คู่มือออกแบบฝาย (Weir Design)

รหัสคู่มือ สชป.๑๒/วศ.๓/๒๕๖๖
หน่วยงานที่จัด
ส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่๑๒

ที่ปรึกษา
ผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่ ๑๒

พิมพ์ครั้งที่ ๑
จำนวน ๑ เล่ม
เดือน สิงหาคม พ.ศ.๒๕๖๖

คำนำ

ตามแนวนโยบายพัฒนาประเทศเพื่อความสอดคล้องของกรมชลประทาน อนุมัติแผนปฏิบัติการจัดการความรู้ ประจำปีงบประมาณ (KM Action Plan ๒๕๖๖) ของสำนัก/กอง เมื่อวันที่ ๒๙ สิงหาคม ๒๕๖๖ โดยให้มีการจัดทำคู่มือออกแบบฝาย

ฝ่ายออกแบบ ส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่ ๑๒ ซึ่งมีหน้าที่ศึกษารวบรวมข้อมูลออกแบบ คำนวณทางวิศวกรรม และจัดทำแบบร่างโครงการ (Lay Out) ให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมครบถ้วนตามมาตรฐาน และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ จึงได้จัดทำคู่มือออกแบบฝายเพื่อแสดงถึงรายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติงานของกิจกรรม/กระบวนการต่าง ๆ ของฝ่ายออกแบบ ส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่ ๑๒ และใช้ถ่ายทอดให้กับผู้เข้ามาปฏิบัติงานใหม่ รวมทั้งแสดงหรือเผยแพร่ให้กับบุคคลภายนอกหรือผู้ใช้บริการเข้าใจ และใช้ประโยชน์จากกระบวนการที่มีอยู่เพื่อขอรับบริการที่ตรงกับความต้องการ

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือออกแบบฝาย จะเป็นประโยชน์ต่อท่านผู้อ่านบ้างไม่มากก็น้อย หากผิดพลาดประการใดต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ ฝ่ายออกแบบ
สำนักงานชลประทานที่ ๑๒
กรมชลประทาน

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	
1. หลักการและเหตุผล	1
2. บทวิเคราะห์/แนวความคิด/ข้อเสนอและข้อจำกัดที่อาจเกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข	2-26
3. ผลที่คาดว่าจะได้รับ	27
4. ตัวชี้วัดความสำเร็จ	27-28
6. บรรณานุกรม	29

ออกแบบฝาย

๑. หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันกรมชลประทานมีกลยุทธ์หนึ่งในประเด็นยุทธศาสตร์ คือการเพิ่มพื้นที่ชลประทาน ดังนั้นการก่อสร้างโครงการชลประทานสำหรับการพัฒนาแหล่งน้ำ ของประเทศไทยในปัจจุบันนั้นจึงมุ่งเน้นการเพิ่มพื้นที่ชลประทานเป็นสำคัญ สืบเนื่องมาจากความต้องการจำนวนของพื้นที่ชลประทานมากขึ้นซึ่งครอบคลุมพื้นที่จากจำนวนไม่กี่ร้อยไร่จนมากกว่าถึง ๓,๐๐๐ ไร่ขึ้นไป เป็นภารกิจหนึ่งที่สำคัญยิ่ง รวมทั้งโครงการที่เป็นโครงการระบบชลประทานเร่งด่วน ที่ต้องการได้มาซึ่งแบบแปลนเพื่อการก่อสร้างที่รวดเร็วยิ่งขึ้น

ด้วยความถูกต้องของข้อมูลสำรวจที่มีประสิทธิภาพมากเพียงไร ก็สามารถให้ได้มาซึ่งแบบก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็วมากขึ้นเท่านั้น รวมทั้งการแก้ไขแบบภายหลัง ก็จะสามารถทำได้อย่างรวดเร็วถ้าได้แบบแปลนที่ถูกต้องชัดเจน และสามารถนำไปใช้ก่อสร้างในโครงการระบบชลประทานต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพทันต่อความต้องการของเกษตรกร และจะทำให้ขั้นตอนในการทำงานก่อสร้างใช้ระยะเวลาที่สั้นลง ประกอบกับจำนวนบุคลากรของกรมชลประทานที่มีจำกัด จึงทำให้เกิดความสอดคล้องกันระหว่างประสิทธิภาพสูงสุดของงาน และปริมาณผลผลิตของการออกแบบ

ดังนั้นต้องมีหลายขั้นตอนเพื่อให้ได้ผลผลิตของงาน ซึ่งก็คือผลงานการก่อสร้างที่รวดเร็วถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อที่จะสามารถนำมาคิดปริมาณของงานได้ถูกต้อง และใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ผู้เขียนจึงได้รวบรวมสภาพปัญหา ข้อจำกัดเกี่ยวกับขั้นตอน และวิธีการใช้เพื่อนำมาใช้ในงานโดยสรุปได้ดังนี้

ปัจจุบันการทำงาน แบ่งออกเป็น ๒ แบบ

๑. ทำงานตามที่ได้รับมอบหมายแบบประยุกต์ (Apply Work)

๒. ทำงานตามที่ได้รับมอบหมายแบ่งเป็นสัดส่วนแบบเก่า (Old Work)

ทำงานตามที่ได้รับมอบหมายแบบประยุกต์ (Apply Work) ทำงานทุกอย่างต้องระบุรายละเอียดที่ชัดเจน

ทำงานตามที่ได้รับมอบหมายแบ่งเป็นสัดส่วนแบบเก่า (Old Work) ทำงานเรื่อย ๆ เหนื่อยก็พัก ทำให้งานช้าลง ทำคนเดียวไม่ทำงานกันเป็นกลุ่ม ไม่รู้จักแบ่งหน้าที่งาน ทำงานไม่เป็นระบบ

ซึ่งการทำงานต้องมีพี่เลี้ยง หรือหัวหน้างานระบุผู้รับผิดชอบจำนวน ๒ คน เป็นคนที่คอยดูแลตรวจสอบความถูกต้อง ระเบียบวินัย ศีลธรรม ความประพฤติ ไม่ให้มีการทำงานผิดพลาด คอยแก้ไขตักเตือน

เหตุผลที่องค์การต่าง ๆ ต้องนำการจัดการความรู้มาใช้ในองค์การ มีเหตุผลดังนี้

๑. บุคลากรส่วนใหญ่ไม่รู้จักวิธีการเรียนรู้ที่หลากหลาย จำเป็นต้องจัดให้มีการจัดการความรู้โดยใช้สื่อและเทคโนโลยีสมัยใหม่ มีการอบรมพัฒนาพนักงานรุ่นเก่าให้มีทักษะในการเรียนรู้จากสื่อเทคโนโลยีที่หลากหลายและทันสมัยมากขึ้น

๒. คนที่มีอายุเฉลี่ยค่อนข้างมากจะทำงานตามหน้าที่ที่เคยปฏิบัติ

๓. องค์การขาดความต่อเนื่องในการเชื่อมโยงความรู้ระหว่างบุคลากรแต่ละรุ่น หรือกลุ่มวัยที่ต่างกันบางครั้งช่องว่างระหว่างอายุของบุคลากรรุ่นเก่า กับบุคลากรรุ่นใหม่จะมีความเห็นที่แตกต่างกันตามยุคสมัยแต่ยุคสมัยที่เปลี่ยนไปจะมีความเชื่อมโยงระหว่างความรู้เดิมกับความรู้ใหม่ที่ใช้ในงาน

๔. สารสนเทศล้น กระจัดกระจาย และการจัดเก็บอยู่ในแหล่งเก็บที่หลากหลาย หลายองค์การมีการจัดเก็บความรู้ในรูปแบบที่กระจัดกระจายไม่เป็นระบบ เป็นข้อจำกัดทำให้ยากต่อการค้นหาเมื่อต้องนำความรู้เหล่านั้นในมาใช้ในการปฏิบัติงาน หรือช่วยในการตัดสินใจแก้ปัญหา

๕. มีข้อมูลมากมาย แต่ความรู้มีน้อย ในยามที่ต้องการตัดสินใจทำให้มีข้อจำกัด หากบุคลากรมีการจัดการความรู้ที่ดี จะสามารถนำประโยชน์จากข้อมูลที่มีอยู่อย่างหลากหลายมาช่วยสร้างทางเลือกในการตัดสินใจ และประเมินทางเลือกเพื่อการตัดสินใจ พร้อมทั้งคิดค้นหาวิธีการให้การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

๖. การรวบรวมข้อมูลได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ และไม่ครบถ้วน มีหลายครั้งที่การทำงานขาดประสิทธิภาพ เกิดจากการรวบรวมข้อมูลไม่ดี ไม่มีการวางแผน และการอ้างอิงข้อมูลไม่ดีพอ

๗. ข้อจำกัดในการแบ่งปันความรู้ระหว่างบุคลากรในองค์การ องค์การมีการจัดการความรู้ระหว่างบุคลากรอย่างต่อเนื่อง จะทำให้องค์การโดยรวมมีประสิทธิภาพ ดังนั้นต้องสร้างพนักงานมีเป้าหมายร่วมกันในการแบ่งปันความรู้ และประสบการณ์ในงาน ให้พนักงานทุกคนเห็นเป้าหมายร่วมกันและทำหน้าที่เชื่อมโยงความรู้ต่าง ๆ เพื่อไปสู่เป้าหมายโดยรวมขององค์การในลักษณะทีมงาน

๘. ใช้เวลาในการค้นหานาน การจัดเก็บความรู้ที่ไม่เป็นระบบ องค์การต้องพัฒนาระบบการจัดเก็บความรู้ คลังความรู้ที่ทุกคนสามารถเข้าถึงและนำมาใช้ได้ทันที โดยเฉพาะคู่มือการทำงานที่เกี่ยวพันกันระหว่างฝ่ายงาน

๒. บทวิเคราะห์/แนวความคิด/ข้อเสนอ และข้อจำกัดที่อาจเกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

๒.๑ บทวิเคราะห์

ปัจจุบันการทำงานของวิศวกรชลประทาน ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เข้ามาใช้งาน ได้ผลงานที่รวดเร็วกว่าสมัยเก่า เช่น การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประยุกต์ในการทำงาน ดังนั้นผู้เขียนจึงได้เสนอวิธีการออกแบบโครงการชลประทาน ให้มีความเหมาะสมต่อการก่อสร้างจริง สามารถใช้ประโยชน์ตามความต้องการปริมาณน้ำ ทางด้านการชลประทาน เศรษฐกิจ อุปโภค-บริโภค บรรเทาป้องกันอุทกภัยเป็นต้น

ในการทำงานปัจจุบัน หลักสูตรวิทยากรกระบวนการมีส่วนร่วม ได้ทำมาพัฒนาใช้กับการออกแบบแบบมีส่วนร่วมแล้ว ทำให้สามารถประยุกต์ใช้ได้ตามความต้องการของเกษตรกร

ในการทำงานออกแบบระบบท่อส่งน้ำ วิธีทำงานปัจจุบันตรวจสอบคำตอบ ๒ วิธีถ้าใกล้เคียงแสดงว่าถูกต้อง

เกณฑ์ความปลอดภัย (Factors of Safety) ออกแบบให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นการสิ้นเปลือง ส่วนความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นนี้ก็จะเป็นเกณฑ์ความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้น

อนึ่งในการออกแบบจะใช้สูตรในการคำนวณ และสูตรที่ใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านก็มักจะมีค่า Coefficient of Discharge ซึ่งมักจะเป็นค่าที่ได้จากการทดลองในห้องทดลอง อาจแสดงไว้ในรูปของกราฟ ส่วนในการออกแบบ Stilling Basin นั้นต้องคำนวณหลาย ๆ รอบ ทุกปริมาณน้ำ Hydraulic Jump จะต้องเกิดใน Stilling Basin ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการกัดเซาะท้ายน้ำ วัตถุประสงค์ที่สำคัญก็เพื่อให้การระบายน้ำลงทางท้ายน้ำ และหรือการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกได้ตรงตามที่ต้องการ เพื่อเป็นการประหยัดน้ำให้ได้มากที่สุด โดยทั่วไปการคำนวณด้วยสูตรมักจะได้ค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน อาคารชลประทานในสนามจริง (ที่มา : ฉลอง เกิดพิทักษ์, ชลศาสตร์ประยุกต์, ๒๕๕๕)

เปรียบเทียบในการใช้อ่างเก็บน้ำเพื่อลดอุทกภัยด้านท้ายอ่าง ระหว่างอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กหลายอ่างและอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่อ่างเดียว ซึ่งมีความจุเท่ากัน ดังนั้นในการออกแบบอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่อ่างเดียวจะสามารถลดอุทกภัยสูงสุดทางด้านท้ายอ่างได้มากกว่าจาก Hydrograph ของอุทกภัยที่ไหลผ่าน

