ชลศาสตร์ของการไหลลวดประตูระบายโดยแบบจำลองชลศาสตร์

นาย อดิศักดิ์ เยาวพัฒน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN. 974 - 635 - 524 - 4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17713530

HYDRAULICS OF FLOW UNDER SLUICE GATES BY HYDRAULIC MODELS

Mr. Adisak Yawapat

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering.
Department of Civil Engineering.
Graduate School.
Chulalongkorn University
Academic Year 1996

ISBN. 974 - 635 - 524 - 4

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

อดิศักดิ์ เยาวพัฒน์ : ชลศาสตร์ของการไหลลอดประตูระบายโดยแบบจำลองชลศาสตร์
(HYDRAULICS OF FLOW UNDER SLUICE GATES BY HYDRAULIC MODELS)
อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ชัยพันธุ์ รักวิจัย , 252 หน้า . ISBN 974-635-524-4.

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอผลการศึกษาทดลองลักษณะทางชลศาสตร์ของการไหลผ่านประตูระบายน้ำ ในกรณีของการไหลอิสระเมื่อการไหลของน้ำถูกบีบรัด โดยแบ่งการไหลออกเป็น 4 ลักษณะ คือ ลักษณะการไหลบีบรัดด้านเดียว เนื่องจากบานประตูระบาย การไหลบีบรัด 2 ด้าน เนื่องจากบานประตูระบายและยกระดับธรณีประตู การไหลบีบรัด 3 ด้าน เนื่องจากบานประตู 1 ด้าน และทางน้ำถูกปิดกั้นการไหลด้านข้างอีก 2 ด้าน และการไหลบีบรัด 4 ด้าน เนื่องจากบานประตู 1 ด้าน ทางน้ำถูกปิดกั้นการไหลด้านข้าง 2 ด้าน และยกระดับธรณีประตู 1 ด้าน โดยพิจารณาผลกระทบต่ออัตราการไหล (Q) สัมประสิทธิ์การไหล (Cd) และลักษณะของการไหล

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ลักษณะการไหลถูกบีบรัดในกรณีต่างๆนั้น มีผลกระทบต่อการไหลผ่านประตูระบายน้ำ และในกรณีที่มีการขยายความกว้างทางด้านท้ายน้ำนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อการไหลผ่านประตูระบายน้ำ เพราะลักษณะการไหลที่ศึกษาเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow) และจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีมีสูตรที่คำนวณเป็น $Q = C_d A_0 \sqrt{2gH}$ โดย A_0 = พื้นที่ช่องเปิดของประตู และ H = ความสูงของระดับน้ำหน้าประตู ซึ่ง H มีกำลังเป็น 0.5 ได้ค่า Cd อยู่ในช่วง 0.48-0.74 หากกำหนดสูตรความสัมพันธ์ใหม่ในรูป $Q = kH^x$ พบว่าค่ากำลัง x นั้นผันแปรในช่วง 0.39-0.76 และค่า Cd ที่ได้ผันแปรไปตามกำลัง x โดยเมื่อกำลัง x มีค่าน้อย ค่า Cd มีค่ามาก และถ้าค่ากำลัง x มีค่ามาก ค่า Cd จะมีค่าน้อย

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Cd ที่คำนวณมาจากสูตร $Q = C_d A_0 \sqrt{2gH}$ กับค่าอัตราส่วน H/G โดยค่า G = ความสูงช่องเปิดประตู พบว่าถ้าค่า H/G น้อย ค่า Cd มีค่าน้อย และถ้าค่า H/G เพิ่มขึ้น ค่า Cd จะมากขึ้นตาม และค่า Cd มีแนวโน้มคงที่เมื่อ H/G มีค่ามาก ซึ่งจากการทดลองนี้ให้ค่า H/G อยู่ในช่วง 0-25 โดยค่า Cd ที่ได้อยู่ในช่วง 0.45 - 0.75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา(แหล่งน้ำ) ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C615014 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD: HYDRAULICS / VERTICAL SLUICE GATES / HYDRAULIC MODEL / FLOW CONTRACTION

