

การวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำในแม่น้ำยม กรณีมีการสร้างพังกั้นน้ำ  
ริมตลิ่งในเขต จ.สุโขทัย-จ.พิษณุโลก

ANALYSIS OF FLOW BEHAVIOR OF WATER IN THE YOM RIVER IN CASE  
OF FLOOD LEVEE ALONG BOTH RIVERBANKS IN SUKHOTHAI  
TO PHITSANULOK

นายทรงเดช บุญตารา

นายศักดิ์ดา นาระกุด

ห้องสมุด คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 2 ต.ค. 2556
เลขทะเบียน..... 16401302
เลขเรียกหนังสือ..... 16.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๓ 135 ๑ 2555

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555



ใบรับรองโครงการวิศวกรรมโยธา

หัวข้อโครงการวิศวกรรมโยธา : การวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำในแม่น้ำยมกรณีมีการ  
สร้างพังกั้นน้ำริมตลิ่งในเขต จ.สุโขทัย-จ.พิษณุโลก

ผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรมโยธา : นาย ทรงเดช บุญตารา รหัส 52363851  
นาย ศักดิ์ดา นาระกุล รหัส 52364209

ที่ปรึกษาวิศวกรรมโครงการ : รศ.ดร.สมบัติ ชื่นชุกกลิ่น  
สาขา : วิศวกรรมโยธา  
ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการวิจัยฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะกรรมการทดสอบโครงการวิศวกรรมโยธา

..... ประธานกรรมการ  
( รศ.ดร.สมบัติ ชื่นชุกกลิ่น )

..... กรรมการ  
( ผศ.ดร.สถิกรณ์ เหลืองวิษขเจริญ )

หัวข้อโครงการวิศวกรรมโยธา : การวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำในแม่น้ำยมกรณีมีการ  
สร้างพังกั้นน้ำริมตลิ่งในเขต จ.สุโขทัย-จ.พิษณุโลก

ผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรมโยธา : นาย ทรงเดช บุญตารา รหัส 52363851

นาย ศักดิ์ดา นาระกุล รหัส 52364209

ที่ปรึกษาโครงการวิศวกรรมโยธา : รศ.ดร. สมบัติ ชื่นชุกกลิ่น

สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา : 2555

#### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของแม่น้ำยมกรณีมีการสร้างพังกั้นน้ำ เพื่อศึกษา  
แบบจำลองผิวน้ำของแม่น้ำยมบางส่วนและการลดลงของการเกิดอุทกภัยหลังมีพังกั้นน้ำของจังหวัดสุโขทัยและ  
จังหวัดพิษณุโลก

ในการวิเคราะห์โดยการใส่ค่าข้อมูลระดับน้ำ อัตราการไหลสูงสุด และปริมาณน้ำฝนในช่วงวันที่ 1  
สิงหาคม – 15 พฤศจิกายน ปีพ.ศ.2554 ซึ่งเป็นปีที่มีค่าระดับน้ำสูงสุดเป็นประวัติการณ์ที่รวบรวมได้ในปัจจุบัน  
ลงไปในรูปแบบตาราง ซึ่งข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำได้จากการรวบรวมข้อมูลสถิติภูมิของกรมชลประทาน บ่งบอกถึง  
ค่าระดับน้ำได้ในแต่ละช่วงของความยาวแต่ละรูปตัดขวางได้ทั้งก่อนและหลังมีพังกั้นน้ำ โดยการใช้ค่า  
สัมประสิทธิ์ความขรุขระ แมนนิ่ง ในลำน้ำหลักเท่ากับ 0.030 และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ แมนนิ่ง ในน้ำที่  
ไหลป่าเหนือระดับขอบตลิ่งแม่น้ำยมเท่ากับ 0.200 และได้สมมติให้มีพังกั้นน้ำ 2 ขนาดสูง 25 ซม.และ 50 ซม.  
จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นทำให้ทราบพื้นที่ที่อาจจะประสบอุทกภัยในแต่ละปีของจังหวัดสุโขทัยและ  
บางส่วนของจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์หาระดับความสูงของพังกั้น  
น้ำ เพื่อป้องกันและบรรเทาปัญหาอุทกภัย แต่จากผลการวิจัยทำให้ทราบว่าก่อนมีโครงการสร้างพังกั้นน้ำมี  
ปริมาณน้ำท่วม 2807.642 ตร.กม หลังการทำโครงการพังกั้นน้ำริมตลิ่งสูง 25 ซม. มีพื้นที่น้ำท่วมเพิ่มขึ้นเป็น  
3214.703 ตร.กม และพังกั้นน้ำริมตลิ่งสูง 50 ซม. มีพื้นที่น้ำท่วมเพิ่มขึ้นเป็น 3247.77 ตร.กม ที่บริเวณท้ายน้ำ

**Project Title** : ANALYSIS OF FLOW BEHAVIOR OF  
WATER IN THE YOM RIVER IN CASE OF FLOOD LEVEE ALONGBOTH RIVERBANKS  
IN SUKHOTHAI TO PHITSANULOK

**Name** : Mr. Songdet Boontara

: Mr. Sakda Narakun

**Project adviser** : Assoc.Prof.Dr. Sombat Chuenhooklin

**Major** : Civil Engineering

**Department** : Civil Engineering

**Academic Year** : 2012

---

#### Abstract

This project is study about flow behavior of water in the Yom River.

Just in case, that builds a flood levee. For study water surface model of some part the Yom River and become lower of flood after build a flood levee in Sukhothai to Phidsanulok.

Analysis result by enter data of water level, maximum flow rate and rainfall in the August 1 to November 15 A.D.2011, that is the year have maximum water level of memorable events congregate at this time. Data of shaped cross section of course of river from the collect secondary data of Department of Irrigation. Indication of the water level in the range of the length of each section before and after the flap, waterproof. Using the Manning roughness coefficient was 0.030 in the main river and the Manning roughness coefficient in water runoff over the edge of the river equals 0.200 And assuming a second flap, waterproof, 25 cm high and 50 cm. The analysis of the above data, keeping in mind the areas that are flooded each year the provinces of Sukhothai to Phitsanulok. Which can be utilized to determine the height of the levee.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จขึ้นมาได้ ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ อาจารย์สมบัติ ชื่นชูกลิ่น อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่คอยช่วยเหลือจัดหาข้อมูล แนะนำแนวทางปฏิบัติที่ถูกต้อง ให้คำปรึกษาเพื่อแก้ปัญหา

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ประสาทความรู้แก่คณะผู้ดำเนินการวิจัย

ขอขอบพระคุณครูช่าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่เอื้อเฟื้อแผนที่ที่ใช้ในโครงการ  
ขอขอบพระคุณนายช่างวันชัย บุญเกิด เจ้าหน้าที่สำนักงานหลวงที่ 4 พิษณุโลก ที่กรุณาให้คณะผู้จัดทำยืมเอกสารของทางราชการ และให้คำปรึกษาในหลายๆเรื่อง  
สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่คอยช่วยเหลือทั้งด้านการเงิน และกำลังใจมาโดยตลอด



ผู้จัดทำ

ทรงเดช บุญตารา

ศักดิ์ดา นาระกุล

## สารบัญ

	หน้า
นิยามศัพท์	ก
1. บทนำ	1
- หลักการและเหตุผล	1
- วัตถุประสงค์	1
- ขอบเขตการวิจัย	1
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
- ผังแสดงการทำงาน	3
2. หลักการและทฤษฎี	4
- การแบ่งชนิดการไหลในทางน้ำเปิด	4
- คุณสมบัติพื้นฐานของการไหลในทางน้ำเปิด	8
- สมการพลังงานของการไหลในทางน้ำเปิด	9
- ความลึกวิกฤตและความนัยสำคัญของเทอมการไหลของน้ำผ่านสิ่งกีดขวาง	24
3. วิธีการดำเนินการวิจัยและอุปกรณ์	33
- อุปกรณ์	33
- วิธีการดำเนินงานวิจัย	33
- ขั้นตอนการดำเนินงาน	34
4. ผลการวิจัย	38
- ผลพฤติกรรมการไหลของน้ำหลังมีโครงสร้างพั้งกั้นน้ำ	38
5. การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัย	46
บรรณานุกรม	47
ภาคผนวก ก	48
ประวัติผู้ทำโครงการ	78

## สารบัญตาราง

<u>เรื่อง</u>		<u>หน้า</u>
ตารางที่ 2.1	ชนิดของการไหลในทางน้ำเปิดตามเวลาและตำแหน่ง	7
ตารางที่ 2.2	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ $n$	17
ตารางที่ 2.3	สัมประสิทธิ์รูปร่างท่อ	21
ตารางที่ 2.4	ค่าปรับแก้ต่างๆ สำหรับคำนวณสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning	22
ตารางที่ 3.1	สรุปลักษณะการไหลของแม่น้ำยมช่วง(จ.สุโขทัย-จ.พิษณุโลก)	37
ตารางที่ 4.1	ค่าระดับน้ำหลังสร้างพนังกั้นน้ำริมตลิ่งสูง 25 ซม.	40
ตารางที่ 4.2	ค่าระดับน้ำหลังสร้างพนังกั้นน้ำริมตลิ่งสูง 50 ซม.	42



## สารบัญรูป

<u>เรื่อง</u>	<u>หน้า</u>
รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงแนวลำน้ำยมที่ใช้ในการวิเคราะห์	2
รูปที่ 2.1 แผนผังการแบ่งชนิดของการไหลในทางน้ำเปิดตามเวลาและตามตำแหน่ง	5
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างชนิดของการไหลในทางน้ำเปิด	6
รูปที่ 2.3 หน้าตัดการไหล	8
รูปที่ 2.4 การไหลในทางน้ำเปิดทั่วไป	9
รูปที่ 2.5 การไหลสม่ำเสมอในทางน้ำเปิด	10
รูปที่ 2.6 ค่าประมาณของช่วงความยาวของแม่น้ำด้านท้ายน้ำ และมีเกณฑ์ความลึกปกติ	15
รูปที่ 2.7 การประมาณช่วงความยาวแม่น้ำด้านท้ายน้ำ โดยมีความลึกวิกฤต	16
รูปที่ 2.8 โคงพลังงานจำเพาะ	24
รูปที่ 2.9 โคงพลังงานจำเพาะที่มีค่าต่ำสุด 2 ค่า	25
รูปที่ 2.10 การไม่ต่อเนื่องของโคงพลังงานจำเพาะ	26
รูปที่ 2.11 หน้าข้างการไหลเหนือและต่ำกว่าวิกฤตคำนวณโดยใช้ HEC-RAS	27
รูปที่ 2.12 ไลอะแกรมของการไหลผ่านคอคอดสะพาน	28



## สารบัญรูป (ต่อ)

<u>เรื่อง</u>	<u>หน้า</u>
รูปที่ 2.13 หน้าข้างการไหลของพื้นผิวน้ำผ่านคอคอดสะพานของชั้นการไหลที่แตกต่างกัน ออกไป	30
รูปที่ 2.14 เส้นกราฟแสดงค่า $q$ ที่ความลึกต่างๆ	31
รูปที่ 3.1 ผังแสดงการดำเนินงาน	34
รูปที่ 3.2 รูปแสดงเส้น Cross-section	35
รูปที่ 3.3 รูปแสดงพื้นที่เกิดอุทกภัย	35
รูปที่ 4.1 วิธีตั้งให้โปรแกรมเจดีย์ค่ารูปตัดอัตโนมัติทุกๆระยะ 5000 เมตร	39
รูปที่ 4.2 Profiles ผิวน้ำก่อนมีพนังกั้นน้ำริมตลิ่ง	40
รูปที่ 4.3 Profiles ผิวน้ำหลังมีพนังกั้นน้ำริมตลิ่งสูง 25 ซม.	40
รูปที่ 4.4 Profiles ผิวน้ำหลังมีพนังกั้นน้ำริมตลิ่งสูง 50 ซม.	41
รูปที่ 4.5 Profiles ผิวน้ำก่อนมีพนังกั้นน้ำริมตลิ่งในวันน้ำหลากสูงสุด	41

## นิยามศัพท์

- Q Volume flow rate คือ อัตราการไหล มีหน่วยเป็น  $m^3/s$  หรือ  $m^3/s$  แยกเป็นการไหลคงที่ (Steady flow) คือ การไหลที่มีความลึกของการไหลที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงที่พิจารณา การไหลไม่คงที่ (Unsteady flow) คือ การไหลที่มีความลึกของการไหลที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงที่พิจารณา
- V คือ ความเร็วในการไหลในทางน้ำเปิด
- g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
- D คือ ความลึกชลศาสตร์ (Hydraulic depth) มีค่าเท่ากับ  $A/T$  โดยที่ A คือ พื้นที่หน้าตัดการไหล และ T คือ ความกว้างผิวน้ำอิสระบนหน้าตัดการไหล
- $N_R$  Reynolds number หมายถึงอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืด
- $\rho$  คือ ความหนาแน่นของการไหล
- $\rho$
- R คือ รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic radius) มีค่าเท่ากับ  $A/T$
- p คือ เส้นขอบเปียก (Wetted parameter)
- $\mu$  คือความหนืดพลวัต(Dynamic viscosity) หรือสัมประสิทธิ์ความหนืด (Coefficient of viscosity)
- V คือ ความหนืดจลน์ (Kinematics viscosity)
- z คือ ระดับท้องน้ำของทางน้ำเปิดเหนือระดับอ้างอิง (ft , m)

## นิยามศัพท์ ( ต่อ )

y	คือ ความลึกของการไหลหรือความดัน ( Pressure head = $p/\gamma$ )
V	คือ ความเร็วเฉลี่ยในการไหล ( ft / s , m / s )
$H_L$	คือ การสูญเสียพลังงาน ( Head loss ) ระหว่างหน้าตัด A และหน้าตัด B
S	คือ ความลาดของเส้นพลังงาน
L	คือ ระยะทางระหว่างหน้าตัด A และหน้าตัด B
$C_d$	คือ สัมประสิทธิ์การไหลขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการไหลข้ามฝาย
L	คือ ความยาวสันฝาย
H	คือ ความสูงของระดับน้ำเหนือฝาย
$V_o$	คือ ความเร็วในการไหลในทางน้ำเปิดทางด้านเหนือฝาย
n	คือ สัมประสิทธิ์ Manning

W.S.P. Water surface profile คือค่าระดับผิวน้ำที่วัดได้หรือคำนวณได้ของทางน้ำเปิดที่พิจารณา

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 หลักการและเหตุผล

ในช่วงฤดูน้ำหลากหรือช่วงเดือน สิงหาคม-พฤศจิกายน โดยทั่วไปจะมีอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำยมสูงมาก จึงทำให้ประสบปัญหาน้ำท่วม สร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนเป็นอย่างมากและยังสร้างความเสียหายต่อพืชผลทางการเกษตร ในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก จึงได้มีการศึกษาพฤติกรรมของน้ำก่อนและหลังมีโครงการพังกันน้ำ ซึ่งทำให้สามารถทราบว่าหลังมีโครงการพังกันน้ำ จะลดการเกิดอุทกภัยได้มากน้อยเพียงใด และทราบว่าพื้นที่ใดที่ยังเกิดอุทกภัยอยู่และพื้นที่ใดที่ไม่เกิดอุทกภัย

#### 1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาการไหลของน้ำก่อนและหลังมีโครงการสร้างพังกันน้ำริมตลิ่ง
- เพื่อทราบถึงพื้นที่ที่เกิดอุทกภัย
- เพื่อรวบรวมข้อมูลและศึกษาลักษณะของลำน้ำ และรูปตัดต่าง ๆ ของแม่น้ำยม

#### 1.3 ขอบเขตงาน

กรอกข้อมูลลงโปรแกรม โดยอาศัยข้อมูลลำน้ำและพิกัดจุดต่าง ๆ จากแผนที่ เพื่อหารูปตัดของลำน้ำ และเพื่อหาพื้นที่น้ำท่วมทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของแม่น้ำยม โดยโปรแกรม HEC-RAS เริ่มตั้งแต่ อำเภอศรีสัชนาลัย อำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีสำโรง อำเภอเมือง อำเภอกงไกรลาส จังหวัดสุโขทัย ถึงอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการไหลของน้ำทั้งก่อนและหลังมีโครงการสร้างพังกันน้ำ สามารถลดปัญหาน้ำท่วมได้ เมื่อทราบค่าระดับน้ำสูงสุด โดยใช้โปรแกรม HEC-RAS เข้ามาช่วย
- สามารถนำข้อมูลและการศึกษาไปใช้ใน งานชลประทาน



ผังแสดงแผนการทำ Project

กิจกรรม	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม HEC – RAS	■■■■				
ศึกษาทฤษฎีที่ใช้ และวางแผนการดำเนินงาน	■■■■				
รวบรวมและจัดเก็บข้อมูลที่ใช้เป็นทฤษฎี	■■■■	■■■■			
ทำการทดลองหาค่าต่างๆโดยใช้โปรแกรมที่เกี่ยวข้อง			■■■■		
รวบรวมและจัดเก็บค่าต่างๆที่ได้			■■■■	■■■■	
วิเคราะห์ค่าต่างๆที่ได้เพื่อหาระดับน้ำท่วม				■■■■	
นำค่าที่วิเคราะห์ได้มาทำแก้มลิงเพื่อศึกษาการไหลของน้ำ				■■■■	
รวบรวมผลและสรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้				■■■■	
จัดทำรายงานและสรุปเล่ม					■■■■

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

โครงการนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับพลศาสตร์ของการไหลในทางน้ำเปิด และขีดจำกัดของกลุ่มน้ำ โดยมีพื้นที่ศึกษา คือ ลุ่มแม่น้ำยมตั้งแต่อำเภอศรีสัชชนาลัย จังหวัดสุโขทัยถึงอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก เพื่อเน้นถึงความจริงของการไหลของน้ำหลังมีโครงการพังกันน้ำริมตลิ่ง

#### การแบ่งชนิดของการไหลในทางน้ำเปิด

การไหลในทางน้ำเปิดสามารถแบ่งได้หลายวิธี Ven Te Chow ได้แบ่งการไหล ในทางน้ำเปิด ตามการเปลี่ยนแปลงความลึกของการไหล ซึ่งขึ้นกับเวลา (Time) และตำแหน่ง (Space) ดังนี้คือ

#### การแบ่งชนิดการไหลตามเวลา (Classification with respect to time) สามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือ

- 1.การไหลคงที่ (Steady flow) คือ การไหลที่มีความลึก ของการไหลที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่ง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในช่วงเวลาที่พิจารณา
- 2.การไหลไม่คงที่ (Unsteady flow) คือ การไหลที่มีความลึก ของการไหลที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่ง มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาที่พิจารณา

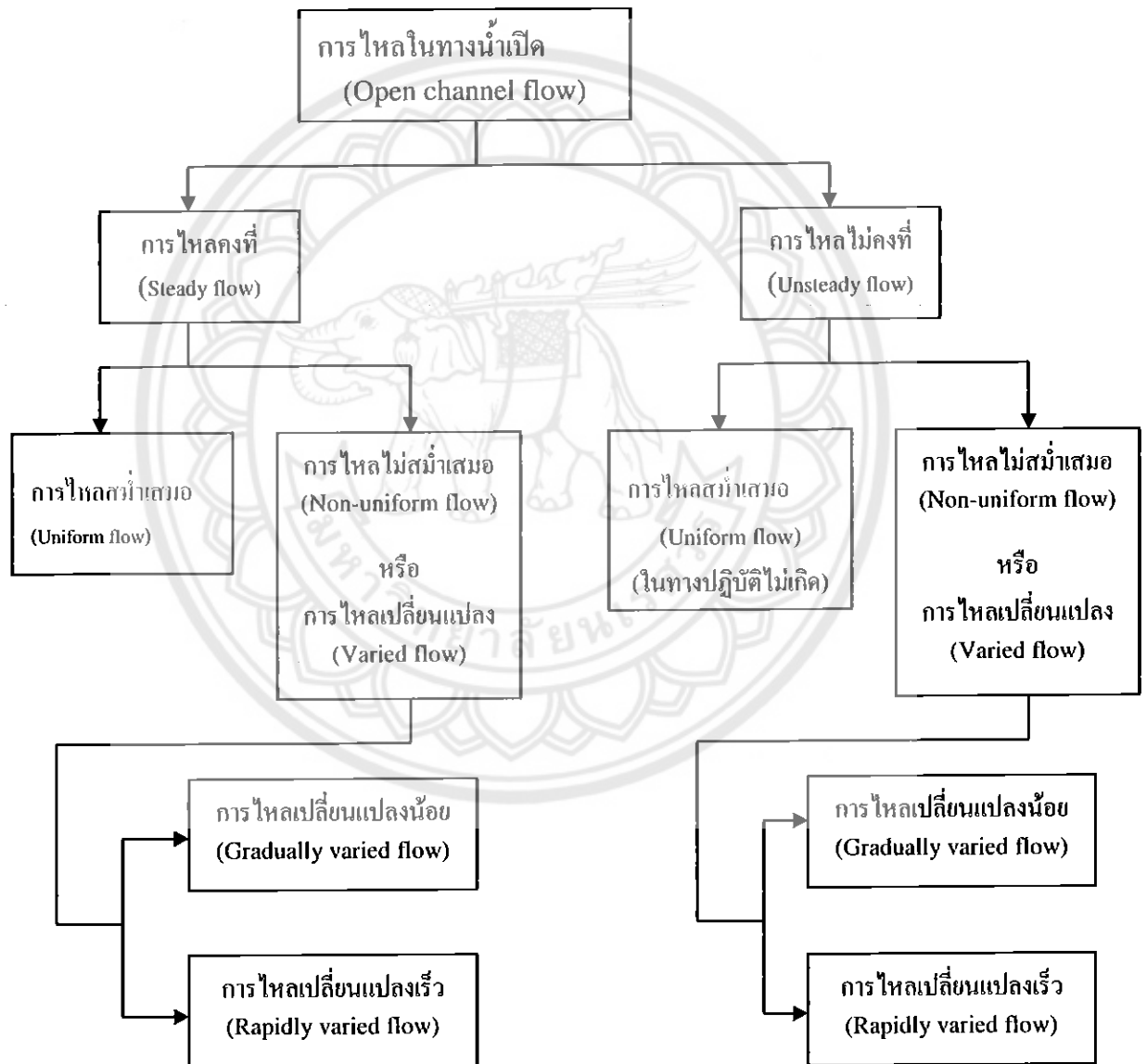
#### การแบ่งชนิดการไหลตามตำแหน่ง (Classification with respect to space) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

- 1.การไหลแบบสม่ำเสมอ(Uniform flow) คือการไหลที่มีความลึกของการไหลเท่ากันตลอดความยาวของทางน้ำเปิด ซึ่งการไหลสม่ำเสมอจะเป็นการไหลคงที่หรือไม่คงที่นั้นขึ้นอยู่กับว่าความลึกของการไหลมีความเปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วยหรือไม่ โดยในทางปฏิบัติแล้ว การไหลสม่ำเสมอแบบไม่คงที่ (Uniform unsteady flow) จะไม่เกิดขึ้น
- 2.การไหลไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform flow) คือ การไหลเปลี่ยนแปลง (Varied flow) คือ การไหลที่มีความลึกของการไหลเปลี่ยนแปลงตามแนวความยาวของทางน้ำเปิด ซึ่งเกิดขึ้นได้ทั้งกรณีที่เป็นการไหลคงที่และไม่คงที่ โดยมักจะเกิดขึ้นทั่วไปในทางน้ำเปิดธรรมชาติ

การไหลไม่สม่ำเสมอยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

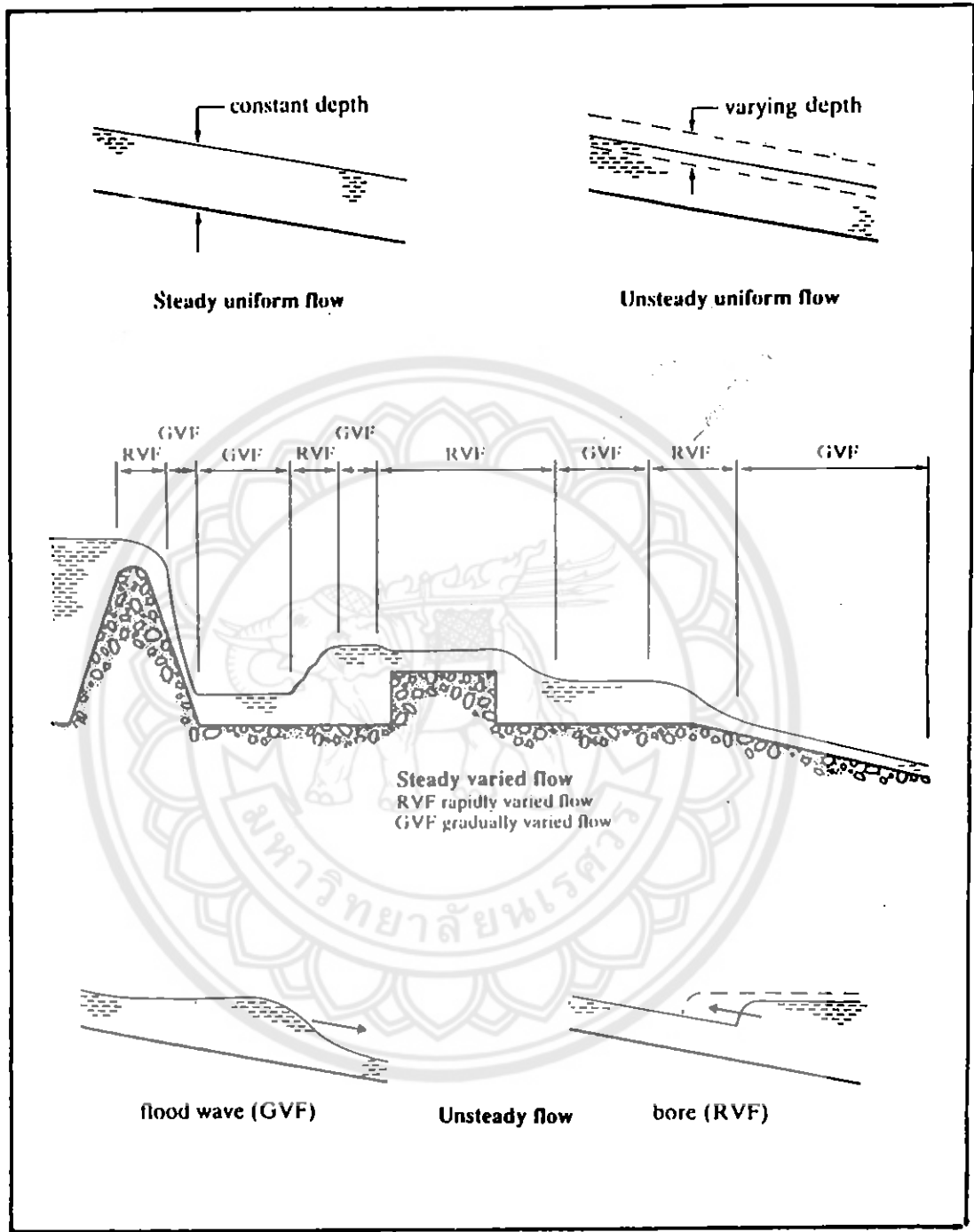
- 2.1) การไหลเปลี่ยนแปลงน้อย (Gradually varied flow, GVF) คือการไหลที่มีความลึกของ กระแสน้ำ ค่อยๆ เปลี่ยนแปลงตามระยะทาง ซึ่งการวิเคราะห์การไหลจะอาศัยสมการพลังงาน (Energy equation) และสมการแรงเสียดทาน (Frictional resistance equation)

2.2)การไหลแบบเปลี่ยนแปลงเร็ว (Rapidly varied flow, RVF) คือ การไหลที่มีความลึกของกระแสน้ำเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วตามระยะทาง เช่น การไหลลงจากสันฝายน้ำล้น การเกิดน้ำกระโดด(Hydraulic jump) และการเกิดน้ำเชี่ยวซ้อน (bore) เป็นต้นซึ่งการวิเคราะห์การไหลจะต้องอาศัยสมการพลังงาน (Energy equation) และสมการ โมเมนตัม (Momentum equation) เป็นหลักในการวิเคราะห์ โดยสรุปแล้ว การไหลในทางน้ำเปิดสามารถแบ่งตามเวลาและตำแหน่ง โดยสามารถเขียนแผนผังการแบ่งชนิดการไหลในทางน้ำเปิดได้ดังรูปที่ 2.1 โดยพิจารณาเป็นฟังก์ชันอนุพันธ์เทียบกับเวลา (t) และเทียบกับตำแหน่งหรือระยะทาง (x) ได้ดังตารางที่ 2.1 และมีตัวอย่างภาพชนิดของการไหลในทางน้ำเปิดดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แผนผังการแบ่งชนิดของการไหลในทางน้ำเปิดตามเวลาและตามตำแหน่ง





รูปที่ 2.2 ตัวอย่างชนิดของการไหลในทางน้ำเปิด

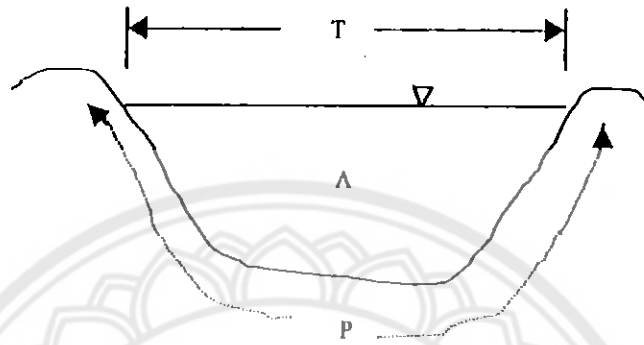
ตารางที่ 2.1 ชนิดของการไหลในทางน้ำเปิดตามเวลาและตำแหน่ง

ชนิดของการไหล	สมการอนุพันธ์
1.การไหลคงที่ (Steady flow)	$\frac{d}{dt}(y, Q, V, \dots) = 0$
1.1.การไหลสม่ำเสมอ (Uniform flow)	$\frac{dy}{dx} = 0$
1.2.การไหลเปลี่ยนแปลงน้อย (Gradually varied flow)	$\frac{dy}{dx} \approx 0$
1.3.การไหลเปลี่ยนแปลงเร็ว (Rapidly varied flow)	$\frac{dy}{dx} \gg 0$
2.การไหลไม่คงที่ (Unsteady flow)	$\frac{d}{dt}(y, Q, V, \dots) \neq 0$
2.1.การไหลไม่คงที่สม่ำเสมอ (Uniform unsteady flow)	$\frac{dy}{dx} = 0$
2.2.การไหลไม่คงที่เปลี่ยนแปลงน้อย (Gradually varied unsteady flow)	$\frac{dy}{dx} \approx 0$
2.3.การไหลไม่คงที่เปลี่ยนแปลงเร็ว (Rapidly varied unsteady flow)	$\frac{dy}{dx} \gg 0$

หมายเหตุ  $y$  คือ ความลึกของการไหล,  $Q$  คือ อัตราการไหล และ  $V$  คือ ความเร็วของการไหล

## คุณสมบัติพื้นฐานของการไหลในทางน้ำเปิด

พิจารณาหน้าตัดการไหลของทางน้ำเปิดรูปตัดใด ๆ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หน้าตัดการไหล

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติพื้นฐานของการไหลในทางน้ำเปิดประกอบด้วย อัตราการไหล ( $Q$ ), ความลึกของการไหล ( $y$ ), ความกว้างของผิวน้ำ ( $T$ ) และเส้นขอบเปียก (wetted parameter :  $P$ )

ซึ่งสามารถวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของการไหลในทางน้ำเปิดได้ดังนี้

(1.) ความเร็วในการไหล (ความเร็วเฉลี่ย)  $V = \frac{Q}{A}$  .... (2.1)

(2.) รัศมีชลศาสตร์ (hydraulic radius)  $R = \frac{A}{P}$  .... (2.2)

(3.) ความลึกชลศาสตร์ (Hydraulic depth)  $D = \frac{A}{T}$  .... (2.3)

(4.) ปัจจัยหน้าตัดสำหรับการไหลวิกฤต  $Z = A\sqrt{D}$  .... (2.4)

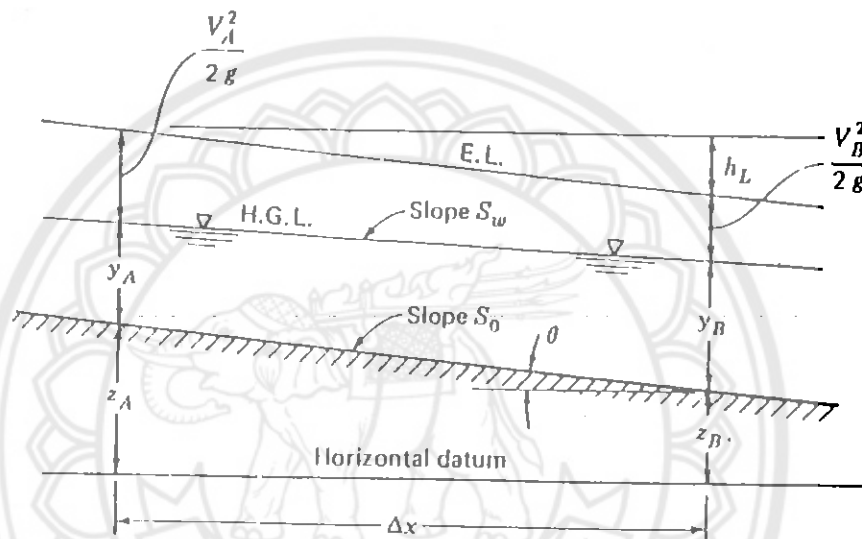
(section factor for critical flow)

(5.) ปัจจัยหน้าตัดสำหรับการไหลสม่ำเสมอ  $U = AR^{2/3}$  .... (2.5)

(section factor for uniform flow)

### สมการพลังงานของการไหลในทางน้ำเปิด

เนื่องจากการไหลในทางน้ำเปิด เป็นการไหลของของการไหลจากบริเวณที่มีพลังงานสูงไปสู่บริเวณที่มีพลังงานต่ำ ซึ่งลักษณะของการไหลจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับผนังทางน้ำเปิด และแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคของของไหลจึงเกิดการสูญเสียพลังงาน (Head loss,  $h_L$ ) ในช่วงระยะทางการไหลที่พิจารณาดังเช่นลักษณะการไหลในทางน้ำเปิดทั่วไประหว่างหน้าตัด A และหน้าตัด B ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การไหลในทางน้ำเปิดทั่วไป

พิจารณารูปที่ 2.4 สามารถเขียนสมการพลังงานระหว่างหน้าตัด A และหน้าตัด B ได้ดังนี้

$$z_A + y_A + \frac{V_A^2}{2g} = z_B + y_B + \frac{V_B^2}{2g} + h_L \quad \dots (2.6)$$

เมื่อ  $z$  คือ ระดับท้องน้ำของทางน้ำเปิดเหนือระดับอ้างอิง (ft, m)

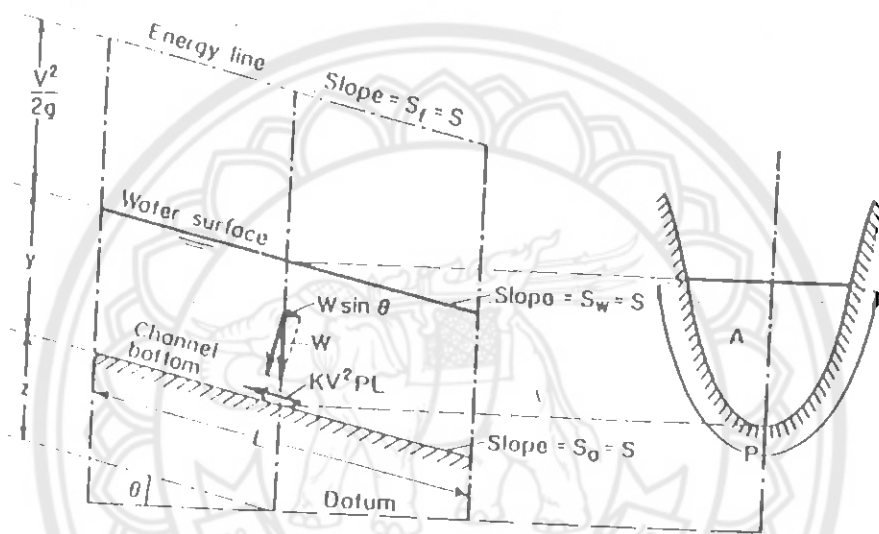
$y$  คือ ความลึกของการไหล หรือความดัน (Pressure head =  $P/\gamma$ )

$V$  คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (ft/s, m/s)

และ  $h_L$  คือ การสูญเสียพลังงาน (Head loss) ระหว่างหน้าตัด A และหน้าตัด B (ft-lb./lb, N-m/N) หรือ (ft, m)

**การไหลสม่ำเสมอ (Uniform flow)**

การไหลสม่ำเสมอ (Uniform flow) หรือการไหลปกติ (Normal flow) คือการไหลที่เกิดขึ้นบนทางน้ำเปิดคงรูป (Prismatic channel) หรือทางน้ำที่มีหน้าตัดคงที่ตลอดการไหลโดยมีความลึกเท่ากัน ในช่วงการไหลที่พิจารณาซึ่งรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การไหลสม่ำเสมอในทางน้ำเปิด

จากรูปจะเห็นได้ว่าการไหลสม่ำเสมอมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1. ความลึก พื้นที่หน้าตัด ความเร็วและอัตราการไหลทุกๆหน้าตัดของทางน้ำเปิดจะต้องคงที่
2. ความลาดของเส้นระดับพลังงาน ( Energy grade line, E.G.L.) ความลาดของเส้นระดับชลศาสตร์ หรือเส้นระดับผิวน้ำ (Hydraulic grade line, H.G.L.) และความลาดของท้องน้ำ จะต้องขนานกันทำให้มีความลาดเท่ากัน หรือ  $S_f = S_w = S_o = S$

**สมการการไหลสม่ำเสมอ**

ในการไหลสม่ำเสมอจะมี  $y_A = y_B$  และ  $V_A = V_B$  ดังนั้น จากสมการที่ (2.6)

จะมี

$$\text{การสูญเสียพลังงาน } h_L = Z_A - Z_B$$

$$= SL$$

$$\dots (2.7)$$

เมื่อ  $S$  คือ ความลาดของเส้นระดับพลังงาน

$L$  คือ ระยะทางระหว่างหน้าตัด A และหน้าตัด B

สูตรของ Manning ในปี 1889 Robert Manning วิศวกรชาวไอริส ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ของ Chezy และสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning กับรัศมีชลศาสตร์ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายดังนี้

$$\text{ระบบหน่วยอังกฤษ: } C = \frac{1.49}{n} R^{1/6} \quad \dots (2.8)$$

$$\text{ระบบหน่วย SI: } C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad \dots (2.9)$$

เมื่อแทนค่า  $C$  จากสมการที่ 2.11 และสมการที่ 2.12 ในสมการที่ 2.8 จะได้สมการของ Manning สำหรับ คำนวณความเร็วของการไหลในทางน้ำเปิดดังนี้

$$\text{ระบบหน่วยอังกฤษ: } V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \dots (2.10)$$

$$\text{ระบบหน่วย SI: } V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \dots (2.11)$$

จากสมการที่ 2.10 และสมการที่ 2.11 สามารถหาอัตราการไหลในทางน้ำเปิดได้ดังนี้

$$\text{ระบบหน่วยอังกฤษ: } Q = \frac{1.49}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \quad \dots (2.12)$$

$$\text{ระบบหน่วย SI: } Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \quad \dots (2.13)$$

ในส่วนของสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning(n) สามารถหาได้จากการทดลองหรือทดสอบจากการวัดตัวแปรต่างๆ ซึ่งในกรณีของการไหลแบบสม่ำเสมอจะต้องวัดค่าต่างๆต่อไปนี้

1. อัตราการไหล (Q) โดยการใช้เครื่องวัดความเร็วของกระแส น้ำ (current meter) ที่หน้าตัดย่อยของทางน้ำเปิด ( $Q=AV$ )

2. พื้นที่หน้าตัด (A) โดยใช้เทป ไม้ระดับ ประกอบกับ เครื่องมือวัดความลึกของน้ำ โดยอาศัยคลื่นสะท้อน (echosounding) (ถ้ามี) จากนั้นนำผลที่ได้มาลงในกระดาษกราฟแล้วใช้เครื่องวัดพื้นที่ (planimeter) หาขนาดพื้นที่หน้าตัดได้

3. เส้นขอบเปียก (P) สามารถหาได้จากการใช้เครื่องมือวัดระยะทาง วัดเส้นขอบเปียกได้จากหน้าตัดทางน้ำเปิด

4. ความลาด (S) หาได้จากการใช้กล้องระดับ ประกอบกับ เทปวัดระยะทาง

เมื่อวัดตัวแปรต่างๆ ทั้ง 4 ตัวแปรที่กล่าวมานี้ จะสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางเปิดน้ำได้จากสมการที่ 2.12 หรือสมการที่ 2.13 แล้วแต่ว่าข้อมูลที่วัดจริงเป็นระบบหน่วยอะไร และในกรณีที่ไม่มี การวัดจริงในสนาม ก็มีข้อเสนอแนะในการกำหนดสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางเปิดน้ำ ดังตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4 โดยมีวิธีการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n ที่เหมาะสม ซึ่งจะต้องอาศัยประสบการณ์และการตัดสินใจ (judgement) จากองค์ประกอบต่างๆ (factors) ที่สำคัญดังนี้

4.1 ความขรุขระของผิวทางน้ำเปิด (surface roughness) หมายถึงขนาดและรูปร่างของวัสดุที่เป็นผิวทางน้ำเปิด ถ้าวัสดุเป็นเม็ดละเอียด (fine grain) จะมีค่า n ต่ำ ในขณะที่วัสดุเม็ดหยาบ (coarse grain) มีค่า n สูง

4.2 พืชปกคลุม (vegetation) หมายถึงการที่มีพืชเจริญเติบโตในทางน้ำเปิด เช่น มีหญ้าขึ้นหรือมีผักตบชวาลอย เป็นต้น ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ค่า n มากขึ้น เพราะไปขวางทางน้ำ ทำให้ลดพื้นที่หน้าตัดการไหลซึ่งผลของการมีพืชปกคลุมต่อสัมประสิทธิ์ความขรุขระจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสูง ความหนาแน่น และชนิดของพืช เป็นต้น

4.3 ความผันแปรและความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด (channel irregularities and channel alignment) คือ ความผันแปรของทางน้ำเปิดอันเนื่องมาจากความแปรเปลี่ยนของรูปร่าง หน้าตัดและขนาดตามความยาวของทางน้ำเปิด ตลอดจนความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงมากจะทำให้สัมประสิทธิ์ความขรุขระมากตามไปด้วย

4.4 การกัดเซาะ และการตกตะกอน (scouring and silting) เมื่อทางน้ำเปิดถูกกัดเซาะโดยกระแส น้ำ มากก็เท่ากับเป็นการเพิ่มความขรุขระของผนังคลอง ทำให้สัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นผิวมากขึ้น

ในทางตรงข้าม หากมีการตกตะกอนของวัสดุที่มีความละเอียดกว่าผิวทางน้ำเปิดจะช่วยลดความขรุขระของพื้นผิว ทำให้สภาพการไหลสะดวกยิ่งขึ้น ดังนั้น สัมประสิทธิ์ความขรุขระจะมีแนวโน้มน้อยลง

4.5 สิ่งกีดขวางทางน้ำ (obstruction) เช่น ตอม่อสะพาน การรูก่อสร้างสิ่งก่อสร้างต่างๆ เข้าไปในคูคลองหรือแม่น้ำต่างๆ จะทำให้น้ำไหลได้ลำบากยิ่งขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด รูปร่าง จำนวน และการเรียงตัวของสิ่งกีดขวางต่างๆ เป็นต้น

4.6 ความลึกของการไหลและอัตราการไหล (stage and discharge) โดยปกติค่า  $n$  ในทางน้ำเปิดทั่วไปจะมีค่า  $n$  ลดลงเมื่อมีความลึกมากขึ้น หรือมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น เพราะในขณะที่มีน้ำน้อยในทางน้ำเปิดในส่วนของปริมาตรน้ำ จะมีการสัมผัสกับผนังทางน้ำเปิดคิดเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำทั้งหมดแล้ว เมื่อน้ำน้อยจะมีสัดส่วนการสัมผัสผนังทางน้ำเปิดมากกว่าจึงมีผลทำให้ค่า  $n$  ในน้ำน้อยมีแนวโน้มที่สูงกว่าในน้ำมาก แต่ก็ไม่เสมอไปทุกกรณี ดังเช่น ถ้าความลึกน้ำมากขึ้นแล้วไปพบหรือท่วมตลิ่งที่มีความขรุขระมากก็มีผลทำให้ค่า  $n$  สูงขึ้นได้

สัมประสิทธิ์ความขรุขระ และสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานอื่นๆ

การสูญเสียมีอยู่ 3 แบบที่ใช้กับ HEC-3 เพื่อประเมินค่าการสูญเสียหัว (head loss)(1) ค่า Manning's  $n$  ของการสูญเสียจากการเสียดทาน (2) สัมประสิทธิ์การสอบเข้าและการขยายออกของการสูญเสียที่ช่วงต่อ (transition) และ (3) การสูญเสียที่สะพาน สัมประสิทธิ์การสูญเสียมาจากรูปร่างของฝาย รูปร่างตอม่อ และสถานะการไหลภายใต้ความดันในวิธีวิเคราะห์ special bridge

ค่า Manning's  $n$  ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ  $n$  หามาได้จากแหล่งที่แตกต่างกันออกไป ตารางค่า  $n$  มีอยู่ในหนังสือวิชาการทางชลศาสตร์ทั่วไป ตารางและรูปหาได้จากหนังสือ Chow (2) ซึ่ง

เป็นที่แพร่หลายอยู่ทั่วไป วิธีอื่นที่ใช้ในการคำนวณค่า  $n$  จะมีการใช้สูตรต่างๆ ผลของตัวอย่างในสนามและการวิเคราะห์ทางปฏิบัติการ และการใช้ HEC-RAS 4.1 ในการประมาณค่า  $n$  จากคราบน้ำระดับสูง

HEC-RAS 4.1 จะสามารถประมาณค่าของ  $n$  ได้ถ้ามีคราบน้ำระดับสูง หรือน้ำท่วม ในช่วงลำน้ำที่ต้องการ ถ้าเลือกทางเลือก  $n$ -value option โปรแกรมจะคำนวณค่า  $n$  เพื่อหาระดับพื้นผิวน้ำของอัตราการไหลที่กำหนดให้แต่ละรูปตัด วิธีการนี้มีปัญหาคือความคลาดเคลื่อนทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลจะมีผลสะท้อนต่อการคำนวณค่า  $n$  ดังตัวอย่างเช่น อาจจะมีการพิจารณาความไม่แน่นอนของค่าอัตราการไหลที่สมมุติขึ้น และระดับของคราบน้ำสูง ค่าอัตราการไหลที่ได้จากระดับที่รู้อาจจะไม่ได้มาจากน้ำท่วม 100 ปี โดยตรงของน้ำท่วม 100 ปี หรือเหตุการณ์อื่นๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ระดับของคราบน้ำอาจจะมาจากผลของขยะ หรือสิ่งที่พัดพามากับน้ำ เมื่อเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น โปรแกรมจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ผลที่ได้จะเหมาะสมกับปฏิบัติการ ซึ่งจะหาค่า  $n$  ที่คำนวณได้ขึ้นลงระหว่างรูปตัด วิธีที่ดีที่สุดคือการใช้การทดลองและความคลาดเคลื่อน โดยให้เหมาะสมกับคราบน้ำสูง (high water mark) โดยใช้ HEC-RAS 4.1

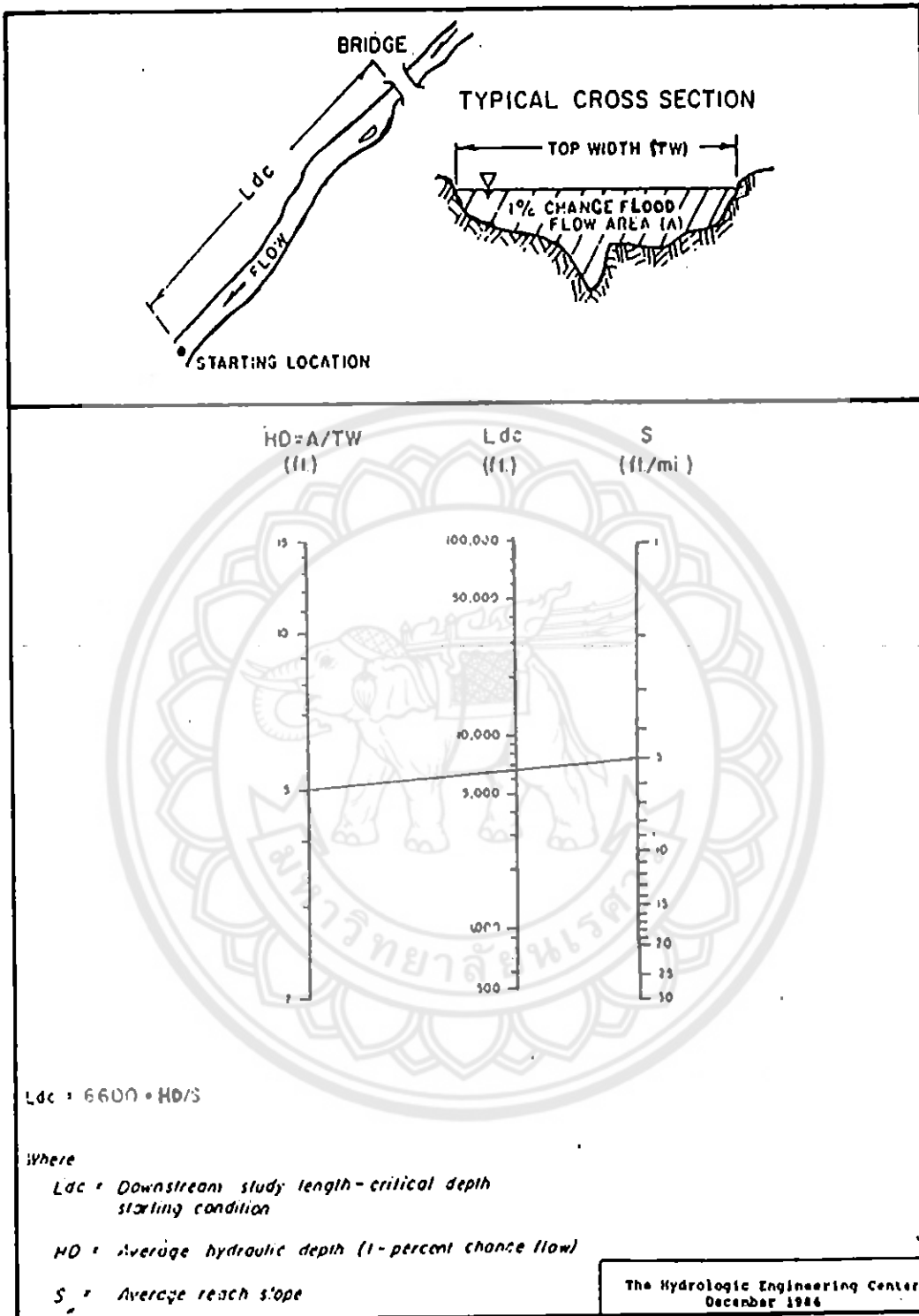
เมื่อเราประมาณค่า  $n$  ได้จากคราบน้ำท่วมของเหตุการณ์น้ำท่วมต่างๆ กันสิ่งสำคัญที่นำมาพิจารณา คือเวลาในปีที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมต่าง นั้น ความแตกต่างอย่างมากของความขรุขระจะมีผลสะท้อนจากค่า  $n$  ดังเช่นพื้นดินที่เพิ่มปลูกข้าวในฤดูฝนกับพื้นดินในหน้าแล้งที่ข้าวโตเต็มที่พร้อมจะเก็บเกี่ยวเช่นเดียวกับ



พื้นที่ของชุมชน ตลิ่งที่งอกในเวลาต่างๆ กันของปีมีผลกระทบต่อการคำนวณค่า  $n$  เช่นกัน ข้อมูลจาก Gage จะสามารถนำมาใช้ในการคำนวณค่า  $n$  ได้เช่นกัน เหตุการณ์น้ำท่วมต่างๆ ของมาตราส่วนขนาดเล็ก เพื่อให้การไหลอยู่ในช่องทางสามารถนำมาใช้ในการประมาณค่า  $n$  หรือค่า NV ในท้องลำนํ้า ถ้ารูปแบบของท้องน้ำหรือวัชพืชทำให้ค่า  $n$  เปลี่ยนความลึก NV คือค่าของตัวแปร  $n$  ที่เปลี่ยนแปลงไปตามความลึกที่ใช้กับ HEC-RAS 4.1 เมื่อเราได้ค่า  $n$  ในช่องทางแล้วเราสามารถใช้อัตราส่วนน้ำท่วมอื่นมาประมาณค่าเฉลี่ยของ overbank  $n$  ได้

เพราะว่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ  $n$  ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายๆ ตัว ดังตัวอย่างเช่น จำนวนของวัชพืช รูปร่างของช่องทาง และระดับ รวมทั้งทางเลือกอื่นๆ ที่ทำให้ค่า  $n$  ผันแปรไป ถ้าค่า  $n$  3 ค่า คือ ค่า  $n$  ในช่องทาง ค่า  $n$  2 ค่าของ overbank เราจะใช้ค่า 3 ค่าเป็นข้อมูลด้านเข้าของรูปตัด ถ้าค่าทั้ง 3 ค่าเป็นบ่งบอกค่าได้ถึง 20 ค่า ซึ่งผันแปรไปตามระยะทางในแนวราบตามรูปตัด ในกรณีดังกล่าวนี้ค่า  $n$  ในช่องทางที่ผันแปรกับระดับจะบ่งบอกได้





รูปที่ 2.6 ค่าประมาณของช่วงความยาวของแม่น้ำด้านท้ายน้ำ และมีเกณฑ์ความลึกปกติ



ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n

ชนิดของช่องทางและค่าอธิบาย	ต่ำสุด	ปกติ	สูงสุด
A. Closed conduits flowing partly full			
A-1. Metal			
a. Brass, smooth	0.009	<u>0.010</u>	0.013
b. Steel			
1. Lockbar and welded	0.010	0.012	0.014
2. Riveted and spiral	0.013	0.016	0.017
c. Cast iron			
1. Coated	0.010	0.013	0.014
2. Uncoated	0.011	0.014	0.016
d. Wrough iron			
1. Black	0.012	0.014	0.015
2. Galvanized	0.013	0.016	0.017
e. Corrugated metal			
1. Subdrain	0.017	0.019	0.021
2. Storm drain	0.021	<u>0.024</u>	0.030
A-2. Nonmetal			
a. Lucite	0.008	0.009	0.010
b. Glass	0.009	<u>0.010</u>	0.013
c. Cement			
1. Neat, surface	0.010	0.011	0.013
2. Mortar	0.011	0.013	0.015
d. Concrete			
1. Culvert, Straight and free of debris	0.010	0.011	0.013
2. Culvert with bends, connections, and some debris	0.011	<u>0.013</u>	0.014
3. Finished	0.011	0.012	0.014
4. Sewer with manholes, inlet, etc., straight	0.013	0.015	0.017
5. Unfinished, steel form	0.012	0.013	0.014
6. Unfinished, smooth wood form	0.012	<u>0.014</u>	0.016
7. Unfinished, rough wood form	0.015	0.017	0.020
e. Wood			
1. Stave	0.010	0.012	0.014
2. Laminated, treated	0.015	0.017	0.020
f. Clay			
1. Common drainage tile	0.011	<u>0.013</u>	0.017
2. Vitrified sewer	0.011	0.014	0.017
3. Vitrified sewer with manholes, inlet, etc.	0.013	0.015	0.017
4. Vitrified subdrain with open joint	0.014	0.016	0.018
g. Brickwork			
1. Glazed	0.011	0.013	0.015
2. Lined with cement mortar	0.012	0.015	0.017
h. Sanitary sewers coated with sewage slimes, with bends and connections	0.012	0.013	0.016
i. Paved invert, sewer, smooth bottom	0.016	0.019	0.020
j. Rubble masonry, cemented	0.018	0.025	0.030