การนำเทคโนโลยีต่าง ๆ เพื่อใช้ประยุกต์ เช่น Self-Healing Concrete นักวิจัยหลายคนพยายามพัฒนา "คอนกรีตฉลาด" ที่สามารถซ่อมแซมตัวเองได้ในระดับหนึ่ง เช่น การใช้เส้นใยเคลือบผิวลักษณะกลวงขนาดจิ๋วที่บรรจุสารเชื่อมประสานเหลวเช่นสาร Acetal Polymer Solution อยู่ภายในและผสมให้เส้นใยกระจายตัวอยู่ในเนื้อของคอนกรีต และเมื่อคอนกรีตเกิดการแตกร้าวในบริเวณที่มีเส้นใย เส้นใยจะแตกหักและปลดปล่อยสารเคมีภายในออกมา และเชื่อมประสานรอยแตกร้าวดังกล่าวได้ (Carolyn Dry, ๑๙๙๖)

นาโนเทคโนโลยีกับงานคอนกรีต ตัวอย่างของวัสดุที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ในลักษณะนาโนที่ได้นำมาใช้ร่วมกับคอนกรีตตั้งแต่ช่วงต้นทศวรรษ ๗๐ ได้แก่ ลิก้าฟูม (Gay.M.Gapinski and John Scanlon, ๒๐๐๖)(Neville ,๑๙๙๖) อนุภาคซิลิก้าฟูมซึ่งเป็นสารปอซโซลาน มีขนาดที่เล็กมาก ๐.๑๐ um (Deborah .D.L.Chung,๒๐๑๐)ทำให้ซิลิก้าฟูมมีคุณสมบัติด้านปอซโซลานิคที่ดีมาก (Reactive) สามารถนำมาใช้ผลิตคอนกรีตที่มีคุณสมบัติพิเศษเช่นมีกำลังสูงถึงสูงมาก และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างของอาคารสูงที่ใช้ซิลิก้าฟูมคอนกรีต ได้แก่ อาคาร Key Bank Tower ใน Cleveland สหรัฐอเมริกา และอีกตัวอย่างหนึ่งของการใช้ซิลิก้าฟูมในการเพิ่มความคงทน โดยเฉพาะสำหรับสภาพแวดล้อมชายทะเล ตัวอย่างเช่นการก่อสร้างสะพานเปรมติณสูลานนท์ ซึ่งโครงสร้างส่วนบน (Seperstructure) เป็นคานรูปกล่อง (Box Girder) ที่ใช้ซิลิก้าฟูมร่วมกับซิเมนต์ในลักษณะสารเชื่อมประสาน เพื่อเพิ่มความทนทานต่อการซึมผ่านคลอไรด์

คอนกรีตสมรรถนะสูง(High Performance Concrete) ที่มีคุณสมบัติดีเยี่ยม ใช้เทโดยสามารถอัดแน่นด้วยตัวเองไม่จำเป็นต้องจี้เขย่าคอนกรีตเพื่ออัดแน่นอีก อย่างไรก็ดี การพัฒนาเหล่านี้ยังคงมีจุดด้อยหลายประการที่ผู้ใช้จำเป็นต้องเข้าใจ เพื่อป้องกันการใช้อย่างไม่เหมาะสม และกลายเป็นผลเสียในภายหลัง เช่น ความไม่สอดคล้องของวัสดุซีเมนต์บางประเภท และสารผสมเพิ่มทางเคมีบางชนิดซึ่งอาจส่งผลลบที่คาดไม่ถึงก็เป็นได้ ตัวอย่างเช่น การใช้งานสารผสมเพิ่มทางเคมีที่ไม่เหมาะสมหรือไม่เข้ากัน อาจทำให้เกิดปัญหาต่อการแข็งตัวระหว่างการทำงาน หรือมีการสูญเสียความยุบตัวมากผิดปกติ หรือไม่แข็งตัวเลย (ShunsukeHanehara and Kazuo Yamada ,๑๙๙๙)

คอนกรีตโดยทั่วไปอาจจำแนกตามหน่วยน้ำหนักได้เป็น ๓ ลักษณะคือ คอนกรีตปกติ คอนกรีตเบา และคอนกรีตหนัก

คอนกรีตเบา(Light Weight Concrete) มีคุณสมบัติและหน่วยน้ำหนักผันแปร ในช่วงกว้างมากโดยมีหน่วยน้ำหนักตั้งแต่ ๓๐๐-๑๙๐๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นการนำมาใช้จึงมีวัตถุประสงค์หลากหลาย เช่น ใช้ในอาคารสูงเพื่อลดน้ำหนักคงที่ของผนังหรือองค์อาคาร ซึ่งจะมีผลต่อขนาดของเสาและฐานรากหรือใช้ในงานที่มีวัตถุประสงค์พิเศษเช่น เป็นชนวนกันเสียงหรือกันความร้อน อาจมีข้อสงสัยว่าคอนกรีตเบามีความแข็งแรงเพียงใด เพียงพอที่จะรับน้ำหนักในลักษณะชิ้นส่วนของโครงสร้างได้หรือไม่ และควรใช้มวลรวมชนิดใด การตอบคำถามเหล่านี้มีความหลากหลายขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าคอนกรีตเบาที่มีความหนาแน่น ๑,๖๘๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร อาจให้กำลังได้สูงกว่า ๕๒๐ กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร

ชนิดของมวลรวมน้ำหนักเบา

นอกจากการจำแนกมวลรวมน้ำหนักเบาตามวิธีการผลิตที่กล่าวข้างต้นแล้ว ACI จำแนกมวลรวมน้ำหนักเบาตามชั้นคุณภาพของคอนกรีตเบา ที่ยึดตามหน่วยน้ำหนักแห้งที่อายุ ๒๘ วัน ออกเป็นสามชั้นคุณภาพดังนั้น (ACI Committee ๒๑๓, ๑๙๙๙)

๑. มวลรวมน้ำหนักเบา สำหรับคอนกรีตเบาความหนาแน่นต่ำในช่วง ๓๐๐ - ๘๐๐กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร มวลรวมเหล่านี้ได้แก่ Vermiculite, Perlite คอนกรีตในกลุ่มนี้มักใช้งานฉนวน ซึ่งไม่ต้องการกำลังสูง แต่ต้องการหน่วยน้ำหนักต่ำ มีการนำความร้อนต่ำ

๒. มวลรวมน้ำหนักปานกลาง สำหรับคอนกรีตเบาที่มีความหนาแน่นปานกลาง ในช่วง ๘๐๐ - ๑๔๐๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรมวลรวมเหล่านี้มักได้แก่ Pumice, Scoria

๓. สำหรับคอนกรีตเบาที่ใช้ในงานโครงสร้าง ให้มีหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเป็น ๑,๔๐๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร มวลรวมเหล่านี้มักได้แก่ มวลรวมประดิษฐ์เช่น expanded clay Shaile, Expanded Slag คอนกรีตในกลุ่มนี้มักใช้ในงานโครงสร้างซึ่งต้องการกำลังสูงพอสมควร และหน่วยน้ำหนักต่ำกว่าคอนกรีตปกติแต่ความเป็นฉนวน และค่าการนำความร้อนไม่ต่ำลงมากนัก และไม่ดีเท่ากลุ่มแรก(ที่มา :ฐาปนี คุภกิจวัฒนา และคณะ, คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้มวลรวมหยาบสังเคราะห์จากพลาสติกรีไซเคิล ,๒๕๕๓)

คอนกรีตหนัก (Heavy Weight Concrete) ซึ่งมีหน่วยน้ำหนักสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา ข้อกำหนดของมาตรฐานอังกฤษ (BS๘๘๑๐) ให้นิยามว่าเป็นคอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักเกิน ๓,๐๐๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร เช่นเดียวกันกับมาตรฐานตุรกี (TS EN ๒๐๖ – ๑๒๐๐๒) โดยทั่วไปคอนกรีตมักมีหน่วยน้ำหนักประมาณ ๓,๐๐๐ – ๕,๐๐๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และในบางกรณีอาจสูงถึง ๖,๔๐๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตขึ้นกับความหนาแน่นของมวลรวม ดังนั้นการผลิตคอนกรีตหนักส่วนใหญ่จึงมักใช้มวลรวมหลายประเภทที่มีความหนาแน่นสูง แต่หากต้องการใช้คอนกรีตเป็นวัสดุบังรังสีด้วยนิยมใช้แร่แบไรด์ซึ่งมีความหนาแน่น ๔,๒๐๐ – ๔,๕๐๐ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (LkerBekirTopcu, ๒๐๐๓) คอนกรีตหนักส่วนใหญ่มักใช้ในงานชิ้นส่วนโครงสร้าง หรือใช้ในงานพิเศษ เช่นใช้เป็นตัวถ่วงน้ำหนักหรือทำกำแพงป้องกันรังสี แม้คอนกรีตทั่วไปมีความสามารถป้องกันรังสีได้ดีพอสมควร (Edwind J. Callan , ๑๙๖๒)

เสาเข็มที่ตอกเอียงเพื่อรับแรงด้านข้าง (Batter Piles)

เมื่อดินรอบ ๆ เสาเข็มมีกำลังต้านทานแรงด้านข้างไม่เพียงพอ ต่อการรับแรงในแนวราบที่ส่งผ่านมายังฐานรากหรือเมื่อต้องเพิ่มความแข็งแกร่ง (Rigidity) ของโครงสร้างโดยรวม ควรพิจารณาใช้การตอกเสาเข็มเอียง (Batter Pile) แต่หากคาดว่าจะเกิดแรงฉุดลง ซึ่งทำให้แรงต้านทานของเสาเข็มลดลง ควรหลีกเลี่ยงการตอกเสาเข็มเอียง ดังกล่าว

ทั้งนี้ หากมีการใช้การตอกเสาเข็มเอียง (Batter Pile) ในพื้นที่ก่อสร้างที่อยู่ในบริเวณที่อาจต้องรับแรงแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรง การออกแบบฐานรากจะต้องคำนึงถึงการเพิ่มสติฟเนส (Stiffness) ของฐานรากเนื่องจากผลของการตอกเสาเข็มเอียงดังกล่าวด้วย

๒.๒ แนวความคิด

ในการทำงานการออกแบบจัดทำแบบแปลนก็ต้องมีการทำงานเป็นขั้นตอน งานที่เราต้องทำสม่ำเสมอหรือทำเป็นประจำ หรืองานใดที่เราเคยทำแล้วเราควรเขียนคู่มือการทำงานชิ้นนั้นไว้อย่างละเอียดรอบคอบ และทำรายการงานที่ต้องทำทั้งหมดไว้ เพื่อว่าเมื่อเราต้องย้อนกลับมาทำงานชิ้นนั้นหรือทำงานที่คล้ายคลึงกันนั้นอีก และต้องส่งมอบงานนั้นให้คนอื่นรับผิดชอบต่อจากเรา จะได้ไม่ต้องไปเสียเวลาเริ่มต้นจากศูนย์ใหม่ แต่สามารถทำตามแนวของคู่มือและใช้รายการสิ่งที่ต้องทำ ช่วยเตือนความจำในการทำงานอีกครั้ง จะทำให้ทำงานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ไม่ต้องเสียเวลาในการอธิบายงานให้คนที่มารับช่วงต่ออย่างมากเกินความจำเป็นด้วยเช่นกัน

๒.๓ ข้อเสนอ

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

การออกแบบและคำนวณต้องใช้องค์ความรู้ด้านวิศวกรรมโยธา เพื่อจัดทำแนวความคิดในการดำเนินการออกแบบ เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานสำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม

ความรู้ทางวิชาการหรือแนวความคิดที่ใช้ในการดำเนินการ

ก. ความรู้ในสาขาวิชาการต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินการ อาทิเช่น ความรู้ทางด้านอุทกวิทยา (Hydrology) วิศวกรรมชลประทาน (Irrigation Engineering) วิศวกรรมชลศาสตร์ (Hydralics Engineering) วิศวกรรมโครงสร้าง (Structure Engineering) ปฐพีกลศาสตร์(Soil Mechanics) วิศวกรรมฐานราก(Foundation Engineering) นำไปสู่การคำนวณหาขนาดความสูงของอาคาร ความยาวพื้นและกำแพงข้าง กำหนดวิธีการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งและลำน้ำ การซึมของน้ำลอดผ่านใต้พื้นอาคาร ฯลฯ

ข. การประยุกต์ใช้ความรู้ และประสบการณ์ในการออกแบบ เพื่อนำมาตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ การนำข้อมูลมาวิเคราะห์ เพื่อเลือกประเภทของตัวอาคาร ประเภทของอาคารสลายพลังงาน วัสดุที่ใช้ในการป้องกันการกัดเซาะ

๒.๔ ข้อจำกัดที่อาจเกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

ค. จากข้อจำกัดของสภาพภูมิประเทศ และสภาพทางด้านธรณีวิทยา แล้วจึงนำไปกำหนดแนวคิดที่จะใช้ในการดำเนินการออกแบบอาคารในลักษณะต่าง ๆ

ขั้นตอนการดำเนินการทั่วไป

กระบวนการงานออกแบบโครงการชลประทาน เมื่อประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ต่าง ๆ แล้วมีขั้นตอนการปฏิบัติ และการกำหนดแนวทางในการออกแบบเพื่อความเหมาะสมดังนี้

a. ศึกษารายละเอียดจากรายงานการพิจารณาโครงการ จากผลสำรวจภูมิประเทศและธรณีวิทยา

b. วางแผนการออกแบบและเดินทางไปตรวจสอบสภาพภูมิประเทศ

c. กำหนด Design Criterai ในการออกแบบและกำหนดตำแหน่งที่ตั้งและรูปแบบของอาคาร

d. กำหนดขอบเขตการสำรวจภูมิประเทศ (กรณีรายละเอียดไม่เพียงพอ)

e. พิจารณาการคำนวณวิเคราะห์การออกแบบ และคำนวณด้านชลศาสตร์เพื่อกำหนดขนาดและรูปร่างของอาคาร

g. กำหนดขนาดและรูปร่างคำนวณทางด้านโครงสร้างของอาคาร

h. ตรวจสอบรายการคำนวณประกอบแบบแปลน และจัดทำแบบแปลนต้นฉบับให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ตามมาตรฐานของกรม

i. รวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเพื่อชี้แจง และนำแบบต้นฉบับเพื่อเสนออนุมัติ

j. แจ้งโครงการเพื่อมารับสำเนาแบบไปดำเนินการตามแผนงานก่อสร้างต่อไป

มาตรฐานงาน

ก. การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก ใช้หลักความรู้ในการศึกษา คำนวณ ออกแบบตามหลักวิชาวิศวกรรมชลศาสตร์ ดังนี้

๑. Design of Small dams; A water Resources Techical Publication, United States Department of the Interior, Stewart L.Udall, Secretary, Bureau of Reclamantion.

