โครงงานวิศวกรรมชลประทาน

(01207499)

ที่ 4/2554

เรื่อง

การศึกษาผลกระทบของความลาดชันของคลองชลประทานต่อค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง : การทดลองในห้องทดลอง

(A Study of Longitudinal Slope Effect Irrigation Canal to Manning's Roughness Coefficient : Laboratory Experiment)

โดย

นายจิรวัฒน์ เสียงแหลม

นางสาวอุดมพร ธูปบูชา

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)

พุทธศักราช 2554

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

การศึกษาผลกระทบของความลาดชันของคลองชลประทานต่อค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง : การทดลองในห้องทดลอง

(A Study of Longitudinal Slope Effect Irrigation Canal to Manning's Roughness Coefficient : Laboratory Experiment)

โดย

นาย จิรวัฒน์ เสียงแหลม 51243574

นางสาว อุดมพร ธูปบูชา 51243707

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานโครงงาน .....

(อ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี)

กรรมการ .....

(รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์)

กรรมการ .....

(ผศ.นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รศ.สันติ ทองพำนัก)

บทคัดย่อ

เรื่อง การศึกษาผลกระทบของความลาดชันของคลองชลประทานต่อค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง : การทดลองในห้องทดลอง

โดย นาย จิรวัฒน์ เสียงแหลม
นางสาว อุดมพร ธูปบูชา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน .....
(อ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี)
...../...../.....

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของระดับความลาดชันของคลองชลประทานต่อค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (Manning's Roughness Coefficient, n) เนื่องจากการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์หาอัตราการไหลของน้ำในคลองชลประทานจะคำนึงแต่ลักษณะพื้นผิวของคลองชลประทานเท่านั้น ซึ่งในสภาพความเป็นจริงยังมีปัจจัยที่สำคัญอื่นๆ อีก ด้วยเหตุผลนี้ จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งในแบบจำลองชลประทานที่สามารถปรับระดับความลาดชันได้ 6 ระดับ ในแต่ละระดับความลาดชันได้ใช้อัตราการไหลเป็น 3 ค่า แล้วทำการทดสอบในแบบจำลองคลองชลประทาน โดยการตรวจวัดระดับน้ำในคลองเพื่อนำไปคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของคลอง จากนั้นหาอัตราการไหลโดยวิธีคำนวณปริมาตรต่อเวลา (Volumetric method) แล้วนำค่าอัตราการไหลที่ได้มาคำนวณในสมการแมนนิ่ง (Manning Formula) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชันนั้นๆ นำค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ระดับความลาดชันของคลองแตกต่างกัน จากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าเมื่อแบบจำลองคลองชลประทานมีระดับความลาดชันลดลงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งอาจทำให้เกิดการประเมินค่าอัตราการไหลมีค่าสูงกว่าความเป็นจริงในการออกแบบคลองชลประทานได้ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่คำนวณได้จะมีค่าที่แม่นยำก็ต่อเมื่อมีระดับความลาดชันของคลองชลประทานอยู่ในช่วง Steep-slope หรือเกิดการไหลแบบเหนือวิกฤต

คำสำคัญ : สัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง, การไหลในทางน้ำเปิด

ABSTRACT

Title : A Study of Longitudinal Slope Effect Irrigation Canal to Manning's Roughness Coefficient : Laboratory Experiment

By : Mr. Jirawat Seanglam
Ms. Udomporn Tupbucha

Project Advisor : .....
(Dr. Chirakarn Sirivitmaitrie)
...../...../.....

The aim of this research is to study the effect of longitudinal slope of the irrigation canal on Manning's roughness coefficient (Manning's n). Sine, only the Manning's roughness coefficient used in calculating discharges in irrigation canal determined from the surface roughness of canal. In reality, there are other important factors. For this reason, the experiment was conducted for comparing the Manning roughness coefficient in a canal with 6 level adjustable slopes. In each level, there were 3 discharges tested. By measuring the water level in the canal model, the cross section area of the canal model and discharge were calculated by the volumetric method. Furthermore, Manning formula was used to calculate the Manning's roughness coefficient at each slope level. The calculated Manning's roughness coefficients were compared to the standard concrete roughness n at various slopes. Finally, it is found that decreasing slope level results in increasing the Manning's roughness coefficient more than standard n-value. This may result in under estimated discharges in the actual canal design. The calculated Manning's roughness coefficient is accurate when levels of slope are steep-slope or supercritical flow

Keyword : Manning's Roughness Coefficient, Open Channel Flow

คำนิยม

โครงงานวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์, ผศ.นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์ กรรมการที่ปรึกษาโครงงานฯ และ อ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี ประธานกรรมการที่ปรึกษาโครงงานฯ ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน แนวทางในการดำเนินงาน แนวทางแก้ไขปัญหา ตลอดจนการตรวจแก้ไขเพิ่มเติมเพื่อให้โครงงานฯ ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชลประทาน และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้อบรม ให้กำลังใจและสนับสนุนในด้านการศึกษามาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์จากโครงงานวิศวกรรมศาสตร์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบเพื่อบูชาแด่พระคุณบิดามารดา ที่ให้การอุปถัมภ์และให้โอกาสศึกษาเล่าเรียน ครูอาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

จิรวัฒน์ เสียงแหลม
อุดมพร ธูปบูชา
ธันวาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
อุปกรณ์และวิธีการศึกษา	
อุปกรณ์	4
วิธีการศึกษา	4
ผลการทดสอบ	5
วิจารณ์	7
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	9
เอกสารอ้างอิง	10
ภาคผนวก	11
ภาคผนวก ก ผลการศึกษาในแบบจำลองคลอง	12
ภาคผนวก ข ตารางผลการคำนวณ	36
ภาคผนวก ค แสดงภาพขณะทำการศึกษา	52

คำนำ

การคำนวณหาสัดส่วนขนาดของคลองส่งน้ำ ความเร็วและอัตราการไหลสามารถคำนวณได้จากสูตรการไหลของน้ำในทางน้ำเปิด โดยสูตรของสมการแมนนิ่ง (Manning Formula) และสมการเชซซี (Chezy equation) เป็นต้นปัญหาในการคำนวณการส่งน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการ เป็นเหตุมาจากการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ไม่ถูกต้อง เมื่อนำค่านั้นไปคำนวณผล ผลที่ได้ออกมาจึงมีค่าความผิดพลาด ส่งผลให้เมื่อนำค่าที่คำนวณไปออกแบบขนาดคลองชลประทาน อัตราการส่งน้ำจึงไม่เป็นไปตามความเป็นจริง ทำให้การบริหารจัดการน้ำไม่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้การออกแบบคลองชลประทานขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ การคำนวณโดยปกติจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งจากตารางที่ 1 สามารถกำหนดได้จากลักษณะของพื้นผิวคลอง แต่ระดับความลาดชันของท้องคลองมีความแตกต่างกันตามความลาดของระดับดินเดิม การคำนวณหาขนาดของคลองจึงแตกต่างกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระมีการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยอื่นๆอยู่เสมอ เช่น ความขรุขระของผิวทางน้ำ พืชที่ปกคลุมทางน้ำ ความไม่สม่ำเสมอของแนวทางน้ำ การกัดเซาะและการตกตะกอน สิ่งกีดขวางทางน้ำ รวมไปถึงความลึกการไหลและอัตราการไหล เป็นต้น ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระจากตารางจึงไม่เป็นไปตามสภาพความเป็นจริง ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการคำนวณ ทำให้ผลที่ได้ออกมาไม่มีความถูกต้องแม่นยำ

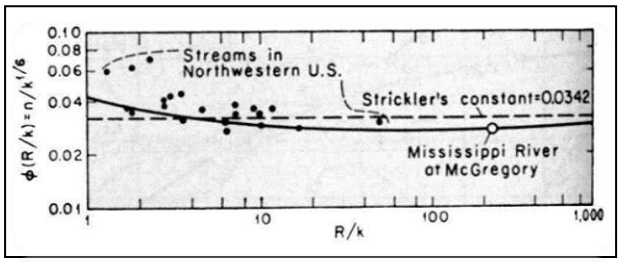
งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบของระดับความลาดชันต่อค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งในแบบจำลองคลองชลประทานในห้องปฏิบัติการ เพื่อต้องการทราบความสัมพันธ์ระหว่างระดับความลาดชันเมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งจะเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด เพื่อเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งได้อย่างถูกต้อง

จากทฤษฎีของแมนนิ่งได้อธิบายเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง ดังสมการต่อไปนี้

$$n = \phi(\frac{R}{k})k^{1/6}$$

เมื่อ $$\phi(\frac{R}{k}) = \frac{(R/k)^{1/6}}{21.9\log(12.2R/k)}$$

จากสมการ ได้ทำการพล๊อตเป็นกราฟดังภาพที่ ก แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความลาดชันที่ลดลง



ภาพที่ ก แสดงความสมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งกับระดับความลาดชัน (Ven Te Chow, 1959)

คลองส่งน้ำเป็นสิ่งที่จำเป็นที่สุดและสำคัญที่สุดของโครงการชลประทานแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือคลองดินและคลองดาด ขนาดของคลองส่งน้ำโดยทั่วไปจะกำหนดตามอัตราการไหล (กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา, 2525)

การหาอัตราการไหลของของไหลในวิธีคำนวณโดยปริมาตรต่อเวลา (Volumetric method) สามารถทำได้โดยหาขนาดของถังวัดปริมาตร เติมน้ำลงไปในถังวัดพร้อมกับจับเวลาจากนั้นวัดความสูงของระดับน้ำที่เพิ่มขึ้น แล้วนำค่าความสูงของน้ำที่ได้ไปคูณกับพื้นที่ของถังวัดปริมาตร ให้ผลที่ได้เป็นปริมาตรน้ำต่อเวลา

Volumetric method

$$Q = \frac{\forall}{t} \qquad (1)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

$\forall$ = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)

t = เวลา (วินาที)

โรเบิร์ต แมนนิ่ง (Robert Manning) ได้หาสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถหาอัตราการไหลในทางน้ำเปิด (Q = AV) ดังนี้

ระบบหน่วย SI : $Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$ (2)

เมื่อ n= ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง (Manning's Roughness Coefficient)

R = รัศมีไฮดรอลิค (Hydraulic Radius) = A/P

S = ความลาดชันของแบบจำลองคลองชลประทาน

A = พื้นที่รูปตัดลำน้ำ (ตารางเมตร)

P = ความยาวของเส้นขอบเปียก (เมตร)

Q = อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

อังตวน เชซซี (Antonie Chezy) ค่าเชซซี (Chezy, C) เป็นค่าแสดงความต้านทานซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับรูปร่างหน้าตัดของคลอง

$$v = C\sqrt{RS_0} \quad (3)$$

เมื่อ v = ความเร็วเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)= Q/A

$C = \sqrt{2g/f}$ = สัมประสิทธิ์ของเชซซี (Chezy's Coefficient)

R = รัศมีไฮดรอลิค (Hydraulic Radius)

S_o= ความลาดพื้นที่คลองหรือผิวน้ำ

Chezy's Coefficient

$$C = \frac{1}{n}R^{1/6} \quad (4)$$

$$n = \frac{1}{C}R^{1/6} \quad (5)$$

ตารางที่ 1 Manning's n for Channels (Ven Te Chow, 1959)

Type of Channel and Description	**Minimum**	**Normal**	**Maximum**
Lined or Constructed Channels			
a. Cement			
1. neat surface	0.010	0.011	0.013
2. mortar	0.011	0.013	0.015
b. Concrete			
1. trowel finish	0.011	0.013	0.015
2. float finish	0.013	0.015	0.016
3. finished, with gravel on bottom	0.015	0.017	0.020
4. unfinished	0.014	0.017	0.020
5. gunite, good section	0.016	0.019	0.023
6. gunite, wavy section	0.018	0.022	0.025
7. on good excavated rock	0.017	0.020	
8. on irregular excavated rock	0.022	0.027	
c. Concrete bottom float finish with sides of:			
1. dressed stone in mortar	0.015	0.017	0.020
2. random stone in mortar	0.017	0.020	0.024
3. cement rubble masonry, plastered	0.016	0.020	0.024
4. cement rubble masonry	0.020	0.025	0.030
5. dry rubble or riprap	0.020	0.030	0.035

วัตถุประสงค์การศึกษา

1. เพื่อต้องการทราบความสัมพันธ์ระหว่างระดับความลาดชันเมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งจะเปลี่ยนไปในทิศทางใด
2. เพื่อเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งได้ถูกต้องในการหาอัตราการไหล

อุปกรณ์และวิธีการ

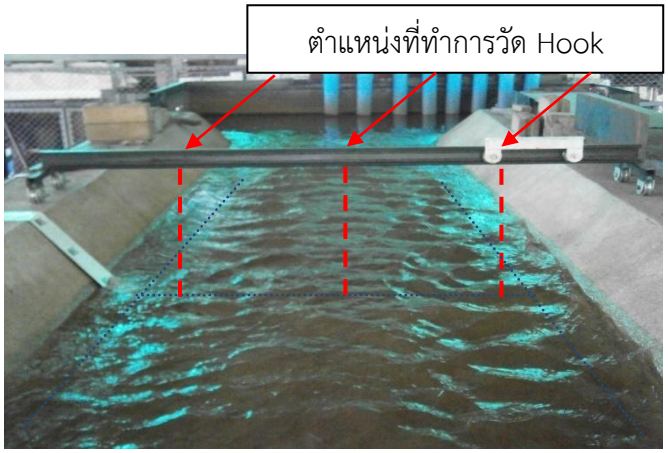
พื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่มีผลต่อระดับความลาดชันในแบบจำลองคลองชลประทานขนาดกว้าง 1.8 เมตร ยาว 10 เมตร สามารถปรับระดับความลาดชันของท้องคลองได้ตั้งแต่ 0.003-0.053

วิธีการทดสอบ

ขั้นตอนแรกกำหนดระดับความลาดชันของแบบจำลองคลองชลประทานในห้องปฏิบัติการให้มีค่า 0.003, 0.008, 0.012, 0.027 0.042 และ 0.053 ก่อนเริ่มทำการทดสอบอ่านค่าระดับน้ำภายในถังเก็บน้ำ 3 ค่า ขั้นตอนที่สองเปิดเครื่องสูบน้ำให้อัตราการไหลเป็น 53, 107 และ 160 ลิตรต่อวินาที ในแต่ละอัตราการไหลใช้ขอวัดระดับน้ำ (Hook gauge) วัดความลึกน้ำในแบบจำลองคลองชลประทานที่ระยะ 350, 450, 550 และ 650 เซนติเมตร และในแต่ละระยะทำการวัดความลึกน้ำ 3 จุด คือ ริมทั้งสองข้าง และกลางดังแสดงในภาพที่ ข

ในการทดสอบควรทำการจับเวลาประมาณ 3 นาทีขึ้นไปเพื่อให้ปริมาตรน้ำมีความแม่นยำมากขึ้น หลังทำการทดสอบอ่านค่าระดับน้ำภายในถังเก็บน้ำ 3 ค่า ขั้นตอนสุดท้ายนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณหาอัตราการไหลจากวิธีการคำนวณโดยปริมาตรต่อเวลา (Volumetric method) ค่าอัตราการไหลที่ได้นำไปแทนในสมการของแมนนิ่ง (Manning Formula) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง



ภาพที่ ข แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดขอวัดระดับน้ำ (Hook gauge)

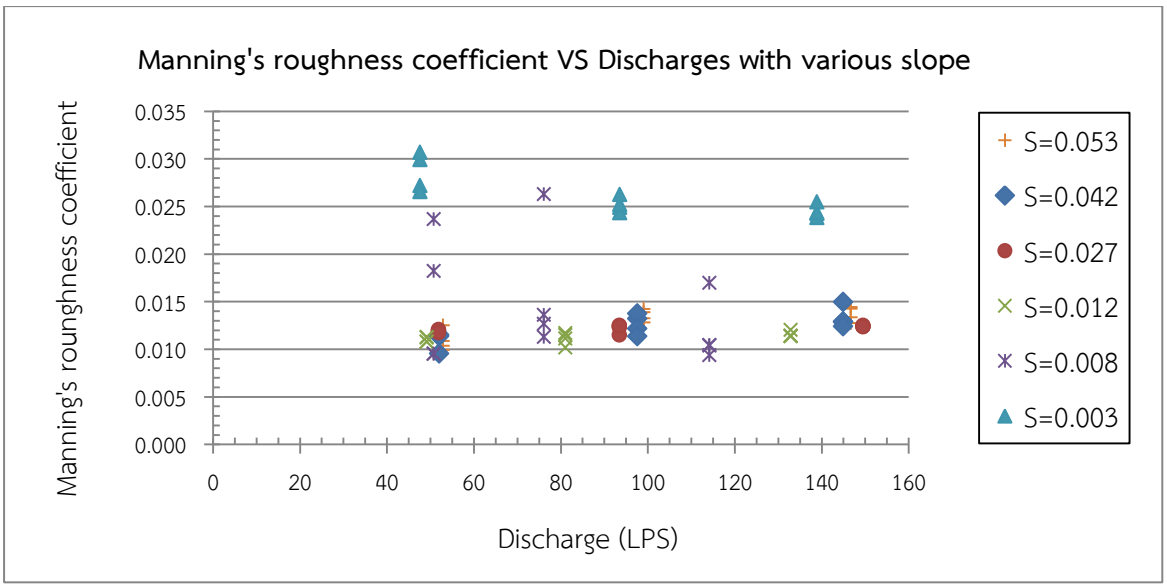
ผลการทดสอบและวิจารณ์

ผลการทดสอบ

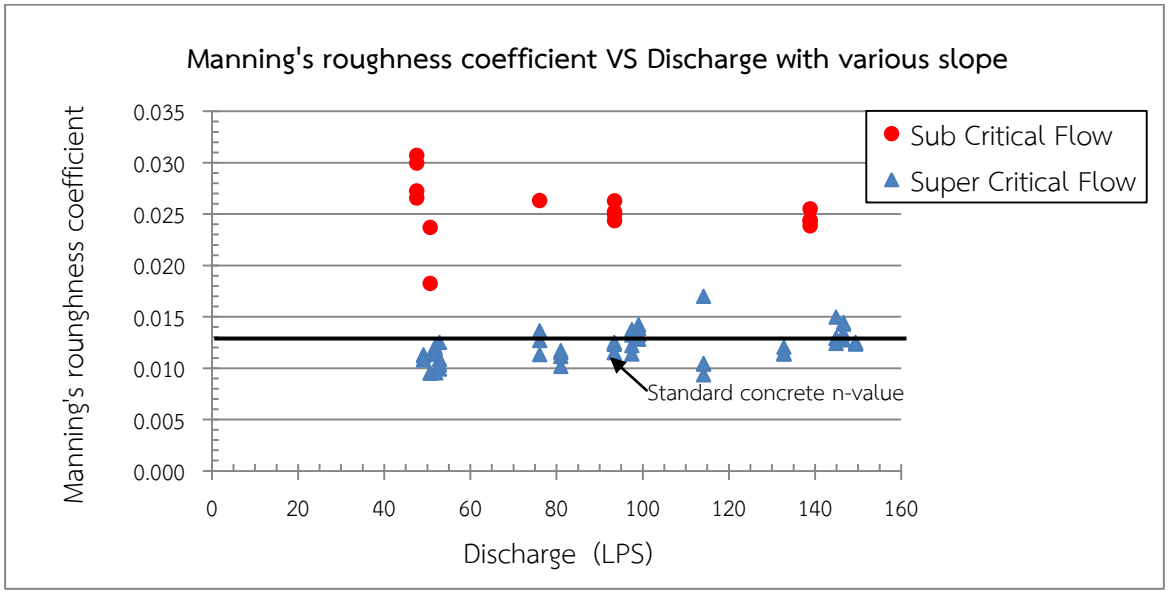
จากการทดสอบได้กำหนดระดับความลาดชันของแบบจำลองคลองชลประทานในห้องปฏิบัติการให้มีค่า 0.003, 0.008, 0.012, 0.027 0.042 และ 0.053 ทำให้ทราบได้ว่าเมื่อลดระดับความลาดชัน ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากปกติ และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลค่าเมื่อสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งจะแปรผันตามอัตราการไหล ดังภาพที่ ค

