

**การศึกษาความแข็งแรงและความปลอดภัยของบานประตูระบายน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์
โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ**

**Study on Stability and Safety of Radial Gate for Pasak Chonlasit Dam
by Finite Element Method and Reliability Analysis**

คำนำ

เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์เป็นโครงการเขื่อนกักเก็บน้ำขนาดใหญ่ ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี มีลักษณะเป็นเขื่อนดินชนิดมีแกนดินเหนียว มีความยาว 4,860 เมตร มีระดับน้ำเก็บกักสูงสุด 43.00 ม.รทก. และมีปริมาตรเก็บกักสูงสุด 960 ล้านลูกบาศก์เมตร การก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้นของโครงการเขื่อนป่าสัก เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชนิด Gated Spillway ระดับสันฝาย +35.00 เมตร รทก. ตั้งอยู่บนฝั่งขวาของตัวเขื่อนบริเวณ กม. 0+680 มีจำนวนช่องระบายน้ำ 7 ช่องกว้างช่องละ 12.50 เมตร ควบคุมการระบายน้ำด้วยบานระบายชนิดโค้ง สามารถระบายน้ำได้สูงสุด 3,900 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีความคล่องตัวในการระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำอย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพระบายน้ำหลากในรอบ 1,000 ปี ในปริมาณ 3,884 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที อาคารระบายน้ำล้นเขื่อนป่าสักก่อสร้างในช่วงเร่งด่วนจึงใช้บานประตูแบบเดียวกับเขื่อนวชิราลงกรณ์ ซึ่งออกแบบเมื่อปี พ.ศ. 2509 เมื่อใช้งานได้พบว่าระดับความสูงของบานไม่เพียงพอต่อการเก็บกักน้ำจึงได้พิจารณาทำการเสริมระดับสันบานขึ้นอีก 0.90 เมตรจากเดิม

อาคารระบายน้ำล้นเป็นงานที่ลักษณะยุ่งยากซับซ้อน แนวคิดในการออกแบบยึดเอาความแข็งแรงมั่นคงของตัวอาคารเป็นหลัก ควบคู่กับความสามารถในการระบายน้ำของตัวอาคาร ซึ่งหมายความว่าในการออกแบบส่วนต่างๆของอาคารให้เกิดความมั่นคงนั้นจะใช้ค่าหน่วยแรง (Stress) ต่างๆให้มีค่ามาก เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูง หรือลดความน่าจะเป็นของการวิบัติของโครงสร้างให้น้อยมาากจนมีค่าเป็นศูนย์ แต่ผลที่ตามมาคือทำให้ค่าก่อสร้างมีราคาแพงมากขึ้นด้วย ดังนั้นจึงเกิดแนวความคิดที่จะวิเคราะห์ความแข็งแรงและค่าความปลอดภัยขึ้น เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง แต่ยังคงมีความมั่นคงปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เหมือนเดิม

การประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์และความน่าเชื่อถือของโครงสร้างเป็นแนวทางหนึ่งที่นำมาพิจารณา ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้นจะช่วยให้

ทราบถึงจุดวิบัติของโครงสร้างที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโครงสร้าง เพื่อคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของการวิบัติ ซึ่งจากทั้งสองวิธีดังกล่าวจะช่วยให้ทราบถึงความเสี่ยงต่อการวิบัติของโครงสร้างในเชิงตัวเลข แต่เนื่องจากการหาความน่าจะเป็นของการวิบัติต้องการข้อมูลของตัวแปรต่างๆที่มีความสัมพันธ์ต่อน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง ซึ่งตัวแปรต่างๆเหล่านี้จะเป็นค่าที่ไม่แน่นอน ปัญหาจึงเกิดขึ้นว่าทำอย่างไรจึงจะทราบค่าความน่าเชื่อถือของโครงสร้างจากปัญหาดังกล่าวได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางโครงสร้างของบานประตูระบายน้ำ
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของแรงกระแทก แรงดันเนื่องจากน้ำ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น และค่าความหนาของชิ้นส่วน โครงสร้าง ที่มีผลต่อการวิบัติของบานประตูระบายน้ำ
3. เพื่อวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเชิงโครงสร้างของบานประตูระบายน้ำ

ขอบเขตการศึกษา

1. การวิจัยครั้งนี้จะใช้บานประตูระบายน้ำสันเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอพัฒนานิคมจังหวัดลพบุรี โดยเลือกทำการศึกษาใน 1 บานประตูจากจำนวนทั้งหมด 7 บาน
2. ในการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างนี้ พิจารณาเฉพาะแรงเนื่องจากระดับเก็บกักน้ำ และแรงกระแทกเนื่องจากซุง โดยไม่ครอบคลุมถึงแรงที่เกิดจากอิทธิพลอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ แรงลม แรงสั่นสะเทือนในการเปิดบาน และผลอันเกิดจากแผ่นดินไหว
3. ตัวแปรสุ่มที่ถูกเลือกใช้ในการศึกษาความน่าเชื่อถือของบานประตูระบายน้ำ เป็นแบบไม่มีสหสัมพันธ์กัน (uncorrelated) ประกอบด้วย แรงกระแทกเนื่องจากซุง แรงดันเนื่องจากระดับเก็บกักน้ำ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น และค่าความหนาของชิ้นส่วน โครงสร้าง
4. ในการวิเคราะห์พฤติกรรมจะถือเกณฑ์การวิบัติจากการโก่งตัวในแนวนอนของคาน (deflection of girder) ซึ่งหาได้จากผลการวิเคราะห์ Finite Element
5. การวิเคราะห์จะใช้วิธี Finite Element ด้วยโปรแกรม COSMOS/M ส่วนการสร้างโครงสร้างและการแบ่ง Element ย่อยของบานประตูระบายน้ำจะใช้โปรแกรม AutoCAD
6. การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของโครงสร้างจะใช้โปรแกรม ISPUD โดยใช้ FORTRAN 77 Compiler ของ Lahay Computer System .Inc

เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์

1. ลักษณะโครงการ

โครงการพัฒนาลุ่มน้ำป่าสักอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เป็นโครงการประเภทเขื่อนเก็บกักน้ำขนาดใหญ่มีลักษณะเป็นเขื่อนดินชนิด ZONED TYPE ก่อสร้างปิดกั้นแม่น้ำป่าสักที่บ้านหนองบัว ตำบลหนองบัว อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี และบ้านคำพราน อำเภอวังม่วง จังหวัดสระบุรี ซึ่งรายละเอียดสำคัญของเขื่อนคือเป็นโครงการประเภทอ่างเก็บน้ำมีพื้นที่ลุ่มน้ำเหนือเขื่อน 12,292 ตารางกิโลเมตร มีความยาวลำน้ำทั้งหมด 513 กิโลเมตร ความลาดเทของลำน้ำ 1: 4000 ปริมาณฝนเฉลี่ยต่อปี 1,250 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเฉลี่ยต่อปี 2,400 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณน้ำไหลหลากในรอบ 1000 ปี 3,884 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ระดับน้ำเก็บกักปกติ +42.00 เมตร รทก. ระดับน้ำเก็บกักสูงสุด +43.00 เมตร รทก. ระดับเก็บกักต่ำสุด +29.00 เมตร รทก. ระดับสันเขื่อน +46.50 เมตร รทก. ความลาดเทด้านหน้าเขื่อน 1 : 3 ความลาดเทด้านท้ายเขื่อน 1 : 2.5 ความจุอ่างที่ระดับเก็บกักปกติ 785 ล้านลูกบาศก์เมตร ความจุอ่างที่ระดับเก็บกักสูงสุด 960 ล้านลูกบาศก์เมตร ความจุอ่างที่ระดับเก็บกักต่ำสุด 3 ล้านลูกบาศก์เมตร ความยาวเขื่อน 4,860 เมตร ที่ตั้งของกลุ่มน้ำป่าสักแสดงในภาพที่ 1

2. งานเขื่อนหัวงานและอาคารประกอบ

งานก่อสร้างเขื่อนหัวงานและอาคารประกอบได้เริ่มปฏิบัติงานตั้งแต่วันที่ 2 ธันวาคม พ.ศ. 2537 โดยมีรายละเอียดของลักษณะงานดังนี้

2.1 งานก่อสร้างตัวเขื่อนดิน เป็นเขื่อนดินถมแกนดินเหนียวแบบ ZONED TYPE มีความยาว 4860 เมตร โดยมีโซนวัสดุกรอง (FILTER ZONE) ประกอบไปด้วย CHIMNEY DRAIN, BLANKET DRAIN และ FINGER DRAIN ซึ่งจัดว่าเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญมากที่สุดใน การป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับตัวเขื่อนโดยสามารถป้องกันความเสียหายของตัวเขื่อนจากการเกิดแผ่นดินไหวที่ไม่เกิน 6 ริชเตอร์สเกล เนื่องจากวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุประเภทกรวดทรายที่มีขนาดคละกัณอย่างดี ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ด ในกรณีเกิดแรงกระทำต่อตัวเขื่อนและฐานรากเนื่องจากแผ่นดินไหว จะทำให้เกิดการแตกแยกขึ้นที่บริเวณรอยต่อของดินถมระหว่างตัวเขื่อนและ



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงที่ตั้งของกลุ่มน้ำป่าสัก

ฐานราก รอยแตกที่อยู่ใต้บริเวณโซนวัสดุกรองจะถูกอุดลงทันทีด้วยวัสดุในโซนวัสดุกรอง หากน้ำที่ซึมลอดใต้ฐานรากมาตามรอยแตกด้านเหนือน้ำมาจนถึงบริเวณนี้ เม็ดละเอียดของดินถมตัวเชื่อมที่ถูกพัดพามาและจะถูกกรองโดยวัสดุใน FILTER ZONE ที่เคลื่อนตัวลงมาอุดรอยแตกแยก ส่วนที่น้ำซึมผ่านก็จะสามารถไหลออกไปได้โดยไม่นำพาเม็ดดินออกไปด้วย ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อตัวเชื่อมและฐานรากจากการกัดเซาะ

2.2 งานก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้น (SERVICE SPILLWAY) เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชนิด Gated Spillway ระดับสันฝาย +35.00 เมตร รทก. ตั้งอยู่บนฝั่งขวาของตัวเขื่อน มีจำนวนช่องระบายน้ำ 7 ช่อง กว้างช่องละ 12.50 เมตร ความจุการระบายน้ำด้วยบานระบายชนิดโค้งขนาดกว้าง 12.5 เมตร สูง 8.4 เมตร สามารถระบายน้ำได้สูงสุด 3,900 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จุดประสงค์ในการเลือกออกแบบอาคารชนิดนี้ เพื่อความคล่องตัวในการระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำอย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะระบายน้ำหลากในรอบ 1000 ปี ในประมาณ 3,884 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือแม้กระทั่งประมาณน้ำหลากสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นได้ (PMF) ในอัตรา 5,707 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที อาคารระบายน้ำล้นเขื่อนป่าสักสร้างในช่วงเร่งด่วน จึงใช้บานประตูแบบเดียวกับเขื่อนวชิราลงกรณ์ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งออกแบบโดยกรมชลประทาน เมื่อปี พ.ศ. 2509 เมื่อใช้งานได้พบว่าระดับความสูงของบานไม่เพียงพอต่อการเก็บกักน้ำทางกรมชลประทานจึงได้พิจารณาทำการเสริมระดับสันบานขึ้นอีก 0.90 เมตรจากเดิม ในการพิจารณาตรวจสอบประสิทธิภาพ การระบายน้ำของอาคารระบายน้ำล้นนั้นได้กระทำโดยใช้หุ่นจำลองทางชลศาสตร์ ซึ่งสร้างโดยสำนักวิจัยและทดลอง กรมชลประทาน

2.3 งานก่อสร้างท่อระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (RIVER OUTLET) เป็นท่อเหล็กเหนียวหนา 20 มิลลิเมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.00 เมตร หุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก มีจุดประสงค์ในการสนับสนุนเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ทั้งในระหว่างก่อสร้างและหลังจากสร้างเสร็จแล้ว โดยช่วยผันน้ำในระหว่างก่อสร้างตัวเขื่อน และช่วยพร่องน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำก่อนถึงฤดูฝน อีกทั้งช่วยในการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกด้านท้ายน้ำ ซึ่งมีระบบชลประทานรองรับอยู่แล้ว โดยสามารถระบายน้ำได้สูงสุด 80 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที บานระบายเป็นแบบบานเลื่อนทนความดันสูง (HIGH PRESSURE GATE) ดำเนินการผลิตและติดตั้งโดยกรมชลประทาน

2.4 งานก่อสร้างท่อระบายน้ำฉุกเฉิน (AUXILIARY SPILLWAY) เป็นท่อเหล็กเหนียวหนา 20 มิลลิเมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.00 เมตร หุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก การออกแบบ

อาคารประกอบเขื่อนตัวนี้มีจุดประสงค์เพื่อระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำในกรณีฉุกเฉินช่วยพร่องน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ สำหรับการรองรับปริมาณน้ำหลากในฤดูฝนช่วยผันน้ำหรือระบายน้ำระหว่างการก่อสร้าง รวมทั้งช่วยส่งน้ำให้ระบบชลประทานด้านท้ายน้ำและความต้องการใช้น้ำในด้านต่างๆบริเวณท้ายเขื่อน เป็นการสนับสนุนการส่งน้ำร่วมกับท่อระบายน้ำลงลำน้ำเดิม สามารถระบายน้ำได้สูงสุด 65 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที บานระบายเป็นแบบบานเลื่อนทนความดันสูง (HIGH PRESSURE GATE) ดำเนินการผลิตและติดตั้งโดยกรมชลประทาน

3. การศึกษาและวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์

พิไลลักษณ์ (2543) ได้ทำการศึกษาการพังของเขื่อนโดยใช้แบบจำลอง MIKE11 ในกรณีสมมุติการพังของเขื่อนป่าสัก โดยพิจารณาการเกิดการพังของเขื่อนในลักษณะการพังแบบค่อยเป็นค่อยไป พิจารณาปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างที่เป็นไปได้สูงสุดที่รอบปีเกิดซ้ำ 10,000 ปี วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์การพังของเขื่อนซึ่งได้แก่ ค่าความกว้างเริ่มต้น ความลาดชันด้านข้าง และสัมประสิทธิ์การกัดเซาะด้านข้างของรอยแยกที่มีผลต่อปริมาณการไหลผ่านรอยแยกสูงสุด และศึกษาชลศาสตร์การไหลของน้ำทางด้านท้ายเขื่อนอันเนื่องมาจากปริมาณการไหลผ่านรอยแยกที่เกิดขึ้น ผลการศึกษากรณีสมมุติการเกิดพังสำหรับรอยแยกสี่เหลี่ยมคางหมูพิจารณาค่าสปส.การขยายตัวทางด้านข้างรอยแยกเป็น 1 ปริมาณการไหลสูงสุดผ่านรอยแยกเท่ากับ 40948.1 ม³/วินาที ที่เวลา 6 ชม. หลังจากเขื่อนเริ่มพัง และที่ตำแหน่งทางด้านท้ายเขื่อนปริมาณการไหลสูงสุด 39710.8 ม³/วินาที ที่เวลา 9 ชม. หลังจากเขื่อนเริ่มพัง ผลการศึกษาทำการกำหนดขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมด้านท้ายน้ำ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการใช้ที่ดินและมาตรการเตือนภัยทางด้านท้ายน้ำเพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดทางด้านท้ายน้ำ

ในส่วนของการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์และการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของตัวเขื่อนป่าสัก ขณะนี้กำลังมีการศึกษาอยู่โดยเป็นวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทของภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยนายเสถียร ทวีชีพ