๒. Design of small cal Structures; Uniterd States Department of the Interior, Stewart L.Udall, Secretary, Bureau of Reclamantion.

๓. มาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีต; กรมชลประทาน กองวิชาการ

๔. มาตรฐานคู่มือการออกแบบอาคารชลประทานในระบบส่งน้ำและระบายน้ำ; จรูญ กมลรัตรน์ และคณะกรมชลประทาน

ข.การอ้างอิง มิติ รูปทรงต่าง ๆ ตามรายชื่อแบบมาตรฐาน เช่น

๑.แบบมาตรฐานฝาย

ลำดับที่	รายการ	หมายเลขแบบ
๑	ฝายคอนกรีตล้วนปนหินใหญ่	๙๙๕๖๖ก๑
๒	ทรบ.ปากคลอง(๑ช่อง)	๑๔๓๖๑๑
๓	ทรบ.ปากคลอง(๒ช่อง)	๑๐๖๒๔๖
๔	สะพานคนเดินและอาคารควบคุม	๑๓๓๓๕๔
๕	Outlet Transition ของรางริน	๑๔๖๘๖๓/๑๔๓๖๑๗
๖	Vertical Gate ๑.๐๐x๑.๐๐ม.	๓๑๐๒๖
๗	เครื่องกว๊านขนาด ๒,๒๕๐ 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	เครื่องกว๊านขนาด ๖,๕๐๐ กก.	๓๖๘๖๔
๑๔	ท่อระบายน้ำ	๑๐๙๙๖๖/๑๐๙๙๖๗
๑๕	บานระบายขนาด ๑.๘๐x๑.๕๐	มฐก-๒-๐๐๒
๑๖	บานระบาย ๑-ศก.๐.๓๐ ม.	๓๐๑๖๘
๑๗	เครื่องกว๊านขนาด ๔,๐๐๐ กก.	๓๓๕๐๔
๑๘	เครื่องกว๊านขนาด ๒,๕๐๐ กก.	๓๓๕๐๓
๑๙	เครื่องกว๊านขนาด ๑๒,๐๐๐ กก.	๔๑๘๖๙

<u>ออกแบบฝาย</u>

๑. ความรู้ทางด้านวิศวกรรมโครงสร้าง

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นความรู้สำหรับใช้เพื่อการออกแบบขนาดของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กให้สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ ซึ่งการคำนวณออกแบบ ประกอบด้วย ๒ ส่วน

คือการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาแรงต่าง ๆ ที่หาได้จากการวิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อให้โครงสร้างของอาคารมีความแข็งแรง ปลอดภัย และเหมาะสมในการใช้งาน รายละเอียดที่ใช้ออกแบบ ดังนี้

การคำนวณและออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้ทฤษฎี Working stress design โดยกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ในการออกแบบสำหรับคอนกรีต fc' = ๒๑๐ กิโลกรัม/ตร.ซม. เหล็กเสริมในโครงสร้างกำหนดให้เป็นเหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD๓๐ (fy = ๓,๐๐๐ กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร และเหล็กที่มีขนาดเล็กว่า ๑๐ มิลลิเมตร กำหนดเป็นเหล็กกลม ชั้นคุณภาพ SR๒๔ (fy = ๒,๔๐๐ ตารางเซ็นติเมตร

คำนวณแรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงข้างให้ปลอดภัยจากการพลิกคว่ำ ปลอดภัยจากการเลื่อนไถล จากแรงดันด้านข้าง (Lateral Earth Pressure) จากสูตร

Active Earth Pressure = $K_a \gamma H$ หน่วย ตัน/ ตารางเมตร

Passive Earth Pressure = $K_p \gamma H$ หน่วย ตัน/ ตารางเมตร

Ka = สัมประสิทธิ์ของ Active Pressure = $(๑-\sin\phi)/(๑+\sin\phi)$

Kp = สัมประสิทธิ์ของ Passive Pressure = $(๑+\sin\phi)/(๑-\sin\phi)$

γ = Unit Weight of Soil หน่วย ตัน / ลูกบาศก์เมตร

H = ความสูงของดินถม หน่วย เป็นเมตร

ตรวจสอบน้ำหนักอาคารที่กระจายลงฐานราก ของตัวคอนกรีตรับตัวยาง น้ำหนักของน้ำในยางขณะพองตัวเต็มที่และน้ำหนักสะพานทางเดิน ไม่ให้เกินกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของดินฐานราก

๒. ความรู้ทางด้านชลศาสตร์

เป็นความรู้สำหรับใช้เพื่อการกำหนดรูปร่างลักษณะของอาคาร และส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาคาร ฝาย ตรวจสอบความมั่นคงของอาคาร การวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำหลังจากการก่อสร้างอาคารและการกำหนดการป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจากการไหลของน้ำ ด้านชลศาสตร์ซึ่งรายละเอียดการออกแบบฝายสันแข็งที่รองรับยางมีหลักการ ดังนี้

๑. การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดผ่านตัวฝาย ที่ไม่ทำให้เกิดการท่วมเกินระดับที่ยอมรับได้ จากสูตร $Q = CLH^{๓/๒}$

Q = อัตราการไหลสูงสุดผ่านตัวฝายในการออกแบบ หน่วยเป็น ม.^{๓}/วินาที

L = ความยาวสันฝาย หน่วยเป็น เมตร

H = ความสูงของน้ำหนักเหนือสันฝาย หน่วยเป็น เมตร

C = สัมประสิทธิ์การไหล ขึ้นอยู่กับชนิดของสันฝาย

๒. การออกแบบพื้นด้านหน้าฝาย

พื้นที่คอนกรีตด้านหน้าฝายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับท้องน้ำที่เป็นทรายหรือกรวด พื้นด้านหน้าฝายช่วยป้องกันการกัดเซาะและช่วยทำให้แรงดันยกตัว (Uplift pressure) ใต้ตัวฝาย และพื้นที่ด้านท้ายฝายมีขนาดลดลง ทำให้ความหนาของพื้นที่ด้านฝายมีขนาดลดลงได้ ต้นทางของพื้นที่ด้านหน้าฝายควรต้องมีการทำกำแพง Cutoff เพื่อยืดระยะทางการไหลซึม และป้องกันการกัดเซาะเข้าใต้พื้น พื้นด้านหน้าฝายควรมีความยาวไม่น้อยกว่า ๓ ของความสูงฝาย และความหนาไม่น้อยกว่า ๐.๓๐ เมตร

๓. การออกแบบพื้นด้านหน้าฝาย

ความยาวของพื้นด้านท้ายฝาย เป็นไปตามขนาดความยาวของอ่างน้ำนิ่ง (Stilling basin) ที่เลือกใช้ และความหนาต้องมีขนาดเพียงพอที่จะต้านทานแรงดันยกตัวใต้พื้นอาคารได้ ถึงแม้ว่าการยืดความยาวของพื้นด้านเหนือน้ำ และการตอกเข็มพืดใต้พื้นด้านเหนือน้ำ จะช่วยลดความยาวและความหนาของพื้น

ด้านท้ายน้ำลงได้ก็จริง แต่ไม่ควรจะให้พื้นด้านท้ายน้ำสั้นและหนาน้อยเกินไป เพื่อป้องกันแรงกระแทกของน้ำไหลตกจากสันฝายไม่ให้กัดเซาะท้องน้ำได้ ฉะนั้นพื้นไม่ควรหนาน้อยกว่า ๐.๓๐ เมตร การคำนวณหาความหนาของพื้นด้านแรงดันยกตัว ควรเผื่อเกณฑ์ความปลอดภัย ๑.๓ และสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

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

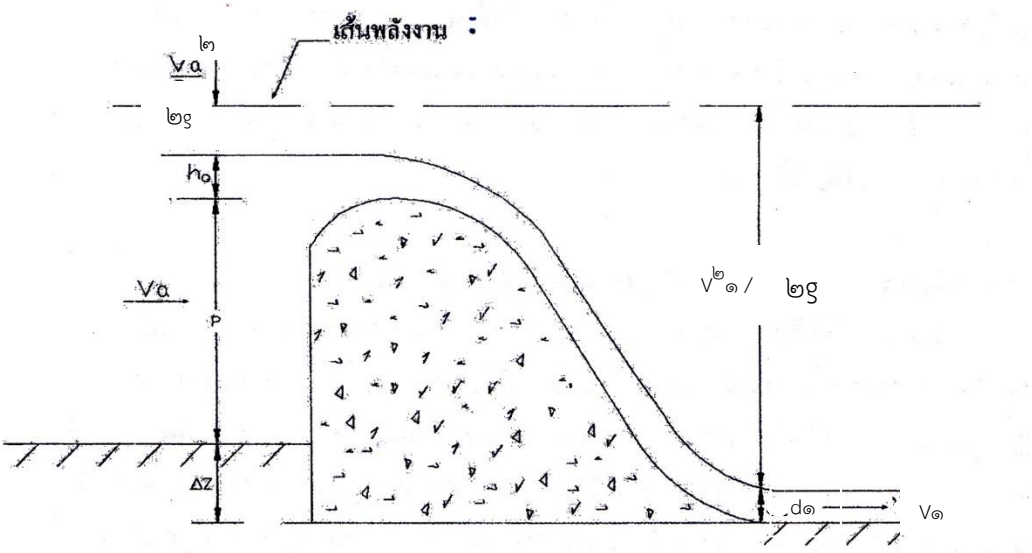
เมื่อ t = ความหนาของพื้น

γ_w = น้ำหนักหนึ่งหน่วยของน้ำ

γ_c = น้ำหนักหนึ่งหน่วยของคอนกรีตเสริมเหล็ก

๔. การคำนวณหาความเร็วที่ตีนฝาย

ความเร็วของน้ำที่ตีนฝายมีความสำคัญต่อการเลือกชนิดของอ่างเก็บน้ำนิ่ง สามารถคำนวณหาความเร็วโดยอาศัยหลักการของพลังงานจากสมการต่อไปนี้



รูปที่ ๑ ความเร็วของน้ำที่ตีนฝาย

การคำนวณหาความเร็วที่ตีนฝาย

$$\Delta z + P + h_o + \frac{V_a^2}{2g} = d_๑ + \frac{V_๑^2}{2g}$$

เมื่อ Δz = ผลต่างของระดับพื้นด้านหน้าและด้านท้ายฝาย

P = ความสูงของสันฝายจากพื้นด้านหน้า

h_o = ความลึกของน้ำเหนือสันฝาย

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

q = ปริมาณการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของ Approach Channel หน้าฝาย

d_1 = ความลึกของน้ำที่ตีนฝาย

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

๕. การวิเคราะห์รูปตัดตามยาวของการไหลของผิวน้ำด้านเหนือน้ำ

การสร้างฝายทดน้ำจะมีผลกระทบต่อระดับน้ำปกติด้านเหนือน้ำของฝาย เพราะฝายจะยกระดับน้ำให้สูงกว่าปกติโดยเฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลาก ไม่เฉพาะที่ตำแหน่งหน้าฝาย แต่จะส่งผลย้อนกลับขึ้นไปด้านเหนือน้ำเป็นระยะไกล ซึ่งอาจจะทำให้น้ำล้นตลิ่งแล้วเข้าท่วมพื้นที่ได้ ฉะนั้นจะต้องมีการวิเคราะห์ระยะทางของลำน้ำด้านเหนือน้ำพร้อมความสูงของระดับน้ำที่ได้รับผลกระทบจากการสร้างฝาย แล้วกำหนดระดับสันคันดินสองข้างตลิ่งให้สูงพอที่จะป้องกันน้ำล้นตลิ่งได้ การคำนวณหน้าข้างการไหลของปริมาณการไหลต่าง ๆ ตามขนาดรอบปีการเกิดซ้ำสามารถกระทำได้โดยใช้วิธี 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 เมื่อปริมาณการไหลขนาดต่าง ๆ ไหลตกจากฝายลงมาต้องมีการจัดทำ Rating Curve ของหน้าตัดทางด้านท้ายฝายซึ่งโดยปกติจะไม่มีการตรวจวัดข้อมูลระดับน้ำ หรือความลึกของน้ำและปริมาณการไหลจึงต้องมีการพิจารณาจัดทำ Rating Curve โดยอาศัยการคำนวณจากสมการแมนนิ่ง

