บทที่ ๔

## ร่องผสมอากาศ (Aeration Groove)

ทางน้ำล้นที่มีการไหลผ่านของน้ำด้วยความเร็วสูง ย่อมได้รับอันตรายจากการกร่อนทำลาย เนื่องจากความดันต่ำ แม้ว่าการไหลของน้ำจะเป็นการไหลแบบ Uniform flow ก็ตาม การกร่อนทำลายนี้ไม่เพียงแต่เกิดจากสาเหตุของการไหลด้วยความเร็วสูงเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับปริมาณของอากาศที่มีในน้ำที่ไหลผ่านอีกด้วย [12]

ในกรณีเกิดการไหลของน้ำผ่านทางน้ำล้นด้วยความเร็วสูง การป้องกันการกร่อนทำลายจากความดันต่ำสามารถทำได้โดยการผสมอากาศจากบรรยากาศรอบนอกเข้าไปในน้ำซึ่งในอดีตอาศัยการออกแบบโครงสร้างของทางน้ำเปิด ทำให้น้ำที่ไหลผ่านเกิดการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) โดยหวังให้เกิดการผสมของน้ำกับอากาศที่ผิวน้ำ แต่ผลที่ได้ไม่น่าพอใจ เนื่องด้วยการผสมของอากาศไม่สามารถที่จะเข้าไปถึงด้านล่างของทางน้ำเปิดได้ นอกจากนี้ความไม่สม่ำเสมอของผิวโครงสร้างยังเป็นตัวทำให้เกิดการกร่อนทำลายเนื่องจากความดันต่ำได้ รูปที่ 13, 14 แสดงชนิดต่าง ๆ ของความไม่สม่ำเสมอของผิวหน้าโครงสร้าง และตำแหน่งที่เกิดการกร่อนทำลายของผิวโครงสร้างตามลำดับ จากการแนะนำของ Bureau of Reclamation[11] โดยสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสมบูรณ์ กับความเร็วของการไหลของน้ำ เมื่อเริ่มมีปรากฏการณ์การกร่อนทำลายจากความดันต่ำอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของผิวโครงสร้างชนิดต่าง ๆ ดังที่แสดงไว้ใน รูปที่ 16 สำหรับ รูปที่ 15 ได้จากการทดลองของ Corps of Engineers ในปี 1950[11] กราฟเหล่านี้จะเป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้างที่มีความไม่สม่ำเสมอของผิวหน้าเพื่อไม่ให้เกิดการกร่อนทำลายจากความดันต่ำ กล่าวคือสำหรับ รูปที่ 16 จุดพิกัดของความเร็วของการไหลและความดันสมบูรณ์ของน้ำหลังจากที่ไหลผ่านความไม่สม่ำเสมอของผิวหน้าโครงสร้างมาแล้ว จะต้องตกอยู่ในช่วงซ้ายมือของเส้นกราฟแต่ละเส้นที่กำลังพิจารณาถึง จึงจะไม่เกิดการกร่อนทำลาย นั่นก็คือที่ความเร็วใดความเร็วหนึ่งของน้ำ เมื่อพิจารณาถึงกราฟเส้นใด ๆ จะต้องมีค่าความดันสมบูรณ์สูงเกินกว่าค่าความดันสมบูรณ์ที่ปรากฏอยู่ในกราฟเส้นนั้น ๆ ในทำนองเดียวกันสำหรับ รูปที่ 15 ค่าพิกัดของ

ค่า "d" และค่า "K" ต้องอยู่ทางซ้ายมือหรืออยู่เหนือเส้นกราฟ นั่นคือที่ความลึก "d" ใด ๆ ค่าดัชนีแห่งการกร่อนทำลาย (K) ที่หน้าตัดก่อนถึงตำแหน่งของผิวหน้าที่ไม่สม่ำเสมอจะต้องมีค่ามากกว่าค่า "Ki" โดยที่

$$K = \frac{h_a - h_v}{v^2/2g} \qquad (16)$$

รูปที่ 17-30 แสดงภาพของโครงสร้างต่าง ๆ ซึ่งได้รับความเสียหายจากการกร่อนทำลายเนื่องจากความดันต่ำ อันมีสาเหตุมาจากความไม่สม่ำเสมอของผิวโครงสร้างแบบต่าง ๆ เมื่อน้ำที่ไหลผ่านมีความเร็วสูง [11]

ยิ่งการไหลของน้ำมีความเร็วมากเท่าใด ปัญหาการเกิดการกร่อนทำลายจากความดันต่ำยิ่งมีมากขึ้นเท่านั้น จาก รูปที่ 31 อาศัยสมการพลังงานของเบอร์นวลลี (Bernoulli Equation) จะได้ว่า

$$\frac{P_o}{\gamma} = H - \frac{v_o^2}{2g} - Z_o$$

$$\frac{P}{\gamma} = H - \frac{v^2}{2g} - Z$$

เมื่อให้ $Z_o$ มีค่าประมาณ Z จะได้ว่า

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{P_o - P}{\gamma} = \frac{v^2}{2g} - \frac{v_o^2}{2g}$$

$$= \frac{(v_o + \Delta v)^2}{2g} - \frac{v_o^2}{2g}$$

$$= \frac{v_o^2 + (\Delta v)^2 + 2v_o(\Delta v) - v_o^2}{2g}$$

$$= \frac{(\Delta v)^2 + 2v_o\ (\Delta v)}{2g}$$

$$= \frac{v_o^2\ (\Delta v^2) + 2v_o^3\ (\Delta v)}{2g\ v_o^2}$$

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{v_o^2}{2g}\left[\left(\frac{\Delta v}{v_o}\right)^2 + \left(\frac{2\ \Delta v}{v_o}\right)\right] \qquad (17)$$

จากสมการที่ (17)สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดลงของความดันกับการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลได้ดัง รูปที่ 31 และที่ความเร็วประมาณ ๔๐ ม/ว. หรือมากกว่าจะพบว่าเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วเพิ่มจาก ๕% เป็น ๑๐% จะเป็นเหตุให้ความดันลดลงเทียบเป็นความสูงของน้ำถึง ๑๐ ม.

