

ลักษณะการไหลผ่านทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีตะแกรงผ่น้ำอยู่ที่ท้องน้ำ



นายยุทธนา แก้วคำแจ้ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-722-9

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 19259326 24 S.A. 2546

FLOW CHARACTERISTICS ALONG DIVERSION BOTTOM-RACKS  
IN A RECTANGULAR CHANNEL

Mr. Yuddhana Keokhumcheng

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

Faculty of Engineering


Chulalongkorn University

Academic Year 1999

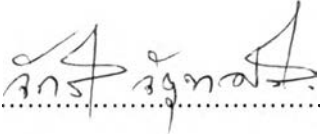
ISBN 974-333-722-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	พฤติกรรมกรไหลผ่านทางน้ำรูปลี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีตะแกรง ผืนน้ำอยู่ที่ท้องน้ำ
โดย	นายยุทธนา แก้วคำแจ้ง
ภาควิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์จักรี จิตุหะศรี)

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

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

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธา)

ยุทธนา แก้วคำแจ้ง : ลักษณะการไหลผ่านทางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีตะกอนฝืนน้ำอยู่ที่ท้องน้ำ (Flow Characteristics Along Diversion Bottom-racks in A Rectangular Channel) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. ทวนพัน กิจไพศาลสกุล, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร. ครรชิต ลิขิตเดชาไชจน์, 335 หน้า. ISBN 974-333-722-9

การศึกษานี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการไหลผ่านทางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีตะกอนฝืนน้ำอยู่ที่ท้องน้ำ โดยทดลองกับแบบจำลองตะกอนฝืนน้ำที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด ( $E$ ) ต่างๆกัน จึงได้มีการพัฒนาสมการโดยใช้วิธี Finite Difference Method เพื่อให้หาความสัมพันธ์การไหลเหนือตะกอนฝืนน้ำ รวมทั้งเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าที่คำนวณได้จากสมการของ Mostkow

ในการศึกษาได้มุ่งเน้นไปที่การหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลผ่านตะกอนฝืนน้ำ ได้แก่ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะกอน( $E$ ), สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะกอนฝืนน้ำ ( $C_D$ ), พลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะกอน( $E_D$ ), อัตราการไหลสู่ตะกอน( $Q_D$ )และรูปแบบของการไหลเข้าสู่ตะกอน โดยมีการวัดอัตราการไหลที่ถูกฝืนลอดผ่านตะกอน ( $Q_0$ ) และความสัมพันธ์การไหลที่ตำแหน่งต่างๆ ในทางน้ำ จากนั้นได้วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง

จากผลการทดลองพบว่า  $Q_0$  แปรผันตาม  $E$  และ  $Q_D$  โดยจะมีอัตราการฝืนน้ำลดลงเมื่อ  $Q_D$  เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากข้อจำกัดของความสามารถในการฝืนน้ำของตะกอนนั้นๆ ในการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลที่มีผลต่ออัตราการฝืนน้ำพบว่าที่อัตราการไหลเข้าสู่ตะกอนเดียวกัน อัตราการไหลฝืนน้ำเนื่องจากการไหลแบบเหนือวิกฤติจะมีค่าสูงกว่าแบบใต้วิกฤติ เนื่องจากพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะกอนของการไหลแบบเหนือวิกฤติมีค่าสูงกว่า ในการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์การไหลเหนือตะกอนฝืนน้ำพบว่าความสัมพันธ์การไหลที่คำนวณได้จากวิธี Finite Difference Method จะมีค่าสูงกว่าที่ได้จากการทดลอง เนื่องมาจากสมมุติฐานที่ว่าพลังงานจำเพาะมีค่าคงที่ตลอดการไหล โดยมีค่าคลาดเคลื่อน 5-10 % สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติและ 3-9 % สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติ และยังพบอีกว่าจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้จากสมการของ Mostkow

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า ความสามารถในการฝืนน้ำของตะกอนฝืนน้ำขึ้นอยู่กับ ขนาดของตะกอน, อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะกอน( $E$ ), พลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะกอน( $E_D$ ) และลักษณะของทางน้ำ จึงได้นำเสนอเป็นแนวทางในการออกแบบตะกอนฝืนน้ำ

ภาควิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ  
ปีการศึกษา..... 2542

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

3971387221 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD: BOTTOM-RACKS / DIVERTED FLOW / FLOW CHARACTERISTICS / DISCHARGE COEFFICIENT

YUDDHANA KEOKHUMCHENG : FLOW CHARACTERISTICS ALONG DIVERSION BOTTOM-RACKS IN A RECTANGULAR CHANNEL THESIS ADVISOR : TUANTAN KITPAISALSAKUL, Ph.D. THESIS

CO-ADVISON : KANCHIT LIKITDECHAROTE, Ph.D. 335 pp. ISBN 974-333-722-9

This study was aimed at the flow characteristics through diversion bottom-racks in rectangular channel.