เมื่อเพิ่มอัตราการไหล ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งจะไม่คงที่ เมื่อสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งมีค่าน้อยกว่า 0.017 มีค่า Froude Number เท่ากับ 1.046 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าเกิดลักษณะการไหลแบบเหนือกว่าวิกฤต (Super Critical Flow) ส่วนสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่มีค่ามากกว่า 0.017 ขึ้นไปมีค่า Froude Number เท่ากับ 0.9195 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าเกิดการไหลแบบใต้วิกฤต (Sub Critical Flow) ดังภาพที่ ง

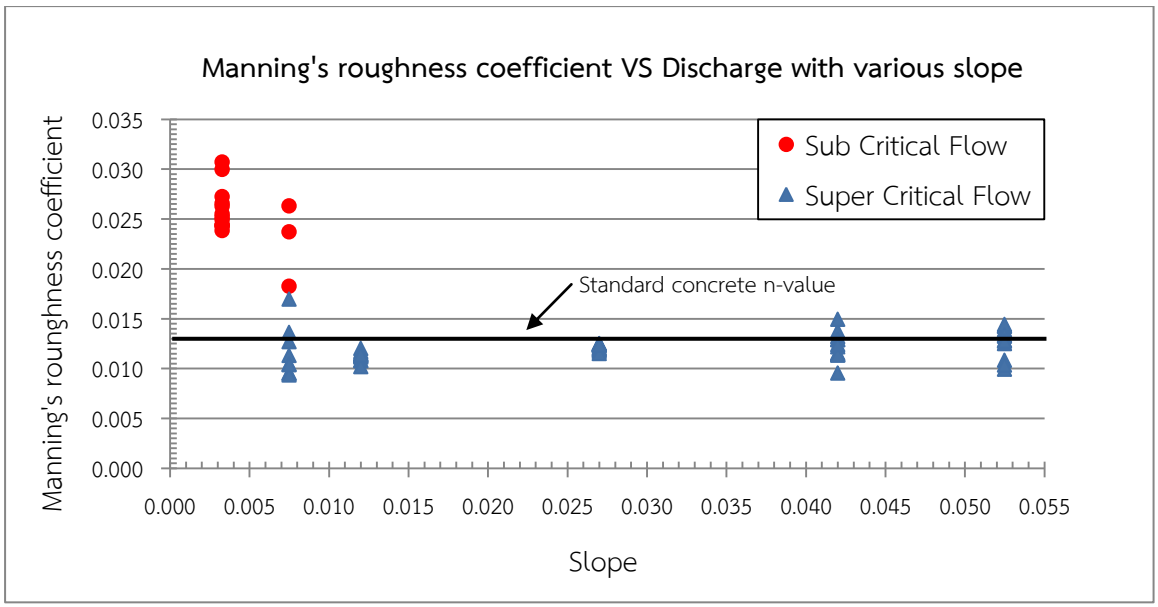
ในระดับความลาดชันที่มากกว่า 1:133 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งมีค่าน้อยกว่า 0.017 ลักษณะการไหลเปลี่ยนจากการไหลแบบเหนือกว่าวิกฤตเป็นการไหลแบบใต้วิกฤต เกิดลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งมีค่ามากกว่าปกติ คือ มากกว่า 0.017 ดังภาพที่ จ



ภาพที่ ค แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งกับอัตราการไหล



ภาพที่ ง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งกับอัตราการไหล



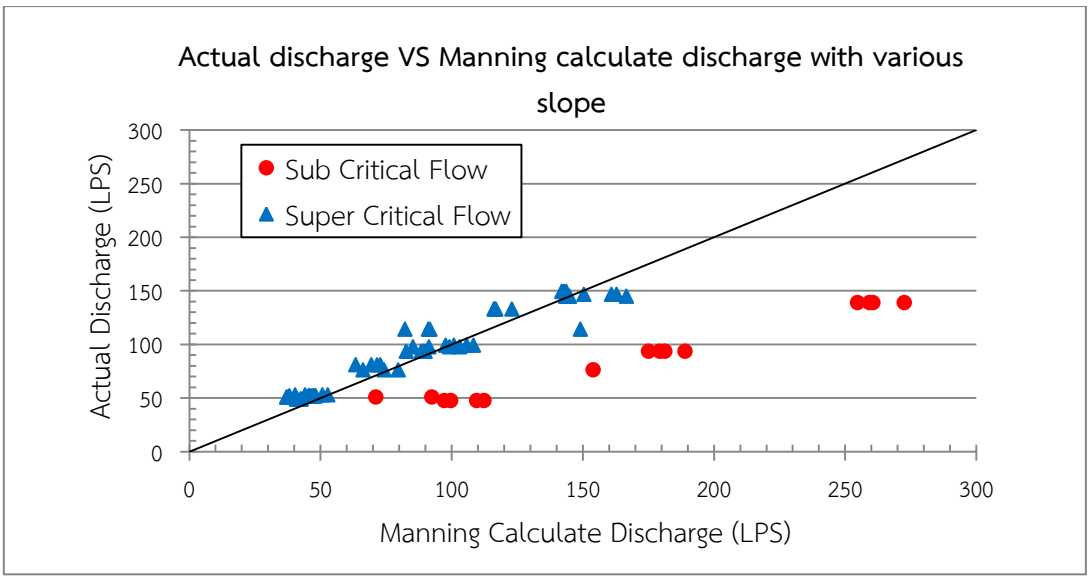
ภาพที่ จ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งกับระดับความลาดชันของท้องคลอง

วิจารณ์ผล

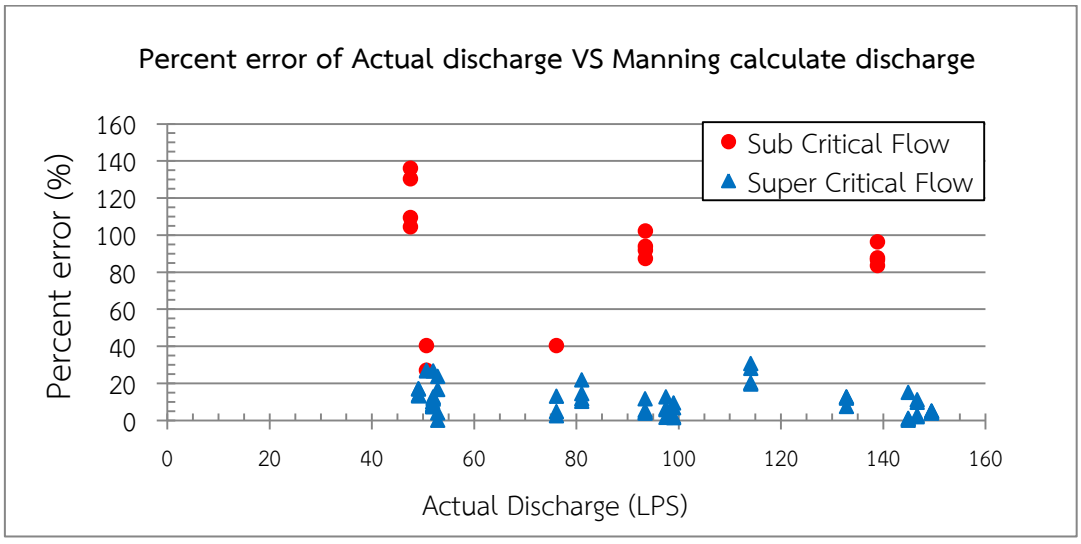
ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งแปรผันตามระดับความลาดชัน จากสมการแมนนิ่งเมื่อกำหนดให้อัตราการไหลคงที่ แล้วเพิ่มระดับความลาดชันจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งมีค่าลดลง และเมื่อลดระดับความลาดชันของคลองให้มีค่าน้อยมากหรือใกล้เคียงกับแนวราบ ทำให้เกิดลักษณะการไหลแบบใต้วิกฤต ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ได้จึงสูงกว่าปกติ และไม่เป็นไปตามทฤษฎีของแมนนิ่ง

เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลจริงกับค่าอัตราการไหลที่คำนวณจากสมการแมนนิ่ง ทำให้ทราบได้ว่าเมื่อเกิดการไหลแบบเหนือกว่าวิกฤต ค่าจะไม่แตกต่างกันมากแต่เมื่อเกิดการไหลแบบใต้วิกฤตค่าจะแตกต่างกันมาก ดังภาพที่ ฉ และเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าอัตราการไหลจริงกับค่าอัตราการไหลที่คำนวณจากสมการแมนนิ่ง ทำให้เห็นว่าการไหลเป็นแบบเหนือกว่าวิกฤตเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้มีค่าน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเกิดการไหลแบบใต้วิกฤต เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมีค่ามากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ดังภาพที่ ช

จึงสรุปได้ว่า เมื่อเกิดการไหลแบบเหนือวิกฤตการคำนวณจากสมการแมนนิ่งให้ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับผลที่คำนวณได้จริงมากกว่าการไหลแบบใต้วิกฤต



ภาพที่ ฉ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจริงกับอัตราการไหลที่คำนวณจากสมการแมนนิ่ง



ภาพที่ ช แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างอัตราการไหลจริงกับที่คำนวณจากสมการแมนนิ่ง

สรุปผลและเสนอแนะ

สรุปผล

จากผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระดับความลาดชันของคลองชลประทานผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการไหลที่ระดับความลาดชันเป็น Steep Slope ลักษณะการไหลเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤต ให้ค่าอัตราการไหลจากสมการแมนนิ่งใกล้เคียงกับอัตราการไหลจริง แต่ในการไหลที่ระดับความลาดชันเป็น Mild Slope เป็นลักษณะการไหลใต้วิกฤตให้ค่าอัตราการไหลจากสมการแมนนิ่งมากกว่าอัตราการไหลจริง เนื่องจากสมการแมนนิ่งนั้นสามารถวิเคราะห์หาอัตราการไหลในการไหลที่มีความลึกไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามระยะทางการไหล (Uniform Flow) เท่านั้น

ข้อเสนอแนะ

การเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งในการคำนวณหาขนาดคลองส่งน้ำมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะถ้าเลือกใช้สัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งผิดพลาด ผลที่ตามมาทำให้ส่งน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการ งานวิจัยนี้บ่งชี้ให้เห็นว่าเมื่อการไหลของน้ำเป็นแบบเหนือกว่าวิกฤต ทำให้ผลการคำนวณที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันจึงสามารถเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระในตารางที่ 1

อย่างไรก็ตามการทดสอบนี้เป็นเพียงการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ยังคงต้องมีการแก้ไขในอีกหลายปัจจัยในภาคสนาม เนื่องจากแบบจำลองคลองชลประทานในห้องปฏิบัติการมีความยาวที่น้อยกว่าความยาวของคลองชลประทานโดยทั่วไปมาก ดังนั้นค่าระดับความลาดชันที่ทำการทดสอบจึงไม่เป็นไปตามระดับความลาดชันตามความเป็นจริง จึงบอกได้เพียงว่าผลจากการทดสอบเป็นแนวโน้มเท่านั้นอีกทั้งในคลองชลประทานมีการเปิด–ปิด ของบานประตูกั้นน้ำ เมื่อบานประตูลดลงเป็นผลให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้น เกิด Back Water Curve จึงไม่สามารถใช้สมการแมนนิ่งในการวิเคราะห์ได้

เอกสารอ้างอิง

ผศ.กีรติ ลีวัจนกุล. 2546. **การไหลในทางน้ำเปิด**. Open Channel Flow**.** พิมพ์ครั้งที่ 1

ชาญวิชย์ สายหยุดทอง. 2550. **การใช้ CFD หาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งของคลอง**. เอกสารประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12

ไตรรัตน์ ศรีวัฒนา, ชูเกียรติ ทรัพย์ไพศาล และพงษ์ศักดิ์ เสริมสาธนสวัสดิ์. 2524. **ปฏิบัติการทางชลศาสตร์**.เอกสารวิชาการ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Graham Fowles. **Level and Pressure Measurement in the Water Industry**.pp.129 – 134

VenTe Chow, 1959.Values of Roughness Coefficient ‘n’ (Uniform Flow).**Open Channel Hydraulics**. Continue on following page:Table 5A-1

VenTe Chow. 1959. Chapter 8 Uniform flow. **Open Channel Hydraulic**. pp.206

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางค่าข้อมูล

ตารางที่ 1 ตารางค่าความจุของถังตวงและถังวัดปริมาตรในแบบจำลองคลองชลประทาน

ความลึกน้ำ (ม.)	ถังตวงที่ 1 (ตร.ม.)	ถังตวงที่ 2 (ตร.ม.)	ถังตวงที่ 3 (ตร.ม.)	ถังวัดที่ 4 (ตมร..)	ถังวัดที่ 5 (ตร.ม.)	ถังวัดที่ 6 (ตร.ม.)	ปริมาตรถังตวง (ลบ.ม.)	ปริมาตรถังวัด (ลบ.ม.)
0.01	0.1193	0.1201	0.0187	0.1200	0.1198	0.0183	0.2581	0.2581
0.02	0.2385	0.2403	0.0374	0.2399	0.2397	0.0366	0.5162	0.5162
0.03	0.3578	0.3604	0.0561	0.3599	0.3595	0.0549	0.7743	0.7743
0.04	0.4771	0.4805	0.0747	0.4798	0.4794	0.0732	1.0323	1.0324
0.05	0.5963	0.6007	0.0934	0.5998	0.5992	0.0915	1.2904	1.2905
0.06	0.7156	0.7208	0.1121	0.7197	0.7191	0.1098	1.5485	1.5486
0.07	0.8349	0.8409	0.1308	0.8397	0.8389	0.1281	1.8066	1.8066
0.08	0.9542	0.9610	0.1495	0.9596	0.9588	0.1464	2.0647	2.0647
0.09	1.0734	1.0812	0.1682	1.0796	1.0786	0.1646	2.3228	2.3228
0.10	1.1927	1.2013	0.1869	1.1995	1.1985	0.1829	2.5809	2.5809
0.11	1.3120	1.3214	0.2055	1.3195	1.3183	0.2012	2.8389	2.8390
0.12	1.4312	1.4416	0.2242	1.4394	1.4382	0.2195	3.0970	3.0971
0.13	1.5505	1.5617	0.2429	1.5594	1.5580	0.2378	3.3551	3.3552
0.14	1.6698	1.6818	0.2616	1.6793	1.6779	0.2561	3.6132	3.6133
0.15	1.7890	1.8020	0.2803	1.7993	1.7977	0.2744	3.8713	3.8714
0.16	1.9083	1.9221	0.2990	1.9192	1.9176	0.2927	4.1294	4.1295
0.17	2.0276	2.0422	0.3177	2.0392	2.0374	0.3110	4.3874	4.3876
0.18	2.1468	2.1623	0.3363	2.1591	2.1573	0.3293	4.6455	4.6457
0.19	2.2661	2.2825	0.3550	2.2791	2.2771	0.3476	4.9036	4.9037
0.20	2.3854	2.4026	0.3737	2.3990	2.3969	0.3659	5.1617	5.1618
0.21	2.5047	2.5225	0.3924	2.5188	2.5167	0.3844	5.4196	5.4200
0.22	2.6240	2.6424	0.4112	2.6387	2.6365	0.4029	5.6775	5.6781
0.23	2.7433	2.7623	0.4299	2.7585	2.7563	0.4214	5.9355	5.9362
0.24	2.8626	2.8821	0.4486	2.8783	2.8761	0.4399	6.1934	6.1943
0.25	2.9820	3.0020	0.4673	2.9981	2.9959	0.4584	6.4513	6.4525
0.26	3.1013	3.1219	0.4861	3.1180	3.1157	0.4769	6.7092	6.7106
0.27	3.2206	3.2418	0.5048	3.2378	3.2355	0.4954	6.9672	6.9687
0.18	2.1468	2.1623	0.3363	2.1591	2.1573	0.3293	4.6455	4.6457
0.28	3.3399	3.3617	0.5235	3.3576	3.3553	0.5139	7.2251	7.2268
0.29	3.4592	3.4815	0.5423	3.4774	3.4751	0.5324	7.4830	7.4849
0.30	3.5785	3.6014	0.5610	3.5973	3.5949	0.5509	7.7409	7.7431

ตารางที่ 1 ตารางค่าความจุของถังตวง และถังวัดปริมาตรในแบบจำลองคลองชลประทาน (ต่อ)

ความลึกน้ำ (ม.)	ถังตวงที่ 1 (ตร.ม.)	ถังตวงที่ 2 (ตร.ม.)	ถังตวงที่ 3 (ตร.ม.)	ถังวัดที่ 4 (ตมร..)	ถังวัดที่ 5 (ตร.ม.)	ถังวัดที่ 6 (ตร.ม.)	ปริมาตรถังตวง (ลบ.ม.)	ปริมาตรถังวัด (ลบ.ม.)
0.31	3.6978	3.7213	0.5797	3.7171	3.7147	0.5694	7.9988	8.0012
0.32	3.8172	3.8412	0.5984	3.8369	3.8345	0.5879	8.2568	8.2593
0.33	3.9365	3.9611	0.6172	3.9567	3.9543	0.6064	8.5147	8.5174
0.34	4.0558	4.0809	0.6359	4.0766	4.0741	0.6249	8.7726	8.7756
0.35	4.1751	4.2008	0.6546	4.1964	4.1939	0.6434	9.0305	9.0337
0.36	4.2944	4.3207	0.6733	4.3162	4.3137	0.6619	9.2885	9.2918
0.37	4.4137	4.4406	0.6921	4.4360	4.4335	0.6804	9.5464	9.5499
0.38	4.5330	4.5605	0.7108	4.5559	4.5533	0.6989	9.8043	9.8080
0.39	4.6524	4.6803	0.7295	4.6757	4.6731	0.7174	10.0622	10.0662
0.40	4.7717	4.8002	0.7482	4.7955	4.7929	0.7359	10.3201	10.3243
0.41	4.8910	4.9199	0.7670	4.9151	4.9126	0.7544	10.5778	10.5821
0.42	5.0103	5.0395	0.7857	5.0346	5.0323	0.7730	10.8355	10.8399
0.43	5.1297	5.1591	0.8044	5.1542	5.1519	0.7915	11.0932	11.0976
0.44	5.2490	5.2788	0.8232	5.2738	5.2716	0.8100	11.3509	11.3554
0.45	5.3683	5.3984	0.8419	5.3933	5.3913	0.8286	11.6086	11.6132
0.46	5.4876	5.5181	0.8606	5.5129	5.5110	0.8471	11.8663	11.8710
0.47	5.6069	5.6377	0.8794	5.6324	5.6307	0.8656	12.1240	12.1287
0.48	5.7263	5.7573	0.8981	5.7520	5.7504	0.8842	12.3817	12.3865
0.49	5.8456	5.8770	0.9168	5.8716	5.8700	0.9027	12.6394	12.6443
0.50	5.9649	5.9966	0.9355	5.9911	5.9897	0.9212	12.8971	12.9021
0.51	6.0842	6.1163	0.9543	6.1107	6.1094	0.9398	13.1548	13.1599
0.52	6.2036	6.2359	0.9730	6.2303	6.2291	0.9583	13.4125	13.4176
0.53	6.3229	6.3555	0.9917	6.3498	6.3488	0.9768	13.6702	13.6754
0.54	6.4422	6.4752	1.0105	6.4694	6.4685	0.9954	13.9279	13.9332
0.55	6.5615	6.5948	1.0292	6.5889	6.5881	1.0139	14.1856	14.1910
0.56	6.6809	6.7145	1.0479	6.7085	6.7078	1.0324	14.4433	14.4487
0.57	6.8002	6.8341	1.0667	6.8281	6.8275	1.0510	14.7010	14.7065
0.58	6.9195	6.9537	1.0854	6.9476	6.9472	1.0695	14.9587	14.9643
0.59	7.0388	7.0734	1.1041	7.0672	7.0669	1.0880	15.2164	15.2221
0.60	7.1582	7.1930	1.1229	7.1867	7.1866	1.1065	15.4741	15.4799
0.61	7.2779	7.3131	1.1412	7.3063	7.3065	1.1252	15.7322	15.7381

ตารางที่ 1 ตารางค่าความจุของถังตวงและถังวัดปริมาตรในแบบจำลองคลองชลประทาน (ต่อ)

ความลึกน้ำ (ม.)	ถังตวงที่ 1 (ตร.ม.)	ถังตวงที่ 2 (ตร.ม.)	ถังตวงที่ 3 (ตร.ม.)	ถังวัดที่ 4 (ตมร..)	ถังวัดที่ 5 (ตร.ม.)	ถังวัดที่ 6 (ตร.ม.)	ปริมาตรถังตวง (ลบ.ม.)	ปริมาตรถังวัด (ลบ.ม.)
0.62	7.3976	7.4332	1.1595	7.4258	7.4265	1.1439	15.9904	15.9963
0.63	7.5174	7.5533	1.1779	7.5454	7.5465	1.1626	16.2485	16.2545
0.64	7.6371	7.6733	1.1962	7.6649	7.6665	1.1813	16.5067	16.5128
0.65	7.7568	7.7934	1.2146	7.7845	7.7865	1.2000	16.7649	16.7710
0.66	7.8766	7.9135	1.2329	7.9040	7.9065	1.2187	17.0230	17.0292
0.67	7.9963	8.0336	1.2513	8.0236	8.0264	1.2374	17.2812	17.2875
0.68	8.1160	8.1537	1.2696	8.1431	8.1464	1.2561	17.5393	17.5457
0.69	8.2358	8.2738	1.2880	8.2627	8.2664	1.2748	17.7975	17.8039
0.70	8.3555	8.3938	1.3063	8.3822	8.3864	1.2935	18.0557	18.0622
0.71	8.4752	8.5139	1.3247	8.5018	8.5064	1.3122	18.3138	18.3204
0.72	8.5949	8.6340	1.3430	8.6213	8.6264	1.3309	18.5720	18.5786
0.73	8.7147	8.7541	1.3614	8.7409	8.7463	1.3496	18.8301	18.8369
0.74	8.8344	8.8742	1.3797	8.8604	8.8663	1.3683	19.0883	19.0951
0.75	8.9541	8.9942	1.3981	8.9800	8.9863	1.3870	19.3465	19.3533
0.76	9.0739	9.1143	1.4164	9.0995	9.1063	1.4057	19.6046	19.6115
0.77	9.1936	9.2344	1.4348	9.2191	9.2263	1.4244	19.8628	19.8698
0.78	9.3133	9.3545	1.4531	9.3386	9.3462	1.4431	20.1209	20.1280
0.79	9.4331	9.4746	1.4715	9.4582	9.4662	1.4618	20.3791	20.3862
0.80	9.5528	9.5946	1.4898	9.5777	9.5862	1.4805	20.6373	20.6445
0.81	9.6728	9.7148	1.5086	9.6972	9.7062	1.4989	20.8962	20.9023
0.82	9.7928	9.8350	1.5274	9.8168	9.8262	1.5172	21.1552	21.1602
0.83	9.9128	9.9551	1.5462	9.9363	9.9462	1.5356	21.4142	21.4181
0.84	10.0328	10.0753	1.5650	10.0558	10.0662	1.5539	21.6732	21.6759
0.85	10.1528	10.1955	1.5838	10.1754	10.1862	1.5722	21.9322	21.9338
0.86	10.2729	10.3157	1.6026	10.2949	10.3062	1.5906	22.1911	22.1917
0.87	10.3929	10.4358	1.6214	10.4144	10.4262	1.6089	22.4501	22.4495
0.88	10.5129	10.5560	1.6402	10.5339	10.5462	1.6273	22.7091	22.7074
0.89	10.6329	10.6762	1.6590	10.6535	10.6662	1.6456	22.9681	22.9652
0.90	10.7529	10.7963	1.6778	10.7730	10.7862	1.6639	23.2271	23.2231
0.91	10.8729	10.9165	1.6966	10.8925	10.9062	1.6823	23.4860	23.4810
0.92	10.9929	11.0367	1.7154	11.0121	11.0262	1.7006	23.7450	23.7388

ตารางที่ 1 ตารางค่าความจุของถังตวงและถังวัดปริมาตรในแบบจำลองคลองชลประทาน (ต่อ)

ความลึกน้ำ (ม.)	ถังตวงที่ 1 (ตร.ม.)	ถังตวงที่ 2 (ตร.ม.)	ถังตวงที่ 3 (ตร.ม.)	ถังวัดที่ 4 (ตมร..)	ถังวัดที่ 5 (ตร.ม.)	ถังวัดที่ 6 (ตร.ม.)	ปริมาตรถังตวง (ลบ.ม.)	ปริมาตรถังวัด (ลบ.ม.)
0.93	11.1129	11.1568	1.7342	11.1316	11.1462	1.7190	24.0040	23.9967
0.94	11.2329	11.2770	1.7530	11.2511	11.2662	1.7373	24.2630	24.2546
0.95	11.3529	11.3972	1.7718	11.3706	11.3862	1.7556	24.5220	24.5124
0.96	11.4729	11.5174	1.7906	11.4902	11.5062	1.7740	24.7809	24.7703
0.97	11.5930	11.6375	1.8094	11.6097	11.6262	1.7923	25.0399	25.0282
0.98	11.7130	11.7577	1.8282	11.7292	11.7462	1.8106	25.2989	25.2860
0.99	11.8330	11.8779	1.8470	11.8488	11.8662	1.8290	25.5579	25.5439
1.00	11.9530	11.9980	1.8658	11.9683	11.9861	1.8473	25.8168	25.8018
1.01	12.0733	12.1181	1.8847	12.0877	12.1062	1.8658	26.0761	26.0597
1.02	12.1936	12.2381	1.9036	12.2070	12.2263	1.8843	26.3354	26.3176
1.03	12.3139	12.3582	1.9225	12.3264	12.3463	1.9028	26.5946	26.5756
1.04	12.4343	12.4783	1.9414	12.4458	12.4664	1.9213	26.8539	26.8335
1.05	12.5546	12.5983	1.9602	12.5652	12.5865	1.9398	27.1131	27.0914
1.06	12.6749	12.7184	1.9791	12.6846	12.7065	1.9583	27.3724	27.3494
1.07	12.7952	12.8384	1.9980	12.8039	12.8266	1.9768	27.6316	27.6073
1.08	12.9155	12.9585	2.0169	12.9233	12.9467	1.9953	27.8909	27.8653
1.09	13.0358	13.0785	2.0358	13.0427	13.0667	2.0137	28.1501	28.1232
1.10	13.1562	13.1986	2.0546	13.1621	13.1868	2.0322	28.4094	28.3811
1.11	13.2765	13.3187	2.0735	13.2815	13.3069	2.0507	28.6687	28.6391
1.12	13.3968	13.4387	2.0924	13.4008	13.4269	2.0692	28.9279	28.8970
1.14	13.6374	13.6788	2.1302	13.6396	13.6671	2.1062	29.4464	29.4129
1.15	13.7577	13.7989	2.1490	13.7590	13.7871	2.1247	29.7057	29.6708
1.16	13.8781	13.9189	2.1679	13.8784	13.9072	2.1432	29.9649	29.9288
1.17	13.9984	14.0390	2.1868	13.9977	14.0273	2.1617	30.2242	30.1867
1.18	14.1187	14.1591	2.2057	14.1171	14.1473	2.1802	30.4834	30.4446
1.19	14.2390	14.2791	2.2246	14.2365	14.2674	2.1987	30.7427	30.7026
1.20	14.3593	14.3992	2.2434	14.3559	14.3875	2.2172	31.0019	30.9605

ตารางที่ 2 ตารางค่าความยาวจากก้นคลองจนถึงปากคลอง

ความยาวของคลอง (ซม.)	ก้นคลอง (ซม.)	ปากคลอง (ซม.)	ความลึก 5 ซม.	ความลึก 10 ซม.	ความลึก 15 ซม.	ความลึก 20 ซม.	ความลึก 25 ซม.	ความลึก 30 ซม.
0	117.5							
50	117.0	177.0	127.5	137.5	147.5	157.3	167.0	
100	117.0	176.0	126.0	137.0	146.5	156.5	166.5	
150	116.5	176.0	126.5	136.5	146.5	156.0	165.3	174.0
200	115.5	175.5	125.5	136.0	145.3	155.0	164.3	173.5
250	115.0	176.0	125.5	135.5	145.5	154.5	164.0	174.0
300	115.0	177.0	125.0	135.5	145.5	155.0	164.5	173.5
350	114.5	177.0	125.0	135.0	145.0	154.0	164.0	174.0
400	113.0	177.5	124.0	134.5	144.5	154.5	164.0	174.0
450	113.5	177.5	124.0	134.5	144.5	154.5	164.0	174.5
500	114.2	177.5	124.5	134.5	144.8	155.0	164.5	174.6
550	113.5	177.0	123.5	133.5	143.5	154.2	164.0	174.0
600	112.0	177.5	122.5	133.5	143.5	153.5	163.0	173.0
650	113.0	177.5	124.0	134.5	144.5	154.3	164.0	174.0
700	114.0	177.0	125.5	135.5	144.5	155.5	165.5	175.0
750	112.0	177.5	123.5	134.5	145.0	154.5	164.0	174.0
800	110.0	178.5	121.8	132.4	142.5	152.5	163.0	173.0
850	110.0	178.5	122.0	133.0	143.0	153.0	163.0	173.5
900	112.0	178.0	123.5	134.0	144.0	154.0	165.0	174.5
950	111.0	177.5	121.5	132.5	142.5	152.5	163.0	173.0
1000	111.5	166.5	122.0	133.0	142.5	152.5	162.0	
1030	113.0	167.0						

*ความลึก : เป็นระยะจากก้นคลองถึงจุดที่วัด

ตารางที่ 3 ตารางค่าความลึกของน้ำในถังตวง และถังวัดปริมาตร ที่ระดับความลาดชัน 0.003

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ถังตวง – วัดที่	ก่อนทำการทดสอบ (ซม.)	หลังทำการทดสอบ (ซม.)	ความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)	ระยะเวลาที่ทำการทดสอบ
2 (53.33 ลิตร/วินาที)	1	93.9	54.7	39.2	33.20	180 วินาที
	2	93.9	50.7	43.2		
	3	93.6	54.7	38.9		
	4	11.3	44.5	33.2		
	5	11.3	44.5	33.2		
	6	11.4	44.6	33.2		
4 (106.67 ลิตร/วินาที)	1	79.7	34.6	45.1	43.50	120 วินาที
	2	79.7	34.6	45.1		
	3	79.7	34.6	45.1		
	4	16.0	59.5	43.5		
	5	16.0	59.5	43.5		
	6	16.1	59.6	43.5		
6 (160.00 ลิตร/วินาที)	1	84.5	56.0	28.5	32.30	60 วินาที
	2	82.2	55.6	26.6		
	3	82.1	54.4	27.7		
	4	10.2	42.5	32.3		
	5	10.2	42.5	32.3		
	6	10.3	42.6	32.3		

ตารางที่ 4 ตารางค่าความลึกของน้ำในถังตวง และถังวัดปริมาตร ที่ระดับความลาดชัน 0.008

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ถังตวง – วัดที่	ก่อนทำการทดสอบ (ซม.)	หลังทำการทดสอบ (ซม.)	ความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)	ระยะเวลาที่ทำการทดสอบ
2 (53.33 ลิตร/วินาที)	1	95.7	60.3	35.4	35.40	180 วินาที
	2	95.7	60.3	35.4		
	3	95.7	60.3	35.4		
	4	5.6	41.0	35.4		
	5	5.6	41.0	35.4		
	6	5.5	40.9	35.4		
4 (106.67 ลิตร/วินาที)	1	86.5	42.4	44.1	44.10	120 วินาที
	2	86.5	42.1	44.4		
	3	86.5	42.7	43.8		
	4	11.9	56.0	44.1		
	5	11.9	56.0	44.1		
	6	11.8	55.9	44.1		
6 (160.00 ลิตร/วินาที)	1	75.4	42.0	33.4	37.90	80 วินาที
	2	74.9	42.0	32.9		
	3	74.7	42.0	32.7		
	4	20.7	63.5	42.8		
	5	20.7	63.5	42.8		
	6	20.6	63.4	42.8		

ตารางที่ 5 ตารางค่าความลึกของน้ำในถังตวง และถังวัดปริมาตร ที่ระดับความลาดชัน 0.012

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ถังตวง – วัดที่	ก่อนทำการทดสอบ (ซม.)	หลังทำการทดสอบ (ซม.)	ความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)	ระยะเวลาที่ทำการทดสอบ
2 (53.33 ลิตร/วินาที)	1	97.6	63.3	34.3	34.30	180 วินาที
	2	97.6	63.3	34.3		
	3	97.5	63.2	34.3		
	4	10.5	44.8	34.3		
	5	10.5	44.8	34.3		
	6	10.4	44.7	34.3		
4 (106.67 ลิตร/วินาที)	1	71.9	34.2	37.7	37.70	120 วินาที
	2	71.4	33.7	37.7		
	3	75.0	37.3	37.7		
	4	29.1	66.8	37.7		
	5	29.1	66.8	37.7		
	6	29.0	66.7	37.7		
6 (160.00 ลิตร/วินาที)	1	79.3	38.1	41.2	31.20	80 วินาที
	2	78.0	36.8	41.2		
	3	85.0	43.8	41.2		
	4	20.5	61.7	41.2		
	5	20.5	61.7	41.2		
	6	20.4	61.6	41.2		

ตารางที่ 6 ตารางค่าความลึกของน้ำในถังตวง และถังวัดปริมาตร ที่ระดับความลาดชัน 0.027

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ถังตวง – วัดที่	ก่อนทำการทดสอบ (ซม.)	หลังทำการทดสอบ (ซม.)	ความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)	ระยะเวลาที่ทำการทดสอบ
2 (53.33 ลิตร/วินาที)	1	93.8	57.6	36.2	36.20	180 วินาที
	2	93.8	57.6	36.2		
	3	94.0	57.8	36.2		
	4	10.2	46.4	36.2		
	5	10.2	46.4	36.2		
	6	10.1	46.3	36.2		
4 (106.67 ลิตร/วินาที)	1	80.6	48.0	32.6	32.60	90 วินาที
	2	80.6	48.0	32.6		
	3	80.7	48.1	32.6		
	4	21.5	54.1	32.6		
	5	21.5	54.1	32.6		
	6	21.4	54.0	32.6		
6 (160.00 ลิตร/วินาที)	1	103.4	55.1	48.3	48.10	83 วินาที
	2	103.0	54.9	48.1		
	3	105.9	58.0	47.9		
	4	9.4	57.5	48.1		
	5	9.4	57.5	48.1		
	6	9.3	57.4	48.1		

ตารางที่ 7 ตารางค่าความลึกของน้ำในถังตวง และถังวัดปริมาตร ที่ระดับความลาดชัน 0.042

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ถังตวง – วัดที่	ก่อนทำการทดสอบ (ซม.)	หลังทำการทดสอบ (ซม.)	ความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)	ระยะเวลาที่ทำการทดสอบ
2 (53.33 ลิตร/วินาที)	1	101.7	65.4	36.3	36.30	180 วินาที
	2	101.7	65.4	36.3		
	3	101.7	65.4	36.3		
	4	16.7	53.0	36.3		
	5	16.7	53.0	36.3		
	6	16.6	52.9	36.3		
4 (106.67 ลิตร/วินาที)	1	98.3	56.4	41.9	41.60	110 วินาที
	2	98.3	56.0	42.3		
	3	98.3	57.7	40.6		
	4	18.0	59.6	41.6		
	5	18.0	59.6	41.6		
	6	17.9	59.5	41.6		
6 (160.00 ลิตร/วินาที)	1	91.7	57.5	34.2	33.70	60 วินาที
	2	91.2	57.0	34.2		
	3	93.7	61.0	32.7		
	4	22.3	56.0	33.7		
	5	22.3	56.0	33.7		
	6	22.2	55.9	33.7		

ตารางที่ 8 ตารางค่าความลึกของน้ำในถังตวง และถังวัดปริมาตร ที่ระดับความลาดชัน 0.053

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ถังตวง – วัดที่	ก่อนทำการทดสอบ (ซม.)	หลังทำการทดสอบ (ซม.)	ความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)	ระยะเวลาที่ทำการทดสอบ
2 (53.33 ลิตร/วินาที)	1	104.9	68.0	36.9	36.90	180 วินาที
	2	104.9	68.0	36.9		
	3	104.9	68.0	36.9		
	4	12.2	49.1	36.9		
	5	12.2	49.1	36.9		
	6	12.1	49.0	36.9		
4 (106.67 ลิตร/วินาที)	1	101.6	63.3	38.3	38.40	100 วินาที
	2	101.5	63.0	38.5		
	3	102.8	64.4	38.4		
	4	11.0	49.4	38.4		
	5	11.0	49.4	38.4		
	6	10.9	49.3	38.4		
6 (160.00 ลิตร/วินาที)	1	100.8	61.0	39.8	39.80	70 วินาที
	2	100.4	60.0	40.4		
	3	103.2	64.0	39.2		
	4	9.4	49.2	39.8		
	5	9.4	49.2	39.8		
	6	9.3	49.1	39.8		

ตารางที่ 9 ตารางค่าความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน ที่ระดับความลาดชัน 0.003

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	จุดที่วัดความลึกของน้ำ	ความลึกน้ำทางด้านซ้าย (ซม.)	ความลึกน้ำตรงกลาง (ซม.)	ความลึกน้ำทางด้านขวา (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)
2 (53.33 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	22.53	22.45	22.54	
		ผิวน้ำ	32.16	32.66	32.95	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		9.63	10.21	10.41	10.08
	450	ก้นคลอง	23.25	23.00	23.48	
		ผิวน้ำ	32.40	33.03	33.00	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		9.15	10.03	9.52	9.57
	550	ก้นคลอง	23.70	23.40	23.40	
		ผิวน้ำ	32.34	33.18	33.27	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		8.64	9.78	9.87	9.43
	650	ก้นคลอง	23.23	23.56	23.20	
		ผิวน้ำ	33.23	33.80	33.90	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		10.00	10.24	10.70	10.31
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						9.85
4 (106.67 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	22.63	22.55	22.63	
		ผิวน้ำ	36.16	36.20	36.05	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		13.53	13.65	13.42	13.53
	450	ก้นคลอง	23.17	22.97	23.50	
		ผิวน้ำ	35.66	37.10	37.10	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		12.49	14.13	13.60	13.41
	550	ก้นคลอง	23.50	23.48	23.47	
		ผิวน้ำ	37.00	37.28	37.25	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		13.50	13.80	13.78	13.69
	650	ก้นคลอง	23.30	23.45	23.20	
		ผิวน้ำ	37.26	37.45	37.45	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		13.96	14.00	14.25	14.07
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						13.68

ตารางที่ 9 ตารางค่าความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน ที่ระดับความลาดชัน 0.003 (ต่อ)

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	จุดที่วัดความลึกของน้ำ	ความลึกน้ำทางด้านซ้าย (ซม.)	ความลึกน้ำตรงกลาง (ซม.)	ความลึกน้ำทางด้านขวา (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)
6 (53.33 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	22.66	22.55	22.63	
		ผิวน้ำ	39.30	39.60	39.50	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		16.64	17.05	16.87	16.85
	450	ก้นคลอง	23.20	23.06	23.50	
		ผิวน้ำ	39.87	40.14	40.04	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		16.67	17.08	16.54	16.76
	550	ก้นคลอง	23.66	23.47	23.40	
		ผิวน้ำ	40.60	40.65	40.25	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		16.94	17.18	16.85	16.99
	650	ก้นคลอง	23.27	23.50	23.20	
		ผิวน้ำ	40.58	41.05	40.80	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		17.31	17.55	17.60	17.42
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						17.02

ตารางที่ 10 ตารางค่าความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน ที่ระดับความลาดชัน 0.008

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	จุดที่วัดความลึกของน้ำ	ความลึกน้ำทางด้านซ้าย (ซม.)	ความลึกน้ำตรงกลาง (ซม.)	ความลึกน้ำทางด้านขวา (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)
2 (53.33 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	22.40	22.55	22.70	
		ผิวน้ำ	26.32	27.00	26.70	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		3.92	4.45	4.00	4.12
	450	ก้นคลอง	23.40	23.19	23.20	
		ผิวน้ำ	27.50	27.67	27.00	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		4.10	4.48	3.80	4.13
	550	ก้นคลอง	23.74	23.51	23.34	
		ผิวน้ำ	29.60	29.67	29.66	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		5.86	6.16	6.32	6.11
	650	ก้นคลอง	23.37	23.53	23.28	
		ผิวน้ำ	30.28	30.75	30.66	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		6.91	7.22	7.38	6.91	7.17
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						4.13
4 (106.67 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	22.78	22.67	22.60	
		ผิวน้ำ	28.67	28.67	28.16	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		5.89	6.00	5.56	5.82
	450	ก้นคลอง	23.34	23.16	23.34	
		ผิวน้ำ	29.00	30.05	29.60	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		5.66	6.89	6.26	6.27
	550	ก้นคลอง	23.28	23.50	23.40	
		ผิวน้ำ	29.34	30.20	30.25	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		6.06	6.70	6.85	6.54
	650	ก้นคลอง	23.20	23.55	23.28	
		ผิวน้ำ	32.26	34.29	32.70	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		9.06	10.74	9.42	9.74
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						6.40

ตารางที่ 10 ตารางค่าความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน ที่ระดับความลาดชัน 0.008 (ต่อ)

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	จุดที่วัดความลึกของน้ำ	ความลึกน้ำทางด้านซ้าย (ซม.)	ความลึกน้ำตรงกลาง (ซม.)	ความลึกน้ำทางด้านขวา (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)
6 (53.33 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	22.75	22.67	22.60	
		ผิวน้ำ	29.30	29.26	29.35	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		6.55	6.59	6.75	6.63
	450	ก้นคลอง	23.27	23.20	23.43	
		ผิวน้ำ	30.35	31.00	29.90	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		7.08	7.80	6.47	7.12
	550	ก้นคลอง	23.70	23.66	23.46	
		ผิวน้ำ	30.10	31.00	31.00	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		6.40	7.34	7.54	7.09
	650	ก้นคลอง	23.36	23.30	23.60	
		ผิวน้ำ	33.20	32.50	33.20	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		9.84	9.20	9.60	9.55
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						7.11

ตารางที่ 11 ตารางค่าความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน ที่ระดับความลาดชัน 0.012

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	จุดที่วัดความลึกของน้ำ	ความลึกน้ำทางด้านซ้าย (ซม.)	ความลึกน้ำตรงกลาง (ซม.)	ความลึกน้ำทางด้านขวา (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)
2 (53.33 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	22.80	22.88	22.70	
		ผิวน้ำ	26.78	26.83	26.42	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		3.98	3.95	3.72	3.88
	450	ก้นคลอง	22.49	22.30	22.57	
		ผิวน้ำ	26.37	25.87	26.53	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		3.88	3.57	3.96	3.80
	550	ก้นคลอง	23.33	23.26	23.57	
		ผิวน้ำ	26.84	27.24	27.75	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		3.51	3.98	4.18	3.89
	650	ก้นคลอง	23.37	23.30	23.20	
		ผิวน้ำ	27.00	27.10	27.20	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		3.63	3.80	4.00	3.81
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						3.85
4 (106.67 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	22.80	22.79	22.74	
		ผิวน้ำ	27.94	27.98	28.00	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		5.14	5.19	5.26	5.20
	450	ก้นคลอง	22.60	22.65	23.00	
		ผิวน้ำ	27.54	27.96	27.60	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		4.94	5.31	4.60	4.95
	550	ก้นคลอง	23.45	23.27	23.47	
		ผิวน้ำ	28.31	28.50	29.53	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		4.86	5.23	6.06	5.38
	650	ก้นคลอง	23.38	23.30	23.20	
		ผิวน้ำ	28.16	28.85	28.90	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		4.78	5.55	5.70	5.34
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						5.22

ตารางที่ 11 ตารางค่าความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน ที่ระดับความลาดชัน 0.0012 (ต่อ)

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	จุดที่วัดความลึกของน้ำ	ความลึกน้ำทางด้านซ้าย (ซม.)	ความลึกน้ำตรงกลาง (ซม.)	ความลึกน้ำทางด้านขวา (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)
6 (53.33 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	22.84	22.98	23.74	
		ผิวน้ำ	30.30	30.40	30.86	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		7.46	7.42	7.12	7.33
	450	ก้นคลอง	22.79	22.80	22.80	
		ผิวน้ำ	29.85	30.06	29.87	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		7.06	7.26	7.07	7.13
	550	ก้นคลอง	23.40	23.07	23.28	
		ผิวน้ำ	29.95	30.30	30.95	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		6.55	7.23	7.67	7.15
	650	ก้นคลอง	23.67	23.37	23.35	
		ผิวน้ำ	30.88	30.56	30.37	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		7.21	7.19	7.02	7.14
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						7.19

ตารางที่ 12 ตารางค่าความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน ที่ระดับความลาดชัน 0.027

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	จุดที่วัดความลึกของน้ำ	ความลึกน้ำทางด้านซ้าย (ซม.)	ความลึกน้ำตรงกลาง (ซม.)	ความลึกน้ำทางด้านขวา (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)
2 (53.33 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	21.00	21.06	21.16	
		ผิวน้ำ	24.28	24.33	24.42	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		3.28	3.27	3.26	3.27
	450	ก้นคลอง	21.30	21.47	21.68	
		ผิวน้ำ	24.44	24.90	24.91	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		3.14	3.43	3.23	3.27
	550	ก้นคลอง	21.70	21.70	21.75	
		ผิวน้ำ	24.97	24.95	25.00	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		3.27	3.25	3.25	3.26
	650	ก้นคลอง	21.59	21.83	21.51	
		ผิวน้ำ	24.82	24.98	24.86	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		3.23	3.15	3.35	3.24
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						3.26
4 (106.67 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	20.94	20.90	21.05	
		ผิวน้ำ	25.50	25.90	25.78	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		4.56	5.00	4.73	4.76
	450	ก้นคลอง	21.56	21.46	21.98	
		ผิวน้ำ	26.47	26.25	26.49	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		4.91	4.79	4.51	4.74
	550	ก้นคลอง	21.80	21.83	22.03	
		ผิวน้ำ	26.40	26.64	26.26	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		4.60	4.81	4.23	4.55
	650	ก้นคลอง	21.63	21.90	21.59	
		ผิวน้ำ	25.88	26.56	27.02	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		4.25	4.66	5.43	4.78
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						4.71

ตารางที่ 12 ตารางค่าความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน ที่ระดับความลาดชัน 0.0027 (ต่อ)

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	จุดที่วัดความลึกของน้ำ	ความลึกน้ำทางด้านซ้าย (ซม.)	ความลึกน้ำตรงกลาง (ซม.)	ความลึกน้ำทางด้านขวา (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)
6 (53.33 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	21.00	20.95	20.99	
		ผิวน้ำ	27.58	27.10	27.19	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		6.58	6.15	6.20	6.31
	450	ก้นคลอง	21.67	21.64	21.60	
		ผิวน้ำ	28.19	27.78	27.84	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		6.52	6.14	6.24	6.30
	550	ก้นคลอง	22.09	21.77	21.70	
		ผิวน้ำ	28.10	28.42	28.01	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		6.01	6.65	6.31	6.32
	650	ก้นคลอง	21.47	21.65	21.44	
		ผิวน้ำ	27.56	28.00	27.96	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		6.09	6.35	6.52	6.32
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						6.31

ตารางที่ 13 ตารางค่าความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน ที่ระดับความลาดชัน 0.042

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	จุดที่วัดความลึกของน้ำ	ความลึกน้ำทางด้านซ้าย (ซม.)	ความลึกน้ำตรงกลาง (ซม.)	ความลึกน้ำทางด้านขวา (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)
2 (53.33 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	20.96	20.90	20.90	
		ผิวน้ำ	23.50	23.93	23.69	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		2.54	3.03	2.79	2.79
	450	ก้นคลอง	21.59	21.51	21.77	
		ผิวน้ำ	24.09	24.51	24.60	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		2.50	3.00	2.83	2.78
	550	ก้นคลอง	21.94	21.98	21.78	
		ผิวน้ำ	24.40	25.10	24.57	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		2.46	3.12	2.79	2.79
	650	ก้นคลอง	21.58	21.99	21.43	
		ผิวน้ำ	24.00	24.50	24.04	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		2.42	2.51	2.61	2.51
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						2.72
4 (106.67 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	20.96	20.90	20.91	
		ผิวน้ำ	25.17	25.60	25.27	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		4.21	4.70	4.36	4.42
	450	ก้นคลอง	21.46	21.47	21.62	
		ผิวน้ำ	26.09	26.00	26.10	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		4.63	4.53	4.48	4.55
	550	ก้นคลอง	22.00	22.00	21.99	
		ผิวน้ำ	26.10	26.18	26.39	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		4.10	4.18	4.40	4.23
	650	ก้นคลอง	21.59	21.88	21.51	
		ผิวน้ำ	25.48	25.90	25.80	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		3.89	4.02	4.29	4.07
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						4.32

ตารางที่ 13 ตารางค่าความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน ที่ระดับความลาดชัน 0.0042 (ต่อ)

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	จุดที่วัดความลึกของน้ำ	ความลึกน้ำทางด้านซ้าย (ซม.)	ความลึกน้ำตรงกลาง (ซม.)	ความลึกน้ำทางด้านขวา (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)
6 (53.33 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	21.00	21.00	20.96	
		ผิวน้ำ	27.00	27.08	27.00	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		6.00	6.08	6.04	6.04
	450	ก้นคลอง	21.57	21.39	21.68	
		ผิวน้ำ	27.09	27.00	27.20	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		5.52	5.61	5.52	5.55
	550	ก้นคลอง	22.03	21.80	21.75	
		ผิวน้ำ	27.57	27.36	27.33	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		5.54	5.56	5.58	5.56
	650	ก้นคลอง	21.58	21.75	21.34	
		ผิวน้ำ	26.83	27.05	27.10	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		5.25	5.30	5.76	5.44
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						5.65

ตารางที่ 14 ตารางค่าความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน ที่ระดับความลาดชัน 0.053

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	จุดที่วัดความลึกของน้ำ	ความลึกน้ำทางด้านซ้าย (ซม.)	ความลึกน้ำตรงกลาง (ซม.)	ความลึกน้ำทางด้านขวา (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)
2 (53.33 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	21.00	21.06	20.97	
		ผิวน้ำ	23.50	23.55	23.60	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		2.50	2.50	2.63	2.54
	450	ก้นคลอง	21.42	21.51	21.50	
		ผิวน้ำ	24.15	24.26	24.35	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		2.73	2.75	2.85	2.78
	550	ก้นคลอง	22.01	21.99	21.98	
		ผิวน้ำ	24.24	24.64	24.36	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		2.23	2.65	2.38	2.42
	650	ก้นคลอง	21.78	21.88	21.50	
		ผิวน้ำ	24.00	24.34	24.29	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		2.22	2.46	2.79	2.49
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						2.56
4 (106.67 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	21.10	20.71	20.95	
		ผิวน้ำ	25.12	25.37	25.36	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		4.02	4.66	4.41	4.36
	450	ก้นคลอง	21.69	21.68	21.78	
		ผิวน้ำ	26.09	25.97	25.70	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		4.40	4.29	3.92	4.20
	550	ก้นคลอง	21.37	21.46	21.40	
		ผิวน้ำ	25.70	26.01	25.49	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		4.33	4.55	4.09	4.32
	650	ก้นคลอง	21.68	21.91	21.19	
		ผิวน้ำ	25.79	25.60	25.78	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		4.11	3.69	4.59	4.13
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						4.26

ตารางที่ 14 ตารางค่าความลึกของน้ำในแบบจำลองคลองชลประทาน ที่ระดับความลาดชัน 0.0053 (ต่อ)

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	จุดที่วัดความลึกของน้ำ	ความลึกน้ำทางด้านซ้าย (ซม.)	ความลึกน้ำตรงกลาง (ซม.)	ความลึกน้ำทางด้านขวา (ซม.)	ค่าเฉลี่ยความลึกน้ำ (ซม.)
6 (53.33 ลิตร/วินาที)	350	ก้นคลอง	21.10	20.90	20.90	
		ผิวน้ำ	26.90	26.50	26.10	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		5.80	5.60	5.20	5.53
	450	ก้นคลอง	21.58	21.50	21.60	
		ผิวน้ำ	27.37	27.08	27.03	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		5.79	5.58	5.43	5.60
	550	ก้นคลอง	21.95	21.90	21.80	
		ผิวน้ำ	27.10	27.28	27.28	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		5.15	5.38	5.48	5.34
	650	ก้นคลอง	21.78	21.94	21.46	
		ผิวน้ำ	26.94	27.00	26.86	
	ค่าความลึกน้ำ (ซม.)		5.16	5.06	5.40	5.21
ค่าความลึกน้ำเฉลี่ยที่ได้ (ซม.)						5.42

ภาคผนวก ข

ตารางการคำนวณ

ตารางที่ 14 ตารางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชัน 0.003

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	2 (53.33 ลิตร/วินาที)			
ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	350	450	550	650
ความลึกน้ำในคลอง (ม.)	0.1007	0.0957	0.0943	0.1031
ความยาวของก้นคลอง (ม.)	1.145	1.135	1.135	1.130
การหาอัตราการไหลด้วย Volumetric Method				
ปริมาตรน้ำในถังตวง (ลบ.ม.)	8.556			
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วินาที)	180			
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.048			
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	47.591			
การหาอัตราการไหลด้วย Manning Formula				
พื้นที่ (ตร.ม.)	0.126	0.118	0.116	0.127
เส้นขอบเปียก (ม.)	1.430	1.406	1.402	1.422
รัศมีชลศาสตร์ (ม.)	0.088	0.084	0.083	0.089
สมมุติค่า n	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130
ความเร็วน้ำ (ม./วินาที)	0.873	0.846	0.839	0.884
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.110	0.100	0.097	0.112
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	109.627	99.654	97.235	112.345
ค่า n ที่แท้จริง	0.0299	0.0272	0.0266	0.0307
ค่าความเร็วของน้ำที่แท้จริง	0.3790	0.4041	0.4105	0.3743
ค่า Froude Number	0.3962	0.4329	0.4429	0.3875

ตารางที่ 14 ตารางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชัน 0.003 (ต่อ)

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	4 (106.67 ลิตร/วินาที)			
ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	350	450	550	650
ความลึกน้ำในคลอง (ม.)	0.1353	0.1341	0.1369	0.1407
ความยาวของก้นคลอง (ม.)	1.145	1.135	1.135	1.130
การหาอัตราการไหลด้วย Volumetric Method				
ปริมาตรน้ำในถังตวง (ลบ.ม.)	11.222			
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วินาที)	120			
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.094			
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	93.518			
การหาอัตราการไหลด้วย Manning Formula				
พื้นที่ (ตร.ม.)	0.173	0.170	0.174	0.179
เส้นขอบเปียก (ม.)	1.528	1.514	1.522	1.528
รัศมีชลศาสตร์ (ม.)	0.113	0.112	0.114	0.117
สมมุติค่า n	0.0130	0.0130	0.0130	0.0130
ความเร็วน้ำ (ม./วินาที)	1.035	1.029	1.041	1.057
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.179	0.175	0.181	0.189
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	179.325	175.138	181.311	189.003
ค่า n ที่แท้จริง	0.0249	0.0243	0.0252	0.02.63
ค่าความเร็วของน้ำที่แท้จริง	0.5399	0.5495	0.5371	0.5231
ค่า Froude Number	0.4927	0.5038	0.4878	0.4692

ตารางที่ 14 ตารางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชัน 0.003 (ต่อ)

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	6 (160.00 ลิตร/วินาที)			
ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	350	450	550	650
ความลึกน้ำในคลอง (ม.)	0.0663	0.0712	0.0709	0.0955
ความยาวของก้นคลอง (ม.)	1.145	1.135	1.135	1.130
การหาอัตราการไหลด้วย Volumetric Method				
ปริมาตรน้ำในถังตวง (ลบ.ม.)	9.134			
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วินาที)	80			
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.114			
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	114.171			
การหาอัตราการไหลด้วย Manning Formula				
พื้นที่ (ตร.ม.)	0.080	0.086	0.085	0.117
เส้นขอบเปียก (ม.)	1.333	1.336	1.336	1.400
รัศมีชลศาสตร์ (ม.)	0.060	0.064	0.064	0.084
สมมุติค่า n	0.0094	0.0105	0.0104	0.0170
ความเร็วน้ำ (ม./วินาที)	1.422	1.329	1.335	0.976
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.114	0.114	0.114	0.114
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	114.171	114.171	114.171	114.171
ค่า n ที่แท้จริง	0.0094	0.0105	0.0104	0.0170
ค่าความเร็วของน้ำที่แท้จริง	1.4216	1.3294	1.3354	0.9755
ค่า Froude Number	1.8104	1.6370	1.6476	1.0464

ตารางที่ 15 ตารางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชัน 0.008

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	2 (53.33 ลิตร/วินาที)			
ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	350	450	550	650
ความลึกน้ำในคลอง (ม.)	0.0388	0.038	0.0389	0.0381
ความยาวของก้นคลอง (ม.)	1.145	1.135	1.135	1.130
การหาอัตราการไหลด้วย Volumetric Method				
ปริมาตรน้ำในถังตวง (ลบ.ม.)	8.850			
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วินาที)	180			
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.049			
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	49.167			
การหาอัตราการไหลด้วย Manning Formula				
พื้นที่ (ตร.ม.)	0.046	0.045	0.046	0.045
เส้นขอบเปียก (ม.)	1.255	1.242	1.245	1.238
รัศมีชลศาสตร์ (ม.)	0.037	0.036	0.037	0.036
สมมุติค่า n	0.0113	0.0108	0.0112	0.0108
ความเร็วน้ำ (ม./วินาที)	1.070	1.103	1.077	1.105
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.049	0.049	0.049	0.049
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	49.167	49.167	49.167	49.167
ค่า n ที่แท้จริง	0.0113	0.0108	0.0112	0.0108
ค่าความเร็วของน้ำที่แท้จริง	1.0704	1.1030	1.0767	1.1048
ค่า Froude Number	1.7632	1.8356	1.7716	1.8363

ตารางที่ 15 ตารางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชัน 0.008 (ต่อ)

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	4 (106.67 ลิตร/วินาที)			
ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	350	450	550	650
ความลึกน้ำในคลอง (ม.)	0.052	0.0495	0.0538	0.0534
ความยาวของก้นคลอง (ม.)	1.145	1.135	1.135	1.130
การหาอัตราการไหลด้วย Volumetric Method				
ปริมาตรน้ำในถังตวง (ลบ.ม.)	9.727			
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วินาที)	120			
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.081			
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	81.058			
การหาอัตราการไหลด้วย Manning Formula				
พื้นที่ (ตร.ม.)	0.062	0.059	0.064	0.063
เส้นขอบเปียก (ม.)	1.292	1.275	1.287	1.281
รัศมีชลศาสตร์ (ม.)	0.048	0.046	0.050	0.049
สมมุติค่า n	0.0111	0.0102	0.0117	0.0115
ความเร็วน้ำ (ม./วินาที)	1.302	1.382	1.267	1.283
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.081	0.081	0.081	0.081
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	81.058	81.058	81.058	81.058
ค่า n ที่แท้จริง	0.0111	0.0102	0.0117	0.0115
ค่าความเร็วของน้ำที่แท้จริง	1.3023	1.3825	1.2674	1.2827
ค่า Froude Number	1.8625	2.0249	1.7836	1.8118

ตารางที่ 15 ตารางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชัน 0.008 (ต่อ)

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	6 (160.00 ลิตร/วินาที)			
ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	350	450	550	650
ความลึกน้ำในคลอง (ม.)	0.0733	0.0713	0.0715	0.0714
ความยาวของก้นคลอง (ม.)	1.145	1.135	1.135	1.130
การหาอัตราการไหลด้วย Volumetric Method				
ปริมาตรน้ำในถังตวง (ลบ.ม.)	10.629			
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วินาที)	80			
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.133			
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	132.868			
การหาอัตราการไหลด้วย Manning Formula				
พื้นที่ (ตร.ม.)	0.089	0.086	0.086	0.086
เส้นขอบเปียก (ม.)	1.352	1.337	1.337	1.332
รัศมีชลศาสตร์ (ม.)	0.066	0.064	0.065	0.064
สมมุติค่า n	0.0120	0.0114	0.0114	0.0114
ความเร็วน้ำ (ม./วินาที)	1.488	1.545	1.540	1.549
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.133	0.133	0.133	0.133
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	132.868	132.868	132.868	132.868
ค่า n ที่แท้จริง	0.0120	0.0114	0.0114	0.0114
ค่าความเร็วของน้ำที่แท้จริง	1.4879	1.5448	1.5402	1.5489
ค่า Froude Number	1.8066	1.9009	1.8928	1.9050

ตารางที่ 17 ตารางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชัน 0.027

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	2 (53.33 ลิตร/วินาที)			
ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	350	450	550	650
ความลึกน้ำในคลอง (ม.)	0.0327	0.0327	0.0326	0.0324
ความยาวของก้นคลอง (ม.)	1.145	1.135	1.135	1.130
การหาอัตราการไหลด้วย Volumetric Method				
ปริมาตรน้ำในถังตวง (ลบ.ม.)	9.340			
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วินาที)	180			
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.052			
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	51.889			
การหาอัตราการไหลด้วย Manning Formula				
พื้นที่ (ตร.ม.)	0.039	0.038	0.038	0.038
เส้นขอบเปียก (ม.)	1.237	1.227	1.227	1.222
รัศมีชลศาสตร์ (ม.)	0.031	0.031	0.031	0.031
สมมุติค่า n	0.0121	0.0120	0.0119	0.0117
ความเร็วน้ำ (ม./วินาที)	1.347	1.359	1.363	1.378
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.052	0.052	0.052	0.052
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	51.889	51.889	51.889	51.889
ค่า n ที่แท้จริง	0.0121	0.0120	0.0119	0.0117
ค่าความเร็วของน้ำที่แท้จริง	1.3474	1.3589	1.3632	1.3778
ค่า Froude Number	2.4117	2.4327	2.4440	2.4776

ตารางที่ 17 ตารางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชัน 0.027 (ต่อ)

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	4 (106.67 ลิตร/วินาที)			
ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	350	450	550	650
ความลึกน้ำในคลอง (ม.)	0.0476	0.0474	0.0455	0.0478
ความยาวของก้นคลอง (ม.)	1.145	1.135	1.135	1.130
การหาอัตราการไหลด้วย Volumetric Method				
ปริมาตรน้ำในถังตวง (ลบ.ม.)	8.412			
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วินาที)	90			
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.093			
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	93.461			
การหาอัตราการไหลด้วย Manning Formula				
พื้นที่ (ตร.ม.)	0.057	0.056	0.054	0.056
เส้นขอบเปียก (ม.)	1.280	1.269	1.264	1.265
รัศมีชลศาสตร์ (ม.)	0.044	0.044	0.043	0.044
สมมุติค่า n	0.0125	0.0123	0.0115	0.0124
ความเร็วน้ำ (ม./วินาที)	1.646	1.668	1.740	1.660
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.093	0.093	0.093	0.093
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	93.461	93.461	93.461	93.461
ค่า n ที่แท้จริง	0.0125	0.0123	0.0115	0.0124
ค่าความเร็วของน้ำที่แท้จริง	1.6464	1.6676	1.7400	1.6601
ค่า Froude Number	2.4569	2.4940	2.6542	2.4730

ตารางที่ 17 ตารางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชัน 0.027 (ต่อ)

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	6 (160.00 ลิตร/วินาที)			
ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	350	450	550	650
ความลึกน้ำในคลอง (ม.)	0.0631	0.063	0.0632	0.0632
ความยาวของก้นคลอง (ม.)	1.145	1.135	1.135	1.130
การหาอัตราการไหลด้วย Volumetric Method				
ปริมาตรน้ำในถังตวง (ลบ.ม.)	12.408			
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วินาที)	83			
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.149			
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	149.488			
การหาอัตราการไหลด้วย Manning Formula				
พื้นที่ (ตร.ม.)	0.076	0.075	0.076	0.075
เส้นขอบเปียก (ม.)	1.323	1.313	1.314	1.309
รัศมีชลศาสตร์ (ม.)	0.058	0.057	0.058	0.058
สมมุติค่า n	0.0125	0.0124	0.0124	0.0124
ความเร็วน้ำ (ม./วินาที)	1.961	1.981	1.974	1.982
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.149	0.149	0.149	0.149
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	149.488	149.488	149.488	149.488
ค่า n ที่แท้จริง	0.0125	0.0124	0.0124	0.0124
ค่าความเร็วของน้ำที่แท้จริง	1.9610	1.9807	1.9741	1.9823
ค่า Froude Number	2.5567	2.5848	2.5723	2.5834

ตารางที่ 18 ตารางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชัน 0.042

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	2 (53.33 ลิตร/วินาที)			
ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	350	450	550	650
ความลึกน้ำในคลอง (ม.)	0.0279	0.0278	0.0279	0.0251
ความยาวของก้นคลอง (ม.)	1.145	1.135	1.135	1.130
การหาอัตราการไหลด้วย Volumetric Method				
ปริมาตรน้ำในถังตวง (ลบ.ม.)	9.366			
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วินาที)	180			
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.052			
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	52.032			
การหาอัตราการไหลด้วย Manning Formula				
พื้นที่ (ตร.ม.)	0.033	0.032	0.032	0.029
เส้นขอบเปียก (ม.)	1.224	1.214	1.214	1.201
รัศมีชลศาสตร์ (ม.)	0.027	0.027	0.027	0.024
สมมุติค่า n	0.0115	0.0114	0.0114	0.0095
ความเร็วน้ำ (ม./วินาที)	1.590	1.610	1.604	1.795
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.052	0.052	0.052	0.052
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	52.032	52.032	52.032	52.032
ค่า n ที่แท้จริง	0.0115	0.0114	0.0114	0.0095
ค่าความเร็วของน้ำที่แท้จริง	1.5900	1.6096	1.6037	1.7946
ค่า Froude Number	3.0752	3.1189	3.1020	3.6557

ตารางที่ 18 ตารางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชัน 0.042 (ต่อ)

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	4 (106.67 ลิตร/วินาที)			
ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	350	450	550	650
ความลึกน้ำในคลอง (ม.)	0.0442	0.0455	0.0423	0.0407
ความยาวของก้นคลอง (ม.)	1.145	1.135	1.135	1.130
การหาอัตราการไหลด้วย Volumetric Method				
ปริมาตรน้ำในถังตวง (ลบ.ม.)	10.733			
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วินาที)	110			
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.098			
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	97.568			
การหาอัตราการไหลด้วย Manning Formula				
พื้นที่ (ตร.ม.)	0.053	0.054	0.050	0.048
เส้นขอบเปียก (ม.)	1.270	1.264	1.255	1.245
รัศมีชลศาสตร์ (ม.)	0.041	0.043	0.040	0.038
สมมุติค่า n	0.0132	0.0137	0.0122	0.0114
ความเร็วน้ำ (ม./วินาที)	1.856	1.816	1.959	2.048
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.098	0.098	0.098	0.098
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	97.568	97.568	97.568	97.568
ค่า n ที่แท้จริง	0.0132	0.0137	0.0122	0.0114
ค่าความเร็วของน้ำที่แท้จริง	1.8562	1.8165	1.9592	2.0477
ค่า Froude Number	2.8708	2.7708	3.0956	3.2965

ตารางที่ 18 ตารางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชัน 0.042 (ต่อ)

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	6 (160.00 ลิตร/วินาที)			
ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	350	450	550	650
ความลึกน้ำในคลอง (ม.)	0.0604	0.0555	0.0556	0.0544
ความยาวของก้นคลอง (ม.)	1.145	1.135	1.135	1.130
การหาอัตราการไหลด้วย Volumetric Method				
ปริมาตรน้ำในถังตวง (ลบ.ม.)	8.695			
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วินาที)	60			
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.145			
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	144.920			
การหาอัตราการไหลด้วย Manning Formula				
พื้นที่ (ตร.ม.)	0.073	0.066	0.066	0.064
เส้นขอบเปียก (ม.)	1.316	1.292	1.292	1.284
รัศมีชลศาสตร์ (ม.)	0.055	0.051	0.051	0.050
สมมุติค่า n	0.0150	0.0129	0.0129	0.0124
ความเร็วน้ำ (ม./วินาที)	1.990	2.193	2.189	2.249
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.145	0.145	0.145	0.145
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	144.920	144.920	144.920	144.920
ค่า n ที่แท้จริง	0.0150	0.0129	0.0129	0.0124
ค่าความเร็วของน้ำที่แท้จริง	1.9905	2.1933	2.1892	2.2492
ค่า Froude Number	2.6499	3.0410	3.0327	3.1488

ตารางที่ 19 ตารางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชัน 0.053

จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	2 (53.33 ลิตร/วินาที)			
ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	350	450	550	650
ความลึกน้ำในคลอง (ม.)	0.0254	0.0278	0.0242	0.0249
ความยาวของก้นคลอง (ม.)	1.145	1.135	1.135	1.130
การหาอัตราการไหลด้วย Volumetric Method				
ปริมาตรน้ำในถังตวง (ลบ.ม.)	9.521			
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วินาที)	180			
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.053			
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	52.892			
การหาอัตราการไหลด้วย Manning Formula				
พื้นที่ (ตร.ม.)	0.030	0.032	0.028	0.029
เส้นขอบเปียก (ม.)	1.217	1.214	1.203	1.200
รัศมีชลศาสตร์ (ม.)	0.024	0.027	0.023	0.024
สมมุติค่า n	0.0108	0.0125	0.0099	0.0104
ความเร็วน้ำ (ม./วินาที)	1.779	1.636	1.885	1.839
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.053	0.053	0.053	0.053
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	52.892	52.892	52.892	52.892
ค่า n ที่แท้จริง	0.0108	0.0125	0.0099	0.0104
ค่าความเร็วของน้ำที่แท้จริง	1.7792	1.6362	1.8855	1.8393
ค่า Froude Number	3.6028	3.1704	3.9099	3.7614

ตารางที่ 19 ตารางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชัน 0.053 (ต่อ)

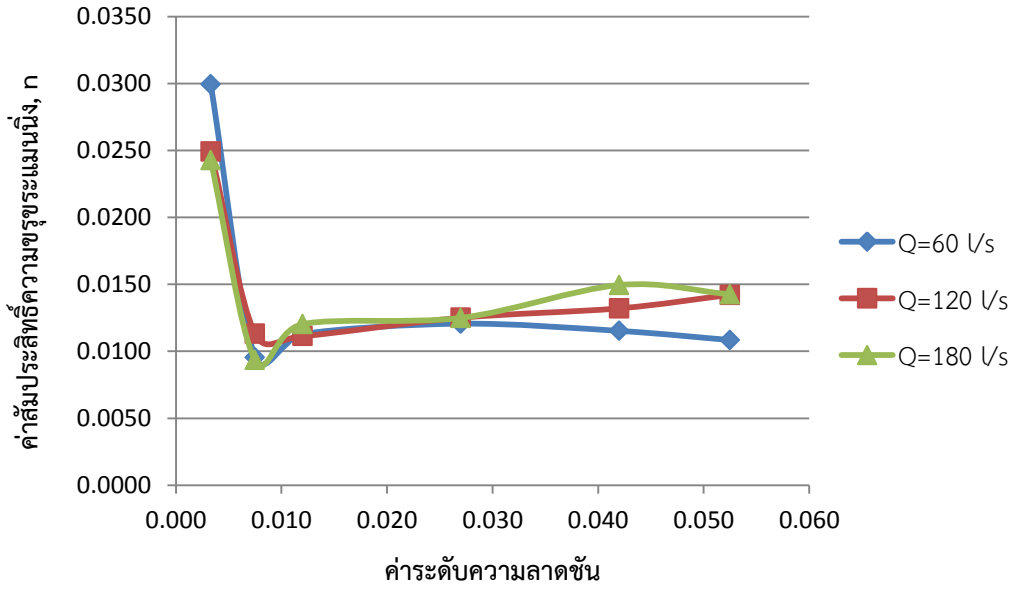
จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	4 (106.67 ลิตร/วินาที)			
ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	350	450	550	650
ความลึกน้ำในคลอง (ม.)	0.0413	0.0413	0.0413	0.0413
ความยาวของก้นคลอง (ม.)	1.145	1.135	1.135	1.130
การหาอัตราการไหลด้วย Volumetric Method				
ปริมาตรน้ำในถังตวง (ลบ.ม.)	9.908			
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วินาที)	110			
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.099			
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	99.075			
การหาอัตราการไหลด้วย Manning Formula				
พื้นที่ (ตร.ม.)	0.052	0.049	0.051	0.048
เส้นขอบเปียก (ม.)	1.268	1.254	1.257	1.247
รัศมีชลศาสตร์ (ม.)	0.041	0.039	0.040	0.039
สมมุติค่า n	0.0142	0.0132	0.0139	0.0128
ความเร็วน้ำ (ม./วินาที)	1.912	2.004	1.947	2.048
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.099	0.099	0.099	0.099
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	99.075	99.075	99.075	99.075
ค่า n ที่แท้จริง	0.0142	0.0132	0.0139	0.0128
ค่าความเร็วของน้ำที่แท้จริง	1.9118	2.0042	1.9465	2.0481
ค่า Froude Number	2.9764	3.1776	3.0444	3.2739

ตารางที่ 19 ตารางการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ระดับความลาดชัน 0.053 (ต่อ)

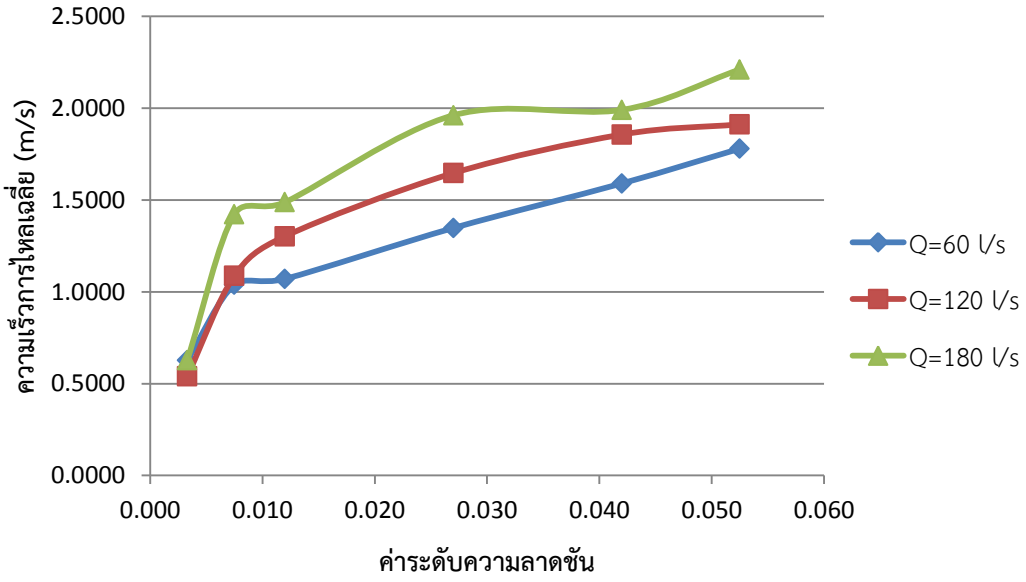
จำนวนเครื่องสูบน้ำ (ตัว)	6 (160.00 ลิตร/วินาที)			
ระยะจากต้นคลอง (ซม.)	350	450	550	650
ความลึกน้ำในคลอง (ม.)	0.0553	0.056	0.0534	0.0521
ความยาวของก้นคลอง (ม.)	1.145	1.135	1.135	1.130
การหาอัตราการไหลด้วย Volumetric Method				
ปริมาตรน้ำในถังตวง (ลบ.ม.)	10.269			
ระยะเวลาที่ทำการทดลอง (วินาที)	70			
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.147			
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	146.694			
การหาอัตราการไหลด้วย Manning Formula				
พื้นที่ (ตร.ม.)	0.066	0.067	0.063	0.062
เส้นขอบเปียก (ม.)	1.301	1.293	1.286	1.277
รัศมีชลศาสตร์ (ม.)	0.051	0.052	0.049	0.048
สมมุติค่า n	0.0143	0.0144	0.0133	0.0127
ความเร็วน้ำ (ม./วินาที)	2.210	2.199	2.312	2.382
อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	0.147	0.147	0.147	0.147
อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	146.694	146.694	146.694	146.694
ค่า n ที่แท้จริง	0.0143	0.0144	0.0133	0.0127
ค่าความเร็วของน้ำที่แท้จริง	2.2100	2.1994	2.3116	2.3819
ค่า Froude Number	3.0689	3.0364	3.2647	3.4043

ภาคผนวก ค

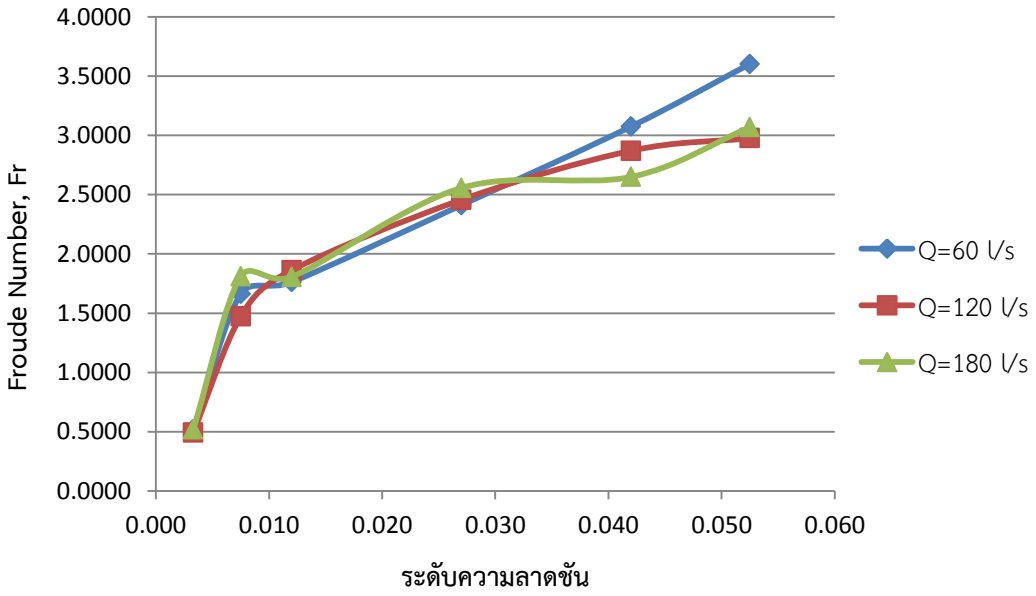
ภาพผลการทดลอง



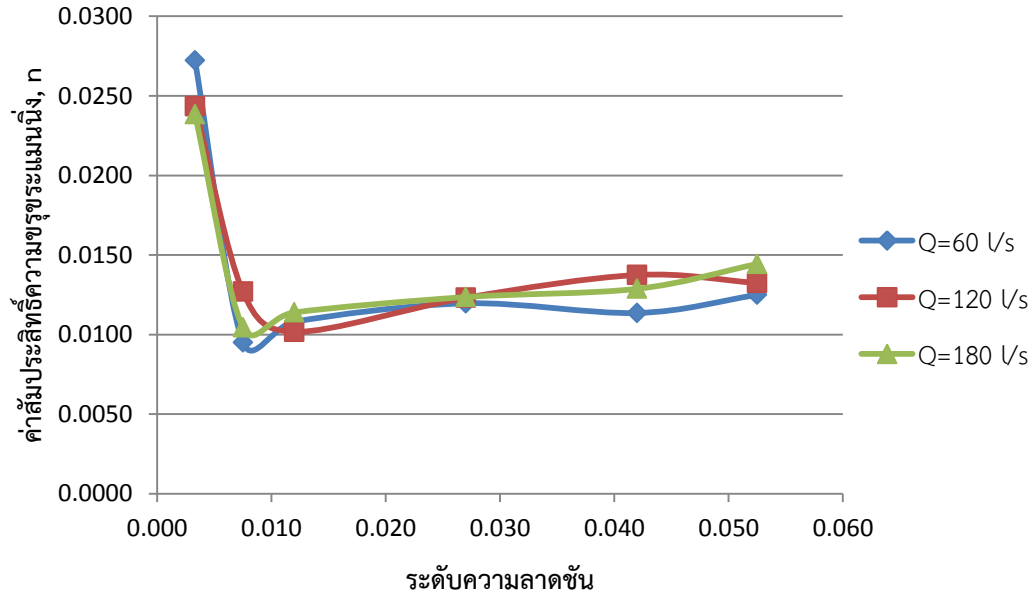
ภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งกับระดับความลาดชันที่หน้าตัด 350 เซนติเมตร



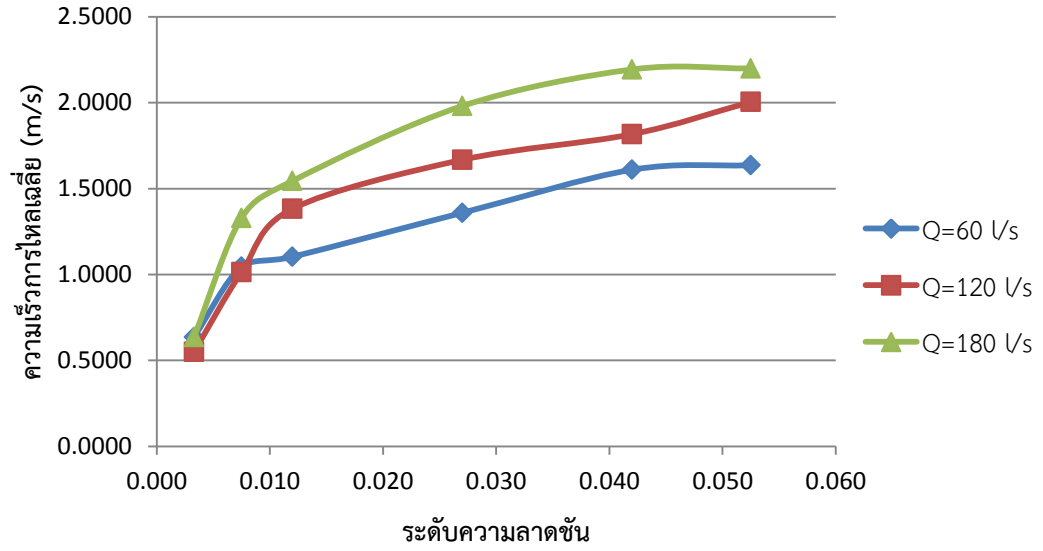
ภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วเฉลี่ยกับระดับความลาดชันที่หน้าตัด 350 เซนติเมตร



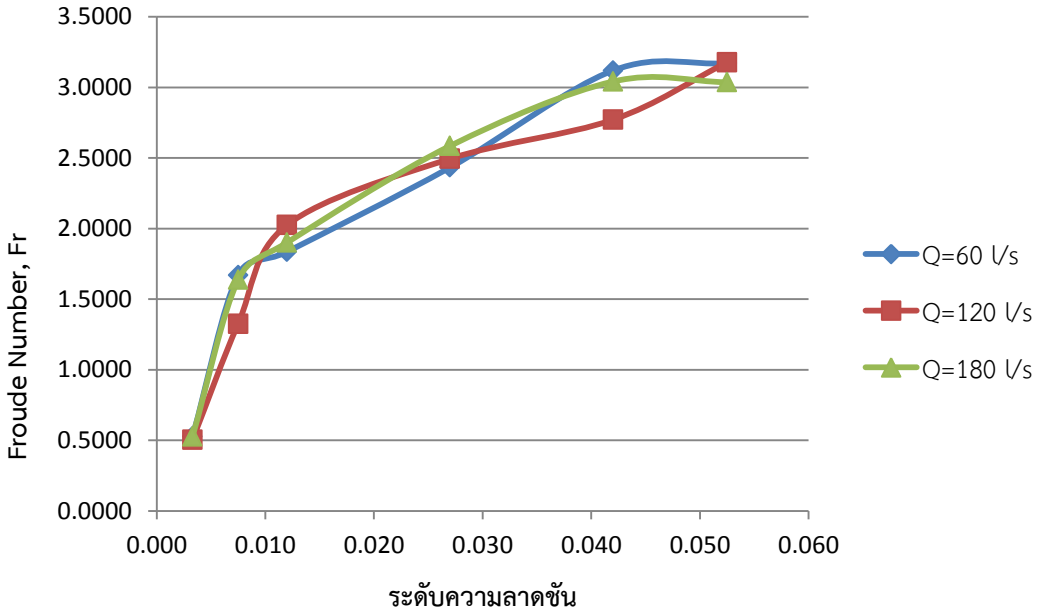
ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Froude Number กับระดับความลาดชันที่หน้าตัด 350 เซนติเมตร



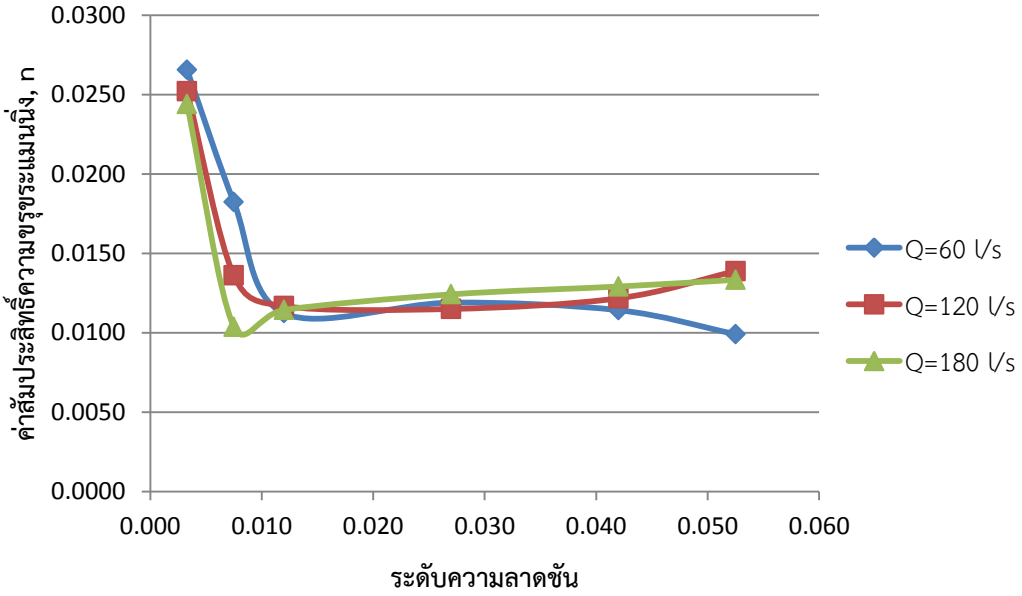
ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งกับระดับความลาดชันที่หน้าตัด 450 เซนติเมตร