การแก้ปัญหาโดยทำ Ramps หรือ Steps เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและเป็นไปได้ในการก่อสร้างจริง (รูปที่ 32 ก,ข) เมื่อน้ำไหลผ่าน Ramps หรือ Steps ก็จะเกิดการผสมของอากาศขึ้นที่บริเวณผิวหน้าของโครงสร้าง เนื่องจากเกิดความไม่ต่อเนื่องของผิวโครงสร้างอย่างกระทันหันที่ท้องน้ำ ทำให้เกิดผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศเมื่อน้ำไหลด้วยความเร็วสูง น้ำที่บริเวณผิวสัมผัสนี้จะพาอากาศติดไปด้วย และเพื่อที่จะให้อากาศที่ไหลเข้ามามีปริมาณมากขึ้น จึงได้มีการปรับปรุง Ramps หรือ Steps ให้เกิดเป็นร่องลึก (รูปที่ 32 ค,ง) ส่วนใน รูปที่ 32 จ,ฉ เป็นการนำเอาแบบ รูปที่ 32 ก,ข และ ค,ง มารวมเข้าด้วยกัน ร่องผสมอากาศที่ใช้ในการวิจัยของทางน้ำล้นเขื่อนน้ำโจน ในการทดลองครั้งแรกใช้แบบ รูปที่ 32 ค การทดลองครั้งที่สองใช้แบบ รูปที่ 32 ง ซึ่งสัดส่วนขนาดของร่องผสมอากาศปัจจุบันยังเป็นปัญหาในการออกแบบและเป็นการยากที่จะประเมินอิทธิพลขนาดของร่องผสมอากาศที่มีต่อการผสมของอากาศกับน้ำ [12]

กลไกเริ่มแรกของการผสมระหว่างน้ำกับอากาศเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสร่วมระหว่างน้ำกับอากาศ (Air - water interface) หลังจากที่น้ำไหลผ่าน Ramp หรือ Step มาแล้ว ความปั่นป่วนที่ผิวน้ำด้านล่างก็เริ่มปรากฏและทวีมากขึ้น ทำให้การผสมของน้ำกับอากาศเพิ่มขึ้น (รูปที่ 33) นอกจากนี้ผลของแรงตึงผิวของน้ำยังมีส่วนอย่างยิ่งต่อการผสมของน้ำกับอากาศ กล่าวคือ

ที่บริเวณผิวสัมผัสร่วมระหว่างน้ำกับอากาศ เมื่อเกิดการปั่นป่วนของน้ำจะทำให้น้ำแตกตัวเป็นฝอยละอองซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพกลไกการผสมของน้ำกับอากาศ ซึ่งในแบบของจริงแล้วการแตกตัวเป็นฝอยละอองของน้ำย่อมมีมากกว่าในแบบจำลองอย่างมาก

เมื่อน้ำตกกระทบผิวของอุโมงค์ก็จะไหลไปพร้อมกับปริมาณอากาศจำนวนหนึ่งที่ปะปนอยู่ ฟองอากาศเหล่านี้พยายามลอยขึ้นเหนือน้ำ ทำให้ปริมาณอากาศในน้ำลดลงเรื่อย ๆ ส่วนที่ผิวน้ำก็มีการผสมของน้ำกับอากาศเช่นกัน ทำให้ปริมาณอากาศในน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีจุดสมดุลย์จุดหนึ่งที่ปริมาณอากาศในน้ำที่ลดและเพิ่มขึ้นมีความพอดีกัน รูปที่ 33 แสดงการกระจายของปริมาณอากาศในน้ำซึ่งได้จากจินตนาการของ "Straub" และ "Anderson" [12] ส่วนบริเวณที่อยู่ใต้ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศ จะมีความดันของอากาศน้อยกว่าความดันบรรยากาศ เนื่องจากความเร็วของการไหลของอากาศเอง และการสูญเสียพลังงานของอากาศเมื่อไหลผ่านร่องผสมอากาศ ความดันในบริเวณนี้จึงเรียกว่า "Sub Atmospheric Pressure"

จากการที่ความเข้มข้นของอากาศในน้ำลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากผลของแรงดึงดูดโลกทำให้ความสามารถการป้องกันการกร่อนทำลายจากความดันต่ำของร่องผสมอากาศลดลงเช่นกัน จำต้องมีการติดตั้งร่องผสมอากาศใหม่ขึ้นอีกหนึ่งร่อง จากการค้นคว้ายังไม่มีผู้ใดสามารถให้นิยามการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นอากาศ และความเข้มข้นของอากาศมีเท่าไร จึงจะเพียงพอในการป้องกันการกร่อนทำลายจากความดันต่ำ ดังนั้นการตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมของร่องผสมอากาศจึงขึ้นอยู่กับข้อมูลเท่าที่มีอยู่และประสบการณ์ของแต่ละบุคคลที่จะเลือกร่องผสมอากาศที่เป็นไปได้ในงานก่อสร้างจริง [12]