมายงานแก่ผู้ออกแบบ	๑	อบ.ชป.๒	๑.๑ อบ.ชป.๒ เป็นผู้มอบหมายชิ้นงานแก่ วิศวกรผู้ออกแบบ
๒.	รวบรวมข้อมูลเบื้องต้น	๑-๓	ผู้ออกแบบ	๒.๑ได้รับข้อมูลรายงานศึกษาพิจารณาโครงการจากฝ่ายพิจารณาโครงการ ๒.๒ได้รับผลสำรวจภูมิประเทศจากฝ่ายสำรวจภูมิประเทศ และดำเนินการจากแบบไซ ให้เป็นไฟล์ดิจิทัล ๒.๓ได้รับผลสำรวจธรณีจากฝ่ายธรณี
๓.	ติดต่อ/ประสานงาน หน่วยงาน เพื่อตรวจสอบข้อมูล	๑	อบ.ชป.๒/ ผู้ออกแบบ	๓.๑ นำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบความถูกต้อง ๓.๒ ดำเนินการตรวจสอบสภาพภูมิประเทศ ณ สถานที่ที่จะทำการออกแบบโครงการ ชลประทานขนาดเล็ก ว่าสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้รับจาก กระบวนการลำดับที่ ๒ หรือไม่ ๓.๓ หากข้อมูล ณ สถานที่จริงมีความขัดแย้ง/ข้อมูลไม่เพียงพอ ให้ดำเนินการแจ้งโครงการ เจ้าของพื้นที่เพื่อจัดหาข้อมูลเพิ่มเติม
๔.	ดำเนินการออกแบบ	๒๐	ผู้ออกแบบ/ช่าง เขียน	๔.๑ ทำรายการคำนวณทางด้านวิศวกรรม(ด้านชลศาสตร์) พร้อมทำแบบโครงร่าง (Lay-out) ๔.๒ ตรวจสอบโครงร่าง ให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ๔.๓ ดำเนินการออกแบบรายละเอียดจากแบบโครงร่าง เช่น ออกแบบโครงสร้าง และ รายละเอียดอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ๔.๔ มอบหมายให้ช่างเขียน/ลอก จัดทำรายละเอียดแบบให้สมบูรณ์ ครบถ้วน
๕.	ตรวจสอบ/ ปรับแก้	๕	อบ.ชป.๒	๕.๑ จัดทำแบบขนาด A๓ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบทั้งทางด้านวิศวกรรม และ มาตรฐานการเขียนแบบ

				๕.๒ เตรียมข้อมูลเบื้องต้น ที่มาของโครงการ รายการคำนวณทางวิศวกรรมศาสตร์ เสนอแก่ผู้ตรวจสอบ/เพื่อประกอบการตรวจสอบแบบ ๕.๒ ในขั้นตอนการตรวจสอบ หากมีข้อบกพร่อง/ผิดพลาด ให้ดำเนินการแก้ไขให้แล้วเสร็จ
๖.	จัดทำต้นฉบับ/แบบไข	๑	ช่างเขียน	๖.๑ จัดทำแบบไข ขนาด A๑ เพื่อเป็นต้นฉบับสำหรับเสนอ/อนุมัติ ๖.๒ ตรวจสอบครั้งสุดท้ายก่อนอนุมัติ หากพบข้อผิดพลาดควรดำเนินการแก้ไขให้ถูกต้อง
๗.	เสนอ ผวศ.ขบ.๒/ ผส.ขบ.๒ เพื่อเห็นชอบ	๑	อบ.ขบ.๒	๗.๑ จัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้น เพื่อชี้แจงรายละเอียดของแบบต่อผู้บังคับบัญชา ๗.๒ เสนอแบบต้นฉบับเพื่ออนุมัติ
๘.	จัดทำสำเนาแบบพิมพ์เขียว ส่งมอบโครงการ /เก็บรวบรวม	๑	ช่างเขียน	๘.๑ นำแบบที่อนุมัติแล้ว/สมบูรณ์ แสกนเพื่อบันทึกเป็นไฟล์ดิจิทัล และจัดทำพิมพ์เขียว ๘.๒ นำแบบพิมพ์เขียว ส่งมอบโครงการ และเก็บแบบไขต้นฉบับไว้ที่ห้องเก็บแบบ

๖. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

การออกแบบและคำนวณต้องใช้องค์ความรู้ด้านวิศวกรรมโยธาเพื่อจัดทำแนวความคิดในการดำเนินการออกแบบ เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานสำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม

๖.๑ ความรู้ทางวิชาการหรือแนวความคิดที่ใช้ในการดำเนินการ

๖.๑.๑ ความรู้ในสาขาวิชาการต่างๆ ที่จำเป็นต้องนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินการ อาทิเช่นความรู้ทางด้านอุทกวิทยา (Hydrology) วิศวกรรมชลประทาน (Irrigation Engineering) วิศวกรรมชลศาสตร์ (Hydraulics Engineering) วิศวกรรมโครงสร้าง (Structure Engineering) ภูมิกลศาสตร์ (Soil Mechanics) วิศวกรรมฐานราก (Foundation Engineering) นำไปสู่การคำนวณหาขนาดความสูงของอาคาร ความยาวพื้น และกำแพงข้าง กำหนดวิธีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งและลำน้ำ การซึมของน้ำลอดผ่านใต้พื้นอาคาร และ ฯลฯ

๖.๑.๒ การประยุกต์ใช้ความรู้ และประสบการณ์ในการออกแบบ เพื่อนำมาตรวจสอบข้อมูลต่าง การนำข้อมูลมาวิเคราะห์ เพื่อเลือกประเภทของตัวอาคาร ประเภทของอาคารสลายพลังงาน วัสดุที่ใช้ในการป้องกันการกัดเซาะ

๖.๑.๓ จากข้อกำหนดของสภาพภูมิประเทศ และสภาพทางด้านธรณีวิทยา แล้วจึงนำไปกำหนดแนวคิดที่จะใช้ในการดำเนินการออกแบบอาคารในลักษณะต่างๆ

๖.๒ ขั้นตอนการดำเนินการทั่วไป

กระบวนการงานออกแบบโครงการชลประทาน เมื่อประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่างๆแล้วมีขั้นตอนการปฏิบัติงานและการกำหนดแนวทางในการออกแบบเพื่อความเหมาะสมดังนี้

๖.๒.๑ ศึกษารายละเอียดจาก รายงานการ พิจารณาโครงการ และจากผลสำรวจภูมิประเทศและธรณีวิทยา

๖.๒.๒ วางแผนการออกแบบและเดินทางไปตรวจสอบสภาพภูมิประเทศ

๖.๒.๓ กำหนด Design Criteria ในการออกแบบและกำหนดตำแหน่งที่ตั้งและรูปแบบของอาคาร

๖.๒.๔ กำหนดขอบเขตการสำรวจภูมิประเทศเพิ่มเติม (กรณีรายละเอียดไม่เพียงพอ)

๖.๒.๕ พิจารณาการคำนวณวิเคราะห์การออกแบบและคำนวณด้านชลศาสตร์เพื่อกำหนดขนาดและรูปร่างของอาคาร

๖.๒.๖ กำหนดขนาดและรูปร่างและคำนวณทางด้านโครงสร้างของอาคารเพื่อความมั่นคงแข็งแรงของอาคารเพื่อให้เป็นตามหลักวิศวกรรมและเหมาะสมสอดคล้องกับสภาพข้อมูลด้านต่างๆ

๖.๒.๗ ตรวจสอบรายการคำนวณประกอบแบบแปลน และจัดทำแบบแปลนต้นฉบับให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ตามมาตรฐานของกรม

๖.๒.๘ รวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเพื่อชี้แจง และนำแบบต้นฉบับเพื่อเสนออนุมัติ

๖.๒.๙ แจ้งโครงการเพื่อมารับสำเนาแบบไปดำเนินการตามแผนงานก่อสร้างต่อไป

๗. มาตรฐานงาน

๗.๑ การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก ใช้หลักความรู้ในการศึกษา คำนวณ ออกแบบ ตามหลักวิชาวิศวกรรมชลศาสตร์ ดังนี้

๗.๑.๑ Design of Small dams; A water Resources Technical Publication, United States Department of the Interior, Stewart L. Udall, Secretary, Bureau of Reclamation.

๗.๑.๒ Design of small canal Structures; United States Department of the Interior, Stewart L. Udall, Secretary, Bureau of Reclamation.

๗.๑.๓ มาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีต; กรมชลประทาน กองวิชาการ

๗.๑.๔ มาตรฐานคู่มือการออกแบบอาคารชลประทานในระบบส่งน้ำและระบายน้ำ; จรรยาบรรณ และคณะกรรมการชลประทาน

๗.๒ การอ้างอิง มิติ รูปทรงต่างๆตามรายชื่อแบบมาตรฐาน เช่น

๗.๒.๑ แบบมาตรฐาน อ่างเก็บน้ำ

ลำดับที่	รายการ	หมายเลขแบบ
๑	ทำนบกั้นดินสูงไม่เกิน ๑๐.๐๐ ม.	๑๓๕๒๒๗
๒	ทำนบกั้นดินสูงไม่เกิน ๒๐.๐๐ ม.	๘๙๒๖๘๓๑, ๘๙๒๖๘๓๑
๓	ทำนบกั้นดิน	๑๐๘๘๔๒
๔	ทางระบายน้ำล้น	๘๖๗๑๘
๕	ทางระบายน้ำล้น (พื้นที่กว้างไม่เกิน ๑๐.๐๐ ม.)	๑๐๘๘๔๓๑
๖	ทางระบายน้ำล้น (พื้นที่กว้างเกิน ๑๐.๐๐ ม.)	๑๐๘๘๔๓๒
๗	อาคารแบ่งน้ำและน้ำตกแบบรางเท	๑๐๘๘๔๓
๘	ตะแกรงกันสวะ	๑๐๘๘๒๔
๙	ท่อส่งน้ำ ขนาด ศก.๐.๒๐-๐.๕๐ ม.	๑๐๘๘๒๕
๑๐	ท่อส่งน้ำ ขนาด ศก.๐.๖๐-๐.๙๐ ม.	๑๐๘๘๓๖
๑๑	Control Room ท่อขนาด ศก.๐.๒-๐.๕๐ ม.	๑๐๘๘๒๖
๑๒	Control Room ท่อขนาด ศก.๐.๖-๐.๙๐ ม.	๑๐๘๘๓๗
๑๓	Baffled Outlet ขนาดกว้าง ๑.๐๐-๒.๔๐ ม.	๑๐๘๘๒๗
๑๔	Baffled Outlet ขนาดกว้าง ๒.๖๐-๓.๐๐ ม.	๑๐๘๘๓๘

๗.๒.๒ แบบมาตรฐานฝาย

ลำดับที่	รายการ	หมายเลขแบบ
๑	ฝายคอนกรีตล้นบนหินใหญ่	๙๙๕๖๖๓๑
๒	ทรบ.ปากครอง (๑ช่อง)	๑๔๓๖๑๑
๓	ทรบ.ปากครอง (๒ช่อง)	๑๐๖๒๔๖
๔	สะพานคนเดินและอาคารควบคุม	๑๓๓๓๕๔
๕	Outlet Transition ของรางริน	๑๔๙๘๖๗/๑๔๓๖๑๗
๖	Vertical Gate ๑.๐๐*๑.๐๐ ม.	๓๑๘๘๓๗
๗	เครื่องกว้านขนาด ๒๒๕๐ กก.	๓๑๐๒๖

๘	บันไดลิง	๘๔๗๘๓/๓๐๕๘๓
๙	มาตรฐานท่อลดความดัน	มม.-๐๔-๐๐๑
๑๐	แผ่นยางกันน้ำรั่ว	๒๙๒๘๒
๑๑	Expansion Construction Joint	๒๙๔๕๖
๑๒	บานระบายขนาด ๒.๔๐x๒.๑๐	มฐก-๒-๐๐๔
๑๓	เครื่องกว้านขนาด ๖๕๐๐ กก.	๓๖๘๖๔
๑๔	ท่อระบายน้ำ	๑๐๙๙๖๖/๑๐๙๙๖๗
๑๕	บานระบายขนาด ๑.๘๐x๑.๕๐	มฐก-๒-๐๐๒
๑๖	บานระบาย ๑-๗ก.๐.๓๐ ม.	๓๐๑๖๘
๑๗	เครื่องกว้านขนาด ๔ ตัน	๓๓๕๐๔
๑๘	เครื่องกว้านขนาด ๒ ๑/๒ ตัน	๓๓๕๐๓
๑๙	เครื่องกว้านขนาด ๑๒ ตัน	๔๑๘๖๙

๗.๒.๓ แบบมาตรฐานระบบส่งน้ำ

ลำดับที่	รายการ	หมายเลขแบบ
๑	คลองส่งน้ำ	๗๙๑๖๑
๒	คลองส่งน้ำ	๑๔๙๙๒๐
๓	หมายเหตุทั่วไปของอาคาร	๗๙๐๘๑
๔	หมายเหตุทั่วไปของคลองส่งน้ำ	๗๙๐๑๖
๕	ท่อส่งน้ำเข้านา	๘๙๑๑๕/๑๑๙๑๗๓
๖	รางเท	๑๓๓๒๙๙
๗	สะพานน้ำ	๑๓๓๒๙๘/๑๔๓๕๙๒/๑๔๓๖๐๑
๘	ท่อลอดคลอง	๘๔๘๔๘/๗๙๐๙๔
๙	ท่อลอดถนน	๗๙๐๙๐/๗๙๑๕๒/๗๙๑๕๓
๑๐	ท่อลอดถนนอัดน้ำ	มม.-๐๔-๐๑๑
๑๑	ท่อลอดถนนอัดน้ำลดระดับ	มม.-๐๔-๐๑๖
๑๒	อาคารอัดน้ำ	มม.-๐๔-๐๑๘
๑๓	น้ำตกอัดน้ำ	มม.-๐๔-๐๒๐
๑๔	ทรบ.ปลายคลอง	มม.-๐๔-๐๒๓
๑๕	ท่อเหลี่ยม	๘๖๗๖๒
๑๖	รางริน	๑๔๓๕๙๑/๙๐๑๗๖
๑๗	Manhole	๘๙๒๒๔
๑๘	รางน้ำ คสล.	๑๓๓๓๑๑
๑๙	อาคารรับน้ำ	๘๔๗๙๖
๒๐	อาคารทิ้งน้ำ	๗๙๑๕๔
๒๑	อาคารแบ่งน้ำ	คพย.๑-๑๑๙
๒๒	รางริน คสล.ขนาด ๐.๗๐*๐.๕๐ ม.	มม.-๐๓-๐๕๓

๗.๒.๔ แบบมาตรฐานประปาภูเขา

ลำดับที่	รายการ	หมายเลขแบบ
๑	ฝายหินก่อบนฐานรากหินแข็ง	คพย.๑-๒๒๐/สขป.๒-๗-๓๕๐๗/สขป.๒-๓๘-๐๒
๒	แบบมาตรฐานการวางท่อส่งน้ำ	๘๖๗๐๑/สขป.๒-๗-๓๓๐๒
๓	อาคารประกอบท่อส่งน้ำ(PVC)	สขป.๒-๑-๓๓๐๓
๔	บ่อพักน้ำความจุ ๑๐๐ ลบ.ม.	สขป.๒-๑-๓๓๐๕
๕	ถังกรองน้ำ ศก.๐.๗๖ ม. และประตุน้ำ	สขป.๒-๑-๓๔๐๓
๖	อาคารประกอบท่อส่งน้ำ (ท่อเหล็กอาบสังกะสี)	สขป.๒-๑-๓๓๐๖
๗	ถังพักน้ำ ๓๐ ลบ.ม.	สขป.๒-๓๘-๐๔
๘	ถังพักน้ำ ๑๕๐ ลบ.ม.	สขป.๒-๓๘-๐๕/สขป.๒-๔๖-๐๓
๙	ถังพักน้ำ ๕๐๐ ลบ.ม.	สขป.๒-๔๓-๐๕
๑๐	หมายเหตุทั่วไป	สขป.๒-๑-๓๑๐๙
๑๑	การวางท่อข้ามห้วย	สขป.๒-๑-๓๓๑๐
๑๒	ถังพักน้ำ ๒๗๐ ลบ.ม.	สขป.๒-๑-๓๒๐๒
๑๓	บ่อพักน้ำความจุ ๘๕๐ ลบ.ม.	สขป.๒-๑-๓๒๐๗
๑๔	อาคารประกอบท่อส่งน้ำ	สขป.๒-๗-๓๐๑๑
๑๕	ถังพักน้ำ ๖๕ ลบ.ม.	สขป.๒-๗-๓๒๐๕
๑๖	Trust block	สขป.๒-๑-๓๓๑๒

๘. ระบบติดตามประเมินผล

กระบวนการ	มาตรฐานคุณภาพงาน	วิธีการติดตามประเมินผล	ตัวชี้วัดกระบวนการในจุดวิกฤต	ผู้ติดตาม/ประเมินผล
๑.มอบหมายงานแก่ผู้ออกแบบ	แผนงานตามที่ขอรับงบประมาณประจำปี	ให้ผู้ออกแบบจัดทำแผนการทำงาน สำหรับงานที่ได้รับมอบหมาย	ตารางการปฏิบัติงานและหน้าที่รับผิดชอบ	อบ.ชป.๒
๒.รวบรวมข้อมูลเบื้องต้น	ข้อมูลที่ได้รับ มีความถูกต้อง ตรงกัน	แผนการทำงาน สำหรับงานที่ได้รับมอบหมาย	ข้อมูลที่รวบรวม ครบถ้วน เพียงพอต่อการออกแบบโครงการชลประทาน ขนาดเล็ก	วิศวกรชลประทาน ปฏิบัติการ/ชำนาญการ (ผู้ทำการออกแบบ)
๓.ติดต่อ/ประสานงานหน่วยงาน เพื่อตรวจสอบข้อมูล	รวบรวมข้อมูลและแผนที่ต่างๆที่เกี่ยวข้อง อ้างอิงได้ ให้ครบถ้วนและเป็นปัจจุบัน/สำรวจพื้นที่จริงร่วมกับฝ่ายออกแบบและฝ่ายสำรวจภูมิประเทศ	ตรวจสอบข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องให้ครบถ้วน	ข้อมูลที่รวบรวม ครบถ้วน เพียงพอต่อการออกแบบโครงการชลประทาน ขนาดเล็ก	วิศวกรชลประทาน ปฏิบัติการ/ชำนาญการ (ผู้ทำการออกแบบ)
๔.ดำเนินการออกแบบ	หลักวิศวกรรมชลศาสตร์/ วิศวกรรมโครงสร้าง/และหลักการเขียนแบบของ	ดำเนินการออกแบบตามหลักการตามวิชาการ	ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมชลศาสตร์/ วิศวกรรมโครงสร้าง/	วิศวกรชลประทาน ปฏิบัติการ/ชำนาญการ

	สำนักออกแบบ		และหลักการเขียนแบบของสำนัก ออกแบบ	(ผู้ทำการออกแบบ)
๕.ตรวจสอบ/ปรับแก้	ตรวจสอบคุณภาพตามหลักวิศวกรรม ศาสตร์/ วิศวกรรมโครงสร้าง/และ หลักการเขียนแบบของสำนักออกแบบ	ตรวจสอบความถูกต้องของ หลักการตามวิชาการ/ตรง ตามวัตถุประสงค์ของโครงการ	ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ศาสตร์/ วิศวกรรมโครงสร้าง/ และหลักการเขียนแบบของสำนัก ออกแบบ	อบ.ชป.๒
๖.จัดทำต้นฉบับ/แบบไซ	ถูกต้องตามมาตรฐานการเขียนแบบ		ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ศาสตร์/ วิศวกรรมโครงสร้าง/ และหลักการเขียนแบบของสำนัก ออกแบบ	นายช่างชลประทาน/ ช่างเขียน
๗.เสนอ ผวศ.ชป.๒/ ผส.ชป.๒ เพื่อเห็นชอบ	ตรวจสอบความถูกต้องของหลักการ ตามวิชาการ/ตรงตามวัตถุประสงค์ของ โครงการ		ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ศาสตร์/ วิศวกรรมโครงสร้าง/ และหลักการเขียนแบบของสำนัก ออกแบบ	วิศวกรชลประทาน ปฏิบัติการ/ชำนาญการ (ผู้ทำการออกแบบ)
๘.จัดทำสำเนาแบบพิมพ์เขียว ส่งมอบโครงการ/เก็บรวบรวม				นายช่างชลประทาน/ ช่างเขียน

๙. เอกสารอ้างอิง

๙.๑ กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม; กองวิจัยและทดลองกรมชลประทาน

๙.๑.๑ คู่มืองานเชื่อมดินขนาดเล็กและฝาย; ปราโมทย์ ไม่กลัด

๙.๑.๒ วิศวกรรมฐานราก; ดร.วรากร ไม่เรียง

๙.๑.๓ การออกแบบอาคารบังคับน้ำ; ดร.วราวุธ วุฒินิชย์

๙.๑.๔ ประมวลผลัดวิชาชีพในการออกแบบฝาย; รศ.สันติ ทองพำนัก คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

๑๐. แบบฟอร์มที่ใช้

๑๐.๑ แบบฟอร์ม กรอบขนาด A๑

୧୫

[illegible]

ภาคผนวก

๑. ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบเขื่อนโดยทั่วไป

เกณฑ์การออกแบบชนิดเขื่อน จะพิจารณาร่วมกับสภาพธรณีวิทยาฐานรากบริเวณที่ตั้งเขื่อนและชนิดของวัสดุที่หาได้ในบริเวณใกล้เคียงที่ตั้งโครงการ ดังนั้นหลักการออกแบบเขื่อนมีเกณฑ์ ดังนี้

๑) เขื่อน ฐานราก ฐานยัน (Abutment) จะต้องมีความมั่นคงแข็งแรง สามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจาก การก่อสร้างและการสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหวได้ปลอดภัย

๒) การกำหนดความสูงตัวเขื่อนจะต้องสูงพอและปลอดภัยไม่ให้น้ำไหลข้ามสันเขื่อน (Overtopping) ในขณะที่เกิดปริมาณน้ำสูงสุดไหลลงอ่างเก็บน้ำ โดยพิจารณาข้อมูลความเร็วลม ความสูงของคลื่น กำหนดขนาดของอาคารระบายน้ำล้นและขนาดท่อระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำ เพื่อให้มีความสามารถพอที่จะระบายน้ำได้

๓) การออกแบบระยะเพื่อการทรุดตัวของเขื่อน

๔) ลาดของตัวเขื่อนด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ จะต้องมั่นคงไม่ว่าจะอยู่ใน

- ระหว่างการก่อสร้าง (During Construction)
- ก่อสร้างเสร็จแล้ว (End Construction)
- ระหว่างการเก็บกักน้ำเต็มที (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 ซึ่งได้แก่ กลุ่มดินต่าง ๆ โดยเรียงจากกลุ่มดินที่เหมาะสมมากที่สุดตามลำดับลงไป ได้แก่

๑.๑) GC กรวดผสมดินเหนียวมีทรายผสมอยู่บ้าง คุณสมบัติที่บีบน้ำ Shear Strength สูง Pore Pressure ไม่สูงขณะบดอัด

๑.๒) GM กรวดผสมดินตะกอน กรวดมีอัตราส่วนละเอียด คุณสมบัติ ร่วนซุย Shear Strength ค่อนข้างสูง บดอัดง่าย

๑.๓) SC ทรายผสมดินเหนียว คุณสมบัติที่บีบน้ำได้มาก บดอัดง่าย

๑.๔) SM ทราเยผสมตะกอนทรายมีขนาดสม่ำเสมอ คุณสมบัติรั่วซึมค่อนข้างน้อย บดอัดยาก

๑.๕) CL ดินเหนียว มีทรายผสมหรือกรวดละเอียดปนบ้าง คุณสมบัติที่บีบน้ำดี บดอัดยาก Pore Pressure สูง

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

การเลือกที่สร้างเขื่อนดิน

การเลือกที่สร้างเขื่อนดิน ควรพิจารณาหลักที่สำคัญในการพิจารณา ดังนี้

๑. ควรสร้างเขื่อนดินในบริเวณที่เขื่อนจะมีความยาวน้อยที่สุด ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณดินถมตัวเขื่อน และค่าก่อสร้าง

๒. ที่สร้างเขื่อนดินขนาดเล็ก หากไม่จำเป็นแล้วไม่ควรสร้างบนฐานรากที่เป็นหิน เพราะจะต้องทำการตรวจสอบฐานรากนั้นให้ละเอียดเสียก่อนว่า หินมีรอยแตกอยู่มากน้อยเพียงใด อาจต้องมีการระเบิดหิน หรืออัดฉีดน้ำปูนเข้าไปอุดรอยแตกร้าวของหินจนตลอดแนวเขื่อนเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งจะทำให้ราคาก่อสร้างเพิ่มมากขึ้นไปด้วย