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

เมื่อ Q = อัตราการไหลในลำน้ำ, ลูกบาศก์เมตร/วินาที

n = ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง

A = พื้นที่หน้าตัดของน้ำไหลในคลอง, ตารางเมตร

R = รัศมีชลศาสตร์, เมตร = A/P

P = ความยาวของเส้นของเปียก, เมตร

S = ความลาดเทของเส้นพลังงาน หรือ ความลาดชันของท้องลำน้ำในกรณีการไหลแบบ Uniform

ค่าสัมประสิทธิ์ n สามารถประเมินกำหนดได้จากชนิดของวัสดุ หรือดินตามผิวลำน้ำและลักษณะของลำน้ำ (ซึ่งจะเลือกใช้ได้จากหนังสือ หรือตำราที่เกี่ยวข้องกับชลศาสตร์ และการไหลในทางปิด) ขั้นตอนการสร้าง Rating Curve พอสรุปได้ ดังนี้

๑. ทำการสำรวจหน้าตัดของลำน้ำตรงตำแหน่งที่จะสร้างฝายทดน้ำ

๒. ทำการสำรวจความลาดชันของท้องลำน้ำ

๓. เขียนรูปหน้าตัดด้วยมาตราส่วนที่เหมาะสมลงในกระดาษ

๔. กำหนดความลึกของน้ำค่าต่างๆ เพื่อหาค่า A, P และ R

๕. ทำการประเมินกำหนดค่า n ตามชนิดของวัตถุหรือดินและลักษณะของลำน้ำ

๖. คำนวณหาค่าความเร็วและอัตราการไหลตามสมการของแมนนิ่ง

๗. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหรือระดับน้ำและอัตราการไหล ซึ่งก็คือ Rating Curve

ในกรณีที่มีการปรับแต่งลำน้ำด้านท้ายต่อจากอ่างน้ำนิ่ง เป็นช่วงระยะความยาวที่เหมาะสม การวิเคราะห์หา Rating Curve จะใช้ข้อมูลหน้าตัดและลักษณะของลำน้ำจากการปรับแต่งลำน้ำ

๗. การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำและแรงดันใต้พื้นอาคาร

เนื่องจากการไหลซึมของน้ำจากด้านหน้าฝาย ซึมเลาะไปตามแนวใต้พื้นฝายและปรากฏออกด้านท้ายสุดของพื้นอาคาร การไหลซึมดังกล่าวอาจนำพาเม็ดดินใต้พื้นอาคารให้หลุดออกไปกับน้ำได้ ทำให้เกิดโพรง (Piping) ใต้ฐานรากจนทำให้อาคารทรุดตัวและพังลงในที่สุด ฉะนั้นก่อให้เกิดความปลอดภัยจึงต้องออกแบบให้ฝายมีความยาวเพียงพอ จนน้ำไม่สามารถนำพาเม็ดดินใต้ฐานออกไปได้ นอกจากอาจจะทำให้เกิดโพรงแล้วการไหลซึมของน้ำ ยังทำให้เกิดแรงดันยกตัว (Uplift Pressure) ซึ่งมีผลต่อความมั่นคงของฝายด้วย

๗.๑ วิธีของ Bligh สามารถคำนวณหาระยะทางที่น้อยที่สุดของการไหลซึม ลอดใต้ฐานได้โดยสมการต่อไปนี้

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

เมื่อ L_{min} = ระยะทางน้อยที่สุดของการไหลซึมใต้ฐานรากโดยไม่เกิด piping

C = สัมประสิทธิ์การไหลซึมของ Bligh

ΔH = ผลต่างของระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายของฝาย

โดย L เป็นระยะทางจริงที่น้ำไหลซึมผ่าน ไม่ว่าจะเป็นระยะทางในแนวราบหรือระยะทางในแนวดิ่ง

ตารางที่ ๒ สัมประสิทธิ์การไหลซึมของ Bligh

ชนิดดินฐานราก	C
- ทรายละเอียดมากหรือดินตะกอน	๑๘
- ทรายละเอียด	๑๕
- ทรายหยาบ	๑๒
- กรวดและทราย	๙
- หิน กรวด และทราย	๔ ถึง ๗

๗.๒ วิธีของ Lane สามารถคำนวณหาระยะทางที่น้อยสุดของการไหลซึม ลอดใต้ฐานได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

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

เมื่อ $C_w = \dfrac{L}{\Delta H}$

= Weighted creep ratio

ΔH = ผลต่างของระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายของฝาย

สำหรับค่า L มีหลักเกณฑ์ในการพิจารณา ดังนี้

- ถ้าเป็นระยะตามแนวดิ่งหรือแนวเอียงที่ทำมุมกับพื้นราบมากกว่า ๔๕° ให้ใช้ความยาวจริง

- ถ้าเป็นระยะตามแนวราบที่เลาะใต้พื้นอาคาร หรือแนวเอียงที่ทำมุมกับพื้นราบน้อยกว่า ๔๕° ให้ใช้ $\frac{๑}{๓}$ ของความยาวจริง

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)

แรงนี้เกิดจากการไหลซึมของน้ำไปตามแนวใต้พื้นอาคาร ซึ่งจะมีผลต่อความมั่นคงของตัวฝายและความหนาของพื้นด้านท้ายฝาย สามารถคำนวณหาแรงดันยกตัวได้จากสมการต่อไปนี้

$$U_x = \left(๑ - \frac{L_x}{L} \right) H + H_d$$

เมื่อ U_x = แรงดันยกตัว - เมตร

L_x = ระยะทางการไหลซึมของน้ำจากจุดเริ่มต้นถึงตำแหน่งใดๆ ที่พิจารณาได้พื้นที่อาคาร, เมตร

L = ระยะทางทั้งหมดของการไหลซึมของน้ำใต้พื้นอาคาร - เมตร

ΔH = ผลต่างของระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายของฝาย - เมตร

H_d = ความลึกของน้ำด้านท้ายฝาย วัดจากใต้พื้นฝาย - เมตร

เกณฑ์ในการคำนวณหา L และ L_x เป็นไปตามวิธีของ Bligh หรือวิธีของ Lane ที่เลือกใช้ ฉะนั้นในการคำนวณหาแรงดันยกตัว ควรหาจากสองวิธีมาเปรียบเทียบกัน และเลือกใช้ค่าที่มากกว่าใช้ในการออกแบบความหนาพื้นด้านท้ายฝาย และวิเคราะห์ความมั่นคงของฝาย

๙. การป้องกันการไหลซึมของน้ำไหลลอดอาคาร (piping)

ในกรณีถ้าความยาวของการไหลซึมเลาะใต้พื้นฝาย มีขนาดน้อยกว่า L_{min} เพื่อป้องกันการเกิด Piping สามารถดำเนินการได้ ดังนี้

๑. เพิ่มความยาวแนวราบของพื้นด้านเหนือน้ำ (Upstream apron)

๒. สร้างกำแพง Cutoff และ/หรือ ตอกเข็มพืด เพื่อเพิ่มความยาวในแนวดิ่ง

๓. ทำตัวกรองน้ำและท่อระบายน้ำใต้พื้นไว้ที่พื้นฝายด้านท้ายน้ำ เพื่อกรองเม็ดดินไว้และให้แต่น้ำระบายออกจากใต้พื้นขึ้นสู่ด้านบน โดยวางท่อผ่านพื้นและให้แนวท่อเอียงเล็กน้อยไปตามการไหลของน้ำที่ไหลลงจากฝาย

การพิจารณาความยาวของการไหลซึม เพื่อความปลอดภัยควรคำนวณโดยใช้หลักการของ Lane และควรพิจารณาเพิ่มระยะทางการไหลซึมด้วยการสร้างกำแพง Cutoff และการตอกเข็มพืดใต้พื้นอาคารด้านเหนือน้ำ

๑๐. การออกแบบกำแพง (Cutoff) อย่างน้อยควรจะต้องสร้างกำแพง Cutoff ๒ ตำแหน่ง คือต้นทางของพื้นด้านเหนือน้ำและด้านปลายของพื้นด้านท้ายน้ำ ซึ่งนอกจากจะช่วยป้องกันการเกิด piping แล้วยังช่วยป้องกันการเกิดน้ำกัดเซาะใต้พื้นอาคาร โดยเฉพาะตัวที่อยู่ด้านปลายของพื้นด้านท้ายน้ำ เพราะน้ำที่ไหลตกจากฝายจะมีความแรง และปั่นป่วนมาก

ขนาดของความลึกและกำแพง Cutoff น้อยที่สุดเป็นไปตามเกณฑ์ที่แสดงในตารางที่ ๔ แต่ก็ไม่ควรจะลึกมากกว่า ๒.๐ เมตร ถ้าจำเป็นต้องสร้างกำแพง Cutoff มากกว่า ๒ แนว ต้องกำหนดให้กำแพง ๒ แห่งที่อยู่ใกล้กันมีระยะห่างไม่น้อยกว่า ๒.๐ เท่าของความลึกของ Cutoff ตัวที่ลึกกว่า ซึ่งโดยทั่วไปในทางปฏิบัติจะใช้ระยะห่าง ๒ เท่าของขนาดน้อยสุดของกำแพง Cutoff

ตารางที่ ๔ ขนาดของความลึกน้ำและกำแพง

ความลึกน้ำ (เมตร)	ความลึกกำแพง (เมตร)	ความหนา (เมตร)
ไม่เกิน ๑.๐	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) ฝายจะต้องมีความมั่นคงปลอดภัยจากกรณีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

๑๑.๑ ความมั่นคงต่อการไหลซึมของน้ำใต้ฐาน (piping)

การไหลซึมของน้ำใต้ฐานเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยาก แต่การไหลซึมของน้ำใต้ฐาน จะต้องไม่นำพาเอาเม็ดดินหลุดออกมาด้วย เพื่อไม่ให้ดินตามแนวใต้ฐานฝาย เกิดเป็นโพรง (piping) และพังทลายลงในที่สุด การวิเคราะห์และการป้องกันได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อการป้องกันการเกิด Piping

๑๑.๒ ความมั่นคงต่อการพลิกคว่ำ (Overturning)

สาเหตุโดยตรงของการพลิกคว่ำมาจากว่า แรงในแนวราบมากกว่าในแนวดิ่งจนเป็นสาเหตุในแรงลัพธ์ของแรงทั้งหมดรวมแรงลอยตัวด้วย ตามระนาบแนวราบใต้ฐานฝาย ตกออกนอกส่วนกึ่งกลางหนึ่งในสาม (Middle Third) ของฐาน ค่าความปลอดภัยของอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ต้านการพลิกคว่ำกับโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำเท่ากับหรือมากกว่า ๑.๕๐

$$F.S. = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_O} \geq ๑.๕๐$$

เมื่อ F.S = แฟคเตอร์ความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ

ΣM_R = ผลรวมของโมเมนต์ต้านการพลิกคว่ำที่เกิดจากแรงต่าง ๆ

ΣM_O = ผลรวมของโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำที่เกิดจากแรงต่าง ๆ

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

$$e \not< L/๖$$

เมื่อ e = ระยะระหว่างตำแหน่งของแรงลัพธ์กับจุดศูนย์กลางพื้นที่ของระนาบแนวราบใต้ฐาน

L = ความยาวของฐานฝาย

กระทำการตรวจสอบค่า e ด้วยเกณฑ์ของ Middle - Third ในกรณีฝายไม่มีน้ำด้านหน้า และกรณีฝายทดน้ำเต็มที่และด้านท้ายน้ำแห้ง

๑๑.๓ ความมั่นคงต่อการเลื่อนตัว(Sliding)

สาเหตุโดยตรงของการเลื่อนตัวมาจากว่า แรงสุทธิในแนวราบมากกว่าผลรวมของแรงต้านหรือแรงเสียดทานตามแนวราบใต้ฐานฝาย แรงเสียดทานนี้เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของฐานฝายกับพื้นดินที่รองรับอาคาร โดยทั่วไปนิยมเผื่อความปลอดภัยระหว่าง ๑.๕ ถึง ๒.๐

$$F.S \times \sum P \leq C \sum V$$

หรือ

$$F.S = \frac{C \sum V}{\sum P} \geq \text{ค่าความปลอดภัยที่กำหนดใช้}$$

เมื่อ

$F.S.$ = แฟคเตอร์ความปลอดภัยต่อการเลื่อนตัว

$\sum P$ = แรงสุทธิในแนวราบที่กระทำต่อตัวฝาย

$\sum V$ = แรงสุทธิในแนวดิ่งรวมแรงดันยกตัว

C = สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาย เลือกใช้ตามเกณฑ์ต่อไปนี้