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n ( ต่อ )

ชนิดของช่องทางและกำอริบาย	ต่ำสุด	ปกติ	สูงสุด
<b>B. Lined or built-up channels</b>			
<b>B-1. Metal</b>			
a. Smooth steel surface			
1. Unpainted	0.011	<u>0.012</u>	0.014
2. Painted	0.012	<u>0.013</u>	0.017
b. Corrugated	0.021	0.025	0.030
<b>B-2 Nonmetal</b>			
a. Cement			
1. Neat, surface	0.010	0.011	0.013
2. Mortar	0.011	0.013	0.015
b. Wood			
1. Planed, untreated	0.010	0.012	0.014
2. Planed, creosoted	0.011	0.012	0.015
3. Unplaned	0.011	0.013	0.015
4. Plank with battens	0.012	0.015	0.018
5. Lined with roofing paper	0.010	0.014	0.017
c. Concrete			
1. Trowel finish	0.011	<u>0.013</u>	0.015
2. Float finish	0.013	<u>0.015</u>	0.016
3. Finished, with gravel on bottom	0.015	0.017	0.020
4. Unfinished	0.014	0.017	0.020
5. Gunite, good section	0.016	0.019	0.023
6. Gunite, wavy section	0.018	0.022	0.025
7. On good excavated rock	0.017	0.020	
8. On irregular excavated rock	0.022	0.027	
d. Concrete bottom float finished with sides of			
1. Dressed stone in mortar	0.015	0.017	0.020
2. Random stone in mortar	0.017	0.020	0.024
3. Cement rubble masonry, plastered	0.016	0.020	0.024
4. Cement rubble masonry	0.020	0.025	0.030
5. Dry rubble or riprap	0.020	0.030	0.035
e. Gravel bottom with sides of			
1. Formed concrete	0.017	0.020	0.025
2. Random stone in mortar	0.020	0.023	0.026
3. Dry rubble or riprap	0.023	0.033	0.036
f. Brick			
1. Glazed	0.011	<u>0.013</u>	0.015
2. In cement mortar	0.012	<u>0.015</u>	0.018
g. Masonry			
1. Cemented rubble	0.017	0.025	0.030
2. Dry rubble	0.023	0.032	0.035
h. Dressed ashlar			
	0.013	0.015	0.017

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n ( ต่อ )

ชนิดของช่องทางและค่าอธิบาย	ต่ำสุด	ปกติ	สูงสุดB.
<b>Lined or built-up channels (cont.)</b>			
i. Asphalt			
1. Smooth	0.013	0.013	
2. Rough	0.016	0.016	
j. Vegetal lining	0.030		0.500
<b>C. Excavated or dredged</b>			
a. Earth, straight and uniform			
1. Clean, recently completed	0.016	0.018	0.020
2. Clean, after weathering	0.018	0.022	0.025
3. Gravel, uniform section, clean	0.022	0.025	0.030
4. With short grass, few weeds	0.022	0.027	0.033
b. Earth, winding and sluggish			
1. No vegetation	0.023	0.025	0.030
2. Grass, some weeds	0.025	0.030	0.033
3. Dense weeds or aquatic plants in deep channels	0.030	0.035	0.040
4. Earth bottom and rubble sides	0.028	0.030	0.035
5. Stony bottom and weedy banks	0.025	0.035	0.040
6. Cobble bottom and clean sides	0.030	0.040	0.050
c. Dragline-excavated or dredged			
1. No vegetation	0.025	0.035	0.040
2. Light brush on banks	0.035	0.050	0.060
d. Rock cuts			
1. Smooth and uniform	0.025	0.035	0.040
2. jagged and irregular	0.035	0.040	0.050
e. Channels not maintained, weeds and brush uncut			
1. Dense weeds, high as flow depth	0.050	0.080	0.120
2. Clean bottom, brush on sides	0.040	0.050	0.080
3. Same, highest stage of flow	0.045	0.070	0.110
4. Dense brush, high stage	0.080	0.100	0.140
<b>D. Natural streams</b>			
<b>D-1. Minor streams (top width at flood Stage &lt; 100 ft )</b>			
a. Streams on plain			
1. Clean, straight, full stage, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
2. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
3. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
4. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n (ต่อ)

ชนิดของช่องทางและคำอธิบาย	ต่ำสุด	ปกติ	สูงสุด
<b>D. Natural streams (cont.)</b>			
5. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
6. Same as 4, but more stones	0.045	0.050	0.06
7. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.08
8. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stand of timber and underbrush	0.075	0.100	0.15
<b>b. Mountain streams, no vegetation in channel, banks usually steep, trees and brush along banks submerged at high stages</b>			
1. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.05
2. Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.07
<b>D-2. Floodplains</b>			
<b>a. Pasture, no brush</b>			
1. Short grass	0.025	0.030	0.03
2. High grass	0.030	0.035	0.05
<b>b. Cultivated areas</b>			
1. No crop	0.020	0.030	0.04
2. Mature row crops	0.025	0.035	0.04
3. Mature field crops	0.030	0.040	0.05
<b>c. Brush</b>			
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.07
2. Light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.06
3. Light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.08
4. Medium to dense brush, in winter	0.045	0.070	0.11
5. Medium to dense brush, in summer	0.070	0.100	0.16
<b>d. Trees</b>			
1. Dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.20
2. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.030	0.040	0.05
3. Same as above, but with heavy growth of sprouts	0.050	0.060	0.08
4. Heavy stand of timber, a few down trees, little undergrowth, flood stage below branches	0.080	0.100	0.12
5. Same as above, but with flood stage reaching branches	0.100	0.120	0.16
<b>D-3. Major streams (top width at flood Stage &gt;100 ft), The n value is less than that for minor streams of similar description because banks offer less effective resistance.</b>			
a. Regular section with no boulders or brush	0.025		0.06
b. Irregular and rough section	0.035		0.10

ตารางที่ 2.3 สัมประสิทธิ์รูปร่างตอม่อ

รูปร่างตอม่อ	K
รูปเหลี่ยมทั้งหน้าและหลัง	1.25
90 ° ของสามเหลี่ยมทั้งหน้าและหลัง	1.05
ตอม่อทรงกลมคู่ทั้งหน้าและหลัง โดยไม่มีผนัง	1.05
ตอม่อทรงกลมคู่ทั้งหน้าและหลัง โดยมีผนัง	0.95
ครึ่งทรงกลมทั้งหน้าและหลัง	0.90

ในกรณีที่มีปัจจัยต่างๆ หลายปัจจัย จะมีผลต่อสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning ซึ่ง Woody L. Cowar (1956) ได้เสนอแนะสมการการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ  $n$  ไว้ดังสมการ

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5 \quad \dots(2.14)$$

- โดยที่  $n_0$  คือ ค่า  $n$  พื้นฐานสำหรับทางน้ำเปิดเรียบและมีแนวตรงสม่ำเสมอตามลักษณะของวัสดุทางน้ำเปิด  
 $n_1$  คือ ค่าปรับแก้สำหรับผลของความผันแปรของผิวทางน้ำเปิด (surface irregularities)  
 $n_2$  คือ ค่าปรับแก้สำหรับความผันแปรของรูปร่างและขนาดหน้าตัดของทางน้ำเปิด  
 $n_3$  คือ ค่าปรับแก้สำหรับสิ่งกีดขวางการไหลในทางน้ำเปิด  
 $n_4$  คือ ค่าปรับแก้สำหรับการมีพืชปกคลุม  
 และ  $m_5$  คือ ค่าปรับแก้สำหรับผลของความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด  
 สำหรับค่า  $n_0, n_1, n_2, n_3, n_4$  และ  $m_5$  สามารถหาได้จากตารางที่ 2.4



ตารางที่ 2.4 ค่าปรับแก้ต่างๆ สำหรับคำนวณสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

เงื่อนไขทางน้ำเปิด			ค่าปรับแก้
วัสดุทางน้ำเปิด	ดิน	$n_0$	0.020
	หินตัด		0.025
	กรวดละเอียด		0.024
	กรวดหยาบ		0.028
ความผันแปรของผิวทางน้ำเปิด	เรียบ	$n_1$	0.000
	ไม่เรียบน้อย		0.005
	ไม่เรียบปานกลาง		0.010
	ไม่เรียบมาก		0.020
ความผันแปรของหน้าตัดทางน้ำเปิด	ค่อยๆ เปลี่ยนแปลง	$n_2$	0.000
	เปลี่ยนแปลงบางแห่ง		0.005
	เปลี่ยนแปลงบ่อย		0.010-0.015
ผลจากสิ่งกีดขวางวางกรวดไหล	ไม่มี	$n_3$	0.000
	มีเล็กน้อย		0.010-0.015
	มีปานกลาง		0.020-0.030
	มีมาก		0.040-0.060
พืชปกคลุม	น้อย	$n_4$	0.005-0.010
	ปานกลาง		0.010-0.025
	มาก		0.025-0.050
	หนาแน่นมาก		0.050-0.100
ผลของความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด	เล็กน้อย	$m_5$	1.000
	ปานกลาง		1.150
	มาก		1.30

ในโปรแกรม HEC-RAS 4.1 จะสามารถประมาณค่าของ  $n$  ได้ ถ้ามีคราบน้ำระดับสูงหรือ น้ำท่วม ในช่วงลำน้ำที่ต้องการ ถ้าทางเลือก  $n$ -value option โปรแกรมจะคำนวณค่า  $n$  เพื่อหาระดับของพื้นผิวน้ำของอัตราการไหลที่กำหนดไว้ในแต่ละหน้าตัด วิธีการดังกล่าวมีปัญหาคือ ความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากข้อมูลจะส่งผลกระทบต่อค่า  $n$  ได้ เช่น อาจจะมีการพิจารณาความไม่แน่นอนของค่าการไหลที่สมมติขึ้น และระดับคราบน้ำที่สูง ค่าอัตราการไหลที่ได้จากระดับที่รู้อาจ ไม่ได้มาจากระดับน้ำท่วม 100 ปี หรือ เหตุการณ์อื่นๆ ที่มาเกี่ยวข้อง ระดับคราบน้ำอาจมาจากผลของขยะ หรือสิ่งกีดขวางที่พุดพามาที่น้ำ เมื่อเกิดความคลาดเคลื่อนผลที่ได้จากโปรแกรมก็จะเกิดความคลาดเคลื่อนด้วย

เมื่อเราประมาณค่า  $n$  ได้จากคราบน้ำท่วมของเหตุการณ์น้ำท่วมต่างๆ สิ่งที่น่าสนใจมาพิจารณาด้วยคือ เวลาในปีที่เกิดเหตุการณ์นั้นๆ ความแตกต่างอย่างมากระหว่างของความขรุขระจะมีผลต่อค่า  $n$  เช่น ความแตกต่างระหว่างพื้นดินในหน้าฝนกับหน้าแล้ง เป็นต้น นอกจากนี้แล้ว ค่า  $n$  ยังขึ้นกับหลายๆ ปัจจัยที่นอกเหนือจากความขรุขระ เช่น

- (1.) พืชปกคลุม (Vegetation) คือพืชที่เจริญเติบโตในทางน้ำเปิด มีผลทำให้ค่า  $n$  มากขึ้น เพราะไปขวางทางน้ำ ทำให้ลดพื้นที่หน้าตัดการไหล
- (2.) ความผันแปรและความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด (Channel irregularities and channel alignment) คือ ถ้ามีความคดเคี้ยวของลำน้ำมากก็จะทำให้สัมประสิทธิ์ความขรุขระมากขึ้นไปด้วย
- (3.) การกัดเซาะและการเกิดตะกอน (Scouring and silting) เมื่อทางน้ำถูกกัดเซาะมากก็เท่ากับเป็นการเพิ่มความขรุขระของผนังคลอง ในทางกลับกันถ้าผนังคลองมีตะกอนที่มีความละเอียดจำนวนมากก็จะทำให้ความขรุขระลดลง
- (4.) สิ่งกีดขวางทางน้ำ (Obstruction) เช่น ตอม่อสะพาน การถูกล้ำสิ่งก่อสร้างเข้าไปในลำคลอง ฯลฯ ย่อมทำให้น้ำไหลได้ลำบากขึ้น ทั้งนี้ ขึ้นกับชนิดของโครงสร้าง รูปร่าง จำนวน การเรียงตัว
- (5.) ความลึกของการไหลและอัตราการไหล (Stage and discharge) ตามปกติ ถ้า  $n$  จะลดลงเมื่อมีความลึกมากขึ้น หรือมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อเราเปรียบเทียบพื้นที่การสัมผัสของผนังคลองเมื่อมีปริมาณน้ำน้อยกับปริมาณน้ำทั้งหมดจะพบว่า เมื่อมีปริมาณน้ำที่มากจะมีสัดส่วนการสัมผัสที่น้อยกว่า

### ความลึกวิกฤติและความนัยสำคัญของทอม

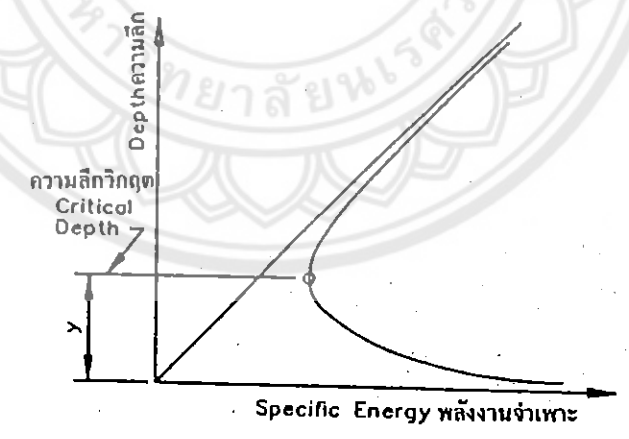
ความลึกวิกฤติเป็นคุณลักษณะของการไหลที่สำคัญมาก เพราะว่าเป็นตัวแทนของเกณฑ์ในการหา กฎเกณฑ์ของการไหล การไหลที่มีความลึกอยู่เหนือความลึกวิกฤติ จะเป็นการไหลต่ำกว่าวิกฤติและการ ไหลที่มีความลึกต่ำกว่าวิกฤติจะเป็นการไหลที่เหนือกว่าวิกฤติ การไหลที่จุดใกล้เคียงความลึกวิกฤติเรียกว่า การไหลวิกฤติ แต่การไหลนี้จะไม่แน่นอนเพราะว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ในพลังงานจำเพาะ โดย จะเป็นสาเหตุให้เปลี่ยนแปลงอย่างมากในความลึกวิกฤติ

#### พลังงานจำเพาะ (Specific energy, E)

ที่รูปตัดขวางเป็นหัวความดันพลังงานอยู่เหนือจุดต่ำในช่องทาง ดังนั้นผลรวมของความลึก  $y$  และหัว ความเร็ว  $V^2/2g$  แสดงอยู่ในสมการที่ 2.15 รูปที่ 2.8 แสดงถึง โค้งพลังงานจำเพาะ เป็นการพล็อตของ พลังงานจำเพาะต่อความลึกตามอัตราการไหลออกที่กำหนดให้ โค้งแสดงพลังงานจำเพาะที่กำหนดให้ โดยมี ความลึกที่เป็นไปได้อยู่ 2 อย่าง ยกเว้นความลึกวิกฤติ ความลึกวิกฤติจะเกิดขึ้นที่จุดที่มีค่าพลังงานจำเพาะ ต่ำสุดในโค้ง

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

.... (2.15)



รูปที่ 2.8 โค้งพลังงานจำเพาะ

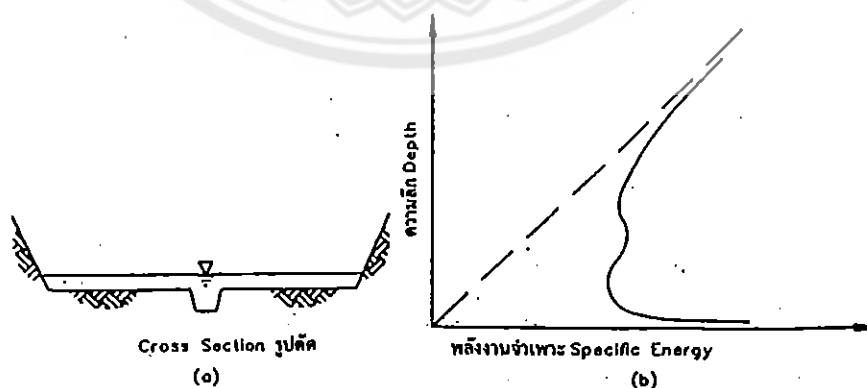
การหาความลึกวิกฤตก่อนข้างยุ่งยาก โดยการแผ่กระจายของความเร็วในรูปตัดทางขวางที่ไม่ปกติที่เกี่ยวข้องกับท่งน้ำนอง หัวความเร็วในสมการพลังงานจำเพาะคูณด้วย Coriolis หรือสัมประสิทธิ์การแผ่กระจายความเร็ว ; ขึ้นบัญชีเป็นการผันแปรทางราบของความเร็วบนรูปตัดทางขวางและแสดงนิพจน์อย่างละเอียดในพลังงานจำเพาะ (สมการที่ 2.16) การหาสัมประสิทธิ์ของความเร็วนี้ในตอนต่อไป

$$E=y+\frac{V^2}{2g} \quad \dots (2.16)$$

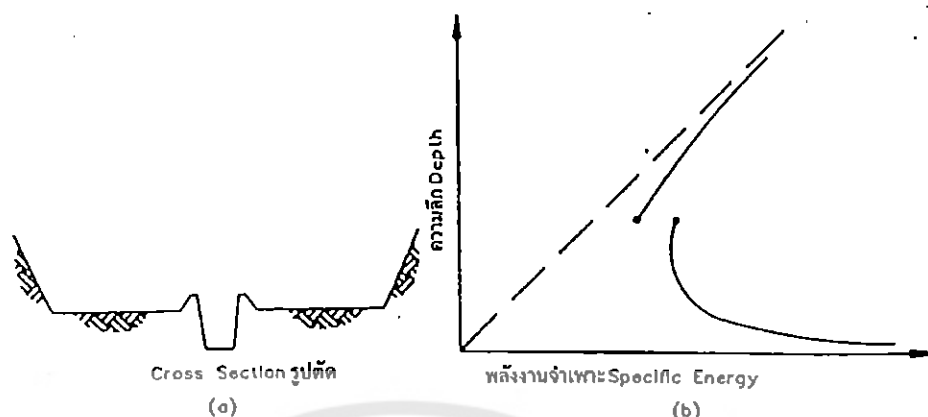
โดยที่ ; เป็นสัมประสิทธิ์การแผ่กระจายความเร็ว

ท่งน้ำนองที่แบนและกว้างเป็นสาเหตุของปัญหาในการคำนวณความลึกวิกฤต การไม่เท่ากันในช่องทางและพื้นที่ที่ไหลล้นเหนือฝั้ง เป็นสาเหตุให้มีค่าต่ำสุดหลายค่า และการไม่ต่อเนื่องในโค้งพลังงานจำเพาะ และกฎเกณฑ์การไหลที่ผสมกัน (1,2,3) ปัญหาเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการไหลลงทางข้าง และความแตกต่างในการไหลระหว่างช่องทางและบนฝั้งจะต้องเอาใจใส่ โดยเฉพาะในบางกรณี จะต้องหาผลลัพธ์โดยใช้การวิเคราะห์แบบ 2 มิติ

ค่าพลังงานจำเพาะ 2 ค่า อาจเกิดขึ้นที่รูปตัดที่มีพื้นที่ไหลล้นบนฝั้งกว้างๆ จากรูปที่ 2.9 การเกิดค่าต่ำสุดภายในช่องทาง จะน้อยกว่าบนสุด ขณะที่ความลึกของการไหลเพิ่มขึ้นจะไหลล้นไปบนฝั้ง หัวความเร็วจะลดลงเร็วกว่าหัวระดับเพิ่มขึ้น และค่าต่ำสุดอันดับที่ 2 จะเพิ่มขึ้นเหนือระยะบนสุดของช่องทางถ้ากันเกิดขึ้นระหว่างช่องทางและพื้นที่น้ำนอง โค้งพลังงานจะไม่เพียงแต่มีค่าต่ำสุด 2 ค่า แต่ยังไม่ต่อเนื่องกัน รูปที่ 2.10 ขณะที่เกิดการไหลล้นบนคันพื้นที่ของการไหลไม่ต่อเนื่องจะเพิ่มขึ้น และพลังงานจำเพาะจะลดลง มีผลต่อโค้งพลังงานจำเพาะที่ต่อเนื่อง ค่าต่ำสุดจะเกิดขึ้น ณ จุดไม่ต่อเนื่องและอีกจุดหนึ่งจะเกิดขึ้นที่ส่วนต่อเนื่องของโค้งเป็นได้เหนือและต่ำกว่าระดับคัน



รูปที่ 2.9 โค้งพลังงานจำเพาะที่มีค่าต่ำสุด 2 ค่า



รูป 2.10 การไม่ต่อเนื่องของโค้งพลังงานจำเพาะ

ชนิดของการไหลในท่อน้ำนองแบบนี้จะเป็นกฎเกณฑ์การไหลผสม มีคุณลักษณะทั้งต่ำกว่าวิกฤต และเหนือกว่าวิกฤต เกิดเป็นระบบในส่วนที่แตกต่างกันของรูปตัด โดยปกติแล้วเมื่อเกิดขึ้นการไหลในช่องทางจะเหนือวิกฤต และการไหลบนดลิ่งจะต่ำกว่าวิกฤต การแบ่งย่อยของค่า  $F_r$  ซึ่งสามารถชี้ให้เห็นกฎเกณฑ์ของการไหลในการไหลล้นบนพื้นฝั่งทั้งสอง ได้นำมาพัฒนาและตรวจสอบ (4) โดยจะสามารถชี้ให้เห็นถึงกฎเกณฑ์การไหลผสมและการไหลล้นบนฝั่งที่ตื้นมาก สามารถจำลอง โมเด็มด้วยวิธี standard-step ซึ่งใช้ในการคำนวณหน้าข้างการไหลโดยทั่วไป

ในโปรแกรม HEC-RAS 4.1.0 ระดับพื้นผิวน้ำวิกฤตของรูปตัดหาโดยการคำนวณระดับซึ่งหัวพลังงานทั้งหมดจะต่ำสุด ทำได้โดยใช้การช้อนซ้ำ ซึ่งสมมติค่าระดับพื้นผิวน้ำ WS และค่าที่สอดคล้องของพลังงานทั้งหมด คำนวณ โดยใช้สมการที่ 2.17 จนกระทั่ง ได้ค่าต่ำสุดของ H

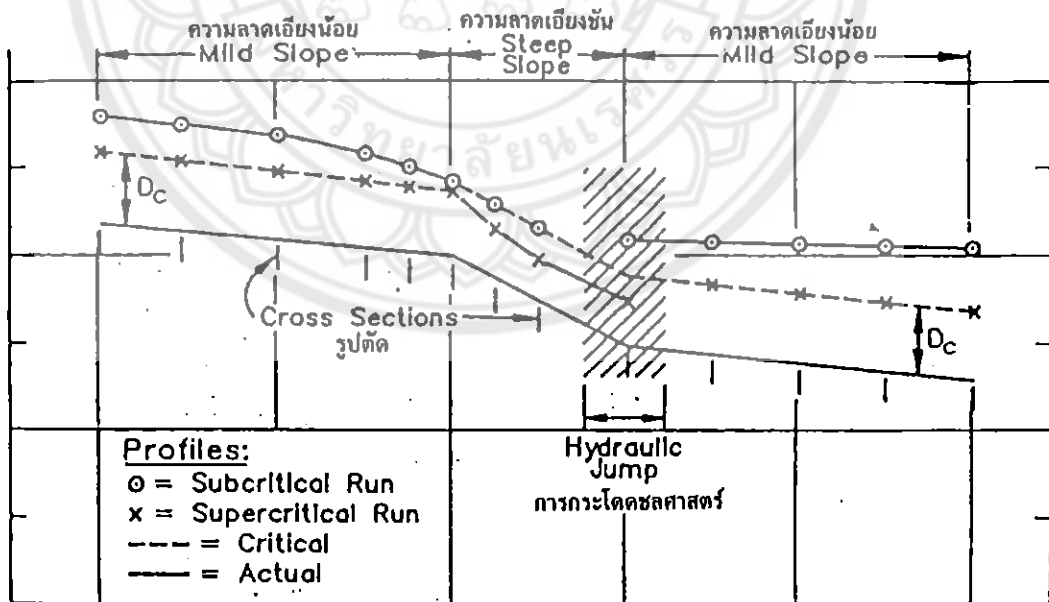
$$H = ws + \frac{V^2}{2g} \quad \dots (2.17)$$

ในการเพิ่มอัตราเร็วของขบวนการช้อนซ้ำ วิธีการแบ่งค่าพาราโบลาจะนำมาใช้ในการหาผลลัพธ์ของค่า H เพื่อหาค่า WS 3 ค่า โดยมีช่วงระยะเท่ากัน (5) WS จะสอดคล้องกับค่าต่ำสุดของ H ซึ่งจะอธิบายโดยพาราโบลา 3 จุดนี้ใช้เป็นพื้นฐานของสมมติฐานถัดไปในค่าของ WS

HEC-RAS 4.1.0 จะคำนวณหน้าข้างการไหลที่มีอยู่เหนือวิกฤตหรือต่ำกว่าวิกฤต ผู้ใช้จะต้องป้อนถึง  
 กฎเกณฑ์การไหลและสืบเนื่องมาคือการใส่เพิ่มข้อมูลเนื่องจากว่ามีกฎเกณฑ์การไหล 2 อย่างในส่วนที่  
 ศึกษาจึงจำเป็นที่จะต้องรัน โปรแกรมในกฎเกณฑ์การไหลทั้ง 2 อย่างเพื่อหาหน้าข้างการไหลที่สมบูรณ์

หน้าข้างการไหลที่แสดงในรูป 2.11 แสดงถึงปัญหาในช่วงด้านเหนือน้ำมีความลาดเอียง mild  
 โดยมีความลึกปกคิอยู่เหนือวิกฤตในช่วงตอนกลางมี steep slope ซึ่งมีความลึกปกคิต่ำกว่าวิกฤตและช่วง  
 ท้ายน้ำมี mild slope ซึ่งความลึกปกคิตจะอยู่เหนือวิกฤต หน้าข้างการไหลของควมลึกวิกฤตแสดงเป็น  
 เส้นประ

