



เอกสารองค์ความรู้เชิงวิชาการด้านการบริหารจัดการน้ำ

การเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยของอ่างเก็บน้ำเดิม ด้วยการบริหารจัดการน้ำเชิงบูรณาการ

การถอดองค์ความรู้จากโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำ
อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา

ทรัพยากรน้ำมั่นคง
ประชาชนมั่นใจ
ใช้ประโยชน์ยั่งยืน

อ่างเก็บน้ำ
ห้วยน้ำแวน
อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา

จัดทำและเรียบเรียงโดย

ดร.ประยุทธ์ ไกรปราบ

ผู้อำนวยการกองพัฒนาแหล่งน้ำ 1

กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

พ.ศ. 2569

การเพิ่มประสิทธิภาพและการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำเดิม
กรณีศึกษาโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา

จัดทำและเรียบเรียงโดย

ดร.ประยุทธ์ ไกรปราบ

ตำแหน่ง ผู้อำนวยการกองพัฒนาแหล่งน้ำ 1

กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ที่ปรึกษา

นายธีระชุน บุญสิทธิ์

ตำแหน่ง อธิบดีกรมทรัพยากรน้ำ

กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

รศ. ชัยวัฒน์ ชัยการนาวิ

ตำแหน่ง ผู้อำนวยการพิเศษ สาขาโยธา

สภาวิศวกร

กรมทรัพยากรน้ำ

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

พ.ศ. 2569

บทสรุปผู้บริหาร

เอกสารองค์ความรู้เชิงวิชาการด้านการบริหารจัดการน้ำ เรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยของอ่างเก็บน้ำเดิมด้วยการบริหารจัดการน้ำเชิงบูรณาการ: การถอดองค์ความรู้จากโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา จัดทำขึ้นเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้จากการปฏิบัติงานจริงในการฟื้นฟูและเพิ่มประสิทธิภาพอ่างเก็บน้ำเดิมที่ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานาน โดยมีมุ่งนำเสนอทั้งกระบวนการตรวจสอบข้อมูล การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม การพิจารณาทางเลือก การดำเนินการก่อสร้าง การบริหารภายหลังการปรับปรุง ตลอดจนบทเรียนและเงื่อนไขสำหรับการนำองค์ความรู้ไปประยุกต์ใช้กับอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่น แนวคิดสำคัญของเอกสารคือการเพิ่มประโยชน์จากน้ำต้นทุนควบคู่กับการควบคุมน้ำหลาก ความมั่นคงของเขื่อน ความปลอดภัยสาธารณะ และการใช้โครงสร้างพื้นฐานเดิมให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า

อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อ พ.ศ. 2541 ปัจจุบันอยู่ในความรับผิดชอบของกรมทรัพยากรน้ำ ตัวเขื่อนเป็นเขื่อนดินถมชนิดเนื้อเดียว (Homogeneous Dam) มีความยาวสันเขื่อน 560 เมตร ระดับสันเขื่อน +421.30 เมตร (รทก.) และมีความจุเก็บกักเดิมประมาณ 2.30 ล้านลูกบาศก์เมตร อ่างเป็นแหล่งน้ำต้นทุนสำหรับประชาชนประมาณ 385 ครัวเรือน และพื้นที่เกษตรกรรมประมาณ 3,500 ไร่ ประกอบด้วยพื้นที่นา 2,000 ไร่ สวนลำไย 700 ไร่ และพืชอื่น ๆ 800 ไร่ จึงมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตและการประกอบอาชีพของประชาชนในพื้นที่ ภายหลังใช้งานต่อเนื่องเป็นเวลานาน สมรรถนะของอ่างเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเมื่อก่อสร้าง ทั้งจากการสะสมของตะกอนที่ทำให้รูปทรงท้องอ่างและความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาตรเก็บกักเปลี่ยนแปลง ข้อจำกัดของข้อมูลอุทกวิทยาเดิม และระบบระบายน้ำล้นแบบ Double Side Channel Spillway ที่ไม่มีบานควบคุม ทำให้การพร่องน้ำล้นหน้าและการบริหารระดับน้ำตามสถานการณ์ทำได้จำกัด จากการวิเคราะห์จึงสังเคราะห์ปัญหาหลักเป็น 3 ด้านที่สัมพันธ์กัน ได้แก่ ข้อจำกัดด้านความจุเก็บกัก (Storage Constraint) ข้อจำกัดด้านอุทกวิทยา (Hydrological Constraint) และข้อจำกัดด้านชลศาสตร์และการบริหารน้ำหลาก (Hydraulic Constraint) การปรับปรุงจึงไม่สามารถแก้ไขเฉพาะการตื้นเขินหรืออาคารระบายน้ำส่วนใดส่วนหนึ่ง แต่ต้องพิจารณาการตอบสนองของระบบอ่างเก็บน้ำโดยรวม

การดำเนินงานเริ่มจากการตรวจสอบข้อมูลออกแบบเดิมร่วมกับข้อมูลสภาพปัจจุบันและประวัติการใช้งานจริง โดยเฉพาะข้อมูลภูมิประเทศ รูปทรงท้องอ่าง ตะกอน ความสัมพันธ์ระดับ-พื้นที่-ปริมาตรเก็บกัก และข้อมูลอุทกวิทยา เนื่องจากพื้นที่รับน้ำขนาดประมาณ 119.7 ตารางกิโลเมตรไม่มีสถานีตรวจวัดน้ำท่าโดยตรงที่เพียงพอ และอยู่ภายใต้อิทธิพลของลักษณะภูมิประเทศแบบเงาฝน การประเมินน้ำไหลเข้าอ่างจึงใช้ข้อมูลหลายแหล่งร่วมกัน ไม่ยึดข้อมูลเดิมเพียงค่าเดียว ผลการวิเคราะห์อุทกวิทยาได้ Unit Hydrograph สำหรับช่วงเวลาฝนส่วนเกิน 1 ชั่วโมง โดยมี Peak Discharge 30.72 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และสำหรับกรณีรอบปีการเกิด 25 ปี ได้ Peak Inflow 177.19 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการวิเคราะห์ระบบอ่างต่อไป ข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาวิเคราะห์ร่วมกับความสัมพันธ์ระหว่าง Inflow-Storage-Water Level-Outflow และใช้ Reservoir Flood Routing เป็นเครื่องมือประเมินผลของการปรับปรุงต่อระดับน้ำสูงสุด ปริมาตรระบายสูงสุด และ Freeboard หลักคิดสำคัญคือ การเพิ่มความจุเก็บกักไม่ควรพิจารณาเฉพาะจำนวนปริมาตรน้ำที่เพิ่มขึ้น และการเพิ่มสมรรถนะของอาคารระบายน้ำก็ไม่ควรมุ่งให้ระบายได้มากที่สุด แต่ต้องสร้างสมดุลระหว่างการรักษาน้ำต้นทุน การรองรับน้ำหลาก ความปลอดภัยของเขื่อน และผลกระทบต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำ ซึ่งเอกสารสังเคราะห์เป็นแนวคิดหลักว่า “เพิ่มน้ำต้นทุนโดยไม่เพิ่มความเสี่ยง”

ในการตัดสินใจทางวิศวกรรม ได้เปรียบเทียบแนวทางหลักระหว่างการขุดลอกร่วมกับ Fixed Crest Spillway และการขุดลอกร่วมกับ Gated Spillway โดยพิจารณาหลายเกณฑ์ ได้แก่ ความสามารถในการเพิ่ม

Storage การควบคุมระดับน้ำ Maximum Water Level และ Freeboard, Peak Outflow ผลต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำ ความยืดหยุ่นในการบริหาร และต้นทุน ทางเลือก Gated Spillway มีต้นทุนสูงกว่า แต่สามารถกำหนดการเปิด-ปิดบานและพร่องน้ำให้สัมพันธ์กับสถานการณ์ เพิ่มความจุเก็บกัก และเพิ่มความสามารถในการบริหารระดับน้ำได้ จึงได้รับการเลือกใช้ การตัดสินใจดังกล่าวสะท้อนการพิจารณา Trade-off ระหว่างประสิทธิภาพ ความปลอดภัย ผลกระทบ และต้นทุน มากกว่าการเลือกจากราคาก่อสร้างต่ำที่สุดเพียงเกณฑ์เดียว การปรับปรุงใช้แนวทางฟื้นฟูและใช้ประโยชน์จากโครงสร้างเดิมเป็นหลัก ประกอบด้วย การขุดลอกตะกอนประมาณ 208,200 ลูกบาศก์เมตร การตัดปรับอาคารระบายน้ำล้นเดิมและติดตั้ง Sluice Gate ขนาด 3.00×3.00 เมตร จำนวน 2 ช่อง การปรับระดับสันทางระบายน้ำล้น การปรับปรุง River Outlet การซ่อมแซม Chute, Chute Block และ End Sill งานป้องกันการกัดเซาะ งานเสริมสันเขื่อน และการปรับพื้นที่ด้านหลังเขื่อน งานก่อสร้างแบ่งเป็น 2 สัญญา วงเงินรวม 32.94 ล้านบาท โดยการดำเนินงานให้ความสำคัญกับการควบคุมคุณภาพ การตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างแบบกับสภาพหน้างาน และการบริหารความเสี่ยงจากน้ำหลากระหว่างก่อสร้าง โดยให้งานที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของเขื่อนและความสามารถในการระบายน้ำมีลำดับความสำคัญก่อนงานด้านอื่น

ผลการปรับปรุงแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มสมรรถนะของระบบอย่างชัดเจน ความจุเก็บกักเพิ่มจาก 2.30 เป็น 2.80 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือเพิ่มขึ้น 0.50 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 21.7 ภายใต้เงื่อนไขน้ำไหลเข้าเดียวกันในรอบปีการเกิดที่ $Tr = 25$ ปี Peak Outflow ลดจาก 170.65 เป็น 134.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือลดลงร้อยละ 21.2 Maximum Water Level ลดจาก +420.38 เป็น +420.25 เมตร (รทก.) และ Freeboard เพิ่มจาก 0.92 เป็น 1.05 เมตร ผลดังกล่าวสะท้อนว่า แม้เพิ่ม Storage แต่ระดับน้ำสูงสุดภายใต้เหตุการณ์ที่วิเคราะห์ไม่ได้เพิ่มขึ้นตาม โดยเกิดจากการทำงานร่วมกันของปริมาตรเก็บกักที่เพิ่มขึ้น และความสามารถในการควบคุม Outflow ของระบบหลังการปรับปรุง นอกจากนี้ การตรวจสอบภายหลังการก่อสร้างไม่พบการทรุดตัวหรือการรื้อซึมที่ผิดปกติ และ Sluice Gate สามารถเปิด-ปิดได้ตามที่ออกแบบ ประโยชน์ของโครงการยังขยายไปสู่พื้นที่และผู้ใช้น้ำ โดยความจุที่เพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการรักษาและบริหารน้ำต้นทุนสำหรับประชาชน 385 ครัวเรือนและพื้นที่เกษตรกรรม 3,500 ไร่ ขณะที่ Peak Outflow ที่ลดลงช่วยลดภาระการไหลสูงสุดที่ส่งต่อไปยังพื้นที่ด้านท้ายน้ำภายใต้เงื่อนไขการวิเคราะห์ นอกจากนี้ ดินจากการขุดลอกถูกนำกลับมาใช้ถมและปรับพื้นที่ด้านหลังเขื่อนเป็นลานจอดรถและพื้นที่กิจกรรมของชุมชน ช่วยลดการขนย้ายวัสดุและเพิ่มพื้นที่สาธารณะประโยชน์ พร้อมทั้งส่งเสริมองค์กรกลุ่มผู้ใช้น้ำให้เข้ามามีส่วนร่วมในการรับรู้สถานการณ์น้ำ การวางแผนใช้น้ำ และการจัดสรรน้ำร่วมกับหน่วยงานที่รับผิดชอบ

ภายหลังการปรับปรุง การรักษาสมรรถนะของระบบจำเป็นต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องผ่านการบริหารระดับน้ำ การติดตามพฤติกรรมของเขื่อนและอาคารประกอบ การตรวจสอบ Sluice Gate เครื่องกว้าน และอุปกรณ์เครื่องกล ตลอดจนการบันทึกข้อมูลและทบทวนเกณฑ์บริหารตามสภาพจริง โดยเฉพาะระบบที่มีบานควบคุมซึ่งความสามารถในการ Pre-release จะเกิดประโยชน์ได้ก็ต่อเมื่ออุปกรณ์พร้อมใช้งาน มีแนวทางเปิด-ปิดบานที่ชัดเจน และใช้ข้อมูลสถานการณ์น้ำกับการพยากรณ์ประกอบการตัดสินใจ ดังนั้น การเพิ่มความสามารถในการควบคุมทางกายภาพของโครงสร้างต้องมาพร้อมกับความพร้อมด้านการเดินระบบและการบำรุงรักษา

บทเรียนสำคัญของกรณีห้วยน้ำแวนคือ การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมต้องเริ่มจากการรู้สภาพจริง วิเคราะห์ปัญหาในลักษณะระบบองค์รวม และใช้ผลการวิเคราะห์เป็นฐานของการตัดสินใจ การเพิ่มน้ำต้นทุนต้องพิจารณาควบคู่กับ Flood Management และ Dam Safety การเลือกทางเลือกต้องใช้หลายเกณฑ์ การใช้โครงสร้างเดิมต้องผ่านการตรวจสอบความเหมาะสม ความมั่นคงแข็งแรง การก่อสร้างต้องควบคุมทั้งคุณภาพและความเสี่ยง และการปรับปรุงต้องเชื่อมโยงไปถึงการบริหาร ติดตาม และบำรุงรักษาในระยะยาว

ไม่ควรถือว่าโครงการสิ้นสุดเมื่อส่งมอบงาน องค์ความรู้จากโครงการจึงสามารถถ่ายทอดไปสู่อ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่นในรูปของกรอบกระบวนการ ได้แก่ การตรวจสอบข้อมูลและสภาพปัจจุบัน การวิเคราะห์ปัญหาและข้อจำกัดของระบบ การกำหนดและเปรียบเทียบทางเลือก การออกแบบโดยใช้ศักยภาพของโครงสร้างเดิม การก่อสร้างพร้อมควบคุมคุณภาพและความเสี่ยง และการตรวจสอบ-บริหาร-บำรุงรักษาหลังการปรับปรุง ทั้งนี้ ไม่ควรนำค่าระดับ ขนาด Sluice Gate รูปแบบ Spillway หรือพารามิเตอร์ของห้วยน้ำแวนไปใช้กับอ่างอื่นโดยตรง เพราะแต่ละพื้นที่มีเงื่อนไขด้านอุทกวิทยา ชลศาสตร์ ภูมิประเทศ โครงสร้าง และความต้องการใช้น้ำแตกต่างกัน สิ่งที่ควรถ่ายทอดคือ วิธีคิด วิธีวิเคราะห์ และหลักการตัดสินใจ แล้วนำไปวิเคราะห์ใหม่จากข้อมูลเฉพาะของแต่ละพื้นที่

โดยสรุป คุณค่าของโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนไม่ได้อยู่เพียงที่การเพิ่มความจุเก็บกักหรือการเปลี่ยน Spillway เป็นระบบที่ควบคุมได้ แต่อยู่ที่การแสดงให้เห็นว่า อ่างเก็บน้ำเดิมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้โดยใช้ข้อมูลสภาพจริง วิเคราะห์องค์ประกอบของระบบอย่างเชื่อมโยง เลือกมาตรการที่สร้างสมดุลระหว่าง Water Storage-Flood Control-Dam Safety-Public Safety และใช้โครงสร้างเดิมอย่างคุ้มค่า แนวทางดังกล่าวทำให้การเพิ่มน้ำต้นทุนสามารถดำเนินไปพร้อมกับการบริหารน้ำหลากและการรักษาความปลอดภัยของระบบ และเป็นองค์ความรู้ที่สามารถนำไปปรับใช้กับการฟื้นฟูและเพิ่มประสิทธิภาพอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่นได้อย่างเป็นระบบ ภายใต้หลักสำคัญของกรณีศึกษานี้ คือ “เพิ่มน้ำต้นทุนโดยไม่เพิ่มความเสี่ยง”

คำนำ

การพัฒนาและบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในปัจจุบันไม่ได้จำกัดอยู่เพียงการก่อสร้างแหล่งน้ำใหม่ แต่ครอบคลุมถึงการฟื้นฟู เพิ่มประสิทธิภาพ และยกระดับความปลอดภัยของโครงสร้างพัฒนาแหล่งน้ำเดิมที่ผ่านการใช้งานมาเป็นระยะเวลานาน เนื่องจากการสะสมของตะกอน การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิประเทศ พายุธรรมชาติและน้ำท่าที่แตกต่างจากสมมติฐานในการออกแบบเดิม ตลอดจนข้อจำกัดของอาคารควบคุมและระบายน้ำ อาจทำให้สมรรถนะของอ่างเก็บน้ำในปัจจุบันแตกต่างจากสภาพเดิมเมื่อก่อสร้างเสร็จ ทั้งด้านความจุเก็บกัก ความสามารถในการรองรับน้ำหลาก การควบคุมระดับน้ำ และความปลอดภัยของเขื่อน ดังนั้น การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมจึงควรตั้งอยู่บนฐานของข้อมูลที่สะท้อนสภาพจริงในปัจจุบัน การวิเคราะห์เชิงระบบ และการพิจารณาความมั่นคงและความปลอดภัยสาธารณะควบคู่กับการเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักและบริหารจัดการน้ำ

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยการถอดบทเรียนและสังเคราะห์องค์ความรู้จากโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา โดยมุ่งนำเสนอองค์ความรู้ กระบวนการวิเคราะห์ เหตุผลในการตัดสินใจทางวิศวกรรม ผลสัมฤทธิ์ ข้อจำกัด และบทเรียนจากการปฏิบัติงานจริง สำคัญของกรณีศึกษาคือการสร้างสมดุลระหว่างการเพิ่มน้ำต้นทุน (Water Storage) การควบคุมน้ำหลาก (Flood Control) ความมั่นคงของเขื่อน (Dam Safety) ความปลอดภัยสาธารณะ (Public Safety) และการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้โครงสร้างพื้นฐานเดิม (Existing Infrastructure Optimization) ผ่านการตรวจสอบข้อมูลเดิมกับสภาพจริง การวิเคราะห์ Unit Hydrograph และ Flood Frequency Analysis การวิเคราะห์ Flood Routing ด้วยวิธี Modified Puls การเปรียบเทียบทางเลือกระหว่าง Fixed Crest Spillway และ Gated Spillway ตลอดจนการบริหารความเสี่ยงระหว่างการก่อสร้างและการกำหนดแนวทางบริหารอ่างภายหลังการก่อสร้าง ซึ่งนำไปสู่แนวคิดสำคัญของโครงการ คือ เพิ่มน้ำต้นทุนโดยไม่เพิ่มความเสี่ยง

องค์ความรู้จากกรณีศึกษาอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นกรอบกระบวนการสำหรับการศึกษา ประเมิน และวางแผนปรับปรุงอ่างเก็บน้ำหรือเขื่อนดินเดิม ที่มีบริบทใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีปัญหาตะกอนสะสม ความจุเก็บกักลดลง ข้อมูลอุทกวิทยาเดิมไม่สอดคล้องกับสภาพปัจจุบัน หรืออาคารระบายน้ำมีข้อจำกัดในการบริหารน้ำหลาก ทั้งนี้การขยายผลควรนำไปใช้ในลักษณะของกระบวนการตรวจสอบข้อมูล วิเคราะห์ระบบ เกณฑ์พิจารณาทางเลือก และหลักการบริหารความเสี่ยงมากกว่าการนำค่าระดับ ขนาดอาคาร หรือพารามิเตอร์เฉพาะของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนไปใช้โดยตรง เนื่องจากแต่ละพื้นที่มีเงื่อนไขด้านอุทกวิทยา ชลศาสตร์ โครงสร้าง และความต้องการใช้น้ำแตกต่างกัน การประยุกต์ใช้จึงต้องวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะพื้นที่ใหม่ เพื่อให้การปรับปรุงแหล่งน้ำเดิมมีความเหมาะสมปลอดภัย ใช้ทรัพยากรของรัฐอย่างคุ้มค่า และสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำอย่างยั่งยืน

ดร.ประยุทธ์ ไกรปราบ

ผู้อำนวยการกองพัฒนาแหล่งน้ำ 1

กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

พ.ศ. 2569

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	ค
คำนำ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บริบท สภาพปัญหา และกรอบการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	1
ความเป็นมาและข้อมูลพื้นฐานของอ่างเก็บน้ำ	1
สภาพการเปลี่ยนแปลง ปัญหา และความจำเป็นในการปรับปรุง	4
กรอบแนวคิดในการแก้ไขปัญหา	8
บทที่ 2 หลักวิชาการและกระบวนการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอ่างเก็บน้ำ	13
การสำรวจและตรวจสอบข้อมูลสภาพปัจจุบัน	13
การวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยา	18
การวิเคราะห์ด้านชลศาสตร์และการเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านอ่างเก็บน้ำ	24
บทที่ 3 การตัดสินใจทางวิศวกรรมและการดำเนินการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำ	32
เกณฑ์การตัดสินใจและการเปรียบเทียบทางเลือกทางวิศวกรรม	32
ทางเลือกที่เลือกและองค์ประกอบของการปรับปรุง	37
การดำเนินการก่อสร้าง การควบคุมคุณภาพ และการบริหารความเสี่ยง	46
บทที่ 4 ผลลัพธ์ การบริหารจัดการ และการติดตามภายหลังการปรับปรุง	56
ผลลัพธ์และการตรวจสอบสมรรถนะภายหลังการปรับปรุง	56
การบริหาร การติดตาม และบำรุงรักษาอ่างเก็บน้ำภายหลังการปรับปรุง	61
ประโยชน์ต่อพื้นที่ ผู้ใช้น้ำ และการมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการน้ำ	68
บทที่ 5 บทเรียนและการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่การประยุกต์ใช้	74
บทเรียนเชิงวิศวกรรมและการบริหารจัดการจากกรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	74
กรอบการประยุกต์ใช้องค์ความรู้กับอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่น	78
ข้อจำกัด เงื่อนไขการประยุกต์ใช้ และข้อเสนอแนะ	81
บทสรุปองค์ความรู้	87
เอกสารอ้างอิง	89
ภาคผนวก	92
ภาคผนวก ก ตัวอย่างแบบการปรับปรุงโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	93
ภาคผนวก ข ภาพการก่อสร้างโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำ	104
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยา	111
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ด้านชลศาสตร์	117

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ข้อมูลพื้นฐานของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	2
ตารางที่ 2	ความหมายและค่าพารามิเตอร์อัตราการไหลที่ใช้ในการวิเคราะห์อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	23
ตารางที่ 3	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ Reservoir Flood Routing ของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน ก่อนและหลังการปรับปรุง กรณี $Tr = 25$ ปี	29
ตารางที่ 4	การเปรียบเทียบทางเลือกทางวิศวกรรมสำหรับการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	35
ตารางที่ 5	องค์ประกอบทางวิศวกรรมของทางเลือกที่เลือกและบทบาทต่อระบบอ่างเก็บน้ำ ห้วยน้ำแวน	43
ตารางที่ 6	จุดควบคุมคุณภาพสำคัญของงานปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	51
ตารางที่ 7	ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะทางวิศวกรรมก่อนและหลังการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำ ห้วยน้ำแวน	57
ตารางที่ 8	แนวทางการตรวจติดตามและบำรุงรักษาองค์ประกอบสำคัญของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	65
ตารางที่ 9	พื้นที่รับประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	69
ตารางที่ 10	กรอบการประยุกต์ใช้องค์ความรู้กับอ่างเก็บน้ำเดิม	80

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา	3
ภาพที่ 2 ภาพอ่างเก็บน้ำปัจจุบันแสดงให้เห็นการสะสมของตะกอนบริเวณหน้าอ่าง	5
ภาพที่ 3 ภาพอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนก่อนดำเนินการก่อสร้าง	5
ภาพที่ 4 ภาพบริเวณอาคารระบายน้ำล้นอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนก่อนดำเนินการก่อสร้าง	7
ภาพที่ 5 กรอบแนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยของอ่างเก็บน้ำเดิมด้วยการบริหารจัดการน้ำเชิงบูรณาการ	12
ภาพที่ 6 กระบวนการสำรวจ ตรวจสอบ และพัฒนาฐานข้อมูลสภาพปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำ	17
ภาพที่ 7 กระบวนการสำรวจและตรวจสอบข้อมูล	18
ภาพที่ 8 ลักษณะพื้นที่รับน้ำและอิทธิพลภูมิประเทศต่อการกระจายตัวของฝนบริเวณอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	20
ภาพที่ 9 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของพื้นที่รับน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	21
ภาพที่ 10 ปริมาณน้ำหลากตามรอบปีการเกิดของพื้นที่รับน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	22
ภาพที่ 11 กระบวนการวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยาของโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	24
ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์กรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	26
ภาพที่ 13 กราฟระบายน้ำล้นและระดับน้ำสูงสุดของอ่างฯ สภาพเดิมที่ $Tr = 25$ ปี	29
ภาพที่ 14 กระบวนการวิเคราะห์ด้านชลศาสตร์และการเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	31
ภาพที่ 15 กรอบการตัดสินใจและการเปรียบเทียบทางเลือกทางวิศวกรรมของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	37
ภาพที่ 16 สภาพอาคารระบายน้ำล้นเดิมของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนก่อนการปรับปรุง	38
ภาพที่ 17 การขุดลอกตะกอนเพื่อฟื้นฟูปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	39
ภาพที่ 18 การดัดแปลงอาคารระบายน้ำล้นเดิมและติดตั้งระบบบานระบายของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	41
ภาพที่ 19 การปรับปรุงอาคารประกอบ ตัวเขื่อน ระบบป้องกันการกัดเซาะ และการใช้ประโยชน์วัสดุขุดลอก	43
ภาพที่ 20 โครงสร้างประกอบในการปรับปรุง	45
ภาพที่ 21 การขุดลอกและปรับปรุงตัวเขื่อนและบริเวณทางระบายน้ำล้น	47
ภาพที่ 22 การก่อสร้างและดัดแปลงอาคารระบายน้ำล้นและอาคารประกอบ	49
ภาพที่ 23 การบดอัดและการก่อสร้างระบบป้องกันการกัดเซาะ	51
ภาพที่ 24 พื้นที่ขณะเกิดอุทกภัยน้ำท่วมไหลหลากในพื้นที่โครงการฯ	53
ภาพที่ 25 กระบวนการดำเนินโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	54

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระดับ-ความจุ-พื้นที่ผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนก่อนและหลังการปรับปรุง	57
ภาพที่ 27 ผลการวิเคราะห์ Flood Routing เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน ที่ $Tr = 25$ ปี	58
ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงสมรรถนะด้านการเก็บกักและการควบคุมน้ำหลากของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนก่อนและหลังการปรับปรุง	61
ภาพที่ 29 กระบวนการบริหารอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนในช่วงมรสุมหรือพายุ	63
ภาพที่ 30 กระบวนการบริหาร ติดตาม และบำรุงรักษาภายหลังการปรับปรุง	67
ภาพที่ 31 พื้นที่รับประโยชน์ของโครงการ	68
ภาพที่ 32 สรุปประโยชน์ของโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน	73
ภาพที่ 33 กรอบการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ในการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่น	81
ภาพที่ 34 สรุปบทเรียนและการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่การประยุกต์ใช้	86

บทที่ 1

บริบท สภาพปัญหา และกรอบการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

1.1 ความเป็นมาและข้อมูลพื้นฐานของอ่างเก็บน้ำ

อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา เป็นโครงการพัฒนาแหล่งน้ำที่ก่อสร้างโดยกรมการเร่งรัดพัฒนาชนบท กระทรวงมหาดไทย รหัสโครงการ พย.21021 และก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2541 ต่อมาได้ถ่ายโอนมาอยู่ในความรับผิดชอบของกรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นแหล่งน้ำต้นทุนเพื่อสนับสนุนการอุปโภคบริโภคและการเกษตรของประชาชนในพื้นที่ จึงเป็นโครงสร้างพื้นฐานด้านทรัพยากรน้ำที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต การประกอบอาชีพ และความมั่นคงด้านน้ำของชุมชน

ในเชิงการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ อ่างเก็บน้ำไม่ได้ใช้ประโยชน์เฉพาะการเก็บกักน้ำเท่านั้น แต่เป็นองค์ประกอบของระบบบริหารจัดการน้ำที่ต้องเชื่อมโยงการรักษาต้นทุน การจัดสรรน้ำ การรองรับความแปรปรวนของปริมาณน้ำ และการบริหารความเสี่ยงจากเหตุการณ์น้ำหลาก แนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศไทยให้ความสำคัญทั้งด้านน้ำอุปโภคบริโภค ความมั่นคงของน้ำภาคการผลิต และการจัดการน้ำท่วมและอุทกภัย ขณะที่แนวคิดการบริหารแหล่งเก็บกักน้ำในระดับสากลเน้นการบริหารระบบเก็บกักอย่างบูรณาการเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการด้านน้ำ เศรษฐกิจ สังคม และความสามารถในการปรับตัวต่อความไม่แน่นอนของสภาพภูมิอากาศ (สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ, 2567; World Bank, 2023) นอกจากนี้ การดำเนินงานและการบริหารอ่างเก็บน้ำจำเป็นต้องพิจารณาประสิทธิภาพการใช้น้ำควบคู่กับความปลอดภัยของระบบ เนื่องจากอ่างเก็บน้ำและเขื่อนเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีวัตถุประสงค์หลายด้าน ทั้งการจัดหาน้ำเพื่อการเกษตร การสนับสนุนความมั่นคงด้านน้ำ และการบริหารความเสี่ยงจากน้ำหลาก ซึ่งวัตถุประสงค์เหล่านี้อาจมีเงื่อนไขการบริหารที่แตกต่างกัน จึงต้องอาศัยข้อมูลที่เพียงพอและการบริหารแบบบูรณาการ ภายใต้ข้อจำกัดด้านความปลอดภัย (Badr et al., 2023)

พื้นที่รับน้ำเหนืออ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนมีขนาดประมาณ 119.7 ตารางกิโลเมตร ตำแหน่งโครงการอยู่ที่พิกัด N 2149766 และ E 634145 บนแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ระวาง 5047-I, Zone 47Q ลำดับชุด L7018 ข้อมูลอุทกวิทยาพื้นฐานตามข้อมูลโครงการเดิมระบุปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,329.5 มิลลิเมตรต่อปี ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยประมาณ 33.07 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ปริมาณน้ำนองเฉลี่ยประมาณ 69.56 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และปริมาณตะกอนเฉลี่ยตามข้อมูลเดิมประมาณ 980.67 ตันต่อปี ข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ประกอบการออกแบบและการบริหารจัดการอ่างในระยะแรกของโครงการ และมีความสำคัญเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงของสภาพเดิม (Baseline Data) สำหรับการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของอ่างในระยะต่อไป

ตัวเขื่อนเป็นเขื่อนดินถมชนิดเนื้อเดียว (Homogeneous Dam) มีความยาวสันเขื่อน 560 เมตร ความกว้างสันเขื่อน 20.00 เมตร และความสูงเขื่อน 11.30 เมตร ระดับสันเขื่อนอยู่ที่ +421.30 เมตร (รทก.) ระดับน้ำเก็บกักเดิม +418.80 เมตร (รทก.) มีความจุที่ระดับเก็บกักประมาณ 2.30 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีพื้นที่ผิวน้ำที่ระดับเก็บกักประมาณ 327 ไร่ ระบบระบายน้ำเดิมเป็นทางระบายน้ำล้นแบบปากเปิด (Double Side Channel Spillway) ระดับสันทางระบายน้ำล้น +418.80 เมตร (รทก.) ความยาวทางระบายน้ำล้น 38 เมตร และความสูงทางระบายน้ำล้น (P) 2.50 เมตร ส่วนอาคารบังคับน้ำเดิมเป็นท่อระบายกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร

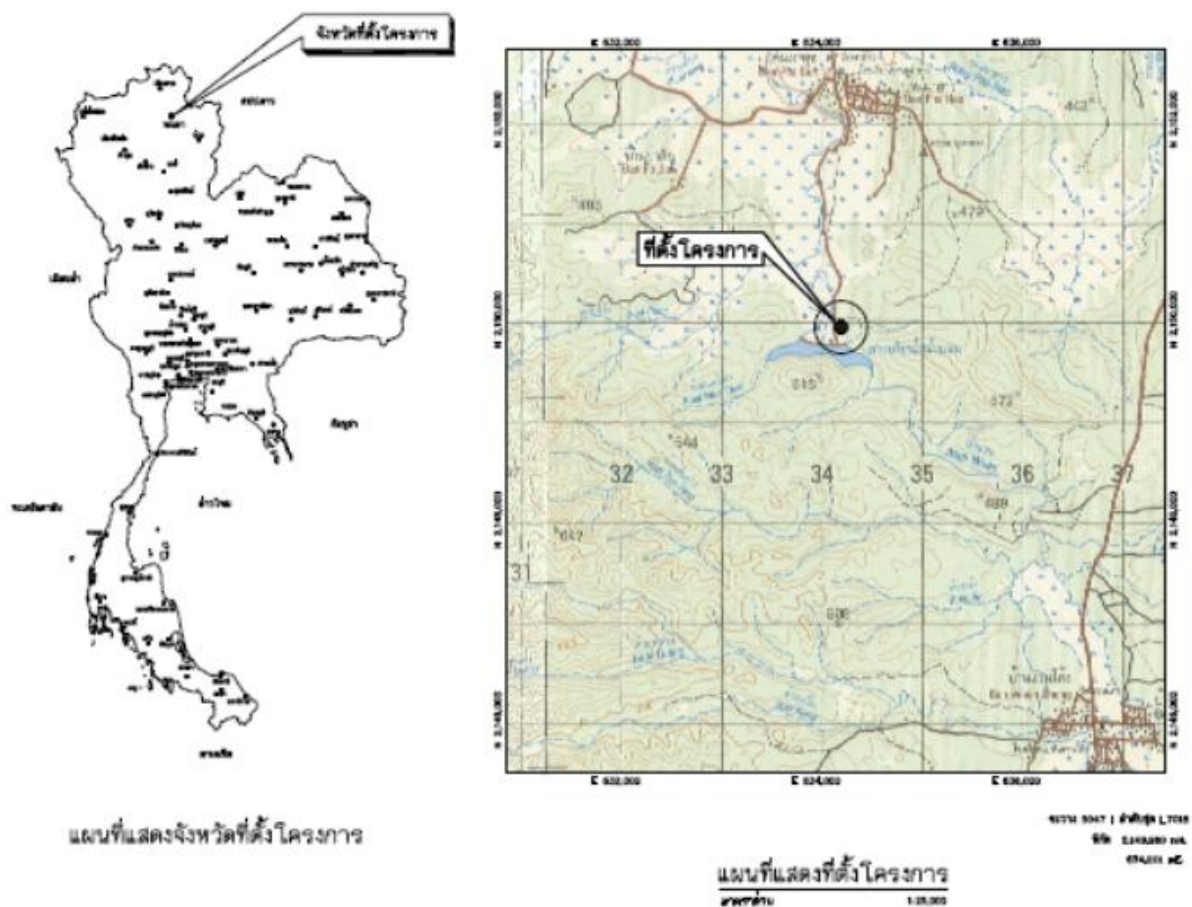
ในด้านการใช้ประโยชน์ อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนเป็นแหล่งน้ำต้นทุนสำหรับประชาชนประมาณ 385 ครัวเรือน และสนับสนุนพื้นที่เกษตรกรรมรวมประมาณ 3,500 ไร่ ประกอบด้วยพื้นที่นา 2,000 ไร่ สวนลำไย 700 ไร่ และพื้นที่ปลูกพืชอื่น ๆ 800 ไร่ บทบาทดังกล่าวสะท้อนความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะของอ่างเก็บน้ำกับความมั่นคงด้านน้ำของชุมชน โดยการบริหารอ่างเก็บน้ำในพื้นที่นอกเขตชลประทานจำเป็นต้องคำนึงถึงสถานการณ์น้ำ ปริมาณน้ำเก็บกัก และเงื่อนไขการบริหารน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการใช้น้ำและความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งกรมทรัพยากรน้ำได้พัฒนาเกณฑ์และแนวทางการบริหารอ่างเก็บน้ำเพื่อสนับสนุนการดำเนินงานในลักษณะดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง (กรมทรัพยากรน้ำ, 2567)

สำหรับอ่างเก็บน้ำที่ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานาน ข้อมูลเมื่อเริ่มก่อสร้างไม่ควรถูกถือว่าเป็นตัวแทนของสภาพปัจจุบันโดยอัตโนมัติ โดยเฉพาะข้อมูลด้านปริมาตรเก็บกักและรูปทรงท้องอ่าง เนื่องจากการสะสมของตะกอนสามารถลดความจุเก็บกักและเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของระบบอ่างได้ ทั้งนี้การสูญเสียความจุจากตะกอนเป็นประเด็นสำคัญต่อความยั่งยืนของแหล่งเก็บกักน้ำ (Randle et al., 2021) ซึ่งการสะสมของตะกอนมีผลต่อทั้งความจุ อายุการใช้งาน และสมรรถนะของอ่าง ซึ่งต้องให้ความสำคัญของการตรวจวัดและติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรเก็บกักอย่างต่อเนื่อง (Gonzalez Rodriguez et al., 2023) ดังนั้นข้อมูลพื้นฐานของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนจึงเป็น Baseline Conditions ของระบบอ่างเก็บน้ำเดิม ไม่ใช่เป็นเพียงข้อมูลทั่วไปของโครงการ แต่เป็นฐานอ้างอิงสำหรับการตรวจสอบว่า ภายหลังจากการใช้งานมาเป็นระยะเวลานาน สภาพท้องอ่าง ปริมาตรเก็บกัก พฤติกรรมน้ำ สภาพอาคารประกอบ และสมรรถนะของระบบมีการเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิมอย่างไร การเปรียบเทียบข้อมูลฐานดังกล่าวกับข้อมูลสภาพปัจจุบันจึงเป็นขั้นตอนสำคัญก่อนเข้าสู่การวิเคราะห์ปัญหาและกำหนดแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพของอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้สามารถสรุปรายละเอียดสำคัญของโครงการเดิมได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

หมวด	รายการ	ข้อมูล
ข้อมูลทั่วไป	ปีที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ	พ.ศ. 2541
	รหัสโครงการ	พย.21021
	หน่วยงานก่อสร้างเดิม	กรมการเร่งรัดพัฒนาชนบท กระทรวงมหาดไทย
	หน่วยงานรับผิดชอบปัจจุบัน	กรมทรัพยากรน้ำ
อุทกวิทยา	พื้นที่รับน้ำ	119.7 ตร.กม.
	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี	1,329.5 มม.
	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยต่อปีตามข้อมูลเดิม	33.07 ล้าน ลบ.ม.
	ปริมาณน้ำนองเฉลี่ยตามข้อมูลเดิม	69.56 ลบ.ม./วินาที
	ปริมาณตะกอนเฉลี่ยตามข้อมูลเดิม	980.67 ตัน/ปี
ตัวเขื่อน	ชนิด	Homogeneous Dam
	ความยาวสันเขื่อน	560 ม.
	ความกว้างสันเขื่อน	20.00 ม.
	ความสูงเขื่อน	11.30 ม.
	ระดับสันเขื่อน	+421.30 ม.รทก.
	ระดับน้ำเก็บกักเดิม	+418.80 ม.รทก.

หมวด	รายการ	ข้อมูล
	ความจุที่ระดับเก็บกักเดิม	2.30 ล้าน ลบ.ม.
	พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับเก็บกัก	327 ไร่
อาคารระบายน้ำล้น	รูปแบบ	Double Side Channel Spillway
	ระดับสันทางระบายน้ำล้น	+418.80 ม.รทก.
	ความยาวทางระบายน้ำล้น	38 ม.
	ความสูงทางระบายน้ำล้น (P)	2.50 ม.
อาคารบังคับน้ำ	รูปแบบ	ท่อบรรบายกลม
	ขนาดท่อ	0.60 ม.
พื้นที่รับประโยชน์	ประชาชน	385 ครัวเรือน
	พื้นที่เกษตรกรรมรวม	3,500 ไร่
	พื้นที่นา	2,000 ไร่
	สวนลำไย	700 ไร่
	พืชอื่น ๆ	800 ไร่



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน อำเภอยางคำ จังหวัดพะเยา

1.2 สภาพการเปลี่ยนแปลง ปัญหา และความจำเป็นในการปรับปรุง

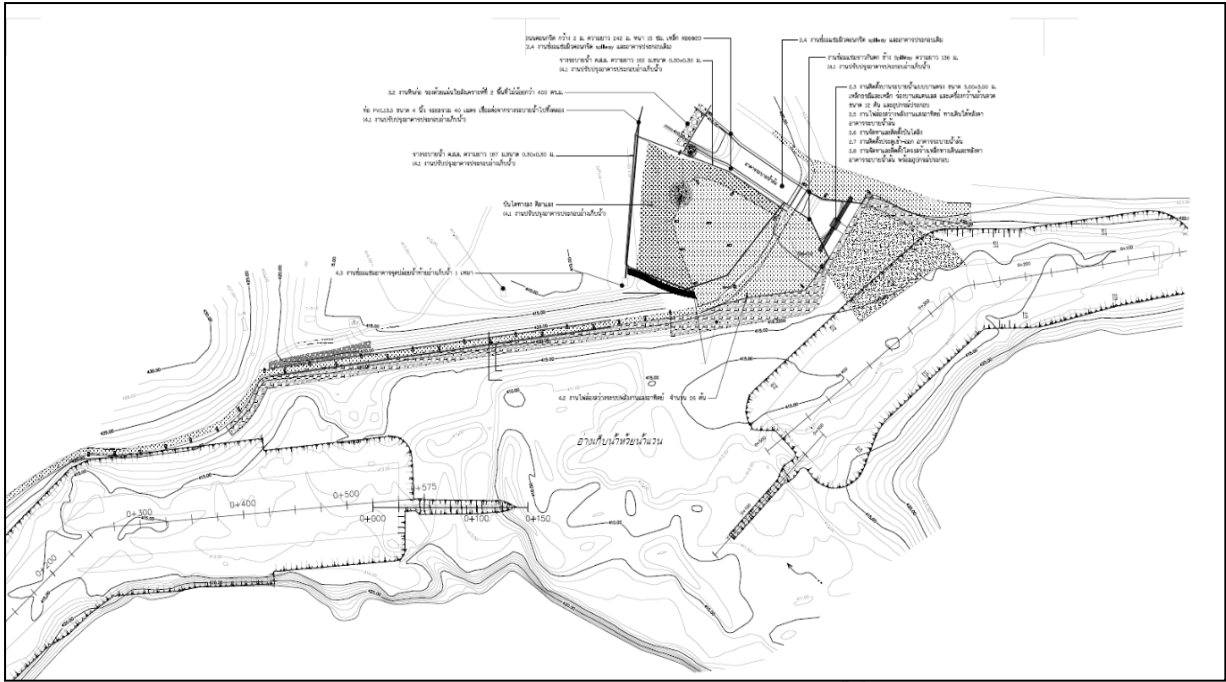
ภายหลังอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนเปิดใช้งานมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 สภาพทางกายภาพและสมรรถนะของระบบอ่างเก็บน้ำได้เปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ ทั้งในด้านลักษณะท้องอ่าง ปริมาตรเก็บกัก สภาพและข้อจำกัดของอาคารประกอบ ตลอดจนเงื่อนไขทางอุทกวิทยาที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำไหลเข้าสู่อ่าง การประเมินสมรรถนะของอ่างเก็บน้ำที่ผ่านการใช้งานมาเป็นระยะเวลานานจึงไม่ควรอาศัยข้อมูลออกแบบเดิมเพียงอย่างเดียว แต่ต้องพิจารณาร่วมกับข้อมูลสำรวจสภาพปัจจุบัน ประวัติการใช้งาน และข้อมูลทางอุทกวิทยาที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สะท้อนสภาพจริงมากที่สุด แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการจัดการอ่างเก็บน้ำที่ให้ความสำคัญกับข้อมูลปัจจุบัน สถานการณ์น้ำ และการปรับการบริหารให้เหมาะสมกับสภาพของอ่างและความเสี่ยงในแต่ละช่วงเวลา (กรมทรัพยากรน้ำ, 2567; Jain et al., 2023)

จากการตรวจสอบข้อมูลและสภาพพื้นที่ของโครงการ สามารถสังเคราะห์ปัญหาหลักได้ว่า ประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำของระบบเดิมไม่สอดคล้องกับสภาพและข้อจำกัดของอ่างในปัจจุบัน โดยปัญหาได้เกิดจากการตื่นเงินหรือองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่ง แต่เกิดจากข้อจำกัดทางวิศวกรรมที่เชื่อมโยงกันอย่างน้อย 3 ด้าน ได้แก่ ข้อจำกัดด้านความจุเก็บกักน้ำ (Storage Constraint) ข้อจำกัดด้านอุทกวิทยา (Hydrological Constraint) และข้อจำกัดด้านชลศาสตร์และการบริหารน้ำหลาก (Hydraulic Constraint)

1) ข้อจำกัดด้านความจุเก็บกักน้ำ (Storage Constraint)

การใช้งานอ่างเก็บน้ำต่อเนื่องเป็นเวลานานทำให้เกิดการสะสมของตะกอนภายในอ่าง โดยเฉพาะบริเวณหน้าอ่าง ส่งผลให้ระดับและลักษณะของท้องอ่างเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพเดิม การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลต่อพื้นที่ผิวน้ำและปริมาตรเก็บกักที่ระดับต่าง ๆ และทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาตรเก็บกักของอ่าง (Elevation–Storage Curve) แตกต่างจากข้อมูลเมื่อเริ่มก่อสร้าง ดังนั้น การใช้ค่าความจุหรือเส้นความสัมพันธ์ระดับ–ปริมาตรเดิมโดยไม่ตรวจสอบกับสภาพปัจจุบันอาจทำให้การประเมินสมรรถนะของอ่างและการคำนวณด้านการบริหารน้ำคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งการสะสมตะกอนในอ่างเก็บน้ำมีผลโดยตรงต่อความจุเก็บกัก อายุการใช้งาน และสมรรถนะของแหล่งเก็บกัก และการประเมินความจุที่เปลี่ยนแปลงควรอาศัยการสำรวจและติดตามสภาพอ่างอย่างเหมาะสม เนื่องจากอัตราการตกตะกอนสามารถเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิน้ำ การใช้ประโยชน์ที่ดิน และสภาพภูมิอากาศ (Gonzalez Rodriguez et al., 2023)

ในเชิงการบริหารทรัพยากรน้ำ การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรเก็บกักที่ใช้ประโยชน์ได้ส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการรักษาน้ำต้นทุนเพื่อรองรับความต้องการใช้น้ำ โดยเฉพาะพื้นที่เกษตรกรรม ประมาณ 3,500 ไร่ของโครงการ ขณะเดียวกัน Storage ของอ่างไม่ได้มีความหมายเฉพาะปริมาณน้ำที่สามารถเก็บไว้ใช้เท่านั้น แต่ยังสัมพันธ์กับปริมาณว่างที่สามารถใช้หน่วงน้ำหลากได้ด้วย ดังนั้น การฟื้นฟูความจุจึงต้องพิจารณาร่วมกับระดับน้ำสูงสุด ความสามารถของอาคารระบายน้ำ และเงื่อนไขด้านความปลอดภัย ไม่ควรพิจารณาการเพิ่มปริมาตรเก็บกักเป็นเป้าหมายเพียงอย่างเดียว (Jain et al., 2023)



ภาพที่ 2 ภาพอ่างเก็บน้ำปัจจุบันแสดงให้เห็นการสะสมของตะกอนบริเวณหน้าอ่าง



ภาพที่ 3 ภาพอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนก่อนดำเนินการก่อสร้าง

2) ข้อจำกัดด้านอุทกวิทยา (Hydrological Constraint)

ข้อมูลพื้นฐานเดิมของโครงการระบุปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยประมาณ 33.07 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี จากการตรวจสอบประวัติการใช้งานอ่างในช่วง พ.ศ. 2541–2567 พบเหตุการณ์น้ำล้นผ่านอาคารระบายน้ำล้นที่สำคัญในปี พ.ศ. 2550 โดยมีระดับน้ำเหนือสันทางระบายน้ำล้นประมาณ 1.00 เมตร อัตราการไหลประมาณ 81.4 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีระยะเวลาการไหลล้นประมาณ 12 ชั่วโมง ก่อนระดับน้ำกลับเข้าสู่สภาวะปกติ ข้อมูลดังกล่าวมีประโยชน์เป็นหลักฐานประกอบการทบทวนพฤติกรรมของระบบอ่าง แต่ไม่ควรนำเหตุการณ์เดียวมาใช้สรุปโดยลำพังว่าข้อมูลอุทกวิทยาเดิมถูกต้องหรือคลาดเคลื่อน

ข้อจำกัดสำคัญอีกประการหนึ่งคือ พื้นที่รับน้ำเหนืออ่างไม่มีสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าโดยตรงที่เพียงพอสำหรับอธิบายพฤติกรรมทางอุทกวิทยาเฉพาะพื้นที่อย่างสมบูรณ์ การประเมินน้ำไหลเข้าอ่างจึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลหลายแหล่งประกอบกัน ทั้งข้อมูลเดิมของโครงการ ข้อมูลฝนจากบริเวณใกล้เคียง ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่รับน้ำ ประวัติการใช้งาน และข้อมูลภาคสนาม หลักการนี้มีความสำคัญเนื่องด้วยการบริหารอ่างในช่วงน้ำหลากขึ้นอยู่กับทั้งขนาด รูปทรง และช่วงเวลาของ Inflow Hydrograph มิใช่เฉพาะค่าเฉลี่ยหรือ Peak Discharge เพียงค่าเดียว และความไม่แน่นอนของ Inflow เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการตัดสินใจบริหารอ่าง (Jain et al., 2023)

ในด้านภูมิประเทศ พื้นที่รับน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนตั้งอยู่ด้านหลังแนวภูเขาสูง อยู่ในบริเวณที่มีลักษณะอับฝนหรือได้รับอิทธิพลจากเงาฝน (Rain Shadow Effect) หลักทางอุตุนิยมวิทยาระบุว่าปริมาณฝนมีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ โดยพื้นที่ด้านรับลมของแนวภูเขามักได้รับฝนมากกว่า ขณะที่พื้นที่ด้านหลังภูเขาหลายแห่ง โดยเฉพาะบริเวณตอนกลางของภาคเหนือ มีปริมาณฝนน้อยกว่า ดังนั้นจึงควรใช้ลักษณะภูมิประเทศเป็นหนึ่งในปัจจัยประกอบการวิเคราะห์การกระจายฝน แต่ไม่ได้หมายความว่าปรากฏการณ์เงาฝนเพียงปัจจัยเดียวสามารถใช้ยืนยันปริมาณน้ำท่าเฉพาะของอ่างห้วยน้ำแวนได้ ทั้งนี้แม้พื้นที่อาจมีปริมาณฝนเฉลี่ยไม่สูงในบางช่วง แต่ยังสามารถเกิดเหตุการณ์ฝนที่มีความเข้มสูงในช่วงเวลาสั้น (High-intensity short-duration rainfall) และทำให้อัตราการไหลเข้าสู่อ่างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วได้ ดังนั้นการประเมินสมรรถนะของอ่างจึงต้องพิจารณาทั้งการรักษาต้นทุนเมื่อปริมาณน้ำไหลเข้ามีจำกัด และการรองรับน้ำหลากเมื่อเกิดเหตุการณ์ฝนหนัก แนวคิดดังกล่าวสอดคล้องกับการบริหารอ่างเก็บน้ำอเนกประสงค์ซึ่งต้องสร้างสมดุลระหว่างการอนุรักษ์น้ำไว้ใช้และการจัดเตรียมพื้นที่ว่างสำหรับลดความเสี่ยงจากน้ำหลาก (Jain et al., 2023; Hou et al., 2024)

ดังนั้น สาระสำคัญของข้อจำกัดด้านอุทกวิทยาจึงไม่ใช่การมีน้ำมากหรือน้ำน้อยกว่าที่คาดการณ์ แต่คือ ความไม่แน่นอนของพฤติกรรมน้ำไหลเข้าและข้อจำกัดของข้อมูลตรวจวัด ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบ และวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ ก่อนนำไปกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบและบริหารอ่างเก็บน้ำ

3) ข้อจำกัดด้านชลศาสตร์และการบริหารน้ำหลาก (Hydraulic Constraint)

ระบบระบายน้ำล้นเดิมของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนเป็นทางระบายน้ำล้นแบบปากเปิด (Double Side Channel Spillway) และไม่มีบานควบคุมการระบาย การระบายน้ำจึงขึ้นอยู่กับระดับน้ำภายในอ่าง โดยน้ำจะเริ่มไหลผ่านอาคารเมื่อระดับน้ำสูงถึงระดับสันทางระบายน้ำล้น ระบบเดิมจึงมีข้อจำกัดด้าน Operational Flexibility เนื่องจากไม่สามารถควบคุมการพร่องน้ำล่วงหน้า (Pre-release) เพื่อจัดเตรียมปริมาตรว่างภายในอ่างก่อนรับน้ำหลากตามสถานการณ์ได้ ในทางวิศวกรรม การพร่องน้ำล่วงหน้าสามารถเพิ่มปริมาตรว่างสำหรับรองรับน้ำหลากและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการลดความเสี่ยงจากอุทกภัยได้ แต่การดำเนินการดังกล่าวต้องพิจารณาร่วมกับความไม่แน่นอนของการพยากรณ์ เพราะการพร่องน้ำมากเกินไป

จำเป็นอาจะกระทบต่อปริมาณน้ำต้นทุนภายหลังเหตุการณ์ได้ (Wei et al., 2022) ดังนั้น จุดสำคัญของระบบที่สามารถควบคุมการระบายได้จึงไม่ใช่การระบายได้มากขึ้น แต่คือ สามารถเลือกเวลาและปริมาณการระบายให้สัมพันธ์กับสถานการณ์น้ำได้ดีขึ้น

ระดับน้ำภายในอ่างเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่าง Inflow–Storage–Outflow เมื่อปริมาณน้ำไหลเข้ามากกว่าปริมาณน้ำระบายออก น้ำส่วนหนึ่งจะถูกหน่วงและเก็บไว้ในอ่าง ส่งผลให้ Storage และ Water Level เพิ่มขึ้น ขณะที่รูปแบบและสมรรถนะของอาคารระบายน้ำมีผลต่อ Outflow และระดับน้ำสูงสุดที่เกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้ การวิเคราะห์น้ำหลากผ่านอ่างจึงต้องพิจารณาปริมาตรเก็บกักและระบบระบายน้ำร่วมกัน ไม่สามารถประเมินจาก Spillway Capacity เพียงค่าเดียวได้ (Jain et al., 2023) ในทางกลับกัน การเพิ่มความสามารถในการระบายน้ำไม่ควรมีเป้าหมายเพียงเพื่อให้ระดับน้ำภายในอ่างลดลงเร็วที่สุด เพราะน้ำที่ระบายออกจะไหลเข้าสู่พื้นที่ด้านท้ายน้ำโดยตรง การบริหารอ่างในช่วงน้ำหลากจึงต้องพิจารณาทั้ง Maximum Water Level ภายในอ่างและ Downstream Peak Flow เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสี่ยงที่ตัวอ่างกลายเป็นการถ่ายโอนความเสี่ยงไปยังชุมชนด้านท้ายน้ำ ดังนั้นการบริหารอ่างน้ำหลากจึงให้ความสำคัญกับการควบคุมระดับน้ำและอัตราการระบายร่วมกันภายใต้เงื่อนไขความปลอดภัย (Jain et al., 2023; Hou et al., 2024) ทั้งนี้แนวคิดดังกล่าวสอดคล้องกับแนวทางของกรมทรัพยากรน้ำที่จัดทำเกณฑ์การบริหารและเกณฑ์การระบายน้ำสำหรับอ่างเก็บน้ำขนาดกลางในพื้นที่นอกเขตชลประทาน ซึ่งสะท้อนว่าการบริหารอ่างต้องพิจารณาทั้งสถานการณ์น้ำ ปริมาตรเก็บกัก และการระบายอย่างเป็นระบบ (กรมทรัพยากรน้ำ, 2567)



ภาพที่ 4 ภาพบริเวณอาคารระบายน้ำล้นอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนก่อนดำเนินการก่อสร้าง

ความเชื่อมโยงของข้อจำกัดและความจำเป็นในการปรับปรุง

เมื่อพิจารณาร่วมกัน ข้อจำกัดด้าน Storage, Hydrology และ Hydraulics ไม่ได้เกิดขึ้นอย่างเป็นอิสระ แต่เป็นองค์ประกอบของระบบอ่างเก็บน้ำเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงของ Storage มีผลต่อระดับน้ำและพื้นที่ว่างสำหรับรองรับน้ำหลาก พฤติกรรมของ Inflow มีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของ Storage และ Water Level ขณะที่ลักษณะของอาคารระบายน้ำและการควบคุมการระบายมีผลต่อ Outflow และระดับน้ำสูงสุด ปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบเหล่านี้จึงเกี่ยวข้องทั้งกับประสิทธิภาพการเก็บกักความสามารถในการบริหารน้ำหลาก ความปลอดภัยของอ่าง และผลกระทบด้านท้ายน้ำ (Badr et al., 2023; Jain et al., 2023) ด้วยเหตุนี้ การขุดลอกตะกอนเพียงมาตรการเดียว แม้ช่วยฟื้นฟูปริมาณการเก็บกัก แต่ไม่สามารถแก้ไขข้อจำกัดด้านการควบคุมระดับน้ำและการบริหารน้ำหลากของอาคารเดิมได้ทั้งหมด ในทำนองเดียวกัน การปรับปรุงอาคารระบายน้ำโดยไม่พิจารณาสภาพท้องอ่าง ปริมาตรเก็บกัก พฤติกรรมน้ำไหลเข้า และผลกระทบต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำ ก็ไม่สามารถยืนยันได้ว่าจะเพิ่มสมรรถนะของระบบโดยรวมได้อย่างเหมาะสม แนวคิดการจัดการตะกอนในอ่างสมัยใหม่จึงให้ความสำคัญกับการบูรณาการมาตรการด้านตะกอนเข้ากับการบริหารและปรับปรุงโครงสร้างของอ่าง มากกว่าการพิจารณาการขุดลอกแยกออกจากระบบ (Gonzalez Rodriguez et al., 2023)

ดังนั้น ความจำเป็นในการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนจึงไม่ได้อยู่ที่การเพิ่มปริมาณการเก็บกักให้มากที่สุดหรือเพิ่มความสามารถในการระบายน้ำให้สูงที่สุด แต่เป็นการยกระดับสมรรถนะของระบบอ่างเก็บน้ำโดยรวม ให้สามารถรักษาน้ำต้นทุน รองรับและบริหารน้ำหลาก รักษาเงื่อนไขด้านความปลอดภัยของอ่าง และควบคุมผลกระทบต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำได้อย่างสมดุล ซึ่งจะนำไปสู่การกำหนดกรอบแนวคิดในการปรับปรุงต่อไป

1.3 กรอบแนวคิดในการแก้ไขปัญห

จากสภาพการเปลี่ยนแปลงและข้อจำกัดที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า ปัญหาของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนไม่ได้เกิดจากองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่ง แต่เป็นผลจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง ปริมาตรเก็บกัก ระดับน้ำ สมรรถนะของอาคารระบายน้ำ และเงื่อนไขด้านความปลอดภัยของระบบ ดังนั้น การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมจึงไม่ควรมุ่งแก้ไขเฉพาะการตื้นเขิน การเพิ่มปริมาณการเก็บกัก หรือการเพิ่มความสามารถในการระบายน้ำอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ต้องพิจารณาการตอบสนองของระบบอ่างเก็บน้ำโดยรวมภายใต้สภาพพื้นที่และข้อจำกัดที่เกิดขึ้นจริง แนวคิดดังกล่าวสอดคล้องกับทิศทางการบริหารจัดการแหล่งเก็บกักน้ำในปัจจุบันที่ให้ความสำคัญกับการพิจารณาแหล่งเก็บกักในลักษณะระบบบูรณาการ มากกว่าการมองเฉพาะความจุของโครงสร้าง โดย World Bank (2023) เสนอกรอบการวางแผนแหล่งเก็บกักน้ำแบบบูรณาการที่พิจารณาความต้องการด้านน้ำ ความยืดหยุ่นต่อความแปรปรวนของภูมิอากาศ การฟื้นฟูและเพิ่มประสิทธิภาพโครงสร้างเดิม และการบริหารจัดการร่วมกันอย่างเป็นระบบ ซึ่งการบริหารอ่างบนเนกประสงค์ โดยเฉพาะในฤดูน้ำหลากต้องพิจารณาความขัดแย้งระหว่างวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ความไม่แน่นอนของ Inflow การพยากรณ์ ความเสี่ยง และความปลอดภัยร่วมกัน ไม่สามารถบริหารจากตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งได้ (Jain et al., 2023)

สำหรับเอกสารองค์ความรู้ฉบับนี้ จึงใช้กรอบการบริหารจัดการระบบอ่างเก็บน้ำแบบบูรณาการ (Integrated Reservoir System Management: IRSM) เป็นแนวทางในการถอดองค์ความรู้จากกรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน โดยหมายถึงการเชื่อมโยงข้อมูลสภาพปัจจุบันของอ่าง พฤติกรรมน้ำไหลเข้า ปริมาตรเก็บกัก ระดับน้ำ สมรรถนะของอาคารระบายน้ำ ปริมาณน้ำระบายออก และข้อจำกัดด้านความปลอดภัยเข้า

ด้วยกัน เพื่อให้การเพิ่มประสิทธิภาพด้านการเก็บรักษาน้ำต้นทุนสามารถดำเนินการควบคู่กับการบริหารน้ำหลาก และการลดความเสี่ยงต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำ กรอบแนวคิดดังกล่าวสามารถสังเคราะห์เป็นองค์ประกอบสำคัญ 4 ประการ ดังต่อไปนี้

1) ใช้ข้อมูลสภาพปัจจุบันเป็นฐานในการวิเคราะห์และตัดสินใจ

การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำที่ผ่านการใช้งานมาเป็นระยะเวลานานควรเริ่มจากการตรวจสอบว่า สภาพปัจจุบันของระบบยังสอดคล้องกับข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบเดิมหรือไม่ เนื่องจากรูปทรงท้องอ่าง ปริมาตรเก็บกัก การสะสมของตะกอน สภาพอาคารประกอบ พฤติกรรมน้ำ และรูปแบบการใช้ประโยชน์ สามารถเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการใช้งาน กรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน การสะสมของตะกอนทำให้ ลักษณะท้องอ่างและความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาตรเก็บกักเปลี่ยนแปลงจากสภาพเดิม จึงจำเป็นต้องตรวจสอบและปรับปรุงความสัมพันธ์ระดับ-พื้นที่-ปริมาตรเก็บกัก (Elevation–Area–Storage Relationship) และ Elevation–Storage Curve ให้สอดคล้องกับสภาพปัจจุบันก่อนนำไปใช้เป็นข้อมูลในการ วิเคราะห์ หลักการดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่าการสะสมของตะกอนสามารถเปลี่ยนความจุและ สมรรถนะของอ่างเก็บน้ำอย่างต่อเนื่อง และการประเมินอ่างที่ใช้งานมานานจึงควรอาศัยข้อมูลสำรวจสภาพ ปัจจุบันมากกว่าการพึ่งค่าความจุจากการออกแบบเดิมเพียงอย่างเดียว (Gonzalez Rodriguez et al., 2023)

ดังนั้น หลักคิดสำคัญขององค์ประกอบนี้สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลออกแบบเดิมเป็นฐานอ้างอิง ส่วนข้อมูลสภาพปัจจุบันที่ผ่านการตรวจสอบเป็นฐานสำหรับการวิเคราะห์และตัดสินใจ แนวคิดนี้มีความสำคัญ ต่อเอกสารองค์ความรู้ เนื่องจากเป็นสิ่งที่สามารถถ่ายทอดไปประยุกต์ใช้กับอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่นได้ โดยไม่ จำเป็นต้องมีลักษณะทางกายภาพเหมือนกับอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

2) วิเคราะห์อ่างเก็บน้ำในลักษณะระบบที่องค์ประกอบสัมพันธ์กัน

หลักพื้นฐานของระบบอ่างเก็บน้ำคือความสัมพันธ์ระหว่างน้ำที่ไหลเข้าสู่ระบบ น้ำที่ถูกเก็บ พักไว้ และน้ำที่ระบายออกจากระบบ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์พื้นฐานได้เป็น

Inflow → Storage → Water Level → Outflow

เมื่อปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง (Inflow) เปลี่ยนแปลง ปริมาณน้ำภายในอ่าง (Storage) และระดับน้ำ (Water Level) จะเปลี่ยนแปลงตาม ขณะที่ระดับน้ำและคุณลักษณะทางชลศาสตร์ของอาคาร ระบายน้ำมีผลต่อปริมาณน้ำระบายออก (Outflow) ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบหนึ่งจึงส่งผลต่อ องค์ประกอบอื่นภายในระบบอย่างต่อเนื่อง สำหรับการประเมินภายใต้เหตุการณ์น้ำหลาก ความสัมพันธ์ ดังกล่าวสามารถขยายไปสู่ตัวแปรด้านความปลอดภัยได้เป็น

Inflow → Storage → Water Level → Outflow



Maximum Water Level / Freeboard



Hydraulic/Flood Safety



Downstream & Public Safety

การเชื่อมโยงดังกล่าวมีความสำคัญ เนื่องจากการเพิ่ม Storage เพื่อเพิ่มน้ำต้นทุนมีผลต่อระดับน้ำภายในอ่าง ขณะที่ระดับน้ำสูงสุด (Maximum Water Level: MWL) มีความสัมพันธ์กับระยะเผื่อล้น (Freeboard) และความปลอดภัยทางด้านน้ำหลากของเขื่อน ส่วน Outflow มีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการไหลที่ส่งต่อไปยังพื้นที่ด้านท้ายน้ำ ในเชิงวิชาการการบริหารอ่างเก็บน้ำจึงเป็นปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์และหลายข้อจำกัด (multi-objective and multi-constraint problem) ซึ่งต้องพิจารณาทั้งการเก็บน้ำ การระบายน้ำ การจัดการน้ำหลาก ความไม่แน่นอน และความปลอดภัยร่วมกัน (Badr et al., 2023; Jain et al., 2023)

ดังนั้น การเพิ่มปริมาตรเก็บกักไม่ควรพิจารณาเฉพาะจำนวนลูกบาศก์เมตรของน้ำที่เพิ่มขึ้น และการเพิ่มความสามารถของอาคารระบายน้ำก็ไม่ควรพิจารณาเฉพาะค่าอัตราการระบายสูงสุด แต่ต้องประเมินผลการตอบสนองของระบบโดยรวม ภายใต้เงื่อนไขปริมาณน้ำไหลเข้าเดียวกัน

3) สร้างสมดุลระหว่างการเก็บรักษาน้ำต้นทุนกับการบริหารน้ำหลาก

อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนต้องรองรับเป้าหมายในการบริหารที่แตกต่างกันตามสถานการณ์ กล่าวคือ ในสภาวะปกติและช่วงน้ำต้นทุนมีจำกัด ระบบต้องสามารถเก็บรักษาน้ำไว้ใช้ประโยชน์ให้มากที่สุดเพียงพอ ในขณะที่ก่อนและระหว่างช่วงที่มีความเสี่ยงจากมรสุมหรือฝนหนัก ระบบต้องมีปริมาตรว่างและความสามารถในการควบคุมระดับน้ำเพื่อรองรับน้ำหลาก เป้าหมายสองด้านดังกล่าวมีลักษณะของ Trade-off โดยธรรมชาติ เพราะการรักษาระดับน้ำให้สูงช่วยเพิ่มน้ำต้นทุน แต่ลดปริมาตรว่างสำหรับรองรับน้ำหลาก ในทางกลับกันการพร่องน้ำให้ต่ำมากเพื่อสำรองพื้นที่ว่างอาจเพิ่มความสามารถในการรองรับน้ำหลาก แต่เสี่ยงต่อการสูญเสียน้ำต้นทุนหากปริมาณน้ำไหลเข้าที่คาดการณ์ไม่เกิดขึ้นจริง การบริหารอ่างอเนกประสงค์ในฤดูน้ำหลากต้องจัดการความขัดแย้งระหว่างวัตถุประสงค์ พร้อมพิจารณาความเสี่ยงและความไม่แน่นอนของ Inflow อย่างเป็นระบบ (Jain et al., 2023) กรมทรัพยากรน้ำได้ใช้หลักการในทิศทางเดียวกันในการจัดทำเกณฑ์และแนวทางบริหารอ่างเก็บน้ำขนาดกลางนอกเขตชลประทาน โดยพิจารณาสถานการณ์น้ำ เกณฑ์การบริหารระดับน้ำ และการระบายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารและลดผลกระทบจากภาวะวิกฤตน้ำ (กรมทรัพยากรน้ำ, 2565, 2567) จากแนวคิดดังกล่าว การเพิ่มประสิทธิภาพอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนจึงพิจารณาอย่างน้อย 4 มิติร่วมกัน ได้แก่

- Water Storage หมายถึง ความสามารถในการเก็บรักษาน้ำต้นทุนให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม

- Flood Control หมายถึง ความสามารถในการรองรับ หน่วง และบริหารน้ำหลาก เพื่อลดระดับน้ำสูงสุดและควบคุมการระบายให้เหมาะสมกับสถานการณ์

- Dam Safety หมายถึง ความปลอดภัยของระบบเขื่อนโดยรวม ซึ่งครอบคลุมมากกว่าการตรวจสอบระดับน้ำและ Freeboard เพียงอย่างเดียว สำหรับประเด็นที่เกี่ยวข้องกับน้ำหลากในเอกสารฉบับนี้ จะเน้นการตรวจสอบ Hydraulic/Flood Safety ผ่าน Maximum Water Level, Freeboard และสมรรถนะของอาคารระบายน้ำ ขณะที่ความปลอดภัยของเขื่อนโดยรวมยังต้องพิจารณาความมั่นคงของตัวเขื่อน อาคารประกอบ การรั่วซึม และสภาพโครงสร้างร่วมด้วย ความปลอดภัยในการดำเนินงานของระบบเขื่อนเป็นประเด็นที่มีองค์ประกอบและความไม่แน่นอนหลายด้าน จึงควรประเมินในลักษณะระบบมากกว่าการใช้ตัวชี้วัดเพียงค่าเดียว (Badr et al., 2023)

- Public Safety หมายถึง การป้องกันหรือลดผลกระทบของการทำงานและการระบายน้ำจากอ่างต่อชีวิต ทรัพย์สิน พื้นที่เกษตรกรรม และโครงสร้างพื้นฐานด้านท้ายน้ำ

ดังนั้น เป้าหมายของการปรับปรุงจึงไม่ใช่การทำให้ Storage มีค่าสูงที่สุด หรือทำให้ Spillway สามารถระบายน้ำได้มากที่สุด แต่เป็นการค้นหาสภาวะการทำงานของระบบที่สามารถเก็บรักษาน้ำต้นทุน รองรับน้ำหลาก รักษาความปลอดภัยของเขื่อน และควบคุมผลกระทบด้านท้ายน้ำได้อย่างสมดุล แนวคิดดังกล่าวสามารถสังเคราะห์เป็น Key Concept ขององค์ความรู้จากกรณีศึกษาอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน ได้ว่า “เพิ่มน้ำต้นทุนโดยไม่เพิ่มความเสี่ยง” ทั้งนี้ในเชิงวิศวกรรม คำว่า “ไม่เพิ่มความเสี่ยง” ในที่นี้ไม่ได้หมายถึงการกำจัดความเสี่ยงทั้งหมด แต่หมายถึง การเพิ่มประสิทธิภาพด้านการเก็บกักจะต้องไม่แลกมาด้วยการลดทอนความสามารถในการบริหารน้ำหลาก ลดระยะเพื่อสันจนอยู่นอกเงื่อนไขที่ยอมรับได้ หรือเพิ่มผลกระทบจากการระบายน้ำต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำ ซึ่งแนวคิดนี้สอดคล้องกับกรอบการจัดการ Water Storage ของ World Bank (2023) ซึ่งเสนอว่าการเพิ่มหรือฟื้นฟูศักยภาพการเก็บกักควรพิจารณาทั้งประสิทธิภาพของโครงสร้างเดิม ความยืดหยุ่นของระบบ และการจัดการความเสี่ยงร่วมกัน แทนที่จะมุ่งเพียงการสร้างเพิ่มความจุเพิ่มขึ้น

4) พัฒนาและประเมินทางเลือกทางวิศวกรรมบนฐานของผลการวิเคราะห์

เมื่อได้ข้อมูลสภาพปัจจุบันที่ผ่านการตรวจสอบและเข้าใจความสัมพันธ์ของระบบแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการพัฒนาทางเลือกทางวิศวกรรม (Engineering Alternatives) เพื่อแก้ข้อจำกัดของระบบ โดยไม่ควรกำหนดรูปแบบโครงสร้างหรือคำตอบไว้ล่วงหน้าก่อนทราบผลการวิเคราะห์ การประเมินทางเลือกจึงควรพิจารณาผลของแต่ละทางเลือกต่อระบบในหลายมิติ ได้แก่

- ความสามารถในการฟื้นฟูและเพิ่มปริมาตรเก็บกักที่ใช้ประโยชน์ได้
- ความยืดหยุ่นในการควบคุมระดับน้ำและการระบาย
- ความสามารถในการรองรับและหน่วงน้ำหลาก
- Maximum Water Level และ Freeboard
- สมรรถนะของอาคารระบายน้ำ
- ความปลอดภัยของเขื่อนและอาคารประกอบ
- Peak Outflow และผลกระทบต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำ
- ข้อจำกัดด้านพื้นที่และการใช้ประโยชน์ที่ดิน
- การปฏิบัติการและบำรุงรักษาในระยะยาว
- ต้นทุนและความคุ้มค่าในการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างเดิม

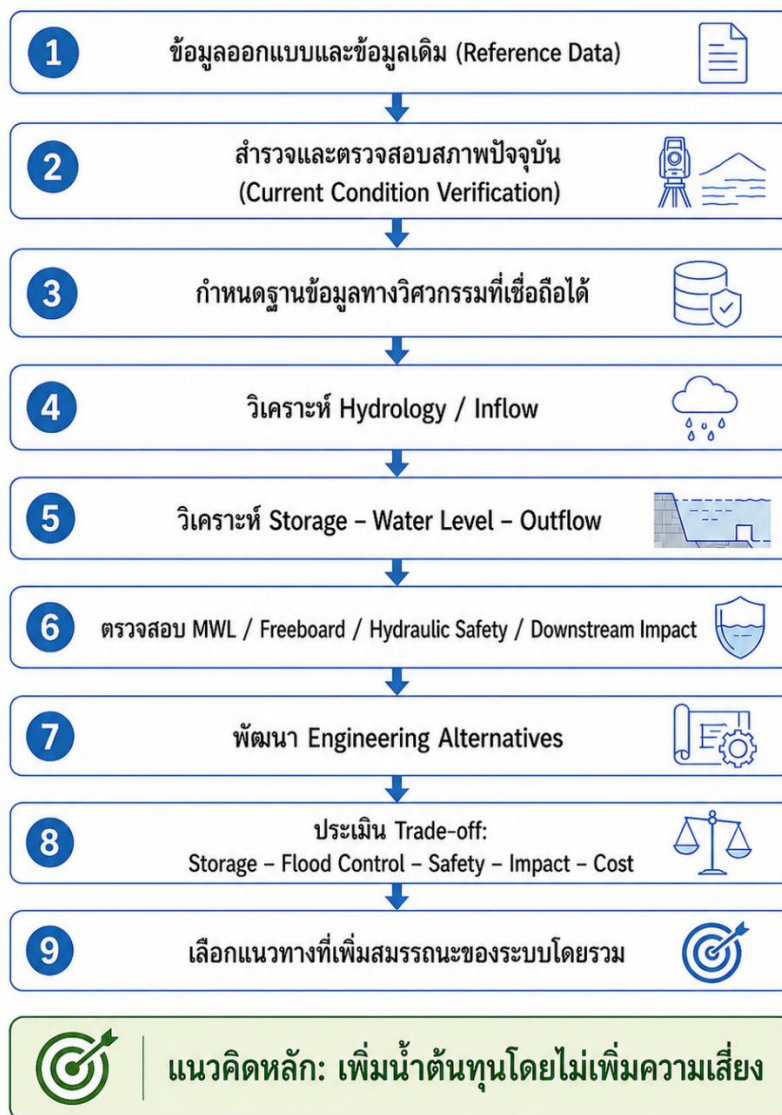
การตัดสินใจจึงอยู่บนหลัก Trade-off Analysis ระหว่างประสิทธิภาพการใช้น้ำ ความยืดหยุ่นในการบริหาร ความปลอดภัย ผลกระทบ และต้นทุน มากกว่าการเลือกทางเลือกที่มีค่าก่อสร้างต่ำที่สุดหรือเพิ่มความจุได้มากที่สุดเพียงเกณฑ์เดียว แนวคิดดังกล่าวสอดคล้องกับงานด้าน reservoir operation ที่กล่าวว่าการตัดสินใจมักต้องจัดสมดุลระหว่างวัตถุประสงค์ที่ขัดแย้งกัน ภายใต้ความเสี่ยงและความไม่แน่นอน (Badr et al., 2023; Jain et al., 2023)

สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน แนวคิดนี้จะนำไปสู่การวิเคราะห์และเปรียบเทียบทางเลือกทางวิศวกรรมในบทต่อไป โดยใช้ผลจากการสำรวจ การวิเคราะห์อุทกวิทยา การวิเคราะห์ชลศาสตร์ และ Flood Routing เป็นฐานในการตัดสินใจ ไม่ใช่เลือกทางเลือกจากรูปแบบอาคารหรือค่าก่อสร้างเพียงอย่างเดียว

การสังเคราะห์กรอบแนวคิด

จากองค์ประกอบทั้ง 4 ประการ สามารถสังเคราะห์กรอบกระบวนการคิดสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยของอ่างเก็บน้ำเดิมได้ดังนี้

กรอบกระบวนการคิดสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพ และความปลอดภัยของอ่างเก็บน้ำเดิมด้วยการบริหารจัดการน้ำเชิงบูรณาการ



ภาพที่ 5 กรอบแนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยของอ่างเก็บน้ำเดิม
ด้วยการบริหารจัดการน้ำเชิงบูรณาการ

กรอบดังกล่าวสะท้อนการเปลี่ยนจากการแก้ไขปัญหาอ่างเก็บน้ำแบบแยกส่วนไปสู่การบริหารและปรับปรุงระบบอ่างเก็บน้ำแบบบูรณาการ โดยใช้ข้อมูลสภาพจริงและหลักวิศวกรรมเป็นฐานในการตัดสินใจ เชื่อมโยงการรักษาน้ำต้นทุน การบริหารน้ำหลาก ความปลอดภัยของเขื่อน และผลกระทบด้านท้ายน้ำเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นแนวคิดร่วมสมัยที่ให้ความสำคัญกับการฟื้นฟู ปรับปรุง และเพิ่มประสิทธิภาพโครงสร้างเก็บกักน้ำเดิม เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและความมั่นคงด้านน้ำโดยไม่จำเป็นต้องพึ่งการพัฒนาแหล่งเก็บกักใหม่เพียงแนวทางเดียว (World Bank, 2023)

บทที่ 2

หลักวิชาการและกระบวนการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอ่างเก็บน้ำ

2.1 การสำรวจและตรวจสอบข้อมูลสภาพปัจจุบัน

การวิเคราะห์และออกแบบเพื่อปรับปรุงอ่างเก็บน้ำที่ผ่านการใช้งานมาเป็นระยะเวลานาน จำเป็นต้องเริ่มจากการตรวจสอบความถูกต้อง ความครบถ้วน ความสอดคล้อง และความเหมาะสมของข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากข้อมูลจากการออกแบบและแบบก่อสร้างเดิมสะท้อนสภาพของโครงการ ณ ช่วงเวลาที่ทำกรออกแบบหรือก่อสร้าง ขณะที่สภาพภูมิประเทศ รูปทรงท้องอ่าง ปริมาตรเก็บกัก การสะสมของตะกอน และสภาพพื้นที่โดยรอบสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการใช้งาน การสะสมของตะกอนเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ความจุเก็บกักของอ่างลดลงและส่งผลกระทบต่อประโยชน์ที่ได้รับจากแหล่งเก็บกักน้ำในระยะยาว (Gonzalez Rodriguez et al., 2023; Randle et al., 2021) ดังนั้น การนำข้อมูลเดิมมาใช้ในการวิเคราะห์โดยไม่ตรวจสอบกับสภาพปัจจุบัน อาจทำให้ข้อมูลนำเข้าไม่เป็นตัวแทนของสภาพอ่างที่เกิดขึ้นจริง และอาจส่งผลกระทบต่อคำนวณปริมาตรเก็บกัก ระดับน้ำ และการวิเคราะห์ระบบอ่างในขั้นตอนต่อไป การติดตามและประเมินการเปลี่ยนแปลงความจุของอ่างจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญของการบริหารอ่างที่มีการสะสมของตะกอน (Gonzalez Rodriguez et al., 2023; Randle et al., 2021).

หลักการสำคัญจึงอยู่ที่การแยกข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลออกแบบและแบบก่อสร้างเดิมทำหน้าที่เป็นข้อมูลอ้างอิง (Reference Data) ส่วนข้อมูลที่จะนำเข้าสู่การวิเคราะห์ควรเป็นข้อมูลสภาพปัจจุบันที่ผ่านการตรวจสอบ (Verified Current-Condition Data) แนวคิดนี้มีความสำคัญสำหรับอ่างเก็บน้ำที่มีการสะสมของตะกอน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปทรงท้องอ่างและปริมาตรเก็บกักสามารถเกิดขึ้นต่อเนื่องตามอายุการใช้งาน ซึ่งการสะสมของตะกอนมีผลต่อความจุเก็บกักและสมรรถนะของอ่าง และการประเมินการเปลี่ยนแปลงของ Storage Capacity จำเป็นต้องอาศัยวิธีติดตามที่มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์และลักษณะของอ่าง (Gonzalez Rodriguez et al., 2023).

สำหรับโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน การสำรวจและตรวจสอบข้อมูลดำเนินการโดยรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่ง ได้แก่ ข้อมูลโครงการและแบบก่อสร้างเดิม ข้อมูลสำรวจภูมิประเทศและระดับพื้นที่ ข้อมูลสภาพท้องอ่างและการสะสมของตะกอน ข้อมูลอุทกวิทยา ประวัติการใช้งานอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลแนวเขตที่ดิน ตลอดจนข้อมูลจากประชาชนและผู้ใช้น้ำในพื้นที่ แล้วนำข้อมูลดังกล่าวมาตรวจสอบเปรียบเทียบกับก่อนนำไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ กระบวนการสำรวจและตรวจสอบข้อมูลสภาพปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนสามารถจำแนกออกเป็น 4 ส่วนสำคัญ ดังนี้

2.1.1 การทบทวนและตรวจสอบข้อมูลโครงการเดิม

การดำเนินงานเริ่มจากการรวบรวมและทบทวนข้อมูลการออกแบบ แบบก่อสร้าง และข้อมูลการใช้งานอ่างเก็บน้ำเดิม ประกอบด้วยข้อมูลลักษณะตัวเขื่อน อาคารประกอบ ระดับน้ำสำคัญ ระดับเก็บกัก ปริมาตรความจุอ่าง ข้อมูลอุทกวิทยา ตลอดจนประวัติการบริหารจัดการและการใช้งานอ่างเก็บน้ำที่ผ่านมา ข้อมูลดังกล่าวนำมาเปรียบเทียบกับผลการสำรวจและสภาพพื้นที่ในปัจจุบัน เพื่อจำแนกออกเป็นข้อมูลที่ยังสามารถนำมาใช้ได้ ข้อมูลที่จำเป็นต้องปรับปรุงให้เป็นปัจจุบัน และข้อมูลที่ต้องสำรวจหรือตรวจสอบเพิ่มเติม กระบวนการนี้ถือเป็นการตรวจสอบข้อมูลนำเข้า (Input Data Verification) ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงจากการนำข้อมูลที่ไม่เป็นตัวแทนของสภาพปัจจุบันไปใช้ในการคำนวณทางวิศวกรรม สำหรับอ่างเก็บน้ำที่มีปัญหาตะกอนสะสม การเปรียบเทียบข้อมูลความจุเดิมกับข้อมูลสำรวจในปัจจุบันสามารถใช้ประเมินปริมาตรความจุที่

เปลี่ยนแปลงและปริมาตรตะกอนที่สะสมภายในอ่างได้ การศึกษาที่ใช้ข้อมูล bathymetric survey ร่วมกับข้อมูลความจุเดิมสามารถประเมินความจุคงเหลือและปริมาตรตะกอนจากความแตกต่างระหว่างสภาพเดิมกับสภาพปัจจุบันได้ (Mekonnen et al., 2022).

สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงท้องอ่าง ปริมาตรเก็บกัก และสภาพพื้นที่โดยรอบเป็นข้อมูลสำคัญที่ต้องตรวจสอบกับสภาพปัจจุบันก่อนนำไปใช้ในการคำนวณ เนื่องจากอ่างผ่านการใช้งานมาเป็นระยะเวลานานและมีการสะสมของตะกอน ดังนั้น ผลจากขั้นตอนการทบทวนข้อมูลเดิมจึงไม่ควรเป็นเพียงรายการเอกสารที่รวบรวมได้ แต่ควรเป็นชุดข้อมูลอ้างอิงที่ผ่านการคัดกรอง และสามารถระบุสถานะของข้อมูลแต่ละรายการได้ว่า ใช้ได้-ต้องปรับปรุง-ต้องสำรวจใหม่ เพื่อสร้างความชัดเจนก่อนเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์

2.1.2 การสำรวจสภาพภูมิประเทศและจัดทำข้อมูลพิกัด-ระดับพื้นที่

ภายหลังการทบทวนข้อมูลเดิม ได้ดำเนินการสำรวจสภาพภูมิประเทศและระดับพื้นที่เพื่อจัดทำข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เป็นปัจจุบัน โดยใช้เครื่องมือสำรวจทางวิศวกรรม ได้แก่ RTK-GNSS, UAV/Drone และ Total Station ตามความเหมาะสมของลักษณะพื้นที่และระดับรายละเอียดที่ต้องการ RTK GNSS ใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งพิกัดและค่าระดับของจุดควบคุมและจุดสำรวจสำคัญ ขณะที่ UAV/Drone ช่วยสนับสนุนการสำรวจพื้นที่ในบริเวณกว้างและการจัดทำข้อมูลภูมิประเทศเชิงพื้นที่ ส่วน Total Station ใช้สำหรับสำรวจรายละเอียดในบริเวณที่ต้องการความละเอียดหรือมีข้อจำกัดในการสำรวจด้วยวิธีอื่น

การใช้ RTK-GNSS ร่วมกับ UAV photogrammetry สามารถสนับสนุนการจัดทำข้อมูลภูมิประเทศ เช่น point cloud, orthomosaic, contour และ Digital Elevation Model ได้ โดยความถูกต้องของข้อมูลขึ้นอยู่กับระบบควบคุมตำแหน่งและกระบวนการสำรวจที่เหมาะสม (Dlamini & Ouma, 2025) การสำรวจด้วย UAV และเทคนิค Structure-from-Motion (SfM) สามารถใช้สร้างข้อมูลภูมิประเทศความละเอียดสูงและตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวหรือการสะสมของตะกอนระหว่างช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ (Alexiou et al., 2023) ทั้งนี้การนำข้อมูลจากเครื่องมือหรือการสำรวจหลายชุดมาใช้ร่วมกันจำเป็นต้องตรวจสอบ ระบบพิกัด (Coordinate Reference System) ระบบอ้างอิงระดับ (Vertical Datum) และหมวดควบคุมการสำรวจ ให้สอดคล้องกันก่อนประมวลผล เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดหรือระดับสามารถส่งผลกระทบต่อข้อมูลที่ใช้คำนวณระดับน้ำ พื้นที่ผิวน้ำ ปริมาตรเก็บกัก และขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมถึงได้

สำหรับโครงการห้วยน้ำแวน ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจถูกนำมาประมวลผลเพื่อจัดทำแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) และข้อมูลระดับที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้แสดงลักษณะภูมิประเทศในสภาพปัจจุบัน ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลเดิม และใช้เป็นฐานสำหรับการวิเคราะห์ระดับน้ำ พื้นที่น้ำท่วมถึง และการคำนวณด้านปริมาตรในขั้นตอนต่อไป

สาระสำคัญของขั้นตอนนี้จึงมิได้อยู่ที่การเลือกใช้เครื่องมือชนิดใดชนิดหนึ่งเป็นหลัก แต่คือการสร้าง ฐานข้อมูลพิกัดและระดับที่มีความถูกต้องเพียงพอต่อวัตถุประสงค์ อยู่บนระบบอ้างอิงเดียวกัน และสามารถใช้ร่วมกันได้อย่างสอดคล้อง

2.1.3 การสำรวจสภาพท้องอ่างและปรับปรุงความสัมพันธ์ระดับ-พื้นที่-ปริมาตรเก็บกัก

การสะสมของตะกอนเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้ลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการใช้งาน โดยมีผลต่อระดับท้องอ่าง รูปทรงอ่าง พื้นที่ผิวน้ำ และปริมาตรเก็บกักที่ระดับต่าง ๆ (Gonzalez Rodriguez et al., 2023) การสูญเสียความจุจากตะกอนสามารถลดประโยชน์ที่ได้รับจาก Reservoir Storage และจำเป็นต้องมีการติดตามเพื่อประเมินขนาดและอัตราการเปลี่ยนแปลงของความจุในระยะยาว (Randle et al., 2021) ดังนั้น การประเมินสมรรถนะของอ่างเก็บน้ำเดิมจึงไม่ควรอ้างอิง

เฉพาะค่าปริมาตรเก็บกักจากข้อมูลการออกแบบหรือเมื่อเริ่มก่อสร้าง แต่ควรตรวจสอบสภาพทางกายภาพและปริมาตรของอ่างในปัจจุบัน การเปรียบเทียบข้อมูลความจุปัจจุบันกับความจุเดิมสามารถใช้ประเมินปริมาตรตะกอนที่สะสมและความจุที่สูญเสียไปได้ (Mekonnen et al., 2022) การประเมินการเปลี่ยนแปลงของอ่างสามารถบูรณาการข้อมูลภูมิประเทศและข้อมูลสภาพท้องอ่างจากหลายช่วงเวลาหรือหลายวิธีสำรวจเพื่อประเมินรูปทรงอ่าง การเปลี่ยนแปลงของ geometry และปริมาตรตะกอนสะสมอย่างเป็นระบบได้ (Martellotta et al., 2024)

สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน ข้อมูลการสำรวจสภาพและระดับท้องอ่างถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลเดิม เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของรูปทรงท้องอ่างและผลของการสะสมตะกอนต่อความสามารถในการเก็บกักน้ำ จากนั้นจึงนำข้อมูลสภาพปัจจุบันมาใช้ตรวจสอบและปรับปรุงความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ-พื้นที่ผิวน้ำ-ปริมาตรเก็บกัก (Elevation-Area-Storage Relationship) และความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ-ปริมาตรเก็บกัก (Elevation-Storage Curve) โดย Elevation-Area-Storage Relationship เป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญในการอธิบายว่า ณ ระดับน้ำหนึ่ง อ่างมีพื้นที่ผิวน้ำและปริมาตรเก็บกักเท่าใด ขณะที่ Elevation-Storage Curve ทำหน้าที่เชื่อมโยงระดับน้ำกับ Storage สำหรับใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำและปริมาตรภายในอ่าง หากรูปทรงท้องอ่างเปลี่ยนแปลงจากการสะสมของตะกอน แต่ยังคงใช้เส้นความสัมพันธ์เดิมโดยไม่ตรวจสอบ ค่าปริมาตรที่ใช้ในการวิเคราะห์อาจไม่สอดคล้องกับสภาพปัจจุบันของอ่าง

สำหรับโครงการห้วยน้ำแวน ข้อมูลสำรวจสภาพท้องอ่างปัจจุบันจึงถูกใช้เป็นฐานในการปรับปรุงความสัมพันธ์ระดับ-พื้นที่-ปริมาตร เพื่อใช้ในการคำนวณความจุเก็บกัก การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ และการพิจารณาทางเลือกในการเพิ่มประสิทธิภาพอ่างเก็บน้ำ หลักการสำคัญจากขั้นตอนนี้สรุปได้ว่า การประเมินสมรรถนะของอ่างเก็บน้ำเดิมต้องพิจารณาจากสภาพทางกายภาพและความจุปัจจุบันของอ่าง ไม่ควรใช้ค่าความจุจากการออกแบบเดิมเป็นตัวแทนโดยไม่มีการตรวจสอบ

2.1.4 การตรวจสอบข้อมูลประกอบและข้อจำกัดเชิงพื้นที่

นอกจากข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำแล้ว การวิเคราะห์เพื่อกำหนดแนวทางปรับปรุงยังจำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลประกอบ ได้แก่ ประวัติการใช้งานอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลอุทกวิทยา การใช้น้ำของพื้นที่ ข้อมูลจากประชาชนและผู้ใช้น้ำ ตลอดจนข้อจำกัดด้านแนวเขตที่ดินบริเวณรอบอ่าง ข้อมูลจากประวัติการใช้งานและประชาชนหรือผู้ใช้น้ำสามารถใช้ประกอบการตรวจสอบพฤติกรรมของอ่างที่เกิดขึ้นจริง เช่น การขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้ง เหตุการณ์ระดับน้ำสูงหรือน้ำล้นในอดีต และรูปแบบการใช้ประโยชน์น้ำของพื้นที่ ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวควรใช้เป็นข้อมูลประกอบการตรวจสอบข้อเท็จจริง (Supporting Information) ไม่ใช่ข้อมูลทดแทนผลการสำรวจ การตรวจวัด หรือการคำนวณทางวิศวกรรม ในการบริหารอ่างเก็บน้ำขนาดกลางในพื้นที่นอกเขตชลประทานของกรมทรัพยากรน้ำมีการกำหนดเกณฑ์การบริหารจัดการและเกณฑ์การระบายน้ำ เพื่อสนับสนุนการบริหารสถานการณ์น้ำและลดผลกระทบจากภาวะวิกฤตน้ำ (กรมทรัพยากรน้ำ, 2565, 2566, 2567) อีกประเด็นหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการพิจารณาเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกัก คือ แนวเขตที่ดินและข้อจำกัดเชิงพื้นที่รอบอ่าง การปรับเปลี่ยนระดับน้ำเก็บกักอาจทำให้พื้นที่ผิวน้ำและขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมถึงเปลี่ยนแปลง จึงจำเป็นต้องนำระดับน้ำของทางเลือกที่พิจารณามาตรวจสอบร่วมกับข้อมูลภูมิประเทศและแนวเขตที่ดิน

การตรวจสอบดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินว่าพื้นที่น้ำท่วมถึงยังคงอยู่ภายในขอบเขตโครงการเดิมหรือมีพื้นที่อื่นที่อาจได้รับผลกระทบเพิ่มเติม ดังนั้น ทางเลือกที่สามารถเพิ่มปริมาตรเก็บกักได้มากที่สุด ในทางเทคนิคจึงอาจไม่ใช่ทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด หากก่อให้เกิดข้อจำกัดด้านกรรมสิทธิ์ การใช้ประโยชน์

ที่ดิน หรือผลกระทบต่อพื้นที่โดยรอบ การกำหนดระดับเก็บกักที่เหมาะสมจึงต้องพิจารณาประสิทธิภาพทางวิศวกรรมร่วมกับข้อจำกัดเชิงพื้นที่

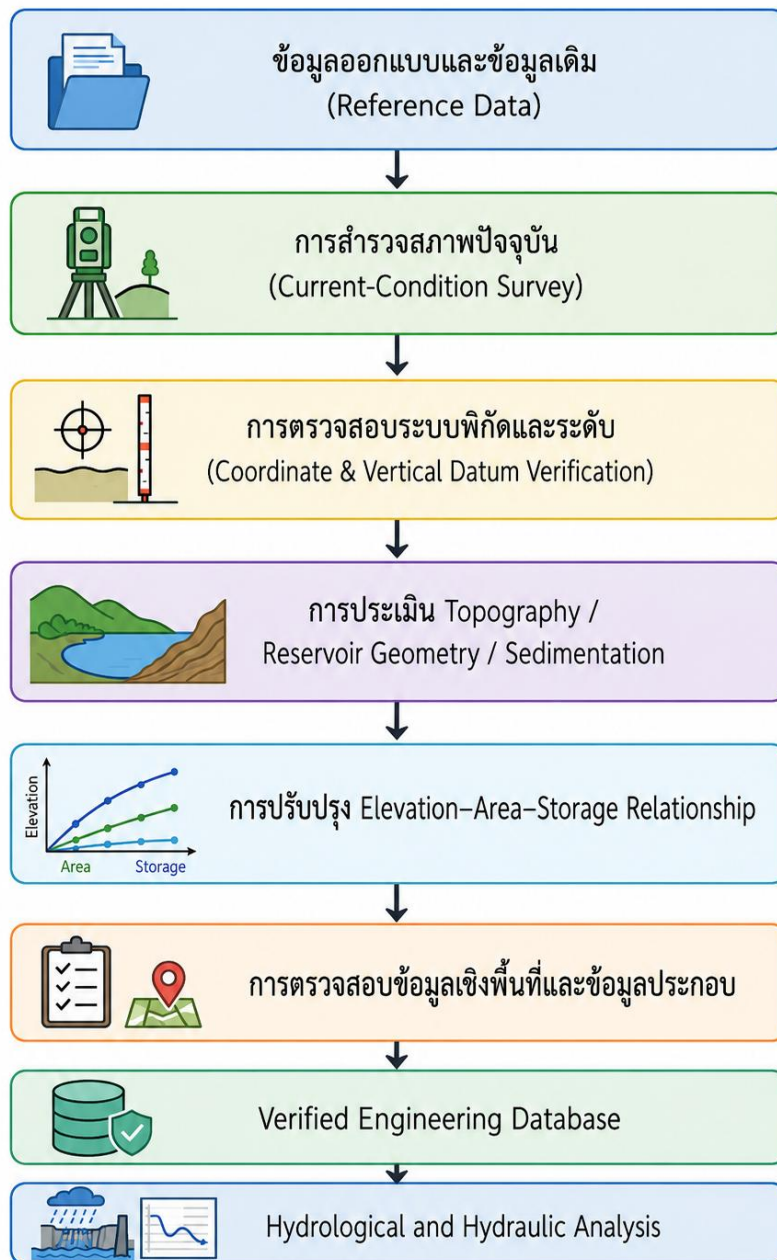
2.1.5 การสังเคราะห์ผลสู่ฐานข้อมูลทางวิศวกรรมที่ผ่านการตรวจสอบ

ผลลัพธ์สำคัญของกระบวนการสำรวจและตรวจสอบข้อมูลไม่เป็นเพียงชุดข้อมูลสำรวจแต่ละประเภท แต่คือการพัฒนาฐานข้อมูลทางวิศวกรรมของอ่างเก็บน้ำที่ผ่านการตรวจสอบ (Verified Engineering Database) เพื่อใช้เป็นตัวแทนสภาพปัจจุบันของระบบก่อนเข้าสู่การวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป สำหรับโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน ฐานข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย

- ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ พิกัด และระดับพื้นที่
- ข้อมูลระบบอ้างอิงพิกัดและระดับของโครงการ
- แบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM)
- ข้อมูลสภาพและระดับท้องอ่าง
- ข้อมูลการสะสมของตะกอน
- ความสัมพันธ์ระดับ-พื้นที่-ปริมาตรเก็บกัก (Elevation-Area-Storage Relationship)
- Elevation-Storage Curve ที่สอดคล้องกับสภาพปัจจุบัน
- ประวัติการใช้งานและข้อมูลประกอบด้านอุทกวิทยา
- ข้อมูลแนวเขตที่ดินและข้อจำกัดเชิงพื้นที่
- ข้อมูลประกอบจากประชาชนและผู้ใช้น้ำ

ข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data) สำหรับการวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยา การวิเคราะห์ด้านชลศาสตร์ การประเมินระดับน้ำและปริมาตรเก็บกัก ตลอดจนการพัฒนาและเปรียบเทียบทางเลือกในการเพิ่มประสิทธิภาพอ่างเก็บน้ำ กระบวนการสำรวจและตรวจสอบข้อมูลสภาพปัจจุบันสามารถสังเคราะห์ได้ดังนี้

กระบวนการสำรวจและตรวจสอบข้อมูลสภาพปัจจุบัน อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา



© สังกะ ภาพที่ 6 กระบวนการสำรวจ ตรวจสอบ และพัฒนาฐานข้อมูลสภาพปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำ

โดยสรุป การสำรวจและตรวจสอบข้อมูลสภาพปัจจุบันเป็นขั้นตอนที่เปลี่ยนข้อมูลเดิมของโครงการให้เป็นฐานข้อมูลทางวิศวกรรมที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ในสภาพปัจจุบัน ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเกี่ยวกับภูมิประเทศ รูปทรงอ่าง และปริมาตรเก็บกักสามารถส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของการประเมินสมรรถนะอ่างได้ จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและติดตามข้อมูลเหล่านี้อย่างเป็นระบบ (Gonzalez Rodriguez et al., 2023; Randle et al., 2021)

ดังนั้น ก่อนเข้าสู่การวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ จึงต้องสร้างความมั่นใจก่อนว่าข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการคำนวณมีความสอดคล้องกับสภาพปัจจุบันของอ่างและสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ ซึ่งเป็นหลักพื้นฐานของการถอดองค์ความรู้จากการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนในขั้นตอนนี้



ภาพที่ 7 กระบวนการสำรวจและตรวจสอบข้อมูล

2.2 การวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยา

การวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยา (Hydrological Analysis) เป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมินพฤติกรรมของน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่รับน้ำ ทั้งในภาวะปกติและช่วงที่เกิดน้ำหลาก โดยมุ่งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝน ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่รับน้ำ และปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ เพื่อให้สามารถกำหนดขนาดและรูปแบบของน้ำหลากที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม หลักการสำคัญของการวิเคราะห์ฝน–น้ำท่า (Rainfall–Runoff Analysis) คือ การประเมินว่าส่วนหนึ่งของฝนที่ตกลงบนพื้นที่รับน้ำ เมื่อหักการสูญเสียจากการซึม การกักเก็บ และกระบวนการอื่นแล้ว จะเปลี่ยนเป็นน้ำท่าที่ไหลรวมเข้าสู่ลำน้ำและอ่างเก็บน้ำในลักษณะใด น้ำท่าที่เกิดขึ้นจึงไม่ได้พิจารณาเฉพาะค่าอัตราการไหลสูงสุดเท่านั้น แต่ต้องพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลตามเวลาด้วย ซึ่งสามารถแสดงในรูปกราฟน้ำท่า (Hydrograph) เพื่อให้เห็นช่วงการเพิ่มขึ้นของน้ำ ช่วงที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด และช่วงการลดลงของน้ำหลากอย่างต่อเนื่อง (U.S. Army Corps of Engineers [USACE], 2026)

สำหรับโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน การวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยามีเป้าหมายหลักเพื่อจัดทำกราฟน้ำหลากไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Flood Hydrograph) ซึ่งใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Flood Routing) และการประเมินสมรรถนะของอาคารระบายน้ำในขั้นตอนต่อไป การวิเคราะห์จึงต้องนำข้อมูลหลายส่วนมาพิจารณาร่วมกัน ได้แก่ ข้อมูลพื้นฐานของโครงการ ข้อมูลฝนและน้ำท่า ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่รับน้ำ ข้อมูลภูมิประเทศ ประวัติการใช้งานอ่างเก็บน้ำ และข้อมูลจากการสำรวจสภาพปัจจุบัน เพื่อให้กราฟน้ำหลากที่ได้สะท้อนลักษณะของพื้นที่รับน้ำและสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ระบบอ่างเก็บน้ำได้อย่างเหมาะสม

กระบวนการวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยาของโครงการ จำแนกออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การทบทวนและตรวจสอบข้อมูลอุทกวิทยา (2) การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและสภาพภูมิอากาศของพื้นที่รับน้ำ (3) การวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph Analysis) (4) การวิเคราะห์ความถี่น้ำหลาก (Flood Frequency Analysis) และ (5) การจัดทำกราฟน้ำหลากไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Flood Hydrograph)

2.2.1 การทบทวนและตรวจสอบข้อมูลอุทกวิทยา

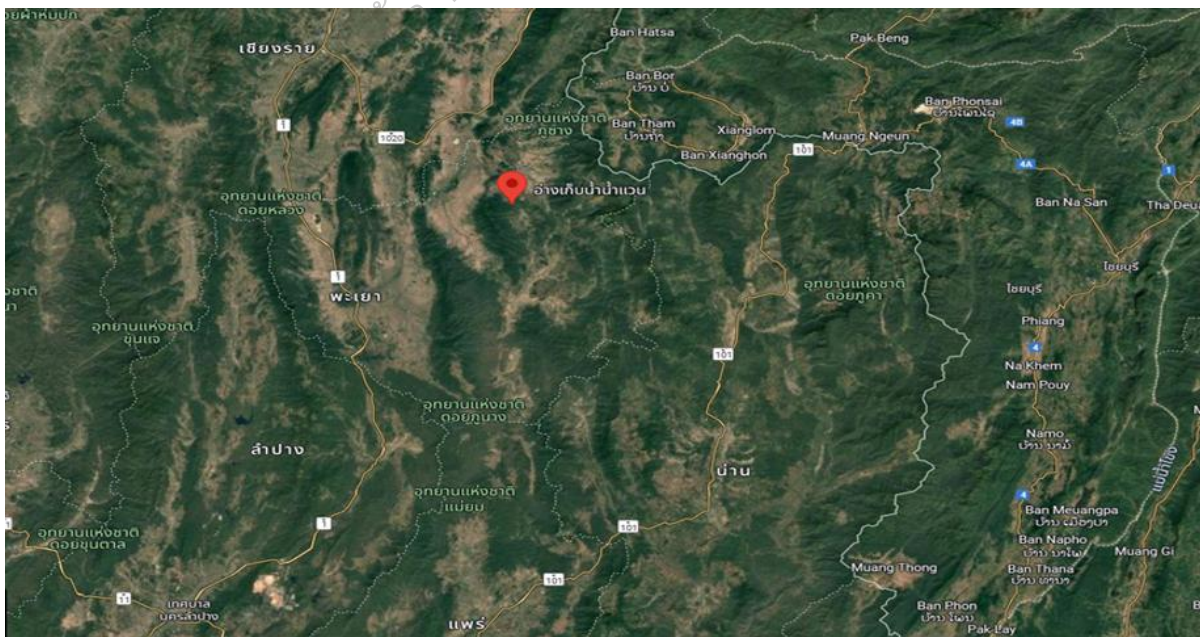
การวิเคราะห์อุทกวิทยาควรเริ่มจากการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลที่จะนำมาใช้ ทั้งด้านความครบถ้วน ความต่อเนื่อง ความสอดคล้อง และความเหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของข้อมูลตรวจวัดสามารถส่งผลกระทบต่อผลการคำนวณและการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปได้ กรมทรัพยากรน้ำให้ความสำคัญกับการเก็บ ตรวจสอบ คำนวณ และวิเคราะห์ข้อมูลอุทกวิทยาก่อนนำไปใช้ในงานพัฒนาแหล่งน้ำ พื้นที่รับน้ำเหนืออ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนมีขนาดประมาณ 119.7 ตารางกิโลเมตร ข้อมูลพื้นฐานเดิมของโครงการระบุปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีประมาณ 1,329.5 มิลลิเมตรต่อปี และปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีประมาณ 33.07 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ข้อมูลดังกล่าวใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับศึกษาพฤติกรรมทางอุทกวิทยาของพื้นที่รับน้ำ ทั้งนี้พื้นที่รับน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนไม่มีสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าโดยตรงภายในพื้นที่รับน้ำอย่างเพียงพอ การวิเคราะห์จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากหลายแหล่งประกอบกัน ได้แก่ ข้อมูลอุทกวิทยาเดิมของโครงการ ข้อมูลฝนจากสถานีใกล้เคียง ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่รับน้ำ ข้อมูลภูมิประเทศ ผลการสำรวจภาคสนาม และประวัติการใช้งานอ่างเก็บน้ำ

การใช้ข้อมูลจากหลายแหล่งในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านข้อมูลตรวจวัดช่วยลดการพึ่งพาข้อมูลชุดใดชุดหนึ่งมากเกินไป แต่จำเป็นต้องตรวจสอบความสมเหตุสมผลและความสอดคล้องของข้อมูลก่อนนำเข้าสู่กระบวนการคำนวณ หลักการดังกล่าวมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์อุทกวิทยา เนื่องจากแม้จะใช้แบบจำลองหรือวิธีคำนวณที่เหมาะสม แต่หากข้อมูลนำเข้าไม่ถูกต้อง ผลการวิเคราะห์ก็อาจคลาดเคลื่อนได้ ข้อมูลประวัติการใช้งานอ่างยังถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบการตรวจสอบความสมเหตุสมผล (Reasonableness Check) ของผลการวิเคราะห์ จากการตรวจสอบข้อมูลช่วง พ.ศ. 2541–2567 พบเหตุการณ์น้ำไหลผ่านอาคารระบายน้ำล้นที่สำคัญในปี พ.ศ. 2550 โดยมีระดับน้ำเหนือสันทางระบายน้ำล้นประมาณ 1.00 เมตร อัตราการไหลประมาณ 81.4 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีระยะเวลาการไหลล้นประมาณ 12 ชั่วโมง ก่อนระดับน้ำลดกลับเข้าสู่สภาวะปกติ ทั้งนี้เหตุการณ์ดังกล่าวควรใช้เป็นข้อมูลประกอบในการทำความเข้าใจพฤติกรรมของระบบ และตรวจสอบความสมเหตุสมผลของผลการวิเคราะห์ ไม่ควรใช้เหตุการณ์เพียงเหตุการณ์เดียวเป็นข้อสรุปว่าข้อมูลอุทกวิทยาเดิมถูกต้องหรือคลาดเคลื่อน

2.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและสภาพภูมิอากาศของพื้นที่รับน้ำ

ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่รับน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกระบวนการเปลี่ยนฝนเป็นน้ำท่า โดยมีผลต่อระยะเวลาที่น้ำจากส่วนต่าง ๆ ของพื้นที่ไหล รูปร่างของ Hydrograph และขนาดของอัตราการไหลที่เกิดขึ้น การวิเคราะห์ Rainfall-Runoff จึงต้องพิจารณาลักษณะพื้นที่รับน้ำร่วมกับข้อมูลฝน ไม่สามารถพิจารณาปริมาณฝนเพียงตัวแปรเดียวได้ (USACE, 2023) สำหรับพื้นที่รับน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน การวิเคราะห์พิจารณาพารามิเตอร์ทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ ขนาดและรูปร่างของพื้นที่รับน้ำ ความลาดชันของพื้นที่ ความยาวและความลาดชันของลำน้ำสายหลัก ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของพื้นที่รับน้ำ (Centroid) ระยะทางการไหล ตลอดจนลักษณะภูมิประเทศและแนวเทือกเขาโดยรอบ พารามิเตอร์เหล่านี้ใช้ประกอบการอธิบายว่า เมื่อมีฝนตกลงบนพื้นที่รับน้ำ น้ำจะใช้เวลาเท่าใดในการไหลรวมเข้าสู่ลำน้ำและอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนพื้นที่รับน้ำมีแนวโน้มตอบสนองต่อเหตุการณ์ฝนในลักษณะรวดเร็วหรือช้า ซึ่งมีผลต่อรูปทรงและ Peak Discharge ของกราฟน้ำหลาก

อีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณาคือ อิทธิพลของภูมิประเทศต่อการกระจายตัวของฝน พื้นที่รับน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนตั้งอยู่บริเวณด้านหลังแนวภูเขาสูง และให้พิจารณาลักษณะพื้นที่อับฝนหรืออิทธิพลเงาฝน (Rain Shadow Effect) ร่วมในการวิเคราะห์ ปริมาณฝนในประเทศไทยแตกต่างกันตามลักษณะภูมิประเทศ โดยพื้นที่ด้านรับลมของแนวภูเขาจะมีปริมาณฝนมากกว่า ขณะที่พื้นที่ด้านหลังภูเขาหลายบริเวณ โดยเฉพาะตอนกลางของภาคเหนือ มีปริมาณฝนน้อยกว่า ทั้งนี้การพิจารณา Rain Shadow ในกรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนควรใช้เป็นปัจจัยประกอบการอธิบายการกระจายตัวของฝนในพื้นที่ ไม่ควรใช้เป็นเหตุผลเพียงประการเดียวในการอธิบายปริมาณน้ำไหลเข้าสู่อ่าง เพราะปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจริงยังขึ้นอยู่กับความชื้นของฝน ระยะเวลาฝนตก การกระจายตัวของฝน สภาพความชื้นเดิมของพื้นที่ และการสูญเสียน้ำก่อนเกิดน้ำท่า ดังนั้น การวิเคราะห์อุทกวิทยาของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนจึงต้องพิจารณาทั้ง สภาพน้ำต้นทุนในช่วงเวลาปกติ และ เหตุการณ์น้ำหลากในช่วงฝนหนัก เนื่องจากทั้งสองสภาวะมีความสำคัญต่อการบริหารอ่างเก็บน้ำ แต่มีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์แตกต่างกัน

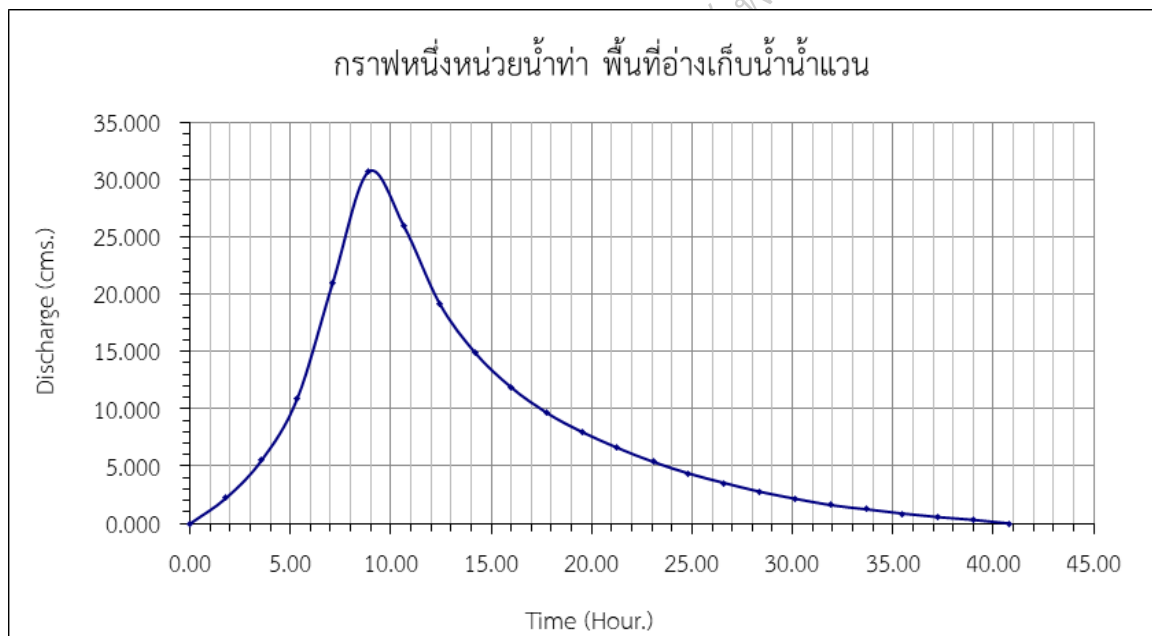


ภาพที่ 8 ลักษณะพื้นที่รับน้ำและอิทธิพลภูมิประเทศต่อการกระจายตัวของฝน บริเวณอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

2.2.3 การวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph Analysis)

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph: UH) เป็นเครื่องมือทางอุทกวิทยาที่ใช้แสดงลักษณะการตอบสนองของพื้นที่รับน้ำต่อฝนส่วนเกินที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนด โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลตามเวลา หลักการดังกล่าวจึงเป็นการเชื่อมโยงฝนส่วนเกินกับน้ำท่าโดยตรงที่เกิดขึ้น ณ จุดออกของพื้นที่รับน้ำ (USACE, 2023) ในทางปฏิบัติ Unit Hydrograph ใช้เป็นพื้นฐานในการแปลงฝนส่วนเกินของเหตุการณ์ที่กำหนดให้เป็นกราฟน้ำท่า โดยรูปกราฟจะสะท้อนลักษณะการตอบสนองของพื้นที่รับน้ำ ทั้งช่วงที่อัตราการไหลเพิ่มขึ้น ช่วงที่เกิดค่าสูงสุด และช่วงที่อัตราการไหลลดลง

สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน การวิเคราะห์ Unit Hydrograph พิจารณาพารามิเตอร์ทางกายภาพของพื้นที่รับน้ำ ได้แก่ ขนาดพื้นที่รับน้ำ ความยาวลำน้ำ ความลาดชันของพื้นที่และลำน้ำ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่รับน้ำ และระยะทางการไหล ผลการวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสำหรับช่วงเวลาฝนส่วนเกิน 1 ชั่วโมง ได้ค่าอัตราการไหลสูงสุดของ Unit Hydrograph เท่ากับ $Q_{p,UH}=30.72 \text{ m}^3/\text{s}$ ค่าดังกล่าวแสดง Peak Discharge ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า ซึ่งใช้เป็นองค์ประกอบในการสร้างกราฟน้ำท่าหลังจากฝนส่วนเกินของเหตุการณ์ที่ต้องการวิเคราะห์ ทั้งนี้ค่า 30.72 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ไม่ใช่อัตราการไหลสูงสุดของน้ำหลากออกแบบ (Design Flood) แต่เป็นค่า Peak ของ Unit Hydrograph สำหรับช่วงเวลาฝนส่วนเกิน 1 ชั่วโมงเท่านั้น



