พอลุนดุกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ ๑

บทนำ

เขื่อนน้ำโจน เป็นโครงการหนึ่งของโครงการพัฒนาไฟฟ้าพลังน้ำลุ่มน้ำแควใหญ่ตอนบน ตั้งปิดกั้นแม่น้ำแควใหญ่ อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ห่างจากเขื่อนศรีนครินทร์ไปทางด้านเหนือน้ำประมาณ ๑๒๐ กิโลเมตร (รูปที่ 1) เป็นโครงการที่ต้องการการสนับสนุนอย่างเร่งด่วนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ร่วมออกแบบโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ และ EPDC (Electric Power Development Company LTD.) ตัวเขื่อนเป็นเขื่อนหินถม แกนดินเหนียว สูง ๑๘๗ เมตร จากท้องน้ำ ความยาวสันเขื่อน ๔๓๐ เมตร สามารถกักเก็บน้ำได้เต็มที่ ๕,๙๕๐ ล้านลูกบาศก์เมตร เป็นเขื่อนที่สูงที่สุดเขื่อนหนึ่งของเอเชีย ส่วนโรงไฟฟ้าติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องละ ๑๔๕,๐๐๐ กิโลวัตต์ จำนวน ๔ เครื่อง รวมกำลังผลิตที่ติดตั้ง ๕๘๐,๐๐๐ กิโลวัตต์ เป็นขนาดที่ใกล้เคียงกับเขื่อนภูมิพล อ่างเก็บน้ำมีพื้นที่รองรับน้ำฝนลงสู่อ่างประมาณ ๔,๙๐๘ ตารางกิโลเมตร มีน้ำไหลเข้าอ่างโดยเฉลี่ยปีละ ๒,๙๗๕ ล้านลูกบาศก์เมตร ทางน้ำล้นตั้งอยู่บริเวณฝั่งซ้ายของตัวเขื่อน เนื่องจากสภาพทางภูมิประเทศ ทางน้ำล้นจึงถูกออกแบบเป็นทางน้ำล้นแบบอุโมงค์ ๒ อุโมงค์ สันของทางน้ำล้นอยู่ที่ระดับ ๓๖๐ ม.รทก. เส้นผ่าศูนย์กลางอุโมงค์ ๙.๐๐ ม. ยาว ๘๗๓ ม. ออกแบบให้ระบายน้ำได้ (Design discharge) ๒,๕๐๐ ลบ.ม/ว. โดยมีค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่เป็นไปได้ (Probable maximum Flood) ๕,๙๐๐ ลบ.ม/ว. ที่ระดับ ๓๗๓.๘๐ ม.รทก. ความสูงของระดับน้ำปกติ (Normal high water level) ๓๗๐ ม.รทก. Intake structure ของอุโมงค์เป็นแบบ Over flow Ogee weir ติดตั้งบานปิดเปิดแบบ Radial Gate ผังโดยทั่วไปของเขื่อนน้ำโจน แสดงไว้ใน รูปที่ 2

ความสำคัญของปัญหา

ในกรณีที่จำเป็นต้องระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเป็นจำนวนมากผ่านทางน้ำล้น อันเนื่องมาจากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยสาเหตุจากมรสุมฝนตกหนักหรือเหตุอื่นใดก็ตาม น้ำในอุโมงค์ของทางน้ำล้นจะไหลด้วยความเร็วสูงมากจนเกิดปรากฏการณ์การกร่อนทำลาย เนื่องจากความดันต่ำ (Cavitation) ทำความเสียหายต่อผิวอุโมงค์อย่างรุนแรง [๑๒] เมื่อผิวหน้าของอุโมงค์ชำรุดมากขึ้น (รูปที่ 17-30) น้ำก็สามารถจะกัดเซาะจนทำให้กระทบกระเทือนไปถึงความมั่นคงของ

ตัวเขื่อนในที่สุด (๓) การป้องกันการกร่อนทำลายเนื่องจากความดันต่ำโดยการสร้างร่องผสมอากาศ (Aeration Grooves) ขึ้นในอุโมงค์ เป็นวิธีที่ได้ผลแต่ก็ไม่สามารถที่จะออกแบบร่องผสมอากาศให้มีประสิทธิภาพ ได้โดยการวิเคราะห์จากทฤษฎีแต่เพียงลำพัง จำต้องอาศัยการทดลองโดยแบบจำลอง แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาเป็นแนวทางในการออกแบบก่อสร้าง ในการนี้ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ ร่วมกับ EPDC ได้มอบให้ The Asian Institute of Technology (AIT) เป็นผู้สร้างแบบจำลองทางน้ำล้นของเขื่อนน้ำโจนขึ้นเพื่อใช้ศึกษาปัญหาต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นจากแบบจำลอง ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้มุ่งศึกษาไปทางด้านร่องผสมอากาศในทางน้ำล้นแบบอุโมงค์เพื่อให้ได้โครงสร้างของร่องผสมอากาศที่เหมาะสมไปเป็นแนวทางออกแบบดังกล่าว โดยจะขอยกตัวอย่างผลที่ได้จากการศึกษา-ทดลอง ของเขื่อนบางเขื่อนซึ่งมีทางน้ำล้นที่ติดตั้งร่องผสมอากาศในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยย่อดังนี้.-

Palisade Dam มีประตูบังคับปิดเปิดทางน้ำล้นขนาด ๗.๕ x ๙.๐ ฟ. ปริมาณน้ำสูงสุดที่ไหลในอุโมงค์ ๖,๕๐๐ ลบ.ฟ/ว. (ระดับน้ำ ๒๓๕ ฟ.รทก.) หลังจากที่ทางน้ำล้นนี้ใช้งานได้ ๔ ปี โดยมีระดับน้ำประมาณ ๒๒๐ ฟ.รทก. ประตูบังคับเปิด ๘-๔๕ เปอร์เซนต์ ทำให้เกิดการกร่อนทำลายจากความดันต่ำที่บริเวณผนังและพื้นของอุโมงค์ และมีการขยายตัวของความเสียหายมากขึ้นเรื่อย ๆ (รูปที่ 28) ในปี ค.ศ. ๑๙๗๒ จึงได้มีการศึกษาร่องผสมอากาศโดยอาศัยแบบจำลองทางน้ำล้นใช้อัตราส่วนระหว่างแบบจำลองต่อของจริงเท่ากับ ๑ ต่อ ๑๙ ร่องผสมอากาศที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองเป็นแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมมุมฉาก ๑๒ นิ้ว x ๑๒ นิ้ว และการศึกษาจากของจริงเมื่อใช้ร่องผสมอากาศดังกล่าวเป็นเวลา ๒,๔๒๒ ชม. โดยให้ประตูบังคับเปิด ๗๘ เปอร์เซนต์ ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำอยู่ที่ระดับปกติ ปรากฏว่าไม่มีการกร่อนทำลายจากความดันต่ำเกิดขึ้น (๔)

Navajo Dam มีอุโมงค์ทางน้ำล้นหน้าตัดรูปเกือกม้า กว้าง ๖ ฟ. ยาว ๘๗๕ ฟ. สามารถระบายน้ำได้สูงสุด ๑,๗๙๐ ลบ.ฟ/ว. ที่ระดับน้ำสูงสุด ๓๓๐ ฟ. จากศูนย์กลางประตูบังคับปิดเปิดของทางน้ำล้น ในการใช้งานจริง เมื่อระบายน้ำออกถึง ๕๐๐ ลบ.ฟ/ว. ที่ระดับน้ำประมาณ ๑๕๐ ฟ. จะเริ่มเกิดการกร่อนทำลายจากความดันต่ำที่บริเวณผนังและพื้นอุโมงค์ จากการศึกษาโดยใช้แบบจำลองมาตราส่วน ๑ ต่อ ๑๐.๑ ประตูบังคับเปิด ๑๒.๕-๑๐๐ เปอร์เซนต์ ที่ระดับน้ำ ๑๙๙ ฟ. และ ๓๓๐ ฟ.รทก. ตามลำดับ ผลการทดลองได้หน้าตัดของร่องผสมอากาศเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ขนาด ๑๒ นิ้ว x ๑๒ นิ้ว วางห่างกันทุก ๆ ช่วง ๔.๕ ฟ. ภายในอุโมงค์ ในปี ค.ศ. ๑๙๗๒ ได้นำผลการศึกษาจากแบบจำลองไปใช้งานจริง ปรากฏว่าสามารถป้องกันการกร่อนทำลายจากความดันต่ำได้โดยสามารถวัดความเร็วของอากาศในร่องผสมอากาศได้ ๓๙ ฟ./ว. และ ๒๔๕ ฟ./ว. เมื่อประตูบังคับเปิด ๒๕ และ ๙๕ เปอร์เซนต์ ตามลำดับ [๔]

Yellowtail Dam ทางน้ำล้นของเขื่อนเป็นแบบอุโมงค์ หน้าตัดรูปวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง ๓๒ ฟ. เมื่อปี ค.ศ. ๑๙๖๗ ได้เกิดอุทกภัยอย่างหนัก ทำให้อุโมงค์ทางน้ำล้นต้องระบายน้ำออกถึง ๑๕,๐๐๐ ลบ.ฟ/ว. และทำให้เกิดการกร่อนทำลายจากความดันต่ำภายในอุโมงค์ จากการศึกษาจากแบบจำลองทางน้ำล้นโดยมีมาตราส่วนของแบบจำลองต่อของจริงเท่ากับ ๑ ต่อ ๔๙.๕ และให้ระบายน้ำตั้งแต่ ๕,๐๐๐ ถึง ๕๐,๐๐๐ ลบ.ฟ/ว. ผลปรากฏว่าร่องผสมอากาศที่เหมาะสมกับอุโมงค์ทางน้ำล้นมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก ขนาด ๓๖ นิ้ว x ๓๖ นิ้ว และเมื่อนำร่องผสมอากาศนี้ไปใช้กับของจริงโดยให้ระบายน้ำผ่านอุโมงค์ ๕,๐๐๐ ลบ.ฟ/ว. เป็นเวลา ๕ วัน ๑๕,๐๐๐ ลบ.ฟ/ว. เป็นเวลา ๑ วัน และ ๑๔,๕๐๐ ลบ.ฟ/ว. เป็นเวลา ๔ วัน จากการตรวจสอบ ไม่พบการกร่อนทำลายจากความดันต่ำ [๓]

วัตถุประสงค์การวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยอาศัยแบบจำลองทางน้ำล้นเขื่อนน้ำโจนมีดังนี้.-

ก. หาขนาด และตำแหน่งที่เหมาะสมของร่องผสมอากาศ (Aeration Grooves) เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นในอุโมงค์ของทางน้ำล้นเขื่อนน้ำโจนจากการกร่อนทำลายเนื่องจากความดันต่ำ (Cavitation)

ข. ศึกษาสภาพการไหลของน้ำและอากาศจากร่องผสมอากาศในอุโมงค์ทางน้ำล้นเขื่อนน้ำโจน

ค. เป็นแนวทางการวิจัยเกี่ยวกับร่องผสมอากาศในอุโมงค์ทางน้ำล้นเขื่อนน้ำโจนจากของจริง (Prototype) ต่อไป

ขอบเขตการวิจัย

ก. ทดลองหาข้อมูลต่าง ๆ ที่มีผลกระทบจากร่องผสมอากาศ โดยอาศัยแบบจำลองทางน้ำล้นเขื่อนน้ำโจน อันได้แก่ ความดันน้ำ ความเร็วและลักษณะการไหลของน้ำ เมื่อพิจารณาให้น้ำที่ไหลในอุโมงค์เป็น Incompressible Fluid

ข. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล และข้อเสนอแนะ

การดำเนินการวิจัยโดยย่อ

ทางน้ำล้นเขื่อนน้ำโจนประกอบด้วยอุโมงค์ทางน้ำล้นสองอุโมงค์มีลักษณะและขนาดเดียวกัน ในการวิจัยได้จัดทำแบบจำลองทางน้ำล้นขึ้นโดยใช้มาตราส่วนความยาวระหว่างแบบจำลองต่อของจริง เท่ากับ ๑ ต่อ ๖๔.๖๑ ลักษณะและแผนภูมิทางน้ำล้นเขื่อนน้ำโจนได้แสดงไว้ใน รูปที่ 3 และ รูปที่ 4 อุโมงค์หมายเลข ๑ (เมื่อมองไปยังด้านท้ายน้ำอยู่ซ้ายมือ) ในแบบจำลองมีการติดตั้งร่องผสมอากาศไว้ ส่วนอุโมงค์หมายเลข ๒ ไม่มีการติดตั้งร่องผสมอากาศ ทั้งนี้เพื่อการเปรียบเทียบผลของร่องผสมอากาศที่มีต่อการไหลของน้ำในอุโมงค์ทั้งสอง

การทดลองเพื่อเก็บข้อมูลได้แยกออกเป็นสองการทดลองใหญ่ ๆ คือ การทดลองครั้งแรก อุโมงค์หมายเลข ๑ จัดให้มีการติดตั้งร่องผสมอากาศไว้ถึง ๗ ร่อง แต่ละร่องมีลักษณะและขนาดเดียวกัน ตำแหน่งต่าง ๆ ของร่องผสมอากาศเป็นไปตาม รูปที่ 5 โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะหาความเหมาะสมของตำแหน่งต่าง ๆ ที่ติดตั้ง ส่วนการทดลองครั้งที่สองอุโมงค์หมายเลข ๑ จัดให้มีการติดตั้งร่องผสมอากาศที่มีลักษณะแตกต่างไปจากร่องผสมอากาศในการทดลองครั้งแรก ๓ ร่อง ตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่แสดงไว้ใน รูปที่ 6 โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะเปรียบเทียบหาขนาดที่เหมาะสมของร่องผสมอากาศ ข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบดูความเหมาะสมของตำแหน่งและขนาดของร่องผสมอากาศเราได้จากการพิจารณาการกระจายความดันของน้ำภายในอุโมงค์ ณ จุดต่าง ๆ (Pressure distribution) เมื่ออัตราการไหลของน้ำในอุโมงค์เปลี่ยนไป ซึ่งรายละเอียดและวิธีการจะได้กล่าวต่อไป

ทฤษฎีและแนวความคิด

จากสมการพลังงานของเบอร์นวลลี (Bernoulli Equation) เราสามารถที่จะ

สรุปได้ว่า ที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งของทางน้ำเปิด (Open channel flow) ค่าผลรวมของพลังงานที่จุดใด ๆ ในหน้าตัดนั้นย่อมมีค่าคงที่ เมื่อพิจารณาจากรูป (รูปที่ 7) จุด A เป็นจุดใด ๆ ในหน้าตัด O ซึ่งมีค่าผลรวมของพลังงานในรูปของความสูง (Head) ดังนี้.-

$$H = Z_A + P_A/\gamma_w + V_A^2/2G \qquad (1)$$

ในกรณีที่ทางน้ำเปิดมีความลาดชันมาก และปริมาณน้ำที่ไหลผ่านมีมาก ย่อมทำให้น้ำไหลด้วยความเร็วสูง แต่ค่า H และ Z_A ยังคงที่ นั่นหมายความว่าค่าความดันที่จุด A จะต้องลดลง และเมื่อใดก็ตามที่ค่าความดันสมบูรณ์ (Absolute pressure) ที่จุด A ลดลงจนมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าความดันไอ (Vapor pressure) ก็จะเกิดฟองไอ (Vapor bubbles or Cavities) ไหลปะปนไปกับน้ำจนถึงที่ที่มีความดันสูง ฟองไอเหล่านี้จะยุบตัวทันที (Collapse) จนเกิดความดันที่สูงมากในบริเวณนั้น ซึ่งจากการทดลองของ "Standford University Fluid Mechanic Laboratory" เกิดความดันสูงถึง ๓๕๐,๐๐๐ ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว [๘] ความดันนี้เมื่อกระทำกับผิวหน้าของทางน้ำเปิดซ้ำ ๆ กัน ก็จะทำให้เกิดความเสียหายแก่ผิวหน้าของทางน้ำเปิด และเมื่อนานเข้าผิวทางน้ำเปิดจะเสียหายจนใช้งานไม่ได้ ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า "การกร่อนทำลาย เนื่องจากความดันต่ำ (Cavitation)" วิธีการป้องกันการกร่อนทำลายเนื่องจากความดันต่ำอาจทำได้หลายทาง เช่น

ก. การออกแบบโครงสร้างทางชลศาสตร์ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความดันต่ำ โดยเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของทางน้ำเปิดเพื่อลดความเร็วของการไหลของน้ำ [๙]

ข. เลือกใช้วัสดุพิเศษที่สามารถทนต่อการกร่อนทำลายเนื่องจากความดันต่ำได้ดีมาเป็นส่วนของโครงสร้าง [๗]

ค. ออกแบบโครงสร้างทางชลศาสตร์ที่สามารถทำให้เกิดการผสมของอากาศกับน้ำที่ไหลในทางน้ำเปิด [๗]

จากการพิจารณาวิธีต่าง ๆ ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าวิธีที่ ๓ เป็นวิธีที่เหมาะสมกับทางน้ำล้นแบบอุโมงค์ เนื่องจากอุโมงค์ทางน้ำล้นของเขื่อนน้ำโจนมีความชันมาก ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดความดันสมบูรณ์ต่ำได้ วิธีนี้ยังประหยัดค่าใช้จ่ายและได้ผลเป็นที่น่าพอใจ การออกแบบโครงสร้างทางชลศาสตร์

เพื่อให้เกิดการผสมของอากาศกับน้ำที่ไหลในอุโมงค์สามารถทำได้โดยการติดตั้งร่องผสมอากาศ (Aeration Groove) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ทำหน้าที่ดูดเอาอากาศภายนอกเข้าไปห่อหุ้มผิวรอบนอกของกระแสน้ำที่ไหลในอุโมงค์ [๓] โดยที่การไหลของน้ำในอุโมงค์ถูกออกแบบให้เป็นการไหลแบบ Free water surface flow อากาศที่ห่อหุ้มนี้ ทำหน้าที่เป็นเบาะรองรับ (Cushion) ความเสียหายอันเกิดจากการยุบตัวของฟองไอ และช่วยเพิ่มความดันของน้ำบริเวณนั้นให้มากขึ้น [๓,๑๒] ร่องผสมอากาศมีลักษณะเป็นร่องโค้งไปตามเส้นรอบวงของอุโมงค์ (รูปที่ 3) และมีลักษณะหน้าตัดแตกต่างกันไป (รูปที่ 8)

ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย

ก. สามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการกร่อนทำลายเนื่องจากความดันต่ำภายในอุโมงค์ทางน้ำล้นเขื่อนน้ำโจน

ข. ช่วยในการตัดสินใจออกแบบร่องผสมอากาศที่มีประสิทธิภาพดีได้อย่างถูกต้อง

ค. เป็นแนวทางในการศึกษาอุโมงค์ทางน้ำล้นอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

หมายเหตุ

ก. ลักษณะรูปร่างของร่องผสมอากาศใน รูปที่ 3 ได้จากการออกแบบเบื้องต้นของ EPDC ซึ่งอาจต้องมีการแก้ไขดัดแปลงหลังจากได้ทำการศึกษาจากแบบจำลองแล้ว

ข. เมื่อน้ำไหลผ่านร่องผสมอากาศ น้ำจะดูดเอาอากาศในร่องปะปนไปด้วย ซึ่งประสิทธิภาพของการดูดอากาศของร่องผสมอากาศขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่าง ขนาดและตำแหน่งที่ตั้งของร่อง จากการวิจัยของ "Engineering and Research Center" โดยอาศัยแบบจำลองทางน้ำล้นแบบอุโมงค์ของเขื่อนเยลโลว์เทล (Yellowtail Dam Spillway Tunnel) ปรากฏว่า ร่องผสมอากาศแบบ รูปที่ 8 ข มีประสิทธิภาพการดูดอากาศที่ดีที่สุด นอกจากนี้ในแง่ของการก่อสร้างตลอดจนการใช้งานตามความรู้สึกของวิศวกรก็ดูจะเหมาะสมและเป็นไปได้มากกว่า [๓] การวิจัยจากแบบจำลองทางน้ำล้นเขื่อนน้ำโจนจึงมุ่งศึกษาร่องผสมอากาศ ซึ่งมีลักษณะหน้าตัดดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 8 ก,ข

ค. ค่าความดันสมบูรณ์ของน้ำคือ ค่าผลรวมของความดันบรรยากาศกับค่าความดันของน้ำ โดยที่ค่าความดันบรรยากาศแปรเปลี่ยนตามระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (ภาคผนวก 1) ส่วนค่าความดันไอแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของอากาศ ณ ที่นั้น (ภาคผนวก 2) [9]