

การศึกษาผลของความลาดชันด้านหน้าและด้านท้ายของฝายรูปสามเหลี่ยม ต่อค่าสัมประสิทธิ์การไหล

Study the Effect of Upstream and Downstream Slope of Crump Weir on Coefficient of Discharge

พนิดา สีมารู

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: panidaja@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความลาดชันด้านหน้าและด้านท้ายของฝายรูปสามเหลี่ยมต่อค่าสัมประสิทธิ์การไหลโดยใช้ฝายรูปแบบที่ 1 ที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 และความลาดชันด้านท้าย 1:5 รูปแบบที่ 2 จะใช้ความลาดชันด้านหน้า 1:2 และความลาดชันด้านท้าย 1:2 รูปแบบที่ 3 ด้านหน้า 90° และความลาดชันด้านท้าย 1:5 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์และพฤติกรรมการไหลของน้ำด้านเหนือน้ำไปด้านท้ายน้ำ โดยทดลองกับทางน้ำที่มีความกว้าง 0.24 เมตร จากผลการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ฝายรูปสามเหลี่ยมฝายรูปสามเหลี่ยมรูปแบบที่ 2 มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลเฉลี่ยสูงที่สุด 0.83 รองลงมาคือฝายรูปแบบที่ 1 ได้ค่าประมาณ 0.76 ส่วนพฤติกรรมการไหลนั้นพบว่าฝายรูปแบบที่ 1 ลักษณะเส้นโค้งผิวน้ำค่อนข้างนิ่งโดยจะค่อยๆ โค้งลงขนานกับตัวฝาย ส่วนฝายรูปแบบที่ 2 เส้นโค้งของผิวน้ำจะโค้งลงอย่างรวดเร็ว ความลาดชันของหลังฝายค่อนข้างมากทำให้น้ำไหลเร็วทำให้เกิดการม้วนตัวของน้ำเล็กน้อยบริเวณตีนฝาย และ ฝายรูปแบบที่ 3 ด้านหน้าฝายจะมีคลื่นเกิดขึ้นเล็กน้อยเส้นโค้งของผิวน้ำจะโค้งลงอย่างรวดเร็วบริเวณหลังฝาย

คำสำคัญ: ฝายรูปสามเหลี่ยม, อัตราการไหล, ความลาดชัน

Abstract

This article aimed to study the effect of the slope of upstream and downstream of crump weirs on flow coefficient adjusted into three categories: (1) upstream slope 1:2 and downstream slope 1:5, (2) upstream slope 1:2 and downstream slope 1:2, and (3) upstream slope 90° and downstream slope 1:5. The flow coefficient and flow pattern from upstream to downstream were investigated and tested in a rectangular approach channel with a width $B = 0.24$ m. in this experiment. The result showed the highest average flow coefficient at 0.83 in category (2), and 0.76 in category (1) respectively. In the

aspect of flow pattern, category (1) contains stable curvature of water surface with gradual curve parallel to the weir. On the contrary, category (2) exhibits rapid curve of the curvature of water surface. Furthermore, the high slope of downstream results in high flow rate and slight water transition at the toe of a weir. Lastly, category (3) illustrates undular wave at upstream face and curve of the curvature of water surface at downstream face.

Keywords: Crump Weir, Flow rate, Slope

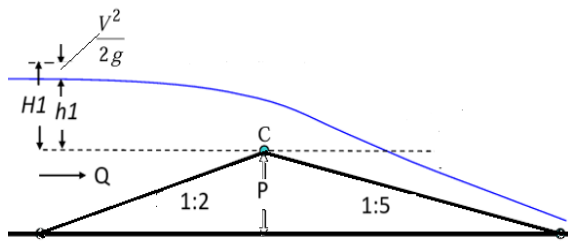
1. คำนำ

ฝายเป็นเครื่องมืออย่างง่ายที่ใช้อย่างกว้างขวางในการวัดอัตราการไหลควบคุมการส่งน้ำหรือเพื่อใช้ในการจัดการน้ำของการไหลในทางน้ำเปิด การใช้งานที่ไม่ซับซ้อนแต่มีประสิทธิภาพเพียงแต่วัดค่าความลึกของการไหลหน้าโครงสร้างทางชลศาสตร์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหล ฝายมีหลายประเภท [1] ขึ้นอยู่กับการใช้งาน อาทิเช่น ฝายรูปสามเหลี่ยม (Crump Weir) หรือ triangular profile two-dimensional weir พัฒนาขึ้นมาโดย E.S Crump โดยได้ศึกษาทดลองที่ Hydraulics Research Station เมือง Wallingford ประเทศอังกฤษ ในปี 1952 เป็นฝายหน้าตัดรูปสามเหลี่ยมที่มีความลาดชันด้านหน้าและด้านหลังแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการใช้งานซึ่งคุณสมบัติที่ดีของฝายชนิดนี้คือสามารถก่อสร้างง่ายสามารถให้ตะกอนที่ปนมากับน้ำไหลข้ามแบบอิสระได้สะดวก ส่วนความลาดชันที่ใช้เป็นมาตรฐานมีอยู่ 2 ลักษณะคือฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ความลาดชันด้านท้าย 1:5 และฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ความลาดชันด้านท้าย 1:2 โดยที่ฝายรูปสามเหลี่ยมนั้นมิได้มีโครงสร้างที่เรียบง่ายทำให้วัดการไหลได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ยังใช้งานได้ดีต่อสภาวะที่จมอยู่ใต้น้ำและเส้นโค้งการไหลค่อนข้างชัดเจน [2] ความแม่นยำของการประเมินหาอัตราไหลนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะรูปแบบของตัวฝาย [3], [4] ดังนั้นเพื่อศึกษาผลของความลาดชันทั้งด้านหน้าและด้านท้ายฝายต่อพฤติกรรมการไหลรวมถึงค่าสัมประสิทธิ์การไหล ผู้ศึกษาจึงได้เลือกใช้รูปแบบของฝายที่มีความลาดชัน

ของด้านหน้าและด้านท้ายฝ่ายแตกต่างกัน 3 รูปแบบคือรูปแบบที่ 1 ฝ่ายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 และความลาดชันด้านท้าย 1:5 รูปแบบที่ 2 จะใช้ความลาดชันด้านหน้า 1:2 และความลาดชันด้านท้าย 1:2 รูปแบบที่ 3 ด้านหน้า 90° และความลาดชันด้านท้าย 1:5 นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของลักษณะพื้นผิวต่อพฤติกรรมการไหลเพื่อประเมินหาช่วงของอัตราการไหลที่เหมาะสมกับขนาดและรูปแบบฝ่ายที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลในทางน้ำเปิด

2. หลักการทำงานและทฤษฎีพื้นฐาน

การคำนวณปริมาณน้ำผ่าน Crump Weir การไหลผ่านฝ่ายนี้จะมี 2 ลักษณะ คือ การไหลแบบตกอิสระ Free Flow (Modular Flow) ซึ่งจะมีระดับน้ำด้านท้ายต่ำกว่าสันฝ่ายและการไหลแบบ Submerged Flow (Non Modular Flow หรือ Drowned Flow) ที่ระดับน้ำด้านท้ายท่วมสันฝ่าย [1] สำหรับการศึกษาในครั้งนี้จะทดสอบที่ลักษณะการไหลแบบไหลตกอิสระเท่านั้นโดยมีลักษณะการไหลดังแสดงในรูปที่ 1 [2]



รูปที่ 1 รูปตัดตามยาวของ Crump Weir ที่ไหลแบบอิสระ

โดยการคำนวณใช้สมการฝ่ายสันที่หน้าตัดการไหลเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังแสดงในสมการที่ 1

$$Q = C_d b_c \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot h_e^{3/2} \quad (1)$$

เมื่อ Q คืออัตราการไหล, b_c คือความกว้างของฝ่าย, $h_e = h_1 + kh$ คือความลึกประสิทธิผลของระดับน้ำที่ไหลผ่านฝ่าย ส่วน kh คือค่าปรับความลึกที่เป็นผลจากความหนืดและแรงตึงผิว ≈ 0.001 ม. และ C_d คือค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลไหลผ่านฝ่าย

สำหรับข้อจำกัดของการประเมินหาอัตราการไหลโดยใช้ Crump Weir ควรจัดสัดส่วนของมิติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องให้อยู่ในเกณฑ์ดังนี้

1) ค่าต่ำสุดที่การตรวจวัดมีความถูกต้อง ถ้าสันฝ่ายปิดทับด้วยแผ่นโลหะ h_1 ไม่ควรต่ำกว่า 0.02 เมตร แต่ถ้าเป็นคอนกรีตธรรมดา h_1 ไม่ควรต่ำกว่า 0.06 เมตร

2) การตรวจวัดจะผิดพลาดเมื่อการไหลในทางน้ำมีค่า Froude Number $Fr_1 \geq 0.5$ เพราะจะเกิดคลื่นนิ่งบนผิวน้ำ ดังนั้นฝ่ายจึงควร มีค่า $h_1 / P \leq 3.0$

3) ความสูงของฝ่าย $P \geq 0.06$ เมตร

4) $b_c \geq 0.30$ เมตร และ $b_c / h_1 \geq 2.0$

5) หากจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (C_d) ที่เป็นค่าคงที่ กรณีฝ่ายที่มีลาด 1:2/1:2 ต้องมีค่า $h_1 / P \leq 1.25$ และ ฝ่ายที่มีลาด 1:2/1:5 ต้องมีค่า $h_1 / P \leq 3.0$

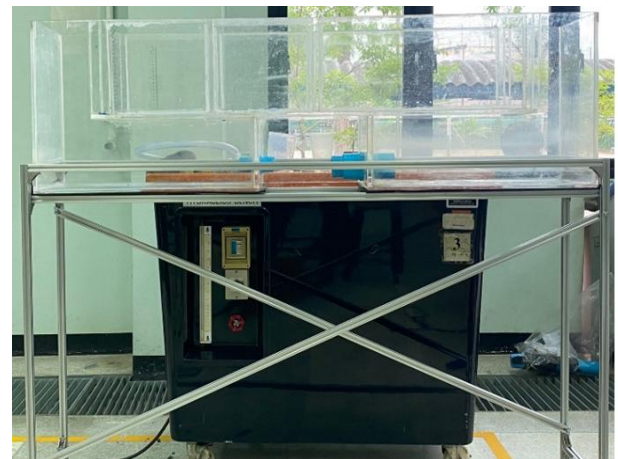
แต่หากต้องปรับเปลี่ยนความลาดชันให้เหมาะสมกับข้อจำกัดในการก่อสร้างจะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การไหลอย่างไร ดังนั้นผู้ศึกษาจึงได้วางแผนทางการศึกษาไว้ดังแสดงในหัวข้อที่ 3 ต่อไปนี้

3. วิธีการศึกษา

3.1 การจัดสร้างรางน้ำเปิด

การสร้างรางน้ำเปิดนั้นได้ออกแบบให้มีขนาดความกว้าง 24 เซนติเมตร ยาว 150 เซนติเมตร และ สูง 43 เซนติเมตร โดยที่ผนังโดยรอบจะใช้ อะคริลิกที่มีความหนาขนาด 8 มิลลิเมตร ในส่วนของพื้นท้องน้ำสำหรับทางน้ำเข้าและทางน้ำออกที่ใช้ในการทดลองจะใช้แผ่นอะคริลิกที่มีความหนาขนาด 10 มิลลิเมตร ทำให้รางน้ำเปิดสามารถรับอัตราการไหลได้ถึง 110 ลิตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 2

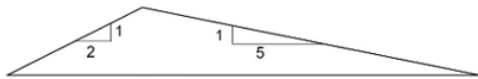
ส่วนระบบหมุนเวียนน้ำและเครื่องมือวัดอัตราการไหลจะใช้ร่วมกับโต๊ะชลศาสตร์ โดยได้ออกแบบฐานสำหรับวางทางน้ำเปิดให้มีความสูงเหมาะสมกับการใช้งานและการระบายน้ำของทางน้ำออกได้ดี เพื่อส่งน้ำไหลกลับไปยังระบบหมุนเวียนน้ำด้วย Gravity Flow



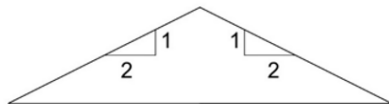
รูปที่ 2 รางน้ำเปิด

3.2 การศึกษาพฤติกรรมการไหลผ่านฝ่ายรูปสามเหลี่ยม (Crump Weir)

สำหรับการศึกษาพฤติกรรมการไหลผ่านฝ่ายรูปได้จัดสร้างฝ่ายมีขนาดความกว้าง 24 เซนติเมตร ความสูง 7 เซนติเมตร ทั้งหมด 3 รูปแบบที่ทำจากอะคริลิกใส โดยมีความลาดชันด้านหน้าและด้านท้ายดังนี้ รูปแบบที่ 1 มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 และความลาดชันด้านท้าย 1:5 รูปแบบที่ 2 จะใช้ความลาดชันด้านหน้า 1:2 และความลาดชันด้านท้าย 1:2 รูปแบบที่ 3 ด้านหน้า 90° และความลาดชันด้านท้าย 1:5 ดังแสดงในรูปที่ 3 รูปที่ 4 และรูปที่ 5 ตามลำดับ



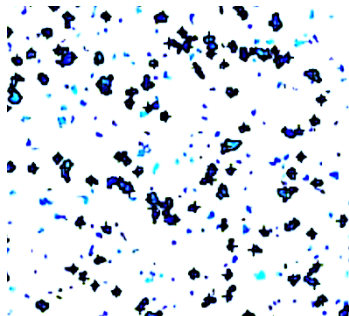
รูปที่3 ฝายรูปสามเหลี่ยมความลาดชันด้านหน้า 1:2 และความลาดชันด้านท้าย 1:5



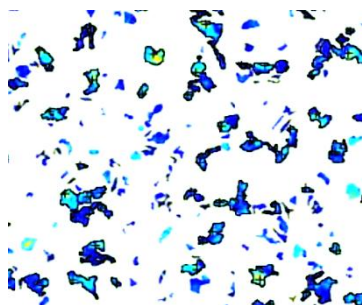
รูปที่4 ฝายรูปสามเหลี่ยมความลาดชันด้านหน้า 1:2 และความลาดชันด้านท้าย 1:2



รูปที่5 ฝายรูปสามเหลี่ยมความลาดชันด้านหน้า 90° และความลาดชันด้านท้าย 1:5



รูปที่6 การปิดผิวของฝายที่มี grit designation 80



รูปที่7 การปิดผิวของฝายที่มี grit designation 24

นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลผ่านฝายรูปสามเหลี่ยมที่พื้นผิวมีความขรุขระแตกต่างกัน 2 แบบคือพื้นผิวขรุขระที่มี grit designation 80 (A80) โดยใช้ทรายที่มีขนาดเท่าๆ กัน D_{50} เท่ากับ 210 μm ดังแสดงในรูปที่ 6 และพื้นผิวขรุขระที่มี grit designation 24 (A24) โดยใช้ทรายที่มีขนาดเท่าๆ กัน D_{50} เท่ากับ 764 μm ดังแสดงในรูปที่ 7

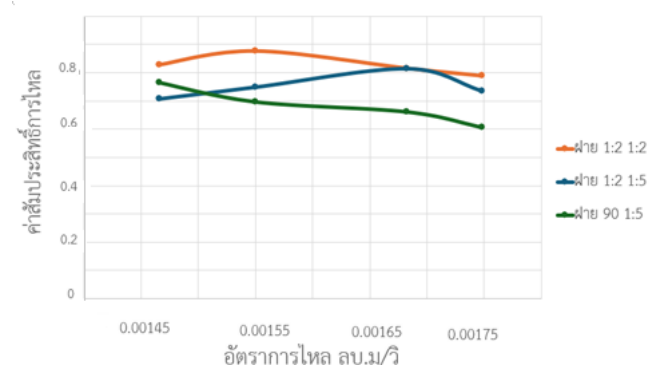
โดยที่การศึกษาพฤติกรรมการไหลผ่านฝายนั้นจะตรวจสอบลักษณะเส้นโค้งผิวน้ำ พร้อมทั้งตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านของฝายแต่ละรูปแบบ

4. ผลการศึกษา

ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของการไหลผ่านฝายที่แตกต่างกันทั้ง 3 รูปแบบดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3 โดยได้ทดลองในช่วงอัตราการไหลตั้งแต่ 20 จนถึง 110 ลิตรต่อวินาที พร้อมทั้งได้ทำการเก็บข้อมูลค่าความลึกการไหลตลอดแนวของฝาย ซึ่งมีผลการศึกษา ดังนี้

4.1 ผลของความลาดชันต่อค่าสัมประสิทธิ์การไหล (C_d)

จากผลการศึกษาได้สร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับค่าสัมประสิทธิ์การไหลดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าฝายที่มีความลาดชัน ด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:5, ด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:2 และ ด้านหน้า 90 องศา ด้านท้าย 1:2 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลเฉลี่ยเท่ากับ 0.76, 0.83 และ 0.72 ตามลำดับ โดยที่ฝายที่ไม่มีความลาดชันด้านหน้าคือฝายด้านหน้า 90 องศา ด้านท้าย 1:5 นั้นจะเห็นได้ว่าถ้าอัตราการสูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การไหลมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงอัตราการไหลที่สูงขึ้นทำให้เกิดโอกาสเกิดคลื่น (undular) ที่ด้านหน้าฝายทำให้การประเมินค่าอัตราการไหลไม่แม่นยำมีความผันผวนของค่าสัมประสิทธิ์การไหลค่อนข้างสูง ในขณะที่ฝายที่มีความลาดชันด้านหน้านั้นไม่ค่อยเกิดคลื่นเนื่องจากความลาดชันด้านหน้าจะช่วยให้ความเร็วของการไหลก่อนที่จะไหลผ่านสันฝายค่อยๆ เพิ่มขึ้นทีละน้อย



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับค่าสัมประสิทธิ์การไหล

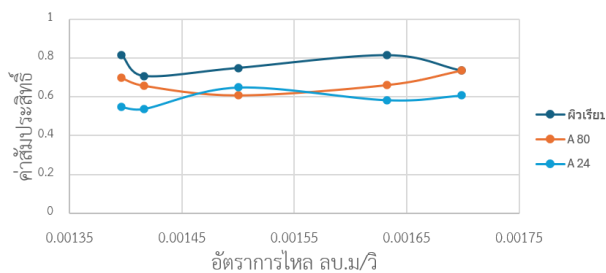
4.2 ผลของความขรุขระของพื้นผิวต่อค่าสัมประสิทธิ์การไหล (C_d)

สำหรับการศึกษาผลของความขรุขระของพื้นผิวต่อค่าสัมประสิทธิ์การไหลนั้นได้ใช้พื้นผิวที่มีความขรุขระที่แตกต่างกัน 2 แบบคือ A80 และ A24 ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่าฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 และความลาดชันด้านท้าย 1:5 ซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐาน สำหรับพื้นผิว A 80 มีค่า

สัมประสิทธิ์การไหลเฉลี่ย 0.67 และพื้นผิว A 24 มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลเฉลี่ย 0.58

ส่วนฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 และความลาดชันด้านท้าย 1:2 พบว่าพื้นผิว A 80 มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลเฉลี่ย 0.63 และพื้นผิว A 24 มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลเฉลี่ย 0.64

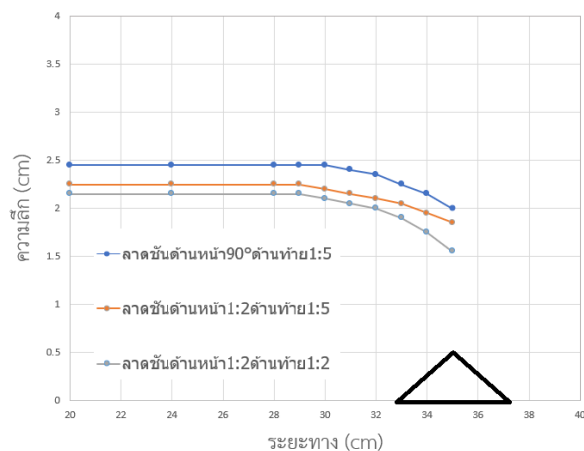
ส่วนฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 90° และความลาดชันด้านท้าย 1:5 พบว่าพื้นผิว A 80 มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลเฉลี่ย 0.58 และพื้นผิว A 24 มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลเฉลี่ย 0.54



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับค่าสัมประสิทธิ์การไหลที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน สำหรับฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:5

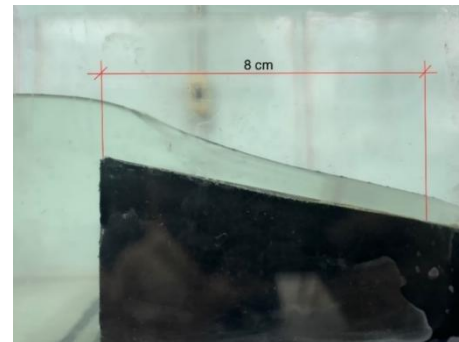
4.3 ลักษณะเส้นโค้งผิวน้ำเหนือสันฝายรูปสามเหลี่ยม

ลักษณะเส้นโค้งผิวน้ำเหนือสันฝายรูปสามเหลี่ยมสำหรับอัตราการไหล 0.001613 ลบ.ม/วินาที ทั้ง 3 รูปแบบดังแสดงในรูปที่ 10 พบว่า ความลาดชันด้านหน้าและด้านท้ายมีผลต่อระยะจากสันฝายไปทางด้านเหนือน้ำจนกระทั่งถึงตำแหน่งที่ใช้ในการวัดค่าความสูง (h) โดยฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:2 และความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:5 มีระยะ 6 เซนติเมตร ส่วนฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 90° ด้านท้าย 1:5 มีระยะ 5 เซนติเมตร

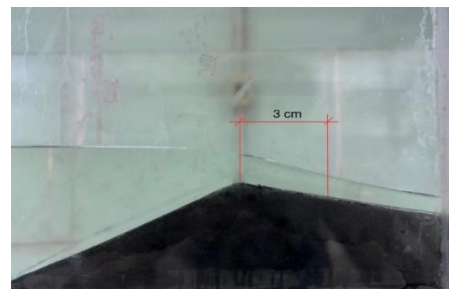


รูปที่ 10 ลักษณะเส้นโค้งผิวน้ำเหนือสันฝายรูปสามเหลี่ยม

ลักษณะการไหลผ่านหน้าฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 90° ด้านท้าย 1:5 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับฝายรูปแบบอื่น พบว่ามีเส้นโค้งผิวน้ำตกลงอย่างรวดเร็วทำให้กว่าที่เส้นโค้งผิวน้ำจะขนานกับระนาบของความลาดชันด้านท้ายฝายยาวถึง 8 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 11 ส่วนฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:5 ลักษณะเส้นการไหลจะค่อยๆ โค้งลงและขนานกับระนาบของความลาดชันจากสันฝายไปทางท้ายน้ำที่ระยะ 3 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 11 ลักษณะการไหลผ่านหน้าฝายความลาดชันด้านหน้า 90° ด้านท้าย 1:5

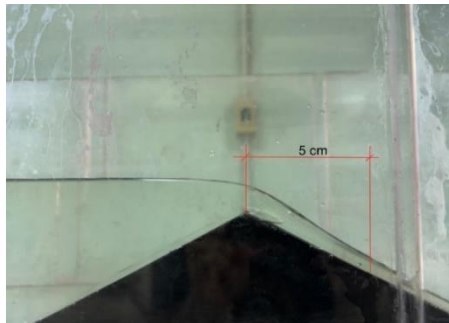


รูปที่ 12 ลักษณะการไหลผ่านฝายความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:5

ส่วนฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:2 ลักษณะเส้นการไหลจะค่อยๆ โค้งลงและขนานกับระนาบของความลาดชันจากสันฝายไปทางท้ายน้ำที่ระยะ 5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 13 จึงสรุปได้ว่าฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:5 ลักษณะเส้นโค้งผิวน้ำค่อนข้างเรียบและขนานไปกับท้ายน้ำที่สุด ส่วนฝายที่ไม่มีความลาดชันด้านหน้าลักษณะเส้นโค้งผิวน้ำจะลดลงอย่างรวดเร็ว

ลักษณะการไหลตกท้ายฝายของฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 90° ด้านท้าย 1:5 พบว่าน้ำเหนือสันฝายก่อนตกท้ายฝายมีความโค้งลงอย่างรวดเร็วกว่าฝายรูปแบบอื่นทำให้มีการบีบตัวของกระแสน้ำและเกิดคลื่น (cross wave) ที่หลังฝาย ส่วนฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:5 ลักษณะการไหลท้ายฝายมีการบีบตัวของกระแสน้ำเล็กน้อยมีเส้นการไหลขนานตามระนาบของความชันด้านท้ายฝายเกิดคลื่นที่หลังฝายเล็กน้อยและฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:2 เนื่องจากความลาดชัน

ด้านท้ายน้ำค่อนข้างสูงกว่าฝายรูปแบบอื่นทำให้หน้าไหลลงค่อนข้างเร็วและเกิดการม้วนตัวของน้ำบางส่วนที่บริเวณตีนฝาย ดังแสดงในรูปที่ 14 จากการตรวจสอบและเปรียบเทียบผลของความขรุขระของพื้นผิว A24 กับพื้นผิวเรียบต่อลักษณะการไหลผ่านฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:5 ที่อัตราการไหลสูงสุด พบว่าการยกตัวของน้ำบริเวณหน้าฝายของพื้นผิวขรุขระนั้นสูงกว่าพื้นผิวเรียบ โดยพื้นผิวขรุขระวัดความสูงของน้ำเหนือสันฝายได้ 2.6 เซนติเมตร ในขณะที่พื้นผิวเรียบมีความสูงของน้ำเหนือสันฝาย 2.2 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 13 ลักษณะการไหลผ่านฝายความลาดชัน
ด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:2

5. บทสรุป

จากการตรวจสอบพบว่ามิติต่างๆของการใช้ฝายรูปสามเหลี่ยมนี้เป็นไปตามเกณฑ์การใช้งานสำหรับวัดอัตราการไหลในทางน้ำเปิด โดยที่ความสูงของน้ำเหนือสันฝายที่ปิดทับด้วยแผ่นอะคริลิก h_1 อยู่ในช่วง 0.02-0.03 เมตร มีค่า Froude number Fr_1 อยู่ระหว่าง 0.07- 0.08 ซึ่งต่ำกว่า 0.5 ดังนั้นจะสามารถลดปัญหาของการเกิดคลื่นนิ่งบนผิวน้ำ สอดคล้องกับค่า $h_1/P = 0.28$ ซึ่งต่ำกว่า 3.0 โดยที่หากจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล C_d ที่เป็นค่าคงที่ กรณีฝายที่มีลาด 1:2/1:2 ต้องมีค่า $h_1/P \leq 1.25$ และ ฝายที่มีลาด 1:2/1:5 ต้องมีค่า $h_1/P \leq 3.0$ ส่วนค่า b_c มีค่าน้อยกว่า 0.30 เมตร เนื่องจากข้อจำกัดของชุดทดลองซึ่งอาจจะมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของค่าสัมประสิทธิ์การไหลจากลักษณะการบีบตัวของทางน้ำที่เล็กลงบ้าง ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงขอเสนอผลการศึกษาลักษณะแนวโน้มที่เกิดจากความความลาดชันของฝายที่แตกต่างกันต่อค่าสัมประสิทธิ์การไหล ภายใต้ความกว้างและเงื่อนไขของการไหลเดียวกัน

จากการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:2 มีค่าสัมประสิทธิ์ดีที่สุดคือ 0.83 รองลงมาคือฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:5 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลเฉลี่ยเท่ากับ 0.76 ส่วนฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 90° ด้านท้าย 1:5 มีค่าสัมประสิทธิ์ต่ำสุดโดยมีค่าเฉลี่ย 0.72 เท่านั้น โดยทั่วไปถ้าค่าของสัดส่วนของความสูงของน้ำเหนือสันฝายต่อความสูงของฝาย (h_1/P) สูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การไหล (C_d) ก็ควรสูงขึ้นเช่นกัน [5] แต่จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าค่า (h_1/P) แทบจะไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การไหล ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองในช่วงอัตราการแคบๆ ทำให้ค่า C_d ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ใน

กรณีที่สามารถทดลองในอัตราการไหลที่สูงกว่านี้ภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ความสูงของฝายเท่าเดิมจะส่งผลให้ค่า (h_1/P) มีค่าลดลงดังนั้นค่า C_d มีแนวโน้มที่จะลดลงด้วย ทั้งนี้ควรตรวจสอบให้ความลึกเหนือสันฝายต้องไม่สูงกว่าที่ออกแบบไว้



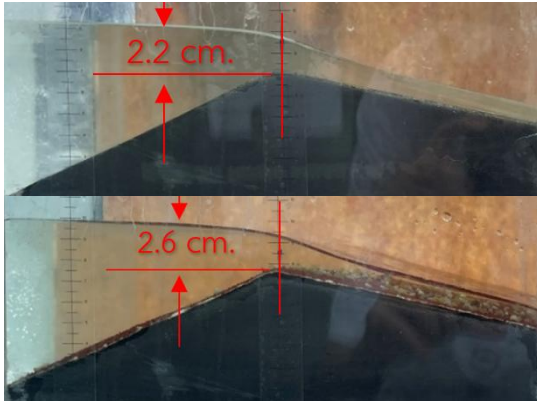
รูปที่ 14 ลักษณะการไหลผ่านฝายด้านท้ายฝาย

5.1 ผลของรูปแบบฝายสันกว้างต่อค่าสัมประสิทธิ์ (C_d)

5.2 ผลของความขรุขระของพื้นผิวต่อค่าสัมประสิทธิ์การไหล (C_d)

ผลของลักษณะพื้นผิวต่อค่าสัมประสิทธิ์การไหลของฝายแต่ละรูปแบบพบว่าพื้นผิวที่มีความขรุขระมากขึ้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลลดลงและเป็นไปในทิศทางเดียวกันโดยที่ฝายที่ตาดด้วยพื้นผิว A80 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลลดลงร้อยละ 12 ของทั้ง 3 รูปแบบ ส่วนฝายที่ตาดด้วยพื้นผิว A24 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลลดลงร้อยละ 23 ของทั้ง 3 รูปแบบ โดยที่ฝายรูปสามเหลี่ยมความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:5 ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานของกรมชลประทาน มีค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยของฝายที่ตาดด้วย

พื้นผิว A80 และ A24 คือ 0.67 และ 0.58 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวเรียบจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลลดลงร้อยละ 12.16 สำหรับพื้นผิว A80 และร้อยละ 23.49 สำหรับพื้นผิว A24



รูปที่ 15 ลักษณะการไหลผ่านฝายพื้นผิวเรียบ
และพื้นผิวที่มีความขรุขระ

ฝายความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:2 มีค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยของฝายที่ตาดด้วยพื้นผิว A80 และ A24 คือ 0.73 และ 0.64 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวเรียบจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลลดลงร้อยละ 12.04 สำหรับพื้นผิว A80 และลดลงไปร้อยละ 23.61 สำหรับพื้นผิว A24

ฝายลาดชันด้านหน้าของฝายตั้งตรง 90° ความลาดชันด้านท้าย 1:5 มีค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยของฝายที่ตาดด้วยพื้นผิว A80 และ A24 คือ 0.63 และ 0.55 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวเรียบจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลลดลงร้อยละ 12.54 สำหรับพื้นผิว A80 และลดลงไปร้อยละ 23.61 สำหรับพื้นผิว A24

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [7] ที่ได้ศึกษาและทดลองผลของความสูงและความหยาบของพื้นผิวของฝายรูปสามเหลี่ยมต่อค่าสัมประสิทธิ์การไหลพบว่าเมื่อน้ำไหลผ่านพื้นผิวที่ขรุขระมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การไหลจะลดลงเมื่อเทียบกับพื้นผิวเรียบ

5.3 ลักษณะเส้นโค้งผิวน้ำเมื่อไหลผ่านฝายรูปสามเหลี่ยม

5.3.1 ลักษณะเส้นโค้งผิวน้ำเหนือสันฝายรูปสามเหลี่ยม

จากการศึกษาพบว่าความลาดชันด้านหน้าและด้านท้ายมีผลต่อตำแหน่งที่ใช้ในวัดค่าความสูง (h) ของน้ำเหนือสันฝายโดยฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:2 และความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:5 มีระยะ 6 เซนติเมตรจากหน้าฝาย ส่วนฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 90° ด้านท้าย 1:5 มีระยะ 5 เซนติเมตรจากหน้าฝาย จะสังเกตได้ว่าลักษณะของเส้นโค้งผิวน้ำของฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 90° ด้านท้าย 1:5 นั้นจะโค้งลงทันที ส่วนฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:5 ลักษณะเส้นโค้งผิวน้ำจะค่อยๆ โค้งลง ระดับน้ำค่อนข้างที่จะนิ่งทำให้สามารถวัดค่าระดับความสูงได้ดี

5.3.2 ลักษณะเส้นโค้งผิวน้ำหลังฝายรูปสามเหลี่ยม

ลักษณะการไหลผ่านหลังฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:5 พบว่าเส้นโค้งผิวน้ำค่อนข้างเรียบและขนานไปกับหลังฝายที่ดีที่สุด โดยที่

ระยะทางของเส้นโค้งผิวน้ำจากสันฝายไปทางท้ายน้ำเริ่มขนานกับระนาบของความลาดชันด้านท้ายฝายเส้นที่สุด รองลงมาคือฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:2 ส่วนฝายที่ไม่มีความลาดชันด้านหน้าลักษณะเส้นโค้งผิวน้ำจะโค้งลงอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะในช่วงที่มีอัตราการไหลสูงๆ นั้นจะเกิดคลื่น (undular) หน้าฝาย ทำให้ระยะทางของเส้นโค้งผิวน้ำจากสันฝายไปทางท้ายน้ำเริ่มขนานกับระนาบของความลาดชันด้านท้ายฝายยาวที่สุด ส่วนผลของความขรุขระต่อระดับน้ำบนสันฝายพบว่าพื้นผิวที่มีความขรุขระระดับน้ำจะยกตัวสูงขึ้นเมื่อเทียบกับพื้นผิวเรียบซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น [4]

5.3.3 ลักษณะการไหลผ่านฝายรูปสามเหลี่ยม

พฤติกรรมกรไหลผ่านฝายของฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 90° ด้านท้าย 1:5 พบว่าจะเกิดคลื่น (cross wave) มากที่สุด ส่วนฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:5 น้ำที่ตกลงมาจากท้ายฝายมีการบีบตัวของกระแสน้ำเล็กน้อยมีเส้นการไหลขนานตามระนาบกับความชันด้านท้ายฝายทำให้เกิดคลื่นที่บริเวณพื้นที่ก่อนน้ำเล็กน้อย และฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ด้านท้าย 1:2 ความลาดชันของฝายด้านท้ายน้ำค่อนข้างสูงทำให้หน้าไหลลงค่อนข้างเร็วและเกิดการม้วนตัวของน้ำบางส่วนที่บริเวณตีนฝายมากกว่าฝายที่มีความลาดชันต่ำ เมื่อทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมกรไหลและค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านฝายรูปสามเหลี่ยมทั้ง 3 รูปแบบ จะเห็นได้ว่าฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ความลาดชันด้านท้าย 1:5 มีพฤติกรรมกรไหลของน้ำที่ดีที่สุดโดยที่บริเวณหน้าหน้าฝายน้ำจะค่อยๆ เพิ่มความเร็วขึ้นและโค้งลงสันฝายอย่างช้าๆ เกิดการบีบตัวของกระแสน้ำเล็กน้อยทำให้สามารถวัดค่าระดับความสูงได้ดีที่สุด อีกทั้งยังให้ค่าสัมประสิทธิ์ค่อนข้างดี ในส่วนของฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 1:2 ความลาดชันด้านท้าย 1:2 มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลเฉลี่ยสูงที่สุด แต่พฤติกรรมกรไหลพบว่าความลาดชันของหลังฝายค่อนข้างมากทำให้น้ำไหลเร็ว เกิดการม้วนตัวของน้ำบริเวณตีนฝาย ส่วนฝายที่มีความลาดชันด้านหน้า 90° องศา ความลาดชันด้านท้าย 1:5 ให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่น้อยที่สุด สำหรับพฤติกรรมกรไหลนั้นบริเวณหน้าหน้าฝายน้ำจะเปลี่ยนความเร็วทันทีทำให้โค้งผิวน้ำตกลงอย่างรวดเร็วและจะเกิดคลื่น (undular) หน้าฝายสูงกว่าฝายรูปแบบอื่นอย่างเห็นได้ชัด และทำให้เกิดการบีบตัวของกระแสน้ำด้านข้างมีคลื่น (cross wave) ขึ้นในบางช่วง

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นเพียงแนวทางในการเลือกใช้ความลาดชันของฝายรูปสามเหลี่ยมในช่วงอัตราการไหลเพียง 20-110 ลิตรต่อวินาที หากต้องการใช้งานสำหรับอัตราการไหลที่สูงขึ้นจะต้องระวังผลของคลื่นที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าฝายทำให้ผิวน้ำไม่นิ่งเป็นอุปสรรคต่อการวัดค่าระดับน้ำเหนือสันฝายส่งผลให้การประเมินอัตราการมีความคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งจะต้องออกแบบปรับปรุงลักษณะของฝายเพิ่มเติมเพื่อสลายพลังงาน [6] นอกจากนั้นควรต้องคำนึงถึงสัดส่วนของ b_c / h_1 ที่เหมาะสมเพราะอาจจะส่งผลต่อลักษณะการบีบตัวเมื่อน้ำเคลื่อนที่ผ่านฝาย สำหรับประเทศไทยโดยกรมชลประทานมักสร้างปิดกั้นลำน้ำขนาดเล็ก [1] ที่มีความลาดชันค่อนข้างมากและมีตะกอนไหลมากับน้ำในปริมาณที่สูง โดยที่ตัวฝายจะค่อนข้างเตี้ยดังนั้นตะกอนจะสามารถผ่านได้สะดวก ในการก่อสร้างนั้นจะมี

ทั้งฝายที่ทำด้วยหินทิ้ง และแกนดินซีเมนต์ แต่ข้อเสียของฝายชนิดนี้จะค่อนข้างยาว ผู้ศึกษาเห็นว่าหากต้องการพัฒนาให้เหมาะสมกับการใช้งาน และสามารถลดปริมาณวัสดุที่ใช้ในการสร้างฝายเห็นว่าควรศึกษาการลดความยาวของฝายทั้งด้านหน้าและด้านท้ายฝาย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการศึกษา ตลอดจนผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการการศึกษาในครั้งนี้ที่เอื้อต่อการให้ข้อมูลต่างๆในการศึกษานี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปราโมท พลพณะนาวิและคณะทำงานสร้างความรู้ตามแผนจัดการความรู้ของสำนักชลประทานที่8 (2554). หลักการคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทาน. กรมชลประทาน, บทที่ 8 หน้า 1-109.
- [2] Achour B., Amara L.. (2022). Accurate Discharge Coefficient Relationship for the Crump Weir. Larhyss Journal, 52 , pp. 93-115.
- [3] Sani Yakubu Khalifa, Babatunde Korode Adeogun, Abubakar Ismail, Morufu Ajibola Ajibike, Muhammad Mujahid Muhammad Bowles. (2021). Performance Evaluation of Flow over Crump Weir Using Data-Driven

Models. Journal of Science Technology and Education,9(4), pp. 116-130.

- [4] Sani Yakubu Khalifa. (2021). Effect of Height Variation on Coefficient of Discharge for Crump Weir. Journal of Science Technology and Education,9(1), pp. 22-37
- [5] Hasan Mahdi Mohammed Al-Khateeb1, Jumana Hadi Sahib1, Huda Hadi, Hasan Al-Yasisri1.(2019) . An experimental study of flow over V- shape crump weir crest. International Conference on Civil and Environmental Engineering Technologies, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 584, pp. 1-11.
- [6] Halah Al-Naely, Ali Majdi, Zainab Al-Khafaji. (2019). A study of the development of the traditional Crump Weir by Adding Opening Holes within the weir body. International Conference on Civil and Environmental Engineering Technology, Parkroyal on Kitchener Road, Singapore 7-8 October 2019, pp.48-58.
- [7] Nassrin Jassim Hussien. (2015). Experimental study of height Effect and Surface Roughness of crump Weirs on Over Flow Characteristics. Ph.D. Dissertation, University of Babylon , Iraq