สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การหาสัมประสิทธิ์ค่าความขรุขระแมนนิ่งของคลองส่งน้ำชลประทาน

DETERMINATION OF MANNING ' S N ROUGHNESS COEFFICIENT IRRIGATION CHANNELS

นายธรรมปพน ยุทธฐานทร
นายเอกสิทธิ์ แสงยางใหญ่
นายโอพาร เฉียงล้ำเลิศ

วศ.
ส 348ก
ก.49

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72135
วัน,เดือน,ปี 11 มิ.ย. 2550

.b 11763838
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาสัมประสิทธิ์ค่าความขรุขระแมนนิ่งของคลองส่งน้ำชลประทาน

DETERMINATION OF MANNING ' S N ROUGHNESS COEFFICIENT IRRIGATION CHANNELS

โดย

นายธรรมปพน ยุทธชุนทร

นายเอกสิทธิ์ แสงยางใหญ่

นายโอพาร เสียงล้ำเลิศ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหาสัมประสิทธิ์ค่าความขรุขระแมนนิ่งของคลองส่งน้ำชลประทาน

Determination of Manning ' s n Roughness Coefficient Irrigation Channels

ผู้จัดทำ

1. นายธรรมปพน ยุทธสุนทร รหัสประจำตัว 47015485
2. นายเอกสิทธิ์ แสงยางใหญ่ รหัสประจำตัว 47015522
3. นายโอฬาร เสียงล้ำเลิศ รหัสประจำตัว 47015523

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. ทรงวุฒิ แสงจันทร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. ปรีชานันท์ ศรีแก้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาสัมประสิทธิ์ค่าความขรุขระแมนนิ่งของคลองส่งน้ำชลประทาน

1. นายธรรมปพน ยุทธสุนทร 47015485
2. นายเอกสิทธิ์ แสงยางใหญ่ 47015522
3. นายโอฬาร เสียงล้ำเลิศ 47015523
ผศ.ดร. ทรงวุฒิ แสงจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา
อ. ปรีชานันท์ ศรีแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

การหาสัมประสิทธิ์ค่าความขรุขระแมนนิ่งของคลองส่งน้ำชลประทานได้เลือกทำการศึกษาทดลองที่คลองแยกซอย 3 ซ้าย 21ขวา และ คลองซอยคาดซีเมนต์ 1 ขวา 21 ขวา ของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 2 (บ้านแพรก) ในสังกัดโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียม ตำบลบ้านแพรก อำเภอบ้านแพรก จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยโครงงานมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งของคลองส่งน้ำชลประทาน 2 ลักษณะ คือ คลองดิน และ คลองคาดด้วยซีเมนต์ จากการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ค่าความขรุขระแมนนิ่งของคลองส่งน้ำ กับค่าที่ใช้ในการออกแบบ ผลปรากฏว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งของคลองส่งน้ำที่หาได้ในปัจจุบันมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งของคลองส่งน้ำมีผลกระทบเนื่องมาจากปัจจัยเงื่อนไขการไหลของน้ำ และสภาพคลอง ได้แก่ ความขรุขระ ความโค้ง และวัชพืชที่ขึ้นในคลอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Determination of Manning ' s n Roughness Coefficient Irrigation Channels

Thammapaphon Yuttasuntorn 47015485
Eakasit Sangyangyai 47015522
Oran Seanglumlert 47015523
Assist prof. Dr. Songvoot Sangchan Advisor
Prechanan Srikeaw Advisor

2006

ABSTRACT

The determination of Manning' s Roughness Coefficient Irrigation Channels has been carried out in tertiary canals 3left-21right and 1right-21right of the second Operation and Maintenance Division (OMD2), Baan Prack Operation and Maintenance Project , Pranakhornsriayuttaya Province. The project is aimed to examine the values of Mannin's Roughness Coefficient of both unlined and lined irrigation canals . For the comparision of Manning's Roughness Coefficients to the design one, the results showed that the n values at the present were increased. It indicate that the n values can be effected by flow conditions and canal factors: roughess, curve, and vegetation in canal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จได้เป็นอย่างดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่สุดที่ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ก็คือ ผศ.ดร. ทรงวุฒิ แสงจันทร์ และ ท่านอาจารย์ ปรีชานันท์ ศรีแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ ด้วยความรักและความเมตตาเสมอมา ซึ่งต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและสิ่งเหล่านั้นที่อาจารย์ได้ช่วยเหลือจะอยู่ในจิตใจเราเสมอไป

อนึ่งทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 2 (บ้านแพรก) โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม และท่านอาจารย์ สังวร พานเข็ม โรงเรียน บ้านแพรกประชาสรรค์ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านข้อมูลของพื้นที่ทำการศึกษาและอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดี ซึ่งทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเป็นอย่างดี

ธรรมปพน ยุทธสุนทร
เอกสิทธิ์ แสงยางใหญ่
โอพาร เสียงล้ำเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
2.1 การไหลในทางน้ำเปิด	3
2.2 ประเภทของการไหลในทางน้ำเปิด	4
2.3 การไหลแบบสม่ำเสมอ	8
2.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n	12
2.5 องค์ประกอบที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n	14
2.6 คลองส่งน้ำ (irrigation canals)	15
2.7 ประเภทคลองส่งน้ำในระบบส่งน้ำ	18
2.8 หลักการวางแนวคลองส่งน้ำ	19
2.9 การวัดความเร็วของกระแสน้ำด้วยเครื่องวัด	20
2.10 การหาพื้นที่หน้าตัดของคลอง	21
2.11 การหารัศมีชลศาสตร์ (R, Hydraulic Radius)	23
2.12 การหาค่าความลาดเอียงท้องคลอง (S_s, Slope)	24
2.13 พื้นที่ทำการศึกษา	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีทดลอง 26
3.1 การหาขนาดพื้นที่หน้าตัดคลอง (Area, A) 26
3.2 การหาค่าความเร็วของกระแสน้ำ 27
3.3 การหาค่าอัตราการไหล (Q) 29
3.4การหารัศมีชลศาสตร์ (R, Hydraulic Radius) 30
3.5การหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (Manning's Roughness Coefficient) 30
บทที่ 4 ผลการทดลอง 32
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์ 33
5.1 สรุป 33
5.2 ข้อเสนอแนะ 33
ภาคผนวก ก ตารางแสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งของพื้นที่ย่อย 34
ภาคผนวก ข กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลและค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง 38
บรรณานุกรม 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

มนุษย์รู้จักการสร้างคลองชลประทานมาเป็นเวลาช้านาน วิชาชลศาสตร์จึงถือเป็นศาสตร์ที่มีความเก่าแก่ที่สุดแขนงหนึ่งของโลก เพราะในการดำรงชีวิตสิ่งที่ขาดไม่ได้เลยคือน้ำ ในปัจจุบันการบริหารน้ำเป็นสิ่งที่จำเป็น อย่างยิ่งเนื่องจากมีความต้องการใช้น้ำเพิ่งมากขึ้นทุกปี เนื่องจากในการทำงานทุกด้านย่อมต้องมีการใช้น้ำทั้งสิ้นไม่ว่าจะเป็นงานในด้าน อุตสาหกรรม เกษตรกรรม หรือแม้แต่ในการอุปโภคบริโภค การบริหารน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการ จึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญอย่างมาก และยังต้องบริหารควบคุมให้ไม่มากเกินความต้องการมิฉะนั้นแล้วจะทำให้เกิดน้ำท่วมได้ ซึ่งจะทำให้มีความเสียหายต่อประเทศเป็นอย่างมาก

กรมชลประทานมีหน้าที่บริหารควบคุมจัดสรรน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการของประชาชน และคลองส่งน้ำชลประทานถือเป็นหัวใจหลักในการบริหารน้ำของกรมชลประทาน เพราะฉะนั้นการบำรุงรักษาคลองส่งน้ำชลประทานอยู่ตลอดเวลาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง คลองส่งน้ำชลประทานโดยมากได้ถูกสร้างมาเป็นเวลาช้านานแล้ว จึงทำให้คลองชลประทานมีสภาพเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากธรรมชาติ และฝีมือมนุษย์

โดยทั่วไปในการออกแบบคลองส่งน้ำชลประทาน ต้องมีการคำนวณอัตราการไหลของน้ำในคลองส่งน้ำชลประทานเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของประชาชน และในการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ ในคลองส่งน้ำชลประทานต้องรู้ว่าคลองส่งน้ำชลประทานมีแรงเสียดทานเท่าไรซึ่งมีมากมายหลายวิธีแต่ที่นิยมใช้โดยทั่วไปแล้วคือ การนำดินที่คลองส่งน้ำชลประทานไปตรวจดูว่าเป็นดินประเภทใด มีลักษณะอย่างไรแล้วเอาไป เปรียบเทียบกับตารางว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (Manning 's n Coefficient) ได้ค่าเท่าไรแล้วไปคำนวณหา อัตราการไหลโดยใช้สมการแมนนิ่ง (Manning equation) เพื่อที่จะทำการออกแบบคลองให้ได้อัตราการไหลตามความต้องการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้อาศัยหลักการดังที่กล่าวมาทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (Manning 's n Coefficient) ของคลองแยกซอย 3 ซ้าย 21ขวา ของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 2 (บ้านแพรก) ในสังกัดโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียม ตำบลบ้านแพรก อำเภอบ้านแพรก จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง ที่ใช้ในการออกแบบคลองส่งน้ำชลประทาน ว่ามีความเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรเพื่อที่จะได้นำมาเป็นแนวทางในการบำรุงรักษาคลองชลประทานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาลักษณะการไหลของน้ำในคลองที่สามารถวิเคราะห์การไหลด้วยสมการแมนนิ่ง (Manning's Equation)

1.2.2 ตรวจสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (Manning's Raughness Coefficient) ของคลองส่งน้ำชลประทาน ซึ่งเป็นคลองดินในทางตรงและทางโค้ง รวมถึงคลองคาดด้วยคอนกรีตในทางตรงและทางโค้ง

1.2.3 ศึกษาสิ่งที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการส่งน้ำของคลองส่งน้ำชลประทาน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 หาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งของคลอง แยกซอย 3 ซ้าย 21ขวา ของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 2 (บ้านแพรก) ในสังกัดโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียม ตำบลบ้านแพรก อำเภอบ้านแพรก จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

1.3.2 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่คำนวนได้กับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่ใช้ในการออกแบบ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงงานนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ด้านการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยและ ด้านลงพื้นที่ภาคสนาม เริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีที่เกี่ยวกับการไหล สมการที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหล สมการแมนนิ่ง การหาค่าความลาดชันของน้ำในคลอง การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของคลอง การหาค่ารัศมีชลศาสตร์ การหาเส้นขอบเปียก และรวบรวมข้อมูลต่างที่เกี่ยวข้องกับคลองชลประทานที่จะทำการศึกษา จากนั้นทำการเลือกคลองชลประทานที่จะทำการศึกษาในงานวิจัยโดยศึกษาข้อมูลของคลองชลประทานที่กรมชลประทานได้รวบรวมไว้ ศึกษาการใช้เครื่องมือต่างๆที่นำมาใช้ในงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วย เครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำ และ กล้องวัดระดับซึ่งมีรายระเอียดดังในบทที่ 2 และ3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

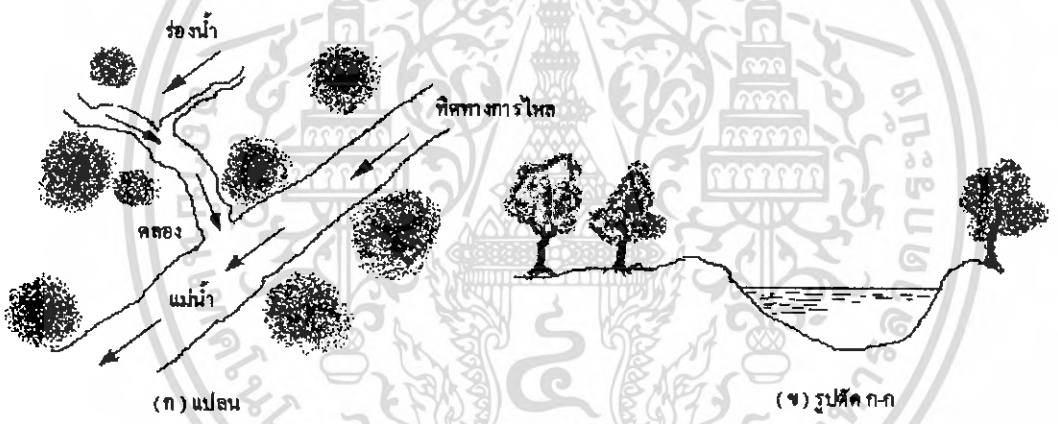
บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 การไหลในทางน้ำเปิด

การไหลในทางน้ำเปิด หมายถึง การไหลที่มีผิวของไหลสัมผัสกับอากาศ ซึ่งเรียกผิวของไหลนี้ว่า ผิวของไหลอิสระ โดยมีความดันบรรยากาศกระทำต่อผิวของไหลอิสระ ดังนั้นผิวของไหลอิสระตามแนวยาวของทางน้ำเปิดจึงเป็นเส้นระดับชลศาสตร์ (hydraulic grade line) ทางน้ำเปิดที่พบเห็นโดยทั่วไปสามารถจำแนกได้ 2 ลักษณะคือ

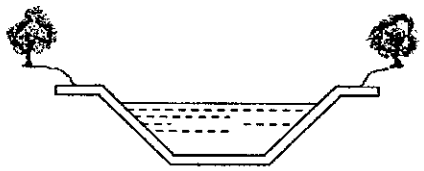
2.1.1 ทางน้ำเปิดตามธรรมชาติ (natural open channel) เป็นทางน้ำเปิดที่มีสภาพสลับซับซ้อน เปลี่ยนแปลงไปตามสถานที่ลักษณะไม่แน่นอนเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ร่องน้ำ เล็ก คลอง และแม่น้ำเป็นต้นดังแสดงในรูปที่ 1



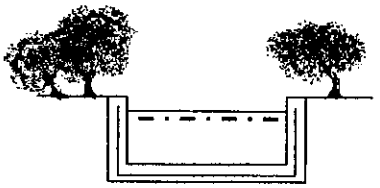
รูปที่ 1. ทางน้ำเปิดตามธรรมชาติ

2.1.2 ทางน้ำเปิดที่สร้างขึ้น (artificial channel) เป็นทางน้ำเปิดที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อให้เกิดประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องซึ่งการวางแนวทางการไหลสามารถกำหนดได้จากเส้นระดับชั้นความสูง (contour) ของพื้นที่ โดยอาศัยหลักการที่ว่าของไหลย่อมไหลจากที่สูงไปต่ำกว่าตามแรงโน้มถ่วงของโลก ตัวอย่างของทางน้ำเปิดที่เพิ่มขึ้น เช่น ร่องน้ำ คลอง แม่น้ำ รางระบายน้ำ (drainage ditch) รางระบายน้ำข้างถนน (road site gutter) และท่อที่มีน้ำไหลไม่เต็ม เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.

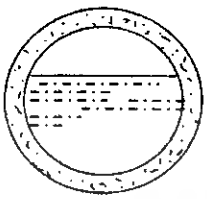
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



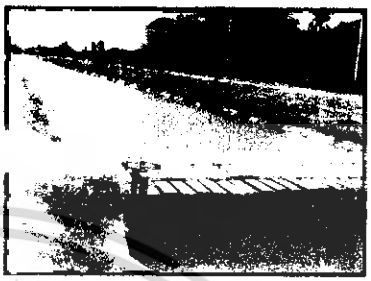
(ก) คลองคอนกรีต



(ข) รางคอนกรีตเสริม



(ค) ท่อระบายน้ำ



(ง) คลองขุด

รูปที่ 2. ตัวอย่างของทางน้ำเปิดที่สร้างขึ้น

2.2 ประเภทของการไหลในทางน้ำเปิด

ในทางชลศาสตร์สามารถแบ่งการไหลในทางน้ำเปิดได้ 2 ประเภทคือ การแบ่งตามชนิดของการไหล (type of flow) และการแบ่งตามสภาวะการไหล (state of flow) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1. การแบ่งตามชนิดของการไหล มีหลักเกณฑ์ในการแบ่ง 2 ประการคือ

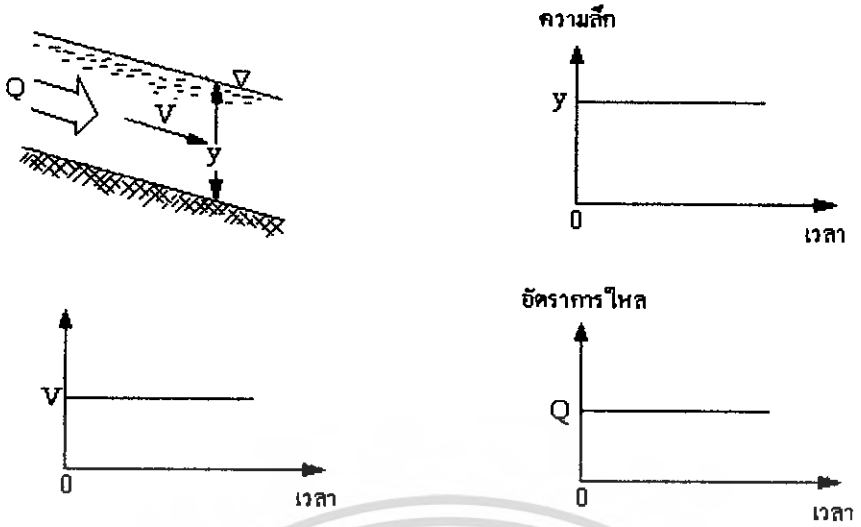
(1) เกณฑ์เกี่ยวกับเวลา (time onterion) มี 2 ลักษณะคือ

* การไหลคงที่ (steady flow) คือการไหลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา กล่าวคือ ตัวแปรต่าง ๆ ของการไหล เช่น ความลึก y ความเร็ว v และอัตราการไหล q ที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งของทางน้ำเปิดคงที่ในช่วงเวลาที่กำหนด (dt) หรือ

ลักษณะการไหลคงที่มักจะเกิดในทางน้ำเปิดที่มนุษย์สร้างขึ้น เพราะสามารถควบคุมปริมาณการไหลคงที่ได้ด้วยประตูน้ำต่าง ๆ ส่วนทางน้ำเปิดตามธรรมชาติก็อาจเกิดการไหลคงที่ได้ในกรณีที่พิจารณาการไหลในช่วงสั้น ๆ ดังนั้นภาพของสมการที่ 1 สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3

$$\frac{d}{dt}(Y,V,Q,....) = 0 \qquad \text{..... (1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



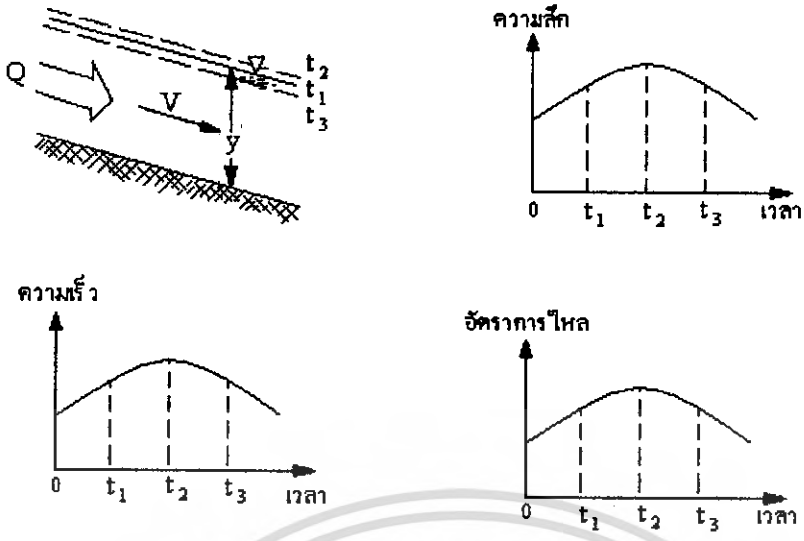
รูปที่ 3 การไหลในทางน้ำเปิด

* การไหลไม่คงที่ (unsteady flow) คือการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา กล่าวคือตัวแปรต่าง ๆ ของการไหล เช่น ความลึก y ความเร็ว v และอัตราการไหล q ที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาหรือ

$$\frac{d}{dt}(Y,V,Q,....) = 0 \qquad \text{..... (2)}$$

ลักษณะการไหลไม่คงที่ มักจะเกิดขึ้นกับทางน้ำเปิดธรรมชาติ ซึ่งมีความผันแปรของตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมาก เช่น ปริมาณน้ำไหลนองลงทางน้ำเปิดที่เกิดจากน้ำฝน การรั่วซึมและการระเหยเป็นต้น จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความลึก ความเร็ว และอัตราการไหลในทางน้ำเปิด ส่วนในทางน้ำเปิดที่มนุษย์สร้างขึ้นก็อาจจะเกิดการไหลไม่คงที่ได้ ดังนั้น ภาพของสมการที่ 2 สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.

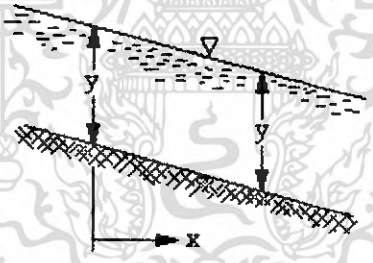
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4. การไหลไม่คงที่ในทางน้ำเปิด

(2) เกณฑ์เกี่ยวกับตำแหน่งพื้นที่การไหล (space onterion) แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

* การไหลแบบสม่ำเสมอ (uniform flow) คือการไหลที่มีความลึกของของไหล v คงที่ตลอดระยะทาง x ของทางน้ำเปิดดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การไหลแบบสม่ำเสมอ

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าความลึก y ไม่เป็นฟังก์ชันกับระยะทาง x หรือ

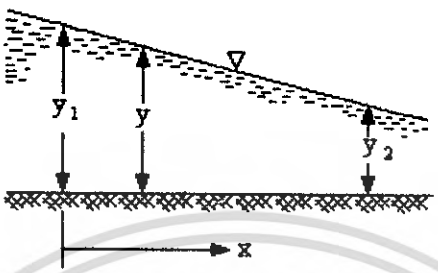
$$y \neq f(x) \qquad \text{..... (3)}$$

$$\frac{dy}{dx} = 0 \qquad \text{..... (4)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการไหลแบบสม่ำเสมอมักจะพบเห็นโดยทั่วไปในทางน้ำเปิดที่มนุษย์สร้างขึ้นในช่วงระยะทางที่ไม่มากนัก

* การไหลแบบเปลี่ยนแปลง (varied flow) หรือการไหลแบบไม่สม่ำเสมอ (nonuniform flow) คือการไหลที่มีความลึกของของไหลเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางของน้ำเปิด ดังแสดงในรูปที่ 6.



รูปที่ 6. การไหลแบบเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าความลึก y เป็นฟังก์ชันกับระยะทาง x หรือ

$$y = f(x) \quad \text{..... (5)}$$

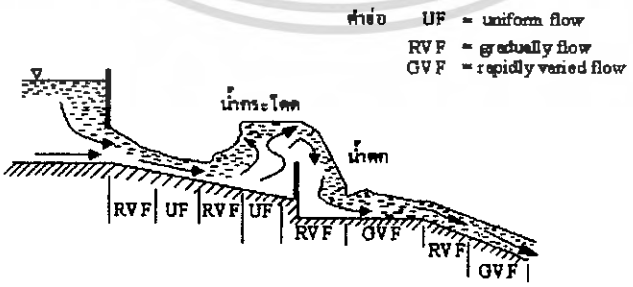
$$\frac{dy}{dx} \neq 0 \quad \text{..... (6)}$$

นอกจากนี้การไหลแบบเปลี่ยนแปลงยังแบ่งได้อีก 2 ชนิด คือ

1) การไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อย (gradually vaned fow, GVF) คือการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงความลึกตามระยะทางน้อย

2) การไหลแบบเปลี่ยนแปลง (rawidly varied flow, RVF) คือการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงความลึกตามระยะทางอย่างทันทีทันใด เช่น น้ำกระโดด (hydraulic jump) น้ำตก (hydranlic drop) และบริเวณที่น้ำไหลลอดจากประตูระบายน้ำเป็นต้น

สำหรับตัวอย่างของการไหลในทางน้ำเปิดชนิดต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7



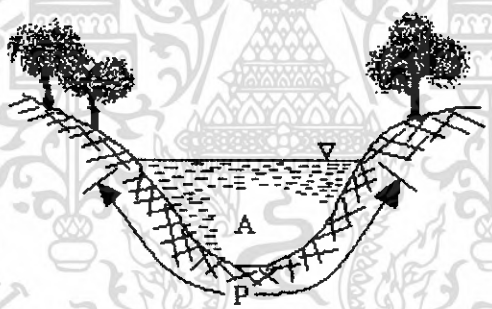
รูปที่ 7 ตัวอย่างของการไหลในทางน้ำเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การไหลแบบสม่ำเสมอ

การไหลในทางน้ำเปิด เป็นการเคลื่อนที่ของของไหลภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก (gravity force) จากที่ที่มีพลังงานสูงไปสู่บริเวณที่มีพลังงานต่ำ ขณะที่ของไหลเคลื่อนที่จะเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากมีแรงเสียดทานบริเวณที่ของไหลสัมผัสกับทางน้ำเปิด แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการไหล ซึ่งการไหลแบบสม่ำเสมอจะเกิดขึ้นเมื่อแรงเสียดทานเท่ากับแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกในทิศทางการไหลดังรูปที่ 8 โดยที่การไหลแบบสม่ำเสมอนี้บางครั้งก็เรียกว่า การไหลแบบปกติ (normal flow)

จากรูปที่ 8 สำหรับทางน้ำเปิดคงรูป (wrismatic channel) หรือทางน้ำเปิดที่มีหน้าตัดคงที่ตลอดแนวการไหล จะมีการไหลแบบสม่ำเสมอ เมื่อความลึกของของไหล y_1 เท่ากับ y_2 ทำให้ความลาดของระดับท้องของของไหล (bottom slope, S_o) ขนานกับความลาดผิวของไหล (surface slope, S_w) หรือความลาดของเส้นระดับชลศาสตร์ (hydraulic grade line) และจากการไหลอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการไหลเท่ากันทุกหน้าตัดการไหลตลอดความยาวของทางน้ำเปิด ทำให้ความเร็วของเส้นระดับพลังงาน (emergy grade line, S_f)



รูปที่ 8 การแบบสม่ำเสมอในทางน้ำเปิด

โดยสรุปแล้ว การไหลแบบสม่ำเสมอจะเกิดขึ้นเมื่อ

1. คุณสมบัติทางเรขาคณิต และสภาพการไหลในทางน้ำเปิดคือ Y,A, Q และ V คงที่ทุกหน้าตัดการไหล

2. ความลาด $S_o = S_w = S_f$ เท่ากับความลาด S ตลอดช่วงความยาวที่เกิดการไหลแบบสม่ำเสมอ

โดยทั่วไปแล้ว การไหลสม่ำเสมอจะเป็นการไหลคงที่ (steady flow) เสมอไป การไหลไม่คงที่ (unsteady flow) โดยสภาพความเป็นจริงแล้วไม่มี ในทางน้ำเปิดธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลสม่ำเสมอและคงที่ (steady uniform flow) ก็ยากที่จะเกิดขึ้นตามเงื่อนไขดังกล่าวไว้ข้างบน อย่างไรก็ตาม สภาพการไหลสม่ำเสมอก็มักจะนำไปประยุกต์ใช้กับทางน้ำเปิดธรรมชาติเสมอในทางปฏิบัติ ยกเว้นในกรณีพิเศษ และเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าได้ให้ผลลัพธ์ที่ง่ายต่อการคำนวณและความถูกต้องพอประมาณในปัญหาเชิงปฏิบัติ ในปัญหาด้วนวิศวกรรมโดยทั่วไปจะพบว่ามีการไหลสม่ำเสมอแบบปั่นป่วน (Turbulent uniform flow) เป็นส่วนมาก การไหลสม่ำเสมอแบบราบเรียบ (laminar uniform flow) มีน้อยมาก ดังนั้นในที่นี้ให้เป็นที่เข้าใจกันว่าการกล่าวถึงการไหลสม่ำเสมอ ก็คือ แบบปั่นป่วน ยกเว้นจะระบุว่าเป็นแบบราบเรียบ (laminar) และการไหลที่ความเร็วสูง ๆ เช่นในทางระบายน้ำล้นที่สูงมาก ๆ จะไม่สามารถคงสภาพการไหลสม่ำเสมอได้ เพราะว่าที่ความเร็วสูงมากกว่า 20 ฟุต/วินาที หรือ 6เมตร/วินาที น้ำที่เคลื่อนที่จะผสมตัวกับอากาศ (air entrainment) และการไหลเริ่มจะไม่คงที่ (unsteady)

2.3.1สูตรคำนวณการไหลสม่ำเสมอ

ในยุคเริ่มแรกของวิทยาการชลศาสตร์ วิศวกรตระหนักดีถึงความสำคัญที่จะต้องมีสูตรการไหลสำหรับช่วยในการคำนวณออกแบบทางน้ำเปิด โดยที่สูตรดังกล่าวจะต้องง่ายต่อการประยุกต์ และในขณะเดียวกันต้องให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงพอสมควรการพัฒนาปรับปรุงสูตรคำนวณการไหลสม่ำเสมอ ได้ดำเนินมาเป็นเวลามากกว่าสองศตวรรษ เท่าที่มีการบันทึกหลักฐานอาจจะเริ่มก่อน ค.ศ. 1700 จนกระทั่งเริ่มต้นศตวรรษที่ 19 ได้มีสมการ/สูตรสำหรับการคำนวณมากมาย แต่ละสมการ/สูตร ก็ได้รับความนิยมเป็นระยะ ๆ ไป รูปแบบของสูตรที่ยังคงได้รับความนิยมยอมรับมากที่สุด มีอยู่ 2 รูป คือ สูตร Chezy และสูตร Manning

(1) สูตร Chezy

Antoine Chezy วิศวกรชาวฝรั่งเศส ได้เป็นผู้คิดค้นสูตรนี้ เมื่อราวปี ค.ศ. 1769 ซึ่งอาจจะถือได้ว่าเป็นสูตรการไหลสม่ำเสมอสูตรแรกและได้รับการยอมรับจนกระทั่งปัจจุบัน การวิเคราะห์ที่มาของสูตร อาจทำได้โดยการวิเคราะห์หน่วย (dimensional analysis) ดังต่อไปนี้

1) แรงเสียดายทานการไหลต่อหน่วยพื้นที่ τ แปรผันตามกำลังสองของความเร็ว

$$\tau \ \alpha \ V^2$$

หรือ $\tau = KV^2$

โดย K = ค่าคงที่

แรงกระทำรอบผิวของมวลน้ำระหว่าง $1-2 = \tau PL = KV^2 PL = F_\tau$

2) ในการไหลสม่ำเสมอแรงขับเคลื่อนเนื่องจากความถ่วงของโลก (Gravity force) ในทางทิศทางการไหลสม่ำเสมอเท่ากับแรงเสียดทานไหลรอบ ๆ มวลน้ำที่เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักของมวลน้ำระหว่างหน้าตัด 1 – 2 = W = γAL

แรงขับเคลื่อน เนื่องจากความถ่วง $F_d = W \sin\theta$

เพราะว่า θ มีค่าน้อย $\text{Sin } \theta \approx \tan\theta = S$ (ความลาดเส้นพลังงาน)

ดังนั้น $F_d = WS = ALS$

จากสมมติฐานข้อ 2 $F_r = F_d$

$$KV^2 PL = \gamma ALS$$

$$V = \frac{\gamma}{K}\frac{A}{P}S = \frac{\gamma}{K}RS = C^2RS$$

ดังนั้น $V = C\sqrt{RS}$ ..... (7)

โดย R = รัศมีชลศาสตร์ = A/P

S = ความลาดเส้นพลังงาน (energy slope)

และค่า C มีชื่อเรียกว่าสัมประสิทธิ์ Chezy โดย C = รูทสองของ γ/K ซึ่งเป็นตัวเลขที่ขึ้นกับสภาพทางน้ำเปิดและสภาพการไหล โดยวิเคราะห์หน่วยจะพบว่า C มีหน่วยเป็น L 0.5 T – 1 หรือ (หน่วยความเร่ง acceleration) 0.5 ค่า C มักจะหาได้จากตำราทางด้านชลศาสตร์ กลศาสตร์ของไหลหรือการไหลในทางน้ำเปิดโดยทั่วไป ซึ่งส่วนใหญ่จะให้ค่า สำหรับหน่วยในระบบอังกฤษ การนำมาใช้ระบบเมตริกควรได้ตรวจสอบ/แปลงหน่วยให้ถูกต้องเสียก่อน

สูตรสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ Chezy

ในภายหลัง Chezy ได้คิดค้นสูตรในสมการ (7) แล้วได้มีผู้คิดค้นวิธีการที่จะหาค่าสัมประสิทธิ์ของ Chezy C เพื่อนำไปวิเคราะห์การไหลในท่อและทางน้ำเปิดอย่างมากมายหลายวิธีการ วิธีการที่สำคัญสำหรับการไหลในทางน้ำมีดังนี้

1) สูตร Ganguillet และ Kutter (1869) ได้ให้สูตรในระบบอังกฤษ

$$c = \frac{41.65 + 1.811/n + 0.00281/S}{1 + (n/Sqr.R)(41.65 + 0.00281/S)} \quad \text{..... (8)}$$

n = สปส. Kutter หรือนิยมเรียกว่า Kutter's-n

ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความขรุขระของผิวทางน้ำเปิด

2) สูตร Bazine (1897) ได้ให้สูตรหาค่า C ว่า

$$C = \frac{157.6}{1 + m/Sqr.R} \quad \text{..... (9)}$$

m = สปส. ของ Bazin หรือ Banzin's m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความขรุขระของผิวทางน้ำเปิด

3.) สูตร Powell (1950) ได้เสนอสูตรหาค่า C ดังนี้

$$C = -42\log\left(\frac{C}{4\,\mathrm{Re}} + \frac{\varepsilon}{R}\right) \qquad \text{..... (10)}$$

Re = Reynolds Number

ε = ตัวแปรสำหรับความขรุขระของผิวทางน้ำเปิด

(2) สูตร Manning

ในกรณีการไหลในทางน้ำเปิดที่มีพื้นที่หน้าตัดการไหลขนาดใหญ่ การใช้สมการ Chezy จะเป็นเรื่องยุ่งยากเนื่องจากค่า C มีค่าไม่คงที่จากการไหลแบบปั่นป่วนสมบูรณ์ จะพบว่าถ้าการไหลในคลองเปิดที่มีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วนสมบูรณ์ (fully turbulent) ค่าสัมประสิทธิ์ของ Chezy (C) จะถือว่าเป็นค่าคงที่กล่าวคือ

$$C = \frac{1}{n}R^{\frac{1}{6}}$$

ในปี 1889 วิศวกรชาวไอริช Robert Manning ได้เสนอสูตรการไหลสม่ำเสมอ คล้ายกับสูตร Chezy ในรูป $V = C\,R^{2/3}\,S^{1/2}$ ซึ่งต่อมาได้ถูกดัดแปลงมาอยู่ในรูปแบบของสูตรปัจจุบัน ได้รับความนิยมยอมรับมากที่สุด ที่เรียกว่าสูตร Manning (Manning's Formula) ดังนี้

ระบบเมตริก (MKS) $V = \frac{1}{n}R^{2/3}S^{1/2}$ เมตร/วินาที ..... (11)

ระบบอังกฤษ (FPS) $V = \frac{1.486}{n}R^{2/3}S^{1/2}$ ฟุต/วินาที ..... (12)

โดย V = ความเร็วเฉลี่ย

R = รัศมีชลศาสตร์

S = ความลาดพลังงาน

และ n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระทางน้ำเปิด ซึ่งเรียกว่า Manning's n สำหรับ 1.486 นั้นเป็นค่าแปลงหน่วยจากระบบเมตริก (MKS) และระบบอังกฤษ (FPS)

สำหรับค่า n อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์หน่วย (dimensional analysis) ของตัวแปรในสมการ (11) และ (12) จะพบว่าค่า n มีหน่วยในรูปของ $TL^{-1/3}$ บางคนก็ได้วิเคราะห์ต่อไปว่าหน่วยของค่า n เป็นหน่วยของ (ความเร่ง)$^{-1/2}$x (ความยาว)$^{1/6}$ และได้สรุปต่อไปว่าค่า n ได้เทอม g ซ่อนอยู่แล้วดังนั้น ค่า n จึงมีหน่วยเป็น $L^{1/6}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเลขยกกำลัง 2/3 ของรัศมีชลศาสตร์ R Manning ได้ศึกษามาจากข้อมูลการทดลองของ Basin ในทางน้ำเปิดที่สร้างขึ้นที่มีรูปร่างและความขรุขระเปลี่ยนแปลง และพบว่าค่ายกกำลังของ R อยู่ในระหว่าง 0.6499-0.8395 และ Manning จึงได้เสนอให้ใช้ตัวยกกำลังของ R ใช้สูตร เท่ากับ 2/3

สำหรับทางน้ำเปิดที่มีความลาดและรัศมีชลศาสตร์ที่พบโดยทั่วไป จะพบว่าค่า Manning s n และ Kutter's n จะมีค่าใกล้เคียงกันมากในการปฏิบัติค่า n ทั้งสองถือว่าเท่ากัน ในช่วง $s \geq 0.0001$ และ $0.30 \text{ ม} \leq R \leq 9.15 \text{ ม}$. ค่าของสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n (Manning หรือ Kutter) ได้แสดงไว้ในตาราง 1

2.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n

การประยุกต์สูตร Manning ในการคำนวณเกี่ยวกับการไหลสม่ำเสมอความยุ่งยากที่จะมีขึ้นจะได้แก่การตัดสินในเลือกค่า Manning 's n ทั้งนี้เพราะว่าไม่มีกฎเกณฑ์ที่ชัดเจนที่จะยึดถือในการเลือกค่า n วิศวกรจะต้องตระหนักถึงความจริงที่สำคัญประการหนึ่ง นั่นคือ การตัดสินใจเลือกค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n ก็หมายถึงการประเมิน (estimate) สภาพความเสียดทานการไหลของทางน้ำเปิดที่กำลังพิจารณา ซึ่งไม่มีวิธีใด ๆ ที่จะทำการประเมินได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n จะต้องอาศัยประสบการณ์ และการตัดสินใจที่เหมาะสมของวิศวกรและวิศวกรแต่ละคนจะตัดสินในเลือกค่า n ไม่เท่ากันในกรณีที่เหมือน ๆ กัน

ค่า n ที่ต้องใช้ในการออกแบบคลอง มีให้เลือกใช้ตามความต้องการของแต่ละชนิดคลอง ดังตารางด้านล่างนี้

ตารางค่าสัมประสิทธิ์ของManning (n)

คลองธรรมชาติ	n
คลองดาดกรวด (คลองตรง)	0.025
คลองดาดกรวดปนหินใหญ่	0.040
คลองดินมีวัชพืชบ้าง (คลองตรง)	0.026
คลองดินไม่มีวัชพืช (คลองคดเคี้ยว)	0.030
คลองดิน (คลองคดเคี้ยว)	0.030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลองดาด	n
ผิวซีเมนต์ขัดมัน	0.011
Untreated gunite	0.016
ไม้แผ่น (ใส)	0.012
ไม้แผ่น (ไม่ได้ใส)	0.013
คอนกรีต (แต่งหน้าด้วยเกรียง)	0.012
คอนกรีต (หล่อด้วยไม้แบบที่ไม่ใส)	0.015
คอนกรีตหยาบ	0.020
ยางมะตอย (ผิวเรียบ)	0.013
ยางมะตอย (ผิวขรุขระ)	0.016
อิฐผิวเรียบ	0.013
อิฐถือปูน	0.015

คลองขุด	n
คลองดินตรง	0.022
คลองดินมีวัชพืช (คดเคี้ยว)	0.030

ท่อระบายน้ำ	n
ท่อระบายน้ำทำด้วยโลหะแผ่นผับเป็นลอน	0.024
ท่อระบายน้ำคอนกรีต	0.013
ท่อระบายน้ำคอนกรีตไม่ได้แต่งผิว	0.014
ท่อระบายน้ำดินเผา	0.013
ท่อระบายน้ำก่ออิฐผิวขรุขระ	0.025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 องค์ประกอบที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n

ได้เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่า ทางน้ำเปิดหนึ่ง ๆ จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n ไม่คงที่และมีความผันแปรมากด้วยองค์ประกอบ (factors) หลายประการดังต่อไปนี้

2.5.1 ความขรุขระของผิวน้ำเปิด ซึ่งหมายถึงขนาดและรูปร่างของเม็ดวัสดุที่บนเส้นขอบเปียกของทางน้ำเปิด เช่น ทางน้ำเปิดที่ประกอบด้วยวัสดุ เม็ดละเอียด (fine grain) จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n และความผันแปรของค่า n ต่อความลึกการไหลน้อยกว่าทางน้ำเปิดที่ประกอบด้วยวัสดุเม็ดหยาบกว่า

2.5.2 พืชปกคลุม (vegetation) จะมีผลต่อความขรุขระของทางน้ำเปิด ลดพื้นที่หน้าตัดการไหล และยังทำให้การไหลช้าลงด้วย ผลของพืชปกคลุมต่อการไหลจะขึ้นอยู่กับความสูงความหนาแน่น การกระจายและชนิดของพืชปกคลุม ซึ่งสำคัญมากสำหรับการออกแบบคลองระบายน้ำขนาดเล็กและคลองที่ทำการคาด (lining) ด้วยต้นพืช การกำหนดค่า n ยังจะเป็นระบุการบำรุง รักษาอีกด้วย เช่นช่วงระยะเวลาในการตัดหญ้าแต่ละครั้ง เป็นต้น

2.5.3 ความผันแปรของทางน้ำเปิด (channel irregularities) ซึ่งอาจหมายถึง ความแปรเปลี่ยน ของเส้นขอบเปียกหน้าตัด ขนาด รูปร่าง ตามความยาวของน้ำเปิด และยังอาจหมายถึงสภาพท้องน้ำ เช่น สันทราย หลุมบ่อต่าง ๆ ในท้องน้ำ ทางน้ำเปิดที่มีความผันแปรสูง ก็จะยิ่งทำให้ค่า สัมประสิทธิ์ความขรุขระ n มากขึ้น

2.5.4 ความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด (channel alignment) ทางน้ำเปิดที่มีความคดเคี้ยวมากก็จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n สูงตามไปด้วย และทางน้ำเปิดที่มีแนวโค้ง ค่า n จะน้อยลงเมื่อรัศมีความโค้งมากขึ้น ได้เสนอแนะว่า ค่า n ควรเพิ่มขึ้น 0.001 ต่อทุก ๆ 20 องศาของความโค้ง 100 ฟุต ในทางน้ำเปิด ทางน้ำเปิดที่ค่อนข้างคดเคี้ยวอาจจะต้องเพิ่มค่าของ n มากถึง 30% ก็ได้

2.5.5 การตกตะกอนและกัดเซาะ (silting and scouring) การตกตะกอนโดยมาก จะมีแนวโน้มทำให้สภาพทางน้ำเปิดสม่ำเสมอ และราบเรียบมากขึ้น จึงเป็นการลดความขรุขระในทางตรงกันข้ามการกัดเซาะมักจะเพิ่ม ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n อย่างไรก็ตามผลดังกล่าวยังจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ตกตะกอนอีกด้วย การตกตะกอนเป็นสันหรือ คลื่นทราย (sand bar and wave) จะเป็นการเพิ่มความขรุขระขึ้นอีก ในขณะที่การกัดเซาะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ครอบคลุมพื้นที่กว้าง จะทำให้ทางน้ำเปิดมีความสม่ำเสมอมากขึ้น จึงเป็นการลดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n ด้วย เช่น

2.5.6 สิ่งกีดขวาง (obstruction) การไหล เช่นท่อนซุง ตอม่อสะพาน และอื่น ๆ จะเพิ่มค่า n โดยอัตราเพิ่มจะขึ้นอยู่กับ สภาพสิ่งกีดขวาง ขนาด รูปร่าง จำนวนและการกระจาย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.7 ขนาดและรูปร่างของทางน้ำเปิด ก็อาจมีผลต่อค่า n ได้มีการสันนิษฐาน การเพิ่มรัศมีชลศาสตร์ R อาจเพิ่มหรือลดค่า n ก็ได้แล้วแต่สภาพของทางน้ำ

2.5.8 ความลึกและอัตราการไหล เมื่อสูงขึ้นค่า n จะลดลงไปโดยทั่วไป ทั้งนี้อาจยกเว้นในกรณีของน้ำล้นตลิ่ง เมื่ออัตราการไหลมากขึ้น เช่นกรณี ของน้ำหลาก (flood)

2.5.9 การแปรผันตามฤดูกาล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของวัชพืชน้ำ หญ้า และต้นไม้ ความขรุขระ อาจสูงขึ้นในฤดูของการเจริญเติบโตเช่น ฤดูฝน เป็นต้น การแปรผันต่าง ๆ ตามฤดูกาล อาจเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบอื่น ๆ ด้วยเช่นกัน

2.5.10 วัสดุตะกอนแขวนลอย และตะกอนท้องน้ำ (suspended material and bed load) ซึ่งการเคลื่อนที่ตะกอนเหล่านี้ต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อนทำให้พลังงานที่มีอยู่สำหรับการไหลลดลง และจะแสดงอยู่ในรูปของความขรุขระที่เพิ่มขึ้น

2.6 คลองส่งน้ำ (irrigation canals)

ตามปกติการส่งน้ำจากแม่น้ำหรือหัวงานเข้าไปในเขตโครงการชลประทานต้องมีการขุดคลองรับเอาน้ำไป แต่คลองบางตอนอาจสร้างเป็นอาคารส่งน้ำ (water conveyance structures) แทนการขุดคลอง เช่น สร้างเป็นอุโมงค์ (tunnels) ท่อส่งน้ำ (pipes) รางน้ำ (flumes) ท่อเชื่อม (siphons) ฯลฯ เหล่านี้เป็นต้น

คลองส่งน้ำเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญที่สุดของโครงการชลประทานประเภทส่งน้ำด้วยแรงโน้มถ่วง (gravity irrigation) และต้องเสียค่าก่อสร้างคลองมากกว่าค่าก่อสร้างอาคารอย่างอื่นเพราะโครงการชลประทานแห่งหนึ่งมีคลองส่งน้ำหลายสาย เมื่อรวมเข้าด้วยกันทุกสายแล้วจะยาวมาก ต้องเสียเงินค่าซื้อที่ดินเพื่อเตรียมไว้สำหรับขุดคลอง และเสียค่าขุดคลองมาก

คลองส่งน้ำเป็นรางเปิด (open channels) หรือร่องน้ำขนาดใหญ่ซึ่งขุดขึ้นในดินหรือถมขึ้นบนดิน (floating canals) เพื่อส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ในแง่ของการออกแบ่งชนิดของคลองออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. คลองดิน (earth canals) เป็นคลองที่ขุดดินหรือถมดินให้เป็นรูปคลองตามธรรมดา

2. คลองมีเปลือกหรือคลองดาด (lined canals) เป็นคลองที่ขุดดินหรือถมดินให้เป็นรูปคลอง แล้วดาดผิวคลองด้วยวัตถุที่น้ำรั่วซึมไม่ได้เป็นเปลือกคลองอีกทีหนึ่ง ในการพิจารณาว่าจะออกแบบเป็นคลองดินหรือคลองดาดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ คือ

ก. การรั่วซึม (seepage) การรั่วซึมนี้นับได้ว่าเป็นต้นเหตุแห่งการเกิดความคิดที่จะดาดคลองทั้งนี้เนื่องจาก นอกจากสูญเสียน้ำจากคลองส่งน้ำอย่างมากมายตลอดเวลาแล้ว ในพื้นที่ที่เนื้อดินระบายน้ำออกได้ยากย่อมเกิดปัญหาการระบายน้ำตามมาและอาจเกิดน้ำขัง (waterlog) ในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ส่วนลดลาดของพื้นผิวดิน (land slope) ถ้าจะขุดคลองที่มีส่วนลดลาดตามพื้นผิวดิน ความเร็วของน้ำในคลองจะสูงมาก

ค. ขนาดของคลองและเขตคลอง (size of canal and right-of-way) เนื่องจากกระแสน้ำที่ไหลในคลองดาดสามารถกำหนดให้สูงกว่ากระแสน้ำที่ไหลในคลองดินมาก ดังนั้นในความจุของคลองเท่า ๆ กัน ขนาดของคลองดาดย่อมเล็กว่าคลองดิน

ง. ค่าบริหารงานส่งน้ำและบำรุงรักษา (operation and maintenance costs) อัตราค่าส่งน้ำและบำรุงรักษาคลองดาดย่อมต่ำกว่าคลองดินเป็นที่แน่นอน

จ. ค่าก่อสร้างอาคาร เนื่องจากคลองดาดมีขนาดเล็กกว่าคลองดินและไม่มีปัญหาในเรื่องการกัดเซาะ ดังนั้นจึงสามารถลดขนาดของส่วนประกอบของอาคารในคลองส่งน้ำให้เล็กลงตามไปด้วย

2.6.1 คลองดิน (earth or unlined canals)

คลองดินคือทางน้ำเปิดซึ่งขุดหรือเปิดขึ้นในเนื้อดินไม่ว่าจะเป็นดินเดิมหรือดินที่ถมขึ้นใหม่ก็ตามให้เป็นรูปร่างหน้าตัดตามความต้องการ เช่น รูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal section) รูปโค้งของวงกลม (circular section) รูปทรงรูปไข่ (elliptical section) หรือรูปโค้งพาราโบล่า (parabolic section) เป็นต้น โดยปราศจากการตกแต่งเป็นพิเศษตามแนวเส้นขอบเปียก (wetted perimeter)

รูปที่ 9 คลองดิน

2.6.2 คลองมีเปลือกหรือคลองดาด (lined canals)

คลองดาดคือคลองดินที่ฉาบพื้นผิวหน้าของดินที่ก้นคลองและลาดตลิ่งขึ้นมาจนสูงพ้นระดับน้ำนองสูงสุดในคลองด้วยวัสดุต่าง ๆ อาทิ คอนกรีตล้วน (plain concrete) คอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เสริมเหล็ก (reinforced concrete) ซึ่งวัสดุในการใช้ดาดคลองดังที่กล่าวมานี้อาจแบ่งออกได้เป็น 3 พวก ดังนี้

รูปที่ 19 คลองดาด

ก. วัสดุดาดคลองผิวแข็ง (hard surface linings) เป็นวัสดุที่คงทนต่อการกระทบกระแทกได้โดยไม่เสียหายหรือแตกร้าว จึงสามารถดาดคลองได้โดยปล่อยให้พื้นผิววัสดุสัมผัสบรรยากาศและน้ำได้ เช่น คอนกรีตล้วน คอนกรีตเสริมเหล็ก แผ่นซีเมนต์ผสมหล่อสำเร็จดาดด้วยอิฐและยางมะตอยผสมหิน เป็นต้น

ข. วัสดุดาดคลองผิวอ่อนและบาง (buried-membrane linings) เป็นพวกที่มีเนื้อวัสดุอ่อนทนการกระแทกหรือขูดขีดได้ไม่เต็มที่ เมื่อดาดคลองด้วยวัสดุชนิดนี้แล้วจะต้องถมหรือปูทับด้วยดินหรือหินเรียงเพื่อป้องกันพื้นผิววัสดุดาดคลองอีกทีหนึ่ง เช่น การลาดยางมะตอยแล้วใช้หินเล็กปูทับอีกชั้นหนึ่ง หรือแผ่นบิทูมินัส (bituminous) เป็นต้น

ค. วัสดุดาดคลองที่เป็นดินและส่วนผสมของดิน (earth lining) เป็นพวกที่มีเนื้อแข็งแต่ความคงทนถาวรน้อย อายุการใช้งานค่อนข้างสั้น แต่ค่าลงทุนต่ำมาก เช่น ดาดด้วยดินเหนียวอัดแน่น

วัตถุประสงค์ในการดาดคลอง

ก. ลดการรั่วซึมจากคลอง

ข. รักษารูปทรงของคลอง ตามปกติรูปทรงของคลองส่งน้ำดีที่สุดก็คือรูปครึ่งวงกลมแต่ว่าขอบตลิ่งด้านบน พังได้ง่ายจึงเลี่ยงมาใช้รูปทรงเหลี่ยมคางหมูโดยอาศัยหลักของ$R = \frac{d}{2}$ แต่ก็ปรากฏว่าในภายหลังคลองดังกล่าวจะแปรรูปเป็นพาราโบล่าทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
72135

ค. รักษาลาดตลิ่ง ในท้องถิ่นที่มีฝนตกชุกนั้น ลาดตลิ่งของคลองดินมักถูกน้ำฝนกัดเซาะเป็นร่องลึก ทำให้ดินเลื่อนไหลลงไปตกจมที่ก้นคลองตื้นเขินเร็วมาก

ง. การตกแต่งรูปทรงของคลอง ในกรณีที่ขุดคลองผ่านเชิงเขาหินหรือบริเวณที่เป็นหินดานที่ก้นคลอง แม้ว่าการรั่วซึมจะไม่เกิดขึ้นก็ตาม แต่การระเบิดหินนั้นไม่อาจระเบิดให้ได้รูปร่างที่ต้องการได้อย่างแท้จริง จึงต้องดาดและแต่งพื้นผิวคลองให้ได้รูป เพื่อคุณสมบัติทางชลศาสตร์

จ. ลดค่าบริหารการส่งน้ำและบำรุงรักษา

ฉ. เป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมในประเทศไทย ปัจจุบันนี้เราผลิตปูนซีเมนต์ ยางมะตอย แผ่นพลาสติก

2.7 ประเภทคลองส่งน้ำในระบบส่งน้ำ

หากประเภทคลองส่งน้ำออกตามลักษณะและหน้าที่ สามารถแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

(1) คลองสายใหญ่

(2) คลองแยกหรือคลองสาขา

(3) คลองซอย

(4) คลองแยกซอย

2.7.1 คลองสายใหญ่ (primary canals, main canals)

คลองสายใหญ่เป็นคลองที่ขุดแยกจากแม่น้ำหรือหัวงานเพื่อรับน้ำเข้าไปในเขตโครงการชลประทาน เนื่องจากคลองสายใหญ่จะต้องรับน้ำไปให้พื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดในเขตโครงการหรือพื้นที่เพาะปลูกบางส่วนอันกว้างใหญ่ของโครงการ ปริมาณน้ำในคลองมีมาก คลองจึงมีขนาดใหญ่ที่สุดและมีความสำคัญมากกว่าคลองส่งน้ำประเภทอื่น ในทางปฏิบัติ คลองสายใหญ่จะไม่ส่งน้ำให้แก่พื้นที่ดินซึ่งอยู่ข้างคลองโดยตรงนอกจากบางแห่งซึ่งจำเป็นเท่านั้น

2.7.2 คลองแยกหรือคลองสาขา (branch canals)

คลองแยกหรือคลองสาขาเป็นคลองที่แยกออกจากคลองสายใหญ่เพื่อรับน้ำไปสู่พื้นที่อันกว้างขวางของโครงการซึ่งไม่เหมาะที่จะวางคลองสายใหญ่เพิ่มขึ้น

คลองแยกหรือคลองสาขานี้ไม่ค่อยจะขุดกันมากนักในประเทศไทยก็มีเฉพาะในโครงการชลประทานป่าสักใต้แห่งเดียวเท่านั้น

2.7.3 คลองซอย (secondary canals, distributary canals, laterals)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลองซอยเป็นคลองที่แยกออกจากคลองสายใหญ่หรือคลองสาขาเพื่อรับน้ำไปส่งให้แก่พื้นที่เพาะปลูกซึ่งคลองสายนั้นควบคุมอยู่โดยตรงแนว คลองซอยจะวางอยู่บนที่สูงเช่นเดียวกัน

ตามริมคลองซอยจะมีท่อส่งน้ำเข้านา (farm turnouts) ฝังไว้เป็นระยะ ๆ เพื่อส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกซึ่งทำได้ 2 วิธีคือ

(1) ปล่อยน้ำออกจากท่อส่งน้ำเข้านา แล้วให้น้ำไหลบ่าท่วมไปบนดิน

(2) ปล่อยน้ำออกจากท่อส่งน้ำเข้านา เข้าคูน้ำ (farm ditch) ให้คูน้ำรับน้ำไปส่งให้พื้นที่เพาะปลูกอีกทีหนึ่งเพื่อให้น้ำแพร่กระจายทั่วถึงกันดีขึ้น

คลองสายใหญ่สายหนึ่งอาจมีคลองซอยหลายสาย คลองซอยเหล่านี้ จะแยกออกจากคลองสายใหญ่ทางฝั่งเดียวหรือทั้งสองฝั่งก็ได้ ทั้งนี้ย่อมแล้วแต่เขตส่งน้ำและสภาพของพื้นที่ดินในเขตโครงการ

ตามปกติการเรียกชื่อคลองซอยจะถือลำดับก่อนหลังที่คลองซอยสายนั้นแยกออกจากฝั่งเดียวกันของคลองสายใหญ่ เช่น

- คลองซอย 1R คือคลองซอยสายที่ 1 แยกออกทางฝั่งขวา (R = Right) ของคลองสายใหญ่

- คลองสาย 3L คือคลองซอยสายที่ 3 ซึ่งแยกออกทางฝั่งซ้าย (L = left) ของคลองสายใหญ่

2.7.4 คลองแยกซอย (tertiary canals, sub-distributary canals, sub-laterals)

คลองแยกซอยเป็นคลองขนาดเล็กที่แยกออกจากคลองซอยอีกทีหนึ่งเพื่อรับน้ำไปส่งให้แก่พื้นเพาะปลูกที่คลองแยกซอยนั้นควบคุมอยู่ ในโครงการชลประทานแห่งหนึ่งจะมีคลองแยกซอยหลายสายแพร่กระจายไปทั่วเขตโครงการ คลองแยกซอยมีลักษณะและหน้าที่เช่นเดียวกับคลองซอย

คลองซอยหนึ่งจะมีคลองแยกซอยกี่สายก็ได้ และจะแยกออกทางฝั่งไหนหรือทั้งสองฝั่งของคลองซอยก็ได้

การเรียกชื่อคลองแยกซอย จะถือหลักเช่นเดียวกับคลองซอย

2.8 หลักการวางแนวคลองส่งน้ำ

หลักสำคัญของการวางแนวคลองส่งน้ำคือต้องพยายามให้คลองอยู่บนแนวซึ่งมีระดับพื้นดินสูงที่สุดของเขตส่งน้ำของคลองนั้น เพราะเมื่อส่งน้ำออกจากคลอง น้ำจะไหลไปสู่พื้นที่เพาะปลูกได้สะดวก แต่จะทำได้แค่ไหนเพียงไรนั้นย่อมแล้วแต่ลักษณะของภูมิประเทศดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) ถ้าเป็นทุ่งราบระหว่างเชิงเขาบนสองฝั่งแม่น้ำ ควรพยายามวางแนวคลองสายใหญ่ให้ไต่ลัดเลาะไปตามชายลาดเขาให้สูงหรือให้ห่างจากแม่น้ำมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

(2) ถ้าเป็นทุ่งราบกว้างใหญ่ซึ่งมีความลาดเทของพื้นดินพอสมควร แต่ไม่ปรากฏแนวสันเนินให้เห็นอย่างเด่นชัดมากนัก แนวคลองสายใหญ่ก็จะต้องอยู่บนที่ซึ่งมีระดับพื้นที่ดินสูงที่สุดของเขตส่งน้ำของคลองนั้นเช่นเดียวกัน ส่วนแนวคลองซอยต่าง ๆ จะแยกออกทั้งสองฝั่งของคลองสายใหญ่

คลองส่งน้ำมีหน้าที่รับน้ำจากแม่น้ำไปสู่พื้นที่ดินในเขตโครงการชลประทาน มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(1) มีขนาดโตพอที่จะส่งน้ำได้ตามจำนวนที่ต้องการ

(2) มีระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองสูงพอที่จะส่งไปท่วมพื้นที่ซึ่งต้องการใช้น้ำได้สะดวก

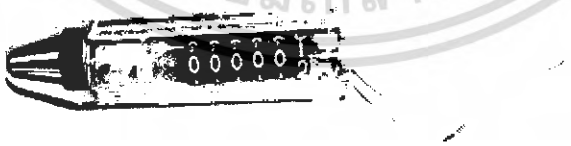
(3) ไม่เกิดการตื้นเขินและการกัดเซาะทำลายคลองขึ้น

(4) ไม่เกิดการรั่วซึมมากเกินไป

2.9 การวัดความเร็วของกระแสน้ำด้วยเครื่องวัด

การวัดความเร็วของกระแสน้ำด้วยเครื่องวัดเพื่อนำไปใช้คำนวณหาอัตราการไหลนั้น ส่วนใหญ่ซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้ฝายหรือรางวัดน้ำ

เครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปมีอยู่ 2 แบบคือ แบบที่วัดโดยใช้ถ้วยรูปทรงคล้ายกรวยแต่ไม่มีรู (Cup Type) และแบบวัดโดยใช้ใบพัด (Propeller Type) รูปร่างลักษณะของเครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำของทั้งสองแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่11