หน้าข้างการไหลที่เป็นความลึกต่ำกว่าวิกฤตจะคำนวณ โดยเริ่มจากรูปตัดด้านท้ายน้ำ และคำนวณจาก  
 รูปตัดหนึ่ง ไปสู่อีกรูปตัดหนึ่ง หน้าข้างการไหลเหนือวิกฤตคำนวณที่รูปตัดด้านเหนือน้ำ และคำนวณการไป  
 ยังด้านท้ายน้ำ จากรูปที่แสดงจะอธิบายการคำนวณหน้าข้างการไหลที่ต่ำกว่าวิกฤตก่อน เริ่มที่ปลายสุดด้าน  
 ท้ายน้ำ หน้าข้างการไหลจะคำนวณความลึกเหนือวิกฤตในช่วงที่ต่ำกว่าของ mild slope ในช่วงความลาด  
 เอียงที่ชันการไหลจะเป็นเหนือวิกฤตอย่างแท้จริง แต่ในระเบียบวิธีต่ำกว่าวิกฤต HEC-RAS 4.1.0 จะไม่  
 คำนวณระดับพื้นผิวน้ำต่ำกว่าความลึกวิกฤตที่ปลายบนสุดของช่วงนี้ ความลาดเอียงจะกลายเป็น mild อีก  
 ครั้ง และหน้าข้างการไหลผ่านวิกฤตจากหน้าตัดที่ควบคุมบนด้านเหนือน้ำจะคำนวณหน้าข้าง ไหลต่ำกว่า  
 วิกฤตออกมา



รูปที่ 2.11 หน้าข้างการไหลเหนือและต่ำกว่าวิกฤตคำนวณโดยใช้ HEC-RAS

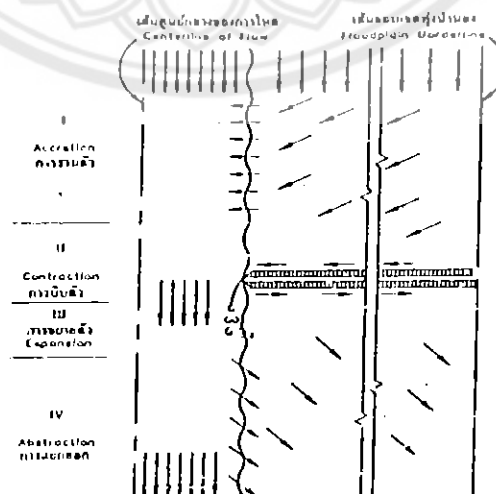
## การไหลผ่านของน้ำโดยผ่านสิ่งกีดขวาง

เนื่องจากการศึกษาของการไหลผ่านของท่อน้ำนองกระทำบนพื้นที่ชุ่มชื้น ซึ่งมักจะประกอบด้วย สะพาน ท่อลอด ฝาย และสะพานในรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้นการวิเคราะห์การไหลผ่านสะพานและอื่น ๆ จึงถือว่าเป็นเรื่องหลัก เพราะว่ามีอยู่หลายแบบ และมีสภาวะการไหลที่สลับซับซ้อนเกิดขึ้นที่สะพาน การวิเคราะห์การไหลผ่านสะพาน จึงเป็นปัญหาค่อนข้างยากที่เข้ามาเกี่ยวข้อง

การสูญเสียพลังงานที่สะพานและท่อลอดจึงประกอบด้วย การสูญเสียในช่วงลำน้ำที่รูปตัดเหนือน้ำ และท้ายน้ำที่ติดอยู่สะพาน และการสูญเสียในตัวอาคารของสะพานเอง ในช่วงที่ติดกับสะพานด้านเหนือน้ำ การไหลจะอยู่ในช่วงสภาพของช่วงตัวที่บีบเข้า (contraction) กับสะพาน และที่รูปตัดด้านท้ายน้ำที่ติดกับสะพาน การไหลจะถูกขยายขณะที่ไหลออกจากสะพานในช่วงเวลาทั้งสองที่กล่าวมานี้

## ธรรมชาติการไหลผ่านสะพาน

ธรรมชาติของการไหลผ่านสะพานแสดงดังรูปที่ 2.10 โดยแนวความคิดนี้ การไหลจะแบ่งออกเป็น 4 ฝายด้วยกัน คือ การรวมตัว (accretion) , การบีบตัว (contraction) , การขยายตัว (expansion) , และการแยกออก (abstraction) ลำน้ำจะพิจารณาเป็นการสมดุลกันระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางและรูปที่ 2.12 จะแสดงแค่ครั้งเดียว



รูปที่ 2.12 ไดอะแกรมของการไหลผ่านคอคอดสะพาน

เหนือน้ำจากสะพานจะไหลเพียงพอนี้เนื่องจากการไหลที่สอบเข้าสู่สะพานจะมีอิทธิพลมาจากสะพาน เส้นทางไหลจะขนานกัน ขณะที่การไหลเคลื่อนตัวจากจุดนี้ไปสู่สะพาน การไหลบนฝั่งจะเคลื่อนตัวเข้าสู่ช่องทาง เพื่อให้การไหลทั้งหมดสามารถผ่านเข้าสู่รูเปิดของสะพานได้ ในขอบเขตของการรวมตัวการไหลจะกลายมาเป็นการไหลผันแปรที่เล็กน้อย ในขอบเขตของการบีบตัวจะเริ่มต้นที่รูปตัดที่อยู่ติดกับตัวสะพานด้านผิวน้ำ โดยที่การไหลจะติดกับทางเข้าของรูเปิดสะพาน โดยที่การไหลจะถูกบีบอย่างรุนแรงที่รูเปิดของสะพาน

ในเขตของ การแยกออก ทางด้านท้ายน้ำของสะพานเป็นส่วนขอบเขตการรวมตัวด้านเหนือน้ำ ซึ่งเป็นลักษณะการผันแปรที่เล็กน้อย ในขอบเขตนี้การไหลจะเคลื่อนที่ทางข้างผ่านลำน้ำเอง และครั้งสุดท้ายย้อนกลับไปเข้าสู่สภาวะการไหลของน้ำท่วมปกติที่ระยะทางด้านท้ายน้ำ

### การแบ่งชั้นการไหลต่ำผ่านของสะพาน

สภาวะการไหลต่ำกว่าที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำทั้งหมดไหลผ่านช่องทางเปิดของสะพานและพื้นที่ผิวน้ำอยู่ที่ต่ำกว่า low chord หน้าข้างการไหลดังแสดงในรูปที่ 2.19 แสดงถึงการไหลต่ำ 3 ชั้นด้วยกัน

#### Class A low flow

เกิดขึ้นในขอบเขตการไหลต่ำกว่าวิกฤต เมื่อหน้าข้างการไหลของพื้นที่ผิวน้ำผ่านสะพาน ยังคงอยู่เหนือความลึกวิกฤต การเปลี่ยนแปลงผิวน้ำสาเหตุมาจากสะพาน

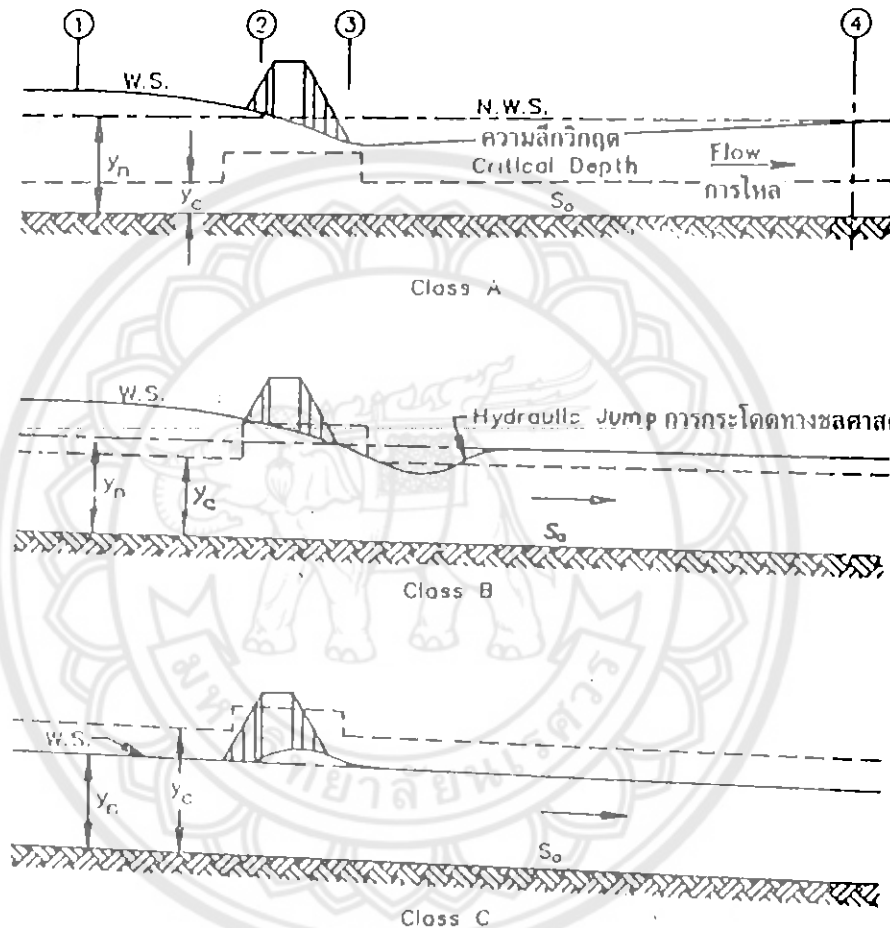
#### Class B low flow

การไหลของผิวน้ำจะผ่านความลึกวิกฤตในคอคอดของสะพาน โดยจะเกิดทั้งคูในการไหลต่ำกว่าวิกฤต ดังแสดงในรูป การไหลเหนือวิกฤตจะอยู่ในช่วงระยะทางสั้น ๆ ก่อนจะกลับมาเป็นการไหลต่ำกว่าวิกฤตในการกระโดดทางชลศาสตร์



Class C low flow

เป็นการไหลแบบเหนือวิกฤตเมื่อผ่านสะพาน ถึงแม้ว่าหน้าข้างของการไหลผิวน้ำเกิดขึ้น เนื่องจากคอคอด และระดับน้ำของการไหลจะไหลสูงขึ้นได้ไม่เพียงพอถึงความลึกวิกฤตก็ตาม



รูป 2.13 หน้าข้างการไหลของพื้นผิวน้ำผ่านคอคอดสะพานของชั้นการไหลที่แตกต่างกันออกไป

## ความลึกวิกฤต และพลังงานจำเพาะ

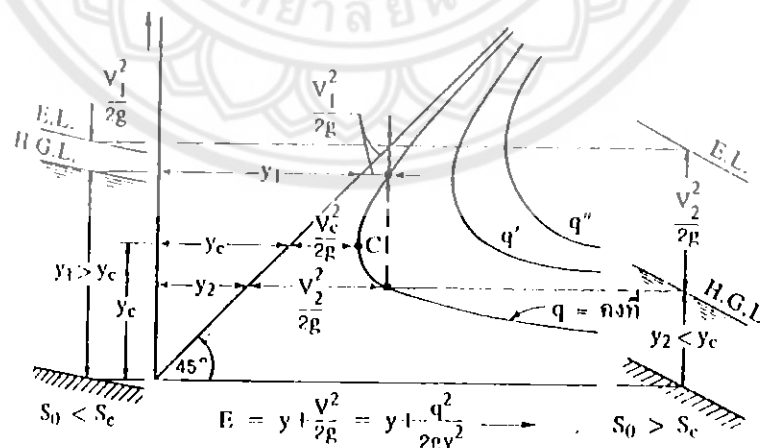
ความลึกวิกฤต เป็นคุณลักษณะของของไหลที่มีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวแทนในการหา กฎเกณฑ์ของการไหล การไหลที่มีความลึกมากกว่าความลึกวิกฤตจะเป็นการไหลได้วิกฤต (Sub - critical flow) ส่วนการไหลที่มีความลึกของการไหลต่ำกว่าความลึกวิกฤต จะเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤต (Sub - critical flow) การไหลที่จุดใกล้เคียงความลึกวิกฤตเรียกว่า ความลึกวิกฤต

พลังงานจำเพาะ (E) ที่หน้าตัดการไหลใดๆ คือ ค่าหัวพลังงานความดันที่เกิดจากการรวมความลึก (y) และหัวความเร็ว ( $v^2/2g$ )

$$E = y + \frac{V^2}{2g} \quad \dots (2.18)$$

ถ้าการไหลในช่องทางรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสม่ำเสมอ และมีความกว้างของช่องทางมากเมื่อเทียบกับความลึก ผิวด้านข้างจะมีผลกระทบต่อความเร็วในส่วนอื่นๆ น้อยมาก อัตราการไหลต่อหน่วยความกว้างจึงเขียนได้ เป็น  $q = Q/b$  และ  $V = Q/A = qb / by = q/y$  ดังนั้น

$$E = y + \frac{1}{2g} \left( \frac{q^2}{y^2} \right) \quad \dots (2.19)$$



รูปที่ 2.14 เส้นกราฟแสดงค่า q ที่ความลึกต่างๆ

สำหรับอัตราการไหล  $q$  ที่กำหนด ค่า  $E$  จะแปรผันตาม  $y$  ดังรูป

เมื่อ  $q=0$  ;  $E=y$  เส้นกราฟจะเป็นเส้นตรง 45

เมื่อ  $q>0$  ; ที่ค่าใดค่าหนึ่งและพลังงานจำเพาะที่กำหนดจะให้ค่าความลึก  $y$  อยู่ 2 ค่า เรียกว่า alternate depth

สำหรับเส้นกราฟที่มีค่า  $q$  คงที่แต่ละเส้นจะมีความลึก  $E$  ค่าหนึ่งที่ทำให้ค่า  $y$  ต่ำสุด สถานะการไหลที่มีค่า  $E$  ต่ำสุดเรียกว่า การไหลวิกฤต (Critical flow) ความลึกที่สถานะนี้เรียกว่า ความลึกวิกฤต (Critical depth,  $y_c$ ) และความเร็วที่สถานะนี้เรียกว่า ความเร็ววิกฤต (Critical velocity,  $V_c$ ) โดย

$$E_{\min} = \frac{3y_c}{2}, y_c = \left[ \frac{q^2}{g} \right]^{1/3} \quad \dots (2.20)$$

$$V_c = \sqrt{gy_c} \quad \dots (2.21)$$

การไหลจะมีค่าสูงสุดที่  $y = y_c$  คือ

$$q_{\max} = \sqrt{gy_c^3} \quad \dots (2.22)$$

ในกรณีที่ช่องทางการไหลไม่ใช่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ค่าพลังงานจำเพาะคือ

$$E = \frac{V^2}{2g} + y \frac{Q^2}{2gA^2} + y \quad \dots (2.23)$$

ความสัมพันธ์ของปริมาณต่างๆ ที่สถานะวิกฤต คือ

$$\frac{Q^2}{g} = \left[ \frac{A^3}{B} \right] \quad \dots (2.24)$$

โดย  $B$  คือ ความกว้างของช่องทางที่ไหลที่ผิวอิสระ

### บทที่ 3

## วิธีดำเนินงานวิจัยและอุปกรณ์

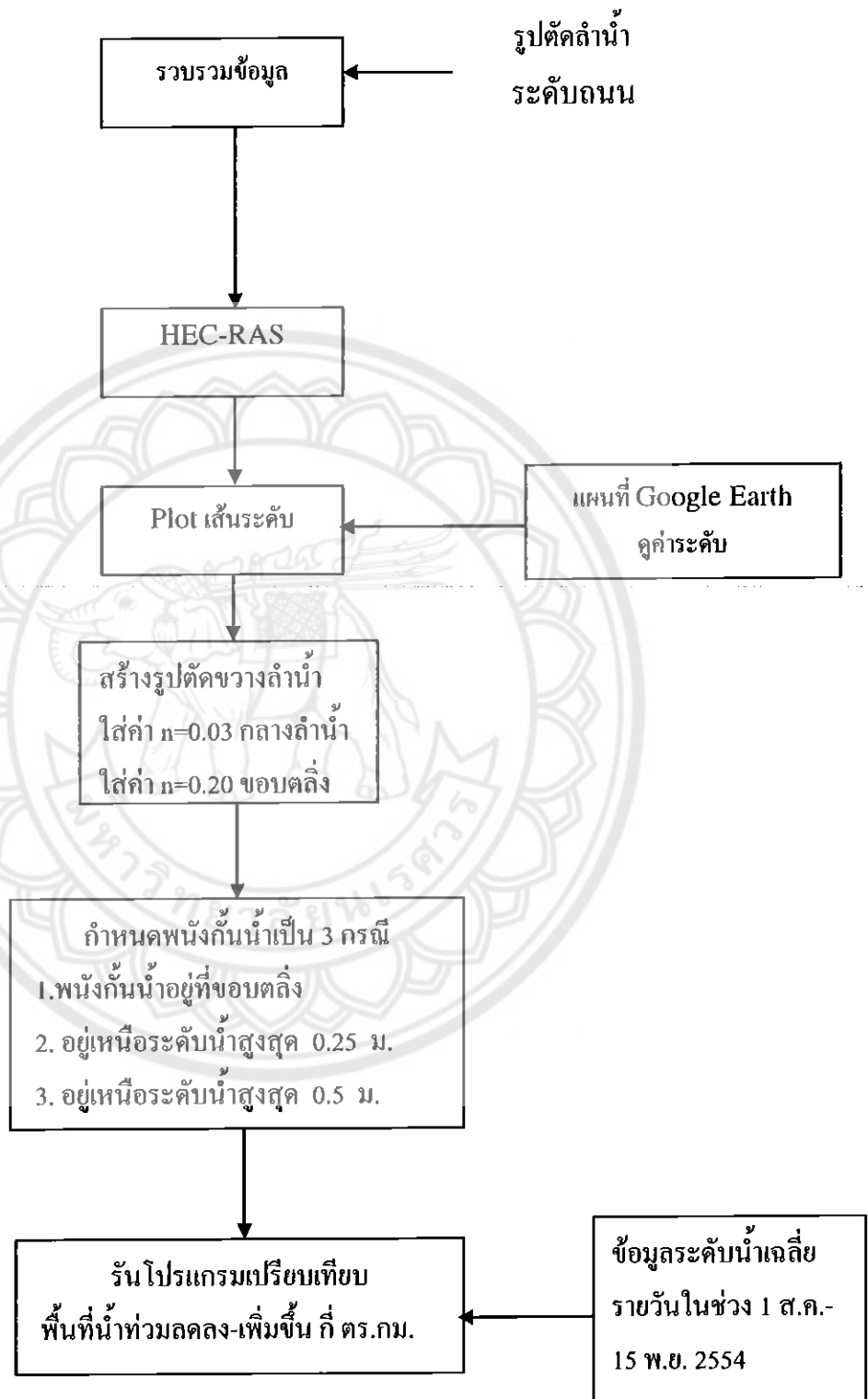
### 3.1. อุปกรณ์

1. โปรแกรม HEC-RAS version 4.1.0
2. โปรแกรม Google Earth
3. แผนที่ลำน้ำยม ตั้งแต่ อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย ถึงอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก  
ขนาด 1: 10,000 และ 1: 50,000
4. เครื่องคอมพิวเตอร์

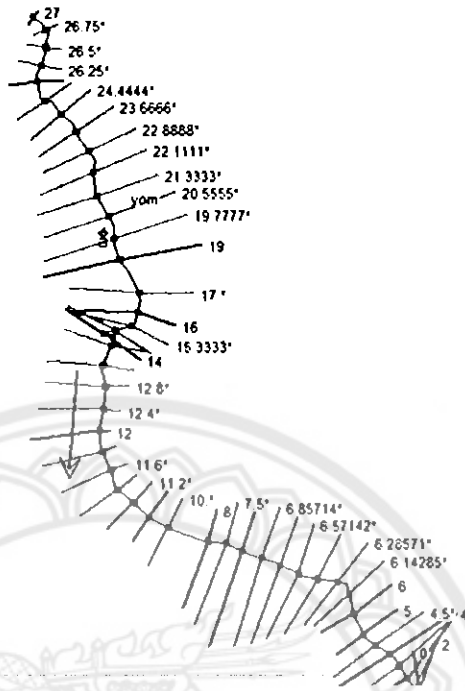
### 3.2 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาแนวทางการวางแผน และศึกษาทฤษฎีที่ต้องใช้เกี่ยวกับทางน้ำเปิดตามธรรมชาติ
2. ศึกษาการใช้โปรแกรม HEC-RAS จาก Help ในโปรแกรม โดยทำการแปลกับการลงใช้โปรแกรม และศึกษาจากหนังสือคู่มือ การใช้โปรแกรม HEC-RAS
3. รับคำแนะนำเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม HEC-RAS จากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงาน
4. ทหาระดับ Cross-section ของสองฝั่งลำน้ำยม
5. หาปริมาณน้ำท่า และปริมาณน้ำฝนในช่วง เดือนสิงหาคม-เดือนพฤศจิกายน
6. นำค่าที่ได้จากข้อที่ 4. และข้อ 5. ใส่ใน โปรแกรม HEC-RAS เพื่อหาพื้นที่น้ำท่วม ระดับการไหล  
ต้นตลิ่ง ทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวา
7. สมมติความสูงของพังกันน้ำริมตลิ่งที่ 25 และ 50 เซนติเมตร
8. นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 7. ใส่ใน โปรแกรม HEC-RAS และทำการเปลี่ยนแปลงของการไหลของน้ำ
9. ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิง ( $n$ ) = 0.03 ที่ลำน้ำหลักและบนตลิ่ง = 0.20

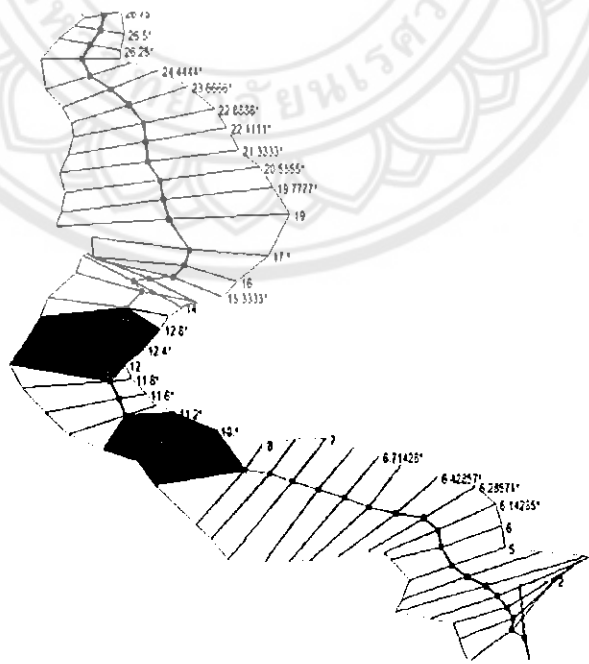
### 3.3. ขั้นตอนการดำเนินงานตามผังงานดังนี้



รูปที่ 3.1 ผังแสดงการดำเนินงาน



รูปที่ 3.2 รูปแสดงเส้น Cross-section



รูปที่ 3.3 รูปแสดงพื้นที่ที่เกิดอุทกภัย

ตาราง 3.1 ตารางสรุปลักษณะการไหลของแม่น้ำยมช่วง(จ.สุโขทัย-จ.พิษณุโลก)

Reach	River Sta	Profile	Q Total M (m <sup>3</sup> /s)	in Ch El W. (m)	S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
yom	27	Max WS	1276.23	59.32	67.95		68.15	0.000538	2.01	635.2	148.17	0.31
yom	26.75*	Max WS	1271.8	56.85	66.2		66.39	0.000383	1.9	667.93	131.52	0.27
yom	26.5*	Max WS	1271.25	54.39	64.98		65.14	0.000269	1.78	713.04	118.38	0.23
yom	26.25*	Max WS	1269.27	51.93	64.03		64.18	0.000227	1.76	722.22	106.68	0.22
yom	26	Max WS	1239.68	49.46	63.03		63.21	0.000268	1.89	654.73	94.07	0.23
yom	25.2222*	Max WS	1464.43	48.65	61.69		61.97	0.000427	2.37	618.27	90.75	0.29
yom	24.4444*	Max WS	1408.12	47.84	60.57		60.84	0.00041	2.33	604.93	88.85	0.28
yom	23.6666*	Max WS	1471.51	47.03	59.42		59.74	0.000475	2.51	587.3	86.72	0.31
yom	22.8888*	Max WS	1445.65	46.22	58.29		58.61	0.000479	2.52	572.77	84.51	0.31
yom	22.1111*	Max WS	1472.2	45.42	57.17		57.52	0.000516	2.63	560.19	82.33	0.32
yom	21.3333*	Max WS	1470.73	44.61	55.74		56.14	0.000614	2.82	522.18	78.98	0.35
yom	20.5555*	Max WS	1447.55	43.8	54.63		55.04	0.000615	2.83	511.65	76.92	0.35
yom	19.7777*	Max WS	1543.88	42.99	53.51		54	0.000729	3.08	500.56	74.83	0.38
yom	19	Max WS	1519.7	42.18	52.4		52.88	0.00073	3.09	491.32	72.89	0.38
yom	17.*	Max WS	671.93	41.61	51.72		51.72	0.000001	0.11	48202.54	11637.76	0.01
yom	16	Max WS	557.43	41.33	51.22		51.34	0.000221	1.55	360.66	61.46	0.2
yom	15.3333*	Max WS	593.18	41.6	50.45		50.68	0.000496	2.12	279.54	54.44	0.3
yom	14.6666*	Max WS	4413.41	41.88	49.75	49.76	71.42	0.056303	20.62	214.01	47.82	3.11
yom	14	Max WS	3279.54	42.15	49.11		49.11	0.000015	0.3	66874.23	18653.46	0.05
yom	13.6*	Max WS	3468.36	41.2	47.91		47.91	0.000031	0.43	54509.72	17915	0.07
yom	13.2*	Max WS	3177.69	40.25	46.71		46.71	0.00006	0.55	41766.71	17219.26	0.1
yom	12.8*	Max WS	2745.82	39.31	45.56		45.56	0.000139	0.78	29069.21	16637.89	0.15
yom	12.4*	Max WS	723.15	38.36	45.18		45.18	0.00001	0.23	28955.36	17451.32	0.04

yom	12	Max WS	725.68	37.41	45.13		45.13	0.000006	0.2	33492.7	17020.95	0.03
yom	11.8*	Max WS	735.43	36.92	45.08		45.08	0.000003	0.17	39419.29	16194.63	0.03
yom	11.6*	Max WS	730.08	36.43	45.05		45.06	0.000002	0.15	44518.98	15368.93	0.02
yom	11.4*	Max WS	743.75	35.95	45.05		45.05	0.000002	0.13	48786.52	14542.62	0.02
yom	11.2*	Max WS	755.82	35.46	44.03		44.03	0.000003	0.18	38031.75	13716.61	0.03
yom	11	Max WS	750.56	34.97	43.02		43.02	0.000008	0.26	27878.43	12890.3	0.04
yom	10.*	Max WS	798.95	34.15	43.01		43.01	0.000002	0.15	46520.44	15881.3	0.02
yom	8	Max WS	724.56	32.52	42.93		42.93	0	0.06	99954.89	21863	0.01
yom	7.5*	Max WS	720.71	32.72	42.9		42.9	0	0.05	119509.1	27203.1	0.01
yom	7	Max WS	761.4	32.92	42.9		42.9	0	0.05	140391.4	32542.89	0.01
yom	6.85714*	Max WS	808.79	32.61	42.9		42.9	0	0.06	127829.8	30485.18	0.01
yom	6.71428*	Max WS	852.38	32.31	42.9		42.9	0	0.07	115810.6	28427.48	0.01
yom	6.57142*	Max WS	893.69	32	42.9		42.9	0	0.09	104316.2	26370.08	0.01
yom	6.42857*	Max WS	931.66	31.69	42.89		42.89	0.000001	0.11	93341.48	24312.37	0.01
yom	6.28571*	Max WS	961.85	31.38	42.89		42.89	0.000001	0.13	82898.02	22254.67	0.01
yom	6.14285*	Max WS	984.47	31.08	42.88		42.88	0.000001	0.15	72977.3	20196.96	0.02
yom	6	Max WS	1017.17	30.77	42.88		42.88	0.000001	0.18	63580.89	18139.56	0.02
yom	5	Max WS	929.48	30.14	42.87		42.87	0.000001	0.17	59908.95	16095.27	0.02
yom	4.5*	Max WS	677.31	30.56	42.86		42.86	0	0.07	95443.8	23447.35	0.01
yom	4	Max WS	702.56	30.98	42.86		42.86	0	0.05	136429	30800.04	0.01
yom	3.5*	Max WS	715.74	30.95	42.86		42.86	0	0.05	136467.4	28144.32	0.01
yom	3	Max WS	721.02	30.92	42.86		42.86	0	0.05	135801.7	25489.21	0
yom	2.5*	Max WS	677.13	30.95	42.86		42.86	0	0.05	129660.8	24465.99	0
yom	2	Max WS	614.13	30.97	42.86		42.86	0	0.05	123869.2	23443.08	0
yom	0	Max WS	490.96	29.92	42.86	32.46	42.86	0	0.03	147451.3	22155.91	0
										average	13593.038	
											2807.6419	sq.km



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการประยุกต์การใช้โปรแกรม Google Earth

4.1.1 หาเส้นระดับของแผนที่ จากแผนที่ อำเภอศรีษะชนาลัย อำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีสำโรง อำเภอเมือง อำเภอกงไกรลาส จังหวัดสุโขทัย ถึงอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก

4.1.2 ทราบพิกัดเหนือและพิกัดตะวันออก และระดับฝั่งซ้าย, ฝั่งขวาของลำน้ำ

4.1.3 ได้ค่าพิกัดและระดับตามแนวรูปตัดขวางลำน้ำที่ต้องการ

#### 4.2 ผลการประยุกต์การใช้โปรแกรม HEC-RAS

จากการโปรแกรม ใน HEC-RAS Project นี้ จะแสดง Out-Put ได้แก่

4.2.1 รูปร่าง เรขาคณิตของลำน้ำ

- River reach เป็นข้อมูลที่แสดงถึงแนวลำน้ำในแผนที่

4.2.2 Cross-Section Output แสดงหน้าตัดของลำน้ำซึ่งประกอบด้วย

- Cross-Section Data

- Water Surface

- Energy Grade Line

- Bank Station

- Ground

4.2.3 Profile Output ซึ่งประกอบด้วย

- Energy Grade Line

- Water Surface Profile

- Ground Profile

4.2.4 Perspective แสดงภาพทาง Perspective ซึ่งมองได้ชัดเจนมากขึ้น ในภาพ 3 มิติ ประกอบด้วย

- Water Surface Profile

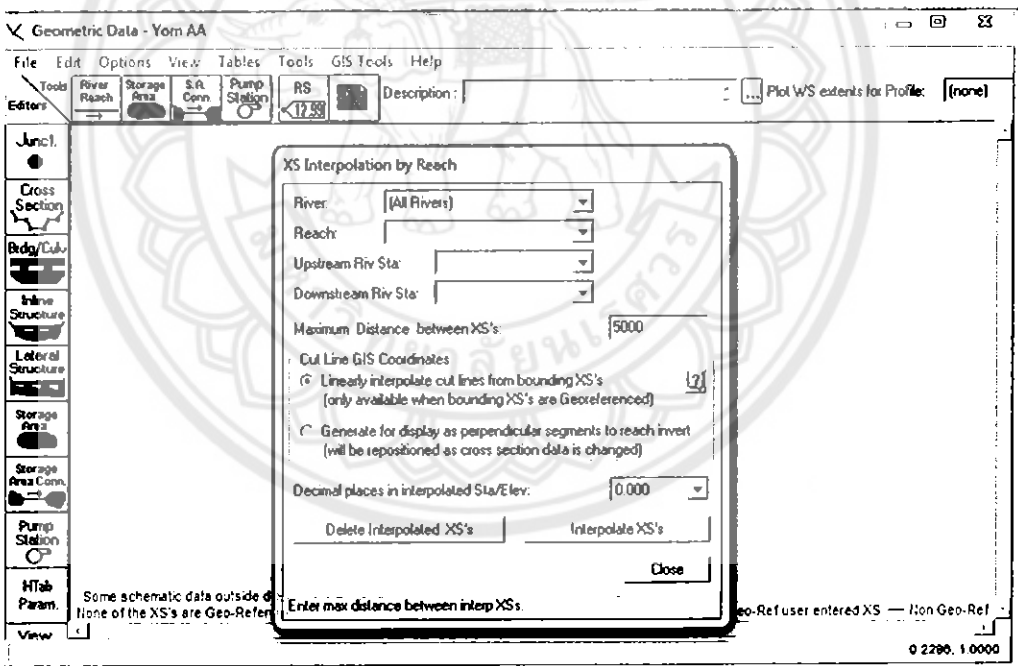
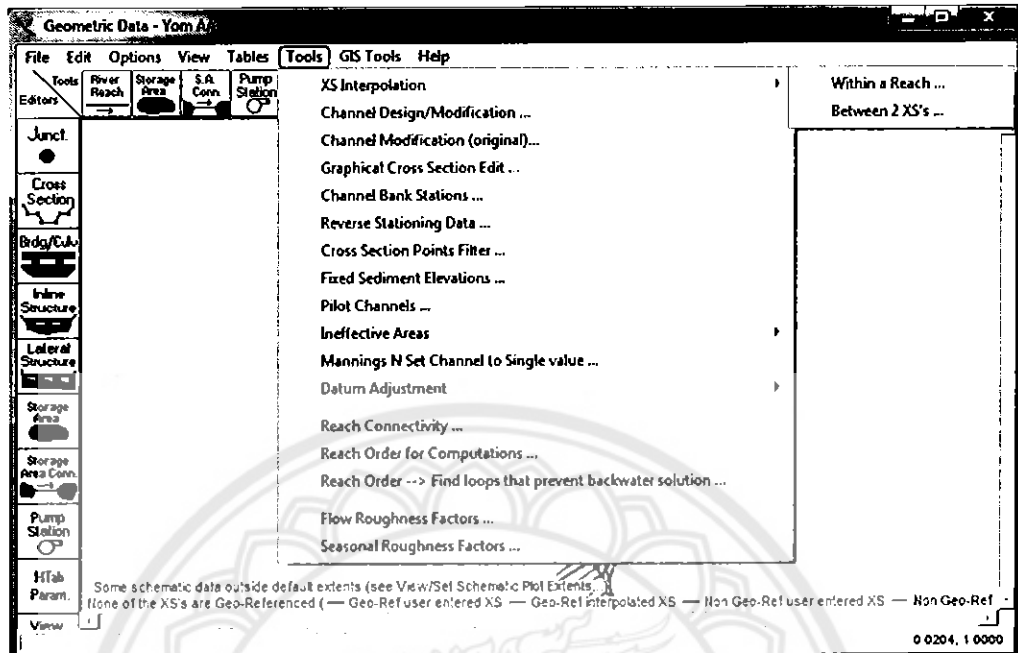
- Ground

- Bank Station

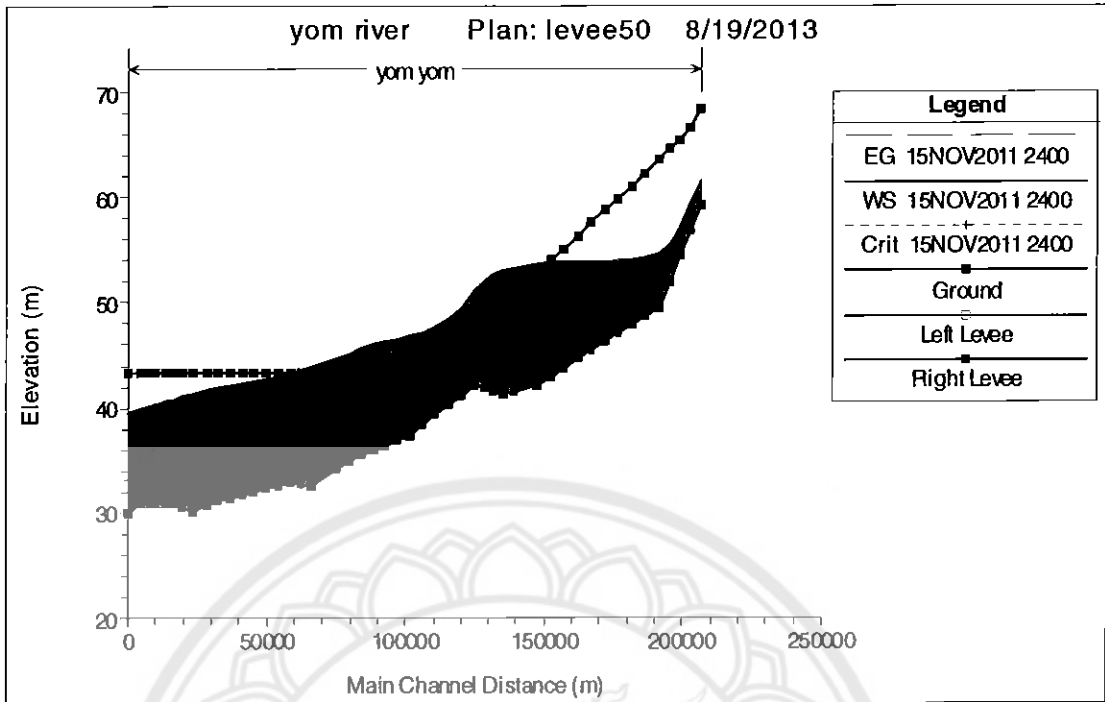
4.2.5 Levee พนังกั้นน้ำ

- อยู่ที่ขอบตลิ่ง

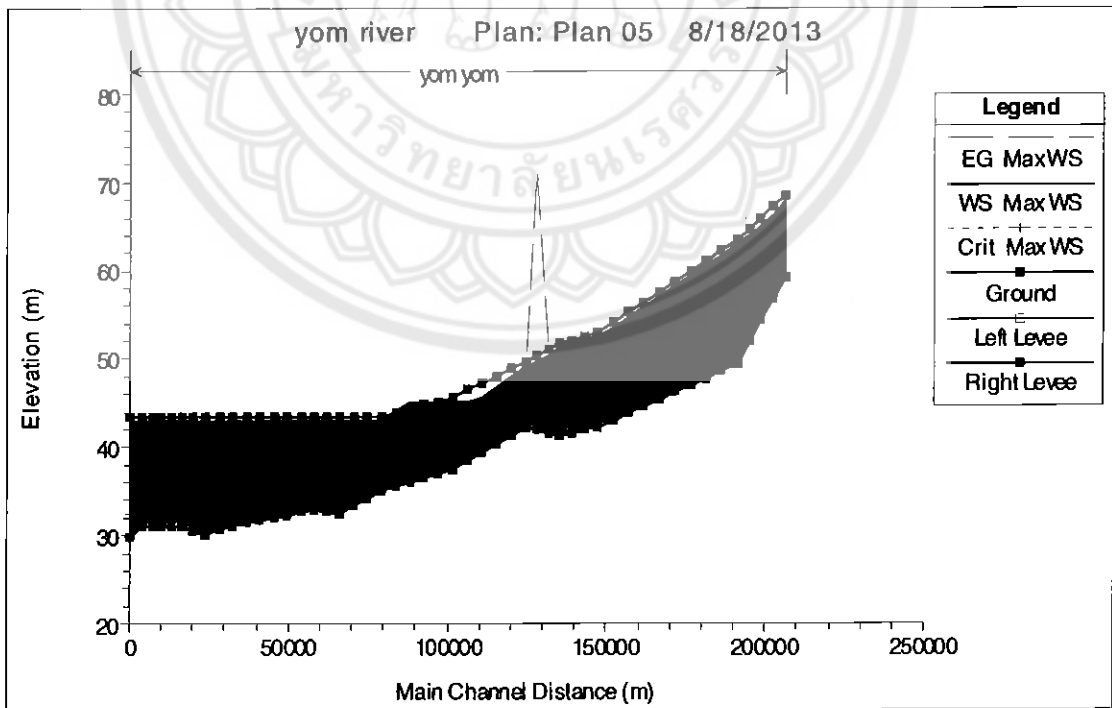
- เหนือระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม. และ 0.5 ม.



รูปที่ 4.1 วิธีตั้งให้โปรแกรมเฉลี่ยค่ารูปตัดอัตโนมัติทุกๆระยะ 5000 เมตร



รูปที่ 4.4 Profiles ฝิวน้ำหลังมีพนักกันน้ำริมตลิ่งสูง 50 ซม.



รูปที่ 4.5 Profiles ฝิวน้ำก่อนมีพนักกันน้ำริมตลิ่งในวันน้ำหลากสูงสุด

ตาราง 4.1 ค่าระดับน้ำที่ติดตั้งสร้างพั้งกันน้ำริมตลิ่งสูง 25 ซม.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El W (m)	.S. Elev Cr (m)	it W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude #	Chi
yom	27	Max WS	1238.82	59.32	75.14		75.1	0.000003	0.26	27332.58	3611.88	0.02	-3463.71
yom	26.75*	Max WS	633.1	56.85	67.81		67.8	0.000021	0.51	7625.62	5577.27	0.07	-5445.75
yom	26.5*	Max WS	321.9	54.39	66.81		66.8	0.000003	0.22	11321.97	7574.51	0.03	-7456.13
yom	26.25*	Max WS	-128.96	51.93	64.36		64.4	0.000002	-0.15	4136.62	5566.75	0.02	-5460.07
yom	26	Max WS	504.61	49.46	63.16		63.2	0.000042	0.76	667.75	94.37	0.09	-0.3
yom	25.2222*	Max WS	1043.96	48.65	62.37		62.4	0.000025	0.61	18225.15	11595.66	0.07	-11504.9
yom	24.4444*	Max WS	345.78	47.84	60.97		61	0.000001	0.14	29406.12	16594.07	0.02	-16505.2
yom	23.6666*	Max WS	1044.87	47.03	59.39		59.6	0.000243	1.79	584.48	86.56	0.22	0.16
yom	22.8888*	Max WS	-11612	46.22	58.36	58.54	78.9	0.030067	-20.08	578.27	84.77	2.45	-0.26
yom	22.1111*	Max WS	35240.9	45.42	57.39	57.42	246	0.267961	60.91	578.53	82.68	7.35	-0.35
yom	21.3333*	Max WS	3	44.61	56.05		56.1	0	0	121115.3	26692.21	0	-26613.2
yom	20.5555*	Max WS	1073.83	43.8	54.62		54.9	0.00034	2.1	510.73	76.89	0.26	0.03
yom	19.7777*	Max WS	1035.1	42.99	53.36		53.6	0.000349	2.12	489.27	74.22	0.26	0.61
yom	19	Max WS	-319.62	42.18	52.51		52.5	0.000031	-0.64	499.88	73.23	0.08	-0.34
yom	17.*	Max WS	371.16	41.61	52.31		52.3	0	0.02	155596.5	26253.64	0	-14615.9
yom	16	Max WS	-155.35	41.33	55.4		55.4	0	-0.01	196574	22240.34	0	-22178.9
yom	15.3333*	Max WS	-4374.4	41.6	57.47		57.5	0.000001	-0.12	238303	21218.35	0.01	-21163.9
yom	14.6666*	Max WS	-27.87	41.88	93.45		93.5	0	0	959804.2	20195.74	0	-20147.9
yom	14	Max WS	-649.22	42.15	54.56		54.6	0	-0.02	171435.6	19173.75	0	-520.29
yom	13.6*	Max WS	-2240.8	41.2	55.53		55.5	0	-0.08	197311.8	18743.07	0.01	-828.07
yom	13.2*	Max WS	348.05	40.25	46.84		46.9	0.000358	1.39	251.21	75.29	0.24	17143.97
yom	12.8*	Max WS	354.23	39.31	46.8		46.8	0	0.05	50976.02	17882.01	0.01	-1244.12
yom	12.4*	Max WS	289.19	38.36	46.67		46.7	0	0.04	54960.7	17451.32	0.01	0
yom	12	Max WS	290.27	37.41	46.5		46.5	0	0.04	56823.11	17020.95	0.01	0

yom	11.8*	Max WS	273.87	36.92	46.39		46.4	0	0.04	60580.5	16194.63	0	0
yom	11.6*	Max WS	253.13	36.43	46.3		46.3	0	0.03	63673.72	15368.93	0	0
yom	11.4*	Max WS	263.85	35.95	46.2		46.2	0	0.03	65550.55	14542.62	0	0
yom	11.2*	Max WS	2981.4	35.46	51.05		51.1	0.000001	0.16	134270.1	13716.61	0.01	0
yom	11	Max WS	1196.33	34.97	47.73		47.7	0.000001	0.1	88592.63	12890.3	0.01	0
yom	10*	Max WS	800.77	34.15	46.33		46.3	0	0.06	99128.29	15881.3	0.01	0
yom	8	Max WS	423.12	32.52	45.48		45.5	0	0.02	155711.3	21863	0	0
yom	7.5*	Max WS	466.26	32.72	45.35		45.4	0	0.02	186040.2	27203.1	0	0
yom	7	Max WS	509.41	32.92	45.21		45.2	0	0.02	215637.5	32542.89	0	0
yom	6.85714*	Max WS	558.53	32.61	45.06		45.1	0	0.02	193727.8	30485.18	0	0
yom	6.71428*	Max WS	607.68	32.31	44.91		44.9	0	0.03	173084.2	28427.48	0	0
yom	6.57142*	Max WS	656.82	32	44.77		44.8	0	0.04	153715.4	26370.08	0	0
yom	6.42857*	Max WS	705.98	31.69	44.63		44.6	0	0.05	135595.6	24312.37	0	0
yom	6.28571*	Max WS	755.11	31.38	44.5		44.5	0	0.06	118699.9	22254.67	0.01	0
yom	6.14285*	Max WS	804.28	31.08	44.37		44.4	0	0.08	103012.6	20196.96	0.01	0
yom	6	Max WS	853.46	30.77	44.25		44.3	0	0.09	88488.77	18139.56	0.01	0
yom	5	Max WS	892.32	30.14	44.01		44	0.000001	0.11	78232.24	16095.27	0.01	0
yom	4.5*	Max WS	934.11	30.56	43.81		43.8	0	0.07	117584.5	23447.35	0.01	0
yom	4	Max WS	968.3	30.98	43.65		43.7	0	0.06	160677.8	30800.04	0.01	0
yom	3.5*	Max WS	1001.15	30.95	43.52		43.5	0	0.06	154953.9	28144.32	0.01	0
yom	3	Max WS	1035.6	30.92	43.38		43.4	0	0.06	149063.6	25489.21	0.01	0
yom	2.5*	Max WS	1069.22	30.95	43.24		43.2	0	0.07	139027.2	24465.99	0.01	0
yom	2	Max WS	1091.35	30.97	43.1		43.2	0.000046	0.99	1103.11	106.98	0.1	23336.1
yom	0	Max WS	1082.51	29.92	42.86		42.9	0.000059	1.15	937.74	84.12	0.11	22071.79
										average	15563.802		-1970.76
												%	-14.4983
												Area reduced	-407.061
												or	-651298

ตาราง 4.2 ค่าระดับน้ำหลังสร้างพังกั้นน้ำริมตลิ่งสูง 50 ซม.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /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 <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude #	Chl
yom	27	Max WS	1276.23	59.32	67.96		68.17	0.000533	2	637.1	148.29	0.31	-0.12
yom	26.75*	Max WS	1271.95	56.85	66.24		66.42	0.000375	1.89	673.15	131.83	0.27	-0.31
yom	26.5*	Max WS	1270.94	54.39	65.05		65.21	0.000259	1.76	722.19	118.83	0.23	-0.45
yom	26.25*	Max WS	1270.4	51.93	64.15		64.3	0.000216	1.73	735.13	107.25	0.21	-0.57
yom	26	Max WS	916.47	49.46	63.22		63.32	0.000135	1.36	673.07	94.45	0.16	-0.38
yom	25.2222*	Max WS	1342.21	48.65	61.97		62.19	0.000319	2.08	644.01	91.86	0.25	-1.11
yom	24.4444*	Max WS	1283.19	47.84	60.85		61.06	0.000302	2.04	629.78	89.69	0.25	-0.84
yom	23.6666*	Max WS	1397.2	47.03	59.7		59.97	0.000379	2.28	611.86	87.44	0.28	-0.72
yom	22.8888*	Max WS	1436.25	46.22	58.59		58.88	0.000415	2.4	597.89	85.08	0.29	-0.57
yom	22.1111*	Max WS	1018.33	45.42	57.26		57.42	0.000237	1.79	568.01	82.52	0.22	-0.19
yom	21.3333*	Max WS	1325.63	44.61	56.05		56.35	0.000437	2.42	546.78	80.2	0.3	-1.22
yom	20.5555*	Max WS	1443.4	43.8	54.92		55.3	0.00054	2.7	534.17	77.91	0.33	-0.99
yom	19.7777*	Max WS	367.96	42.99	54.14		54.14	0	0.01	205478.3	31756.5	0	-31681.7
yom	19	Max WS	358.37	42.18	54.09		54.09	0	0.01	285810.2	34280.25	0	-34207.4
yom	17.*	Max WS	385.76	41.61	53.84		53.84	0	0.01	195871.2	26253.64	0	-14615.9
yom	16	Max WS	404.59	41.33	53.65		53.65	0	0.02	157568.5	22240.34	0	-22178.9
yom	15.3333*	Max WS	422.55	41.6	53.39		53.39	0	0.02	151595.2	21218.35	0	-21163.9
yom	14.6666*	Max WS	440.51	41.88	52.97		52.97	0	0.02	142233.6	20195.74	0	-20147.9
yom	14	Max WS	458.41	42.15	52.21		52.21	0	0.02	126254.5	19173.75	0	-520.29
yom	13.6*	Max WS	481.74	41.2	51.29		51.29	0	0.03	117828.4	18743.07	0	-828.07
yom	13.2*	Max WS	505.07	40.25	50.75		50.75	0	0.03	115573.4	18312.69	0	-1093.43
yom	12.8*	Max WS	528.36	39.31	50.42		50.42	0	0.03	115705.5	17882.01	0	-1244.12
yom	12.4*	Max WS	551.67	38.36	50.17		50.17	0	0.03	116179	17451.32	0	0
yom	12	Max WS	574.96	37.41	50.01		50.01	0	0.04	116495.3	17020.95	0	0

yom	11.8*	Max WS	597.25	36.92	49.86		49.86	0	0.04	116748.6	16194.63	0	0
yom	11.6*	Max WS	619.5	36.43	49.67		49.67	0	0.04	115441.6	15368.93	0	0
yom	11.4*	Max WS	641.73	35.95	49.42		49.42	0	0.04	112429.6	14542.62	0	0
yom	11.2*	Max WS	663.88	35.46	49.11		49.11	0	0.05	107621.5	13716.61	0	0
yom	11	Max WS	663.68	34.97	48.7		48.7	0	0.05	101020	12890.3	0	0
yom	10.*	Max WS	714.97	34.15	48.28		48.28	0	0.04	130243.8	15881.3	0	0
yom	8	Max WS	817.77	32.52	47.58		47.58	0	0.03	201625.1	21863	0	0
yom	7.5*	Max WS	860.73	32.72	47.3		47.3	0	0.03	239056.1	27203.1	0	0
yom	7	Max WS	903.66	32.92	47.02		47.02	0	0.02	274437.7	32542.89	0	0
yom	6.85714*	Max WS	952.59	32.61	46.72		46.72	0	0.03	244275.6	30485.18	0	0
yom	6.71428*	Max WS	1001.52	32.31	46.44		46.44	0	0.04	216407.7	28427.48	0	0
yom	6.57142*	Max WS	1050.5	32	46.17		46.17	0	0.05	190728.5	26370.08	0	0
yom	6.42857*	Max WS	1099.48	31.69	45.93		45.93	0	0.06	167060.3	24312.37	0.01	0
yom	6.28571*	Max WS	1148.5	31.38	45.69		45.69	0	0.07	145290.1	22254.67	0.01	0
yom	6.14285*	Max WS	1197.53	31.08	45.48		45.48	0	0.09	125322.1	20196.96	0.01	0
yom	6	Max WS	1246.56	30.77	45.27		45.27	0	0.11	107032.8	18139.56	0.01	0
yom	5	Max WS	1299.95	30.14	44.86		44.86	0.000001	0.13	91890.09	16095.27	0.01	0
yom	4.5*	Max WS	1329.19	30.56	44.52		44.52	0	0.09	134265	23447.35	0.01	0
yom	4	Max WS	1370.3	30.98	44.25		44.25	0	0.07	179284.4	30800.04	0.01	0
yom	3.5*	Max WS	1404.79	30.95	44.03		44.03	0	0.07	169322.6	28144.32	0.01	0
yom	3	Max WS	1438.63	30.92	43.79		43.79	0	0.08	159551.9	25489.21	0.01	0
yom	2.5*	Max WS	1470.09	30.95	43.55		43.55	0	0.09	146626.1	24465.99	0.01	0
yom	2	Max WS	1498.8	30.97	43.3		43.3	0.000081	1.33	1124.66	106.98	0.13	23336.1
yom	0	Max WS	1470.25	29.92	42.86	34.44	42.99	0.000109	1.57	937.74	84.12	0.15	22071.79
										average	15723.89		-2130.86
												%	-15.6761
												Area reduced	-440.128
												or	-704205

## บทที่ 5

## บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการคำนวณจากโปรแกรม HEC-RAS ทำให้ทราบปริมาณน้ำท่วมในแต่ละปี และทราบพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วม ทำให้สามารถวิเคราะห์การไหลของน้ำหากมีการสร้างพนังกั้นน้ำได้

จากการศึกษาและคำนวณ ก่อนมีโครงการสร้างพนังกั้นน้ำมีปริมาณน้ำท่วม 2807.642 ตร.กม หลังการทำโครงการพนังกั้นน้ำริมตลิ่งสูง 25 ซม. มีพื้นที่น้ำท่วมเพิ่มขึ้นรวมเป็น 3214.703 ตร.กม และพนังกั้นน้ำริมตลิ่งสูง 50 ซม. มีพื้นที่น้ำท่วมเพิ่มขึ้นรวมเป็น 3247.77 ตร.กม ซึ่งพบว่าการทำพนังส่วนคือพื้นที่ตอนบนน้ำท่วมลดลงแต่ตอนล่างๆและปลายน้ำกลับมีน้ำท่วมมากขึ้นอาจเกิดจากการที่พนังช่วงล่างต้องรับปริมาณน้ำสะสมจากต้นน้ำมาเก็บกักในลำน้ำช่วงล่างและเกินขีดความสามารถจึงทำให้มีน้ำท่วมตอนล่างมากขึ้น จึงเห็นควรให้มีการวิจัยในพื้นที่ดังกล่าวในอนาคต

เนื่องจากการเก็บข้อมูลค่าระดับของ Cross-Section ที่สั้นเกินไปอาจทำให้ได้พื้นที่รับน้ำที่ไม่เพียงพอต่อปริมาณน้ำท่วมจึงควรต่อ Cross-Section ให้ยาวมากขึ้นเพื่อที่จะได้ทราบถึงปริมาณน้ำท่วมที่ใกล้เคียงกับค่าจริง

ข้อเสนอแนะในการใช้โปรแกรม เพื่อให้โปรแกรมเสถียรในการรัน โปรแกรม ควรใช้เวลาในการรัน โปรแกรมคำนวณน้อยๆจะดีมากกว่า



บรรณานุกรม

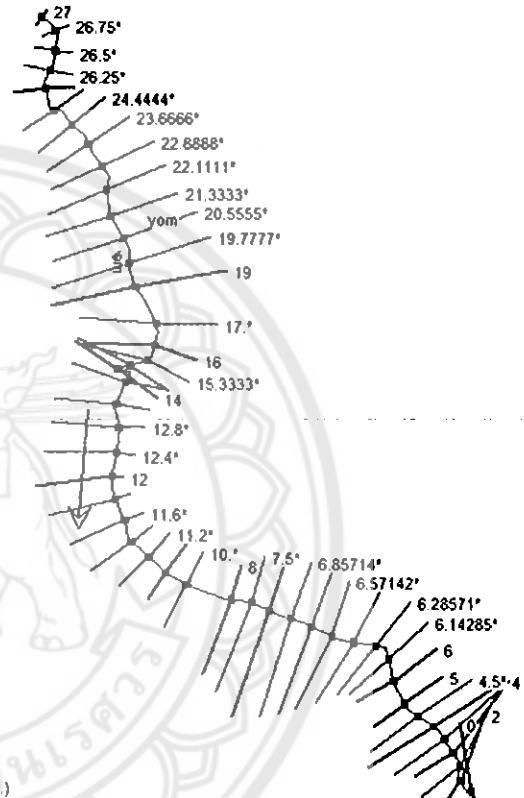
US Army Corps of Engineers, HEC-RAS River Analysis System





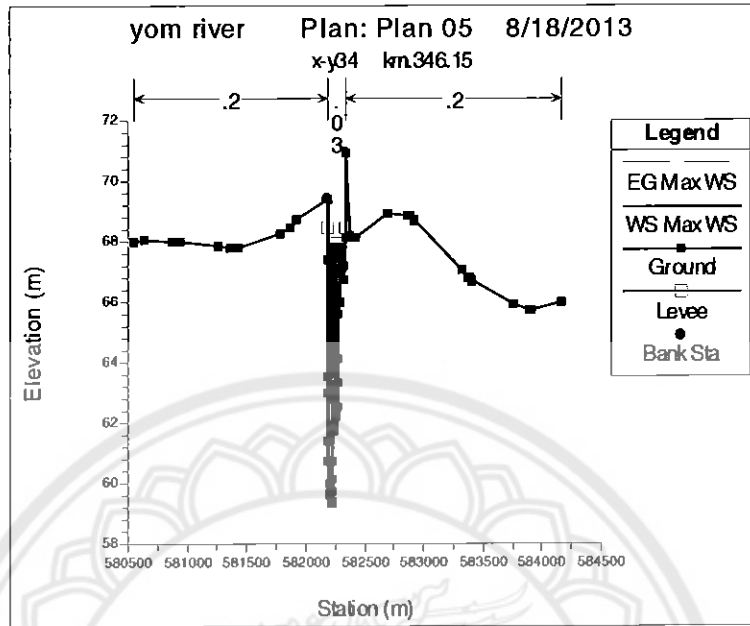
รูปภาพ schematic, cross-sectional, water surface profiles(ก่อนมีพนักน้ำ)

Schematic

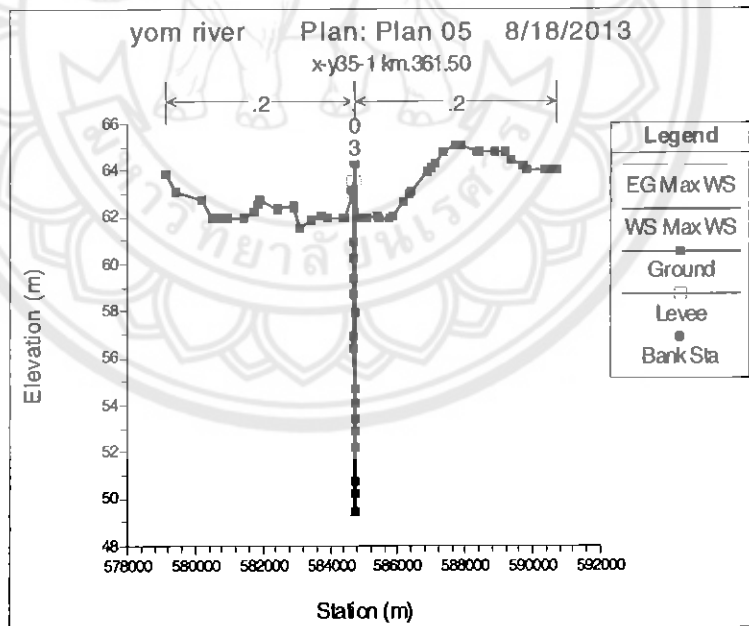


Some schematic data outside default extents (see View/Set Schematic Plot Extents...)  
 None of the XS's are Geo-Referenced ( — Geo-Ref user entered XS — Geo-Ref interpolated XS — Non Geo-Ref user entered XS — Non Geo-Ref interpolated XS)

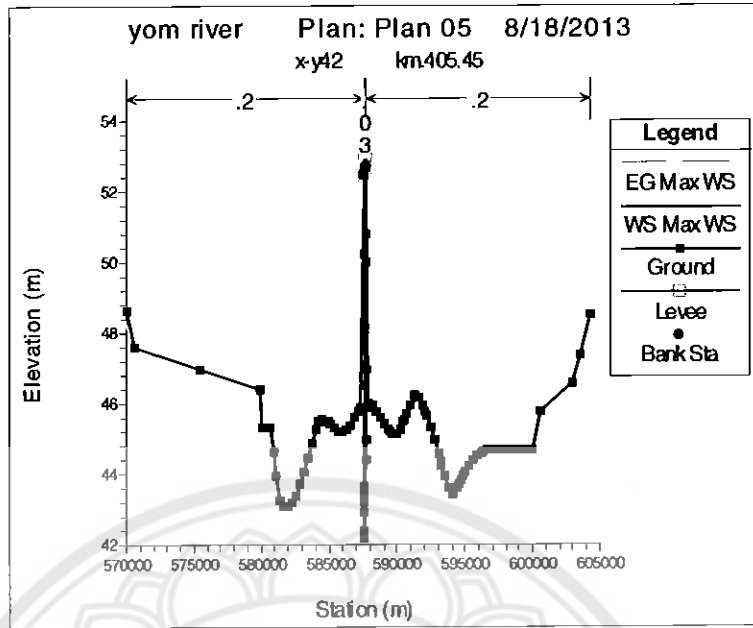
Cross - sectional



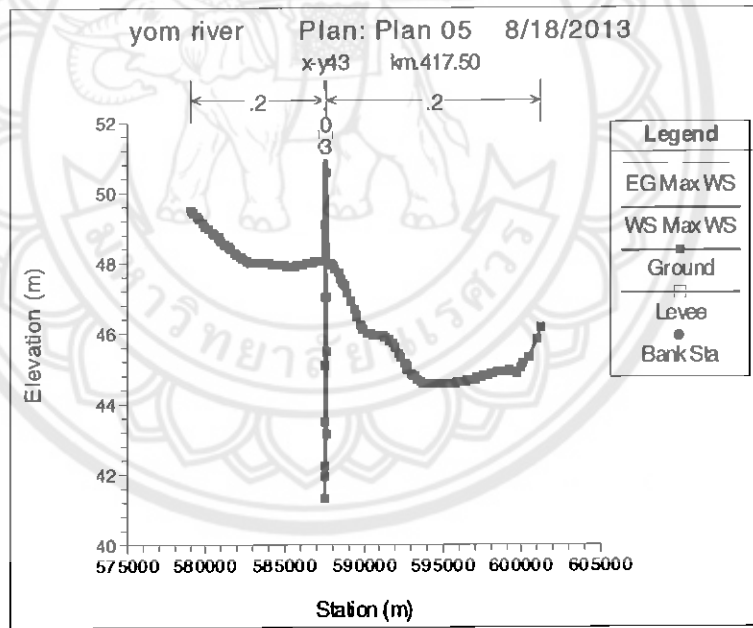
km.346.15



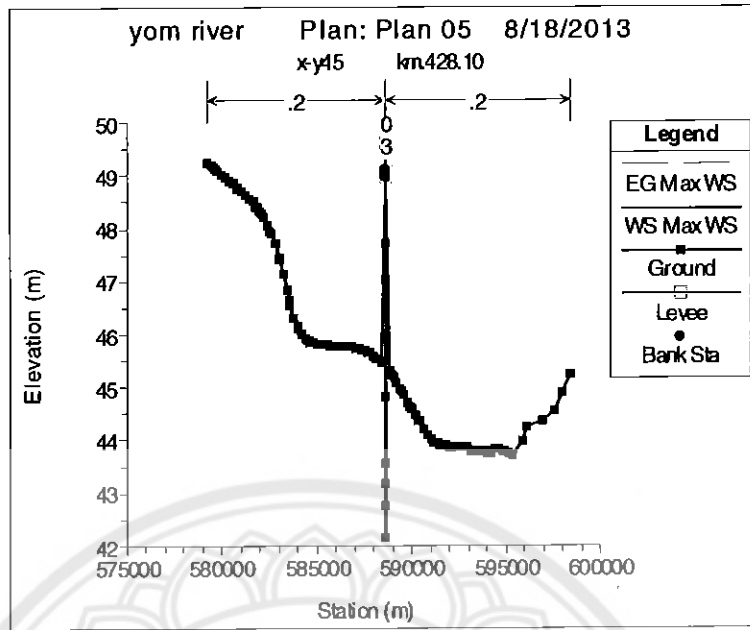
km.361.50



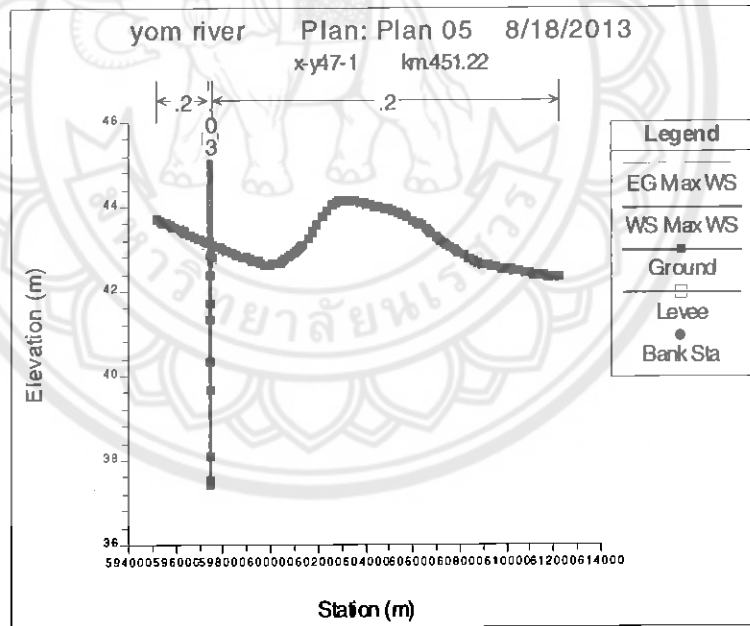
km.405.45



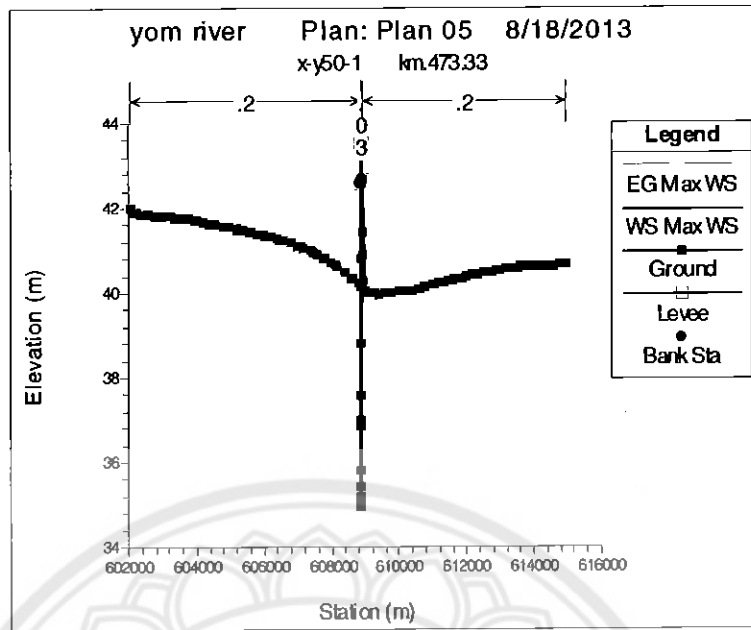
km.417.50



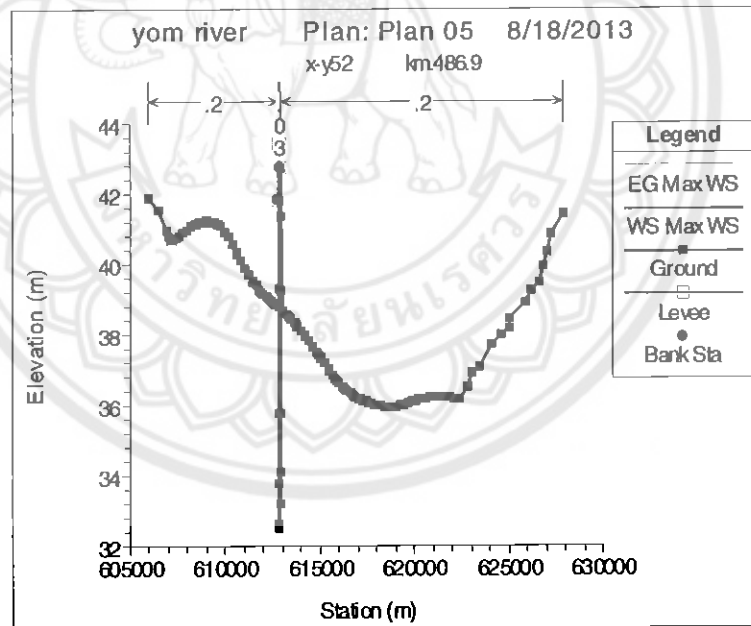
km.428.10



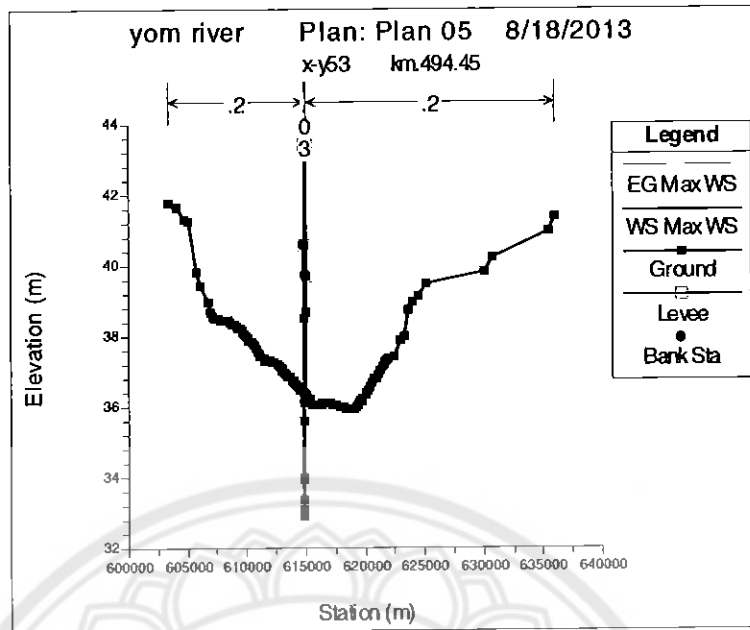
km.451.22



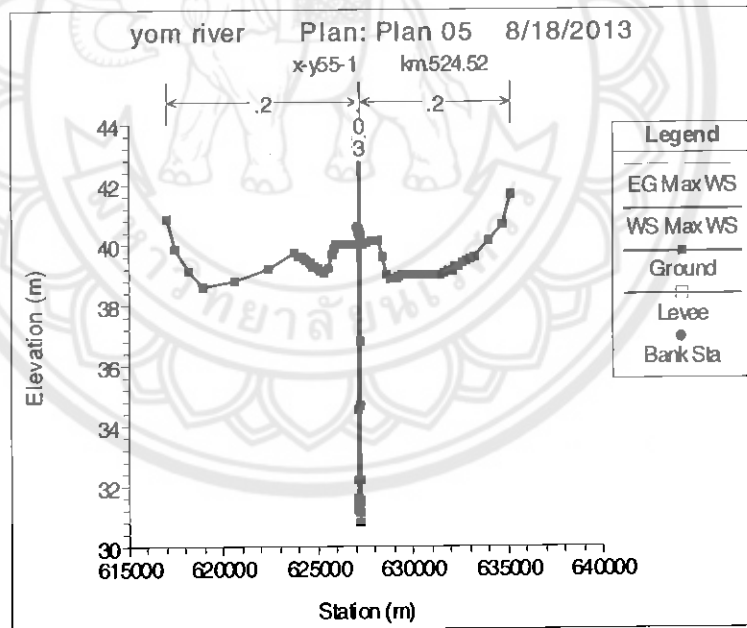
km.473.33



km.486.9

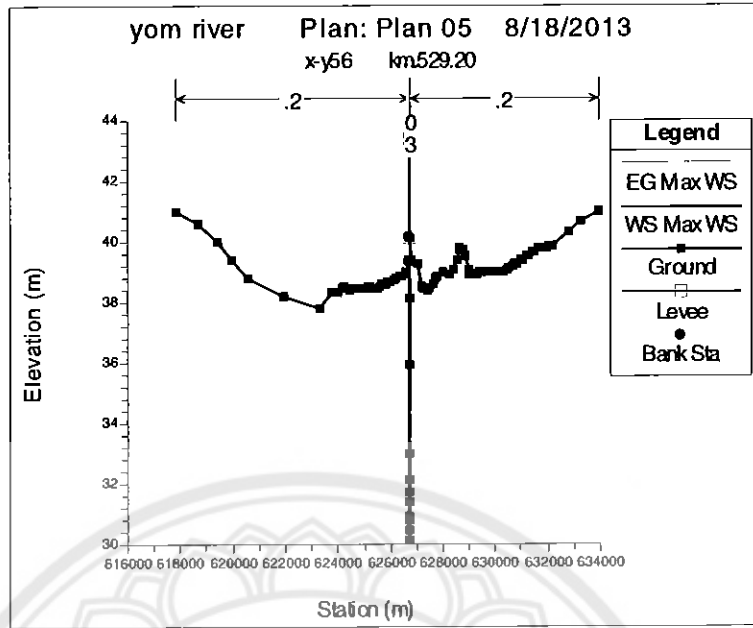


km.494.45

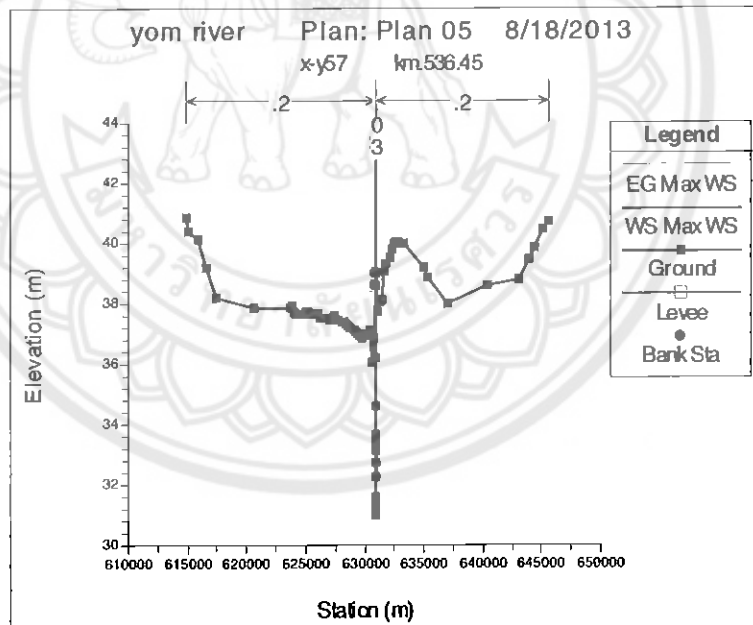


km.524.52

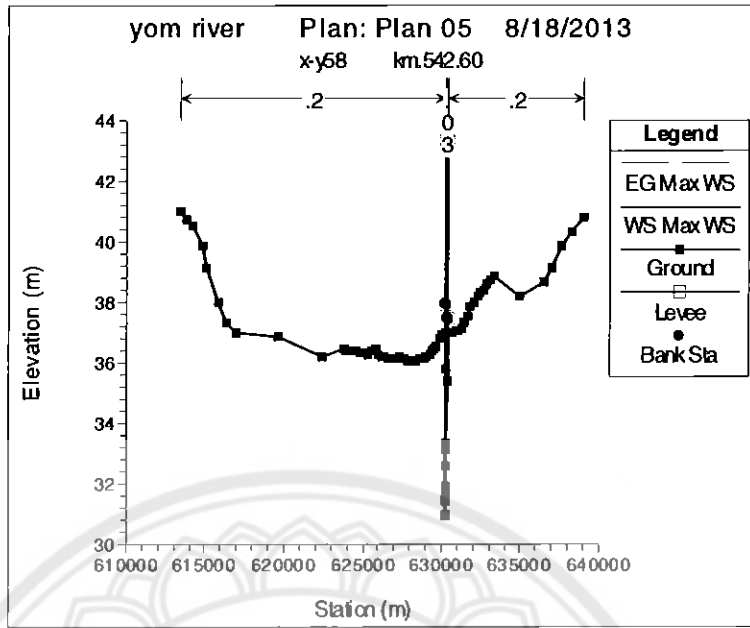




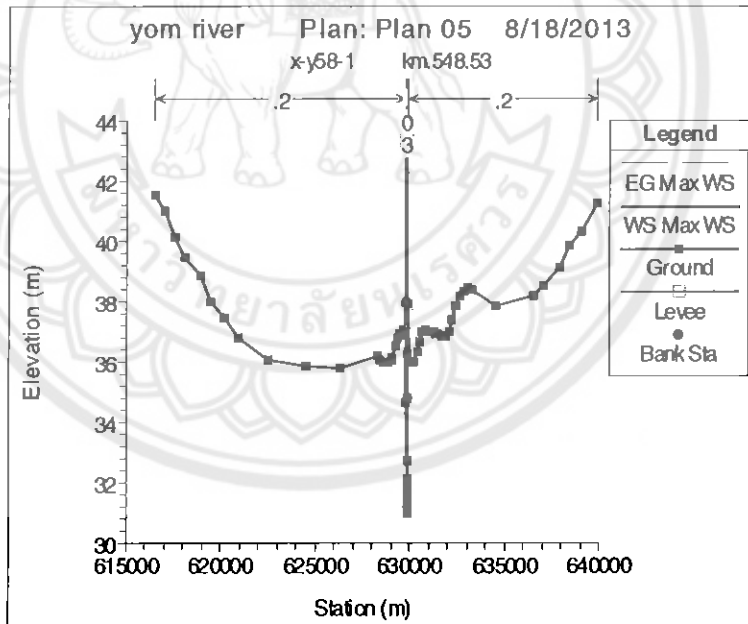
km.529.20



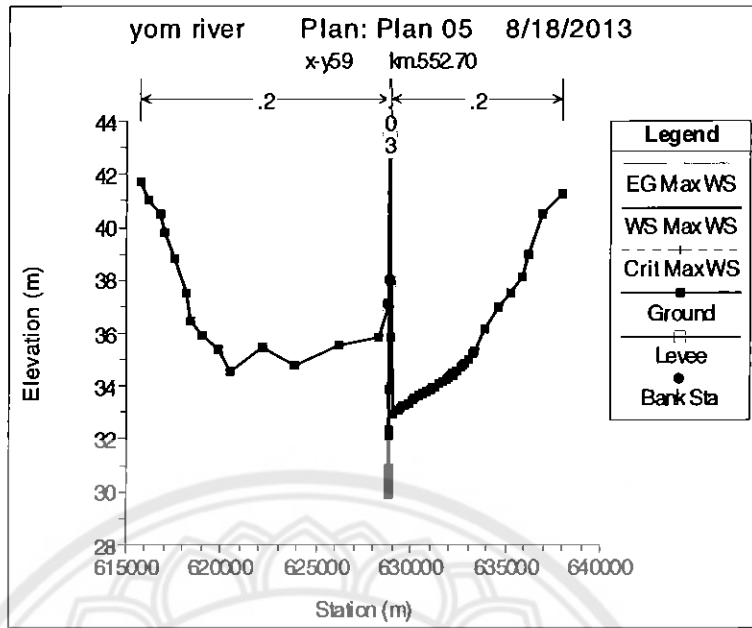
km.536.45



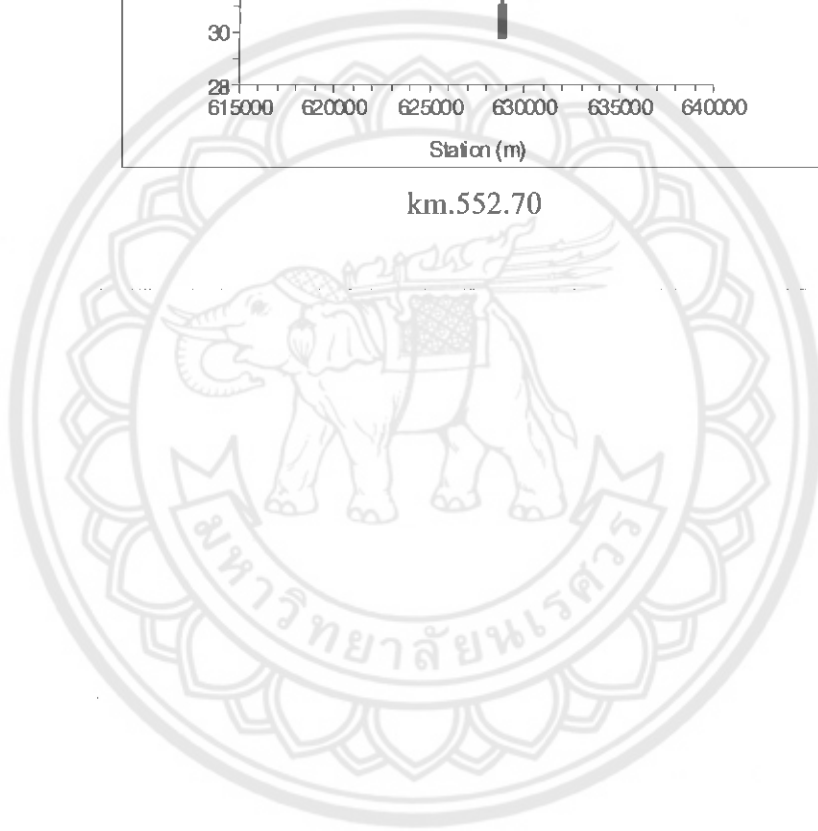
km.542.60



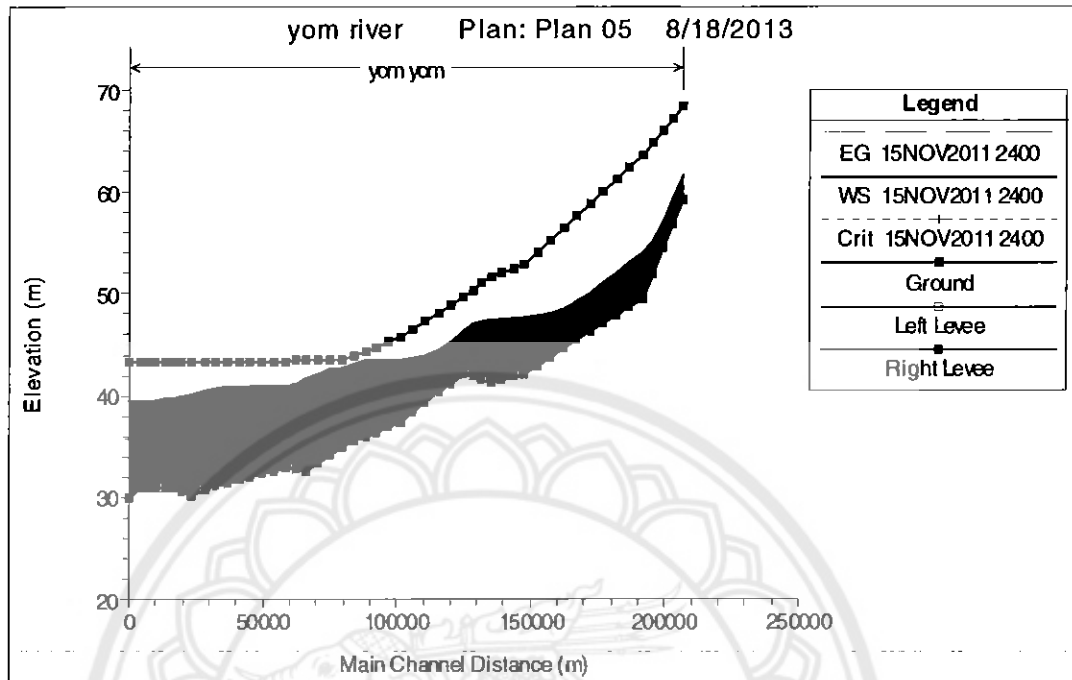
km.548.53



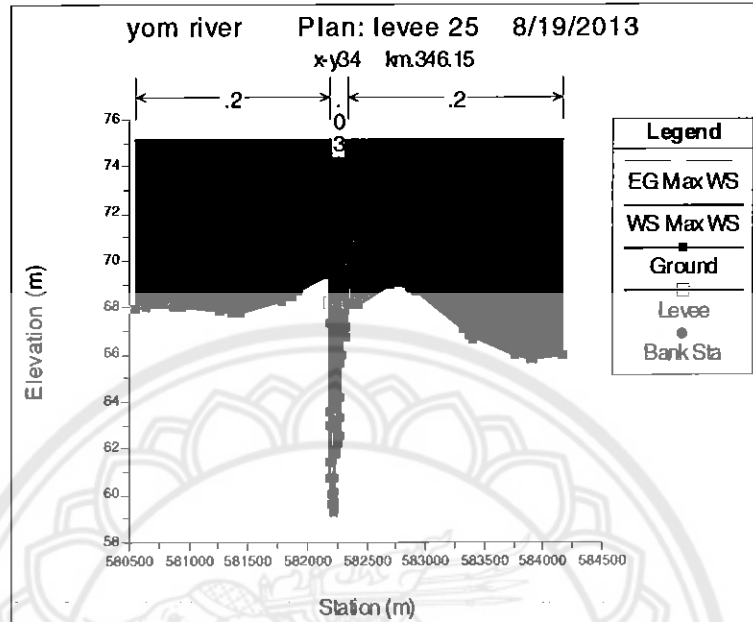
km.552.70



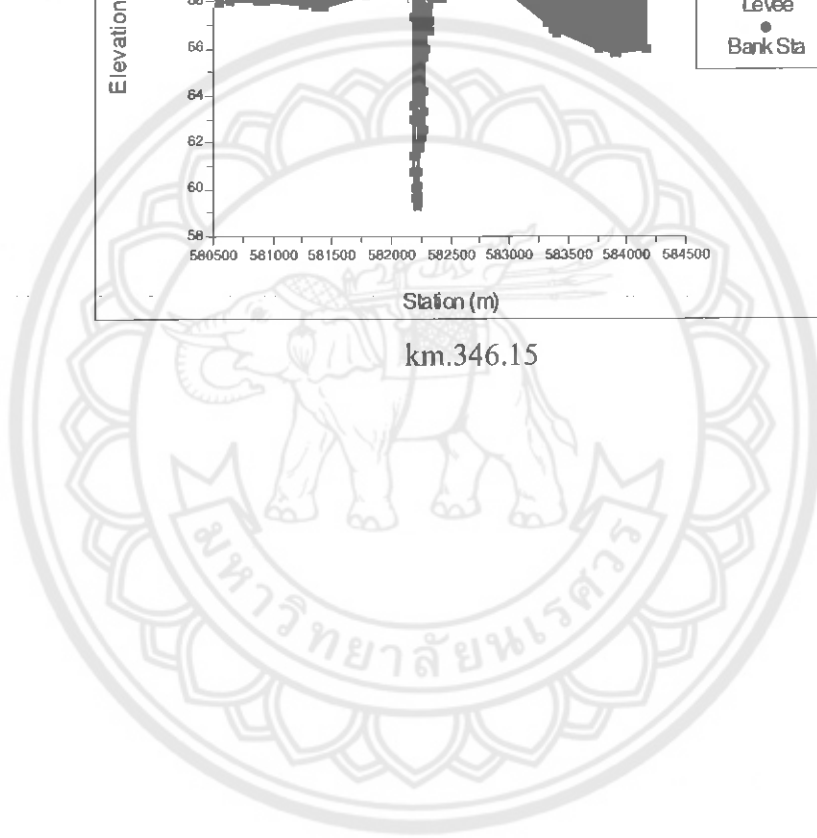
water surface profiles(ก่อนมีพั้งกั้นน้ำ)

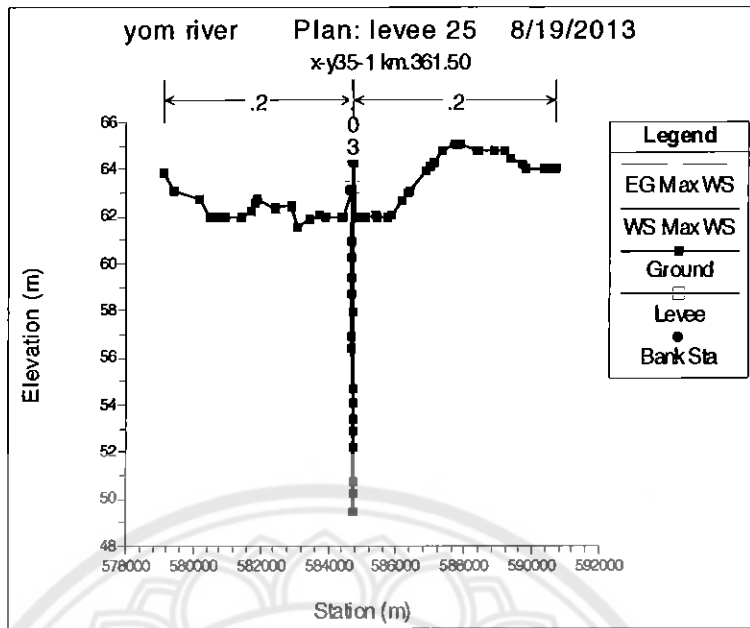


Cross - sectional (หลังจากมีพั้งกั้นน้ำ 0.25 ม.)

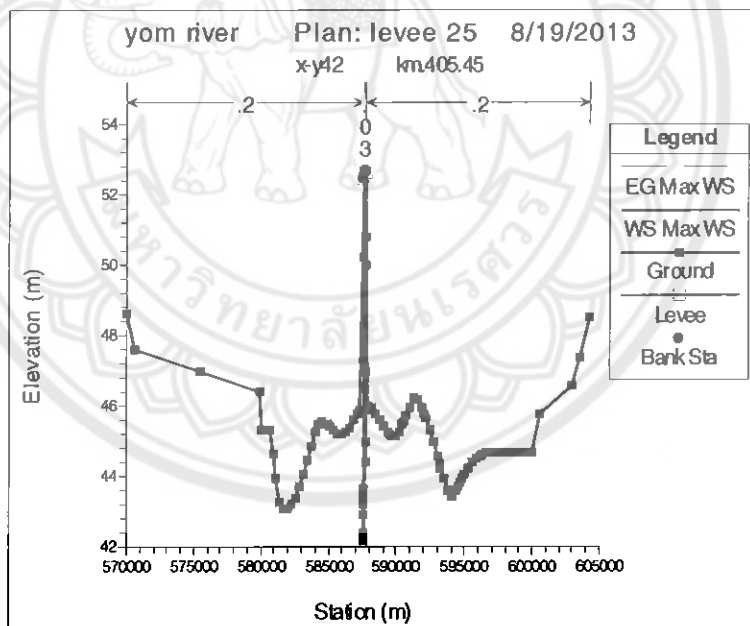


km.346.15

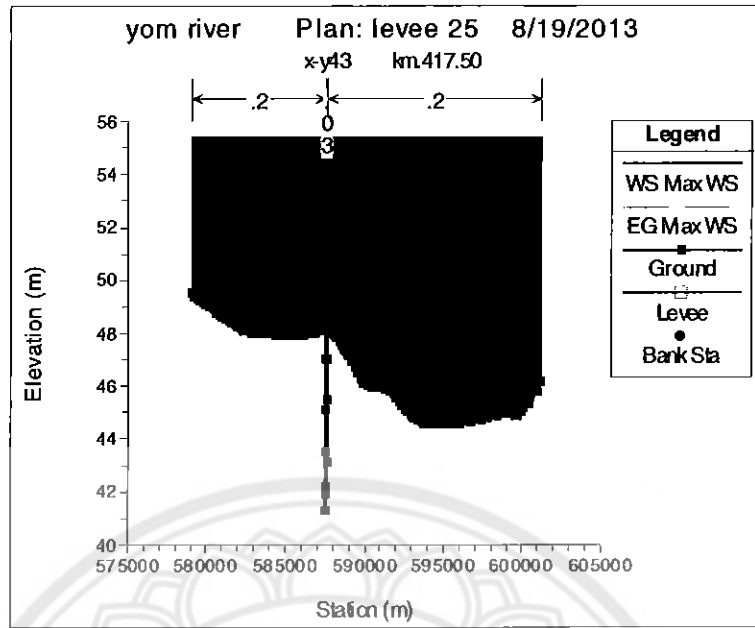




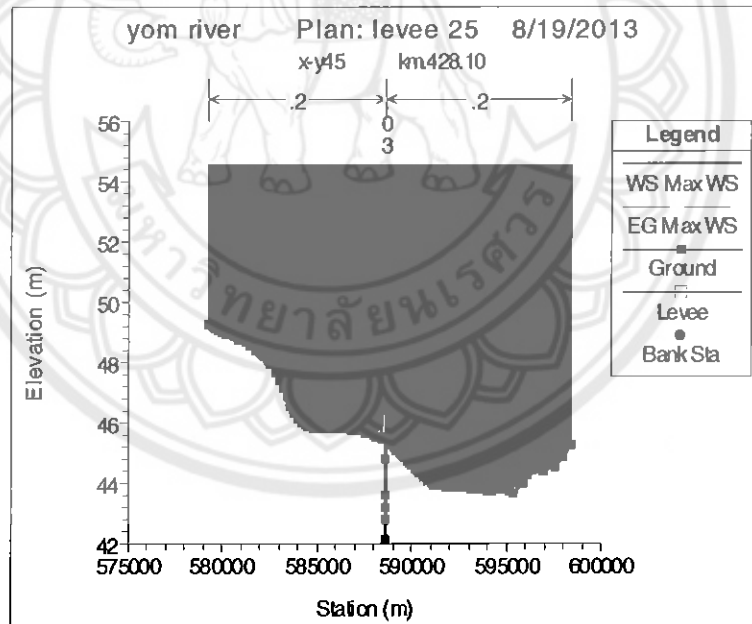
km.361.50



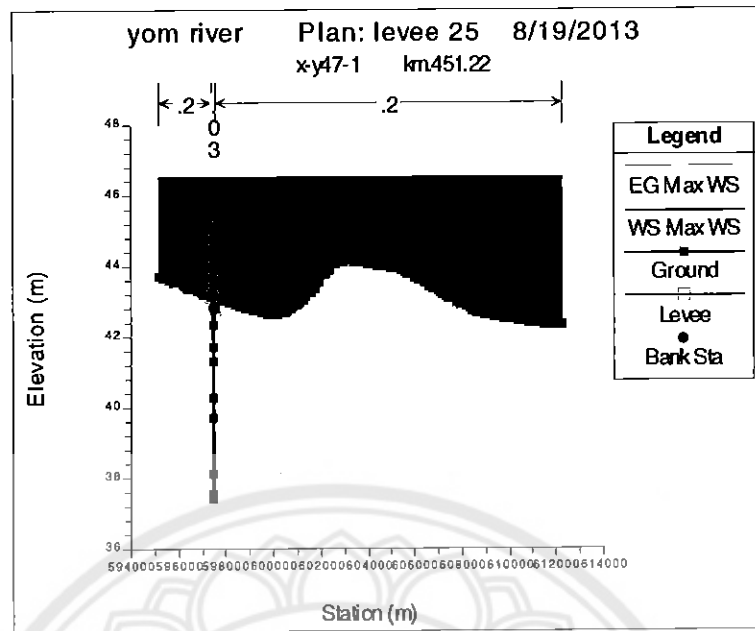
km.405.45



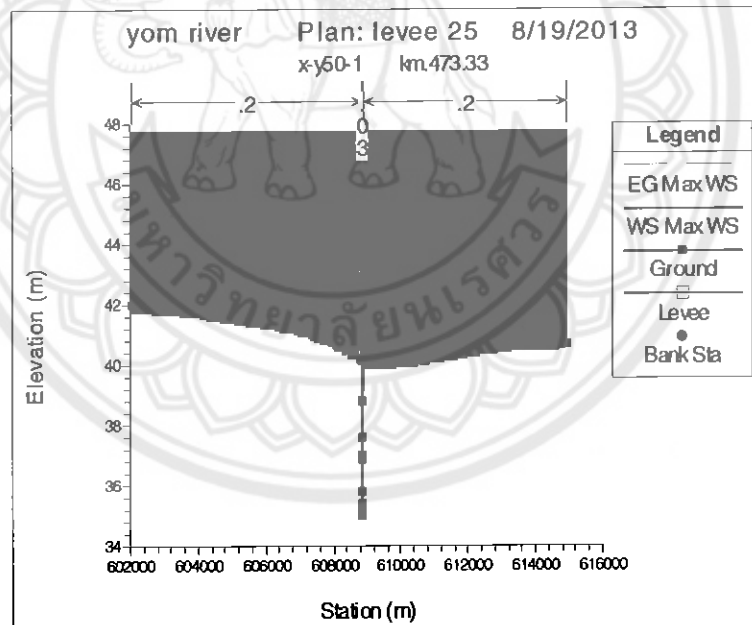
km.417.50



km.428.10

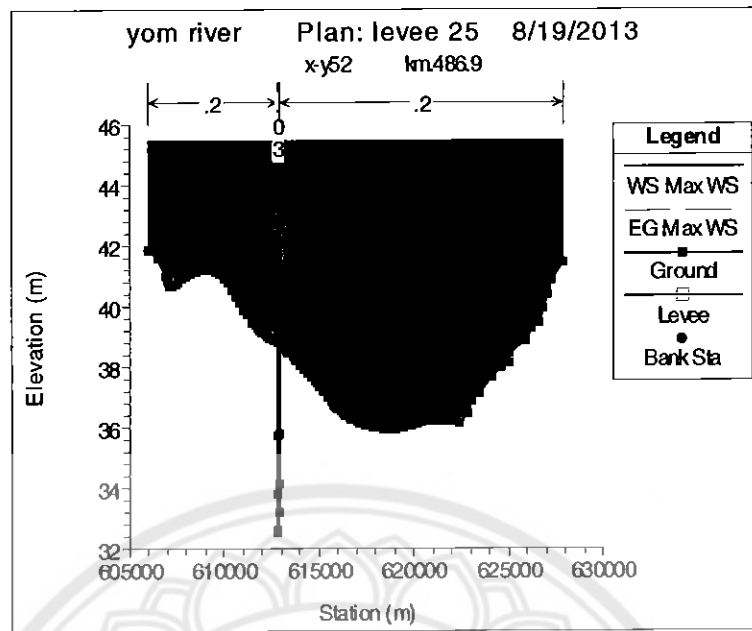


km.451.22

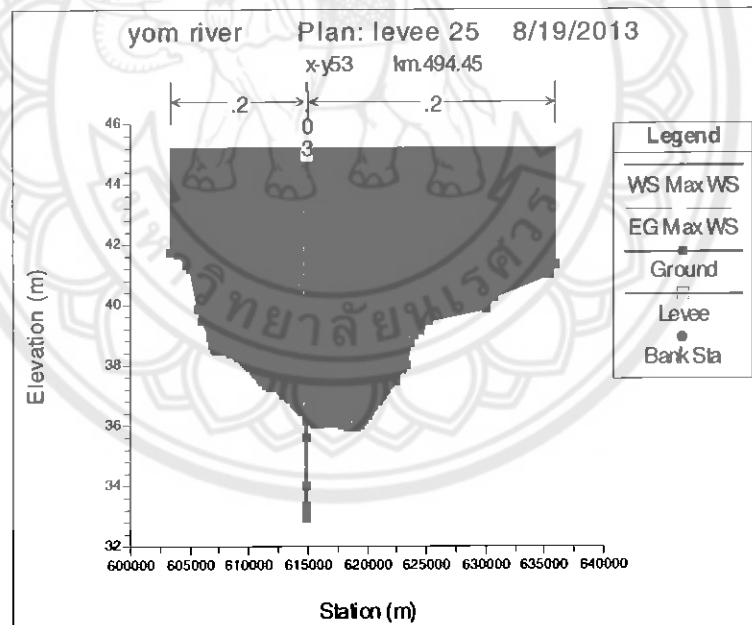


km.473.33

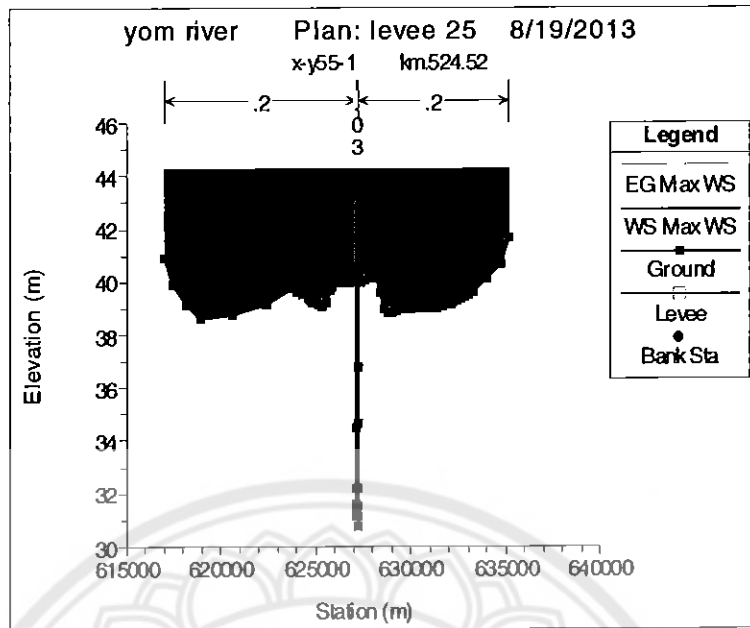




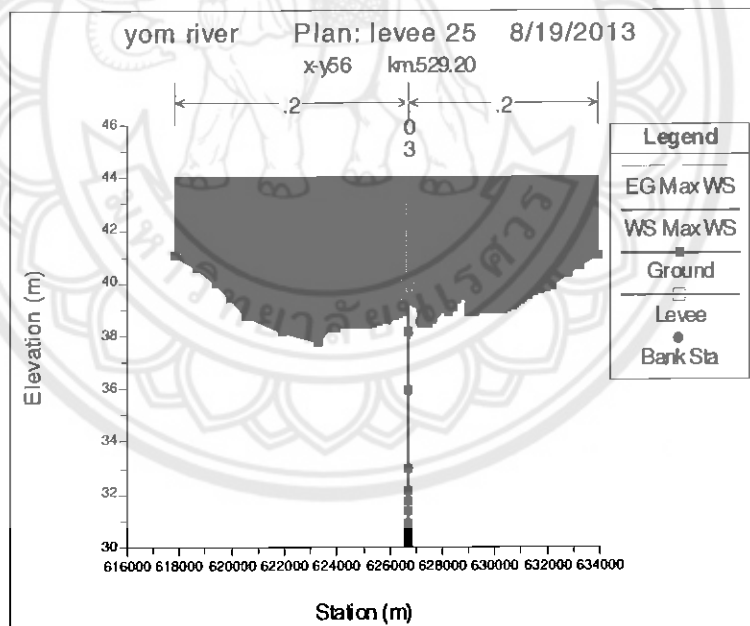
km.486.9



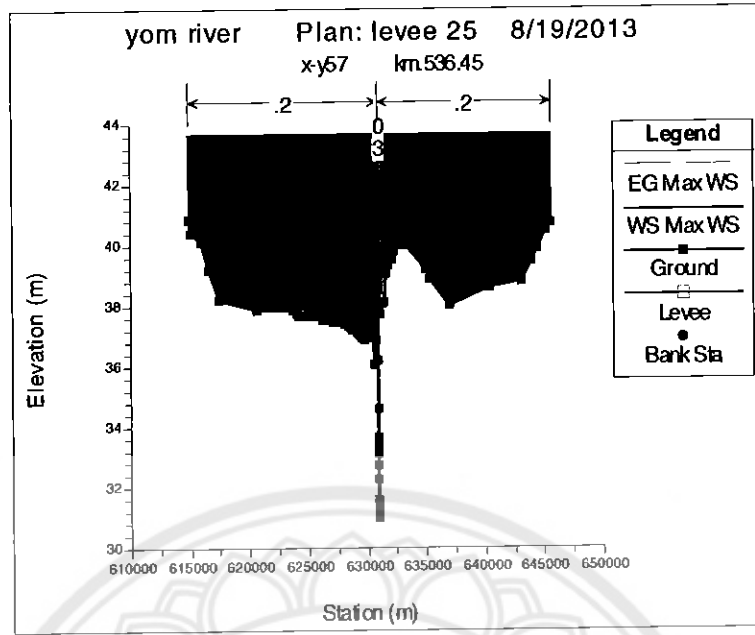
km.494.45



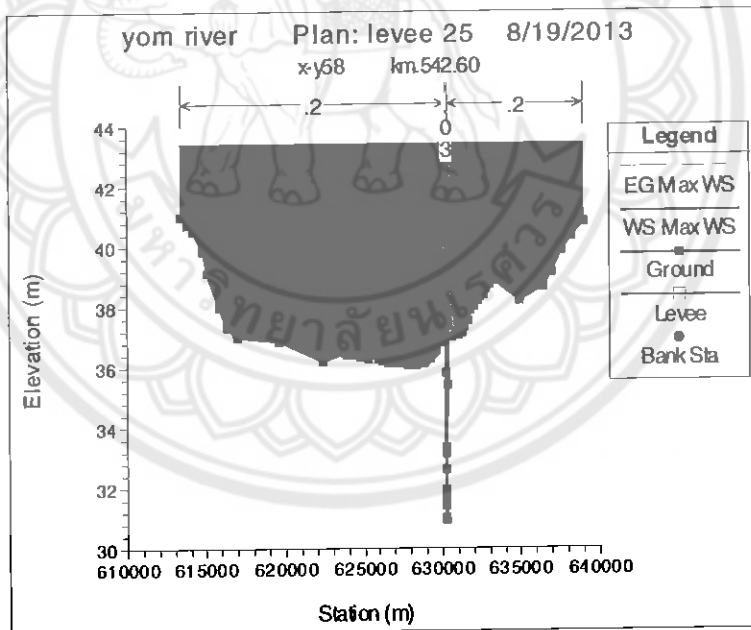
km.524.52



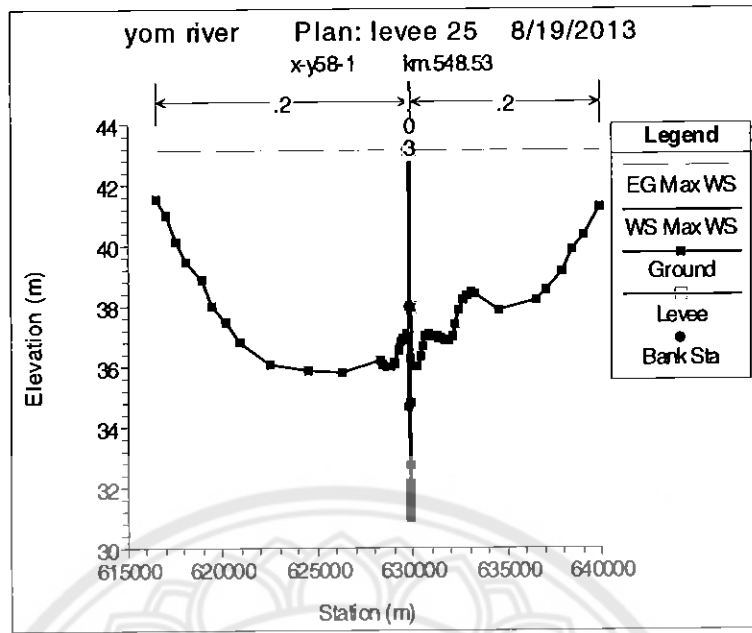
km.529.20



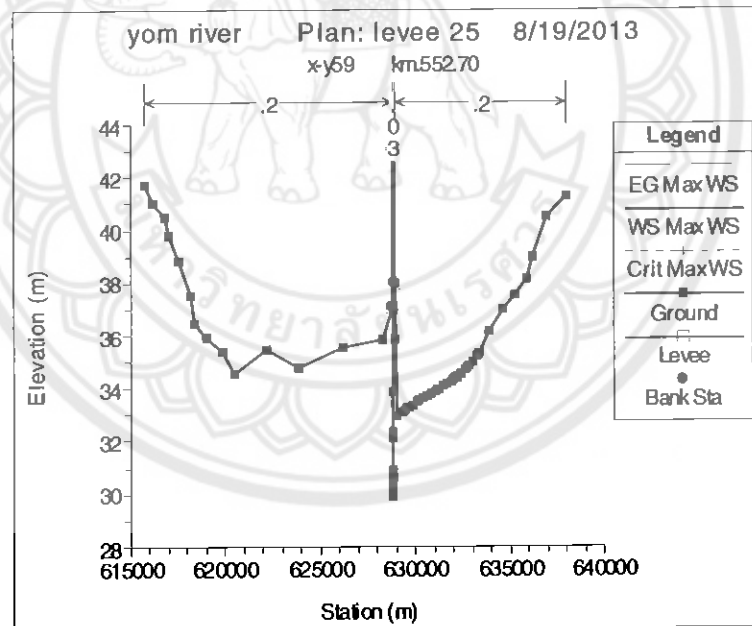
km.536.45



km.542.60

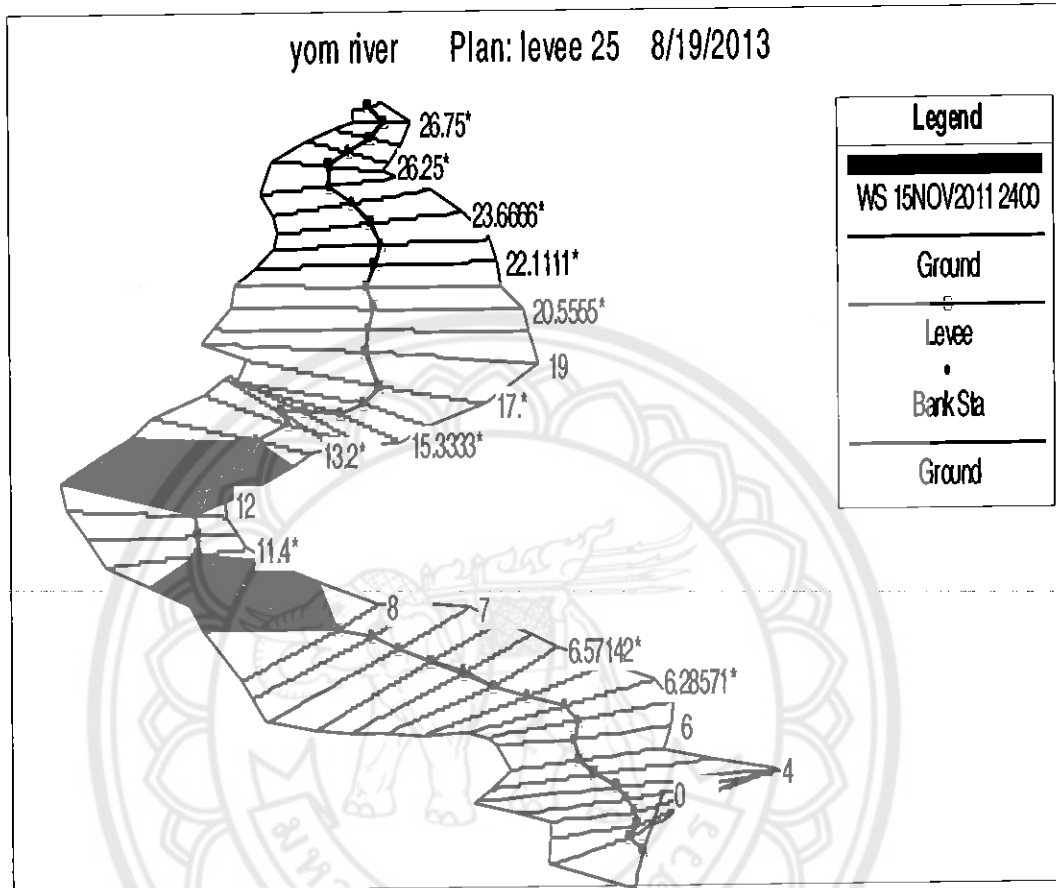


km.548.53

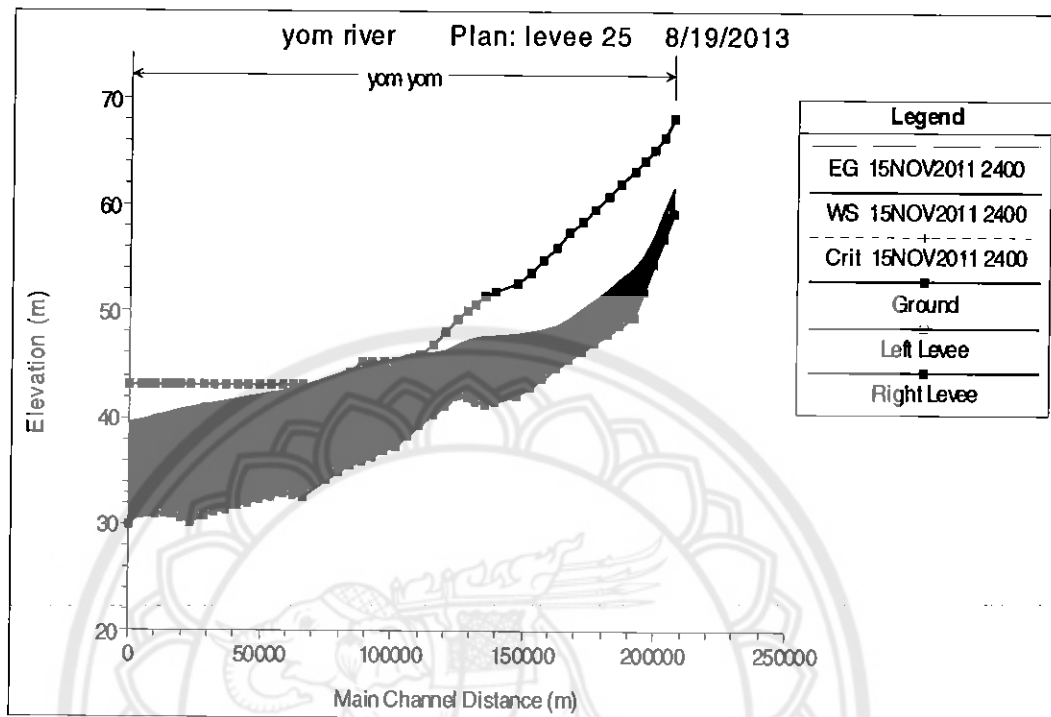


km.552.70

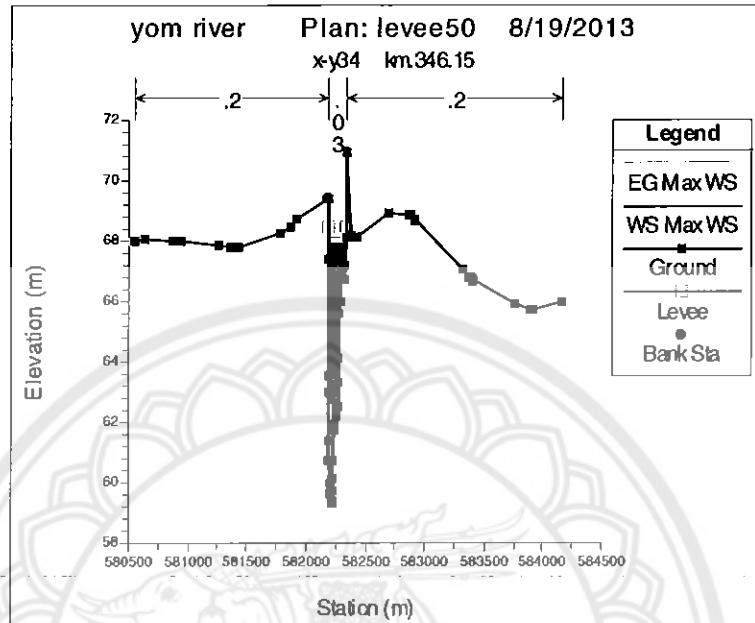
x-y-z perspective plot



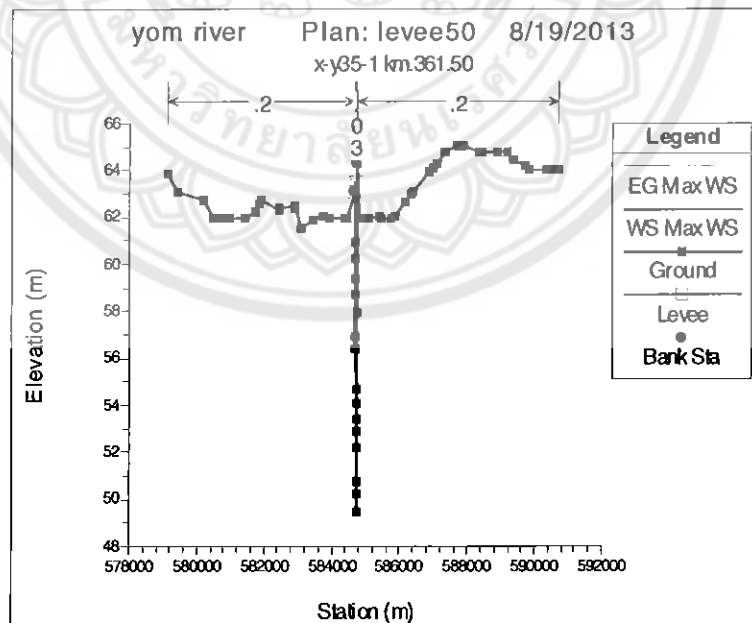
Profile Plot(หลังมีพนักกั้นน้ำสูง 0.25 ม.)



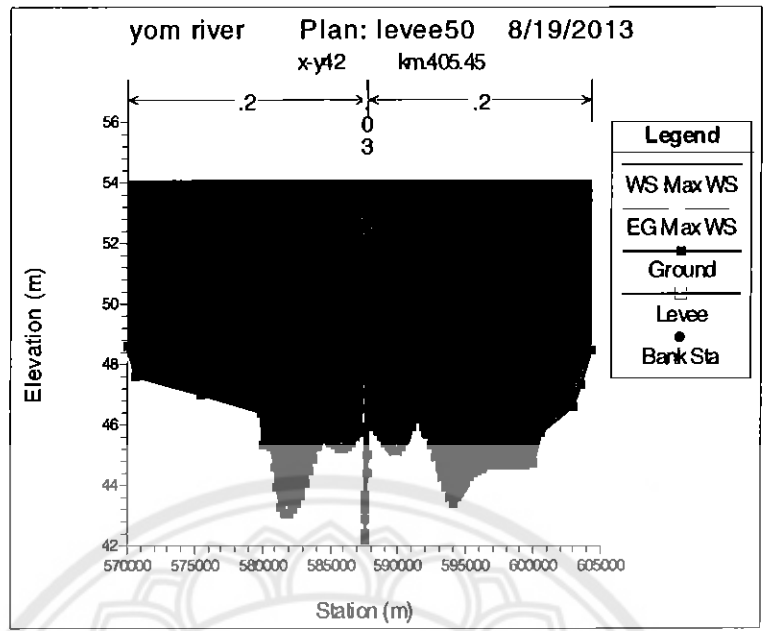
cross-sectional (หลังจากมีพ่น้ำกั้นน้ำ 0.5 ม.)



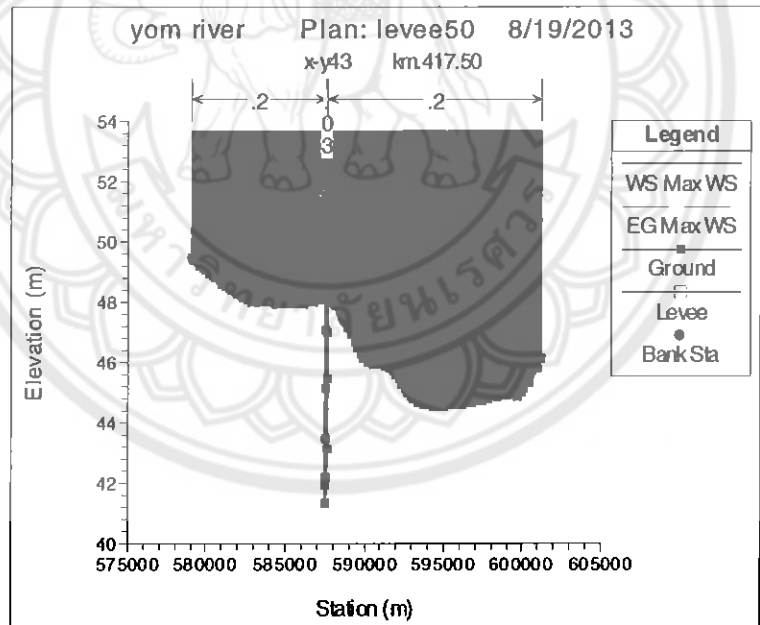
km.346.15



km.361.50

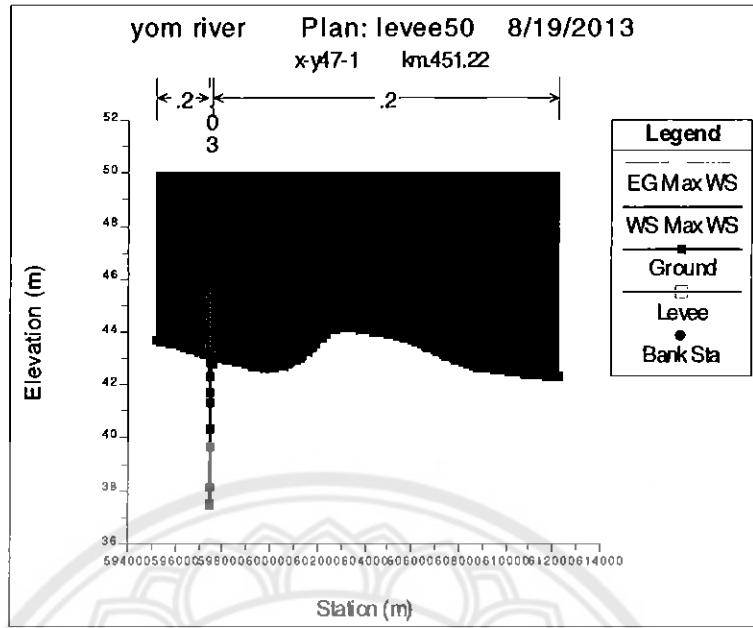


km.405.45

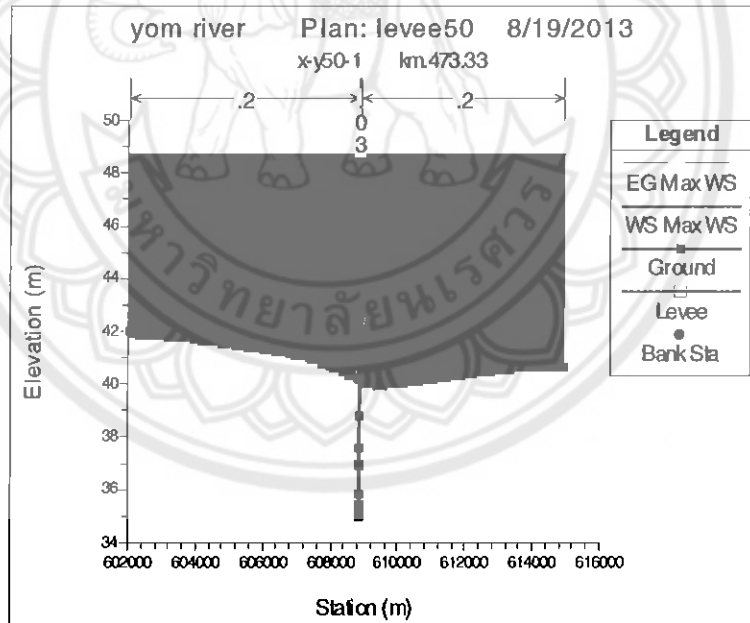


km.417.50

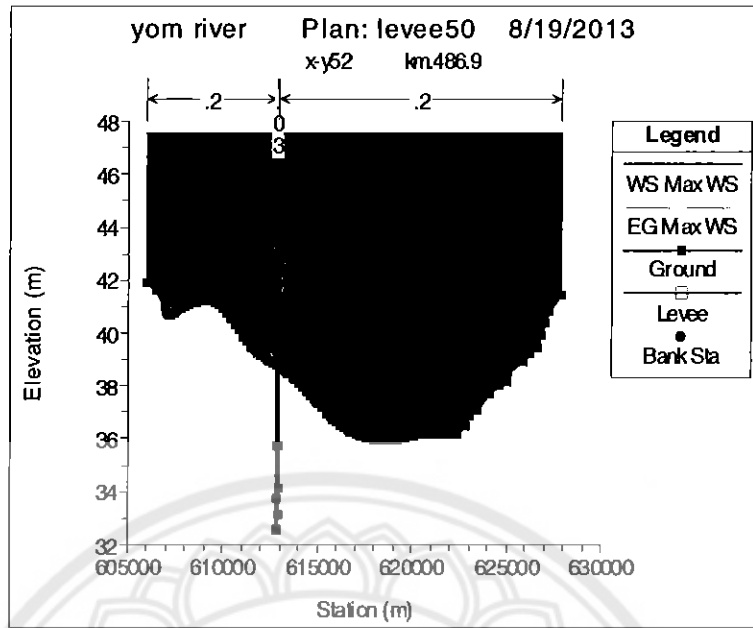




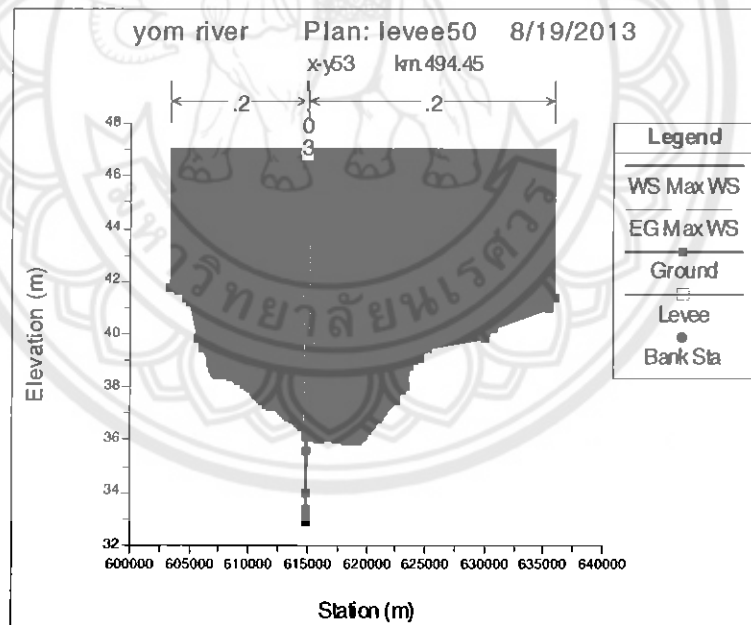
km.451.22



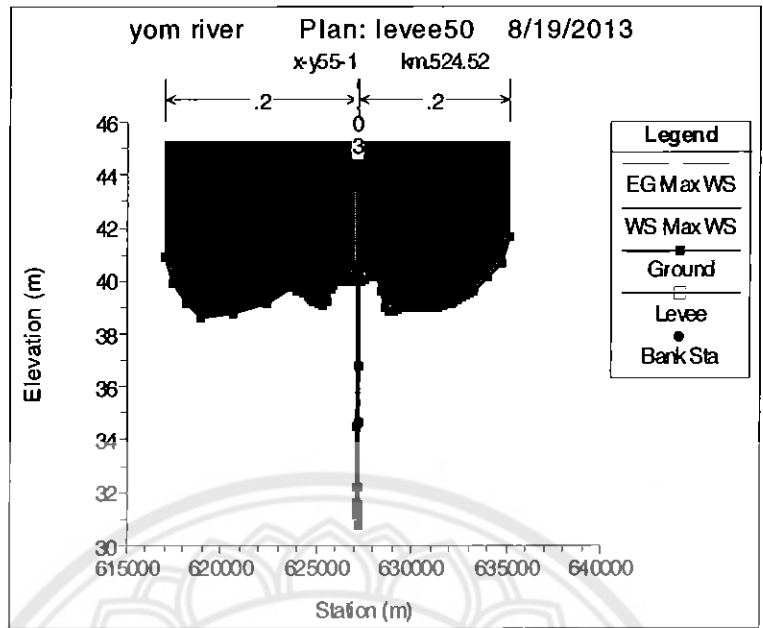
km.473.33



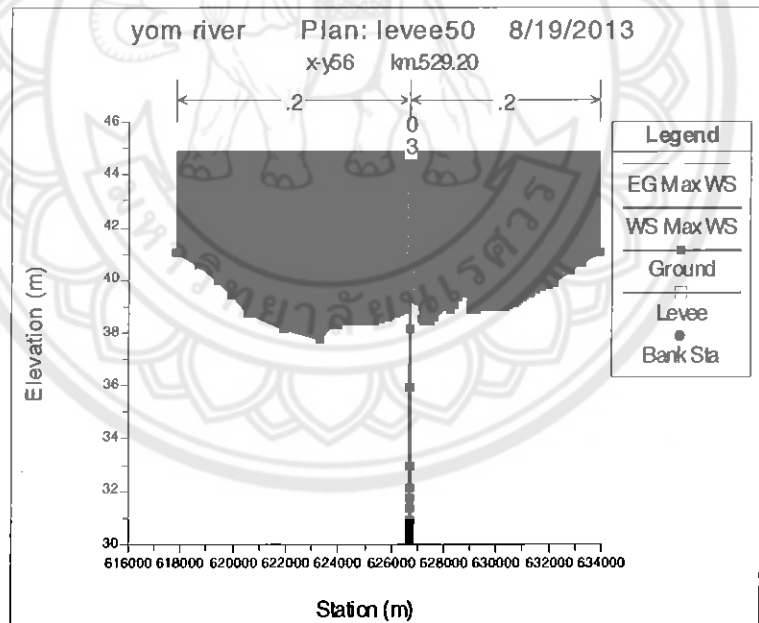
km.486.9



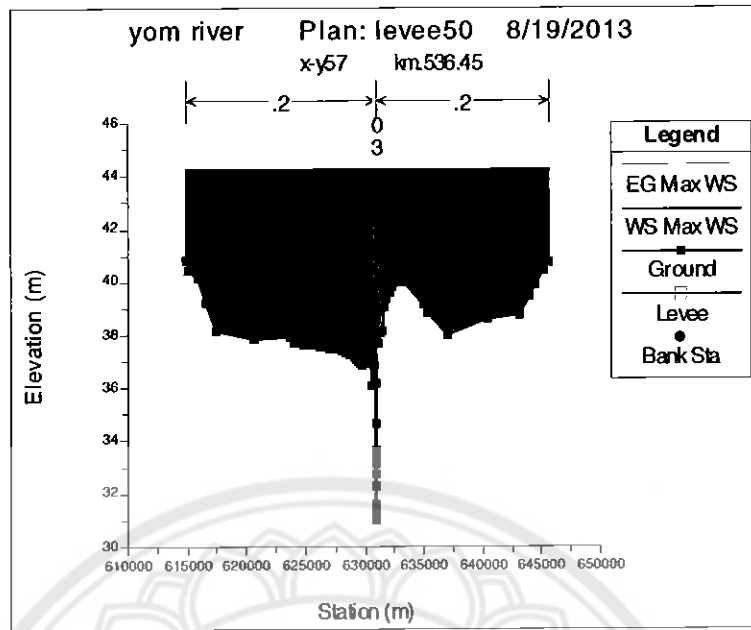
km.494.45



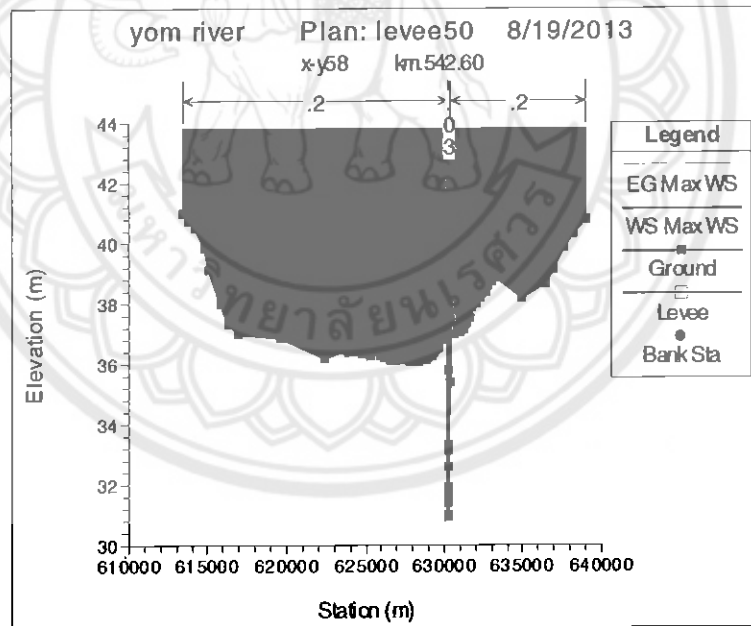
km.524.52



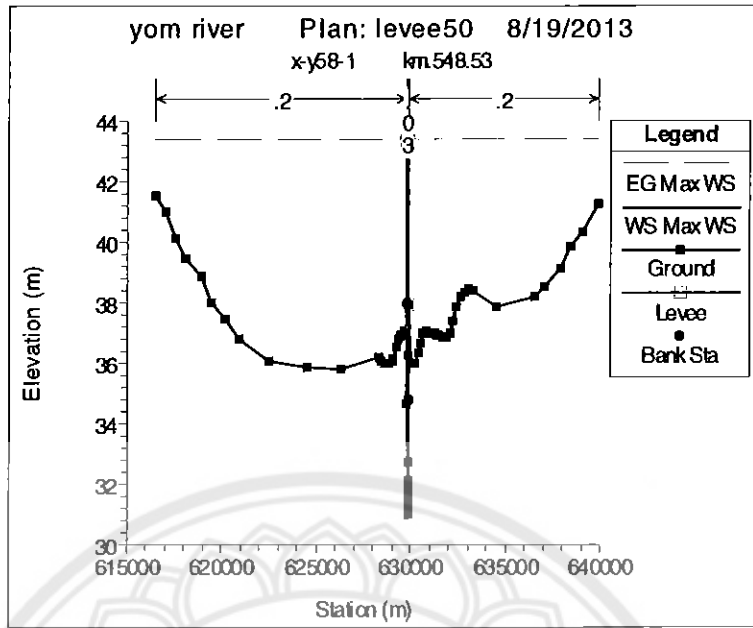
km.529.20



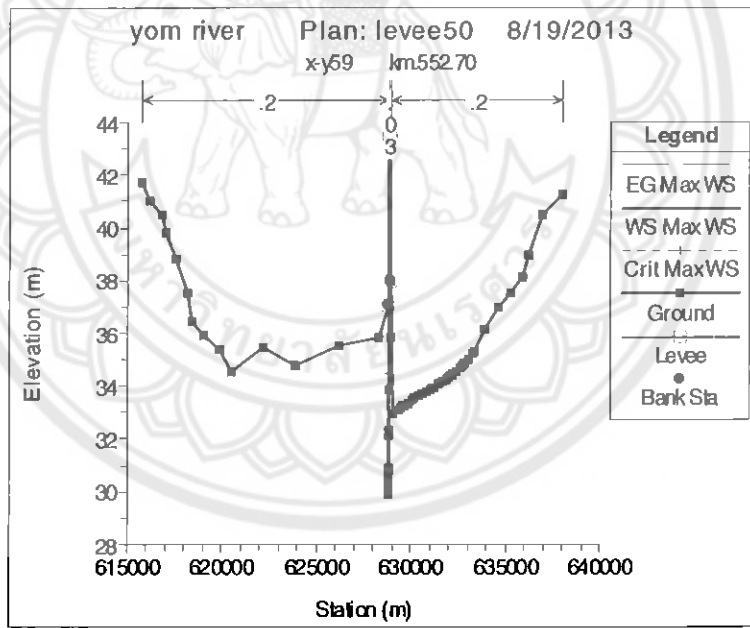
km.536.45



km.542.60

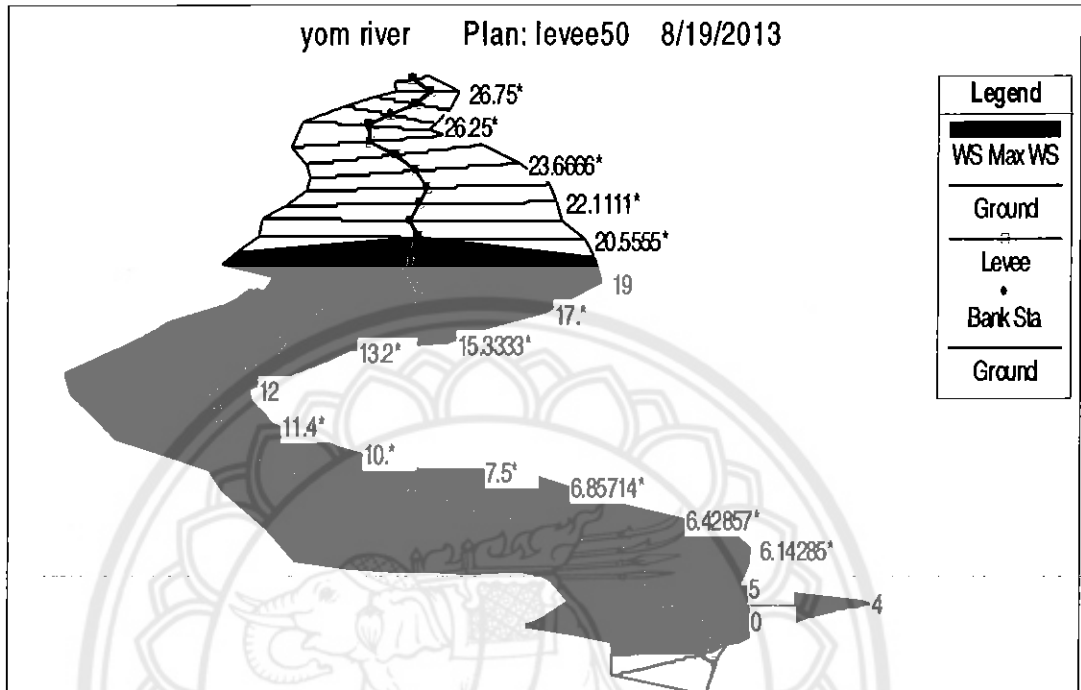


km.548.53



km.552.70

x-y-z perspective plot



Profile Plot(หลังมีพิน้ำสูง 0.50 ม.)