ADISAK YAWAPAT : HYDRAULICS OF FLOW UNDER SLUICE GATES BY HYDRAULIC MODELS. THESIS ADVISOR : Assoc.Prof.Dr.CHAIPAN RUKVICHAI, 252 pp. ISBN 974-635-524-4

This thesis presented the results of an experimental study on the hydraulics of free flow under sluice gates. The flow was contracted in 4 different patterns namely 1-side contraction due to the gate ; 2-side contraction due to the gate and the elevated invert ; 3-side contraction due to the gate and contraction on 2 sides ; and 4-side contraction due to the gate, elevated invert and contraction on 2 sides. The effects of each type of flow contraction were investigated on the flow rate (Q), the coefficient of discharge (Cd) and flow patterns.

The study concluded that each type of flow contraction had some effects on the flow under gates. Expansion of downstream channel had little effect upon the flow due to the fact that if was free flow condition. According to the theoretical formula $Q = CdAo\sqrt{2gH}$ when Ao = area of gate opening, H = head above the gate, the value of Cd is approximately 0.6 . However this study found that the value of Cd varied between 0.48-0.74 . In addition if a more general formula $Q = kH^x$ was used, if was found that the exponent x varied between 0.39-0.76 . The value of Cd were computed and varied with the value of x. If the exponent x was low, the value of Cd was high and vice versa.

The analysis was made on the relationship of Cd computed from the formula $Q = CdAo\sqrt{2gH}$ with the ratio (H/G) when G = height of gate opening. It was found that the value of Cd was low at the low value of (H/G) and increased with (H/G). There was a tendency that the value of Cd increased to a constant value with a very high value of (H/G). From the experiment, the value of Cd was about 0.45-0.75 for the value of H/G 0-25.

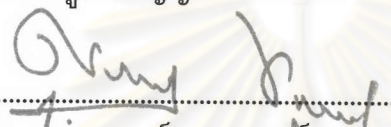
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา(แหล่งน้ำ) ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

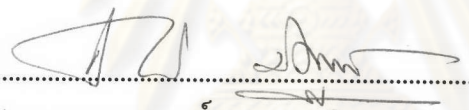
หัวข้อวิทยานิพนธ์	ชลศาสตร์ของการไหลลอดประตูระบายโดยแบบจำลองชลศาสตร์
โดย	นาย อดิศักดิ์ เยาวพัฒน์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยพันธุ์ รักวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

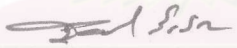


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

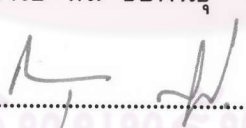
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



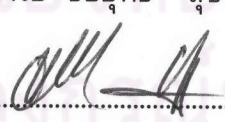
..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรวุฒิ ประดิษฐานนท์)



..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยพันธุ์ รักวิจัย)



..... กรรมการ
(อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี)



..... กรรมการ
(ดร. เสรี จันทรโยธา)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อดิศักดิ์ เยาวพัฒน์ : ชลศาสตร์ของการไหลลอดประตูระบายโดยแบบจำลองชลศาสตร์ (HYDRAULICS OF FLOW UNDER SLUICE GATES BY HYDRAULIC MODELS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ชัยพันธุ์ รักวิจัย , 252 หน้า .
ISBN 974-635-524-4.

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอผลการศึกษาทดลองลักษณะทางชลศาสตร์ของการไหลผ่านประตูระบายน้ำ ในกรณีของการไหลอิสระเมื่อการไหลของน้ำถูกบีบรัด โดยแบ่งการไหลออกเป็น 4 ลักษณะ คือ ลักษณะการไหลบีบรัดด้านเดียว เนื่องจากบานประตูระบาย การไหลบีบรัด 2 ด้าน เนื่องจากบานประตูระบายและยกระดับธรณีประตู การไหลบีบรัด 3 ด้าน เนื่องจากบานประตู 1 ด้าน และทางน้ำถูกปิดกั้นการไหลด้านข้างอีก 2 ด้าน และการไหลบีบรัด 4 ด้าน เนื่องจากบานประตู 1 ด้าน ทางน้ำถูกปิดกั้นการไหลด้านข้าง 2 ด้าน และยกระดับธรณีประตู 1 ด้าน โดยพิจารณาผลกระทบต่ออัตราการไหล (Q) สัมประสิทธิ์การไหล (Cd) และลักษณะของการไหล

ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ลักษณะการไหลถูกบีบรัดในกรณีต่างๆนั้น มีผลกระทบต่อการไหลผ่านประตูระบายน้ำ และในกรณีที่มีการขยายความกว้างทางด้านท้ายน้ำนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อการไหลผ่านประตูระบายน้ำ เพราะลักษณะการไหลที่ศึกษาเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow) และจากการวิเคราะห์ตามทฤษฎีมีสูตรที่คำนวณเป็น $Q = C_d A_0 \sqrt{2gH}$ โดย A_o = พื้นที่ช่องเปิดของประตู และ H = ความสูงของระดับน้ำหน้าประตู ซึ่ง H มีกำลังเป็น 0.5 ได้ค่า Cd อยู่ในช่วง 0.48-0.74 หากกำหนดสูตรความสัมพันธ์ใหม่ในรูป $Q = kH^x$ พบว่าค่ากำลัง x นั้นผันแปรในช่วง 0.39-0.76 และค่า Cd ที่ได้ผันแปรไปตามกำลัง x โดยเมื่อกำลัง x มีค่าน้อย ค่า Cd มีค่ามาก และถ้าค่ากำลัง x มีค่ามาก ค่า Cd จะมีค่าน้อย

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Cd ที่คำนวณมาจากสูตร $Q = C_d A_0 \sqrt{2gH}$ กับค่าอัตราส่วน H/G โดยค่า G = ความสูงช่องเปิดประตู พบว่าถ้าค่า H/G น้อย ค่า Cd มีค่าน้อย และถ้าค่า H/G เพิ่มขึ้น ค่า Cd จะมากขึ้นตาม และค่า Cd มีแนวโน้มคงที่เมื่อ H/G มีค่ามาก ซึ่งจากการทดลองนี้ให้ค่า H/G อยู่ในช่วง 0-25 โดยค่า Cd ที่ได้อยู่ในช่วง 0.45 - 0.75

C615014 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD : HYDRAULICS / VERTICAL SLUICE GATES / HYDRAULIC MODEL / FLOW CONTRACTION
ADISAK YAWAPAT : HYDRAULICS OF FLOW UNDER SLUICE GATES BY HYDRAULIC MODELS. THESIS ADVISOR : Assoc. Prof. Dr. CHAIPAN RUKVICHAI , 252 pp. ISBN 974-635-524-4

This thesis presented the results of an experimental study on the hydraulics of free flow under sluice gates. The flow was contracted in 4 different patterns namely 1- side contraction due to the gate; 2-side contraction due to the gate and the elevated invert; 3-side contraction due to the gate and contraction on 2 sides ; and 4- side contraction due to the gate, elevated invert and contraction on 2 sides . The effect of each type of flow contraction were investigated on the flow rate (Q), the coefficient of discharge (Cd) and flow patterns.

The study concluded that each type of flow contraction had some effects on the flow under gates. Expansion of downstream channel had little effect upon the flow due to the fact that if was free flow condition. According to the theoretical formula $Q = C_d A_0 \sqrt{2gH}$ when A_0= area of gate opening , H = head above the gate , the value of Cd is approximately 0.6 . However this study found that the value of Cd varied between 0.48-0.74 . In additional if a more general formula $Q = kH^x$ was used , if was found that the exponent x varied between 0.39-0.76 . The value of Cd were computed and varied with the value of x. If the exponent x was low , the value of Cd was high and vice versa.