๓. ไม่ควรสร้างเขื่อนดินบนฐานรากที่มีน้ำพุ ดาน้ำ หรือบริเวณที่ดินของลาดเนินสองฝั่งเคยเลื่อนหลายลง เพราะแสดงว่าฐานรากจะสร้างเขื่อน และเหนือเขื่อนขึ้นไปนั้นมีชั้นทราย หรือกรวดที่รั่วซึมได้สะดวก ซึ่งอาจมีความหนาแน่นมากและทับถมกันอยู่ไม่ค่อนแน่น หากจะเป็นควรตรวจสอบฐานราก และออกแบบปรับปรุงฐานรากเป็นพิเศษ

๔. ควรสร้างเขื่อนให้อยู่ในตำแหน่งสูงที่สามารถจะนำน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำไปใช้ในพื้นที่ที่ต้องการได้ โดยวิธีปล่อยให้ไหลไปตามคูคลองด้วยแรงดึงดูดของโลก สำหรับการสูบน้ำขึ้นไปใช้จะเสียค่าใช้จ่ายแพง

๕. ทำเลที่สร้างเขื่อนจะต้องมีดินที่มีคุณสมบัติใช้ทำการก่อสร้างตัวเขื่อนได้ในปริมาณที่มากเพียงพอ และอยู่ในบริเวณใกล้เคียง

๖. ควรพิจารณาด้วยว่าตำแหน่งที่จะสร้างเขื่อนนั้นมีถนนอยู่เคียงหรือไม่ หากไม่มีและจำเป็นต้องสร้างถนนไปยังที่ตั้งเขื่อนแล้ว ควรพิจารณาเสียก่อนว่าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายมากน้อยเพียงไร เมื่อเทียบกับค่าก่อสร้างเขื่อน

๗. การกำหนดที่สร้างเขื่อน ควรพิจารณารวมไปถึงตำแหน่งที่ตั้งอาคารระบายน้ำล้นด้วยว่า สภาพภูมิประเทศและลักษณะดินมีความเหมาะสมต่อการก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้นตามขนาดที่ต้องการได้ อย่างประหยัดหรือไม่ ที่ตั้งเขื่อนบางแห่งอาจจะมีภูมิประเทศและดินฐานรากที่ทำการก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้นมีราคาแพงเกินไปก็ได้ จึงควรพิจารณาให้รอบคอบ

๘. ทำเลที่สร้างเขื่อนจะต้องมีพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อนที่มีขนาดใหญ่มากพอที่จะมีน้ำไหลลงมา ให้เก็บกักได้เพียงพอกับความต้องการใช้งาน หรือสามารถเก็บกักไว้เต็มอ่างเก็บน้ำได้เกือบทุกปี

๙. เขื่อนดินที่มีขนาดเล็กเก็บกักน้ำได้จำนวนไม่มากนัก ไม่ควรสร้างในที่ลุ่มน้ำที่มีพื้นที่รับน้ำฝนขนาดใหญ่เกินไป เพราะนอกจากจะต้องสร้างอาคารระบายน้ำล้นที่มีขนาดใหญ่เพื่อระบายน้ำจำนวนมากให้ได้ด้วย ราคาก่อสร้างที่แพงแล้ว พื้นที่รับน้ำฝนขนาดใหญ่จะต้องมีตะกอนถูกน้ำพัดพามาสะสมในอ่างเก็บน้ำมากด้วยเช่นกัน หากไม่ศึกษาเรื่องนี้ให้ละเอียดก่อนตัดสินใจก่อสร้าง อ่างเก็บน้ำที่มี ความจุน้อยก็อาจจะถูกตะกอนตกรับถมจนเต็มภายในระยะเวลาไม่กี่ปี

โครงการ อ่างเก็บน้ำห้วยหมูโหล้อถือว่าเป็นโครงการชลประทานประเภทอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก เป็นอาคารขวางทางที่เป็นส่วนสำหรับจัดเตรียมแหล่งน้ำต้นทุน เพื่อช่วยเหลือราษฎร ตำบลภูซางด้านต่างๆ เช่น ด้านการเกษตรกรรมหรือด้านชลประทาน ด้านอุปโภคและบริโภค ของราษฎรในพื้นที่และสัตว์เลี้ยง โดยมีวัตถุประสงค์หลักก็คือ ต้องการเก็บกักน้ำที่ไหลมาในลำน้ำห้วย หมูโหล ในช่วงที่มีฝนตกหรือช่วงฤดูฝนไว้ใช้ใน ช่วงที่ฝนทิ้งช่วงหรือฤดูแล้ง โดยการก่อสร้างอาคารทำนบกั้นขวางหรือปิดกั้นลำน้ำ ไม่ให้ไหลไปทางด้านท้ายน้ำได้ โดยอิสระเช่นเดิม และจะมีผลทำให้น้ำที่ไหลเข้ามาลงลำน้ำห้วยหมูโหล ไม่สามารถไหลออกไปได้ ซึ่งจะทำให้มี ปริมาณน้ำสะสมเพิ่มมากขึ้นและมีระดับน้ำสูงขึ้น ปริมาณน้ำดังกล่าวจะถูกเก็บกักไว้ตามจำนวนที่ต้องการ เมื่อ ปริมาณน้ำที่สามารถเก็บกักไว้ได้ ก็สามารถนำไปคิดที่จะใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้ตามต้องการ โดยอ่างเก็บ น้ำห้วยหมูโหล่นี้จะประกอบด้วยอาคารประกอบหลัก ๓ ส่วน ดังต่อไปนี้

๑. เขื่อนดินหรือทำนบกั้น (Earth fill Dam) เป็นอาคารที่สร้างปิดกั้นลำน้ำห้วยหมูโหล ที่มีน้ำจาก ร่องหุบเขาต่างๆ ลำน้ำสาขาย่อยที่อยู่ในพื้นที่รับน้ำฝน (Watershed Area) ที่ไหลมาลงลำน้ำห้วยหมูโหล สามารถ เก็บกักน้ำไว้ให้ได้ปริมาณตามที่ต้องการ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความสูงของเขื่อนดินหรือทำนบกั้นที่เหมาะสม

๒. อาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway) เป็นอาคารที่ออกแบบไว้บริเวณใกล้กับทำนบกั้นตั้งอยู่ ทางด้าน Abutment ฝั่งขวาของทำนบกั้น ซึ่งทำหน้าที่ระบายน้ำส่วนเกินนอกเหนือจากที่ต้องการเก็บกักไว้ให้ ไหลล้นออกไปทางด้านท้ายน้ำเข้าสู่ลำน้ำห้วยหมูโหล่ทางเดิม โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายหรือเสียหายกับตัวเขื่อน ซึ่ง จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าหากไม่มีอาคารทางระบายน้ำล้น จะทำให้ไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำและระดับน้ำได้ ตามที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เนื่องจากระดับน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลมาสะสมในอ่างเก็บน้ำห้วยหมูโหล่จะเพิ่มมากขึ้น ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ หากยังมีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำไว้ตลอดเวลา และมากกว่าปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจาก อ่างเก็บน้ำ จะทำให้น้ำล้นสันทำนบกั้นของอ่างเก็บน้ำ หรือล้นข้ามสันทำนบกั้น และเกิดการกัดเซาะที่ตัวทำนบกั้น ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อความมั่นคงแข็งแรง ของตัวทำนบกั้นจนถึงขั้นทำให้เกิดการวิบัติได้ในที่สุด และ หากปล่อยให้เกิดเหตุการณ์เช่นนี้ได้จะทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของราษฎรที่อยู่ท้ายน้ำซึ่ง อาจจะทำให้ไม่สามารถที่จะพัฒนาแหล่งน้ำในรูปแบบนี้ได้อีกต่อไป จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ที่จะต้องกำหนด ขนาดของอาคารระบายน้ำล้นให้มีขนาดเพียงพอกับการระบายน้ำในช่วงฝนตกหนักในรอบแต่ละปี

๓. อาคารท่อน้ำ (Intake) เป็นอาคารประกอบของตัวเขื่อนดิน หรือทำนบกั้นโดยอาคารท่อน้ำ น้ำนี้ จะทำหน้าที่นำน้ำที่กักเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำ นำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ด้านการเพาะปลูกในพื้นที่ การเกษตรของราษฎรที่อยู่ท้ายน้ำ โดยการจัดส่งน้ำเข้าคลองส่งน้ำ ที่เป็นระบบชลประทานกระจายน้ำเข้าสู่พื้นที่

เป้าหมาย และอีกส่วนหนึ่งก็จะจัดส่งน้ำให้ไหลลงสู่ลำน้ำเดิม เพื่อใช้สำหรับการอุปโภคบริโภค และรักษาสภาพของลำน้ำเดิมให้มีความชุ่มชื้น และมีน้ำไว้ใช้ได้ตลอดทั้งปี

ขั้นตอนในการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินการออกแบบ หรือกระบวนการของการตัดสินใจในการออกแบบ รูปแบบรูปร่าง ลักษณะของทำนบกั้นดินและอาคารประกอบ ต้องสอดคล้องกับข้อมูลที่มีอยู่ การวิเคราะห์ การคำนวณต้องเป็นไปตามหลักวิศวกรรม เพื่อให้การดำเนินการออกแบบเป็นไปด้วยความถูกต้อง เกิดประสิทธิภาพสูงสุด รวมถึงประหยัดงบประมาณในการก่อสร้าง การออกแบบ อาจเก็บน้ำห้วยหม้อไ้จึงต้องวางขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้คือ

๑. พิจารณาและศึกษาข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งประกอบด้วย

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

๒. ศึกษาภูมิประเทศจริงในสนาม โดยการเดินทางไปตรวจสอบสภาพภูมิประเทศจริงในสนามว่ามี ความสอดคล้องกับแผนที่ภูมิประเทศจริงหรือไม่ สภาพท้องลำห้วยเป็นอย่างไร ฐานเขื่อนทั้งสองฝั่งมีสภาพเป็นอย่างไร และดูสภาพภูมิประเทศของจุดที่จะวางแนวอาคารระบายน้ำล้นว่าเหมาะสมหรือไม่

๓. สรุปผลการพิจารณาจากการดำเนินการข้างต้นเพื่อกำหนดแนวที่ตั้งทำนบกั้นอาคารทาง ระบายน้ำล้น และวางแนวท่อส่งน้ำลงบนแผนที่ผลสำรวจภูมิประเทศ โดยได้กำหนดแนวของอาคารต่างๆ และที่ ทำการ Layout เป็นทางเลือกไว้เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันและเลือกแนวที่เหมาะสมที่สุด เพื่อสรุปเค้าโครงและ ทำแบบต้นร่าง

๔. ออกแบบ คำนวณและตรวจสอบโครงสร้างและความมั่นคงของอาคารประเภทต่างๆ โดยนำ ความรู้และประสบการณ์ในสาขาวิชาต่างๆ ให้อาคารที่ความมั่นคงแข็งแรง และปลอดภัยทางด้านวิศวกรรม

๕. จัดทำแบบและเขียนแบบแสดงรายละเอียดขอบเขตของตัวทำนบกั้น และกำหนดขนาด รายละเอียดของอาคารประเภทต่างๆ เพื่อเป็นแบบสำหรับนำไปใช้ในการก่อสร้าง

การนำความรู้เชิงวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้งานด้านออกแบบและคำนวณ

การตรวจสอบและวิเคราะห์ทางด้านอุทกวิทยา

การใช้ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยา มาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำจากสถิติน้ำฝนในพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำ ห้วยหม้อ โดยการทำให้ Reservoir Operations Study (R.O.S) เป็นการกำหนดขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่อ่างเก็บน้ำไว้ได้ ให้มีปริมาตรเพียงพอกับความต้องการ ที่จะใช้ และให้พอเหมาะกับปริมาณ น้ำเฉลี่ยทั้งปีที่เกิดจากพื้นที่รับน้ำฝนบริเวณเหนือ อ่างเก็บน้ำ โดยปริมาณน้ำที่อ่างเก็บน้ำควรเก็บไว้ ทั้งหมดนี้จะรวมถึงน้ำบางส่วนที่ต้องระเหยและซึมหายไปจากอ่างเก็บน้ำ และรวมถึงปริมาณของตะกอนดินที่ถูก น้ำกัดเซาะแล้วพัดพามาทับถมลงไปในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะทำให้ความจุของอ่างเก็บน้ำมีปริมาตรลดน้อยลงไปทุกปีๆ ด้วยการกำหนดขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำมีหลักเกณฑ์และวิธีดำเนินการที่สำคัญดังนี้

๑) หาปริมาณน้ำใช้เพื่อการปลูกพืชในฤดูฝนและฤดูแล้งของพื้นที่ทั้งหมดที่ต้องการส่งน้ำให้ซึ่งจะ ส่งน้ำให้ทั้งหมด ตลอดจนน้ำใช้เพื่อการเกษตรอื่นๆ และน้ำใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคของราษฎร จากการคำนวณ ทำ Reservoir Operations Study (R.O.S) ของอ่างเก็บน้ำห้วยหม้อ ซึ่งกำหนดข้าวเป็นพืชในฤดูฝน สามารถ ส่งน้ำให้พื้นที่ได้ประมาณ ๒๕๐ ไร่และพืชไร่เป็นพืชฤดูแล้งได้พื้นที่ประมาณ ๔๐ ไร่ โดยต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำ ที่เหลือจะต้องไม่น้อยกว่าความจุของน้ำก้นอ่างฯ ที่ระดับน้ำต่ำสุดและเหลือพอสำหรับใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค ของราษฎรในแต่ละเดือนอีกด้วย

๒) ประเมินปริมาณน้ำที่คาดว่าจะระเหยและรั่วซึมออกไปจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือน และ รวมทั้งปี อัตราการระเหยจากผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นในบรรยากาศความแรงของลมพัด ฯลฯ สำหรับปริมาณน้ำที่รั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำโดยทั่วไป ในทางปฏิบัติเนื่องจากอัตราการรั่วซึมของน้ำจากอ่าง เก็บน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับความลึกของน้ำที่ระเหยแล้วมีค่าน้อยมาก

๓) หาปริมาณน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำจากข้อมูลสถิติน้ำฝนเฉลี่ยในรอบปีการเกิดซ้ำที่ ๑๐ ปีของแต่ละ เดือน พื้นที่ผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำและปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำในแต่ละระดับความสูงของอ่างเก็บน้ำ เพื่อดูว่า ความจุของอ่างเก็บน้ำในแต่ละชั้นความสูงมีปริมาณน้ำที่เก็บกักได้ประมาณเท่าใด

๔) การคำนวณหาปริมาณตะกอนตกจมในอ่างเก็บน้ำในแต่ละปี สำหรับโครงการชลประทาน ขนาดเล็กมักจะใช้การกำหนดปริมาณตะกอนที่อายุของอ่างเก็บน้ำที่ ๕๐ ปี แล้วหาปริมาณตะกอนที่ตกจมในแต่ละปี เพื่อเป็นตัวกำหนดระดับน้ำต่ำสุด (Dead Storage)

จากหลักการดังกล่าวโดยสรุปข้างต้น เป็นวิธีการที่ Reservoir Operation Study (R.O.S) ซึ่ง เป็นการศึกษาการใช้ประโยชน์ของอ่างเก็บน้ำว่ามีความสามารถที่จะส่งน้ำเพื่อการชลประทานได้เป็นจำนวนเท่าใด โดย จะต้องมีความจุของอ่างเก็บน้ำไว้เท่าใดเพื่อเก็บน้ำสำรองไว้ใช้งานได้อย่างเพียงพอกับความต้องการตลอดทั้งปี โดยจะต้องทำให้ครบทั้ง ๑๒ เดือน (๑ รอบปี) จากการทำให้ R.O.S. ก็จะเห็นได้ว่าพืชไร่อะไรต้องการใช้น้ำจากอ่างเก็บ น้ำในเดือนใด และข้าวต้องการใช้น้ำในอ่างเก็บน้ำเดือนไหน ปริมาณเท่าใด ก็จะถูกสรุปออกมาว่าปริมาณน้ำที่ ต้องการใช้น้ำทั้งหมดในแต่ละเดือนมีมากน้อยขนาดไหน อีกทั้งยังบอกถึงปริมาณน้ำที่ล้นอ่างเก็บน้ำในเดือนใดบ้าง ปริมาณน้ำที่เหลือในอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือนจะเหลือเท่าใด โดยจะต้องให้น้ำที่เหลือในอ่างเก็บน้ำไม่น้อยกว่า ปริมาณน้ำในระดับน้ำต่ำสุด

การตรวจสอบวิเคราะห์ด้านชลศาสตร์และโครงสร้าง

การคำนวณออกแบบด้านชลศาสตร์และโครงสร้าง ของทำนบกั้นน้ำพร้อมอาคารประกอบ ต้องทำการทบทวนรายงานการศึกษาโครงการเบื้องต้น และพิจารณาผลสำรวจภูมิประเทศ เทียบเคียงกับระดับเส้น Contour จากแผนที่ ๑:๕๐,๐๐๐ เพื่อให้ได้รายละเอียดต่างๆ

๑. ความกว้างของสันเขื่อน (Crest Width)

พิจารณาจากความสะดวกปลอดภัยของการใช้เครื่องจักรเครื่องมือ ยวดยานในการก่อสร้าง ตรวจสอบตราและซ่อมบำรุงเขื่อน และจะต้องสัมพันธ์กับความสูงของเขื่อน

โดยจะต้องมีความกว้างต่ำสุดดังนี้

$$B \geq 5.5 + 0.055 H \quad \dots\dots\dots (\text{วรากร ๒๕๔๑})$$

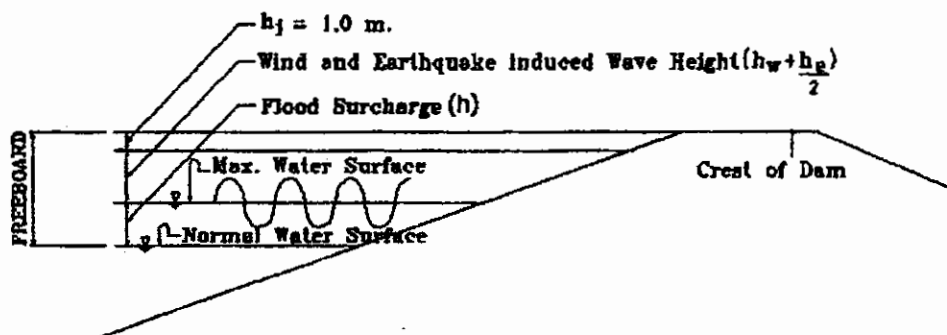
เมื่อ H = ความสูงจากท้องลำห้วยถึงระดับเก็บกัก

๒. ระดับสันเขื่อน

ระดับสันเขื่อนต้องสูงพอที่น้ำในอ่างเก็บน้ำจะไม่ไหลล้นข้าม (Overtopping) ซึ่งเกิดจากคลื่นที่เกิดขึ้นในอ่างๆ เนื่องจากลมหรือแรงกระทำเนื่องจากแผ่นดินไหว

ระยะพ้นน้ำ (Freeboard, H_F) คือระยะจากระดับสันเขื่อนถึงระดับน้ำเก็บกัก ทั้งนี้การหาระยะพ้นน้ำ (Freeboard, H_F) สามารถแสดงดังรูป และคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$H_F = h + h_w + h_e/2 + h_a + h_i$$



รูปที่ ๑ แสดง Freeboard อันเนื่องมาจาก Wave Action

โดยที่ H_F = ระยะพ่นน้ำจากระดับสันเขื่อนถึงระดับน้ำเก็บกัก , เมตร

H = ความสูงของน้ำเหนือสันฝาย (Flood Surge) ในขณะระบายน้ำสูงสุดผ่าน Spillway ด้วยปริมาณที่ออกแบบไว้, เมตร

h_w = ความสูงคลื่นเนื่องจากแรงลม , เมตร

h_e = ความสูงของคลื่นเนื่องผลกระทบของแผ่นดินไหว

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

h_i = ความสูงเผื่อ Safety ตามชนิดของเขื่อนใช้ค่ามาตรฐานเท่ากับ ๑.๐๐ เมตร สำหรับเขื่อนดินและเขื่อนดิน - หินถม

สำหรับความสูงคลื่นเนื่องจากแรงลมซึ่งรวม Wave Run up แล้ว (h_w) คำนวณได้จากสูตรของ Molitor - Stevenson ดังสมการ

กรณี $F \leq 32$ กม. ;

$$h_w = 0.032 ; h_w = (V \cdot F)^{1/2} + 0.76 - 0.27(F)^{1/4}$$

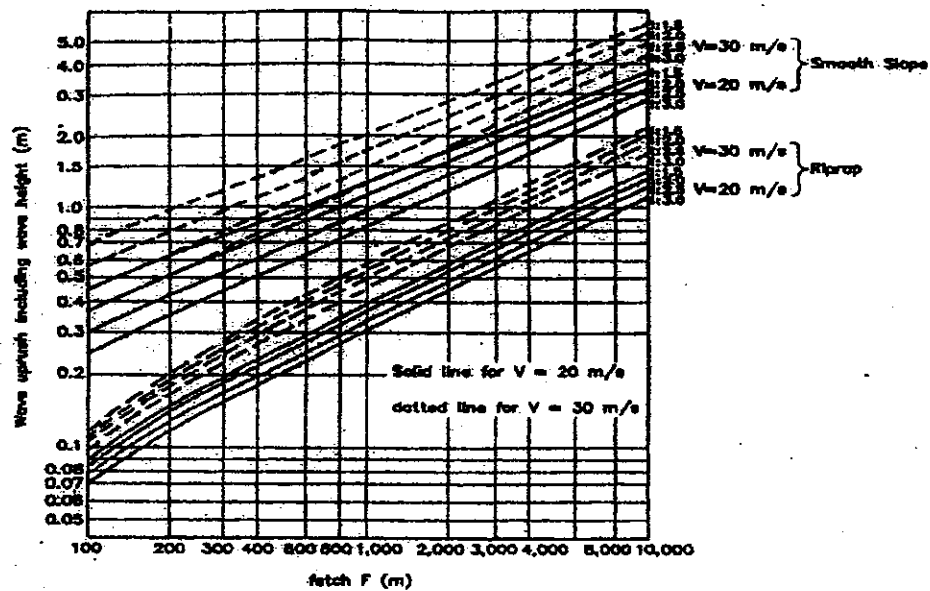
กรณี $F \geq 32$ กม. ;

$$h_w = 0.032 ; h_w = (V \cdot F)^{1/2}$$

โดยที่ V = ความเร็วลม, กิโลเมตร/ชั่วโมง

F = Fetch Length , กิโลเมตร

= ระยะผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำตามทิศทางการพัดของลมเข้าหาตัวเขื่อนในแนวตั้งฉากกับตัวเขื่อน เป็นกิโลเมตร



o Wave uprush (including wave height)
obtained by combining the S.M.B
Method with Saville Method o

กราฟความสูงของคลื่นเนื่องจากแรงลม

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

รูปที่ ๒ แสดงกราฟความสูงของคลื่นเนื่องจากแรงลม

๓. ความลึกร่องแกวและความกว้างท้องร่องแกว

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

$$w = h - d$$

โดยที่ w = ความกว้างท้องร่องแกว, เมตร

h = ความลึกน้ำ วัดจากระดับผิวดินถึงระดับน้ำเก็บกัก, เมตร

๔. การป้องกันลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ

การป้องกันลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ ต้องปลอดภัยจากแรงกระทำของคลื่นในอ่างเก็บน้ำ 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^๓)

γ_w = ความหนาแน่นของน้ำ
= ๙.๘๑ กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (kN/m^๓)

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 (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

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

เพื่อป้องกันไม่ให้คลื่นพัดพาหินถมตัวเขื่อนออกมา 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) ได้แนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับขนาดคละของกรวดทรายรองพื้น ไว้ดังนี้

สำหรับวัสดุรองพื้น (Bedding Material) จะพิจารณาจาก Filter Criteria ของสมการ

$$\frac{D_{15} \text{ ของ Filter}}{D_{85} \text{ ของ Base Material}} \leq 5$$

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. และหญ้าที่ปลูกต้องเป็นชนิดที่ยังรากลึก ทนแล้ง และเจริญเติบโตง่าย

วิธีปลูกหญ้านี้จะประหยัดค่าก่อสร้าง แต่ต้องเอาใจใส่บำรุงรักษาอยู่เสมอ อีกวิธีหนึ่งคือ ปูด้วยหินหรือกรวด ซึ่งราคาค่าก่อสร้างค่อนข้างแพง แต่ประหยัดค่าบำรุงรักษา

๖. การป้องกันการกัดเซาะบนสันเขื่อน

ควรมีการป้องกันการกัดเซาะเนื่องจากคลื่นและน้ำฝน โดยการปลูกหญ้าอัดแน่นหนาประมาณ ๐.๒๕ โดยการอัดแน่นไม่น้อยกว่า ๙๕ % Modified Proctor Compaction Test

เพื่อให้ระบายน้ำฝนได้สะดวก ได้แต่งผิวให้เป็นยอดแหลม มีความลาด ๒ % ทั้งสองด้าน

๗. การวิเคราะห์ความมั่นคงของตัวเขื่อน (Slope Stability Analysis)

ในการออกแบบเขื่อนดิน จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดตัวเขื่อน (Slope Stability Analysis) เพื่อที่จะกำหนดค่าความลาดของตัวเขื่อนทั้งด้านหน้าและด้านหลังเขื่อน เพื่อให้ราคาค่าก่อสร้างน้อยที่สุดในขณะที่ต้องมีความปลอดภัย จากการพังทลายของลาดตัวเขื่อนในทุก ๆ กรณีโดยมีค่าความปลอดภัย (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
กรณีที่ระดับน้ำลดลงกะทันหัน	๑.๒๕	๑.๐๐

วิธีการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดตัวเขื่อนจะใช้ข้อมูลสมมติฐานในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- ๑) พิจารณาปัญหาในมิติ ๒ มิติ
- ๒) Shear Failure ที่จะคาดว่าจะเกิดขึ้น ตัดผ่านตัวเขื่อนและฐานรากด้วยรูปร่างของ Sliding Surface เป็นเส้นโค้งวงกลม
- ๓) ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) จะคำนวณมาจากอัตราส่วนของโมเมนต์ของแรงต้านการพังทลายอันเนื่องมาจากกำลังของดิน ต่อโมเมนต์ของแรงซึ่งเคลื่อนให้พังทลายอันเนื่องมาจากน้ำหนักของดินและแรงกระทำอื่นๆ

การวิเคราะห์ความมั่นคงลาดตัวเชื่อมจะใช้วิธี Simplified Bishop Method ซึ่งสมมติลักษณะการเคลื่อนพังของลาดให้เป็นส่วนโค้งของวงกลม แล้วแบ่งมวลดินออกเป็นชิ้นๆ ตามแนวตั้ง และพิจารณาสมดุลของทั้งแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นของมวลดิน สมการของการวิเคราะห์แสดงในรูปของอัตราส่วนปลอดภัย (Factor-of Safety) ดังนี้

$$F.S. = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{C b_i + (W - U) \tan \Phi}{[\cos \theta_i + (\sin \theta_i \cdot \tan \Phi) / FS]} \right]}{\sum_{i=1}^n \left[W \sin \theta_i + \frac{C_s}{R} W a_i \right]}$$

เมื่อ F.S.	=	อัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety against sliding)
n	=	จำนวนชิ้นของมวลดิน (Number of Slices)
C	=	ความเหนียวของดิน (Cohesion of Soil)
b _i	=	ความกว้างของ Slice แต่ละชั้น (Width of the Slice)
h _i	=	ความสูงของ Slice แต่ละชั้น (Height of the Slice)
W	=	น้ำหนักของมวลดินแต่ละชั้น (Total Weight of the Slice)
U	=	แรงดันน้ำในแนวตั้งที่กระทำต่อ Failure Surface ของ Slice ชิ้นใดๆ
	=	u _i b _i
Φ	=	มุมของความเสียดทานภายในของดิน (Angle of Internal Friction)
θ _i	=	มุมเอียงของเส้นสัมผัส (Angle of Inclination)
C _s	=	สัมประสิทธิ์ความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว
R	=	รัศมีวงกลมของการเคลื่อนพัง
a _i	=	แกนโมเมนต์



৩৫

วิธีการคำนวณค่า Factor of Safety (F.S)

วิธีการคำนวณค่า Factor of Safety (F.S) จะทำการคำนวณตามขั้นตอนต่อไปนี้

๑) เขียนรูปตัดเชื่อมดินที่ต้องการวิเคราะห์ กำหนดแนวชั้นหินและดินฐานรากเส้นแบ่ง Zone ของวัสดุที่ใช้ในตัวเชื่อม ตลอดจนเส้น Phreatic line และลักษณะต่างๆ ทางด้านเรขาคณิตให้ครบถ้วนตามแนวแกน X และ Y

๒) กำหนด Potential Failure Surface เป็นส่วนของวงกลมโดยมีจุดศูนย์กลางที่ Coordinate ต่างกัน

๓) แบ่งลาดเชื่อมเหนือ Failure Surface เป็น Slices แนวตั้งเพื่อคำนวณต่อไป

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

๕) ผลรวมของแรงต่างๆ จากการคำนวณในข้อ (๔) ตลอดแนว Failure Surface ได้แก่ ผลรวมของแรง Driving Surface หรือแรงที่ทำให้ลาดเชื่อมเลื่อนตาม 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

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

คุณสมบัติดินด้านวิศวกรรม

คุณสมบัติดินด้านวิศวกรรมที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความมั่นคงลาดตัวเชื่อม ประกอบด้วย คุณสมบัติของดินจากแหล่งยืมดินที่จะนำมาถมเป็นตัวเชื่อมทั้งหมด ซึ่งจะได้จากการทดสอบตัวอย่างดินบดอัดแน่นที่ Optimum Moisture Content และคุณสมบัติของดินฐานรากโดยการทดสอบตัวอย่างดินตามสภาพธรรมชาติ (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 แกนเซียน เป็นต้น เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength) ลดลง อันจะเป็นผลให้ความมั่นคงของลาดตัวเชื่อมลดลงด้วย ดังสูตรต่อไปนี้

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

เมื่อ

S = Shear Strength

C = Cohesion

ϕ = Friction Angle

σ = Total Stress

U = Pore Pressure

Pore Pressure ที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน ได้แก่ Compressibility, Permeability และปริมาณน้ำ / อากาศ ในเนื้อดินเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการบดอัดดินควรต้องระมัดระวังไม่ให้ความชื้นในดินมากเกินไปจนความจำเป็นซึ่งจะมีผลให้ Pore pressure เพิ่มขึ้น

การกำหนดค่า Pore pressure ที่เกิดขึ้นในตัวเชื่อมนิยมนำมาหาด้วย Pore pressure Coefficient (R_u) ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนดังนี้

$$R_u = \frac{\text{Pore Pressure}}{\text{Overburden Pressure}} = \frac{U}{\sigma_v}$$

โดยทั่วไปค่า R_u จะมีค่าผันแปรระหว่าง 0.25 – 0.40

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม KUslope ในกรณีคิด seismic ได้ ดังนี้

๑) กรณีสิ้นสุดการก่อสร้าง (End of Construction)

-U/S ค่า Factor of safety (min) = ๒.๙๕๕ > ๑.๐๐

-D/S ค่า Factor of safety (min) = ๒.๕๕๙ > ๑.๐๐

๒) กรณีเก็บกักน้ำ

-D/S ค่า Factor of safety (min) = ๒.๙๕๕ > ๑.๒๕

๓) กรณีระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown)

-U/S ค่า Factor of safety (min) = ๒.๐๘๒ > ๑.๐๐

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

๘) การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำผ่านเขื่อนและฐานราก

การวิเคราะห์มีวัตถุประสงค์ เพื่อ

ก) ออกแบบการปิดกั้นการไหลของน้ำผ่านตัวเขื่อนและฐานรากพร้อมทั้งประเมินปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเทียบกับมาตรฐานการรั่วซึมที่ยอมรับ

ข) ตรวจสอบบริเวณที่อาจเกิดการกัดเซาะและพัดพาเม็ดดินภายในตัวเขื่อนและฐานราก พร้อมกับประเมินความเหมาะสมในการออกแบบชั้นกรองและระบบระบายน้ำ

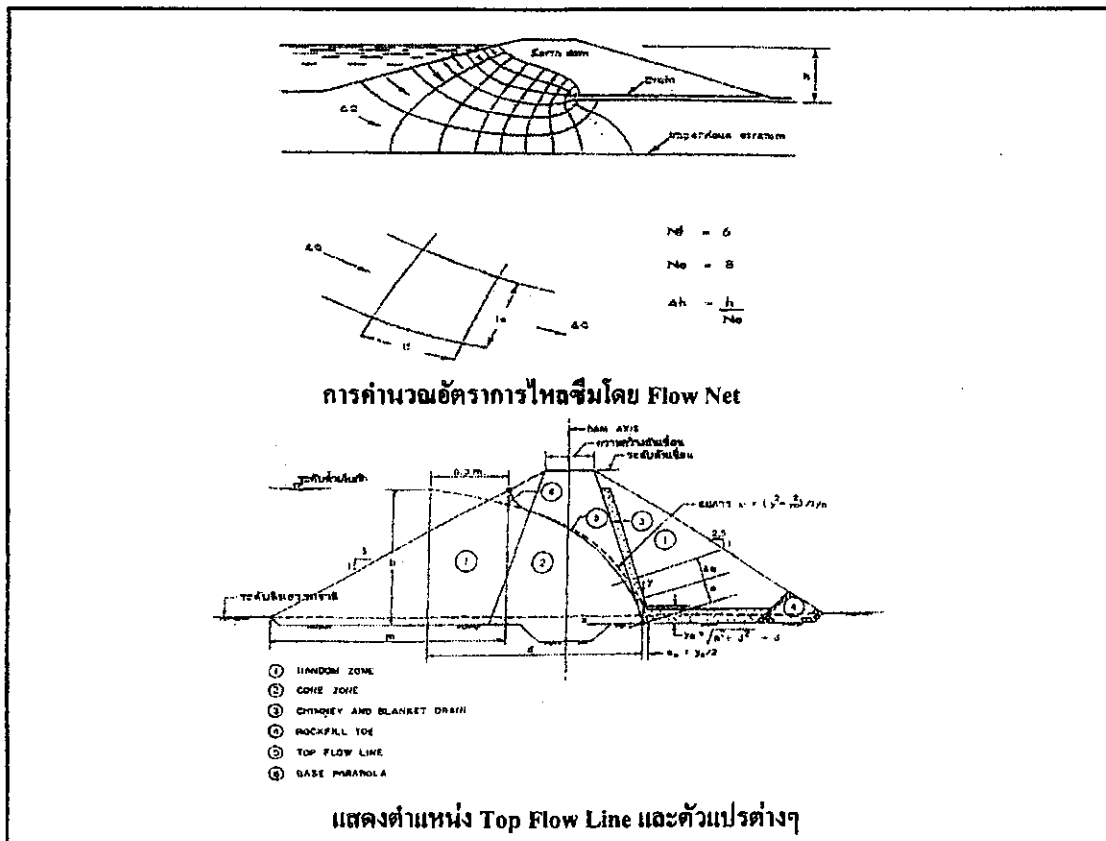
ค) ประเมินความดันน้ำที่เกิดจากการไหลซึม เพื่อนำไปตรวจสอบโอกาสการเกิด Boiling ด้านท้ายน้ำ และความดันน้ำที่มีผลเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อน

ง) เป็นแนวทางในการกำหนดตำแหน่งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน และวัดปริมาณน้ำที่ซึมผ่านเขื่อนในการตรวจสอบความปลอดภัย

การวิเคราะห์โดยทั่วไปจะใช้

๑. การเขียน Flow nets บนหน้าตัดวิกฤติของตัวเขื่อนในขณะที่เส้นผิวน้ำในแกนดินเหนียวที่น้ำจะคำนวณโดยใช้วิธีของ Casagrande,(๑๙๓๗)

๒. วิธี Finite Element Seepage Analysis ซึ่งกระทำโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีสมการ Laplace's Equation ควบคุมการไหลบนพื้นที่ที่มี Boundary Condition ที่ผิวน้ำปรับให้เคลื่อนที่ได้ ดังแสดงในรูป



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 ซึ่งอยู่ภายในตัวทำนบกั้นดิน บนเส้นนี้ Hydrostatic pressure มีค่าเป็น “๐” ส่วนใต้เส้นนี้ความดัน Hydrostatic pressure มีค่าเป็นบวก โดยกำหนดใช้ค่าที่เท่ากับระดับน้ำเก็บกักมาพิจารณา คือ +๕๓๐.๐๐๐

คุณสมบัติของ Phreatic line มีดังนี้

- ๑) ตำแหน่งของ Phreatic line ขึ้นอยู่กับรูปตัดของตัวเขื่อนเท่านั้น ไม่ขึ้นอยู่ค่า 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 ใต้เขื่อนดินจะไม่มีผลต่อ Phreatic line

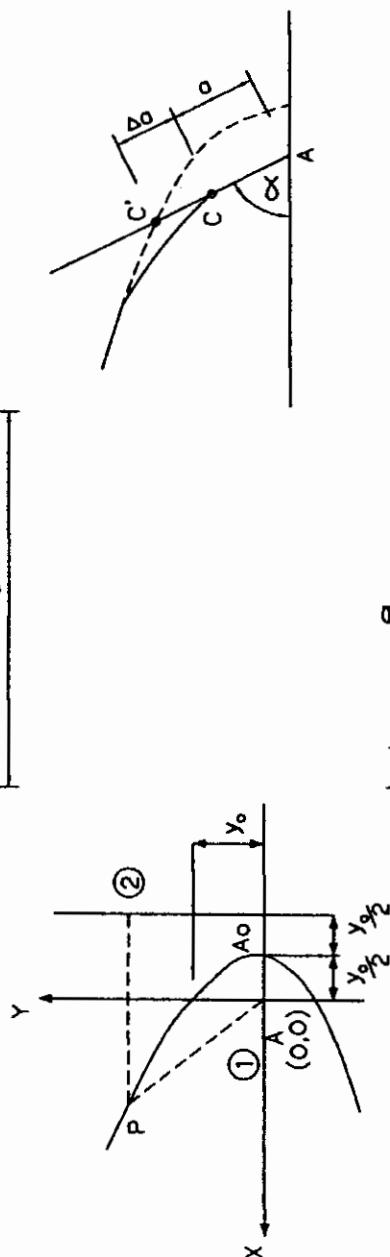
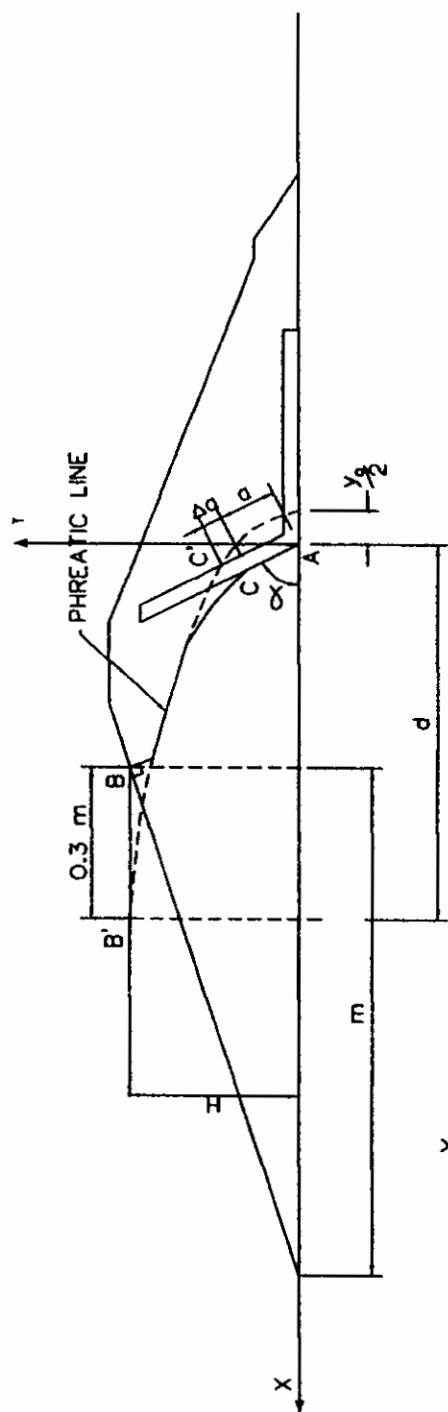
ขั้นตอนการเขียนเส้น (Phreatic line) โดยวิธีของ Casagrande

๑. ทหาระยะ m ก่อน ระยะนี้คือ ระยะราบที่ผิวน้ำและราบด้านหน้าเขื่อนกับฐานเขื่อน
๒. หาดำแหน่งจุด B' ที่ผิวน้ำ โดย $BB' = 0.30 \text{ m}$
๓. หาค่า y_0 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $(d^2 + h^2)^{0.5} - d$ หรืออาจหาได้โดยการใช่วงเวียนก็ได้โดยใช้รัศมี AB' ตัดฐาน ลากเส้นตั้งฉาก B' จะได้ค่า y_0
๔. วัดระยะจากจุด A ไปทางขวาเท่ากับ $y_0 / 2$ จะได้จุด a_0 ซึ่งเป็นจุด Vortek ของ Parabola สมการ Parabola มี Focus ที่จุด A_0 คือ $x = (y^2 - y_0^2) / (2 * y_0)$ 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 $a + \Delta a$ ตามลาดท้ายเขื่อนจากจุด A Seepage line ที่ถูกต้องคือจุด C ที่ระยะ Δa ต่ำจากจุด C'

Δa หาได้ดังนี้

- ๑) $a + \Delta a = y_0 / (1 - \cos \alpha)$
- ๒) $\frac{\Delta a}{a + \Delta a}$ หาได้จากกราฟหรือตารางการปรับแก้เส้นผิวย้ายน้ำ

- ๓) เมื่อสามารถหาค่า Δa ได้ในที่สุดจะได้ตำแหน่งจุด C



รูปแสดงการเขียน PHREATIC LINE

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

$$\frac{D_{50}(G/R)}{D_{50}(F)} < 25$$

$$\frac{D_{85}(G/R)}{D_{OP}} \geq 2$$

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \approx 1.5 - 80.$$

เมื่อ	$D_{50}(G/R)$	=	กรวดหรือหินย่อยที่มีขนาดเล็กกว่า ๕๐%
	$D_{50}(F)$	=	วัสดุรองที่มีขนาดเล็กกว่า ๕๐%
	$D_{85}(G/R)$	=	กรวดหรือหินย่อยที่มีขนาดเล็กกว่า ๘๕%
	D_{OP}	=	ขนาดรูเจาะเพื่อการระบายน้ำที่ท่อระบายน้ำ
	C_U	=	Coefficient of Uniformity

จากการคำนวณได้กำหนดไว้ในแบบดังตาราง

ตารางที่ ๔ การหาขนาดของกรวดหรือหินย่อย

ขนาดของก้อนหิน		ร้อยละของขนาดที่เล็กกว่าที่ระบุโดยน้ำหนัก
ซม.	น้ำหนักโดยประมาณ กก.	
๒๐	๑๑	๑๐๐
๑๕	๕.๕	๕๐ - ๑๐๐
๑๐	๑.๕	๓๐ - ๕๐
๕	๐.๑	๐ - ๒๐
ทรายและหินฝุ่น		น้อยกว่า ๕

๑๐.๒) ขนาดคละของกรวดทรายรองพื้น(Bedding Material) มีเกณฑ์ ดังนี้

$$\frac{D_{15}(\text{bed})}{D_{85}(B)} \leq 5$$

$$\frac{D_{15}(R)}{D_{85}(\text{bed})} \leq 10$$

เมื่อ $D_{15}(\text{bed})$ = วัสดุรองพื้นที่มีขนาดเล็กกว่า ๑๕%

$D_{85}(B)$ = วัสดุถมตัวเชื่อมที่มีขนาดเล็กกว่า ๘๕%

$D_{15}(R)$ = วัสดุหินทิ้งที่มีขนาดเล็กกว่า ๑๕%

$D_{85}(\text{bed})$ = วัสดุรองพื้นที่มีขนาดเล็กกว่า ๘๕%

๑๑) การประเมินการทรุดตัวของเขื่อนและการออกแบบส่วนเผื่อของสันเขื่อน (Camber)

เมื่อได้รับน้ำหนักกดทับดินที่น้ำที่ใช้ถมตัวเขื่อนจะเกิดการยุบตัวหรือการทรุดตัวของเขื่อนดิน จึงต้องเผื่อระยะทรุดตัวเอาไว้การทรุดตัวของเขื่อนจะขึ้นกับความสูงของสันเขื่อน และคุณสมบัติของดินที่นำมาถมตัวเขื่อนรวมทั้งวิธีการก่อสร้าง การคำนวณการทรุดตัวของเขื่อนหาได้จากสมการต่างๆ ดังนี้

- USBR Design standard No.๑๓

สำหรับเขื่อนที่มีความสูงมากกว่า ๑๓.๐๐ เมตร

$$S = 0.035(H-13)$$

สำหรับเขื่อนที่มีความสูงไม่เกิน ๑๓.๐๐ เมตร

$$S = 0.002H \text{ ถึง } 0.004H$$

เมื่อ $S =$ ระยะทรุดตัวของเขื่อน หน่วยเป็นเมตร

$H =$ ความสูงของเขื่อน หน่วยเป็นเมตร

คำนวณจาก Empirical Formula ที่เสนอโดย THOMAS (๑๙๗๖)

$$S = 10^{(0.0155H-1.16)}$$

เมื่อ $H =$ ความสูงของตัวเขื่อน

- คำนวณจาก USBR (๑๙๗๔) ได้เสนอไว้ ๑% ของความสูงเขื่อน

เมื่อ $S = 0.01H$

การออกแบบอาคารระบายน้ำล้น (Spillway)

เป็นความรู้สำหรับใช้เพื่อกำหนดรูปร่างลักษณะของอาคารและส่วนประกอบต่างๆของอาคารระบายน้ำล้น ตรวจสอบความมั่นคงของอาคาร การวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำหลังจากการก่อสร้างอาคาร และการกำหนดการป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจากการไหลของน้ำ ด้านชลศาสตร์ ซึ่งรายละเอียดการออกแบบอาคารระบายน้ำล้นมีหลักการ ดังนี้

๑) การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดผ่านตัวอาคารระบายน้ำล้น โดยใช้ปริมาณน้ำนอกรอบปีการเกิดซ้ำที่ ๒๕ ปี (สำหรับงานชลประทานขนาดเล็ก) ซึ่งจะต้องไม่ทำให้เกิดการท่วมเกินระดับที่ยอมรับได้

หาได้จากสูตร

$$Q = CLH^{3/2}$$

$Q =$ อัตราการไหลสูงสุดในการออกแบบ เป็นลูกบาศก์เมตร / วินาที

L = ความยาวสันฝาย เป็นเมตร

H = ความสูงของน้ำเหนือสันฝาย เป็นเมตร

C = สัมประสิทธิ์การไหล ขึ้นชนิดของสันฝาย

๒) การออกแบบพื้นด้านหน้า พื้นที่คอนกรีตด้านหน้าอาคารระบายน้ำ ต้องสามารถต้านทานแรงดันยกตัว (Uplift pressure) ได้ตัวอาคารระบายน้ำได้ ความหนาของพื้นอาคารไม่น้อยกว่า ๐.๓๐ เมตร เพื่อป้องกันแรงกระทำของน้ำไหลตกจากสันฝายไม่ให้กัดเซาะพื้นอาคาร

การคำนวณหาความหนาของพื้นต้านแรงดันยกตัว ควรเผื่อเกณฑ์ความปลอดภัย ๑.๓ และสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$t = \frac{\gamma_w \cdot U_x}{1.3 \gamma_c}$$

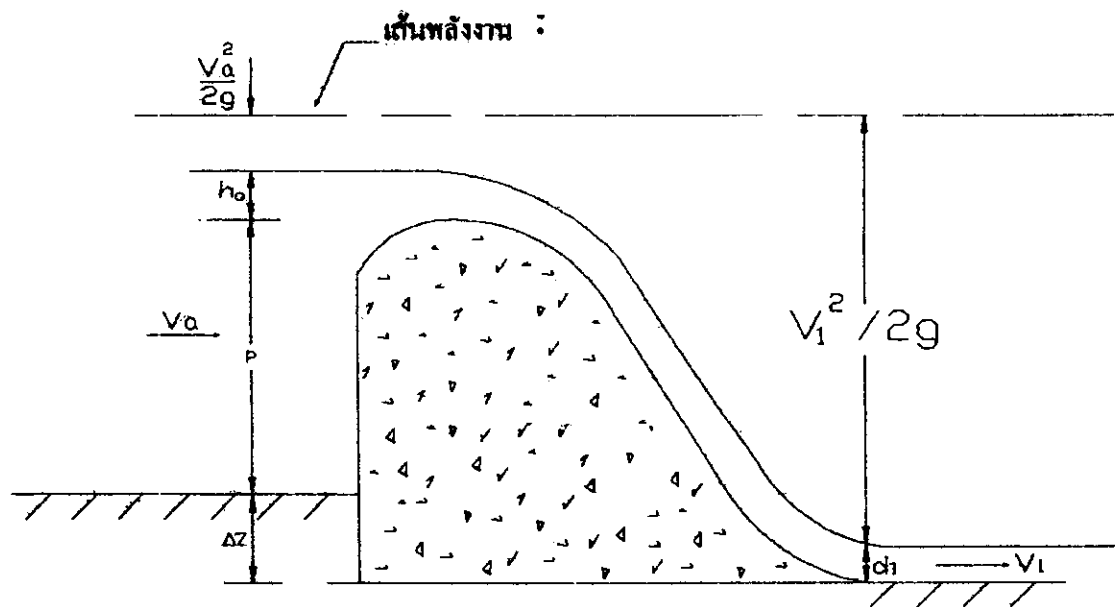
เมื่อ t = ความหนาของพื้น

γ_w = น้ำหนักหนึ่งหน่วยของน้ำ

γ_c = น้ำหนักหนึ่งหน่วยของคอนกรีตเสริมเหล็ก

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

๔) การคำนวณหาความเร็วที่ตีนฝาย ความเร็วของน้ำที่ตีนฝายมีความสำคัญต่อการเลือกชนิดของอ่างน้ำนิ่ง สามารถคำนวณหาความเร็ว โดยอาศัยหลักการของพลังงานจากสมการต่อไปนี้



รูปที่ ๖ ความเร็วของน้ำที่ตื้นฝาย

การคำนวณหาความเร็วที่ตื้นฝาย

$$\Delta Z + P + h_o + \frac{V_o^2}{2g} = d_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

เมื่อ ΔZ = ผลต่างของระดับพื้นด้านหน้าและด้านท้ายฝาย

P = ความสูงของสันฝายจากพื้นด้านหน้า

h_o = ความลึกของน้ำเหนือสันฝาย

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

q = ปริมาณการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของ Approach Channel หน้าฝาย

d_1 = ความลึกของน้ำที่ตื้นฝาย

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

๕) การวิเคราะห์รูปตัดตามยาวของการไหลของผิวน้ำอาคารระบายน้ำและรางเท

เพื่อกำหนดความสูงของกำแพงรางเท ให้สูงพอที่จะป้องกันน้ำล้นตลิ่งได้ การคำนวณการไหลของปริมาณการไหลต่าง ๆ ตามขนาดรอบปีการเกิดซ้ำที่ ๒๕ ปี สามารถกระทำได้โดยใช้วิธี Direct step method

๖) การวิเคราะห์ความลึกด้านท้ายน้ำ (Analysis of Tailwater Depth)

ความลึกด้านท้ายน้ำ (T_w) เป็นความลึกของน้ำที่เกิดขึ้นตามสภาพปกติ (ไม่มีฝายทดน้ำขวางลำน้ำ) ของลำน้ำและหน้าตัดด้านท้ายของอ่างน้ำนิ่ง (Stilling Basins) ความลึกของน้ำด้านท้ายมีความสำคัญต่อการเกิด Hydraulic Jump และการกำหนดระดับของพื้นอ่างน้ำนิ่ง (Stilling Basins) โดยระดับน้ำด้านท้ายต้องมากกว่าหรือเท่ากับระดับน้ำหลัง Hydraulic Jump มิฉะนั้นแล้ว ตำแหน่งของการ Hydraulic Jump จะเคลื่อนที่ออกมาทางด้านท้ายน้ำของอ่างน้ำนิ่ง และจะทำให้เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงต่อพื้นและตลิ่งลำน้ำ

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

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

เมื่อ	Q	=	อัตราการไหลในลำน้ำ, ลูกบาศก์เมตร/วินาที
	n	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของน้ำไหลในคลอง, ตารางเมตร
	R	=	รัศมีชลศาสตร์, เมตร = A/P
	P	=	ความยาวของเส้นของเปียก, เมตร
	S	=	ความลาดเทของเส้นพลังงาน หรือ ความลาดชันของท้องลำน้ำในกรณีการไหลแบบ Uniform

ค่าสัมประสิทธิ์ n สามารถประเมินกำหนดได้จากชนิดของวัสดุหรือดินตามผิวลำน้ำและลักษณะของลำน้ำ (ซึ่งจะที่ใช้ได้จากหนังสือ หรือตารางที่เกี่ยวข้องกับชลศาสตร์ และการไหลในทางปิด)

ขั้นตอนการสร้าง Rating Curve พอสรุปได้ ดังนี้

๑. ทำการสำรวจหน้าตัดของลำน้ำตรงตำแหน่งที่จะสร้างฝาย
๒. ทำการสำรวจความลาดชันของท้องลำน้ำ

๓. เขียนรูปหน้าตัดด้วยมาตราส่วนที่เหมาะสมลงในกระดาษ
๔. กำหนดความลึกของน้ำค่าต่างๆ เพื่อหาค่า A, P และ R
๕. ทำการประเมินกำหนดค่าตามชนิดของวัตถุหรือดินและลักษณะของลำน้ำ
๖. คำนวณหาความเร็วและอัตราการไหลตามสมการของแมนนิง
๗. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหรือระดับน้ำและอัตราการไหล ซึ่งก็คือ Rating Curve

ในกรณีที่มีการปรับแต่งลำน้ำด้านท้ายต่อจากอ่างน้ำนิ่ง เป็นช่วงระยะความยาวที่เหมาะสม การวิเคราะห์หา Rating Curve จะใช้ข้อมูลหน้าตัดและลักษณะของลำน้ำจากการปรับแต่งลำน้ำ

๗) การป้องกันการกัดเซาะด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ

ในกรณีที่อาคารชลศาสตร์ เช่น ฝายทดน้ำ สร้างขึ้นในลำน้ำธรรมชาติหรือคลอง ต้องมีการป้องกันการกัดเซาะซึ่งอาจจะเกิดขึ้นจากความปั่นป่วนและความแรงของกระแสน้ำ ตรงช่วงต่อของขอบอาคารกับเนื้อดิน โดยเฉพาะด้านท้ายของอาคารสลายพลังงานหรืออ่างน้ำนิ่ง ซึ่งการไหลมีความปั่นป่วนและมีคลื่นผิวน้ำ

การป้องกันการกัดเซาะทั้งพื้นที่ท้องน้ำ และลาดตลิ่งสองฝั่งมักนิยมใช้หินทิ้ง หินเรียง หรือหินเรียงยาวแนว โดยมีความยาวของการป้องกันขึ้นอยู่กับชนิดของดินท้องน้ำและลาดตลิ่ง และความเร็วของกระแส

๗.๑) ขนาดของหินทิ้งหรือหินเรียง

ขนาดของหินทิ้งหรือหินเรียงท้ายอาคารสลายพลังงานขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเร็ว กระแสน้ำ ทิศทางการไหล สภาพการปั่นป่วนของการไหล และลักษณะคลื่น วิธีการหาขนาดหินที่นิยมใช้ ดังนี้

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

$$V_b = \sqrt{2g\Delta z}$$

เมื่อ Δz = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ ในกรณีฝายทดน้ำ

ให้ ใช้ความสูงของสันฝายเหนือพื้นด้านท้ายน้ำ

๒) วิธีของเบอร์รี่ (Berry) สำหรับหินที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ ๒.๖๕ สามารถหาขนาดของ หินจากสมการต่อไปนี้

$$V_b = \sqrt{2.57} \ d$$

เมื่อ V_b = ความเร็วของกระแสน้ำที่ท้องน้ำที่ท้องน้ำ, ฟุต/วินาที

- d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหิน, นิ้ว
- ๑๒.๑.๓) วิธีของมาวิสและลอซซี 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

- $$L_u = ๒.๕๕ q^{๒/3} - ๑.๕ D_u$$
- $$L_d = ๓.๐๐ q^{๒/3} - ๑.๕ D_d$$
- เมื่อ L_u = ความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะด้านเหนือน้ำ, เมตร
- L_d = ความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะด้านท้ายน้ำ, เมตร
- q = อัตราการไหลต่อเนื้อหน่วยความกว้างของทางน้ำ, (ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เมตร)
- D_u = ความลึกของการไหลที่สอดคล้องกับอัตราการไหลออกแบบตรงตำแหน่งของ
ขอบ Apron ด้านเหนือน้ำของฝาย, เมตร
- D_d = ความลึกของการไหลที่สอดคล้องกับอัตราการไหลออกแบบตรง
ตำแหน่งของขอบ Apron ด้านท้ายน้ำของฝายหรือด้านท้ายของอ่างสลายพลังงาน, เมตร

๒) ความยาวของหินเรียงด้านเหนือน้ำไม่ควรน้อยกว่าความลึกของน้ำเหนือสันฝาย แต่ไม่น้อยกว่า ๕.๐ เมตร

๓) ความยาวของหินเรียงด้านท้ายน้ำไม่ควรน้อยกว่า ๔ เท่าของความลึกด้านท้ายน้ำของอาคารสลายพลังงาน

๘) การออกแบบอาคารสลายพลังงาน

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

๘.๑) การแบ่งประเภทของอาคารสลายพลังงาน

ถ้าพิจารณาตามวิธีที่ใช้สลายพลังงานแล้ว สามารถแบ่งอาคารสลายพลังงานออกได้เป็น ๓ กลุ่มใหญ่ คือ

ก. แบบอ่างน้ำนิ่ง (Stilling Basin)

แบบนี้จะใช้ Hydraulic Jump เป็นตัวสลายพลังงานส่วนเกิน โดยทำให้ Jump เกิดขึ้นภายในอ่างที่กำหนดไว้ พลังงานจะถูกสลายไปจากการไหลอลวน หรือความปั่นป่วน ของกระแสน้ำในบริเวณอ่าง ความเร็วของน้ำจะลดลงจากการไหลแบบเหนียววิกฤต เป็นการไหลแบบได้วิกฤต และถูกปล่อยออกสู่ลำน้ำทางด้านท้ายของอ่างโดยไม่เกิดการอลวนมาก การออกแบบต้องคำนึงถึงว่าต้องเกิด Hydraulic Jump และเกิดภายในอ่างตลอดเวลา และความยาวของอ่างจะต้องน้อยสุด

ข. แบบกระแทก (Impact Type)

ลักษณะของอาคารแบบนี้ก็คือ น้ำที่ไหลมาจะถูกบังคับให้พุ่งกระทบเข้ากับสิ่งกีดขวางหรืออาศัยการกระแทกตัวระหว่างแท่งน้ำต่อแท่งน้ำเอง ทำให้น้ำกระเจายไปทุกทิศทุกทาง เป็นผลทำให้พลังงานถูกสลายไปในบางลักษณะของอาคาร พวยน้ำจะพุ่งลงไปในอ่างซึ่งมีน้ำขังอยู่แล้ว ซึ่งก็มีผลทำให้พลังงานถูกสลายไปเช่นกัน

ค. แบบ Bucket

เป็นการเบี่ยงเบนทิศทางการไหลของน้ำให้พุ่งสู่อากาศหรือไหลมันตัว การออกแบบอาคารสลายพลังงาน มักจะมาจากผลการศึกษาแบบจำลองว่าถ้าอาคารสลายพลังงานลักษณะนี้ควรจะมีขนาดเป็นอย่างไรสำหรับอัตราการไหลต่าง ๆ แต่ละแบบก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียต่างกันออกไปดังเช่น แบบอ่างน้ำนิ่ง ถึงแม้ว่าจะทำให้สภาพการไหลของน้ำทางด้านท้ายน้ำราบเรียบดีที่สุสุด แต่มีราคาแพงมาก ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้กับเขื่อนที่มีความสูงมาก ส่วนอาคารแบบ Flip Bucket หรือ Submerged Roller Bucket มีราคาถูกกว่ามาก แต่ต้องการฐานรากที่เป็นหินแข็ง

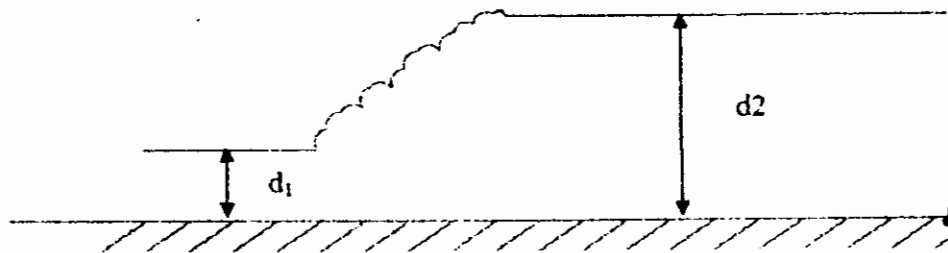
๘.๒) การวิเคราะห์ Hydraulic Jump

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 หรือรางเท



รูปที่ ๗ แสดง Hydraulic Jump

ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกก่อนและหลังเกิด Jump ในทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือทางน้ำที่มีความกว้างมาก สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้ดังนี้

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_{d1}^2} - 1 \right)$$

เมื่อ d_{d1} = ความลึกก่อนเกิด Jump

d_{d2} = ความลึกหลังเกิด Jump

$$F_1 = \text{Froude Number ของการไหลก่อนเกิด Jump}$$

$$= V_1 / \sqrt{gd_1}$$

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

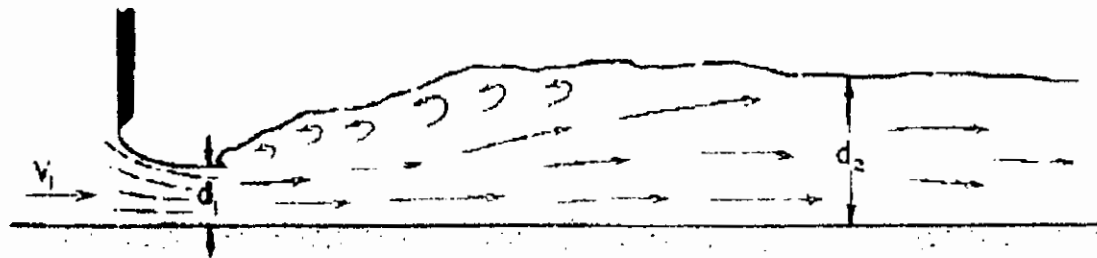
ประเภทของ Jump จะแบ่งตามค่าของ Froude Number ดังต่อไปนี้

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 ทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปทางด้านท้ายน้ำได้เป็นระยะทางหลาย ๆ กิโลเมตร ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อตลิ่งและหินทิ้งได้

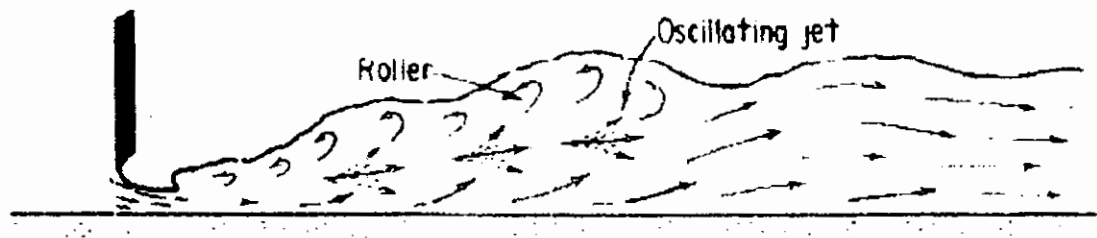
แบบที่ ๓ เป็นแบบ Well-Stabilized Jump เมื่อ $F_1 = ๔.๕ - ๙.๐$ Jump มีความมั่นคงดีและสามารถสลายพลังงาน ระหว่าง ๔๕-๗๐%

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



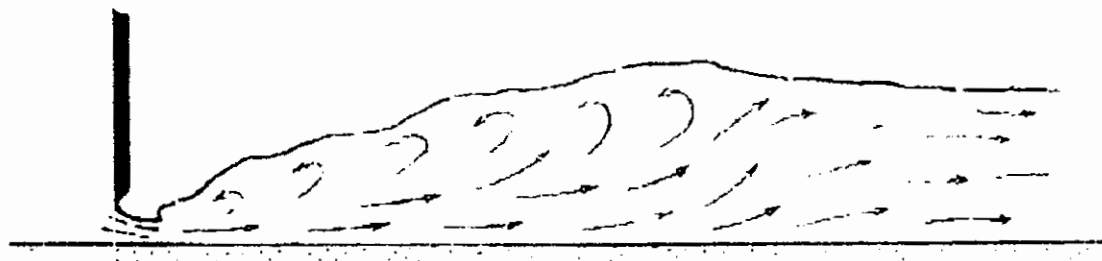
$$F_1 = 1.7 \text{ to } 2.5$$

A -- Pre-jump -- very low energy loss



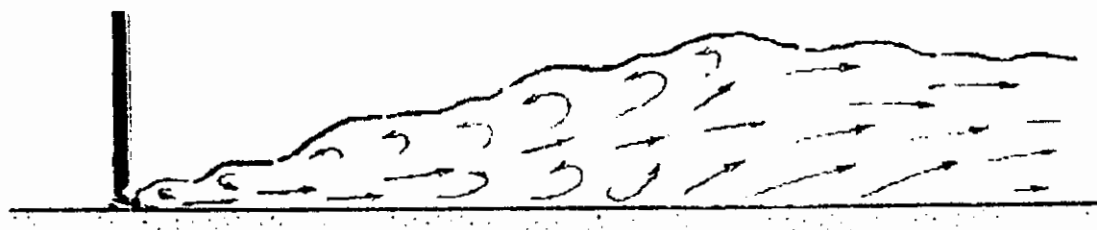
$$F_1 = 2.5 \text{ to } 4.5$$

B -- Transition -- rough -- water surface



$$F_1 = 4.5 \text{ to } 9.0 \text{ -- range of good jumps}$$

C -- Least affected by tail water variations



$$F_1 = 9.0 \text{ upward}$$

D -- Effective but rough

รูปที่ ๘ การแบ่งประเภทของ Hydraulic Jump

๘.๔) ข้อพิจารณาในการออกแบบ Stilling Basin

๑) ระยะเหวี่ยง (Free Board) การออกแบบระยะเหวี่ยงจะต้องพิจารณาผลของการกระแทกของน้ำต่อ Floor Blocks, และความปั่นป่วนของกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นและการรวมตัวกันของอากาศกับน้ำ USBR ได้เสนอกราฟเพื่อใช้สำหรับหาระยะเหวี่ยงน้ำล้นของอ่างน้ำนิ่ง เป็นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเหวี่ยงกับ $\frac{QV_1 d_1}{A}$ เมื่อ V_1 และ d_1 เป็นความเร็วและความลึกก่อนการเกิด Hydraulic Jump ตามลำดับ และระยะเหวี่ยงเป็นค่าสูงเหนือเส้นพลังงาน (Energy Gradient) ด้านท้ายน้ำ นอกจากกราฟดังกล่าว USBR ยังได้เสนอสูตรที่ใช้หาระยะเหวี่ยงที่มีหน่วยเป็นฟุตสำหรับเขื่อนขนาดเล็กไว้ ดังนี้

$$\text{ระยะเหวี่ยง} = 0.1 (V_1 + d_1)$$

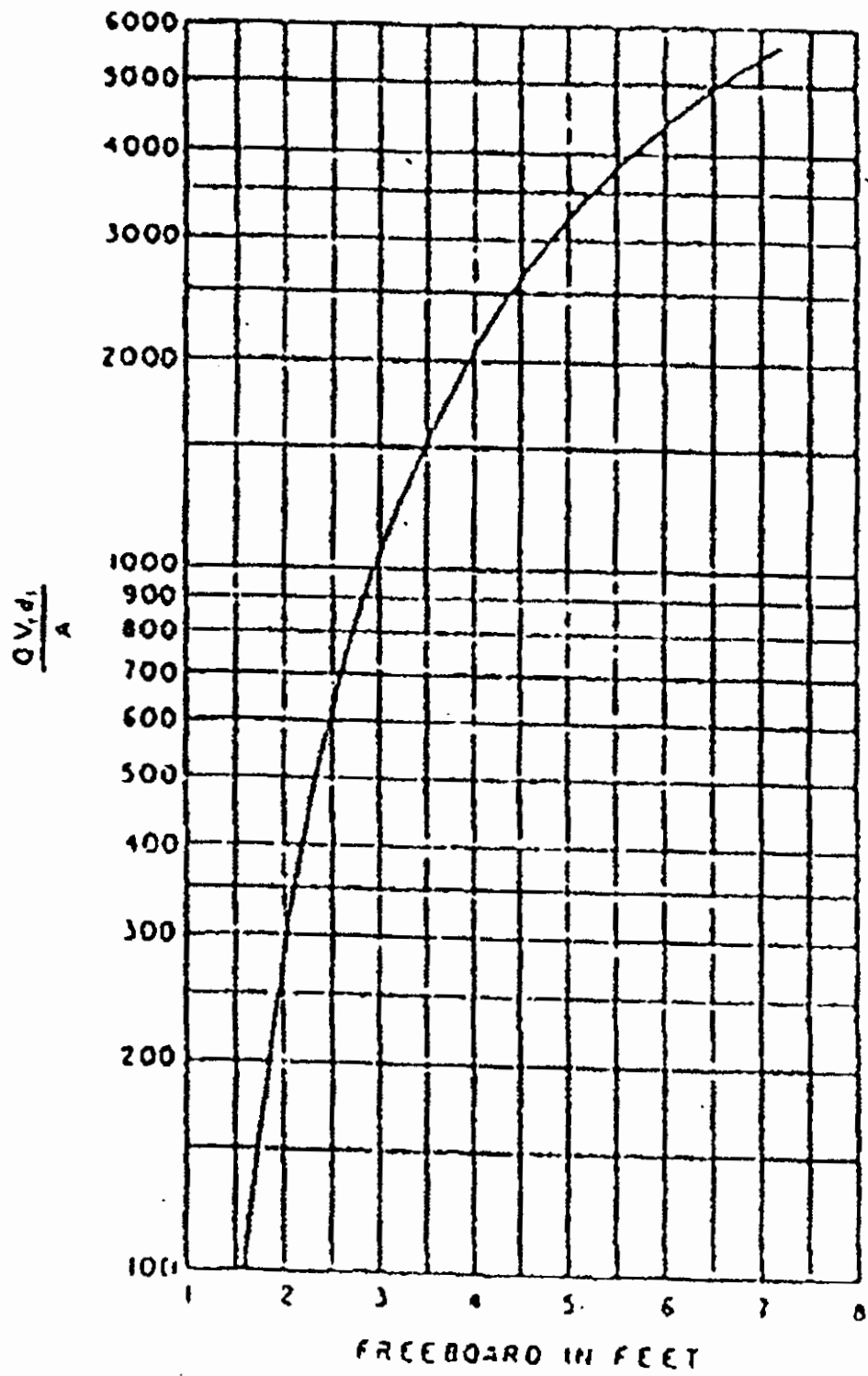
๒) ความกว้างของ Stilling Basin โดยทั่ว ๆ ไปมักจะออกแบบความกว้างของอ่างน้ำนิ่งให้เท่ากับความกว้างของรางหรือทางน้ำล้น ยกเว้นในกรณีที่น้ำไหลเข้ามามีความเร็วสูง จะทำการออกแบบให้อ่างน้ำนิ่งมีความกว้างกว่า โดยมีมุมผายออกเพียงเล็กน้อย เพื่อลดความหนาแน่นของอัตราการไหล (Discharge Concentration) ลดการเกิดคลื่นและการปั่นป่วนของกระแสน้ำทางด้านท้ายน้ำของ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

การเลือกความกว้างของอ่างน้ำนิ่งจะต้องพิจารณาควบคู่ไปกับการเลือกความยาว เพื่อให้ได้อาคารที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่ง US. Corps of Engineers ได้เสนอแนะการเลือกความกว้างไว้ ดังนี้

๑. จะต้องไม่ให้เกิดแรงดันลอยตัว (Uplift) บนพื้นที่ของอ่างมากเกินไป
๒. ระดับของอ่างจะต้องไม่ต่ำเกินไปเพื่อหลีกเลี่ยงการขุดดินบริเวณฐานรากลึกมาก

เกินไป

๓. ความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากอ่างจะต้องไม่มากเกินไปจนก่อให้เกิดการกัดเซาะ



รูปที่ ๙ กราฟสำหรับใช้หาระยะเมื่อล้นของ Stilling Basin

และเพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการออกแบบความกว้าง ได้มีผู้เสนอแนะสูตรไว้ ดังนี้

$$W = 1.81KVQ$$

เมื่อ W = ความกว้างของอ่างน้ำนิ่ง , เมตร

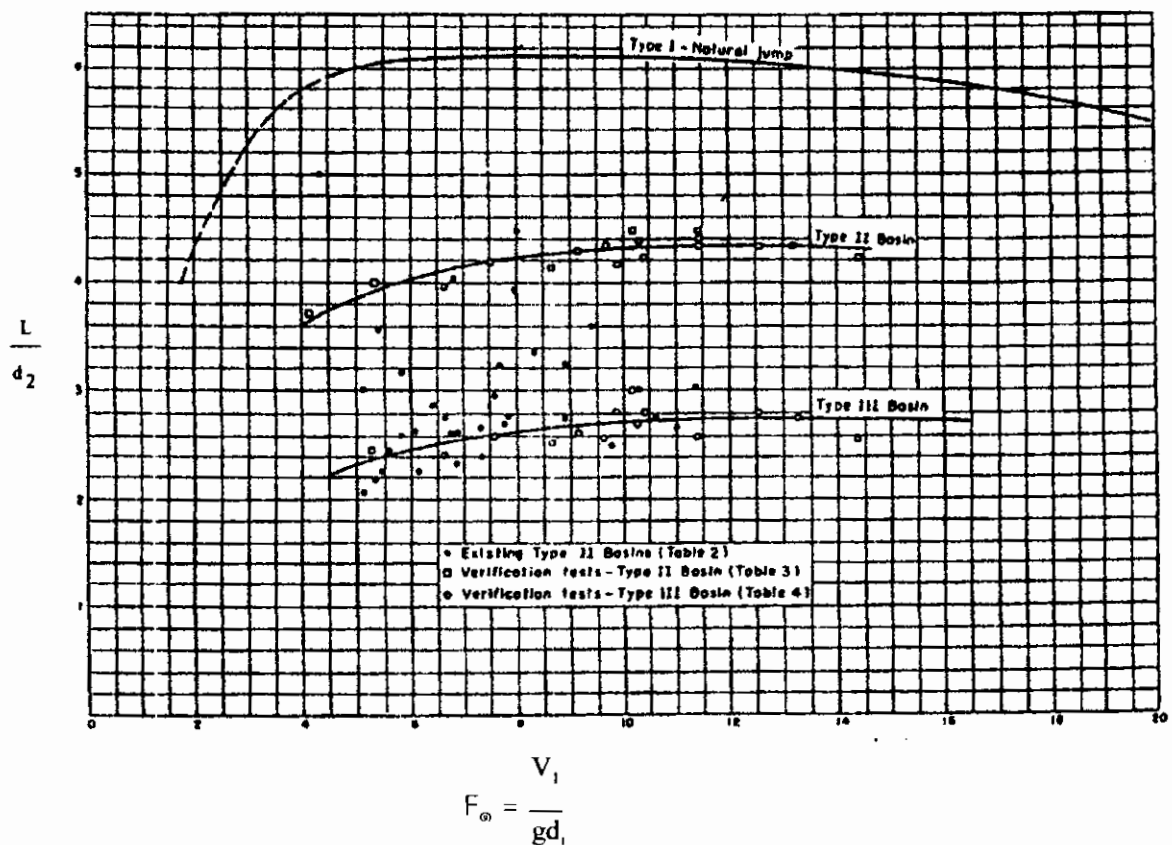
K = ค่าคงที่

= 1.0 สำหรับอ่างน้ำนิ่งที่รับน้ำจากรางเทหรือทางน้ำล้น

= 1.3 สำหรับอาคารในคลอง

Q = ปริมาณการไหลสูงสุด, ลูกบาศก์เมตร/วินาที

๓) ความยาวของ Stilling Basin โดยปกติความยาวของอ่างเท่ากับความยาวของ Jump ที่เกิดในอ่าง (ยกเว้น Stilling Basin Type I) และอัตราส่วน $\frac{L}{d_2}$ จะมีค่าอยู่ระหว่าง ๔ ถึง ๕ และจากการทดลองพบว่าถ้ามีการติดตั้ง Floor Block และ End Sill ที่เหมาะสมอัตราส่วน L/d_2 เท่ากับ ๓ ก็นับว่าเป็นการเพียงพอแล้ว แต่สำหรับบริเวณพื้นทางน้ำไม่มั่นคง ในทางปฏิบัติมักจะใช้ L/d_2 อย่างน้อยเท่ากับ ๔ และสำหรับบริเวณที่พื้นทางน้ำมีความมั่นคงดี อาจจะออกแบบโดยใช้เพียง ๒.๕ เท่านั้น รูปที่ ๕ เป็นโค้งที่ใช้หาค่าความยาวของอ่างน้ำนิ่งของ USBR



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

๔) การกำหนดระดับ Stilling Basin Hydraulic Jump จะเกิดเมื่อความลึก หลังเกิด Jump (d_2) หรือ ความลึก Conjugate ของ d_1 เท่ากับความลึกด้านท้ายน้ำ แต่ตามลักษณะทางชลศาสตร์ ความลึกด้านท้ายน้ำ จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการไหล ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะออกแบบอาคารสลายพลังงานให้มีความลึกหลังเกิด Jump เท่ากับความลึกด้านท้ายน้ำตลอดเวลา บางครั้งความลึกด้านท้ายน้ำอาจมีค่ามากกว่าความลึกหลังเกิด Jump ซึ่งจะทำให้เกิด Drowned Jump หรือบางครั้งความลึกหลังเกิด Jump มากกว่าความลึกด้านท้ายน้ำ จะทำให้ Jump เคลื่อนตัวไปทางด้านท้ายน้ำห่างออกไป ในการออกแบบจะต้องมีการเปรียบเทียบโค้งความลึก หลังการเกิด Jump และโค้งความลึกด้านท้ายน้ำ เพื่อกำหนดระดับพื้นของอ่างน้ำนิ่ง เพื่อให้โค้งของความลึกหลังเกิด Jump เข้าใกล้โค้งของความลึกด้านท้ายน้ำมากที่สุด โดยไม่มีส่วนใดของโค้งความลึกหลังเกิด Jump ในช่วง ปริมาณการไหลน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณการไหลสูงสุดผ่านอาคารอยู่เหนือความลึกด้านท้ายน้ำ

นอกจากการก่ระดับพื้นอ่างน้ำนิ่ง การกำหนดใช้ความกว้างของอ่างให้เหมาะสม จะมีส่วนช่วยให้โค้งความลึกหลังเกิด Jump เข้าใกล้โค้งความลึกด้านท้ายน้ำมากยิ่งขึ้น การใช้อ่างน้ำนิ่งที่กว้างขึ้น จะทำให้ ความลึกหลังเกิด Jump มีค่าน้อยลง ระดับพื้นอ่างจะได้ไม่ต้องอยู่ในระดับที่ลึกมากเกินไป ซึ่งทำให้ต้องเสียค่าขุด ดินมาก

ปริมาณการไหลออกแบบสูงสุดอาจจะไม่ใช่เป็นปัจจัยที่ใช้กำหนดระดับพื้นอ่างน้ำนิ่งเสมอไปซึ่ง ขึ้นอยู่กับปริมาณการไหลที่ทำให้เกิดระยะห่างมากที่สุด ระหว่างโค้งความลึกหลังเกิด Jump และโค้งความลึกด้าน ท้ายน้ำ

๘.๕) ประเภทของ Stilling Basin

๑) Stilling Basin แบบที่ I

อ่างน้ำนิ่งแบบนี้เป็นแบบที่ไม่มีการควบคุม Jump ให้เกิด ณ จุดใดจุดหนึ่ง โดยใช้ Chute Blocks และ Baffle Blocks ฉะนั้นเงื่อนไขของการไหลเปลี่ยนไปตำแหน่งที่เกิด Jump ก็จะไปด้วย อ่าง แบบนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในทางปฏิบัติ เพราะอ่างจะมีความยาวมาก ซึ่งความยาวของอ่างทั้งหมดต้องรวม ระยะห่างระหว่างอาคารหลักถึงตำแหน่งก่อนการเกิด Jump ด้วย Stilling Basin แบบที่ I นี้ใช้ควบคุม Jump ซึ่ง Froude number ไม่เกิน ๒.๕ หน่วย

๒) Stilling Basin แบบที่ II

เหมาะสำหรับเขื่อนขนาดใหญ่และทางน้ำล้นของเขื่อนดิน และอาคารในคลองขนาดใหญ่ ทำการ ลดความยาวของอ่างโดยการติดตั้งอุปกรณ์พิเศษบางอย่าง เช่น ตัวกันกระแทก และ Block แบบต่าง ๆ Stilling Basin แบบที่ II ใช้ Hydraulic Jump ซึ่ง Froude number มากกว่า ๔.๕ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อสรุปใน การออกแบบมีดังต่อไปนี้

๓) Stilling Basin แบบที่ III

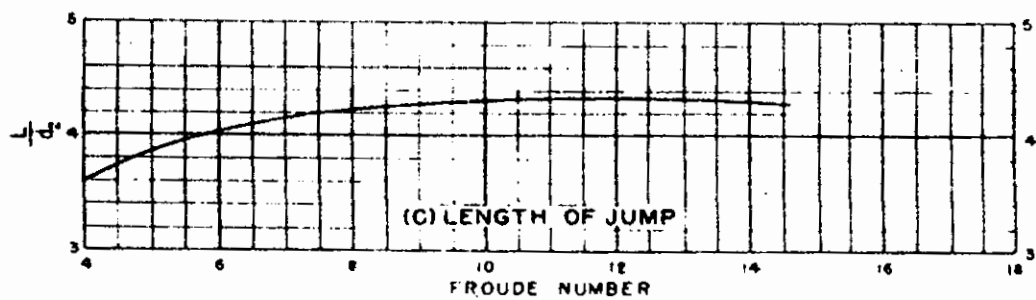
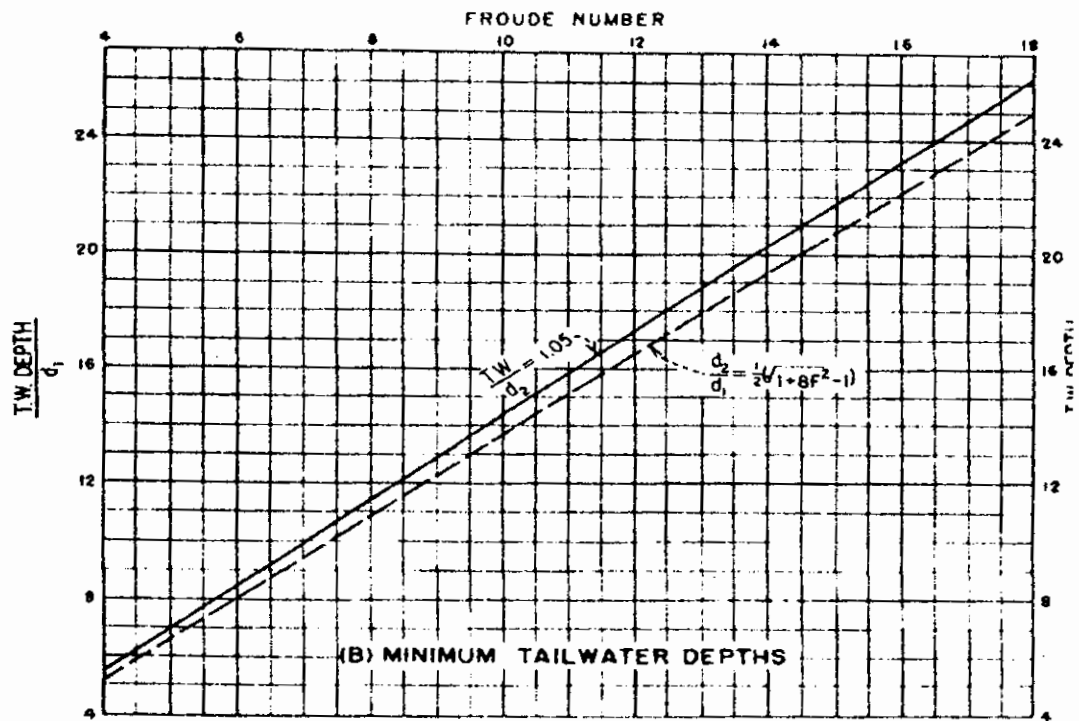
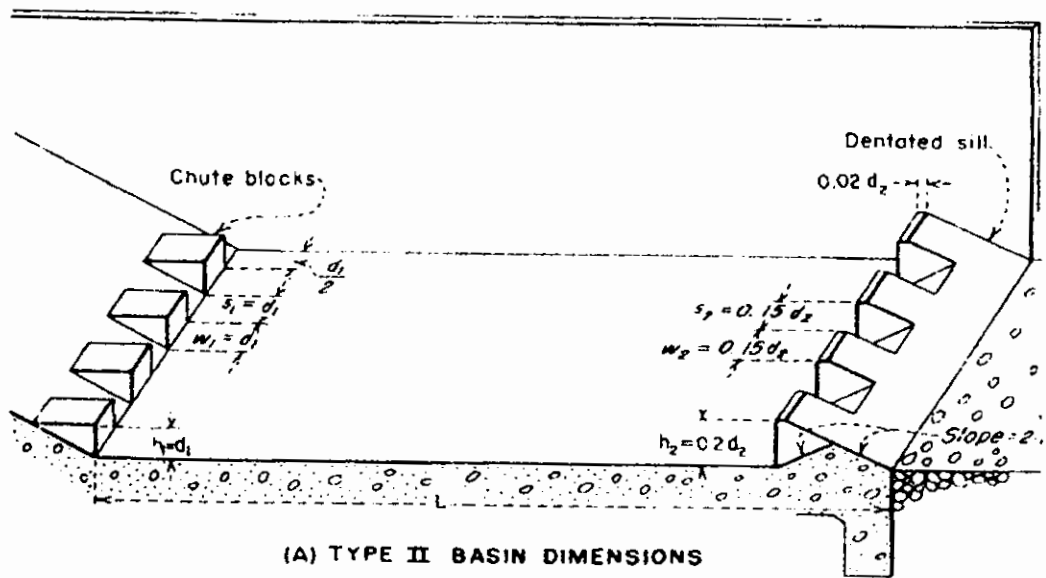
อ่างน้ำนิ่งแบบนี้ไม่ยาวมากเหมาะสำหรับอาคารในคลองชลประทานทั่วไป อาคารทางออก (Outlet Work) และทางน้ำล้นขนาดเล็ก ความเร็วเข้าสู่อ่างไม่เกิน ๑๘ เมตร/วินาที และ q ไม่ เกิน ๑๘.๖ ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เมตร อาคารแบบนี้มีราคาถูกกว่าแบบที่ II และจะทำหน้าที่ได้อย่างมี ประสิทธิภาพ Froude number เท่ากับหรือมากกว่า ๔.๕

๔) Stilling Basin แบบที่ IV

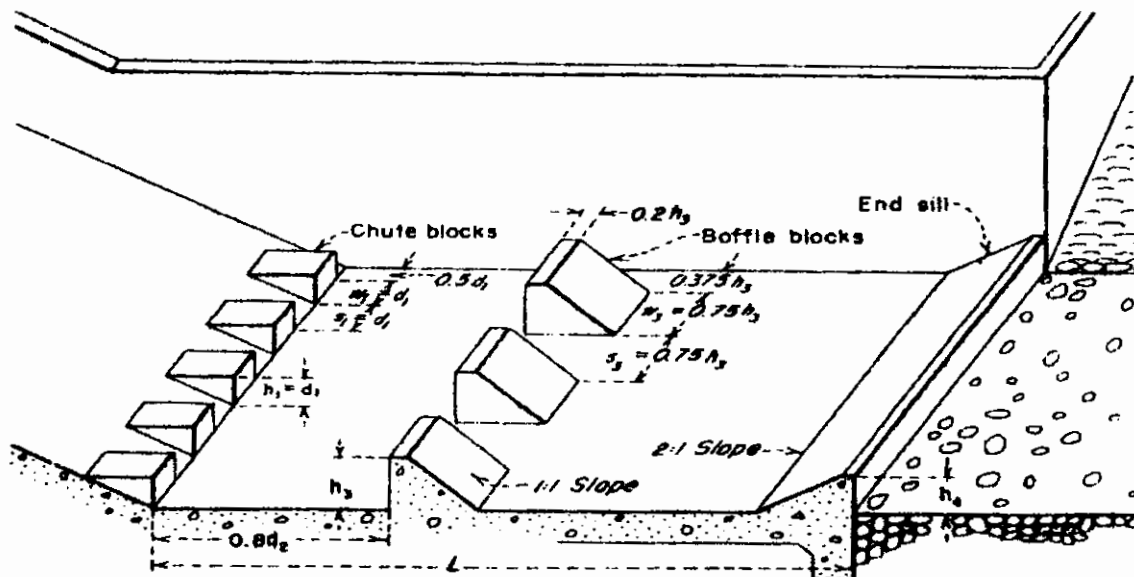
อาคารแบบนี้เหมาะสำหรับอาคารในคลอง อาคารทางออก และเขื่อนทดน้ำค่า Froude number ของการไหลควรอยู่ระหว่าง ๒.๕ และ ๔.๐ Hydraulic Jump จะไม่มั่นคงและจะเกิดคลื่น ซึ่งจะทำให้ความเสียหายให้แก่หินเรียงและคลองที่ไม่ได้คาด ในกรณีของอาคารทางออก ถ้า H เท่ากับหรือมากกว่า ๑.๕ เมตร และ Froude number อยู่ระหว่าง ๒.๕ และ ๔.๕

๕) Stilling Basin สำหรับ Froude number น้อย

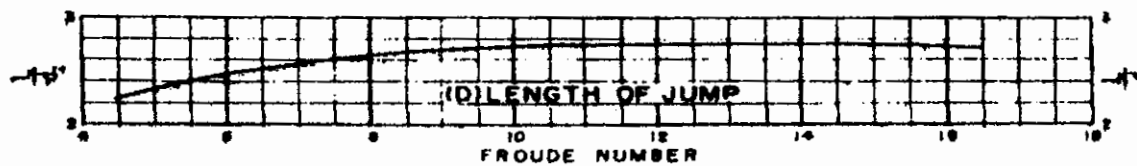
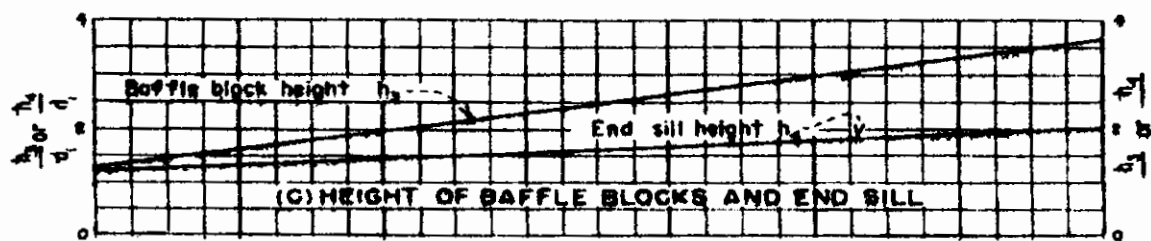
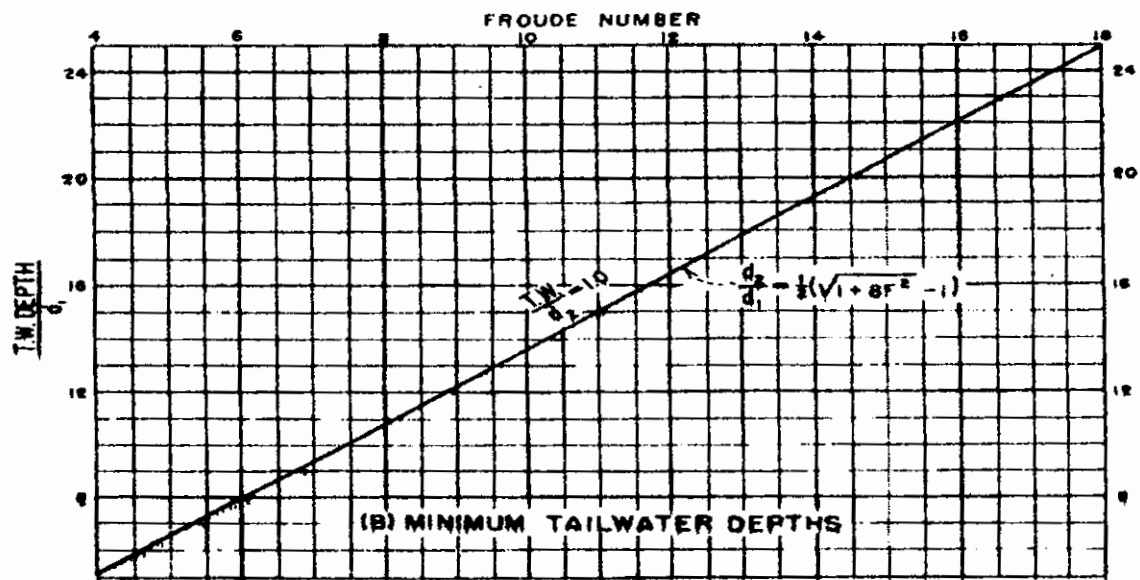
การไหลที่ Froude number มีค่าน้อย โดยเฉพาะในช่วงระหว่าง ๒.๕ ถึง ๔.๕ การไหลจะปั่นป่วนและเกิดคลื่นที่ผิวน้ำและการสลายพลังงานจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า ๕๐ เปอร์เซ็นต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสลายพลังงานและลดความยาวของอ่างน้ำนิ่ง USBR ได้เสนออ่างน้ำนิ่งเพื่อเลือกใช้ทดแทนอ่างน้ำนิ่งแบบที่ I และแบบที่ IV โดยอ่างแบบนี้ประกอบไปด้วย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



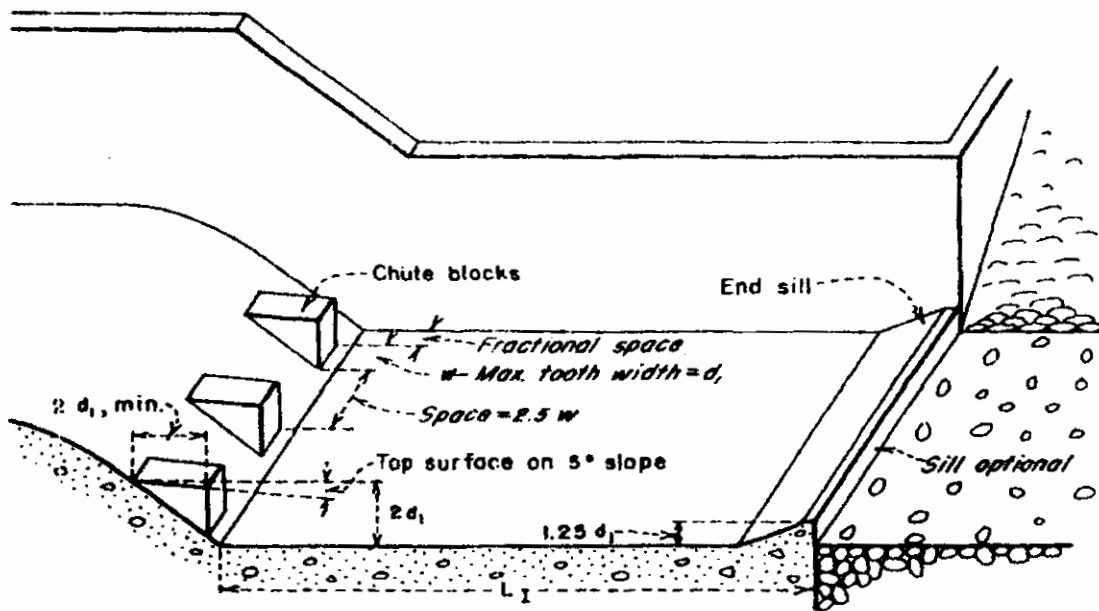
รูปที่ ๑๑ Stilling Basin แบบที่ II



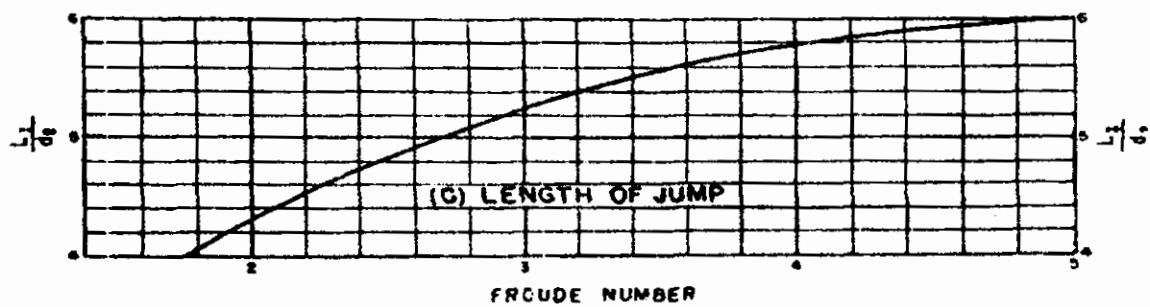
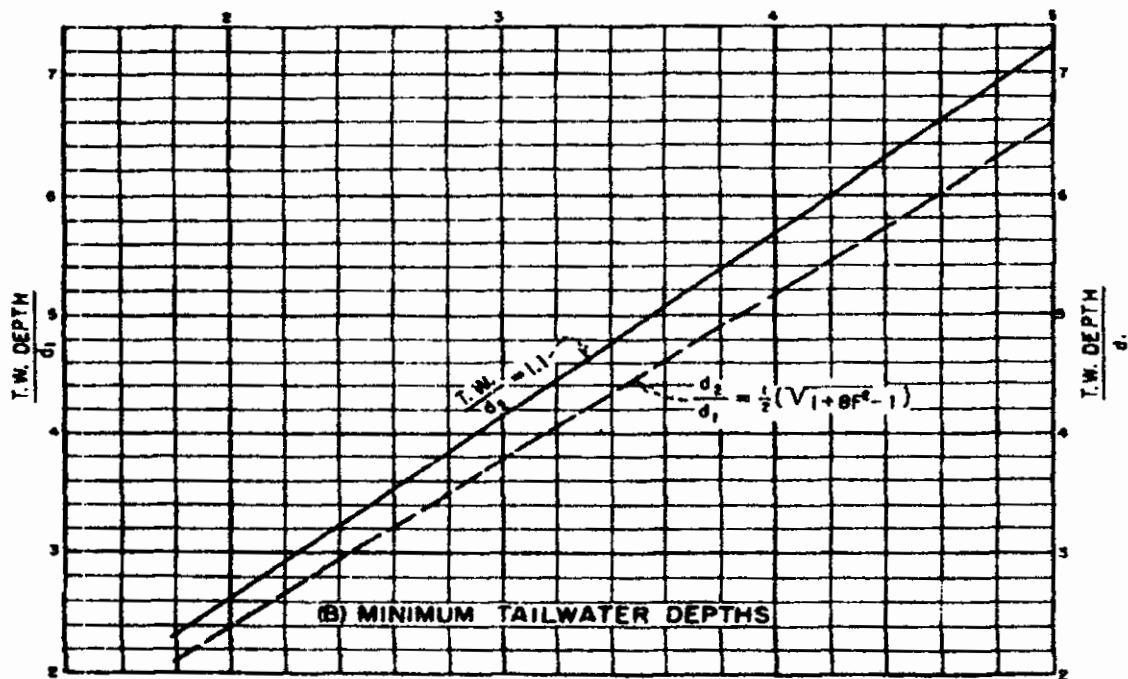
(A) TYPE III BASIN DIMENSIONS



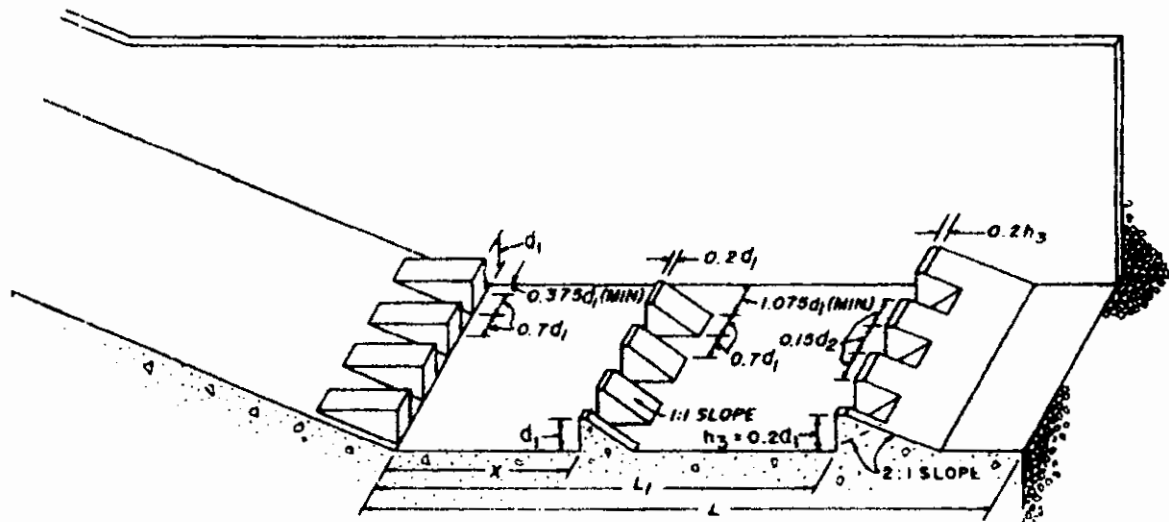
รูปที่ ๑๒ Stilling Basin แบบที่ III



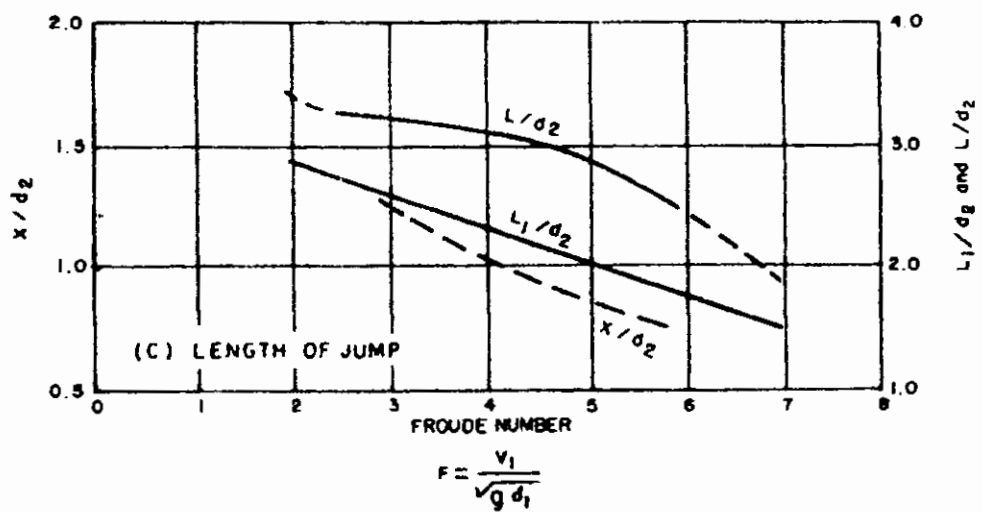
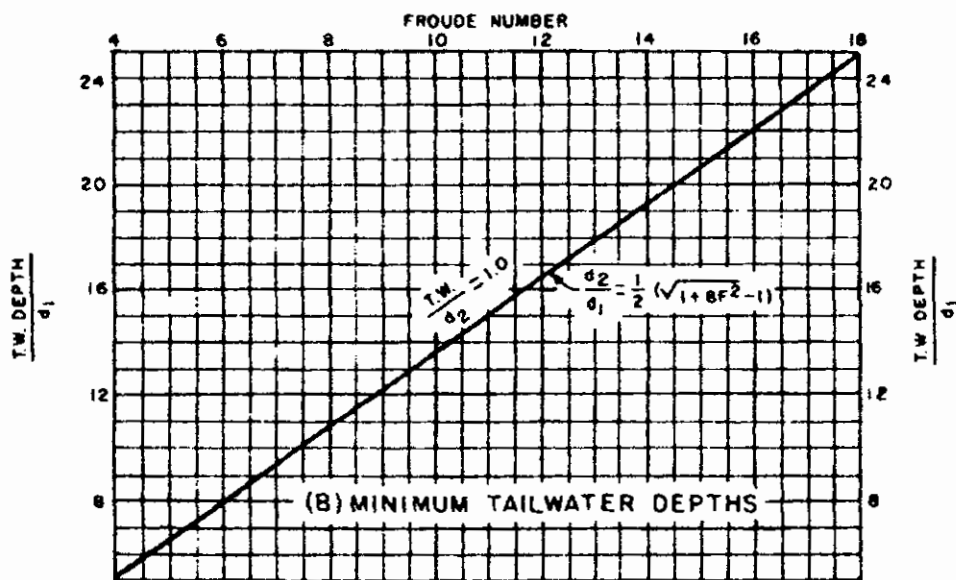
(A) TYPE IV BASIN DIMENSIONS
FROUDE NUMBER



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 จะต้องเชื่อมต่อกับลำน้ำเดิมให้สอดคล้องกลมกลืนกัน ไม่กีดขวางการไหลของน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดเซาะในบริเวณจุดตัดของคลองระบายน้ำ และลำน้ำเดิมได้
๗. ใช้ทำหน้าที่ป้องกันอุทกภัยเสริมช่วยอาคารทางระบายน้ำล้น โดยการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำลดระดับลงก่อนจะถึงฤดูน้ำหลาก ทำให้อ่างเก็บน้ำมีปริมาตรเพิ่มสามารถรับน้ำลงอ่างเก็บน้ำได้มากขึ้น
๘. ทำหน้าที่ระบายน้ำทั้งออกจากอ่างเก็บน้ำ เพื่อทำการตรวจสอบหรือซ่อมแซมตัวเขื่อน และอาคารท่อส่งน้ำ

ในการดำเนินการออกแบบตัวอาคารนี้ บริษัทที่ปรึกษาจะยึดหลักว่าต้องมีความปลอดภัย ก่อสร้างง่าย ประหยัดราคาก่อสร้าง 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 (Trashrack) ปิดอยู่เพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งของลอย

น้ำหรือสิ่งที่ไหลมากับน้ำไหลเข้าไปในท่อส่งน้ำ โดยปกติที่ปากทางเข้าท่อส่งน้ำจะมีทางรับน้ำเป็นรูปโค้ง (Entrance Shapes) เพื่อให้การไหลของน้ำเข้าท่อมีความราบเรียบสม่ำเสมอและไหลผ่าน Transition ซึ่งเป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างอาคารรับน้ำ และท่อส่งน้ำ ทั้งนี้เพื่อเปลี่ยนรูปร่างของช่องรับน้ำรูปสี่เหลี่ยม เป็นท่อส่งน้ำรูปวงกลม

ท่อส่งน้ำ (Conduit)

นิยมใช้เป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยมี Steel Liner อยู่ภายในตลอดความยาวซึ่งป้องกันไม่ให้น้ำรั่วเข้าในตัวยึด

- ๑) Steel Liner จะต้องสามารถรับ Internal Stress ของการระเบิดของน้ำได้
- ๒) คอนกรีตเสริมเหล็กหุ้มท่อ กำหนดให้รับ External Stress ซึ่งจะรับแรงเฉือน แรงดัดและแรงอัดในแนวแกนของดินที่กระทำต่อเปลือกท่อได้ การกำหนดตำแหน่งและระดับธรณีท่อ
- ๓) โดยปกติถ้าเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่จะมีทั้ง ๒ ผัง 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 Structureจนถึงปลายท่อส่งน้ำออก(Outlet Conduit)

การคำนวณหาปริมาณน้ำผ่านท่อส่งน้ำ และการหา Head Losses ต่าง ๆ จะใช้ตาม

Bernoulli's Equation จากแบบมาตรฐาน

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

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 ๆ ที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วย

๑. Trashrack Losses (h_t) หาได้จาก

$$h_t = K_t \left(\frac{V_n^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(๑.๒)$$

h_t = Trashrack Loss Coefficient

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

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^๒

๒. Entrance Losses ที่ปากท่อส่งน้ำ (h_e) หาได้จาก

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

เมื่อ K_e = Entrance Loss Coefficient

	=	๐.๑๖ (ค่าเฉลี่ยสำหรับ Square Bellmouth Entrance)
v_e	=	ความเร็วการไหลของน้ำที่ปากทางเข้า หน่วยเป็น เมตร/วินาที
g	=	อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก ๙.๘๑ เมตร/วินาที ^๒

๓. Friction Losses ของท่อส่งน้ำ (h_f) หาได้จาก

$$h_f = 124.5n^2 \frac{L}{D^{4/3}} \left(\frac{V_p^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(๑.๕)$$

เมื่อ n	=	Roughness Coefficient ของท่อเหล็ก
	=	๐.๐๑๒
L	=	ความยาวท่อส่งน้ำ
V_p	=	ความเร็วการไหลของกระแสน้ำในท่อส่งน้ำ เมตร/วินาที
D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ หน่วยเป็น เมตร
g	=	อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก
	=	๙.๘๑ เมตร/วินาที ^๒

๔. Contraction Losses เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของท่อจากใหญ่ไปเล็ก (h_c) หาได้จาก

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

- เมื่อ K_c = Contraction Coefficient
 = ๐.๑๐ กรณีค่อย ๆ เปลี่ยนขนาด (Flare Angle ไม่เกิน ๑๐°)
 = 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^๒

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

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

- 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^๒

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

ตารางที่ 5 Expansion Coefficient

๖. Bend Losses กรณีที่ท่อส่งน้ำเปลี่ยนแนวทิศทาง (h_b) หาได้จาก

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

เมื่อ K_b = Bend Loss Coefficient (ดูรูปที่ ๔.๒-๑)
 V = ความเร็วของน้ำในท่อส่งน้ำ หน่วยเป็น เมตร/วินาที
 g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก
 = ๙.๘๑ เมตร/วินาที^๒

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

โดย
 ที่ 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

$$h_g = h_{g1} + h_{g2} \dots\dots\dots(๑.๘)$$

$$h_{g1} = K_{g1} \left(\frac{V_{g1}^2}{2g} \right)$$

- เมื่อ h_{g1} = Guard Gate Loss
- h_{g2} = Operating Gate Loss
- K_{g1} = Gate Loss Coefficient สำหรับ Guard Gate
- = ๐.๑๙ สำหรับการเปิด Gate เต็มที่ (๑๐๐%)
- K_{g2} = Gate Loss Coefficient สำหรับ Operating Gate ซึ่งขึ้นอยู่กับ
- เปอร์เซ็นต์ของการเปิด 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_{g1} = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำของ Guard Gate
- หน่วยเป็น เมตร/วินาที
- V_{g2} = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำของ Operating Gate
- หน่วยเป็น เมตร/วินาที
- g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก
- = ๙.๘๑ เมตร/วินาที^๒

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

$$h_v = K_v \left(\frac{V^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(๑.๙)$$

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^๒

จากการคำนวณ Head Losses ต่าง ๆ ของท่อตลอดความยาวแล้ว สามารถ
 คำนวณหาปริมาณน้ำไหลผ่านท่อได้ดังสมการ

$$Q = A \sqrt{\frac{2gH_T}{K_L}} \dots\dots\dots(๑.๑๐)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำไหลผ่านท่อในระดับต่าง ๆ ของอ่างเก็บน้ำ
 หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที
 A = พื้นที่ช่องการเปิดบานระบายน้ำ หน่วยเป็น ตารางเมตร
 H_T = Total head Losses หรือความสูงของระดับน้ำจากระดับท่อส่งน้ำ
 หน่วยเป็น เมตร
 K_L = Total Loss Coefficient

การหาความหนาของท่อ Steel Liner จะพิจารณา ๒ กรณี คือ

๑. การหาความหนาของท่อ Steel Liner เพื่อต้านแรงดันของน้ำ

$$t = \gamma_w \frac{hD}{2f_s} \dots\dots\dots(๑.๑๑)$$

(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

$$t_{min} = \frac{D - 50.8}{400} \dots\dots\dots(๑.๑๒)$$

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

เปรียบเทียบความหนาระหว่างกรณีที่ ๑ กับ กรณีที่ ๒ ใช้มากกว่าในการออกแบบ
ท่อส่งน้ำ Steel Liner

สำหรับ Stress ที่เกิดขึ้นในผนังท่อที่ยอมรับได้ คำนวณได้จากสมการที่กำหนดไว้ใน

Welded Steel Penstocks : USBR ๑๙๖๗ คือ

$$f_s = \frac{Dp}{2te} \dots\dots\dots(๑.๑๓)$$

- เมื่อ f_s = Stress ที่เกิดขึ้นในผนังท่อ
หน่วยเป็น กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
- t = Thickness of Pipe หน่วยเป็น เซนติเมตร
- e = Efficiency of Joint
= ๐.๗ ในกรณีที่ย่อเชื่อมเป็นแบบ Double-Welded Butt Joint
โดยมีการสุ่มตรวจรอยเชื่อมด้วยวิธี Radio Graphic
- D = Inside Diameter of Pipe หน่วยเป็น เซนติเมตร
- p = Internal Pressure หน่วยเป็น กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

๓. อาคารท้ายน้ำ(Terminal Structure)

อาคารนี้จะทำหน้าที่สลายพลังงานที่ไหลออกจากปลายท่อส่งน้ำ ที่มีความเร็วการไหลของน้ำไม่เกิน ๑๕ ม./วินาที ให้มีพลังงานต่ำจนไม่สามารถทำความเสียหายกับอาคารได้ เหมาะกับท่อส่งน้ำที่มีปริมาณน้ำไหลผ่านน้อย การคำนวณหาขนาดรูปร่างมีรายละเอียดดังนี้

$$V = \frac{Q_m}{A} \dots\dots\dots(๑.๑๔)$$

- เมื่อ V = ความเร็วการไหลของน้ำที่ไหลออกจากปลายท่อส่งน้ำ
< ๑๕ เมตร/วินาที

- Q_m = ปริมาณน้ำไหลผ่านท่อส่งน้ำสูงสุด
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที

- A = พื้นที่หน้าตัดท่อส่งน้ำ หน่วยเป็น ตารางเมตร

Theoretical Velocity: $V = \sqrt{2gh}$ (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 นำไปหาขนาด
และมิติของอาคารท้ายน้ำชนิด Impact Type Stilling Basin

๑. ความรู้ทางด้านวิศวกรรมโครงสร้าง

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นความรู้สำหรับใช้เพื่อการออกแบบขนาดของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กให้สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ ซึ่งการคำนวณออกแบบ ประกอบด้วย ๒ ส่วน คือ การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาแรงต่างๆที่กระทำต่อโครงสร้าง และการออกแบบโครงสร้างเพื่อการเสริมเหล็กให้สามารถต้านทานแรงต่าง ๆ ที่หาได้จากการวิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อให้โครงสร้างของอาคารมีความแข็งแรง ปลอดภัยและเหมาะสมในการใช้งาน รายละเอียดที่ใช้ออกแบบ ดังนี้

การคำนวณและออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้ทฤษฎี Working stress Design โดยกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ในการออกแบบสำหรับคอนกรีต $f_c' = ๒๑๐$ กิโลกรัม/ตร.ซม. เหล็กเสริม ในโครงสร้างกำหนดให้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD๓๐ ($f_y = ๓,๐๐๐$ กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร) และเหล็กที่มีขนาดเล็กกว่า ๑๐ มิลลิเมตร กำหนดเป็นเหล็กกลม ชั้นคุณภาพ SR๒๔ ($f_y = ๒,๔๐๐$ กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

คำนวณแรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงข้างให้ปลอดภัยจากการพลิกคว่ำ ปลอดภัยจากการเลื่อนไถล จากแรงดันด้านข้าง (Lateral Earth Pressure) จากสูตร

$$\text{Active Earth Pressure} = K_a \gamma H \quad \text{หน่วย ดัน / ตารางเมตร}$$

$$\text{Passive Earth Pressure} = K_p \gamma H \quad \text{หน่วย ดัน / ตารางเมตร}$$

$$K_a = \text{สัมประสิทธิ์ของ Active Pressure} = (1 - \sin \phi) / (1 + \sin \phi)$$

$$K_p = \text{สัมประสิทธิ์ของ Passive Pressure} = (1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi)$$

$$\gamma = \text{Unit Weight of Soil} \quad \text{หน่วย ดัน / ลูกบาศก์เมตร}$$

$$H = \text{ความสูงของดินถม} \quad \text{หน่วย เป็นเมตร}$$

ตรวจสอบน้ำหนักอาคารที่กระจายลงฐานราก ของตัวฐานคอนกรีตรับตัวฝาย น้ำหนักของน้ำในยางขณะพองตัวเต็มที่และน้ำหนักสะพานทางเดิน ไม่ให้เกินกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของดินฐานราก

๒. ความรู้ทางด้านชลศาสตร์

เป็นความรู้สำหรับใช้เพื่อกำหนดรูปร่างลักษณะของอาคารและส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาคารฝาย ตรวจสอบความมั่นคงของอาคาร การวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำหลังจากการก่อสร้างอาคาร และการกำหนดการป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจากการไหลของน้ำ ด้านชลศาสตร์ ซึ่งรายละเอียดการออกแบบฝายสันเขื่อนที่รองรับยางมีหลักการ ดังนี้

๑) การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดผ่านตัวฝาย ที่ไม่ทำให้เกิดการท่วมเกินระดับที่ยอมรับได้
จากสูตร $Q = CLH^{5/2}$

Q = อัตราการไหลสูงสุดในการออกแบบ เป็นลูกบาศก์เมตร / วินาที

L = ความยาวสันฝาย เป็นเมตร

H = ความสูงของน้ำเหนือสันฝายในขณะที่ยางยุบตัวแล้ว เป็นเมตร

C = สัมประสิทธิ์การไหล ขึ้นชนิดของสันฝาย

๒) การออกแบบพื้นด้านหน้าฝาย

พื้นที่คอนกรีตด้านหน้าฝายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับท้องน้ำที่เป็นทรายหรือกรวด พื้นด้านหน้าฝายช่วยป้องกันการกัดเซาะและช่วยให้แรงดันยกตัว (Uplift pressure) ใต้ตัวฝายและพื้นที่ด้านท้ายฝายมีขนาดลดลง ทำให้ความหนาของพื้นที่ด้านท้ายฝายมีขนาดลดลงได้ ต้นทางของพื้นที่ด้านหน้าฝายควรต้องมีการทำกำแพง Cutoff เพื่อยืดระยะทางการไหลซึม และป้องกันการกัดเซาะเข้าใต้พื้น พื้นด้านหน้าฝายควรมีความยาวไม่น้อยกว่า ๓ เท่าของความสูงฝาย และความหนาไม่น้อยกว่า ๐.๓๐ เมตร

๓) การออกแบบพื้นด้านท้ายฝาย

ความยาวของพื้นด้านท้ายฝาย เป็นไปตามขนาดความยาวของอ่างน้ำนิ่ง (stilling basin) ที่เลือกใช้ และความหนาต้องมีขนาดเพียงพอที่จะต้านทานแรงดันยกตัวใต้พื้นอาคารได้ ถึงแม้ว่าการยืดความยาวของพื้นด้านเหนือน้ำ และการตอกเข็มพิคใต้พื้นด้านเหนือน้ำ จะช่วยลดความยาวและความหนาของพื้นด้านท้ายน้ำลงได้ก็จริง แต่ไม่ควรจะให้พื้นด้านท้ายน้ำสั้นและหนาน้อยเกินไป เพื่อป้องกันแรงกระแทกของน้ำไหลตกจากสันฝายไม่ให้เกิดเซาะท้องน้ำได้ ฉะนั้นพื้นไม่ควรหนาน้อยกว่า ๐.๓๐ เมตร การคำนวณหาความหนาของพื้นด้านแรงดันยกตัว ควรเผื่อเกณฑ์ความปลอดภัย ๑.๓ และสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

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

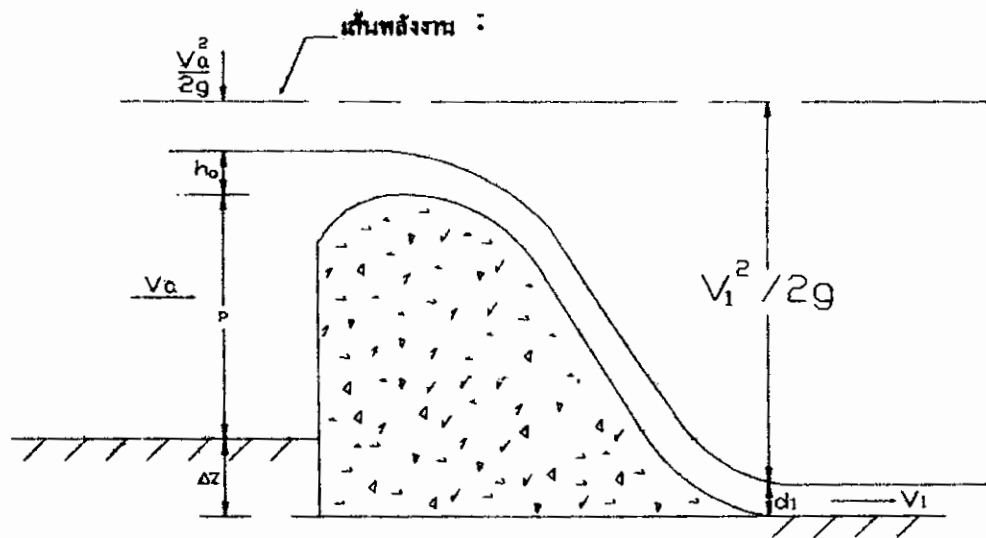
เมื่อ t = ความหนาของพื้น

γ_w = น้ำหนักหนึ่งหน่วยของน้ำ

γ_c = น้ำหนักหนึ่งหน่วยของคอนกรีตเสริมเหล็ก

๔) การคำนวณหาความเร็วที่ตีนฝาย

ความเร็วของน้ำที่ตีนฝายมีความสำคัญต่อการเลือกชนิดของอ่างน้ำนิ่ง สามารถคำนวณหาความเร็ว โดยอาศัยหลักการของพลังงานจากสมการต่อไปนี้



รูปที่ ๑ ความเร็วของน้ำที่ตีนฝาย

การคำนวณหาความเร็วที่ตีนฝาย

$$\Delta Z + P + h_o + \frac{V_o^2}{2g} = d_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

เมื่อ ΔZ = ผลต่างของระดับพื้นดินด้านหน้าและด้านท้ายฝาย

P = ความสูงของสันฝายจากพื้นด้านหน้า

h_o = ความลึกของน้ำเหนือสันฝาย

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

q = ปริมาณการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของ Approach Channel หน้าฝาย

d_1 = ความลึกของน้ำที่ตีนฝาย

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

๕) การวิเคราะห์รูปตัดตามยาวของการไหลของผิวน้ำด้านเหนือน้ำ

การสร้างฝายทดน้ำจะมีผลกระทบต่อระดับน้ำปกติด้านเหนือน้ำของฝาย เพราะฝายจะยกระดับน้ำให้สูงกว่าปกติโดยเฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลาก ไม่เฉพาะที่ตำแหน่งหน้าฝาย แต่จะส่งผลย้อนกลับขึ้นไปด้านเหนือน้ำเป็นระยะไกล ซึ่งอาจจะทำให้น้ำล้นตลิ่งแล้วเข้าท่วมพื้นที่ได้ ฉะนั้นจะต้องมีการวิเคราะห์ระยะทางของลำน้ำด้านเหนือน้ำพร้อมความสูงของระดับน้ำที่ได้รับผลกระทบจากการสร้างฝาย แล้วกำหนดระดับสันคันดินสองข้างตลิ่งให้สูงพอที่จะป้องกันน้ำล้นตลิ่งได้ การคำนวณหน้าข้างการไหลของปริมาณการไหลต่างๆ ตามขนาดรอบปีการเกิดซ้ำสามารถทำได้โดยใช้วิธี Standard Step

๖) การวิเคราะห์ความลึกด้านท้ายน้ำ (Analysis of Tailwater Depth)

ความลึกด้านท้ายน้ำ (TW) เป็นความลึกของน้ำที่เกิดขึ้นตามสภาพปกติ (ไม่มีฝายทดน้ำขวางลำน้ำ) ของลำน้ำและหน้าตัดด้านท้ายของอ่างน้ำนิ่ง (Stilling Basins) ความลึกของน้ำด้านท้ายมีความสำคัญต่อการเกิด Hydraulic Jump และการกำหนดระดับของพื้นอ่างน้ำนิ่ง (Stilling Basins) โดยระดับน้ำด้านท้ายต้องมากกว่าหรือเท่ากับระดับน้ำหลัง Hydraulic Jump มิฉะนั้นแล้ว ตำแหน่งของการ Hydraulic Jump จะเคลื่อนที่ออกมาทางด้านท้ายน้ำของอ่างน้ำนิ่ง และจะทำให้เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงต่อพื้นและตลิ่งลำน้ำ

ในการกำหนดระดับพื้นของอ่างน้ำนิ่งนั้น จะต้องมีการเปรียบเทียบความลึกด้านท้ายน้ำกับความลึกหลัง Hydraulic Jump เมื่อปริมาณการไหลขนาดต่างๆ ไหลตกจากฝายลงมาต้องมีการจัดทำ Rating Curve ของหน้าตัดทางด้านท้ายฝายซึ่งโดยปกติจะไม่มี การตรวจวัดข้อมูลระดับน้ำหรือความลึกของน้ำ

และปริมาณการไหล จึงต้องมีการพิจารณาจัดทำ Rating Curve โดยอาศัยการคำนวณจากสมการแมนนิง

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

เมื่อ Q = อัตราการไหลในลำน้ำ, ลูกบาศก์เมตร/วินาที

n = ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง

A = พื้นที่หน้าตัดของน้ำไหลในคลอง, ตารางเมตร

R = รัศมีชลศาสตร์, เมตร = A/P

P = ความยาวของเส้นของเปียก, เมตร

S = ความลาดเทของเส้นพลังงาน หรือ ความลาดชันของท้องลำน้ำในกรณีการ

ไหลแบบ Uniform

ค่าสัมประสิทธิ์ n สามารถประเมินกำหนดได้จากชนิดของวัสดุหรือดินตามผิวลำน้ำ และลักษณะของลำน้ำ (ซึ่งจะเลือกใช้ได้จากหนังสือ หรือตำราที่เกี่ยวข้องกับชลศาสตร์ และการไหลในทางปิด) ขั้นตอนการสร้าง Rating Curve พอสรุป ได้ดังนี้

๑. ทำการสำรวจหน้าตัดของลำน้ำตรงตำแหน่งที่จะสร้างฝายทดน้ำ
๒. ทำการสำรวจความลาดชันของท้องลำน้ำ
๓. เขียนรูปหน้าตัดด้วยมาตราส่วนที่เหมาะสมลงในกระดาษ
๔. กำหนดความลึกของน้ำค่าต่างๆ เพื่อหาค่า A , P และ R
๕. ทำการประเมินกำหนดค่า n ตามชนิดของวัตถุหรือดินและลักษณะของลำน้ำ
๖. คำนวณหาความเร็วและอัตราการไหลตามสมการของแมนนิง
๗. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหรือระดับน้ำและอัตราการไหล ซึ่งก็คือ Rating Curve

ในกรณีที่มีการปรับแต่งลำน้ำด้านท้ายต่อจากอ่างน้ำนิ่ง เป็นช่วงระยะความยาวที่เหมาะสม การวิเคราะห์หา Rating Curve จะใช้ข้อมูลหน้าตัดและลักษณะของลำน้ำจากการปรับแต่งลำน้ำ

๗) การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำและแรงดันใต้พื้นอาคาร

เนื่องจากการไหลซึมของน้ำจากด้านหน้าฝาย ซึมเลาะไปตามแนวใต้พื้นฝายและปรากฏออก ด้านท้ายสุดของพื้นอาคาร การไหลซึมดังกล่าวอาจนำพาเม็ดดินใต้พื้นอาคารให้หลุดออกไปกับน้ำได้ ทำให้เกิดโพรง (Piping) ได้ฐานราก จนทำให้อาคารทรุดตัวและพังลงในที่สุด ฉะนั้นก่อให้เกิดความปลอดภัย จึงต้องออกแบบให้ฝายมีความยาวเพียงพอ จนน้ำไม่สามารถนำพาเม็ดดินใต้ฐานออกไปได้ นอกจากอาจทำให้เกิดโพรง แล้วการไหลซึมของน้ำ ยังทำให้เกิดแรงดันยกตัว (Uplift Pressure) ซึ่งมีผลต่อความมั่นคงของฝายด้วย

๗.๑) วิธีของ Bligh สามารถคำนวณหาระยะทางที่น้อยที่สุดของการไหลซึมลอดได้ฐาน ได้โดยสมการ ต่อไปนี้

$$L_{\min} = C \Delta H$$

เมื่อ $L_{\min}$ = ระยะทางน้อยที่สุดของการไหลซึมได้ฐานรากโดยไม่เกิด piping

C = สัมประสิทธิ์การไหลซึมของ Bligh

ΔH = ผลต่างของระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายของฝาย

โดย L เป็นระยะทางจริงที่น้ำไหลซึมผ่าน ไม่ว่าจะเป็นระยะทางในแนวราบหรือระยะทางในแนวตั้ง

ตารางที่ ๒ สัมประสิทธิ์การไหลซึมของ Bligh

ชนิดดินฐานราก	C
- ทรายละเอียดมากหรือดินตะกอน	๑๘
- ทรายละเอียด	๑๕
- ทรายหยาบ	๑๒
- กรวดและทราย	๙
- หิน กรวด และทราย	๔ ถึง ๖

๗.๒) วิธีของ Lane สามารถคำนวณหาระยะทางที่น้อยที่สุดของการไหลซึมลอดได้ฐานได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$L_{min} = C_w \Delta H$$

เมื่อ $C_w = \frac{L}{\square}$

= Weighted creep ratio

ΔH = ผลต่างของระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายของฝาย

สำหรับค่า L มีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้

- ถ้าเป็นระยะตามแนวตั้งหรือแนวเอียงที่ทำมุมกับพื้นราบมากกว่า ๔๕° ให้ใช้ความยาวจริง
- ถ้าเป็นระยะตามแนวราบที่เลาะได้พื้นอาคาร หรือแนวเอียงที่ทำมุมกับพื้นรำน้อยกว่า ๔๕° ให้ใช้ของความยาวจริง $\frac{1}{3}$

ตารางที่ ๓ แสดง Weighted Creep Ratio ของ Lane

ชนิดดินฐานราก	Weighted Creep Ratio
- ทรายละเอียดมากหรือดินตะกอน	๘.๕
- ทรายละเอียด	๗.๐
- ทรายหยาบปานกลาง	๖.๐
- ทรายหยาบ	๕.๐

- กรวดละเอียด	๔.๐
- กรวดหยาบปานกลาง	๓.๕
- กรวดหยาบ	๓.๐
- หินใหญ่มีกรวดแทรก	๒.๕
- ดินเหนียวอ่อน	๓.๐
- ดินเหนียวแข็งปานกลาง	๒.๐
- ดินเหนียวแข็ง	๑.๘
- ดินเหนียวแข็งมากหรือดินดาน	๑.๖

๘) แรงดันยกตัว (Uplift pressure)

แรงนี้เกิดจากการไหลซึมของน้ำไปตามแนวใต้พื้นอาคารซึ่งจะมีผลต่อความมั่นคงของตัวฝาย และความหนาของพื้นต้านท้ายฝาย สามารถคำนวณหาแรงดันยกตัวได้จากสมการต่อไปนี้

$$U_x = \left(1 - \frac{L_x}{L} \right) H + H_d$$

เมื่อ U_x = แรงดันยกตัว, เมตร

L_x = ระยะทางการไหลซึมของน้ำจากจุดเริ่มต้นถึงตำแหน่งใดๆ ที่พิจารณาใต้พื้นที่อาคาร, เมตร

L = ระยะทางทั้งหมดของการไหลซึมของน้ำใต้พื้นอาคาร, เมตร

ΔH = ผลต่างของระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายของฝาย, เมตร

H_d = ความลึกของน้ำด้านท้ายฝาย วัดจากใต้พื้นฝาย, เมตร

เกณฑ์ในการคำนวณหา L และ L_x เป็นไปตามวิธีของ Bligh หรือวิธีของ Lane ที่เลือกใช้จะนั้น ในการคำนวณหาแรงดันยกตัว ควรหาจากสองวิธีมาเปรียบเทียบกัน และเลือกใช้ค่าที่มากกว่าใช้ในการออกแบบ ความหนาพื้นต้านท้ายฝาย และวิเคราะห์ความมั่นคงของฝาย

๔) การป้องกันการไหลซึมของน้ำไหลลอดอาคาร (piping)

ในกรณีถ้าความยาวของการไหลซึมจะได้พื้นผาย มีขนาดน้อยกว่า L_{min} เพื่อป้องกันการเกิด Piping สามารถดำเนินการได้ ดังนี้

๑. เพิ่มความยาวแนวราบของพื้นด้านเหนือน้ำ (Upstream apron)

๒. สร้างกำแพง Cutoff และ/หรือ ตอกเข็มปิด เพื่อเพิ่มความยาวในแนวดิ่ง

๓. ทำตัวกรองน้ำและท่อระบายน้ำใต้พื้นไว้ที่พื้นผายด้านท้ายน้ำ เพื่อกรองเม็ดดินไว้และให้น้ำระบายออกจากใต้พื้นขึ้นสู่ด้านบน โดยวางท่อผ่านพื้นและให้แนวท่อเอียงเล็กน้อยไปตามการไหลของน้ำที่ไหลลงจากผาย

การพิจารณาความยาวของการไหลซึม เพื่อความปลอดภัยควรคำนวณโดยใช้หลักการของ Lane และควรพิจารณาเพิ่มระยะทางการไหลซึมด้วยการสร้างกำแพง Cutoff และการตอกเข็มปิดใต้พื้นอาคารด้านเหนือน้ำ

๑๐) การออกแบบกำแพง (Cutoff)

อย่างน้อยควรจะต้องสร้างกำแพง Cutoff ๒ ตำแหน่ง คือ ต้นทางของพื้นด้านเหนือน้ำและด้านปลายของพื้นด้านท้ายน้ำ ซึ่งนอกจากจะช่วยป้องกันการเกิด piping แล้วยังช่วยป้องกันการเกิดน้ำกัดเซาะ ใต้พื้นอาคาร โดยเฉพาะตัวที่อยู่ด้ายปลายของพื้นด้านท้ายน้ำ เพราะน้ำที่ไหลตกจากผายจะมีความแรง และปั่นป่วนมาก

ขนาดของความลึกและกำแพง Cutoff น้อยที่สุดเป็นไปตามเกณฑ์ที่แสดงในตาราง แต่ก็ไม่ควรจะลึกมากกว่า ๒.๐ เมตร ถ้าจำเป็นต้องสร้างกำแพง Cutoff มากกว่า ๒ แนว ต้องกำหนดให้กำแพง ๒ แห่งที่อยู่ใกล้กัน มีระยะห่างไม่น้อยกว่า ๒.๐ เท่าของความลึกของ Cutoff ตัวที่ลึกกว่า ซึ่งโดยทั่วไปในทางปฏิบัติจะใช้ระยะห่าง ๒ เท่าของขนาดน้อยสุดของกำแพง Cutoff

ตารางที่ ๔ ขนาดของความลึกน้ำและกำแพง

ความลึกน้ำ (ม.)	ความลึกกำแพง (ม.)	ความหนา (ม.)
ไม่เกิน ๑.๐ ม.	๐.๕๐	๐.๒๐
๑.๐๑ – ๒.๐๐	๑.๐๐	๐.๓๐
๒.๐๑ – ๓.๐๐	๑.๕๐	๐.๔๐
มากกว่า ๓.๐๐	๒.๐๐	๐.๕๐

๑๑) การวิเคราะห์ความมั่นคงของตัวฝาย (Stability)

ฝายจะต้องมีความมั่นคงปลอดภัยจากกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้

๑๑.๑) ความมั่นคงต่อการไหลซึมของน้ำใต้ฐาน (piping)

การไหลซึมของน้ำใต้ฐานเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยาก แต่การไหลซึมของน้ำใต้ฐาน จะต้องไม่นำพาเอาเม็ดดินหลุดออกมาด้วย เพื่อไม่ให้ดินตามแนวใต้ฐานฝาย เกิดเป็นโพรง (piping) และพังทลายลงในที่สุด การวิเคราะห์และการป้องกันได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อการป้องกันการเกิด Piping

๑๑.๒) ความมั่นคงต่อการพลิกคว่ำ (Overturning)

สาเหตุโดยตรงของการพลิกคว่ำมาจากว่า แรงในแนวราบมากกว่าในแนวตั้งจนเป็นสาเหตุในแรงลัพธ์ของแรงทั้งหมดรวมแรงลอยตัวด้วย ตามระนาบแนวราบใต้ฐานฝาย ตกออกนอกส่วนกึ่งกลางหนึ่งในสาม (Middle Third) ของฐาน ค่าความปลอดภัยของอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ต้านการพลิกคว่ำกับโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำเท่ากับหรือมากกว่า ๑.๕๐

$$\text{F.S.} \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_O} \geq 1.50$$

เมื่อ F.S. = แฟคเตอร์ความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ

ΣM_R = ผลรวมของโมเมนต์ต้านการพลิกคว่ำที่เกิดจากแรงต่างๆ

ΣM_O = ผลรวมของโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำที่เกิดจากแรงต่าง ๆ

เกณฑ์ของ Middle Third ใช้ได้กับรูปร่างของระนาบแนวราบใต้ฐานเขื่อนเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า และเกิดจากสาเหตุที่ไม่ต้องการให้เกิดแรงเค้นดึง (Tension stress) ปลายระนาบแนวราบใต้ฐานเขื่อน เพราะอาจทำให้ฝายพังทลายลงด้วยการพลิกคว่ำในที่สุด การตรวจสอบสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$e \leq L/3$$

เมื่อ e = ระยะระหว่างตำแหน่งของแรงลัพธ์กับจุดศูนย์กลางพื้นที่ของระนาบแนวราบใต้ฐาน

L = ความยาวของฐานฝาย

กระทำการตรวจสอบค่า e ด้วยเกณฑ์ของ Middle third ในกรณีฝายไม่มีน้ำด้านหน้า และกรณีฝายทื่อน้ำเต็มทีและด้านท้ายน้ำแห้ง

๑๑.๓) ความมั่นคงต่อการเลื่อนตัว (Sliding)

สาเหตุโดยตรงของการเลื่อนตัวมาจากว่า แรงสุทธิในแนวราบมากกว่าผลรวมของแรงต้านหรือแรงเสียดทานตามแนวราบได้ฐานฝาย แรงเสียดทานนี้เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของฐานฝายกับพื้นดิน ที่รองรับอาคาร โดยทั่วไปนิยมเผื่อความปลอดภัยระหว่าง ๑.๕ ถึง ๒.๐

$$\begin{aligned} F.S \times \Sigma P &\leq C \cdot \Sigma V \\ \text{หรือ} \quad F.S &= \frac{C \cdot \Sigma V}{\Sigma P} \geq \text{ค่าความปลอดภัยที่กำหนดใช้} \end{aligned}$$

เมื่อ $F.S.$ = แฟคเตอร์ความปลอดภัยต่อการเลื่อนตัว

ΣP = แรงสุทธิในแนวราบที่กระทำต่อตัวฝาย

ΣV = แรงสุทธิในแนวตั้งรวมแรงดันยกตัว

C = สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน เลือกใช้ตามเกณฑ์ต่อไปนี้

- หน้าสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับกรวด $C = ๐.๕$

- หน้าสัมผัสของคอนกรีตกับทราย $C = ๐.๔$

- หน้าสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับดินเหนียว $C = ๐.๓$

ในกรณีที่ฝายตั้งอยู่บนฐานรากที่เป็นหิน และต้องพิจารณาแรงต้านแรงแรงเอนที่ฐานค่าความปลอดภัยไม่ควรจะน้อยกว่า ๔.๐ และสามารถตรวจสอบได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} F.S &= (S_a A + f \Sigma V) / \Sigma P \geq ๔.๐ \\ \text{เมื่อ} \quad S_a &= \text{ความสามารถในการต้านแรงเฉือน (Shearing stress) ตามระนาบแนวราบที่ฐานฝาย, กก./ม.}^๒ \\ A &= \text{พื้นที่รับแรงเฉือน} \\ f &= \text{สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน} = ๐.๖ \end{aligned}$$

กรณีที่ความมั่นคงต่อการเลื่อนตัวไม่ผ่านเกณฑ์ความปลอดภัย จะต้องพิจารณาเพิ่มแรงต้านทานการเลื่อนตัวให้มากขึ้นโดยการเพิ่มน้ำหนักตัวฝาย หรือพิจารณาให้ดินหลังกำแพง Cutoff ที่อยู่ใต้พื้นฝายรับแรงส่วนเกิน และออกแบบการเสริมเหล็กที่ Cutoff ให้เพียงพอตามหลักการของการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

๑๑.๔) ความมั่นคงต่อการรับน้ำหนักกดของดินใต้ฐาน

เพื่อให้ฝายมีความมั่นคงต่อแรงกด (Bearing) ที่กระทำต่อฐานรากทั้งในกรณีที่ฝายทدنน้ำเต็มที และกรณีที่ไม่มีน้ำทั้งสองด้าน แรงกดที่เกิดขึ้นจะต้องน้อยกว่า แรงกดสูงสุดที่ดินสามารถจะรับได้ แรงกดที่เกิดขึ้น ใต้ฐานสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (พิจารณาสันฝายยาว ๑ เมตร)

$$q = \frac{\Sigma V}{l} \left(1 + \frac{6e}{L} \right) \leq q_s$$

เมื่อ q = แรงกดหนึ่งหน่วยสูงสุดที่ฐานฝาย

ΣV = แรงสุทธิในแนวดิ่งรวมแรงดันยกตัว

L = ความยาวฐานฝาย

q_s = แรงกดหนึ่งหน่วยสูงสุดที่ดินฐานราก สามารถจะแบกรับได้

กรณีที่แรงกดเกิดขึ้นที่ฐานรากมากกว่า q_s อาจจะแก้ไขโดยการลดความสูงของตัวฝาย เพื่อลดน้ำหนักกดที่กระทำต่อฐานราก หรือโดยการเพิ่มพื้นที่รับแรงกดโดยการความลาดเทของผิวหน้าตัวฝาย หรืออาจจะต้องมีการตอกเสาเข็มรับน้ำหนักใต้ฐานราก

๑๒) การป้องกันการกัดเซาะด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ

ในกรณีที่อาคารชลศาสตร์ เช่น ฝายทดน้ำ สร้างขึ้นในลำน้ำธรรมชาติหรือคลอง ต้องมีการป้องกันการกัดเซาะซึ่งอาจจะเกิดขึ้นจากความปั่นป่วนและความแรงของกระแสน้ำ ตรงช่วงต่อของขอบอาคารกับ เนื้อดิน โดยเฉพาะด้านท้ายของอาคารสลายพลังงานหรืออ่างน้ำนิ่ง ซึ่งการไหลมีความปั่นป่วนและมีคลื่นผิวน้ำ

การป้องกันการกัดเซาะทั้งพื้นที่ท้องน้ำ และลาดตลิ่งสองฝั่งมักนิยมใช้หินทิ้ง หินเรียง หรือหิน เรียงยาวแนว โดยมีความยาวของการป้องกันขึ้นอยู่กับชนิดของดินท้องน้ำและลาดตลิ่ง และความเร็ว ของกระแสน้ำ

๑๒.๑) ขนาดของหินทิ้งหรือหินเรียง

ขนาดของหินทิ้งหรือหินเรียงท้ายอาคารสลายพลังงานขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความเร็ว กระแสน้ำ ทิศทางการไหล สภาพการปั่นป่วนของการไหล และลักษณะคลื่น วิธีการหาขนาดหินที่นิยมใช้ ดังนี้

๑) วิธีของ USBR ใช้โค้ง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหินหรือน้ำหนัก กับความเร็ว ของการไหลที่ท้องน้ำ ซึ่งคำนวณหาได้ยาก ในทางปฏิบัติให้ใช้ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำตรงตำแหน่ง ของ End sill ของอ่างน้ำนิ่ง (Stilling Basin)

สำหรับอาคารชลศาสตร์ที่ไม่มีอาคารสลายพลังงานให้หาความเร็วกระแสน้ำจากสมการต่อไปนี้

$$V_b = \sqrt{2g\Delta z}$$

เมื่อ Δz = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ ในกรณีฝายทดน้ำ
ให้ ใช้ความสูงของสันฝายเหนือพื้นด้านท้ายน้ำ

๒) วิธีของเบอร์รี่ (Berry) สำหรับหินที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ ๒.๖๕ สามารถหาขนาดของหินจากสมการต่อไปนี้

$$V_b = 2.57 \sqrt{d}$$

เมื่อ V_b = ความเร็วของกระแสน้ำที่ท้องน้ำที่ท้องน้ำ, ฟุต/วินาที
 d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหิน, นิ้ว

๑๒.๑.๓) วิธีของมาวิสและลอชชี เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

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

เมื่อ V_b = ความเร็วของกระแสน้ำที่ท้องน้ำ, เมตร/วินาที
 d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหิน, มิลลิเมตร
 s = ความถ่วงจำเพาะของหิน, ไม่มีหน่วย

๑๒.๒) ความยาวของการป้องกันการกัดเซาะ

๑) ความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะโดยการใช้หินเรียง มีแนวทางในการวิเคราะห์หาโดยใช้หลักการของการเกิดความลึกที่ถูกกัดเซาะ และสามารถสรุปเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$L_u = 2.55 q^{3/4} - 1.5 D_u$$

$$L_d = 3.00 q^{3/4} - 1.5 D_d$$

เมื่อ L_u = ความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะด้านเหนือน้ำ, เมตร
 L_d = ความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะด้านท้ายน้ำ, เมตร
 q = อัตราการไหลต่อเนื้อหน่วยความกว้างของทางน้ำ, (ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เมตร)
 D_u = ความลึกของการไหลที่สอดคล้องกับอัตราการไหลออกแบบตรงตำแหน่งของขอบ Apron ด้านเหนือน้ำของฝาย, เมตร
 D_d = ความลึกของการไหลที่สอดคล้องกับอัตราการไหลออกแบบตรงตำแหน่งของขอบ Apron ด้านท้ายน้ำของฝายหรือด้านท้ายของอ่างสลายพลังงาน, เมตร

๒) ความยาวของหินเรียงด้านเหนือน้ำไม่ควรน้อยกว่าความลึกของน้ำเหนือสันฝาย แต่ไม่น้อยกว่า ๕.๐ เมตร

๓) ความยาวของหินเรียงด้านท้ายน้ำไม่ควรน้อยกว่า ๔ เท่าของความลึกด้านท้ายน้ำของอาคารสลายพลังงาน

๑๓) การออกแบบอาคารสลายพลังงาน

อาคารสลายพลังงาน เป็นอาคารชลศาสตร์ที่ได้รับการออกแบบขึ้นเพื่อให้ทำหน้าที่สลายพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) จากการไหลของน้ำด้วยความเร็วสูงเช่น การไหลจากฝายทดน้ำหรือทางน้ำล้นของเขื่อน การไหลของน้ำผ่านรางเท การไหลลอดผ่านประตูน้ำจะทำการออกแบบให้อาคารสลายพลังงานอยู่ด้านท้ายน้ำของอาคารดังกล่าวเสมอ อาคารสลายพลังงานที่ดีจะต้องสามารถทำให้การไหลของน้ำที่เรื่อนั้นช้าลงหรือทำให้พลังงานเนื่องจากความเร็วลดลง โดยไม่ทำให้อาคารหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคารหรือคลองส่งน้ำเสียหาย

๑๓.๑) 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 เป็นผลทำให้พลังงานถูกสลายไป ในบางลักษณะของอาคาร พวยน้ำจะพุ่งลงไปในอ่างซึ่งมีน้ำขังอยู่แล้ว ซึ่งก็มีผลทำให้พลังงานถูกสลายไปเช่นกัน

ค. แบบ Bucket

เป็นการเบี่ยงเบนทิศทางการไหลของน้ำให้พุ่งสู่อากาศหรือไหลม้วนตัว การออกแบบอาคารสลายพลังงาน มักจะมาจากผลการศึกษาแบบจำลองว่าถ้าอาคารสลายพลังงานลักษณะนี้ควรจะมีขนาดเป็นอย่างไรสำหรับอัตราการไหลต่าง ๆ แต่ละแบบก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียต่างกันออกไปดังเช่น แบบอ่างน้ำนิ่ง ถึงแม้ว่าจะทำให้สภาพการไหลของน้ำทางด้านท้ายน้ำราบเรียบดีที่สุดในแง่การกัดเซาะ แต่มีราคาแพงมาก ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้กับเขื่อนที่มีความสูงมาก ส่วนอาคารแบบ Flip Bucket หรือ Submerged Roller Bucket มีราคาถูกกว่ามาก แต่ต้องการฐานรากที่เป็นหินแข็ง

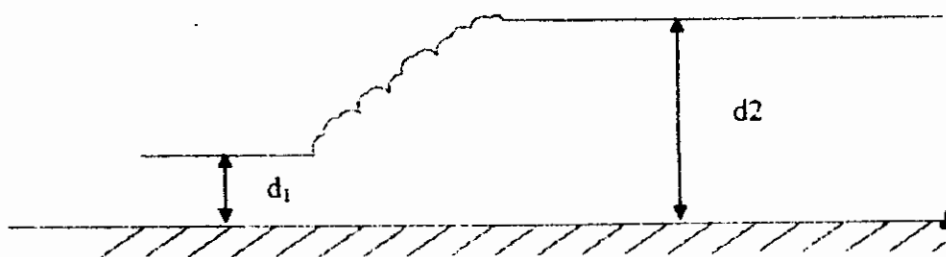
๑๓.๒) การวิเคราะห์ Hydraulic Jump

Hydraulic Jump เป็นปรากฏการณ์ของการไหลที่น้ำเปลี่ยนจากสภาวะการไหลที่มีความลึกน้อยแต่เร็วมากไปสู่สภาวะการไหลที่มีความลึกมากแต่ความเร็วต่ำ

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

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

๔. การไหลล้นจากฝายทดน้ำ หรือ Spillway ของเขื่อน
๕. การไหลลอดประตูน้ำกรณีความสูงของการเปิดบานมีค่าน้อย
๖. การไหลลงจาก Chute หรือรางเท



รูปที่ ๒ แสดง Hydraulic Jump

ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกก่อนและหลังเกิด Jump ในทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือทางน้ำที่มีความกว้างมาก สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้ ดังนี้

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_{d1}^2} - 1 \right)$$

เมื่อ d_{d1} = ความลึกก่อนเกิด Jump

d_{d2} = ความลึกหลังเกิด Jump

F_{d1} = Froude Number ของการไหลก่อนเกิด Jump

$$= V_{d1} / \sqrt{gd_{d1}}$$

การสลายพลังงานของ Hydraulic Jump

การสูญเสียพลังงานของการเกิด Hydraulic Jump บนพื้นราบสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

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

เมื่อ E_L = พลังงานที่สูญเสียไปเมื่อเกิด Jump , หน่วยเป็นเมตร

๑๓.๓) การแบ่งประเภทของ Hydraulic Jump

ประเภทของ Jump จะแบ่งตามค่าของ Froude Number ดังต่อไปนี้

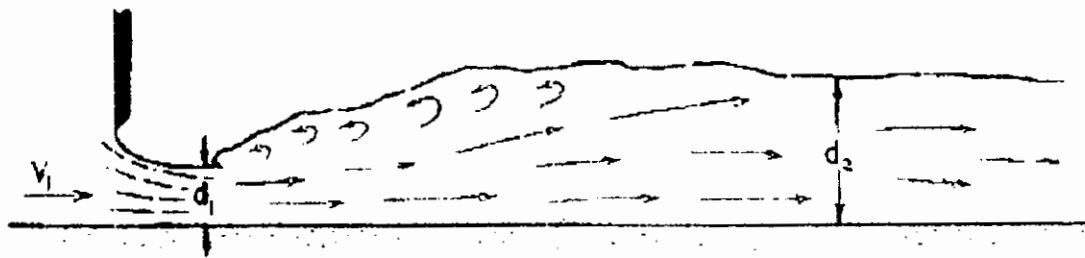
แบบที่ ๑ เรียกว่า Pre-jump เมื่อ $F_{d1} = ๑.๗ - ๒.๕$ ผิวน้ำเป็นคลื่นขนาดเล็ก ในช่วงนี้ ไม่จำเป็นต้องใช้ Stilling Basin มีการสลายพลังงานประมาณ ๒๐%

แบบที่ ๒ เรียกว่า Transition เมื่อ $F_{d1} = ๒.๕ - ๔.๕$ ปกติมักพบเห็นเสมอ ๆ ในอาคารขนาดเล็ก มีการปั่นป่วนของน้ำที่พื้นและที่ผิวน้ำสลับกันไปไม่แน่นอน ทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปทางด้านท้ายน้ำได้เป็นระยะทางหลาย ๆ กิโลเมตร ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อตลิ่งและหินทิ้งได้

แบบที่ ๓ เป็นแบบ Well-Stabilized Jump เมื่อ $F_{d1} = ๔.๕ - ๙.๐$ Jump มีความมั่นคงดี และสามารถสลายพลังงาน ระหว่าง ๔๕-๗๐%

แบบที่ ๔ F_{d1} มากกว่า ๙.๐ น้ำจะพุ่งเข้าสู่ Jump ด้วยความเร็วสูงมาก d_{d1} และ d_{d2} จะมีค่าต่างกันมาก กรณีนี้ความยาว Jump จะต้องวัดจากตำแหน่งคลื่นม้วนบนผิวน้ำ เนื่องจากกระแสน้ำความเร็วสูงพุ่ง

ชั้นจากพื้นก่อนที่จะหมดระยะ Jump คลื่นม้วนอาจเคลื่อนตัวลงตามแนวหน้า Jump สู่กระแสน้ำที่พุ่งด้วยความเร็วสูงทำให้เกิดคลื่นเคลื่อนตัวไปทางด้านท้ายน้ำได้เป็นบางครั้ง ผิวน้ำปั่นป่วนมาก อาจสลายพลังงานได้ถึง ๘๕% ความยาวของ Jump ในรูป จะสัมพันธ์กับ Jump ชนิดต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้



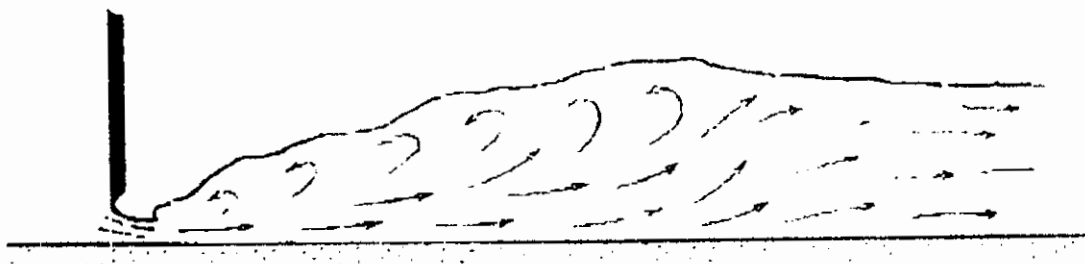
$$F_1 = 1.7 \text{ to } 2.5$$

A -- Pre jump -- very low energy loss



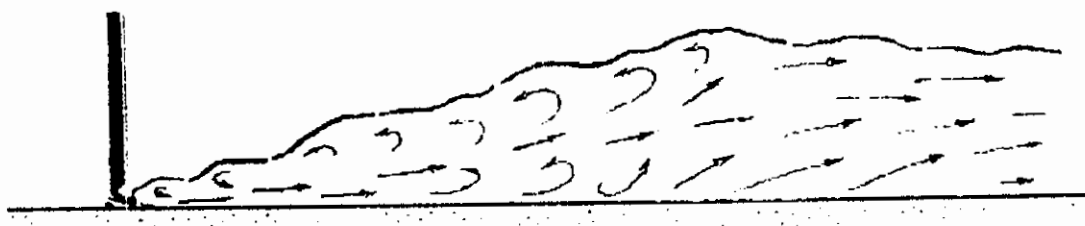
$$F_1 = 2.5 \text{ to } 4.5$$

B -- Transition -- rough -- water surface



$$F_1 = 4.5 \text{ to } 9.0 \text{ -- range of good jumps}$$

C -- Least affected by tail water variations



$$F_1 = 9.0 \text{ upward}$$

D -- Effective but rough

รูปที่ ๓ การแบ่งประเภทของ Hydraulic Jump

๑๓.๔) ข้อพิจารณาในการออกแบบ Stilling Basin

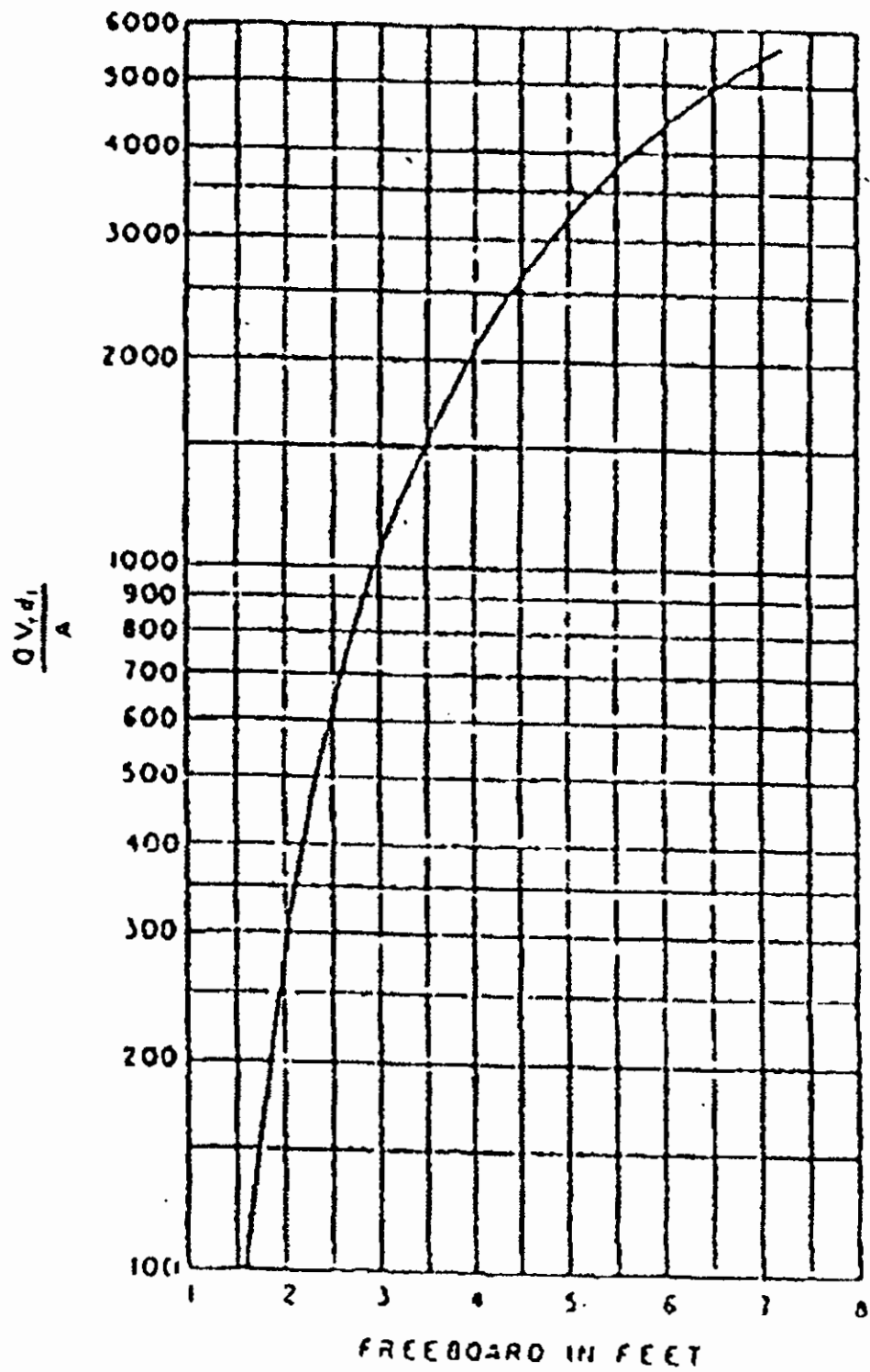
๑) ระยะเหวี่ยง (Free Board) การออกแบบระยะเหวี่ยงจะต้องพิจารณาผลของการกระทบของน้ำต่อ Floor Blocks, และความปั่นป่วนของกระแสน้ำเนื่องจากคลื่นและการรวมตัวกันของอากาศกับน้ำ USBR ได้เสนอกราฟเพื่อใช้สำหรับหาระยะเหวี่ยงน้ำของอ่างน้ำนิ่ง เป็นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเหวี่ยงกับ $V_{0.1} d_0$ เป็นความเร็วและความลึกก่อนการเกิด Hydraulic Jump ตามลำดับ และระยะเหวี่ยงเป็นค่าสูงเหนือเส้นพลังงาน (Energy Gradient) ด้านท้ายน้ำ นอกจากกราฟดังกล่าว USBR ยังได้เสนอสูตรที่ใช้หาระยะเหวี่ยงที่มีหน่วยเป็นฟุตสำหรับเขื่อนขนาดเล็กไว้ ดังนี้

$$\text{ระยะเหวี่ยง} = 0.1 (V_{0.1} + d_0)$$

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

การเลือกความกว้างของอ่างน้ำนิ่งจะต้องพิจารณาควบคู่ไปกับการเลือกความยาว เพื่อให้ได้อาคารที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่ง US. Corps of Engineers ได้เสนอแนะการเลือกความกว้างไว้ ดังนี้

๑. จะต้องไม่ให้เกิดแรงดันลอยตัว (Uplift) บนพื้นที่ของอ่างมากเกินไป
๒. ระดับของอ่างจะต้องไม่ต่ำเกินไปเพื่อหลีกเลี่ยงการขุดดินบริเวณฐานรากมากเกินไป
๓. ความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากอ่างจะต้องไม่มากเกินไปจนก่อให้เกิดการกัดเซาะ



รูปที่ ๔ กราฟสำหรับใช้หาระยะเผื่อล้นของ Stilling Basin

และเพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการออกแบบความกว้าง ได้มีผู้เสนอแนะสูตรไว้ ดังนี้

$$W = 1.48 K \sqrt{Q}$$

เมื่อ W = ความกว้างของอ่างน้ำนิ่ง , เมตร

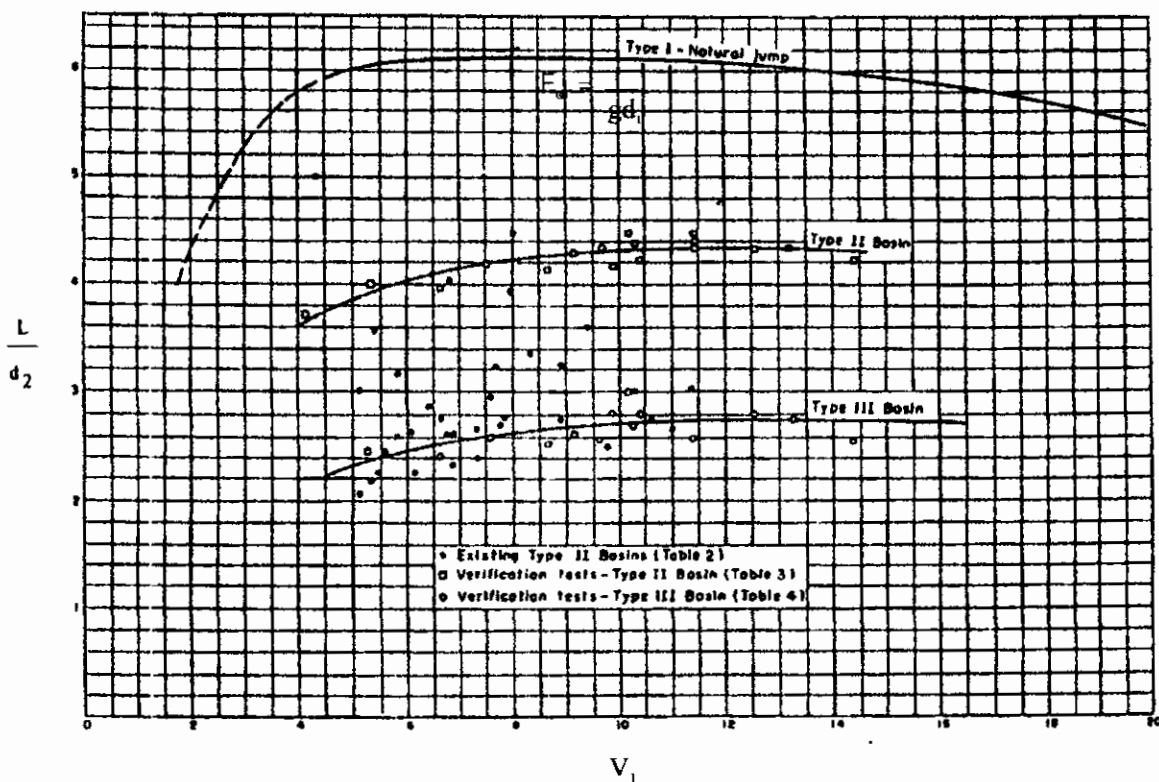
K = ค่าคงที่

= 1.0 สำหรับอ่างน้ำนิ่งที่รับน้ำจากรางเทหรือทางน้ำล้น

= 1.3 สำหรับอาคารในคลอง

Q = ปริมาณการไหลสูงสุด , ลบ.เมตร/วินาที

๓) ความยาวของ Stilling Basin โดยปกติความยาวของอ่างเท่ากับความยาวของ Jump ที่เกิดในอ่าง (ยกเว้น Stilling Basin Type I) และอัตราส่วน จะมีค่าอยู่ระหว่าง ๔ ถึง ๕ และจากการทดลองพบว่าถ้ามีการติดตั้ง Floor Block และ End Sill ที่เหมาะสมอัตราส่วน L/d_2 เท่ากับ ๓ ก็นับว่าเป็นการเพียงพอแล้ว แต่สำหรับบริเวณพื้นทางน้ำไม่มั่นคง ในทางปฏิบัติมักจะใช้ L/d_2 อย่างน้อยเท่ากับ ๔ และสำหรับบริเวณที่พื้นทางน้ำมีความมั่นคงดี อาจจะออกแบบโดยใช้ เพียง ๒.๕ เท่านั้น รูปที่ ๕ เป็นโค้งที่ใช้หาค่าความยาว ของอ่างน้ำนิ่งของ USBR



รูปที่ ๕ ความยาว Hydraulic Jump บนพื้นราบ Stilling Basin แบบที่ I ,II และ III

๔) การกำหนดระดับ Stilling Basin Hydraulic Jump จะเกิดเมื่อความลึกหลังเกิด Jump (d_2) หรือความลึก Conjugate ของ d_1 เท่ากับความลึกด้านท้ายน้ำ แต่ตามลักษณะทางชลศาสตร์ ความลึกด้านท้ายน้ำ จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการไหล ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะออกแบบอาคารสลายพลังงานให้มี ความลึกหลังเกิด Jump เท่ากับความลึกด้านท้ายน้ำตลอดเวลา บางครั้งความลึกด้านท้ายน้ำอาจมีค่ามากกว่า ความลึกหลังเกิด Jump ซึ่งจะทำให้เกิด Drowned Jump หรือบางครั้งความลึกหลังเกิด Jump มากกว่า ความลึกด้านท้ายน้ำ จะทำให้ Jump เคลื่อนตัวไปทางด้านท้ายน้ำห่างออกไป ในการออกแบบจะต้องมีการ เปรียบเทียบโค้งความลึกหลังการเกิด Jump และโค้งความลึกด้านท้ายน้ำ เพื่อกำหนดระดับพื้นของอ่างน้ำนิ่ง เพื่อให้โค้งของความลึกหลังเกิด Jump เข้าใกล้โค้งของความลึกด้านท้ายน้ำมากที่สุด โดยไม่มีส่วนใดของโค้ง ความลึกหลังเกิด Jump ในช่วงปริมาณการไหลน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณการไหลสูงสุดผ่านอาคารอยู่เหนือ ความลึกด้านท้ายน้ำ

นอกจากการก่ระดับพื้นอ่างน้ำนิ่ง การกำหนดใช้ความกว้างของอ่างให้เหมาะสม จะมีส่วนช่วยให้โค้งความลึกหลังเกิด Jump เข้าใกล้โค้งความลึกด้านท้ายน้ำมากยิ่งขึ้น การใช้อ่างน้ำนิ่งที่กว้างขึ้น จะทำให้ ความลึกหลังเกิด Jump มีค่าน้อยลง ระดับพื้นอ่างจะได้ไม่ต้องอยู่ในระดับที่ลึกมากเกินไป ซึ่งทำให้ต้องเสียค่าขุด ดินมาก

ปริมาณการไหลออกแบบสูงสุดอาจจะไม่ใช่เป็นปัจจัยที่ใช้กำหนดระดับพื้นอ่างน้ำนิ่งเสมอไปซึ่ง ขึ้นอยู่กับปริมาณการไหลที่ทำให้เกิดระยะห่างมากที่สุด ระหว่างโค้งความลึกหลังเกิด Jump และโค้งความลึกด้าน ท้ายน้ำ

เอกสารหมายเลข ๒ รายชื่อผู้จัดทำ

นายเทอดทูล คล้ายขยาย
วิศวกรชลประทานชำนาญการ
หัวหน้าฝ่ายออกแบบ (อบ.ชป.๒)