The experiment was carried out with the models of longitudinal bar bottom-racks with difference values of opening area ratio. Theoretical study has developed the equation to calculate depth of flow over the racks by the Finite Difference Method and compared the results to the experiments and the results from Mostkow's equation.

The experiment was focused on the relations of the parameters that concern with the flow through the racks : opening area ratio( $\epsilon$ ), discharge coefficient through the racks( $C_p$ ), specific energy of flow through the racks ( $E_p$ ), flow rate through the racks( $Q_p$ ) and type of flow through the racks. The experiment also focused on depth of flow over the racks and rate of diverted flow. The analysis of relationship between these parameters was carried out too.

From the experiment it was found that  $Q_p$  varied with  $\epsilon$  and  $Q_p$ . It also should be noted that rate of increasing of diverted flow rate trended to decrease with increasing of flow rate through the racks because of the limit of capability of each rack about flow diversion. It also found that rate of diverted flow due to supercritical flow was greater than that due to subcritical flow because the specific energy of flow through the racks ( $E_p$ ) due to supercritical flow was greater than that due to subcritical flow. For depth of flow over the racks, the results that were calculated by the Finite Difference Method were greater than the results from the experiments because the assumption of equation about flow over diversion bottom-racks that was used in this study ignored the loss of specific energy. The average error of depth of flow over the racks was 5-10 % for subcritical approach flow and 3-9 % for supercritical approach flow. It was also found that the depth of flow over the racks was close to the results calculated by Mostkow's equation.

From the study, it could be concluded that the capability about flow diversion of bottom-racks depends significantly on size of diversion bottom-racks, opening area ratio ( $\epsilon$ ), specific energy of flow through the racks ( $E_p$ ) and the features of the channel. The design criteria of diversion bottom-racks are also presented.

ภาควิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....  
ปีการศึกษา.....2542.....

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์จักรี จัตตะศรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธา และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา และ อาจารย์ ดร.ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งกรุณาให้โอกาสแก่ข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์ในหัวข้อดังกล่าวนี้ รวมทั้งให้คำปรึกษาและข้อชี้แนะตลอดจนความคิดเห็นอันมีค่า และมีประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา อีกทั้งบรรดาคณาจารย์วิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ต่างๆ และอบรมสั่งสอนข้าพเจ้าตลอดมา ทำให้ข้าพเจ้าเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ ทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงลงได้

อนึ่ง ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านทุนวิจัยบางส่วนแก่การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ คุณธนพล แก้วคำแจ่ม และคุณสุรัชย์ พิมพ์สาลี ที่มีส่วนในการช่วยสร้างแบบจำลองทางกายภาพด้วยความลำบากยิ่ง อีกทั้งเพื่อนรวมทั้งรุ่นพี่และรุ่นน้องในภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านการเรียนตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ที่มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการสนับสนุนในด้านค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งกำลังใจที่มีให้แก่ข้าพเจ้าตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

ยุทธนา แก้วคำแจ่ม

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญรูป .....	ต
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ .....	บ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 บทนำและความเป็นมาของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา .....	2
1.3 แนวทางการศึกษา .....	5
1.4 การดำเนินการศึกษา .....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา .....	9
2.1 ลักษณะทางกายภาพของตะแกรงผืนน้ำ .....	9
2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา .....	13
บทที่ 3 การศึกษาที่ผ่านมา .....	27
บทที่ 4 การพัฒนาสมการเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา .....	42

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 วิธีการศึกษาวิจัย .....	53
5.1 เครื่องมือที่ใช้ทำการทดลองเก็บข้อมูล .....	53
5.2 ระบบการหมุนเวียนของน้ำ .....	60
5.3 รูปแบบการทดลอง .....	60
5.4 วิธีทำการทดลอง .....	62
บทที่ 6 ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัย .....	65
6.1 พฤติกรรมการไหลทั่วๆไปของการไหลเข้าสู่ตะแกรงฝัมน้ำที่เป็นการไหลแบบไดวิกฤติ .....	67
6.2 พฤติกรรมการไหลทั่วๆไปของการไหลเข้าสู่ตะแกรงฝัมน้ำที่เป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ .....	92
6.3 การเปรียบเทียบพฤติกรรมการไหลทั่วๆไปของการไหลเข้าสู่ตะแกรงฝัมน้ำที่เป็นการไหลแบบไดวิกฤติและการไหลแบบเหนือวิกฤติ .....	110
6.4 การเปรียบเทียบความลึกการไหลเหนือตะแกรงฝัมน้ำที่ได้จากวิธี Finite Difference Method และจากการทดลอง .....	120
6.5 การเปรียบเทียบความลึกการไหลเหนือตะแกรงฝัมน้ำที่ได้จากวิธี Finite Difference Method และจากวิธี Analytical โดยใช้สมการที่ได้จาก Mostkow .....	132
6.6 Water Surface Profiles ของการไหลในทางน้ำที่มีตะแกรงฝัมน้ำอยู่ที่ท้องน้ำ .....	138
6.7 สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการไหลผ่านตะแกรงฝัมน้ำ .....	145
6.8 แนวทางในการคำนวณเพื่อออกแบบตะแกรงฝัมน้ำที่มีช่องว่างของตะแกรงวางขนานกับทิศทางการไหลในทางน้ำหลัก .....	153



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ .....	161
7.1 บทสรุป .....	161
7.2 ข้อเสนอแนะ .....	168
รายการอ้างอิง .....	171
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ข้อมูลจากการทดลองและการคำนวณตัวแปรต่างๆ .....	175
ที่เกี่ยวข้องกับการไหลผ่านตะแกรงฝัมน้ำ	
ภาคผนวก ข เปรียบเทียบความลึกการไหลเหนือตะแกรงฝัมน้ำ .....	188
ที่ได้จากการคำนวณเทียบกับการทดลอง	
ภาคผนวก ค กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลที่ได้ .....	255
จากแต่ละวิธีกับความยาวของตะแกรงฝัมน้ำ	
ภาคผนวก ง ค่าตลาดเคลื่อนของความลึกการไหลเหนือตะแกรงฝัมน้ำ .....	266
น้ำที่ได้จากการคำนวณเทียบกับที่ได้จากการทดลอง	
ภาคผนวก จ ผลการทดลองของการวัดค่าความลึกการไหลที่ระยะ .....	271
ต่างๆของรางน้ำ A	
ภาคผนวก ฉ การคำนวณความลึกการไหลเหนือตะแกรงฝัมน้ำโดย .....	292
ใช้วิธี Finite Difference Method	
ภาคผนวก ช การปรับเทียบ (Calibration) เครื่องควบคุมและวัด .....	320
อัตราการไหล (Flow Meter)	
ภาคผนวก ช รูปภาพประกอบ .....	323

## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
5-1	การจําแนกรูปแบบของตะกอนกึ่งผิวน้ำที่ใช้ในการศึกษาวิจัย .....	61
6-1	ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะกอนกึ่งผิวน้ำที่คำนวณได้จากวิธี Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากการทดลอง ในกรณีที่มีการไหลเข้าสู่ตะกอนกึ่งผิวน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ (Subcritical Flow) .....	127
6-2	ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะกอนกึ่งผิวน้ำที่คำนวณได้จากวิธี Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากการทดลอง ในกรณีที่มีการไหลเข้าสู่ตะกอนกึ่งผิวน้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ (Supercritical Flow) .....	130
6-3	ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะกอนกึ่งผิวน้ำที่คำนวณได้จากวิธี Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากวิธี Analytical โดยใช้สมการของ Mostkow ในกรณีที่มีการไหลเข้าสู่ตะกอนกึ่งผิวน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ (Subcritical Flow) .....	135
6-4	ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะกอนกึ่งผิวน้ำที่คำนวณได้จากวิธี Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากวิธี Analytical โดยใช้สมการของ Mostkow ในกรณีที่มีการไหลเข้าสู่ตะกอนกึ่งผิวน้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ (Supercritical Flow) .....	135
6-5	ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไหลผ่านตะกอนกึ่งผิวน้ำโดยวิธีพหุคูณ ในกรณีที่มีการไหลเข้าสู่ตะกอนกึ่งผิวน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ .....	147
6-6	ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไหลผ่านตะกอนกึ่งผิวน้ำโดยวิธีพหุคูณ ในกรณีที่มีการไหลเข้าสู่ตะกอนกึ่งผิวน้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ .....	148
7-1	ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_0$ กับ $Q_D$ , $Q_R$ , $C_D$ และ $y_{x=0\text{ cm}}$ .....	161
7-2	ความสัมพันธ์ระหว่าง $Q_S$ กับ $Q_D$ , $Q_R$ , $C_D$ และความลึกการไหลในทางน้ำที่หน้าตัดต่างๆ ก่อนถึงตะกอนกึ่งผิวน้ำ .....	162
7-3	ความสัมพันธ์ระหว่าง $E$ กับ $Q_D$ , $Q_R$ , $C_D$ และความลึกการไหลในทางน้ำที่หน้าตัดต่างๆ ก่อนถึงตะกอนกึ่งผิวน้ำ .....	163
7-4	การเปรียบเทียบพฤติกรรมกรมการไหลอันเนื่องมาจากสภาพการไหลเข้าสู่ตะกอนกึ่งผิวน้ำ .....	164
ก-1	ข้อมูลจากการทดลองและการคำนวณตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไหลแบบใต้วิกฤติ ตะกอนกึ่งผิวน้ำที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด, $\epsilon = 0.2083$ .....	178





สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข-17 เปรียบเทียบความลึกการไหลที่ได้จากวิธี Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากการคำนวณโดย สมการของ Mostkow [(2-11) หรือ (3-4)] เหนือตะกอนฝันท้ำที่มี $\epsilon = 0.2422$ และการไหลเข้าสู่ตะกอน เป็นการไหลเหนือวิกฤติ	247
ข-18 เปรียบเทียบความลึกการไหลที่ได้จากวิธี Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากการคำนวณโดย สมการของ Mostkow [(2-11) หรือ (3-4)] เหนือตะกอนฝันท้ำที่มี $\epsilon = 0.2754$ และการไหลเข้าสู่ตะกอน เป็นการไหลเหนือวิกฤติ	249
ข-19 เปรียบเทียบความลึกการไหลที่ได้จากวิธี Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากการคำนวณโดย สมการของ Mostkow [(2-11) หรือ (3-4)] เหนือตะกอนฝันท้ำที่มี $\epsilon = 0.3112$ และการไหลเข้าสู่ตะกอน เป็นการไหลเหนือวิกฤติ	251
ข-20 เปรียบเทียบความลึกการไหลที่ได้จากวิธี Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากการคำนวณโดย สมการของ Mostkow [(2-11) หรือ (3-4)] เหนือตะกอนฝันท้ำที่มี $\epsilon = 0.3804$ และการไหลเข้าสู่ตะกอน เป็นการไหลเหนือวิกฤติ	253
จ-1 ตารางแจกแจงความถี่ของช่วงค่าคลาดเคลื่อนของความลึกการไหลเหนือตะกอนฝันท้ำ โดยการไหล เข้าสู่ตะกอนฝันท้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ	267
จ-2 ตารางแจกแจงความถี่ของช่วงค่าคลาดเคลื่อนของความลึกการไหลเหนือตะกอนฝันท้ำ โดยการไหล เข้าสู่ตะกอนฝันท้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ	269
จ-1 ความลึกการไหลที่ระยะต่าง ๆ สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะกอนฝันท้ำที่มี $\epsilon = 0.2083$	272
จ-2 ความลึกการไหลที่ระยะต่าง ๆ สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะกอนฝันท้ำที่มี $\epsilon = 0.2422$	274
จ-3 ความลึกการไหลที่ระยะต่าง ๆ สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะกอนฝันท้ำที่มี $\epsilon = 0.2754$	276
จ-4 ความลึกการไหลที่ระยะต่าง ๆ สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะกอนฝันท้ำที่มี $\epsilon = 0.3112$	278
จ-5 ความลึกการไหลที่ระยะต่าง ๆ สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะกอนฝันท้ำที่มี $\epsilon = 0.3804$	280
จ-6 ความลึกการไหลที่ระยะต่าง ๆ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะกอนฝันท้ำที่มี $\epsilon = 0.2083$	282
จ-7 ความลึกการไหลที่ระยะต่าง ๆ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะกอนฝันท้ำที่มี $\epsilon = 0.2422$	284
จ-8 ความลึกการไหลที่ระยะต่าง ๆ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะกอนฝันท้ำที่มี $\epsilon = 0.2754$	286
จ-9 ความลึกการไหลที่ระยะต่าง ๆ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะกอนฝันท้ำที่มี $\epsilon = 0.3112$	288
จ-10 ความลึกการไหลที่ระยะต่าง ๆ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะกอนฝันท้ำที่มี $\epsilon = 0.3804$	290
ธ-1 การคำนวณหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการหาความลึกการไหลโดยวิธี Finite Difference Method	305

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
๑-2 ตัวอย่างการคำนวณหาความลึกการไหลเหนือตะแกรงผิวน้ำโดยวิธี Finite Difference Method ..... 314 (กรณีที่มีพลังงานจำเพาะของการไหลเหนือตะแกรงผิวน้ำ, $E_0 = 0.1293$ m.)	

## สารบัญรูป

รูป		หน้า
1-1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการศึกษา .....	8
2-1	ลักษณะของตะแกรงผ่นน้ำชนิดต่างๆ .....	11
2-2	ทางน้ำที่มีตะแกรงผ่นน้ำที่ท้องน้ำ .....	17
2-3	ลักษณะทั่วไป ของตะแกรงผ่นน้ำที่อยู่ที่ท้องน้ำ .....	21
2-4	ผลงานของการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงในทางน้ำเปิดใดๆ .....	23
2-5	ผลงานจำเพาะของการไหลในทางน้ำเปิด .....	25
3-1	การจำแนกสภาพการไหลเหนือตะแกรงผ่นน้ำโดย Shree Kant Shukla .....	35
3-2	ลักษณะของผ่ายด้านข้างและการไหลเหนือผ่าย .....	38
3-3	หน้าตัดขวางของทางน้ำรูปตัว U .....	40
4-1	หน้าตัดของทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก .....	44
5-1	ลักษณะของชุดทดลองที่ใช้ในการศึกษาเก็บข้อมูล .....	54
5-2	รายละเอียดของรางน้ำและตะแกรงผ่นน้ำ .....	55
5-3	เครื่องมือและควบคุมอัตราการไหล (Flow Meter) .....	57
5-4	ตัวอย่างของตะแกรงผ่นน้ำซึ่งติดตั้งเรียบร้อยแล้ว .....	59
5-5	ระยะต่างๆ ของตะแกรงผ่นน้ำ .....	61
6-1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q_0$ , $Q_R$ และค่า $E_0$ สำหรับการไหลแบบไดวิกฤตีสู่ตะแกรงผ่นน้ำที่มี $E$ ต่างๆ .....	68
6-2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_0$ และค่า $E_0$ สำหรับการไหลแบบไดวิกฤตีสู่ตะแกรงผ่นน้ำที่มี $E$ ต่างๆ .....	73
6-3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $y_{x=0\text{ cm}}$ และค่า $E_0$ สำหรับการไหลแบบไดวิกฤตีสู่ตะแกรงผ่นน้ำที่มี $E$ ต่างๆ .....	75
6-4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q_0$ และค่า $Q_S$ สำหรับการไหลแบบไดวิกฤตีสู่ตะแกรงผ่นน้ำที่มี $E$ ต่างๆ .....	77
6-5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q_0/Q_S$ และค่า $Q_S$ สำหรับการไหลแบบไดวิกฤตีสู่ตะแกรงผ่นน้ำที่มี $E$ ต่างๆ .....	78
6-6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q_R$ และค่า $Q_S$ สำหรับการไหลแบบไดวิกฤตีสู่ตะแกรงผ่นน้ำที่มี $E$ ต่างๆ .....	81
6-7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q_R/Q_S$ และค่า $Q_S$ สำหรับการไหลแบบไดวิกฤตีสู่ตะแกรงผ่นน้ำที่มี $E$ ต่างๆ .....	83
6-8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_0$ และค่า $Q_S$ สำหรับการไหลแบบไดวิกฤตีสู่ตะแกรงผ่นน้ำที่มี $E$ ต่างๆ .....	84
6-9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $y_0$ และค่า $Q_S$ สำหรับการไหลแบบไดวิกฤตีสู่ตะแกรงผ่นน้ำที่มี $E$ ต่างๆ .....	86
6-10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $y_{x=0\text{ cm}}$ , $y_{x=-120\text{ cm}}$ และค่า $Q_S$ สำหรับการไหลแบบไดวิกฤตีสู่ตะแกรงผ่นน้ำที่มี $E$ ต่างๆ .....	87
6-11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_0$ และ $Q_0$ สำหรับการไหลแบบไดวิกฤตีสู่ตะแกรงผ่นน้ำที่มี $E$ ต่างๆ .....	90
6-12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q_0$ , $Q_R$ และค่า $E_0$ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤตีสู่ตะแกรงผ่นน้ำที่มี $E$ ต่างๆ .....	93





## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
6-33 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะกอนงมฝั่งน้ำที่มี $\varepsilon = 0.2422$ สำหรับ ..... 124 การไหลแบบเหนือวิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะกอน $0.0415 \text{ m}^3/\text{s}$ .	
6-34 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะกอนงมฝั่งน้ำที่มี $\varepsilon = 0.2754$ สำหรับ ..... 124 การไหลแบบเหนือวิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะกอน $0.0415 \text{ m}^3/\text{s}$ .	
6-35 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะกอนงมฝั่งน้ำที่มี $\varepsilon = 0.2754$ สำหรับ ..... 125 การไหลแบบเหนือวิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะกอน $0.0415 \text{ m}^3/\text{s}$ .	
6-36 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะกอนงมฝั่งน้ำที่มี $\varepsilon = 0.3804$ สำหรับ ..... 125 การไหลแบบเหนือวิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะกอน $0.0415 \text{ m}^3/\text{s}$ .	
6-37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะกอนงมฝั่งน้ำ ..... 128 (ที่คำนวณได้จาก Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากการทดลอง) และอัตราการไหล เข้าสู่ตะกอนงมฝั่งน้ำ ( $Q_0$ ) ในกรณีที่มีการไหลเข้าเป็นการไหลแบบได้วิกฤติ	
6-38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะกอนงมฝั่งน้ำ ..... 131 (ที่คำนวณได้จาก Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากการทดลอง) และอัตราการไหล เข้าสู่ตะกอนงมฝั่งน้ำ ( $Q_0$ ) ในกรณีที่มีการไหลเข้าเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ	
6-39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะกอนงมฝั่งน้ำ ..... 136 (ที่คำนวณได้จาก Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากสมการของ Mostkow ) และอัตราการไหลเข้าสู่ตะกอนงมฝั่งน้ำ ( $Q_0$ ) ในกรณีที่มีการไหลเข้าเป็นการไหลแบบได้วิกฤติ	
6-40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะกอนงมฝั่งน้ำ ..... 137 (ที่คำนวณได้จาก Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากสมการของ Mostkow ) และอัตราการไหลเข้าสู่ตะกอนงมฝั่งน้ำ ( $Q_0$ ) ในกรณีที่มีการไหลเข้าเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ	
6-41 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่างๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบ ..... 140 ได้วิกฤติสุดตะกอนที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด, $\varepsilon = 0.2083$	
6-42 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่างๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบ ..... 140 ได้วิกฤติสุดตะกอนที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด, $\varepsilon = 0.2422$	
6-43 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่างๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบ ..... 141 ได้วิกฤติสุดตะกอนที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด, $\varepsilon = 0.2754$	
6-44 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่างๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบ ..... 141 ได้วิกฤติสุดตะกอนที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด, $\varepsilon = 0.3112$	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
6-45 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่างๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบ ได้วิกฤติสุดะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด, $\epsilon = 0.3804$	142
6-46 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่างๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบ เหนียววิกฤติสุดะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด, $\epsilon = 0.2083$	142
6-47 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่างๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบ เหนียววิกฤติสุดะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด, $\epsilon = 0.2422$	143
6-48 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่างๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบ เหนียววิกฤติสุดะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด, $\epsilon = 0.2754$	143
6-49 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่างๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบ เหนียววิกฤติสุดะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด, $\epsilon = 0.3112$	144
6-50 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่างๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบ เหนียววิกฤติสุดะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด, $\epsilon = 0.3804$	144
8-51 เปรียบเทียบค่าตัวแปรที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่าตัวแปรที่คำนวณจากสมการที่ได้จาก วิธีถดถอยพหุนกรมณีที่การไหลสู่ตะแกรงฝั่นน้ำเป็นการไหลแบบได้วิกฤติ	151
8-52 เปรียบเทียบค่าตัวแปรที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่าตัวแปรที่คำนวณจากสมการที่ได้จาก วิธีถดถอยพหุนกรมณีที่การไหลสู่ตะแกรงฝั่นน้ำเป็นการไหลแบบเหนียววิกฤติ	152
8-53 แผนภาพแสดงขั้นตอนการคำนวณออกแบบตะแกรงฝั่นน้ำโดยการสมมติค่า $\epsilon$ แล้วคำนวณ หาค่า L	156
8-54 แผนภาพแสดงขั้นตอนการคำนวณออกแบบตะแกรงฝั่นน้ำโดยการสมมติค่า L แล้วคำนวณ หาค่า $\epsilon$	157
ค-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะแกรงฝั่นน้ำที่มี $\epsilon = 0.2083$ สำหรับ การไหลแบบได้วิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรง $0.0100 \text{ m}^3/\text{s}$ .	256
ค-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะแกรงฝั่นน้ำที่มี $\epsilon = 0.2083$ สำหรับ การไหลแบบได้วิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรง $0.0265 \text{ m}^3/\text{s}$ .	256
ค-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะแกรงฝั่นน้ำที่มี $\epsilon = 0.2083$ สำหรับ การไหลแบบได้วิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรง $0.0459 \text{ m}^3/\text{s}$ .	256
ค-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะแกรงฝั่นน้ำที่มี $\epsilon = 0.2422$ สำหรับ การไหลแบบได้วิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรง $0.0100 \text{ m}^3/\text{s}$ .	257





## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
ง-3 ความถี่ของค่าคลาดเคลื่อนของความลึกการไหลเหนือตะกอนก้นน้ำในกรณี ที่การไหลสู่ตะกอนก้นน้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ (Supercritical Flow)	270
ง-4 ความถี่รวมของค่าคลาดเคลื่อนของความลึกการไหลเหนือตะกอนก้นน้ำในกรณี ที่การไหลสู่ตะกอนก้นน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ (Supercritical Flow)	270
จ-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $t$ และ $\psi(t)$ สำหรับ $K=0.2226$	315
จ-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $t$ และ $\psi(t)$ สำหรับ $K=0.08, 0.01$ และ $0.12$	316
จ-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $t$ และ $\psi(t)$ สำหรับ $K=0.14, 0.16$ และ $0.18$	317
จ-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $t$ และ $\psi(t)$ สำหรับ $K=0.20, 0.22$ และ $0.24$	318
จ-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง $t$ และ $\psi(t)$ สำหรับ $K=0.26, 0.28$ และ $0.30$	319
จ-1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ได้จากการชั่งน้ำหนักกับอัตราการไหล ที่อ่านค่าได้จาก Flow Meter (Model 10 DX 3111)	322
จ-1 ลักษณะหน้าตัดภายในรางน้ำ A	324
จ-2 รางน้ำ A ขณะมีน้ำไหลผ่าน	324
จ-3 รางน้ำ B ซึ่งติดตั้งอยู่ใต้รางน้ำ A บริเวณตะกอนก้นน้ำ	325
จ-4 รางน้ำ C ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ปลายของรางน้ำ A ด้านท้ายน้ำ	325
จ-5 ตะกอนก้นน้ำที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด ( $\epsilon$ ) = 0.2754	326
จ-6 หน้าปัทมของ Flow Meter โดยตัวเลขตัวบนคืออัตราการไหลที่ต้องการส่วน ตัวล่างคืออัตราการไหลที่วัดค่าได้จริง	326
จ-7 อุปกรณ์ที่เป็นส่วนหนึ่งของ Flow Meter ใช้ในการวัดค่าอัตราการไหลที่ไหลผ่าน	327
จ-8 ประตุน้ำแบบใช้ลมควบคุมซึ่งทำงานร่วมกับ Flow Meter	327
จ-9 Point Gauge ซึ่งติดตั้งบนชุดล้อเลื่อนและสามารถเคลื่อนที่ไปมาบนรางเหล็กซึ่งติดตั้งอยู่เหนือรางน้ำ A	328
จ-10 มาตรวัดบน Point Gauge ที่ใช้ในการอ่านค่าความลึกการไหล	328
จ-11 การใช้ Point Gauge ในการวัดความลึกการไหลที่ระยะต่างๆในรางน้ำ A เหนือตะกอนก้นน้ำ	329
จ-12 การใช้เครื่องชั่งน้ำหนักในการหาอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผัน ลอดผ่านตะกอนก้นน้ำ ( $Q_p$ ) ที่ไหลมาตามรางน้ำ C	329
จ-13 ท่อน้ำขนาด $\varnothing 4$ นิ้ว ซึ่งนำน้ำเข้ามาสู่ถังสลายพลังงาน	330
จ-14 เศษโม่หินเล็ก ๆ ซึ่งใส่ไว้จนถึงสลายพลังงานเพื่อใช้ในการลดความปั่นป่วนของ กระแสน้ำก่อนไหลสู่ตะกอนก้นน้ำ	330

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
ร-15 ลักษณะของกระแสน้ำที่ผ่านการสลายพลังงานแล้วและกำลังไหลเข้าสู่ตะกอนฝืนน้ำ .....	331
ร-16 การลดระดับความลึกการไหลขณะเกิดการไหลผ่านตะกอนฝืนน้ำ .....	331
ร-17 การไหลแบบไดวิกฤติด้วยอัตราการไหล 0.0145 m <sup>3</sup> /s. สู่ตะกอนฝืนน้ำที่มี อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด (E) = 0.2083 .....	332
ร-18 การไหลแบบไดวิกฤติด้วยอัตราการไหล 0.0100 m <sup>3</sup> /s. สู่ตะกอนฝืนน้ำที่มี อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด (E) = 0.2754 .....	332
ร-19 การไหลแบบเหนือวิกฤติด้วยอัตราการไหล 0.0100 m <sup>3</sup> /s. สู่ตะกอนฝืนน้ำที่มี อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด (E) = 0.2754 .....	333
ร-20 การไหลลอดผ่านตะกอนฝืนน้ำสู่รางน้ำ B .....	333
ร-21 การเกิด Hydraulic Jump บริเวณทำนน้ำของตะกอนฝืนน้ำ .....	334
ร-22 การไหลของน้ำบนที่ตะกอนฝืนน้ำเนื่องจากความแบนราบของที่ตะกอน .....	334

**คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้**

- Q : อัตราการไหลใด ๆ
- $Q_s$  : อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผิวน้ำ
- $Q_D$  : อัตราการไหลที่ถูกผันลวดผ่านตะแกรงผิวน้ำ
- $Q_R$  : อัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลวดผ่านตะแกรงผิวน้ำ
- E : อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผิวน้ำ
- b : ความกว้างของทางน้ำหรือของตะแกรงผิวน้ำ
- L : ความยาวของตะแกรงผิวน้ำ
- $C_D$  : สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลวดผ่านตะแกรงผิวน้ำที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้
- c : สัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านช่องเปิด หรือตะแกรงใด ๆ
- g : ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก =  $9.81 \text{ m}^2/\text{s}$
- $E_o$  : พลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ (Approach flow) ตะแกรงผิวน้ำ ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้
- E : พลังงานจำเพาะของการไหลใด ๆ
- $v_o$  : ความเร็วเฉลี่ยของการไหลเข้าสู่ (Approach flow) ตะแกรงผิวน้ำที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้
- v : ความเร็วเฉลี่ยของการไหลใด ๆ ในทางน้ำ
- $y_o$  : ความลึกการไหลในทางน้ำ บริเวณกึ่งกลางของหน้าตัดที่อยู่ห่าง จากหน้าตัดที่เป็นจุดเริ่มต้นของตะแกรงผิวน้ำไปทางเหนือน้ำ เป็นระยะทาง 5 เท่าของความลึกการไหลที่หน้าตัดที่เป็นจุดเริ่มต้นของตะแกรงผิวน้ำ โดยที่หน้าตัดดังกล่าวนี้ จะใช้เป็นหน้าตัดที่ใช้หาพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ (Approach flow) ตะแกรงผิวน้ำ
- x : ระยะทางในทางน้ำเทียบกับจุดเริ่มต้นของตะแกรงผิวน้ำ โดยจะมีค่าเป็นลบ เมื่ออยู่ทางด้านเหนือน้ำ และมีค่าเป็นบวกเมื่ออยู่ทางด้านทำynnน้ำ

- $x^*$  : ระยะทางตามแนวตะแกรงผิวน้ำ ที่ความลึกการไหล = 0
- $A$  : พื้นที่หน้าตัดของทางน้ำ
- $a$  : พื้นที่หน้าตัดของการไหลในทางน้ำ
- $t$  : ตัวแปรไร้มิติ (dimensionless parameter) =  $y_0/b$
- $K$  : ตัวแปรไร้มิติ (dimensionless parameter) =  $E_0/b$
- $\phi(t), \psi(t)$  : Integral areas
- $S_0$  : ความลาดของท้องน้ำตามทิศทางการไหล
- $n$  : สัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำ (Roughness Coefficient)