การเพิ่มตัวทำลายพลังงานเข้าไปในฟลอร์ บล็อค

นายธงชัย บุญสม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2527

ISBN 974-563-821-8

009716

I 15816680

ADDITIONAL ENERGY DISSIPATOR IN FLOOR BLOCK

Mr. Tongchai Boonsom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1984

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มตัวทำลายพลังงานเข้าไปในฟลอร์ บล็อค
โดย	นายธงชัย บุญสม
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ วรุณ คุณวาสี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. นิวัตต์ คารานันทน์)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ธำรง เปรมปรีดิ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เสถียร ชลาชีวะ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วรุณ คุณวาสี)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเพิ่มตัวทำลายพลังงานเข้าไปในฟลอร์ บล็อค

ชื่อนิสิต นายธงชัย บุญสม

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ วรุณ คุณวาสี

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2527

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตสำหรับการนำมาใช้อุปโภค บริโภค การเกษตร และการชลประทาน ดังนั้นจึงมีการสร้างเขื่อนและทางน้ำล้นเพื่อที่จะใช้เป็นอ่างกักเก็บน้ำ ทางน้ำล้นและแอ่งน้ำนิ่งมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละแบบขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศตามธรรมชาติ และจุดประสงค์ของแต่ละโครงการเพื่อให้ได้โครงสร้างทางชลศาสตร์ซึ่งมีประสิทธิภาพดีที่สุด

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าสำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III ให้มีประสิทธิภาพในการทำลายพลังงานให้ได้มากขึ้น โดยใช้พลังงานของมวลน้ำทำลายพลังงานของตัวเอง วิธีการคือต่อท่อจากทางด้านเหนือน้ำลอดใต้ทางน้ำล้นมาโผล่ออกที่ Floor block ให้ทิศทางของน้ำที่พุ่งออกมาจากท่อ – เนื่องจากความสูงของน้ำเหนือสันทางน้ำล้นสวนทางกับมวลของน้ำที่ไหลมาจากสันทางน้ำล้น พลังงานซึ่งถูกทำลายนี้จะอธิบายได้ด้วยทฤษฎีการไหลของน้ำในคลองเปิด ทฤษฎีของโมเมนตั้มและทฤษฎีการไหลของน้ำในท่อ

การศึกษาวิจัย เริ่มด้วยการศึกษาแอ่งน้ำ USBR Type III อย่างละเอียด ทำการออกแบบและสร้างแบบจำลอง โดยการเข้ามาตราส่วนเปรียบเทียบกับแบบของจริง ในที่นี้ใช้มาตราส่วน 1:25 ทำการทดลองวิจัย รวบรวมเก็บข้อมูลสำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III 3 แบบ คือแบบไม่มีท่อ แบบมีท่อ (พีวีซี) แบบมีท่อขนาด ϕ 1/2" และแบบมีท่อ (พีวีซี) ขนาด ϕ 1" ฝังอยู่ใน Floor block นำผลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบหาผลการเปลี่ยนแปลงพลังงานของมวลน้ำที่สูญเสียไปในแอ่งน้ำนิ่งแต่ละแบบ

ผลการวิจัยพบว่า แอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III ซึ่งมีท่อขนาด ϕ 1" จะทำลายพลังงานได้ดีกว่าแอ่งน้ำนิ่งซึ่งมีท่อขนาด ϕ 1/2" และแอ่งน้ำนิ่งซึ่งไม่มีท่อ ตามลำดับ แสดงว่าการสูญเสียพลังงานภายในแอ่งน้ำนิ่งขึ้นอยู่กับเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ โดยที่คุณลักษณะอื่นของท่อคงที่คือ ระดับ ℄ ของท่อจากพื้นแอ่งน้ำนิ่ง มุมของท่อขนานกับพื้นแอ่งน้ำนิ่ง ชนิดของท่อ (พีวีซี) และจำนวนท่อ (1 ท่อสำหรับ Floor block แต่ละอัน) ซึ่งคุณลักษณะที่คงที่ของท่อนี้ควรจะได้ทำการศึกษาต่อไป

Thesis Title Additional energy dissipator in floor block

Name Mr. Tongchai Boonsom

Thesis Advisor Associate Professor Varoon Khunvasi

Department Civil Engineering

Academic Year 2527

ABSTRACT

Because of the importance of water for human being, dams and spillways have been constructed to provide the water for consumers. The types of spillways and stilling basins are depended on topographical characteristics and the purpose of use for the best efficiency.

USBR Type III basin was studied by using energy of water to dissipate its own energy in order to increase the efficiency of energy dissipation. The methodology was to lay pipe under the spillway from upstream to Floor Block, direction of water jetted from the pipe was opposite to the direction of streamflow from the spillway. The dissipated energy was investigated by theory of flow in open channel, theory of momentum and theory of flow in pipe.

After the USBR Type III Basin review, three types of stilling basin model were constructed by using scale ratio 1:25, the USBR Type III without pipe, the USBR Type III with ø ½" PVC. pipe and the USBR Type III with ø 1" PVC. pipe in Floor Block. The results of testing were analysed in order to evaluate the energy change of water which lossed for each type of stilling basins.

According to the investigation, the energy dissipation of the USBR Type III Basin with ø 1" PVC. pipe is better than the USBR Type III

Basin with ø ½" PVC. pipe and without pipe respectively, so energy loss in stilling basins depends on pipe diameter size. Another research studies are recommended by varying the affected factors, namely, pipe center elevation, pipe declining, types and number of pipes per Floor Block etc.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ วรุณ คุณวาสี ซึ่งได้กรุณาแนะนำแนวทางแก้ไขปัญหาและให้คำแนะนำสำหรับการทำวิจัยนี้ อนึ่งผู้เขียนใคร่ขอขอบพระคุณท่านศาสตราจารย์ ดร. นิวัตต์ คารานันทน์, ท่านศาสตราจารย์ ธำรง เปรมปรีดิ์ และท่านรองศาสตราจารย์เสถียร ชลาชีวะ ที่ได้กรุณาช่วยให้คำแนะนำแก้ไขในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นอกจากนี้ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ที่กรุณาอำนวยความสะดวกในการจัดส่งเครื่องสูบน้ำและระบบควบคุมมาร่วมในการวิจัย ซึ่งเป็นที่ซาบซึ้งต่อผู้เขียนเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณ คุณบุญเลิศ รุ่งเรือง, คุณยิ่งยศ น้ำเงิน, คุณเอกวิทย์ แช่แต้ และคุณเอกพงษ์ กีรติวศิน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการสร้างแบบจำลองเพื่อประกอบวิทยานิพนธ์นี้

อนึ่งต้องขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยและมูลนิธินิสิตเก่าจุฬาฯ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนหวังว่าคงจะเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยและงานออกแบบโครงสร้างทางชลศาสตร์ เพื่อนำไปปรับปรุงเพิ่มเติมให้มีประสิทธิภาพดีที่สุด

ธงชัย บุญสม

สารบาญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบาญ ..... ฌ

สารบาญตาราง ..... ฏ

สารบาญภาพ ..... ฑ

รายการสัญญลักษณ์ ..... ต

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความเป็นมา 1

1.1.1 ทางน้ำล้นแบบ OGEE (Overfall) 1

1.1.2 แอ่งน้ำนิ่งแบบ USBR Type III 3

1.2 ความสำคัญของปัญหา 5

1.3 จุดมุ่งหมายในการวิจัย 5

1.4 ขอบข่ายของการวิจัย 6

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 6

2. ทฤษฎีบท 8

2.1 ไฮดรอลิคจั๊ม (Hydraulic Jump) 8

2.2 ชนิดของไฮดรอลิคจั๊มพ์ (Types of Hydraulic Jump) ... 9

2.3 Froude Number and Kinetic flow factor 10

2.4 สมการการไหลต่อเนื่อง (Continuity Equation) ... 11

2.5 ทฤษฎีบทของเบอร์นูลี่ (BERNOULLI'S Theorem) 12

2.6 การคงสภาพโมเมนตั้ม (Conservation of Momentum) ... 15

2.7 สัมประสิทธิ์ของพลังงานและโมเมนตั้ม (Energy and Momentum Coefficient) 17

หน้า

บทที่

2.8 พลังงานจำเพาะ (Specific Energy) 18
2.8.1 ค่าต่ำสุดของพลังงานจำเพาะ เมื่ออัตราการไหลมีค่าคงที่ 20
2.8.2 ค่าสูงสุดของอัตราการไหลของน้ำเมื่อพลังงานจำเพาะ มีค่าคงที่ 21
2.9 เรโนลด์ นัมเบอร์ และการไหลของน้ำในท่อ (REYNOLDS Number and Flow in Pipes) 22
2.10 การสูญเสียพลังงานในท่อ 23
2.11 เวีย (Weirs) 26
2.11.1 การไหลผ่านเวียรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 26
2.11.2 การหาค่าถูกต้อง (Calibrate) เวียสี่เหลี่ยมผืนผ้า . 28
2.12 PITOT Tube 30
3. การออกแบบจำลองทางด้านชลศาสตร์ 31
3.1 กฎเกณฑ์ความคล้ายคลึงกัน (Laws of Similitude) 31
3.1.1 ความคล้ายคลึงกันทางเรขาคณิต (Geometric Similarity) 31
3.1.2 ความคล้ายคลึงเชิงจลน์ (Kinematic Similarity) 32
3.1.3 ความคล้ายคลึงเชิงพลวัต (Dynamic Similarity) 33
3.2 การออกแบบจำลอง 34
3.3 การคำนวณหาขนาดแบบจำลองทางน้ำล้นและแบบแอ่งน้ำนิ่ง ... 34
3.3.1 การออกแบบทางน้ำล้น 34
3.3.2 การออกแบบแอ่งน้ำนิ่ง 38

หน้า

บทที่

4. ขอบข่ายของการทดลองวิจัย 48

4.1 ลักษณะของทางน้ำล้นแบบจำลอง 48

4.2 เครื่องมือและเครื่องใช้ในการทดลองวิจัย 49

4.3 วิธีการติดตั้งเครื่องมือ 49

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล 50

5. การวิเคราะห์และผลการวิจัย 53

5.1 ผลการวิจัย 53

5.2 วิธีวิเคราะห์ 56

5.3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ 59

5.4 สรุปผลการวิจัย 61

6. ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ 68

6.1 ข้อสรุป 68

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป 70

เอกสารอ้างอิง 71

ภาคผนวก ก. รายละเอียดข้อมูลการทดลอง 74

ภาคผนวก ข. การ Calibrate เวีย, ทางน้ำล้น และ PITOT Tube ... 95

ภาคผนวก ค. รายละเอียดรูปแบบจำลองทางน้ำล้น 113

ภาคผนวก ง. โปรแกรมคอมพิวเตอร์พร้อมตารางทั่วไป 118

สารบาญตาราง

หน้า

ตารางที่

1.1.1 Parameters ของ K,n (จาก WES-Standard Spillway Shapes) 3

3.3.1 แสดงจุดพิกัดของ Downstream Quadrant ของทางน้ำล้น .. 40

3.3.2 แสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างแบบของจริงและแบบจำลอง (ใช้ในการวิจัย) 47

ก-1.1 ข้อมูลและรายการคำนวณอัตราการสูญเสียพลังงานของมวลน้ำในแอ่งน้ำนึ่ง USBR Type III (ไม่ควบคุมระดับท้ายน้ำ) .. 76

ก-1.2 ข้อมูลและรายการคำนวณอัตราการสูญเสียพลังงานของมวลน้ำในแอ่งน้ำนึ่ง USBR Type III (ควบคุมระดับท้ายน้ำ) .. 77

ก-1.3 ข้อมูลและรายการคำนวณอัตราการสูญเสียพลังงานของมวลน้ำในแอ่งน้ำนึ่ง USBR Type III + ท่อขนาด ø 0.5" (ไม่ควบคุมระดับท้ายน้ำ) 78

ก-1.4 ข้อมูลและรายการคำนวณอัตราการสูญเสียพลังงานของมวลน้ำในแอ่งน้ำนึ่ง USBR Type III + ท่อขนาด ø 0.5" (ควบคุมระดับท้ายน้ำ) 79

ก-1.5 ข้อมูลและรายการคำนวณอัตราการสูญเสียพลังงานของมวลน้ำในแอ่งน้ำนึ่ง USBR Type III + ท่อขนาด ø 1" (ไม่ควบคุมระดับท้ายน้ำ) 80

ก-1.6 ข้อมูลและรายการคำนวณอัตราการสูญเสียพลังงานของมวลน้ำในแอ่งน้ำนึ่ง USBR Type III + ท่อขนาด ø 1" (ควบคุมระดับท้ายน้ำ) 81

ข-2.1 ข้อมูลและรายการคำนวณการหาปริมาณน้ำที่ไหลผ่านทางน้ำล้น, เวีย โดยวิธี Weight Time Measurement 101

หน้า

ตารางที่

ข-2.2 ข้อมูลและรายการคำนวณการหาปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อด้วย PITOT Tube โดยวิธี Weight Time Measurement ... 102

ข-2.3 รายการคำนวณการ CALIBRATE เวีย 103

ข-2.4 รายการคำนวณการ CALIBRATE ทางน้ำล้น 104

ข-2.5 รายการคำนวณการ CALIBRATE PITOT Tube 105

ง-1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณหาค่า Q โดยวิธี Weight Time Measurement (ดังตาราง ข-2.1 และ ข-2.2) 119

ง-2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิธีการ Calibrate (ดังตาราง ข-2.3, ข-2.4 และ ข-2.5) 120

ง-3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณหาอัตราการสูญเสียพลังงานของมวลน้ำภายในแอ่งน้ำนิ่ง (ดังตาราง ก-1.1 ถึง ก-1.6) .. 122

ง-4 มิติตัวแปรทางชลศาสตร์ 125

ง-5 แสดงอุณหภูมิกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำ 126

ง-6 แสดงการแปลงหน่วย 127

สารบาญภาพ

หน้า

รูปที่

1.1.1 แสดง The WES-Standard Spillway Shapes 2

1.1.2 แสดงแบบแอ่งน้ำนิ่งของ USBR Type III 4

2.1.1 แสดงการวิเคราะห์ไฮดรอลิคจั๊มพ์โดยใช้กราฟของพลังงานจำเพาะและแรงจำเพาะ 8

2.2.1 แสดงรูปแบบลักษณะของ Hydraulic Jump 10

2.4.1 แสดงการไหลอย่างต่อเนื่องของของเหลว 12

2.5.1 แสดงพลังงานของการไหลเปลี่ยนแปลงในลำน้ำเปิด 13

2.6.1 แสดงแรงที่กระทำต่อ Floor Blocks 15

2.8.1 แสดงพลังงานการไหลที่มีพื้นลาดเอียง 18

2.8.2 แสดงแผนภูมิของพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Diagram) 19

2.8.3 แสดงผังภาพพลังงานจำเพาะ เมื่อพลังงานจำเพาะมีค่าคงที่ ... 22

2.10.1 แสดง MOODY Diagram สำหรับหาความเสียดทานภายในท่อ ... 25

2.11.1 แสดงการไหลของน้ำผ่านเวียรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 27

2.11.2 การ calibrate เวียรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 29

2.12.1 แสดงการวัดความเร็วของน้ำในท่อโดยใช้ PITOT Tube ... 30

3.1.1 แสดงความคล้ายคลึงทางเรขาคณิต 31

3.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง h/H_d กับ C/C_d และ H_e/H_d 36

3.3.2 ค่า Correction Factor 36

3.3.3 แสดงสัดส่วนของ Upstream Quadrant ของทางน้ำล้น ... 37

3.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดพิกัดสัมผัสกับ Slope Function, a ... 39

3.3.5 แสดงความสูงของ Floor Blocks และ End Sill 43

3.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง F_1 กับ T.W. Depth 44

3.3.7 แสดงความยาวของ Jump บนพื้นราบกับ F_1 45

3.3.8 แสดงเวียสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งใช้ในการวิจัย 46

หน้า

รูปที่

4.1.1 แสดงลักษณะของแบบจำลองทางน้ำล้น 51

4.1.2 แสดงลักษณะรูปร่างของ Submersible Pump 52

4.1.3 แสดงการวัดปริมาณการไหลของน้ำโดยวิธี Weight Time Measurement 52

5.1.1 แสดงการเกิด Jump ภายในแอ่งน้ำนิ่ง Type III เมื่อ Hd = 0.140 ม. 54

5.1.2 แสดงการเกิด Jump ภายในแอ่งน้ำนิ่ง Type III + ท่อขนาด ϕ 1" เมื่อ Hd = 0.130 ม. 54

5.1.3 แสดงการเกิด Jump ภายในแอ่งน้ำนิ่ง Type III เมื่อ Hd = 0.08 ม. 55

5.1.4 แสดงการเกิด Jump ภายในแอ่งน้ำนิ่ง Type III + ท่อขนาด ϕ 1" เมื่อ Hd = 0.08 ม. 55

5.1.5 แสดงเส้นการไหลของน้ำขณะมีท่ออยู่ใน Floor Block 56

5.4.1 แสดงอัตราส่วนพลังงานของมวลน้ำที่สูญเสียไปสำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III (ไม่มีท่อ, มีท่อ ϕ 0.5", มีท่อ ϕ 1") (ไม่ควบคุมระดับท้ายน้ำ) 64

5.4.2 แสดงอัตราส่วนพลังงานของมวลน้ำที่สูญเสียไปสำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III (ไม่มีท่อ, มีท่อ ϕ 0.5", มีท่อ ϕ 1") (ควบคุมระดับท้ายน้ำ) 65

5.4.3 แสดงอัตราส่วนเปรียบเทียบของ Tailwater depth ต่อ Initial depth กับ Froude Number สำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III (ไม่มีท่อ, มีท่อ ϕ 0.5", มีท่อ ϕ 1"),(ไม่ควบคุมระดับท้ายน้ำ) . 66

5.4.4 แสดงอัตราส่วนเปรียบเทียบของ Tailwater depth ต่อ Initial depth กับ Froude Number สำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III (ไม่มีท่อ, มีท่อ ϕ 0.5", มีท่อ ϕ 1"), (ควบคุมระดับท้ายน้ำ) . 67

หน้า

รูปที่

ก-2.1 แสดงอัตราส่วนพลังงานของมวลน้ำที่สูญเสียไปสำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III (ไม่ควบคุมระดับท้ายน้ำ) 83

ก-2.2 แสดงอัตราส่วนพลังงานของมวลน้ำที่สูญเสียไปสำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III (ควบคุมระดับท้ายน้ำ) 84

ก-2.3 แสดงอัตราส่วนพลังงานของมวลน้ำที่สูญเสียไปสำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III + ท่อขนาด ϕ 0.5" (ไม่ควบคุมระดับท้ายน้ำ) 85

ก-2.4 แสดงอัตราส่วนพลังงานของมวลน้ำที่สูญเสียไปสำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III + ท่อขนาด ϕ 0.5" (ควบคุมระดับท้ายน้ำ) .. 86

ก-2.5 แสดงอัตราส่วนพลังงานของมวลน้ำที่สูญเสียไปสำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III + ท่อขนาด ϕ 1" (ไม่ควบคุมระดับท้ายน้ำ) .. 87

ก-2.6 แสดงอัตราส่วนพลังงานของมวลน้ำที่สูญเสียไปสำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III + ท่อขนาด ϕ 1" (ควบคุมระดับท้ายน้ำ) .. 88

ก-2.7 แสดงอัตราส่วนเปรียบเทียบของ Tailwater depth ต่อInitial depth กับ Froude Number สำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III (ไม่ควบคุมระดับท้ายน้ำ) 89

ก-2.8 แสดงอัตราส่วนเปรียบเทียบของ Tailwater depth ต่อ Initial depth กับ Froude Number สำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III (ควบคุมระดับท้ายน้ำ) 90

ก-2.9 แสดงอัตราส่วนเปรียบเทียบของ Tailwater depth ต่อ Initial depth กับ Froude Number สำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III + ท่อขนาด ϕ 0.5" (ไม่ควบคุมระดับท้ายน้ำ) 91

ก-2.10 แสดงอัตราส่วนเปรียบเทียบของ Tailwater depth ต่อ Initial depth กับ Froude Number สำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III + ท่อขนาด ϕ 0.5" (ควบคุมระดับท้ายน้ำ) 92

หน้า

รูปที่

ก-2.11 แสดงอัตราส่วนเปรียบเทียบของ Tailwater depth ต่อ Initial depth กับ Froude Number สำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III + ท่อขนาด ϕ 1" (ไม่ควบคุมระดับท้ายน้ำ) 93

ก-2.12 แสดงอัตราส่วนเปรียบเทียบของ Tailwater depth ต่อ Initial depth กับ Froude Number สำหรับแอ่งน้ำนิ่ง USBR Type III + ท่อขนาด ϕ 1" (ควบคุมระดับท้ายน้ำ) 94

ข-3.1 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า H กับ Q ของเวีย 107

ข-3.2 กราฟ LOG เปรียบเทียบระหว่างค่า H กับ Q ของเวีย ... 108

ข-3.3 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า H กับ Q ของทางน้ำล้น 109

ข-3.4 กราฟ LOG เปรียบเทียบระหว่างค่า H กับ Q ของทางน้ำล้น .. 110

ข-3.5 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า H กับ V ของ PITOT Tube .. 111

ข-3.6 กราฟ LOG เปรียบเทียบระหว่างค่า H กับ V ของ PITOT Tube 112

ค-1 แสดงตำแหน่งของรูปแบบจำลองทางน้ำล้นในห้องปฏิบัติการ .. 114

ค-2 แสดงรูปด้านของรูปแบบจำลองทางน้ำล้น 115

ค-3 แสดงรายละเอียดการเสริมเหล็กรูปแบบจำลองทางน้ำล้น .. 116

ค-4 แสดงแบบขยายละเอียดรูปแบบจำลองทางน้ำล้น 117

รายการสัญญลักษณ์

A	=	พื้นที่ใด ๆ ; m^2.
a	=	อัตราเร่ง; m/sec^2.
b	=	ความกว้างใด ๆ ; m.
C	=	ค่า ส.ป.ส. ใด ๆ
C_d	=	ส.ป.ส. แห่งการไหล (Coefficient of Discharge)
D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ; m.
E	=	พลังงานจำเพาะ (Specific energy) ; m
$E_L = \Delta E$	=	พลังงานมวลน้ำต่อหน่วยน้ำหนักที่สูญเสียไปในแอ่งน้ำนิ่ง ; m
F	=	ค่าแรงใด ๆ ; N
f	=	แฟคเตอร์ความเสียดทานของการไหลในท่อ
g	=	อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก ; m/sec^2
h	=	ความสูงใด ๆ ; m.
H_e, H	=	ค่าเฮดรวมทั้งหมด (Total Head); m.
H_d	=	ค่า Design head ไม่รวม Velocity head ของ approach flow ; m
h_f	=	พลังงานความสูง ที่สูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานภายในท่อ ; m
$H_L = \Delta H$	=	พลังงานมวลน้ำ ที่สูญเสียไปภายในแอ่งน้ำนิ่ง
K	=	ค่าคงที่ใด ๆ (Any constant or Parameter)
L	=	ความกว้างของเวีย ; m.
	=	ความยาวใด ๆ ; m.
m	=	ค่ามวล ; Kg.
n	=	ค่าคงที่ใด ๆ (Any constant or Parameter)
P	=	ความกดดัน ; N/m^2
Q	=	อัตราการไหลของปริมาณน้ำ ; m^3/sec.
q	=	ปริมาณน้ำที่ไหลต่อความกว้างลำน้ำหนึ่งหน่วย ; $m^3/sec/m$.
R	=	รัศมีไฮดรอลิค (Hydraulic radius) ; m.

S_e = ความลาดเอียงของเส้นลาดพลัง (Slope of energy grade line)

T = เวลา ; sec.

= ความกว้างของผิวน้ำอิสระบนหน้าตัดการไหล ; m.

T.W.Depth = ความลึกของท้ายน้ำ (Tail-water depth) ; m

V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหลของน้ำ ; m/sec.

= ปริมาตรของวัตถุใด ๆ ; m^3

v = ความเร็วของน้ำ ณ จุด ใด ๆ ; m/sec.

W = ค่าน้ำหนักรวมทั้งหมด (Total weight) ; kg.

X = เป็น Co-ordinates ในแกน X

x = ระยะทาง, ใช้ในแนวขนานไปกับการไหลของลำน้ำ

Y = เป็น Co-ordinates ในแกน Y

y_c = ความลึกวิกฤต (Critical depth) ; m.

y_1 = ความลึกของลำน้ำที่จุด 1 ; m.

y_2 = ความลึกของลำน้ำที่จุด 2 ; m.

Z = ระดับความสูงเหนือระดับ ที่กำหนดให้ ; m.

F_1, F_r = ฟรัดนัมเบอร์ (Froude Number)

R_e = เรโนลด์นัมเบอร์ (Reynolds Number)

λ = แฟคเตอร์ของการไหลคีนีเมติค (Kinetic-flow factor)

γ (Gamma) = น้ำหนักจำเพาะ ; N/m^3

α (Alpla) = แฟคเตอร์ของเฮดความเร็ว (Velocity head correction factor)

β (Beta) = ส.ป.ส. ของไมเมนตั้ม (Momentum coefficient or Boussinesq coefficient)

θ (Theta) = มุมของท้องน้ำที่ทำกับแนวนอน

ω (Omega) = ความเร็วเชิงมุม, เรเดียน/วินาที

ρ (Rho) = ความหนาแน่นของน้ำ ; mass per unit volume. ; Kg/m^3

ν (Nu) = ความหนืดคีนีเมติค (Kinematic viscosity) ; $m^2/sec.$

μ (Mu) = ความหนืดสมบูรณ์ (Dynamic viscosity) ; Kg/m.sec

σ (Sigma) = แรงตึงผิว (Surface tension) ; N/m