

การไหลในทางน้ำเปิดที่มีพื้นผิวเป็นสังกะสีถูกผูก



เรืออากาศเอก วิญญู กุลศิริมงคล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2525

ISBN 974-560-796-7

007458

i 17562478

FLOW THROUGH OPEN CHANNEL LINED WITH CORRUGATED IRON

FLIGHT LIEUTENANT WINYU KULSIRIMONGKOL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

GRADUATE SCHOOL

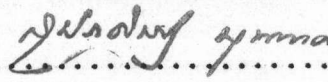
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1982

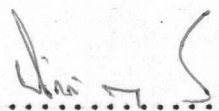
หัวข้อวิทยานิพนธ์      การไหลในทางน้ำเปิดที่มีพื้นผิวเป็นสังกะสีลูกฟูก  
โดย                              เรืออากาศเอก วิญญู กุลศิริมงคล  
ภาควิชา                              วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ วรณ คุ้มวาสี

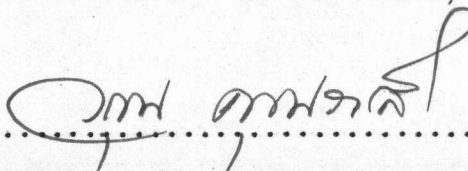
---

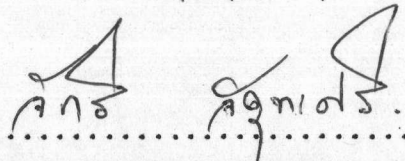
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

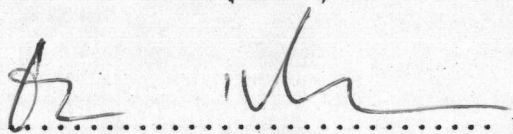
.....  ..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. นิวัตต์ ดารานันท์)

.....  ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ วรณ คุ้มวาสี )

.....  ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ จักกริ จิตตะศรี )

.....  ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ อ่างง เปรมปรีดี )

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การไหลในทางน้ำเปิดที่มีพื้นผิวเป็นสังกะสีลูกฟูก
ชื่อนิสิต	เรืออากาศเอก วิญญู กุลศิริมงคล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ วรณ คุณวาสิ
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2524

บทคัดย่อ



การวิจัยนี้ เพื่อศึกษาลักษณะการไหลของน้ำในทางน้ำไหลที่มีพื้นผิวเป็นสังกะสีรูปครึ่งวงกลม 3 แบบ คือ แบบที่ 1 สังกะสีลูกฟูกมีลอนขวางทางน้ำ แบบที่ 2 สังกะสีลูกฟูกลาดพื้นผิวขามะตอย แบบที่ 3 สังกะสีแผ่นเรียบ ว่าแบบไหนมีประสิทธิภาพในการชะลอความเร็วการไหลของมวลน้ำได้ดีและเหมาะสมมากกว่ากัน เพื่อที่จะนำไปใช้ประโยชน์สำหรับส่งน้ำสู่แปลงเพาะปลูกและเป็นแนวทางออกแบบคูส่งน้ำขนาดเล็กต่อไป ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทดสอบลักษณะการไหลของน้ำในทางน้ำไหลที่มีพื้นผิวเป็นสังกะสีรูปครึ่งวงกลม 3 แบบ แล้วนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกัน พบว่า ที่ค่า  $R_e = 6 \times 10^3$  เดียวกันนี้

แบบที่ 2 - มีค่า  $f$  มากกว่าค่า  $f$  แบบที่ 1 และ 3 ประมาณ 21.03 %  
และ 84.88 % ตามลำดับ

- มีค่า  $\eta$  มากกว่าค่า  $\eta$  แบบที่ 1 และ 3 ประมาณ 13.83 %  
และ 63.99 % ตามลำดับ

แสดงให้เห็นว่า แบบที่ 2 มีประสิทธิภาพในการชะลอความเร็วการไหลของมวลน้ำได้ดีกว่าแบบที่ 1 และ 3 แต่แบบที่ 2 มีข้อเสียที่ไม่เหมาะสมจะนำไปใช้ในประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศร้อนแบบบ้านเรา เนื่องจากขามะตอยที่นำมาลาดพื้นผิวสังกะสีลูกฟูกรูปครึ่งวงกลมเมื่อได้รับความร้อนจะเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวและไหลมารวมกันบนพื้นสังกะสีลูกฟูกรูปครึ่ง

วงกลม ทำให้มีพื้นที่รับปริมาณการไหลของมวลน้ำน้อยลง จากผลการทดลองและวิเคราะห์  
ผู้วิจัยเห็นว่า แบบที่ 1 จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการส่งน้ำสู่แปลงเพาะปลูกและ  
เป็นแนวทางออกแบบคูส่งน้ำขนาดเล็กในอนาคตต่อไป



2

- f value of the type 2 is greater than the f value of the type 1 and 3 about 21.03 % and 84.88 % respectively.

- n value of the type 2 is greater than the n value of the type 1 and 3 about 13.83 % and 63.99 % respectively.

The result shows that the efficiency to reduce the velocity of the flow of water in an confined ditch of the type 2 channel is better than those of type 1 and 3. But there is a disadvantage of the type 2 that it is not suit to use in the hot climate area as in our country. This unsuitable case comes from the asphalt that covers the semicircle corrugated iron channel, will change from the semi solidstate to be liquid and flowable state caused by the heat and may flow to be only at the bottom of the channel. These causes the reduction of the cross section area of the channel that the water flows through. The researcher uses the results of the test to analyzed and consider that the type 1 is more suitable to be used for the project of carrying water to the cultivated field and can be used as the recommended type of the small irrigation ditch in the future.



## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยและวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ วรุณ คุณวาสี ที่ได้กรุณาแนะนำทางปฏิบัติรวมทั้งให้ความคิดเห็นทางวิชาการต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ให้แก่ผู้วิจัยนับแต่เริ่มต้นจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อ ศาสตราจารย์ ดร. นิวัตต์ คารานันท์ รองศาสตราจารย์ ธำรง เปรมปรีดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยพันธุ์ รักรวิชัย และอาจารย์ สุพงศ์ นิมกุลรัตน์ ที่ได้กรุณาให้ความคิดเห็นและข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์ ทำให้การวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ดังเจตนารมณ์ที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อ รองศาสตราจารย์ จักรี จตุตะศรี ที่กรุณาให้ความคิดเห็นและอนุญาตให้ผู้วิจัยได้ใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ นับตั้งแต่เริ่มต้นทดลองจนแล้วเสร็จ ทั้งนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาจากอาจารย์ทุกท่านที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อร้อยตำรวจตรี อำนวย ถายานุวัฒน์ ตำแหน่ง ผบ. หมวดช่างเครื่อง แผนกบำรุงรักษา กองบินตำรวจและคุณโฮม บุญวงศ์ ตำแหน่งช่างเครื่องบินแมคคานิกส์ (1) บริษัท ไทยแอม ที่ได้กรุณาให้ข้อคิดเห็นและช่วยเหลือในการก่อสร้างทำแบบจำลองขึ้นมาจนสำเร็จด้วยดี และขอขอบพระคุณ บริษัท K. Engineering Consultants ที่ได้กรุณาเช่าเพื่อแก่ผู้วิจัยให้ใช้เครื่องถ่ายเอกสารสำหรับงานวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ทั้งนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาอย่างสูงจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณามอบทุนอุดหนุนแก่ผู้วิจัยครั้งนี้ ตั้งแต่เริ่มต้นเป็นผลให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์เป็นรูปเล่มขึ้นมาได้



สารบัญ

	หน้า
หน้าหัว เรื่องภาษาไทย .....	ก
หน้าหัว เรื่องภาษาอังกฤษ .....	ข
หน้าอเนกคดี .....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ฆ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ช
สารบัญ .....	ซ
รายการสัญลักษณ์ .....	ฅ
รายการตารางประกอบ .....	ฉ
รายการภาพประกอบ .....	ณ
<b>บทที่</b>	
1. บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมา .....	1
1.1.1 คลองส่งน้ำสายใหญ่ .....	2
1.1.2 คลองซอย .....	2
1.1.3 คลองแยกซอย .....	2
1.1.4 คูส่งน้ำ .....	2
1.1.5 น้ำตก .....	2
1.1.6 สะพานน้ำ .....	3
1.2 ความมุ่งหมายในการวิจัย .....	3
1.3 ขอบข่ายของการวิจัย .....	4
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย .....	4

บทที่	หน้า
1.5 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย .....	5
2. ทฤษฎี .....	9
2.1 การเปรียบเทียบทางน้ำไหลปิดและเปิด (Comparison Between Pipe Flow and Open Channel Flow) .....	9
2.2 ชนิดต่าง ๆ ของทางน้ำไหลเปิด (Kinds of Open Channel)	10
2.2.1 ทางน้ำไหลเปิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural Channels) .....	10
2.2.2 ทางน้ำไหลเปิดที่มนุษย์สร้างขึ้น (Artificial Channels) .....	10
2.3 แบบต่าง ๆ ของการไหล (Types of Flow) .....	10
2.3.1 การไหลแบบสม่ำเสมอและไม่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา (Steady Uniform Flow) .....	11
2.3.2 การไหลแบบไม่สม่ำเสมอและไม่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา (Steady Nonuniform Flow) .....	11
2.3.3 การไหลแบบสม่ำเสมอแต่เปลี่ยนแปลงกับกาลเวลา (Unsteady Uniform Flow) .....	11
2.3.4 การไหลแบบไม่สม่ำเสมอและเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา (Unsteady Nonuniform Flow) .....	11
2.4 สภาวะการไหลของทางน้ำไหลเปิด (State of Open Channel Flow) .....	13
2.4.1 ผลของความหนืด (Effect of Viscosity) .....	13
2.4.2 การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) .....	13
2.4.3 การไหลแบบรุนแรง (Turbulent Flow) .....	13
2.4.4 เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Reynolds Number) .....	13
2.4.5 ผลของการดึงดูดของโลก (Effect of Gravity) ..	14

บทที่	หน้า
2.5 การหาสมการปริมาณการไหลในทางน้ำไหลเปิด (Formula for Flow in Open-Channels) .....	15
2.5.1 การไหลสม่ำเสมอและไม่เปลี่ยนกับเวลา (Steady Uniform Flow) .....	15
2.6 การหาตัวประกอบความต้านทานของ Chezy (Determination of Chezy's Resistance Factor) .....	17
2.6.1 สูตร G.K. หรือ Kutter .....	17
2.6.2 การหาค่า C โดย Manning .....	18
2.6.3 การหาค่า C โดยเบซิน (Bazin) .....	21
2.7 การเปรียบเทียบสูตรต่าง ๆ ของทางน้ำไหลเปิด (Comparison of Open Channel Formulas) .....	21
2.8 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่า f (Friction Factor) และ Re (Reynolds Number) ของทางน้ำไหลที่มีพื้นที่ท้องน้ำเรียบและขรุขระ ..	22
2.9 วิธีหารูปหน้าตัดทางน้ำไหลเปิดที่ดีที่สุด (The Best Channel Section) ..	25
2.9.1 ทางน้ำไหลหน้าตัดเป็นรูปวงกลม (Circular Section Channel) .....	25
2.10 พลังงานจำเพาะ (Specific Energy) .....	30
2.10.1 ความลึกที่ให้ค่าปริมาณการไหลมากที่สุดเมื่อกำหนดค่าพลังงานจำเพาะให้ .....	34
2.11 ทางน้ำไหลเปิดแบบไม่สม่ำเสมอและไม่เปลี่ยนตามกาลเวลา (Steady Nonuniform Flow) .....	36
2.11.1 การไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงความลึกทีละน้อย (Gradually Varied Flow) .....	36

บทที่	หน้า
3. แบบจำลองทางด้านชลศาสตร์ .....	39
3.1 การออกแบบจำลอง .....	39
3.2 วิธีออกแบบรูปหน้าตัดจำลองของทางน้ำไหล .....	39
3.2.1 ก่อนที่จะออกแบบรูปหน้าตัดจำลองทางน้ำไหลสังกะสีรูปครึ่ง วงกลม .....	39
3.2.2 คำนวณหาขนาดรูปหน้าตัดของทางน้ำไหลสังกะสีรูปครึ่ง วงกลม .....	40
4. ข่ายงานแบบจำลองและเครื่องมือเครื่องใช้ในการทดลอง .....	49
4.1 ลักษณะต่าง ๆ โดยทั่วไปของแบบจำลองทางน้ำไหลเปิดรูปครึ่งวง กลม .....	49
4.2 เครื่องมือและเครื่องใช้ในการทดลอง .....	49
5. ผลการทดลองและวิเคราะห์ .....	55
6. ข้อเสนอแนะและข้อเสนอแนะ .....	92
6.1 ข้อเสนอแนะ .....	92
6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป .....	94
บรรณานุกรม .....	95
ภาคผนวก .....	97
ประวัติ .....	118

## รายการสัญลักษณ์

- $A$  = พื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ ;  $m^2$   
 $A_c$  = พื้นที่หน้าตัดวิกฤติของลำน้ำ ;  $m^2$   
 $b$  = ความกว้างของหน้าตัดทางน้ำไหลใด ๆ ;  $m$   
 $C$  = ค่าสัมประสิทธิ์ใด ๆ  
 $C_d$  = สัมประสิทธิ์แห่งการไหลออก (Coefficient of Discharge)  
 $D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ;  $m$   
 $D$  = Hydraulic Depth =  $\frac{A}{b}$  ;  $m$   
 $E$  = พลังงานจำเพาะ (Specific Energy)  
 $F$  = ค่าแรงกดดันของลำน้ำใด ๆ ;  $kg$   
 $F_r$  = ฟรูดนัมเบอร์ (Froude Number)  
 $f$  = แฟคเตอร์ความเสียดทานของการไหล (Friction Factor)  
 $g$  = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ;  $m/s^2$   
 $H$  = ค่าเฮดรวมทั้งหมด (Total Head) ;  $m$   
 $H$  = ความสูงจากขอบสันเวียถึงผิวน้ำ ;  $m$   
 $H_L$  = การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหล ;  $m$   
 $h$  = เฮดความเร็ว =  $\frac{V^2}{2g}$  ;  $m$   
 $K$  = ค่าคงที่ใด ๆ (Any Constant or Parameter)  
 $L$  = ความกว้างของเวีย ;  $m$   
 $n$  = ค่าคงที่ใด ๆ (Any Constant or Parameter)  
 $n$  = สัมประสิทธิ์ความหยาบของพื้นผนังทางน้ำไหล  
 $P$  = ความกดดัน ;  $kg/m^2$   
 $P$  = เส้นรอบรูปหน้าตัดของทางน้ำไหล ;  $m$   
 $Q$  = ปริมาณการไหลของน้ำ ;  $m^3/s$   
 $q$  = ปริมาณการไหลของน้ำต่อความกว้างลำน้ำหนึ่งหน่วย ;  $\frac{m^3/s}{m}$

- ๕๓
- $R$  = ไฮดรอลิกเรเดียส (Hydraulic Radius) ; m  
 $R_m$  = มัชฌิมเลขคณิตไฮดรอลิกเรเดียส (Hydraulic Radius)  
ระหว่าง Sta. 2 m. และ Sta. 6 m ; m  
 $R_e$  = เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds Number)  
 $r$  = รัศมีทางน้ำไหลรูปครึ่งวงกลม ; m  
 $S$  = ความลาดเอียงของเส้นแสดงพลังงาน  
 $S_w$  = ความลาดเอียงของแนวผิวน้ำอิสระ  
 $S_o$  = ความลาดเอียงพื้นท้องน้ำของทางน้ำไหล  
 $T$  = ความกว้างของหน้าตัดที่ระดับผิวน้ำ ; m  
 $T_c$  = ความกว้างของหน้าตัดวิกฤติที่ระดับผิวน้ำ ; m  
 $V$  = ความเร็วกระแสน้ำในทางน้ำไหล ; m/s  
 $V_m$  = มัชฌิมเลขคณิตความเร็วกระแสน้ำไหลในทางน้ำไหล  
ระหว่าง Sta. 2 m. และ Sta. 6 m ; m/s  
 $V_c$  = ความเร็ววิกฤติ (Critical Velocity) ; m/s  
 $W$  = น้ำหนักรวมของมวลน้ำทั้งหมด ; kg  
 $X$  = เป็นพิกัดในแกน X  
 $Y$  = เป็นพิกัดในแกน Y  
 $y$  = ความลึกของน้ำ ; m  
 $y_c$  = ความลึกวิกฤติ (Critical Depth) ; m  
 $y_m$  = มัชฌิมเลขคณิตความลึกของน้ำในทางน้ำไหล  
ระหว่าง Sta. 2 m และ Sta. 6 m ; m  
 $y$  = เป็นค่าตัวเลขยกกำลัง  
 $Z$  = ความสูงจากพื้นฐานระดับสมมุติถึงแนวที่กำหนด ; m  
 $Z$  = ความสูงของสันเวีย ; m

- $\tau_o$  (Tau) = แรงเฉือนของพื้นท้องน้ำไหล ;  $\text{kg/m}^2$
- $\gamma$  (Gamma) = น้ำหนักจำเพาะ ;  $\text{kg/m}^3$
- $\gamma$  (Gamma) = สัมประสิทธิ์ความหยาบของผนังทางน้ำไหลในสูตรเบซิน (Bazin)
- $\alpha$  (Alpha) = แฟคเตอร์ของเฮดความเร็ว (Velocity Head Correction Factor)
- $\theta$  (Theta) = มุมของท้องน้ำที่ทำกับแนวนอน
- $\rho$  (Rho) = ความหนาแน่นของน้ำ (Mass Per Unit Volume) ;  $\text{kg.s}^2/\text{m}^4$
- $\nu$  (Nu) = ความหนืดจลน์ (Kinematic Viscosity) ;  $\text{m}^2/\text{s}$
- $\mu$  (Mu) = ความหนืดสมบูรณ์ (Dynamic Viscosity) ;  $\text{kg.s/m}^2$

## รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
2.1	ค่า $n$ ต่าง ๆ ในสูตร Kutter และ Manning ..... 20
3.1	รายการคำนวณเพื่อออกแบบทางน้ำไหลส่งกะสิลูกพุกรูปครึ่งวงกลมมีลอน ขวางทางน้ำ ..... 42
5.1	รายการทดลองทางน้ำไหลส่งกะสิลูกพุกรูปครึ่งวงกลมมีลอนขวางทางน้ำ ... 60
5.2	รายการคำนวณทางน้ำไหลส่งกะสิลูกพุกรูปครึ่งวงกลมมีลอนขวางทางน้ำ ... 63
5.3	รายการทดลองทางน้ำไหลส่งกะสิลูกพุกรูปครึ่งวงกลมคาดพื้นผิวยางมะตอย . 68
5.4	รายการคำนวณทางน้ำไหลส่งกะสิลูกพุกรูปครึ่งวงกลมคาดพื้นผิวยางมะตอย . 71
5.5	รายการทดลองทางน้ำไหลส่งกะสิแผ่นเรียบรูปครึ่งวงกลม ..... 76
5.6	รายการคำนวณทางน้ำไหลส่งกะสิแผ่นเรียบรูปครึ่งวงกลม ..... 79
ก.1	ผลการทดลองระหว่าง $H$ และ $Q$ โดยวิธี Weight Time Measurement 105
ก.2	นำผลทดลองจากตาราง ก.1 มาคำนวณโดยวิธี Least-Squares Methods ..... 107
ข.1	คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ, หน่วยเมตริก ..... 111
ข.2	ค่า $C$ ต่าง ๆ ในสูตร Ganguillet และ Kutter หน่วยอังกฤษ ..... 112
ข.3	ค่า $C$ ต่าง ๆ ในสูตร Ganguillet และ Kutter หน่วยเมตริก ..... 113
ข.4	ค่า $C$ ต่าง ๆ ในสูตร Manning, หน่วยอังกฤษ ..... 114
ข.5	ค่า $C$ ต่าง ๆ ในสูตร Manning, หน่วยเมตริก ..... 115
ข.6	ค่า $C$ ต่าง ๆ ในสูตร Bazin, หน่วยอังกฤษ ..... 116
ข.7	ค่า $C$ ต่าง ๆ ในสูตร Bazin, หน่วยเมตริก ..... 117



## รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
1-1	คลองส่งน้ำสายใหญ่ เป็นคลองดิน จ. ชัยนาท .....	6
1-2	คลองขอย ตาดพื้นผิวด้วยคอนกรีต อ. ปราณบุรี จ. ประจวบคีรีขันธ์ ..	6
1-3	คลองแยกขอย ตาดพื้นผิวด้วยคอนกรีต อ. ปราณบุรี จ. ประจวบคีรีขันธ์	7
1-4	คูส่งน้ำเป็นคลองดิน อ. ปราณบุรี จ. ประจวบคีรีขันธ์ .....	7
1-5	น้ำตกเป็นอาคารในคลองส่งน้ำ อ. ปราณบุรี จ. ประจวบคีรีขันธ์ .....	8
1-6	สะพานน้ำ อ. ปราณบุรี จ. ประจวบคีรีขันธ์ .....	8
2-1	การเปรียบเทียบทางน้ำไหลแบบปิดและแบบเปิด .....	9
2-2	แบบต่าง ๆ ของการไหลในทางน้ำเปิด .....	12
2-3	แสดงหน้าตัดด้านข้างทางน้ำไหลที่มีพื้นที่ท้องน้ำลาดเอิน .....	15
2-4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $F$ และ $R_e$ ในทางน้ำไหลที่มีพื้นที่ท้องน้ำ เรียบแบบต่าง ๆ .....	23
2-5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $F$ และ $R_e$ ในทางน้ำไหลที่มีพื้นที่ท้องน้ำ ขรุขระแบบต่าง ๆ .....	24
2-6	การไหลของน้ำในท่อระบาย .....	26
2-7	การไหลของน้ำในท่อระบาย .....	28
2-8	พลังงานทางน้ำไหลเปิดที่มีการเปลี่ยนแปลงความลึกที่ละน้อย .....	30
2-9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $y$ และ $E$ เมื่อค่า $Q$ คงที่ .....	33
2-10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q$ และ $y$ เมื่อค่า $E$ คงที่ .....	35
2-11	แสดงทางน้ำไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงความลึกที่ละน้อย .....	36
3-1	หน้าตัดทางน้ำไหลรูปครึ่งวงกลม .....	40
3-2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q$ และ $y$ .....	43
3-3	แสดงแบบจำลองทางน้ำไหลลังกะสิลูกทุกรูปครึ่งวงกลมมีลอนขวางทางน้ำ	44

รูปที่		หน้า
3-4	แสดงแบบจำลองทางน้ำไหลสังกะสีลูกฟูกรูปครึ่งวงกลมคาดพื้นผิวยางมะตอย	45
3-5	แสดงแบบจำลองทางน้ำไหลสังกะสีแผ่นเรียบรูปครึ่งวงกลม .....	46
3-6	แสดงแบบถังเก็บน้ำที่มีเวียวัดน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า .....	47
3-7	แสดงแบบจำลองที่ทำการก่อสร้าง .....	48
4-1	ภาพจำลองทางน้ำไหลสังกะสีลูกฟูกรูปครึ่งวงกลมมีลอนขวางทางน้ำ .....	50
4-2	ภาพจำลองทางน้ำไหลสังกะสีลูกฟูกรูปครึ่งวงกลมคาดพื้นผิวยางมะตอย .....	51
4-3	ภาพจำลองทางน้ำไหลสังกะสีแผ่นเรียบรูปครึ่งวงกลม .....	51
4-4	ภาพแสดงด้านข้างของทางน้ำไหลต่อติดกับถังเก็บน้ำ .....	52
4-5	ภาพแสดงบ่อน้ำในท้องปฏิบัติการ .....	52
4-6	ภาพถังน้ำสูง 8 เมตร นอกท้องปฏิบัติการ .....	53
4-7	ภาพแสดงการไหลของน้ำในทางน้ำไหลสังกะสีลูกฟูกรูปครึ่งวงกลมมีลอน ขวางทางน้ำ .....	53
4-8	ภาพแสดงการไหลของน้ำในทางน้ำไหลสังกะสีลูกฟูกรูปครึ่งวงกลมคาด พื้นผิวยางมะตอย .....	54
4-9	ภาพแสดงการไหลของน้ำในทางน้ำไหลสังกะสีแผ่นเรียบรูปครึ่งวงกลม ...	54
5-1	แสดงหน้าตัดด้านข้างของทางน้ำไหลสังกะสีรูปครึ่งวงกลม .....	56
5-2	กราฟแสดงส.ป.ส. ความหยาบของผนังเมื่อมวลน้ำไหลผ่านตามรูปที่ 3-3	84
5-3	กราฟแสดงส.ป.ส. ความหยาบของผนังเมื่อมวลน้ำไหลผ่านตามรูปที่ 3-4	85
5-4	กราฟแสดงส.ป.ส. ความหยาบของผนังเมื่อมวลน้ำไหลผ่านตามรูปที่ 3-5	86
5-5	กราฟเปรียบเทียบ ส.ป.ส. ความหยาบของผนังเมื่อมวลน้ำไหลผ่านทางน้ำ ไหลตามรูปที่ 3-3 รูปที่ 3-4 รูปที่ 3-5 .....	87
5-6	กราฟแสดงแฟคเตอร์ความเสียหายเมื่อมวลน้ำไหลผ่านทางน้ำไหล ตามรูปที่ 3-3 .....	88
5-7	กราฟแสดงแฟคเตอร์ความเสียหายเมื่อมวลน้ำไหลผ่านทางน้ำไหล ตามรูป ที่ 3-4 .....	89

รูปที่		หน้า
5-8	กราฟแสดงแฟคเตอร์ความเสียหายเมื่อมวลน้ำไหลผ่านทางน้ำไหลตามรูปที่ 3-5 .....	90
5-9	กราฟเปรียบเทียบแฟคเตอร์ความเสียหายเมื่อมวลน้ำไหลผ่านทางน้ำไหลตามรูปที่ 3-3 รูปที่ 3-4 รูปที่ 3-5 .....	91
 ภาคผนวก		
ก.1	หลักการของเว็รูบส์เหลี่ยมผืนผ้า .....	98
ก.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Log H และ Log Q ในเว็รูบส์เหลี่ยมผืนผ้า .....	109