

โครงการวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่ 12/2558

เรื่อง

ประเมินศักยภาพของคลองส่งน้ำสายหลักภายใน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
Potentiality assessment of main canal in
Kasetsart University Kamphaengsaen Campus

ดำเนินการโดย

นาย กิตติณัฐ	วิศิษฐศาสตร์	5520502145
นาย ฐปณัท	ปัญญาดี	5520502200
นาย ธนวิชญ์	กลัดเจริญ	5520502226

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา -ชลประทาน)
ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : ประเมินศักยภาพของคลองส่งน้ำสายหลักภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
Potentiality assessment of main canal in Kasetsart University
Kampangsaen Campus

โดย : นาย กิตติณัฐ วิชาญศาสตร์
นาย ฐปณัท ปัญญาดี
นาย ธนวิษญ์ กลัดเจริญ

ชื่อปริญญา: วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา: วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

.....
(อ.ฉัตร ออกลา)
..... / /

ปัจจุบันคลองส่งน้ำสายหลักภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานาน ทำให้สภาพทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการส่งน้ำเปลี่ยนแปลงไป หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงไม่สามารถบริหารจัดการน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการศึกษานี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อประเมินความสามารถในการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายหลัก เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อการบริหารจัดการน้ำ

การศึกษานี้ได้ทำการแบ่งช่วงคลองออกเป็น 6 ช่วง โดยได้ทำการสำรวจลักษณะทางกายภาพของคลองในปัจจุบัน ทำการสำรวจจุดตตตามยาว และรูปตัดตามขวางของคลองส่งน้ำในแต่ละช่วง จากนั้นตรวจวัดอัตราการไหลในสภาวะการใช้งานจริง เพื่อนำไปสอบเทียบสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning (Manning's roughness coefficient) แล้วจึงนำสัมประสิทธิ์ความขรุขระของคลองที่ได้ ไปใช้เพื่อการประเมินอัตราการไหลที่ออกแบบ และอัตราการไหลสูงสุดที่คลองส่งน้ำสามารถรับได้

ผลการศึกษาสามารถประเมินอัตราการไหลที่ออกแบบ และอัตราการไหลสูงสุด ที่คลองแต่ละช่วงของคลองสามารถรับได้ โดยที่ในต้นคลองสามารถรองรับอัตราการไหลที่ออกแบบได้ไม่เกิน 0.96 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และอัตราการไหลสูงสุดได้ไม่เกิน 1.4 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ส่วนในช่วงท้ายคลองสามารถรองรับอัตราการไหลที่เหมาะสมได้ไม่เกิน 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และอัตราการไหลสูงสุดได้ไม่เกิน 0.12 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

Abstract

Title : Potentiality assessment of main canal in Kasetsart University
Kampangsaen Campus

Author : Kittinat Wisitsart
Thapanat Panyadee
Thanawit Kladcharoen

ProjectAdvisor

.....

(Thundorn Okwala)

..... / /

Presently, the main canal in Kasetsart University Kamphaengsaeng campus has been used for a long time and cause its physical condition change. Due to the change, water distribution become less efficiency. Many departments with water demand from this main canal cannot manage water effectively. Therefore, this study is aimed to estimate the water distribute capacity of the main canal and the result will be used in future water management.

In this study, the main canal has been split into six parts to survey the physical condition, longitudinal and horizontal section each part and then measure the flow rate in conditions of actual use to compare with Manning's roughness coefficient to determine the main canal maximum and appropriate flow rate.

The result can evaluate the appropriate flow rate. And a maximum flow rate at each phase of the canal. From the beginning of the canal, the flow rate cannot exceed 0.96 cubic meters per second and the maximum flow rate is 1.4 cubic meters per second. At the end of the canal, the flow rate cannot exceed 0.05 cubic meters per second and a maximum rate is 0.12 cubic meters per second.

คำนิยม

โครงการวิศวกรรมฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีทุกประการนั้น คณะผู้จัดทำขอกราบ
ขอบพระคุณ อาจารย์ ธียุทธ ออกกะลา ประธานกรรมการที่ปรึกษาโครงการ
ผศ.นิมิตร เติตฉันทพิพัฒน์ และ อ.ดร.จตุเทพ วงษ์เพ็ชร์ คณะกรรมการสอบโครงการ ที่ได้กรุณาให้
เวลาเข้าพบและคำปรึกษาตลอดจนแนวทางในการจัดทำโครงการ จนกระทั่งโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไป
ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ขอขอบคุณ งาน
อาคารและสถานที่คุณ มนัส สารวิงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านข้อมูล ตลอดจนเพื่อนนิสิตทุกท่าน
ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำโครงการเล่มนี้ด้วยดีตลอดมา

คุณงามความดีของโครงการฉบับนี้ ขอมอบแด่ บิดา มารดา และ ทุก ๆ คนในครอบครัวที่
ส่งเสริมให้การศึกษาจนผู้ทำโครงการมีความรู้ความสามารถ และ ประสบความสำเร็จการศึกษาถึงขั้น
นี้ได้

ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้และประสบการณ์
ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกคนที่ท่านได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้และให้
คำแนะนำรวมถึงความช่วยเหลือต่างๆเป็นอย่างดีแก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ คุณสุรพล เจริญชีพ และ คุณระวี อยู่สำราญ เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานประจำ
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดทำอุปกรณ์ ถ่ายทอดความรู้ และ
เสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในภาคสนามให้ลุล่วงไปด้วยดี

ด้วยประโยชน์และความดีทั้งปวงที่เกิดขึ้นจากผลของโครงการวิศวกรรมฉบับนี้ คณะ
ผู้จัดทำขอมอบส่วนดีนี้แด่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน อาจารย์ของคณะผู้จัดทำทุกท่าน ที่ได้มีส่วนร่วมในการจัดทำ
โครงการวิศวกรรม และการศึกษาด้วยดีตลอดมา

คณะผู้จัดทำ

กรกฎาคม 2559

สารบัญ

รายการ	หน้า
สารบัญรูป	i
สารบัญตาราง	ii
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1-1
1.2 วัตถุประสงค์	1-1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1-1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-1
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	2-1
2.1 การไหลในทางน้ำเปิด	2-1
2.2 การวัดอัตราการไหลโดยใช้เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Current Meter)	2-11
2.3 แบบจำลอง HEC-RAS	2-14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา	3-1
3.1 อุปกรณ์	3-1
3.2 วิธีการดำเนินงาน	3-2
3.3 การดำเนินการสร้างแบบจำลอง HEC-RAS	3-4
สอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ	
3.4 การประเมินอัตราการไหลที่ออกแบบ	3-11
3.5 การประเมินอัตราการไหลสูงสุดที่คลองจะสามารถรับได้	3-13
บทที่ 4 ผลการทดลอง	4-1
4.1 ผลการสำรวจลักษณะทางกายภาพของคลองส่งน้ำสายหลัก	4-1
ภายใน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน	
4.2 ผลการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ	4-7
4.3 ผลการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ	4-9
4.4 ประเมินศักยภาพในการรองรับอัตราการไหลของน้ำ ในคลองส่งน้ำ	4-13
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	5-1
เอกสารอ้างอิง	

สารบัญ (ต่อ)

รายการ	หน้า
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การเดินสำรวจลักษณะทางกายภาพของการศึกษา คลองส่งน้ำสายหลักภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน	ก
ภาคผนวก ข ผลข้อมูลลักษณะทางกายภาพและข้อมูลการตรวจวัดความเร็ว และอัตราการไหลของน้ำตัดที่ทำการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์	ข
ภาคผนวก ค ตารางข้อมูล cross section และรูปตัดของคลองส่งน้ำสายหลัก ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตั้งแต่หน้าตัดที่ 1 ถึง หน้าตัดที่ 17	ค
ภาคผนวก ง ตารางแสดงข้อมูล ใช้ในการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์	ง
ภาคผนวก จ ตารางแสดงการ trial and error และผลการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ	จ
ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลที่เหมาะสมและรูปแสดงหน้าตัด	ฉ
ภาคผนวก ช ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลสูงสุดและรูปแสดงหน้าตัด	ช
ภาคผนวก ซ ผลการ Trial and Error ในการหาอัตราของการออกแบบ และอัตราการไหลสูงสุด	ซ

สารบัญตาราง

รายการ	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าระยะเพื่อพื้นน้ำ (freeboard) ของคลองส่งน้ำคาคอนกรีต	2-9
ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ	2-10
ตารางที่ 2.3 หลักการตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำ	2-11
ตารางที่ 4.1 ระยะห่างของแต่ละช่วงคลอง	4-1
ตารางที่ 4.2 ตำแหน่งของหน้าตัดที่ทำการศึกษา	4-4
ตารางที่ 4.3 ความลึกน้ำ ความลึกการตรวจวัดความเร็ว ความเร็วของกระแสน้ำ และตำแหน่งวัดความเร็วของหน้าตัดที่ 4-5 ในช่วงที่ 1	4-7
ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณอัตราการไหลของน้ำด้วยวิธี Mean Section	4-9
ตารางที่ 4.5 การนำเข้าข้อมูล crosssection ทั้งสามที่จะนำมา สอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ	4-9
ตารางที่ 4.6 การนำเข้าข้อมูล Downstream Reach Lengths	4-10
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลแต่ละช่วง 6 ช่วงของการศึกษา	4-12
ตารางที่ 4.8 ผลอัตราการไหลที่ออกแบบ ของคลองส่งน้ำสายหลัก	4-13
ตารางที่ 4.9 ผลอัตราการไหลสูงสุด ของคลองส่งน้ำสายหลัก	4-15
ตารางที่ 5.1 ผลอัตราการไหลที่ออกแบบและ อัตราการไหลสูงสุด ของคลองส่งน้ำสายหลักภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	5-1
ตารางภาคผนวก	
ตารางภาคผนวกที่ 1 การเดินสำรวจลักษณะทางกายภาพ	ก-1
ตารางภาคผนวกที่ 2 ผลข้อมูลลักษณะทางกายภาพและข้อมูลการตรวจวัด ความเร็วและอัตราการไหล	ข-1
ตารางภาคผนวกที่ 3 ตารางข้อมูล crosssection รูปตัดของคลองส่งน้ำ สายหลัก ตั้งแต่หน้าตัดที่ 1 ถึง หน้าตัดที่ 17	ค-1
ตารางภาคผนวกที่ 4 แสดงข้อมูลรูปตัด ที่ใช้ในการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์	ง-1
ตารางภาคผนวกที่ 5 สอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระครั้งที่ 1 -6	จ-1
ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลการ Trial and Error ในการหาอัตราการไหล ที่ออกแบบและอัตราการไหลสูงสุด	ช-1

สารบัญรูป

รายการ	หน้า
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการแบ่งประเภทการไหลโดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปตัดเป็นเกณฑ์	2-2
รูปที่ 2.2 สภาวะการไหลแบบต่างๆ	2-3
รูปที่ 2.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลในทางน้ำเปิด	2-4
รูปที่ 2.4 การไหลเข้าออกของปริมาตรควบคุม	2-4
รูปที่ 2.5 เสดของอนุภาคของไหลบนหน้าตัดใดๆ ของการไหลในทางน้ำเปิด	2-5
รูปที่ 2.6 เสดของหน้าตัดการไหลของการไหลในทางน้ำเปิด	2-6
รูปที่ 2.7 การวิเคราะห์แรงที่กระทำกับ Control volume ของการไหลในทางน้ำเปิด	2-6
รูปที่ 2.8 พลังงานเพาะของการไหลในทางน้ำเปิด	2-7
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ ระหว่างพลังงานจำเพาะ กับความลึกของการไหลในทางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก	2-8
รูปที่ 2.10 การแบ่งพื้นที่ส่วนย่อยตามวิธี mid-section	2-12
รูปที่ 2.11 การแบ่งพื้นที่ส่วนย่อยตามวิธี mean-section	2-13
รูปที่ 2.12 แสดงแบบจำลอง HEC-RAS Version 4.1.0	2-14
รูปที่ 3.1 เครื่องมือวัดความเร็วน้ำแบบใบพัด (propeller-type current meter)	3-1
รูปที่ 3.2 กล้องระดับ leica รุ่น NA 828 ไม้สตาฟ และ เทปวัดระยะ	3-1
รูปที่ 3.3 แผนที่แนวคลองส่งน้ำสายหลักภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และการแบ่งช่วงของการศึกษา	3-3
รูปที่ 3.4 แสดงความหมายของระดับที่จุดต่างๆ	3-2
รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งของการวัดความเร็วกระแส	3-4
รูปที่ 3.6 แสดงการตั้งค่าหน่วยเริ่มต้น ของแบบจำลอง HEC-RAS	3-4
รูปที่ 3.7 หน้าต่างแสดงการสร้างแผนงานเริ่มต้นของคลองส่งน้ำสายหลัก	3-5
รูปที่ 3.8 หน้าต่างแสดงการเริ่มสร้างข้อมูลทางภูมิศาสตร์	3-5
รูปที่ 3.9 หน้าต่างแสดงการสร้างแนวลำน้ำของคลองส่งน้ำสายหลัก	3-6
รูปที่ 3.10 หน้าต่างแสดงการเริ่มสร้างรูปตัดขวางคลองส่งน้ำ	3-6
รูปที่ 3.11 หน้าต่างแสดงข้อมูลของหน้าตัดขวางคลองส่งน้ำ	3-7
รูปที่ 3.12 หน้าต่างแสดงการวิเคราะห์การไหลแบบสมำเสมอ	3-8

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปที่ 3.13 หน้าต่างแสดงการวิเคราะห์การไหลแบบสมำเสมอ	3-8
รูปที่ 3.14 หน้าต่างแสดงการวิเคราะห์การไหลแบบสมำเสมอ	3-9
รูปที่ 3.15 หน้าต่างแสดงการวิเคราะห์การไหลแบบสมำเสมอ	3-9
รูปที่ 3.16 หน้าต่างแสดงการเริ่มต้นการประมวลผลการวิเคราะห์ การไหลแบบสมำเสมอ	3-9
รูปที่ 3.17 หน้าต่างแสดงการวิเคราะห์การไหลแบบสมำเสมอ	3-10
รูปที่ 3.18 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์การไหลแบบสมำเสมอ	3-10
รูปที่ 3.19 หน้าต่างแสดงการสุ่มค่าอัตราการไหล	3-11
รูปที่ 3.20 หน้าต่างแสดงการเลือกวิธีการวิเคราะห์แบบ Normal Depth	3-11
รูปที่ 3.21 หน้าต่างแสดงการเริ่มต้นการประมวลผลการวิเคราะห์ การไหลแบบสมำเสมอ	3-12
รูปที่ 3.22 หน้าต่างแสดงการวิเคราะห์การไหลแบบสมำเสมอ	3-12
รูปที่ 3.23 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์การไหลแบบสมำเสมอ	3-13
รูปที่ 3.24 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์การไหลแบบสมำเสมอ การออกแบบอัตราการไหลสูงสุดที่ทำให้น้ำล้นคันคลอง	3-13
รูปที่ 4.1 cross section ในแต่ละช่วงของการศึกษา	4-3
รูปที่ 4.2 แสดงการใส่ค่าระดับ cross section ในโปรแกรม HEC-RAS station ที่ 5 ช่วงที่ 1	4-5
รูปที่ 4.3 หาความลึกเพื่อไปหาจุดวัดความเร็วโดยอ้างอิงจากระดับกันคลอง ของหน้าตัดที่ 4-5 ในช่วงที่ 1	4-6
รูปที่ 4.4 แสดงข้อมูลที่นำมาคำนวณอัตราการไหลด้วยวิธี Mean Section	4-7
รูปที่ 4.5 แสดงผลรูปตัดข้อมูลทางกายภาพ	4-10
รูปที่ 4.6 แสดงการนำเข้าข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากการสำรวจความเร็วพื้นที่ 4-11 หน้าตัดของคลองส่งน้ำ ทุกหน้าตัดขวางในช่วงที่ทำการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ การไหล	4-11
รูปที่ 4.7 แสดงวิธีการนำเข้าข้อมูลค่าระดับน้ำ	4-11
รูปที่ 4.8 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์การไหลแบบสมำเสมอ	4-12
รูปที่ 4.9 หน้าตัดที่ได้จากการประมวลผล	4-13

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปที่ 4.10 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์การไหล และหน้าตัด crosssection คำนวณค่าอัตราการไหลที่เหมาะสมของช่วงที่ 1	4-14
รูปที่ 4.11 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์การไหล และหน้าตัด crosssection คำนวณค่าอัตราการไหลที่สูงสุดของช่วงที่ 1	4-16
ภาคผนวก	
รูปภาคผนวกที่ 1 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 1	ค-3
รูปภาคผนวกที่ 2 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 2	ค-3
รูปภาคผนวกที่ 3 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 3	ค-4
รูปภาคผนวกที่ 4 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 4	ค-4
รูปภาคผนวกที่ 5 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 5	ค-5
รูปภาคผนวกที่ 6 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 6	ค-5
รูปภาคผนวกที่ 7 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 7	ค-6
รูปภาคผนวกที่ 8 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 8	ค-6
รูปภาคผนวกที่ 9 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 9	ค-7
รูปภาคผนวกที่ 10 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 10	ค-7
รูปภาคผนวกที่ 11 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 11	ค-8
รูปภาคผนวกที่ 12 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 11.1	ค-8
รูปภาคผนวกที่ 13 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 12	ค-9
รูปภาคผนวกที่ 14 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 13	ค-9
รูปภาคผนวกที่ 15 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 14	ค-10
รูปภาคผนวกที่ 16 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 15	ค-10
รูปภาคผนวกที่ 17 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 16	ค-11
รูปภาคผนวกที่ 18 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 17	ค-11
รูปภาคผนวกที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 1	ฉ-1
รูปภาคผนวกที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 2	ฉ-2
รูปภาคผนวกที่ 21 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 3	ฉ-3

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปภาคผนวกที่ 22 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 4	ฉ-4
รูปภาคผนวกที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 5	ฉ-5
รูปภาคผนวกที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 6	ฉ-6
รูปภาคผนวกที่ 25 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่	ฉ-7
รูปภาคผนวกที่ 26 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 2 หน้าตัดที่ 8	ฉ-8
รูปภาคผนวกที่ 27 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 2 หน้าตัดที่ 9	ฉ-9
รูปภาคผนวกที่ 28 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 2 หน้าตัดที่ 10	ฉ-10
รูปภาคผนวกที่ 29 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 3 หน้าตัดที่ 11	ฉ-11
รูปภาคผนวกที่ 30 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 3 หน้าตัดที่ 11.1	ฉ-12
รูปภาคผนวกที่ 31 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 4 หน้าตัดที่ 12	ฉ-13
รูปภาคผนวกที่ 32 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 4 หน้าตัดที่ 13	ฉ-14
รูปภาคผนวกที่ 33 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 5 หน้าตัดที่ 14	ฉ-15
รูปภาคผนวกที่ 34 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 5 หน้าตัดที่ 15	ฉ-16
รูปภาคผนวกที่ 35 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 6 หน้าตัดที่ 16	ฉ-17

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปภาคผนวกที่ 36 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 5 หน้าตัดที่ 14	ฉ-18
รูปภาคผนวกที่ 37 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 1	ช-1
รูปภาคผนวกที่ 38 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 2	ช-2
รูปภาคผนวกที่ 39 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 1	ช-3
รูปภาคผนวกที่ 40 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 4	ช-4
รูปภาคผนวกที่ 41 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 5	ช-5
รูปภาคผนวกที่ 42 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 6	ช-6
รูปภาคผนวกที่ 43 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 7	ช-7
รูปภาคผนวกที่ 44 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 2 หน้าตัดที่ 8	ช-8
รูปภาคผนวกที่ 45 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 2 หน้าตัดที่ 9	ช-9
รูปภาคผนวกที่ 46 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 2 หน้าตัดที่ 10	ช-10
รูปภาคผนวกที่ 47 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 3 หน้าตัดที่ 11	ช-11
รูปภาคผนวกที่ 48 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 3 หน้าตัดที่ 11.1	ช-12

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปภาคผนวกที่ 49 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 4 หน้าตัดที่ 12	ช-13
รูปภาคผนวกที่ 50 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 4 หน้าตัดที่ 13	ช-14
รูปภาคผนวกที่ 51 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 5 หน้าตัดที่ 14	ช-15
รูปภาคผนวกที่ 52 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 5 หน้าตัดที่ 15	ช-16
รูปภาคผนวกที่ 53 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 6 หน้าตัดที่ 16	ช-17
รูปภาคผนวกที่ 54 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 6 หน้าตัดที่ 17	ช-18

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากคลองส่งน้ำสายหลักภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ผ่านการใช้งานมาเป็นระยะเวลานาน ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของคลองเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการส่งน้ำของคลองลดลง ปัจจุบันหน่วยงานที่ทำหน้าที่บริหารจัดการน้ำภายในวิทยาเขต ไม่ทราบค่าอัตราการไหลที่แท้จริงที่คลองส่งน้ำจะสามารถรับได้ จึงทำให้การบริหารจัดการน้ำภายในวิทยาเขตกำแพงแสน เกิดปัญหาน้ำล้นคันคลองในหลายจุด เกิดการสูญเสียทรัพยากรน้ำไปโดยเปล่าประโยชน์ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดความเสียหายต่อคันคลอง และพื้นที่ข้างเคียง ดังนั้นจำเป็นต้องแก้ปัญหาโดยการประเมินความสามารถในการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายหลักภายในวิทยาเขตกำแพงแสน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการน้ำภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

1.2 วัตถุประสงค์

ประเมินความสามารถในการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายหลักภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ประเมินอัตราการไหลสูงสุดที่คลองส่งน้ำจะสามารถรับได้ ภายใต้เงื่อนไขการไหลแบบคงที่ (Steady Flow) และหน้าตัดการไหลแปรเปลี่ยนแบบค่อยเป็นค่อยไป (Gradually Varied Flow) โดยใช้แบบจำลอง HEC-RAS

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถประเมินอัตราการไหลที่เหมาะสม และอัตราการไหลสูงสุดที่คลองส่งน้ำสายหลัก ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน สามารถรองรับได้ในปัจจุบัน ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการบริหารจัดการน้ำภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

1.4.2 ช่วยลดความเสียหายอันเนื่องมาจากน้ำล้นคันคลอง ซึ่งเป็นผลมาจากการไม่ทราบถึงประสิทธิภาพสูงสุดในการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายหลัก ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร

2.1 การไหลในทางน้ำเปิด (ธัญดร,2553)

การไหลในทางน้ำเปิด (Open Channel Flow) คือการไหลของของไหลไปตามทางน้ำ โดยผิวอิสระสัมผัสกับอากาศด้านบน การไหลจะอยู่ภายใต้ อิทธิพลของความดันบรรยากาศโดยรอบ (Atmospheric pressure) และแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity)

2.1.1 ประเภทของทางน้ำเปิด (Type of channel)

ทางน้ำธรรมชาติ (Natural channel) และ ทางน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น (Artificial channel)

ก. ทางน้ำธรรมชาติ (Natural channel) ทางน้ำที่เกิดเองตามธรรมชาติ รูปร่างของรูปตัดขวางและความลาดเทของท้องทางน้ำจะเปลี่ยนไปตามพื้นที่ (Non-Prismatic channel)

ข. ทางน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น (Artificial channel) ทางน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยทั่วไปลักษณะของทางน้ำจะมีรูปตัดขวางและความลาดเทของท้องรางคงที่ (Prismatic channel) เช่น คลองส่งน้ำตาดาคอนกรีต

การจำแนกประเภทการไหลในทางน้ำเปิด (Open channel flow classification)

ก. พิจารณาการเปลี่ยนแปลงกับเวลา

a. การไหลคงที่ (Steady flow) คือการไหลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น ความลึก (y) ความเร็ว (V) อัตราการไหล (Q) พื้นที่หน้าตัดการไหล (A) จะคงที่ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา

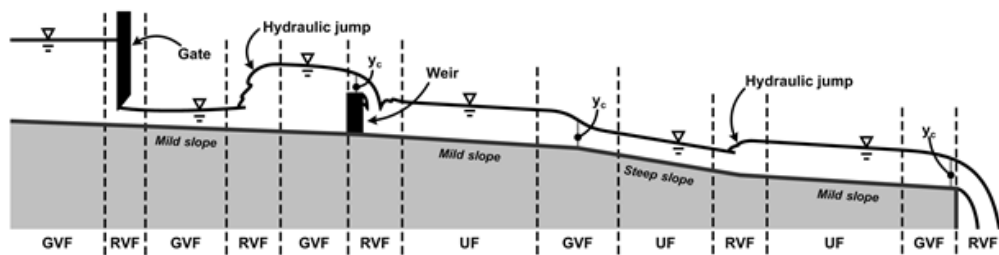
b. การไหลไม่คงที่ (Unsteady flow) คือการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงตาม เช่น ความลึก ความเร็ว อัตราการไหล พื้นที่หน้าตัดการไหล ไม่คงที่ ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา

ข. พิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปตัดขวางของการไหลในช่วงใดๆ

a. การไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow : UF) คือการไหลที่มีความลึก (y) และพื้นที่หน้าตัดการไหล (A) คงที่ตลอดช่วงความยาวที่พิจารณา

b. การไหลแบบแปรเปลี่ยน (Varied flow หรือ Non-Uniform flow) คือการไหลที่มีความลึกและ พื้นที่หน้าตัดการไหลไม่คงที่ตลอดช่วงความยาวที่พิจารณาซึ่งแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

- การไหลแบบแปรเปลี่ยนแบบค่อยเป็นค่อยไป (Gradually Varied Flow : GVF) คือการไหลที่ความลึก และ พื้นที่หน้าตัดการไหลมีการเปลี่ยนแปลงทีละน้อยไปตามความยาวของช่วงที่พิจารณา
- การไหลแบบแปรเปลี่ยนแบบฉับพลัน (Rapidly Varied Flow : RVF) คือการไหลที่ ความลึกและพื้นที่ หน้าตัดการไหลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันในช่วงความยาวที่พิจารณา



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการแบ่งประเภทการไหลโดย พิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปตัดเป็นเกณฑ์

การจำแนกโดยพิจารณาจาก ฟรูดันัมเบอร์ (Froude number : F_r)

Froude number คือ ตัวเลขที่วิเคราะห์โดยคำนึงถึง อิทธิพลของแรงอันเนื่องมาจากความโน้มถ่วง (Gravity force) และแรงอันเนื่องมาจากความเฉื่อยของมวล (Inertia force) ตัวเลขดังกล่าวนี้จะสามารถบ่งบอกถึงพฤติกรรมของการไหลได้

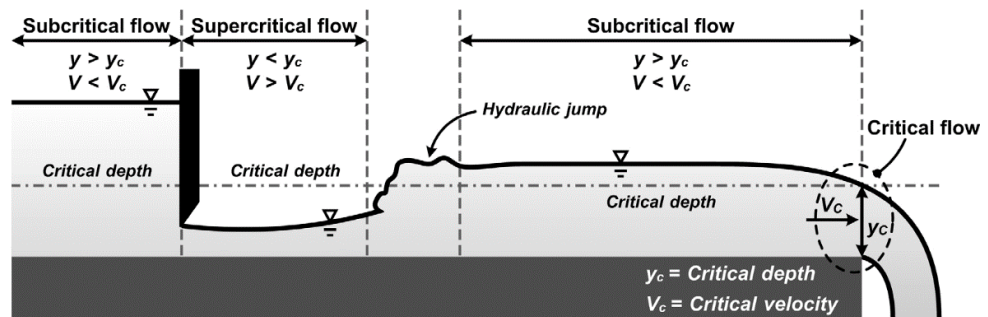
$$F = \frac{v}{\sqrt{gD}} \quad \text{————— (2.1)}$$

เมื่อ D = ความลึกชลศาสตร์ (hydraulic depth)
 g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

-การไหลวิกฤต (Critical flow) จะเกิดขึ้นเมื่อค่าฟรูดนัมเบอร์เท่ากับ 1 ค่าความลึกและความเร็วที่สภาวะนี้จะ เรียกว่า ความลึกวิกฤต และความเร็ววิกฤต

-การไหลต่ำกว่าวิกฤต (Subcritical flow) จะเกิดขึ้นเมื่อค่าฟรูดนัมเบอร์ต่ำกว่า 1 ที่สภาวะนี้ ความลึก จะ มากกว่า ความลึกวิกฤต แต่ความเร็วจะน้อยกว่าความเร็ววิกฤต เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลเท่ากัน

-การไหลเหนือกว่าวิกฤต (Supercritical flow) จะเกิดขึ้นเมื่อค่าฟรูดนัมเบอร์มากกว่า 1 ที่สภาวะนี้ ความลึก จะน้อยกว่า ความลึกวิกฤต แต่ความเร็วจะมากกว่าความเร็ววิกฤต เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหล



รูปที่ 2.2 สภาวะการไหลแบบต่างๆ

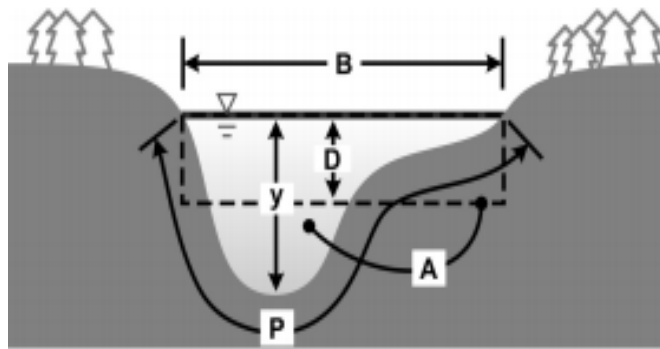
2.1.2 สมการพื้นฐานของการไหลในทางน้ำเปิด (Basic equation of open channel flow) (ธัญดร,2553)

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การไหลในทางน้ำเปิด ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรต่อไปนี้

- ความลึก (Depth: y) คือระยะในแนวตั้งที่วัดจากจุดต่ำสุดจนถึงผิวอิสระของหน้าตัดการไหล
- ความกว้างผิว (Top width : B) คือความกว้างของผิวอิสระของพื้นที่หน้าตัดการไหล
- ความลึกชลศาสตร์ (Hydraulic depth : D) คือความลึกเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดการไหลที่มีความกว้างเท่ากับความกว้างผิว ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก
- ความยาวเส้นขอบเปียก (Wetted perimeter : P) คือความยาวเส้นขอบด้านสัมผัสกับทางน้ำของพื้นที่หน้าตัดการไหล

- รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic radius :R) คือตัวแปรที่มีคุณลักษณะคล้ายกับรัศมี ซึ่งคำนวณจาก

$$R = \frac{A}{P} \quad \text{—————(2.2)}$$



รูปที่ 2.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลในทางน้ำเปิด

- สมการต่อเนื่อง (Continuity Equation)

จากสมการกฎการอนุรักษ์มวลจากสมการกฎการอนุรักษ์มวล

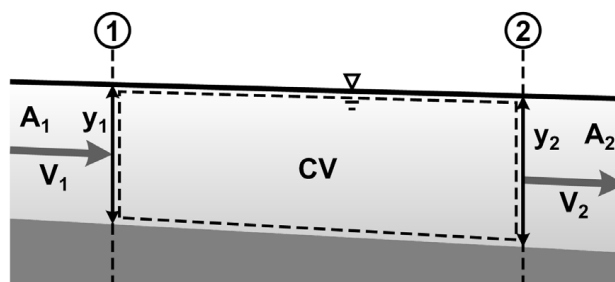
$$\frac{\partial M_{cv}}{\partial t} = \sum \dot{M}_{In} - \sum \dot{M}_{Out} \quad \text{—————(2.3)}$$

พิจารณาการไหลเข้าออกของปริมาตรควบคุมดังรูปที่ 2.4 เมื่อของไหลอัดตัวไม่ได้ (incompressible fluid) และอัตราการไหลคงที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (steady state) จะได้ว่า

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad \text{—————(2.4)}$$

ในกรณีทางน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก หรือการวิเคราะห์การไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง จะได้ว่า

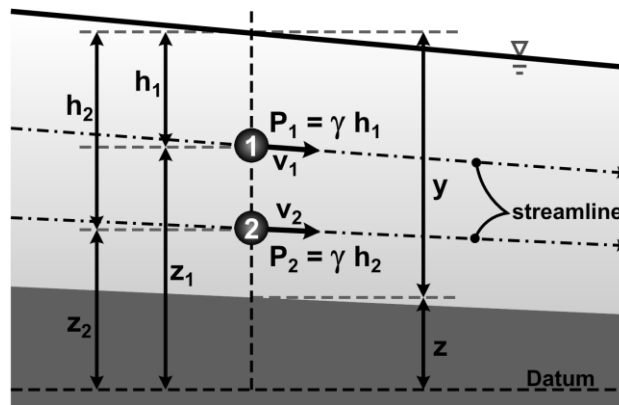
$$y_1 V_1 = y_2 V_2 \quad \text{—————(2.5)}$$



รูปที่ 2.4 การไหลเข้าออกของปริมาตรควบคุม

- สมการพลังงาน (Energy Equation)

สมการพลังงานคือสมการความสัมพันธ์ของเฮด (Energy head) ของอนุภาคของไหลที่เคลื่อนที่ไปตาม streamline ผ่านจุดต่างๆ ซึ่งเฮดที่ว่านั้นจะประกอบด้วย เฮดระดับ(Elevation head) เฮดความดัน(Pressure head) และเฮดความเร็ว (Velocity head) โดยผลรวมของเฮดระดับ กับเฮดความดันจะเรียกว่า เฮดสถิต(Static head) เมื่อพิจารณากับการไหลในทางน้ำเปิด ที่หน้าตัดการไหลเดียวกัน หากเราพิจารณาค่าเฮดสถิตของอนุภาคของไหลใดๆ บนหน้าตัด ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เฮดของอนุภาคของไหลบนหน้าตัดใดๆ ของการไหลในทางน้ำเปิด

$$Z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L \quad (2.6)$$

เมื่อ

h_L = การสูญเสียพลังงาน

Y_i = ความลึกที่หน้าตัด i

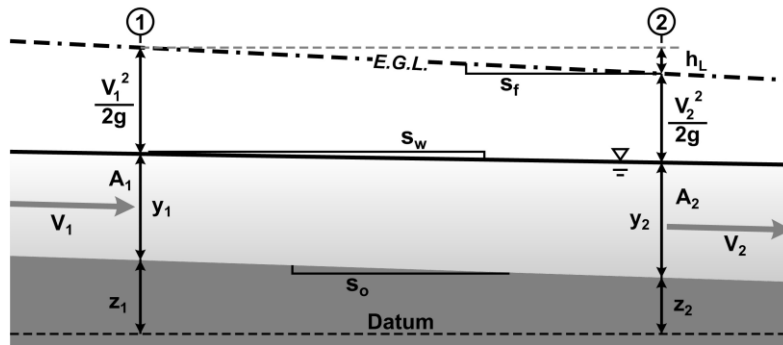
Z_i = ค่าระดับท้องรางน้ำที่หน้าตัด i

V_i = ความเร็วเฉลี่ยของการไหลที่หน้าตัด i

S_f = ความลาดชันของเส้นระดับพลังงานรวม

S_w = ความลาดชันของผิวน้ำ

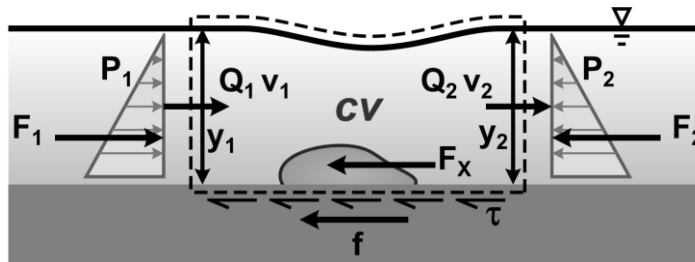
S_o = ความลาดชันของท้องรางน้ำ



รูปที่ 2.6 เสดของหน้าตัดการไหลของการไหลในทางน้ำเปิด

สำหรับการไหลในทางน้ำเปิด สิ่งที่เราควรระวังคือค่า z ในสมการที่ 2.6 ไม่ใช่ค่าเสดระดับของอนุภาคของของไหลแต่เป็นค่าระดับของท้องรางน้ำเปิดของหน้าตัดการไหลที่พิจารณา ซึ่งก็คือเสดระดับของหน้าตัดการไหล ส่วนความลึกของน้ำ (y) จะกลายเป็นเสดความดัน

- สมการโมเมนตัม (Momentum Equation)



รูปที่ 2.7 การวิเคราะห์แรงที่กระทำกับ Control volume ของการไหลในทางน้ำเปิด

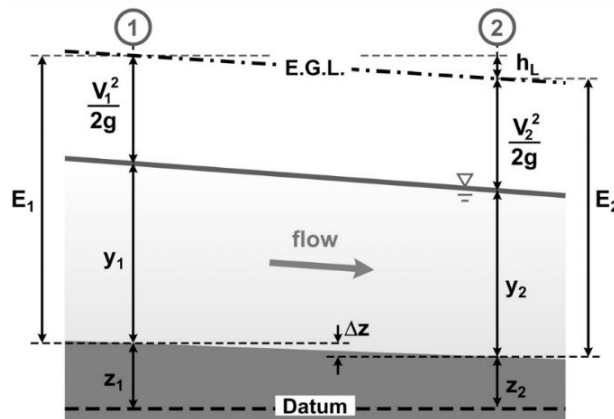
กำหนดให้ $\sum F$ คือผลรวมของแรงจากภายนอกโดยไม่รวมแรงที่เกิดจากความดัน ซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ $F_x + f$ จะได้

$$\frac{\sum F}{\gamma} = \left[y_1 A_1 + \frac{Q^2}{g A_2} \right] - \left[y_2 A_2 + \frac{Q^2}{g A_2} \right] \quad (2.7)$$

- พลังงานจำเพาะกับการไหลแปรเปลี่ยนแบบฉับพลันแต่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Specific energy and steady rapidly varied flow)

พิจารณาสมการพลังงานของการไหลในทางน้ำเปิด เสดที่บ่งบอกถึงสถานะของการไหลนั้นจะประกอบด้วย เสดความเร็ว และ เสดความดันซึ่งผลรวมของทั้งสองส่วนนี้เรียกว่าพลังงานจำเพาะ (Specific energy) ซึ่งหากนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพการไหลในช่วงสั้นๆ จะได้ว่า

$$Z_2 - Z_1 = (E_1 - E_2) - h_L \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.8 พลังงานจำเพาะของการไหลในทางน้ำเปิด

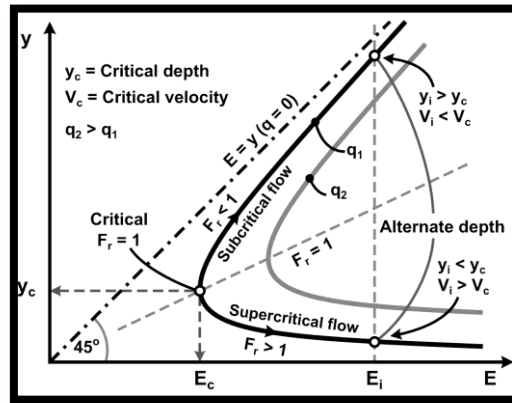
จากข้างต้นพลังงานจำเพาะ (E) ประกอบขึ้นจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหล ดังนั้น หากนำมาวิเคราะห์กับการไหลในทางน้ำรูปลี่เหลี่ยมผืนผ้า จะได้ว่าเมื่อกำหนดให้

$$q = \frac{Q}{B} \text{ (อัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง)} \quad (2.9)$$

$$= \frac{VA}{B} = V \times y$$

$$V = \frac{q}{y} \quad (2.10)$$

จาก q คงที่ ดังนั้นหากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง E กับ Y พบว่ากราฟความสัมพันธ์จะเป็นรูป Hyperbola ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ ระหว่างพลังงานจำเพาะ กับความลึกของการไหลในทางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก

ที่ระดับพลังงานจำเพาะหนึ่งๆ ค่าความลึกของการไหลสามารถเป็นไปได้สองค่า (alternate depth) แต่จะมีเพียงจุดเดียวเท่านั้นที่ ค่าพลังงานจำเพาะสัมพันธ์กับค่าความลึกเพียงหนึ่งค่าเราเรียกจุดนั้นว่า การไหลวิกฤต (critical flow) ซึ่งเราจะเรียกค่าความลึก และพลังงานจำเพาะที่จุดนั้นว่า ความลึกวิกฤต (critical depth : y_c) และพลังงานจำเพาะที่จุดวิกฤต (critical specific energy : E_c) ตามลำดับ

ในกรณีที่การไหลมีค่า ความลึกมากกว่าความลึกวิกฤต ($y > y_c$) ซึ่งความเร็วของการไหลจะต่ำกว่า ความเร็วที่จุดวิกฤต ($V < V_c$) เราจะเรียกการไหลลักษณะนี้ว่า การไหลต่ำกว่าวิกฤต (subcritical flow)

ในทางตรงกันข้ามการไหลมีค่าความลึกน้อยกว่าความลึกวิกฤต ($y < y_c$) ซึ่งความเร็วของการไหลจะ มากกว่าความเร็วที่จุดวิกฤต ($V > V_c$) เราจะเรียกการไหลลักษณะนี้ว่า การไหลเหนือวิกฤต (supercritical flow)

2.1.3 การคำนวณปริมาณการไหลของน้ำจากสูตรแมนนิง (Manning's formula) (สกุล ,2542)

เป็นวิธีการใช้หลักพลังงาน (Principle of energy) ในการประมวลหาค่าความเร็วเฉลี่ยของลำน้ำ การคำนวณจะต้องใช้ข้อมูล หรือวัดความลาดเทของผิวน้ำตามแนวลำน้ำ เพื่อใช้เป็นค่าประมาณของความลาดชันของพลังงาน หรือ Energy gradient เป็นสูตรที่นิยมใช้คำนวณค่าความเร็วเฉลี่ย

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad \text{ระบบเมตริก} \text{-----} \quad (2.11)$$

$$v = \frac{1.49}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad \text{ระบบอังกฤษ} \text{-----} \quad (2.12)$$

- เมื่อ
- v = ค่าความเร็วเฉลี่ย เมตร/วินาที
 - n = ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำ
 - R = ค่ารัศมีชลศาสตร์ที่หาได้จากค่า P/A เมตร
 - A = พื้นที่ตัดลำน้ำ ตารางเมตร
 - P = ความยาวเส้นขอบเปียก เมตร
 - S = ความลาดชันผิวน้ำ

โดยที่พื้นที่รูปตัดเส้นขอบเปียก และความลาดชันผิวน้ำหาได้จากการสำรวจ ภายหลังที่ ปริมาณน้ำสูงสุดผ่านไป แล้ว ซึ่งสังเกตได้จากคราบของระดับน้ำสูงสุด (สกุล ,2542)

2.1.4 ตารางค่าระยะเพื่อพื้นน้ำ (freeboard) ของคลองส่งน้ำตาดคอนกรีต (กรมชลประทาน, 2547)

ตารางที่ 2.1 ค่าระยะเพื่อพื้นน้ำ (freeboard) ของคลองส่งน้ำตาดคอนกรีต

ปริมาณน้ำ (ม.3/ วินาที)	Freeboard ของขอบคอนกรีตตาด (ม.)	Freeboard ของคันคลอง (ม.)
<1.00	0.15	0.45
1.00 – 2.5	0.20	0.60
2.50 – 5.00	0.25	0.70
5.00 – 10.00	0.35	0.85
> 10.00	0.50	1.00

2.1.5 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning (Manning's n) (การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, 2546.)

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ

ชนิดของผิวทางน้ำคลองส่งน้ำและคูส่งน้ำ	สภาพ			
	ดีมาก	ดี	ปานกลาง	เลว
คลองดินที่มีแนวตรงและรูปตัดสมมาตร	0.017	0.02	0.0225*	0.025
คลองที่ลาดตลิ่งเป็นดินปนกรวดปนหิน	0.028	0.03	0.033	0.035
คลองดินที่กั้นคลองมีดินปนกรวด ตลิ่งมีหญ้าขึ้น	0.025	0.03	0.035	0.04
คลองที่ขุดผ่านหินและตกแต่งผิวเรียบ	0.025	0.03	0.033*	0.035
คลองขุดผ่านหินขรุขระและรูปตัดไม่สมมาตร	0.035	0.04	0.045	-
คลองดินที่คดเคี้ยวมาก	0.0225	0.025*	0.0275	0.03
คลองตาดคอนกรีต	0.012	0.014*	0.016	0.018
รางน้ำหรือสะพานน้ำ				
คอนกรีตผิวเรียบ	0.012	0.014*	0.016*	0.018
ไม้ผิวขัดเรียบ	0.01	0.012*	0.013	0.014
ไม้ผิวไม่เรียบ	0.011	0.013*	0.014	0.015
โลหะรูปครึ่งวงกลมผิวเรียบ	0.011	0.012	0.013	0.015
โลหะรูปครึ่งวงกลมผิวเป็นลอน	0.0225	0.025	0.0275	0.03
ท่อชนิดต่างๆ				
เหล็กหล่อไม่ฉาบผิว	0.012	0.013	0.014	0.015
เหล็กหล่อฉาบผิวเรียบ	0.011	0.012*	0.013*	-
เหล็กดำไม่ฉาบผิว	0.012	0.013	0.014	0.015
เหล็กดำอบสังกะสี	0.013	0.014	0.015	0.017
ทองเหลืองผิวเรียบ หรือหลอดแก้ว	0.009	0.01	0.011	0.013
ดินเผาใช้ทำท่อน้ำโสโครก	0.011	0.012	0.014	0.017
อิฐก่อใช้เป็นท่อน้ำโสโครก	0.012	0.013	0.015	0.017
คอนกรีต	0.012	0.013	0.015*	0.016
ไม้	0.01	0.011	0.012	0.01

หมายเหตุ: * เป็นค่าที่แนะนำให้ใช้ในการออกแบบทางน้ำ

2.2 การวัดอัตราการไหลโดยใช้เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Current Meter) (วิชิวัด, 2555)

2.2.1 หลักการตรวจวัดความเร็วกระแสไฟฟ้า

ความเร็วของกระแสไฟฟ้าจะมีค่าไม่เท่ากันตลอดความลึก คือ มีค่าเป็นศูนย์ที่บริเวณท้องน้ำ และมีค่าสูงสุดที่บริเวณใกล้ผิวน้ำ ฉะนั้นอาจจะต้องการวัดความเร็วของกระแสไฟฟ้ามามากกว่า 1 จุด โดยมีเกณฑ์วิธีการหาดังนี้

ตารางที่ 2.3 หลักการตรวจวัดความเร็วกระแสไฟฟ้า

วิธีการวัด	ความลึกของน้ำ d(เมตร)	จุดความลึกที่ทำการวัด(เมตร)	ความเร็วเฉลี่ย
1. วัดจุดเดียว	0.30-0.60	0.6d จากผิวน้ำ	$\bar{V} = V_{0.6}$
2. วัดสองจุด	0.60-3.00	0.2d และ 0.8d	$\bar{V} = \frac{1}{2}(V_{0.2} + V_{0.8})$
3. วัดสามจุด	3.00-5.10	0.2d, 0.6d และ 0.8d	$\bar{V} = (V_{0.2} + 2V_{0.6} + V_{0.8})$

เมื่อ

$V_{0.2}$ = ความเร็วที่ 0.2d วัดจากผิวน้ำ

$V_{0.6}$ = ความเร็วที่ 0.6d วัดจากผิวน้ำ

$V_{0.8}$ = ความเร็วที่ 0.8d วัดจากผิวน้ำ

จากเรื่องที่ทำการศึกษาอาจจะมีบ้างช่วงวัด 1 จุด และบางช่วง 2 จุด

2.2.2 หลักการทำงานของเครื่องมือวัด (วิชิวัด, 2555)

การวัดความเร็วของกระแสไฟฟ้า โดยเครื่อง Current Meter จะอาศัยการนับรอบของใบพัดของเครื่องมือวัด เทียบกับเวลาที่นับได้ ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบการหมุนของใบพัด กับความเร็วของกระแสไฟฟ้าของเครื่องวัดโดยทั่วไปอยู่ในรูปของสมการ

$$V = aN + b \quad (2.13)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วของการไหล ณ ความลึกที่จุดวัด

a, b คือ ค่าคงที่ (ขึ้นอยู่กับรุ่นของเครื่องมือวัดแต่ละตัว)

N คือ จำนวนรอบที่ใบพัดหมุน ต่อ หน่วยเวลา

การคำนวณอัตราการไหล คือ การนำความเร็วที่ได้มาคำนวณให้เป็นอัตราการไหลโดยใช้สมการ

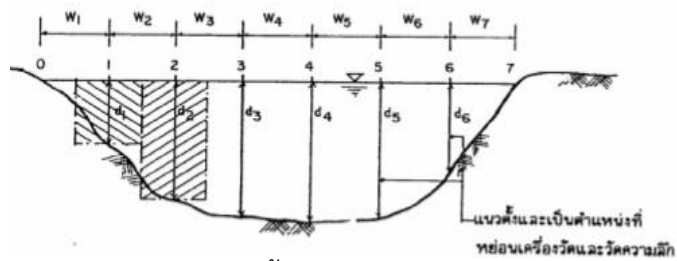
$$Q = A \times V \text{ (2.14)}$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดของน้ำ
V คือ ความเร็วเฉลี่ยของน้ำบนพื้นที่หน้าตัดนั้น

ในการคำนวณอัตราการไหลจากค่าความเร็วที่ได้ มีวิธีการคำนวณ 2 วิธีด้วยกันคือ

- วิธีใช้พื้นที่รูปตัดที่จุดกึ่งกลาง (Mid - Section)

วิธีใช้พื้นที่รูปตัดที่จุดกึ่งกลาง (Mid-Section) หมายถึงการคิดพื้นที่หน้าตัดการไหลย่อยๆ คร่อมแนวเส้นแบ่งช่วงกว้างของผิวน้ำ เพื่อนำไปใช้คูณกับความเร็วเฉลี่ย จากจำนวนจุดทั้งหมดที่วัดได้ในแนวเส้นนั้น



รูปที่ 2.10 การแบ่งพื้นที่ส่วนย่อยตามวิธี mid-section

วิธีการคำนวณโดยวิธีนี้เริ่มจาก การวัดความเร็วจากแต่ละแนวแบ่ง แล้วทำการเฉลี่ยความเร็วของแต่ละแนวแบ่งให้เหลือเพียงค่าเดียว จากนั้นคำนวณพื้นที่หน้าตัดย่อย โดยอาศัยสูตรพื้นที่รูปเหลี่ยมทั่วไป คำนวณอัตราการไหลย่อย

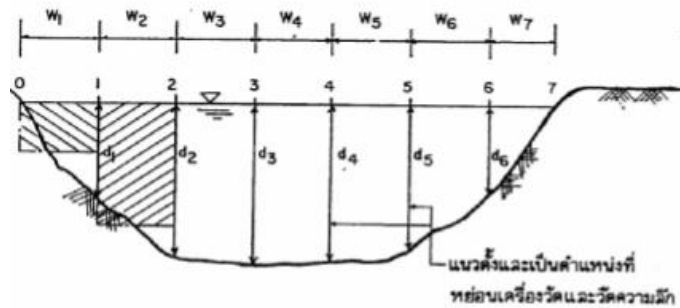
จากสมการ

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= A_1 \times V_1 \\ Q_2 &= A_2 \times V_2 \\ &\vdots \\ Q_n &= A_n \times V_n \end{aligned} \right\} \text{ (2.15)}$$

เมื่อ $Q_{1,2,3,\dots,n}$ คือ อัตราการไหลย่อยที่ผ่านพื้นที่ย่อย $A_{1,2,3,\dots,n}$
 $V_{1,2,3,\dots,n}$ คือ ความเร็วเฉลี่ยของแนว 1,2,3,...,n ตามลำดับ
 จากนั้นคำนวณอัตราการไหลของทางน้ำ จาก
 $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_n$

- วิธีใช้พื้นที่รูปตัดระหว่างเส้นแบ่ง (Mean - Section)

วิธีใช้พื้นที่รูปตัดระหว่างเส้นแบ่ง (Mean - Section) หมายถึงการคิดพื้นที่หน้าตัดส่วนย่อยจากพื้นที่ระหว่างเส้นแบ่งความกว้างผิวน้ำ แล้วนำไปคูณกับความเร็วจเฉลี่ยที่ได้จากความเร็วของแนวเส้นแบ่งซ้ายและขวาของพื้นที่ย่อยๆ นั้น



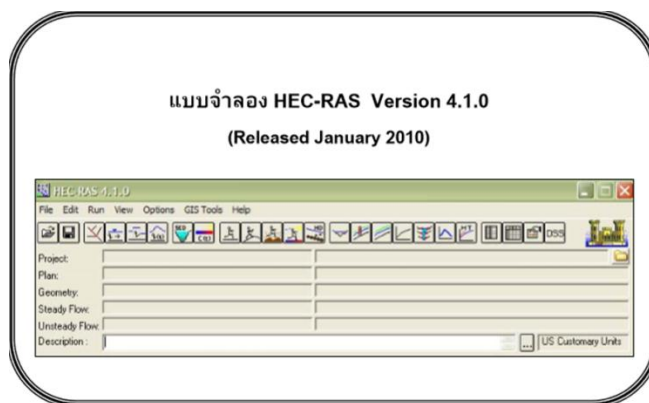
รูปที่ 2.11 การแบ่งพื้นที่ส่วนย่อยตามวิธี mean-section

วิธีนี้พื้นที่ย่อยคำนวณจากพื้นที่ระหว่างเส้นแบ่ง เช่นพื้นที่ระหว่าง 0-1 , 1-2 , 2-3 , เป็นต้น ส่วนความเร็ว ใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยจากแนวแบ่งที่ขนานกับพื้นที่นั้นๆ จากสูตร

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= A_1 \times V_{0-d1} \\
 Q_2 &= A_2 \times V_{d2-d3} \\
 &\vdots \\
 Q_n &= A_n \times V_{(dn-1)-dn}
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_n \end{aligned}} \right\} \text{--- (2.16)}$$

เมื่อ $Q_{1,2,3,\dots,n}$ คือ อัตราการไหลผ่านพื้นที่ย่อย $A_{1,2,3,\dots,n}$
 V_{d1-d2} คือ V ที่เฉลี่ยจากแนว d_1 กับ d_2 จากนั้นรวม Q ย่อยทั้งหมด จะ
 ได้เป็น Q ของหน้าตัดทางน้ำนั้น

2.3 แบบจำลอง HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System)



รูปที่ 2.12 แสดงแบบจำลอง HEC-RAS Version 4.1.0

2.3.1 ทฤษฎีของแบบจำลอง HEC-RAS (ปรีวัตร,2550)

แบบจำลอง HEC-RAS ได้รับการพัฒนาจากสถาบัน US Army Corps of Engineers River Analysis System ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้คำนวณการไหลของน้ำที่ผันแปรทีละน้อยในช่องทางธรรมชาติ และช่องทางที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยใช้ขั้นตอนมาตรฐานกับโปรแกรมนี้ ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำระหว่างรูปตัดที่ใกล้เคียงกัน สามารถสร้างโมเดลได้ทั้งการไหลแบบได้วิกฤต และแบบเหนือวิกฤต วิธีการคำนวณใช้พื้นฐานของการไหลที่คงที่ และความลึกของการไหลที่ค่อยๆ เปลี่ยนจากหน้าตัดการไหลหนึ่งไปสู่อีกหน้าตัดการไหลหนึ่ง (Gradually Varied Flow)

2.3.2 การใช้งานแบบจำลอง HEC-RAS (วิชิวต์, 2555)

คู่มือการใช้งานแบบจำลอง HEC-RAS เพื่อการวิเคราะห์ Water Surface Profile ของการไหลแบบ Steady Flow โดยใช้แบบจำลอง HEC-RAS ที่ใช้เป็นเวอร์ชัน 4.1.0 Release January 2010

ก. การสร้างไฟล์ต่างๆของแบบจำลอง HEC-RAS

- Project File เป็นไฟล์ควบคุมการคำนวณและการเรียกไฟล์ชนิดต่างๆของแบบจำลอง HEC-RAS
- Plan File เป็นไฟล์กำหนดตำแหน่งที่ตั้งของไฟล์ต่างๆของแบบจำลอง HEC-RAS และใช้ในการกำหนด Flow Regime ได้แก่ การไหลแบบ Subcritical, Supercritical และ Mixed Flow
- Geometric File เป็นไฟล์เก็บข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำ (Cross-section) และค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-RAS ได้แก่ Manning Number
- File Steady Flow เป็นไฟล์สำหรับเก็บข้อมูลขอบเขตของแบบจำลองและการไหล ตลอดจนกำหนดค่าตั้งต้นของแบบจำลอง

ข. การแสดงผลออกจากแบบจำลอง HEC-RAS

- การสร้างวาดรูปแสดงระดับผิวน้ำที่แต่ละรูปตัดขวางลำน้ำ (Cross-section)
- การสร้างกราฟค่าระดับผิวน้ำตามลำน้ำ (Longitudinal Profile)

บทที่ 3

อุปกรณ์ และ วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 เครื่องมือวัดความเร็วน้ำแบบใบพัด (Propeller Electric Current Meter) คือ เครื่องมือสำหรับวัดความเร็วในกระแสน้ำในกรณีปริมาณน้ำไม่มากนัก ความเร็วที่เครื่องสามารถวัดได้ 0.03-7.5 เมตร/วินาที ทำการติดตั้งใบพัดกับก้านหยั่ง แล้วต่อสายเข้ากับมิเตอร์ และจุ่มลงในน้ำตามแนวตั้งเป็นระยะทาง ดังหัวข้อที่ 2.2.1 ณ ตำแหน่งต่างๆ ของความลึก การไหลของน้ำจะทำให้ใบพัดหมุนและจะแสดงผลเป็นค่าตัวเลขหน่วย เมตร/วินาที ที่หน้าจอเครื่อง



รูปที่ 3.1 เครื่องมือวัดความเร็วน้ำแบบใบพัด (propeller-type current meter)

3.1.2 อุปกรณ์อื่นๆ

กล้องระดับ ไม้สตาฟ เทปวัดระยะ

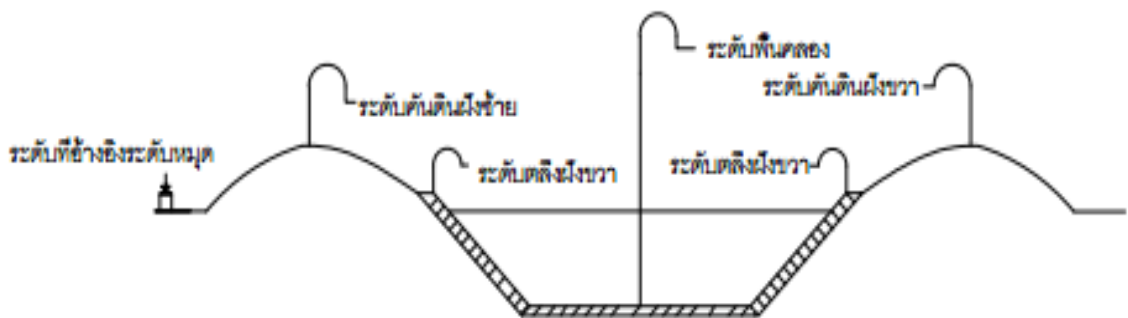


รูปที่ 3.2 กล้องระดับ leica รุ่น NA 828 ไม้สตาฟ และ เทปวัดระยะ

3.2 วิธีกรดำเนินการ

3.2.1 การสำรวจคุณลักษณะทางกายภาพของคลองส่งน้ำ

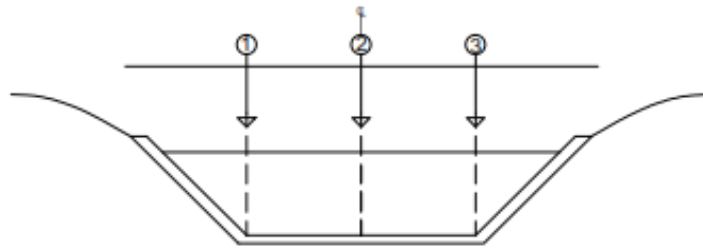
- ก) สำรวจลักษณะทางกายภาพของคลองส่งน้ำด้วยการเดินสำรวจ ตำแหน่งของอาคารบังคับน้ำ แบ่งช่วงการคำนวณของคลองส่งน้ำ ดังรูปที่ 3.3
- ข) กำหนดหมุดอ้างอิงระดับในบริเวณใกล้เคียงกับตำแหน่งที่จะสำรวจรูปตัดตามยาว และตามขวางโดยการถ่ายระดับจากบรรทัดวัดระดับน้ำที่บริเวณบ่อ 1 มายังหมุดอ้างอิงที่กำหนด
- ค) สำรวจรูปตัดตามยาว (Profile) และรูปตัดตามขวาง (Cross Section) โดยทำการสำรวจระดับพื้นคลองระดับตลิ่งฝั่งซ้าย ระดับตลิ่งฝั่งขวา ระดับคันดินด้านข้างของคลองทั้งฝั่งซ้ายและขวา โดยถ่ายระดับจากหมุดอ้างอิงที่กำหนดไว้ก่อนหน้า (ดังแสดงใน รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 แสดงความหมายของระดับที่จุดต่างๆ

3.2.2 การสำรวจอัตราการไหลของน้ำในคลองส่งน้ำ

- ก) สำรวจความลึกน้ำ โดยทำการสำรวจระดับน้ำ และความลึกของน้ำ ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยใช้ระดับที่หมุดอ้างอิงเดิมเป็นระดับอ้างอิง
- ข) การวัดความเร็วกระแสน้ำ
 - เลือกตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะทำการวัดความเร็วกระแสน้ำ
 - กำหนดตำแหน่งของการวัดความเร็วกระแสน้ำดังรูปที่ 3.5
 - ทำการวัดความเร็วกระแสน้ำด้วยเครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำแบบ Propeller Electric Current Meter (รูปที่ 3.1) ที่ตำแหน่งต่างๆ (รูปที่ 3.5) โดยแต่ละตำแหน่งจะต้องทำการวัดที่จุดนั้นขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำและเกณฑ์ที่กำหนดในหัวข้อ 2.2.1




รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งของการวัดความเร็วกระแส

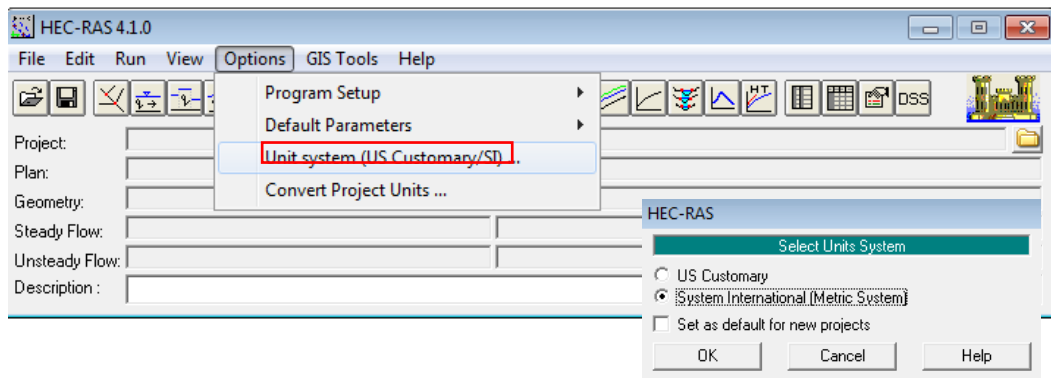
3.2.3 คำนวณอัตราการไหลของน้ำ

คำนวณอัตราการไหลของน้ำด้วยวิธี Mean Section ที่กำหนดในหัวข้อ 2.2.2

3.3 การดำเนินการสร้างแบบจำลอง HEC-RAS สอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ

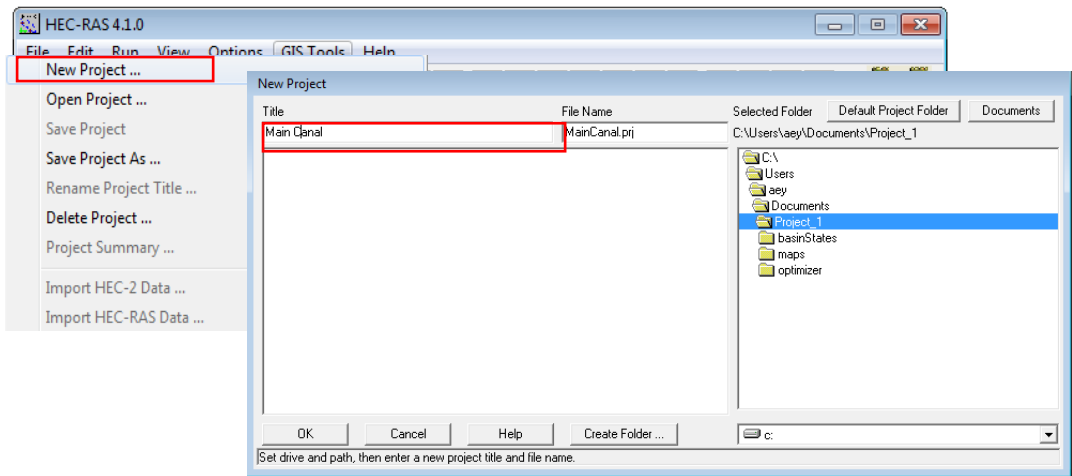
3.3.1 การเริ่มโปรแกรม โดยการเลือกที่ไอคอน  HEC-RAS 4.1.0 โดยการ Double Clicks หรือ Right Click แล้วเลือก open

3.3.2 เมื่อเปิดโปรแกรมสำเร็จ เพื่อเป็นการตั้งค่าหน่วยที่จะใช้ในการวิเคราะห์ โดยการเลือกที่ Option แล้วไปที่ Units system (US Customary/SI) แล้วเลือก System International (Metric System)



รูปที่ 3.6 ตั้งค่าหน่วยเริ่มต้น ของแบบจำลอง HEC-RAS

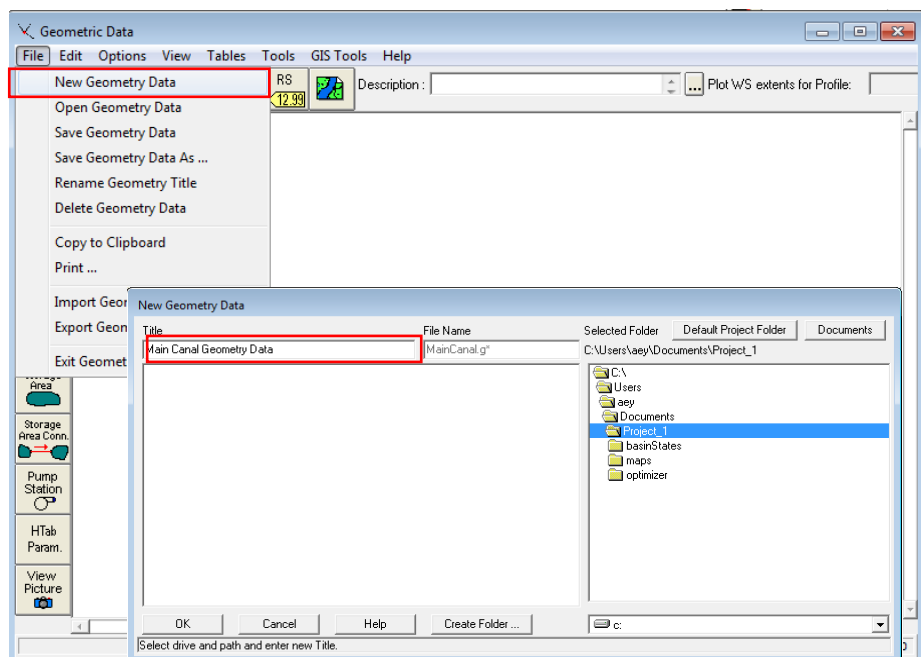
3.3.3 เลือก File ไปที่ New Project เพื่อสร้างข้อมูลของงานที่วิเคราะห์




รูปที่ 3.7 สร้างแผนงานเริ่มต้นของคลองส่งน้ำสายหลัก ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน

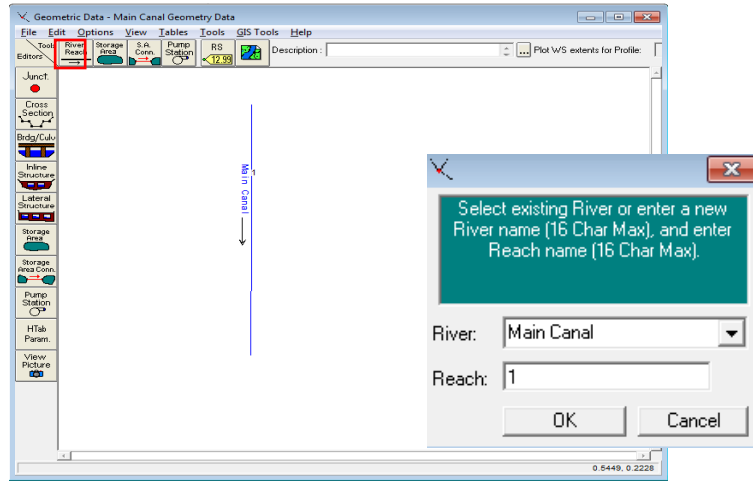
3.3.4 การสร้างลักษณะแนวลำน้ำในการวิเคราะห์โดยการไปที่ Edit เลือก Geometric Data หรือเลือกที่ไอคอน

เมื่อปรากฏหน้าต่างดังรูป ไปที่ File เพื่อสร้างเพิ่มข้อมูลที่ New Geometric Data




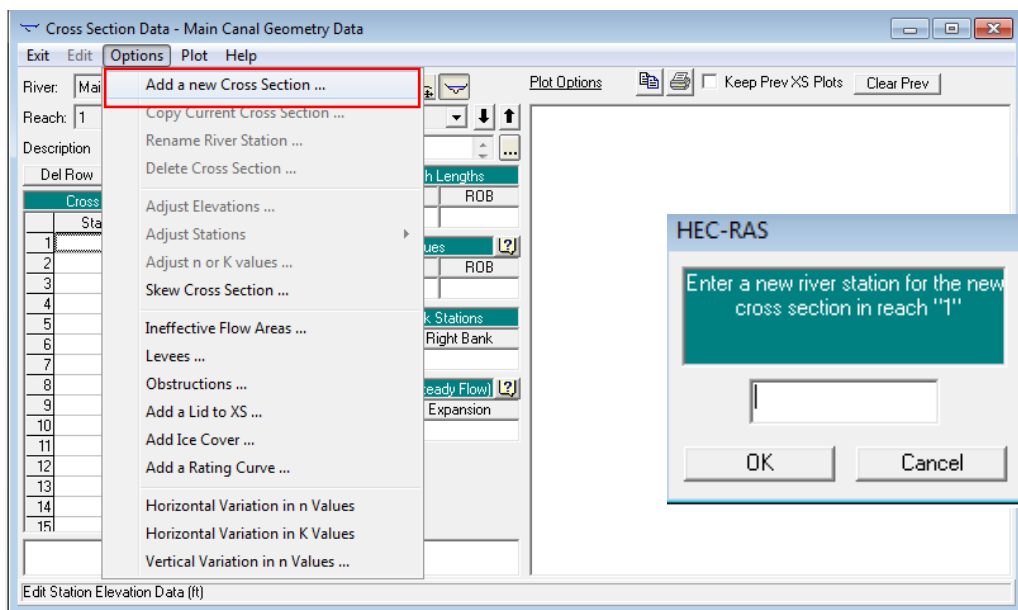
รูปที่ 3.8 เริ่มสร้างข้อมูลทางภูมิศาสตร์

3.3.5 เลือก  เพื่อวาดแนวลำน้ำเริ่มจากทางต้นน้ำ (upstream) ไปทางปลายน้ำ (downstream) เสร็จแล้ว Double - Click เพื่อกำหนดชื่อของลำน้ำ



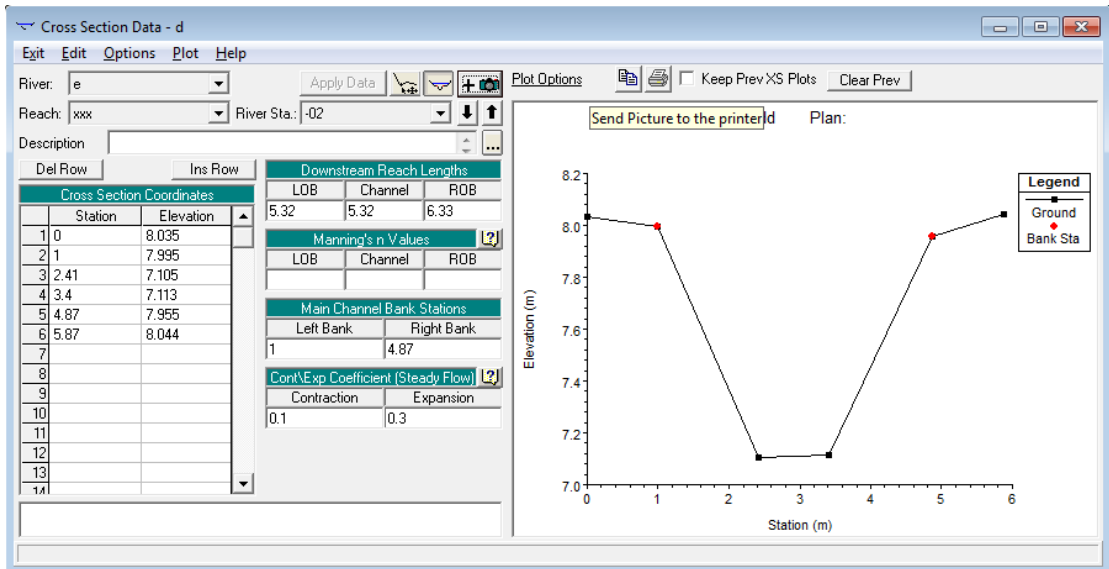
รูปที่ 3.9 แนวลำน้ำของคลองส่งน้ำสายหลัก ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน

3.3.6 สร้าง Cross Section โดยเลือกไอคอน  เมื่อปรากฏหน้าต่างไปที่เมนู Option เลือก Add a new Cross Section...



รูปที่ 3.10 เริ่มสร้างรูปตัดขวางคลองส่งน้ำ

3.3.7 นำข้อมูลของรูปตัดตามขวาง ณ จุด ต่างๆ ที่ใช้ในแบบจำลองทางชลศาสตร์ โดยค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ จะทดลองสุ่มค่า



รูปที่ 3.11 ข้อมูลของหน้าตัดขวางคลองส่งน้ำ

** ค่าข้อมูลต่างๆที่ใช้ใน Cross Section Data มีดังนี้

3.3.8 Cross section X – Y Coordinates

- Station ตำแหน่งสถานี ณ จุดต่าง ๆ ของหน้าตัดคลองตามขวาง
- Elevation ระดับของหน้าตัดคลอง ณ Station นั้น ๆ

3.3.9 Downstream Reach Lengths

- LOB ระยะลำน้ำฝั่งซ้าย
- Channel ระยะตรงลำน้ำ
- ROB ระยะลำน้ำฝั่งขวา

3.3.10 Manning 'n Value

- LOB ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำฝั่งซ้าย
- Channel ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระตรงลำน้ำ
- ROB ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำฝั่งขวา

3.3.11 Main Channel Bank Station

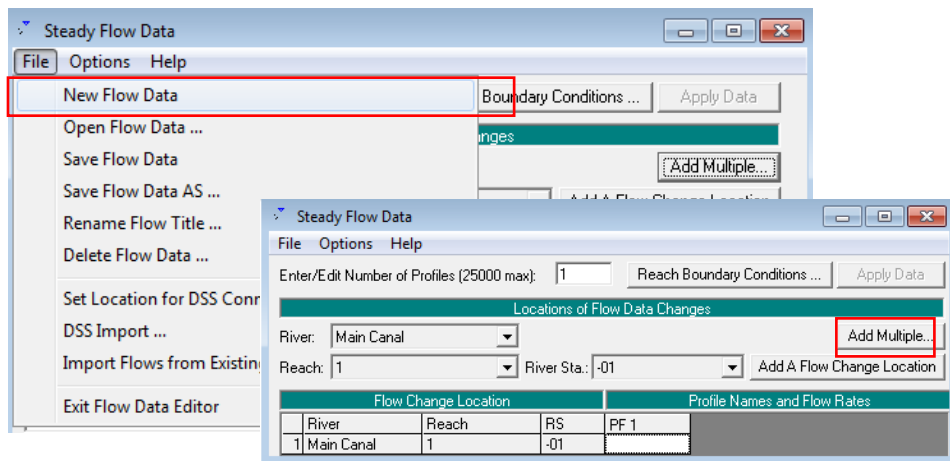
- Left Bank ระยะฝั่งซ้าย
- Right Bank ระยะฝั่งขวา

3.3.12 Cont\Exp Coefficients

-Contraction ค่าสัมประสิทธิ์การหดตัวของคลอง

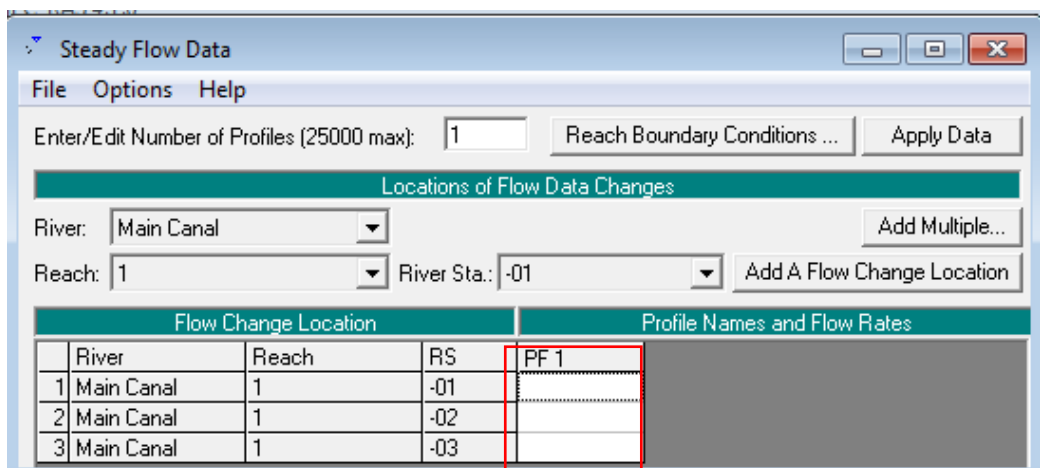
-Expansion ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของคลอง

3.3.13 ไปที่หน้าต่างเริ่มต้นไปที่ Edit เลือก Steady Flow Data จะปรากฏหน้าต่างแสดงดังรูปที่ 3.11 ไปที่ File เลือก New Flow Data ทำการ Add Multiple ทุกหน้าต่างขวางในช่วงของคลองส่งน้ำที่ทำการสำรวจ



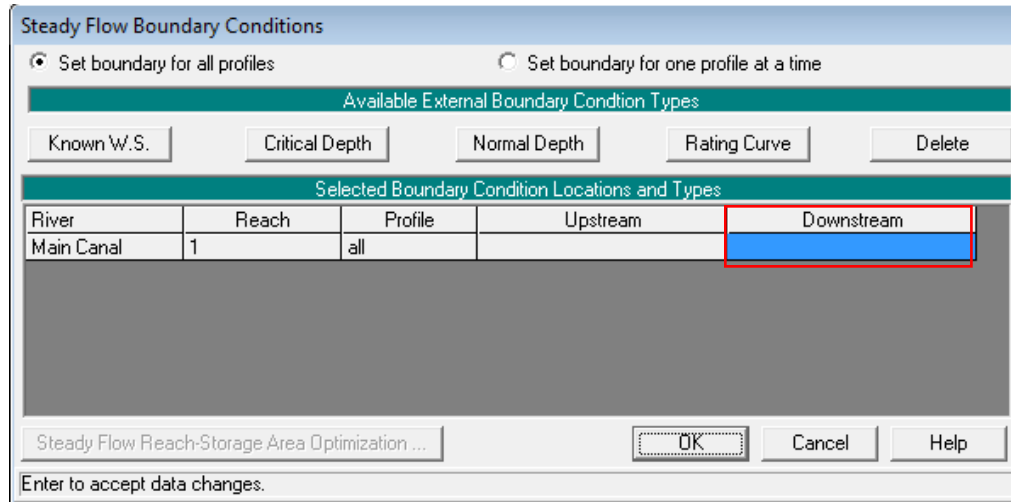
รูปที่ 3.12 วิเคราะห์การไหลแบบสม่ำเสมอ

3.3.14 ทำการกรอกข้อมูลอัตราการไหล ทุกหน้าต่างขวางที่ทำการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การไหล



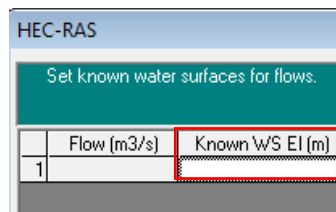
รูปที่ 3.13 วิเคราะห์การไหลแบบสม่ำเสมอ

3.3.15 ไปที่เมนู Reach Boundary Conditions ใส่ค่าการไหลที่ Downstream เลือกวิธีการวิเคราะห์ Known W.S แล้วใส่ค่าระดับผิวน้ำที่สำรวจได้



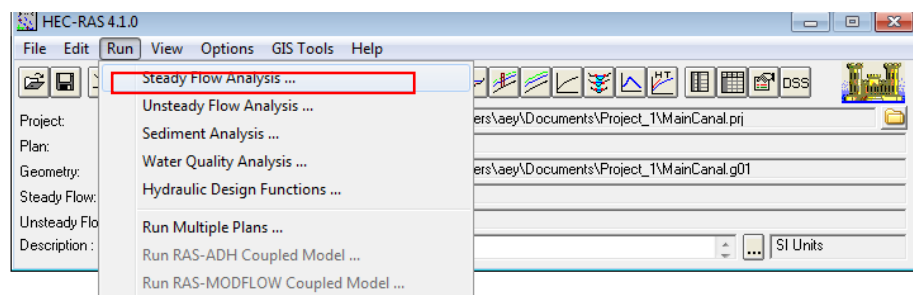
รูปที่ 3.14 วิเคราะห์การไหลแบบสม่ำเสมอ

3.3.16 เลือกวิธีการวิเคราะห์ Known W.S แล้วกรอกค่าระดับผิวน้ำด้านท้ายน้ำที่ทำการสำรวจได้



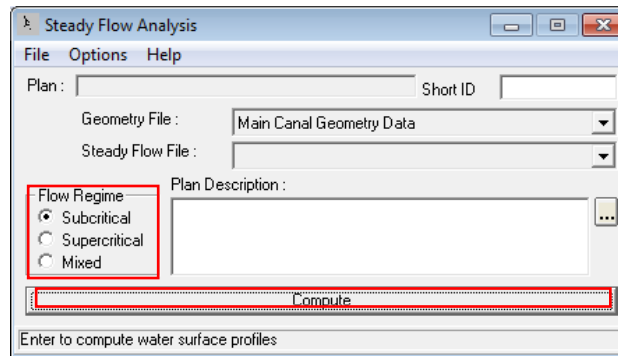
รูปที่ 3.15 วิเคราะห์การไหลแบบสม่ำเสมอ

3.3.17 กลับสู่หน้าต่างเริ่มต้น ไปที่ Run เลือก Steady Flow Analysis



รูปที่ 3.16 หน้าต่างแสดงการเริ่มต้นการประมวลผลการวิเคราะห์การไหลแบบสม่ำเสมอ

3.3.18 เลือก Flow Regime เพื่อเลือกรูปแบบการไหลในการวิเคราะห์ กต COMPUTE จนเสร็จสิ้นแล้วปิดหน้าต่างทั้งหมด



รูปที่ 3.17 หน้าต่างแสดงการวิเคราะห์การไหลแบบสม่ำเสมอ

3.3.19 ตรวจสอบค่าอัตราการไหล ระดับน้ำ และพื้นที่หน้าตัดการไหลที่ได้จากการรัน ให้ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ถ้าค่ายังไม่ใกล้เคียงกัน ให้สมมุติ ค่า n ขึ้นมาใหม่ เพื่อทำการหาค่าให้ใกล้เคียง

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch E (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chr (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Froude number for the main channel.												

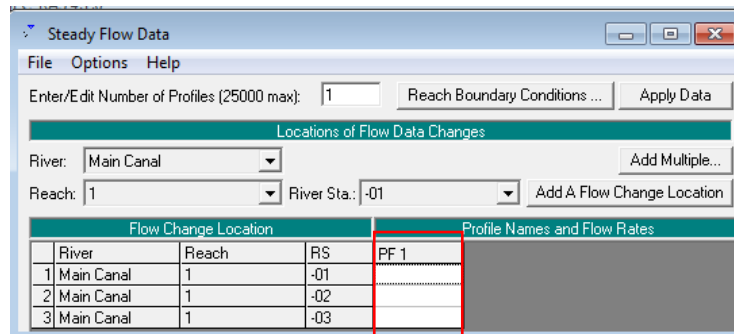
รูปที่ 3.18 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์การไหลแบบสม่ำเสมอ

3.4 การประเมินอัตราการไหลที่ออกแบบ

อัตราการไหลออกแบบหมายถึง อัตราการไหลที่ทำให้ระดับน้ำมีค่าเท่ากับระดับน้ำใช้การเต็ม (Full Supply Level :F.S.L.) จากเกณฑ์ที่กำหนดตาราง 2.1.4 ค่าระยะเพื่อพ้นน้ำ (freeboard) ของคลองส่งน้ำตาดคอนกรีตส่วน

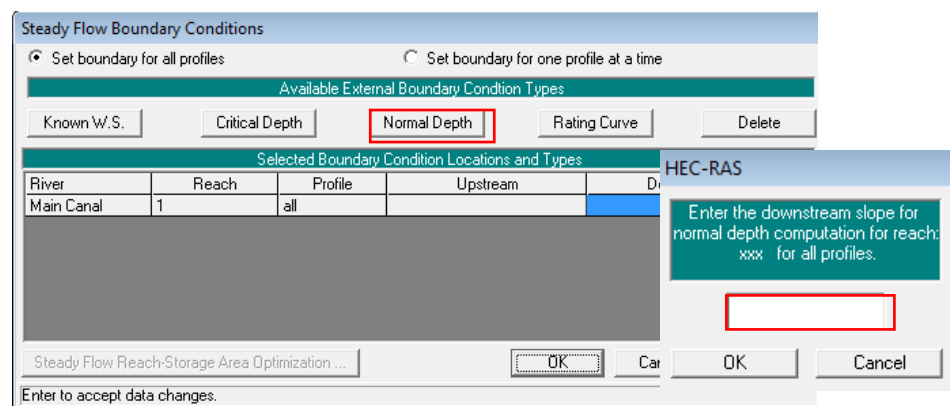
3.4.1 ทำตามขั้นตอนวิธีการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3.4.1 ถึงขั้นตอนที่ 3.4.19

3.4.2 ทำการทดลองหาค่าอัตราการไหลทุกหน้าตัดขวาง



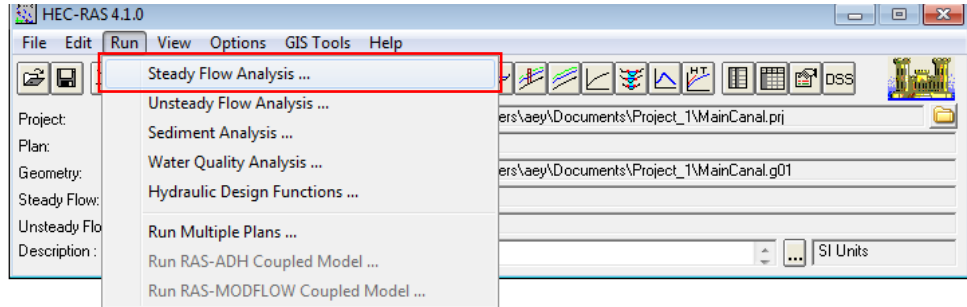
รูปที่ 3.19 การหาค่าอัตราการไหล

3.4.3 ไปที่เมนู Reach Boundary Conditions ใส่ค่าการไหลที่ Downstream เลือกวิธีการวิเคราะห์ Normal Depth แล้วจึงทำการกรอกข้อมูล Normal Depth ซึ่งได้จากการคำนวณระดับขอบคันคลองแทนกันคลอง



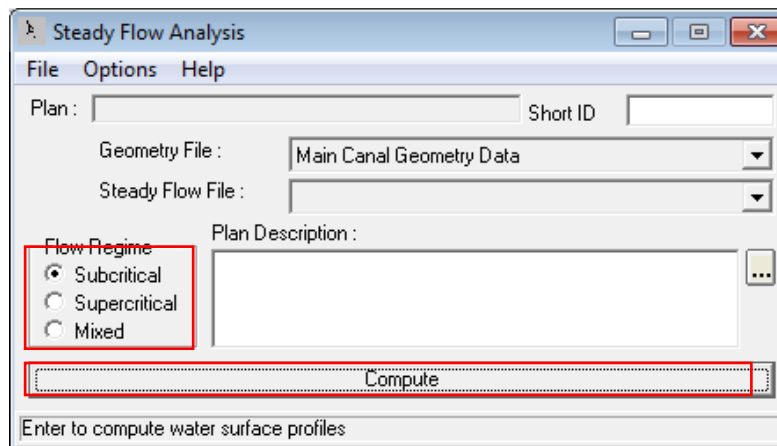
รูปที่ 3.20 การเลือกวิธีการวิเคราะห์แบบ Normal Depth

3.4.4 กลับสู่หน้าต่างเริ่มต้น ไปที่ Run เลือก Steady Flow Analysis



รูปที่ 3.21 การเริ่มต้นการประมวลผลการวิเคราะห์การไหลแบบสม่ำเสมอ

3.4.5 เลือก Flow Regime เพื่อเลือกรูปแบบการไหลในการวิเคราะห์ กด COMPUTE จนเสร็จสิ้นแล้วปิดหน้าต่างทั้งหมด



รูปที่ 3.22 การวิเคราะห์การไหลแบบสม่ำเสมอ

3.4.6 ตรวจสอบค่า ระดับน้ำ Water Surface Elevation ที่ได้จากการประมวลผล โดยให้ค่าระดับน้ำ เท่ากับระดับน้ำที่คำนวณระยะเมื่อล้นไว้แล้ว ถ้าค่าระดับน้ำยังไม่เท่ากัน ให้ทำการสมมุติ ค่าอัตราการไหลขึ้นมาใหม่ แล้วทำการประมวลผลเพื่อให้ค่าระดับน้ำที่ได้จากการประมวลผลเท่ากับค่าระดับน้ำที่คำนวณระยะเมื่อล้นไว้แล้ว

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl

Froude number for the main channel.

รูปที่ 3.23 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์การไหลแบบสมำเสมอ

3.5 การประเมินอัตราการไหลสูงสุดที่คลองจะสามารถรับได้

อัตราการไหลสูงสุดนั้นหมายถึง อัตราการไหลที่ทำให้ระดับน้ำสูงสุดที่คลองสามารถรองรับได้ โดยไม่ล้นคันคลอง

- 3.5.1 วิธีการเหมือนกับการออกแบบอัตราการไหลที่ออกแบบ เริ่มต้นขั้นตอนที่ 3.4.13 ถึง 3.4.18
- 3.5.2 ประเมินผลค่าระดับน้ำให้เท่ากับค่าระดับคันคลอง

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl

Froude number for the main channel.

รูปที่ 3.24 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์การไหลแบบสมำเสมอ การออกแบบอัตราการไหลสูงสุดที่ทำให้ไม่ล้นคันคลอง



รูปที่ 3.3 แผนที่แนวคลองส่งน้ำสายหลักภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และการแบ่งช่วงของการศึกษา

ดูผลการประมวลการวิเคราะห์ในรูปแบบต่างๆดังนี้



แสดงผลการประมวลของรูปตัดขวางลำน้ำ ณ หน้าตัดต่าง ๆ



แสดงผลการประมวลของรูปตัดด้านข้างของลำน้ำทั้งหมด



แสดงผลการประมวลของพิกัดของรูปตัดด้านข้างของลำน้ำทั้งหมด



แสดงผลการประมวลในรูปแบบของกราฟเส้นโค้งบ่งบอกค่าข้อมูล



แสดงผลการประมวลในรูปแบบ 3 มิติของหน้าตัดขวางลำน้ำหลายหน้าตัด และ รูปตัดด้านข้าง



แสดงผลการประมวลในรูปแบบการระดับน้ำ และ การไหลของน้ำในลำน้ำ



แสดงผลการประมวลในรูปแบบพฤติกรรมของการไหลของน้ำ



แสดงการประมวล ณ ตำแหน่งรูปตัดขวางที่มีอาคารชลประทานเพิ่มขึ้นมา



แสดงผลการประมวลค่าทั้งหมดของลำน้ำ



แสดงผลการเตือนข้อผิดพลาดในการประมวลผล

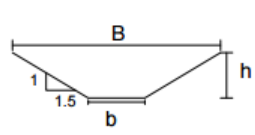
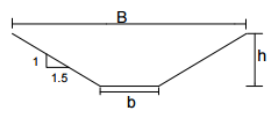
บทที่ 4 ผลการศึกษา

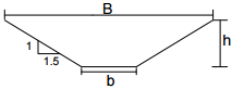
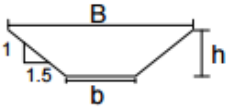
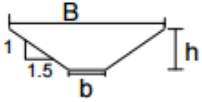
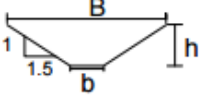
4.1 ผลการสำรวจลักษณะทางกายภาพของคลองส่งน้ำสายหลักภายใน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

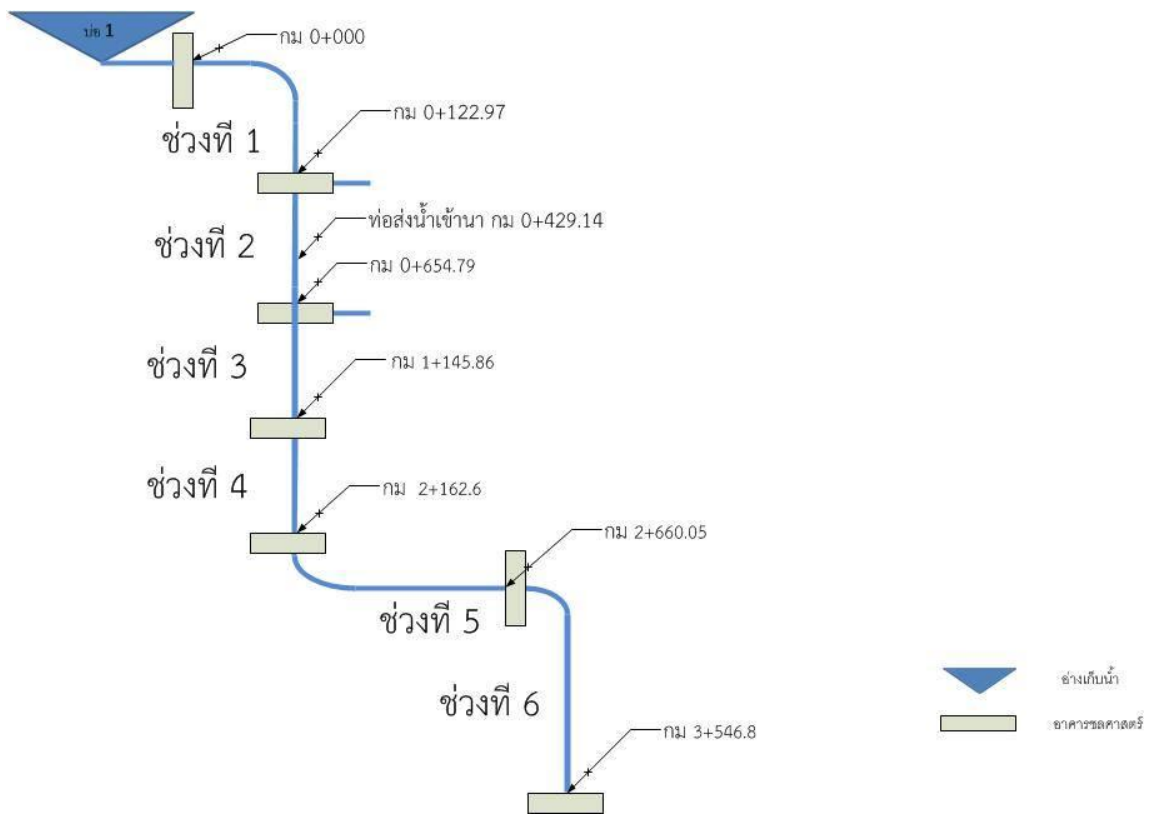
4.1.1 ผลการสำรวจเบื้องต้น

จากการสำรวจเบื้องต้น เราสามารถแบ่งช่วงของการศึกษาออกเป็น 6 ช่วง โดยพิจารณาจากอาคารบังคับน้ำที่กั้นระหว่างคลองแต่ละช่วง (ดังตารางที่ 4.1) และ (รูปที่ 4.1) สภาพของคลองในแต่ละช่วงส่วนใหญ่มีวัชพืชปกคลุมบางส่วน ผิวดอนกริณีมีการเปลี่ยนแปลงสภาพเนื่องจากอายุการใช้งาน

ตารางที่ 4.1 ระยะห่างของแต่ละช่วงคลอง

ช่วง	พิกัด ก.ม.		รูปหน้าตัด
	เริ่ม	สิ้นสุด	
1	0+000	0+122.97	 <p style="text-align: center;"> $B = 4$ เมตร $h = 0.9$ เมตร $b = 1$ เมตร </p>
2	0+122.97	0+654.79	 <p style="text-align: center;"> $B = 3.7$ เมตร $h = 0.85$ เมตร $b = 1$ เมตร </p>

3	0+654.79	1+145.86	 <p>B= 2.75 เมตร h= 0.6 เมตร b= 0.75 เมตร</p>
4	1+145.86	2+162.6	 <p>B= 2 เมตร h=0.5 เมตร b=0.75 เมตร</p>
5	2+162.6	2+660.05	 <p>B= 1.7 เมตร h=0.4 เมตร b=0.45 เมตร</p>
6	2+660.05	3+546.8	 <p>B= 1.75 เมตร h=0.44 เมตร b=0.36 เมตร</p>



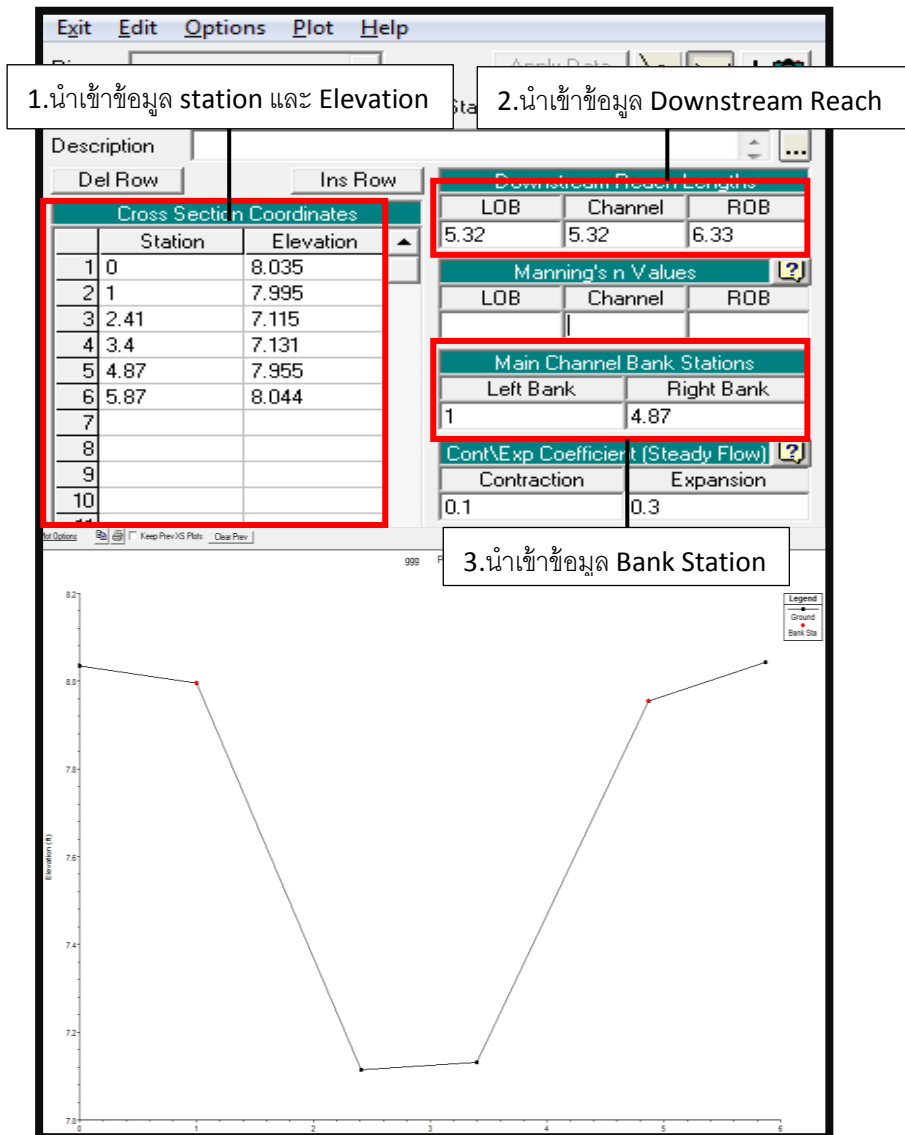
รูปที่ 4.1 cross section ในแต่ละช่วงของการศึกษา

4.1.2 ผลการสำรวจรูปตัดตามยาวและรูปตัดตามขวาง (profile and cross section)

หลังจากแบ่งช่วงของการศึกษา จากนั้นได้ทำการกำหนดตำแหน่ง ที่จะทำการสำรวจค่าระดับของรูปตัดตามยาว และรูปตัดตามขวาง ซึ่งมีทั้งหมด 17 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งต่างๆได้กำหนดไว้ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งมีทั้งหมด 17 ตำแหน่ง cross section หลังจากแบ่งช่วงของการศึกษา จากนั้นได้กำหนดที่จะทำ cross section ในแต่ละช่วงของการศึกษาซึ่งจากการสำรวจนั้นแสดงตัวอย่าง ช่วงที่1 ได้ดังรูปที่ 4.1หลังจากกำหนดตำแหน่งได้ทำการสำรวจค่าระดับของรูปตัดตามขวางของคลองส่งน้ำสายหลัก ดังตัวอย่างการสำรวจรูปตัดตามขวางของ station ที่ 4-5 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ 1 ภาคผนวก ค ดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตำแหน่งของหน้าตัดที่ทำการศึกษา

ช่วง	ตำแหน่ง	ระยะทาง
1	หลังประตูระบายน้ำบ่1-station1	25.67
	Station 1-2	5.43
	Station 2-3	5.07
	Station 3-4	5.35
	Station 4-5	5.3
	Station 5-6	5.32
	Station 6-7	44.23
2	Station 7-8	147.28
	Station 8-9	265.89
	Station 9-10	119.6
3	Station 10-11	92.57
	Station 11-11.1	365.39
4	Station 11.1-12	331.33
	Station 12-13	470.12
5	Station 13-14	325.6
	Station 14-15	425.04
6	Station 15-16	370.86
	Station 16-17	506.93
	sum	3516.98

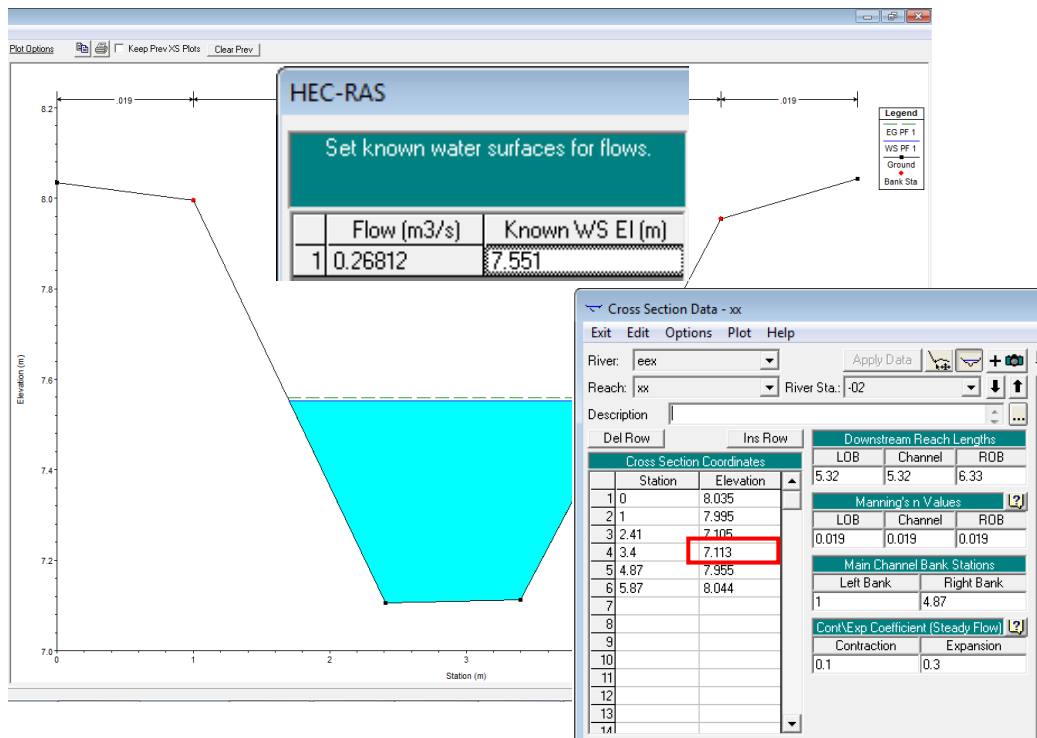


รูปที่ 4.2 แสดง cross section หน้าตัด ที่ 5 ช่วงที่ 1

4.1.3 ผลการตรวจวัดอัตราการไหล ของน้ำในสถานะการใช้งานจริง

จากการสำรวจได้ทำการเลือกตำแหน่งการสำรวจอัตราการไหลในช่วงต่างๆ ดังตารางที่ 4.2 station 4-5

ถ่ายระดับจากจุดอ้างอิงไปยังผิวหน้าในตำแหน่งที่ทำการวัดอัตราการไหล และตำแหน่งผิวหน้า ของตำแหน่งที่อยู่ทางด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำ ของตำแหน่งที่ทำการวัดอัตราการไหล



รูปที่ 4.3 แสดงการหาจุดวัดความเร็วโดยอ้างอิงจากระดับกันคลอง ของหน้าตัดที่ 4-5 ในช่วงที่ 1

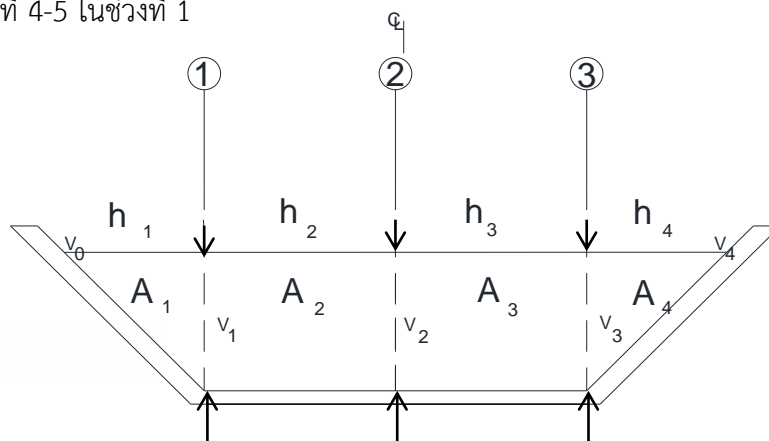
กำหนดระยะจากขอบผิวหน้า และความลึกของการตรวจวัด ซึ่งจะต้องเป็นไปตามที่กำหนดในหัวข้อ 2.2 ซึ่งจากตัวอย่างผลการสำรวจ ช่วงที่1 cross section ที่ 5 ผลของการสำรวจวัดความเร็วกระแส น้ำ ด้วยเครื่องมือวัด เป็นไปดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความลึกน้ำ ความลึกการตรวจวัดความเร็ว ความเร็วของกระแสน้ำ และตำแหน่งวัดความเร็วของหน้าตัดที่ 4-5 ในช่วงที่ 1

ระยะจากขอบพิน้ำ (m)	ความลึกน้ำ (m)	ความลึกของการตรวจวัดความเร็ว (m)	ความเร็ว (m/s)
0.785	0.29	0.162	0.29
1.28	0.35	0.196	0.35
1.775	0.39	0.218	0.39

4.2 ผลการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ

นำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจความลึกและการตรวจวัดความเร็ว จากข้อ 4.1.3 มาคำนวณอัตราการไหลด้วยวิธี Mean Section ดังตัวอย่างการคำนวณอัตราการไหลด้วยวิธี Mean Section ของหน้าตัดที่ 4-5 ในช่วงที่ 1



รูปที่ 4.4 แสดงข้อมูลที่นำมาคำนวณอัตราการไหลด้วยวิธี Mean Section

ผลตรวจวัดความเร็วของคลองส่งน้ำรูปตัดที่ 5 ช่วงที่ 1 ณ ตำแหน่งดังรูปที่ 4.5

$$v_0 = 0 \quad v_1 = 0.29 \text{ m./s.} \quad v_2 = 0.35 \text{ m./s.} \quad v_3 = 0.39 \text{ m./s.}$$

ผลการตรวจวัดความลึกของคลองส่งน้ำรูปตัดที่ 5 ช่วงที่ 1 ณ ตำแหน่งดังรูปที่ 4.5

$$d_1 = 0.445 \text{ m.} \quad d_2 = 0.441 \text{ m.} \quad d_3 = 0.437 \text{ m.}$$

ผลการตรวจวัดความกว้างพิน้ำรูปตัดที่ 5 ช่วงที่ 1 ณ ตำแหน่งดังรูปที่ 4.5

$$h_1 = 0.785 \text{ m.} \quad h_2 = 0.495 \text{ m.} \quad h_3 = 0.495 \text{ m.} \quad h_4 = 0.785 \text{ m.}$$

ผลการคำนวณพื้นที่หน้าตัดต่างๆของรูปตัดตามขวางที่ 5 ช่วงที่1 ณ ตำแหน่งดังรูปที่ 4.5

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{1}{2} \times d_1 \times h_1 \\
 &= \frac{1}{2} \times 0.445 \times 0.785 = 0.174663 \quad \text{ตารางเมตร} \\
 A_2 &= \frac{1}{2} \times (d_1 + d_2) \times h_2 \\
 &= \frac{1}{2} \times (0.445 + 0.441) \times 0.495 = 0.219285 \quad \text{ตารางเมตร} \\
 A_3 &= \frac{1}{2} \times (d_3 + d_2) \times h_3 \\
 &= \frac{1}{2} \times (0.437 + 0.441) \times 0.495 = 0.217305 \quad \text{ตารางเมตร} \\
 A_4 &= \frac{1}{2} \times d_3 \times h_4 \\
 &= \frac{1}{2} \times 0.437 \times 0.785 = 0.171523 \quad \text{ตารางเมตร}
 \end{aligned}$$

ผลการคำนวณอัตราการไหลของรูปตัดตามขวางที่ 5 ช่วงที่1

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= A_1 \times v_1 \\
 &= 0.174663 \times 0.29 = 0.050652 \quad \text{ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที} \\
 Q_2 &= A_2 \times \left(\frac{v_1 + v_2}{2} \right) \\
 &= 0.219285 \times \left(\frac{0.29 + 0.35}{2} \right) = 0.070171 \quad \text{ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที} \\
 Q_3 &= A_3 \times \left(\frac{v_3 + v_2}{2} \right) \\
 &= 0.217305 \times \left(\frac{0.39 + 0.35}{2} \right) = 0.080403 \quad \text{ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที} \\
 Q_4 &= A_4 \times v_3 \\
 &= 0.171525 \times 0.39 = 0.066894 \quad \text{ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที} \\
 Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \\
 &= 0.050652 + 0.070171 + 0.080403 + 0.066894 \\
 &= 0.26812
 \end{aligned}$$

ซึ่งผลการคำนวณด้วยวิธี Mean Section ของหน้าตัดที่ 4-5 ช่วงที่ 1 ค่าอัตราการไหลในสถานะการใช้งานจริงมีค่าเท่ากับ 0.26812 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

จากการสำรวจอัตราการไหลในสถานะการใช้งานจริง ของคลองส่งน้ำสายหลักในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ทั้ง 6 ช่วงเป็นไปตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณอัตราการไหลของน้ำด้วยวิธี Mean Section

ช่วง	อัตราการไหล(m ³ /s)
1	0.268
2	0.241
3	0.070
4	0.086
5	0.045
6	0.005

โดยข้อมูลการสำรวจความเร็วและรายละเอียดในการคำนวณอัตราการไหลด้วยวิธี Mean Section ของทั้ง 6 ช่วงแสดงอยู่ในภาคผนวก ข

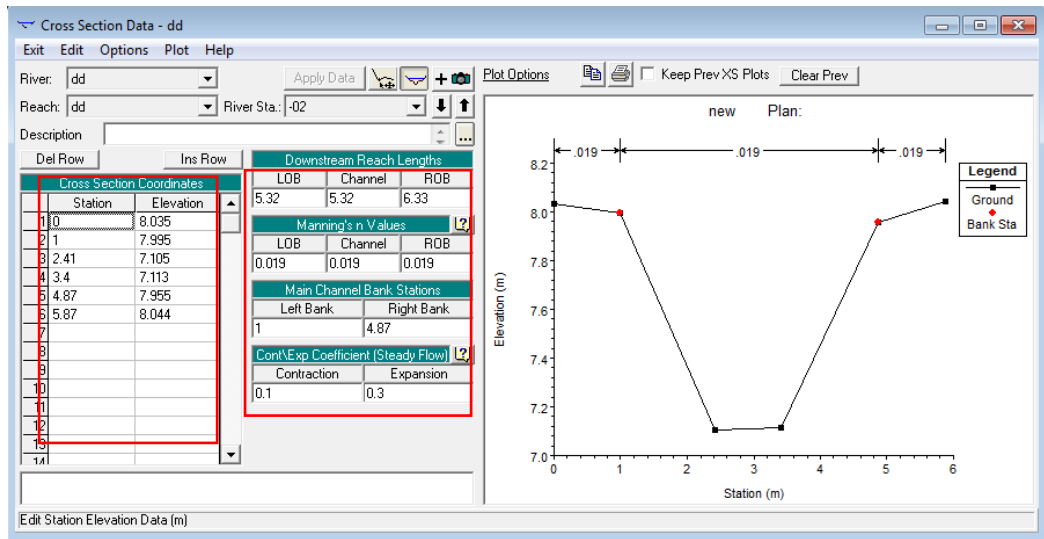
4.3 ผลการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ

4.3.1 นำเข้าข้อมูลทางกายภาพ

นำเข้าข้อมูลทางกายภาพ Left overbank (LOB),Channel ,Right overbank (ROB) รวมถึงค่าระดับของแต่ละหน้าตัดที่ทำการวัดอัตราการไหล รูปตัดตามขวางและระยะทาง รวมถึงข้อมูลทางกายภาพที่อยู่ด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของหน้าตัดที่ทำการวัดอัตราการไหล ดังตัวอย่าง ข้อมูลทางกายภาพของช่วงที่ 1 ดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ข้อมูลทั้งหมดของทุกช่วงอยู่ในภาคผนวก

ตารางที่ 4.5 การนำเข้าข้อมูล cross section ทั้งสามที่จะนำมาสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ

ตำแหน่งตรวจวัดอัตราการไหลด้านเหนือน้ำหน้าตัดที่ 5		ตำแหน่งตรวจวัดอัตราการไหลหน้าตัดที่ 5		ตำแหน่งตรวจวัดอัตราการไหลด้านท้ายน้ำหน้าตัดที่ 5	
x	elevation	x	elevation	x	elevation
0	8.046	0	8.035	0	8.015
1	7.987	1	7.995	1	7.93
2.42	7.119	2.41	7.105	2.42	7.103
3.4	7.104	3.4	7.113	3.44	7.111
4.86	7.948	4.87	7.955	4.87	7.929
5.86	8.051	5.87	8.044	5.87	7.956



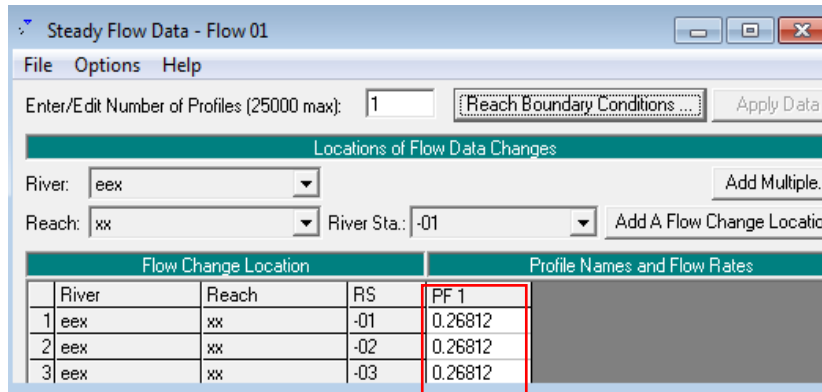
รูปที่ 4.5 แสดงผลรูปตัดข้อมูลทางกายภาพ

ตารางที่ 4.6 การนำเข้าข้อมูล Downstream Reach Lengths ทั้งสามที่จะนำมาสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระจะได้ผลดังรูปที่ 4.6

ตำแหน่งที่วัดอัตราการไหล หน้าตัดที่ 5				
ทิศทางจาก ตำแหน่งที่ วัดอัตราการ ไหล	ไปยังหน้าตัด ที่	Downstream Reach Lengths		
		Left overbank (LOB)	Channel	Right ovebank (ROB)
ด้านเหนือน้ำ	1	5.3	5.3	6.58
ด้านท้ายน้ำ	3	5.32	5.32	6.33

4.3.2 นำเข้าข้อมูลอัตราการไหลในสภาวะการใช้งานจริง

นำเข้าข้อมูลอัตราการไหลที่ทำการคำนวณได้จากหัวข้อที่ 4.2 โดยกำหนดอัตราการไหลให้มีค่าเท่ากันตลอดทั้งช่วง ดังตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลอัตราการไหลช่วงที่ 1 ดังรูปที่ 4.7
 อัตราการไหล = 0.26812 ลูกบาศก์เมตร/วินาที

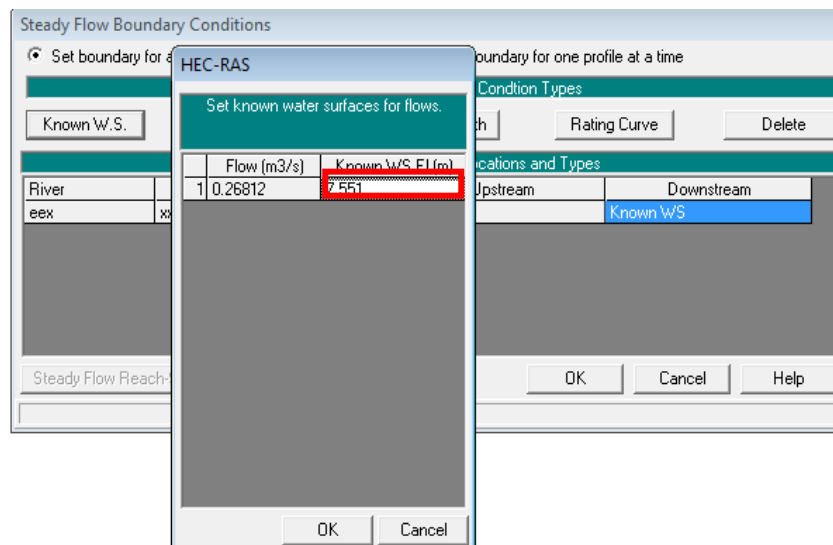


รูปที่ 4.6 แสดงการนำเข้าข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากการสำรวจความเร็วพื้นที่หน้าตัดของคลองส่งน้ำ ทุกหน้าตัดขวางในช่วงที่ทำการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การไหล

4.3.3 การกำหนดเงื่อนไขในการคำนวณ

การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดเงื่อนไขในการคำนวณแบบรู้ค่าระดับด้านท้ายน้ำ (Downstream W.S) กำหนดค่าระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำจะใช้ข้อมูลที่สำรวจได้ จากหัวข้อที่ 4.1.3 แล้วนำเข้าสู่โปรแกรม ดังหัวข้อที่ 3.3.15

ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลเงื่อนไขการคำนวณแบบรู้ค่าระดับด้านท้ายน้ำของช่วงที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 แสดงวิธีการนำเข้าข้อมูลค่าระดับน้ำ

4.3.4 ผลการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning (n) ของคลองแต่ละช่วง จนกระทั่งค่าระดับน้ำของทุกหน้าตัดในช่วงนั้นๆ เท่ากับค่าระดับที่ทำการสำรวจได้จากหัวข้อที่ 4.1.3

ผลการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ จากการใช้งานจริง ของคลองส่งน้ำสายหลักภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เป็นไปดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระคลอง

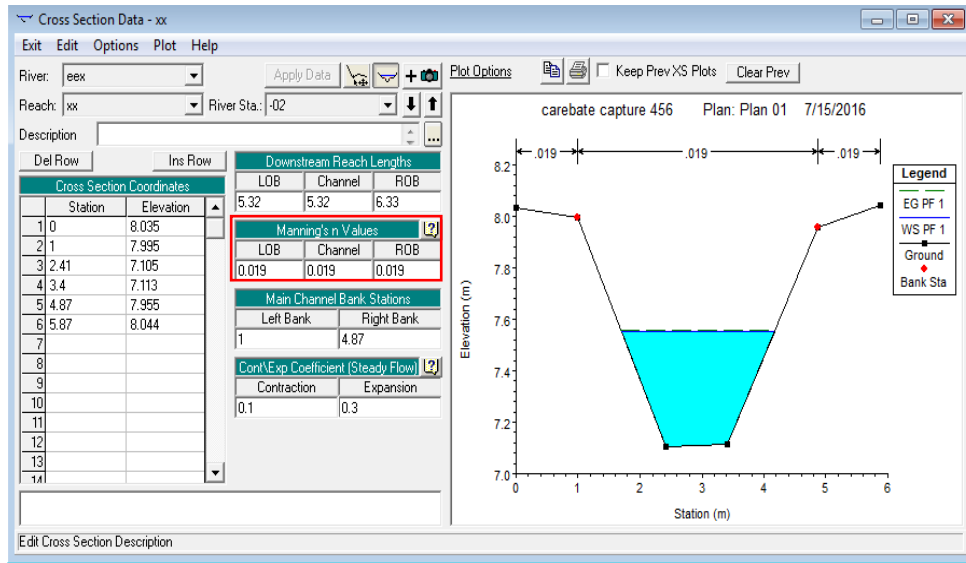
ช่วง	ระยะทาง (ก.ม)		n
	เริ่ม	สิ้นสุด	
1	0+000	0+101.37	0.019
2	0+106.37	0+634.14	0.019
3	0+654.14	1+097.1	0.017
4	1+102.1	2+179.83	0.015
5	2+197.90	2+672.98	0.021
6	2+677.98	3+533.77	0.02

ตัวอย่าง การสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ ของช่วงที่ 1 เป็นไปดังรูปที่ 4.8 , 4.9

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
xx	-01	PF 1	0.27	7.10	7.55		7.56	0.000243	0.35	0.76	2.47	0.20
xx	-02	PF 1	0.27	7.10	7.55		7.56	0.000239	0.35	0.77	2.46	0.20
xx	-03	PF 1	0.27	7.10	7.55	7.28	7.56	0.000220	0.34	0.79	2.56	0.19

Total flow in cross section.

รูปที่ 4.8 หน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์การไหลแบบสม่ำเสมอ



รูปที่ 4.9 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ

4.4 ประเมินศักยภาพในการรองรับอัตราการไหลของน้ำ ในคลองส่งน้ำ

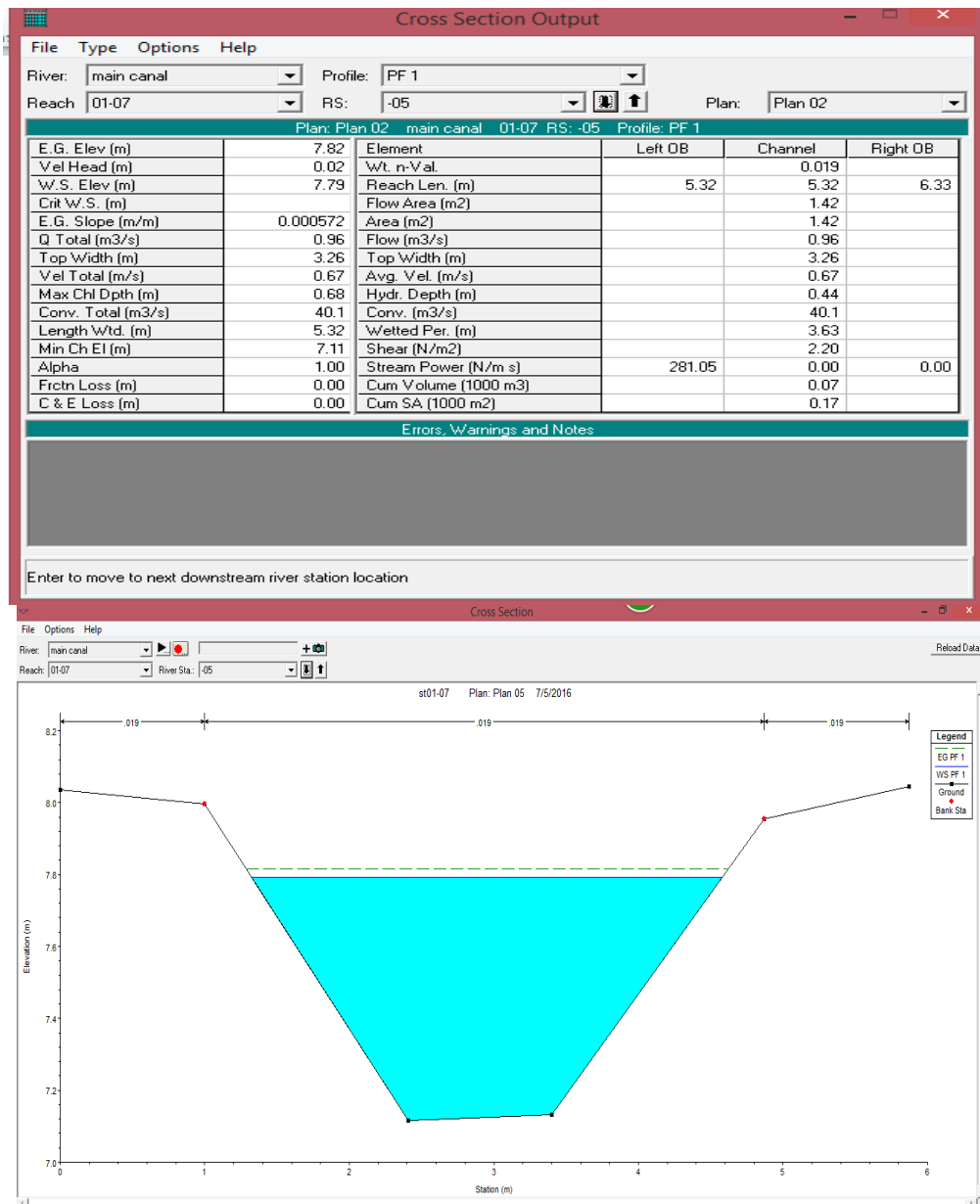
4.4.1 การประเมินอัตราการไหลที่ออกแบบ

จากการศึกษาได้ทำการกำหนดระดับน้ำที่เหมาะสมให้ต่ำกว่าระดับน้ำเพื่อระยะเพื่อล้น(Freeboard) แล้ว จากเกณฑ์ หัวข้อ 2.1.4 ตารางค่าระยะเผื่อพื้นน้ำ (freeboard) ของคลองส่งน้ำตาดคอนกรีต ใช้ข้อมูลทางกายภาพ และค่าสัมประสิทธิ์ที่สอบเทียบได้นำไปคำนวณค่าอัตราการไหลที่เหมาะสมของคลองส่งน้ำในแต่ละช่วง ซึ่งผลการคำนวณอัตราการไหลที่เหมาะสมของคลองแต่ละช่วงเป็นไปดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลอัตราการไหลที่ออกแบบ ของคลองส่งน้ำสายหลัก

ช่วงที่	ระยะ(m)	ผลอัตราการไหลที่เหมาะสม	
		W.S.Elev.	Q(m ³ /s)
1	122.97	7.77	0.96
2	531.82	7.61	0.65
3	491.07	7.23	0.16
4	1016.744	6.68	0.16
5	8866.75	6.57	0.05
6	497.45	6.33	0.05

ตัวอย่างการคำนวณค่าอัตราการไหลที่ออกแบบของช่วงที่ 1 เป็นไปดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์การไหล และอัตราการไหลที่เหมาะสมของคลองช่วงที่ 1

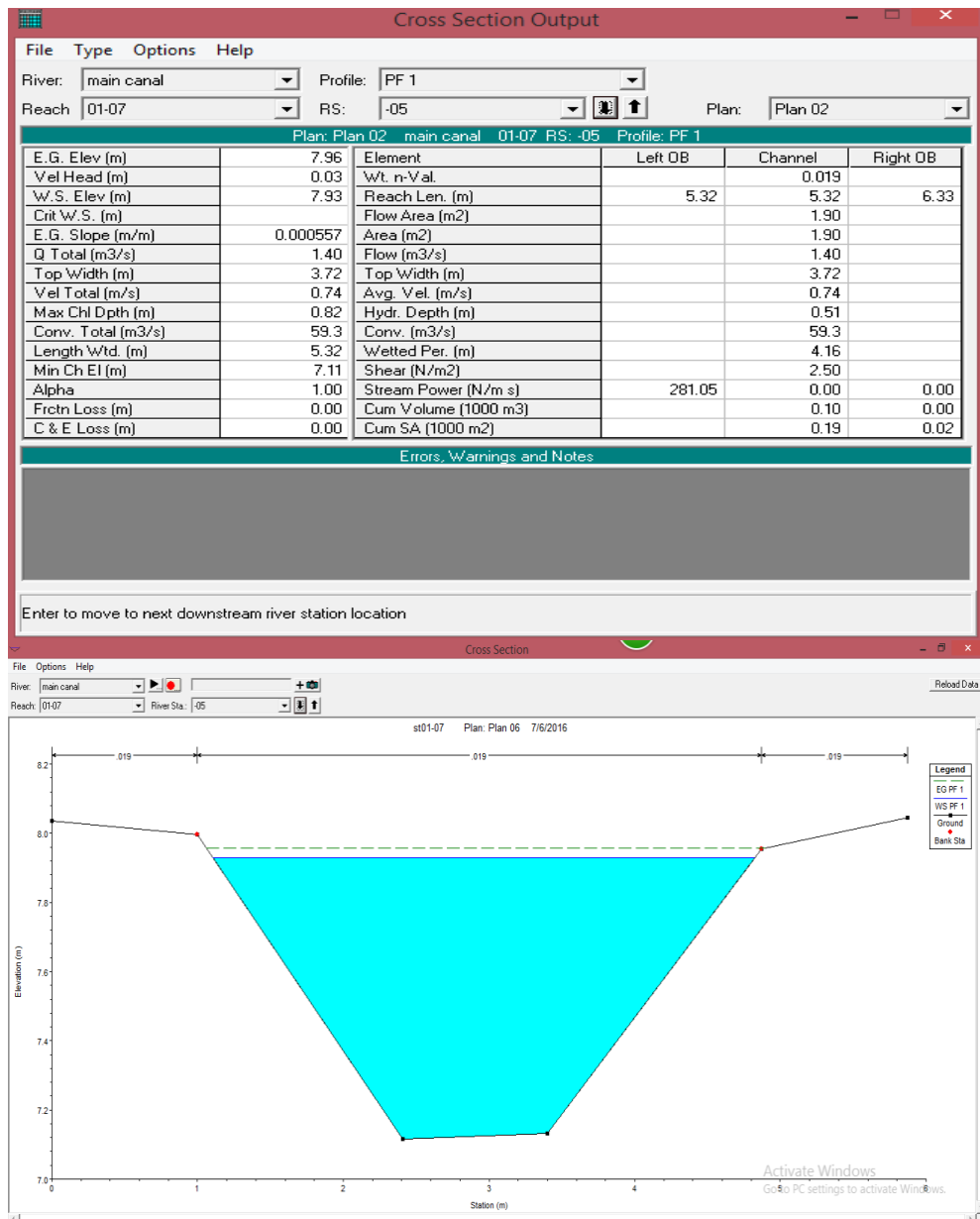
4.4.2 การออกแบบอัตราการไหลสูงสุดที่ทำให้น้ำล้นคันคลอง

จากการศึกษาได้ทำการกำหนดระดับน้ำสูงสุดให้เท่ากับระดับคันคลอง แล้วใช้ข้อมูลทางกายภาพ และค่าสัมประสิทธิ์ที่สอบเทียบได้นำไปคำนวณค่าอัตราการไหลสูงสุดของคลองส่งน้ำในแต่ละช่วง ซึ่งผลการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของคลองแต่ละช่วงเป็นไปดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 อัตราการไหลสูงสุดของคลองสายหลัก

ช่วงที่	ระยะ(m)	อัตราการไหลสูงสุด	
		W.S.Elev.	Q(m ³ /s)
1	122.97	7.91	1.4
2	531.82	7.76	0.98
3	491.07	7.38	0.3
4	1016.74	6.82	0.35
5	886.75	6.73	0.12
6	497.45	6.47	0.12

ตัวอย่างการคำนวณค่าอัตราการไหลที่สูงสุดของช่วงที่ 1 เป็นไปดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์การไหล และอัตราการไหลสูงสุดของคลองช่วงที่ 1

ข้อมูลทั้งหมดอยู่ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลที่ออกแบบ และรูปแสดงหน้าตัดภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลสูงสุด และรูปแสดงหน้าตัด และภาคผนวก ช ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลการ Trial and Error ในการหาอัตราของการออกแบบและอัตราการไหลสูงสุด

บทที่ 5

สรุป

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สำรวจลักษณะทางกายภาพของคลองส่งน้ำสายหลัก ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เนื่องจากคลองผ่านการใช้งานมาเป็นระยะเวลานาน ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของคลองเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการส่งน้ำของคลองลดลง

ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้านี้ได้ทำการสำรวจอัตราการไหลที่ใช้งานจริง เพื่อนำมาสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ และได้ผลการศึกษาทั้งหมดดังตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของคลอง

ประเมินศักยภาพของคลองส่งน้ำในรูปของอัตราการไหลที่ออกแบบ (อัตราการไหลที่ทำให้ระดับน้ำมีค่าเท่ากับระดับน้ำใช้การเต็มที่ (Full Supply Level :F.S.L.) จากเกณฑ์ที่กำหนดตาราง 2.1.4 ค่าระยะเผื่อพ้นน้ำ (freeboard) ของคลองส่งน้ำตาดคอนกรีต) ซึ่งผลการศึกษาได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 ผลอัตราการไหลที่ออกแบบ ของคลองส่งน้ำสายหลัก

ประเมินศักยภาพอัตราการไหลสูงสุด คืออัตราการไหลที่ทำให้ระดับน้ำสูงสุดที่คลองสามารถรองรับได้ โดยไม่ล้นคันคลอง ซึ่งผลการศึกษาได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 อัตราการไหลสูงสุดของคลองสายหลัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาภายใต้สมมติฐานการไหลแบบแปรเปลี่ยนแบบค่อยเป็นค่อยไป (Gradually Varied Flow) แต่ในความเป็นจริงมีการไหลของน้ำผ่านอาคารบังคับน้ำ ซึ่งเป็น การไหลแบบแปรเปลี่ยนฉับพลัน (Rapidly Varied Flow) ดังนั้นควรจะมีการศึกษาการไหลผ่าน อาคารบังคับน้ำควบคู่ไปกับการศึกษาครั้งนี้

2. เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้อัตราการไหลค่อนข้างต่ำ จำเป็นต้องใช้ความละเอียดในการ คำนวณค่อนข้างสูง ซึ่งข้อจำกัดของแบบจำลอง HEC-RAS ได้ทัศนียม 2 ตำแหน่ง หากต้องการความ ถูกต้องมากขึ้นควรใช้แบบจำลองที่มีความละเอียดสูงกว่าแบบจำลองนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. 2547.มาตรฐานการคำนวณออกแบบระบบส่งน้ำและระบายน้ำ.

โรงพิมพ์สำนัก เลขา คณะรัฐมนตรี, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน. 2546. การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน.

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฉัตร ออกละลา. 2553. เอกสารประกอบการสอนวิชาการศาสตร์ของไหล. ภาควิชาวิศวกร

ชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

วิษุวัตม์ แต่สมบัติ. 2555. เอกสารประกอบการสอนวิชา Computer Application for Irrigation

Engineering แบบจำลอง HEC-RAS Version 4.1.0. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

สกุล ห่อวโนทยาน. 2542. ชลศาสตร์ (Hydraulics). ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก




การเดินสำรวจลักษณะทางกายภาพของการศึกษาลองส่งน้ำสายหลักภายใน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ตารางภาคผนวกที่ 1 การเดินสำรวจลักษณะทางกายภาพ

crosssection	สภาพพื้นที่
<p style="text-align: center;">1</p> 	<p>บริเวณผิวคลองตาด ปกคลุมด้วยวัชพืชจนถึงทางน้ำ มีผลทำให้การไหลของทางน้ำเปิด เปลี่ยนแปลงไปบ้าง และอายุการใช้งานของคลองตาดที่นานมากแล้ว อาจมีบางจุดที่ฝุพังไปบ้าง</p>
<p style="text-align: center;">2</p> 	<p>บริเวณผิวคลองตาดปกคลุมด้วยวัชพืชจนถึงทางน้ำ มีผลทำให้การไหลของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และอายุการใช้งานของคลองตาดที่นานมากแล้ว อาจมีบางจุดที่ฝุพังไปบ้าง</p>
<p style="text-align: center;">3</p> 	<p>บริเวณผิวคลองตาดปกคลุมด้วยวัชพืชจนถึงทางน้ำ มีผลทำให้การไหลของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และอายุการใช้งานของคลองตาดที่นานมากแล้ว อาจมีบางจุดที่ฝุพังไปบ้าง</p>
<p style="text-align: center;">4</p> 	<p>บริเวณผิวคลองตาดปกคลุมด้วยวัชพืชจนถึงทางน้ำ มีผลทำให้การไหลของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และอายุการใช้งานของคลองตาดที่นานมากแล้ว อาจมีบางจุดที่ฝุพังไปบ้าง</p>

<p style="text-align: center;">5</p> 	<p>บริเวณผิวคลองตาดปกคลุมด้วยวัชพืชจนถึงทางน้ำ มีผลทำให้การไหลของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และอายุการใช้งานของคลองตาดที่นานมากแล้ว อาจ มีบางจุดที่ฝุพังไปบ้าง</p>
<p style="text-align: center;">6</p> 	<p>บริเวณผิวคลองตาดปกคลุมด้วยวัชพืชจนถึงทางน้ำ มีผลทำให้การไหลของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และอายุการใช้งานของคลองตาดที่นานมากแล้ว อาจ มีบางจุดที่ฝุพังไปบ้าง</p>
<p style="text-align: center;">7</p> 	<p>บริเวณผิวคลองตาดปกคลุมด้วยวัชพืชจนถึงทางน้ำ มีผลทำให้การไหลของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และอายุการใช้งานของคลองตาดที่นานมากแล้ว อาจ มีบางจุดที่ฝุพังไปบ้าง</p>
<p style="text-align: center;">8</p> 	<p>บริเวณผิวคลองตาดปกคลุมด้วยวัชพืชจนถึงทางน้ำ มีผลทำให้การไหลของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และอายุการใช้งานของคลองตาดที่นานมากแล้ว อาจ มีบางจุดที่ฝุพังไปบ้าง</p>

<p style="text-align: center;">9</p> 	<p>บริเวณผิวคลองตาดปกคลุมด้วยวัชพืชจนถึงทางน้ำ มีผลทำให้การไหลของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และอายุการใช้งานของคลองตาดที่นานมากแล้ว อาจมีบางจุดที่ฝูพังไปบ้าง</p>
<p style="text-align: center;">10</p> 	<p>บริเวณผิวคลองตาดปกคลุมด้วยวัชพืชจนถึงทางน้ำ มีผลทำให้การไหลของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และอายุการใช้งานของคลองตาดที่นานมากแล้ว อาจมีบางจุดที่ฝูพังไปบ้าง</p>
<p style="text-align: center;">11</p> 	<p>บริเวณผิวคลองตาดปกคลุมด้วยวัชพืชจนถึงทางน้ำ มีผลทำให้การไหลของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และอายุการใช้งานของคลองตาดที่นานมากแล้ว อาจมีบางจุดที่ฝูพังไปบ้าง</p>
<p style="text-align: center;">11.1</p> 	<p>บริเวณผิวคลองตาดปกคลุมด้วยวัชพืชจนถึงทางน้ำ มีผลทำให้การไหลของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และอายุการใช้งานของคลองตาดที่นานมากแล้ว อาจมีบางจุดที่ฝูพังไปบ้าง</p>

<p style="text-align: center;">12</p> 	<p>บริเวณผิวคลองตาดปกคลุมด้วยวัชพืชจนถึงทางน้ำ มีผลทำให้การไหลของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และอายุการใช้งานของคลองตาดที่นานมากแล้ว อาจมีบางจุดที่ฝูพังไปบ้าง</p>
<p style="text-align: center;">13</p> 	<p>บริเวณผิวคลองตาดปกคลุมด้วยวัชพืชจนถึงทางน้ำ มีผลทำให้การไหลของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และมีการเสริมระยะ free board ขึ้นมา เพราะกันน้ำล้นคันคลอง อาจทำให้พื้นที่รอบข้างเสียหาย</p>
<p style="text-align: center;">14</p> 	<p>บริเวณผิวคลองตาดปกคลุมด้วยวัชพืชจนถึงทางน้ำ มีผลทำให้การไหลของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง และอายุการใช้งานของคลองตาดที่นานมากแล้ว อาจมีบางจุดที่ฝูพังไปบ้าง</p>

ภาคผนวกที่ ข

ผลข้อมูลลักษณะทางกายภาพและข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและอัตราการไหลของน้ำตื้นที่ทำการสอบ
เทียบค่าสัมประสิทธิ์

ตารางภาคผนวกที่ 2 ผลข้อมูลลักษณะทางกายภาพและข้อมูลการตรวจวัดความเร็วและอัตราการไหลของน้ำตดที่ทำการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์

ช่วง	หน้าตดที่	ความลึก			ความเร็ว					พื้นที่หน้าตดการไหล				อัตราการไหล			
		d ₁	d ₂	d ₃	v ₀	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄
1	1																
	2	0.445	0.441	0.437	0	0.29	0.35	0.39	0	0.174663	0.219285	0.217305	0.171523	0.050652	0.070171	0.080403	0.066894
	3																
2	1																
	2	0.429	0.432	0.435	0	0.33	0.35	0.31	0	0.153689	0.210945	0.212415	0.155839	0.050717	0.071721	0.070097	0.04831
	3																
3	1																
	2	0.313	0.313	0.313	0	0.17	0.16	0.18	0	0.091631	0.114245	0.114245	0.091631	0.015577	0.01885	0.019422	0.016494
	3																
4	1																
	2	0.365	0.365	0.365	0	0.19	0.23	0.24	0	0.099463	0.096725	0.096725	0.099463	0.018898	0.020312	0.02273	0.023871
	3																
5	1																
	2	0.266	0.266	0.266	0	0.21	0.22	0.2	0	0.058919	0.048545	0.048545	0.058919	0.012373	0.010437	0.010194	0.011784
	3																
6	1																
	2	0.194	0.194	0.194	0	0.21	0.22	0.2	0	0.032301	0.031719	0.031719	0.032301	0.006783	0.00682	0.006661	0.00646
	3																

ภาคผนวก ค

ตารางข้อมูล crosssection และรูปตัดของคลองส่งน้ำสายหลักภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน ตั้งแต่หน้าตัดที่ 1 ถึง หน้าตัดที่ 17

ตารางภาคผนวกที่ 3 ตารางข้อมูล crosssection รูปตัดของคลองส่งน้ำสายหลักภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตั้งแต่หน้าตัดที่ 1 ถึง หน้าตัดที่ 17

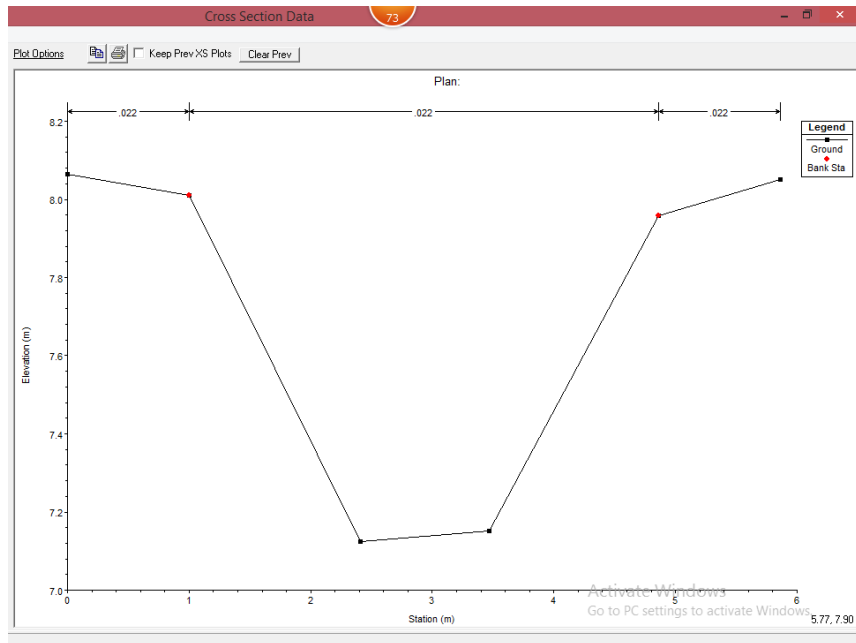
Section Station 01		Section Station 02		Section Station 03		Section Station 04		Section Station 05		Section Station 06		Section Station 07	
x	Elevation	x	Elevation	x	Elevation	x	Elevation	x	Elevation	x	Elevation	x	Elevation
0	8.065	0	8.059	0	8.067	0	8.046	0	8.035	0	8.015	0	7.987
1	8.01	1	8.004	1	8.029	1	7.987	1	7.995	1	7.93	1	7.979
2.41	7.124	2.42	7.123	2.44	7.113	2.42	7.108	2.41	7.115	2.42	7.103	2.38	7.091
3.47	7.151	3.44	7.137	3.45	7.119	3.4	7.104	3.4	7.131	3.46	7.111	3.44	7.074
4.86	7.958	4.86	7.975	4.88	7.964	4.86	7.948	4.87	7.955	4.87	7.929	4.86	7.919
5.86	8.051	5.86	8.081	5.88	8.065	5.86	8.051	5.87	8.044	5.87	7.956	5.86	7.854

Section Station 08		Section Station 09		Section Station 10		Section Station 11		Section Station 11.1		Section Station 12		Section Station 13	
x	Elevation	x	Elevation	x	Elevation	x	Elevation	x	Elevation	x	Elevation	x	Elevation
0	8.001	0	7.986	0	7.906	0	7.565	0	7.523	0	7.244	0	7.144
1	7.853	1	7.803	1	7.758	1	7.433	1	7.395	1	7.049	1	6.824
2.36	6.992	2.33	6.976	2.36	6.925	2.05	6.81	2.04	6.805	1.75	6.561	1.76	6.394
3.44	6.99	3.38	6.968	3.34	6.927	2.79	6.817	2.79	6.801	2.51	6.558	2.47	6.389
4.83	7.866	4.65	7.791	4.7	7.768	3.8	7.427	3.77	7.383	3.1	7.028	3.1	6.815
5.83	7.977	5.65	7.908	5.7	7.861	4.8	7.567	4.77	7.539	4.1	7.262	4.1	7.209

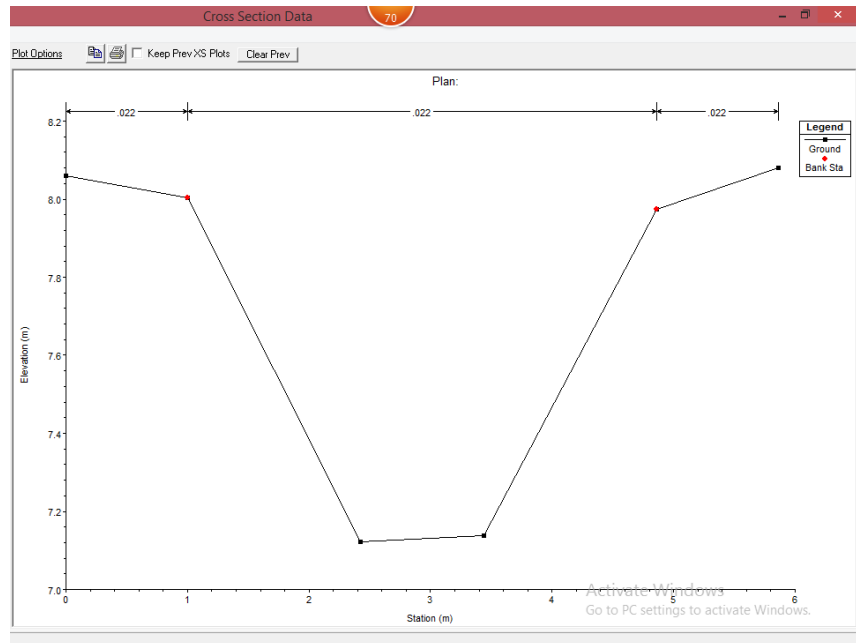
ตารางข้อมูล crosssection(ต่อ)

Section Station 14		Section Station 15		Section Station 16		Section Station 17	
x	Elevation	x	Elevation	x	Elevation	x	Elevation
0	6.992	0	6.793	0	6.708	0	6.561
1	6.807	1	6.724	1	6.587	1	6.48
1.69	6.371	1.68	6.264	1.69	6.148	1.73	6.036
2.08	6.359	2.06	6.268	2.08	6.148	2.07	6.042
2.77	6.8	2.74	6.731	2.75	6.58	2.76	6.474
3.77	6.954	3.74	6.803	3.75	6.695	3.76	6.621

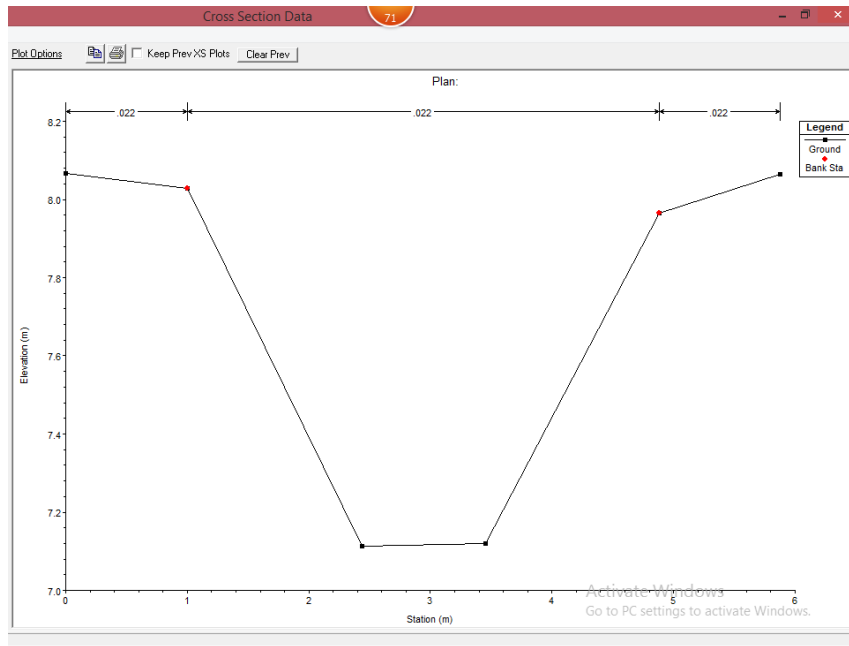
รูปภาคผนวกที่ 1 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 1



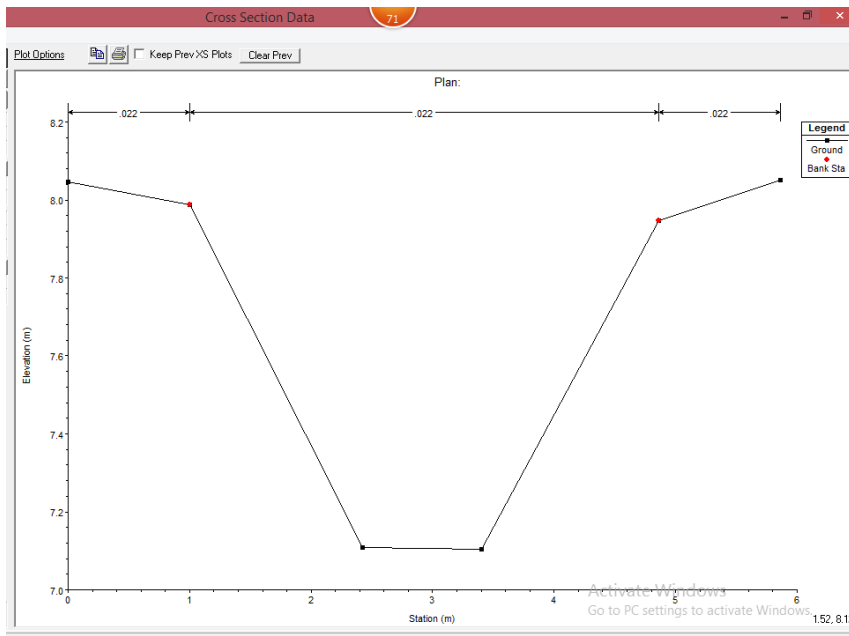
รูปภาคผนวกที่ 2 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 2



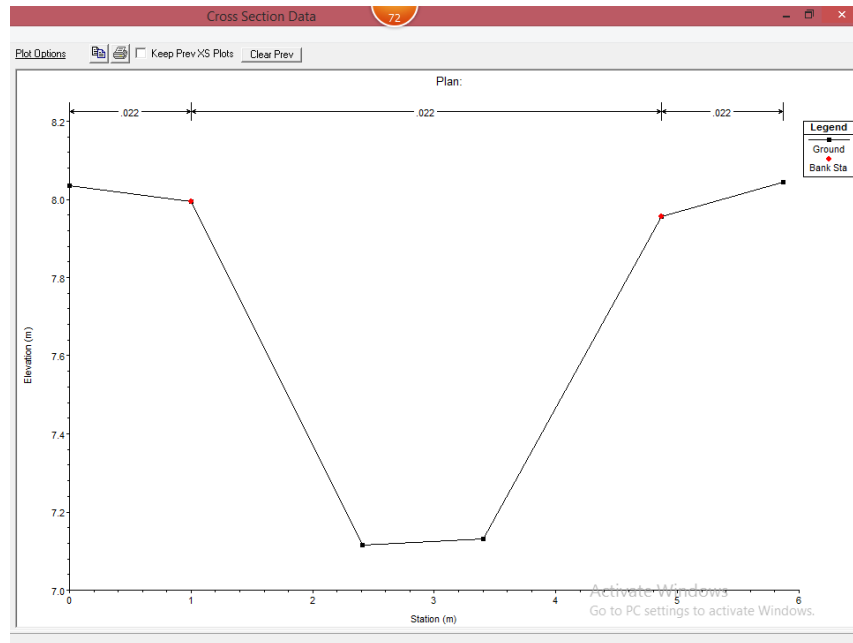
รูปภาคผนวกที่ 3 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 3



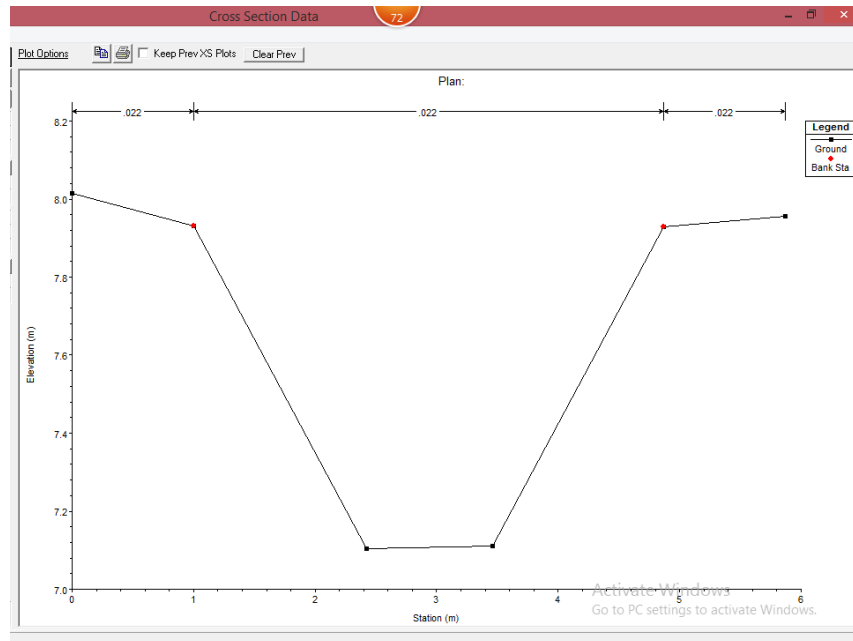
รูปภาคผนวกที่ 4 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 4



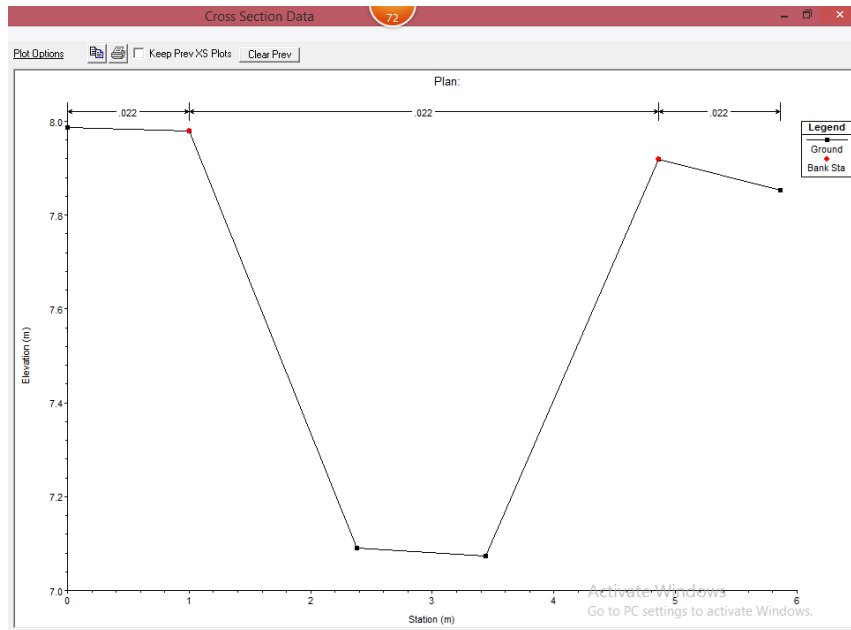
รูปภาคผนวกที่ 5 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 5



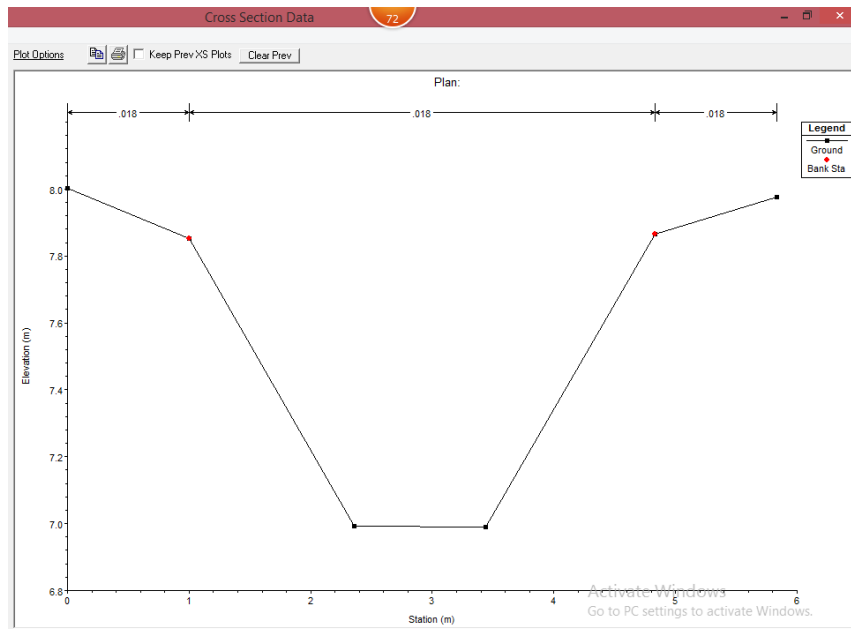
รูปภาคผนวกที่ 6 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 6



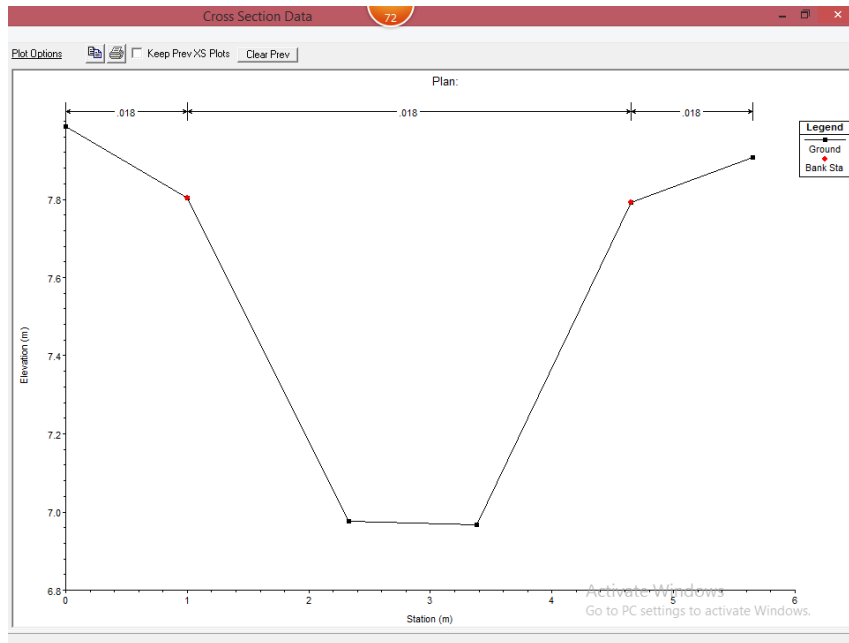
รูปภาคผนวกที่ 7 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 7



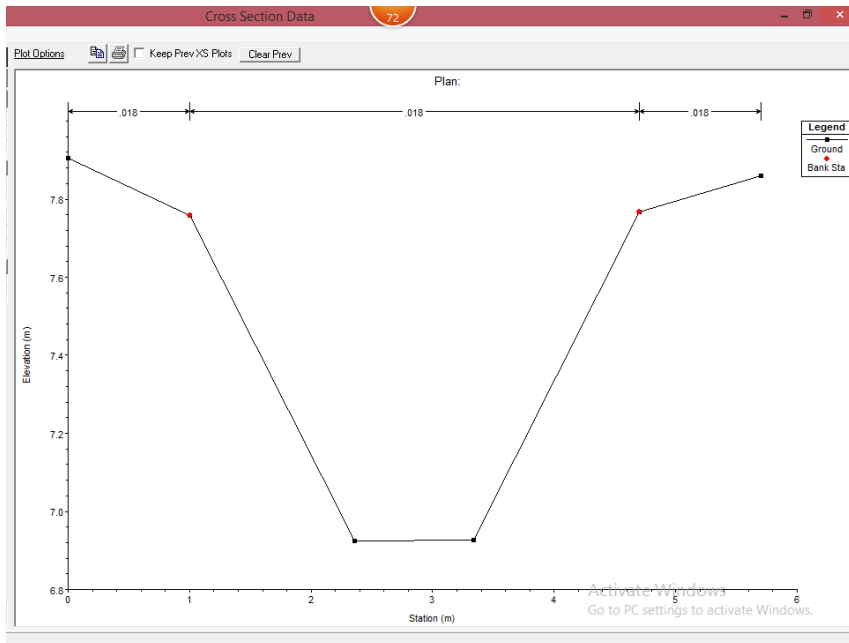
รูปภาคผนวกที่ 8 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 8



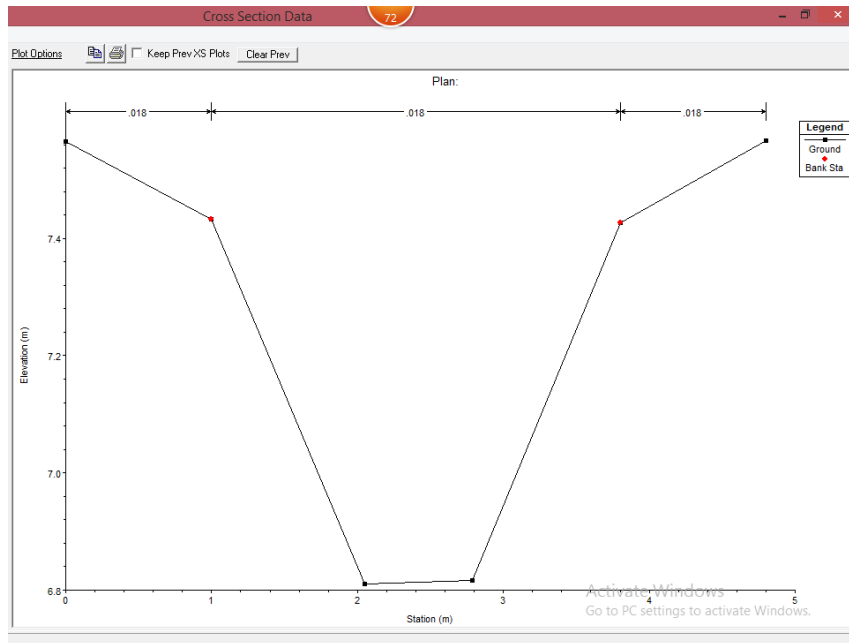
รูปภาคผนวกที่ 9 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 9



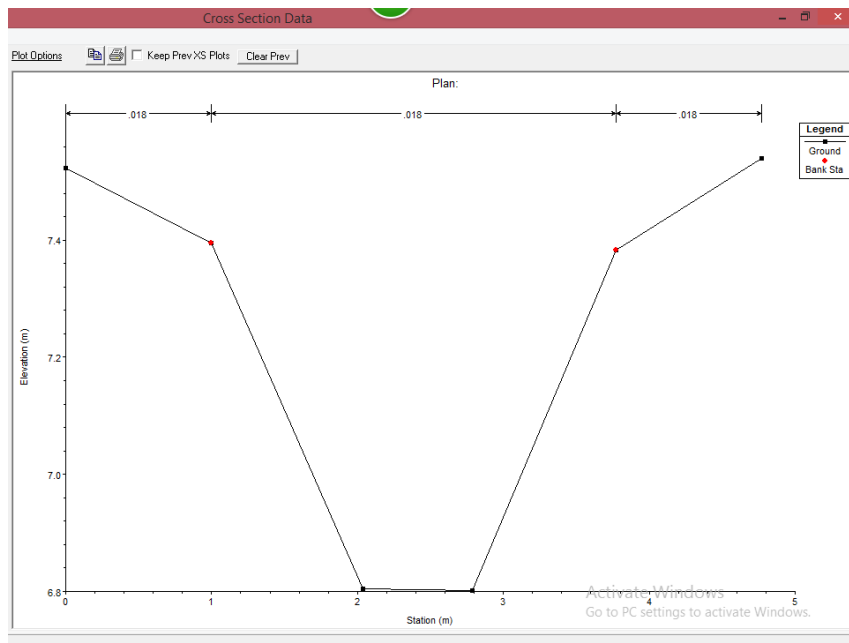
รูปภาคผนวกที่ 10 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 10



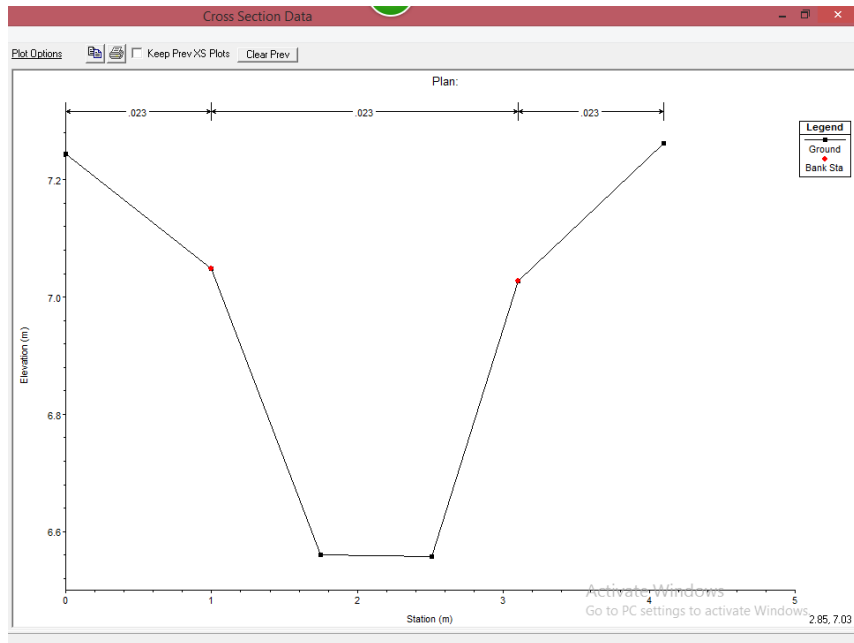
รูปภาคผนวกที่ 11 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 11



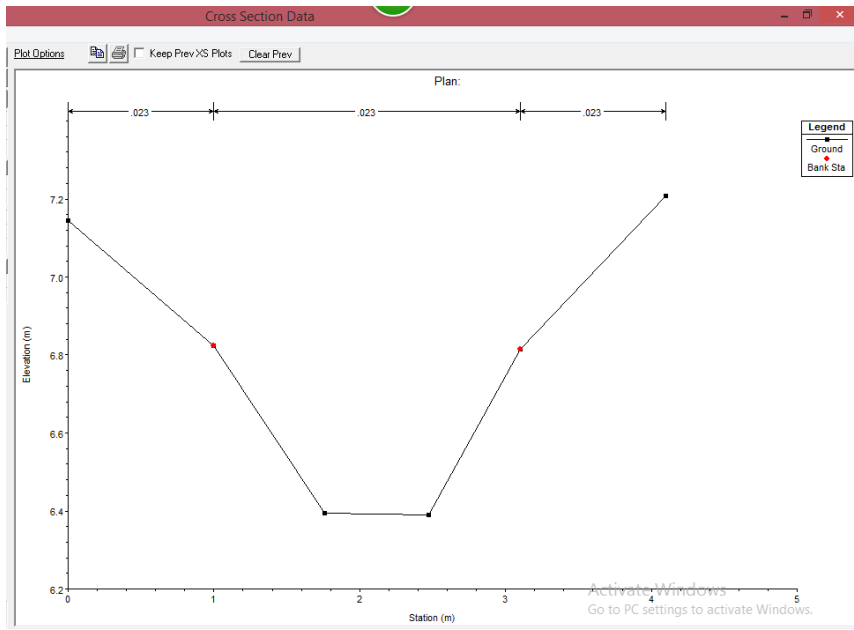
รูปภาคผนวกที่ 12 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 11.1



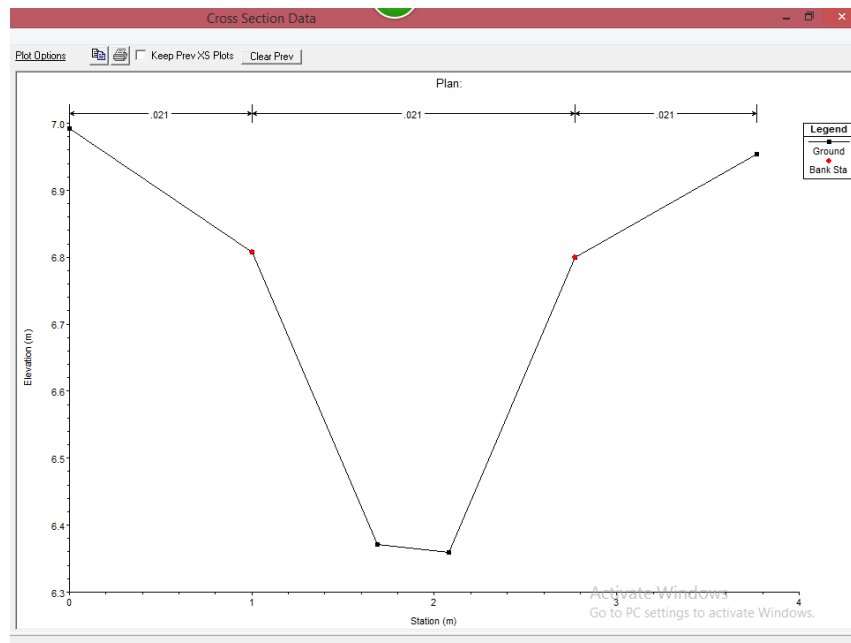
รูปภาคผนวกที่ 13 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 12



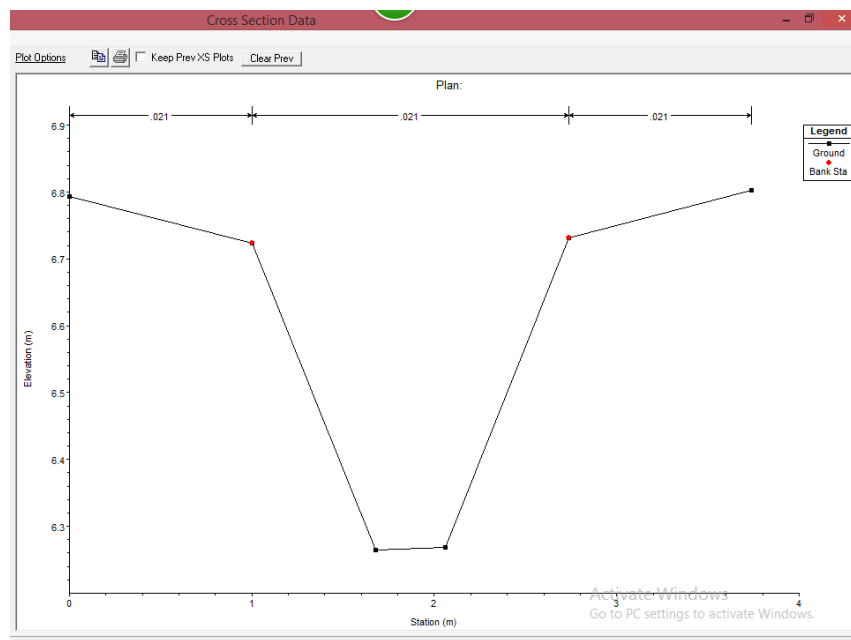
รูปภาคผนวกที่ 14 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 13



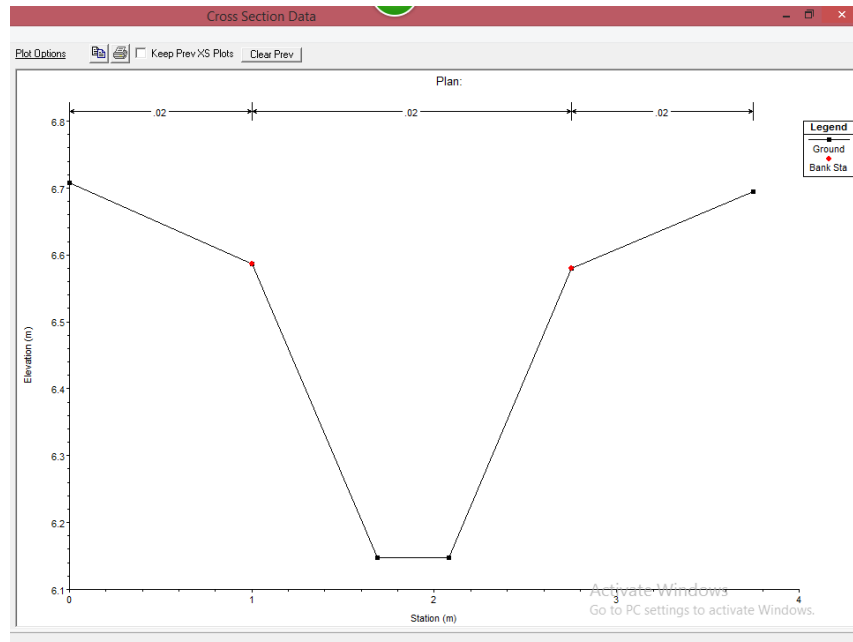
รูปภาคผนวกที่ 15 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 14



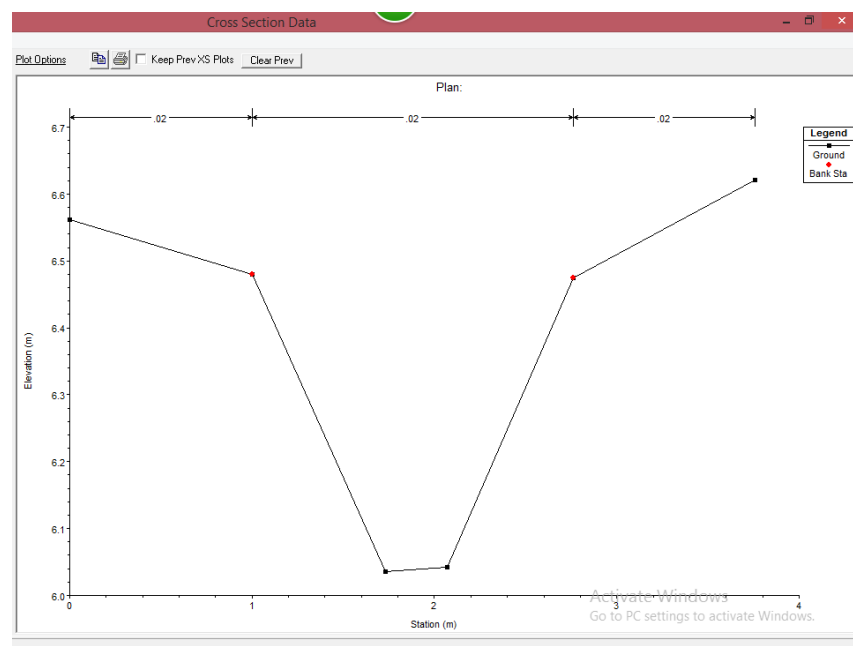
รูปภาคผนวกที่ 16 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 15



รูปภาคผนวกที่ 17 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 16



รูปภาคผนวกที่ 18 ภาพหน้าตัดขวางลำน้ำของคลองส่งน้ำ หน้าตัดที่ 17



ภาคผนวก ง
ตารางแสดงข้อมูล ใช้ในการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์

ตารางภาคผนวกที่ 4 แสดงข้อมูลรูปตัด ที่ใช้ในการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์

station 1-7						station 8-10					
1		2		3		1		2		3	
x	elevation	x	elevation	x	elevation	x	elevation	x	elevation	x	elevation
0	8.046	0	8.035	0	8.015	0	10.15	0	10.134	0	10.197
1	7.987	1	7.995	1	7.93	1	10.002	1	10	1	10.007
2.42	7.119	2.41	7.105	2.42	7.103	2.38	9.142	2.35	9.144	2.33	9.141
3.4	7.104	3.4	7.113	3.44	7.111	3.44	9.133	3.41	9.138	3.4	9.134
4.86	7.948	4.87	7.955	4.87	7.929	4.84	9.975	4.87	9.968	4.86	10.008
5.86	8.051	5.87	8.044	5.87	7.956	5.84	10.109	5.87	10.125	5.86	10.098
station 11-11.1						station 12-13					
1		2		3		1		2		3	
x	elevation	x	elevation	x	elevation	x	elevation	x	elevation	x	elevation
0	10.105	0	10.152	0	10.16	0	10.19	0	10.246	0	10.232
1	10.013	1	10	1	10.045	1	10.002	1	10	1	9.996
2.04	9.425	2.05	9.422	2.04	9.415	1.78	9.503	1.76	9.491	1.77	9.487
2.8	9.425	2.81	9.423	2.77	9.415	2.31	9.502	2.29	9.491	2.31	9.485
3.84	10.013	3.83	10	3.8	10.036	3.13	9.988	3.12	9.989	3.13	9.98
4.84	10.196	4.83	10.22	4.8	10.161	4.13	10.173	4.12	10.138	4.13	10.146

ตารางภาคผนวกที่ 4 แสดงข้อมูลรูปตัด ที่ใช้ในการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ (ต่อ)

station 14-15						station 16-17					
1		2		3		1		2		3	
x	elevation	x	elevation	x	elevation	x	elevation	x	elevation	x	elevation
0	10.12	0	10.141	0	10.161	0	10.107	0	10.174	0	10.172
1	10.001	1	10	1	10.016	1	10.023	1	10	1	9.998
1.71	9.556	1.725	9.553	1.71	9.563	1.72	9.572	1.73	9.566	1.74	9.57
2.07	9.546	2.09	9.56	2.06	9.566	2.06	9.573	2.07	9.566	2.08	9.568
2.79	9.994	2.785	10.012	2.77	10.016	2.76	10.082	2.76	10.039	2.78	10.003
3.79	10.134	3.785	10.151	3.77	10.167	3.76	10.152	3.76	10.086	3.78	10.191

ภาคผนวก จ

ตารางแสดงการ trial and error และผลการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ

ตารางภาคผนวกที่ 5 สอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระครั้งที่ 1 -6
 สอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระครั้งที่ 1 หน้าตัดที่ 1-7

ช่วง	ระดับน้ำที่สำรวจ ได้	Flow area ที่วัด ได้	อัตราการไหล	อัตราการไหลภายหลัง การสอบเทียบ ส.ป.ส ความขรุขระ
1	7.55		0.26812	0.27
2	7.551	0.782775	0.26812	0.27
3	7.551		0.26812	0.27

ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้	n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้	n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้
0.029	7.56	0.77	0.016	7.55	0.76	0.019	7.55	0.76
0.029	7.55	0.77	0.016	7.55	0.76	0.019	7.55	0.77
0.029	7.55	0.79	0.016	7.55	0.79	0.019	7.55	0.79

-ผลการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระหน้าตัดที่ 1-7 เท่ากับ 0.019

สอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระครั้งที่ 2 หน้าตัดที่ 8-10

ช่วง	ระดับน้ำที่สำรวจ ได้	Flow area ที่วัด ได้	อัตราการไหล	อัตราการไหลภายหลัง การสอบเทียบ ส. ป. ส ความขรุขระ
1	9.569		0.240845715	0.25
2	9.573	0.732888	0.240845715	0.25
3	9.562		0.240845715	0.25

ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้	n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้	n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้
0.021	9.57	0.77	0.016	9.57	0.76	0.019	9.57	0.76
0.021	9.57	0.75	0.016	9.56	0.75	0.019	9.57	0.75
0.021	9.56	0.74	0.016	9.56	0.74	0.019	9.56	0.74

-ผลการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระหน้าตัดที่ 8-10 เท่ากับ 0.019

สอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระครั้งที่ 3 หน้าตัดที่ 11-11.1

ช่วง	ระดับน้ำที่สำรวจ ได้	Flow area ที่วัด ได้	อัตราการไหล	อัตราการไหลภายหลัง การสอบเทียบ ส. ป. ส ความขรุขระ
1	9.745		0.070342838	0.07
2	9.736	0.4117515	0.070342838	0.07
3	9.73		0.070342838	0.07

ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้	n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้	n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้
0.01 2	9.7 3	0.4	0.02 8	9.7 4	0.41	0.01 7	9.7 4	0.41
0.01 2	9.7 3	0.41	0.02 8	9.7 4	0.41	0.01 7	9.7 4	0.42
0.01 2	9.7 3	0.39	0.02 8	9.7 3	0.39	0.01 7	9.7 4	0.4

ผลการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระหน้าตัดที่ 11-11.1 เท่ากับ 0.017

สอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระครั้งที่ 1 หน้าตัดที่ 12-13

ช่วง	ระดับน้ำที่สำรวจ ได้	Flow area ที่วัด ได้	อัตราการไหล	อัตราการไหลภายหลัง การสอบเทียบ ส. ป. ส ความขรุขระ
1	9.856		0.0858115	0.09
2	9.856	0.392375	0.0858115	0.09
3	9.85		0.0858115	0.09

ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้	n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้	n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้
0.03 2	9.8 7	0.41	0.02 8	9.8 7	0.41	0.01 5	9.8 5	0.39
0.03 2	9.8 6	0.42	0.02 8	9.8 6	0.41	0.01 5	9.8 5	0.4
0.03 2	9.8 6	0.42	0.02 8	9.8 6	0.42	0.01 5	9.8 5	0.41

ผลการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระหน้าตัดที่ 12-13 เท่ากับ 0.015

สอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระครั้งที่ 4 หน้าตัดที่ 14-15

ช่วง	ระดับน้ำที่สำรวจ ได้	Flow area ที่วัด ได้	0.044788415	อัตราการไหลภายหลัง การสอบเทียบ ส. ป. ส ความขรุขระ
1	9.811		0.044788415	0.04
2	9.826	0.214928	0.044788415	0.04
3	9.825		0.044788415	0.04

ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้	n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้	n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้
0.012	9.83	0.2	0.027	9.84	0.22	0.021	9.83	0.21
0.012	9.83	0.22	0.027	9.83	0.22	0.021	9.83	0.22
0.012	9.83	0.22	0.027	9.83	0.22	0.021	9.83	0.22

ผลการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระหน้าตัดที่ 14-15 เท่ากับ 0.021

สอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระครั้งที่ 1 หน้าตัดที่ 16-17

ช่วง	ระดับน้ำที่สำรวจ ได้	Flow area ที่วัด ได้	อัตราการไหล	อัตราการไหลภายหลัง การสอบเทียบ ส. ป. ส ความขรุขระ
1	9.752		0.00543879	0.01
2	9.76	0.12824	0.00543879	0.01
3	9.75		0.00543879	0.01

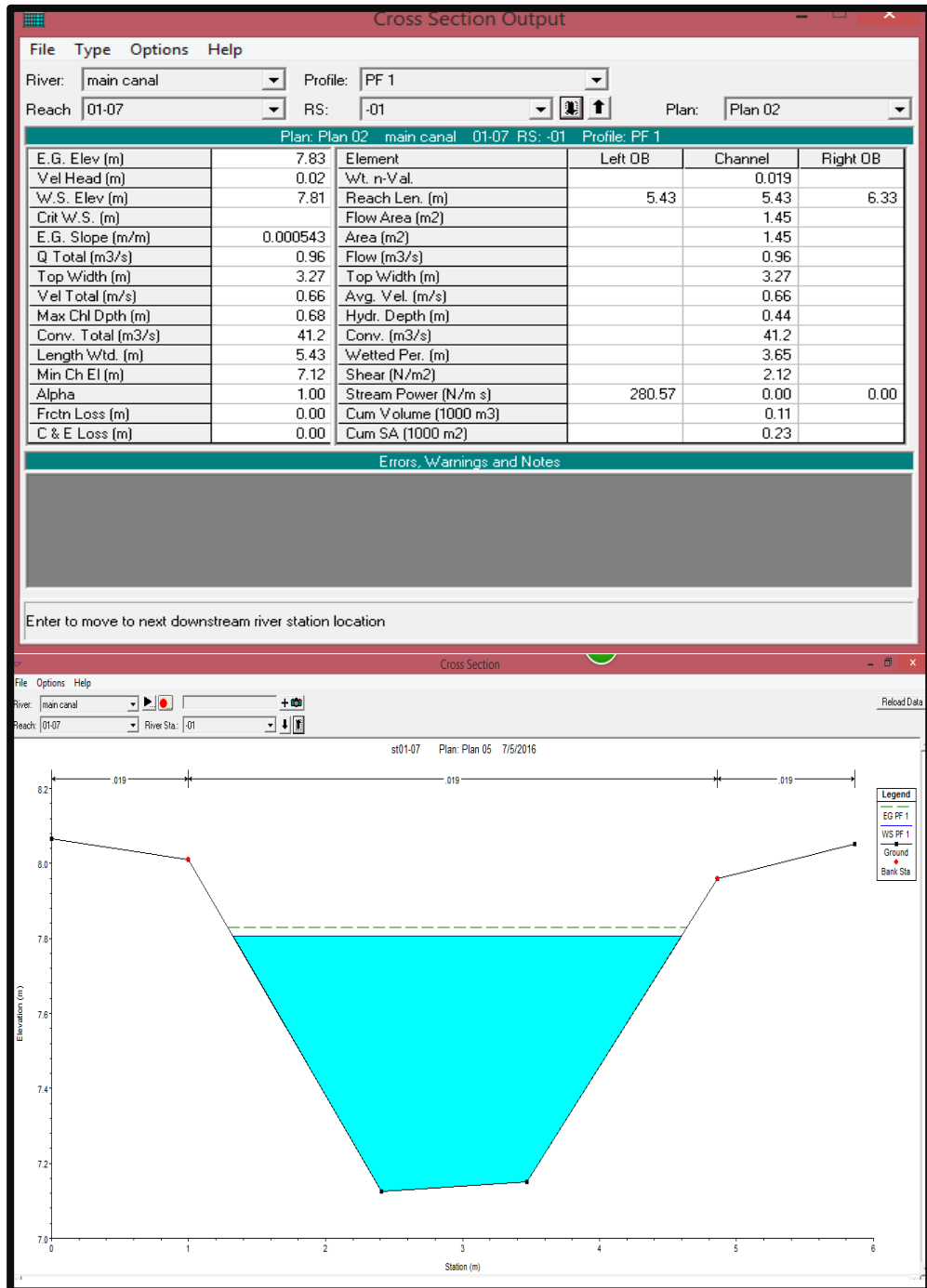
ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้	n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้	n	w.s	flow area ที่ คำนวณได้
0.012	9.76	0.12	0.01	9.7	0.12	0.0	9.7	0.11
			8	6		2	5	
0.012	9.76	0.13	0.01	9.7	0.13	0.0	9.7	0.12
			8	6		2	5	
0.012	9.76	0.13	0.01	9.7	0.13	0.0	9.7	0.12
			8	6		2	5	

ผลการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระหน้าตัดที่ 16-17 เท่ากับ 0.02

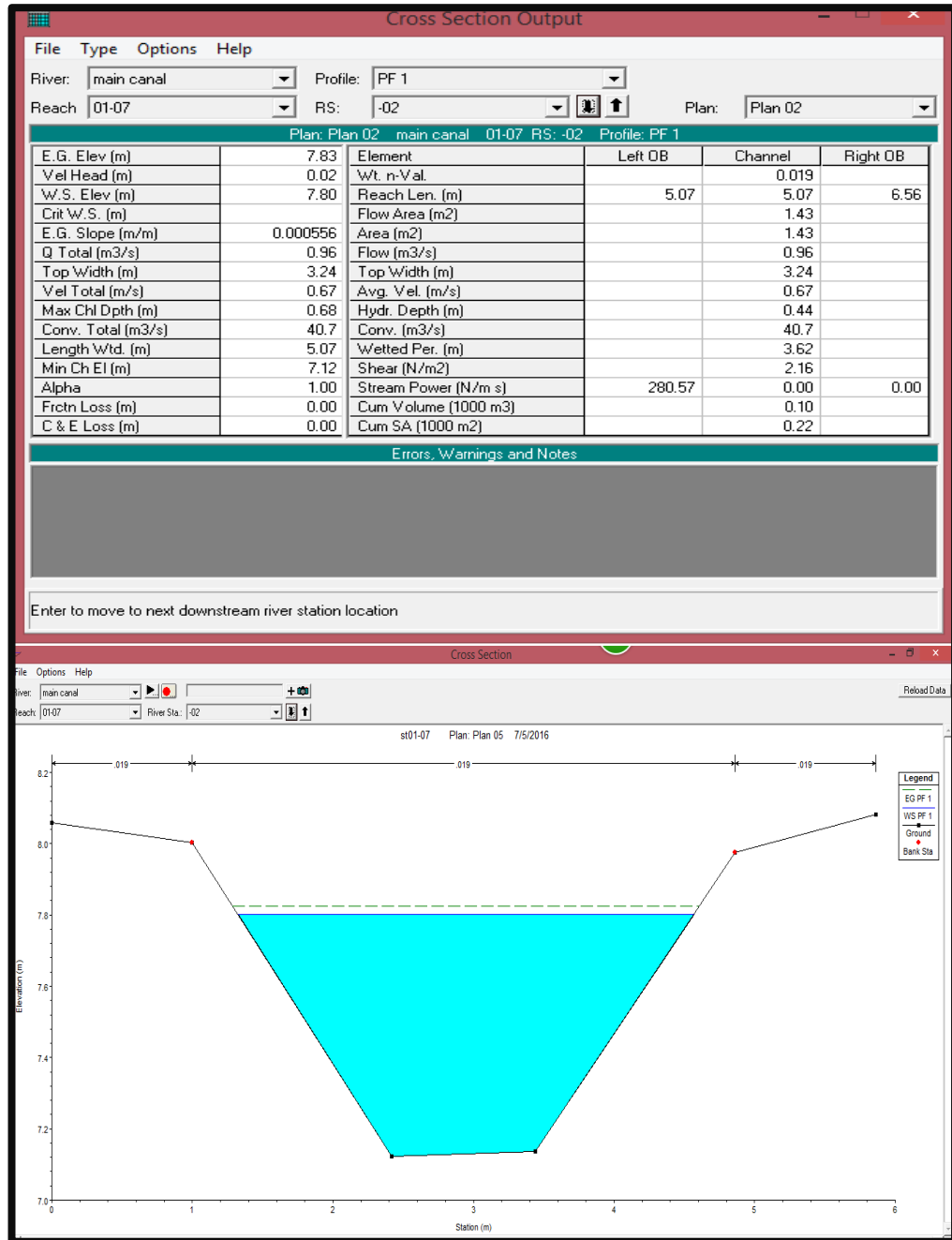
ภาคผนวก ฉ

ผลการวิเคราะห์อัตราการใช้ไฟที่เหมาะสมและรูปแสดงหน้าตัด

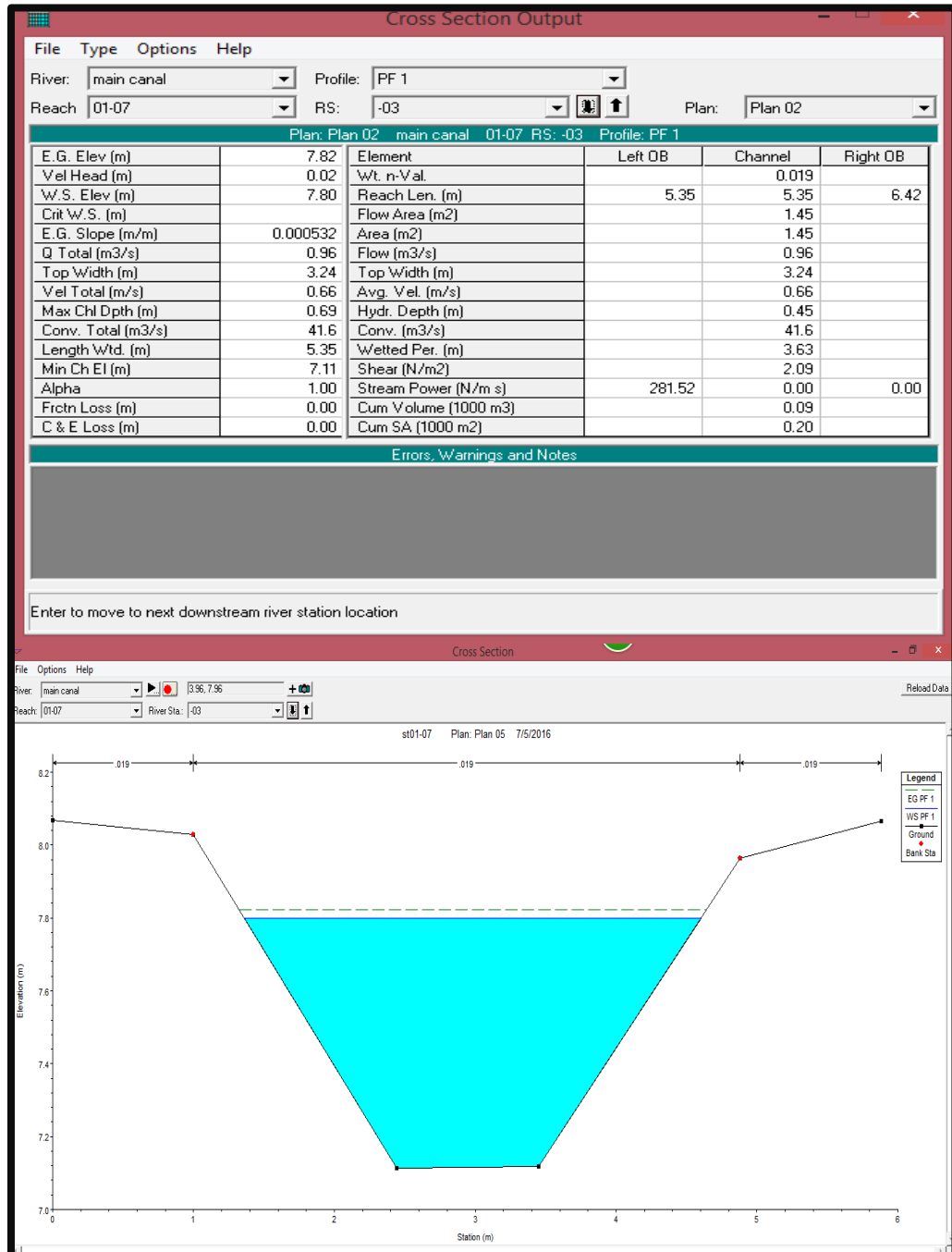
รูปภาคผนวกที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 1



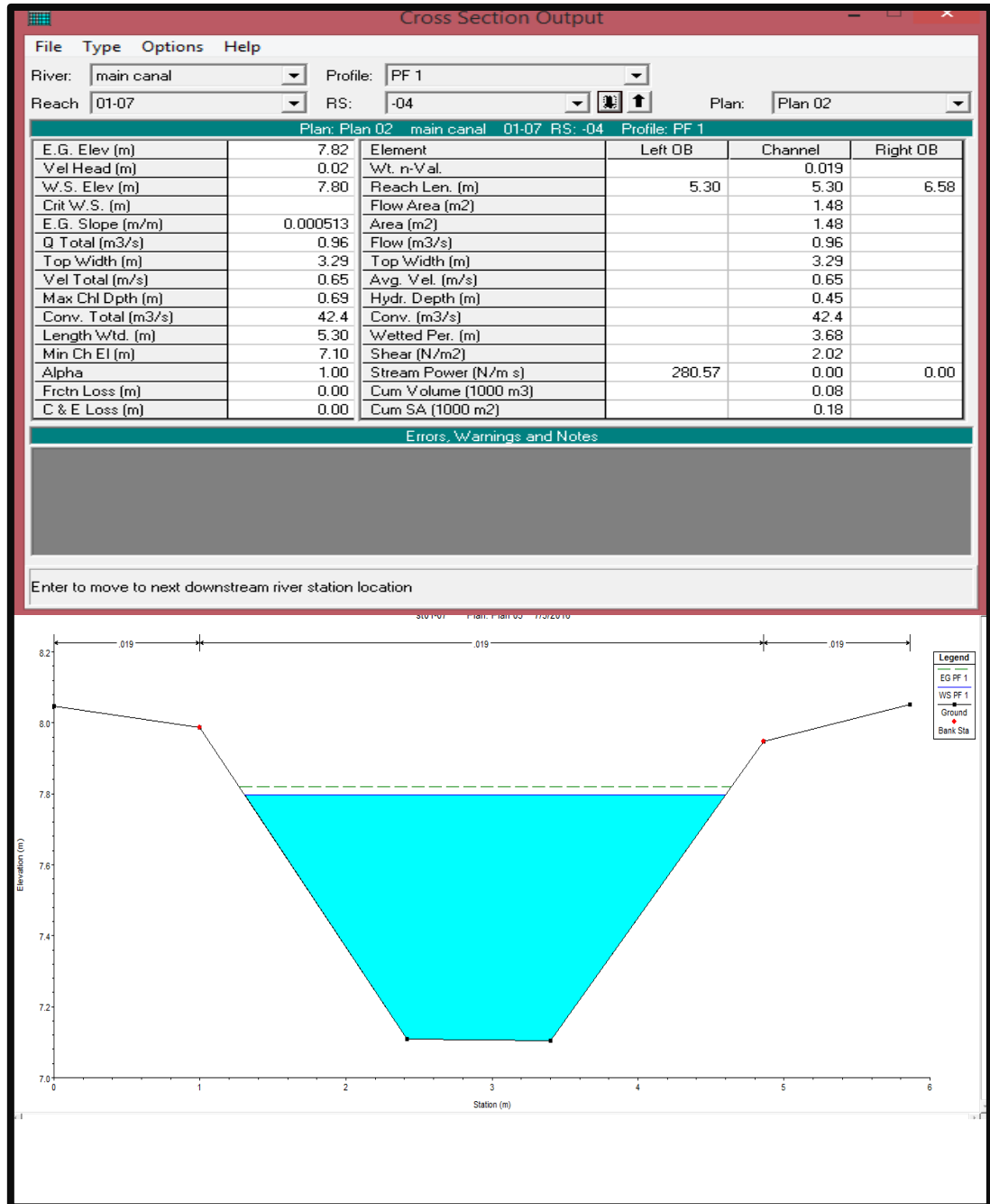
รูปภาคผนวกที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 2



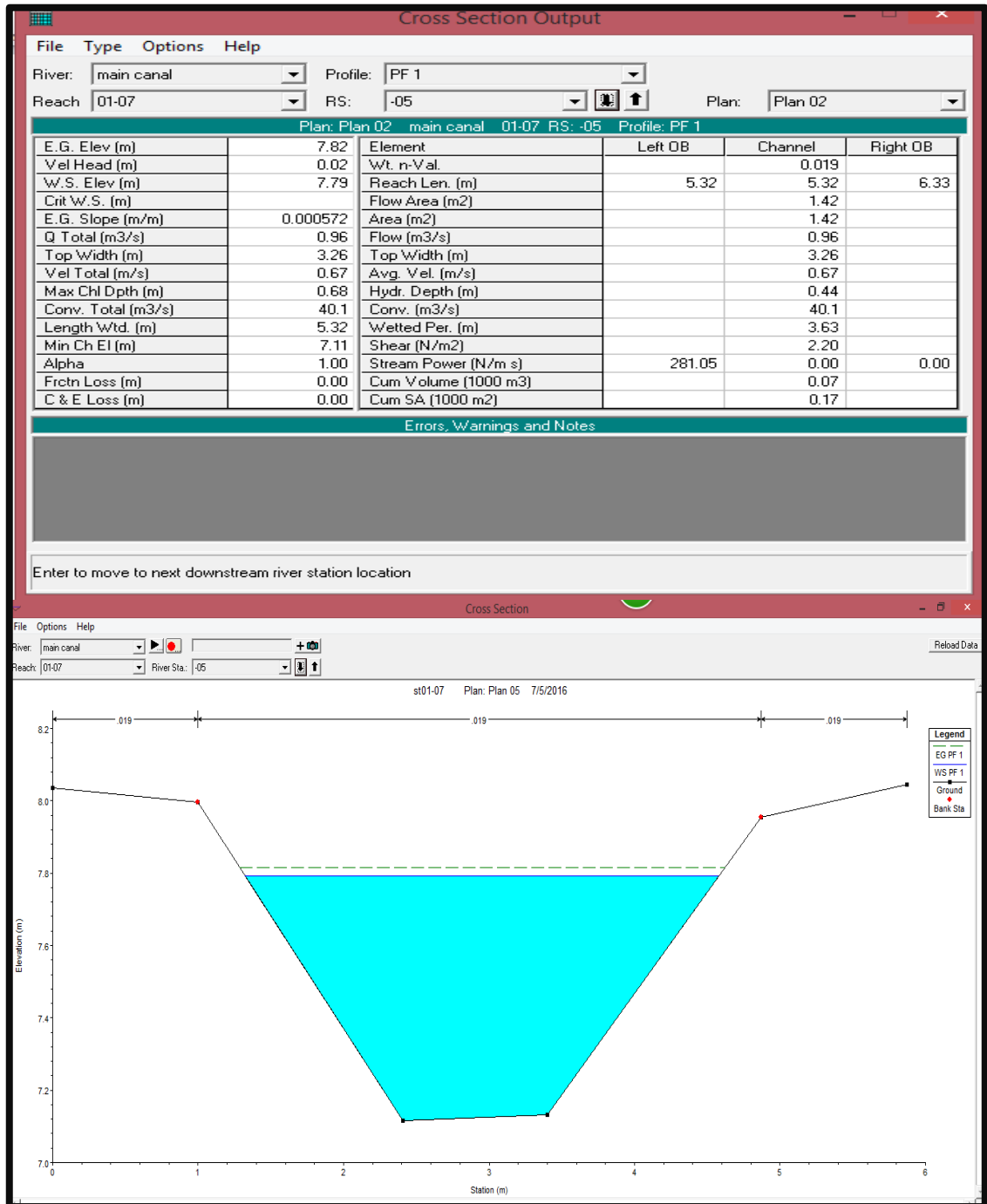
รูปภาคผนวกที่ 21 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 3



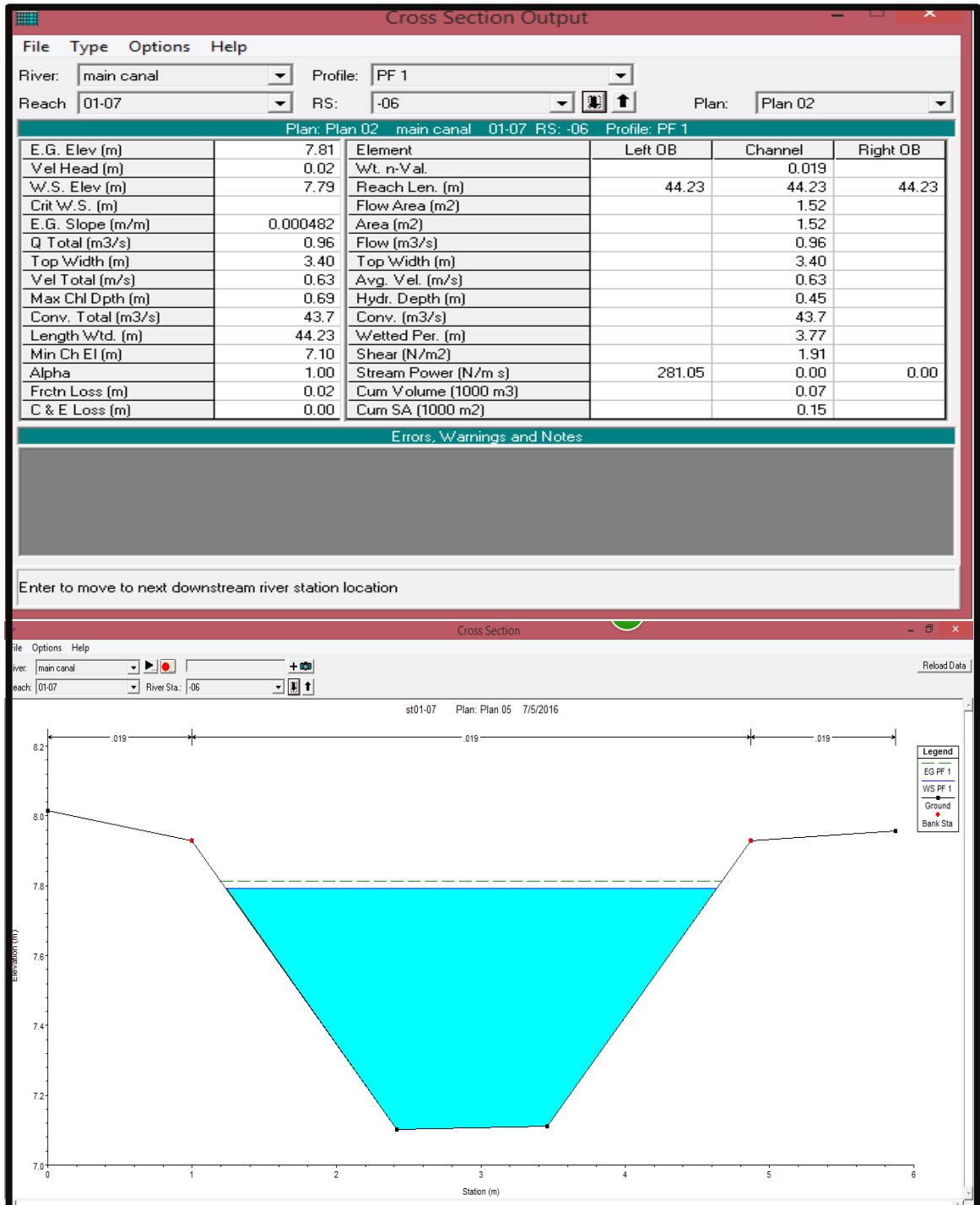
รูปภาคผนวกที่ 22 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 4



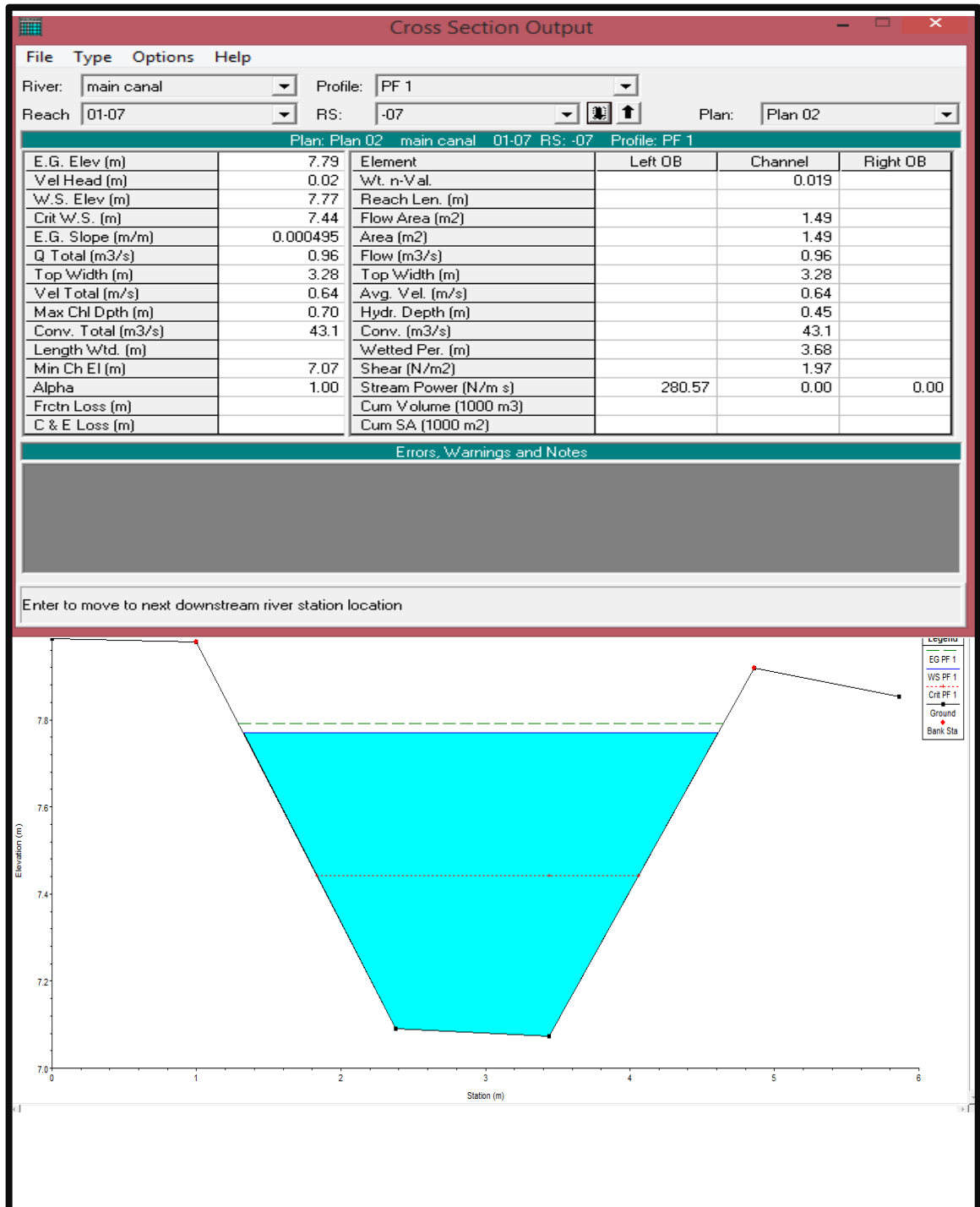
รูปภาคผนวกที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 5



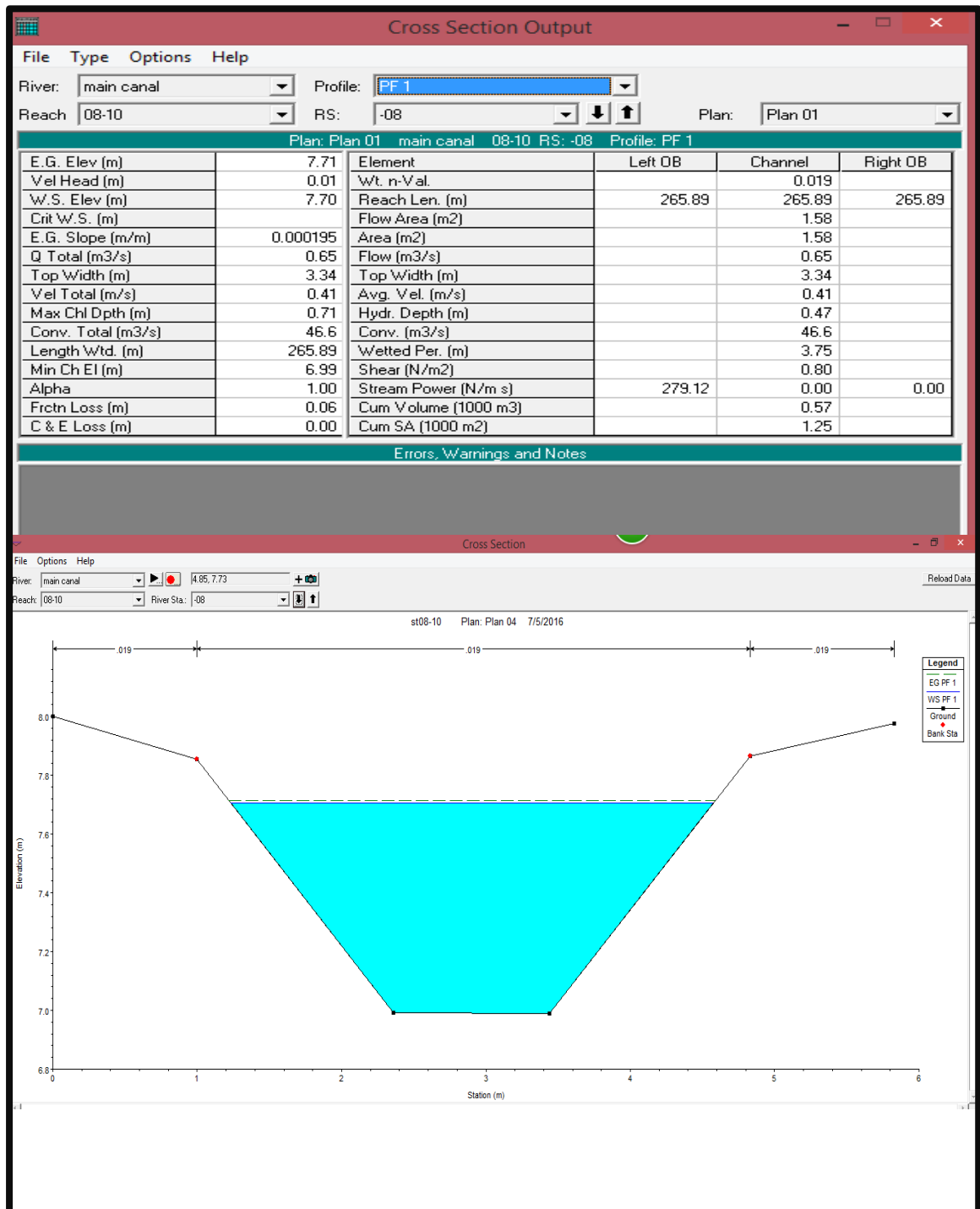
รูปภาคผนวกที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 6



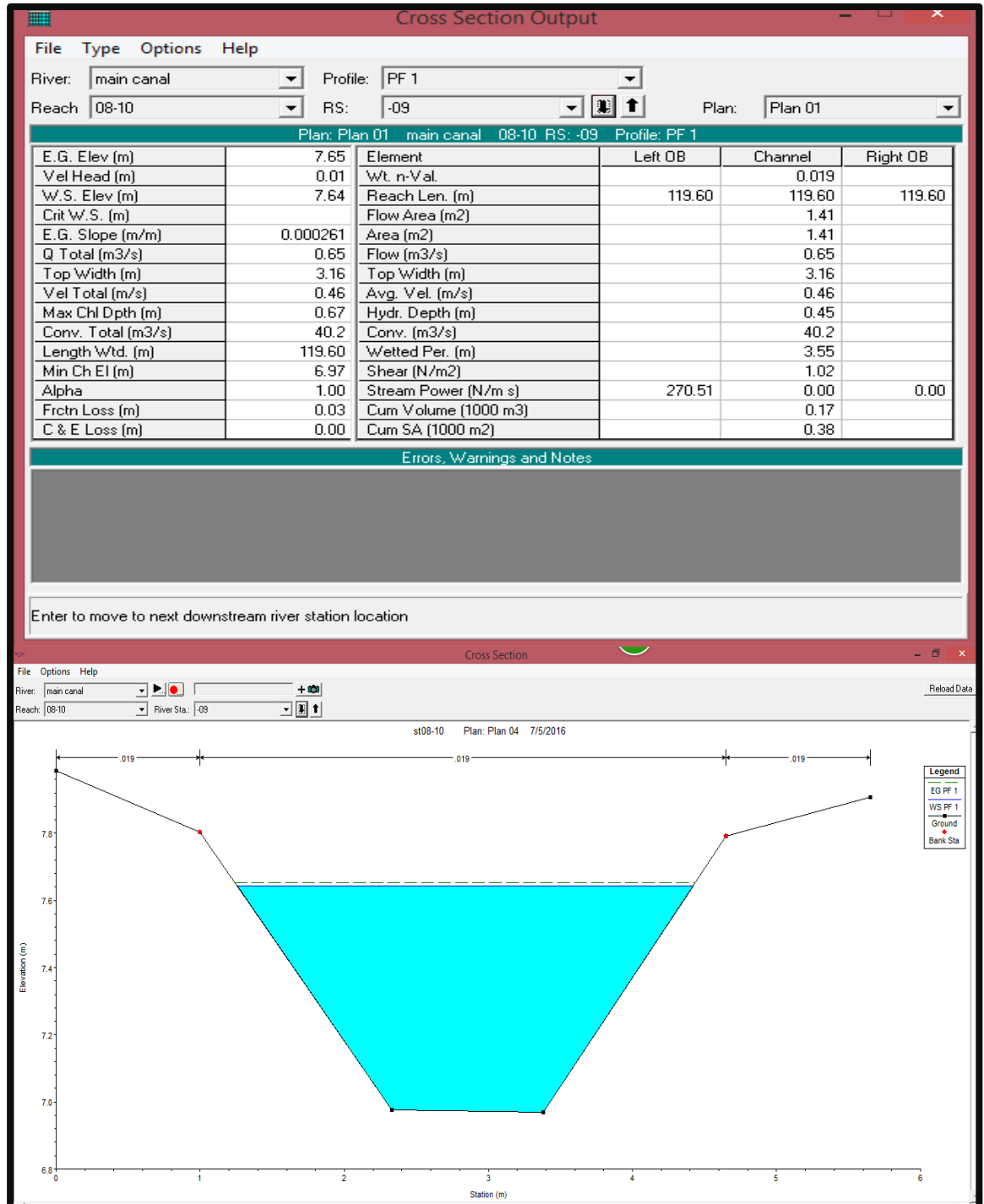
รูปภาคผนวกที่ 25 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 7



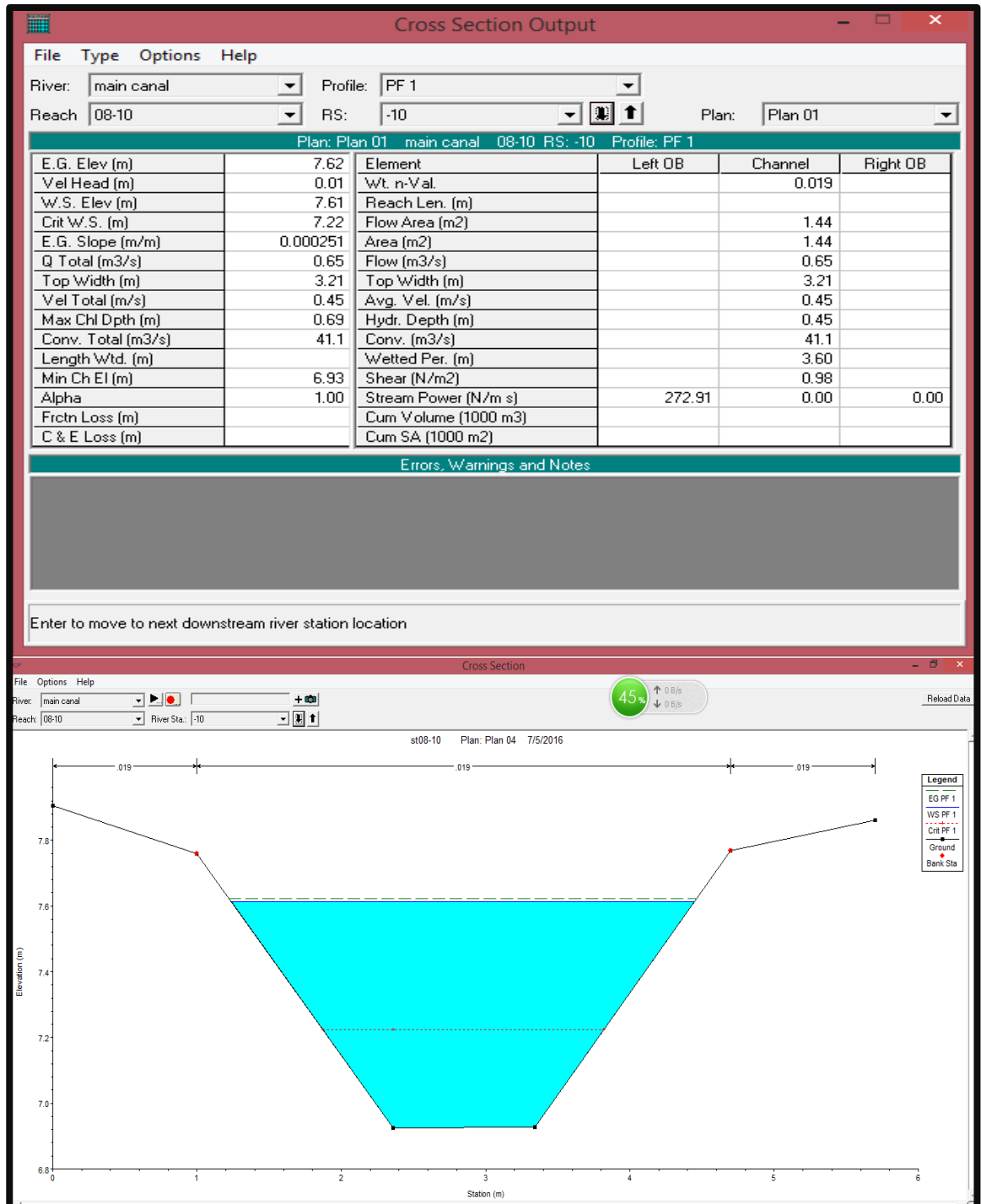
รูปภาคผนวกที่ 26 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 2 หน้าตัดที่ 8



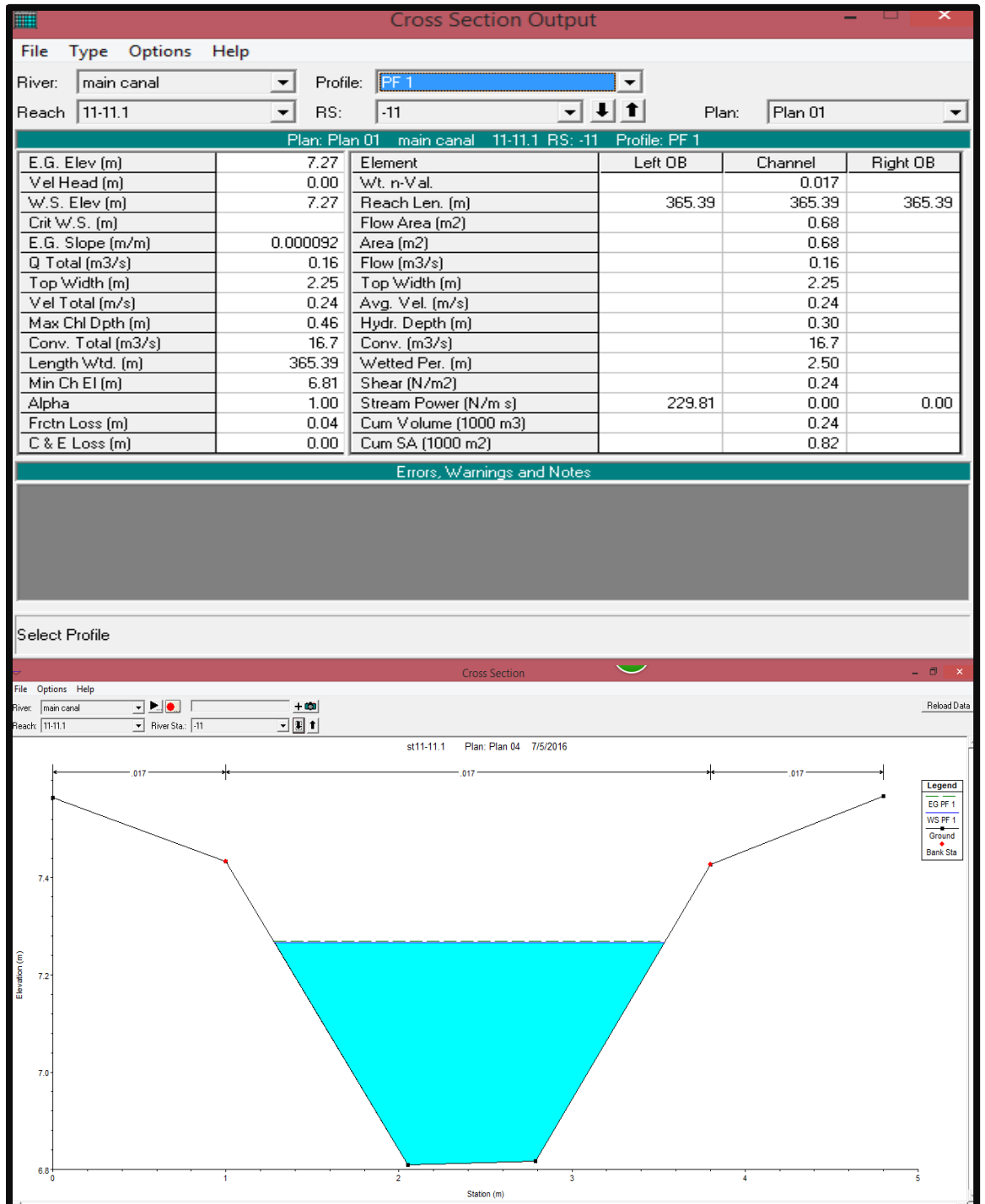
รูปภาคผนวกที่ 27 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 2 หน้าตัดที่ 9



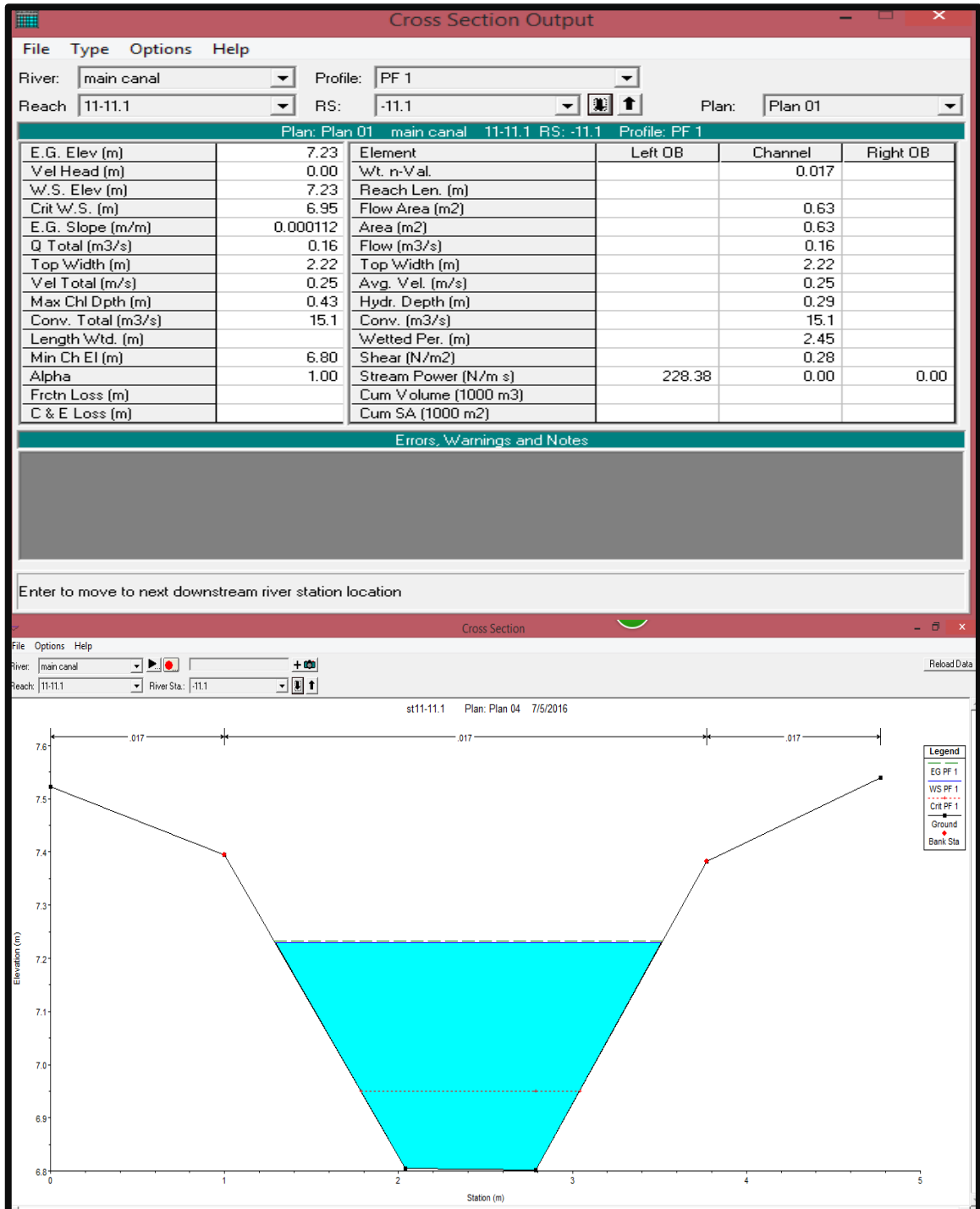
รูปภาคผนวกที่ 28 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 2 หน้าตัดที่ 10



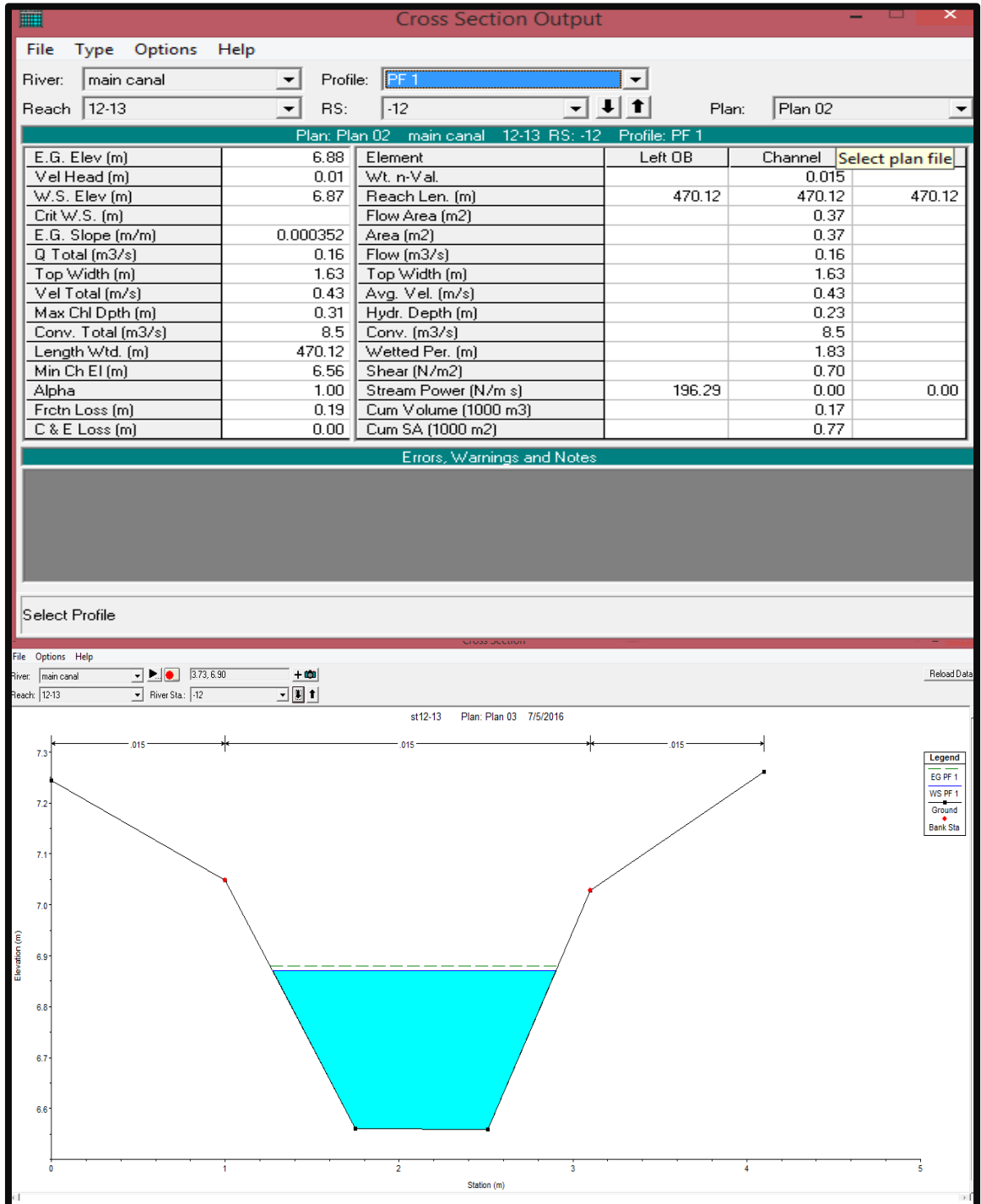
รูปภาคผนวกที่ 29 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 3 หน้าตัดที่ 11



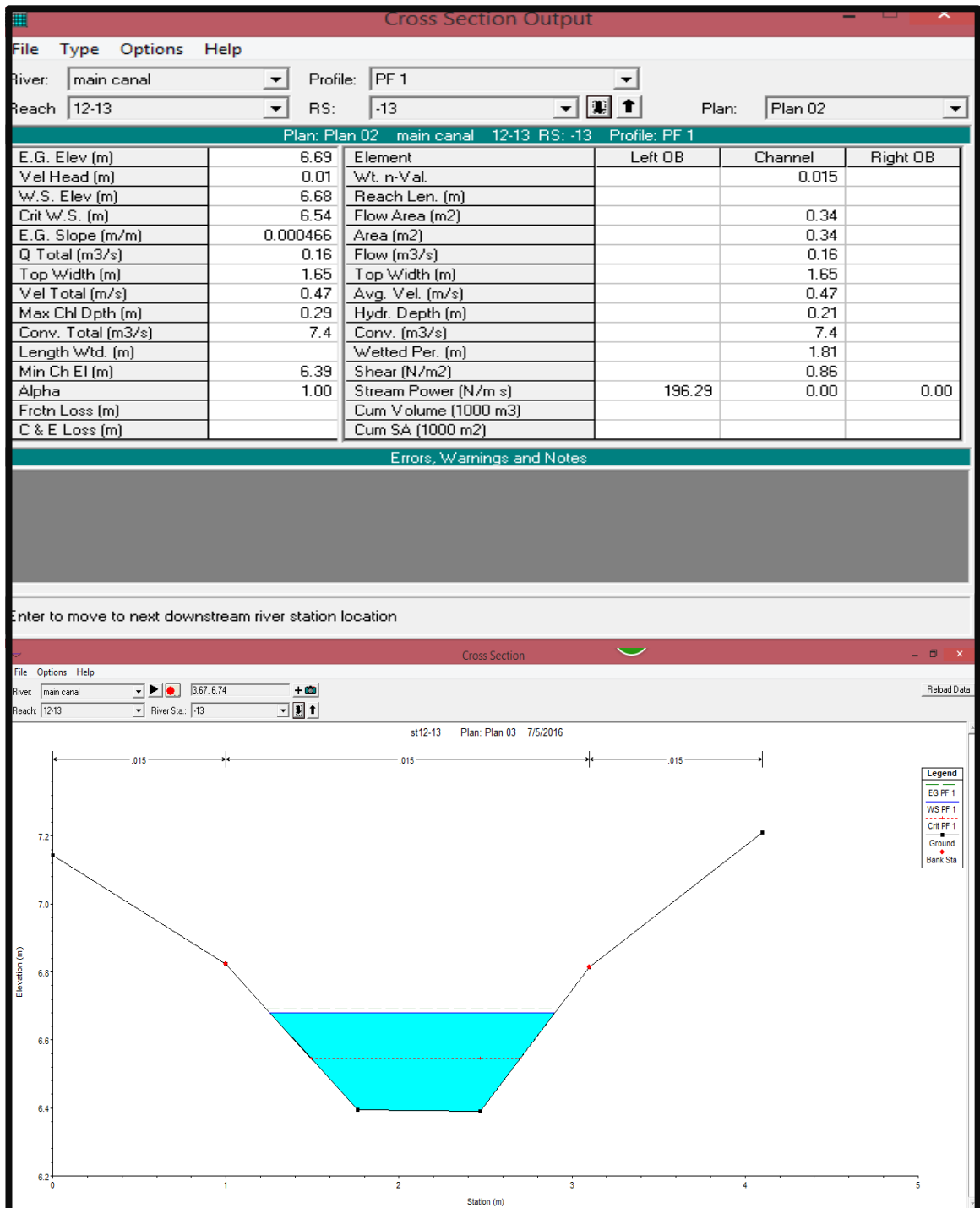
รูปภาคผนวกที่ 30 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 3 หน้าตัดที่ 11.1



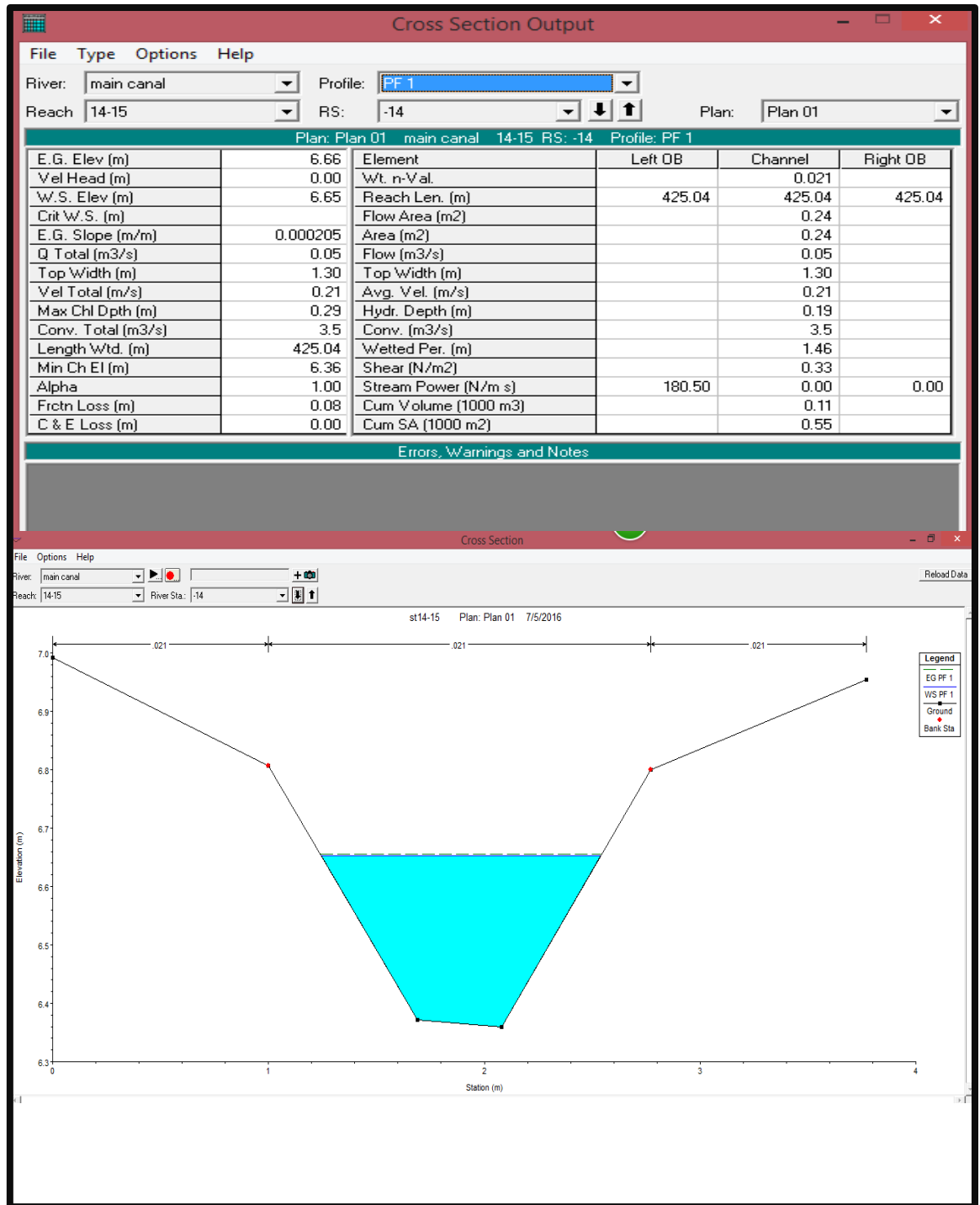
รูปภาคผนวกที่ 31 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 4 หน้าตัดที่ 12



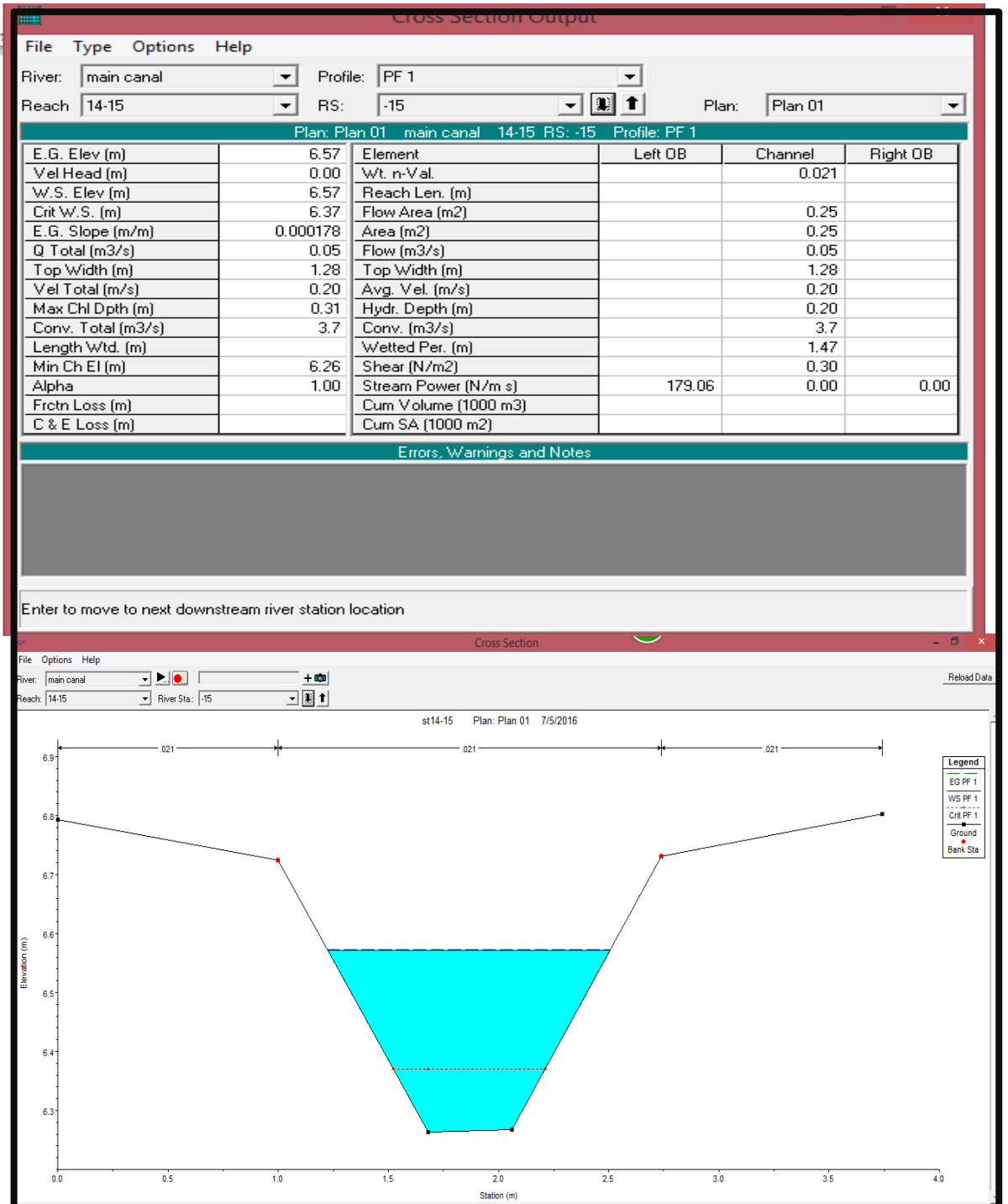
รูปภาคผนวกที่ 32 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 4 หน้าตัดที่ 13



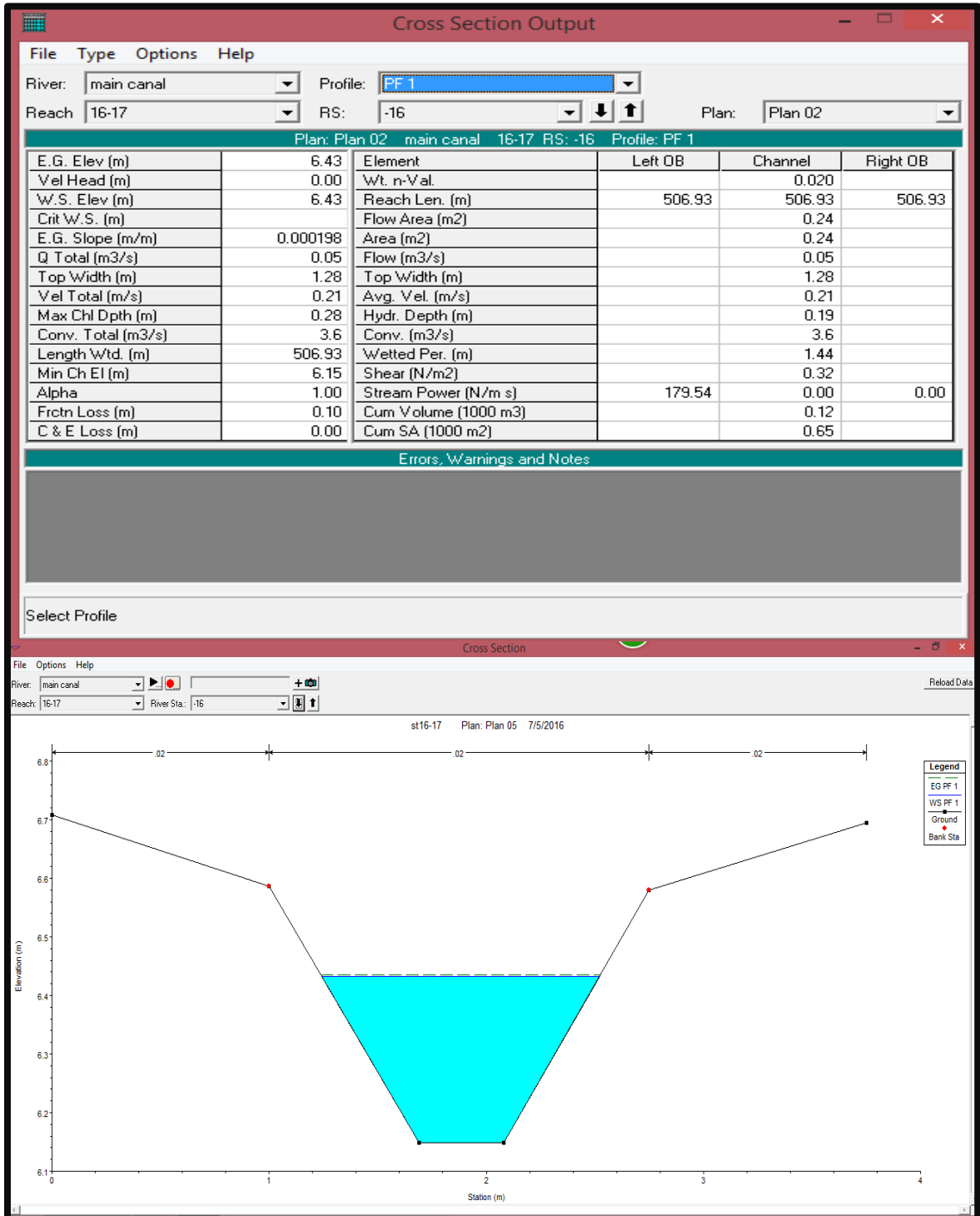
รูปภาคผนวกที่ 33 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 5 หน้าตัดที่ 14



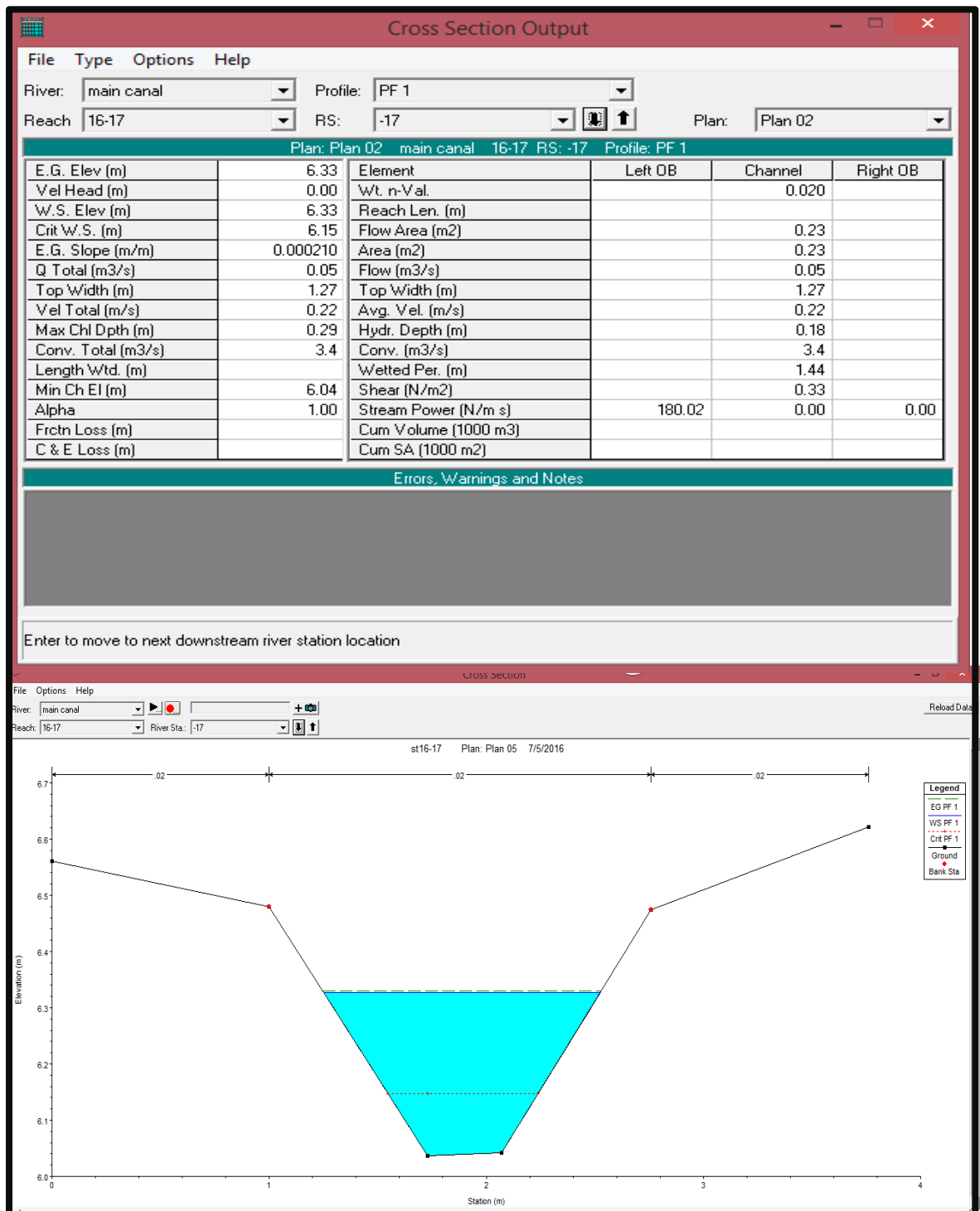
รูปภาคผนวกที่ 34 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 5 หน้าตัดที่ 15



รูปภาคผนวกที่ 35 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 6 หน้าตัดที่ 16



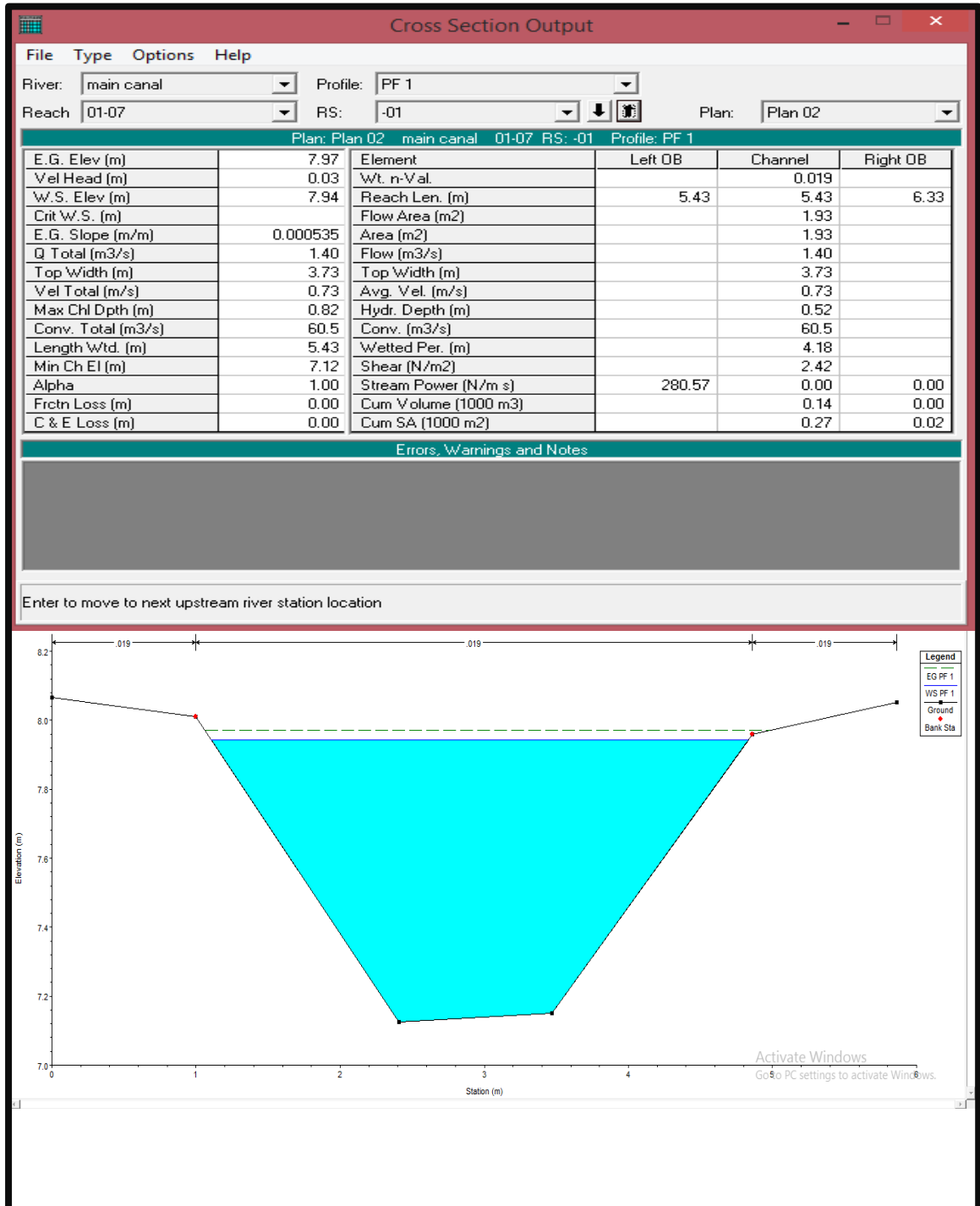
รูปภาคผนวกที่ 36 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 6 หน้าตัดที่ 17



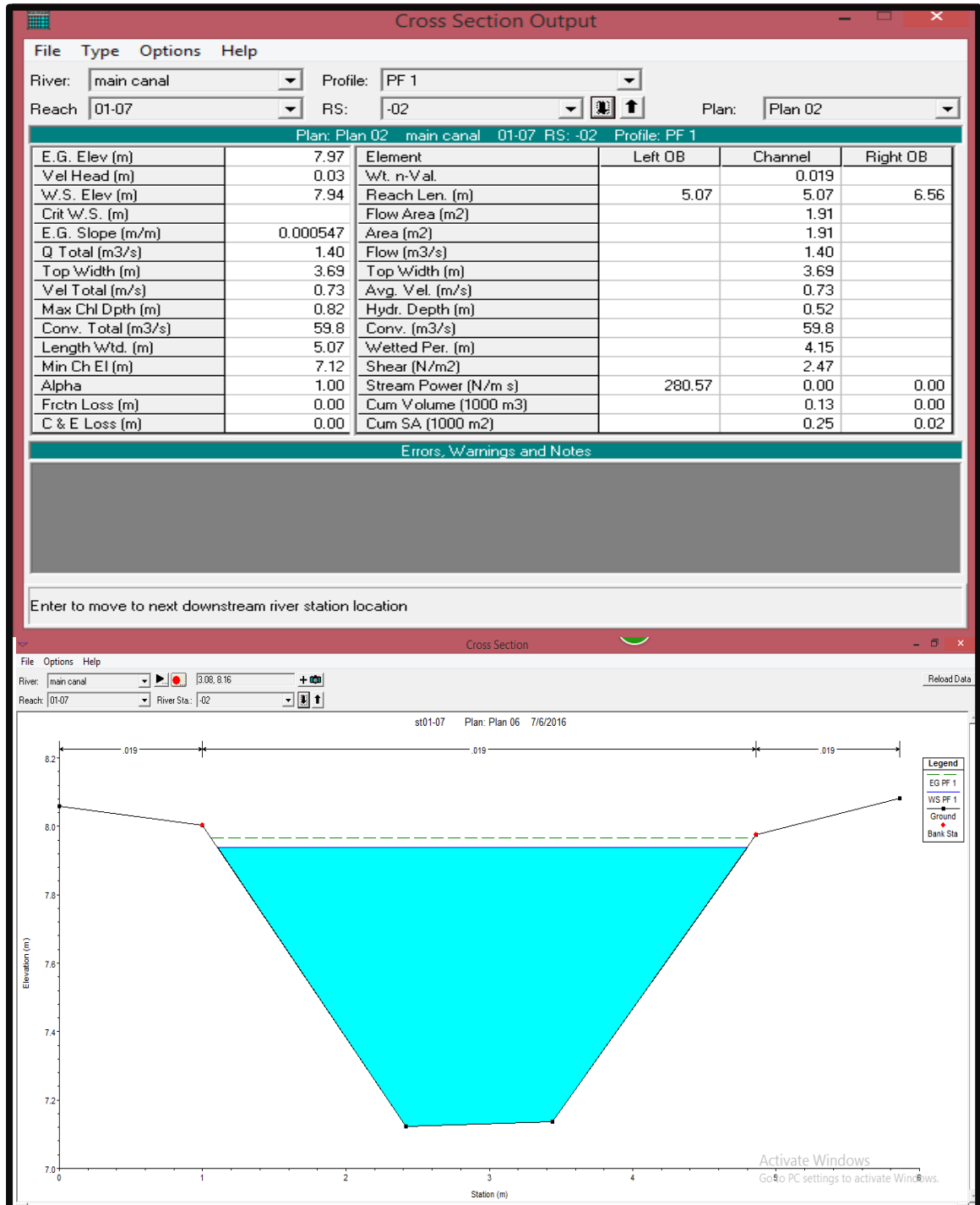
ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์อัตราการใช้สูงสุดและรูปแสดงหน้าตัด

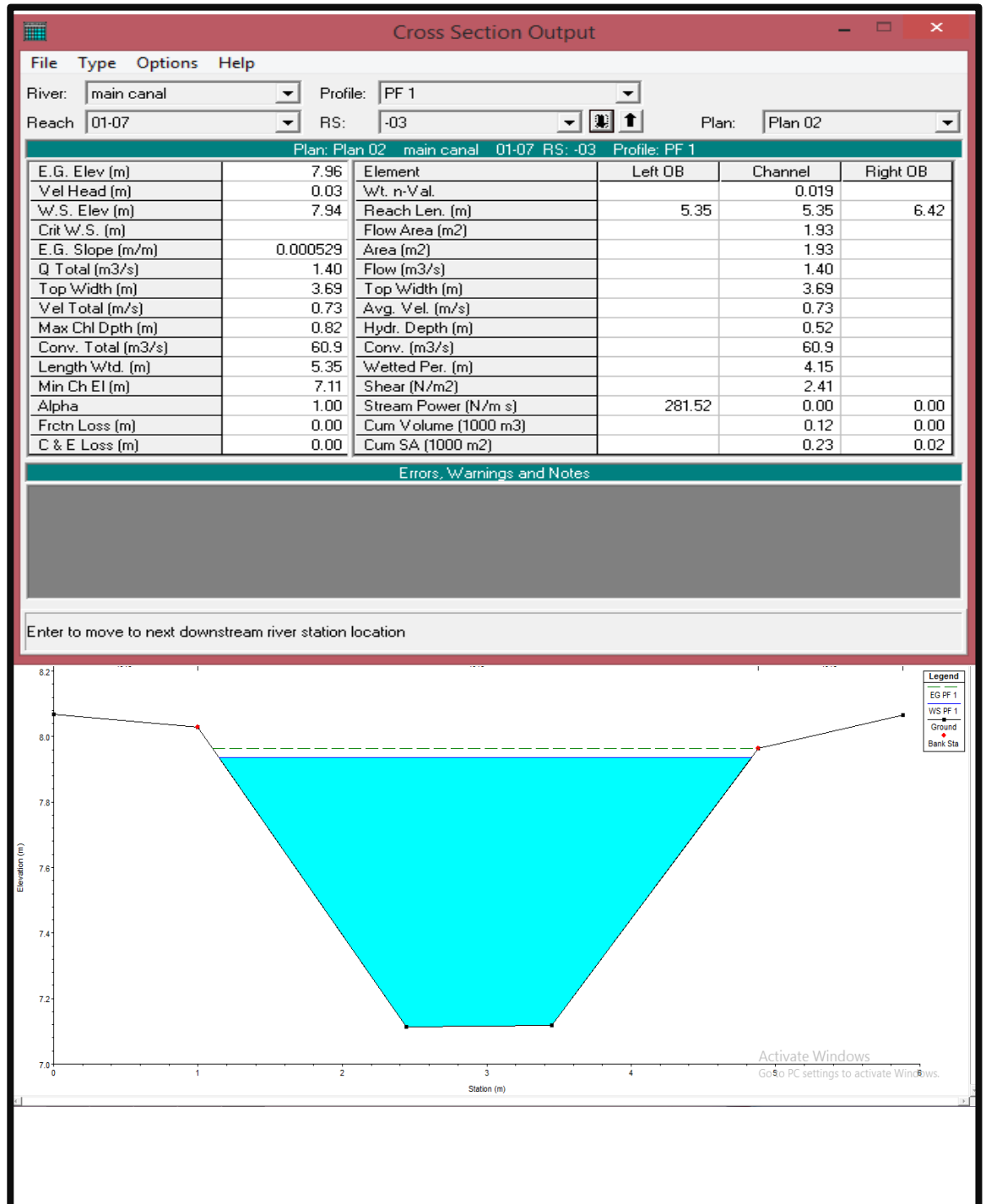
รูปภาคผนวกที่ 37 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 1



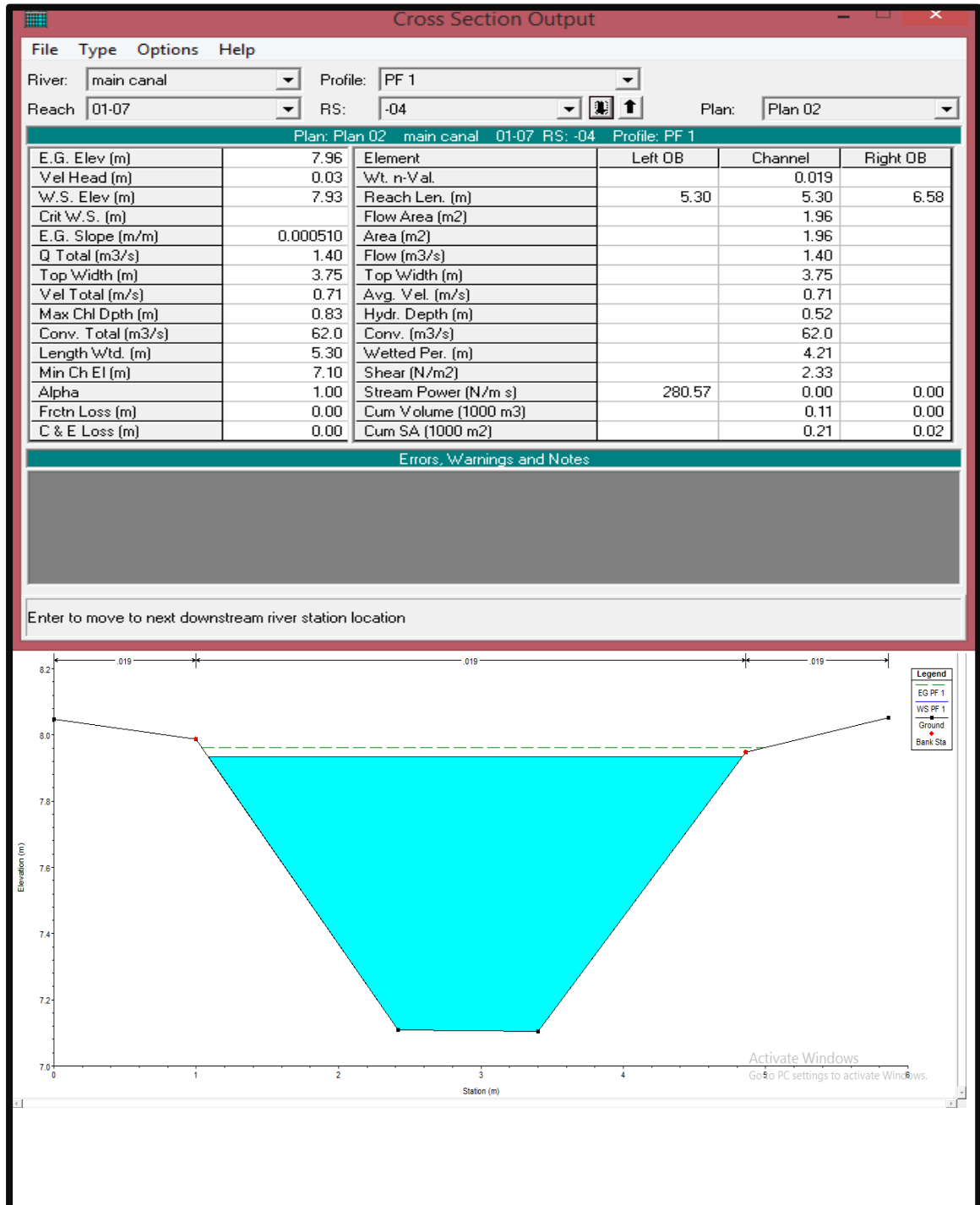
รูปภาคผนวกที่ 38 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 2



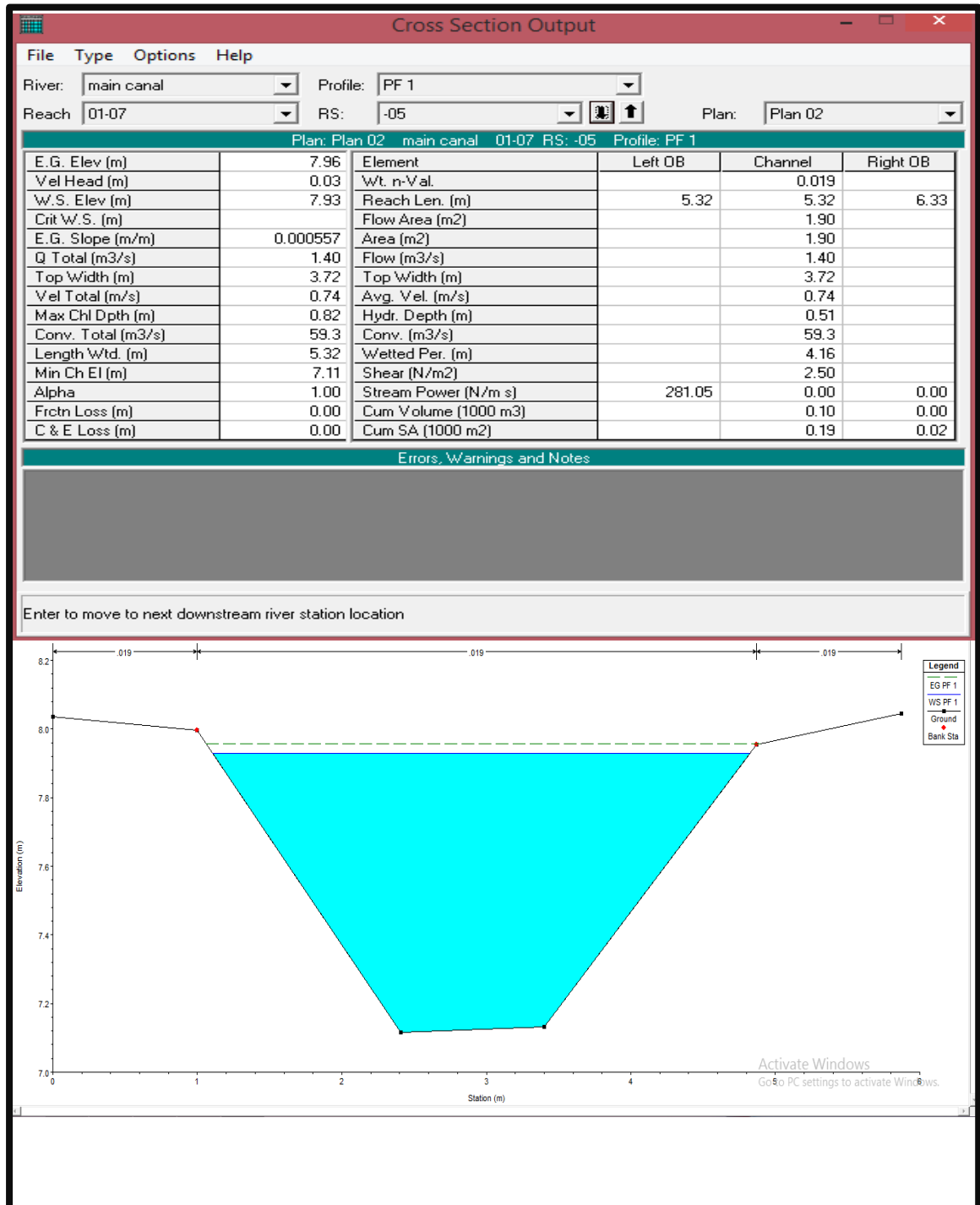
รูปภาคผนวกที่ 39 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 1



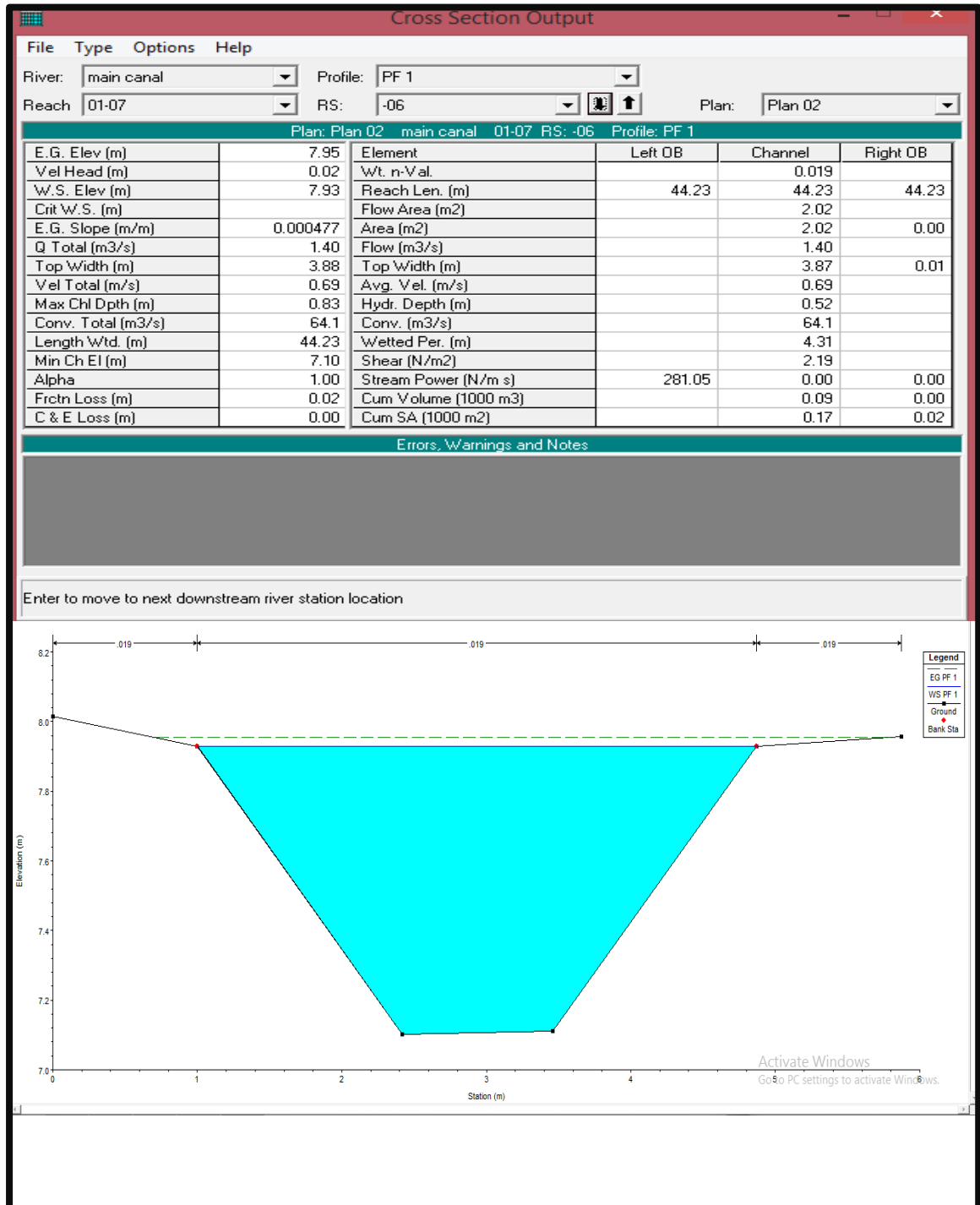
รูปภาคผนวกที่ 40 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 4



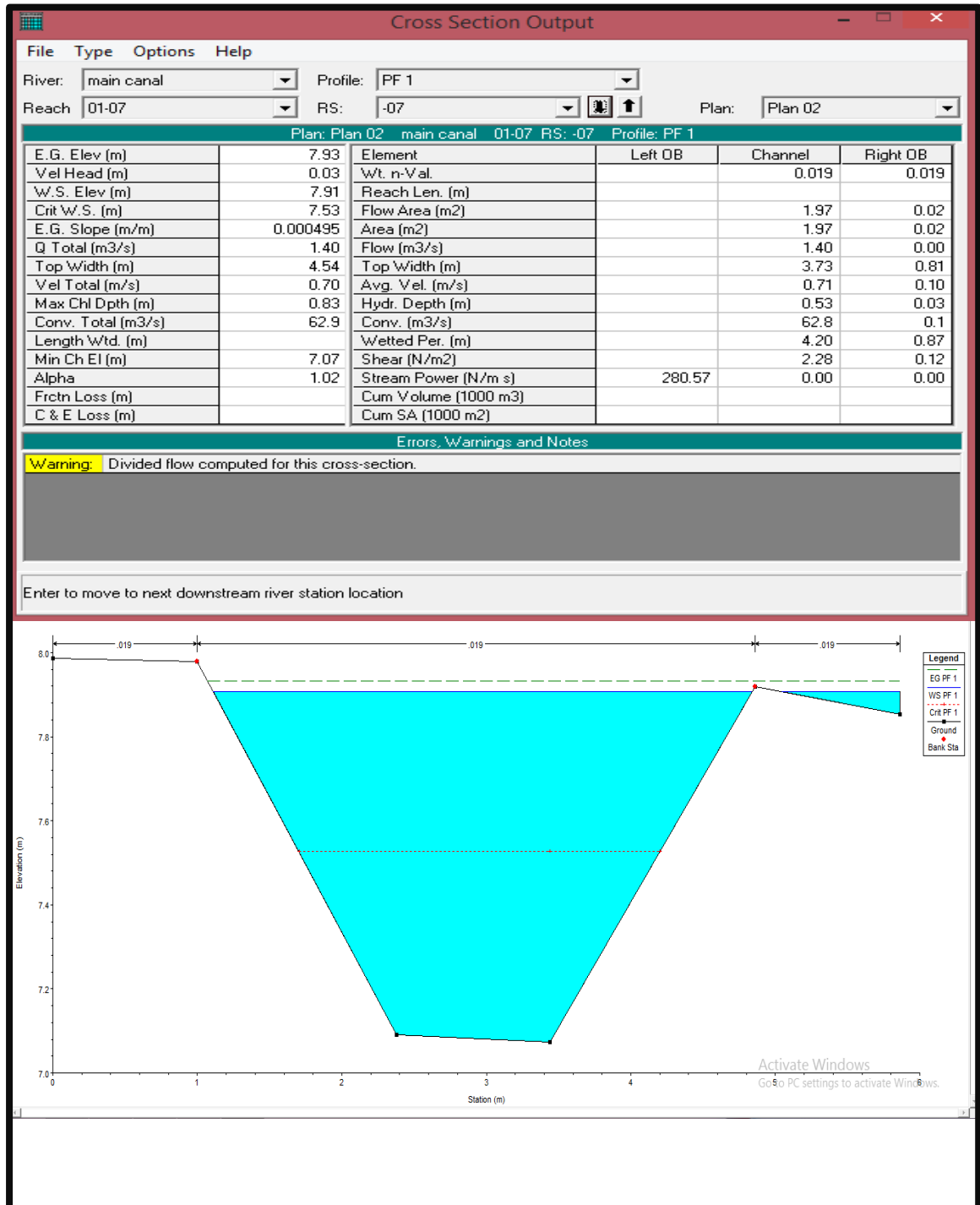
รูปภาคผนวกที่ 41 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 5



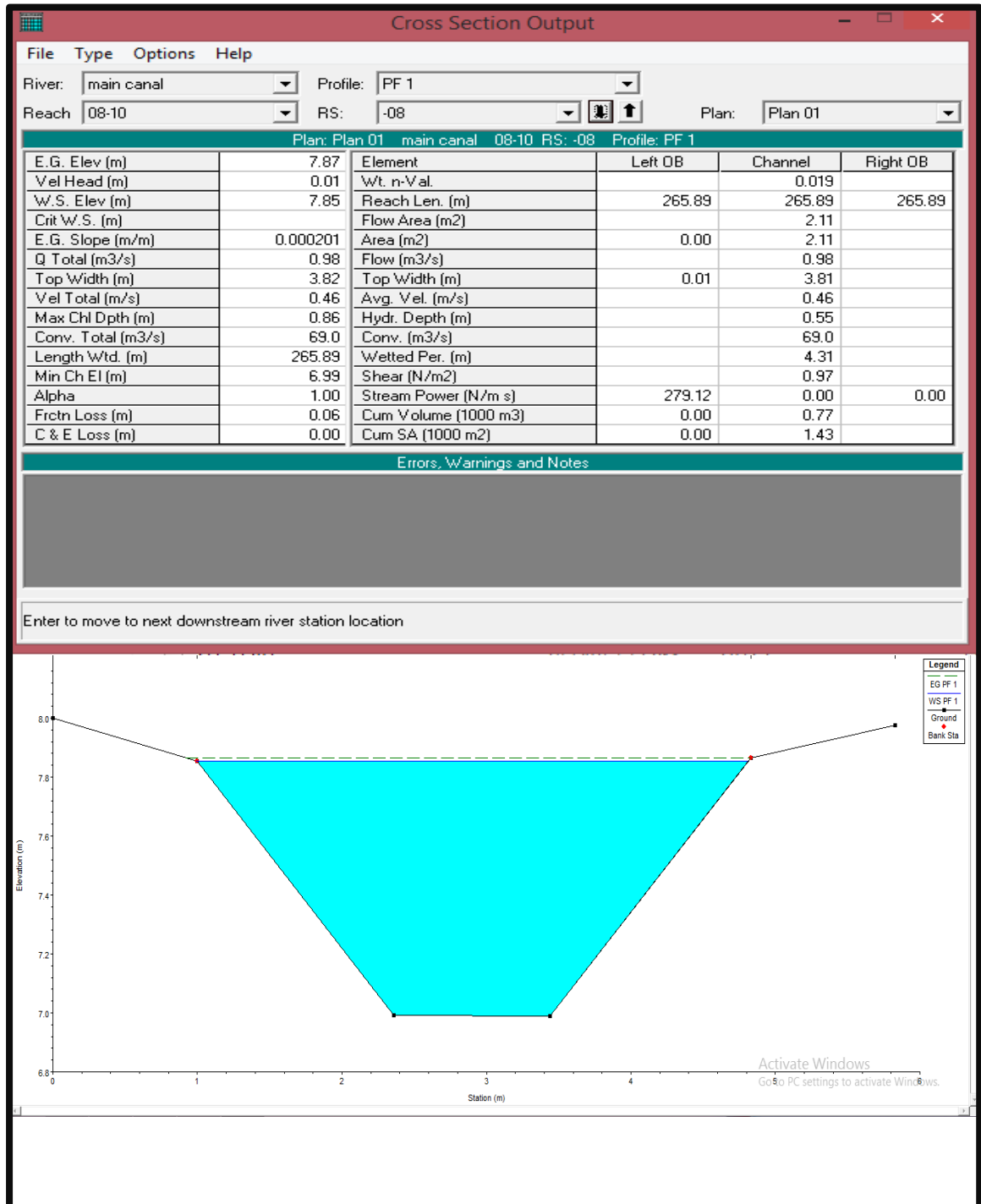
รูปภาคผนวกที่ 42 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 6



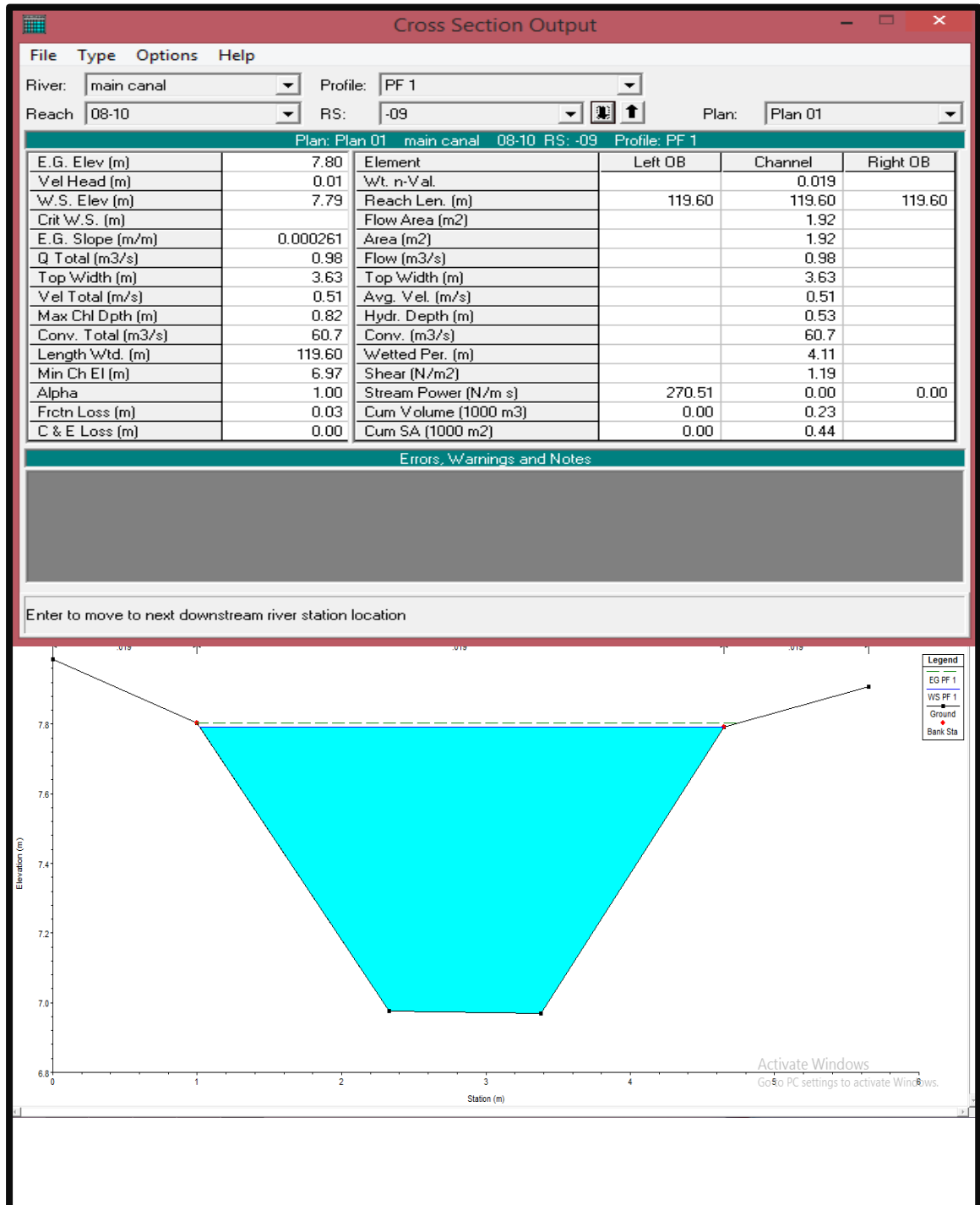
รูปภาคผนวกที่ 43 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 1 หน้าตัดที่ 7



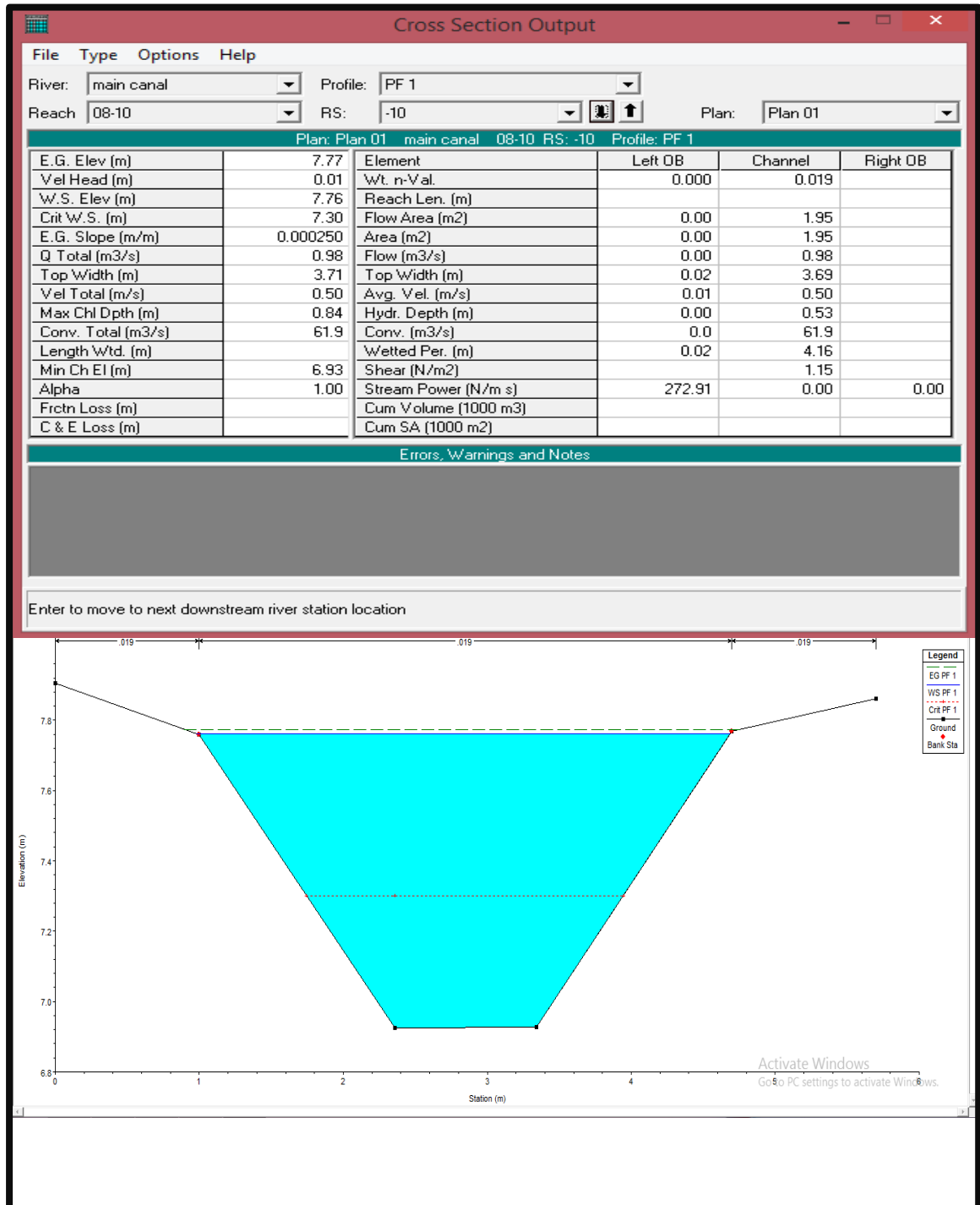
รูปภาคผนวกที่ 44 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 2 หน้าตัดที่ 8



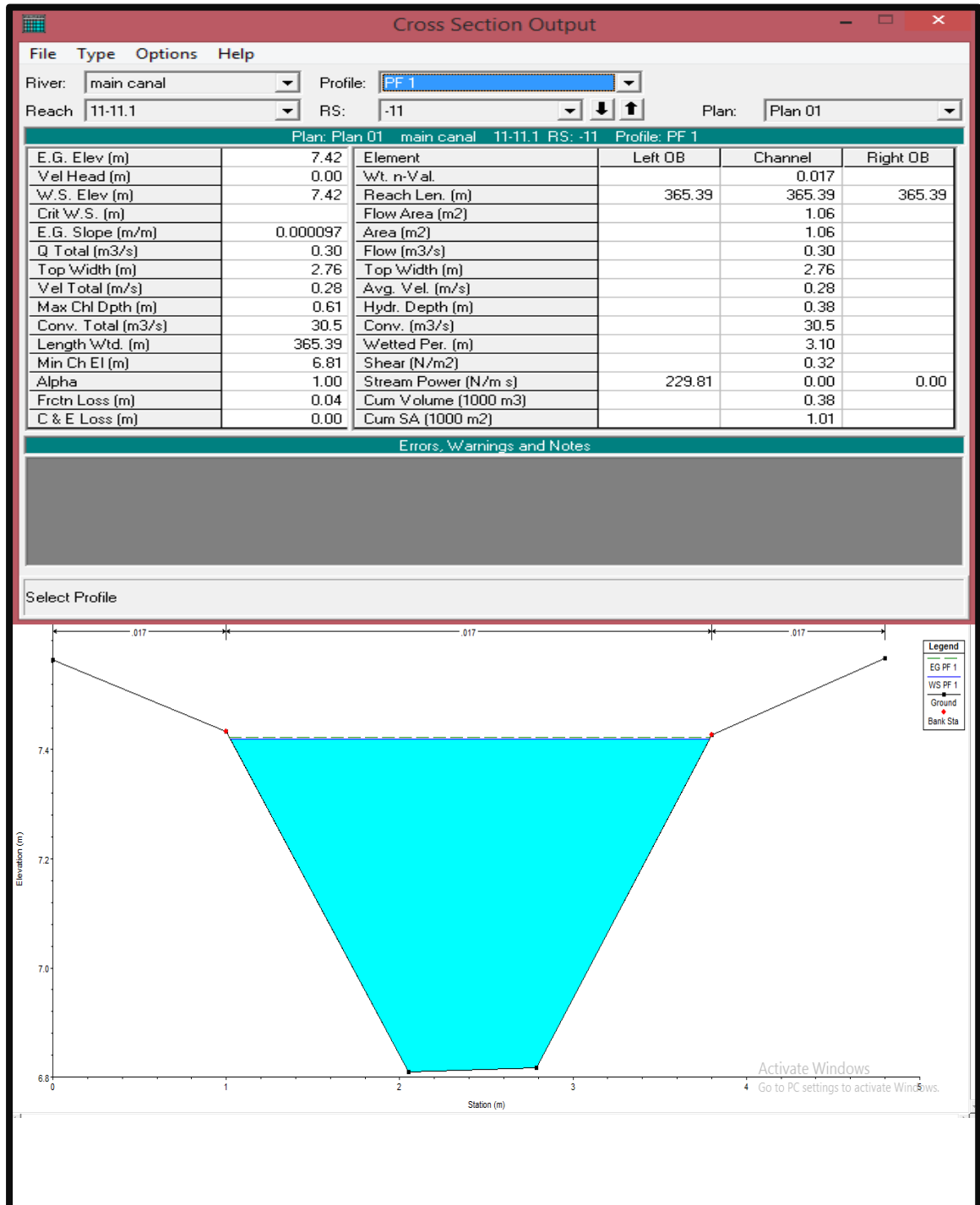
รูปภาคผนวกที่ 45 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 2 หน้าตัดที่ 9



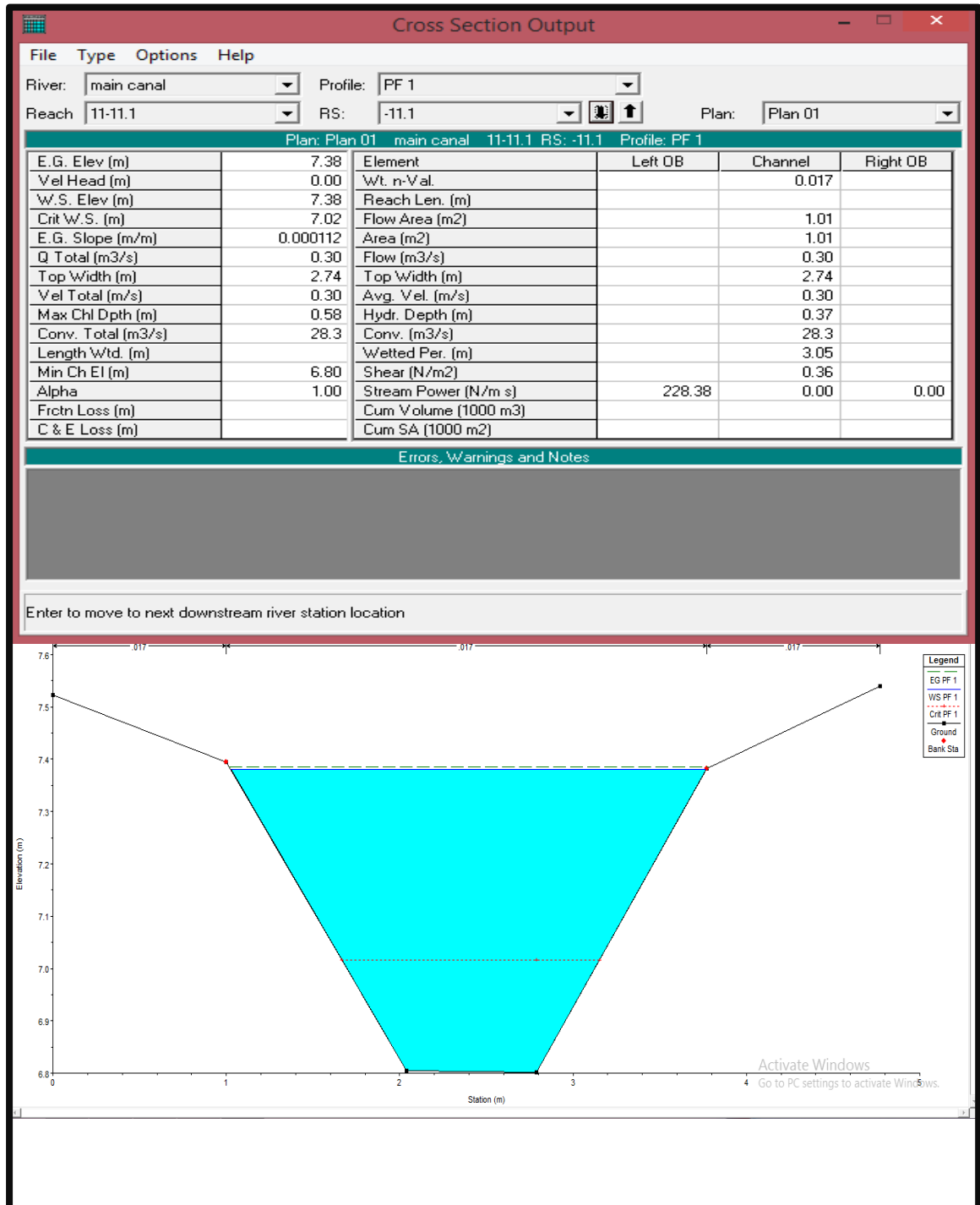
รูปภาคผนวกที่ 46 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 2 หน้าตัดที่ 10



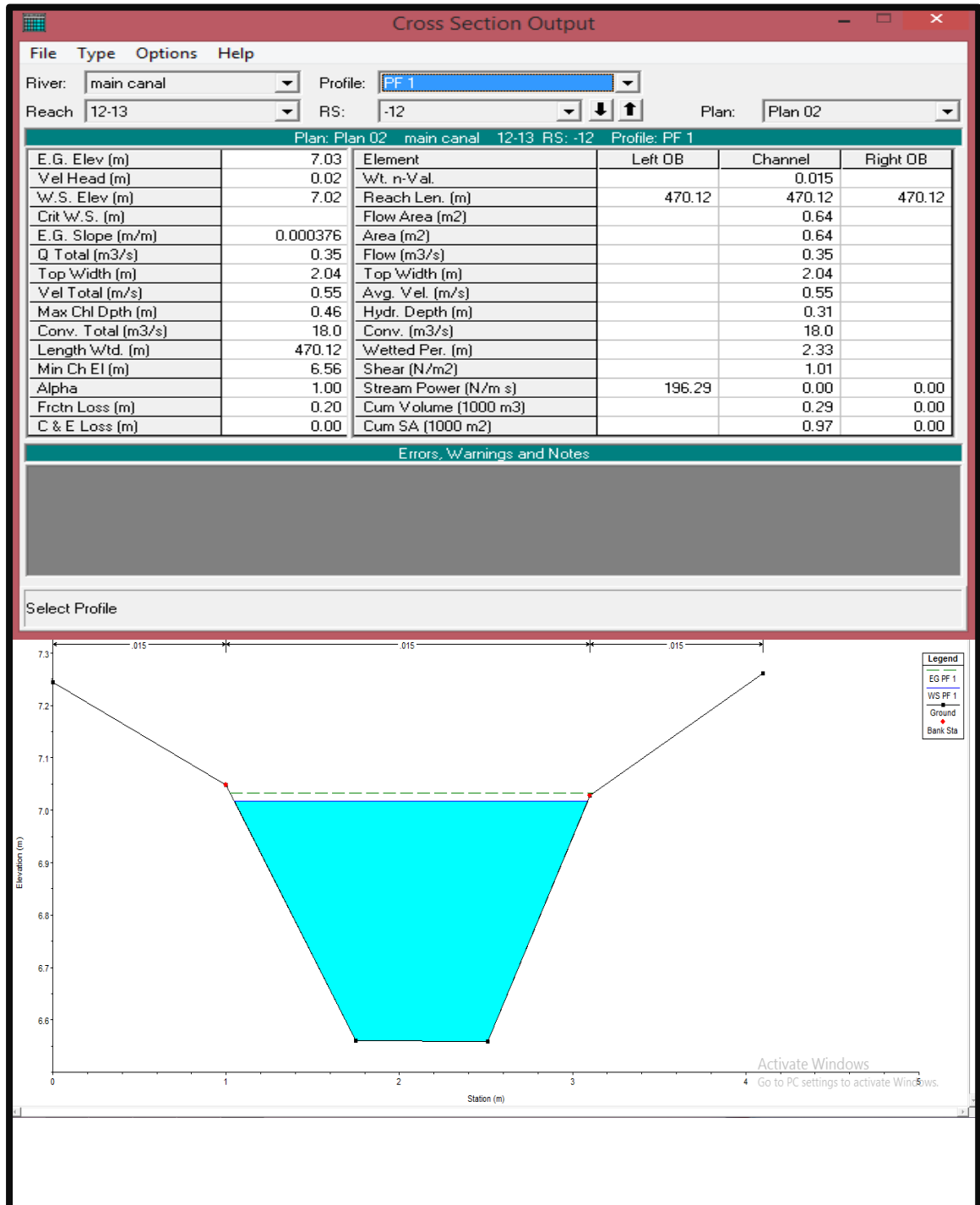
รูปภาคผนวกที่ 47 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 3 หน้าตัดที่ 11

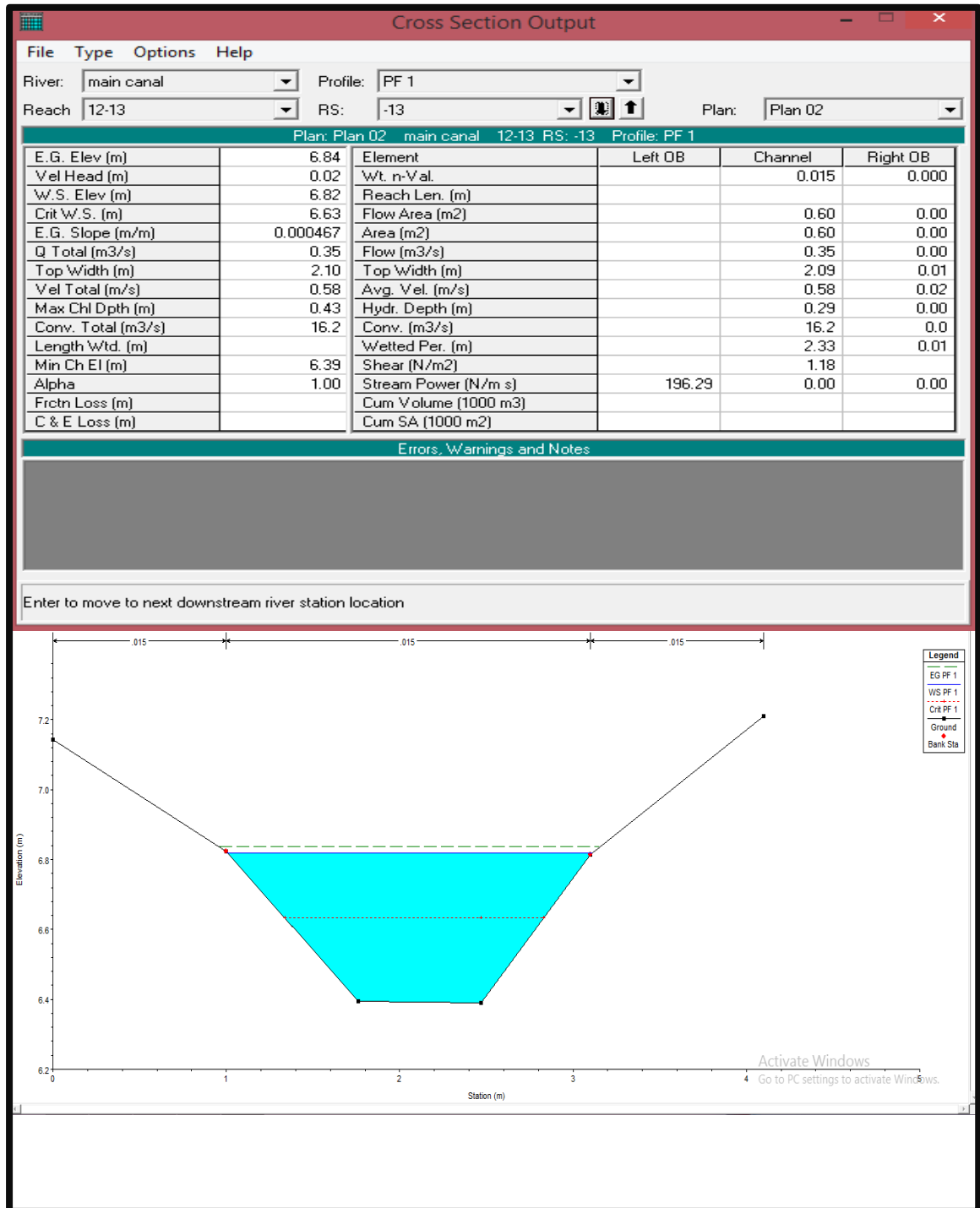


รูปภาคผนวกที่ 48 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 3 หน้าตัดที่ 11.1

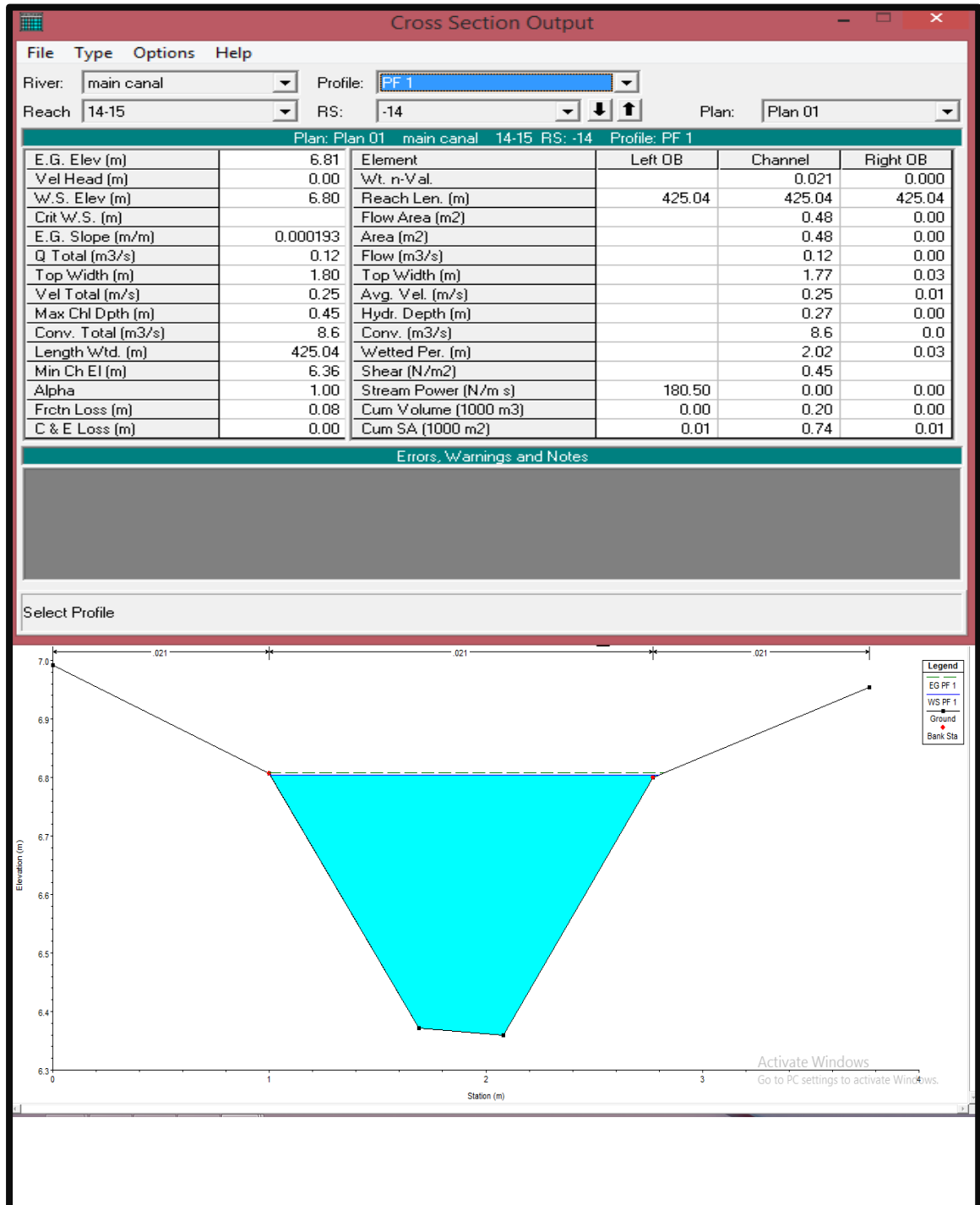


รูปภาคผนวกที่ 49 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 4 หน้าตัดที่ 12

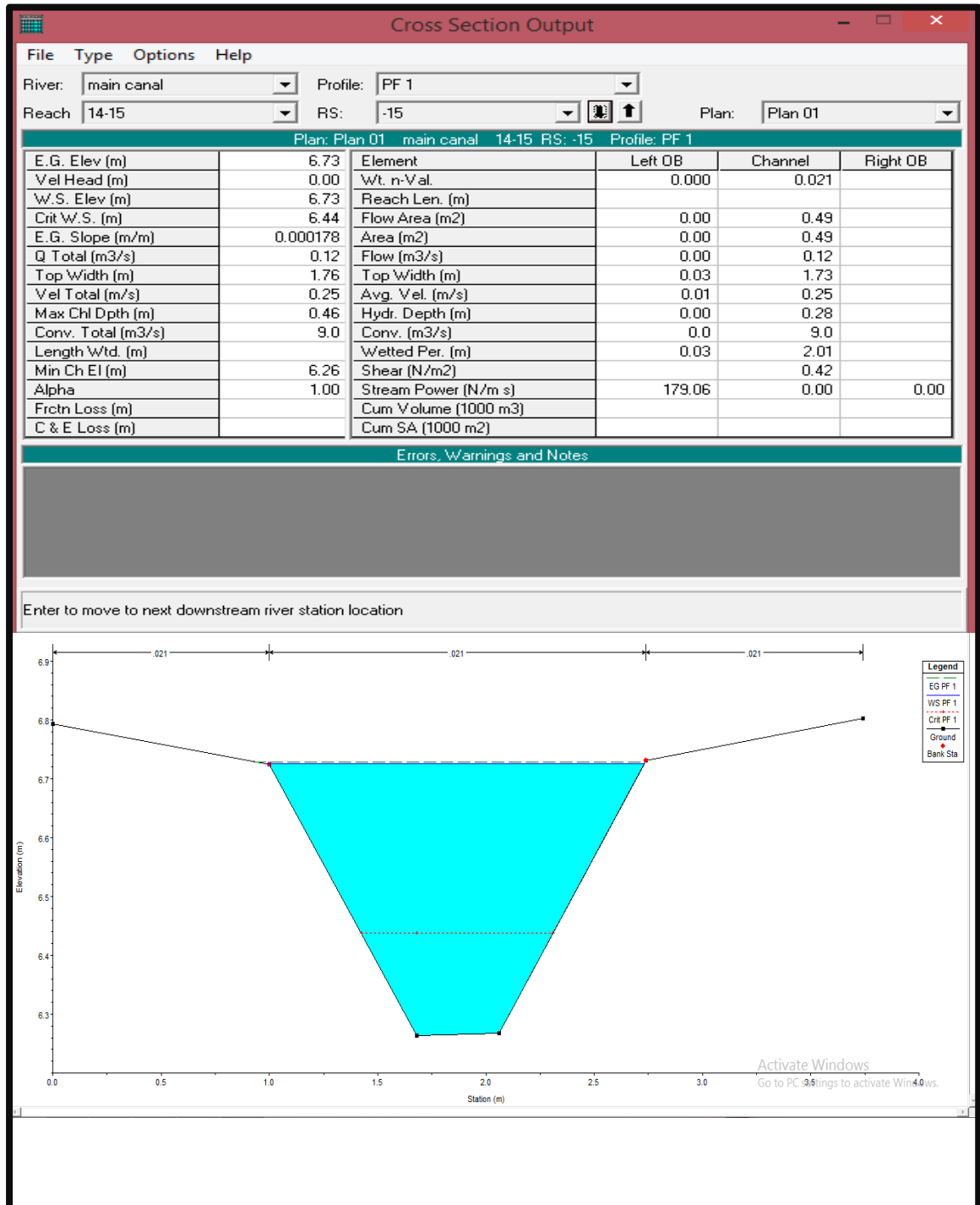




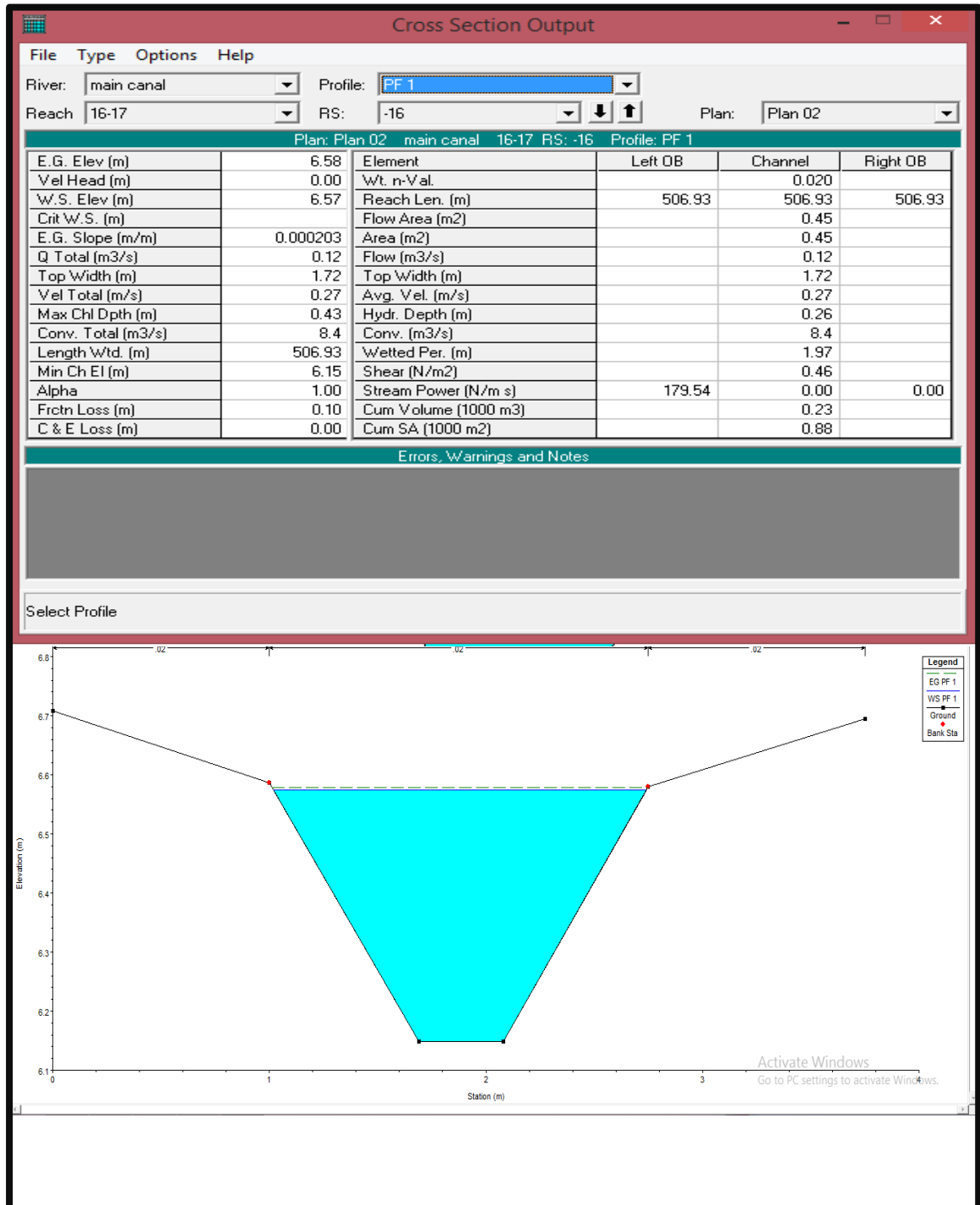
รูปภาคผนวกที่ 51 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 5 หน้าตัดที่ 14



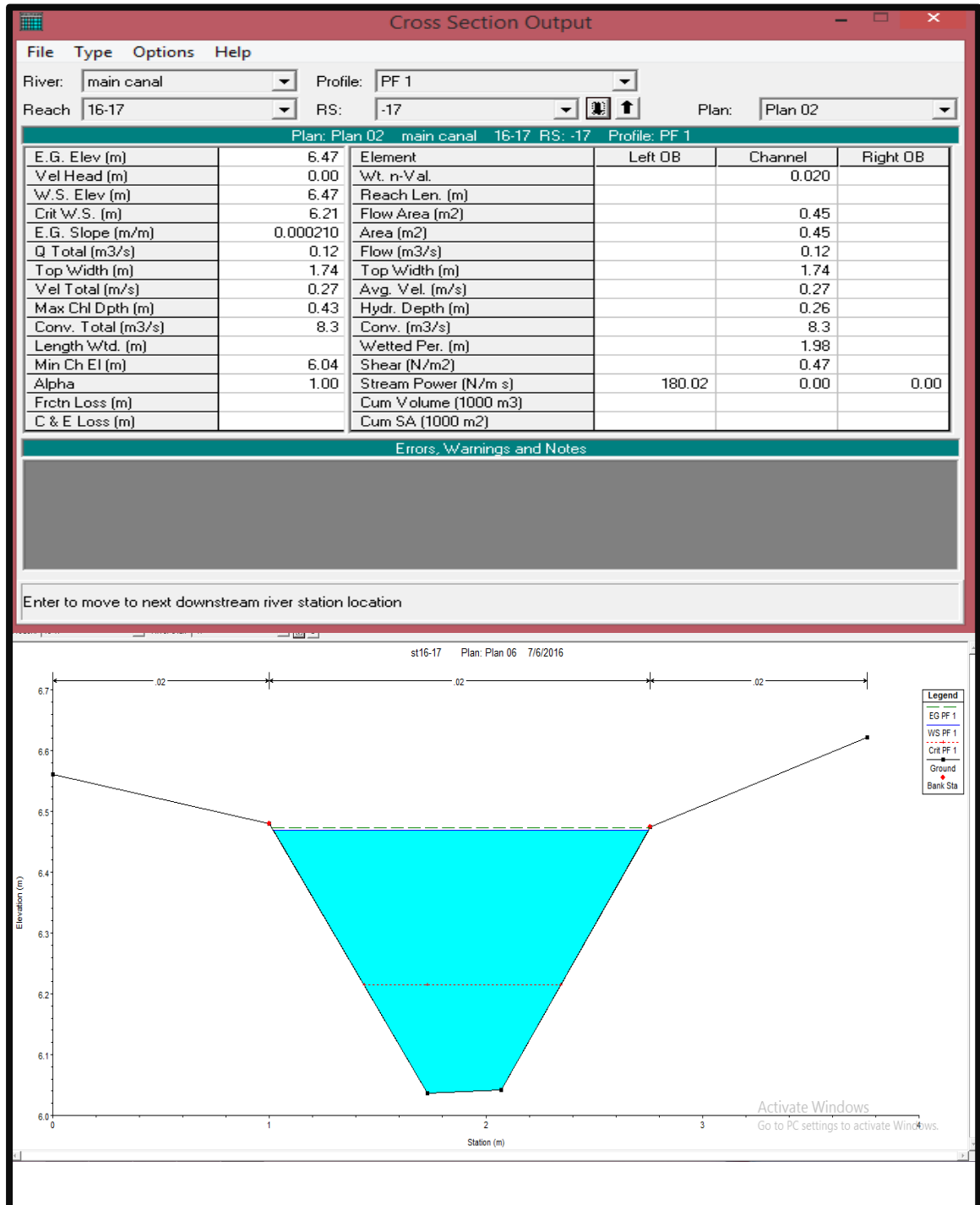
รูปภาคผนวกที่ 52 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 5 หน้าตัดที่ 15



รูปภาคผนวกที่ 53 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 6 หน้าตัดที่ 16



รูปภาคผนวกที่ 54 แสดงผลการวิเคราะห์ของหน้าตัดลำน้ำ ช่วงที่ 6 หน้าตัดที่ 17



ภาคผนวก ซ

ผลการ Trial and Error ในการหาอัตราของการออกแบบและอัตราการใช้สูงสุด

ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลการ Trial and Error ในการหาอัตราการไหลที่เหมาะสมและอัตราการไหลสูงสุด

Trial and error		อัตราการไหลที่ออกแบบ				อัตราการไหลสูงสุด								
Section	ระดับที่ยอมรับ	ระดับขอบตลิ่ง	W.S. Elev.	Q(m ³ /s)	W.S. Elev.	Q(m ³ /s)	W.S. Elev.	Q(m ³ /s)	W.S. Elev.	Q(m ³ /s)	W.S. Elev.	Q(m ³ /s)	W.S. Elev.	Q(m ³ /s)
1	7.808	7.958	7.78	0.9	7.8	0.93	7.81	0.96	7.94	1.4	7.96	1.45		
2	7.811	7.961	7.78	0.9	7.79	0.93	7.8	0.96	7.94	1.4	7.95	1.45		
3	7.814	7.964	7.78	0.9	7.79	0.93	7.8	0.96	7.94	1.4	7.95	1.45		
4	7.798	7.948	7.78	0.9	7.79	0.93	7.8	0.96	7.93	1.4	7.95	1.45		
5	7.785	7.935	7.77	0.9	7.78	0.93	7.79	0.96	7.93	1.4	7.94	1.45		
6	7.779	7.929	7.77	0.9	7.78	0.93	7.79	0.96	7.93	1.4	7.94	1.45		
7	7.769	7.919	7.75	0.9	7.76	0.93	7.77	0.96	7.91	1.4	7.92	1.45		
8	7.703	7.853	7.68	0.6	7.69	0.63	7.7	0.65	7.85	0.96	7.85	0.98		
9	7.649	7.799	7.62	0.6	7.63	0.63	7.64	0.65	7.78	0.96	7.79	0.98		
10	7.608	7.758	7.59	0.6	7.6	0.63	7.61	0.65	7.75	0.96	7.76	0.98		
11	7.277	7.427	7.22	0.13	7.24	0.14	7.27	0.16	7.32	0.2	7.37	0.25	7.42	0.3
11.1	7.233	7.383	7.19	0.13	7.2	0.14	7.23	0.16	7.28	0.2	7.33	0.25	7.38	0.3
12	6.878	7.028	6.86	0.15	6.87	0.16	6.91	0.2	6.95	0.25	6.98	0.3	7.02	0.35
13	6.679	6.829	6.67	0.15	6.68	0.16	6.71	0.2	6.75	0.25	6.79	0.3	6.82	0.35
14	6.65	6.8	6.62	0.04	6.65	0.05	6.77	0.1	6.8	0.12				
15	6.572	6.722	6.54	0.04	6.57	0.05	6.69	0.1	6.73	0.12				
16	6.43	6.58	6.37	0.03	6.4	0.04	6.44	0.052	6.43	0.05	6.56	0.11	6.57	0.12
17	6.336	6.486	6.26	0.03	6.3	0.04	6.33	0.052	6.33	0.05	6.45	0.11	6.47	0.12