บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายสันวงกลมทั้ง 7 แบบ โดยการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของฝายสันวงกลม 3 อย่าง ได้แก่ ค่ารัศมีวงกลมสันฝาย (R) , ค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) , ความสูงฝาย (P) และการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝาย ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย (Q) สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้ คือ

6.1.1 การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะฝายสันวงกลม และการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d)

1. การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหล (Q) ที่อัตราการไหลต่างๆกัน จำนวน 19 ค่า โดยกำหนดให้อยู่ในรูปแบบของ อัตราส่วนระหว่าง หัวพลังงานออกแบบต่อรัศมีวงกลมสันฝาย (H_o / R) ที่มีค่าระหว่าง 0.217 ถึง 2.471 เมื่อค่า Q มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) มีค่าเพิ่มขึ้นตามด้วย

2. การศึกษาผลกระทบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีวงกลมสันฝาย (R) ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) โดยมีค่า H_o / R อยู่ระหว่าง 0.217 ถึง 2.471ที่ความสูงฝาย (P) และค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) เท่ากัน เมื่อค่ารัศมีวงกลมสันฝาย (R) เพิ่มขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) มีค่าลดลง

3. การศึกษาผลกระทบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) โดยมีค่า H_o / R อยู่ระหว่าง 0.275 ถึง 1.335 ที่ความสูงฝาย (P) และรัศมีวงกลมสันฝาย (R) เท่ากัน โดยการเปลี่ยนแปลงค่า θ = 30° , 45° , 60° สรุปได้ว่า

3.1 กรณีที่ค่า H_o / R มีค่าอยู่ระหว่าง 0.275-0.750 การเปลี่ยนแปลงค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) ($30° < \theta < 60°$) ไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d)

3.2 กรณีที่ค่า H_o / R มีค่าอยู่ระหว่าง 0.75-1.335 การเปลี่ยนแปลงค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) จาก $\theta = 45°$ (ลาดปานกลาง) ไปสู่ $\theta = 60°$ (ลาดชันมาก) ($45° < \theta < 60°$) ไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) และการเปลี่ยนแปลงค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) จากค่า $\theta = 45°$ (ลาดปานกลาง) และ $\theta = 60°$ (ลาดชันมาก) ลดลงเป็นค่า $\theta = 30°$ (ลาดชันน้อย) มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) ลดลง

4. การศึกษาผลกระทบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงฝาย (P) ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) โดยมีค่า H_o / R อยู่ระหว่าง 0.275 ถึง 1.374 ที่ค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) และค่ารัศมีวงกลมสันฝาย (R) เท่ากัน เมื่อค่าความสูงฝาย (P) เพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) มีค่าลดลง

5. ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) ของฝายสันวงกลมที่จะให้ค่ามากนั้น สรุปได้ว่าสิ่งสำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณาประกอบกันคือ ค่าความสูงฝาย (P) , ค่ารัศมีวงกลมสันฝาย (R) ค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) , และ ค่าอัตราการไหล (Q)

ในการออกแบบฝายโดยทั่วไปค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดให้เบื้องต้น ได้แก่ อัตราการไหลสูงสุด ($Q_{max.}$) ,ค่าความสูงฝาย (P) ,ค่าหัวพลังงานออกแบบ (H_o) ดังนั้นส่วนที่จะต้องพิจารณาคือ ค่ารัศมีวงกลมสันฝาย (R) , ค่ามุมลาดด้ายท้ายน้ำ (θ) ถ้าต้องการให้ฝายสันวงกลม มีค่า C_d สูงๆควรพิจารณาให้ค่ารัศมีวงกลมสันฝาย (R) มีค่าน้อยๆ และค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ)มีค่ามาก (ความชัน) จากผลการศึกษาค่า C_d มาก เมื่อค่า H_o / R อยู่ระหว่าง 1.81 - 2.471 ค่า θ เท่ากับ 45° ค่า $C_d = 0.69$ อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงโอกาสที่จะเกิดค่าความดัน ลบ ที่บริเวณสันฝาย และลาดด้านท้ายน้ำด้วยกับการที่นำฝายที่มีค่า R น้อยๆ และค่า θ มาก (ความชันสูง) ไปใช้งาน

6. จากความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า C_d กับ ลักษณะทางกายภาพของฝายสันวงกลมได้แก่ ค่ารัศมีวงกลมสันฝาย (R) , มุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) , และ ความสูงฝาย (P) กับ อัตราการไหล (Q) ที่อยู่ในรูปของหัวพลังงานออกแบบ (H_o) ได้เสนอสมการที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณค่า C_d จากผลการศึกษา ดังนี้คือ

$$C_d = 0.718 \left(H_o/R \right)^{0.153} \left(H_o/P \right)^{0.115}$$

โดยมีค่า H_o/R อยู่ระหว่าง 0.217 -2.471 ลักษณะทางกายภาพที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ รัศมีวงกลมสันฝาย (R) รองลงไปคือ ความสูงฝาย (P) และ ค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) ตามลำดับ

6.1.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของฝายสันวงกลม กับ การกระจายความเร็วการไหลของน้ำผ่านฝาย

1. ลักษณะการกระจายความเร็วการไหลในรางน้ำด้านเหนือน้ำของตัวฝายแบ่งออกเป็นสองส่วนความลึกคือ ส่วนที่ต่ำกว่าสันฝาย บริเวณความลึกที่ติดกับพื้นท้องน้ำค่าความเร็วการไหลมีค่าลดลงตลอดการไหลที่มุ่งเข้าสู่ตัวฝาย ที่ระดับความลึกมากขึ้นค่าความเร็วการไหลจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากระดับความลึกเดิม โดยค่าความเร็วการไหลในทิศทางมุ่งสู่ตัวฝายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นก่อนที่จะถึงตัวฝายแสดงให้เห็นลักษณะของการบีบตัวที่มุ่งขึ้นสู่สันฝายก่อนที่จะเข้าถึงตัวฝาย

ส่วนการไหลที่อยู่เหนือระดับสันฝาย ตลอดระยะทางการไหลที่มุ่งเข้าสู่สันฝายค่าความเร็วการไหลจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ และจะมีค่ามากที่สุดบริเวณสันฝาย แสดงให้เห็นได้ว่า บริเวณการไหลส่วนที่อยู่เหนือสันฝายมีค่าความเร็วการไหลสูงกว่าส่วนที่อยู่ต่ำกว่าระดับสันฝายและการบีบตัวการไหลสู่สันฝายจะมากกว่า

2. การกระจายความเร็วการไหลบนสันฝาย ค่าความเร็วการไหลมีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการไหลด้านเหนือน้ำมุ่งเข้าสู่ตัวฝาย เนื่องจากการบีบตัวการไหลทำให้หน้าตัดการไหลลดลงและความเร็วการไหลบนสันฝายจะมีค่ามากขึ้นเมื่อความลึกจากผิวน้ำมากขึ้น

เมื่อพิจารณาตำแหน่งที่มีค่าความเร็วการไหลมากที่สุด ($V_{max.}$) บนสันฝาย สำหรับค่า $Q_{max.}$ ที่กำหนด พบว่า $V_{max.}$ จะผันแปรกับรูปร่างลักษณะตัวฝาย คือ ความสูงฝาย (P) รัศมีสันฝาย (R), ค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) ดังนี้คือ

ค่า $V_{max.}$ จะมีค่ามากขึ้นเมื่อ ค่า R ลดลง

ค่า $V_{max.}$ จะมีค่ามากขึ้นเมื่อ ค่า θ มากขึ้น

ค่า $V_{max.}$ จะมีค่ามากขึ้นเมื่อ ค่า P ลดลง

3. จากการกระจายความเร็วรูปตัดตามขวาง และ ตามยาวสรุปได้ว่าค่าความเร็วบริเวณติดกับท้องน้ำ และผนังด้านข้างของทางน้ำมีค่าความเร็วการไหลต่ำกว่าบริเวณช่วงกลางรางน้ำที่ระดับความลึกการไหลสูงขึ้นค่าความเร็วเพิ่มขึ้น เนื่องจากบริเวณที่ติดกับพื้นท้องน้ำได้รับอิทธิพลจากความผิดของลักษณะพื้นผิวท้องน้ำ การไหลในรางน้ำด้านเหนือน้ำของตัวฝายบริเวณความลึกที่ติดกับพื้นท้องน้ำค่าความเร็วการไหลมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะทางการไหลของน้ำที่มุ่งเข้าสู่ตัวฝาย เมื่อระดับความลึกจากพื้นท้องน้ำเพิ่มขึ้นค่าความเร็วการไหลจะสูงขึ้น ค่าความเร็วการไหลแยกออกเป็นเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่ค่าความเร็วสูงขึ้น และ ส่วนที่ค่าความเร็วลดลง ส่วนที่ค่าความเร็วสูงขึ้นเกิดจากการบีบตัวการไหลสู่สันฝาย และส่วนค่าความเร็วการไหลลดลงเกิดจากการกีดขวางการไหลในทางน้ำจากตัวฝาย

6.1.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของฝายสันวงกลม และคุณลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝาย กับ ความดันน้ำและแรงดันที่มีต่อตัวฝาย

1. ความดันน้ำที่กระทำต่อตัวฝายด้านเหนือน้ำมีค่าเป็น บวก (ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ) เสมอ ค่ามากที่สุดอยู่บริเวณติดกับพื้นท้องน้ำ และจะลดลงตามลำดับเมื่อความลึกจากพื้นท้องน้ำสูงขึ้น เมื่อนำค่าความดันมาวิเคราะห์หาค่าแรงดันรวมในแนวราบ (F) ที่กระทำต่อตัวฝายด้านเหนือน้ำ พบว่าค่าแรงดันรวม (F) มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามค่าผลรวมของ ค่าหัวพลังงานออกแบบ และ ความสูงฝาย (H_o + P) ส่วนผลการเปลี่ยนแปลงค่า รัศมีวงกลมสันฝาย (R) และค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) ต่อค่าแรงดันรวม (F) เมื่อเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของค่า P และ H ถือว่า น้อยมาก

2. ความดันน้ำบนสันฝายต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของฝาย ได้แก่ความสูงฝาย (P) , รัศมีวงกลมสันฝาย (R) , ค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) และ อัตราการไหล (Q) สรุปได้ว่าความดันที่เกิดขึ้นมีทั้งค่าความดัน บวก และ ค่าความดัน ลบ (ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ) โดยค่าความดัน ลบจะเกิดกับฝายที่มีค่า R น้อยๆ มีค่า H_o / R อยู่ระหว่าง 1.707 - 2.471

สำหรับลักษณะของฝายที่มีต่อค่าความดันบนสันฝายดังนี้คือ

2.1 ที่อัตราการไหลเดียวกัน ค่าความดันบนสันฝาย ลดลง เมื่อค่า R ลดลง เนื่องจากการที่ลดค่า R มีผลทำให้การกีดขวางการไหลของน้ำน้อยลง

2.2 ที่อัตราการไหลเดียวกัน ค่าความดันบนสันฝาย ลดลง เมื่อค่า θ เพิ่มขึ้น เนื่องจากการที่ ค่า θ เพิ่มขึ้น มีผลทำให้การกีดขวางการไหลของน้ำน้อยลง

2.3 ที่อัตราการไหลเดียวกัน ความดันบนสันฝายเพิ่มขึ้นเมื่อค่า P มีค่าเพิ่มขึ้น

3. ความดันน้ำที่กระทำกับผิวฝายที่ลาดด้านท้ายน้ำมีทั้งค่าความดันที่เป็น บวก และค่าความดันที่เป็น ลบ โดยค่าความดันลบจะเกิดกับฝายสันวงกลมที่มีค่ารัศมีวงกลมสันฝาย (R) น้อยๆ กับค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) ตั้งแต่ ปานกลาง (45°) ถึง ชันมาก (60°) เนื่องจากลักษณะดังกล่าวทำให้โอกาสที่ม่านน้ำลอยตัวจากผิวฝายมากขึ้นโดยเฉพาะที่อัตราการไหลสูง

6.1.4 การเปรียบเทียบระหว่างฝายสันวงกลม และ ฝายโอกี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) สรุปได้ว่า ที่ความสูงฝาย (P) เท่ากัน ค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) = 45° ที่ค่า H_o/P ระหว่าง 0.060 - 0.257 ค่า C_d ของฝายสันวงกลมมีค่าใกล้เคียงกับค่า C_d ของฝายโอกี้ โดยมีค่า C_d เฉลี่ยของฝายสันวงกลม = 0.563 และ ค่า C_d เฉลี่ยของฝายโอกี้ = 0.556 มีความแตกต่างกันเท่ากับ 1.25 % ถือได้ว่ามีความสามารถในการระบายน้ำผ่านฝายที่ใกล้เคียงกันมาก

2. การกระจายความเร็วการไหลด้านเหนือน้ำของตัวฝายจากผลการศึกษาจากลักษณะการกระจายความเร็วการไหลตามขวางและตามยาว ของฝายสันวงกลมที่มีค่าความสูงฝาย และมุมลาดด้านท้ายน้ำเท่ากัน โดยได้ทำการเปรียบเทียบกับฝายสันวงกลมและฝายโอกี้ที่มีค่า C_d ใกล้เคียงกันมากที่สุด สรุปได้ว่า ลักษณะการกระจายความเร็วการไหลตามขวางและตามยาวมีความใกล้เคียงและมีความคล้ายคลึงกันมาก

3. การกระจายความดันและค่าแรงดันที่กระทำกับตัวฝาย จากผลการศึกษาลักษณะการกระจายความดันด้านเหนือน้ำที่กระทำต่อผิวฝาย โดยทำการเปรียบเทียบกันระหว่างฝายโอกี้และฝายสันวงกลมที่มีค่า C_d ใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยมีความสูงฝาย และมุมลาดด้านท้ายน้ำเท่ากัน สรุปได้ว่า ลักษณะการกระจายความดัน และแรงดันรวมแนวราบที่กระทำต่อตัวฝายมีความใกล้เคียงและแตกต่างกันน้อยมาก

6.1.4 แนวทางเบื้องต้นการออกแบบพารามิเตอร์ของฝายสันวงกลม

- ความสูงฝาย (P) คำนวณได้จาก ค่าอัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย (Q) และค่าความลึกการไหลด้านเหนือน้ำของฝาย (Y)

- รัศมีวงกลมสันฝาย (R) กำหนดได้โดยให้มีค่า H_o / R มีค่าอยู่ระหว่าง 0.217-1.606

- ค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) = 45°

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

1. ศึกษาการไหลของน้ำผ่านฝายสันวงกลม ในกรณีการไหลจม (Submerged Flow) โดยมีการควบคุมระดับน้ำด้านท้ายน้ำของฝาย

2. ศึกษาการไหลของน้ำผ่านฝายที่มีรูปลักษณะของสันฝายเป็นส่วนผสมของฝายสันวงกลมที่มีค่ารัศมีวงกลมสันฝาย หลายค่าประกอบกัน หรือ เป็นส่วนประกอบของฝายสันวงกลม กับฝายรูปทรงอื่น ต่อไป

3. ศึกษาพฤติกรรมของการกระจายความเร็วการไหลบริเวณด้านเหนือน้ำของฝายที่มีผลต่อการกัดเซาะ และการตกตะกอน

4. ศึกษาปัญหา คาวิเตชั่น (Cavitation) จากค่าความดันน้ำ เป็น ลบ ที่เกิดขึ้นบริเวณสันฝาย และ ด้านท้ายน้ำของฝาย พร้อมแนวทางการแก้ไข

5. ศึกษาการไหลของน้ำผ่านฝายที่ทำด้วยวัสดุอื่นนอกเหนือที่ทำการทดลอง