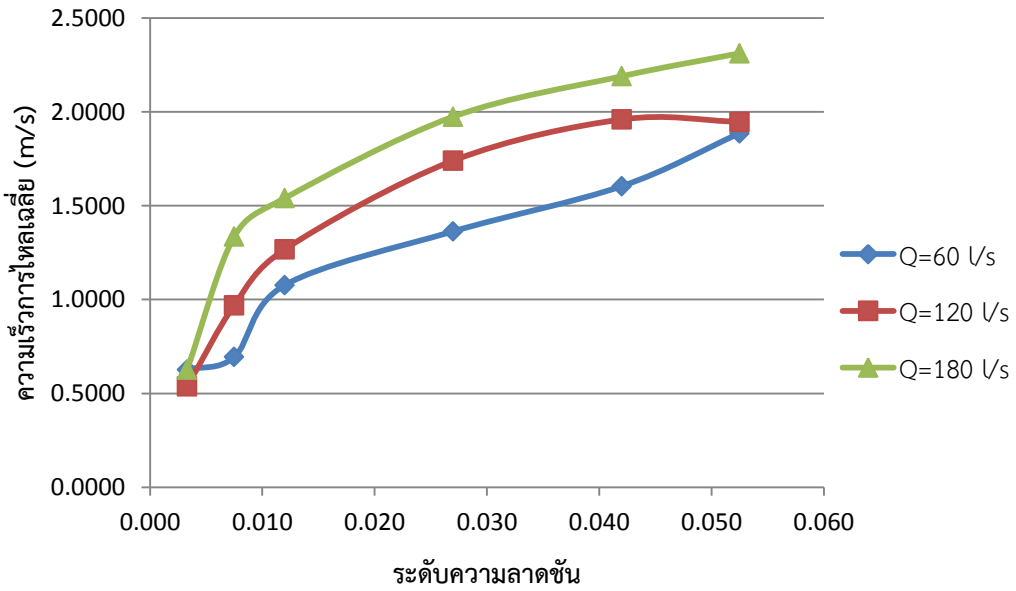
ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วเฉลี่ยกับระดับความลาดชันที่หน้าตัด 450 เซนติเมตร



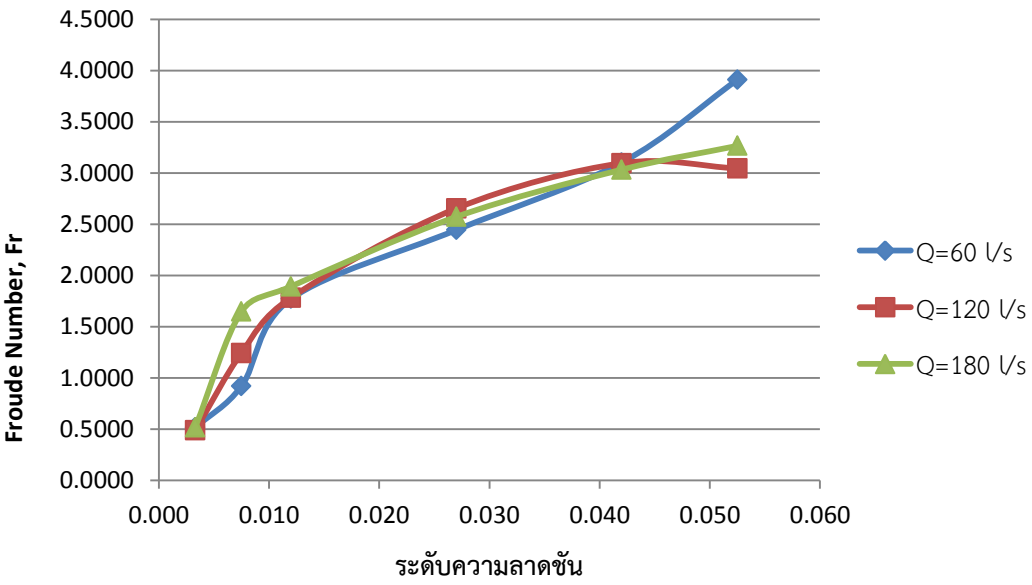
ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Froude Number กับระดับความลาดชันที่หน้าตัด 450 เซนติเมตร



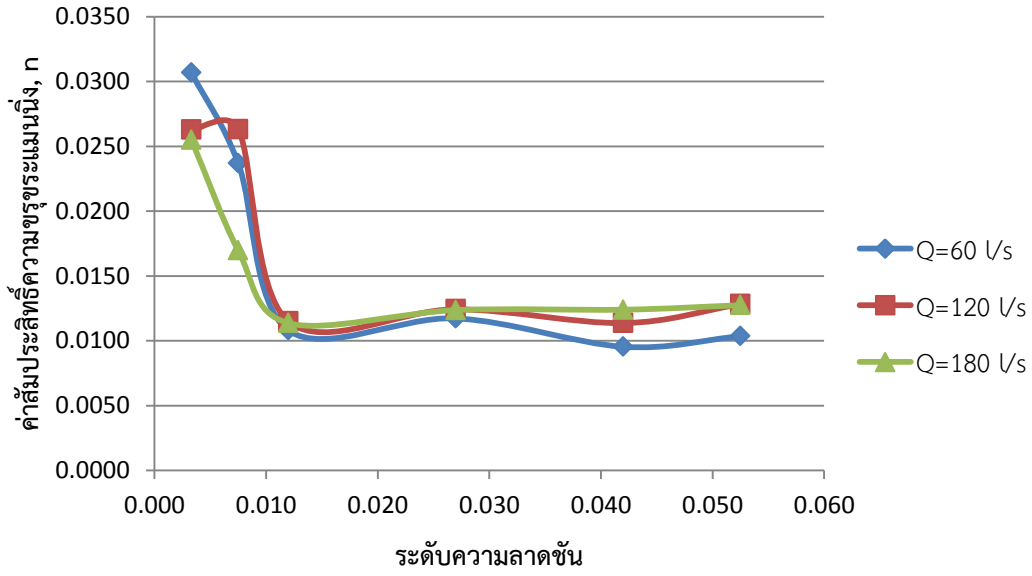
ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งกับระดับความลาดชันที่หน้าตัด 550 เซนติเมตร



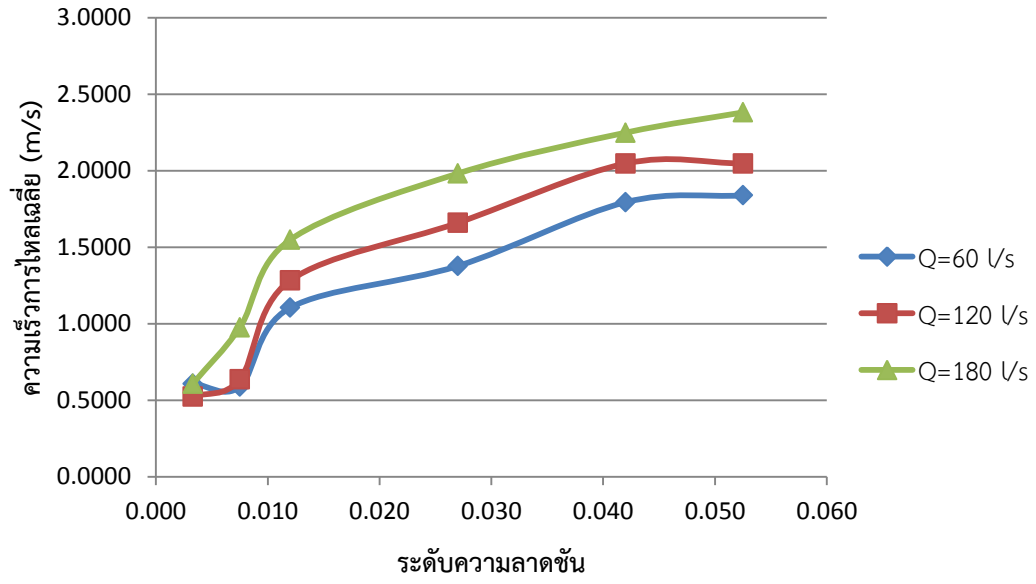
ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วเฉลี่ยกับระดับความลาดชันที่หน้าตัด 550 เซนติเมตร



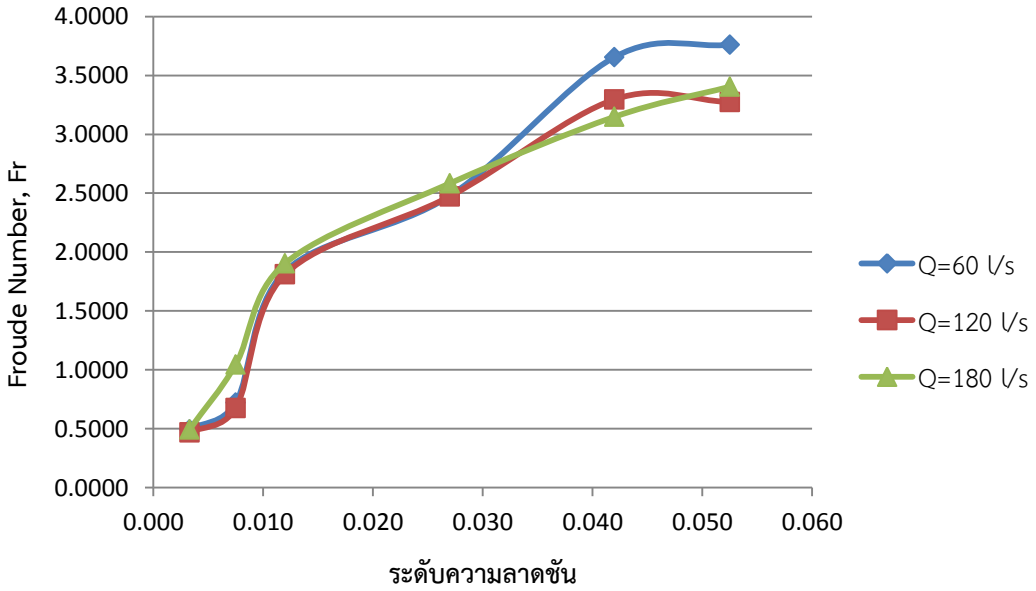
ภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Froude Number กับระดับความลาดชันที่หน้าตัด 550 เซนติเมตร



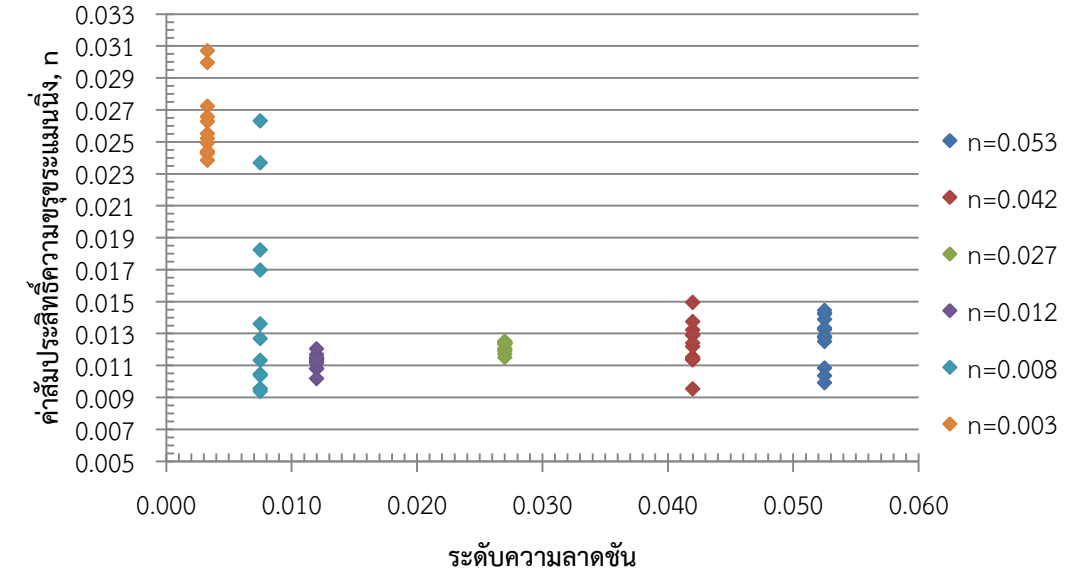
ภาพที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งกับระดับความลาดชันที่หน้าตัด 650 เซนติเมตร



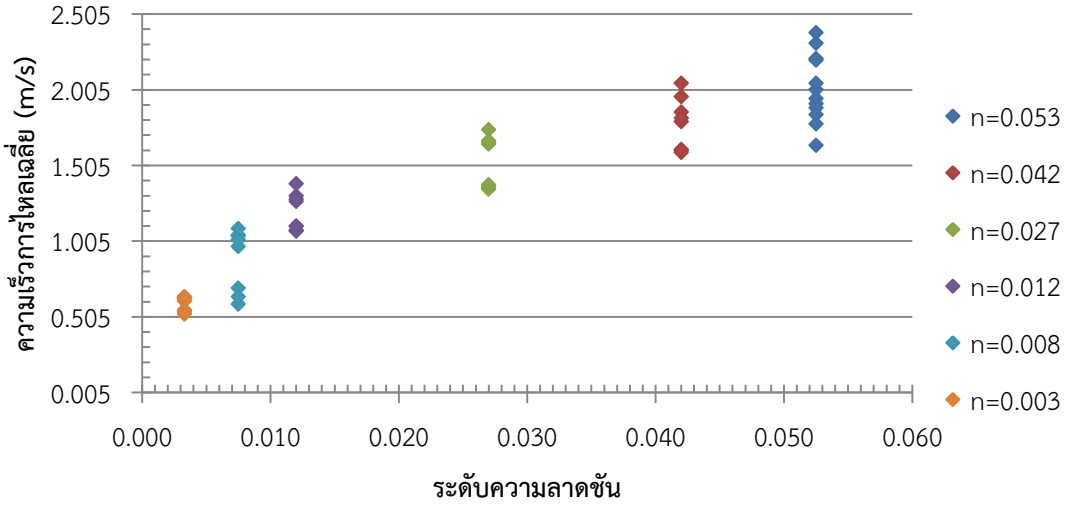
ภาพที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วเฉลี่ยกับระดับความลาดชันที่หน้าตัด 650 เซนติเมตร



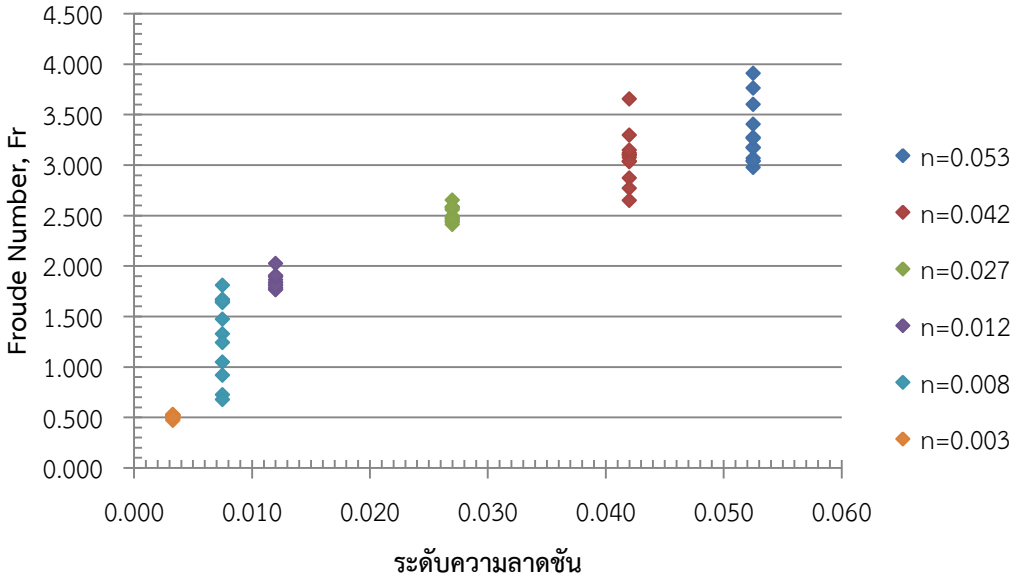
ภาพที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Froude Number กับระดับความลาดชันที่หน้าตัด 650 เซนติเมตร



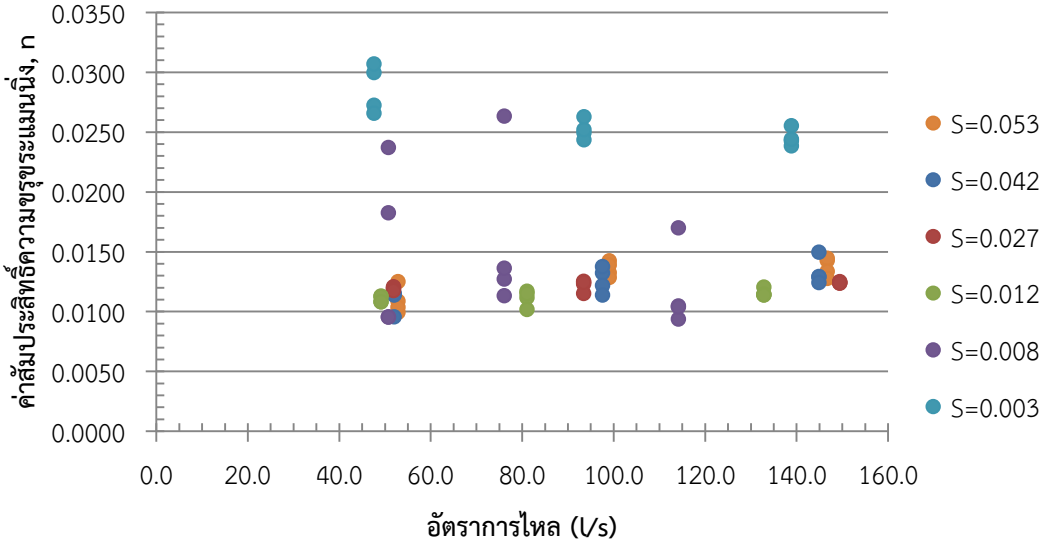
ภาพที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งกับระดับความลาดชัน



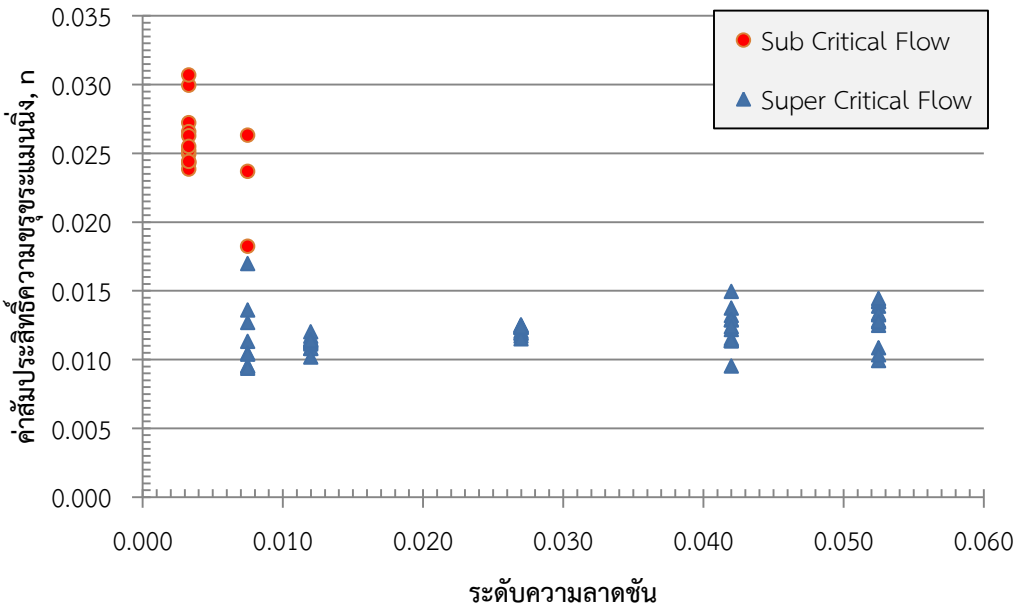
ภาพที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วเฉลี่ยกับระดับความลาดชัน



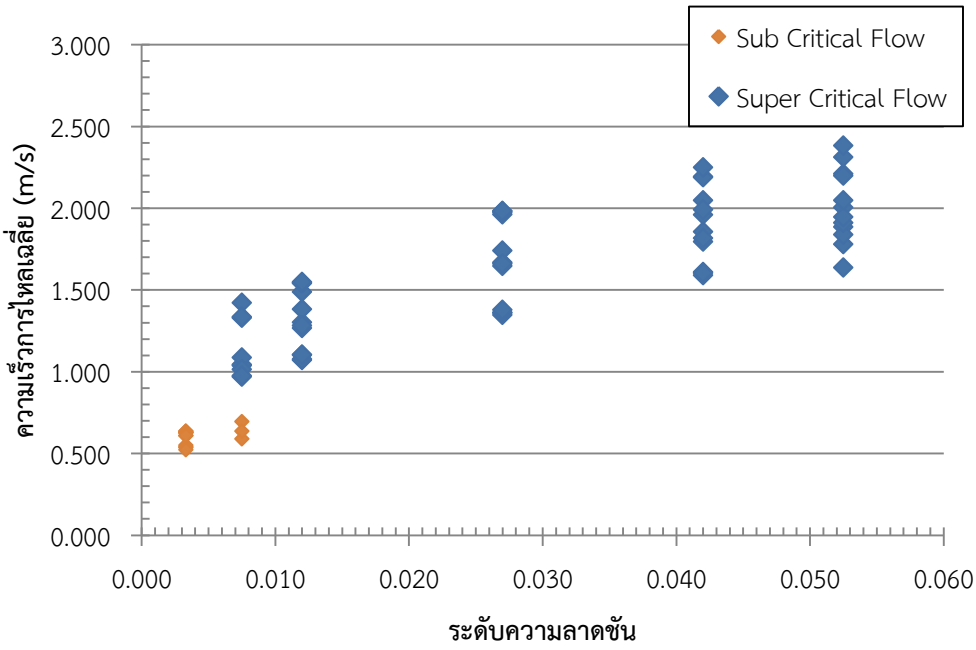
ภาพที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Froude Number กับระดับความลาดชัน



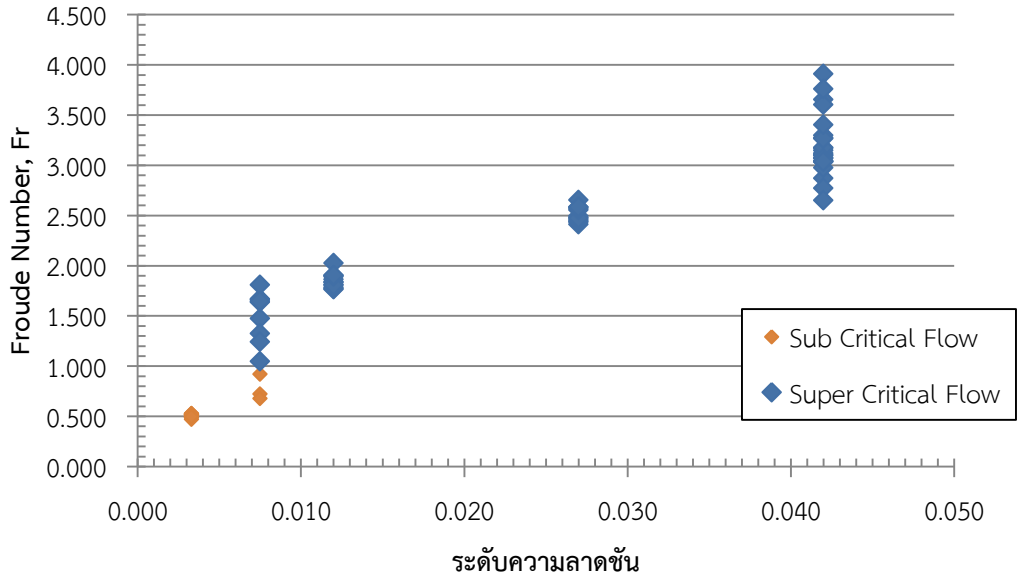
ภาพที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งกับอัตราการไหล



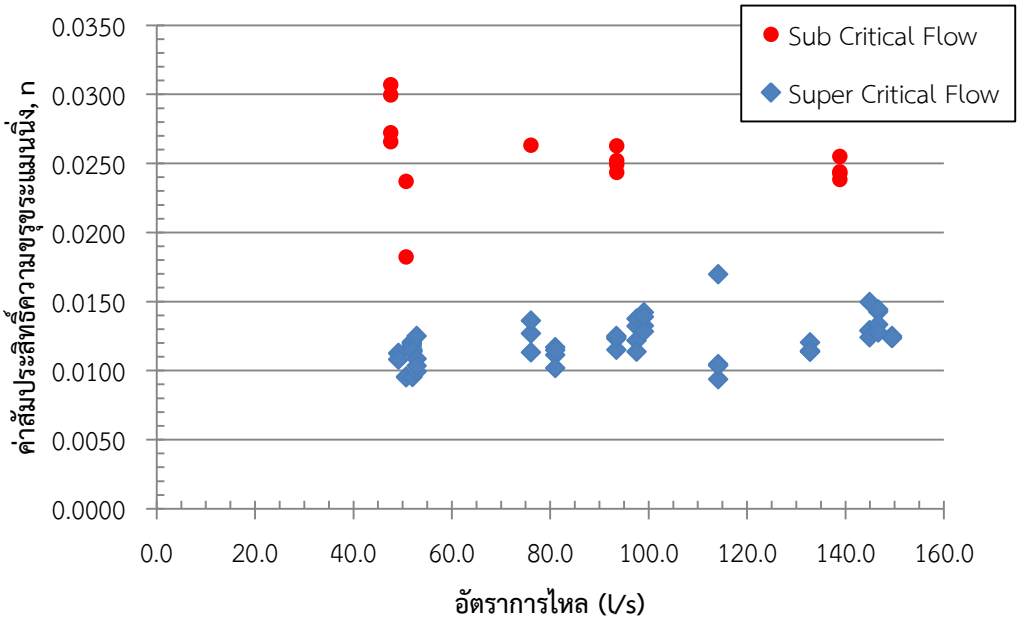
ภาพที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งกับระดับความลาดชัน



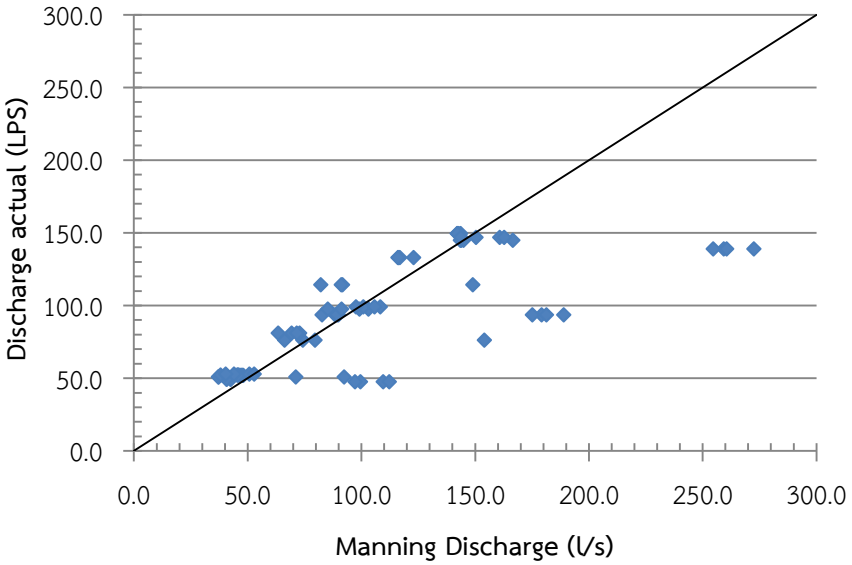
ภาพที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วเฉลี่ยกับระดับความลาดชัน



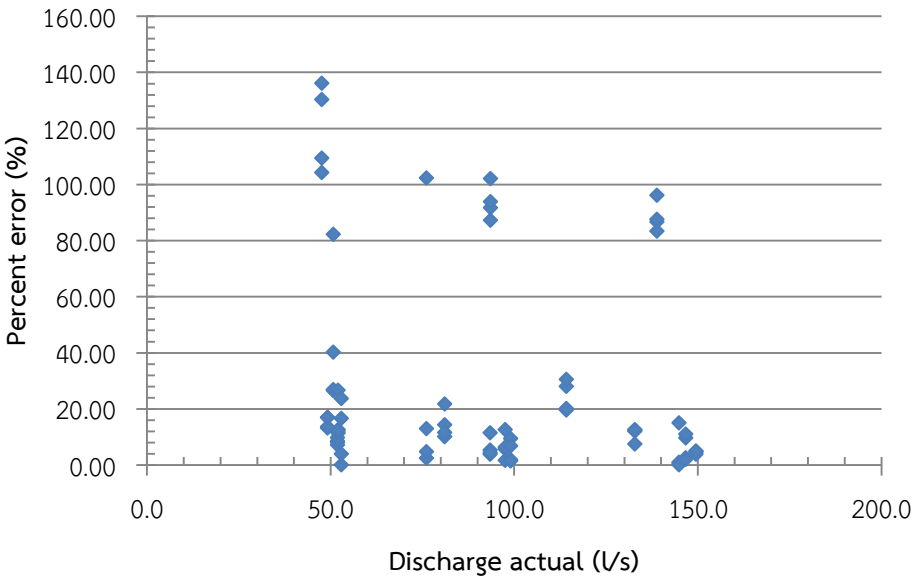
ภาพที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Froude Number กับระดับความลาดชัน



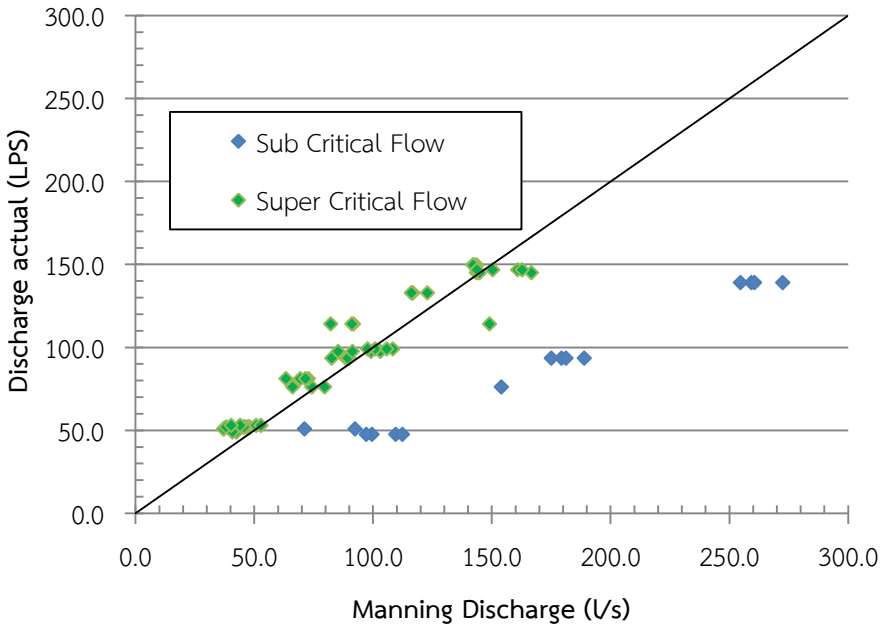
ภาพที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งกับอัตราการไหล



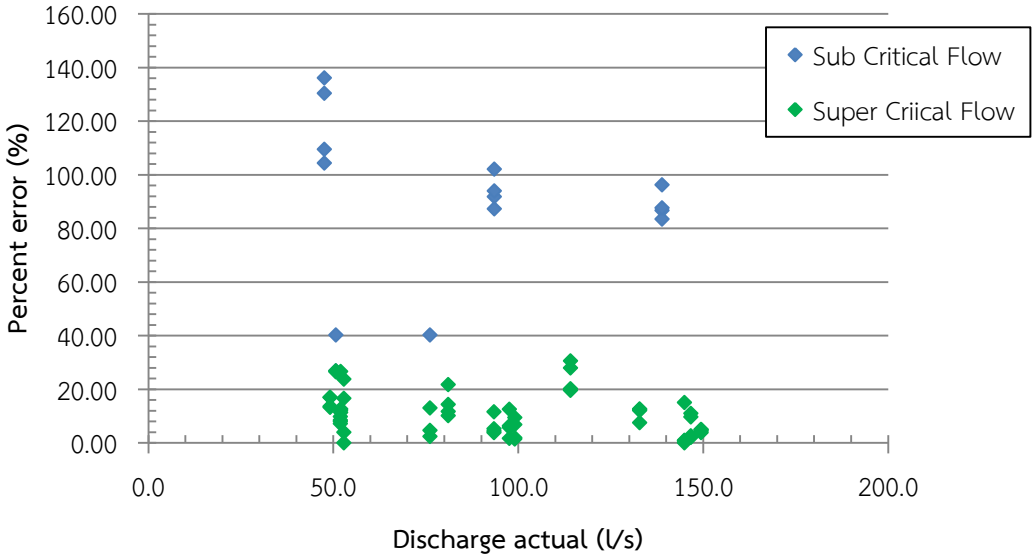
ภาพที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจริงกับอัตราการไหลจากสมการแมนนิ่ง



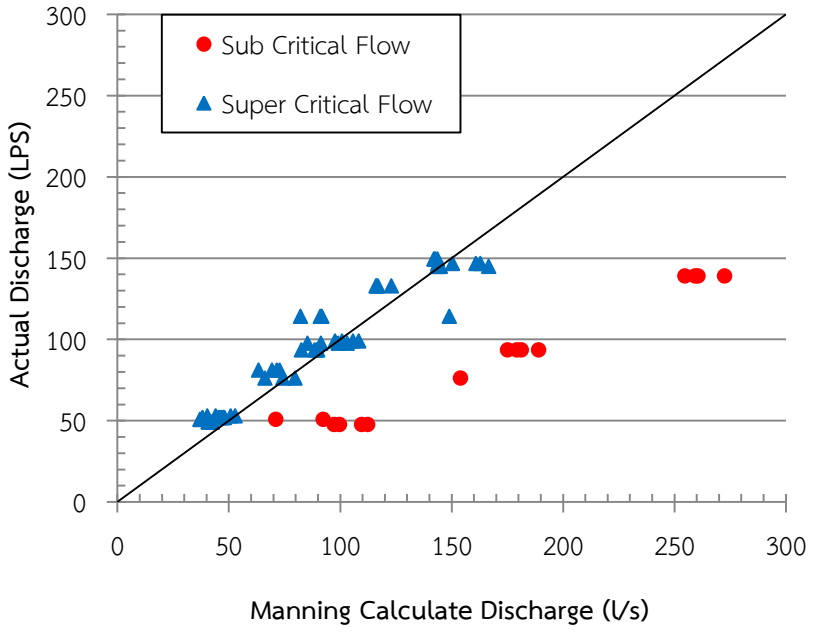
ภาพที่ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดกับอัตราการไหลจริง



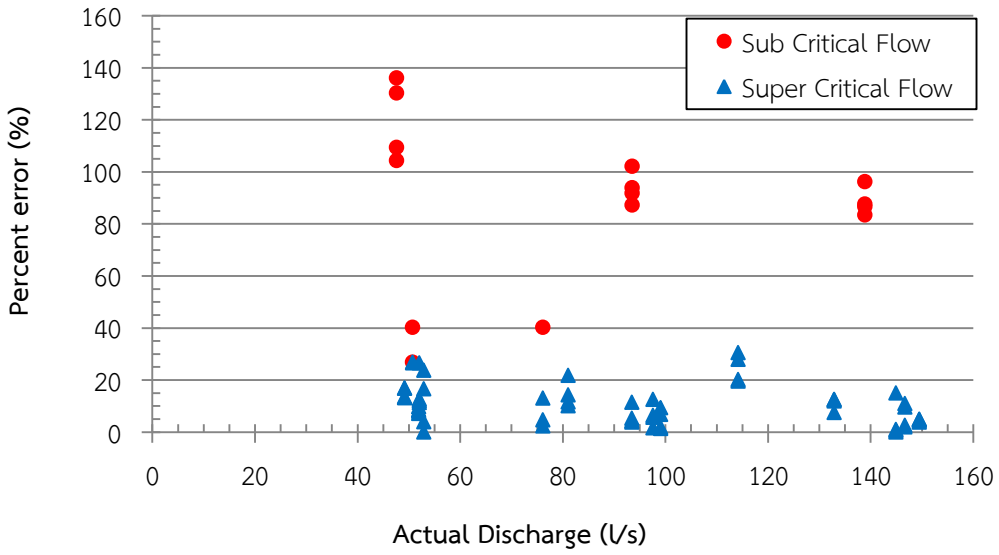
ภาพที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจริงกับอัตราการไหลจากสมการแมนนิ่ง



ภาพที่ 24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดกับอัตราการไหลจริง



ภาพที่ 25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจริงกับอัตราการไหลที่คำนวณจากสมการแมนนิ่ง



ภาพที่ 26 แสดงความความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจริงกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด