

ลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายสันวงกลม

นายวิกรม เปรมาสุด



สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974 - 331 - 642 - 6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FLOW CHARACTERISTICS OVER A CIRCULAR CRESTED WEIR



Mr. Wikrom Premasut

**สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Water Resources Engineering**

Department of Water Resources Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974 - 331 - 642 - 6

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายสันวงกลม

(Flow Characteristics over A Circular Crested Weir)

โดย

นาย วิกรม เปรมะสุด

ภาควิชา

วิศวกรรมแหล่งน้ำ

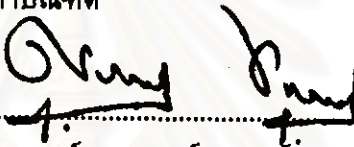
อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร. ทวนทัน กิจไพศาลสกุล

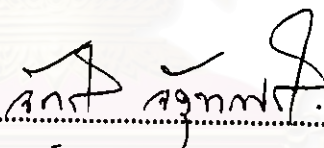
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อาจารย์ ดร. ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์

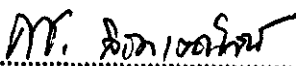
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

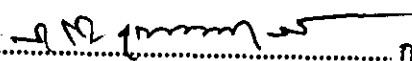

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์จักรี จิตุฑะศรี)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุจรีต คุณชนกุลวงศ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

วิกรม เปรมะสุด : ลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายสันวงกลม (FLOW CHARACTERISTICS OVER A CIRCULAR CRESTED WEIR) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. ทวนทัน กิจไพศาลสกุล, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร. วรรณิต ลิขิตเดชาโรจน์ ; 230 หน้า. ISBN 974-331-642-6.

การศึกษานี้เป็นการศึกษาลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายสันวงกลม โดยทดลองกับแบบจำลองฝายสันวงกลมจำนวน 7 แบบ และฝายโอ๊กจำนวน 1 แบบ แบบจำลองทั้งหมดทำการทดลองในรางน้ำ (Flume) ณ อาคารชลศาสตร์ 3 ฝ่ายชลศาสตร์ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

การทดลองได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง คุณลักษณะทางกายภาพของฝายสันวงกลม ได้แก่ ความสูงฝาย (P) , รัศมีวงกลมสันฝาย (R) , มุมลาดค้ำท้ายน้ำ (θ) ที่อัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย (Q) หรือความสูงของน้ำเหนือสันฝายค้ำเหนือหน้า (H) ที่ขนาดต่างๆ ที่มีผลต่อคุณลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝาย ได้แก่สัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) , การกระจายความเร็วการไหล (V) , ความดัน (p) , แรงดันแนวราบที่มีต่อตัวฝาย (F) พร้อมกันนี้ได้กำหนดแนวทางเบื้องต้นสำหรับการออกแบบพารามิเตอร์ทางกายภาพเหล่านี้ของฝายสันวงกลมและได้เปรียบเทียบระหว่างฝายสันวงกลมกับฝายโอ๊ก

จากผลการทดลองที่มีค่าอัตราการไหลในช่วงระหว่าง 0.64 - 8.83 ลิตร/วินาที หรือ ค่าอัตราส่วนระหว่างหัวพลังงานออกแบบ ต่อค่ารัศมีวงกลมสันฝาย (H_0/R) ในช่วงระหว่าง 0.217 - 2.471 พบว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของฝายสันวงกลมมีผล ต่อ การผันแปรคุณลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายสันวงกลมดังนี้ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) ขึ้นอยู่กับค่า H_0/R , H_0/P เป็นหลักโดยที่ค่า C_d เพิ่มขึ้น เมื่อ H_0/R และ H_0/P เพิ่ม การกระจายความเร็วการไหล (V) ผันแปรตามการเปลี่ยนแปลงรูปร่างฝายไม่มาก ส่วนค่าความดัน (p) และแรงดันในแนวราบที่มีต่อตัวฝาย (F) ขึ้นอยู่กับผลรวมระหว่างหัวพลังงานออกแบบ กับความสูงฝาย (H_0+P) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความลึกการไหลของน้ำค้ำเหนือหน้าของฝายเป็นหลัก

จากผลการศึกษาได้เสนอแนวทางการออกแบบเบื้องต้นของคุณลักษณะทางกายภาพของฝายสันวงกลมที่เหมาะสมดังนี้คือ ค่า $\theta = 45^\circ$, ค่า P คำนวณจากค่า Q และความลึกการไหลทางค้ำเหนือหน้าของฝาย , ค่า R ควรมีค่า H_0/R อยู่ในช่วง 0.217 - 1.606 เพื่อให้ความดันบนตัวฝายมีค่าเป็น บวก ทั้งหมด

จากการเปรียบเทียบระหว่างฝายสันวงกลมและฝายโอ๊กพบว่า ค่า C_d ของฝายทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกันโดยค่า C_d ของฝายสันวงกลมมีค่าเฉลี่ย = 0.563 และ C_d ของฝายโอ๊กมีค่าเฉลี่ย = 0.556 นอกจากนี้ลักษณะการกระจายความเร็วการไหลของน้ำ ความดันน้ำบนตัวฝายและแรงดันน้ำในแนวราบ ที่มีต่อตัวฝายสำหรับฝายทั้งสองแบบคล้ายคลึงกัน

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ
สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิติกร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ. จิตเดชาโรจน์

3971666321 WATER RESOURCES ENGINEERING
: MAJOR
KEY WORD: FLOW CHARACTERISTICS / CIRCULAR CRESTED WEIR

WIKROM PREMASUT : FLOW CHARACTERISTICS OVER A CIRCULAR CRESTED WEIR.
THESIS ADVISOR : TUANTAN KITPAISALSAKUL , Ph.D. THESIS CO-ADVISOR :
KANCHIT LIKITDECHAROTE , Ph.D. 230 pp. ISBN 974-331-642-6.

This study was aimed at the study of the flow characteristics over a circular crested weir. The experiments were carried out with 7 types of circular crested weir and a model of ogee weir. All models were placed across a flume in the hydraulic laboratory at the Hydraulic Model Test III Building , Hydraulics Division, Research & Development Center , Royal Irrigation Department

The experimentation was carried out to study the relationship between the physical characteristics of circular crested weir such as weir height (P), crest radius (R), downstream weir surface(θ) at various magnitudes of the flow discharge passing the weir (Q) or the flow depth above the weir crest level(H) which effected the flow characteristics over the weir such as discharge coefficient(C_d), velocity distribution(V), pressure(p) and horizontal force exerted on the weir (F). In addition , the preliminary guideline for the design of these physical parameters of the circular crested weir was determined. Also, the comparison between the circular crested weir and the ogee crested weir was carried out

From the test result for the range of flow rate from 0.64 to 8.83 l/s. or the range of ratio H_o/R from 0.217 to 2.471, it was found that the change of weir physical characteristics effects the change of the flow characteristics as follow. C_d is mainly dependent on H_o/R and H_o/P . C_d increased when H_o/R and H_o/P increased. The velocity distribution did not significantly varied with the weir shape. The pressure on the weir and the horizontal force exerted on the weir found to depend mainly on the sum of the energy design head and the weir height(H_o+P) which is close to the upstream flow depth of the weir.

As the study result , it recommended that the preliminary guideline for the design of the physical parameters of the circular crested weir is recommended as follows $\theta = 45^\circ$. P is specified with H_o/R in the range from 0.217 to 1.606 such that the pressure over the weir will be positive.

From the comparison between the circular crested weir and the ogee crested weir it was found that the values of C_d for both weir shapes were close to each other. Giving the average value of C_d of circular crested weir equal to 0.563 and the average value of C_d of ogee weir equal to 0.556. In addition, the velocity distribution(V), pressure (p) , and horizontal force exerted on weir(F) are similar for both weir shape.

ภาควิชา..... วิศวกรรมชลประทาน

สาขาวิชา..... วิศวกรรมชลประทาน

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์จักรี จัตูหะศรี รองศาสตราจารย์ ดร. สุจิต คุนชนกุลวงศ์ และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์ ดร. ทวนทัน กิจไพศาลสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษา และขอแนะนำ ตลอดจนความคิดเห็นต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา อีกทั้งบรรดาคณาจารย์วิศวกรรม แหล่งนำทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ และอบรมสั่งสอนข้าพเจ้าตลอดมา ทำให้ข้าพเจ้าเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมแหล่งนำ ทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วง ลงได้

อนึ่งข้าพเจ้าขอขอบคุณ อาจารย์มณฑิยา กังคศิเทียม ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน อาจารย์ปริญญา กมลสินธุ์ หัวหน้าฝ่ายชลศาสตร์ สำนักวิจัยและพัฒนา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์อนุญาตให้ใช้สถานที่พร้อมอุปกรณ์ปฏิบัติการชลศาสตร์ และคำปรึกษาต่างๆที่เป็น ประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งนี้ อีกทั้งวิศวกรและเจ้าหน้าที่ของฝ่ายชลศาสตร์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ระหว่างการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ คุณสมหมาย ม่วงไหม วิศวกรโยธา 7 สำนักออกแบบ วิศวกรรมฯ กรมชลประทาน ที่ได้ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยมาโดยตลอด ขอขอบคุณ คุณกนกศักดิ์ ตัสมา หัวหน้าฝ่ายออกแบบเขื่อน 4 สำนักออกแบบวิศวกรรมฯ ที่เป็นผู้ให้การสนับสนุน ในด้านการศึกษาโดยตลอด อีกทั้งขอขอบคุณวิศวกร และเจ้าหน้าที่ ฝ่ายออกแบบเขื่อน 4 สำนัก ออกแบบวิศวกรรมฯ ที่ช่วยเหลือด้านการประสานงานที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย พร้อมทั้งขอขอบคุณเพื่อน รวมทั้งรุ่นพี่ และรุ่นน้องในภาควิชาวิศวกรรมแหล่งนำที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านการเรียนตลอดมาและ เนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่น้องที่มีส่วนสนับสนุนในด้านการ เงิน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

วิกรม เปรมะสุด

สารบัญ

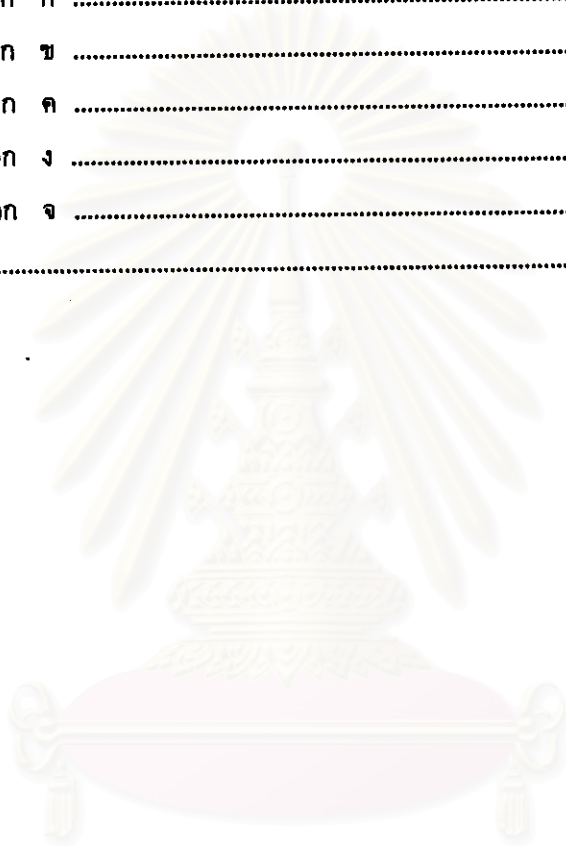
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และ ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	4
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา	7
2.1 นิยามฝ่าย	7
2.2 สมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของอัตราการไหล ของน้ำผ่านฝายกับความสูงระดับน้ำ (H)	8
2.3 การวิเคราะห์หาสูตรคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้า กรณีการไหลแบบอิสระ (Free Flow)	8
2.4 การวิเคราะห์หาสูตรคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสันวงกลม กรณีการไหลแบบอิสระ (Free Flow)	10
2.5 สมการเบอร์นูลลี เมื่อพิจารณาการไหล ระหว่างจุดใดจุดหนึ่งกับจุดอ้างอิง	14
2.6 การคำนวณแรงในแนวราบจากค่าการกระจายความดัน	16

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3	การศึกษาที่ผ่านมา	18
3.1	ฝ้ายสังวงกลม	18
3.2	ฝ้ายแบบโอ๊ก	24
3.3	ฝ้ายรูปไฮโดรพอยล์	29
3.4	ฝ้ายยาว	31
บทที่ 4	วิธีการศึกษาวิจัย	36
4.1	เครื่องมือที่ใช้ทำการทดลอง	36
4.2	วิธีทำการทดลอง	37
บทที่ 5	ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัย	54
5.1	ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง คุณลักษณะของฝ้ายสังวงกลมและการ เปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำผ่านฝ้าย ที่มีต่อ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d)	55
5.2	ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง คุณลักษณะของฝ้ายสังวงกลม กับ การกระจายความเร็วการไหลของน้ำผ่านฝ้าย	76
5.3	ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง คุณลักษณะของฝ้ายสังวงกลม กับ การกระจายความดันและแรงดันน้ำที่มีต่อตัวฝ้าย	89
5.4	ผลการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบระหว่างฝ้ายสังวงกลม และฝ้ายโอ๊ก.....	105
5.5	การออกแบบพารามิเตอร์คุณลักษณะทางกายภาพของฝ้ายสังวงกลม.....	112
บทที่ 6	สรุปและข้อเสนอแนะ	115
6.1	สรุปผลการศึกษา	115
6.2	ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป	120

สารบัญ (ต่อ)

รายการอ้างอิง	121
ภาคผนวก	123
ภาคผนวก ก	124
ภาคผนวก ข	145
ภาคผนวก ค	178
ภาคผนวก ง	206
ภาคผนวก จ	225
ประวัติผู้ศึกษา	230



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 - 1 แบบจำลองฝายสันวงกลมที่ทำการศึกษา.....	4
3 - 1 ค่า K และ n ของสมการหาโปรไฟล์.....	25
5 - 1 มิติแบบจำลองฝายสันวงกลม ที่เปลี่ยนแปลงค่ารัศมีวงกลมสันฝาย (R).....	55
5 - 2 มิติแบบจำลองฝายสันวงกลม ที่เปลี่ยนแปลงค่ามุมลาดชันท้ายน้ำ (θ).....	57
5 - 3 มิติแบบจำลองฝายสันวงกลม ที่เปลี่ยนแปลงค่าความสูงฝาย (P).....	59
5 - 4 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) กับ ลักษณะทางกายภาพของฝายสันวงกลม.....	65
5 - 5 ค่าความเร็วการไหลบริเวณศูนย์กลางรางน้ำค้ำน้ำเหนือหน้าตัวฝาย ที่ระดับต่ำกว่าสันฝาย.....	77
5 - 6 ค่าความเร็วการไหลบริเวณศูนย์กลางรางน้ำค้ำน้ำเหนือหน้าตัวฝาย ที่ระดับเหนือสันฝาย.....	86
5 - 7 ค่าความเร็วการไหลบริเวณศูนย์กลางบนสันฝาย.....	88
5 - 8 ค่าความดันน้ำที่กระทำต่อตัวฝาย และค่าแรงดันรวมแนวราบที่ กระทำต่อฝายค้ำน้ำ.....	90
5 - 9 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) ระหว่าง ฝายสันวงกลม และ ฝายโอ๊ก ที่ใกล้เคียงกัน.....	105
5 - 10 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) ระหว่าง ฝายสันวงกลม และ ฝายโอ๊ก.....	106

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1 - 1 รูปตัดทั่วไปของแบบจำลองฝายสันวงกลมที่ใช้ทำการทดลอง.....	6
2 - 1 การไหลของน้ำผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าของการไหลสมมุติ.....	8
2 - 2 การไหลของน้ำผ่านฝายสันวงกลม.....	10
2 - 3 การกระจายความดันที่ผิวฝายด้านเหนือหน้า.....	16
3 - 1 ฝายสันวงกลมของ Sarginson (1972).....	21
3 - 2 ฝายสันครึ่งวงกลมของ Rouve และ Indlekofer (1974).....	21
3 - 3 ฝายสันโค้งของ Hager (1985).....	21
3 - 4 ลักษณะโดยทั่วไปของฝายโค้ง.....	27
3 - 5 โปรไฟล์มาตรฐานของส่วนยอดของฝายโอ๊ก.....	27
3 - 6 รูปร่างฝายน้ำล้น มาตรฐาน ของ US. COE.- WES.(1959).....	27
3 - 7 รูปร่างฝายน้ำล้น มาตรฐาน ของ US. COE.- WES.....	28
3 - 8 ค่าสัมประสิทธิ์หรืออัตราการไหลของฝายน้ำล้นตามมาตรฐาน WES.....	28
3 - 9 ฝายน้ำล้นรูปไฮโดรพอยล์แบบสมมาตร.....	30
3 - 10 การปรับปรุงเสริมสันฝายน้ำล้นโดยใช้ฝายยาง.....	35
4 - 1 ลักษณะทั่วไปของรางน้ำ (Flume) ที่ใช้ทำการทดลอง.....	40
4 - 2 ลักษณะทั่วไปของแบบจำลองฝายสันวงกลมที่ทำการศึกษ.....	41
4 - 3 สถานีวิัดข้อมูลด้านเหนือหน้า.....	42
4 - 4 ลักษณะแบบจำลองฝายสันวงกลม ความสูงฝาย (P) = 20 ซม. ค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) = 45° , รัศมีวงกลมสันฝาย (R) = 2 ซม.....	43
4 - 5 ลักษณะแบบจำลองฝายสันวงกลม ความสูงฝาย (P) = 20 ซม. ค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) = 45° , รัศมีวงกลมสันฝาย (R) = 4 ซม.....	44
4 - 6 ลักษณะแบบจำลองฝายสันวงกลม ความสูงฝาย (P) = 20 ซม. ค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) = 45° , รัศมีวงกลมสันฝาย (R) = 6 ซม.....	45
4 - 7 ลักษณะแบบจำลองฝายสันวงกลม ความสูงฝาย (P) = 20 ซม. ค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) = 30° , รัศมีวงกลมสันฝาย (R) = 4 ซม.....	46
4 - 8 ลักษณะแบบจำลองฝายสันวงกลม ความสูงฝาย (P) = 20 ซม. ค่ามุมลาดด้านท้ายน้ำ (θ) = 60° , รัศมีวงกลมสันฝาย (R) = 4 ซม.....	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4 - 9 ลักษณะแบบจำลองฝายสันวงกลม ความสูงฝาย (P) = 15 ซม. ค่ามุมลาดค้ำท้ายน้ำ (θ) = 45° , รัศมีวงกลมสันฝาย (R) = 4 ซม.....	48
4 - 10 ลักษณะแบบจำลองฝายสันวงกลม ความสูงฝาย (P) = 25 ซม. ค่ามุมลาดค้ำท้ายน้ำ (θ) = 45° , รัศมีวงกลมสันฝาย (R) = 4 ซม.....	49
4 - 11 ลักษณะแบบจำลองฝายโอกี.....	50
4 - 12 ตำแหน่งวัดข้อมูลความเร็วการไหลตามขวางของทางน้ำที่ระดับต่ำกว่าสันฝาย.....	51
4 - 13 ตำแหน่งวัดข้อมูลความเร็วการไหลตามขวางของทางน้ำที่ระดับเหนือสันฝาย.....	51
4 - 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย 90°-V Notch Weir กับความลึกเหนือสันฝาย (H_w).....	52
4 - 15 การติดตั้ง Pressure Tap กับ กระดานวัดความดัน.....	53
5 - 1 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) ของฝายสันวงกลม กับอัตราส่วนของหัวพลังงานออกแบบ ต่อ ความสูงฝาย (H_o / P) โดยเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีวงกลมสันฝาย (R).....	56
5 - 2 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) ของฝายสันวงกลม กับอัตราส่วนของหัวพลังงานออกแบบ ต่อ รัศมีสันฝาย (H_o / R) โดยเปลี่ยนแปลงค่ามุมลาดค้ำท้ายน้ำ (θ).....	58
5 - 3 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) ของฝายสันวงกลม กับอัตราส่วนของหัวพลังงานออกแบบ ต่อ รัศมีสันฝาย (H_o / R) โดยเปลี่ยนแปลงค่าความสูงฝาย (P).....	60
5 - 4 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) กับอัตราส่วนของหัวพลังงานออกแบบ ต่อ รัศมีสันฝาย (H_o / R) ของฝายสันวงกลมที่มีค่า P = 5 ซม. , R = 1 ซม. , $\theta = 45^\circ$	61
5 - 5 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) ของฝายสันวงกลม กับ ค่าอัตราการไหล (Q).....	63
5 - 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) ที่คำนวณได้จาก สมการถดถอยที่ 1 กับค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) ที่ได้จากการทดลอง ของฝายสันวงกลม 7 แบบ.....	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
5 -7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการใช้ (C_d) ที่คำนวณได้จากสมการทดลองที่ 2 กับค่าสัมประสิทธิ์อัตราการใช้ (C_d) ที่ได้จากการทดลองของฝ่ายสิ่งแวดล้อม 7 แบบ.....	67
5 -8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการใช้ (C_d) ที่คำนวณได้จากสมการทดลองที่ 3 กับค่าสัมประสิทธิ์อัตราการใช้ (C_d) ที่ได้จากการทดลองของฝ่ายสิ่งแวดล้อม 7 แบบ.....	68
5 -9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการใช้ (C_d) ที่คำนวณได้จากสมการทดลองที่ 4 กับค่าสัมประสิทธิ์อัตราการใช้ (C_d) ที่ได้จากการทดลองของฝ่ายสิ่งแวดล้อม 7 แบบ.....	69
5 -10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการใช้ (C_d) ที่คำนวณได้จากสมการทดลองที่ 5 กับค่าสัมประสิทธิ์อัตราการใช้ (C_d) ที่ได้จากการทดลองของฝ่ายสิ่งแวดล้อม 7 แบบ.....	70
5 -11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการใช้ (C_d) ที่คำนวณได้จากสมการทดลองที่ 6 กับค่าสัมประสิทธิ์อัตราการใช้ (C_d) ที่ได้จากการทดลองของฝ่ายสิ่งแวดล้อม 7 แบบ.....	71
5 -12 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า C_d กับ ค่า (P/H_0) ของฝ่ายสิ่งแวดล้อมทั้ง 7 แบบ.....	74
5 -13 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า C_d กับ ค่า (P/H_0) ของฝ่ายสิ่งแวดล้อมที่มีค่า $P = 5$ ซม. , $R = 1$ ซม. , $\theta = 45^\circ$	75
5 - 14 รูปตัดการกระจายความเร็วการไหลตามแนวขวางของรางน้ำที่หน้าตัด CW - 6U ของฝ่ายสิ่งแวดล้อม $P = 15$ ซม. , $\theta = 45^\circ$, $R = 4$ ซม.....	78
5 - 15 รูปตัดการกระจายความเร็วการไหลตามแนวยาวของรางน้ำด้านเหนือน้ำของฝ่ายสิ่งแวดล้อม $P = 15$ ซม. , $\theta = 45^\circ$, $R = 4$ ซม. ที่อัตราการใช้ (Q) = 8.83 ลิตร / วินาที.....	79
5 - 16 รูปตัดการกระจายความเร็วการไหลตามแนวขวางของรางน้ำที่หน้าตัด CW - 6U ของฝ่ายสิ่งแวดล้อม $P = 20$ ซม. , $\theta = 45^\circ$, $R = 4$ ซม.....	81