รูปที่ 11 เครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำ (ก) แบบใบพัด (propeller type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

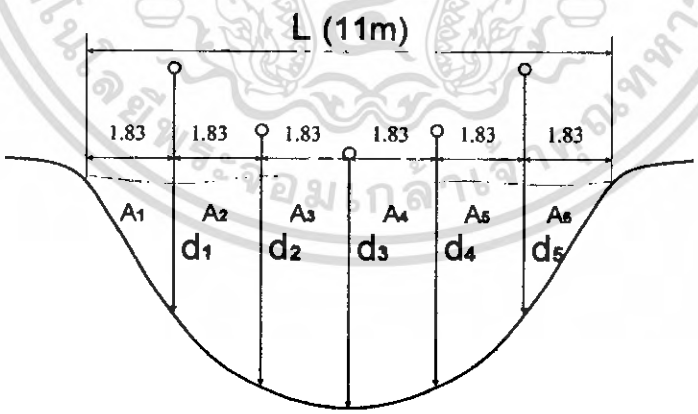
ในการใช้เครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำ ถ้าน้ำไม่ลึกนักเครื่องวัดก็จะติดตั้งอยู่บนท่อนเหล็กซึ่งใช้หยั่งความลึกของลำน้ำได้ด้วย แต่ถ้าน้ำลึกมากไม่สามารถใช้คนจับท่อนเหล็กลงไปวัดได้ เครื่องวัดก็จะแขวนไว้ด้วยลวดสลิงแล้วหย่อนลงไปในน้ำในระดับความลึกที่ต้องการวัด เมื่อถ้วยหรือใบพัดหมุนด้วยความเร็วของกระแสน้ำเครื่องวัดก็จะส่งสัญญาณมาเข้าหูฟังที่ผู้ทำการวัดสวมอยู่ จำนวนครั้งของสัญญาณในหนึ่งหน่วยเวลาที่นับได้ก็จะนำไปเทียบเป็นความเร็วของกระแสน้ำได้โดยใช้กราฟหรือตารางที่บริษัทผู้ผลิตทำไว้ให้

การหาความเร็วเฉลี่ยของลำน้ำในส่วนต่าง ๆ อาจทำได้หลายแบบ วิธีที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปทำโดยการอ่านค่าความเร็วที่จุด 2 จุด คือที่ 0.2 และ 0.8 ของความลึกในแนวดิ่งเดียวกัน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ยสำหรับพื้นที่หน้าตัดนั้น แต่ถ้าหากน้ำตื้นมากก็อาจจะใช้ความเร็วที่ 0.6 ของความลึกเพียงค่าเดียวเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยก็ได้

การหาอัตราการไหลในทางน้ำโดยวิธีนี้ จะเริ่มโดยการแบ่งพื้นที่หน้าตัดของทางน้ำออกเป็นส่วน ๆ ดังเช่นที่แสดงไว้ในรูปที่ 12 แล้ววัดความเร็วเฉลี่ยที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่ย่อย ๆ เหล่านั้น เช่น ถ้าเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าก็วัดความเร็วที่กึ่งกลางของพื้นที่ ถ้าเป็นสามเหลี่ยมก็วัดที่ 1/3 จากฐาน ผลรวมของผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดของน้ำกับความเร็วเฉลี่ยในส่วนนั้นครบทุกพื้นที่ย่อยก็จะเป็นอัตราการไหลในลำน้ำนั้น

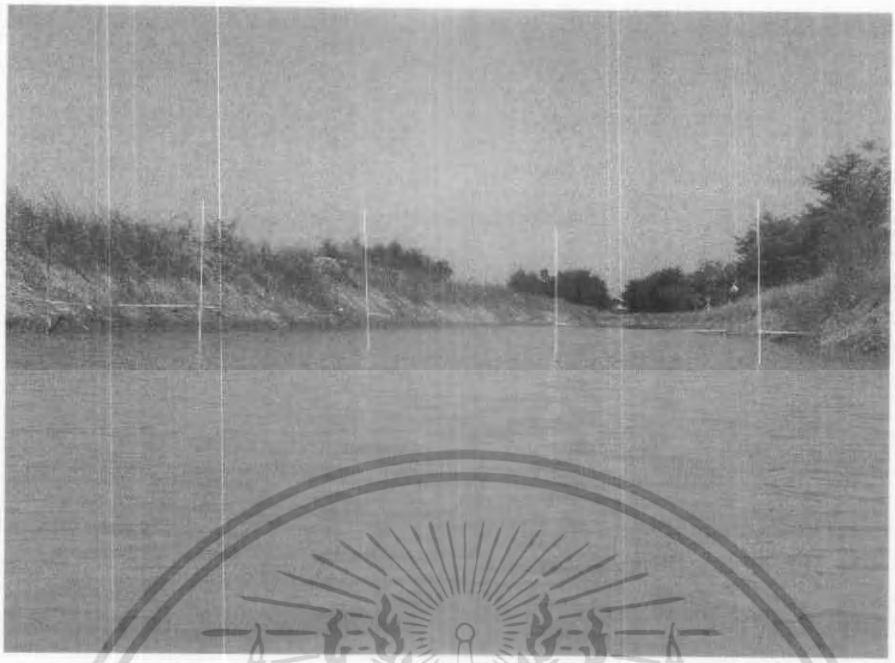
2.10 การหาพื้นที่หน้าตัดของคลอง

การหาพื้นที่หน้าตัดของน้ำอาจจะทำโดยการขึงเชือกขวางกั้นตั้งฉากกับทางน้ำ แล้ววัดความลึกที่จุดต่าง ๆ ตามแนวเชือกที่ขึงกั้นไว้เป็นระยะทางเท่า ๆ กัน นับจากจุดที่น้ำสัมผัสกับตลิ่งด้านใดด้านหนึ่งจนได้ความลึกตลอดความกว้างของทางน้ำ ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 แสดงวิธีการหาพื้นที่หน้าตัดของน้ำในลำน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 แสดงการแบ่งพื้นที่ตัดคลอง เป็นพื้นที่ย่อย

เมื่อทราบความลึกของน้ำที่จุดต่าง ๆ แล้ว พื้นที่หน้าตัดของน้ำจะหาได้จากผลรวมของพื้นที่ย่อยระหว่างจุดที่ทำการวัดความลึก พื้นที่ย่อยเหล่านี้จะหาได้โดยสูตรคำนวณพื้นที่สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมคางหมู กล่าวคือ

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

$$A = \frac{1}{2}ld_1 \frac{1}{2}l\left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right) + \frac{1}{2}l\left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right) + \ldots\ldots\ldots\ldots + \frac{1}{2}l\left(\frac{d_4 + d_5}{2}\right) + \frac{1}{2}ld_5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหารัศมีชลศาสตร์ (R, Hydraulic Radius)

$$R = \frac{A}{P}$$

โดย A = พื้นที่หน้าตัดของคลอง

P = เส้นรอบรูปขอบเปียก

รูปที่ 14 แสดงการหาค่ารัศมีชลศาสตร์

รูปที่ 15 แสดงการวัดความยาวของคลอง

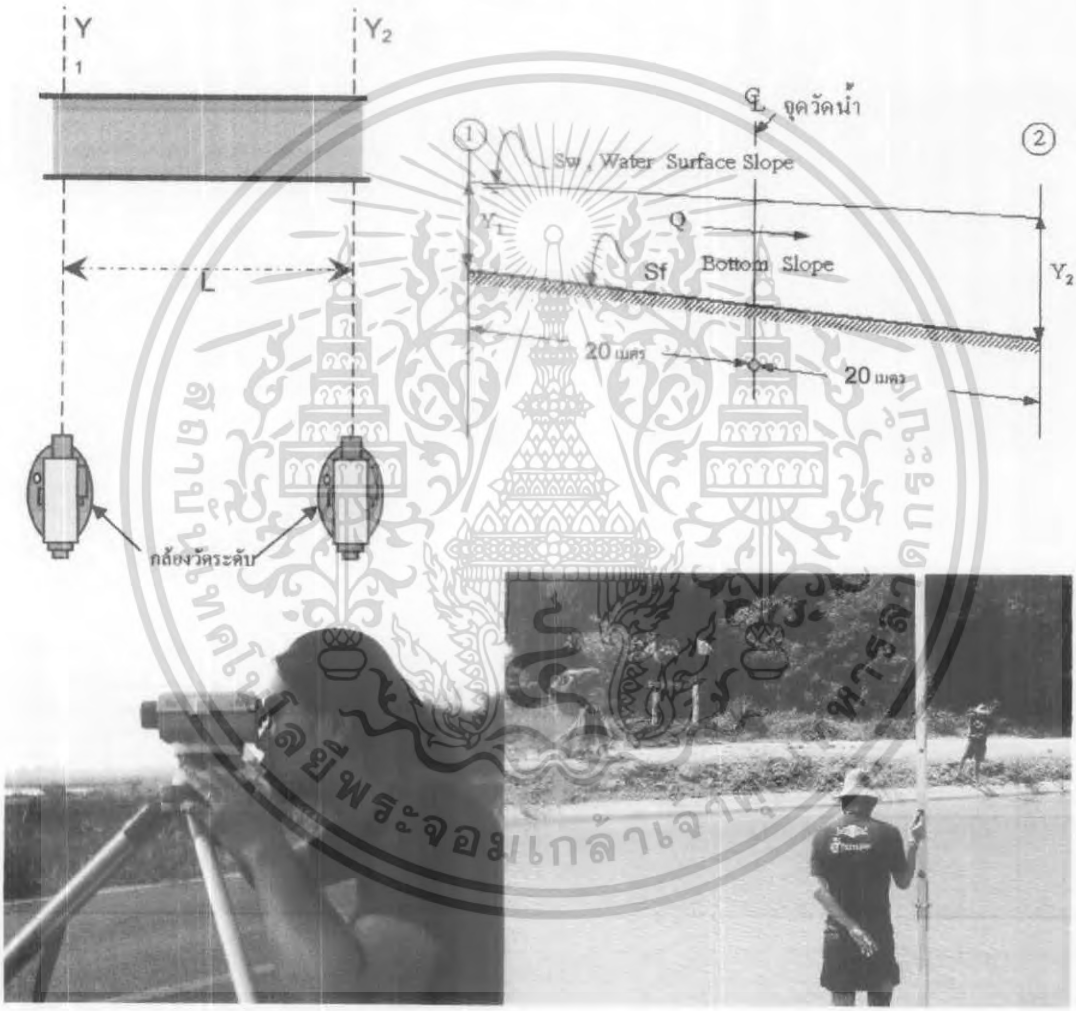
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 การหาค่าความลาดเอียงท้องคลอง (S_s, Slope)

ในกรณีที่ถือว่าการไหลในคลองเปิดเสมือนกับการไหลในท่อที่ตัดออกเป็นสองส่วน บนและล่างโดยให้ความดันที่กึ่งกลางท่อเท่ากับความดันบรรยากาศ ดังนั้นสมการสูญเสียพลังงานของท่อก็สามารถใช้แทนค่าสมการการสูญเสียพลังงานของการไหลในคลองเปิดได้

จากสมการการสูญเสียพลังงานในท่อไม่กลม

$$h_r = \frac{fL}{4R} x \frac{v^2}{2g}$$



รูปที่16 แสดงการวัดค่าความลาดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสามารถเขียนในรูปของสมการการไหลในคลองเปิดดังนี้

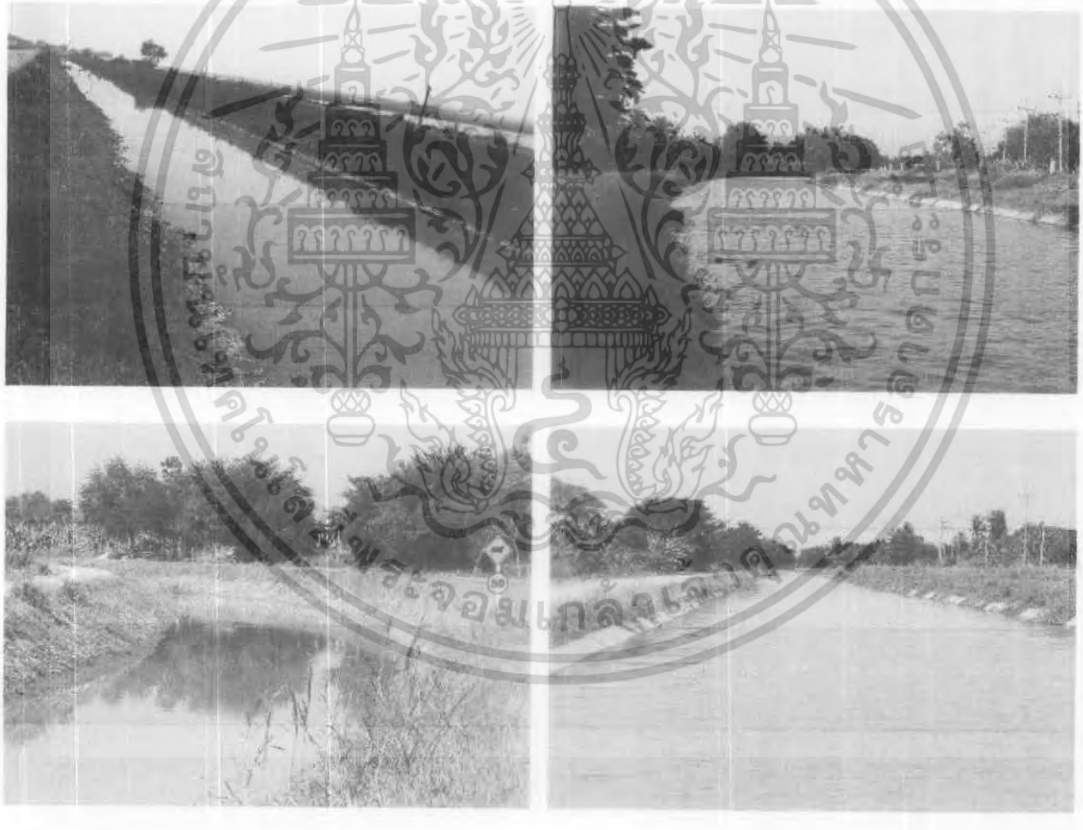
$$\frac{h_f}{L} = \frac{fv^2}{8gR} = S_f$$

และ $h_f = Y_2 - Y_1$

$$\therefore \quad S_f = \frac{h_f}{L}$$

2.13 พื้นที่ทำการศึกษา

คลองที่ได้ทำการศึกษาตั้งอยู่ที่ ต. บ้านแพรก อ. บ้านแพรก จ. พระนครศรีอยุธยา พื้นที่เพาะปลูกในฤดูฝน (ข้าวนาปี) 104,140 ไร่ ในฤดูแล้ง (ข้าวนาปรัง) 35,000 ไร่ ,u คลองดินที่ได้ทำการศึกษาคือ คลองแยกซอย 3 ซ้าย 21 ขวา มีความยาว 14 กิโลเมตร อยู่ในความดูแลของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 2 ส่วนคลองดาดที่ทำการศึกษา คือคลองแยก 1 ขวา 21 ขวา มีความยาว 4.16 กิโลเมตร เป็นคลองปูนรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ความกว้างด้านบน 10 เมตร ความกว้างด้านล่าง 4 เมตร



รูปที่ 17 แสดงคลองดินที่ทำการศึกษา

รูปที่ 18 แสดงคลองดาดที่ทำการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีทดลอง

จากการที่ได้ทำการเลือกพื้นที่ไว้ดังที่กล่าวมาแล้วจากนั้นจึง ทำการแบ่งคลองเป็น 6 ส่วน เท่าๆกัน และทำการหาค่าความลึกในแต่ละส่วนที่ได้ทำการแบ่งไว้เพื่อหาพื้นที่ย่อยของแต่ละส่วน และใช้เครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำทำการหาค่าความเร็วกระแสน้ำ ต่อไปจึงทำวัดค่าความลาดชันท้องคลอง ความยาวเส้นขอบเปียก และจึงมาคำนวณหาค่าต่างๆ ที่ใช้ในสมการ เพื่อนำค่าต่างๆที่ได้ทำการวัดมา ใช้ในสมการแมนนิ่ง เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ค่าความขรุขระแมนนิ่งต่อไปโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 การหาขนาดพื้นที่หน้าตัดคลอง (Area, A)

การหาขนาดพื้นที่หน้าตัดของคลองแต่ละช่วงที่ทำการศึกษานั้นสามารถหาได้โดยอาศัยทฤษฎีดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 โดยทำการแบ่งคลองชลประทานออกเป็น 6 ส่วน เท่า ๆ กัน

และทำการวัดความลึกในแต่ละส่วนนั้นนำค่าความกว้างและความลึกในแต่ละส่วนมาเข้าในสมการเพื่อหาขนาดของพื้นที่หน้าตัดคลอง

$$A = \frac{1}{2}ld_1 + \frac{1}{2}l\left(\frac{d_1+d_2}{2}\right) + \frac{1}{2}l\left(\frac{d_2+d_3}{2}\right) + \ldots\ldots\ldots\ldots + \frac{1}{2}l\left(\frac{d_4+d_5}{2}\right) + \frac{1}{2}ld_5$$

เช่น

$$a = \frac{1}{2}ld_1$$

แทนค่า $= 1.78 \times 0.65$

$= 0.921 \quad m^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

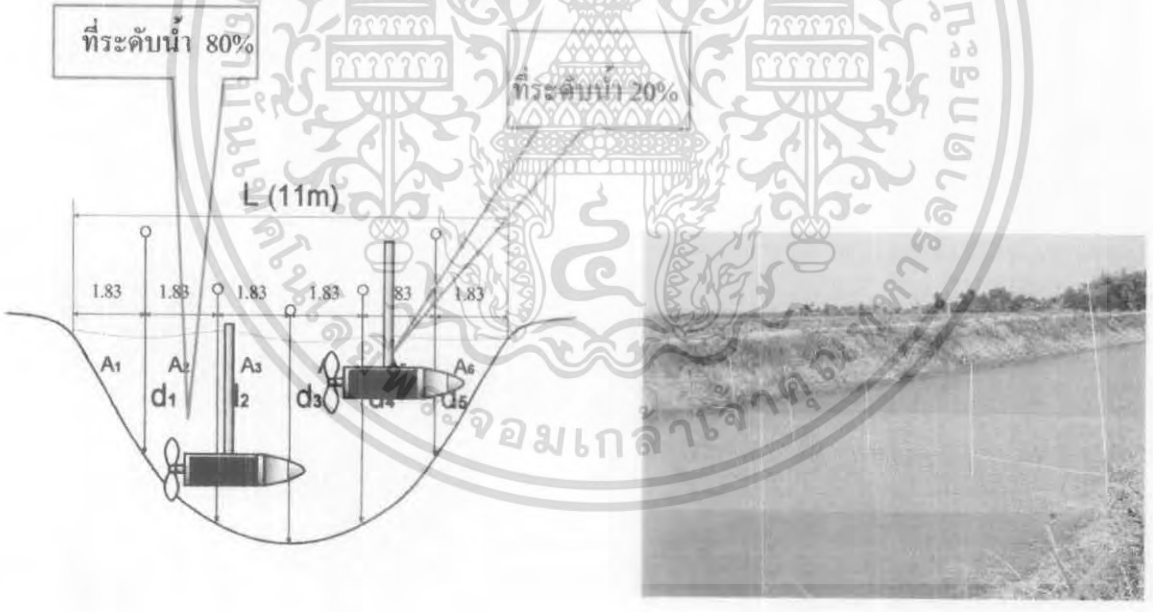
เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้ได้วัดค่าความเร็วกระแสน้ำในแต่ละพื้นที่ย่อยเพื่อที่จะได้ความละเอียดใกล้เคียงกับสภาพของคลองในปัจจุบันมากที่สุด ดังนั้นในการหาพื้นที่หน้าตัดของคลองในแต่ละส่วน จึงทำการหาพื้นที่ย่อยเพื่อนำพื้นที่ย่อยมาคูณกับค่าความเร็วกระแสน้ำเพื่อหาอัตราการไหลดังนี้

$$q = a \times v$$

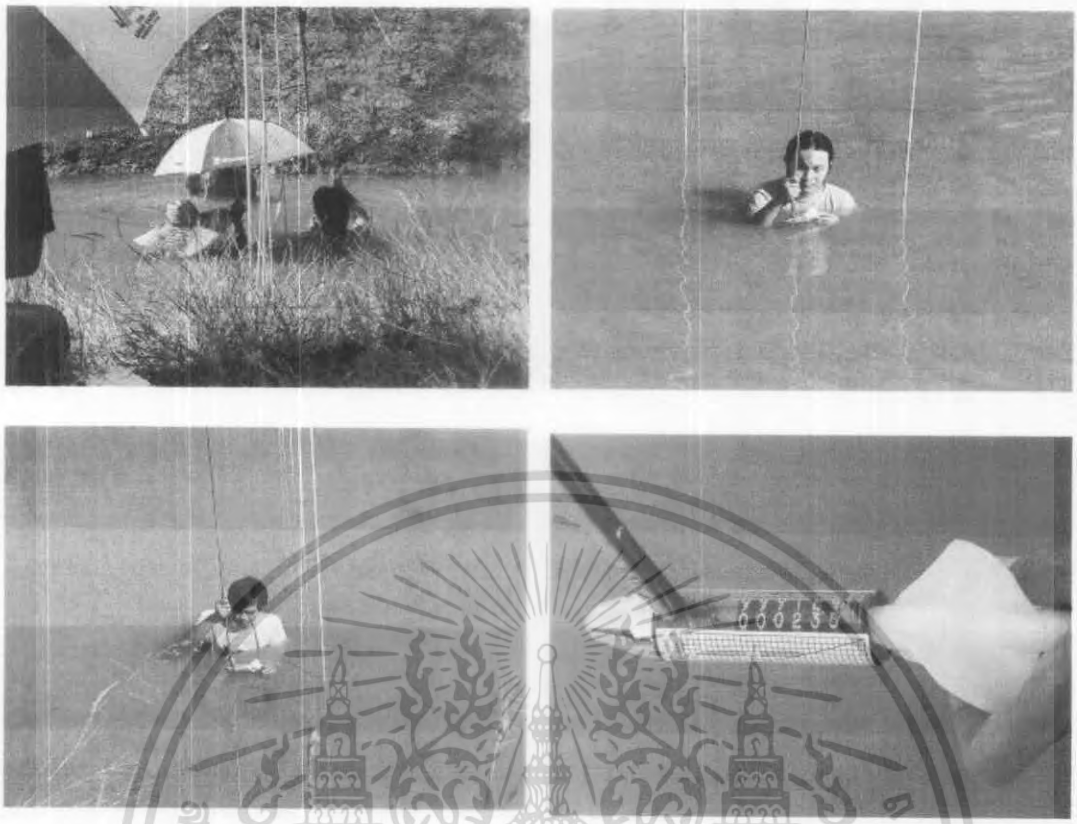
3.2 การหาค่าความเร็วของกระแสน้ำ

การหาค่าความเร็วของกระแสน้ำแบบใดโดยใช้ใบพัด (Propeller Type) ยี่ห้อ General oceanics รุ่น 2030 R ซึ่งผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา

ทำการแบ่งพื้นที่หน้าตัดคลอง เป็น 6 ส่วนเท่า ๆ กัน และทำการวัดค่าความเร็วกระแสน้ำด้วยเครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำแบบใบพัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของส่วนที่ได้ทำการแบ่งไว้ที่ระดับความลึก 20% และ 80% ของความลึกของส่วนที่ทำการแบ่งไว้ และทำการจับเวลาเป็นเวลา 60 วินาที แล้วทำดังที่กล่าวมาจนครบทั้ง 6 ส่วน ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 แสดงการหาค่าความเร็วกระแสน้ำ

จากนั้นทำการอ่านค่าที่ใบพัดซึ่งค่าที่อ่านได้ที่ใบพัด ค่ายังมิใช่ค่าความเร็วของกระแสน้ำ ต้องนำค่าที่อ่านได้มาเข้าสูตรคำนวณหาค่าความเร็วกระแสน้ำตามที่ทางผู้ผลิตเครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำ เมื่อได้ค่าความเร็วกระแสน้ำที่อ่านค่าได้จากเครื่องมือในแต่ละพื้นที่ย่อยมาแล้ว นำค่าที่ได้มาใส่ในสูตร ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือวัดความเร็วกำหนดได้ดังนี้

ค่าคงทีของใบพัดคือ 26.873

$$\text{ระยะทาง (เมตร)} = \frac{\text{ค่าแตกต่างของจำนวนนับ} \times \text{ค่าคงที่ของใบพัด}}{999}$$

$$\text{ค่าความเร็ว (m / sec)} = \frac{\text{ระยะทาง (เมตร)}}{\text{ช่วงเวลา (วินาที) แทนค่า}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า

ระยะทาง (เมตร) $= \frac{228 \times 26.873}{999}$

$= 6.133$

ค่าความเร็ว (m / sec) $= \frac{6.133}{60}$

$= 0.1022$

3.3 การหาค่าอัตราการไหล (Q)

เมื่อได้ค่าความเร็วของกระแสน้ำแล้วจะทำให้สามารถหาค่าอัตราการไหลได้โดยการนำค่าความเร็วของกระแสน้ำดังที่กล่าวมาแล้วมาเข้าสมการอัตราการไหล ดังนี้

$Q = AV$

แทนค่า

$Q = 0.921 \times 0.102$

$= 0.0941$

และทำการคำนวณหาค่าอัตราการไหลของทุก ๆ ส่วนที่ได้ทำการแบ่งพื้นที่หน้าตัดคลองไว้จนครบทั้ง 6 ส่วน จะได้ q1 , q2 , q3 , q4 , q5 และ q_6 จากนั้นนำอัตราการไหลที่ได้ในแต่ละพื้นที่ย่อยมาแทนในสมการแมนนิ่งเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งซึ่งค่าที่ได้นั้นจะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ได้ในแต่ละพื้นที่ย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การหารัศมีชลศาสตร์ (R, Hydraulic Radius)

$$R = \frac{A}{P}$$

โดย A = พื้นที่หน้าตัดของคลอง

P = เส้นรอบรูปขอบเปียก

P = เส้นรอบรูปขอบเปียกซึ่งสามารถหาค่าได้โดยการวัดความลึกของระดับน้ำในคลองให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้และนำค่าที่ได้มาวาดรูปด้วยอัตราส่วน 1 : 100 แล้วทำการเขียนระดับความลึกของน้ำที่วัดค่ามาได้ จากนั้นทำการวัดความยาวของเส้นรอบรูปที่เปียกน้ำของคลองดังรูป

แทนค่า $$R = \frac{0.921}{1.83}$$

$$= 0.503$$

3.5 การหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (Manning's Roughness Coefficient)

นำค่าอัตราการไหลของพื้นที่ย่อยในแต่ละส่วนมาแทนค่าในสมการเพื่อหาค่าความเร็วของกระแสน้ำของพื้นที่ย่อยแต่ละช่วง

$$Q = AV$$

$$\therefore V = \frac{Q}{A}$$

แล้วนำค่าความเร็วกระแสน้ำของคลองในแต่ละช่วงมาแทนในสมการแมนนิ่ง (Manning Equation) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง เฉลี่ยของคลองในแต่ละช่วงดังนี้

$$A = \frac{1}{n} R^{2/3} \quad Sf^{1/2}$$

และจาก $$V = \frac{Q}{A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n = \frac{R^{2/3} S f^{1/2} A}{Q}$$

แทนค่า

$$n = \frac{0.325^{2/3} \times 0.000026^{1/2} \times 0.921}{0.0941}$$

$$n = 0.023$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง(n) ที่ได้ข้างต้นเป็นเพียงค่าตัวแทนของค่า n ของพื้นที่ย่อยA1 เท่านั้น และจะต้องทำการหาค่า n ในแต่ละพื้นที่ย่อยจนครบทั้ง 6 พื้นที่ย่อย แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย จึงจะเป็นค่า n ในแต่ละช่วง ซึ่งในแต่ละสภาวะจะทำการหาค่า n ทั้งสิ้น 3 ช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4

ผลการทดลองคำนวณ

ตาราง การหาค่า สัมประสิทธิ์ความ ขรุขระแมนนิ่ง

สภาวะ	อัตราการไหล (Q)	รัศมีชลศาสตร์ (R)	ความลาดชันของท้องคลอง (Sf)	พื้นที่หน้าตัดท้องคลอง (A)	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n)
คลองดินในทางตรง	0.096768	1.079	0.000025	6.912	0.03627
	0.10668	1.107	0.000024	7.112	0.036442
	0.12438	1.181	0.000029	6.910	0.035461
คลองดินในทางโค้ง	0.074932	1.069	0.000026	6.812	0.03509
	0.074532	0.971	0.000027	6.211	0.03507
	0.065187	1.046	0.000026	7.243	0.031957
คลองปูนในทางตรง	0.203637	0.412	0.00003	9.698	0.02671
	0.252122	0.424	0.00004	9.589	0.027699
	0.300607	0.381	0.00006	9.697	0.028490
คลองปูนในทางโค้ง	0.19392	0.442	0.00005	9.697	0.02925
	0.135758	0.395	0.00007	9.696	0.02684
	0.174546	0.428	0.00004	9.654	0.02559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5

บทสรุปและวิจารณ์

5.1 สรุป

5.1.1จากการศึกษาการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง ในคลองส่งน้ำซึ่งเป็นคลองดินในอำเภอบ้านแพรก จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่า จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.035-0.038 ซึ่งสูงกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบซึ่งมีค่าประมาณ 0.022 ในทางตรง และ 0.030 ในทางคดเคี้ยว ส่วนค่า n ของคลองปูน มีค่าประมาณ0.029-0.032 ซึ่งสูงกว่าค่าออกแบบคือ 0.022 อาจเป็นผลมาจากคลองส่งน้ำในความดูแลของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 2 อำเภอบ้านแพรก ส่งน้ำเป็นเวลานานจึงเกิดวัชพืชในคลองมากทำให้สภาพผิวคลองไม่ราบรื่นเหมือนตอนแรก

5.1.2 เมื่อพิจารณาจากตารางความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและค่า n จะพบว่าค่า n จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลน้อยลง

5.1.3 จากการตรวจวัดค่าของคลองในปัจจุบัน พบว่าอัตราการไหลของคลองไม่เพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการตรวจวัดค่า n ในคลองชลประทานเพื่อให้ได้ผลสรุปที่ถูกต้องชัดเจนควรจะวัดค่าในหลายขนาดคลองและเก็บข้อมูลหลาย ๆ ค่า

5.2.2 ในทุกโครงการชลประทานควรจะมีการขุดลอกวัชพืชในคลองส่งน้ำ และควรตรวจสอบค่า n เป็นประจำเพื่อเป็นประโยชน์ในการส่งน้ำและบำรุงรักษาคลอง

5.2.3 ค่า nในคลองส่งน้ำชลประทานควรที่จะรักษาให้อยู่ในสภาพที่ออกแบบไว้ เพื่อแก้ปัญหาในการส่งน้ำไม่เพียงพอกับความต้องการของประชากรในพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ศิรวัชร สืบชมภู, เกียรติศักดิ์ ภู่ตระกูล (2539 – 2540). Determination of vertical recharge from rainfall for the Groundwater Project Area in Sukhothai

[2] จักรี จัตุฑะศรี. (2538) ชลศาสตร์ พิมพ์ครั้งที่ 2 (แก้ไขปรับปรุง). ไลบอรี่ไนท์, 2538, กรุงเทพฯ

[3] แจคส์ บี. อีเวตต์, เชง ลู ; แปลและเรียบเรียงโดย นิตยา หวังวงศ์วิโรจน์ ; สุพจน์ รัตนาพันธุ์, บรรณาธิการ. (2500 solved problems in fluid mechanics & hydraulics) แมคกรอ-ฮิล , 2539 - 2540 , กรุงเทพฯ :

[4] สายสุนีย์ พุทธาคุณเจริญ.ชลศาสตร์ พิมพ์ครั้งที่ 3. ไลบรารี่นาย , 2541 , กรุงเทพฯ

[5] Tullis, J. Paul, R.K. Watkins, and S. L. Barfuss. Innovative new drainage pipe. Proceedings of the International Conference on Pipeline Design and Installation, ASCE. March 25-27, 1990.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่1 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งของพื้นที่ย่อยในแต่ละช่วงที่สภาวะคลองดินทางตรง

สภาวะ	จำนวนรอบ รอบ	ความเร็วกระแสน้ำ (V) (m/sec)	พื้นที่ย่อย (A) (m)	อัตราการไหล (Q) (m/sec)	เส้นขอบเปียก (P) (m)	รัศมีชลศาสตร์ (R) (m)	ค่าความลาดชัน (sf)	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n)	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) เฉลี่ย
คลองดินทางตรง ช่วงที่1	141	0.063214765	0.5785	0.036569741	2.2	0.262954545	0.000024	0.031808331	0.035460813
	153	0.068594745	0.92115	0.063186049	3.1	0.297145161	0.000026	0.033101037	
	162	0.07262973	1.31275	0.095344678	3.1	0.423467742	0.000023	0.037236002	
	163	0.073078061	1.23265	0.090079672	3.3	0.373530303	0.000025	0.035486803	
	152	0.068146413	0.9256	0.06307632	3.1	0.298580645	0.000033	0.037657811	
	161	0.072181398	0.7476	0.053962813	2.1	0.356	0.000029	0.037474891	
คลองดินทางตรง ช่วงที่2	143	0.064111428	0.71225	0.045663365	2.3	0.309673913	0.000026	0.036404436	0.03644206
	146	0.065456423	1.022125	0.066904646	3.2	0.319414063	0.000021	0.032713479	
	155	0.069491408	1.382875	0.096097931	3.3	0.41905303	0.000023	0.038646675	
	162	0.07262973	1.28575	0.093383675	3.4	0.378161765	0.00003	0.039436462	
	153	0.068594745	0.948125	0.065036392	3.2	0.296289063	0.000027	0.03366677	
	148	0.066353086	0.7585	0.050328816	2.2	0.344772727	0.000026	0.037784541	
คลองดินทางตรง ช่วงที่3	144	0.06455976	0.7812	0.050434084	2.3	0.339652174	0.000024	0.036940263	0.036273829
	147	0.065904755	1.07415	0.070791592	3.3	0.3255	0.000028	0.037992359	
	162	0.07262973	1.44615	0.105033484	4.1	0.352719512	0.000022	0.032239124	
	165	0.073974725	1.4043	0.103882706	4.2	0.334357143	0.000029	0.035068946	
	133	0.059628111	0.9765	0.058226851	3.4	0.287205882	0.000026	0.037224697	
	132	0.05917978	0.6696	0.039626781	2.4	0.279	0.000028	0.038177587	

ตารางที่2 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งของพื้นที่ย่อยในแต่ละช่วงที่สภาวะคลองดินทางโค้ง

สภาวะ	จำนวนรอบ รอบ	ความเร็วกระแสน้ำ (V) (m/sec)	พื้นที่ย่อย (A) (m)	อัตราการไหล (Q) (m/sec)	เส้นขอบเปียก (P) (m)	รัศมีชลศาสตร์ (R) (m)	ค่าความลาดชัน (sf)	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n)	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) เฉลี่ย
คลองดินทางโค้ง ช่วงที่1	140	0.062766433	0.5187	0.032556949	2.2	0.235772727	0.000026	0.031004277	0.035093003
	142	0.063663096	0.95095	0.060540422	3.1	0.306758065	0.000028	0.037805523	
	149	0.066801418	1.4287	0.095439186	3.9	0.366333333	0.000023	0.036756081	
	152	0.068146413	1.37865	0.093950052	4.1	0.336256098	0.000026	0.036181824	
	130	0.058283116	0.9191	0.053568012	3.4	0.270323529	0.000025	0.035866016	
	129	0.057834785	0.5551	0.032104089	2.5	0.22204	0.000027	0.032944296	
คลองดินทางโค้ง ช่วงที่2	141	0.062766433	0.5187	0.032556949	2.2	0.235772727	0.000026	0.031004277	0.035093003
	142	0.063663096	0.95095	0.060540422	3.1	0.306758065	0.000028	0.037805523	
	148	0.066801418	1.4287	0.095439186	3.9	0.366333333	0.000023	0.036756081	
	151	0.068146413	1.37865	0.093950052	4.1	0.336256098	0.000026	0.036181824	
	131	0.058283116	0.9191	0.053568012	3.4	0.270323529	0.000025	0.035866016	
	132	0.057834785	0.5551	0.032104089	2.5	0.22204	0.000027	0.032944296	
คลองดินทางโค้ง ช่วงที่3	145	0.065008091	0.42665	0.027735702	2.6	0.164096154	0.000026	0.02350994	0.031957577
	142	0.063663096	0.817075	0.052017525	3.4	0.240316176	0.000028	0.032127722	
	148	0.066353086	1.259825	0.083593277	3.6	0.349951389	0.000026	0.038161962	
	150	0.06724975	1.2397	0.083369515	4.1	0.302365854	0.000031	0.03729741	
	131	0.058731448	0.825125	0.048460786	3.5	0.23575	0.000025	0.032488807	
	134	0.060076443	0.483	0.029016922	2.6	0.185769231	0.000027	0.028159624	

ตารางที่3 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งของพื้นที่ย่อยในแต่ละช่วงที่สภาวะคลองดาดทางตรง

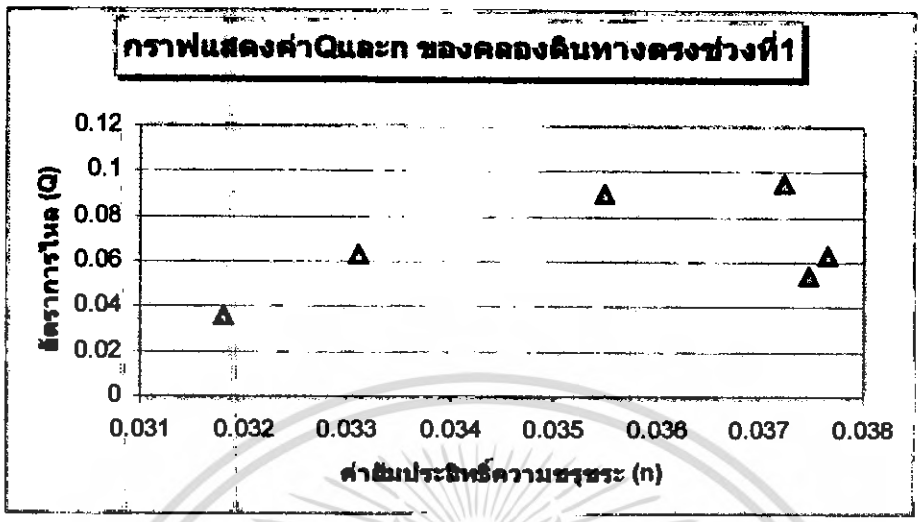
สภาวะ	จำนวนรอบ รอบ	ความเร็วกระแสน้ำ (V) (m/sec)	พื้นที่ย่อย (A) (m)	อัตราการไหล (Q) (m/sec)	เส้นขอบเปียก (P) (m)	รัศมีชลศาสตร์ (R) (m)	ค่าความลาดชัน (sf)	ค่าสัมประสิทธ์ความขรุขระ (n)	ค่าสัมประสิทธ์ความขรุขระ (n) เฉลี่ย
คลองดาดทางตรงช่วงที่1	245	0.109841258	0.6072	1.32	0.46	0.066695612	0.000024	0.026577371	0.028429093
	252	0.11297958	0.8877	2.208008152	0.402036559	0.100291973	0.000024	0.023620153	
	247	0.110737921	2.3541	3.1	0.759387097	0.26068814	0.000026	0.038326496	
	235	0.105357941	2.3541	3.1	0.754721	0.24802313	0.000026	0.022131	
	246	0.11028959	2.3541	3.1	0.759387097	0.259632723	0.000026	0.038482295	
	254	0.113876243	0.8976	2.208008152	0.406520238	0.102215316	0.000022	0.022603012	
	244	0.109392926	0.627	1.32	0.475	0.068589365	0.000024	0.027263323	
คลองดาดทางตรงช่วงที่2	247	0.110737921	0.61845	1.33	0.465	0.068485867	0.000024	0.026552855	0.027699153
	254	0.113876243	0.89775	2.214000903	0.405487639	0.102232397	0.000025	0.024054073	
	249	0.111634585	2.3718	3.11	0.762636656	0.264774908	0.000025	0.037386634	
	271	0.121497881	2.3009	3.121.	0.762541	0.279554475	0.000026	0.024354	
	261	0.117014565	2.2512	3.02	0.745430464	0.263423188	0.000024	0.034419439	
	281	0.125981198	0.8645	2.142731901	0.403456914	0.108910746	0.000021	0.019861042	
	267	0.119704555	0.6118	1.33	0.46	0.073235246	0.00003	0.027266026	
คลองดาดทางตรงช่วงที่3	228	0.10221962	0.6006	1.32	0.455	0.061393104	0.000023	0.027754746	0.026714803
	261	0.117014565	0.8679	2.168132837	0.400298351	0.101556941	0.000024	0.022739883	
	264	0.11835956	2.2876	3.05	0.750032787	0.270759328	0.000022	0.032713587	
	258	0.11566957	2.261	3.08	0.734090909	0.261528897	0.000024	0.024124	
	260	0.116566233	2.3408	3.09	0.757540453	0.272858238	0.000021	0.032669371	
	273	0.122394545	0.8844	2.2	0.402	0.108245735	0.000023	0.021342857	
	259	0.116117901	0.6072	1.32	0.46	0.07050679	0.000025	0.025659177	

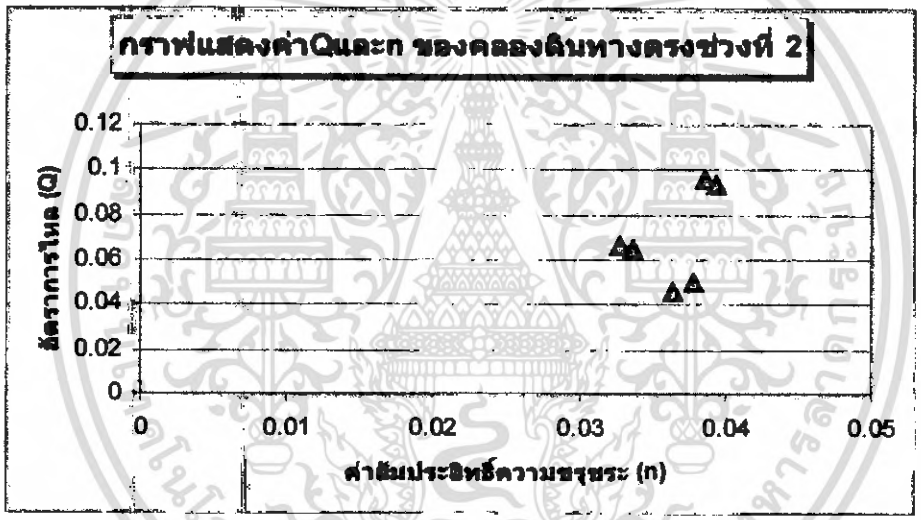
ตารางที่4 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งของพื้นที่ย่อยในแต่ละช่วงที่สภาวะคลองคาดทางโค้ง

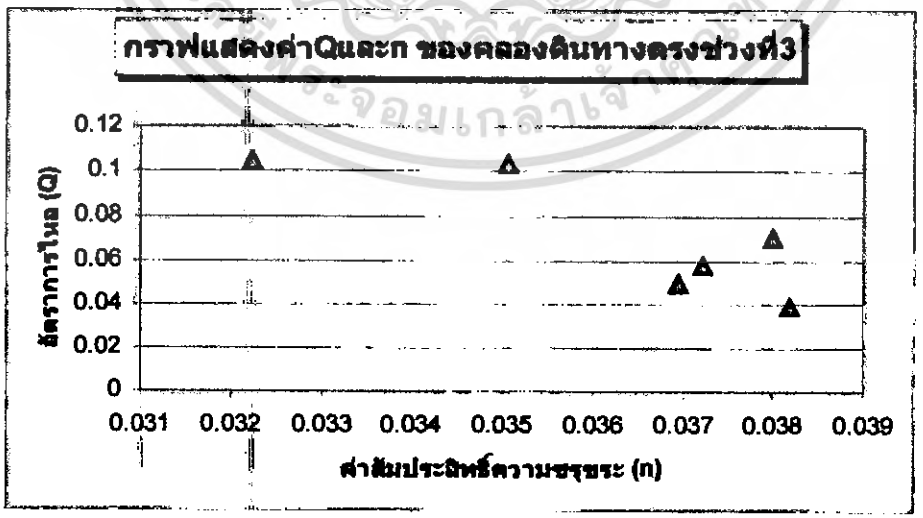
สภาวะ	จำนวนรอบ รอบ	ความเร็วกระแสน้ำ (V) (m/sec)	พื้นที่ย่อย (A) (m)	อัตราการไหล (Q) (m/sec)	เส้นขอบเปียก (P) (m)	รัศมีชลศาสตร์ (R) (m)	ค่าความลาดชัน (sf)	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n)	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) เฉลี่ย
คลองคาดทางโค้ง ช่วงที่1	273	0.122394545	0.65475	1.35	0.485	0.080137828	0.000024	0.024708026	0.02925199
	252	0.11297958	0.9045	2.178669319	0.415161673	0.10219003	0.000025	0.024629082	
	268	0.120152886	2.2743	3.04	0.748125	0.273263709	0.000025	0.034294034	
	258	0.11566957	2.2876	3.024	0.756481481	0.264605707	0.000026	0.036598764	
	254	0.113876243	2.2344	3.01	0.742325581	0.254445077	0.000022	0.033768194	
	255	0.114324575	0.87075	2.155203007	0.404022265	0.099548123	0.000025	0.023901984	
	258	0.11566957	0.6075	1.35	0.45	0.070269264	0.000028	0.026863849	
คลองคาดทางโค้ง ช่วงที่2	249	0.111634585	0.6432	1.34	0.48	0.071803365	0.000023	0.026336576	0.026849025
	259	0.116117901	0.9112	2.212057865	0.411924125	0.105806632	0.000024	0.023357047	
	271	0.121497881	2.376	3.11	0.763987138	0.288678966	0.000026	0.035073195	
	264	0.11835956	2.295	3.19	0.719435737	0.271635189	0.000025	0.02415	
	278	0.124636203	2.268	3.03	0.748514851	0.282674908	0.000021	0.030310915	
	279	0.125084535	0.86095	2.148953234	0.400636918	0.10769153	0.000026	0.022153909	
	259	0.116117901	0.5963	1.34	0.445	0.069241105	0.000028	0.026561536	
คลองคาดทางโค้ง ช่วงที่3	289	0.129567851	0.65475	1.35	0.485	0.084834551	0.000024	0.023340108	0.025558155
	278	0.124636203	0.901125	2.170829335	0.415106331	0.112312798	0.000026	0.022765754	
	256	0.114772906	2.261	3.03	0.74620462	0.259501541	0.000023	0.034376619	
	283	0.126877861	2.3009	3024	0.00076088	0.291933271	0.000027	0.02411	
	268	0.120152886	2.1812	2.97	0.734410774	0.262077475	0.000022	0.02443	
	252	0.11297958	0.853875	2.124170426	0.401980458	0.096470439	0.000026	0.024582347	
	262	0.117462896	0.60075	1.35	0.445	0.070565835	0.000026	0.02530226	

ภาคผนวก ข

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลและค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่สภาวะคลองดินทางตรง

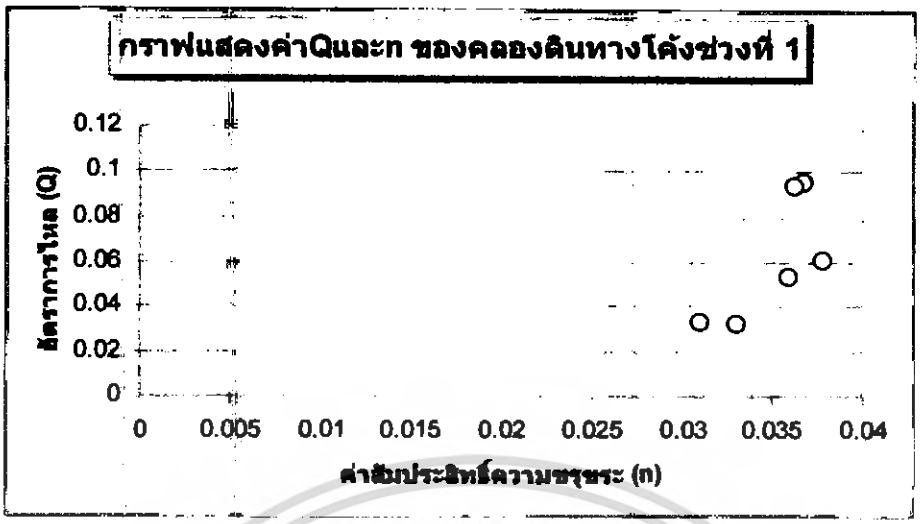


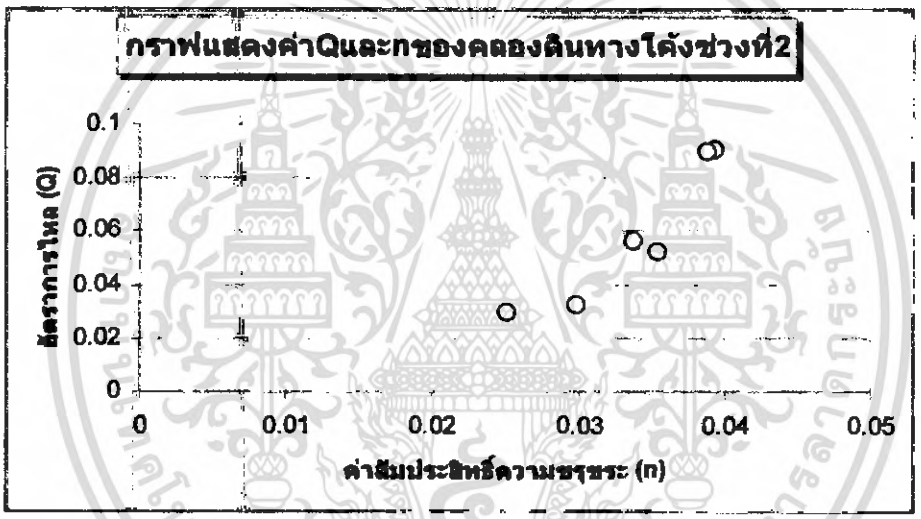


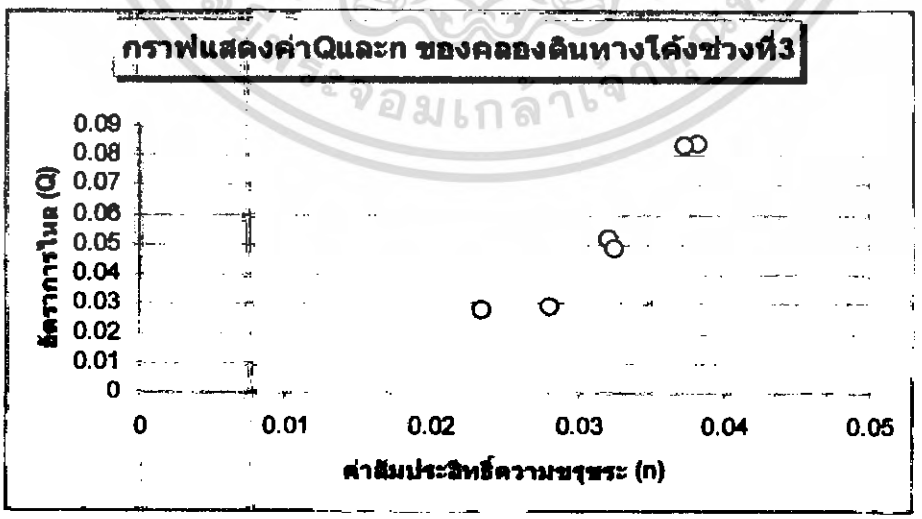


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลและค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่สภาวะคลองดินทางโค้ง

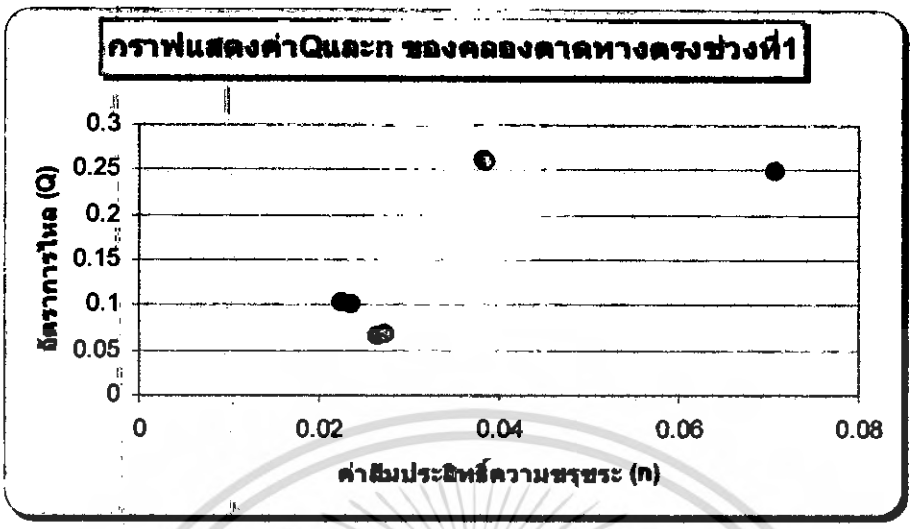


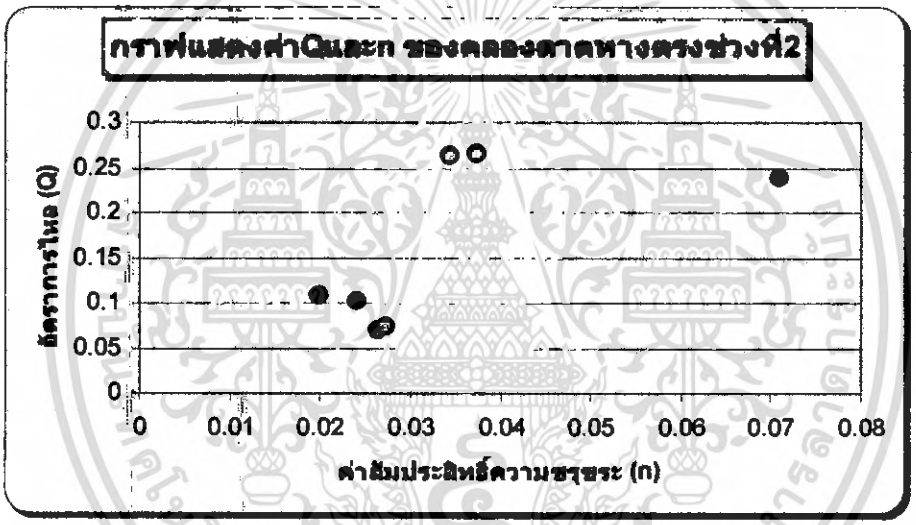


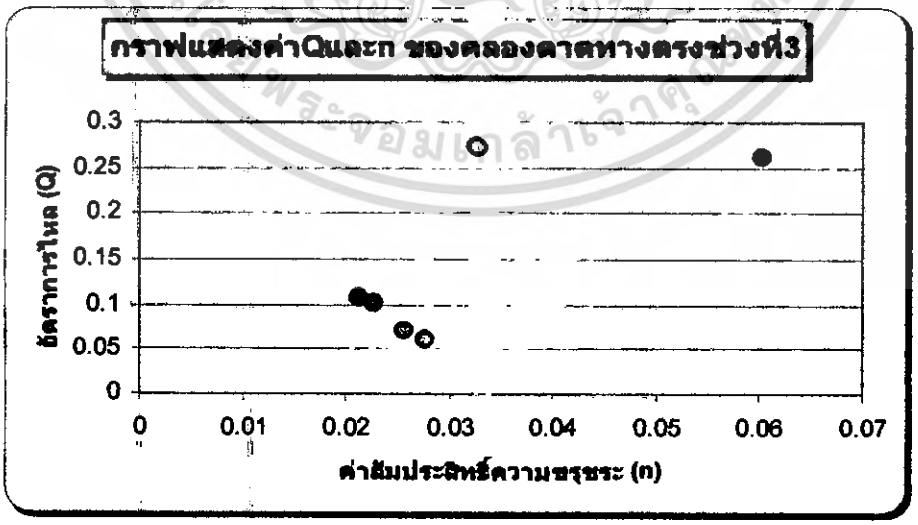


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลและค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่สภาวะคลองคาดทางตรง

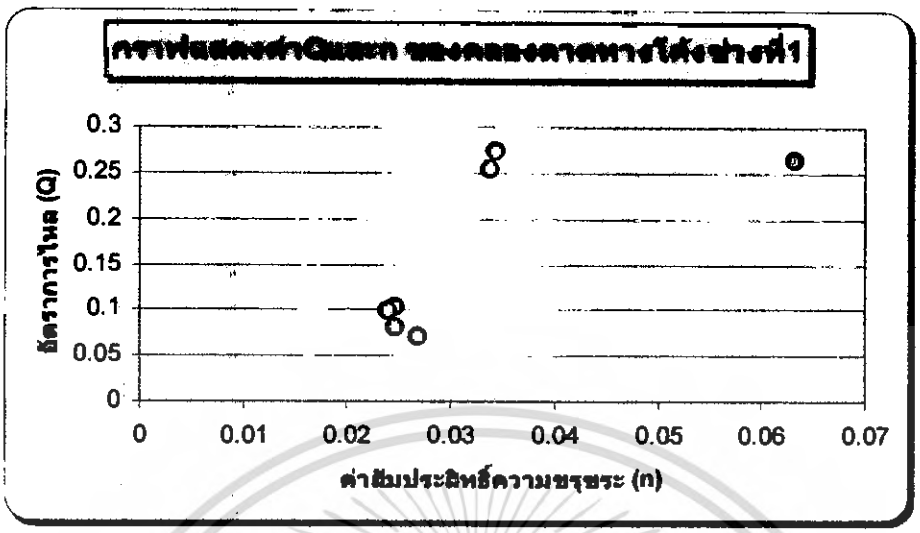


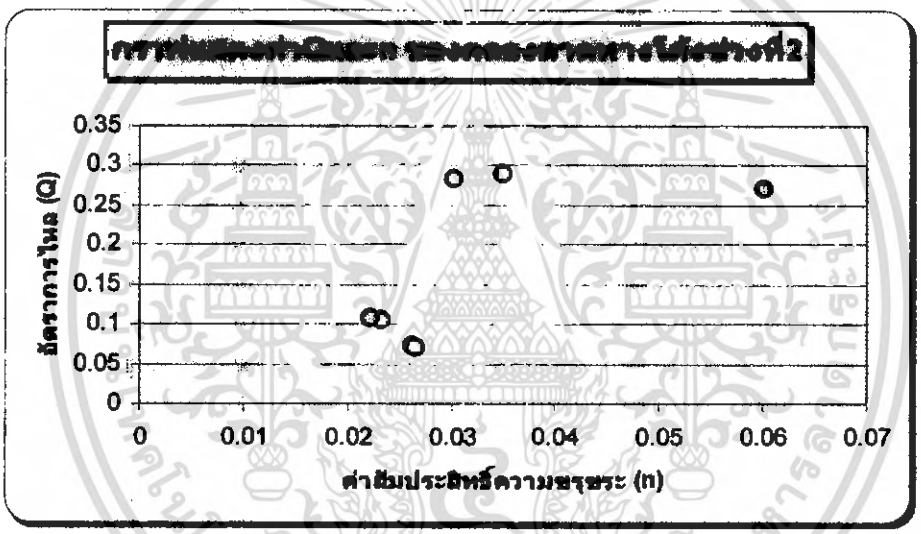


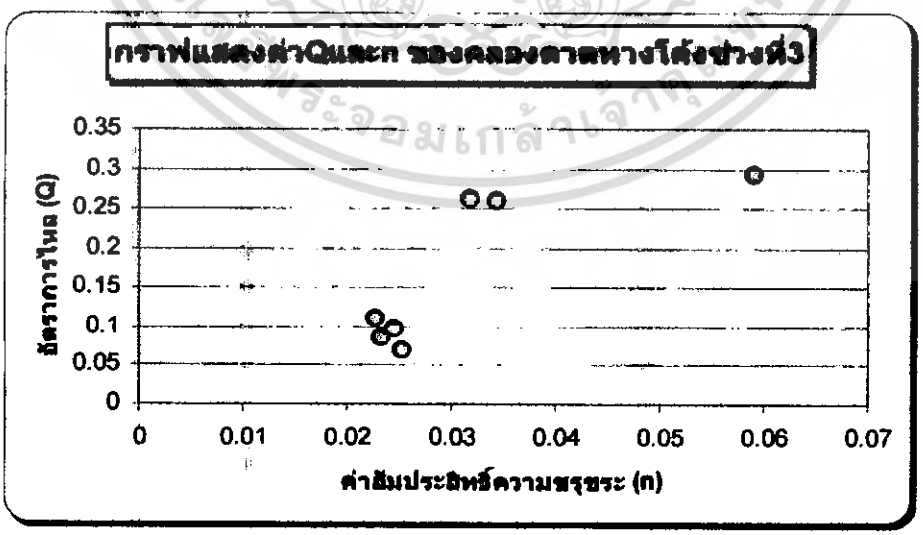


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลและค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งที่สภาวะคลองคาดทางโค้ง







เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้