



การศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา
เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก กรณีศึกษา:
คลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา

THE STUDY ON IRRIGATION EFFICIENCY OF THE OPERATION AND MAINTENANCE OF
THE KHUN DAN PRAKARNCHON DAM PROJECT AT NAKHON NAYOK PROVINCE
A CASE STUDY OF IRRIGATION CANAL, SOI 1 RIGHT

นางสาววัชรี	ดวงพล
นายวีรยุทธ	จุลศรี
นางสาวพรรณวดี	เฉตระการ

โครงการวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา

เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก กรณีศึกษา:

คลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา

THE STUDY ON IRRIGATION EFFICIENCY OF THE OPERATION AND MAINTENANCE
OF THE KHUN DAN PRAKARNCHON DAM PROJECT AT NAKHON NAYOK PROVINCE
A CASE STUDY OF IRRIGATION CANAL, SOI 1 RIGHT

นางสาววัชรีย์ ดวงพล

นายวีรยุทธ จุลศรี

นางสาวพรรณวดี เจริญการ

โครงการวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

โครงการวิศวกรรม

เรื่อง

กรณีศึกษาประสิทธิภาพคลองส่งน้ำชลประทานสายซอย 1 ขวา

ของโครงการชลประทานเขื่อนขุนด่านปราการชล

ของ

นางสาววัชรีย์ ดวงพล

นายวีรยุทธ จุลศรี

นางสาวพรรณวดี เถตระการ

ได้รับอนุมัติจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.เวทิน ปิยรัตน์)

คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

.....ประธาน

(อาจารย์อารีย์ หาญสืบสาย)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ สายหยุดทอง)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อัฐสิทธิ์ ศิริวิชราภรณ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วสันต์ ธีระเจตกุล)

การศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา
เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก กรณีศึกษา:
คลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา
ปีการศึกษา 2559

โดย

นางสาววัชรีย์ ดวงพล
นายวิรัช จุลศรี
นางสาวพรรณวดี เนตรระการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์อารีย์ หาญสืบสาย

บทคัดย่อ

ประสิทธิภาพการส่งน้ำชลประทานของคลองส่งน้ำ หมายถึง ปริมาณน้ำที่ถูกนำไปใช้ รวมกับ ปริมาณน้ำที่ไหลเลยปลายคลอง หาด้วย ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าคลอง ซึ่งได้เลือกคลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา เป็นกรณีศึกษา เป็นคลองตาดคอนกรีต มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ความลาดชันข้างคลอง 1:1.5 ความกว้างกันคลอง 0.7 เมตร และ 0.5 เมตร ขึ้นอยู่กับแต่ละช่วงคลอง มีความยาวทั้งหมด 5.224 กิโลเมตร วัดอัตราการไหล 12 จุดตลอดความยาวคลอง คำนวณด้วยวิธี Mid-Section Method

ผลการศึกษาพบว่า คลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา มีอัตราการไหลเข้าคลองเท่ากับ 0.1674 เมตร³/วินาที ตามลำดับวันที่วัด ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เบื้องต้น) อยู่ที่ร้อยละ 70 มีการนำน้ำไปใช้ในการอุปโภคบริโภคร้อยละ 10 เกษตรกรรมร้อยละ 90 แบ่งเป็น นาข้าวร้อยละ 4.51 สวนร้อยละ 85.76 ช่วงที่ทำการวัดเป็นช่วงต้นฤดูฝนและเกษตรกรเริ่มเกี่ยวข้าวไปแล้วจึงมีการใช้น้ำน้อย

ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพการส่งน้ำ ได้แก่ สภาพคลองส่งน้ำบางจุดมีรอยแตกร้าว และมีสิ่งกีดขวางทางน้ำในบางช่วงของคลอง เช่น ก้อนหิน วัชพืช ขยะ แนวทางการแก้ไขปัญห การสูญเสียประสิทธิภาพ ควรมีการตรวจสอบสภาพคลองส่งน้ำ มีการตัดหญ้าหรือวัชพืชอย่างสม่ำเสมอ และขุดลอกคลองเป็นประจำ

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เบื้องต้น) ปริมาณน้ำที่ถูกนำไปใช้ ปริมาณน้ำที่ไหลเลยปลายคลอง ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าคลอง

**THE STUDY ON IRRIGATION EFFICIENCY OF THE OPERATION AND
MAINTENANCE OF THE KHUN DAN PRAKARNCHON DAM PROJECT
AT NAKHON NAYOK PROVINCE A CASE STUDY OF
IRRIGATION CANAL, SOI 1 RIGHT
Academic Year 2016**

By

Miss Watcharee Duangphon
Mr. Weerayut Junlasri
Miss Pannawadee Chetrakarn

Advisor

Aree Hansuebsai

Abstract

In this case study, the efficiency of the irrigation canal is the ratio between the total of water uses and in flow of the canal. The canal no. 1R is used for this case study. It is a concrete canal with trapezoidal cross section shape, side slope is 1:1.5. The canal bottom width is 0.7 meters and 0.5 meters, the total length is 5.224 kilometers.

The study revealed that the canal has a average flow rate of $0.1674 \text{ m}^3/\text{sec}$. The flow rate were measured 12 points along the length of the canal. Calculated by the Mid-Section Method. The results of the study are as follow water efficiency average 70%. Water used for consumption 10%, Agriculture 90%, which divided into 2 parts as rice 4.51% and orchard 85.76%. The field survey conducted on early rainy season. The rice paddy were harvested. The water consumption was low.

Factors that result in loss of water delivery efficiency include the condition of the physical of the canal, where some are cracked. And there are some water barriers in the canal, such as rocks, weeds, rubbish, solutions to problems, loss of efficiency. The canal should be inspected, weeding and dredge the canal regularly.

Keywords: Water delivery efficiency (preliminary), Water volume applied, The amount of water remaining at the end of the canal. The amount of water entering the canal.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณ อาจารย์อารีย์ หาญสืบสาย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาเสียสละอันมีค่า เพื่อให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขความเรียบร้อย ตลอดจนชี้แนะให้หาคำตอบในปัญหาต่างๆ ระหว่างจัดทำโครงการนี้ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา อาจารย์อิทธิพร ศิริสวัสดิ์ หัวหน้าภาควิชา และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการดินกลศาสตร์ ที่อนุเคราะห์ให้ใช้ห้องปฏิบัติการและให้ยืมเครื่องมือในการลงปฏิบัติงานในสนามจริง ทางคณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ นายชาญยุทธ วรรณนท์ นายช่างชลประทานอาวุโส หัวหน้าฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทาน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาขุนด่านปราการชล นายชัตติยา เทียงจิตต์ วิศวกรชลประทานปฏิบัติการ และนางสาวณัฐวดี แยมสาย วิศวกรชลประทานปฏิบัติการ ที่ได้ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูล ความช่วยเหลือ และข้อเสนอแนะต่างๆ ให้กับคณะผู้จัดทำโครงการ ทางคณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณะผู้บริหารและพนักงานทุกคนของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก ที่ทางคณะผู้จัดทำได้เข้าไปศึกษาวิจัยที่ท่านได้ให้ความร่วมมือในการให้ใช้สถานที่ในการศึกษาและยังเอื้อเฟื้อสถานที่พักอาศัยให้กับคณะผู้จัดทำโครงการ ทางคณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ท้ายที่สุดนี้ ทางผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณทุกคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการวิศวกรรมนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจนำไปศึกษาไม่มากนักน้อยต่อไป ความดีและประโยชน์ใดๆ จากโครงการวิศวกรรมนี้ ขอมอบให้ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวมาทั้งหมด

คณะผู้จัดทำโครงการ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1.1 การส่งน้ำชลประทาน	3
2.1.1.1 ระบบส่งน้ำชลประทาน	3
2.1.1.2 วิธีการส่งน้ำ	5
2.1.2 ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำ	6
2.1.3 การสูญเสียในคลองชลประทาน	7
2.1.3.1 การระเหยน้ำ	7
2.1.3.2 การรั่วซึมของน้ำในคลอง	7
2.1.4 การไหลในทางน้ำเปิด	9
2.1.4.1 ชนิดของการไหลในทางน้ำเปิด	10
2.1.4.2 คุณสมบัติพื้นฐานของการไหลในทางน้ำเปิด	11
2.1.4.3 การจำแนกประเภทตามสภาวะของการไหล	14
2.1.4.4 การไหลสม่ำเสมอ	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.4.5 ทางน้ำเปิดที่มีวัสดุหลายชนิด	21
2.1.4.6 พลังงานจำเพาะกับการไหลแปรเปลี่ยนแบบฉับพลัน แต่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา	22
2.1.4.7 ชลศาสตร์ของทางเข้าจากอ่างเก็บน้ำเข้าไปในทางน้ำเปิด	25
2.1.4.8 ช่วงการเปลี่ยนแปลงของทางน้ำเปิด	25
2.1.4.9 การวัดอัตราการไหลในทางน้ำเปิด	26
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	41
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	42
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน (Flow Chart)	42
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	45
3.2.1 เครื่องมือวัดความเร็วของการไหลของน้ำ	45
3.2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องมือ	45
3.2.1.2 คุณสมบัติเครื่องวัดความเร็วการไหลของน้ำ FP101-102	46
3.2.1.3 วิธีการทดลอง	46
3.2.1.4 การวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐานของเครื่องมือ	46
3.3 พื้นที่ศึกษา	48
3.3.1 ที่ตั้ง	48
3.3.1.1 ลักษณะโครงการ	49
3.3.1.2 ระยะเวลาดำเนินการ	50
3.3.1.3 งบประมาณในการดำเนินงาน	50
3.3.1.4 ผลประโยชน์ของโครงการ	50
3.3.1.5 ลักษณะโครงการระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำ	50
3.3.2 พื้นที่ปฏิบัติการ	50
3.3.3 ข้อมูลการส่งน้ำโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล	54
3.4 สมการที่ใช้ในการคำนวณ	54
3.4.1 อัตราการไหล	54
3.4.2 สมการโดยทั่วไปเพื่อคำนวณหาความเร็วของกระแส น้ำ	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.3 สมการโดยทั่วไปเพื่อคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ	56
3.4.3.1 การไหลท่ายประตูป็น Free Flow	56
3.4.3.2 การไหลท่ายประตูป็น Submerged Flow	57
3.4.3.3 คำนวณด้วยสูตร Manning เพื่อหาอัตราการไหล	57
3.4.4 การคำนวณหาปริมาณน้ำ	58
3.4.5 ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำ	59
 บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	 60
4.1 การคำนวณปริมาณน้ำในคลองส่งน้ำ	60
4.1.1 การคำนวณปริมาณน้ำแบบ Mid-Section Method	60
4.1.2 การคำนวณปริมาณน้ำ วิธี Manning	73
4.1.3 กราฟเปรียบเทียบน้ำในคลองระหว่างวิธี Mid-Section Method และ วิธี Manning	79
4.1.4 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำจากเครื่องมือวัดและปริมาณน้ำ จากประตูระบายน้ำ	81
4.2 การคำนวณปริมาณน้ำที่นำไปใช้	82
4.2.1 ท่อส่งน้ำเข้านา	82
4.2.2 นำน้ำไปใช้ด้วยวิธีอื่นๆ	103
4.2.2.1 ป้อนสูบน้ำ	103
4.2.2.2 กาลักน้ำและท่อน้ำ	104
4.2.2.3 การสูบน้ำไปทำถนน	106
4.3 ประสิทธิภาพการส่งน้ำ	106
4.3.1 ประสิทธิภาพการส่งน้ำของคลอง 1 ขวา	106
4.3.1.1 การคำนวณประสิทธิภาพคลองส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา	107
4.3.1.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา	108
4.3.2 ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำในแต่ละช่วง	108
4.3.2.1 การคำนวณประสิทธิภาพคลองส่งน้ำในแต่ละช่วง	109
4.3.2.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำในแต่ละช่วง	118

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพ (เบื้องต้น)	121
4.4.1 สภาพคลองปัจจุบัน	121
4.4.1.1 รอยแตกร้าว	121
4.4.1.2 สภาพท้องคลองส่งน้ำ	121
4.4.1.3 สิ่งกีดขวางทางไหลของน้ำ	123
4.4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ปฏิบัติงาน	125
4.4.2.1 เครื่องมือใช้วัดความเร็ว	125
4.4.2.2 ท่อส่งน้ำเข้านา	126
4.4.2.3 ประตูละบายน้ำ	128
4.4.2.4 ป้อมสูบน้ำ	129
4.4.2.5 กาลักน้ำและท่อน้ำไม่มีวาล์ว เปิด-ปิด	129
4.4.3 ปัจจัยที่ยากต่อการควบคุม	130
4.4.3.1 การระเหย	130
4.4.3.2 การรั่วซึม	130
4.5 แนวทางในการแก้ไข	130
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	132
5.1 สรุปผล	132
5.1.1 ข้อมูลส่งน้ำชลประทาน	132
5.1.2 ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เบื้องต้น)	132
5.1.3 ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพคลองส่งน้ำ	133
5.1.4 แนวทางการแก้ไข	134
5.2 ข้อเสนอแนะ	134
เอกสารอ้างอิง	135
ภาคผนวก ก	136
ภาคผนวก ข	141
ภาคผนวก ค	148

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ง	152
ภาคผนวก จ	160
ประวัติย่อผู้ทำโครงการ	176

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดของการไหลตามผลของแรงโน้มถ่วงของโลก	14
2.2 ชนิดของการไหลตามผลของความหนืด	15
2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Bazin	17
2.4 ความขรุขระของทางน้ำเปิดตามสมการของ Powell	18
2.5 สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning	19
2.6 สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ของทางน้ำเปิดรูปแบบต่าง ๆ	20
2.7 สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานในช่วงการเปลี่ยนแปลงการไหล ในแม่น้ำธรรมชาติ	26
2.8 สัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำ	32
2.9 ความสัมพันธ์ของค่า C_c กับ G_0/Y_1	37
3.1 ผังกระบวนการทำงาน	43
3.2 รายละเอียดผังกระบวนการทำงาน	44
3.3 การวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐาน เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102 กับรางวัดน้ำ	47
4.1 ค่าปริมาณน้ำที่ไหลภายในคลอง ด้วยวิธี วิธี Mid-Section Method วันที่ 9 พฤษภาคม 2560	61
4.2 ค่าปริมาณน้ำที่ไหลภายในคลอง ด้วยวิธี วิธี Mid-Section Method วันที่ 7 มิถุนายน 2560	65
4.3 ค่าปริมาณน้ำที่ไหลภายในคลอง ด้วยวิธี วิธี Mid-Section Method วันที่ 8 มิถุนายน 2560	69
4.4 ค่าปริมาณน้ำที่ไหลภายในคลอง ด้วยวิธี วิธี Manning วันที่ 9 พฤษภาคม 2560	73
4.5 ค่าปริมาณน้ำที่ไหลภายในคลอง ด้วยวิธี วิธี Manning วันที่ 7 มิถุนายน 2560	75
4.6 ค่าปริมาณน้ำที่ไหลภายในคลอง ด้วยวิธี วิธี Manning วันที่ 8 มิถุนายน 2560	77
4.7 ตารางปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อส่งน้ำเข้านา วันที่ 9 พฤษภาคม 2560	83
4.8 ตารางปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อส่งน้ำเข้านา วันที่ 7 มิถุนายน 2560	91

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 ตารางปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อส่งน้ำเข้านา วันที่ 8 มิถุนายน 2560	97
4.10 ตารางการใช้น้ำจากปั๊มสูบน้ำ วันที่ 9 พฤษภาคม	103
4.11 ตารางการใช้น้ำจากปั๊มสูบน้ำ วันที่ 7 มิถุนายน 2560	104
4.12 ตารางการใช้น้ำจากปั๊มสูบน้ำ วันที่ 8 มิถุนายน 2560	104
4.13 ตารางการใช้น้ำจากท่อน้ำ วันที่ 9 พฤษภาคม 2560	105
4.14 ตารางการใช้น้ำจากท่อน้ำ วันที่ 7 มิถุนายน 2560	105
4.15 ตารางการใช้น้ำจากท่อน้ำ วันที่ 8 มิถุนายน 2560	105
4.16 ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำตลอดสาย 1 ขวา	107
4.17 ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำในแต่ละช่วง วันที่ 9 พฤษภาคม 2560	109
4.18 ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำในแต่ละช่วง วันที่ 7 มิถุนายน 2560	112
4.19 ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำในแต่ละช่วง วันที่ 8 มิถุนายน 2560	115
4.20 การวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพคลองส่งน้ำ	120
ก-1 การวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐาน เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102 กับรางวัดน้ำ	137
ง-1 ข้อมูลภาคสนาม วันที่ 9 พฤษภาคม 2560	153
ง-2 ข้อมูลภาคสนาม วันที่ 7 มิถุนายน 2560	155
ง-3 ข้อมูลภาคสนาม วันที่ 8 มิถุนายน 2560	157
จ-1 ข้อมูลการส่งน้ำเดือน มกราคม 2560	161
จ-2 ข้อมูลการส่งน้ำเดือน กุมภาพันธ์ 2560	164
จ-3 ข้อมูลการส่งน้ำเดือน มีนาคม 2560	167
จ-4 ข้อมูลการส่งน้ำเดือน เมษายน 2560	170
จ-5 ข้อมูลการส่งน้ำเดือน พฤษภาคม 2560	173

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลในทางน้ำเปิด	11
2.2 เสดของอนุภาคของไหลบนหน้าตัดใด ๆ ของการไหลในทางน้ำเปิด	12
2.3 การวิเคราะห์แรงที่กระทำกับ Control Volume ของการไหลในทางน้ำเปิด	13
2.4 การเกิดการไหลแบบ Uniform Flow	15
2.5 การวิเคราะห์การไหลแบบ Uniform Flow	16
2.6 พลังงานงานจำเพาะของการไหลในทางน้ำเปิด	22
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจำเพาะ กับความลึกของการไหล ในทางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก	23
2.8 ฝ่ายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้าง	28
2.9 ฝ่ายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบีบข้าง	29
2.10 ฝ่ายสี่เหลี่ยมคางหมูประเภทบีบข้าง	29
2.11 ฝ่ายสามเหลี่ยมประเภทบีบข้าง	30
2.12 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102	33
2.13 บานระบายเดี่ยว	35
2.14 การไหลแบบ Free Flow ของบานระบายชนิดบานตรง	36
2.15 การไหลแบบ Submerged Flow ของบานระบายชนิดบานตรง	37
2.16 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของบานระบายบานตรงจากผลการทดลองของ Henry	38
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	42
3.2 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102	45
3.3 กราฟผลการวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐาน เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101- 102	48
3.4 รูปแผนที่ตั้งโครงการ	49
3.5 คลองซอย 1 ขวา จาก Google Map	51
3.6 แพลนคลองส่งน้ำสายใหญ่ สายซอย และสายแยกซอย	52
3.7 แพลนคลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา	53
3.8 การวัดความเร็วของกระแสน้ำมากกว่าหนึ่งจุดตลอดความลึก	55
3.9 การไหลท้ายประตูเป็น Free Flow	56
3.10 การไหลท้ายประตูเป็น Submerged Flow	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 การคำนวณหาปริมาณน้ำ วิธี Mid-Section Method	58
4.1 การคำนวณหาปริมาณน้ำ วิธี Mid-Section Method	60
4.2 รูปกราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำในคลองระหว่างวิธี Mid-Section Method และ วิธี Manning	79
4.3 รูปกราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำในคลองระหว่างวิธี Mid-Section Method และ วิธี Manning	80
4.4 รูปกราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำในคลองระหว่างวิธี Mid-Section Method และ วิธี Manning	80
4.5 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำจากเครื่องมือวัดและปริมาณน้ำจากประตูระบายน้ำ	81
4.6 กราฟการวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐาน ปริมาณน้ำจากเครื่องมือวัด และปริมาณน้ำจากประตูระบายน้ำ	82
4.7 แผนภูมิประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา	107
4.8 แผนภูมิประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา วันที่ 9 พฤษภาคม 2560	111
4.9 แผนภูมิประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา วันที่ 7 มิถุนายน 2560	114
4.10 แผนภูมิประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา วันที่ 8 มิถุนายน 2560	117
4.11 รูปรอยร้าวของคลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา	121
4.12 สภาพท้องคลองที่มีลักษณะเป็นหินขนาดใหญ่	122
4.13 สภาพท้องคลองที่มีลักษณะเป็นหินขนาดเล็กปนทราย	122
4.14 สภาพท้องคลองที่มีลักษณะเป็นโคลนและมีวัชพืชขึ้นปกคลุม	122
4.15 การนำหินมาเกีดขวางทางน้ำเพื่อยกระดับน้ำให้สูงขึ้น	123
4.16 รูปการนำแท่งคอนกรีตหรือไม้มาขวางทางน้ำเพื่อยกระดับน้ำให้สูงขึ้น	123
4.17 รูปวัชพืชขึ้นปกคลุมคลองส่งน้ำ	124
4.18 รูปขยะกีดขวางทางไหลของน้ำในท่อลอดถนน	124
4.19 ต้นไผ่หักลงไปในคลองแล้วขวางการไหลของน้ำ	125
4.20 สภาพน้ำหลังท่อส่งน้ำเข้านามีลักษณะเป็นแอ่งและมีวัชพืชขึ้นปกคลุม	126
4.21 สภาพน้ำหลังท่อส่งน้ำเข้านามีลักษณะมีวัชพืชขึ้นปกคลุมจนไม่สามารถเห็นคลอง	126
4.22 สภาพน้ำหลังท่อส่งน้ำเข้านามีลักษณะใบไม้หล่นลงคลองกีดขวางทางไหลของน้ำ	127

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 สภาพน้ำหลังท่อส่งน้ำเข้านามีลักษณะเป็นวัชพืชขึ้นปกคลุมและตัดไม้ กีดขวางทางไหลของน้ำ	127
4.24 ประตุน้ำเข้าสู่คลองและท้ายประตุน้ำ	128
4.25 ประตุน้ำปลายคลองที่ระบายออกจากกระบะและท้ายประตุน้ำ	128
4.26 ปิ่มน้ำที่สูบน้ำไปใช้	129
4.27 กาลักน้ำ	130
ก-1 กราฟผลการวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐานของเครื่องมือ	138
ก-2 การวัดความเร็วของน้ำในรางด้วยเครื่องมือ	138
ก-3 การวัดระดับน้ำและอ่านค่า	139
ก-4 การอ่านค่าความดันน้ำและจดบันทึก	139
ก-5 ผลการสอบเทียบประตุน้ำของกรมชลประทาน	140
ข-1 รอยแตกร้าวยาวประมาณ 2-3 เมตร ที่ กม. 1+300	142
ข-2 วัชพืชขึ้นปกคลุมผิวหน้าในคลอง	142
ข-3 ฝายปากเปิด	143
ข-4 ลักษณะคลองที่มีการคดเคี้ยวไปตามแนวนนเรียบคลอง	143
ข-5 มีสิ่งกีดขวางทางไหลน้ำ	144
ข-6 ลักษณะที่ท้องคลองมีความแตกต่างกัน	144
ข-7 ประตุน้ำปากทางที่น้ำเข้าสู่ระบบ	145
ข-8 ท้ายประตุน้ำที่น้ำเข้าสู่ระบบ	145
ข-9 ประตุน้ำออกท้ายคลอง	146
ข-10 ท้ายประตุน้ำออกท้ายคลอง	146
ข-11 ประตูท่อส่งน้ำเข้านา	147
ข-12 ท้ายประตูท่อส่งน้ำเข้านา	147
ค-1 ระดับน้ำ รทก. ด้านหน้าประตุน้ำของกรมชลประทาน	149
ค-2 ระดับน้ำ รทก. ด้านหลังประตุน้ำ	149
ค-3 วัดระยะเปิดบานประตุน้ำ	150
ค-4 การวัดระยะหน้าตัดการไหลของน้ำ	150
ค-5 การวัดความลึกของระดับน้ำ	151

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค-6 การวัดความเร็วการไหลของน้ำและบันทึกผล	151
ง-1 รูปหน้าตัดคลองส่งน้ำ	

ประมวลคำย่อ

คำย่อ	คำอธิบาย
ปตร.	ประตูละบายน้ำ
มม.	มิลลิเมตร
ท่อส่งน้ำเข้านา 1ข.	ท่อส่งน้ำเข้านาฝั่งขวา ลำดับประตูที่ 1
ท่อส่งน้ำเข้านา 1ซ.	ท่อส่งน้ำเข้านาฝั่งซ้าย ลำดับประตูที่ 1
ปริมาณน้ำออก	ปริมาณน้ำที่นำออกไปใช้จากคลองและสามารถทราบปริมาณน้ำออกที่ชัดเจน
ปริมาณน้ำเข้า	ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าในคลองส่งน้ำ
ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้งหมด	ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้งหมดในระบบส่งน้ำ ซึ่งรวมปริมาณน้ำออกด้วย
กม.	กิโลเมตร
E_c	ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำ เป็นเปอร์เซ็นต์
W_f	ปริมาณน้ำที่เหลือยู่ที่ท้ายคลอง เป็นหน่วยความลึกหรือปริมาตร
W_g	ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองส่งน้ำ เป็นหน่วยความลึกหรือปริมาตร
W_{outlet}	ปริมาณน้ำที่นำออกจากคลองส่งน้ำ เป็นหน่วยความลึกหรือปริมาตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

จังหวัดนครนายก เป็นจังหวัดที่ทำการเกษตรกรรมเป็นหลัก พื้นที่ 80% เป็นพื้นที่นา และในพื้นที่นาประมาณ 70% อยู่ในเขตชลประทาน มีโครงการชลประทานขนาดใหญ่ 3 โครงการในจังหวัด คือ โครงการเขื่อนขุนด่านปราการชล โครงการชลประทานจังหวัดนครนายก และโครงการชลประทานรังสิตใต้ ทุกวันนี้มีการใช้น้ำชลประทานเพื่อกิจการอื่นนอกเหนือจากการทำนา และมีแนวโน้มการใช้น้ำเพื่อกิจการอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้นในอนาคต จึงควรมีการศึกษาเรื่องสัดส่วนการใช้น้ำเพื่อการเกษตรและการจัดสรรน้ำให้ภาคส่วนต่าง ๆ ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ดังนั้นโครงการนี้จึงวางวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพน้ำในคลองชลประทานเพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับการใช้น้ำจากคลองชลประทานเบื้องต้น แต่เนื่องจากจังหวัดนครนายกมีพื้นที่ขนาดใหญ่จึงเลือกศึกษาเฉพาะโครงการเขื่อนขุนด่านปราการชล เลือกกรณีศึกษาคลองซอยสาย 1 ขวา ซึ่งเป็นคลองซอยแรกที่แยกจากคลองสายใหญ่รับน้ำจากเขื่อนโดยตรง

เขื่อนขุนด่านปราการชลมีความสำคัญกับจังหวัดนครนายกมาก เนื่องจากมีการใช้น้ำจากเขื่อนในปริมาณมากไม่ใช่เฉพาะเกษตรกรรมแต่ยังมีการนำน้ำไปใช้เพื่อการท่องเที่ยว เช่น รีสอร์ท โรงแรม บ้านเรือน ที่อยู่อาศัย นอกจากนี้เขื่อนขุนด่านปราการชลยังต้องนำไปใช้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งการส่งน้ำชลประทานส่วนใหญ่จะเน้นการส่งน้ำเพื่อเกษตรกรรม การทำเกษตรกรรมมีหลายรูปแบบ เช่น การทำนาข้าว สวนผลไม้ ซึ่งแต่ละชนิดจะมีการใช้น้ำในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ การใช้น้ำของพืชแต่ละชนิดและฤดูกาลเพาะปลูก การส่งน้ำชลประทานมีสองวิธี คือ ส่งน้ำผ่านท่อส่งน้ำและส่งน้ำผ่านคลองชลประทาน ส่วนใหญ่การส่งน้ำเพื่อเกษตรกรรมจะส่งน้ำผ่านคลองส่งน้ำเพราะเกษตรกรจะสามารถนำน้ำออกไปใช้ได้สะดวกกว่าและสามารถนำน้ำออกไปใช้ได้ทุกช่วงของสองฝั่งคลองส่งน้ำไม่ว่าจะเป็นการนำน้ำออกไปใช้จากประตูระบายน้ำ ท่อส่งน้ำเข้านา ท่อน้ำ กาลักน้ำ และปั๊มสูบน้ำ การจัดสรรน้ำของกรมชลประทานจะจัดส่งน้ำให้แก่เกษตรกรทุกวันและปริมาณน้ำที่จัดส่งจะขึ้นอยู่กับ การร้องขอน้ำจากกลุ่มผู้ใช้น้ำ เมื่อกรมชลประทานส่งน้ำตามที่ร้องขอไปแล้วหลังจากนั้นกลุ่มผู้ใช้น้ำจะบริหารจัดการจัดสรรน้ำกันเอง ในแต่ละครั้งเกษตรกรจะนำน้ำออกไปใช้ในปริมาณที่แตกต่างกัน ถ้ามีเกษตรกรบางรายนำน้ำออกไปใช้เกินปริมาณที่ต้องการอาจส่งผลให้เกษตรกรที่อยู่ท้ายน้ำได้รับผลกระทบ ไม่ได้รับน้ำในปริมาณที่เพียงพอ หรือได้ปริมาณน้ำที่ช้ากว่ากำหนด หรืออาจเกิดจากคลองส่งน้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพในการส่งน้ำ หรือมีอุปสรรคต่าง ๆ ที่กีดขวางการไหลของน้ำ ดังนั้นกลุ่มผู้จัดทำจึงทำโครงการนี้ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำผ่านคลองส่งน้ำชลประทาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาข้อมูลการส่งน้ำของชลประทาน
- 1.2.2 วัดประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เบื้องต้น) ของคลองส่งน้ำชลประทานและศึกษาปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพ (เบื้องต้น)

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 เลือกพื้นที่การศึกษาคลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก คลองส่งน้ำมีความยาวประมาณ 5.224 กิโลเมตร จาก กม. 0+000 ถึง กม. 5+224
- 1.3.2 วัดอัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่คลอง วัดอัตราการไหลของน้ำที่นำไปใช้ที่ปากทางออกของคลอง และวัดอัตราการไหลของน้ำที่ไหลปลายคลอง โดยใช้เครื่องมือ (เครื่องวัดความเร็วการไหลของน้ำ FP101- 102) ของภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เบื้องต้น)
- 1.4.2 ทราบถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียในคลองส่งน้ำ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การส่งน้ำชลประทาน

2.1.1.1 ระบบส่งน้ำชลประทาน

ระบบส่งน้ำชลประทาน หมายถึง ทางน้ำที่จัดสร้างขึ้นเพื่อนำน้ำจากแหล่งน้ำให้ไหลไปสู่พื้นที่เพาะปลูกให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของพืช ตามขนาดพื้นที่เพาะปลูก และตรงตามเวลาที่พืชต้องการ ระบบชลประทานโดยทั่วไปจะต้องประกอบไปด้วย แหล่งน้ำ ระบบส่งน้ำ ระบบแจกจ่ายน้ำ ระบบให้น้ำ ระบบระบายน้ำ ถนนหรือทางลำเลียง พืช เกษตรกร และเจ้าหน้าที่ชลประทานการส่งน้ำชลประทาน เป็นการนำน้ำจากแหล่งน้ำเข้าสู่ระบบส่งน้ำชลประทานเพื่อไปยังพื้นที่เพาะปลูกให้เพียงพอ กับความต้องการน้ำของพืช ตามขนาดพื้นที่เพาะปลูก และตรงตามเวลาที่พืชต้องการ ลักษณะทั่วไปของระบบส่งน้ำชลประทานที่ใช้กันอาจแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. ระบบส่งน้ำแบบเปิด เป็นระบบส่งน้ำที่ใช้ทางน้ำเปิด (Open Channel) ในการลำเลียงน้ำ ซึ่งให้น้ำไหลไปโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravitation)
2. ระบบส่งน้ำแบบปิด เป็นระบบส่งน้ำที่ใช้ทางน้ำปิด (Closed Conduit) เป็นทางลำเลียงน้ำ ซึ่งน้ำจะเคลื่อนที่โดยอาศัยแรงดัน (Pressurized Flow)

(1) คลองส่งน้ำชลประทาน

คลองส่งน้ำชลประทาน เป็นการนำน้ำจากห้วยงานหรือแหล่งน้ำไปยังพื้นที่เพาะปลูกหรือพื้นที่ชลประทาน ตามปกติจะก่อสร้างคลองส่งน้ำเข้าไป แต่คลองบางตอนจะต้องสร้างเป็นอาคารส่งน้ำแทนการก่อสร้างคลอง เช่น สร้างเป็นอุโมงค์ ท่อส่งน้ำ รางน้ำ หรือท่อเชื่อม เป็นต้น เพื่อให้สามารถส่งน้ำผ่านอุปสรรค หรือสิ่งกีดขวางไปได้ในโครงการชลประทานที่มีระบบและพื้นที่ชลประทาน คลองส่งน้ำเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นที่สุดของโครงการชลประทาน และสิ้นเงินค่าก่อสร้างมากกว่างานอย่างอื่น เพราะโครงการชลประทานหนึ่งมีคลองหลายสาย รวมกันแล้วมีความยาวมาก ต้องเสียเงินค่าซื้อที่ดินและค่าขุดคลองมาก

คลองส่งน้ำเป็นรางเปิด (Open Channels) หรือร่องน้ำขนาดใหญ่ซึ่งขุดขึ้นในดินหรือถมขึ้นบนดิน เพื่อนำน้ำเข้าสู่พื้นที่เพาะปลูกโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก คลองส่งน้ำมี 2 ชนิด คือ

1. คลองดิน (Earth Canals) เป็นคลองส่งน้ำที่ขุดดินหรือถมดินให้เป็นรูปคลองส่งน้ำตามที่ออกแบบ

2. คลองตาด (Lined Canals) เป็นคลองส่งน้ำที่ขุดดินหรือถมดินให้เป็นรูปคลองส่งน้ำ และตาดผิว คลองส่งน้ำด้วยวัสดุที่น้ำรั่วซึมไม่ได้ซึ่งในปัจจุบันส่วนใหญ่ใช้คอนกรีต

ระบบส่งน้ำแบบทางน้ำเปิด หรือคลองส่งน้ำ ประกอบด้วย คลองส่งน้ำแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามลักษณะและหน้าที่ได้ดังนี้

1) คลองส่งน้ำสายใหญ่ (Main Canal) เป็นคลองส่งน้ำที่ขุดแยกออกมาจากแหล่งน้ำต้นทุน เพื่อรับน้ำเข้าไปในเขตโครงการชลประทาน เนื่องจากคลองจะต้องรับน้ำไปให้เนื้อที่เพาะปลูกทั้งหมดในโครงการหรือ เนื้อที่เพาะปลูกอันกว้างใหญ่ ปริมาณน้ำที่ส่งไปในคลองมีมาก คลองมีขนาดใหญ่ และมีความสำคัญมากกว่าคลองสายอื่นจึงเรียกว่าคลองสายใหญ่ คลองสายใหญ่นี้จะมีเพียงสายเดียวหรือสองสายจะขุดออกจากฝั้งเดียว หรือทั้งสองฝั้งของลำน้ำหลักก็ได้ทั้งนี้แล้วแต่เขตส่งน้ำของโครงการและแผนผังการส่งน้ำตามปกติคลองสายใหญ่จะมีแนวคลองอยู่บนพื้นที่ซึ่งสูงที่สุดในเขตโครงการ

2) คลองส่งน้ำสายซอย หรือคลองซอย (Lateral) เป็นคลองส่งน้ำที่ขุดแยกออกมาจากคลองสายใหญ่ เพื่อรับน้ำไปส่งให้แก่พื้นที่เพาะปลูก ซึ่งคลองซอยสายนั้นควบคุมอยู่คลองซอยจะมีแนวคลองอยู่บนที่สูงเช่นเดียวกัน ตามข้างคลองซอยจะมีท่อส่งน้ำเข้านา (Farm Turnout) ฝั้งไว้เป็นระยะ ๆ ไปตลอดคลองเพื่อส่งน้ำเข้าแปลงเพาะปลูก ซึ่งทำได้ 2 วิธีคือ

1. ปล่อน้ำออกจากท่อส่งน้ำเข้านาแล้วให้ไหลบ่าท่วมไปบนผิวดิน
2. ปล่อน้ำออกจากท่อส่งน้ำเข้านาลงสู่คูนา ให้คูนารับน้ำไปแจกจ่ายแก่พื้นที่เพาะปลูกอีกทีหนึ่ง เพื่อให้ น้ำแพร่กระจายไปสู่พื้นที่เพาะปลูกทั่วถึงกันดีขึ้น

คลองส่งน้ำสายใหญ่อาจจะมีคลองซอยแยกออกไปหลายสาย และคลองซอยเหล่านี้อาจแยกออกจากคลองส่งน้ำสายใหญ่ทางฝั้งเดียวกันหรือสองฝั้งก็ได้ทั้งนี้แล้วแต่เขตส่งน้ำและสภาพของพื้นที่ดินในเขตโครงการ

3) คลองส่งน้ำสายแยกซอย หรือคลองแยกซอย (Tertiary) เป็นคลองส่งน้ำขนาดเล็กซึ่งแยกออกจากคลองซอยอีกทีหนึ่ง เพื่อรับน้ำไปส่งให้แก่พื้นที่เพาะปลูกทั่วเขตโครงการ คลองแยกซอยมีลักษณะและหน้าที่เช่นเดียวกับคลองซอย คลองซอยสายหนึ่งจะมีคลองแยกซอยก็สายก็ได้ และจะแยกออกจากทางฝั้งไหนหรือทั้งสองฝั้งของคลองซอยก็ได้ ตามคลองแยกซอยอาจมีคลองส่งน้ำเล็ก ๆ แยกแยกออกไปอีก แต่ก็เรียกคลองส่งน้ำเล็ก ๆ เหล่านี้ว่า คลองแยกซอยเหมือนกัน

(2) ระบบท่อส่งน้ำ

ในระบบส่งน้ำที่เป็นท่อ น้ำจะไหลไปยังจุดที่ต้องการให้น้ำโดยอาศัยแรงดันที่จุดส่งน้ำเข้าระบบท่อเช่นเดียวกับระบบประปา โดยปกติแล้วท่อน้ำส่งน้ำจะฝังไว้ใต้ดินแล้วมีท่อตั้งโผล่ขึ้นมาบริเวณหัวแปลงเพาะปลูก เมื่อต้องการให้น้ำก็เปิดวาล์วหรือประตุน้ำ น้ำก็จะไหลเข้าแปลงหรือท่อจ่ายน้ำเข้าสู่ร่องคู ระบบส่งน้ำที่เป็นท่อนี้เป็นระบบที่มีคุณภาพสูงเพราะไม่มีการระเหยและการรั่วซึม เนื่องจาก

ท่อฝังอยู่ใต้ดิน ดังนั้นไม่มีการสูญเสียพื้นที่เพาะปลูกเหมือนระบบส่งน้ำแบบคลองส่งน้ำ การบำรุงรักษาก็ น้อย นอกจากนั้นในพื้นที่สูง ๆ ต่ำ ๆ ระบบท่อส่งน้ำจะทำงานได้ดีกว่าคลองส่งน้ำ อย่างไรก็ตามระบบท่อ ส่งน้ำนี้สูงมากเพราะต้องการอุปกรณ์พิเศษหลายอย่าง ดังนั้นจึงใช้กับพืชที่ให้ผลตอบแทนสูงเท่านั้น

2.1.1.2 วิธีการส่งน้ำ

การส่งน้ำแก่พื้นที่เพาะปลูกอาจทำได้หลายวิธี แต่โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้ 3 วิธี

1. การส่งน้ำตลอดเวลา (Continuous Flow Method)
2. การส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้ (Demand Method)
3. การส่งน้ำแบบหมุนเวียน (Rotation Method)

การที่จะเลือกพิจารณาเลือกใช้วิธีการส่งน้ำวิธีใดวิธีหนึ่ง จำเป็นต้องพิจารณากำหนดไว้ในชั้นวางโครงการเพื่อที่จะได้ออกแบบระบบส่งน้ำที่ถูกต้อง เพราะว่าการที่ใช้น้ำแต่ละประเภทมีขนาด ไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อก่อสร้างระบบส่งน้ำไปแล้วจะมาเปลี่ยนวิธีส่งน้ำจะยุ่งยากและไม่มีประสิทธิภาพ ในบางครั้งต้องมีการเปลี่ยนวิธีส่งน้ำเพื่อแก้ปัญหาเฉพาะหน้าที่ภาคสนาม

(1) การส่งน้ำตลอดเวลา

การส่งน้ำตลอดเวลา หมายถึง การส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกให้กับพื้นที่เพาะปลูก ทั่วทุกแปลงด้วยอัตราคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เริ่มปลูกจนเก็บเกี่ยวจะหยุดเฉพาะช่วงที่ฝนตกและหลัง ฝนตกปริมาณน้ำมีมากพอเท่านั้น การออกแบบระบบน้ำโดยวิธีนี้จะทำการหาความต้องการน้ำทั้งหมดของ ฤดูกาลเพาะปลูกแล้วหารด้วยอายุของพืชที่เพาะปลูก อัตราการส่งน้ำตลอดเวลาจึงมีค่าเท่ากับ ความ ต้องการน้ำเฉลี่ยตลอดฤดูกาลจะเห็นได้ชัดว่าช่วงแรกที่พืชต้องการน้ำน้อยจะมีน้ำใช้เหลือเพื่อ แต่เมื่อพืช โตเต็มที่จะมีการใช้น้ำมาก อัตราการส่งน้ำที่ได้รับจะไม่เพียงพอต่อความต้องการน้ำของพืชด้วย ดังนั้น ผลผลิตอาจกระทบกระเทือนได้มาก

(2) การส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้น้ำ เป็นการส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกตาม เวลาและปริมาณของผู้ขอ วิธีนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุดในแง่ของผู้ขอ เพราะสามารถวางแผนการปลูกพืชและการ ให้น้ำของพืชในเวลาและปริมาณที่เหมาะสมทั้งอัตราการส่งก็สามารถเลือกให้พอเหมาะกับวิธีการให้น้ำที่ ใช้อยู่ด้วย ดังนั้นประสิทธิภาพการชลประทานที่ส่งน้ำโดยวิธีนี้จะดีที่สุด ปริมาณและเวลาต้องการน้ำอาจ เตรียมไว้ล่วงหน้า โดยคำนวณจากการใช้น้ำของพืชและสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช ในระหว่างฤดูกาล เพาะปลูกอาจมีการแก้ไขกับสภาพการใช้น้ำและฝนที่เกิดขึ้นจริง

การที่จะใช้วิธีการส่งน้ำแบบนี้ได้เกษตรกรต้องมีความรู้ความเข้าใจในหลักการ ชลประทานอย่างดี หรือมีผู้ที่สามารถให้ความรู้ได้อย่างถูกต้อง เกษตรที่มีอยู่ในประเทศที่พัฒนาแล้ว และ ต้องจ่ายค่าน้ำตามปริมาณที่ใช้ ดังนั้นการใช้น้ำจะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด

(3) **การส่งน้ำแบบหมุนเวียน** การส่งน้ำแบบหมุนเวียนเป็นการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกตามจำนวนและเวลาที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า โดยทำเป็นแผนการไว้แล้วว่าแปลงใดจะได้รับน้ำเมื่อใด จำนวนเท่าใด เป็นระยะเวลานานเท่าใด และเมื่อใดจะได้รับน้ำสำหรับการส่งน้ำครั้งต่อ ๆ ไป

หลักการสำคัญของการส่งน้ำมีอยู่ 3 ประการ คือ

1. แบ่งพื้นที่ที่จะต้องส่งน้ำทั้งหมดออกเป็นย่อย ๆ แล้วจัดลำดับของแปลงที่จะส่งน้ำให้
2. คำนวณปริมาณน้ำที่จะต้องส่งให้กับแปลงย่อยที่ได้แบ่งไว้ให้กับความพอเหมาะกับความต้องการของพืช ขนาดของแปลงและการสูญเสียของน้ำจากการส่งน้ำและการให้น้ำ
3. กำหนดระยะเวลาที่แปลงย่อยจะได้รับน้ำ ระยะเวลาดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่และอัตราการส่งน้ำ

การแบ่งพื้นที่ส่งน้ำ คำนวณปริมาณน้ำที่จะต้องให้และกำหนดระยะเวลาที่แต่ละแปลงย่อยได้รับน้ำนี้เจ้าหน้าที่ผู้จัดสรรน้ำเป็นผู้ดำเนินการให้ทั้งหมด ส่วนการเปิดน้ำเข้าแปลงเกษตรกรจะต้องดำเนินการเอง โดยวิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพมากเพราะเจ้าหน้าที่มีความชำนาญในการส่งน้ำให้น้ำสามารถแบ่งการหมุนเวียนออกเป็น 3 ประเภทคือ

1) **การหมุนเวียนโดยคลองสายใหญ่** การหมุนเวียนโดยวิธีคลองสายใหญ่จะถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ แล้วให้น้ำแก่พื้นที่คลองสายใหญ่แต่ละส่วนรับผิดชอบ กล่าวคือมีคลองซอยหรือคูน้ำแยกออกไปจากคลองสายใหญ่ในช่วงนั้น ๆ ได้รับน้ำพร้อมกัน

2) **การหมุนเวียนโดยคลองซอย** วิธีนี้จะส่งน้ำเข้าคลองสายใหญ่ตลอดเวลา แต่แบ่งคลองซอยสายต่าง ๆ ออกเป็นส่วน ๆ ดังนั้นคลองซอยแต่ละตอนและคูส่งน้ำแต่ละสายจะได้รับน้ำเป็นครั้งคราวและตามระยะเวลาที่กำหนด

3) **การหมุนเวียนโดยคูส่งน้ำ** การหมุนเวียนโดยคูส่งน้ำนี้จะส่งน้ำเข้าคลองสายใหญ่และคลองซอยตลอดเวลา แต่แบ่งคูส่งน้ำออกเป็นส่วน ๆ แล้วส่งน้ำให้แก่พื้นที่ที่คูแต่ละส่วนรับผิดชอบตามระยะเวลาที่กำหนด

2.1.2 ประสิทธิภาพการส่งน้ำ

ประสิทธิภาพการส่งน้ำ คือ ประสิทธิภาพของระบบคลองส่งน้ำจากจุดที่เริ่มต้นส่งน้ำ เช่น อ่างเก็บน้ำ สถานีสูบน้ำหรือแม่น้ำ จนถึงพื้นที่เพาะปลูก หาได้จากสูตร

$$E_c = \frac{W_f + W_{outlet}}{W_g} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ E_c = ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำ เป็นเปอร์เซ็นต์

W_f = ปริมาณน้ำเหลือที่ปลายคลองส่งน้ำ มีหน่วยเป็นความลึกหรือปริมาตร

W_{outlet} = ปริมาณน้ำที่ออกจากคลอง มีหน่วยเป็นความลึกหรือปริมาตร

W_g = ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองส่งน้ำ มีหน่วยเป็นความลึกหรือปริมาตร

เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียไป ซึ่งไม่รวมปริมาณที่นำออกไปใช้จากคลอง เช่น การระเหย การรั่วซึม หรืออุปสรรคต่าง ๆ กับปริมาณน้ำที่สูญเสียไปทั้งหมดหาได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้งหมด} - \text{ปริมาณน้ำที่นำออกจากคลอง}}{\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้งหมด}} \quad (2)$$

2.1.3 การสูญเสียในคลองชลประทาน

2.1.3.1 การระเหยน้ำ

การระเหยน้ำ เป็นการแพร่กระจายของน้ำในรูปของไอน้ำจากผิวดินสู่บรรยากาศ อัตราการระเหยจะขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวดินที่มีการระเหย ความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ลม แสงแดด ความเร็วของลมและความกดดันของบรรยากาศ ฯลฯ นอกจากนั้นการเกษตรกรรม เช่น วิธีการให้น้ำ การจัดการดิน หรือวิธีการเพาะปลูกพืชล้วนมีผลต่อการระเหยน้ำ การให้น้ำแก่พืชครั้งละน้อย ๆ แต่ให้บ่อยครั้งจะทำให้มีการสูญเสียน้ำโดยการระเหยมากขึ้น ถ้าหากให้น้ำแก่พืชในปริมาณเท่ากัน แต่ให้น้อยครั้งลงจะช่วยลดการระเหยได้มาก เพราะผิวดินมีการเปียกน้อยครั้งและน้ำซึมลงไปเก็บไว้ในดินได้ลึกกว่า ซึ่งเป็นผลให้น้ำที่พืชจะดูดไปใช้ได้มากกว่า การให้น้ำแก่พืชโดยวิธีให้น้ำท่วมผิวดิน โอกาสการระเหยน้ำจากผิวดินและผิวน้ำโดยตรงเกิดขึ้นได้มาก ส่วนการให้น้ำแบบฉีดฝอย ซึ่งมีระยะเวลาการให้น้ำยาวนาน จะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยมากกว่าการให้น้ำแบบอื่น อย่างไรก็ตามการระเหยจากผิวดินผิวน้ำและจากที่เกาะอยู่ตามใบและต้นพืช ก่อให้เกิดประโยชน์กับพืชโดยการที่พลังงานความร้อนส่วนนั้นไม่ถูกใช้ไปในการทำให้เกิดการคายน้ำของพืชเพิ่มขึ้น ในพื้นที่ที่ปลูกพืชต้นชิดกัน เช่น พริกขี้หนู หรือ กล้วยาลี้อย่างดี การระเหยน้ำจากผิวดินจะลดลง ทั้งนี้เพราะนอกจากพืชจะใช้ความชื้นในดินไปในการคายน้ำเป็นจำนวนมากแล้ว ใบของพืชยังปกคลุมมิให้แดดส่องไปถึงผิวดิน และความหนาแน่นของต้นพืชจะช่วยป้องกันมิให้ลมพัดพาเอาอากาศรอบต้นพืชซึ่งมีไอน้ำมากไปจากพื้นที่เพาะปลูกอย่างรวดเร็วอีกด้วย

การระเหยของน้ำจากผิวดินจะถูกควบคุมจากเนื้อดินด้วย ดินที่มีการไหลซึมของความชื้น (Capillary Movement) สูงจะมีการระเหยจากผิวดินมาก ในทางตรงกันข้ามดินที่มีเนื้อหยาบซึ่งมีการไหลซึมของความชื้นได้ช้ากว่าจะมีการระเหยจากผิวดินได้น้อย แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นของอากาศ ฯลฯ จะมีผลต่อการระเหยลง น้ำจากผิวดินดังกล่าวตลอดเวลา การคลุมดิน และการให้ร่มเงาแก่ดิน จะช่วยลดการระเหยจากผิวดินลงได้

2.1.3.2 การรั่วซึมของน้ำในคลอง

เมื่อเกิดการรั่วซึมของน้ำในคลองหรือเกิดจากรอยแตกร้าวจะทำให้น้ำซึมออกมา ซึ่งดินส่วนหนึ่งจะดูดซึมน้ำไว้ในดินที่มีอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินที่ดีจะทำให้เกิดการซึมที่รวดเร็ว นั่นคือ เมื่อ

ดินมีอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินที่ดี ดินจะสามารถดูดซึมน้ำได้ในปริมาณที่มากและในระยะเวลาที่รวดเร็ว นอกจากนี้ น้ำที่ซึมไปได้ผิวดินจะไปเพิ่มระดับน้ำใต้ดินทำให้ระดับน้ำใต้ดินมีปริมาณที่มากขึ้น

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราการซึม (Factors Affecting Infiltration Rates)

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราการซึมลงดินมีดังนี้ ความชื้นในดิน (Soil Moisture) อธิบายได้ 2 กรณี คือ ในดินแห้ง (Dry Soil) และดินเปียก (Wet Soil) ในดินแห้งมีความชื้นในดินน้อยจะมีแรงดึงความชื้น (Capillary Force) มาก โดยขนาดของแรงดึงความชื้นแปรผกผันกับขนาดของช่องว่างในดิน กล่าวคือ แรงดึงความชื้นจะมีค่ามากในดินที่มีขนาดช่องว่างน้อย และแรงดึงความชื้นจะมีค่าน้อยในดินที่มีช่องว่างมาก ดังนั้นในดินแห้งที่มีขนาดช่องว่างมากจะมีอัตราการซึมมากกว่าในดินแห้งที่มีช่องว่างน้อย จึงทำให้อัตราการซึมลดลงด้วย ดังจะเห็นได้จากดินทรายแห้งและดินเหนียวแห้ง จะมีอัตราการซึมมากกว่าดินทรายเปียกและดินเหนียวเปียกตามลำดับ

1) ความสามารถในการนำน้ำของดิน (Hydraulic Conductivity) อัตราการซึมลงดินสูงสุด (Infiltration Capacity) มีค่าลดลงตามระยะเวลา โดยลดลงถึงค่าต่ำสุดและคงที่โดยค่าต่ำสุดนี้จะใกล้เคียงกับ Hydraulic Conductivity ของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยค่าของ Hydraulic Conductivity นั้นจะขึ้นอยู่กับการเป็นหลัก ถึงกระนั้นยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้อัตราการซึมมากหรือน้อยกว่านี้ อาทิ

1. ชั้นอินทรีย์วัตถุที่ผิวดิน เช่น ซากใบไม้ ฮิวมัส ซึ่งอาจรวมถึงการซ่อนไซดินของรากพืช ไล่เดือนและแมลงในดินจะช่วยให้น้ำมีช่องว่างมากขึ้น จึงทำให้ดินนำน้ำได้ดีขึ้น
2. ผิวดินที่แข็งตัวเนื่องจากอากาศเย็นจัด เมื่ออากาศเย็นจัดจะทำให้น้ำในดินแข็งตัวบริเวณผิวซึ่งจะปิดกั้นไม่ให้น้ำซึมลงดินได้
3. การบวมหรือหดตัวของดิน เมื่อความชื้นในดินเปลี่ยนไป ดินบางชนิดที่มีดินเหนียวเป็นส่วนประกอบจะมีคุณสมบัติบวมเมื่อเปียกน้ำและหดตัวเมื่อแห้ง คุณสมบัตินี้จะส่งผลทำให้การซึมลงดินในพื้นที่เดียวกันเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้ตามฤดูกาล โดยในฤดูฝนขณะดินเปียกการซึมลงดินจะมีค่าน้อย ในขณะที่ในฤดูแล้งเมื่อดินแห้งและหดตัวจะทำให้เกิดรอยแตกซึ่งการซึมลงดินจะมาก
4. การที่ตกตะกอนดินถูกชะลงมาอุดตันช่องว่างในดิน ขณะที่ฝนตกตะกอนขนาดเล็ก ๆ จะถูกชะล้างและพัดพาลงมาในช่องว่างระหว่างดิน ซึ่งจะทำให้การซึมลดลง
5. ผลจากการกระทำของมนุษย์ เช่น ผิวถนนหรือคอนกรีตล้วนแต่เป็นวัตถุที่ทำให้อัตราการซึมลดลง รวมถึงการทำการเกษตรแม้ว่าการพรวนดินจะช่วยให้การซึมลงดินดีขึ้นเป็นการชั่วคราว แต่ในระยะยาวการใช้เครื่องจักรและสารเคมีในการเกษตร มีผลทำให้ดินแน่นขึ้นและลดการซึมลงดิน

2) ปริมาณความชื้นในช่องว่างเม็ดดิน เมื่อปริมาณความชื้นในดินเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Hydraulic Conductivity เพิ่มขึ้นตาม แต่ในทางตรงข้ามจะมีผลทำให้แรงดึงดูดความชื้นในดินลดลง เมื่อพิจารณาผลรวมของแรงทั้งสองแล้วเมื่อความชื้นในดินเพิ่มขึ้น การซึมลงดินจะลดลงในกรณีที่สภาพดินชั้นล่างมีชั้นน้ำใต้ดินตื้น หรือมีน้ำใต้ดินไหลมาเพิ่มจากพื้นที่อื่นจะมีผลให้ชั้นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำสูงขึ้นมาใกล้ผิวดินจนทำให้น้ำไม่สามารถซึมลงได้อีก

3) การบดอัดเม็ดดิน (Compaction of Soil) เนื่องจากอิทธิพลของฝนที่ตกลงมา การกระทำของมนุษย์และสัตว์จะทำให้อัตราการซึมลดลง โดยในขณะที่ฝนตกลงมานั้นเม็ดดินยังเกาะกันอยู่อย่างหลวม ๆ ทำให้อัตราการซึมเป็นไปได้อย่างรวดเร็วในระยะเริ่มต้น และเมื่อฝนตกลงมาอย่างต่อเนื่องเม็ดดินเล็กจะถูกจัดเรียงเข้าไปอุดช่องว่าง และในขณะเดียวกันเม็ดดินถูกบดอัดทำให้อัตราการซึมลดลง สำหรับการกระทำของมนุษย์ เช่น การบดอัดดินเพื่อสร้างถนนลูกรัง การดาดคลองดินเหนียว และการสัญจรหรือการเดินผ่านหน้าดิน เป็นต้น จะทำให้อัตราการซึมลดลง ส่วนในกรณีของสัตว์ต่าง ๆ ที่มีน้ำหนักมาก เมื่อเดินผ่านดินก็จะเกิดการบดอัดเม็ดดินทำให้อัตราการซึมลดลงเช่นกัน

4) โพรงดินที่เกิดจากสัตว์ต่าง ๆ ที่ขุดเจาะลงไปหากินหรืออาศัยอยู่ในดิน เช่น โพรงดินที่เกิดจากมด ไส้เดือน ูบ เขียดต่าง ๆ เป็นต้น จะมีผลต่ออัตราการซึมความสามารถในการนำน้ำของดิน (Hydraulic Conductivity)

2.1.4 การไหลในทางน้ำเปิด (Open Channel Flow)

การไหลในทางน้ำเปิด คือการไหลของของไหลไปตามทางน้ำโดยมีผิวอิสระสัมผัสกับอากาศด้านบน การไหลจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของความดันบรรยากาศโดยรอบ (Atmospheric Pressure) และแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity) ซึ่งการไหลในลักษณะนี้สามารถพบเห็นได้ทั่วไป เช่น การไหลในแม่น้ำลำคลอง การไหลในคลองส่งน้ำ การไหลในท่อระบายน้ำ รางระบายน้ำ เป็นต้น

ประเภทของทางน้ำเปิด (Type of Channel) ทางน้ำเปิดที่พบเห็นโดยทั่วไปนั้นสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทคือ

1. ทางน้ำธรรมชาติ (Natural Channel) คือ ทางน้ำที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ รูปร่างของรูปตัดขวางของทางน้ำ และความลาดเทของท้องทางน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพพื้นที่ (Non-Prismatic Channel) เช่น ลำธาร คลอง หรือแม่น้ำ เป็นต้น
2. ทางน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น (Artificial Channel) คือ ทางน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อสนองต่อความต้องการใช้น้ำด้านต่าง ๆ เช่น การส่งน้ำเพื่อการชลประทาน การระบายน้ำ หรือเพื่อการคมนาคมขนส่ง เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปลักษณะของทางน้ำจะมีประตูดขวาง และความลาดเทของท้องรางคงที่ (Prismatic Channel) เช่น คลองส่งน้ำ ดาดคอนกรีต ราง หรือท่อระบายน้ำ เป็นต้น

2.1.4.1 ชนิดของการไหลในทางน้ำเปิด

สามารถแบ่งชนิดของการไหลในทางน้ำเปิด ตามการเปลี่ยนแปลงความลึกของการไหล ซึ่งขึ้นอยู่กับเวลา (Time) และตำแหน่ง (Space) ดังนี้คือ

(1) พิจารณาการเปลี่ยนแปลงกับเวลา

1) การไหลคงที่ (Steady Flow) คือ การไหลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา กล่าวคือตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไหล เช่น ความลึก (y) ความเร็ว (V) อัตราการไหล (Q) พื้นที่หน้าตัดการไหล (A) จะคงที่ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา

$$\frac{d}{dt}(v, A, y, Q) = 0$$

2) การไหลไม่คงที่ (Unsteady Flow) คือ การไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา กล่าวคือตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไหล เช่น ความลึก ความเร็ว อัตราการไหล พื้นที่หน้าตัดการไหล ไม่คงที่ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา

$$\frac{d}{dt}(v, A, y, Q) \neq 0$$

(2) พิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปตัดขวางของการไหลในช่วงใด ๆ

1) การไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow : UF) คือ การไหลที่มีความลึก (y) และพื้นที่หน้าตัดการไหล (A) คงที่ตลอดช่วงความยาวที่พิจารณา

2) การไหลแบบแปรเปลี่ยน (Varied Flow หรือ Non-Uniform Flow) คือ การไหลที่มีความลึก และพื้นที่หน้าตัดการไหลไม่คงที่ตลอดช่วงความยาวที่พิจารณา ซึ่งแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

- การไหลแบบแปรเปลี่ยนแบบค่อยเป็นค่อยไป (Gradually Varied Flow : GVF) คือ การไหลที่ความลึกและพื้นที่หน้าตัดการไหลมีการเปลี่ยนแปลงทีละน้อยไปตามความยาวของช่วงที่พิจารณา

- การไหลแบบแปรเปลี่ยนแบบฉับพลัน (Rapidly Varied Flow : RVF) คือ การไหลที่ความลึกและพื้นที่หน้าตัดการไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันในช่วงความยาวที่พิจารณา ดังนั้นหากพิจารณาเกณฑ์ทั้งสองข้อ เราจะสามารถจำแนกประเภทของการไหลที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

- การไหลแบบสม่ำเสมอไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Steady Uniform Flow) คือ สภาพการไหลที่มีค่าความลึก ความเร็ว อัตราการไหล และพื้นที่หน้าตัดการไหลคงที่ตลอดช่วงความยาวที่พิจารณาโดยจะไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา ซึ่งเกือบทั้งหมดมักจะเกิดในทางน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น เนื่องจากรูปตัดขวางของทางน้ำมักจะสร้างให้มีรูปร่างคงที่และในการใช้งาน เราสามารถควบคุมความเร็วและอัตราการไหลได้

- การไหลแปรเปลี่ยนแบบค่อยเป็นค่อยไปแต่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Steady Gradually Varied Flow) คือ สภาพการไหลที่มีค่าความลึก ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดการไหลเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องแบบค่อยเป็นค่อยไปตลอดช่วงความยาวที่พิจารณา แต่ความลึก ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดการไหลที่จุดใดจุดหนึ่งนั้นจะคงที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา

- การไหลแปรเปลี่ยนแบบฉับพลันแต่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Steady Rapidly Varied Flow) คือ สภาพการไหลที่มีค่าความลึก ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดการไหลเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันในช่วงความยาวที่พิจารณา แต่ความลึก ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดการไหล ที่จุดใดจุดหนึ่งนั้นจะคงที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา

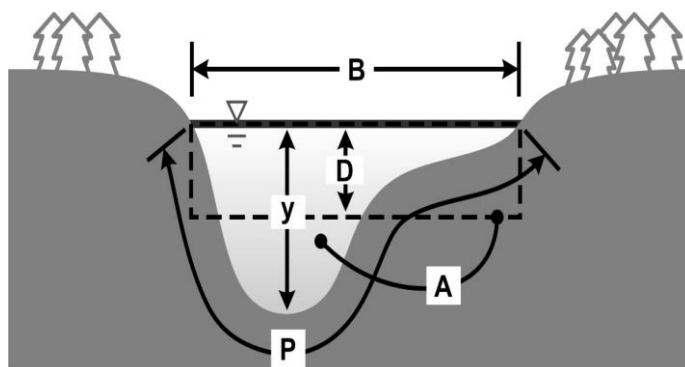
- การไหลแบบสม่ำเสมอแปรเปลี่ยนตามเวลา (Unsteady Uniform Flow) คือ สภาพการไหลที่มีค่าความลึก ความเร็ว อัตราการไหล พื้นที่หน้าตัดการไหลเท่ากันตลอดช่วงความยาวที่พิจารณา แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

- การไหลแปรเปลี่ยนแบบค่อยเป็นค่อยไปและแปรเปลี่ยนตามเวลา (Unsteady Gradually Varied Flow) คือ สภาพการไหลที่มีค่าความลึก ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดการไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องแบบค่อยเป็นค่อยไปตลอดช่วงความยาวที่พิจารณาและเปลี่ยนแปลงตามเวลาไปพร้อม ๆ กัน

- การไหลแปรเปลี่ยนแบบฉับพลันและแปรเปลี่ยนตามเวลา (Unsteady Rapidly Varied Flow) คือ สภาพการไหลที่มีค่าความลึก ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดการไหล มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันในช่วงความยาวที่พิจารณาและเปลี่ยนแปลงตามเวลาไปพร้อม ๆ กัน

2.1.4.2 คุณสมบัติพื้นฐานของการไหลในทางน้ำเปิด

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติพื้นฐานของการไหลในทางน้ำเปิดประกอบด้วย อัตราการไหล (Q) ความลึกของการไหล (y) ความกว้างของผิวน้ำ (T) และ เส้นขอบเปียก (P) ซึ่งสามารถวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของการไหลในทางน้ำเปิดได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลในทางน้ำเปิด

ที่มา: <http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Thandon/FluidMechanics.pdf>

ความเร็วของการไหล (ความเร็วเฉลี่ย) $V = \frac{Q}{A}$ (3)

รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius) $R = \frac{A}{P}$ (4)

ความลึกชลศาสตร์ (Hydraulic Depth) $D = \frac{A}{T}$ (5)

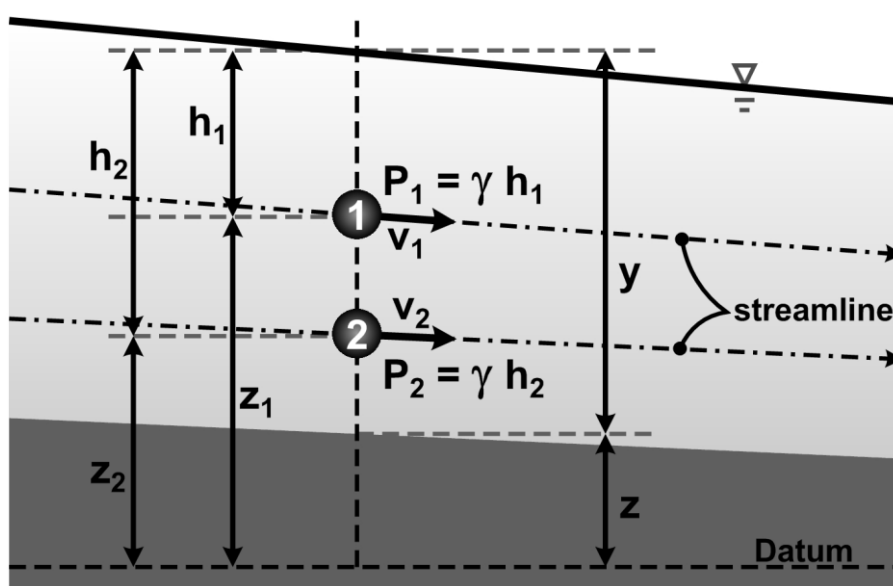
ปัจจัยหน้าตัดสำหรับการไหลวิกฤต $Z = \frac{A}{\sqrt{D}}$ (6)

ปัจจัยหน้าตัดสำหรับการไหลสม่ำเสมอ $U = AR^{2/3}$ (7)

สำหรับทางน้ำเปิดรูปหน้าตัดต่าง ๆ สามารถหาคุณสมบัติการไหลต่าง ๆ ได้ดังตาราง
ความเร็วของการไหล (V) ที่ใช้ในสมการ (1) เป็นการเฉลี่ยความเร็ว จะใช้เป็นตัวแทนของความเร็วการไหลเฉลี่ยตลอดพื้นที่หน้าตัดในการคำนวณค่าต่าง ๆ อย่างไรก็ดีตามสภาพความเป็นจริงแล้ว ความเร็วของการไหลผ่านหน้าตัดทางน้ำเปิดจะมีการกระจายความเร็วไม่เท่ากันทั้งหน้าตัดการไหล เพราะแรงเสียดทานการไหลระหว่างของไหลกับสันขอบเปียกและผิวน้ำอิสระ จึงทำให้บริเวณใกล้ ๆ กับขอบทางน้ำเปิดมีความเร็วต่ำกว่าบริเวณกลางหน้าตัดที่เอียงไปทางผิวน้ำ

(1) สมการพลังงานของการไหลในทางน้ำเปิด

เนื่องจากการไหลในทางน้ำเปิด เป็นการไหลของของไหลจากบริเวณที่มีพลังงานสูงไปสู่บริเวณที่มีพลังงานต่ำ ซึ่งลักษณะการไหลจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับผนังทางน้ำเปิด และแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคของของไหล จึงเกิดการสูญเสียพลังงาน (Head Loss, h_L) ในช่วงระยะทางการไหลที่พิจารณาตั้งแต่ลักษณะการไหลในทางน้ำเปิดทั่วไประหว่างหน้าตัดดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เสดของอนุภาคของไหลบนหน้าตัดใด ๆ ของการไหลในทางน้ำเปิด

ที่มา: <http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Thandon/FluidMechanics.pdf>

พิจารณารูปที่ 2.2 สามารถเขียนสมการพลังงานระหว่างหน้าตัดทั้งสอง ได้ดังนี้

$$\frac{V_A^2}{2g} + y_A + Z_A = \frac{V_B^2}{2g} + y_B + h_L \quad (8)$$

เมื่อ Z คือ ระดับท้องน้ำของทางน้ำเปิด เหนือระดับอ้างอิง (ft หรือ m)

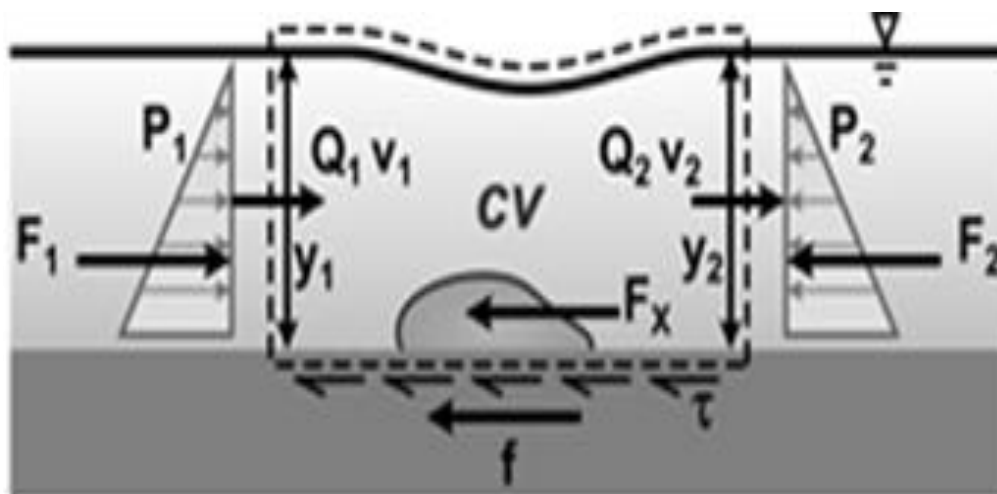
Y คือ ความลึกของการไหล หรือความดัน (pressure head = P/γ)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (ft/s หรือ m/s)

h_L คือ การสูญเสียพลังงานระหว่างหน้าตัด A และ B (ft-lb/lb หรือ N-m/N) หรือ (ft หรือ m)

(2) สมการโมเมนตัม (Momentum Equation)

สมการโมเมนตัมสำหรับการไหลในทางน้ำเปิดจะแตกต่างกับการไหลในท่อ เนื่องจากการไหลในทางน้ำเปิดนั้น ความดันจะแปรผันตามความลึกของน้ำดังตัวอย่างในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การวิเคราะห์แรงที่กระทำกับ Control Volume ของการไหลในทางน้ำเปิด

ที่มา: <http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Thandon/FluidMechanics.pdf>

กำหนดให้ $\sum F$ คือผลรวมของแรงจากภายนอกโดยไม่รวมแรงที่เกิดจากความดัน ซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ $F_1 - F_2 - F_3$ และเมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\begin{aligned} \sum F &= \rho Q_1 V_1 - \rho Q_2 V_2 \\ &= \rho Q (V_2 - V_1) \end{aligned} \quad (9)$$

2.1.4.3 การจำแนกประเภทตามสถานะของการไหล (State of Flow)

(1) ผลของแรงโน้มถ่วงของโลกและความหนืดต่อพฤติกรรมของการไหล (Effect of Gravity and Viscosity on Flow Behavior) ผลของแรงโน้มถ่วงเป็นผลที่มีอิทธิพลหลักต่อการไหลในทางน้ำเปิด กล่าวคือน้ำหนักของมวลน้ำจะมีการไหลได้ก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างระดับน้ำตามแนวยาว หรือมีความลาดของทางน้ำเปิด ซึ่งเป็นผลมาจากแรงเฉื่อย (Inertia Force) โดยตัวแปรที่จะบอกถึงชนิดการไหลในทางน้ำเปิดนั้นคือรากที่สองของอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงโน้มถ่วงของโลก หรือที่เรียกกันโดยทั่วไป Froude Number โดยที่

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (10)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วของการไหลในทางน้ำเปิด

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

D คือ ความลึกชลศาสตร์

ผลของแรงโน้มถ่วงของโลก สามารถแบ่งชนิดของการไหลได้ 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดของการไหลตามผลของแรงโน้มถ่วงของโลก

ชนิดของการไหล	Froude number
การไหลวิกฤต	FR = 1
การไหลใต้วิกฤต	FR < 1
การไหลเหนือวิกฤต	FR > 1

ที่มา: กิรติ สิวัญกุล. 2539. วิศวกรรมชลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. จังหวัดปทุมธานี

(2) ผลของความหนืด เป็นผลเนื่องจากของไหลมีความหนืดในตัวเอง ซึ่งการที่ของไหลจะไหลช้าหรือไหลเร็วขึ้น ขึ้นอยู่กับแรงเนื่องจากความหนืด (Viscous Force) และแรงเฉื่อย (Inertia Force) จะมีแรงใดมากกว่ากัน กล่าวคือ ถ้าแรงเนื่องจากความหนืดมีค่ามากกว่าแรงเฉื่อยจะทำให้ของไหลมีการไหลอย่างช้า ๆ เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Lamina Flow) อนุภาคของของไหลมีการไหลชัดเจนเป็นเส้นแนวการไหล (Stream Line) แต่ถ้าแรงเนื่องจากความหนืดมีค่าน้อยกว่าความเฉื่อยจะมีผลทำให้ของไหลไหลเร็ว อนุภาคของของไหลเกิดการปั่นป่วน เรียกว่าการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ทำให้สามารถจำแนกชนิดการไหลเนื่องจากผลของความหนืดได้ โดยใช้ค่า Reynold's Number (N_r) ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืดดังสมการ

$$N_r = \frac{VR}{\nu} = \frac{\rho VR}{\mu} \quad (11)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

R คือ รัศมีชลศาสตร์

μ คือ สัมประสิทธิ์ความหนืด

v คือ ความหนืดจลน์

ผลของความหนืดสามารถจำแนกชนิดของการไหลในทางน้ำเปิด โดยพิจารณาจากค่า Reynold's Number ได้ 3 ชนิด คือ

ตารางที่ 2.2 ชนิดของการไหลตามผลของความหนืด

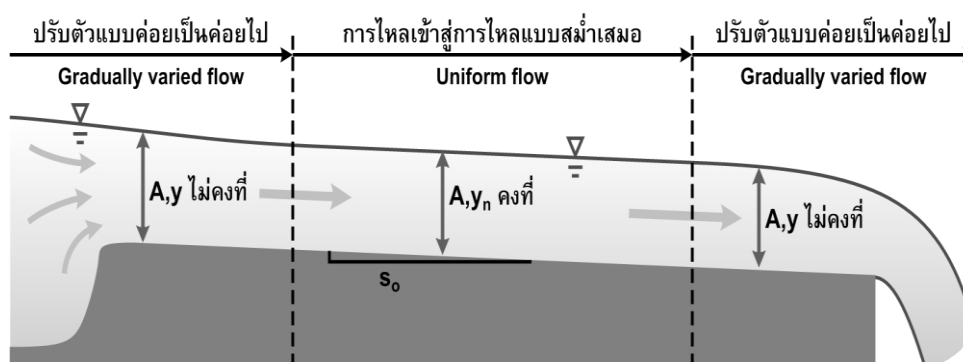
ชนิดของการไหล	Reynold's number
การไหลแบบราบเรียบ	$Nr = 500$
การไหลแบบเปลี่ยนแปลง	$500 \leq Nr \leq 2000$
การไหลแบบปั่นป่วน	$Nr > 2000$

ที่มา: กิรติ ลีวัจนกุล. 2539. วิศวกรรมชลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. จังหวัดปทุมธานี

2.1.4.4 การไหลสม่ำเสมอ (Uniform Flow)

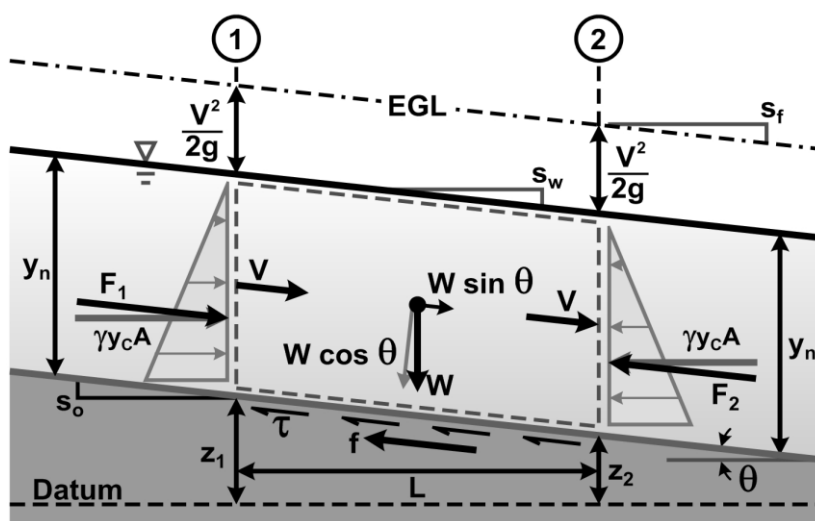
(1) นิยามการไหลสม่ำเสมอ (Uniform Flow)

การไหลสม่ำเสมอ (Uniform Flow) หรือการไหลปกติ (Normal Flow) คือการไหลที่เกิดขึ้นบนทางน้ำเปิดคงรูป (Prismatic Channel) หรือทางน้ำเปิดที่มีหน้าตัดการไหลคงที่ตลอดแนวการไหล โดยมีความลึกเท่ากันในช่วงไหลที่พิจารณา



รูปที่ 2.4 การเกิดการไหลแบบ Uniform Flow

ที่มา: <http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Thandon/FluidMechanics.pdf>



รูปที่ 2.5 การวิเคราะห์การไหลแบบ Uniform Flow

ที่มา: <http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Thandon/FluidMechanics.pdf>

ลักษณะที่สำคัญของการไหลสม่ำเสมอมีสองลักษณะที่สำคัญ 2 ประการคือ

1. ความลึก พื้นที่หน้าตัด ความเร็ว และอัตราการไหลทุก ๆ หน้าตัดของทางน้ำเปิดจะต้องคงที่
2. ความลาดของเส้นระดับพลังงาน (Energy Grade Line, E.G.L.) ความลาดของเส้นระดับชลศาสตร์ หรือเส้นระดับผิวน้ำ (Hydraulic Grade Line, H.G.L.) และความลาดของท้องน้ำจะต้องขนานกัน หรือ $S_f = S_w = S_o = S$

(2) สมการการไหลสม่ำเสมอ

ในสมการสม่ำเสมอจะมี $y_A = y_B$ และ $V_A = V_B$ ดังนั้น จากสมการ (6) จะมีการสูญเสียพลังงาน

$$h_L = Z_A - Z_B = SL \quad (12)$$

เมื่อ S คือ ความลาดของเส้นระดับพลังงาน

L คือ ระยะทางระหว่างหน้าตัด A และหน้าตัด B

ในปี 1769 Chezy วิศวกรชาวฝรั่งเศส ได้เสนอสูตรการไหลสม่ำเสมอในทางน้ำเปิดเป็นคนแรก ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยของการไหลในทางน้ำเปิดกับรัศมีชลศาสตร์ และความลาดของเส้นระดับพลังงานดังนี้

$$V = C\sqrt{RS} \quad (13)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล

C คือ สัมประสิทธิ์ของ Chezy

R คือ รัศมีชลศาสตร์

S คือ ความลาดของเส้นระดับพลังงาน

สำหรับสัมประสิทธิ์ของ Chezy สามารถหาได้จากสมการต่าง ๆ ดังนี้

1) สูตรของ G.K. ในปี 1869 Ganguillet และ Kutter วิศวกรชาวสวิส ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของ Chezy ในเทอมของเส้นระดับพลังงาน (S) รัศมีชลศาสตร์ (R) และสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) เป็นสมการในหน่วยอังกฤษดังนี้

$$C = \frac{41.65 + \frac{0.00281}{s} + \frac{1.811}{n}}{1 + \left(41.65 + \frac{0.00281}{s} \right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (14)$$

2) สูตรของ Bazin ในปี 1897 H.Bazin วิศวกรชลศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของ Chezy โดยพิจารณาฟังก์ชัน R แต่ไม่ได้คิดผลของความลาด S เป็นสมการในหน่วยอังกฤษ ดังนี้

$$C = \frac{157.6}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \quad (15)$$

เมื่อ m คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Bazin ขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุเงื่อนไขทางน้ำเปิด ดังตาราง 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Bazin

ลักษณะทางน้ำเปิด	Bazin's m
ซีเมนต์เรียบ	0.11
ไม้ไม่เรียบ คอนกรีต หรืออิฐ	0.21
หินก่อ อิฐก่อไม่เรียบร้อย	0.38
คลองดินที่มีสภาพดี	1.54
คลองดินที่มีสภาพปกติ	2.36
คลองดินขรุขระ	3.17

ที่มา: กิรติ ลีวัจนกุล. 2539. วิศวกรรมชลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. จังหวัดปทุมธานี

เนื่องจากสมการของ Bazin ได้รับการพัฒนาจากการทดลองในทางน้ำเปิดขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นในการปฏิบัติการ ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานทั่วไปจึงให้ผลได้ไม่ดีเท่าสมการของ G.K.

3) สูตรของ Powell ในปี 1950 Ralph W. Powell ได้เสนอสมการหาค่า C ของ Chezy สำหรับทางน้ำเปิดที่สร้างขึ้นและมีผิวหยาบเป็นสมการล็อกการิมิก

$$C = -42 \log \left(\frac{C}{4N_r} + \frac{\epsilon}{R} \right) \quad (16)$$

เมื่อ N_r คือ Reynold's number

ϵ คือ ความขรุขระของทางน้ำเปิด ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิว และความใหม่ หรือเก่าของทางน้ำเปิด ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความขรุขระของทางน้ำเปิดตามสมการของ Powell

ลักษณะทางน้ำเปิด	Powell's (ϵ)	
	ทางน้ำเปิดใหม่	ทางน้ำเปิดเก่า
ผิวซีเมนต์เรียบ	0.0002	0.0004
รางไม้เรียบ	0.0001	0.0017
คลองตาดคอนกรีต	0.004	0.006
คลองดินตรงและสม่ำเสมอ	0.04	-
คลองขุดดิน	0.10	-

ที่มา: กิรติ ลีวัจนกุล. 2539. วิศวกรรมชลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. จังหวัดปทุมธานี

4) สูตรของ Manning ในปี 1889 Robert Manning วิศวกรชาวไอร์แลนด์ ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ของ Chezy และสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning กับรัศมีชลศาสตร์ ซึ่งเป็นที่นิยมกันแพร่หลาย ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ระบบหน่วยอังกฤษ : } C &= \frac{1.49}{n} R^{1/6} \\ \text{ระบบหน่วย SI : } C &= \frac{1}{n} R^{1/6} \end{aligned} \quad (17)$$

เมื่อแทนค่า C จากสมการจะได้สมการ Manning สำหรับคำนวณความเร็วของการไหลในทางน้ำเปิดดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ระบบหน่วยอังกฤษ : } V &= \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \\ \text{ระบบหน่วย SI : } Q &= \frac{1.49}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \end{aligned} \quad (18)$$

สามารถหาอัตราการไหลในทางน้ำเปิดได้ดังนี้

$$Q = AV$$

$$\begin{aligned}
 \text{ระบบหน่วยอังกฤษ : } Q &= \frac{1.49}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \\
 \text{ระบบหน่วย SI : } Q &= \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

วัสดุทางน้ำเปิด	n
พลาสติก แก้ว ท่อเรียบ	0.009
ซีเมนต์ โลหะเรียบ	0.010
ไม้เรียบ ท่อวาง	0.011
โลหะ เหล็กหล่อผสมยางมะตอย	0.013-0.014
ไม้ไม่เรียบ ดินเหนียว	0.014
ท่อเหล็กหล่อ	0.015
เหล็กมุดย้า อิฐ	0.016
หินก่อ	0.017
ดินเรียบ	0.018
ท่อโลหะขรุขระ	0.022
กรวด	0.023
คลองธรรมชาติมีสภาพดี	0.025
คลองธรรมชาติมีหินขนาดใหญ่และพืชต่าง ๆ	0.035
คลองธรรมชาติสภาพไม่ดี	0.060
ทราย (ท้องน้ำเรียบ). หรือกรวด	
d = เส้นผ่านกลางขนาดกลาง (ft)	$0.034d^{1/6}$
$d=d_{75}$ (ft)	$0.013d^{1/6}$
โลหะ เหล็กเชื่อม	0.012

ที่มา: กิรติ ลีวัจนกุล. 2539. วิศวกรรมชลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. จังหวัดปทุมธานี

ตารางที่ 2.6 สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ของทางน้ำเปิดรูปแบบต่าง ๆ

ลักษณะของทางน้ำเปิด	<i>n</i>
คลองตาดด้วยคอนกรีต โดยมีซีเมนต์อุดบริเวณรอยต่อระหว่างแผงคอนกรีต และท้องน้ำก็ตาดคอนกรีตเป็นฐานด้วย	0.012
คลองคอนกรีต	0.010
คูขนาดเล็กตาดด้วยคอนกรีต มีแนวคูเป็นเส้นตรงสม่ำเสมอ ความลาดท้องน้ำน้อย โดยมีตะกอนหยาบปกคลุมบริเวณด้านข้างและท้องคูทำให้สัมประสิทธิ์ความขรุขระเพิ่มขึ้น	0.016
คลองตาดคอนกรีตโดยไม่มีการปรับแต่งผิวให้เรียบ พื้นผิวปกคลุมด้วยวัชพืชละเอียดขนาดเล็กและท้องคลองมีตะกอนทราย	0.018
คลองดินเหนียวขุด มีตะกอนเป็นดินทรายที่กลางคลองและตะกอนโคลนที่บริเวณข้างคลอง	0.020
คลองคอนกรีตตาดที่สร้างขึ้นจากหินลาวาตัดทรงดิ่งโดยที่ผนังคลองมีลักษณะหยาบ	0.020
คลองชลประทาน แนวคลองเป็นเส้นตรง พื้นผิวบดอัดทรายละเอียด	0.022
คลองตาดซีเมนต์ เป็นแนวตรงบนคลองดิน โดยที่บริเวณรอยแตกมีวัชพืช และท้องคลองมีตะกอนทราย	0.022
คลองที่ขุดผ่านดินเหนียวปนตะกอนทราย สภาพท้องคลองแข็งแรง	0.024
คูตาดทั้งด้านข้างและด้านล่างด้วยหินหรืออิฐหัก ท้องน้ำไม่เรียบ มีกรวดตกอยู่อย่างกระจัดกระจาย ผนังด้านข้างค่อนข้างอยู่ในแนวตั้ง	0.024
คลองขุดข้างภูเขา โดยตลิ่งด้านภูเขามีรากพืชเป็นระยะ ๆ ส่วนตลิ่งด้านล่างลงมีผนังคอนกรีตและท้องคลองมีกรวดปกคลุม	0.026
แม่น้ำธรรมชาติมีก้อนกรวดหรือหินขนาดเล็กใหญ่คละกัน มีความเร็วกระแสน้ำไหลผ่านสูง	0.028
คลองดินขุด มีลักษณะเป็นดินตะกอนทราย โดยมีดินทรายตกทับถมในบริเวณท้องคลอง ส่วนด้านข้างมีหญ้าขึ้นตามธรรมชาติ	0.029
คลองที่มีหินกรวดขนาดใหญ่ที่ท้องคลอง	0.030
คลองธรรมชาติ ด้านล่างมีลักษณะขรุขระไม่เรียบ ท้องน้ำมีตะกอนดินเหนียว สภาพหน้าตัดเปลี่ยนแปลงน้อยมาก	0.035
คลองหินขุดโดยวิธีใช้ระเบิดแนวคลอง	0.040
คลองดินเหนียวปนตะกอน ความลาดด้านข้างไม่เรียบ มีหญ้าขึ้น	0.040
คลองดินขุด ด้านข้างและด้านล่างไม่เรียบ โดยด้านข้างมีดินเหนียวสีดำและเหลืองปะปนกันอยู่ รูปตัดทางน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก	0.045

ลักษณะของทางน้ำเปิด	n
คลองดินขุด ด้านข้างและด้านล่างไม่เรียบ ดินคลองเป็นดินเหนียวสีดำ มีหญ้าและวัชพืช รูปร่างหน้าตัดค้อย ๆ เปลี่ยนแปลงตามแนวคลอง	0.050
คูดินเหนียวปนตะกอนทราย ด้านข้างและด้านล่างไม่เรียบ มีต้นไม้ขนาดใหญ่ขึ้นตาม แนวหน้าตัดที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ	0.060
คลองดินเหนียวสีดำปนตะกอนเทา ด้านข้างและด้านล่างไม่เรียบ มีพืชปกคลุมหนาแน่น	0.080
คลองดินเหนียวปนตะกอนเทา มีต้นไม้สูง 40 ฟุต ในหน้าตัดคลอง	0.110
คลองระบายน้ำธรรมชาติ สภาพดินเป็นดินทรายละเอียดปานกลางและดินเหนียว ละเอียด ไม่มีความลาดด้านข้าง ท้องคลองเป็นลูกคลื่น มีแนวต้นไม้ขวางทางการไหล กระจัดกระจาย	0.125
แม่น้ำธรรมชาติ สภาพดินเป็นดินเหนียวปนทราย รูปร่างไม่แน่นอน มีรากไม้ ต้นไม้ และ ท่อนซุงขวางทางน้ำ	0.150

ที่มา: กิรติ ลีวัจนกุล. 2539. วิศวกรรมชลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. จังหวัดปทุมธานี

2.1.4.5 ทางน้ำเปิดที่มีวัสดุหลายชนิด

ในกรณีที่ทางน้ำเปิดมีวัสดุหลายชนิดหรือในกรณีที่เกิดน้ำหลากกลั่นระดับปกติ (Normal Stage) ของน้ำในแม่น้ำจนเกิดการไหลเอ่อล้นตลิ่งสูงขึ้นถึงระดับน้ำหลาก (Flood Stage) ซึ่งเมื่อพื้นผิวของน้ำและตลิ่งมีสภาพไม่เหมือนกัน ทำให้เกิดความขรุขระไม่เท่ากัน ในกรณีนี้สามารถหาอัตราการไหลหลากได้ โดยการแบ่งหน้าตัดออกเป็นหลาย ๆ ส่วนตามสภาพพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไป จากนั้นสามารถคำนวณอัตราการไหลได้ โดยถือว่าความลาดท้องน้ำของแม่น้ำและตลิ่งมีค่าเท่ากัน

สมการการไหลสม่ำเสมอของ Manning

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q = \frac{1}{n} A_1 R_1^{2/3} S_1^{1/2} + \frac{1}{n} A_2 R_2^{2/3} S_2^{1/2} \quad (20)$$

เมื่อ $R_1 = \frac{A_1}{P_1}$ และ $R_2 = \frac{A_2}{P_2}$ ดังนั้น

$$Q = S^{1/2} \left[\frac{A_1^{5/3}}{n_1 P_1^{2/3}} + \frac{A_2^{5/3}}{n_2 P_2^{2/3}} \right] \quad (21)$$

ในกรณีที่แบ่งหน้าตัดออกเป็น n หน้าตัด สามารถหาอัตราการไหลได้จาก

$$Q = S^{1/2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i^{5/3}}{n_i P_i^{2/3}} \right) \quad (22)$$

2.1.4.6 พลังงานจำเพาะกับการไหลแปรเปลี่ยนแบบฉับพลันแต่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Specific Energy and Steady Rapidly Varied Flow)

พิจารณาสมการพลังงานของการไหลในทางน้ำเปิด สมการที่เฮดที่บ่งบอกถึงสถานะของการไหลนั้นจะประกอบด้วย เฮดความเร็ว $\frac{V^2}{2g}$ และ เฮดความดัน (y) ซึ่งผลรวมของทั้งสองส่วนนี้ เรียกว่า พลังงานจำเพาะ (Specific Energy)

$$E = y + \frac{V^2}{2g}$$

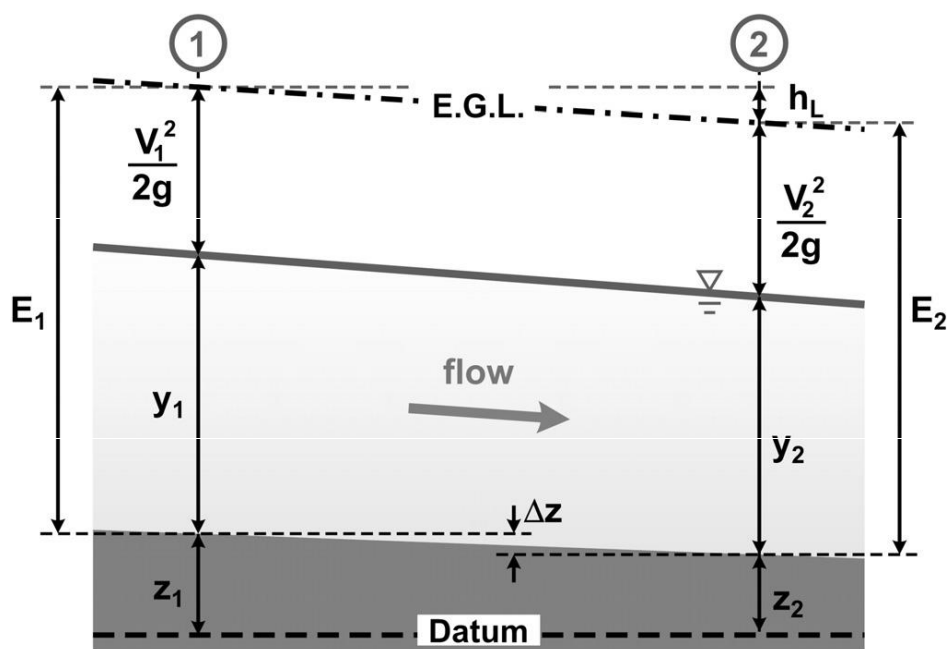
$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$Z_1 + E_1 = Z_2 + E_2 + h_L \quad (23)$$

ซึ่งหากนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพการไหลในช่วงสั้น ๆ จะได้ว่า

$$Z_2 + Z_1 = E_1 - E_2 - h_L$$



รูปที่ 2.6 พลังงานงานจำเพาะของการไหลในทางน้ำเปิด

ที่มา: <http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Thandon/FluidMechanics.pdf>

จากข้างต้นพลังงานจำเพาะ (E) ประกอบขึ้นจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลและของไหลโดยเฉพาะ ดังนั้นหากนำมาวิเคราะห์กับการไหลในทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง จะได้ว่า

เมื่อกำหนดให้ $q = \frac{Q}{B}$ (อัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง)

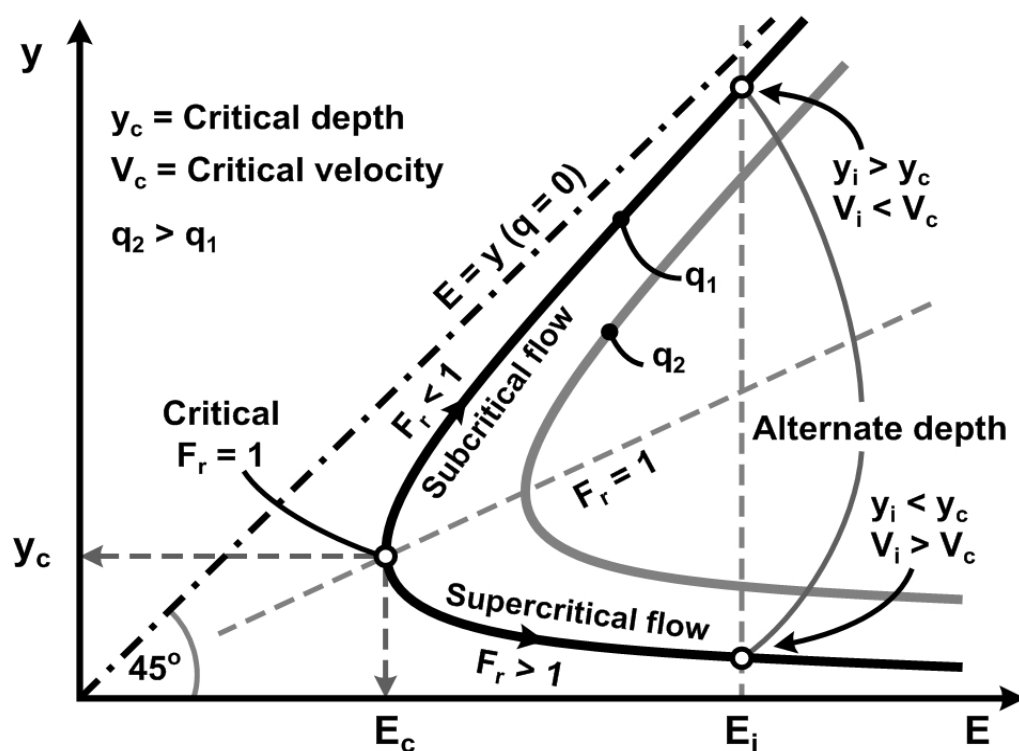
$$q = \frac{VA}{B} = Vy$$

$$V = \frac{q}{y} \quad (24)$$

จากสมการ $E = y + \frac{V^2}{2g}$

$$E = y + \frac{q^2}{2gy^2} \quad (25)$$

จาก q คงที่ ดังนั้นหากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง E กับ y พบว่ากราฟความสัมพันธ์จะเป็นรูป Hyperbola ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจำเพาะกับความลึกของการไหลในทางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก
ที่มา: <http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Thandon/FluidMechanics.pdf>

จากความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจำเพาะกับความลึกของการไหลจะเห็นว่า ที่ระดับพลังงานจำเพาะหนึ่ง ๆ ค่าความลึกของการไหลสามารถเป็นไปได้สองค่า (Alternate Depth) ดังรูปที่ 2.7 แต่จะมีเพียงจุดเดียวเท่านั้นที่ค่าพลังงานจำเพาะสัมพันธ์กับค่าความลึกเพียงหนึ่งค่า เราเรียกจุดนี้ว่า การไหลวิกฤต (Critical Flow) ซึ่งเราจะเรียกค่าความลึก และพลังงานจำเพาะที่จุดนี้ว่า ความลึกวิกฤต

(Critical Depth : y_c) และพลังงานจำเพาะที่จุดวิกฤต (Critical Specific Energy : E_c) ตามลำดับ ในกรณีที่การไหลมีค่าความลึกมากกว่าความลึกวิกฤต ($y > y_c$) ซึ่งความเร็วของการไหลจะต่ำกว่าความเร็วที่จุดวิกฤต ($V < V_c$) เราจะเรียกการไหลลักษณะนี้ว่า การไหลต่ำกว่าวิกฤต (Subcritical Flow) ในทางตรงกันข้ามการไหลมีค่าความลึกน้อยกว่าความลึกวิกฤต ($y < y_c$) ซึ่งความเร็วของการไหลจะมากกว่าความเร็วที่จุดวิกฤต ($V > V_c$) เราจะเรียกการไหลลักษณะนี้ว่า การไหลเหนือวิกฤต (Supercritical Flow) จากสมการที่ 25 หากเราพิจารณาอนุพันธ์ของพลังงานจำเพาะเทียบกับความลึกจะได้ว่า

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{q^2}{gy^3} \quad (26)$$

จากสมการที่ 26 ที่จุดวิกฤต ค่าอนุพันธ์ของพลังงานจำเพาะเทียบกับความลึกจะมีค่าเท่ากับ 0 ฉะนั้นเมื่อแทนค่า $y = y_c$ จะทำให้ $\frac{dE}{dy} = 0$ จึงได้ว่า

$$0 = 1 - \frac{q^2}{gy_c^3}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (27)$$

จากสมการที่ (8) ความลึกชลศาสตร์ของการไหลในทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก จะมีค่าเท่ากับกับค่าความลึกของการไหล ($D = y$) เมื่อแทนค่าในสมการที่ 27 จะได้ว่า

$$D_c = \sqrt[3]{\frac{(VD_c)^2}{g}}$$

$$1 = \frac{V}{\sqrt{gD_c}} = \frac{V}{\sqrt{gy_c}} = F_r \quad (28)$$

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ที่สภาวะการไหลแบบวิกฤติ ค่าฟรูด์นัมเบอร์จะมีค่าเท่ากับ 1 หากพิจารณาที่สภาวะการไหลต่ำกว่าวิกฤตซึ่ง $y < y_c$ และ $V > V_c$ จะส่งผลให้ $F_r < 1$ หรือสรุปได้ว่าที่สภาวะการไหลต่ำกว่าวิกฤติ ฟรูด์นัมเบอร์จะมีค่าน้อยกว่า 1 และหากพิจารณาที่สภาวะการไหลเหนือวิกฤตซึ่ง $y > y_c$ และ $V < V_c$ จะส่งผลให้ $F_r > 1$ หรือสรุปได้ว่าที่สภาวะการไหลเหนือวิกฤติค่าฟรูด์นัมเบอร์จะมีค่ามากกว่า 1

ในการวิเคราะห์ปัญหาการไหลแปรเปลี่ยนแบบฉับพลันแต่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Steady Rapidly Varied Flow) เราสามารถนำหลักการของพลังงานจำเพาะมาใช้ในวิเคราะห์ปัญหาได้ โดยคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ จากสมการ และตรวจสอบสภาวะการไหลที่ตำแหน่งต่าง ๆ ด้วยการวิเคราะห์จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจำเพาะกับความลึก

2.1.4.7 ชลศาสตร์ของทางเข้าจากอ่างเก็บน้ำเข้าไปในทางน้ำเปิด

มักมีคำถามว่าน้ำที่ไหลเข้ามีอัตราการไหลเท่าไร ซึ่งถ้าหากบริเวณทางเข้ามีประตูน้ำหรือเครื่องมืออื่น ๆ ในการปรับอัตราการไหลก็จะรู้อัตราการไหลเข้า แต่ในกรณีที่ไม่มีโครงสร้างทางชลศาสตร์ควบคุมการไหลของกระแสน้ำไม่มีโครงสร้างทางชลศาสตร์ควบคุมการไหลของกระแสน้ำจากอ่างเก็บน้ำจากอ่างเก็บน้ำเข้าไปในทางน้ำเปิดก็จะเป็นการไหลตามธรรมชาติของน้ำ คือการไหลจากบริเวณที่มีพลังงานสูงไปสู่พลังงานต่ำ

ถ้าเป็นทางน้ำเปิดที่มีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าและความลาดชัน (Steep Slope) จะทำให้บริเวณทางเข้าเป็นบริเวณควบคุมอัตราการไหลและกระแสน้ำจะค่อย ๆ ลดระดับลงจากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำผ่านความลึกวิกฤต (y_c หาได้จาก 2 ใน 3 ส่วนของพลังงานจำเพาะ H_0) จากนั้นกระแสน้ำจะค่อย ๆ ปรับตัวเป็นเส้นผิวในลักษณะโค้งงายเข้าหาปกติ ในกรณีนี้สามารถหาอัตราการไหลจากเฮดน้ำในอ่างเก็บน้ำโดยที่มีความลาดท้องน้ำไม่ได้ช่วยการไหลไม่มากนัก

ถ้าความลาดทางน้ำเปิดเป็นความลาดน้อยจะทำให้ทั้งบริเวณทางเข้าหรือเฮดเหนือน้ำและผลของแรงเสียดทานระหว่างกระแสน้ำกับผนังของทางเปิดมีส่วนในการควบคุมอัตราการไหล ซึ่งสามารถหาอัตราการไหลได้โดยวิธีคำนวณซ้ำ (Iterative Procedure) กล่าวคือ เมื่อรู้ความกว้างและวัสดุที่เป็นทางน้ำเปิดก็ให้สมมติความลึกน้ำที่มากกว่า y_c แล้วแทนค่าเข้าไปในสมการของแมนนิ่งจะได้อัตราการไหล จากนั้นจึงคำนวณหาความเร็วและเฮดของความเร็ว แล้วนำเฮดของความเร็วไปบวกกับความลึกที่สมมติจะได้พลังงานจำเพาะ ซึ่งถ้าพลังงานจำเพาะที่คำนวณได้นี้เท่ากับ H_0 ก็ให้สมมติความลึกใหม่แล้วคำนวณตามวิธีการดังกล่าวจนกว่าจะได้พลังงานจำเพาะเท่ากับ H_0 จึงจะได้อัตราการไหลตามต้องการ ในการคำนวณที่กล่าวมานี้จะสมมติว่าไม่มีการสูญเสียพลังงานที่ทางเข้า ซึ่งได้มีการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นจะต้องปรับแก้วิธีการดังกล่าวโดยคิดพลังงานจำเพาะที่ทางเข้าให้มีค่าน้อยกว่าเฮดน้ำในอ่างเก็บน้ำ

2.1.4.8 ช่วงการเปลี่ยนแปลงของทางน้ำเปิด (Channel Transitions)

ช่วงการเปลี่ยนแปลงของทางน้ำเปิดจะใช้เชื่อมทางน้ำเปิดที่มีรูปร่างและขนาดต่างกันเพื่อหลีกเลี่ยงการไหลที่ไม่แน่นอน และให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด ในกรณีการไหลได้วิกฤตมักจะใช้ช่วงการเปลี่ยนแปลงน้ำเป็นแนวเส้นตรง โดยมีมุมเบี่ยงเบน 12.5 องศา ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด $0.1\Delta h_v$ สำหรับทางน้ำที่จะบีบตัวลง (Channel Contraction) และ $0.2\Delta h_v$ สำหรับทางน้ำที่ขยายหน้าตัด (Channel Expansion) โดยที่ Δh_v คือ การเปลี่ยนแปลงหัวความเร็ว (Change in Velocity Head) ในช่วงการเปลี่ยนแปลง

สำหรับแม่น้ำธรรมชาติที่มีหน้าตัดทางน้ำเปลี่ยนแปลงคงที่จากหน้าตัดหนึ่งไปยังอีกหน้าตัดอื่น สามารถหาการสูญเสียพลังงานได้ดังสมการ

$$\text{การสูญเสียพลังงาน } H_L = C_L \left[\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right] \quad (29)$$

เมื่อ V_1 และ V_2 คือ ความเร็วเฉลี่ยที่หน้าตัด 1 และหน้าตัด 2 ตามลำดับ

C_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงาน หาได้จากตารางที่ 2. 7

ตารางที่ 2.7 สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานในช่วงการเปลี่ยนแปลงการไหลในแม่น้ำธรรมชาติ

คุณลักษณะของหน้าตัด	สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงาน	
	การขยายหน้าตัด	การบีบหน้าตัด
มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ (Gradual Transition)	0.3	0.1
การเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด (Abrupt Transition)	0.8	0.6

ที่มา: กิรติ สิวังกุล. 2539. วิศวกรรมชลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. จังหวัดปทุมธานี

สำหรับทางน้ำเปิดที่มีการเปลี่ยนแปลงจากหน้าตัดรูปสามเหลี่ยมคางหมูไปเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ถ้าใช้รูปร่างของการเปลี่ยนแปลงแบบเลี้ยวทรงกระบอกจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด

เมื่อค่า ฟรูดเบอร์ ($F_r = \frac{V}{\sqrt{gy}}$) ที่หน้าตัดทางท้ายน้ำน้อยกว่า 0.5

2.1.4.9 การวัดอัตราการไหลในทางน้ำเปิด (Measurement of Flow in Open Channel)

ในแม่น้ำหรือคลองธรรมชาติขนาดใหญ่ สามารถหาอัตราการไหลได้โดยใช้เครื่องมือวัดกระแสน้ำ (Current Meter) พร้อมกับเครื่องมือหยั่งความลึกของน้ำที่จุดต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นสายเทป หรือเครื่องมือวัดความลึกด้วยระบบคลื่นเสียงสะท้อน โดยหลักการหาอัตราการไหลจะเป็นการแบ่งพื้นที่ย่อยของทางน้ำเปิดแล้วหาความเร็วเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย จากนั้นหาอัตราการไหลในแต่ละพื้นที่ย่อยของทางน้ำเปิด แล้วจึงรวมเป็นอัตราการไหลผ่านหน้าตัดน้ำที่ต้องการ

สำหรับในทางน้ำเปิดขนาดเล็ก ก็มีวิธีการวัดอัตราการไหลได้หลายวิธี ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การก่อสร้างหรือติดตั้งฝายวัดน้ำ (Weirs) รางวัดน้ำ (Measuring Flumes) และประตูน้ำแบบไหลลอด โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือแต่ละชนิดดังต่อไปนี้

(1) ฝายวัดน้ำ (Weirs)

ฝายวัดน้ำอาจจะจำกัดความได้ว่าเป็นอาคารวัดน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อขวางกั้นทางน้ำเพื่อไม่ให้ไหลผ่านช่องเปิดที่ทำไว้ตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งเป็นผลให้อัตราการไหลข้ามสัมพันธ์กับความลึกของน้ำเหนือระดับสันฝายเป็นเกณฑ์ที่แน่นอนตายตัว

ฝายวัดน้ำที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปเป็นฝายสันคม (Sharp Crested) ฝายสันคมที่ใช้กันอยู่จะเรียกชื่อตามลักษณะช่องเปิดที่น้ำไหลผ่าน เช่น เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมคางหมู สามเหลี่ยม สำหรับฝายประเภทสี่เหลี่ยมผืนผ้านั้นยังแบ่งออกเป็นแบบไม่บีบข้าง คือความยาวของสันฝายเท่ากับความกว้างของทางน้ำซึ่งเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าเช่นเดียวกัน และแบบไม่บีบข้าง ซึ่งช่องเปิดให้น้ำไหลผ่านแคบกว่าความกว้างทางน้ำผ่าน อีกสองประเภทที่เหลือคือแบบสี่เหลี่ยมคางหมูและสามเหลี่ยมเป็นแบบบีบข้างทั้งสองประเภท

การคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายวัดน้ำ สูตรสำหรับคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายที่จะกล่าวต่อไปนี้จะถือว่าลักษณะการติดตั้งฝายเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ในกรณีที่สภาพวัดในสนามไม่ตรงตามเกณฑ์นี้ถือว่าสูตรและตารางที่ให้ไว้เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น

1) ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้าง (Suppressed Rectangular Weir) ซึ่งเป็นแบบสันฝายยาวเต็มความกว้างของทางน้ำเปิดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสม่ำเสมอตลอดจนพื้นที่น้ำไหลตกลงมา การใช้ฝายแบบนี้จำเป็นต้องมีท่ออากาศต่อลงไปได้ผืนน้ำเพื่อไม่ให้ตกจากสันฝาย มิฉะนั้นจะเกิดสุญญากาศและทำให้น้ำไหลลู่ติดผนังฝายด้านท้ายน้ำการวัดก็จะผิดพลาด อัตราการไหลผ่านฝายชนิดนี้คำนวณโดยสูตร

$$Q = 0.01838LH^{2/3} \quad (30)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลผ่านฝายมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที

L คือ ความยาวของสันฝายมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

H คือ เสดหรือความลึกของน้ำเหนือสันฝายมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

ในกรณีที่กระแสน้ำในทางน้ำมากกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที ความเร็วดังกล่าวจะช่วยให้ น้ำไหลข้ามฝายเร็วขึ้น ดังนั้นต้องนำเอาเสดความเร็ว (Velocity Head) ของน้ำมาพิจารณาด้วย เสดความเร็วนี้คำนวณโดยสูตร

$$h = \frac{V^2}{2g} \quad (31)$$

เมื่อ h คือ เสดความเร็วมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำหน้าฝายมีหน่วยเป็นเซนติเมตรต่อวินาที

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมีหน่วยเป็นเซนติเมตรต่อวินาที²

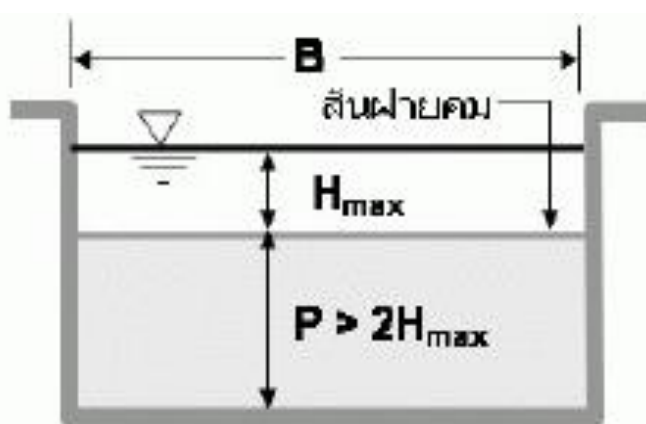
จากนั้นอัตราการไหลคำนวณโดยสูตร

$$Q = 0.01838L \left[(H + h)^{3/2} - h^{3/2} \right] \quad (32)$$

การใช้สูตรที่ (30) และ (32) มีข้อจำกัดดังนี้คือ

1. สันฝายจะต้องอยู่กว้างกว่าพื้นที่ทางน้ำไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร

2. อัตราส่วนระหว่างเฮด (H) ต่อความสูงของสันฝายเหนือพื้นท้องน้ำจะต้องไม่เกิน 0.5
3. ฝายวัดน้ำชนิดนี้วัดได้ถูกต้องดีสำหรับเฮดไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตรและไม่เกิน $1/2$ ของความยาวของสันฝายหรือ 60 เซนติเมตร
4. ความยาวของสันฝายควรกำหนดโดยให้เกิดเฮดใกล้เคียงกับค่าเฮดสูงสุดที่ยอมให้สำหรับอัตราการไหลที่ต้องการวัด อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าชนิดไม่บีบข้างเมื่อความยาวของสันฝายเท่ากับ 1.0 เมตร และไม่คิดเฮดความเร็ว



รูปที่ 2.8 ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้าง

ที่มา: <https://www.scribd.com/doc/87013579/A1-2555>

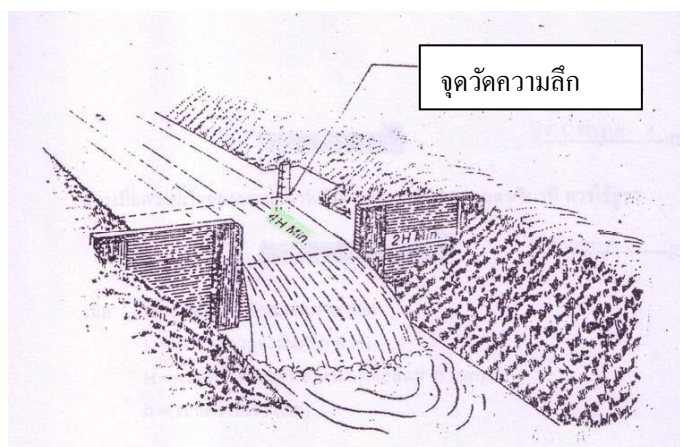
2) ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบีบข้าง (Contracted Rectangular Weir) เป็นฝายซึ่งมีช่องทางน้ำไหลผ่านเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเช่นเดียวกันกับแบบแรก แต่ไม่เต็มความกว้างของทางน้ำ กล่าวคือ มีกำแพงยื่นออกมาทั้งสองข้างทำให้น้ำไหลผ่านแคบเข้า กำแพงแต่ละข้างที่ยื่นออกมาเมื่อวัดที่ผิวน้ำเป็นความยาวไม่น้อยกว่าสองเท่าของเฮด

อัตราการไหลผ่านฝายชนิดนี้เมื่อไม่คิดเฮดความเร็ว (Velocity Head) เมื่อความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำหน้าฝายน้อยกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที คือ

$$Q = 0.01838[(L - 0.2H)H^{3/2}] \quad (33)$$

และอัตราการไหลผ่านฝายเมื่อความเร็วของกระแสน้ำมากกว่า 0.30 เมตรต่อวินาทีคือ

$$Q = 0.01838(L - 0.2H)[(H + h)^{3/2} - h^{3/2}] \quad (34)$$

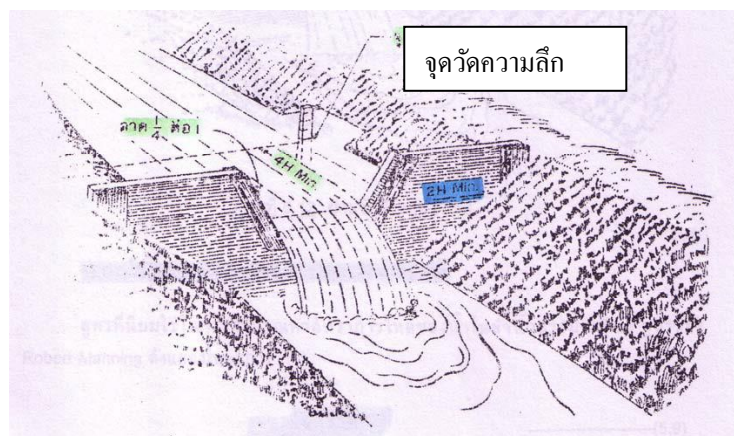


รูปที่ 2.9 ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบิบบ้าง

ที่มา: <http://202.129.59.73/wm/Water/WATER82/water82.pdf>

สัญลักษณ์และข้อจำกัดในการใช้สูตรทั้งสองนี้ยังคงเหมือนกับฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บิบบ้างของหัวข้อที่แล้ว ข้อที่ควรสังเกตคือ เมื่อแทนค่าความยาวของสันฝาย L ในสมการ (30) และ (32) ด้วย $(L-0.2H)$ ก็จะเปลี่ยนสูตรสำหรับการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าไม่บิบบ้างมาเป็นบิบบ้าง ดังนั้น เราอาจใช้ตาราง ซึ่งเป็นอัตราการไหลผ่านฝายแบบไม่บิบบ้างที่มีความยาวของฝายเท่ากับ 1.0 เมตร มาคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายบิบบ้างได้โดยการคูณค่าที่อ่านได้จากตารางเมื่อเฮดเท่ากันด้วยค่า $(L-0.2H)$ มีหน่วยเป็นเมตร ก็จะได้อัตราไหลผ่านฝายบิบบ้าง

3) ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Cipolletti หรือ Trapezoidal Weir) เป็นฝายแบบบิบบ้างที่ช่องเปิดให้น้ำไหลผ่านเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สันฝายด้านล่างอยู่ในแนวระดับราบ สันฝายด้านข้างเอียงออกโดยมีความลาดเทด้านราบ 1 ส่วน ด้านตั้ง 4 ส่วน



รูปที่ 2.10 ฝายสี่เหลี่ยมคางหมูประเภทบิบบ้าง

ที่มา: <http://202.129.59.73/wm/Water/WATER82/water82.pdf>

อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมูเมื่อไม่คิดเฮดความเร็ว ซึ่งใช้เมื่อความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายน้อยกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที คือ

$$Q = 0.01859 LH^{3/2} \quad (35)$$

และเมื่อความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายมากกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที ควรใช้สูตร

$$Q = 0.0185 L(H + 1.5h)^{3/2} \quad (36)$$

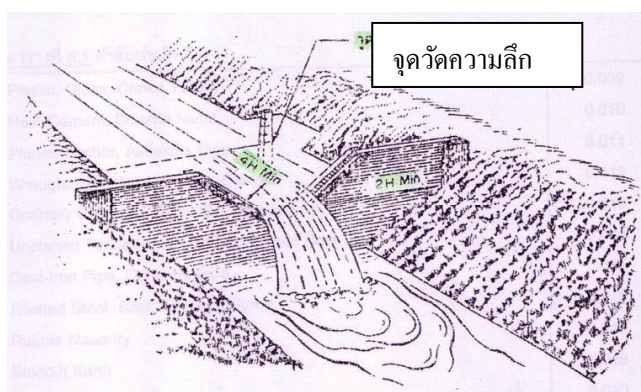
สัญลักษณ์ที่ใช้ในสมการ (35) และ (36) ยังคงเหมือนเดิมคือ Q เป็นอัตราการไหลผ่านฝายมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที L เป็นความยาวของสันฝายมีหน่วยเป็นเมตร H เป็นเฮดหรือความลึกของน้ำเหนือสันฝายเป็นเซนติเมตร เป็นเฮดความเร็วเป็นเซนติเมตร

อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมูสำหรับความยาวของสันฝายขนาดต่าง ๆ เมื่อคำนวณโดยไม่คิดเฮดความเร็ว

ข้อจำกัดในการใช้ฝายสี่เหลี่ยมคางหมูนี้ก็เหมือนกับสี่เหลี่ยมผืนผ้าสองแบบที่กล่าวข้างต้น

1. สันฝายด้านล่างและด้านข้างจะต้องสูงกว่าพื้นท้องน้ำและตลิ่งไม่น้อยกว่าสองเท่าของเฮด
2. ฝายชนิดนี้ให้ความละเอียดถูกต้องในการวัดดีเมื่อเฮดไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตรและไม่เกิน $\frac{1}{2}$ ของความยาวสันฝาย

4) ฝายสามเหลี่ยม (Triangular or V-notch Weir) เป็นฝายประเภทบีบข้างที่ช่องเปิดน้ำไหลผ่านเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก โดยสันฝายทั้งสองข้างทำมุม 45 องศากับแนวดิ่ง



รูปที่ 2.11 ฝายสามเหลี่ยมประเภทบีบข้าง

ที่มา: <http://202.129.59.73/wm/Water/WATER82/water82.pdf>

อัตราการไหลผ่านฝายสามเหลี่ยมคำนวณได้จากสมการ

$$Q = 0.0138H^{5/2} \quad (37)$$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลผ่านฝายมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที และ H เป็นเฮดหรือความลึกของน้ำเหนือสันฝายเป็นเซนติเมตร ฝายสามเหลี่ยมเป็นฝายวัดอัตราการไหลของน้ำที่ให้ความละเอียดถูกต้องดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอัตราการไหลน้อย ๆ ฝายชนิดนี้เป็นฝายแบบบิพซัง ดังนั้นสันฝายจะอยู่ห่างจากตลิ่ง และจุดปลายยอดของสามเหลี่ยมจะต้องอยู่สูงกว่าพื้นท้องน้ำไม่น้อยกว่าสองเท่าของเฮด

เนื่องจากว่าฝายสามเหลี่ยมนี้ไม่มีสันฝายในแนวราบ ดังนั้น เฮดจึงต้องมีค่ามากกว่าฝายแบบอื่น ๆ เมื่ออัตราการไหลเท่า ๆ กัน การมีเฮดแบบนี้จะช่วยให้ น้ำไหลผ่านฝายอย่างอิสระไม่ลู่ติดกับสันฝาย ทำให้วัดอัตราการไหลน้อย ๆ ให้ถูกต้องกว่าแบบอื่น

(2) รางวัดน้ำ

รางวัดน้ำเป็นอาคารวัดน้ำที่สร้างขึ้นหรือติดตั้งไว้ทางน้ำโดยแนวศูนย์กลางตามยาวของรางกับน้ำทับกันแต่ขนาดของรางน้ำจะถูกบีบให้แคบกว่าด้านผนังของรางทั้งสองข้าง หรือด้วยยกพื้นรางให้สูงขึ้นหรือทั้งสองอย่าง เพื่อให้อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความลึกของน้ำในรางน้ำนั้น

ทฤษฎีทางชลศาสตร์ที่ใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบรางน้ำ คือ ทำให้ความเร็วของกระแสน้ำขณะไหลเข้ามาในรางเพิ่มขึ้นโดยการบีบทางน้ำให้แคบเข้า จนกระทั่งได้ความเร็ววิกฤตหรือเร็วกว่าบริเวณส่วนที่แคบที่สุด แล้วฝายออกจนกระทั่งการไหลเป็นไปอย่างปกติอีกครั้ง ตามหลักการข้างต้น อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำจะคำนวณได้จากสมการ

$$Q = KH^n \quad (38)$$

เมื่อ Q เป็นอัตราการไหลผ่านฝายมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที และ H เป็นเฮดหรือความลึกของน้ำเหนือสันฝายเป็นเซนติเมตร K เป็นสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างและลักษณะของราง n เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของรางเช่นเดียวกันกับค่า K ค่า และ ค่า K ของรางน้ำชนิดต่าง ๆ จะได้จากการทดลองวัดจริงตามสภาพการติดตั้งที่กำหนด

(3) การวัดความเร็วของกระแสน้ำ

อัตราการไหลของน้ำในทางน้ำอาจจะหาได้จากผลคูณของพื้นที่หน้าตัดของน้ำกับความเร็วยเฉลี่ยของกระแสน้ำในทางน้ำนั้น กล่าวคือ $Q = AV$

การหาพื้นที่หน้าตัดของน้ำอาจจะทำได้โดยการชิงเชือกกันตั้งฉากกับทางน้ำ แล้ววัดความลึกที่จุดต่าง ๆ ตามแนวเชือกที่ชิงไว้เป็นระยะทางเท่า ๆ กัน นับจากจุดที่น้ำสัมผัสกับตลิ่งด้านใดด้านหนึ่งจนได้ความลึกตลอดความกว้างของทางน้ำ

เมื่อทราบความลึกของน้ำที่จุดต่าง ๆ แล้ว พื้นที่หน้าตัดของน้ำก็หาได้จากผลรวมของพื้นที่ย่อยระหว่างจุดที่ทำการวัดความลึก พื้นที่ย่อยเหล่านี้จะหาได้โดยสูตรคำนวณที่สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมคางหมู

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n \quad (39)$$

1) การวัดความเร็วของกระแสน้ำโดยใช้ทุ่นลอย การวัดความเร็วของกระแสน้ำโดยเทียบกับความเร็วของทุ่นลอยเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่ให้ค่าความเร็วโดยประมาณ ทุ่นลอยที่ใช้มีทั้งเป็นทุ่นที่ผิวน้ำและท่อซึ่งลอยในแนวตั้งโดยมีปลายด้านหนึ่งจมลงไปทุ่นระดับความลึกต่าง ๆ สำหรับทุ่นผิวน้ำนั้นความเร็วของทุ่นที่วัดได้มิใช่ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ ถ้าต้องการหาความเร็วเฉลี่ยจะต้องคูณความเร็วของทุ่นลอยด้วยสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 สัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำ

ความลึกของน้ำ- เมตร	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80	2.70	3.60	4.50	6.00
สัมประสิทธิ์	0.66	0.68	0.70	0.72	0.74	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80

ที่มา: วิบูลย์ บุญยธโรกุล. 2526. หลักการชลประทาน. โรงพิมพ์เอเชีย. กรุงเทพฯ

เนื่องจากว่าความเร็วของทุ่นผิวน้ำนั้นจะอยู่ใต้อิทธิพลของลมได้ง่าย ดังนั้นจึงควรใช้ในขณะที่ลมสงบเท่านั้น สำหรับทุ่นลอยที่เป็นท่อซึ่งมีความยาว 90 เซนติเมตรของความลึกของน้ำอาจถือว่าลอยไปด้วยความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ แต่ทุ่นแบบนี้จะใช้วัดได้เฉพาะตอนกลางของทางน้ำเท่านั้นนอกจากนั้นทุ่นอาจจะดูดหรือครูดไปกับพื้นท้องน้ำได้ถ้าหากความลึกของน้ำไม่สม่ำเสมอ

ตำแหน่งที่จะวัดความเร็วของกระแสน้ำโดยวิธีนี้ควรเป็นแนวตรง และพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอเป็นแนวยาวพอสมควรซึ่งเชือกขวางกันตั้งฉากกับลำน้ำในช่วงนี้ 2 แนว ให้อยู่ห่างกัน 20-30 เมตรหรือมากกว่าหย่อนทุ่นลอยด้านเหนือน้ำห่างจากแนวเส้นเชือก 2-3 เมตรเพื่อให้ทุ่นปรับตัวเข้ากับกระแสน้ำก่อนที่จะเข้าจุดเริ่มทำการวัด จากนั้นจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา คำนวณความเร็วของทุ่น และความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดไว้ในตาราง 2.8

เพื่อให้ได้อัตราการไหลที่ถูกต้อง ควรแบ่งน้ำออกเป็นสามส่วนอย่างน้อย และวัดความเร็วเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่หน้าตัดของแต่ละส่วนคูณกันออกมาเป็นอัตราการไหล ความเร็วของทุ่นลอยน้ำควรวัดซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง

2) การวัดความเร็วของกระแสน้ำด้วยเครื่องวัด การวัดความเร็วของกระแสน้ำด้วยเครื่องวัดเพื่อนำไปใช้คำนวณอัตราการไหลนั้น ส่วนใหญ่จะใช้กับทางน้ำขนาดใหญ่ซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้ฝายหรือรางวัดน้ำ

เครื่องมือที่วัดความเร็วของกระแสน้ำที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปมีอยู่ 2 แบบคือ แบบที่วัดโดยใช้ถ้วยคล้ายกรวยแต่ไม่มีรู (Cut Type) และวัดโดยใช้ใบพัด (Propeller Type) รูปร่างลักษณะของเครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำของทั้งสองแบบนี้

ในการใช้เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ ถ้าน้ำไม่ลึกนักเครื่องวัดจะติดตั้งอยู่บนท่อนเหล็กซึ่งใช้หยั่งความลึกของลำน้ำได้ด้วย แต่ถ้าน้ำลึกมากไม่สามารถใช้คนจับท่อนเหล็กลงไปวัดได้ เครื่องวัดจะแขวนไว้ด้วยลวดสลิงแล้วหย่อนลงไปในน้ำในระดับความลึกที่ต้องการวัดน้ำ เมื่อถ้วยหรือใบพัดหมุนด้วยความเร็วของกระแสน้ำ เครื่องวัดจะส่งสัญญาณมาเข้าหูฟังที่ผู้ทำการวัดสวมอยู่ จำนวนครั้งของสัญญาณในหนึ่งหน่วยเวลาที่นับได้ก็จะนำไปเทียบเป็นความเร็วของกระแสน้ำได้โดยใช้กราฟหรือตารางที่บริษัทผู้ผลิตทำไว้ให้

การหาอัตราการไหลในทางน้ำโดยวิธีนี้ จะเริ่มโดยการแบ่งพื้นที่หน้าตัดของทางน้ำออกเป็นส่วน ๆ แล้ววัดความเร็วเฉลี่ยที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่ย่อย ๆ เหล่านั้น เช่น ถ้าเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าก็วัดความเร็วที่กึ่งกลางพื้นที่ ถ้าเป็นสามเหลี่ยมก็วัดที่ $\frac{1}{3}$ จากฐาน ผลรวมของผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดของน้ำกับความเร็วเฉลี่ยในส่วนนั้นครอบคลุมทุกพื้นที่ย่อยจะเป็นอัตราการไหลในทางน้ำนั้น

3) เครื่องมือวัดความเร็วของการไหลของน้ำ FP101-102



รูปที่ 2.12 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102

วิธีการทดลอง

1. Calibration

- 1.1 กดปุ่ม S ที่ด้านหลังของมิเตอร์เพื่อเลือกฟังก์ชันการ Calibration
- 1.2 กด Bottom Button เพื่อเข้าสู่ฟังก์ชันการ Calibration Set (WS)
- 1.3 กด Top Bottom เพื่อเลือกตั้งค่า Calibration ไปที่ 0.016
- 1.4 กด Bottom Button เพื่อตั้งค่า
- 1.5 กดปุ่ม S ที่ด้านหลังของมิเตอร์เพื่อออกจากการ Calibration

2. นำเครื่องลงไปวัดค่าในแหล่งน้ำโดยถือส่วนหัวในแนวตั้งและให้ส่วนท้ายของเครื่องอยู่ในระดับน้ำที่ต้องการ

3. แล้วอ่านค่าที่ได้เมื่อค่าคงที่

คุณสมบัติเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102

1. สามารถเลือกแสดงหน่วยการวัดได้เป็น ft/sec หรือ m/sec

2. มีหน่วยความจำ 30 หน่วย สำหรับเรียกดูในภายหลัง

3. ตัวเครื่องกันฝน (Rain Proof)

4. ความแม่นยำสูง

5. ใช้งานง่าย

6. มีระบบป้องกันตะกอนติดค้างในเครื่อง

7. น้ำหนักเบา

8. ทนทาน มั่นใจได้

9. ถือสะดวก เนื่องจากด้ามจับยาว

10. เหมาะสำหรับใช้ในการวัดอัตราการไหลของแม่น้ำ ท่อน้ำเสีย น้ำทิ้ง และอื่น ๆ อีกมากมาย

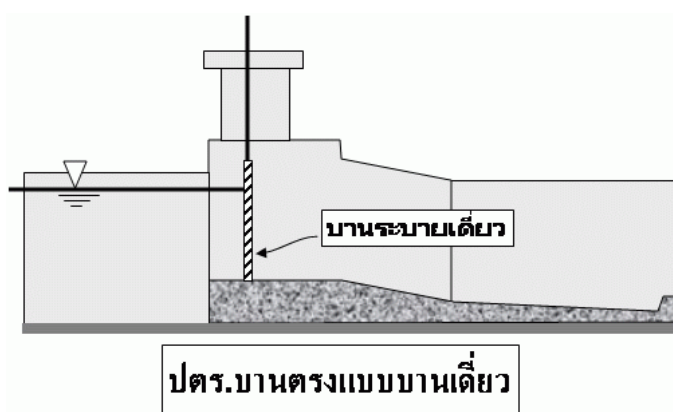
(4) การวัดน้ำผ่านประตูระบายน้ำ

การกำหนดให้ฝ่ายระบายน้ำ หรือประตูระบายน้ำเป็นอาคารชลศาสตร์ หลักที่ใช้ควบคุมปริมาณน้ำที่หัวงานนั้น เพราะต้องการให้สามารถระบายน้ำออกไปได้ปริมาณมาก ๆ รวมทั้งสามารถพร่องน้ำล่วงหน้าได้ เพราะธรณีของบานระบายกำหนดให้มีระดับต่ำ ๆ ซึ่งต่างจากฝายหรือทางระบายน้ำล้นที่ไม่มีบานระบายเป็นตัวควบคุมซึ่งมีระดับสันฝายอยู่สูงเท่ากับระดับน้ำเก็บกัก ในขณะที่มี Head การไหลไม่สูงมากนัก หากต้องการระบายน้ำปริมาณมาก ๆ สันฝายต้องยาว ส่วนการพร่องน้ำนั้นถ้าไม่มีท่อน้ำ ก็อาจทำได้โดยการใช้กาลักน้ำ (Siphon) ซึ่งไม่สะดวกฝายระบายน้ำและประตูระบายน้ำนั้นจะแตกต่างกันที่โครงสร้างลักษณะรูปแบบ แต่คุณสมบัติทางชลศาสตร์และการคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านบานระบายของอาคารดังกล่าวใช้หลักการไหลของน้ำผ่าน Orifice ขนาดใหญ่ ที่เป็นช่องเปิดบานระบายเหมือนกัน ประตูระบาย หรือ ปตร. เป็นอาคารชลศาสตร์ที่ทำหน้าที่ 2 ประการคือ ปิดกั้นเพื่อเก็บกักเพิ่มปริมาณน้ำหรือระดับน้ำในทางน้ำ และทำหน้าที่ควบคุมการระบายน้ำออกจากทางน้ำส่วนใหญ่

1. โครงการประตูระบายน้ำ ที่มี ปตร. เป็นอาคารหลักปิดกั้นในลำน้ำที่ไม่กว้างนัก เช่น ห้วย คลองชักน้ำ เป็นต้น โดยจะทำหน้าที่ปิดกั้นเพื่อเก็บกักเพิ่มระดับน้ำในลำน้ำ และระบายน้ำในช่วงฤดูน้ำหลากไม่ให้เกิดการเอ่อท่วมพื้นที่สองฝั่งลำน้ำ ทั้งนี้รวมทั้ง ปตร. ที่ทำหน้าที่ควบคุมป้องกันน้ำทะเลหนุนไหลย้อนเข้ามาในทางน้ำในช่วงเวลาน้ำขึ้นด้วย

2. เป็นอาคารประกอบของเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ เพื่อทำหน้าที่เก็บกัก และระบายควบคุมปริมาณน้ำของเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ
3. เป็นอาคารควบคุมปริมาณน้ำในระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำที่มีขนาดใหญ่ (ถ้าขนาดเล็กจะก่อสร้างเป็นท่อระบายน้ำ) ได้แก่ ปตร. ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ ปตร. ปากคลองซอย ปตร. ทดน้ำกลางคลอง และในกรณีทำหน้าที่ป้องกันน้ำจากด้านนอก เช่น จากลำน้ำธรรมชาติไม่ให้ไหลเข้ามาในระบบส่งน้ำหรือระบบระบายน้ำ ได้แก่ ปตร. ปลายคลองส่งน้ำ ปตร. ปลายคลองระบายน้ำ

ประเภทของประตูระบายน้ำ แบ่งตามชนิดของบานระบายที่ใช้ควบคุมปริมาณน้ำ เฉพาะที่นิยมสร้างในประเทศไทย ได้แก่ ประตูระบายควบคุมด้วยบานตรง (Vertical Lift Gate or Sluice Gate) แบ่งย่อยเป็นบานระบายขึ้นส่วนเดียวหรือบานเดี่ยว ฐานรองรับบานอาจอยู่ที่ระดับท้องน้ำหรือยกระดับสูงก็ได้



รูปที่ 2.13 บานระบายเดี่ยว

ที่มา: http://kmcenter.rid.go.th/kmc08/km_56/cko/news56_pramoht.pdf

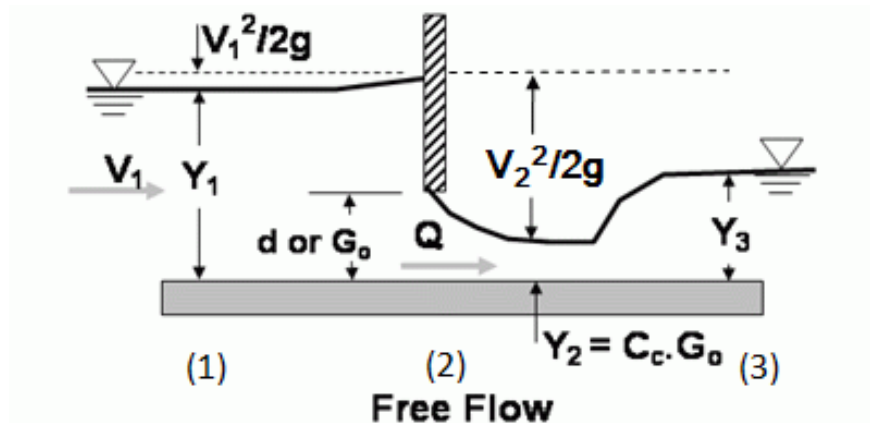
การคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านบานระบายของประตูระบายน้ำและฝายระบายน้ำ รูปแบบการไหลของน้ำผ่านบานระบาย อาจแบ่งย่อยได้เป็น 3 แบบ คือ

1. การไหลลอดบานระบายโดยเปิดบานระบายบางส่วน
2. การยกบานระบายพ้นน้ำ
3. การไหลข้ามบานระบาย

นอกจากนี้แต่ละรูปแบบการไหลยังแบ่งย่อยเป็น 2 ลักษณะการไหล คือ

1. การไหลแบบ Free Flow
2. การไหลแบบ Submerged Flow

1) การไหลลอดผ่านบานตรงแบบอิสระ (Free Flow) น้ำไหลลอดผ่านบานระบายแบบบานตรง สำหรับกรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำท้ายประตูมีระดับไม่สูงกว่าระดับท้องบานระบายที่ยกขึ้น เป็นการไหลของน้ำแบบอิสระที่ไม่อยู่ภายใต้การถูกบังคับ หรือต้านทานของการไหลของน้ำท้ายบานระบาย



รูปที่ 2.14 การไหลแบบ Free Flow ของบานระบายชนิดบานตรง

ที่มา: http://kmcenter.rid.go.th/kmc08/km_56/cko/news56_pramoht.pdf

การไหลของน้ำในกรณี Free Flow หากไม่คิดการสูญเสียในระบบ

จาก $E_1 = E_2$

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$Y_1 + \frac{q_1^2}{2gY_1^3} = Y_2 + \frac{q_2^2}{2gY_2^3} \quad (41)$$

จาก $Q = C_d L G_0 \sqrt{2gY_1} \quad (42)$

$$C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1 + C_c \left(\frac{G_0}{Y_1} \right)}} \quad (43)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านบานระบาย 1 ช่อง (เมตร³/วินาที)

C_d = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านบานระบาย

C_c = สัมประสิทธิ์การบีบตัวของหน้าตัดการไหลของน้ำ

G_0 = ระยะเปิดบาน (เมตร) อาจแทนค่าเป็นอย่างอื่น เช่น d หรือ W

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 เมตร/วินาที²

L = ความกว้างของบานประตู 1 ช่อง (เมตร)

Y_1 = ความลึกของน้ำด้านเหนือน้ำของบานประตู (เมตร)

Southwell R.V และ G. Valsey (1964) เสนอแนะว่าค่า C_c เท่ากับ 0.608

เมื่อ Y_2/Y_1 เท่ากับ 0.321

Benjamin T.B (1956) ได้วิเคราะห์และทดลองพบความสัมพันธ์ของค่า C_c

กับ G_0/Y_1 สรุปตามตารางที่ 2.9

ในทางปฏิบัติแล้วให้ใช้ $C_c = 0.61$ ซึ่งถือว่าเป็นค่าการบีบตัวของ Orifice

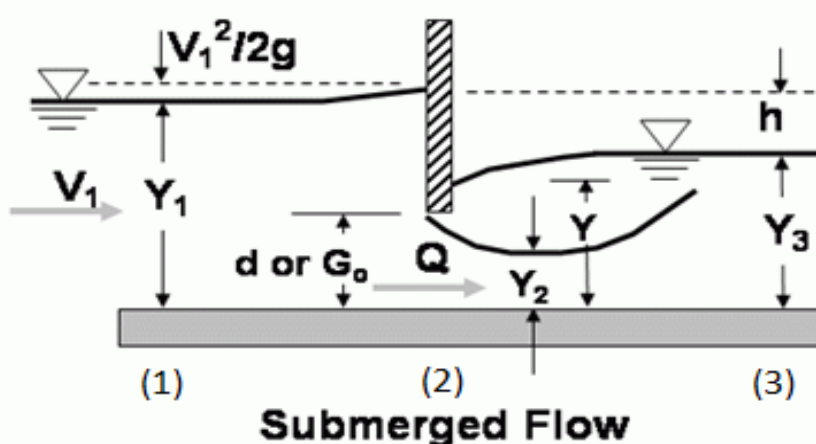
ตารางที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของค่า C_c กับ G_0/Y_1

G_0/Y_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
C_c	0.611	0.606	0.602	0.600	0.598	0.598

ที่มา: http://kmcenter.rid.go.th/kmc08/km_56/cko/news56_pramoht.pdf

2) การไหลลอดผ่านบานตรงแบบท่วมน (Submerged Flow) มีลักษณะการไหล

เมื่อเปิดบานระบายจะมีลำเจ็ทของน้ำพุ่งผ่านช่องบานระบายออกไปดังเช่นกรณีการไหลแบบ Free Flow แต่น้ำด้านท้ายที่มีระดับสูงจะย้อนกลับมาทับบนลำเจ็ทและระดับน้ำด้านท้ายจะสูงกว่าขอบล่างของบานระบาย การวิเคราะห์การไหลที่เกิดขึ้นจึงเหมือน กรณีการไหลแบบ Free Flow ที่กล่าวแล้วทุกประการ แต่ระดับน้ำเหนือลำเจ็ทจะทำให้การไหลไม่สะดวก นั่นคือระดับน้ำด้านท้ายมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลหรือค่า C_d



รูปที่ 2.15 การไหลแบบ Submerged Flow ของบานระบายชนิดบานตรง

ที่มา: http://kmcenter.rid.go.th/kmc08/km_56/cko/news56_pramoht.pdf

Y_2 เป็นความลึกจากลำเจ็ทของน้ำที่ไหลพุ่งลอดใต้บานระบายออกไปแบบ Supercritical Flow

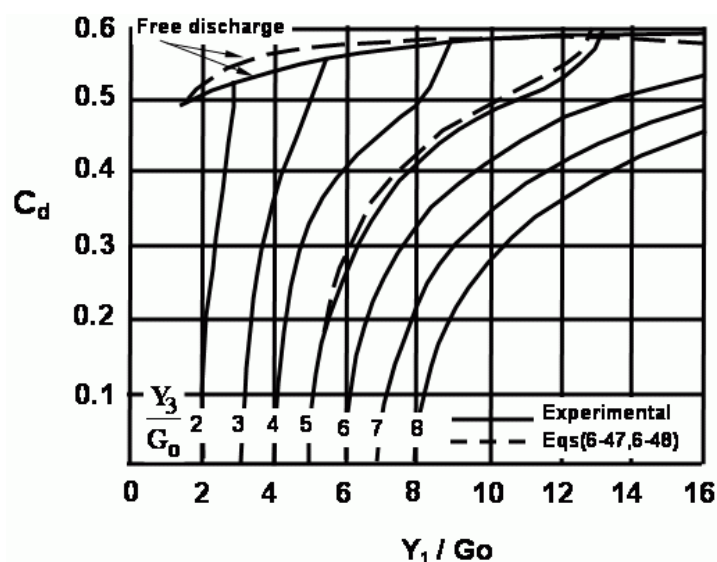
Y เป็นเฮดสถิตทั้งหมดที่หน้าตัด (2)

Y_3 เป็นความลึกที่ทำให้เกิด Hydraulic Jump

H.R. Henry ได้วิเคราะห์และทดลองพบว่าจากสมการ $Q = C_d L G_0 \sqrt{2gY_1}$ ค่า

C_d จะผันแปรไปตามค่า Y_1/G_0 และ Y_3/G_0 โดยได้สร้างกราฟความสัมพันธ์กรณีการไหลแบบ

Submerged และ Free Flow ของบานตรงดังรูปที่ 2.16 ซึ่งสมการที่ใช้ คือ $\frac{q^2}{gY_2} + \frac{Y^2}{2} = \frac{q^2}{gY_3} + \frac{Y_3^2}{2}$



รูปที่ 2.16 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของบานระบายบานตรงจากผลการทดลองของ Henry

ที่มา: http://kmcenter.rid.go.th/kmc08/km_56/cko/news56_pramoht.pdf

3) กรณีเปิดบานระบายพ้นน้ำ (Fully Gate Opening) ในการบริหารจัดการน้ำ ในช่วงฤดูน้ำหลากนั้นมักมีการพร่องน้ำไว้ล่วงหน้าในช่วงต้นฤดู แต่หากมีความจำเป็นต้องระบายน้ำปริมาณมาก ๆ นอกจากการพิจารณาถึงความปลอดภัยของหัวงานเป็นหลักแล้ว ต้องพิจารณาผลกระทบที่จะทำให้เกิดน้ำท่วมพื้นที่ด้านท้ายด้วยการระบายน้ำโดยการยกบานระบายพ้นผิวน้ำนั้นจะทำใน 2 กรณี คือ

1. โครงการประเพณีเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายน้ำที่ได้ออกแบบให้มีการระบายน้ำสูงสุดผ่านอาคารประตูระบายน้ำโดยการยกบานระบายพ้นน้ำ เพื่อให้การระบายน้ำมีอัตราสูงสุดซึ่งน้ำจะไหลในลำน้ำโดยอิสระเหมือนสภาพธรรมชาติเดิมของมัน โดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบทำให้น้ำท่วมพื้นที่

ด้านท้ายน้ำ ซึ่งการยกบานระบายพื้นน้ำจะทำเมื่อระดับน้ำด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำของอาคารมีระดับใกล้เคียงกัน กรณีเช่นนี้ถือเป็นการระบายน้ำตามปกติ

2. อาคารทั่ว ๆ ไปที่ไม่ได้ออกแบบให้มีการระบายน้ำผ่านประตูระบายโดยให้ยกบานระบายพื้นน้ำ เมื่อเกิดภาวะวิกฤติเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อหัวงาน ต้องระบายน้ำออกไปให้มากที่สุดซึ่งจำเป็นต้องมีการยกบานระบายพื้นน้ำ ซึ่งเป็นการแน่นอนว่าจะทำให้เกิดน้ำท่วมพื้นที่ด้านท้ายน้ำ กรณีเช่นนี้ต้องมีการประเมินสภาพการเกิดน้ำท่วมพื้นที่ดังกล่าว และต้องมีการประกาศแจ้งเตือนล่วงหน้าเมื่อมีการยกบานระบายพื้นน้ำ ขณะนั้นระดับน้ำด้านเหนือและท้ายอาคารมีระดับสูงมากกว่าระดับปกติ อาจเกือบถึงระดับตลิ่งจนถึงล้นข้ามตลิ่งออกไปจะเกิดการไหลหลายรูปแบบขึ้นกับลักษณะของฐานรองรับบานระบาย อัตราการไหล และระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ

(5) อาคารชลศาสตร์ประเภทท่อ

ในที่นี้หมายถึงอาคารชลศาสตร์ที่มีท่อความยาวสั้น ๆ เป็นส่วนประกอบหลัก ที่มักก่อสร้างไว้เป็นอาคารหลักของหัวงาน และอาคารในระบบส่งน้ำหรือระบบระบายน้ำ

1) อาคารหลักที่หัวงาน เป็นอาคารที่ทำหน้าที่ในการระบายน้ำที่เก็บกักไว้ออกไปจากหัวงาน (อ่างเก็บน้ำ เขื่อน ฝายทดน้ำ ประตูระบายน้ำ) ส่วนจะเป็นอาคารชนิดหรือประเภทใดขึ้นกับประเภทหัวงาน ซึ่งแบ่งกลุ่มอาคารตามวัตถุประสงค์ในการระบายน้ำได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ระบายน้ำเพื่อทิ้งลงลำน้ำด้านท้าย ได้แก่ ทางระบายน้ำล้นแบบไซฟอน (Siphon/Syphon Spillway) ทางระบายน้ำล้นแบบอุโมงค์ผิวน้ำ (Tunnel Spillway) ทางระบายน้ำล้นแบบท่อลอด (Culvert Spillway) อาคารทิ้งน้ำหรืออาคารส่งน้ำจากเขื่อน (Outlet Work) อาคารรับน้ำ (Intakes Structure) Bottom Drain ที่ประกอบอยู่กับทางระบายน้ำล้นแบบ Morning Glory ฯลฯ การระบายน้ำผ่านอาคารเหล่านี้นั้นเพื่อการพร่องน้ำลดระดับและปริมาณน้ำ หรือเพื่อรักษาระบบนิเวศน์ด้านท้ายน้ำ
2. ระบายน้ำเพื่อส่งเข้าระบบส่งน้ำหรือคลองส่งน้ำ ได้แก่ ท่อระบายน้ำปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ (Head Regulators) อาคารทางเข้า (Inlet Structure)

2) อาคารในระบบส่งน้ำหรือระบบระบายน้ำ ซึ่งอาจแบ่งย่อยตามหน้าที่ของอาคารได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

1. อาคารควบคุม

- 1.1 ท่อระบายน้ำปากคลอง (Head Regulators) (รวมถึงท่อระบายน้ำปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ที่เป็นอาคารหลักของหัวงานด้วย)
- 1.2 ท่อส่งน้ำเข้านา (Farm Turnout: FTO หรือ Farm Intake)
- 1.3 ท่อระบายน้ำปลายคลอง (Tail Regulators) ฯลฯ

2. อาคารลำเลียงน้ำ

- 2.1 ท่อลอด ถนนหรือทางรถไฟ (Road Crossing)
- 2.2 ท่อเชื่อม (Inverted Syphon)
- 2.3 อาคารน้ำตกแบบท่อ (Pipe Drop) ฯลฯ

3. อาคารป้องกัน ได้แก่ ท่อลอดคลอง (Culvert) ฯลฯ

4. อาคารวัดน้ำ ได้แก่ Constant Head Orifice (CHO) ฯลฯ

อาคารชลศาสตร์ประเภทท่อนั้นแม้อาคารทุกชนิดจะสามารถคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านได้ แต่ในทางปฏิบัติจะมีการคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านอาคารเฉพาะอาคารหลักที่หัวงานอาคารควบคุมและอาคารวัดน้ำเท่านั้น ส่วนอาคารลำเลียงน้ำและอาคารป้องกันจะไม่มีการคำนวณปริมาณน้ำ เพราะไม่มีความจำเป็นต้องคิดปริมาณน้ำไหลผ่านเพราะเป็นอาคารที่มีไว้เพื่อให้ปริมาณน้ำสูงสุดตามที่ต้องการแบบไว้ผ่านไปแล้ว

หลักการคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลศาสตร์ประเภทท่อ การคำนวณปริมาณน้ำจะพิจารณาจากลักษณะการไหลของน้ำในท่อ และการควบคุม ซึ่งจะได้แก่

1. การไหลในระบบท่อมักออกแบบให้เป็นการไหลเต็มท่อเสมอ คำนวณโดยหลักการไหลในท่อปิดภายใต้แรงดัน ซึ่งได้อธิบายมาก่อนหน้านี้แล้ว
2. กรณีการไหลไม่เต็มท่อ จะคำนวณโดยหลักการคำนวณการไหลในทางน้ำเปิด
3. ถ้ามีการควบคุมอัตราการไหลด้วยบานระบายจะคำนวณโดยหลักการ Submerged Orifice Flow

อนึ่ง ในกรณีการคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลเต็มท่อผ่านอาคารที่ถือว่ามิขนาดท่อใหญ่เมื่อเทียบกับความยาวท่อสั้น ๆ นอกจากคำนวณโดยหลักการของท่อปิดภายใต้แรงดันแล้วอาจคำนวณโดยหลักการ Submerged Orifice Flow

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประสิทธิภาพการชลประทานโครงการชลประทานท่าลาด จังหวัดฉะเชิงเทรา นายศักดิ์ชัย ทรัพย์ประเสริฐ 2546 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพการชลประทานและการจัดการน้ำของโครงการชลประทานท่าลาด จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งมีพื้นที่ของโครงการทั้งหมด 155,400 ไร่ ทำการศึกษาและใช้ข้อมูลในระหว่างปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2545 โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืชตามทฤษฎีโดยวิธีของ Modified Penman และ Penman Monteith ตามลำดับ และวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพการชลประทาน ผลการศึกษาได้ค่าประสิทธิภาพการชลประทานฤดูแล้งเฉลี่ย 3 ปี ซึ่งคิดโดยวิธี Modified Penman และ Penman Monteith เท่ากับ 50.39% และ 45.79% ตามลำดับและค่าประสิทธิภาพการชลประทานฤดูฝนเฉลี่ย 3 ปีซึ่งคิดโดยวิธี Modified Penman และ Penman Monteith เท่ากับ 39.65% และ 35.10% ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพการชลประทานของโครงการ ในฤดูแล้งจะมีค่าสูงกว่าในฤดูฝนตลอดทั้ง 3 ปี ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณฝนใช้การในฤดูแล้งที่มีค่าน้อยกว่า ค่าประสิทธิภาพการชลประทานจะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณฝนใช้การในแต่ละสัปดาห์ ในช่วงที่มีค่าประสิทธิภาพการชลประทานต่ำจะเป็นช่วงที่มีปริมาณฝนใช้การมากแต่ในช่วงที่มีค่าประสิทธิภาพการชลประทานสูงปริมาณฝนใช้การจะน้อย จากค่าประสิทธิภาพชลประทานที่ได้นี้จะสามารถนำมาใช้ประกอบการวางแผนเพาะปลูกและวางแผนจัดส่งน้ำให้กับพื้นที่ชลประทานของโครงการให้มีความเพียงพอและเหมาะสมกับความต้องการใช้น้ำเพื่อให้การใช้น้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

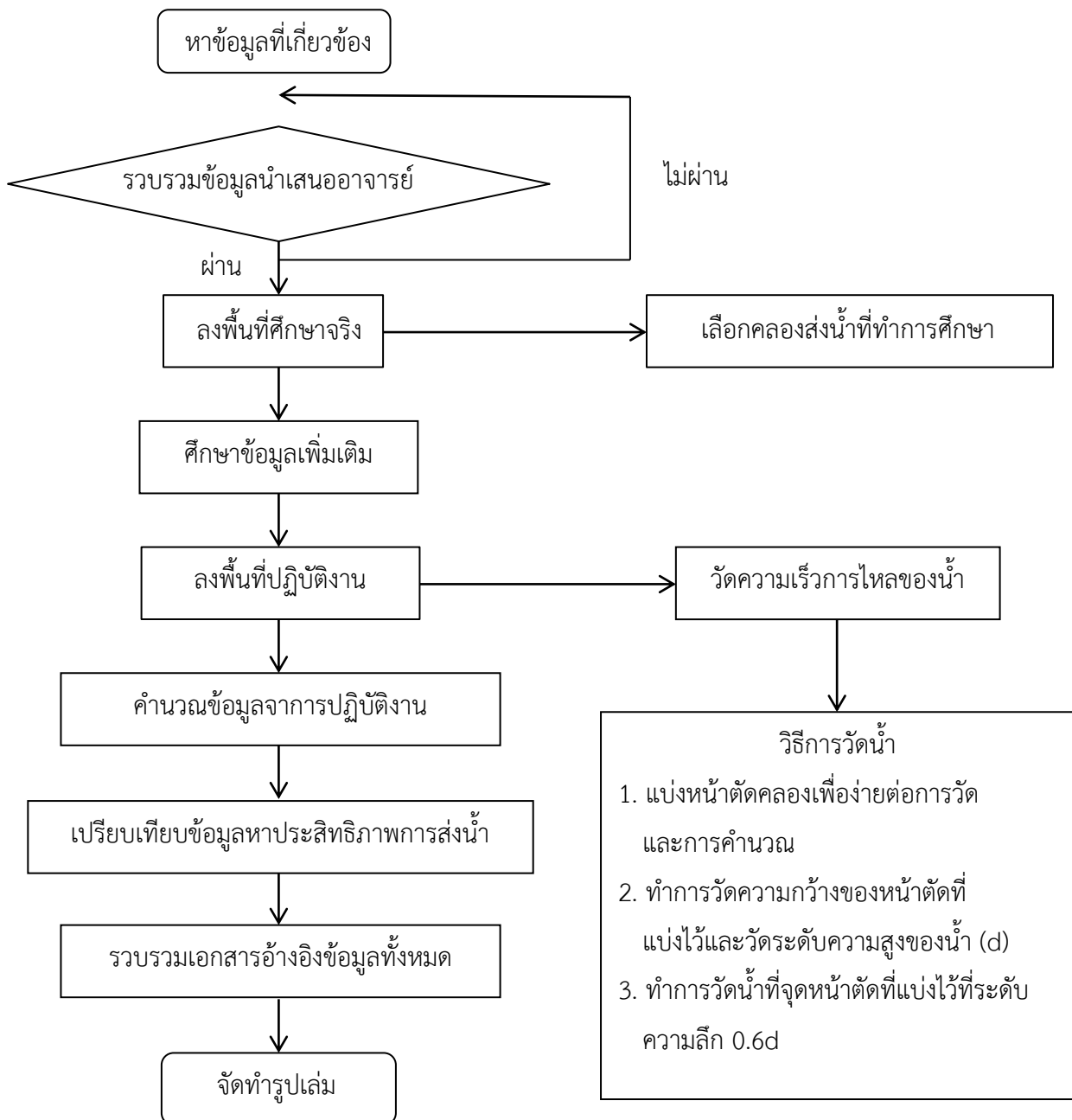
ประสิทธิภาพชลประทานและการประยุกต์ใช้งาน ฉลอง เกิดพิทักษ์ การหาประสิทธิภาพชลประทานที่ใช้กันอยู่ มีค่านิยมแตกต่างกัน ค่านิยมที่ใช้ในที่นี้คือ ประสิทธิภาพชลประทาน = (ปริมาณน้ำที่พืชต้องการตามทฤษฎี + การรั่วซึมบนแปลงเพาะปลูก - ฝนใช้การ) / ปริมาณน้ำที่ส่ง เป็นการหาประสิทธิภาพชลประทานจากข้อมูลการ Operate โครงการชลประทานที่ผ่านไปแล้วสำหรับข้อมูลสำคัญที่นำมาใช้คือ ปริมาณน้ำใช้ในการเตรียมแปลงสำหรับเพาะปลูกข้าว การรั่วซึมบนแปลงเพาะปลูกและฝนใช้การ โดยอ้างอิงถึงข้อมูลที่ได้มีการ Monitor ในสนาม ปริมาณน้ำที่พืชต้องการการทฤษฎี ฝนใช้การ คำนวณเป็นรายสัปดาห์และประสิทธิภาพชลประทานคำนวณเป็นฤดู ประสิทธิภาพชลประทานที่ได้หาได้ประกอบด้วย ประสิทธิภาพชลประทานของโครงการชลประทานน้ำมูล ลำปาว และหนองหวายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือแทบทุกโครงการชลประทาน โครงการชลประทานพิษณุโลก เจ้าพระยา และแม่ทอง ทั้งนี้เพื่อรวบรวมไว้เป็นแหล่งอ้างอิง เพราะว่าการหาประสิทธิภาพชลประทานเสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายสูงนอกจากนั้นผู้ที่มิประสบการณ์ด้าน Operate โครงการชลประทานเท่านั้นจึงจะหาได้ถูกต้อง การนำประสิทธิภาพชลประทานนี้ไปอ้างอิงต้องศึกษาให้ละเอียด จึงจะนำไปใช้ได้ถูกต้อง นอกจากนี้ได้แสดงการนำค่าประสิทธิภาพชลประทานไปใช้งาน เช่น ในการศึกษาความเหมาะสมโครงการชลประทานไว้ด้วย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ



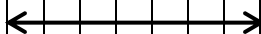

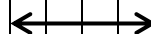



3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

จากวัตถุประสงค์ของโครงการเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำโครงการชลประทานเขื่อนขุนด่านปราการชล ทางคณะผู้จัดทำได้ทำโครงการดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 ผังกระบวนการทำงาน

กิจกรรม ระยะเวลา	ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.				เม.ษ.				พ.ค.				มิ.ย.				ก.ค.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. ข้อมูลและ การเตรียมงาน																												
2. สอบเทียบ เครื่องมือ																												
3. ลงพื้นที่ ปฏิบัติงาน																												
4. คำนวณหา ปริมาณน้ำ และหา ประสิทธิภาพ การส่งน้ำ																												
5. หาปัจจัยที่ มีผลต่อการส่ง น้ำพร้อมทั้ง หาทางแก้ไข และ ข้อเสนอแนะ																												
6. สรุปผล																												
7. นำเสนอ ผลงาน																												
8. จัดทำ รูปเล่ม																												

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดผังกระบวนการทำงาน

ลำดับ	ผังกระบวนการ	รายละเอียดงาน
1	รวบรวมข้อมูลและการเตรียมงาน	<ol style="list-style-type: none"> 1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการชลประทาน การส่งน้ำของชลประทานและข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ 2. ศึกษาข้อมูลของอุปกรณ์ เครื่องมือที่จะนำไปใช้ในการทำงาน 3. ลงพื้นที่จริงเพื่อเลือกคลองที่จะทำการทดสอบ และจริงทำให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพของคลอง 4. รวบรวม ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม และมีการวางแผนการทำงาน
2	สอบเทียบเครื่องมือ	<ol style="list-style-type: none"> 1. ทำการสอบเทียบเครื่องมือกับราง 2. วัดความเร็วการไหลของน้ำที่หน้าตัดต่าง ๆ และที่ระดับน้ำหลาย ๆ ระดับ ด้วยเครื่อง FP101-102 3. ทำการวัดน้ำด้วยราง และคำนวณความเร็วการไหลของรางที่ระดับน้ำต่าง ๆ 4. เปรียบเทียบระหว่างค่าความเร็วที่วัดด้วยเครื่อง FP101-102 และค่าความเร็วที่วัดได้ด้วยราง พร้อมทั้งหาค่าสัมประสิทธิ์ที่นำมาใช้จริง
3	ลงพื้นที่ปฏิบัติงาน	<ol style="list-style-type: none"> 1. ทำการสำรวจพื้นที่และเลือกคลองที่จะปฏิบัติมา 1 สาย เพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องมือที่ทำการวัดน้ำ 2. วัดปริมาณน้ำที่ไหลเข้าคลอง <ol style="list-style-type: none"> 2.1 แบ่งหน้าตัดคลองเพื่อง่ายต่อการวัดและการคำนวณ 2.2 ทำการวัดความกว้างของหน้าตัดที่แบ่งไว้และวัดระดับความสูงของน้ำ (d) 2.3 ทำการวัดน้ำที่จุดหน้าตัดที่แบ่งไว้ที่ระดับความลึก 0.6d 2.4 นำค่าต่าง ๆ มาคำนวณปริมาณน้ำตามสูตรเพื่อหาปริมาณน้ำ
4	คำนวณหาปริมาณน้ำและหาประสิทธิภาพการส่งน้ำ	<ol style="list-style-type: none"> 1. คำนวณปริมาณน้ำตามสูตร <ol style="list-style-type: none"> 1.1 สูตรการสอบเทียบเครื่องมือ นำค่าที่ได้จากเครื่องวัดน้ำ FP101-102 มาแทนในสูตร $V = 1.0588x + 0.0477$

ลำดับ	ผังกระบวนการ	รายละเอียดงาน
		<p>X คือ ค่าความเร็วที่วัดได้จากเครื่อง FP101-102</p> <p>1.2 คำนวณปริมาณน้ำตามวิธี Mid-Section Method</p> <p>1.3 คำนวณปริมาณน้ำที่นำออกไปใช้โดยใช้สูตรการ ส่งน้ำด้วยท่อส่งน้ำเข้านาหรือผ่านประตูระบายน้ำ</p> <p>2. คำนวณประสิทธิภาพการส่งน้ำ</p> <p>3. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณ</p>
5	หาปัจจัยที่มีผลต่อการส่งน้ำ พร้อมทั้งหาทางแก้ไขและ ข้อเสนอแนะ	<p>1. วิเคราะห์หาปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพการ ส่งน้ำ</p> <p>2. หาแนวทางการแก้ไขและหาข้อเสนอแนะ</p> <p>3. รวบรวมเอกสารและหาข้อมูลอ้างอิง</p>
6	สิ้นสุดกระบวนการ	<p>1. นำเสนอผลงาน</p> <p>2. จัดทำรูปเล่ม</p>

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องมือวัดความเร็วของการไหลของน้ำ



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102

3.2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องมือ

- ช่วง : 0.3-19.9 FPS (0.1-6.1 MPS)
- ความถูกต้อง : 0.1 FPS
- เฉลี่ย : ค่าเฉลี่ยในการทำงานแบบดิจิทัลจริง อัปเดตหนึ่งครั้งต่อวินาที

4. จอแสดงผล : LCD แสงจ้า และ UV Protected
5. ปุ่มควบคุม : 4
6. เครื่องบันทึกเวลา : 30 ชุด MIN MAX และ AVG
7. คุณสมบัติ : จับเวลา เตือนแบตเตอรี่ต่ำ
8. ประเภทของเซนเซอร์ : ไบพัสบูลเทอร์โบ Propelled ที่มีการป้องกันด้วยแม่เหล็ก
9. น้ำหนัก : ตราสาร : 2 ปอนด์ (0.9 กก.) ความยาวที่ขยายได้: 3.7 ถึง 6 ฟุต (1.1 ถึง 1.8 เมตร)
10. วัสดุ : Probe : อลูมิเนียมพีวีซีและอลูมิเนียมที่มีดลับลูกปืนสแตนเลสคอมพิวเตอร์ : ที่อยู่อาศัย ABS / โพลีคาร์บอเนตที่มีโพลีเอสเตอร์ซ้อนทับ
11. กำลังไฟ : แบตเตอรี่ลิเธียมภายในอายุการใช้งาน 5 ปีโดยใช้งานทั่วไปไม่สามารถเปลี่ยนได้
12. การปิดอัตโนมัติ : หลังจากไม่มีการใช้งานเป็นเวลา 5 นาที
13. อุณหภูมิในการทำงาน : -4 °F ถึง 158 °F (-20 °C ถึง 70 °C)
14. อุณหภูมิในการจัดเก็บ : -22 °F ถึง 176 °F (-30 °C ถึง 80 °C)
15. การอนุมัติ : CE

3.2.1.2 คุณสมบัติเครื่องวัดความเร็วการไหลของน้ำ FP101-102

1. สามารถเลือกแสดงหน่วยการวัดได้เป็น ft/sec หรือ m/sec
2. มีหน่วยความจำ 30 หน่วย สำหรับเรียกดูในภายหลัง
3. ตัวเครื่องกันฝน (Rain Proof)
4. ความแม่นยำสูง
5. ใช้งานง่าย
6. มีระบบป้องกันตะกอนติดค้างในเครื่อง
7. น้ำหนักเบา
8. ทนทาน มั่นใจได้
9. ถี้อสะดวก เนื่องจากด้ามจับยาว
10. เหมาะสำหรับใช้ในการวัดอัตราการไหลของแม่น้ำ ท่อน้ำเสีย น้ำทิ้ง และ อื่น ๆ อีกมากมาย

3.2.1.3 วิธีการทดลอง

1. Calibration
 - 1.1 กดปุ่ม S ที่ด้านหลังของมิเตอร์เพื่อเลือกฟังก์ชันการ Calibration
 - 1.2 กด Bottom Button เพื่อเข้าสู่ฟังก์ชันการ Calibration Set (WS)

- 1.3 กด Top Bottom เพื่อเข้าเลือกตั้งค่า Calibration ไปที่ 0.016
- 1.4 กด Bottom Button เพื่อตั้งค่า
- 1.5 กดปุ่ม S ที่ด้านหลังของมิเตอร์เพื่อออกจากการ Calibration
2. นำเครื่องลงไปวัดค่าในแหล่งน้ำโดยถือส่วนหัวในแนวดิ่งและให้ส่วนท้ายของเครื่องอยู่ในระดับน้ำที่ต้องการ
3. แล้วอ่านค่าที่ได้เมื่อค่าคงที่

3.2.1.4 การวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐานของเครื่องมือ

ผลการวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐาน เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102 กับรางวัดน้ำ ความกว้างของราง, $B = 0.30$ ม.

ความลาดชัน, Slope = 0.00

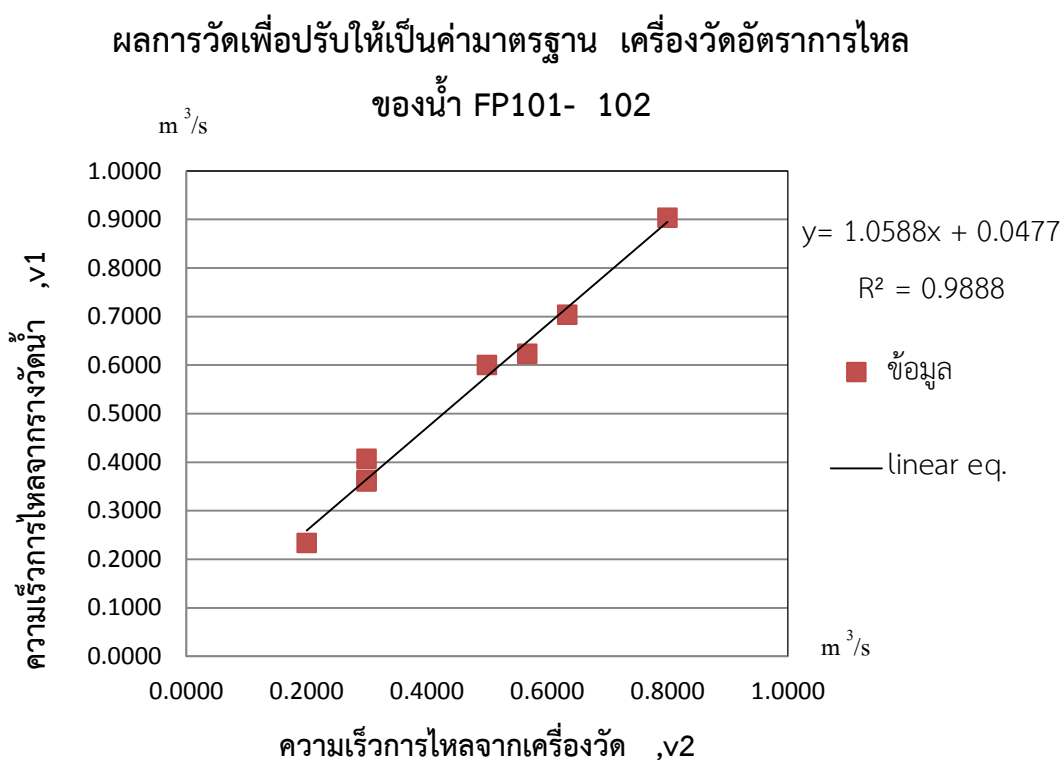
ค่าคงที่ (K) = 0.0114

อัตราการไหลจากรางวัดน้ำ $Q = K(2g\Delta h)^{1/2}$

ค่าคงที่ (g) = 9.81 m/s^2

ตารางที่ 3.3 การวัดเพื่อปรับค่าให้เป็นมาตรฐานของเครื่องวัดอัตราการไหล FP101-102 กับรางวัดน้ำ

ลำดับ	Δh (ม.)	อัตราการไหล จากราง, Q (m^3/s)	ระดับน้ำ, h (ม)	ความเร็วการไหล จากรางวัดน้ำ, v_1 (m/s)	ความเร็วการไหล จากเครื่องวัด, v_2 (m/s)
1	0.1784	0.0213	0.1135	0.7033	0.6333
2	0.5304	0.0368	0.1510	0.9033	0.8000
3	0.1738	0.0211	0.1996	0.3633	0.3000
4	0.5458	0.0373	0.2300	0.6233	0.5667
5	0.6696	0.0411	0.2400	0.6000	0.5000
6	0.5157	0.0363	0.3020	0.4067	0.3000
7	0.2048	0.0229	0.3377	0.2333	0.2000
8	0.5326	0.0369	0.3516	0.3600	0.3000

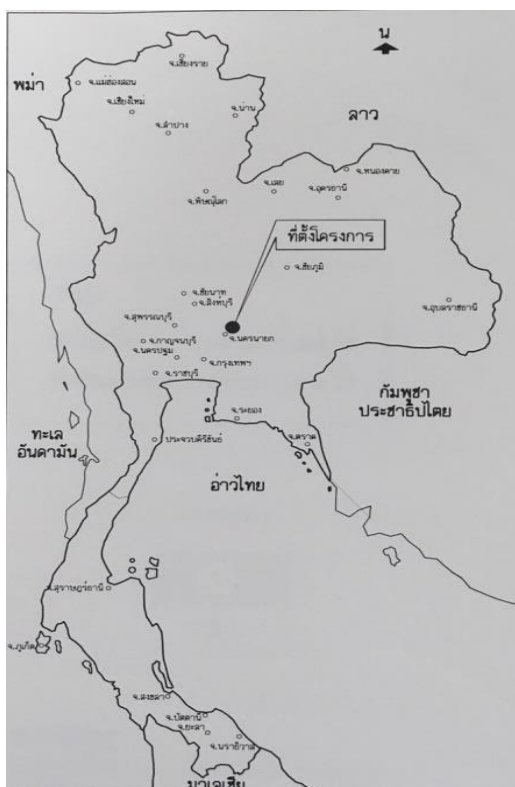


รูปที่ 3.3 กราฟผลการวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐาน เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101- 102

3.3 พื้นที่ศึกษา

3.3.1 ที่ตั้ง

เขื่อนขุนด่านปราการชล ชื่อเดิมเรียกว่า เขื่อนคลองท่าด่าน เป็นเขื่อนคอนกรีตบดอัดยาวที่สุดในประเทศไทยและในโลกตั้งอยู่ที่บ้านท่าด่าน ตำบลหินตั้ง อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก กั้นแม่น้ำนครนายก สร้างขึ้นตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช เพื่อเก็บกักน้ำในช่วงหน้าฝนไว้ในหน้าแล้ง และควบคุมไม่ให้เกิดน้ำท่วมบ้านเรือนราษฎร ไร่นาและพื้นที่การเกษตรในหน้าฝน โดยสร้างครอบฝายท่าด่านเดิม



รูปที่ 3.4 รูปแผนที่ตั้งโครงการ

3.3.1.1 ลักษณะโครงการ

พิกัด	47 PQR 524829
ชนิดเขื่อน	เขื่อนคอนกรีตบดอัดแน่น
ความสูงเขื่อน	93 เมตร
ความยาวสันเขื่อน	2,720 เมตร
ระดับสันเขื่อน (รทก.)	+112 เมตร
ระดับเก็บกักน้ำ (รทก.)	+110 เมตร
ความจุอ่างฯ ที่ระดับเก็บกัก	224 ล้าน ลบ.ม.
พื้นที่ผิวอ่างฯ ที่ระดับเก็บกัก	3,087 ไร่
พื้นที่รับผลประโยชน์ 185,000 ไร่ ประกอบด้วย	
โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษานครนายก	
โครงการทำด้านส่วนขยาย	165,000 ไร่
โครงการทำด้านเดิม	14,000 ไร่
โครงการทำด้านเดิม	6,000 ไร่
เกษตรกรได้รับผลประโยชน์	5,400 ครัวเรือน

3.3.1.2 ระยะเวลาดำเนินการ

เริ่มดำเนินการในปีงบประมาณ พ.ศ. 2540 แล้วเสร็จในปีงบประมาณ พ.ศ. 2552

3.3.1.3 งบประมาณในการดำเนินงาน

10,193 ล้านบาท

3.3.1.4 ผลประโยชน์ของโครงการ

1. ใช้เป็นแหล่งเก็บกักน้ำเพื่อช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกของราษฎรในเขตโครงการฯ รวม 185,000 ไร่
2. ใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับการอุปโภค – บริโภค ปริมาณ 16 ล้าน ลูกบาศก์เมตรต่อปี
3. ช่วยบรรเทาปัญหาดินเปรี้ยว ในเขตพื้นที่จังหวัดนครนายก
4. เป็นแหล่งเพาะและขยายพันธุ์ปลาน้ำจืด
5. ช่วยบรรเทาความเสียหายเนื่องจากอุทกภัยได้ร้อยละ 35

3.3.1.5 ลักษณะโครงการระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำ ประกอบด้วย

1. พื้นที่โครงการทำด้านเดิมและส่วนขยาย รวม 20,000 ไร่
2. พื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษานครนายก 165,000 ไร่

3.3.2 พื้นที่ปฏิบัติการ

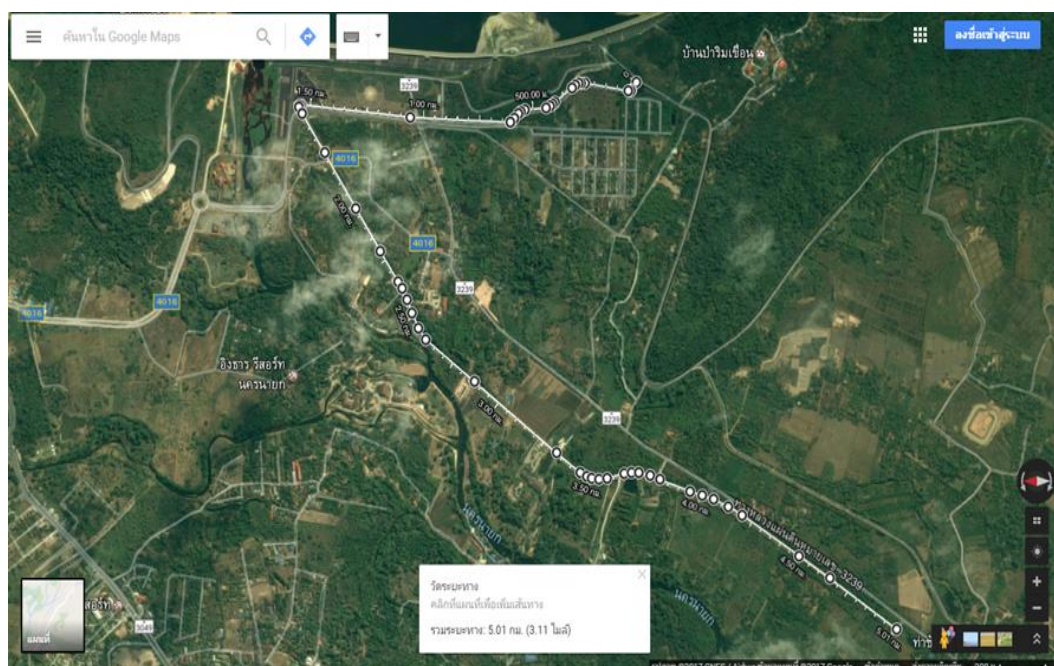
ระบบส่งน้ำชลประทานเขื่อนขุนด่านปราการชล ประกอบด้วย คลองส่งน้ำสายใหญ่ 1 สาย ที่ทำการส่งน้ำจากเขื่อนเพื่อลำเลียงส่งไปยังคลองซอย คลองแยกซอย และลงไปสู่พื้นที่เพาะปลูกภายในโครงการ

ระบบส่งน้ำชลประทานเขื่อนขุนด่านปราการชล ประกอบด้วย คลองส่งน้ำสายใหญ่ 1 สาย ระยะประมาณ 23.603 กิโลเมตร มีคลองซอยและแยกซอยดังต่อไปนี้

1. คลองซอย 1 ขวา ระยะประมาณ 5.224 กิโลเมตร
2. คลองซอย 2 ขวา ระยะประมาณ 4.373 กิโลเมตร
 - 2.1 คลองแยกซอย 1 ขวา ของ 2 ขวา ระยะประมาณ 1.613 กิโลเมตร
3. คลองซอย 3 ขวา ระยะประมาณ 1.950 กิโลเมตร
4. คลอง พช. ฝั่งขวา ระยะประมาณ 0.550 กิโลเมตร
5. คลอง พช. ฝั่งซ้าย ระยะประมาณ 2.450 กิโลเมตร
 - 5.1 คลองเกล้า ระยะประมาณ 1.780 กิโลเมตร
6. คลองซอย 1 ซ้าย ระยะประมาณ 3.300 กิโลเมตร
 - 6.1 คลองแยกซอย 1 ขวา ของ 1 ซ้าย ระยะประมาณ 1.794 กิโลเมตร

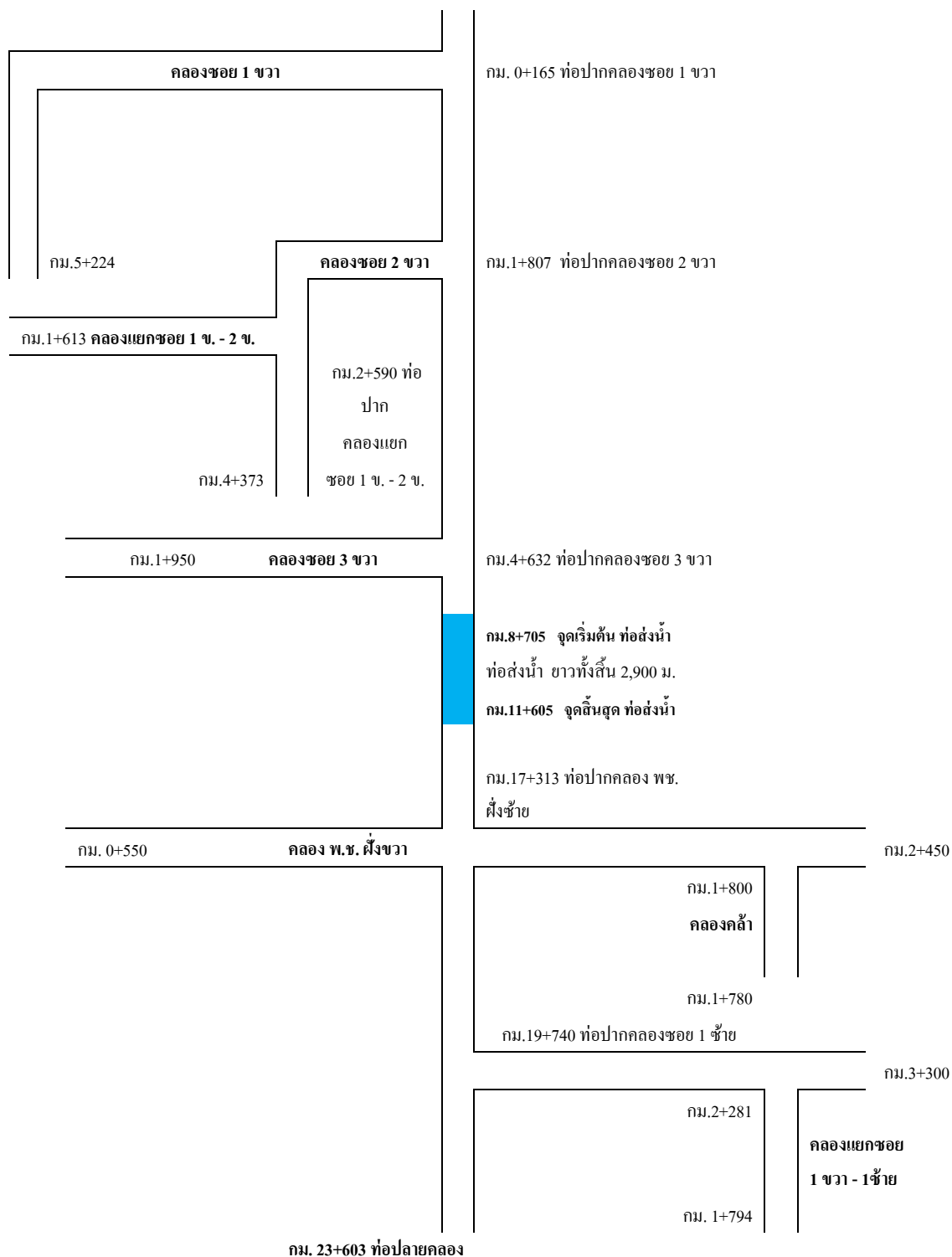
ซึ่งจากการสำรวจพื้นที่จริงของโครงการชลประทานเขื่อนขุนด่านปราการชล เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำพบว่าคลองที่สะดวกและเหมาะสมกับเครื่องมือในการปฏิบัติการ คือ

คลองซอย ได้แก่ คลองซอย 1 ขวา คลองซอย 2 ขวา และคลองซอย 3 ขวา แต่ในช่วงปฏิบัติการทางกรมชลประทานได้มีการซ่อมบำรุงคลองส่งน้ำชลประทานหลายจุด ทำให้เหลือคลองส่งน้ำชลประทานเพียงสายเดียว คือ คลองซอย 1 ขวา ดังนั้นทางกลุ่มผู้จัดทำจึงทำการเลือกวัดประสิทธิภาพการส่งน้ำของคลองซอย 1 ขวา



รูปที่ 3.5 คลองซอย 1 ขวา จาก Google Map

ระบบส่งน้ำ คลองส่งน้ำสายใหญ่ สายซอย และสายแยกซอย



รูปที่ 3.6 แปลนคลองส่งน้ำสายใหญ่ สายซอย และสายแยกซอย

คลองซอย 1 ขวา

	กม.0+100 ท่อลอดคลองส่งน้ำ กม.0+328 ท่อลอดถนนทดน้ำ กม.0+508 ท่อส่งน้ำเข้านา 2 ซ.
	กม.0+435 ท่อลอดคลองส่งน้ำ กม.0+515 น้ำตกทดน้ำ
	กม.0+850 ท่อส่งน้ำเข้านา
	กม.0+870 ท่อลอดคลองส่งน้ำ กม. 1+240 ท่อลอดถนน กม.1+300 ท่อลอดคลองส่งน้ำ
	กม. 2+030 ท่อลอดถนน
กม.2+160 ท่อส่งน้ำเข้านา 1 ซ.	
กม.2+230 ท่อส่งน้ำเข้านา 2 ซ.	กม.2+230 ท่อส่งน้ำเข้านา 4 ซ.
	กม.2+304 รางทดน้ำ กม.2+650 ท่อส่งน้ำเข้านา
	กม.2+704 น้ำตกทดน้ำ
กม.3+030 ท่อส่งน้ำเข้านา 3 ซ.	กม.3+030 ท่อส่งน้ำเข้านา 5 ซ.
	กม.3+104 รางทดน้ำ กม. 3+590 ท่อลอดถนน กม. 3+600 อาคารทิ้งน้ำ กม.3+659 ท่อส่งน้ำเข้านา 6 ซ.
กม.3+713 ท่อส่งน้ำเข้านา 4 ซ. กม.3+799 ท่อส่งน้ำเข้านา 5 ซ.	
กม.4+014 ท่อส่งน้ำเข้านา 6 ซ.	กม.3+850 น้ำตกทดน้ำ
	กม. 4+029 ท่อลอดถนน
กม.4+314 ท่อส่งน้ำเข้านา 7 ซ.	กม. 4+402 ท่อลอดถนน
กม.4+814 ท่อส่งน้ำเข้านา 8 ซ.	กม.4+850 น้ำตกทดน้ำ
กม.4+964 ท่อส่งน้ำเข้านา 9 ซ.	กม.5+191 ท่อส่งน้ำเข้านา
	กม.5+224 ท่อปลายคลอง

รูปที่ 3.7 แพลนคลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา

3.3.3 ข้อมูลการส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก

การส่งน้ำชลประทานจะเน้นการส่งน้ำเพื่อการเกษตรกรรม การส่งน้ำชลประทานจะจัดส่งในช่วงฤดูแล้งและในช่วงที่ฝนทิ้งช่วง ส่วนฤดูฝนจะใช้น้ำจากน้ำฝนในการเพาะปลูก ซึ่งก่อนการเพาะปลูกพืชในแต่ละฤดูกาลทางกรมชลประทานและตัวแทนกลุ่มผู้ใช้น้ำจะประชุมวางแผนจัดสรรน้ำใช้ตลอดฤดูกาลเพาะปลูกและมีการทำข้อตกลงในการส่งน้ำชลประทาน ปริมาณน้ำที่จัดส่งทางกรมชลประทานจะคำนวณจากพื้นที่การเพาะปลูกและชนิดของพืชที่ปลูกรวมกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการอุปโภคของชาวบ้าน การส่งน้ำจะจัดส่งทุกวันตามแผนงานที่เตรียมไว้ก่อนการเพาะปลูกและตามที่กลุ่มผู้ใช้น้ำร้องขอ โดยใน 1 วันจะส่งตลอด 24 ชั่วโมง ปริมาณน้ำที่จัดส่งในแต่ละวันจะปล่อยจากเขื่อนสู่ระบบคลองส่งน้ำชลประทาน (คลองส่งน้ำสายใหญ่) หลังจากนั้นจะเป็นกลุ่มผู้ใช้น้ำจะเปิดประตูระบายน้ำเพื่อให้ น้ำเข้าคลองส่งน้ำสายย่อย สายแยกย่อย หรือแปลงเพาะปลูกตามความต้องการของเอง และการเปิด – ปิด บานประตูระบายน้ำจะขึ้นอยู่กับกลุ่มผู้ใช้น้ำ

3.4 สมการที่ใช้ในการคำนวณ

3.4.1 อัตราการไหล (Volume Flow Rate หรือ Q) คือ ปริมาตรของของไหลซึ่งไหลผ่านท่อหรือช่องการไหลใด ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา หรืออีกนัยหนึ่งก็คือของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉาก (A) ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง (V) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = AV \quad (1)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร³/วินาที

A = พื้นที่หน้าตัดมีหน่วยเป็นตารางเมตร

V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหลมีหน่วยเป็นเมตร/วินาที

ในการหาอัตราการไหลด้วยวิธีนี้ จะต้องทำการวัดพื้นที่หน้าตัดโดยแบ่งหน้าตัดทั้งหมดออกเป็นส่วนย่อยหลาย ๆ ส่วน พื้นที่ของส่วนย่อยเท่ากับความกว้างคูณด้วยความลึกเฉลี่ย ทำการรวมพื้นที่หน้าตัดของส่วนย่อยทั้งหมด จะได้ค่าของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด

3.4.2 สมการโดยทั่วไปเพื่อคำนวณหาความเร็วของกระแสน้ำ

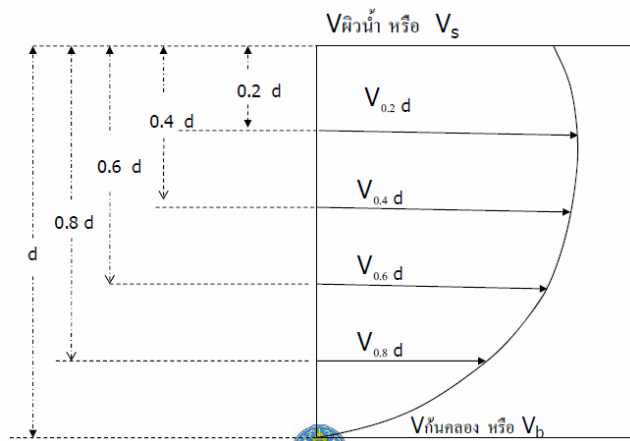
$$V = a \times N + b \quad (2)$$

โดยที่ V = ความเร็วของกระแสน้ำ (เมตร/วินาที)

N = จำนวนรอบต่อวินาทีของเครื่องที่วัดได้

a , b = ค่าคงที่ของเครื่องวัดกระแสน้ำ (ค่าของ a และ b จะเปลี่ยนไปตามชนิดและขนาดของเครื่องวัด) เนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำจะมีค่าไม่เท่ากันตลอดความลึก คือมีค่าเป็นศูนย์ที่ท้องน้ำ และมีค่าสูงสุดที่ผิวน้ำหรือบริเวณ

ใกล้ผิวน้ำ ซึ่งทำให้ต้องทำการวัดความเร็วของกระแสน้ำมากกว่าหนึ่งจุดตลอดความลึก ดังนั้นจึงมีวิธีการวัดความเร็วที่ตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นความเร็วเฉลี่ยของหน้าตัดการไหล



รูปที่ 3.8 การวัดความเร็วของกระแสน้ำมากกว่าหนึ่งจุดตลอดความลึก

ที่มา: <http://tdc.thailis.or.th/tdc>

เกณฑ์การวัดข้อมูลดังนี้

$d \leq 0.6$ เมตร วัด 1 จุดที่ความลึก $0.6d$ จากผิวน้ำ

$0.6 < d < 1.0$ เมตร วัด 2 จุดที่ความลึก $0.2d$ และ $0.8d$ จากผิวน้ำ

$1.0 < d < 2.5$ เมตร วัด 3 จุดที่ความลึก $0.2d$ $0.6d$ และ $0.8d$ จากผิวน้ำ

$d \geq 2.5$ เมตร วัด 4 จุดที่ความลึกจากผิวน้ำ $0.2d$ $0.4d$ $0.6d$ $0.8d$ และท้องน้ำ และใช้สูตรการหาความเร็วเฉลี่ยดังนี้

$$d \leq 0.6 \quad \text{เมตร} \quad V_m = V_{0.6d} \quad (3)$$

$$0.6 < d < 1.0 \quad \text{เมตร} \quad V_m = \frac{V_{0.2d} + V_{0.8d}}{2} \quad (4)$$

$$1.0 < d < 2.5 \quad \text{เมตร} \quad V_m = \frac{V_{0.2d} + 2V_{0.6d} + V_{0.8d}}{4} \quad (5)$$

$$d \geq 2.5 \quad \text{เมตร} \quad V_m = \frac{1}{10}(V_s + V_b) + 2\left(\frac{V_{0.2d} + V_{0.4d} + V_{0.6d} + V_{0.8d}}{4}\right) \quad (6)$$

โดยที่ V_s = ความเร็วของกระแสน้ำที่ผิวน้ำ

$V_{0.2}$ = ความเร็วของกระแสน้ำที่ความลึ 0.2d วัดจากผิวน้ำ

$V_{0.4}$ = ความเร็วของกระแสน้ำที่ความลึ 0.4d วัดจากผิวน้ำ

$V_{0.6}$ = ความเร็วของกระแสน้ำที่ความลึ 0.6d วัดจากผิวน้ำ

$V_{0.8}$ = ความเร็วของกระแสน้ำที่ความลึ 0.8d วัดจากผิวน้ำ

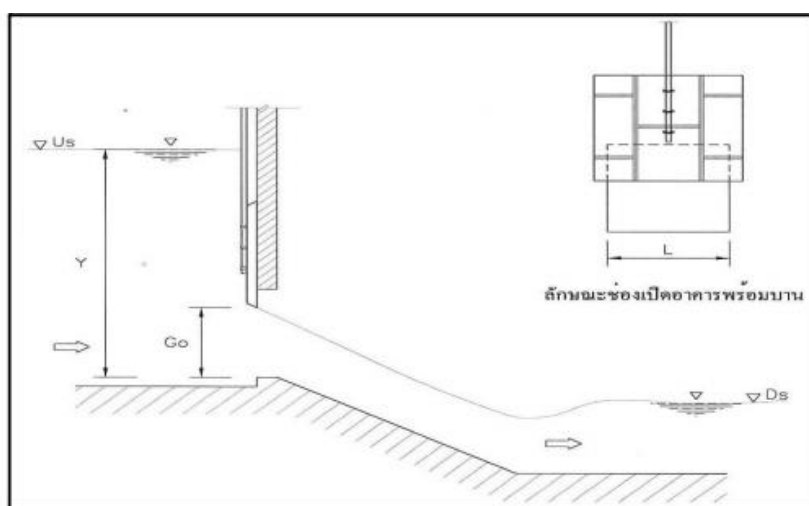
V_b = ความเร็วของกระแสน้ำที่ท้องน้ำ

การหาโดยวิธีนี้จะต้องแบ่งพื้นที่หน้าตัดของทางน้ำออกเป็นส่วนย่อยหลายส่วน จำนวนของส่วนย่อยที่จะแบ่งขึ้นอยู่กับความกว้างของผิวน้ำ และความละเอียดถูกต้องที่ต้องการ หลักเกณฑ์สำหรับเป็นแนวทางก็คือ ในแต่ละส่วนแบ่งนั้นจะต้องมีปริมาณการไหลของน้ำไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการไหลรวมทั้งหมดของรูปตัดทางน้ำนั้น ความกว้างของส่วนย่อยไม่จำเป็นต้องเท่ากันทุกส่วน

3.4.3 สมการโดยทั่วไปเพื่อคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ

คำนวณเพื่อหาอัตราการไหลที่ได้จากการวัดจากการปฏิบัติงานด้วยสมการต่าง ๆ ยกตัวอย่าง เช่น ลักษณะการไหลของน้ำผ่านอาคารชลประทานที่สัมพันธ์กับการเปิดบานประตูของอาคารประกอบด้วย

3.4.3.1 การไหลท่ายประตูเป็น Free Flow (ระดับน้ำด้านท้ายไม่มีผลต่อการไหล)



รูปที่ 3.9 การไหลท่ายประตูเป็น Free Flow

ที่มา: <http://tdc.thailis.or.th/tdc>

$$Q = C_d L G_0 \sqrt{2gH} \quad (7)$$

โดยที่ Q = ปริมาณน้ำที่ผ่านประตูระบายน้ำ (ลบ.ม./วินาที)

C_d = ค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำเมื่อการไหลเป็น free flow

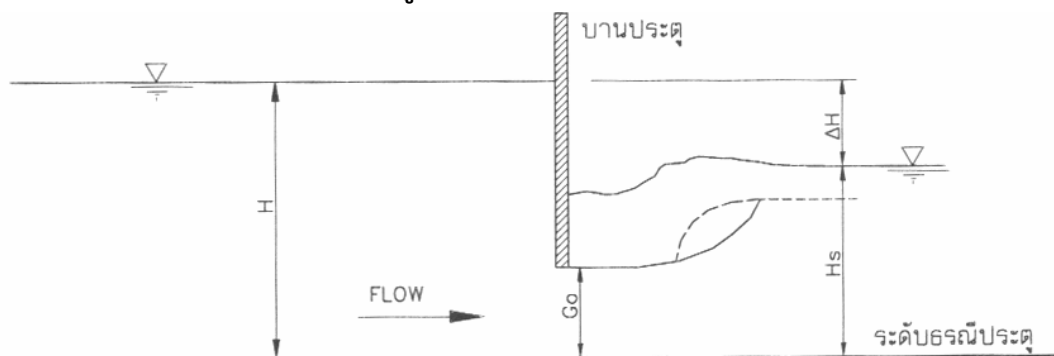
L = ความกว้างของช่องการไหล (เมตร)

G_0 = ระยะเปิดบาน (เมตร)

G = อัตราเร่งเนื่องจากศูนย์ถ่วง (9.81 เมตร/วินาที²)

H = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำของอาคาร-ระดับธรณีประตู (เมตร)

3.4.3.2 การไหลท่ายประตูป็น Submerged Flow (ระดับน้ำด้านท้ายมีผลต่อการไหล)



รูปที่ 3.10 การไหลท่ายประตูป็น Submerged Flow

ที่มา: <http://tdc.thailis.or.th/tdc>

$$Q = C_s L h_s \sqrt{2gDH} \quad (8)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ผ่านประตูระบายน้ำ (ลบ.ม./วินาที)

C_s = ค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำ (ซึ่งมีค่าสัมพันธ์กับ h_s / G_0)

L = ความกว้างของช่องการไหล (เมตร)

h_s = ความลึกของท่ายน้ำที่ Submerged (เมตร) = ระดับท่ายน้ำ-ระดับธรณีประตู

g = อัตราเร่งเนื่องจากศูนย์กลาง (9.81 เมตร/วินาที²)

DH = ผลต่างระหว่างระดับเหนือหน้าและท่ายน้ำ (เมตร) = ระดับเหนือหน้า-ระดับท่ายน้ำ

G_0 = ระยะเปิดบาน (เมตร)

3.4.3.3 คำนวณด้วยสูตร Manning เพื่อหาอัตราการไหล

สูตรของ Manning ในปี 1889 Robert Manning วิศวกรชาวไอร์แลนด์ ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ของ Chezy และสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning กับรัศมีชลศาสตร์ ซึ่งเป็นที่นิยมกันแพร่หลาย ดังนี้

$$\text{ระบบหน่วยอังกฤษ : } C = \frac{1.49}{n} R^{1/6}$$

$$\text{ระบบหน่วย SI : } C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (9)$$

เมื่อแทนค่า C จากสมการจะได้สมการ Manning สำหรับคำนวณความเร็วของการไหลในทางน้ำเปิดดังนี้

$$\text{ระบบหน่วยอังกฤษ : } V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$\text{ระบบหน่วย SI : } V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (10)$$

สามารถหาอัตราการไหลในทางน้ำเปิดได้ดังนี้

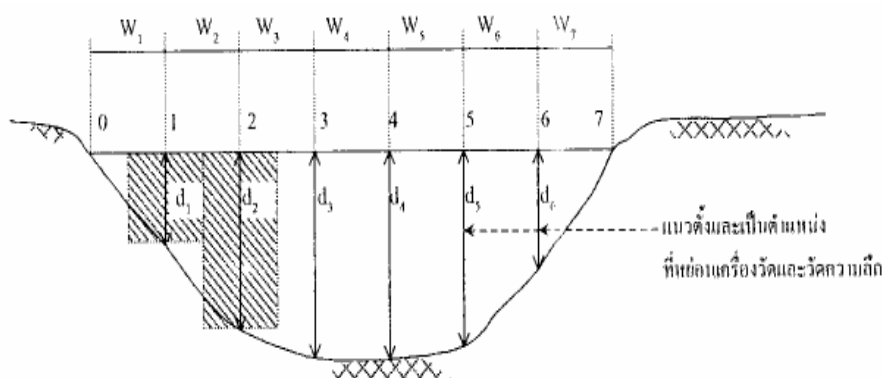
$$Q = AV$$

ระบบหน่วยอังกฤษ : $Q = \frac{1.49}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$

ระบบหน่วย SI : $Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$ (11)

3.4.4 การคำนวณหาปริมาณน้ำ

วิธี Mid –Section Method



รูปที่ 3.11 การคำนวณหาปริมาณน้ำ วิธี Mid-Section Method

การวัดอัตราการไหลด้วยวิธี Mid-Section Method สามารถวัดความเร็วการไหลได้ง่ายกว่าวิธีอื่นและเหมาะสมสำหรับคลองที่มีหน้าตัดการไหลที่ไม่ใหญ่มาก เพราะการวัดความเร็วจะใช้เครื่องจุ่มวัดลงไปใต้น้ำที่ความลึก $0.6d$ ที่ตำแหน่งที่ได้แบ่งไว้ จากรูปตำแหน่งที่ 1,2,3,...,6 เป็นตำแหน่งที่วัดความเร็วด้วยเครื่องวัดกระแส น้ำ ค่า $d_1, d_2, d_3, \dots, d_6$ เป็นความลึกของน้ำตรงตำแหน่งที่ 1,2,3,...,6 ตามลำดับ และค่า $W_1, W_2, W_3, \dots, W_6$ เป็นความกว้างของส่วนย่อย

วิธีทำ

1. หาความเร็วเฉลี่ยในแนวตั้งที่จุด 1,2,3,...,6
2. หาพื้นที่ส่วนย่อย $A_1, A_2, A_3, \dots, A_6$ เช่น

$$A_1 = 0.5(W_1 + W_2)d_1$$

$$A_2 = 0.5(W_2 + W_3)d_2$$

$$A_3 = 0.5(W_3 + W_4)d_3$$

(12)

3. หาปริมาณการไหลในแต่ละส่วนย่อย เช่น

$$Q_1 = A_1 V_1 = 0.5(W_1 + W_2)d_1 V_1$$

$$Q_2 = A_2 V_2 = 0.5(W_2 + W_3)d_2 V_2$$

$$Q_3 = A_3 V_3 = 0.5(W_3 + W_4)d_3 V_3$$

(13)

4. หาปริมาณการไหลรวมทั้งหมดของรูปตัด

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_6 \quad (14)$$

3.4.5 ประสิทธิภาพการส่งน้ำ

ประสิทธิภาพการส่งน้ำ คือ ประสิทธิภาพของระบบคลองส่งน้ำ จากจุดที่เริ่มต้นส่งน้ำ เช่น อ่างเก็บน้ำ สถานีสูบน้ำหรือแม่น้ำ (ปาก ปตร.) จนถึงปลายคลอง หาได้จากสูตร

$$E_c = \frac{W_f + w_{outlet}}{W_g} \times 100 \quad (15)$$

โดยที่ E_c = ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำ เป็นเปอร์เซ็นต์

W_f = ปริมาณน้ำที่น้ำที่เหลือปลายคลองส่งน้ำ เป็นหน่วยความลึกหรือปริมาตร

W_g = ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองส่งน้ำ เป็นหน่วยความลึกหรือปริมาตร

W_{outlet} = ปริมาณน้ำที่น้ำที่นำออกจากคลองส่งน้ำ เป็นหน่วยความลึกหรือปริมาตร

เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียไป ซึ่งไม่รวมปริมาณที่นำออกไปใช้จากคลอง เช่น การระเหย การรั่วซึม หรืออุปสรรคต่าง ๆ กับปริมาณน้ำที่สูญเสียไปทั้งหมด หาได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้งหมด} - \text{ปริมาณน้ำที่นำออกจากคลอง}}{\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้งหมด}} \quad (16)$$

บทที่ 4

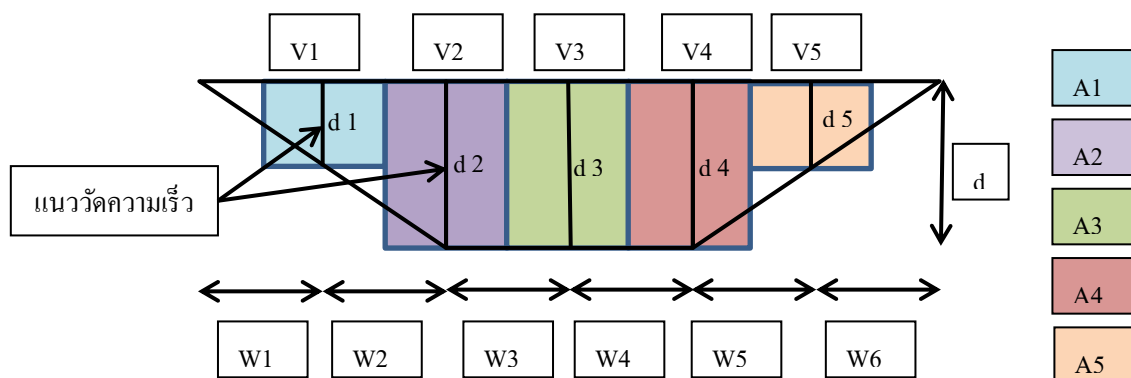
ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำในคลองซอย 1 ขวาทลอดทั้งสายเป็นระยะทางประมาณ 5.224 กม. โดยศึกษาในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล ต.หินตั้ง อ.เมือง จ. นครนายก และได้ทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ ปริมาณน้ำที่ทำการส่งน้ำเข้าสู่คลอง ปริมาณน้ำที่นำไปใช้ และปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพการส่งน้ำ เช่น สภาพของคลองส่งน้ำในปัจจุบัน การนำน้ำไปใช้นอกเหนือการจัดส่งน้ำของชลประทาน การนำน้ำไปใช้ของพืชที่อยู่ริมคลอง การกีดขวางทางไหลของน้ำ การรื้อขุด และการระเหย เป็นต้น เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์ในการหาประสิทธิภาพการส่งน้ำ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การคำนวณปริมาณน้ำในคลองส่งน้ำ

การคำนวณปริมาณน้ำในคลองส่งน้ำได้ทำการคำนวณ 2 วิธี คือ 1. วิธี Mid-Section Method และ 2. วิธี Manning เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำในคลอง จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ได้ทำการเก็บข้อมูลความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำ โดยการเก็บข้อมูลจะเก็บในทุกช่วงละประมาณ 500 ม. ของคลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา วัดได้ประมาณ 12 ช่วง เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์

4.1.1 การคำนวณปริมาณน้ำแบบ Mid-Section Method



รูปที่ 4.1 การคำนวณหาปริมาณน้ำ วิธี Mid-Section Method

ความลึก (d) มีหน่วยเป็น เมตร ; $d_1 = d_5 = d/2$ $d_2 = d_3 = d_4 = d$

ความกว้าง (W) มีหน่วยเป็น เมตร

พื้นที่หน้าตัดการไหล (A) มีหน่วยเป็น เมตร²

ความเร็วการไหลของน้ำ (v) มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

ระยะ กม. 5+224		d = 0.1200 เมตร					หมายเหตุ
ลำดับ	1	2	3	4	5	6	
W (เมตร)	0.0600	0.0600	0.2500	0.2500	0.0700	0.0700	
A (เมตร ²)	0.0036	0.0186	0.0300	0.0192	0.0042		
V (เมตร/วินาที)	0.4077	0.5771	0.6195	0.5771	0.5347		
Q (เมตร ³ /วินาที)	0.0015	0.0107	0.0186	0.0111	0.0022		
$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 0.0441$ เมตร ³ /วินาที							

4.1.2 การคำนวณปริมาณน้ำ วิธี Manning

วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 เวลา 09.30 ถึง 17.00 น.

ตารางที่ 4.4 ค่าปริมาณน้ำที่ไหลภายในคลอง ด้วยวิธี วิธี Manning

ระยะ กม. 0+000		ระยะ กม. 0+600	
n =	0.0320	n =	0.0320
s =	0.0003	s =	0.0003
P =	2.4029 เมตร	P =	2.6217 เมตร
A =	0.6627 เมตร ²	A =	0.7842 เมตร ²
R =	0.2758 เมตร	R =	0.2991 เมตร
V =	0.2093 เมตร/วินาที	V =	0.2210 เมตร/วินาที
Q =	0.1387 เมตร ³ /วินาที	Q =	0.1733 เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 1+000		ระยะ กม. 1+500	
n =	0.0320	n =	0.0320
s =	0.0003	s =	0.0003
P =	1.7240 เมตร	P =	2.4712 เมตร
A =	0.3065 เมตร ²	A =	0.6089 เมตร ²
R =	0.1778 เมตร	R =	0.2464 เมตร
V =	0.1562 เมตร/วินาที	V =	0.1942 เมตร/วินาที
Q =	0.0479 เมตร ³ /วินาที	Q =	0.1182 เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+000		
n =	0.0320	
s =	0.0003	
P =	1.7707	เมตร
A =	0.3477	เมตร ²
R =	0.1964	เมตร
V =	0.1669	เมตร/วินาที
Q =	0.0580	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+000		
n =	0.3000	
s =	0.0003	
P =	2.0401	เมตร
A =	0.5217	เมตร ²
R =	0.2557	เมตร
V =	0.0212	เมตร/วินาที
Q =	0.0111	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+000		
n =	0.0310	
s =	0.0003	
P =	2.0922	เมตร
A =	0.5031	เมตร ²
R =	0.2405	เมตร
V =	0.1972	เมตร/วินาที
Q =	0.0992	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+500		
n =	0.3000	
s =	0.0003	
P =	2.3031	เมตร
A =	0.6386	เมตร ²
R =	0.2773	เมตร
V =	0.0224	เมตร/วินาที
Q =	0.0143	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+500		
n =	0.0310	
s =	0.0003	
P =	2.1773	เมตร
A =	0.5246	เมตร ²
R =	0.2409	เมตร
V =	0.1975	เมตร/วินาที
Q =	0.1036	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+500		
n =	0.0180	
s =	0.0003	
P =	1.7093	เมตร
A =	0.3400	เมตร ²
R =	0.1989	เมตร
V =	0.2993	เมตร/วินาที
Q =	0.1018	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 5+000	ระยะ กม. 5+224
n = 0.0300	n = 0.0340
s = 0.0003	s = 0.0003
P = 1.9427 เมตร	P = 1.9369 เมตร
A = 0.4524 เมตร ²	A = 0.4469 เมตร ²
R = 0.2328 เมตร	R = 0.2307 เมตร
V = 0.1995 เมตร/วินาที	V = 0.1749 เมตร/วินาที
Q = 0.0902 เมตร ³ /วินาที	Q = 0.0782 เมตร ³ /วินาที

วันที่ 7 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 ถึง 13.45 น.

ตารางที่ 4.5 ค่าปริมาณน้ำที่ไหลภายในคลอง ด้วยวิธี วิธี Manning

ระยะ กม. 0+000	ระยะ กม. 0+600
n = 0.0320	n = 0.0320
s = 0.0003	s = 0.0003
P = 2.3148 เมตร	P = 2.6040 เมตร
A = 0.6324 เมตร ²	A = 0.7454 เมตร ²
R = 0.2732 เมตร	R = 0.2862 เมตร
V = 0.2080 เมตร/วินาที	V = 0.2146 เมตร/วินาที
Q = 0.1316 เมตร ³ /วินาที	Q = 0.1600 เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 1+000	ระยะ กม. 1+500
n = 0.0320	n = 0.0320
s = 0.0003	s = 0.0003
P = 1.4904 เมตร	P = 2.3143 เมตร
A = 0.2168 เมตร ²	A = 0.5934 เมตร ²
R = 0.1455 เมตร	R = 0.2564 เมตร
V = 0.1367 เมตร/วินาที	V = 0.1994 เมตร/วินาที
Q = 0.0296 เมตร ³ /วินาที	Q = 0.1183 เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+000		
n =	0.0320	
s =	0.0003	
P =	1.7325	เมตร
A =	0.3078	เมตร ²
R =	0.1777	เมตร
V =	0.1562	เมตร/วินาที
Q =	0.0481	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+000		
n =	0.3000	
s =	0.0003	
P =	1.8887	เมตร
A =	0.4346	เมตร ²
R =	0.2301	เมตร
V =	0.0198	เมตร/วินาที
Q =	0.0086	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+000		
n =	0.0310	
s =	0.0003	
P =	2.1074	เมตร
A =	0.4977	เมตร ²
R =	0.2362	เมตร
V =	0.1949	เมตร/วินาที
Q =	0.0970	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+500		
n =	0.3000	
s =	0.0003	
P =	2.0951	เมตร
A =	0.4760	เมตร ²
R =	0.2272	เมตร
V =	0.0196	เมตร/วินาที
Q =	0.0093	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+500		
n =	0.0310	
s =	0.0003	
P =	1.7602	เมตร
A =	0.3737	เมตร ²
R =	0.2123	เมตร
V =	0.1815	เมตร/วินาที
Q =	0.0678	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+500		
n =	0.0360	
s =	0.0003	
P =	1.6735	เมตร
A =	0.3134	เมตร ²
R =	0.1873	เมตร
V =	0.1438	เมตร/วินาที
Q =	0.0451	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 5+000		
n =	0.0300	
s =	0.0003	
P =	1.1640	เมตร
A =	0.1530	เมตร ²
R =	0.1314	เมตร
V =	0.1362	เมตร/วินาที
Q =	0.0208	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 5+224		
n =	0.0340	
s =	0.0003	
P =	0.7954	เมตร
A =	0.0441	เมตร ²
R =	0.0554	เมตร
V =	0.0676	เมตร/วินาที
Q =	0.0030	เมตร ³ /วินาที

วันที่ 8 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 ถึง 13.45 น.

ตารางที่ 4.6 ค่าปริมาณน้ำที่ไหลภายในคลอง ด้วยวิธี วิธี Manning

ระยะ กม. 0+000		
n =	0.0320	
s =	0.0003	
P =	2.2983	เมตร
A =	0.6120	เมตร ²
R =	0.2663	เมตร
V =	0.2045	เมตร/วินาที
Q =	0.1252	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 1+000		
n =	0.0320	
s =	0.0003	
P =	1.9923	เมตร
A =	0.2751	เมตร ²
R =	0.1381	เมตร
V =	0.1320	เมตร/วินาที
Q =	0.0363	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 0+600		
n =	0.0320	
s =	0.0003	
P =	2.6133	เมตร
A =	0.7638	เมตร ²
R =	0.2923	เมตร
V =	0.2176	เมตร/วินาที
Q =	0.1662	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 1+500		
n =	0.0320	
s =	0.0003	
P =	2.3932	เมตร
A =	0.5904	เมตร ²
R =	0.2467	เมตร
V =	0.1944	เมตร/วินาที
Q =	0.1147	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+000	
n =	0.0320
s =	0.0003
P =	1.6597 เมตร
A =	0.2915 เมตร ²
R =	0.1756 เมตร
V =	0.1550 เมตร/วินาที
Q =	0.0452 เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+000	
n =	0.3000
s =	0.0003
P =	1.9244 เมตร
A =	0.4515 เมตร ²
R =	0.2346 เมตร
V =	0.0200 เมตร/วินาที
Q =	0.0091 เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+000	
n =	0.0310
s =	0.0003
P =	2.1837 เมตร
A =	0.5676 เมตร ²
R =	0.2599 เมตร
V =	0.2077 เมตร/วินาที
Q =	0.1179 เมตร ³ /วินาที

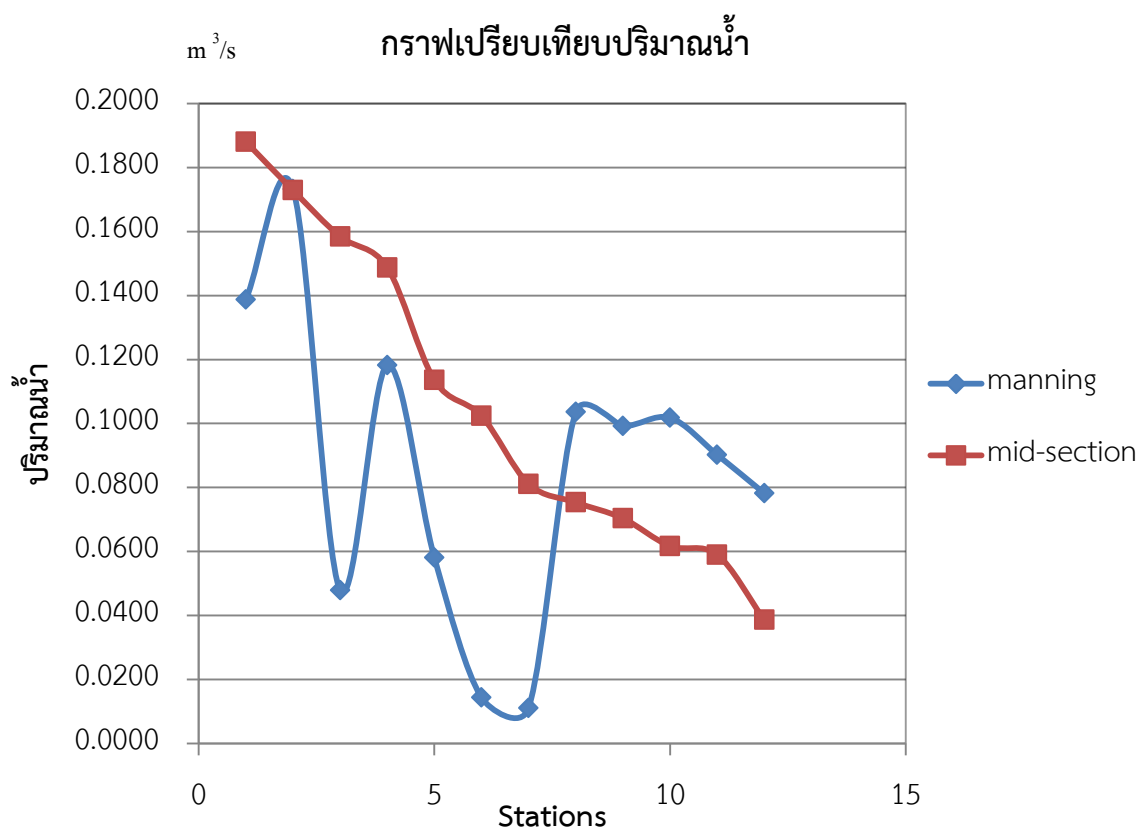
ระยะ กม. 2+500	
n =	0.3000
s =	0.0003
P =	2.2205 เมตร
A =	0.6000 เมตร ²
R =	0.2702 เมตร
V =	0.0220 เมตร/วินาที
Q =	0.0132 เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+500	
n =	0.0310
s =	0.0003
P =	1.8989 เมตร
A =	0.3997 เมตร ²
R =	0.2105 เมตร
V =	0.1805 เมตร/วินาที
Q =	0.0721 เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+500	
n =	0.0360
s =	0.0003
P =	1.6865 เมตร
A =	0.3234 เมตร ²
R =	0.1917 เมตร
V =	0.1460 เมตร/วินาที
Q =	0.0472 เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 5+000	
n =	0.0300
s =	0.0003
P =	1.4282 เมตร
A =	0.1700 เมตร ²
R =	0.1190 เมตร
V =	0.1275 เมตร/วินาที
Q =	0.0217 เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 5+224	
n =	0.0340
s =	0.0003
P =	0.8541 เมตร
A =	0.0756 เมตร ²
R =	0.0885 เมตร
V =	0.0924 เมตร/วินาที
Q =	0.0070 เมตร ³ /วินาที

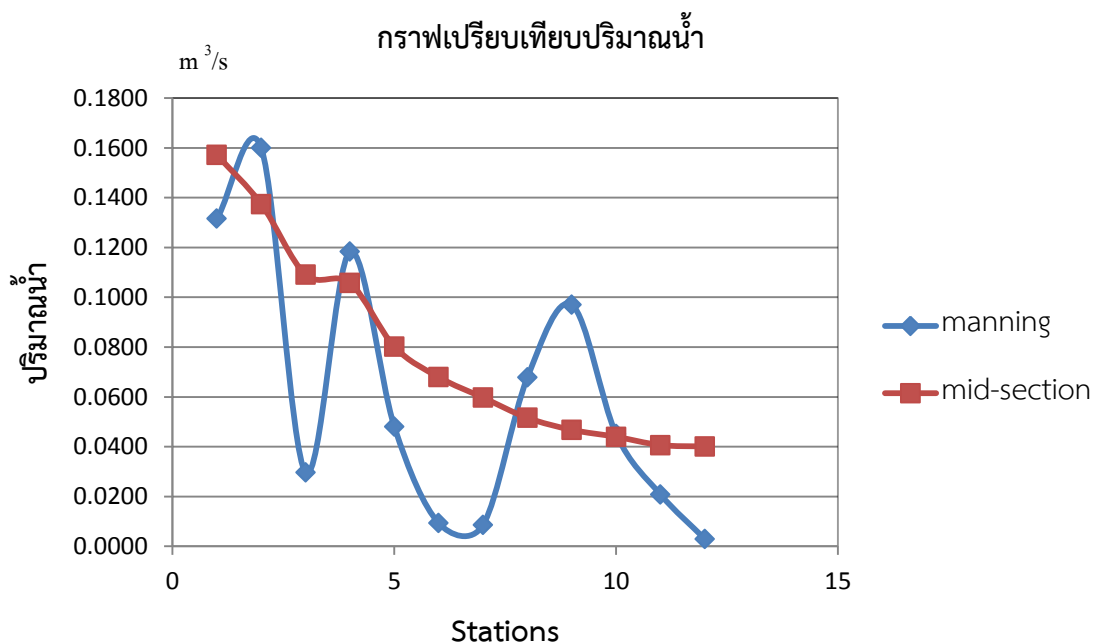
4.1.3 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำในคลองระหว่างวิธี Mid-Section Method และ วิธีคำนวณสูตร Manning

วันที่ 9 พฤษภาคม 2560



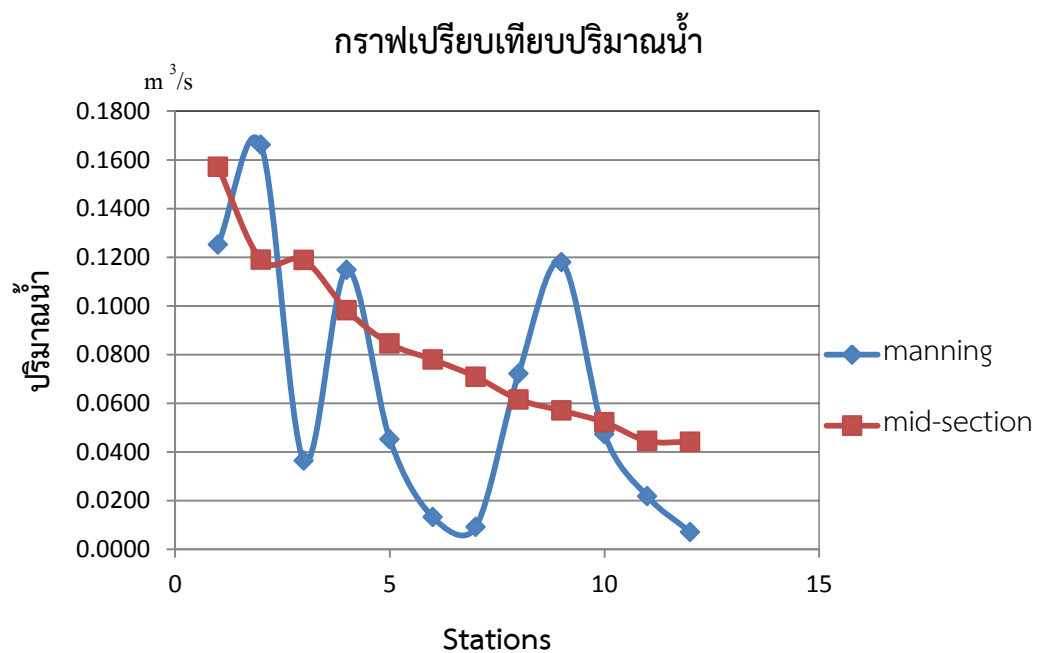
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำในคลองระหว่างวิธี Mid-Section Method และ วิธี Manning

วันที่ 7 มิถุนายน 2560



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำในคลองระหว่างวิธี Mid-Section Method และ วิธี Manning

วันที่ 8 มิถุนายน 2560



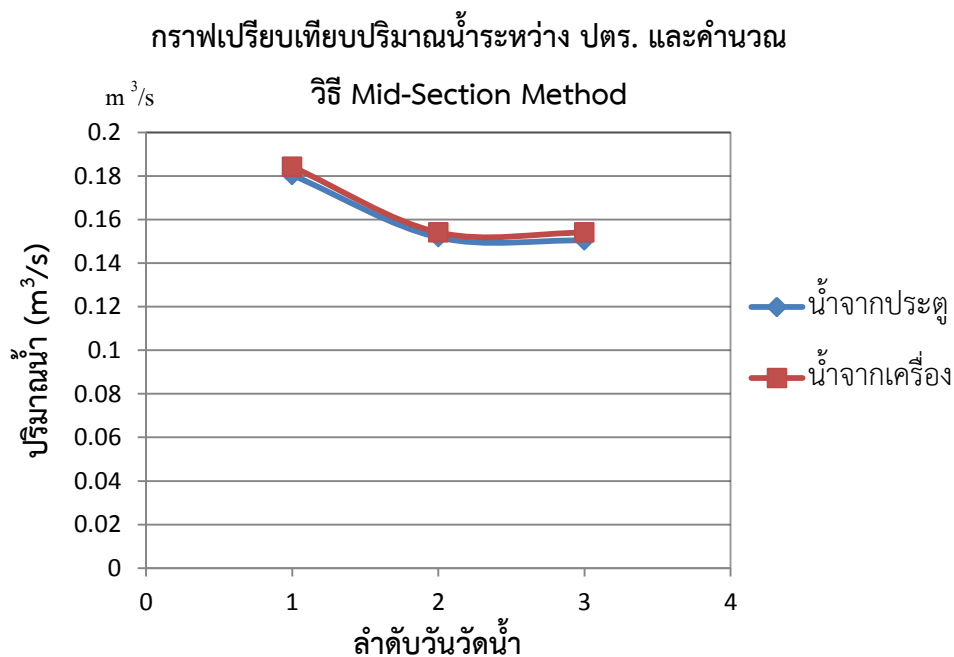
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำในคลองระหว่างวิธี Mid-Section Method และ วิธี Manning

จากกราฟรูปที่ 4.2 4.3 และ 4.4 ค่าที่ได้จากการคำนวณของวิธี Mid-Sections-Method ที่ได้ค่าความเร็วการไหลจากเครื่องวัดความเร็วการไหล ซึ่งแนวโน้มลดลงจากต้นคลองเรื่อย ๆ จากต้นคลอง ส่วนกราฟที่ได้ค่าจากการคำนวณจากสมการ Manning มีค่าที่ ขึ้น-ลง ค่าเหล่านี้จะได้จากความเร็วการไหลที่จะแปรเปลี่ยนไปตามหน้าตัดของคลองและสภาพท้องคลอง ซึ่งปริมาณน้ำในคลองแต่ละช่วงไม่เท่ากัน จากที่กลุ่มผู้จัดทำได้ทำการลงพื้นที่จริงและประเมินความเร็วจากการไหลในคลอง พบว่าช่วงที่มีระดับน้ำที่สูงมีการความเร็วการไหลที่ช้า ส่วนช่วงที่มีระดับน้ำที่ต่ำมีการความเร็วการไหลที่เร็ว ซึ่งมันขัดแย้งกับค่าที่ได้จากการคำนวณสมการ Manning ดังนั้นกลุ่มผู้จัดทำจึงได้เลือกใช้ค่าจากการคำนวณ Mid-Sections-Method ซึ่งได้มีการเทียบกับปริมาณที่ไหลเข้าในคลองที่ผ่านประตูระบายน้ำของกรมชลประทานที่มีการสอบเทียบตามมาตรฐานอยู่เป็นประจำ

จากค่าอัตราการไหลที่คำนวณจากสมการ Manning ได้ไม่สอดคล้องกับที่คำนวณของวิธี Mid-Section Method เนื่องจากไม่ได้หาความลาดชันท้องคลองของแต่ละช่วง ทำให้ไม่รู้ความลาดชันท้องคลองจริง

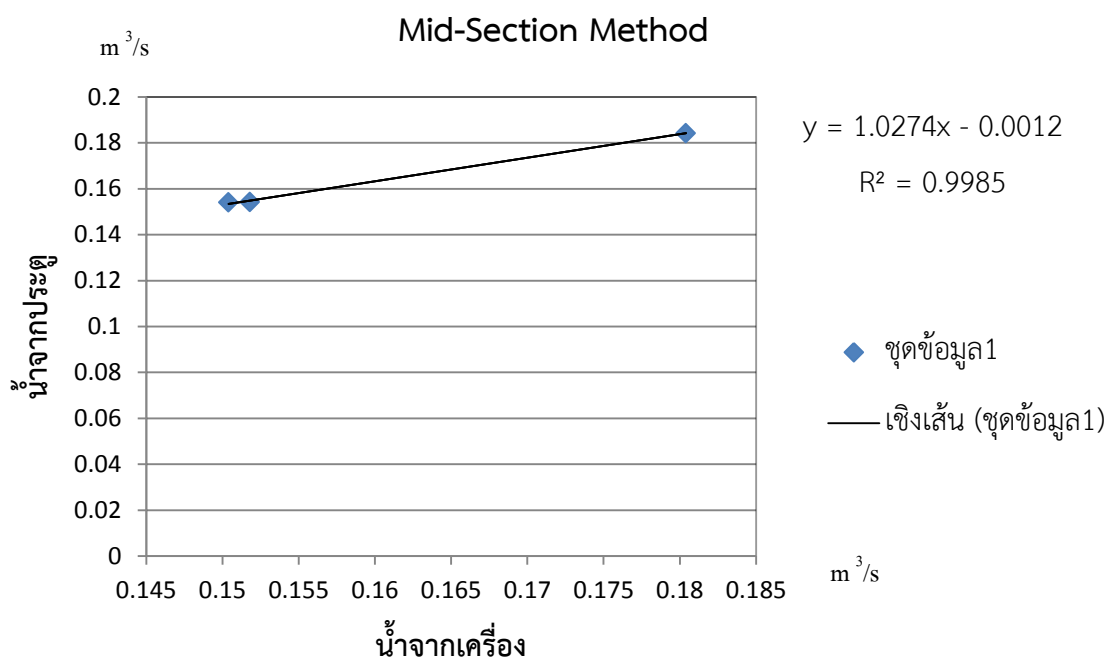
ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) มีค่าต่างกัน บางช่วงคลองลึกหรือ บางช่วงมีซากพืช ขยะ ทราย ดิน หิน ทำให้ประเมินค่า (n) ไม่ถูกต้อง จึงทำให้บางช่วงอัตราการไหลมีค่าไม่คงที่ สำหรับโครงการนี้จึงไม่สามารถนำผลการคำนวณจากสมการ Manning มาใช้ได้

4.1.4 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำจากเครื่องมือวัดและปริมาณน้ำจากประตูระบายน้ำ



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำจากเครื่องมือวัดและปริมาณน้ำจากประตูระบายน้ำ

เปรียบเทียบค่าให้เป็นมาตรฐานจากประตูละบายน้ำกับการคำนวณวิธี



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบเพื่อให้เป็นค่ามาตรฐานของปริมาณน้ำจากเครื่องมือวัดและปริมาณน้ำจากประตูระบายน้ำ

จากรูปที่ 4.6 การเทียบปริมาณน้ำที่เข้าในคลองระหว่างเครื่องมือวัดและประตูละบายน้ำทางปากเข้าคลอง ซึ่งที่ได้คือปริมาณน้ำที่ได้จากเครื่องมือวัดมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำที่ได้จากประตูระบายน้ำ และได้ทำการเปรียบเทียบเพื่อให้เป็นค่ามาตรฐานตามรูปที่ 4.6 ซึ่งได้สมการ $y = 1.0274x - 0.0012$ ซึ่ง y คือปริมาณน้ำที่ปรับแก้แล้ว ส่วน x คือค่าปริมาณน้ำที่ได้จากการคำนวณ Mid-Sections-Method เมื่อปรับแก้แล้ว วันที่ 9 พ.ค. 2560 ได้ 0.1881 เมตร³/วินาที วันที่ 7 มิ.ย. 2560 ได้ 0.1572 เมตร³/วินาที วันที่ 8 มิ.ย. 2560 ได้ 0.1570 เมตร³/วินาที

4.2 การคำนวณปริมาณน้ำที่นำไปใช้

การส่งน้ำของกรมชลประทานส่วนใหญ่จะส่งน้ำให้แก่เกษตรกรนำไปใช้ในการ อุปโภค-บริโภค ทำการเกษตร เลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ซึ่งการใช้ น้ำของสายซอย 1 ขวา มีการใช้ที่หลากหลายรูปแบบ ทั้งใช้ในการ อุปโภคของครัวเรือน เช่น ชักผ้า ล้างจาน อาบน้ำ รีดรีดต่าง ๆ ใช้ในการ ล้างจาน ล้างอุปกรณ์ รถน้ำ ต้นไม้ หญ้า และมีการเติมใส่บ่อน้ำในรีดรีด การเกษตร เช่น นาข้าว พืชผักสวนครัว พืชไร่ ซึ่งในการนำน้ำไปใช้มีหลายวิธี ได้แก่ ท่อส่งน้ำเข้านา (Sluice Gate) กาลักน้ำ ท่อน้ำ ป้อนน้ำ เป็นต้น ซึ่งมีข้อมูลดังต่อไปนี้

4.2.1 ท่อส่งน้ำเข้านา

วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 เวลา 09.30 ถึง 17.00 น.

ตารางที่ 4.7 ตารางปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อส่งน้ำเข้านา

ระยะ กม. 0+508 (1ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0623	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1100	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.6100	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2820	เมตร
ธรณีประตู	0.2700	เมตร
H= D	0.2820	เมตร
h = U - D	0.3280	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0134	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 0+850 (2ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0615	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1100	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.6100	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1000	เมตร
ธรณีประตู	0.0000	เมตร
H= D	0.1000	เมตร
h = U - D	0.5100	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0058	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+160 (1ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0624	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1150	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4200	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.4000	เมตร
ธรณีประตู	0.1650	เมตร
H= D	0.4000	เมตร
h = U - D	0.0200	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0047	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 2+230 (2ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0621	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.2800	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4900	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.4700	เมตร
ธรณีประตู	0.1900	เมตร
H= D	0.4700	เมตร
h = U - D	0.0200	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0055	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+230 (4ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0605	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.2100	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4900	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1000	เมตร
ธรณีประตู	0.1800	เมตร
H= D	0.2820	เมตร
h = U - D	0.3900	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0050	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 2+650 (3ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0623	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1150	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.5300	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3500	เมตร
ธรณีประตู	0.2700	เมตร
H= D	0.3500	เมตร
h = U - D	0.1800	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0123	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 3+030 (3ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0622	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.3850	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3200	เมตร
ธรณีประตู	0.0900	เมตร
H= D	0.3200	เมตร
h = U - D	0.0650	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0067	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+030 (5ข)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d L G \sqrt{2gh}$	
Cd = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0616	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0900	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.3850	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1300	เมตร
ธรณีประตู	0.2150	เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.1700	เมตร
h = Y - 0.6G	0.1160	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0025	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 3+713 (4ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0626	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0200	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4700	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3100	เมตร
ธรณีประตู	0.1200	เมตร
H= D	0.3100	เมตร
h = U - D	0.1600	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0103	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+799 (5ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0623	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0900	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4800	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2500	เมตร
ธรณีประตู	0.1100	เมตร
H= D	0.2500	เมตร
h = U - D	0.2300	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0099	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 4+014 (6ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0618	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.3500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4300	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3900	เมตร
ธรณีประตู	0.1700	เมตร
H = D	0.3900	เมตร
h = U - D	0.0400	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0064	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+314 (7ข)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d L G \sqrt{2gh}$	
Cd = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0616	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0800	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.2900	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.0400	เมตร
ธรณีประตู	0.2400	เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.0500	เมตร
h = Y - 0.6G	0.0020	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0003	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 4+814 (8ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0626	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0300	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.3500	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3400	เมตร
ธรณีประตู	0.3000	เมตร
H= D	0.3400	เมตร
h = U - D	0.0100	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0028	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+964 (9ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0622	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.3700	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1200	เมตร
ธรณีประตู		เมตร
H= D	0.1200	เมตร
h = U - D	0.2500	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0050	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 5+191 (10ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0622	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1050	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4250	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2200	เมตร
ธรณีประตู	0.2400	เมตร
H= D	0.2200	เมตร
h = Y - 0.6G	0.1570	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0072	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 5+224 (ท่อส่งน้ำปลายคลอง)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d L G \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.8891	
L = ความกว้างบานประตู	0.6000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0200	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.5200	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.4000	เมตร
ธรณีประตู		เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.5200	เมตร
h = Y - 0.6G	0.5080	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0337	เมตร ³ /วินาที

วันที่ 7 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 ถึง 13.45 น.

ตารางที่ 4.8 ตารางปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อส่งน้ำเข้านา

ระยะ กม. 0+508 (1ซ)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0620	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1300	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.5500	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2100	เมตร
ธรณีประตู	0.2700	เมตร
H= D	0.2100	เมตร
h = U - D	0.3400	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0101	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 0+850 (2ซ)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0617	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0900	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.5800	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1000	เมตร
ธรณีประตู	0.0000	เมตร
H= D	0.1000	เมตร
h = U - D	0.4800	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0057	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+160 (1ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0619	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.2300	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.3100	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2900	เมตร
ธรณีประตู	0.1650	เมตร
H= D	0.2900	เมตร
h = U - D	0.0200	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0034	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 2+230 (2ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0626	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.5000	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.4700	เมตร
ธรณีประตู	0.1900	เมตร
H= D	0.4700	เมตร
h = U - D	0.0300	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0068	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+230 (4ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0599	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.2800	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.5000	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1000	เมตร
ธรณีประตู	0.1800	เมตร
H= D	0.1000	เมตร
h = U - D	0.4000	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0050	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 2+650 (3ข)		ปิด
ระยะ กม. 3+030 (3ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0625	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0700	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.3900	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3200	เมตร
ธรณีประตู	0.0900	เมตร
H= D	0.3200	เมตร
h = U - D	0.0700	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0070	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 3+030 (5ข)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d LG \sqrt{2gh}$	
Cd = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0616	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0400	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.3900	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1300	เมตร
ธรณีประตู	0.2150	เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.1750	เมตร
h = Y - 0.6G	0.1510	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0013	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+713 (4ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0623	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1000	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.5700	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3100	เมตร
ธรณีประตู	0.1200	เมตร
H = D	0.3100	เมตร
h = U - D	0.2600	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0131	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 3+799 (5ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0625	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0400	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4700	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2500	เมตร
ธรณีประตู	0.1100	เมตร
H= D	0.2500	เมตร
h = U - D	0.2200	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0097	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+014 (6ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0593	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.3500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4650	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1000	เมตร
ธรณีประตู	0.1700	เมตร
H= D	0.1000	เมตร
h = U - D	0.3650	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0048	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 4+314 (7ข)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d LG \sqrt{2gh}$	
Cd = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0616	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0250	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.3800	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.0400	เมตร
ธรณีประตู	0.2400	เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.1400	เมตร
h = Y - 0.6G	0.1250	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0007	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+814 (8ข)		
ปิด		
ระยะ กม. 4+964 (9ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0606	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0800	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.2500	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.0400	เมตร
ธรณีประตู		เมตร
H = D	0.0400	เมตร
h = U - D	0.2100	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0015	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 5+191 (10ข)		
ปิด		

ระยะ กม. 5+224 (ท่อส่งน้ำปลายคลอง)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d LG \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.6452	
L = ความกว้างบานประตู	0.6000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.1550	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1700	เมตร
ธรณีประตู		เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.1550	เมตร
h = Y - 0.6G	0.1250	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0303	เมตร ³ /วินาที

วันที่ 8 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 ถึง 12.45 น.

ตารางที่ 4.9 ตารางปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อส่งน้ำเข้านา

ระยะ กม. 0+508 (1ซ)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0621	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.5500	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2700	เมตร
ธรณีประตู	0.2700	เมตร
H = D	0.2700	เมตร
h = U - D	0.2800	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0118	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 0+850 (2ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0621	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1000	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.5800	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1900	เมตร
ธรณีประตู	0.0000	เมตร
H= D	0.1900	เมตร
h = U - D	0.3900	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0098	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 2+160 (1ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0619	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1550	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.3000	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2000	เมตร
ธรณีประตู	0.1650	เมตร
H= D	0.2000	เมตร
h = U - D	0.1000	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0052	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+230 (2ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0626	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.5800	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.4100	เมตร
ธรณีประตู	0.1900	เมตร
H= D	0.4100	เมตร
h = U - D	0.1700	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0141	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 2+650 (3ข)		ปิด
ระยะ กม. 3+030 (3ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0623	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1200	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4000	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3300	เมตร
ธรณีประตู	0.0900	เมตร
H= D	0.3300	เมตร
h = U - D	0.0700	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0072	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 3+030 (5ข)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d LG \sqrt{2gh}$	
Cd = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0616	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0450	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.4000	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1200	เมตร
ธรณีประตู	0.2150	เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.1850	เมตร
h = Y - 0.6G	0.1580	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0015	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+713 (4ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0623	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1000	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.4500	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2600	เมตร
ธรณีประตู	0.1250	เมตร
H = D	0.2600	เมตร
h = U - D	0.1900	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0094	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 3+799 (5ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0626	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0450	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4700	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.4000	เมตร
ธรณีประตู	0.1100	เมตร
H= D	0.4000	เมตร
h = U - D	0.0700	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0088	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+014 (6ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0606	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.3500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4600	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1600	เมตร
ธรณีประตู	0.1700	เมตร
H= D	0.1600	เมตร
h = U - D	0.3000	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0071	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 4+314 (7ข)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d LG \sqrt{2gh}$	
Cd = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0616	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0200	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.3500	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.5000	เมตร
ธรณีประตู	0.2400	เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.1100	เมตร
h = Y - 0.6G	0.0980	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0005	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+814 (8ข)		ปิด
ระยะ กม.4+964 (9ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0613	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.2200	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.0400	เมตร
ธรณีประตู		เมตร
H= D	0.0400	เมตร
h = U - D	0.1800	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0014	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 5+191 (10ข)		ปิด

ระยะ กม. 5+224 (ท่อส่งน้ำปลายคลอง)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d LG \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.6452	
L = ความกว้างบานประตู	0.6000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0700	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.1500	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1700	เมตร
ธรณีประตู		เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.1500	เมตร
h = Y - 0.6G	0.1080	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0394	เมตร ³ /วินาที

4.2.2 นำน้ำไปใช้ด้วยวิธีอื่น ๆ

4.2.2.1 ป้อนสูบน้ำ

การนำน้ำไปใช้ด้วยปั๊มสูบน้ำจะเป็นลักษณะการใช้น้ำรายวันในการอุปโภคหรือการใช้จ่ายประโยชน์ต่าง ๆ เช่น ล้างจาน ชักผ้า รดน้ำต้นไม้และหญ้า เป็นต้น ซึ่งน้ำที่ใช้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.10 ตารางการใช้น้ำจากปั๊มสูบน้ำ วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 เวลา 09.30 – 17.00 น.

ระยะปั๊มน้ำ	ปริมาณน้ำที่นำไปใช้ (เมตร ³ /วินาที)	การใช้ประโยชน์	หมายเหตุ
ระยะ กม. 1+573	0.0000	- ใช้อุปโภค	- ไม่ได้ใช้งาน
ระยะ กม. 1+990	0.0010	- ใช้รดน้ำต้นไม้และหญ้า - เติมใส่บ่อเลี้ยงปลา	- ใช้เฉพาะวันที่ฝนไม่ตก - เปิดใช้ประมาณ 1 ชม./วัน
ระยะ กม. 1+999	0.0004	- ใช้อุปโภค เช่น ชักผ้า ล้างจาน อาบน้ำ	- เปิดใช้ทุกวัน - เปิดใช้ 2-3 ครั้ง/วัน
ระยะ กม. 2+500	0.0000	- ใช้รดน้ำต้นไม้และหญ้า	- ช่วงที่ทำการวัดปิดใช้งาน
ระยะ กม. 2+740	0.0000	- ใช้ล้างจานหรืออุปกรณ์ ชักผ้า	- ไม่ได้เปิดใช้งาน

ตารางที่ 4.11 ตารางการใช้น้ำจากปั๊มสูบน้ำ วันที่ 7 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 – 13.45 น.

ระยะปั๊มน้ำ	ปริมาณน้ำที่นำไปใช้ (เมตร ³ /วินาที)	การใช้ประโยชน์	หมายเหตุ
ระยะ กม. 1+573	0.0000	- ใช้อุปโภค	- ไม่ได้วัด
ระยะ กม. 1+990	0.0010	- ใช้รดน้ำต้นไม้และหญ้า - เติมน้ำบ่อเลี้ยงปลา	- ใช้เฉพาะวันที่ฝนไม่ตก - เปิดใช้ประมาณ 1 ชม./วัน
ระยะ กม. 1+999	0.0004	- ใช้อุปโภค เช่น ชักผ้า ล้างจาน อ่างน้ำ	- เปิดใช้ทุกวัน - เปิดใช้ 2-3 ครั้ง/วัน
ระยะ กม. 2+500	0.0000	- ใช้รดน้ำต้นไม้และหญ้า	- ช่วงที่ทำการวัดปิดใช้งาน
ระยะ กม. 2+740	0.0000	- ใช้ล้างจานหรืออุปกรณ์ ซักผ้า	- ช่วงที่ทำการวัดปิดใช้งาน

ตารางที่ 4.12 ตารางการใช้น้ำจากปั๊มสูบน้ำ วันที่ 8 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 – 12.45 น.

ระยะปั๊มน้ำ	ปริมาณน้ำที่นำไปใช้ (เมตร ³ /วินาที)	การใช้ประโยชน์	หมายเหตุ
ระยะ กม. 1+573	0.0000	- ใช้อุปโภค	- ไม่ได้วัด
ระยะ กม. 1+990	0.0010	- ใช้รดน้ำต้นไม้และหญ้า - เติมน้ำบ่อเลี้ยงปลา	- ใช้เฉพาะวันที่ฝนไม่ตก - เปิดใช้ประมาณ 1 ชม./วัน
ระยะ กม. 1+999	0.0004	- ใช้อุปโภค เช่น ชักผ้า ล้างจาน อ่างน้ำ	- เปิดใช้ทุกวัน - เปิดใช้ 2-3 ครั้ง/วัน
ระยะ กม. 2+500	0.0000	- ใช้รดน้ำต้นไม้และหญ้า	- ช่วงที่ทำการวัดปิดใช้งาน
ระยะ กม. 2+740	0.0000	- ใช้ล้างจานหรืออุปกรณ์ ซักผ้า	- ช่วงที่ทำการวัดปิดใช้งาน

4.2.2.2 กาลักน้ำและท่อน้ำ

การนำน้ำไปใช้ด้วยปั๊มกาลักน้ำหรือท่อน้ำสูบน้ำจะเป็นลักษณะการนำน้ำไปในการเพาะปลูก ซึ่งพื้นที่เพาะปลูกมีลักษณะต่ำกว่าคลองส่งน้ำ หรือไม่มีท่อส่งน้ำเข้าพื้นที่พื้นที่เพาะปลูกของตนเอง ช่วงที่ทำการวัดน้ำนั้นเป็นช่วงฤดูที่เก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วจึงไม่มีการใช้น้ำจากกาลักน้ำ ส่วนท่อน้ำที่นำน้ำไปใช้นั้น จะเป็นการนำน้ำไปเพื่อเติมน้ำบ่อเลี้ยงปลา หรือเติมน้ำสระน้ำ ซึ่งน้ำที่ใช้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.13 ตารางการใช้น้ำจากท่อน้ำ วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 09.30 – 17.00 น.

ระยะท่อน้ำ	ปริมาณน้ำที่นำไปใช้ (เมตร ³ /วินาที)	การใช้ประโยชน์	หมายเหตุ
2+304 (ท่อ 4 นิ้ว)	0.0000	- นำน้ำไปใช้ในแปลง เพาะปลูก	- ช่วงที่ไปวัดปิดใช้งาน
2+650 (ท่อ 3 นิ้ว)	0.0000	- ใช้รดน้ำต้นไม้และหญ้า - เต็มใส่บ่อเลี้ยงปลา	- เปิดใช้งานวันที่ฝนไม่ตก - ช่วงที่ไปวัดปิดใช้งาน
3+005 (ท่อ 4 นิ้ว)	0.0049	- ใช้เติมน้ำใส่บ่อขนาด ใหญ่	- เปิดทุกวัน - เปิดตลอด 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.14 ตารางการใช้น้ำจากท่อน้ำ วันที่ 7 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 – 13.45 น.

ระยะท่อน้ำ	ปริมาณน้ำที่นำไปใช้ (เมตร ³ /วินาที)	การใช้ประโยชน์	หมายเหตุ
2+304 (ท่อ 4 นิ้ว)	0.0000	- นำน้ำไปใช้ในแปลง เพาะปลูก	- ช่วงที่ไปวัดปิดใช้งาน
2+650 (ท่อ 3 นิ้ว)	0.0059	- ใช้รดน้ำต้นไม้/หญ้า - เต็มใส่บ่อเลี้ยงปลา	- เปิดใช้งานวันที่ฝนไม่ตก - เปิด 24 ชั่วโมง
3+005 (ท่อ 4 นิ้ว)	0.0036	- ใช้เติมน้ำใส่บ่อขนาด ใหญ่	- เปิดทุกวัน - เปิดตลอด 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.15 ตารางการใช้น้ำจากท่อน้ำ วันที่ 8 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 – 12.45 น.

ระยะท่อน้ำ	ปริมาณน้ำที่นำไปใช้ (เมตร ³ /วินาที)	การใช้ประโยชน์	หมายเหตุ
2+304 (ท่อ 4 นิ้ว)	0.0000	- นำน้ำไปใช้ในแปลง เพาะปลูก	- ช่วงที่ไปวัดปิดใช้งาน
2+650 (ท่อ 3 นิ้ว)	0.0046	- ใช้รดน้ำต้นไม้/หญ้า - เต็มใส่บ่อเลี้ยงปลา	- เปิดใช้งานวันที่ฝนไม่ตก - เปิด 24 ชั่วโมง
3+005 (ท่อ 4 นิ้ว)	0.0027	- ใช้เติมน้ำใส่บ่อขนาด ใหญ่	- เปิดทุกวัน - เปิดตลอด 24 ชั่วโมง

4.2.2.3 การสูบน้ำไปทำถนน

จากการซ่อมแซมถนนข้างคลองส่งน้ำนั้นทางผู้รับเหมาได้มีการสูบน้ำไปใช้ ซึ่งในการสูบน้ำนี้จะทำการสูบน้ำหลายจุดตลอดทั้งสาย รถสูบน้ำมีทั้งหมด 2 คัน จะสลับกันสูบน้ำ โดยรถแต่ละคันจะทำการสูบน้ำประมาณ 15 นาที จะสูบน้ำ 2 เทียวต่อวันต่อคัน ซึ่ง 1 คัน จะสูบน้ำได้ประมาณ 13 ลูกบาศก์เมตร และในช่วงที่ทำถนนนั้นเริ่มนำมาคิด 2 วัน ตั้งแต่ วันที่ 7-8 มิถุนายน 2560 ได้ปริมาตรน้ำ คือ 0.0144 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

4.3 ประสิทธิภาพการส่งน้ำ

ประสิทธิภาพการส่งน้ำ คือ ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ จากจุดที่เริ่มต้นส่งน้ำ เช่น อ่างเก็บน้ำ สถานีสูบน้ำหรือแม่น้ำ (ปาก ปตร.) จนถึงปลายคลอง หาได้จากสูตร

$$E_c = \frac{W_f + W_{outlet}}{W_g} \times 100$$

โดยที่ E_c = ประสิทธิภาพการส่งน้ำ เป็นเปอร์เซ็นต์

W_f = ปริมาณน้ำที่เหลือปลายคลองส่งน้ำ หน่วยเป็นความลึกหรือปริมาตร

W_{outlet} = ปริมาณน้ำที่นำออกไปใช้จากคลอง หน่วยเป็นความลึกหรือปริมาตร

W_g = ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองส่งน้ำ หน่วยเป็นความลึกหรือปริมาตร

เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียไป ซึ่งไม่รวมปริมาณที่นำออกไปใช้จากคลอง เช่น การระเหย การรั่วซึม หรืออุปสรรคต่าง ๆ กับปริมาณน้ำที่สูญเสียไปทั้งหมด หาได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้งหมด} - \text{ปริมาณน้ำที่นำออกจากคลอง}}{\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้งหมด}}$$

4.3.1 ประสิทธิภาพการส่งน้ำของคลอง 1 ขวา

วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 ได้ทำการวัดน้ำ จากเวลา 09.30 น. ถึง 17.00 น. ประมาณ 7 ชั่วโมงครึ่ง ซึ่งวันนี้เป็นวันแรกในการทำการวัดน้ำพื้นที่จริงจึงทำให้การทำงานไม่ค่อยราบรื่นมากนัก เนื่องจากยังไม่ทราบว่ามีจุดไหนที่นำน้ำไปใช้บ้างจึงต้องทำการวัดทุก ๆ จุดที่มีการนำน้ำไปใช้ หรือจุดที่คาดว่าจะอุปสรรคในการไหล ทำให้ใช้ระยะเวลาเยอะพอสมควร สภาพอากาศวันนี้ค่อนข้างร้อน และเป็นช่วงใกล้จะเก็บเกี่ยวผลผลิตของนาข้าว จึงทำให้มีการใช้น้ำของนาข้าวน้อย

วันที่ 7 มิถุนายน 2560 ได้ทำการวัดน้ำ จากเวลา 09.00 ถึง 13.45 น. ประมาณ 4 ชั่วโมง 45 นาที ซึ่งเป็นการวัดน้ำวันที่ 2 ทำให้การวัดน้ำทำได้เร็วขึ้น สภาพอากาศวันนี้ตอนกลางวันร้อนมาก แต่ตอนเย็นจะมีฝนตก ช่วงที่ไปวัดน้ำเป็นช่วงที่เก็บเกี่ยวผลผลิตนาข้าวแล้ว และเป็นช่วงฤดูทำให้การส่งน้ำ

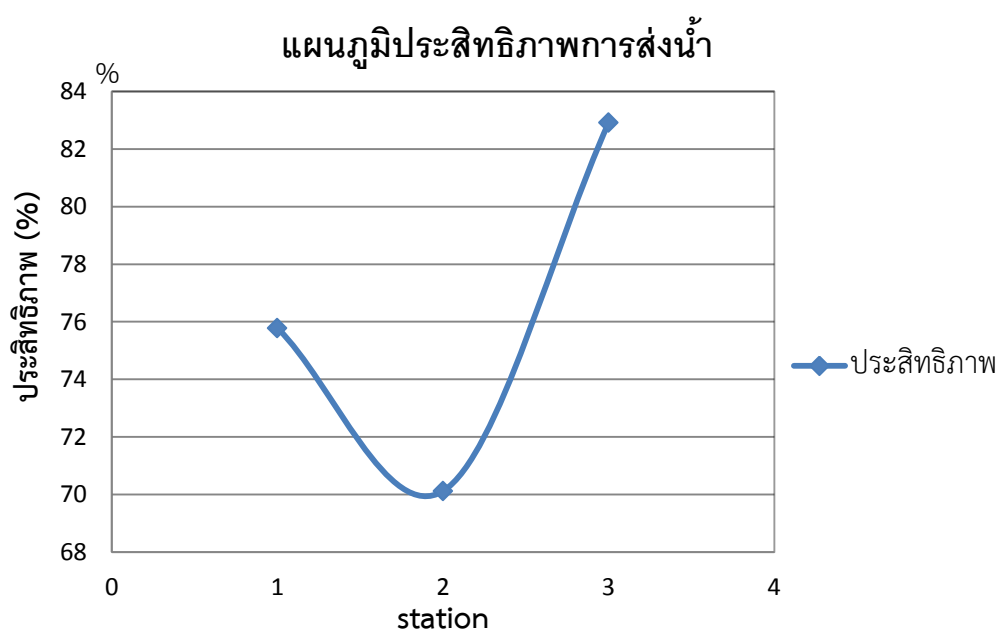
เข้าสู่ระบบเพื่อทำการเลี้ยงคลอง เพราะช่วงนี้ทางกรมชลประทานไม่ได้ส่งน้ำให้ทำการเกษตร ส่วนใหญ่จะใช้น้ำฝนแทน

วันที่ 8 มิถุนายน 2560 ได้ทำการวัดน้ำ จากเวลา 09.00-12.45 น. ประมาณ 3 ชั่วโมง 45 นาที ซึ่งเป็นการวัดน้ำวันที่ 3 ทำให้การวัดน้ำทำได้เร็วขึ้น สภาพอากาศวันนี้ตอนกลางวันร้อนมาก แต่ตอนเย็นจะมีฝนตก ช่วงที่ไปวัดน้ำเป็นช่วงที่เก็บเกี่ยวผลผลิตนาข้าวแล้ว และเป็นช่วงฤดูทำให้การส่งน้ำเข้าสู่ระบบเพื่อทำการเลี้ยงคลอง เพราะช่วงนี้ทางกรมชลประทานไม่ได้ส่งน้ำให้ทำการเกษตร ส่วนใหญ่จะใช้น้ำฝนแทน จากข้อมูลและการคำนวณจึงทำให้วิเคราะห์ผลการปฏิบัติการ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.3.1.1 การคำนวณประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา

ตาราง 4.16 ประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอดสาย 1 ขวา

ครั้งที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณน้ำ ที่ส่งเข้าสู่ ระบบ (m^3/s)	ปริมาณน้ำ ที่ใช้ (m^3/s)	ปริมาณน้ำที่ เหลือท้าย คลอง (m^3/s)	ประสิทธิภาพ (%)	เปอร์เซ็นต์ การสูญเสีย (%)
1	9 พ.ค. 2560	0.1881	0.1088	0.0337	75.78	29.53
2	7 มิ.ย. 2560	0.1572	0.0799	0.0303	70.50	37.04
3	8 มิ.ย. 2560	0.1570	0.0999	0.0394	83.30	15.05



รูปที่ 4.7 แผนภูมิประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา

4.3.1.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา

จากการศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำของคลองซอย 1 ขวา ได้ทำการเก็บข้อมูล 3 วัน คือ วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 วันที่ 7 มิถุนายน 2560 และ วันที่ 8 มิถุนายน 2560 ซึ่งได้ประสิทธิภาพดังตาราง 4.16 และมีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้สูญเสียประสิทธิภาพ ดังนี้

(1) **สภาพของคลองส่งน้ำ** เป็นคลองส่งน้ำแบบตาดคอนกรีต ซึ่งสภาพคลองส่งน้ำปัจจุบันมีรอยแตกร้าวประมาณ 2-3 เมตร ที่ กม. 1+300 ท้องคลองส่งน้ำมีลักษณะที่แตกต่างกันทุกช่วงตลอดสาย เช่น มีกรวด หิน ทราย และโคลน ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของคลอง จากสมการ Manning มีค่าที่แตกต่างกันออกไปแล้วแต่สภาพท้องคลอง ภายในคลองยังมีก้อนหินขนาดใหญ่ ขยะวัชพืช รวมทั้งมีการนำสิ่งไปกีดขวางทางน้ำเพื่อยกกระต๊อบน้ำให้สูงขึ้น และให้น้ำไหลเข้าที่ที่ต้องการ

(2) **การนำน้ำไปใช้ของเกษตรกร ชาวบ้าน และรีสอร์ท** มีการนำน้ำไปใช้ในหลายรูปแบบทั้ง ผ่านท่อส่งน้ำเข้านา ซึ่งท้ายท่อส่งน้ำเข้านาบางจุด มีลักษณะแอ่ง มีหญ้า ใบไม้ ขึ้นปกคลุมและเป็นป่าหญ้าที่รกมาก ทำให้ยากต่อการวัดระดับน้ำท้ายน้ำที่ถูกต้องได้ ส่วนการนำน้ำไปใช้ในรูปแบบอื่น เช่น ปั่น กาลักน้ำ ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณปริมาณน้ำในรูปแบบนี้จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาการใช้งานของแต่ละจุดที่ไม่เท่ากัน และเมื่อสอบถามผู้ที่ใช้น้ำส่วนใหญ่จะไม่ทราบเวลา เปิด-ปิด ที่แน่นอน ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นการประมาณการ

(3) **เครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติในครั้งนี้ค่อนข้างมีข้อจำกัด** คือ มีจุดทศนิยมแค่จุดเดียว เมื่อมีการวัดความเร็วน้ำที่ไหลช้ามาก ๆ หรือมีค่าน้อยกว่าทศนิยมหนึ่งจุด เช่น 0.01 เครื่องจะไม่สามารถวัดได้ ทำให้บางช่วงที่วัดต้องมีการใช้วิธีทวนลอยมาช่วงในการเก็บข้อมูล

ปัจจัยเหล่านี้มีส่วนที่ทำให้การไหลและความเร็วของน้ำเปลี่ยนแปลงตลอดสาย ทำให้การคำนวณประสิทธิภาพคลองส่งน้ำเป็นไปได้ยากและอาจมีการผิดพลาดได้

4.3.2 ประสิทธิภาพการส่งน้ำในแต่ละช่วง

ประสิทธิภาพการส่งน้ำในแต่ละช่วงจะทำการวัดทุกระยะ กม. ที่ 500 ประมาณ 12 จุด ซึ่งในแต่ละจุดจะมีการใช้น้ำที่แตกต่างกัน แล้วนำมาคำนวณโดย และจะทำให้ทราบว่าปริมาณน้ำที่วัดได้สอดคล้องกับปริมาณน้ำที่นำไปใช้หรือไม่ และสามารถวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพส่งน้ำ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.2.1 การคำนวณประสิทธิภาพการส่งน้ำในแต่ละช่วง

ตาราง 4.17 ประสิทธิภาพการส่งน้ำในแต่ละช่วง วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 เวลา 09.30 – 17.00 น.

ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะน้ำ ที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย
0+000	0+508	ท่อส่งน้ำเข้า นา (1ซ)	0.0134	0.0134	0.1881	0.0152	99.04	11.89
0+600		ไม่มี	0.0000	0.0000	0.1729	0.0145	91.64	100.00
1+000		ไม่มี	0.0000	0.0000	0.1584	0.0097	93.88	100.00
1+500	1+573 0+850 1+990 1+999	ปั๊มน้ำ ท่อส่งน้ำเข้า นา (2ซ) ปั๊มน้ำ ปั๊มน้ำ	0.0000 0.0058 0.0010 0.0004	0.0072	0.1487	0.0352	81.17	79.65
2+000	2+160 2+ 160 2+230 2+230 2+304	ท่อส่งน้ำเข้า นา (1ซ) กาลักน้ำ ท่อส่งน้ำเข้า นา (2ซ) ท่อส่งน้ำเข้า นา (4ซ) ท่อ 4 นิ้ว	0.0047 0.0000 0.0055 0.0050 0.0000	0.0152	0.1136	0.0112	103.50	-35.48
2+500				0.0123	0.1024	0.0212	91.26	42.10

ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะน้ำ ที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย (%)
	2+500 2+650 2+650 2+740	ปั้มน้ำ ท่อ 3 นิ้ว ท่อส่งน้ำเข้า นา (3ข) ปั้มน้ำ	0.0000 0.0000 0.0123 0.0000					
3+000	3+005 3+030 3+030	ท่อ 4 นิ้ว ท่อส่งน้ำเข้า นา (3ข) ท่อส่งน้ำเข้า นา (5ข)	0.0049 0.0067 0.0025	0.0131	0.0811	0.0058	110.34	-145.58
3+500	3+650 3+713 3+799	ท่อส่งน้ำ เข้านา (6ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (4ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (5ข)	0.0000 0.0103 0.0099	0.0202	0.0754	0.0050	120.22	-304.41
4+000	4+014 4+314	ท่อส่งน้ำ เข้านา (6ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (7ข)	0.0064 0.0003	0.0067	0.0703	0.0087	97.23	22.54
4+500	4+814	ท่อส่งน้ำ เข้านา (8ข)	0.0028	0.0078	0.0617	0.0027	108.26	-189.38

ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะน้ำ ที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย
	4+964	ท่อส่งน้ำ เข้านา (9ข)	0.0050					
5+000	5+191	ท่อส่งน้ำ เข้านา (10ข)	0.0072	0.0072	0.0590	0.0204	77.68	64.64
5+224	5+224	ปตร. ปลายคลอง ปตร. ปลายคลอง	0.0337 0.0047	0.0384	0.0386	0.0386	99.40	0.60

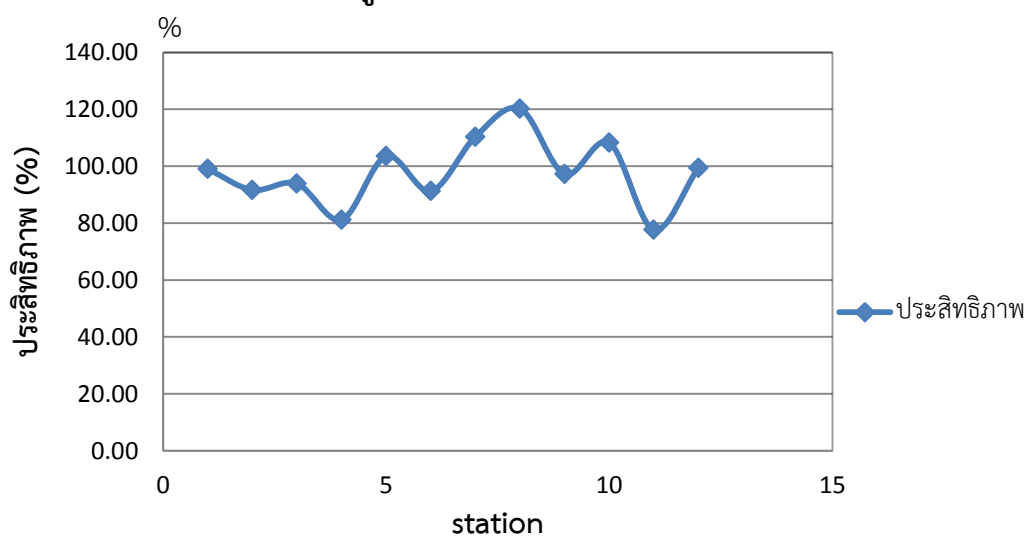
หมายเหตุ :: ค่า 0.0000 คือค่าที่ไม่มีการใช้น้ำหรือปิดการใช้งานที่จุดนั้น ๆ

ค่าเท่ากับ 100% คือ ไม่มีปริมาณน้ำออกจากคลอง

ค่าเกิน 100% คือ ปริมาณน้ำที่ออกมีค่าเกินปริมาณน้ำที่สูญเสีย

ค่าติดลบ คือ ปริมาณน้ำที่ออกมีค่าเกินปริมาณน้ำที่สูญเสีย

แผนภูมิประสิทธิภาพการส่งน้ำ



รูปที่ 4.8 แผนภูมิประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา วันที่ 9 พฤษภาคม 2560

ตาราง 4.18 ประสิทธิภาพการส่งน้ำในแต่ละช่วง วันที่ 7 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 – 13.45 น.

ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะน้ำ ที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย (%)
0+000	0+508	ท่อส่งน้ำเข้า นา (1ซ)	0.0101	0.0101	0.1572	0.0197	93.88	48.81
0+600		ไม่มี	0.0000	0.0000	0.1374	0.0283	79.39	100.00
1+000		ไม่มี	0.0000	0.0000	0.1091	0.0033	96.93	100.00
1+500	1+573 0+850 1+990 1+999	ปั้มน้ำ ท่อส่งน้ำเข้า นา (2ซ) ปั้มน้ำ ปั้มน้ำ	0.0000 0.0057 0.0010 0.0004	0.0071	0.1058	0.0256	82.45	72.61
2+000	2+160 2+ 160 2+230 2+230 2+304	ท่อส่งน้ำเข้า นา (1ซ) กาลักน้ำ ท่อส่งน้ำเข้า นา (2ซ) ท่อส่งน้ำเข้า นา (4ซ) ท่อ 4 นิ้ว	0.0034 0.0000 0.0068 0.0050 0.0000	0.0152	0.0802	0.0123	103.64	-23.83
2+500	2+500 2+650	ปั้มน้ำ ท่อ 3 นิ้ว	0.0000 0.0059	0.0059	0.0679	0.0082	96.63	27.86

ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะน้ำ ที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย (%)
	2+650 2+740	ท่อส่งน้ำเข้า นา (3ข) ปั๊มน้ำ	0.0000 0.0000					
3+000	3+005 3+030 3+030	ท่อ 4 นิ้ว ท่อส่งน้ำเข้า นา (3ข) ท่อส่งน้ำเข้า นา (5ข)	0.0036 0.0070 0.0013	0.0119	0.0597	0.0081	106.30	-46.32
3+500	3+650 3+713 3+799	ท่อส่งน้ำ เข้านา (6ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (4ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (5ข)	0.0000 0.0131 0.0097	0.0228	0.0516	0.0048	134.92	-374.05
4+000	4+014 4+314	ท่อส่งน้ำ เข้านา (6ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (7ข)	0.0048 0.0007	0.0055	0.0468	0.0028	105.74	-95.84
4+500	4+814 4+964	ท่อส่งน้ำ เข้านา (8ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (9ข)	0.0000 0.0015	0.0015	0.0440	0.0033	95.82	55.49

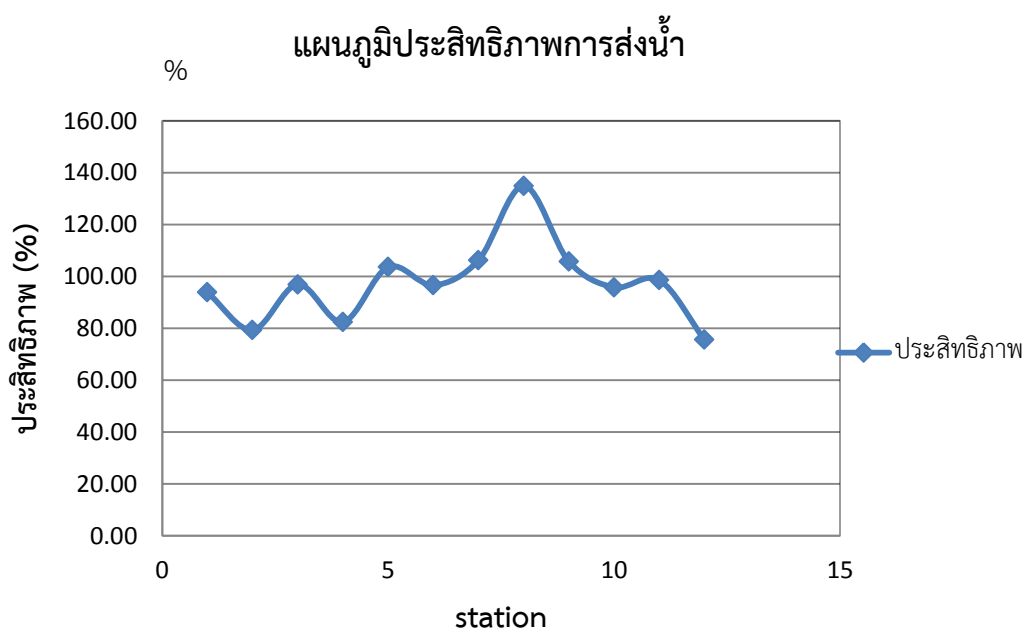
ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะน้ำ ที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย (%)
5+000	5+191	ท่อส่งน้ำ เข้านา (10ข)	0.0000	0.0000	0.0407	0.0006	98.59	100.00
5+224	5+224	ปตร. ปลายคลอง	0.0303	0.0303	0.0401	0.0401	75.59	24.41

หมายเหตุ :: ค่า 0.0000 คือค่าที่ไม่มีการใช้น้ำหรือปิดการใช้งานที่จุดนั้น ๆ

ค่าเท่ากับ 100% คือ ไม่มีปริมาณน้ำออกจากคลอง

ค่าเกิน 100% คือ ปริมาณน้ำที่ออกมีค่าเกินปริมาณน้ำที่สูญเสีย

ค่าติดลบ คือ ปริมาณน้ำที่ออกมีค่าเกินปริมาณน้ำที่สูญเสีย



รูปที่ 4.9 แผนภูมิประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา วันที่ 7 มิถุนายน 2560

ตาราง 4.19 ประสิทธิภาพการส่งน้ำในแต่ละช่วง วันที่ 8 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 – 13.45 น.

ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะ น้ำที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m^3/s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m^3/s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m^3/s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m^3/s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย (%)
0+000	0+508	ท่อส่งน้ำเข้า นา (1ข)	0.0118	0.0118	0.1570	0.0381	83.28	69.02
0+600		ไม่มี	0.0000	0.0000	0.1190	0.0002	99.85	100.00
1+000		ไม่มี	0.0000	0.0000	0.1188	0.0206	82.65	100.00
1+500	1+573 0+850 1+990 1+999	ปั้มน้ำ ท่อส่งน้ำเข้า นา (2ข) ปั้มน้ำ ปั้มน้ำ	0.0000 0.0098 0.0010 0.0004	0.0112	0.0982	0.0138	97.31	19.20
2+000	2+160 2+ 160 2+230 2+230 2+304	ท่อส่งน้ำเข้า นา (1ข) กาลักน้ำ ท่อส่งน้ำเข้า นา (2ข) ท่อส่งน้ำเข้า นา (4ข) ท่อ 4 นิ้ว	0.0052 0.0000 0.0141 0.0055 0.0000	0.0248	0.0844	0.0065	121.70	-282.95
2+500	2+500 2+650	ปั้มน้ำ ท่อ 3 นิ้ว	0.0000 0.0046	0.0046	0.0780	0.0071	96.75	35.49

ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะ น้ำที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย (%)
	2+650 2+740	ท่อส่งน้ำเข้า นา (3ข) ปั๊มน้ำ	0.0000 0.0000					
3+000	3+005 3+030 3+030	ท่อ 4 นิ้ว ท่อส่งน้ำเข้า นา (3ข) ท่อส่งน้ำเข้า นา (5ข)	0.0027 0.0072 0.0015	0.0114	0.0708	0.0093	102.91	-22.06
3+500	3+650 3+713 3+799	ท่อส่งน้ำ เข้านา (6ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (4ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (5ข)	0.0000 0.0094 0.0088	0.0182	0.0615	0.0046	122.15	-298.83
4+000	4+014 4+314	ท่อส่งน้ำ เข้านา (6ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (7ข)	0.0071 0.0005	0.0076	0.0569	0.0048	104.88	-58.02
4+500	4+814 4+964	ท่อส่งน้ำ เข้านา (8ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (9ข)	0.0000 0.0014	0.0014	0.0522	0.0077	87.85	82.08

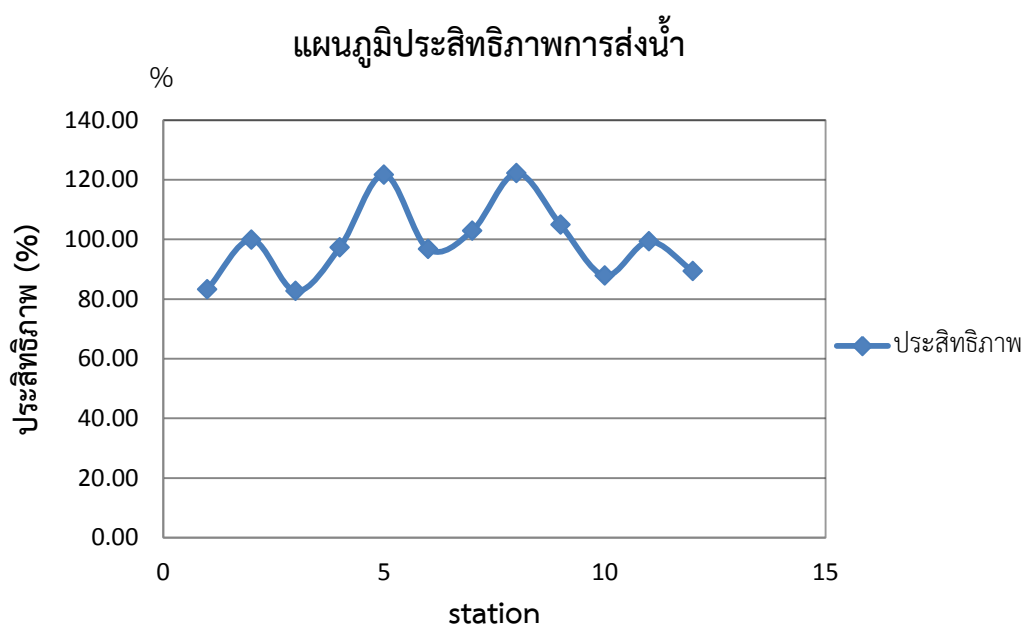
ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะ น้ำที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย (%)
5+000	5+191	ท่อส่งน้ำ เข้านา (10ข)	0.0000	0.0000	0.0444	0.0003	99.28	100.00
5+224	5+224	ปตร. ปลายคลอง	0.0394	0.0394	0.0441	0.0441	89.30	10.70

หมายเหตุ :: ค่า 0.0000 คือค่าที่ไม่มีการใช้น้ำหรือปิดการใช้งานที่จุดนั้น ๆ

ค่าเท่ากับ 100% คือ ไม่มีปริมาณน้ำออกจากคลอง

ค่าเกิน 100% คือ ปริมาณน้ำที่ออกมีค่าเกินปริมาณน้ำที่สูญเสีย

ค่าติดลบ คือ ปริมาณน้ำที่ออกมีค่าเกินปริมาณน้ำที่สูญเสีย



รูปที่ 4.10 แผนภูมิประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา วันที่ 8 มิถุนายน 2560

4.3.2.2 การวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพการส่งน้ำในแต่ละช่วง

ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพการส่งน้ำ

ระยะที่วัดน้ำ (กม)	การวิเคราะห์ผล
0+000	- ช่วงนี้เป็นช่วงที่มีการนำน้ำไปใช้ที่ชัดเจนเพียงจุดเดียวคือ ท่อส่งน้ำเข้านา (1ข) ซึ่งน้ำส่วนนี้จะนำไปใช้ในการรดหญ้าและต้นไม้ในกรมชลประทาน คลองส่งน้ำในช่วงนี้ถือว่ามีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียค่อนข้างน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการรั่วซึม การระเหย หรือสภาพของท้องคลองที่แตกต่างจากต้นคลอง
0+600	- ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ไม่มีมีการนำน้ำไปใช้ แต่ช่วงนี้จะเป็นการส่งน้ำแบบท่อ ทำให้ยากที่จะวัดประสิทธิภาพได้ และเป็นช่วงที่ไม่มีการใช้น้ำเลยจึงทำให้มีการสูญเสีย 100% ซึ่งก่อนถึงจุดที่ส่งน้ำเข้าท่อน้ำไหลล้นลงไปท่อระบายน้ำ และไม่สามารถคำนวณปริมาณที่น้ำไหลลงไปได้ เนื่องจากไม่สามารถทราบค่าความเร็วของการไหล เมื่อสิ้นสุดการส่งน้ำแบบท่อและไหลไปสู่การส่งน้ำแบบคลอง ทำให้ระดับน้ำไม่สูงมากนัก อีกทั้งสภาพคลองส่งน้ำมีหินขนาดใหญ่ ทำให้กระแสน้ำไหลและความเร็วของน้ำมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้มีการสูญเสียประสิทธิภาพ
1+000	- ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ไม่มีมีการนำน้ำไปใช้ จึงทำให้การสูญเสีย 100% ทำให้ประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำน้อยกว่า 100% แต่ช่วงนี้จะมีรอยแตกกว้างของคลองส่งน้ำยาวประมาณ 2-3 เมตร ซึ่งอาจทำให้น้ำมีการรั่วซึมออกจากคลองส่งน้ำได้
1+500	- ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่มีการนำน้ำไปใช้ในหลายส่วน ทั้งอุปโภคของชาวบ้าน การนำน้ำไปใช้ของรีสอร์ทในการรดน้ำต้นไม้ เต็มใส่บ่อเลี้ยงปลาและมีการใช้ในการเกษตรกรรม (ทำสวนมะม่วง) มีการนำน้ำไปใช้ในหลายลักษณะ เช่น ประตูล่งน้ำเข้านา บั้มทำให้มีประสิทธิภาพน้อยกว่า 100% เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำมาก ซึ่งการสูญเสียเหล่านี้เกิดจากบางช่วงมีการนำอิฐหรือหินมาทตน้ำให้สูงขึ้น เพื่อจะได้สูบน้ำไปใช้ได้ง่ายขึ้น ซึ่งอาจทำให้กระแสน้ำไหลและความเร็วเปลี่ยนแปลงได้ ประกอบกับการนำน้ำออกจากคลองมีหลายรูปแบบและไม่ทราบเวลา เปิด-ปิด การใช้งานที่แท้จริงจึงยากที่จะหาประสิทธิภาพที่ถูกต้องได้

ระยะที่วัดน้ำ (กม)	การวิเคราะห์ผล
2+000	<p>- ช่วงนี้เป็นช่วงที่มีการนำน้ำออกจากคลองซึ่งน้ำส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการเกษตรกรรม โดยท่อส่งน้ำเข้านา และเป็นช่วงที่มีประสิทธิภาพเกิน 100% ซึ่งเกิดจากการนำน้ำออกจากคลองเกินปริมาณที่ส่งมาส่งผลให้ไม่มีการสูญเสียน้ำและมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นอีก นั่นเป็นเพราะว่าสภาพน้ำที่ไหลออกจากประตูส่งน้ำเข้านาจะเป็นการไหลแบบท่วมท้น และน้ำที่อยู่หลังจะมีลักษณะที่เป็นแอ่ง มีใบไม้หรือหญ้าขึ้นปกคลุม หรือบางจุดไม่สามารถเข้าไปวัดได้ เนื่องจากทางที่ไปวัดรกมาก ทำให้ไม่สามารถทราบค่าที่แท้จริง ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพการส่งน้ำมีค่าผิดพลาดได้</p>
2+500	<p>- ช่วงนี้จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า 100% ซึ่งจะมีการใช้น้ำของทางรีสอร์ตในการรดน้ำต้นไม้ หญ้า มีการเติมน้ำลงในสระและบ่อเลี้ยงปลา เป็นการนำไปใช้โดยกักน้ำและปั๊มส่วนที่นำไปใช้ในการเกษตรจะนำไปใช้โดยประตูส่งน้ำเข้านาและยังมีการสูญเสียอื่น ๆ อีก ซึ่งการสูญเสียนั้นอาจเป็นเพราะ สภาพของคลองมีสิ่งกีดขวางทางไหลของน้ำ ลักษณะท้องคลองเป็นโคลนส่วนใหญ่และมีหินเล็กปะปน สภาพคลองหลังประตูรูกและยังมีใบไม้อยู่ในคลองทำให้ไม่สามารถเข้าไปวัดระดับน้ำที่แท้จริงได้</p>
3+000	<p>- ช่วงนี้ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการเกษตรกรรม แต่จะมีการนำน้ำไปใช้ในการเติมน้ำตลอด 24 ชั่วโมงของรีสอร์ต ทำให้มีประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำเกิน 100% ซึ่งมีค่าปริมาณน้ำที่นำออกจากคลองเกินจากช่วงที่ส่งมาก่อนหน้า นั่นเป็นเพราะว่าน้ำที่อยู่หลังประตูส่งน้ำเข้านาเป็นแบบท่วมท้นและลักษณะเป็นแอ่ง ทำให้ยากต่อการวัดระดับน้ำที่แท้จริงประกอบกับการต่อน้ำออกจากคลองโดยตรงไม่ว่าแล้ว เปิด-ปิด อีกทั้งยังมีสิ่งกีดขวางทางไหลของน้ำในคลองด้วย ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพการส่งน้ำมีการคลาดเคลื่อนได้</p>
3+5000	<p>- ช่วงนี้เป็นอีกช่วงที่มีประสิทธิภาพคลองส่งน้ำเกิน 100% เกิดจากปริมาณน้ำที่ออกเกินปริมาณน้ำที่ส่งมาจากช่วงก่อนหน้า ซึ่งน้ำที่นำออกจากช่วงนี้ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการเกษตรกรรม โดยประตูส่งน้ำเข้านา ซึ่งทำให้น้ำจะทำการวัดระดับน้ำยากมาก เพราะมีลักษณะเป็นแอ่ง มีหญ้าและกิ่งไม้ขึ้นปกคลุม ส่วนสภาพท้องคลองจะมีลักษณะเป็นทราย หินขนาดใหญ่ และช่วงประมาณ กม. 3+590 จะมีขยะอุดตันท่อส่งน้ำข้ามถนน ทำให้กระแสน้ำและความเร็วการไหลของน้ำเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพมีการคลาดเคลื่อนได้</p>

ระยะที่วัดน้ำ (กม)	การวิเคราะห์ผล
4+000	- ช่วงนี้น้ำจะออกจากประตูส่งน้ำเข้าคลองเป็นส่วนใหญ่ จะนำไปใช้ในเกษตรกรรมและ เติมบ่อเลี้ยงปลา แต่ยังมีปริมาณน้ำที่สูญเสียไปกับอื่น ๆ อยู่บ้างส่งผลให้ประสิทธิภาพ คลองส่งน้ำน้อยกว่า 100% ซึ่งอาจเกิดจากการนำสิ่งของมาขวางทางไหลของน้ำเพื่อทด น้ำเข้าสู่ประตูส่งน้ำเข้านา หลังประตูน้ำมีลักษณะเป็นแอ่งมีหญ้าขึ้นปกคลุมน้ำในคลองทำ ให้วัดระดับน้ำได้ยาก และสภาพท้องคลองที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งในวันที่ 7-8 มิถุนายน 2560 ช่วง กม. 4+350 มีวัชพืชขึ้นขวางการไหลของน้ำในคลองยาวประมาณ 150 เมตร
4+500	- ช่วงนี้ประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำมีค่าเกิน 100% เกิดจากปริมาณน้ำที่ออกเกินปริมาณ น้ำที่ส่งมาจากช่วงก่อนหน้า ซึ่งปริมาณน้ำที่ออกจากช่วงนี้ส่วนใหญ่จะออกจากประตูต่อ ส่งน้ำเข้านาเพื่อนำไปใช้ในการเกษตรกรรม ซึ่งหลังประตูน้ำมีลักษณะหญ้าขึ้นปกคลุมน้ำ ในคลอง การตัดต้นไม้ทำให้เศษไม้ เศษใบไม้ขวางทางไหลของน้ำทำให้วัดระดับน้ำได้ยาก และประตูต่อส่งน้ำเข้านา (8ข) มีการทูลธรณีประตู ยาวประมาณ 15 เซนติเมตร ทำให้มี น้ำซึมออกจากคลอง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการส่งน้ำมีความคลาดเคลื่อนได้
5+000	- ช่วงนี้น้ำจะออกจากประตูส่งน้ำเข้าคลองเป็นส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการเกษตรกรรม แต่ ยังมีน้ำที่สูญหายอื่นอีก ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำน้อยกว่า 100% การสูญเสีย เหล่านี้เกิดจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น ในวันที่ 9 พฤษภาคม 2560 ความเร็วของน้ำมี การไหลที่ช้ามากบางจุดไม่สามารถใช้เครื่องมือวัดได้ เนื่องจากเครื่องมือที่มีข้อจำกัด คือ มี จุดทดสอบเพียงจุดเดียวเมื่อทำการวัดแล้วเครื่องมือไม่สามารถอ่านค่าความเร็วได้ จึงต้อง ใช้วิธีทูลลอยและจับเวลาการไหลแทน ส่วนวันที่ 7-8 มิถุนายน 2560 มีต้นไผ่หักขวาง ทางการไหลของน้ำ ซึ่งจากปัจจัยดังกล่าวทำให้ประสิทธิภาพการส่งน้ำมีความคลาดเคลื่อน ได้
5+224	- ช่วงนี้เป็นช่วงที่มีการระบายออกจากคลองส่งน้ำสายแยกซอย 1ข จะเป็นการระบายลงสู่ คลองน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งหลังประตูระบายน้ำจะเป็นลักษณะเป็นร่องน้ำตามธรรมชาติมี วัชพืชขึ้นปกคลุม และท้องคลองก่อนถึงประตูระบายน้ำออกมีลักษณะบิ่บตัวหรือมีขนาด เล็กกว่าขนาดที่ออกแบบ ส่งผลให้ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำมีค่าต่ำกว่า 100%อาจเป็น เพราะว่าในวันที่ 9 พฤษภาคม 2560 มีการเปิดบานประตูระบายน้ำน้อยจึงทำให้มีน้ำไหล ท่วมช่องประตูระบายน้ำ ส่วนวันที่ 7-8 มิถุนายน 2560 ระดับน้ำต่ำมากซึ่งสภาพคลองที่มี ลักษณะเป็นหินปนกับทรายอาจส่งผลให้กระแสน้ำเปลี่ยนแปลงได้ และทำให้ ประสิทธิภาพการส่งน้ำมีความคลาดเคลื่อนได้

4.4 ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เบื้องต้น)

4.4.1 สภาพคลองปัจจุบัน

คลองส่งน้ำชลประทานสายซอย 1 ขวา เป็นคลองส่งน้ำแบบตาดคอนกรีต ซึ่งสภาพคลองมีดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.1.1 รอยแตกร้าว

รอยแตกร้าวของคลองส่งน้ำสายนี้ที่เห็นชัดเจน คือรอยแตกร้าว ช่วง กม. 1+300 ยาวประมาณ 2-3 เมตร มี 2 รอยร้าวใกล้เคียงกัน เนื่องจากคลองช่วงนี้มีระดับที่แตกต่างกับระดับถนนพอสมควร จึงเกิดแรงดันของดินข้างที่รับน้ำหนักถนนบนถนนดันคลองให้แตกร้าว ทำให้หน้าตัดของคลองเกิดการเปลี่ยนรูปร่างจากแบบที่สร้าง ดังนั้นความเร็วและกระแสน้ำไหลของน้ำมีการเปลี่ยนแปลง อีกทั้งอาจทำให้เกิดการรั่วซึมของน้ำออกจากคลองได้



รูปที่ 4.11 รอยร้าวของคลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา

4.4.1.2 สภาพท้องคลองส่งน้ำ

สภาพของท้องคลองส่งน้ำสายนี้มีลักษณะที่แตกต่างกันพอสมควร มีทั้งช่วงที่เป็นหินก้อนเล็ก ๆ ปนกับกรวด ประมาณ กม.0+100 ถึง กม. 2+304 ช่วงที่เป็นมีหินและกรวดปะปนเล็กน้อย ส่วนใหญ่จะเป็นโคลน ประมาณ กม. 2+304 ถึง 3+104 ช่วงที่เป็นทรายและหินขนาดใหญ่ ประมาณ กม. 3+104 ถึง กม. 4+430 ช่วงที่เป็นโคลนหรือตะกอนและมีวัชพืชริมคลองจำนวนมาก ประมาณ กม. 4+430 ถึง 4+580 และช่วงที่เป็นทรายปะปนกับหินขนาดเล็ก ประมาณ กม. 4+580 ถึง 5+224 ซึ่งสภาพของท้องคลองเหล่านี้มีความแตกต่างกัน ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ใช้ในสมการ Manning มีค่าที่ต่างกันและมีค่าแตกต่างกับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ออกแบบ ทำให้ยากต่อการเลือกใช้สัมประสิทธิ์และการหาประสิทธิภาพการส่งน้ำที่ถูกต้องได้



รูปที่ 4.12 สภาพท้องคลองที่มีลักษณะเป็นหินขนาดใหญ่



รูปที่ 4.13 สภาพท้องคลองที่มีลักษณะเป็นหินขนาดเล็กปนทราย



รูปที่ 4.14 สภาพท้องคลองที่มีลักษณะเป็นโคลนและมีวัชพืชขึ้นปกคลุม

4.4.1.3 สิ่งกีดขวางทางไหลของน้ำ

สิ่งกีดขวางการไหลของน้ำในคลองสายนี้มีหลายลักษณะ เช่น การกีดขวางของหินขนาดใหญ่ที่มีอยู่หลายช่วงตลอดทั้งสาย การนำกระสอบทราย แท่งคอนกรีต มาขวางน้ำเพื่อยกระดับน้ำให้สูงขึ้น การทิ้งขยะลงคลองทำให้ขยะสะสมอยู่บริเวณท่อลอดถนนช่วง ประมาณ กม. 3+590 มีวัชพืชขึ้นริมคลองเกือบตลอดสายแต่ช่วงที่กีดขวางทางน้ำที่ทำให้หน้าตัดน้ำเปลี่ยนแปลงคือช่วง ประมาณ กม. 4+350 ยาวประมาณ 150 เมตร และยังมีกิ่งไม้หรือต้นไม้ที่มีการขวางทางไหลของน้ำ ช่วงประมาณ กม. 5+125 ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการไหลของน้ำในคลองส่งน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพการส่งน้ำมีความคลาดเคลื่อนได้



รูปที่ 4.15 การนำหินมากีดขวางทางน้ำเพื่อยกระดับน้ำให้สูงขึ้น



รูปที่ 4.16 รูปการนำแท่งคอนกรีตหรือไม้มาขวางทางน้ำเพื่อยกระดับน้ำให้สูงขึ้น



รูปที่ 4.17 วัชพืชขึ้นปกคลุมคลองส่งน้ำ



รูปที่ 4.18 วัชพืชกีดขวางทางไหลของน้ำในท่อลอดถนน



รูปที่ 4.19 ต้นไผ่หักลงไปในคลองแล้วขวางการไหลของน้ำ

4.4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ปฏิบัติงาน

ในการเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสาย 1 ขวา นั้นจะใช้เครื่องวัดความเร็วการไหลของน้ำเป็นส่วนใหญ่ แต่การนำน้ำไปใช้ประโยชน์ของชาวบ้านทั้งสองฝั่งคลองไม่ว่าจะเป็น ชาวบ้านที่ใช้ในการอุปโภค รีสอร์ทที่ใช้ในการรดน้ำหญ้า ต้นไม้ เต็มใส่บ่อเลี้ยงปลา รวมทั้งใช้ล้างจานหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ และใช้ในการเกษตรกรรม ซึ่งการนำน้ำไปใช้จะมีหลายช่องทาง เช่น ท่อส่งน้ำเข้า บั้มสูบน้ำ กาลักน้ำ และท่อผีหรือท่อที่ไม่มีวาล์ว เปิด-ปิด ดังนั้นการเก็บข้อมูลก็จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป

4.4.2.1 เครื่องมือที่ใช้วัดความเร็ว

เครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วคือ เครื่องวัดความเร็วการไหลของน้ำ FP101-102 ซึ่งเครื่องนี้จะเป็นเครื่องที่วัดแล้วได้ค่าความเร็วการไหลของน้ำ แต่ยังมีข้อจำกัด คือ เครื่องมีจุดทศนิยมเพียงจุดเดียว เมื่อมีการวัดความเร็วน้ำที่การไหลที่ช้ามาก ๆ หรือมีความเร็วต่ำกว่าทศนิยมหนึ่งตำแหน่ง เช่น 0.01 เครื่องนี้จะไม่สามารถวัดได้และค่าที่ขึ้นที่หน้าจอจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจุดเหล่านี้จึงต้องมีการใช้วิธีทุ่นลอยมาช่วยในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

4.4.2.2 ท่อส่งน้ำเข้านา

วิธีใช้ท่อส่งน้ำเข้านาเป็นวิธีที่นำน้ำไปใช้ในการเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งพื้นที่สำหรับการเกษตรของคลองส่งน้ำสายนี้ส่วนใหญ่จะเป็นการทำสวนผลไม้มากกว่าการทำนาข้าว มีท่อส่งน้ำเข้านาทั้งหมด 15 จุด เป็นท่อส่งน้ำเข้านาฝั่งซ้าย 5 จุด ฝั่งขวาอีก 10 จุด ท่อส่งน้ำเข้านาบางจุดที่บริเวณท้ายน้ำมีลักษณะเป็นแอ่ง มีพืชหรือใบไม้ปกคลุมการไหลของน้ำในคลอง มีลักษณะเป็นป่า ไม่สามารถเข้าไปวัดระดับทำน้ำที่แท้จริงได้ และไม่มีการสอบเทียบท่อส่งน้ำเข้านาเพื่อหาสัมประสิทธิ์การไหลผ่าน สำหรับท่อส่งน้ำเข้านาที่มีลักษณะดังกล่าว ได้แก่ ท่อส่งน้ำเข้านา 3ข 4ข 5ข 1ข 2ข 3ข 4ข 5ข 6ข 7ข และ 8ข ส่งให้การคำนวณปริมาณน้ำและประสิทธิภาพการส่งน้ำเป็นไปได้ยากหรืออาจมีข้อผิดพลาดได้



รูปที่ 4.20 สภาพน้ำหลังท่อส่งน้ำเข้านามีลักษณะเป็นแอ่งและมีวัชพืชขึ้นปกคลุม



รูปที่ 4.21 สภาพน้ำหลังท่อส่งน้ำเข้านามีลักษณะมีวัชพืชขึ้นปกคลุมจนไม่สามารถเห็นสภาพคลอง



รูปที่ 4.22 สภาพน้ำหลังท่อส่งน้ำเข้านามีลักษณะใบไม้ห่อลงคลองกีดขวางทางไหลของน้ำ



รูปที่ 4.23 สภาพน้ำหลังท่อส่งน้ำเข้านามีลักษณะเป็นวัชพืชขึ้นปกคลุมและตัดไม้กีดขวางทางไหลของน้ำ

4.4.2.3 ประตูประบายน้ำ

ประตูประบายน้ำของคลองสายนี้จะมี 2 จุด คือ จุดที่รับน้ำเข้าสู่คลองซอย 1 ขวา และ จุดที่ปล่อยระบายน้ำออกที่ปลายคลอง ซึ่งประตูประบายน้ำที่จุดรับน้ำเข้าสู่คลอง 1 ขวา ทางกรมชลประทานได้มีการสอบเทียบทุกปี เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านประตู แต่ประตูที่ปลายคลองไม่มีการสอบเทียบจึงทำให้ไม่ทราบค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านประตูที่แท้จริง สภาพหลังประตูมีหญ้าขึ้นปกคลุมและเป็นแบบธรรมชาติ อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพไม่เป็นไปตามจริง



รูปที่ 4.24 ประตูประบายน้ำเข้าสู่คลองและท้ายประตูประบายน้ำ



รูปที่ 4.25 ประตูประบายน้ำปลายคลองที่ระบายออกจากระบบและท้ายประตูประบายน้ำ

4.4.2.4 ปิ๋มสูบน้ำ

การใช้น้ำโดยปิ๋มสูบน้ำ ส่วนใหญ่จะใช้ในการอุปโภคของครัวเรือน ใช้ในรีสอร์ตเพื่อรดน้ำต้นไม้ หยู้า และใช้ล้างอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งมีทั้งหมด 5 จุด เป็นการใช้ น้ำของชาวบ้าน 1 จุด ส่วนอีก 4 จุดจะเป็นของรีสอร์ต แต่ละจุดมีการใช้ที่แตกต่างกัน ในส่วนของครัวเรือนนั้นมีการเปิดใช้ทุกวัน วันละ 2-3 ชั่วโมง ส่วนของรีสอร์ตจะเปิดใช้ในวันที่ฝนไม่ตก เพื่อรดหยู้าและต้นไม้ภายในรีสอร์ตประมาณวันละ 1 ชั่วโมง ซึ่งในช่วงที่ไปวัดน้ำรีสอร์ตไม่มีการเปิดใช้งาน ในการใช้น้ำของปิ๋มนี้ทำให้ทราบปริมาณที่แท้จริงได้แต่ไม่สามารถทราบเวลาที่เปิดใช้น้ำจริงได้ จึงต้องใช้การประมาณเวลาทำให้ได้ค่าปริมาณน้ำที่ไม่เป็นจริง ส่งผลให้ประสิทธิภาพมีค่าคลาดเคลื่อนได้



รูปที่ 4.26 ปิ๋มสูบน้ำที่สูบน้ำไปใช้

4.4.2.5 กาลักน้ำและท่อน้ำไม่มีวาล์ว เปิด-ปิด

การนำน้ำไปใช้ของชาวบ้านที่อยู่ริมคลองส่วนใหญ่จะนำน้ำไปใช้ด้วยวิธีการักน้ำ เพราะบางพื้นที่ไม่มีท่อน้ำเข้านา ทำให้ชาวบ้านใช้วิธีนี้เพื่อนำน้ำไปสู่แปลงเพาะปลูกของตนเอง ซึ่งการักน้ำตลอดทั้งสายมีจำนวนเยอะมาก แต่ช่วงที่ไปวัดน้ำไม่มีการเปิดใช้การักน้ำ เพราะว่าเป็นช่วงที่ใกล้เก็บเกี่ยวผลผลิตของนาข้าว และบวกกับช่วงนั้นมีฝนตกด้วยจึงทำให้ชาวบ้านไม่มีการเปิดใช้งาน ส่วนน้ำที่นำไปใช้จากท่อน้ำจะเป็นการนำน้ำไปใช้ของรีสอร์ตเป็นส่วนใหญ่ น้ำส่วนนี้จะนำไปเติมใส่บ่อของรีสอร์ตที่มีการเลี้ยงปลา และนำไปใช้ในการรดน้ำต้นไม้และหยู้า ซึ่งถ้ามีการเปิดใช้งานจะเปิดตลอด 24 ชั่วโมง แต่ถ้าช่วงไหนที่น้ำเต็มบ่อหรือฝนตกจะมีการปิดใช้งาน จึงทำให้ไม่ทราบเวลา เปิด-ปิด การใช้งานที่แท้จริง ดังนั้นจึงต้องใช้การประมาณการ ส่งผลให้ค่าที่ได้อาจไม่จริง



รูปที่ 4.27 กาลักน้ำ

4.4.3 ปัจจัยที่ยากต่อการควบคุม

4.4.3.1 การระเหย

การระเหยเป็นค่าที่ยากต่อการควบคุมได้ เพราะการระเหยจะแปรผันกับอุณหภูมิและสภาพอากาศของบริเวณนั้น ตลอดระยะเวลาที่ทำการวัดน้ำในแต่ละวัน สภาพอากาศจะมีแดดและครีမ်สลับกัน และทางกลุ่มผู้ศึกษาไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการระเหย จึงใช้การประมาณการว่าการระเหยมีผลแต่ไม่มากนัก

4.4.3.2 การรั่วซึม

จากการเก็บข้อมูลภาคสนามและการสังเกต ทำให้ทราบว่าคลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา มีรอยแตกร้าว 2 จุด ช่วงประมาณ กม. 1+300 เป็นรอยยาวประมาณ 1-2 เมตร ทำให้อาจมีการรั่วซึมของน้ำจากคลองได้ แต่ช่วงที่ทำการวัดเป็นช่วงต้นฤดูฝนและมีฝนตกด้วย จึงทำให้ดินน่าจะมีความชุ่มชื้นน้ำอาจทำให้เกิดการรั่วซึมน้อยหรือไม่รั่วซึม อีกอย่างมีการรั่วซึมจากการทุบธรณีประตูของท่อส่งน้ำ 8x และการรั่วซึมจากการปิดประตูท่อส่งน้ำไม่สนิทหรือมีการไหลออกจากช่องว่างระหว่างประตู ซึ่งค่าเหล่านี้ยากที่จะค่าที่เป็นจริงทำให้ประสิทธิภาพการส่งน้ำอาจมีความคลาดเคลื่อนได้

4.5 แนวทางในการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เบื้องต้น)

ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพการส่งน้ำจะมี 2 ลักษณะ คือ สามารถควบคุมได้ และไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ คือ การระเหย สำหรับการระเหยนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สภาพอากาศ และพื้นที่สัมผัสกับอากาศ ดังนั้นวิธีลดปัจจัยนี้จึงทำในทางปฏิบัติได้ยาก ส่วนปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ มีแนวทางการแก้ไขดังต่อไปนี้

1. ควรมีการตรวจสอบสภาพคลองส่งน้ำให้สม่ำเสมอ และดูแลซ่อมแซมคลองส่งน้ำในส่วนที่ชำรุดหรือมีรอยแตกร้าว

2. ควรมีการตรวจสอบสภาพการไหลของน้ำในคลองว่ามีอะไรมาขวางทางการไหล หรือการไหลของน้ำเป็นปกติหรือไม่

3. ควรมีการตัดหญ้าหรือวัชพืช และมีการขุดลอกคลองเป็นประจำสม่ำเสมอ

4. มีการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของคลอง ประตูปะบายน้ำ และท่อส่งน้ำเข้านา

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำชลประทาน (เบื้องต้น) ของคลองซอย 1 ขวา ในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล ต.หินตั้ง อ.เมือง จ.นครนายก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.1 ข้อมูลการส่งน้ำชลประทาน

จากการสำรวจ สอบถามเจ้าหน้าที่กรมชลประทานและชาวบ้านที่ใช้น้ำจากการส่งน้ำชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก พบว่า การส่งน้ำส่วนใหญ่จะเน้นการส่งเพื่อการเกษตรเป็นส่วนใหญ่ แต่ยังมีการนำน้ำไปใช้นอกเหนือจากการเกษตรบ้าง เช่น การอุปโภคของชาวบ้านและรีสอร์ทที่อยู่ริมคลองส่งน้ำ จะนำน้ำไปใช้ในการอาบน้ำ ชักผ้า ล้างจาน รดน้ำต้นไม้ เติมน้ำเลี้ยงปลา เป็นต้น ก่อนถึงฤดูกาลเพาะปลูกกรมชลประทานจะประชุมร่วมกับกลุ่มผู้ใช้น้ำร่วมกันทำแผนการส่งน้ำในแต่ละช่วงและทำข้อตกลง เงื่อนไขเกี่ยวกับการส่งน้ำ การส่งน้ำของกรมชลประทานจะจัดส่งน้ำตามที่กลุ่มผู้ใช้น้ำร้องขอในทุก ๆ วัน ตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนสู่ระบบชลประทาน (คลองสายใหญ่) จะรวมเป็นตัวเลขที่กลุ่มผู้ใช้น้ำร้องขอในแต่ละวันและต่อจากนี้ไปทางกลุ่มผู้ใช้น้ำต้องมีการบริหารจัดการจัดสรรน้ำเอง โดยการเปิดประตูระบายน้ำปากคลองซอยเพื่อให้ น้ำเข้าสู่คลองซอยตามปริมาณที่ตนเองต้องการ

5.1.2 ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เบื้องต้น)

จากการเก็บข้อมูลในการนำมาวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เบื้องต้น) นั้นได้เก็บข้อมูล 3 วัน คือ วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 วันที่ 7 และ 8 มิถุนายน 2560 ช่วงนี้ทางกรมชลประทานได้มีการซ่อมแซมคลองส่งน้ำทุกสายยกเว้นคลองส่งน้ำชลประทานสายซอย 1 ขวา และช่วงนี้ยังเป็นต้นฤดูฝนทำให้ทางกรมชลประทานไม่ได้ส่งน้ำให้กับเกษตรกรเพื่อทำการเพาะปลูกจะให้น้ำฝนแทน แต่ทางกรมชลประทานยังมีการส่งน้ำเพื่อไปเลี้ยงคลอง ดังนั้นจากการศึกษาประสิทธิภาพคลองส่งน้ำโดยการหาปริมาณน้ำที่เข้าสู่ระบบและปริมาณน้ำที่นำออกไปใช้ ซึ่งปริมาณที่นำเข้าจะใช้การคำนวณปริมาณน้ำที่ได้จากเครื่องวัดความเร็วการไหลของน้ำ FP101-102 ได้มีการเปรียบเทียบกับน้ำที่ไหลเข้าผ่านประตูระบายน้ำที่ไหลเข้าสู่คลอง 1 ขวา ที่กรมชลประทานได้มีการสอบเทียบเครื่องมืออยู่เป็นประจำ ค่าที่ได้ทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน (ต่างกันประมาณ 2%) ซึ่งค่าที่ได้จากประตูระบายน้ำ คือ 0.1804 0.1518 และ 0.1504 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดความเร็วการไหลของน้ำ FP101-102 คือ 0.1842 0.1541 และ 0.154 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับของวันข้างต้น ดังนั้นกลุ่มผู้ศึกษาจึงใช้วิธีการเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ค่าที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งได้สมการเพื่อใช้ในการคูณเพื่อที่จะได้ค่าที่แน่นอนมากขึ้น

ส่วนการนำน้ำออกจากระบบก็จะมีหลายรูปแบบ ได้แก่ ท่อส่งน้ำเข้านา ปัมป์สูบน้ำ ท่อน้ำ กาลักน้ำ และรถสูบน้ำ ซึ่งการคำนวณปริมาณน้ำออกจะมีความแตกต่างกันไปตามรูปแบบดังกล่าว

จากการศึกษาประสิทธิภาพคลองส่งน้ำพบว่า วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 75.78 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งวันนี้ยังมีการส่งน้ำไปใช้เพื่อการเกษตรทำให้มีปริมาณน้ำเข้าและมีการนำน้ำออกไปใช้อยู่บ้าง แต่เป็นช่วงที่ใกล้เก็บเกี่ยวผลผลิตของนาข้าว ส่วนวันที่ 7 – 8 มิถุนายน 2560 มีประสิทธิภาพคือ 70.50 และ 83.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพคลองส่งน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เข้าในระบบและน้ำที่นำไปใช้ที่มีค่าที่ใกล้เคียงกันหรือปริมาณน้ำที่ต้นคลองมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณน้ำท้ายคลอง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วยากที่จะหาประสิทธิภาพการส่งน้ำที่แท้จริงได้ เพราะการนำน้ำออกไปใช้มีหลากหลายรูปแบบไม่สามารถหาค่าปริมาตรน้ำใช้ที่แน่นอนได้ และการศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำนั้นจะต้องมีการศึกษาให้ครอบคลุมทั้งฤดูกาล เพราะประสิทธิภาพการส่งน้ำของแต่ละฤดูไม่เท่ากัน การนำน้ำไปใช้ของพืชในแต่ละช่วงไม่เท่ากัน และยังมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพได้

5.1.3 ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพคลองส่งน้ำ

จากการการศึกษาประสิทธิภาพคลองส่งน้ำชลประทานของคลองสาย 1 ขวา พบว่าวันที่ 9 พฤษภาคม 2560 ยังมีการส่งน้ำไปใช้ในการเกษตรอยู่บ้างทำให้ระดับน้ำในคลองสูง แต่ท้ายคลองมีการเปิดบานระบายน้ำน้อยจึงทำให้น้ำเอ่อท้นกลับและทำให้ความเร็วการไหลของน้ำช้ามากจนทำให้เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองไม่สามารถวัดค่าได้ แต่วันที่ 7-8 ไม่ได้ส่งน้ำไปใช้ในการเกษตร ทำให้ระดับน้ำในคลองต่ำในบางช่วง ดังนั้นจากประสิทธิภาพการส่งน้ำทำให้สามารถวิเคราะห์หาปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพคลองส่งน้ำได้แล้วพบว่า

สภาพคลองส่งน้ำในปัจจุบันมีผลต่อประสิทธิภาพ เนื่องจากสภาพท้องคลองมีลักษณะที่แตกต่างกันในหลายช่วงตลอดความยาวคลอง เช่น มีหินก้อนใหญ่ หินก้อนเล็ก กรวด ทราย และโคลน ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ใช้ในสมการ Manning มีค่าไม่เท่ากันและเปลี่ยนแปลงในหลายช่วง อีกทั้งยังมีสิ่งกีดขวางทางไหลของน้ำ เช่น วัชพืชริมคลอง ขยะ หินก้อนใหญ่ ซากไม้หรือต้นไม้ที่หักลงไปในคลอง และการนำแท่งคอนกรีตมาขวางทางไหลของน้ำ ส่งผลให้หน้าตัดการไหล ความเร็ว และทิศทางการไหลของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไปจากปกติ และสภาพคลองก็ยังมีรอยแตกร้าวยาวประมาณ 2-3 เมตร ในช่วงประมาณ กม. 1+300 ซึ่งอาจทำให้เกิดการรั่วซึมของน้ำในคลองได้ ในการศึกษาประสิทธิภาพคลองส่งน้ำครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดของความสามารถของเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วการไหลของน้ำ คือ เครื่องมือมีทศนิยมเพียงจุดเดียว ถ้ามีการวัดความเร็วการไหลของน้ำที่ไหลช้ามาก หรือค่าที่วัดมีค่าน้อยกว่าทศนิยมหนึ่งตำแหน่ง เช่น 0.01 เครื่องวัดจะไม่สามารถอ่านค่าได้ ทำให้ต้องใช้การปล่อยทุ่นลอย และอุปสรรคอีกอย่างที่เป็นปัญหาสำคัญในการปฏิบัติการครั้งนี้ คือ การวัดระดับท้ายน้ำที่ไหลออกจากท่อส่งน้ำเข้านา เพราะว่าท้ายน้ำของท่อส่งน้ำเข้านาหลายจุดมีลักษณะเป็น แอ่ง มีเศษไม้ เศษใบไม้ และหญ้า

ขึ้นปกคลุมและขัดขวางการไหลของน้ำ อีกทั้งการเข้าไปวัดระดับทำน้ำทำได้ยากเนื่องจากมีลักษณะเป็นป่าหญ้าที่รกและสูงทำให้ไม่รู้ระดับน้ำที่แท้จริง

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพอีกประการหนึ่ง คือ การระเหยและการรั่วซึม ซึ่งเป็นปัจจัยที่นอกเหนือจากขอบเขตที่กำหนดและไม่สามารถวัดได้เพราะว่าการระเหยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสภาพอากาศ ส่วนการรั่วซึมนอกจากจะมีรอยร้าวที่เห็นชัดเจนแล้วแต่อาจมีการรั่วซึมที่รอยต่อของการตาดคลอง ประกอบกับกลุ่มผู้ศึกษาไม่มีอุปกรณ์ในการวัดการระเหยจึงยากที่จะประมาณการได้ และสภาพอากาศในแต่ละช่วงของวันที่วัดน้ำมีความแตกต่างกัน โดยในช่วงกลางวันจะมีแดดแรงและอากาศค่อนข้างร้อนแต่ช่วงเย็นจะมีฝนตก สำหรับการระเหยของน้ำในคลองอาจส่งผลต่อการสูญเสียประสิทธิภาพการส่งน้ำน้อยเมื่อเทียบกับส่วนอื่น ๆ

5.1.4 แนวทางการแก้ไข

สำหรับแนวทางในการแก้ปัญหาของปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพการส่งน้ำนั้น ทางกรมชลประทานได้มีการจัดสรรในการแก้ปัญหาแล้วไม่ว่าจะเป็น การตัดหญ้าที่อยู่ริมคลอง การลอกคูคลอง แต่อาจยังมีการทำไม่ทั่วถึงและช่วงที่ไปวัดระดับน้ำชลประทานให้แก่การเกษตรกรรม ดังนั้นควรมีเจ้าหน้าที่ทำการสำรวจตรวจสอบสภาพคลองส่งน้ำเป็นประจำอย่างสม่ำเสมอว่ามีปัญหาอะไรหรือไม่ มีการตรวจสอบประสิทธิภาพหรือสอบเทียบอุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นประตูระบายน้ำหรือท่อส่งน้ำเข้านา และมีการทดสอบประสิทธิภาพการชลประทานในด้านต่าง ๆ มากยิ่งขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เสนอแนะให้มีระยะในการศึกษาประสิทธิภาพที่นานกว่านี้และศึกษาให้ครอบคลุม เพราะการศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำนั้นจะต้องมีการศึกษาให้ครอบคลุมทั้งฤดูกาล เพราะประสิทธิภาพการส่งน้ำของแต่ละฤดูไม่เท่ากัน และการนำน้ำไปใช้ของพืชในแต่ละช่วงไม่เท่ากัน

2. เสนอแนะให้มีการศึกษาประสิทธิภาพด้านอื่น ๆ ด้วย เช่น ประสิทธิภาพการชลประทาน ประสิทธิภาพการให้น้ำแก่พืช ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำ (กรณีไม่มีการนำน้ำออกจากคลอง) เป็นต้น เพราะจะทำให้สามารถต้องสอบได้ว่า ประสิทธิภาพการส่งน้ำมีความสอดคล้องกับการใช้น้ำหรือไม่

3. เสนอแนะให้มีการเลือกใช้เครื่องมือที่มีมาตรฐานควรและให้มีข้อบกพร่องหรือข้อผิดพลาดน้อยที่สุด

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. *คลองส่งน้ำและอาคารประกอบ เล่ม 1/2*. นครนายก: โครงการเขื่อนขุนด่านปราการชล กรมฯ.

กิริติ ลีวัจนกุล. (2539). *วิศวกรรมชลศาสตร์*. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต

กิริติ ลีวัจนกุล. (2539). *วิศวกรรมชลศาสตร์*. สืบค้นเมื่อ 12 มกราคม 2560, จาก

<http://202.129.59.73/wm/Water/WATER82/water82.pdf>

ชัตติยา เทียงจิตย์. (2560, 22 กรกฎาคม). สัมภาษณ์โดย พรรณวดี เนตรระการ, ที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก

ชาญยุทธ์ วรรณนท์. (2560, 22 กรกฎาคม). สัมภาษณ์โดย วชิรี ดวงพล, ที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก

ณัฐวดี แยมสาย. (2560, 12 กรกฎาคม). สัมภาษณ์โดย วีรยุทธ จุลศรี, ที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก

ปราโมท พลพณะนาว. (2554). *หลักการคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทาน*. สืบค้นเมื่อ 13 มกราคม 2560, จาก

http://kmcenter.rid.go.th/kmc08/km_56/cko/news56_pramoht.pdf

ปราโมท พลพณะนาว. (2554). *หลักการคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทาน*. สืบค้นเมื่อ 13 มกราคม 2560, จาก [https://www.scribd.com/doc/87013579 A1-2555](https://www.scribd.com/doc/87013579/A1-2555)

รวิชัยรัชต์ รักขันธ. (๒๕๕๘). *องค์ประกอบของระบบชลประทาน*. สืบค้นเมื่อ ๑๒ มกราคม ๒๕๖๐, จาก <http://natres.psu.ac.th/Department/plantscience>

วิบูลย์ บุญยธโรกุล. (2526). *หลักการชลประทาน*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์เอเชีย

ภาคผนวก ก

(การวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐานของเครื่องมือ/ประตูละบายน้ำ)

ภาคผนวก ก

1 การวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐานของเครื่องมือ

ผลการวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐาน เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102 กับรางวัดน้ำ
ความกว้างของราง (B) = 0.30 ม.

ความลาดชัน (SlopeX = 0.00

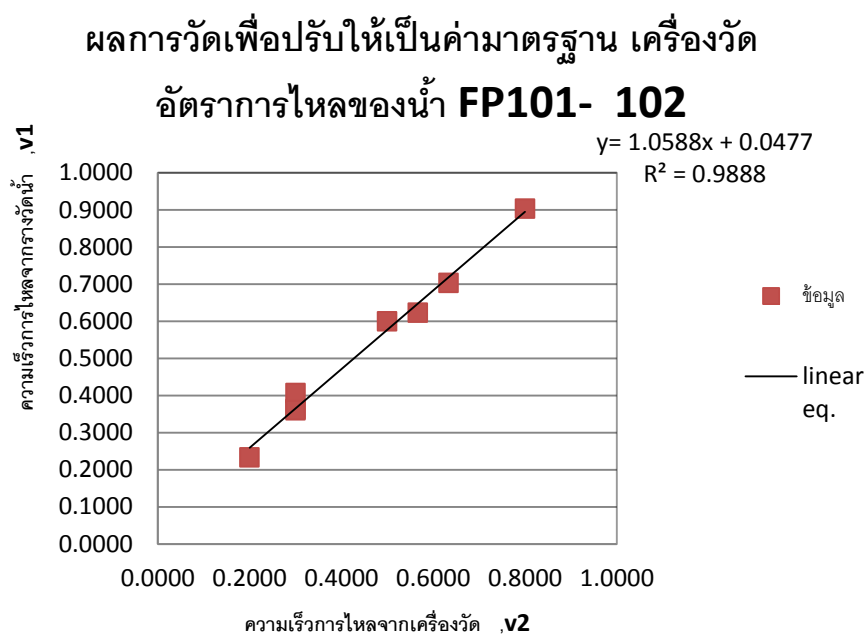
$$Q = K(2g\Delta h)^{1/2}$$

ค่าคงที่ (K) = 0.0114

ค่าคงที่ (g) = 9.81 m/s²

ตารางที่ ก-1 การวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐานเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102 กับรางวัดน้ำ

ลำดับ	Δh (ม.)	อัตราการไหล จากราง (Q) (m ³ /s)	ระดับน้ำ (h) (m)	ความเร็วการไหล จากรางวัดน้ำ (v ₁) (m/s)	ความเร็วการไหล จากเครื่องวัด (v ₂) (m/s)
1	0.1784	0.0213	0.1135	0.7033	0.6333
2	0.5304	0.0368	0.1510	0.9033	0.8000
3	0.1738	0.0211	0.1996	0.3633	0.3000
4	0.5458	0.0373	0.2300	0.6233	0.5667
5	0.6696	0.0411	0.2400	0.6000	0.5000
6	0.5157	0.0363	0.3020	0.4067	0.3000
7	0.2048	0.0229	0.3377	0.2333	0.2000
8	0.5326	0.0369	0.3516	0.3600	0.3000



รูป ก-1 กราฟผลการวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐานของเครื่องมือ



รูป ก-2 การวัดความเร็วของน้ำในรางด้วยเครื่องมือ



รูป ก-3 การวัดระดับน้ำและอ่านค่า

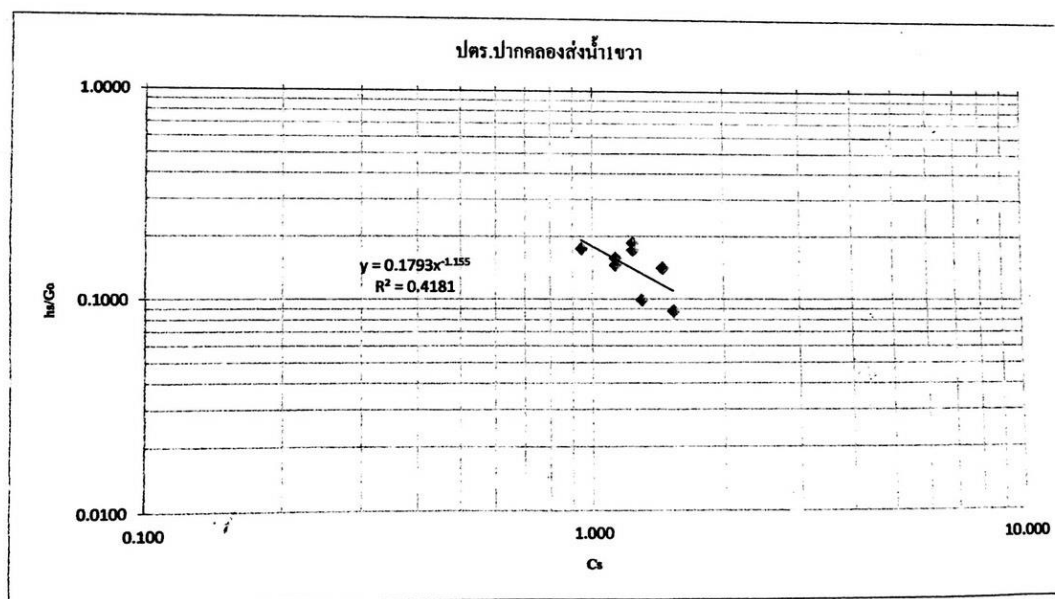


รูปที่ ก-4 การอ่านค่าความดันน้ำและจดบันทึก

2 การสอบเทียบประตูละบายน้ำ

ชื่ออาคาร	1 ขวา		จำนวนบาน	1	บาน (ตรง)
ความกว้างบาน	0.6	เมตร / บาน	ระดับธรณี	+33.190	ม. (รทก.)
ตำแหน่งอาคาร	0+200		ควบคุมน้ำเข้าโซน		

ว/ด/ป	ระดับน้ำ ด้านเหนือ น้ำม. (รทก.)	ระดับน้ำ ด้านท้ายน้ำ ม. (รทก.)	ΔH ม.	$\sqrt{2g\Delta H}$	h_s	ระยะเปิด บาน (G_o) ม.	$\frac{h_s}{G_o}$	Q น้ำด้าน เหนือบาน ม ³ /วิ	Q น้ำ ด้านหลัง บาน ม ³ /วิ	C_s
3-ก.พ.-59	+35.220	+33.450	1.770	5.892996	0.260	0.23	1.130	1.22	0.144	0.1566
3-ก.พ.-59	+35.150	+33.450	1.700	5.775292	0.260	0.23	1.130	0.775	0.131	0.1454
12-ก.พ.-59	+35.530	+33.480	2.050	6.342003	0.290	0.2	1.450	2.251	0.155	0.1405
17-มี.ค.-59	+35.220	+33.500	1.720	5.809165	0.310	0.25	1.240	1.827	0.185	0.1712
18-มี.ค.-59	+35.230	+33.500	1.730	5.826028	0.310	0.25	1.240	1.937	0.201	0.1855
18-มี.ค.-59	+35.270	+33.420	1.850	6.024699	0.230	0.15	1.533	1.937	0.073	0.0878
16-มิ.ย.-59	+35.050	+33.530	1.520	5.460989	0.340	0.36	0.944	0.35	0.194	0.1741
16-มิ.ย.-59	+35.070	+33.450	1.620	5.637766	0.260	0.2	1.300	0.35	0.087	0.0989



รูปที่ ก-5 ผลการสอบเทียบประตูละบายน้ำของกรมชลประทาน

ภาคผนวก ข
(รูปคลองส่งน้ำ/ประตูระบายน้ำ/ท่อส่งน้ำเข้านา)

ภาคผนวก ข

1 รูปคลองส่งน้ำ



รูปที่ ข-1 รอยแตกร้าวยาวประมาณ 2-3 เมตร ที่ กม. 1+300



รูปที่ ข-2 วัชพืชขึ้นปกคลุมผิวหน้าในคลอง



รูปที่ ข-3 ฝายปากเปิด



รูปที่ ข-4 ลักษณะคลองที่มีการคดเคี้ยวไปตามแนวถนนเรียบคลอง



รูปที่ ข-5 มีสิ่งกีดขวางทางไหลน้ำ



รูปที่ ข-6 ลักษณะที่ท้องคลองมีความแตกต่างกัน

2. ประตูระบายน้ำ



รูปที่ ข-7 ประตูระบายน้ำปากทางที่นำน้ำเข้าสู่ระบบ



รูปที่ ข-8 ทำประตูระบายน้ำที่นำน้ำเข้าสู่ระบบ



รูปที่ ข-9 ประตูปะบายน้ำออกท้ายคลอง



รูปที่ ข-10 ท้ายประตูปะบายน้ำออกท้ายคลอง

3 ท่อส่งน้ำเข้านา



รูปที่ ข-11 ประตูท่อส่งน้ำเข้านา



รูปที่ ข-12 ท้ายประตูท่อส่งน้ำเข้านา

ภาคผนวก ค
(รูปการปฏิบัติการ)

ภาคผนวก ค

1 รูปปฏิบัติการ



รูปที่ ค-1 ระดับน้ำ รทก. ด้านหน้าประตูระบายน้ำของกรมชลประทาน



รูปที่ ค-2 ระดับน้ำ รทก. ด้านหลังประตูระบายน้ำ



รูปที่ ค-3 วัดระยะเปิดบานประตูระบายน้ำ



รูปที่ ค-4 การวัดระยะหน้าตัดการไหลของน้ำ



รูปที่ ค-5 การวัดความลึกของระดับน้ำ

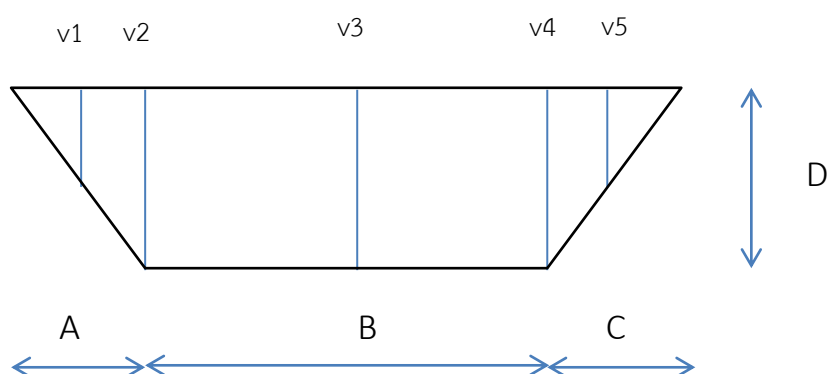


รูปที่ ค-6 การวัดความเร็วการไหลของน้ำและบันทึกผล

ภาคผนวก ง
(ข้อมูลภาคสนาม)

ภาคผนวก ง

1 ข้อมูลภาคสนาม



รูปที่ ง-1 รูปหน้าตัดคลองส่งน้ำ

A คือ ความกว้างของหน้าตัดฝั่งซ้าย (เมตร)

B คือ ความกว้างของหน้าตัดตรงกลาง (เมตร)

C คือ ความกว้างของหน้าตัดฝั่งขวา (เมตร)

D คือ ความลึกของระดับน้ำ (เมตร)

V คือ ความเร็วการไหลของน้ำ (เมตรต่อวินาที)

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลภาคสนาม วันที่ 9 พฤษภาคม 2560

ระยะ กม. 0+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.22	0.24	0.22	0.2	0.2
A	B	C	D	
0.71	0.7	0.71	0.47	
ระยะ กม. 0+600				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.18	0.2	0.2	0.1
A	B	C	D	
0.8	0.7	0.8	0.5	

រយះ កម. 1+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.5	0.5	0.44	0.34	0.42
A	B	C	D	
0.435	0.7	0.435	0.27	
រយះ កម. 1+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.2	0.2	0.14	0.12
A	B	C	D	
0.785	0.7	0.785	0.45	
រយះ កម. 2+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.2	0.26	0.26	0.3	0.2
A	B	C	D	
0.44	0.7	0.44	0.305	
រយះ កម. 2+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.1	0.12	0.1	0.1
A	B	C	D	
0.74	0.5	0.74	0.515	
រយះ កម. 3+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
A	B	C	D	
0.61	0.5	0.61	0.47	
រយះ កម. 3+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.1	0.1	0.08	0.06
A	B	C	D	
0.72	0.5	0.72	0.43	

ระยะ กม. 4+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.06	0.1	0.1	0.1	0.04
A	B	C	D	
0.67	0.5	0.67	0.43	
ระยะ กม. 4+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.14	0.12	0.12	0.14
A	B	C	D	
0.5	0.5	0.5	0.34	
ระยะ กม. 5+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.06	0.08	0.08	0.08	0.08
A	B	C	D	
0.59	0.5	0.59	0.415	
ระยะ กม. 5+224				
V1	V2	V3	V4	V5
0.04	0.04	0.06	0.02	0.02
A	B	C	D	
0.59	0.5	0.59	0.41	

ตารางที่ ง-2 ข้อมูลภาคสนาม วันที่ 7 มิถุนายน 2560

ระยะ กม. 0+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.16	0.2	0.18	0.2	0.16
A	B	C	D	
0.65	0.7	0.67	0.465	
ระยะ กม. 0+600				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.12	0.1	0.18	0.1

A	B	C	D	
0.825	0.7	0.805	0.495	
រយះ កម. 1+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.48	0.46	0.4	0.4	0.38
A	B	C	D	
0.405	0.7	0.26	0.21	
រយះ កម. 1+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.12	0.16	0.1	0.1
A	B	C	D	
0.8	0.7	0.56	0.43	
រយះ កម. 2+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.2	0.2	0.2	0.2	0.18
A	B	C	D	
0.44	0.7	0.44	0.27	
រយះ កម. 2+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.08	0.1	0.1	0.1	0.04
A	B	C	D	
0.7	0.5	0.68	0.4	
រយះ កម. 3+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.02	0.1	0.1	0.1	0.06
A	B	C	D	
0.595	0.5	0.525	0.41	
រយះ កម. 3+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.04	0.1	0.1	0.1	0.04
A	B	C	D	

0.5	0.5	0.52	0.37	
ระยะ กม. 4+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
A	B	C	D	
0.77	0.5	0.7	0.42	
ระยะ กม. 4+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.1	0.1	0.08	0.02
A	B	C	D	
0.5	0.5	0.495	0.32	
ระยะ กม. 5+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.2	0.2	0.22	0.2	0.2
A	B	C	D	
0.26	0.5	0.27	0.2	
ระยะ กม. 5+224				
V1	V2	V3	V4	V5
0.8	0.8	0.84	0.8	0.8
A	B	C	D	
0.14	0.5	0.12	0.07	

ตารางที่ ง-3 ข้อมูลภาคสนาม วันที่ 8 มิถุนายน 2560

ระยะ กม. 0+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.2	0.2	0.2	0.18	0.16
A	B	C	D	
0.65	0.7	0.67	0.455	
ระยะ กม. 0+600				
V1	V2	V3	V4	V5

0.06	0.1	0.1	0.12	0.1
A	B	C	D	
0.815	0.7	0.81	0.505	
រយះ កម. 1+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.4	0.46	0.44	0.34	0.34
A	B	C	D	
0.41	0.7	0.532	0.21	
រយះ កម. 1+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.1	0.14	0.1	0.1
A	B	C	D	
0.805	0.7	0.675	0.41	
រយះ កម. 2+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.22	0.22	0.22	0.24	0.22
A	B	C	D	
0.39	0.7	0.41	0.265	
រយះ កម. 2+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.06	0.06	0.1	0.08	0.08
A	B	C	D	
0.7	0.5	0.7	0.5	
រយះ កម. 3+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.1	0.14	0.1	0.04
A	B	C	D	
0.6	0.5	0.55	0.42	
រយះ កម. 3+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.1	0.1	0.12	0.06

A	B	C	D	
0.51	0.5	0.68	0.365	
ระยะ กม. 4+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.04	0.04	0.06	0.06	0.04
A	B	C	D	
0.71	0.5	0.68	0.475	
ระยะ กม. 4+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.2	0.2	0.12	0.02	0.02
A	B	C	D	
0.43	0.5	0.56	0.325	
ระยะ กม. 5+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.22	0.22	0.26	0.24	0.22
A	B	C	D	
0.245	0.5	0.315	0.19	
ระยะ กม. 5+224				
V1	V2	V3	V4	V5
0.34	0.5	0.54	0.5	0.46
A	B	C	D	
0.12	0.5	0.14	0.12	

ภาคผนวก จ

(ข้อมูลการส่งน้ำชลประทาน เดือน ม.ค. – พ.ค. 2560)

ภาคผนวก จ

1 ข้อมูลการส่งน้ำชลประทาน เดือน ม.ค. – พ.ค. 2560

ตารางที่ จ-1

ข้อมูลสภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนขุนด่านปราการชล เดือน มกราคม 2560

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำ ที่ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
1 ม.ค. 60	207.78	92.76	0.00	2.0003	11.5812	172,826	1,000,616	1,173,442	8,607	77,119
2 ม.ค. 60	206.54	92.21	0.00	1.9997	11.5838	172,771	1,000,836	1,173,607	8,475	76,594
3 ม.ค. 60	205.29	91.65	0.00	2.0000	11.5805	172,796	1,000,556	1,173,352	8,330	76,254
4 ม.ค. 60	204.05	91.09	0.00	1.9997	11.5827	172,776	1,000,748	1,173,524	8,210	75,914
5 ม.ค. 60	202.81	90.54	0.00	2.0000	11.5792	172,797	1,000,442	1,173,239	8,099	75,389
6 ม.ค. 60	201.57	89.99	0.00	2.0002	11.5811	172,814	1,000,605	1,173,419	7,951	75,049
7 ม.ค. 60	199.11	88.89	0.00	2.3100	25.4660	199,587	2,200,262	2,399,849	7,806	74,373
8 ม.ค. 60	196.60	87.77	0.00	2.7503	25.4674	237,622	2,200,387	2,438,009	7,685	73,503
9 ม.ค. 60	194.10	86.65	2.30	2.7498	25.4728	237,579	2,200,851	2,438,430	7,545	72,817

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำ ที่ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
10 ม.ค. 60	191.60	85.54	1.80	2.7495	25.4710	237,561	2,200,695	2,438,256	7,415	71,946
11 ม.ค. 60	190.29	84.95	0.00	2.7501	11.5769	237,608	1,000,243	1,237,851	7,282	71,589
12 ม.ค. 60	188.99	84.37	0.00	2.7501	11.5813	237,610	1,000,627	1,238,237	7,144	71,233
13 ม.ค. 60	187.69	83.79	0.00	2.7501	11.5801	237,608	1,000,517	1,238,125	7,001	70,691
14 ม.ค. 60	185.30	82.72	0.00	1.4009	25.4659	121,040	2,200,253	2,321,293	6,864	70,038
15 ม.ค. 60	183.17	81.77	0.00	2.2500	21.6801	194,401	1,873,162	2,067,563	6,722	69,270
16 ม.ค. 60	180.76	80.70	0.00	2.2499	25.0009	194,393	2,160,077	2,354,470	6,600	68,607
17 ม.ค. 60	178.34	79.62	0.00	2.2501	25.0004	194,410	2,160,037	2,354,447	6,479	67,761
18 ม.ค. 60	176.57	78.83	0.00	2.2499	17.5035	194,389	1,512,300	1,706,689	6,373	67,277
19 ม.ค. 60	175.32	78.27	0.00	2.2497	11.5785	194,371	1,000,381	1,194,752	6,236	66,933
20 ม.ค. 60	174.06	77.71	0.00	2.2503	11.5811	194,428	1,000,605	1,195,033	6,110	66,379
21 ม.ค. 60	171.61	76.61	0.00	2.2504	25.4639	194,431	2,200,077	2,394,508	6,003	65,706
22 ม.ค. 60	169.16	75.52	0.00	2.2502	25.4687	194,417	2,200,494	2,394,911	5,875	64,824
23 ม.ค. 60	166.70	74.42	0.00	2.2503	25.4661	194,425	2,200,270	2,394,695	5,738	64,152
24 ม.ค. 60	164.25	73.33	0.00	2.2497	25.4719	194,378	2,200,772	2,395,150	5,619	63,270
25 ม.ค. 60	163.00	72.77	0.00	2.2500	11.5766	194,397	1,000,220	1,194,617	5,485	62,927

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำ ที่ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
26 ม.ค. 60	161.73	72.20	0.00	2.4065	11.5817	207,925	1,000,659	1,208,584	5,365	62,370
27 ม.ค. 60	160.44	71.63	0.00	2.7499	11.5806	237,594	1,000,566	1,238,160	5,258	62,015
28 ม.ค. 60	158.94	70.96	0.00	2.7498	13.8983	237,580	1,200,817	1,438,397	5,118	61,606
29 ม.ค. 60	157.45	70.29	0.00	2.7499	13.8963	237,595	1,200,643	1,438,238	5,004	60,986
30 ม.ค. 60	155.95	69.62	0.00	2.7505	13.8938	237,639	1,200,427	1,438,066	4,860	60,577
31 ม.ค. 60	154.46	68.96	0.00	2.7504	13.8909	237,637	1,200,170	1,437,807	4,733	60,168
		รวม	4.10	-	-	6,317,405	46,319,315	52,636,720	205,992	2,127,337
		เฉลี่ย	0.13	2.3586	17.4071	203,787	1,494,171	1,697,959	6,709	68,906
ปริมาณน้ำสะสม ตั้งแต่ 1 ม.ค.			4.10	-	-	6,317,405	46,319,315	52,636,720	205,992	2,127,337

ตารางที่ จ-2

ข้อมูลสภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนขุนด่านปราการชล เดือน กุมภาพันธ์ 2560

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำ ที่ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
1 ก.พ. 60	154.17	68.83	0.00	2.7497	0.0000	237,577	0	237,577	4,608	60,088
2 ก.พ. 60	153.87	68.69	0.00	2.7503	0.0000	237,630	0	237,630	4,482	60,007
3 ก.พ. 60	153.58	68.56	2.70	2.7501	0.0000	237,608	0	237,608	4,360	59,927
4 ก.พ. 60	152.10	67.90	0.00	2.7500	13.8899	237,596	1,200,089	1,437,685	4,244	48,433
5 ก.พ. 60	150.61	67.24	0.00	2.7501	13.8959	237,607	1,200,606	1,438,213	4,106	58,902
6 ก.พ. 60	149.11	66.57	0.00	2.7497	13.8962	237,571	1,200,631	1,438,202	3,989	58,283
7 ก.พ. 60	147.62	65.90	0.00	2.7496	13.8959	237,563	1,200,609	1,438,172	3,850	57,874
8 ก.พ. 60	147.33	65.77	0.00	2.7501	0.0000	237,609	0	237,609	3,746	57,794
9 ก.พ. 60	147.04	65.64	0.00	2.7498	0.0000	237,579	0	237,579	3,627	57,715
10 ก.พ. 60	146.79	65.53	0.00	2.2499	0.0000	194,392	0	194,392	3,493	57,646
11 ก.พ. 60	145.34	64.88	0.00	2.2497	13.8933	194,370	1,200,380	1,394,750	3,389	57,250
12 ก.พ. 60	143.89	64.24	0.00	2.2497	13.8928	194,377	1,200,341	1,394,718	3,260	56,643
13 ก.พ. 60	142.45	63.59	0.00	2.2497	13.8969	194,376	1,200,689	1,395,065	3,142	56,246

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำ ที่ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
14 ก.พ. 60	141.00	62.95	0.00	2.2505	13.8953	194,440	1,200,551	1,394,991	3,013	55,639
15 ก.พ. 60	140.75	62.83	0.00	2.2501	0.0000	194,411	0	194,411	2,883	55,572
16 ก.พ. 60	140.50	62.72	0.00	2.2498	0.0000	194,381	0	194,381	2,754	55,504
17 ก.พ. 60	140.26	62.62	0.00	2.2498	0.0000	194,387	0	194,387	2,642	55,436
18 ก.พ. 60	138.78	61.96	0.00	2.5409	13.8905	219,537	1,200,143	1,419,680	2,525	55,033
19 ก.พ. 60	137.23	61.26	0.00	2.7501	14.6841	237,607	1,268,706	1,506,313	2,393	54,396
20 ก.พ. 60	135.67	60.57	0.00	2.7498	14.6843	237,587	1,268,722	1,506,309	2,273	53,969
21 ก.พ. 60	134.11	59.87	0.00	2.7499	14.6837	237,590	1,268,672	1,506,262	2,154	53,542
22 ก.พ. 60	133.30	59.51	0.00	2.7499	5.9978	237,590	518,209	755,799	2,020	53,132
23 ก.พ. 60	132.50	59.15	0.00	2.7503	6.0018	237,622	518,557	756,179	1,898	52,911
24 ก.พ. 60	131.69	58.79	0.00	2.7497	6.0057	237,578	518,896	756,474	1,779	52,690
25 ก.พ. 60	130.13	58.09	0.00	2.7502	14.6808	237,619	1,268,423	1,506,042	1,660	52,264
26 ก.พ. 60	128.58	57.40	0.00	2.7501	14.6823	237,609	1,268,549	1,506,158	1,523	51,648
27 ก.พ. 60	127.02	56.71	0.00	2.7498	14.6828	237,585	1,268,598	1,506,183	1,393	51,222
28 ก.พ. 60	125.53	56.04	0.00	2.7502	13.8961	237,621	1,200,626	1,438,247	1,282	50,625
		รวม	2.70	-	-	6,289,019	21,171,997	27,461,016	82,488	1,550,391

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำ ที่ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
		เฉลี่ย	0.10	2.5996	8.7517	224,608	756,143	980,751	2,946	55,371
ปริมาณน้ำสะสม ตั้งแต่ 1 ม.ค.			6.80	-	-	12,606,424	67,491,312	80,097,736	288,480	3,677,728

ตารางที่ จ-3

ข้อมูลสภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนขุนด่านปราการชล เดือน มีนาคม 2560

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
1 มี.ค. 60	125.24	55.91	0.00	2.7504	0.0000	237,633	0	237,633	1,147	50,547
2 มี.ค. 60	124.96	55.79	0.00	2.7501	0.0000	237,609	0	237,609	1,018	50,468
3 มี.ค. 60	124.67	55.66	0.00	2.7502	0.0000	237,619	0	237,619	887	50,389
4 มี.ค. 60	123.18	54.99	0.00	2.7504	13.8955	237,633	1,200,567	1,438,200	750	49,982
5 มี.ค. 60	121.70	54.33	0.00	2.7500	13.8982	237,596	1,200,801	1,438,397	611	49,385
6 มี.ค. 60	120.21	53.67	0.00	2.7502	13.8952	237,615	1,200,545	1,438,160	480	48,978
7 มี.ค. 60	118.72	53.00	0.00	2.7502	13.8914	237,618	1,200,218	1,437,836	351	48,571
8 มี.ค. 60	118.44	52.88	0.00	2.7502	0.0000	237,617	0	237,617	218	48,493
9 มี.ค. 60	118.15	52.75	0.00	2.7498	0.0000	237,581	0	237,581	103	48,225
10 มี.ค. 60	117.87	52.62	0.00	2.7497	0.0000	237,578	0	237,578	2	48,147
11 มี.ค. 60	116.26	51.90	0.00	2.7498	13.8900	237,586	1,200,097	1,437,683	0	47,707
12 มี.ค. 60	114.95	51.32	0.00	2.7499	13.8949	237,588	1,200,519	1,438,107	0	47,348
13 มี.ค. 60	113.50	50.67	0.00	2.7499	13.8987	237,591	1,200,846	1,438,437	0	46,761

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
14 มี.ค. 60	112.06	50.03	0.00	2.7502	13.8971	237,618	1,200,710	1,438,328	0	46,367
15 มี.ค. 60	111.70	49.87	52.70	2.7499	0.0000	237,588	0	237,588	0	46,268
16 มี.ค. 60	111.41	49.74	19.70	2.7497	0.0000	237,571	0	237,571	0	46,190
17 มี.ค. 60	111.12	49.61	0.00	2.7498	0.0000	237,587	0	237,587	0	46,111
18 มี.ค. 60	109.73	48.99	0.00	2.7498	13.8939	237,585	1,200,429	1,438,014	0	45,541
19 มี.ค. 60	108.32	48.36	4.00	2.7498	13.8953	237,582	1,200,557	1,438,139	0	45,152
20 มี.ค. 60	106.98	47.76	0.00	2.7498	13.8943	237,582	1,200,467	1,438,049	0	44,597
21 มี.ค. 60	105.58	47.13	0.00	2.7499	13.8945	237,589	1,200,485	1,438,074	0	44,213
22 มี.ค. 60	105.19	46.96	0.00	2.7503	0.0000	237,624	0	237,624	0	44,108
23 มี.ค. 60	104.77	46.77	0.00	2.7469	0.0000	237,329	0	237,329	0	43,993
24 มี.ค. 60	104.36	46.59	7.90	2.7497	0.0000	237,573	0	237,573	0	43,879
25 มี.ค. 60	102.97	45.97	0.00	2.7499	13.8908	237,591	1,200,165	1,437,756	0	43,310
26 มี.ค. 60	101.60	45.36	52.80	2.7496	13.8937	237,564	1,200,412	1,437,976	0	42,934
27 มี.ค. 60	100.33	44.79	0.00	2.7496	13.8955	237,566	1,200,575	1,438,141	200,806	27,488
28 มี.ค. 60	98.90	44.15	0.00	2.7500	13.8941	237,596	1,200,452	1,438,048	53,411	42,007
29 มี.ค. 60	98.53	43.99	0.00	2.0417	0.0000	176,405	0	176,405	0	41,905

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
30 มี.ค. 60	98.19	43.83	0.00	1.4996	0.6873	129,564	59,383	188,947	0	41,813
31 มี.ค. 60	97.86	43.69	0.00	1.5003	0.6866	129,622	59,321	188,943	0	41,720
		รวม	137.10	-	-	7,088,000	19,326,549	26,414,549	259,784	1,412,597
		เฉลี่ย	4.42	2.6464	7.4333	228,645	623,437	852,082	8,659	45,696
ปริมาณน้ำสะสม ตั้งแต่ 1 ม.ค.			143.90	-	-	19,694,424	86,817,861	106,512,285	548,264	5,090,325

ตารางที่ จ-4

ข้อมูลสภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนขุนด่านปราการชล เดือน เมษายน 2560

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
1 เม.ย. 60	96.45	43.06	0.00	1.4999	13.8916	129,592	1,200,235	1,329,827	0	41,103
2 เม.ย. 60	95.31	42.55	0.00	1.4996	13.8954	129,569	1,200,561	1,330,130	0	40,792
3 เม.ย. 60	93.99	41.96	0.20	1.4998	13.8986	129,585	1,200,837	1,330,422	0	40,429
4 เม.ย. 60	92.67	41.37	3.40	1.4995	13.8965	129,561	1,200,659	1,330,220	0	39,837
5 เม.ย. 60	92.37	41.24	0.00	1.5003	0.6879	129,625	59,438	189,063	0	31,569
6 เม.ย. 60	92.08	41.11	0.00	1.4995	0.6873	129,559	59,380	188,939	0	39,675
7 เม.ย. 60	91.52	40.86	0.00	1.5000	4.1735	129,603	360,589	490,192	0	39,523
8 เม.ย. 60	90.03	40.19	0.00	2.2814	13.8974	197,111	1,200,736	1,397,847	0	38,883
9 เม.ย. 60	88.74	39.62	0.00	1.7606	13.8928	152,117	1,200,335	1,352,452	0	38,529
10 เม.ย. 60	87.33	38.99	0.50	1.5000	13.8947	129,601	1,200,499	1,330,100	0	38,143
11 เม.ย. 60	86.21	38.49	0.00	1.5002	13.8964	129,613	1,200,653	1,330,266	0	36,441
12 เม.ย. 60	84.84	37.88	0.00	1.5001	13.8925	129,612	1,200,312	1,329,924	0	37,228
13 เม.ย. 60	83.54	37.29	1.20	1.9174	13.8955	165,660	1,200,573	1,366,233	0	36,642

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
14 เม.ย. 60	82.17	36.68	0.00	1.9999	13.8976	172,791	1,200,750	1,373,541	36,789	33,516
15 เม.ย. 60	80.75	36.05	2.40	2.0003	13.8952	172,823	1,200,549	1,373,372	0	35,646
16 เม.ย. 60	79.37	35.43	0.00	2.0000	13.8976	172,799	1,200,753	1,373,552	24,342	29,859
17 เม.ย. 60	78.00	34.82	0.00	2.0002	13.8945	172,819	1,200,488	1,373,307	40,241	34,894
18 เม.ย. 60	76.64	34.21	0.00	2.0003	13.8945	172,824	1,200,483	1,373,307	50,747	34,291
19 เม.ย. 60	76.37	34.09	4.00	1.9997	0.6904	172,775	59,647	232,422	0	34,192
20 เม.ย. 60	76.10	33.97	0.00	2.0003	0.6898	172,827	59,603	232,430	0	25,281
21 เม.ย. 60	75.83	33.85	0.00	1.9998	0.6891	172,782	59,538	232,320	0	34,069
22 เม.ย. 60	74.38	33.21	0.00	1.9995	13.8899	172,761	1,200,086	1,372,847	0	33,439
23 เม.ย. 60	72.93	32.56	0.00	1.9998	13.8960	172,781	1,200,614	1,373,395	0	33,043
24 เม.ย. 60	71.50	31.92	0.00	2.0001	13.8964	172,809	1,200,646	1,373,455	0	32,420
25 เม.ย. 60	70.09	31.29	5.20	1.9996	13.8916	172,763	1,200,233	1,372,996	0	32,034
26 เม.ย. 60	69.88	31.20	0.00	1.9997	0.6921	172,772	59,797	232,569	43,280	20,856
27 เม.ย. 60	69.54	31.04	0.00	2.4169	0.6910	208,817	59,704	268,521	0	31,882
28 เม.ย. 60	69.20	30.89	5.70	2.5007	0.6900	216,058	59,613	275,671	0	31,789
29 เม.ย. 60	67.88	30.30	0.00	2.5000	13.8939	216,000	1,200,432	1,416,432	118,511	19,227

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
30 เม.ย. 60	66.52	29.70	0.00	2.5004	13.8942	216,038	1,200,463	1,416,501	91,263	30,826
		รวม	22.60	-	-	4,914,047	26,048,206	30,962,253	405,173	1,026,058
		เฉลี่ย	0.75	1.8959	10.0495	163,802	868,274	1,032,075	13,506	34,202
ปริมาณน้ำสะสม ตั้งแต่วันที่ 1 ม.ค.			166.50			17,520,471	93,539,518	111,059,989	693,653	4,703,786

ตาราง จ-5

ข้อมูลสภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนขุนด่านปราการชล เดือน พฤษภาคม 2560

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
1 พ.ค. 60	65.18	29.10	0.00	2.5002	13.8929	216,019	1,200,346	1,416,365	103,168	30,227
2 พ.ค. 60	63.74	28.46	0.00	2.5002	13.8941	216,020	1,200,452	1,416,472	5,192	29,832
3 พ.ค. 60	62.45	27.88	0.00	0.8104	13.8911	70,016	1,200,189	1,270,205	9,672	29,248
4 พ.ค. 60	61.17	27.31	62.80	0.5004	15.0536	43,235	1,300,630	1,343,865	95,101	28,898
5 พ.ค. 60	60.04	26.80	0.00	0.4996	15.0539	43,166	1,300,660	1,343,826	228,789	16,450
6 พ.ค. 60	58.84	26.27	32.40	0.5005	15.0539	43,242	1,300,658	1,343,900	170,358	28,027
7 พ.ค. 60	57.65	25.74	0.00	0.5003	15.0520	43,227	1,300,494	1,343,721	169,055	15,749
8 พ.ค. 60	56.47	25.21	18.90	0.5001	15.0520	43,207	1,300,494	1,343,701	191,497	27,147
9 พ.ค. 60	55.38	24.72	9.80	0.5000	15.0530	43,200	1,300,580	1,343,780	268,248	15,172
10 พ.ค. 60	54.20	24.20	25.80	0.4995	15.0506	43,161	1,300,374	1,343,535	174,906	14,848
11 พ.ค. 60	52.39	23.39	0.40	0.4999	15.0506	43,193	1,300,372	1,343,565	72,175	14,496
12 พ.ค. 60	51.55	23.01	39.00	0.4996	15.0510	43,165	1,300,403	1,343,568	11,134	24,590
13 พ.ค. 60	51.26	22.88	6.80	0.5002	4.1691	43,216	360,213	403,429	127,508	14,044

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
14 พ.ค. 60	50.91	22.73	15.80	0.5000	4.1710	43,196	360,375	403,571	68,544	13,949
15 พ.ค. 60	50.52	22.55	22.90	0.4999	4.1752	43,188	360,733	403,921	20,249	13,840
16 พ.ค. 60	50.17	22.40	27.80	0.4996	4.1732	43,168	360,565	403,733	70,807	13,745
17 พ.ค. 60	50.12	22.38	42.90	0.5001	0.6886	43,206	59,495	102,701	66,996	13,731
18 พ.ค. 60	50.09	22.36	0.00	0.5000	0.6885	43,199	59,485	102,684	91,699	13,725
19 พ.ค. 60	50.14	22.38	58.80	0.5002	0.6887	43,214	59,504	102,718	165,882	13,738
20 พ.ค. 60	50.22	22.42	9.30	0.5004	4.1745	43,235	360,680	403,915	491,853	13,759
21 พ.ค. 60	50.05	22.34	0.00	0.4998	4.1699	43,184	360,278	403,462	255,148	24,694
22 พ.ค. 60	49.68	22.18	0.00	0.5001	4.1709	43,209	360,362	403,571	58,335	24,593
23 พ.ค. 60	49.41	22.06	0.00	0.5001	4.1744	43,208	360,671	403,879	157,974	24,519
24 พ.ค. 60	49.38	22.04	2.30	0.5000	0.6853	43,200	59,210	102,410	101,822	23,963
25 พ.ค. 60	49.41	22.06	8.20	0.5001	0.6854	43,208	59,219	102,427	140,514	13,536
26 พ.ค. 60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0
27 พ.ค. 60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0
28 พ.ค. 60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0
29 พ.ค. 60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
30 พ.ค. 60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0
31 พ.ค. 60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0
		รวม	383.90	-	-	1,452,482	18,486,442	19,938,924	3,316,626	496,520
		เฉลี่ย	12.38	0.5423	6.9020	46,854	596,337	643,191	110,554	16,551
ปริมาณน้ำสะสม ตั้งแต่ 1 ม.ค.			390.70	-	-	14,058,906	85,977,754	100,036,660	3,605,106	4,174,248

ประวัติย่อผู้ทำโครงการ

ประวัติย่อผู้จัดทำโครงการ

ชื่อชื่อสกุล

นางสาววัชรี้ ดวงพล

วันเดือนปีเกิด

08 ธันวาคม 2537

สถานที่เกิด

อำเภอขุนหาญ จังหวัดศรีสะเกษ

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

148 หมู่ 8 ต.บักดอง อ.ขุนหาญ

จ.ศรีสะเกษ 33150

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ

080-473-6506

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2554

มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนขุนหาญวิทยาสรรค์

พ.ศ. 2556

กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ประวัติย่อผู้จัดทำโครงการ

ชื่อชื่อสกุล

นายวีรยุทธ จุลศรี

วันเดือนปีเกิด

11 กุมภาพันธ์ 2538

สถานที่เกิด

อำเภอวาปีปทุม จังหวัดมหาสารคาม

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

12 หมู่ 10 ต.ประชาพัฒนา อ.วาปีปทุม

จ.มหาสารคาม 44120

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ

087-083-4047

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555

มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนวาปีปทุม

พ.ศ. 2556

กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ประวัติย่อผู้จัดทำโครงการ

ชื่อชื่อสกุล	นางสาวพรรณวดี เถตระการ
วันเดือนปีเกิด	05 มกราคม 2538
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	703 หมู่ 5 ต.เชียงยืน อ.เชียงยืน จ.มหาสารคาม 44160
หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ	081-936-7363
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2554	มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนมัธยมสาธิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
พ.ศ. 2556	กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

จังหวัดนครนายก เป็นจังหวัดที่ทำการเกษตรกรรมเป็นหลัก พื้นที่ 80% เป็นพื้นที่นา และในพื้นที่นาประมาณ 70% อยู่ในเขตชลประทาน มีโครงการชลประทานขนาดใหญ่ 3 โครงการในจังหวัด คือ โครงการเขื่อนขุนด่านปราการชล โครงการชลประทานจังหวัดนครนายก และโครงการชลประทานรังสิตใต้ ทุกวันนี้มีการใช้น้ำชลประทานเพื่อกิจการอื่นนอกเหนือจากการทำนา และมีแนวโน้มการใช้น้ำเพื่อกิจการอื่น ๆ เพิ่มขึ้นในอนาคต จึงควรมีการศึกษาเรื่องสัดส่วนการใช้น้ำเพื่อการเกษตรและการจัดสรรน้ำให้ภาคส่วนต่าง ๆ ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ดังนั้นโครงการนี้จึงวางวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพน้ำในคลองชลประทานเพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับการใช้น้ำจากคลองชลประทานเบื้องต้น แต่เนื่องจากจังหวัดนครนายกมีพื้นที่ขนาดใหญ่จึงเลือกศึกษาเฉพาะโครงการเขื่อนขุนด่านปราการชล เลือกกรณีศึกษาคลองซอยสาย 1 ขวา ซึ่งเป็นคลองซอยแรกที่แยกจากคลองสายใหญ่รับน้ำจากเขื่อนโดยตรง

เขื่อนขุนด่านปราการชลมีความสำคัญกับจังหวัดนครนายกมาก เนื่องจากมีการใช้น้ำจากเขื่อนในปริมาณมากไม่ใช่เฉพาะเกษตรกรรมแต่ยังมีการนำน้ำไปใช้เพื่อการท่องเที่ยว เช่น รีสอร์ท โรงแรม บ้านเรือน ที่อยู่อาศัย นอกจากนี้เขื่อนขุนด่านปราการชลยังต้องนำไปใช้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งการส่งน้ำชลประทานส่วนใหญ่จะเน้นการส่งน้ำเพื่อเกษตรกรรม การทำเกษตรกรรมมีหลายรูปแบบ เช่น การทำนาข้าว สวนผลไม้ ซึ่งแต่ละชนิดจะมีการใช้น้ำในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ การใช้น้ำของพืชแต่ละชนิดและฤดูกาลเพาะปลูก การส่งน้ำชลประทานมีสองวิธี คือ ส่งน้ำผ่านท่อส่งน้ำและส่งน้ำผ่านคลองชลประทาน ส่วนใหญ่การส่งน้ำเพื่อเกษตรกรรมจะส่งน้ำผ่านคลองส่งน้ำเพราะเกษตรกรจะสามารถนำน้ำออกไปใช้ได้สะดวกกว่าและสามารถนำน้ำออกไปใช้ได้ทุกช่วงของสองฝั่งคลองส่งน้ำไม่ว่าจะเป็นการนำน้ำออกไปใช้จากประตูระบายน้ำ ท่อส่งน้ำเข้านา ท่อน้ำ กาลักน้ำ และปั๊มสูบน้ำ การจัดสรรน้ำของกรมชลประทานจะจัดส่งน้ำให้แก่เกษตรกรทุกวันและปริมาณน้ำที่จัดส่งจะขึ้นอยู่กับ การร้องขอน้ำจากกลุ่มผู้ใช้น้ำ เมื่อกรมชลประทานส่งน้ำตามที่ร้องขอไปแล้วหลังจากนั้นกลุ่มผู้ใช้น้ำจะบริหารจัดการน้ำกันเอง ในแต่ละครั้งเกษตรกรจะนำน้ำออกไปใช้ในปริมาณที่แตกต่างกัน ถ้ามีเกษตรกรบางรายนำน้ำออกไปใช้เกินปริมาณที่ต้องการอาจส่งผลให้เกษตรกรที่อยู่ท้ายน้ำได้รับผลกระทบ ไม่ได้รับน้ำในปริมาณที่เพียงพอ หรือได้ปริมาณน้ำที่ช้ากว่ากำหนด หรืออาจเกิดจากคลองส่งน้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพในการส่งน้ำ หรือมีอุปสรรคต่าง ๆ ที่กีดขวางการไหลของน้ำ ดังนั้นกลุ่มผู้จัดทำจึงทำโครงการนี้ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำผ่านคลองส่งน้ำชลประทาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาข้อมูลการส่งน้ำของชลประทาน
- 1.2.2 วัดประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เบื้องต้น) ของคลองส่งน้ำชลประทานและศึกษาปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพ (เบื้องต้น)

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 เลือกพื้นที่การศึกษาคลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก คลองส่งน้ำมีความยาวประมาณ 5.224 กิโลเมตร จาก กม. 0+000 ถึง กม. 5+224
- 1.3.2 วัดอัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่คลอง วัดอัตราการไหลของน้ำที่นำไปใช้ที่ปากทางออกของคลอง และวัดอัตราการไหลของน้ำที่ไหลปลายคลอง โดยใช้เครื่องมือ (เครื่องวัดความเร็วการไหลของน้ำ FP101- 102) ของภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เบื้องต้น)
- 1.4.2 ทราบถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียในคลองส่งน้ำ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การส่งน้ำชลประทาน

2.1.1.1 ระบบส่งน้ำชลประทาน

ระบบส่งน้ำชลประทาน หมายถึง ทางน้ำที่จัดสร้างขึ้นเพื่อนำน้ำจากแหล่งน้ำให้ไหลไปสู่พื้นที่เพาะปลูกให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของพืช ตามขนาดพื้นที่เพาะปลูก และตรงตามเวลาที่พืชต้องการ ระบบชลประทานโดยทั่วไปจะต้องประกอบไปด้วย แหล่งน้ำ ระบบส่งน้ำ ระบบแจกจ่ายน้ำ ระบบให้น้ำ ระบบระบายน้ำ ถนนหรือทางลำเลียง พืช เกษตรกร และเจ้าหน้าที่ชลประทานการส่งน้ำชลประทาน เป็นการนำน้ำจากแหล่งน้ำเข้าสู่ระบบส่งน้ำชลประทานเพื่อไปยังพื้นที่เพาะปลูกให้เพียงพอ กับความต้องการน้ำของพืช ตามขนาดพื้นที่เพาะปลูก และตรงตามเวลาที่พืชต้องการ ลักษณะทั่วไปของระบบส่งน้ำชลประทานที่ใช้กันอาจแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. ระบบส่งน้ำแบบเปิด เป็นระบบส่งน้ำที่ใช้ทางน้ำเปิด (Open Channel) ในการลำเลียงน้ำ ซึ่งให้น้ำไหลไปโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravitation)
2. ระบบส่งน้ำแบบปิด เป็นระบบส่งน้ำที่ใช้ทางน้ำปิด (Closed Conduit) เป็นทางลำเลียงน้ำ ซึ่งน้ำจะเคลื่อนที่โดยอาศัยแรงดัน (Pressurized Flow)

(1) คลองส่งน้ำชลประทาน

คลองส่งน้ำชลประทาน เป็นการนำน้ำจากห้วยงานหรือแหล่งน้ำไปยังพื้นที่เพาะปลูกหรือพื้นที่ชลประทาน ตามปกติจะก่อสร้างคลองส่งน้ำเข้าไป แต่คลองบางตอนจะต้องสร้างเป็นอาคารส่งน้ำแทนการก่อสร้างคลอง เช่น สร้างเป็นอุโมงค์ ท่อส่งน้ำ รางน้ำ หรือท่อเชื่อม เป็นต้น เพื่อให้สามารถส่งน้ำผ่านอุปสรรค หรือสิ่งกีดขวางไปได้ในโครงการชลประทานที่มีระบบและพื้นที่ชลประทาน คลองส่งน้ำเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นที่สุดของโครงการชลประทาน และสิ้นเงินค่าก่อสร้างมากกว่างานอย่างอื่น เพราะโครงการชลประทานหนึ่งมีคลองหลายสาย รวมกันแล้วมีความยาวมาก ต้องเสียเงินค่าซื้อที่ดินและค่าขุดคลองมาก

คลองส่งน้ำเป็นรางเปิด (Open Channels) หรือร่องน้ำขนาดใหญ่ซึ่งขุดขึ้นในดินหรือถมขึ้นบนดิน เพื่อนำน้ำเข้าสู่พื้นที่เพาะปลูกโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก คลองส่งน้ำมี 2 ชนิด คือ

1. คลองดิน (Earth Canals) เป็นคลองส่งน้ำที่ขุดดินหรือถมดินให้เป็นรูปคลองส่งน้ำตามที่ออกแบบ

2. คลองตาด (Lined Canals) เป็นคลองส่งน้ำที่ขุดดินหรือถมดินให้เป็นรูปคลองส่งน้ำ และตาดผิว คลองส่งน้ำด้วยวัสดุที่น้ำรั่วซึมไม่ได้ซึ่งในปัจจุบันส่วนใหญ่ใช้คอนกรีต

ระบบส่งน้ำแบบทางน้ำเปิด หรือคลองส่งน้ำ ประกอบด้วย คลองส่งน้ำแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามลักษณะและหน้าที่ได้ดังนี้

1) คลองส่งน้ำสายใหญ่ (Main Canal) เป็นคลองส่งน้ำที่ขุดแยกออกมาจากแหล่งน้ำต้นทุน เพื่อรับน้ำเข้าไปในเขตโครงการชลประทาน เนื่องจากคลองจะต้องรับน้ำไปให้เนื้อที่เพาะปลูกทั้งหมดในโครงการหรือ เนื้อที่เพาะปลูกอันกว้างใหญ่ ปริมาณน้ำที่ส่งไปในคลองมีมาก คลองมีขนาดใหญ่ และมีความสำคัญมากกว่าคลองสายอื่นจึงเรียกว่าคลองสายใหญ่ คลองสายใหญ่นี้จะมีเพียงสายเดียวหรือสองสายจะขุดออกจากฝั้งเดียว หรือทั้งสองฝั้งของลำน้ำหลักก็ได้ทั้งนี้แล้วแต่เขตส่งน้ำของโครงการและแผนผังการส่งน้ำตามปกติคลองสายใหญ่จะมีแนวคลองอยู่บนพื้นที่ซึ่งสูงที่สุดในเขตโครงการ

2) คลองส่งน้ำสายซอย หรือคลองซอย (Lateral) เป็นคลองส่งน้ำที่ขุดแยกออกมาจากคลองสายใหญ่ เพื่อรับน้ำไปส่งให้แก่พื้นที่เพาะปลูก ซึ่งคลองซอยสายนั้นควบคุมอยู่คลองซอยจะมีแนวคลองอยู่บนที่สูงเช่นเดียวกัน ตามข้างคลองซอยจะมีท่อส่งน้ำเข้านา (Farm Turnout) ฝั้งไว้เป็นระยะ ๆ ไปตลอดคลองเพื่อส่งน้ำเข้าแปลงเพาะปลูก ซึ่งทำได้ 2 วิธีคือ

1. ปล่อน้ำออกจากท่อส่งน้ำเข้านาแล้วให้ไหลบ่าท่วมไปบนผิวดิน
2. ปล่อน้ำออกจากท่อส่งน้ำเข้านาลงสู่คูนา ให้คูนารับน้ำไปแจกจ่ายแก่พื้นที่เพาะปลูกอีกทีหนึ่ง เพื่อให้ น้ำแพร่กระจายไปสู่พื้นที่เพาะปลูกทั่วถึงกันดีขึ้น

คลองส่งน้ำสายใหญ่อาจจะมีคลองซอยแยกออกไปหลายสาย และคลองซอยเหล่านี้อาจแยกออกจากคลองส่งน้ำสายใหญ่ทางฝั้งเดียวกันหรือสองฝั้งก็ได้ทั้งนี้แล้วแต่เขตส่งน้ำและสภาพของพื้นที่ดินในเขตโครงการ

3) คลองส่งน้ำสายแยกซอย หรือคลองแยกซอย (Tertiary) เป็นคลองส่งน้ำขนาดเล็กซึ่งแยกออกจากคลองซอยอีกทีหนึ่ง เพื่อรับน้ำไปส่งให้แก่พื้นที่เพาะปลูกทั่วเขตโครงการ คลองแยกซอยมีลักษณะและหน้าที่เช่นเดียวกับคลองซอย คลองซอยสายหนึ่งจะมีคลองแยกซอยก็สายก็ได้ และจะแยกออกจากทางฝั้งไหนหรือทั้งสองฝั้งของคลองซอยก็ได้ ตามคลองแยกซอยอาจมีคลองส่งน้ำเล็ก ๆ แยกแยกออกไปอีก แต่ก็เรียกคลองส่งน้ำเล็ก ๆ เหล่านี้ว่า คลองแยกซอยเหมือนกัน

(2) ระบบท่อส่งน้ำ

ในระบบส่งน้ำที่เป็นท่อ น้ำจะไหลไปยังจุดที่ต้องการให้น้ำโดยอาศัยแรงดันที่จุดส่งน้ำเข้าระบบท่อเช่นเดียวกับระบบประปา โดยปกติแล้วท่อน้ำส่งน้ำจะฝังไว้ใต้ดินแล้วมีท่อตั้งโผล่ขึ้นมาบริเวณหัวแปลงเพาะปลูก เมื่อต้องการให้น้ำก็เปิดวาล์วหรือประตุน้ำ น้ำก็จะไหลเข้าแปลงหรือท่อจ่ายน้ำเข้าสู่ร่องคู ระบบส่งน้ำที่เป็นท่อนี้เป็นระบบที่มีคุณภาพสูงเพราะไม่มีการระเหยและการรั่วซึม เนื่องจาก

ท่อฝังอยู่ใต้ดิน ดังนั้นไม่มีการสูญเสียพื้นที่เพาะปลูกเหมือนระบบส่งน้ำแบบคลองส่งน้ำ การบำรุงรักษาก็ น้อย นอกจากนั้นในพื้นที่สูง ๆ ต่ำ ๆ ระบบท่อส่งน้ำจะทำงานได้ดีกว่าคลองส่งน้ำ อย่างไรก็ตามระบบท่อ ส่งน้ำนี้สูงมากเพราะต้องการอุปกรณ์พิเศษหลายอย่าง ดังนั้นจึงใช้กับพืชที่ให้ผลตอบแทนสูงเท่านั้น

2.1.1.2 วิธีการส่งน้ำ

การส่งน้ำแก่พื้นที่เพาะปลูกอาจทำได้หลายวิธี แต่โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้ 3 วิธี

1. การส่งน้ำตลอดเวลา (Continuous Flow Method)
2. การส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้ (Demand Method)
3. การส่งน้ำแบบหมุนเวียน (Rotation Method)

การที่จะเลือกพิจารณาเลือกใช้วิธีการส่งน้ำวิธีใดวิธีหนึ่ง จำเป็นต้องพิจารณากำหนดไว้ในชั้นวางโครงการเพื่อที่จะได้ออกแบบระบบส่งน้ำที่ถูกต้อง เพราะว่าการที่ใช้น้ำแต่ละประเภทมีขนาด ไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อก่อสร้างระบบส่งน้ำไปแล้วจะมาเปลี่ยนวิธีส่งน้ำจะยุ่งยากและไม่มีประสิทธิภาพ ในบางครั้งต้องมีการเปลี่ยนวิธีส่งน้ำเพื่อแก้ปัญหาเฉพาะหน้าที่ภาคสนาม

(1) การส่งน้ำตลอดเวลา

การส่งน้ำตลอดเวลา หมายถึง การส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกให้กับพื้นที่เพาะปลูก ทั่วทุกแปลงด้วยอัตราคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เริ่มปลูกจนเก็บเกี่ยวจะหยุดเฉพาะช่วงที่ฝนตกและหลัง ฝนตกปริมาณน้ำมีมากพอเท่านั้น การออกแบบระบบน้ำโดยวิธีนี้จะทำการหาความต้องการน้ำทั้งหมดของ ฤดูกาลเพาะปลูกแล้วหารด้วยอายุของพืชที่เพาะปลูก อัตราการส่งน้ำตลอดเวลาจึงมีค่าเท่ากับ ความ ต้องการน้ำเฉลี่ยตลอดฤดูกาลจะเห็นได้ชัดว่าช่วงแรกที่พืชต้องการน้ำน้อยจะมีน้ำใช้เหลือเพื่อ แต่เมื่อพืช โตเต็มที่จะมีการใช้น้ำมาก อัตราการส่งน้ำที่ได้รับจะไม่เพียงพอต่อความต้องการน้ำของพืชด้วย ดังนั้น ผลผลิตอาจกระทบกระเทือนได้มาก

(2) การส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้น้ำ เป็นการส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกตาม เวลาและปริมาณของผู้ขอ วิธีนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุดในแง่ของผู้ขอ เพราะสามารถวางแผนการปลูกพืชและการ ให้น้ำของพืชในเวลาและปริมาณที่เหมาะสมทั้งอัตราการส่งก็สามารถเลือกให้พอเหมาะกับวิธีการให้น้ำที่ ใช้อยู่ด้วย ดังนั้นประสิทธิภาพการชลประทานที่ส่งน้ำโดยวิธีนี้จะดีที่สุด ปริมาณและเวลาต้องการน้ำอาจ เตรียมไว้ล่วงหน้า โดยคำนวณจากการใช้น้ำของพืชและสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช ในระหว่างฤดูกาล เพาะปลูกอาจมีการแก้ไขกับสภาพการใช้น้ำและฝนที่เกิดขึ้นจริง

การที่จะใช้วิธีการส่งน้ำแบบนี้ได้เกษตรกรต้องมีความรู้ความเข้าใจในหลักการ ชลประทานอย่างดี หรือมีผู้ที่สามารถให้ความรู้ได้อย่างถูกต้อง เกษตรที่มีอยู่ในประเทศที่พัฒนาแล้ว และ ต้องจ่ายค่าน้ำตามปริมาณที่ใช้ ดังนั้นการใช้น้ำจะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด

(3) **การส่งน้ำแบบหมุนเวียน** การส่งน้ำแบบหมุนเวียนเป็นการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกตามจำนวนและเวลาที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า โดยทำเป็นแผนการไว้แล้วว่าแปลงใดจะได้รับน้ำเมื่อใด จำนวนเท่าใด เป็นระยะเวลานานเท่าใด และเมื่อใดจะได้รับน้ำสำหรับการส่งน้ำครั้งต่อ ๆ ไป

หลักการสำคัญของการส่งน้ำมีอยู่ 3 ประการ คือ

1. แบ่งพื้นที่ที่จะต้องส่งน้ำทั้งหมดออกเป็นย่อย ๆ แล้วจัดลำดับของแปลงที่จะส่งน้ำให้
2. คำนวณปริมาณน้ำที่จะต้องส่งให้กับแปลงย่อยที่ได้แบ่งไว้ให้กับความพอเหมาะกับความต้องการของพืช ขนาดของแปลงและการสูญเสียของน้ำจากการส่งน้ำและการให้น้ำ
3. กำหนดระยะเวลาที่แปลงย่อยจะได้รับน้ำ ระยะเวลาดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่และอัตราการส่งน้ำ

การแบ่งพื้นที่ส่งน้ำ คำนวณปริมาณน้ำที่จะต้องให้และกำหนดระยะเวลาที่แต่ละแปลงย่อยได้รับน้ำนี้เจ้าหน้าที่ผู้จัดสรรน้ำเป็นผู้ดำเนินการให้ทั้งหมด ส่วนการเปิดน้ำเข้าแปลงเกษตรกรจะต้องดำเนินการเอง โดยวิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพมากเพราะเจ้าหน้าที่มีความชำนาญในการส่งน้ำให้น้ำสามารถแบ่งการหมุนเวียนออกเป็น 3 ประเภทคือ

1) การหมุนเวียนโดยคลองสายใหญ่ การหมุนเวียนโดยวิธีคลองสายใหญ่จะถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ แล้วให้น้ำแก่พื้นที่คลองสายใหญ่แต่ละส่วนรับผิดชอบ กล่าวคือมีคลองซอยหรือคูน้ำแยกออกไปจากคลองสายใหญ่ในช่วงนั้น ๆ ได้รับน้ำพร้อมกัน

2) การหมุนเวียนโดยคลองซอย วิธีนี้จะส่งน้ำเข้าคลองสายใหญ่ตลอดเวลา แต่แบ่งคลองซอยสายต่าง ๆ ออกเป็นส่วน ๆ ดังนั้นคลองซอยแต่ละตอนและคูส่งน้ำแต่ละสายจะได้รับน้ำเป็นครั้งคราวและตามระยะเวลาที่กำหนด

3) การหมุนเวียนโดยคูส่งน้ำ การหมุนเวียนโดยคูส่งน้ำนี้จะส่งน้ำเข้าคลองสายใหญ่และคลองซอยตลอดเวลา แต่แบ่งคูส่งน้ำออกเป็นส่วน ๆ แล้วส่งน้ำให้แก่พื้นที่ที่คูแต่ละส่วนรับผิดชอบตามระยะเวลาที่กำหนด

2.1.2 ประสิทธิภาพการส่งน้ำ

ประสิทธิภาพการส่งน้ำ คือ ประสิทธิภาพของระบบคลองส่งน้ำจากจุดที่เริ่มต้นส่งน้ำ เช่น อ่างเก็บน้ำ สถานีสูบน้ำหรือแม่น้ำ จนถึงพื้นที่เพาะปลูก หาได้จากสูตร

$$E_c = \frac{W_f + W_{outlet}}{W_g} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ E_c = ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำ เป็นเปอร์เซ็นต์

W_f = ปริมาณน้ำเหลือที่ปลายคลองส่งน้ำ มีหน่วยเป็นความลึกหรือปริมาตร

W_{outlet} = ปริมาณน้ำที่ออกจากคลอง มีหน่วยเป็นความลึกหรือปริมาตร

W_g = ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองส่งน้ำ มีหน่วยเป็นความลึกหรือปริมาตร

เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียไป ซึ่งไม่รวมปริมาณที่นำออกไปใช้จากคลอง เช่น การระเหย การรั่วซึม หรืออุปสรรคต่าง ๆ กับปริมาณน้ำที่สูญเสียไปทั้งหมดหาได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้งหมด} - \text{ปริมาณน้ำที่นำออกจากคลอง}}{\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้งหมด}} \quad (2)$$

2.1.3 การสูญเสียในคลองชลประทาน

2.1.3.1 การระเหยน้ำ

การระเหยน้ำ เป็นการแพร่กระจายของน้ำในรูปของไอน้ำจากผิวดินสู่บรรยากาศ อัตราการระเหยจะขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวดินที่มีการระเหย ความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ลม แสงแดด ความเร็วของลมและความกดดันของบรรยากาศ ฯลฯ นอกจากนั้นการเกษตรกรรม เช่น วิธีการให้น้ำ การจัดการดิน หรือวิธีการเพาะปลูกพืชล้วนมีผลต่อการระเหยน้ำ การให้น้ำแก่พืชครั้งละน้อย ๆ แต่ให้บ่อยครั้งจะทำให้มีการสูญเสียน้ำโดยการระเหยมากขึ้น ถ้าหากให้น้ำแก่พืชในปริมาณเท่ากัน แต่ให้น้อยครั้งลงจะช่วยลดการระเหยได้มาก เพราะผิวดินมีการเปียกน้อยครั้งและน้ำซึมลงไปเก็บไว้ในดินได้ดีกว่า ซึ่งเป็นผลให้น้ำที่พืชจะดูดไปใช้ได้มากกว่า การให้น้ำแก่พืชโดยวิธีให้น้ำท่วมผิวดิน โอกาสการระเหยน้ำจากผิวดินและผิวน้ำโดยตรงเกิดขึ้นได้มาก ส่วนการให้น้ำแบบฉีดฝอย ซึ่งมีระยะเวลาการให้น้ำยาวนาน จะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยมากกว่าการให้น้ำแบบอื่น อย่างไรก็ตามการระเหยจากผิวดินผิวน้ำและจากที่เกาะอยู่ตามใบและต้นพืช ก่อให้เกิดประโยชน์กับพืชโดยการที่พลังงานความร้อนส่วนนั้นไม่ถูกใช้ไปในการทำให้เกิดการคายน้ำของพืชเพิ่มขึ้น ในพื้นที่ที่ปลูกพืชต้นชิดกัน เช่น พริกขี้หนู หรือ กล้วยเลี้ยงสัตว์ การระเหยน้ำจากผิวดินจะลดลง ทั้งนี้เพราะนอกจากพืชจะใช้ความชื้นในดินไปในการคายน้ำเป็นจำนวนมากแล้ว ใบของพืชยังปกคลุมมิให้แดดส่องไปถึงผิวดิน และความหนาแน่นของต้นพืชจะช่วยป้องกันมิให้ลมพัดพาเอาอากาศรอบต้นพืชซึ่งมีไอน้ำมากไปจากพื้นที่เพาะปลูกอย่างรวดเร็วอีกด้วย

การระเหยของน้ำจากผิวดินจะถูกควบคุมจากเนื้อดินด้วย ดินที่มีการไหลซึมของความชื้น (Capillary Movement) สูงจะมีการระเหยจากผิวดินมาก ในทางตรงกันข้ามดินที่มีเนื้อหยาบซึ่งมีการไหลซึมของความชื้นได้ช้ากว่าจะมีการระเหยจากผิวดินได้น้อย แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นของอากาศ ฯลฯ จะมีผลต่อการระเหยลง น้ำจากผิวดินดังกล่าวตลอดเวลา การคลุมดิน และการให้ร่มเงาแก่ดิน จะช่วยลดการระเหยจากผิวดินลงได้

2.1.3.2 การรั่วซึมของน้ำในคลอง

เมื่อเกิดการรั่วซึมของน้ำในคลองหรือเกิดจากรอยแตกร้าวจะทำให้น้ำซึมออกมา ซึ่งดินส่วนหนึ่งจะดูดซึมน้ำไว้ในดินที่มีอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินที่ดีจะทำให้เกิดการซึมที่รวดเร็ว นั่นคือ เมื่อ

ดินมีอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินที่ดี ดินจะสามารถดูดซึมน้ำได้ในปริมาณที่มากและในระยะเวลาที่รวดเร็ว นอกจากนี้ น้ำที่ซึมไปได้ผิวดินจะไปเพิ่มระดับน้ำใต้ดินทำให้ระดับน้ำใต้ดินมีปริมาณที่มากขึ้น

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราการซึม (Factors Affecting Infiltration Rates)

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราการซึมลงดินมีดังนี้ ความชื้นในดิน (Soil Moisture) อธิบายได้ 2 กรณี คือ ในดินแห้ง (Dry Soil) และดินเปียก (Wet Soil) ในดินแห้งมีความชื้นในดินน้อยจะมีแรงดึงความชื้น (Capillary Force) มาก โดยขนาดของแรงดึงความชื้นแปรผกผันกับขนาดของช่องว่างในดิน กล่าวคือ แรงดึงความชื้นจะมีค่ามากในดินที่มีขนาดช่องว่างน้อย และแรงดึงความชื้นจะมีค่าน้อยในดินที่มีช่องว่างมาก ดังนั้นในดินแห้งที่มีขนาดช่องว่างมากจะมีอัตราการซึมมากกว่าในดินแห้งที่มีช่องว่างน้อย จึงทำให้อัตราการซึมลดลงด้วย ดังจะเห็นได้จากดินทรายแห้งและดินเหนียวแห้ง จะมีอัตราการซึมมากกว่าดินทรายเปียกและดินเหนียวเปียกตามลำดับ

1) ความสามารถในการนำน้ำของดิน (Hydraulic Conductivity) อัตราการซึมลงดินสูงสุด (Infiltration Capacity) มีค่าลดลงตามระยะเวลา โดยลดลงถึงค่าต่ำสุดและคงที่โดยค่าต่ำสุดนี้จะใกล้เคียงกับ Hydraulic Conductivity ของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยค่าของ Hydraulic Conductivity นั้นจะขึ้นอยู่กับการเป็นหลัก ถึงกระนั้นยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้อัตราการซึมมากหรือน้อยกว่านี้ อาทิ

1. ชั้นอินทรีย์วัตถุที่ผิวดิน เช่น ซากใบไม้ ฮิวมัส ซึ่งอาจรวมถึงการซ่อนไซดินของรากพืช ไล่เดือนและแมลงในดินจะช่วยให้น้ำมีช่องว่างมากขึ้น จึงทำให้ดินนำน้ำได้ดีขึ้น
2. ผิวดินที่แข็งตัวเนื่องจากอากาศเย็นจัด เมื่ออากาศเย็นจัดจะทำให้น้ำในดินแข็งตัวบริเวณผิวซึ่งจะปิดกั้นไม่ให้น้ำซึมลงดินได้
3. การบวมหรือหดตัวของดิน เมื่อความชื้นในดินเปลี่ยนไป ดินบางชนิดที่มีดินเหนียวเป็นส่วนประกอบจะมีคุณสมบัติบวมเมื่อเปียกน้ำและหดตัวเมื่อแห้ง คุณสมบัตินี้จะส่งผลทำให้การซึมลงดินในพื้นที่เดียวกันเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้ตามฤดูกาล โดยในฤดูฝนขณะดินเปียกการซึมลงดินจะมีค่าน้อย ในขณะที่ในฤดูแล้งเมื่อดินแห้งและหดตัวจะทำให้เกิดรอยแตกซึ่งการซึมลงดินจะมาก
4. การที่ตกตะกอนดินถูกชะลงมาอุดตันช่องว่างในดิน ขณะที่ฝนตกตะกอนขนาดเล็ก ๆ จะถูกชะล้างและพัดพาลงมาในช่องว่างระหว่างดิน ซึ่งจะทำให้การซึมลดลง
5. ผลจากการกระทำของมนุษย์ เช่น ผิวถนนหรือคอนกรีตล้วนแต่เป็นวัตถุที่ทำให้อัตราการซึมลดลง รวมถึงการทำการเกษตรแม้ว่าการพรวนดินจะช่วยให้การซึมลงดินดีขึ้นเป็นการชั่วคราว แต่ในระยะยาวการใช้เครื่องจักรและสารเคมีในการเกษตร มีผลทำให้ดินแน่นขึ้นและลดการซึมลงดิน

2) ปริมาณความชื้นในช่องว่างเม็ดดิน เมื่อปริมาณความชื้นในดินเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Hydraulic Conductivity เพิ่มขึ้นตาม แต่ในทางตรงข้ามจะมีผลทำให้แรงดึงดูดความชื้นในดินลดลง เมื่อพิจารณาผลรวมของแรงทั้งสองแล้วเมื่อความชื้นในดินเพิ่มขึ้น การซึมลงดินจะลดลงในกรณีที่สภาพดินชั้นล่างมีชั้นน้ำใต้ดินตื้น หรือมีน้ำใต้ดินไหลมาเพิ่มจากพื้นที่อื่นจะมีผลให้ชั้นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำสูงขึ้นมาใกล้ผิวดินจนทำให้น้ำไม่สามารถซึมลงได้อีก

3) การบดอัดเม็ดดิน (Compaction of Soil) เนื่องจากอิทธิพลของฝนที่ตกลงมา การกระทำของมนุษย์และสัตว์จะทำให้อัตราการซึมลดลง โดยในขณะที่ฝนตกลงมานั้นเม็ดดินยังเกาะกันอยู่อย่างหลวม ๆ ทำให้อัตราการซึมเป็นไปได้อย่างรวดเร็วในระยะเริ่มต้น และเมื่อฝนตกลงมาอย่างต่อเนื่องเม็ดดินเล็กจะถูกจัดเรียงเข้าไปอุดช่องว่าง และในขณะเดียวกันเม็ดดินถูกบดอัดทำให้อัตราการซึมลดลง สำหรับการกระทำของมนุษย์ เช่น การบดอัดดินเพื่อสร้างถนนลูกรัง การดาดคลองดินเหนียว และการสัญจรหรือการเดินผ่านหน้าดิน เป็นต้น จะทำให้อัตราการซึมลดลง ส่วนในกรณีของสัตว์ต่าง ๆ ที่มีน้ำหนักมาก เมื่อเดินผ่านดินก็จะเกิดการบดอัดเม็ดดินทำให้อัตราการซึมลดลงเช่นกัน

4) โพรงดินที่เกิดจากสัตว์ต่าง ๆ ที่ขุดเจาะลงไปหากินหรืออาศัยอยู่ในดิน เช่น โพรงดินที่เกิดจากมด ไส้เดือน ูบ เขียดต่าง ๆ เป็นต้น จะมีผลต่ออัตราการซึมความสามารถในการนำน้ำของดิน (Hydraulic Conductivity)

2.1.4 การไหลในทางน้ำเปิด (Open Channel Flow)

การไหลในทางน้ำเปิด คือการไหลของของไหลไปตามทางน้ำโดยมีผิวอิสระสัมผัสกับอากาศด้านบน การไหลจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของความดันบรรยากาศโดยรอบ (Atmospheric Pressure) และแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity) ซึ่งการไหลในลักษณะนี้สามารถพบเห็นได้ทั่วไป เช่น การไหลในแม่น้ำลำคลอง การไหลในคลองส่งน้ำ การไหลในท่อระบายน้ำ รางระบายน้ำ เป็นต้น

ประเภทของทางน้ำเปิด (Type of Channel) ทางน้ำเปิดที่พบเห็นโดยทั่วไปนั้นสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทคือ

1. ทางน้ำธรรมชาติ (Natural Channel) คือ ทางน้ำที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ รูปร่างของรูปตัดขวางของทางน้ำ และความลาดเทของท้องทางน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพพื้นที่ (Non-Prismatic Channel) เช่น ลำธาร คลอง หรือแม่น้ำ เป็นต้น
2. ทางน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น (Artificial Channel) คือ ทางน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อสนองต่อความต้องการใช้น้ำด้านต่าง ๆ เช่น การส่งน้ำเพื่อการชลประทาน การระบายน้ำ หรือเพื่อการคมนาคมขนส่ง เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปลักษณะของทางน้ำจะมีประตูดขวาง และความลาดเทของท้องรางคงที่ (Prismatic Channel) เช่น คลองส่งน้ำ ดาดคอนกรีต ราง หรือท่อระบายน้ำ เป็นต้น

2.1.4.1 ชนิดของการไหลในทางน้ำเปิด

สามารถแบ่งชนิดของการไหลในทางน้ำเปิด ตามการเปลี่ยนแปลงความลึกของการไหล ซึ่งขึ้นอยู่กับเวลา (Time) และตำแหน่ง (Space) ดังนี้คือ

(1) พิจารณาการเปลี่ยนแปลงกับเวลา

1) การไหลคงที่ (Steady Flow) คือ การไหลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา กล่าวคือตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไหล เช่น ความลึก (y) ความเร็ว (V) อัตราการไหล (Q) พื้นที่หน้าตัดการไหล (A) จะคงที่ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา

$$\frac{d}{dt}(v, A, y, Q) = 0$$

2) การไหลไม่คงที่ (Unsteady Flow) คือ การไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา กล่าวคือตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไหล เช่น ความลึก ความเร็ว อัตราการไหล พื้นที่หน้าตัดการไหล ไม่คงที่ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา

$$\frac{d}{dt}(v, A, y, Q) \neq 0$$

(2) พิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปตัดขวางของการไหลในช่วงใด ๆ

1) การไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow : UF) คือ การไหลที่มีความลึก (y) และพื้นที่หน้าตัดการไหล (A) คงที่ตลอดช่วงความยาวที่พิจารณา

2) การไหลแบบแปรเปลี่ยน (Varied Flow หรือ Non-Uniform Flow) คือ การไหลที่มีความลึก และพื้นที่หน้าตัดการไหลไม่คงที่ตลอดช่วงความยาวที่พิจารณา ซึ่งแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

- การไหลแบบแปรเปลี่ยนแบบค่อยเป็นค่อยไป (Gradually Varied Flow : GVF) คือ การไหลที่ความลึกและพื้นที่หน้าตัดการไหลมีการเปลี่ยนแปลงทีละน้อยไปตามความยาวของช่วงที่พิจารณา

- การไหลแบบแปรเปลี่ยนแบบฉับพลัน (Rapidly Varied Flow : RVF) คือ การไหลที่ความลึกและพื้นที่หน้าตัดการไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันในช่วงความยาวที่พิจารณา
ดังนั้นหากพิจารณาเกณฑ์ทั้งสองข้อ เราจะสามารถจำแนกประเภทของการไหลที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

- การไหลแบบสม่ำเสมอไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Steady Uniform Flow) คือ สภาพการไหลที่มีค่าความลึก ความเร็ว อัตราการไหล และพื้นที่หน้าตัดการไหลคงที่ตลอดช่วงความยาวที่พิจารณาโดยจะไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา ซึ่งเกือบทั้งหมดมักจะเกิดในทางน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น เนื่องจากรูปตัดขวางของทางน้ำมักจะสร้างให้มีรูปร่างคงที่และในการใช้งาน เราสามารถควบคุมความเร็วและอัตราการไหลได้

- การไหลแปรเปลี่ยนแบบค่อยเป็นค่อยไปแต่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Steady Gradually Varied Flow) คือ สภาพการไหลที่มีค่าความลึก ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดการไหลเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องแบบค่อยเป็นค่อยไปตลอดช่วงความยาวที่พิจารณา แต่ความลึก ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดการไหลที่จุดใดจุดหนึ่งนั้นจะคงที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา

- การไหลแปรเปลี่ยนแบบฉับพลันแต่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Steady Rapidly Varied Flow) คือ สภาพการไหลที่มีค่าความลึก ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดการไหลเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันในช่วงความยาวที่พิจารณา แต่ความลึก ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดการไหล ที่จุดใดจุดหนึ่งนั้นจะคงที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา

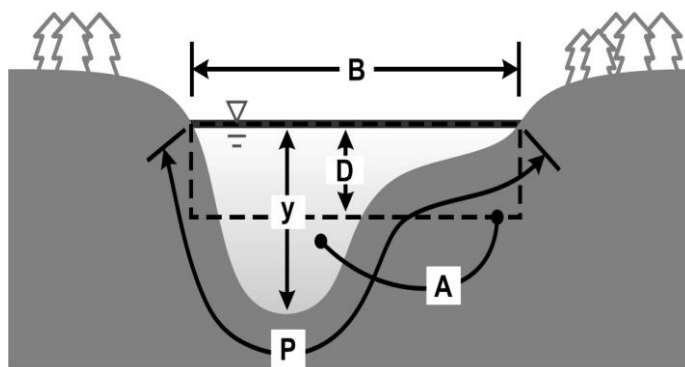
- การไหลแบบสม่ำเสมอแปรเปลี่ยนตามเวลา (Unsteady Uniform Flow) คือ สภาพการไหลที่มีค่าความลึก ความเร็ว อัตราการไหล พื้นที่หน้าตัดการไหลเท่ากันตลอดช่วงความยาวที่พิจารณา แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

- การไหลแปรเปลี่ยนแบบค่อยเป็นค่อยไปและแปรเปลี่ยนตามเวลา (Unsteady Gradually Varied Flow) คือ สภาพการไหลที่มีค่าความลึก ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดการไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องแบบค่อยเป็นค่อยไปตลอดช่วงความยาวที่พิจารณาและเปลี่ยนแปลงตามเวลาไปพร้อม ๆ กัน

- การไหลแปรเปลี่ยนแบบฉับพลันและแปรเปลี่ยนตามเวลา (Unsteady Rapidly Varied Flow) คือ สภาพการไหลที่มีค่าความลึก ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดการไหล มีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันในช่วงความยาวที่พิจารณาและเปลี่ยนแปลงตามเวลาไปพร้อม ๆ กัน

2.1.4.2 คุณสมบัติพื้นฐานของการไหลในทางน้ำเปิด

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติพื้นฐานของการไหลในทางน้ำเปิดประกอบด้วย อัตราการไหล (Q) ความลึกของการไหล (y) ความกว้างของผิวน้ำ (T) และ เส้นขอบเปียก (P) ซึ่งสามารถวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของการไหลในทางน้ำเปิดได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลในทางน้ำเปิด

ที่มา: <http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Thandon/FluidMechanics.pdf>

ความเร็วของการไหล (ความเร็วเฉลี่ย) $V = \frac{Q}{A}$ (3)

รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius) $R = \frac{A}{P}$ (4)

ความลึกชลศาสตร์ (Hydraulic Depth) $D = \frac{A}{T}$ (5)

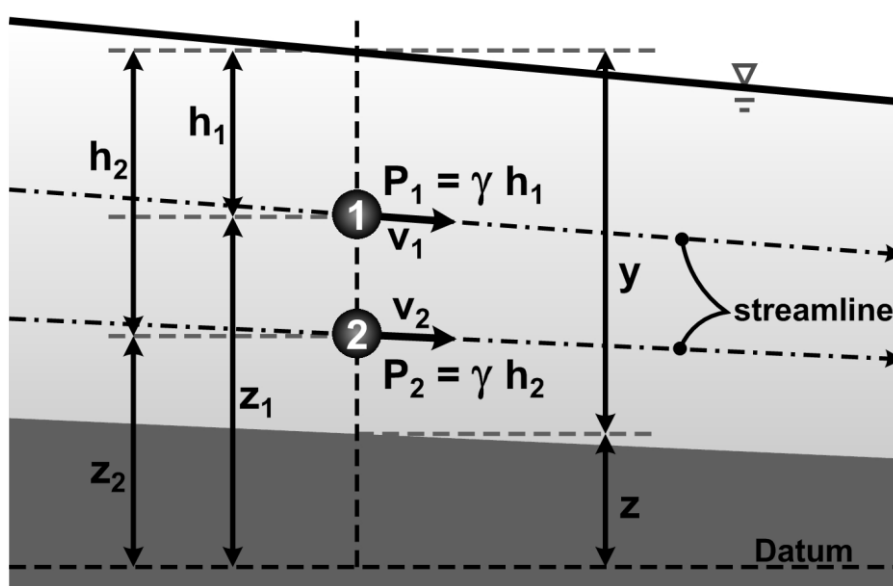
ปัจจัยหน้าตัดสำหรับการไหลวิกฤต $Z = \frac{A}{\sqrt{D}}$ (6)

ปัจจัยหน้าตัดสำหรับการไหลสม่ำเสมอ $U = AR^{2/3}$ (7)

สำหรับทางน้ำเปิดรูปหน้าตัดต่าง ๆ สามารถหาคุณสมบัติการไหลต่าง ๆ ได้ดังตาราง
ความเร็วของการไหล (V) ที่ใช้ในสมการ (1) เป็นการเฉลี่ยความเร็ว จะใช้เป็นตัวแทนของความเร็วการไหลเฉลี่ยตลอดพื้นที่หน้าตัดในการคำนวณค่าต่าง ๆ อย่างไรก็ดีตามสภาพความเป็นจริงแล้ว ความเร็วของการไหลผ่านหน้าตัดทางน้ำเปิดจะมีการกระจายความเร็วไม่เท่ากันทั้งหน้าตัดการไหล เพราะแรงเสียดทานการไหลระหว่างของไหลกับสันขอบเปียกและผิวน้ำอิสระ จึงทำให้บริเวณใกล้ ๆ กับขอบทางน้ำเปิดมีความเร็วต่ำกว่าบริเวณกลางหน้าตัดที่เอียงไปทางผิวน้ำ

(1) สมการพลังงานของการไหลในทางน้ำเปิด

เนื่องจากการไหลในทางน้ำเปิด เป็นการไหลของของไหลจากบริเวณที่มีพลังงานสูงไปสู่บริเวณที่มีพลังงานต่ำ ซึ่งลักษณะการไหลจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับผนังทางน้ำเปิด และแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคของของไหล จึงเกิดการสูญเสียพลังงาน (Head Loss, h_L) ในช่วงระยะทางการไหลที่พิจารณาตั้งเช่นลักษณะการไหลในทางน้ำเปิดทั่วไประหว่างหน้าตัดดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เสดของอนุภาคของไหลบนหน้าตัดใด ๆ ของการไหลในทางน้ำเปิด

ที่มา: <http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Thandon/FluidMechanics.pdf>

พิจารณารูปที่ 2.2 สามารถเขียนสมการพลังงานระหว่างหน้าตัดทั้งสอง ได้ดังนี้

$$\frac{V_A^2}{2g} + y_A + Z_A = \frac{V_B^2}{2g} + y_B + h_L \quad (8)$$

เมื่อ Z คือ ระดับท้องน้ำของทางน้ำเปิด เหนือระดับอ้างอิง (ft หรือ m)

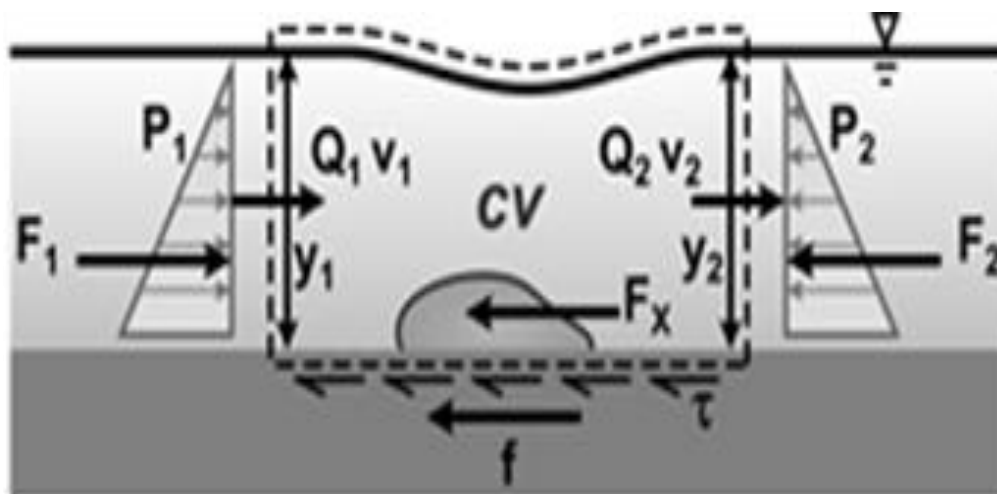
Y คือ ความลึกของการไหล หรือความดัน (pressure head = P/γ)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (ft/s หรือ m/s)

h_L คือ การสูญเสียพลังงานระหว่างหน้าตัด A และ B (ft-lb/lb หรือ N-m/N) หรือ (ft หรือ m)

(2) สมการโมเมนตัม (Momentum Equation)

สมการโมเมนตัมสำหรับการไหลในทางน้ำเปิดจะแตกต่างกับการไหลในท่อ เนื่องจากการไหลในทางน้ำเปิดนั้น ความดันจะแปรผันตามความลึกของน้ำดังตัวอย่างในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การวิเคราะห์แรงที่กระทำกับ Control Volume ของการไหลในทางน้ำเปิด

ที่มา: <http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Thandon/FluidMechanics.pdf>

กำหนดให้ $\sum F$ คือผลรวมของแรงจากภายนอกโดยไม่รวมแรงที่เกิดจากความดัน ซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ $F_1 - F_2 - F_3$ และเมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\begin{aligned} \sum F &= \rho Q_1 V_1 - \rho Q_2 V_2 \\ &= \rho Q (V_2 - V_1) \end{aligned} \quad (9)$$

2.1.4.3 การจำแนกประเภทตามสถานะของการไหล (State of Flow)

(1) ผลของแรงโน้มถ่วงของโลกและความหนืดต่อพฤติกรรมของการไหล (Effect of Gravity and Viscosity on Flow Behavior) ผลของแรงโน้มถ่วงเป็นผลที่มีอิทธิพลหลักต่อการไหลในทางน้ำเปิด กล่าวคือน้ำหนักของมวลน้ำจะมีการไหลได้ก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างระดับน้ำตามแนวยาว หรือมีความลาดของทางน้ำเปิด ซึ่งเป็นผลมาจากแรงเฉื่อย (Inertia Force) โดยตัวแปรที่จะบอกถึงชนิดการไหลในทางน้ำเปิดนั้นคือรากที่สองของอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงโน้มถ่วงของโลก หรือที่เรียกกันโดยทั่วไป Froude Number โดยที่

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (10)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วของการไหลในทางน้ำเปิด

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

D คือ ความลึกชลศาสตร์

ผลของแรงโน้มถ่วงของโลก สามารถแบ่งชนิดของการไหลได้ 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดของการไหลตามผลของแรงโน้มถ่วงของโลก

ชนิดของการไหล	Froude number
การไหลวิกฤต	FR = 1
การไหลใต้วิกฤต	FR < 1
การไหลเหนือวิกฤต	FR > 1

ที่มา: กิรติ ลีวันกุล. 2539. วิศวกรรมชลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. จังหวัดปทุมธานี

(2) ผลของความหนืด เป็นผลเนื่องจากของไหลมีความหนืดในตัวเอง ซึ่งการที่ของไหลจะไหลช้าหรือไหลเร็วขึ้น ขึ้นอยู่กับแรงเนื่องจากความหนืด (Viscous Force) และแรงเฉื่อย (Inertia Force) จะมีแรงใดมากกว่ากัน กล่าวคือ ถ้าแรงเนื่องจากแรงหนืดมีค่ามากกว่าแรงเฉื่อยจะทำให้ของไหลมีการไหลอย่างช้า ๆ เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Lamina Flow) อนุภาคของของไหลมีการไหลชัดเจนเป็นเส้นแนวการไหล (Stream Line) แต่ถ้าแรงเนื่องจากความหนืดมีค่าน้อยกว่าความเฉื่อยจะมีผลทำให้ของไหลไหลเร็ว อนุภาคของของไหลเกิดการปั่นป่วน เรียกว่าการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ทำให้สามารถจำแนกชนิดการไหลเนื่องจากผลของความหนืดได้ โดยใช้ค่า Reynold's Number (N_r) ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืดดังสมการ

$$N_r = \frac{VR}{\nu} = \frac{\rho VR}{\mu} \quad (11)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

R คือ รัศมีชลศาสตร์

μ คือ สัมประสิทธิ์ความหนืด

v คือ ความหนืดจลน์

ผลของความหนืดสามารถจำแนกชนิดของการไหลในทางน้ำเปิด โดยพิจารณาจากค่า Reynold's Number ได้ 3 ชนิด คือ

ตารางที่ 2.2 ชนิดของการไหลตามผลของความหนืด

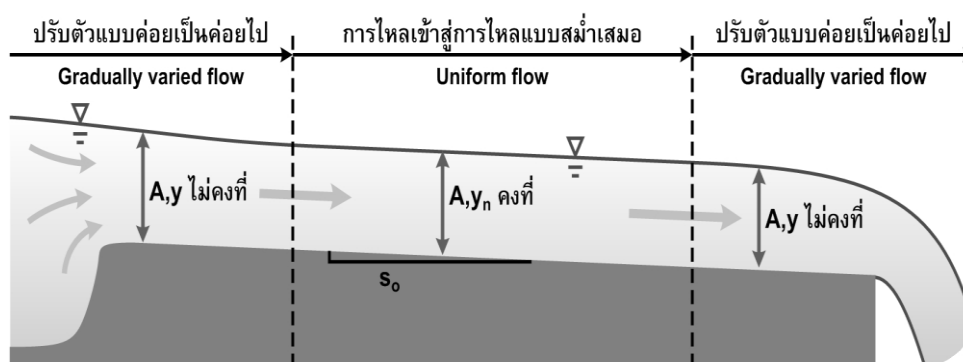
ชนิดของการไหล	Reynold's number
การไหลแบบราบเรียบ	$Nr = 500$
การไหลแบบเปลี่ยนแปลง	$500 \leq Nr \leq 2000$
การไหลแบบปั่นป่วน	$Nr > 2000$

ที่มา: กิรติ ลีวัจนกุล. 2539. วิศวกรรมชลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. จังหวัดปทุมธานี

2.1.4.4 การไหลสม่ำเสมอ (Uniform Flow)

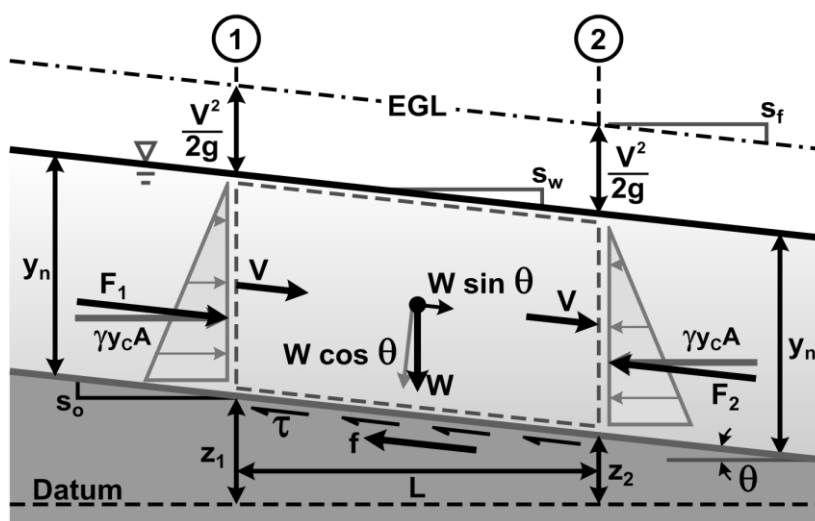
(1) นิยามการไหลสม่ำเสมอ (Uniform Flow)

การไหลสม่ำเสมอ (Uniform Flow) หรือการไหลปกติ (Normal Flow) คือการไหลที่เกิดขึ้นบนทางน้ำเปิดคงรูป (Prismatic Channel) หรือทางน้ำเปิดที่มีหน้าตัดการไหลคงที่ตลอดแนวการไหล โดยมีความลึกเท่ากันในช่วงไหลที่พิจารณา



รูปที่ 2.4 การเกิดการไหลแบบ Uniform Flow

ที่มา: <http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Thandon/FluidMechanics.pdf>



รูปที่ 2.5 การวิเคราะห์การไหลแบบ Uniform Flow

ที่มา: <http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Thandon/FluidMechanics.pdf>

ลักษณะที่สำคัญของการไหลสม่ำเสมอมีสองลักษณะที่สำคัญ 2 ประการคือ

1. ความลึก พื้นที่หน้าตัด ความเร็ว และอัตราการไหลทุก ๆ หน้าตัดของทางน้ำเปิดจะต้องคงที่
2. ความลาดของเส้นระดับพลังงาน (Energy Grade Line, E.G.L.) ความลาดของเส้นระดับชลศาสตร์ หรือเส้นระดับผิวน้ำ (Hydraulic Grade Line, H.G.L.) และความลาดของท้องน้ำจะต้องขนานกัน หรือ $S_f = S_w = S_0 = S$

(2) สมการการไหลสม่ำเสมอ

ในสมการสม่ำเสมอจะมี $y_A = y_B$ และ $V_A = V_B$ ดังนั้น จากสมการ (6) จะมีการสูญเสียพลังงาน

$$h_L = Z_A - Z_B = SL \quad (12)$$

เมื่อ S คือ ความลาดของเส้นระดับพลังงาน

L คือ ระยะทางระหว่างหน้าตัด A และหน้าตัด B

ในปี 1769 Chezy วิศวกรชาวฝรั่งเศส ได้เสนอสูตรการไหลสม่ำเสมอในทางน้ำเปิดเป็นคนแรก ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยของการไหลในทางน้ำเปิดกับรัศมีชลศาสตร์ และความลาดของเส้นระดับพลังงานดังนี้

$$V = C\sqrt{RS} \quad (13)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล

C คือ สัมประสิทธิ์ของ Chezy

R คือ รัศมีชลศาสตร์

S คือ ความลาดของเส้นระดับพลังงาน

สำหรับสัมประสิทธิ์ของ Chezy สามารถหาได้จากสมการต่าง ๆ ดังนี้

1) สูตรของ G.K. ในปี 1869 Ganguillet และ Kutter วิศวกรชาวสวิส ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของ Chezy ในเทอมของเส้นระดับพลังงาน (S) รัศมีชลศาสตร์ (R) และสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) เป็นสมการในหน่วยอังกฤษดังนี้

$$C = \frac{41.65 + \frac{0.00281}{s} + \frac{1.811}{n}}{1 + \left(41.65 + \frac{0.00281}{s} \right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (14)$$

2) สูตรของ Bazin ในปี 1897 H.Bazin วิศวกรชลศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของ Chezy โดยพิจารณาฟังก์ชัน R แต่ไม่ได้คิดผลของความลาด S เป็นสมการในหน่วยอังกฤษ ดังนี้

$$C = \frac{157.6}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \quad (15)$$

เมื่อ m คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Bazin ขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุเงื่อนไขทางน้ำเปิด ดังตาราง 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Bazin

ลักษณะทางน้ำเปิด	Bazin's m
ซีเมนต์เรียบ	0.11
ไม้ไม่เรียบ คอนกรีต หรืออิฐ	0.21
หินก่อ อิฐก่อไม่เรียบร้อย	0.38
คลองดินที่มีสภาพดี	1.54
คลองดินที่มีสภาพปกติ	2.36
คลองดินขรุขระ	3.17

ที่มา: กิรติ ลีวัจนกุล. 2539. วิศวกรรมชลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. จังหวัดปทุมธานี

เนื่องจากสมการของ Bazin ได้รับการพัฒนาจากการทดลองในทางน้ำเปิดขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นในการปฏิบัติการ ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานทั่วไปจึงให้ผลได้ไม่ดีเท่าสมการของ G.K.

3) สูตรของ Powell ในปี 1950 Ralsh W. Powell ได้เสนอสมการหาค่า C ของ Chezy สำหรับทางน้ำเปิดที่สร้างขึ้นและมีผิวหยาบเป็นสมการลือกการิมิก

$$C = -42 \log \left(\frac{C}{4N_r} + \frac{\epsilon}{R} \right) \quad (16)$$

เมื่อ N_r คือ Reynold's number

ϵ คือ ความขรุขระของทางน้ำเปิด ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิว และความใหม่ หรือเก่าของทางน้ำเปิด ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความขรุขระของทางน้ำเปิดตามสมการของ Powell

ลักษณะทางน้ำเปิด	Powell's (ϵ)	
	ทางน้ำเปิดใหม่	ทางน้ำเปิดเก่า
ผิวซีเมนต์เรียบ	0.0002	0.0004
รางไม้เรียบ	0.0001	0.0017
คลองตาดคอนกรีต	0.004	0.006
คลองดินตรงและสม่ำเสมอ	0.04	-
คลองขุดดิน	0.10	-

ที่มา: กิรติ ลีวัจนกุล. 2539. วิศวกรรมชลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. จังหวัดปทุมธานี

4) สูตรของ Manning ในปี 1889 Robert Manning วิศวกรชาวไอร์แลนด์ ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ของ Chezy และสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning กับรัศมีชลศาสตร์ ซึ่งเป็นที่นิยมกันแพร่หลาย ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ระบบหน่วยอังกฤษ : } C &= \frac{1.49}{n} R^{1/6} \\ \text{ระบบหน่วย SI : } C &= \frac{1}{n} R^{1/6} \end{aligned} \quad (17)$$

เมื่อแทนค่า C จากสมการจะได้สมการ Manning สำหรับคำนวณความเร็วของการไหลในทางน้ำเปิดดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ระบบหน่วยอังกฤษ : } V &= \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \\ \text{ระบบหน่วย SI : } Q &= \frac{1.49}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \end{aligned} \quad (18)$$

สามารถหาอัตราการไหลในทางน้ำเปิดได้ดังนี้

$$Q = AV$$

$$\begin{aligned}
 \text{ระบบหน่วยอังกฤษ : } Q &= \frac{1.49}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \\
 \text{ระบบหน่วย SI : } Q &= \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

วัสดุทางน้ำเปิด	n
พลาสติก แก้ว ท่อเรียบ	0.009
ซีเมนต์ โลหะเรียบ	0.010
ไม้เรียบ ท่อวาง	0.011
โลหะ เหล็กหล่อผสมยางมะตอย	0.013-0.014
ไม้ไม่เรียบ ดินเหนียว	0.014
ท่อเหล็กหล่อ	0.015
เหล็กมุดย้า อิฐ	0.016
หินก่อ	0.017
ดินเรียบ	0.018
ท่อโลหะขรุขระ	0.022
กรวด	0.023
คลองธรรมชาติมีสภาพดี	0.025
คลองธรรมชาติมีหินขนาดใหญ่และพืชต่าง ๆ	0.035
คลองธรรมชาติสภาพไม่ดี	0.060
ทราย (ท้องน้ำเรียบ). หรือกรวด	
d = เส้นผ่านกลางขนาดกลาง (ft)	$0.034d^{1/6}$
$d=d_{75}$ (ft)	$0.013d^{1/6}$
โลหะ เหล็กเชื่อม	0.012

ที่มา: กิรติ ลีวัจนกุล. 2539. วิศวกรรมชลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. จังหวัดปทุมธานี

ตารางที่ 2.6 สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ของทางน้ำเปิดรูปแบบต่าง ๆ

ลักษณะของทางน้ำเปิด	<i>n</i>
คลองตาดด้วยคอนกรีต โดยมีซีเมนต์อุดบริเวณรอยต่อระหว่างแผงคอนกรีต และท้องน้ำก็ตาดคอนกรีตเป็นฐานด้วย	0.012
คลองคอนกรีต	0.010
คูขนาดเล็กตาดด้วยคอนกรีต มีแนวคูเป็นเส้นตรงสม่ำเสมอ ความลาดท้องน้ำน้อย โดยมีตะกอนหยาบปกคลุมบริเวณด้านข้างและท้องคูทำให้สัมประสิทธิ์ความขรุขระเพิ่มขึ้น	0.016
คลองตาดคอนกรีตโดยไม่มีการปรับแต่งผิวให้เรียบ พื้นผิวปกคลุมด้วยวัชพืชละเอียดขนาดเล็กและท้องคลองมีตะกอนทราย	0.018
คลองดินเหนียวขุด มีตะกอนเป็นดินทรายที่กลางคลองและตะกอนโคลนที่บริเวณข้างคลอง	0.020
คลองคอนกรีตตาดที่สร้างขึ้นจากหินลาวาตัดทรงดิ่งโดยที่ผนังคลองมีลักษณะหยาบ	0.020
คลองชลประทาน แนวคลองเป็นเส้นตรง พื้นผิวบดอัดทรายละเอียด	0.022
คลองตาดซีเมนต์ เป็นแนวตรงบนคลองดิน โดยที่บริเวณรอยแตกมีวัชพืช และท้องคลองมีตะกอนทราย	0.022
คลองที่ขุดผ่านดินเหนียวปนตะกอนทราย สภาพท้องคลองแข็งแรง	0.024
คูตาดทั้งด้านข้างและด้านล่างด้วยหินหรืออิฐหัก ท้องน้ำไม่เรียบ มีกรวดตกอยู่อย่างกระจัดกระจาย ผนังด้านข้างค่อนข้างอยู่ในแนวตั้ง	0.024
คลองขุดข้างภูเขา โดยตลิ่งด้านภูเขามีรากพืชเป็นระยะ ๆ ส่วนตลิ่งด้านล่างลงมีผนังคอนกรีตและท้องคลองมีกรวดปกคลุม	0.026
แม่น้ำธรรมชาติมีก้อนกรวดหรือหินขนาดเล็กใหญ่คละกัน มีความเร็วกระแสน้ำไหลผ่านสูง	0.028
คลองดินขุด มีลักษณะเป็นดินตะกอนทราย โดยมีดินทรายตกทับถมในบริเวณท้องคลอง ส่วนด้านข้างมีหญ้าขึ้นตามธรรมชาติ	0.029
คลองที่มีหินกรวดขนาดใหญ่ที่ท้องคลอง	0.030
คลองธรรมชาติ ด้านล่างมีลักษณะขรุขระไม่เรียบ ท้องน้ำมีตะกอนดินเหนียว สภาพหน้าตัดเปลี่ยนแปลงน้อยมาก	0.035
คลองหินขุดโดยวิธีใช้ระเบิดแนวคลอง	0.040
คลองดินเหนียวปนตะกอน ความลาดด้านข้างไม่เรียบ มีหญ้าขึ้น	0.040
คลองดินขุด ด้านข้างและด้านล่างไม่เรียบ โดยด้านข้างมีดินเหนียวสีดำและเหลืองปะปนกันอยู่ รูปตัดทางน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก	0.045

ลักษณะของทางน้ำเปิด	n
คลองดินชุด ด้านข้างและด้านล่างไม่เรียบ ดินโคลนเป็นดินเหนียวสีดำ มีหญ้าและวัชพืช รูปร่างหน้าตัดค้อย ๆ เปลี่ยนแปลงตามแนวคลอง	0.050
คูดินเหนียวปนตะกอนทราย ด้านข้างและด้านล่างไม่เรียบ มีต้นไม้ขนาดใหญ่ขึ้นตาม แนวหน้าตัดที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ	0.060
คลองดินเหนียวสีดำปนตะกอนเทา ด้านข้างและด้านล่างไม่เรียบ มีพืชปกคลุมหนาแน่น	0.080
คลองดินเหนียวปนตะกอนเทา มีต้นไม้สูง 40 ฟุต ในหน้าตัดคลอง	0.110
คลองระบายน้ำธรรมชาติ สภาพดินเป็นดินทรายละเอียดปานกลางและดินเหนียว ละเอียด ไม่มีความลาดด้านข้าง ท้องคลองเป็นลูกคลื่น มีแนวต้นไม้ขวางทางการไหล กระจัดกระจาย	0.125
แม่น้ำธรรมชาติ สภาพดินเป็นดินเหนียวปนทราย รูปร่างไม่แน่นอน มีรากไม้ ต้นไม้ และ ท่อนซุงขวางทางน้ำ	0.150

ที่มา: กิรติ ลีวัจนกุล. 2539. วิศวกรรมชลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. จังหวัดปทุมธานี

2.1.4.5 ทางน้ำเปิดที่มีวัสดุหลายชนิด

ในกรณีที่ทางน้ำเปิดมีวัสดุหลายชนิดหรือในกรณีที่เกิดน้ำหลากคลื่นระดับปกติ (Normal Stage) ของน้ำในแม่น้ำจนเกิดการไหลเอ่อล้นตลิ่งสูงขึ้นถึงระดับน้ำหลาก (Flood Stage) ซึ่งเมื่อพื้นผิวของน้ำและตลิ่งมีสภาพไม่เหมือนกัน ทำให้เกิดความขรุขระไม่เท่ากัน ในกรณีนี้สามารถหาอัตราการไหลหลากได้ โดยการแบ่งหน้าตัดออกเป็นหลาย ๆ ส่วนตามสภาพพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไป จากนั้นสามารถคำนวณอัตราการไหลได้ โดยถือว่าความลาดท้องน้ำของแม่น้ำและตลิ่งมีค่าเท่ากัน

สมการการไหลสม่ำเสมอของ Manning

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q = \frac{1}{n} A_1 R_1^{2/3} S_1^{1/2} + \frac{1}{n} A_2 R_2^{2/3} S_2^{1/2} \quad (20)$$

เมื่อ $R_1 = \frac{A_1}{P_1}$ และ $R_2 = \frac{A_2}{P_2}$ ดังนั้น

$$Q = S^{1/2} \left[\frac{A_1^{5/3}}{n_1 P_1^{2/3}} + \frac{A_2^{5/3}}{n_2 P_2^{2/3}} \right] \quad (21)$$

ในกรณีที่แบ่งหน้าตัดออกเป็น n หน้าตัด สามารถหาอัตราการไหลได้จาก

$$Q = S^{1/2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i^{5/3}}{n_i P_i^{2/3}} \right) \quad (22)$$

2.1.4.6 พลังงานจำเพาะกับการไหลแปรเปลี่ยนแบบฉับพลันแต่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Specific Energy and Steady Rapidly Varied Flow)

พิจารณาสมการพลังงานของการไหลในทางน้ำเปิด สมการที่เฮดที่บ่งบอกถึงสถานะของการไหลนั้นจะประกอบด้วย เฮดความเร็ว $\frac{V^2}{2g}$ และ เฮดความดัน (y) ซึ่งผลรวมของทั้งสองส่วนนี้ เรียกว่า พลังงานจำเพาะ (Specific Energy)

$$E = y + \frac{V^2}{2g}$$

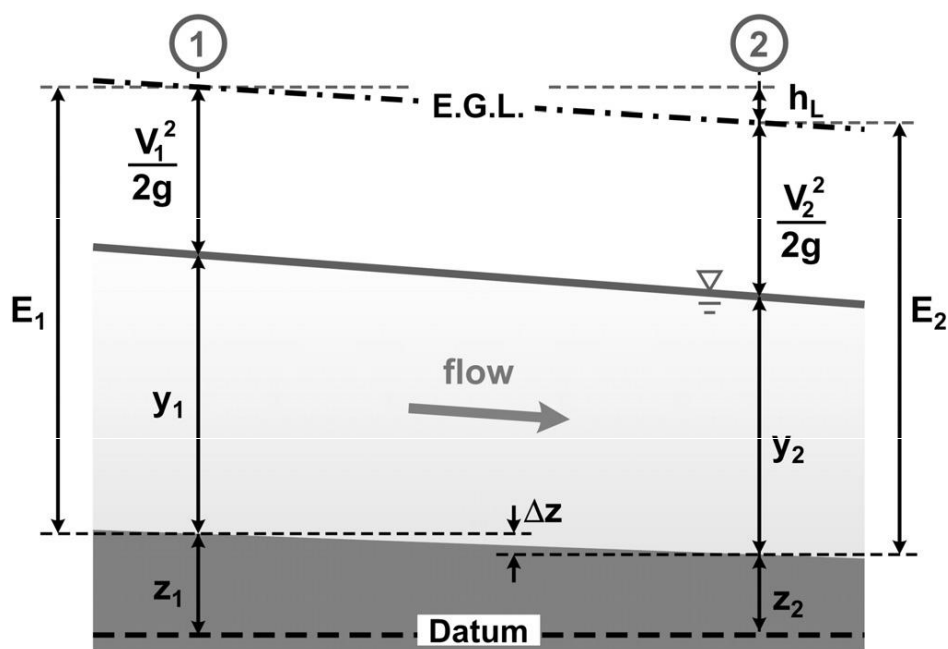
$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$Z_1 + E_1 = Z_2 + E_2 + h_L \quad (23)$$

ซึ่งหากนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพการไหลในช่วงสั้น ๆ จะได้ว่า

$$Z_2 + Z_1 = E_1 - E_2 - h_L$$



รูปที่ 2.6 พลังงานงานจำเพาะของการไหลในทางน้ำเปิด

ที่มา: <http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Thandon/FluidMechanics.pdf>

จากข้างต้นพลังงานจำเพาะ (E) ประกอบขึ้นจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลและของไหลโดยเฉพาะ ดังนั้นหากนำมาวิเคราะห์กับการไหลในทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง จะได้ว่า

เมื่อกำหนดให้ $q = \frac{Q}{B}$ (อัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง)

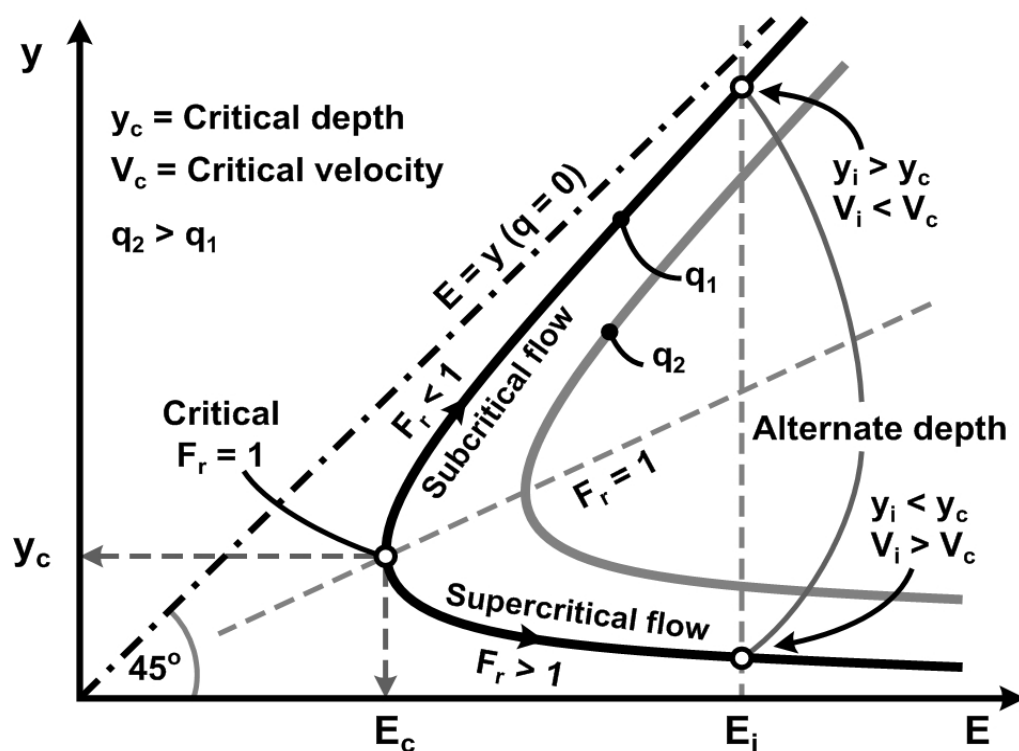
$$q = \frac{VA}{B} = Vy$$

$$V = \frac{q}{y} \quad (24)$$

จากสมการ $E = y + \frac{V^2}{2g}$

$$E = y + \frac{q^2}{2gy^2} \quad (25)$$

จาก q คงที่ ดังนั้นหากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง E กับ y พบว่ากราฟความสัมพันธ์จะเป็นรูป Hyperbola ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจำเพาะกับความลึกของการไหลในทางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก
ที่มา: <http://irre.ku.ac.th/HomepageDoc/BooksOnline/Thandon/FluidMechanics.pdf>

จากความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจำเพาะกับความลึกของการไหลจะเห็นว่า ที่ระดับพลังงานจำเพาะหนึ่ง ๆ ค่าความลึกของการไหลสามารถเป็นไปได้สองค่า (Alternate Depth) ดังรูปที่ 2.7 แต่จะมีเพียงจุดเดียวเท่านั้นที่ค่าพลังงานจำเพาะสัมพันธ์กับค่าความลึกเพียงหนึ่งค่า เราเรียกจุดนี้ว่า การไหลวิกฤต (Critical Flow) ซึ่งเราจะเรียกค่าความลึก และพลังงานจำเพาะที่จุดนี้ว่า ความลึกวิกฤต

(Critical Depth : y_c) และพลังงานจำเพาะที่จุดวิกฤต (Critical Specific Energy : E_c) ตามลำดับ ในกรณีที่การไหลมีค่าความลึกมากกว่าความลึกวิกฤต ($y > y_c$) ซึ่งความเร็วของการไหลจะต่ำกว่าความเร็วที่จุดวิกฤต ($V < V_c$) เราจะเรียกการไหลลักษณะนี้ว่า การไหลต่ำกว่าวิกฤต (Subcritical Flow) ในทางตรงกันข้ามการไหลมีค่าความลึกน้อยกว่าความลึกวิกฤต ($y < y_c$) ซึ่งความเร็วของการไหลจะมากกว่าความเร็วที่จุดวิกฤต ($V > V_c$) เราจะเรียกการไหลลักษณะนี้ว่า การไหลเหนือวิกฤต (Supercritical Flow) จากสมการที่ 25 หากเราพิจารณาอนุพันธ์ของพลังงานจำเพาะเทียบกับความลึกจะได้ว่า

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{q^2}{gy^3} \quad (26)$$

จากสมการที่ 26 ที่จุดวิกฤต ค่าอนุพันธ์ของพลังงานจำเพาะเทียบกับความลึกจะมีค่าเท่ากับ 0 ฉะนั้นเมื่อแทนค่า $y = y_c$ จะทำให้ $\frac{dE}{dy} = 0$ จึงได้ว่า

$$0 = 1 - \frac{q^2}{gy_c^3}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (27)$$

จากสมการที่ (8) ความลึกชลศาสตร์ของการไหลในทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก จะมีค่าเท่ากับกับค่าความลึกของการไหล ($D = y$) เมื่อแทนค่าในสมการที่ 27 จะได้ว่า

$$D_c = \sqrt[3]{\frac{(VD_c)^2}{g}}$$

$$1 = \frac{V}{\sqrt{gD_c}} = \frac{V}{\sqrt{gy_c}} = F_r \quad (28)$$

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ที่สภาวะการไหลแบบวิกฤติ ค่าฟรูดน์ัมเบอร์จะมีค่าเท่ากับ 1 หากพิจารณาที่สภาวะการไหลต่ำกว่าวิกฤตซึ่ง $y < y_c$ และ $V > V_c$ จะส่งผลให้ $F_r < 1$ หรือสรุปได้ว่าที่สภาวะการไหลต่ำกว่าวิกฤติ ฟรูดน์ัมเบอร์จะมีค่าน้อยกว่า 1 และหากพิจารณาที่สภาวะการไหลเหนือวิกฤตซึ่ง $y > y_c$ และ $V < V_c$ จะส่งผลให้ $F_r > 1$ หรือสรุปได้ว่าที่สภาวะการไหลเหนือวิกฤติค่าฟรูดน์ัมเบอร์จะมีค่ามากกว่า 1

ในการวิเคราะห์ปัญหาการไหลแปรเปลี่ยนแบบฉับพลันแต่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Steady Rapidly Varied Flow) เราสามารถนำหลักการของพลังงานจำเพาะมาใช้ในวิเคราะห์ปัญหาได้ โดยคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ จากสมการ และตรวจสอบสภาวะการไหลที่ตำแหน่งต่าง ๆ ด้วยการวิเคราะห์จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจำเพาะกับความลึก

2.1.4.7 ชลศาสตร์ของทางเข้าจากอ่างเก็บน้ำเข้าไปในทางน้ำเปิด

มักมีคำถามว่าน้ำที่ไหลเข้ามีอัตราการไหลเท่าไร ซึ่งถ้าหากบริเวณทางเข้ามีประตูน้ำหรือเครื่องมืออื่น ๆ ในการปรับอัตราการไหลก็จะรู้อัตราการไหลเข้า แต่ในกรณีที่ไม่มีโครงสร้างทางชลศาสตร์ควบคุมการไหลของกระแสน้ำไม่มีโครงสร้างทางชลศาสตร์ควบคุมการไหลของกระแสน้ำจากอ่างเก็บน้ำจากอ่างเก็บน้ำเข้าไปในทางน้ำเปิดก็จะเป็นการไหลตามธรรมชาติของน้ำ คือการไหลจากบริเวณที่มีพลังงานสูงไปสู่พลังงานต่ำ

ถ้าเป็นทางน้ำเปิดที่มีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าและความลาดชัน (Steep Slope) จะทำให้บริเวณทางเข้าเป็นบริเวณควบคุมอัตราการไหลและกระแสน้ำจะค่อย ๆ ลดระดับลงจากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำผ่านความลึกวิกฤต (y_c หาได้จาก 2 ใน 3 ส่วนของพลังงานจำเพาะ H_0) จากนั้นกระแสน้ำจะค่อย ๆ ปรับตัวเป็นเส้นผิวในลักษณะโค้งงายเข้าหาปกติ ในกรณีนี้สามารถหาอัตราการไหลจากเฮดน้ำในอ่างเก็บน้ำโดยที่มีความลาดท้องน้ำไม่ได้ช่วยการไหลไม่มากนัก

ถ้าความลาดทางน้ำเปิดเป็นความลาดน้อยจะทำให้ทั้งบริเวณทางเข้าหรือเฮดเหนือหน้าและผลของแรงเสียดทานระหว่างกระแสน้ำกับผนังของทางเปิดมีส่วนในการควบคุมอัตราการไหล ซึ่งสามารถหาอัตราการไหลได้โดยวิธีคำนวณซ้ำ (Iterative Procedure) กล่าวคือ เมื่อรู้ความกว้างและวัสดุที่เป็นทางน้ำเปิดก็ให้สมมติความลึกน้ำที่มากกว่า y_c แล้วแทนค่าเข้าไปในสมการของแมนนิ่งจะได้อัตราการไหล จากนั้นจึงคำนวณหาความเร็วและเฮดของความเร็ว แล้วนำเฮดของความเร็วไปบวกกับความลึกที่สมมติจะได้พลังงานจำเพาะ ซึ่งถ้าพลังงานจำเพาะที่คำนวณได้นี้เท่ากับ H_0 ก็ให้สมมติความลึกใหม่แล้วคำนวณตามวิธีการดังกล่าวจนกว่าจะได้พลังงานจำเพาะเท่ากับ H_0 จึงจะได้อัตราการไหลตามต้องการ ในการคำนวณที่กล่าวมานี้จะสมมติว่าไม่มีการสูญเสียพลังงานที่ทางเข้า ซึ่งได้มีการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นจะต้องปรับแก้วิธีการดังกล่าวโดยคิดพลังงานจำเพาะที่ทางเข้าให้มีค่าน้อยกว่าเฮดน้ำในอ่างเก็บน้ำ

2.1.4.8 ช่วงการเปลี่ยนแปลงของทางน้ำเปิด (Channel Transitions)

ช่วงการเปลี่ยนแปลงของทางน้ำเปิดจะใช้เชื่อมทางน้ำเปิดที่มีรูปร่างและขนาดต่างกันเพื่อหลีกเลี่ยงการไหลที่ไม่แน่นอน และให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด ในกรณีการไหลได้วิกฤตมักจะใช้ช่วงการเปลี่ยนแปลงน้ำเป็นแนวเส้นตรง โดยมีมุมเบี่ยงเบน 12.5 องศา ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด $0.1\Delta h_v$ สำหรับทางน้ำที่จะบีบตัวลง (Channel Contraction) และ $0.2\Delta h_v$ สำหรับทางน้ำที่ขยายหน้าตัด (Channel Expansion) โดยที่ Δh_v คือ การเปลี่ยนแปลงหัวความเร็ว (Change in Velocity Head) ในช่วงการเปลี่ยนแปลง

สำหรับแม่น้ำธรรมชาติที่มีหน้าตัดทางน้ำเปลี่ยนแปลงคงที่จากหน้าตัดหนึ่งไปยังอีกหน้าตัดอื่น สามารถหาการสูญเสียพลังงานได้ดังสมการ

$$\text{การสูญเสียพลังงาน} \quad H_L = C_L \left[\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right] \quad (29)$$

เมื่อ V_1 และ V_2 คือ ความเร็วเฉลี่ยที่หน้าตัด 1 และหน้าตัด 2 ตามลำดับ

C_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงาน หาได้จากตารางที่ 2. 7

ตารางที่ 2.7 สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานในช่วงการเปลี่ยนแปลงการไหลในแม่น้ำธรรมชาติ

คุณลักษณะของหน้าตัด	สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงาน	
	การขยายหน้าตัด	การบีบหน้าตัด
มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ (Gradual Transition)	0.3	0.1
การเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด (Abrupt Transition)	0.8	0.6

ที่มา: กิรติ สิวังกุล. 2539. วิศวกรรมชลศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต. จังหวัดปทุมธานี

สำหรับทางน้ำเปิดที่มีการเปลี่ยนแปลงจากหน้าตัดรูปสามเหลี่ยมคางหมูไปเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ถ้าใช้รูปร่างของการเปลี่ยนแปลงแบบเลี้ยวทรงกระบอกจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อค่า ฟรูดเบอร์ ($F_r = \frac{V}{\sqrt{gy}}$) ที่หน้าตัดทางท้ายน้ำน้อยกว่า 0.5

2.1.4.9 การวัดอัตราการไหลในทางน้ำเปิด (Measurement of Flow in Open Channel)

ในแม่น้ำหรือคลองธรรมชาติขนาดใหญ่ สามารถหาอัตราการไหลได้โดยใช้เครื่องมือวัดกระแสน้ำ (Current Meter) พร้อมกับเครื่องมือหยั่งความลึกของน้ำที่จุดต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นสายเทป หรือเครื่องมือวัดความลึกด้วยระบบคลื่นเสียงสะท้อน โดยหลักการหาอัตราการไหลจะเป็นการแบ่งพื้นที่ย่อยของทางน้ำเปิดแล้วหาความเร็วเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย จากนั้นหาอัตราการไหลในแต่ละพื้นที่ย่อยของทางน้ำเปิด แล้วจึงรวมเป็นอัตราการไหลผ่านหน้าตัดน้ำที่ต้องการ

สำหรับในทางน้ำเปิดขนาดเล็ก ก็มีวิธีการวัดอัตราการไหลได้หลายวิธี ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การก่อสร้างหรือติดตั้งฝายวัดน้ำ (Weirs) รางวัดน้ำ (Measuring Flumes) และประตูน้ำแบบไหลลอด โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือแต่ละชนิดดังต่อไปนี้

(1) ฝายวัดน้ำ (Weirs)

ฝายวัดน้ำอาจจะจำกัดความได้ว่าเป็นอาคารวัดน้ำที่สร้างขึ้นเพื่อขวางกั้นทางน้ำเพื่อไม่ให้ไหลผ่านช่องเปิดที่ทำไว้ตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งเป็นผลให้อัตราการไหลข้ามสัมพันธ์กับความลึกของน้ำเหนือระดับสันฝายเป็นเกณฑ์ที่แน่นอนตายตัว

ฝายวัดน้ำที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปเป็นฝายสันคม (Sharp Crested) ฝายสันคมที่ใช้กันอยู่จะเรียกชื่อตามลักษณะช่องเปิดที่น้ำไหลผ่าน เช่น เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมคางหมู สามเหลี่ยม สำหรับฝายประเภทสี่เหลี่ยมผืนผ้านั้นยังแบ่งออกเป็นแบบไม่บีบข้าง คือความยาวของสันฝายเท่ากับความกว้างของทางน้ำซึ่งเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าเช่นเดียวกัน และแบบไม่บีบข้าง ซึ่งช่องเปิดให้น้ำไหลผ่านแคบกว่าความกว้างทางน้ำผ่าน อีกสองประเภทที่เหลือคือแบบสี่เหลี่ยมคางหมูและสามเหลี่ยมเป็นแบบบีบข้างทั้งสองประเภท

การคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายวัดน้ำ สูตรสำหรับคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายที่จะกล่าวต่อไปนี้จะถือว่าลักษณะการติดตั้งฝายเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ในกรณีที่สภาพวัดในสนามไม่ตรงตามเกณฑ์นี้ถือว่าสูตรและตารางที่ให้ไว้เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น

1) ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้าง (Suppressed Rectangular Weir) ซึ่งเป็นแบบสันฝายยาวเต็มความกว้างของทางน้ำเปิดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสม่ำเสมอตลอดจนพื้นที่น้ำไหลตกลงมา การใช้ฝายแบบนี้จำเป็นต้องมีท่ออากาศต่อลงไปได้ผืนน้ำเพื่อไม่ให้ตกจากสันฝาย มิฉะนั้นจะเกิดสุญญากาศและทำให้น้ำไหลลู่ติดผนังฝายด้านท้ายน้ำการวัดก็จะผิดพลาด อัตราการไหลผ่านฝายชนิดนี้คำนวณโดยสูตร

$$Q = 0.01838LH^{2/3} \quad (30)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลผ่านฝายมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที

L คือ ความยาวของสันฝายมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

H คือ เสดหรือความลึกของน้ำเหนือสันฝายมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

ในกรณีที่กระแสน้ำในทางน้ำมากกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที ความเร็วดังกล่าวจะช่วยให้ น้ำไหลข้ามฝายเร็วขึ้น ดังนั้นต้องนำเอาเสดความเร็ว (Velocity Head) ของน้ำมาพิจารณาด้วย เสดความเร็วนี้คำนวณโดยสูตร

$$h = \frac{V^2}{2g} \quad (31)$$

เมื่อ h คือ เสดความเร็วมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำหน้าฝายมีหน่วยเป็นเซนติเมตรต่อวินาที

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมีหน่วยเป็นเซนติเมตรต่อวินาที²

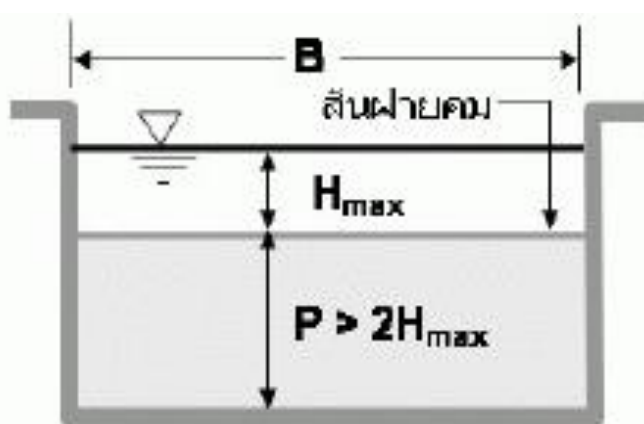
จากนั้นอัตราการไหลคำนวณโดยสูตร

$$Q = 0.01838L \left[(H + h)^{3/2} - h^{3/2} \right] \quad (32)$$

การใช้สูตรที่ (30) และ (32) มีข้อจำกัดดังนี้คือ

1. สันฝายจะต้องอยู่กว้างกว่าพื้นที่ทางน้ำไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร

2. อัตราส่วนระหว่างเฮด (H) ต่อความสูงของสันฝายเหนือพื้นท้องน้ำจะต้องไม่เกิน 0.5
3. ฝายวัดน้ำชนิดนี้วัดได้ถูกต้องดีสำหรับเฮดไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตรและไม่เกิน $1/2$ ของความยาวของสันฝายหรือ 60 เซนติเมตร
4. ความยาวของสันฝายควรกำหนดโดยให้เกิดเฮดใกล้เคียงกับค่าเฮดสูงสุดที่ยอมให้สำหรับอัตราการไหลที่ต้องการวัด อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าชนิดไม่บีบข้างเมื่อความยาวของสันฝายเท่ากับ 1.0 เมตร และไม่คิดเฮดความเร็ว



รูปที่ 2.8 ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้าง

ที่มา: <https://www.scribd.com/doc/87013579/A1-2555>

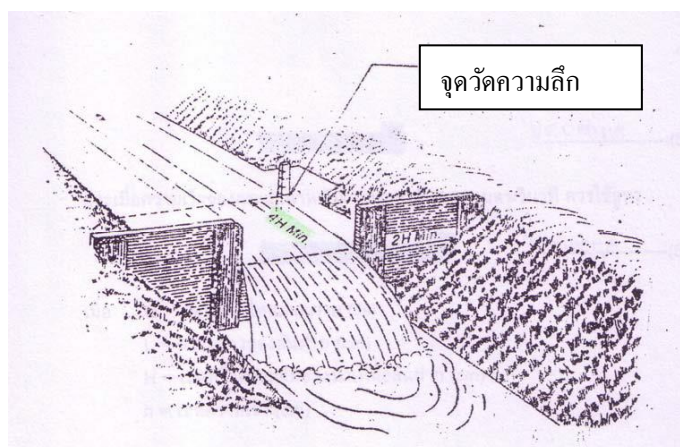
2) ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบีบข้าง (Contracted Rectangular Weir) เป็นฝายซึ่งมีช่องทางน้ำไหลผ่านเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเช่นเดียวกันกับแบบแรก แต่ไม่เต็มความกว้างของทางน้ำ กล่าวคือ มีกำแพงยื่นออกมาทั้งสองข้างทำให้น้ำไหลผ่านแคบเข้า กำแพงแต่ละข้างที่ยื่นออกมาเมื่อวัดที่ผิวน้ำเป็นความยาวไม่น้อยกว่าสองเท่าของเฮด

อัตราการไหลผ่านฝายชนิดนี้เมื่อไม่คิดเฮดความเร็ว (Velocity Head) เมื่อความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำหน้าฝายน้อยกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที คือ

$$Q = 0.01838[(L - 0.2H)H^{3/2}] \quad (33)$$

และอัตราการไหลผ่านฝายเมื่อความเร็วของกระแสน้ำมากกว่า 0.30 เมตรต่อวินาทีคือ

$$Q = 0.01838(L - 0.2H)[(H + h)^{3/2} - h^{3/2}] \quad (34)$$

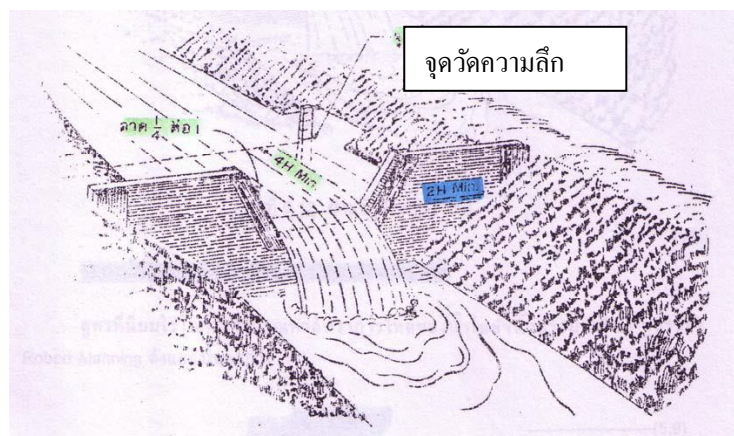


รูปที่ 2.9 ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบิ่บข้าง

ที่มา: <http://202.129.59.73/wm/Water/WATER82/water82.pdf>

สัญลักษณ์และข้อจำกัดในการใช้สูตรทั้งสองนี้ยังคงเหมือนกับฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บิ่บข้างของหัวข้อที่แล้ว ข้อที่ควรสังเกตคือ เมื่อแทนค่าความยาวของสันฝาย L ในสมการ (30) และ (32) ด้วย $(L-0.2H)$ ก็จะเปลี่ยนสูตรสำหรับการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าไม่บิ่บข้างมาเป็นบิ่บข้าง ดังนั้น เราอาจใช้ตาราง ซึ่งเป็นอัตราการไหลผ่านฝายแบบไม่บิ่บข้างที่มีความยาวของฝายเท่ากับ 1.0 เมตร มาคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายบิ่บข้างได้โดยการคูณค่าที่อ่านได้จากตารางเมื่อเฮดเท่ากันด้วยค่า $(L-0.2H)$ มีหน่วยเป็นเมตร ก็จะได้อัตราไหลผ่านฝายบิ่บข้าง

3) ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Cipolletti หรือ Trapezoidal Weir) เป็นฝายแบบบิ่บข้างที่ช่องเปิดให้น้ำไหลผ่านเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สันฝายด้านล่างอยู่ในแนวระดับราบ สันฝายด้านข้างเอียงออกโดยมีความลาดเทด้านราบ 1 ส่วน ด้านตั้ง 4 ส่วน



รูปที่ 2.10 ฝายสี่เหลี่ยมคางหมูประเภทบิ่บข้าง

ที่มา: <http://202.129.59.73/wm/Water/WATER82/water82.pdf>

อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมูเมื่อไม่คิดเฮดความเร็ว ซึ่งใช้เมื่อความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายน้อยกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที คือ

$$Q = 0.01859 LH^{3/2} \quad (35)$$

และเมื่อความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายมากกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที ควรใช้สูตร

$$Q = 0.0185 L(H + 1.5h)^{3/2} \quad (36)$$

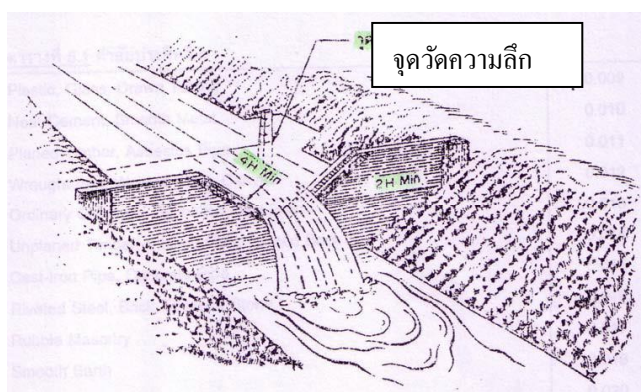
สัญลักษณ์ที่ใช้ในสมการ (35) และ (36) ยังคงเหมือนเดิมคือ Q เป็นอัตราการไหลผ่านฝายมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที L เป็นความยาวของสันฝายมีหน่วยเป็นเมตร H เป็นเฮดหรือความลึกของน้ำเหนือสันฝายเป็นเซนติเมตร เป็นเฮดความเร็วเป็นเซนติเมตร

อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมูสำหรับความยาวของสันฝายขนาดต่าง ๆ เมื่อคำนวณโดยไม่คิดเฮดความเร็ว

ข้อจำกัดในการใช้ฝายสี่เหลี่ยมคางหมูนี้ก็เหมือนกับสี่เหลี่ยมผืนผ้าสองแบบที่กล่าวข้างต้น

1. สันฝายด้านล่างและด้านข้างจะต้องสูงกว่าพื้นท้องน้ำและตลิ่งไม่น้อยกว่าสองเท่าของเฮด
2. ฝายชนิดนี้ให้ความละเอียดถูกต้องในการวัดดีเมื่อเฮดไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตรและไม่เกิน $\frac{1}{2}$ ของความยาวสันฝาย

4) ฝายสามเหลี่ยม (Triangular or V-notch Weir) เป็นฝายประเภทบีบข้างที่ช่องเปิดน้ำไหลผ่านเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก โดยสันฝายทั้งสองข้างทำมุม 45 องศากับแนวดิ่ง



รูปที่ 2.11 ฝายสามเหลี่ยมประเภทบีบข้าง

ที่มา: <http://202.129.59.73/wm/Water/WATER82/water82.pdf>

อัตราการไหลผ่านฝายสามเหลี่ยมคำนวณได้จากสมการ

$$Q = 0.0138H^{5/2} \quad (37)$$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลผ่านฝายมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที และ H เป็นเฮดหรือความลึกของน้ำเหนือสันฝายเป็นเซนติเมตร ฝายสามเหลี่ยมเป็นฝายวัดอัตราการไหลของน้ำที่ให้ความละเอียดถูกต้องดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอัตราการไหลน้อย ๆ ฝายชนิดนี้เป็นฝายแบบบิพซัง ดังนั้นสันฝายจะอยู่ห่างจากตลิ่ง และจุดปลายยอดของสามเหลี่ยมจะต้องอยู่สูงกว่าพื้นท้องน้ำไม่น้อยกว่าสองเท่าของเฮด

เนื่องจากว่าฝายสามเหลี่ยมนี้ไม่มีสันฝายในแนวราบ ดังนั้น เฮดจึงต้องมีค่ามากกว่าฝายแบบอื่น ๆ เมื่ออัตราการไหลเท่า ๆ กัน การมีเฮดแบบนี้จะช่วยให้ น้ำไหลผ่านฝายอย่างอิสระไม่ลู่ติดกับสันฝาย ทำให้วัดอัตราการไหลน้อย ๆ ให้ถูกต้องกว่าแบบอื่น

(2) รางวัดน้ำ

รางวัดน้ำเป็นอาคารวัดน้ำที่สร้างขึ้นหรือติดตั้งไว้ทางน้ำโดยแนวศูนย์กลางตามยาวของรางกับน้ำทับกันแต่ขนาดของรางน้ำจะถูกบีบให้แคบกว่าด้านผนังของรางทั้งสองข้าง หรือด้วยยกพื้นรางให้สูงขึ้นหรือทั้งสองอย่าง เพื่อให้อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความลึกของน้ำในรางน้ำนั้น

ทฤษฎีทางชลศาสตร์ที่ใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบรางน้ำ คือ ทำให้ความเร็วของกระแสน้ำขณะไหลเข้ามาในรางเพิ่มขึ้นโดยการบีบทางน้ำให้แคบเข้า จนกระทั่งได้ความเร็ววิกฤตหรือเร็วกว่าบริเวณส่วนที่แคบที่สุด แล้วฝายออกจนกระทั่งการไหลเป็นไปอย่างปกติอีกครั้ง ตามหลักการข้างต้น อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำจะคำนวณได้จากสมการ

$$Q = KH^n \quad (38)$$

เมื่อ Q เป็นอัตราการไหลผ่านฝายมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที และ H เป็นเฮดหรือความลึกของน้ำเหนือสันฝายเป็นเซนติเมตร K เป็นสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างและลักษณะของราง n เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของรางเช่นเดียวกันกับค่า K ค่า และ ค่า K ของรางน้ำชนิดต่าง ๆ จะได้จากการทดลองวัดจริงตามสภาพการติดตั้งที่กำหนด

(3) การวัดความเร็วของกระแสน้ำ

อัตราการไหลของน้ำในทางน้ำอาจจะหาได้จากผลคูณของพื้นที่หน้าตัดของน้ำกับความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำในทางน้ำนั้น กล่าวคือ $Q = AV$

การหาพื้นที่หน้าตัดของน้ำอาจจะทำได้โดยการชิงเชือกกันตั้งฉากกับทางน้ำ แล้ววัดความลึกที่จุดต่าง ๆ ตามแนวเชือกที่ชิงไว้เป็นระยะทางเท่า ๆ กัน นับจากจุดที่น้ำสัมผัสกับตลิ่งด้านใดด้านหนึ่งจนได้ความลึกตลอดความกว้างของทางน้ำ

เมื่อทราบความลึกของน้ำที่จุดต่าง ๆ แล้ว พื้นที่หน้าตัดของน้ำก็หาได้จากผลรวมของพื้นที่ย่อยระหว่างจุดที่ทำการวัดความลึก พื้นที่ย่อยเหล่านี้จะหาได้โดยสูตรคำนวณที่สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมคางหมู

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n \quad (39)$$

1) การวัดความเร็วของกระแสน้ำโดยใช้ทุ่นลอย การวัดความเร็วของกระแสน้ำโดยเทียบกับความเร็วของทุ่นลอยเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่ให้ค่าความเร็วโดยประมาณ ทุ่นลอยที่ใช้มีทั้งเป็นทุ่นที่ผิวน้ำและทุ่นซึ่งลอยในแนวตั้งโดยมีปลายด้านหนึ่งจมลงไปที่ระดับความลึกต่าง ๆ สำหรับทุ่นผิวน้ำนั้นความเร็วของทุ่นที่วัดได้มิใช่ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ ถ้าต้องการหาความเร็วเฉลี่ยจะต้องคูณความเร็วของทุ่นลอยด้วยสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 สัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำ

ความลึกของน้ำ- เมตร	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80	2.70	3.60	4.50	6.00
สัมประสิทธิ์	0.66	0.68	0.70	0.72	0.74	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80

ที่มา: วิบูลย์ บุญยธโรกุล. 2526. หลักการชลประทาน. โรงพิมพ์เอเชีย. กรุงเทพฯ

เนื่องจากว่าความเร็วของทุ่นผิวน้ำนั้นจะอยู่ใต้อิทธิพลของลมได้ง่าย ดังนั้นจึงควรใช้ในขณะที่ลมสงบเท่านั้น สำหรับทุ่นลอยที่เป็นทุ่นซึ่งมีความยาว 90 เซนติเมตรของความลึกของน้ำอาจถือว่าลอยไปด้วยความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ แต่ทุ่นแบบนี้จะใช้วัดได้เฉพาะตอนกลางของทางน้ำเท่านั้นนอกจากนั้นทุ่นอาจจะดูดหรือครูดไปกับพื้นท้องน้ำได้ถ้าหากความลึกของน้ำไม่สม่ำเสมอ

ตำแหน่งที่จะวัดความเร็วของกระแสน้ำโดยวิธีนี้ควรเป็นแนวตรง และพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอเป็นแนวยาวพอสมควรซึ่งเชือกขวางกันตั้งฉากกับลำน้ำในช่วงนี้ 2 แนว ให้อยู่ห่างกัน 20-30 เมตรหรือมากกว่าหย่อนทุ่นลอยด้านเหนือน้ำห่างจากแนวเส้นเชือก 2-3 เมตรเพื่อให้ทุ่นปรับตัวเข้ากับกระแสน้ำก่อนที่จะเข้าจุดเริ่มทำการวัด จากนั้นจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา คำนวณความเร็วของทุ่น และความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดไว้ในตาราง 2.8

เพื่อให้ได้อัตราการไหลที่ถูกต้อง ควรแบ่งน้ำออกเป็นสามส่วนอย่างน้อย และวัดความเร็วเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่หน้าตัดของแต่ละส่วนคูณกันออกมาเป็นอัตราการไหล ความเร็วของทุ่นลอยน้ำควรวัดซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง

2) การวัดความเร็วของกระแสน้ำด้วยเครื่องวัด การวัดความเร็วของกระแสน้ำด้วยเครื่องวัดเพื่อนำไปใช้คำนวณอัตราการไหลนั้น ส่วนใหญ่จะใช้กับทางน้ำขนาดใหญ่ซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้ฝายหรือรางวัดน้ำ

เครื่องมือที่วัดความเร็วของกระแสน้ำที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปมีอยู่ 2 แบบคือ แบบที่วัดโดยใช้ถ้วยคล้ายกรวยแต่ไม่มีรู (Cut Type) และวัดโดยใช้ใบพัด (Propeller Type) รูปร่างลักษณะของเครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำของทั้งสองแบบนี้

ในการใช้เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ ถ้าน้ำไม่ลึกนักเครื่องวัดจะติดตั้งอยู่บนท่อนเหล็กซึ่งใช้หยั่งความลึกของลำน้ำได้ด้วย แต่ถ้าน้ำลึกมากไม่สามารถใช้คนจับท่อนเหล็กลงไปวัดได้ เครื่องวัดจะแขวนไว้ด้วยลวดสลิงแล้วหย่อนลงไปในน้ำในระดับความลึกที่ต้องการวัดน้ำ เมื่อถ้วยหรือใบพัดหมุนด้วยความเร็วของกระแสน้ำ เครื่องวัดจะส่งสัญญาณมาเข้าหูฟังที่ผู้ทำการวัดสวมอยู่ จำนวนครั้งของสัญญาณในหนึ่งหน่วยเวลาที่นับได้ก็จะนำไปเทียบเป็นความเร็วของกระแสน้ำได้โดยใช้กราฟหรือตารางที่บริษัทผู้ผลิตทำไว้ให้

การหาอัตราการไหลในทางน้ำโดยวิธีนี้ จะเริ่มโดยการแบ่งพื้นที่หน้าตัดของทางน้ำออกเป็นส่วน ๆ แล้ววัดความเร็วเฉลี่ยที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่ย่อย ๆ เหล่านั้น เช่น ถ้าเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าก็วัดความเร็วที่กึ่งกลางพื้นที่ ถ้าเป็นสามเหลี่ยมก็วัดที่ $\frac{1}{3}$ จากฐาน ผลรวมของผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดของน้ำกับความเร็วเฉลี่ยในส่วนนั้นครอบคลุมทุกพื้นที่ย่อยจะเป็นอัตราการไหลในทางน้ำนั้น

3) เครื่องมือวัดความเร็วของการไหลของน้ำ FP101-102



รูปที่ 2.12 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102

วิธีการทดลอง

1. Calibration

- 1.1 กดปุ่ม S ที่ด้านหลังของมิเตอร์เพื่อเลือกฟังก์ชันการ Calibration
- 1.2 กด Bottom Button เพื่อเข้าสู่ฟังก์ชันการ Calibration Set (WS)
- 1.3 กด Top Bottom เพื่อเลือกตั้งค่า Calibration ไปที่ 0.016
- 1.4 กด Bottom Button เพื่อตั้งค่า
- 1.5 กดปุ่ม S ที่ด้านหลังของมิเตอร์เพื่อออกจากการ Calibration

2. นำเครื่องลงไปวัดค่าในแหล่งน้ำโดยถือส่วนหัวในแนวตั้งและให้ส่วนท้ายของเครื่องอยู่ในระดับน้ำที่ต้องการ

3. แล้วอ่านค่าที่ได้เมื่อค่าคงที่

คุณสมบัติเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102

1. สามารถเลือกแสดงหน่วยการวัดได้เป็น ft/sec หรือ m/sec

2. มีหน่วยความจำ 30 หน่วย สำหรับเรียกดูในภายหลัง

3. ตัวเครื่องกันฝน (Rain Proof)

4. ความแม่นยำสูง

5. ใช้งานง่าย

6. มีระบบป้องกันตะกอนติดค้างในเครื่อง

7. น้ำหนักเบา

8. ทนทาน มั่นใจได้

9. ถือสะดวก เนื่องจากด้ามจับยาว

10. เหมาะสำหรับใช้ในการวัดอัตราการไหลของแม่น้ำ ท่อน้ำเสีย น้ำทิ้ง และอื่น ๆ อีกมากมาย

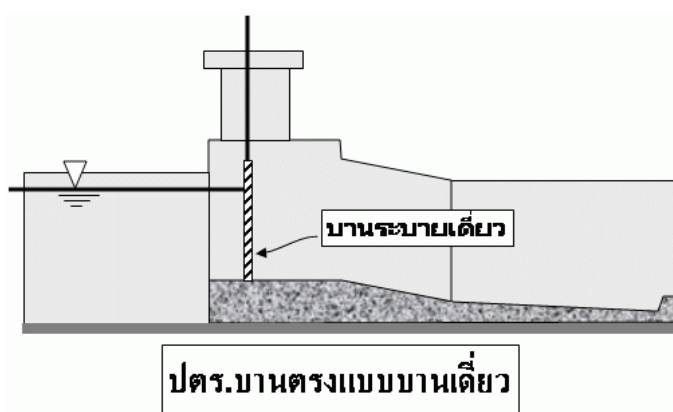
(4) การวัดน้ำผ่านประตูระบายน้ำ

การกำหนดให้ฝ่ายระบายน้ำ หรือประตูระบายน้ำเป็นอาคารชลศาสตร์ หลักที่ใช้ควบคุมปริมาณน้ำที่หัวงานนั้น เพราะต้องการให้สามารถระบายน้ำออกไปได้ปริมาณมาก ๆ รวมทั้งสามารถพร่องน้ำล่วงหน้าได้ เพราะธรณีของบานระบายกำหนดให้มีระดับต่ำ ๆ ซึ่งต่างจากฝายหรือทางระบายน้ำล้นที่ไม่มีบานระบายเป็นตัวควบคุมซึ่งมีระดับสันฝายอยู่สูงเท่ากับระดับน้ำเก็บกัก ในขณะที่มี Head การไหลไม่สูงมากนัก หากต้องการระบายน้ำปริมาณมาก ๆ สันฝายต้องยาว ส่วนการพร่องน้ำนั้นถ้าไม่มีท่อน้ำ ก็อาจทำได้โดยการใช้กาลักน้ำ (Siphon) ซึ่งไม่สะดวกฝายระบายน้ำและประตูระบายน้ำนั้นจะแตกต่างกันที่โครงสร้างลักษณะรูปแบบ แต่คุณสมบัติทางชลศาสตร์และการคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านบานระบายของอาคารดังกล่าวใช้หลักการไหลของน้ำผ่าน Orifice ขนาดใหญ่ ที่เป็นช่องเปิดบานระบายเหมือนกัน ประตูระบาย หรือ ประตู. เป็นอาคารชลศาสตร์ที่ทำหน้าที่ 2 ประการคือ ปิดกั้นเพื่อเก็บกักเพิ่มปริมาณน้ำหรือระดับน้ำในทางน้ำ และทำหน้าที่ควบคุมการระบายน้ำออกจากทางน้ำส่วนใหญ่

1. โครงการประตูระบายน้ำ ที่มี ประตู. เป็นอาคารหลักปิดกั้นในลำน้ำที่ไม่กว้างนัก เช่น ห้วย คลองชักน้ำ เป็นต้น โดยจะทำหน้าที่ปิดกั้นเพื่อเก็บกักเพิ่มระดับน้ำในลำน้ำ และระบายน้ำในช่วงฤดูน้ำหลากไม่ให้เกิดการเอ่อท่วมพื้นที่สองฝั่งลำน้ำ ทั้งนี้รวมทั้ง ประตู. ที่ทำหน้าที่ควบคุมป้องกันน้ำทะเลหนุนไหลย้อนเข้ามาในทางน้ำในช่วงเวลาน้ำขึ้นด้วย

2. เป็นอาคารประกอบของเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ เพื่อทำหน้าที่เก็บกัก และระบายควบคุมปริมาณน้ำของเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ
3. เป็นอาคารควบคุมปริมาณน้ำในระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำที่มีขนาดใหญ่ (ถ้าขนาดเล็กจะก่อสร้างเป็นท่อระบายน้ำ) ได้แก่ ปตร. ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ ปตร. ปากคลองซอย ปตร. ทดน้ำกลางคลอง และในกรณีทำหน้าที่ป้องกันน้ำจากด้านนอก เช่น จากลำน้ำธรรมชาติไม่ให้ไหลเข้ามาในระบบส่งน้ำหรือระบบระบายน้ำ ได้แก่ ปตร. ปลายคลองส่งน้ำ ปตร. ปลายคลองระบายน้ำ

ประเภทของประตูระบายน้ำ แบ่งตามชนิดของบานระบายที่ใช้ควบคุมปริมาณน้ำ เฉพาะที่นิยมสร้างในประเทศไทย ได้แก่ ประตูระบายควบคุมด้วยบานตรง (Vertical Lift Gate or Sluice Gate) แบ่งย่อยเป็นบานระบายขึ้นส่วนเดียวหรือบานเดี่ยว ฐานรองรับบานอาจอยู่ที่ระดับท้องน้ำหรือยกระดับสูงก็ได้



รูปที่ 2.13 บานระบายเดี่ยว

ที่มา: http://kmcenter.rid.go.th/kmc08/km_56/cko/news56_pramoht.pdf

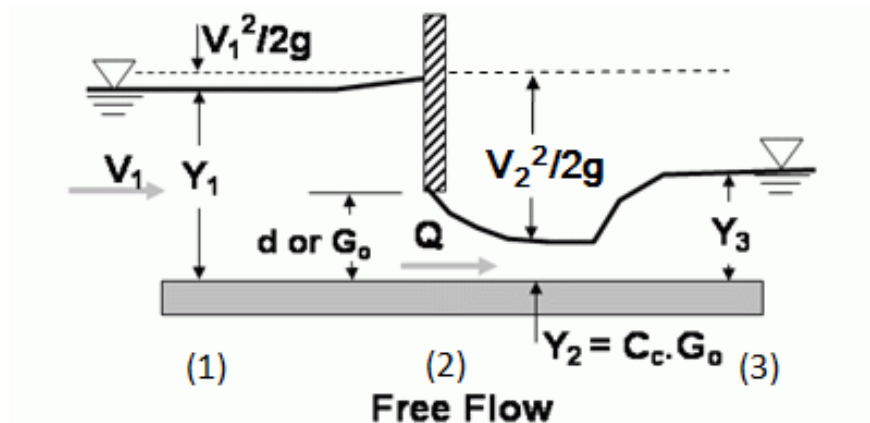
การคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านบานระบายของประตูระบายน้ำและฝายระบายน้ำ รูปแบบการไหลของน้ำผ่านบานระบาย อาจแบ่งย่อยได้เป็น 3 แบบ คือ

1. การไหลลอดบานระบายโดยเปิดบานระบายบางส่วน
2. การยกบานระบายพ้นน้ำ
3. การไหลข้ามบานระบาย

นอกจากนี้แต่ละรูปแบบการไหลยังแบ่งย่อยเป็น 2 ลักษณะการไหล คือ

1. การไหลแบบ Free Flow
2. การไหลแบบ Submerged Flow

1) การไหลลอดผ่านบานตรงแบบอิสระ (Free Flow) น้ำไหลลอดผ่านบานระบายแบบบานตรง สำหรับกรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำท้ายประตูมีระดับไม่สูงกว่าระดับท้องบานระบายที่ยกขึ้น เป็นการไหลของน้ำแบบอิสระที่ไม่อยู่ภายใต้การถูกบังคับ หรือต้านทานของการไหลของน้ำท้ายบานระบาย



รูปที่ 2.14 การไหลแบบ Free Flow ของบานระบายชนิดบานตรง

ที่มา: http://kmcenter.rid.go.th/kmc08/km_56/cko/news56_pramoht.pdf

การไหลของน้ำในกรณี Free Flow หากไม่คิดการสูญเสียในระบบ

จาก $E_1 = E_2$

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$Y_1 + \frac{q_1^2}{2gY_1^3} = Y_2 + \frac{q_2^2}{2gY_2^3} \quad (41)$$

จาก $Q = C_d L G_0 \sqrt{2gY_1} \quad (42)$

$$C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1 + C_c \left(\frac{G_0}{Y_1} \right)}} \quad (43)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านบานระบาย 1 ช่อง (เมตร³/วินาที)

C_d = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านบานระบาย

C_c = สัมประสิทธิ์การบีบตัวของหน้าตัดการไหลของน้ำ

G_0 = ระยะเปิดบาน (เมตร) อาจแทนค่าเป็นอย่างอื่น เช่น d หรือ W

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 เมตร/วินาที²

L = ความกว้างของบานประตู 1 ช่อง (เมตร)

Y_1 = ความลึกของน้ำด้านเหนือน้ำของบานประตู (เมตร)

Southwell R.V และ G. Valsey (1964) เสนอแนะว่าค่า C_c เท่ากับ 0.608

เมื่อ Y_2/Y_1 เท่ากับ 0.321

Benjamin T.B (1956) ได้วิเคราะห์และทดลองพบความสัมพันธ์ของค่า C_c

กับ G_0/Y_1 สรุปตามตารางที่ 2.9

ในทางปฏิบัติแล้วให้ใช้ $C_c = 0.61$ ซึ่งถือว่าเป็นค่าการบีบตัวของ Orifice

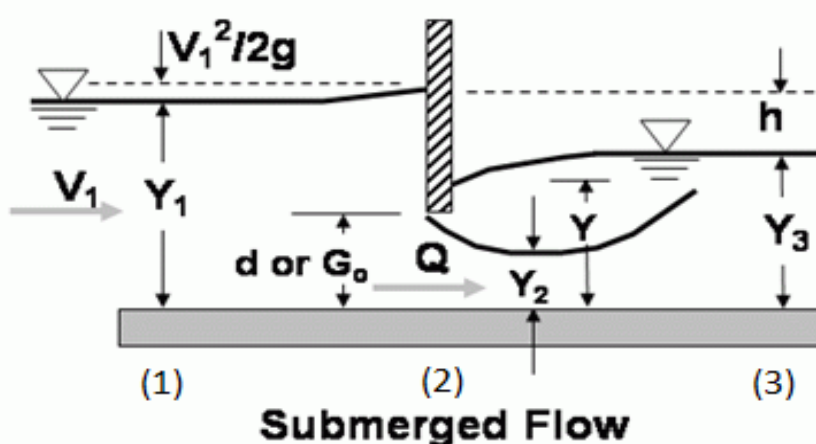
ตารางที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของค่า C_c กับ G_0/Y_1

G_0/Y_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
C_c	0.611	0.606	0.602	0.600	0.598	0.598

ที่มา: http://kmcenter.rid.go.th/kmc08/km_56/cko/news56_pramoht.pdf

2) การไหลลอดผ่านบานตรงแบบท่วม (Submerged Flow) มีลักษณะการไหล

เมื่อเปิดบานระบายจะมีลำเจ็ทของน้ำพุ่งผ่านช่องบานระบายออกไปดังเช่นกรณีการไหลแบบ Free Flow แต่น้ำด้านท้ายที่มีระดับสูงจะย้อนกลับมาทับบนลำเจ็ทและระดับน้ำด้านท้ายจะสูงกว่าขอบล่างของบานระบาย การวิเคราะห์การไหลที่เกิดขึ้นจึงเหมือน กรณีการไหลแบบ Free Flow ที่กล่าวแล้วทุกประการ แต่ระดับน้ำเหนือลำเจ็ทจะทำให้การไหลไม่สะดวก นั่นคือระดับน้ำด้านท้ายมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลหรือค่า C_d



รูปที่ 2.15 การไหลแบบ Submerged Flow ของบานระบายชนิดบานตรง

ที่มา: http://kmcenter.rid.go.th/kmc08/km_56/cko/news56_pramoht.pdf

Y_2 เป็นความลึกจากลำเจ็ทของน้ำที่ไหลพุ่งลอดใต้บานระบายออกไปแบบ Supercritical Flow

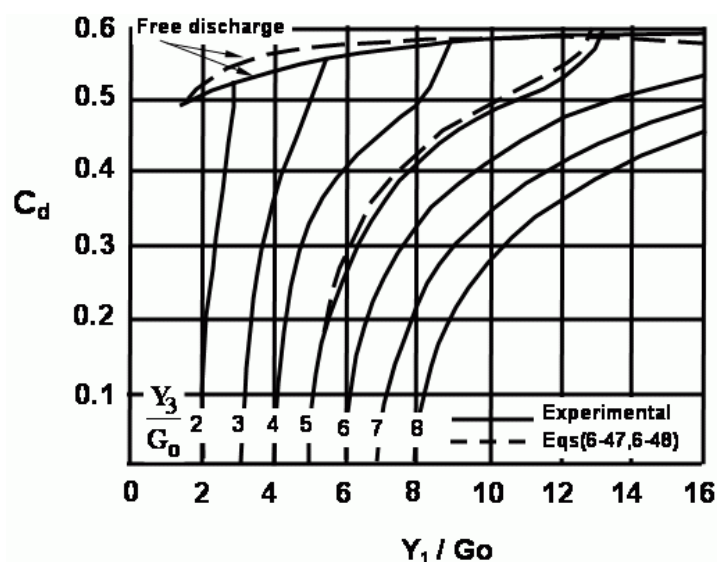
Y เป็นเฮดสถิตทั้งหมดที่หน้าตัด (2)

Y_3 เป็นความลึกที่ทำให้เกิด Hydraulic Jump

H.R. Henry ได้วิเคราะห์และทดลองพบว่าจากสมการ $Q = C_d L G_0 \sqrt{2gY_1}$ ค่า

C_d จะผันแปรไปตามค่า Y_1/G_0 และ Y_3/G_0 โดยได้สร้างกราฟความสัมพันธ์กรณีการไหลแบบ

Submerged และ Free Flow ของบานตรงดังรูปที่ 2.16 ซึ่งสมการที่ใช้ คือ $\frac{q^2}{gY_2} + \frac{Y^2}{2} = \frac{q^2}{gY_3} + \frac{Y_3^2}{2}$



รูปที่ 2.16 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของบานระบายบานตรงจากผลการทดลองของ Henry

ที่มา: http://kmcenter.rid.go.th/kmc08/km_56/cko/news56_pramoht.pdf

3) กรณีเปิดบานระบายพ้นน้ำ (Fully Gate Opening) ในการบริหารจัดการน้ำ ในช่วงฤดูน้ำหลากนั้นมักมีการพร่องน้ำไว้ล่วงหน้าในช่วงต้นฤดู แต่หากมีความจำเป็นต้องระบายน้ำปริมาณมาก ๆ นอกจากการพิจารณาถึงความปลอดภัยของหัวงานเป็นหลักแล้ว ต้องพิจารณาผลกระทบที่จะทำให้เกิดน้ำท่วมพื้นที่ด้านท้ายด้วยการระบายน้ำโดยการยกบานระบายพ้นผิวน้ำนั้นจะทำใน 2 กรณี คือ

1. โครงการประเพณีเขื่อนระบายน้ำหรือประตูระบายน้ำที่ได้ออกแบบให้มีการระบายน้ำสูงสุดผ่านอาคารประตูระบายน้ำโดยการยกบานระบายพ้นน้ำ เพื่อให้การระบายน้ำมีอัตราสูงสุดซึ่งน้ำจะไหลในลำน้ำโดยอิสระเหมือนสภาพธรรมชาติเดิมของมัน โดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบทำให้น้ำท่วมพื้นที่

ด้านท้ายน้ำ ซึ่งการยกบานระบายพื้นน้ำจะทำเมื่อระดับน้ำด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำของอาคารมีระดับใกล้เคียงกัน กรณีเช่นนี้ถือเป็นการระบายน้ำตามปกติ

2. อาคารทั่ว ๆ ไปที่ไม่ได้ออกแบบให้มีการระบายน้ำผ่านประตูระบายโดยให้ยกบานระบายพื้นน้ำ เมื่อเกิดภาวะวิกฤติเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อหัวงาน ต้องระบายน้ำออกไปให้มากที่สุดซึ่งจำเป็นต้องมีการยกบานระบายพื้นน้ำ ซึ่งเป็นการแน่นอนว่าจะทำให้เกิดน้ำท่วมพื้นที่ด้านท้ายน้ำ กรณีเช่นนี้ต้องมีการประเมินสภาพการเกิดน้ำท่วมพื้นที่ดังกล่าว และต้องมีการประกาศแจ้งเตือนล่วงหน้าเมื่อมีการยกบานระบายพื้นน้ำ ขณะนั้นระดับน้ำด้านเหนือและท้ายอาคารมีระดับสูงมากกว่าระดับปกติ อาจเกือบถึงระดับตลิ่งจนถึงล้นข้ามตลิ่งออกไปจะเกิดการไหลหลายรูปแบบขึ้นกับลักษณะของฐานรองรับบานระบาย อัตราการไหล และระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ

(5) อาคารชลศาสตร์ประเภทท่อ

ในที่นี้หมายถึงอาคารชลศาสตร์ที่มีท่อความยาวสั้น ๆ เป็นส่วนประกอบหลัก ที่มักก่อสร้างไว้เป็นอาคารหลักของหัวงาน และอาคารในระบบส่งน้ำหรือระบบระบายน้ำ

1) อาคารหลักที่หัวงาน เป็นอาคารที่ทำหน้าที่ในการระบายน้ำที่เก็บกักไว้ออกไปจากหัวงาน (อ่างเก็บน้ำ เขื่อน ฝายทดน้ำ ประตูระบายน้ำ) ส่วนจะเป็นอาคารชนิดหรือประเภทใดขึ้นกับประเภทหัวงาน ซึ่งแบ่งกลุ่มอาคารตามวัตถุประสงค์ในการระบายน้ำได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ระบายน้ำเพื่อทิ้งลงลำน้ำด้านท้าย ได้แก่ ทางระบายน้ำล้นแบบไซโฟน (Siphon/Syphon Spillway) ทางระบายน้ำล้นแบบอุโมงค์ผิวน้ำ (Tunnel Spillway) ทางระบายน้ำล้นแบบท่อลอด (Culvert Spillway) อาคารทิ้งน้ำหรืออาคารส่งน้ำจากเขื่อน (Outlet Work) อาคารรับน้ำ (Intakes Structure) Bottom Drain ที่ประกอบอยู่กับทางระบายน้ำล้นแบบ Morning Glory ฯลฯ การระบายน้ำผ่านอาคารเหล่านี้นั้นเพื่อการพร่องน้ำลดระดับและปริมาณน้ำ หรือเพื่อรักษาระบบนิเวศน์ด้านท้ายน้ำ
2. ระบายน้ำเพื่อส่งเข้าระบบส่งน้ำหรือคลองส่งน้ำ ได้แก่ ท่อระบายน้ำปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ (Head Regulators) อาคารทางเข้า (Inlet Structure)

2) อาคารในระบบส่งน้ำหรือระบบระบายน้ำ ซึ่งอาจแบ่งย่อยตามหน้าที่ของอาคารได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

1. อาคารควบคุม

- 1.1 ท่อระบายน้ำปากคลอง (Head Regulators) (รวมถึงท่อระบายน้ำปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ที่เป็นอาคารหลักของหัวงานด้วย)
- 1.2 ท่อส่งน้ำเข้านา (Farm Turnout: FTO หรือ Farm Intake)
- 1.3 ท่อระบายน้ำปลายคลอง (Tail Regulators) ฯลฯ

2. อาคารลำเลียงน้ำ

- 2.1 ท่อลอด ถนนหรือทางรถไฟ (Road Crossing)
- 2.2 ท่อเชื่อม (Inverted Syphon)
- 2.3 อาคารน้ำตกแบบท่อ (Pipe Drop) ฯลฯ

3. อาคารป้องกัน ได้แก่ ท่อลอดคลอง (Culvert) ฯลฯ

4. อาคารวัดน้ำ ได้แก่ Constant Head Orifice (CHO) ฯลฯ

อาคารชลศาสตร์ประเภทท่อนั้นแม้อาคารทุกชนิดจะสามารถคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านได้ แต่ในทางปฏิบัติจะมีการคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านอาคารเฉพาะอาคารหลักที่หัวงานอาคารควบคุมและอาคารวัดน้ำเท่านั้น ส่วนอาคารลำเลียงน้ำและอาคารป้องกันจะไม่มีการคำนวณปริมาณน้ำ เพราะไม่มีความจำเป็นต้องคิดปริมาณน้ำไหลผ่านเพราะเป็นอาคารที่มีไว้เพื่อให้ปริมาณน้ำสูงสุดตามที่ต้องการแบบไว้ผ่านไปแล้ว

หลักการคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลศาสตร์ประเภทท่อ การคำนวณปริมาณน้ำจะพิจารณาจากลักษณะการไหลของน้ำในท่อ และการควบคุม ซึ่งจะได้แก่

1. การไหลในระบบท่อมักออกแบบให้เป็นการไหลเต็มท่อเสมอ คำนวณโดยหลักการไหลในท่อปิดภายใต้แรงดัน ซึ่งได้อธิบายมาก่อนหน้านี้แล้ว
2. กรณีการไหลไม่เต็มท่อ จะคำนวณโดยหลักการคำนวณการไหลในทางน้ำเปิด
3. ถ้ามีการควบคุมอัตราการไหลด้วยบานระบายจะคำนวณโดยหลักการ Submerged Orifice Flow

อนึ่ง ในกรณีการคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลเต็มท่อผ่านอาคารที่ถือว่ามิขนาดท่อใหญ่เมื่อเทียบกับความยาวท่อสั้น ๆ นอกจากคำนวณโดยหลักการของท่อปิดภายใต้แรงดันแล้วอาจคำนวณโดยหลักการ Submerged Orifice Flow

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประสิทธิภาพการชลประทานโครงการชลประทานท่าลาด จังหวัดฉะเชิงเทรา นายศักดิ์ชัย ทรัพย์ประเสริฐ 2546 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพการชลประทานและการจัดการน้ำของโครงการชลประทานท่าลาด จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งมีพื้นที่ของโครงการทั้งหมด 155,400 ไร่ ทำการศึกษาและใช้ข้อมูลในระหว่างปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2545 โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืชตามทฤษฎีโดยวิธีของ Modified Penman และ Penman Monteith ตามลำดับ และวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพการชลประทาน ผลการศึกษาได้ค่าประสิทธิภาพการชลประทานฤดูแล้งเฉลี่ย 3 ปี ซึ่งคิดโดยวิธี Modified Penman และ Penman Monteith เท่ากับ 50.39% และ 45.79% ตามลำดับและค่าประสิทธิภาพการชลประทานฤดูฝนเฉลี่ย 3 ปีซึ่งคิดโดยวิธี Modified Penman และ Penman Monteith เท่ากับ 39.65% และ 35.10% ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพการชลประทานของโครงการ ในฤดูแล้งจะมีค่าสูงกว่าในฤดูฝนตลอดทั้ง 3 ปี ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณฝนใช้การในฤดูแล้งที่มีค่าน้อยกว่า ค่าประสิทธิภาพการชลประทานจะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณฝนใช้การในแต่ละสัปดาห์ ในช่วงที่มีค่าประสิทธิภาพการชลประทานต่ำจะเป็นช่วงที่มีปริมาณฝนใช้การมากแต่ในช่วงที่มีค่าประสิทธิภาพการชลประทานสูงปริมาณฝนใช้การจะน้อย จากค่าประสิทธิภาพชลประทานที่ได้นี้จะสามารถนำมาใช้ประกอบการวางแผนเพาะปลูกและวางแผนจัดส่งน้ำให้กับพื้นที่ชลประทานของโครงการให้มีความเพียงพอและเหมาะสมกับความต้องการใช้น้ำเพื่อให้การใช้น้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

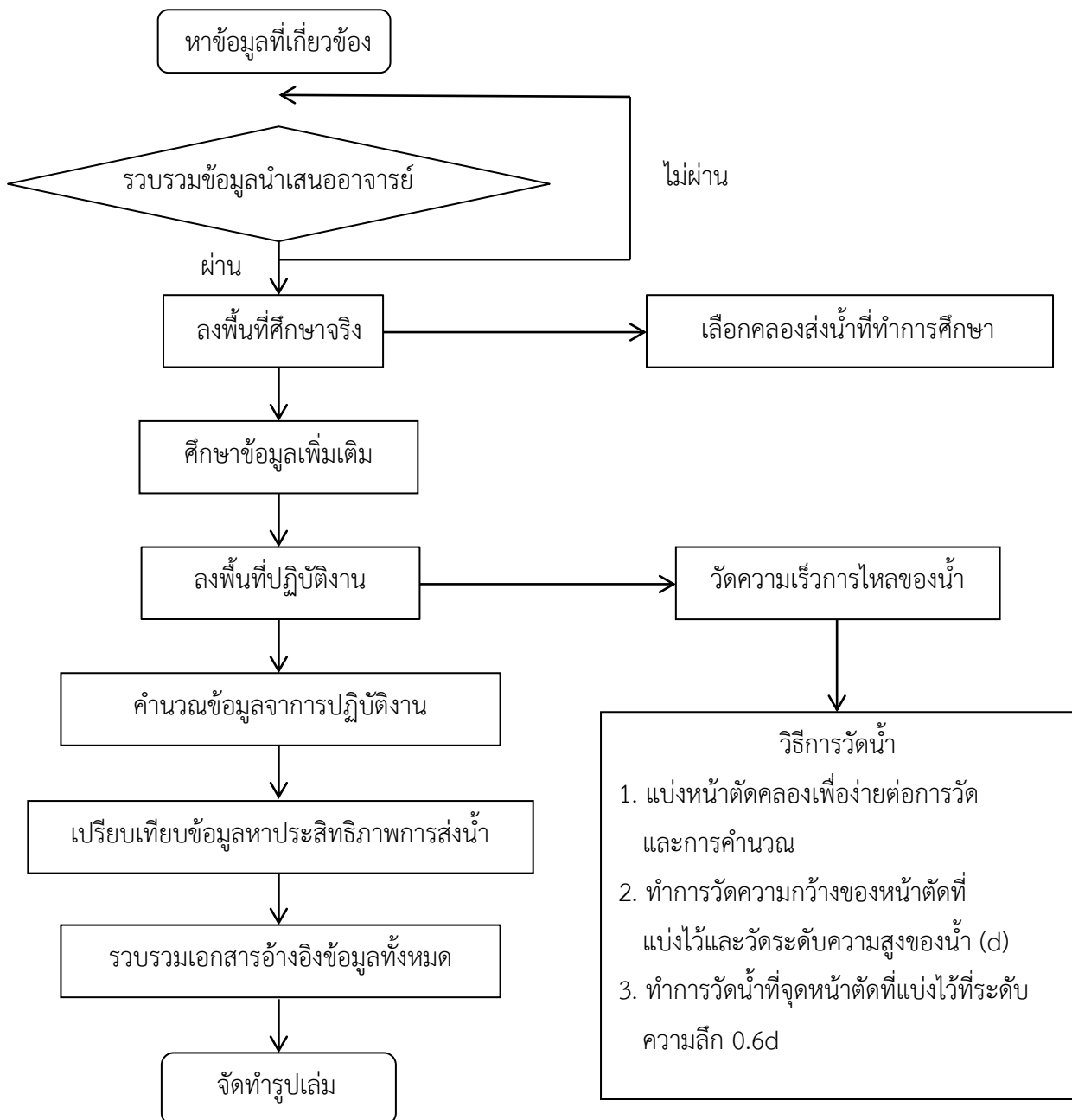
ประสิทธิภาพชลประทานและการประยุกต์ใช้งาน ฉลอง เกิดพิทักษ์ การหาประสิทธิภาพชลประทานที่ใช้กันอยู่ มีค่านิยมแตกต่างกัน ค่านิยมที่ใช้ในที่นี้คือ ประสิทธิภาพชลประทาน = (ปริมาณน้ำที่พืชต้องการตามทฤษฎี + การรั่วซึมบนแปลงเพาะปลูก - ฝนใช้การ) / ปริมาณน้ำที่ส่ง เป็นการหาประสิทธิภาพชลประทานจากข้อมูลการ Operate โครงการชลประทานที่ผ่านไปแล้วสำหรับข้อมูลสำคัญที่นำมาใช้คือ ปริมาณน้ำใช้ในการเตรียมแปลงสำหรับเพาะปลูกข้าว การรั่วซึมบนแปลงเพาะปลูกและฝนใช้การ โดยอ้างอิงถึงข้อมูลที่ได้มีการ Monitor ในสนาม ปริมาณน้ำที่พืชต้องการการทฤษฎี ฝนใช้การ คำนวณเป็นรายสัปดาห์และประสิทธิภาพชลประทานคำนวณเป็นฤดู ประสิทธิภาพชลประทานที่ได้หาได้ประกอบด้วย ประสิทธิภาพชลประทานของโครงการชลประทานน้ำมูล ลำปาว และหนองหวายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือแทบทุกโครงการชลประทาน โครงการชลประทานพิษณุโลก เจ้าพระยา และแม่ทอง ทั้งนี้เพื่อรวบรวมไว้เป็นแหล่งอ้างอิง เพราะว่าการหาประสิทธิภาพชลประทานเสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายสูงนอกจากนั้นผู้ที่มิประสบการณ์ด้าน Operate โครงการชลประทานเท่านั้นจึงจะหาได้ถูกต้อง การนำประสิทธิภาพชลประทานนี้ไปอ้างอิงต้องศึกษาให้ละเอียด จึงจะนำไปใช้ได้ถูกต้อง นอกจากนี้ได้แสดงการนำค่าประสิทธิภาพชลประทานไปใช้งาน เช่น ในการศึกษาความเหมาะสมโครงการชลประทานไว้ด้วย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ









3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

จากวัตถุประสงค์ของโครงการเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำโครงการชลประทานเขื่อนขุนด่านปราการชล ทางคณะผู้จัดทำได้ทำโครงการดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.1 ผังกระบวนการทำงาน

กิจกรรม ระยะเวลา	ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.				เม.ษ.				พ.ค.				มิ.ย.				ก.ค.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. ข้อมูลและ การเตรียมงาน																												
2. สอบเทียบ เครื่องมือ																												
3. ลงพื้นที่ ปฏิบัติงาน																												
4. คำนวณหา ปริมาณน้ำ และหา ประสิทธิภาพ การส่งน้ำ																												
5. หาปัจจัยที่ มีผลต่อการส่ง น้ำพร้อมทั้ง หาทางแก้ไข และ ข้อเสนอแนะ																												
6. สรุปผล																												
7. นำเสนอ ผลงาน																												
8. จัดทำ รูปเล่ม																												

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดผังกระบวนการทำงาน

ลำดับ	ผังกระบวนการ	รายละเอียดงาน
1	รวบรวมข้อมูลและการเตรียมงาน	<ol style="list-style-type: none"> 1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการชลประทาน การส่งน้ำของชลประทานและข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ 2. ศึกษาข้อมูลของอุปกรณ์ เครื่องมือที่จะนำไปใช้ในการทำงาน 3. ลงพื้นที่จริงเพื่อเลือกคลองที่จะทำการทดสอบ และจริงทำให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพของคลอง 4. รวบรวม ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม และมีการวางแผนการทำงาน
2	สอบเทียบเครื่องมือ	<ol style="list-style-type: none"> 1. ทำการสอบเทียบเครื่องมือกับราง 2. วัดความเร็วการไหลของน้ำที่หน้าตัดต่าง ๆ และที่ระดับน้ำหลาย ๆ ระดับ ด้วยเครื่อง FP101-102 3. ทำการวัดน้ำด้วยราง และคำนวณความเร็วการไหลของรางที่ระดับน้ำต่าง ๆ 4. เปรียบเทียบระหว่างค่าความเร็วที่วัดด้วยเครื่อง FP101-102 และค่าความเร็วที่วัดได้ด้วยราง พร้อมทั้งหาค่าสัมประสิทธิ์ที่นำมาใช้จริง
3	ลงพื้นที่ปฏิบัติงาน	<ol style="list-style-type: none"> 1. ทำการสำรวจพื้นที่และเลือกคลองที่จะปฏิบัติมา 1 สาย เพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องมือที่ทำการวัดน้ำ 2. วัดปริมาณน้ำที่ไหลเข้าคลอง <ol style="list-style-type: none"> 2.1 แบ่งหน้าตัดคลองเพื่อง่ายต่อการวัดและการคำนวณ 2.2 ทำการวัดความกว้างของหน้าตัดที่แบ่งไว้และวัดระดับความสูงของน้ำ (d) 2.3 ทำการวัดน้ำที่จุดหน้าตัดที่แบ่งไว้ที่ระดับความลึก 0.6d 2.4 นำค่าต่าง ๆ มาคำนวณปริมาณน้ำตามสูตรเพื่อหาปริมาณน้ำ
4	คำนวณหาปริมาณน้ำและหาประสิทธิภาพการส่งน้ำ	<ol style="list-style-type: none"> 1. คำนวณปริมาณน้ำตามสูตร <ol style="list-style-type: none"> 1.1 สูตรการสอบเทียบเครื่องมือ นำค่าที่ได้จากเครื่องวัดน้ำ FP101-102 มาแทนในสูตร $V = 1.0588x + 0.0477$

ลำดับ	ผังกระบวนการ	รายละเอียดงาน
		<p>X คือ ค่าความเร็วที่วัดได้จากเครื่อง FP101-102</p> <p>1.2 คำนวณปริมาณน้ำตามวิธี Mid-Section Method</p> <p>1.3 คำนวณปริมาณน้ำที่นำออกไปใช้โดยใช้สูตรการ ส่งน้ำด้วยท่อส่งน้ำเข้านาหรือผ่านประตูระบายน้ำ</p> <p>2. คำนวณประสิทธิภาพการส่งน้ำ</p> <p>3. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณ</p>
5	หาปัจจัยที่มีผลต่อการส่งน้ำ พร้อมทั้งหาทางแก้ไขและ ข้อเสนอแนะ	<p>1. วิเคราะห์หาปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพการ ส่งน้ำ</p> <p>2. หาแนวทางการแก้ไขและหาข้อเสนอแนะ</p> <p>3. รวบรวมเอกสารและหาข้อมูลอ้างอิง</p>
6	สิ้นสุดกระบวนการ	<p>1. นำเสนอผลงาน</p> <p>2. จัดทำรูปเล่ม</p>

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องมือวัดความเร็วของการไหลของน้ำ



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102

3.2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องมือ

- ช่วง : 0.3-19.9 FPS (0.1-6.1 MPS)
- ความถูกต้อง : 0.1 FPS
- เฉลี่ย : ค่าเฉลี่ยในการทำงานแบบดิจิทัลจริง อัปเดตหนึ่งครั้งต่อวินาที

4. จอแสดงผล : LCD แสงจ้า และ UV Protected
5. ปุ่มควบคุม : 4
6. เครื่องบันทึกเวลา : 30 ชุด MIN MAX และ AVG
7. คุณสมบัติ : จับเวลา เตือนแบตเตอรี่ต่ำ
8. ประเภทของเซนเซอร์ : ไบพัสบูลเทอร์โบ Propelled ที่มีการป้องกันด้วยแม่เหล็ก
9. น้ำหนัก : ตราสาร : 2 ปอนด์ (0.9 กก.) ความยาวที่ขยายได้: 3.7 ถึง 6 ฟุต (1.1 ถึง 1.8 เมตร)
10. วัสดุ : Probe : อลูมิเนียมพีวีซีและอลูมิเนียมที่มีดลับลูกปืนสแตนเลสคอมพิวเตอร์ : ที่อยู่อาศัย ABS / โพลีคาร์บอเนตที่มีโพลีเอสเตอร์ซ้อนทับ
11. กำลังไฟ : แบตเตอรี่ลิเธียมภายในอายุการใช้งาน 5 ปีโดยใช้งานทั่วไปไม่สามารถเปลี่ยนได้
12. การปิดอัตโนมัติ : หลังจากไม่มีการใช้งานเป็นเวลา 5 นาที
13. อุณหภูมิในการทำงาน : -4 °F ถึง 158 °F (-20 °C ถึง 70 °C)
14. อุณหภูมิในการจัดเก็บ : -22 °F ถึง 176 °F (-30 °C ถึง 80 °C)
15. การอนุมัติ : CE

3.2.1.2 คุณสมบัติเครื่องวัดความเร็วการไหลของน้ำ FP101-102

1. สามารถเลือกแสดงหน่วยการวัดได้เป็น ft/sec หรือ m/sec
2. มีหน่วยความจำ 30 หน่วย สำหรับเรียกดูในภายหลัง
3. ตัวเครื่องกันฝน (Rain Proof)
4. ความแม่นยำสูง
5. ใช้งานง่าย
6. มีระบบป้องกันตะกอนติดค้างในเครื่อง
7. น้ำหนักเบา
8. ทนทาน มั่นใจได้
9. ถือสะดวก เนื่องจากด้ามจับยาว
10. เหมาะสำหรับใช้ในการวัดอัตราการไหลของแม่น้ำ ท่อน้ำเสีย น้ำทิ้ง และ อื่น ๆ อีกมากมาย

3.2.1.3 วิธีการทดลอง

1. Calibration
 - 1.1 กดปุ่ม S ที่ด้านหลังของมิเตอร์เพื่อเลือกฟังก์ชันการ Calibration
 - 1.2 กด Bottom Button เพื่อเข้าสู่ฟังก์ชันการ Calibration Set (WS)

- 1.3 กด Top Bottom เพื่อเข้าเลือกตั้งค่า Calibration ไปที่ 0.016
- 1.4 กด Bottom Button เพื่อตั้งค่า
- 1.5 กดปุ่ม S ที่ด้านหลังของมิเตอร์เพื่อออกจากการ Calibration
2. นำเครื่องลงไปวัดค่าในแหล่งน้ำโดยถือส่วนหัวในแนวดิ่งและให้ส่วนท้ายของเครื่องอยู่ในระดับน้ำที่ต้องการ
3. แล้วอ่านค่าที่ได้เมื่อค่าคงที่

3.2.1.4 การวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐานของเครื่องมือ

ผลการวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐาน เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102 กับรางวัดน้ำ ความกว้างของราง, $B = 0.30$ ม.

ความลาดชัน, Slope = 0.00

อัตราการไหลจากรางวัดน้ำ

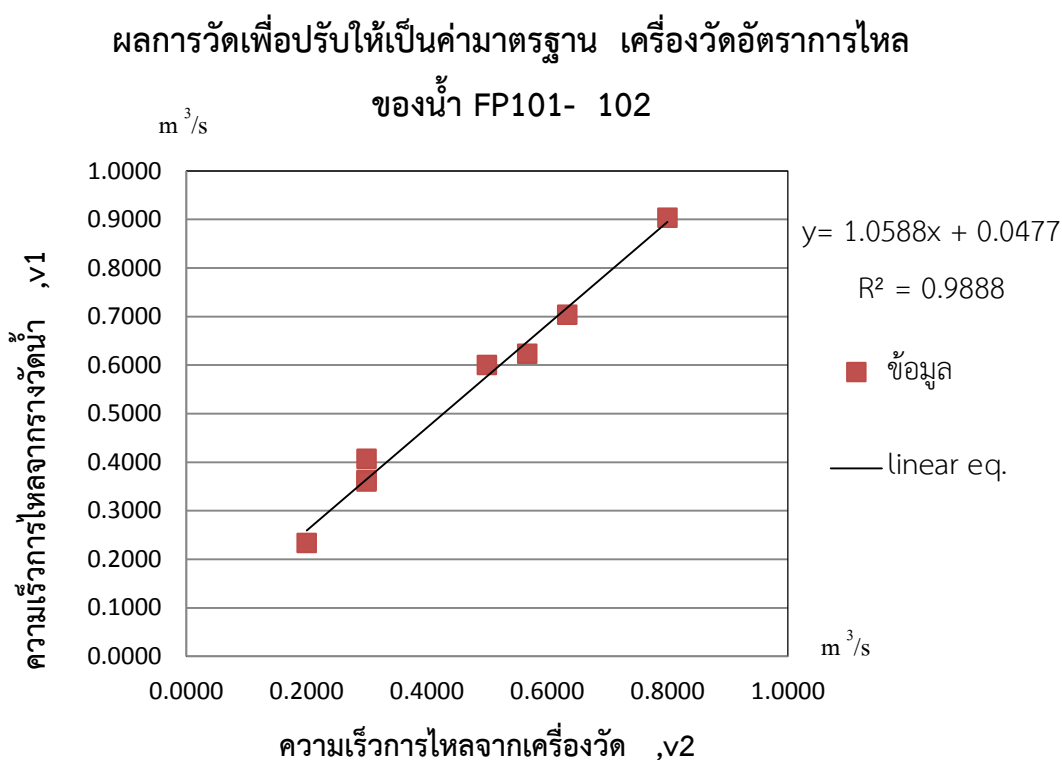
$$Q = K(2g\Delta h)^{1/2}$$

ค่าคงที่ (K) = 0.0114

ค่าคงที่ (g) = 9.81 m/s^2

ตารางที่ 3.3 การวัดเพื่อปรับค่าให้เป็นมาตรฐานของเครื่องวัดอัตราการไหล FP101-102 กับรางวัดน้ำ

ลำดับ	Δh (ม.)	อัตราการไหล จากราง, Q (m^3/s)	ระดับน้ำ, h (ม)	ความเร็วการไหล จากรางวัดน้ำ, v_1 (m/s)	ความเร็วการไหล จากเครื่องวัด, v_2 (m/s)
1	0.1784	0.0213	0.1135	0.7033	0.6333
2	0.5304	0.0368	0.1510	0.9033	0.8000
3	0.1738	0.0211	0.1996	0.3633	0.3000
4	0.5458	0.0373	0.2300	0.6233	0.5667
5	0.6696	0.0411	0.2400	0.6000	0.5000
6	0.5157	0.0363	0.3020	0.4067	0.3000
7	0.2048	0.0229	0.3377	0.2333	0.2000
8	0.5326	0.0369	0.3516	0.3600	0.3000

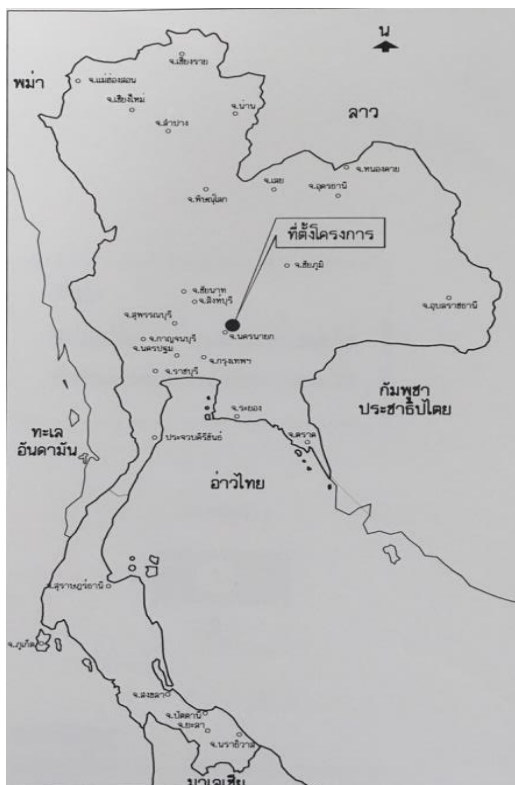


รูปที่ 3.3 กราฟผลการวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐาน เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101- 102

3.3 พื้นที่ศึกษา

3.3.1 ที่ตั้ง

เขื่อนขุนด่านปราการชล ชื่อเดิมเรียกว่า เขื่อนคลองท่าด่าน เป็นเขื่อนคอนกรีตบดอัดยาวที่สุดในประเทศไทยและในโลกตั้งอยู่ที่บ้านท่าด่าน ตำบลหินตั้ง อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก กั้นแม่น้ำนครนายก สร้างขึ้นตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช เพื่อเก็บกักน้ำในช่วงหน้าฝนไว้ในหน้าแล้ง และควบคุมไม่ให้เกิดน้ำท่วมบ้านเรือนราษฎร ไร่นาและพื้นที่การเกษตรในหน้าฝน โดยสร้างครอบฝายท่าด่านเดิม



รูปที่ 3.4 รูปแผนที่ตั้งโครงการ

3.3.1.1 ลักษณะโครงการ

พิกัด	47 PQR 524829
ชนิดเขื่อน	เขื่อนคอนกรีตบดอัดแน่น
ความสูงเขื่อน	93 เมตร
ความยาวสันเขื่อน	2,720 เมตร
ระดับสันเขื่อน (รทก.)	+112 เมตร
ระดับเก็บกักน้ำ (รทก.)	+110 เมตร
ความจุอ่างฯ ที่ระดับเก็บกัก	224 ล้าน ลบ.ม.
พื้นที่ผิวอ่างฯ ที่ระดับเก็บกัก	3,087 ไร่
พื้นที่รับผลประโยชน์ 185,000 ไร่ ประกอบด้วย	
โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษานครนายก	
โครงการทำด้านส่วนขยาย	165,000 ไร่
โครงการทำด้านเดิม	14,000 ไร่
โครงการทำด้านเดิม	6,000 ไร่
เกษตรกรได้รับผลประโยชน์	5,400 ครัวเรือน

3.3.1.2 ระยะเวลาดำเนินการ

เริ่มดำเนินการในปีงบประมาณ พ.ศ. 2540 แล้วเสร็จในปีงบประมาณ พ.ศ. 2552

3.3.1.3 งบประมาณในการดำเนินงาน

10,193 ล้านบาท

3.3.1.4 ผลประโยชน์ของโครงการ

1. ใช้เป็นแหล่งเก็บกักน้ำเพื่อช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกของราษฎรในเขตโครงการฯ รวม 185,000 ไร่
2. ใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับการอุปโภค – บริโภค ปริมาณ 16 ล้าน ลูกบาศก์เมตรต่อปี
3. ช่วยบรรเทาปัญหาดินเปรี้ยว ในเขตพื้นที่จังหวัดนครนายก
4. เป็นแหล่งเพาะและขยายพันธุ์ปลาน้ำจืด
5. ช่วยบรรเทาความเสียหายเนื่องจากอุทกภัยได้ร้อยละ 35

3.3.1.5 ลักษณะโครงการระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำ ประกอบด้วย

1. พื้นที่โครงการทำด้านเดิมและส่วนขยาย รวม 20,000 ไร่
2. พื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษานครนายก 165,000 ไร่

3.3.2 พื้นที่ปฏิบัติการ

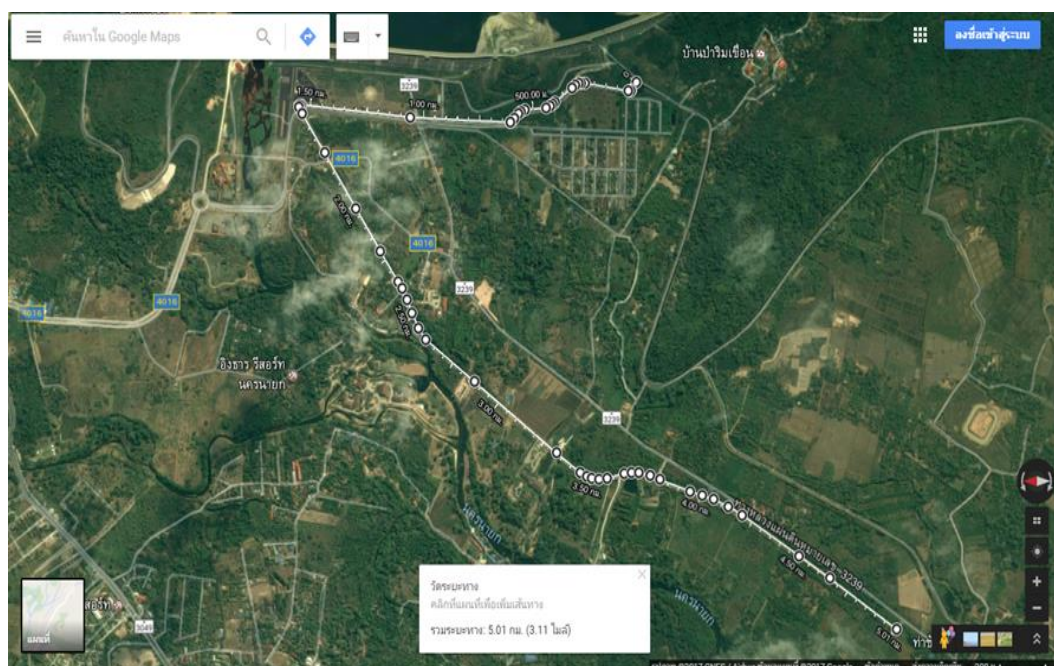
ระบบส่งน้ำชลประทานเขื่อนขุนด่านปราการชล ประกอบด้วย คลองส่งน้ำสายใหญ่ 1 สาย ที่ทำการส่งน้ำจากเขื่อนเพื่อลำเลียงส่งไปยังคลองซอย คลองแยกซอย และลงไปสู่พื้นที่เพาะปลูกภายในโครงการ

ระบบส่งน้ำชลประทานเขื่อนขุนด่านปราการชล ประกอบด้วย คลองส่งน้ำสายใหญ่ 1 สาย ระยะประมาณ 23.603 กิโลเมตร มีคลองซอยและแยกซอยดังต่อไปนี้

1. คลองซอย 1 ขวา ระยะประมาณ 5.224 กิโลเมตร
2. คลองซอย 2 ขวา ระยะประมาณ 4.373 กิโลเมตร
 - 2.1 คลองแยกซอย 1 ขวา ของ 2 ขวา ระยะประมาณ 1.613 กิโลเมตร
3. คลองซอย 3 ขวา ระยะประมาณ 1.950 กิโลเมตร
4. คลอง พช. ฝั่งขวา ระยะประมาณ 0.550 กิโลเมตร
5. คลอง พช. ฝั่งซ้าย ระยะประมาณ 2.450 กิโลเมตร
 - 5.1 คลองเกล้า ระยะประมาณ 1.780 กิโลเมตร
6. คลองซอย 1 ซ้าย ระยะประมาณ 3.300 กิโลเมตร
 - 6.1 คลองแยกซอย 1 ขวา ของ 1 ซ้าย ระยะประมาณ 1.794 กิโลเมตร

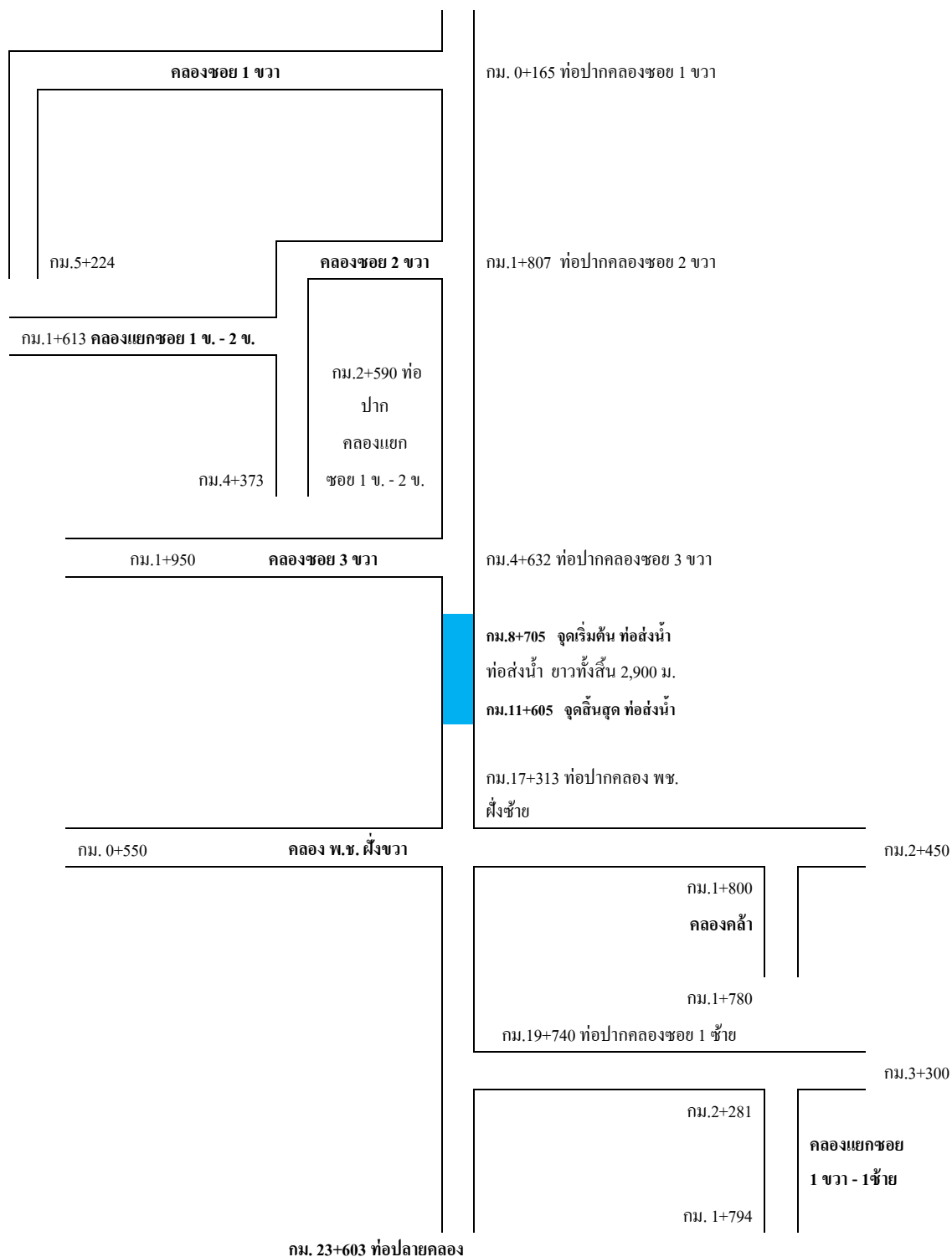
ซึ่งจากการสำรวจพื้นที่จริงของโครงการชลประทานเขื่อนขุนด่านปราการชล เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำพบว่าคลองที่สะดวกและเหมาะสมกับเครื่องมือในการปฏิบัติการ คือ

คลองซอย ได้แก่ คลองซอย 1 ขวา คลองซอย 2 ขวา และคลองซอย 3 ขวา แต่ในช่วงปฏิบัติการทางกรมชลประทานได้มีการซ่อมบำรุงคลองส่งน้ำชลประทานหลายจุด ทำให้เหลือคลองส่งน้ำชลประทานเพียงสายเดียว คือ คลองซอย 1 ขวา ดังนั้นทางกลุ่มผู้จัดทำจึงทำการเลือกวัดประสิทธิภาพการส่งน้ำของคลองซอย 1 ขวา



รูปที่ 3.5 คลองซอย 1 ขวา จาก Google Map

ระบบส่งน้ำ คลองส่งน้ำสายใหญ่ สายซอย และสายแยกซอย



รูปที่ 3.6 แปลนคลองส่งน้ำสายใหญ่ สายซอย และสายแยกซอย

คลองซอย 1 ขวา

	กม.0+100 ท่อลอดคลองส่งน้ำ กม.0+328 ท่อลอดถนนทดน้ำ กม.0+508 ท่อส่งน้ำเข้านา 2 ซ.
	กม.0+435 ท่อลอดคลองส่งน้ำ กม.0+515 น้ำตกทดน้ำ
	กม.0+850 ท่อส่งน้ำเข้านา
	กม.0+870 ท่อลอดคลองส่งน้ำ กม. 1+240 ท่อลอดถนน กม.1+300 ท่อลอดคลองส่งน้ำ
	กม. 2+030 ท่อลอดถนน
กม.2+160 ท่อส่งน้ำเข้านา 1 ซ.	
กม.2+230 ท่อส่งน้ำเข้านา 2 ซ.	กม.2+230 ท่อส่งน้ำเข้านา 4 ซ.
	กม.2+304 รางทดน้ำ กม.2+650 ท่อส่งน้ำเข้านา
	กม.2+704 น้ำตกทดน้ำ
กม.3+030 ท่อส่งน้ำเข้านา 3 ซ.	กม.3+030 ท่อส่งน้ำเข้านา 5 ซ.
	กม.3+104 รางทดน้ำ กม. 3+590 ท่อลอดถนน กม. 3+600 อาคารทิ้งน้ำ กม.3+659 ท่อส่งน้ำเข้านา 6 ซ.
กม.3+713 ท่อส่งน้ำเข้านา 4 ซ. กม.3+799 ท่อส่งน้ำเข้านา 5 ซ.	
กม.4+014 ท่อส่งน้ำเข้านา 6 ซ.	กม.3+850 น้ำตกทดน้ำ
	กม. 4+029 ท่อลอดถนน
กม.4+314 ท่อส่งน้ำเข้านา 7 ซ.	กม. 4+402 ท่อลอดถนน
กม.4+814 ท่อส่งน้ำเข้านา 8 ซ.	กม.4+850 น้ำตกทดน้ำ
กม.4+964 ท่อส่งน้ำเข้านา 9 ซ.	กม.5+191 ท่อส่งน้ำเข้านา
	กม.5+224 ท่อปลายคลอง

รูปที่ 3.7 แพลนคลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา

3.3.3 ข้อมูลการส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก

การส่งน้ำชลประทานจะเน้นการส่งน้ำเพื่อการเกษตรกรรม การส่งน้ำชลประทานจะจัดส่งในช่วงฤดูแล้งและในช่วงที่ฝนทิ้งช่วง ส่วนฤดูฝนจะใช้น้ำจากน้ำฝนในการเพาะปลูก ซึ่งก่อนการเพาะปลูกพืชในแต่ละฤดูกาลทางกรมชลประทานและตัวแทนกลุ่มผู้ใช้น้ำจะประชุมวางแผนจัดสรรน้ำใช้ตลอดฤดูกาลเพาะปลูกและมีการทำข้อตกลงในการส่งน้ำชลประทาน ปริมาณน้ำที่จัดส่งทางกรมชลประทานจะคำนวณจากพื้นที่การเพาะปลูกและชนิดของพืชที่ปลูกรวมกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการอุปโภคของชาวบ้าน การส่งน้ำจะจัดส่งทุกวันตามแผนงานที่เตรียมไว้ก่อนการเพาะปลูกและตามที่กลุ่มผู้ใช้น้ำร้องขอ โดยใน 1 วันจะส่งตลอด 24 ชั่วโมง ปริมาณน้ำที่จัดส่งในแต่ละวันจะปล่อยจากเขื่อนสู่ระบบคลองส่งน้ำชลประทาน (คลองส่งน้ำสายใหญ่) หลังจากนั้นจะเป็นกลุ่มผู้ใช้น้ำจะเปิดประตูระบายน้ำเพื่อให้ น้ำเข้าคลองส่งน้ำสายย่อย สายแยกย่อย หรือแปลงเพาะปลูกตามความต้องการของเอง และการเปิด – ปิด บานประตูระบายน้ำจะขึ้นอยู่กับกลุ่มผู้ใช้น้ำ

3.4 สมการที่ใช้ในการคำนวณ

3.4.1 อัตราการไหล (Volume Flow Rate หรือ Q) คือ ปริมาตรของของไหลซึ่งไหลผ่านท่อหรือช่องการไหลใด ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา หรืออีกนัยหนึ่งก็คือของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉาก (A) ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง (V) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = AV \quad (1)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร³/วินาที

A = พื้นที่หน้าตัดมีหน่วยเป็นตารางเมตร

V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหลมีหน่วยเป็นเมตร/วินาที

ในการหาอัตราการไหลด้วยวิธีนี้ จะต้องทำการวัดพื้นที่หน้าตัดโดยแบ่งหน้าตัดทั้งหมดออกเป็นส่วนย่อยหลาย ๆ ส่วน พื้นที่ของส่วนย่อยเท่ากับความกว้างคูณด้วยความลึกเฉลี่ย ทำการรวมพื้นที่หน้าตัดของส่วนย่อยทั้งหมด จะได้ค่าของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด

3.4.2 สมการโดยทั่วไปเพื่อคำนวณหาความเร็วของกระแสน้ำ

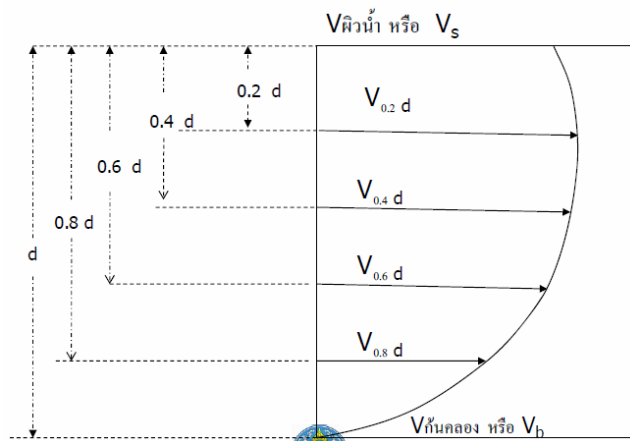
$$V = a \times N + b \quad (2)$$

โดยที่ V = ความเร็วของกระแสน้ำ (เมตร/วินาที)

N = จำนวนรอบต่อวินาทีของเครื่องที่วัดได้

a , b = ค่าคงที่ของเครื่องวัดกระแสน้ำ (ค่าของ a และ b จะเปลี่ยนไปตามชนิดและขนาดของเครื่องวัด) เนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำจะมีค่าไม่เท่ากันตลอดความลึก คือมีค่าเป็นศูนย์ที่ท้องน้ำ และมีค่าสูงสุดที่ผิวน้ำหรือบริเวณ

ใกล้ผิวน้ำ ซึ่งทำให้ต้องทำการวัดความเร็วของกระแสน้ำมากกว่าหนึ่งจุดตลอดความลึก ดังนั้นจึงมีวิธีการวัดความเร็วที่ตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นความเร็วเฉลี่ยของหน้าตัดการไหล



รูปที่ 3.8 การวัดความเร็วของกระแสน้ำมากกว่าหนึ่งจุดตลอดความลึก

ที่มา: <http://tdc.thailis.or.th/tdc>

เกณฑ์การวัดข้อมูลดังนี้

$d \leq 0.6$ เมตร วัด 1 จุดที่ความลึก $0.6d$ จากผิวน้ำ

$0.6 < d < 1.0$ เมตร วัด 2 จุดที่ความลึก $0.2d$ และ $0.8d$ จากผิวน้ำ

$1.0 < d < 2.5$ เมตร วัด 3 จุดที่ความลึก $0.2d$ $0.6d$ และ $0.8d$ จากผิวน้ำ

$d \geq 2.5$ เมตร วัด 4 จุดที่ความลึกจากผิวน้ำ $0.2d$ $0.4d$ $0.6d$ $0.8d$ และท้องน้ำ และใช้สูตรการหาความเร็วเฉลี่ยดังนี้

$$d \leq 0.6 \quad \text{เมตร} \quad V_m = V_{0.6d} \quad (3)$$

$$0.6 < d < 1.0 \quad \text{เมตร} \quad V_m = \frac{V_{0.2d} + V_{0.8d}}{2} \quad (4)$$

$$1.0 < d < 2.5 \quad \text{เมตร} \quad V_m = \frac{V_{0.2d} + 2V_{0.6d} + V_{0.8d}}{4} \quad (5)$$

$$d \geq 2.5 \quad \text{เมตร} \quad V_m = \frac{1}{10}(V_s + V_b) + 2\left(\frac{V_{0.2d} + V_{0.4d} + V_{0.6d} + V_{0.8d}}{4}\right) \quad (6)$$

โดยที่ V_s = ความเร็วของกระแสน้ำที่ผิวน้ำ

$V_{0.2}$ = ความเร็วของกระแสน้ำที่ความลึ 0.2d วัดจากผิวน้ำ

$V_{0.4}$ = ความเร็วของกระแสน้ำที่ความลึ 0.4d วัดจากผิวน้ำ

$V_{0.6}$ = ความเร็วของกระแสน้ำที่ความลึ 0.6d วัดจากผิวน้ำ

$V_{0.8}$ = ความเร็วของกระแสน้ำที่ความลึ 0.8d วัดจากผิวน้ำ

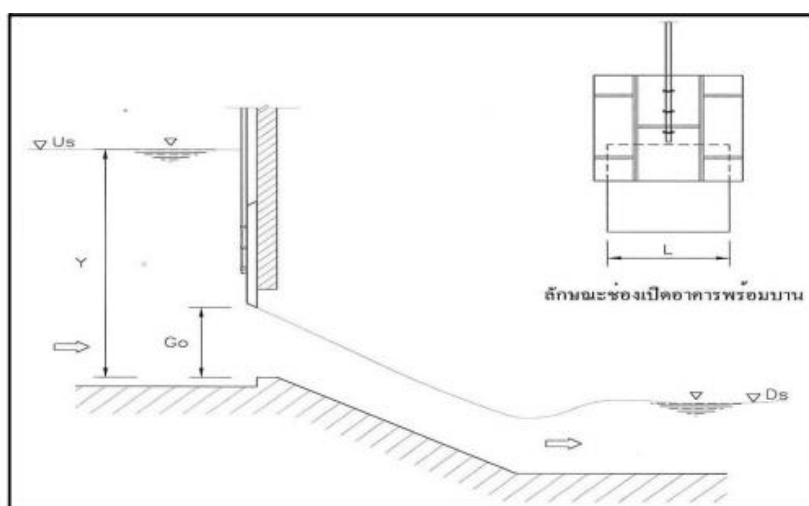
V_b = ความเร็วของกระแสน้ำที่ท้องน้ำ

การหาโดยวิธีนี้จะต้องแบ่งพื้นที่หน้าตัดของทางน้ำออกเป็นส่วนย่อยหลายส่วน จำนวนของส่วนย่อยที่จะแบ่งขึ้นอยู่กับความกว้างของผิวน้ำ และความละเอียดถูกต้องที่ต้องการ หลักเกณฑ์สำหรับเป็นแนวทางก็คือ ในแต่ละส่วนแบ่งนั้นจะต้องมีปริมาณการไหลของน้ำไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการไหลรวมทั้งหมดของรูปตัดทางน้ำนั้น ความกว้างของส่วนย่อยไม่จำเป็นต้องเท่ากันทุกส่วน

3.4.3 สมการโดยทั่วไปเพื่อคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ

คำนวณเพื่อหาอัตราการไหลที่ได้จากการวัดจากการปฏิบัติงานด้วยสมการต่าง ๆ ยกตัวอย่าง เช่น ลักษณะการไหลของน้ำผ่านอาคารชลประทานที่สัมพันธ์กับการเปิดบานประตูของอาคารประกอบด้วย

3.4.3.1 การไหลท่ายประตูเป็น Free Flow (ระดับน้ำด้านท้ายไม่มีผลต่อการไหล)



รูปที่ 3.9 การไหลท่ายประตูเป็น Free Flow

ที่มา: <http://tdc.thailis.or.th/tdc>

$$Q = C_d L G_0 \sqrt{2gH} \quad (7)$$

โดยที่ Q = ปริมาณน้ำที่ผ่านประตูระบายน้ำ (ลบ.ม./วินาที)

C_d = ค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำเมื่อการไหลเป็น free flow

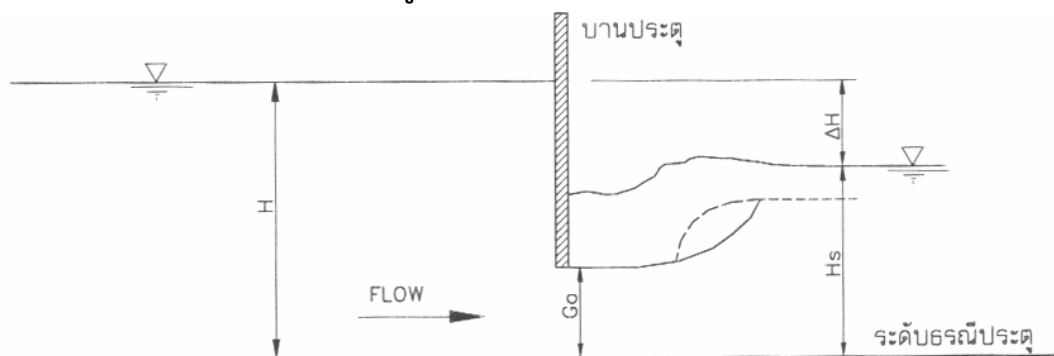
L = ความกว้างของช่องการไหล (เมตร)

G_0 = ระยะเปิดบาน (เมตร)

g = อัตราเร่งเนื่องจากศูนย์ถ่วง (9.81 เมตร/วินาที²)

H = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำของอาคาร-ระดับธรณีประตู (เมตร)

3.4.3.2 การไหลท่ายประตูป็น Submerged Flow (ระดับน้ำด้านท้ายมีผลต่อการไหล)



รูปที่ 3.10 การไหลท่ายประตูป็น Submerged Flow

ที่มา: <http://tdc.thailis.or.th/tdc>

$$Q = C_s L h_s \sqrt{2gDH} \quad (8)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ผ่านประตูระบายน้ำ (ลบ.ม./วินาที)

C_s = ค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำ (ซึ่งมีค่าสัมพันธ์กับ h_s / G_0)

L = ความกว้างของช่องการไหล (เมตร)

h_s = ความลึกของท่ายน้ำที่ Submerged (เมตร) = ระดับท่ายน้ำ-ระดับธรณีประตู

g = อัตราเร่งเนื่องจากศูนย์กลาง (9.81 เมตร/วินาที²)

DH = ผลต่างระหว่างระดับเหนือหน้าและท่ายน้ำ (เมตร) = ระดับเหนือหน้า-ระดับท่ายน้ำ

G_0 = ระยะเปิดบาน (เมตร)

3.4.3.3 คำนวณด้วยสูตร Manning เพื่อหาอัตราการไหล

สูตรของ Manning ในปี 1889 Robert Manning วิศวกรชาวไอร์แลนด์ ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ของ Chezy และสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning กับรัศมีชลศาสตร์ ซึ่งเป็นที่นิยมกันแพร่หลาย ดังนี้

$$\text{ระบบหน่วยอังกฤษ : } C = \frac{1.49}{n} R^{1/6}$$

$$\text{ระบบหน่วย SI : } C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (9)$$

เมื่อแทนค่า C จากสมการจะได้สมการ Manning สำหรับคำนวณความเร็วของการไหลในทางน้ำเปิดดังนี้

$$\text{ระบบหน่วยอังกฤษ : } V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$\text{ระบบหน่วย SI : } V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (10)$$

สามารถหาอัตราการไหลในทางน้ำเปิดได้ดังนี้

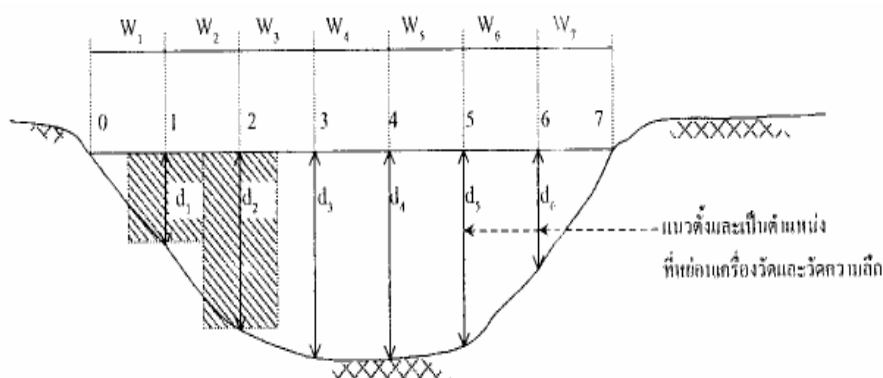
$$Q = AV$$

ระบบหน่วยอังกฤษ : $Q = \frac{1.49}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$

ระบบหน่วย SI : $Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$ (11)

3.4.4 การคำนวณหาปริมาณน้ำ

วิธี Mid –Section Method



รูปที่ 3.11 การคำนวณหาปริมาณน้ำ วิธี Mid-Section Method

การวัดอัตราการไหลด้วยวิธี Mid-Section Method สามารถวัดความเร็วการไหลได้ง่ายกว่าวิธีอื่นและเหมาะสมสำหรับคลองที่มีหน้าตัดการไหลที่ไม่ใหญ่มาก เพราะการวัดความเร็วจะใช้เครื่องจุ่มวัดลงไปใต้น้ำที่ความลึก $0.6d$ ที่ตำแหน่งที่ได้แบ่งไว้ จากรูปตำแหน่งที่ 1,2,3,...,6 เป็นตำแหน่งที่วัดความเร็วด้วยเครื่องวัดกระแส น้ำ ค่า $d_1, d_2, d_3, \dots, d_6$ เป็นความลึกของน้ำตรงตำแหน่งที่ 1,2,3,...,6 ตามลำดับ และค่า $W_1, W_2, W_3, \dots, W_6$ เป็นความกว้างของส่วนย่อย

วิธีทำ

1. หาความเร็วเฉลี่ยในแนวตั้งที่จุด 1,2,3,...,6
2. หาพื้นที่ส่วนย่อย $A_1, A_2, A_3, \dots, A_6$ เช่น

$$A_1 = 0.5(W_1 + W_2)d_1$$

$$A_2 = 0.5(W_2 + W_3)d_2$$

$$A_3 = 0.5(W_3 + W_4)d_3 \quad (12)$$

3. หาปริมาณการไหลในแต่ละส่วนย่อย เช่น

$$Q_1 = A_1 V_1 = 0.5(W_1 + W_2)d_1 V_1$$

$$Q_2 = A_2 V_2 = 0.5(W_2 + W_3)d_2 V_2$$

$$Q_3 = A_3 V_3 = 0.5(W_3 + W_4)d_3 V_3 \quad (13)$$

4. หาปริมาณการไหลรวมทั้งหมดของรูปตัด

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_6 \quad (14)$$

3.4.5 ประสิทธิภาพการส่งน้ำ

ประสิทธิภาพการส่งน้ำ คือ ประสิทธิภาพของระบบคลองส่งน้ำ จากจุดที่เริ่มต้นส่งน้ำ เช่น อ่างเก็บน้ำ สถานีสูบน้ำหรือแม่น้ำ (ปาก ปตร.) จนถึงปลายคลอง หาได้จากสูตร

$$E_c = \frac{W_f + w_{outlet}}{W_g} \times 100 \quad (15)$$

โดยที่ E_c = ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำ เป็นเปอร์เซ็นต์

W_f = ปริมาณน้ำที่น้ำที่เหลือปลายคลองส่งน้ำ เป็นหน่วยความลึกหรือปริมาตร

W_g = ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองส่งน้ำ เป็นหน่วยความลึกหรือปริมาตร

W_{outlet} = ปริมาณน้ำที่น้ำที่นำออกจากคลองส่งน้ำ เป็นหน่วยความลึกหรือปริมาตร

เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียไป ซึ่งไม่รวมปริมาณที่นำออกไปใช้จากคลอง เช่น การระเหย การรั่วซึม หรืออุปสรรคต่าง ๆ กับปริมาณน้ำที่สูญเสียไปทั้งหมด หาได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้งหมด} - \text{ปริมาณน้ำที่นำออกจากคลอง}}{\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้งหมด}} \quad (16)$$

บทที่ 4

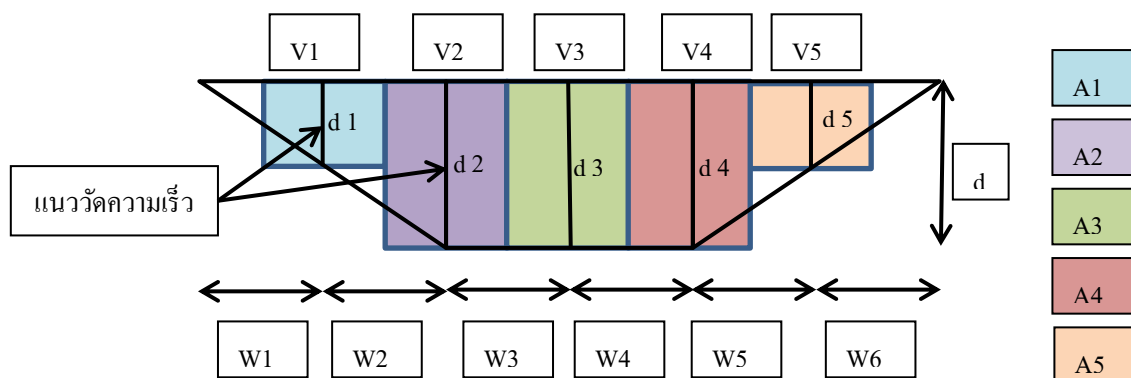
ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำในคลองซอย 1 ขวาทลอดทั้งสายเป็นระยะทางประมาณ 5.224 กม. โดยศึกษาในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล ต.หินตั้ง อ.เมือง จ. นครนายก และได้ทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ ปริมาณน้ำที่ทำการส่งน้ำเข้าสู่คลอง ปริมาณน้ำที่นำไปใช้ และปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพการส่งน้ำ เช่น สภาพของคลองส่งน้ำในปัจจุบัน การนำน้ำไปใช้นอกเหนือการจัดส่งน้ำของชลประทาน การนำน้ำไปใช้ของพืชที่อยู่ริมคลอง การกีดขวางทางไหลของน้ำ การรื้อขุด และการระเหย เป็นต้น เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์ในการหาประสิทธิภาพการส่งน้ำ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การคำนวณปริมาณน้ำในคลองส่งน้ำ

การคำนวณปริมาณน้ำในคลองส่งน้ำได้ทำการคำนวณ 2 วิธี คือ 1. วิธี Mid-Section Method และ 2. วิธี Manning เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำในคลอง จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ได้ทำการเก็บข้อมูลความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำ โดยการเก็บข้อมูลจะเก็บในทุกช่วงละประมาณ 500 ม. ของคลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา วัดได้ประมาณ 12 ช่วง เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์

4.1.1 การคำนวณปริมาณน้ำแบบ Mid-Section Method



รูปที่ 4.1 การคำนวณหาปริมาณน้ำ วิธี Mid-Section Method

ความลึก (d) มีหน่วยเป็น เมตร ; $d_1 = d_5 = d/2$ $d_2 = d_3 = d_4 = d$

ความกว้าง (W) มีหน่วยเป็น เมตร

พื้นที่หน้าตัดการไหล (A) มีหน่วยเป็น เมตร²

ความเร็วการไหลของน้ำ (v) มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

ระยะ กม. 5+224		d = 0.1200 เมตร					หมายเหตุ
ลำดับ	1	2	3	4	5	6	
W (เมตร)	0.0600	0.0600	0.2500	0.2500	0.0700	0.0700	
A (เมตร ²)	0.0036	0.0186	0.0300	0.0192	0.0042		
V (เมตร/วินาที)	0.4077	0.5771	0.6195	0.5771	0.5347		
Q (เมตร ³ /วินาที)	0.0015	0.0107	0.0186	0.0111	0.0022		
$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 0.0441$ เมตร ³ /วินาที							

4.1.2 การคำนวณปริมาณน้ำ วิธี Manning

วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 เวลา 09.30 ถึง 17.00 น.

ตารางที่ 4.4 ค่าปริมาณน้ำที่ไหลภายในคลอง ด้วยวิธี วิธี Manning

ระยะ กม. 0+000		ระยะ กม. 0+600	
n =	0.0320	n =	0.0320
s =	0.0003	s =	0.0003
P =	2.4029 เมตร	P =	2.6217 เมตร
A =	0.6627 เมตร ²	A =	0.7842 เมตร ²
R =	0.2758 เมตร	R =	0.2991 เมตร
V =	0.2093 เมตร/วินาที	V =	0.2210 เมตร/วินาที
Q =	0.1387 เมตร ³ /วินาที	Q =	0.1733 เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 1+000		ระยะ กม. 1+500	
n =	0.0320	n =	0.0320
s =	0.0003	s =	0.0003
P =	1.7240 เมตร	P =	2.4712 เมตร
A =	0.3065 เมตร ²	A =	0.6089 เมตร ²
R =	0.1778 เมตร	R =	0.2464 เมตร
V =	0.1562 เมตร/วินาที	V =	0.1942 เมตร/วินาที
Q =	0.0479 เมตร ³ /วินาที	Q =	0.1182 เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+000		
n =	0.0320	
s =	0.0003	
P =	1.7707	เมตร
A =	0.3477	เมตร ²
R =	0.1964	เมตร
V =	0.1669	เมตร/วินาที
Q =	0.0580	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+000		
n =	0.3000	
s =	0.0003	
P =	2.0401	เมตร
A =	0.5217	เมตร ²
R =	0.2557	เมตร
V =	0.0212	เมตร/วินาที
Q =	0.0111	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+000		
n =	0.0310	
s =	0.0003	
P =	2.0922	เมตร
A =	0.5031	เมตร ²
R =	0.2405	เมตร
V =	0.1972	เมตร/วินาที
Q =	0.0992	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+500		
n =	0.3000	
s =	0.0003	
P =	2.3031	เมตร
A =	0.6386	เมตร ²
R =	0.2773	เมตร
V =	0.0224	เมตร/วินาที
Q =	0.0143	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+500		
n =	0.0310	
s =	0.0003	
P =	2.1773	เมตร
A =	0.5246	เมตร ²
R =	0.2409	เมตร
V =	0.1975	เมตร/วินาที
Q =	0.1036	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+500		
n =	0.0180	
s =	0.0003	
P =	1.7093	เมตร
A =	0.3400	เมตร ²
R =	0.1989	เมตร
V =	0.2993	เมตร/วินาที
Q =	0.1018	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 5+000	ระยะ กม. 5+224
n = 0.0300	n = 0.0340
s = 0.0003	s = 0.0003
P = 1.9427 เมตร	P = 1.9369 เมตร
A = 0.4524 เมตร ²	A = 0.4469 เมตร ²
R = 0.2328 เมตร	R = 0.2307 เมตร
V = 0.1995 เมตร/วินาที	V = 0.1749 เมตร/วินาที
Q = 0.0902 เมตร ³ /วินาที	Q = 0.0782 เมตร ³ /วินาที

วันที่ 7 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 ถึง 13.45 น.

ตารางที่ 4.5 ค่าปริมาณน้ำที่ไหลภายในคลอง ด้วยวิธี วิธี Manning

ระยะ กม. 0+000	ระยะ กม. 0+600
n = 0.0320	n = 0.0320
s = 0.0003	s = 0.0003
P = 2.3148 เมตร	P = 2.6040 เมตร
A = 0.6324 เมตร ²	A = 0.7454 เมตร ²
R = 0.2732 เมตร	R = 0.2862 เมตร
V = 0.2080 เมตร/วินาที	V = 0.2146 เมตร/วินาที
Q = 0.1316 เมตร ³ /วินาที	Q = 0.1600 เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 1+000	ระยะ กม. 1+500
n = 0.0320	n = 0.0320
s = 0.0003	s = 0.0003
P = 1.4904 เมตร	P = 2.3143 เมตร
A = 0.2168 เมตร ²	A = 0.5934 เมตร ²
R = 0.1455 เมตร	R = 0.2564 เมตร
V = 0.1367 เมตร/วินาที	V = 0.1994 เมตร/วินาที
Q = 0.0296 เมตร ³ /วินาที	Q = 0.1183 เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+000		
n =	0.0320	
s =	0.0003	
P =	1.7325	เมตร
A =	0.3078	เมตร ²
R =	0.1777	เมตร
V =	0.1562	เมตร/วินาที
Q =	0.0481	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+000		
n =	0.3000	
s =	0.0003	
P =	1.8887	เมตร
A =	0.4346	เมตร ²
R =	0.2301	เมตร
V =	0.0198	เมตร/วินาที
Q =	0.0086	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+000		
n =	0.0310	
s =	0.0003	
P =	2.1074	เมตร
A =	0.4977	เมตร ²
R =	0.2362	เมตร
V =	0.1949	เมตร/วินาที
Q =	0.0970	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+500		
n =	0.3000	
s =	0.0003	
P =	2.0951	เมตร
A =	0.4760	เมตร ²
R =	0.2272	เมตร
V =	0.0196	เมตร/วินาที
Q =	0.0093	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+500		
n =	0.0310	
s =	0.0003	
P =	1.7602	เมตร
A =	0.3737	เมตร ²
R =	0.2123	เมตร
V =	0.1815	เมตร/วินาที
Q =	0.0678	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+500		
n =	0.0360	
s =	0.0003	
P =	1.6735	เมตร
A =	0.3134	เมตร ²
R =	0.1873	เมตร
V =	0.1438	เมตร/วินาที
Q =	0.0451	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 5+000		
n =	0.0300	
s =	0.0003	
P =	1.1640	เมตร
A =	0.1530	เมตร ²
R =	0.1314	เมตร
V =	0.1362	เมตร/วินาที
Q =	0.0208	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 5+224		
n =	0.0340	
s =	0.0003	
P =	0.7954	เมตร
A =	0.0441	เมตร ²
R =	0.0554	เมตร
V =	0.0676	เมตร/วินาที
Q =	0.0030	เมตร ³ /วินาที

วันที่ 8 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 ถึง 13.45 น.

ตารางที่ 4.6 ค่าปริมาณน้ำที่ไหลภายในคลอง ด้วยวิธี วิธี Manning

ระยะ กม. 0+000		
n =	0.0320	
s =	0.0003	
P =	2.2983	เมตร
A =	0.6120	เมตร ²
R =	0.2663	เมตร
V =	0.2045	เมตร/วินาที
Q =	0.1252	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 1+000		
n =	0.0320	
s =	0.0003	
P =	1.9923	เมตร
A =	0.2751	เมตร ²
R =	0.1381	เมตร
V =	0.1320	เมตร/วินาที
Q =	0.0363	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 0+600		
n =	0.0320	
s =	0.0003	
P =	2.6133	เมตร
A =	0.7638	เมตร ²
R =	0.2923	เมตร
V =	0.2176	เมตร/วินาที
Q =	0.1662	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 1+500		
n =	0.0320	
s =	0.0003	
P =	2.3932	เมตร
A =	0.5904	เมตร ²
R =	0.2467	เมตร
V =	0.1944	เมตร/วินาที
Q =	0.1147	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+000	
n =	0.0320
s =	0.0003
P =	1.6597 เมตร
A =	0.2915 เมตร ²
R =	0.1756 เมตร
V =	0.1550 เมตร/วินาที
Q =	0.0452 เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+000	
n =	0.3000
s =	0.0003
P =	1.9244 เมตร
A =	0.4515 เมตร ²
R =	0.2346 เมตร
V =	0.0200 เมตร/วินาที
Q =	0.0091 เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+000	
n =	0.0310
s =	0.0003
P =	2.1837 เมตร
A =	0.5676 เมตร ²
R =	0.2599 เมตร
V =	0.2077 เมตร/วินาที
Q =	0.1179 เมตร ³ /วินาที

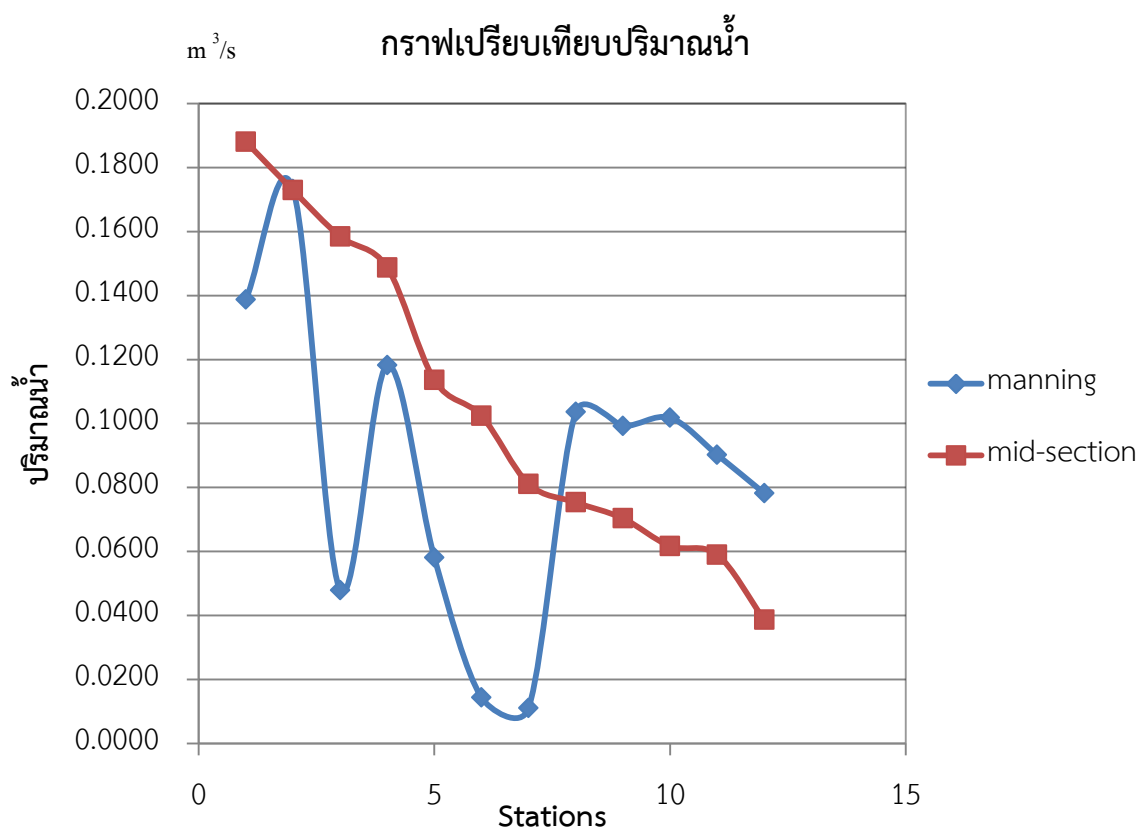
ระยะ กม. 2+500	
n =	0.3000
s =	0.0003
P =	2.2205 เมตร
A =	0.6000 เมตร ²
R =	0.2702 เมตร
V =	0.0220 เมตร/วินาที
Q =	0.0132 เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+500	
n =	0.0310
s =	0.0003
P =	1.8989 เมตร
A =	0.3997 เมตร ²
R =	0.2105 เมตร
V =	0.1805 เมตร/วินาที
Q =	0.0721 เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+500	
n =	0.0360
s =	0.0003
P =	1.6865 เมตร
A =	0.3234 เมตร ²
R =	0.1917 เมตร
V =	0.1460 เมตร/วินาที
Q =	0.0472 เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 5+000	
n =	0.0300
s =	0.0003
P =	1.4282 เมตร
A =	0.1700 เมตร ²
R =	0.1190 เมตร
V =	0.1275 เมตร/วินาที
Q =	0.0217 เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 5+224	
n =	0.0340
s =	0.0003
P =	0.8541 เมตร
A =	0.0756 เมตร ²
R =	0.0885 เมตร
V =	0.0924 เมตร/วินาที
Q =	0.0070 เมตร ³ /วินาที

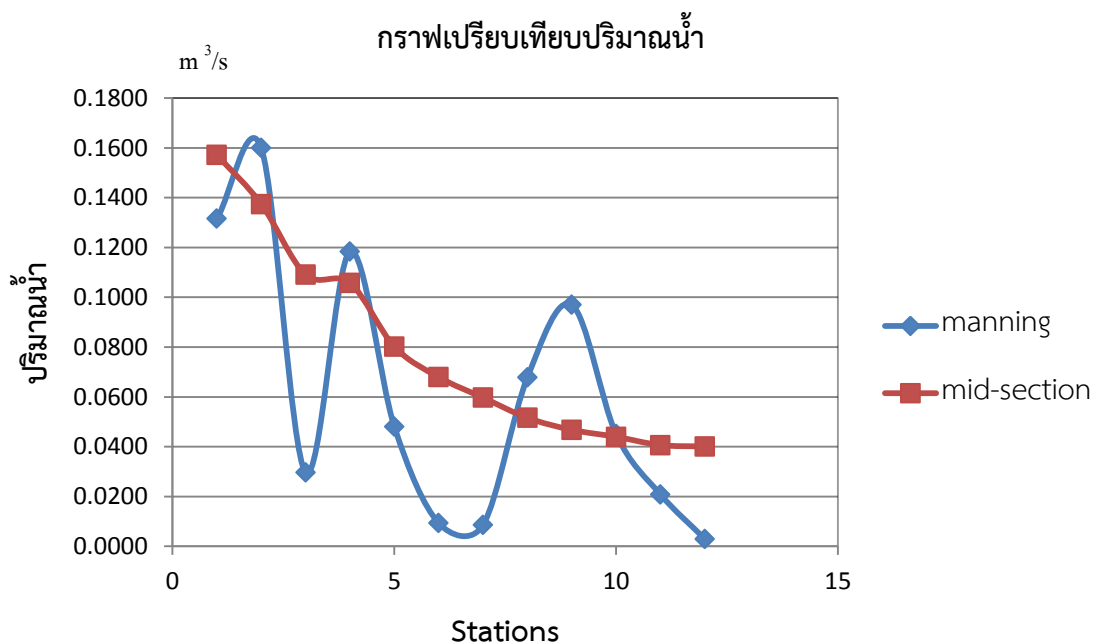
4.1.3 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำในคลองระหว่างวิธี Mid-Section Method และ วิธีคำนวณสูตร Manning

วันที่ 9 พฤษภาคม 2560



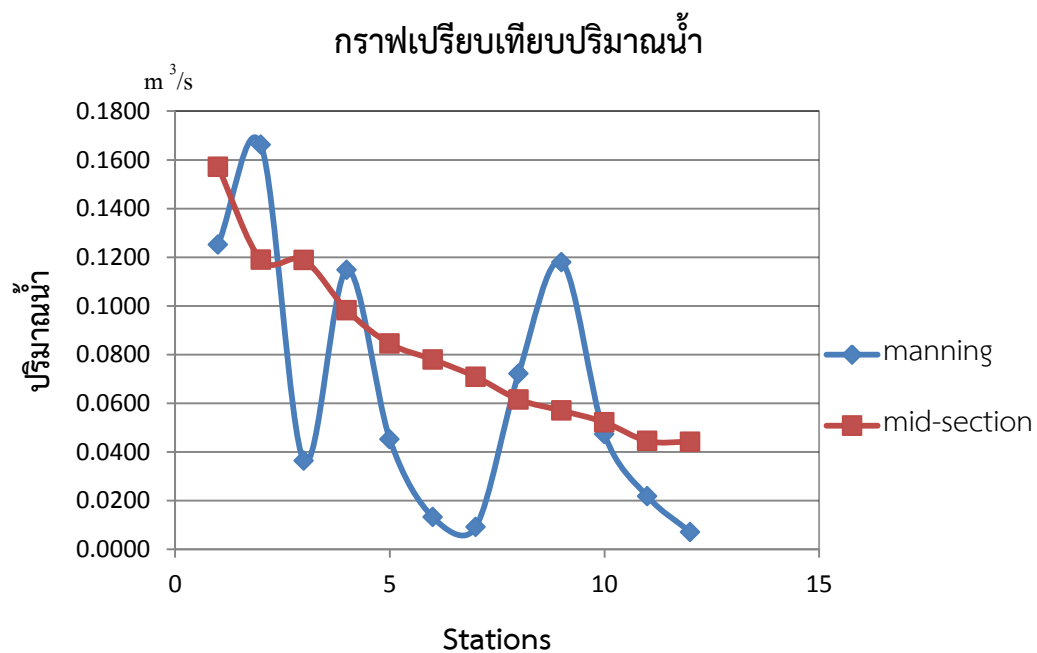
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำในคลองระหว่างวิธี Mid-Section Method และ วิธี Manning

วันที่ 7 มิถุนายน 2560



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำในคลองระหว่างวิธี Mid-Section Method และ วิธี Manning

วันที่ 8 มิถุนายน 2560



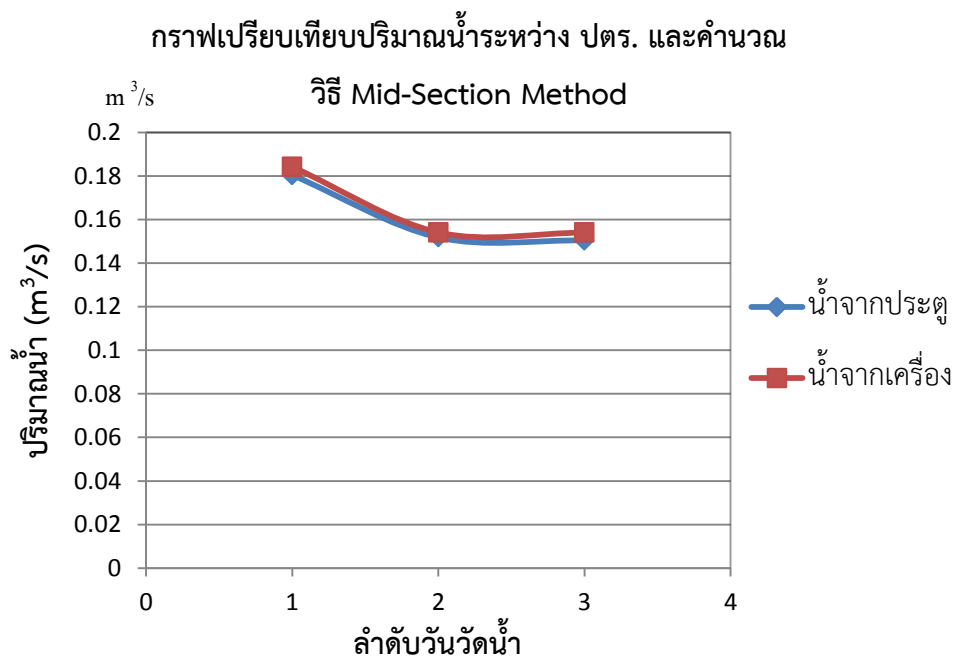
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำในคลองระหว่างวิธี Mid-Section Method และ วิธี Manning

จากกราฟรูปที่ 4.2 4.3 และ 4.4 ค่าที่ได้จากการคำนวณของวิธี Mid-Sections-Method ที่ได้ค่าความเร็วการไหลจากเครื่องวัดความเร็วการไหล ซึ่งแนวโน้มลดลงจากต้นคลองเรื่อย ๆ จากต้นคลอง ส่วนกราฟที่ได้ค่าจากการคำนวณจากสมการ Manning มีค่าที่ ขึ้น-ลง ค่าเหล่านี้จะได้จากความเร็วการไหลที่จะแปรเปลี่ยนไปตามหน้าตัดของคลองและสภาพท้องคลอง ซึ่งปริมาณน้ำในคลองแต่ละช่วงไม่เท่ากัน จากที่กลุ่มผู้จัดทำได้ทำการลงพื้นที่จริงและประเมินความเร็วจากการไหลในคลอง พบว่าช่วงที่มีระดับน้ำที่สูงมีการความเร็วการไหลที่ช้า ส่วนช่วงที่มีระดับน้ำที่ต่ำมีการความเร็วการไหลที่เร็ว ซึ่งมันขัดแย้งกับค่าที่ได้จากการคำนวณสมการ Manning ดังนั้นกลุ่มผู้จัดทำจึงได้เลือกใช้ค่าจากการคำนวณ Mid-Sections-Method ซึ่งได้มีการเทียบกับปริมาณที่ไหลเข้าในคลองที่ผ่านประตูระบายน้ำของกรมชลประทานที่มีการสอบเทียบตามมาตรฐานอยู่เป็นประจำ

จากค่าอัตราการไหลที่คำนวณจากสมการ Manning ได้ไม่สอดคล้องกับที่คำนวณของวิธี Mid-Section Method เนื่องจากไม่ได้หาความลาดชันท้องคลองของแต่ละช่วง ทำให้ไม่รู้ความลาดชันท้องคลองจริง

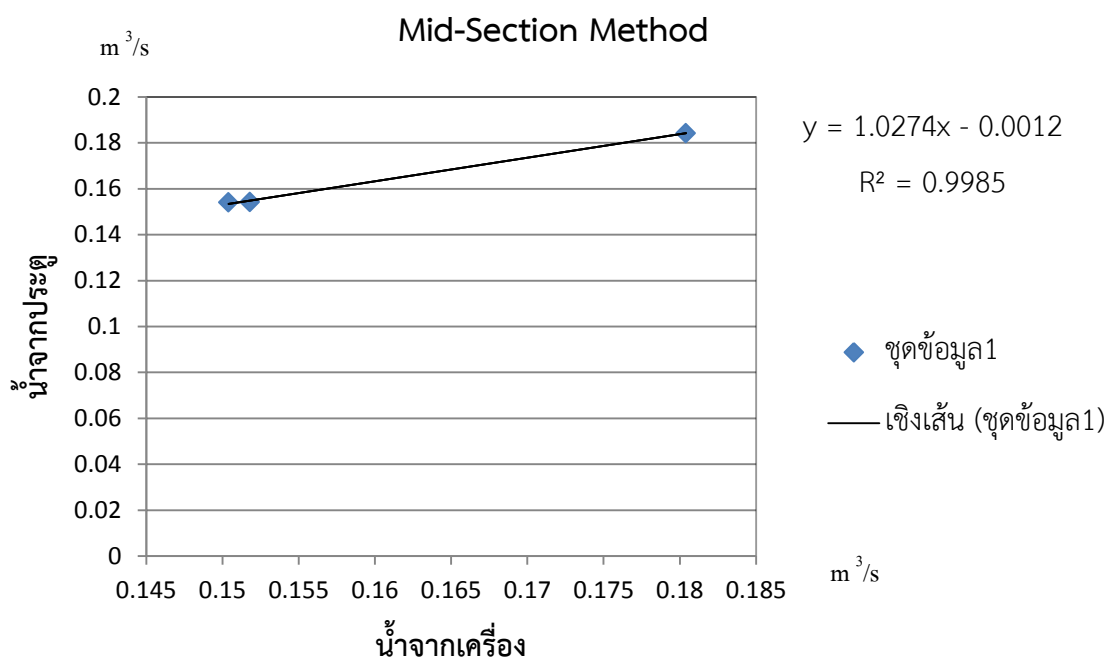
ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) มีค่าต่างกัน บางช่วงคลองลึกหรือ บางช่วงมีซากพืช ขยะ ทราย ดิน หิน ทำให้ประเมินค่า (n) ไม่ถูกต้อง จึงทำให้บางช่วงอัตราการไหลมีค่าไม่คงที่ สำหรับโครงการนี้จึงไม่สามารถนำผลการคำนวณจากสมการ Manning มาใช้ได้

4.1.4 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำจากเครื่องมือวัดและปริมาณน้ำจากประตูระบายน้ำ



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำจากเครื่องมือวัดและปริมาณน้ำจากประตูระบายน้ำ

เปรียบเทียบค่าให้เป็นมาตรฐานจากประตูละบายน้ำกับการคำนวณวิธี



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบเพื่อให้เป็นค่ามาตรฐานของปริมาณน้ำจากเครื่องมือวัดและปริมาณน้ำจากประตูระบายน้ำ

จากรูปที่ 4.6 การเทียบปริมาณน้ำที่เข้าในคลองระหว่างเครื่องมือวัดและประตูระบายน้ำทางปากเข้าคลอง ซึ่งที่ได้คือปริมาณน้ำที่ได้จากเครื่องมือวัดมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำที่ได้จากประตูระบายน้ำ และได้ทำการเปรียบเทียบเพื่อให้เป็นค่ามาตรฐานตามรูปที่ 4.6 ซึ่งได้สมการ $y = 1.0274x - 0.0012$ ซึ่ง y คือปริมาณน้ำที่ปรับแก้แล้ว ส่วน x คือค่าปริมาณน้ำที่ได้จากการคำนวณ Mid-Sections-Method เมื่อปรับแก้แล้ว วันที่ 9 พ.ค. 2560 ได้ 0.1881 เมตร³/วินาที วันที่ 7 มิ.ย. 2560 ได้ 0.1572 เมตร³/วินาที วันที่ 8 มิ.ย. 2560 ได้ 0.1570 เมตร³/วินาที

4.2 การคำนวณปริมาณน้ำที่นำไปใช้

การส่งน้ำของกรมชลประทานส่วนใหญ่จะส่งน้ำให้แก่เกษตรกรนำไปใช้ในการ อุปโภค-บริโภค ทำการเกษตร เลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ซึ่งการใช้ น้ำของสายซอย 1 ขวา มีการใช้ที่หลากหลายรูปแบบ ทั้งใช้ในการ อุปโภคของครัวเรือน เช่น ชักผ้า ล้างจาน อาบน้ำ รีดรีดต่าง ๆ ใช้ในการ ล้างจาน ล้างอุปกรณ์ รถน้ำ ต้นไม้ หญ้า และมีการเติมใส่บ่อน้ำในรีดรีด การเกษตร เช่น นาข้าว พืชผักสวนครัว พืชไร่ ซึ่งในการนำน้ำไปใช้มีหลายวิธี ได้แก่ ท่อส่งน้ำเข้านา (Sluice Gate) กาลักน้ำ ท่อน้ำ ป้อนน้ำ เป็นต้น ซึ่งมีข้อมูลดังต่อไปนี้

4.2.1 ท่อส่งน้ำเข้านา

วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 เวลา 09.30 ถึง 17.00 น.

ตารางที่ 4.7 ตารางปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อส่งน้ำเข้านา

ระยะ กม. 0+508 (1ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0623	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1100	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.6100	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2820	เมตร
ธรณีประตู	0.2700	เมตร
H= D	0.2820	เมตร
h = U - D	0.3280	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0134	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 0+850 (2ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0615	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1100	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.6100	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1000	เมตร
ธรณีประตู	0.0000	เมตร
H= D	0.1000	เมตร
h = U - D	0.5100	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0058	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+160 (1ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0624	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1150	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4200	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.4000	เมตร
ธรณีประตู	0.1650	เมตร
H= D	0.4000	เมตร
h = U - D	0.0200	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0047	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 2+230 (2ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0621	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.2800	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4900	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.4700	เมตร
ธรณีประตู	0.1900	เมตร
H= D	0.4700	เมตร
h = U - D	0.0200	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0055	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+230 (4ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0605	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.2100	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4900	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1000	เมตร
ธรณีประตู	0.1800	เมตร
H= D	0.2820	เมตร
h = U - D	0.3900	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0050	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 2+650 (3ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0623	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1150	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.5300	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3500	เมตร
ธรณีประตู	0.2700	เมตร
H= D	0.3500	เมตร
h = U - D	0.1800	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0123	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 3+030 (3ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0622	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.3850	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3200	เมตร
ธรณีประตู	0.0900	เมตร
H= D	0.3200	เมตร
h = U - D	0.0650	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0067	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+030 (5ข)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d L G \sqrt{2gh}$	
Cd = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0616	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0900	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.3850	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1300	เมตร
ธรณีประตู	0.2150	เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.1700	เมตร
h = Y - 0.6G	0.1160	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0025	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 3+713 (4ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0626	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0200	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4700	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3100	เมตร
ธรณีประตู	0.1200	เมตร
H= D	0.3100	เมตร
h = U - D	0.1600	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0103	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+799 (5ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0623	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0900	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4800	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2500	เมตร
ธรณีประตู	0.1100	เมตร
H= D	0.2500	เมตร
h = U - D	0.2300	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0099	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 4+014 (6ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0618	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.3500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4300	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3900	เมตร
ธรณีประตู	0.1700	เมตร
H = D	0.3900	เมตร
h = U - D	0.0400	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0064	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+314 (7ข)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d L G \sqrt{2gh}$	
Cd = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0616	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0800	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.2900	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.0400	เมตร
ธรณีประตู	0.2400	เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.0500	เมตร
h = Y - 0.6G	0.0020	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0003	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 4+814 (8ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0626	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0300	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.3500	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3400	เมตร
ธรณีประตู	0.3000	เมตร
H= D	0.3400	เมตร
h = U - D	0.0100	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0028	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+964 (9ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0622	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.3700	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1200	เมตร
ธรณีประตู		เมตร
H= D	0.1200	เมตร
h = U - D	0.2500	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0050	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 5+191 (10ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0622	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1050	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4250	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2200	เมตร
ธรณีประตู	0.2400	เมตร
H= D	0.2200	เมตร
h = Y - 0.6G	0.1570	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0072	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 5+224 (ท่อส่งน้ำปลายคลอง)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d L G \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.8891	
L = ความกว้างบานประตู	0.6000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0200	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.5200	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.4000	เมตร
ธรณีประตู		เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.5200	เมตร
h = Y - 0.6G	0.5080	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0337	เมตร ³ /วินาที

วันที่ 7 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 ถึง 13.45 น.

ตารางที่ 4.8 ตารางปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อส่งน้ำเข้านา

ระยะ กม. 0+508 (1ซ)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0620	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1300	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.5500	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2100	เมตร
ธรณีประตู	0.2700	เมตร
H= D	0.2100	เมตร
h = U - D	0.3400	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0101	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 0+850 (2ซ)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0617	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0900	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.5800	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1000	เมตร
ธรณีประตู	0.0000	เมตร
H= D	0.1000	เมตร
h = U - D	0.4800	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0057	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+160 (1ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0619	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.2300	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.3100	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2900	เมตร
ธรณีประตู	0.1650	เมตร
H= D	0.2900	เมตร
h = U - D	0.0200	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0034	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 2+230 (2ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0626	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.5000	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.4700	เมตร
ธรณีประตู	0.1900	เมตร
H= D	0.4700	เมตร
h = U - D	0.0300	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0068	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+230 (4ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0599	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.2800	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.5000	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1000	เมตร
ธรณีประตู	0.1800	เมตร
H= D	0.1000	เมตร
h = U - D	0.4000	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0050	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 2+650 (3ข)		ปิด
ระยะ กม. 3+030 (3ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0625	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0700	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.3900	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3200	เมตร
ธรณีประตู	0.0900	เมตร
H= D	0.3200	เมตร
h = U - D	0.0700	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0070	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 3+030 (5ข)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d LG \sqrt{2gh}$	
Cd = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0616	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0400	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.3900	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1300	เมตร
ธรณีประตู	0.2150	เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.1750	เมตร
h = Y - 0.6G	0.1510	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0013	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+713 (4ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0623	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1000	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.5700	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3100	เมตร
ธรณีประตู	0.1200	เมตร
H = D	0.3100	เมตร
h = U - D	0.2600	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0131	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 3+799 (5ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0625	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0400	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.4700	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2500	เมตร
ธรณีประตู	0.1100	เมตร
H= D	0.2500	เมตร
h = U - D	0.2200	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0097	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+014 (6ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0593	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.3500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.4650	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1000	เมตร
ธรณีประตู	0.1700	เมตร
H= D	0.1000	เมตร
h = U - D	0.3650	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0048	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 4+314 (7ข)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d LG \sqrt{2gh}$	
Cd = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0616	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0250	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.3800	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.0400	เมตร
ธรณีประตู	0.2400	เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.1400	เมตร
h = Y - 0.6G	0.1250	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0007	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+814 (8ข)		
ปิด		
ระยะ กม. 4+964 (9ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0606	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0800	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.2500	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.0400	เมตร
ธรณีประตู		เมตร
H = D	0.0400	เมตร
h = U - D	0.2100	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0015	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 5+191 (10ข)		
ปิด		

ระยะ กม. 5+224 (ท่อส่งน้ำปลายคลอง)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d LG \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.6452	
L = ความกว้างบานประตู	0.6000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.1550	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1700	เมตร
ธรณีประตู		เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.1550	เมตร
h = Y - 0.6G	0.1250	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0303	เมตร ³ /วินาที

วันที่ 8 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 ถึง 12.45 น.

ตารางที่ 4.9 ตารางปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อส่งน้ำเข้านา

ระยะ กม. 0+508 (1ซ)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0621	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.5500	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2700	เมตร
ธรณีประตู	0.2700	เมตร
H = D	0.2700	เมตร
h = U - D	0.2800	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0118	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 0+850 (2ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0621	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1000	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.5800	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1900	เมตร
ธรณีประตู	0.0000	เมตร
H= D	0.1900	เมตร
h = U - D	0.3900	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0098	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 2+160 (1ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0619	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1550	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.3000	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2000	เมตร
ธรณีประตู	0.1650	เมตร
H= D	0.2000	เมตร
h = U - D	0.1000	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0052	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 2+230 (2ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0626	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.5800	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.4100	เมตร
ธรณีประตู	0.1900	เมตร
H= D	0.4100	เมตร
h = U - D	0.1700	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0141	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 2+650 (3ข)		
ปิด		
ระยะ กม. 3+030 (3ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s L D \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0623	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1200	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4000	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.3300	เมตร
ธรณีประตู	0.0900	เมตร
H= D	0.3300	เมตร
h = U - D	0.0700	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0072	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 3+030 (5ข)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d LG \sqrt{2gh}$	
Cd = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0616	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0450	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.4000	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1200	เมตร
ธรณีประตู	0.2150	เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.1850	เมตร
h = Y - 0.6G	0.1580	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0015	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 3+713 (4ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0623	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.1000	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.4500	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.2600	เมตร
ธรณีประตู	0.1250	เมตร
H = D	0.2600	เมตร
h = U - D	0.1900	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0094	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 3+799 (5ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0626	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0450	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4700	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.4000	เมตร
ธรณีประตู	0.1100	เมตร
H= D	0.4000	เมตร
h = U - D	0.0700	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0088	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+014 (6ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0606	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.3500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.4600	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1600	เมตร
ธรณีประตู	0.1700	เมตร
H= D	0.1600	เมตร
h = U - D	0.3000	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0071	เมตร ³ /วินาที

ระยะ กม. 4+314 (7ข)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d LG \sqrt{2gh}$	
Cd = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0616	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0200	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.3500	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.5000	เมตร
ธรณีประตู	0.2400	เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.1100	เมตร
h = Y - 0.6G	0.0980	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0005	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 4+814 (8ข)		
ปิด		
ระยะ กม.4+964 (9ข)		
ลักษณะการไหล	Submerged Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_s LD \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.0613	
L = ความกว้างบานประตู	0.3000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0500	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือน้ำ	0.2200	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.0400	เมตร
ธรณีประตู		เมตร
H= D	0.0400	เมตร
h = U - D	0.1800	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0014	เมตร ³ /วินาที
ระยะ กม. 5+191 (10ข)		
ปิด		

ระยะ กม. 5+224 (ท่อส่งน้ำปลายคลอง)		
ลักษณะการไหล	Free Flow	
สูตรที่ใช้	$Q = C_d LG \sqrt{2gh}$	
Cs = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ	0.6452	
L = ความกว้างบานประตู	0.6000	เมตร
G = ระยะเปิดบาน	0.0700	เมตร
U = ระดับน้ำเหนือหน้า	0.1500	เมตร
D = ระดับน้ำท้ายน้ำ	0.1700	เมตร
ธรณีประตู		เมตร
Y = U - ธรณีประตู	0.1500	เมตร
h = Y - 0.6G	0.1080	เมตร
g	9.8100	เมตร/วินาที ²
Q = ปริมาตรการไหล	0.0394	เมตร ³ /วินาที

4.2.2 นำน้ำไปใช้ด้วยวิธีอื่น ๆ

4.2.2.1 ป้อนสูบน้ำ

การนำน้ำไปใช้ด้วยปั๊มสูบน้ำจะเป็นลักษณะการใช้น้ำรายวันในการอุปโภคหรือการใช้จ่ายประโยชน์ต่าง ๆ เช่น ล้างจาน ชักผ้า รดน้ำต้นไม้และหญ้า เป็นต้น ซึ่งน้ำที่ใช้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.10 ตารางการใช้น้ำจากปั๊มสูบน้ำ วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 เวลา 09.30 – 17.00 น.

ระยะปั๊มน้ำ	ปริมาณน้ำที่นำไปใช้ (เมตร ³ /วินาที)	การใช้ประโยชน์	หมายเหตุ
ระยะ กม. 1+573	0.0000	- ใช้อุปโภค	- ไม่ได้ใช้งาน
ระยะ กม. 1+990	0.0010	- ใช้รดน้ำต้นไม้และหญ้า - เติมใส่บ่อเลี้ยงปลา	- ใช้เฉพาะวันที่ฝนไม่ตก - เปิดใช้ประมาณ 1 ชม./วัน
ระยะ กม. 1+999	0.0004	- ใช้อุปโภค เช่น ชักผ้า ล้างจาน อาบน้ำ	- เปิดใช้ทุกวัน - เปิดใช้ 2-3 ครั้ง/วัน
ระยะ กม. 2+500	0.0000	- ใช้รดน้ำต้นไม้และหญ้า	- ช่วงที่ทำการวัดปิดใช้งาน
ระยะ กม. 2+740	0.0000	- ใช้ล้างจานหรืออุปกรณ์ ชักผ้า	- ไม่ได้เปิดใช้งาน

ตารางที่ 4.11 ตารางการใช้น้ำจากปั๊มสูบน้ำ วันที่ 7 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 – 13.45 น.

ระยะปั๊มน้ำ	ปริมาณน้ำที่นำไปใช้ (เมตร ³ /วินาที)	การใช้ประโยชน์	หมายเหตุ
ระยะ กม. 1+573	0.0000	- ใช้อุปโภค	- ไม่ได้วัด
ระยะ กม. 1+990	0.0010	- ใช้รดน้ำต้นไม้และหญ้า - เติมน้ำบ่อเลี้ยงปลา	- ใช้เฉพาะวันที่ฝนไม่ตก - เปิดใช้ประมาณ 1 ชม./วัน
ระยะ กม. 1+999	0.0004	- ใช้อุปโภค เช่น ชักผ้า ล้างจาน อาบน้ำ	- เปิดใช้ทุกวัน - เปิดใช้ 2-3 ครั้ง/วัน
ระยะ กม. 2+500	0.0000	- ใช้รดน้ำต้นไม้และหญ้า	- ช่วงที่ทำการวัดปิดใช้งาน
ระยะ กม. 2+740	0.0000	- ใช้ล้างจานหรืออุปกรณ์ ซักผ้า	- ช่วงที่ทำการวัดปิดใช้งาน

ตารางที่ 4.12 ตารางการใช้น้ำจากปั๊มสูบน้ำ วันที่ 8 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 – 12.45 น.

ระยะปั๊มน้ำ	ปริมาณน้ำที่นำไปใช้ (เมตร ³ /วินาที)	การใช้ประโยชน์	หมายเหตุ
ระยะ กม. 1+573	0.0000	- ใช้อุปโภค	- ไม่ได้วัด
ระยะ กม. 1+990	0.0010	- ใช้รดน้ำต้นไม้และหญ้า - เติมน้ำบ่อเลี้ยงปลา	- ใช้เฉพาะวันที่ฝนไม่ตก - เปิดใช้ประมาณ 1 ชม./วัน
ระยะ กม. 1+999	0.0004	- ใช้อุปโภค เช่น ชักผ้า ล้างจาน อาบน้ำ	- เปิดใช้ทุกวัน - เปิดใช้ 2-3 ครั้ง/วัน
ระยะ กม. 2+500	0.0000	- ใช้รดน้ำต้นไม้และหญ้า	- ช่วงที่ทำการวัดปิดใช้งาน
ระยะ กม. 2+740	0.0000	- ใช้ล้างจานหรืออุปกรณ์ ซักผ้า	- ช่วงที่ทำการวัดปิดใช้งาน

4.2.2.2 กาลักน้ำและท่อน้ำ

การนำน้ำไปใช้ด้วยปั๊มกาลักน้ำหรือท่อน้ำสูบน้ำจะเป็นลักษณะการนำน้ำไปในการเพาะปลูก ซึ่งพื้นที่เพาะปลูกมีลักษณะต่ำกว่าคลองส่งน้ำ หรือไม่มีท่อส่งน้ำเข้าพื้นที่พื้นที่เพาะปลูกของตนเอง ช่วงที่ทำการวัดน้ำนั้นเป็นช่วงฤดูที่เก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วจึงไม่มีการใช้น้ำจากกาลักน้ำ ส่วนท่อน้ำที่นำน้ำไปใช้นั้น จะเป็นการนำน้ำไปเพื่อเติมน้ำบ่อเลี้ยงปลา หรือเติมน้ำสระน้ำ ซึ่งน้ำที่ใช้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.13 ตารางการใช้น้ำจากท่อน้ำ วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 09.30 – 17.00 น.

ระยะท่อน้ำ	ปริมาณน้ำที่นำไปใช้ (เมตร ³ /วินาที)	การใช้ประโยชน์	หมายเหตุ
2+304 (ท่อ 4 นิ้ว)	0.0000	- นำน้ำไปใช้ในแปลง เพาะปลูก	- ช่วงที่ไปวัดปิดใช้งาน
2+650 (ท่อ 3 นิ้ว)	0.0000	- ใช้รดน้ำต้นไม้และหญ้า - เติมใส่บ่อเลี้ยงปลา	- เปิดใช้งานวันที่ฝนไม่ตก - ช่วงที่ไปวัดปิดใช้งาน
3+005 (ท่อ 4 นิ้ว)	0.0049	- ใช้เติมน้ำใส่บ่อขนาด ใหญ่	- เปิดทุกวัน - เปิดตลอด 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.14 ตารางการใช้น้ำจากท่อน้ำ วันที่ 7 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 – 13.45 น.

ระยะท่อน้ำ	ปริมาณน้ำที่นำไปใช้ (เมตร ³ /วินาที)	การใช้ประโยชน์	หมายเหตุ
2+304 (ท่อ 4 นิ้ว)	0.0000	- นำน้ำไปใช้ในแปลง เพาะปลูก	- ช่วงที่ไปวัดปิดใช้งาน
2+650 (ท่อ 3 นิ้ว)	0.0059	- ใช้รดน้ำต้นไม้/หญ้า - เติมใส่บ่อเลี้ยงปลา	- เปิดใช้งานวันที่ฝนไม่ตก - เปิด 24 ชั่วโมง
3+005 (ท่อ 4 นิ้ว)	0.0036	- ใช้เติมน้ำใส่บ่อขนาด ใหญ่	- เปิดทุกวัน - เปิดตลอด 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.15 ตารางการใช้น้ำจากท่อน้ำ วันที่ 8 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 – 12.45 น.

ระยะท่อน้ำ	ปริมาณน้ำที่นำไปใช้ (เมตร ³ /วินาที)	การใช้ประโยชน์	หมายเหตุ
2+304 (ท่อ 4 นิ้ว)	0.0000	- นำน้ำไปใช้ในแปลง เพาะปลูก	- ช่วงที่ไปวัดปิดใช้งาน
2+650 (ท่อ 3 นิ้ว)	0.0046	- ใช้รดน้ำต้นไม้/หญ้า - เติมใส่บ่อเลี้ยงปลา	- เปิดใช้งานวันที่ฝนไม่ตก - เปิด 24 ชั่วโมง
3+005 (ท่อ 4 นิ้ว)	0.0027	- ใช้เติมน้ำใส่บ่อขนาด ใหญ่	- เปิดทุกวัน - เปิดตลอด 24 ชั่วโมง

4.2.2.3 การสูบน้ำไปทำถนน

จากการซ่อมแซมถนนข้างคลองส่งน้ำนั้นทางผู้รับเหมาได้มีการสูบน้ำไปใช้ ซึ่งในการสูบน้ำนี้จะทำการสูบน้ำหลายจุดตลอดทั้งสาย รถสูบน้ำมีทั้งหมด 2 คัน จะสลับกันสูบน้ำ โดยรถแต่ละคันจะทำการสูบน้ำประมาณ 15 นาที จะสูบน้ำ 2 เทียวต่อวันต่อคัน ซึ่ง 1 คัน จะสูบน้ำได้ประมาณ 13 ลูกบาศก์เมตร และในช่วงที่ทำถนนนั้นเริ่มนำมาคิด 2 วัน ตั้งแต่ วันที่ 7-8 มิถุนายน 2560 ได้ปริมาตรน้ำ คือ 0.0144 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

4.3 ประสิทธิภาพการส่งน้ำ

ประสิทธิภาพการส่งน้ำ คือ ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ จากจุดที่เริ่มต้นส่งน้ำ เช่น อ่างเก็บน้ำ สถานีสูบน้ำหรือแม่น้ำ (ปาก ปตร.) จนถึงปลายคลอง หาได้จากสูตร

$$E_c = \frac{W_f + W_{outlet}}{W_g} \times 100$$

โดยที่ E_c = ประสิทธิภาพการส่งน้ำ เป็นเปอร์เซ็นต์

W_f = ปริมาณน้ำที่เหลือปลายคลองส่งน้ำ หน่วยเป็นความลึกหรือปริมาตร

W_{outlet} = ปริมาณน้ำที่นำออกไปใช้จากคลอง หน่วยเป็นความลึกหรือปริมาตร

W_g = ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองส่งน้ำ หน่วยเป็นความลึกหรือปริมาตร

เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่สูญเสียไป ซึ่งไม่รวมปริมาณที่นำออกไปใช้จากคลอง เช่น การระเหย การรั่วซึม หรืออุปสรรคต่าง ๆ กับปริมาณน้ำที่สูญเสียไปทั้งหมด หาได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้งหมด} - \text{ปริมาณน้ำที่นำออกจากคลอง}}{\text{ปริมาณน้ำที่สูญเสียทั้งหมด}}$$

4.3.1 ประสิทธิภาพการส่งน้ำของคลอง 1 ขวา

วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 ได้ทำการวัดน้ำ จากเวลา 09.30 น. ถึง 17.00 น. ประมาณ 7 ชั่วโมงครึ่ง ซึ่งวันนี้เป็นวันแรกในการทำการวัดน้ำพื้นที่จริงจึงทำให้การทำงานไม่ค่อยราบรื่นมากนัก เนื่องจากยังไม่ทราบว่ามีจุดไหนที่นำน้ำไปใช้บ้างจึงต้องทำการวัดทุก ๆ จุดที่มีการนำน้ำไปใช้ หรือจุดที่คาดว่าจะอุปสรรคในการไหล ทำให้ใช้ระยะเวลาเยอะพอสมควร สภาพอากาศวันนี้ค่อนข้างร้อน และเป็นช่วงใกล้จะเก็บเกี่ยวผลผลิตของนาข้าว จึงทำให้มีการใช้น้ำของนาข้าวน้อย

วันที่ 7 มิถุนายน 2560 ได้ทำการวัดน้ำ จากเวลา 09.00 ถึง 13.45 น. ประมาณ 4 ชั่วโมง 45 นาที ซึ่งเป็นการวัดน้ำวันที่ 2 ทำให้การวัดน้ำทำได้เร็วขึ้น สภาพอากาศวันนี้ตอนกลางวันร้อนมาก แต่ตอนเย็นจะมีฝนตก ช่วงที่ไปวัดน้ำเป็นช่วงที่เก็บเกี่ยวผลผลิตนาข้าวแล้ว และเป็นช่วงฤดูทำให้การส่งน้ำ

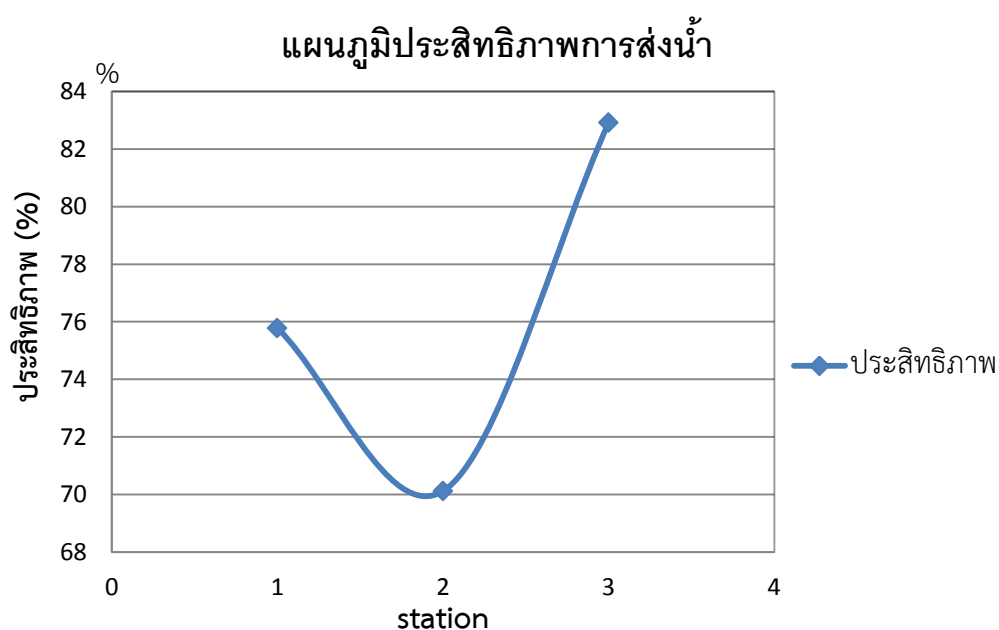
เข้าสู่ระบบเพื่อทำการเลี้ยงคลอง เพราะช่วงนี้ทางกรมชลประทานไม่ได้ส่งน้ำให้ทำการเกษตร ส่วนใหญ่จะใช้น้ำฝนแทน

วันที่ 8 มิถุนายน 2560 ได้ทำการวัดน้ำ จากเวลา 09.00-12.45 น. ประมาณ 3 ชั่วโมง 45 นาที ซึ่งเป็นการวัดน้ำวันที่ 3 ทำให้การวัดน้ำทำได้เร็วขึ้น สภาพอากาศวันนี้ตอนกลางวันร้อนมาก แต่ตอนเย็นจะมีฝนตก ช่วงที่ไปวัดน้ำเป็นช่วงที่เก็บเกี่ยวผลผลิตนาข้าวแล้ว และเป็นช่วงฤดูทำให้การส่งน้ำเข้าสู่ระบบเพื่อทำการเลี้ยงคลอง เพราะช่วงนี้ทางกรมชลประทานไม่ได้ส่งน้ำให้ทำการเกษตร ส่วนใหญ่จะใช้น้ำฝนแทน จากข้อมูลและการคำนวณจึงทำให้วิเคราะห์ผลการปฏิบัติการ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.3.1.1 การคำนวณประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา

ตาราง 4.16 ประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอดสาย 1 ขวา

ครั้งที่	วัน/เดือน/ปี	ปริมาณน้ำ ที่ส่งเข้าสู่ ระบบ (m^3/s)	ปริมาณน้ำ ที่ใช้ (m^3/s)	ปริมาณน้ำที่ เหลือท้าย คลอง (m^3/s)	ประสิทธิภาพ (%)	เปอร์เซ็นต์ การสูญเสีย (%)
1	9 พ.ค. 2560	0.1881	0.1088	0.0337	75.78	29.53
2	7 มิ.ย. 2560	0.1572	0.0799	0.0303	70.50	37.04
3	8 มิ.ย. 2560	0.1570	0.0999	0.0394	83.30	15.05



รูปที่ 4.7 แผนภูมิประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา

4.3.1.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา

จากการศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำของคลองซอย 1 ขวา ได้ทำการเก็บข้อมูล 3 วัน คือ วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 วันที่ 7 มิถุนายน 2560 และ วันที่ 8 มิถุนายน 2560 ซึ่งได้ประสิทธิภาพดังตาราง 4.16 และมีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้สูญเสียประสิทธิภาพ ดังนี้

(1) **สภาพของคลองส่งน้ำ** เป็นคลองส่งน้ำแบบตาดคอนกรีต ซึ่งสภาพคลองส่งน้ำปัจจุบันมีรอยแตกร้าวประมาณ 2-3 เมตร ที่ กม. 1+300 ท้องคลองส่งน้ำมีลักษณะที่แตกต่างกันทุกช่วงตลอดสาย เช่น มีกรวด หิน ทราย และโคลน ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของคลอง จากสมการ Manning มีค่าที่แตกต่างกันออกไปแล้วแต่สภาพท้องคลอง ภายในคลองยังมีก้อนหินขนาดใหญ่ ขยะวัชพืช รวมทั้งมีการนำสิ่งไปกีดขวางทางน้ำเพื่อยกระดับน้ำให้สูงขึ้น และให้น้ำไหลเข้าที่ที่ต้องการ

(2) **การนำน้ำไปใช้ของเกษตรกร ชาวบ้าน และรีสอร์ท** มีการนำน้ำไปใช้ในหลายรูปแบบทั้ง ผ่านท่อส่งน้ำเข้านา ซึ่งท้ายท่อส่งน้ำเข้านาบางจุด มีลักษณะแอ่ง มีหญ้า ใบไม้ ขึ้นปกคลุมและเป็นป่าหญ้าที่รกมาก ทำให้ยากต่อการวัดระดับน้ำท้ายน้ำที่ถูกต้องได้ ส่วนการนำน้ำไปใช้ในรูปแบบอื่น เช่น ปั่น กาลักน้ำ ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณปริมาณน้ำในรูปแบบนี้จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาการใช้งานของแต่ละจุดที่ไม่เท่ากัน และเมื่อสอบถามผู้ที่ใช้น้ำส่วนใหญ่จะไม่ทราบเวลา เปิด-ปิด ที่แน่นอน ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นการประมาณการ

(3) **เครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติในครั้งนี้ค่อนข้างมีข้อจำกัด** คือ มีจุดทศนิยมแค่จุดเดียว เมื่อมีการวัดความเร็วน้ำที่ไหลช้ามาก ๆ หรือมีค่าน้อยกว่าทศนิยมหนึ่งจุด เช่น 0.01 เครื่องจะไม่สามารถวัดได้ ทำให้บางช่วงที่วัดต้องมีการใช้วิธีทวนลอยมาช่วงในการเก็บข้อมูล

ปัจจัยเหล่านี้มีส่วนที่ทำให้การไหลและความเร็วของน้ำเปลี่ยนแปลงตลอดสาย ทำให้การคำนวณประสิทธิภาพคลองส่งน้ำเป็นไปได้ยากและอาจมีการผิดพลาดได้

4.3.2 ประสิทธิภาพการส่งน้ำในแต่ละช่วง

ประสิทธิภาพการส่งน้ำในแต่ละช่วงจะทำการวัดทุกระยะ กม. ที่ 500 ประมาณ 12 จุด ซึ่งในแต่ละจุดจะมีการใช้น้ำที่ต่างกัน แล้วนำมาคำนวณโดย และจะทำให้ทราบว่าปริมาณน้ำที่วัดได้สอดคล้องกับปริมาณน้ำที่นำไปใช้หรือไม่ และสามารถวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพส่งน้ำ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.2.1 การคำนวณประสิทธิภาพการส่งน้ำในแต่ละช่วง

ตาราง 4.17 ประสิทธิภาพการส่งน้ำในแต่ละช่วง วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 เวลา 09.30 – 17.00 น.

ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะน้ำ ที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย
0+000	0+508	ท่อส่งน้ำเข้า นา (1ซ)	0.0134	0.0134	0.1881	0.0152	99.04	11.89
0+600		ไม่มี	0.0000	0.0000	0.1729	0.0145	91.64	100.00
1+000		ไม่มี	0.0000	0.0000	0.1584	0.0097	93.88	100.00
1+500	1+573 0+850 1+990 1+999	ปั๊มน้ำ ท่อส่งน้ำเข้า นา (2ซ) ปั๊มน้ำ ปั๊มน้ำ	0.0000 0.0058 0.0010 0.0004	0.0072	0.1487	0.0352	81.17	79.65
2+000	2+160 2+ 160 2+230 2+230 2+304	ท่อส่งน้ำเข้า นา (1ซ) กาลักน้ำ ท่อส่งน้ำเข้า นา (2ซ) ท่อส่งน้ำเข้า นา (4ซ) ท่อ 4 นิ้ว	0.0047 0.0000 0.0055 0.0050 0.0000	0.0152	0.1136	0.0112	103.50	-35.48
2+500				0.0123	0.1024	0.0212	91.26	42.10

ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะน้ำ ที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย (%)
	2+500 2+650 2+650 2+740	ปั้มน้ำ ท่อ 3 นิ้ว ท่อส่งน้ำเข้า นา (3ช) ปั้มน้ำ	0.0000 0.0000 0.0123 0.0000					
3+000	3+005 3+030 3+030	ท่อ 4 นิ้ว ท่อส่งน้ำเข้า นา (3ช) ท่อส่งน้ำเข้า นา (5ช)	0.0049 0.0067 0.0025	0.0131	0.0811	0.0058	110.34	-145.58
3+500	3+650 3+713 3+799	ท่อส่งน้ำ เข้านา (6ช) ท่อส่งน้ำ เข้านา (4ช) ท่อส่งน้ำ เข้านา (5ช)	0.0000 0.0103 0.0099	0.0202	0.0754	0.0050	120.22	-304.41
4+000	4+014 4+314	ท่อส่งน้ำ เข้านา (6ช) ท่อส่งน้ำ เข้านา (7ช)	0.0064 0.0003	0.0067	0.0703	0.0087	97.23	22.54
4+500	4+814	ท่อส่งน้ำ เข้านา (8ช)	0.0028	0.0078	0.0617	0.0027	108.26	-189.38

ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะน้ำ ที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย
	4+964	ท่อส่งน้ำ เข้านา (9ข)	0.0050					
5+000	5+191	ท่อส่งน้ำ เข้านา (10ข)	0.0072	0.0072	0.0590	0.0204	77.68	64.64
5+224	5+224	ปตร. ปลายคลอง ปตร. ปลายคลอง	0.0337 0.0047	0.0384	0.0386	0.0386	99.40	0.60

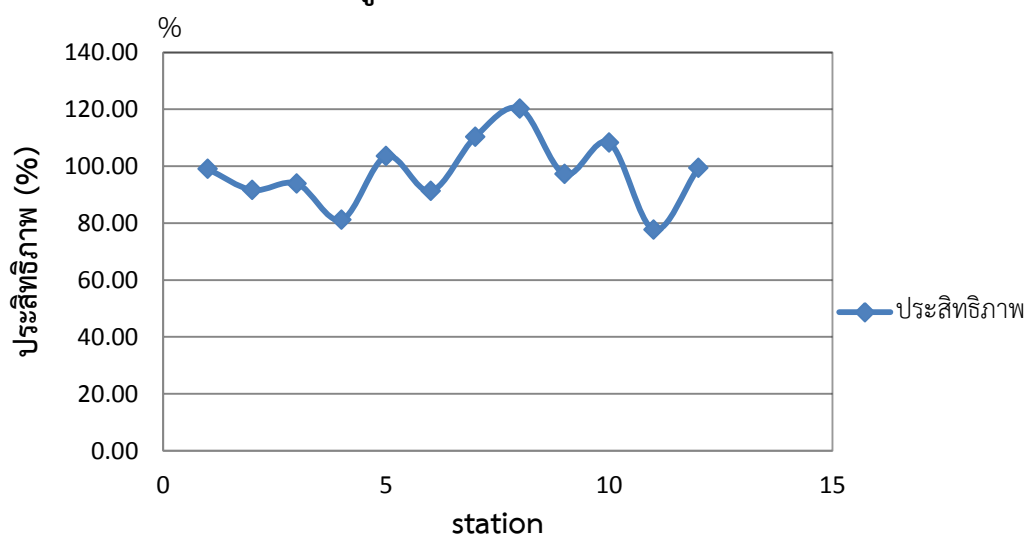
หมายเหตุ :: ค่า 0.0000 คือค่าที่ไม่มีการใช้น้ำหรือปิดการใช้งานที่จุดนั้น ๆ

ค่าเท่ากับ 100% คือ ไม่มีปริมาณน้ำออกจากคลอง

ค่าเกิน 100% คือ ปริมาณน้ำที่ออกมีค่าเกินปริมาณน้ำที่สูญเสีย

ค่าติดลบ คือ ปริมาณน้ำที่ออกมีค่าเกินปริมาณน้ำที่สูญเสีย

แผนภูมิประสิทธิภาพการส่งน้ำ



รูปที่ 4.8 แผนภูมิประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา วันที่ 9 พฤษภาคม 2560

ตาราง 4.18 ประสิทธิภาพการส่งน้ำในแต่ละช่วง วันที่ 7 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 – 13.45 น.

ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะน้ำ ที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย (%)
0+000	0+508	ท่อส่งน้ำเข้า นา (1ซ)	0.0101	0.0101	0.1572	0.0197	93.88	48.81
0+600		ไม่มี	0.0000	0.0000	0.1374	0.0283	79.39	100.00
1+000		ไม่มี	0.0000	0.0000	0.1091	0.0033	96.93	100.00
1+500	1+573 0+850 1+990 1+999	ปั้มน้ำ ท่อส่งน้ำเข้า นา (2ซ) ปั้มน้ำ ปั้มน้ำ	0.0000 0.0057 0.0010 0.0004	0.0071	0.1058	0.0256	82.45	72.61
2+000	2+160 2+ 160 2+230 2+230 2+304	ท่อส่งน้ำเข้า นา (1ซ) กาลักน้ำ ท่อส่งน้ำเข้า นา (2ซ) ท่อส่งน้ำเข้า นา (4ซ) ท่อ 4 นิ้ว	0.0034 0.0000 0.0068 0.0050 0.0000	0.0152	0.0802	0.0123	103.64	-23.83
2+500	2+500 2+650	ปั้มน้ำ ท่อ 3 นิ้ว	0.0000 0.0059	0.0059	0.0679	0.0082	96.63	27.86

ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะน้ำ ที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย (%)
	2+650 2+740	ท่อส่งน้ำเข้า นา (3ข) ปั้มน้ำ	0.0000 0.0000					
3+000	3+005 3+030 3+030	ท่อ 4 นิ้ว ท่อส่งน้ำเข้า นา (3ข) ท่อส่งน้ำเข้า นา (5ข)	0.0036 0.0070 0.0013	0.0119	0.0597	0.0081	106.30	-46.32
3+500	3+650 3+713 3+799	ท่อส่งน้ำ เข้านา (6ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (4ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (5ข)	0.0000 0.0131 0.0097	0.0228	0.0516	0.0048	134.92	-374.05
4+000	4+014 4+314	ท่อส่งน้ำ เข้านา (6ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (7ข)	0.0048 0.0007	0.0055	0.0468	0.0028	105.74	-95.84
4+500	4+814 4+964	ท่อส่งน้ำ เข้านา (8ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (9ข)	0.0000 0.0015	0.0015	0.0440	0.0033	95.82	55.49

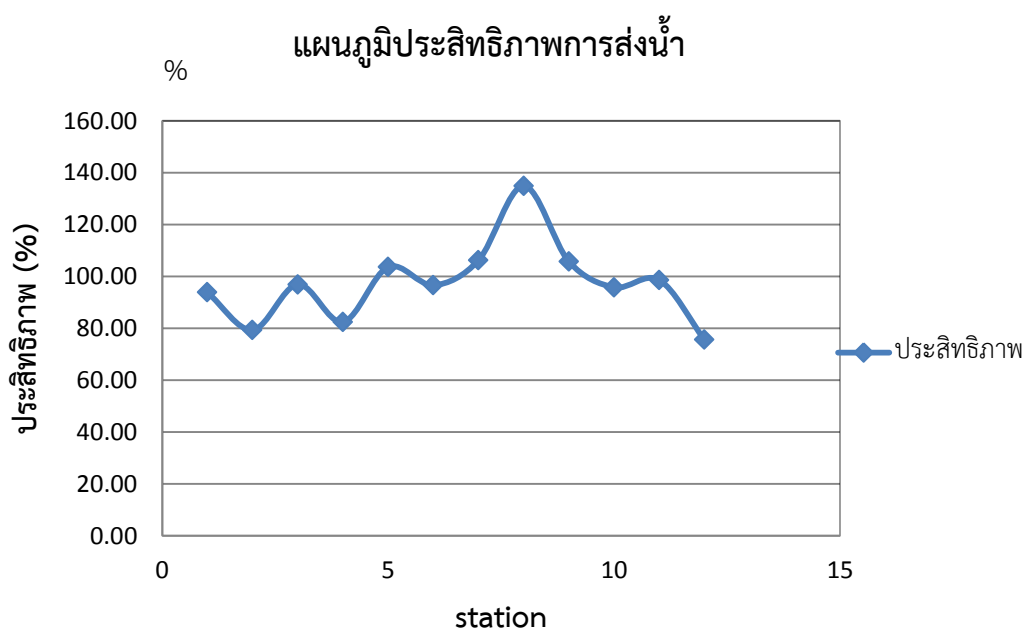
ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะน้ำ ที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย (%)
5+000	5+191	ท่อส่งน้ำ เข้านา (10ข)	0.0000	0.0000	0.0407	0.0006	98.59	100.00
5+224	5+224	ปตร. ปลายคลอง	0.0303	0.0303	0.0401	0.0401	75.59	24.41

หมายเหตุ :: ค่า 0.0000 คือค่าที่ไม่มีการใช้น้ำหรือปิดการใช้งานที่จุดนั้น ๆ

ค่าเท่ากับ 100% คือ ไม่มีปริมาณน้ำออกจากคลอง

ค่าเกิน 100% คือ ปริมาณน้ำที่ออกมีค่าเกินปริมาณน้ำที่สูญเสีย

ค่าติดลบ คือ ปริมาณน้ำที่ออกมีค่าเกินปริมาณน้ำที่สูญเสีย



รูปที่ 4.9 แผนภูมิประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา วันที่ 7 มิถุนายน 2560

ตาราง 4.19 ประสิทธิภาพการส่งน้ำในแต่ละช่วง วันที่ 8 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 – 13.45 น.

ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะ น้ำที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย (%)
0+000	0+508	ท่อส่งน้ำเข้า นา (1ข)	0.0118	0.0118	0.1570	0.0381	83.28	69.02
0+600		ไม่มี	0.0000	0.0000	0.1190	0.0002	99.85	100.00
1+000		ไม่มี	0.0000	0.0000	0.1188	0.0206	82.65	100.00
1+500	1+573 0+850 1+990 1+999	ปั้มน้ำ ท่อส่งน้ำเข้า นา (2ข) ปั้มน้ำ ปั้มน้ำ	0.0000 0.0098 0.0010 0.0004	0.0112	0.0982	0.0138	97.31	19.20
2+000	2+160 2+ 160 2+230 2+230 2+304	ท่อส่งน้ำเข้า นา (1ข) กาลักน้ำ ท่อส่งน้ำเข้า นา (2ข) ท่อส่งน้ำเข้า นา (4ข) ท่อ 4 นิ้ว	0.0052 0.0000 0.0141 0.0055 0.0000	0.0248	0.0844	0.0065	121.70	-282.95
2+500	2+500 2+650	ปั้มน้ำ ท่อ 3 นิ้ว	0.0000 0.0046	0.0046	0.0780	0.0071	96.75	35.49

ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะ น้ำที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย (%)
	2+650 2+740	ท่อส่งน้ำเข้า นา (3ข) ปั๊มน้ำ	0.0000 0.0000					
3+000	3+005 3+030 3+030	ท่อ 4 นิ้ว ท่อส่งน้ำเข้า นา (3ข) ท่อส่งน้ำเข้า นา (5ข)	0.0027 0.0072 0.0015	0.0114	0.0708	0.0093	102.91	-22.06
3+500	3+650 3+713 3+799	ท่อส่งน้ำ เข้านา (6ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (4ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (5ข)	0.0000 0.0094 0.0088	0.0182	0.0615	0.0046	122.15	-298.83
4+000	4+014 4+314	ท่อส่งน้ำ เข้านา (6ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (7ข)	0.0071 0.0005	0.0076	0.0569	0.0048	104.88	-58.02
4+500	4+814 4+964	ท่อส่งน้ำ เข้านา (8ข) ท่อส่งน้ำ เข้านา (9ข)	0.0000 0.0014	0.0014	0.0522	0.0077	87.85	82.08

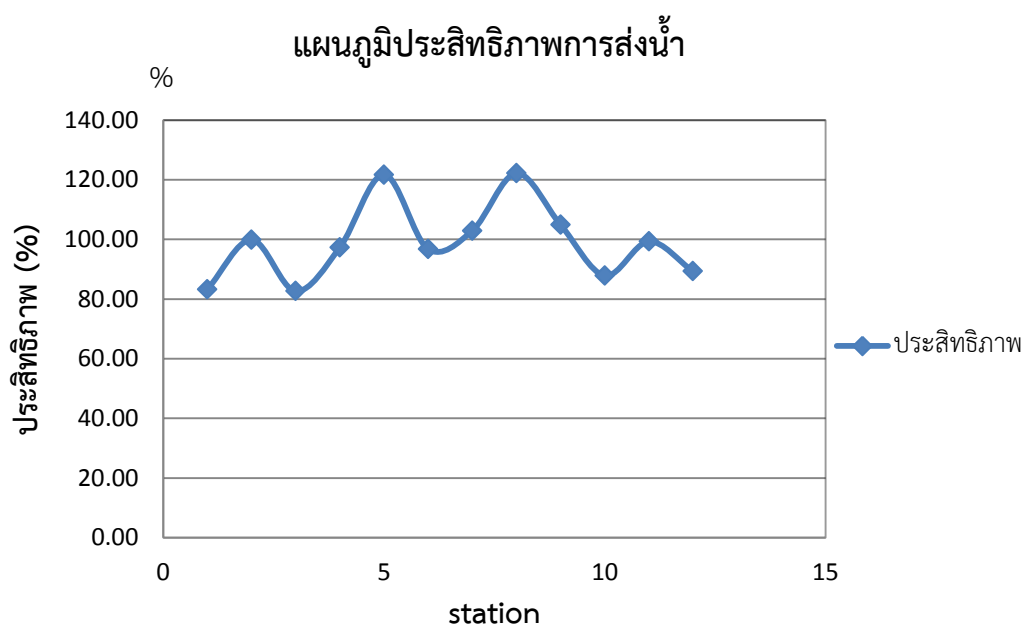
ระยะที่ วัดน้ำ (กม.)	ระยะ น้ำออก (กม.)	ลักษณะ น้ำที่ออก	ปริมาณ น้ำที่ ออก (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำที่ออก ทั้งหมด (m ³ /s)	ปริมาณ น้ำเข้า (m ³ /s)	ผลต่าง ปริมาณ น้ำ 2 จุด (m ³ /s)	ประสิทธิ ภาพ (%)	% การ สูญเสีย (%)
5+000	5+191	ท่อส่งน้ำ เข้านา (10ข)	0.0000	0.0000	0.0444	0.0003	99.28	100.00
5+224	5+224	ปตร. ปลายคลอง	0.0394	0.0394	0.0441	0.0441	89.30	10.70

หมายเหตุ :: ค่า 0.0000 คือค่าที่ไม่มีการใช้น้ำหรือปิดการใช้งานที่จุดนั้น ๆ

ค่าเท่ากับ 100% คือ ไม่มีปริมาณน้ำออกจากคลอง

ค่าเกิน 100% คือ ปริมาณน้ำที่ออกมีค่าเกินปริมาณน้ำที่สูญเสีย

ค่าติดลบ คือ ปริมาณน้ำที่ออกมีค่าเกินปริมาณน้ำที่สูญเสีย



รูปที่ 4.10 แผนภูมิประสิทธิภาพการส่งน้ำตลอด สาย 1 ขวา วันที่ 8 มิถุนายน 2560

4.3.2.2 การวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพการส่งน้ำในแต่ละช่วง

ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพการส่งน้ำ

ระยะที่วัดน้ำ (กม)	การวิเคราะห์ผล
0+000	- ช่วงนี้เป็นช่วงที่มีการนำน้ำไปใช้ที่ชัดเจนเพียงจุดเดียวคือ ท่อส่งน้ำเข้านา (1ข) ซึ่งน้ำส่วนนี้จะนำไปใช้ในการรดหญ้าและต้นไม้ในกรมชลประทาน คลองส่งน้ำในช่วงนี้ถือว่ามีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียค่อนข้างน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการรั่วซึม การระเหย หรือสภาพของท้องคลองที่แตกต่างจากต้นคลอง
0+600	- ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ไม่มีมีการนำน้ำไปใช้ แต่ช่วงนี้จะเป็นการส่งน้ำแบบท่อ ทำให้ยากที่จะวัดประสิทธิภาพได้ และเป็นช่วงที่ไม่มีการใช้น้ำเลยจึงทำให้มีการสูญเสีย 100% ซึ่งก่อนถึงจุดที่ส่งน้ำเข้าท่อน้ำไหลล้นลงไปท่อระบายน้ำ และไม่สามารถคำนวณปริมาณที่น้ำไหลลงไปได้ เนื่องจากไม่สามารถทราบค่าความเร็วของการไหล เมื่อสิ้นสุดการส่งน้ำแบบท่อและไหลไปสู่การส่งน้ำแบบคลอง ทำให้ระดับน้ำไม่สูงมากนัก อีกทั้งสภาพคลองส่งน้ำมีหินขนาดใหญ่ ทำให้กระแสน้ำไหลและความเร็วของน้ำมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้มีการสูญเสียประสิทธิภาพ
1+000	- ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ไม่มีมีการนำน้ำไปใช้ จึงทำให้การสูญเสีย 100% ทำให้ประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำน้อยกว่า 100% แต่ช่วงนี้จะมีรอยแตกรั่วของคลองส่งน้ำยาวประมาณ 2-3 เมตร ซึ่งอาจทำให้น้ำมีการรั่วซึมออกจากคลองส่งน้ำได้
1+500	- ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่มีการนำน้ำไปใช้ในหลายส่วน ทั้งอุปโภคของชาวบ้าน การนำน้ำไปใช้ของรีสอร์ทในการรดน้ำต้นไม้ เต็มใส่บ่อเลี้ยงปลาและมีการใช้ในการเกษตรกรรม (ทำสวนมะม่วง) มีการนำน้ำไปใช้ในหลายลักษณะ เช่น ประตูล่งน้ำเข้านา บั้มทำให้มีประสิทธิภาพน้อยกว่า 100% เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำมาก ซึ่งการสูญเสียเหล่านี้เกิดจากบางช่วงมีการนำอิฐหรือหินมาทตน้ำให้สูงขึ้น เพื่อจะได้สูบน้ำไปใช้ได้ง่ายขึ้น ซึ่งอาจทำให้กระแสน้ำไหลและความเร็วเปลี่ยนแปลงได้ ประกอบกับการนำน้ำออกจากคลองมีหลายรูปแบบและไม่ทราบเวลา เปิด-ปิด การใช้งานที่แท้จริงจึงยากที่จะหาประสิทธิภาพที่ถูกต้องได้

ระยะที่วัดน้ำ (กม)	การวิเคราะห์ผล
2+000	<p>- ช่วงนี้เป็นช่วงที่มีการนำน้ำออกจากคลองซึ่งน้ำส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการเกษตรกรรม โดยท่อส่งน้ำเข้านา และเป็นช่วงที่มีประสิทธิภาพเกิน 100% ซึ่งเกิดจากการนำน้ำออกจากคลองเกินปริมาณที่ส่งมาส่งผลให้ไม่มีการสูญเสียน้ำและมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นอีก นั่นเป็นเพราะว่าสภาพน้ำที่ไหลออกจากประตูส่งน้ำเข้านาจะเป็นการไหลแบบท่วมท้น และน้ำที่อยู่หลังจะมีลักษณะที่เป็นแอ่ง มีใบไม้หรือหญ้าขึ้นปกคลุม หรือบางจุดไม่สามารถเข้าไปวัดได้ เนื่องจากทางที่ไปวัดรกมาก ทำให้ไม่สามารถทราบค่าที่แท้จริง ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพการส่งน้ำมีค่าผิดพลาดได้</p>
2+500	<p>- ช่วงนี้จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า 100% ซึ่งจะมีการใช้น้ำของทางรีสอร์ตในการรดน้ำต้นไม้ หญ้า มีการเติมน้ำลงในสระและบ่อเลี้ยงปลา เป็นการนำไปใช้โดยกักน้ำและปั๊มส่วนที่นำไปใช้ในการเกษตรจะนำไปใช้โดยประตูส่งน้ำเข้านาและยังมีการสูญเสียอื่น ๆ อีก ซึ่งการสูญเสียนั้นอาจเป็นเพราะ สภาพของคลองมีสิ่งกีดขวางทางไหลของน้ำ ลักษณะท้องคลองเป็นโคลนส่วนใหญ่และมีหินเล็กปะปน สภาพคลองหลังประตูรอกและยังมีใบไม้อยู่ในคลองทำให้ไม่สามารถเข้าไปวัดระดับน้ำที่แท้จริงได้</p>
3+000	<p>- ช่วงนี้ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการเกษตรกรรม แต่จะมีการนำน้ำไปใช้ในการเติมน้ำตลอด 24 ชั่วโมงของรีสอร์ต ทำให้มีประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำเกิน 100% ซึ่งมีค่าปริมาณน้ำที่นำออกจากคลองเกินจากช่วงที่ส่งมาก่อนหน้า นั่นเป็นเพราะว่าน้ำที่อยู่หลังประตูส่งน้ำเข้านาเป็นแบบท่วมท้นและลักษณะเป็นแอ่ง ทำให้ยากต่อการวัดระดับน้ำที่แท้จริงประกอบกับการต่อน้ำออกจากคลองโดยตรงไม่ว่าแล้ว เปิด-ปิด อีกทั้งยังมีสิ่งกีดขวางทางไหลของน้ำในคลองด้วย ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพการส่งน้ำมีการคลาดเคลื่อนได้</p>
3+5000	<p>- ช่วงนี้เป็นอีกช่วงที่มีประสิทธิภาพคลองส่งน้ำเกิน 100% เกิดจากปริมาณน้ำที่ออกเกินปริมาณน้ำที่ส่งมาจากช่วงก่อนหน้า ซึ่งน้ำที่นำออกจากช่วงนี้ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการเกษตรกรรม โดยประตูส่งน้ำเข้านา ซึ่งทำให้น้ำจะทำการวัดระดับน้ำยากมาก เพราะมีลักษณะเป็นแอ่ง มีหญ้าและกิ่งไม้ขึ้นปกคลุม ส่วนสภาพท้องคลองจะมีลักษณะเป็นทราย หินขนาดใหญ่ และช่วงประมาณ กม. 3+590 จะมีขยะอุดตันท่อส่งน้ำข้ามถนน ทำให้กระแสน้ำและความเร็วการไหลของน้ำเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพมีการคลาดเคลื่อนได้</p>

ระยะที่วัดน้ำ (กม)	การวิเคราะห์ผล
4+000	- ช่วงนี้น้ำจะออกจากประตูส่งน้ำเข้าคลองเป็นส่วนใหญ่ จะนำไปใช้ในเกษตรกรรมและ เติมบ่อเลี้ยงปลา แต่ยังมีปริมาณน้ำที่สูญเสียไปกับอื่น ๆ อยู่บ้างส่งผลให้ประสิทธิภาพ คลองส่งน้ำน้อยกว่า 100% ซึ่งอาจเกิดจากการนำสิ่งของมาขวางทางไหลของน้ำเพื่อทด น้ำเข้าสู่ประตูส่งน้ำเข้านา หลังประตูน้ำมีลักษณะเป็นแอ่งมีหญ้าขึ้นปกคลุมน้ำในคลองทำ ให้วัดระดับน้ำได้ยาก และสภาพท้องคลองที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งในวันที่ 7-8 มิถุนายน 2560 ช่วง กม. 4+350 มีวัชพืชขึ้นขวางการไหลของน้ำในคลองยาวประมาณ 150 เมตร
4+500	- ช่วงนี้ประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำมีค่าเกิน 100% เกิดจากปริมาณน้ำที่ออกเกินปริมาณ น้ำที่ส่งมาจากช่วงก่อนหน้า ซึ่งปริมาณน้ำที่ออกจากช่วงนี้ส่วนใหญ่จะออกจากประตูต่อ ส่งน้ำเข้านาเพื่อนำไปใช้ในการเกษตรกรรม ซึ่งหลังประตูน้ำมีลักษณะหญ้าขึ้นปกคลุมน้ำ ในคลอง การตัดต้นไม้ทำให้เศษไม้ เศษใบไม้ขวางทางไหลของน้ำทำให้วัดระดับน้ำได้ยาก และประตูต่อส่งน้ำเข้านา (8ข) มีการทุบธรณีประตู ยาวประมาณ 15 เซนติเมตร ทำให้มี น้ำซึมออกจากคลอง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการส่งน้ำมีความคลาดเคลื่อนได้
5+000	- ช่วงนี้น้ำจะออกจากประตูส่งน้ำเข้าคลองเป็นส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการเกษตรกรรม แต่ ยังมีน้ำที่สูญหายอื่นอีก ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำน้อยกว่า 100% การสูญเสีย เหล่านี้เกิดจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น ในวันที่ 9 พฤษภาคม 2560 ความเร็วของน้ำมี การไหลที่ช้ามากบางจุดไม่สามารถใช้เครื่องมือวัดได้ เนื่องจากเครื่องมือที่มีข้อจำกัด คือ มี จุดทดสอบเพียงจุดเดียวเมื่อทำการวัดแล้วเครื่องมือไม่สามารถอ่านค่าความเร็วได้ จึงต้อง ใช้วิธีทุบทรายและจับเวลาการไหลแทน ส่วนวันที่ 7-8 มิถุนายน 2560 มีต้นไผ่หักขวาง ทางการไหลของน้ำ ซึ่งจากปัจจัยดังกล่าวทำให้ประสิทธิภาพการส่งน้ำมีความคลาดเคลื่อน ได้
5+224	- ช่วงนี้เป็นช่วงที่มีการระบายออกจากคลองส่งน้ำสายแยกซอย 1ข จะเป็นการระบายลงสู่ คลองน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งหลังประตูระบายน้ำจะเป็นลักษณะเป็นร่องน้ำตามธรรมชาติมี วัชพืชขึ้นปกคลุม และท้องคลองก่อนถึงประตูระบายน้ำออกมีลักษณะบิ่บตัวหรือมีขนาด เล็กกว่าขนาดที่ออกแบบ ส่งผลให้ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำมีค่าต่ำกว่า 100%อาจเป็น เพราะว่าในวันที่ 9 พฤษภาคม 2560 มีการเปิดบานประตูระบายน้ำน้อยจึงทำให้มีน้ำไหล ท่วมช่องประตูระบายน้ำ ส่วนวันที่ 7-8 มิถุนายน 2560 ระดับน้ำต่ำมากซึ่งสภาพคลองที่มี ลักษณะเป็นหินปนกับทรายอาจส่งผลให้กระแสน้ำเปลี่ยนแปลงได้ และทำให้ ประสิทธิภาพการส่งน้ำมีความคลาดเคลื่อนได้

4.4 ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เบื้องต้น)

4.4.1 สภาพคลองปัจจุบัน

คลองส่งน้ำชลประทานสายซอย 1 ขวา เป็นคลองส่งน้ำแบบตาดคอนกรีต ซึ่งสภาพคลองมีดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.1.1 รอยแตกร้าว

รอยแตกร้าวของคลองส่งน้ำสายนี้ที่เห็นชัดเจน คือรอยแตกร้าว ช่วง กม. 1+300 ยาวประมาณ 2-3 เมตร มี 2 รอยร้าวใกล้เคียงกัน เนื่องจากคลองช่วงนี้มีระดับที่แตกต่างกับระดับถนนพอสมควร จึงเกิดแรงดันของดินข้างที่รับน้ำหนักถนนบนถนนดันคลองให้แตกร้าว ทำให้หน้าตัดของคลองเกิดการเปลี่ยนรูปร่างจากแบบที่สร้าง ดังนั้นความเร็วและกระแสน้ำไหลของน้ำมีการเปลี่ยนแปลง อีกทั้งอาจทำให้เกิดการรั่วซึมของน้ำออกจากคลองได้



รูปที่ 4.11 รูปรอยร้าวของคลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา

4.4.1.2 สภาพท้องคลองส่งน้ำ

สภาพของท้องคลองส่งน้ำสายนี้มีลักษณะที่แตกต่างกันพอสมควร มีทั้งช่วงที่เป็นหินก้อนเล็ก ๆ ปนกับกรวด ประมาณ กม.0+100 ถึง กม. 2+304 ช่วงที่เป็นมีหินและกรวดปะปนเล็กน้อย ส่วนใหญ่จะเป็นโคลน ประมาณ กม. 2+304 ถึง 3+104 ช่วงที่เป็นทรายและหินขนาดใหญ่ ประมาณ กม. 3+104 ถึง กม. 4+430 ช่วงที่เป็นโคลนหรือตะกอนและมีวัชพืชริมคลองจำนวนมาก ประมาณ กม. 4+430 ถึง 4+580 และช่วงที่เป็นทรายปะปนกับหินขนาดเล็ก ประมาณ กม. 4+580 ถึง 5+224 ซึ่งสภาพของท้องคลองเหล่านี้มีความแตกต่างกัน ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ใช้ในสมการ Manning มีค่าที่ต่างกันและมีค่าแตกต่างกับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ออกแบบ ทำให้ยากต่อการเลือกใช้สัมประสิทธิ์และการหาประสิทธิภาพการส่งน้ำที่ถูกต้องได้



รูปที่ 4.12 สภาพท้องคลองที่มีลักษณะเป็นหินขนาดใหญ่



รูปที่ 4.13 สภาพท้องคลองที่มีลักษณะเป็นหินขนาดเล็กปนทราย



รูปที่ 4.14 สภาพท้องคลองที่มีลักษณะเป็นโคลนและมีวัชพืชขึ้นปกคลุม

4.4.1.3 สิ่งกีดขวางทางไหลของน้ำ

สิ่งกีดขวางการไหลของน้ำในคลองสายนี้มีหลายลักษณะ เช่น การกีดขวางของหินขนาดใหญ่ที่มีอยู่หลายช่วงตลอดทั้งสาย การนำกระสอบทราย แท่งคอนกรีต มาขวางน้ำเพื่อยกระดับน้ำให้สูงขึ้น การทิ้งขยะลงคลองทำให้ขยะสะสมอยู่บริเวณท่อลอดถนนช่วง ประมาณ กม. 3+590 มีวัชพืชขึ้นริมคลองเกือบตลอดสายแต่ช่วงที่กีดขวางทางน้ำที่ทำให้หน้าตัดน้ำเปลี่ยนแปลงคือช่วง ประมาณ กม. 4+350 ยาวประมาณ 150 เมตร และยังมีกิ่งไม้หรือต้นไม้ที่มีการขวางทางไหลของน้ำ ช่วงประมาณ กม. 5+125 ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการไหลของน้ำในคลองส่งน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพการส่งน้ำมีความคลาดเคลื่อนได้



รูปที่ 4.15 การนำหินมากีดขวางทางน้ำเพื่อยกระดับน้ำให้สูงขึ้น



รูปที่ 4.16 รูปการนำแท่งคอนกรีตหรือไม้มาขวางทางน้ำเพื่อยกระดับน้ำให้สูงขึ้น



รูปที่ 4.17 วัชพืชขึ้นปกคลุมคลองส่งน้ำ



รูปที่ 4.18 วัชพืชกีดขวางทางไหลของน้ำในท่อลอดถนน



รูปที่ 4.19 ต้นไผ่หักลงไปในคลองแล้วขวางการไหลของน้ำ

4.4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ปฏิบัติงาน

ในการเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสาย 1 ขวา นั้นจะใช้เครื่องวัดความเร็วการไหลของน้ำเป็นส่วนใหญ่ แต่การนำน้ำไปใช้ประโยชน์ของชาวบ้านทั้งสองฝั่งคลองไม่ว่าจะเป็น ชาวบ้านที่ใช้ในการอุปโภค ไร่สวนที่ใช้ในการรดน้ำหญ้า ต้นไม้ เต็มใส่บ่อเลี้ยงปลา รวมทั้งใช้ล้างจานหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ และใช้ในการเกษตรกรรม ซึ่งการนำน้ำไปใช้จะมีหลายช่องทาง เช่น ท่อส่งน้ำเข้า บั่บสูบน้ำ กาลักน้ำ และท่อผีหรือท่อที่ไม่มีวาล์ว เปิด-ปิด ดังนั้นการเก็บข้อมูลก็จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป

4.4.2.1 เครื่องมือที่ใช้วัดความเร็ว

เครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วคือ เครื่องวัดความเร็วการไหลของน้ำ FP101-102 ซึ่งเครื่องนี้จะเป็นเครื่องที่วัดแล้วได้ค่าความเร็วการไหลของน้ำ แต่ยังมีข้อจำกัด คือ เครื่องมีจุดทศนิยมเพียงจุดเดียว เมื่อมีการวัดความเร็วน้ำที่การไหลที่ช้ามาก ๆ หรือมีความเร็วน้อยกว่าทศนิยมหนึ่งตำแหน่ง เช่น 0.01 เครื่องนี้จะไม่สามารถวัดได้และค่าที่ขึ้นที่หน้าจอจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจุดเหล่านี้จึงต้องมีการใช้วิธีทุ่นลอยมาช่วยในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

4.4.2.2 ท่อส่งน้ำเข้านา

วิธีใช้ท่อส่งน้ำเข้านาเป็นวิธีที่นำน้ำไปใช้ในการเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งพื้นที่สำหรับการเกษตรของคลองส่งน้ำสายนี้ส่วนใหญ่จะเป็นการทำสวนผลไม้มากกว่าการทำนาข้าว มีท่อส่งน้ำเข้านาทั้งหมด 15 จุด เป็นท่อส่งน้ำเข้านาฝั่งซ้าย 5 จุด ฝั่งขวาอีก 10 จุด ท่อส่งน้ำเข้านาบางจุดที่บริเวณท้ายน้ำมีลักษณะเป็นแอ่ง มีพืชหรือใบไม้ปกคลุมการไหลของน้ำในคลอง มีลักษณะเป็นป่า ไม่สามารถเข้าไปวัดระดับทำน้ำที่แท้จริงได้ และไม่มีการสอบเทียบท่อส่งน้ำเข้านาเพื่อหาสัมประสิทธิ์การไหลผ่าน สำหรับท่อส่งน้ำเข้านาที่มีลักษณะดังกล่าว ได้แก่ ท่อส่งน้ำเข้านา 3ข 4ข 5ข 1ข 2ข 3ข 4ข 5ข 6ข 7ข และ 8ข ส่งให้การคำนวณปริมาณน้ำและประสิทธิภาพการส่งน้ำเป็นไปได้ยากหรืออาจมีข้อผิดพลาดได้



รูปที่ 4.20 สภาพน้ำหลังท่อส่งน้ำเข้านามีลักษณะเป็นแอ่งและมีวัชพืชขึ้นปกคลุม



รูปที่ 4.21 สภาพน้ำหลังท่อส่งน้ำเข้านามีลักษณะมีวัชพืชขึ้นปกคลุมจนไม่สามารถเห็นสภาพคลอง



รูปที่ 4.22 สภาพน้ำหลังท่อส่งน้ำเข้านามีลักษณะใบไม้หล่นลงคลองกีดขวางทางไหลของน้ำ



รูปที่ 4.23 สภาพน้ำหลังท่อส่งน้ำเข้านามีลักษณะเป็นวัชพืชขึ้นปกคลุมและตัดไม้กีดขวางทางไหลของน้ำ

4.4.2.3 ประตูประบายน้ำ

ประตูประบายน้ำของคลองสายนี้จะมี 2 จุด คือ จุดที่รับน้ำเข้าสู่คลองซอย 1 ขวา และ จุดที่ปล่อยระบายน้ำออกที่ปลายคลอง ซึ่งประตูประบายน้ำที่จุดรับน้ำเข้าสู่คลอง 1 ขวา ทางกรมชลประทานได้มีการสอบเทียบทุกปี เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านประตู แต่ประตูที่ปลายคลองไม่มีการสอบเทียบจึงทำให้ไม่ทราบค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านประตูที่แท้จริง สภาพหลังประตูมีหญ้าขึ้นปกคลุมและเป็นแบบธรรมชาติ อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพไม่เป็นไปตามจริง



รูปที่ 4.24 ประตูประบายน้ำเข้าสู่คลองและท้ายประตูประบายน้ำ



รูปที่ 4.25 ประตูประบายน้ำปลายคลองที่ระบายออกจากระบบและท้ายประตูประบายน้ำ

4.4.2.4 ปิ๋มสูบน้ำ

การใช้น้ำโดยปิ๋มสูบน้ำ ส่วนใหญ่จะใช้ในการอุปโภคของครัวเรือน ใช้ในรีสอร์ตเพื่อรดน้ำต้นไม้ หยู้า และใช้ล้างอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งมีทั้งหมด 5 จุด เป็นการใช้ น้ำของชาวบ้าน 1 จุด ส่วนอีก 4 จุดจะเป็นของรีสอร์ต แต่ละจุดมีการใช้ที่แตกต่างกัน ในส่วนของครัวเรือนนั้นมีการเปิดใช้ทุกวัน วันละ 2-3 ชั่วโมง ส่วนของรีสอร์ตจะเปิดใช้ในวันที่ฝนไม่ตก เพื่อรดหยู้าและต้นไม้ภายในรีสอร์ตประมาณวันละ 1 ชั่วโมง ซึ่งในช่วงที่ไปวัดน้ำรีสอร์ตไม่มีการเปิดใช้งาน ในการใช้น้ำของปิ๋มนี้ทำให้ทราบปริมาณที่แท้จริงได้แต่ไม่สามารถทราบเวลาที่เปิดใช้น้ำจริงได้ จึงต้องใช้การประมาณเวลาทำให้ได้ค่าปริมาณน้ำที่ไม่เป็นจริง ส่งผลให้ประสิทธิภาพมีค่าคลาดเคลื่อนได้



รูปที่ 4.26 ปิ๋มสูบน้ำที่สูบน้ำไปใช้

4.4.2.5 กาลักน้ำและท่อน้ำไม่มีวาล์ว เปิด-ปิด

การนำน้ำไปใช้ของชาวบ้านที่อยู่ริมคลองส่วนใหญ่จะนำน้ำไปใช้ด้วยวิธีการักน้ำ เพราะบางพื้นที่ไม่มีท่อน้ำเข้านา ทำให้ชาวบ้านใช้วิธีนี้เพื่อนำน้ำไปสู่แปลงเพาะปลูกของตนเอง ซึ่งกาลักน้ำตลอดทั้งสายมีจำนวนเยอะมาก แต่ช่วงที่ไปวัดน้ำไม่มีการเปิดใช้กาลักน้ำ เพราะว่าเป็นช่วงที่ใกล้เก็บเกี่ยวผลผลิตของนาข้าว และบวกกับช่วงนั้นมีฝนตกด้วยจึงทำให้ชาวบ้านไม่มีการเปิดใช้งาน ส่วนน้ำที่นำไปใช้จากท่อน้ำจะเป็นการนำน้ำไปใช้ของรีสอร์ตเป็นส่วนใหญ่ น้ำส่วนนี้จะนำไปเติมใส่บ่อของรีสอร์ตที่มีการเลี้ยงปลา และนำไปใช้ในการรดน้ำต้นไม้และหยู้า ซึ่งถ้ามีการเปิดใช้งานจะเปิดตลอด 24 ชั่วโมง แต่ถ้าช่วงไหนที่น้ำเต็มบ่อหรือฝนตกจะมีการปิดใช้งาน จึงทำให้ไม่ทราบเวลา เปิด-ปิด การใช้งานที่แท้จริง ดังนั้นจึงต้องใช้การประมาณการ ส่งผลให้ค่าที่ได้อาจไม่จริง



รูปที่ 4.27 กาลักน้ำ

4.4.3 ปัจจัยที่ยากต่อการควบคุม

4.4.3.1 การระเหย

การระเหยเป็นค่าที่ยากต่อการควบคุมได้ เพราะการระเหยจะแปรผันกับอุณหภูมิและสภาพอากาศของบริเวณนั้น ตลอดระยะเวลาที่ทำการวัดน้ำในแต่ละวัน สภาพอากาศจะมีแดดและครีမ်สลับกัน และทางกลุ่มผู้ศึกษาไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการระเหย จึงใช้การประมาณการว่าการระเหยมีผลแต่ไม่มากนัก

4.4.3.2 การรั่วซึม

จากการเก็บข้อมูลภาคสนามและการสังเกต ทำให้ทราบว่าคลองส่งน้ำสายซอย 1 ขวา มีรอยแตกร้าว 2 จุด ช่วงประมาณ กม. 1+300 เป็นรอยยาวประมาณ 1-2 เมตร ทำให้อาจมีการรั่วซึมของน้ำจากคลองได้ แต่ช่วงที่ทำการวัดเป็นช่วงต้นฤดูฝนและมีฝนตกด้วย จึงทำให้ดินน่าจะมีความชุ่มชื้นน้ำอาจทำให้เกิดการรั่วซึมน้อยหรือไม่รั่วซึม อีกอย่างมีการรั่วซึมจากการทุบธรณีประตูของท่อส่งน้ำ 8x และการรั่วซึมจากการปิดประตูท่อส่งน้ำไม่สนิทหรือมีการไหลออกจากช่องว่างระหว่างประตู ซึ่งค่าเหล่านี้ยากที่จะค่าที่เป็นจริงทำให้ประสิทธิภาพการส่งน้ำอาจมีความคลาดเคลื่อนได้

4.5 แนวทางในการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เบื้องต้น)

ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพการส่งน้ำจะมี 2 ลักษณะ คือ สามารถควบคุมได้ และไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ คือ การระเหย สำหรับการระเหยนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สภาพอากาศ และพื้นที่สัมผัสกับอากาศ ดังนั้นวิธีลดปัจจัยนี้จึงทำในทางปฏิบัติได้ยาก ส่วนปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ มีแนวทางการแก้ไขดังต่อไปนี้

1. ควรมีการตรวจสอบสภาพคลองส่งน้ำให้สม่ำเสมอ และดูแลซ่อมแซมคลองส่งน้ำในส่วนที่ชำรุดหรือมีรอยแตกร้าว

2. ควรมีการตรวจสอบสภาพการไหลของน้ำในคลองว่ามีอะไรมาขวางทางการไหล หรือการไหลของน้ำเป็นปกติหรือไม่

3. ควรมีการตัดหญ้าหรือวัชพืช และมีการขุดลอกคลองเป็นประจำสม่ำเสมอ

4. มีการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของคลอง ประตูปะบายน้ำ และท่อส่งน้ำเข้านา

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำชลประทาน (เบื้องต้น) ของคลองซอย 1 ขวา ในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล ต.หินตั้ง อ.เมือง จ.นครนายก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.1 ข้อมูลการส่งน้ำชลประทาน

จากการสำรวจ สอบถามเจ้าหน้าที่กรมชลประทานและชาวบ้านที่ใช้น้ำจากการส่งน้ำชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก พบว่า การส่งน้ำส่วนใหญ่จะเน้นการส่งเพื่อการเกษตรเป็นส่วนใหญ่ แต่ยังมีการนำน้ำไปใช้นอกเหนือจากการเกษตรบ้าง เช่น การอุปโภคของชาวบ้านและรีสอร์ทที่อยู่ริมคลองส่งน้ำ จะนำน้ำไปใช้ในการอาบน้ำ ชักผ้า ล้างจาน รดน้ำต้นไม้ เติมน้ำเลี้ยงปลา เป็นต้น ก่อนถึงฤดูกาลเพาะปลูกกรมชลประทานจะประชุมร่วมกับกลุ่มผู้ใช้น้ำร่วมกันทำแผนการส่งน้ำในแต่ละช่วงและทำข้อตกลง เงื่อนไขเกี่ยวกับการส่งน้ำ การส่งน้ำของกรมชลประทานจะจัดส่งน้ำตามที่กลุ่มผู้ใช้น้ำร้องขอในทุก ๆ วัน ตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนสู่ระบบชลประทาน (คลองสายใหญ่) จะรวมเป็นตัวเลขที่กลุ่มผู้ใช้น้ำร้องขอในแต่ละวันและต่อจากนี้ไปทางกลุ่มผู้ใช้น้ำต้องมีการบริหารจัดการจัดสรรน้ำเอง โดยการเปิดประตูระบายน้ำปากคลองซอยเพื่อให้ น้ำเข้าสู่คลองซอยตามปริมาณที่ตนเองต้องการ

5.1.2 ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เบื้องต้น)

จากการเก็บข้อมูลในการนำมาวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพการส่งน้ำ (เบื้องต้น) นั้นได้เก็บข้อมูล 3 วัน คือ วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 วันที่ 7 และ 8 มิถุนายน 2560 ช่วงนี้ทางกรมชลประทานได้มีการซ่อมแซมคลองส่งน้ำทุกสายยกเว้นคลองส่งน้ำชลประทานสายซอย 1 ขวา และช่วงนี้ยังเป็นต้นฤดูฝนทำให้ทางกรมชลประทานไม่ได้ส่งน้ำให้กับเกษตรกรเพื่อทำการเพาะปลูกจะให้น้ำฝนแทน แต่ทางกรมชลประทานยังมีการส่งน้ำเพื่อไปเลี้ยงคลอง ดังนั้นจากการศึกษาประสิทธิภาพคลองส่งน้ำโดยการหาปริมาณน้ำที่เข้าสู่ระบบและปริมาณน้ำที่นำออกไปใช้ ซึ่งปริมาณที่นำเข้าจะใช้การคำนวณปริมาณน้ำที่ได้จากเครื่องวัดความเร็วการไหลของน้ำ FP101-102 ได้มีการเปรียบเทียบกับน้ำที่ไหลเข้าผ่านประตูระบายน้ำที่ไหลเข้าสู่คลอง 1 ขวา ที่กรมชลประทานได้มีการสอบเทียบเครื่องมืออยู่เป็นประจำ ค่าที่ได้ทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน (ต่างกันประมาณ 2%) ซึ่งค่าที่ได้จากประตูระบายน้ำ คือ 0.1804 0.1518 และ 0.1504 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดความเร็วการไหลของน้ำ FP101-102 คือ 0.1842 0.1541 และ 0.154 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับของวันข้างต้น ดังนั้นกลุ่มผู้ศึกษาจึงใช้วิธีการเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ค่าที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งได้สมการเพื่อใช้ในการคูณเพื่อที่จะได้ค่าที่แน่นอนมากขึ้น

ส่วนการนำน้ำออกจากระบบก็จะมีหลายรูปแบบ ได้แก่ ท่อส่งน้ำเข้านา ป้อนสูบน้ำ ท่อน้ำ กาลักน้ำ และรถสูบน้ำ ซึ่งการคำนวณปริมาณน้ำออกจะมีความแตกต่างกันไปตามรูปแบบดังกล่าว

จากการศึกษาประสิทธิภาพคลองส่งน้ำพบว่า วันที่ 9 พฤษภาคม 2560 มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 75.78 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งวันนี้ยังมีการส่งน้ำไปใช้เพื่อการเกษตรทำให้มีปริมาณน้ำเข้าและมีการนำน้ำออกไปใช้อยู่บ้าง แต่เป็นช่วงที่ใกล้เก็บเกี่ยวผลผลิตของนาข้าว ส่วนวันที่ 7 - 8 มิถุนายน 2560 มีประสิทธิภาพคือ 70.50 และ 83.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพคลองส่งน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เข้าในระบบและน้ำที่นำไปใช้ที่มีค่าที่ใกล้เคียงกันหรือปริมาณน้ำที่ต้นคลองมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณน้ำท้ายคลอง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วยากที่จะหาประสิทธิภาพการส่งน้ำที่แท้จริงได้ เพราะการนำน้ำออกไปใช้มีหลากหลายรูปแบบไม่สามารถหาค่าปริมาตรน้ำใช้ที่แน่นอนได้ และการศึกษาประสิทธิภาพการส่งน้ำนั้นจะต้องมีการศึกษาให้ครอบคลุมทั้งฤดูกาล เพราะประสิทธิภาพการส่งน้ำของแต่ละฤดูไม่เท่ากัน การนำน้ำไปใช้ของพืชในแต่ละช่วงไม่เท่ากัน และยังมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพได้

5.1.3 ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพคลองส่งน้ำ

จากการการศึกษาประสิทธิภาพคลองส่งน้ำชลประทานของคลองสาย 1 ขวา พบว่าวันที่ 9 พฤษภาคม 2560 ยังมีการส่งน้ำไปใช้ในการเกษตรอยู่บ้างทำให้ระดับน้ำในคลองสูง แต่ท้ายคลองมีการเปิดบานระบายน้ำน้อยจึงทำให้น้ำเอ่อท้นกลับและทำให้ความเร็วการไหลของน้ำช้ามากจนทำให้เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองไม่สามารถวัดค่าได้ แต่วันที่ 7-8 ไม่ได้ส่งน้ำไปใช้ในการเกษตร ทำให้ระดับน้ำในคลองต่ำในบางช่วง ดังนั้นจากประสิทธิภาพการส่งน้ำทำให้สามารถวิเคราะห์หาปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพคลองส่งน้ำได้แล้วพบว่า

สภาพคลองส่งน้ำในปัจจุบันมีผลต่อประสิทธิภาพ เนื่องจากสภาพท้องคลองมีลักษณะที่แตกต่างกันในหลายช่วงตลอดความยาวคลอง เช่น มีหินก้อนใหญ่ หินก้อนเล็ก กรวด ทราย และโคลน ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ใช้ในสมการ Manning มีค่าไม่เท่ากันและเปลี่ยนแปลงในหลายช่วง อีกทั้งยังมีสิ่งกีดขวางทางไหลของน้ำ เช่น วัชพืชริมคลอง ขยะ หินก้อนใหญ่ ซากไม้หรือต้นไม้ที่หักลงไปในคลอง และการนำแท่งคอนกรีตมาขวางทางไหลของน้ำ ส่งผลให้หน้าตัดการไหล ความเร็ว และทิศทางการไหลของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไปจากปกติ และสภาพคลองก็ยังมีรอยแตกร้าวยาวประมาณ 2-3 เมตร ในช่วงประมาณ กม. 1+300 ซึ่งอาจทำให้เกิดการรั่วซึมของน้ำในคลองได้ ในการศึกษาประสิทธิภาพคลองส่งน้ำครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดของความสามารถของเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วการไหลของน้ำ คือ เครื่องมือมีทศนิยมเพียงจุดเดียว ถ้ามีการวัดความเร็วการไหลของน้ำที่ไหลช้ามาก หรือค่าที่วัดมีค่าน้อยกว่าทศนิยมหนึ่งตำแหน่ง เช่น 0.01 เครื่องวัดจะไม่สามารถอ่านค่าได้ ทำให้ต้องใช้การปล่อยทุ่นลอย และอุปสรรคอีกอย่างที่เป็นปัญหาสำคัญในการปฏิบัติการครั้งนี้ คือ การวัดระดับท้ายน้ำที่ไหลออกจากท่อส่งน้ำเข้านา เพราะว่าท้ายน้ำของท่อส่งน้ำเข้านาหลายจุดมีลักษณะเป็น แอ่ง มีเศษไม้ เศษใบไม้ และหญ้า

ขึ้นปกคลุมและขัดขวางการไหลของน้ำ อีกทั้งการเข้าไปวัดระดับทำน้ำทำได้ยากเนื่องจากมีลักษณะเป็นป่าหญ้าที่รกและสูงทำให้ไม่รู้ระดับน้ำที่แท้จริง

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพอีกประการหนึ่ง คือ การระเหยและการรั่วซึม ซึ่งเป็นปัจจัยที่นอกเหนือจากขอบเขตที่กำหนดและไม่สามารถวัดได้เพราะว่าการระเหยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสภาพอากาศ ส่วนการรั่วซึมนอกจากจะมีรอยร้าวที่เห็นชัดเจนแล้วแต่อาจมีการรั่วซึมที่รอยต่อของการตาดคลอง ประกอบกับกลุ่มผู้ศึกษาไม่มีอุปกรณ์ในการวัดการระเหยจึงยากที่จะประมาณการได้ และสภาพอากาศในแต่ละช่วงของวันที่วัดน้ำมีความแตกต่างกัน โดยในช่วงกลางวันจะมีแดดแรงและอากาศค่อนข้างร้อนแต่ช่วงเย็นจะมีฝนตก สำหรับการระเหยของน้ำในคลองอาจส่งผลต่อการสูญเสียประสิทธิภาพการส่งนํ้าน้อยเมื่อเทียบกับส่วนอื่น ๆ

5.1.4 แนวทางการแก้ไข

สำหรับแนวทางในการแก้ปัญหาของปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพการส่งนํ้าในทางกรมชลประทานได้มีการจัดสรรในการแก้ปัญหาแล้วไม่ว่าจะเป็น การตัดหญ้าที่อยู่ริมคลอง การลอกคูคลอง แต่อาจยังมีการทำไม่ทั่วถึงและช่วงที่ไปวัดดส่งน้ำชลประทานให้แก่การเกษตรกรรม ดังนั้นควรมีเจ้าหน้าที่ทำการสำรวจตรวจสอบสภาพคลองส่งน้ำเป็นประจำอย่างสม่ำเสมอว่ามีปัญหาอะไรหรือไม่ มีการตรวจสอบประสิทธิภาพหรือสอบเทียบอุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นประตูระบายน้ำหรือท่อส่งน้ำเข้านา และมีการทดสอบประสิทธิภาพการชลประทานในด้านต่าง ๆ มากยิ่งขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เสนอแนะให้มีระยะในการศึกษาประสิทธิภาพที่นานกว่านี้และศึกษาให้ครอบคลุม เพราะการศึกษาประสิทธิภาพการส่งนํ้าจะต้องมีการศึกษาให้ครอบคลุมทั้งฤดูกาล เพราะประสิทธิภาพการส่งน้ำของแต่ละฤดูไม่เท่ากัน และการนำน้ำไปใช้ของพืชในแต่ละช่วงไม่เท่ากัน

2. เสนอแนะให้มีการศึกษาประสิทธิภาพด้านอื่น ๆ ด้วย เช่น ประสิทธิภาพการชลประทาน ประสิทธิภาพการให้น้ำแก่พืช ประสิทธิภาพคลองส่งน้ำ (กรณีไม่มีการนำน้ำออกจากคลอง) เป็นต้น เพราะจะทำให้สามารถต้องสอบได้ว่า ประสิทธิภาพการส่งน้ำมีความสอดคล้องกับการใช้น้ำหรือไม่

3. เสนอแนะให้มีการเลือกใช้เครื่องมือที่มีมาตรฐานควรและให้มีข้อบกพร่องหรือข้อผิดพลาดน้อยที่สุด

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. *คลองส่งน้ำและอาคารประกอบ เล่ม 1/2*. นครนายก: โครงการเขื่อนขุนด่านปราการชล กรมฯ.

กิริติ ลีวัจนกุล. (2539). *วิศวกรรมชลศาสตร์*. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต

กิริติ ลีวัจนกุล. (2539). *วิศวกรรมชลศาสตร์*. สืบค้นเมื่อ 12 มกราคม 2560, จาก

<http://202.129.59.73/wm/Water/WATER82/water82.pdf>

ชัตติยา เทียงจิตย์. (2560, 22 กรกฎาคม). สัมภาษณ์โดย พรรณวดี เนตรระการ, ที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก

ชาญยุทธ วรรณนท์. (2560, 22 กรกฎาคม). สัมภาษณ์โดย วชิรี ดวงพล, ที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก

ณัฐวดี แยมสาย. (2560, 12 กรกฎาคม). สัมภาษณ์โดย วีรยุทธ จุลศรี, ที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา เขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก

ปราโมท พลพณะนาว. (2554). *หลักการคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทาน*. สืบค้นเมื่อ 13 มกราคม 2560, จาก

http://kmcenter.rid.go.th/kmc08/km_56/cko/news56_pramoht.pdf

ปราโมท พลพณะนาว. (2554). *หลักการคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทาน*. สืบค้นเมื่อ 13 มกราคม 2560, จาก [https://www.scribd.com/doc/87013579 A1-2555](https://www.scribd.com/doc/87013579/A1-2555)

รวิรัชต์ รักขันธ. (๒๕๕๘). *องค์ประกอบของระบบชลประทาน*. สืบค้นเมื่อ ๑๒ มกราคม ๒๕๖๐, จาก <http://natres.psu.ac.th/Department/plantscience>

วิบูลย์ บุญยธโรกุล. (2526). *หลักการชลประทาน*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์เอเชีย

ภาคผนวก ก

(การวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐานของเครื่องมือ/ประตูละบายน้ำ)

ภาคผนวก ก

1 การวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐานของเครื่องมือ

ผลการวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐาน เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102 กับรางวัดน้ำ
ความกว้างของราง (B) = 0.30 ม.

ความลาดชัน (SlopeX = 0.00

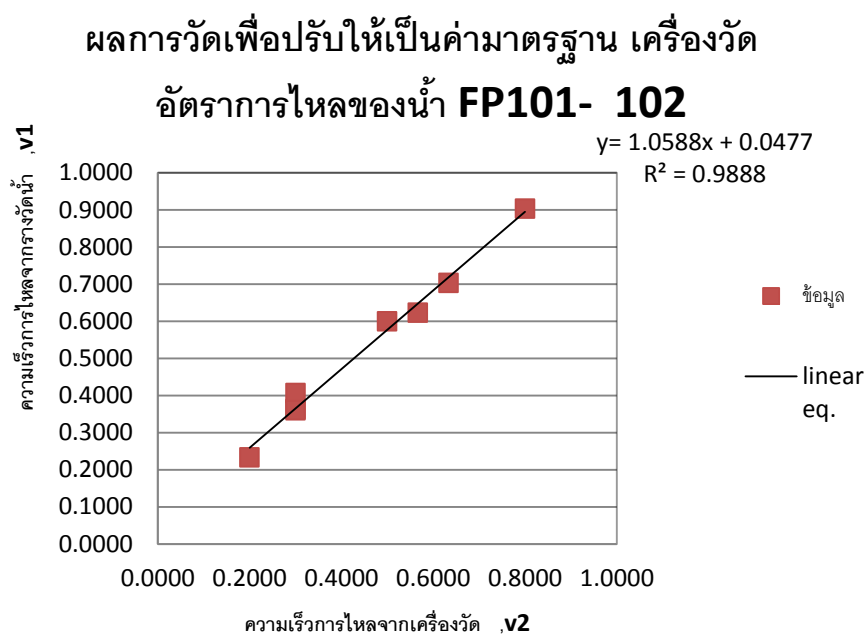
$$Q = K(2g\Delta h)^{1/2}$$

ค่าคงที่ (K) = 0.0114

ค่าคงที่ (g) = 9.81 m/s²

ตารางที่ ก-1 การวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐานเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ FP101-102 กับรางวัดน้ำ

ลำดับ	Δh (ม.)	อัตราการไหล จากราง (Q) (m ³ /s)	ระดับน้ำ (h) (m)	ความเร็วการไหล จากรางวัดน้ำ (v ₁) (m/s)	ความเร็วการไหล จากเครื่องวัด (v ₂) (m/s)
1	0.1784	0.0213	0.1135	0.7033	0.6333
2	0.5304	0.0368	0.1510	0.9033	0.8000
3	0.1738	0.0211	0.1996	0.3633	0.3000
4	0.5458	0.0373	0.2300	0.6233	0.5667
5	0.6696	0.0411	0.2400	0.6000	0.5000
6	0.5157	0.0363	0.3020	0.4067	0.3000
7	0.2048	0.0229	0.3377	0.2333	0.2000
8	0.5326	0.0369	0.3516	0.3600	0.3000



รูป ก-1 กราฟผลการวัดเพื่อปรับให้เป็นค่ามาตรฐานของเครื่องมือ



รูป ก-2 การวัดความเร็วของน้ำในรางด้วยเครื่องมือ



รูป ก-3 การวัดระดับน้ำและอ่านค่า

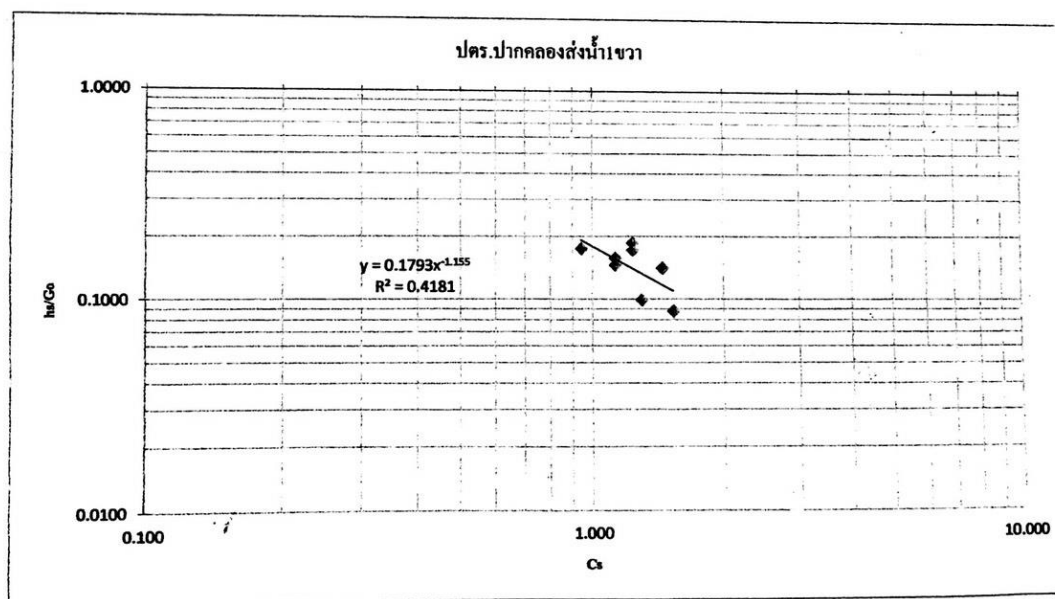


รูปที่ ก-4 การอ่านค่าความดันน้ำและจดบันทึก

2 การสอบเทียบประตูละบายน้ำ

ชื่ออาคาร	1 ขวา		จำนวนบาน	1	บาน (ตรง)
ความกว้างบาน	0.6	เมตร / บาน	ระดับธรณี	+33.190	ม.(รทก.)
ตำแหน่งอาคาร	0+200		ควบคุมน้ำเข้าโซน		

ว/ด/ป	ระดับน้ำ ด้านเหนือ น้ำม.(รทก)	ระดับน้ำ ด้านท้ายน้ำ ม.(รทก)	ΔH ม.	$\sqrt{2g\Delta H}$	h_s	ระยะเปิด บาน (G_o) ม.	$\frac{h_s}{G_o}$	Q น้ำด้าน เหนือบาน ม ³ /วิ	Q น้ำ ด้านหลัง บาน ม ³ /วิ	C_s
3-ก.พ.-59	+35.220	+33.450	1.770	5.892996	0.260	0.23	1.130	1.22	0.144	0.1566
3-ก.พ.-59	+35.150	+33.450	1.700	5.775292	0.260	0.23	1.130	0.775	0.131	0.1454
12-ก.พ.-59	+35.530	+33.480	2.050	6.342003	0.290	0.2	1.450	2.251	0.155	0.1405
17-มี.ค.-59	+35.220	+33.500	1.720	5.809165	0.310	0.25	1.240	1.827	0.185	0.1712
18-มี.ค.-59	+35.230	+33.500	1.730	5.826028	0.310	0.25	1.240	1.937	0.201	0.1855
18-มี.ค.-59	+35.270	+33.420	1.850	6.024699	0.230	0.15	1.533	1.937	0.073	0.0878
16-มิ.ย.-59	+35.050	+33.530	1.520	5.460989	0.340	0.36	0.944	0.35	0.194	0.1741
16-มิ.ย.-59	+35.070	+33.450	1.620	5.637766	0.260	0.2	1.300	0.35	0.087	0.0989



รูปที่ ก-5 ผลการสอบเทียบประตูละบายน้ำของกรมชลประทาน

ภาคผนวก ข
(รูปคลองส่งน้ำ/ประตูระบายน้ำ/ท่อส่งน้ำเข้านา)

ภาคผนวก ข

1 รูปคลองส่งน้ำ



รูปที่ ข-1 รอยแตกร้าวยาวประมาณ 2-3 เมตร ที่ กม. 1+300



รูปที่ ข-2 วัชพืชขึ้นปกคลุมผิวหน้าในคลอง



รูปที่ ข-3 ฝ่ายปากเปิด



รูปที่ ข-4 ลักษณะคลองที่มีการคดเคี้ยวไปตามแนวถนนเรียบคลอง



รูปที่ ข-5 มีสิ่งกีดขวางทางไหลน้ำ



รูปที่ ข-6 ลักษณะที่ท้องคลองมีความแตกต่างกัน

2. ประตูระบายน้ำ



รูปที่ ข-7 ประตูระบายน้ำปากทางที่นำน้ำเข้าสู่ระบบ



รูปที่ ข-8 ทำประตูระบายน้ำที่นำน้ำเข้าสู่ระบบ



รูปที่ ข-9 ประตูปะบายน้ำออกท้ายคลอง



รูปที่ ข-10 ท้ายประตูปะบายน้ำออกท้ายคลอง

3 ท่อส่งน้ำเข้านา



รูปที่ ข-11 ประตูท่อส่งน้ำเข้านา



รูปที่ ข-12 ท้ายประตูท่อส่งน้ำเข้านา

ภาคผนวก ค
(รูปการปฏิบัติการ)

ภาคผนวก ค

1 รูปปฏิบัติการ



รูปที่ ค-1 ระดับน้ำ รทก. ด้านหน้าประตูระบายน้ำของกรมชลประทาน



รูปที่ ค-2 ระดับน้ำ รทก. ด้านหลังประตูระบายน้ำ



รูปที่ ค-3 วัดระยะเปิดบานประตูระบายน้ำ



รูปที่ ค-4 การวัดระยะหน้าตัดการไหลของน้ำ



รูปที่ ค-5 การวัดความลึกของระดับน้ำ

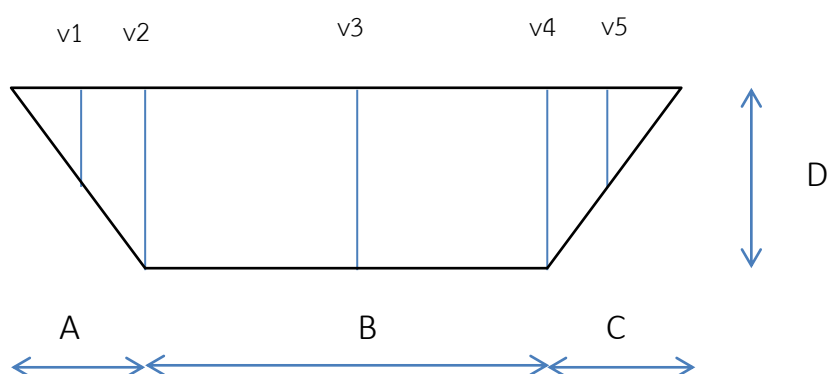


รูปที่ ค-6 การวัดความเร็วการไหลของน้ำและบันทึกผล

ภาคผนวก ง
(ข้อมูลภาคสนาม)

ภาคผนวก ง

1 ข้อมูลภาคสนาม



รูปที่ ง-1 รูปหน้าตัดคลองส่งน้ำ

A คือ ความกว้างของหน้าตัดฝั่งซ้าย (เมตร)

B คือ ความกว้างของหน้าตัดตรงกลาง (เมตร)

C คือ ความกว้างของหน้าตัดฝั่งขวา (เมตร)

D คือ ความลึกของระดับน้ำ (เมตร)

V คือ ความเร็วการไหลของน้ำ (เมตรต่อวินาที)

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลภาคสนาม วันที่ 9 พฤษภาคม 2560

ระยะ กม. 0+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.22	0.24	0.22	0.2	0.2
A	B	C	D	
0.71	0.7	0.71	0.47	
ระยะ กม. 0+600				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.18	0.2	0.2	0.1
A	B	C	D	
0.8	0.7	0.8	0.5	

រយះ កម. 1+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.5	0.5	0.44	0.34	0.42
A	B	C	D	
0.435	0.7	0.435	0.27	
រយះ កម. 1+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.2	0.2	0.14	0.12
A	B	C	D	
0.785	0.7	0.785	0.45	
រយះ កម. 2+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.2	0.26	0.26	0.3	0.2
A	B	C	D	
0.44	0.7	0.44	0.305	
រយះ កម. 2+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.1	0.12	0.1	0.1
A	B	C	D	
0.74	0.5	0.74	0.515	
រយះ កម. 3+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
A	B	C	D	
0.61	0.5	0.61	0.47	
រយះ កម. 3+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.1	0.1	0.08	0.06
A	B	C	D	
0.72	0.5	0.72	0.43	

ระยะ กม. 4+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.06	0.1	0.1	0.1	0.04
A	B	C	D	
0.67	0.5	0.67	0.43	
ระยะ กม. 4+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.14	0.12	0.12	0.14
A	B	C	D	
0.5	0.5	0.5	0.34	
ระยะ กม. 5+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.06	0.08	0.08	0.08	0.08
A	B	C	D	
0.59	0.5	0.59	0.415	
ระยะ กม. 5+224				
V1	V2	V3	V4	V5
0.04	0.04	0.06	0.02	0.02
A	B	C	D	
0.59	0.5	0.59	0.41	

ตารางที่ ง-2 ข้อมูลภาคสนาม วันที่ 7 มิถุนายน 2560

ระยะ กม. 0+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.16	0.2	0.18	0.2	0.16
A	B	C	D	
0.65	0.7	0.67	0.465	
ระยะ กม. 0+600				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.12	0.1	0.18	0.1

A	B	C	D	
0.825	0.7	0.805	0.495	
រយះ កម. 1+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.48	0.46	0.4	0.4	0.38
A	B	C	D	
0.405	0.7	0.26	0.21	
រយះ កម. 1+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.12	0.16	0.1	0.1
A	B	C	D	
0.8	0.7	0.56	0.43	
រយះ កម. 2+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.2	0.2	0.2	0.2	0.18
A	B	C	D	
0.44	0.7	0.44	0.27	
រយះ កម. 2+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.08	0.1	0.1	0.1	0.04
A	B	C	D	
0.7	0.5	0.68	0.4	
រយះ កម. 3+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.02	0.1	0.1	0.1	0.06
A	B	C	D	
0.595	0.5	0.525	0.41	
រយះ កម. 3+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.04	0.1	0.1	0.1	0.04
A	B	C	D	

0.5	0.5	0.52	0.37	
ระยะ กม. 4+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
A	B	C	D	
0.77	0.5	0.7	0.42	
ระยะ กม. 4+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.1	0.1	0.08	0.02
A	B	C	D	
0.5	0.5	0.495	0.32	
ระยะ กม. 5+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.2	0.2	0.22	0.2	0.2
A	B	C	D	
0.26	0.5	0.27	0.2	
ระยะ กม. 5+224				
V1	V2	V3	V4	V5
0.8	0.8	0.84	0.8	0.8
A	B	C	D	
0.14	0.5	0.12	0.07	

ตารางที่ ง-3 ข้อมูลภาคสนาม วันที่ 8 มิถุนายน 2560

ระยะ กม. 0+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.2	0.2	0.2	0.18	0.16
A	B	C	D	
0.65	0.7	0.67	0.455	
ระยะ กม. 0+600				
V1	V2	V3	V4	V5

0.06	0.1	0.1	0.12	0.1
A	B	C	D	
0.815	0.7	0.81	0.505	
រយះ កម. 1+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.4	0.46	0.44	0.34	0.34
A	B	C	D	
0.41	0.7	0.532	0.21	
រយះ កម. 1+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.1	0.14	0.1	0.1
A	B	C	D	
0.805	0.7	0.675	0.41	
រយះ កម. 2+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.22	0.22	0.22	0.24	0.22
A	B	C	D	
0.39	0.7	0.41	0.265	
រយះ កម. 2+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.06	0.06	0.1	0.08	0.08
A	B	C	D	
0.7	0.5	0.7	0.5	
រយះ កម. 3+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.1	0.14	0.1	0.04
A	B	C	D	
0.6	0.5	0.55	0.42	
រយះ កម. 3+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.1	0.1	0.1	0.12	0.06

A	B	C	D	
0.51	0.5	0.68	0.365	
ระยะ กม. 4+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.04	0.04	0.06	0.06	0.04
A	B	C	D	
0.71	0.5	0.68	0.475	
ระยะ กม. 4+500				
V1	V2	V3	V4	V5
0.2	0.2	0.12	0.02	0.02
A	B	C	D	
0.43	0.5	0.56	0.325	
ระยะ กม. 5+000				
V1	V2	V3	V4	V5
0.22	0.22	0.26	0.24	0.22
A	B	C	D	
0.245	0.5	0.315	0.19	
ระยะ กม. 5+224				
V1	V2	V3	V4	V5
0.34	0.5	0.54	0.5	0.46
A	B	C	D	
0.12	0.5	0.14	0.12	

ภาคผนวก จ

(ข้อมูลการส่งน้ำชลประทาน เดือน ม.ค. – พ.ค. 2560)

ภาคผนวก จ

1 ข้อมูลการส่งน้ำชลประทาน เดือน ม.ค. – พ.ค. 2560

ตารางที่ จ-1

ข้อมูลสภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนขุนด่านปราการชล เดือน มกราคม 2560

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำ ที่ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
1 ม.ค. 60	207.78	92.76	0.00	2.0003	11.5812	172,826	1,000,616	1,173,442	8,607	77,119
2 ม.ค. 60	206.54	92.21	0.00	1.9997	11.5838	172,771	1,000,836	1,173,607	8,475	76,594
3 ม.ค. 60	205.29	91.65	0.00	2.0000	11.5805	172,796	1,000,556	1,173,352	8,330	76,254
4 ม.ค. 60	204.05	91.09	0.00	1.9997	11.5827	172,776	1,000,748	1,173,524	8,210	75,914
5 ม.ค. 60	202.81	90.54	0.00	2.0000	11.5792	172,797	1,000,442	1,173,239	8,099	75,389
6 ม.ค. 60	201.57	89.99	0.00	2.0002	11.5811	172,814	1,000,605	1,173,419	7,951	75,049
7 ม.ค. 60	199.11	88.89	0.00	2.3100	25.4660	199,587	2,200,262	2,399,849	7,806	74,373
8 ม.ค. 60	196.60	87.77	0.00	2.7503	25.4674	237,622	2,200,387	2,438,009	7,685	73,503
9 ม.ค. 60	194.10	86.65	2.30	2.7498	25.4728	237,579	2,200,851	2,438,430	7,545	72,817

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำ ที่ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
10 ม.ค. 60	191.60	85.54	1.80	2.7495	25.4710	237,561	2,200,695	2,438,256	7,415	71,946
11 ม.ค. 60	190.29	84.95	0.00	2.7501	11.5769	237,608	1,000,243	1,237,851	7,282	71,589
12 ม.ค. 60	188.99	84.37	0.00	2.7501	11.5813	237,610	1,000,627	1,238,237	7,144	71,233
13 ม.ค. 60	187.69	83.79	0.00	2.7501	11.5801	237,608	1,000,517	1,238,125	7,001	70,691
14 ม.ค. 60	185.30	82.72	0.00	1.4009	25.4659	121,040	2,200,253	2,321,293	6,864	70,038
15 ม.ค. 60	183.17	81.77	0.00	2.2500	21.6801	194,401	1,873,162	2,067,563	6,722	69,270
16 ม.ค. 60	180.76	80.70	0.00	2.2499	25.0009	194,393	2,160,077	2,354,470	6,600	68,607
17 ม.ค. 60	178.34	79.62	0.00	2.2501	25.0004	194,410	2,160,037	2,354,447	6,479	67,761
18 ม.ค. 60	176.57	78.83	0.00	2.2499	17.5035	194,389	1,512,300	1,706,689	6,373	67,277
19 ม.ค. 60	175.32	78.27	0.00	2.2497	11.5785	194,371	1,000,381	1,194,752	6,236	66,933
20 ม.ค. 60	174.06	77.71	0.00	2.2503	11.5811	194,428	1,000,605	1,195,033	6,110	66,379
21 ม.ค. 60	171.61	76.61	0.00	2.2504	25.4639	194,431	2,200,077	2,394,508	6,003	65,706
22 ม.ค. 60	169.16	75.52	0.00	2.2502	25.4687	194,417	2,200,494	2,394,911	5,875	64,824
23 ม.ค. 60	166.70	74.42	0.00	2.2503	25.4661	194,425	2,200,270	2,394,695	5,738	64,152
24 ม.ค. 60	164.25	73.33	0.00	2.2497	25.4719	194,378	2,200,772	2,395,150	5,619	63,270
25 ม.ค. 60	163.00	72.77	0.00	2.2500	11.5766	194,397	1,000,220	1,194,617	5,485	62,927

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำ ที่ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
26 ม.ค. 60	161.73	72.20	0.00	2.4065	11.5817	207,925	1,000,659	1,208,584	5,365	62,370
27 ม.ค. 60	160.44	71.63	0.00	2.7499	11.5806	237,594	1,000,566	1,238,160	5,258	62,015
28 ม.ค. 60	158.94	70.96	0.00	2.7498	13.8983	237,580	1,200,817	1,438,397	5,118	61,606
29 ม.ค. 60	157.45	70.29	0.00	2.7499	13.8963	237,595	1,200,643	1,438,238	5,004	60,986
30 ม.ค. 60	155.95	69.62	0.00	2.7505	13.8938	237,639	1,200,427	1,438,066	4,860	60,577
31 ม.ค. 60	154.46	68.96	0.00	2.7504	13.8909	237,637	1,200,170	1,437,807	4,733	60,168
		รวม	4.10	-	-	6,317,405	46,319,315	52,636,720	205,992	2,127,337
		เฉลี่ย	0.13	2.3586	17.4071	203,787	1,494,171	1,697,959	6,709	68,906
ปริมาณน้ำสะสม ตั้งแต่ 1 ม.ค.			4.10	-	-	6,317,405	46,319,315	52,636,720	205,992	2,127,337

ตารางที่ จ-2

ข้อมูลสภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนขุนด่านปราการชล เดือน กุมภาพันธ์ 2560

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำ ที่ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
1 ก.พ. 60	154.17	68.83	0.00	2.7497	0.0000	237,577	0	237,577	4,608	60,088
2 ก.พ. 60	153.87	68.69	0.00	2.7503	0.0000	237,630	0	237,630	4,482	60,007
3 ก.พ. 60	153.58	68.56	2.70	2.7501	0.0000	237,608	0	237,608	4,360	59,927
4 ก.พ. 60	152.10	67.90	0.00	2.7500	13.8899	237,596	1,200,089	1,437,685	4,244	48,433
5 ก.พ. 60	150.61	67.24	0.00	2.7501	13.8959	237,607	1,200,606	1,438,213	4,106	58,902
6 ก.พ. 60	149.11	66.57	0.00	2.7497	13.8962	237,571	1,200,631	1,438,202	3,989	58,283
7 ก.พ. 60	147.62	65.90	0.00	2.7496	13.8959	237,563	1,200,609	1,438,172	3,850	57,874
8 ก.พ. 60	147.33	65.77	0.00	2.7501	0.0000	237,609	0	237,609	3,746	57,794
9 ก.พ. 60	147.04	65.64	0.00	2.7498	0.0000	237,579	0	237,579	3,627	57,715
10 ก.พ. 60	146.79	65.53	0.00	2.2499	0.0000	194,392	0	194,392	3,493	57,646
11 ก.พ. 60	145.34	64.88	0.00	2.2497	13.8933	194,370	1,200,380	1,394,750	3,389	57,250
12 ก.พ. 60	143.89	64.24	0.00	2.2497	13.8928	194,377	1,200,341	1,394,718	3,260	56,643
13 ก.พ. 60	142.45	63.59	0.00	2.2497	13.8969	194,376	1,200,689	1,395,065	3,142	56,246

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำ ที่ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
14 ก.พ. 60	141.00	62.95	0.00	2.2505	13.8953	194,440	1,200,551	1,394,991	3,013	55,639
15 ก.พ. 60	140.75	62.83	0.00	2.2501	0.0000	194,411	0	194,411	2,883	55,572
16 ก.พ. 60	140.50	62.72	0.00	2.2498	0.0000	194,381	0	194,381	2,754	55,504
17 ก.พ. 60	140.26	62.62	0.00	2.2498	0.0000	194,387	0	194,387	2,642	55,436
18 ก.พ. 60	138.78	61.96	0.00	2.5409	13.8905	219,537	1,200,143	1,419,680	2,525	55,033
19 ก.พ. 60	137.23	61.26	0.00	2.7501	14.6841	237,607	1,268,706	1,506,313	2,393	54,396
20 ก.พ. 60	135.67	60.57	0.00	2.7498	14.6843	237,587	1,268,722	1,506,309	2,273	53,969
21 ก.พ. 60	134.11	59.87	0.00	2.7499	14.6837	237,590	1,268,672	1,506,262	2,154	53,542
22 ก.พ. 60	133.30	59.51	0.00	2.7499	5.9978	237,590	518,209	755,799	2,020	53,132
23 ก.พ. 60	132.50	59.15	0.00	2.7503	6.0018	237,622	518,557	756,179	1,898	52,911
24 ก.พ. 60	131.69	58.79	0.00	2.7497	6.0057	237,578	518,896	756,474	1,779	52,690
25 ก.พ. 60	130.13	58.09	0.00	2.7502	14.6808	237,619	1,268,423	1,506,042	1,660	52,264
26 ก.พ. 60	128.58	57.40	0.00	2.7501	14.6823	237,609	1,268,549	1,506,158	1,523	51,648
27 ก.พ. 60	127.02	56.71	0.00	2.7498	14.6828	237,585	1,268,598	1,506,183	1,393	51,222
28 ก.พ. 60	125.53	56.04	0.00	2.7502	13.8961	237,621	1,200,626	1,438,247	1,282	50,625
		รวม	2.70	-	-	6,289,019	21,171,997	27,461,016	82,488	1,550,391

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำ ที่ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
		เฉลี่ย	0.10	2.5996	8.7517	224,608	756,143	980,751	2,946	55,371
ปริมาณน้ำสะสม ตั้งแต่ 1 ม.ค.			6.80	-	-	12,606,424	67,491,312	80,097,736	288,480	3,677,728

ตารางที่ จ-3

ข้อมูลสภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนขุนด่านปราการชล เดือน มีนาคม 2560

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
1 มี.ค. 60	125.24	55.91	0.00	2.7504	0.0000	237,633	0	237,633	1,147	50,547
2 มี.ค. 60	124.96	55.79	0.00	2.7501	0.0000	237,609	0	237,609	1,018	50,468
3 มี.ค. 60	124.67	55.66	0.00	2.7502	0.0000	237,619	0	237,619	887	50,389
4 มี.ค. 60	123.18	54.99	0.00	2.7504	13.8955	237,633	1,200,567	1,438,200	750	49,982
5 มี.ค. 60	121.70	54.33	0.00	2.7500	13.8982	237,596	1,200,801	1,438,397	611	49,385
6 มี.ค. 60	120.21	53.67	0.00	2.7502	13.8952	237,615	1,200,545	1,438,160	480	48,978
7 มี.ค. 60	118.72	53.00	0.00	2.7502	13.8914	237,618	1,200,218	1,437,836	351	48,571
8 มี.ค. 60	118.44	52.88	0.00	2.7502	0.0000	237,617	0	237,617	218	48,493
9 มี.ค. 60	118.15	52.75	0.00	2.7498	0.0000	237,581	0	237,581	103	48,225
10 มี.ค. 60	117.87	52.62	0.00	2.7497	0.0000	237,578	0	237,578	2	48,147
11 มี.ค. 60	116.26	51.90	0.00	2.7498	13.8900	237,586	1,200,097	1,437,683	0	47,707
12 มี.ค. 60	114.95	51.32	0.00	2.7499	13.8949	237,588	1,200,519	1,438,107	0	47,348
13 มี.ค. 60	113.50	50.67	0.00	2.7499	13.8987	237,591	1,200,846	1,438,437	0	46,761

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
14 มี.ค. 60	112.06	50.03	0.00	2.7502	13.8971	237,618	1,200,710	1,438,328	0	46,367
15 มี.ค. 60	111.70	49.87	52.70	2.7499	0.0000	237,588	0	237,588	0	46,268
16 มี.ค. 60	111.41	49.74	19.70	2.7497	0.0000	237,571	0	237,571	0	46,190
17 มี.ค. 60	111.12	49.61	0.00	2.7498	0.0000	237,587	0	237,587	0	46,111
18 มี.ค. 60	109.73	48.99	0.00	2.7498	13.8939	237,585	1,200,429	1,438,014	0	45,541
19 มี.ค. 60	108.32	48.36	4.00	2.7498	13.8953	237,582	1,200,557	1,438,139	0	45,152
20 มี.ค. 60	106.98	47.76	0.00	2.7498	13.8943	237,582	1,200,467	1,438,049	0	44,597
21 มี.ค. 60	105.58	47.13	0.00	2.7499	13.8945	237,589	1,200,485	1,438,074	0	44,213
22 มี.ค. 60	105.19	46.96	0.00	2.7503	0.0000	237,624	0	237,624	0	44,108
23 มี.ค. 60	104.77	46.77	0.00	2.7469	0.0000	237,329	0	237,329	0	43,993
24 มี.ค. 60	104.36	46.59	7.90	2.7497	0.0000	237,573	0	237,573	0	43,879
25 มี.ค. 60	102.97	45.97	0.00	2.7499	13.8908	237,591	1,200,165	1,437,756	0	43,310
26 มี.ค. 60	101.60	45.36	52.80	2.7496	13.8937	237,564	1,200,412	1,437,976	0	42,934
27 มี.ค. 60	100.33	44.79	0.00	2.7496	13.8955	237,566	1,200,575	1,438,141	200,806	27,488
28 มี.ค. 60	98.90	44.15	0.00	2.7500	13.8941	237,596	1,200,452	1,438,048	53,411	42,007
29 มี.ค. 60	98.53	43.99	0.00	2.0417	0.0000	176,405	0	176,405	0	41,905

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
30 มี.ค. 60	98.19	43.83	0.00	1.4996	0.6873	129,564	59,383	188,947	0	41,813
31 มี.ค. 60	97.86	43.69	0.00	1.5003	0.6866	129,622	59,321	188,943	0	41,720
		รวม	137.10	-	-	7,088,000	19,326,549	26,414,549	259,784	1,412,597
		เฉลี่ย	4.42	2.6464	7.4333	228,645	623,437	852,082	8,659	45,696
ปริมาณน้ำสะสม ตั้งแต่ 1 ม.ค.			143.90	-	-	19,694,424	86,817,861	106,512,285	548,264	5,090,325

ตารางที่ จ-4

ข้อมูลสภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนขุนด่านปราการชล เดือน เมษายน 2560

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
1 เม.ย. 60	96.45	43.06	0.00	1.4999	13.8916	129,592	1,200,235	1,329,827	0	41,103
2 เม.ย. 60	95.31	42.55	0.00	1.4996	13.8954	129,569	1,200,561	1,330,130	0	40,792
3 เม.ย. 60	93.99	41.96	0.20	1.4998	13.8986	129,585	1,200,837	1,330,422	0	40,429
4 เม.ย. 60	92.67	41.37	3.40	1.4995	13.8965	129,561	1,200,659	1,330,220	0	39,837
5 เม.ย. 60	92.37	41.24	0.00	1.5003	0.6879	129,625	59,438	189,063	0	31,569
6 เม.ย. 60	92.08	41.11	0.00	1.4995	0.6873	129,559	59,380	188,939	0	39,675
7 เม.ย. 60	91.52	40.86	0.00	1.5000	4.1735	129,603	360,589	490,192	0	39,523
8 เม.ย. 60	90.03	40.19	0.00	2.2814	13.8974	197,111	1,200,736	1,397,847	0	38,883
9 เม.ย. 60	88.74	39.62	0.00	1.7606	13.8928	152,117	1,200,335	1,352,452	0	38,529
10 เม.ย. 60	87.33	38.99	0.50	1.5000	13.8947	129,601	1,200,499	1,330,100	0	38,143
11 เม.ย. 60	86.21	38.49	0.00	1.5002	13.8964	129,613	1,200,653	1,330,266	0	36,441
12 เม.ย. 60	84.84	37.88	0.00	1.5001	13.8925	129,612	1,200,312	1,329,924	0	37,228
13 เม.ย. 60	83.54	37.29	1.20	1.9174	13.8955	165,660	1,200,573	1,366,233	0	36,642

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
14 เม.ย. 60	82.17	36.68	0.00	1.9999	13.8976	172,791	1,200,750	1,373,541	36,789	33,516
15 เม.ย. 60	80.75	36.05	2.40	2.0003	13.8952	172,823	1,200,549	1,373,372	0	35,646
16 เม.ย. 60	79.37	35.43	0.00	2.0000	13.8976	172,799	1,200,753	1,373,552	24,342	29,859
17 เม.ย. 60	78.00	34.82	0.00	2.0002	13.8945	172,819	1,200,488	1,373,307	40,241	34,894
18 เม.ย. 60	76.64	34.21	0.00	2.0003	13.8945	172,824	1,200,483	1,373,307	50,747	34,291
19 เม.ย. 60	76.37	34.09	4.00	1.9997	0.6904	172,775	59,647	232,422	0	34,192
20 เม.ย. 60	76.10	33.97	0.00	2.0003	0.6898	172,827	59,603	232,430	0	25,281
21 เม.ย. 60	75.83	33.85	0.00	1.9998	0.6891	172,782	59,538	232,320	0	34,069
22 เม.ย. 60	74.38	33.21	0.00	1.9995	13.8899	172,761	1,200,086	1,372,847	0	33,439
23 เม.ย. 60	72.93	32.56	0.00	1.9998	13.8960	172,781	1,200,614	1,373,395	0	33,043
24 เม.ย. 60	71.50	31.92	0.00	2.0001	13.8964	172,809	1,200,646	1,373,455	0	32,420
25 เม.ย. 60	70.09	31.29	5.20	1.9996	13.8916	172,763	1,200,233	1,372,996	0	32,034
26 เม.ย. 60	69.88	31.20	0.00	1.9997	0.6921	172,772	59,797	232,569	43,280	20,856
27 เม.ย. 60	69.54	31.04	0.00	2.4169	0.6910	208,817	59,704	268,521	0	31,882
28 เม.ย. 60	69.20	30.89	5.70	2.5007	0.6900	216,058	59,613	275,671	0	31,789
29 เม.ย. 60	67.88	30.30	0.00	2.5000	13.8939	216,000	1,200,432	1,416,432	118,511	19,227

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
30 เม.ย. 60	66.52	29.70	0.00	2.5004	13.8942	216,038	1,200,463	1,416,501	91,263	30,826
		รวม	22.60	-	-	4,914,047	26,048,206	30,962,253	405,173	1,026,058
		เฉลี่ย	0.75	1.8959	10.0495	163,802	868,274	1,032,075	13,506	34,202
ปริมาณน้ำสะสม ตั้งแต่วันที่ 1 ม.ค.			166.50			17,520,471	93,539,518	111,059,989	693,653	4,703,786

ตาราง จ-5

ข้อมูลสภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนขุนด่านปราการชล เดือน พฤษภาคม 2560

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนขุนด่านปราการชล

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
1 พ.ค. 60	65.18	29.10	0.00	2.5002	13.8929	216,019	1,200,346	1,416,365	103,168	30,227
2 พ.ค. 60	63.74	28.46	0.00	2.5002	13.8941	216,020	1,200,452	1,416,472	5,192	29,832
3 พ.ค. 60	62.45	27.88	0.00	0.8104	13.8911	70,016	1,200,189	1,270,205	9,672	29,248
4 พ.ค. 60	61.17	27.31	62.80	0.5004	15.0536	43,235	1,300,630	1,343,865	95,101	28,898
5 พ.ค. 60	60.04	26.80	0.00	0.4996	15.0539	43,166	1,300,660	1,343,826	228,789	16,450
6 พ.ค. 60	58.84	26.27	32.40	0.5005	15.0539	43,242	1,300,658	1,343,900	170,358	28,027
7 พ.ค. 60	57.65	25.74	0.00	0.5003	15.0520	43,227	1,300,494	1,343,721	169,055	15,749
8 พ.ค. 60	56.47	25.21	18.90	0.5001	15.0520	43,207	1,300,494	1,343,701	191,497	27,147
9 พ.ค. 60	55.38	24.72	9.80	0.5000	15.0530	43,200	1,300,580	1,343,780	268,248	15,172
10 พ.ค. 60	54.20	24.20	25.80	0.4995	15.0506	43,161	1,300,374	1,343,535	174,906	14,848
11 พ.ค. 60	52.39	23.39	0.40	0.4999	15.0506	43,193	1,300,372	1,343,565	72,175	14,496
12 พ.ค. 60	51.55	23.01	39.00	0.4996	15.0510	43,165	1,300,403	1,343,568	11,134	24,590
13 พ.ค. 60	51.26	22.88	6.80	0.5002	4.1691	43,216	360,213	403,429	127,508	14,044

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
14 พ.ค. 60	50.91	22.73	15.80	0.5000	4.1710	43,196	360,375	403,571	68,544	13,949
15 พ.ค. 60	50.52	22.55	22.90	0.4999	4.1752	43,188	360,733	403,921	20,249	13,840
16 พ.ค. 60	50.17	22.40	27.80	0.4996	4.1732	43,168	360,565	403,733	70,807	13,745
17 พ.ค. 60	50.12	22.38	42.90	0.5001	0.6886	43,206	59,495	102,701	66,996	13,731
18 พ.ค. 60	50.09	22.36	0.00	0.5000	0.6885	43,199	59,485	102,684	91,699	13,725
19 พ.ค. 60	50.14	22.38	58.80	0.5002	0.6887	43,214	59,504	102,718	165,882	13,738
20 พ.ค. 60	50.22	22.42	9.30	0.5004	4.1745	43,235	360,680	403,915	491,853	13,759
21 พ.ค. 60	50.05	22.34	0.00	0.4998	4.1699	43,184	360,278	403,462	255,148	24,694
22 พ.ค. 60	49.68	22.18	0.00	0.5001	4.1709	43,209	360,362	403,571	58,335	24,593
23 พ.ค. 60	49.41	22.06	0.00	0.5001	4.1744	43,208	360,671	403,879	157,974	24,519
24 พ.ค. 60	49.38	22.04	2.30	0.5000	0.6853	43,200	59,210	102,410	101,822	23,963
25 พ.ค. 60	49.41	22.06	8.20	0.5001	0.6854	43,208	59,219	102,427	140,514	13,536
26 พ.ค. 60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0
27 พ.ค. 60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0
28 พ.ค. 60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0
29 พ.ค. 60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0

วันที่	ปริมาณน้ำ ในอ่าง ฯ (ล้าน ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์ (%)	ปริมาณ ฝน (มม.)	การระบายน้ำ		ปริมาณน้ำ		ปริมาณน้ำที่ ระบาย (ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ ไหลลงอ่างฯ (ลบ.ม.)	ระเหย และรั่วซึม (ลบ.ม.)
				ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม./วินาที)	ลงคลองส่งน้ำ (ลบ.ม.)	ลงลำน้ำเดิม (ลบ.ม.)			
30 พ.ค. 60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0
31 พ.ค. 60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0
		รวม	383.90	-	-	1,452,482	18,486,442	19,938,924	3,316,626	496,520
		เฉลี่ย	12.38	0.5423	6.9020	46,854	596,337	643,191	110,554	16,551
ปริมาณน้ำสะสม ตั้งแต่ 1 ม.ค.			390.70	-	-	14,058,906	85,977,754	100,036,660	3,605,106	4,174,248

ประวัติย่อผู้ทำโครงการ

ประวัติย่อผู้จัดทำโครงการ

ชื่อชื่อสกุล

นางสาววัชรี้ ดวงพล

วันเดือนปีเกิด

08 ธันวาคม 2537

สถานที่เกิด

อำเภอขุนหาญ จังหวัดศรีสะเกษ

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

148 หมู่ 8 ต.บักดอง อ.ขุนหาญ

จ.ศรีสะเกษ 33150

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ

080-473-6506

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2554

มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนขุนหาญวิทยาสรรค์

พ.ศ. 2556

กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ประวัติย่อผู้จัดทำโครงการ

ชื่อชื่อสกุล

นายวีรยุทธ จุลศรี

วันเดือนปีเกิด

11 กุมภาพันธ์ 2538

สถานที่เกิด

อำเภอวาปีปทุม จังหวัดมหาสารคาม

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

12 หมู่ 10 ต.ประชาพัฒนา อ.วาปีปทุม

จ.มหาสารคาม 44120

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ

087-083-4047

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2555

มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนวาปีปทุม

พ.ศ. 2556

กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ประวัติย่อผู้จัดทำโครงการ

ชื่อชื่อสกุล	นางสาวพรรณวดี เถตระการ
วันเดือนปีเกิด	05 มกราคม 2538
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	703 หมู่ 5 ต.เชียงยืน อ.เชียงยืน จ.มหาสารคาม 44160
หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ	081-936-7363
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2554	มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนมัธยมสาธิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
พ.ศ. 2556	กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