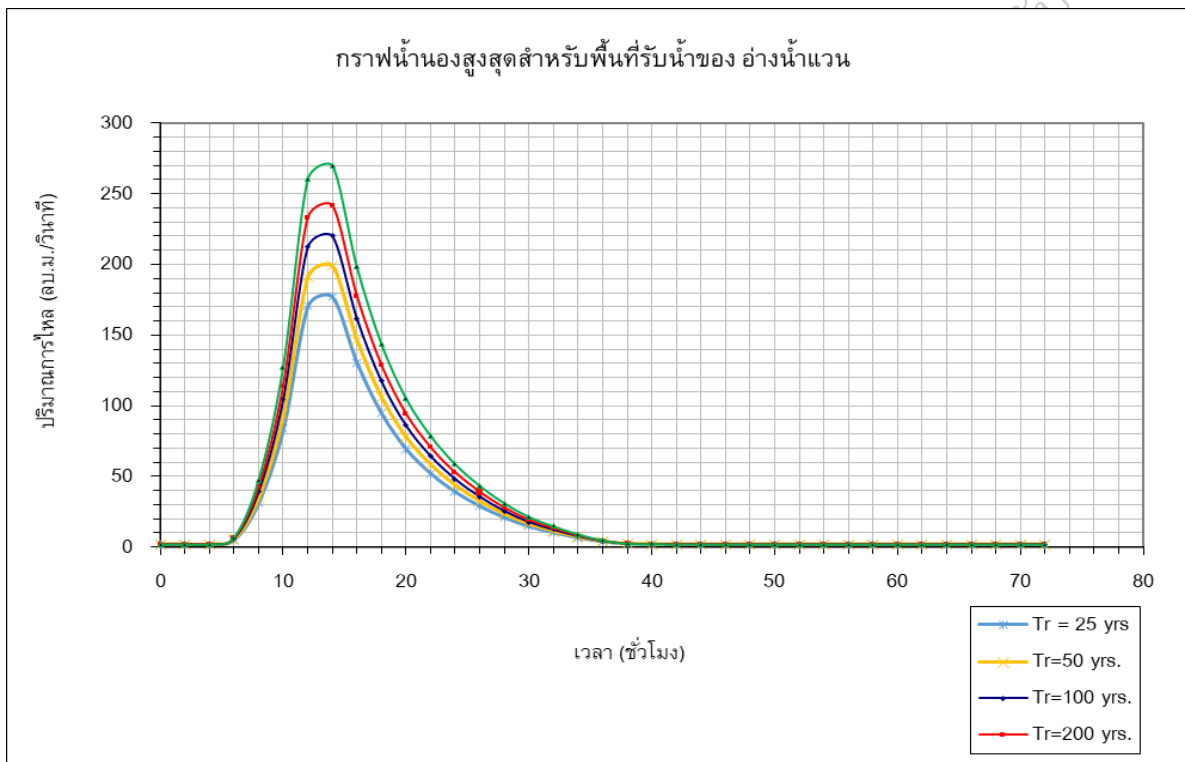
ภาพที่ 9 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของพื้นที่รับน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

2.2.4 การวิเคราะห์ความถี่น้ำหลาก (Flood Frequency Analysis)

การวิเคราะห์ความถี่น้ำหลาก (Flood Frequency Analysis) เป็นกระบวนการที่ใช้เชื่อมโยงขนาดของเหตุการณ์น้ำหลากกับโอกาสหรือความถี่ของการเกิด เพื่อกำหนดเหตุการณ์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบทรัพยากรน้ำ การวิเคราะห์ความถี่ของ Peak Flow เป็นเครื่องมือสำคัญในการออกแบบโครงสร้างและประเมินความเสี่ยงจากอุทกภัย (Ryberg et al., 2024) ความถี่ของเหตุการณ์มักแสดงในรูปรอบปีการเกิด (Return Period: T_r) เช่น $T_r = 10, 25$ หรือ 100 ปี ทั้งนี้ Return Period ไม่ได้

หมายความว่าเหตุการณ์นั้นจะเกิดขึ้นอย่างแน่นอนเพียงหนึ่งครั้งในช่วงเวลาตามจำนวนปีที่ระบุ แต่เป็นวิธีแสดงระดับความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ในเชิงสถิติ

สำหรับโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน การวิเคราะห์พิจารณาข้อมูลฝนสูงสุด การกระจายตัวของฝน และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่รับน้ำ เพื่อกำหนดเหตุการณ์ฝนและน้ำหลากตามรอบปีการเกิดที่ใช้ในการศึกษา แล้วนำผลไปเชื่อมโยงกับ Unit Hydrograph เพื่อสร้างกราฟน้ำหลากตามเวลา กรณีสำคัญที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ระบบอ่างเก็บน้ำในขั้นตอนต่อไปคือ รอบปีการเกิด 25 ปี ($Tr = 25$ ปี) หลักการดังกล่าวมีความสำคัญ เนื่องด้วยการวิเคราะห์ Flood Frequency ต้องพิจารณาคุณภาพของข้อมูลและสมมติฐานทางสถิติอย่างเหมาะสม และการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของสภาพภูมิอากาศหรือสภาพพื้นที่สามารถเป็นประเด็นที่ต้องพิจารณาในการตีความผลการวิเคราะห์ความถี่น้ำหลาก (Ryberg et al., 2024)



ภาพที่ 10 ปริมาณน้ำหลากตามรอบปีการเกิดของพื้นที่รับน้ำอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

2.2.5 การจัดทำกราฟน้ำหลากไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Flood Hydrograph)

เมื่อกำหนดเหตุการณ์ฝนตามรอบปีการเกิดและได้ Unit Hydrograph ที่เป็นตัวแทนการตอบสนองของพื้นที่รับน้ำแล้ว ข้อมูลทั้งสองส่วนจะถูกนำมาประกอบกันเพื่อพัฒนา กราฟน้ำหลากไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Flood Hydrograph) ทั้งนี้ Inflow Hydrograph แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลเข้าสู่อ่างกับเวลา โดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่ 1) Rising Limb ช่วงที่อัตราการไหลเพิ่มขึ้น 2) Peak Discharge จุดที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด และ 3) Recession Limb ช่วงที่อัตราการไหลลดลง การใช้ Hydrograph ทั้งรูปมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์อ่างเก็บน้ำ เพราะปริมาณน้ำหลากที่เข้าสู่อ่างไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่า Peak เพียงค่าเดียว แต่ขึ้นอยู่กับทั้งอัตราการไหลและระยะเวลาที่น้ำไหลเข้าสู่ระบบหลัก Unit Hydrograph จึงใช้ฝนส่วนเกินตามช่วงเวลาในการสร้าง Direct Runoff Hydrograph ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลอย่างต่อเนื่อง (USACE, 2023)

สำหรับกรณี $T_r = 25$ ปี ผลการวิเคราะห์ของโครงการได้ค่าอัตราการไหลเข้าสูงสุดของน้ำหลาก (Peak Inflow) เท่ากับ $Q_{in,peak} = 177.19 \text{ m}^3/\text{s}$ ค่า 177.19 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จึงหมายถึงอัตราการไหลเข้าสูงสุดของน้ำหลากที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ สำหรับกรณี $T_r = 25$ ปี

ตารางที่ 2 ความหมายและค่าพารามิเตอร์อัตราการไหลที่ใช้ในการวิเคราะห์อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

ตัวแปร	ความหมาย	ผลการวิเคราะห์
$Q_{p,UH}$	Peak Discharge ของ Unit Hydrograph ช่วงเวลา 1 ชั่วโมง	30.72 ลบ.ม./วินาที
$Q_{in,peak}$	Peak Inflow ของน้ำหลากกรณี $T_r = 25$ ปี	177.19 ลบ.ม./วินาที
$Q_{out,peak}$	Peak Outflow หลังน้ำหลากผ่านอ่าง	วิเคราะห์ในข้อ 2.3

ดังนั้น ค่า 30.72 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และ 177.19 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ไม่ใช่ค่าประเภทเดียวกัน ค่าแรกเป็นคุณลักษณะของ Unit Hydrograph ส่วนค่าหลังเป็น Peak Inflow ของเหตุการณ์น้ำหลากตามรอบปีการเกิดที่กำหนด นอกจากนี้ การวิเคราะห์ Reservoir Flood Routing ในขั้นตอนต่อไปจะใช้ Inflow Hydrograph ทั้งกราฟ ไม่ใช่เพียงค่า Peak Inflow เพราะรูปทรงและระยะเวลาของ Hydrograph มีผลต่อปริมาตรน้ำที่ถูกเก็บกักภายในอ่าง การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ และอัตราการไหลระบายออกตามเวลา

2.2.6 การสังเคราะห์ผลการวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยา

จากกระบวนการวิเคราะห์ข้างต้น ได้ข้อมูลทางอุทกวิทยาที่จำเป็นสำหรับใช้เป็นเงื่อนไขน้ำไหลเข้าในการวิเคราะห์ระบบอ่างเก็บน้ำ โดยผลสำคัญของโครงการประกอบด้วย

- พื้นที่รับน้ำเหนืออ่างประมาณ 119.7 ตารางกิโลเมตร
- ลักษณะทางกายภาพและพฤติกรรม การตอบสนองของพื้นที่รับน้ำ
- กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสำหรับช่วงเวลาฝนส่วนเกิน 1 ชั่วโมง
- Peak Discharge ของ Unit Hydrograph เท่ากับ 30.72 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
- เหตุการณ์น้ำหลากตามรอบปีการเกิดที่กำหนด
- กราฟน้ำหลากไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow Flood Hydrograph)
- กรณี $T_r = 25$ ปี มี Peak Inflow เท่ากับ 177.19 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ทั้งนี้ สามารถสังเคราะห์กระบวนการวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยาของโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน ได้ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 กระบวนการวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยาของโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

สาระสำคัญที่ถอดได้จากการวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยาคือ เป้าหมายของการวิเคราะห์ไม่ได้อยู่ที่การหาค่า Peak Discharge เพียงค่าเดียว แต่ต้องกำหนดลักษณะของน้ำหลากทั้งเหตุการณ์ในรูป Inflow Hydrograph เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อมวลน้ำดังกล่าวเข้าสู่อ่างแล้ว ปริมาตรเก็บกัก ระดับน้ำ และอัตราการระบายออกจากอ่างจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร ดังนั้น ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยาจึงเป็นเงื่อนไขด้านน้ำไหลเข้า (Inflow Boundary Condition) สำหรับการวิเคราะห์ Reservoir Flood Routing ใน ซึ่งจะเชื่อมโยง Inflow-Storage-Water Level-Outflow เพื่อประเมิน Maximum Water Level, Peak Outflow และ Freeboard ของระบบอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนต่อไป

2.3 การวิเคราะห์ด้านชลศาสตร์และการเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านอ่างเก็บน้ำ (Hydraulic Analysis and Reservoir Flood Routing)

การวิเคราะห์ด้านชลศาสตร์และการเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านอ่างเก็บน้ำเป็นขั้นตอนที่เชื่อมโยงผลการวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยาเข้ากับการประเมินการตอบสนองของระบบอ่างเก็บน้ำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาว่า เมื่อกราฟน้ำหลากไหลเข้าอ่าง (Inflow Flood Hydrograph) เคลื่อนเข้าสู่พื้นที่เก็บกักแล้ว ปริมาตรน้ำ ระดับน้ำ และอัตราการระบายออกจากอ่างจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างไร หลักพื้นฐานของการ

วิเคราะห์อยู่ถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflow) ปริมาตรเก็บกัก (Storage) ระดับน้ำในอ่าง (Water Level) และปริมาณน้ำระบายออก (Outflow) เมื่อ Inflow สูงกว่า Outflow ปริมาณน้ำส่วนที่แตกต่างจะถูกเก็บกักภายในอ่าง ทำให้ Storage และ Water Level เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันเมื่อ Outflow สูงกว่า Inflow ปริมาณน้ำภายในอ่างและระดับน้ำจะลดลง กระบวนการเก็บกักและระบายดังกล่าวทำให้ Outflow Hydrograph มีรูปทรงและค่าอัตราการไหลสูงสุดแตกต่างจาก Inflow Hydrograph หลักการนี้เป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์ Level-Pool Reservoir Routing หรือ Modified Puls Method ซึ่งใช้สมการอนุรักษ์มวลร่วมกับความสัมพันธ์ระหว่าง Storage และ Outflow ของอ่างเก็บน้ำ (U.S. Army Corps of Engineers [USACE], 2023)

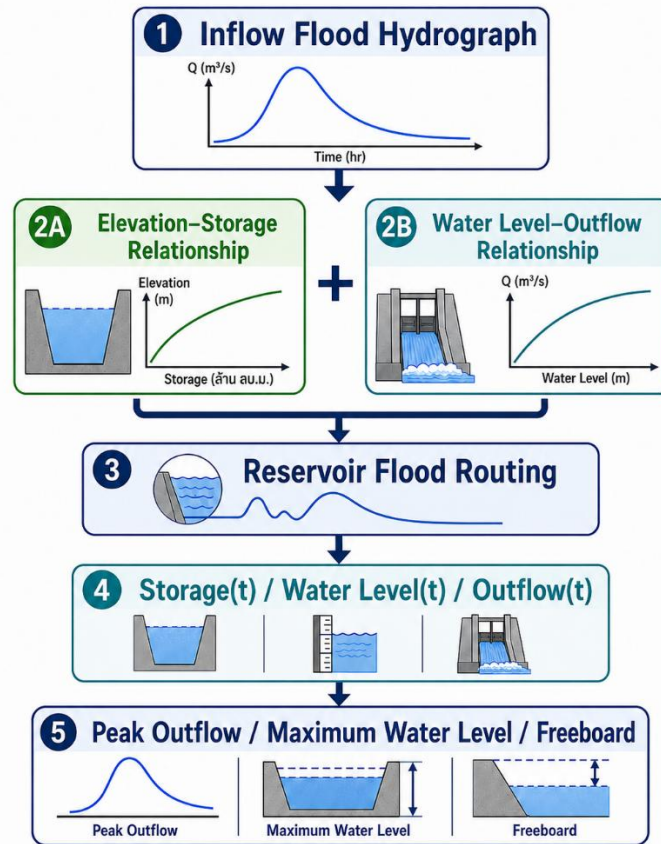
สำหรับกรณีศึกษาอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน การวิเคราะห์ใช้ Inflow Flood Hydrograph กรณีรอบปีการเกิด 25 ปี ($T_r = 25$ ปี) ซึ่งมีอัตราการไหลเข้าสูงสุด (Peak Inflow) เท่ากับ 177.19 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็นเงื่อนไขน้ำหลากเข้าสู่อ่างโดยใช้ Hydrograph ทั้งรูป ไม่ใช่เฉพาะค่า Peak เนื่องจากขนาดของน้ำหลาก ระยะเวลาการไหล และรูปทรงของ Hydrograph มีผลต่อปริมาณน้ำที่ถูกหน่วงเก็บภายในอ่างและระดับน้ำสูงสุดที่เกิดขึ้น การวิเคราะห์นี้มีส่วนสำคัญร่วมกัน 2 ส่วน ได้แก่ Hydraulic Analysis ซึ่งใช้กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับความสามารถในการระบายของอาคาร และ Reservoir Flood Routing ซึ่งใช้คำนวณการเปลี่ยนแปลงของ Storage, Water Level และ Outflow ตามเวลา โดยผลลัพธ์สำคัญที่ต้องการจากการวิเคราะห์ ได้แก่ Outflow Hydrograph, Peak Outflow, Maximum Water Level (MWL) และ Freeboard

2.3.1 ข้อมูลนำเข้าและความสัมพันธ์ทางพลศาสตร์ของระบบอ่างเก็บน้ำ

การทำ Reservoir Flood Routing จำเป็นต้องเชื่อมโยงข้อมูลจากทั้งการสำรวจสภาพปัจจุบัน และการวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยา โดยข้อมูลหลักประกอบด้วย Inflow Hydrograph, Elevation–Storage Relationship, Water Level–Outflow Relationship และระดับโครงสร้างสำคัญของอ่างเก็บน้ำ การทำ Level-Pool Routing จำเป็นต้องมีความสัมพันธ์ระหว่าง Storage และ Outflow เนื่องจากค่าทั้งสองใช้ร่วมกับ Inflow ในการคำนวณสมดุลน้ำของแต่ละช่วงเวลา (USACE, 2023)

สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน Inflow Hydrograph ที่ใช้เป็นกรณีหลักในการวิเคราะห์คือเหตุการณ์ $T_r = 25$ ปี ซึ่งมี Peak Inflow เท่ากับ 177.19 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาตรเก็บกักใช้ Elevation–Area–Storage Relationship และ Elevation–Storage Curve ที่ปรับปรุงจากผลสำรวจสภาพปัจจุบัน เพื่อให้ค่าปริมาตรที่ใช้ในการคำนวณสะท้อนรูปทรงท้องอ่างและสภาพการสะสมของตะกอนในปัจจุบัน ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับอัตราการระบายออกจากอ่าง หรือ Water Level–Outflow Relationship ขึ้นอยู่กับลักษณะทางพลศาสตร์ของอาคารระบายน้ำ โดยอาคารประเภท Spillway สามารถพัฒนาความสัมพันธ์ดังกล่าวจากสมการการไหลผ่านสันทางระบายน้ำล้น ขณะที่การระบายผ่านช่องเปิดหรือประตูระบายต้องพิจารณาพื้นที่ช่องเปิด สัมประสิทธิ์การระบาย และความต่างของระดับพลังงานที่ควบคุมการไหล (USACE, 2023) ดังนั้น ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์กรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนสามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 12

ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์กรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน
อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์กรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า Peak Outflow และ Maximum Water Level ไม่ได้ขึ้นอยู่กับ Peak Inflow เพียงตัวเดียว แต่เป็นผลจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงของ Inflow Hydrograph ความสามารถในการเก็บกักน้ำของอ่าง และสมรรถนะของอาคารระบายน้ำ

2.3.2 การวิเคราะห์ Flood Routing ด้วยวิธี Modified Puls

การวิเคราะห์น้ำหลากผ่านอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนใช้วิธี Modified Puls หรือ Storage Routing ซึ่งเป็นวิธี Level-Pool Routing ที่ใช้หลักอนุรักษ์มวลในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของน้ำภายในอ่างตามช่วงเวลา วิธีนี้เหมาะสำหรับระบบที่สามารถประมาณให้ผิวน้ำภายในอ่าง ณ เวลาเดียวกันมีระดับใกล้เคียงกัน และมีความสัมพันธ์ระหว่าง Storage กับ Outflow ที่สามารถกำหนดได้ (USACE, 2023) สมการความต่อเนื่องพื้นฐาน (Basic Continuity Equation) สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$I - O = \frac{dS}{dt}$$

โดยที่

I = อัตราการไหลเข้าสู่อ่าง (Inflow), ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

O = อัตราการไหลออกจากอ่าง (Outflow), ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

S = ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่าง (Storage), ลูกบาศก์เมตร

t = เวลา (Time)

เมื่อแบ่งช่วงเวลาการคำนวณออกเป็นช่วง Δt และประมาณค่า Inflow และ Outflow ของแต่ละช่วงเวลาด้วยค่าเฉลี่ย สมการความต่อเนื่องสามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{I_t + I_{t+1}}{2} - \frac{O_t + O_{t+1}}{2} = \frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t}$$

เมื่อจัดรูปสมการสำหรับการคำนวณด้วยวิธี Modified Puls จะได้

$$\frac{2S_{t+1}}{\Delta t} + O_{t+1} = I_t + I_{t+1} + \left(\frac{2S_t}{\Delta t} - O_t \right)$$

สมการดังกล่าวแสดงว่า เมื่อทราบ Inflow ของช่วงเวลาปัจจุบันและช่วงเวลาก่อนหน้า รวมถึง Storage และ Outflow จากช่วงเวลาก่อนหน้า จะสามารถคำนวณสถานะของอ่างในช่วงเวลาก่อนหน้าได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์ Storage–Outflow ของระบบ แล้วดำเนินการซ้ำตลอดช่วงเวลาของ Inflow Hydrograph จนได้ Outflow Hydrograph และการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตลอดเหตุการณ์ (USACE, 2023) หลักการทำงานจึงสามารถอธิบายได้อย่างกระชับว่า

Inflow $\rightarrow$ Change in Storage $\rightarrow$ Water Level $\rightarrow$ Outflow

หาก Inflow สูงกว่า Outflow น้ำส่วนหนึ่งจะถูกหน่วงเก็บภายในอ่าง ส่งผลให้ Hydrograph ที่ระบายออกมีการเปลี่ยนรูปและโดยทั่วไปอาจเกิดการหน่วงเวลาและลดทอน Peak เมื่อเทียบกับ Hydrograph ที่ไหลเข้า ทั้งนี้ขนาดของการลดทอนขึ้นอยู่กับลักษณะ Storage และระบบระบายน้ำของอ่างนั้นๆ การประยุกต์ Modified Puls เพื่อวิเคราะห์อ่างเก็บน้ำจึงสามารถใช้ประเมินทั้งการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำและการลดทอน Peak Discharge ภายใต้เหตุการณ์น้ำหลากได้ (Dasgupta & Das, 2024)

สำหรับกรณีห้วยน้ำแวน ผลลัพธ์หลักที่ติดตามจากการ Routing ได้แก่ Peak Outflow, Maximum Water Level และ Freeboard ซึ่งใช้เปรียบเทียบการตอบสนองของระบบอ่างในสภาพเดิมกับระบบหลังการปรับปรุง

2.3.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบอ่างเก็บน้ำก่อนและหลังการปรับปรุง

สภาพเดิมของระบบ

อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนเดิมใช้ทางระบายน้ำล้นแบบ Double Side Channel Spillway ที่ไม่มีบานควบคุม การระบายน้ำจึงเกิดขึ้นตามระดับน้ำเหนือสันทางระบายน้ำล้น และระบบไม่สามารถควบคุมการพร่องน้ำผ่าน Spillway ล่วงหน้าก่อนที่ระดับน้ำจะถึงสันทางระบายน้ำล้นได้ ภายใต้ Inflow Hydrograph กรณี Tr = 25 ปี ซึ่งมี Peak Inflow เท่ากับ 177.19 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผล Flood Routing ของระบบเดิมให้ Peak Outflow เท่ากับ 170.65 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และ Maximum Water Level เท่ากับ +420.38 เมตร (รทก.) เมื่อระดับสันเขื่อนอยู่ที่ +421.30 เมตร (รทก.) จึงมีส่วนต่างระดับระหว่าง MWL กับสันเขื่อนเท่ากับ 0.92 เมตร

ความแตกต่างระหว่าง Peak Inflow 177.19 และ Peak Outflow 170.65 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที แสดงให้เห็นว่าอ่างเดิมสามารถหน่วงน้ำบางส่วนไว้ใน Storage ก่อนระบายออก อย่างไรก็ตาม Peak

Outflow ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับ Peak Inflow จึงสะท้อนว่าการลดทอนยอดน้ำหลากของระบบเดิมภายใต้เงื่อนไขนี้มีอยู่ในระดับจำกัด

ประเด็นสำคัญในเชิงวิศวกรรมจึงไม่ควรอธิบายว่า “Spillway เดิมไม่สามารถระบายน้ำได้” แต่ควรอธิบายว่า “ระบบเดิมมีข้อจำกัดด้าน Operational Flexibility” เนื่องจากไม่สามารถควบคุมเวลาและปริมาณการระบายผ่าน Spillway เพื่อจัดเตรียม Flood Storage ให้สัมพันธ์กับสถานการณ์น้ำได้

ระบบหลังการปรับปรุงที่นำมาวิเคราะห์

รูปแบบระบบหลังการปรับปรุงตามข้อมูลโครงการกำหนดให้ตัดปรับอาคารระบายน้ำล้นเดิมและติดตั้ง ประตูระบายน้ำแบบบานตรง (Sluice Gate) ขนาด 3.00×3.00 เมตร จำนวน 2 ช่อง โดยมีระดับธรณีประตู่ที่ +416.30 เมตร (รทก.) พร้อมปรับระดับสันทางระบายน้ำล้นส่วนที่เหลือเป็น +419.80 เมตร (รทก.) การตรวจสอบความสามารถในการระบายผ่านสันทางระบายน้ำล้นของโครงการใช้สมการ

$$Q=0.5522CLH^{1.5}$$

โดยที่

Q = อัตราการไหลผ่านสันทางระบายน้ำล้น (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

C = ค่าสัมประสิทธิ์การระบาย

L = ความยาวสันทางระบายน้ำล้น (เมตร)

H = ความสูงของระดับน้ำเหนือสันทางระบายน้ำล้น (เมตร)

สำหรับกรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน ค่าสัมประสิทธิ์ ($C=3.95$) และความยาวสันทางระบายน้ำล้น ($L=32$) เมตร สำหรับระดับสันทางระบายน้ำล้น +419.80 เมตร (รทก.) สมการและค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวเป็นค่าที่ใช้เฉพาะในการคำนวณของโครงการห้วยน้ำแวน จึงไม่ควรนำไปใช้กับอาคารระบายน้ำของโครงการอื่นโดยตรงโดยไม่ตรวจสอบรูปทรงอาคาร ระบายหน่วย และค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสม สำหรับ Sluice Gate ขนาด 3.00×3.00 เมตร จำนวน 2 ช่อง มีการตรวจสอบการไหลทั้งกรณี Free Flow และ Submerged Flow เพื่อพิจารณาสมรรถนะการระบายภายใต้สภาพระดับน้ำที่แตกต่างกัน

สาระสำคัญของการติดตั้งบานระบายจึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับเพียงการทำให้อาคารสามารถระบายน้ำได้มากขึ้น แต่เป็นการเพิ่ม Operational Flexibility ทำให้สามารถกำหนดเวลาและปริมาณการระบายให้เหมาะสมกับสถานการณ์ได้ การศึกษาด้าน reservoir flood operation พบว่าระดับน้ำในอ่างและระดับการเปิดบานมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการระบายและรูปแบบการปล่อยน้ำลงสู่พื้นที่ด้านท้ายน้ำ (Su et al., 2022) การพร่องน้ำล่วงหน้า (Pre-release) สามารถเพิ่มปริมาตรว่างสำหรับรองรับน้ำหลากได้ แต่ต้องพิจารณาพร้อมกับความไม่แน่นอนของการพยากรณ์ เพราะการพร่องน้ำมากเกินไปอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการสูญเสียต้นทุนภายหลังเหตุการณ์ (Wei et al., 2022) แนวทางการบริหารอ่างเก็บน้ำขนาดกลางของกรมทรัพยากรน้ำจึงให้ความสำคัญกับการกำหนดเกณฑ์การบริหารและการระบายน้ำให้สัมพันธ์กับสถานการณ์น้ำและสภาพของอ่าง (กรมทรัพยากรน้ำ, 2565) ดังนั้น ในกรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน ระบบบานระบายควรถูกตีความว่าเป็นเครื่องมือเพิ่มความสามารถในการบริหารระดับน้ำและการจัดสรร Flood Storage มากกว่าการเป็นเพียงอาคารสำหรับเพิ่ม Discharge Capacity

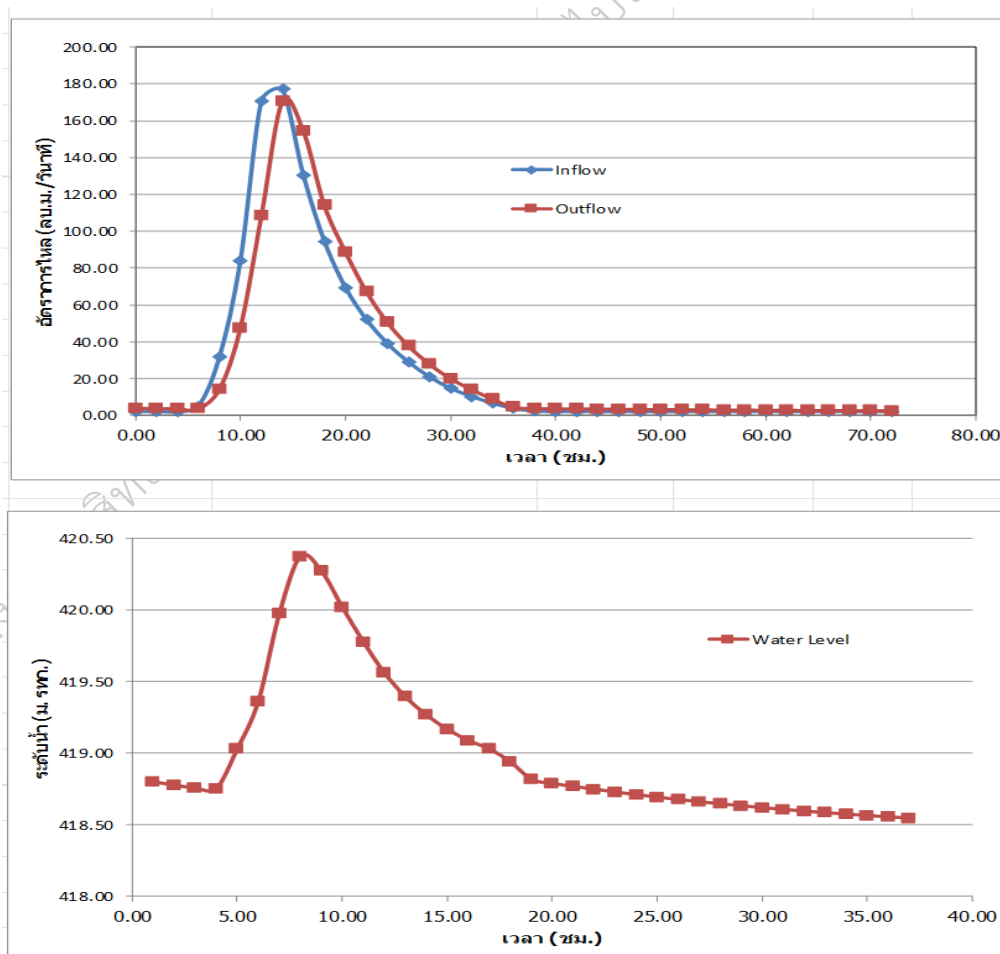
2.3.4 ผลการวิเคราะห์ Flood Routing และการเปรียบเทียบการตอบสนองของระบบ

เพื่อให้การเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงมีความหมายทางวิศวกรรม การวิเคราะห์ใช้ Inflow Hydrograph เดียวกัน คือเหตุการณ์ $Tr = 25$ ปี ซึ่งมี Peak Inflow เท่ากับ 177.19 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ Reservoir Flood Routing ของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนก่อนและหลังการปรับปรุง กรณี $Tr = 25$ ปี

ตัวแปร	สภาพเดิม	หลังปรับปรุง	การเปลี่ยนแปลง
Peak Inflow	177.19 ลบ.ม./วินาที	177.19 ลบ.ม./วินาที	เงื่อนไขน้ำเข้าเดียวกัน
Peak Outflow	170.65 ลบ.ม./วินาที	134.55 ลบ.ม./วินาที	ลดลง 36.10 ลบ.ม./วินาที หรือประมาณ 21.2%
Maximum Water Level	+420.38 ม.รทก.	+420.25 ม.รทก.	ลดลง 0.13 ม.
Freeboard*	0.92 ม.	1.05 ม.	เพิ่มขึ้น 0.13 ม.
ระดับสันเขื่อน	+421.30 ม.รทก.	+421.30 ม.รทก.	คงเดิม

*หมายเหตุ: Freeboard ในตารางนี้หมายถึงส่วนต่างระหว่างระดับสันเขื่อนกับ Maximum Water Level ที่ได้จาก Flood Routing ของโครงการ



ภาพที่ 13 กราฟระบายนํ้าล้นและระดับนํ้าสูงสุดของอ่างฯสภาพเดิมที่ Tr 25 ปี

ภายใต้ Inflow Hydrograph เดียวกัน ระบบหลังการปรับปรุงให้ Peak Outflow ลดลงจาก 170.65 เป็น 134.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือลดลงประมาณ ร้อยละ 21.2 ขณะที่ Maximum Water Level ลดลงจาก +420.38 เป็น +420.25 เมตร (รทก.) และส่วนต่างระดับระหว่าง MWL กับสันเขื่อนเพิ่มจาก 0.92 เป็น 1.05 เมตร ผลการวิเคราะห์ยังแสดงประเด็นสำคัญว่า แม้ระบบหลังปรับปรุงจะเพิ่มระดับสันทางระบาย น้ำล้นจาก +418.80 เป็น +419.80 เมตร (รทก.) และเพิ่มความจุเก็บกักจากประมาณ 2.30 เป็น 2.80 ล้านลูกบาศก์เมตร แต่ Maximum Water Level ภายใต้เหตุการณ์ $T_r = 25$ ปีกลับลดลงจาก +420.38 เป็น +420.25 เมตร (รทก.) ภายใต้เงื่อนไขการวิเคราะห์ของโครงการ

ผลดังกล่าวสะท้อนหลักสำคัญของระบบอ่างเก็บน้ำว่า Storage Capacity, Hydraulic Characteristics ของอาคารระบายน้ำ และ Reservoir Operation ต้องพิจารณาร่วมกัน ระดับน้ำสูงสุดไม่ได้ ขึ้นอยู่กับระดับเก็บกักหรือ Peak Inflow เพียงตัวเดียว แต่เป็นผลของสมดุลระหว่าง Inflow–Storage–Outflow ตลอดเหตุการณ์น้ำหลาก การวิเคราะห์ Reservoir Routing จึงมีบทบาทสำคัญในการประเมินทั้ง การเปลี่ยนรูปของ Flood Hydrograph และการลดทอน Peak Flow ก่อนปล่อยลงสู่พื้นที่ด้านท้ายน้ำ (Dasgupta & Das, 2024) ทั้งนี้ค่า Peak Outflow = 134.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และ Maximum Water Level = +420.25 เมตร (รทก.) ควรตีความว่าเป็นผลภายใต้เงื่อนไขและการเดินระบบที่ใช้ในการ วิเคราะห์ของโครงการ ไม่ควรตีความว่าเป็นสมรรถนะที่จะเกิดขึ้นเหมือนกันในทุกเหตุการณ์หรือทุกวิธีการ เปิด-ปิดบาน เนื่องจากการเดินบานระบายและระดับน้ำในอ่างมีผลต่อ Discharge และ Flood Control Performance ของระบบ (Su et al., 2022)

2.3.5 การพิจารณา Maximum Water Level, Freeboard และการสังเคราะห์ผลทางวิศวกรรม

Maximum Water Level เป็นผลลัพธ์สำคัญจาก Flood Routing เพราะแสดงระดับน้ำ สูงสุดที่เกิดขึ้นภายในอ่างภายใต้เหตุการณ์น้ำหลากที่กำหนด ส่วน Freeboard โดยทั่วไปหมายถึงระยะต่าง ระดับระหว่างระดับน้ำในอ่างกับระดับสันเขื่อน โดยการประเมิน Freeboard ของเขื่อนดินอย่างสมบูรณ์อาจ ต้องพิจารณาปัจจัยเพิ่มเติม เช่น wind setup, wave runup และการเปลี่ยนแปลงระดับสันเขื่อนจากการทรุดตัวร่วมด้วย (U.S. Bureau of Reclamation [USBR], 2021) สำหรับการเปรียบเทียบผล Flood Routing ของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน เอกสารโครงการใช้ส่วนต่างระหว่างระดับสันเขื่อน +421.30 เมตร (รทก.) กับ Maximum Water Level เป็นค่า Freeboard

สำหรับสภาพเดิม ระดับสันเขื่อนเท่ากับ +421.30 เมตร (รทก.) และ Maximum Water Level เท่ากับ +420.38 เมตร (รทก.) จึงมี Freeboard เท่ากับ 0.92 เมตร

$$\text{Freeboard} = 421.30 - 420.38 = 0.92 \text{ m}$$

สำหรับระบบหลังปรับปรุง Maximum Water Level ลดลงเป็น +420.25 เมตร (รทก.) ขณะที่ระดับ สันเขื่อนคงเดิมที่ +421.30 เมตร (รทก.) จึงมี Freeboard เท่ากับ 1.05 เมตร

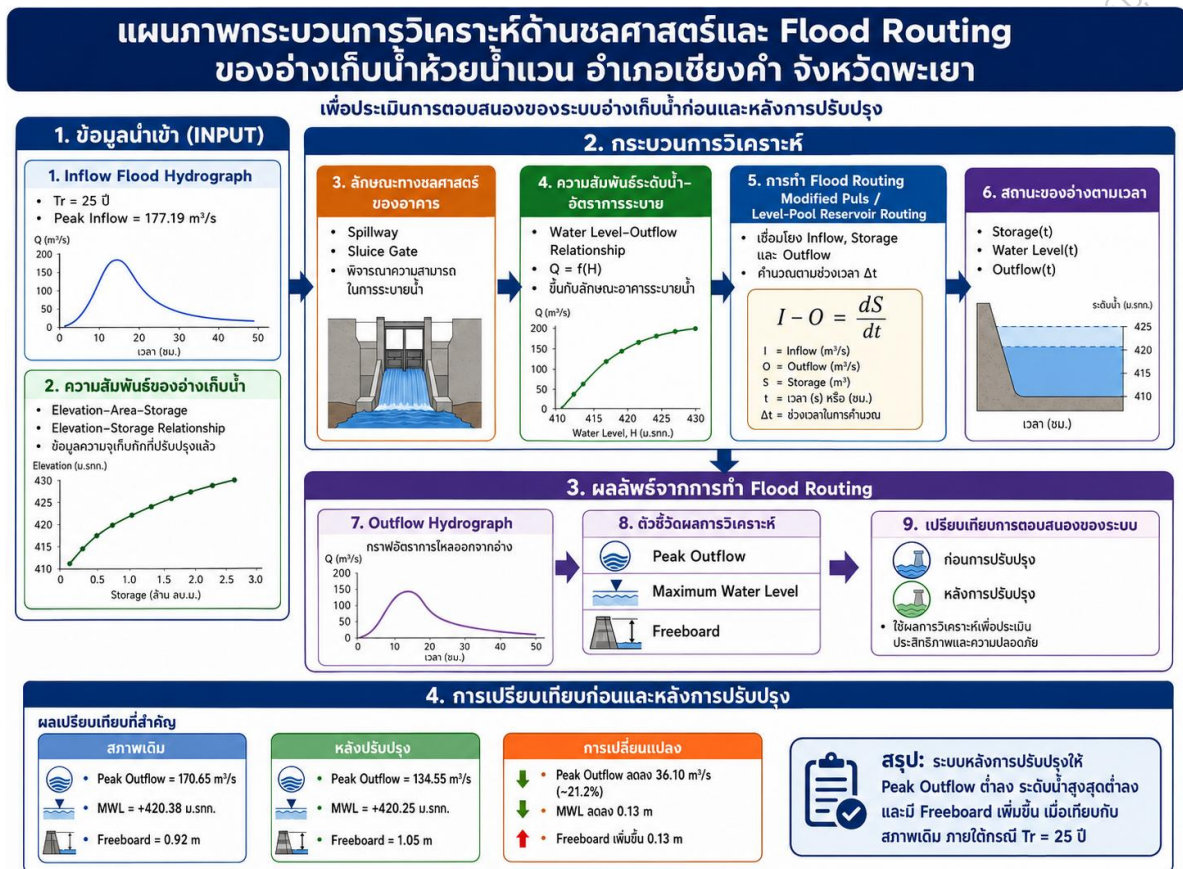
$$\text{Freeboard} = 421.30 - 420.25 = 1.05 \text{ m}$$

ค่าดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ Flood Routing ของโครงการห้วยน้ำแวน

ดังนั้น ผลที่สามารถสรุปได้โดยตรงคือ ภายใต้เหตุการณ์ $T_r = 25$ ปีและเงื่อนไข Routing ที่ใช้ในการศึกษา ระบบหลังปรับปรุงมี Maximum Water Level ต่ำลง 0.13 เมตร และมีระยะต่างระดับ ระหว่าง MWL กับสันเขื่อนเพิ่มขึ้น 0.13 เมตร เมื่อเทียบกับระบบเดิม ทั้งนี้ไม่ควรใช้ค่า Freeboard จาก Flood Routing เพียงตัวเดียวเพื่อสรุปว่า Dam Safety ทั้งระบบได้รับการยืนยันแล้ว เพราะความ

ปลอดภัยของเขื่อนดินยังเกี่ยวข้องกับความมั่นคงของตัวเขื่อน การรั่วซึม การกัดเซาะ สภาพฐานรากและอาคารประกอบ ตลอดจนผลของลมและคลื่นต่อระดับน้ำและสันเขื่อน การประเมิน Freeboard ของเขื่อนดินจึงต้องพิจารณาปัจจัยด้าน hydrologic, hydraulic และ site-specific conditions ร่วมกัน (USBR, 2021) ด้วยเหตุนี้ ในบริบทวิศวกรรม Maximum Water Level และ Freeboard เป็นตัวชี้วัดด้านความปลอดภัยทางอุทกวิทยาและชลศาสตร์ (Hydrologic/Hydraulic Safety Indicators) มากกว่าจะใช้เป็นตัวแทนความปลอดภัยของเขื่อนทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ด้านชลศาสตร์และ Flood Routing ของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนสามารถสังเคราะห์เป็นกระบวนการได้ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 กระบวนการวิเคราะห์ด้านชลศาสตร์และการเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

สาระสำคัญที่ถอดได้จากกรณีศึกษานี้คือ การเพิ่มประสิทธิภาพของอ่างเก็บน้ำเดิมไม่สามารถประเมินจากการเพิ่ม Storage หรือการเพิ่ม Discharge Capacity ของอาคารเพียงตัวแปรเดียว แต่ต้องประเมินการตอบสนองของระบบจากความสัมพันธ์ Inflow-Storage-Water Level-Outflow ตลอดเหตุการณ์น้ำหลาก ซึ่งเป็นสาระพื้นฐานของ Reservoir Flood Routing (USACE, 2023)

สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน ผลการวิเคราะห์ภายใต้ Inflow Hydrograph เดียวกันแสดงว่า ระบบหลังปรับปรุงมี Peak Outflow ต่ำลง Maximum Water Level ต่ำลง และมีระยะต่างระดับระหว่าง MWL กับสันเขื่อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับระบบเดิม ผลดังกล่าวเป็น ผลการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม (Engineering Analysis Results) ที่จะนำไปใช้ประกอบการเปรียบเทียบทางเลือกว่ารูปแบบใดเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดเพื่อรักษาลำดับ Analysis → Decision ให้ชัดเจน

บทที่ 3

การตัดสินใจทางวิศวกรรมและการดำเนินการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำ

3.1 เกณฑ์การตัดสินใจและการเปรียบเทียบทางเลือกทางวิศวกรรม

การตัดสินใจเลือกแนวทางปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมเป็นขั้นตอนที่เชื่อมต่อโดยตรงจากผลการสำรวจและการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม เนื่องจากการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของอ่างเก็บน้ำ ไม่ว่าจะเป็นปริมาณเก็บกัก ระดับเก็บกัก หรือรูปแบบของอาคารระบายน้ำ ย่อมส่งผลต่อพฤติกรรมของระบบโดยรวม ทั้งด้านปริมาณน้ำที่สามารถเก็บกักไว้ใช้ประโยชน์ ระดับน้ำสูงสุดในอ่าง ปริมาณน้ำระบายออก และความเสี่ยงต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำ การเลือกแนวทางปรับปรุงจึงต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง Inflow–Storage–Water Level–Outflow ร่วมกัน ไม่สามารถพิจารณาความสามารถขององค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งแยกออกจากระบบได้ จากการวิเคราะห์ตามหลักวิชาการและกระบวนการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอ่างเก็บน้ำ ทำให้ได้ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการตัดสินใจ ได้แก่ ข้อมูลสภาพปัจจุบันของอ่างและความสัมพันธ์ Elevation–Storage ข้อมูลน้ำหลากจากการวิเคราะห์อุทกวิทยา และผล Hydraulic Analysis กับ Reservoir Flood Routing โดยกรณีรอบปีการเกิด 25 ปี ($T_r = 25$ ปี) มี Peak Inflow เท่ากับ 177.19 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาใช้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเก็บกัก ระดับน้ำสูงสุด ความสามารถของอาคารระบายน้ำ Peak Outflow และ Freeboard เพื่อกำหนดรูปแบบการปรับปรุงที่เหมาะสมกับข้อจำกัดของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

การตัดสินใจในการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำโดยทั่วไปมีหลายวัตถุประสงค์ที่ต้องพิจารณาพร้อมกัน เช่น การเก็บกักน้ำต้นทุน การควบคุมน้ำหลาก การควบคุมระดับน้ำในอ่าง และการจำกัดปริมาณการระบายลงสู่พื้นที่ด้านท้ายน้ำ การประเมินทางเลือกจึงต้องพิจารณาผลตอบแทนของระบบในหลายมิติและพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุประสงค์ที่อาจขัดแย้งกัน (Yu et al., 2023) แนวคิดระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านทรัพยากรน้ำก็ให้ความสำคัญกับการเชื่อมโยงข้อมูลทางกายภาพ อุทกวิทยา และการบริหารอ่างเพื่อเปรียบเทียบผลของแนวทางต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ (Ngamsert et al., 2023).

สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน ได้กำหนดแนวทางหลักเพื่อเปรียบเทียบจำนวน 2 ทางเลือก ได้แก่

ทางเลือกที่ 1 การขุดลอกร่วมกับสันทางระบายน้ำล้นแบบคงที่ (Dredging + Fixed Crest Spillway)

ทางเลือกที่ 2 การขุดลอกร่วมกับระบบบานระบาย (Dredging + Gated Spillway)

ทั้งนี้ในการพิจารณาทางเลือก มีการกำหนดให้เปรียบเทียบทางเลือกทั้งสอง ในด้านความยืดหยุ่นในการบริหารน้ำ ปริมาณเก็บกัก ความปลอดภัย ผลกระทบจากอุทกภัยด้านท้ายน้ำ และค่าก่อสร้าง การพิจารณาดังกล่าวจึงเป็นการประเมินทางเลือกเชิงวิศวกรรมจากหลายเกณฑ์ร่วมกัน เพื่อหาทางเลือกที่ให้สมรรถนะโดยรวมเหมาะสมกับวัตถุประสงค์และข้อจำกัดของโครงการ สามารถจัดเกณฑ์การพิจารณาออกเป็น 5 ด้านสำคัญ ดังนี้

1) ความยืดหยุ่นในการบริหารอ่างและควบคุมระดับน้ำ

การวิเคราะห์ในด้านนี้พิจารณาว่า ระบบระบายน้ำสามารถควบคุมช่วงเวลาและปริมาณการระบายให้สัมพันธ์กับระดับน้ำในอ่างและสถานการณ์น้ำได้มากน้อยเพียงใด

ระบบ Fixed Crest Spillway เป็นระบบที่การระบายน้ำผ่านทางระบายน้ำล้นเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำสูงกว่าระดับสันทางระบายน้ำล้น การควบคุมปริมาณน้ำที่ระบายผ่าน Spillway จึงขึ้นอยู่กับระดับน้ำ

เหนือสันและคุณลักษณะทางชลศาสตร์ของอาคารเป็นหลัก ทำให้มีข้อจำกัดในการพร่องน้ำผ่าน Spillway ล่วงหน้าก่อนที่ระดับน้ำจะสูงถึงสันทางระบายน้ำสัน ทางเลือกนี้มีความยืดหยุ่นในการบริหารน้ำต่ำกว่า

ระบบ Gated Spillway เพิ่มความสามารถในการควบคุมการระบายน้ำ เนื่องจากสามารถ กำหนดการเปิด-ปิดบานและปรับปริมาณการระบายให้สัมพันธ์กับระดับน้ำในอ่าง ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะไหล เข้า และสภาวะด้านท้ายน้ำได้ ทางเลือกนี้สามารถใช้พร่องน้ำล่วงหน้าก่อนช่วงมรสุมหรือเหตุการณ์พายุได้ และเพิ่มความยืดหยุ่นในการบริหารระดับน้ำของอ่าง

ในทางวิศวกรรม ประสิทธิภาพของระบบระบายขึ้นอยู่กับระดับน้ำหน้าอ่าง ระดับการ เปิดบาน และลำดับการเปิด-ปิดบาน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อ Discharge Capacity และ Outflow Hydrograph การกำหนดการเดินระบบระบายจึงเป็นส่วนสำคัญของ Reservoir Flood Operation (Su et al., 2022) การพร่องน้ำล่วงหน้า (Pre-release) ยังสามารถเพิ่มปริมาตรว่างในอ่างสำหรับรองรับน้ำหลากหรือ Flood Control Storage แต่ปริมาณและช่วงเวลาของการพร่องน้ำต้องสัมพันธ์กับข้อมูลพยากรณ์และความไม่ แน่นนอนของ Inflow เนื่องจากการพร่องน้ำมากเกินไปอาจทำให้สูญเสียน้ำต้นทุนที่จำเป็นสำหรับการใช้งาน ภายหลังเหตุการณ์ (Wei et al., 2022)

สำหรับห้วยน้ำแวน ประเด็นนี้มีความสำคัญเป็นพิเศษ เนื่องจากการบริหารอ่างต้องรองรับทั้ง สภาวะน้ำต้นทุนที่มีข้อจำกัดในช่วงปกติ และเหตุการณ์น้ำหลากที่อาจเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ระบบระบายน้ำ จึงต้องสามารถรักษาน้ำต้นทุนไว้ใช้ประโยชน์ พร้อมกับมีความยืดหยุ่นในการจัดเตรียมพื้นที่ว่างในอ่างเมื่อมี ความเสี่ยงจากน้ำหลาก

2) การฟื้นฟูและเพิ่มประสิทธิภาพปริมาตรเก็บกัก

การวิเคราะห์ด้านปริมาตรเก็บกักพิจารณาว่า แต่ละทางเลือกสามารถฟื้นฟูความจุที่สูญเสีย จากตะกอนและเพิ่มปริมาตรน้ำที่สามารถใช้ประโยชน์ได้มากเพียงใด โดยไม่ก่อให้เกิดข้อจำกัดด้านระดับน้ำ และความปลอดภัยของระบบ การสะสมของตะกอนทำให้ Reservoir Storage ลดลงอย่างต่อเนื่องและส่งผล ต่อความสามารถของอ่างในการทำหน้าที่เก็บกักและควบคุมการไหล การรักษาหรือฟื้นฟู Storage Capacity ของอ่างเดิมจึงเป็นประเด็นสำคัญต่อความยั่งยืนของโครงสร้างพื้นฐานด้านน้ำ (Randle et al., 2021) ในการเปรียบเทียบของห้วยน้ำแวน ทั้งสองทางเลือกใช้การขุดลอกตะกอนประมาณ 208,200 ลูกบาศก์เมตร เป็นองค์ประกอบร่วม สำหรับทางเลือก Fixed Crest Spillway การเพิ่มปริมาตรเก็บกักเกิดจากการฟื้นคืน พื้นที่เก็บกักที่สูญเสียจากตะกอนเป็นหลัก ส่วนทางเลือก Gated Spillway ใช้การขุดลอกร่วมกับการปรับ ระดับสันทางระบายน้ำสันเป็น +419.80 เมตร (รทก.) ทำให้สามารถเพิ่มความจุรวมของอ่างได้ประมาณ 2.80 ล้านลูกบาศก์เมตร

เมื่อเปรียบเทียบกับความจุเดิมประมาณ 2.30 ล้านลูกบาศก์เมตร ระบบที่ปรับปรุงสามารถเพิ่มความจุ รวมเป็น 2.80 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 500,000 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 21.7 การเพิ่ม Storage ในกรณีนี้จึงเป็นผลจากการทำงานร่วมกันของ Sediment Removal และการปรับระบบควบคุม ระดับน้ำ ไม่ใช่ผลจากการขุดลอกเพียงอย่างเดียว และต้องตรวจสอบร่วมกับระดับน้ำสูงสุดและความสามารถในการ ระบายน้ำของระบบก่อนกำหนดระดับเก็บกักใหม่

3) การควบคุมระดับน้ำสูงสุดและระยะเผื่อด้านชลศาสตร์

การวิเคราะห์ด้านนี้พิจารณาว่า ภายใต้เหตุการณ์น้ำหลากที่กำหนด แต่ละระบบทำให้ระดับ น้ำสูงสุดใอ่างเพิ่มขึ้นถึงระดับใด และยังมีระยะต่างระดับระหว่าง Maximum Water Level กับระดับสัน เขื่อนเพียงใด ผล Flood Routing แสดงว่า ระบบเดิมภายใต้เหตุการณ์ $T_r = 25$ ปี มี Maximum Water Level เท่ากับ +420.38 เมตร (รทก.) เมื่อระดับสันเขื่อนอยู่ที่ +421.30 เมตร (รทก.) จึงมี Freeboard

จากผล Flood Routing เท่ากับ 0.92 เมตร หลังการปรับปรุง Maximum Water Level ลดลงเป็น +420.25 เมตร (รทก.) และ Freeboard เพิ่มขึ้น 1.05 เมตร ส่งผลให้ระยะต่างระดับระหว่างระดับน้ำสูงสุดกับสันเขื่อนเพิ่มขึ้น 0.13 เมตร ภายใต้เหตุการณ์และเงื่อนไขการวิเคราะห์เดียวกัน

ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาตรเก็บกักจาก 2.30 เป็น 2.80 ล้านลูกบาศก์เมตร สามารถดำเนินการร่วมกับการควบคุม Maximum Water Level ได้ภายใต้เงื่อนไข Flood Routing ที่ใช้ในการศึกษา การตัดสินใจเพิ่มระดับเก็บกักจึงไม่ได้พิจารณาจาก Storage Capacity เพียงอย่างเดียว แต่ตรวจสอบผลต่อระดับน้ำสูงสุดและ Freeboard ของอ่างร่วมด้วย

4) การควบคุมอัตราการระบายและผลกระทบด้านท้ายน้ำ

การวิเคราะห์ด้านนี้พิจารณาว่า เมื่อเกิดน้ำหลาก ระบบสามารถหน่วงและควบคุมปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างได้อย่างไร และ Peak Outflow ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มหรือลดภาระต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำ การบริหารอ่างเพื่อควบคุมน้ำหลากไม่ได้มีเป้าหมายเพียงลดระดับน้ำภายในอ่าง แต่ต้องควบคุม Outflow ให้สัมพันธ์กับความสามารถในการรองรับของลำน้ำและพื้นที่ด้านท้ายน้ำด้วย งานศึกษาการบริหาร Spillway Gate แสดงให้เห็นว่าการกำหนด Gate Scheduling สามารถใช้ควบคุม Peak Outflow และลดภาระน้ำหลากต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำได้ โดยต้องพิจารณาระดับน้ำในอ่างและเงื่อนไขการเปิดบานร่วมกัน (Su et al., 2022).