The analysis was made on the relationship of Cd computed from the formula $Q = C_d A_0 \sqrt{2gH}$ with the ratio (H/G) when G = height of gate opening. It was found that the value of Cd was low at the low value of (H/G) and increased with (H/G). There was a tendency that the value of Cd increased to a constant value with a very high value of (H/G). From the experiment , the value of Cd was about 0.45-0.75 for the value of H/G 0-25.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ชัยยุทธ สุขการี อาจารย์ ดร.เสรี จันทรโยธา รองศาสตราจารย์ ดร.สุรวุฒิ ประดิษฐานนท์ ซึ่งได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยพันธุ์ รักวิจัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ช่วยให้คำปรึกษาและแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆ ในการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้มาโดยตลอด นอกจากนี้ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณบรรดาคณาจารย์ในสาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประศาสน์วิชาความรู้ต่างๆ ทางด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำให้แก่ข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ คุณโอบเอื้อ วราทร คุณเศวต ตันพลีรัตน์ คุณเทอดศักดิ์ บุณยขจร อาจารย์การุณ เตชะฐิตินันท์ คุณปริญญา กมลสินธุ์ ที่กรุณาอำนวยความสะดวกให้ ตลอดจนข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยของข้าพเจ้า และขอบคุณบรรดาพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในขณะทำวิทยานิพนธ์ และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา รวมทั้งพี่ๆ ของข้าพเจ้า ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

อดิศักดิ์ เยาวพัฒน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1. บทนำ

1.1 ความเป็นมา 1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา 2
1.3 ขอบข่ายการศึกษา 3
1.4 การดำเนินงานการศึกษา 3
1.5 ผลการศึกษา 4

บทที่ 2. หลักการและการศึกษาที่ผ่านมา

2.1 หลักการที่ใช้ในการศึกษา 6
2.2 การศึกษาสัมประสิทธิ์การหด (Contraction Coefficient)
และสัมประสิทธิ์การไหล (Discharge Coefficient) 7
2.3 การศึกษาความสัมพันธ์ของการยกเปิดบานประตูกับความสูงระดับน้ำ 10

บทที่ 3. การทดลองแบบจำลองชลศาสตร์

3.1 การทำแบบจำลองชลศาสตร์ 16
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับทดลองแบบจำลอง 17
3.3 รูปแบบของประตูระบายและช่องทางน้ำเปิดที่ทดลอง 17
3.4 การวัดข้อมูลชลศาสตร์ของการไหล 18
3.5 ลักษณะการทดลอง 19
3.6 ผลการทดลอง 23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4. การวิเคราะห์การไหลลอดผ่านประตูระบาย

4.1 ในการศึกษาการไหลผ่านประตูระบาย..... 34

4.2 ความผันแปรของอัตราการไหล..... 34

4.3 ความผันแปรของค่าสัมประสิทธิ์การไหล (Cd)โดยเปรียบเทียบกับอัตราส่วนของการยกบานประตูต่อระดับความสูงน้ำ(H/G)..... 60

บทที่ 5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 การดำเนินการศึกษาและการทดลอง..... 72

5.2 สูตรการไหลลอดผ่านบานประตู..... 73

5.3 ผลกระทบของอัตราการไหลเมื่อการไหลถูกบีบรัด..... 73

5.3 ความผันแปรของค่า Cd 74

5.4 ผลกระทบต่อการขยายความกว้างทางน้ำเปิดด้านท้ายน้ำ..... 75

5.5 ข้อเสนอแนะ..... 76

รายการอ้างอิง..... 77

ภาคผนวก ก. โต๊ะทดลองแบบจำลองการไหลลอดผ่านบานประตูระบาย..... 80

ภาคผนวก ข. แบบจำลองการไหลลอดผ่านบานประตูกรณีการไหลบีบรัด 1 ด้าน..... 89

ภาคผนวก ค. แบบจำลองการไหลลอดผ่านบานประตูกรณีการไหลบีบรัด 2 ด้าน.....106

ภาคผนวก ง. แบบจำลองการไหลลอดผ่านบานประตูกรณีการไหลบีบรัด 3 ด้าน.....135

ภาคผนวก จ. แบบจำลองการไหลลอดผ่านบานประตูกรณีการไหลบีบรัด 4 ด้าน.....177

ประวัติผู้เขียน.....252

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง C_c กับ W/E_1 14
ตาราง 2-2 Downstream Profile of Vertical Sluice Gate with b/B = 0.3 15
ตาราง 2-3 Downstream Profile of Radial Sluice Gate..... 15
ตาราง 2-4 Contraction and Discharge Coefficient for Bevelled Gate..... 15
ตาราง 3-1 ขนาดของการไหลบีบรัดกรณีต่างๆ..... 31
ตาราง 3-2 อัตราการไหลและค่าสัมประสิทธิ์จากการทดลอง..... 32
ตาราง 3-3 ค่าความเร็ว (ซม./วินาที) การไหลด้านเหนือน้ำ..... 33
ตาราง 4-1 การศึกษาการไหลบีบรัดกรณีต่างๆ..... 35
ตาราง 4-2 อัตราการไหลกับระดับน้ำ.....36- 37
ตาราง 4-3 ค่าสัมประสิทธิ์กับระดับน้ำ.....38- 39
ตาราง 4-4 ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การไหล Cd กับอัตราส่วน H/G 40