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
5 - 17 รูปตัดการกระจายความเร็วการไหลตามแนวยาวของรางน้ำค้ำน้ำเหนือน้ำ ของฝายสันวงกลม $P = 20$ ซม. , $\theta = 45^\circ$, $R = 4$ ซม. ที่อัตราการไหล (Q) = 8.83 ลิตร / วินาที.....	82
5 - 18 รูปตัดการกระจายความเร็วการไหลตามแนวขวางของรางน้ำที่หน้าตัด CW - 6U ของฝายสันวงกลม $P = 25$ ซม. , $\theta = 45^\circ$, $R = 4$ ซม.....	83
5 - 19 รูปตัดการกระจายความเร็วการไหลตามแนวยาวของรางน้ำค้ำน้ำเหนือน้ำ ของฝายสันวงกลม $P = 25$ ซม. , $\theta = 45^\circ$, $R = 4$ ซม. ที่อัตราการไหล (Q) = 8.83 ลิตร / วินาที.....	84
5 - 20 ลักษณะผิวน้ำ และการเปลี่ยนแปลงความดันที่ตั้งฉากกับผิวฝายสันวงกลม $P = 15$ ซม. , $\theta = 45^\circ$, $R = 4$ ซม. ที่อัตราการไหล (Q) = 8.83 ลิตร/วินาที.....	94
5 - 21 ลักษณะผิวน้ำ และการเปลี่ยนแปลงความดันที่ตั้งฉากกับผิวฝายสันวงกลม $P = 20$ ซม. , $\theta = 45^\circ$, $R = 4$ ซม. ที่อัตราการไหล (Q) = 8.83 ลิตร/วินาที.....	95
5 - 22 ลักษณะผิวน้ำ และการเปลี่ยนแปลงความดันที่ตั้งฉากกับผิวฝายสันวงกลม $P = 25$ ซม. , $\theta = 45^\circ$, $R = 4$ ซม. ที่อัตราการไหล (Q) = 8.83 ลิตร/วินาที.....	96
5 - 23 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันรวมในแนวราบ (F) ที่กระทำกับฝายสันวงกลมค้ำน้ำค้ำน้ำ กับผลรวมระหว่าง หัวพลังงานออกแบบ กับ ความสูงฝาย ($H_0 + P$).....	98
5 - 24 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันรวมในแนวราบ (F) ที่กระทำกับฝายสันวงกลมค้ำน้ำค้ำน้ำ กับอัตราส่วนระหว่าง หัวพลังงานออกแบบ ต่อ ความสูงฝาย (H_0 / P).....	99
5 - 25 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันรวมในแนวราบ (F) ที่กระทำกับฝายสันวงกลมค้ำน้ำค้ำน้ำ กับอัตราส่วนระหว่าง หัวพลังงานออกแบบ ต่อ ความสูงฝาย (H_0 / P) โดยเปลี่ยนแปลงรัศมี (R).....	100
5 - 26 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันรวมในแนวราบ (F) ที่กระทำกับฝายสันวงกลมค้ำน้ำค้ำน้ำ กับอัตราส่วนระหว่าง หัวพลังงานออกแบบ ต่อ ความสูงฝาย (H_0 / P) โดยเปลี่ยนแปลงมุมลาดค้ำน้ำ (θ).....	102

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
5 - 27 กราฟแสดงผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) ของฝายสันวงกลม กับอัตราส่วนของหัวพลังงานออกแบบ ต่อ ความสูงฝาย (H_o / P) โดยเปรียบเทียบระหว่างฝายสันวงกลม และ ฝายโอ๊กี้.....	107
5 - 28 เปรียบเทียบรูปร่างฝายโอ๊กี้ กับ ฝายสันวงกลม.....	108
5 - 29 รูปตัดการกระจายความเร็วการไหลตามแนวขวางของรางน้ำที่หน้าตัด CW - 6U ของฝายโอ๊กี้ $P = 20$ ซม. , $\theta = 45^\circ$	109
5 - 30 รูปตัดการกระจายความเร็วการไหลตามแนวยาวของรางน้ำด้านเหนือหน้า ของฝายโอ๊กี้ $P = 20$ ซม. , $\theta = 45^\circ$ ที่อัตราการไหล (Q) = 8.83 ลิตร/วินาที.....	110
5 - 31 ขั้นตอนการออกแบบคุณลักษณะทางกายภาพของฝายสันวงกลม.....	113