- หน้าสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับกรวด C = ๐.๕
- หน้าสัมผัสของคอนกรีตกับทราย C = ๐.๔
- หน้าสัมผัสระหว่างคอนกรีตกับดินเหนียว C = ๐.๓

ในกรณีที่ฝายตั้งอยู่บนฐานรากที่เป็นหิน และต้องพิจารณาแรงต้านแรงแรงเอนที่ฐานค่าความปลอดภัยไม่ควรจะน้อยกว่า ๔.๐ และสามารถตรวจสอบได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$F.S = (S_a A + f \sum V) / \sum P \geq ๔.๐$$

เมื่อ

S_a = ความสามารถในการต้านแรงเฉือน (Shearing stress) ตามระนาบแนวราบที่ฐานฝาย – กิโลกรัมต่อตารางเมตร

A = พื้นที่รับแรงเฉือน

f = สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน = ๐.๖

กรณีที่ความมั่นคงต่อการเลื่อนตัวไม่ผ่านเกณฑ์ความปลอดภัย จะต้องพิจารณาเพิ่มแรงต้านทานการเลื่อนตัวให้มากขึ้นโดยการเพิ่มน้ำหนักตัวฝาย หรือพิจารณาให้ดินหลังกำแพง Cuttoff ที่อยู่ใต้พื้นฝายรับแรงส่วนเกิน และออกแบบการเสริมเหล็กที่ Cuttoff ให้เพียงพอตามหลักการของการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

๑๑.๔ ความมั่นคงต่อการรับน้ำหนักกดของดินใต้ฐาน

เพื่อให้ฝายมีความมั่นคงต่อแรงกด (Bearing) ที่กระทำต่อฐานรากทั้งในกรณีที่ฝายทดน้ำเต็มที่และกรณีที่ไม่มีน้ำทั้งสองด้าน แรงกดที่เกิดขึ้นจะต้องน้อยกว่า แรงกดสูงสุดที่ดินสามารถจะรับได้แรงกดที่เกิดขึ้นใต้ฐานสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (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 อาจจะแก้ไขโดยการลดความสูงของตัวฝายเพื่อลดน้ำหนักกดที่กระทำต่อฐานราก หรือโดยการเพิ่มพื้นที่รับแรงกดโดยการความลาดเทของผิวหน้าตัวฝาย หรืออาจจะต้องมีการตอกเสาเข็มรับน้ำหนักใต้ฐานราก

๑๒. การป้องกันการกัดเซาะด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ

ในกรณีที่อาคารชลศาสตร์ เช่น ฝายทดน้ำ สร้างขึ้นในลำน้ำธรรมชาติหรือคลอง ต้องมีการป้องกันการกัดเซาะซึ่งอาจจะเกิดขึ้นจากความปั่นป่วนและความแรงของกระแสน้ำ ตรงช่วงต่อของขอบอาคารกับเนื้อดิน โดยเฉพาะด้านท้ายของอาคารสลายพลังงานหรืออ่างน้ำนิ่ง ซึ่งการไหลมีความปั่นป่วนและมีคลื่นผิวน้ำ

การป้องกันการกัดเซาะทั้งพื้นท้องน้ำ และลาดตลิ่งสองฝั่งมักนิยมใช้หินทิ้ง หินเรียง หรือหินเรียงยาวแนว โดยมีความยาวของการป้องกันขึ้นอยู่กับชนิดของดินท้องน้ำและลาดตลิ่ง และความเร็วของกระแสน้ำ

๑๒.๑ ขนาดของหินทิ้งหรือหินเรียง ขนาดของหินทิ้งหรือหินเรียงท้ายอาคารสลายพลังงานขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเร็วกระแสน้ำ ทิศทางการไหล สภาพการปั่นป่วนของการไหล และลักษณะคลื่น วิธีการหาขนาดหินที่นิยมใช้ ดังนี้

๑. วิธีของ USBR ใช้โค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหินหรือน้ำหนัก กับความเร็วของการไหลที่ท้องน้ำ ซึ่งคำนวณหาได้ยาก ในทางปฏิบัติให้ใช้ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำตรงตำแหน่งของ End sill ของอ่างน้ำนิ่ง (Stilling Basin)

สำหรับอาคารชลศาสตร์ที่ไม่มีอาคารสลายพลังงาน ให้หาความเร็วกระแสน้ำจากสมการต่อไปนี้

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

เมื่อ Δz = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ ในกรณีฝายทดน้ำให้ใช้ความสูงของสันฝายเหนือพื้นด้านท้ายน้ำ

๒. วิธีของเบอรี่ (Berry) สำหรับหินที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ ๒.๖๕ สามารถหาขนาดของหินจากสมการต่อไปนี้

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

เมื่อ V_b = ความเร็วของกระแสน้ำที่ท้องน้ำที่ท้องน้ำ - ฟุต/วินาที

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหิน - นิ้ว

๓) วิธีของมาวิสและลอซซี่ เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

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

เมื่อ V_b = ความเร็วของกระแสน้ำที่ท้องน้ำ - เมตร/วินาที

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหิน - มิลลิเมตร

s = ความถ่วงจำเพาะของหิน – ไม่มีหน่วย

๑๒.๒ ความยาวของการป้องกันการกัดเซาะ

๑) ความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะโดยการใช้หินเรียง มีแนวทางในการวิเคราะห์หาโดยใช้หลักการของการเกิดความลึกที่ถูกกัดเซาะ และสามารถสรุปเป็นสมการได้ ดังต่อไปนี้

$L_u = ๒.๕๕\ q^{๒/๓} - ๑.๕\ D_u$

$L_d = ๓.๐๐\ q^{๒/๓} - ๑.๕\ D_d$

เมื่อ L_u = ความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะด้านเหนือน้ำ - เมตร

L_d = ความยาวของส่วนป้องกันการกัดเซาะด้านท้ายน้ำ - เมตร

q = อัตราการไหลต่อเนื่องหน่วยความกว้างของทางน้ำ - (ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เมตร)

D_u = ความลึกของการไหลที่สอดคล้องกับอัตราการไหลออกแบบตรงตำแหน่งของขอบ Apron ด้านเหนือน้ำของฝาย - เมตร

D_d = ความลึกของการไหลที่สอดคล้องกับอัตราการไหลออกแบบตรงตำแหน่งของขอบ Apron ด้านท้ายน้ำของฝายหรือด้านท้ายของอ่างสลายพลังงาน – เมตร

๒) ความยาวของหินเรียงด้านเหนือน้ำไม่ควรน้อยกว่าความลึกของน้ำ เหนือสันฝายแต่ไม่น้อยกว่า ๕.๐ เมตร

๓) ความยาวของหินเรียงด้านท้ายน้ำไม่ควรน้อยกว่า ๔ เท่าของความลึก ด้านท้ายน้ำของอาคารสลายพลังงาน

๑๓. การออกแบบอาคารสลายพลังงาน

อาคารสลายพลังงาน เป็นอาคารชลศาสตร์ที่ได้รับการออกแบบขึ้นเพื่อให้ทำหน้าที่สลายพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) จากการไหลของน้ำด้วยความเร็วสูงเช่น การไหลจากฝายทดน้ำหรือทางน้ำล้นของเขื่อน การไหลของน้ำผ่านรางเท การไหลลอดผ่านประตูน้ำจะทำการออกแบบให้อาคารสลายพลังงานอยู่ด้านท้ายน้ำของอาคารดังกล่าวเสมอ อาคารสลายพลังงานที่ดีจะต้องสามารถทำให้การไหลของน้ำที่เร็วนั้นช้าลงหรือทำให้พลังงานเนื่องจากความเร็วลดลง 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 แบบอ่างน้ำนิ่งถึงแม้ว่าจะทำให้สภาพการไหลของน้ำทางด้านท้ายน้ำราบเรียบดีที่สุด แต่มีราคาแพงมาก ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้กับเขื่อนที่มีความสูงมาก ส่วนอาคารแบบ Flip Bucket หรือ Submerged Roller Bucket มีราคาถูกกว่ามาก แต่ต้องการฐานรากที่เป็นหินแข็ง

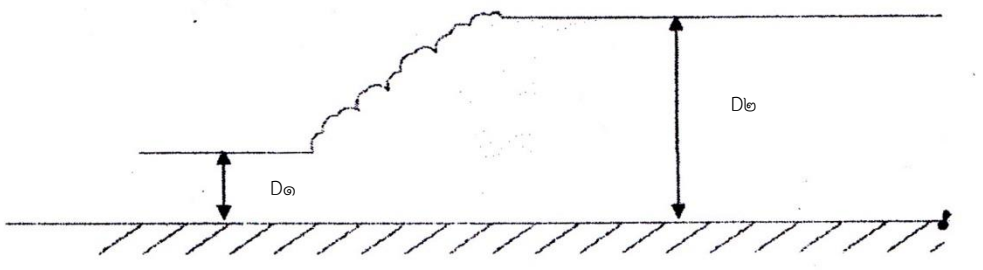
๑๓.๒ การวิเคราะห์ Hydraulic Jump

Hydraulic Jump เป็นปรากฏการณ์ของการไหลที่น้ำเปลี่ยนจากสภาวะการไหล ที่มีความลึกน้อยแต่เร็วมากไปสู่สภาวะการไหลที่มีความลึกมากแต่ความเร็วน้อย

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

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

๑. การไหลล้นจากฝายทดน้ำ หรือ Spillway ของเขื่อน
๒. การไหลลอดประตูน้ำกรณีความสูงของการเปิดบานมีค่าน้อย
๓. การไหลลงจาก Chute หรือ รางเท



รูปที่ ๒ แสดง Hydraulic Jump

ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกก่อนและหลังเกิด Jump ในทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือทางน้ำที่มีความกว้างมาก สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้ ดังนี้

$$\frac{d}{d_1} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{๑+๘F_๑^{๒}} - ๑\right)$$

เมื่อ $d_๑$ = ความลึกก่อนเกิด Jump – เมตร

$d_๒$ = ความลึกหลังเกิด Jump – เมตร

$F_๑$ = Froude Number ของการไหลก่อนเกิด Jump

= $V_๑ / \sqrt{gd_๑}$

การสลายพลังงานของ Hydraulic Jump การสูญเสียพลังงานของการเกิด Hydraulic Jump บนพื้นราบสามารถหาได้จากสมการ ต่อไปนี้

$$E_L = \frac{(d_๒-d_๑)^{๓}}{๔d_๑d}$$

เมื่อ E_L = พลังงานที่สูญเสียไปเมื่อเกิด Jump - เมตร

๑๓.๓ การแบ่งประเภทของ Hydraulic Jump

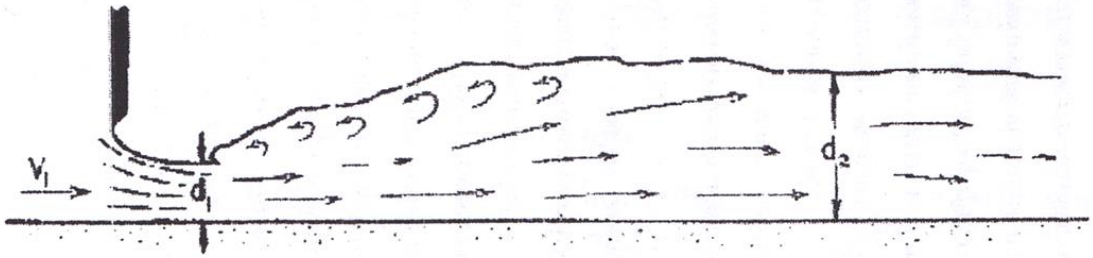
ประเภทของ Jump จะแบ่งตามค่าของ Froude Number ดังต่อไปนี้

แบบที่ ๑ เรียกว่า Pre-jump เมื่อ $F_๑$ = ๑.๗ - ๒.๕ ผิวน้ำเป็นคลื่นขนาดเล็ก ในช่วงนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ Stilling Basin มีการสลายพลังงานประมาณ ๒๐%

แบบที่ ๒ เรียกว่า Transition เมื่อ $F_๑$ = ๒.๕ – ๔.๕ ปกติมักพบเห็นเสมอ ๆ ในอาคารขนาดเล็กมีการปั่นป่วนของน้ำที่พื้นและที่ผิวน้ำสลับกันไปไม่แน่นอน ทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปทางด้านท้ายน้ำได้เป็นระยะทางหลาย ๆ กิโลเมตร ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อตลิ่งและหินทิ้งได้

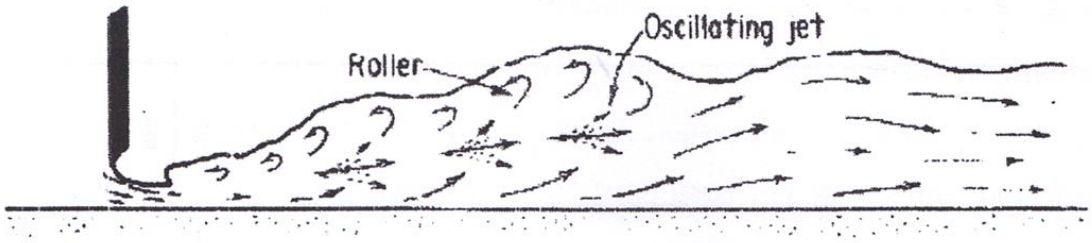
แบบที่ ๓ เป็นแบบ Well-Stabilized Jump เมื่อ $F_๑$ = ๔.๕ – ๙.๐ Jump มีความมั่นคงดีและสามารถสลายพลังงานระหว่าง ๔๕-๗๐%

แบบที่ ๔ $F_๑$ มากกว่า ๙.๐ น้ำจะพุ่งเข้าสู่ Jump ด้วยความเร็วสูงมาก $d_๑$ และ $d_๒$ จะมีค่าต่างกันมาก กรณีนี้ความยาว Jump จะต้องวัดจากตำแหน่งคลื่นม้วนบนผิวน้ำ เนื่องจากกระแสน้ำความเร็วสูงพุ่งขึ้นจากพื้นก่อนที่จะหมดระยะ Jump คลื่นม้วนอาจเคลื่อนตัวลงตามแนวหน้า Jump สู่กระแสน้ำที่พุ่งด้วยความเร็วสูงทำให้เกิดคลื่นเคลื่อนตัวไปทางด้านท้ายน้ำได้เป็นบางครั้ง ผิวน้ำปั่นป่วนมาก อาจสลายพลังงานได้ถึง ๘๕% ความยาวของ Jump ในรูปจะสัมพันธ์กับ Jump ชนิดต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้



F_1 = 1.7 to 2.5

A – Pre – jump – very low energy loss

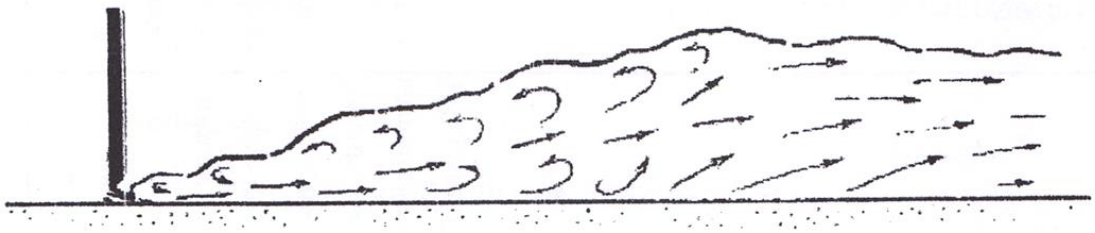


F_1 = 2.5 to 4.5

B – Transition – rough – water surface

F_1 = 4.5 to 9.0 – range of good jumps

C – Least affected by tail water variations



F_1 = 9.0 upward

D – Effective but rough

รูปที่ ๓ การแบ่งประเภทของ Hydraulic Jump

๑๓.๔ ข้อพิจารณาในการออกแบบ Stilling Basin

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

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

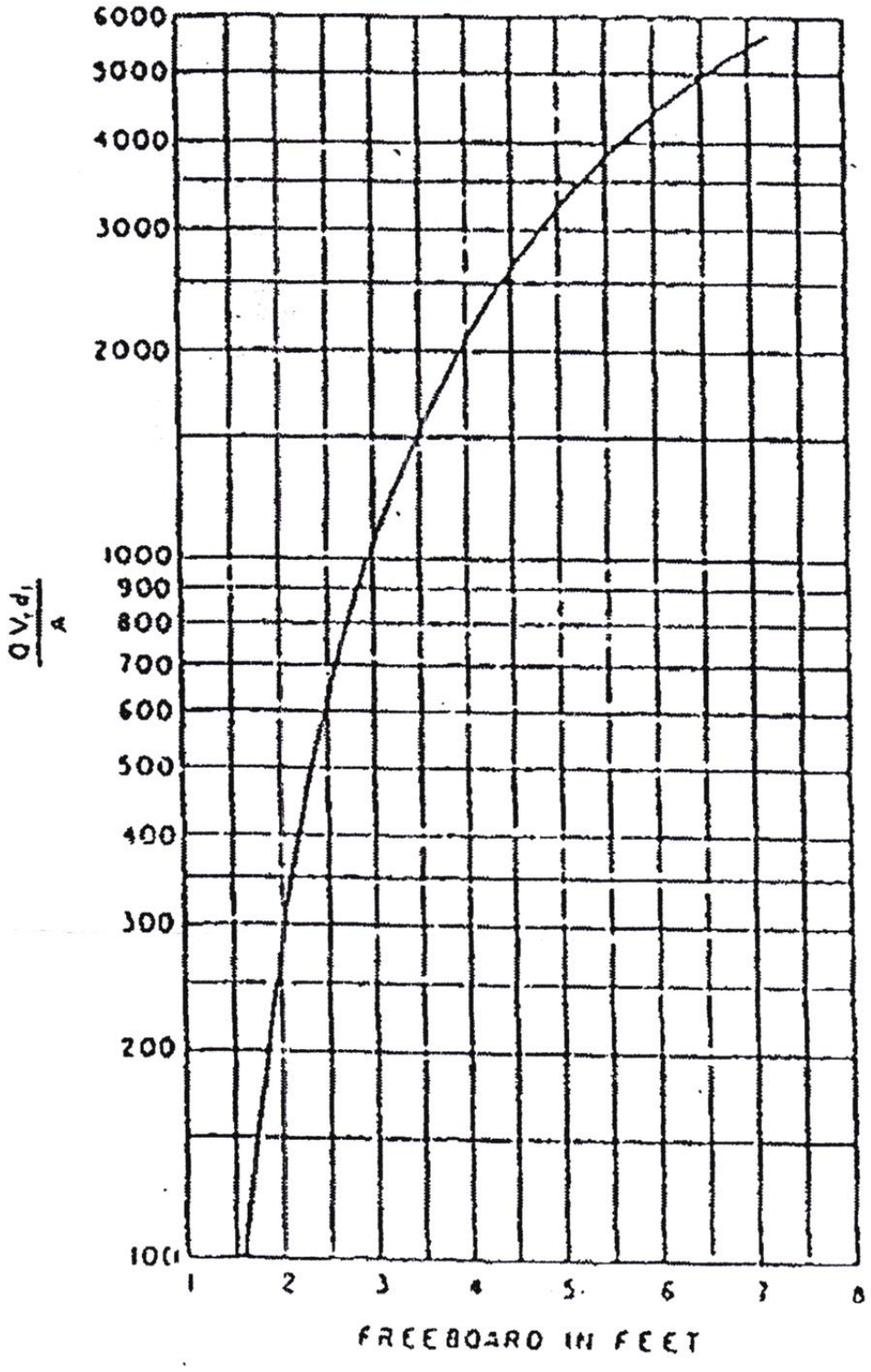
๒) ความกว้างของ Stilling Basin โดยทั่ว ๆ ไปมักจะออกแบบความกว้างของอ่างน้ำนิ่งให้เท่ากับความกว้างของรางเทหรือทางน้ำล้น ยกเว้นในกรณีที่น้ำไหลเข้ามามีความเร็วสูง จะทำการออกแบบให้อ่างน้ำนิ่งมีความกว้างกว่า โดยมีมุมผายออกเพียงเล็กน้อย เพื่อลดความหนาแน่นของอัตราการไหล (Discharge Concentration) ลดการเกิดคลื่นและการปั่นป่วนของกระแสน้ำทางด้านท้ายน้ำของ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

การเลือกความกว้างของอ่างน้ำนิ่งจะต้องพิจารณาควบคู่ไปกับการเลือกความยาว เพื่อให้ได้อาคารที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่ง US. Corps of Engineers ได้เสนอแนะการเลือกความกว้างไว้ ดังนี้

๑. จะต้องไม่ให้เกิดแรงดันลอยตัว (Uplift) บนพื้นที่ของอ่างมากเกินไป

๒. ระดับของอ่างจะต้องไม่ต่ำเกินไปเพื่อหลีกเลี่ยงการขุดดินบริเวณฐานรากลึกมากเกินไป

๓. ความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากอ่างจะต้องไม่มากเกินไปจนก่อให้เกิดการกัดเซาะ



รูปที่ ๔ กราฟสำหรับใช้หาระยะเผื่อล้นของ Stilling Basin

และเพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการออกแบบความกว้าง ได้มีผู้เสนอแนะสูตรไว้ ดังนี้

$$W = ๑.๘๑K\sqrt{Q}$$

เมื่อ W = ความกว้างของอ่างน้ำนิ่ง - เมตร

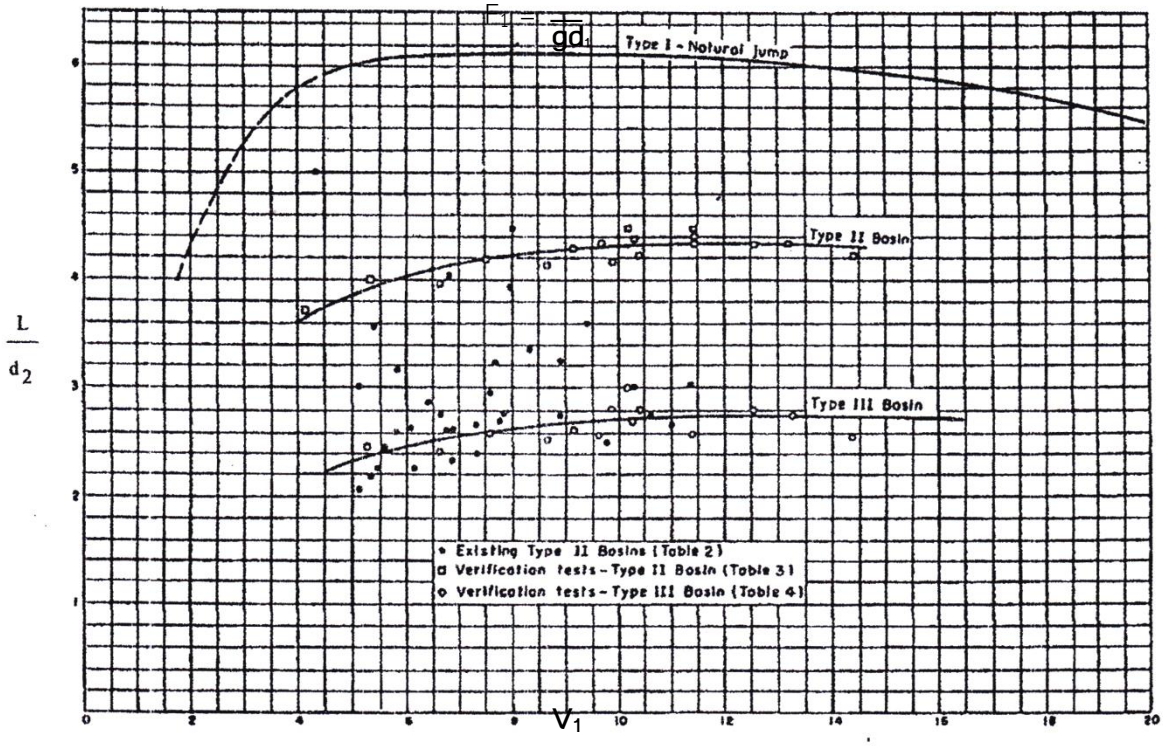
K = ค่าคงที่

= ๑.๐ สำหรับอ่างน้ำนิ่งที่รับน้ำจากรางเทหรือทางน้ำล้น

= ๑.๓ สำหรับอาคารในคลอง

Q = ปริมาณการไหลสูงสุด - ลูกบาศก์เมตร/วินาที

๓) ความยาวของ Stilling Basin โดยปกติความยาวของอ่างเท่ากับความยาวของ Jump ที่เกิดในอ่าง (ยกเว้น Stilling Basin Type I) และอัตราส่วนจะมีค่าอยู่ระหว่าง ๔ ถึง ๕ และจากการทดลองพบว่าถ้ามีการติดตั้ง Floor Block และ End Sill ที่เหมาะสมอัตราส่วน $L/d_๒$ เท่ากับ ๓ ก็นับว่าเป็นการเพียงพอแล้ว แต่สำหรับบริเวณพื้นทางน้ำไม่มั่นคง ในทางปฏิบัติมักจะใช้ $L/d_๒$ อย่างน้อยเท่ากับ ๔ และสำหรับบริเวณที่พื้นทางน้ำมีความมั่นคงดี อาจจะออกแบบโดยใช้ เพียง ๒.๕ เท่านั้น รูปที่ ๕ เป็นโค้งที่ใช้หาค่าความยาวของอ่างน้ำนิ่งของ USBR



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

๔) การกำหนดระดับ Stilling Basin Hydraulic Jump จะเกิดเมื่อความลึกหลังเกิด Jump ($d_๒$) หรือความลึก Conjugate ของ $d_๑$ เท่ากับความลึกด้านท้ายน้ำ แต่ตามลักษณะทางชลศาสตร์ ความลึกด้านท้ายน้ำ จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการไหล ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะออกแบบอาคารสลายพลังงานให้มีความลึกหลังเกิด Jump เท่ากับความลึกด้านท้ายน้ำตลอดเวลา บางครั้งความลึกด้านท้ายน้ำอาจมีค่ามากกว่าความลึกหลังเกิด Jump ซึ่งจะทำให้เกิด Drowned Jump หรือบางครั้งความลึกหลังเกิด Jump มากกว่า

ความลึกด้านท้ายน้ำ จะทำให้ Jump เคลื่อนตัวไปทางด้านท้ายน้ำห่างออกไป ในการออกแบบจะต้องมีการเปรียบเทียบโค้งความลึกหลังการเกิด Jump และโค้งความลึกด้านท้ายน้ำ เพื่อกำหนดระดับพื้นของอ่างน้ำนิ่ง เพื่อให้โค้งของความลึกหลังเกิด Jump เข้าใกล้โค้งของความลึกด้านท้ายน้ำมากที่สุด โดยไม่มีส่วนใดของโค้งความลึกหลังเกิด Jump ในช่วงปริมาณการไหลน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณการไหลสูงสุดผ่านอาคารอยู่เหนือความลึกด้านท้ายน้ำ

นอกจากการกดระดับพื้นอ่างน้ำนิ่ง การกำหนดใช้ความกว้างของอ่างให้เหมาะสม จะมีส่วนช่วยให้โค้งความลึกหลังเกิด Jump เข้าใกล้โค้งความลึกด้านท้ายน้ำมากยิ่งขึ้น การใช้อ่างน้ำนิ่งที่กว้างขึ้นจะทำให้ความลึกหลังเกิด Jump มีค่าน้อยลง ระดับพื้นอ่างจะได้ไม่ต้องอยู่ในระดับที่ลึกมากเกินไป ซึ่งทำให้ต้องเสียค่าขุดดินมาก ปริมาณการไหลออกแบบสูงสุดอาจจะไม่ใช่เป็นปัจจัยที่ใช้กำหนดระดับพื้นอ่างน้ำนิ่งเสมอไป ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณการไหลที่ทำให้เกิดระยะห่างมากสุด ระหว่างโค้งความลึกหลังเกิด Jump และโค้งความลึกด้านท้ายน้ำ

๑๓.๕ ประเภทของ Stilling Basin

๑) Stilling Basin แบบที่ I

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

๒) Stilling Basin แบบที่ II

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

๓) Stilling Basin แบบที่ III

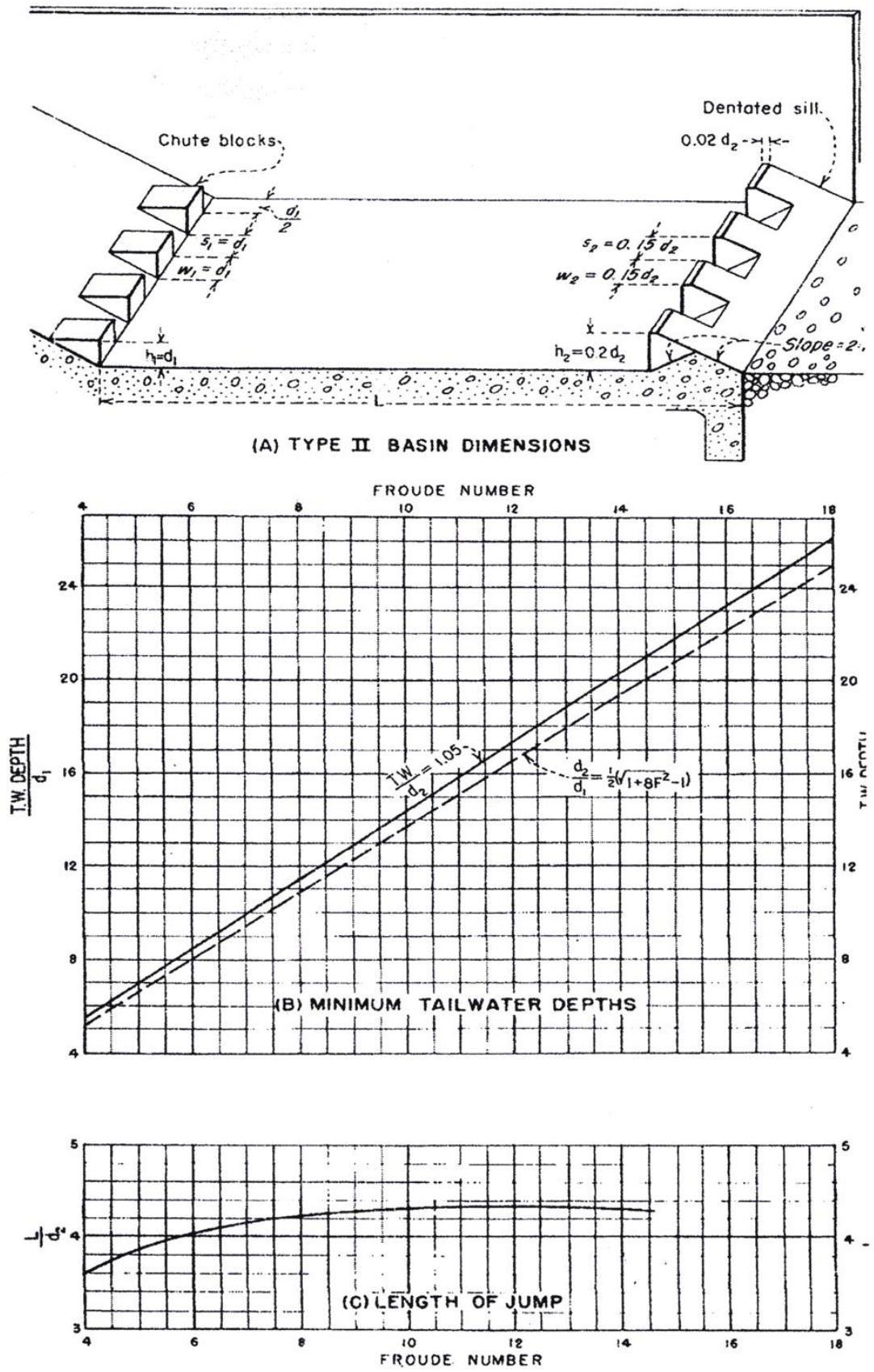
อ่างน้ำนิ่งแบบนี้ไม่ยาวมากเหมาะสำหรับอาคารในคลองชลประทานทั่วไป อาคารทางออก (Outlet Work) และทางน้ำล้นขนาดเล็ก ความเร็วเข้าสู่อ่างไม่เกิน ๑๘ เมตร/วินาที และ q ไม่เกิน ๑๘.๖ ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เมตร อาคารแบบนี้มีราคาถูกกว่าแบบที่ II และจะทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ Froude number เท่ากับหรือมากว่า ๔.๕

๔) Stilling Basin แบบที่ IV

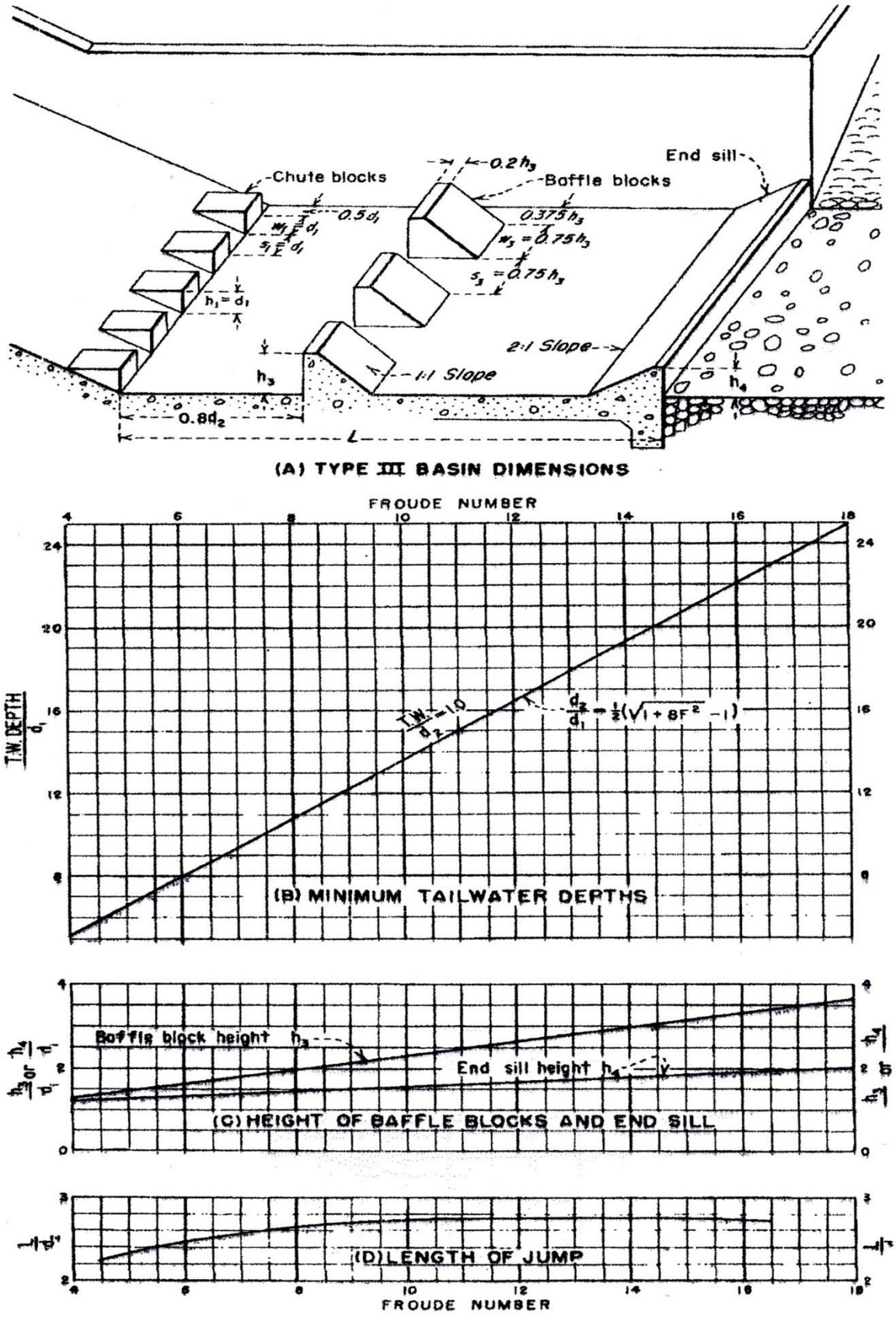
อาคารแบบนี้เหมาะสำหรับอาคารในคลอง อาคารทางออก และเขื่อนทดน้ำค่า Froude number ของการไหลควรจะอยู่ระหว่าง ๒.๕ และ ๔.๐ Hydraulic Jump จะไม่มั่นคงและจะเกิดคลื่น ซึ่งจะทำความเสียหายให้แก่หินเรียงและคลองที่ไม่ได้ดาด ในกรณีของอาคารทางออก ถ้าเฮดเท่ากับหรือมากกว่า ๑๕ เมตร และ Froude number อยู่ระหว่าง ๒.๕ และ ๔.๕

๕) Stilling Basin สำหรับ Froude number น้อย

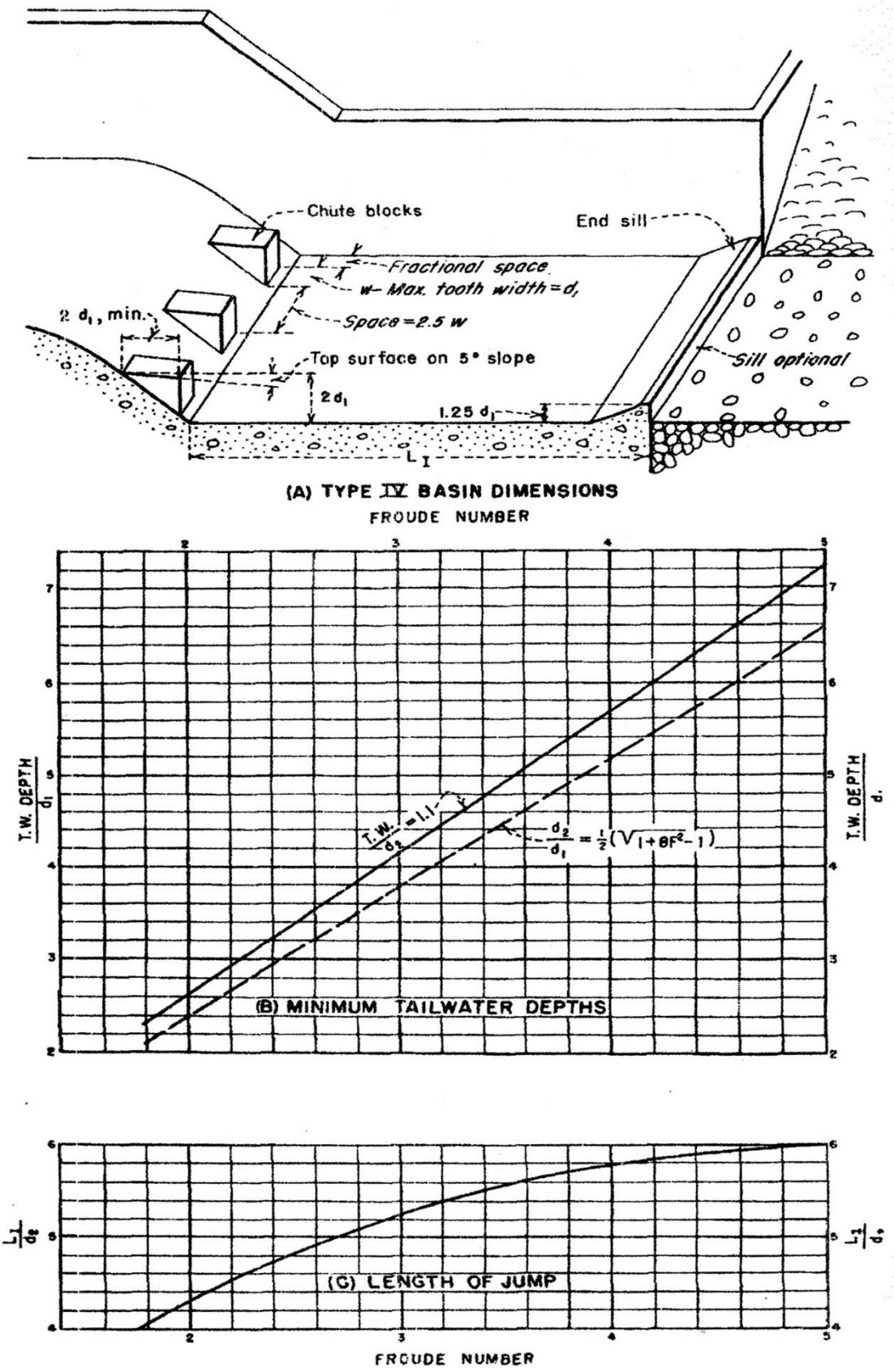
การไหลที่ Froude number มีค่าน้อย โดยเฉพาะในช่วงระหว่าง ๒.๕ ถึง ๔.๕ การไหลจะปั่นป่วนและเกิดคลื่นที่ผิวน้ำและการสลายพลังงานจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า ๕๐ เปอร์เซ็นต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสลายพลังงานและลดความยาวของอ่างน้ำนิ่ง USBR ได้เสนออ่างน้ำนิ่งเผื่อเลือกใช้ทดแทนอ่างน้ำนิ่งแบบที่ I และแบบที่ IV โดยอ่างแบบนี้ประกอบไปด้วย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



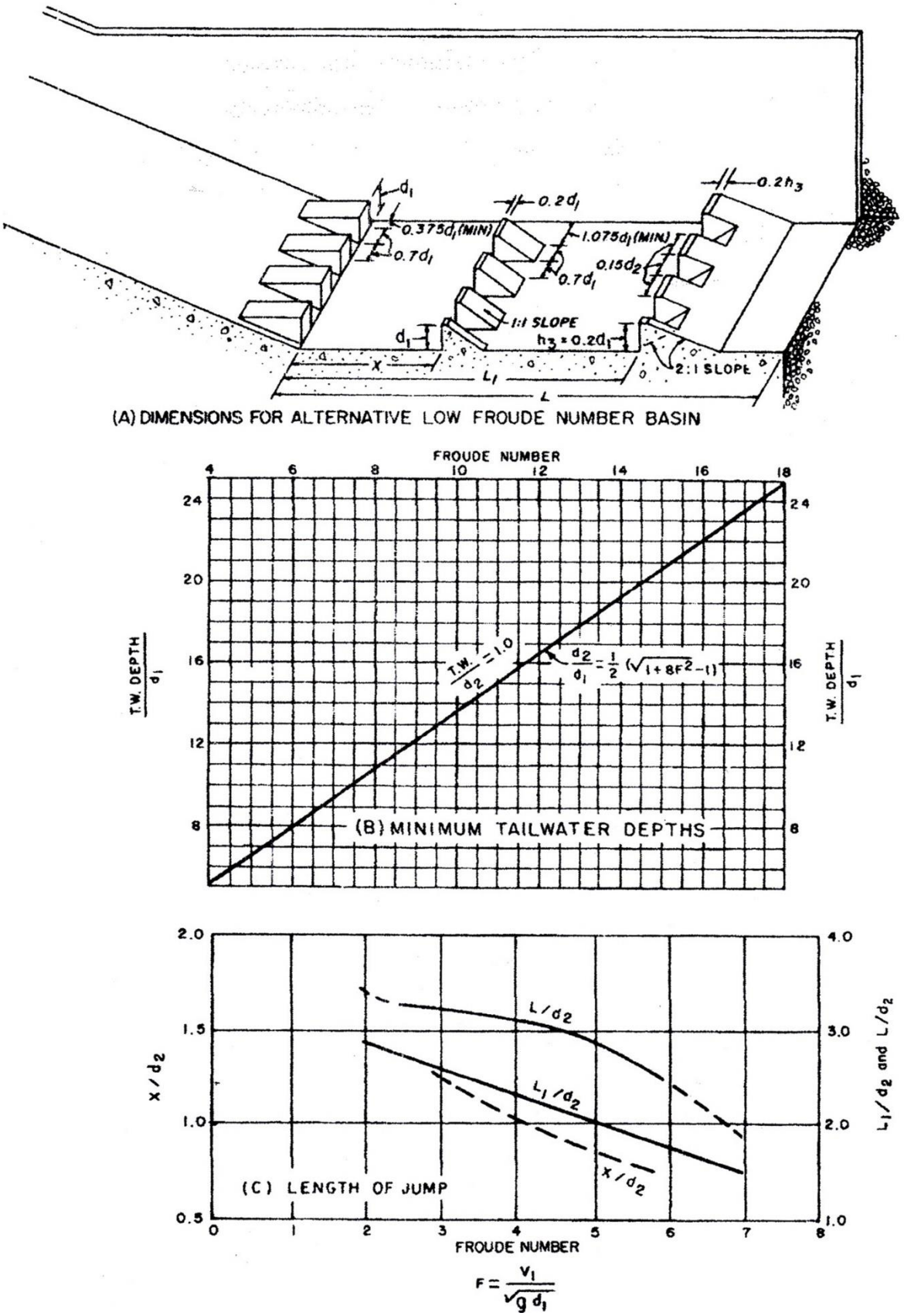
รูปที่ ๖ Stilling Basin แบบที่ II



รูปที่ ๗ Stilling Basin แบบที่ III



รูปที่ ๘ Stilling Basin แบบที่ IV



รูปที่ ๙ Stilling Basin สำหรับ Froude number น้อย

๓. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

การดำเนินการตามแนวคิดดังกล่าวข้างต้น ผู้เขียนคาดว่าจะได้รับผลจากการดำเนินการดังนี้

การทำงานตามที่ได้รับมอบหมายแบ่งเป็นสัดส่วนแบบประยุกต์ดีกว่า ตรากตรำลำบากน้อยกว่าและจะสอนให้คนรู้จักทำงานกันเป็นคณะทำงาน ไม่เอารัดเอาเปรียบ รู้จักช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ระยะเวลาที่ใช้ดำเนินงานออกแบบที่น้อยลง เมื่อทุกคนในองค์กรเห็นว่ามีสิ่งที่เกี่ยวกับองค์ความรู้ในการทำงาน เช่น คู่มือในการทำงาน สามารถไปค้นคว้าศึกษาเพิ่มเติม หรือมีการทบทวนพื้นฐานจากวิชาความรู้ที่ได้เรียนมา หรือได้มาจากการฝึกอบรมซึ่งสามารถนำไปต่อยอดให้เกิดประโยชน์ต่อตนเอง และองค์กร ทำให้มีความเข้าใจในงานที่จะทำ เกิดความอยากลองทำ และไม่ต้องเสียเวลาในการค้นคว้า เพียงแค่นำมาศึกษาดู แต่ทั้งนี้องค์กรจะต้องมีบุคคลากรที่สามารถชี้นำ และอธิบายให้กับผู้ที่ศึกษาทำงานได้อย่างถูกต้องและเข้าใจองค์ความรู้(KM) เช่น คู่มือการออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก(ที่มา: เว็ปไซต์ สชป.๒ ได้กล่าวอธิบายถึงออกแบบฝาย), หนังสือคู่มืองานเขื่อนดินขนาดเล็กและฝาย (ที่มา : อาจารย์ปราโมทย์ ไม้กลัด ได้อธิบายออกแบบฝาย), หนังสือออกแบบฝาย (ที่มา : อาจารย์สนั่น ศิริอ่อน) โปรแกรมคำนวณออกแบบฝาย, หนังสือเส้นลาดอุทกศาสตร์ในงานออกแบบอาคารชลประทาน และ การเขียนเส้น Seepage Line หรือ Phreatic Line ในเขื่อนดิน (ที่มา: ไกรฤกษ์ อินท์ชยะนันท์), มาตรฐานการเขียนแบบ กองออกแบบ, มาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีต เป็นต้น

สำหรับแผนงานการสร้างฐานข้อมูลออกแบบฝาย จะนำไปฝากไว้ที่เว็ปไซต์สำนักงานชลประทานที่12 ส่วนวิศวกรรม ฝ่ายออกแบบ เพื่อการทำงานอย่างเป็นมาตรฐานเดียวกัน ถูกต้องตามหลักวิชาการ ปลอดภัย แข็งแรงและประหยัด ตามความต้องการของเกษตรกรต่อไป

ดังนั้นการใช้ประโยชน์ KM ออกแบบฝาย เมื่อทุกคนมีความรู้ที่ได้เรียนรู้จากคู่มือการทำงานก็สามารถที่จะทำงานได้ เมื่อลงมือทำและปฏิบัติงานจริงและเจอข้อปัญหา ก็ต้องระดับหัวหน้าหรือพี่เลี้ยงคอยแนะนำแก้ไขให้งานเดินไปได้และประสบความสำเร็จ ก็จะเป็นประสบการณ์ในการทำงานต่อไป ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น

๔. ตัวชี้วัดความสำเร็จ

ดังนั้นคู่มือเป็นสิ่งที่กลั่นกรองออกมาจากประสบการณ์ และแนวคิดในการทำงานแต่ละอย่างที่ได้เก็บรวบรวมไว้เป็นระยะเวลาอันยาวนาน เพื่อให้บุคคลที่มารับช่วงต่อภายหลังสามารถเข้าใจงานและปัญหาทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ งานทุกชิ้นที่เราทำและรับผิดชอบเรียบร้อยแล้ว จึงควรถูกบันทึกไว้เป็นลายลักษณ์อักษรเพื่อคนรุ่นหลังต่อไป หรือแม้กระทั่งตัวเราเองที่อาจต้องรับผิดชอบงานชิ้นนั้นอีกในอนาคต ทำให้ไม่ต้องเสียเวลามานั่งคิดเริ่มต้นงานใหม่ทั้งหมด แต่สามารถใช้คู่มือเล่มนั้นเป็นแนวทางและสามารถใช้งานได้ ทำให้ประหยัดเวลา

ระยะเวลาที่ใช้ดำเนินงานที่น้อยลง เนื่องจากระยะเวลาในขั้นตอนของการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการทำงานออกแบบลดลง และได้มาซึ่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น มีผลทำให้ระยะเวลาในการออกแบบแก้ไขน้อยลง ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จในภาพรวมของการทำงานทั้งหมด ที่เริ่มต้นตั้งแต่การวางแผนออกแบบอาจมีการนำโปรแกรม คำนวณออกแบบมาใช้ในการคำนวณค้นหาวิธีต่าง ๆ ที่จะใช้ระยะเวลาน้อยลง

คุณภาพของผลงานที่เพิ่มขึ้น ที่ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้วิศวกรมีเวลาเพิ่มมากขึ้นในการพิจารณาถึงรายละเอียด ในส่วนของเนื้องานด้านอื่น ๆ ที่มีความสำคัญมาก ๆ เช่นความปลอดภัย ความประหยัด รวมทั้งหาแนวทางใหม่ ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ปริมาณงานที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากระยะเวลาที่ใช้แก้ไขงานที่น้อยลง ทำให้เปรียบเทียบกับด้านระยะเวลาที่เท่ากันจะทำให้ปริมาณของงานที่เพิ่มมากขึ้น

ความพึงพอใจของผู้รับบริการเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากผลงานการออกแบบใช้เวลาน้อยลง มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และจากการที่ออกแบบทำการมีส่วนร่วม ทำให้หน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปดำเนินการต่อเพื่อการส่งต่อโครงการบำรุงรักษาต่อไป ทำงานได้รวดเร็วและสะดวกขึ้น เป็นผลให้สามารถออกแบบได้แล้วเสร็จทันกับแผนการทำงาน

นายเอกสิทธิ์ ตันติมาสน์
ผู้เขียน

บรรณานุกรม

๑. USBR : “Design of Small Dams”,๑๙๘๗

๒. ร.ศ.สันติ ทองพำนัก : “ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพในการออกแบบฝาย” คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

๓.ปราโมทย์ ไม้กลัด : “คู่มืองานเขื่อนดินขนาดเล็กและฝาย” สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์

๔.ส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่๒ : “การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก”

๕.ฉลอง เกิดพิทักษ์ :” ชลศาสตร์ประยุกต์”, ๒๕๕๕