บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

โครงการก่อสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ มีส่วนประกอบของอาคารหลายชนิด อาคารระบายน้ำล้น (spillway) เป็นอาคารหนึ่งที่ทำหน้าที่ลดปริมาณน้ำส่วนเกินที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำเกินความจุอ่าง เพื่อป้องกันการพังทลายของตัวเขื่อนอันเนื่องจากการไหลล้นของน้ำข้ามสันทำนบ โดยระดับสันอาคารระบายน้ำล้น (spillway) อยู่ที่ระดับเก็บกักน้ำและนำน้ำส่วนเกินระบายสู่ลำน้ำธรรมชาติ ส่วนของโครงสร้างอาคารระบายน้ำล้นจำเป็นที่ต้องสร้างบนฐานรากที่แข็งแรง โดยทั่วไปอาคารระบายน้ำล้น แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. อาคารระบายน้ำล้นใช้งาน (service spillway) ใช้ระบายน้ำในส่วนที่กำหนดไว้หรือน้อยกว่า
2. อาคารระบายน้ำฉุกเฉิน (emergency spillway) ใช้เพิ่มความปลอดภัยให้ตัวเขื่อนออกแบบให้รับปริมาณน้ำที่มากเกินความสามารถของ อาคารระบายน้ำล้นใช้งาน

การเลือกชนิดของอาคารระบายน้ำล้นที่เหมาะสมขึ้นกับประเภทของเขื่อน และอ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำสูงสุดที่ใช้ในการออกแบบ สภาพภูมิประเทศ ประเภทฐานราก ฯลฯ ในการแบ่งประเภทของอาคารน้ำล้นใช้งานสามารถแบ่งเป็น 8 แบบดังนี้

1. Free overflow spillway เป็นอาคารระบายน้ำล้นผ่านอาคารควบคุมน้ำชนิด sharp crested weir โดยมีความแตกต่างด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำไม่เกิน 6 เมตร ในช่วงน้ำตกลงสู่ท้ายน้ำต้องมีฐานรากที่แข็งแรงเช่นหิน หรืออาคารสลายพลังงานคอนกรีต

2. Ogee spillway หรือ Overflow spillway มีรูปร่างแบบรูปเกือกม้า ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำขึ้นกับความลึกของน้ำเหนือฝาย และรูปร่างของ ogee ลักษณะของสันมน ogee weir สอดคล้องกับพฤติกรรมการไหลของน้ำ จึงไม่เกิดแรงดันสูญญากาศใต้ผิวน้ำ อาคารแบบนี้มีประสิทธิภาพในการระบายน้ำสูง

3. Side channel spillway เป็นอาคารควบคุมการไหลด้วยฝายน้ำล้นเข้าด้านเดียว เหมาะสำหรับในกรณีที่ตำแหน่งของอาคารระบายน้ำล้นอยู่ในช่วงเขาสูงชัน

4. Chute spillway เป็นอาคารระบายน้ำลักษณะรางเปิด ควบคุมปริมาณน้ำโดย Overflow Crest หรือ ปตร. มักนิยมใช้กับเขื่อนดินถม

5. Conduit and Tunnel spillway เป็นอาคารระบายน้ำล้นแบบท่อ โดยมีการไหลในท่อเป็นแบบ free flow และไม่อยู่ภายใต้แรงดัน ดังนั้นจึงกำหนดหน้าตัดการไหลของน้ำไว้ร้อยละ 75 ของหน้าตัดอุโมงค์ เหมาะสำหรับอาคารระบายน้ำที่มีตำแหน่งของเขื่อนอยู่ในช่องเขาแคบ

6. Drop inlet (shaft or morning glory) spillway เป็นอาคารระบายน้ำล้นผ่านท่อในแนวดิ่ง ควบคุมการไหลด้วยฝาย ลักษณะการไหลมี 3 กรณี คือ crest control, tube or orifice control และ pipe control

7. Culvert spillway

8. Siphon spillway เป็นอาคารระบายน้ำแบบอัตโนมัติ เมื่อมีระดับน้ำในอ่างเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดการไหลผ่านท่อ siphon ในลักษณะการไหลข้ามสันฝาย จนกระทั่งระดับน้ำสูงขึ้นจนเกิดการไหลเต็มท่อ อิทธิพลของการระบายน้ำขึ้นอยู่กับความต่างระดับด้านเหนือน้ำกับด้านท้ายน้ำ

ในการออกแบบอาคารระบายน้ำล้นควรคำนึงถึงค่าลงทุนในการก่อสร้างควบคู่ไปกับการออกแบบทางด้านชลศาสตร์ นั่นคือสามารถระบายน้ำส่วนเกินได้ตามต้องการ เหมาะสมกับค่าลงทุนของโครงการ ในการออกแบบอาคารระบายน้ำมักแบ่งการคำนวณออกแบบเป็น 5 ส่วน คือ

1. อาคารรับน้ำเข้า (intake structure)
2. อาคารควบคุม (control structure)
3. ทางลาดระบายน้ำ (chute)
4. อาคารสลายพลังงาน (energy dissipator)
5. คลองระบายน้ำออก (outlet channel)

พฤติกรรมทางชลศาสตร์ของแต่ละส่วนแตกต่างกันออกไป เมื่อนำมาประกอบเป็นอาคารระบายน้ำล้นแล้ว ลักษณะชลศาสตร์ของการไหลภายใต้สภาพการใช้งานต่างๆ ของทางระบายน้ำล้นมักจะไม่สามารถวิเคราะห์โดยทฤษฎีได้อย่างชัดเจนนักทั้งหมด ปัญหาบางส่วนมักใช้หลักเกณฑ์ประกอบเหตุผล (empirical method) เป็นการวิเคราะห์ และบางกรณีอาจต้องศึกษาด้วยแบบจำลอง (model)

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงเป็นการศึกษาพฤติกรรมการไหลในอาคารระบายน้ำล้นแบบสันฝายในแนวไม่ตรงที่มีการออกแบบและการก่อสร้างไปแล้ว เพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมการไหลในทางระบายน้ำล้นที่เกิด และอธิบายปรากฏการณ์บางอย่างที่ทางทฤษฎีไม่สามารถวิเคราะห์ได้อย่างชัดเจน เพื่อเสนอแนะแนวทางการออกแบบต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดวัตถุประสงค์ไว้ดังนี้

1. จำลองลักษณะการไหลของทางระบายน้ำล้นที่มีสันฝายในแนวไม่ตรง
2. ศึกษาพฤติกรรมทางชลศาสตร์จากแบบจำลองที่สร้างขึ้น
3. ศึกษาการเกิดน้ำกระโดด (hydraulic jump) ในแบบจำลอง
4. ศึกษาประสิทธิภาพการสลายพลังงานในแบบจำลอง
5. หาข้อสรุปและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อข้อพิจารณาในการออกแบบ (design criteria) ต่อไป

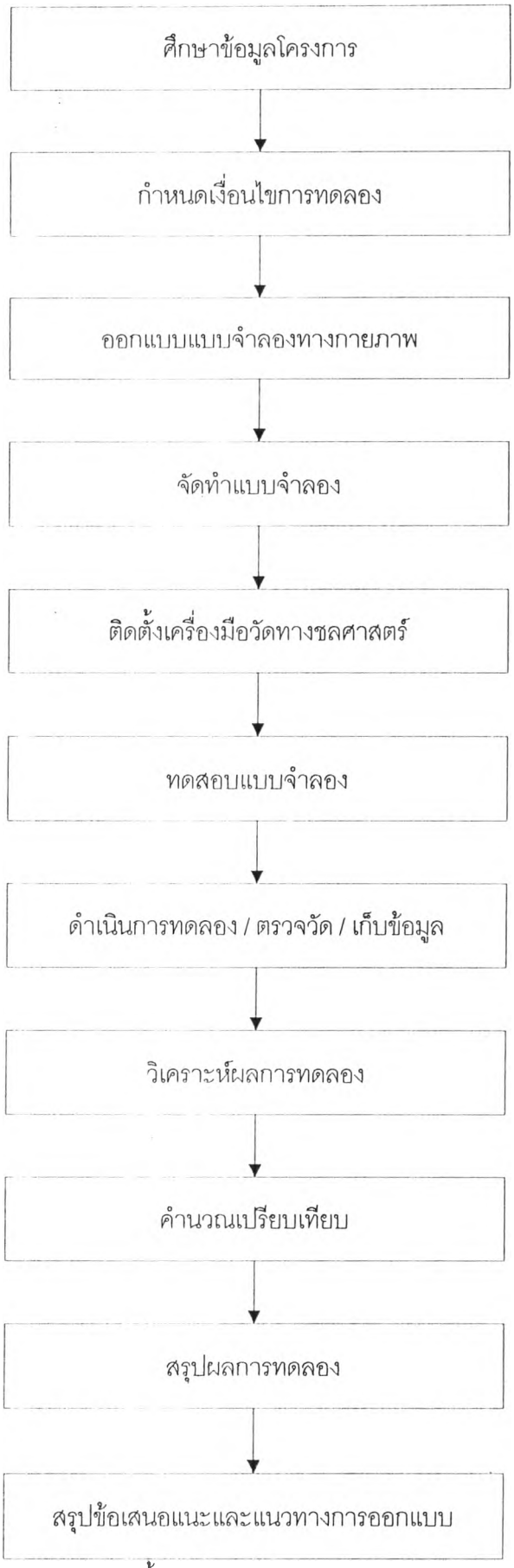
1.3 ขอบข่ายการศึกษา

รูปแบบของอาคารระบายน้ำล้นจำลองจากแบบรายละเอียดก่อสร้างของโครงการน้ำแหง จ.น่าน โดยใช้มาตราส่วน 1:50 ใช้ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นที่ตั้งของแบบจำลองโดยวัสดุที่ใช้เป็นพลาสติก ทำการทดลองและศึกษาพฤติกรรมทางชลศาสตร์ (ความเร็ว ระดับน้ำ และลักษณะการไหล) ในแบบจำลองของทางระบายน้ำล้น อ่างรับน้ำด้านบน ทางลาด และอาคารสลายพลังงาน ลักษณะและประสิทธิภาพการสลายพลังงานที่อัตราการไหลต่างๆ ศึกษาถึงสภาพท้ายน้ำที่มีผลต่อการเกิดน้ำกระโดด (hydraulic jump) ในส่วนของอาคาร-สลายพลังงาน โดยการวัดความเร็วและระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลง อัตราการไหลที่ใช้ในแบบจำลองอยู่ในช่วงอัตราการไหลที่ใช้ออกแบบโครงการ และการไหลในแบบจำลองเป็นการไหลแบบคงที่ (steady flow)

1.4 การดำเนินการศึกษา

การศึกษาดำเนินการตามขั้นตอนดังรูป 1-1 คือ

1. ศึกษาข้อมูลโครงการที่ใช้ในการศึกษาอาคารระบายน้ำล้นที่มีสันฝายในแนวไม่ตรง โดยศึกษาข้อมูลจากโครงการของกรมชลประทาน
2. กำหนดเงื่อนไขการทดลอง เช่น ระดับอาคาร ช่วงอัตราการไหลในการออกแบบของโครงการ และเป็นการไหลแบบคงที่
3. ออกแบบแบบจำลองและระบบการวัดข้อมูล ตามรายละเอียดหัวข้อ 3.2
4. จัดทำแบบจำลอง ตามรายละเอียดหัวข้อ 3.3
5. ติดตั้งเครื่องมือวัดทางชลศาสตร์ เช่น เครื่องวัดความลึก เครื่องวัดความเร็ว
6. ทดสอบแบบจำลอง เช่นอัตราการไหล และปรับเทียบเครื่องมือวัดความเร็ว
7. ทำการทดลองตามเงื่อนไขด้านเหนือน้ำ และ ท้ายน้ำ (ตามรายละเอียดหัวข้อ 3.6)
8. วิเคราะห์ผลการทดลองจากเงื่อนไขที่ได้กำหนด
9. คำนวณเปรียบเทียบกับผลการทดลอง
10. สรุปผลการทดลอง
11. สรุปข้อเสนอแนะและแนวทางการออกแบบต่อไป



รูป 1-1 ขั้นตอนการดำเนินงานในการศึกษา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 การศึกษาที่ผ่านมา

โครงสร้างบางอย่างทางด้านชลศาสตร์ เช่น อาคารระบายน้ำล้น (spillway) แอ่งน้ำนิ่ง (stilling basin) ทำนบกั้นน้ำ (weir) เป็นต้น มีแรงอันเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมากระทำต่อระบบเป็นสำคัญ และมีค่ามากกว่าแรงอื่นใดทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของระดับผิวน้ำอย่างรวดเร็ว ในการทดลองแบบจำลองของโครงการความคล้ายคลึงกันทางด้านไดนามิคของแบบจำลองของโครงสร้างดังกล่าวจึงมุ่งออกแบบย่อส่วนให้มีค่า ฟรุดนัมเบอร์เท่ากัน การศึกษาในเรื่องอาคารระบายน้ำล้นนั้นมีการศึกษามาเป็นเวลาช้านานในที่นี้จะสรุปตัวอย่างของการศึกษาที่ผ่านมา ดังนี้

แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้นเขื่อนประสม จ.น่าน

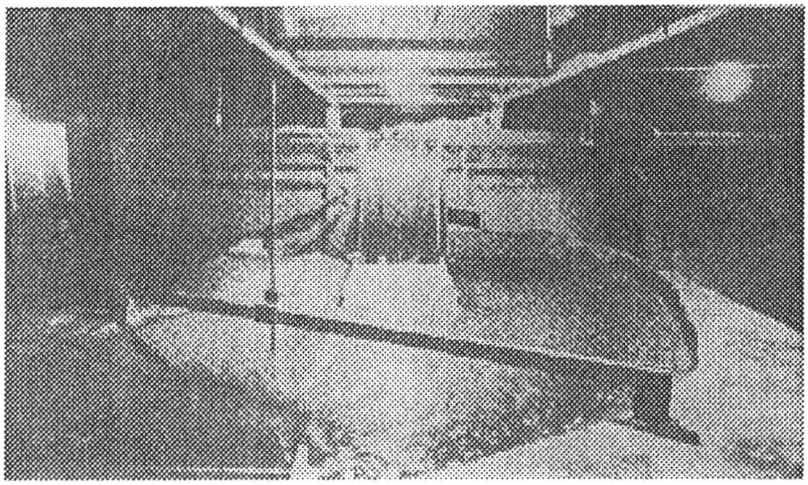
อาคารระบายน้ำนี้ตั้งอยู่ที่ จ.น่าน สร้างขวางลำน้ำน่าน ห่างจาก จ. อุตรดิตถ์ 60 กม. ประมาณ 700 กม.จากกรุงเทพ พื้นที่รับน้ำ 13,300 ต.ร.กม. เป็นเขื่อนคอนกรีต ความยาว 780 เมตร สูงจากระดับท้องน้ำประมาณ 100 เมตร อาคารระบายน้ำล้นสามารถระบายน้ำที่อัตราการไหลสูงสุด 4,500 ลบ.ม./วินาที

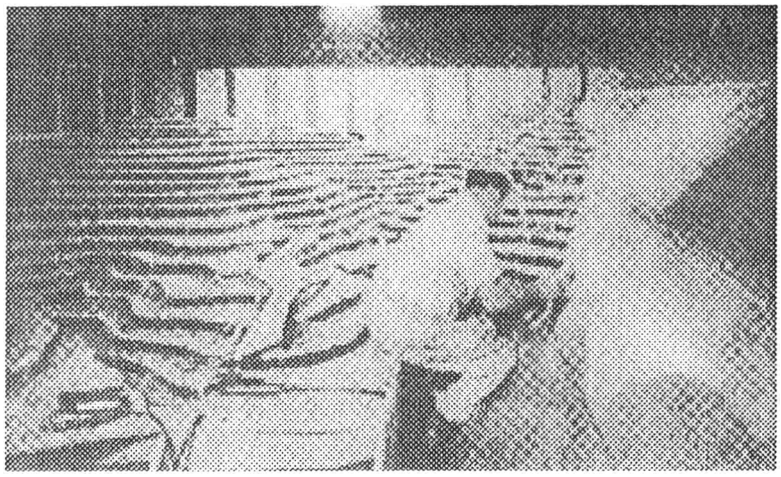
จุดประสงค์ในการศึกษาแบบจำลอง เพื่อหารูปแบบของอาคารสลายพลังงานที่เหมาะสมเพื่อทำการปรับปรุงอาคารสลายพลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการสลายพลังงาน

วิธีการดำเนินการศึกษาได้ศึกษาอาคารสลายพลังงาน 3 แบบ คือ

1. กรณีที่ความยาวและกำแพงควบคุม ตามแบบดั้งเดิมที่ออกแบบไว้
2. กรณีทำการปรับลดความยาวของอาคารลง 15 เมตร แต่ยังคง กำแพงควบคุม
3. กรณีทำการปรับลดความยาวของอาคารลง 15 เมตร และขยาย กำแพงควบคุม

ผลการศึกษาพบว่า เมื่ออัตราการไหลที่ 3,000 ลบ.ม./วินาที อาคารสลายพลังงานที่ทำการทดลองทั้ง 3 แบบน้ำพุ่งออกนอกอาคารสลายพลังงาน (sweep-out) และน้ำกระโดด (hydraulic jump) เกิดภายนอกขอบเขตของอาคารสลายพลังงาน มีการกัดเซาะด้านท้ายน้ำ เมื่อแก้ไขความสูงท้ายน้ำ (tailwater depth) พบว่า เมื่อยกระดับด้านท้ายน้ำขึ้นสูงจากระดับอาคารสลายพลังงาน ที่ระดับ +70.00 เมตร (ร.ท.ก) สูงกว่าพื้นอาคารสลายพลังงานซึ่งอยู่ที่ระดับ +60.00 เมตร (ร.ท.ก) จะแก้ปัญหาการ sweep-out ได้ และยังทำให้การไหลยังคงอยู่ในขอบเขตของอาคารสลายพลังงาน





รูป 1-2 แบบจำลองอาคารน้ำล้นเขื่อนประสม

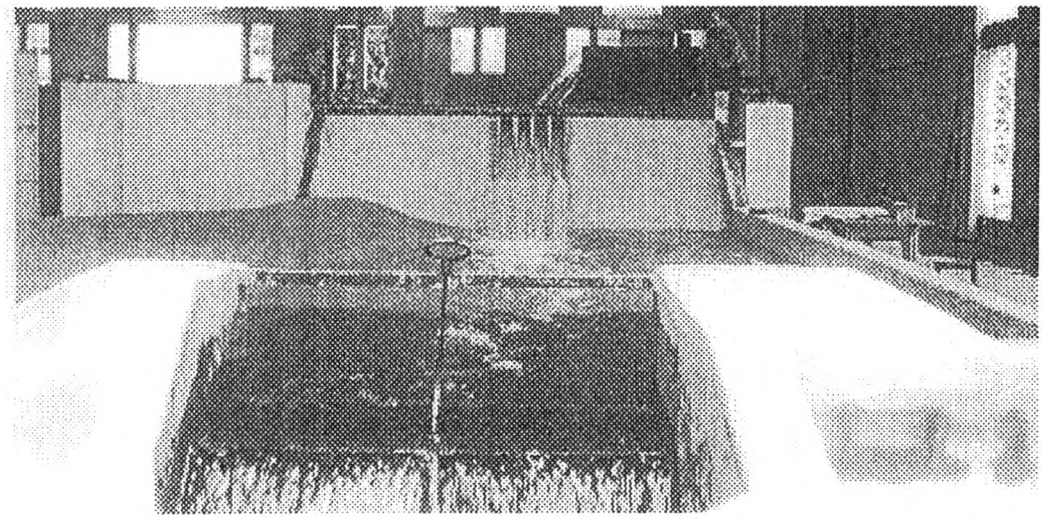
แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้นเขื่อนคลองท่าด่าน จ.นครนายก

อาคารระบายน้ำล้นตั้งอยู่ที่ จ.นครนายก เป็นเขื่อน gravity dam ความสูงของเขื่อน 70 เมตร จากระดับท้องลำน้ำ อาคาระบายน้ำล้นควบคุมด้วย gate จำนวน 4 ช่องแต่ละช่องมีความกว้าง 10 ม. ระดับสันอาคารระบายน้ำล้นอยู่ที่ระดับ +103.50 เมตร(ร.ท.ก.) สามารถระบายน้ำสูงสุด 1,530 ลบ.ม./วินาที

ในการจัดทำแบบจำลอง กรมชลประทานได้จ้างบริษัทวิศวกรที่ปรึกษาจากประเทศฝรั่งเศสทำการทดสอบ โดยการก่อสร้างแบบจำลองและทดลองในประเทศฝรั่งเศส มาตราส่วนของแบบจำลองเป็น 1:70 ใช้ซีเมนต์มอร์ตาร์เป็นวัสดุเพื่อง่ายในการตกแต่ง

จุดประสงค์ในการศึกษาแบบจำลอง เพื่อหาขนาดของอ่างสลายพลังงานและการกัด-เซาะเนื่องจากลำน้ำพุ่ง (jet) ที่เกิดจากการระบายน้ำลงสู่อ่างสลายพลังงาน การระบายน้ำจากอาคารระบายน้ำล้นลงสู่อ่างสลายพลังงานโดยตรงลำน้ำที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงมาก เพื่อลดการเสียหายด้านท้ายน้ำจึงต้องรู้ข้อมูลในอ่างสลายพลังงาน เพื่อเป็นแนวทางป้องกันล่วงหน้า

ผลการศึกษาพบว่า รูปร่างของลำน้ำ (jet) มีรูปร่างใกล้เคียง trajectory เมื่ออัตราการไหลน้อยๆ คือการไหล 200 ลบ.ม./วินาที สามารถวัดความยาวของลำน้ำ (jet) ได้ 50 เมตร การกัดเซาะสูงสุดในอ่างสลายพลังงานมีความลึกถึง 16 เมตร ที่อัตราการไหล 1,530 ลบ.ม./วินาที



รูป 1-3 แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้นเขื่อนท่าด่าน

แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้นเขื่อน Ochoco

เขื่อนตั้งอยู่ทางตอนเหนือของมลรัฐ Oregon ประเทศสหรัฐอเมริกา การก่อสร้างแล้วเสร็จในปี ค.ศ. 1921 ภายหลังได้มีการสร้างเขื่อนดินถม สูง 135 ฟุต ยาว 1,100 ฟุต เพิ่มขึ้นมา ที่ตั้งของทางระบายน้ำล้นอยู่ทางทำนบด้านซ้ายของตัวเขื่อน มีความยาว 275 ฟุต จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ทางระบายน้ำดังกล่าว มีสภาพการไหลในทางลาด chute ไม่ค่อยดี และมีการกัดเซาะเกิดขึ้นที่เชิงเขา ซึ่งมีความชันมากทางด้านท้ายน้ำของทางระบายน้ำล้น

ในปี ค.ศ. 1949 ได้มีการติดตั้ง deflector block ขึ้นในทางลาด chute จุดประสงค์เพื่อป้องกันการกัดเซาะที่มีต่อไปในอนาคต ตัว deflector block ทำให้เกิดความลึกของการไหลเป็นแบบสม่ำเสมอขึ้น ทางด้านปลายของทางลาด chute และยังช่วยให้การไหลของน้ำในทางระบายน้ำล้นมีทิศทางหันเหออกจากทางด้านเชิงเขา ทำให้ลดอัตราการกัดเซาะลงได้แต่ปัจจุบันทางระบายน้ำล้นแห่งนี้ ยังไม่มีอาคารสลายพลังงานที่มาช่วยป้องกันการกัดเซาะของทางน้ำทางด้านท้ายน้ำ

การศึกษาแบบจำลองทางชลศาสตร์ในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของทางระบายน้ำล้นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน พร้อมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงแก้ไข สันทำนบ ปากทางเข้า และผนังของทางลาด chute โดยการศึกษาทำการเพิ่มอัตราการไหลไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงอัตราการไหลที่ได้ออกแบบไว้ คือ 15,000 ลบ.ฟ./วินาที นอกจากนี้แล้วยังได้มีการออกแบบอ่างพักน้ำ และปากทางออก เพื่อที่จะป้องกันการกัดเซาะของดินตะกอนทางด้านท้ายน้ำ

ผลการศึกษาพบว่า ควรรื้อสันทำนบของทางระบายน้ำล้นเดิมออก และสร้างเป็นสันทำนบแบบกว้างขึ้นมาแทน โดยมีอัตราส่วน 1:1 ทั้งทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ และมีความสูงของสันทำนบใหม่สูงกว่าสันทำนบเดิม 1.6 ฟุต และจากการเปรียบเทียบกราฟของแบบจำลองอันใหม่ กับ กราฟของเดิม พบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังนั้น จึงแสดงให้เห็นว่าสันทำนบแบบกว้าง ซึ่งใช้ในแบบจำลองครั้งนี้ สามารถที่จะรองรับอัตราการไหลสูงสุดที่เป็นไปได้ (probable maximum flood) 42,200 ลบ.ฟ./วินาที โดยไม่เกิดการไหลล้นข้ามตัวเขื่อน

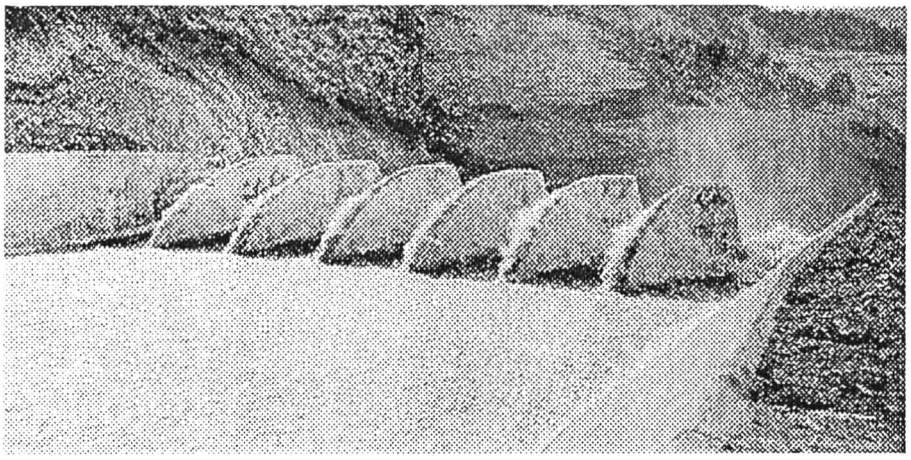
เมื่ออัตราการไหลไม่เกิน 15,000 ลบ.ฟ./วินาที พบว่าความสูงของผนังกำแพงระหว่างตัวเขื่อนและ ทางระบายน้ำล้นมีความสูงเพียงพอ แต่ถ้าอัตราการไหลเกินกว่านี้จนถึงอัตราการไหลที่เท่ากับหรือมากกว่า อัตราการไหลสูงสุดที่เป็นไปได้ (41,000 ลบ.ฟ/วินาที) พบว่า ระดับน้ำเกิดการไหลล้นข้ามกำแพง ดังนั้น จึงต้องมีการแก้ไขตรงจุดนี้ เพื่อให้เกิดความเพียงพอที่จะรองรับปริมาณน้ำดังกล่าวนี้ได้

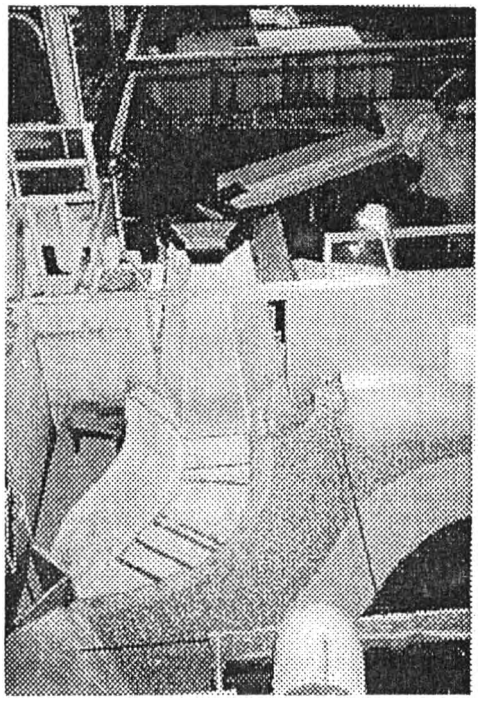
ความสูงของผนังกำแพงของทางลาด chute สามารถลดลงได้ หากไม่มีการใช้ deflector block ที่ปากทางเข้าของทางลาด chute ตัว deflector ทางด้านท้ายน้ำ 6 ตัว และผนังกำแพงโค้งด้านซ้ายที่ปลายสุดของทางระบายน้ำล้นด้านท้ายน้ำถูกออกแบบมา เพื่อบังคับน้ำให้ไหลไปทางด้านขวา แต่สำหรับแบบจำลองนี้ ตัว deflector และกำแพงถูกรื้อถอนออก

และสร้าง fillets ขึ้นแทนที่ ตรงส่วนโค้งและทั้งสองข้างของทางระบายน้ำล้น ดังนั้น การไหลของน้ำจะมากระทบกับ fillets และตกลงสู่อ่างพักน้ำที่ได้ออกแบบไว้

เมื่ออัตราการไหลไม่เกินค่าอัตราการไหลสูงสุดที่เป็นไปได้ (42,200 ลบ.ฟ/วินาที) ระยะของน้ำกระโดดจะยังคงอยู่ในอ่างพักน้ำ ถ้าอัตราการไหลเกินว่านี้จนถึง 60,000 ลบ.ฟ/วินาที น้ำกระโดดจะไม่คงที่ และปลายของน้ำกระโดดจะเคลื่อนตัวไปทางด้านท้ายน้ำ และระยะของน้ำกระโดด บางส่วนเกิดเลยอ่างพักน้ำออกไป

ทางน้ำทางด้านทางออกใช้เป็นหินเรียงยาแนว และให้เป็นทางลำเลียงน้ำจากอ่างพักน้ำไปยังลำน้ำ โดยไม่ทำให้เกิดการกัดเซาะ





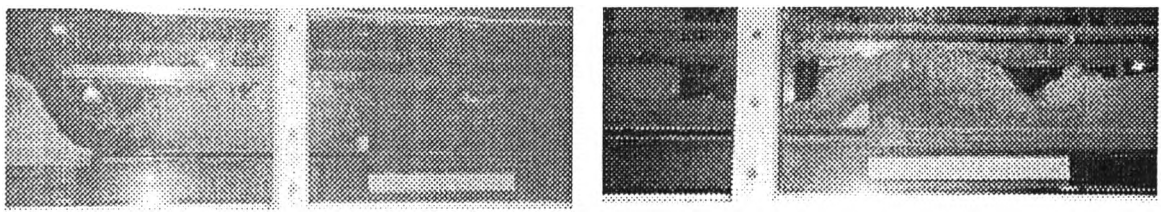
รูป 1-4 แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้นเขื่อน Ochoco

แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้นเขื่อน Granite Reef

เขื่อนระบายน้ำ Granite Reef ตั้งอยู่บนแม่น้ำ Salt ทางทิศตะวันออกของเมือง Phoenix มลรัฐ Arizona เขื่อนนี้ทำการผันน้ำที่เก็กกักไว้ทางด้านหน้าของเขื่อนเข้าสู่ระบบคลองชลประทาน ตัวเขื่อนมีลักษณะเป็นแบบ ogee สูง 20 ฟุต ยาว 1,000 ฟุต วางตัวทอดขวางไปกับแม่น้ำ มีระดับสันเขื่อนอยู่ที่ระดับ 1,310 ฟุต, apron ยาว 75 ฟุต อยู่ที่ระดับ 1,290 ฟุต, ทางลำเลียงน้ำที่อยู่ทางด้านทิศเหนือของตัวเขื่อนมีประตูระบาย 4 บาน ซึ่งสามารถระบายน้ำได้ 2,000 ลบ.ฟ./วินาที ส่วนทางลำเลียงน้ำที่อยู่ทางด้านทิศใต้ของตัวเขื่อนจะมีประตูระบาย 2 บาน สามารถระบายน้ำได้ 1,600 ลบ.ฟ./วินาที

จุดประสงค์ในการศึกษาแบบจำลอง เพื่อที่หาวิธีที่ทำให้น้ำกระโดด ที่เกิดขึ้นยังคงอยู่ภายในขอบเขตของ apron และลดการกัดเซาะทางด้านท้ายน้ำ โดยแนวทางการศึกษาแบ่งเป็นการหาความยาวของ spillway apron ที่เหมาะสม ณ สภาพอัตราการไหลต่าง ๆ การออกแบบและการทดลอง sill ซึ่งทำให้ apron ทำหน้าที่คล้ายกับเป็นตัวสลายพลังงาน และการออกแบบและทดสอบทางระบายน้ำล้นแบบขั้นบันได (stepped spillway)

จากการศึกษาพบว่า ความยาวของ spillway apron ต้องยาวมากกว่า 180 ฟุต จึงทำให้น้ำกระโดด ที่เกิดขึ้นอยู่ภายในขอบเขตของ apron ในการออกแบบทดสอบ sill พบว่า ถ้าวาง sill สูง 5 ฟุต ซึ่งมีความลาดด้านหน้า sill ค่อนข้างชัน ส่วนความลาดด้านหลัง sill เป็น 1:1 ไว้ที่ตำแหน่งวัดจากปลายของ apron มาทางด้านเหนือน้ำเป็นระยะทาง 50 ฟุตแล้วสามารถสลายพลังงานที่เกิดขึ้นจากน้ำกระโดดได้เป็นอย่างดีและถ้ามีอ่างพักน้ำยาว 50 ฟุต อยู่ที่ระดับ 1,285 ฟุต รวมทั้งมีการปูหินเรียง (riprap) ในทางน้ำด้วยแล้ว ก็สามารถป้องกันการกัดเซาะที่จะเกิดขึ้นทางด้านท้ายน้ำได้ ส่วนกรณีการสร้างทางระบายน้ำล้นแบบขั้นบันได พบว่าสามารถสลายพลังงานได้เพียงเล็กน้อย โดยขั้นบันไดที่สร้างขึ้นนั้นยังไม่สามารถที่สลายพลังงานได้มากเพียงพอที่จะทำให้น้ำกระโดด ที่เกิดขึ้นยังคงอยู่ภายในขอบเขตของ apron

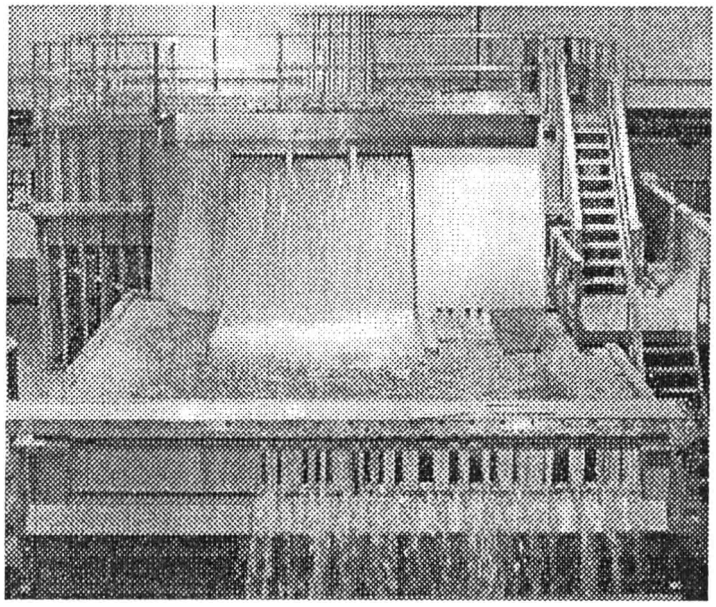


รูป 1-5 แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้นเขื่อน Granite Reef

แบบจำลองทางระบายน้ำล้นเขื่อน Friant

เขื่อน Friant ตั้งอยู่ในลำน้ำ San Joaquin มลรัฐ California ก่อสร้างแล้วเสร็จในปี ค.ศ. 1942 มีระดับสันเขื่อนอยู่ที่ระดับ 585 ฟุต ความยาวสันเขื่อน 3,488 ฟุต ความกว้าง 20 ฟุต ความกว้างของฐานเขื่อน 267 ฟุต อาคารทางระบายน้ำล้น ประกอบด้วย หน้าตัดทางระบายน้ำแบบ ogee chute และอ่างพักน้ำ ซึ่งตั้งอยู่ที่ตำแหน่งของแนวศูนย์กลางของตัวเขื่อน ควบคุมโดย drum gate ขนาดกว้าง 100 ฟุต สูง 18 ฟุต จำนวน 3 ตัว ระดับสัน ogee อยู่ที่ระดับ 560 ฟุต ระดับของ drum gate เมื่อยกขึ้นสูงสุดอยู่ที่ระดับ 578 ฟุต ซึ่งที่ระดับนี้ทางระบายน้ำล้นมีความจุประมาณ 83,020 ลบ.ฟ/วินาที

จุดประสงค์สำคัญในการศึกษาแบบจำลองทางชลศาสตร์ของทางระบายน้ำล้นของเขื่อน Friant นี้ก็เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกและอัตราการไหล เมื่อระดับผิวน้ำในอ่างอยู่ที่ระดับต่างๆกัน รวมทั้งทำการทดสอบเพื่อที่ลดผลกระทบของ negative pressure ที่มีต่อ rubbed gate ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความลึกและอัตราการไหล ของ rubbed gate ที่ระดับความสูงของ gate ต่าง ๆ กัน รวมทั้งตรวจสอบลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นลงของ rubbed gate นอกจากนั้นยังทำการปรับปรุงเกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของ gate ด้วย โดยการพิจารณาจากลักษณะของอาคารสลายพลังงาน และการเกิดน้ำกระโดด (hydraulic jump)



รูป 1-6 แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้นเขื่อน Friant

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อทำการทดสอบ ogee crest ที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 แบบ พบว่า ลักษณะของ ogee ที่เป็นวงรีจะสามารถใช้หาลักษณะของการไหลได้ดีที่สุด และยังช่วยลดปริมาณของวัสดุก่อสร้างรวมทั้งปริมาณงานที่จะทำการก่อสร้างอีกด้วย

ตำแหน่งที่ติดตั้ง rubbed gate จะอยู่เหนือระดับพื้น 11 ฟุต และความยาวจากตำแหน่ง ระดับพื้นจนถึงจุดที่เกิด negative pressure มีค่าประมาณ 23 ฟุต ค่อนไปทางด้านซ้ายของอาคารระบายน้ำล้น

Bridgestone gate ที่มีความสูงมากกว่า 10 ฟุต จะทำหน้าที่เป็นตัว hydraulic control และสามารถใช้หาอัตราการไหลเมื่อระดับผิวน้ำสูงขึ้นจนถึง 584 ฟุต

ถ้าไม่ใช้ความสูงของ gate มาคำนวณหาปริมาณการไหลแล้ว ในระหว่างการใช้งานอาคารระบายน้ำล้นจะใช้ความสูงของ gate ที่เท่ากัน หรือปริมาณการไหลของอ่างที่เท่ากัน มาพิจารณาในการคำนวณ แต่ถ้าใช้ความสูงของ gate มาคำนวณหาปริมาณการไหล ขณะที่ใช้ bridgestone rubber gate แล้ว เกณฑ์กำหนดตำแหน่งของ gate อาคารระบายน้ำล้นที่ได้ทำการศึกษามาเพียงพอที่จะนำมาใช้ปฏิบัติกับอ่างพักน้ำได้

ตาราง 1.1 สาระการศึกษาที่ผ่านมาของโครงการในประเทศ

แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้น	ที่ตั้ง	วัตถุประสงค์ในการทดสอบแบบจำลอง	การปรับปรุงแก้ไขและผลการทดสอบแบบจำลอง
เขื่อนประสม	จ.น่าน	- หารูปแบบอาคารสลายพลังงานโดยการเปรียบเทียบแบบอาคาร 3 แบบเพื่อหาการเกิดน้ำกระโดด ในอาคารสลายพลังงาน - แก้ปัญหาการกัดเซาะด้านท้ายน้ำ	- รูปแบบอาคารสลายพลังงานทั้ง 3 แบบ ไม่สามารถรองรับอัตราการไหลที่มากกว่า 3,000 ลบ.ม./วินาที เกิดการ sweep-out - การแก้ไขการ sweep-out โดยการยกระดับท้ายน้ำ อยู่ที่ +70.00 เมตร (ร.ท.ก.)
เขื่อนคลองท่าด่าน	จ.นครนายก	- หาขนาดของอ่างสลายพลังงานและรูปแบบของลำน้ำ(jet) ที่เกิดขึ้น - หาขนาดของการกัดเซาะที่เกิดจากลำน้ำ (jet)	- เมื่ออัตราการไหลน้อยๆ รูปร่างของลำน้ำ (jet) ใกล้เคียง trajectory - อัตราการไหล 200 ลบ.ม./วินาที มีความยาวของลำน้ำ (jet) 200 เมตร - การกัดเซาะที่เกิดจากลำน้ำ (jet) สูงสุดถึง 16 เมตร ที่อัตราการไหล 1,530 ลบ.ม./วินาที

ตาราง 1.2 สาระการศึกษาที่ผ่านมาของโครงการในต่างประเทศ

แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้น	ที่ตั้ง	วัตถุประสงค์ในการทดสอบแบบจำลอง	การปรับปรุงแก้ไขและผลการทดสอบแบบจำลอง
Ochoco Dam	Oregon U.S.A	- แก้ไขการไหลใน chute ที่ทำให้มีการกัดเซาะที่เชิงเขา - แก้ไขความสูงของกำแพงอาคารระบายน้ำล้นไม่พอเพียง - แก้ไขน้ำกระโดดที่เกิดเลยอ่างพักน้ำ และเกิดการกัดเซาะด้านท้ายน้ำ	- สร้าง deflector block ใน chute ทำให้ความลึกการไหลสม่ำเสมอ ลดการกัดเซาะที่เชิงเขา - เพิ่มความสูงกำแพง เมื่อติดตั้ง deflector block ที่ปากทางเข้า chute สามารถลดความสูงของกำแพงได้ - ลดการกัดเซาะโดยการปูหินเรียงยาแนวด้านท้ายน้ำ
Granite Reff Dam	Phoenix U.S.A	- แก้ไขน้ำกระโดด ให้เกิดอยู่ในขอบเขต apron - ลดการกัดเซาะด้านท้ายน้ำ - สร้างอาคารสลายพลังงานแบบขั้นบันได	- ความยาว apron ต้องมากกว่า 180 ฟุต และวาง sill สูง 5 ฟุตจึงจะทำให้ น้ำกระโดด เกิดภายในขอบเขต apron - ปูหินเรียงท้ายน้ำลดการกัดเซาะ - อาคารสลายพลังงานแบบขั้นบันไดสลายพลังงานได้น้อยไม่เพียงพอให้น้ำกระโดด เกิดในขอบเขต apron
Friant Dam	California U.S.A	- หาลักษณะของ ogee crest ที่ให้การไหลดีที่สุด - หาผลของการกำหนดตำแหน่งของ gate ที่ทำให้ น้ำกระโดดเกิดภายในอาคารสลายพลังงาน	- การไหลผ่าน ogee crest แบบวงรีให้ลักษณะการไหลดีที่สุด - เมื่อตำแหน่ง gate สูงมากกว่า 10 ฟุต จะเป็นตัวควบคุมให้น้ำกระโดด เกิดในอาคารสลายพลังงาน

ตาราง 1.3 ประเด็นการศึกษาวิจัย จากการศึกษาที่ผ่านมา

อ่างรับน้ำด้านบน	- ศึกษาลักษณะของ ogee crest ที่ทำให้อัตราการไหลที่ดีที่สุด - ศึกษาความลึกในอ่างรับน้ำด้านบนกับอัตราการไหล
ทางลาด chute	- ศึกษาทางลาด chute ที่ไม่ทำให้เกิดการกัดเซาะ และการไหลแบบหักเห เนื่องจากการเปลี่ยนทิศการไหลของน้ำ - ศึกษาการติดตั้ง deflection block ในทางลาด chute เพื่อลดการกัดเซาะ - ความสูงของกำแพง
อาคารสลายพลังงาน	- ศึกษารูปแบบอ่างสลายพลังงานจากลำน้ำพุ่ง (jet) - ศึกษาการกัดเซาะในอ่างสลายพลังงานเนื่องจากลำน้ำพุ่ง (jet) - ศึกษาการแก้ไขน้ำกระโดดที่เกิดนอกอาคารสลายพลังงาน โดยการยกระดับด้านท้ายน้ำ - ศึกษาการปูหินเรียงยาแนวด้านท้ายน้ำเพื่อลดการกัดเซาะ เนื่องจากน้ำกระโดด - ศึกษาอาคารสลายพลังงานแบบขั้นบันไดเพื่อช่วยสลายพลังงาน เนื่องจากน้ำกระโดด