สำหรับอ่างน้ำห้วยน้ำแวน ผล Flood Routing ของสภาพเดิมให้ Peak Outflow เท่ากับ 170.65 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ขณะที่ระบบหลังการปรับปรุงให้ Peak Outflow เท่ากับ 134.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ลดลง 36.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือประมาณร้อยละ 21.2 การลด Peak Outflow จึงเป็นตัวแปรสำคัญอีกประการหนึ่งในการตัดสินใจ เพราะแสดงถึงความสามารถของระบบในการเก็บกักน้ำบางส่วนไว้ในอ่างและควบคุมการระบายออกตามช่วงเวลา แทนการปล่อยมวลน้ำสูงสุดลงสู่พื้นที่ด้านท้ายน้ำในช่วงเวลาสั้น

5) ต้นทุนและความคุ้มค่าในระยะยาวของการปรับปรุงโครงสร้างเดิม

การวิเคราะห์ด้านต้นทุนพิจารณา ค่าลงทุนควบคู่กับสมรรถนะที่ได้รับจากการปรับปรุง ทั้งด้านการเพิ่มน้ำต้นทุน ความสามารถในการบริหารระดับน้ำ การควบคุมน้ำหลาก และการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างเดิมในระยะยาว ทางเลือก Fixed Crest Spillway มีค่าก่อสร้างต่ำกว่า ขณะที่ทางเลือก Gated Spillway มีต้นทุนสูงกว่า แต่สามารถเพิ่มความยืดหยุ่นในการบริหารน้ำ เพิ่มปริมาตรเก็บกัก และควบคุมระดับน้ำกับ Peak Outflow ได้มากกว่า โครงการที่ดำเนินการจริงแบ่งงานก่อสร้างเป็น 2 สัญญา วงเงินรวม 32.94 ล้านบาท การพิจารณาความเหมาะสมจึงเป็นการเปรียบเทียบ ต้นทุนกับสมรรถนะและประโยชน์ที่ระบบได้รับตลอดช่วงการใช้งาน มากกว่าการเลือกทางเลือกจากราคาก่อสร้างเริ่มต้นเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะในกรณีอ่างเก็บน้ำเดิมที่สามารถปรับปรุง Storage และ Hydraulic Control โดยใช้โครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่เดิม ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงข้อจำกัดและผลกระทบที่อาจเกิดจากการพัฒนาอ่างเก็บน้ำแห่งใหม่ แนวคิดการรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพ Storage ของอ่างเดิมได้รับความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากแหล่งเก็บกักเดิมเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีคุณค่าและทดแทนได้ยาก (Randle et al., 2021)

การเปรียบเทียบทางเลือกทางวิศวกรรมจากผลการวิเคราะห์ข้างต้น สามารถสรุปการเปรียบเทียบทางเลือกได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบทางเลือกทางวิศวกรรมสำหรับการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

เกณฑ์พิจารณา	ทางเลือกที่ 1 ขุดลอก + Fixed Crest Spillway	ทางเลือกที่ 2 ขุดลอก + Gated Spillway
การบริหารและควบคุมระดับน้ำ	การระบายผ่าน Spillway ขึ้นอยู่กับระดับน้ำเหนือสัน มีข้อจำกัดในการพร่องน้ำผ่าน Spillway ล่วงหน้า	สามารถกำหนดการเปิด-ปิดบานและพร่องน้ำให้สัมพันธ์กับระดับน้ำและสถานการณ์น้ำ
การฟื้นฟูและเพิ่ม Storage	เพิ่ม Storage จากการขุดลอกประมาณ 208,200 ลบ.ม. เป็นหลัก	ขุดลอกร่วมกับปรับระดับสันทางระบายน้ำล้น ทำให้ความจุรวมเพิ่มเป็นประมาณ 2.80 ล้าน ลบ.ม.
Maximum Water Level / Freeboard	ระบบ Fixed Crest มีข้อจำกัดในการควบคุมระดับน้ำด้วยการเดินระบบ	ระบบหลังปรับปรุงให้ MWL +420.25 ม.รทก. และ Freeboard 1.05 ม. ภายใต้ Tr = 25 ปี
Peak Outflow และผลด้านท้ายน้ำ	ค่าอ้างอิงของระบบเดิม 170.65 ลบ.ม./วินาที	134.55 ลบ.ม./วินาที ลดลงประมาณ 21.2% จากค่าฐาน
ความยืดหยุ่นในการบริหารน้ำหลาก	จำกัด เนื่องจากไม่มีบานควบคุม	สามารถใช้ Pre-release และกำหนดการระบายตามสถานการณ์
ต้นทุนและการใช้ประโยชน์ระยะยาว	ต้นทุนต่ำกว่า แต่มีข้อจำกัดด้าน Storage และการควบคุมการระบาย	ต้นทุนสูงกว่า แต่เพิ่ม Storage และความสามารถในการบริหารระบบอ่าง
ผลการพิจารณา	ไม่เลือก	เลือกใช้

ผลการพิจารณาเลือกทางเลือก

จากการเปรียบเทียบทางเลือกทางวิศวกรรม พบว่า ทางเลือกที่ 1 การขุดลอกร่วมกับสันทางระบายน้ำล้นแบบคงที่ (Dredging + Fixed Crest Spillway) สามารถฟื้นฟูปริมาตรเก็บกักที่สูญเสียไปจากการสะสมของตะกอน และมีรูปแบบอาคารระบายน้ำที่ไม่ซับซ้อน ทั้งนี้การระบายผ่าน Spillway ขึ้นอยู่กับระดับน้ำเหนือสันทางระบายน้ำล้นเป็นหลัก จึงมีข้อจำกัดในการกำหนดช่วงเวลาและปริมาณการพร่องน้ำล่วงหน้า รวมถึงความสามารถในการปรับการระบายให้สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง ในขณะที่ ทางเลือกที่ 2 การขุดลอกร่วมกับระบบบานระบาย (Dredging + Gated Spillway) สามารถควบคุมช่วงเวลาและปริมาณการระบายได้ยืดหยุ่นกว่า ทำให้สามารถบริหารปริมาตรน้ำเก็บกัก (Reservoir Storage) และปริมาตรว่างสำหรับรองรับน้ำหลาก (Flood Control Storage) ให้สัมพันธ์กับระดับน้ำในอ่างและสถานการณ์น้ำได้มากขึ้น การมีบานระบายยังเอื้อต่อการพร่องน้ำล่วงหน้า (Pre-release) เมื่อมีแนวโน้มเกิดเหตุการณ์น้ำหลาก โดยต้องดำเนินการภายใต้หลักเกณฑ์การเดินระบบที่เหมาะสมและคำนึงถึงการรักษาน้ำต้นทุนสำหรับการใช้งานภายหลังเหตุการณ์

ผลการวิเคราะห์ Reservoir Flood Routing ภายใต้เหตุการณ์น้ำหลากรอบปีการเกิด 25 ปี (Tr = 25 ปี) แสดงให้เห็นว่า ระบบหลังการปรับปรุงมี Peak Outflow ลดลงจาก 170.65 เป็น 134.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือลดลงประมาณ ร้อยละ 21.2 ขณะเดียวกัน Maximum Water Level ลดลงจาก +420.38 เป็น +420.25 เมตร (รทก.) และ Freeboard เพิ่มขึ้นจาก 0.92 เป็น 1.05 เมตร ภายใต้เงื่อนไขการวิเคราะห์เดียวกัน ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า การเพิ่มความจุเก็บกักสามารถดำเนินการควบคู่กับการควบคุม

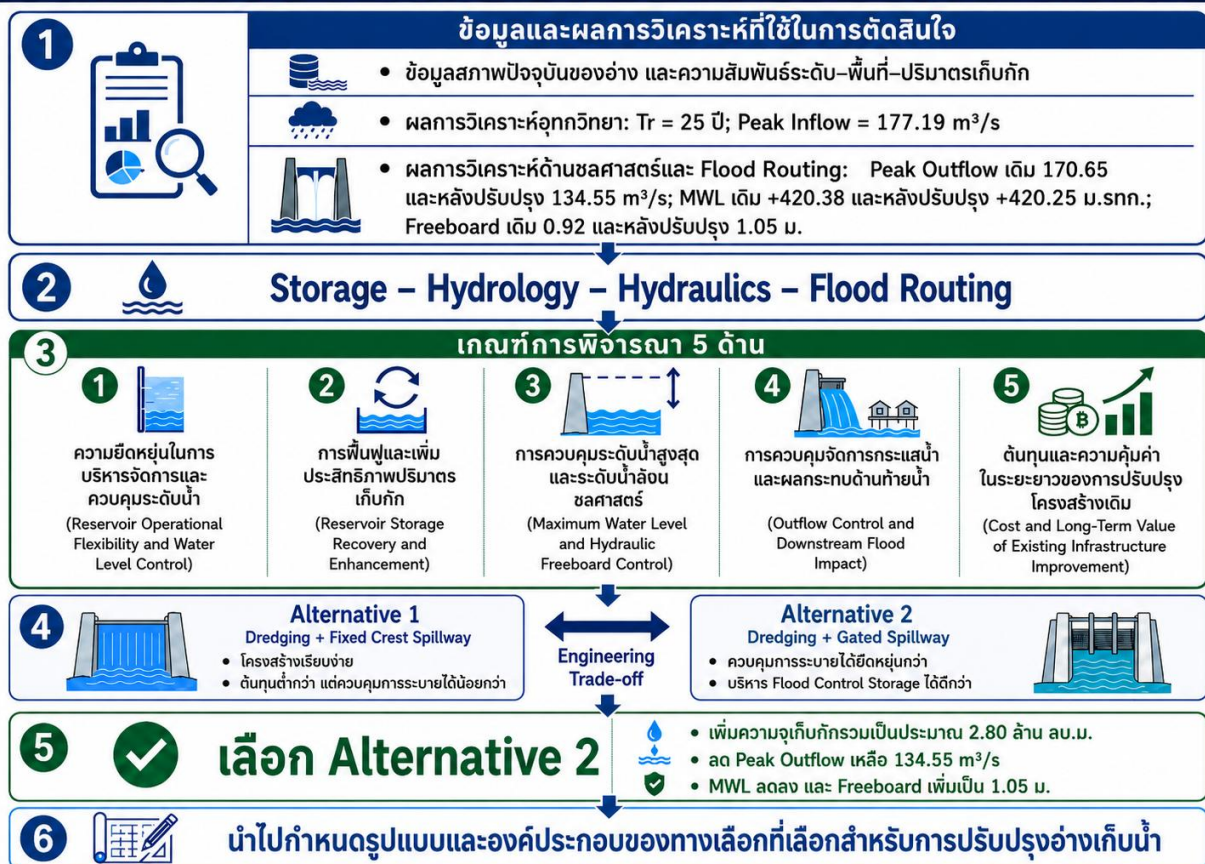
ระดับน้ำสูงสุดและการลด Peak Outflow ได้ เมื่อพิจารณา Storage และสมรรถนะของระบบระบายน้ำร่วมกัน

เมื่อพิจารณาผลทางวิศวกรรมร่วมกับวัตถุประสงค์ของโครงการ จึงเลือก ทางเลือกที่ 2 การขุดลอกร่วมกับระบบบานระบาย (Dredging + Gated Spillway) แม้ว่าจะมีต้นทุนก่อสร้างสูงกว่า เนื่องจากสามารถตอบสนองต่อเป้าหมายของโครงการได้หลายด้านพร้อมกัน ได้แก่ การเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกัก การเพิ่มความยืดหยุ่นในการบริหารระดับน้ำ การจัดเตรียม Flood Control Storage ก่อนเหตุการณ์น้ำหลาก และการควบคุมปริมาณน้ำที่ระบายลงสู่พื้นที่ด้านท้ายน้ำ การตัดสินใจเลือกทางเลือกดังกล่าวพิจารณาทั้งประสิทธิภาพการบริหารน้ำ ความปลอดภัย ผลกระทบด้านท้ายน้ำ ประโยชน์ในระยะยาว และค่าก่อสร้างร่วมกัน โดยไม่ได้ใช้ต้นทุนก่อสร้างต่ำที่สุดเป็นเกณฑ์เพียงประการเดียว

ในเชิงวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ การตัดสินใจของกรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนจึงเป็นการพิจารณา ความสมดุลของระบบอ่างเก็บน้ำโดยรวม (Integrated Reservoir System Balance) ระหว่างการเก็บกักน้ำ (Water Storage) การบริหารอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operation) การควบคุมน้ำหลาก (Flood Control) ความปลอดภัยด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ (Hydrologic and Hydraulic Safety) และผลกระทบด้านท้ายน้ำ (Downstream Impact) โดยมีต้นทุนและสมรรถนะในระยะยาว (Cost and Long-Term Performance) เป็นเงื่อนไขประกอบการตัดสินใจ การพิจารณาในลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการบริหารอ่างเก็บน้ำแบบหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งต้องพิจารณาความสัมพันธ์และข้อแลกเปลี่ยนระหว่างการเก็บน้ำ การควบคุมน้ำหลาก และข้อจำกัดของระบบร่วมกัน มากกว่ามุ่งทำให้ตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งมีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดเพียงด้านเดียว (Yu et al., 2023)

ผลการตัดสินใจดังกล่าวจึงเป็นฐานสำหรับการกำหนด รูปแบบและองค์ประกอบทางวิศวกรรมของทางเลือกที่เลือก โดยนำผลการวิเคราะห์ด้าน Storage, Hydrology, Hydraulics และ Flood Routing มาพัฒนาเป็นรายละเอียดการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำ ทั้งงานขุดลอก การปรับปรุงอาคารระบายน้ำล้น การติดตั้ง Sluice Gate และองค์ประกอบของระบบอ่างเก็บน้ำที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

กรอบการตัดสินใจและการเปรียบเทียบทางเลือกทางวิศวกรรมของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน



ภาพที่ 15 กรอบการตัดสินใจและการเปรียบเทียบทางเลือกทางวิศวกรรมของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

3.2 ทางเลือกที่เลือกและองค์ประกอบของการปรับปรุง

จากผลการเปรียบเทียบทางเลือกทางวิศวกรรม โครงการเลือก ทางเลือกที่ 2 การขุดลอกร่วมกับระบบระบาย (Dredging + Gated Spillway) เนื่องจากสามารถตอบสนองวัตถุประสงค์ของการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำได้หลายด้านพร้อมกัน ทั้งการฟื้นฟูและเพิ่มปริมาณเก็บกัก การเพิ่มความยืดหยุ่นในการควบคุมระดับน้ำ การจัดเตรียมปริมาตรว่างสำหรับรองรับน้ำหลาก และการควบคุมปริมาณน้ำที่ระบายลงสู่พื้นที่ด้านท้ายน้ำ ลักษณะสำคัญของทางเลือกที่เลือกคือ ไม่ได้รื้อถอนและก่อสร้างระบบอ่างเก็บน้ำใหม่ทั้งหมด แต่ใช้ตัวเขื่อน พื้นที่อ่าง และองค์ประกอบของอาคารระบายน้ำเดิมที่ยังมีศักยภาพเป็นโครงสร้างพื้นฐานหลัก แล้วดำเนินการ ฟื้นฟู (Rehabilitation) ดัดแปลง (Retrofit) และเพิ่มสมรรถนะ (Performance Enhancement) เฉพาะส่วนที่จำเป็น แนวทางดังกล่าวทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของอ่างเดิมภายใต้ข้อจำกัดด้านพื้นที่ งบประมาณ และโครงสร้างที่มีอยู่ โดยไม่ต้องก่อสร้างเขื่อนใหม่หรือขยายพื้นที่ตัวเขื่อน (กรมทรัพยากรน้ำ, ม.ป.ป.) แนวคิดนี้สอดคล้องกับหลักการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำสมัยใหม่ที่สำคัญกับการรักษาและฟื้นฟู Storage Capacity ของอ่างเดิม เนื่องจากอ่างเก็บน้ำที่มีอยู่เป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีคุณค่า และการรักษาสสมรรถนะของแหล่งเก็บกักเดิมอาจมีความเหมาะสมกว่าการพัฒนา Storage ใหม่ในหลายพื้นที่ (Randle et al., 2021)

การกำหนดรูปแบบการปรับปรุงจึงไม่ใช่การออกแบบอาคารใดอาคารหนึ่งแยกจากระบบ แต่เชื่อมโยง Reservoir Storage–Spillway–Gate–Outlet Works–Embankment–Erosion Protection เข้าด้วยกัน

โดยใช้ผลการสำรวจสภาพปัจจุบัน ความสัมพันธ์ Elevation–Area–Storage ผลการวิเคราะห์อุทกวิทยา Hydraulic Analysis และ Reservoir Flood Routing เป็นข้อมูลกำหนดรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบ องค์ประกอบหลักของทางเลือกที่เลือกสามารถแบ่งได้เป็น 5 ส่วน ดังนี้

3.2.1 การใช้ประโยชน์และเพิ่มสมรรถนะโครงสร้างเดิม

หลักการสำคัญของการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนคือ การใช้ศักยภาพของโครงสร้างเดิมให้เกิดประโยชน์สูงสุดก่อนพิจารณาการก่อสร้างโครงสร้างใหม่ โดยยังคงใช้ตัวเขื่อนดิน พื้นที่อ่าง และส่วนสำคัญของอาคารระบายน้ำล้นเดิม แล้วดัดแปลงเฉพาะส่วนที่เป็นข้อจำกัดต่อการเพิ่มความจุและการบริหารระดับน้ำ อาคารระบายน้ำล้นเดิมเป็นแบบ Double Side Channel Spillway มีระดับสันทางระบายน้ำล้น +418.80 เมตร (รทก.) และไม่มีบานควบคุม รูปแบบหลังปรับปรุงไม่ได้รื้อถอน Spillway เดิมทั้งหมดเพื่อสร้างอาคารใหม่ แต่ใช้วิธี ตัดปรับบางส่วนของอาคารเดิมที่ระดับ +416.30 เมตร (รทก.) เพื่อสร้างช่องสำหรับติดตั้งระบบบานระบาย ขณะที่ส่วนของสันทางระบายน้ำล้นเดิมที่ยังสามารถใช้งานได้ถูกคงไว้และปรับระดับให้เหมาะสมกับเงื่อนไขการเก็บกักใหม่ (กรมทรัพยากรน้ำ, ม.ป.ป.) การดัดแปลงโครงสร้างเดิมในลักษณะดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนหน้าที่ของ Spillway จากระบบที่การระบายผ่านทางน้ำล้นขึ้นอยู่กักระดับน้ำเหนือสันเป็นหลัก ไปสู่ระบบที่สามารถควบคุมช่วงเวลาและปริมาณการระบายได้มากขึ้น โดยยังคงใช้โครงสร้างเดิมเป็นองค์ประกอบหลักของระบบ หลักการนี้สอดคล้องกับแนวทางของ U.S. Bureau of Reclamation ซึ่งกำหนดให้การปรับปรุง Outlet Works ของเขื่อนเดิมสามารถพิจารณาการ Modification of Existing Outlet Works ได้ โดยต้องประเมินสภาพโครงสร้างเดิม ลักษณะทางชลศาสตร์ ข้อจำกัดด้านโครงสร้าง และความเหมาะสมของการดัดแปลงก่อนกำหนดรูปแบบใหม่ (U.S. Bureau of Reclamation [USBR], 2022b)

ผลสำคัญของแนวทางดังกล่าวคือ โครงการสามารถเพิ่มความจุเก็บกักจากประมาณ 2.30 เป็น 2.80 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือเพิ่มขึ้น 500,000 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 21.7 โดยไม่ต้องก่อสร้างเขื่อนใหม่หรือขยายพื้นที่ตัวเขื่อน รายงานโครงการระบุว่า การใช้โครงสร้างเดิมในลักษณะนี้ช่วยประหยัดงบประมาณและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาโครงสร้างใหม่ โครงการที่ดำเนินการจริงมีวงเงินก่อสร้างรวม 32.94 ล้านบาท แบ่งเป็น 2 สัญญา ได้แก่ 23.60 ล้านบาท และ 9.34 ล้านบาท การใช้โครงสร้างเดิมช่วยลดความจำเป็นในการลงทุนก่อสร้างใหม่และช่วยประหยัดทรัพยากรของรัฐ



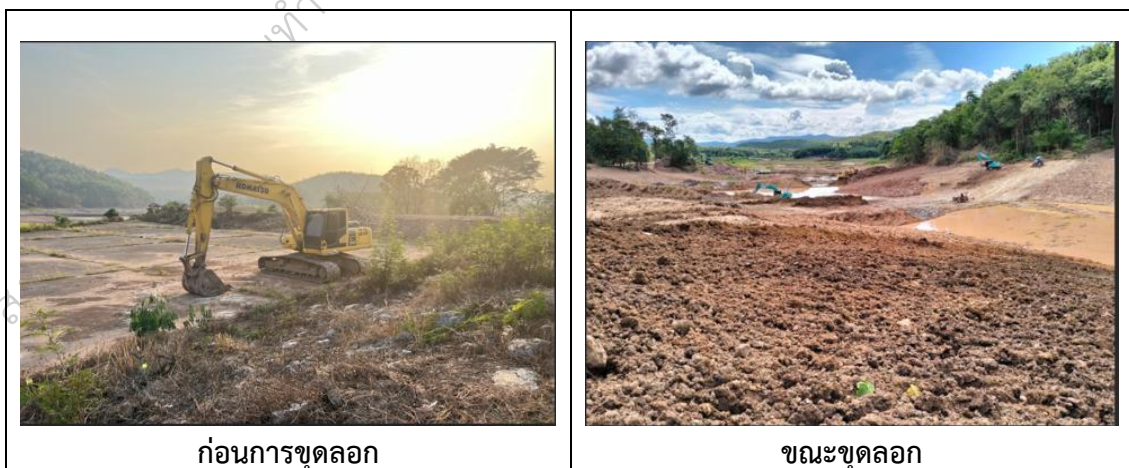
ภาพที่ 16 สภาพอาคารระบายน้ำล้นเดิมของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนก่อนการปรับปรุง

3.2.2 การฟื้นฟูและเพิ่มประสิทธิภาพปริมาตรเก็บกัก

องค์ประกอบแรกด้าน Reservoir Storage คือ การขุดลอกตะกอน (Dredging) เพื่อฟื้นฟู ปริมาตรเก็บกักที่สูญเสียจากการสะสมของตะกอนภายในอ่างตลอดระยะเวลาการใช้งาน การสะสมของ ตะกอนทำให้ Storage Capacity ลดลงและส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเก็บรักษาและบริหารน้ำ การฟื้นฟูความจุของอ่างเดิมจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญของการจัดการ Reservoir Sedimentation ในระยะยาว (Randle et al., 2021)

สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน โครงการกำหนดขุดลอกตะกอนประมาณ 208,200 ลูกบาศก์ เมตร ที่ระดับ +410.00 และ +411.00 เมตร (รทก.) เพื่อฟื้นฟูพื้นที่เก็บกักและลดปริมาณตะกอนสะสมภายใน อ่าง ทั้งนี้ปริมาตรเก็บกักที่เพิ่มขึ้นรวมประมาณ 500,000 ลูกบาศก์เมตร ไม่ได้เกิดจากปริมาตรขุดลอก 208,200 ลูกบาศก์เมตรเพียงอย่างเดียว แต่เป็นผลจากการขุดลอกตะกอนร่วมกับการเพิ่มระดับสันทางระบาย น้ำล้นและการปรับระบบควบคุมระดับน้ำ ทำให้อ่างสามารถใช้ประโยชน์จาก Storage ในช่วงระดับที่สูงขึ้นได้ การกำหนด Storage หลังการปรับปรุงจึงต้องอาศัยความสัมพันธ์ Elevation–Area–Storage ที่ปรับปรุงจาก สภาพจริง และตรวจสอบร่วมกับ Maximum Water Level, Freeboard, สมรรถนะของ Spillway และแนวเขตที่ดินรอบอ่าง ไม่ใช่กำหนดจากเป้าหมายปริมาตรเก็บกักเพียงด้านเดียว ผลการวิเคราะห์กำหนด ระดับสันทางระบายน้ำล้นที่ +419.80 เมตร (รทก.) ทำให้ความจุรวมเพิ่มเป็นประมาณ 2.80 ล้านลูกบาศก์ เมตร ขณะที่ระดับน้ำสูงสุดยังคงต่ำกว่าระดับสันเขื่อน +421.30 เมตร (รทก.) และไม่กระทบแนวเขตที่ดิน ข้างเคียงตามเงื่อนไขที่ใช้ในการศึกษา (กรมทรัพยากรน้ำ, ม.ป.ป.)

ในเชิงวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ การเพิ่มความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนเป็นผลจากการ ปรับปรุงระบบอ่างเก็บน้ำแบบบูรณาการ โดยประกอบด้วยการขุดลอกตะกอนเพื่อฟื้นฟู Storage ที่สูญเสียไป การปรับปรุง Elevation–Storage Relationship ให้สะท้อนสภาพอ่างปัจจุบัน การปรับระดับ Spillway Crest เพื่อเพิ่มศักยภาพการเก็บกัก และการติดตั้ง Controlled Outlet System เพื่อควบคุม Water Level และ Outflow ให้เหมาะสมกับสถานการณ์น้ำ การทำงานร่วมกันขององค์ประกอบเหล่านี้ทำให้อ่างเดิม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำได้ โดยไม่ต้องขยายตัวเขื่อนหรือก่อสร้างอ่างเก็บน้ำใหม่



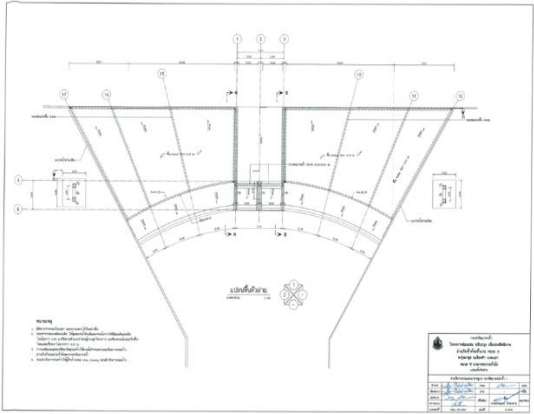
ภาพที่ 17 การขุดลอกตะกอนเพื่อฟื้นฟูปริมาตรเก็บกักของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

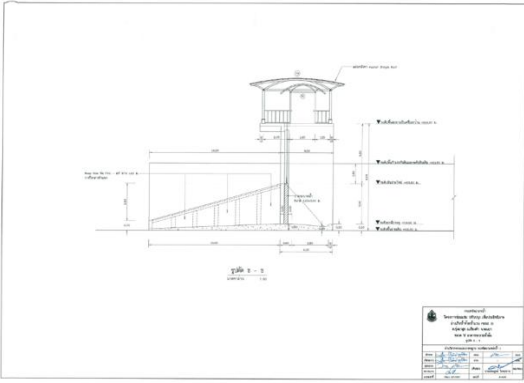
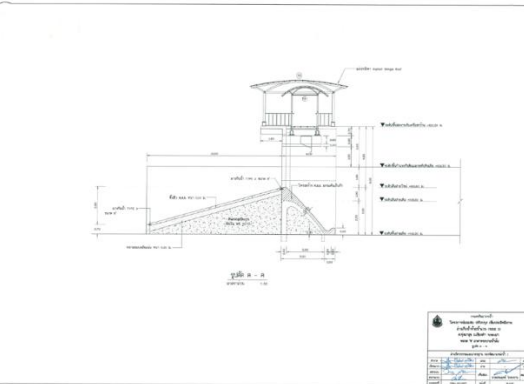
3.2.3 การดัดแปลงอาคารระบายน้ำล้นเดิมเป็นระบบบานระบาย

องค์ประกอบสำคัญของทางเลือกที่เลือกคือการดัดแปลงอาคารระบายน้ำล้นเดิมให้สามารถควบคุมการระบายน้ำได้ โดยโครงการกำหนดให้ดัดปรับโครงสร้าง Spillway เดิมที่ระดับ +416.30 เมตร (รทก.) และติดตั้งประตูระบายน้ำแบบบานตรง (Sluice Gate) ขนาด 3.00×3.00 เมตร จำนวน 2 ช่อง พร้อมเครื่องกว้านยกบานและสะพานเหล็กทางเดินสำหรับการเข้าถึง การตรวจสอบ และการบริหารจัดการน้ำ ส่วนเส้นทางระบายน้ำล้นเดิมที่เหลือมีความยาว 32.00 เมตร และได้รับการเสริมให้มีระดับเส้นทางระบายน้ำล้น +419.80 เมตร (รทก.) จากระดับเดิม +418.80 เมตร (รทก.) หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 1.00 เมตร (กรมทรัพยากรน้ำ, ม.ป.ป.) ในเชิงกลศาสตร์ ระบบหลังปรับปรุงจึงประกอบด้วยองค์ประกอบควบคุมน้ำสองส่วนที่ทำงานร่วมกัน ได้แก่

- 1) เส้นทางระบายน้ำล้น (Spillway Crest) ซึ่งสัมพันธ์กับระดับเก็บกักและการระบายน้ำเมื่อระดับน้ำสูงถึงระดับที่กำหนด
- 2) Sluice Gate ซึ่งสามารถใช้กำหนดช่วงเวลาและปริมาณการระบายก่อนที่น้ำจะสูงถึงระดับเส้นทางระบายน้ำล้น

การวิเคราะห์ทางกลศาสตร์ของโครงการตรวจสอบการไหลผ่าน Sluice Gate ทั้งกรณี Free Flow และ Submerged Flow สำหรับบานขนาด 3.00×3.00 เมตร จำนวน 2 ช่อง ที่ระดับธรณี +416.30 เมตร (รทก.) การติดตั้ง Gate ทำให้การบริหาร Reservoir Outflow สามารถปรับให้สัมพันธ์กับระดับน้ำหน้าอ่างและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าได้มากขึ้น งานศึกษาด้าน Reservoir Flood Control แสดงให้เห็นว่าระดับน้ำหน้าอ่างและระดับการเปิดบานมีผลโดยตรงต่อ Discharge Capacity และรูปแบบการระบายน้ำของระบบ (Su et al., 2022) สำหรับห้วยน้ำแวน ผลจากการปรับระบบไม่ได้อยู่ที่การทำให้อาคารระบายน้ำได้มากที่สุด แต่เป็นการเพิ่ม ความสามารถในการควบคุม Water Level และ Outflow ตามสถานการณ์ ทำให้สามารถรักษาน้ำต้นทุนในช่วงปกติ และเตรียม Flood Control Storage ก่อนเหตุการณ์น้ำหลากเมื่อมีความจำเป็น

แบบแปลนการก่อสร้าง	ภาพการดำเนินการจริง
 แปลนพื้นที่ทางระบายน้ำล้น	 ตัดทางระบายน้ำล้นเดิมลง และเสริมเส้นทางระบายน้ำล้น

แบบแปลนการก่อสร้าง	ภาพการดำเนินการจริง
 รูปตัด ข-ข	 งานก่อสร้างประตูระบายน้ำ
 รูปตัด ค-ค	 ประตูระบายน้ำ

ภาพที่ 18 การดัดแปลงอาคารระบายน้ำล้นเดิมและติดตั้งระบบบานระบาย
ของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

3.2.4 การปรับปรุงอาคารประกอบและเส้นทางการระบายน้ำ

การเพิ่มสมรรถนะของ Spillway และ Gate ต้องดำเนินการควบคู่กับการตรวจสอบและฟื้นฟูองค์ประกอบของเส้นทางการระบายน้ำ เนื่องจากน้ำที่ระบายออกจากอ่างจะต้องผ่านอาคารและองค์ประกอบด้านท้ายน้ำอย่างต่อเนื่อง หากส่วนประกอบใดเสื่อมสภาพหรือไม่สามารถรองรับสภาพการไหลที่เกิดขึ้นได้ ก็อาจกลายเป็นข้อจำกัดของระบบหลังปรับปรุง โครงการจึงกำหนดให้ปรับปรุงอาคารบังคับน้ำหรือ River Outlet เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในระยะยาว รวมถึงซ่อมแซม รางเท (Chute), Chute Block และ End Sill ให้กลับมาอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน (กรมทรัพยากรน้ำ, ม.ป.ป.)

บทบาทขององค์ประกอบเหล่านี้แตกต่างกันแต่เชื่อมโยงกันในระบบชลศาสตร์ กล่าวคือ Spillway และ Gate ทำหน้าที่กำหนดและควบคุม Outflow ส่วน Chute ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากระดับสูงลงสู่ด้านท้ายน้ำ ขณะที่ Chute Block และ End Sill เป็นองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสภาพการไหลและการลดพลังงานบริเวณปลายทางระบาย ดังนั้น การปรับปรุง Gated Spillway จึงต้องประเมิน เส้นทางการระบายน้ำทั้งหมด (Complete Flow Conveyance Path) ไม่ใช่เฉพาะตัว Gate เพื่อป้องกันไม่ให้โครงสร้างเดิมส่วนอื่นกลายเป็นข้อจำกัดของระบบใหม่ แนวทางของ USBR สำหรับ Outlet Works ของเขื่อนเดิมให้ความสำคัญกับ

การประเมินระบบเดิมและองค์ประกอบด้านท้ายน้ำร่วมกันก่อนเลือกขนาดและรูปแบบของการดัดแปลง (USBR, 2022b)

อีกประเด็นหนึ่งที่สำคัญคือ โครงการเลือก ซ่อมและฟื้นฟูองค์ประกอบเดิมที่ยังสามารถใช้งานได้ แทนการรื้อและก่อสร้างใหม่ทั้งหมด ซึ่งช่วยลดปริมาณงานก่อสร้าง ลดการใช้วัสดุใหม่ และลดความจำเป็นในการลงทุนเกินกว่าส่วนที่จำเป็นต่อสมรรถนะและความปลอดภัยของระบบ

3.2.5 การปรับปรุงตัวเขื่อน ระบบป้องกันการกัดเซาะ และการใช้วัสดุจากโครงการ

อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนเป็นเขื่อนดินถมชนิดเนื้อเดียว (Homogeneous Earthfill Dam) ที่ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานาน การเพิ่มระดับเก็บกักและการเปลี่ยนเงื่อนไขการบริหารน้ำจึงต้องดำเนินการควบคู่กับการปรับปรุงสภาพตัวเขื่อนและพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง งานส่วนนี้ประกอบด้วย การเสริมและבודัดดินบริเวณสันเขื่อน การבודัดหินคลุกบนสันเขื่อน การติดตั้งหลักบ่อแกวคอนกรีตเสริมเหล็ก การกำจัดวัชพืช และต้นไม้บริเวณลาดเขื่อน ตลอดจนการปรับและเสริมดินบริเวณลาดเขื่อนที่ได้รับการกัดเซาะ (กรมทรัพยากรน้ำ, ม.ป.ป.)

การเสริมสันเขื่อน ในบริบทนี้หมายถึงการปรับปรุงและเสริมสภาพสันเขื่อนตามแบบก่อสร้าง ไม่ได้หมายถึงการเปลี่ยนระดับสันเขื่อนออกแบบจาก +421.30 เมตร (รทก.) เป็นระดับใหม่ เนื่องจากการวิเคราะห์ Flood Routing ก่อนและหลังการปรับปรุงยังใช้ระดับสันเขื่อน +421.30 เมตร (รทก.) เป็นระดับควบคุมเดียวกัน โครงการยังดำเนินงาน ปูแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) และปรับหินทับ ในบริเวณที่กำหนดเพื่อป้องกันการกัดเซาะและรักษาสภาพลาดเขื่อน การดำเนินงานดังกล่าวมีความสำคัญต่อการป้องกันการสูญเสียหน้าดินและลดการเสื่อมสภาพของบริเวณเขื่อนที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำ นอกจากนี้ โครงการนำดินที่ได้จากการขุดลอกกลับมาใช้ภายในพื้นที่โครงการ โดยใช้ถมและปรับพื้นที่ด้านหลังเขื่อนเป็นลานจอดรถและลานกิจกรรมของชุมชน แทนการขนย้ายไปทิ้งภายนอกพื้นที่ วิธีดังกล่าวช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนย้าย ลดจำนวนเที่ยวรถบรรทุก ลดปัญหาฝุ่น การจราจร และความเสียหายต่อถนนชุมชน พร้อมทั้งเพิ่มพื้นที่สาธารณประโยชน์ให้แก่ประชาชน (กรมทรัพยากรน้ำ, ม.ป.ป.)

องค์ประกอบนี้จึงสะท้อนแนวคิด Beneficial Use of Dredged Material ซึ่งเชื่อมโยงการบริหารวัสดุก่อสร้างเข้ากับการใช้ทรัพยากรของโครงการอย่างคุ้มค่า และเป็นอีกส่วนหนึ่งที่ช่วยลดต้นทุนทางอ้อมและผลกระทบจากการก่อสร้าง



กำลังปรับปรุงท่อระบายน้ำลงลำน้ำเดิม
(River Outlet)



กำลังถมดินปรับพื้นที่ลานอเนกประสงค์



ภาพที่ 19 การปรับปรุงอาคารประกอบ ตัวเขื่อน ระบบป้องกันการกัดเซาะ และการใช้ประโยชน์วัสดุขุดลอก

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางวิศวกรรมของทางเลือกที่เลือกและบทบาทต่อระบบอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

องค์ประกอบ	รายละเอียดโครงการ	บทบาททางวิศวกรรม
Existing Infrastructure	คงใช้ตัวเขื่อน พื้นที่อ่าง และส่วนของ Spillway เดิมที่ยังมีศักยภาพ	ลดความจำเป็นในการสร้างใหม่ ใช้ทรัพย์สินเดิมของรัฐให้เกิดประโยชน์สูงสุด
Dredging	ขุดลอกประมาณ 208,200 ลบ.ม. ที่ระดับ +410.00 และ +411.00 ม.รทก.	เพิ่มพื้นที่ Storage ที่สูญเสียจากตะกอน
Existing Spillway Retrofit	ตัดปรับ Spillway เดิมที่ +416.30 ม.รทก.	เตรียมช่องสำหรับติดตั้งระบบควบคุมการระบาย
Sluice Gate	ขนาด 3.00 x 3.00 ม. จำนวน 2 ช่อง พร้อมเครื่องกว้านและสะพานทางเดิน	เพิ่มความยืดหยุ่นในการควบคุม Water Level และ Outflow
Spillway Crest	สันเดิมส่วนที่เหลือยาว 32.00 ม. ปรับเป็น +419.80 ม.รทก.	เพิ่ม Storage และกำหนดระดับการระบายผ่าน Spillway
River Outlet	ปรับปรุงอาคารเดิม	เพิ่มพื้นที่รวมของระบบระบายน้ำ

องค์ประกอบ	รายละเอียดโครงการ	บทบาททางวิศวกรรม
Chute / Chute Block / End Sill	ซ่อมแซมองค์ประกอบเดิม	รองรับเส้นทางการไหลและการควบคุมพลังงานด้านท้ายน้ำ
Embankment	เสริมสันเขื่อน ปรับลาดเขื่อน กำจัดวัชพืชและต้นไม้	รักษาสภาพและความมั่นคงของตัวเขื่อน
Erosion Protection	Geotextile และหินป้องกันการกัดเซาะ	ป้องกันการกัดเซาะและความเสียหายของลาดเขื่อน
Dredged Material Reuse	นำดินขุดลอกมาปรับพื้นที่ด้านหลังเขื่อน	ลดค่าขนย้าย ลดผลกระทบ และเพิ่มพื้นที่สาธารณประโยชน์

สาระสำคัญของกรณีศึกษาห้วยน้ำแวนจึงไม่ได้อยู่ที่การสร้างโครงสร้างใหม่ แต่เป็นการเพิ่มสมรรถนะของโครงสร้างพื้นฐานเดิมโดยการผสมผสาน Rehabilitation, Retrofit และ Optimization เข้าด้วยกัน การขุดลอกช่วยฟื้นฟู Storage การตัดแปลง Spillway และติดตั้ง Gate เพิ่มความสามารถในการควบคุมระดับน้ำและการระบาย การซ่อม Outlet Works และ Chute ทำให้เส้นทางการระบายน้ำมีความพร้อม ขณะที่การปรับปรุงตัวเขื่อนและระบบป้องกันการกัดเซาะสนับสนุนความมั่นคงของโครงสร้างโดยรวม

ผลที่ได้คือสามารถเพิ่มความจุอ่างจาก 2.30 เป็น 2.80 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยไม่ต้องก่อสร้างเขื่อนใหม่หรือขยายพื้นที่ตัวเขื่อน พร้อมเพิ่มความสามารถในการบริหารน้ำและลด Peak Outflow ภายใต้เงื่อนไขการวิเคราะห์ของโครงการ แนวทางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมอย่างมีประสิทธิภาพควรเริ่มจากคำถามว่า “โครงสร้างที่มีอยู่สามารถฟื้นฟูหรือตัดแปลงเพื่อเพิ่มสมรรถนะได้เพียงใด” ก่อนพิจารณาการก่อสร้างโครงสร้างใหม่

ผลจากการกำหนดรูปแบบและองค์ประกอบทางวิศวกรรมดังกล่าวจะนำเข้าสู่การดำเนินการก่อสร้าง การควบคุมคุณภาพ และการบริหารความเสี่ยง ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดสำคัญของการก่อสร้างจริง ได้แก่ ลำดับการขุดลอก การตัดและเชื่อมต่อโครงสร้าง Spillway เดิมกับโครงสร้างใหม่ การก่อสร้าง Gate Structure การเสริมสันทางระบายน้ำล้น การควบคุมงานคอนกรีต การควบคุมการบดอัดดิน การติดตั้ง Sluice Gate ตลอดจนการบริหารน้ำและความเสี่ยงจากน้ำหลากระหว่างก่อสร้าง

องค์ประกอบในการปรับปรุง

อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา



แนวคิดหลัก : การใช้โครงสร้างเดิมให้เกิดประโยชน์สูงสุด

- ✓ ใช้ข้อเชื่อม พื้นที่ว่าง และอาคารเดิมที่ยังมีศักยภาพเป็นฐาน
- ✓ ปรับปรุงเฉพาะส่วนที่จำเป็น เพื่อสมรรถนะของระบบอ่างเก็บน้ำ
- ✓ ไม่ต้องก่อสร้างเขื่อนใหม่ทั้งระบบ
- ✓ ช่วยประหยัดงบประมาณและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม



ทางเลือกที่ 2 :

ขุดลอกร่วมกับระบบระบายน้ำ
Dredging + Gated Spillway

1 การใช้ประโยชน์และเพิ่มสมรรถนะโครงสร้างเดิม



- คงใช้โครงสร้างเดิมที่ยังใช้งานได้ (Spillway เดิมและตอเชื่อม)
- ดัดแปลงเฉพาะส่วนที่จำเป็น ไม่ต้องสร้างใหม่ทั้งระบบ
- ใช้โครงสร้างเดิมเป็นฐานในการเพิ่มประสิทธิภาพอ่างเก็บน้ำ

2 การฟื้นฟูและเพิ่มประสิทธิภาพปริมาตรเก็บกัก



- ขุดลอกตะกอนประมาณ 208,200 ลบ.ม. ที่ระดับ +410.00 และ +411.00 ม. (รท.)
- ฟื้นฟูพื้นที่เก็บกักที่สูญเสียจากตะกอน
- เมื่อรวมกับการปรับเส้นทางระบายน้ำ ทำให้ความจุเพิ่มขึ้น 500,000 ลบ.ม. (จาก 2.30 เป็น 2.80 ล้าน ลบ.ม. เพิ่มขึ้นร้อยละ 21.7)
- กำหนด MWL และ Freeboard โดยไม่กระทบแนวเขื่อนเดิม

3 การดัดแปลงอาคารระบายน้ำเดิมเป็นระบบบานระบาย



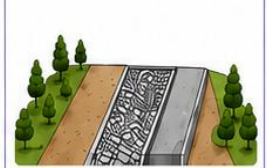
- ติดตั้ง Spillway เดิมที่ระดับ +416.30 ม.รท.
- ติดตั้ง Sluice Gate ขนาด 3.00 x 3.00 ม. จำนวน 2 ช่อง
- เสริม Spillway Crest ส่วนที่เหลือ ขนาด 32.00 ม.
- ปรับระดับสันเขื่อน +419.80 ม.รท.

4 การปรับปรุงอาคารประกอบและเส้นทางระบายน้ำ



- ปรับปรุง River Outlet
- ช่องแช่ Chute
- ช่อง Chute Block และ End Sill
- ฟื้นฟูความพร้อมของเส้นทางระบายน้ำ

5 การปรับปรุงคันเขื่อน ระบบป้องกัน การกัดเซาะ และการใช้วัสดุขุดลอก



- เสริมคันเขื่อนและปรับลาดเขื่อน
- ปู Geotextile และหินป้องกัน การกัดเซาะ
- กำจัดวัชพืชและต้นไม้บนลาดเขื่อน
- นำดินขุดลอกกลับมาใช้ประโยชน์ ด้านหลังเขื่อน/ลานกิจกรรม

กระบวนการดำเนินการปรับปรุง



สรุปสาระสำคัญ : โครงการเลือก “ทางเลือกที่ 2 : ขุดลอกร่วมกับระบบระบายน้ำ” โดยใช้การฟื้นฟู ดัดแปลง และเพิ่มสมรรถนะของโครงสร้างเดิม เพื่อเพิ่มความจุเก็บกัก และเพิ่มความสามารถในการควบคุมการระบายน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

ภาพที่ 20 สรุปองค์ประกอบในการปรับปรุง

3.3 การดำเนินการก่อสร้าง การควบคุมคุณภาพ และการบริหารความเสี่ยง

ภายหลังจากกำหนดทางเลือกและองค์ประกอบของการปรับปรุงแล้ว ขั้นตอนสำคัญถัดมาคือการถ่ายทอดผลการวิเคราะห์และแบบรายละเอียดทางวิศวกรรมไปสู่การก่อสร้างจริง โดยต้องควบคุมให้สภาพที่ก่อสร้างจริง (As-Built Condition) สอดคล้องกับแบบ รายการประกอบแบบ ข้อกำหนดทางเทคนิค และสมรรถนะของระบบที่กำหนดไว้จากการวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ โดยเฉพาะองค์ประกอบที่มีผลต่อปริมาตรเก็บกัก ระดับน้ำในอ่าง ความสามารถในการระบาย และความมั่นคงของตัวเขื่อน

สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน การดำเนินงานมีความซับซ้อนมากกว่างานก่อสร้างอาคารใหม่ทั่วไป เนื่องจากเป็นการดัดแปลงและฟื้นฟูโครงสร้างอ่างเก็บน้ำเดิมที่ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานาน ขณะเดียวกันองค์ประกอบหลายส่วนยังต้องทำหน้าที่ร่วมกันเป็นระบบ ทั้งตัวเขื่อนดิน อาคารระบายน้ำล้น อาคารบังคับน้ำ และเส้นทางระบายน้ำด้านท้ายน้ำ การก่อสร้างจึงต้องดำเนินการไปพร้อมกับการรักษาความมั่นคงของโครงสร้างเดิมและการควบคุมความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน (กรมทรัพยากรน้ำ, ม.ป.ป.)

งานสำคัญของโครงการครอบคลุมการขุดลอกตะกอนประมาณ 208,200 ลูกบาศก์เมตร การตัดปรับอาคารระบายน้ำล้นเดิม การติดตั้ง Sluice Gate ขนาด 3.00 × 3.00 เมตร จำนวน 2 ช่อง การเสริมสันทางระบายน้ำล้น การปรับปรุง River Outlet การซ่อมแซม Chute, Chute Block และ End Sill ตลอดจนการปรับปรุงตัวเขื่อนและระบบป้องกันการกัดเซาะ งานแต่ละส่วนจึงต้องควบคุมทั้ง ลำดับการก่อสร้าง คุณภาพวัสดุ ความถูกต้องของระดับและมิติ การเชื่อมต่อโครงสร้างเดิมกับโครงสร้างใหม่ และความพร้อมของระบบระบายน้ำในแต่ละช่วงก่อสร้าง เพื่อไม่ให้เกิดการปรับปรุงองค์ประกอบหนึ่งส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของระบบอ่างเก็บน้ำโดยรวม (กรมทรัพยากรน้ำ, ม.ป.ป.) แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับหลัก Construction Quality Management ซึ่งให้ความสำคัญกับการวางแผนคุณภาพ การควบคุมกระบวนการก่อสร้าง การตรวจสอบระหว่างดำเนินงาน และการยืนยันความสอดคล้องของงานที่ก่อสร้างกับแบบและข้อกำหนดก่อนส่งมอบ (U.S. Army Corps of Engineers [USACE], 2025)

3.3.1 การวางแผนและจัดลำดับการก่อสร้าง (Construction Planning and Sequencing)

การก่อสร้างเพื่อปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมจำเป็นต้องจัดลำดับงานโดยพิจารณาร่วมกันระหว่างความสัมพันธ์ของกิจกรรมก่อสร้าง สภาพโครงสร้างเดิม สถานการณ์น้ำ ความพร้อมของระบบระบายน้ำ และระดับความสำคัญของงานต่อความปลอดภัย ไม่ควรกำหนดลำดับงานจากระยะเวลาก่อสร้างหรือความสะดวกในการเข้าพื้นที่เพียงอย่างเดียว โครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนดำเนินการก่อสร้างจำนวน 2 สัญญา วงเงินรวม 32.94 ล้านบาท ประกอบด้วยสัญญาที่ 1 วงเงิน 23.60 ล้านบาท และสัญญาที่ 2 วงเงิน 9.34 ล้านบาท การดำเนินงานครอบคลุมการตรวจสอบแบบแปลน รายการประกอบแบบ ข้อกำหนดทางเทคนิค ประมาณราคา และการควบคุมการดำเนินงานตามสัญญา โดยให้ความสำคัญเป็นพิเศษกับงานที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของตัวเขื่อนและระบบระบายน้ำ ภายใต้ข้อจำกัดด้านงบประมาณและระยะเวลา โครงการใช้แนวทาง จัดลำดับความสำคัญของงานโดยคำนึงถึงความปลอดภัย (Safety-Based Work Prioritization) โดยให้องค์ประกอบที่มีผลโดยตรงต่อความมั่นคงและความสามารถในการระบายน้ำดำเนินการในลำดับที่เหมาะสมก่อนงานที่มุ่งเพิ่มประโยชน์ด้านอื่น วิธีดังกล่าวช่วยให้การใช้ทรัพยากรและงบประมาณสอดคล้องกับความเป็นทางวิศวกรรม และลดโอกาสที่ข้อจำกัดด้านเวลาและงบประมาณจะกระทบต่อความปลอดภัยของระบบ (กรมทรัพยากรน้ำ, ม.ป.ป.)

ก่อนเริ่มดำเนินงานในแต่ละส่วนจึงต้องตรวจสอบความสอดคล้องของแบบก่อสร้าง สภาพหน้างาน ระดับและตำแหน่งของโครงสร้างเดิม ลำดับการก่อสร้าง และข้อกำหนดทางเทคนิค โดยเฉพาะบริเวณที่ต้องเชื่อมต่อโครงสร้างใหม่กับโครงสร้างเดิม หากพบว่าสภาพหน้างานแตกต่างจากข้อมูลหรือแบบที่

ใช้ในการออกแบบ ต้องประเมินผลกระทบต่อความมั่นคงและสมรรถนะของระบบก่อนดำเนินการปรับแก้ และการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญต้องผ่านกระบวนการพิจารณาและอนุมัติตามอำนาจหน้าที่และข้อกำหนดด้านการบริหารสัญญา ประเด็นนี้มีความสำคัญต่อห้วยน้ำแวนเป็นพิเศษ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับมิติหรือตำแหน่งของ Spillway และ Gate อาจทำให้ Hydraulic Geometry และ Water Level–Outflow Relationship แตกต่างจากค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ Flood Routing การแก้ไขรายละเอียดหน้างานที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบดังกล่าวจึงต้องพิจารณาผลทางชลศาสตร์ควบคู่กับผลทางโครงสร้าง และเพื่อให้เป็นไปตามแบบ ข้อกำหนด และหลักวิชาการด้านการก่อสร้างของหน่วยงาน ตามคู่มือการควบคุมงานก่อสร้างสำหรับโครงการพัฒนา อุนริักษ์ และพื้นที่แหล่งน้ำกรมทรัพยากรน้ำ (กรมทรัพยากรน้ำ, 2564)



ภาพที่ 21 การขุดลอกและปรับปรุงตัวเขื่อนและบริเวณทางระบายน้ำล้น

3.3.2 การดำเนินการก่อสร้างและดัดแปลงโครงสร้างเดิม

การดำเนินงานก่อสร้างของห้วยน้ำแวนมีลักษณะเป็นการดัดแปลงและเพิ่มสมรรถนะโครงสร้างเดิม (Retrofit and Rehabilitation) มากกว่าการก่อสร้างระบบใหม่ทั้งหมด โดยใช้ตัวเชื่อมพื้นที่อ่าง และองค์ประกอบของอาคารเดิมที่ยังมีศักยภาพเป็นฐาน แล้วดำเนินการปรับปรุงเฉพาะส่วนที่เป็นข้อจำกัดของระบบ งานก่อสร้างหลักประกอบด้วย การขุดลอกตะกอนประมาณ 208,200 ลูกบาศก์เมตร ที่ระดับ +410.00 และ +411.00 เมตร (รทก.) การตัดปรับอาคารระบายน้ำล้นเดิมที่ระดับ +416.30 เมตร (รทก.) การติดตั้งประตูระบายน้ำแบบบานตรงขนาด 3.00 x 3.00 เมตร จำนวน 2 ช่อง พร้อมเครื่องกว้านยกบานและสะพานทางเดิน และการเสริมสันทางระบายน้ำล้นเดิมส่วนที่เหลือความยาว 32.00 เมตร ให้มีระดับสัน +419.80 เมตร (รทก.) นอกจากนี้ยังรวมถึงการปรับปรุง River Outlet การซ่อม Chute, Chute Block และ End Sill งานป้องกันการกัดเซาะ งานเสริมและปรับปรุงตัวเขื่อน และการนำดินขุดลอกมาใช้ปรับพื้นที่ด้านหลังเขื่อน งานบริเวณ Spillway เป็นส่วนที่ต้องควบคุมอย่างใกล้ชิด เนื่องจากมีทั้งการรื้อหรือตัดปรับบางส่วน of โครงสร้างเดิม การก่อสร้างคอนกรีตใหม่ และการติดตั้งระบบบานระบาย ภาพการก่อสร้างของโครงการแสดงขั้นตอนตั้งแต่การเตรียมพื้นที่และเทพื้นคอนกรีตบริเวณด้านหน้าทางระบายน้ำล้น การตัดทางระบายน้ำล้นเดิมและเสริมสันทางระบายน้ำล้น การก่อสร้างประตูระบายน้ำ ตลอดจนการซ่อม Chute, Chute Block และ End Sill (กรมทรัพยากรน้ำ, ม.ป.ป.)

ในทางวิศวกรรม การดัดแปลงอาคารเดิมต้องให้ความสำคัญกับรอยต่อระหว่างโครงสร้างเดิมกับโครงสร้างใหม่ (Existing-to-New Structural Interface) เนื่องจากโครงสร้างทั้งสองส่วนต้องทำงานร่วมกันหลังการปรับปรุง การตรวจสอบจึงครอบคลุมตำแหน่ง ระดับ มิติ รายละเอียดหลักเสริม รอยต่อก่อสร้าง และความสอดคล้องของส่วนที่ก่อสร้างใหม่กับโครงสร้างเดิม โดยเฉพาะบริเวณที่เกี่ยวข้องกับทางน้ำ และตำแหน่งติดตั้ง Gate ตามแนวทางของ U.S. Bureau of Reclamation สำหรับ Spillway ของเขื่อนเดิม ให้ความสำคัญกับการตรวจสอบสภาพของ Existing Spillway และการประเมินรูปแบบกับขนาดของการดัดแปลงให้สอดคล้องกับข้อจำกัดเฉพาะของโครงสร้างเดิม ซึ่งเป็นหลักการเดียวกับการปรับปรุงอาคารระบายน้ำล้นของห้วยน้ำแวน (U.S. Bureau of Reclamation [USBR], 2022a) สำหรับงานตัวเขื่อน การเสริมดิน การปรับลาดเขื่อน การบดอัด และการติดตั้งระบบป้องกันการกัดเซาะต้องดำเนินการโดยไม่ทำให้เกิดจุดอ่อนใหม่ในโครงสร้างเดิม เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของชั้นดินหรือการบดอัดที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลต่อการทรุดตัว การซึม และความมั่นคงของลาดเขื่อนในระยะยาว





ภาพที่ 22 การก่อสร้างและตัดแปลงอาคารระบายน้ำล้นและอาคารประกอบ

3.3.3 การควบคุมคุณภาพและการตรวจสอบงานก่อสร้าง

การควบคุมคุณภาพของงานปรับปรุงอ่างเก็บน้ำต้องมุ่งให้วัสดุ วิธีการก่อสร้าง มิติ ระดับ และการติดตั้งองค์ประกอบต่าง ๆ สอดคล้องกับแบบและข้อกำหนดทางเทคนิคของโครงการ โดยให้ความสำคัญเป็นพิเศษกับงานที่หากเกิดความบกพร่องแล้วอาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงของเขื่อนหรือความสามารถในการควบคุมน้ำ การกำกับตรวจสอบงานสำคัญ ได้แก่ ความหนาแน่นของดินถมสันเขื่อน คุณภาพคอนกรีตของโครงสร้างทางระบายน้ำล้น และความถูกต้องของการติดตั้งบานประตูระบายน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีผลโดยตรงต่อความมั่นคงและสมรรถนะของระบบหลังการปรับปรุง (กรมทรัพยากรน้ำ, ม.ป.ป.) แนวคิด Construction Quality Management ให้ความสำคัญกับการกำหนดจุดควบคุม การตรวจสอบระหว่างก่อสร้าง การบันทึกผลตรวจ และการแก้ไขงานที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดก่อนดำเนินงานขั้นถัดไป โดย USACE กำหนดให้ระบบบริหารคุณภาพการก่อสร้างต้องเชื่อมโยงระหว่างการวางแผนคุณภาพ การควบคุมของผู้รับจ้าง และการตรวจสอบเพื่อยืนยันความสอดคล้องของงานกับสัญญา (U.S. Bureau of Reclamation [USBR], 2024)

1) งานดินและการบดอัด

งานดินบริเวณสันเขื่อนและลาดเขื่อนต้องควบคุมคุณสมบัติของวัสดุ ความชื้นขณะบดอัด การวางดินเป็นชั้น วิธีการบดอัด และผลการตรวจสอบความหนาแน่นภาคสนามตามข้อกำหนดของโครงการ เนื่องจากคุณภาพการบดอัดมีผลต่อความแข็งแรง การทรุดตัว และพฤติกรรมการซึมของโครงสร้างดิน การควบคุมและการประกันคุณภาพของการบดอัดดินเป็นปัจจัยสำคัญต่อสมรรถนะในระยะยาวของเขื่อนและคันดิน และควรพิจารณาทั้งกระบวนการบดอัดและผลลัพธ์ที่ตรวจวัดได้ ไม่ควรพิจารณาเฉพาะจำนวนเที่ยวของเครื่องจักรหรือสภาพผิวภายนอกเพียงอย่างเดียว (Zhang et al., 2022)

สำหรับห้วยน้ำแวน จุดที่ต้องให้ความสำคัญ ได้แก่ บริเวณสันเขื่อนเดิม พื้นที่เสริมดินและลาดเขื่อนที่ได้รับการปรับปรุง เพราะเป็นบริเวณที่วัสดุใหม่ต้องทำงานร่วมกับโครงสร้างดินเดิม ความต่อเนื่องของชั้นดินและคุณภาพการบดอัดจึงมีผลต่อสมรรถนะของโครงสร้างหลังการปรับปรุง

2) งานคอนกรีตโครงสร้าง

งานคอนกรีตของ Spillway และอาคารประกอบต้องควบคุมตั้งแต่วัสดุและส่วนผสม การเตรียมแบบหล่อและเหล็กเสริม ตำแหน่งและระดับก่อนเทคอนกรีต การเทและอัดแน่น การบ่ม ตลอดจนรอยต่อก่อสร้างและการตรวจรับคุณภาพหลังการก่อสร้าง สำหรับบริเวณที่เชื่อมต่อกับ Spillway เดิม ต้องให้ความสำคัญกับรอยต่อระหว่างคอนกรีตเดิมกับคอนกรีตใหม่ (Existing-to-New Concrete Interface) รวมถึงตำแหน่ง ระดับ มิติ เหล็กเสริม และรายละเอียดการเชื่อมต่อให้เป็นไปตามแบบ เพื่อให้โครงสร้างใหม่สามารถถ่ายแรงและทำงานร่วมกับโครงสร้างเดิมได้อย่างเหมาะสม หลักการดังกล่าวสอดคล้องกับ ACI SPEC-301-20 ซึ่งครอบคลุมข้อกำหนดอ้างอิงสำหรับวัสดุ การผลิตและเทคอนกรีต การบ่ม แบบหล่อ รอยต่อ และการประเมินการยอมรับงานคอนกรีต (ACI Committee 301, 2020)

3) การติดตั้งระบบบานระบาย

Sluice Gate ขนาด 3.00×3.00 เมตร จำนวน 2 ช่อง เป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบหลังการปรับปรุง เนื่องจากมีหน้าที่ควบคุมการระบายน้ำและเพิ่มความยืดหยุ่นในการบริหารระดับน้ำ การตรวจสอบจึงต้องครอบคลุม ระดับธรณีประตู ตำแหน่งและแนวของช่องเปิด การติดตั้งกรอบและบานระบบเครื่องกว้านยกบาน การเคลื่อนที่ของบาน และความพร้อมในการเปิด-ปิดตามช่วงการทำงานที่ออกแบบไว้ ตำแหน่งและมิติของ Gate ต้องสอดคล้องกับ Hydraulic Geometry ที่ใช้ในการวิเคราะห์ เพราะความคลาดเคลื่อนของระดับธรณีประตู ขนาดช่องเปิด หรือตำแหน่งของบานอาจทำให้ Discharge Characteristics แตกต่างจากค่าที่ใช้ในการกำหนด Water Level–Outflow Relationship

4) ระบบป้องกันการกัดเซาะ

งาน Geotextile และหินป้องกันการกัดเซาะต้องควบคุมการเตรียมพื้น การวางและต่อแผ่น การครอบคลุมพื้นที่ และการวางหินตามรูปแบบและตำแหน่งที่กำหนดในแบบ เนื่องจากความเสียหายเฉพาะจุดของระบบป้องกันการกัดเซาะอาจทำให้น้ำเข้าถึงชั้นดินและขยายความเสียหายของลาดเขื่อนได้



ภาพที่ 23 การบดอัดและการก่อสร้างระบบป้องกันการกัดเซาะ

ตารางที่ 6 จุดควบคุมคุณภาพสำคัญของงานปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

กลุ่มงาน	ประเด็นที่ควบคุมและตรวจสอบ	ความสำคัญทางวิศวกรรม
งานดินและตัวเขื่อน	ชนิดและสภาพวัสดุ ความชื้น การวางเป็นชั้น การบดอัด และผลตรวจความหนาแน่นตามข้อกำหนดโครงการ	ลดความเสี่ยงจากการทรุดตัว และรักษาความต่อเนื่องของโครงสร้างดิน
งานคอนกรีต Spillway	ตำแหน่ง ระดับ มิติ เหล็กเสริม คุณภาพคอนกรีต การเท การบ่ม และรอยต่อโครงสร้างเดิม-ใหม่	รักษาความมั่นคงของอาคาร และมีมิติทางชลศาสตร์ตามแบบ
ระบบ Sluice Gate	ระดับธรณีประตู ตำแหน่งกรอบและบานระบบยกบาน การเปิด-ปิด และความพร้อมใช้งาน	ให้ระบบควบคุม Water Level และ Outflow ทำงานตามวัตถุประสงค์
River Outlet / Chute / Chute Block / End Sill	สภาพโครงสร้าง ตำแหน่ง ระดับ และความต่อเนื่องของเส้นทางไหล	ให้ระบบลำเลียงและระบายน้ำ ด้านท้ายน้ำทำงานต่อเนื่อง
ระบบป้องกันการกัดเซาะ	การเตรียมพื้น การปู Geotextile และการวางหินตามแบบ	ลดการกัดเซาะและป้องกันความเสียหายต่อลาดเขื่อน

3.3.4 การบริหารความเสี่ยงระหว่างการก่อสร้าง

ความเสี่ยงสำคัญของโครงการห้วยน้ำแวนคือ ความเสี่ยงจากน้ำหลากระหว่างการก่อสร้าง (Construction Flood Risk) เนื่องจากงานหลายช่วงต้องดำเนินการบริเวณตัวเขื่อนและอาคารระบายน้ำล้น โดยเฉพาะการตัดปรับ Spillway เดิมและการติดตั้งระบบบานระบาย ซึ่งในระหว่างดำเนินงานสภาพและความสามารถในการระบายน้ำของระบบอาจแตกต่างจากสภาพก่อนก่อสร้างและสภาพหลังปรับปรุงแล้วเสร็จ หากเกิดน้ำหลากในช่วงที่อาคารระบายน้ำอยู่ระหว่างการดัดแปลง อาจส่งผลกระทบต่องานที่กำลังก่อสร้าง โครงสร้างเดิม ผู้ปฏิบัติงาน และพื้นที่ด้านท้ายน้ำ จึงมีการวางแผนลำดับงานล่วงหน้า ติดตามข้อมูลพยากรณ์อากาศอย่างใกล้ชิด และบริหารการดำเนินงานในช่วงฤดูฝนให้เหมาะสมกับสถานการณ์น้ำ เพื่อลดความเสี่ยงต่อโครงสร้างและลดโอกาสเกิดความเสียหายหรือความล่าช้าของโครงการ

ดังนั้น การกำหนด Construction Sequence ของงานบริเวณ Spillway ต้องพิจารณา ร่วมกับระดับน้ำในอ่าง แนวโน้มปริมาณน้ำไหลเข้า การพยากรณ์อากาศ ความสามารถในการระบายน้ำชั่วคราว และสถานะความพร้อมของโครงสร้างในแต่ละช่วงงาน ไม่ควรกำหนดจาก Construction Schedule เพียงอย่างเดียว หลักการดังกล่าวสอดคล้องกับ USBR Design Standards No. 14 ซึ่งกำหนดให้การประเมิน Spillway และการปรับปรุง Spillway ของเขื่อนเดิมต้องพิจารณาเงื่อนไขเฉพาะของโครงการ รวมถึงข้อกำหนดด้านการผันน้ำหรือการจัดการน้ำระหว่างก่อสร้าง (diversion during construction) ร่วมกับข้อกำหนดด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ (USBR, 2022a) นอกจาก Construction Flood Risk แล้ว ยังต้องพิจารณาความเสี่ยงจากสภาพหน้างานจริงแตกต่างจากข้อมูลออกแบบ (Differing Site Conditions) ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นได้ในงานดัดแปลงโครงสร้างที่ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานาน หากพบระดับ มิติ สภาพคอนกรีต หรือสภาพของโครงสร้างเดิมแตกต่างจากข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ ต้องตรวจสอบผลกระทบ ก่อนตัดสินใจแก้ไข เพื่อไม่ให้เกิดการปรับเปลี่ยนเฉพาะจุดส่งผลกระทบต่อความมั่นคงหรือ Hydraulic Performance ของระบบ

การบริหารความเสี่ยงของงานก่อสร้างจึงเป็นกระบวนการต่อเนื่อง ตั้งแต่การระบุสภาพเสี่ยง การประเมินผลที่อาจเกิดขึ้น การกำหนดมาตรการควบคุม การติดตามสถานการณ์ และการปรับแผนตาม ข้อมูลหน้างาน ไม่ใช่การกำหนดมาตรการเพียงครั้งเดียวก่อนเริ่มก่อสร้าง ในงาน Hydraulic Engineering ปัจจุบันมีการพัฒนาแนวคิด Risk-Based Quality Control ซึ่งใช้ระดับความเสี่ยงและกลไกที่อาจทำให้เกิด ความบกพร่องเป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดความเข้มข้นและลำดับความสำคัญของการตรวจสอบ เพื่อมุ่ง ทรัพยากรไปยังองค์ประกอบที่มีผลกระทบสูงต่อคุณภาพและความปลอดภัยของระบบ (Guo et al., 2025)





ภาพที่ 24 พื้นที่ขณะเกิดอุทกภัยน้ำท่วมไหลหลากในพื้นที่โครงการฯ

3.3.5 การตรวจรับ ทดสอบ และเตรียมความพร้อมก่อนใช้งาน

เมื่อการก่อสร้างแล้วเสร็จ การตรวจรับไม่ควรจำกัดเฉพาะการตรวจปริมาณงานหรือความครบถ้วนตามรายการ แต่ต้องยืนยันว่าองค์ประกอบที่ก่อสร้างแล้วสามารถทำหน้าที่ตามวัตถุประสงค์ทางวิศวกรรมที่กำหนดไว้ โดยเฉพาะระบบที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับน้ำ การระบายน้ำ และความมั่นคงของโครงสร้าง การตรวจสอบภายหลังการก่อสร้างที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ การตรวจสอบสมรรถนะด้านชลศาสตร์ของระบบระบายน้ำเทียบกับความสัมพันธ์ที่ใช้ในการออกแบบ (Hydraulic Performance Verification) การตรวจสอบสภาพและความมั่นคงของอาคารระบายน้ำล้นและเขื่อนดิน (Structural Integrity Check) และการทดสอบการเปิด-ปิด Sluice Gate ขนาด 3.00×3.00 เมตร จำนวน 2 ช่อง (Control Gate Operation Test)

การทดสอบ Gate ต้องยืนยันว่าแต่ละบานสามารถเปิดและปิดได้ตามช่วงการทำงานที่กำหนด ระบบยกบานสามารถใช้งานได้ และตำแหน่งเมื่อเปิดหรือปิดสอดคล้องกับหน้าที่ในการควบคุมการระบายน้ำ ส่วนการตรวจสอบสภาพโครงสร้างต้องให้ความสำคัญกับอาคารระบายน้ำล้น ตัวเขื่อน และบริเวณที่ได้รับการดัดแปลงหรือเพิ่มโครงสร้างใหม่ สำหรับการตรวจสอบสมรรถนะด้านชลศาสตร์ ควรพิจารณาความสอดคล้องระหว่าง As-Built Geometry กับ Rating Curve และ Water Level–Outflow Relationship ที่ใช้ในการออกแบบ เพื่อยืนยันว่าองค์ประกอบที่ก่อสร้างจริงยังอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบ

ค่า Peak Outflow 134.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ที่กล่าวถึงในบทก่อนหน้านี้ให้คงสถานะเป็นผลจากการวิเคราะห์ Reservoir Flood Routing ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ไม่ควรระบุว่าเป็นอัตราการไหลที่ตรวจวัดจริงภาคสนาม เว้นแต่จะมีข้อมูลการตรวจวัด Discharge ภายหลังการก่อสร้างที่ยืนยันค่าดังกล่าวโดยตรง

กระบวนการตรวจรับและ Functional Testing จึงทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมระหว่าง Construction Phase กับ Operation Phase โดยยืนยันว่าโครงสร้างและอุปกรณ์มีความพร้อมก่อนนำไปใช้ในการบริหารระดับน้ำและการพร่องน้ำตามแนวทางการบริหารอ่างในระยะต่อไป ส่วนผลการตรวจสอบสภาพโครงสร้าง การทำงานของ Gate และสมรรถนะหลังการปรับปรุง จะนำไปวิเคราะห์ต่อในข้อผลลัพธ์และการตรวจสอบสมรรถนะภายหลังการปรับปรุง

การสังเคราะห์กระบวนการก่อสร้าง การควบคุมคุณภาพ และการบริหารความเสี่ยง กระบวนการดำเนินงานของโครงการห้วยน้ำแวนสามารถสังเคราะห์ได้ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 กระบวนการดำเนินโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

สาระสำคัญของกรณีศึกษาครั้งนี้คือ คุณภาพและความปลอดภัยของการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำไม่ได้เกิดจากการตรวจสอบเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จเพียงขั้นตอนเดียว แต่เกิดจากการควบคุมอย่างต่อเนื่องตั้งแต่การวางแผนลำดับงาน การตรวจสอบสภาพโครงสร้างเดิม การควบคุมวัสดุและวิธีการก่อสร้าง การติดตามความเสี่ยงจากสถานการณ์น้ำ การแก้ไขปัญหาหน้างาน ไปจนถึงการตรวจรับและทดสอบก่อนใช้งาน สำหรับการปรับปรุงอ่าง

เก็บน้ำเดิม กระบวนการดังกล่าวมีความสำคัญมากกว่างานก่อสร้างโครงสร้างใหม่บางประเภท เนื่องจากต้องดำเนินการสองด้านควบคู่กัน คือ การสร้างหรือดัดแปลงองค์ประกอบใหม่ให้ได้สมรรถนะตามที่ออกแบบ และการรักษาความมั่นคงกับความสามารถในการควบคุมน้ำของโครงสร้างเดิมตลอดช่วงการก่อสร้าง กระบวนการของห้วยน้ำแวนจึงเป็นการเชื่อมโยง Construction Quality–Hydraulic Performance–Dam Safety–Construction Risk Management เข้าด้วยกันเป็นระบบเดียว

© สงวนลิขสิทธิ์ | ห้ามทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้เพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาต

บทที่ 4

ผลลัพธ์ การบริหารจัดการ และการติดตามภายหลังการปรับปรุง

4.1 ผลลัพธ์และการตรวจสอบสมรรถนะภายหลังการปรับปรุง

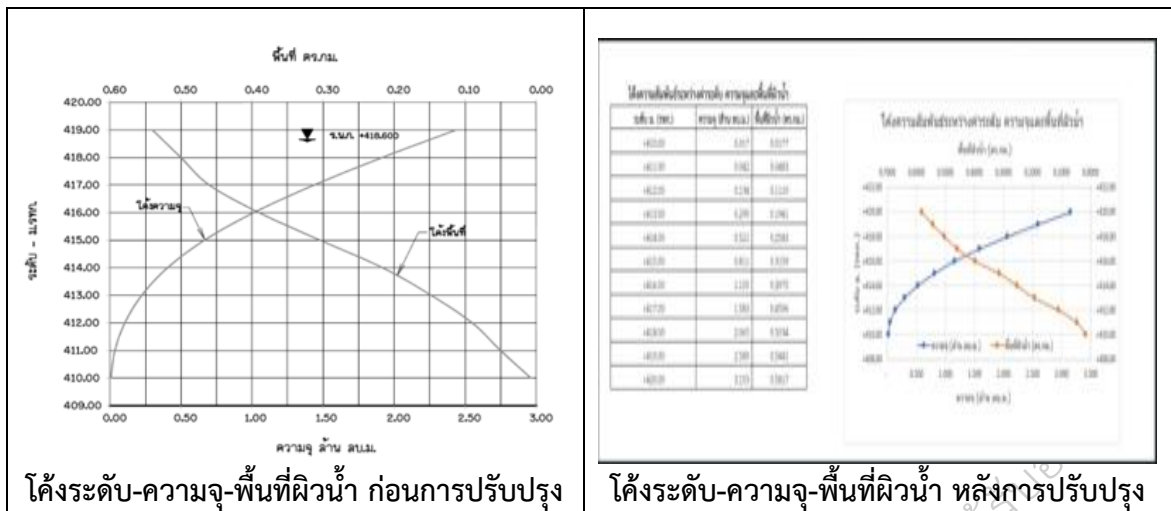
การประเมินผลภายหลังการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำไม่ควรพิจารณาเพียงว่างานก่อสร้างแล้วเสร็จตามแบบหรือไม่ แต่ต้องตรวจสอบว่า องค์ประกอบที่ได้รับการปรับปรุงสามารถทำหน้าที่ร่วมกันเป็นระบบและให้สมรรถนะสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้หรือไม่ สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน การประเมินจึงครอบคลุมทั้งด้านปริมาตรเก็บกัก สมรรถนะการควบคุมน้ำหลาก ระดับน้ำสูงสุดและระยะเพื่อด้านชลศาสตร์ ความมั่นคงของตัวเขื่อนและอาคารประกอบ ตลอดจนความพร้อมในการใช้งานของระบบบานระบาย

ในเชิงวิศวกรรม ควรแยกหลักฐานที่ใช้ประเมินสมรรถนะออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ผลการวิเคราะห์และแบบจำลองทางวิศวกรรม (Analytical/Model-Based Performance) ซึ่งใช้เปรียบเทียบสภาพก่อนและหลังการปรับปรุงภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ผลการตรวจสอบสภาพโครงสร้างและการทำงานของอุปกรณ์ภายหลังการก่อสร้าง (As-Built and Functional Verification) และผลการติดตามสมรรถนะระหว่างการใช้งานจริง (Operational Performance Monitoring) การแยกดังกล่าวช่วยป้องกันการตีความผลแบบจำลองว่าเป็นค่าที่ตรงตัวจริง และทำให้การประเมินสมรรถนะของอ่างมีความน่าเชื่อถือทางวิศวกรรมมากขึ้น

4.1.1 ผลด้านการฟื้นฟูและเพิ่มความจุเก็บกัก

ผลสำคัญด้านแรกของการปรับปรุงคือ การฟื้นฟูและเพิ่มความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำเดิมจากประมาณ 2.30 ล้านลูกบาศก์เมตร เป็น 2.80 ล้านลูกบาศก์เมตร เพิ่มขึ้นประมาณ 0.50 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือร้อยละ 21.7 ขณะที่ระดับสันทางระบายน้ำล้นถูกปรับจาก +418.80 เป็น +419.80 เมตร (รทก.) การเพิ่มความจุดังกล่าวไม่ได้เกิดจากการขุดลอกตะกอนประมาณ 208,200 ลูกบาศก์เมตรเพียงอย่างเดียว แต่เป็นผลจากการทำงานร่วมกันของการขุดลอกเพื่อฟื้นฟูพื้นที่เก็บกัก การปรับความสัมพันธ์ Elevation-Storage ให้สอดคล้องกับสภาพอ่างปัจจุบัน การเพิ่มระดับ Spillway Crest และการติดตั้งระบบบานระบายเพื่อควบคุมระดับน้ำและการระบาย

ในเชิงทรัพยากรน้ำ ผลดังกล่าวมีความสำคัญมากกว่าการเพิ่มตัวเลข Storage เพียงอย่างเดียว เนื่องจากการนำศักยภาพของพื้นที่อ่างและโครงสร้างที่มีอยู่เดิมกลับมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น โดยไม่ต้องก่อสร้างเขื่อนใหม่หรือขยายพื้นที่ตัวเขื่อน แนวคิดนี้สอดคล้องกับหลักการบริหาร Reservoir Storage อย่างยั่งยืน ซึ่งให้ความสำคัญกับการรักษาและฟื้นฟูความจุของอ่างเดิม เนื่องจาก Reservoir Sedimentation ทำให้ความสามารถในการให้บริการของอ่างลดลงตามเวลา ขณะที่พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างอ่างใหม่มีข้อจำกัดมากขึ้น (Randle et al., 2021) ดังนั้น ผลด้าน Storage ของห้วยน้ำแวนจึงสะท้อนว่า การฟื้นฟูอ่างเก็บน้ำเดิมสามารถเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนได้โดยการจัดการทั้ง Reservoir Geometry และ Hydraulic Control ร่วมกัน ไม่จำเป็นต้องเพิ่มขนาดของตัวเขื่อนเป็นแนวทางแรกเสมอไป



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระดับ-ความจุ-พื้นที่ผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน ก่อนและหลังการปรับปรุง

4.1.2 ผลด้านสมรรถนะชลศาสตร์และการควบคุมน้ำหลาก

การประเมินสมรรถนะด้านน้ำหลากใช้ผล Reservoir Flood Routing เปรียบเทียบระบบ ก่อนและหลังการปรับปรุงภายใต้ Inflow Hydrograph และเงื่อนไขน้ำหลากเดียวกัน โดยกรณีศึกษาหลักใช้ รอบปีการเกิด 25 ปี ($T_r = 25$ ปี) ซึ่งมี Peak Inflow เท่ากับ 177.19 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ผลการคำนวณ ระบบหลังการปรับปรุงแสดง Peak Outflow เท่ากับ 134.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และ Maximum Water Level เท่ากับ +420.25 เมตร (รทก.) เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเดิม พบการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญดัง ตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะทางวิศวกรรมก่อนและหลังการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

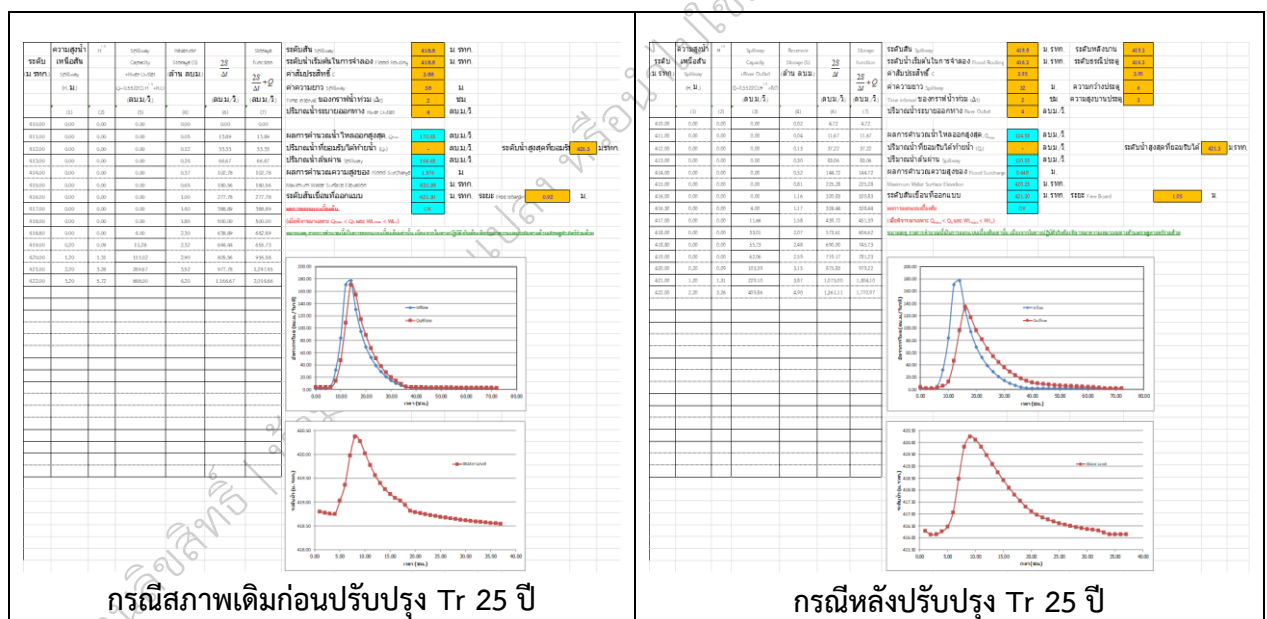
ตัวชี้วัด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	การเปลี่ยนแปลง
ความจุเก็บกัก	2.30 ล้าน ลบ.ม.	2.80 ล้าน ลบ.ม.	เพิ่มขึ้น 0.50 ล้าน ลบ.ม. หรือ 21.7%
ระดับสัน Spillway	+418.80 ม.รทก.	+419.80 ม.รทก.	เพิ่มขึ้น 1.00 ม.
Peak Inflow, $T_r = 25$ ปี	177.19 ลบ.ม./วินาที	177.19 ลบ.ม./วินาที	ใช้เงื่อนไขน้ำเข้าเดียวกัน
Peak Outflow	170.65 ลบ.ม./วินาที	134.55 ลบ.ม./วินาที	ลดลง 36.10 ลบ.ม./วินาที หรือ 21.2%
Maximum Water Level	+420.38 ม.รทก.	+420.25 ม.รทก.	ลดลง 0.13 ม.
Freeboard*	0.92 ม.	1.05 ม.	เพิ่มขึ้น 0.13 ม.
ระดับสันเขื่อน	+421.30 ม.รทก.	+421.30 ม.รทก.	คงเดิม

* Freeboard ในที่นี้หมายถึงส่วนต่างระหว่างระดับสันเขื่อนกับ Maximum Water Level ที่ได้จาก Reservoir Flood Routing ภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์ของโครงการ

ผลดังกล่าวแสดงประเด็นทางวิศวกรรมที่สำคัญว่า แม้ความจุเก็บกักของอ่างเพิ่มขึ้นร้อยละ 21.7 แต่ภายใต้ Design Flood ที่ใช้เปรียบเทียบ Maximum Water Level ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามปริมาตรเก็บกักที่สูงขึ้น ตรงกันข้าม ผล Flood Routing แสดงว่าระดับน้ำสูงสุดลดลง 0.13 เมตร และระยะต่างระดับระหว่าง Maximum Water Level กับสันเขื่อนเพิ่มขึ้นจาก 0.92 เป็น 1.05 เมตร การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่าง Storage ที่เพิ่มขึ้นและ Water Level–Outflow Relationship ของระบบหลังปรับปรุง ทำให้อ่างสามารถหน่วงปริมาณน้ำบางส่วนไว้ภายใน Reservoir Storage และควบคุมการระบายออกตามเวลาได้มากกว่าระบบเดิม ส่งผลให้ Outflow Hydrograph มี Peak ต่ำลง สำหรับ Peak Outflow ผลการคำนวณลดลงจาก 170.65 เป็น 134.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือลดลงประมาณร้อยละ 21.2 ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญต่อการลดภาระการไหลสูงสุดที่ท้ายโอบไปยังลำน้ำและพื้นที่ด้านท้ายน้ำ

ทั้งนี้ การตีความผลดังกล่าวต้องมีความชัดเจนว่า ค่า 134.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีเป็นผลจาก Reservoir Flood Routing ภายใต้ Inflow Hydrograph และเงื่อนไขที่กำหนด ไม่ใช่ค่าอัตราการไหลสูงสุดที่ตรวจวัดโดยตรงจากเหตุการณ์น้ำหลากจริงภายหลังการก่อสร้าง

การแยกผลการวิเคราะห์ออกจากผลการตรวจวัดจริงมีความสำคัญต่อการประเมินโครงสร้างทางน้ำ เพราะ Rating Curve และ Reservoir Routing ใช้เพื่อคาดการณ์การตอบสนองของระบบภายใต้เงื่อนไขออกแบบ ขณะที่การยืนยันสมรรถนะจริงต้องอาศัยข้อมูลระดับน้ำ การเปิดบาน และอัตราการไหลจากการใช้งานจริง



ภาพที่ 27 ผลการวิเคราะห์ Flood Routing เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง
อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน ที่ Tr = 25 ปี

4.1.3 ผลด้านความมั่นคงของโครงสร้างและความพร้อมของระบบบานระบาย

การเพิ่ม Storage และปรับเปลี่ยนระบบระบายน้ำจะถือว่าประสบความสำเร็จในทางวิศวกรรมได้ก็ต่อเมื่อ โครงสร้างเดิมและองค์ประกอบที่ปรับปรุงใหม่สามารถทำงานร่วมกันได้โดยไม่ปรากฏความผิดปกติที่มีนัยสำคัญต่อความมั่นคงและการใช้งาน ภายหลังการก่อสร้าง โครงการได้ดำเนินการ Structural Integrity Check ของอาคารระบายน้ำล้นและเขื่อนดิน โดยเอกสารโครงการระบุว่า ไม่พบการทรุดตัวหรือการร้าวซึมที่ผิดปกติ ในการตรวจสอบภายหลังการปรับปรุง ผลดังกล่าวมีความสำคัญต่อกรณีห้วยน้ำแวน เนื่องจากโครงการไม่ได้ก่อสร้างเขื่อนใหม่ แต่ใช้แนวทาง Retrofit และ Rehabilitation ของโครงสร้างเดิม การตรวจสอบจึงต้องยืนยันว่า การตัดปรับ Spillway การเชื่อมต่อคอนกรีตเดิมกับส่วนก่อสร้างใหม่ การเสริมสันเขื่อน และการเพิ่มเงื่อนไขระดับเก็บกักไม่ได้ก่อให้เกิดอาการผิดปกติที่สังเกตได้ต่อโครงสร้างในช่วงหลังการก่อสร้าง ในส่วนของระบบควบคุมน้ำ ได้ดำเนินการทดสอบ Sluice Gate ขนาด 3.00×3.00 เมตร จำนวน 2 ช่อง ผลที่รายงานระบุว่าบานทั้งสองสามารถเปิด-ปิดได้ตามที่ออกแบบ ไม่พบปัญหาในการยกบาน และมีความแน่นเมื่ออยู่ในตำแหน่งปิด แสดงถึงความพร้อมของระบบสำหรับใช้ควบคุมระดับน้ำและการพร่องน้ำตามแนวทางการบริหารอ่าง

ในเชิงวิศวกรรม ผลการทดสอบดังกล่าวเป็น Functional Verification ของระบบบานระบาย กล่าวคือ ยืนยันความสามารถเชิงกลและการใช้งานของ Gate/Hoist แต่ยังไม่ควรตีความว่าเป็นการยืนยันสมรรถนะทางศาสตร์ของทุกตำแหน่งการเปิดบานและทุกระดับน้ำ เนื่องจากการยืนยัน Water Level–Discharge Relationship อย่างสมบูรณ์ต้องอาศัยข้อมูลการไหลและระดับน้ำภายใต้เงื่อนไขที่เพียงพอ แนวทางของ USBR ให้มีความสำคัญกับการตรวจสอบ การบำรุงรักษา และการทดสอบ Gate และ Valve เป็นระยะ เนื่องจากความขัดข้องของอุปกรณ์ควบคุมอาจทำให้สูญเสียความสามารถในการควบคุมการระบายของอ่างได้ ดังนั้น Functional Testing หลังการติดตั้งจึงเป็นเพียงจุดเริ่มต้นของการรักษาความพร้อมใช้งานของระบบในระยะยาว (USBR, 2022c)

4.1.4 การตรวจสอบสมรรถนะของระบบหลังการปรับปรุง

เมื่อพิจารณาผลทั้งหมดร่วมกัน การตรวจสอบสมรรถนะของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนหลังการปรับปรุงสามารถแบ่งหลักฐานออกเป็น 3 กลุ่ม ซึ่งมีความหมายทางวิศวกรรมแตกต่างกัน

1) สมรรถนะจากการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม (Analytical Performance) แสดงให้เห็นว่า ภายใต้ Design Flood $T_r = 25$ ปี และ Inflow Hydrograph เดียวกัน ระบบหลังปรับปรุงสามารถเพิ่ม Storage พร้อมกับลด Peak Outflow และ Maximum Water Level และเพิ่ม Freeboard ได้ โดยผลดังกล่าวมาจาก Reservoir Flood Routing ไม่ใช่การตรวจวัดเหตุการณ์น้ำหลากจริง

2) ความสอดคล้องของสภาพก่อสร้างและความมั่นคงของโครงสร้าง (As-Built and Structural Verification) ใช้การตรวจสอบอาคารระบายน้ำล้น ตัวเขื่อน และองค์ประกอบที่ได้รับการปรับปรุง โดยไม่พบการทรุดตัวหรือการร้าวซึมที่ผิดปกติในช่วงตรวจสอบหลังการก่อสร้าง

3) ความพร้อมในการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมน้ำ (Functional Readiness) ยืนยันจากการทดสอบการเปิด-ปิด Sluice Gate ทั้ง 2 ช่อง ระบบยกบาน และสภาพการปิดบาน ซึ่งแสดงว่าระบบพร้อมเข้าสู่ช่วงการบริหารอ่าง

แนวทางการประเมินหลายระดับดังกล่าวมีความสำคัญ เนื่องจาก ผลวิเคราะห์ทางวิศวกรรมตอบคำถามว่า ระบบควรมีสมรรถนะอย่างไร ขณะที่การตรวจ As-Built และ Functional Testing ตอบคำถามว่า องค์ประกอบที่ก่อสร้างจริงมีสภาพและสามารถทำงานตามหน้าที่พื้นฐานได้หรือไม่ ส่วนการยืนยันว่าอ่างสามารถรักษาสมรรถนะดังกล่าวได้ต่อเนื่องในระยะยาว จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากการใช้งาน

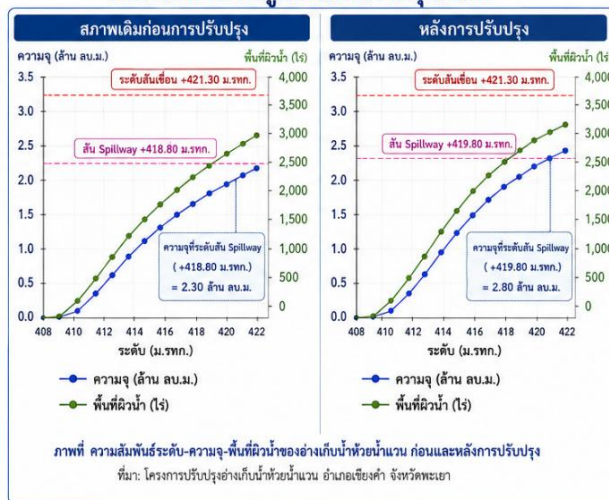
การตรวจสอบสภาพ และการติดตามพฤติกรรมของเขื่อนและอาคารประกอบภายหลังส่งมอบ แนวคิดนี้สอดคล้องกับหลัก Dam Performance Monitoring ซึ่งให้ความสำคัญกับการเก็บข้อมูล การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล การวิเคราะห์แนวโน้ม และการค้นหาความผิดปกติของพฤติกรรมโครงสร้างอย่างต่อเนื่อง ไม่ใช่อาศัยการตรวจครั้งเดียวหลังการก่อสร้าง (U.S. Bureau of Reclamation [USBR], 2024)

สรุปผลสัมฤทธิ์ทางวิศวกรรมของการปรับปรุง

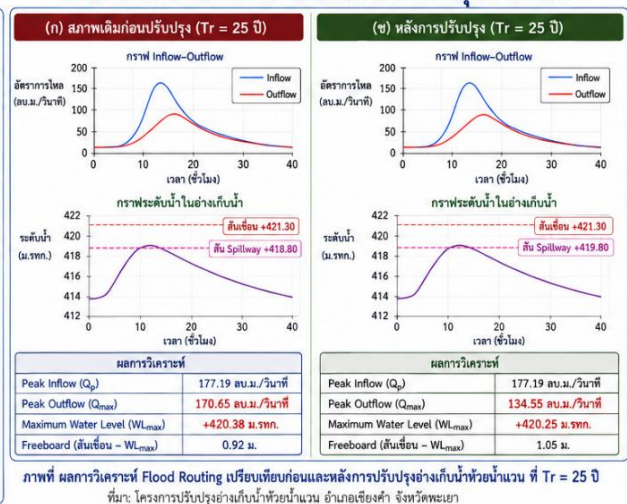
โครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนบรรลุผลด้านวิศวกรรมในสามประเด็นหลัก ได้แก่ การเพิ่มพื้นที่และเพิ่ม Reservoir Storage การเพิ่มความสามารถในการควบคุม Water Level และ Outflow และการทำให้โครงสร้างกับอุปกรณ์ควบคุมน้ำมีความพร้อมสำหรับการบริหารอ่างหลังการปรับปรุง ความสำเร็จที่สำคัญคือการเพิ่มความจุจาก 2.30 เป็น 2.80 ล้านลูกบาศก์เมตรเกิดขึ้นพร้อมกับผล Reservoir Flood Routing ที่ให้ Peak Outflow และ Maximum Water Level ต่ำกว่าสภาพเดิม ขณะที่ Freeboard เพิ่มขึ้นภายใต้ Design Flood เดียวกัน นอกจากนี้ การตรวจสอบภายหลังการก่อสร้างไม่พบการทรุดตัวหรือการร้าวซึมที่ผิดปกติ และ Sluice Gate สามารถเปิด-ปิดได้ตามที่ออกแบบ

สาระสำคัญของกรณีศึกษา ผลลัพธ์จึงไม่ได้มีเพียงอ่างเก็บน้ำได้มากขึ้น แต่เป็นการเพิ่ม Storage โดยยังสามารถควบคุม Maximum Water Level, Peak Outflow และ Hydraulic Margin ของระบบได้ภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบ พร้อมทั้งมีการตรวจสอบความพร้อมของโครงสร้างและระบบบานระบายก่อนเข้าสู่ช่วงการใช้งาน ทั้งนี้ ผลดังกล่าวควรถือเป็น Baseline Performance หลังการปรับปรุง ไม่ใช่ข้อยืนยันว่าระบบจะรักษาสมรรถนะเดิมได้โดยไม่ต้องติดตามต่อไป เนื่องจากอ่างเก็บน้ำและเขื่อนเป็นระบบที่พฤติกรรมเปลี่ยนแปลงตามเวลา ทั้งจากการสะสมตะกอน การทรุดตัว การซึม สภาพอาคาร การเสื่อมของอุปกรณ์ Mechanical System และรูปแบบการเดินระบบ การรักษาสัมฤทธิ์ของโครงการจึงต้องเชื่อมต่อไปสู่การบริหาร การตรวจติดตาม และการบำรุงรักษาภายหลังการปรับปรุง

ผลด้านการฟื้นฟูและเพิ่มความจุเก็บกัก



ผลด้านสมรรถนะชลศาสตร์และการควบคุมน้ำหลาก



การตรวจสอบสมรรถนะของระบบหลังการปรับปรุง (สรุปผลสัมฤทธิ์ทางวิศวกรรม)



ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงสมรรถนะด้านการเก็บกักและการควบคุมน้ำหลากของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนก่อนและหลังการปรับปรุง

4.2 การบริหาร การติดตาม และบำรุงรักษาอ่างเก็บน้ำภายหลังการปรับปรุง

ภายหลังการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนมีความจุเก็บกักเพิ่มขึ้น ระบบระบายน้ำมีความยืดหยุ่นในการควบคุมระดับน้ำมากขึ้น และผลการวิเคราะห์ Reservoir Flood Routing ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดแสดงให้เห็นว่า Peak Outflow และ Maximum Water Level ลดลง ขณะที่ Freeboard เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ผลดังกล่าวควรถือเป็นข้อมูลสภาพพื้นฐานของระบบภายหลังการปรับปรุง (Post-Improvement Baseline Condition) ซึ่งจำเป็นต้องรักษาไว้ด้วยการบริหารอ่าง การติดตามพฤติกรรมของระบบ และการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง ภายหลังการก่อสร้าง โครงการได้จัดทำแนวทางบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ โดยให้ความสำคัญเป็นพิเศษกับช่วงมรสุมหรือพายุ รวมทั้งส่งเสริมการพัฒนากลุ่มผู้ใช้น้ำเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการในระยะยาว การติดตั้ง Sluice Gate ขนาด 3.00 x 3.00 เมตร จำนวน 2 ช่อง ช่วยเพิ่มความสามารถในการควบคุมการระบายน้ำและทำให้สามารถพร่องน้ำล่วงหน้า (Pre-release) ก่อนเหตุการณ์ที่คาดว่าจะมีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างสูงได้ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบสำคัญเมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ไม่มีบานควบคุม

ในระดับหน่วยงาน กรมทรัพยากรน้ำได้จัดทำทั้งเกณฑ์การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง และ เกณฑ์การระบายน้ำของอ่างเก็บน้ำขนาดกลางในพื้นที่นอกเขตชลประทาน สำหรับใช้เป็นกรอบประกอบการตัดสินใจ โดยพิจารณาปริมาณน้ำต้นทุน สถานการณ์น้ำ ความต้องการใช้น้ำ และเงื่อนไขเฉพาะของพื้นที่ร่วมกัน (กรมทรัพยากรน้ำ, 2565, 2566) สำหรับกรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน การบริหารภายหลังการปรับปรุงควรครอบคลุม 4 ส่วนที่เชื่อมโยงกัน ได้แก่ การบริหารระดับน้ำและการระบายน้ำ การติดตาม

สถานการณ์น้ำและสภาพโครงสร้าง การตรวจสภาพและบำรุงรักษา และการนำข้อมูลจากการใช้งานจริง กลับมาทบทวนแนวทางบริหารอ่าง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.2.1 การบริหารระดับน้ำและการระบายน้ำ

การเปลี่ยนจากทางระบายน้ำล้นเดิมที่ไม่มีบานควบคุมเป็นระบบ Gated Spillway ทำให้รูปแบบการบริหารอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนเปลี่ยนแปลงจากเดิม ที่การระบายน้ำขึ้นอยู่กับระดับน้ำเหนือสัน Spillway เป็นหลัก ไปสู่ระบบที่ผู้บริหารอ่างสามารถ กำหนดช่วงเวลาและปริมาณการระบายผ่าน Sluice Gate ให้สัมพันธ์กับสถานการณ์น้ำได้มากขึ้น ความสามารถดังกล่าวช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการควบคุมระดับน้ำและรองรับการพร่องน้ำล่วงหน้าก่อนเหตุการณ์มรสุมหรือพายุ หลักการบริหารอ่างจึงไม่ควรมุ่งรักษาระดับน้ำให้สูงที่สุดตลอดเวลา แต่ต้องรักษาสมดุลระหว่างปริมาณน้ำที่เก็บไว้เพื่อการใช้ประโยชน์ (Conservation Storage) กับปริมาณว่างที่เหลืออยู่สำหรับรองรับและหน่วงน้ำหลากในแต่ละช่วงเวลา กล่าวคือ ในช่วงที่ความเสี่ยงน้ำหลากต่ำควรรักษาน้ำต้นทุนให้เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำ ขณะที่ก่อนหรือระหว่างช่วงมรสุมและพายุ ควรพิจารณาความจำเป็นในการเตรียมพื้นที่ว่างภายในอ่างสำหรับรองรับ Inflow ที่อาจเพิ่มขึ้น แนวคิดดังกล่าวสอดคล้องกับหลัก Reservoir Operation ในฤดูน้ำหลาก ซึ่งต้องบริหารความสมดุลระหว่างการเก็บรักษาน้ำกับการลดความเสี่ยงจากน้ำหลาก โดยอาศัยข้อมูลสถานการณ์น้ำปัจจุบันและข้อมูลพยากรณ์ประกอบการตัดสินใจ และให้ความปลอดภัยของเขื่อนกับการลดผลกระทบด้านท้ายน้ำเป็นเงื่อนไขสำคัญ (Jain et al., 2023)

สำหรับห้วยน้ำแวน การตัดสินใจว่าจะเก็บกักน้ำต่อ พร่องน้ำล่วงหน้า หรือเพิ่มการระบายน้ำ ควรพิจารณาข้อมูลหลายส่วนร่วมกัน ได้แก่ ระดับน้ำและปริมาณน้ำปัจจุบัน ปริมาณฝนที่เกิดขึ้นและคาดการณ์แนวโน้มปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง พื้นที่ว่างที่เหลือสำหรับรองรับน้ำหลาก ความสามารถในการระบายของ Sluice Gate, Spillway และ River Outlet ตลอดจนสภาพการไหลและความเสี่ยงต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำ การนำข้อมูลพยากรณ์มาประกอบประกอบการตัดสินใจ Pre-release สามารถช่วยเตรียมพื้นที่ว่างภายในอ่างก่อนเหตุการณ์น้ำหลากได้ แต่ต้องพิจารณาความไม่แน่นอนของ Forecast และความเสี่ยงจากการพร่องน้ำมากเกินไป ความจำเป็นร่วมด้วย เนื่องจากการปล่อยน้ำล่วงหน้ามากเกินไปอาจกระทบต่อปริมาณน้ำต้นทุนที่ต้องใช้หลังเหตุการณ์ผ่านไป (Timberlake et al., 2025)

ระดับโครงสร้าง เช่น ระดับธรณีประตู Sluice Gate +416.30 เมตร (รทก.) และ ระดับสัน Spillway +419.80 เมตร (รทก.) เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวิเคราะห์ชลศาสตร์ แต่ไม่ควรนำระดับดังกล่าวไปใช้เป็นเกณฑ์เปิด-ปิดบานเพียงอย่างเดียว การตัดสินใจระบายน้ำต้องยึดแนวทางบริหารอ่างของโครงการ และพิจารณาร่วมกับสถานการณ์น้ำจริงในขณะนั้น ดังนั้น การบริหารอ่างหลังการปรับปรุงจึงมีลักษณะเป็น การบริหารตามสถานการณ์น้ำ มากกว่าการใช้ระดับน้ำเพียงค่าเดียวเป็นเงื่อนไขตายตัวสำหรับทุกเหตุการณ์



ภาพที่ 29 กระบวนการบริหารอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนในช่วงมรสุมหรือพายุ

4.2.2 การติดตามสถานการณ์น้ำและสมรรถนะของเขื่อนและอาคารประกอบ

การตรวจสอบความมั่นคงและการทดสอบระบบภายหลังการก่อสร้างเป็นการยืนยันความพร้อมของโครงการในช่วงเริ่มต้นใช้งาน แต่สภาพของเขื่อนและอาคารประกอบสามารถเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการใช้งาน การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ เหตุการณ์น้ำหลาก การเสื่อมของวัสดุ และการสะสมของตะกอน จึงจำเป็นต้องมีการติดตามอย่างต่อเนื่องเพื่อค้นหาความผิดปกติตั้งแต่ระยะเริ่มต้น สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน การติดตามควรครอบคลุม 4 ด้านสำคัญ ดังนี้

1) ด้านอุทกวิทยาและการบริหารอ่างเก็บน้ำ

ควรติดตามปริมาณฝน ระดับน้ำในอ่าง ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง (Inflow) ปริมาณน้ำระบายออก (Outflow) และสถานะการเปิด-ปิด Sluice Gate โดยเฉพาะในช่วงฝนตกหนัก มรสุม หรือพายุ ข้อมูลเหล่านี้เป็นฐานสำคัญสำหรับประเมินแนวโน้มของปริมาณน้ำในอ่างและใช้ประกอบการตัดสินใจด้านการเก็บกักหรือระบายน้ำ การติดตามข้อมูลดังกล่าวยังช่วยตรวจสอบว่า พฤติกรรมจริงของอ่างหลังการปรับปรุงสอดคล้องกับแนวโน้มที่ได้จากการวิเคราะห์ Reservoir Flood Routing และ Rating Curve มากน้อยเพียงใด

หากพบความแตกต่างอย่างต่อเนื่อง จำเป็นต้องตรวจสอบสาเหตุและพิจารณาทบทวนข้อมูลหรือสมมติฐานที่ใช้ในการบริหารอ่าง

2) ด้านตัวเขื่อนดิน

ควรตรวจสอบสภาพสันเขื่อน ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำ การทรุดตัว รอยแตกร้าว การกัดเซาะ จุดเปียกชื้น หรือการรั่วซึมที่ผิดปกติ รวมถึงสภาพบริเวณเชิงลาดด้านท้ายน้ำ การตรวจดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกี่ยวข้องกับการทรุดตัว (Settlement) การรั่วซึม (Seepage) หรือความมั่นคงของลาดเขื่อน (Slope Stability) โดยควรเปรียบเทียบกับสภาพฐานหลังการปรับปรุง

3) ด้านอาคารชลศาสตร์

ควรตรวจสอบ Spillway, River Outlet, Chute, Chute Block และ End Sill รวมถึงระบบป้องกันการกัดเซาะ โดยพิจารณาการทรุดตัว การหลุดร่อนของคอนกรีต การอุดตัน สิ่งกีดขวาง การกัดเซาะ และความเสียหายบริเวณทางน้ำ องค์ประกอบเหล่านี้ทำหน้าที่ระบายและควบคุมพลังงานของน้ำ หากเกิดความเสียหายหรือมีสิ่งกีดขวาง อาจทำให้ความสามารถในการระบายน้ำ (Discharge Capacity) และสภาพการไหลแตกต่างจากเงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบ ดังนั้น จึงควรรักษาสภาพทางน้ำและรูปทรงของอาคารให้สอดคล้องกับแบบและพร้อมใช้งานอยู่เสมอ

4) ด้านประตูระบายน้ำและระบบเครื่องกล

ควรตรวจ Sluice Gate ทั้ง 2 ช่อง รวมทั้งเครื่องกว้านยกบาน กรอบบาน ซีลกันน้ำ อุปกรณ์ยกและถ่ายทอดแรง การหล่อลื่น การกัดกร่อน และการเคลื่อนที่ของบานตลอดช่วงเปิด-ปิด การตรวจด้านนี้มีความสำคัญต่อห้วยน้ำแวนเป็นพิเศษ เพราะความสามารถในการพร่องน้ำล่วงหน้าและการควบคุมระดับน้ำหลังการปรับปรุงขึ้นอยู่กับ ความพร้อมใช้งานของ Sluice Gate และระบบยกบาน หากระบบดังกล่าวไม่สามารถใช้งานได้เมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำหลาก ความยืดหยุ่นในการบริหารอ่างที่เพิ่มขึ้นจากการปรับปรุงจะลดลงทันที

แนวทางของ USBR ให้ความสำคัญกับการจัดทำ Standing Operating Procedures การทดสอบ Gate และ Valve การติดตามตะกอน การจัดเก็บ Operating Record และระบบบำรุงรักษา เพื่อให้เขื่อนและอุปกรณ์ควบคุมน้ำมีความพร้อมและทำงานได้อย่างปลอดภัยตลอดช่วงใช้งาน (USBR, 2022c) สำหรับห้วยน้ำแวน แนวทางการติดตามควรประกอบด้วย การตรวจตามปกติ การตรวจเพิ่มเติมก่อนฤดูน้ำหลาก และการตรวจภายหลังเหตุการณ์สำคัญ เช่น น้ำหลากรุนแรง การระบายน้ำในอัตราสูง หรือเมื่อพบความผิดปกติของตัวเขื่อนและอาคารประกอบ ทั้งนี้ ความถี่ วิธีการตรวจ และแบบบันทึกควรเป็นไปตามข้อกำหนดหรือแผน Operation and Maintenance ของกรมทรัพยากรน้ำและของโครงการจริง

4.2.3 การตรวจสอบสภาพและบำรุงรักษาโครงสร้างและระบบบานระบาย

การบำรุงรักษาภายหลังการปรับปรุงควรมุ่งป้องกันความเสื่อมสภาพก่อนเกิดความขัดข้อง (Preventive Maintenance) มากกว่ารอให้เกิดความเสียหายแล้วจึงซ่อม โดยเฉพาะองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับความมั่นคงของเขื่อนและการควบคุมระดับน้ำ สำหรับ Sluice Gate การตรวจและทดสอบการเคลื่อนที่ของบานเป็นระยะมีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันว่าบานและระบบยกยังทำงานได้ตลอดช่วงการเปิด-ปิด ไม่มีการติดขัด และไม่มีความเสี่ยงของอุปกรณ์ที่อาจทำให้ระบบไม่พร้อมใช้งานเมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำหลาก แนวทาง USBR ให้ความสำคัญกับการทดสอบ Gate และ Valve ตลอดจนการจัดเก็บประวัติการเดินระบบและการบำรุงรักษาอย่างเป็นระบบ (USBR, 2022c)

ตารางที่ 8 แนวทางการตรวจติดตามและบำรุงรักษาองค์ประกอบสำคัญของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

องค์ประกอบ	ประเด็นที่ควรตรวจติดตาม	แนวทางการบำรุงรักษาที่ควรพิจารณา
ตัวเขื่อนดิน	การทรุดตัว รอยแตกร้าว การรื้อซึม จุดขึ้นผิวดิน การกัดเซาะ สภาพสันและลาดเขื่อน	ซ่อมบริเวณเสียหาย ปรับระดับ ควบคุมการกัดเซาะ และจัดการพืชที่รบกวนการตรวจสอบ
Spillway	รอยแตกร้าว การหลุดร่อน รอยต่อ สิ่งกีดขวาง และสภาพทางน้ำ	ซ่อมคอนกรีต ทำความสะอาดทางน้ำ และรักษาระดับกับมิติทางชลศาสตร์ตามแบบ
Sluice Gate และเครื่องกั้น	การเคลื่อนที่ของบาน กรอบบาน Seal ระบบยก การหล่อลื่น และการกัดกร่อน	ทดสอบการทำงานตามแผน O&M บำรุงระบบยก หล่อลื่น และป้องกันการกัดกร่อน
River Outlet	การอุดตัน การรื้อ และสภาพทางเข้า-ทางออก	ทำความสะอาด ตรวจสอบความเสียหาย และรักษาความพร้อมในการระบาย
Chute / Chute Block / End Sill	รอยแตก การหลุดร่อน การกัดเซาะ และสภาพองค์ประกอบสลายพลังงาน	ซ่อมความเสียหายและรักษารูปทรงของอาคารตามแบบ
ระบบป้องกันการกัดเซาะ	การเคลื่อนตัวของหิน การเปิดเผย Geotextile และการกัดเซาะใต้ชั้นป้องกัน	จัดเรียง เต็มวัสดุ หรือซ่อมบริเวณที่เสียหาย
พื้นที่อ่างเก็บน้ำ	การสะสมตะกอนและการเปลี่ยนแปลงลักษณะท้องอ่าง	สำรวจ Reservoir Geometry และทบทวน Elevation–Area–Storage Relationship เมื่อพบการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญ

การทดสอบการปิด-เปิดของบานประตู (Gate) เป็นระยะมีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันว่าบานประตูและระบบยกยังสามารถทำงานได้ตลอดช่วงการใช้งาน ไม่ติดขัดและไม่มีความเสื่อมที่อาจกระทบต่อการเปิด-ปิดทั้งนี้ความถี่ของการทดสอบต้องเป็นไปตาม Operation and Maintenance Plan ของโครงการหรือข้อกำหนดของกรมทรัพยากรน้ำ ไม่ควรนำความถี่จาก USBR มาใช้กับห้วยน้ำแวนโดยตรง ในด้านการจัดลำดับงานบำรุงรักษา หากงบประมาณมีข้อจำกัด ควรให้ความสำคัญกับองค์ประกอบที่หากขัดข้องแล้วจะมีผลกระทบสูงต่อความปลอดภัยหรือการควบคุมน้ำ งานศึกษาการจัดลำดับความสำคัญของประตูระบายน้ำในประเทศไทยพบว่า ปัจจัยด้านวิศวกรรมมีน้ำหนักสูงที่สุดในการจัดลำดับความสำคัญของการบำรุงรักษาภายใต้ข้อจำกัดของงบประมาณ (Duangkert et al., 2022) หลักการนี้เหมาะกับห้วยน้ำแวน เนื่องจากบานประตูตรง (Sluice Gate) คือ เป็นองค์ประกอบที่ทำให้ระบบหลังการปรับปรุงสามารถ Pre-release และควบคุมระดับน้ำได้ หากอุปกรณ์ดังกล่าวไม่พร้อมใช้งาน สมรรถนะเชิงปฏิบัติการของอ่างจะไม่เท่ากับสมรรถนะที่วิเคราะห์ไว้ในขั้นตอนออกแบบ

4.2.4 การบันทึกข้อมูล การทบทวนเกณฑ์ และการปรับการบริหารตามสภาพจริง

บทเรียนสำคัญจากการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนแสดงให้เห็นว่า สภาพทางกายภาพ และพฤติกรรมของอ่างเก็บน้ำสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการใช้งาน โดยเฉพาะการสะสมของตะกอนที่ส่งผลต่อรูปทรงท้องอ่าง ปริมาตรเก็บกัก และความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับความจุเก็บกัก ดังนั้น ข้อมูลจากแบบก่อสร้างหรือข้อมูลเดิมจึงไม่ควรถูกนำมาใช้แทนสภาพปัจจุบันโดยไม่มีการตรวจสอบ การปรับปรุงโครงการห้วยน้ำแวนจึงเริ่มจากการสำรวจสภาพจริงและปรับปรุงความสัมพันธ์ระดับน้ำ-พื้นที่ผิว น้ำ-ปริมาตรเก็บกักให้สอดคล้องกับสภาพอ่างก่อนนำไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ หลักการดังกล่าวควรนำมาใช้ต่อเนื่องในช่วงการบริหารอ่างภายหลังการปรับปรุง กล่าวคือ ข้อมูลที่จัดทำขึ้นใหม่ควรได้รับการตรวจสอบและปรับปรุงเป็นระยะตามการเปลี่ยนแปลงของอ่าง เพื่อให้ข้อมูลที่ใช้ประกอบการตัดสินใจยังคงสะท้อนสภาพจริงของระบบ ไม่ควรถือว่าข้อมูลที่ได้จากการสำรวจหรือการออกแบบในครั้งนี้จะสามารถใช้ได้โดยไม่ต้องทบทวนตลอดอายุโครงการ

ข้อมูลที่ควรบันทึกอย่างต่อเนื่องประกอบด้วย ระดับน้ำในอ่าง ปริมาณฝน ปริมาณน้ำไหลเข้า ปริมาณน้ำระบาย สถานะการเปิด-ปิดประตูระบายน้ำ เหตุการณ์น้ำหลาก ความผิดปกติของโครงสร้าง ผลการตรวจสภาพ และประวัติการซ่อมบำรุง โดยข้อมูลควรจัดเก็บอย่างเป็นระบบและสามารถตรวจสอบย้อนหลังได้ เพื่อใช้ทั้งในการบริหารน้ำประจำวัน การวิเคราะห์เหตุการณ์ผิดปกติ และการประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการบริหารเขื่อนให้มีความสำคัญกับการจัดเก็บข้อมูลการเดินระบบและประวัติการบำรุงรักษาเป็นองค์ประกอบสำคัญของการบริหารเขื่อนในระยะใช้งาน (U.S. Bureau of Reclamation [USB], 2022c) ข้อมูลจากการใช้งานจริงควรถูกนำกลับมาใช้ตรวจสอบสมรรถนะของอ่างและปรับปรุงการบริหารน้ำ เช่น การเปรียบเทียบระดับน้ำและปริมาณน้ำระบายที่เกิดขึ้นจริงกับความสัมพันธ์ Water Level–Outflow ที่ใช้ในการออกแบบ การประเมินผลของการพร่องน้ำล้นหน้าในแต่ละเหตุการณ์ ตลอดจนการติดตามการเปลี่ยนแปลงของความจุเก็บกัก การสะสมของตะกอน และสภาพของอาคารระบายน้ำและอุปกรณ์ควบคุมน้ำ ในช่วงน้ำหลาก การบริหารอ่างยังมีความไม่แน่นอนจากทั้งปริมาณฝน ปริมาณน้ำไหลเข้า และความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพยากรณ์ การตัดสินใจจึงควรปรับตามข้อมูลที่ตรวจวัดและข้อมูลพยากรณ์ล่าสุด มากกว่าการใช้เกณฑ์การบริหารแบบคงที่โดยไม่ทบทวนเมื่อสถานการณ์เปลี่ยนแปลง ซึ่งการพิจารณาความไม่แน่นอนของข้อมูลพยากรณ์ร่วมกับข้อมูลสถานการณ์จริงช่วยให้การตัดสินใจสามารถรองรับความแปรปรวนของเหตุการณ์ได้เหมาะสมมากขึ้น (Yu et al., 2023)

สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน หากการติดตามในระยะต่อไปพบว่า รูปทรงท้องอ่าง ปริมาตรเก็บกัก ความสัมพันธ์ระดับน้ำ-อัตราการระบาย หรือสภาพของโครงสร้างเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ควรนำข้อมูลดังกล่าวมาทบทวนความสัมพันธ์ Elevation–Area–Storage, Water Level–Outflow, Rating Curve และผล Flood Routing รวมถึงแนวทางการบริหารอ่างให้สอดคล้องกับสภาพปัจจุบันที่ผ่านการตรวจสอบ แนวทางนี้ทำให้การบริหารอ่างเก็บน้ำเป็นกระบวนการที่ใช้ข้อมูลจริงในการปรับปรุงการตัดสินใจอย่างต่อเนื่อง (Adaptive Reservoir Management) ไม่ใช่การยึดแบบหรือเกณฑ์การบริหารที่กำหนดไว้ในช่วงเริ่มต้นโดยไม่มีการทบทวน เมื่อข้อมูลและสภาพของระบบเปลี่ยนแปลง แนวทางการบริหารก็ควรได้รับการปรับให้เหมาะสมตามหลักวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

การสังเคราะห์กระบวนการบริหาร ติดตาม และบำรุงรักษาภายหลังการปรับปรุงของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนสามารถสังเคราะห์ได้ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 กระบวนการบริหาร ติดตาม และบำรุงรักษาภายหลังการปรับปรุง

สาระสำคัญของกรณีห้วยน้ำแวนจึงอยู่ที่การเพิ่มประสิทธิภาพอ่างเก็บน้ำไม่ได้สิ้นสุดเมื่อการก่อสร้างแล้วเสร็จ การเพิ่มปริมาตรเก็บกักและติดตั้ง Gated Spillway เป็นการเพิ่มศักยภาพทางกายภาพและความยืดหยุ่นในการบริหาร แต่ประสิทธิภาพในระยะยาวขึ้นอยู่กับความพร้อมของประ ตูระบายน้ำ ความน่าเชื่อถือของข้อมูลสถานการณ์น้ำ การตัดสินใจด้านการเก็บกักและระบายน้ำ การตรวจติดตามสภาพโครงสร้าง และการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง ในเชิงวิศวกรรมสามารถสรุปความสัมพันธ์ได้เป็น

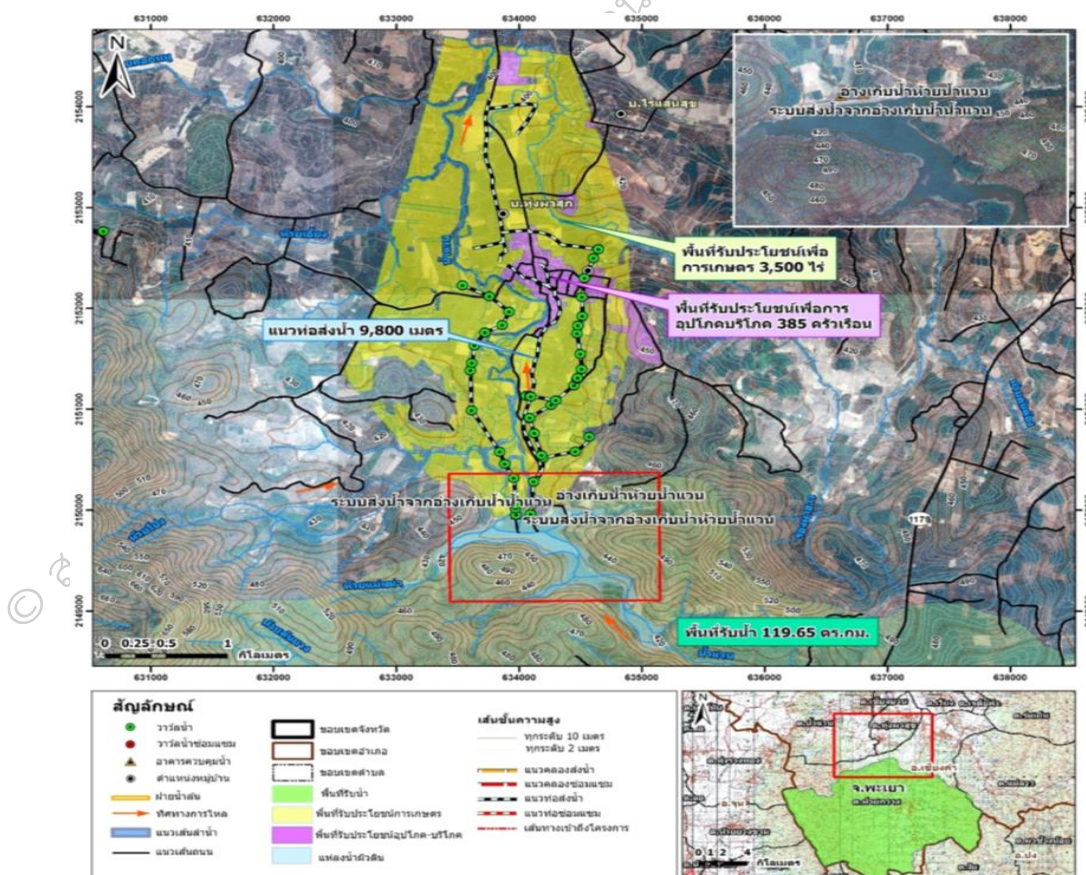
Design Performance → Operational Performance → Monitoring → Maintenance
→ Engineering Feedback → Updated Operation

กระบวนการดังกล่าวเป็นตัวเชื่อมจากผลลัพธ์และการตรวจสอบสมรรถนะภายหลังการปรับปรุง ซึ่งแสดงผลลัพธ์และสมรรถนะหลังการปรับปรุงไปสู่การรักษาสมรรถนะด้านการเก็บกักน้ำ การบริหารน้ำหลาก และความปลอดภัยของเขื่อน ในระยะยาว ส่วนผลประโยชน์ต่อประชาชน ผู้ใช้น้ำ และการมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการ จะนำไปวิเคราะห์ประโยชน์ต่อพื้นที่ ผู้ใช้น้ำ และการมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการน้ำ

4.3 ประโยชน์ต่อพื้นที่ ผู้ใช้น้ำ และการมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการน้ำ

การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของแหล่งน้ำเดิมให้สามารถทำหน้าที่ได้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานในปัจจุบัน ทั้งการเก็บกักน้ำ การควบคุมระดับน้ำ การบริหารน้ำหลาก และการสนับสนุนการใช้น้ำของพื้นที่ การดำเนินงานจึงไม่ได้มุ่งเฉพาะการปรับปรุงโครงสร้างทางวิศวกรรม แต่เชื่อมโยงผลของการปรับปรุงไปสู่ประโยชน์ของประชาชน พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ด้านท้ายน้ำ และการบริหารจัดการน้ำในระยะยาว อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนเป็นแหล่งน้ำต้นทุนที่สนับสนุนประชาชนประมาณ 385 ครัวเรือน และพื้นที่เกษตรกรรมรวมประมาณ 3,500 ไร่ ประกอบด้วยพื้นที่นา 2,000 ไร่ สวนลำไย 700 ไร่ และพื้นที่ปลูกพืชอื่น ๆ 800 ไร่ จึงมีบทบาทต่อการดำรงชีวิตและการประกอบอาชีพของประชาชนในพื้นที่

การขุดลอกตะกอน การเพิ่มระดับสันทางระบายน้ำล้น และการติดตั้ง Sluice Gate ทำให้ความจุเก็บกักเพิ่มจากประมาณ 2.30 เป็น 2.80 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 21.7 ขณะเดียวกันระบบระบายน้ำสามารถควบคุมได้มากกว่าสภาพเดิม ผล Reservoir Flood Routing ที่รอบปี การเกิด 25 ปีแสดงว่า Peak Outflow ลดจาก 170.65 เป็น 134.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ระดับน้ำสูงสุด ลดลง 0.13 เมตร และ Freeboard เพิ่มขึ้น 0.13 เมตร ผลดังกล่าวสะท้อนว่าการเพิ่มความจุเก็บกักสามารถดำเนินควบคู่กับการเพิ่มความสามารถในการบริหารน้ำหลากได้ นอกจากผลด้านน้ำ โครงการยังนำวัสดุจากการขุดลอกกลับมาใช้ปรับพื้นที่ด้านหลังเขื่อนให้เป็นพื้นที่สาธารณประโยชน์ และส่งเสริมองค์กรกลุ่มผู้ใช้น้ำให้เข้ามามีส่วนร่วมในการบริหารและจัดสรรน้ำร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ประโยชน์ของโครงการจึงสามารถพิจารณาได้ 4 ด้านที่เชื่อมโยงกัน ได้แก่ การเพิ่มศักยภาพน้ำต้นทุน การบริหารน้ำหลาก การใช้ทรัพยากร โครงการให้เกิดประโยชน์ และการมีส่วนร่วมของผู้ใช้น้ำ



ภาพที่ 31 พื้นที่รับประโยชน์ของโครงการ

4.3.1 การเพิ่มศักยภาพการกักเก็บน้ำต้นทุนเพื่อเสริมความมั่นคงด้านน้ำของพื้นที่รับประโยชน์

อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานานและมีการสะสมของตะกอนภายในอ่าง ส่งผลให้ปริมาตรที่สามารถใช้เก็บกักน้ำลดลงจากศักยภาพเดิม การฟื้นฟูความจุเก็บกักจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญของการปรับปรุง โดยโครงการขุดลอกตะกอนประมาณ 208,200 ลูกบาศก์เมตร ควบคู่กับการปรับปรุงทางระบายน้ำล้นและเพิ่มระดับสันทางระบายน้ำล้น ทำให้ความจุเก็บกักของอ่างเพิ่มจากประมาณ 2.30 ล้านลูกบาศก์เมตร เป็น 2.80 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 0.50 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 21.7 การเพิ่มความจุเก็บกักทำให้อ่างสามารถรองรับน้ำที่ไหลเข้าสู่ระบบและรักษาน้ำส่วนหนึ่งไว้เป็นน้ำต้นทุนได้มากขึ้นเมื่อสภาพอุทกวิทยาเอื้ออำนวย ความสามารถดังกล่าวมีความสำคัญต่อพื้นที่ที่มีความต้องการใช้น้ำทั้งเพื่อการดำรงชีวิตและการเกษตร โดยเฉพาะในช่วงที่ปริมาณฝนและน้ำไหลเข้าอ่างมีความผันแปรตามฤดูกาล การรักษาความจุของอ่างเก็บน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญของการให้บริการน้ำในระยะยาว เนื่องจากการสะสมของตะกอนทำให้ความสามารถในการเก็บและควบคุมน้ำลดลงตามอายุการใช้งาน การฟื้นฟู Storage Capacity จึงช่วยรักษาความสามารถของอ่างในการทำหน้าที่เป็นแหล่งน้ำต้นทุนและระบบควบคุมการไหล (Randle et al., 2021) ทั้งนี้พื้นที่รับประโยชน์ของห้วยน้ำแวน ประกอบด้วย ประชาชนประมาณ 385 ครัวเรือน และพื้นที่เกษตรกรรมรวม 3,500 ไร่ ซึ่งแบ่งเป็นพื้นที่นา 2,000 ไร่ สวนลำไย 700 ไร่ และพืชอื่น ๆ 800 ไร่

ตารางที่ 9 พื้นที่รับประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

ประเภทพื้นที่รับประโยชน์	จำนวน/พื้นที่	ความสำคัญต่อการบริหารน้ำ
ประชาชนในพื้นที่รับประโยชน์	385 ครัวเรือน	สนับสนุนแหล่งน้ำต้นทุนสำหรับการดำรงชีวิตและกิจกรรมของชุมชน
พื้นที่เกษตรกรรมรวม	3,500 ไร่	สนับสนุนน้ำต้นทุนเพื่อการผลิตทางการเกษตร
พื้นที่นา	2,000 ไร่	มีความต้องการน้ำสัมพันธ์กับฤดูกาลเพาะปลูก
สวนลำไย	700 ไร่	ต้องการความต่อเนื่องของน้ำสำหรับไม้ผล
พืชอื่น ๆ	800 ไร่	รองรับรูปแบบการเพาะปลูกที่หลากหลาย

ประโยชน์ของความจุเก็บกักที่เพิ่มขึ้นจะเปลี่ยนเป็นน้ำที่สามารถนำไปใช้จริงผ่านกระบวนการบริหารอ่าง ปริมาณน้ำที่จัดสรรได้ในแต่ละเวลาจึงสัมพันธ์กับปริมาณฝน ปริมาณน้ำไหลเข้า ปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ ความต้องการใช้น้ำ และสภาพอากาศในแต่ละปี การมี Storage ที่มากขึ้นทำให้อ่างมีความยืดหยุ่นในการบริหารน้ำต้นทุน สูงขึ้น และช่วยลดความเปราะบางของพื้นที่เมื่อปริมาณน้ำตามธรรมชาติมีความผันแปร สำหรับพื้นที่เกษตรกรรม ความยืดหยุ่นดังกล่าวมีความสำคัญ เนื่องจากพื้นที่นา สวนลำไย และพืชชนิดอื่นมีช่วงเวลาและรูปแบบความต้องการน้ำแตกต่างกัน การมีปริมาตรเก็บกักมากขึ้นช่วยให้สามารถวางแผนการใช้น้ำให้สัมพันธ์กับน้ำต้นทุนและฤดูกาลเพาะปลูกได้ดีขึ้น โดยต้องดำเนินการควบคู่กับการติดตามปริมาณน้ำในอ่าง และการวางแผนจัดสรรน้ำอย่างเหมาะสม นอกจากนี้การเพิ่มระดับเก็บกักยังได้รับการตรวจสอบร่วมกับแนวเขตที่ดินรอบอ่าง เพื่อให้การเพิ่มปริมาตรน้ำไม่ส่งผลกระทบต่อสิทธิการใช้ที่ดินบริเวณข้างเคียง และมีการนำข้อมูลจากการรับฟังความคิดเห็นของประชาชนและผู้ใช้น้ำมาประกอบประกอบการกำหนดแนวทางการปรับปรุงผลที่เกิดขึ้นจึงเป็นการเพิ่มศักยภาพของโครงสร้างเดิม ให้สามารถเก็บรักษาและบริหารน้ำต้นทุนได้มากขึ้นภายใต้ข้อจำกัดของพื้นที่เดิม และสนับสนุนการใช้ประโยชน์ของประชาชนและพื้นที่เกษตรกรรมได้อย่างเหมาะสมมากขึ้น

4.3.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารน้ำหลากและลดความเสี่ยงต่อพื้นที่ท้ายน้ำ

ระบบทางระบายน้ำล้นเดิมของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนไม่มีบานควบคุม การระบายน้ำจึงเกิดขึ้นตามระดับน้ำเหนือสัน Spillway เป็นหลัก ทำให้การควบคุมระดับน้ำก่อนหรือระหว่างเหตุการณ์น้ำหลากมีข้อจำกัด การติดตั้ง Sluice Gate ขนาด 3.00×3.00 เมตร จำนวน 2 ช่อง ทำให้อ่างสามารถควบคุมจังหวะและปริมาณการระบายน้ำได้มากขึ้น รวมถึงสามารถพร่องน้ำล่วงหน้าก่อนเหตุการณ์ที่คาดว่าจะมีน้ำไหลเข้าสูง ความสามารถในการควบคุมการระบายดังกล่าวทำงานร่วมกับปริมาตรเก็บกักของอ่าง กล่าวคือ เมื่อเกิด Flood Inflow น้ำส่วนหนึ่งสามารถเก็บไว้ชั่วคราวภายในอ่าง ขณะที่อีกส่วนหนึ่งถูกระบายออกตามความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับอัตราการระบาย ทำให้อยอดของ Outflow Hydrograph ลดลงและเลื่อนตามเวลา เกิดผลในลักษณะ Flood Attenuation

ผลการวิเคราะห์ Reservoir Flood Routing สำหรับกรณีรอบปีการเกิด 25 ปี ใช้ Peak Inflow เท่ากับ 177.19 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พบว่าสภาพเดิมให้ Peak Outflow เท่ากับ 170.65 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ขณะที่ระบบหลังการปรับปรุงให้ Peak Outflow เท่ากับ 134.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือลดลงประมาณ 36.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที คิดเป็นร้อยละ 21.2 พร้อมกันนั้น Maximum Water Level ลดจาก +420.38 เป็น +420.25 เมตร (รทก.) และระยะต่างระดับระหว่างระดับน้ำสูงสุดกับสันเขื่อนเพิ่มจาก 0.92 เป็น 1.05 เมตร ผลดังกล่าวแสดงว่าการเพิ่มความจุเก็บกักไม่ได้ทำให้ระดับน้ำสูงสุดภายใต้กรณีวิเคราะห์เพิ่มขึ้น แต่ระบบสามารถบริหาร Storage และ Outflow ให้ระดับน้ำสูงสุดต่ำกว่าสภาพเดิมได้

การบริหารอ่างในฤดูน้ำหลากมีเป้าหมายสำคัญในการรักษาความปลอดภัยของเขื่อนและลด Flood Risk ด้านท้ายน้ำ โดยการใช้ข้อมูล Inflow และข้อมูลพยากรณ์ช่วยให้สามารถกำหนดการระบายให้เหมาะสมกับสถานการณ์และปริมาตรว่างภายในอ่างได้มากขึ้น (Jain et al., 2023) สำหรับพื้นที่ด้านท้ายน้ำ ประโยชน์สำคัญอยู่ที่การลดอัตราการไหลสูงสุดที่ถูกส่งออกจากอ่างในช่วง Peak ของเหตุการณ์ ทำให้ลำน้ำด้านท้ายน้ำรับภาระการไหลสูงสุดลดลงภายใต้เงื่อนไขการวิเคราะห์เดียวกัน ผลดังกล่าวช่วยลดโอกาสที่น้ำหลากจากอ่างจะไปเพิ่มความรุนแรงของสภาพการไหลในพื้นที่ท้ายน้ำ ค่าที่ได้จาก Flood Routing เป็นค่าที่ใช้แสดงสมรรถนะของระบบภายใต้เหตุการณ์ออกแบบ ส่วนระดับความเสียหายที่ลดลงจริงในพื้นที่ยังสัมพันธ์กับสภาพลำน้ำ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ระดับน้ำในพื้นที่ และเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้น ประโยชน์ทางวิศวกรรมที่ยืนยันจากโครงการคือ ความสามารถในการหน่วงน้ำหลาก ลด Peak Outflow และเพิ่มความยืดหยุ่นในการบริหารการระบายน้ำ ประโยชน์ด้านนี้จึงเกิดจากการทำงานร่วมกันของ Reservoir Storage, Gated Spillway และการบริหารระดับน้ำ ซึ่งช่วยให้การระบายน้ำในช่วงฤดูน้ำหลากเป็นการระบายในช่วงเวลาและปริมาณที่เหมาะสมกับสถานการณ์ มากกว่าการปล่อยให้น้ำระบายตามระดับเหนือสัน Spillway เพียงอย่างเดียว

4.3.3 การใช้ทรัพยากรโครงการอย่างคุ้มค่าและการพัฒนาพื้นที่สาธารณประโยชน์

งานขุดลอกอ่างเก็บน้ำทำให้เกิดวัสดุดินจำนวนมาก การบริหารวัสดุดังกล่าวจึงเป็นส่วนหนึ่งของการวางแผนโครงการ หากขนย้ายออกไปทิ้งนอกพื้นที่ทั้งหมด จะเกิดทั้งค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ความต้องการพื้นที่รองรับวัสดุ และผลกระทบต่อชุมชนตามแนวเส้นทางขนส่ง โครงการห้วยน้ำแวนได้นำดินที่เกิดจากการขุดลอกมาใช้ถมและบดอัดพื้นที่บริเวณด้านหลังเขื่อน เพื่อปรับพื้นที่เป็นลานจอดรถและลานกิจกรรมสำหรับชุมชน แทนการขนย้ายวัสดุออกไปทิ้งภายนอกพื้นที่ การดำเนินการดังกล่าวช่วยลดภาระการขนส่ง ลดผลกระทบจากฝุ่นและการจราจร ลดโอกาสเกิดความเสียหายต่อถนนชุมชน และเพิ่มพื้นที่สาธารณประโยชน์ภายในโครงการ การดำเนินงานนี้ทำให้งานขุดลอกเกิดประโยชน์ต่อเนื่องสองส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการนำตะกอนออกจากอ่างเพื่อฟื้นฟูปริมาตรเก็บกัก และส่วนที่สองเป็นการนำวัสดุที่เกิดขึ้น

กลับมาใช้พัฒนาพื้นที่โครงการ ทำให้ลดการสูญเสียทรัพยากรและลดกิจกรรมที่ไม่จำเป็นในกระบวนการก่อสร้าง หลักการนำวัสดุขุดลอกกลับมาใช้ประโยชน์สอดคล้องกับแนวคิด Beneficial Use of Dredged Material ซึ่งให้ความสำคัญกับการนำวัสดุขุดลอกไปใช้ในกิจกรรมที่เกิดคุณค่าทางสังคม เศรษฐกิจ หรือสิ่งแวดล้อม และช่วยลดความต้องการพื้นที่สำหรับกำจัดวัสดุ (U.S. Army Corps of Engineers [USACE], n.d.)

สำหรับโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน ดินที่ได้จากการขุดลอกภายในอ่างถูกนำกลับมาใช้ถมและปรับพื้นที่บริเวณด้านหลังเขื่อน เพื่อพัฒนาเป็นลานจอดรถและพื้นที่กิจกรรมของชุมชน แทนการขนย้ายวัสดุออกไปทิ้งนอกพื้นที่ แนวทางดังกล่าวช่วยลดระยะทางและจำนวนเที่ยวของรถบรรทุก ลดค่าใช้จ่ายด้านการขนส่ง ตลอดจนลดผลกระทบต่อชุมชนจากฝุ่น การจราจร และความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับถนนในพื้นที่ ขณะเดียวกันยังทำให้วัสดุที่เกิดจากงานขุดลอกถูกนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเพิ่มพื้นที่สาธารณประโยชน์ภายหลังโครงการแล้วเสร็จ

การนำดินขุดลอกกลับมาใช้ในลักษณะนี้เป็นการเชื่อมโยง การฟื้นฟูความจุเก็บกักของอ่างกับการบริหารวัสดุจากงานก่อสร้างอย่างคุ้มค่า กล่าวคือ การขุดลอกมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำตะกอนออกจากอ่างและเพิ่มปริมาตรเก็บกัก ขณะที่ดินที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อในพื้นที่โครงการได้ โดยไม่ต้องเพิ่มกิจกรรมการขนย้ายและการกำจัดวัสดุโดยไม่จำเป็น ทั้งนี้ การเลือกใช้ดินขุดลอกต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับลักษณะของงานและคุณสมบัติของวัสดุ สำหรับงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับความมั่นคงของตัวเขื่อนหรือโครงสร้างสำคัญ วัสดุที่นำมาใช้ต้องผ่านการตรวจสอบและเป็นไปตามข้อกำหนดทางวิศวกรรมของงานนั้น ส่วนข้อมูลของโครงการห้วยน้ำแวนรองรับการนำดินขุดลอกไปใช้ในการถมปรับพื้นที่ด้านหลังเขื่อนและพัฒนาพื้นที่สาธารณประโยชน์ จึงเป็นตัวอย่างของการนำทรัพยากรที่เกิดขึ้นภายในโครงการมาใช้ให้เกิดประโยชน์เพิ่มเติม โดยยังคงให้ความสำคัญกับความเหมาะสมของวัสดุและความปลอดภัยของโครงสร้างเป็นหลัก ประโยชน์ในด้านนี้สามารถสรุปเป็นความเชื่อมโยงได้ดังนี้

ขุดลอกตะกอนภายในอ่าง → ฟื้นฟูและเพิ่มความจุเก็บกัก → นำดินขุดลอกกลับมาใช้ภายในโครงการ → ลดการขนย้ายและผลกระทบระหว่างก่อสร้าง → พัฒนาพื้นที่ด้านหลังเขื่อน → เพิ่มพื้นที่สาธารณประโยชน์ให้แก่ชุมชน

กรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนจึงแสดงให้เห็นว่า การบริหารวัสดุจากงานขุดลอกอย่างเหมาะสมสามารถสร้างประโยชน์ได้มากกว่าการเพิ่มความจุของอ่างเพียงด้านเดียว แต่ยังช่วยลดภาระของงานก่อสร้างใช้ทรัพยากรภายในโครงการอย่างคุ้มค่า และเพิ่มประโยชน์ใช้สอยของพื้นที่ให้แก่ชุมชนภายหลังการดำเนินโครงการแล้วเสร็จ

4.3.4 การมีส่วนร่วมของผู้ใช้น้ำในการบริหารจัดการน้ำ

ระบบอ่างเก็บน้ำหลังการปรับปรุงมีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำและการระบายน้ำมากขึ้น การบริหารอ่างจึงเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจทั้งด้านการรักษาน้ำต้นทุน การจัดสรรน้ำให้พื้นที่รับประโยชน์ และการระบายน้ำเมื่อเกิดสถานการณ์น้ำหลาก การตัดสินใจเหล่านี้มีผลต่อประชาชน และผู้ใช้น้ำหลายกลุ่ม จึงจำเป็นต้องมีช่องทางให้ข้อมูลจากพื้นที่เชื่อมโยงกับการบริหารอ่าง ภายหลังการปรับปรุงโครงการได้จัดทำแนวทางบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ โดยเฉพาะในช่วงมรสุมหรือเมื่อมีพายุเคลื่อนเข้าสู่พื้นที่รับน้ำ พร้อมทั้งส่งเสริมการจัดตั้งและพัฒนา องค์กรกลุ่มผู้ใช้น้ำ เพื่อให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการ และการจัดสรรน้ำร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มผู้ใช้น้ำทำหน้าที่เป็นกลไกสำคัญในการเชื่อมข้อมูลสถานการณ์น้ำของอ่างกับความ ต้องการใช้น้ำของพื้นที่ โดยประชาชนสามารถรับทราบสถานการณ์น้ำต้นทุน แนวทางการจัดสรรน้ำ และการ เปลี่ยนแปลงของสถานการณ์ ขณะเดียวกันหน่วยงานสามารถรับข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการใช้น้ำ ปัญหาการ กระจายน้ำ สภาพการเพาะปลูก และผลกระทบที่เกิดขึ้นจริงจากพื้นที่ การมีส่วนร่วมในลักษณะดังกล่าวช่วย ให้การวางแผนการใช้น้ำมีข้อมูลครบถ้วนมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อปริมาณน้ำมีจำกัดหรือความต้องการใช้น้ำของ แต่ละพื้นที่เกิดขึ้นไม่พร้อมกัน การมีเวทีและกลไกประสานระหว่างผู้ใช้น้ำช่วยให้สามารถสื่อสารลำดับความ ต้องการและเงื่อนไขการจัดสรรได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้ความร่วมมือระหว่างผู้นำ ชุมชน หน่วยงานท้องถิ่น และประชาชน รวมถึงการจัดระบบข้อมูลสำหรับใช้ในการตัดสินใจ เป็นองค์ประกอบสำคัญต่อประสิทธิภาพของ Water User Organizations และสนับสนุนทั้งการวางแผนจัดสรรน้ำและการจัดการความขัดแย้งของผู้ใช้น้ำ (Chuenchum et al., 2024)

การบริหารน้ำร่วมกันยังต้องมีขอบเขตบทบาทที่ชัดเจน โดยกลุ่มผู้ใช้น้ำมีบทบาทในการ สะท้อนความต้องการ รับรู้ข้อมูล ร่วมวางแผน และประสานการใช้น้ำ ขณะที่การควบคุม Sluice Gate การตัดสินใจในสถานการณ์น้ำหลาก และการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของเขื่อนยังคงเป็นหน้าที่ ของหน่วยงานและบุคลากรที่รับผิดชอบตามหลักวิศวกรรมและอำนาจหน้าที่ที่กำหนด แนวทางดังกล่าว สอดคล้องกับหลัก Water Governance ที่ให้ความสำคัญกับการกำหนดบทบาทและความรับผิดชอบที่ชัดเจน การจัดทำและแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ทันต่อสถานการณ์ และการเปิดโอกาสให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียมีส่วนร่วมใน กระบวนการบริหารน้ำอย่างเหมาะสม (OECD, 2024) สำหรับห้วยน้ำแวน การพัฒนาองค์กรกลุ่มผู้ใช้น้ำจึงช่วย ขยายการบริหารจากการควบคุมอาคารและระดับน้ำไปสู่การบริหารน้ำที่เชื่อมโยงกับผู้ใช้น้ำจริงในพื้นที่ เมื่อข้อมูลน้ำต้นทุน ข้อมูลการระบาย และความต้องการใช้น้ำถูกนำมาพิจารณาร่วมกัน การจัดสรรน้ำสามารถ สอดคล้องกับสภาพการณ์ได้มากขึ้น และช่วยให้โครงสร้างที่ได้รับการปรับปรุงถูกใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่องใน ระยะยาว

การสังเคราะห์ประโยชน์ของโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนสามารถเชื่อมโยงเป็น กระบวนการได้ดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 สรุปประโยชน์ของโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

กรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนจึงแสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงแหล่งน้ำเดิมสามารถสร้างประโยชน์ได้หลายมิติเมื่อการออกแบบทางวิศวกรรมเชื่อมโยงกับการบริหารและการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ การเพิ่มความจุเก็บกักช่วยเพิ่มศักยภาพของน้ำต้นทุน ระบบ Gated Spillway ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการบริหารน้ำหลาก การนำดินขุดลอกกลับมาใช้ช่วยเพิ่มคุณค่าจากทรัพยากรภายในโครงการ และองค์กรกลุ่มผู้ใช้น้ำช่วยเชื่อมการบริหารอ่างกับความต้องการของประชาชน ผลสัมฤทธิ์ของโครงการจึงเกิดจากการทำงานร่วมกันของโครงสร้างทางวิศวกรรม การบริหารอ่าง และการมีส่วนร่วมของผู้ใช้น้ำ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของการใช้ประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและต่อเนื่องในระยะยาว และเป็นประเด็นสำคัญสำหรับการถอดบทเรียนไปสู่การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่น

บทที่ 5

บทเรียนและการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่การประยุกต์ใช้

การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนเป็นกรณีศึกษาของการพัฒนาอ่างเก็บน้ำเดิมที่ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานาน ภายใต้ข้อจำกัดหลายด้าน ทั้งการสะสมของตะกอน ความจุเก็บกักที่ลดลง ข้อมูลอุทกวิทยาเดิมที่แตกต่างจากพฤติกรรมของน้ำที่เกิดขึ้นจริง และระบบระบายน้ำเดิมที่มีข้อจำกัดในการควบคุมระดับน้ำ ปัญหาเหล่านี้สัมพันธ์กันและส่งผลต่อทั้งการเก็บน้ำต้นทุน การบริหารน้ำหลาก ความมั่นคงของตัวเขื่อนและความปลอดภัยของประชาชนด้านท้ายน้ำ ประสพการณ์จากโครงการแสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมไม่ควรเริ่มจากการกำหนดว่าจะขุดลอก ซ่อมสันระบายน้ำล้น (Spillway) หรือติดตั้งบานประตูระบายน้ำ (Gate) แต่ควรเริ่มจากการทำความเข้าใจว่าอ่างในปัจจุบันมีสภาพอย่างไร ปัญหาที่แท้จริงเกิดจากส่วนใด และการแก้ไขส่วนหนึ่งจะส่งผลต่อส่วนอื่นของระบบอย่างไร จากนั้นจึงใช้ข้อมูลและผลการวิเคราะห์ประกอบการเลือกแนวทางที่เหมาะสม

องค์ความรู้ที่ได้จากห้วยน้ำแวนจึงมีคุณค่า ไม่ใช่เพราะสามารถนำแบบหรือค่าพารามิเตอร์ของโครงการไปใช้กับอ่างอื่นโดยตรง แต่เพราะแสดงให้เห็นกระบวนการตรวจสอบ วิเคราะห์ ตัดสินใจ ก่อสร้าง และบริหารอ่างอย่างเป็นระบบ ซึ่งสามารถถอดเป็นบทเรียนสำหรับการประยุกต์ใช้กับอ่างเก็บน้ำเดิมที่มีลักษณะปัญหาใกล้เคียงกันได้

5.1 บทเรียนเชิงวิศวกรรมและการบริหารจัดการจากกรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

จากกระบวนการดำเนินโครงการทั้งหมด สามารถสังเคราะห์บทเรียนสำคัญได้ 7 ประเด็น ดังนี้

5.1.1 การตรวจสอบข้อมูลเดิมกับสภาพจริงของอ่าง

บทเรียนแรกของโครงการคือ การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมต้องเริ่มจากข้อมูลที่สะท้อนสภาพปัจจุบัน เพราะอ่างที่ผ่านการใช้งานมาหลายปีอาจมีสภาพแตกต่างจากวันที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ ทั้งรูปทรงทอ้งอ่าง ปริมาณตะกอน ความจุเก็บกัก สภาพตัวเขื่อน และอาคารประกอบ สำหรับอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน การสำรวจพบการสะสมของตะกอนภายในอ่าง ส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาตรเก็บกัก (Elevation–Storage Relationship) เปลี่ยนแปลงไปจากข้อมูลเดิม ขณะเดียวกันการตรวจสอบข้อมูลการใช้งานพบว่าพฤติกรรมของน้ำที่เกิดขึ้นจริงแตกต่างจากค่าที่คาดการณ์ไว้ในการออกแบบเดิม โดยพื้นที่รับน้ำมีลักษณะเป็นพื้นที่เงาฝน (Rain Shadow) และไม่มีสถานีตรวจวัดฝนและน้ำท่าภายในพื้นที่รับน้ำโดยตรง

โครงการจึงไม่ได้ใช้ข้อมูลเดิมเพียงชุดเดียว แต่รวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่ง ทั้งข้อมูลสำรวจภาคสนาม ประวัติการใช้งานอ่าง ข้อมูลอุทกวิทยา ภูมิอากาศ และข้อมูลจากประชาชนในพื้นที่ รวมถึงการสำรวจด้วย RTK GNSS, UAV/Drone และ Total Station เพื่อปรับฐานข้อมูลให้สอดคล้องกับสภาพปัจจุบัน ก่อนนำไปวิเคราะห์และออกแบบ บทเรียนที่นำไปใช้ได้ คือ การออกแบบปรับปรุงอ่างเดิมควรใช้ ข้อมูลสภาพปัจจุบันที่ผ่านการตรวจสอบเป็นฐาน ไม่ใช่อาศัยข้อมูลเดิมตั้งแต่ก่อสร้างครั้งแรกเพียงอย่างเดียว

5.1.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาทั้งระบบก่อนกำหนดวิธีแก้ไข

ปัญหาที่เห็นได้ชัดของห้วยน้ำแวนในช่วงแรกคือ ตะกอนสะสมและความจุเก็บกักลดลง หากพิจารณาเพียงประเด็นนี้ วิธีแก้ไขอาจจบลงที่การขุดลอก แต่เมื่อวิเคราะห์เพิ่มเติมพบว่าอ่างยังมีข้อจำกัดอีกสองด้านที่เชื่อมโยงกัน ได้แก่ ข้อจำกัดด้านอุทกวิทยา (Hydrological Constraint) จากความแตกต่างระหว่างข้อมูลเดิมกับพฤติกรรมของน้ำจริงในพื้นที่ และข้อจำกัดด้านชลศาสตร์และการบริหารน้ำหลาก (Hydraulic Constraint) เนื่องจาก Double Side Channel Spillway เดิมไม่มีบานควบคุม ทำให้ไม่สามารถพร่องน้ำล่วงหน้าเพื่อเตรียมพื้นที่ว่างในอ่างก่อนเกิดเหตุการณ์น้ำหลากได้อย่างยืดหยุ่น ดังนั้น การขุดลอกเพียง

อย่างเดียวแม้จะช่วยเพิ่ม Storage แต่ไม่ได้เพิ่มความสามารถในการควบคุมระดับน้ำและการบริหารน้ำหลาก ขณะเดียวกัน การปรับปรุง Spillway โดยไม่ทราบ Reservoir Storage ที่แท้จริง ก็ไม่สามารถประเมินการตอบสนองของอ่างได้อย่างถูกต้อง

กรณีห้วยน้ำแวนจึงทำให้เห็นว่า อ่างเก็บน้ำต้องพิจารณาเป็นระบบที่องค์ประกอบต่าง ๆ ทำงานต่อเนื่องกัน ได้แก่

ฝนและพื้นที่รับน้ำ → ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง → ปริมาตรเก็บกัก → ระดับน้ำในอ่าง → อาคารระบายน้ำ → ปริมาณน้ำระบาย → พื้นที่ด้านท้ายน้ำ

เมื่อส่วนหนึ่งของระบบเปลี่ยน ส่วนอื่นย่อมได้รับผลตามไปด้วย บทเรียนที่นำไปใช้ได้ คือ ก่อนเลือกวิธีแก้ไขต้องแยกให้ชัดว่าปัญหาเกิดจากความจุ อุทกวิทยา อาคารระบายน้ำ ความมั่นคงของโครงสร้าง หรือการบริหาร และต้องวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาเหล่านั้นร่วมกัน

5.1.3 การเพิ่มน้ำต้นทุนต้องทำควบคู่กับการรักษาความปลอดภัยของเขื่อนและพื้นที่ท้ายน้ำ

เป้าหมายสำคัญของโครงการคือการเพิ่มน้ำต้นทุนให้กับพื้นที่รับประโยชน์ แต่การเพิ่มระดับเก็บกักมีผลต่อทั้งระดับน้ำสูงสุดในอ่าง ความสามารถในการระบาย และ Freeboard ของเขื่อน โครงการจึงใช้ Reservoir Flood Routing วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Inflow, Storage และ Outflow เพื่อดูว่าเมื่อเพิ่มความจุและปรับระบบระบายน้ำแล้ว ระดับน้ำสูงสุดและปริมาณน้ำระบายจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยกรณี $Tr = 25$ ปี ใช้ Peak Inflow เท่ากับ 177.19 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีเป็นเหตุการณ์สำหรับวิเคราะห์ระบบ ผลการปรับปรุงทำให้ความจุเก็บกักเพิ่มจาก 2.30 เป็น 2.80 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือประมาณร้อยละ 21.7 ในขณะที่ Peak Outflow ลดจาก 170.65 เป็น 134.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือประมาณร้อยละ 21.2 ระดับน้ำสูงสุดลดลง 0.13 เมตร และ Freeboard เพิ่มจาก 0.92 เป็น 1.05 เมตร ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นความสำคัญของการใช้ Flood Routing เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบว่า การเพิ่ม Storage สามารถดำเนินการโดยยังควบคุม Maximum Water Level และ Peak Outflow ให้อยู่ในเงื่อนไขที่เหมาะสมได้หรือไม่ ทั้งนี้การบริหารอ่างในฤดูน้ำหลากต้องสร้างสมดุลระหว่างวัตถุประสงค์ด้านการเก็บน้ำกับการลดความเสี่ยงจากน้ำหลาก โดยความปลอดภัยของเขื่อนเป็นเงื่อนไขสำคัญของการตัดสินใจ (Jain et al., 2023) บทเรียนที่นำไปใช้ได้ คือ การเพิ่ม Storage ต้องวิเคราะห์พร้อมกับ Maximum Water Level, Outflow, Freeboard และ Dam Safety เสมอ เพื่อให้การเพิ่มประโยชน์ด้านน้ำไม่สร้างความเสี่ยงใหม่ให้กับระบบ

5.1.4 การเลือกทางเลือกต้องพิจารณาหลายด้าน

การศึกษาทางเลือกของห้วยน้ำแวนเปรียบเทียบแนวทางสำคัญระหว่าง Fixed Crest Spillway กับ Gated Spillway ซึ่งแต่ละทางเลือกมีข้อดีและข้อจำกัดต่างกัน Fixed Crest มีรูปแบบไม่ซับซ้อนและต้นทุนต่ำกว่า แต่มีข้อจำกัดในการควบคุมระดับน้ำและการพร่องน้ำล่วงหน้า ส่วน Gated Spillway มีต้นทุนสูงกว่าและต้องมีการเดินระบบกับบำรุงรักษา แต่เพิ่มความยืดหยุ่นในการควบคุมระดับน้ำสามารถพร่องน้ำก่อนเหตุการณ์น้ำหลาก และเมื่อวิเคราะห์ร่วมกับ Storage แล้วให้ผลด้าน Peak Outflow และ Maximum Water Level ที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของโครงการมากกว่า

ดังนั้น การพิจารณาทางเลือกจึงใช้เกณฑ์ร่วมกันทั้งปริมาตรเก็บกัก ความสามารถในการควบคุมระดับน้ำ ความปลอดภัยของเขื่อน ผลต่อพื้นที่ท้ายน้ำ ความยืดหยุ่นในการบริหาร และค่าก่อสร้าง ก่อนเลือกแนวทางขุดลอกร่วมกับ Gated Spillway ประเด็นสำคัญจึงไม่ได้อยู่ที่ Gated Spillway ดีกว่า Fixed Crest Spillway เสมอไป แต่ขึ้นอยู่กับว่าอ่างแต่ละแห่งมีปัญหา วัตถุประสงค์ และข้อจำกัดอย่างไร สำหรับห้วยน้ำแวน ความต้องการเพิ่มน้ำต้นทุนเกิดขึ้นพร้อมกับความต้องการเพิ่มความสามารถในการควบคุม

ระดับน้ำ จึงทำให้ Operational Flexibility มีน้ำหนักในการตัดสินใจสูงขึ้น บทเรียนที่นำไปใช้ได้ คือ ทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดไม่จำเป็นต้องมีต้นทุนต่ำที่สุด แต่ต้องให้สมดุลที่เหมาะสมระหว่างประสิทธิภาพ ความปลอดภัย การบริหาร และค่าใช้จ่ายตลอดช่วงใช้งาน

5.1.5 ใช้ประโยชน์จากโครงสร้างเดิมให้เต็มศักยภาพก่อนพิจารณาก่อสร้างใหม่

อีกบทเรียนหนึ่งที่ชัดเจนของห้วยน้ำแวนคือ การเพิ่มประสิทธิภาพของแหล่งน้ำเดิมไม่จำเป็นต้องหมายถึงการสร้างใหม่ทั้งหมด โครงการยังคงใช้ตัวเขื่อนและองค์ประกอบเดิมที่มีความเหมาะสมแล้วปรับปรุงเฉพาะส่วนที่จำเป็น ได้แก่ การขุดลอกตะกอน การตัดปรับ Spillway เดิม การติดตั้ง Sluice Gate การปรับปรุง River Outlet การซ่อม Chute, Chute Block และ End Sill การเสริมสันเขื่อน และการปรับปรุงระบบป้องกันการกัดเซาะ แนวทางดังกล่าวทำให้สามารถเพิ่มความจุเก็บกักได้ประมาณ 500,000 ลูกบาศก์เมตร โดยไม่ต้องก่อสร้างเขื่อนใหม่หรือขยายพื้นที่ตัวเขื่อน หลักการนี้สอดคล้องกับแนวคิดการรักษา Reservoir Storage Capacity ซึ่งให้ความสำคัญกับการฟื้นฟูประโยชน์ของโครงสร้างเก็บน้ำที่มีอยู่ เนื่องจากอ่างจำนวนมากสูญเสีย Storage จากการสะสมตะกอน ขณะที่การพัฒนาแหล่งเก็บกักใหม่มีข้อจำกัดเพิ่มขึ้น (Randle et al., 2021)

การพิจารณาอ่างเดิมจึงควรเริ่มจากคำถามว่า ส่วนใดยังใช้งานได้ ส่วนใดควรซ่อม ส่วนใดควรปรับปรุง และส่วนใดจำเป็นต้องสร้างเพิ่ม โดยการนำโครงสร้างเดิมกลับมาใช้ต้องผ่านการตรวจสอบความมั่นคงและความเหมาะสมทางวิศวกรรมก่อนเสมอ บทเรียนที่นำไปใช้ได้ คือ การฟื้นฟูและปรับปรุงโครงสร้างเดิมอย่างเหมาะสมสามารถเพิ่มประโยชน์ของการลงทุนเดิม ลดการใช้ทรัพยากร และลดผลกระทบต่อพื้นที่ได้โดยไม่ลดทอนมาตรฐานด้านความปลอดภัย

5.1.6 การก่อสร้างอ่างเดิมต้องบริหารทั้งคุณภาพงานและความเสี่ยงจากน้ำหลาก

การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำที่ยังมีตัวเขื่อนและอาคารเดิมอยู่มีความซับซ้อนกว่างานก่อสร้างทั่วไป เพราะบางช่วงต้องตัด ปรับ หรือเชื่อมต่อกับโครงสร้างที่มีอยู่ ขณะเดียวกันอ่างยังต้องรองรับน้ำที่ไหลเข้าจากพื้นที่รับน้ำ งานสำคัญของห้วยน้ำแวน เช่น การตัดปรับ Spillway เดิม การติดตั้ง Sluice Gate และการปรับปรุงตัวเขื่อน จึงต้องดำเนินการโดยคำนึงถึงสถานการณ์ฝนและน้ำหลากระหว่างก่อสร้าง มีการติดตามพยากรณ์อากาศ วางลำดับงานล่วงหน้า และหลีกเลี่ยงการปล่อยให้งานที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของเขื่อนอยู่ในสภาวะเสี่ยงเมื่อมีแนวโน้มเกิดน้ำหลาก ด้านคุณภาพงานมีการควบคุมประเด็นที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบโดยตรง เช่น ความหนาแน่นของดินถม คุณภาพคอนกรีต และความถูกต้องของการติดตั้งประตูระบายน้ำ เพราะหากงานส่วนใดไม่ได้มาตรฐาน อาจกระทบทั้งความมั่นคงของเขื่อนและความสามารถในการควบคุมน้ำในภายหลัง บทเรียนจากกรณีนี้จึงทำให้เห็นว่า สภาพระหว่างก่อสร้างก็เป็นส่วนหนึ่งของความปลอดภัยของโครงการ ไม่ใช่พิจารณาเฉพาะสภาพเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ การออกแบบและการก่อสร้างจึงต้องเชื่อมกันตั้งแต่

© แบบและข้อกำหนด → ลำดับการก่อสร้าง → การควบคุมคุณภาพ → การติดตามสถานการณ์น้ำ → การตรวจสอบความปลอดภัย

บทเรียนที่นำไปใช้ได้ คือ โครงการปรับปรุงเขื่อนและอาคารทางน้ำต้องวางแผนงานให้สัมพันธ์กับฤดูกาลและสถานการณ์น้ำ พร้อมควบคุมคุณภาพขององค์ประกอบที่มีผลต่อความมั่นคงและการระบายน้ำอย่างใกล้ชิด

5.1.7 การปรับปรุงจะเกิดประโยชน์ระยะยาวเมื่อเชื่อมการออกแบบกับการบริหาร การบำรุงรักษา และผู้ใช้น้ำ

ความสำเร็จของการปรับปรุงไม่ได้สิ้นสุดเมื่อการก่อสร้างแล้วเสร็จ โดยเฉพาะห้วยน้ำแวนซึ่งเปลี่ยนจาก Spillway ที่ไม่มีบานควบคุมมาเป็นระบบที่สามารถเปิด-ปิด Sluice Gate ได้ ความสามารถในการควบคุมระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นจึงมาพร้อมกับความรับผิดชอบด้านการบริหารและบำรุงรักษาที่เพิ่มขึ้น การทำงานของระบบในระยะยาวขึ้นอยู่กับทั้งข้อมูลสถานการณ์น้ำ ความพร้อมของประตูละบายน้ำและเครื่องกักน้ำ ความสามารถของผู้ปฏิบัติงาน การตรวจสอบ และการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง โครงการจึงจัดทำแนวทางบริหารอ่างในช่วงมรสุมหรือพายุ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจพร่องน้ำและควบคุมระดับน้ำให้สัมพันธ์กับสถานการณ์จริง หลักการดังกล่าวสอดคล้องกับแนวทางของ U.S. Bureau of Reclamation ซึ่งกำหนดให้การบริหารเขื่อนครอบคลุมทั้ง Standing Operating Procedures การทดสอบ Spillway Gates และ Outlet Gates การติดตามตะกอน การจัดเก็บประวัติการเดินระบบ และ Maintenance Management เพื่อรักษาความพร้อมและความปลอดภัยของระบบในระยะใช้งาน (U.S. Bureau of Reclamation [USBR], 2022c) ในส่วนของผู้ใช้น้ำ โครงการยังส่งเสริมองค์กรกลุ่มผู้ใช้น้ำให้เข้ามามีส่วนร่วมในการรับรู้สถานการณ์น้ำ วางแผนการใช้และจัดสรรน้ำ ตลอดจนประสานงานกับหน่วยงานที่รับผิดชอบ การบริหารอ่างจึงเชื่อมข้อมูลทางวิศวกรรมของอ่างกับความต้องการใช้น้ำจริงของพื้นที่มากขึ้น

บทเรียนที่นำไปใช้ได้ คือ ต้องมีการวางแผนเรื่องการบริหารและบำรุงรักษาตั้งแต่ขั้นออกแบบ เพราะโครงสร้างที่ออกแบบให้มีความยืดหยุ่นสูงจะเกิดประโยชน์ได้ก็ต่อเมื่อมีบุคลากร ข้อมูล และระบบบำรุงรักษาที่รองรับ

สรุปบทเรียนเชิงวิศวกรรมและการบริหารจัดการ

บทเรียนจากอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนสามารถสรุปองค์ความรู้จากการดำเนินโครงการดังนี้ “รู้สภาพจริง วิเคราะห์ทั้งระบบ เลือกทางเลือกอย่างสมดุล และบริหารต่อเนื่องตลอดอายุการใช้งาน” แนวคิดนี้สะท้อนสาระของการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนได้ชัดเจน เพราะโครงการไม่ได้เพิ่มน้ำต้นทุนด้วยการเพิ่ม Storage เพียงอย่างเดียว แต่เชื่อมการเพิ่มความจุกับ Flood Routing, Dam Safety, Downstream Risk, Construction Quality และ Reservoir Operation จนเป็นกระบวนการเดียวกัน องค์ความรู้ที่ควรถ่ายทอดประกอบด้วย การตรวจสอบข้อมูลอุทกวิทยากับสภาพจริง การใช้ Flood Routing การเปรียบเทียบ Fixed Crest กับ Gated Spillway การเพิ่มความจุโดยใช้โครงสร้างเดิม และการบริหารความเสี่ยงด้านความปลอดภัยสาธารณะ

ดังนั้น สิ่งที่ควรถ่ายทอดจากกรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนไปสู่อ่างเก็บน้ำแห่งอื่น ไม่ใช่แบบก่อสร้าง ขนาด Sluice Gate ระดับสัน Spillway หรือค่าตัวเลขเฉพาะของโครงการ แต่เป็นวิธีคิดในการตรวจสอบปัญหา วิธีเชื่อมข้อมูลทางอุทกวิทยากับชลศาสตร์และความปลอดภัย วิธีเปรียบเทียบทางเลือก และวิธีเชื่อมการออกแบบกับการบริหารในระยะยาว ซึ่งจะเป็นฐานโดยตรงสำหรับกรอบการประยุกต์ใช้องค์ความรู้กับอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่น

5.2 กรอบการประยุกต์ใช้องค์ความรู้กับอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่น

องค์ความรู้จากการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอ่างเก็บน้ำหรือเขื่อนดินเดิมที่มีปัญหาใกล้เคียงกัน เช่น ตะกอนสะสม ความจุเก็บกักลดลง ข้อมูลอุทกวิทยาเดิมไม่สอดคล้องกับสภาพปัจจุบัน อาคารระบายน้ำมีข้อจำกัด หรือไม่สามารถบริหารน้ำต้นทุนและน้ำหลากได้อย่างเหมาะสม สาระที่ควรถ่ายทอดไปยังอ่างเก็บน้ำแห่งอื่นไม่ใช่ขนาด Sluice Gate ระดับ Spillway รอบปีการเกิดของน้ำหลาก หรือค่าพารามิเตอร์เฉพาะของห้วยน้ำแวน แต่เป็นกระบวนการตรวจสอบข้อมูล วิธีวิเคราะห์ปัญหา หลักการเปรียบเทียบทางเลือก การใช้โครงสร้างเดิมอย่างเหมาะสม และการบริหารความเสี่ยงตลอดอายุโครงการ เนื่องจากอ่างเก็บน้ำแต่ละแห่งมีสภาพพื้นที่รับน้ำ อุทกวิทยา ชลศาสตร์ โครงสร้าง ความต้องการใช้น้ำ และพื้นที่ด้านท้ายน้ำแตกต่างกัน จากบทเรียนของห้วยน้ำแวน สามารถสังเคราะห์กรอบการประยุกต์ใช้เป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

5.2.1 ตรวจสอบข้อมูลและสภาพปัจจุบันของอ่างเก็บน้ำ

จุดเริ่มต้นของการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิม คือการตรวจสอบว่า สภาพจริงในปัจจุบันแตกต่างจากข้อมูลเมื่อก่อสร้างอย่างไร เนื่องจากอ่างที่ใช้มานานเป็นเวลานานอาจเกิดการสะสมของตะกอน การเปลี่ยนแปลงของท้องอ่าง การเสื่อมสภาพของอาคารประกอบ หรือการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่รับน้ำและพื้นที่โดยรอบ ข้อมูลเดิมที่ควรรวบรวม ได้แก่ แบบก่อสร้าง รายงานออกแบบ ข้อมูลระดับและความจุอ่าง ข้อมูลฝนและน้ำท่า ประวัติการใช้งาน ระดับน้ำสูงสุด เหตุการณ์น้ำล้น Spillway การซ่อมบำรุง และข้อมูลพื้นที่รับประโยชน์ จากนั้นจึงสำรวจสภาพปัจจุบันของตัวเขื่อน อ่างเก็บน้ำ Spillway, Outlet และอาคารประกอบ รวมถึงตรวจสอบตะกอนและจัดทำ Elevation–Area–Storage Relationship ให้สอดคล้องกับสภาพจริง

กรณีห้วยน้ำแวนพบว่าการสะสมของตะกอนทำให้ Elevation–Storage Relationship เปลี่ยนไปจากข้อมูลเดิม และข้อมูลอุทกวิทยาบางส่วนไม่สามารถสะท้อนพฤติกรรมน้ำจริงได้อย่างเพียงพอ จึงต้องตรวจสอบข้อมูลจากหลายแหล่งก่อนนำไปวิเคราะห์ ผลของขั้นตอนนี้ควรเป็นฐานข้อมูลสภาพปัจจุบันที่ผ่านการตรวจสอบ ซึ่งใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นของการวิเคราะห์และการตัดสินใจในขั้นต่อไป

5.2.2 วิเคราะห์ปัญหาและข้อจำกัดของระบบอ่างเก็บน้ำ

เมื่อทราบสภาพปัจจุบันแล้ว ต้องวิเคราะห์ต่อว่าปัญหาที่แท้จริงอยู่ตรงส่วนใดของระบบ และปัญหาแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์กันอย่างไร การวิเคราะห์ควรพิจารณาอย่างน้อย 4 ด้าน ได้แก่

- ความจุเก็บกัก เช่น ตะกอนสะสมหรือ Storage ลดลง
- อุทกวิทยา เช่น ปริมาณฝน น้ำท่า และ Design Flood
- ชลศาสตร์และอาคารระบายน้ำ เช่น Spillway หรือ Outlet มีข้อจำกัด
- ความมั่นคงและการบริหารอ่าง เช่น Freeboard, Seepage, Slope Stability หรือข้อจำกัดในการควบคุมระดับน้ำ

หลักสำคัญคือไม่ควรวิเคราะห์แต่ละส่วนแยกจากกัน เพราะระบบอ่างเก็บน้ำมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกัน

พื้นที่รับน้ำ → Inflow → Storage → Water Level → Spillway/Outlet → Outflow
→ พื้นที่ท้ายน้ำ

หากมีแผนเพิ่ม Storage หรือเปลี่ยนแปลงอาคารระบายน้ำ ควรวิเคราะห์ Reservoir Flood Routing เพื่อประเมินผลต่อ Maximum Water Level, Peak Outflow และ Freeboard ร่วมกับการ

ตรวจสอบความมั่นคงของตัวเขื่อน กรณีห้วยน้ำแวนเป็นตัวอย่างที่ชัดเจนว่า ปัญหาไม่ได้เกิดจากตะกอนเพียงด้านเดียว แต่เป็นข้อจำกัดร่วมกันของ Storage, Hydrology และ Hydraulic System ผลของขั้นตอนนี้ควรทำให้ทราบอย่างชัดเจนว่า อะไรคือสาเหตุหลักของปัญหา และองค์ประกอบใดของระบบจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุง

5.2.3 กำหนดและเปรียบเทียบทางเลือกในการปรับปรุง

เมื่อทราบปัญหาแล้ว จึงกำหนดทางเลือกที่สามารถแก้ไขข้อจำกัดของระบบได้ โดยไม่ควรกำหนดรูปแบบโครงสร้างไว้ล่วงหน้าก่อนการวิเคราะห์ ทางเลือกอาจประกอบด้วย การขุดลอก การซ่อมหรือปรับ Spillway การเพิ่มหรือปรับ Outlet การติดตั้ง Gate การเสริมความมั่นคงของตัวเขื่อน การปรับปรุงระบบป้องกันการกัดเซาะ หรือการใช้หลายมาตรการร่วมกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัญหาและลักษณะของอ่างแต่ละแห่ง แต่ละทางเลือกควรได้รับการวิเคราะห์ด้วยข้อมูลชุดเดียวกันและเปรียบเทียบอย่างน้อยในด้านประโยชน์ ด้านต้นทุน สมรรถนะด้านน้ำหลาก ความมั่นคงของเขื่อน ผลต่อพื้นที่ท้ายน้ำ ความยืดหยุ่นในการบริหารความสามารถในการก่อสร้างและบำรุงรักษา ผลกระทบต่อพื้นที่ ต้นทุน

กรณีห้วยน้ำแวนแสดงให้เห็นว่า การเลือก Gated Spillway ไม่ได้เกิดจากการพิจารณาว่าเป็นระบบที่ระบายน้ำได้มากกว่า แต่เกิดจากการเปรียบเทียบกับ Fixed Crest Spillway ในหลายเกณฑ์ โดยเฉพาะความสามารถในการเพิ่ม Storage การพร่องน้ำล่วงหน้า การควบคุม Maximum Water Level และการลด Peak Outflow ขณะที่ต้นทุนเป็นเพียงหนึ่งในเกณฑ์การตัดสินใจ ผลของขั้นตอนนี้คือ ทางเลือกที่ตอบโจทย์ของอ่างได้ดีที่สุดโดยมีเหตุผลและผลการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมรองรับ

5.2.4 ออกแบบการปรับปรุงโดยใช้ศักยภาพของโครงสร้างเดิม

เมื่อเลือกแนวทางแล้ว ควรตรวจสอบว่าองค์ประกอบใดของอ่างเดิมยังสามารถใช้งานได้และองค์ประกอบใดจำเป็นต้องปรับปรุง หลักการสามารถเรียงได้เริ่มตั้งแต่การคงไว้ใช้ การซ่อมแซม การปรับปรุง หรือการเสริม การสร้างใหม่เมื่อจำเป็น แนวทางนี้ช่วยลดการรื้อถอน ลดการใช้วัสดุและพื้นที่เพิ่มเติม และรักษาประโยชน์จากการลงทุนเดิม แต่การใช้โครงสร้างเดิมต้องผ่านการตรวจสอบด้านความมั่นคงและความสามารถในการรองรับเงื่อนไขใหม่ก่อนเสมอ

กรณีห้วยน้ำแวนใช้ตัวเขื่อนและองค์ประกอบเดิมที่ยังเหมาะสมร่วมกับการขุดลอก การปรับ Spillway เดิม การติดตั้ง Sluice Gate และการซ่อมอาคารประกอบ ทำให้สามารถเพิ่มความจุเก็บกักจาก 2.30 เป็น 2.80 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยไม่ต้องก่อสร้างเขื่อนใหม่ ดังนั้น การใช้โครงสร้างเดิมจึงไม่ได้หมายถึงการลดต้นทุนเพียงอย่างเดียว แต่เป็นการใช้สินทรัพย์โครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ภายใต้เงื่อนไขด้านความปลอดภัย ผลของขั้นตอนนี้ควรออกแบบการปรับปรุงที่แก้ปัญหาเท่าที่จำเป็น ใช้โครงสร้างเดิมเท่าที่เหมาะสม และยังคงผ่านเกณฑ์ด้านความมั่นคงและความปลอดภัย

5.2.5 ดำเนินการก่อสร้างพร้อมควบคุมคุณภาพและความเสี่ยง

การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมต้องให้ความสำคัญกับทั้งคุณภาพงานและความปลอดภัยระหว่างก่อสร้าง เพราะบางช่วงจำเป็นต้องตัด ปรับ หรือเชื่อมต่อกับตัวเขื่อนและอาคารทางน้ำที่มีอยู่ แผนก่อสร้างจึงควรสัมพันธ์กับฤดูกาล ระดับน้ำ และสถานการณ์ฝน โดยเฉพาะงานที่อาจลดความสามารถในการระบายน้ำ หรือกระทบต่อความมั่นคงของโครงสร้างชั่วคราว กรณีห้วยน้ำแวนใช้ข้อมูลพยากรณ์อากาศและสถานการณ์น้ำในการวางลำดับงาน พร้อมควบคุมคุณภาพของดินถม คอนกรีต และการติดตั้งประตูลอยน้ำอย่างใกล้ชิด โดยเฉพาะงานที่เกี่ยวข้องกับ Dam Safety ต้องได้รับความสำคัญก่อนงานที่ให้ประโยชน์ด้านอื่นเมื่อมีข้อจำกัดด้านงบประมาณหรือเวลา ผลของขั้นตอนนี้ควรเป็นโครงการที่ ก่อสร้างตรงตามแบบและข้อกำหนดสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ และไม่สร้างความเสี่ยงเพิ่มเติมในระหว่างดำเนินงาน

5.2.6 ตรวจสอบสมรรถนะและบริหารอย่างอย่างต่อเนื่องหลังการปรับปรุง

การปรับปรุงอย่างไม่สิ้นสุดเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ เพราะสมรรถนะของระบบจะคงอยู่ได้ก็ต่อเมื่อมีการตรวจสอบ การบริหาร และการบำรุงรักษาที่เหมาะสม หลังการก่อสร้างควรตรวจสอบว่าตัวเขื่อน อาคารระบายน้ำ Gate และระบบเครื่องกลสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ จากนั้นจัดเก็บข้อมูลการใช้งานจริงอย่างต่อเนื่อง เช่น ระดับน้ำ ปริมาณฝน Inflow, Outflow การเปิด-ปิด Gate สภาพตัวเขื่อน การรั่วซึม การทรุดตัว การกัดเซาะ ตะกอน และประวัติการซ่อมบำรุงข้อมูลที่สมควรถูกนำกลับมาใช้ตรวจสอบความสัมพันธ์ที่ใช้ในการออกแบบ เช่น Elevation–Area–Storage และ Water Level–Outflow รวมถึงประเมินว่าการบริหารอย่างให้ผลใกล้เคียงกับ Flood Routing ที่วิเคราะห์ไว้หรือไม่ หากสภาพอาจเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ควรปรับฐานข้อมูลและแนวทางบริหารให้สอดคล้องกับสภาพจริง ผลของขั้นตอนนี้คือการรักษาสสมรรถนะและความปลอดภัยของอ่างให้ต่อเนื่อง รวมทั้งมีข้อมูลสำหรับการตัดสินใจในอนาคต

ตารางที่ 10 กรอบการประยุกต์ใช้องค์ความรู้กับอ่างเก็บน้ำเดิม

ขั้นตอน	ประเด็นสำคัญ	ผลที่ต้องการ
1. ตรวจสอบข้อมูลและสภาพปัจจุบัน	ข้อมูลเดิมยังตรงกับสภาพจริงหรือไม่	ฐานข้อมูลปัจจุบันที่เชื่อถือได้
2. วิเคราะห์ปัญหาของระบบ	ปัญหาเกิดจากส่วนใด และเชื่อมโยงกันอย่างไร	สาเหตุและข้อจำกัดที่ชัดเจน
3. กำหนดและเปรียบเทียบทางเลือก	ทางเลือกใดแก้ปัญหาได้เหมาะสมที่สุด	ทางเลือกที่มีผลวิเคราะห์รองรับ
4. ออกแบบโดยใช้โครงสร้างเดิม	ส่วนใดคงไว้ ซ่อม ปรับ หรือสร้างใหม่	แบบที่เหมาะสม ปลอดภัย และคุ้มค่า
5. ก่อสร้างและควบคุมความเสี่ยง	จะดำเนินงานอย่างไรให้ได้คุณภาพและปลอดภัย	โครงสร้างที่เป็นไปตามแบบและข้อกำหนด
6. ตรวจสอบและบริหารระยะยาว	ระบบจริงยังทำงานตามที่ออกแบบหรือไม่	สมรรถนะและความปลอดภัยที่ต่อเนื่อง

ทั้งนี้ในการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ในการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่น สามารถสังเคราะห์กรอบการนำไปใช้ ได้ตามภาพที่ 33

กรอบการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ในการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่น



ภาพที่ 33 กรอบการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ในการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่น

กรอบดังกล่าวทำให้เห็นว่า การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมเป็นวงจรต่อเนื่อง ไม่ใช่โครงการก่อสร้างที่สิ้นสุดเมื่อส่งมอบงาน ข้อมูลจากการใช้งานจริงในขั้นสุดท้ายจะกลับมาเป็นข้อมูลสำหรับการตรวจสอบสภาพอ่างในรอบถัดไป ทำให้เกิดการเรียนรู้และปรับปรุงระบบอย่างต่อเนื่อง

5.3 ข้อจำกัด เงื่อนไขการประยุกต์ใช้ และข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนเป็นการดำเนินงานกับเขื่อนดินและอาคารประกอบเดิมที่ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานาน ภายใต้ข้อจำกัดทั้งด้านข้อมูลทางวิศวกรรม งบประมาณ ระยะเวลา และสภาพภูมิอากาศ ขณะเดียวกันต้องรักษาความมั่นคงของตัวเขื่อน ความปลอดภัยของประชาชนด้านท้ายน้ำ แนวเขตที่ดินรอบอ่าง และประสิทธิภาพในการบริหารน้ำ การดำเนินโครงการจึงต้องอาศัยการตรวจสอบข้อมูลการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมหลายด้านร่วมกัน และการบริหารความเสี่ยงอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการ

องค์ความรู้ที่ได้จากโครงการสามารถนำไปใช้ประกอบการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำหรือเขื่อนดินเดิมที่มีลักษณะปัญหาใกล้เคียงกัน แต่การนำไปใช้ต้องคำนึงถึงความแตกต่างของแต่ละพื้นที่ ทั้งด้านอุทกวิทยา ชลศาสตร์ ภูมิประเทศ ลักษณะโครงสร้าง ความต้องการใช้น้ำ และข้อจำกัดของพื้นที่ ดังนั้น สิ่งที่ต้องถ่ายทอด

คือ กระบวนการตรวจสอบข้อมูล วิธีวิเคราะห์ เกณฑ์การพิจารณาทางเลือก และหลักการบริหารความเสี่ยงมากกว่าการนำค่าระดับ ขนาดอาคาร หรือพารามิเตอร์ของห้วยน้ำแวนไปใช้โดยตรง

5.3.1 ข้อจำกัดจากการดำเนินโครงการ

จากการดำเนินโครงการสามารถสรุปข้อจำกัดสำคัญที่มีผลต่อการวิเคราะห์ การออกแบบ และการก่อสร้างได้ 4 ประเด็น ดังนี้

1) ข้อจำกัดด้านข้อมูลอุทกวิทยาและข้อมูลเดิมของโครงการ

ข้อมูลอุทกวิทยาที่ใช้ในการออกแบบเดิมไม่สามารถสะท้อนพฤติกรรมของน้ำที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ได้อย่างครบถ้วน เนื่องจากไม่มีสถานีตรวจวัดปริมาณฝนและน้ำท่าภายในพื้นที่รับน้ำโดยตรง ประกอบกับพื้นที่รับน้ำของอ่างตั้งอยู่ในบริเวณอับฝนหรือเงาฝน (Rain Shadow Zone) ทำให้ปริมาณฝนและน้ำท่าที่เกิดขึ้นมีลักษณะเฉพาะแตกต่างจากสมมติฐานที่ใช้ในการออกแบบเดิม โดยแบบเดิมกำหนดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยประมาณ 33.07 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี แต่ข้อมูลการใช้งานจริงตลอดช่วงที่ผ่านมาแสดงพฤติกรรมน้ำที่แตกต่างจากค่าดังกล่าว นอกจากข้อมูลอุทกวิทยาแล้ว การใช้งานอ่างมาเป็นเวลานานทำให้สภาพทางกายภาพของอ่างเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะการสะสมของตะกอนซึ่งส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาตรเก็บกัก (Elevation-Storage Curve) แตกต่างจากข้อมูลเมื่อก่อสร้างเดิม จึงต้องสำรวจสภาพอ่างใหม่และปรับปรุงข้อมูลให้สอดคล้องกับสภาพปัจจุบันก่อนนำไปใช้ในการคำนวณความจุ วิเคราะห์ระดับน้ำ และกำหนดแนวทางปรับปรุง

ข้อจำกัดนี้แสดงให้เห็นว่า ความน่าเชื่อถือของผลวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของข้อมูลตั้งต้น การใช้ข้อมูลเดิมโดยไม่มีการตรวจสอบอาจทำให้การประเมินน้ำต้นทุน น้ำหลากออกแบบ ความจุเก็บกัก และสมรรถนะของอาคารระบายน้ำไม่สอดคล้องกับสภาพจริง

2) ข้อจำกัดด้านงบประมาณและระยะเวลาดำเนินโครงการ

โครงการประกอบด้วยงานหลายส่วน ทั้งการขุดลอกตะกอน การปรับปรุง Spillway การติดตั้ง Sluice Gate การปรับปรุง River Outlet การซ่อมแซมรางเทและอาคารสลายพลังงาน การป้องกัน การกัดเซาะ และการเสริมองค์ประกอบของเขื่อน ขณะที่การดำเนินงานต้องอยู่ภายใต้กรอบงบประมาณและระยะเวลาที่กำหนด จึงไม่สามารถพิจารณาทุกส่วนด้วยลำดับความสำคัญเท่ากันได้ การบริหารโครงการจึงต้องจัดลำดับความสำคัญโดยให้งานที่มีผลโดยตรงต่อความมั่นคงของเขื่อนและความปลอดภัยของระบบดำเนินการก่อน แล้วจึงดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพและงานประกอบในลำดับที่เหมาะสม แนวทางดังกล่าวช่วยให้สามารถใช้ทรัพยากรภายใต้ข้อจำกัดของโครงการได้โดยไม่ลดทอนเป้าหมายหลักด้านความปลอดภัย

ข้อจำกัดด้านงบประมาณจึงไม่ได้เป็นเพียงปัญหาด้านวงเงิน แต่เกี่ยวข้องกับ การตัดสินใจทางวิศวกรรมในการจัดลำดับการลงทุนตามระดับความเสี่ยงและความจำเป็นของงาน

3) ความเสี่ยงจากน้ำหลากระหว่างการก่อสร้าง (Flood Risk during Construction)

งานปรับปรุงหลายส่วนดำเนินการบริเวณตัวเขื่อนและอาคารระบายน้ำล้น โดยเฉพาะการตัดปรับ Spillway เดิม การติดตั้งระบบบานระบาย และการปรับปรุงองค์ประกอบของเขื่อน หากเกิดน้ำหลากในระหว่างที่งานยังไม่แล้วเสร็จ อาจกระทบพร้อมกันทั้งงานก่อสร้าง โครงสร้างเดิม ความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน และประชาชนด้านท้ายน้ำ การก่อสร้างจึงไม่สามารถกำหนดลำดับงานจากระยะเวลาตามแผนเพียงอย่างเดียว แต่ต้องใช้ข้อมูลพยากรณ์อากาศ ระดับน้ำ และสถานการณ์น้ำ ประกอบการตัดสินใจอย่างต่อเนื่อง โครงการได้วางแผนลำดับงานล่วงหน้าและติดตามพยากรณ์อากาศอย่างใกล้ชิด เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของเขื่อนอยู่ในสถานะเสี่ยงในช่วงที่มีแนวโน้มเกิดน้ำหลาก

ประเด็นนี้สะท้อนว่า ความปลอดภัยระหว่างก่อสร้างเป็นส่วนหนึ่งของ Dam Safety และต้องได้รับการบริหารตั้งแต่การวางแผนลำดับงาน ไม่ใช่พิจารณาเฉพาะความปลอดภัยของโครงสร้างหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ

4) ข้อจำกัดจากสภาพหน้างานและการควบคุมคุณภาพ

การปรับปรุงโครงสร้างเดิมมีโอกาสพบสภาพหน้างานที่แตกต่างจากข้อมูลหรือรายละเอียดในแบบ เนื่องจากโครงสร้างผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานาน เมื่อพบข้อเท็จจริงดังกล่าวจึงต้องตรวจสอบและพิจารณาวิธีแก้ไขให้เหมาะสม โดยยังต้องเป็นไปตามแบบ ข้อกำหนดทางวิศวกรรม และมาตรฐานด้านความปลอดภัย โครงการให้ความสำคัญกับการควบคุมคุณภาพขององค์ประกอบที่มีผลต่อสมรรถนะและความปลอดภัย ได้แก่ ความหนาแน่นของดินถมสันเขื่อน คุณภาพคอนกรีตในอาคารระบายน้ำล้น และความถูกต้องของการติดตั้งบานประตูระบายน้ำ เนื่องจากความบกพร่องของงานในองค์ประกอบหนึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อทั้งความมั่นคงของตัวเขื่อน ประสิทธิภาพของระบบระบายน้ำ และความปลอดภัยของพื้นที่ด้านท้ายน้ำได้

ดังนั้น การปรับปรุงอ่างเดิมจำเป็นต้องมีการตรวจสอบสภาพจริงระหว่างก่อสร้าง และการตัดสินใจแก้ไขหน้างานบนพื้นฐานทางวิศวกรรม ควบคู่กับระบบควบคุมคุณภาพที่สามารถตรวจสอบย้อนหลังได้

5.3.2 เงื่อนไขสำคัญในการนำองค์ความรู้ไปประยุกต์ใช้

ข้อจำกัดและประสบการณ์จากห้วยน้ำแวนทำให้สามารถกำหนดเงื่อนไขสำคัญสำหรับการนำองค์ความรู้ไปใช้กับอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่นได้ ดังนี้

1) ต้องสำรวจและตรวจสอบข้อมูลของอ่างที่จะนำไปประยุกต์ใช้ใหม่

การประยุกต์ใช้ควรเริ่มจากการตรวจสอบข้อมูลเดิมกับสภาพปัจจุบัน ของอ่างนั้นโดยเฉพาะทั้งข้อมูลอุทกวิทยา Reservoir Geometry, Elevation–Area–Storage, สภาพตัวเขื่อน Spillway, Outlet และอาคารประกอบ หากข้อมูลเดิมไม่เพียงพอหรือไม่สอดคล้องกับสภาพจริง ต้องสำรวจและจัดทำข้อมูลใหม่ก่อนเข้าสู่ขั้นวิเคราะห์ การนำค่าของห้วยน้ำแวน เช่น ระดับ +419.80 เมตร ขนาด Gate 3.00 × 3.00 เมตร หรือ $Tr = 25$ ปี ไปใช้กับพื้นที่อื่นโดยตรงจึงไม่เหมาะสม เพราะค่าดังกล่าวเป็นผลจากเงื่อนไขเฉพาะของโครงการนี้

2) ต้องวิเคราะห์อ่างเป็นระบบ ไม่แยก Storage ออกจาก Hydrology, Hydraulics และ Dam Safety

การเพิ่มความจุหรือเปลี่ยนแปลงอาคารระบายน้ำต้องพิจารณาความสัมพันธ์ตั้งแต่ Inflow–Storage–Water Level–Outflow ไปจนถึงความมั่นคงของตัวเขื่อนและผลต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำ การกำหนดรูปแบบปรับปรุงต้องใช้ข้อมูลจาก Unit Hydrograph, Flood Frequency, Hydraulic Analysis, Flood Routing และการออกแบบ Spillway กับ Sluice Gate ร่วมกัน เพราะการเปลี่ยนองค์ประกอบหนึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อส่วนอื่นของระบบได้

3) การเพิ่ม Storage ต้องไม่แลกกับการเพิ่มความเสี่ยง

การปรับปรุงเพื่อเพิ่มน้ำต้นทุนต้องตรวจสอบพร้อมกันทั้ง Maximum Water Level, Freeboard, Spillway Capacity, Outflow, ความมั่นคงของเขื่อน และผลต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำ กรณีห้วยน้ำแวนแสดงชัดว่าการกำหนดระดับสันทางระบายน้ำล้นใหม่ต้องพิจารณาร่วมกันทั้งปริมาตรที่ต้องการเพิ่มระยะเพื่อด้านชลศาสตร์ และแนวเขตที่ดินรอบอ่าง เพื่อให้การเพิ่มความจุไม่ทำให้ระดับน้ำสูงสุดหรือผลกระทบ

ต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นเกินเงื่อนไขที่ยอมรับได้ หลักการสำคัญจึงสรุปได้ว่า เพิ่มประโยชน์จากน้ำต้นทุน โดยไม่เพิ่มความเสี่ยงต่อเขื่อนและพื้นที่ด้านท้ายน้ำ

4) ต้องตรวจสอบศักยภาพของโครงสร้างเดิมก่อนเลือกวิธี Retrofit

แนวทางของห้วยน้ำแวนเน้นการใช้โครงสร้างเดิมร่วมกับการปรับปรุงเฉพาะส่วนที่จำเป็น แต่การใช้แนวทางเดียวกันกับอ่างอื่นต้องตรวจสอบสภาพและความมั่นคงของโครงสร้างเดิมก่อน หากองค์ประกอบเดิมยังมีความมั่นคงและสามารถรองรับเงื่อนไขใหม่ได้ อาจเลือกซ่อม ปรับปรุง หรือเสริม แทนการสร้างใหม่ แต่หากโครงสร้างเดิมมีข้อจำกัดด้านความปลอดภัย การสร้างใหม่อาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่า ดังนั้น การใช้โครงสร้างเดิมไม่ใช่ข้อกำหนดตายตัว แต่เป็นทางเลือกที่ต้องผ่านการตรวจสอบทางวิศวกรรม

5) ต้องเปรียบเทียบทางเลือกจากหลายเกณฑ์

อ่างแต่ละแห่งอาจมีทางเลือกต่างกัน และไม่จำเป็นต้องใช้ Gated Spillway เช่นเดียวกับ ห้วยน้ำแวน การเลือกทางเลือกควรพิจารณาร่วมกันทั้ง ประโยชน์ด้านน้ำต้นทุน ความปลอดภัยของเขื่อน สมรรถนะน้ำหลาก ผลต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำ ความยืดหยุ่นในการบริหาร การก่อสร้าง การบำรุงรักษา และต้นทุน กรณีห้วยน้ำแวนแสดงว่าการเลือก Gated Spillway เกิดจาก Trade-off ระหว่างต้นทุน ประสิทธิภาพ และความปลอดภัย ไม่ใช่การเลือกทางเลือกที่มีราคาต่ำที่สุด

6) ต้องวางแผนการก่อสร้างให้สัมพันธ์กับฤดูกาลและสถานการณ์น้ำ

การปรับปรุง Spillway, Outlet หรือตัวเขื่อนอาจทำให้ความสามารถของระบบเปลี่ยนแปลงชั่วคราวระหว่างก่อสร้าง ดังนั้นแผนงานต้องพิจารณา ระดับน้ำ ฤดูฝน การพยากรณ์ และความสามารถในการระบายน้ำในแต่ละช่วงของงาน เงื่อนไขนี้มีความสำคัญเป็นพิเศษสำหรับอ่างที่ยังต้องทำหน้าที่รับน้ำหรือส่งน้ำ ในระหว่างการปรับปรุง

7) ระบบที่มีบานควบคุมต้องมีความพร้อมด้านการเดินระบบและบำรุงรักษา

Gated Spillway เพิ่มความยืดหยุ่นในการควบคุมระดับน้ำ แต่ระบบจะทำงานได้ตามวัตถุประสงค์เมื่อมีแนวทางเปิด-ปิดบาน ผู้รับผิดชอบ ข้อมูลสถานการณ์น้ำ การทดสอบอุปกรณ์ และการบำรุงรักษา กรณีห้วยน้ำแวนจึงเชื่อมการออกแบบกับการจัดทำแนวทางบริหารอ่างในช่วงมรสุมหรือพายุ ไม่ได้สิ้นสุดกระบวนการไว้เพียงการก่อสร้างโครงสร้าง

8) ต้องพิจารณาแนวเขตที่ดิน ผู้ใช้น้ำ และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียร่วมกับการออกแบบ

การเปลี่ยนระดับเก็บกักและการบริหารน้ำสามารถส่งผลกระทบต่อพื้นที่รอบอ่างและพื้นที่ด้านท้ายน้ำ การตัดสินใจจึงต้องตรวจสอบแนวเขตที่ดิน ผลกระทบต่อประชาชน และความต้องการใช้น้ำร่วมกับผลทางวิศวกรรม การตัดสินใจต้องสร้างสมดุลระหว่าง Water Storage, Flood Control, Dam Safety และ Land Constraint ขณะเดียวกันยังต้องเชื่อมการบริหารภายหลังโครงการกับองค์กรกลุ่มผู้ใช้น้ำ

5.3.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงาน ปัญหา อุปสรรค และบทเรียนของอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน มีข้อเสนอแนะสำหรับการบริหารอ่างและการประยุกต์ใช้กับโครงการลักษณะใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถเรียบเรียงเป็น 7 ประเด็น ดังนี้

1) ควรตรวจสอบและปรับปรุงข้อมูลอุทกวิทยาให้สอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง

ข้อมูลอุทกวิทยาควรได้รับการตรวจสอบร่วมกับข้อมูลการใช้งานอ่าง การสำรวจภาคสนาม สภาพภูมิประเทศ และข้อมูลภูมิอากาศ หากพื้นที่ไม่มีสถานีตรวจวัดโดยตรง ควรใช้ข้อมูลจากหลายแหล่งและตรวจสอบความสอดคล้องก่อนนำไปใช้วิเคราะห์ แนวทางดังกล่าวช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการประเมินน้ำ

ต้นทุน น้ำหลากออกแบบ และสมรรถนะของอ่าง ซึ่งเป็นบทเรียนโดยตรงจากพื้นที่ Rain Shadow ของห้วยน้ำแวน

2) การบริหารอ่างในช่วงมรสุมและพายุร่วมกับข้อมูลสถานการณ์น้ำและการพยากรณ์

อากาศ

ระบบ Gated Spillway ทำให้สามารถพร่องน้ำล่วงหน้าได้ แต่การกำหนดจังหวะและปริมาณการพร่องต้องสัมพันธ์กับสถานการณ์น้ำจริงและการพยากรณ์อากาศ แนวทางบริหารจึงควรรักษาสมดุลระหว่างการเก็บน้ำต้นทุนไว้ใช้ในชื่อน้ำน้อยกับการสำรองพื้นที่ว่างในอ่างเพื่อรองรับน้ำหลาก ซึ่งเป็นสาระสำคัญของการบริหารอ่างหลังการปรับปรุง

3) การเสริมสร้างความเข้มแข็งขององค์กรกลุ่มผู้ใช้น้ำและการบริหารแบบมีส่วนร่วม

กลุ่มผู้ใช้น้ำควรมีบทบาทในการรับรู้สถานการณ์น้ำ วางแผนการใช้น้ำและการจัดสรรน้ำ รวมทั้งประสานกับหน่วยงานผู้รับผิดชอบ เพื่อให้การใช้น้ำสัมพันธ์กับน้ำต้นทุนที่มีอยู่จริงและความต้องการของพื้นที่รับประโยชน์ สำหรับห้วยน้ำแวน การมีส่วนร่วมดังกล่าวเชื่อมโยงกับประชาชน 385 ครัวเรือน และพื้นที่เกษตรกรรมประมาณ 3,500 ไร่

4) การให้ความมั่นคงและความปลอดภัยของเขื่อนเป็นเกณฑ์หลักในการตัดสินใจ

การเพิ่ม Storage หรือปรับ Spillway ต้องพิจารณาพร้อมกับ Maximum Water Level, Freeboard, ความสามารถของ Spillway ความมั่นคงของตัวเขื่อน และผลกระทบด้านท้ายน้ำ หลักการนี้ควรใช้ทั้งในขั้นออกแบบ การก่อสร้าง การบริหารงบประมาณ และการจัดลำดับงาน เพื่อให้ประโยชน์จากน้ำที่เพิ่มขึ้นไม่เกิดขึ้นโดยแลกกับความเสียหายที่สูงขึ้น

5) การวางแผนงบประมาณและลำดับงานโดยให้งานด้านความปลอดภัยดำเนินการก่อน

เมื่อทรัพยากรมีข้อจำกัด ควรจัดลำดับงานตามระดับความเสี่ยงและผลกระทบต่อความปลอดภัย โดยให้งานโครงสร้างหลักที่เกี่ยวข้องกับ Dam Safety และความปลอดภัยของประชาชนมีความสำคัญก่อนงานเพิ่มประสิทธิภาพหรือประโยชน์ด้านอื่น แนวทางดังกล่าวช่วยให้การใช้จ่ายงบประมาณของรัฐสัมพันธ์กับความจำเป็นทางวิศวกรรมและความเสี่ยงของระบบอย่างแท้จริง

6) การใช้ศักยภาพของโครงสร้างเดิมและวัสดุจากโครงการให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ก่อนก่อสร้างโครงสร้างใหม่ ควรประเมินว่าส่วนใดของระบบเดิมสามารถคงไว้ ซ่อมแซม หรือปรับปรุงให้รองรับวัตถุประสงค์ใหม่ได้อย่างปลอดภัย กรณีห้วยน้ำแวนสามารถเพิ่มความจุเก็บกักประมาณ 500,000 ลูกบาศก์เมตร หรือร้อยละ 21.7 โดยไม่ต้องก่อสร้างเขื่อนใหม่ พร้อมทั้งนำดินขุดลอกกลับมาใช้ถมและปรับพื้นที่ด้านหลังเขื่อน ช่วยลดการใช้ทรัพยากรใหม่ การขนส่ง และผลกระทบต่อพื้นที่โดยรอบ การใช้ทรัพยากรดังกล่าวต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขว่า ไม่กระทบต่อความมั่นคง ความปลอดภัย และสิทธิของประชาชนในพื้นที่

7) การถอดบทเรียนและจัดทำองค์ความรู้เพื่อใช้กับอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่น

องค์ความรู้สำคัญของโครงการไม่ได้เฉพาะผลการคำนวณหรือแบบก่อสร้าง แต่ครอบคลุมถึง วิธีตรวจสอบข้อมูลอุทกวิทยา การวิเคราะห์พื้นที่ Rain Shadow การใช้ Flood Routing การเปรียบเทียบ Fixed Crest กับ Gated Spillway การใช้โครงสร้างเดิม และการบริหารความเสี่ยงด้านความปลอดภัยสาธารณะ จึงควรจัดทำองค์ความรู้ในลักษณะที่ผู้ปฏิบัติงานอื่นสามารถนำไปใช้ได้ เช่น กรณีศึกษา แนวทางการวิเคราะห์ Checklist หรือรอบการตัดสินใจ โดยยึดกระบวนการและหลักการเป็นสำคัญ และปรับรายละเอียดให้เหมาะกับสภาพของแต่ละพื้นที่

เมื่อพิจารณาร่วมกันแล้ว สารสำคัญของการนำองค์ความรู้จากห้วยน้ำแวนไปใช้กับอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่นสามารถสรุปได้ว่า สามารถใช้บทเรียนและกระบวนการเดิม แต่ต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลและกำหนดคำตอบทางวิศวกรรมใหม่สำหรับแต่ละพื้นที่ กล่าวคือ ห้วยน้ำแวนสามารถใช้เป็นกรอบในการตั้งคำถาม ตรวจสอบข้อมูล วิเคราะห์ระบบ เปรียบเทียบทางเลือก และบริหารความเสี่ยง แต่ไม่ควรใช้เป็นแบบมาตรฐานที่กำหนดว่าทุกอ่างต้องขุดลอก ติดตั้ง Gated Spillway หรือใช้ค่าระดับและพารามิเตอร์เดียวกัน แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับข้อสรุปของเอกสารโครงการที่ระบุว่า การถ่ายทอดองค์ความรู้ต้องปรับให้เหมาะสมกับสภาพ อุทกวิทยา ชลศาสตร์ ภูมิประเทศ และข้อจำกัดเฉพาะของแต่ละพื้นที่

สรุปบทเรียนและการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่การประยุกต์ใช้

อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา



ภาพที่ 34 สรุปบทเรียนและการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่การประยุกต์ใช้

บทสรุปองค์ความรู้

โครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา เป็นกรณีศึกษาของการเพิ่มประสิทธิภาพอ่างเก็บน้ำและเขื่อนดินเดิมที่ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานาน ซึ่งมีข้อจำกัดหลายด้านเกิดขึ้นพร้อมกัน ทั้งการสะสมของตะกอน ความจุเก็บกักที่ลดลง ข้อมูลอุทกวิทยาเดิมที่ไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมน้ำจริง และข้อจำกัดของอาคารระบายน้ำล้นเดิม ขณะเดียวกันโครงการต้องเพิ่มน้ำต้นทุนโดยยังคงรักษาความมั่นคงของตัวเขื่อน ความปลอดภัยของประชาชนด้านท้ายน้ำ แนวเขตที่ดินรอบอ่าง และความคุ้มค่าของการลงทุน จึงจำเป็นต้องพิจารณาอ่างเก็บน้ำเป็น ระบบที่เชื่อมโยงด้านอุทกวิทยา ชลศาสตร์ ความจุเก็บกัก โครงสร้าง และการบริหารน้ำเข้าด้วยกัน

จุดเริ่มต้นสำคัญของการดำเนินงาน คือการตรวจสอบข้อมูลเดิมกับสภาพปัจจุบัน เนื่องจากอ่างเปิดใช้งานมาตั้งแต่ พ.ศ. 2541 ทำให้สภาพท้องอ่างและความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาตรเก็บกักเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม นอกจากนี้ พื้นที่รับน้ำยังมีลักษณะเงาฝน (Rain Shadow) และไม่มีสถานีตรวจวัดฝน และน้ำท่าภายในพื้นที่รับน้ำโดยตรง การวิเคราะห์จึงต้องใช้ข้อมูลการใช้งานย้อนหลัง การสำรวจภาคสนาม สภาพภูมิประเทศ และข้อมูลอุทกวิทยาจากหลายแหล่งร่วมกัน พร้อมปรับปรุง Elevation-Storage Curve ให้สอดคล้องกับสภาพจริงก่อนนำไปออกแบบ ข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบถูกนำมาวิเคราะห์เชื่อมโยงตั้งแต่ Inflow, Storage, Water Level และ Outflow โดยใช้ Reservoir Flood Routing เป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินผลของการเพิ่มความจุและการปรับปรุง Spillway ต่อ Maximum Water Level, Peak Outflow และ Freeboard ทำให้การเพิ่มน้ำต้นทุนได้รับการพิจารณาควบคู่กับการบริหารน้ำหลากและความปลอดภัยของเขื่อน ไม่ได้พิจารณาเฉพาะปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นเพียงด้านเดียว

การกำหนดแนวทางปรับปรุงใช้การเปรียบเทียบทางเลือกทางวิศวกรรมหลายเกณฑ์ ทั้งความสามารถในการเพิ่มปริมาตรเก็บกัก ความยืดหยุ่นในการควบคุมระดับน้ำ ความปลอดภัยของโครงสร้าง ผลต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำ และค่าก่อสร้าง ผลการพิจารณาเลือกแนวทางขุดลอกร่วมกับ Gated Spillway เนื่องจากสามารถพร่องน้ำล่วงหน้า เพิ่มความยืดหยุ่นในการบริหารระดับน้ำ และเพิ่มความจุเก็บกักโดยยังใช้ตัวเขื่อนและโครงสร้างเดิมเป็นองค์ประกอบหลักของระบบได้ การตัดสินใจจึงเป็นการสร้างสมดุลระหว่าง ประสิทธิภาพ การใช้น้ำ ความปลอดภัย และต้นทุน มากกว่าการเลือกทางเลือกที่มีราคาต่ำที่สุด โดยองค์ประกอบสำคัญของการปรับปรุง ได้แก่ การขุดลอกตะกอนประมาณ 208,200 ลูกบาศก์เมตร การตัดปรับอาคารระบายน้ำล้นเดิมและติดตั้ง Sluice Gate ขนาด 3.00 x 3.00 เมตร จำนวน 2 ช่อง การปรับระดับสันทางระบายน้ำล้น การปรับปรุง River Outlet การซ่อมแซม Chute, Chute Block และ End Sill งานป้องกันการกัดเซาะงานเสริมสันเขื่อน และการปรับพื้นที่ด้านหลังเขื่อน โดยเน้นการใช้ศักยภาพของโครงสร้างเดิมและควบคุมคุณภาพกับความเสียหายจากน้ำหลากระหว่างก่อสร้างอย่างใกล้ชิด

ผลสำเร็จทางวิศวกรรมที่สำคัญ คือ ความจุเก็บกักเพิ่มจากประมาณ 2.30 เป็น 2.80 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 21.7 โดยไม่ต้องก่อสร้างเขื่อนใหม่ ขณะที่ผล Reservoir Flood Routing ที่รอบปีการเกิด 25 ปี แสดงว่า Peak Outflow ลดจาก 170.65 เป็น 134.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือลดลงประมาณร้อยละ 21.2 ระดับน้ำสูงสุดลดลง และ Freeboard เพิ่มจาก 0.92 เป็น 1.05 เมตร แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มน้ำต้นทุนสามารถดำเนินการควบคู่กับการเพิ่มความสามารถในการบริหารน้ำหลากและรักษาความปลอดภัยของระบบได้ ประโยชน์ของโครงการยังเชื่อมโยงไปสู่พื้นที่และผู้ใช้น้ำ โดยอ่างสนับสนุนพื้นที่เกษตรกรรมประมาณ 3,500 ไร่ มีการนำดินขุดลอกกลับมาใช้ปรับพื้นที่ด้านหลังเขื่อนเป็นลานจอดรถและพื้นที่

กิจกรรมของชุมชน เพื่อลดการขนย้ายวัสดุและเพิ่มประโยชน์ใช้สอยของพื้นที่ รวมทั้งส่งเสริมองค์กรกลุ่มผู้ใช้ น้ำให้มีส่วนร่วมในการรับรู้สถานการณ์น้ำ การวางแผนใช้น้ำ และการจัดสรรน้ำร่วมกับหน่วยงานที่รับผิดชอบ

บทเรียนสำคัญจากโครงการจึงอยู่ที่การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำเดิมต้องเริ่มจากการเข้าใจสภาพจริงและ สาเหตุของปัญหา ก่อนกำหนดวิธีแก้ไข ข้อมูลเดิมต้องได้รับการตรวจสอบ ปัญหาต้องวิเคราะห์ในภาพรวมของ ระบบ การเพิ่ม Storage ต้องพิจารณาควบคู่กับ Flood Management และ Dam Safety การเลือกทางเลือก ต้องใช้หลายเกณฑ์ การใช้โครงสร้างเดิมต้องผ่านการตรวจสอบความเหมาะสม และการก่อสร้างต้องควบคุมทั้ง คุณภาพและความเสี่ยงจากสถานการณ์น้ำ ขณะเดียวกัน การออกแบบและการบริหารอ่างต้องเชื่อมต่อกัน โดยเฉพาะระบบที่มีบานควบคุม ซึ่งประสิทธิภาพของระบบขึ้นอยู่กับทั้งข้อมูลสถานการณ์น้ำ แนวทางเปิด-ปิด บาน ความพร้อมของผู้ปฏิบัติงาน และการบำรุงรักษา การปรับปรุงจึงไม่ควรสิ้นสุดเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ แต่ต้องมีการตรวจสอบสมรรถนะ ติดตามสภาพอ่าง และปรับแนวทางการบริหารให้สอดคล้องกับข้อมูลการใช้งานจริงอย่างต่อเนื่อง สำหรับการนำองค์ความรู้ไปประยุกต์ใช้กับอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่น สิ่งที่ควรถ่ายทอดไม่ใช่ ขนาด Sluice Gate ระดับ Spillway หรือค่าพารามิเตอร์เฉพาะของห้วยน้ำแวน แต่เป็นวิธีคิดและกระบวนการ ตัดสินใจทางวิศวกรรม ตั้งแต่การตรวจสอบข้อมูล การวิเคราะห์ Hydrology-Storage-Hydraulics-Dam Safety การพัฒนาและเปรียบเทียบทางเลือก การใช้ศักยภาพของโครงสร้างเดิม การควบคุมคุณภาพและความเสี่ยง ตลอดจนการบริหารหลังการปรับปรุง เนื่องจากอ่างแต่ละแห่งมีสภาพอุทกวิทยา ชลศาสตร์ ภูมิประเทศ โครงสร้าง และความต้องการใช้น้ำแตกต่างกัน จึงต้องวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะพื้นที่ใหม่ทุกครั้ง

ดังนั้น แก่นขององค์ความรู้จากกรณีอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวนอยู่ที่การดำเนินงานอย่างเป็นระบบ เริ่มจากการตรวจสอบสภาพจริงของอ่างและความถูกต้องของข้อมูลเดิม เพื่อให้ทราบสาเหตุและข้อจำกัดที่ เกิดขึ้นในปัจจุบันอย่างชัดเจน จากนั้นจึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุทกวิทยา ความจุเก็บกัก ชลศาสตร์ และความปลอดภัยของเขื่อนร่วมกัน เพื่อประเมินผลกระทบของแต่ละแนวทางต่อสมรรถนะของระบบโดยรวม ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการพัฒนาและเปรียบเทียบทางเลือกทางวิศวกรรมจากหลายเกณฑ์ ทั้งด้านประสิทธิภาพการใช้น้ำ การบริหารน้ำหลาก ความมั่นคงของโครงสร้าง ผลกระทบต่อพื้นที่ด้านท้ายน้ำ และความคุ้มค่า ก่อนตัดสินใจเลือกแนวทางที่เหมาะสมกับข้อจำกัดของโครงการเมื่อได้แนวทางที่เหมาะสม แล้ว การปรับปรุงมุ่งใช้ศักยภาพของโครงสร้างเดิมให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยปรับปรุงเฉพาะส่วนที่จำเป็น ภายใต้เงื่อนไขด้านความมั่นคงและความปลอดภัย พร้อมควบคุมคุณภาพงานและบริหารความเสี่ยงระหว่าง การก่อสร้างอย่างใกล้ชิด หลังการปรับปรุงยังต้องมีการตรวจสอบสมรรถนะ การบริหารระดับน้ำ การติดตาม สภาพอ่าง และการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้โครงสร้างสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ตลอดระยะใช้ งาน ข้อมูลและประสบการณ์ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานจริงควรถูกนำกลับมาทบทวนและปรับปรุงแนวทางการ บริหารรวมทั้งถ่ายทอดเป็นองค์ความรู้สำหรับการประยุกต์ใช้กับอ่างเก็บน้ำเดิมแห่งอื่นที่มีลักษณะปัญหาใกล้เคียงกัน โดยปรับรายละเอียดให้เหมาะสมกับสภาพเฉพาะของแต่ละพื้นที่

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรน้ำ. (ม.ป.ป.). เอกสารโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา [เอกสารภายใน].
- กรมทรัพยากรน้ำ. (2564a). คู่มือการสำรวจทางด้านอุทกวิทยา เรื่อง การคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลอุทกวิทยา. https://dwr.go.th/article_list.php?category_id=40&show=4
- กรมทรัพยากรน้ำ. (2564b). เอกสารประกอบการควบคุมงานก่อสร้างโครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำ. https://dwr.go.th/article_list.php?category_id=40&show=3
- กรมทรัพยากรน้ำ. (2565a). เกณฑ์การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำขนาดกลางในพื้นที่นอกเขตชลประทาน (เล่ม 1). <https://mekhala.dwr.go.th/download/6751>
- กรมทรัพยากรน้ำ. (2565b). เกณฑ์การระบายน้ำและรายชื่อกลุ่มผู้ใช้น้ำของอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง กรมทรัพยากรน้ำ (เล่ม 2). <https://mekhala.dwr.go.th/reservoirs-management>
- กรมทรัพยากรน้ำ. (2566a). เกณฑ์การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง. <https://mekhala.dwr.go.th/reservoirs-management>
- กรมทรัพยากรน้ำ. (2566b). เกณฑ์การระบายน้ำของอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง. <https://mekhala.dwr.go.th/reservoirs-management>
- กรมทรัพยากรน้ำ. (2567). เกณฑ์วิกฤติน้ำและแนวทางการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ภาคเหนือ ระยะที่ 2 นอกเขตชลประทาน. <https://mekhala.dwr.go.th/reservoirs-management>
- สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. (2567). แผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 20 ปี (ปรับปรุงครั้งที่ 1 พ.ศ. 2566–2580). <https://ratchakitcha.soc.go.th/documents/39773.pdf>
- ACI Committee 301. (2020). Specifications for concrete construction (ACI SPEC-301-20). <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=301U20>
- Alexiou, S., Efthimiou, N., Karamesouti, M., Papanikolaou, I., Psomiadis, E., & Charizopoulos, N. (2023). Measuring annual sedimentation through high accuracy UAV-photogrammetry data and comparison with RUSLE and PESERA erosion models. *Remote Sensing*, 15(5), 1339. <https://doi.org/10.3390/rs15051339>
- Badr, A., Li, Z., & El-Dakhkhni, W. (2023). Dam system and reservoir operational safety: A meta-research. *Water*, 15(19), 3427. <https://doi.org/10.3390/w15193427>
- Chuenchum, P., Meneesrikum, C., Teerapanuchaikul, C., & Sriariyawat, A. (2024). Community participation and effective water management: A study on water user organizations (WUOs) in Thailand. *World Development Perspectives*, 34, 100589. <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2024.100589>
- Dasgupta, M., & Das, S. (2024). Extreme flood flow routing for Panchet and Maithan reservoirs of India using Modified Puls technique. *Water*, 16(5), 663. <https://doi.org/10.3390/w16050663>
- Dlamini, S. M., & Ouma, Y. O. (2025). Large-scale topographic mapping using RTK-GNSS and multispectral UAV drone photogrammetric surveys: Comparative evaluation of experimental results. *Geomatics*, 5(2), 25. <https://doi.org/10.3390/geomatics5020025>

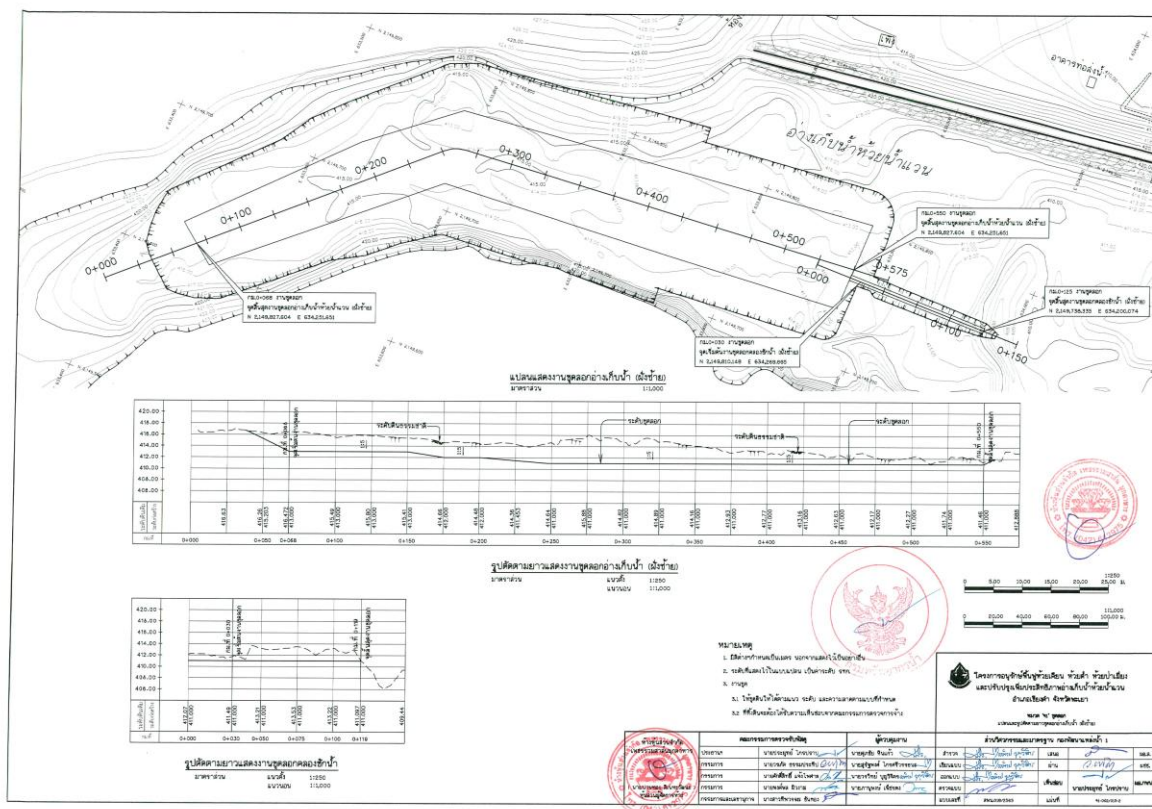
- Duangkert, P., Vudhivanich, V., & Theprasit, C. (2022). Prioritization of floodgate: Pathumthani Provincial Irrigation Office case study. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*, 28(1), 32–43. <https://doi.org/10.14456/tsaej.2022.5>
- Gonzalez Rodriguez, L., McCallum, A., Kent, D., Rathnayaka, C., & Fairweather, H. (2023). A review of sedimentation rates in freshwater reservoirs: Recent changes and causative factors. *Aquatic Sciences*, 85(2), 60. <https://doi.org/10.1007/s00027-023-00960-0>
- Guo, Z., Xu, X., Gao, X., Xu, Y., Liu, J., Zhang, M., & Li, F. (2025). Enhanced risk-based quality control for hydraulic engineering construction projects considering the risk-influencing mechanism. *Journal of Construction Engineering and Management*, 151(2), 04024204. <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-15579>
- Hou, W., Zhang, S., Yin, J., & Huang, J. (2024). Research on challenges and strategies for reservoir flood risk prevention and control under extreme climate conditions. *Water*, 16(23), 3351. <https://doi.org/10.3390/w16233351>
- Jain, S. K., Shilpa, L. S., Rani, D., & Sudheer, K. P. (2023). State-of-the-art review: Operation of multi-purpose reservoirs during flood season. *Journal of Hydrology*, 618, 129165. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129165>
- Martellotta, A. M. N., Levacher, D., Gentile, F., & Piccinni, A. F. (2024). Estimation of silting evolution in the Camastra Reservoir and proposals for sediment recovery. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(2), 250. <https://doi.org/10.3390/jmse12020250>
- Mekonnen, Y. A., Mengistu, T. D., Asitatie, A. N., & Kumilachew, Y. W. (2022). Evaluation of reservoir sedimentation using bathymetry survey: A case study on Adebira night storage reservoir, Ethiopia. *Applied Water Science*, 12, 269. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01787-0>
- Ngamsert, R., Techarungruengsakul, R., Kaewplang, S., Hormwichian, R., Prasanchum, H., Sivanpheng, O., & Kangrang, A. (2023). Optimizing solution in decision supporting system for river basin management consisting of a reservoir system. *Water*, 15(14), 2510. <https://doi.org/10.3390/w15142510>
- OECD. (2024). A handbook of what works: Solutions for the local implementation of the OECD Principles on Water Governance (OECD Regional Development Papers No. 72). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/bf54627e-en>
- Randle, T. J., Morris, G. L., Tullos, D. D., Weirich, F. H., Kondolf, G. M., Moriasi, D. N., Annandale, G. W., Fripp, J., Minear, J. T., & Wegner, D. L. (2021). Sustaining United States reservoir storage capacity: Need for a new paradigm. *Journal of Hydrology*, 602, 126686. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126686>

- Ryberg, K. R., Over, T. M., Levin, S. B., Heimann, D. C., Barth, N. A., Marti, M. K., O'Shea, P. S., Sanocki, C., Williams-Sether, T., Wavra, H. N., Sando, T. R., Sando, S. K., & Liu, M. S. (2024). Introduction and methods of analysis for peak streamflow trends and their relation to changes in climate in Illinois, Iowa, Michigan, Minnesota, Missouri, Montana, North Dakota, South Dakota, and Wisconsin (Scientific Investigations Report 2023–5064, chap. A). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/sir20235064A>
- Su, C., Wang, P., Yuan, W., Cheng, C., Zhang, T., Yan, D., & Wu, Z. (2022). An MILP based optimization model for reservoir flood control operation considering spillway gate scheduling. *Journal of Hydrology*, 613, 128483. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128483>
- Timberlake, T. W., Ramirez-Avila, J., Grigg, N. S., & Curtis, D. C. (2025). Forecast-informed prerelease reservoir operations for flood risk management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 151(9), 03125002. <https://doi.org/10.1061/JWRMD5.WRENG-6683>
- U.S. Army Corps of Engineers. (n.d.). USACE Beneficial Use Program Retrieved September 1, 2026, from <https://www.usace.army.mil/Missions/Civil-Works/Beneficial-Use-Program/>
- U.S. Army Corps of Engineers. (2023). HEC-HMS user's manual (Version 4.11) (CPD-74A). Hydrologic Engineering Center. https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_User%27s_Manual-v4.11-20231018.pdf
- U.S. Army Corps of Engineers. (2025). Construction quality management (ER 1180-1-6). https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerRegulations/ER%201180-1-6_Construction%20Quality%20Management_2025%2003%2020%20-%20Final.pdf
- U.S. Army Corps of Engineers. (2026). HEC-HMS technical reference manual Hydrologic Engineering Center. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm>
- U.S. Bureau of Reclamation. (2021). Design standards no. 13: Embankment dams, chapter 6: Freeboard U.S. Department of the Interior. <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/designstandards-datacollectionguides/designstandards.html>
- U.S. Bureau of Reclamation. (2022a). Design standards no. 14: Appurtenant structures for dams (spillways and outlet works), chapter 3: General spillway design considerations U.S. Department of the Interior. <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/designstandards-datacollectionguides/finalds-pdfs/DS14-3wMIR.pdf>

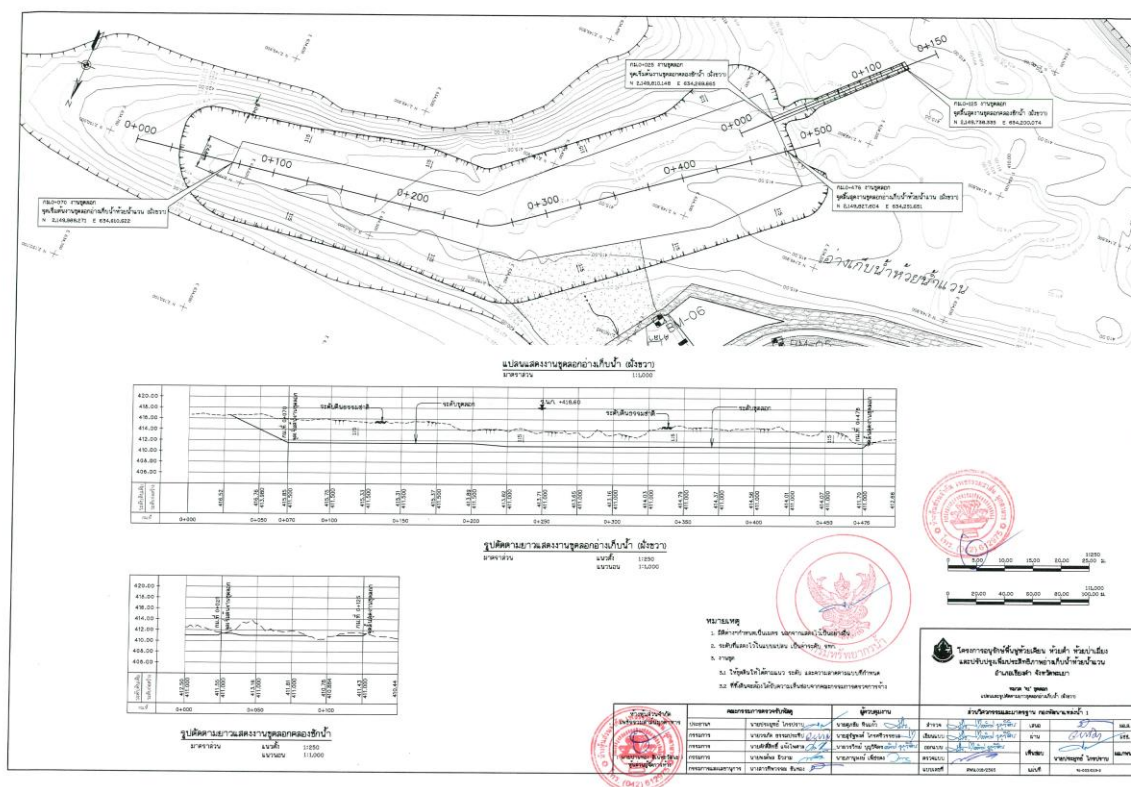
- U.S. Bureau of Reclamation. (2022b). Design standards no. 14: Appurtenant structures for dams (spillways and outlet works), chapter 4: General outlet works design considerations U.S. Department of the Interior.
<https://usbr.gov/tsc/techreferences/designstandards-datacollectionguides/finalds-pdfs/DS14-4wMIR.pdf>
- U.S. Bureau of Reclamation. (2022c). Operating practices and procedures for high and significant hazard potential dams (and other facilities, as applicable) (FAC 02-01) U.S. Department of the Interior. <https://www.usbr.gov/recman/fac/fac02-01.pdf>
- U.S. Bureau of Reclamation. (2024). Dam safety performance monitoring for high and significant hazard dams (FAC 01-08) U.S. Department of the Interior.
<https://www.usbr.gov/recman/fac/fac01-08.pdf>
- Wei, G., Liang, G., Ding, W., He, B., Wu, J., Ren, M., & Zhou, H. (2022). Deriving optimal operating rules for flood control considering pre-release based on forecast information. *Journal of Hydrology*, 615, 128665.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128665>
- World Bank. (2023). What the future has in store: A new paradigm for water storage.
<https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/what-the-future-has-in-store-a-new-paradigm-for-water-storage>
- Yu, X., Xu, Y.-P., Gu, H., & Guo, Y. (2023). Multi-objective robust optimization of reservoir operation for real-time flood control under forecasting uncertainty. *Journal of Hydrology*, 620, 129421. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129421>
- Zhang, Q., An, Z., Huangfu, Z., & Li, Q. (2022). A review on roller compaction quality control and assurance methods for earthwork in five application scenarios. *Materials*, 15(7), 2610. <https://doi.org/10.3390/ma15072610>

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างแบบการปรับปรุงโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำแวน

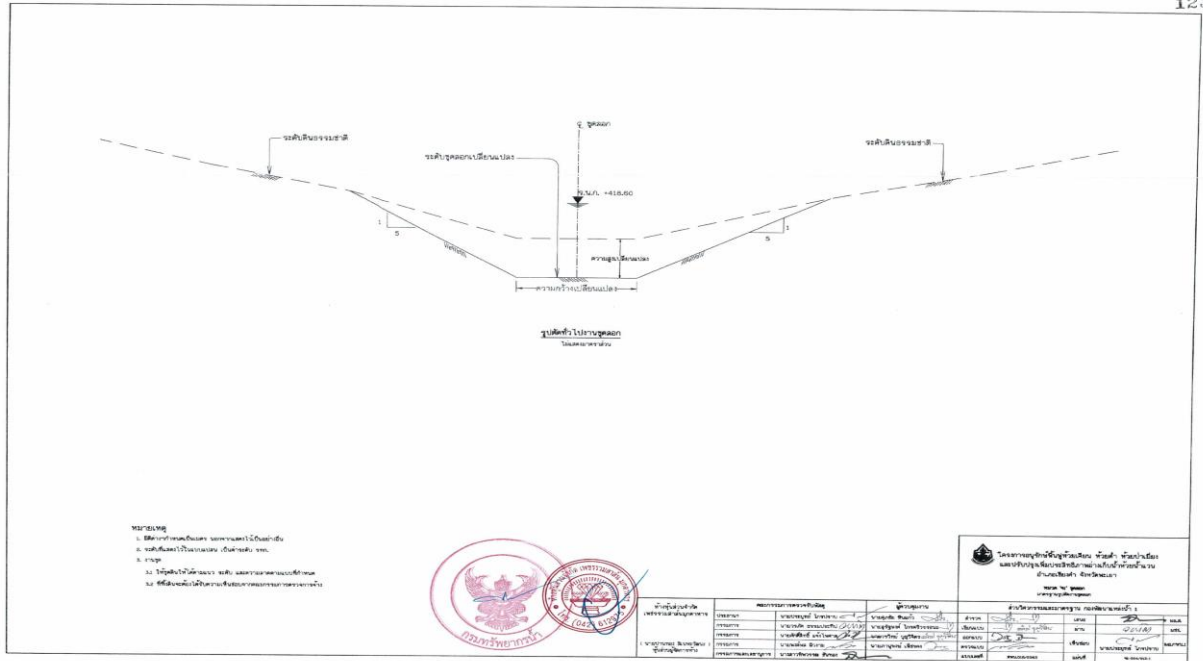
© สงวนลิขสิทธิ์ | ห้ามทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้เพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาต



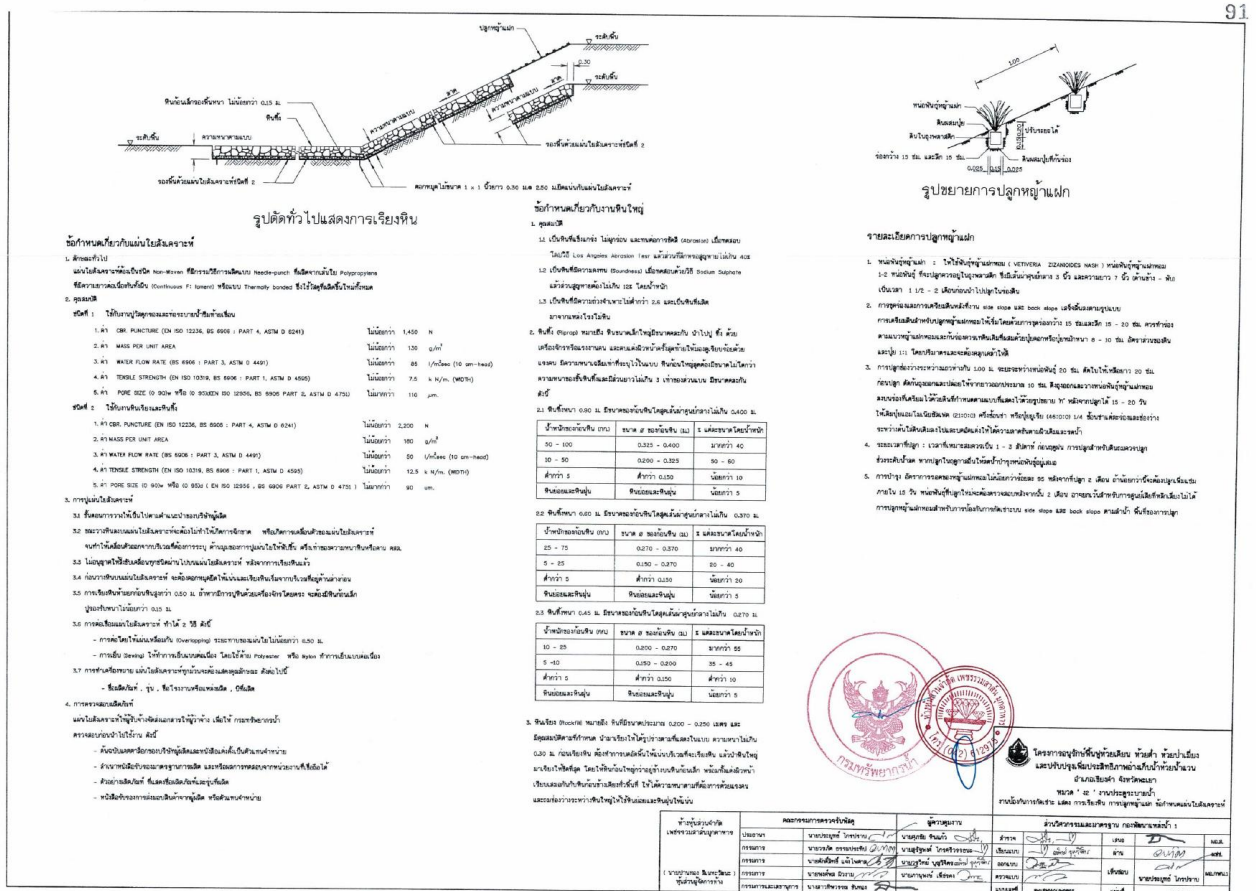
แปลนแสดงงานชุดลอกอ่างเก็บน้ำ (ฝั่งซ้าย)



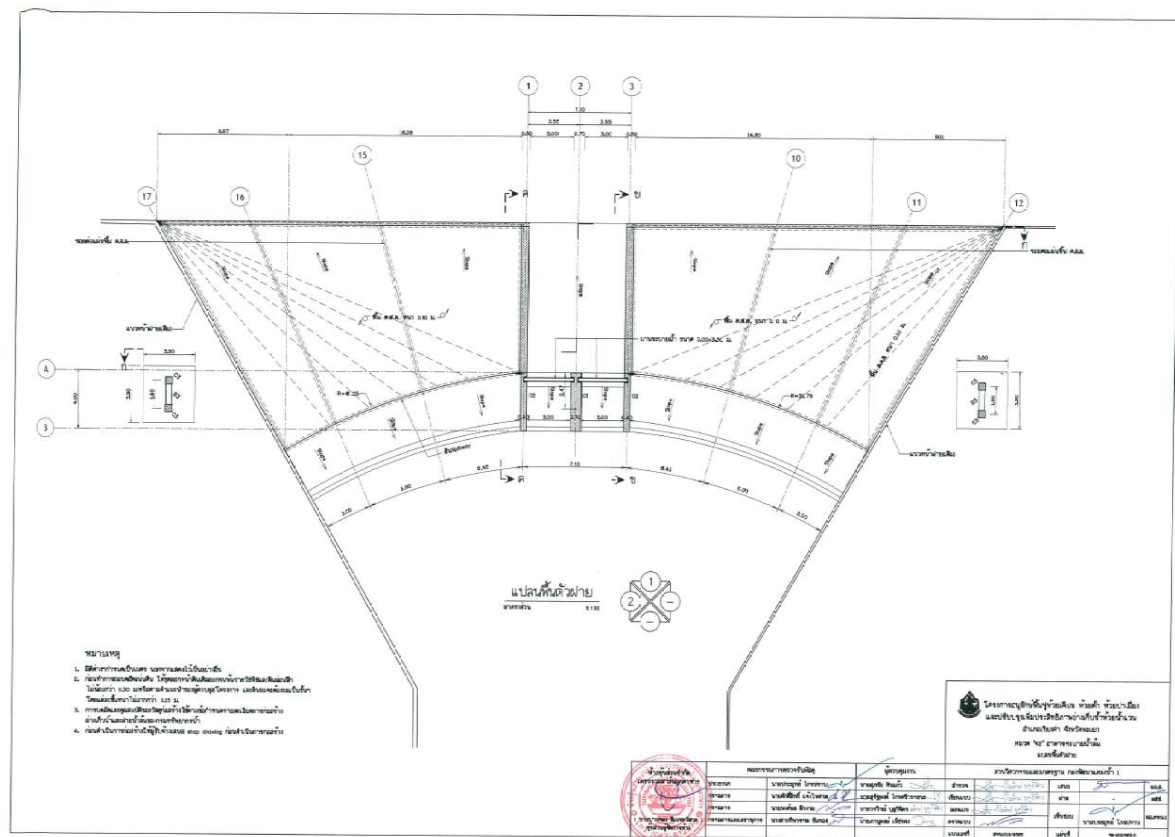
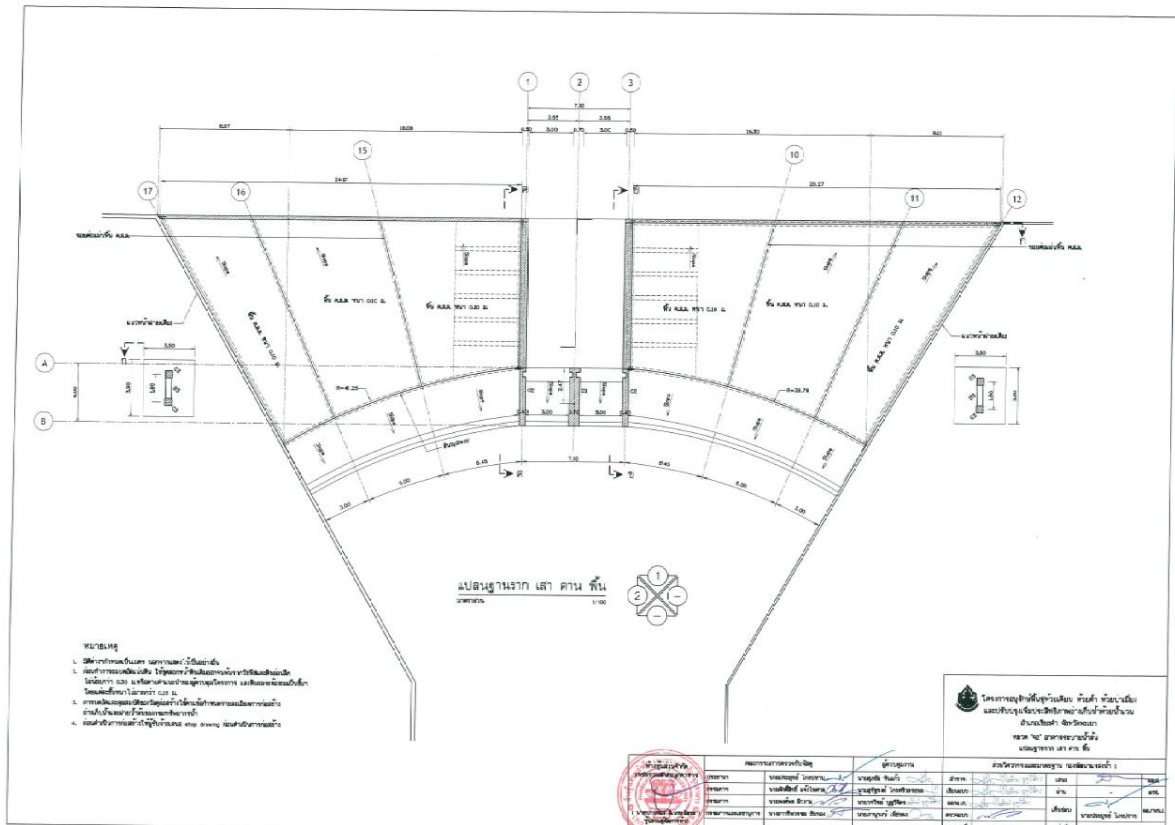
แป้นแสดงงานชุดลอกอ่างเก็บน้ำ (ฝั่งขวา)

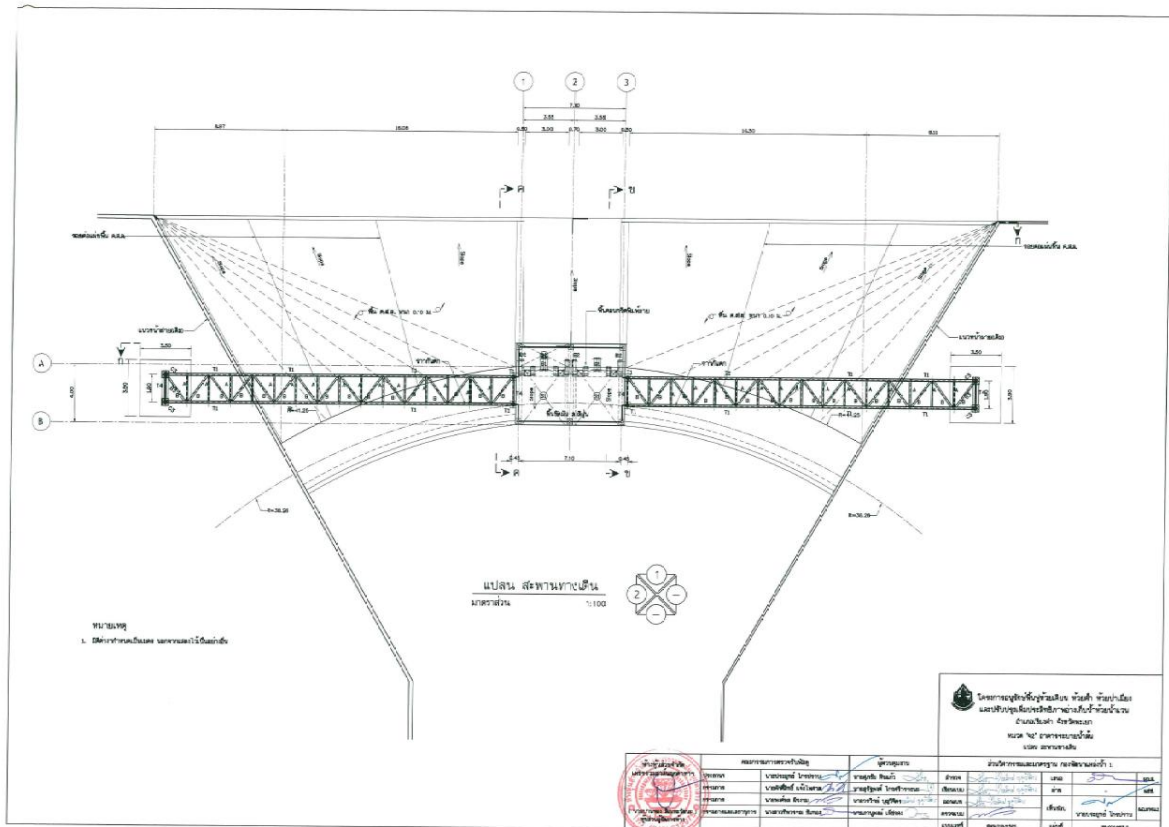


รูปตัดทั่วไปงานขุดลอก

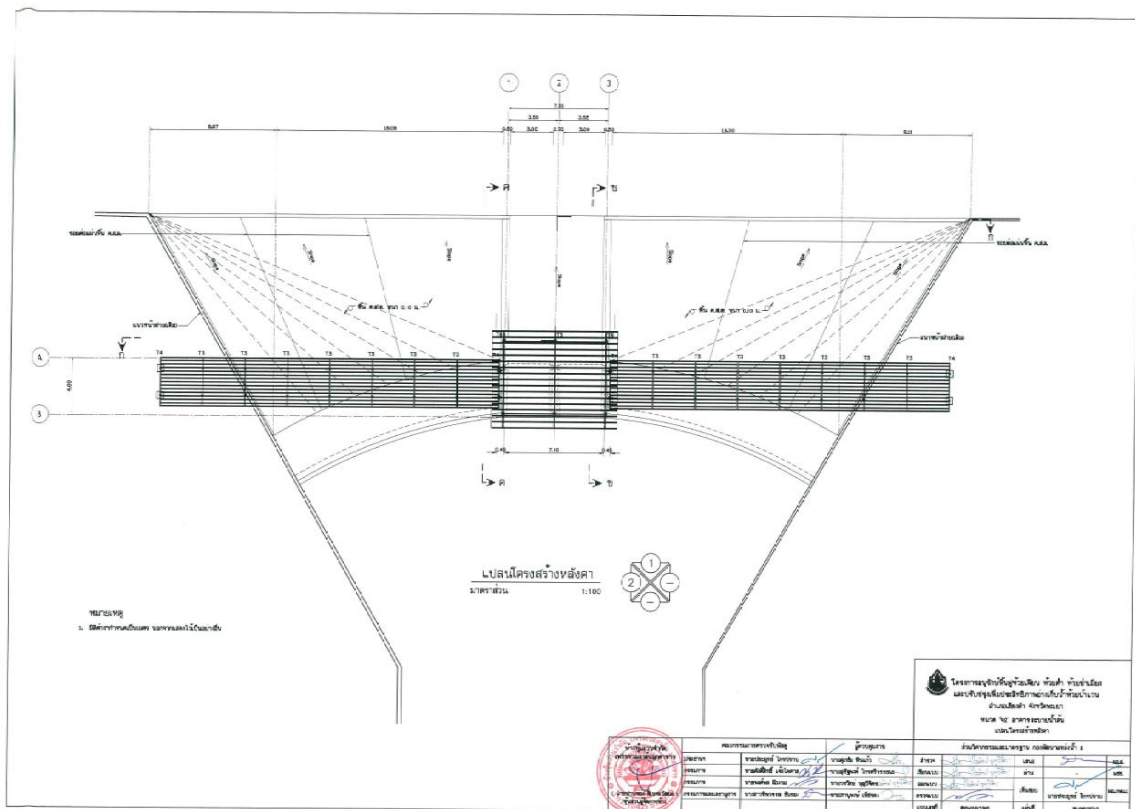


งานป้องกันการกัดเซาะ แสดงการเรียงหิน การปลูกหญ้าแฝก ข้อกำหนดแผนผังสังเคราะห์

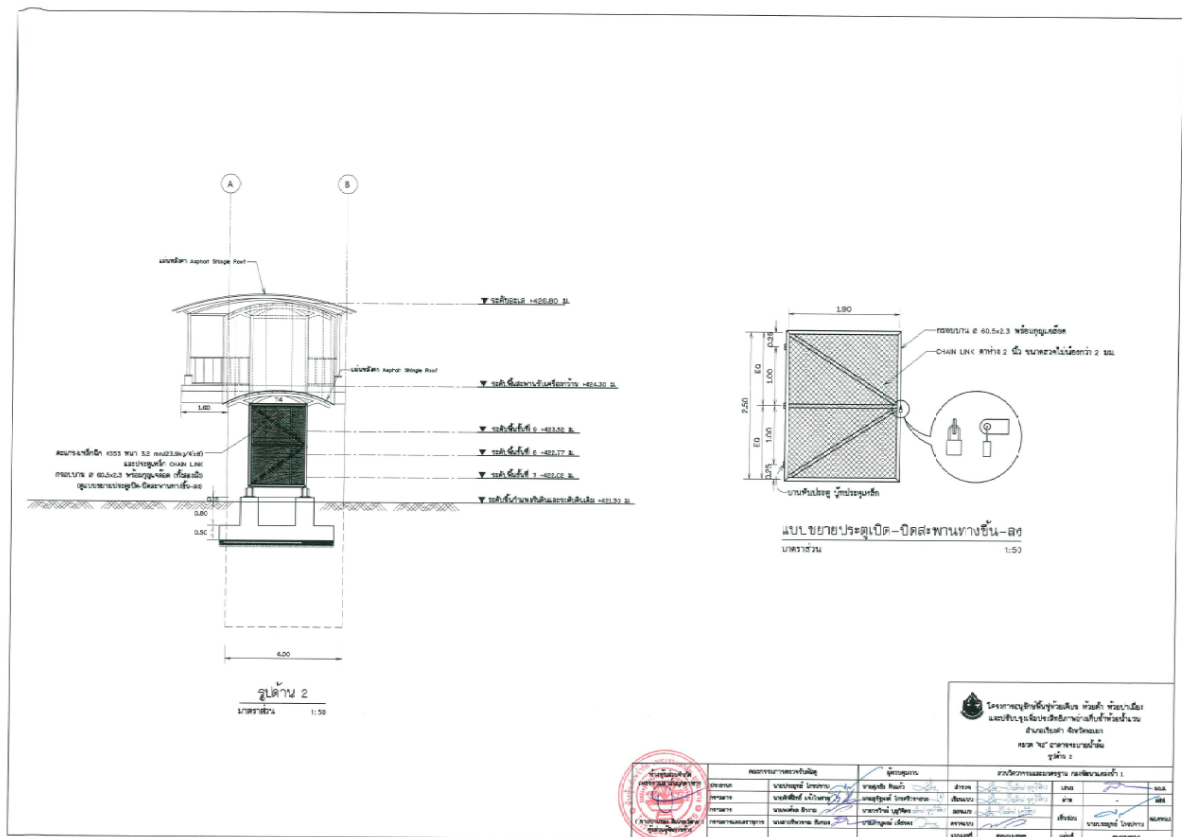




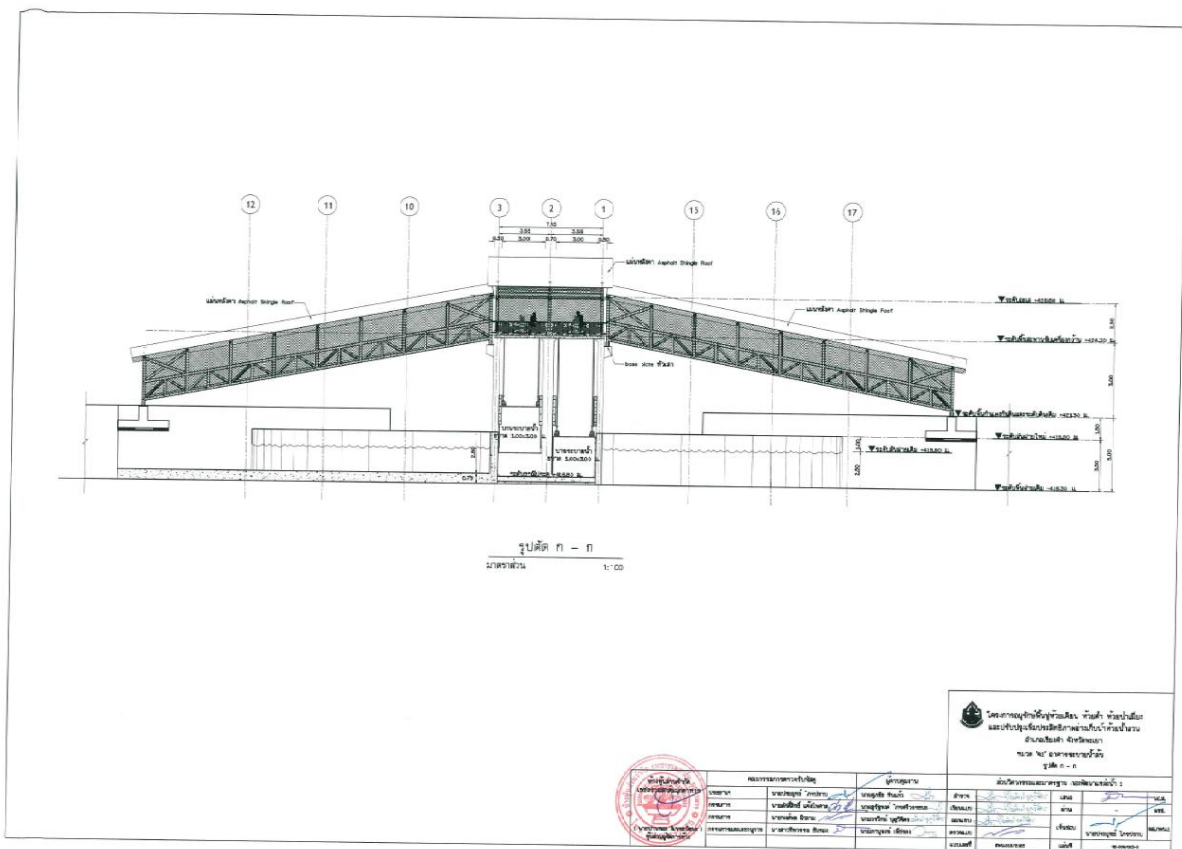
แปลนสะพานทางเดิน



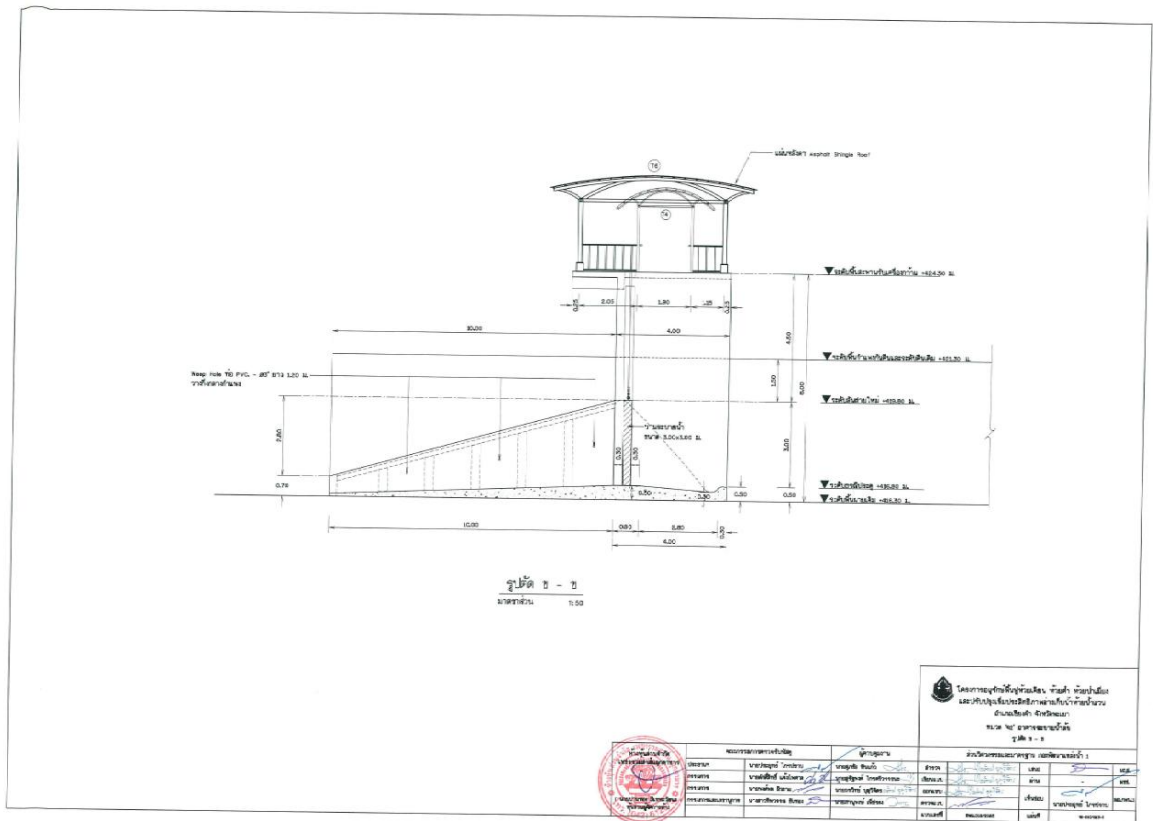
แปลนโครงสร้างหลังคา



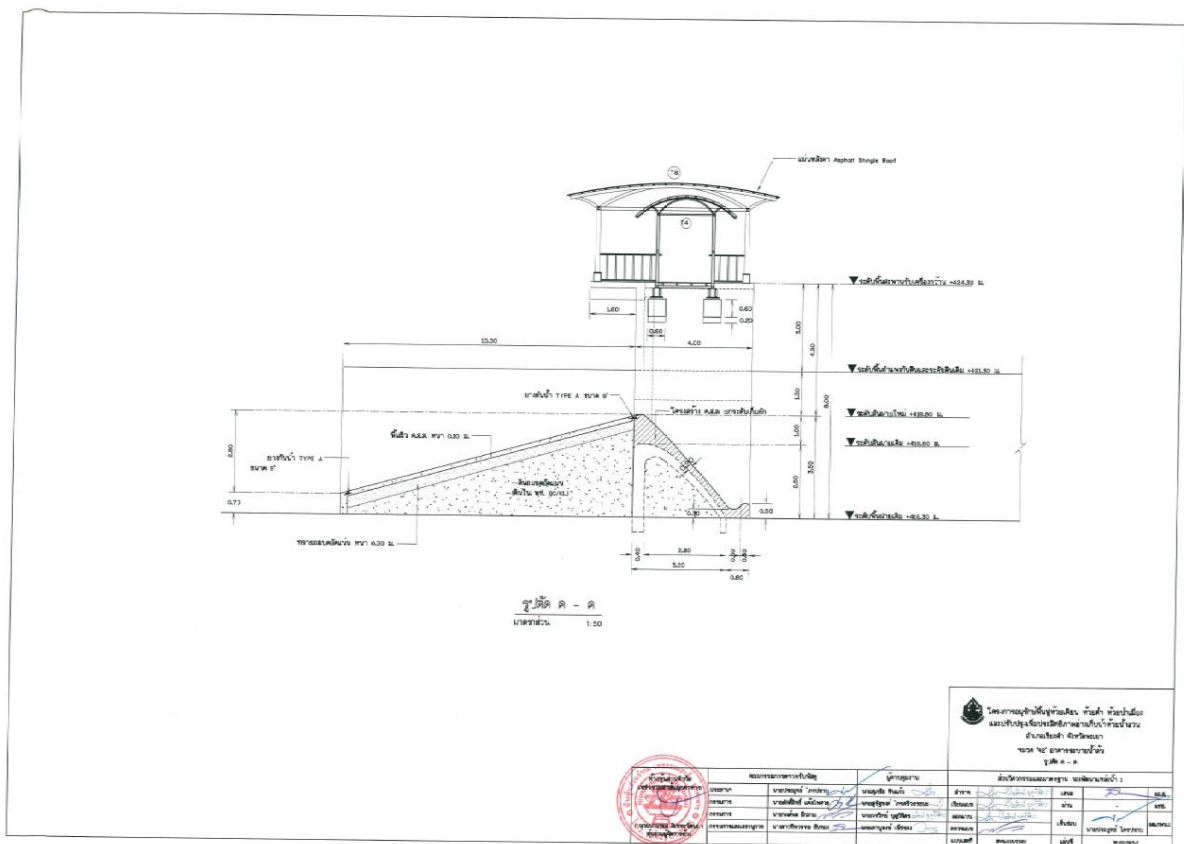
รูปด้าน 2



รูปตัด 3-ก



รูปตัด ข-ข



รูปตัด ค-ค

ภาคผนวก ข
ภาพการก่อสร้างโครงการปรับปรุงอ่างเก็บน้ำ

© สงวนลิขสิทธิ์ | ห้ามทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้เพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาต



คณะกรรมการฯ และผู้นำชุมชนร่วมหารือ
และให้ข้อมูลประกอบการพิจารณา



ลักษณะพื้นที่รับประโยชน์ทางการเกษตร
ท้ายอ่างเก็บน้ำฯ



ขณะดำเนินการงานก่อสร้าง



ขณะดำเนินการงานก่อสร้าง



ขณะดำเนินการงานก่อสร้าง



ขณะดำเนินการงานก่อสร้าง



ขณะดำเนินการงานก่อสร้าง



ขณะดำเนินการงานก่อสร้าง



ขณะดำเนินการงานก่อสร้าง



ขณะดำเนินการงานก่อสร้าง



ขณะดำเนินการงานก่อสร้าง



ขณะดำเนินการงานก่อสร้าง



ขณะดำเนินการงานก่อสร้าง



ขณะดำเนินการงานก่อสร้าง



ขณะดำเนินการงานก่อสร้าง



ขณะดำเนินการงานก่อสร้าง



พื้นที่ขณะเกิดอุทกภัยน้ำท่วมไหลหลาก
ในพื้นที่โครงการฯ



พื้นที่ขณะเกิดอุทกภัยน้ำท่วมไหลหลาก
ในพื้นที่โครงการฯ



พื้นที่ขณะเกิดอุทกภัยน้ำท่วมไหลหลาก
ในพื้นที่โครงการฯ



พื้นที่ขณะเกิดอุทกภัยน้ำท่วมไหลหลาก
ในพื้นที่โครงการฯ



พื้นที่ขณะเกิดอุทกภัยน้ำท่วมไหลหลาก
ในพื้นที่โครงการฯ



พื้นที่ขณะเกิดอุทกภัยน้ำท่วมไหลหลาก
ในพื้นที่โครงการฯ



ก่อนเทพื้นคอนกรีตด้านหน้าทางระบายน้ำล้น



กำลังเทพื้นคอนกรีตด้านหน้าทางระบายน้ำล้น



ตัดทางระบายน้ำล้นเดิมลงและเสริมสันทาง
ระบายน้ำล้น



งานก่อสร้างประตูระบายน้ำ



งานซ่อมรางเท (Chute)



งานซ่อม Chute Block และ End Sill



ก่อนการขุดลอก



ขณะขุดลอก



ก่อนการเพิ่มระดับสันเขื่อน



กำลังเสริมสันเขื่อน



ก่อนปรับระดับหน้าทางระบายน้ำล้น



กำลังปรับระดับหน้าทางระบายน้ำล้น



กำลังปรับปรุงท่อระบายน้ำลงลำน้ำเดิม
(River Outlet)



กำลังถมดินปรับพื้นที่ลานอเนกประสงค์



ปูแผ่นใยสังเคราะห์ระบบป้องกันการกัดเซาะ



ปรับหินทับแผ่นใยสังเคราะห์



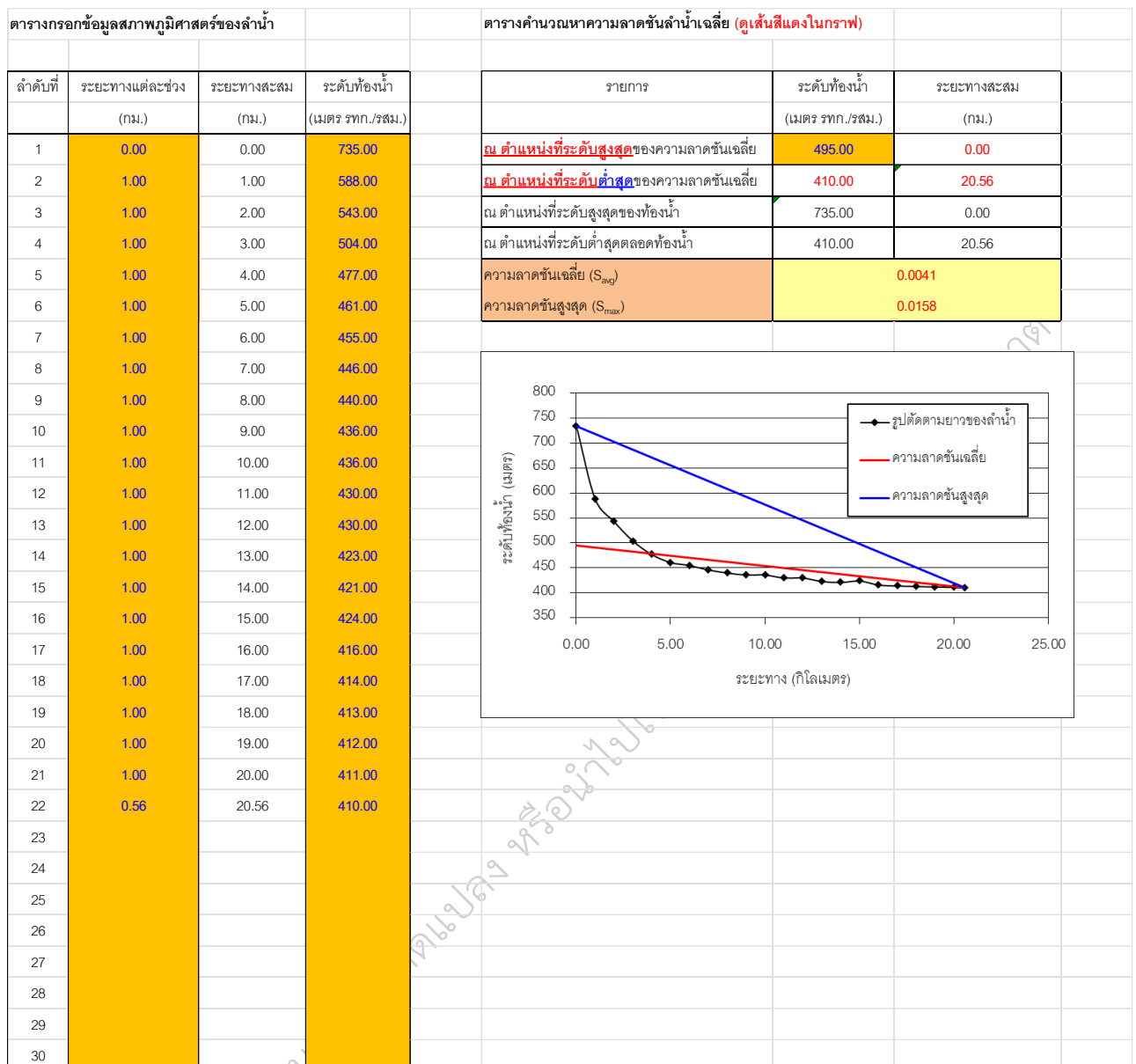
ระบบป้องกันการกัดเซาะแล้วเสร็จ



เครื่องจักรปรับระดับและบดอัด

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยา

© สงวนลิขสิทธิ์ | ห้ามทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้เพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาต



Use Gumbel Distribution ;

a = 0.7797S_x

b = X_{avg}-0.45S_x

x = b+ay

y = -ln(-ln(1-1/Tr))

when

ค่า a และ b ดูจากกราฟแผ่นที่แสดงค่าสป.การแจกแจงความถี่ a และ b ตามทฤษฎี Gumbel โดยอ่านจากกราฟหน้า 85-90 ตามวิทยานิพนธ์เรื่องการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การกระจายของฝนสูงสุด 1 วัน

Rainfall Frequency Curve Maximum 1 Day จ.พระยา

Return Period	Duration 1 Day (mm.)	Duration 2 Day (mm.)	Duration 3 Day (mm.)
2	57.33	91.00	104.66
5	80.00	125.00	150.00
10	95.01	147.51	180.01
25	113.97	175.96	217.94
50	128.04	197.06	246.08
100	142.00	218.00	274.01
200	155.92	238.87	301.83
500	174.27	266.41	338.54
1000	188.15	287.22	366.29

Percent Rainfall Distribution of Max. 1 Day

Time (hr.)	Percent Rainfall 1 Day (%)
0.25	23.00
0.50	37.00
1.00	49.00
2.00	62.00
3.00	71.00
6.00	86.00
12.00	96.00
24.00	100.00

Percent Rainfall Distribution of Max. 1 Day / 4hrs

Time (hr.)	Percent Rainfall 1 Day (%)
4.00	75.00
8.00	86.00
12.00	94.00
16.00	99.00
20.00	100.00
24.00	100.00

Note:

ดูจากตารางเปอร์เซ็นต์การกระจายของฝนสูงสุด 1 วัน กรณีฝนตกหนักมาก จ. เข้มรอบ หน้า 122

พื้นที่รับน้ำ = 120.68 SQ.KM or 46.59 SQ.MILE

Time of concentration = 3.00 Hrs.

Infiltration and Retention Factor (%) = 30.00 Percent 0.20

แฟกเตอร์ลดความถี่ = 0.9124

Time (hr.)	Percent Rainfall 1 Day (%)	Tr=25yr.Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=25yr.Arrange Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=50yr.Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=50yr.Arrange Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=100yr.Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=100yr.Arrange Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=200yr.Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=200yr.Arrange Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=500yr.Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=500yr.Arrange Rainfall Duration 4 hr. (mm.)
4.00	75.00	54.60	0.00	61.33	0.00	68.02	0.00	74.69	0.00	83.48	0.00
8.00	86.00	8.01	0.00	9.00	0.00	9.98	0.00	10.95	0.00	12.24	0.00
12.00	94.00	5.82	8.01	6.54	9.00	7.26	9.98	7.97	10.95	8.90	12.24
16.00	99.00	3.64	54.60	4.09	61.33	4.53	68.02	4.98	74.69	5.57	83.48
20.00	100.00	0.73	5.82	0.82	6.54	0.91	7.26	1.00	7.97	1.11	8.90
24.00	100.00	0.00	3.64	0.00	4.09	0.00	4.53	0.00	4.98	0.00	5.57

ค่า

เปอร์เซ็นต์การกระจายของฝนสูงสุด 1 วันในพื้นที่โครงการ

เวลา (ชม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)
0.25	23.00
0.50	37.00
1.00	49.00
2.00	62.00
3.00	71.00
6.00	86.00
12.00	96.00
24.00	100.00

I. น้ำวน

พื้นที่รับน้ำ = 120.68 SQ.KM or 46.59 SQ.MILE

Time of concentration = 3.00 Hrs.

Infiltration and Retention Factor (%) = 30.00 Percent 0.20

แฟกเตอร์ลดความถี่ = 0.9124

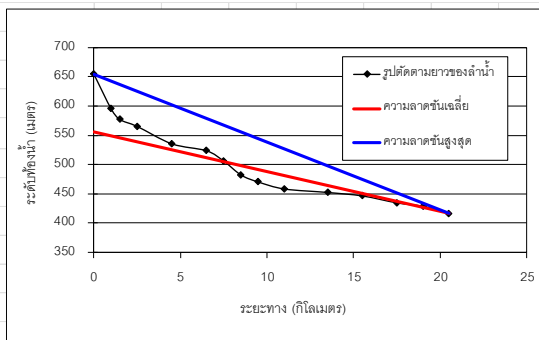
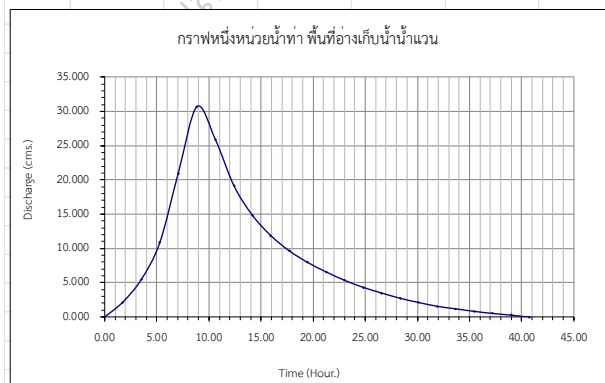
Time (hr.)	Percent Rainfall 1 Day (%)	Tr=25yr.Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=25yr.Arrange Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=50yr.Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=50yr.Arrange Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=100yr.Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=100yr.Arrange Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=200yr.Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=200yr.Arrange Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=500yr.Rainfall Duration 4 hr. (mm.)	Tr=500yr.Arrange Rainfall Duration 4 hr. (mm.)
4.00	75.00	54.60	0.00	61.33	0.00	68.02	0.00	74.69	0.00	83.48	0.00
8.00	86.00	8.01	0.00	9.00	0.00	9.98	0.00	10.95	0.00	12.24	0.00
12.00	94.00	5.82	8.01	6.54	9.00	7.26	9.98	7.97	10.95	8.90	12.24
16.00	99.00	3.64	54.60	4.09	61.33	4.53	68.02	4.98	74.69	5.57	83.48
20.00	100.00	0.73	5.82	0.82	6.54	0.91	7.26	1.00	7.97	1.11	8.90
24.00	100.00	0.00	3.64	0.00	4.09	0.00	4.53	0.00	4.98	0.00	5.57

Synthetic Unit Hydrograph	น้ำฝน			
Property :	Base on วิทยานิพนธ์ เรื่องการวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำขนาดเล็ก			
	โดยนายอวิช ดันติธีรวิทย์			
	A =	120.68	km ²	
	L =	20.56	km.	
	Lc =	10.59	km.	
	H =	325.00	m.	
	Avg.Slope =	0.0041	0.0158	
	LLc/(S)*0.5 =	3.396.27		
	Tc =(0.87L ³ /H) ^{0.385} =	3.36	hr.	Use 3.00 Hrs
	tp =0.30278(LLc/S*0.5) ^{0.41538} =	8.87	hr.	
	q _p /A = 1.35295(tp) ^{-0.82072} =	0.23	cms./km ²	
	qp =	27.23	cms.	

U/p	q/q _p	t (hr.)	q (cms.)	Adjust q (cms.)
0.0	0.000	0.00	0.000	0.000
0.2	0.072	1.77	1.960	2.212
0.4	0.180	3.55	4.901	5.530
0.6	0.355	5.32	9.666	10.906
0.8	0.685	7.09	18.651	21.043
1.0	1.000	8.87	27.228	30.720
1.2	0.845	10.64	23.007	25.959
1.4	0.625	12.42	17.017	19.200
1.6	0.485	14.19	13.205	14.899
1.8	0.388	15.96	10.564	11.920
2.0	0.315	17.74	8.577	9.677
2.2	0.260	19.51	7.079	7.987
2.4	0.215	21.28	5.854	6.605
2.6	0.175	23.06	4.765	5.376
2.8	0.142	24.83	3.866	4.362
3.0	0.115	26.60	3.131	3.533
3.2	0.090	28.38	2.450	2.765
3.4	0.070	30.15	1.906	2.150
3.6	0.052	31.93	1.416	1.597
3.8	0.040	33.7	1.089	1.2
4.0	0.028	35.5	0.762	0.9
4.2	0.018	37.3	0.490	0.6
4.4	0.010	39.0	0.272	0.3
4.6	0.000	40.8	0.000	0.0
		Sum	167.858	189.391
		Check	0.886	1.000

หมายเหตุ

U/p และ q/q_p อ่านจากกราฟวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำใจ โดยนายอวิช ดันติธีรวิทย์ หน้า 47
การ check ค่า t ให้ผลรวมของ q คูณด้วยช่วงเวลาเป็นชั่วโมงหารด้วยพื้นที่รับน้ำฝน



2.5.4 ปริมาณน้ำหลาก

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำโขงเหนือ ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทาน เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_F = 1.9366A^{0.5835} \quad (R^2 = 0.6705)$$

โดยที่ Q_F = ปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ย, ลบ.ม./วินาที

A = พื้นที่รับน้ำฝน, ตร.กม.

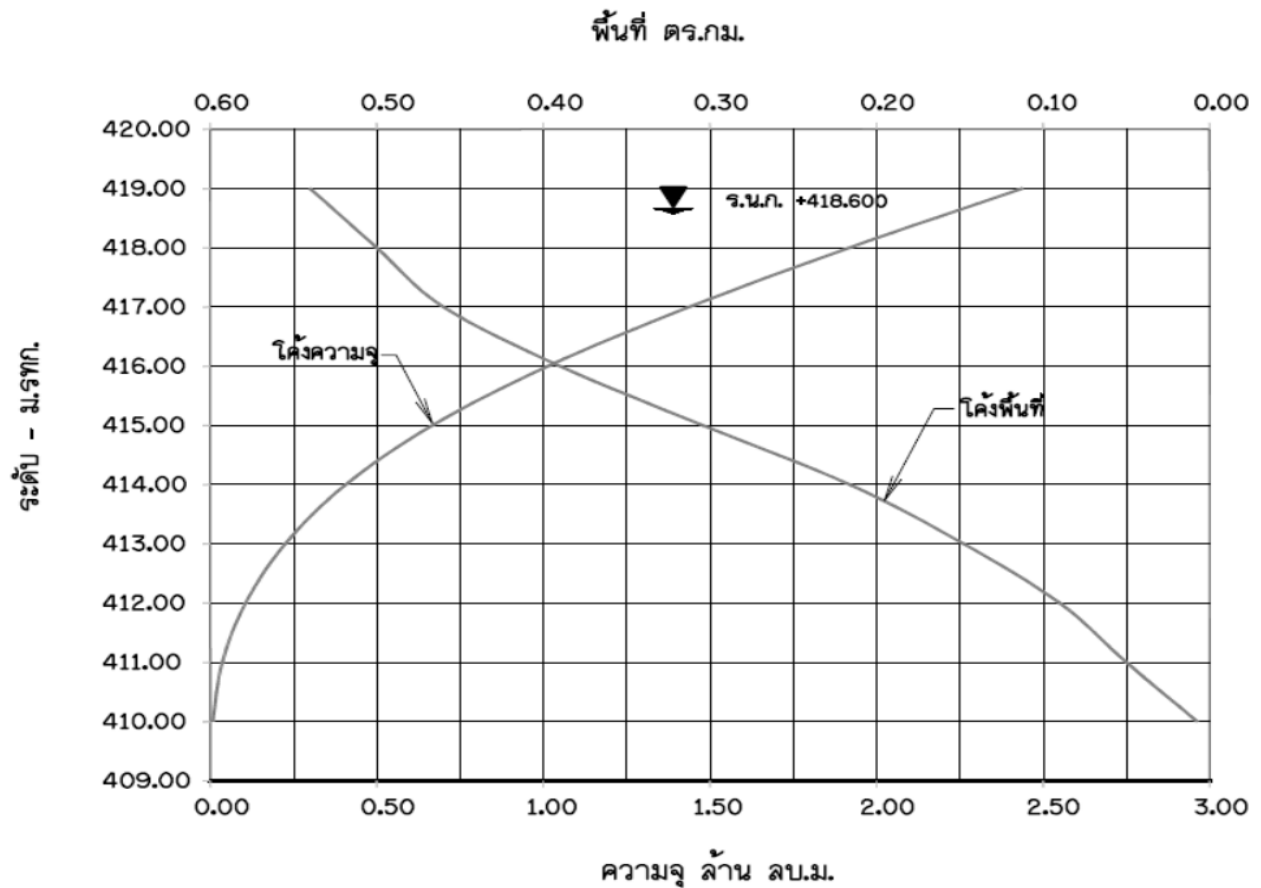
ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่าง ๆ ด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่าง ๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำ ดังนี้

รอบปีการเกิด	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_F	0.95	1.77	2.35	3.08	3.62	4.16	4.69	5.40	5.93

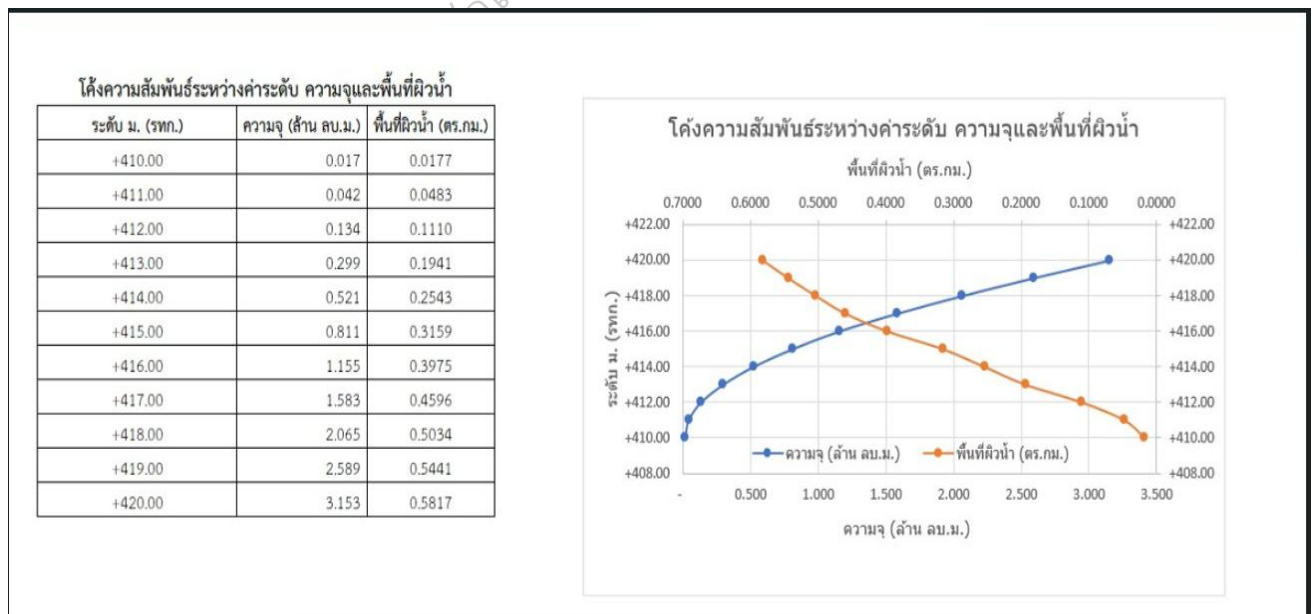
Q_f 31.74 cms

Q_{Tr25} 97.77 cms

Q_{Tr50} 114.92 cms



โค้งระดับ-ความจุ-พื้นที่ผิวน้ำ สภาพเดิมก่อนการปรับปรุง



โค้งระดับ-ความจุ-พื้นที่ผิวน้ำ หลังการปรับปรุง

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ด้านกลยุทธ์

© สงวนลิขสิทธิ์ | ห้ามทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้เพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาต

กรณีสภาพเดิมก่อนปรับปรุง Tr 25 ปี

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลความจุอ่างเก็บน้ำที่ระดับต่างๆ			ตารางแสดงปริมาณน้ำหลากไหลเข้าอ่าง (inflow) ในช่วงเวลาต่าง ๆ		
ลำดับที่	ระดับ (ม. รทก.)	ความจุ อ่างเก็บน้ำ (ล้าน ลบม.)	ลำดับที่	ช่วงเวลา (ชม.)	Inflow (cms)
1	410.0	0.00	1	0.00	2.00
2	411.0	0.05	2	2.00	2.00
3	412.0	0.12	3	4.00	2.00
4	413.0	0.24	4	6.00	5.08
5	414.0	0.37	5	8.00	31.67
6	415.0	0.65	6	10.00	83.89
7	416.0	1.00	7	12.00	170.72
8	417.0	1.40	8	14.00	177.19
9	418.0	1.80	9	16.00	130.35
10	418.8	2.30	10	18.00	94.62
11	419.0	2.32	11	20.00	69.44
12	420.0	2.90	12	22.00	52.12
13	421.0	3.52	13	24.00	39.03
14	422.0	4.20	14	26.00	28.99
15			15	28.00	20.94
16			16	30.00	14.66
17			17	32.00	10.28
18			18	34.00	6.61
19			19	36.00	3.79
20			20	38.00	2.33
21			21	40.00	2.07
22			22	42.00	2.00
23			23	44.00	2.00
24			24	46.00	2.00
25			25	48.00	2.00
26			26	50.00	2.00
27			27	52.00	2.00
28			28	54.00	2.00
29			29	56.00	2.00
30			30	58.00	2.00
			31	60.00	2.00
			32	62.00	2.00
			33	64.00	2.00
			34	66.00	2.00
			35	68.00	2.00
			36	70.00	2.00
			37	72.00	2.00
			38		
			39		
			40		
			41		
			42		
			43		
			44		
			45		
			46		
			47		
			48		
			49		
			50		

© สงวนลิขสิทธิ์ / ห้ามทำซ้ำ ดัดแปลง

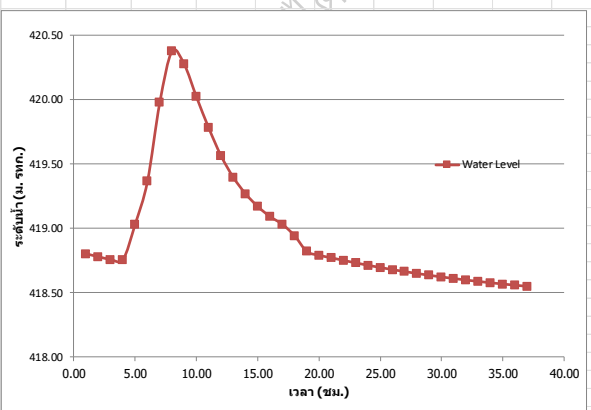
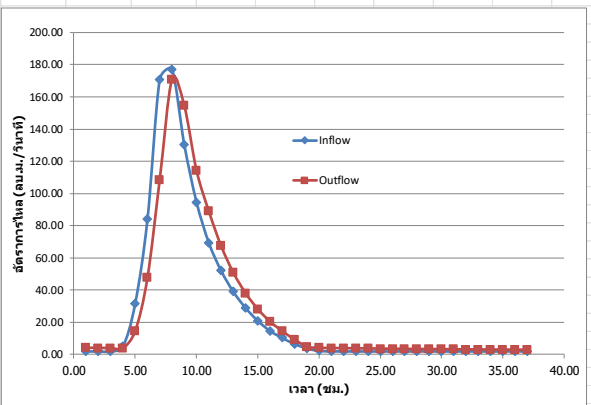
See Board	0.92
ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์	

See Board	0.92
ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์	



Time index (i)	ชั่วโมง	Inflow (ลบ.ม./ร.)	$I_j + I_{j+1}$ (ลบ.ม./ร.)	$2S_j - Q_j$ Δt	$2S_{j+1} + Q_{j+1}$ Δt	Outflow (ลบ.ม./ร.)	ระดับน้ำ (ม.รทก.)
1	0.00	2.00		634.89		4.00	418.80
2	2.00	2.00	4.00	631.11	638.89	3.89	418.78
3	4.00	2.00	4.00	627.55	635.11	3.78	418.76
4	6.00	5.08	7.08	627.09	634.63	3.77	418.75
5	8.00	31.67	36.75	635.07	663.84	14.38	419.03
6	10.00	83.89	115.56	655.49	750.63	47.57	419.36
7	12.00	170.72	254.62	693.01	910.11	108.55	419.98
8	14.00	177.19	347.92	699.63	1,040.92	170.65	420.38
9	16.00	130.35	307.54	698.25	1,007.17	154.46	420.27
10	18.00	94.62	224.96	694.80	923.21	114.20	420.02
11	20.00	69.44	164.06	680.95	858.86	88.96	419.78
12	22.00	52.12	121.56	667.70	802.52	67.41	419.56
13	24.00	39.03	91.15	657.42	758.85	50.71	419.40
14	26.00	28.99	68.02	649.56	725.44	37.94	419.27
15	28.00	20.94	49.93	643.46	699.49	28.02	419.17
16	30.00	14.66	35.59	638.65	679.05	20.20	419.09
17	32.00	10.28	24.93	635.01	663.58	14.29	419.03
18	34.00	6.61	16.88	633.68	651.89	9.11	418.94
19	36.00	3.79	10.40	634.73	644.07	4.67	418.82
20	38.00	2.33	6.12	632.96	640.85	3.94	418.79
21	40.00	2.07	4.40	629.67	637.36	3.85	418.77
22	42.00	2.00	4.07	626.25	633.74	3.74	418.75
23	44.00	2.00	4.00	622.96	630.25	3.65	418.73
24	46.00	2.00	4.00	619.85	626.96	3.55	418.71
25	48.00	2.00	4.00	616.92	623.85	3.47	418.69
26	50.00	2.00	4.00	614.15	620.92	3.38	418.68
27	52.00	2.00	4.00	611.53	618.15	3.31	418.66
28	54.00	2.00	4.00	609.06	615.53	3.23	418.65
29	56.00	2.00	4.00	606.73	613.06	3.17	418.63
30	58.00	2.00	4.00	604.53	610.73	3.10	418.62
31	60.00	2.00	4.00	602.46	608.53	3.04	418.61
32	62.00	2.00	4.00	600.50	606.46	2.98	418.60
33	64.00	2.00	4.00	598.65	604.50	2.93	418.59
34	66.00	2.00	4.00	596.90	602.65	2.87	418.57
35	68.00	2.00	4.00	595.25	600.90	2.82	418.56
36	70.00	2.00	4.00	593.69	599.25	2.78	418.56
37	72.00	2.00	4.00	592.22	597.69	2.73	418.55
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							
52							
53							
54							
55							
56							
57							
58							
59							
60							
61							
62							
63							
64							
65							
66							
67							
68							
69							
70							

$Q_{\max}$ 170.65 ลบ.ม./ร.
 $WL_{\max}$ 420.38 ม.รทก.

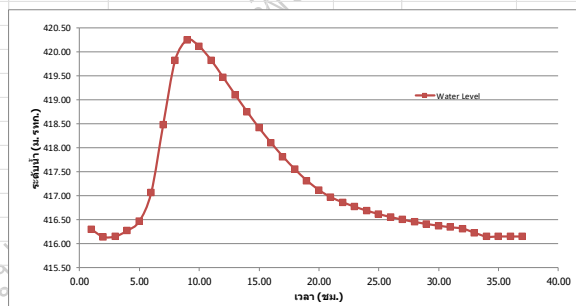
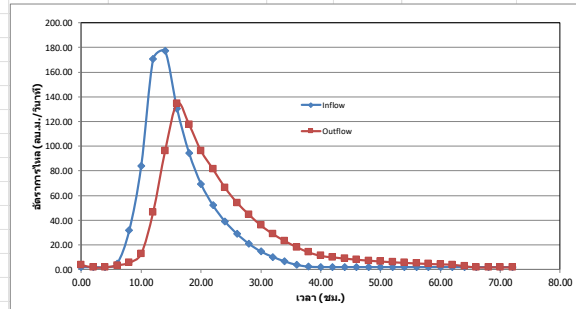


กรณีหลังปรับปรุง Tr 25 ปี

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลความจุอ่างเก็บน้ำที่ระดับต่างๆ			ตารางแสดงปริมาณน้ำหลากไหลเข้าอ่าง (inflow) ในช่วงเวลาต่าง ๆ		
ลำดับที่	ระดับ (ม. รทก.)	ความจุ อ่างเก็บน้ำ (ล้าน ลบม.)	ลำดับที่	ช่วงเวลา (ชม.)	Inflow (cms)
1	410.0	0.017	1	0.00	2.00
2	411.0	0.042	2	2.00	2.00
3	412.0	0.134	3	4.00	2.00
4	413.0	0.299	4	6.00	5.08
5	414.0	0.521	5	8.00	31.67
6	415.0	0.811	6	10.00	83.89
7	416.0	1.155	7	12.00	170.72
8	416.3	1.168	8	14.00	177.19
9	417.0	1.583	9	16.00	130.35
10	418.0	2.065	10	18.00	94.62
11	418.8	2.484	11	20.00	69.44
12	419.0	2.589	12	22.00	52.12
13	420.0	3.153	13	24.00	39.03
14	421.0	3.870	14	26.00	28.99
15	422.0	4.900	15	28.00	20.94
16			16	30.00	14.66
17			17	32.00	10.28
18			18	34.00	6.61
19			19	36.00	3.79
20			20	38.00	2.33
21			21	40.00	2.07
22			22	42.00	2.00
23			23	44.00	2.00
24			24	46.00	2.00
25			25	48.00	2.00
26			26	50.00	2.00
27			27	52.00	2.00
28			28	54.00	2.00
29			29	56.00	2.00
30			30	58.00	2.00
			31	60.00	2.00
			32	62.00	2.00
			33	64.00	2.00
			34	66.00	2.00
			35	68.00	2.00
			36	70.00	2.00
			37	72.00	2.00
			38		
			39		
			40		
			41		
			42		
			43		
			44		
			45		
			46		
			47		
			48		
			49		
			50		

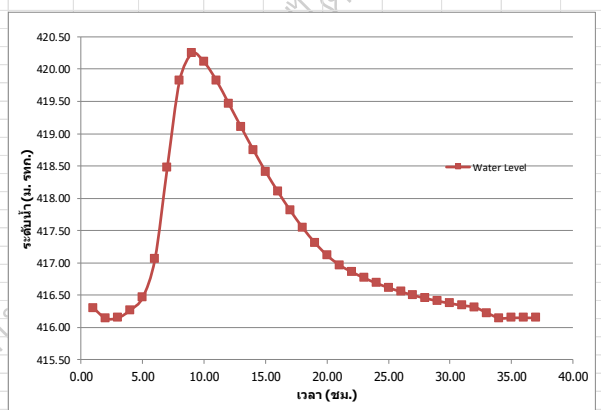
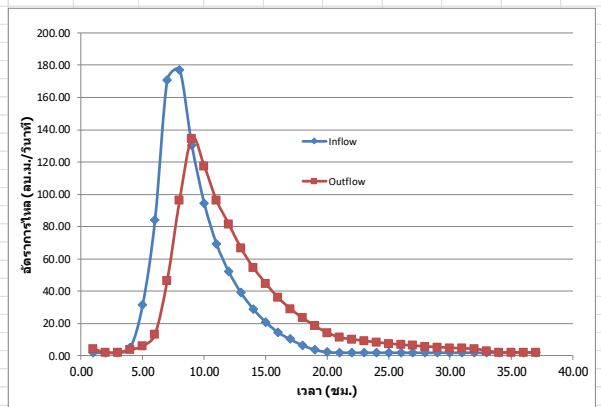
ระดับ	ความสูงน้ำเหนือสัน	$H^{1.5}$	Spillway Capacity	Reservoir Storage (S)		Storage function
(ม. รทก.)	Spillway (H, ม.)		+River Outlet (ลบม.ม.)	(ลบม.ม.)	Δt	$\frac{2S}{\Delta t} + Q$
			$Q=0.5522CLH^{1.5}+RO$			(ลบม.ม.)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(6)	(7)
410.00	0.00	0.00	0.00	0.02	4.72	4.72
411.00	0.00	0.00	0.00	0.04	11.67	11.67
412.00	0.00	0.00	0.00	0.13	37.22	37.22
413.00	0.00	0.00	0.00	0.30	83.06	83.06
414.00	0.00	0.00	0.00	0.52	144.72	144.72
415.00	0.00	0.00	0.00	0.81	225.28	225.28
416.00	0.00	0.00	0.00	1.16	320.83	320.83
416.30	0.00	0.00	4.00	1.17	324.44	328.44
417.00	0.00	0.00	11.66	1.58	439.72	451.39
418.00	0.00	0.00	33.01	2.07	573.61	606.62
418.80	0.00	0.00	55.73	2.48	690.00	745.73
419.00	0.00	0.00	62.06	2.59	719.17	781.23
420.00	0.20	0.09	103.39	3.15	875.83	979.22
421.00	1.20	1.31	229.10	3.87	1,075.00	1,304.10
422.00	2.20	3.26	409.86	4.90	1,361.11	1,770.97

ระดับสัน Spillway	419.8	ม. รทก.	ระดับหลังบาน	419.3
ระดับน้ำเริ่มต้นในการจำลอง Flood Routing	416.3	ม. รทก.	ระดับกรณีประตุ	416.3
ค่าสัมประสิทธิ์ C	3.95			3.95
ค่าความยาว Spillway	32	ม.	ความกว้างประตู	6
Time interval ของกราฟน้ำท่วม (Δt)	2	ชม.	ความสูงบานประตู	3
ปริมาณน้ำระบายออกทาง River Outlet	4	ลบม.ม.		
ผลการคำนวณน้ำไหลออกสูงสุด, Q_{max}	134.55	ลบม.ม.		
ปริมาณน้ำที่ยอมรับได้ท้ายน้ำ (Q_d)	-	ลบม.ม.	ระดับน้ำสูงสุดที่ยอมรับได้	421.3 ม.รทก.
ปริมาณน้ำสันผ่าน Spillway	130.55	ลบม.ม.		
ผลการคำนวณความสูงของ Flood Surge	0.448	ม.		
Maximum Water Surface Elevation	420.25	ม. รทก.		
ระดับสันเขื่อนที่ออกแบบ	421.30	ม. รทก.	ระยะ Free Board	1.05 ม.
ผลการออกแบบเบื้องต้น	OK			
(เมื่อพิจารณาเฉพาะ $Q_{max} < Q_d$ และ $WL_{max} < WL_d$)				
หมายเหตุ: รายการคำนวณนี้เป็นกรออกแบบเบื้องต้นเท่านั้น เนื่องจากในทางปฏิบัติจะต้องพิจารณาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ร่วมด้วย				



Time index (j)	ชั่วโมง (h)	Inflow (ลบ.ม./วิน.)	$I_j + I_{j+1}$ (ลบ.ม./วิน.)	$\frac{2S_j}{\Delta t} - Q_j$	$\frac{2S_{j+1}}{\Delta t} + Q_{j+1}$	Outflow (ลบ.ม./วิน.)	ระดับน้ำ (ม.รทก.)
1	0.00	2.00		320.44		4.00	416.30
2	2.00	2.00	4.00	320.65	324.44	1.90	416.14
3	4.00	2.00	4.00	320.64	324.65	2.01	416.15
4	6.00	5.08	7.08	320.48	327.72	3.62	416.27
5	8.00	31.67	36.75	345.64	357.23	5.79	416.46
6	10.00	83.89	115.56	435.17	461.20	13.01	417.06
7	12.00	170.72	254.62	596.60	689.79	46.59	418.48
8	14.00	177.19	347.92	752.23	944.52	96.14	419.82
9	16.00	130.35	307.54	790.66	1,059.77	134.55	420.25
10	18.00	94.62	224.96	780.68	1,015.62	117.47	420.11
11	20.00	69.44	164.06	752.36	944.74	96.19	419.83
12	22.00	52.12	121.56	711.11	873.92	81.41	419.47
13	24.00	39.03	91.15	669.36	802.26	66.45	419.11
14	26.00	28.99	68.02	628.64	737.38	54.37	418.75
15	28.00	20.94	49.93	589.05	678.57	44.76	418.41
16	30.00	14.66	35.59	552.74	624.64	35.95	418.10
17	32.00	10.28	24.93	519.62	577.67	29.03	417.81
18	34.00	6.61	16.88	489.76	536.50	23.37	417.55
19	36.00	3.79	10.40	463.42	500.16	18.37	417.31
20	38.00	2.33	6.12	441.22	469.54	14.16	417.12
21	40.00	2.07	4.40	423.00	445.61	11.30	416.97
22	42.00	2.00	4.07	406.78	427.07	10.15	416.86
23	44.00	2.00	4.00	392.51	410.78	9.13	416.77
24	46.00	2.00	4.00	380.02	396.51	8.24	416.69
25	48.00	2.00	4.00	369.09	384.02	7.46	416.62
26	50.00	2.00	4.00	359.53	373.09	6.78	416.55
27	52.00	2.00	4.00	351.15	363.53	6.19	416.50
28	54.00	2.00	4.00	343.82	355.15	5.67	416.45
29	56.00	2.00	4.00	337.41	347.82	5.21	416.41
30	58.00	2.00	4.00	331.79	341.41	4.81	416.37
31	60.00	2.00	4.00	326.87	335.79	4.46	416.34
32	62.00	2.00	4.00	322.57	330.87	4.15	416.31
33	64.00	2.00	4.00	320.54	326.57	3.02	416.23
34	66.00	2.00	4.00	320.64	324.54	1.95	416.15
35	68.00	2.00	4.00	320.64	324.64	2.00	416.15
36	70.00	2.00	4.00	320.64	324.64	2.00	416.15
37	72.00	2.00	4.00	320.64	324.64	2.00	416.15
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							
52							
53							
54							
55							
56							
57							
58							
59							
60							
61							
62							
63							
64							
65							
66							
67							
68							
69							
70							

Q_{max} 134.55 ลบ.ม./วิน.
 WL_{max} 420.25 ม.รทก.





ทรัพยากรน้ำมั่นคง
ประชาชนมั่นใจ
ใช้ประโยชน์ยั่งยืน



อ่างเก็บน้ำ
ห้วยน้ำแวน
กรมทรัพยากรน้ำ



สแกนเพื่อเข้าสู่เว็บไซต์
www.dwr.go.th

กรมทรัพยากรน้ำ

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม



180/3 ถนนพระรามที่ 6 ซอย 34 แขวงพญาไท
เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 10400



โทร. 0 2271 6000



www.dwr.go.th