

คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของการไหลผ่านฝายทดน้ำแบบกำแพงตั้ง Hydraulic Properties of Flow over Vertical Drop Weir

รณกร เทพวงษ์¹, สุธรรม ไรจนเมฆา², พิทยา สุขจินดา³ และ สันติ ไทยยืนวงษ์^{4*}

^{1, 2, 3, 4}สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและทดสอบคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของการไหลผ่านฝายสัน ครึ่ง วงกลมแบบกำแพงตั้ง โดยการทดสอบการไหลผ่านรางน้ำเปิดในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ขนาดความกว้างของ รางน้ำเปิดเท่ากับ 75 มิลลิเมตร โดยสร้างและทดสอบลักษณะการไหลในทางน้ำเปิดผ่านฝาย 12 แบบ ที่มี ความสูง 70, 100 และ 150 มิลลิเมตร ความหนาสันฝาย 18, 25, 40 และ 55 มิลลิเมตร ตามลำดับ จาก การศึกษาพบว่าที่อัตราการไหลของน้ำเดียวกันความสูงของน้ำเหนือสันฝายเพิ่มขึ้นเมื่อฝายมีความหนาเพิ่มขึ้น เมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การไหลเปรียบเทียบกับความหนาของสันฝายพบว่า ฝายที่มีความหนาน้อยจะมีค่า สัมประสิทธิ์การไหลเข้าใกล้ 1 มากกว่าฝายที่มีความหนามากกว่า

คำสำคัญ : ฝายกำแพงตั้ง สัมประสิทธิ์การไหล ความลึกวิกฤต

* Corresponding author, e-mail: santi.tha@rmutr.ac.th

Abstract

The objective of this research was to test the hydraulic properties of the flow through the standing wall hemispherical ridge. The flow through the open channel was tested in a hydraulics laboratory. Weirs were 75 mm wide and 70, 100 and 150 mm high, and the weir crest thickness was 18, 25, 40 and 55 mm. From the study, it was found that at the same flow rate, the height of the water above the weir crest increased when the weir is thicker. When calculating the flow coefficient compared to the thickness of weir, it was found that the smaller weirs have a flow coefficient closer to 1 than the thicker weirs.

Keywords: Vertical drop weir, Discharge coefficient, Critical depth

1. ที่มาและความสำคัญ

ฝายเป็นโครงสร้างภูมิปัญญาทางการชลประทานมีลักษณะเป็นเขื่อนน้ำล้นใช้สำหรับการเปลี่ยนขนาดและรูปแบบการไหลของแม่น้ำ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก เป็นภูมิปัญญาของคนในอดีต โดยชาวบ้านท้องถิ่นจะทำการสร้างฝายลงลุ่มน้ำสาขาย่อย เช่น ห้วย ลำธาร หรือลงลุ่มน้ำหลักเช่นแม่น้ำ โดยนิยมสร้างเป็นฝายที่ยาวตลอดช่วงตามขวางของแม่น้ำ ฝายทุกแห่งต้องสร้างให้มีความสูงมากพอสำหรับทดน้ำให้ส่งเข้าคลองส่งน้ำได้ และจะต้องมีความยาวมากพอที่จะให้น้ำที่ไหลมา ไหลข้ามฝายไปได้อย่างปลอดภัย โดยไม่ทำให้เกิดน้ำท่วมตลิ่งสองฝั่งมากเกินไป ปัจจุบันทางภาครัฐก็มีการนำแนวคิดมาใช้ในการป้องกันน้ำท่วมด้วย

ฝายแบบกำแพงตั้งเป็นฝายประเภทหนึ่งที่มีรูปร่างหน้าตัดของฝายทำให้เกิดการไหลของน้ำผ่านสันฝายโดยอิสระในลักษณะ Free overfall flow เมื่อน้ำไหลข้ามสันฝายก็จะตกลงสู่พื้นด้านท้ายฝายแล้วไหลออกสู่ทางน้ำด้านท้าย

การศึกษานี้เป็นการทดสอบหาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของการไหลผ่านฝายแบบกำแพงตั้งที่สันมีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม เพื่อใช้เป็นต้นแบบสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ของเครื่องมือวัดอัตราการไหลผ่านฝายและเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลที่เกิดขึ้น โดยทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของการไหลผ่านฝายแบบกำแพงตั้งที่สันครึ่งวงกลมในห้องปฏิบัติการ โดยศึกษาอิทธิพลความหนาของฝายต่อค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านฝาย

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฝายเป็นอาคารที่สร้างขึ้นสำหรับทดน้ำในลำน้ำที่ไหลมาในปริมาณต่างๆ กันให้มีระดับสูงจนสามารถส่งน้ำเขาคล่องส่งน้ำที่ชุดออกสองฝั่งลำน้ำด้านหน้าฝายลดและไปตามสภาพภูมิประเทศให้กับพื้นที่เพาะปลูกที่อยู่ด้านท้าย (ปราโมทย์ ไม้กลัด, 2524)

โดยหน้าที่ของฝายนอกจากการทดน้ำแล้ว เมื่อน้ำมีระดับสูงมากกว่าระดับของสันฝาย น้ำก็จะไหลข้ามสันฝายออกไปสู่ด้านท้ายน้ำ ฝายจึงทำหน้าที่ระบายน้ำล้นด้วย จึงอาจเรียกเป็น ฝายน้ำล้นหรือฝายระบายน้ำ ในกรณีที่สร้างฝายไว้เพื่อระบายน้ำส่วนเกินออกจากเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำมักเรียกฝายนั้นว่าทางระบายน้ำล้น (ปราโมทย์ พลพนธนาวิ, 2554)

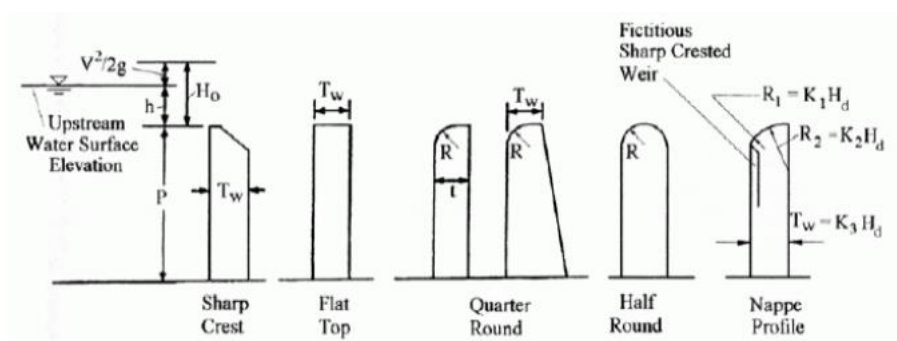
ฝายมีอยู่หลายแบบซึ่งจำแนกตามรูปร่างลักษณะการทำงานดังนี้ (ปราโมทย์ ไม้กลัด, 2524)

- ฝายสันคม (Sharp Crested Weir) เป็นฝายที่มีสันคมลักษณะการไหลเป็นแบบไหลตกอิสระ โดยเกิด Critical depth ที่ตำแหน่งสันฝายสันคม ได้แก่ ฝายวัดน้ำแบบฝายสันคมแบบต่างๆ พิจารณาจากอัตราส่วนความลึกของน้ำที่ไหลผ่านฝายต่อความหนาของสันฝายมากกว่า 15

- ฝายสันกว้าง (Broad Crested Weir) เป็นฝายที่มีสันฝายหนาหรือกว้างลักษณะการไหลที่มีการกระจายความดันสถิตเท่ากันตลอดความกว้างบนสันฝาย หรือเกิด Critical depth เกือบทุกตำแหน่งบนสันฝาย โดยทั่วไปจะหมายถึง ฝายวัดน้ำแบบฝายสันกว้างรูปแบบต่างๆ พิจารณาจากอัตราส่วนความลึกของน้ำที่ไหลผ่านฝายต่อความหนาของสันฝาย ไม่เกิน 1

- ฝายสันสั้น (Short crested weir) มีลักษณะการไหลเหนือสันฝายเป็นแบบการไหลตกอิสระ เช่นเดียวกับฝายสันคม โดย Critical depth จะเกิดที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนสันฝาย ฝายรูปแบบต่างๆ ที่ไม่ใช่ฝายวัดน้ำแบบสันคมและแบบสันกว้าง จะจัดอยู่ในฝายกลุ่มนี้ เช่น ฝายทดน้ำ ฝายระบายน้ำ หรือทางระบายน้ำล้น พิจารณาได้จากอัตราส่วนความลึกของน้ำที่ไหลผ่านฝายต่อความหนาของสันฝายอยู่ระหว่าง 1 ถึง 15

สำหรับฝายแบบกำแพงตั้งเป็นฝายที่รูปร่างเหมือนกำแพงตั้งในแนวเกือบตั้ง หน้าตัดของฝายทำให้เกิดการไหลของน้ำผ่านสันฝายโดยอิสระในลักษณะ Free overfall flow ยอดสันฝายมีลักษณะต่างๆ ดังภาพที่ 1

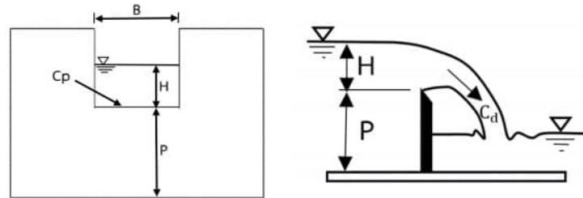


ภาพที่ 1 ลักษณะของสันฝายรูปแบบต่างๆ

ที่มา: ปราโมทย์ พลพนธนาวิ, 2554

ฝายหน้าตัดลักษณะในกลุ่มนี้จัดเป็นฝายสันสั้น ซึ่งถือว่าอยู่ตรงกลางระหว่างฝายสันคมกับฝายสันกว้าง โดยมีคุณสมบัติทางชลศาสตร์คล้ายฝายสันคมคือมี Critical depth เหนือสันฝายตำแหน่งเดียว ในขณะที่สันฝายมีความกว้างแต่ไม่กว้างจนเป็นฝายสันกว้าง ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านฝายขึ้นอยู่กับรูปร่างของสันฝาย

สมการคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายกรณีการไหลแบบอิสระ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แผ่นฝายกรณีการไหลแบบอิสระ

ที่มา: ปราโมทย์ พลพณนาวิ, 2554

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

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านฝาย (cms)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก = $9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$

H_e = ความลึกของระดับน้ำที่ไหลผ่านฝายวัดจากจุดควบคุม Control point (m)

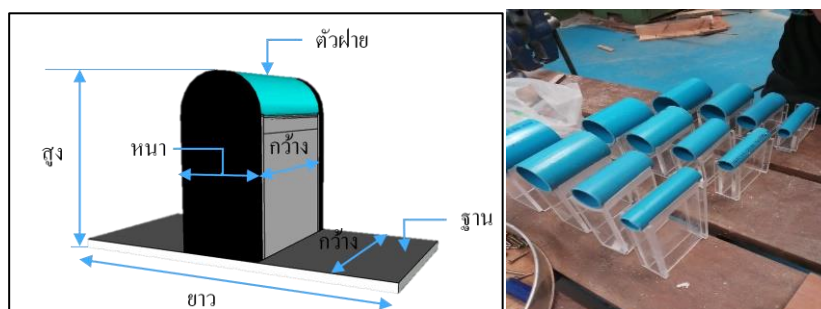
B = ความกว้างของสันฝาย

C_d = ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล

4. วิธีดำเนินการวิจัย

1.) การออกแบบ และติดตั้งชุดอุปกรณ์

แบบจำลองฝายที่ใช้ในการทดสอบทำจากแผ่นอะคริลิกใสใช้ทำแบบจำลองผิวหน้าฝายและฐานฝาย และท่อ PVC นำมาใช้ทำสันฝายแบบครึ่งวงกลม ดังภาพที่ 3 โดยสันฝายมีความหนา 3 ขนาด และมีความสูง 3 ขนาดดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 3 แบบจำลองฝายแบบก้ำแพงดังที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 1 ขนาดและมิติของฝายที่ใช้ในการทดสอบ

หมายเลข ฝาย	ชื่อฝาย	มิติของฝาย		
		หนา (mm)	สูง (mm)	กว้าง (mm)
1	RCW18-70	18	70	75
2	RCW25-70	25	70	75
3	RCW40-70	40	70	75
4	RCW55-70	55	70	75
5	RCW18-100	18	100	75
6	RCW25-100	25	100	75
7	RCW40-100	40	100	75
8	RCW55-100	55	100	75
9	RCW18-150	18	150	75
10	RCW25-150	25	150	75
11	RCW40-150	40	150	75
12	RCW55-150	55	150	75

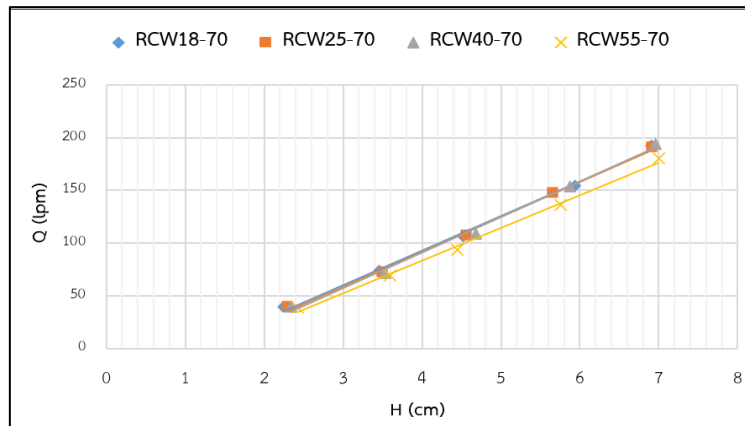
2.) การทดสอบการไหลผ่านฝายกำแพงตั้ง

ติดตั้งฝายในรางน้ำเปิดเพื่อทำการทดลอง ทำการทดสอบการไหลผ่านฝายทั้ง 12 ขนาด โดยกำหนดระดับน้ำเป็น 5 ระดับ ทุกขนาด บันทึกค่าความสูงน้ำเหนือสันฝายและอัตราการไหล คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การไหลเปรียบเทียบกับกัน

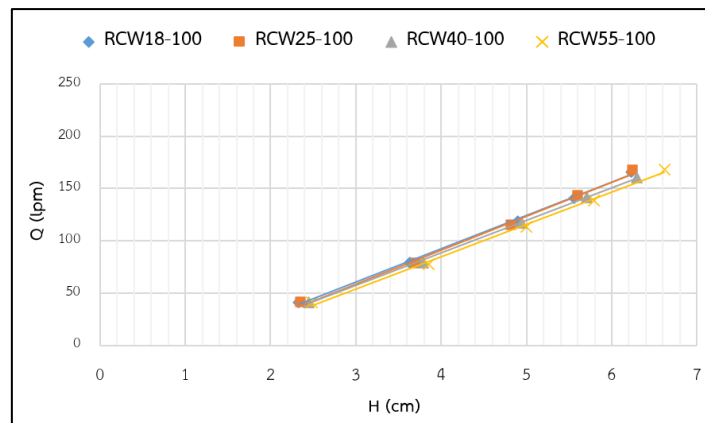
5. ผลและวิจารณ์

1.) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความสูงของน้ำเหนือสันฝาย

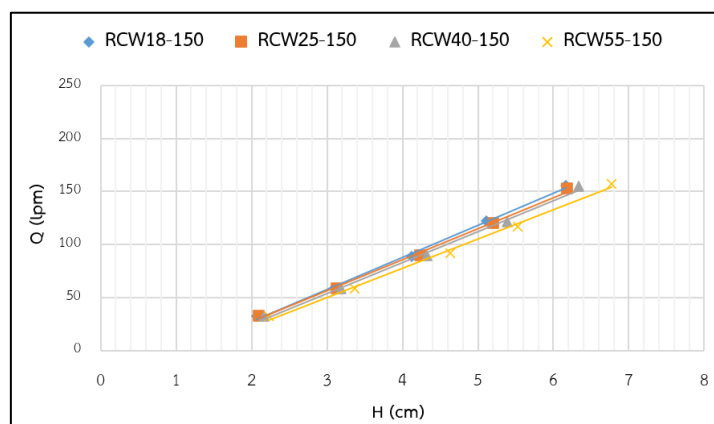
จากการทดสอบการไหลผ่านฝายแบบกำแพงตั้งตามมิติที่แสดงในตารางที่ 1 ผลการทดสอบแสดงในภาพที่ 4 – 6 จำแนกตามความสูงจากพื้นทางน้ำที่ความสูง 70, 100 และ 150 มิลลิเมตร ตามลำดับ และในแต่ละความสูงจะเปรียบเทียบกับระหว่างความหนาของสันฝายที่ 18, 25, 40 และ 55 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่าที่อัตราการไหลเท่ากันฝายที่มีความหนามากกว่า มีความสูงของน้ำเหนือสันฝายสูงกว่า และฝายที่มีความสูงจากพื้นทางน้ำต่ำกว่าจะมีมีความสูงของน้ำเหนือสันฝายสูงกว่า



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านฝายและความสูงของน้ำเหนือสันฝายที่มีความสูงจากระดับท้องน้ำ 70 มิลลิเมตร



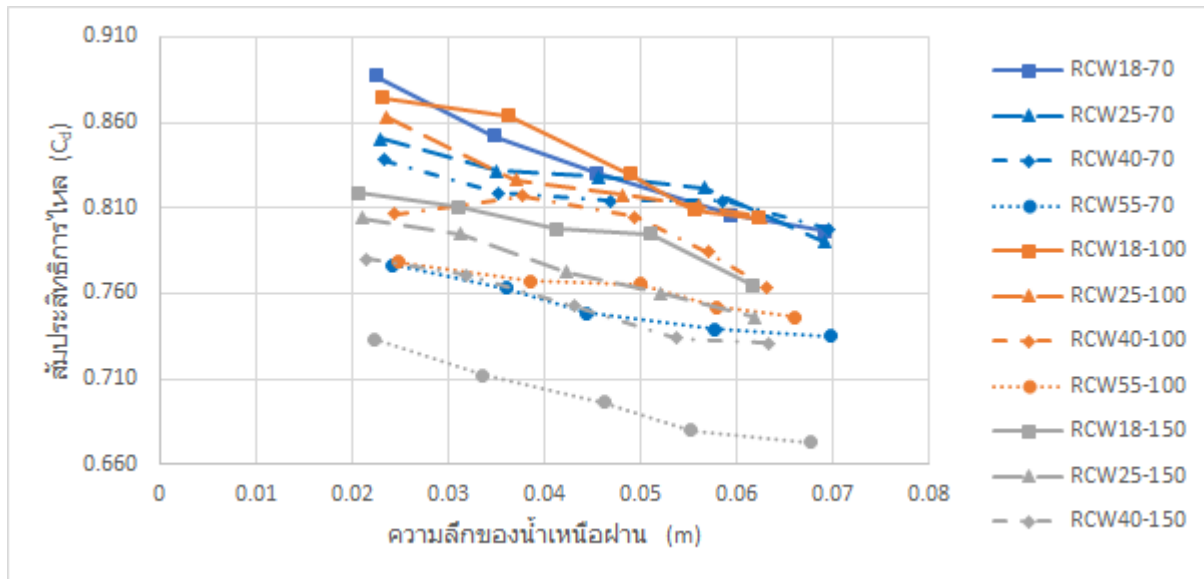
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านฝายและความสูงของน้ำเหนือสันฝายที่มีความสูงจากระดับท้องน้ำ 100 มิลลิเมตร



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านฝายและความสูงของน้ำเหนือสันฝายที่มีความสูงจากระดับท้องน้ำ 150 มิลลิเมตร

2.) สัมประสิทธิ์การไหล

ค่าสัมประสิทธิ์การไหล คำนวณจากค่าอัตราการไหลที่วัดได้กับความสูงของน้ำเหนือสันฝายดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำเหนือสันฝายที่อัตราการไหลต่างๆ กับค่าสัมประสิทธิ์การไหล เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างฝายที่มีความหนาต่างกันจะพบว่า สัมประสิทธิ์การไหลของฝายที่มีความหนามากกว่าจะมีค่าต่ำกว่าฝายที่มีความหนาน้อยกว่า และฝายที่มีความสูงจากทางน้ำต่ำกว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลสูงกว่าฝายที่มีความหนามากกว่า



ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_d กับค่า H ของฝายแบบกำแพงตั้ง

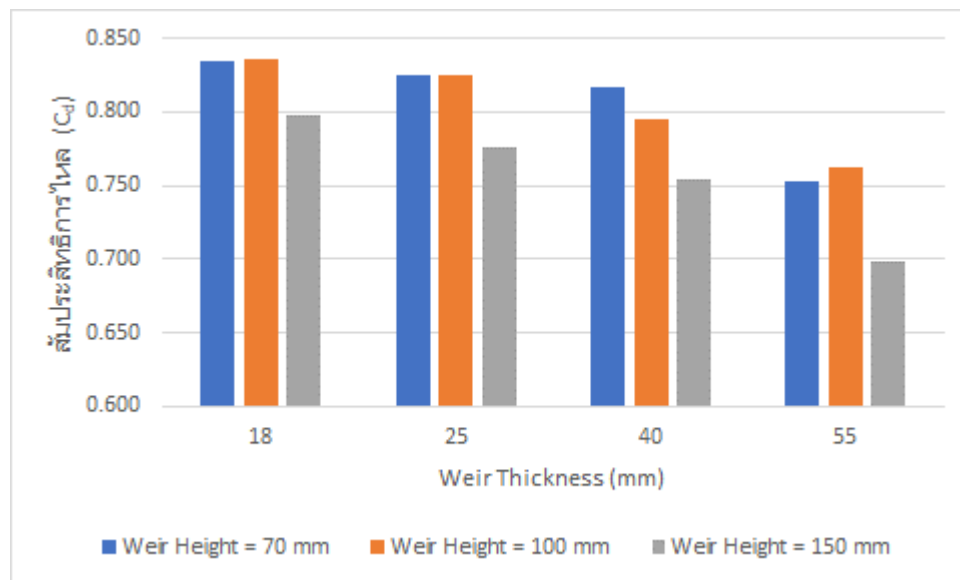
เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การไหลของฝายที่มีมิติเดียวกันมาเฉลี่ยกันทุกอัตราการไหลดังแสดงในตารางที่ 2 ที่ความสูงจากระดับท้องน้ำถึงจุดควบคุม 70 mm RCW18-70, RCW25-70, RCW40-70 และ RCW55-70 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.83, 0.82, 0.81 และ 0.75 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล ที่ความสูงจากระดับท้องน้ำถึงจุดควบคุม 100 mm RCW18-100, RCW25-100, RCW40-100 และ RCW55-100 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.83, 0.82, 0.79 และ 0.76 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล ที่ความสูงจากระดับท้องน้ำถึงจุดควบคุม 150 mm RCW18-150, RCW25-150, RCW40-150 และ RCW55-150 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.80, 0.77, 0.75 และ 0.70 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลเฉลี่ย

ฝาย	Q (m^3/s)	Q (lpm)	H (m)	C_d เฉลี่ย
RCW18-70	1.89×10^{-3}	113.34	4.62×10^{-2}	0.83
RCW25-70	1.86×10^{-3}	111.57	4.59×10^{-2}	0.82

RCW40-70	1.90×10^{-3}	113.72	4.67×10^{-2}	0.81
RCW55-70	1.72×10^{-3}	103.42	4.65×10^{-2}	0.75
RCW18-100	1.82×10^{-3}	109.20	4.53×10^{-2}	0.83
RCW25-100	1.82×10^{-3}	108.94	4.55×10^{-2}	0.82
RCW40-100	1.80×10^{-3}	108.06	4.64×10^{-2}	0.79
RCW55-100	1.80×10^{-3}	107.72	4.75×10^{-2}	0.76
RCW18-150	1.52×10^{-3}	91.39	4.11×10^{-2}	0.80
RCW25-150	1.51×10^{-3}	90.47	4.17×10^{-2}	0.77
RCW40-150	1.52×10^{-3}	91.39	4.28×10^{-2}	0.75
RCW55-150	1.52×10^{-3}	91.42	4.51×10^{-2}	0.70

เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การไหลเฉลี่ยตามความหนาและความสูงจากพื้นทางน้ำดังกราฟในภาพที่ 8 พบว่าสัมประสิทธิ์การไหลเฉลี่ยจะสัมพันธ์กับความหนาและความสูงของสันฝาย ฝายที่มีความหนา มากสัมประสิทธิ์การไหลจะน้อยกว่าฝายที่มีความหนาน้อยกว่า และฝายที่มีความสูงน้อยจะมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลมากกว่าฝายที่มีความสูงมากกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความหนาของสันฝายแบบครึ่งวงกลมมีผลต่อสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านฝาย



ภาพที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลเฉลี่ยตามความหนาและความสูงของสันฝายจากพื้นทางน้ำ

6. สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของการไหลผ่านฝายสันครึ่งวงกลมแบบกำแพงตั้ง การไหลเป็นแบบตกอิสระ เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การไหลในทางน้ำเปิด ผลการศึกษาดังนี้

1. จากผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหล ที่วัดได้กับค่าความสูงของน้ำเหนือสันฝาย จะเห็นได้ว่าความสูงของน้ำเหนือฝายมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นในทุกรูปแบบฝาย และค่าอัตราการไหลมีค่าขึ้นลงเล็กน้อยที่ขนาดหน้าตัดของฝาย

2. ที่ระยะความสูงของสันฝายจากท้องน้ำถึงจุดควบคุม 70 มิลลิเมตร RCW18-70, RCW25-70, RCW40-70 และ RCW55-70 มีค่า C_d เฉลี่ยเท่ากับ 0.83, 0.82, 0.81 และ 0.75 ตามลำดับ

3. ที่ระยะความสูงของฝายสันมนจากท้องน้ำถึงจุดควบคุม 100 มิลลิเมตร RCW18-100, RCW25-100, RCW40-100 และ RCW55-100 มีค่า C_d เฉลี่ยเท่ากับ 0.83, 0.82, 0.79 และ 0.76 ตามลำดับ

4. ที่ระยะความสูงของฝายสันมนจากท้องน้ำถึงจุดควบคุม 150 มิลลิเมตร RCW18-150, RCW25-150, RCW40-150 และ RCW55-150 มีค่า C_d เฉลี่ยเท่ากับ 0.80, 0.77, 0.75 และ 0.70 ตามลำดับ

จากการพิจารณาเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การไหลของฝายสันมนที่ความสูงแต่ละระดับจะเห็นได้ว่าเมื่อความสูงของน้ำเหนือฝายเพิ่มขึ้นสัมประสิทธิ์การไหลจะมีค่าลดลง ที่ความสูง 150, 100 และ 70 มิลลิเมตรตามลำดับ และสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลดลงเมื่อขนาดหน้าตัดของฝายมากขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้สนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณนายชาครัฐ หวังหิรัญโชติ นางสาวตรุณีนุช ฐกุลเรืองโรจน์ และนางสาวชุติมา ทองดี เพ็ญทองหิน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ปราโมท พลพณะนาวิ, หลักการคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทาน, การจัดการความรู้ตามแผนการจัดการความรู้เพื่อสนับสนุนประเด็นยุทธศาสตร์กรมชลประทานประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554, สำนักชลประทานที่ 8, 2554

[2] ปราโมทย์ ไม่กล้าด, คู่มืองานเขื่อนดินขนาดเล็กและฝาย, สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน, นนทบุรี, 2524