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูป 1-1 แบบรูปตัดประตูระบาย ...5
รูป 1-2 ประตูระบายน้ำในคลองชลประทาน ...5
รูป 2-1 The Vetical Sluice Gate ... 11
รูป 2-2 The Contraction Coefficient of the Vertecal Sluice Gate ... 11
รูป 2-3 The Discharge Coeffiecient for Vertical Sluice Gate ... 11
รูป 2-4 Discharge coefficient for Vertical Sluice Gate ... 11
รูป 2-5 Discharge rating curve from hydraulic-model study of one 40-by38-ft Tainter gate ... 12
รูป 2-6 Definition Sketch of Vertical Sluice Gate ... 13
รูป 2-7 Sluice Gate Contraction Coeffient Versus Various Gate Opening Ratio ... 13
รูป 2-8 Belled Tip which is used to Represent Sluice Gate with Paritailly Rounded or Damaged Exit ... 14
รูป 3-1 โต๊ะทดลอง ... 24
รูป 3-2 แปลนและหน้าตัดวัดความเร็วกระแสน้ำ ... 25
รูป 3-3 แปลนและหน้าตัด กรณีการไหลบีบรัด 1 ด้าน ... 26
รูป 3-4 แปลนและหน้าตัด กรณีการไหลบีบรัด 2 ด้าน ... 27
รูป 3-5 แปลนและหน้าตัด กรณีการไหลบีบรัด 3 ด้าน ... 28
รูป 3-6 แปลนและหน้าตัด กรณีการไหลบีบรัด 4 ด้าน ... 29
รูป 3-7 ลักษณะการกระจายความเร็วที่หน้าตัด 2 Case 1 contraction , b = 15 cm ... 30
รูป 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับน้ำ กรณีการไหลบีบรัด 1 ด้าน ... 42
รูป 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับน้ำ กรณีการไหลบีบรัด 1 ด้าน เปรียบเทียบเมื่อมีการขยายช่องทางน้ำเปิดด้านท้ายน้ำ ... 43
รูป 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับน้ำ กรณีการไหลบีบรัด 2 ด้าน ...44- 45
รูป 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับน้ำ กรณีการไหลบีบรัด 2 ด้าน เปรียบเทียบเมื่อมีการยกระดับธรณี และมีการขยายช่องทางน้ำเปิดด้านท้ายน้ำ ... 46
รูป 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับน้ำ กรณีการไหลบีบรัด 3 ด้าน ...49- 51
รูป 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับน้ำ กรณีการไหลบีบรัด 3 ด้าน เปรียบเทียบเมื่อเปลี่ยนความกว้างบาน และมีการขยายช่องทางน้ำเปิดด้านท้ายน้ำ ... 52
รูป 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับน้ำ กรณีการไหลบีบรัด 4 ด้าน ...54- 57

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูป 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับน้ำ กรณีการไหลบีบรัด 4 ด้าน เปรียบเทียบเมื่อมีการยกระดับธรณี เปลี่ยนความกว้างบานประตู และมีการขยายช่องทางน้ำเปิดด้านท้ายน้ำ.....58-59
รูป 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Cd กับ H/G กรณีการไหลบีบรัด 1 ด้าน..... 61
รูป 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Cd กับ H/G กรณีการไหลบีบรัด 2 ด้าน..... 63
รูป 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Cd กับ H/G กรณีการไหลบีบรัด 3 ด้าน.....65- 66
รูป 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่าง Cd กับ H/G กรณีการไหลบีบรัด 4 ด้าน.....69- 71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย