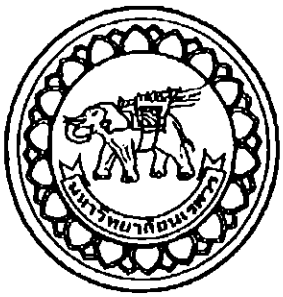


การวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำในแม่น้ำยมกรณี มีการสร้างพนังกั้นน้ำริมตลิ่ง(จ.พิษณุโลก-จ.นครสวรรค์)

ANALYSIS OF THE FLOW BEHAVIOR OF THE WATER IN THE YOM RIVER. THE CREATION OF A DIKE. (PHITSANULOK-NAKHONSAWAN)

นายรพีพัฒน์ รัศมี รหัส 52370354

นายธีรภัทร์ บุญมาก รหัส 52370248

นางสาววรรณศิริ ขันสัมฤทธิ์ รหัส 52370385

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่รับ 12 ก.ย. 2558

เลขทะเบียน 16434265

เลขเรียกหนังสือ ปร.

มหาวิทยาลัยนเรศวร จ 146 ร 2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อโครงงาน	การวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำในแม่น้ำยมกรณี มีการสร้างพนังกั้นน้ำริมตลิ่ง(จ.พิษณุโลก-จ.นครสวรรค์)		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายรพีพัฒน์	รัศมี	รหัส 52370354
	นายธีรภัทร์	บุญมาก	รหัส 52370248
	นางสาววรรณศิริ	ขันสัมฤทธิ์	รหัส 52370385
ที่ปรึกษาโครงงาน	รศ.ดร.สมบัติ	ชื่นชูกลิ่น	
สาขา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะกรรมการทดสอบโครงการวิศวกรรมโยธา

..... **ประธานกรรมการ**

(รศ.ดร.สมบัติ ชื่นชูกลิ่น)

..... **กรรมการ**

(ผศ.ดร.สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

หัวข้อโครงงาน	การวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำในแม่น้ำยมกรณีมีการสร้างพนังกั้นน้ำริมตลิ่ง (จ.พิษณุโลก-จ.นครสวรรค์)		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายรพีพัฒน์	รัศมี	รหัส 52370354
	นายธีรภัทร์	บุญมาก	รหัส 52370248
	นางสาววรรณศิริ	ขันสัมฤทธิ์	รหัส 52370385
ที่ปรึกษาโครงงาน	รศ.ดร.สมบัติ	ชื่นชูกลิ่น	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2555		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมการจำลองระบบแม่น้ำ(HEC-RAS) เพื่อศึกษาแบบจำลองผิวน้ำของแม่น้ำยมในจังหวัดพิษณุโลก ถึงจังหวัดนครสวรรค์

ในการวิเคราะห์โดยการใส่ค่าข้อมูลระดับน้ำ และอัตราการไหลสูงสุด ในช่วง15 สิงหาคม ถึง 31 ตุลาคม ปีพ.ศ.2554 ซึ่งเป็นปีที่มีค่าระดับน้ำสูงสุดเป็นประวัติการณ์ที่รวบรวมได้ในปัจจุบัน ลงไปในรูปตัดขวาง โดยการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ แมนนิ่ง ในกลางลำน้ำเท่ากับ 0.03 และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ แมนนิ่ง บริเวณด้านข้างทั้งซ้ายและขวาของรูปตัดลำน้ำเท่ากับ 0.2 และข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำ ได้จากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิของกรมชลประทาน ทำให้ได้รูปตัดขวาง ที่สามารถ บ่งบอกถึงค่าระดับน้ำได้ในแต่ละช่วง จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นทำให้ทราบพื้นที่ที่อาจจะประสบอุทกภัยในแต่ละปีของจังหวัดพิษณุโลกไปถึงจังหวัดนครสวรรค์ ได้เสริมคั้นกั้นน้ำที่ระดับเฉลี่ย 0.25 ม.และ 0.50 ม. จากระดับน้ำสูงสุด ได้ผลลัพธ์สามารถลดพื้นที่ที่เคยเกิดน้ำท่วมสูงสุดในช่วงวันที่ 15 สิงหาคม ถึง 31 ตุลาคม ปี พ.ศ.2544 ช่วงบางระกำ-ชุมแสง ลดลงเหลือ 174.51 และ 130.83 ตร.ม. ตามลำดับ

Project Title	ANALYSIS OF THE FLOW BEHAVIOR OF THE WATER IN THE YOM RIVER.THE CREATION OF A DIKE. (PHITSANULOK-NAKHONSAWAN)
Name	Mr. Rapeepat Radsamee
	Mr. Theerapat Boonmark
	Mrs. Wansiri Khansumled
Project adviser	Assoc.Prof.Dr. Sombat Chuenchooklin
Major	Civil Engineering
Department	Civil Engineering
Academic Year	2012

Abstract

The HEC-RAS(River Analysis System)model was used to study the reproductive water surface profile of Yom River of Phitsanulok - Nakhonsawan.

In analysis , maximum water level and maximum river discharge on day 15 August-30 October 2011 , were used to apply in the model. The roughness coefficient by Manning on the right and left sides of river of 0.2 , and the main channel of 0.03 were selected. Moreover , the cross section of river and water level recorded were gathered form the Royal Irrigation Department . The results shown that the area in PhisanUlok - Nakhonsawan were caused by flood . So we will used these dike in both left and right bank of Yom River , average at 0.25 m and 0.50 m from the maximum water level. Results can reduce areas that flood peak during August 15 to October 31, during the year 2544 Bangrakam - Chumsaeng down to 174.51 and 130.83 respectively.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จขึ้นมาได้ ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ อาจารย์สมบัติ ชื่นชูกลิ่น อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่คอยช่วยเหลือจัดหาข้อมูล แนะนำแนวทางปฏิบัติที่ถูกต้อง ให้คำปรึกษาเพื่อแก้ปัญหา

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ประสาทความรู้แก่คณะผู้ดำเนินการวิจัย

ขอขอบพระคุณครูช่าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่เอื้อเฟื้อแผนที่ที่ใช้ในโครงการ

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่คอยช่วยเหลือทั้งด้านการเงิน และกำลังใจมาโดยตลอด

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายรพีพัฒน์ รัศมี
นายธีรภัทร์ บุญมาก
นางสาววรรณศิริ ขันสัมฤทธิ์

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ค
กิตติกรรมประกาศ.....ง
สารบัญ.....จ
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูป.....ช
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....ญ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 หลักการและเหตุผล.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....1
1.3 ขอบเขตงาน.....1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....1

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....1
2.1 การแบ่งชนิดการไหลในทางน้ำเปิด.....3
2.2 คุณสมบัติพื้นฐานของการไหลในทางน้ำเปิด.....7
2.3 สมการพลังงานของการไหลในทางน้ำเปิด.....8
2.4 การไหลสม่ำเสมอ (Uniform flow).....9
2.5 ความลึกวิกฤตและความนัยสำคัญของเทอม.....23
2.6 การไหลของน้ำผ่านสิ่งกีดขวาง.....27
2.7 ความลึกวิกฤต และพลังงานจำเพาะ.....30

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน.....32
3.1 อุปกรณ์.....32
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....32
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....38
4.1 ผลการประยุกต์การใช้โปรแกรม Google Earth.....38
4.2 ผลการประยุกต์การใช้โปรแกรม HES-RAS 4.1.....38

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....44
5.1 บทสรุป.....44
5.2 ข้อเสนอแนะ.....44

บรรณานุกรม.....45
ภาคผนวก ก.....46

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 2.1 ชนิดของการไหลในทางน้ำเปิดตามเวลาและตำแหน่ง.....6

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n.....15

ตารางที่ 2.3 สัมประสิทธิ์รูปร่างตอม่อ.....20

ตารางที่ 2.4 ค่าปรับแก้ต่างๆ สำหรับคำนวณสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning.....21

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการรันโปรแกรม ในช่วงที่น้ำสูงสุดของ ปี พ.ศ.2554.....36

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 แผนที่แสดงแนวลำน้ำยมที่ใช้ในการวิเคราะห์....2

2.1 แผนผังการแบ่งชนิดของการไหลในทางน้ำเปิดตามเวลาและตามตำแหน่ง....4

2.2 ตัวอย่างชนิดของการไหลในทางน้ำเปิด....5

2.3 หน้าตัดการไหล....7

2.4 การไหลในทางน้ำเปิดทั่วไป....8

2.5 การไหลสม่ำเสมอในทางน้ำเปิด....9

2.6 ค่าประมาณของช่วงความยาวของแม่น้ำด้านท้ายน้ำ และมีเกณฑ์ความลึกปกติ....13

2.7 การประมาณช่วงความยาวแม่น้ำด้านท้ายน้ำ โดยมีความลึกวิกฤต....14

2.8 โค้งพลังงานจำเพาะ....23

2.9 โค้งพลังงานจำเพาะที่มีค่าต่ำสุด 2 ค่า....24

2.10 การไม่ต่อเนื่องของโค้งพลังงานจำเพาะ....25

2.11 หน้าข้างการไหลเหนือและต่ำกว่าวิกฤตคำนวณโดยใช้ HEC-RAS....26

2.12 ไดอะแกรมของการไหลผ่านคอคอดสะพาน....27

2.13 หน้าข้างการไหลของพื้นผิวน้ำผ่านคอคอดสะพานของชั้นการไหลที่แตกต่างกันออกไป....29

2.14 เส้นกราฟแสดงค่า q ที่ความลึกต่างๆ....30

3.1 ผังแสดงการดำเนินงาน....33

3.2 ภาพถ่ายทางอากาศ Google earth แม่น้ำยม อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ถึง อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์....34

3.3 แสดงขั้นตอนการใส่ระดับพนังกั้นน้ำ....35

3.4 แสดงการใส่ค่าพนังกั้นน้ำให้อยู่เหนือระดับน้ำสูงสุด....35

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.1 ภาพตัดขวางในแบบจำลอง แม่น้ำยม....39
4.2 ตัวอย่างการ set XS Interpolation ทุกๆ 1000 ม....40
4.3 ตัวอย่างการ set XS Interpolation ทุกๆ 1000 ม....40
4.4 Profile Plot กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง....41
4.5 X-Y-Z Perspective Plot กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง....41
4.6 Profile Plot กรณีพนังกั้นน้ำอยู่เหนือระดับน้ำ 0.25 ม....42
4.7 X-Y-Z Perspective Plot กรณีพนังกั้นน้ำอยู่เหนือระดับน้ำ 0.25 ม....42
4.8 Profile Plot กรณีพนังกั้นน้ำอยู่เหนือระดับน้ำ 0.50 ม....43
4.9 X-Y-Z Perspective Plot กรณีพนังกั้นน้ำอยู่เหนือระดับน้ำ 0.50 ม....43

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

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
ρ	คือ ความหนาแน่นของการไหล
R	คือ รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic radius) มีค่าเท่ากับ A / T
p	คือ เส้นขอบเปียก (Wetted parameter)
μ	คือความหนืดพลวัต(Dynamic viscosity) หรือสัมประสิทธิ์ความหนืด (Coefficient of viscosity)
ν	คือ ความหนืดจลน์ (Kinematics viscosity)
z	คือ ระดับท้องน้ำของทางน้ำเปิดเหนือระดับอ้างอิง (ft , m)

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ(ต่อ)

y	คือ ความลึกของการไหลหรือความดัน (Pressure head = p / γ)
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 คือค่าระดับผิวน้ำที่วัดได้หรือคำนวณได้ของทางน้ำเปิดที่พิจาร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ในแม่น้ำโดยทั่วไปจะมีสิ่งกีดขวางการไหลของน้ำ ทำให้อัตราการไหลของน้ำเดินทางไม่สะดวก จึงทำให้ประสบปัญหาน้ำท่วม สร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนเป็นอย่างมาก และยังสร้างความเสียหายต่อพืชผลทางการเกษตร ในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก จึงได้มีการศึกษาแบบจำลองผิวน้ำ ซึ่งทำให้สามารถทราบว่าพื้นที่ใดมีระดับน้ำเท่าใด และพื้นที่ใดที่ประสบปัญหาน้ำท่วมในแต่ละปี

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ผิวน้ำในลำน้ำด้วยการใช้โปรแกรม HEC-RAS

1.2.2 เพื่อทราบถึงแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำยม

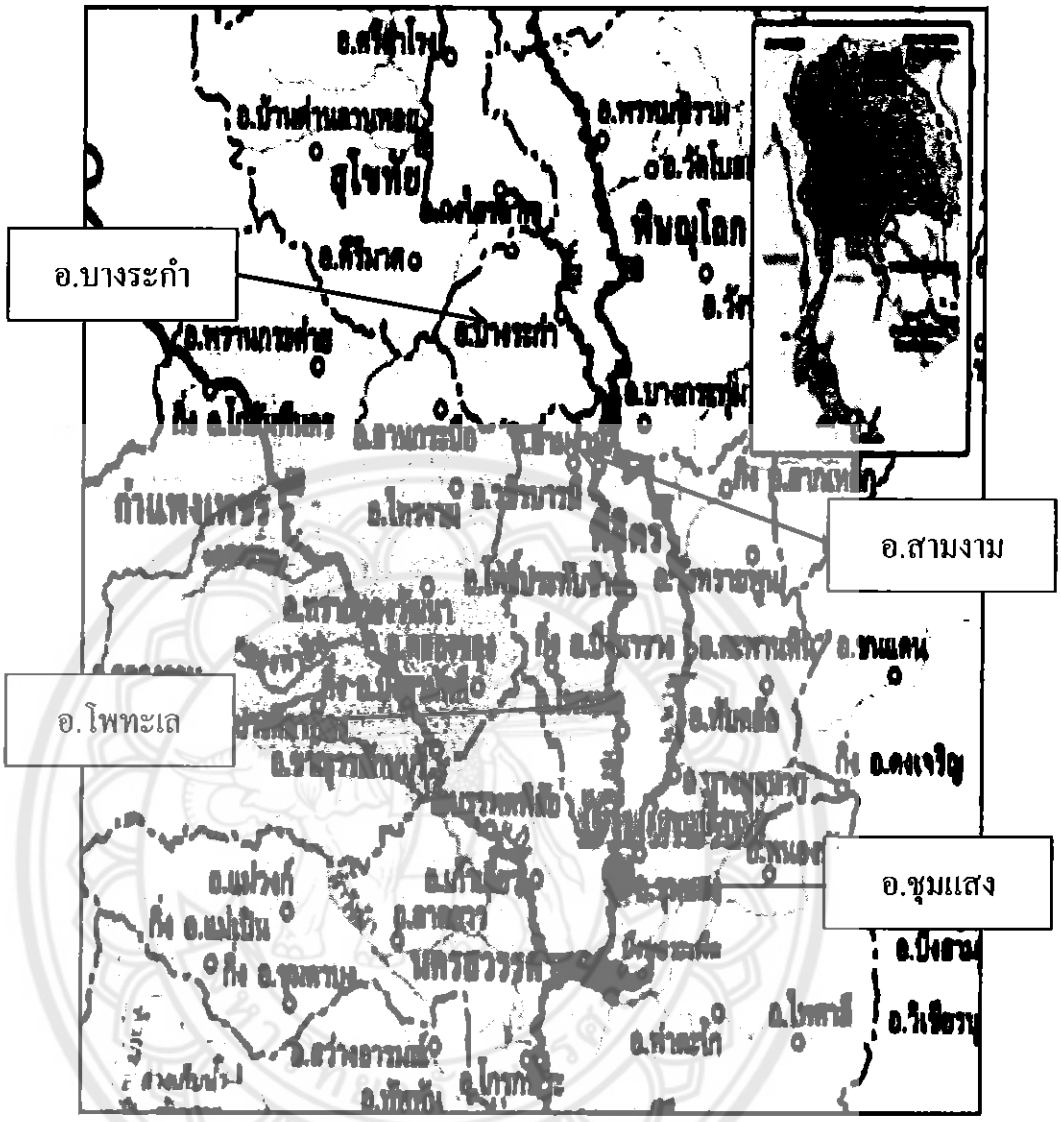
1.2.3 เพื่อรวบรวมข้อมูลและศึกษาลักษณะของลำน้ำ และรูปตัดต่าง ๆ ของแม่น้ำยมในทั้งที่มีสิ่งก่อสร้างกีดขวางทางน้ำ และไม่มีสิ่งกีดขวาง

1.3 ขอบเขตงาน

กรอกข้อมูลลงโปรแกรมโดยอาศัยข้อมูลลำน้ำและพิกัดจุดต่าง ๆ จากโปรแกรม Google Earth เพื่อหารูปตัดของลำน้ำ และเพื่อหาพื้นที่น้ำท่วมทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของแม่น้ำยม โดยใช้โปรแกรม HEC-RAS เริ่มตั้งแต่อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก อำเภอสามงาม จังหวัดพิจิตร อำเภอโพทะเล จังหวัดพิจิตร และ อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบถึงวิธีการใช้โปรแกรม HEC-RAS สามารถลดปัญหาน้ำท่วมได้ เมื่อทราบค่าระดับน้ำสูงสุด โดยใช้โปรแกรม HEC-RAS เข้ามาช่วยสามารถนำโปรแกรมทั้งสองไปใช้ในงานชลประทาน



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงแนวลำน้ำยม ที่ใช้ในการวิเคราะห์

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้อต้น

โครงงานนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับชลศาสตร์ของการไหลในทางน้ำเปิด และขีดจำกัดของลุ่มน้ำ โดยมีพื้นที่ศึกษา คือ ลุ่มแม่น้ำยมตั้งแต่จังหวัดพิษณุโลกถึงจังหวัดนครสวรรค์ เพื่อเน้นถึงความจริงที่ประยุกต์ใช้กับโปรแกรมที่ศึกษา คือ โปรแกรม HEC-RAS Version 4.1 โดยโปรแกรมนี้เป็นการจำลองระบบแม่น้ำ

2.1 การแบ่งชนิดของการไหลในทางน้ำเปิด

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

2.1.1 การแบ่งชนิดการไหลตามเวลา (Classification with respect to time) สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

2.1.1.1 การไหลคงที่ (Steady flow) คือ การไหลที่มีความลึก ของการไหลที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่ง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาที่พิจารณา

2.1.1.2 การไหลไม่คงที่ (Unsteady flow) คือ การไหลที่มีความลึก ของการไหลที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่ง มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาที่พิจารณา

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

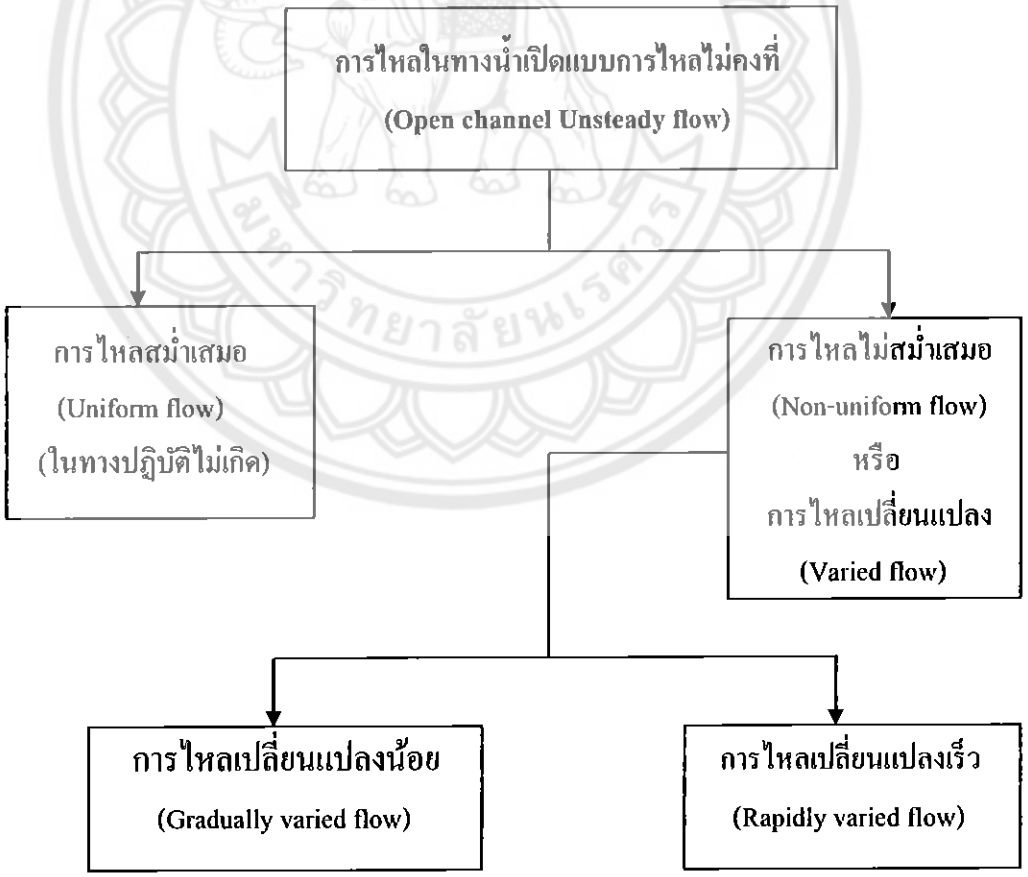
2.1.2.1 การไหลแบบสม่ำเสมอ(Uniform flow) คือ การไหลที่มีความลึกของการไหลเท่ากันตลอดความยาวของทางน้ำเปิด ซึ่งการไหลสม่ำเสมอจะเป็นการไหลคงที่หรือไม่คงที่นั้นขึ้นอยู่กับว่าความลึกของการไหลมีความเปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วยหรือไม่ โดยในทางปฏิบัติแล้ว การไหลสม่ำเสมอแบบไม่คงที่ (Uniform unsteady flow) จะไม่เกิดขึ้น

2.1.2.2 การไหลไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform flow) คือ การไหลเปลี่ยนแปลง (Varied flow) คือ การไหลที่มีความลึกของการไหลเปลี่ยนแปลงตามแนวความยาวของทางน้ำเปิด ซึ่งเกิดขึ้นได้ทั้งกรณีที่เป็นการไหลคงที่และไม่คงที่ โดยมักจะเกิดขึ้นทั่วไปในทางน้ำเปิดธรรมชาติ

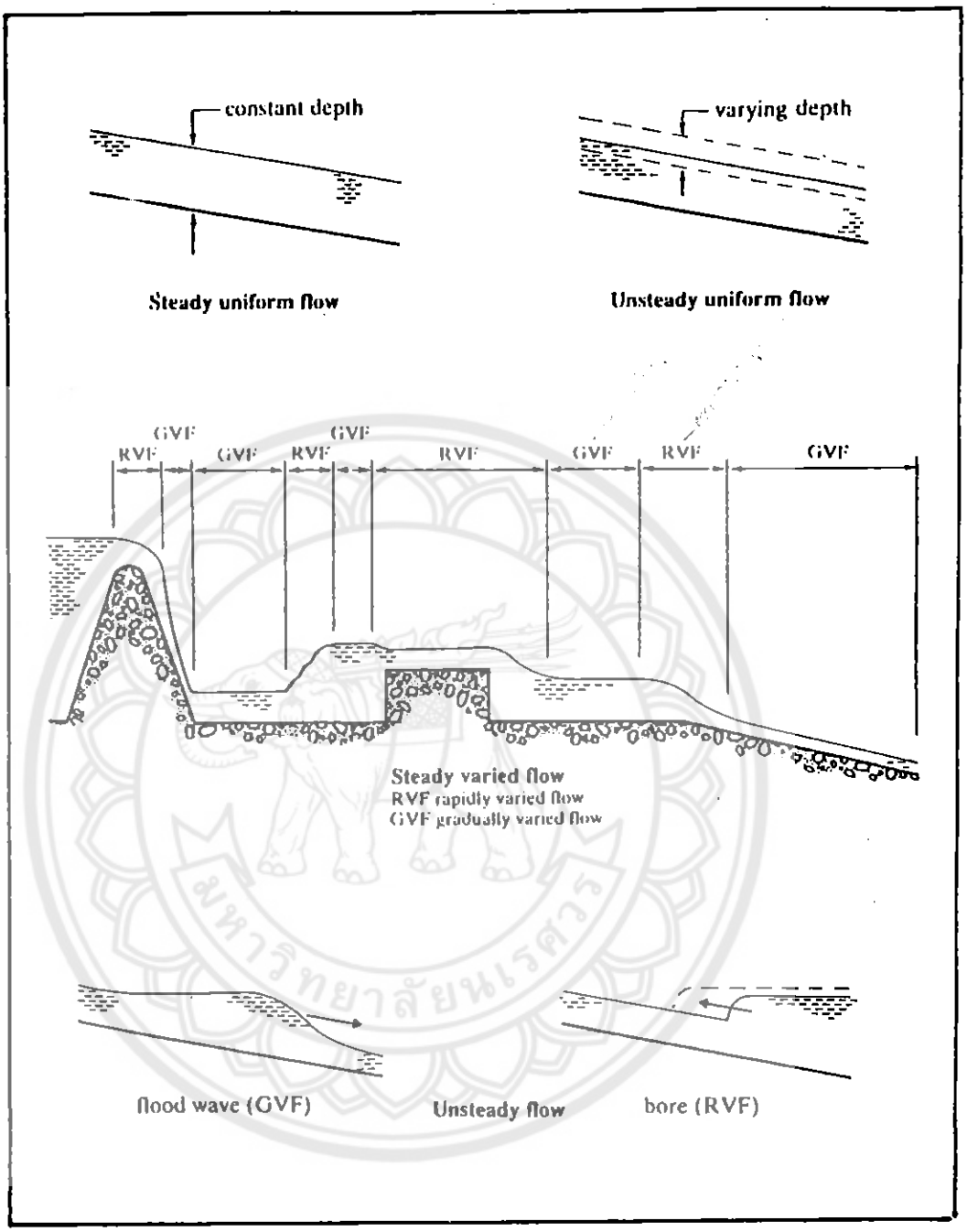
การไหลไม่สม่ำเสมอยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

ก. การไหลเปลี่ยนแปลงน้อย (Gradually varied flow, GVF) คือ การไหลที่มีความลึกของ กระแสน้ำค่อยๆ เปลี่ยนแปลงตามระยะทาง ซึ่งการวิเคราะห์การไหลจะอาศัยสมการพลังงาน (Energy equation) และสมการแรงเสียดทาน (Frictional resistance equation)

ข. การไหลแบบเปลี่ยนแปลงเร็ว (Rapidly varied flow, RVF) คือ การไหลที่มีความลึกของกระแสน้ำเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วตามระยะทาง เช่น การไหลลงจากสันฝายน้ำล้น การเกิดน้ำกระโดด(Hydraulic jump) และการเกิดน้ำเชี่ยวย้อน (bore) เป็นต้นซึ่งการวิเคราะห์การไหลจะต้องอาศัยสมการพลังงาน(Energy equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum equation) เป็นหลักในการวิเคราะห์ โดยสรุปแล้ว การไหลในทางน้ำเปิดสามารถแบ่งตามเวลาและตำแหน่ง โดยสามารถเขียนแผนผังการแบ่งชนิดการไหลในทางน้ำเปิดได้ดังรูปที่ 2.1 โดยพิจารณาเป็นฟังก์ชั่นอนุพันธ์เทียบกับเวลา (t) และเทียบกับตำแหน่งหรือระยะทาง (x) ได้ดังตารางที่ 2.1 และมีตัวอย่างภาพชนิดของการไหลในทางน้ำเปิดดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แผนผังการแบ่งชนิดของการไหลในทางน้ำเปิดตามเวลาและตามตำแหน่ง



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างชนิดของการไหลในทางน้ำเปิด

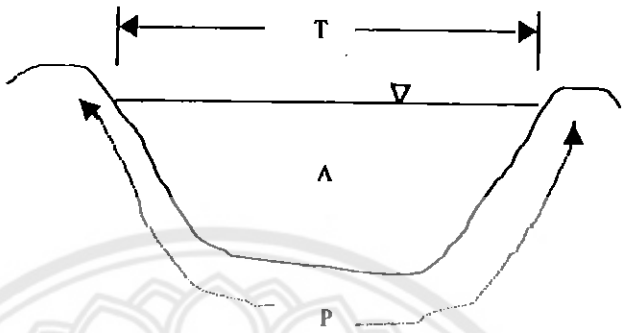
ตารางที่ 2.1 ชนิดของการไหลในทางน้ำเปิดตามเวลาและตำแหน่ง

ชนิดของการไหล	สมการอนุพันธ์
1.การไหลคงที่ (Steady flow)	$\frac{d}{dt}(y,Q,V,.....)=0$
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)	$\frac{dy}{dx}\rangle\rangle 0$
2.การไหลไม่คงที่ (Unsteady flow)	$\frac{d}{dt}(y,Q,V.....)\neq 0$
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)	$\frac{dy}{dx}\rangle\rangle 0$

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

2.2 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)

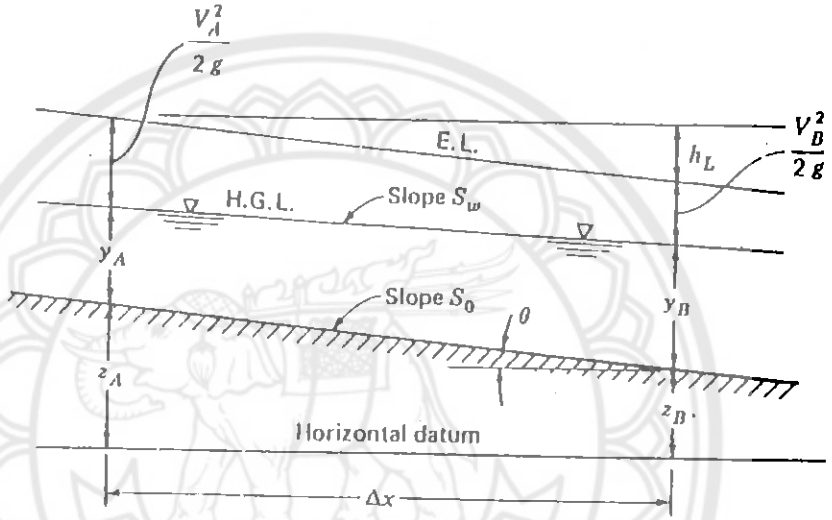
3. ความลึกชลศาสตร์(Hydraulic depth) $D = \frac{A}{T}$ .... (2.3)

4. ปัจจัยหน้าตัดสำหรับการไหลวิกฤต (section factor for critical flow) $Z = A\sqrt{D}$ .... (2.4)

5. ปัจจัยหน้าตัดสำหรับการไหลสม่ำเสมอ (section factor for uniform flow) $U = AR^{2/3}$ .... (2.5)

2.3 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

$$z_A + y_A + \frac{V^2}{2g} = z_B + y_B + \frac{V^2}{2g} + h_L \qquad \text{.... (2.6)}$$

เมื่อ z คือ ระดับท้องน้ำของทางน้ำเปิดเหนือระดับอ้างอิง (ft, m)

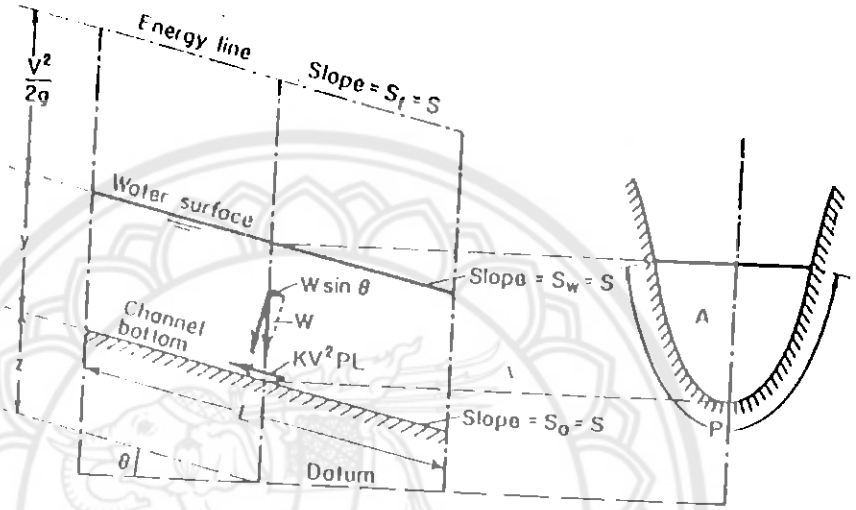
y คือ ความลึกของการไหล หรือความดัน (Pressure head = P/y)

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

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

2.4 การไหลสม่ำเสมอ (Uniform flow)

การไหลสม่ำเสมอ (Uniform flow) หรือการไหลปกติ (Normal flow) คือการไหลที่เกิดขึ้นบนทางน้ำเปิดคงรูป (Prismatic channel) หรือทางน้ำที่มีหน้าตัดคงที่ตลอดการไหลโดยมีความลึกเท่ากันในช่วงการไหลที่พิจารณาดังรูปที่ 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) จะมีการสูญเสียพลังงาน

$$h_L = Z_A - Z_B = SL \quad \text{.... (2.7)}$$

เมื่อ S คือ ความลาดของเส้นระดับพลังงาน

L คือ ระยะทางระหว่างหน้าตัด A และหน้าตัด B

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

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

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

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

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

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

จากสมการที่ 2.10 และสมการที่ 2.11 สามารถหาอัตราการไหลในทางน้ำเปิดได้ดังนี้

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

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

ในส่วนของสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning(n) สามารถหาได้จากการทดลองหรือทดสอบจากการวัดตัวแปรต่างๆ ซึ่งในกรณีของการไหลแบบสม่ำเสมอจะต้องวัดค่าต่างๆต่อไปนี้

1. อัตราการไหล (Q) โดยการใช้เครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำ (current meter) ที่หน้าตัดย่อยของทางน้ำเปิด (Q=AV)

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

3. เส้นขอบเปียก (P) สามารถหาได้จากการใช้เครื่องมือวัดระยะทาง วัดเส้นขอบเปียกได้จากหน้าตัดทางน้ำเปิด

4. ความลาด (S) หาได้จากการใช้กล้องระดับประกอบกับเทปวัดระยะทาง

เมื่อวัดตัวแปรต่างๆ ทั้ง 4 ตัวแปรที่กล่าวมานี้ จะสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางเปิดน้ำได้จากสมการที่ 2.12 หรือสมการที่ 2.13 แล้วแต่ว่าข้อมูลที่วัดจริงเป็นระบบหน่วยอะไร และในกรณีที่ไม่มีการวัดจริงในสนาม ก็มีข้อแนะนำในการกำหนดสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางเปิดน้ำ 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 ความผันแปรของทางน้ำเปิดอันเนื่องมาจากความแปรเปลี่ยนของรูปร่างหน้าตัดและขนาดตามความยาวของทางน้ำเปิด ตลอดจนความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงมากจะทำให้สัมประสิทธิ์ความขรุขระมากตามไปด้วย

4.4 การกัดเซาะ และการตกตะกอน (scouring and silting) เมื่อทางน้ำเปิดถูกกัดเซาะโดยกระแสน้ำมากก็เท่ากับเป็นการเพิ่มความขรุขระของผนังคลอง ทำให้สัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นผิวมากขึ้น ในทางตรงข้าม หากมีการตกตะกอนของวัสดุที่มีความละเอียดกว่าผิวทางน้ำเปิดจะช่วยลดความขรุขระของพื้นผิว ทำให้สภาพการไหลสะดวกยิ่งขึ้น ดังนั้น สัมประสิทธิ์ความขรุขระจะมีแนวโน้มน้อยลง

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

4.6 ความลึกของการไหลและอัตราการไหล (stage and discharge) โดยปกติค่า n ในทางน้ำเปิดทั่วๆ ไปจะมีค่า n ลดลงเมื่อมีความลึกมากขึ้น หรือมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น เพราะในขณะที่มีน้ำน้อยในทางน้ำเปิด ในส่วนของปริมาตรน้ำ จะมีการสัมผัสกับผนังทางน้ำเปิดคิดเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำทั้งหน้าตัดแล้ว เมื่อน้ำน้อยจะมีสัดส่วนการสัมผัสผนังทางน้ำเปิดมากกว่าจึงมีผลทำให้ค่า n ในน้ำน้อยมีแนวโน้มที่สูงกว่าในน้ำมาก แต่ก็ไม่เสมอไปทุกกรณี ดังเช่น ถ้าความลึกน้ำมากขึ้นแล้วไปพบหรือท่วมตลิ่งที่มีความขรุขระมากก็มีผลทำให้ค่า n สูงขึ้นได้

สัมประสิทธิ์ความขรุขระ และสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานอื่นๆ

การสูญเสียมีอยู่ 3 แบบที่ใช้กับ HEC- 4.1 เพื่อประเมินค่าการสูญเสียหัว (head loss)(1) ค่า manning's n ของการสูญเสียจากการเสียดทาน (2) สัมประสิทธิ์การสอบเข้าและการขยายออกของการสูญเสียที่ช่วงต่อ (transition) และ (3) การสูญเสียที่สะพาน สัมประสิทธิ์การสูญเสียมาจากรูปร่างของฝาย รูปร่างตอม่อ และสภาวะการไหลภายใต้ความดันในวิธีวิเคราะห์ special bridge

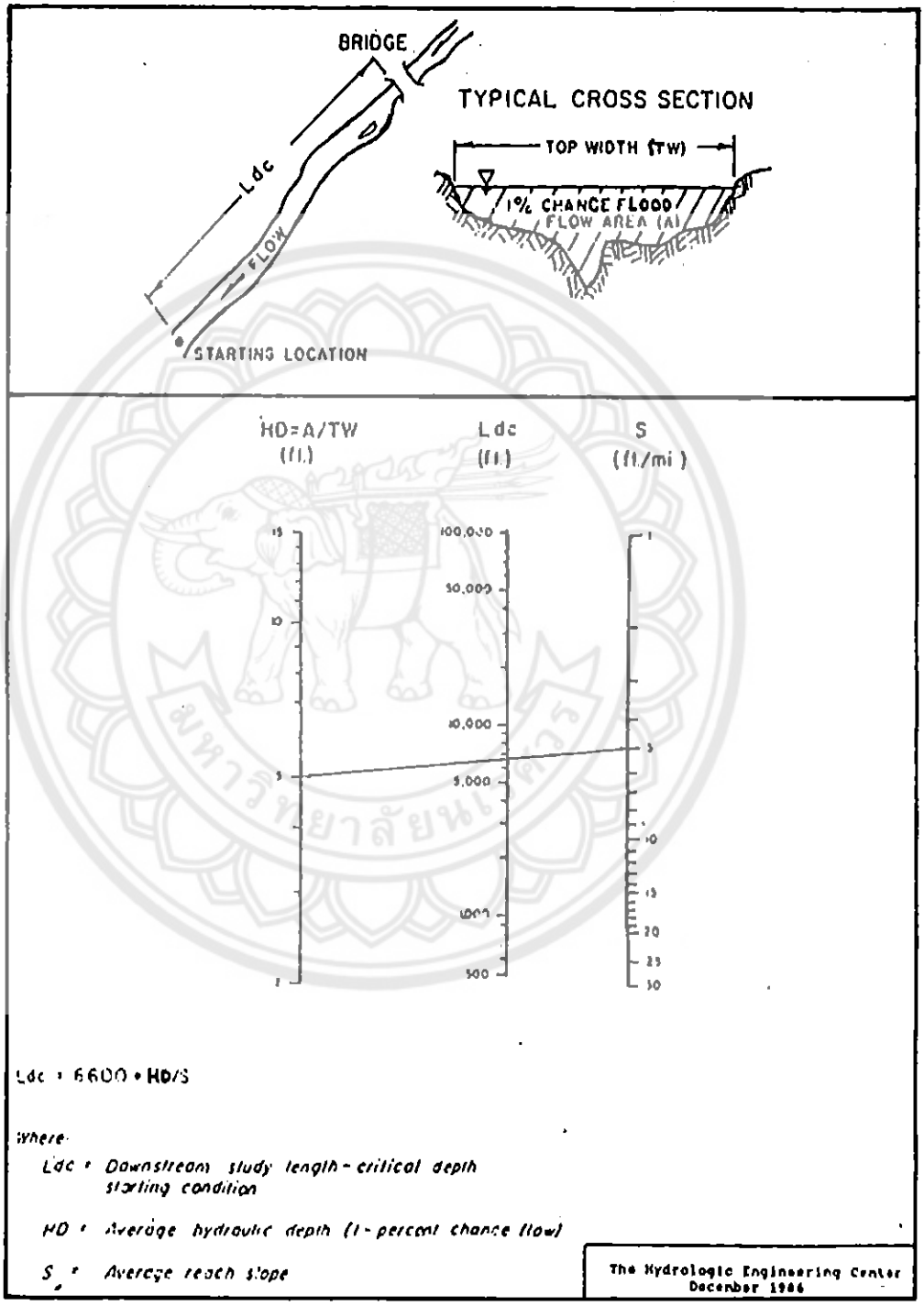
ค่า Manning's n ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n หามาได้จากแหล่งที่แตกต่างกันออกไป ตารางค่า n มีอยู่ในหนังสือวิชาการทางชลศาสตร์ทั่วไป ตารางและรูปหาได้จากหนังสือ Chow (2) ซึ่งเป็นที่แพร่หลายอยู่ทั่วไป วิธีอื่นที่ใช้ในการคำนวณค่า n จะมีการใช้สูตรต่างๆ ผลของตัวอย่างในสนามและการวิเคราะห์ทางปฏิบัติการ และการใช้ 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 ค่าอัตราการไหลที่ได้จากระดับที่รู้อาจจะไม่ได้มาจากน้ำท่วม100 ปี โดยตรงของน้ำท่วม 100 ปี หรือเหตุการณ์อื่นๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ระดับของคราบน้ำอาจจะมาจากผลของขยะ หรือสิ่งที่พัดพามากับน้ำ เมื่อเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นโปรแกรมจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ผลที่ได้จะเหมาะสมกับกรปฏิบัติการ ซึ่งจะหาค่า n ที่คำนวณได้ขึ้นลงระหว่างรูปตัด วิธีที่ดีที่สุดคือการใช้การทดลองและหาความคลาดเคลื่อนโดยให้เหมาะสมกับคราบน้ำสูง (high water mark) โดยใช้ HEC-RAS 4.1

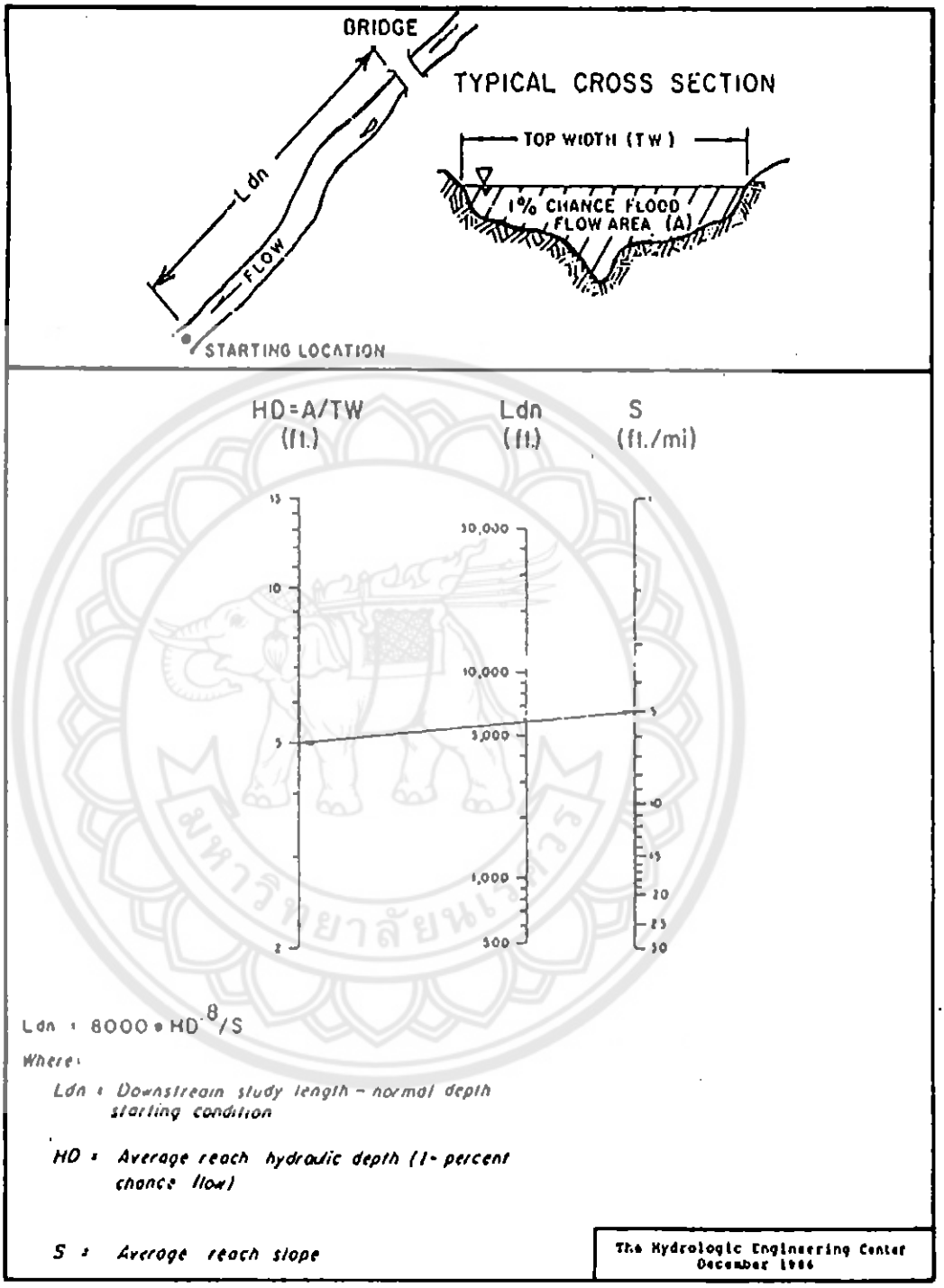
เมื่อเราประมาณค่า n ได้จากคราบน้ำท่วมของเหตุการณ์น้ำท่วมต่างๆ กันสิ่งสำคัญที่นำมาพิจารณาคือเวลาในปีที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมต่าง นั้น ความแตกต่างอย่างมากของความขรุขระจะมีผลสะท้อนจากค่า n ดังเช่นพื้นดินที่เพิ่มปลูกข้าวในฤดูฝนกับกับพื้นดินในหน้าแล้งที่ข้าวโตเต็มที่พร้อมจะเก็บเกี่ยวเช่นเดียวกับพื้นที่ของชุมชน ตลิ่งที่งอกในเวลาต่างๆ กันของปีมีผลกระทบต่อการคำนวณค่า n เช่นกัน ข้อมูลจาก Gage จะสามารถนำมาใช้ในการคำนวณค่า n ได้เช่นกัน เหตุการณ์น้ำท่วมต่างๆ ของมาตราส่วนขนาดเล็ก เพื่อให้การไหลอยู่ในช่องทางสามารถนำมาใช้ในการประมาณค่า n หรือค่า NV ในท้องลำน้ำ ถ้ารูปแบบของท้องน้ำหรือวัชพืชทำให้ค่า n เปลี่ยนความลึก NV คือค่าของตัวแปร n ที่เปลี่ยนแปลงไปตามความลึกที่ใช้กับ HEC-RAS 4.1 เมื่อเราได้ค่า n ในช่องทางแล้วเราสามารถใช้ข้อมูลน้ำท่วมอื่นมาประมาณค่าเฉลี่ยของ 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 ค่าเป็นข้อมูลด้านเข้าของรูป

ตัด ถ้าค่าทั้ง 3 ค่าเป็นบ่งบอกค่าได้ถึง 20 ค่า ซึ่งผันแปรไปตามระยะทางในแนวราบตามรูปตัด ในกรณีดังกล่าวนี้ค่า n ในช่องทางที่ผันแปรกับระดับจะบ่งบอกได้



รูปที่ 2.6 ค่าประมาณของช่วงความยาวของแม่น้ำด้านท้ายน้ำ และมีเกณฑ์ความลึกปกติ



รูปที่ 2.7 การประมาณช่วงความยาวแม่น้ำด้านท้ายน้ำ โดยมีความลึกวิกฤต

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n

ชนิดของช่องทางและคำอธิบาย	ต่ำสุด	ปกติ	สูงสุด
A. Closed conduits flowing partly full			
A-1. Metal			
a. Brass, smooth	0.009	0.010	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	0.024	0.030
A-2. Nonmetal			
a. Lucite	0.008	0.009	0.010
b. Glass	0.009	0.010	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	0.013	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	0.014	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	0.013	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

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n (ต่อ)

ชนิดของช่องทางและคำอธิบาย	ต่ำสุด	ปกติ	สูงสุด
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
B. Lined or built-up channels			
B-1. Metal			
a. Smooth steel surface			
1. Unpainted	0.011	0.012	0.014
2. Painted	0.012	0.013	0.017
b. Corrugated	0.021	0.025	0.030
B-2 Nonmetal			
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	0.013	0.015
2. Float finish	0.013	0.015	0.016
3. Finished, with gravel on bottom	0.015	0.017	0.020
4. Unfinished	0.014	0.017	0.020
5. Gunite, good section	0.016	0.019	0.023
6. Gunite, wavy section	0.018	0.022	0.025
7. On good excavated rock	0.017	0.020	
8. On irregular excavated rock	0.022	0.027	
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

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n (ต่อ)

ชนิดของช่องทางและคำอธิบาย	ต่ำสุด	ปกติ	สูงสุด
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	0.013	0.015
2. In cement mortar	0.012	0.015	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
i. Asphalt			
1. Smooth	0.013	0.013	
2. Rough	0.016	0.016	
j. Vegetal lining	0.030		0.500
C. Excavated or dredged			
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

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n (ต่อ)

ชนิดของช่องทางและคำอธิบาย	ต่ำสุด	ปกติ	สูงสุด
D. Natural streams			
D-1. Minor streams (top width at flood Stage < 100 ft)			
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
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. Mountain streams, no vegetation in channel, banks usually steep, trees and brush along banks submerged at high stages			
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	
D-2. Floodplains			
a. Pasture, no brush			
1. Short grass	0.025	0.030	0.03
2. High grass	0.030	0.035	0.05
b. Cultivated areas			
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
c. Brush			
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	
d. Trees			

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n (ต่อ)

ชนิดของช่องทางและคำอธิบาย	ต่ำสุด	ปกติ	สูงสุด
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
D-3. Major streams (top width at flood Stage >100 ft), The n value is less than that for minor streams of similar description because banks offer less effective resistance.			
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
ตอม่อทรงกลมคู่ทั้งหน้าและหลังโดยไม่มีผนัง	1.05
ตอม่อทรงกลมคู่ทั้งหน้าและหลังโดยมีผนัง	0.95
ครึ่งทรงกลมทั้งหน้าและหลัง	0.90

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

$$n = (n_0+n_1+n_2+n_3+n_4)\, m_5 \qquad \ldots (2.14)$$

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

ในโปรแกรม HEC-RAS 4.1 จะสามารถประมาณค่าของ n ได้ ถ้ามีคราบน้ำระดับสูงหรือน้ำท่วม ในช่วงลำน้ำที่ต้องการ ถ้าทางเลือก n-value option โปรแกรมจะคำนวณค่า n เพื่อหาระดับของพื้นผิวน้ำของอัตราการไหลที่กำหนดให้ในแต่ละหน้าตัด วิธีการดังกล่าวมีปัญหาคือความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากข้อมูลจะส่งผลต่อการคำนวณได้ เช่น อาจจะมีการพิจารณาความไม่แน่นอนของค่าการไหลที่สมมติขึ้น และระดับคราบน้ำที่สูง ค่าอัตราการไหลที่ได้จากระดับที่รู้อาจไม่ได้มาจากระดับน้ำท่วม 100 ปี หรือ เหตุการณ์อื่นๆ ที่มาเกี่ยวข้อง ระดับคราบน้ำอาจมาจากผลของขยะ หรือสิ่งที่พัดพามากับน้ำ เมื่อเกิดความคลาดเคลื่อนผลที่ได้จากโปรแกรมก็จะเกิดความคลาดเคลื่อนด้วย

เมื่อเราประมาณค่า n ได้จากคราบน้ำท่วมของเหตุการณ์น้ำท่วมต่างๆ สิ่งที่นำมาพิจารณาด้วยคือ 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 การลุกล้ำสิ่งก่อสร้างเข้าไปในลำคลอง ฯลฯ ย่อมทำให้น้ำไหลได้ลำบากขึ้น ทั้งนี้ ขึ้นกับชนิดของโครงสร้าง รูปร่าง จำนวน การเรียงตัว

(5.) ความลึกของการไหลและอัตราการไหล (Stage and discharge) ตามปกติ ค่า n จะลดลงเมื่อมีความลึกมากขึ้น หรือมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อเราเปรียบเทียบพื้นที่การสัมผัสของผนังคลองเมื่อมีปริมาณน้ำน้อยกับปริมาณน้ำทั้งหน้าตัดจะพบว่า เมื่อมีปริมาณน้ำที่มากจะมีสัดส่วนการสัมผัสที่น้อยกว่า

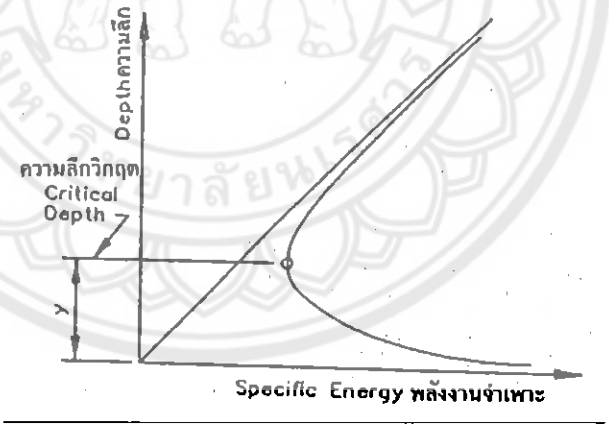
2.5 ความลึกวิกฤติและความนัยสำคัญของเทอม

ความลึกวิกฤติเป็นคุณลักษณะของการไหลที่มีสำคัญมาก เพราะว่าเป็นตัวแทนของเกณฑ์ในการหากฎเกณฑ์ของการไหล การไหลที่มีความลึกอยู่เหนือความลึกวิกฤติ จะเป็นการไหลต่ำกว่าวิกฤต และการไหลที่มีความลึกต่ำกว่าวิกฤตจะเป็นการไหลที่เหนือกว่าวิกฤติ การไหลที่จุดใกล้เคียงความลึกวิกฤติเรียกว่า การไหลวิกฤติ แต่การไหลนี้จะไม่แน่นอนเพราะว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ในพลังงานจำเพาะ โดยจะเป็นสาเหตุให้เปลี่ยนแปลงอย่างมากในความลึกวิกฤติ

พลังงานจำเพาะ (Specific energy, E)

ที่รูปตัดขวางเป็นหัวความดันพลังงานอยู่เหนือจุดต่ำในช่องทาง ดังนั้นผลรวมของความลึก y และหัวความเร็ว $V^2/2g$ แสดงอยู่ในสมการที่ 2.15 รูปที่ 2.8 แสดงถึงโค้งพลังงานจำเพาะ เป็นการพล็อตของพลังงานจำเพาะต่อความลึกตามอัตราการไหลออกที่กำหนดให้ โค้งแสดงพลังงานจำเพาะที่กำหนดให้ โดยมีความลึกที่เป็นไปได้อยู่ 2 อย่าง ยกเว้นความลึกวิกฤติ ความลึกวิกฤตจะเกิดขึ้นที่จุดที่มีค่าพลังงานจำเพาะต่ำสุดในโค้ง

$$E = y + \frac{V^2}{2g} \qquad \text{.... (2.15)}$$



รูปที่ 2.8 โค้งพลังงานจำเพาะ

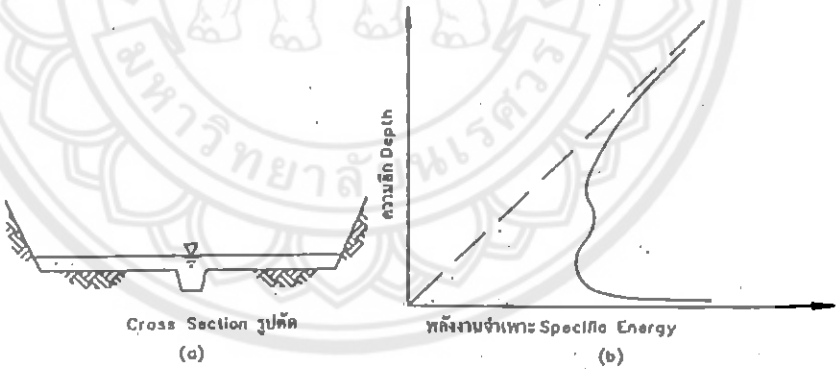
การหาความลึกวิกฤตค่อนข้างยุ่งยาก โดยการแผ่กระจายของความเร็วในรูปตัดทางขวางที่ไม่ปกติที่เกี่ยวข้องกับทุ่งน้ำนอง หัวความเร็วในสมการพลังงานจำเพาะคูณด้วย Coriolis หรือสัมประสิทธิ์การแผ่กระจายความเร็ว α ขึ้นบัญชีเป็นการผันแปรทางราบของความเร็วบนรูปตัดทางขวางและแสดงนิพจน์อย่างละเอียดในพลังงานจำเพาะ (สมการที่ 2.16) การหาสัมประสิทธิ์ของความเร็วนี้ในตอนต่อไป

$$E=y+\frac{V^2}{2g} \qquad \text{.... (2.16)}$$

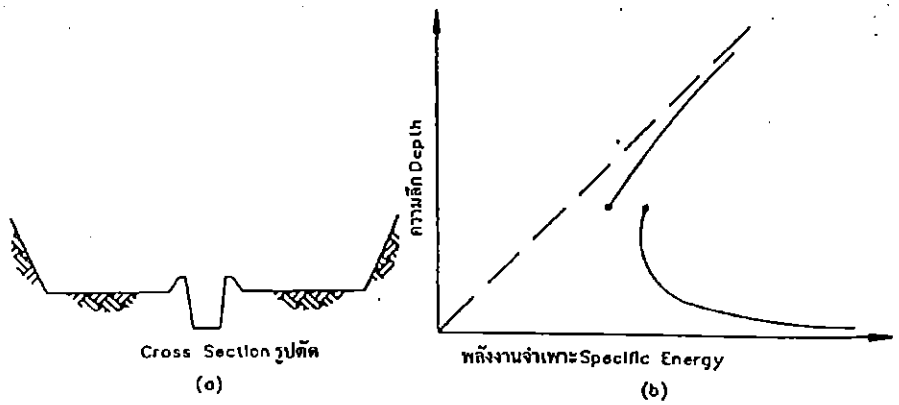
โดยที่ $\propto$ เป็นสัมประสิทธิ์การแผ่กระจายความเร็ว

ทุ่งน้ำนองที่แบนและกว้างเป็นสาเหตุของปัญหาในการคำนวณความลึกวิกฤต การไม่เท่ากันในช่องทางและพื้นที่ที่ไหลล้นเหนือฝั่ง เป็นสาเหตุให้มีค่าต่ำสุดหลายค่า และการไม่ต่อเนื่องในโค้งพลังงานจำเพาะ และกฎเกณฑ์การไหลที่ผสมกัน (1,2,3) ปัญหาเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการไหลลงทางข้าง และความแตกต่างในการไหลระหว่างช่องทางและบนฝั่งจะต้องเอาใจใส่โดยเฉพาะในบางกรณี *จะต้องหาผลลัพธ์โดยใช้การวิเคราะห์แบบ 2 มิติ*

ค่าพลังงานจำเพาะ 2 ค่า อาจเกิดขึ้นที่รูปตัดที่มีพื้นที่ไหลล้นบนฝั่งกว้างๆ ดูรูปที่ 2.9 การเกิดค่าต่ำสุดภายในช่องทาง จะน้อยกว่าบนสุด ขณะที่ความลึกของการไหลเพิ่มขึ้นจะไหลล้นไปบนฝั่ง หัวความเร็วจะลดลงเร็วกว่าหัวระดับเพิ่มขึ้น และค่าต่ำสุดอันที่ 2 จะเพิ่มขึ้นเหนือระยะบนสุดของช่องทางถ้าคันเกิดขึ้นระหว่างช่องทางและพื้นที่น้ำนอง โค้งพลังงานจะไม่เพียงแต่มีค่าต่ำสุด 2 ค่า แต่ยังไม่ต่อเนื่องกัน รูปที่ 2.10 ขณะที่เกิดการไหลล้นบนคันพื้นที่ของการไหลไม่ต่อเนื่องจะเพิ่มขึ้น และพลังงานจำเพาะจะลดลง มีผลต่อโค้งพลังงานจำเพาะที่ต่อเนื่อง ค่าต่ำสุดจะเกิดขึ้น ณ จุดไม่ต่อเนื่องและอีกจุดหนึ่งจะเกิดขึ้นที่ส่วนต่อเนื่องของโค้งเป็นได้เหนือและต่ำกว่าระดับคัน



รูปที่ 2.9 โค้งพลังงานจำเพาะที่มีค่าต่ำสุด 2 ค่า



รูป 2.10 การไม่ต่อเนื่องของโค้งพลังงานจำเพาะ

ชนิดของการไหลในทุ่งน้ำนองแบบนี้จะเป็นกฎเกณฑ์การไหลผสม มีคุณลักษณะทั้งต่ำกว่าวิกฤตและเหนือกว่าวิกฤต เกิดเป็นระบบในส่วนที่แตกต่างกันของรูปตัด โดยปกติแล้วเมื่อเกิดขึ้นการไหลในช่องทางจะเหนือวิกฤต และการไหลบนตลิ่งจะต่ำกว่าวิกฤต การแบ่งย่อยของค่า F_r ซึ่งสามารถชี้ให้เห็นกฎเกณฑ์ของการไหลในการไหลล้นบนพื้นฝั่งทั้งสอง ได้นำมาพัฒนาและตรวจสอบ (4) โดยจะสามารถชี้ให้เห็นถึงกฎเกณฑ์การไหลผสมและการไหลล้นบนฝั่งที่ตื้นมาก สามารถจำลองโมเด็มด้วยวิธี standard-step ซึ่งใช้ในการคำนวณหน้าข้างการไหลโดยทั่วไป

ในโปรแกรม HEC-RAS 4.1 ระดับพื้นผิวน้ำวิกฤตของรูปตัดหาโดยการคำนวณระดับซึ่งหัวพลังงานทั้งหมดจะต่ำสุด ทำได้โดยใช้การย้อนซ้ำ ซึ่งสมมติค่าระดับพื้นผิวน้ำ WS และค่าที่สอดคล้องของพลังงานทั้งหมด คำนวณโดยใช้สมการที่ 2.17 จนกระทั่งได้ค่าต่ำสุดของ H

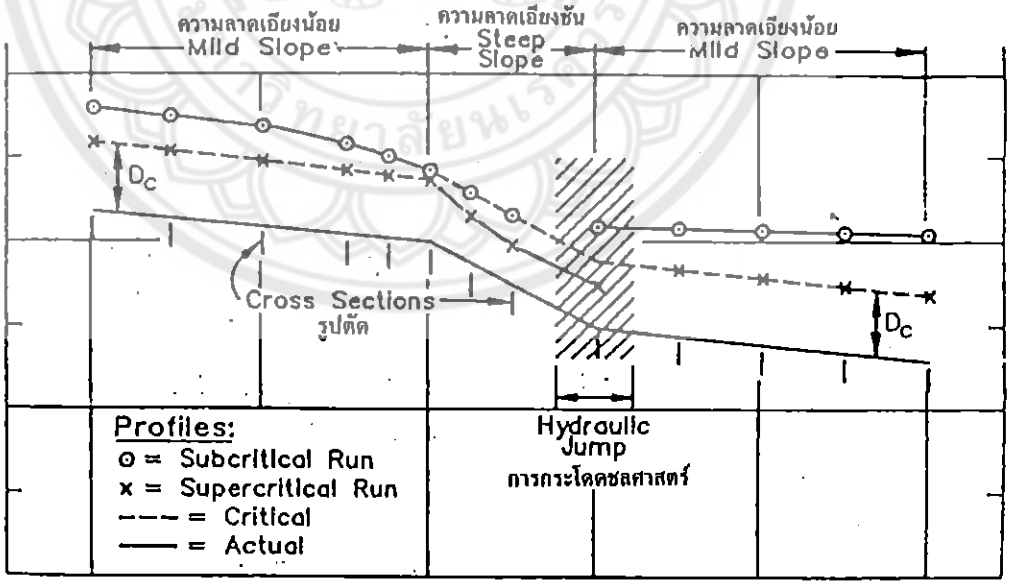
$$H = WS + \frac{V^2}{2g} \qquad \text{.... (2.17)}$$

ในการเพิ่มอัตราเร็วของขบวนการย้อนซ้ำ วิธีการแบ่งค่าพาราโบลิคจะนำมาใช้ในการหาผลลัพธ์ของค่า H เพื่อหาค่า WS 3 ค่า โดยมีช่วงระยะเท่ากัน (5) WS จะสอดคล้องกับค่าต่ำสุดของ H ซึ่งจะอธิบายโดยพาราโบลา 3 จุดนี้ใช้เป็นพื้นฐานของสมมติฐานถัดไปในค่าของ WS

HEC-RAS 4.1 จะคำนวณหน้าข้างการไหลที่มีอยู่เหนือวิกฤตหรือต่ำกว่าวิกฤต ผู้ใช้จะต้องบ่งถึงกฎเกณฑ์การไหลและสืบเนื่องมาคือการใส่แฟ้มข้อมูลเนื่องจากว่ามีกฎเกณฑ์การไหล 2 อย่างในส่วนที่ศึกษาจึงจำเป็นที่จะต้องรันโปรแกรมในกฎเกณฑ์การไหลทั้ง 2 อย่างเพื่อหาหน้าข้างการไหลที่สมบูรณ์

หน้าข้างการไหลที่แสดงในรูป 2.11 แสดงถึงปัญหานี้ในช่วงด้านเหนือน้ำมีความลาดเอียง mild โดยมีความลึกปกติอยู่เหนือวิกฤตในช่วงตอนกลางมี steep slope ซึ่งมีความลึกปกติอยู่ต่ำกว่าวิกฤตและช่วงท้ายน้ำมี mild slope ซึ่งความลึกปกติจะอยู่เหนือวิกฤต หน้าข้างการไหลของความลึกวิกฤตแสดงเป็นเส้นประ

หน้าข้างการไหลที่เป็นความลึกต่ำกว่าวิกฤตจะคำนวณโดยเริ่มจากรูปตัดด้านท้ายน้ำ และดำเนินจากรูปตัดหนึ่งไปสู่อีกรูปตัดหนึ่ง หน้าข้างการไหลเหนือวิกฤตคำนวณที่รูปตัดด้านเหนือน้ำและดำเนินการไปยังด้านท้ายน้ำ จากรูปที่แสดงจะอธิบายการคำนวณหน้าข้างการไหลที่ต่ำกว่าวิกฤตก่อน เริ่มที่ปลายสุดด้านท้ายน้ำ หน้าข้างการไหลจะคำนวณความลึกเหนือวิกฤตในช่วงที่ต่ำกว่าของ mild slope ในช่วงความลาดเอียงที่ชันการไหลจะเป็นเหนือวิกฤตอย่างแท้จริง แต่ในระเบียบวิธีต่ำกว่าวิกฤต HEC-RAS 4.1 จะไม่คำนวณระดับพื้นผิวน้ำต่ำกว่าความลึกวิกฤตที่ปลายบนสุดของช่วงนี้ ความลาดเอียงจะกลายเป็น mild อีกครั้ง และหน้าข้างการไหลผ่านวิกฤตจากหน้าตัดที่ควบคุมบนด้านเหนือน้ำจะคำนวณหน้าข้างไหลต่ำกว่าวิกฤตออกมา



รูปที่ 2.11 หน้าข้างการไหลเหนือและต่ำกว่าวิกฤตคำนวณโดยใช้ HEC-RAS

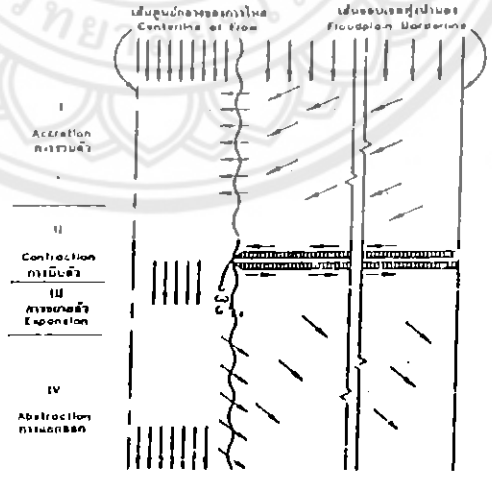
2.6 การไหลผ่านของน้ำโดยผ่านสิ่งกีดขวาง

เนื่องจากการศึกษาของการไหลผ่านของทุ่งน้ำนองกระทำบนพื้นที่ชุมชน ซึ่งมักจะประกอบด้วยสะพาน ท่อลอด ฝาย และสะพานในรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้นการวิเคราะห์การไหลผ่านสะพานและอื่น ๆ จึงถือว่าเป็นเรื่องหลัก เพราะว่ามีอยู่หลายแบบ และมีสภาวะการไหลที่สลับซับซ้อนเกิดขึ้นที่สะพาน การวิเคราะห์การไหลผ่านสะพาน จึงเป็นปัญหาค่อนข้างยากที่เข้ามาเกี่ยวข้อง

การสูญเสียพลังงานที่สะพานและท่อลอดจึงประกอบด้วยการสูญเสียในช่วงลำน้ำที่รูปตัดเหนือน้ำ และท้ายน้ำที่ติดอยู่สะพาน และการสูญเสียในตัวอาคารของสะพานเอง ในช่วงที่ติดกับสะพานด้านเหนือน้ำ การไหลจะอยู่ในช่วงสภาพของช่วงตัวที่บีบเข้า (contraction) กับสะพาน และที่รูปตัดด้านท้ายน้ำที่ติดกับสะพาน การไหลจะถูกขยายขณะที่ไหลออกจากสะพานในช่วงเวลาทั้งสองที่กล่าวมานี้

2.6.1 ธรรมชาติการไหลผ่านสะพาน

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



รูปที่ 2.12 ไดอะแกรมของการไหลผ่านคอคอดสะพาน

เหนือน้ำจากสะพานจะไกลเพียงพอเนื่องจากการไหลที่สอบเข้าสู่สะพานจะมีอิทธิพลมาจากสะพาน เส้นทางการไหลจะขนานกัน ขณะที่การไหลเคลื่อนตัวจากจุดนี้ไปสู่สะพาน การไหลบนฝั่งจะเคลื่อนตัวเข้าสู่ช่องทาง เพื่อให้การไหลทั้งหมดสามารถผ่านเข้าสู่รูเปิดของสะพานได้ ในขอบเขตของการรวมตัวการไหลจะกลายมาเป็นการไหลผันแปรทีละน้อย ในขอบเขตของการบีบตัวจะเริ่มต้นที่รูปตัดที่อยู่ติดกับตัวสะพานด้านผิวน้ำ โดยที่การไหลจะติดกับทางเข้าของรูเปิดสะพาน โดยที่การไหลจะถูกบีบอย่างรุนแรงที่รูเปิดของสะพาน

ในเขตของ การแยกออก ทางด้านท้ายน้ำของสะพานเป็นส่วนของขอบเขตการรวมตัวด้านเหนือน้ำซึ่งเป็นลักษณะการผันแปรทีละน้อย ในขอบเขตนี้การไหลจะเคลื่อนที่ทางข้างผ่านลำน้ำเอง และครั้งสุดท้ายย้อนกลับไปเข้าสู่สภาวะการไหลของน้ำท่วมปกติที่ระยะทางด้านท้ายน้ำ

2.6.2 การแบ่งชั้นการไหลต่ำผ่านของสะพาน

ภาวะการไหลต่ำกว่าที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำทั้งหมดไหลผ่านช่องทางเปิดของสะพานและพื้นที่ผิวน้ำอยู่ที่ต่ำกว่า low chord หน้าข้างการไหลดังแสดงในรูปที่ 2.19 แสดงถึงการไหลต่ำ 3 ชั้นด้วยกัน

Class A low flow

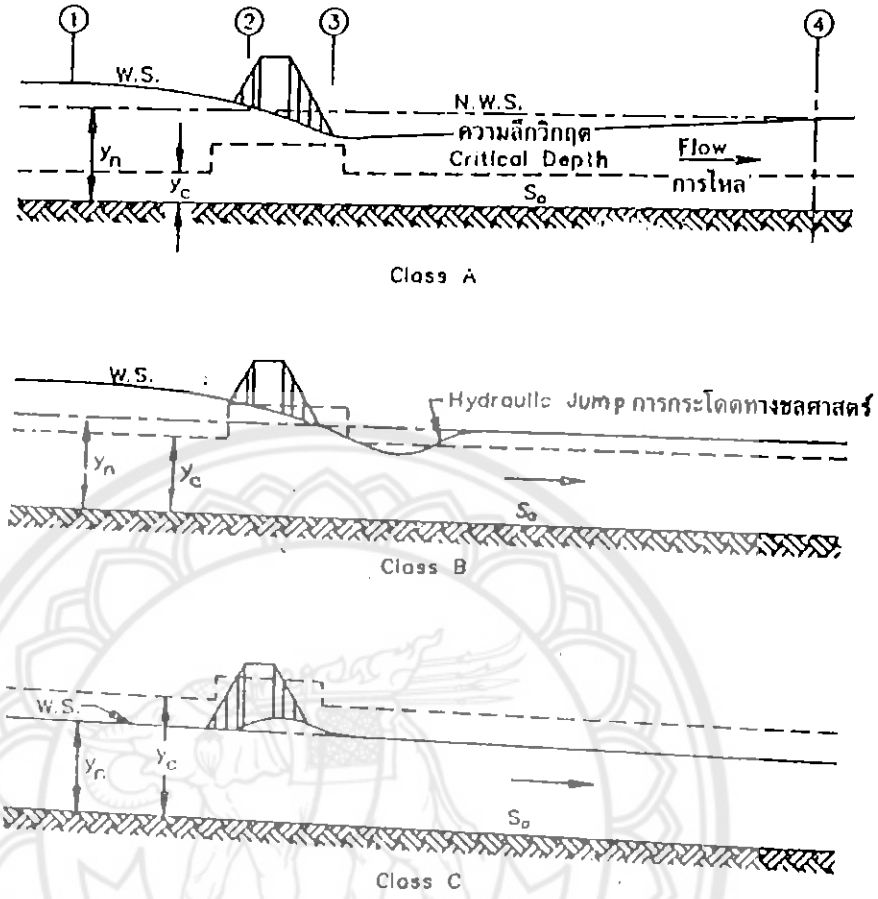
เกิดขึ้นในขอบเขตการไหลต่ำกว่าวิกฤต เมื่อหน้าข้างการไหลของพื้นผิวน้ำผ่านสะพานยังคงอยู่เหนือความลึกวิกฤต การเปลี่ยนแปลงผิวน้ำสาเหตุมาจากสะพาน

Class B low flow

การไหลของผิวน้ำจะผ่านความลึกวิกฤตในคอคอดของสะพาน โดยจะเกิดทั้งคู่ในการไหลต่ำกว่าวิกฤต ดังแสดงในรูป การไหลเหนือวิกฤตจะอยู่ในช่วงระยะทางสั้น ๆ ก่อนจะกลับมาเป็นการไหลต่ำกว่าวิกฤตในการกระโดดทางชลศาสตร์

Class C low flow

เป็นการไหลแบบเหนือวิกฤตเมื่อผ่านสะพาน ถึงแม้ว่าหน้าข้างของการไหลผิวน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากคอคอด และระดับน้ำของการไหลจะไหลสูงขึ้นได้ไม่เพียงพอถึงความลึกวิกฤตก็ตาม



รูป 2.13 หน้าข้างการไหลของพื้นผิวน้ำผ่านคอคอดสะพานของชั้นการไหลที่แตกต่างกันออกไป

2.7 ความลึกวิกฤต และพลังงานจำเพาะ

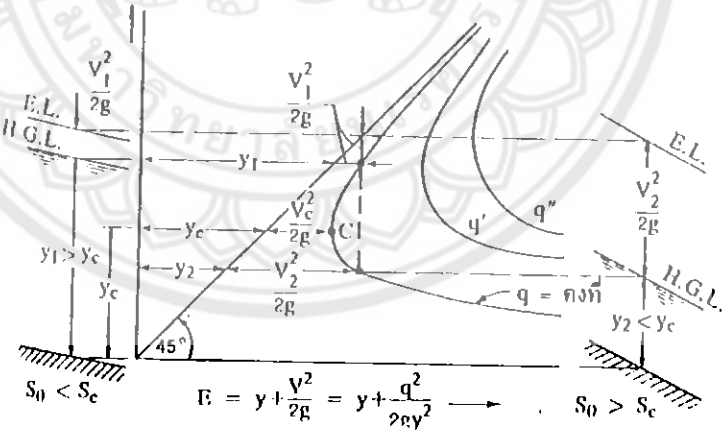
ความลึกวิกฤต เป็นคุณลักษณะของของไหลที่มีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวแทนในการหากฎเกณฑ์ของการไหล การไหลที่มีความลึกมากกว่าความลึกวิกฤตจะเป็นการไหลใต้วิกฤต(Sub - critical flow) ส่วนการไหลที่มีความลึกของการไหลต่ำกว่าความลึกวิกฤต จะเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤต (Sub - critical flow) การไหลที่จุดใกล้เคียงความลึกวิกฤตเรียกว่า ความลึกวิกฤต

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

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

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

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



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 ค่าหนึ่งที่ให้ค่า y ต่ำสุด สภาวะการไหลที่มีค่า E ต่ำสุดเรียกว่า การไหลวิกฤต (Critical flow) ความลึกที่สภาวะนี้เรียกว่า ความลึกวิกฤต (Critical depth, y_C) และความเร็วที่สภาวะนี้เรียกว่า ความเร็ววิกฤต (Critical velocity , Vc) โดย

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

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

การไหลจะมีค่าสูงสุดที่ y = y_C คือ

$$q_{\max} = \sqrt{gy_c^2} \quad \text{.... (2.22)}$$

ในกรณีที่ช่องทางการไหลไม่ใช่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ค่าพลังงานจำเพาะคือ

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

ความสัมพันธ์ของปริมาณต่างๆ ที่สภาวะวิกฤต คือ

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

โดย B คือ ความกว้างของช่องทางที่ไหลที่ผิวอิสระ

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงการ

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 โปรแกรม HEC-RAS version 4.1

3.1.2 โปรแกรม Google Earth

3.1.3 เครื่องคอมพิวเตอร์

3.2 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ศึกษาแนวทางการวางแผน และศึกษาทฤษฎีที่ต้องใช้เกี่ยวกับทางน้ำเปิดตามธรรมชาติ

3.2.2 ศึกษาการใช้โปรแกรม HEC-RAS จาก Help ในโปรแกรม โดยทำการแปลกับการลองใช้โปรแกรม และศึกษาจากหนังสือคู่มือ การใช้โปรแกรม HEC-RAS

3.2.3 รับคำแนะนำเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม HEC-RAS จากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

3.2.4 รับคำแนะนำเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม Google Earth จากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

3.2.5 หาระดับ Cross-section ของสองฝั่งลำน้ำยมจากโปรแกรม Google Earth

3.2.6 นำค่า Cross-section ใส่โปรแกรม HEC-RAS และใช้ค่าความขรุขระของแมนนิ่ง (n) ของฝั่งซ้ายและฝั่งขวา เท่ากับ 0.2 แล้วกลางแม่น้ำ เท่ากับ 0.03

3.2.7 นำข้อมูลระดับ – ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวัน ของปี 2554 ใส่ด้านเหนือน้ำเข้าที่เหนือบางระกำ Y16 : flow hydrograph ส่วนท้ายน้ำให้เป็นระดับน้ำY5(โพทะเล) : stage hydrograph

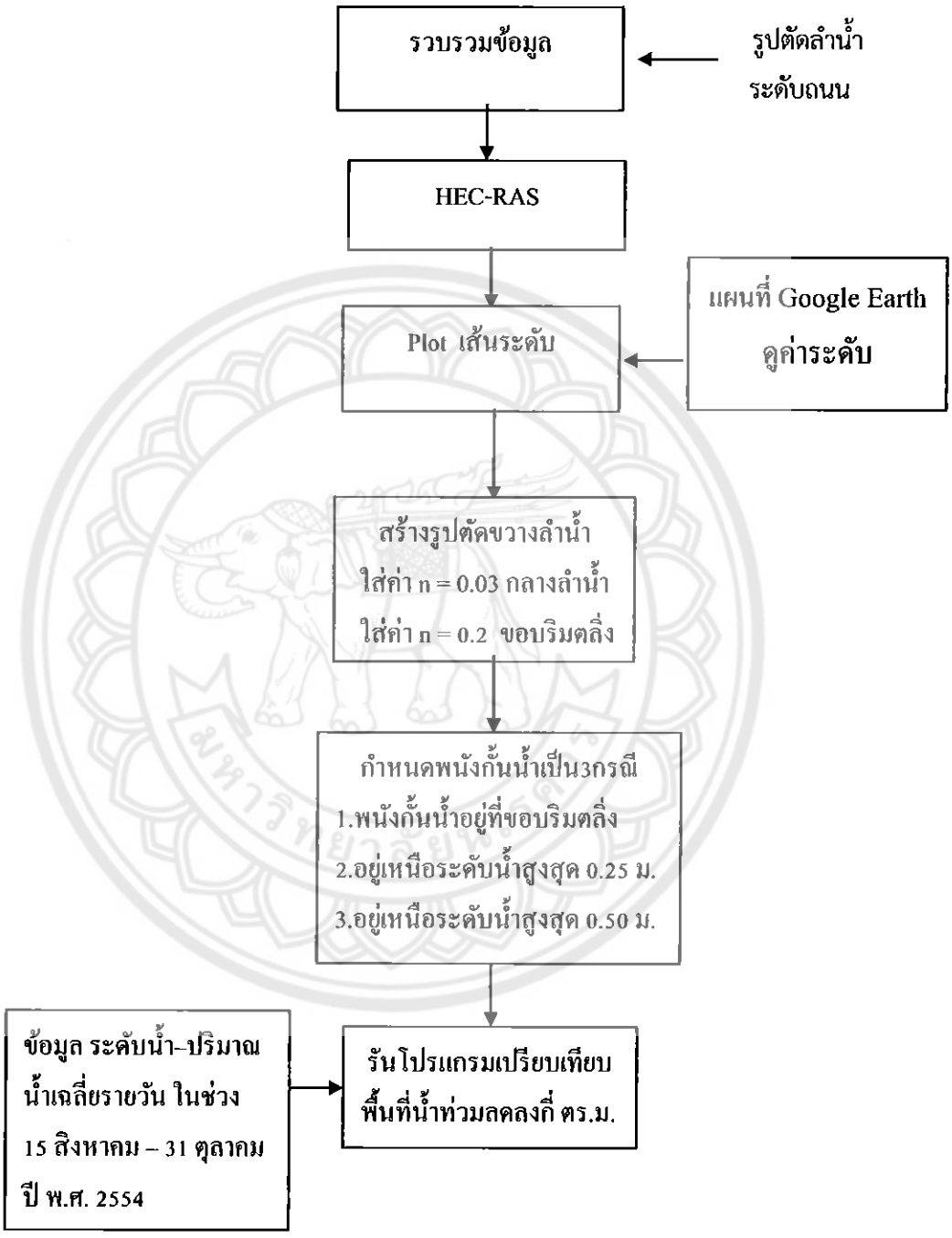
3.2.8 ใส่ค่าระดับพนังกั้นน้ำอยู่ที่ระดับ 0.0 ม. ของริมตลิ่งในโปรแกรม HEC-RAS เพื่อหาพื้นที่น้ำท่วม ระดับการไหลล้นตลิ่งทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวา

3.2.9 ใส่ค่าระดับพนังกั้นน้ำอยู่เหนือระดับน้ำ 0.25 ม. ในโปรแกรม HEC-RAS เพื่อหาพื้นที่น้ำท่วม ระดับการไหลล้นตลิ่งทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวา

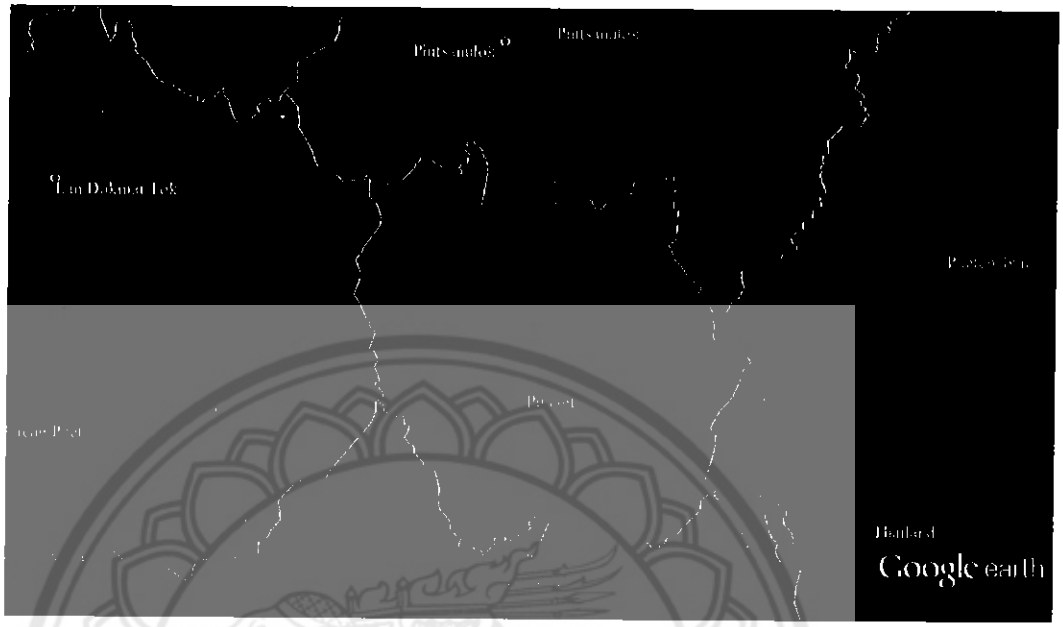
3.2.10 ใส่ค่าระดับพนังกั้นน้ำอยู่เหนือระดับน้ำ 0.50 ม. ในโปรแกรม HEC-RAS เพื่อหาพื้นที่น้ำท่วม ระดับการไหลล้นตลิ่งทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวา

3.2.11 รวบรวมข้อมูลเปรียบเทียบและสรุปผล

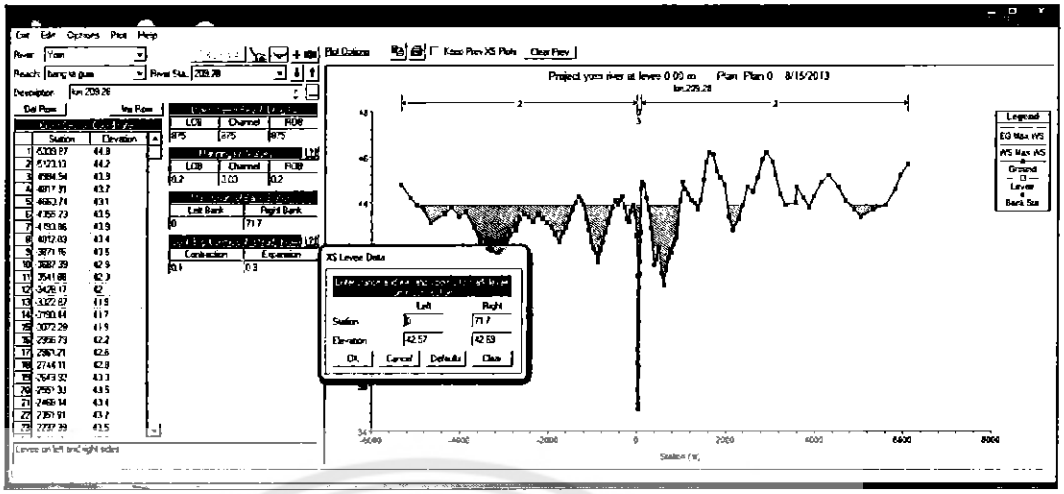
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานตามผังงานดังนี้



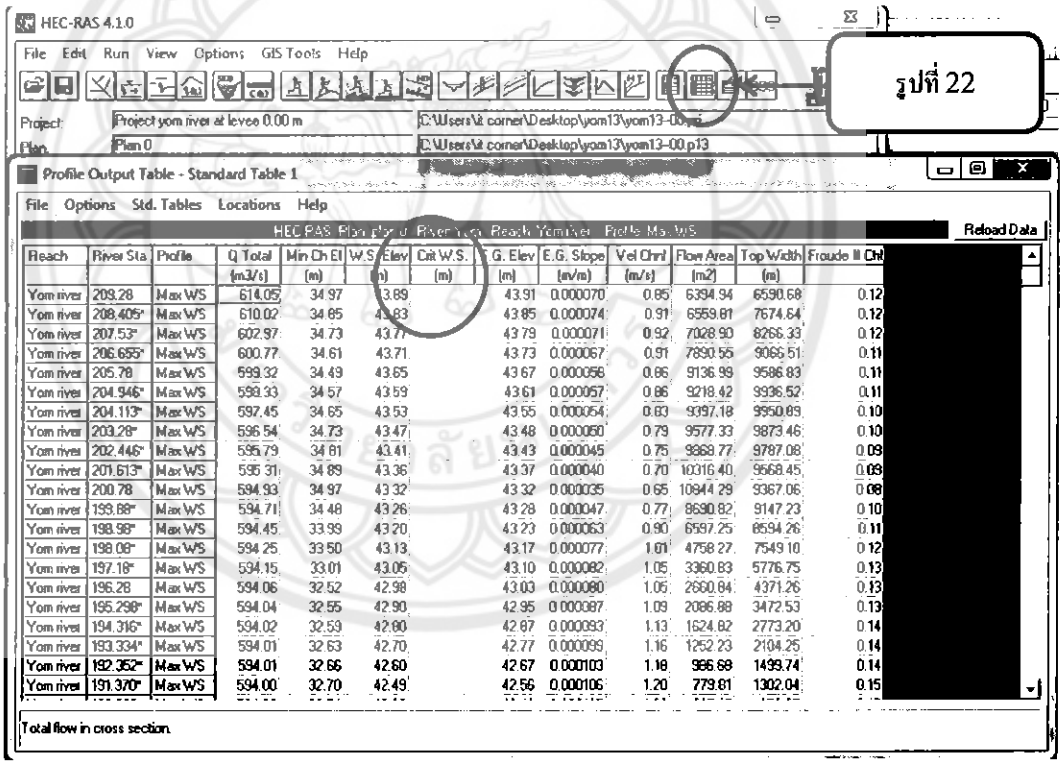
รูปที่ 3.1 ผังแสดงการดำเนินงาน



รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายทางอากาศ Google earth แม่น้ำยม อำเภอบางระกำ จังหวัด**พิษณุโลก ถึง อำเภอ**
ชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์



รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการใส่ระดับพนังกั้นน้ำ เข้าเมนู cross-section > option > levee



Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/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 (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Yom river	209.28	Max WS	614.05	34.97	43.89		43.91	0.000070	0.85	6394.94	6590.68	0.12
Yom river	208.405*	Max WS	610.02	34.85	43.83		43.85	0.000074	0.91	6559.81	7674.64	0.12
Yom river	207.53*	Max WS	602.97	34.73	43.77		43.79	0.000071	0.92	7028.90	8266.33	0.12
Yom river	206.655*	Max WS	600.77	34.61	43.71		43.73	0.000067	0.91	7890.55	9066.51	0.11
Yom river	205.78	Max WS	599.32	34.49	43.65		43.67	0.000056	0.86	9136.99	9586.83	0.11
Yom river	204.946*	Max WS	599.33	34.57	43.59		43.61	0.000057	0.86	9218.42	9936.52	0.11
Yom river	204.113*	Max WS	597.45	34.65	43.53		43.55	0.000054	0.83	9397.18	9950.09	0.10
Yom river	203.28*	Max WS	596.54	34.73	43.47		43.48	0.000050	0.79	9577.33	9873.46	0.10
Yom river	202.446*	Max WS	595.79	34.81	43.41		43.43	0.000045	0.75	9868.77	9787.08	0.09
Yom river	201.613*	Max WS	595.31	34.89	43.36		43.37	0.000040	0.70	10316.40	9568.45	0.09
Yom river	200.78	Max WS	594.93	34.97	43.32		43.32	0.000035	0.65	10944.29	9367.06	0.08
Yom river	199.88*	Max WS	594.71	34.48	43.26		43.28	0.000047	0.77	8690.82	9147.23	0.10
Yom river	198.98*	Max WS	594.45	33.99	43.20		43.23	0.000063	0.90	6597.25	8594.26	0.11
Yom river	198.08*	Max WS	594.25	33.50	43.13		43.17	0.000077	1.01	4758.27	7549.10	0.12
Yom river	197.18*	Max WS	594.15	33.01	43.05		43.10	0.000082	1.05	3360.83	5776.75	0.13
Yom river	196.28	Max WS	594.06	32.52	42.98		43.03	0.000080	1.05	2660.84	4371.26	0.13
Yom river	195.298*	Max WS	594.04	32.55	42.90		42.95	0.000087	1.09	2086.88	3472.53	0.13
Yom river	194.316*	Max WS	594.02	32.59	42.80		42.87	0.000093	1.13	1624.82	2773.20	0.14
Yom river	193.334*	Max WS	594.01	32.63	42.70		42.77	0.000099	1.16	1252.23	2104.25	0.14
Yom river	192.352*	Max WS	594.01	32.66	42.60		42.67	0.000103	1.18	986.68	1499.74	0.14
Yom river	191.370*	Max WS	594.00	32.70	42.49		42.56	0.000106	1.20	779.81	1302.04	0.15

รูปที่ 3.4 แสดงการใส่ค่าพนังกั้นน้ำให้อยู่เหนือระดับน้ำสูงสุด

หน้าหนักของโปรแกรม HEC-RAS เข้ารูปที่ 22 > เลือกค่า W.S Elev + 0.25 และ 0.50 ม.

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการรันโปรแกรม ในช่วงที่น้ำสูงสุดของ ปี พ.ศ.2554

Reach	River Sta	Profile	Q Total	W.S. Elev	W.S. Elev	W.S. Elev	Top Width	Top Width	Top Width
			(m3/s)	0.00(m)	0.25(m)	0.50(m)	0.00(m)	0.25(m)	0.50(m)
yom river	209.28	Max WS	614.05	43.89	44.91	44.86	6590.68	10007.38	9875.84
yom river	205.78	Max WS	599.32	43.65	44.76	44.71	9586.83	11308.53	11266.18
yom river	200.78	Max WS	594.93	43.32	43.76	43.72	9367.06	9820.47	64.09
yom river	196.28	Max WS	594.06	42.98	43.18	43.14	4371.26	70.82	70.82
yom river	185.48	Max WS	593.97	41.83	41.96	41.93	185.02	75.21	75.21
yom river	181.38	Max WS	593.95	41.37	41.49	41.47	181.69	66.72	66.72
yom river	181.08	Max WS	593.94	41.33	41.45	41.43	85.24	65.16	65.16
yom river	174.38	Max WS	593.92	40.93	41.04	41.02	141.9	137.42	137.35
yom river	170.38	Max WS	593.9	40.75	40.86	40.85	125.23	118.11	118.11
yom river	164.38	Max WS	593.88	40.5	40.6	40.6	121	112.46	112.45
yom river	158.38	Max WS	593.86	40.22	40.32	40.33	100.74	101.04	101.05
yom river	157.18	Max WS	593.86	40.17	40.26	40.27	99.35	99.63	99.64
yom river	153.88	Max WS	593.85	39.97	40.07	40.08	102.16	92.2	92.21
yom river	145.08	Max WS	593.81	39.36	39.43	39.46	645.55	104.96	104.96
yom river	139.58	Max WS	593.77	38.9	38.95	39.01	621.22	105.35	105.35
yom river	133.58	Max WS	593.71	38.44	38.47	38.56	681.69	123.79	123.79
yom river	130.08	Max WS	593.66	38.04	38.04	38.16	85.13	85.12	85.7
yom river	126.35	Max WS	593.73	37.35	37.35	37.49	88.34	88.31	88.91
yom river	121.58	Max WS	590.63	35.87	36.1	36.31	7462.4	80.4	80.4
yom river	115.53	Max WS	586.46	35.36	35.56	35.72	4885.61	486.21	486.5
yom river	108.53	Max WS	587.24	34.87	35.04	35.13	975.44	59.56	59.96
yom river	102.93	Max WS	582.54	34.11	34.34	34.57	6909.87	91.7	91.7
yom river	102.83	Max WS	582.56	34.11	34.33	34.56	6905.62	156.6	156.6

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการรันโปรแกรม ในช่วงที่น้ำสูงสุดของ ปี พ.ศ.2554 (ต่อ)

yom river	101.58	Max WS	582.46	34.07	34.29	34.51	8889.53	107.7	107.7
yom river	99.75	Max WS	582.19	34	34.22	34.41	7273.52	103.9	103.9
yom river	95.4	Max WS	582.6	33.64	33.72	33.95	92.66	93.05	94.07
yom river	95.3	Max WS	582.59	33.63	33.71	33.94	92.59	92.98	94.05
yom river	91.1	Max WS	583.18	33.26	33.48	33.69	5470.12	98.1	98.1
yom river	83.5	Max WS	584.13	32.99	33.09	33.24	79.3	79.7	80.26
yom river	83.4	Max WS	584.15	32.97	33.07	33.22	79.22	79.62	80.22
yom river	79.3	Max WS	585.01	32.42	32.6	32.73	99.91	100.56	100.79
yom river	74.42	Max WS	581.97	31.98	32.19	32.29	4797.53	92.88	93.03
yom river	68.95	Max WS	582.86	31.4	31.49	31.5	2640.84	89.6	89.6
yom river	61.95	Max WS	584.33	30.6	30.72	30.73	1819.62	102.9	102.9
yom river	53.3	Max WS	585.76	29.99	30.12	30.13	694.56	83.02	83.11
yom river	47	Max WS	585.48	29.66	29.78	29.8	934.28	80.8	80.8
yom river	43.5	Max WS	586.42	29.6	29.73	29.75	275.27	276.79	277.63
yom river	42	Max WS	586.77	29.51	29.62	29.64	1494.95	106.06	106.06
yom river	39	Max WS	587.06	29.19	29.31	29.33	94.03	88.93	89
yom river	36.4	Max WS	587.58	29.02	29.14	29.16	108.7	87.01	87.07
yom river	33.3	Max WS	588.26	28.81	28.92	28.95	87.48	77.47	77.47
yom river	25.2	Max WS	589.99	28.14	28.25	28.28	84.27	76.54	76.56
yom river	19.6	Max WS	591.09	27.66	27.76	27.79	359.63	62.02	62.02
yom river	13.5	Max WS	591.72	26.98	27.05	27.08	1257.94	81.38	81.49
yom river	5.5	Max WS	591.56	26.12	26.15	26.17	91.78	81.94	81.97
yom river	0	Max WS	571.11	25.26	25.26	25.26	86.65	86.65	86.65

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 ผลการประยุกต์การใช้โปรแกรม Google Earth

4.1.1 หาเส้นพิกัดลำน้ำ จากแผนที่ อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก ถึง อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์

4.1.2 หาพิกัดเหนือและพิกัดตะวันออก และระดับฝั่งซ้าย,ฝั่งขวาของลำน้ำ

4.1.3 ได้ค่าพิกัดและระดับตามแนวรูปตัดขวางลำน้ำที่ต้องการ

4.2 ผลการประยุกต์การใช้โปรแกรม HEC-RAS 4.1

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

4.2.1 รูปร่าง เรขาคณิตของลำน้ำ

4.2.1.1 River reach เป็นข้อมูลที่แสดงถึงแนวลำน้ำในแผนที่

4.2.1.2 Set interpolation หน้าตัดลำน้ำทุกๆ 1000 ม.

4.2.2 Cross-Section Output แสดงหน้าตัดของลำน้ำซึ่งประกอบด้วย

4.2.2.1 Cross-Section Data

4.2.2.2 Water Surface

4.2.2.3 Energy Grade Line

4.2.2.4 Bank Station

4.2.2.5 Ground

4.2.3 Profile Output ซึ่งประกอบด้วย

4.2.3.1 Energy Grade Line

4.2.3.2 Water Surface Profile

4.2.3.3 Ground Profile

4.2.4 Perspective แสดงภาพทาง Perspective ซึ่งมองได้ชัดเจนมากขึ้น ในภาพ 3 มิติ ประกอบด้วย

4.2.4.1 Water Surface Profile

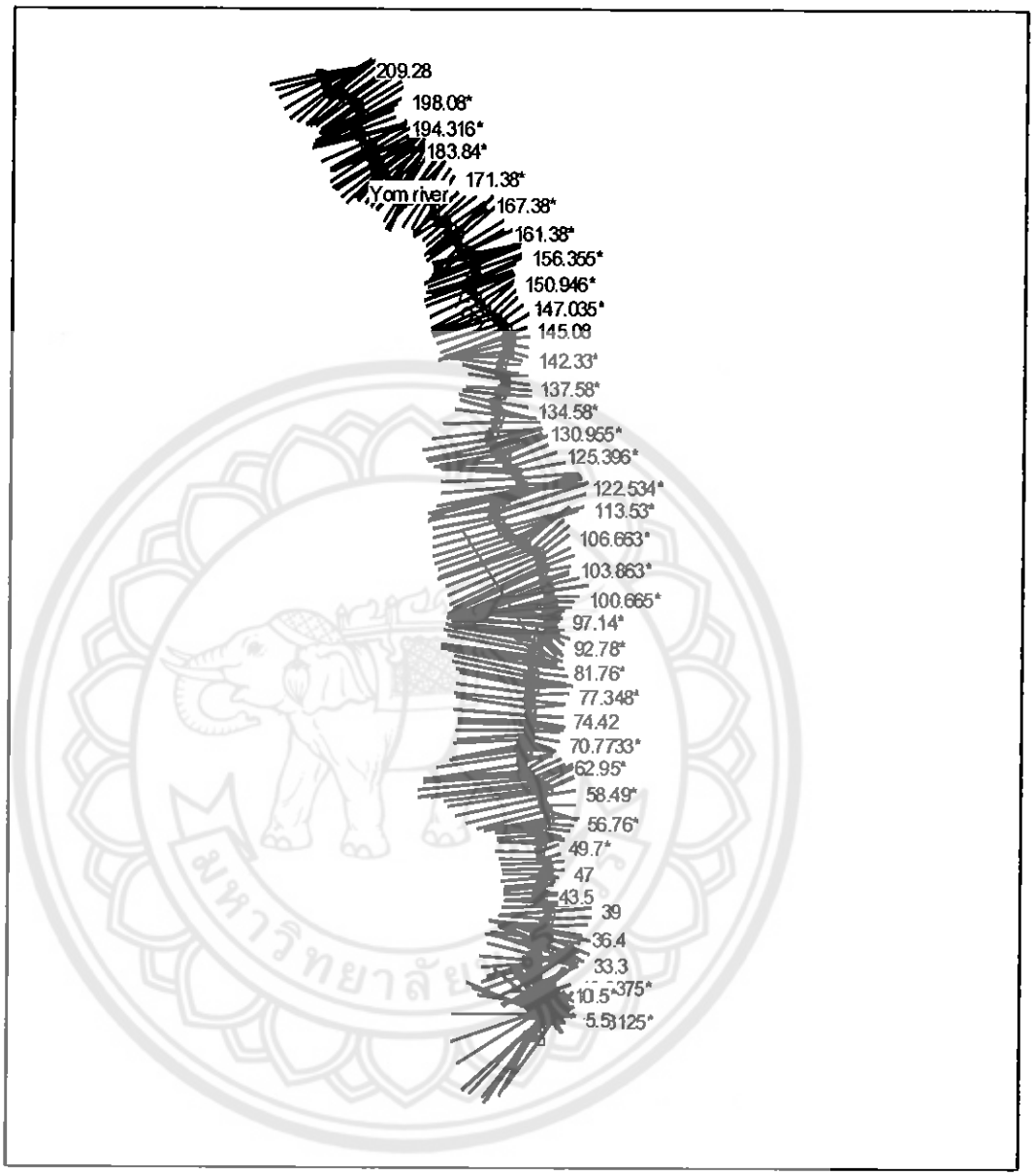
4.2.4.2 Ground

4.2.4.3 Bank Station

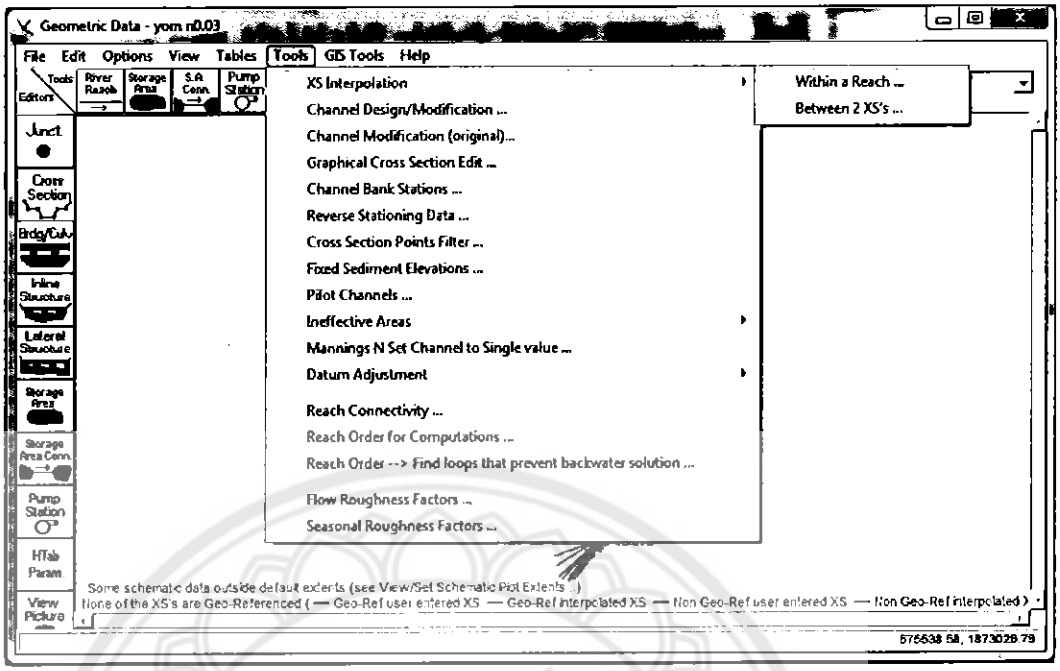
4.2.5 Levee พนังกั้นน้ำ

4.2.5.1 อยู่ที่ขอบริมตลิ่ง

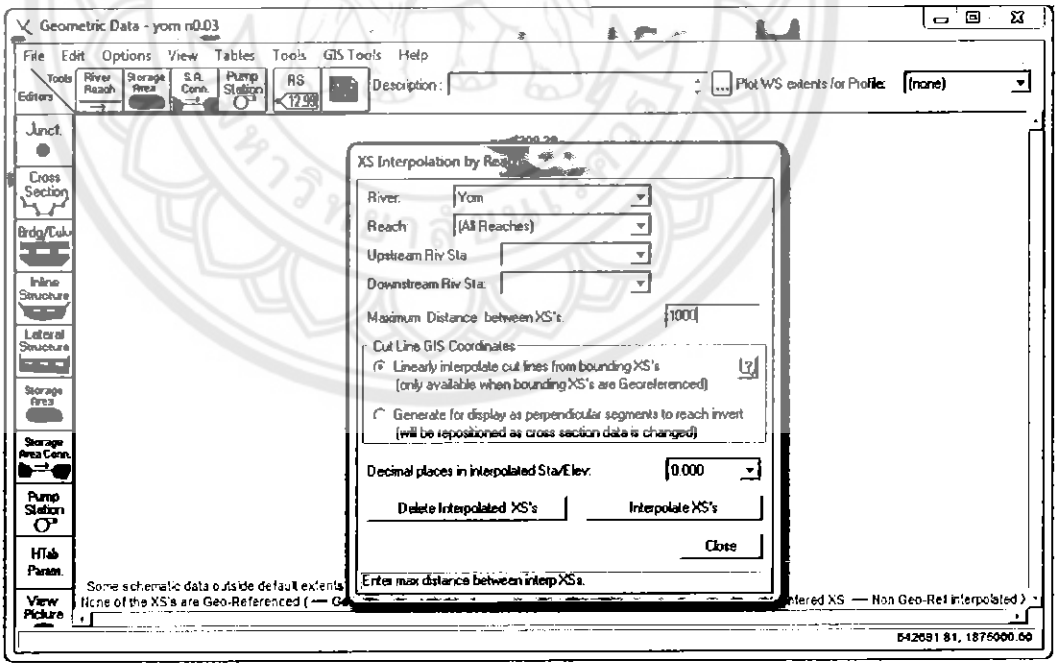
4.2.5.2 เหนือระดับน้ำสูงสุด 0.25 และ 0.50 ม.



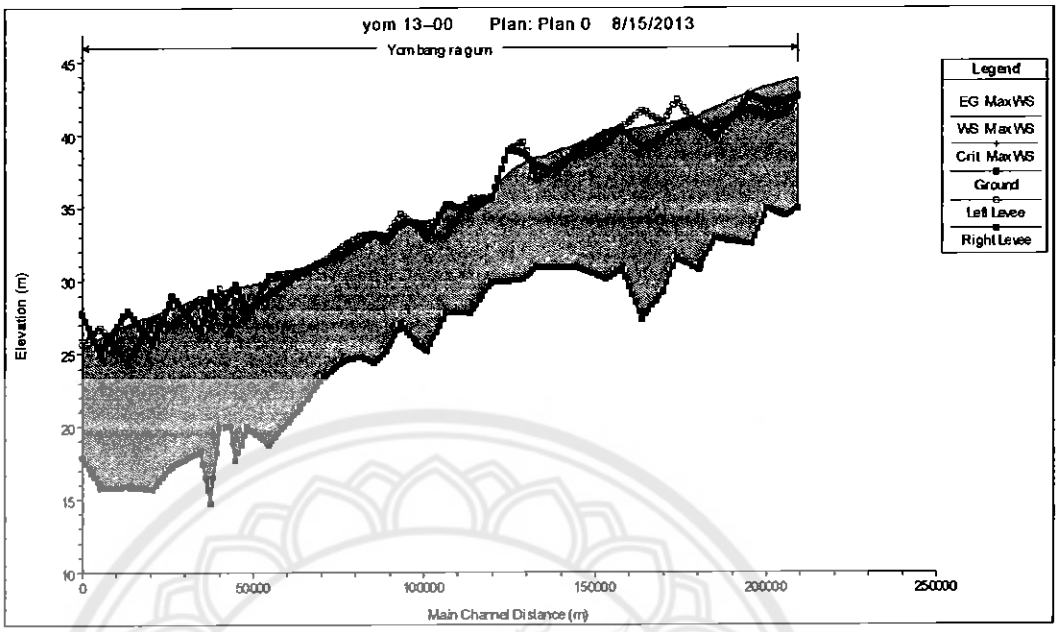
รูปที่ 4.1 ภาพตัดขวาง River reach ในแบบจำลอง แม่น้ำยม



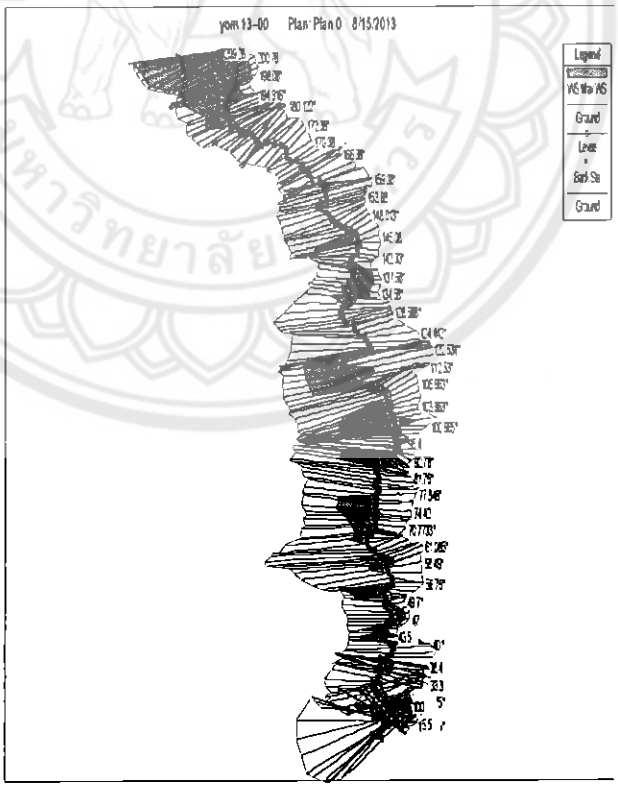
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการ set XS Interpolation ทุกๆ 1000 ม.



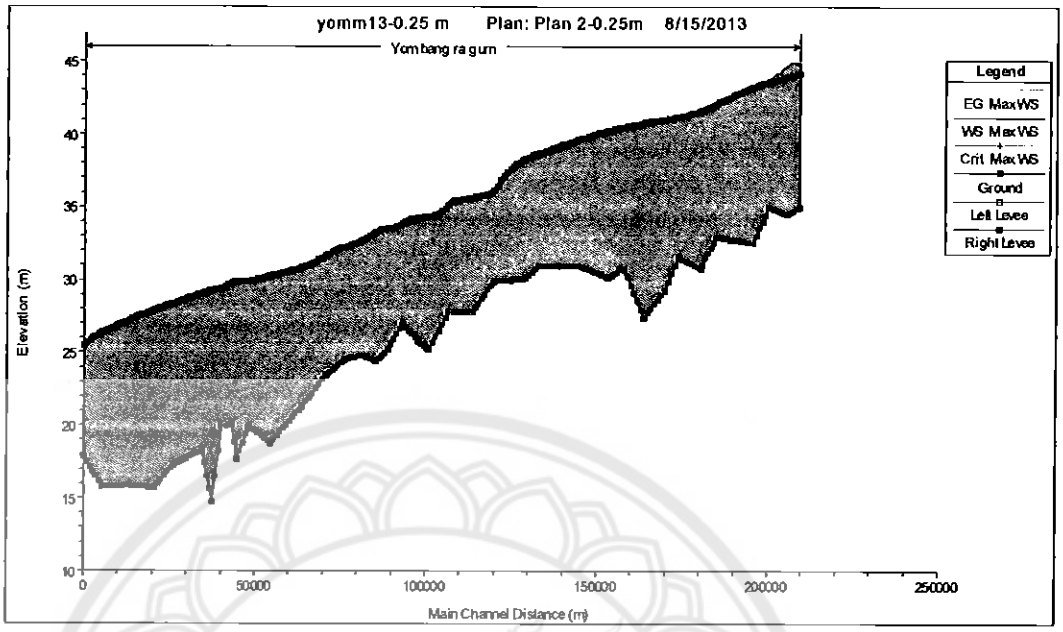
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการ set XS Interpolation ทุกๆ 1000 ม.



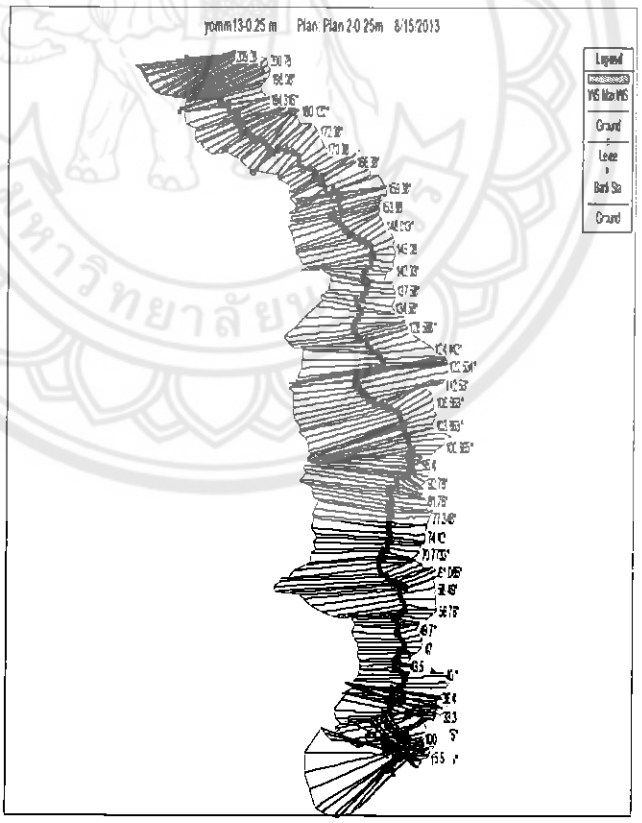
รูปที่ 4.4 Profile Plot กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



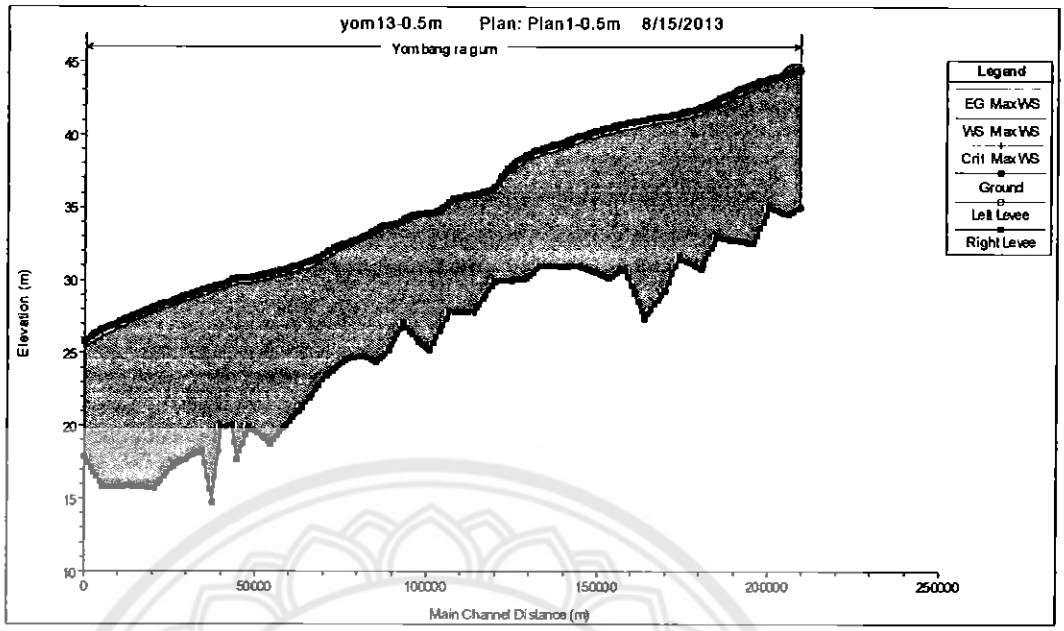
รูปที่ 4.5 X-Y-Z Perspective Plot กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



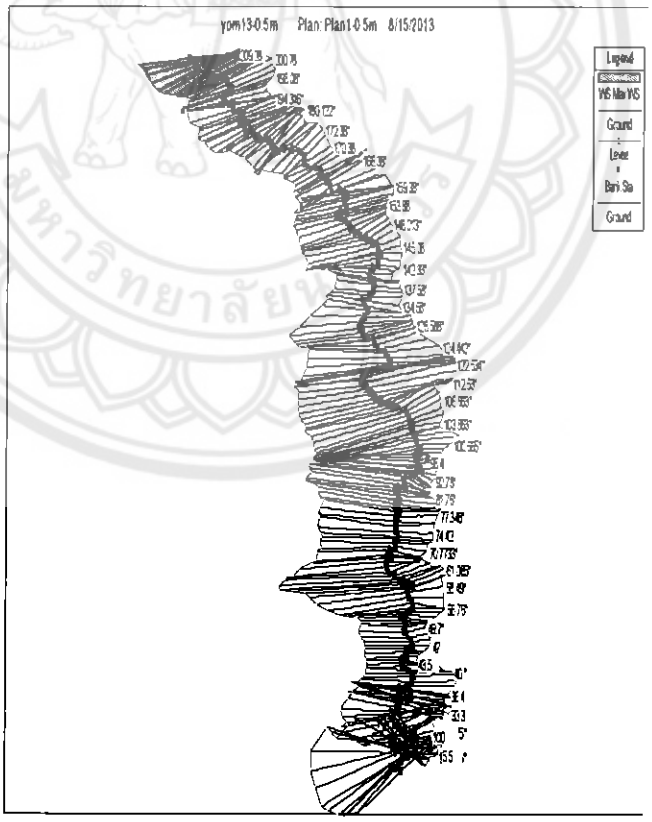
รูปที่ 4.6 Profile Plot กรณีพนังกั้นน้ำอยู่เหนือระดับน้ำ 0.25 ม.



รูปที่ 4.7 X-Y-Z Perspective Plot กรณีพนังกั้นน้ำอยู่เหนือระดับน้ำ 0.25 ม.



รูปที่ 4.8 Profile Plot กรณีพนังกั้นน้ำอยู่เหนือระดับน้ำ 0.50 ม.



รูปที่ 4.9 X-Y-Z Perspective Plot กรณีพนังกั้นน้ำอยู่เหนือระดับน้ำ 0.50 ม.

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ในการใช้โปรแกรม HEC-RAS นั้น สิ่งที่ต้องการทราบคือระดับพื้นที่น้ำท่วมว่ามีความกว้างเท่าใดและสูงขึ้นมาจากตลิ่งฝั่งซ้าย-ขวาของลำน้ำเป็นความสูงเท่าใด

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของทางน้ำ เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ ในกลางลำน้ำเท่ากับ 0.03 และฝั่งซ้าย - ขวาของลำน้ำเท่ากับ 0.2 แล้วนำข้อมูลระดับ – ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายวัน ตั้งแต่ 15 สิงหาคม – 31 ตุลาคม ของปี 2554 ของลำน้ำมาทำการคำนวณในโปรแกรมทั้ง 3 กรณี (ไม่พิจารณาในแง่ของงบประมาณการก่อสร้าง) คือ

1.พนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง

2.พนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุดของวันที่ 7 กันยายน 2554 เท่ากับ 0.25 ม. หรือมีค่าระดับเฉลี่ยเท่ากับ 35.01 ม.รทก.

3.พนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุดของวันที่ 7 กันยายน 2554 เท่ากับ 0.50 ม. หรือมีค่าระดับเฉลี่ยเท่ากับ 35.26 ม.รทก.

พบว่าเมื่อพนังกั้นน้ำอยู่ที่ระดับตลิ่งเกิดน้ำท่วม 399.34 ตร.กม ในวันที่ 7 กันยายน 2554 เมื่อเสริมพนังที่ความสูง 0.25 ม.จากระดับน้ำสูงสุด พื้นที่น้ำท่วมลดลงโดยเหลือเพียง 174.51 ตร.กม. หรือ 56.3% และ เมื่อเสริมพนังที่ความสูง0.50 ม.จากระดับน้ำสูงสุด พื้นที่น้ำท่วมลดลงโดยเหลือเพียง 130.83 ตร.กม. หรือ 67.23% ตามลำดับ โดยพื้นที่ที่น้ำท่วมใหม่ทั้งสองเกิดที่แถบอำเภอบางระกำหรือบริเวณต้นน้ำของลำน้ำช่วงที่ศึกษาซึ่งควรหาทางป้องกันต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 โดยการวิเคราะห์โปรแกรม HEC-RAS ซึ่งมีขีดจำกัดคือในหนึ่งหน้าตัดการไหลมีได้ 500 จุด

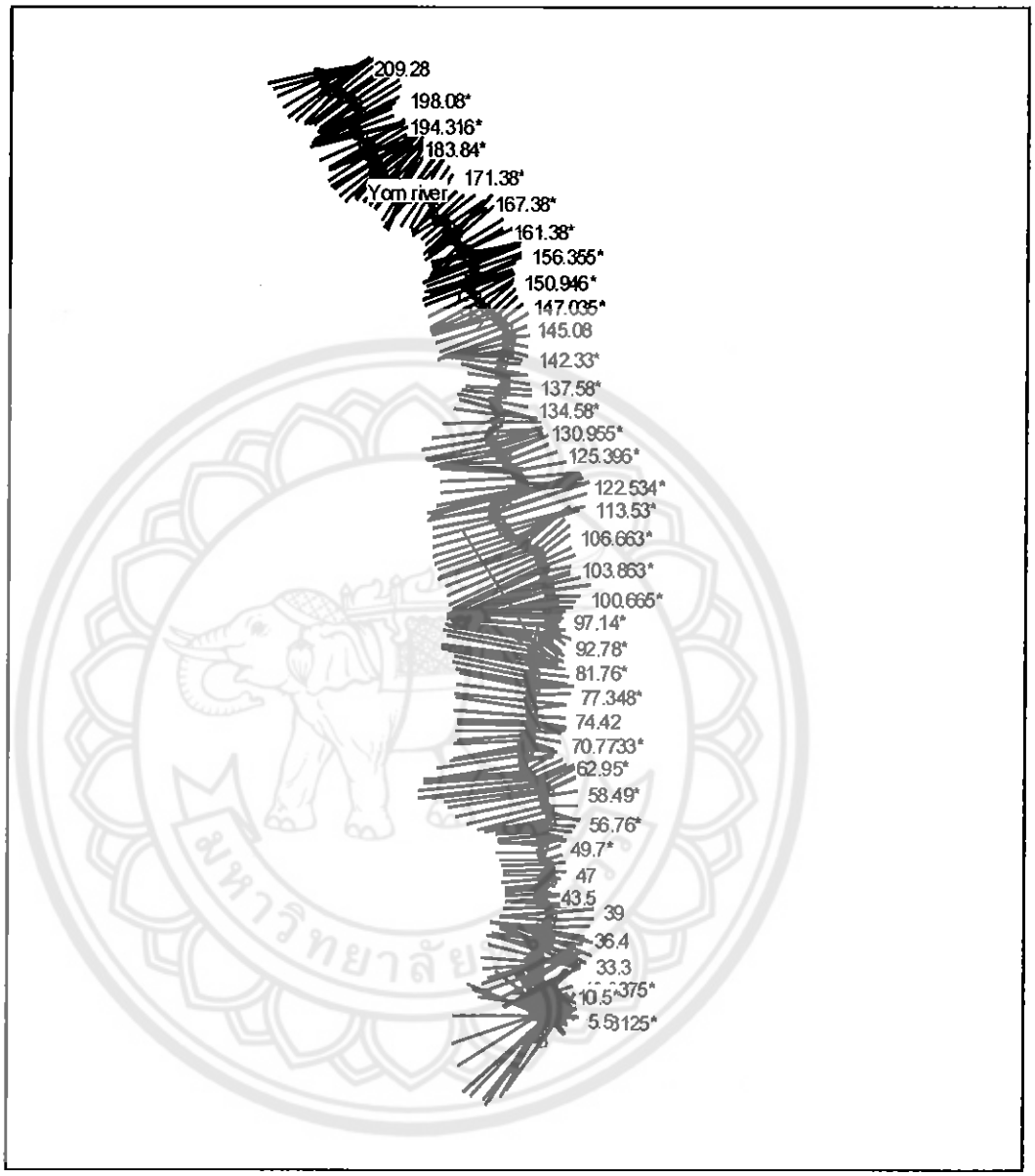
5.2.2 เนื่องจากโปรแกรมมีความอ่อนไหว ควรที่จะใช้ค่าความถี่ของเวลาในการรันโปรแกรมไม่ควรเกิน 5 นาที

บรรณานุกรม

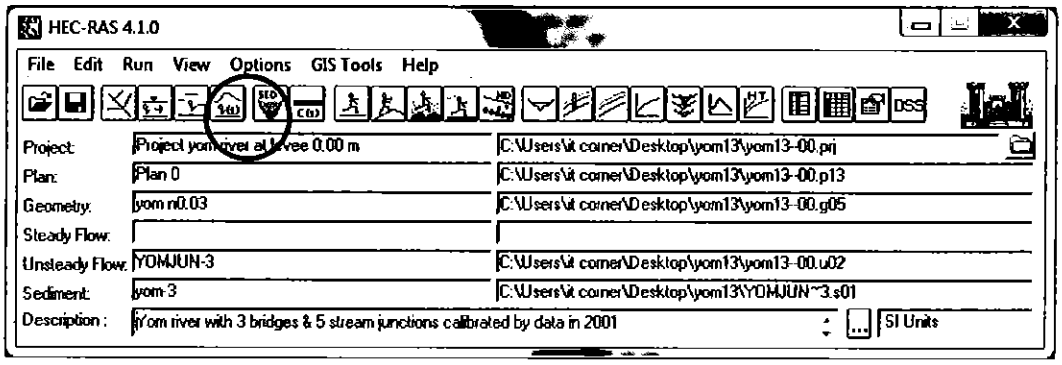
[1] U.S. Army Corps of Engineers. (2001). "*HEC-RAS River analysis system: Hydraulics reference manual version 4.1*". Retrieved from http://www.hec.usace.army.mil. Public distribution unlimited.

[2] รศ.ดร.สมบัติ ชื่นชูกลิ่น, วารสารวิศวกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร การวิเคราะห์ผิวน้ำในลำน้ำด้วยโปรแกรม HEC-RAS กรณีศึกษาแม่น้ำยมจังหวัดสุโขทัย
WATER SURFACE PROFILE ANALYSIS USING HEC – RAS PROGRAM ; A CASE STUDY IN THE YOM RIVER

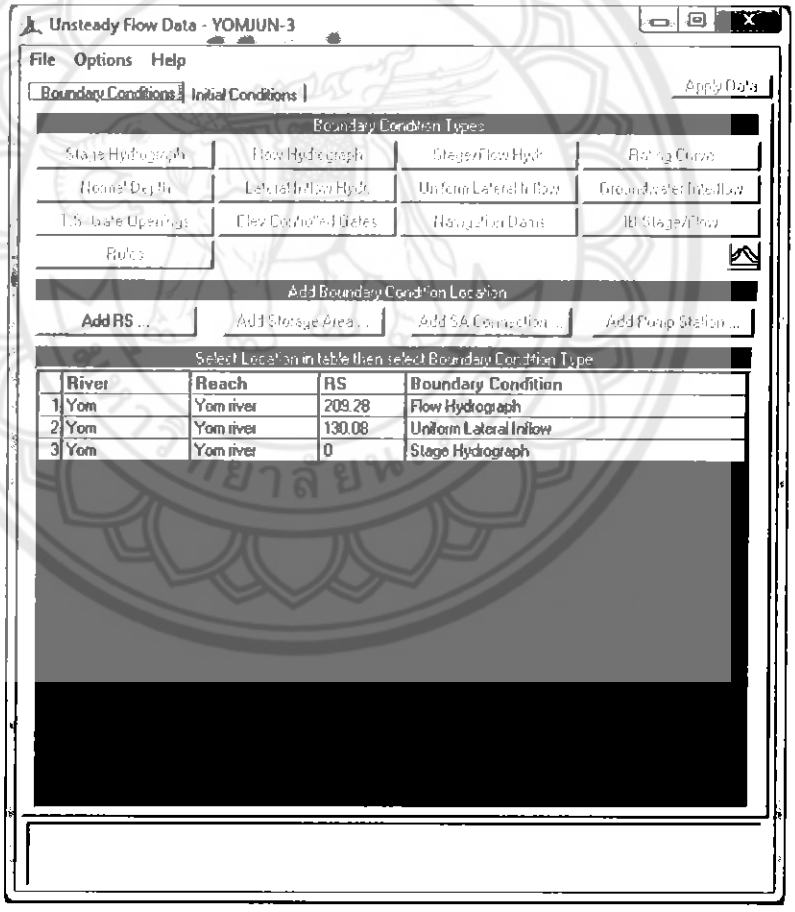
ภาคผนวก ก



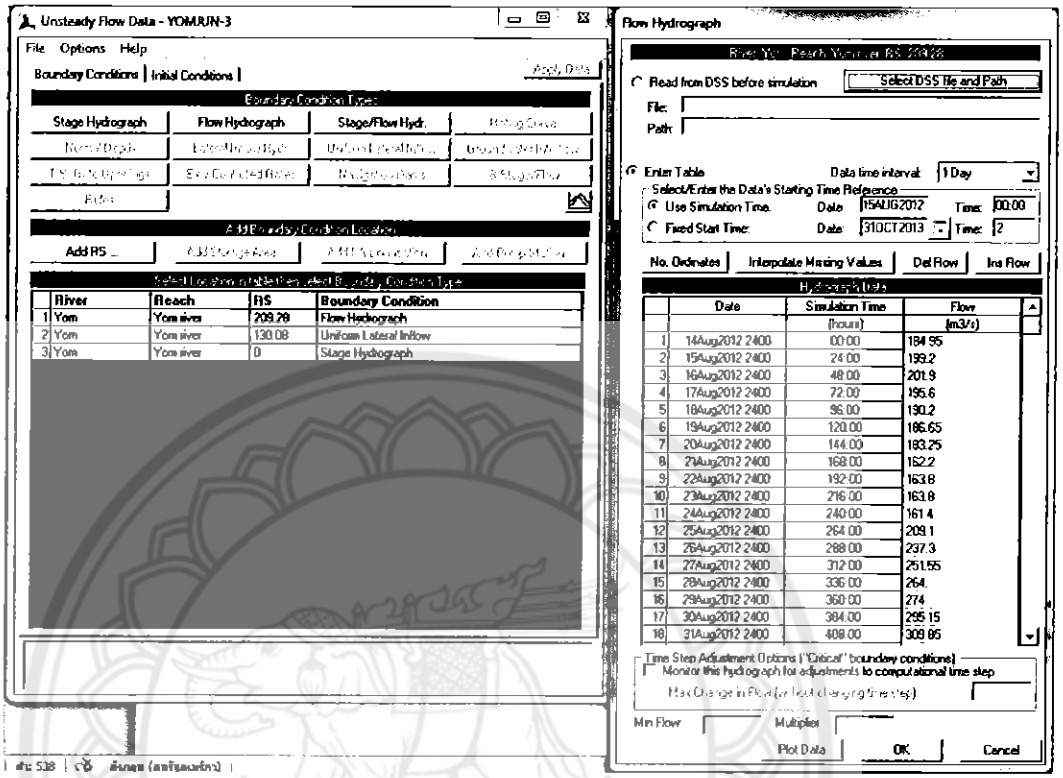
รูป Geometry data – river reach



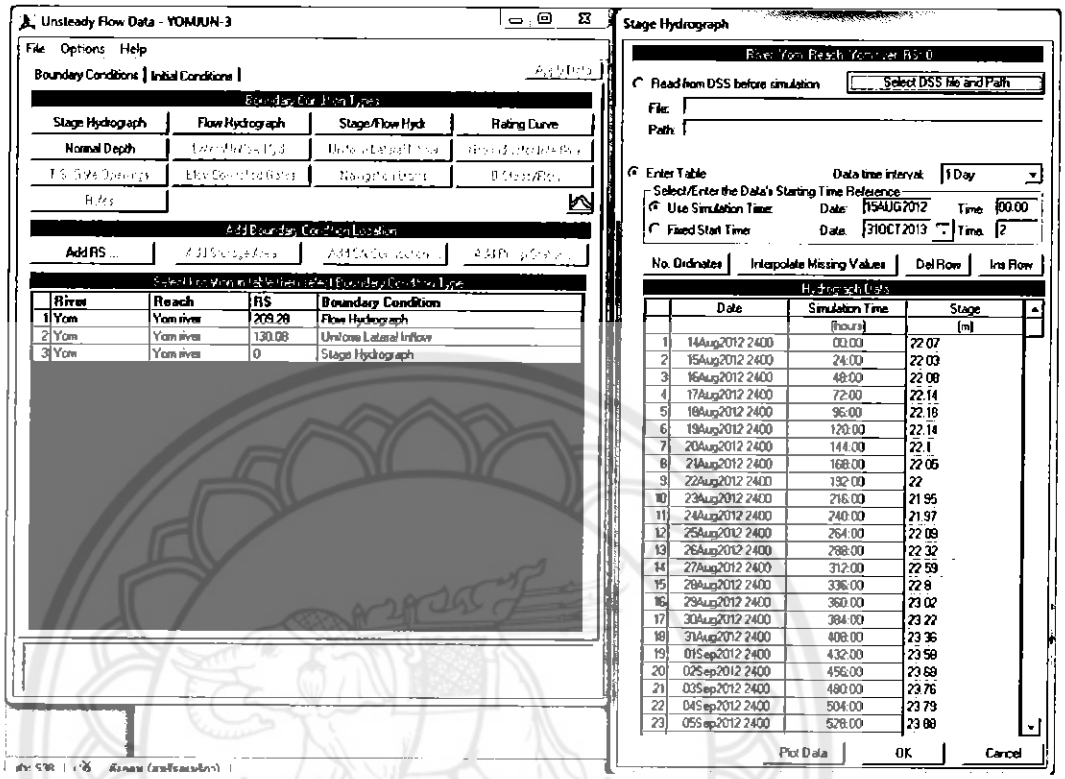
การใส่ข้อมูล boundary condition



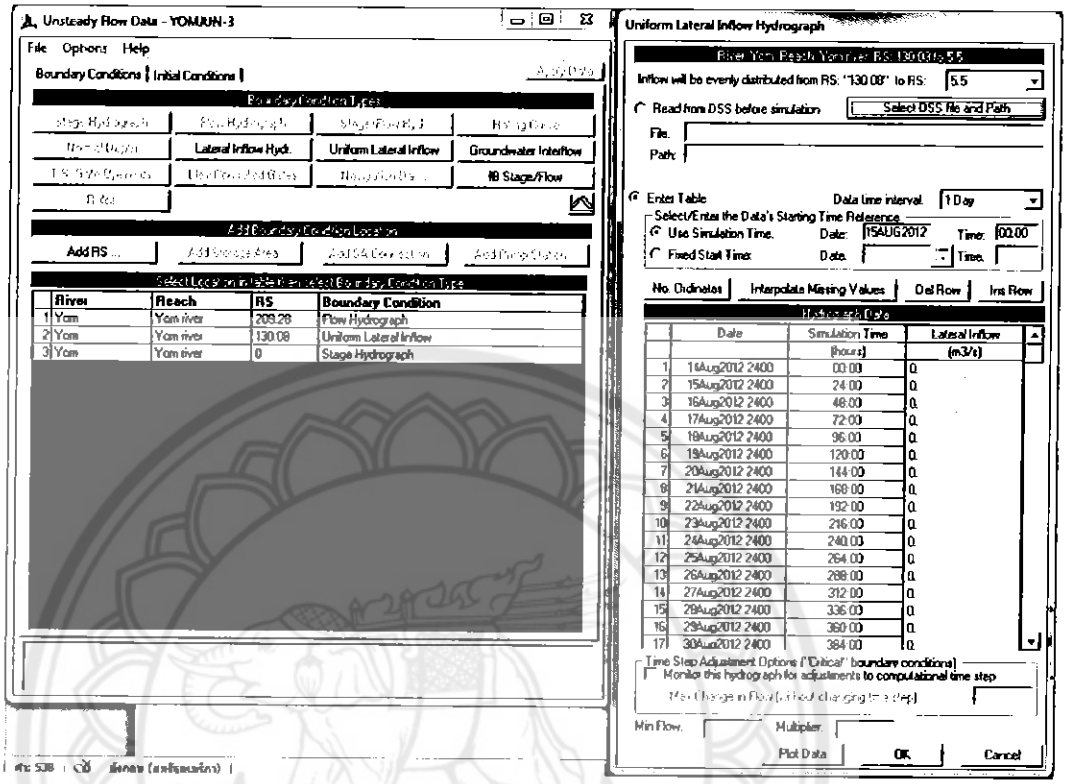
รูปหน้าต่างการใส่ค่า boundary condition และ Initial condition



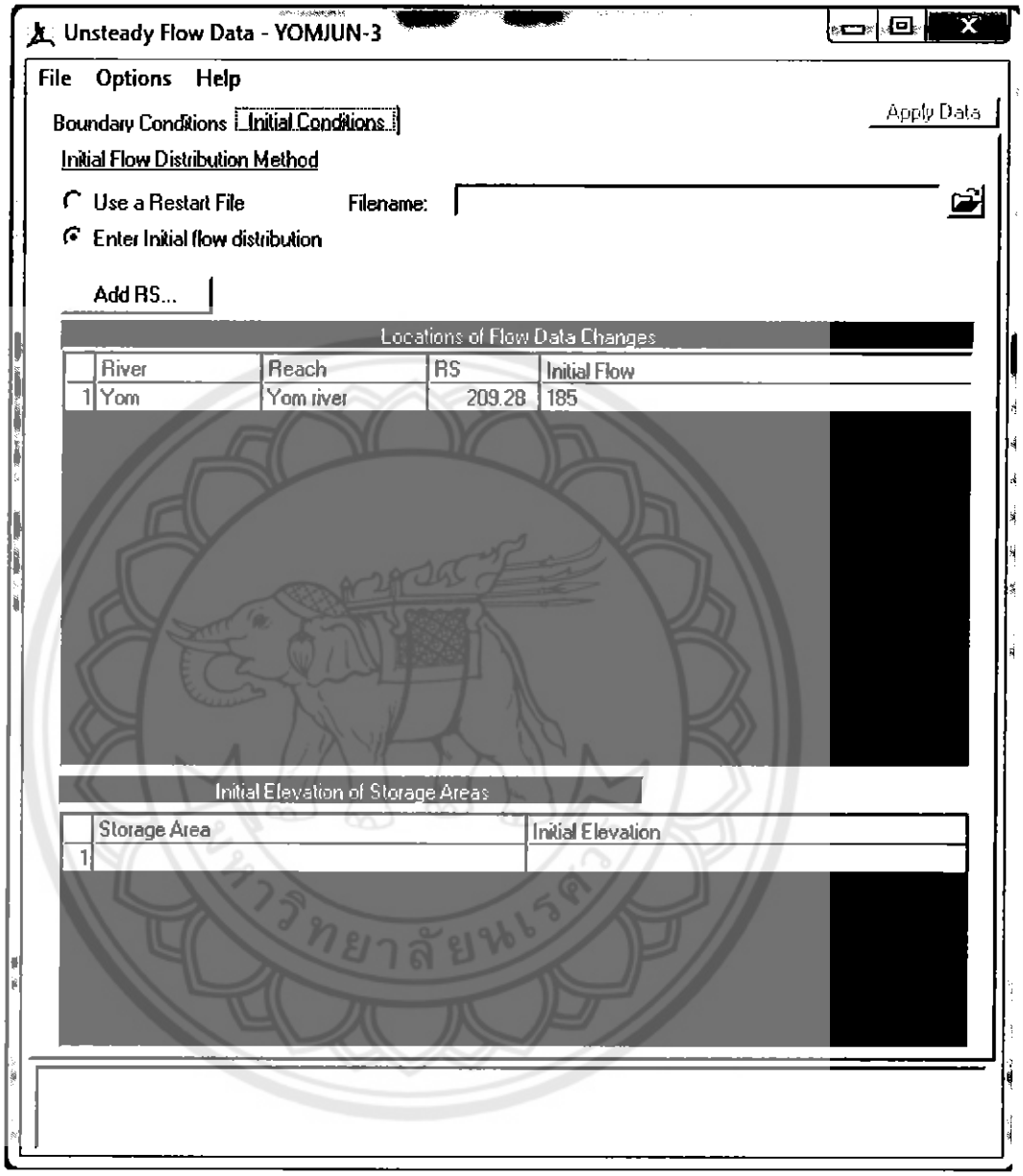
รูป การใส่ค่า boundary condition ที่เหนือน้ำ หรือ km.209.28 ให้ใส่ค่าเป็น Flow Hydrograph แล้วใส่ค่า Q(m3/s) ในช่วง 15 สิงหาคม ถึง 31 ตุลาคม ของปี พ.ศ. 2554



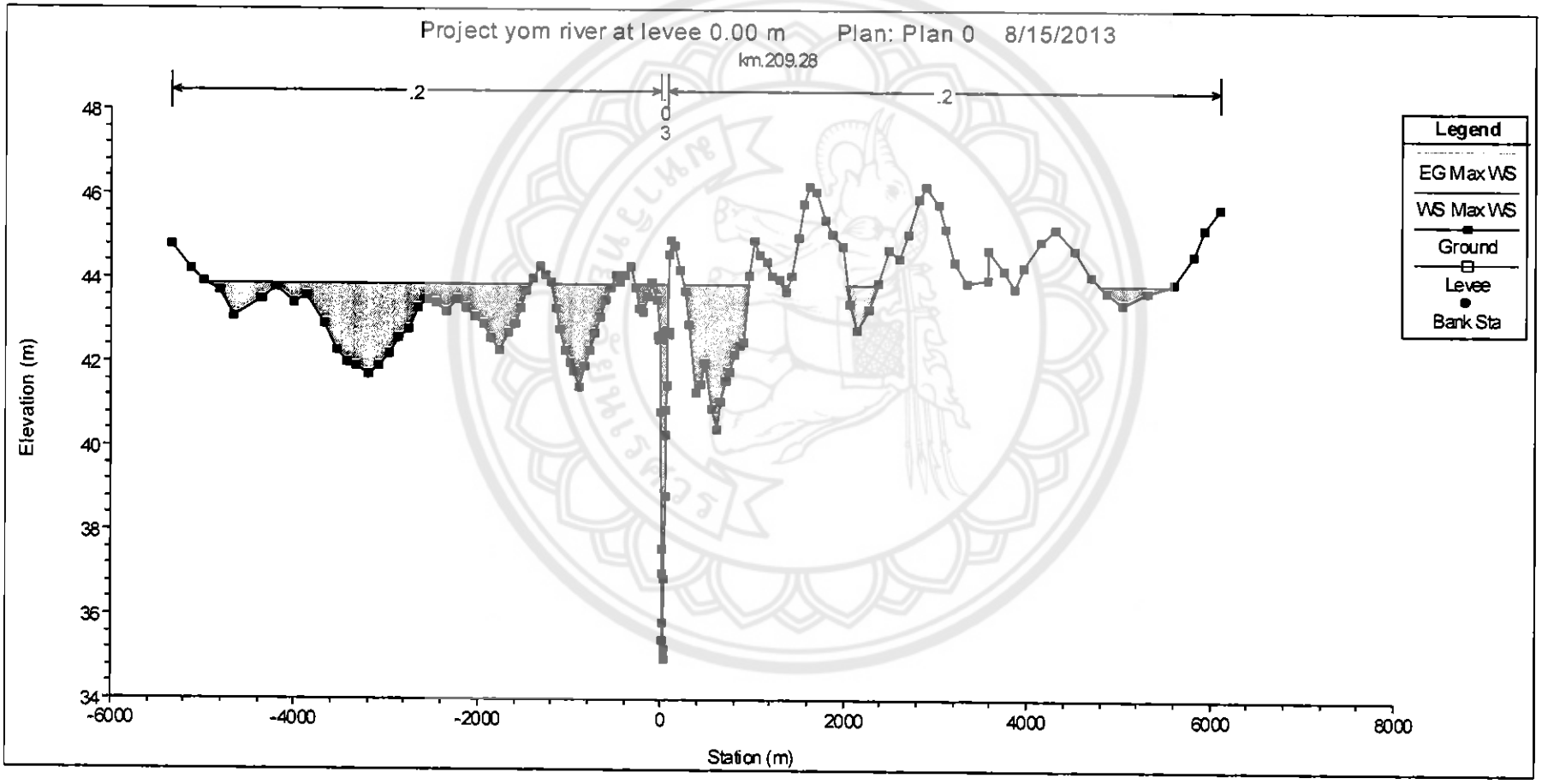
รูป การใส่ค่า boundary condition ที่ท้ายน้ำ หรือ km.0 ให้ใส่ค่าเป็น Stage Hydrograph แล้วใส่ค่าระดับน้ำ ในช่วง 15 สิงหาคม ถึง 31 ตุลาคม ของปี พ.ศ.2554



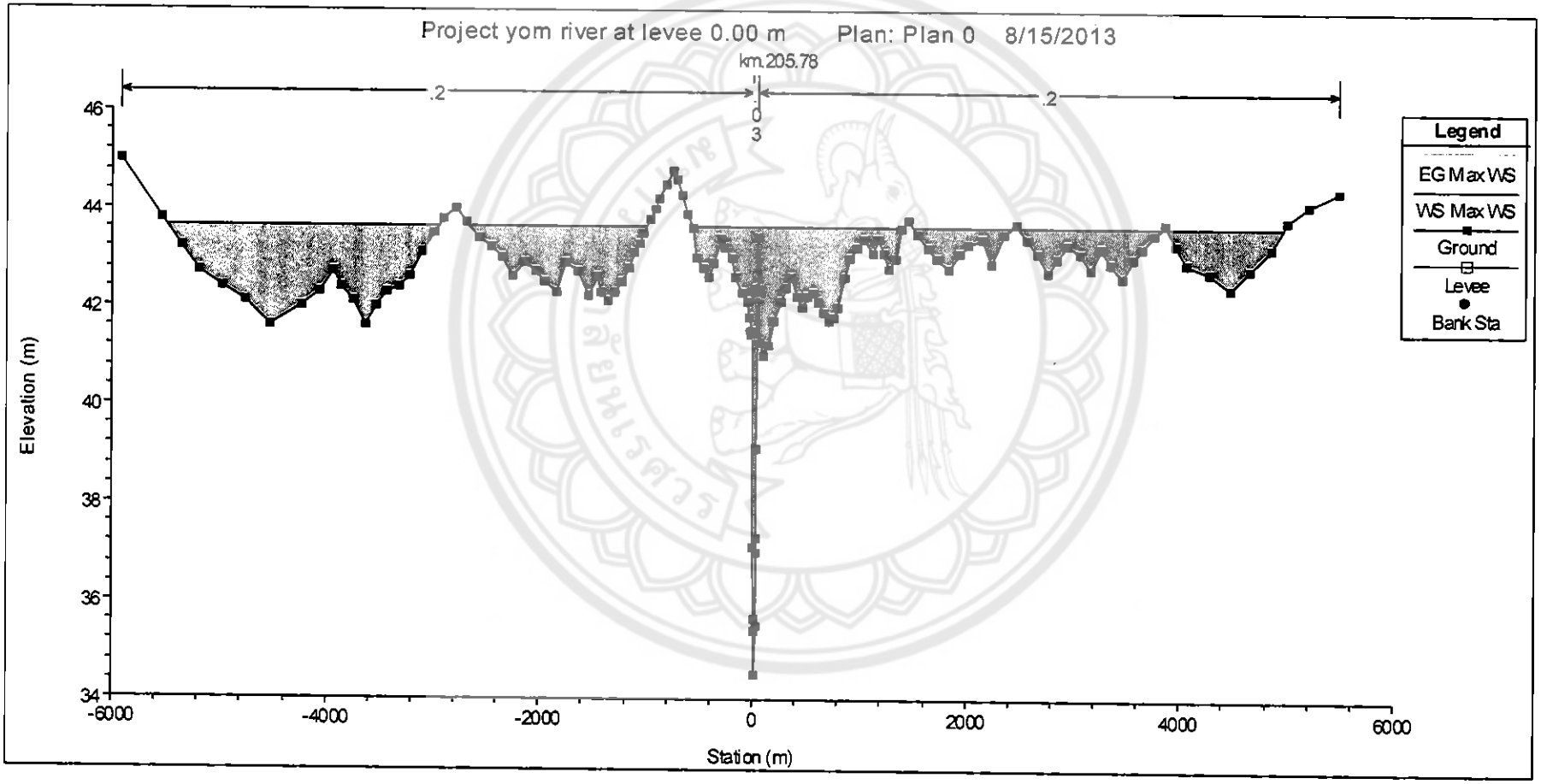
รูป การใส่ค่า boundary condition ในช่วงความยาวลำน้ำเป็นน้ำฝนเฉลี่ยให้ใส่ค่าเป็น Uniform Lateral Inflow



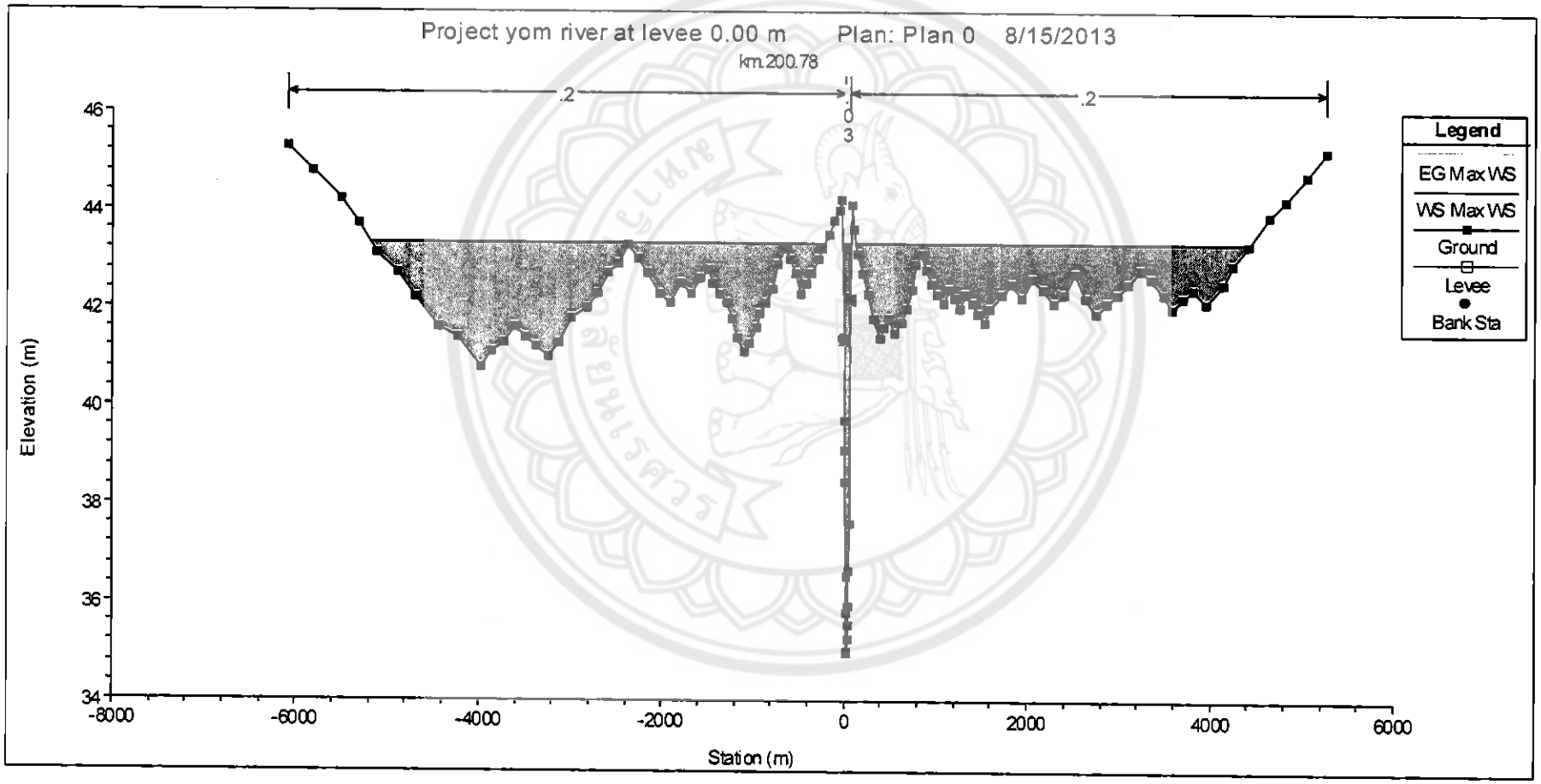
รูปการใส่ค่า Initial condition



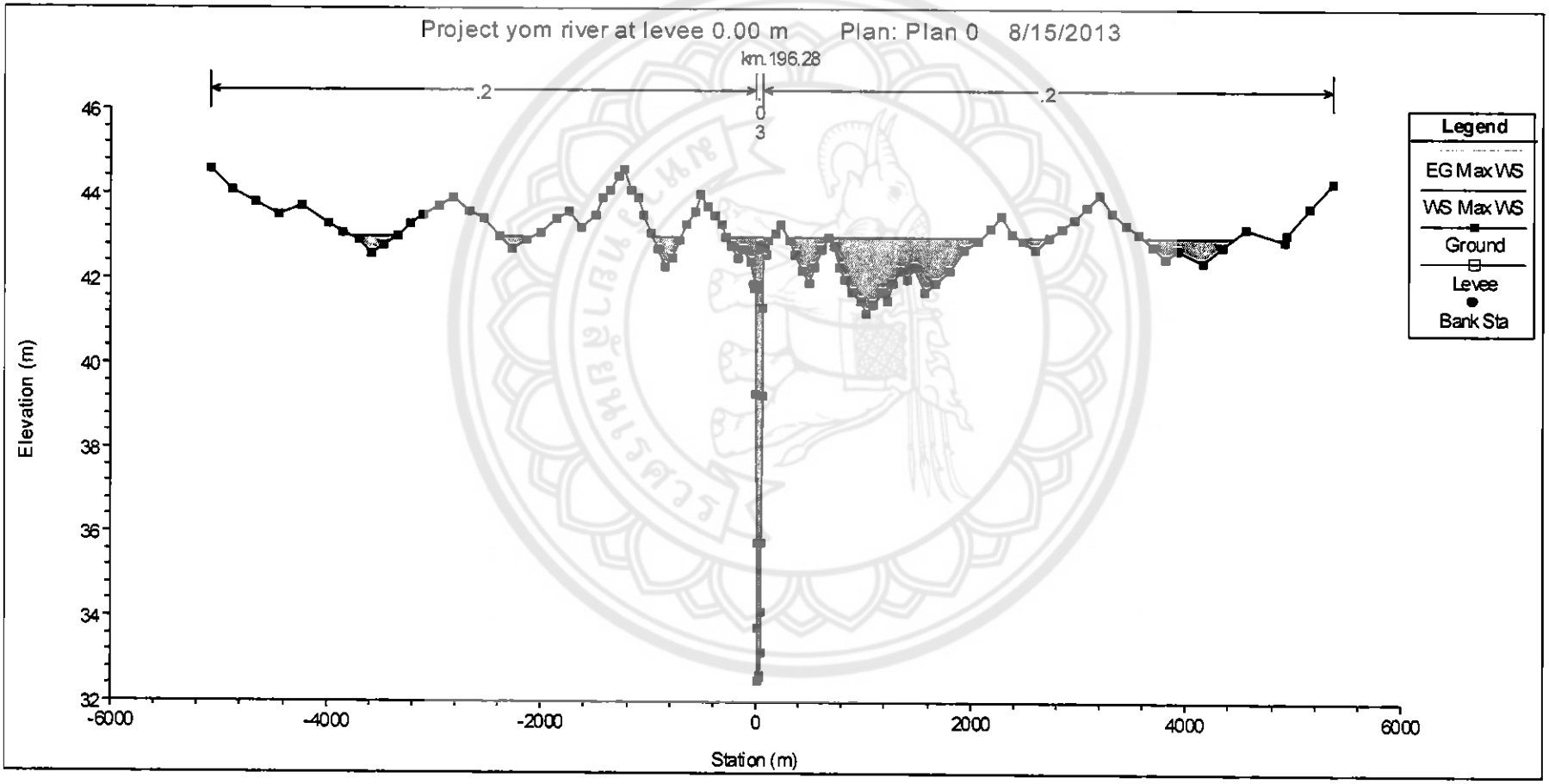
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



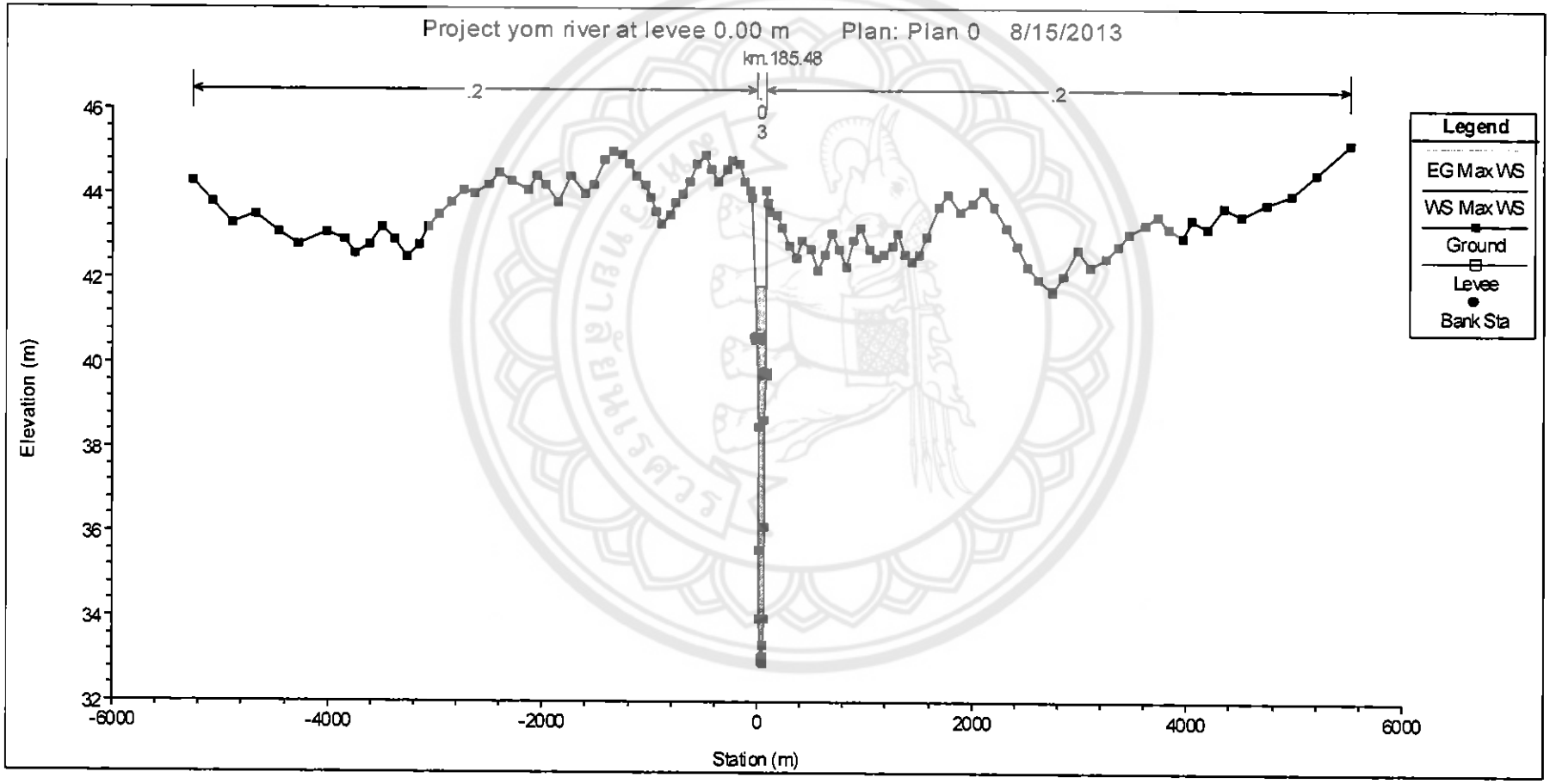
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



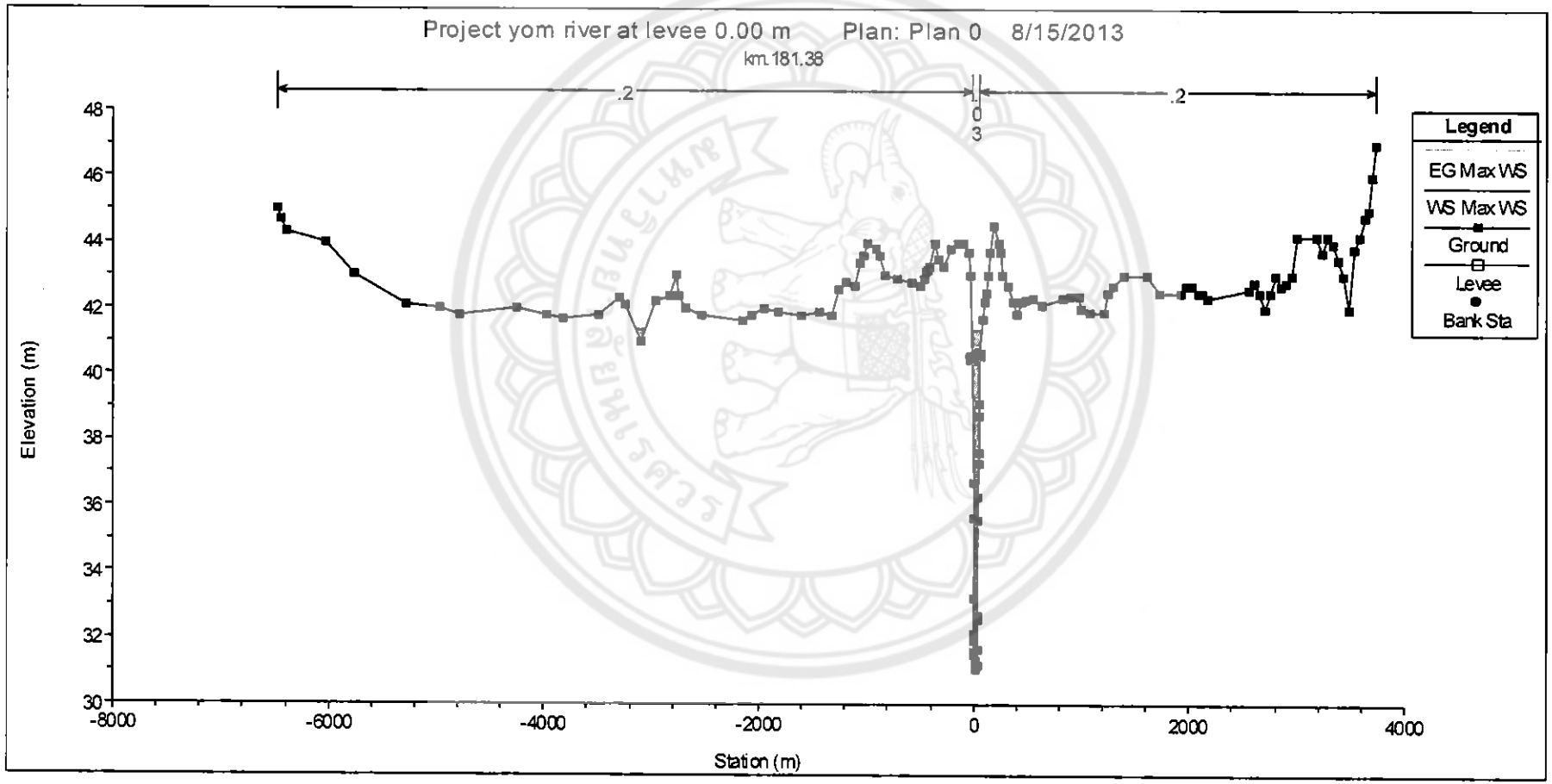
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



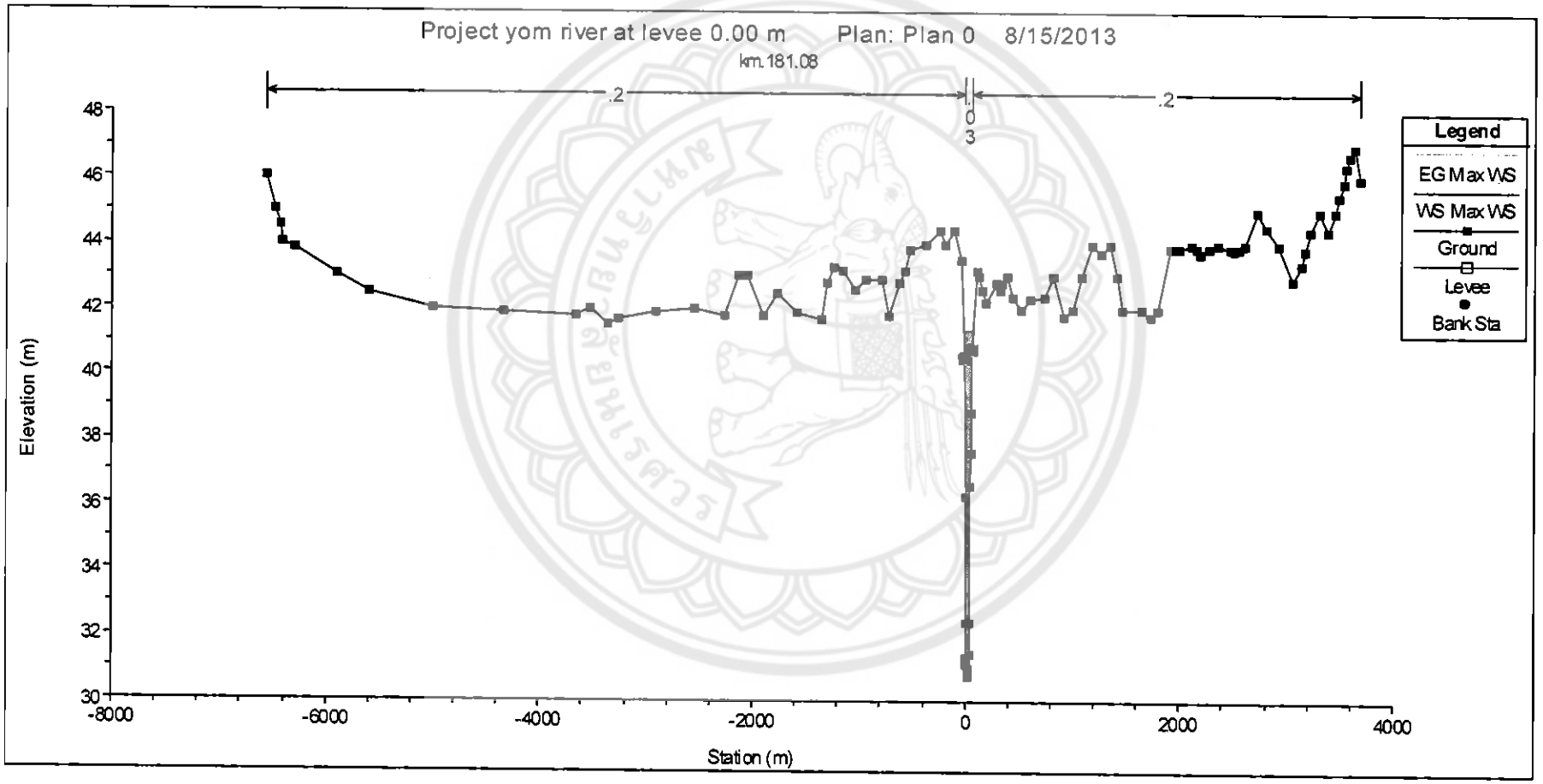
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



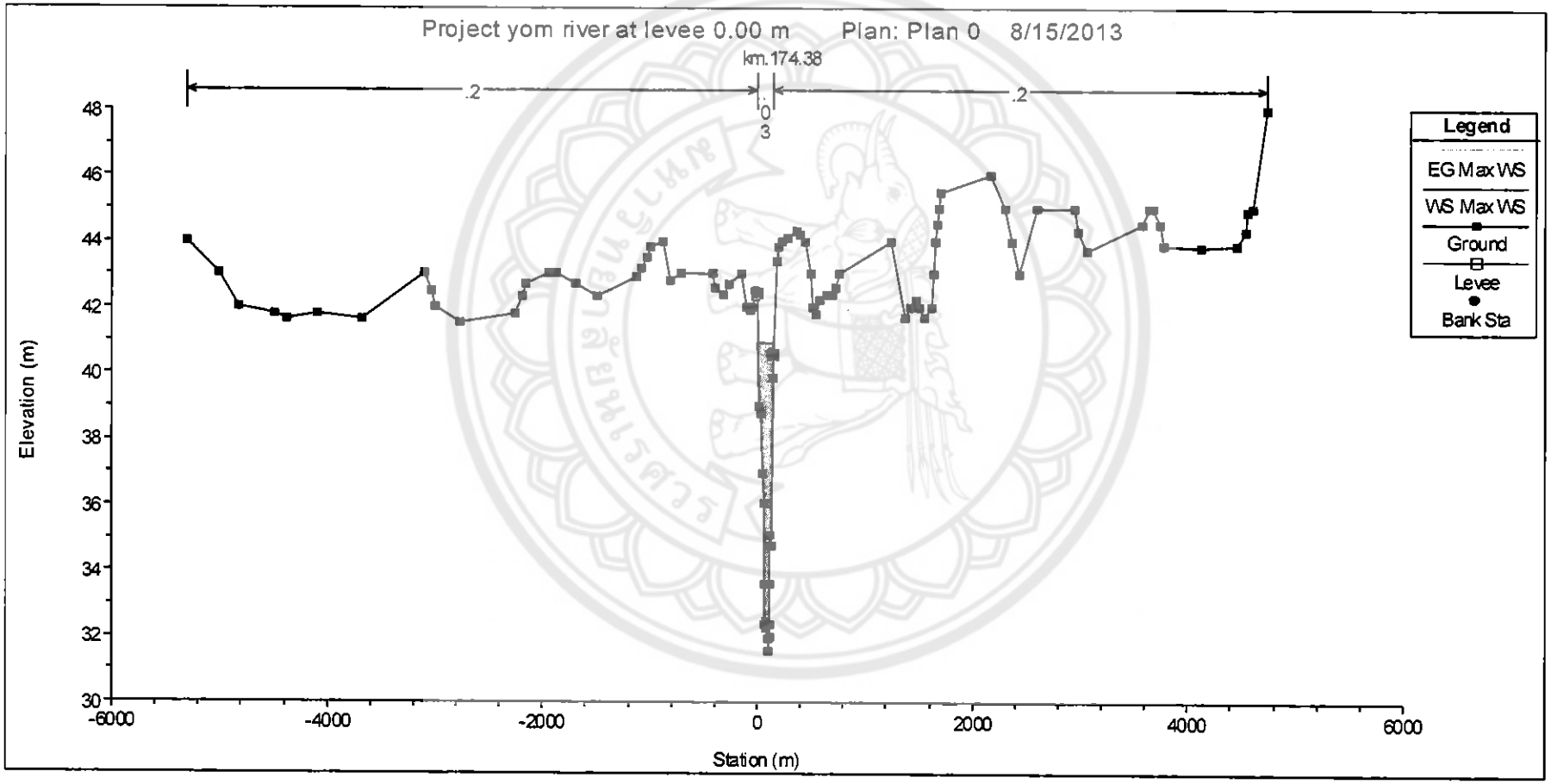
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



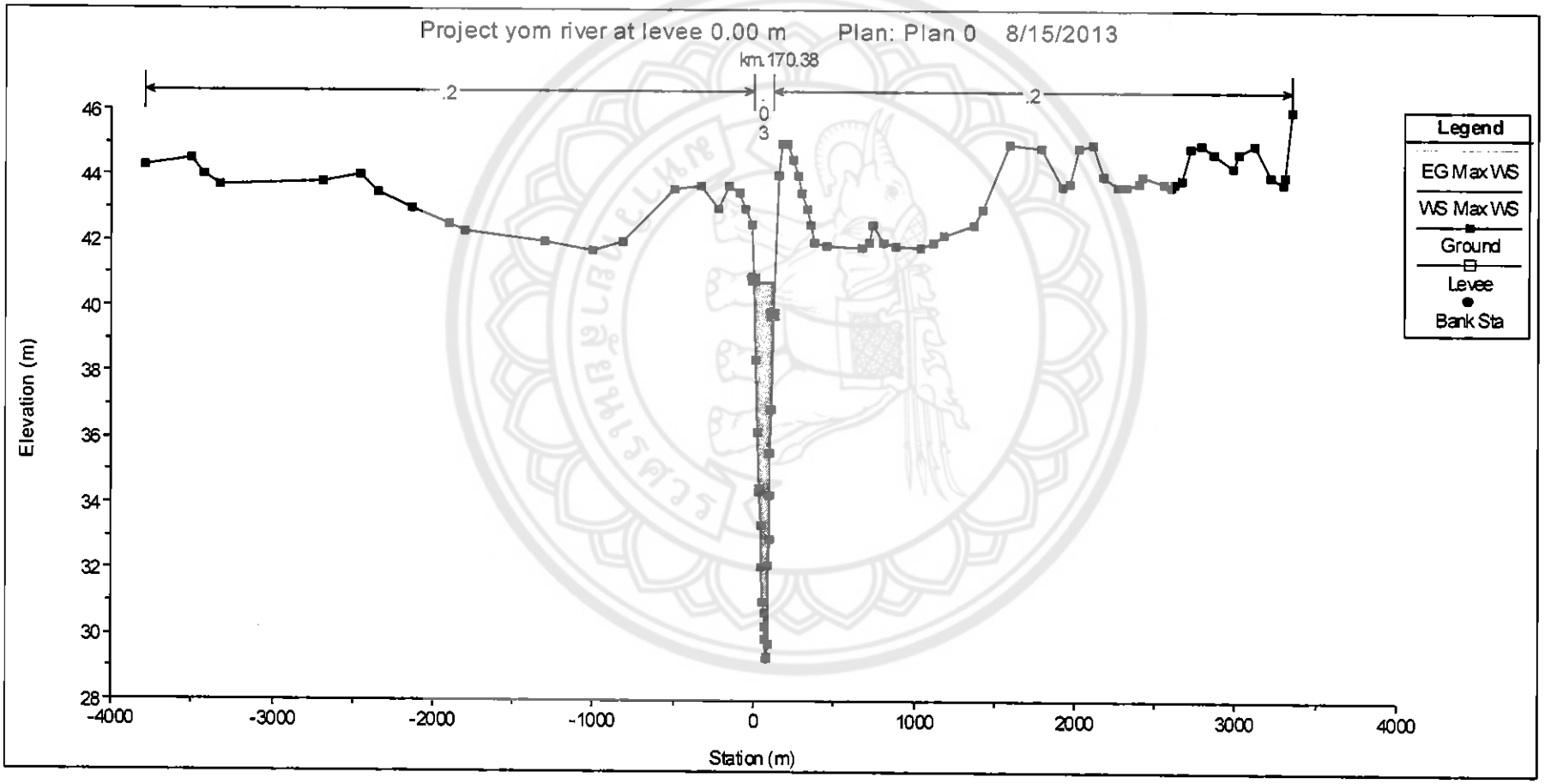
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



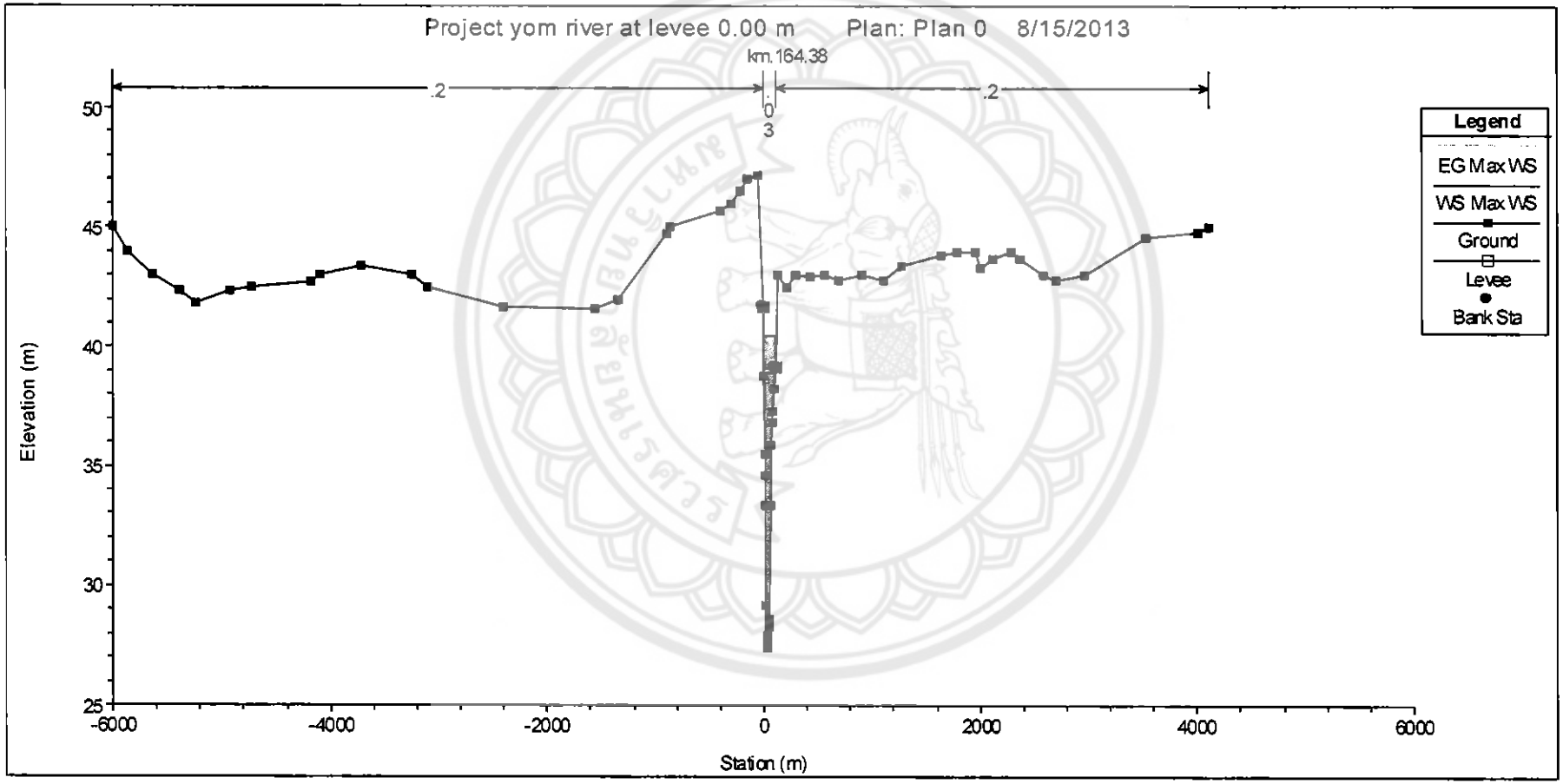
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



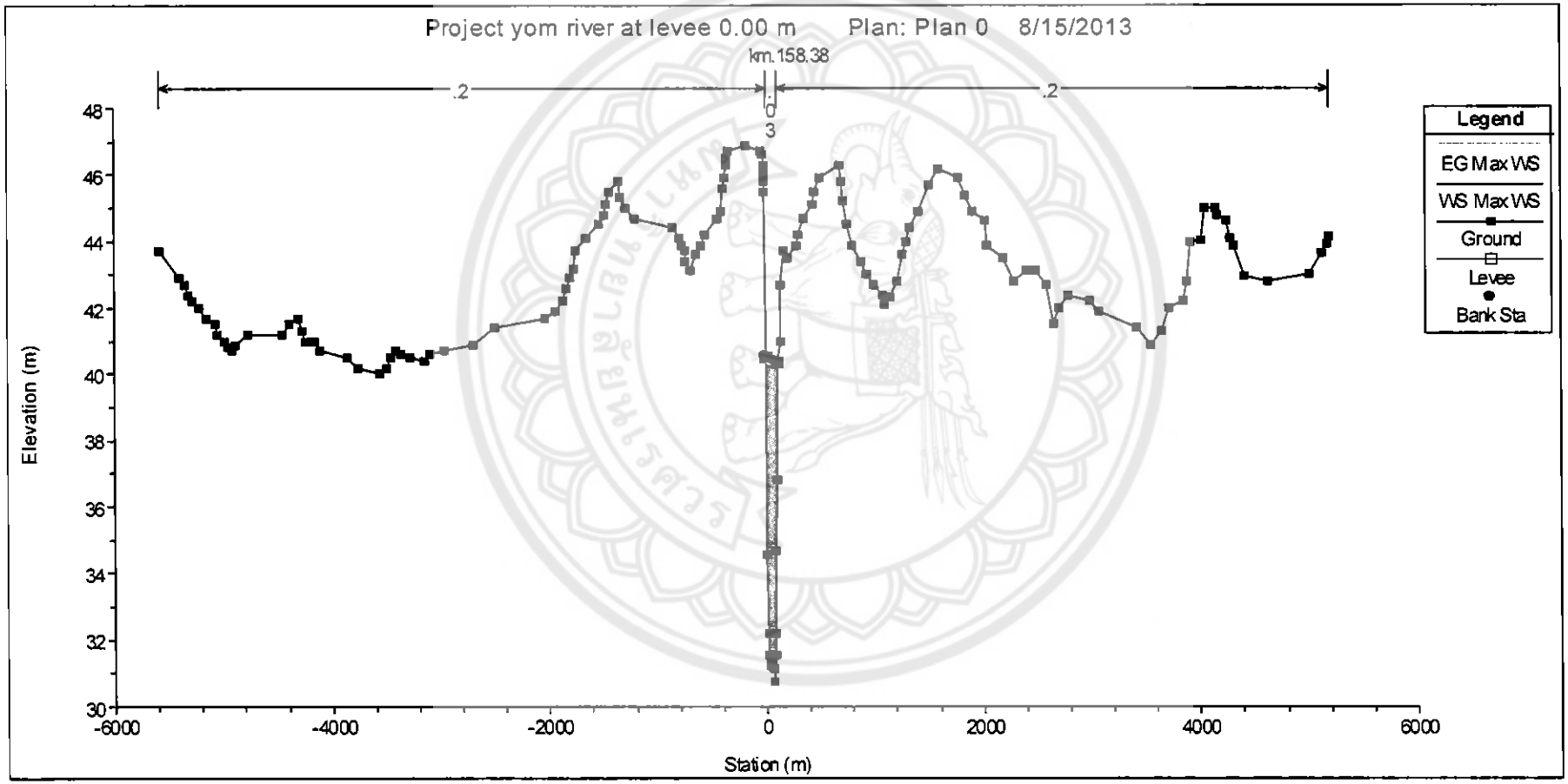
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



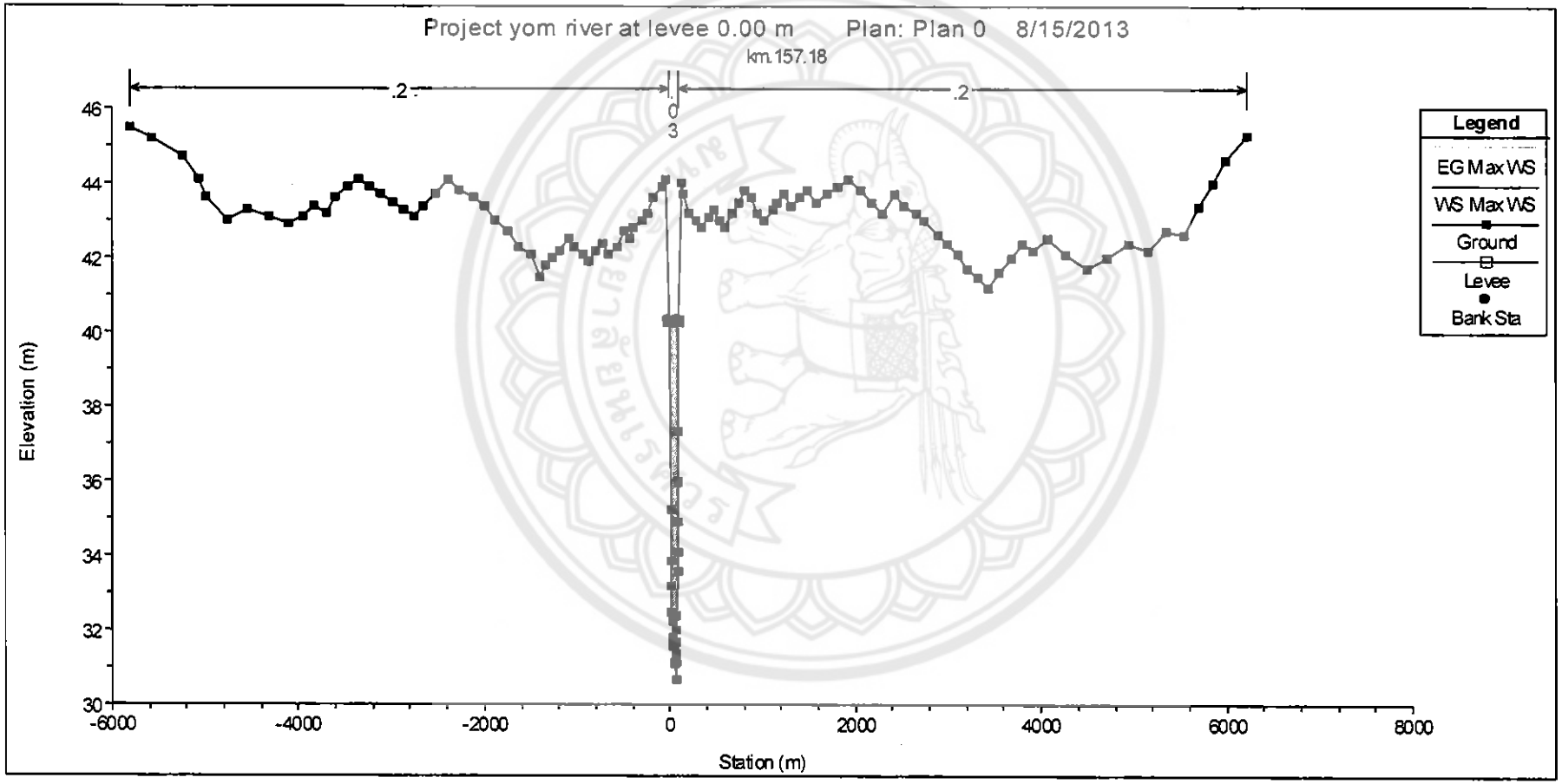
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



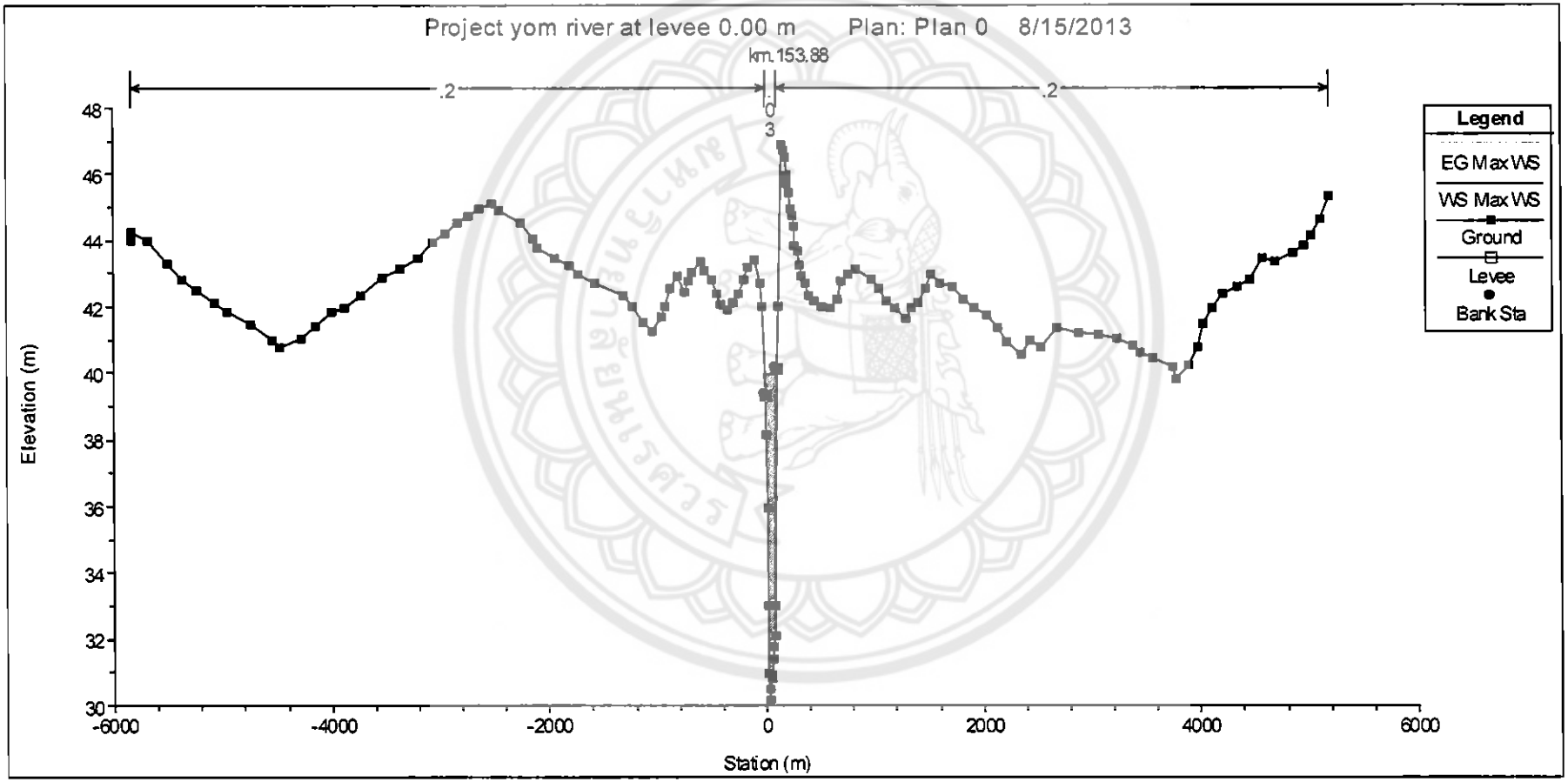
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



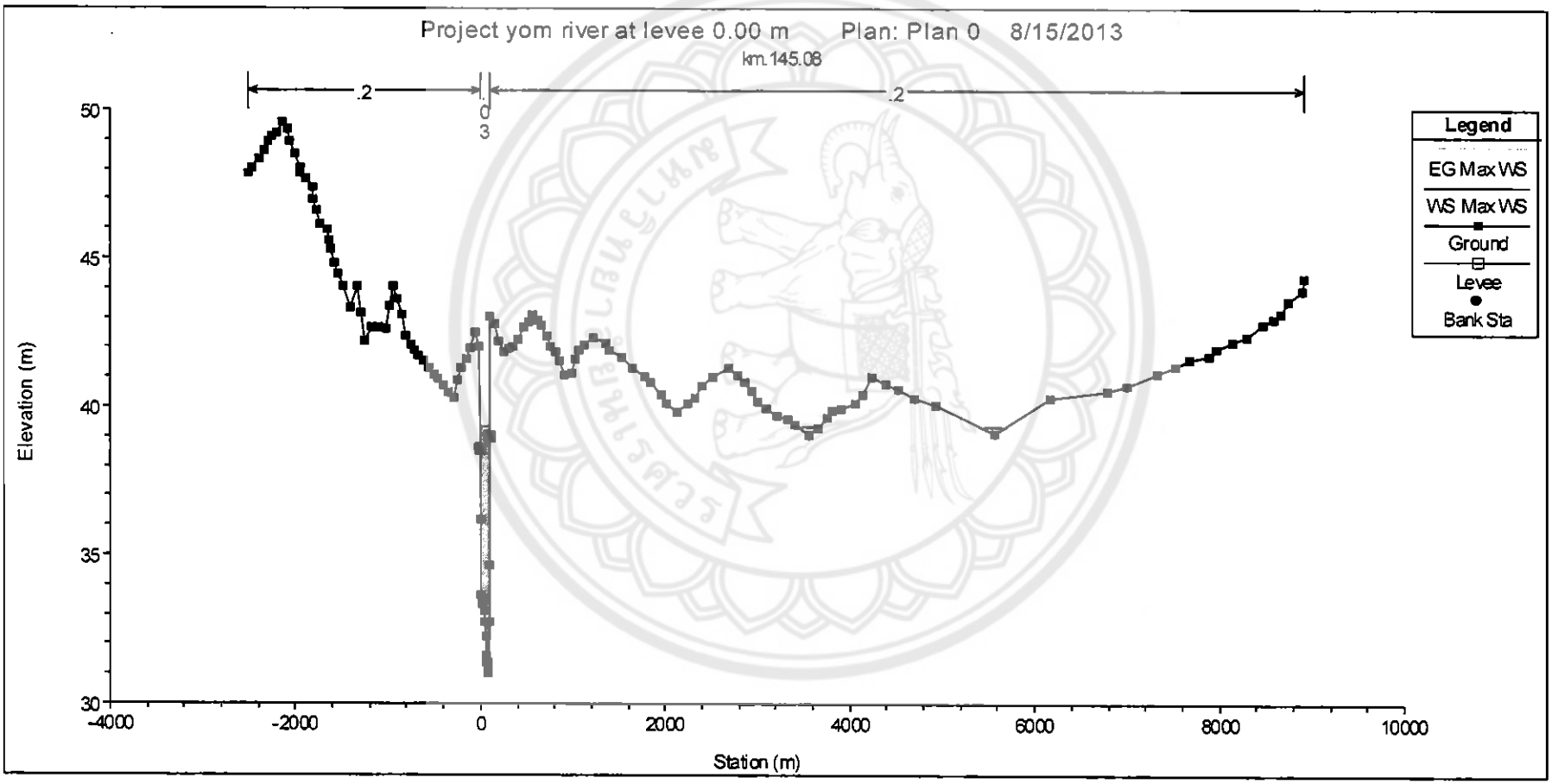
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



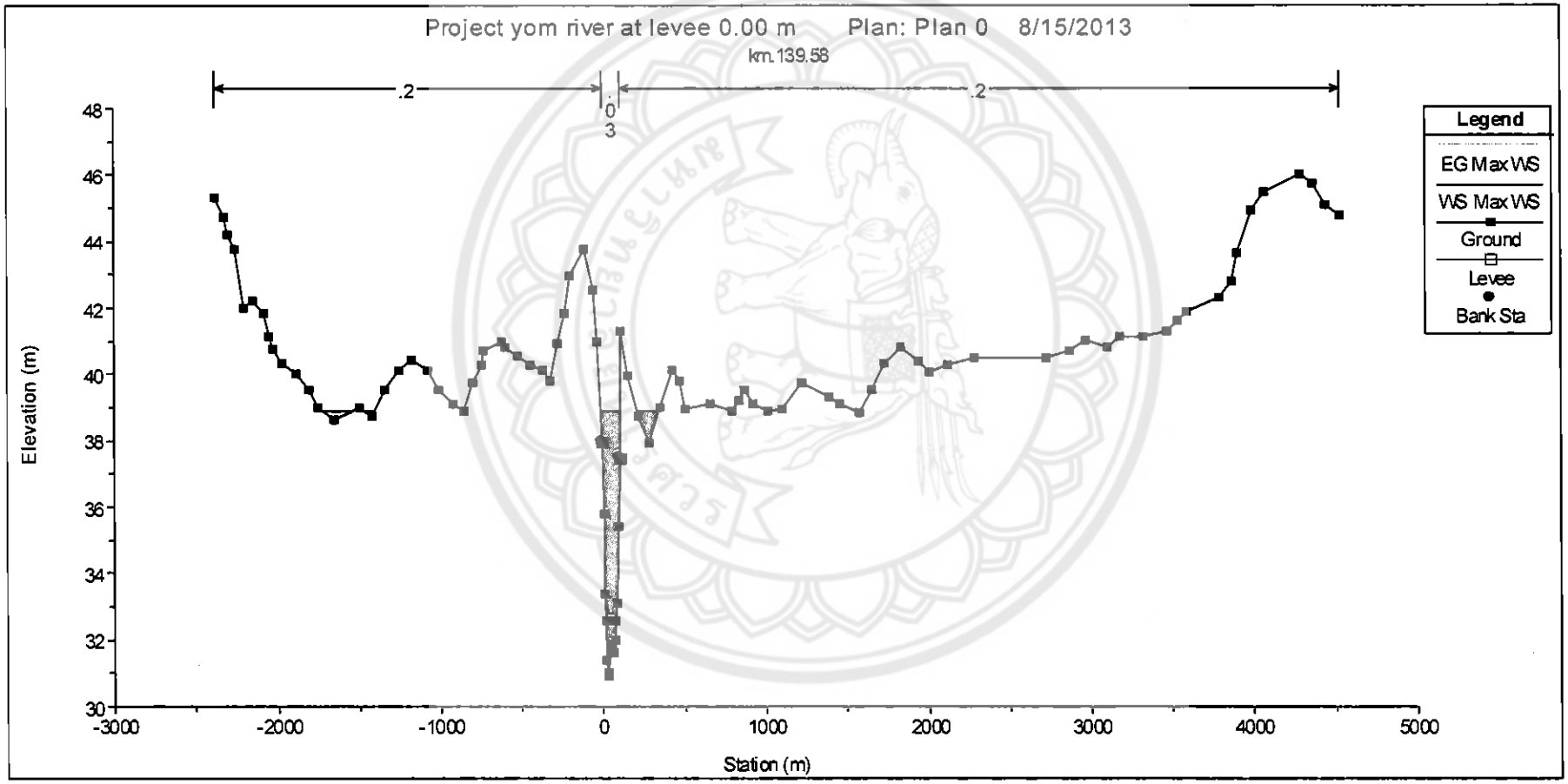
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



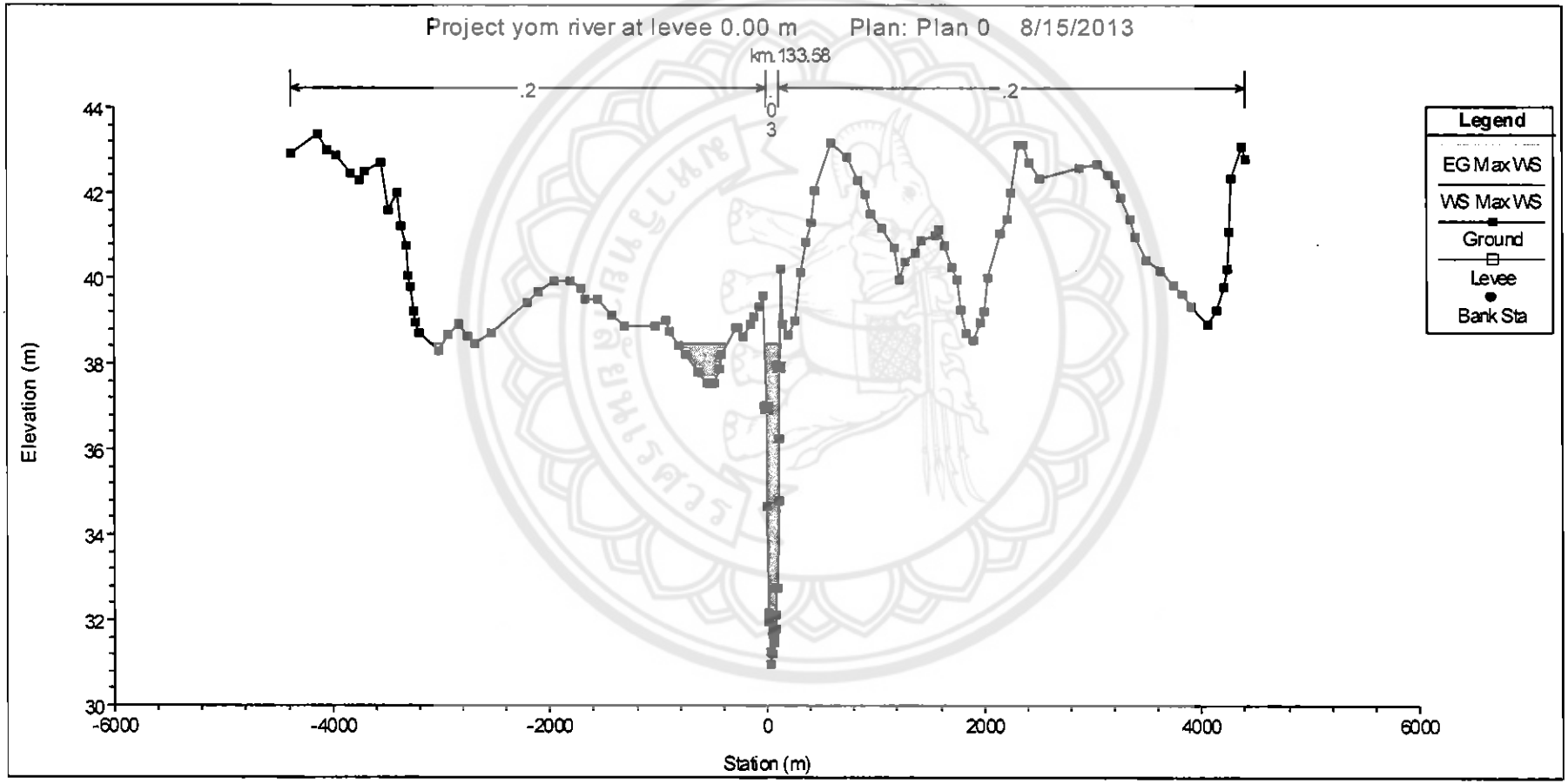
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



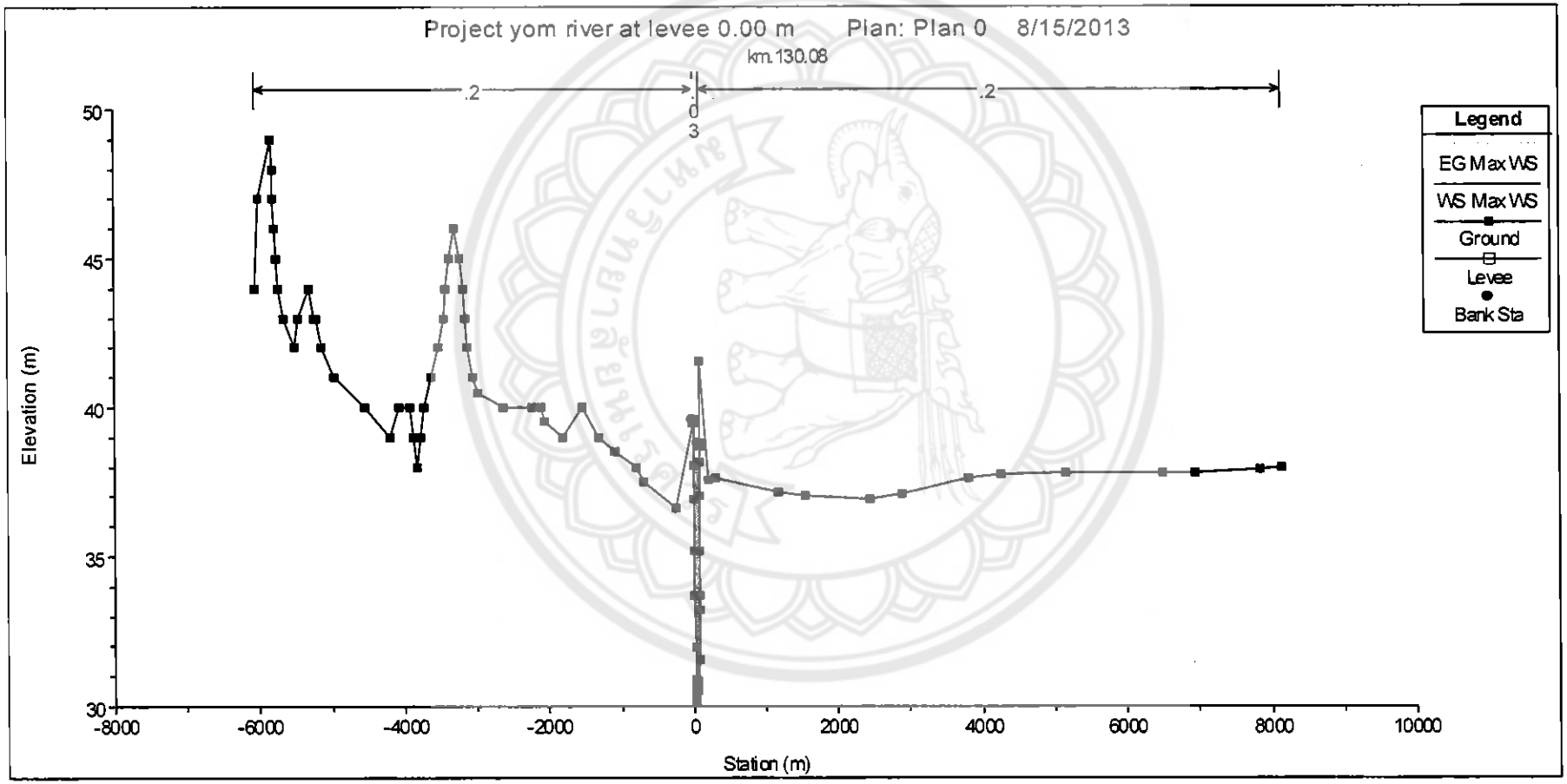
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



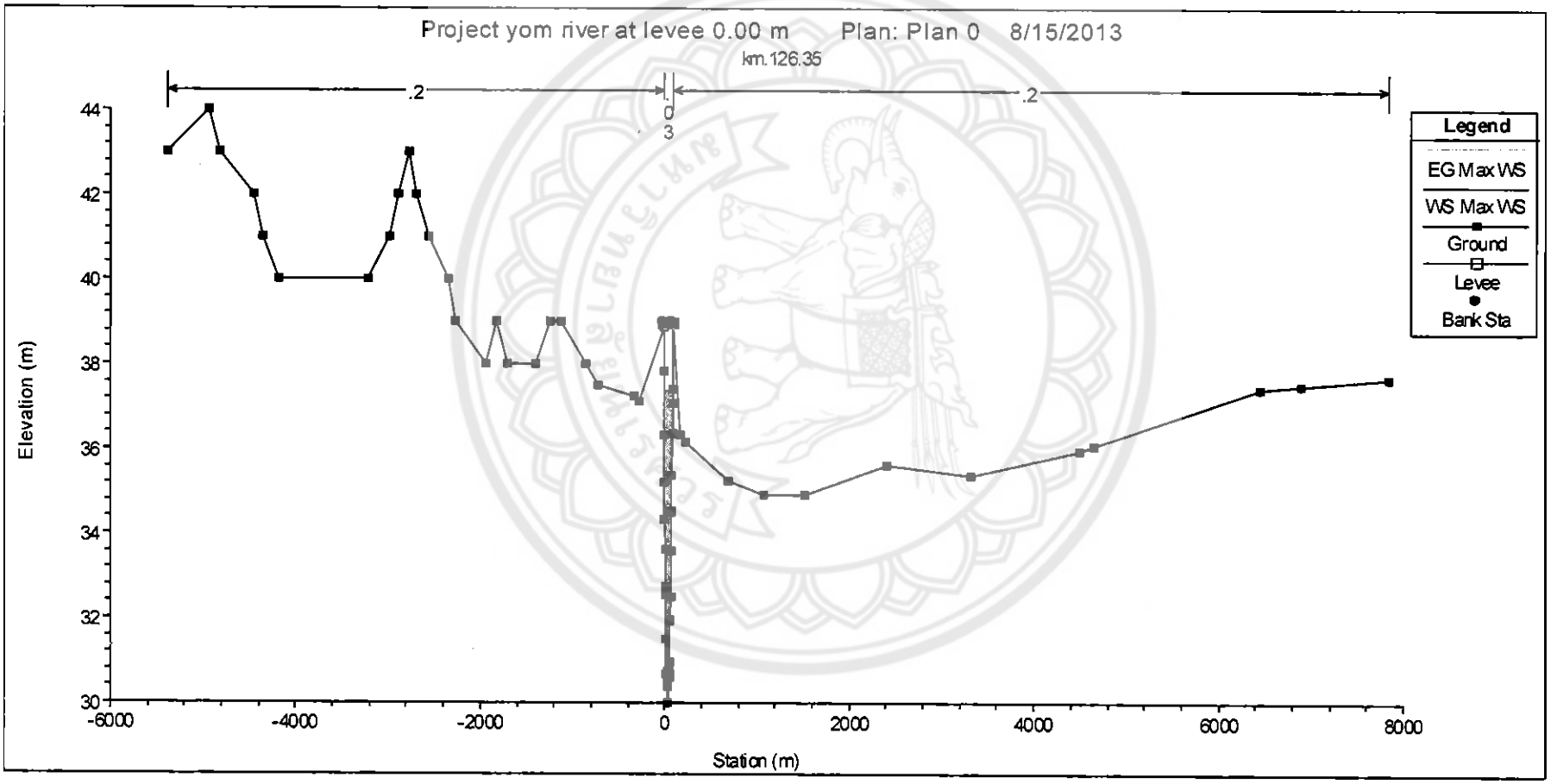
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



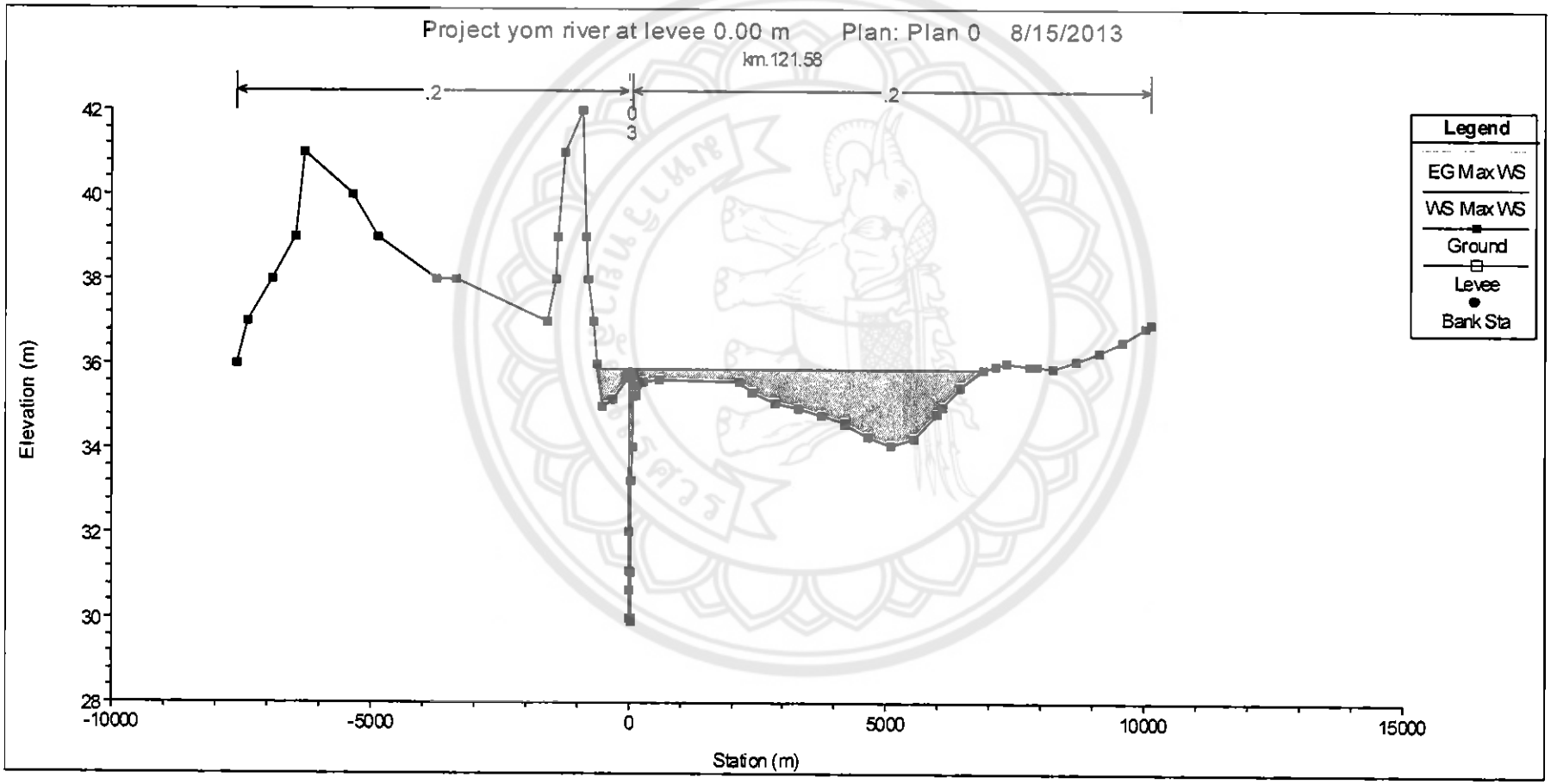
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



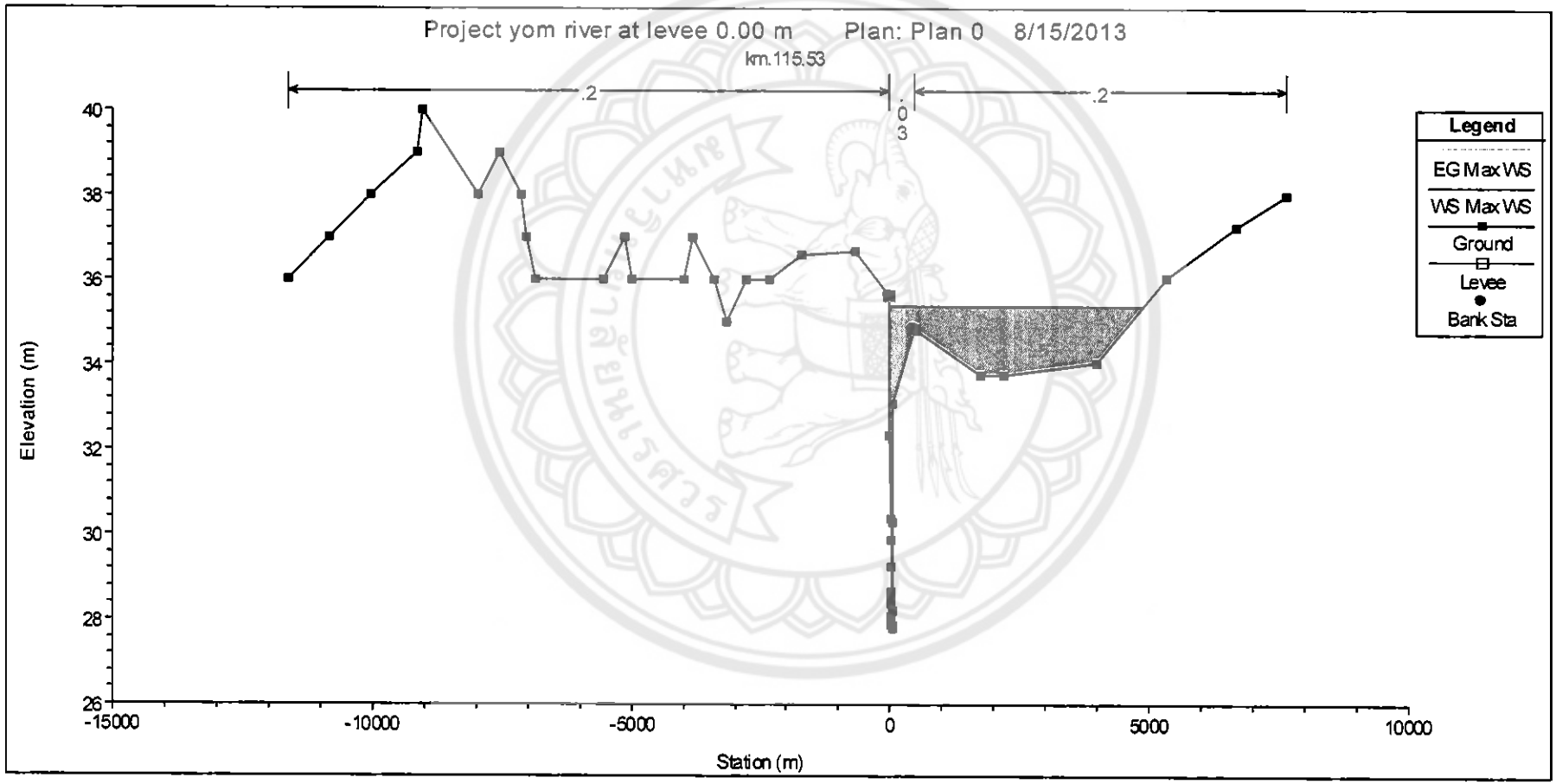
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



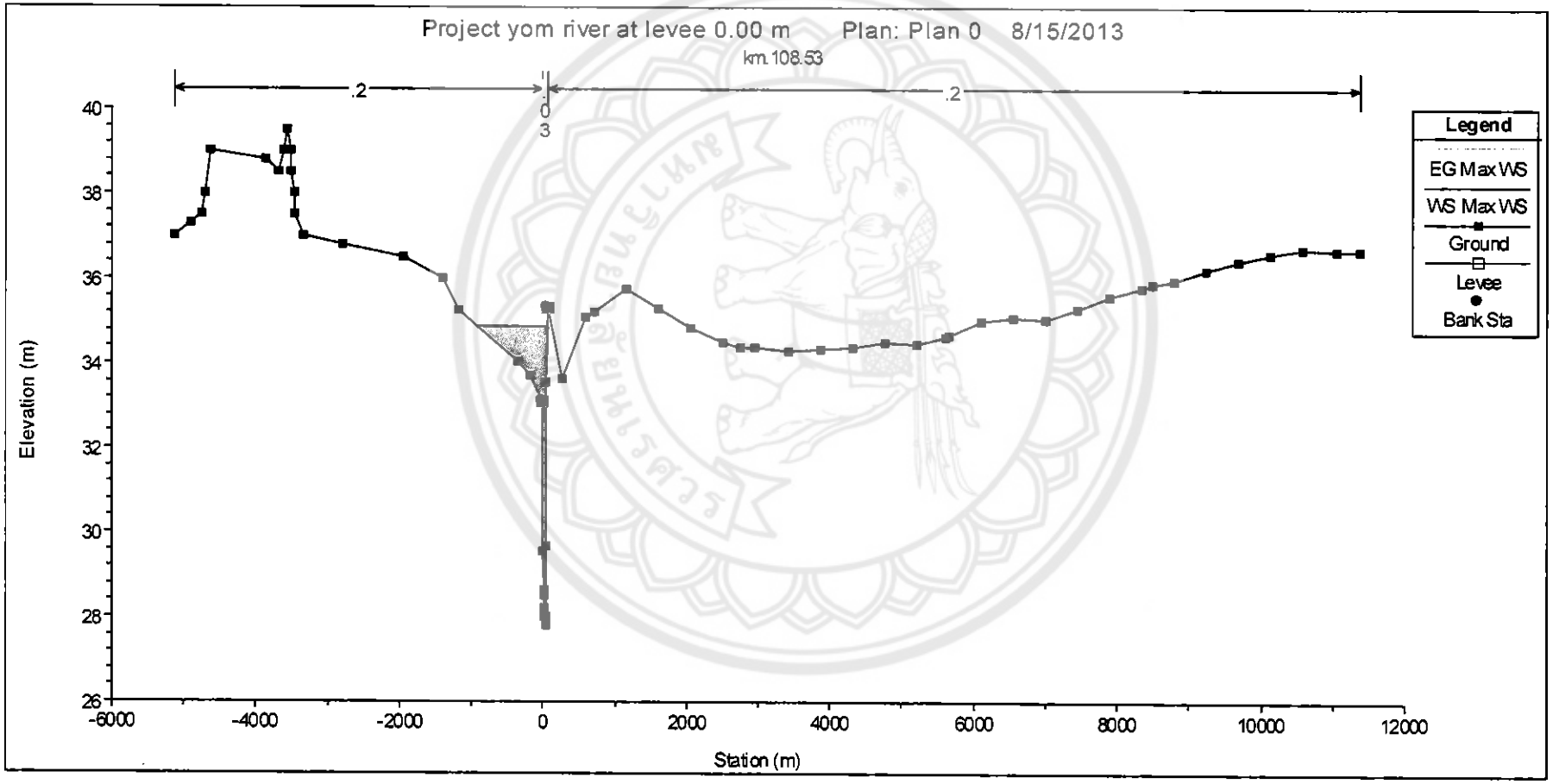
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



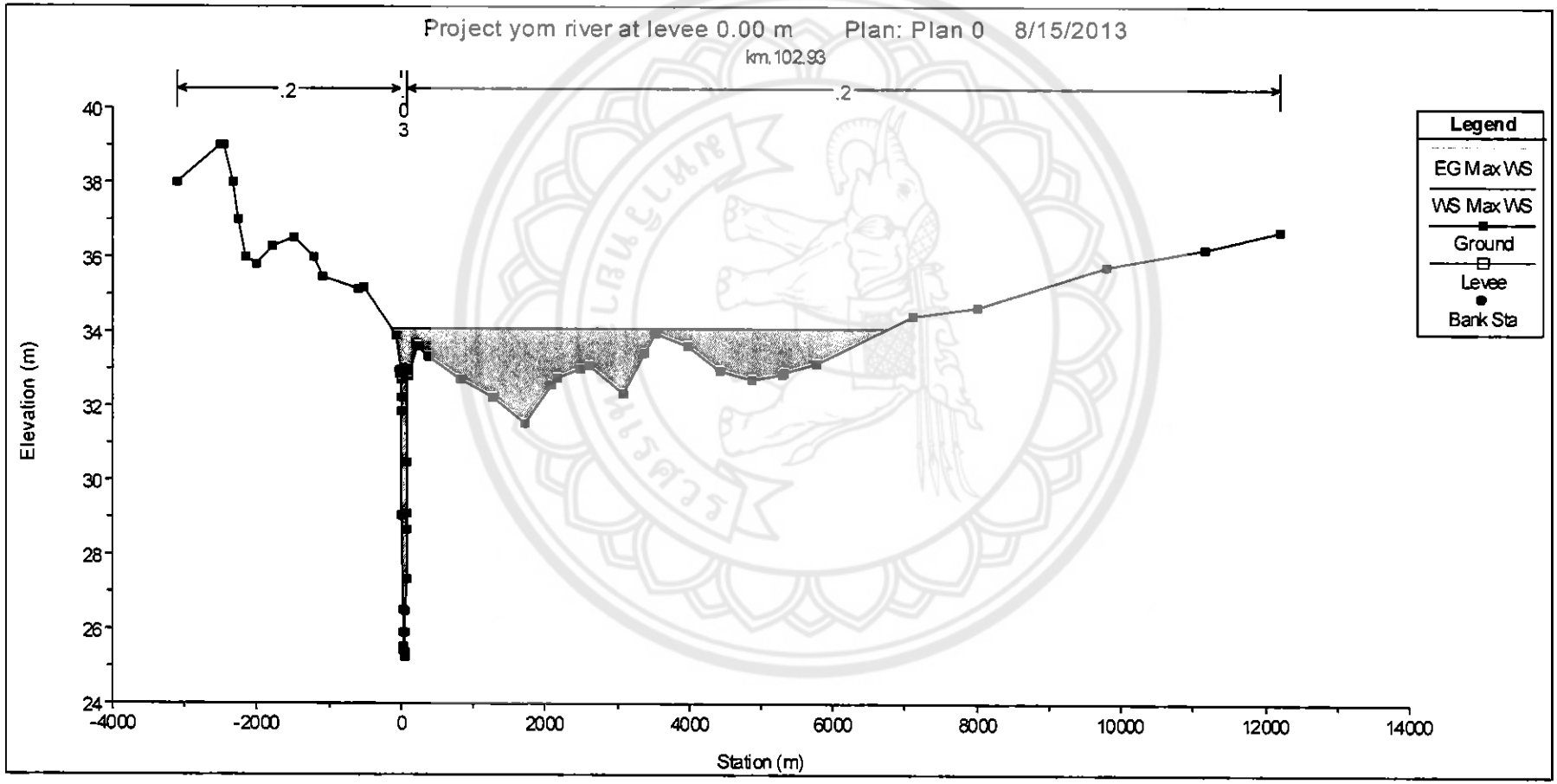
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



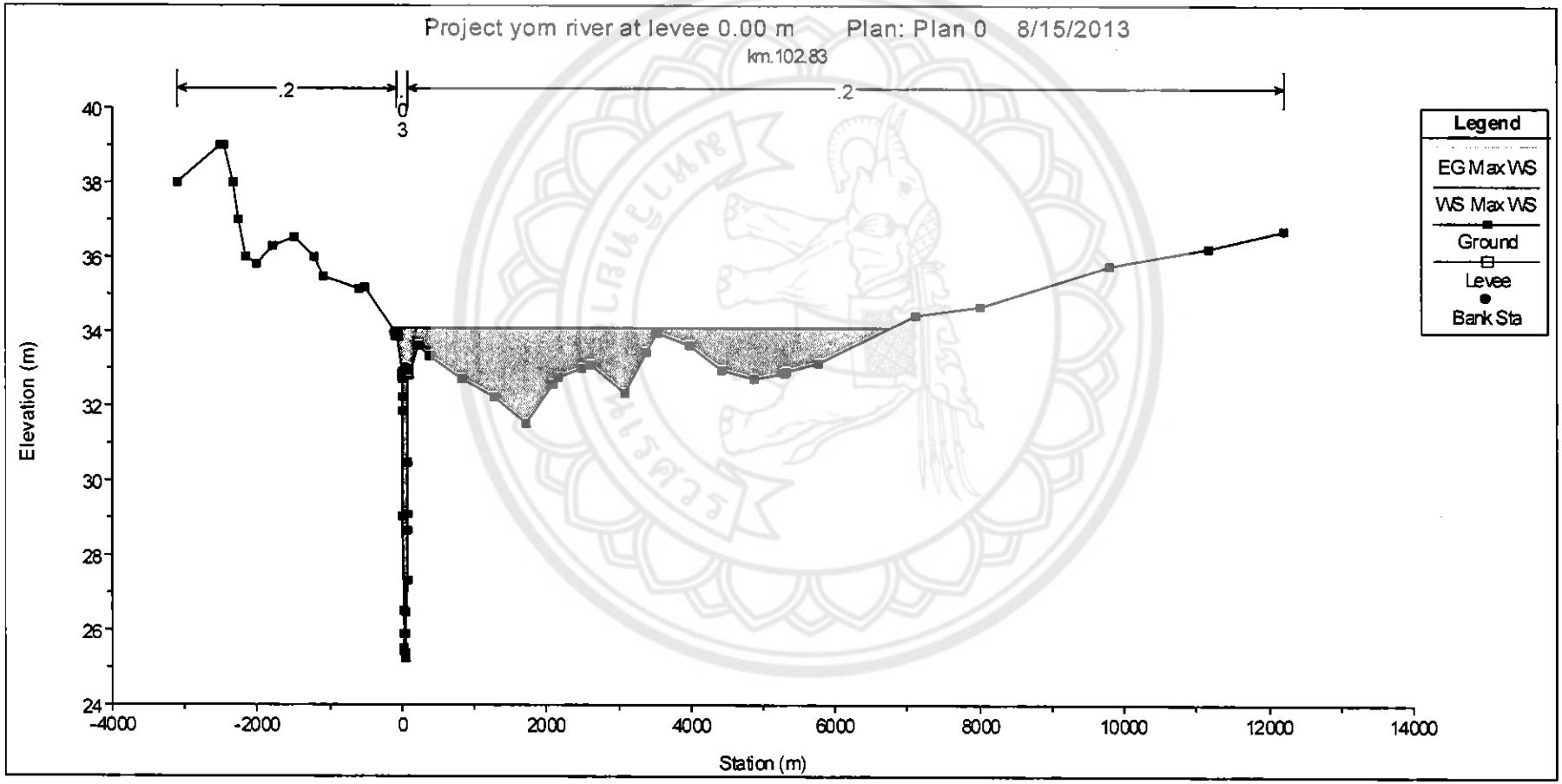
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



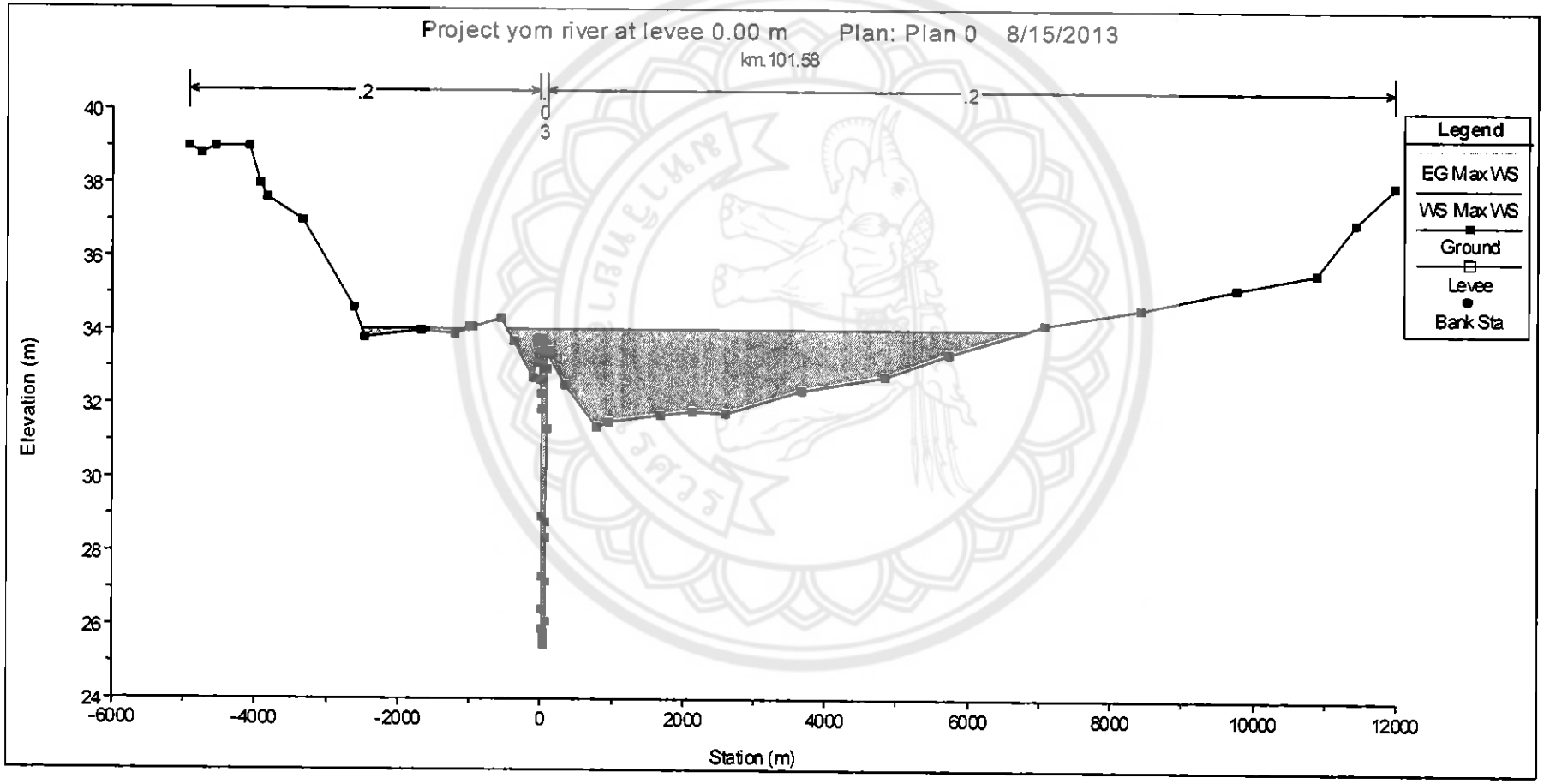
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



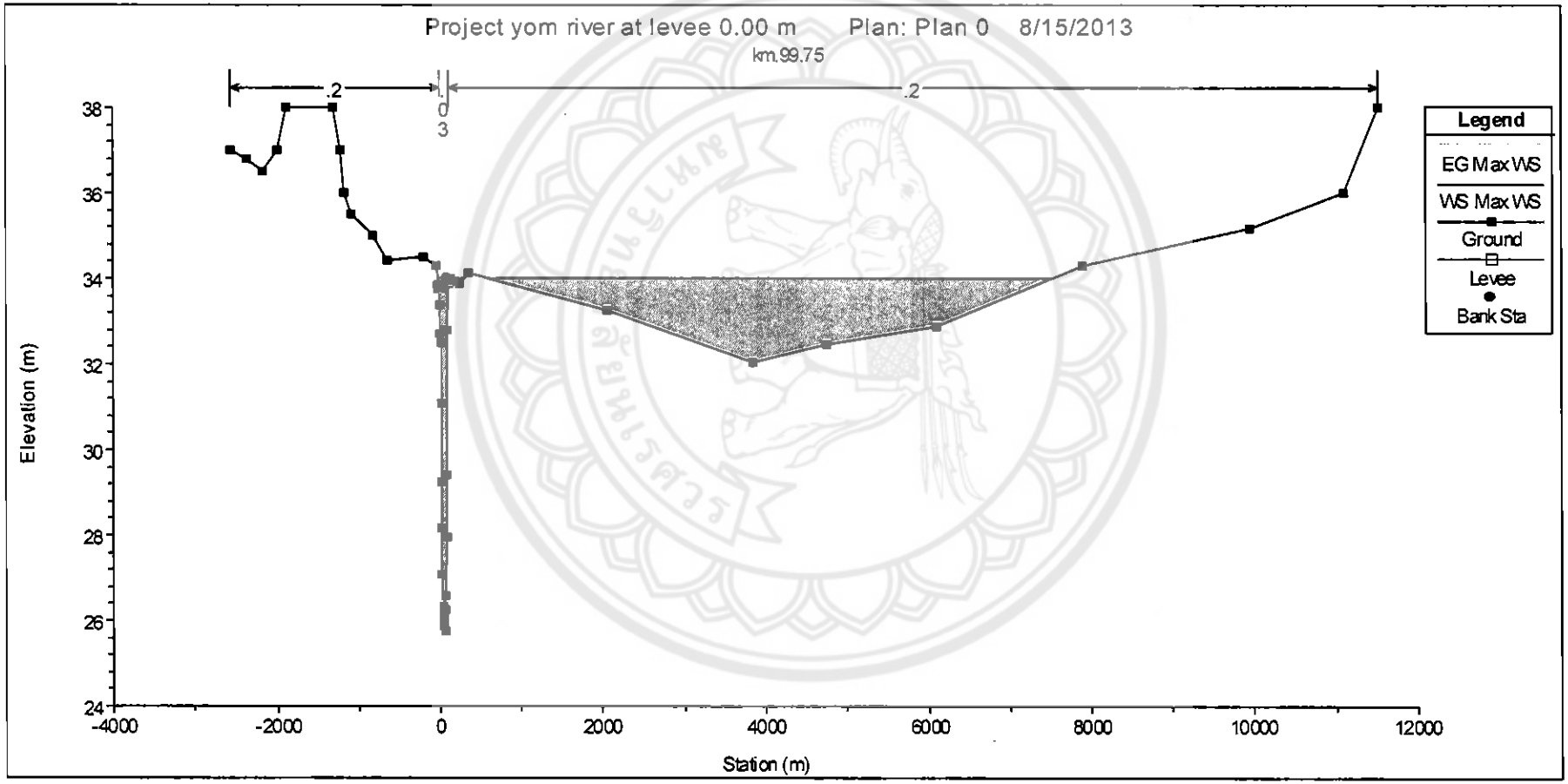
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



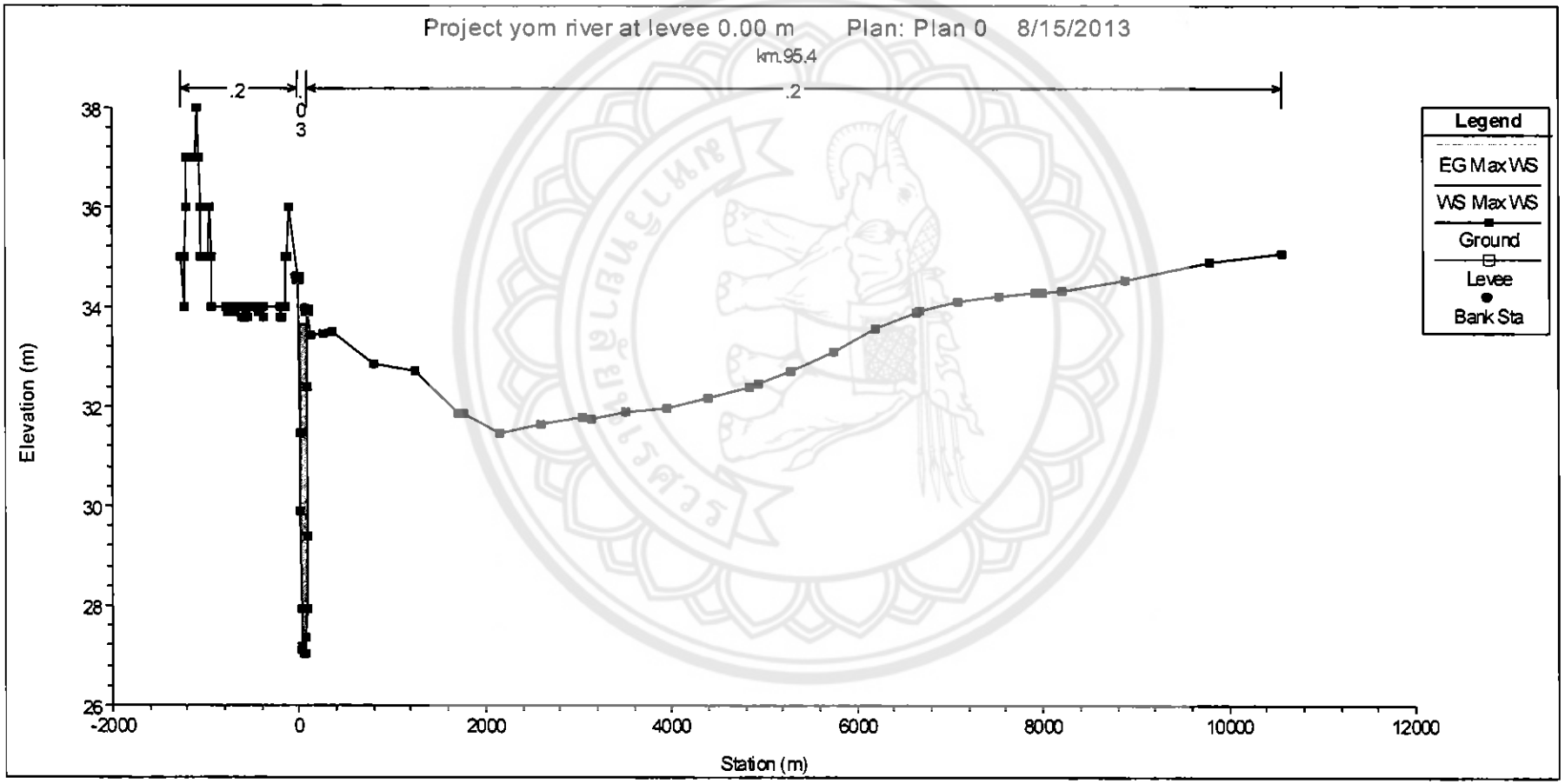
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



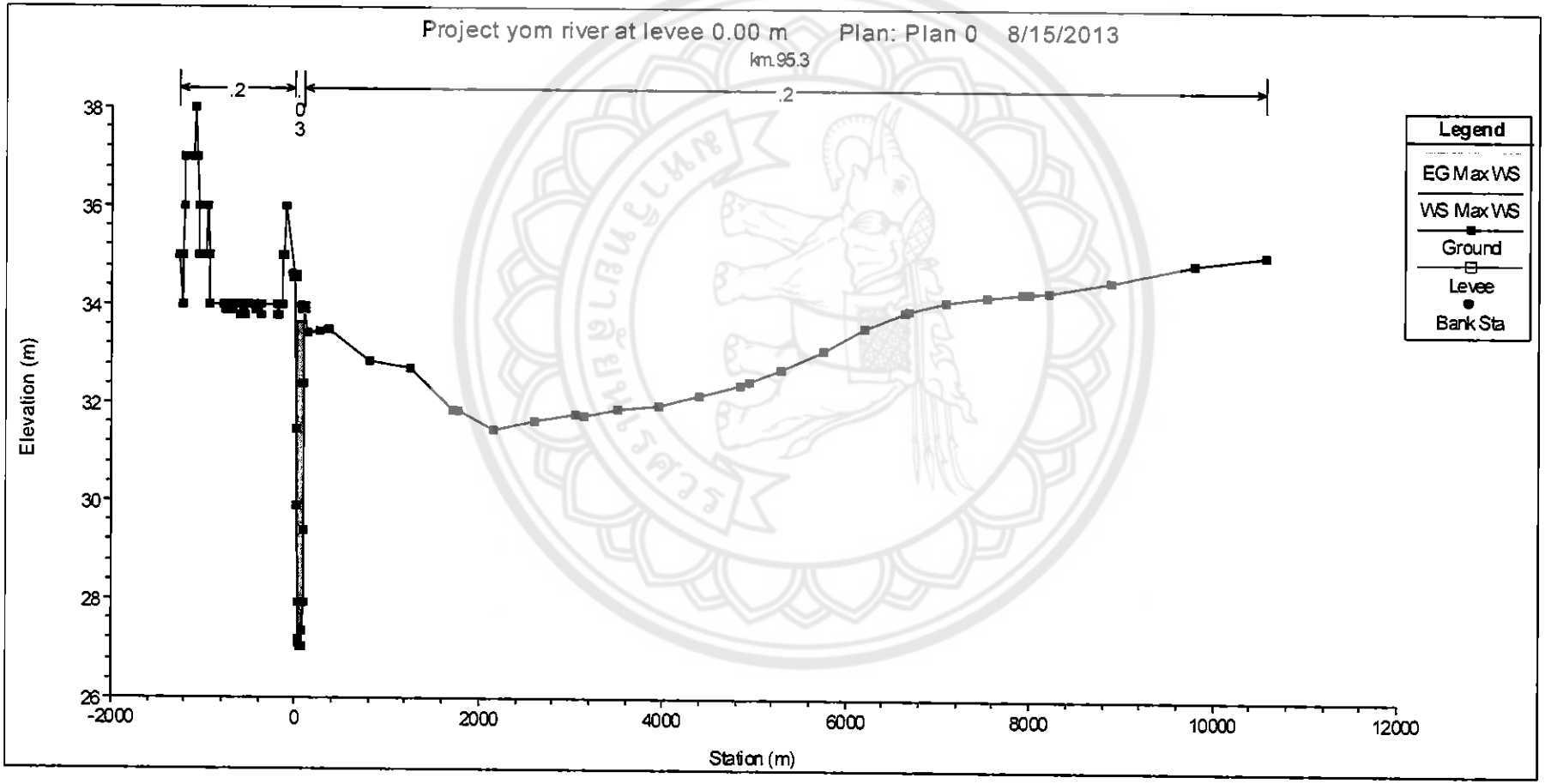
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



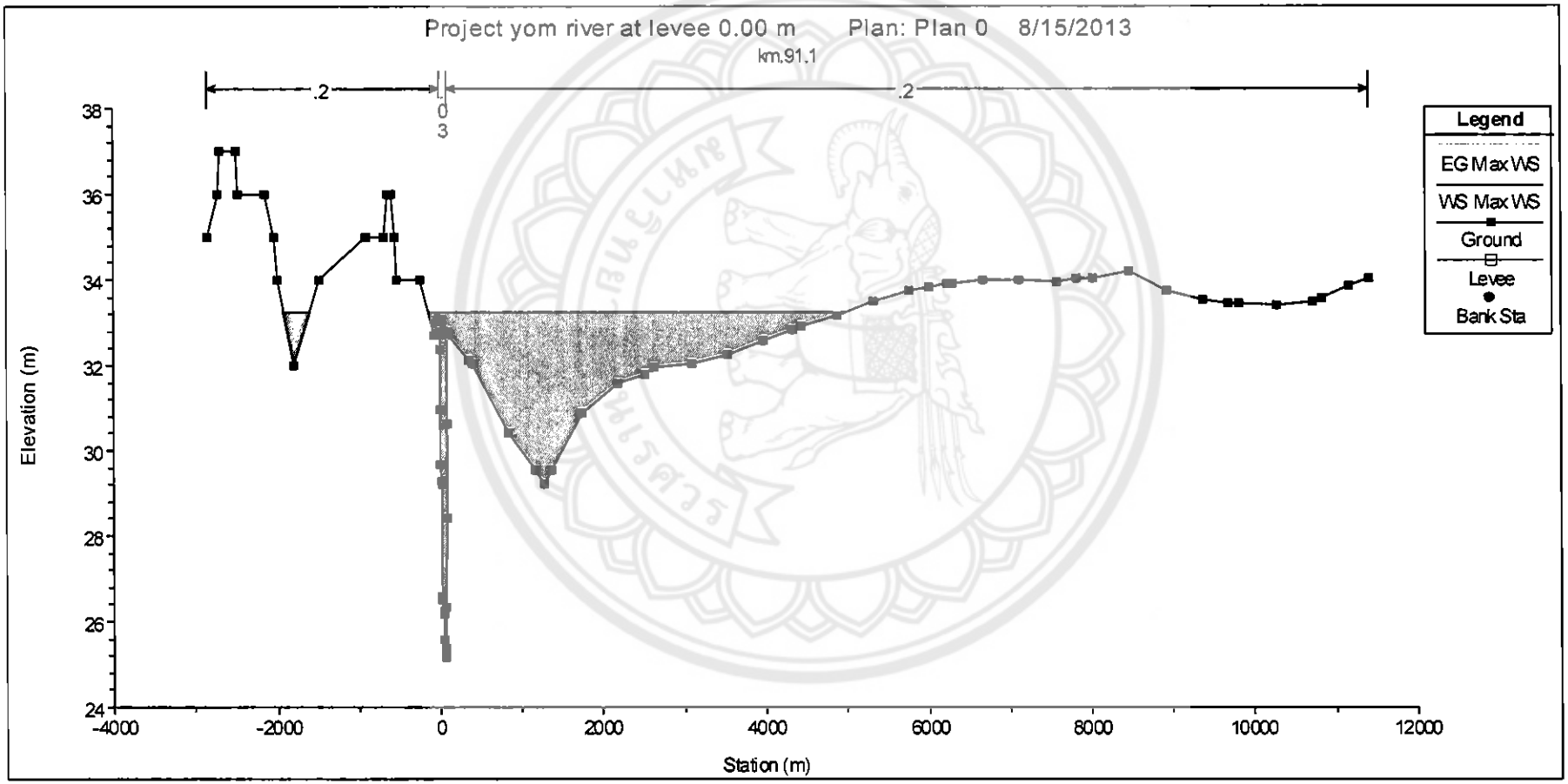
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



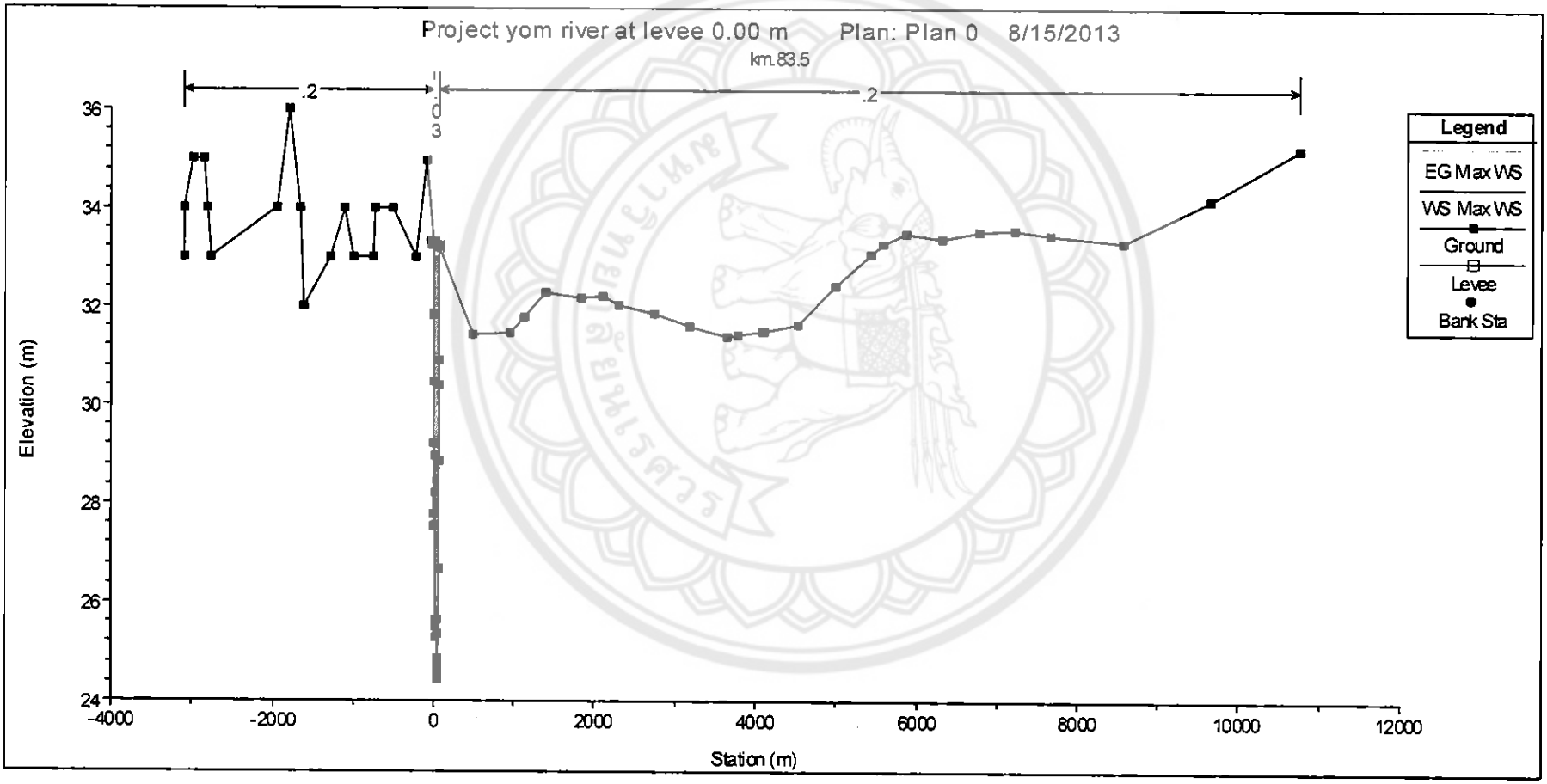
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



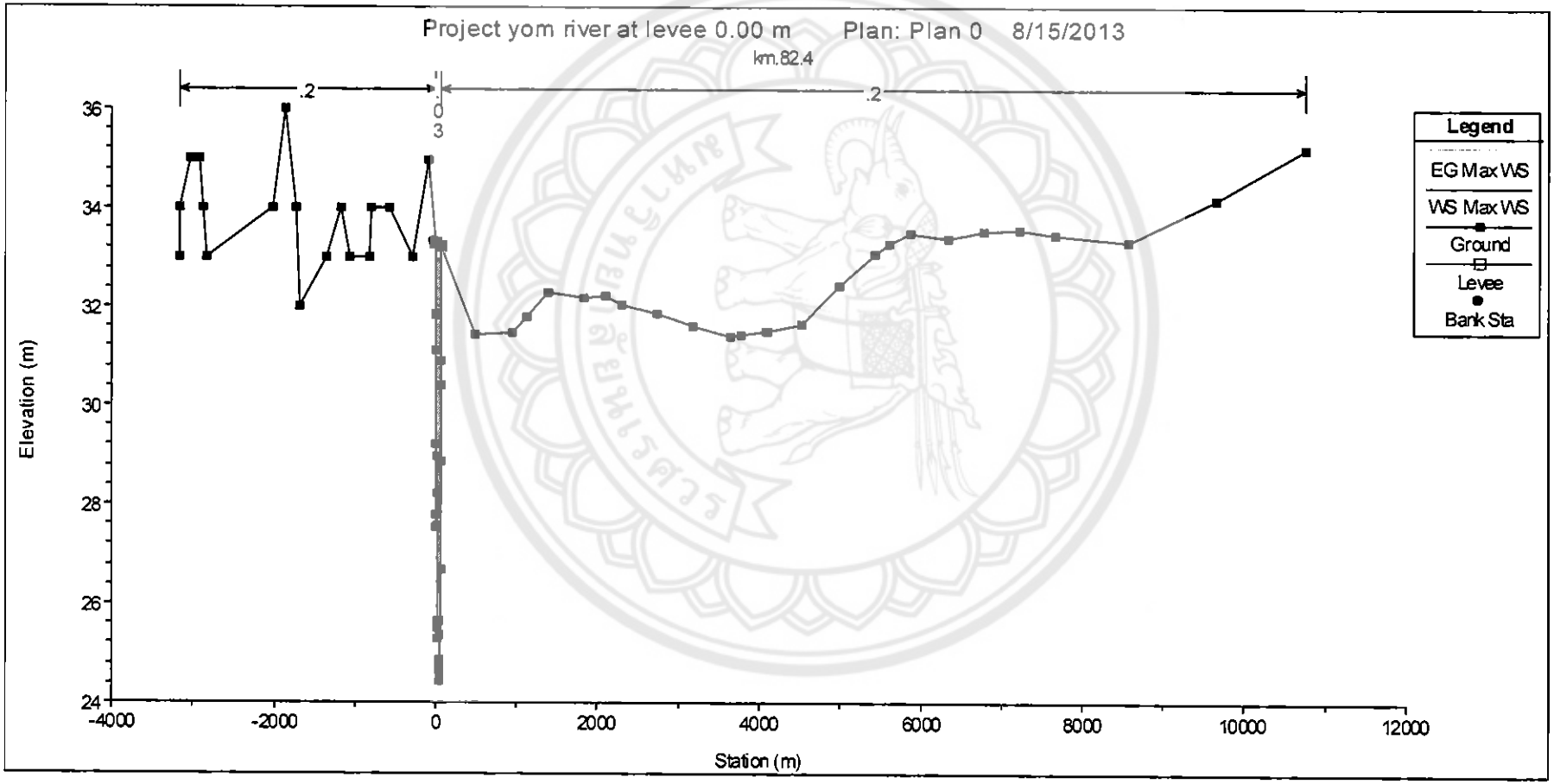
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



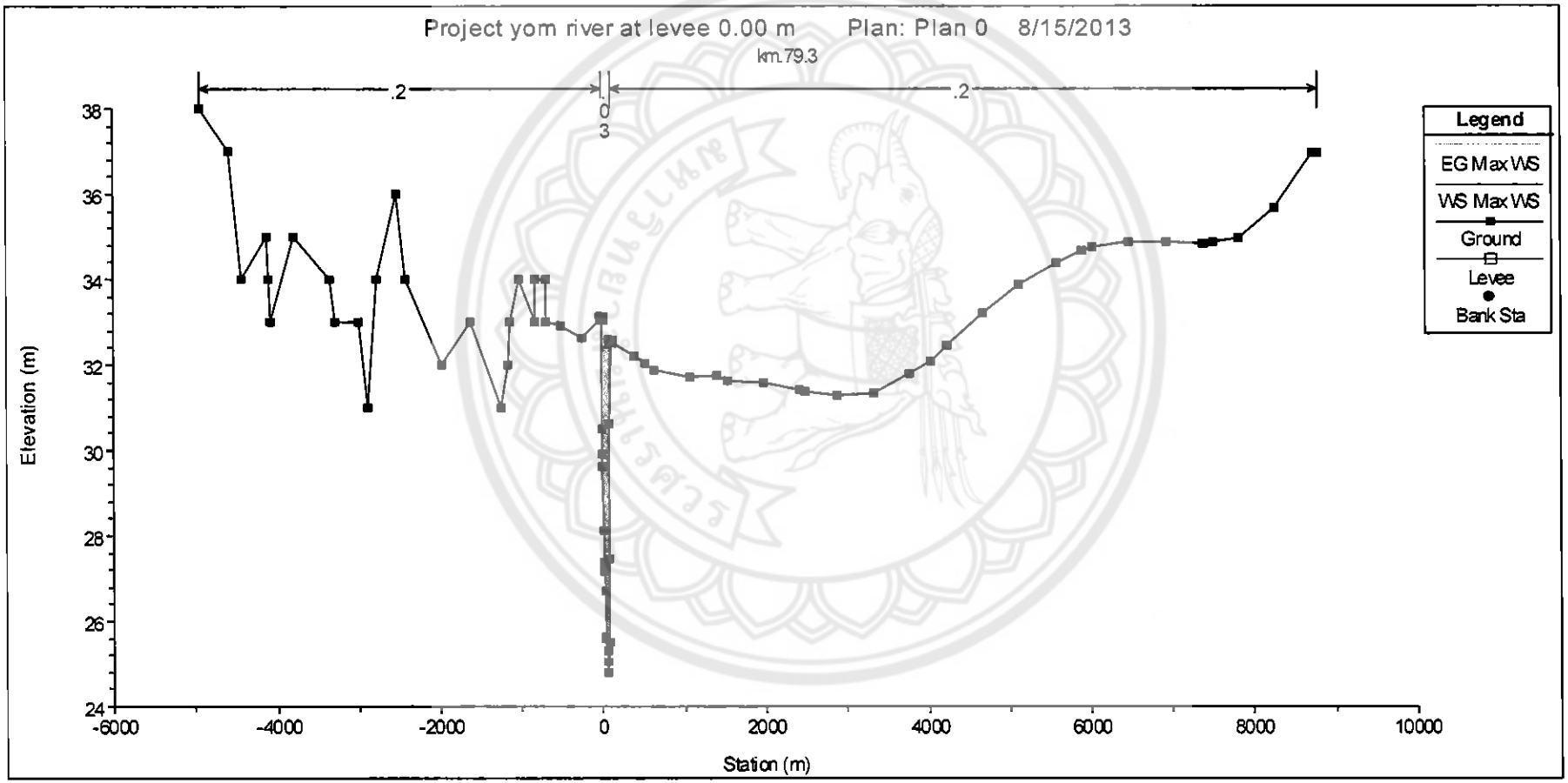
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



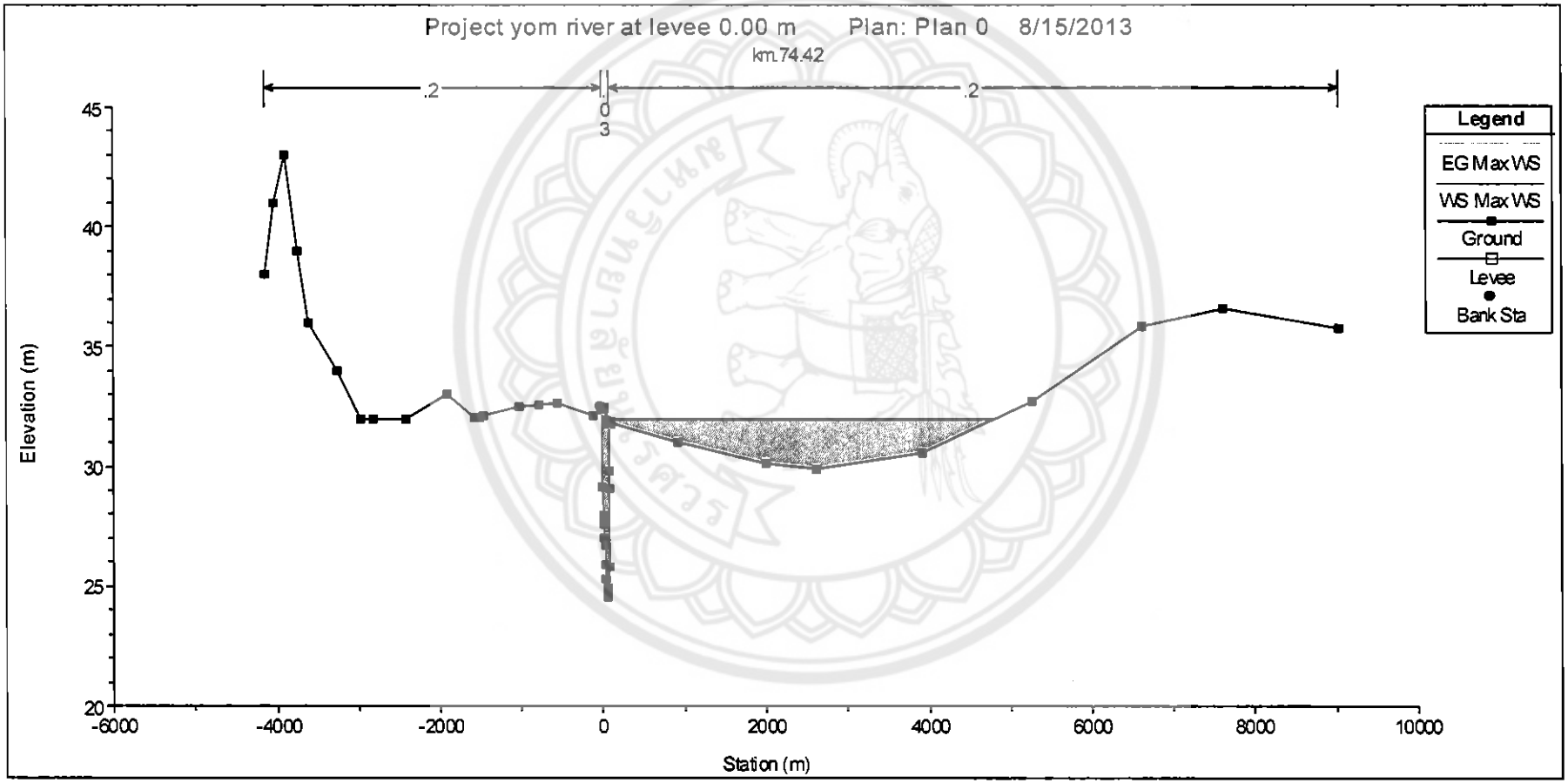
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



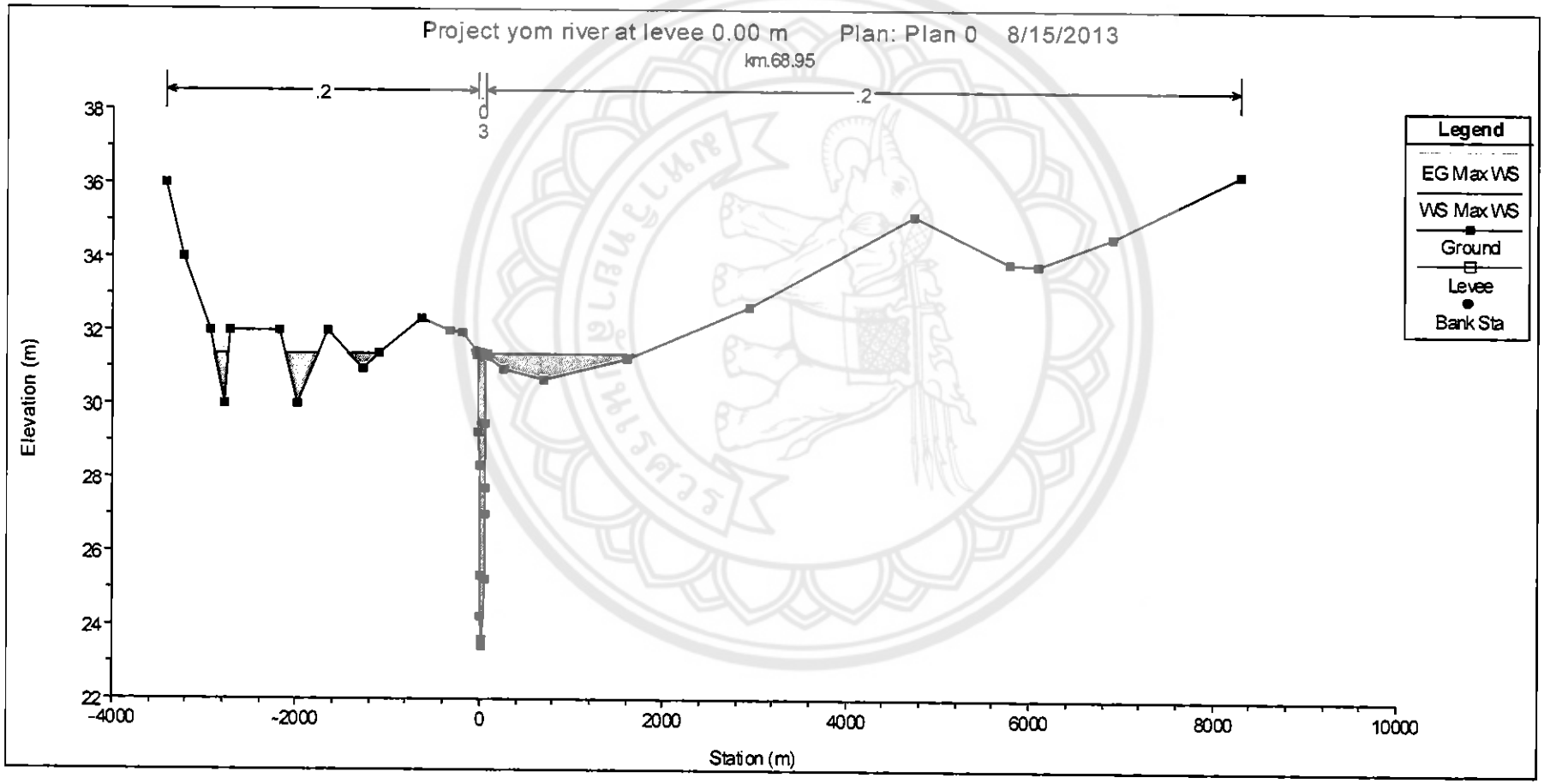
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



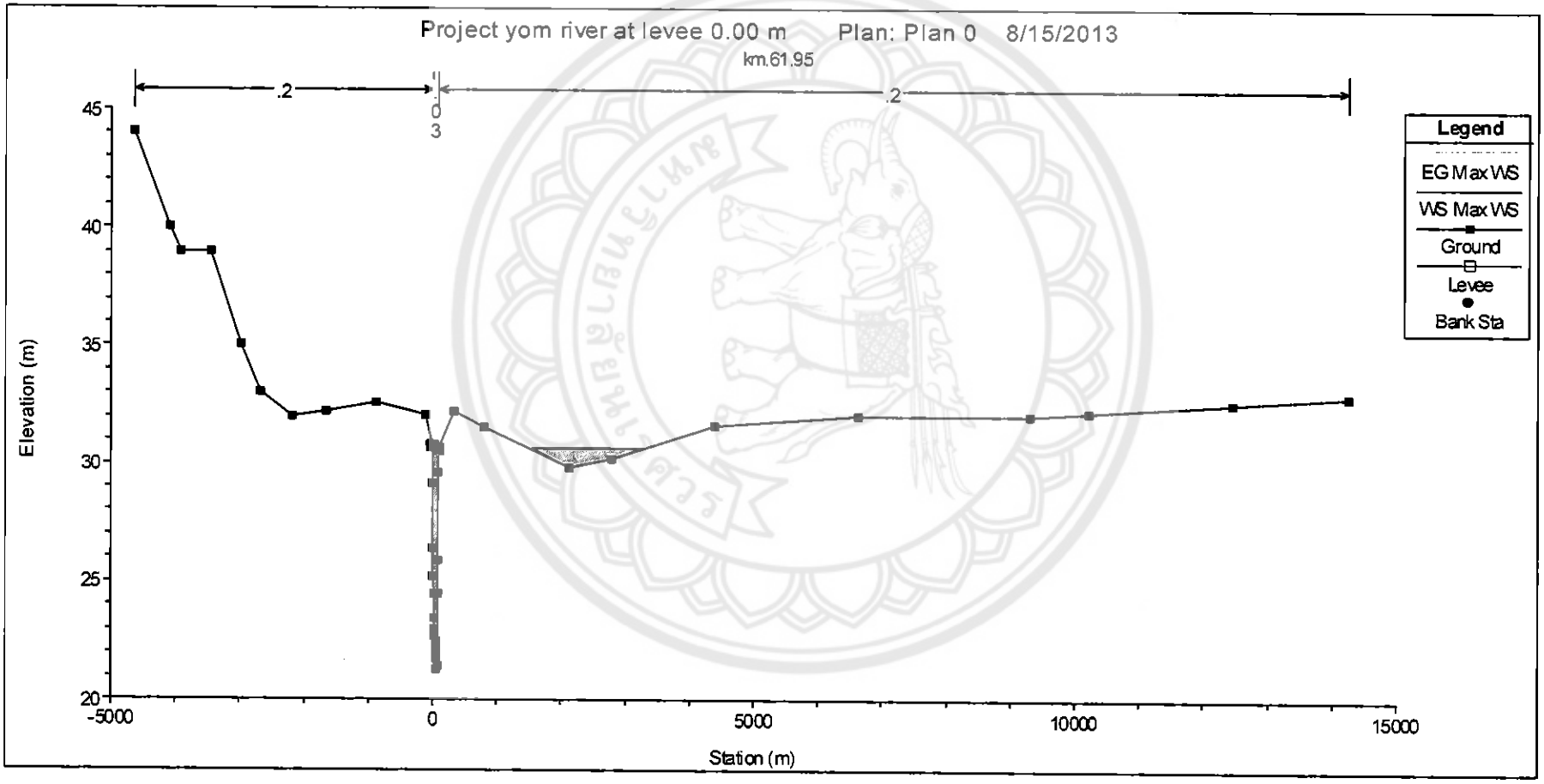
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



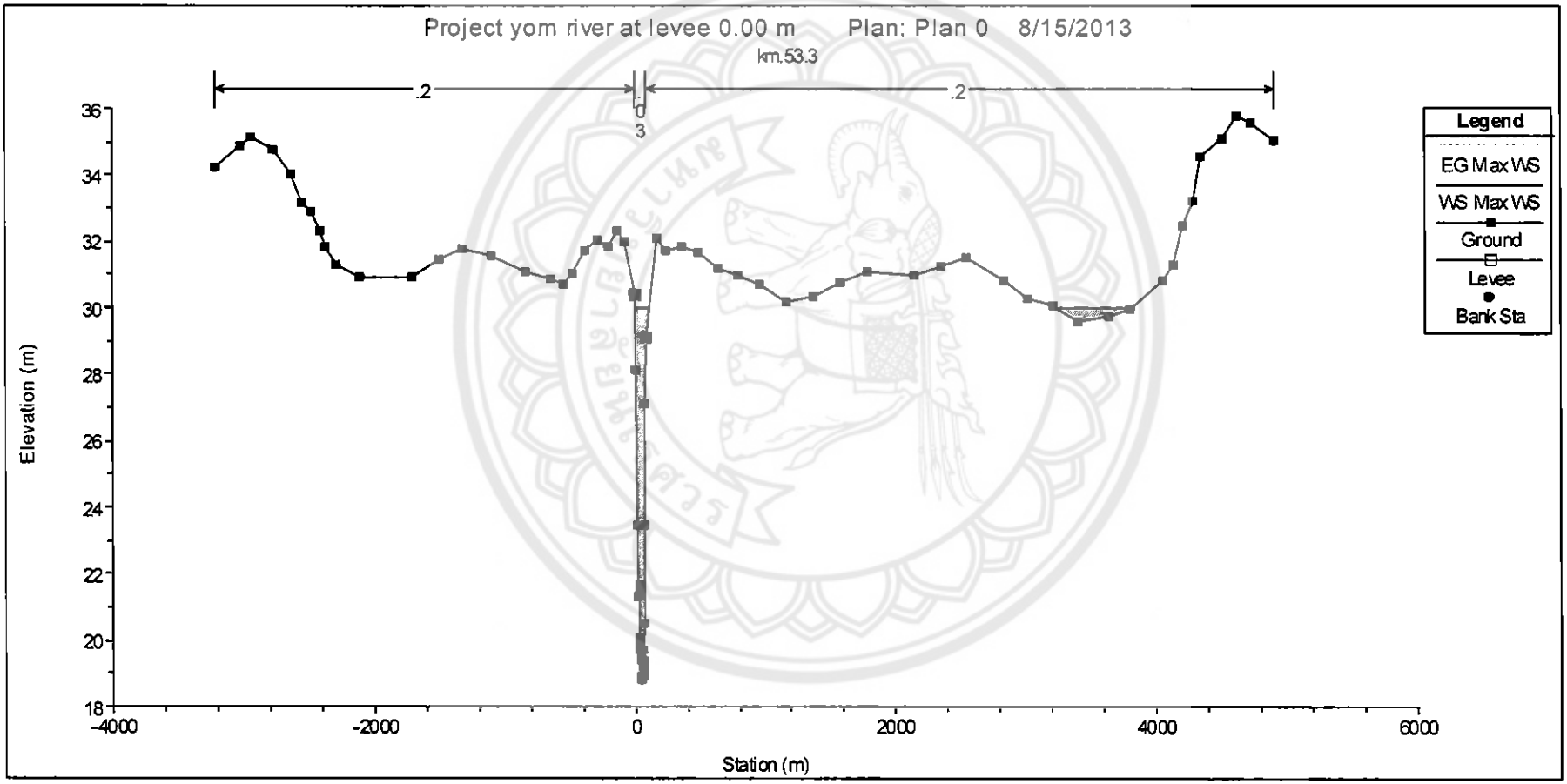
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



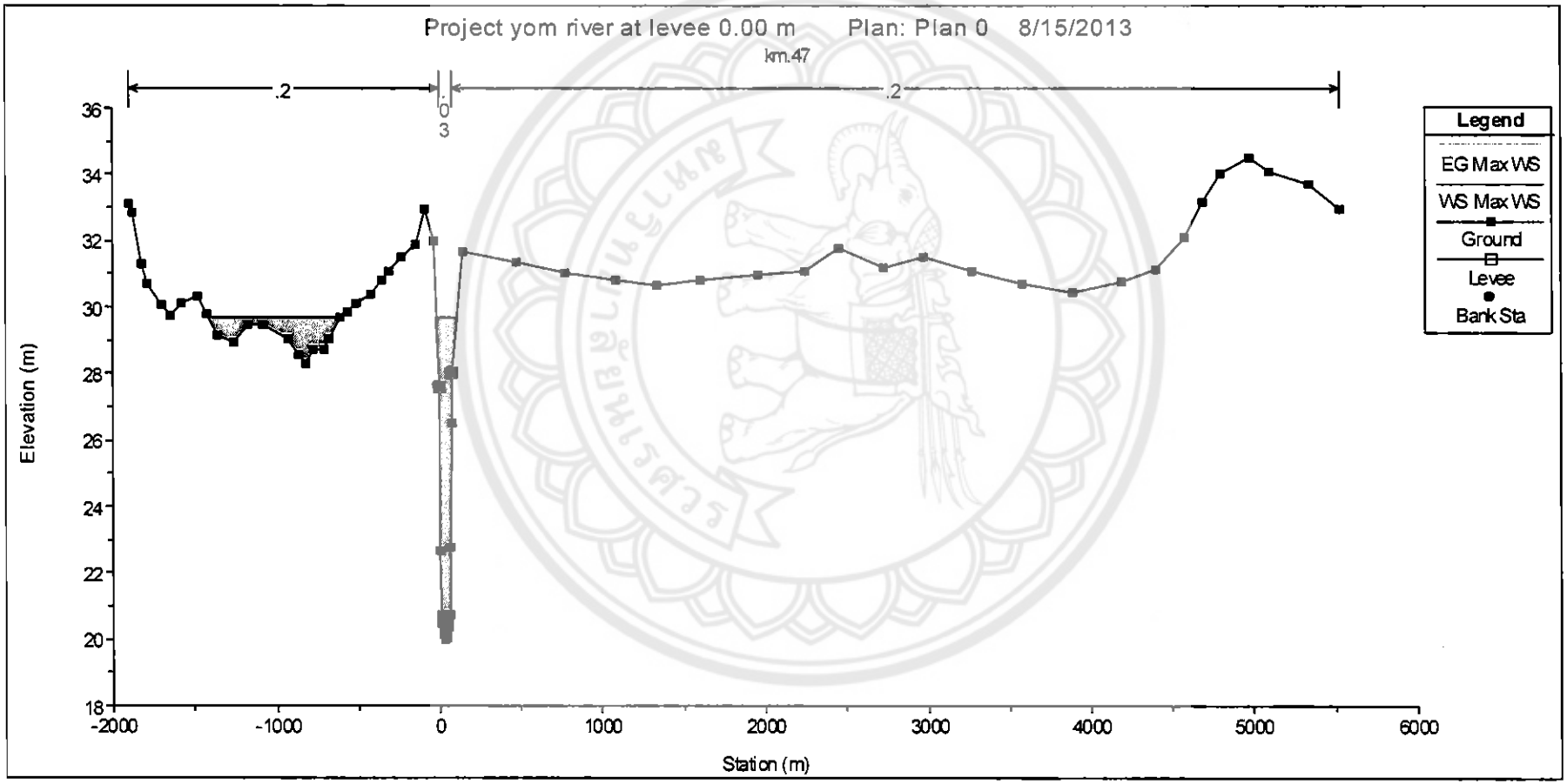
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



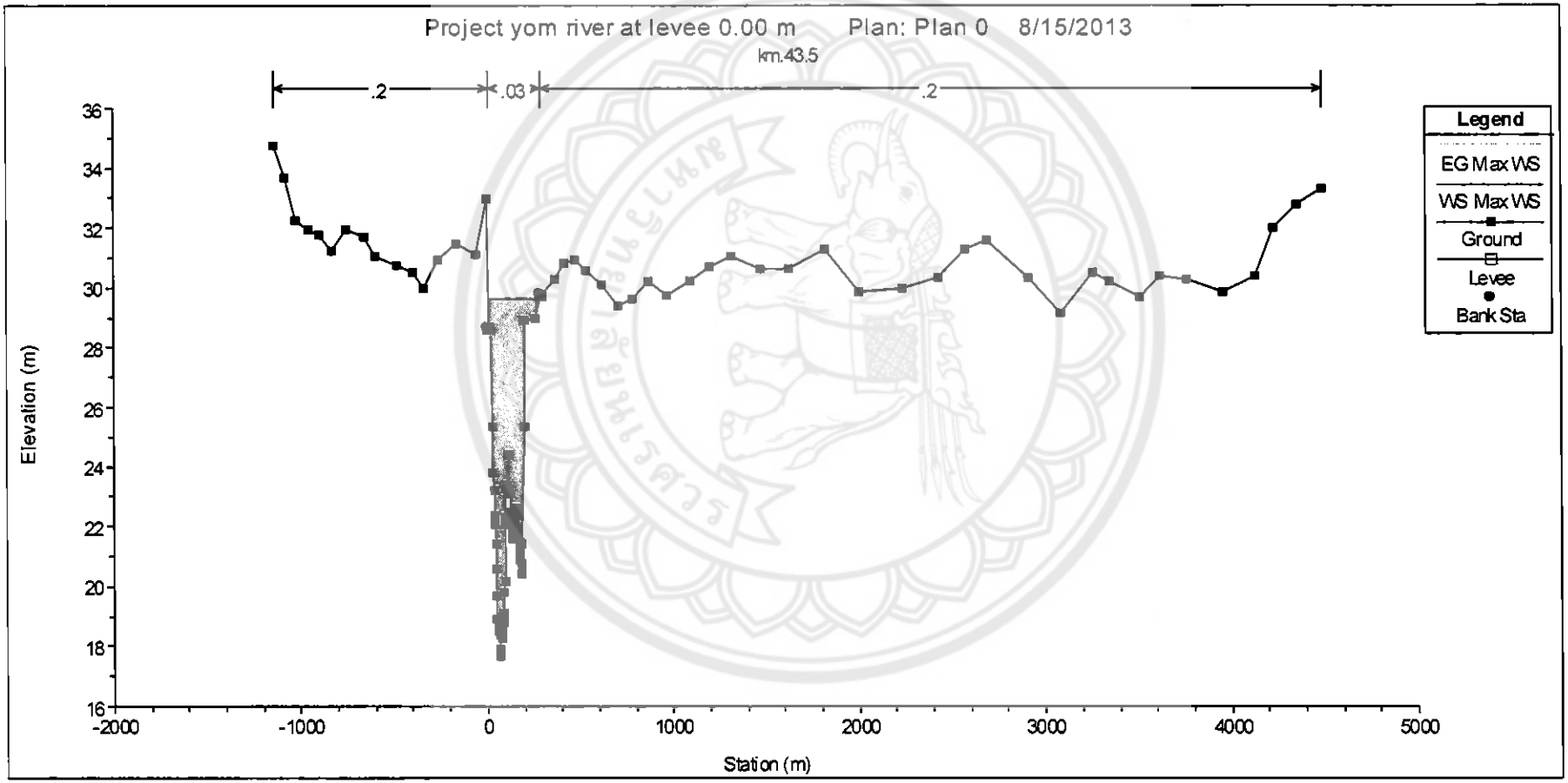
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



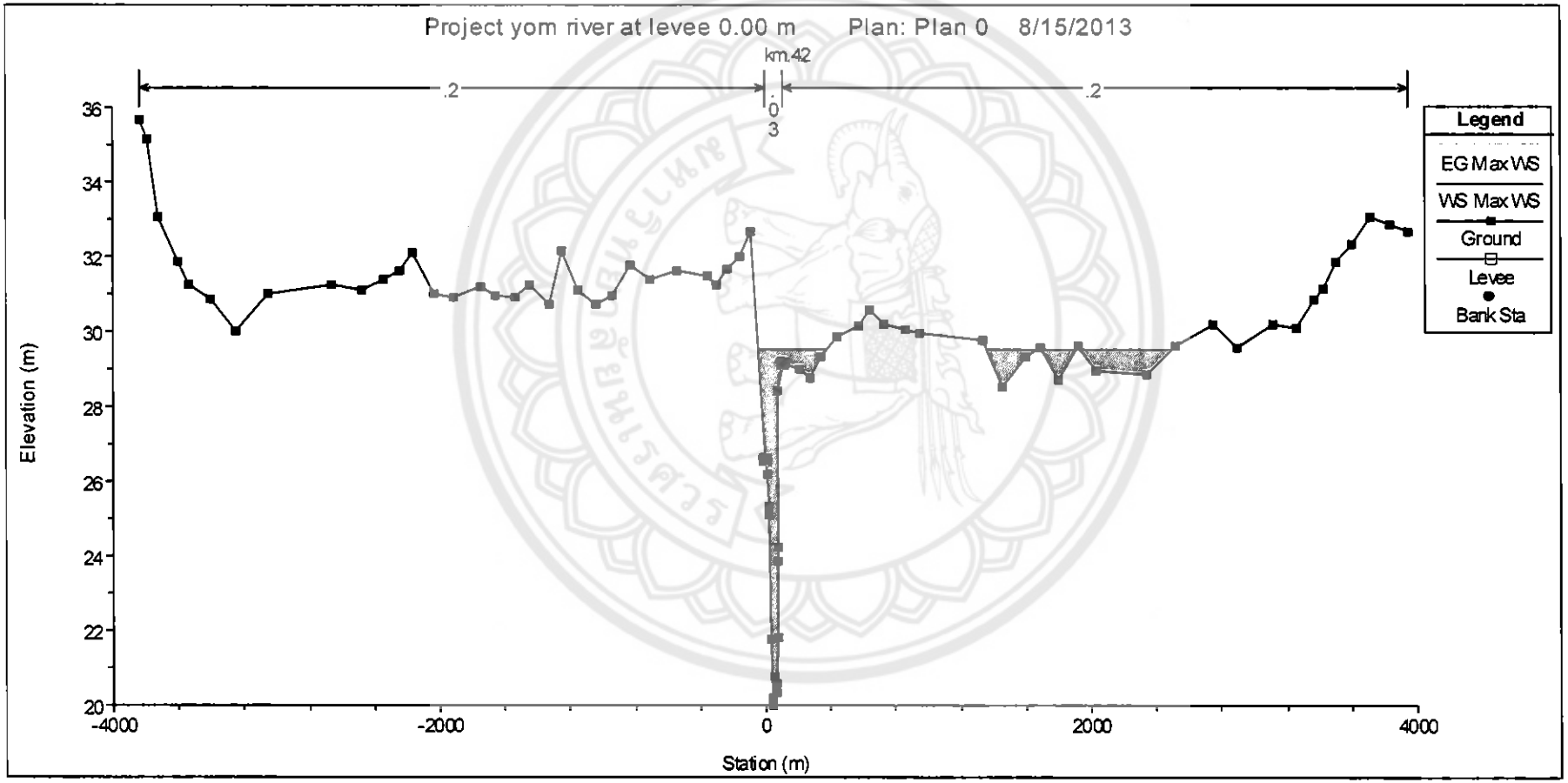
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



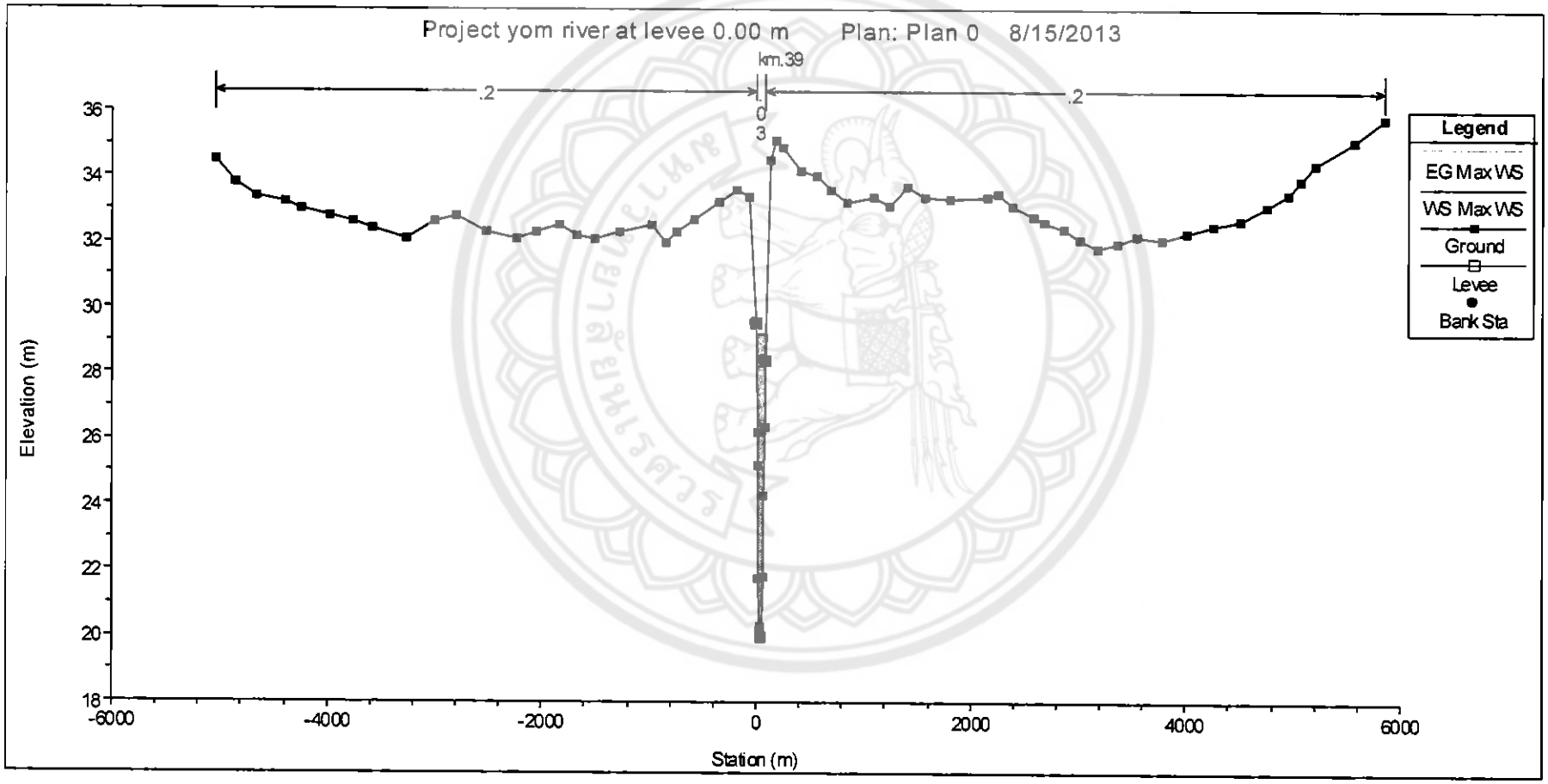
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



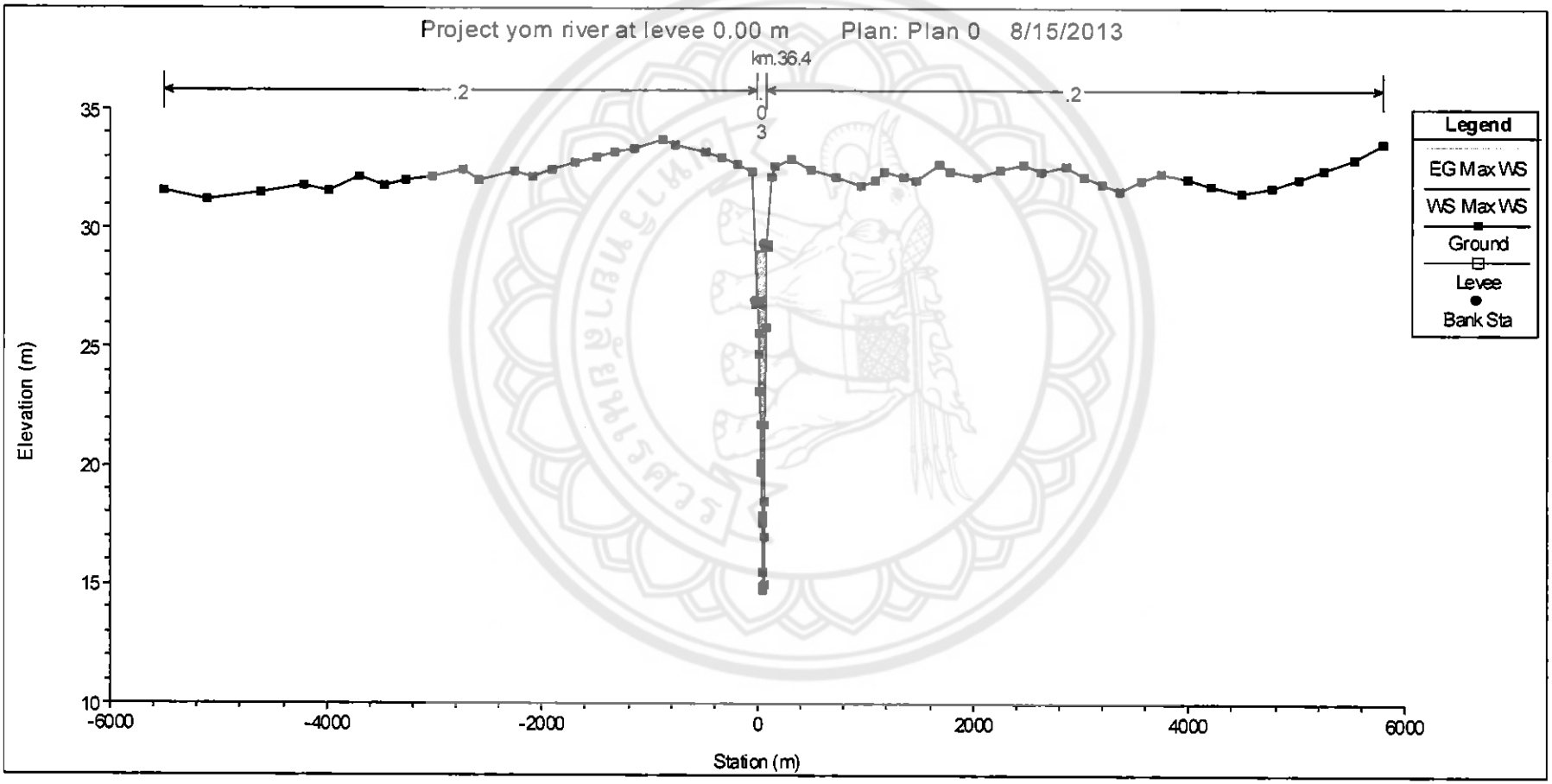
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



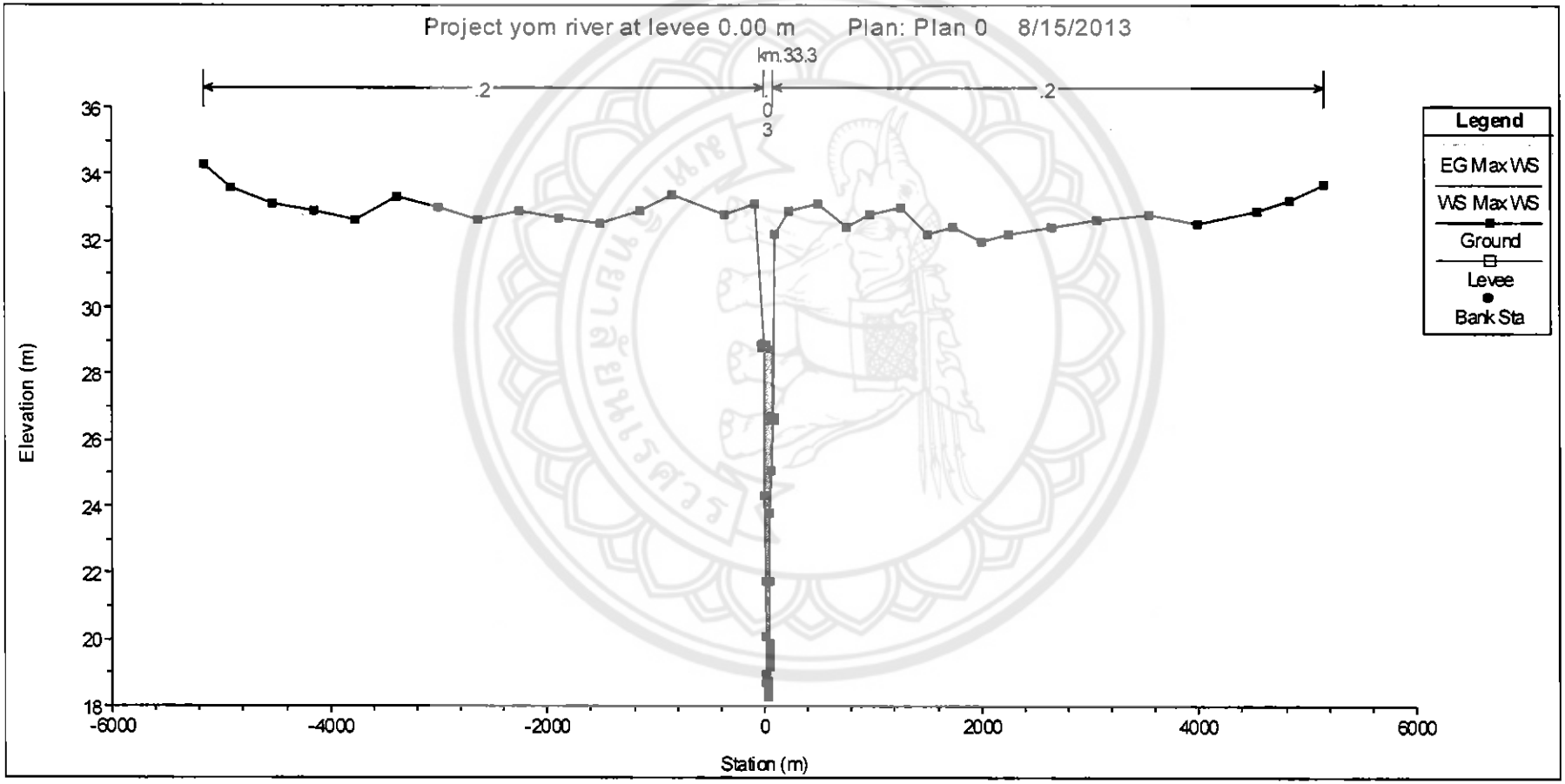
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



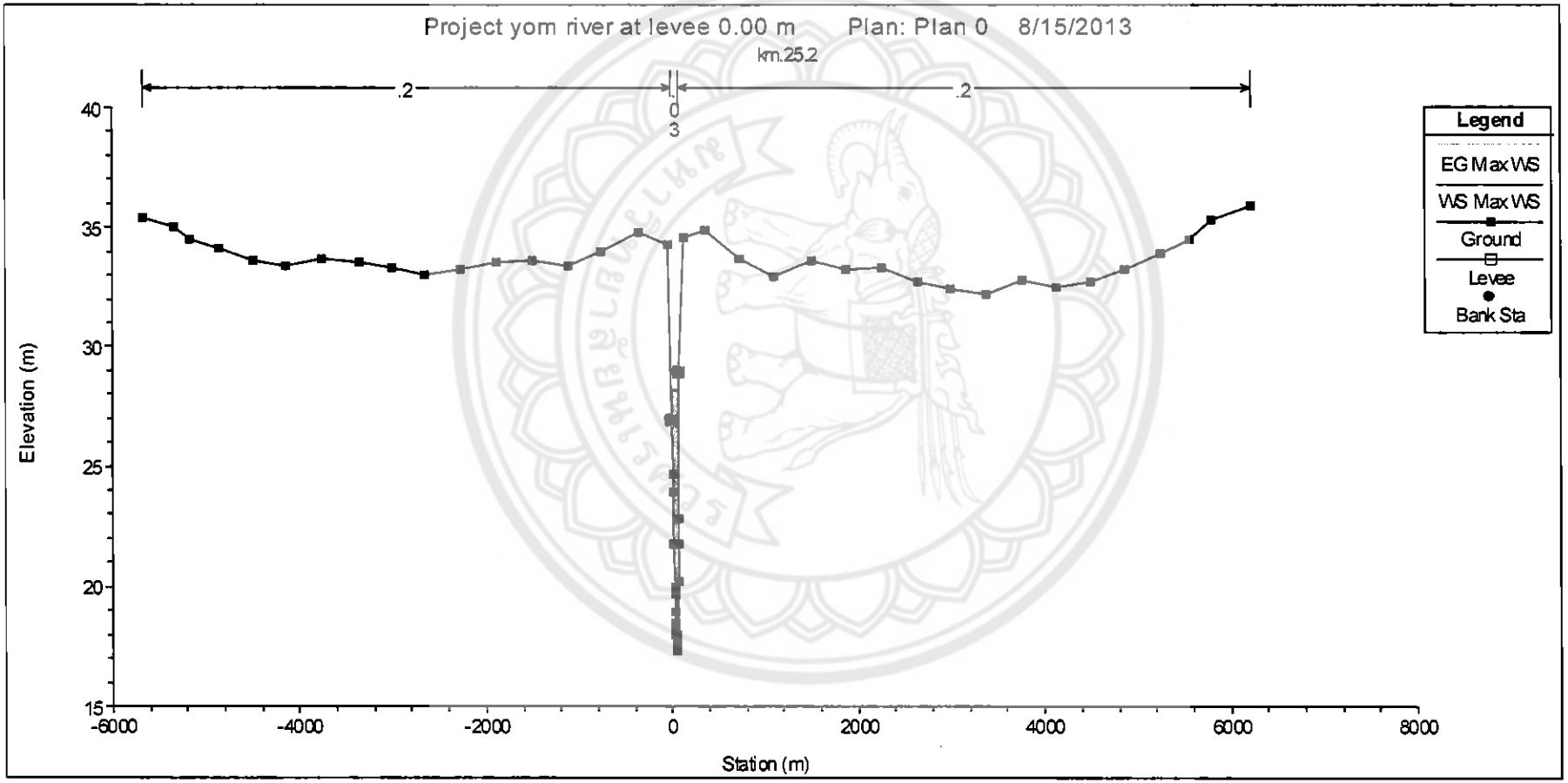
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



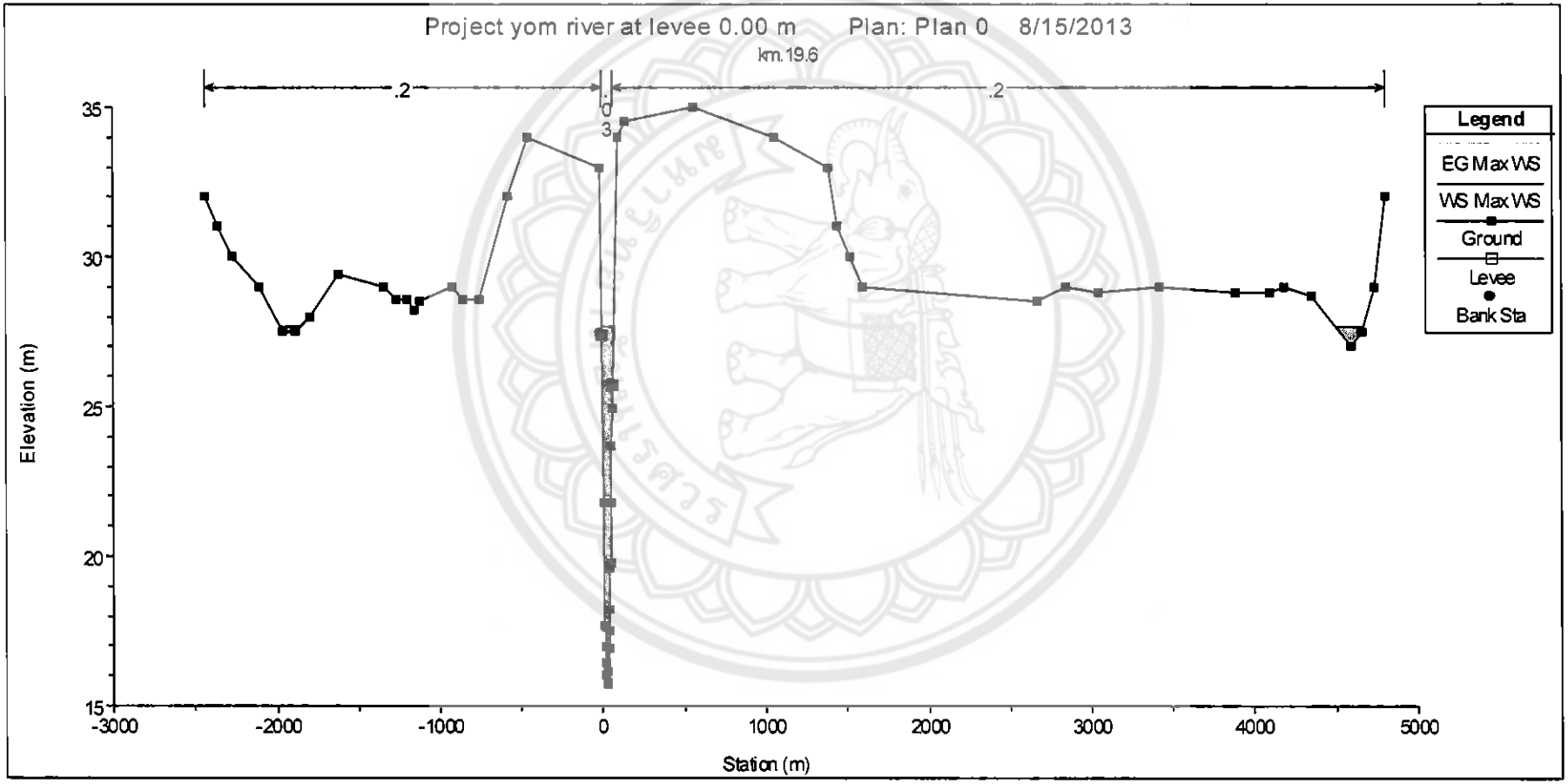
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



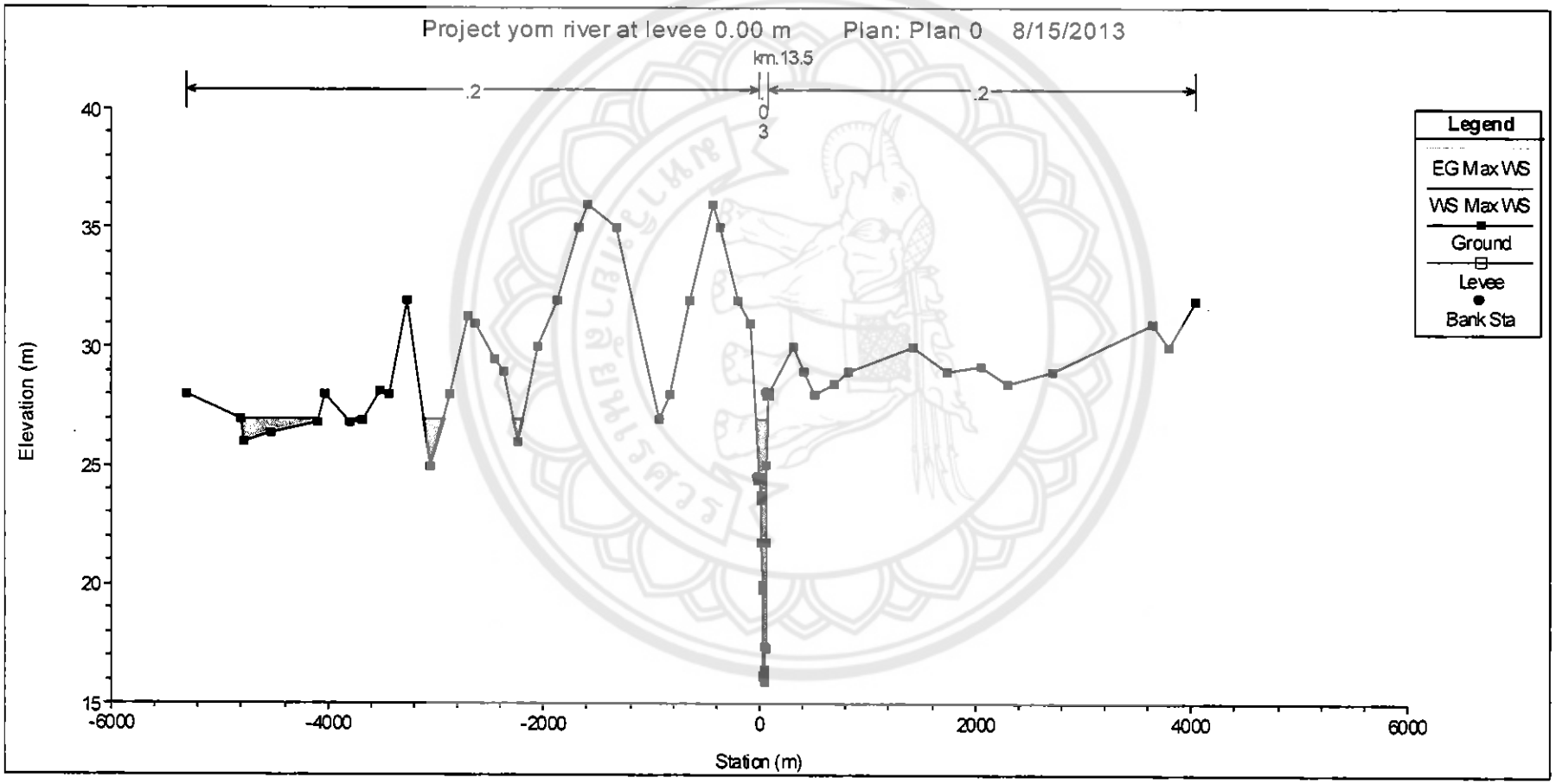
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



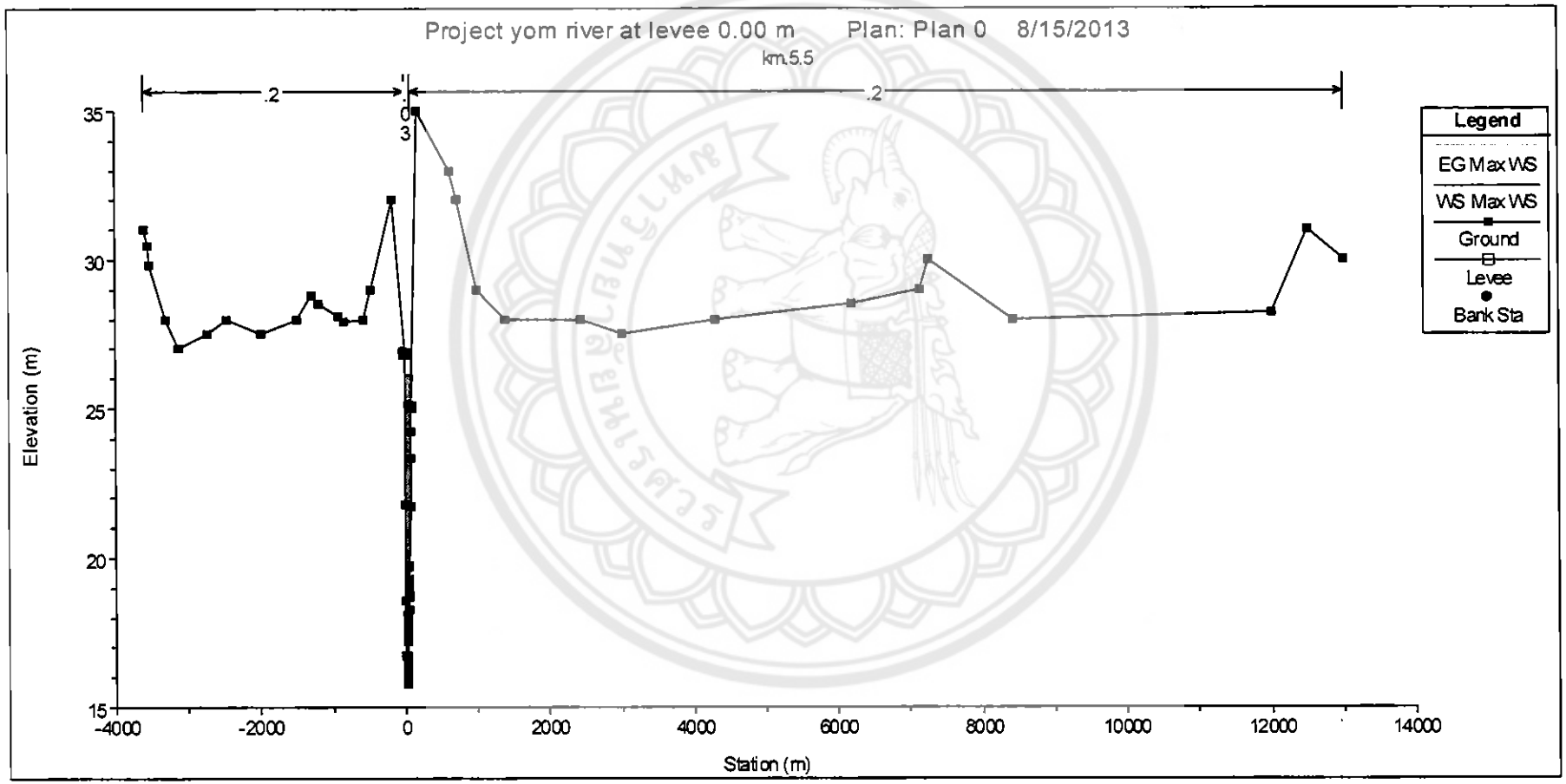
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



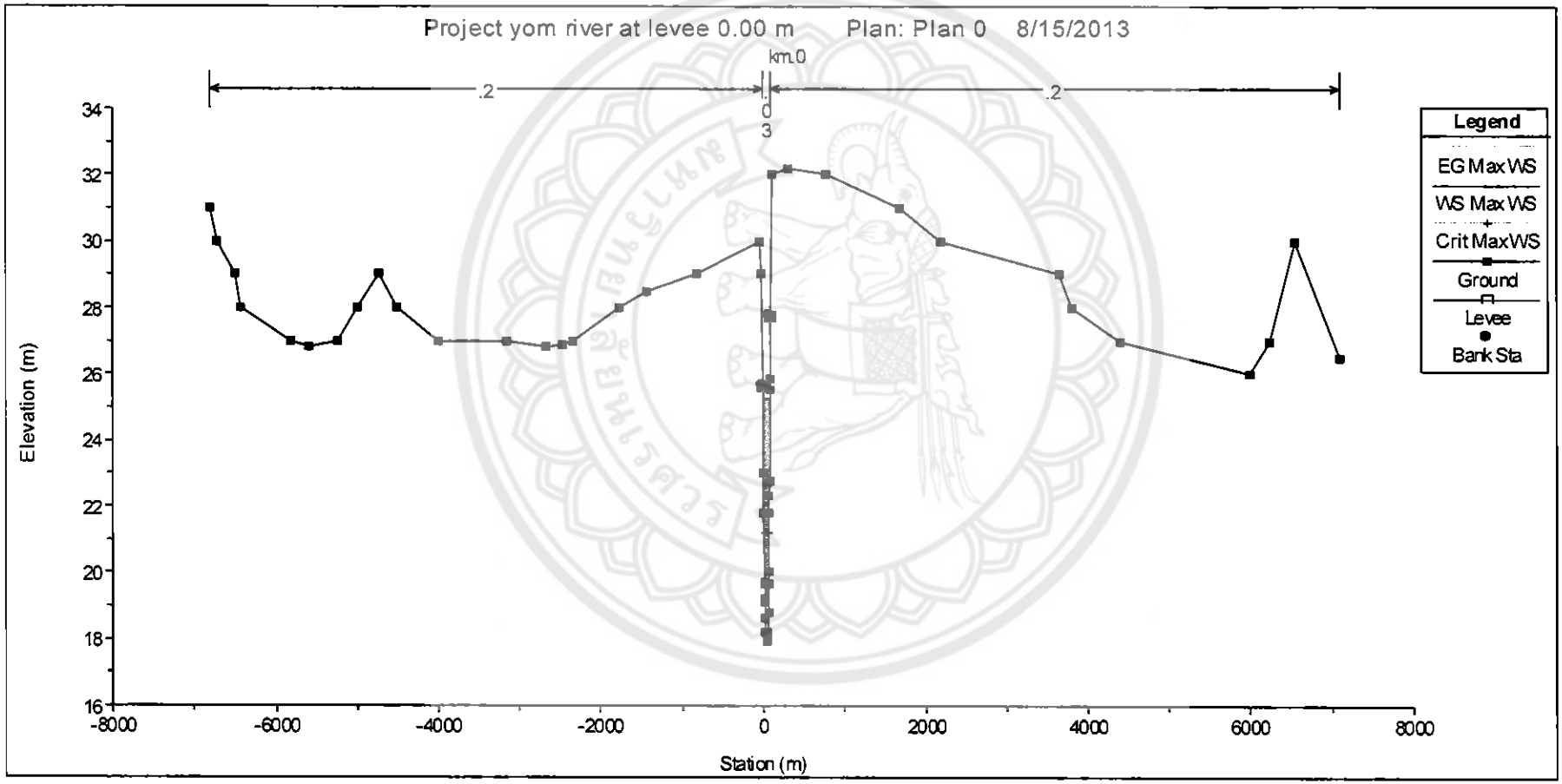
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



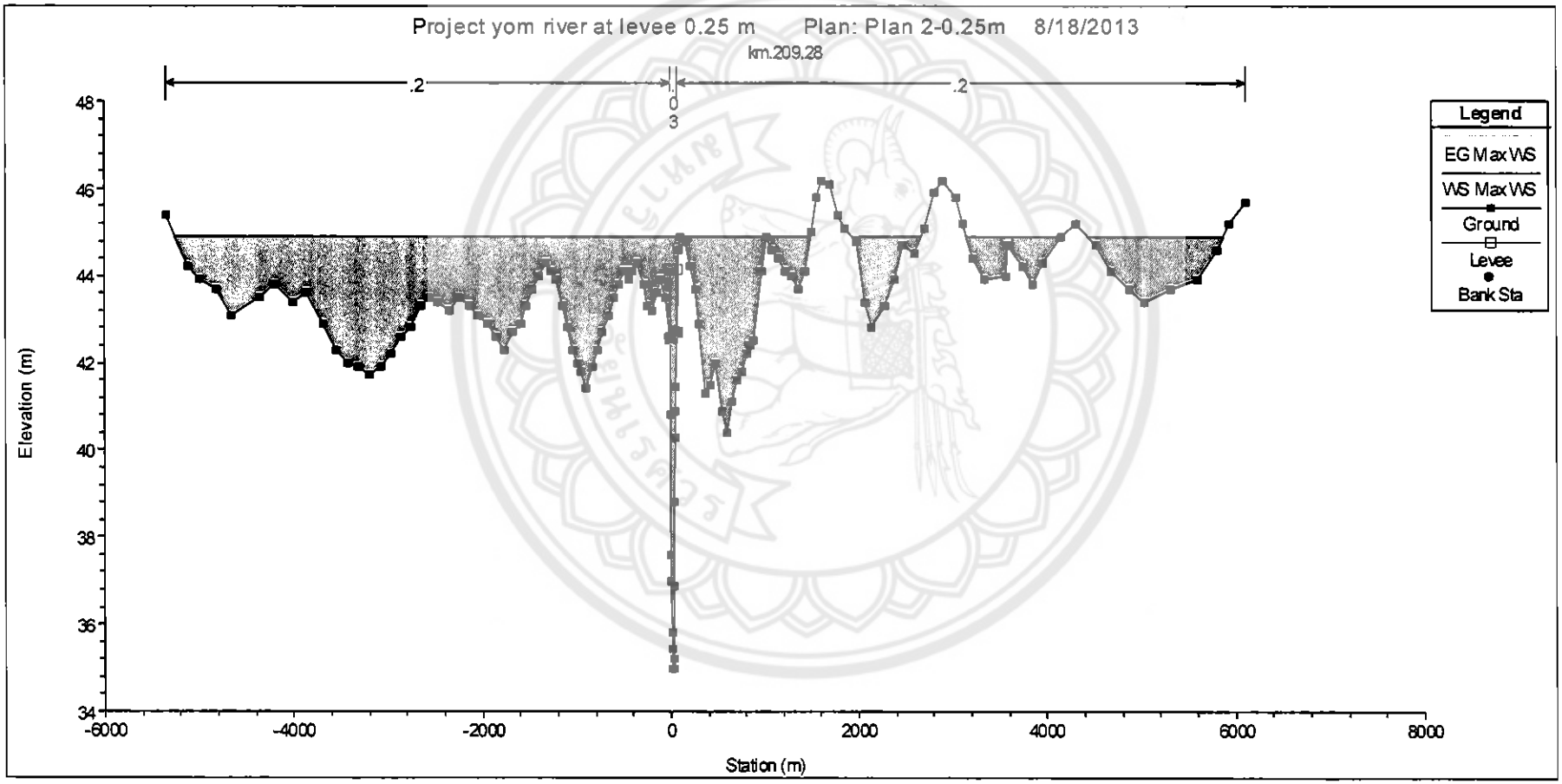
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



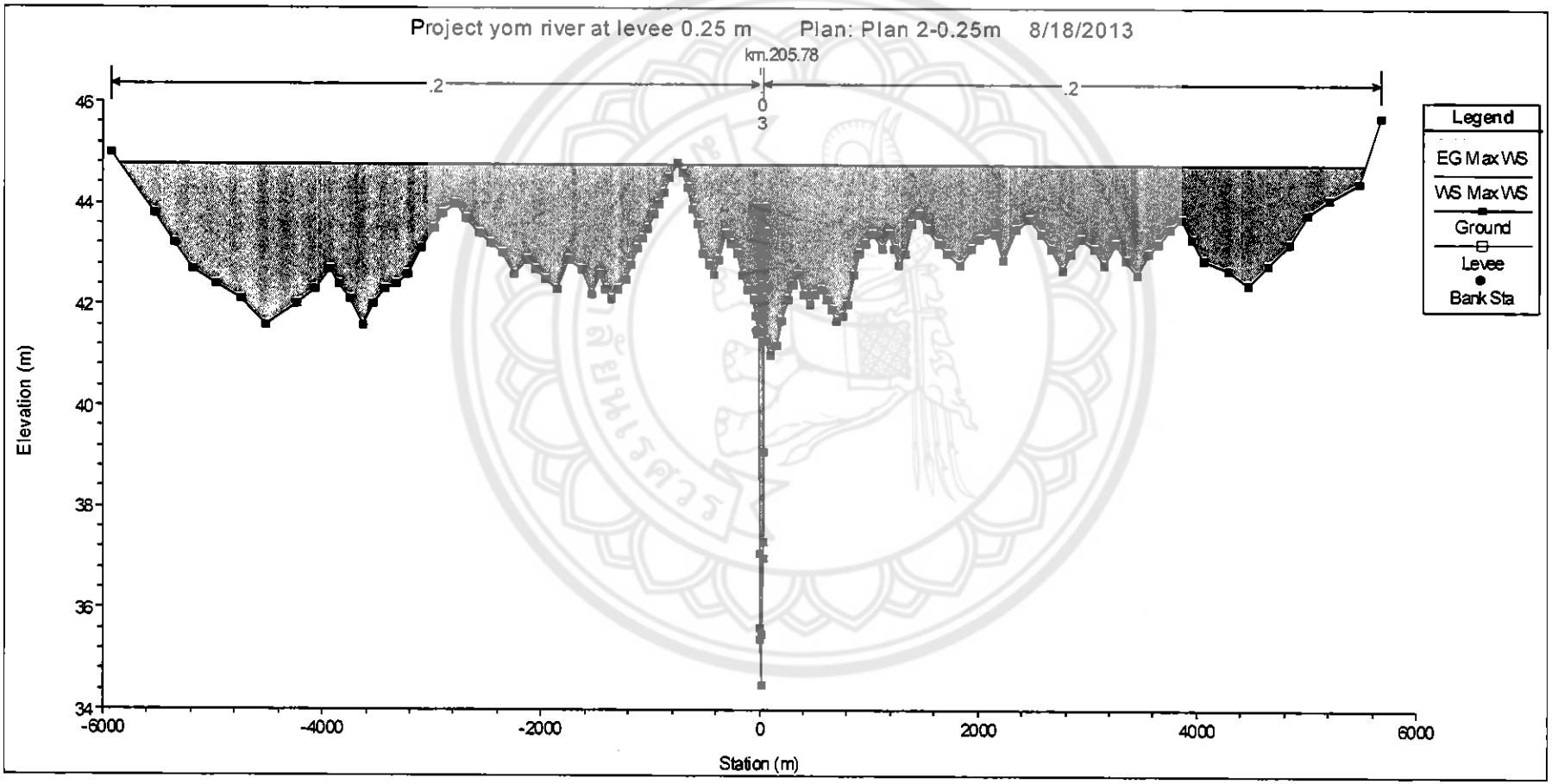
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



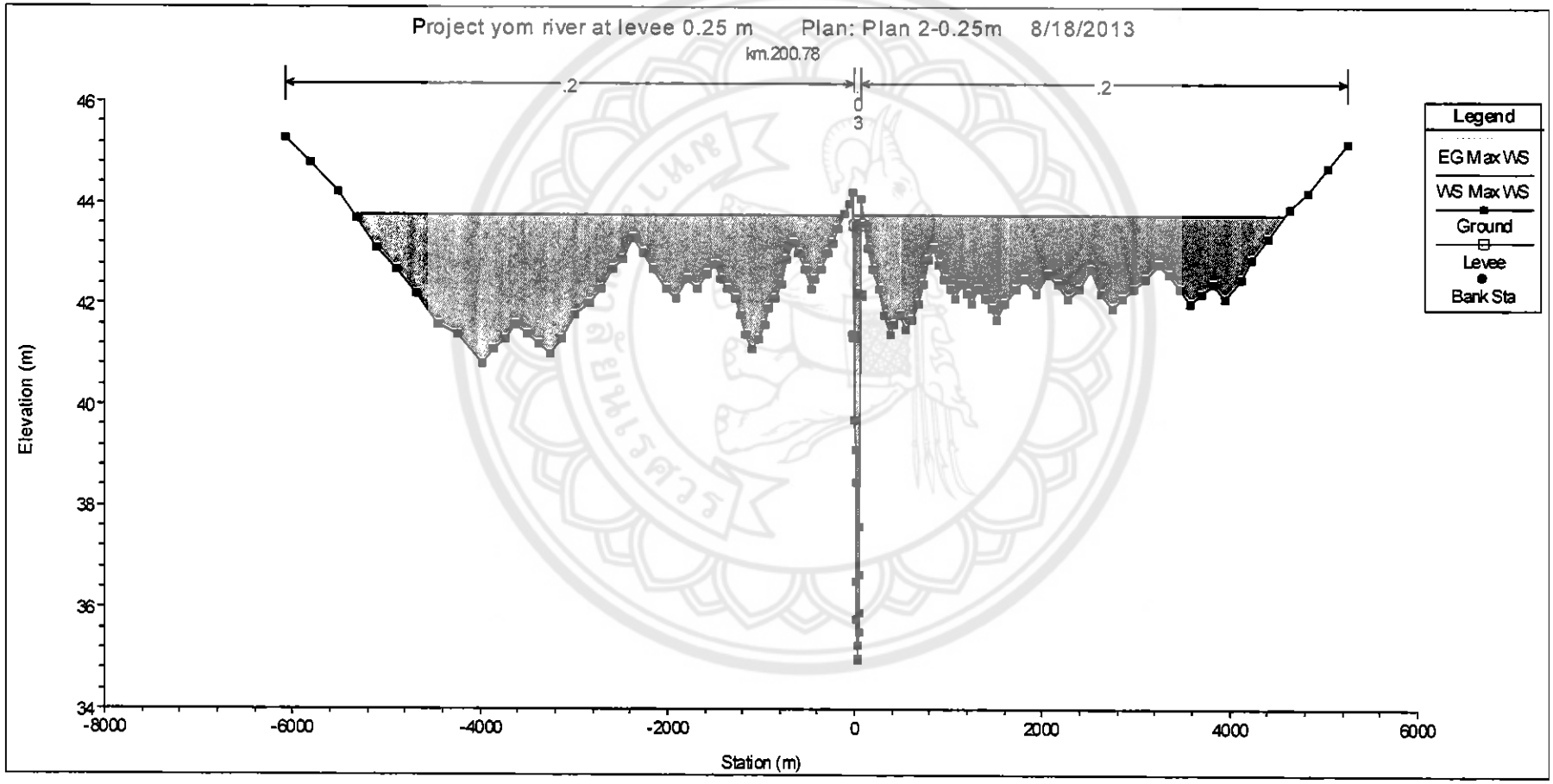
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



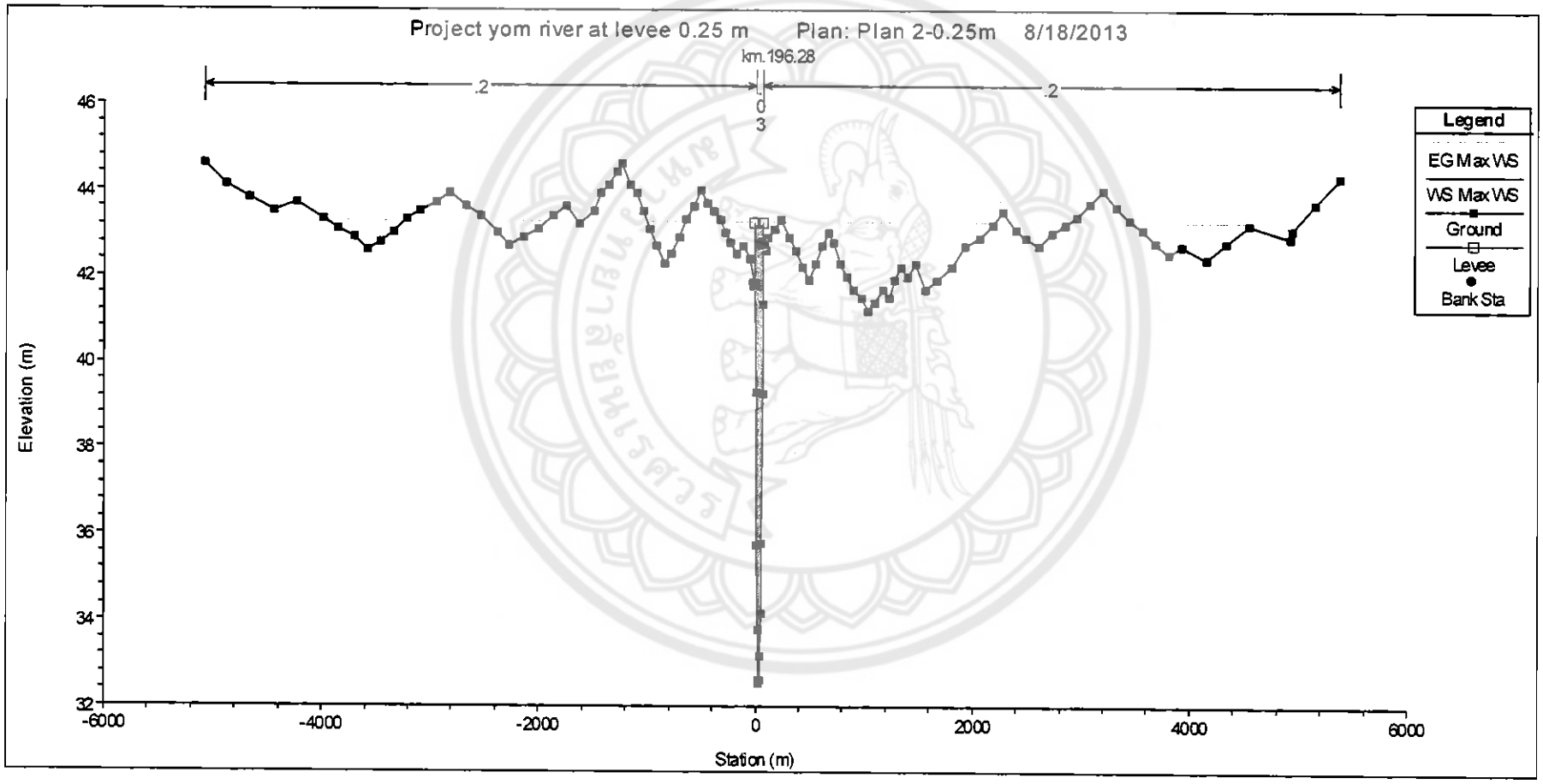
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



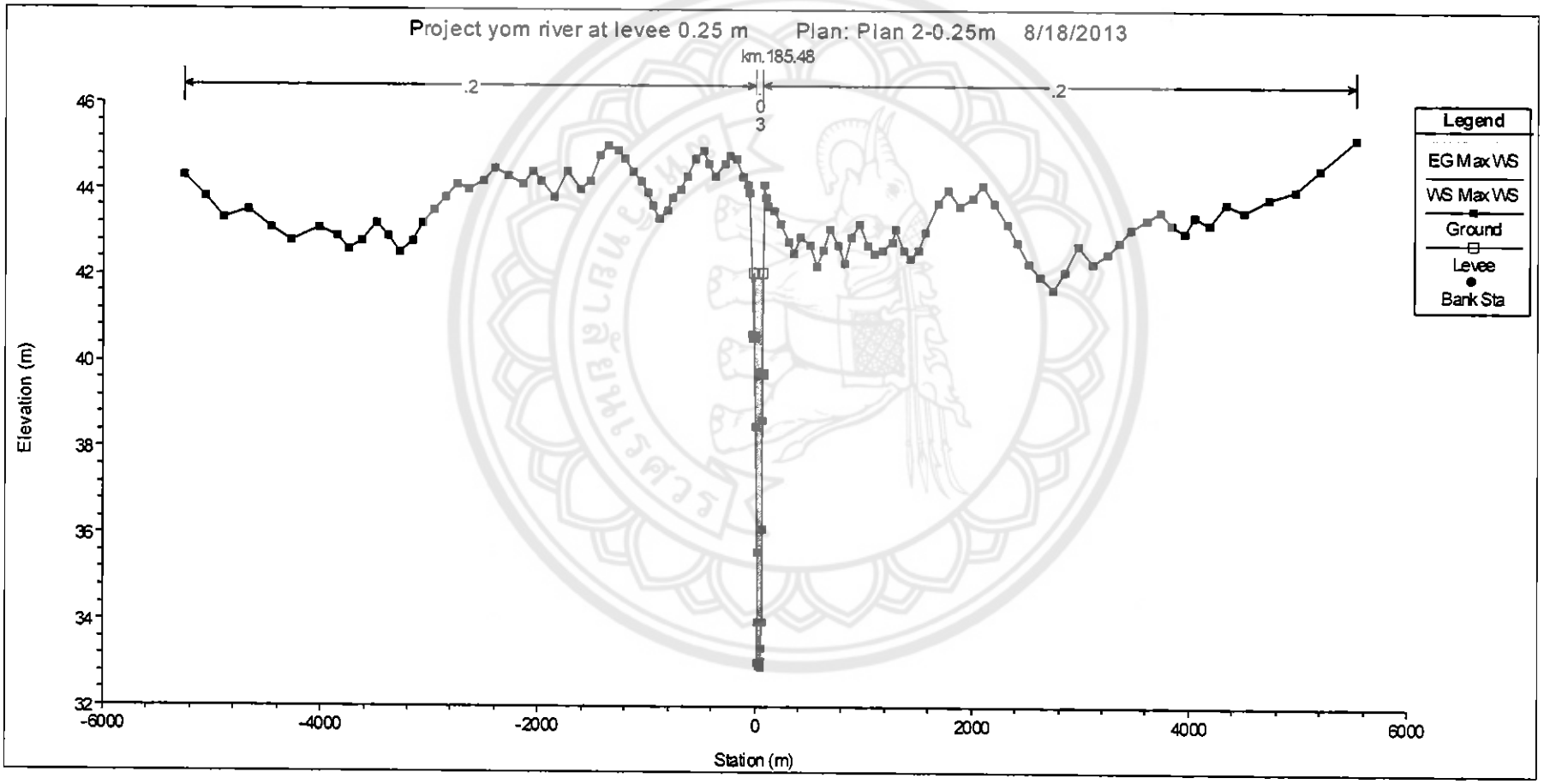
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



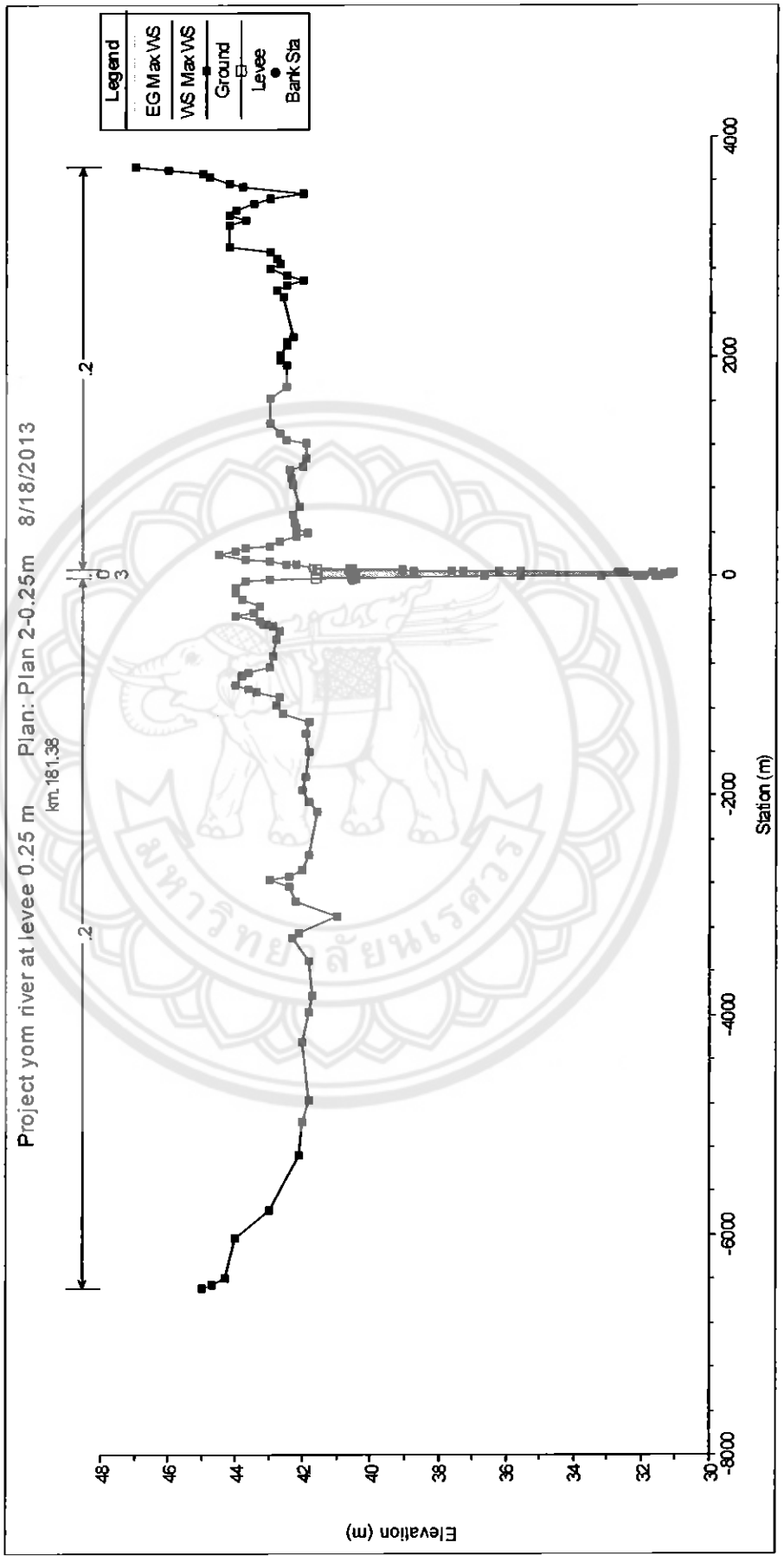
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.

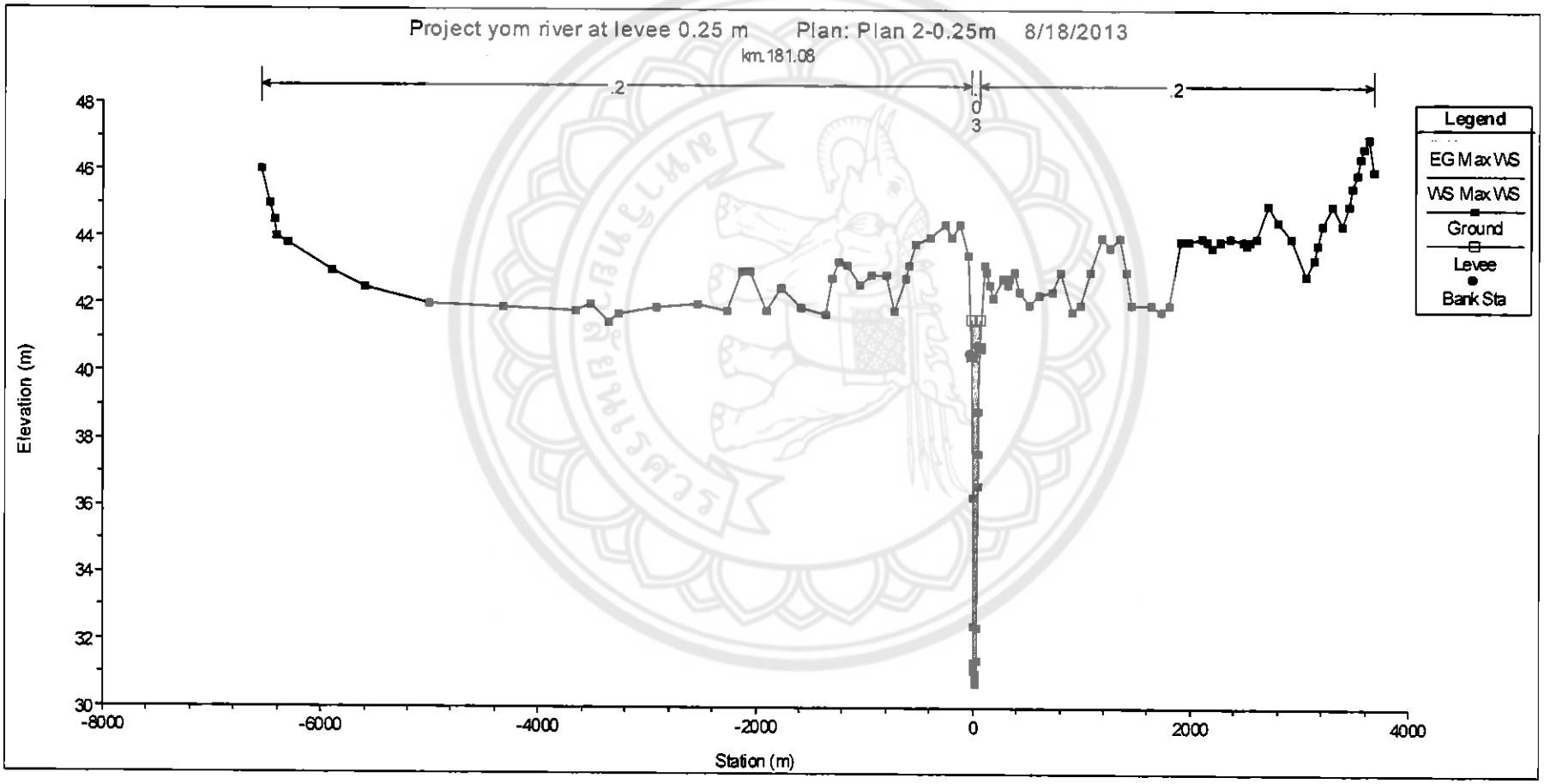


รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.

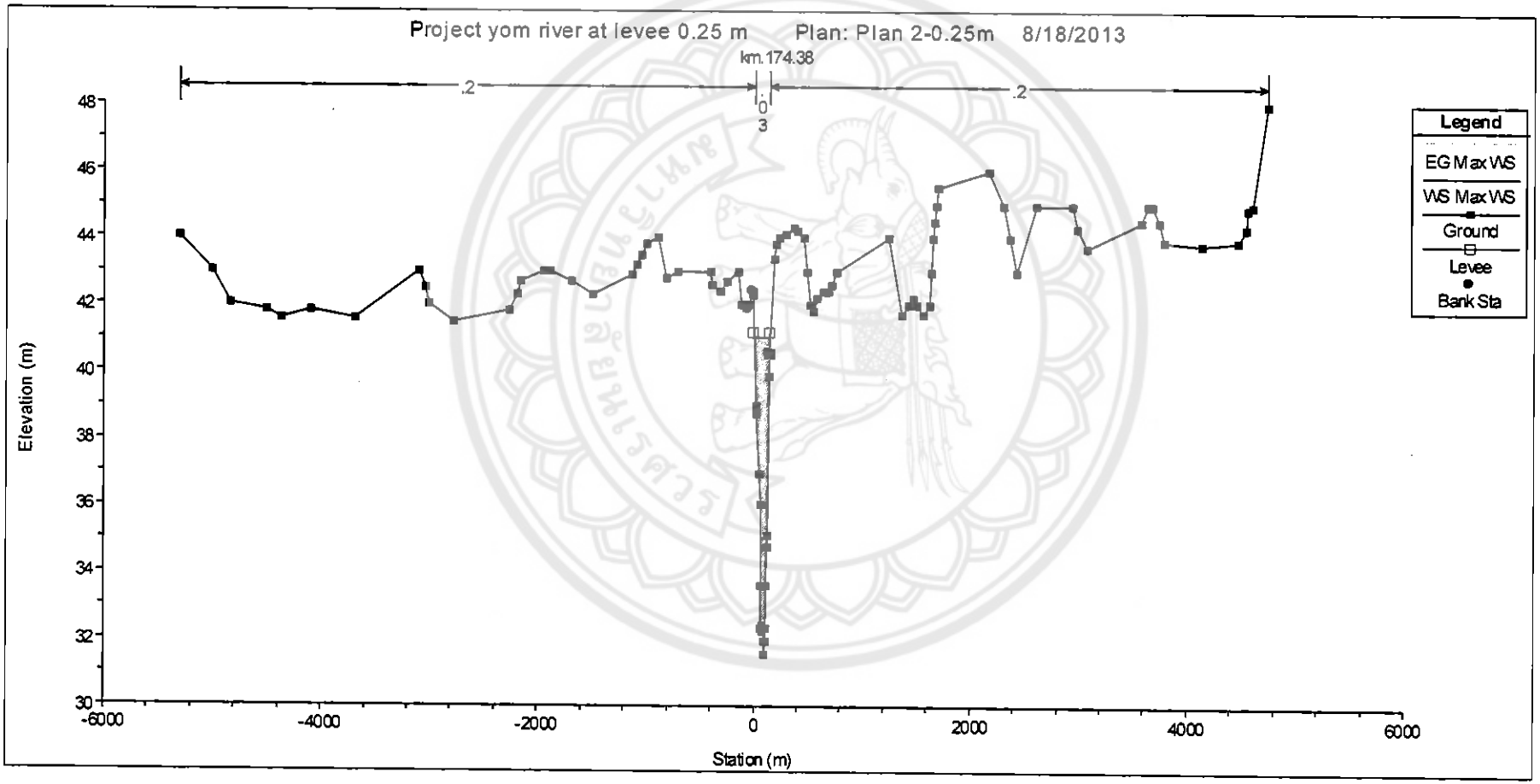


รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.

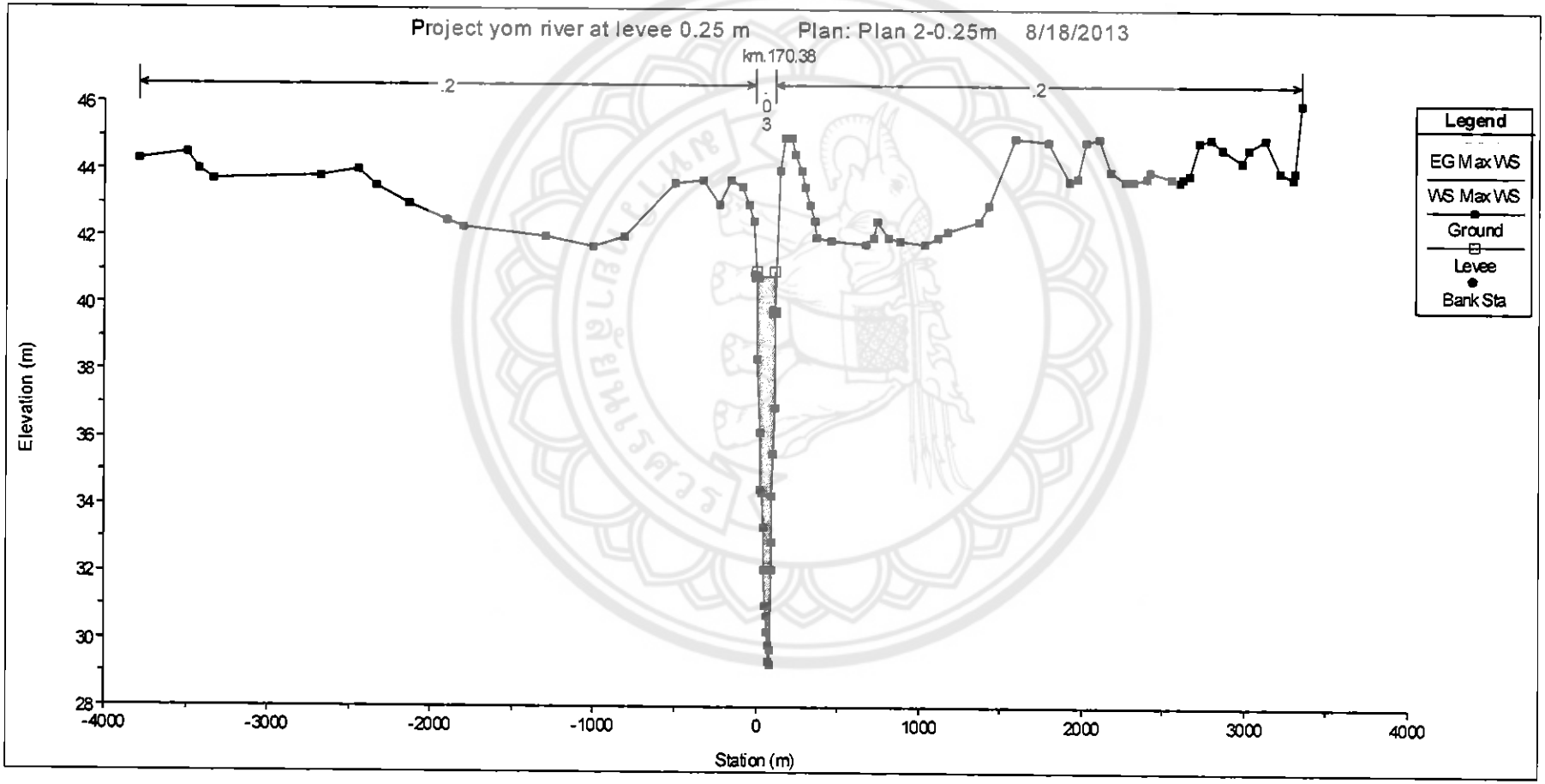

Project yom river at levee 0.25 m
Plan: Plan 2-0.25m 8/18/2013
km 181.38
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
48
46
44
42
40
38
36
34
32
30
-8000
-6000
-4000
-2000
0
2000
4000



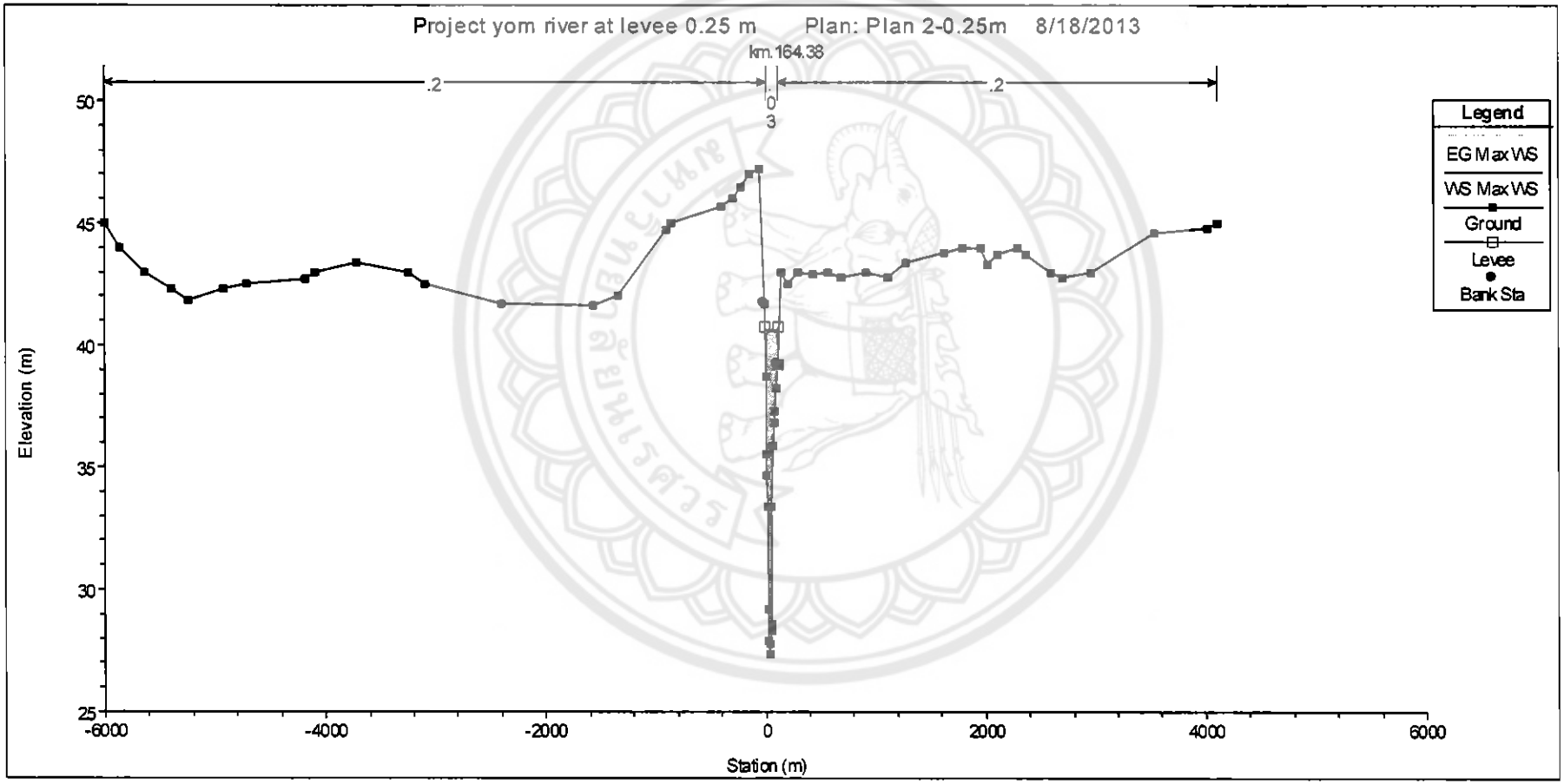
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



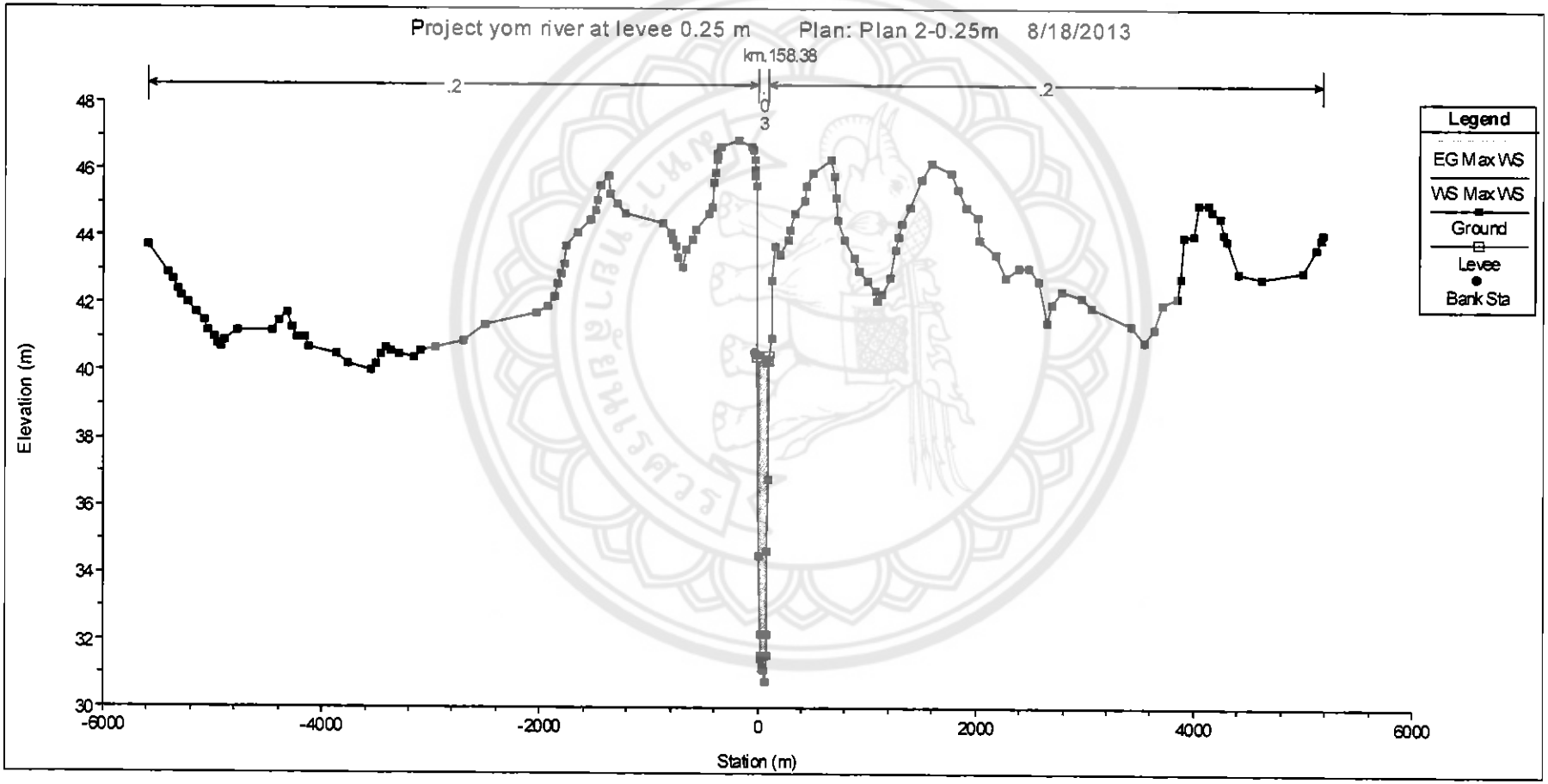
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



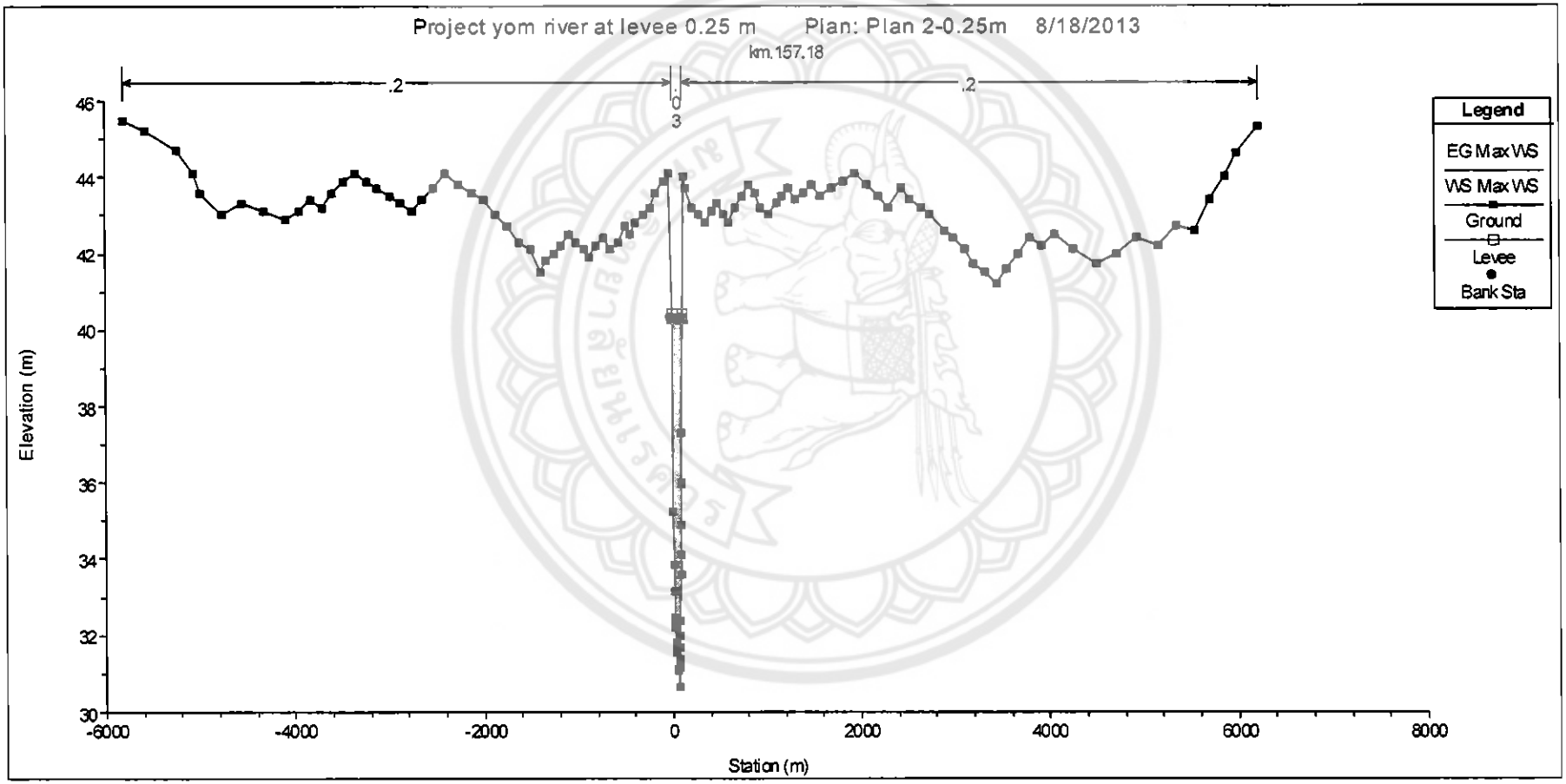
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



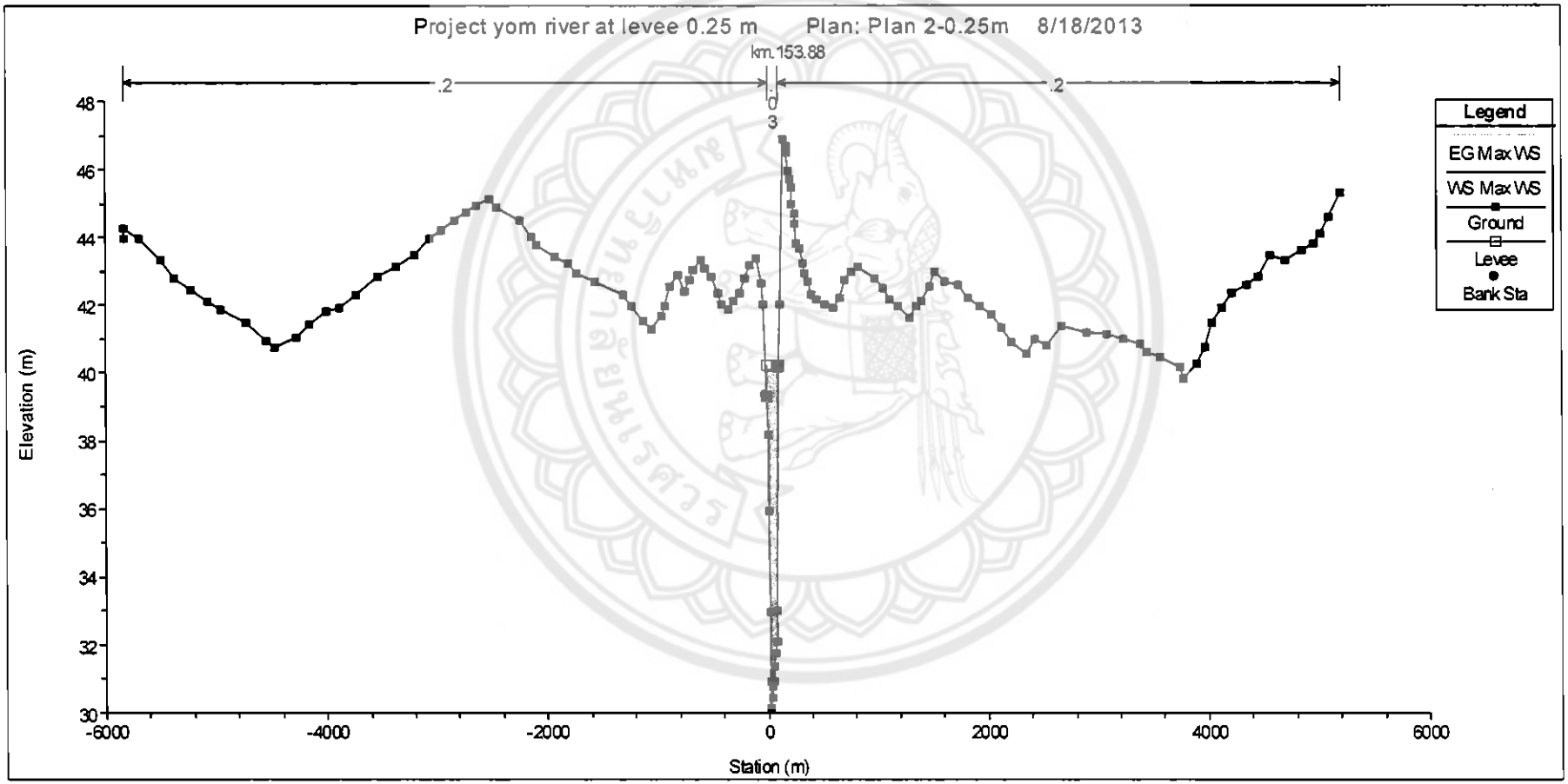
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



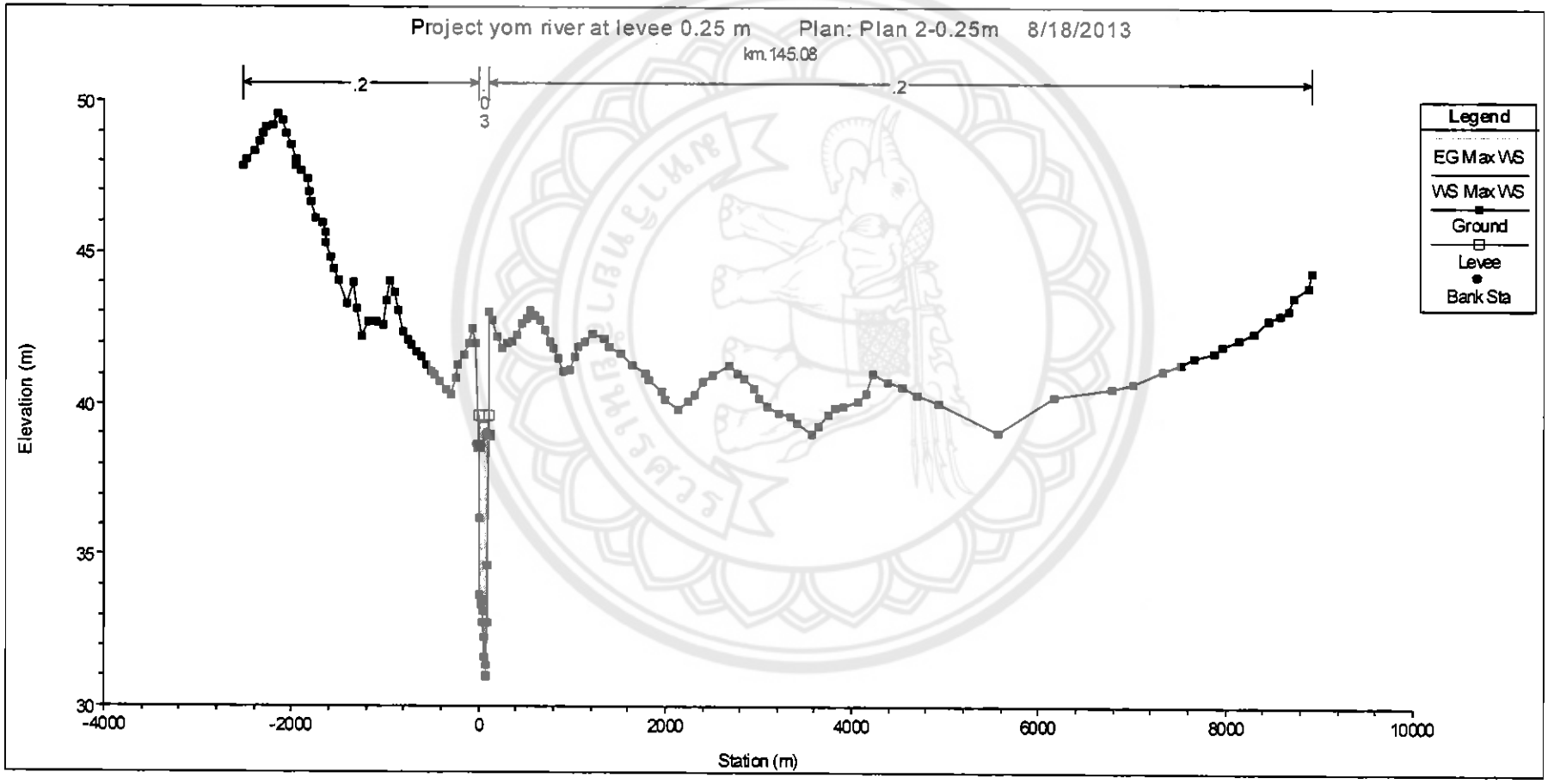
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



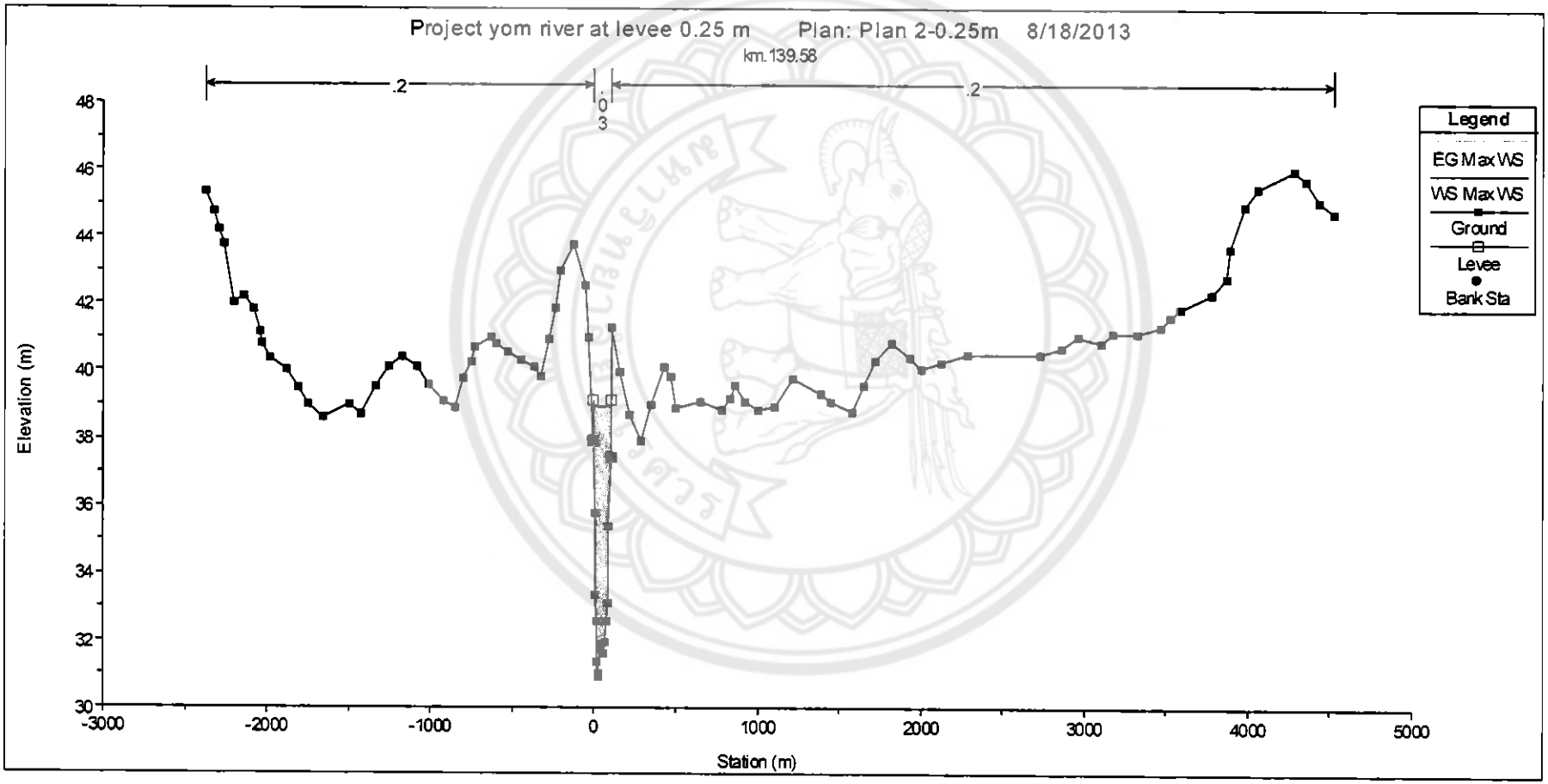
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



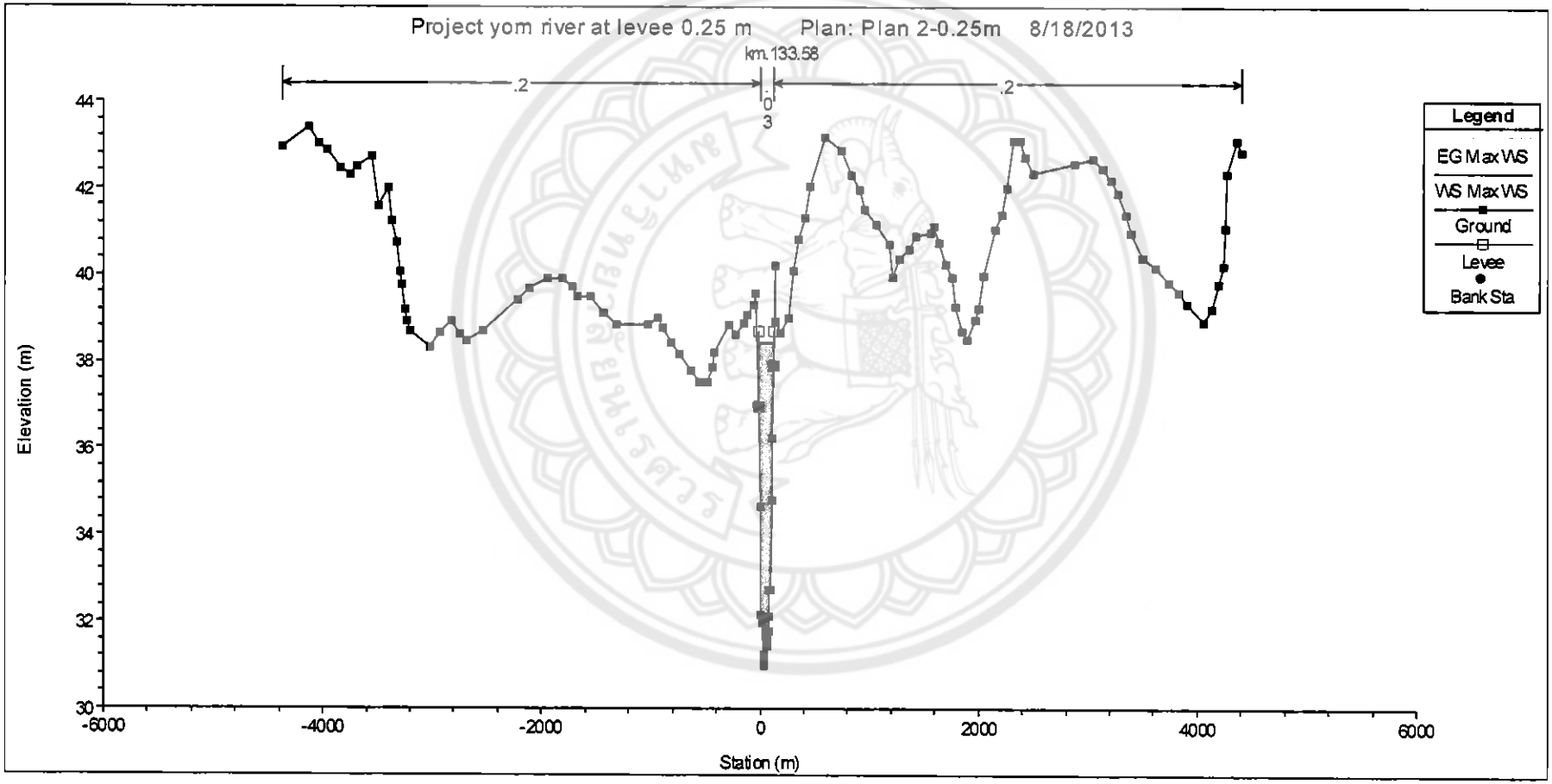
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



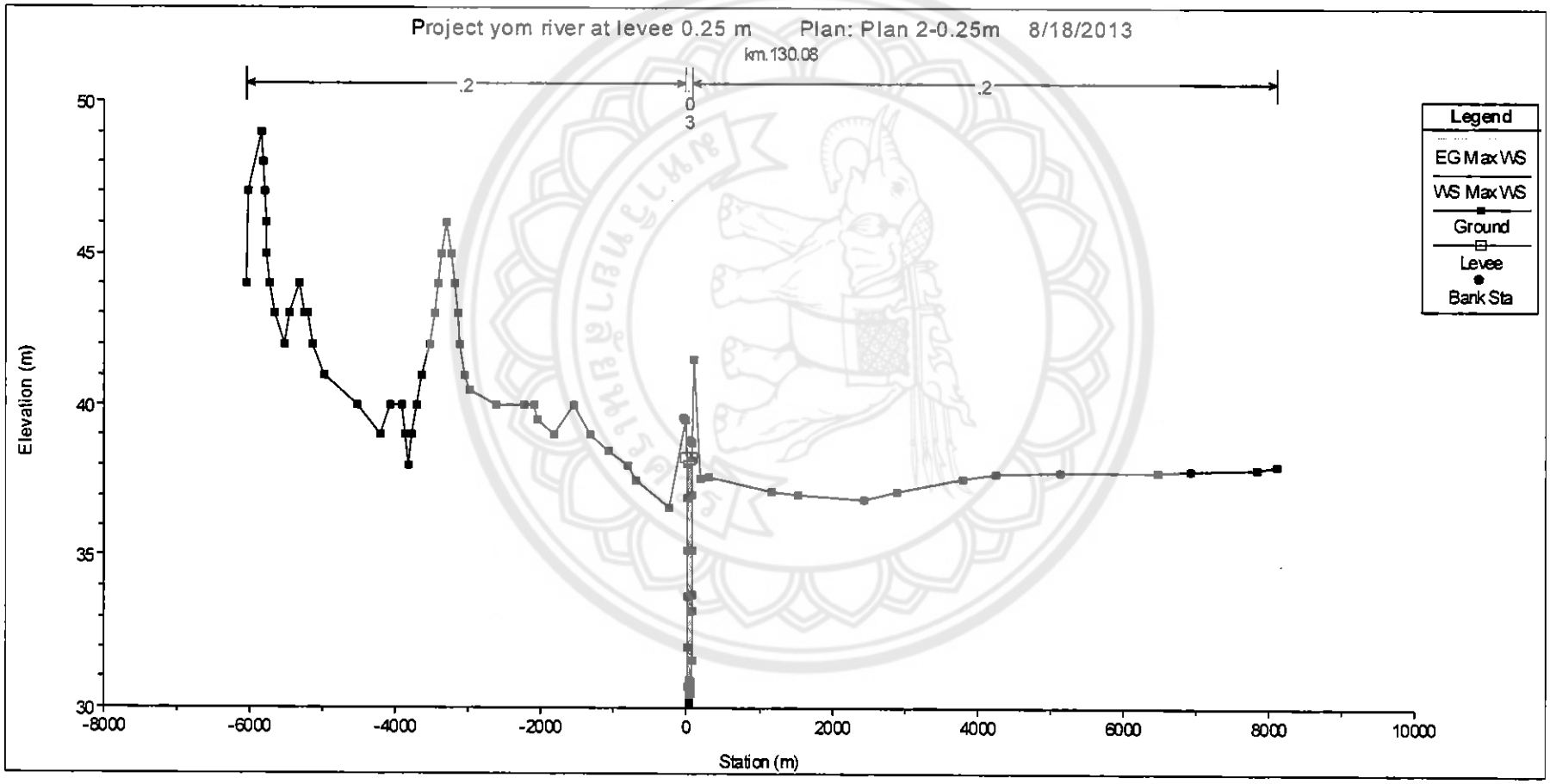
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



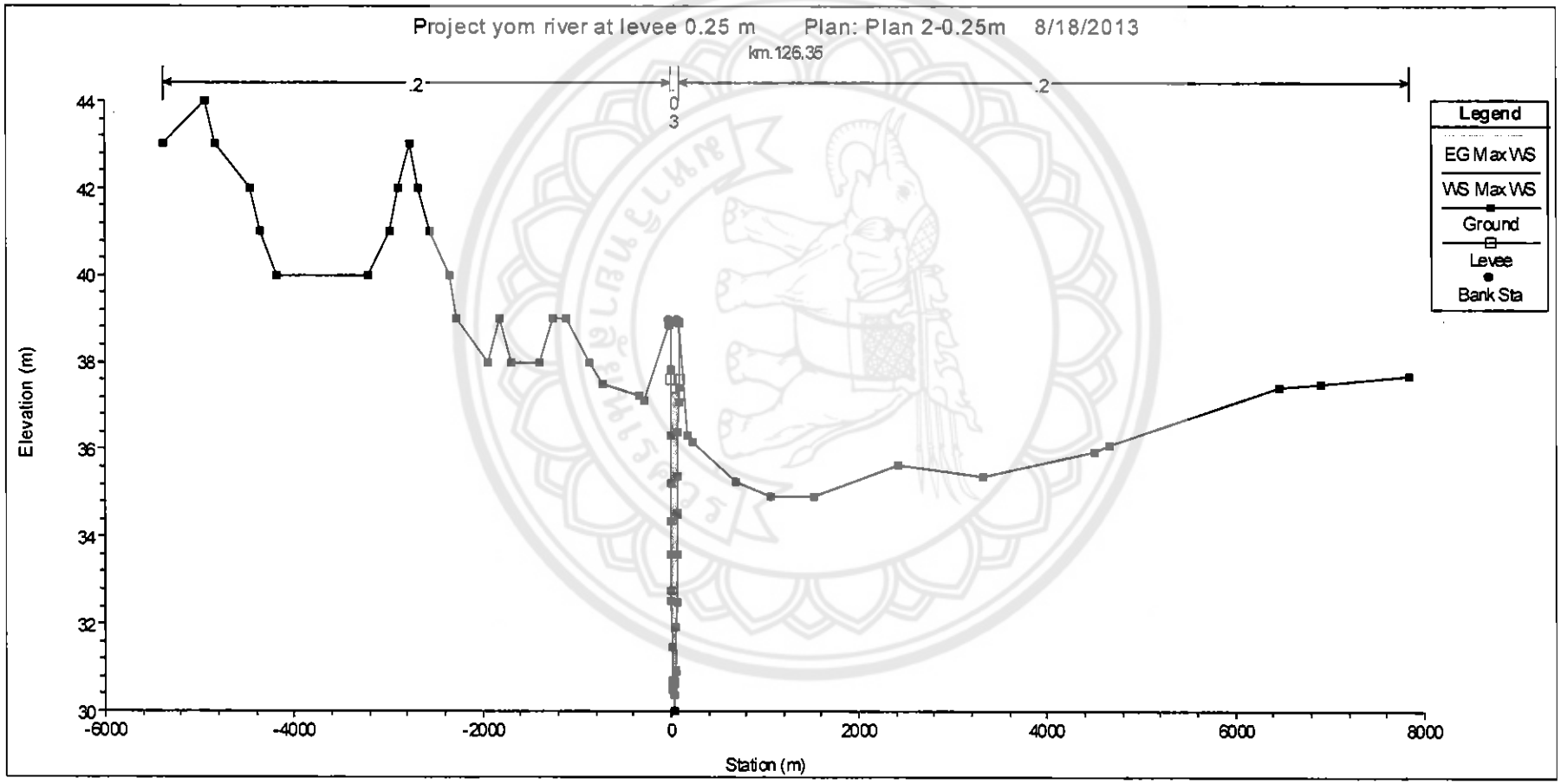
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



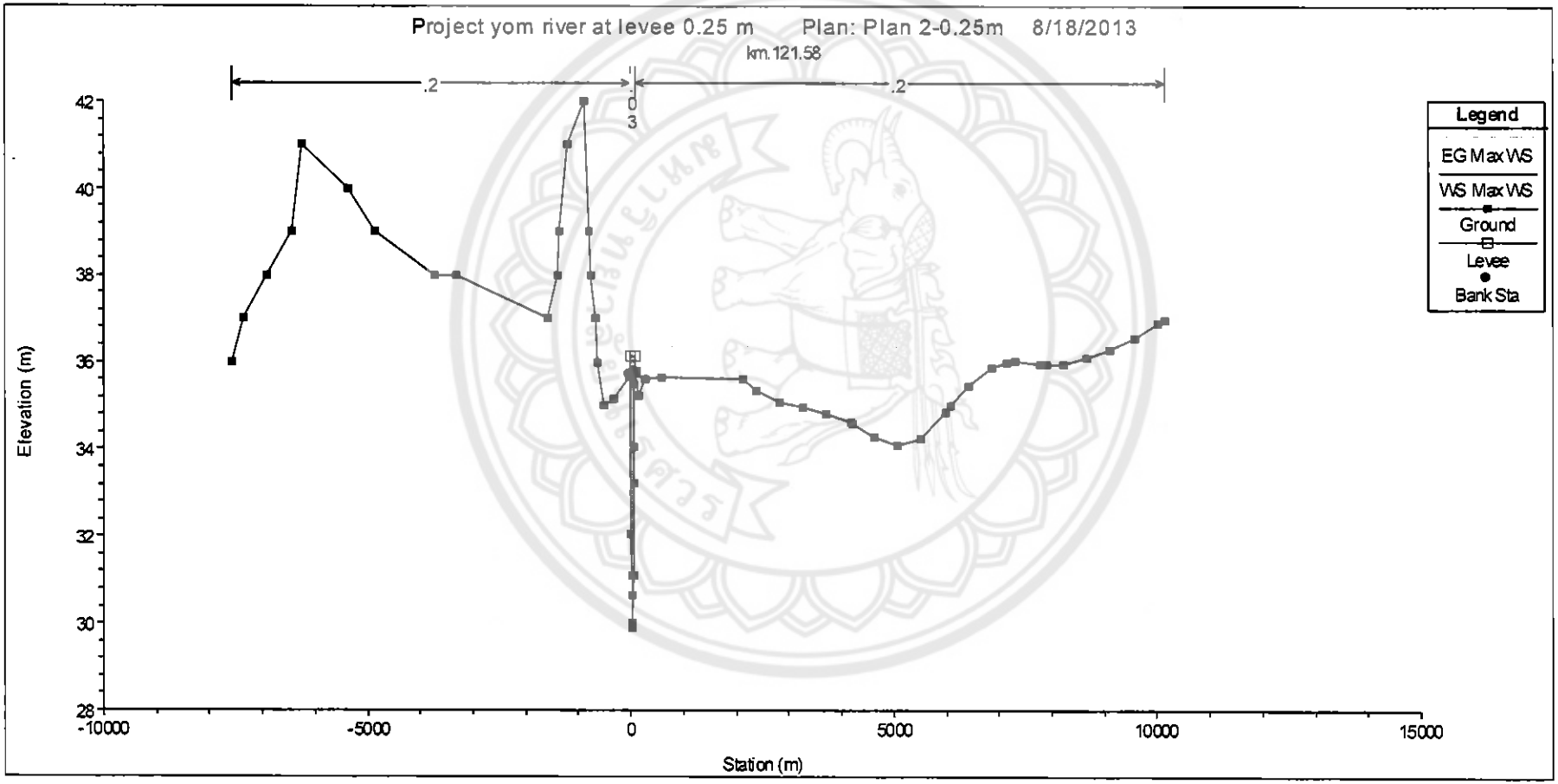
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



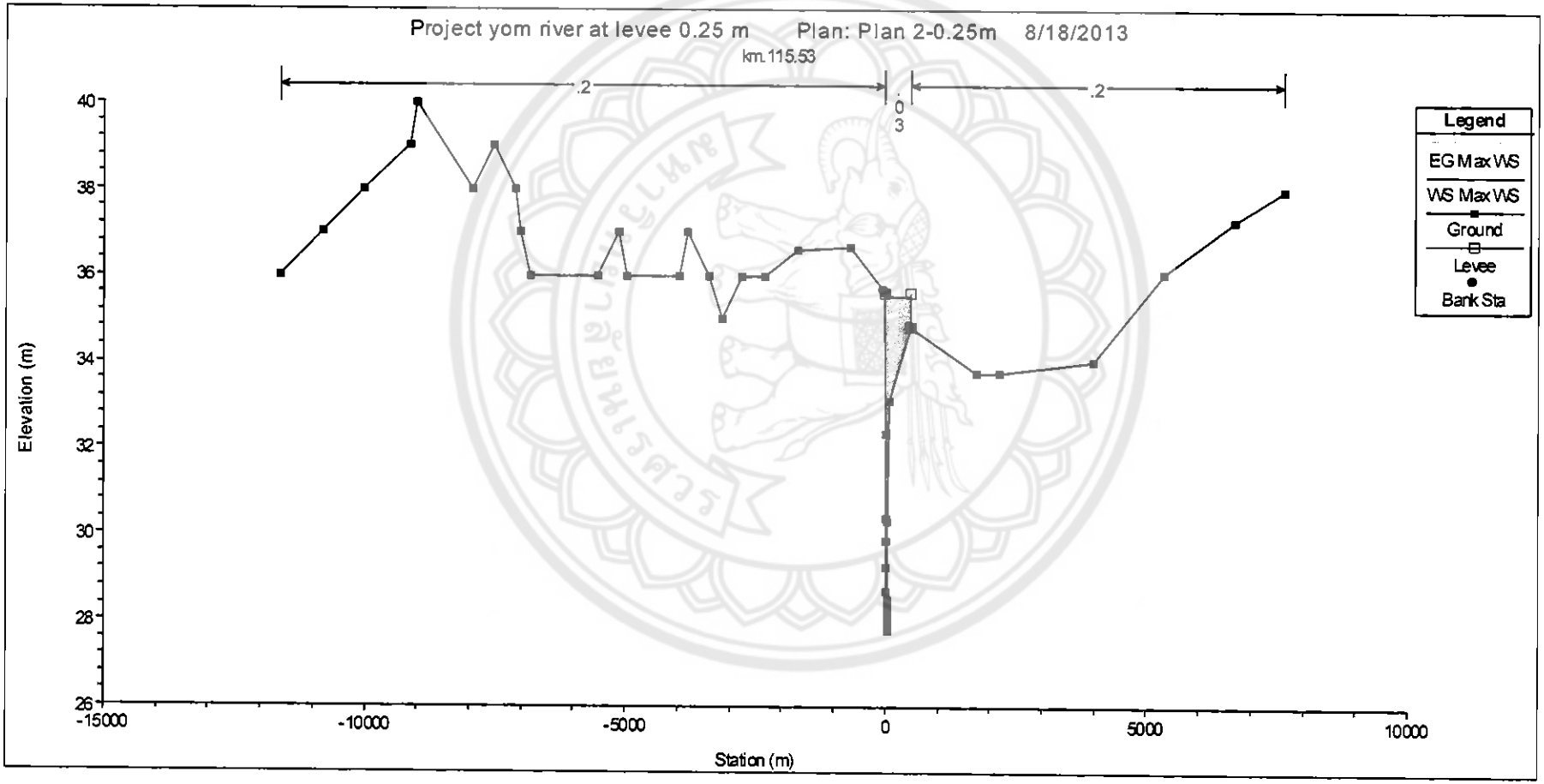
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



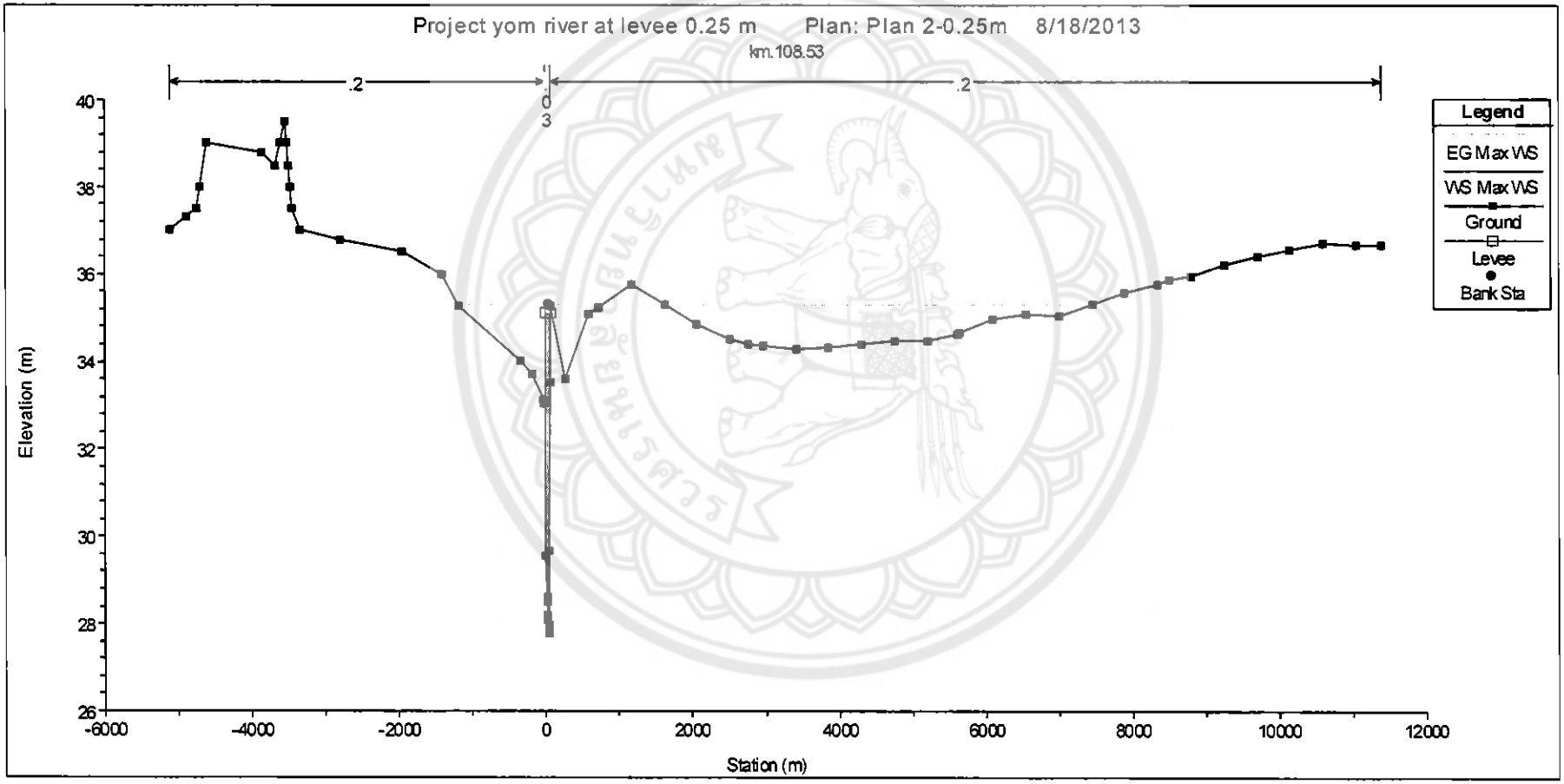
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



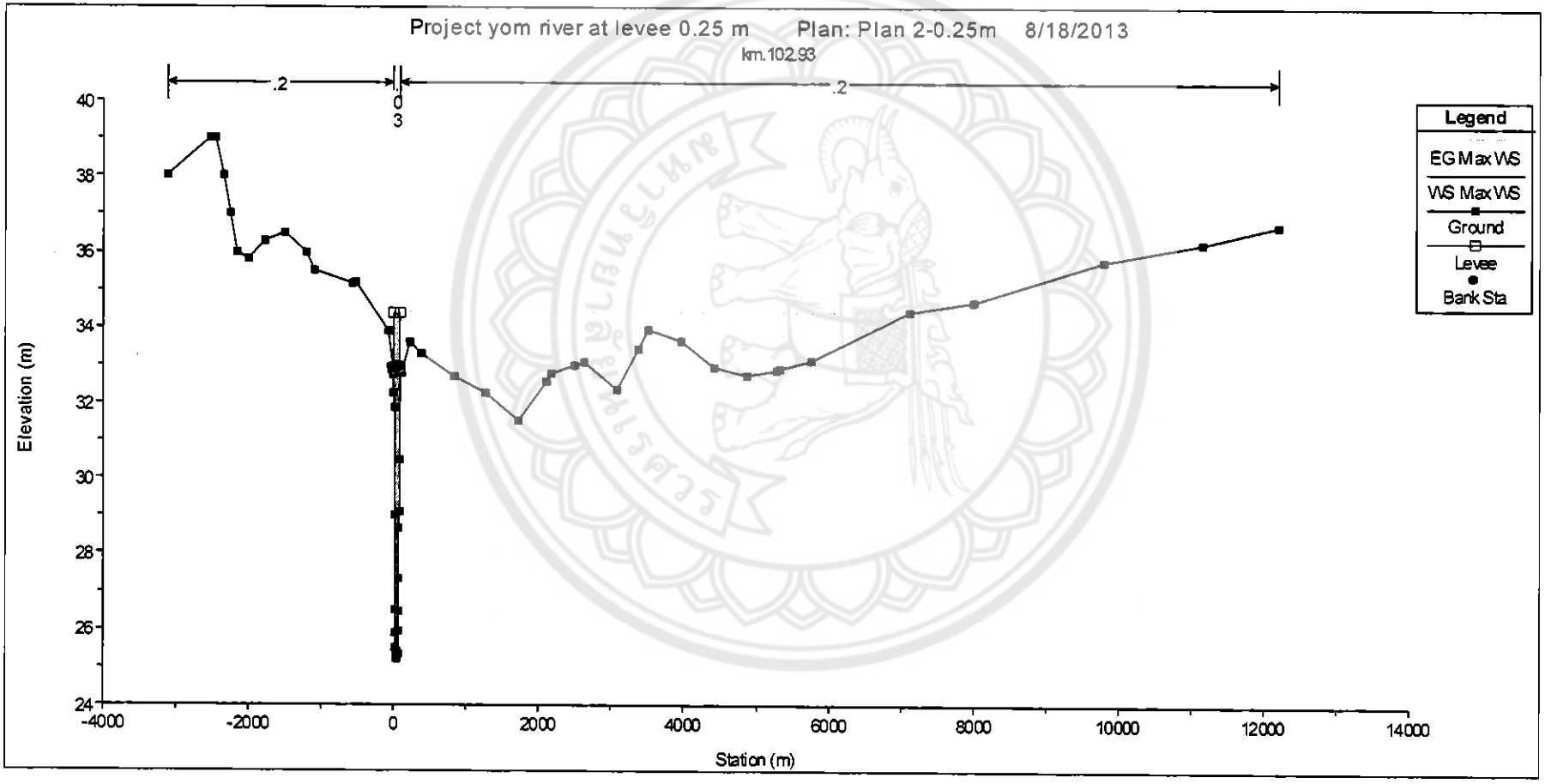
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



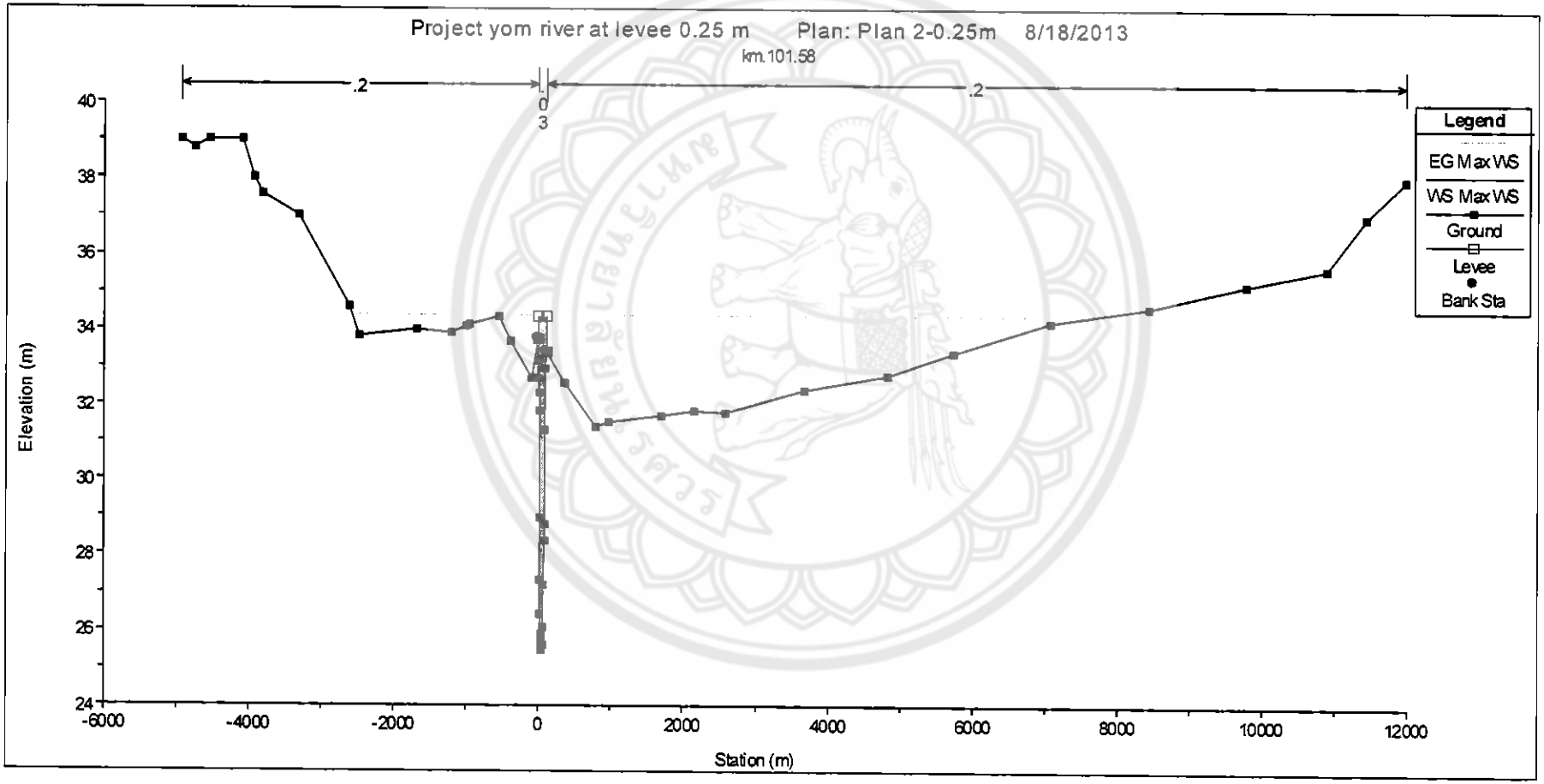
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



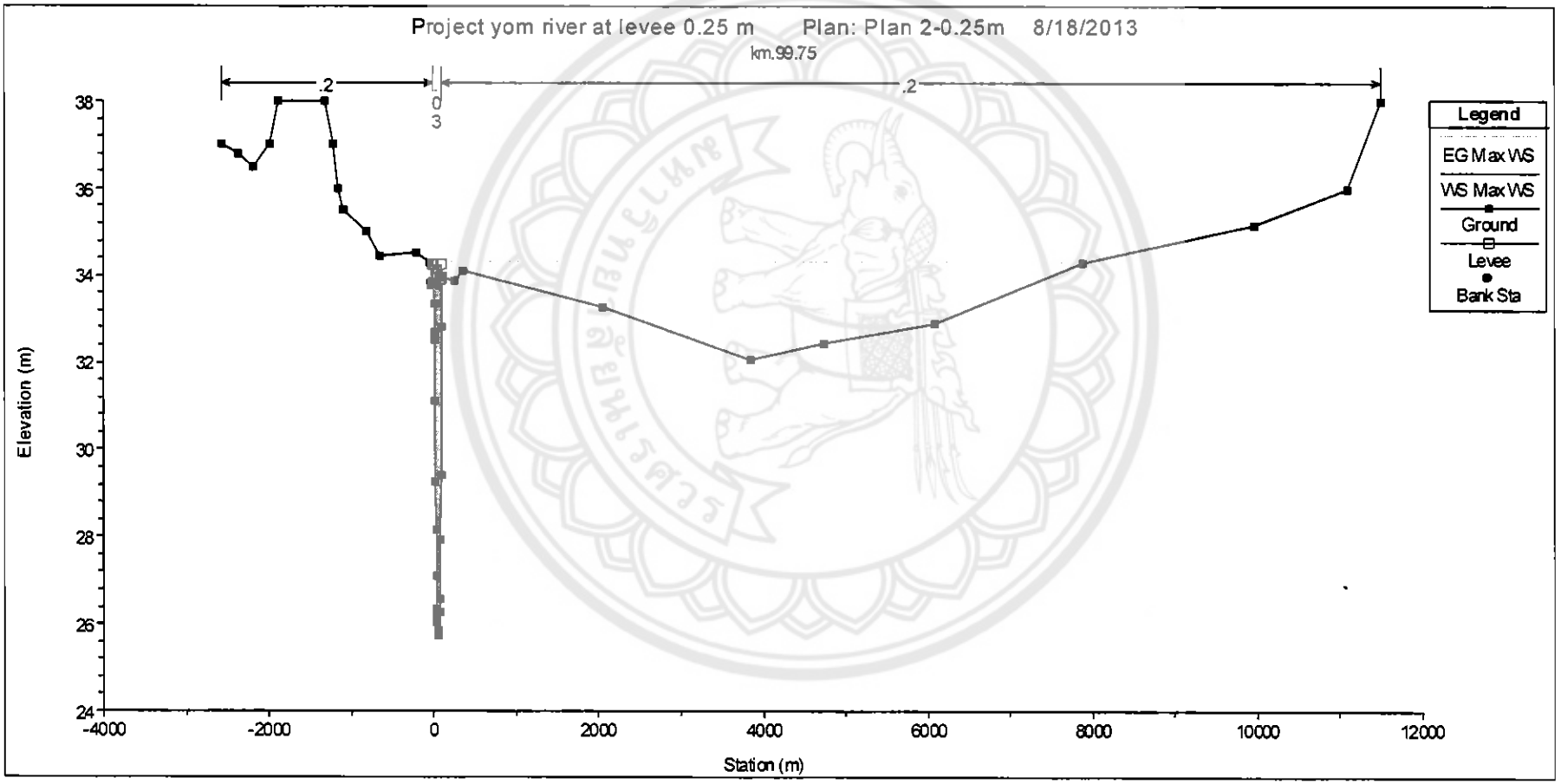
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



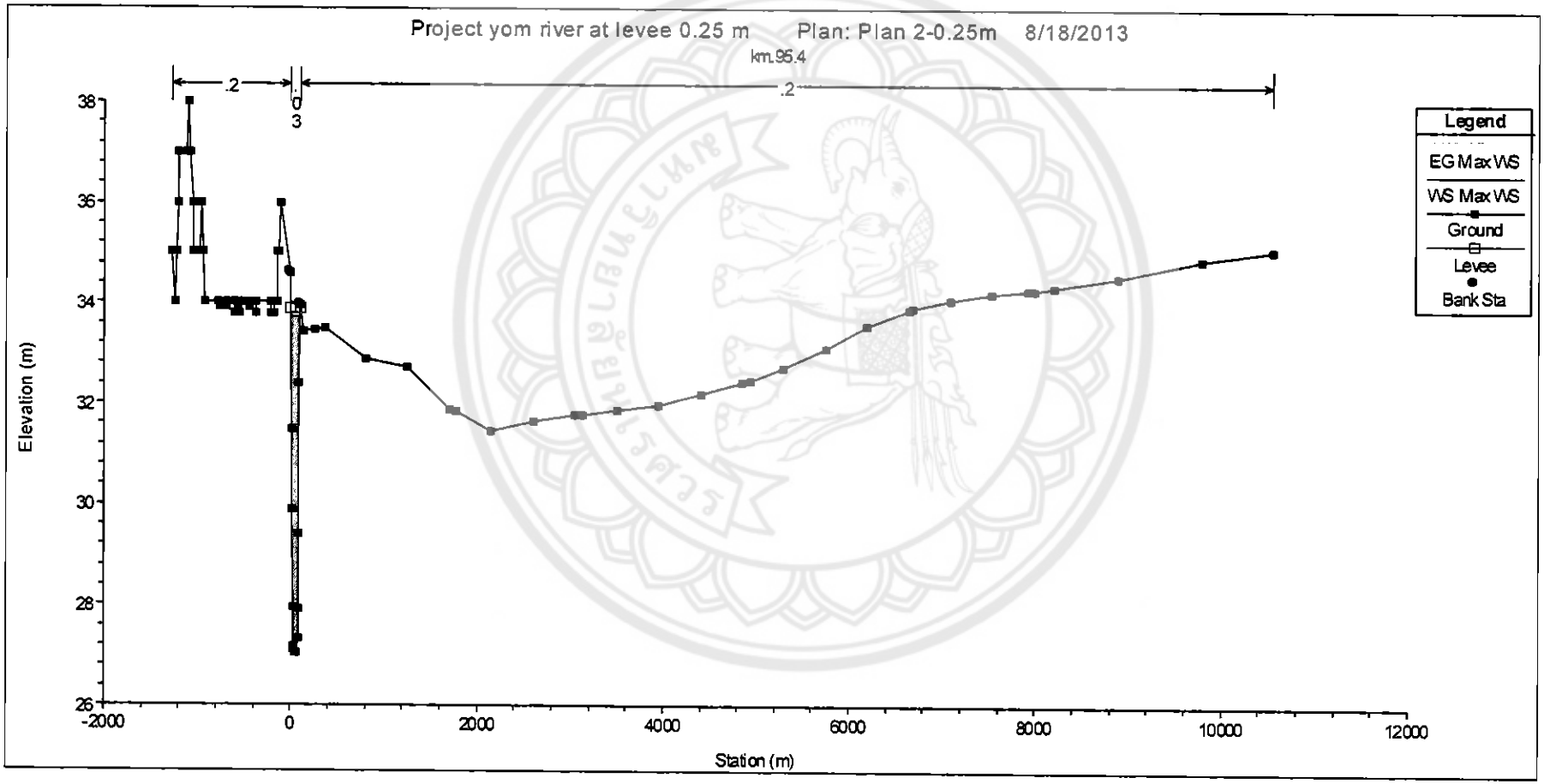
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



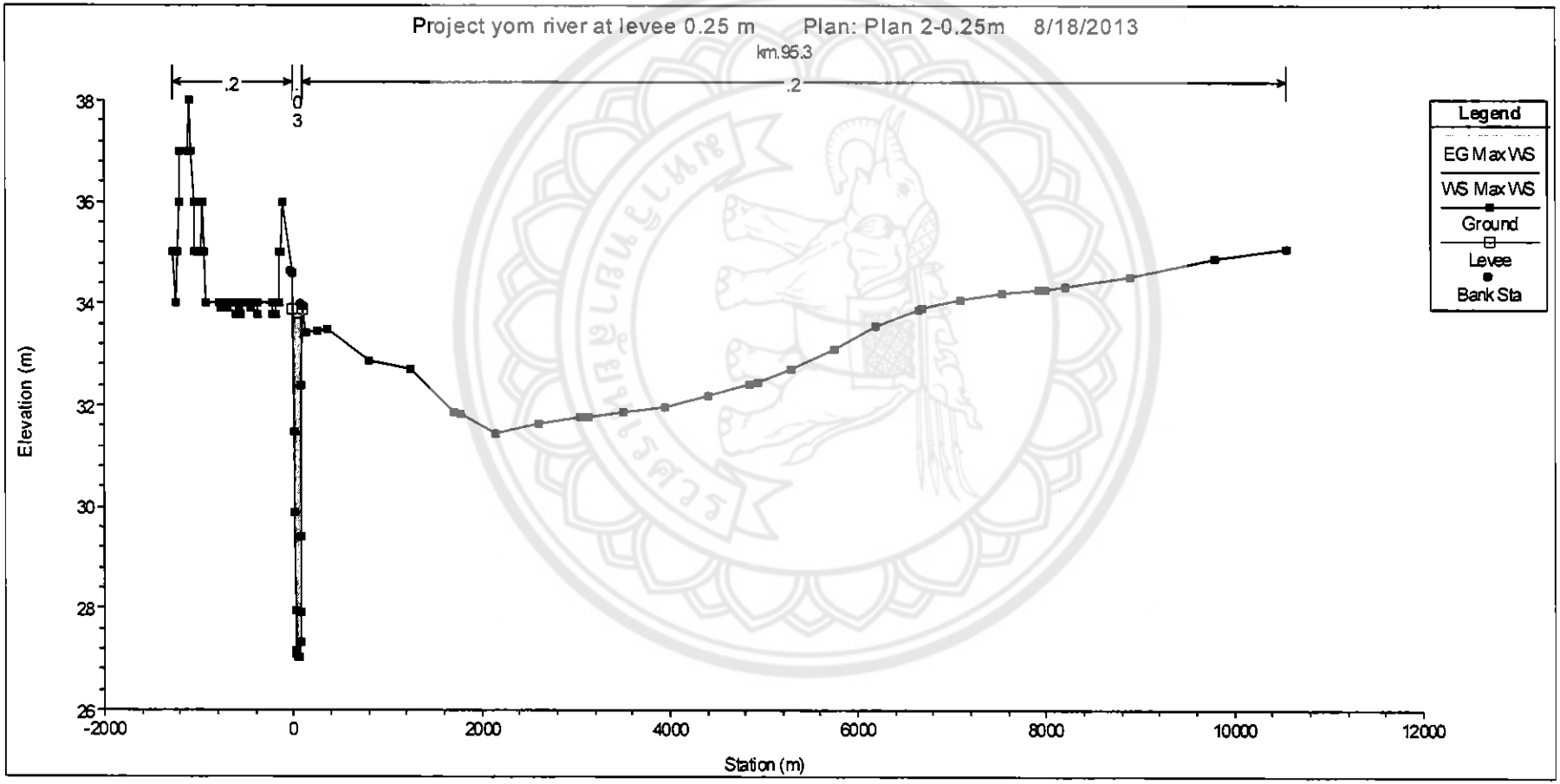
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



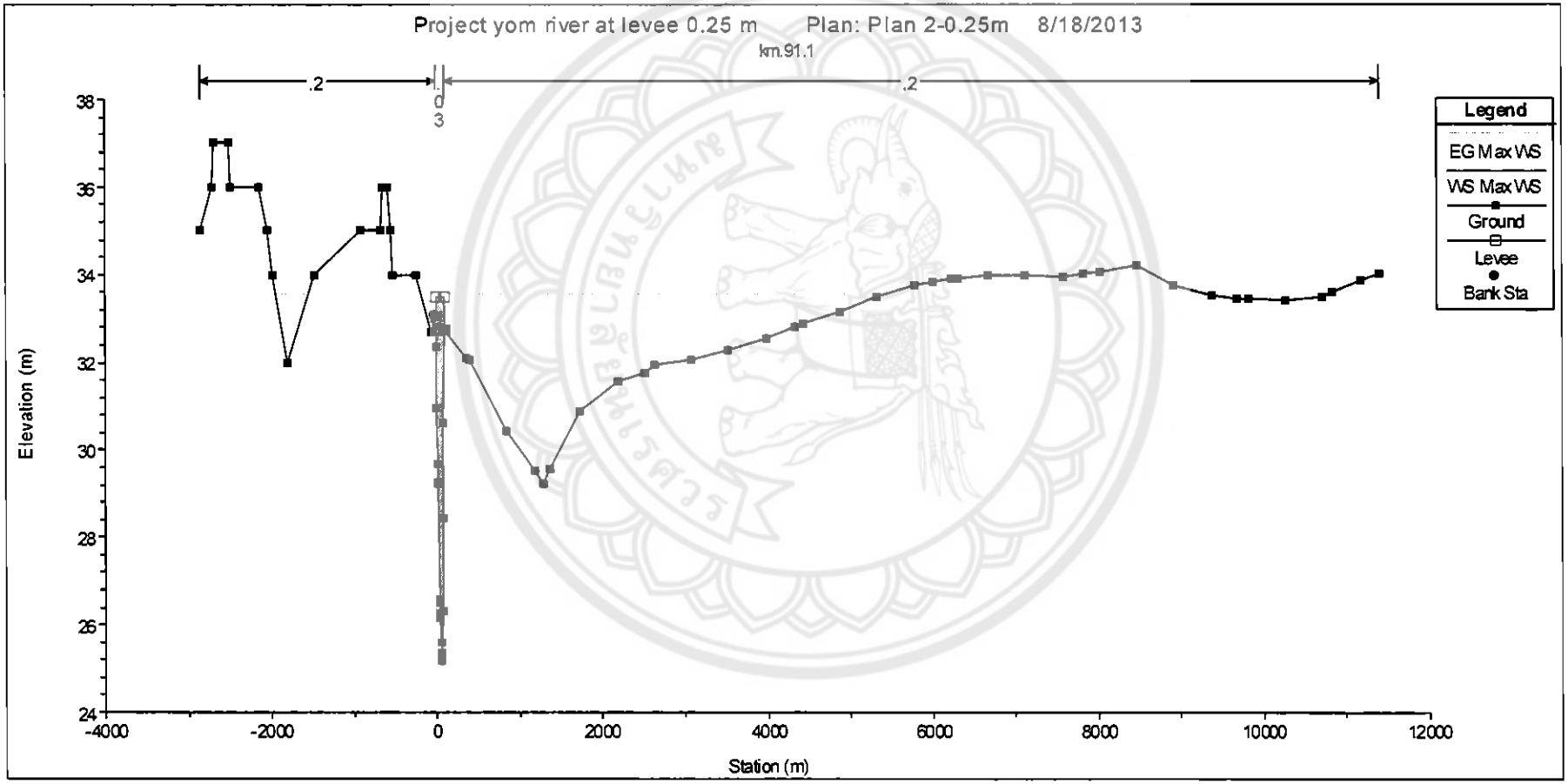
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



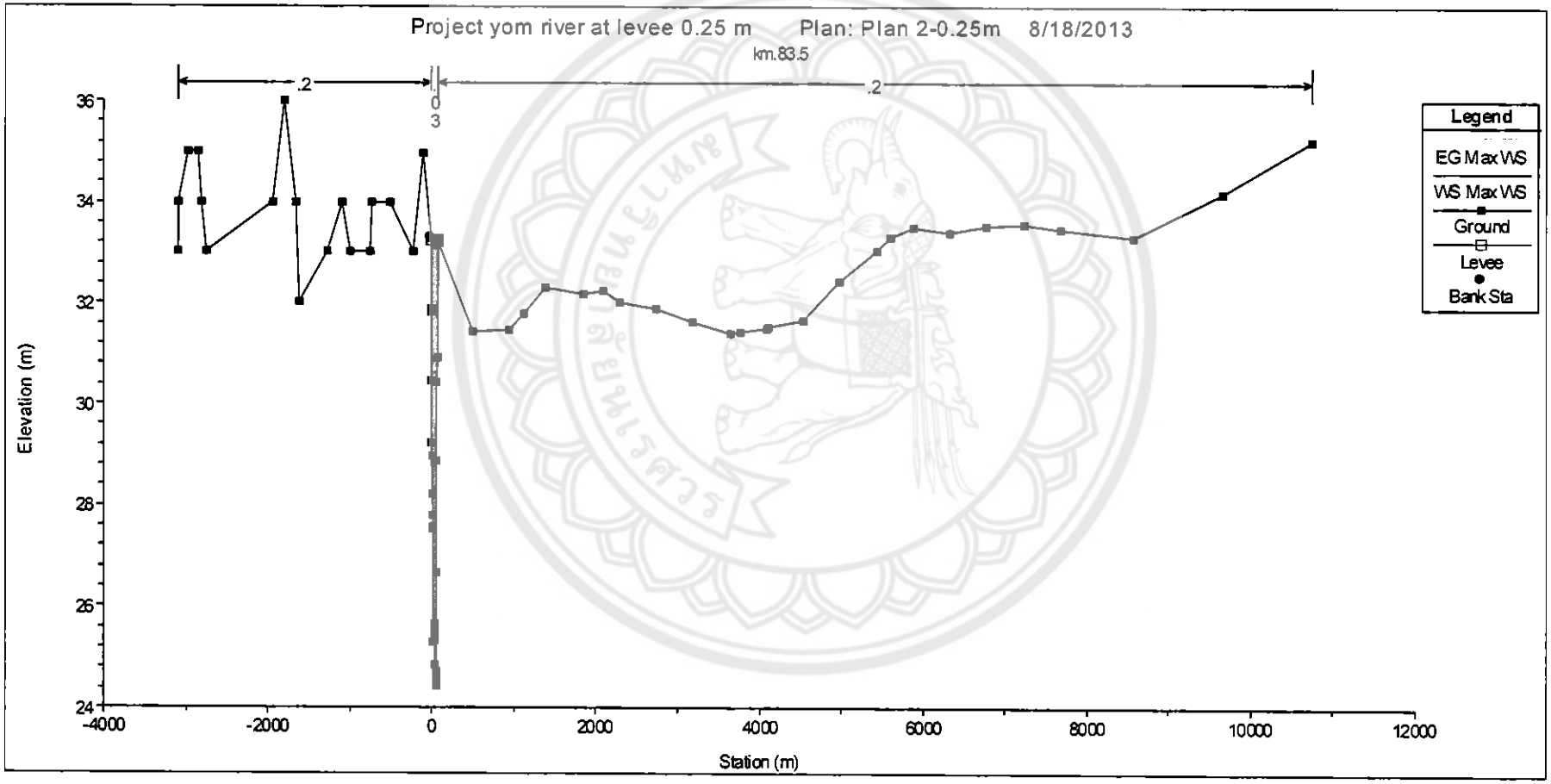
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



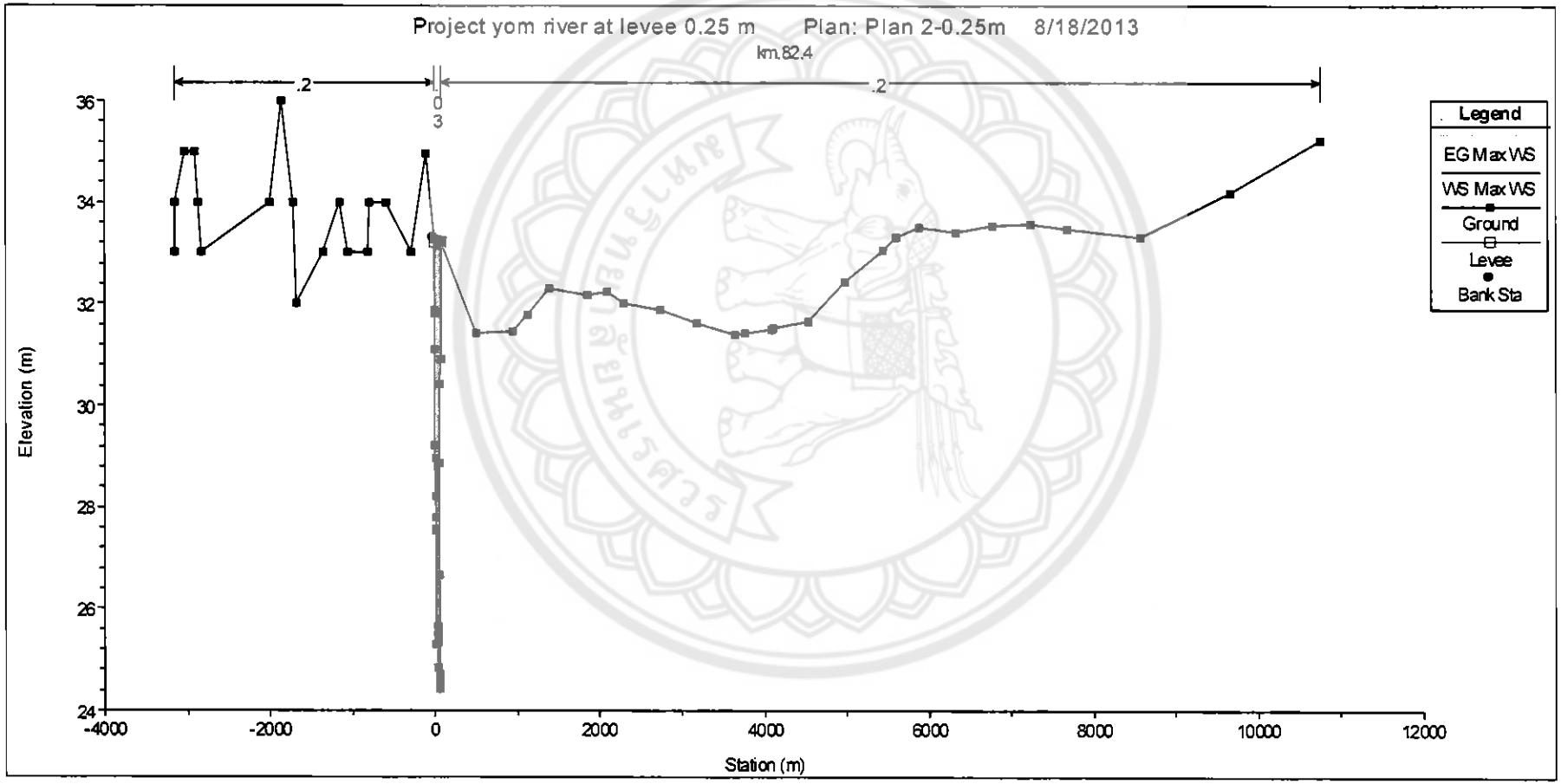
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



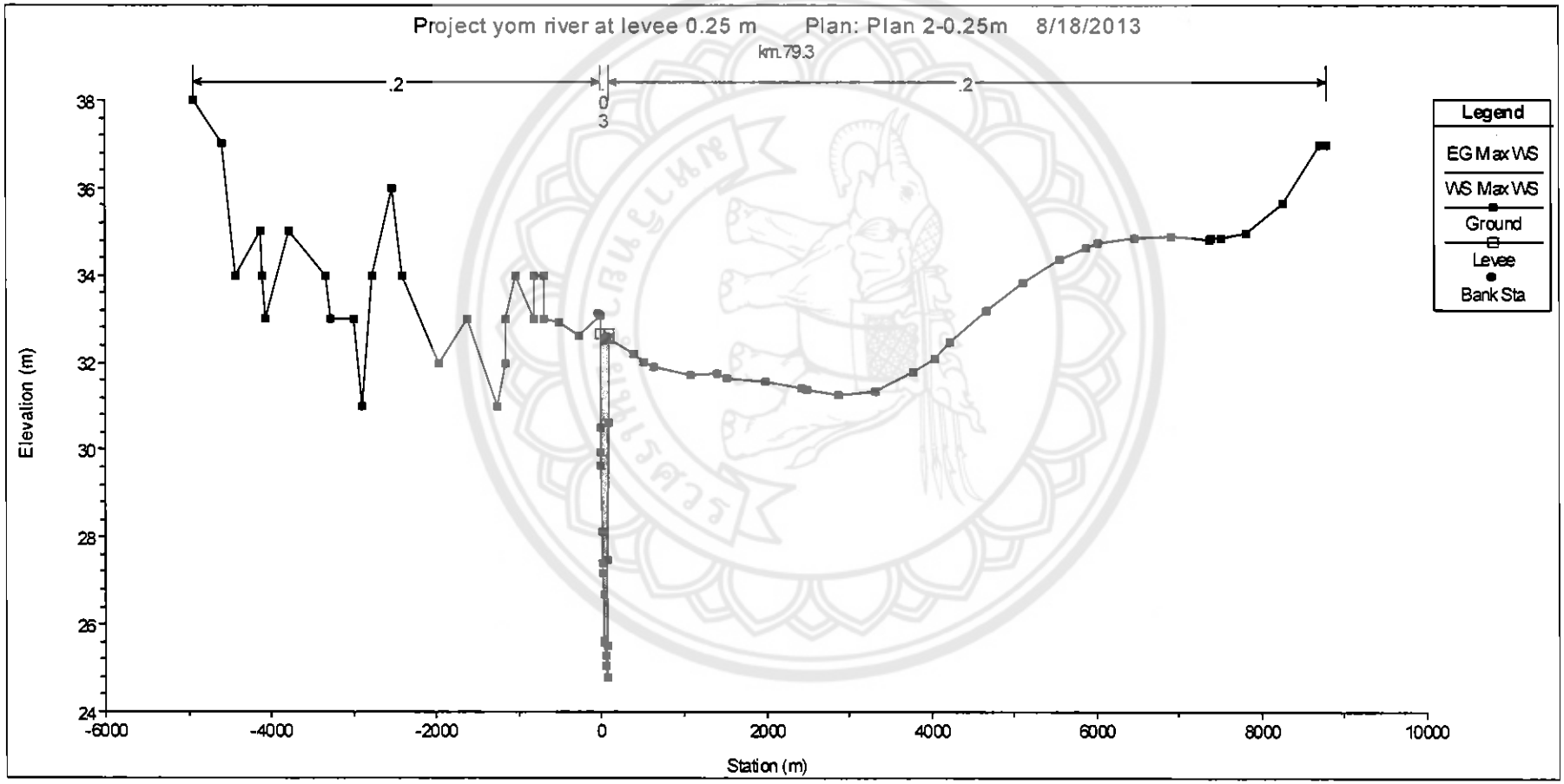
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



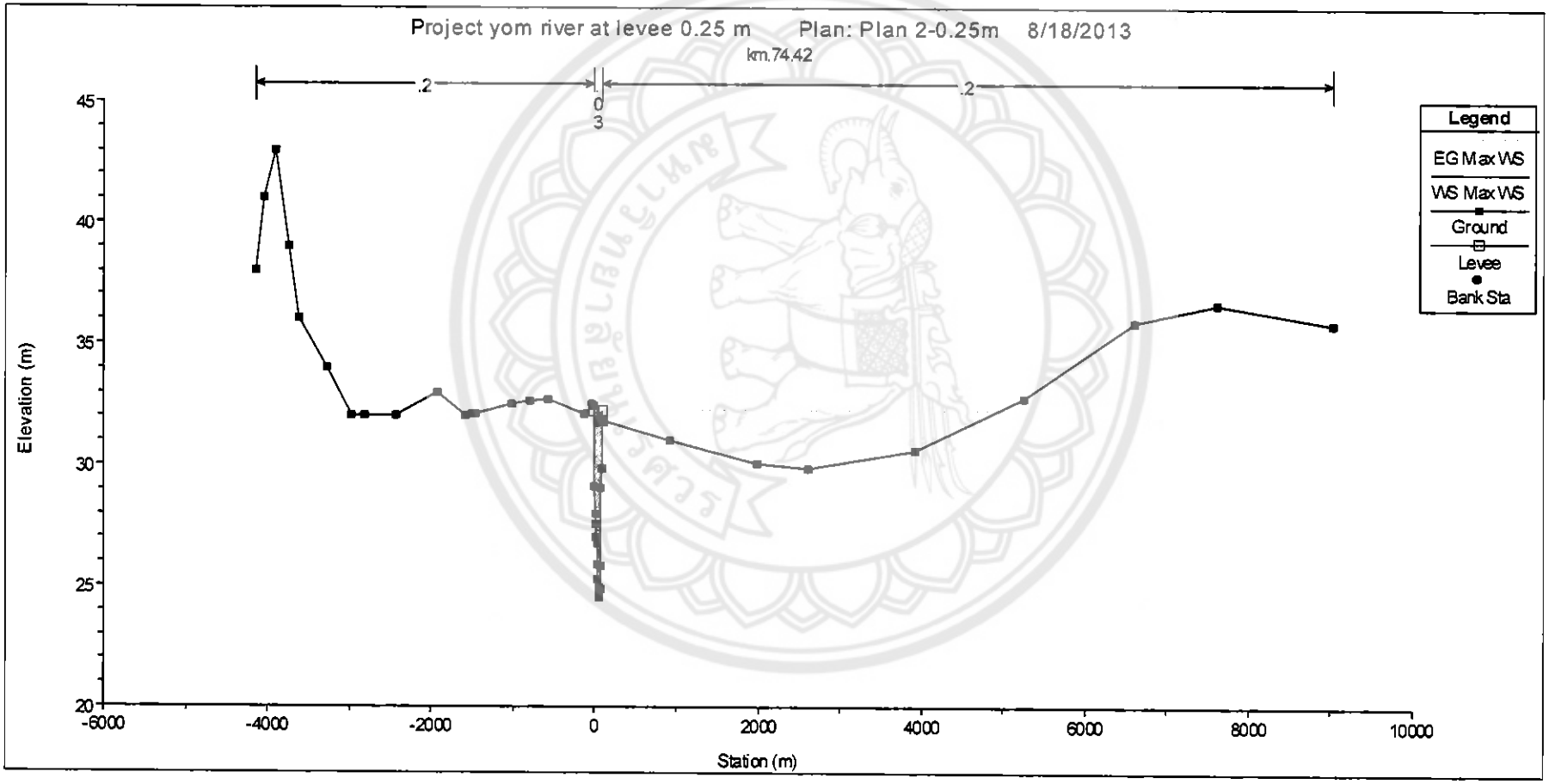
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



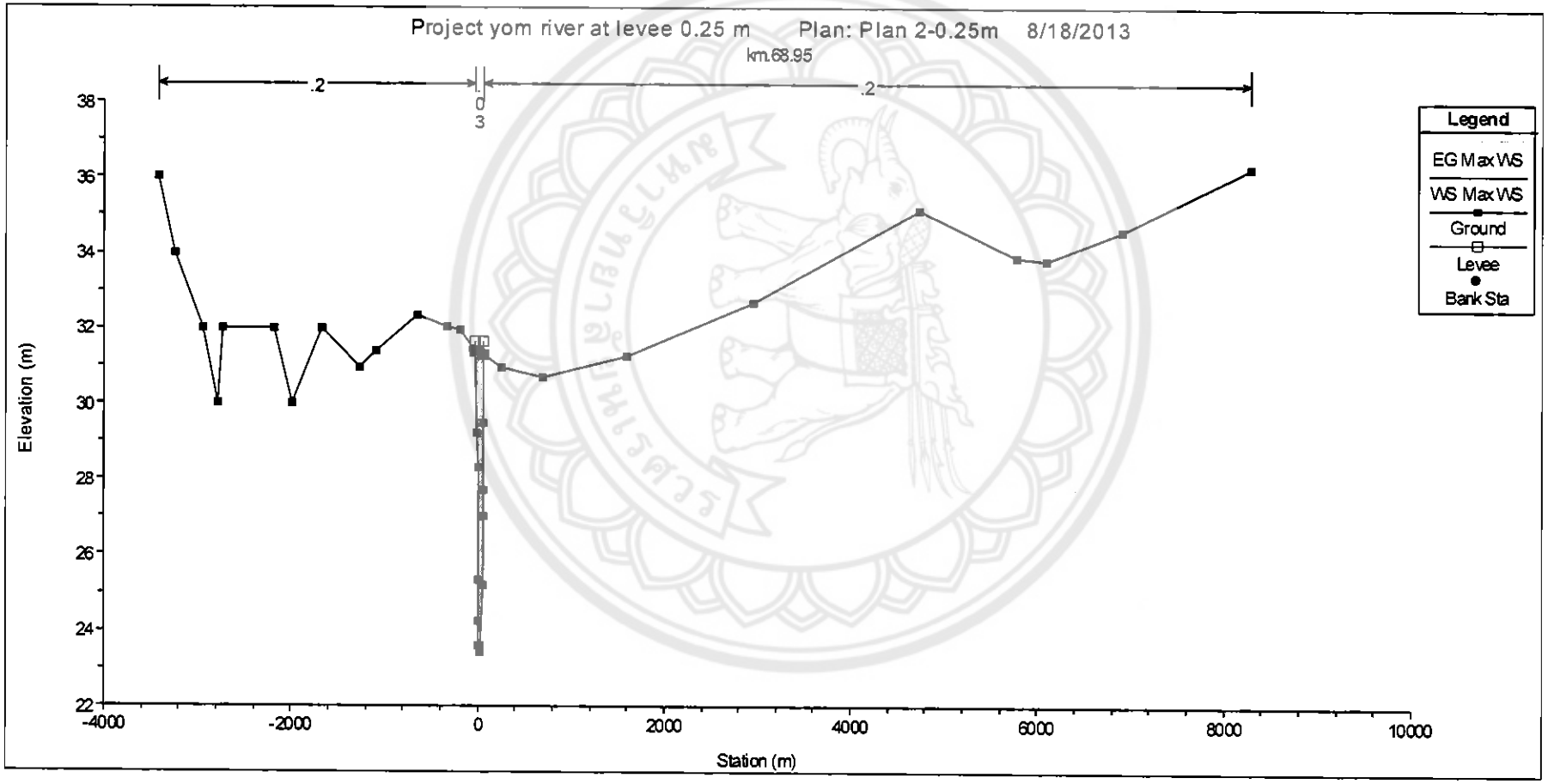
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



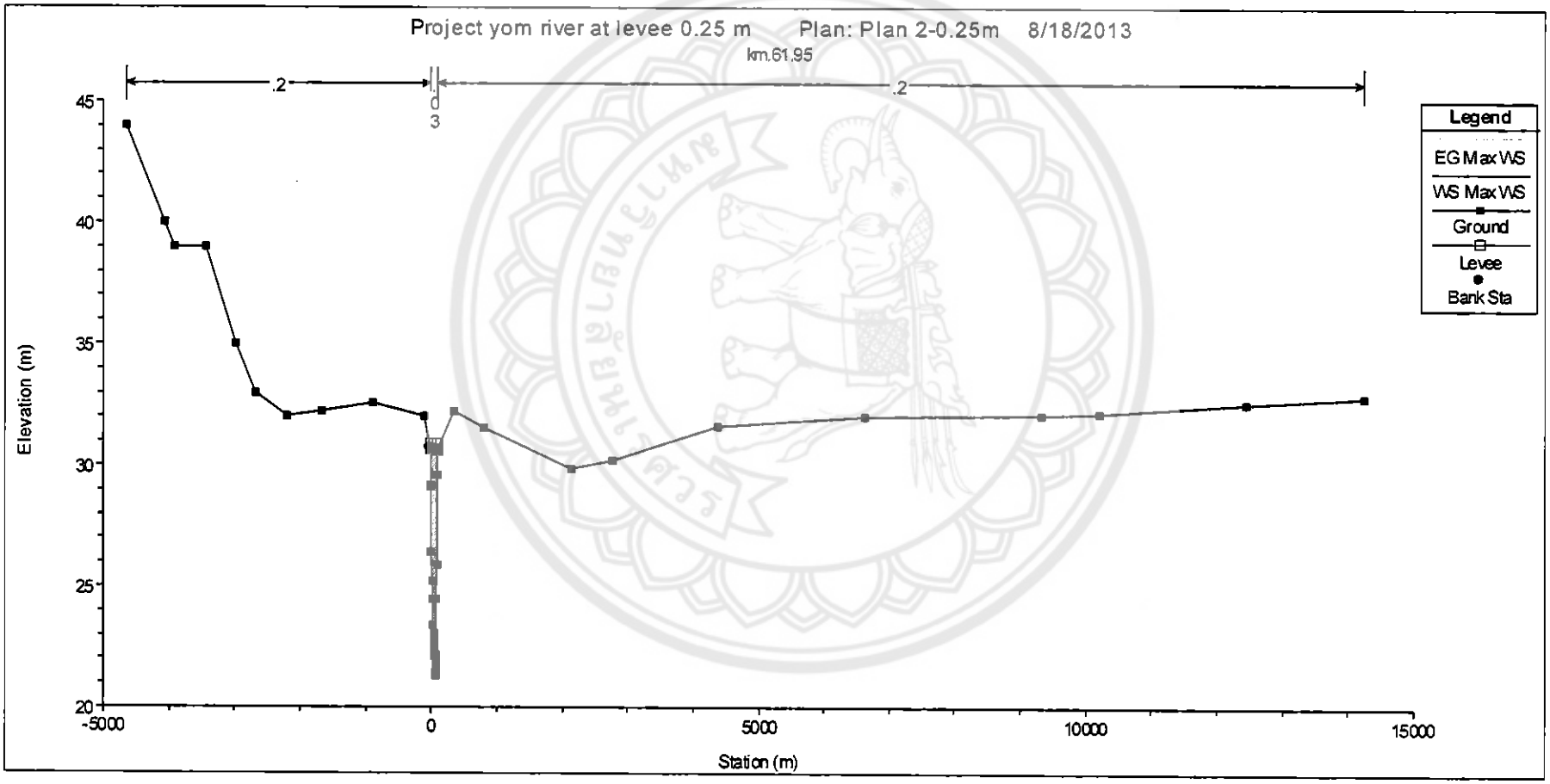
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



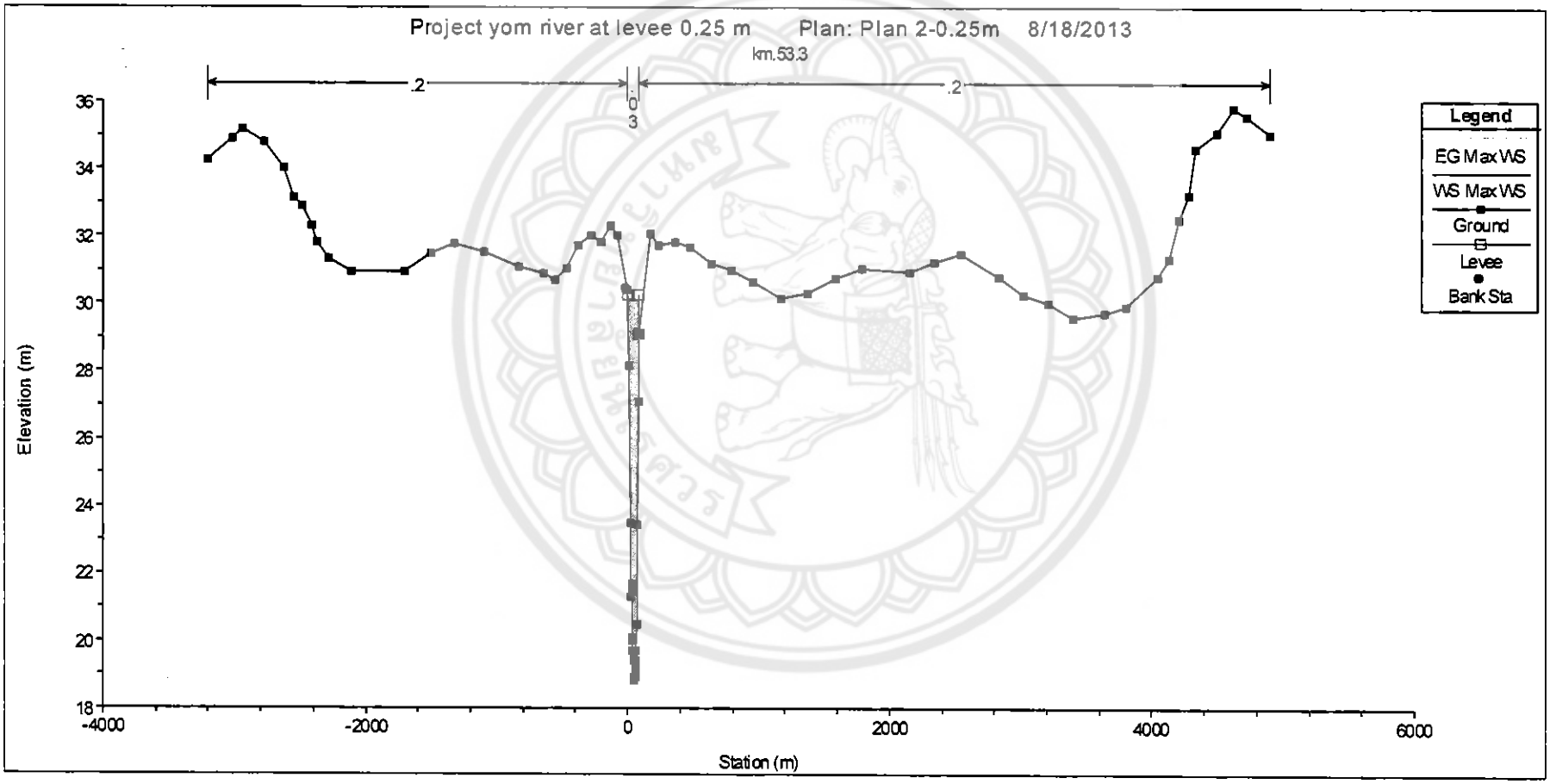
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



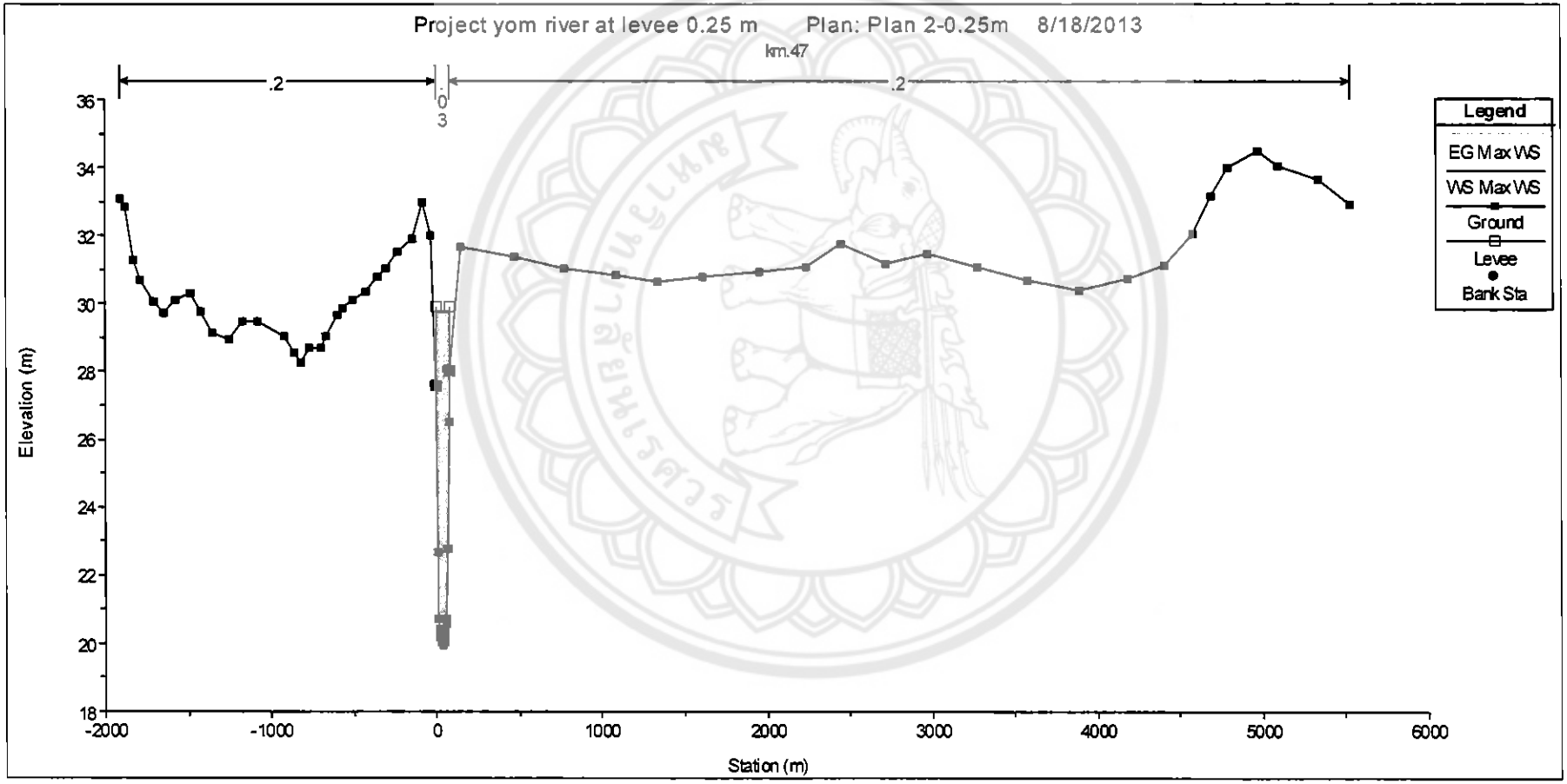
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



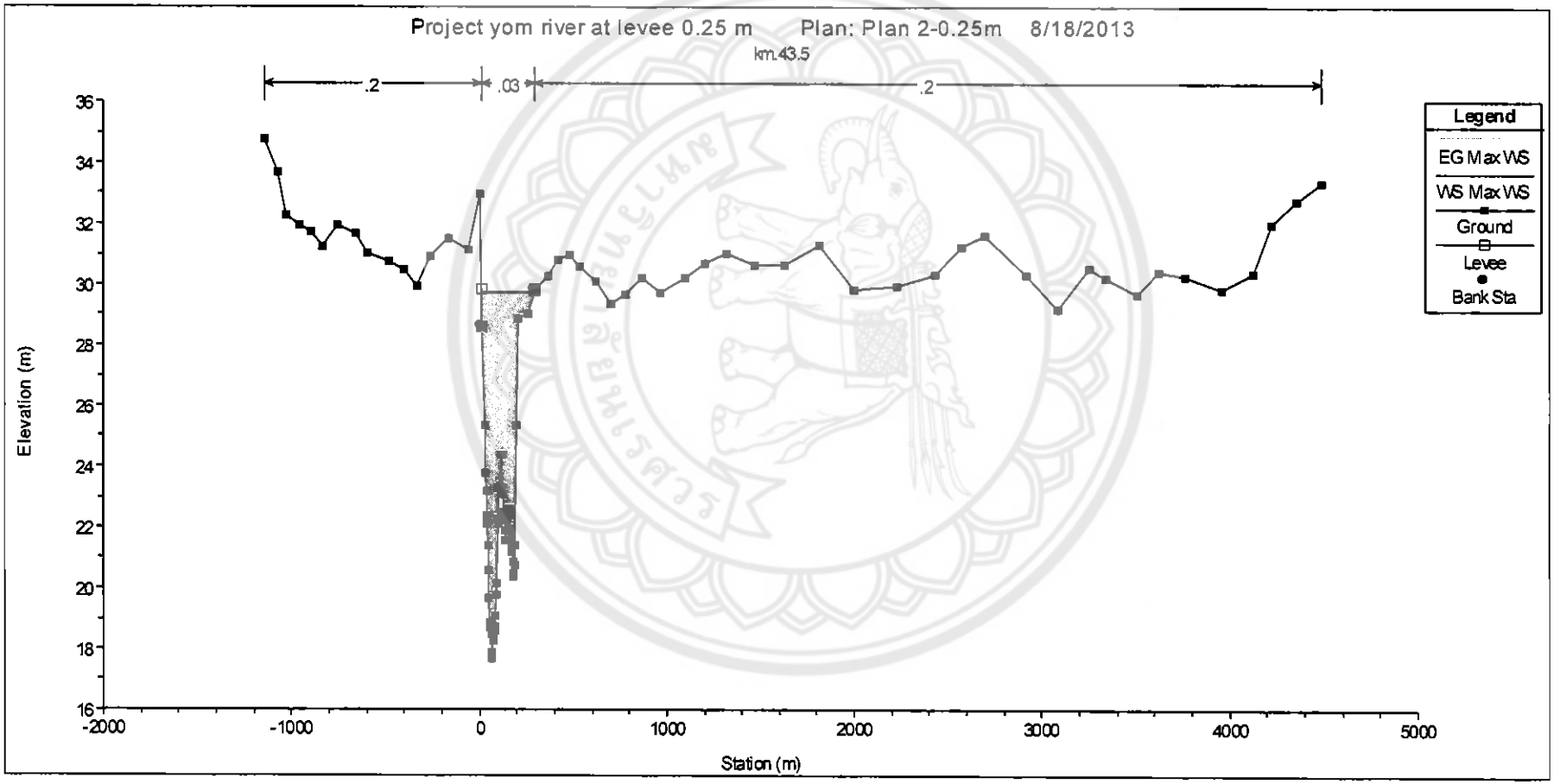
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



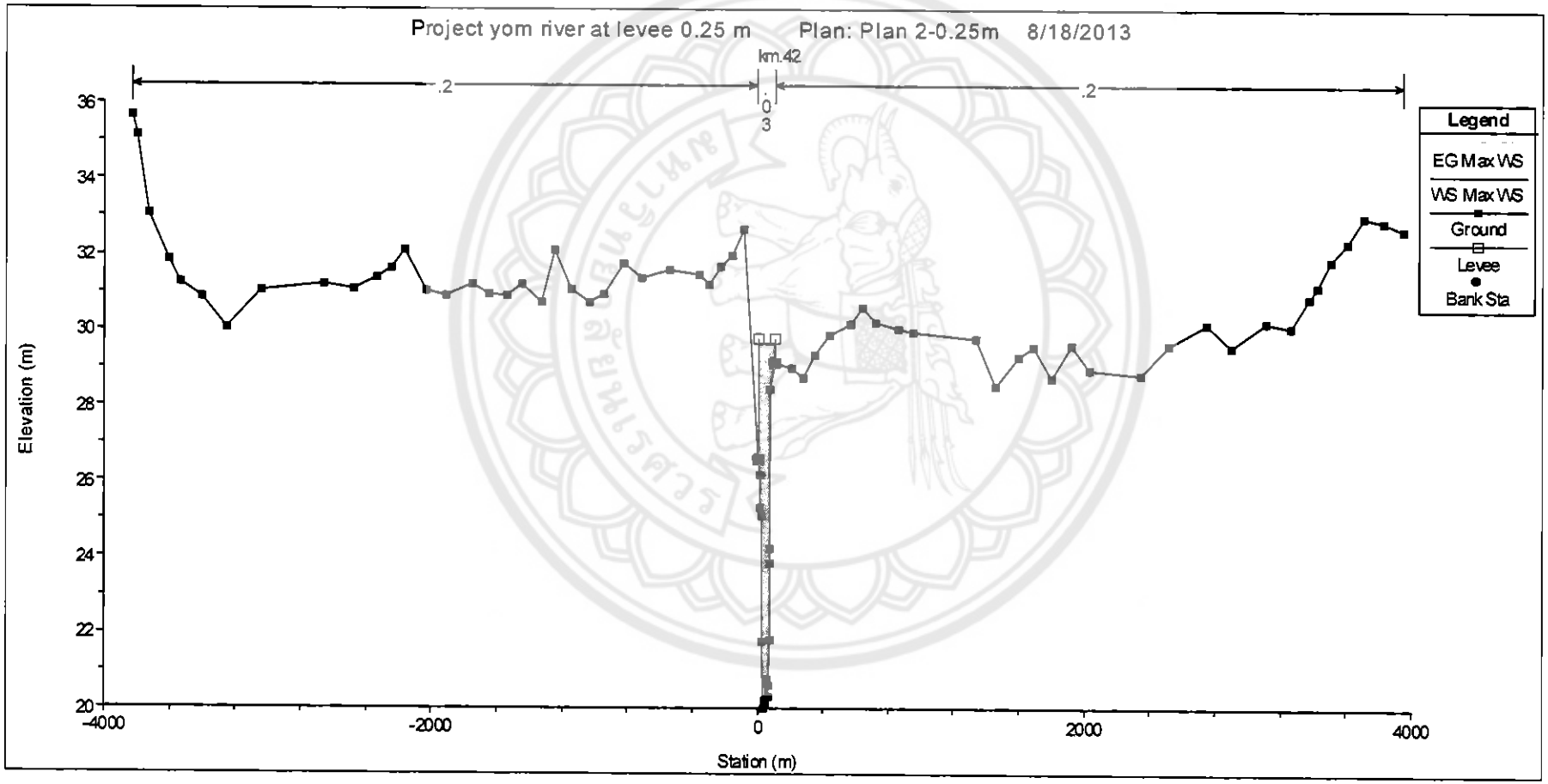
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



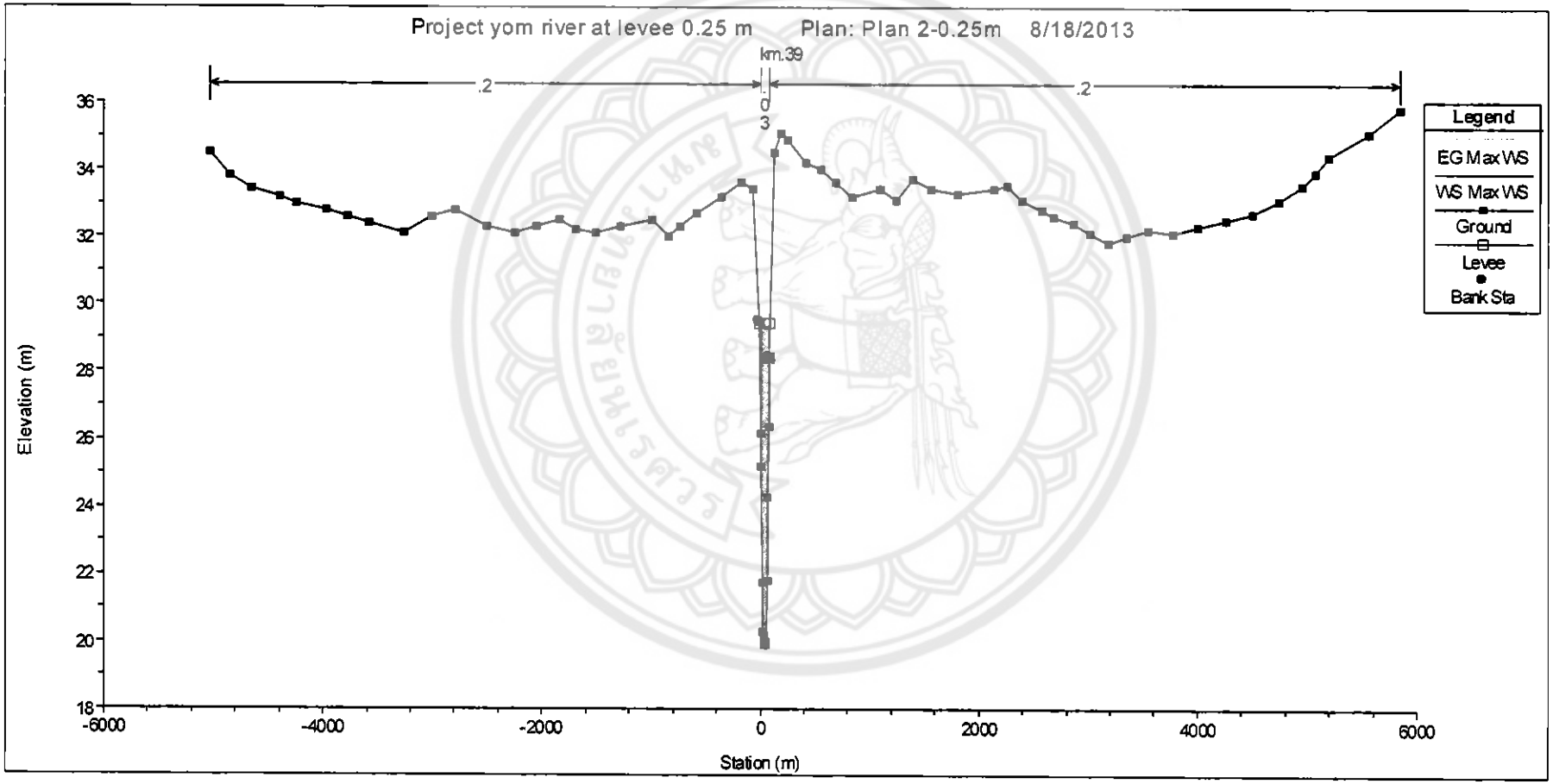
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



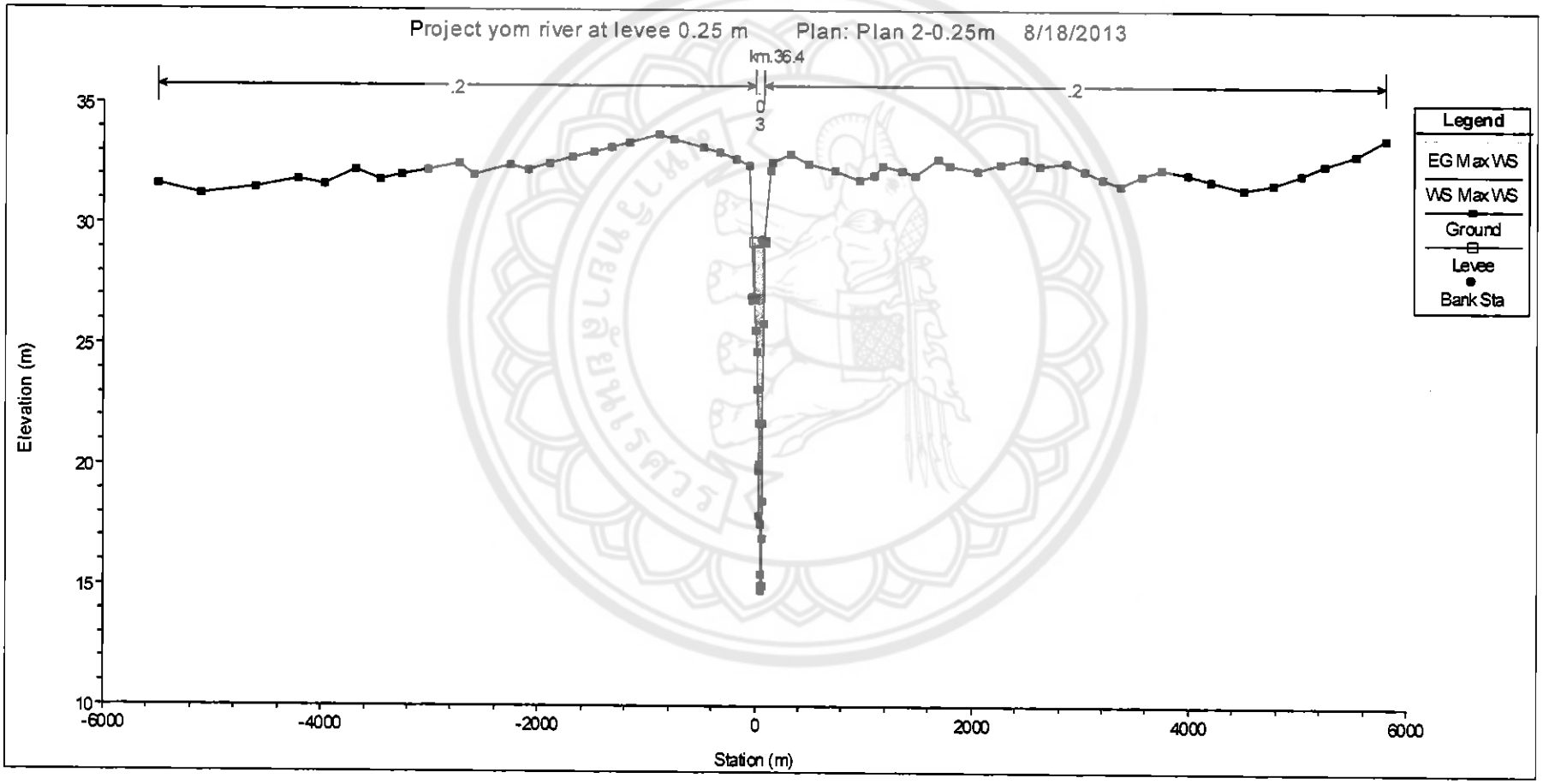
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



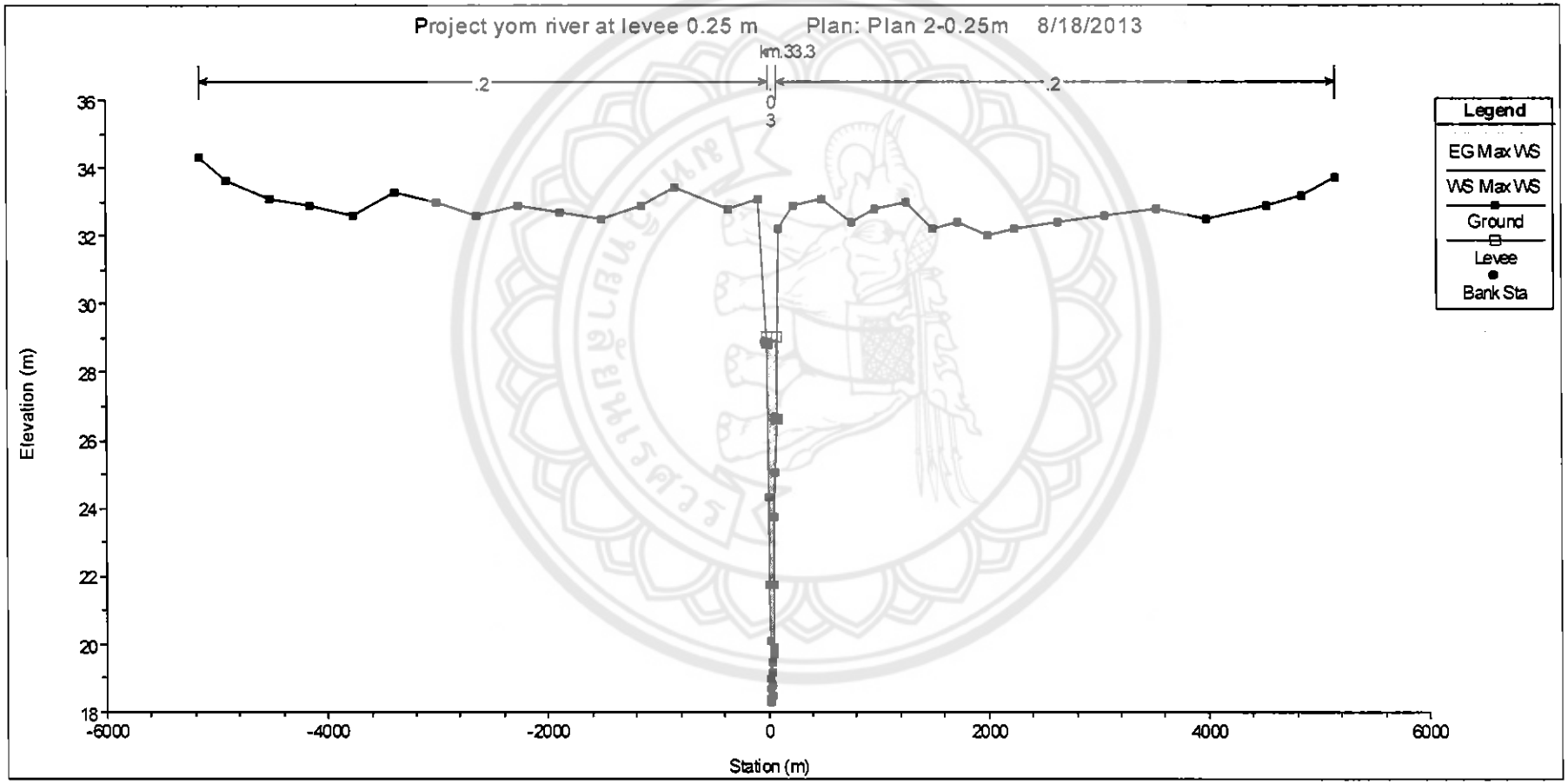
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



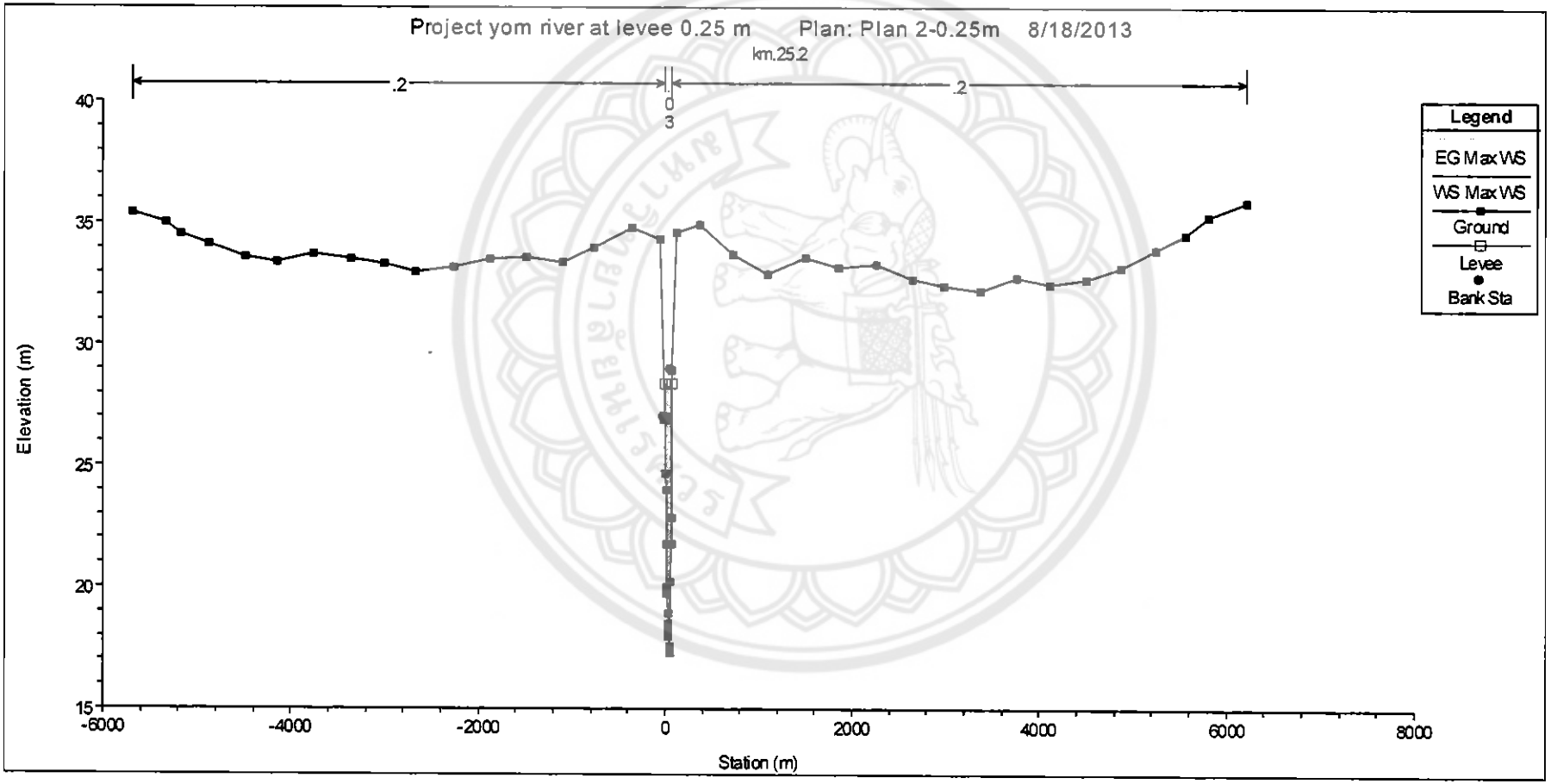
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



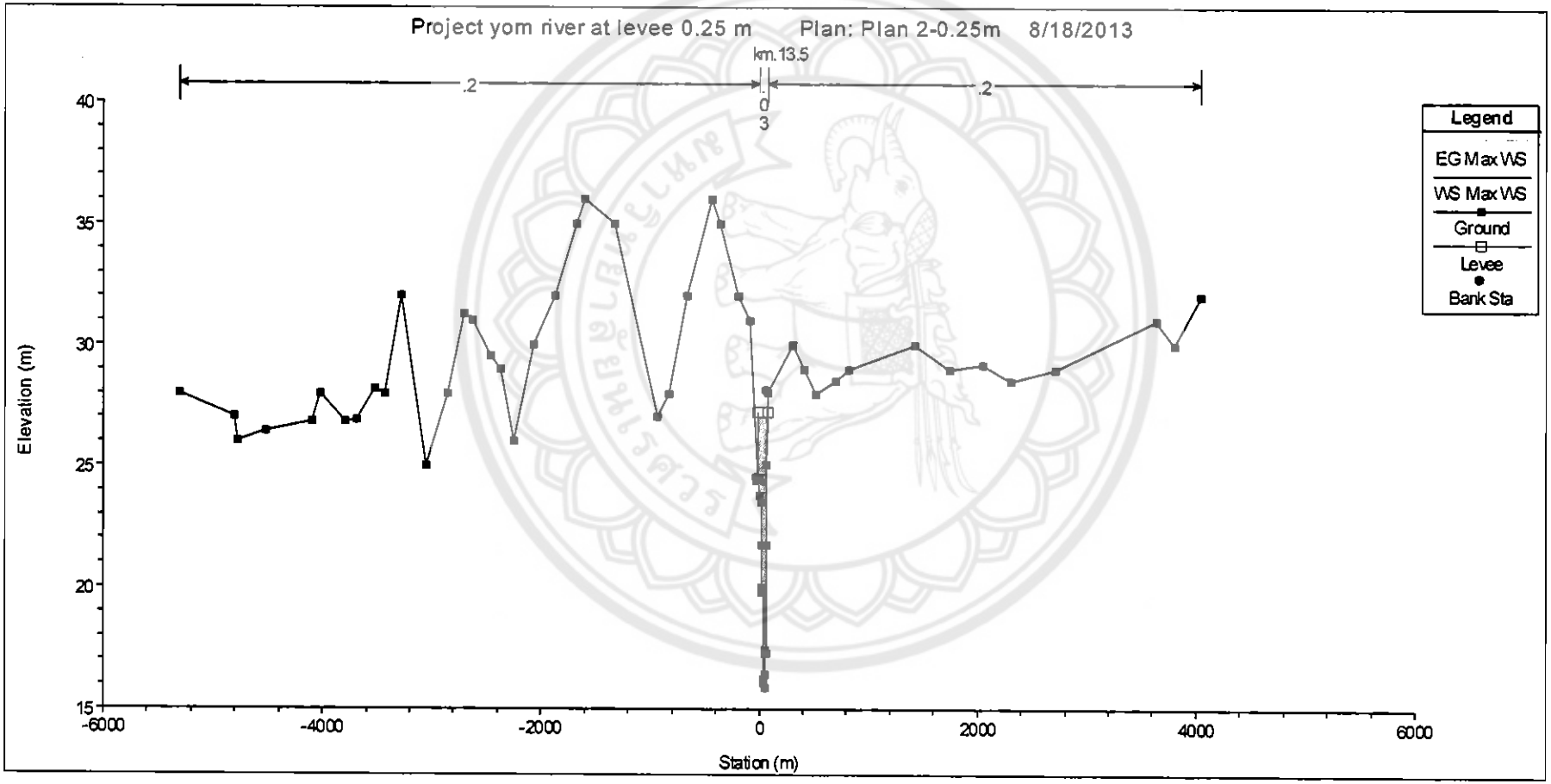
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



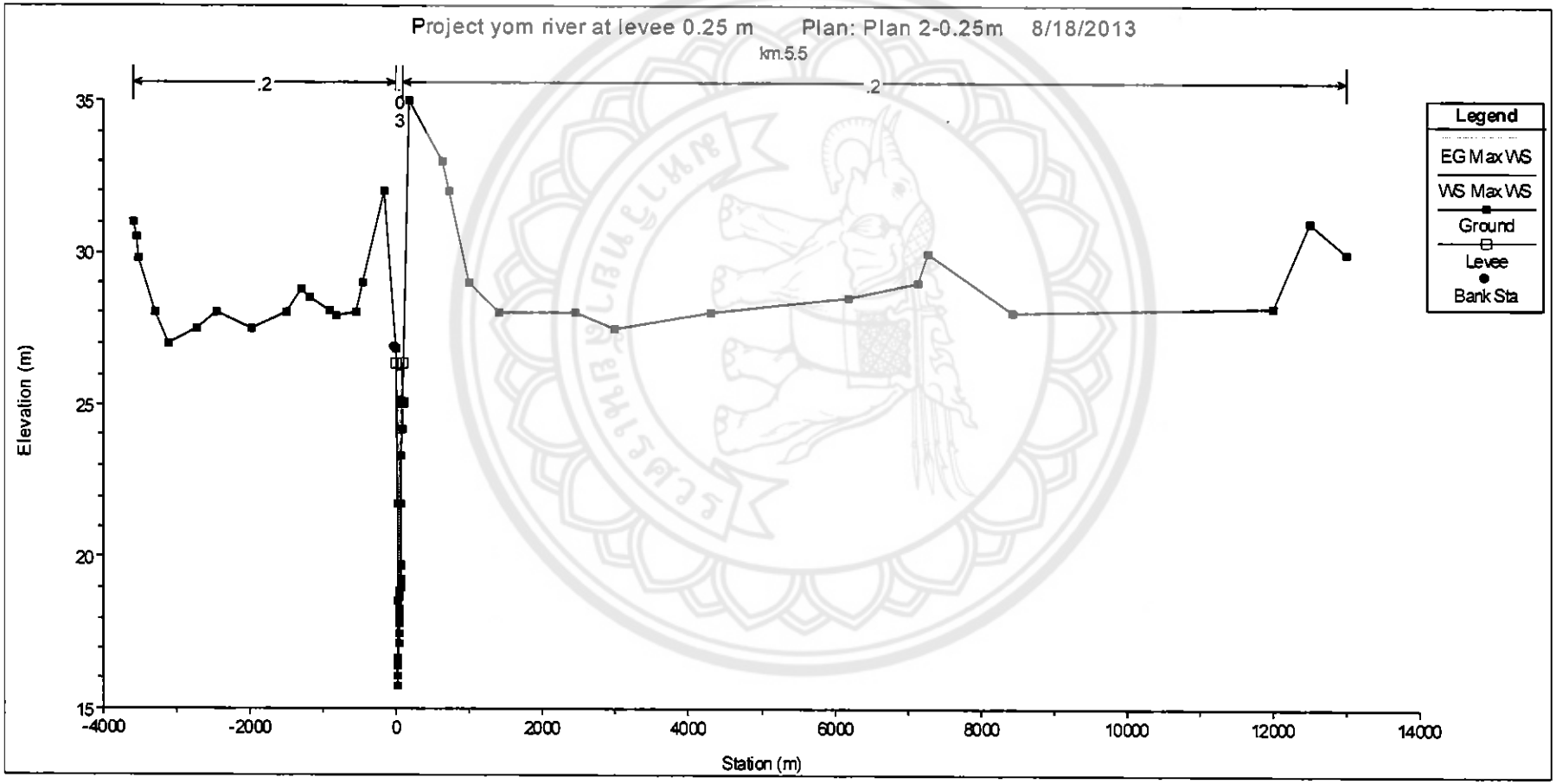
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



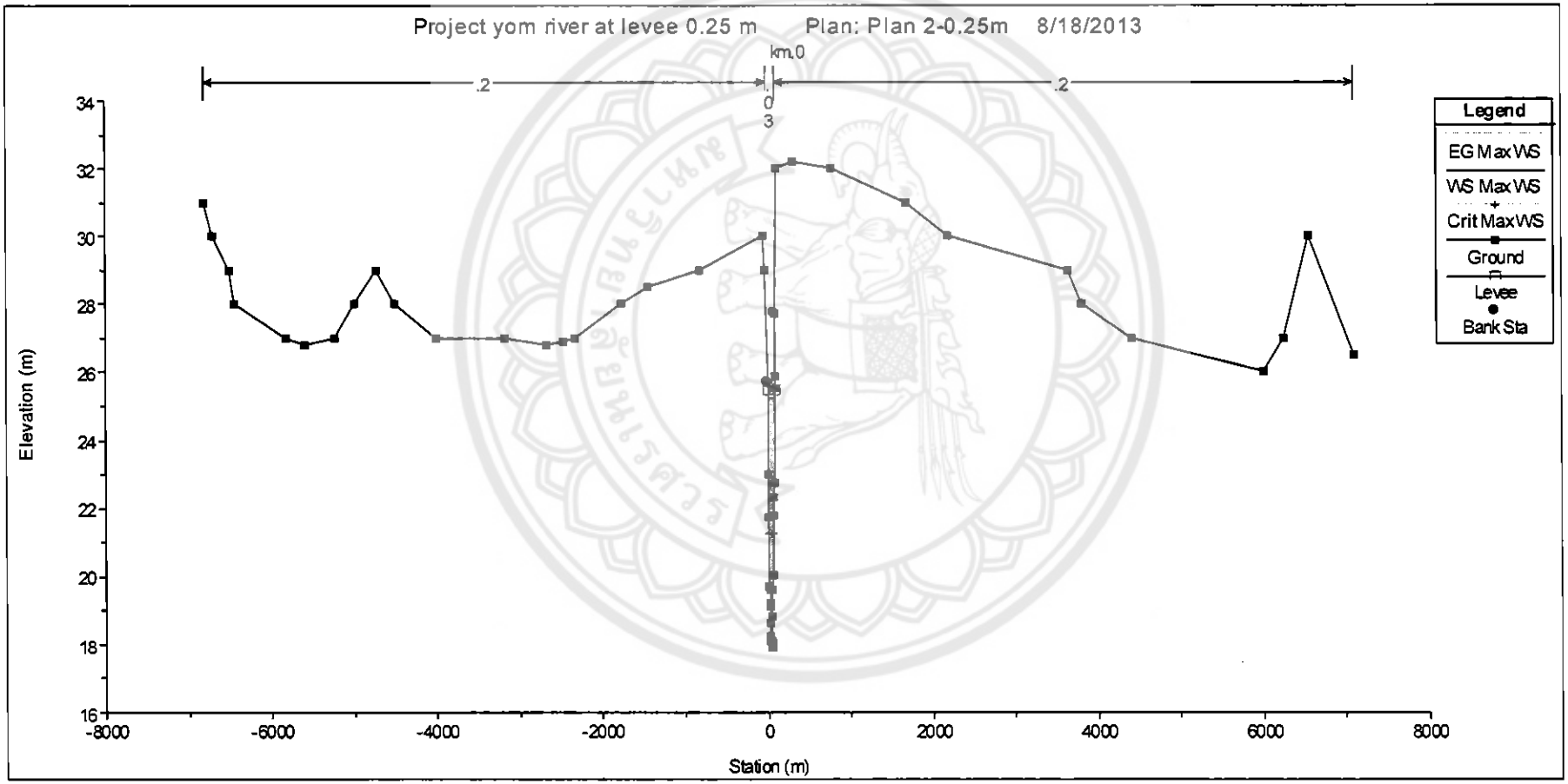
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



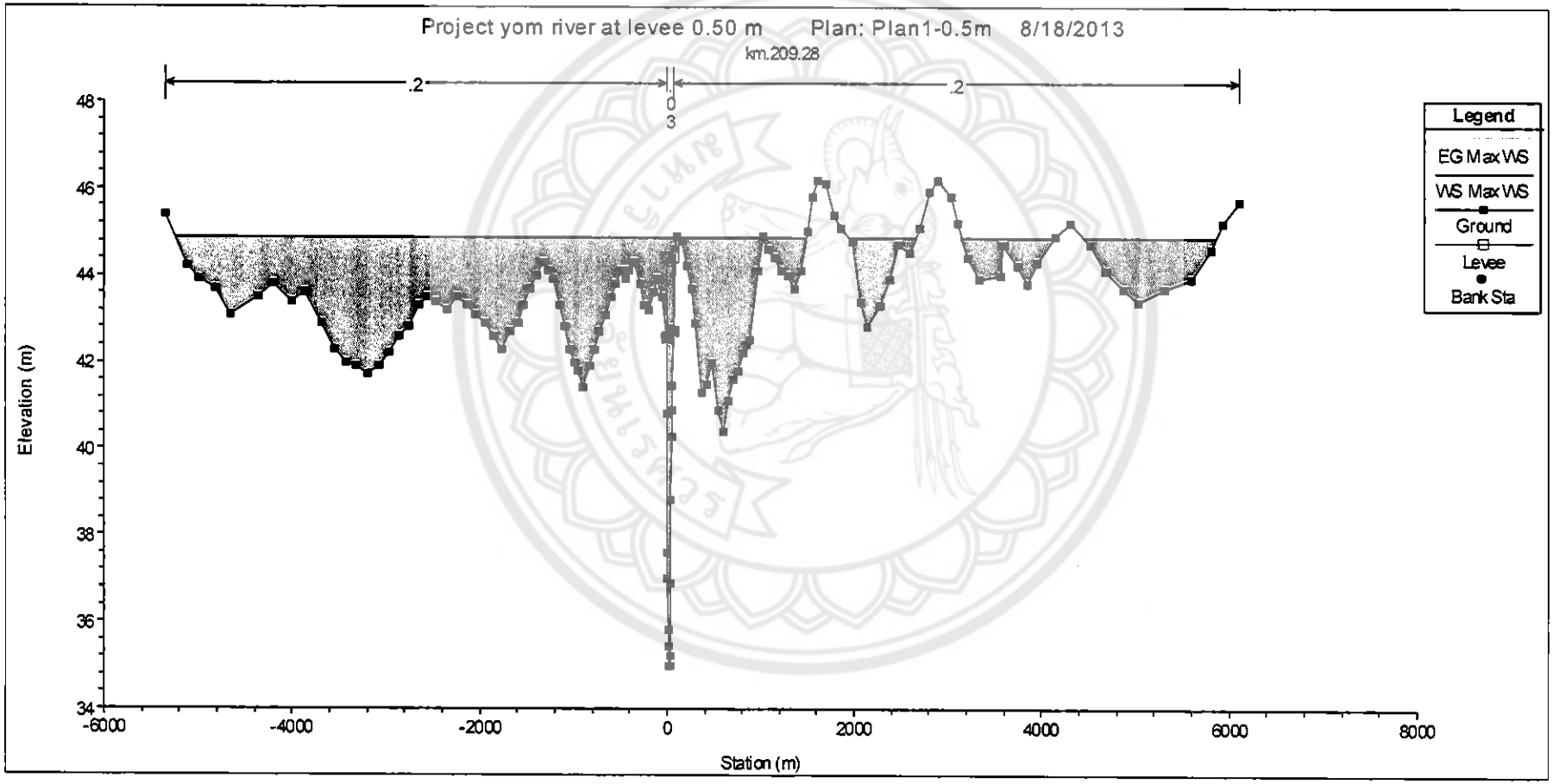
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



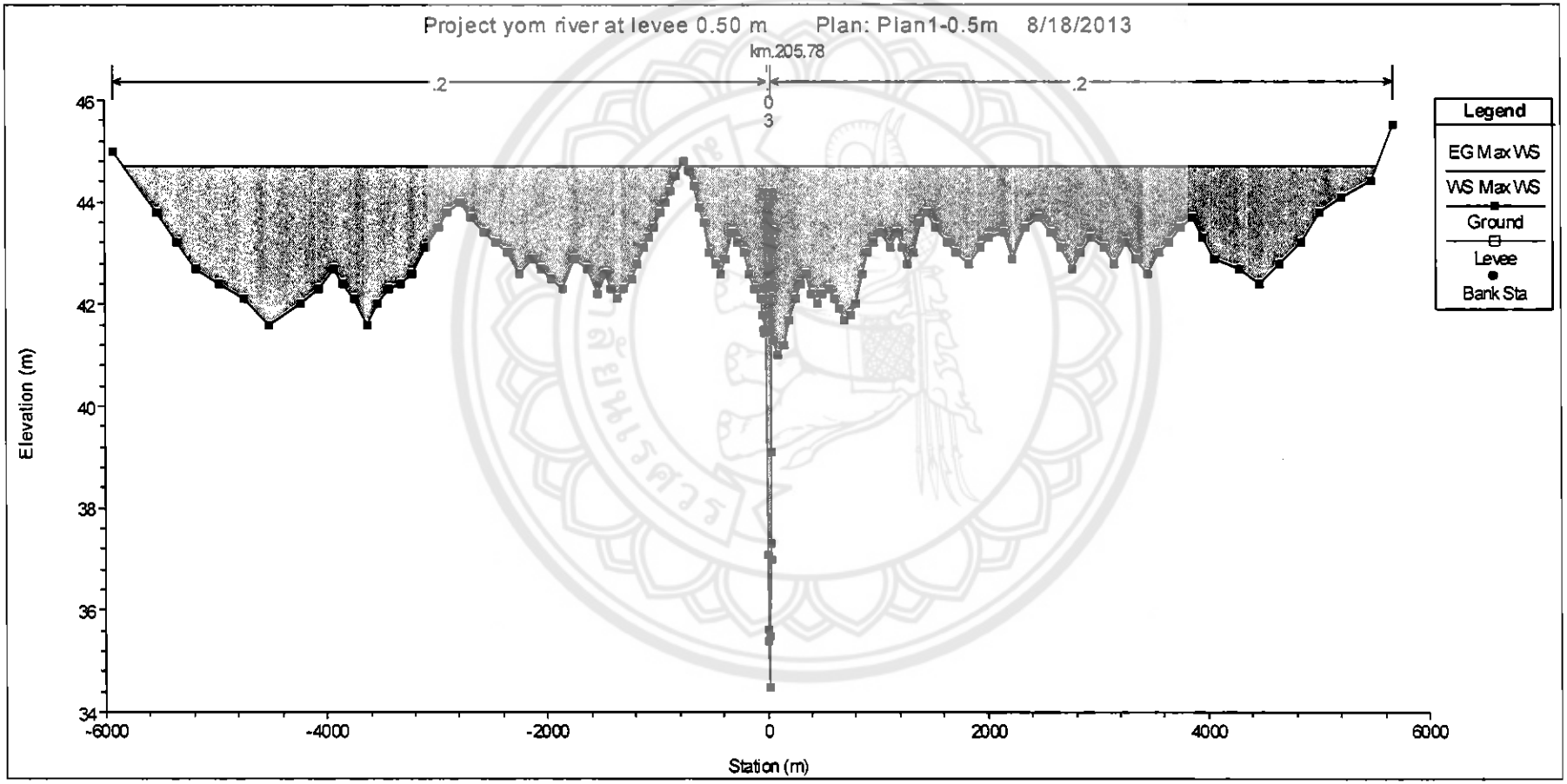
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



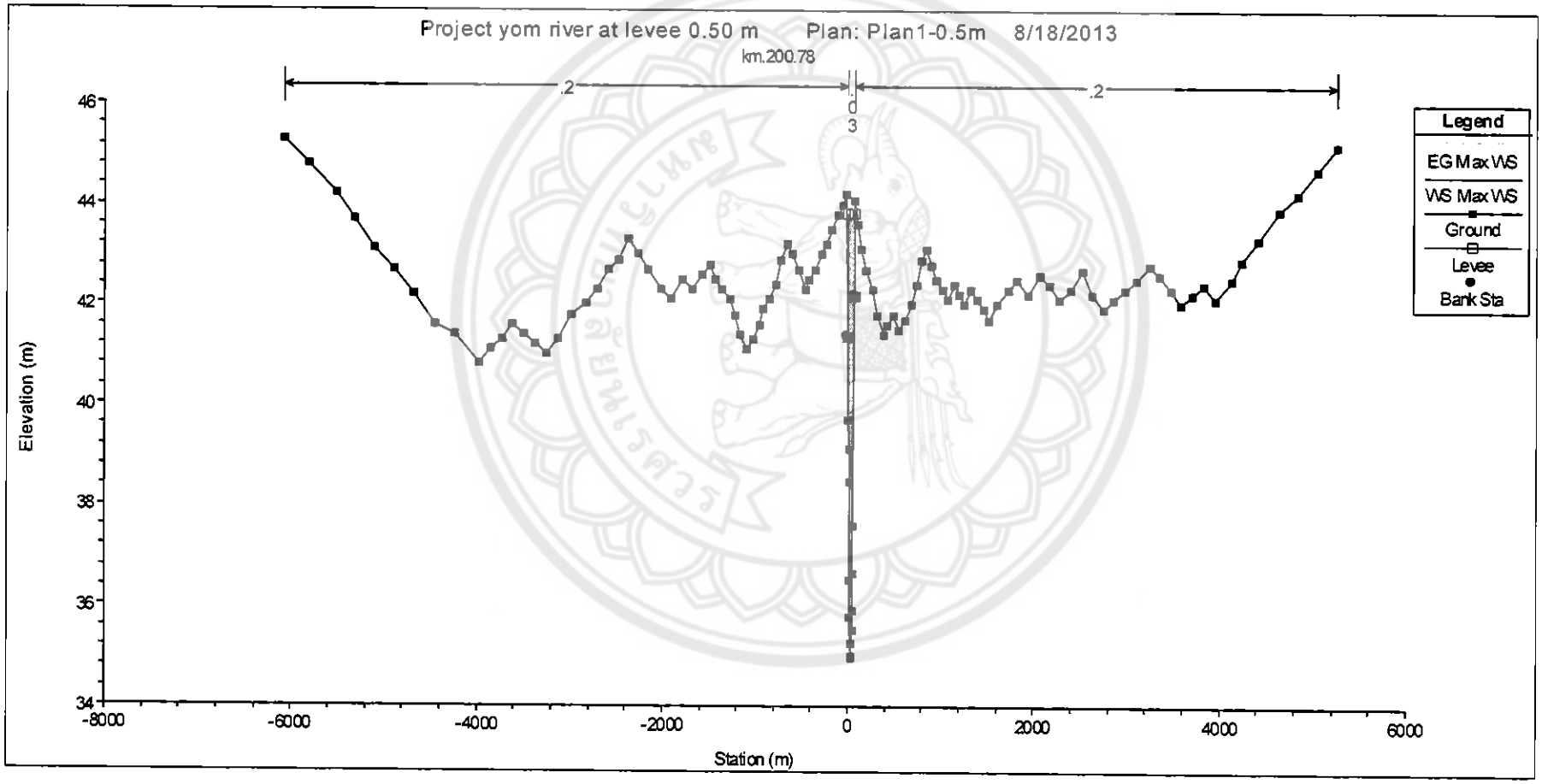
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



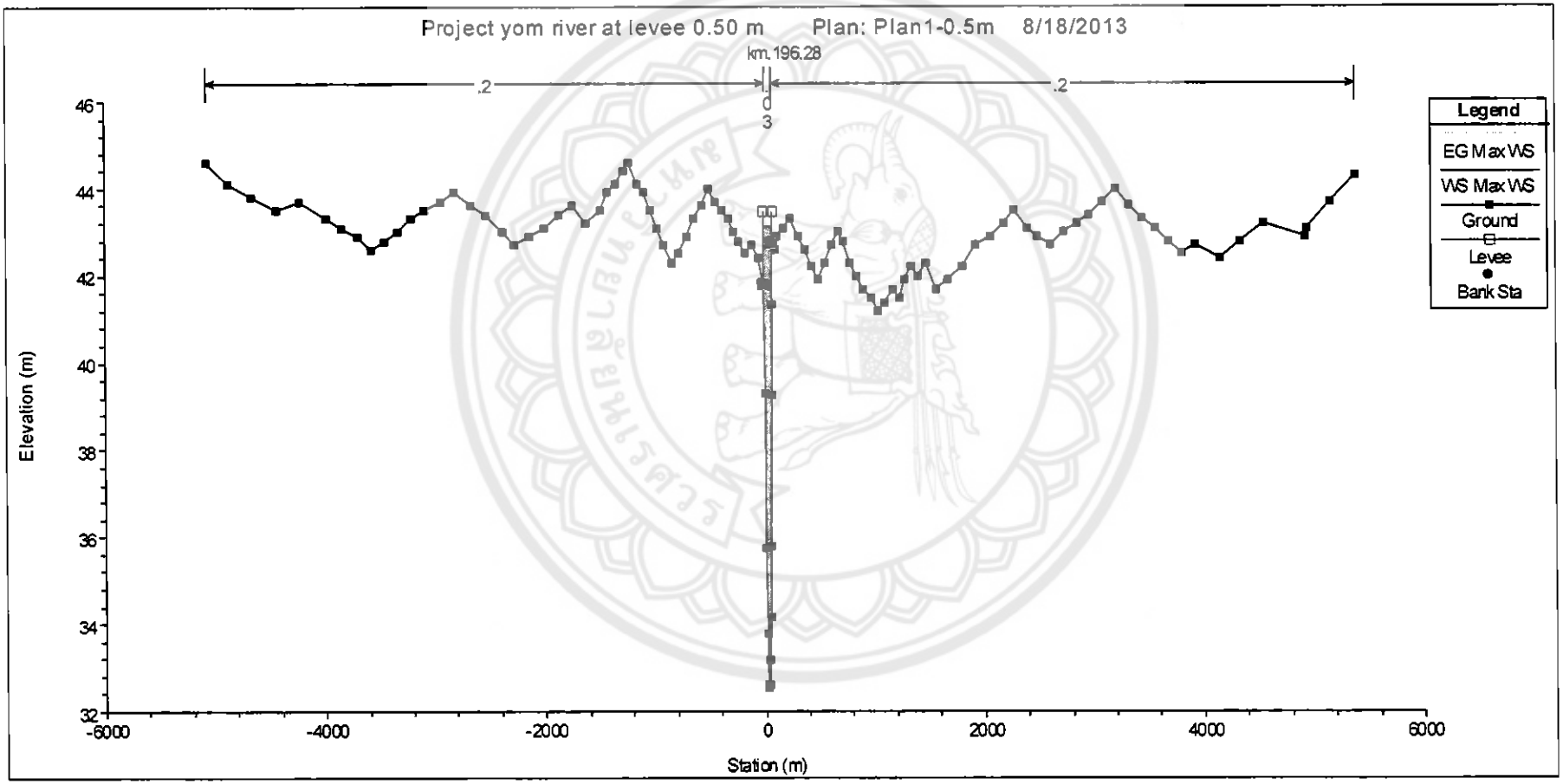
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



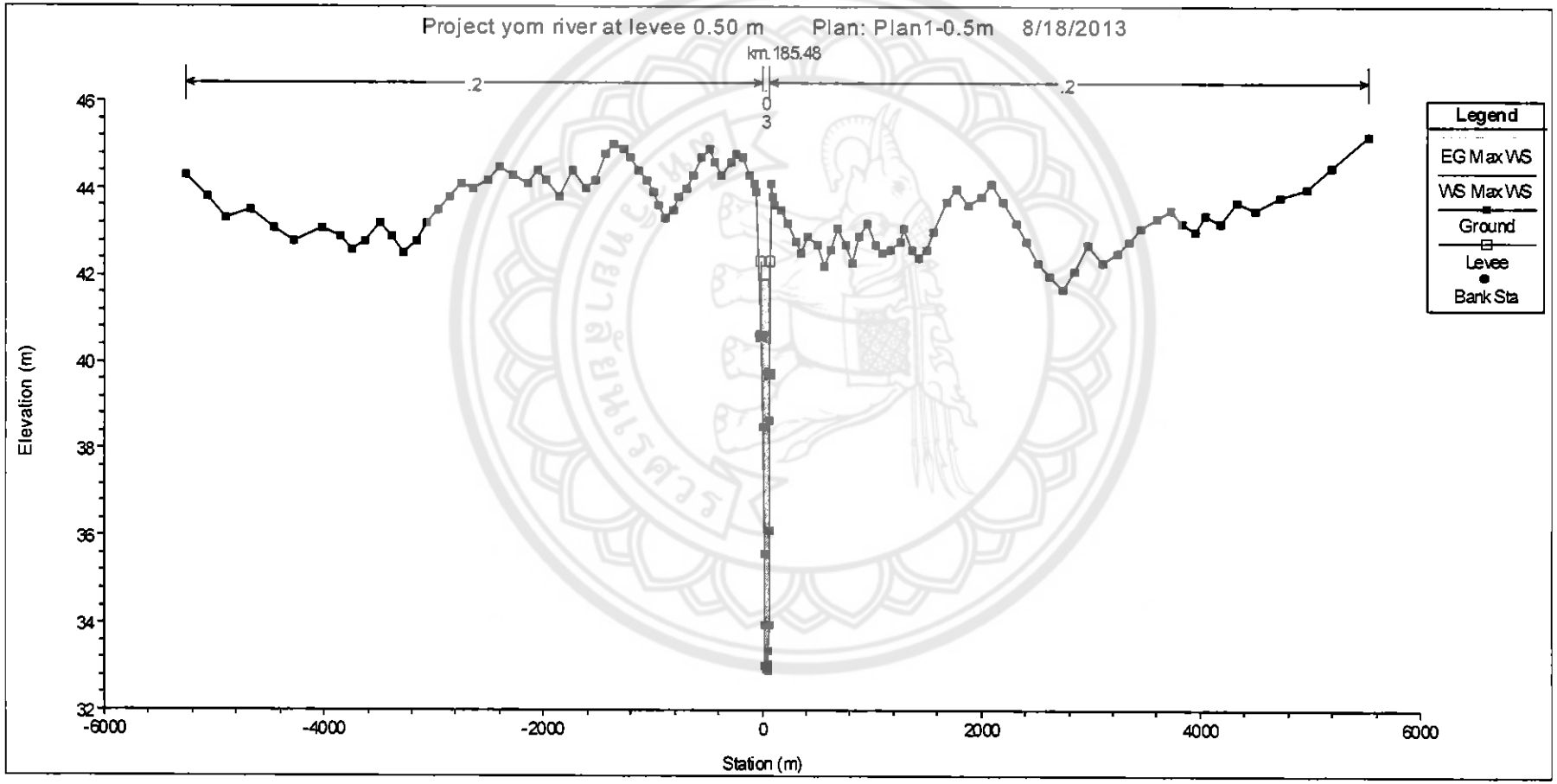
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



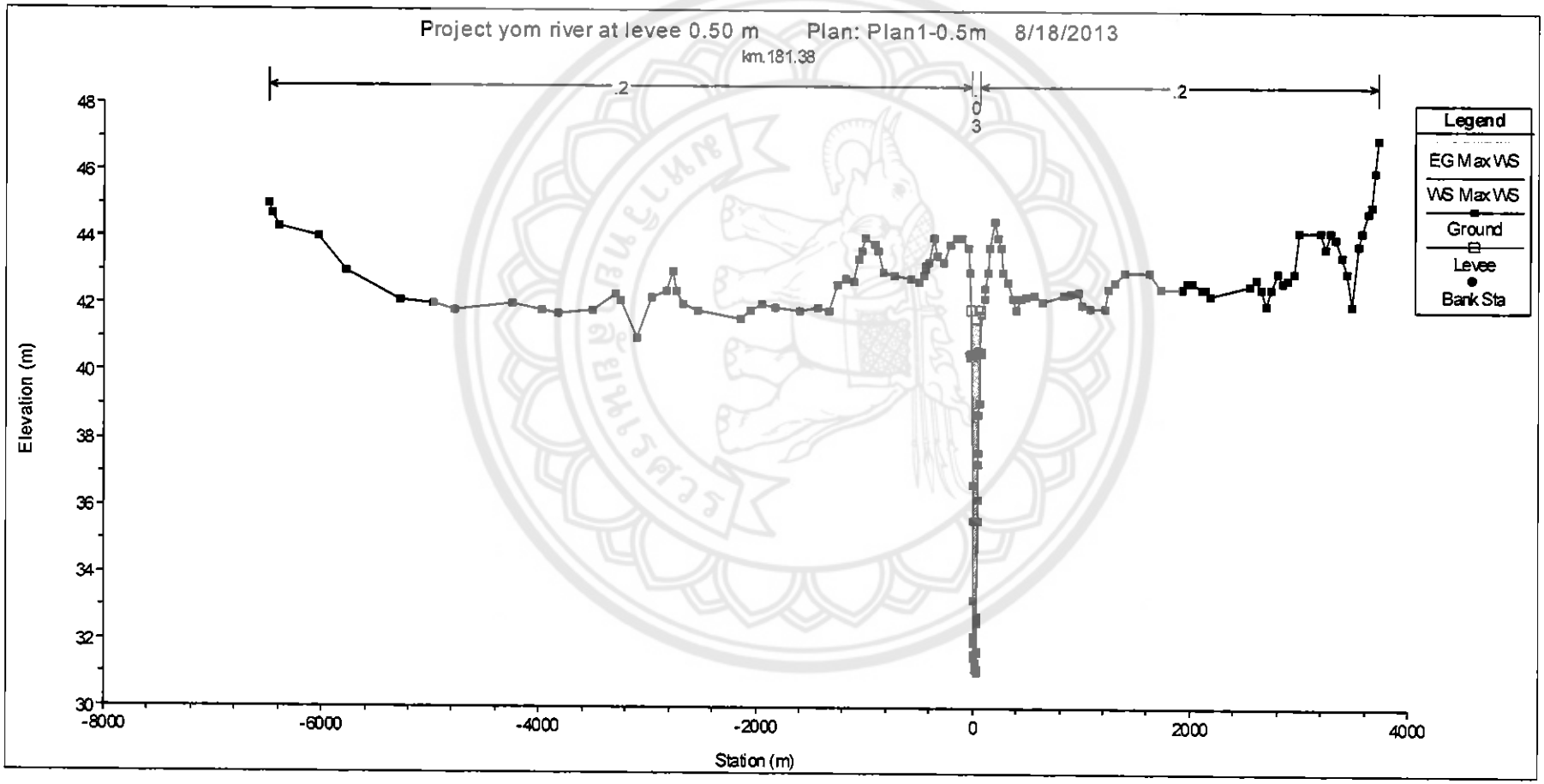
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



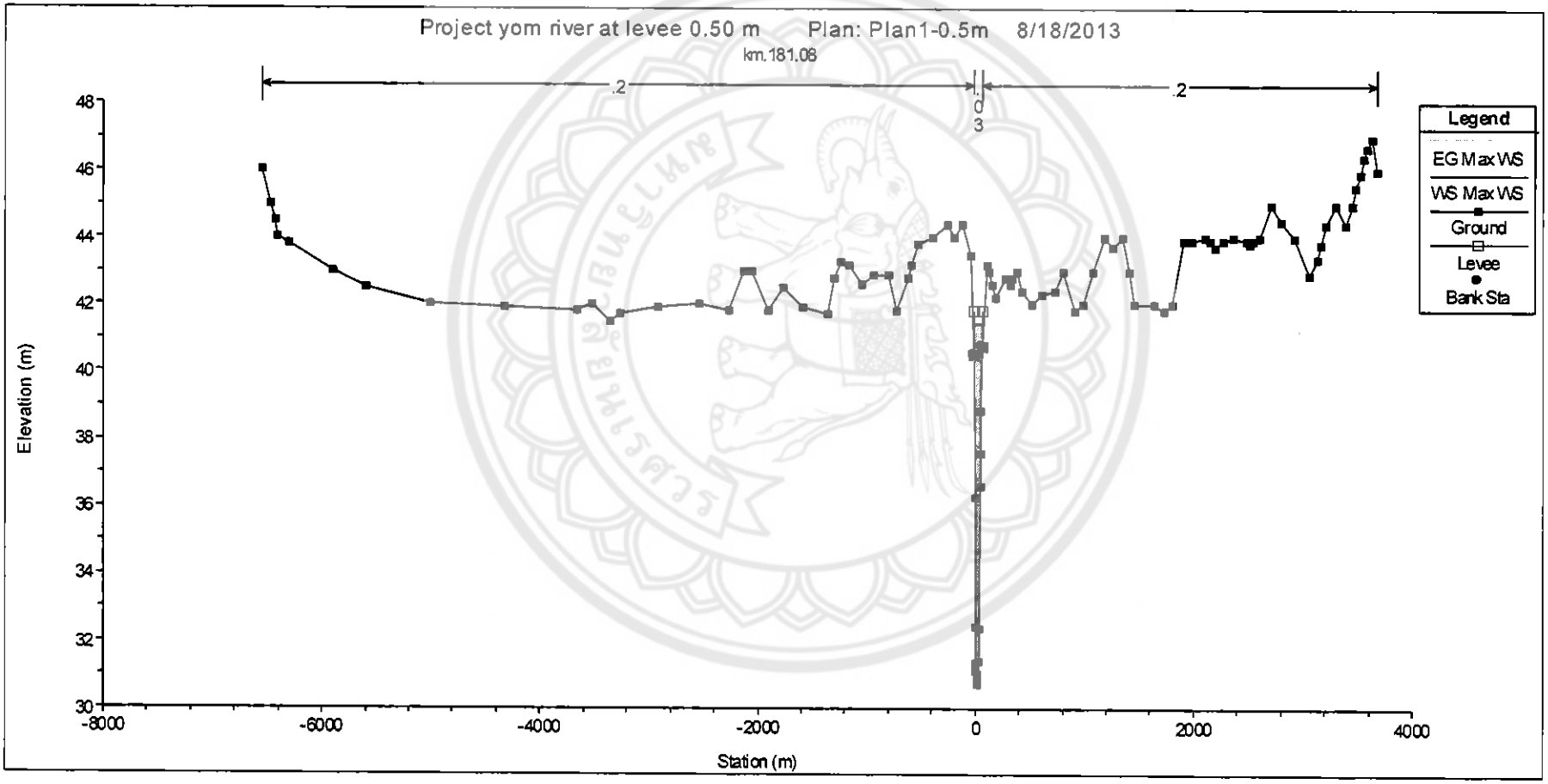
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



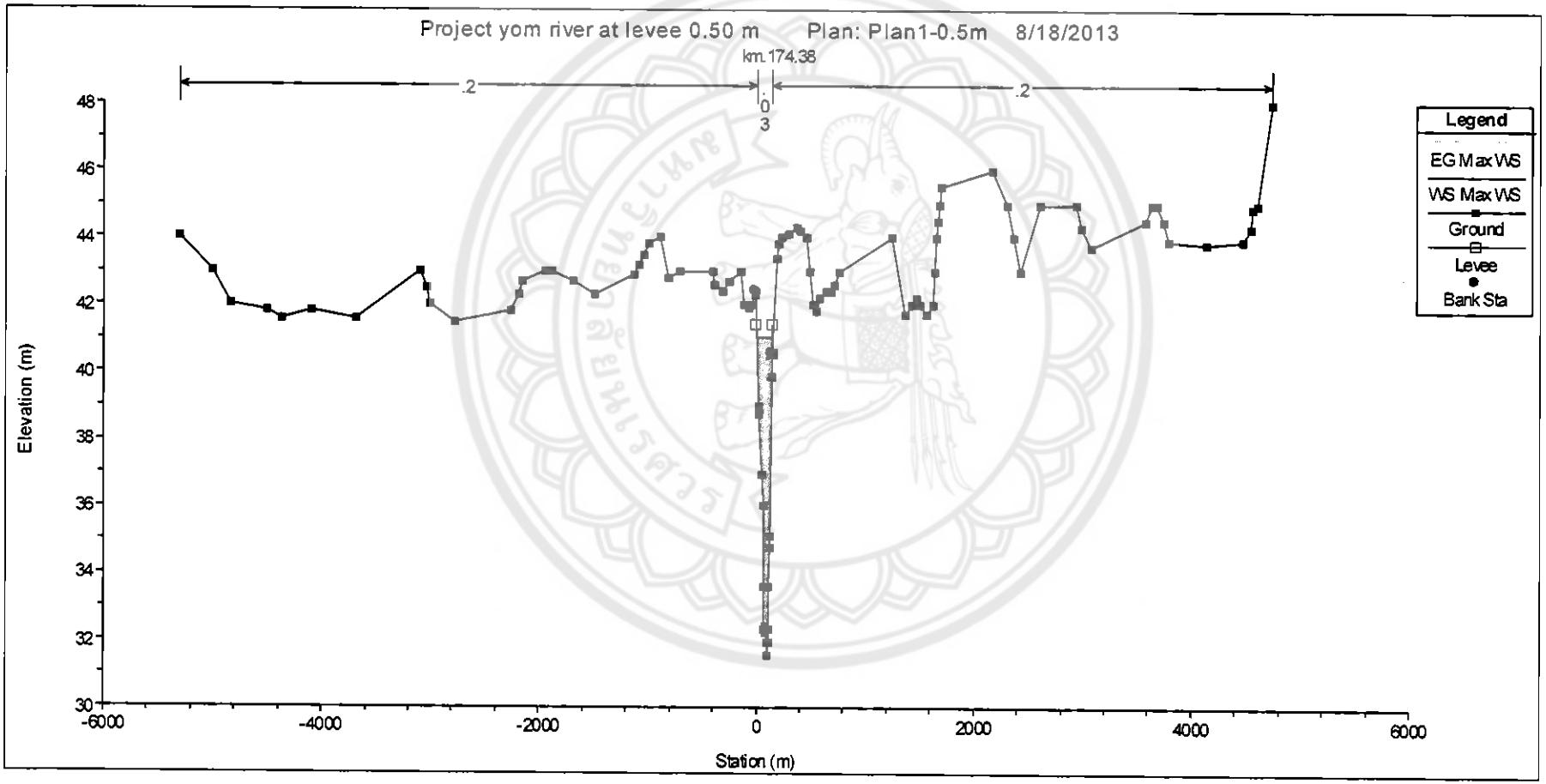
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



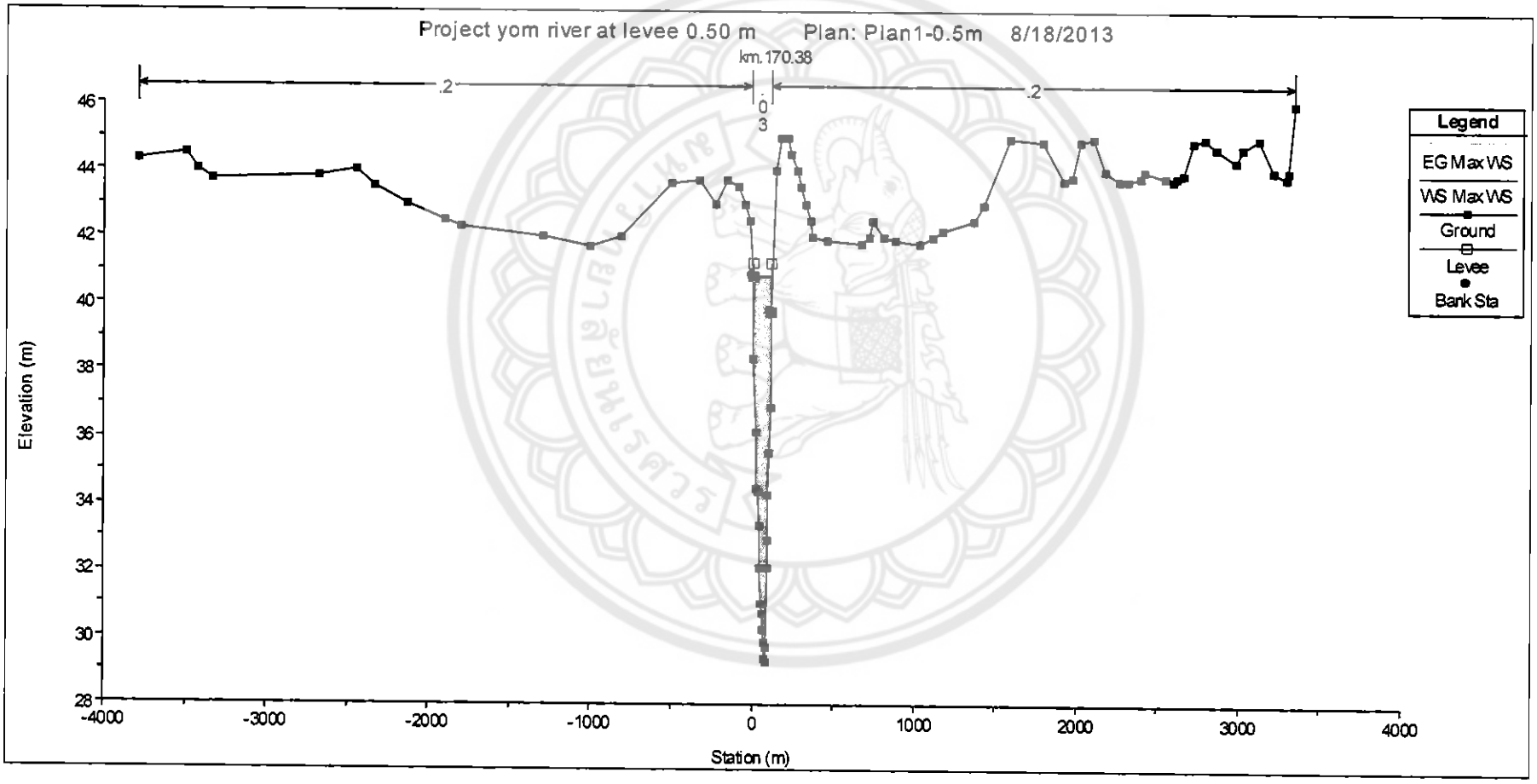
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



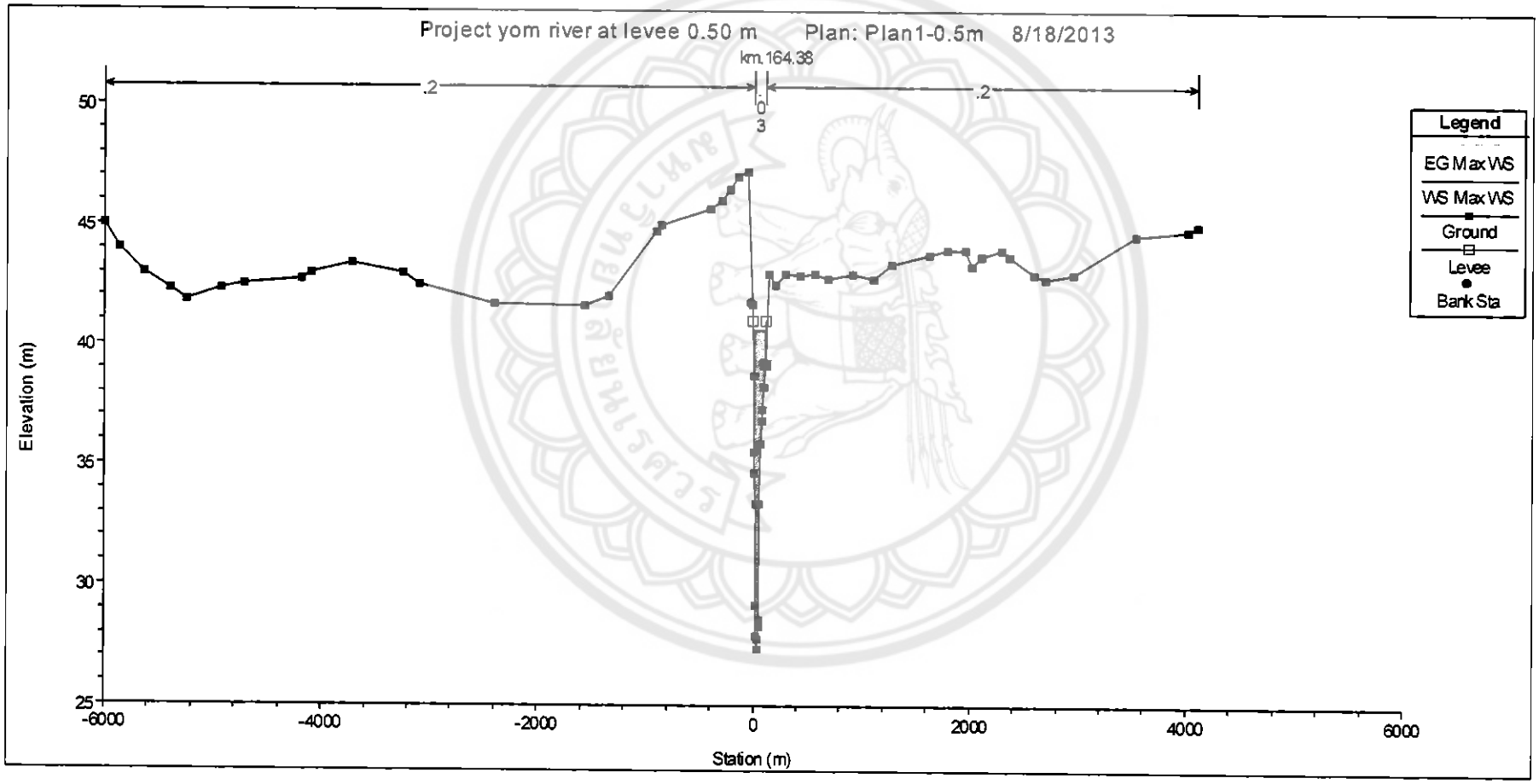
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



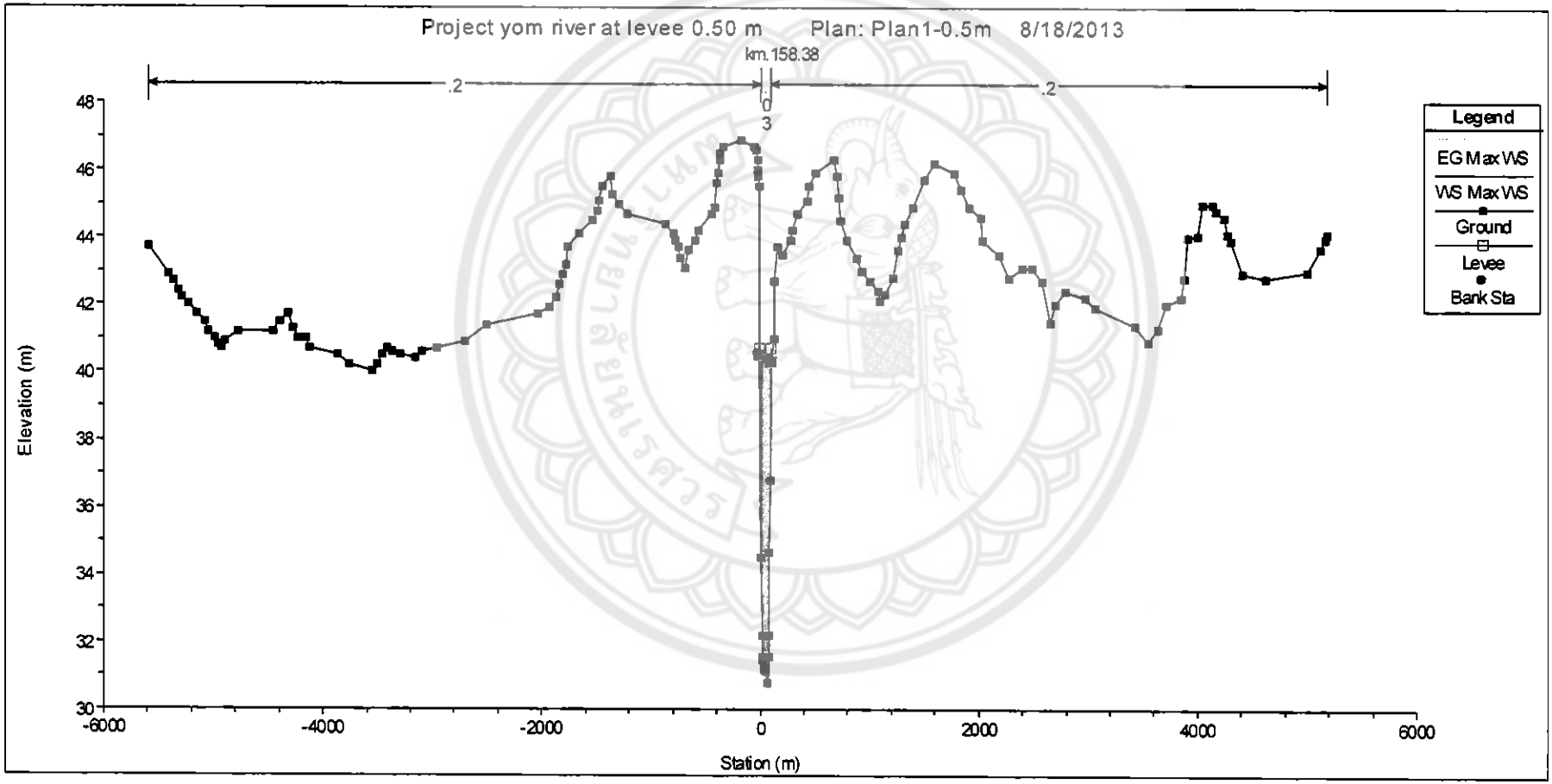
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



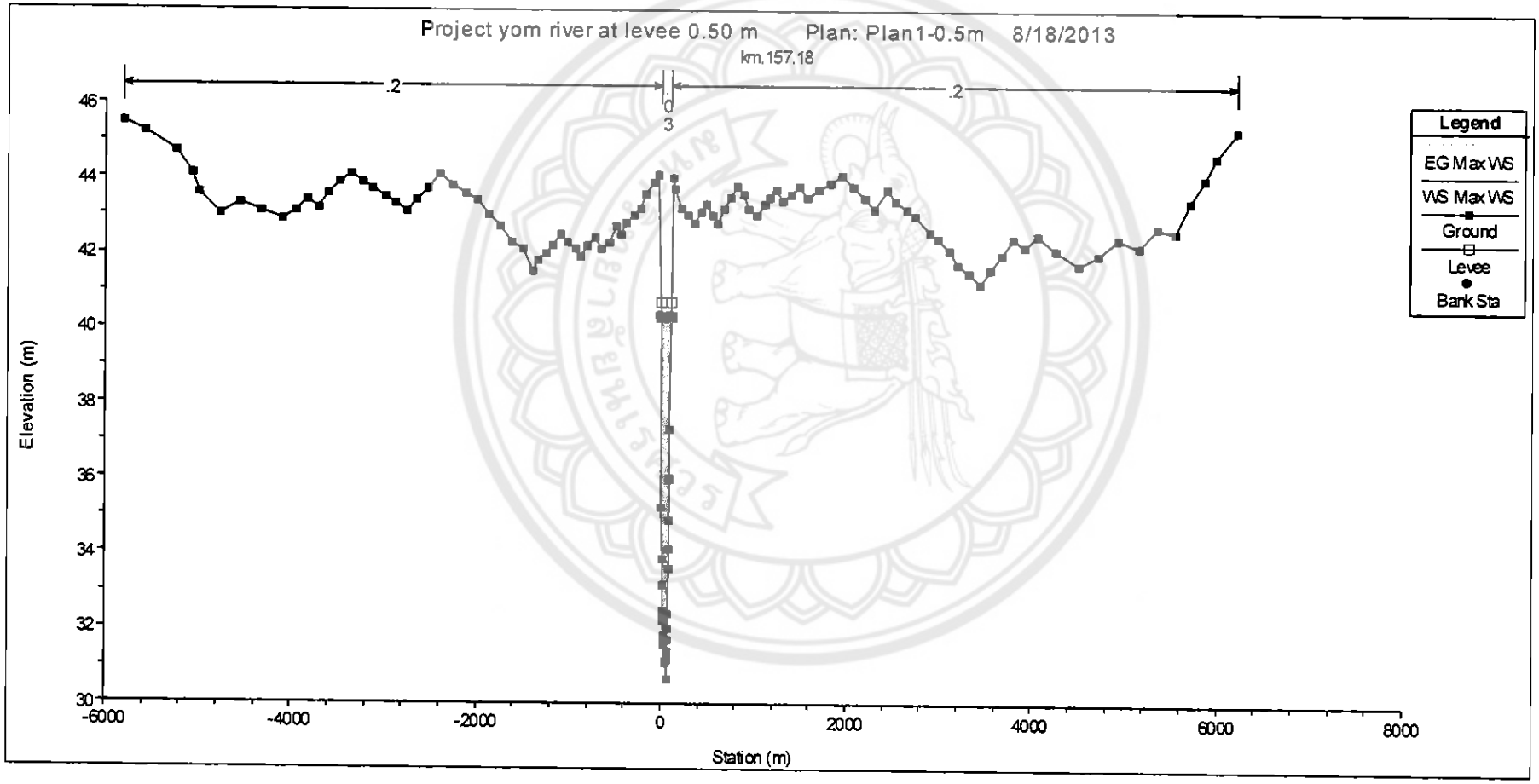
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



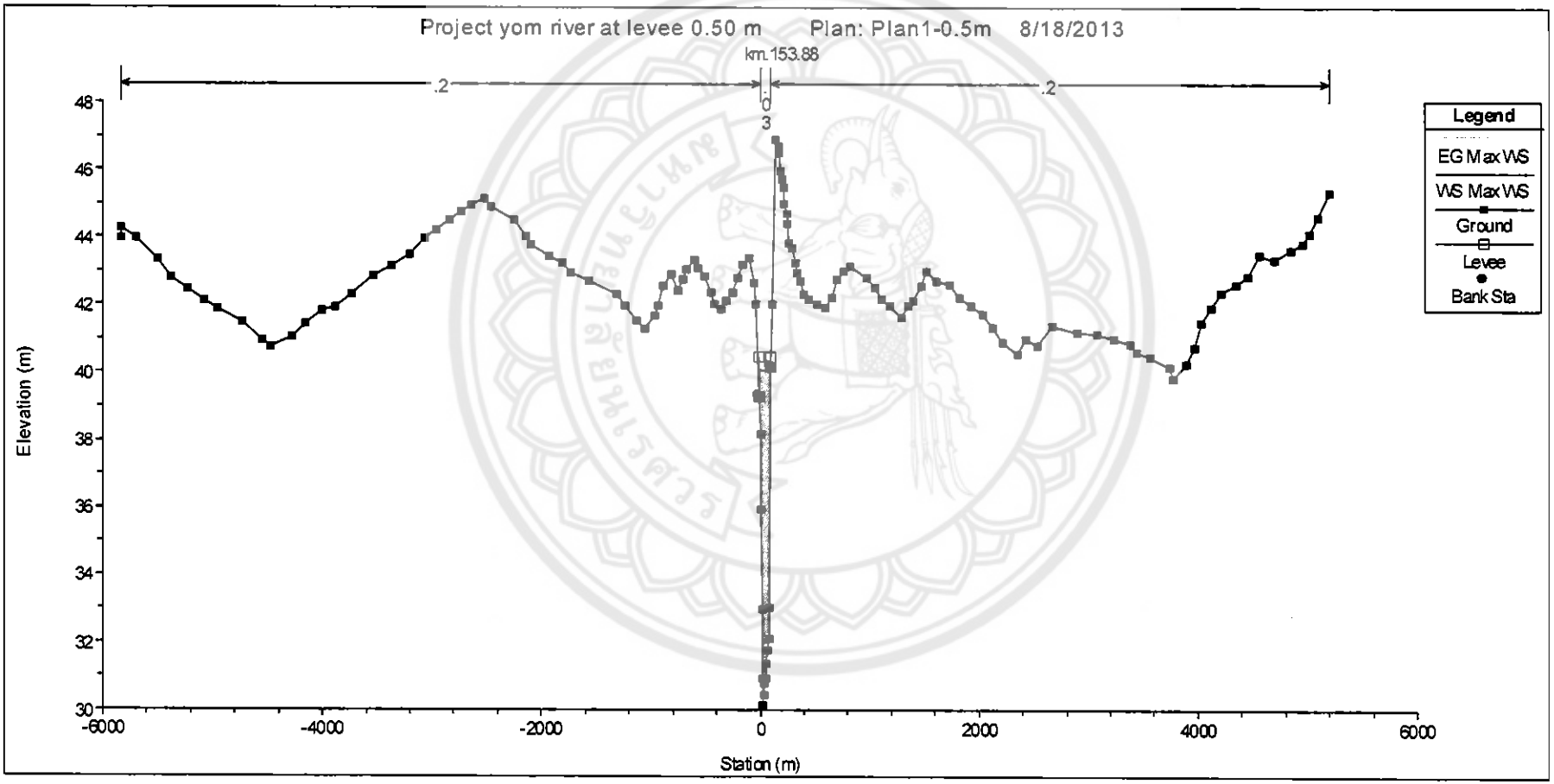
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



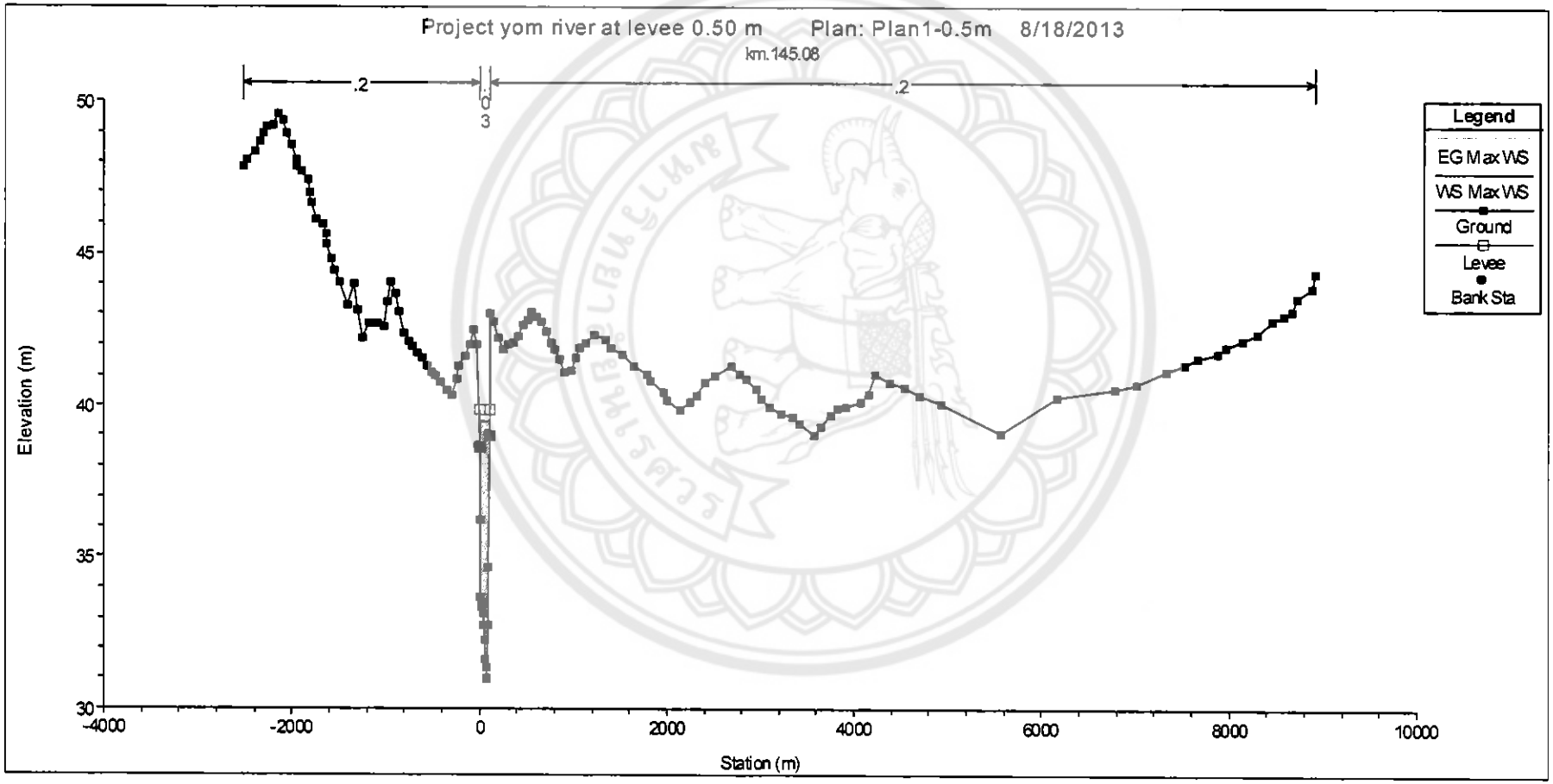
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



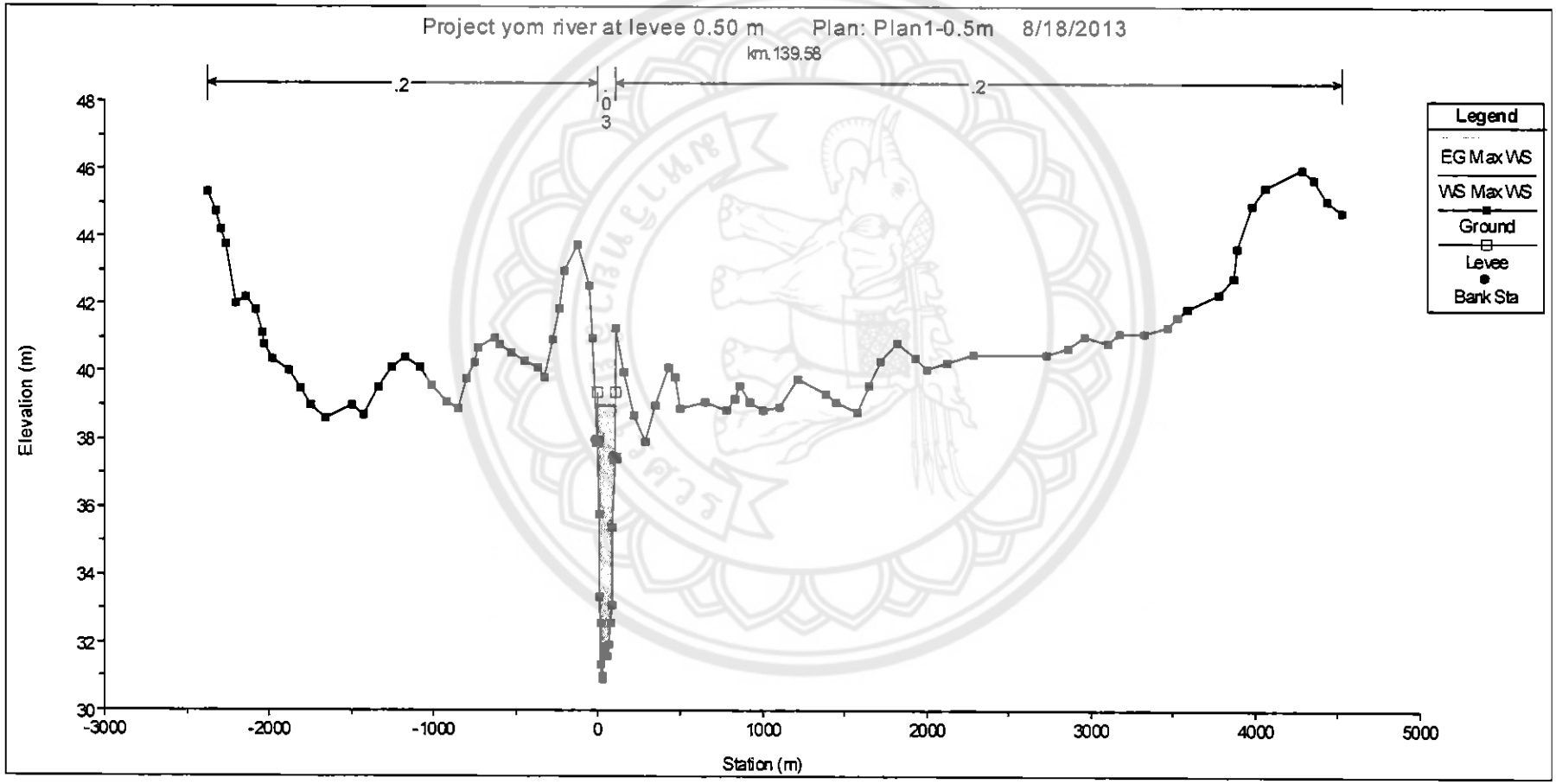
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



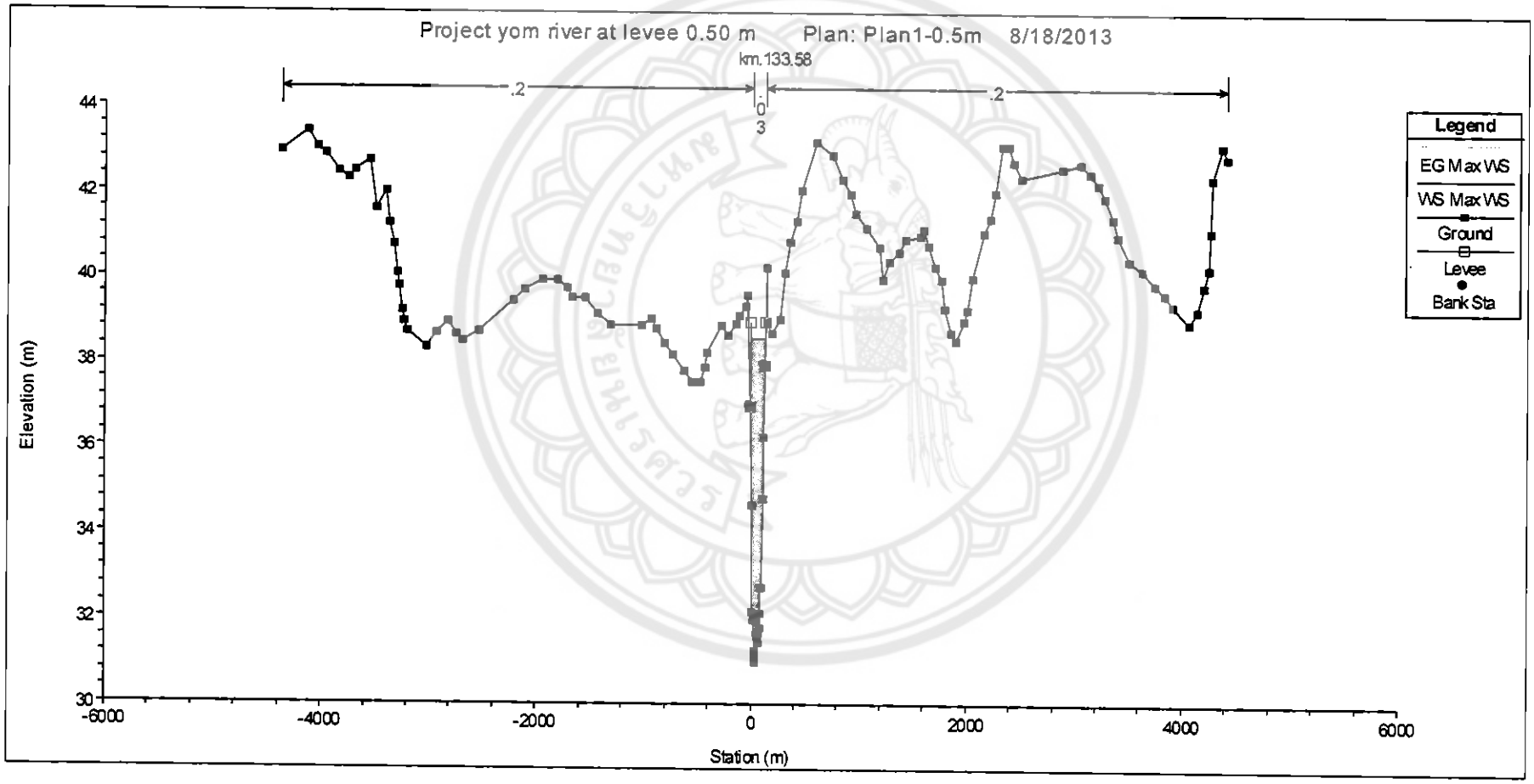
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



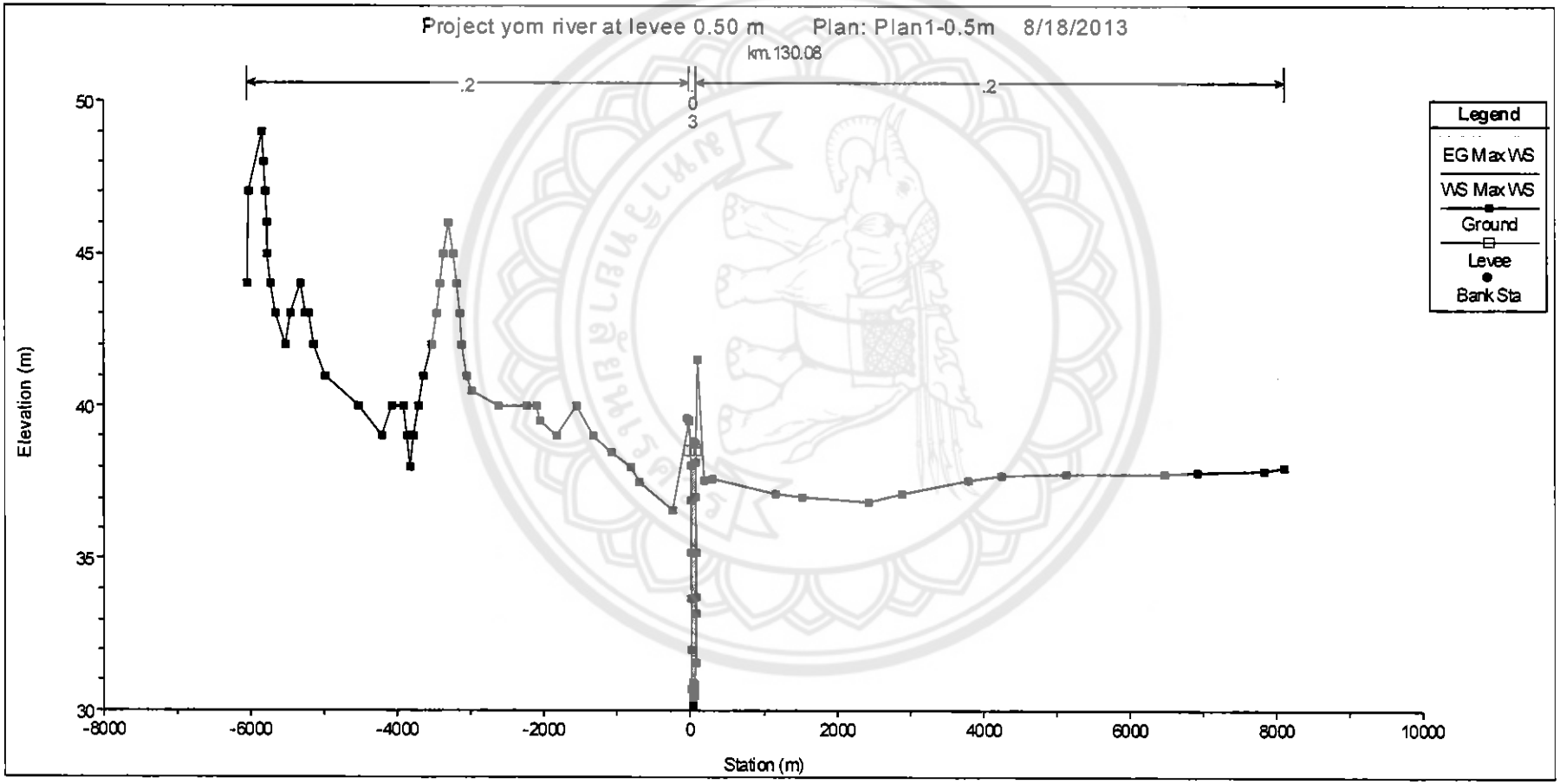
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



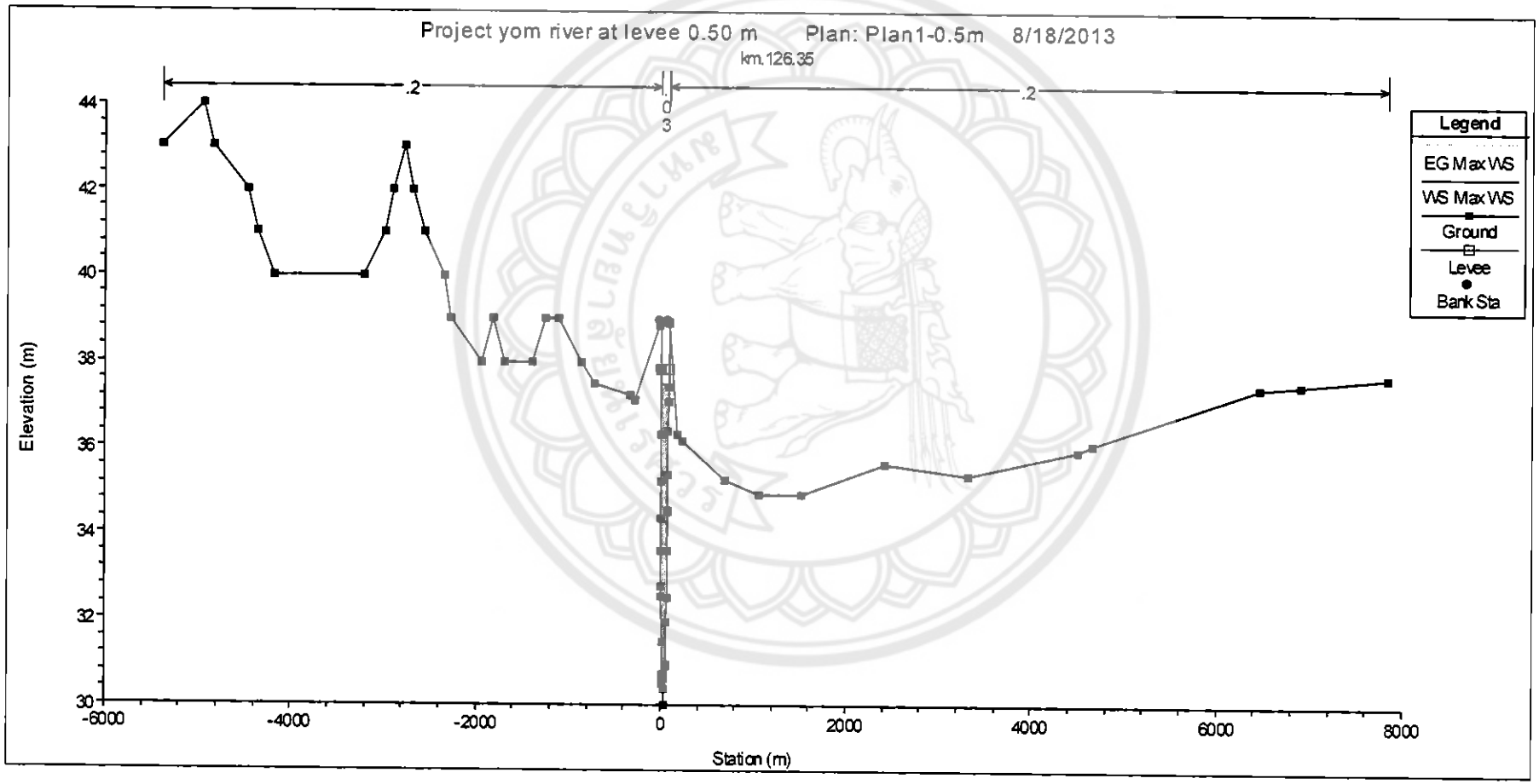
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



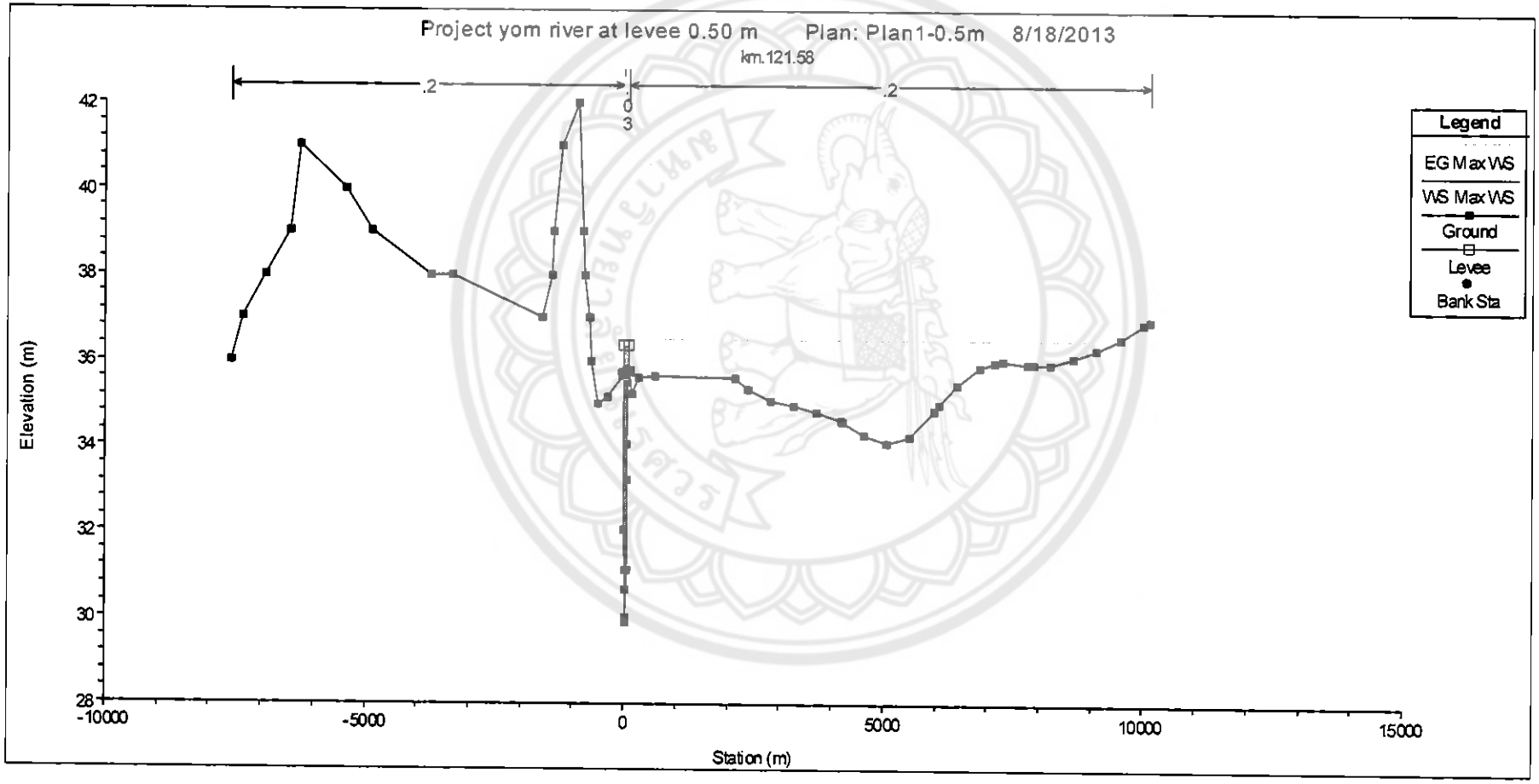
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



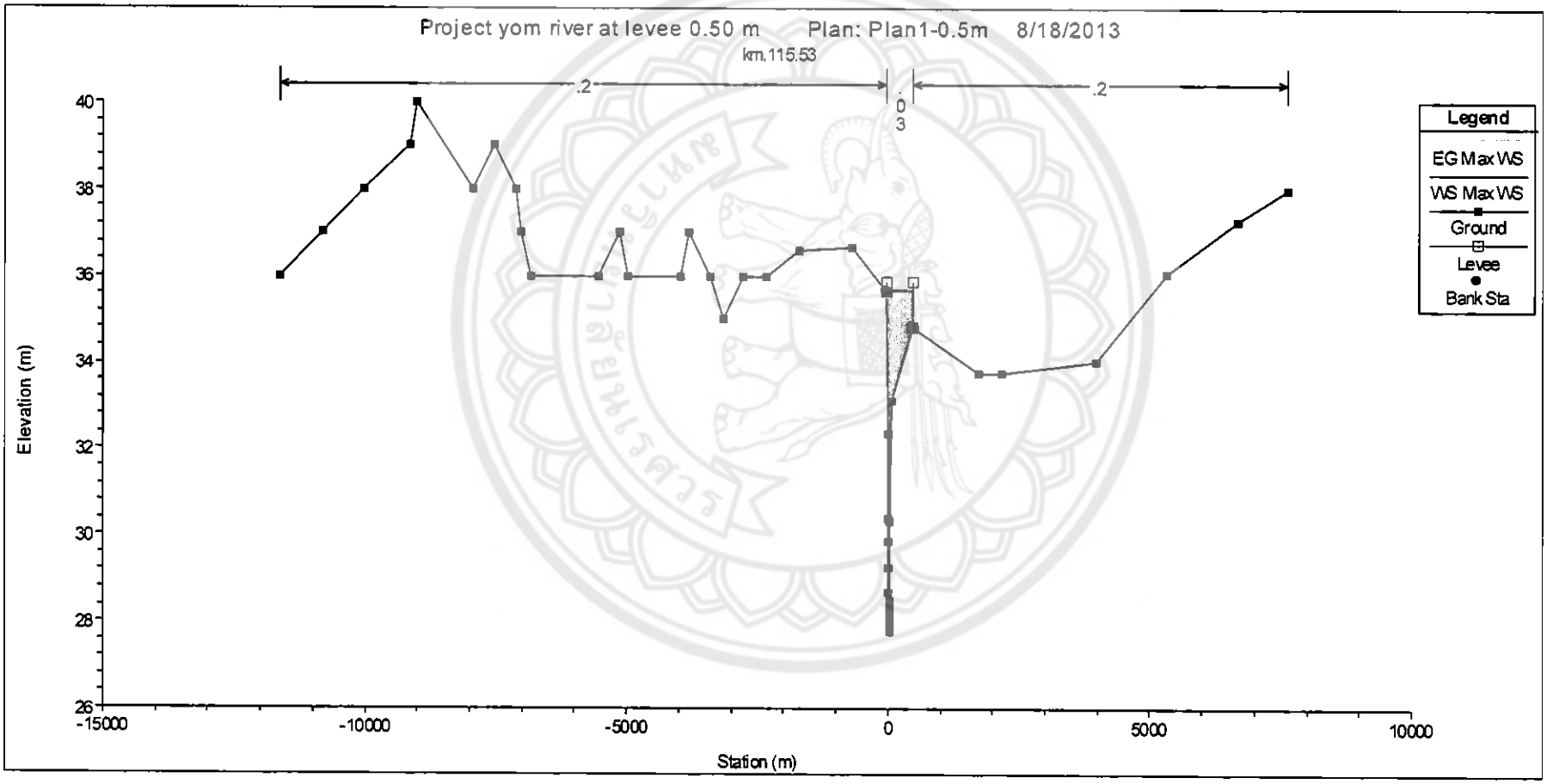
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



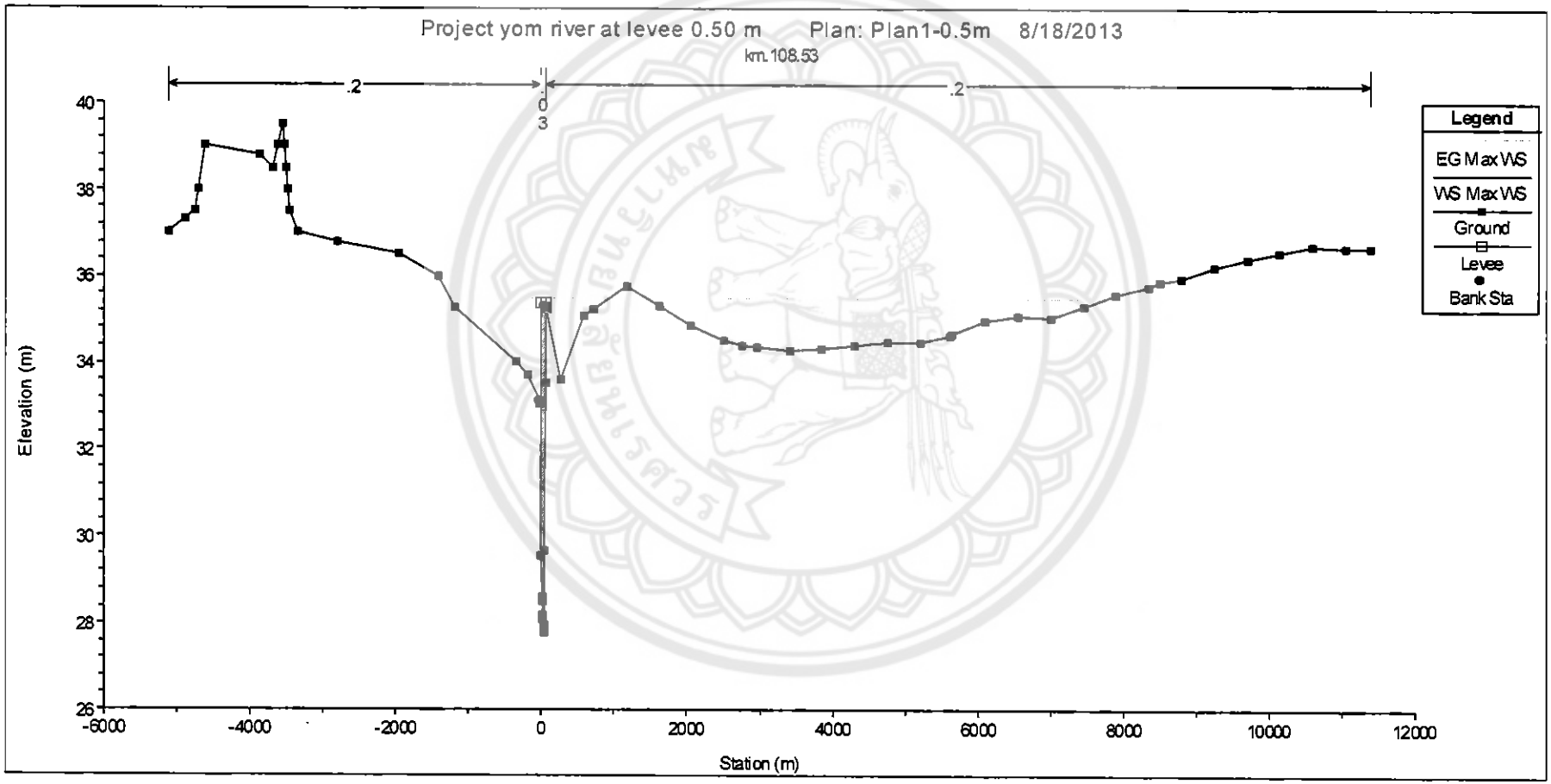
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



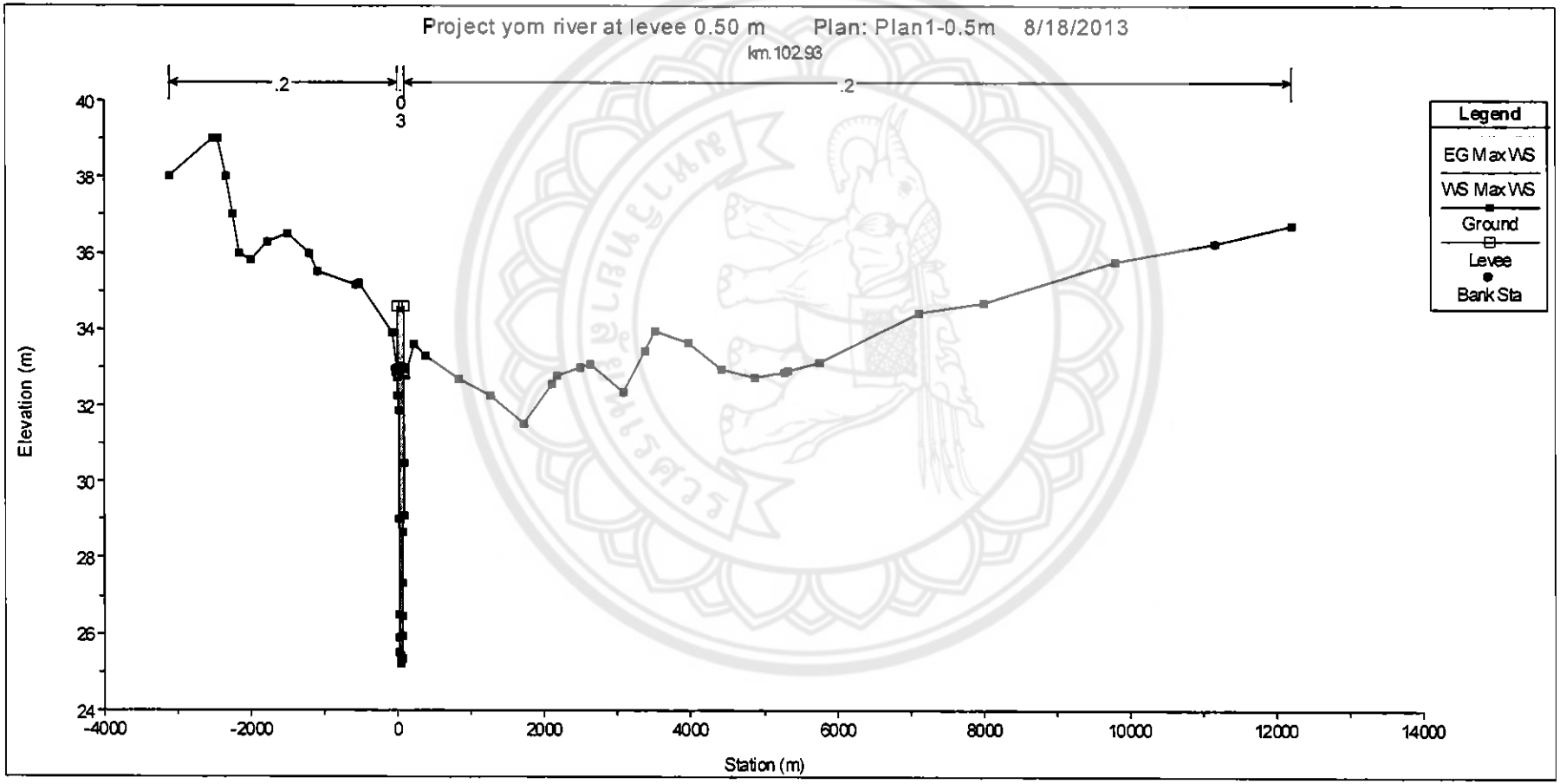
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



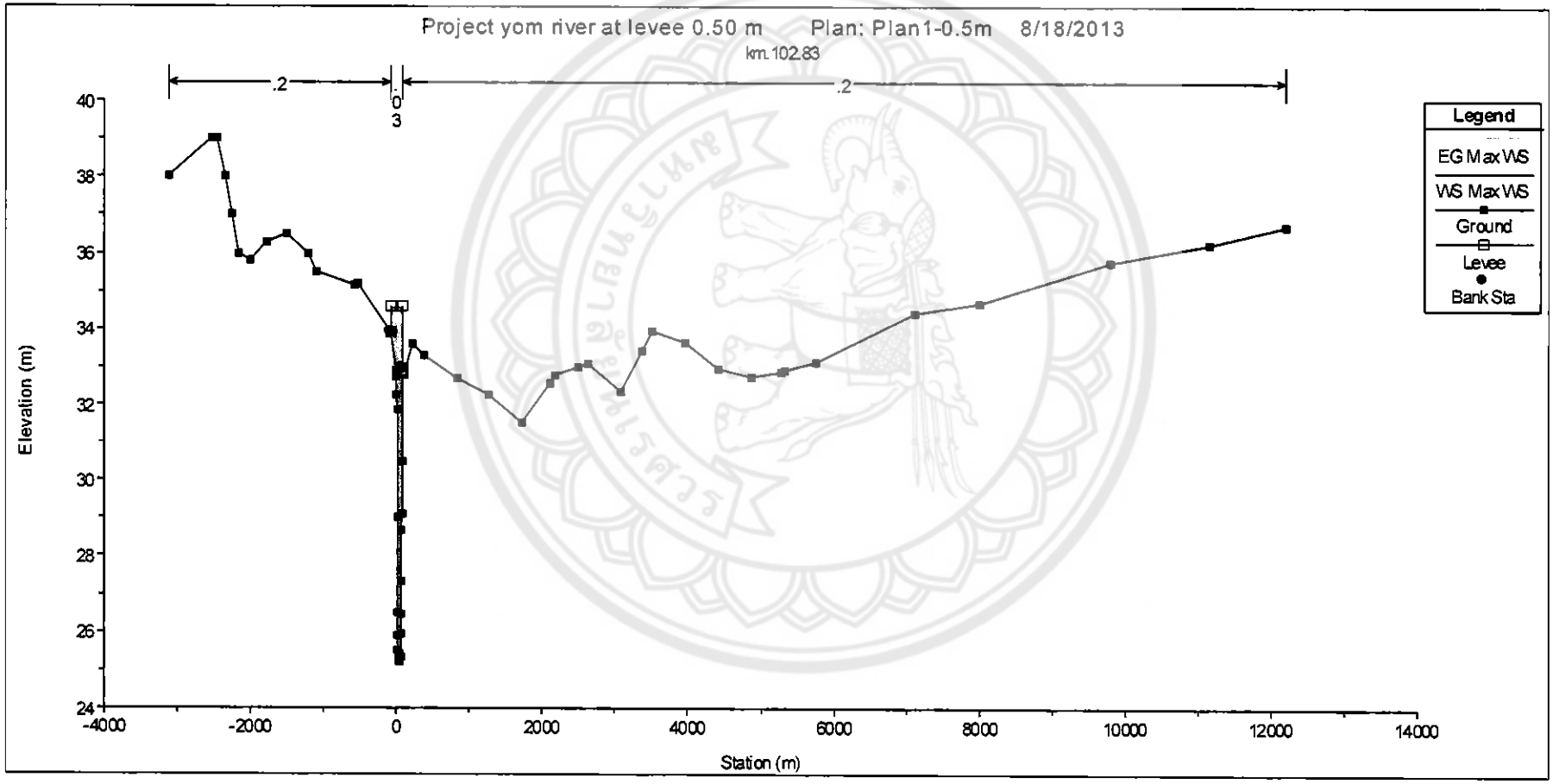
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



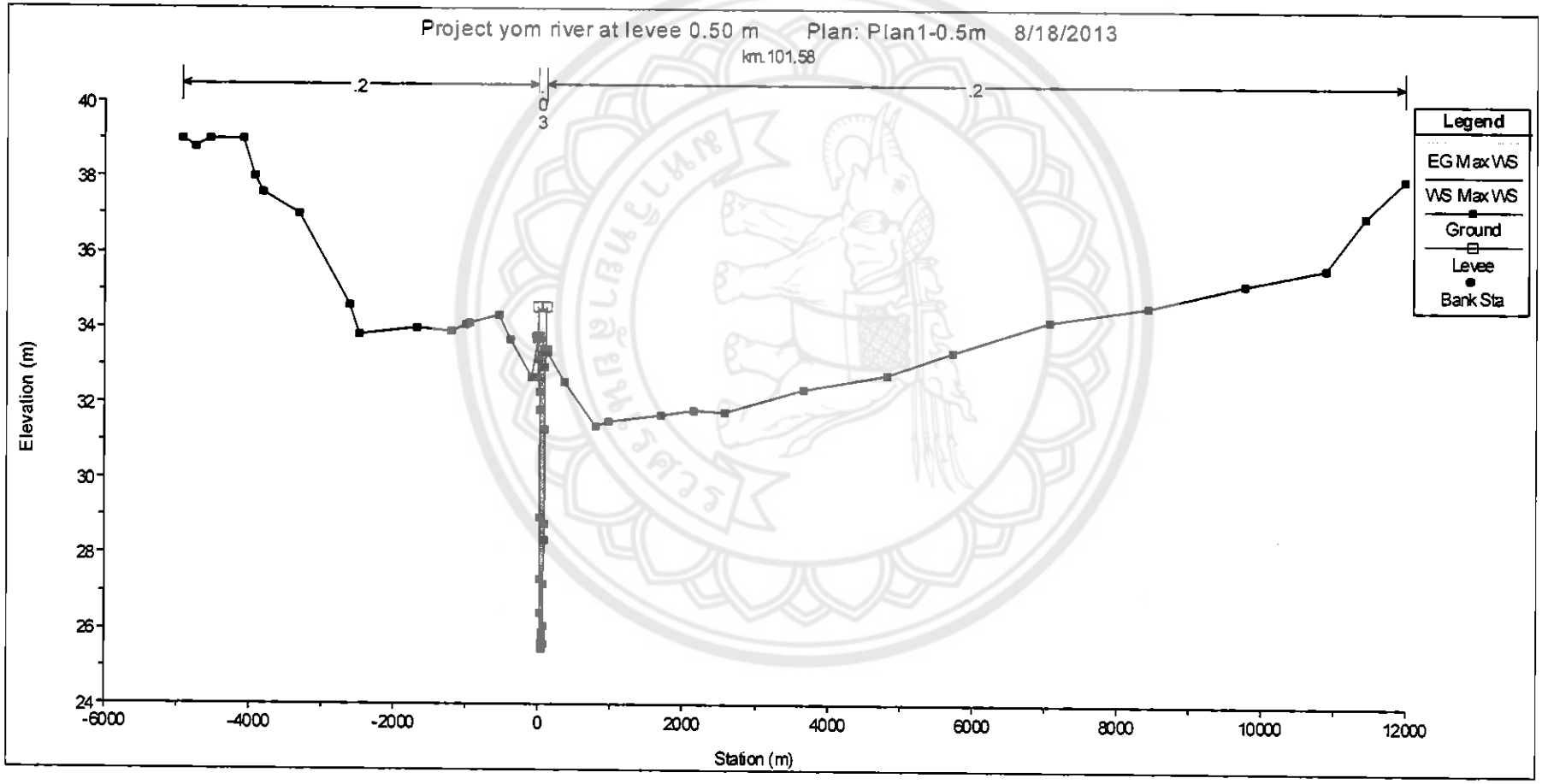
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



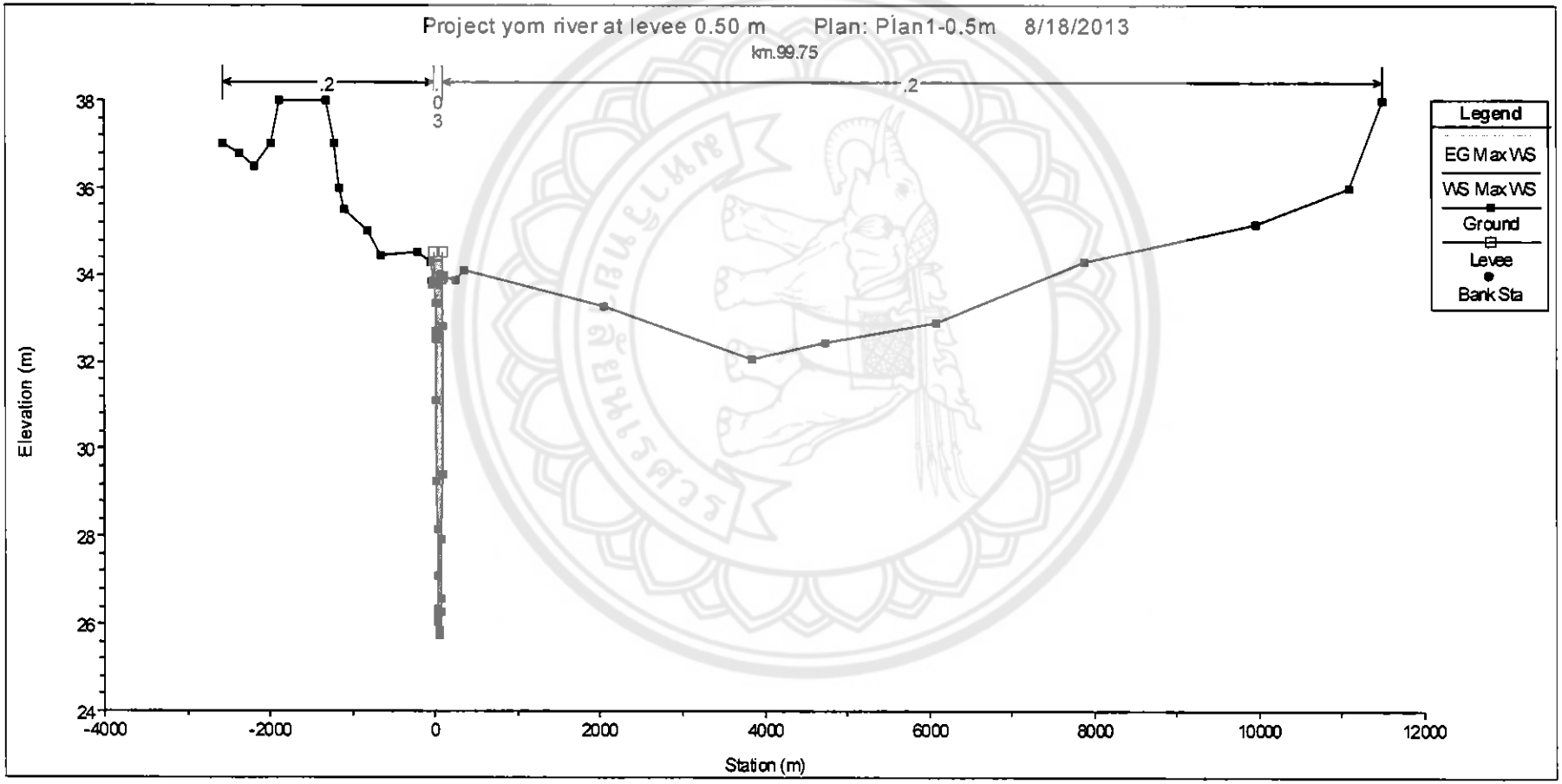
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



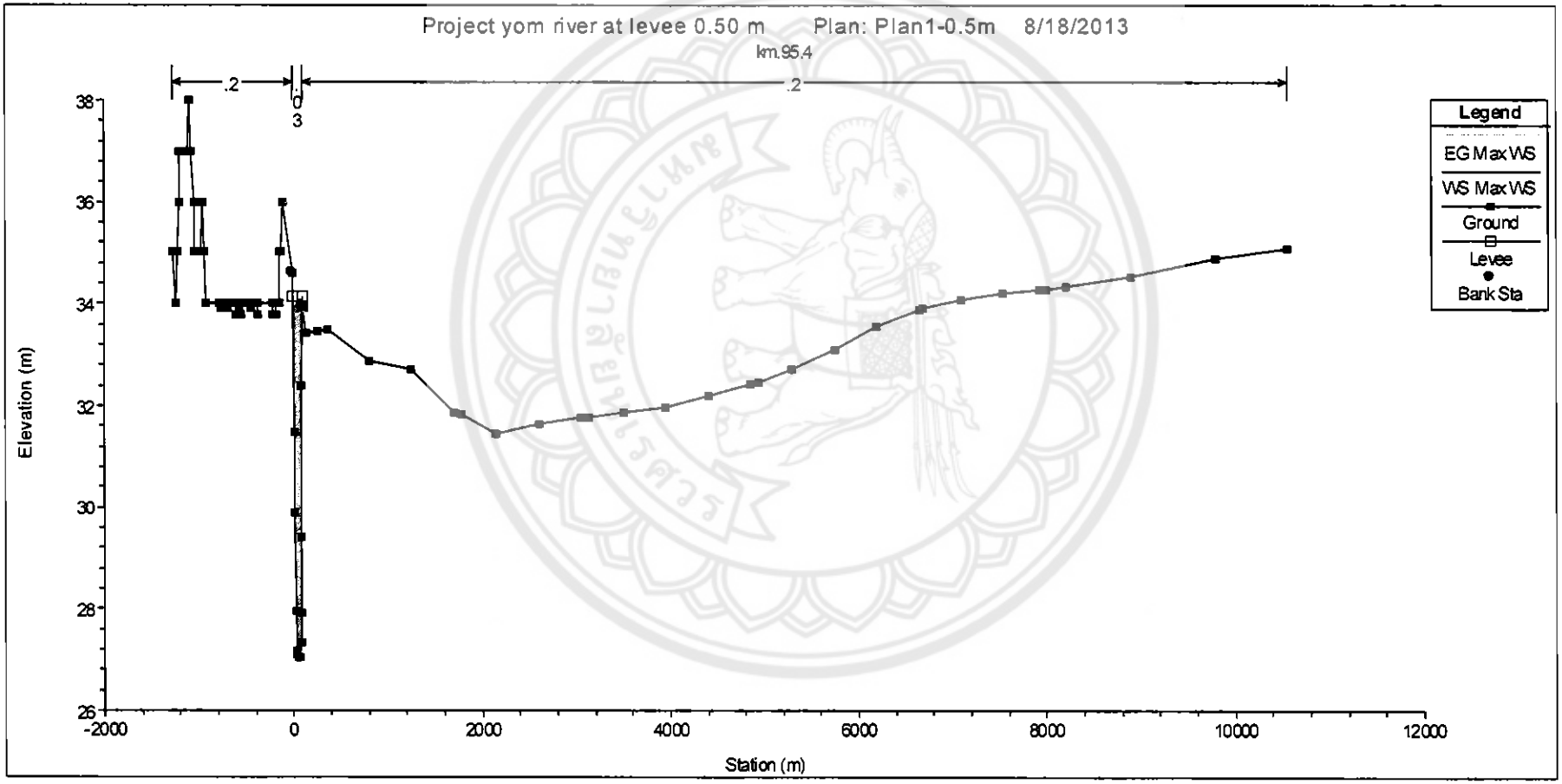
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



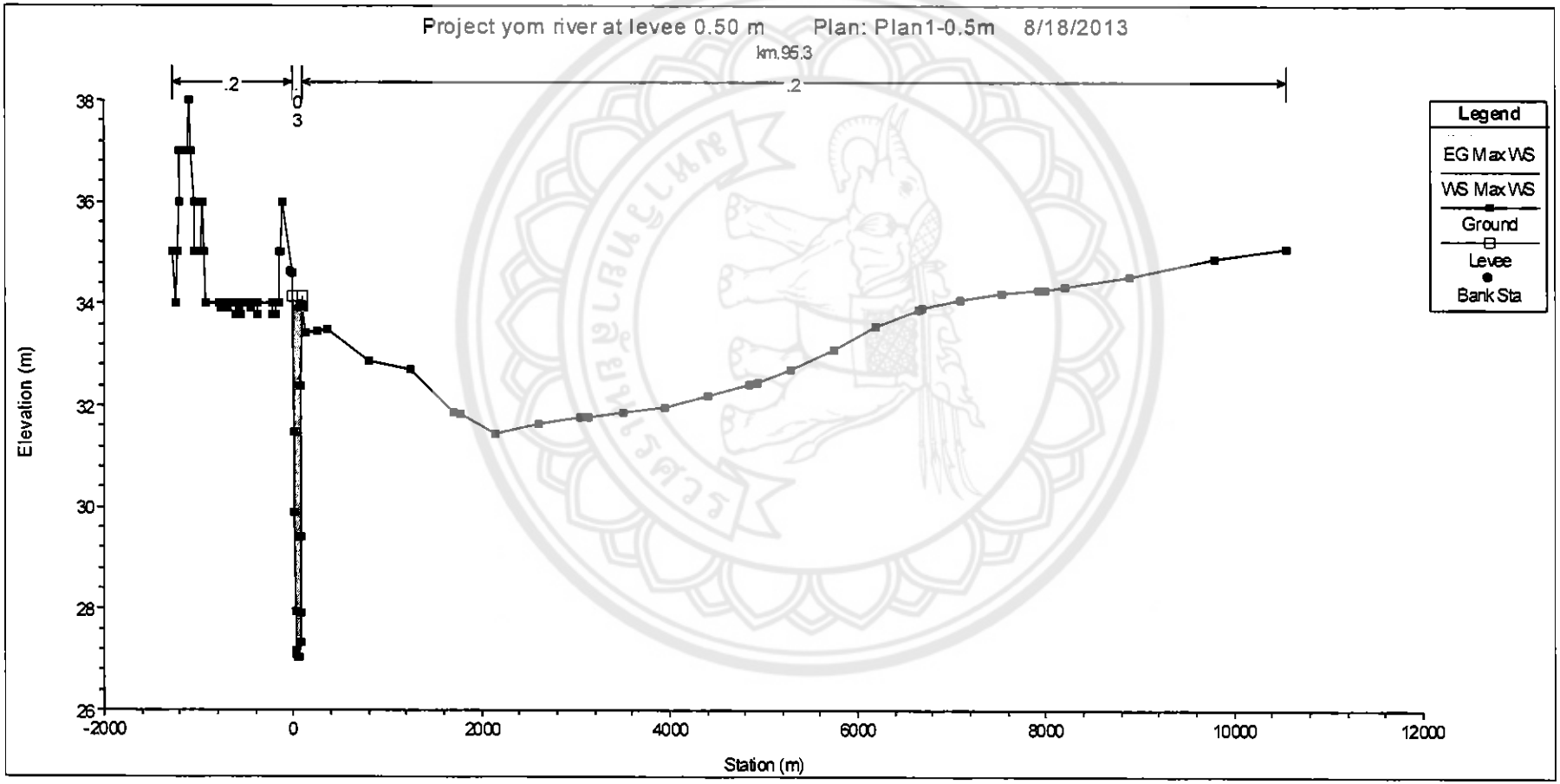
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



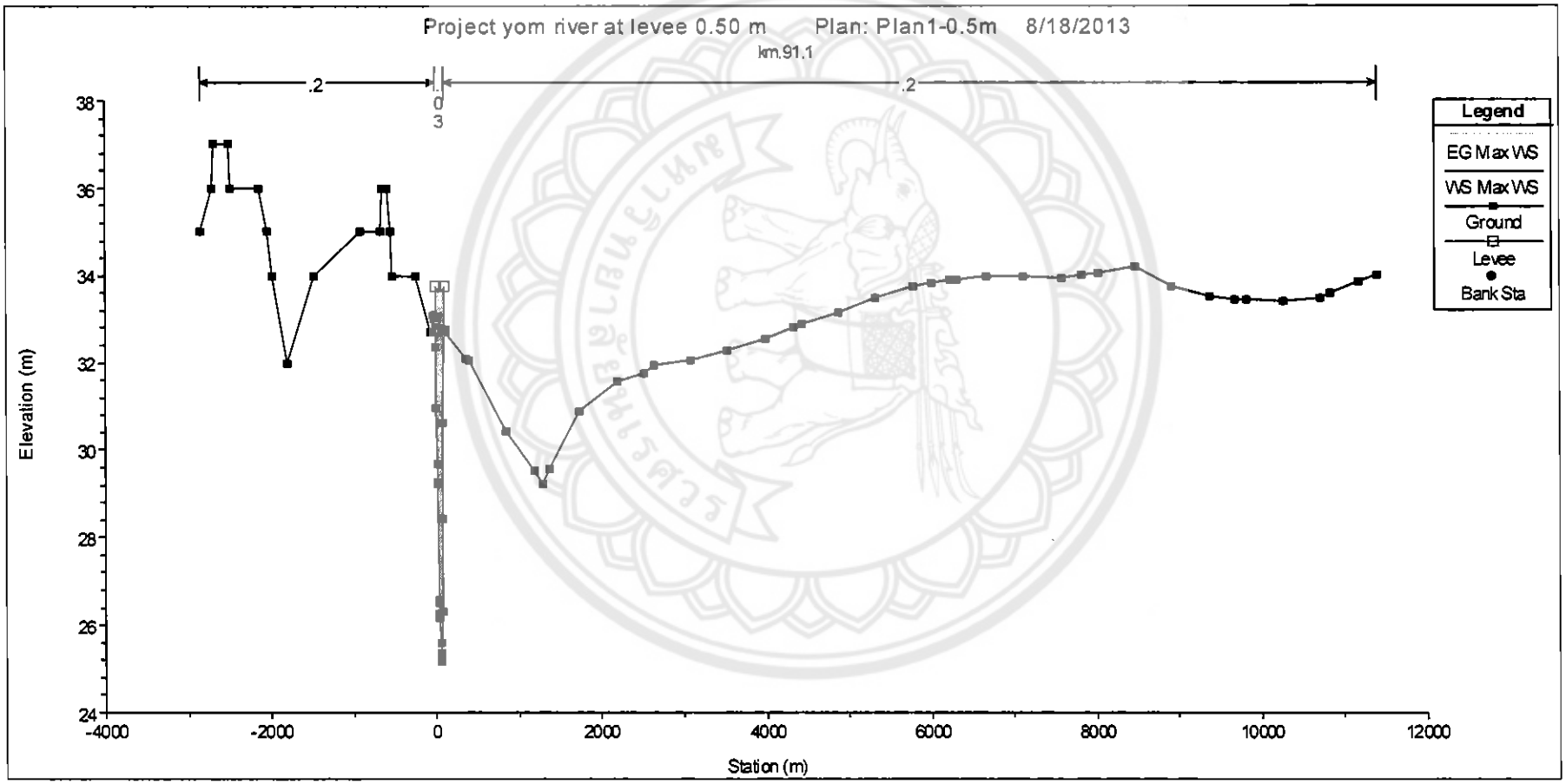
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



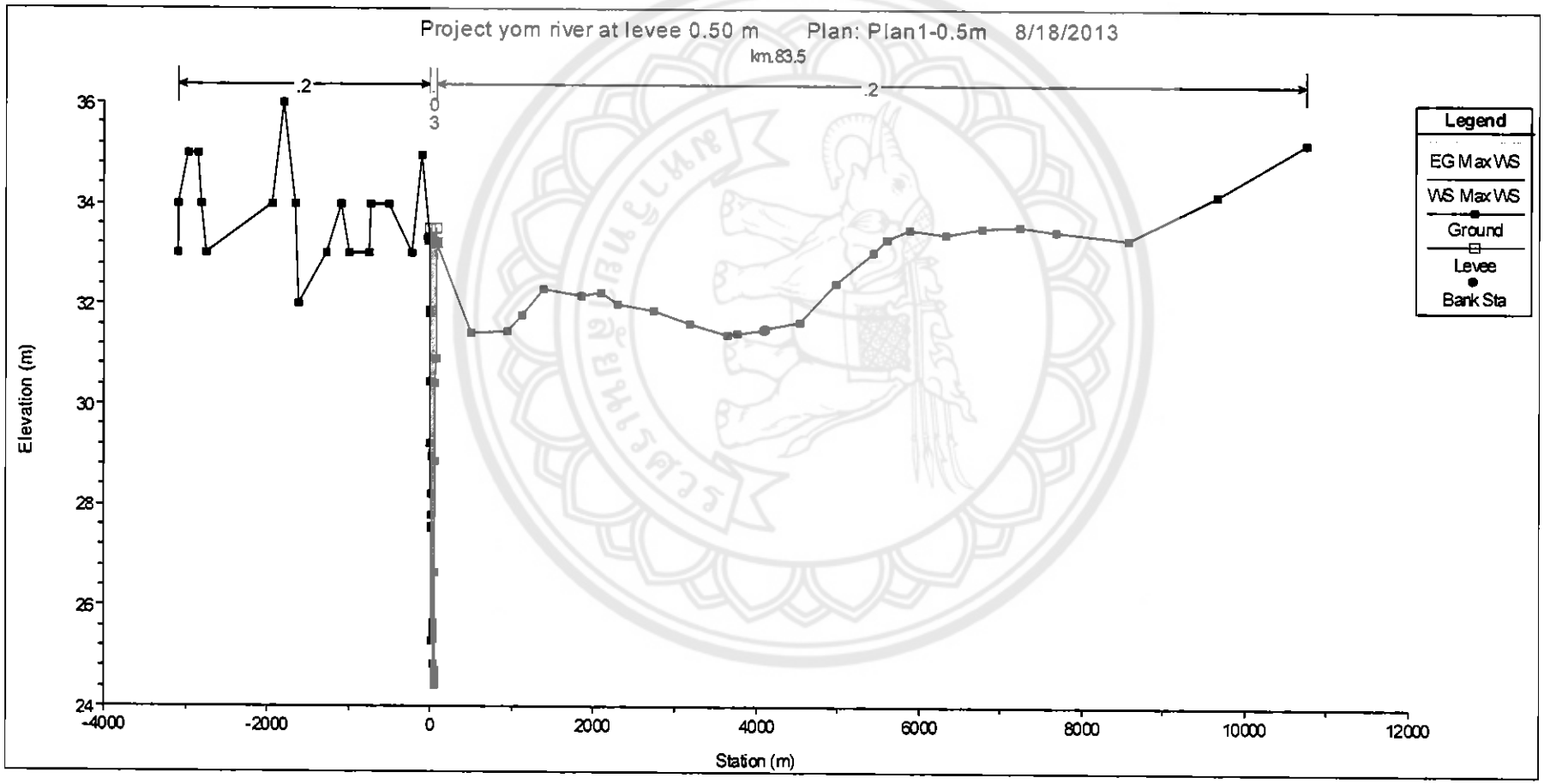
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



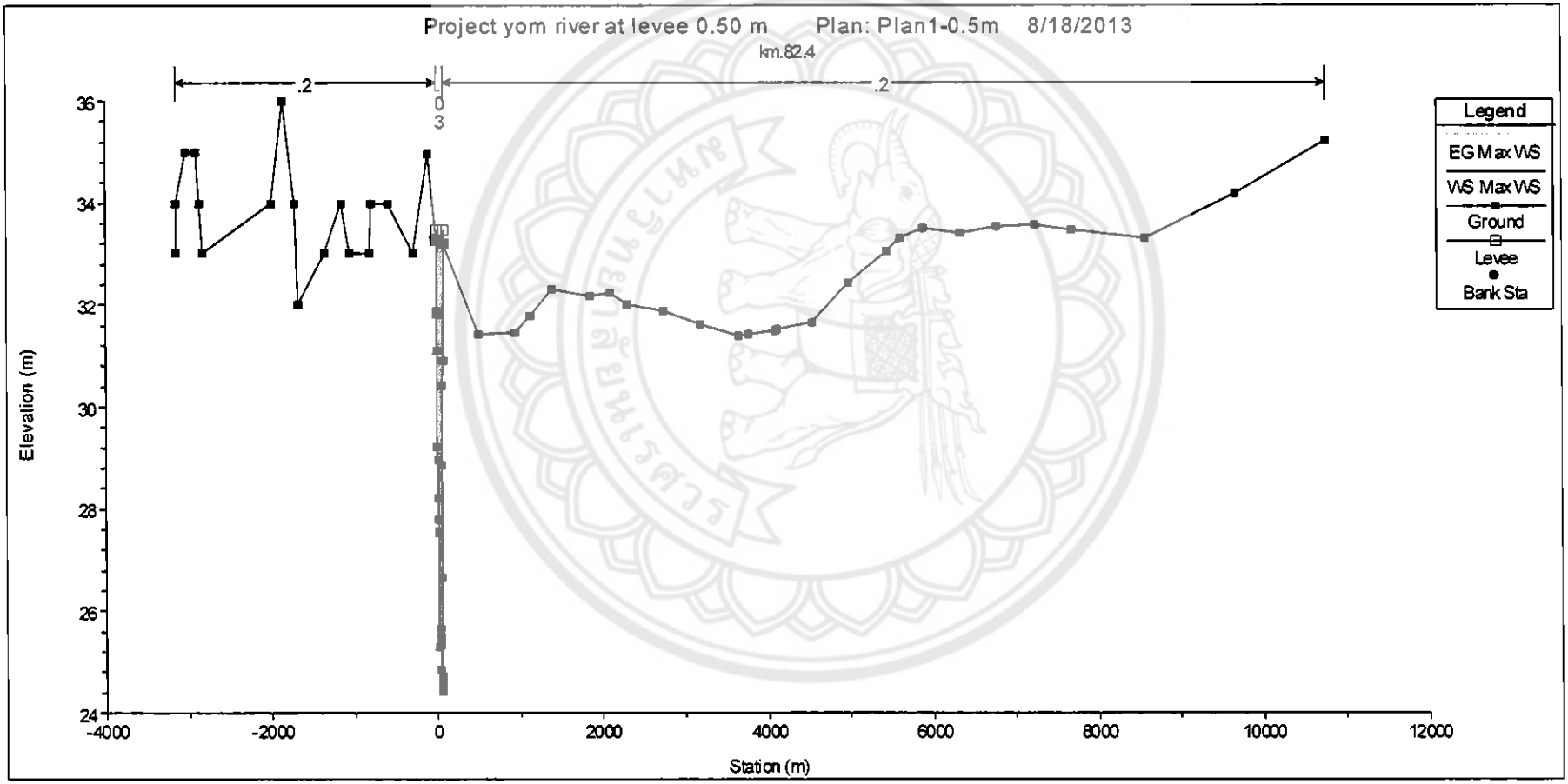
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



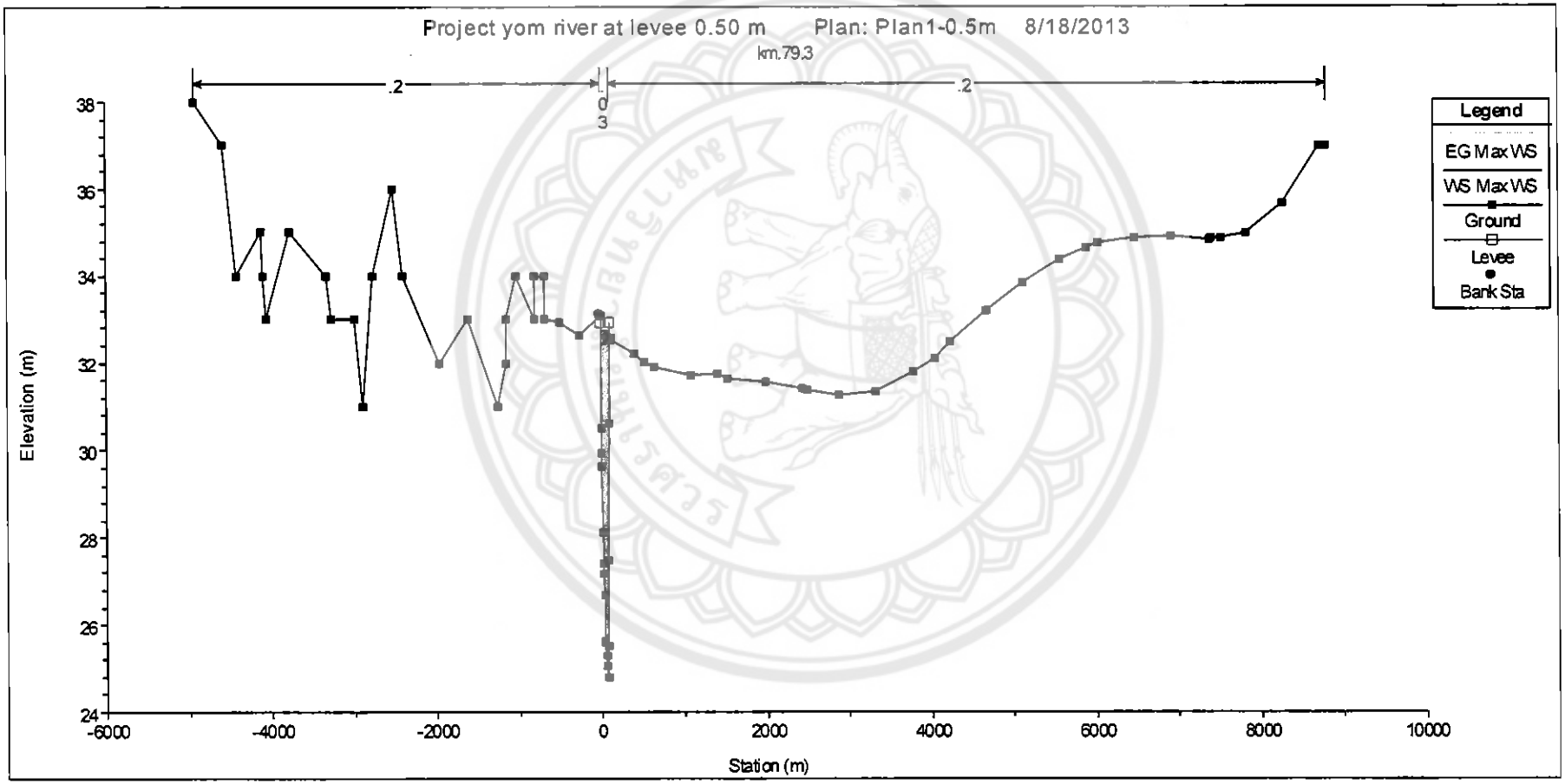
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



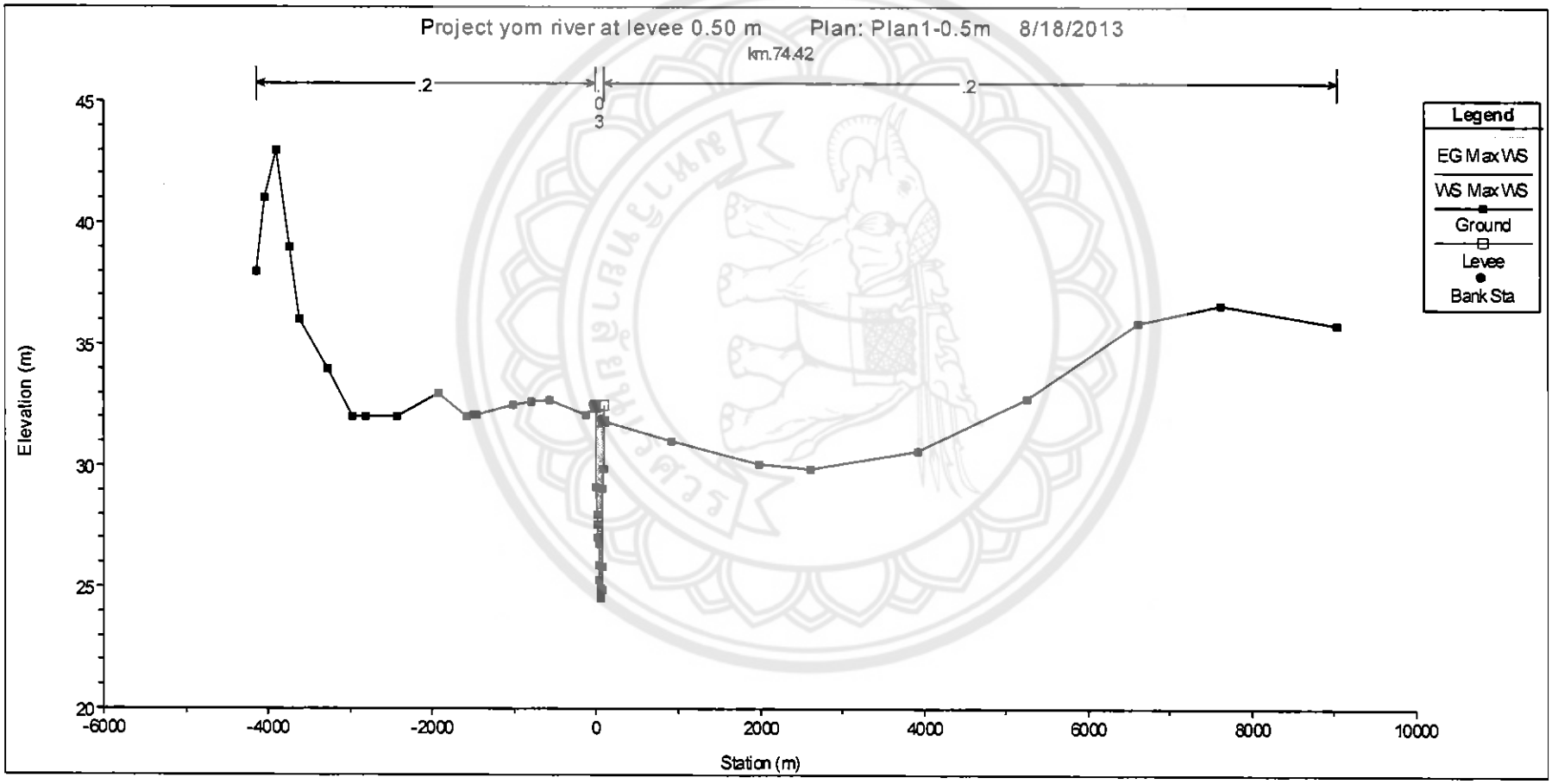
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



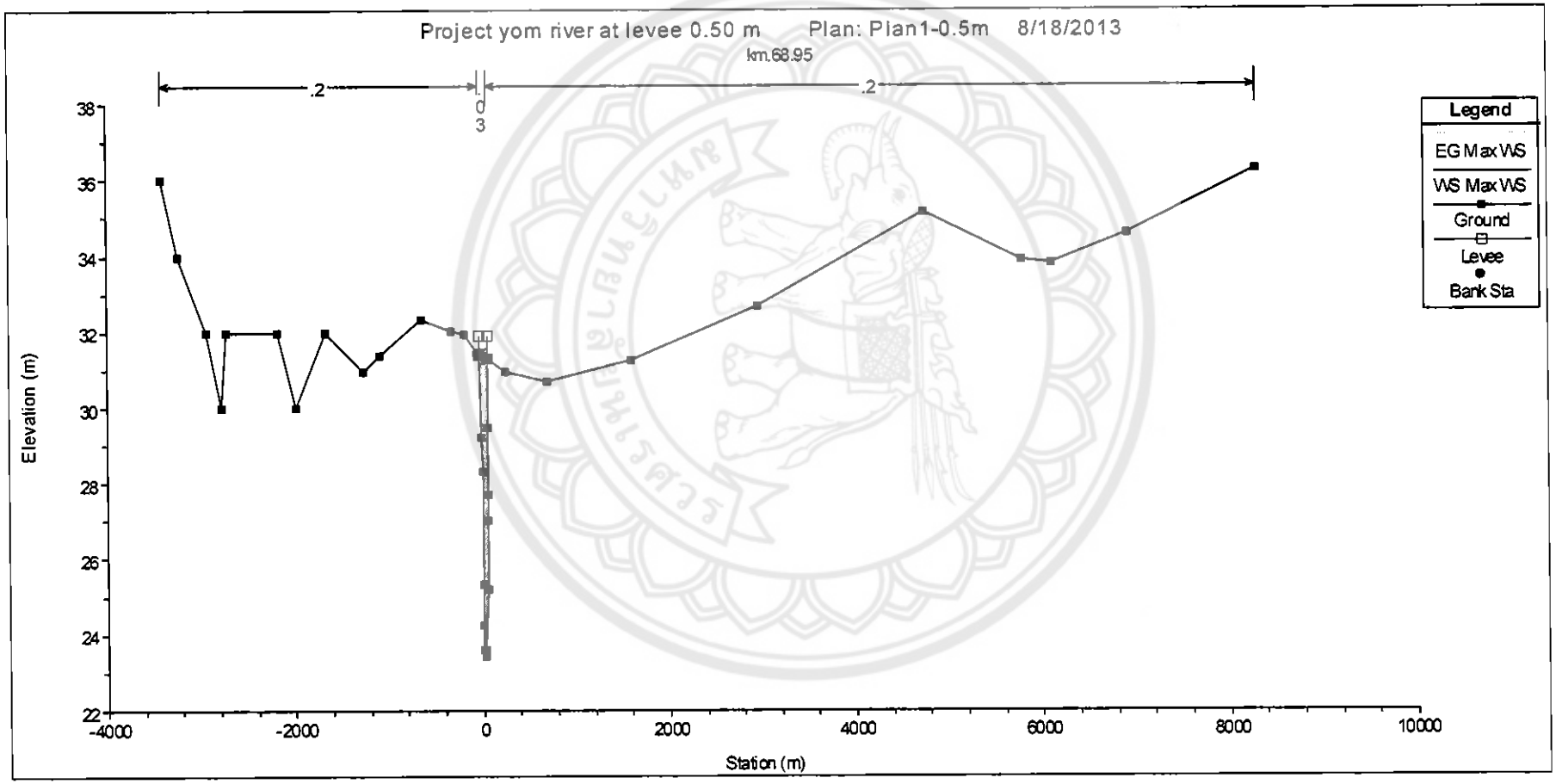
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



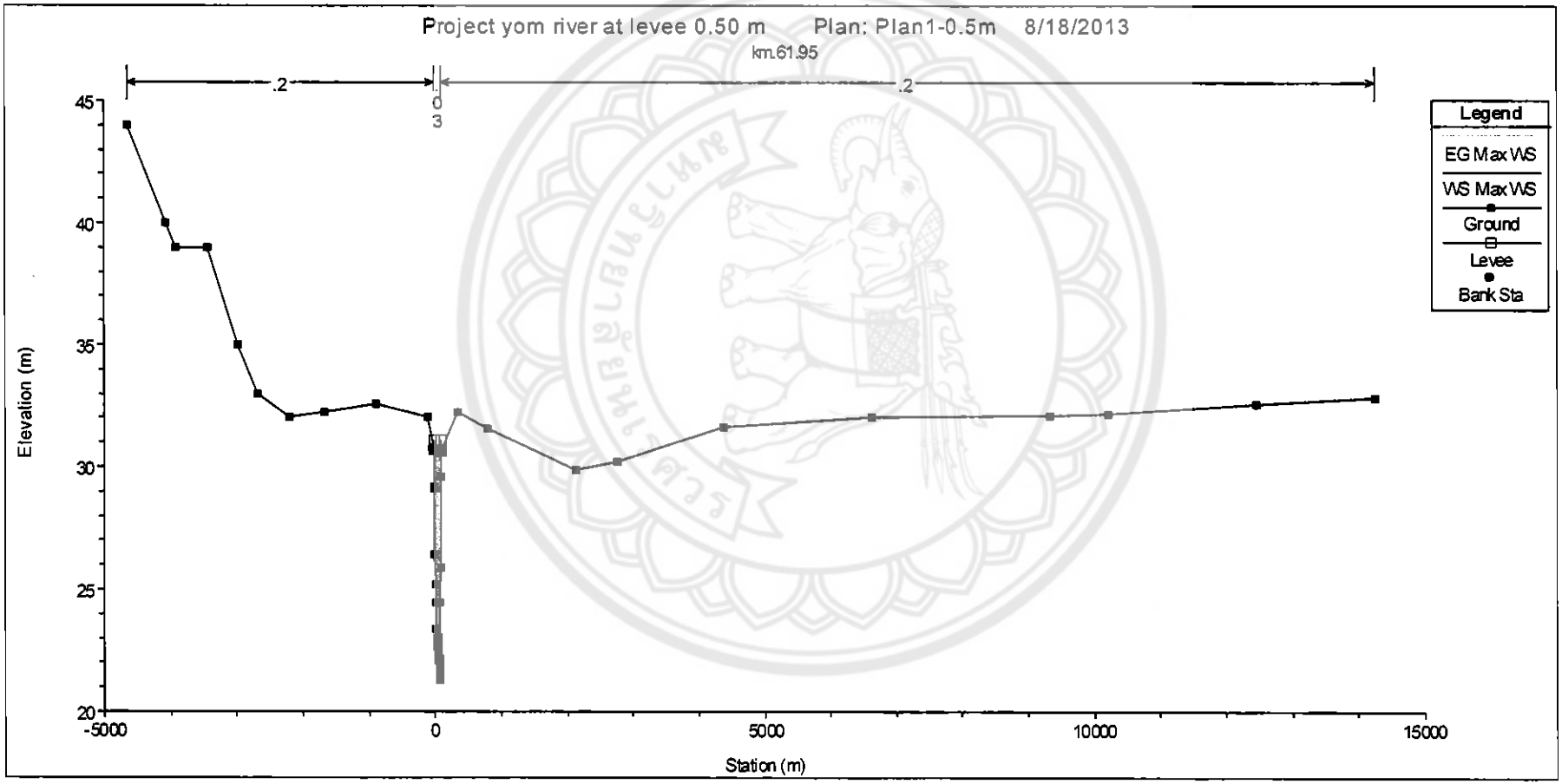
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



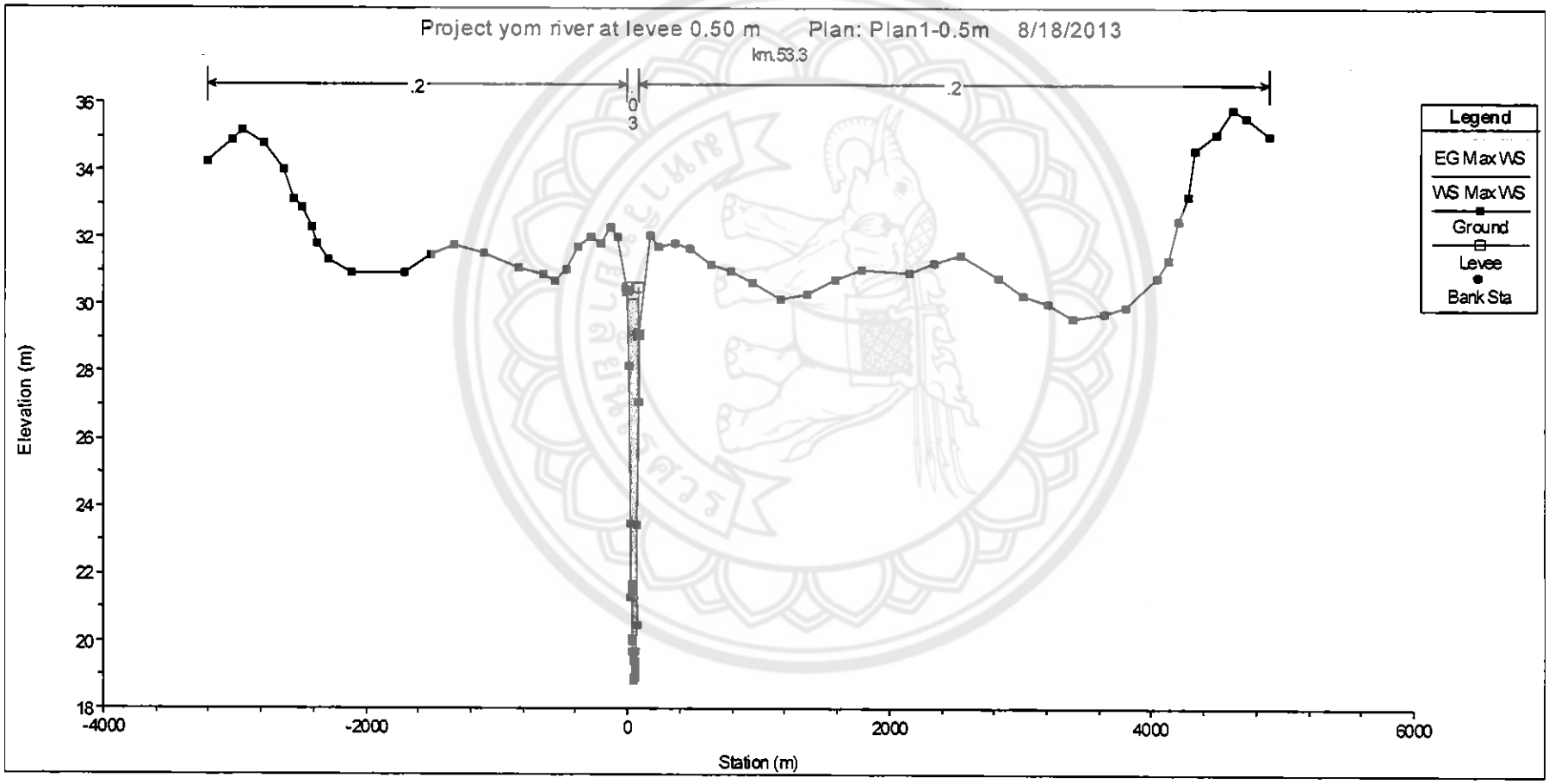
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



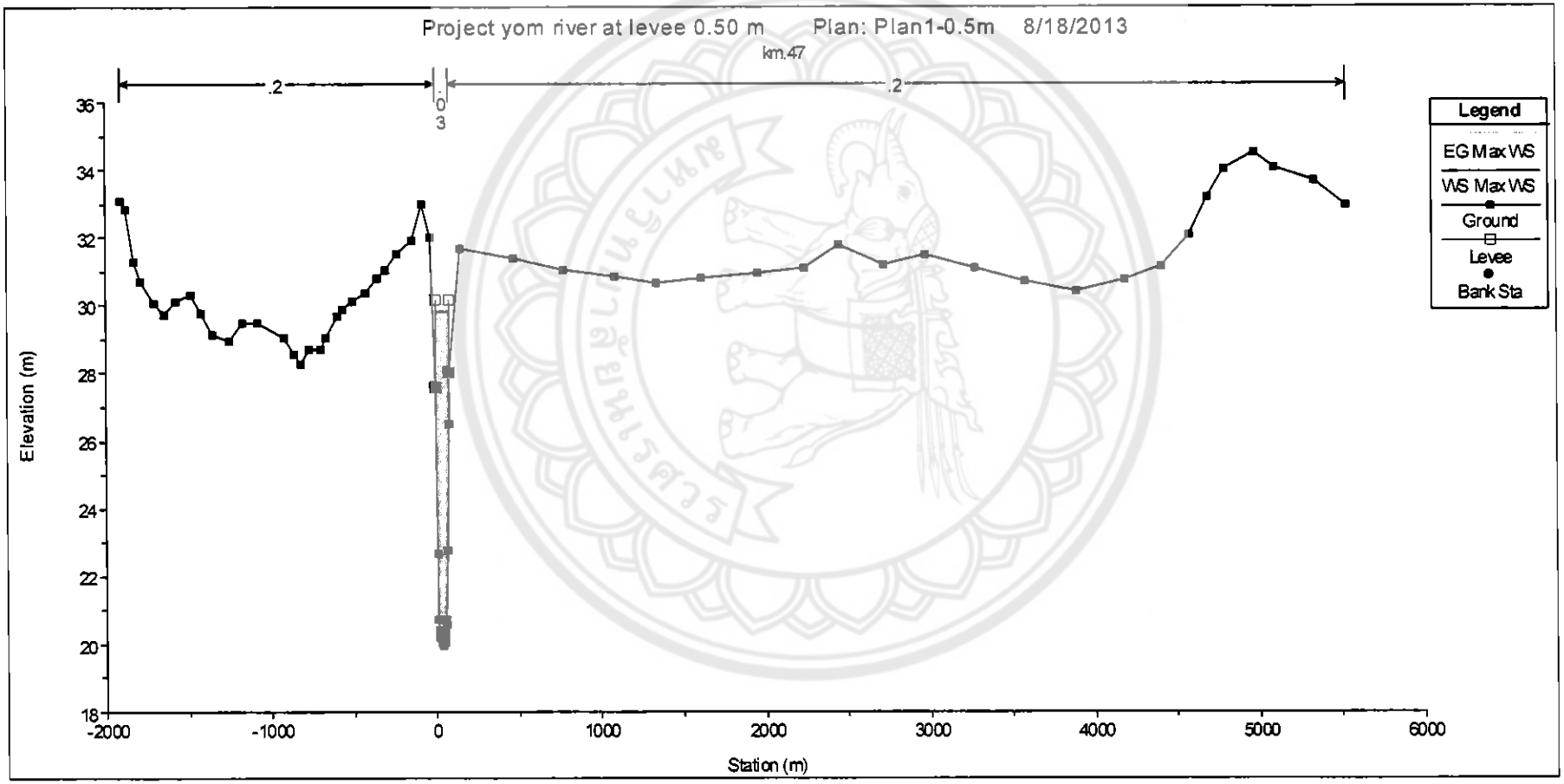
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



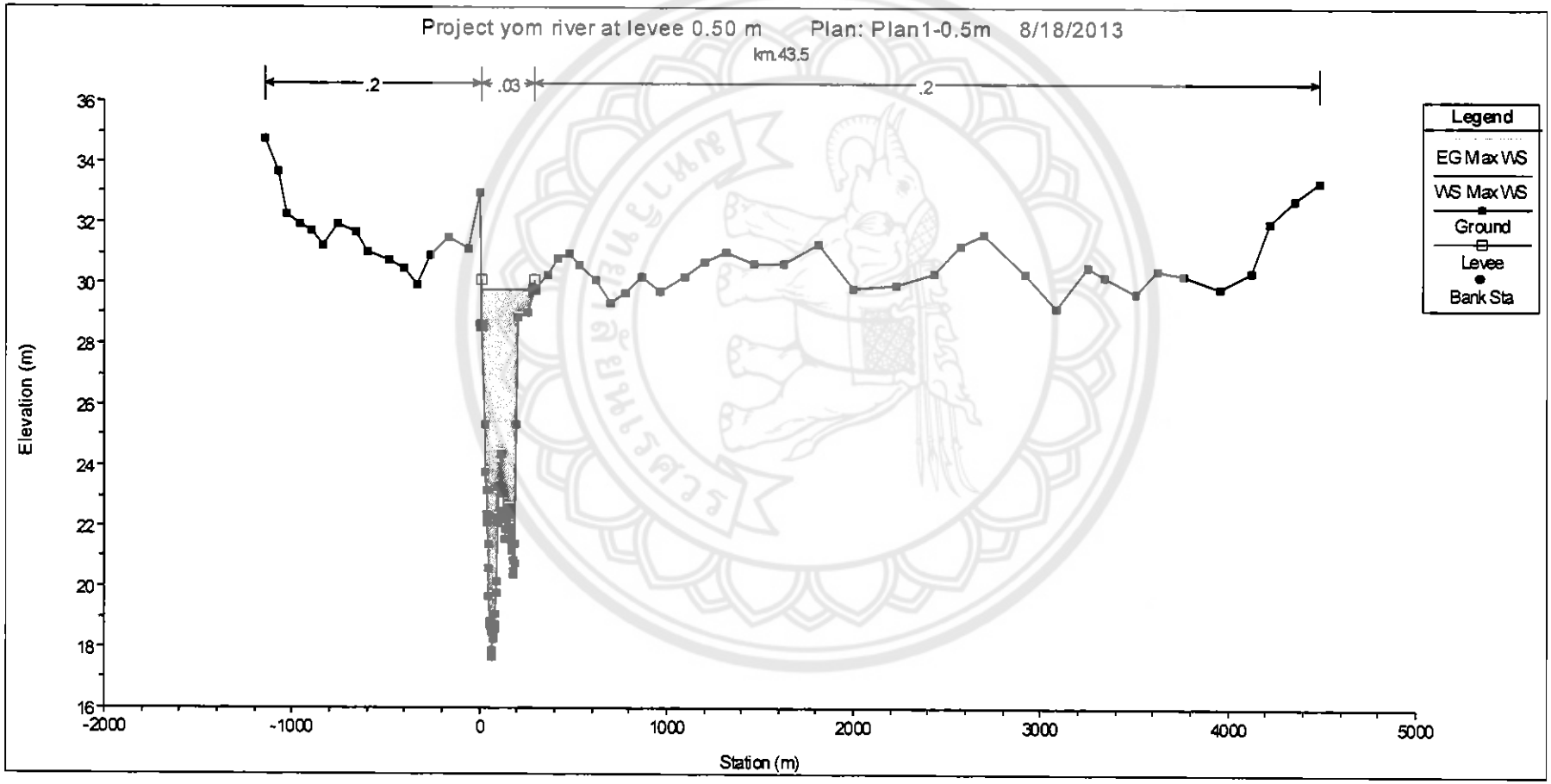
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



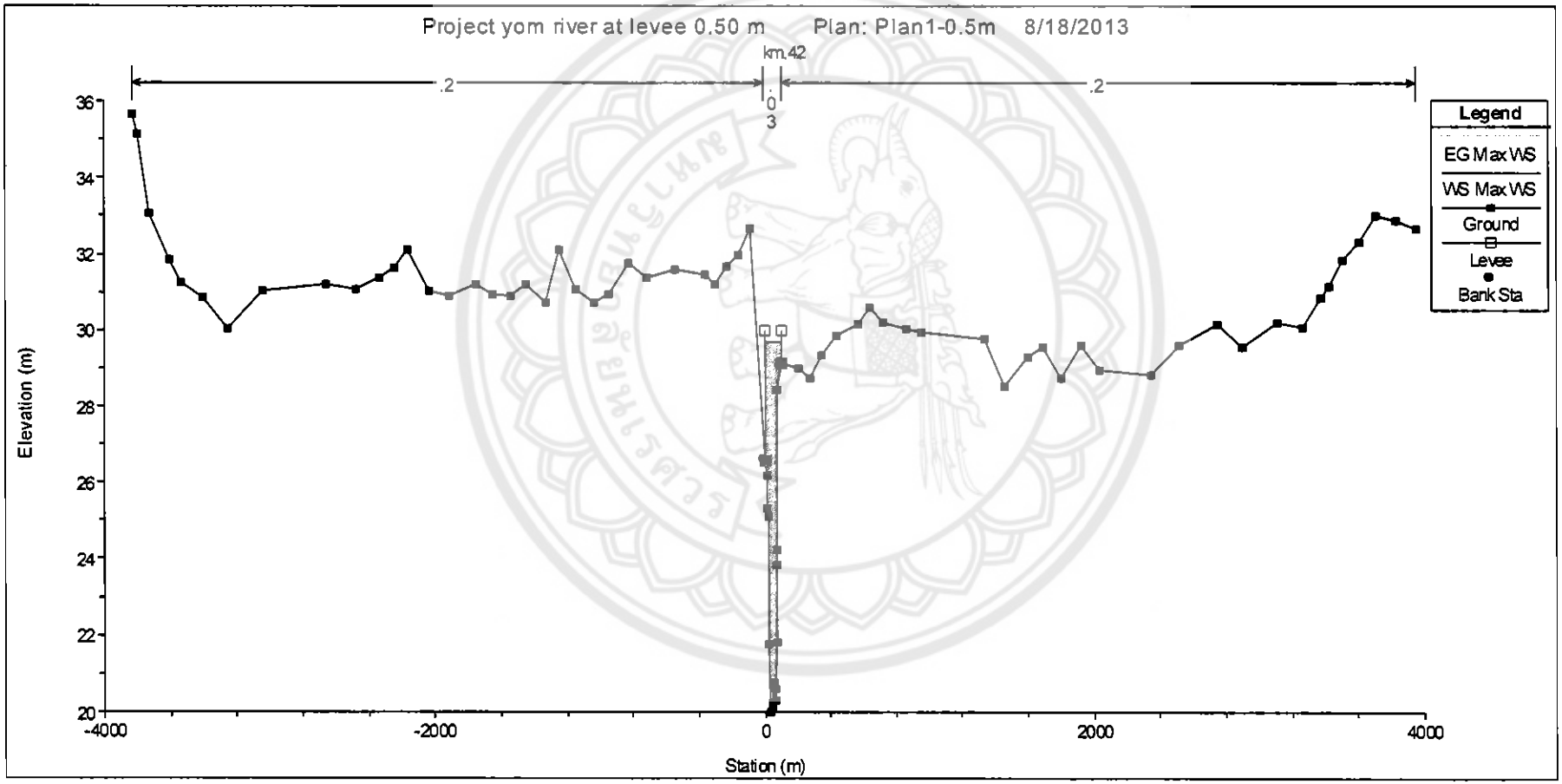
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



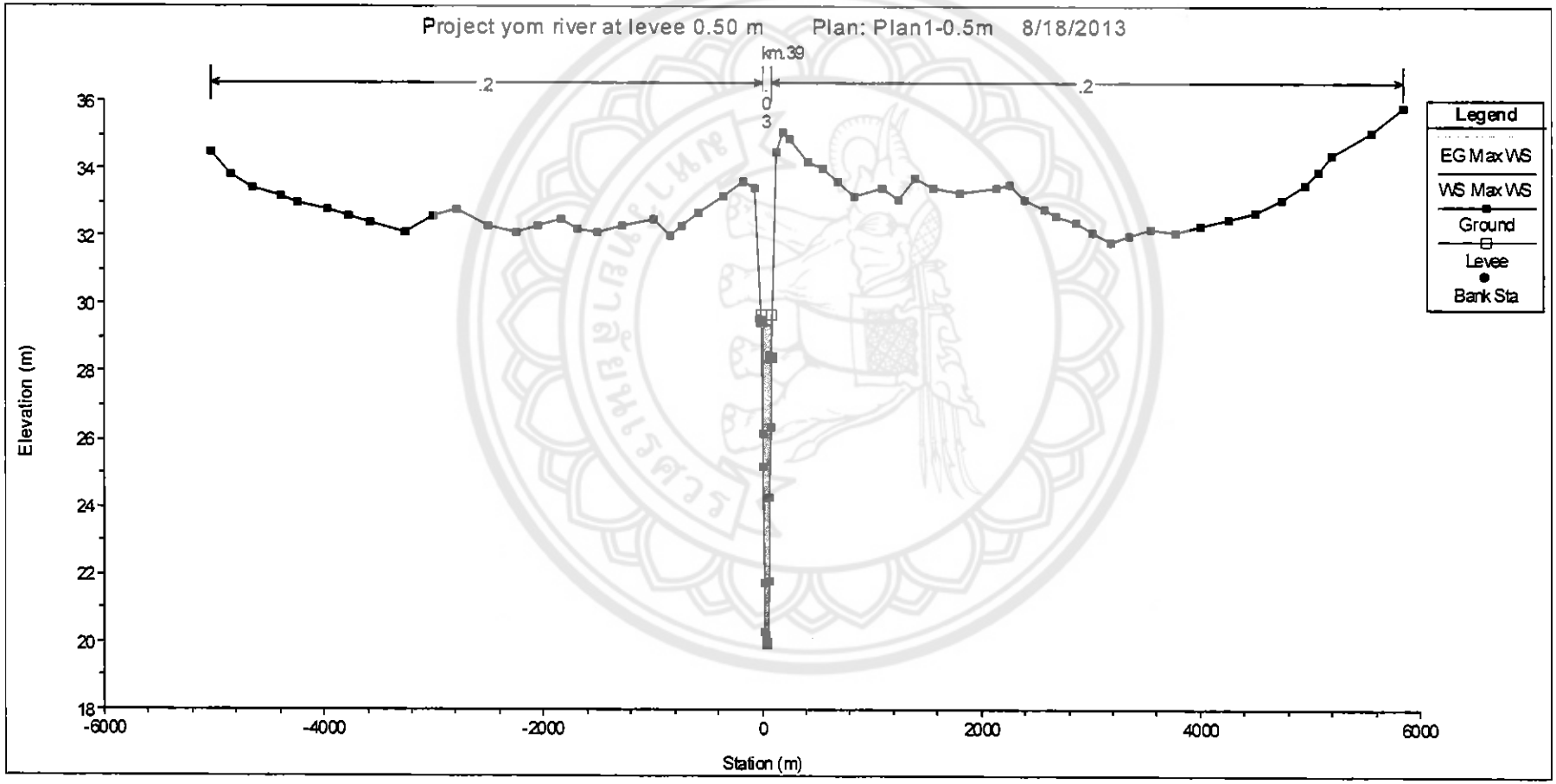
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



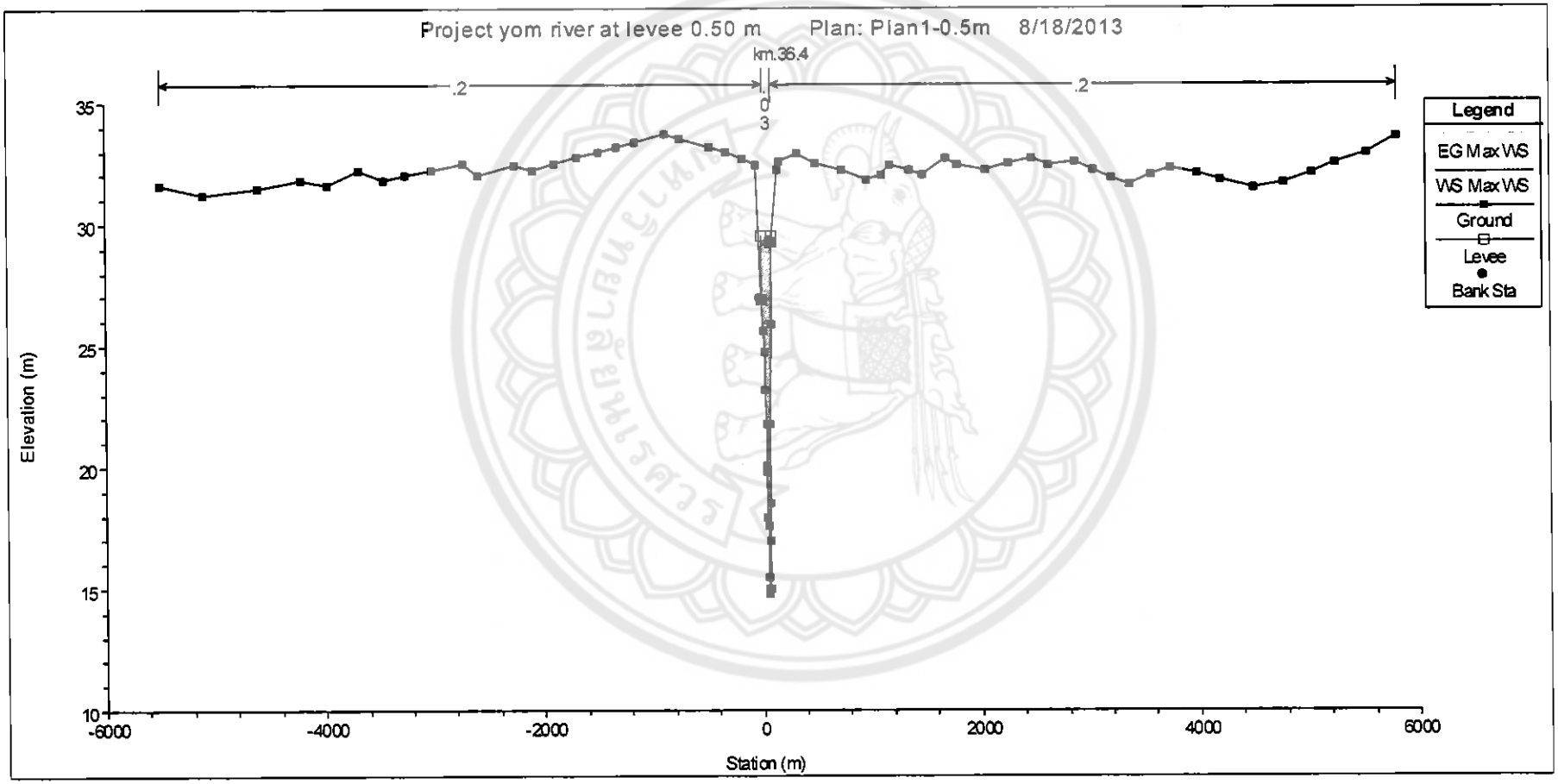
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



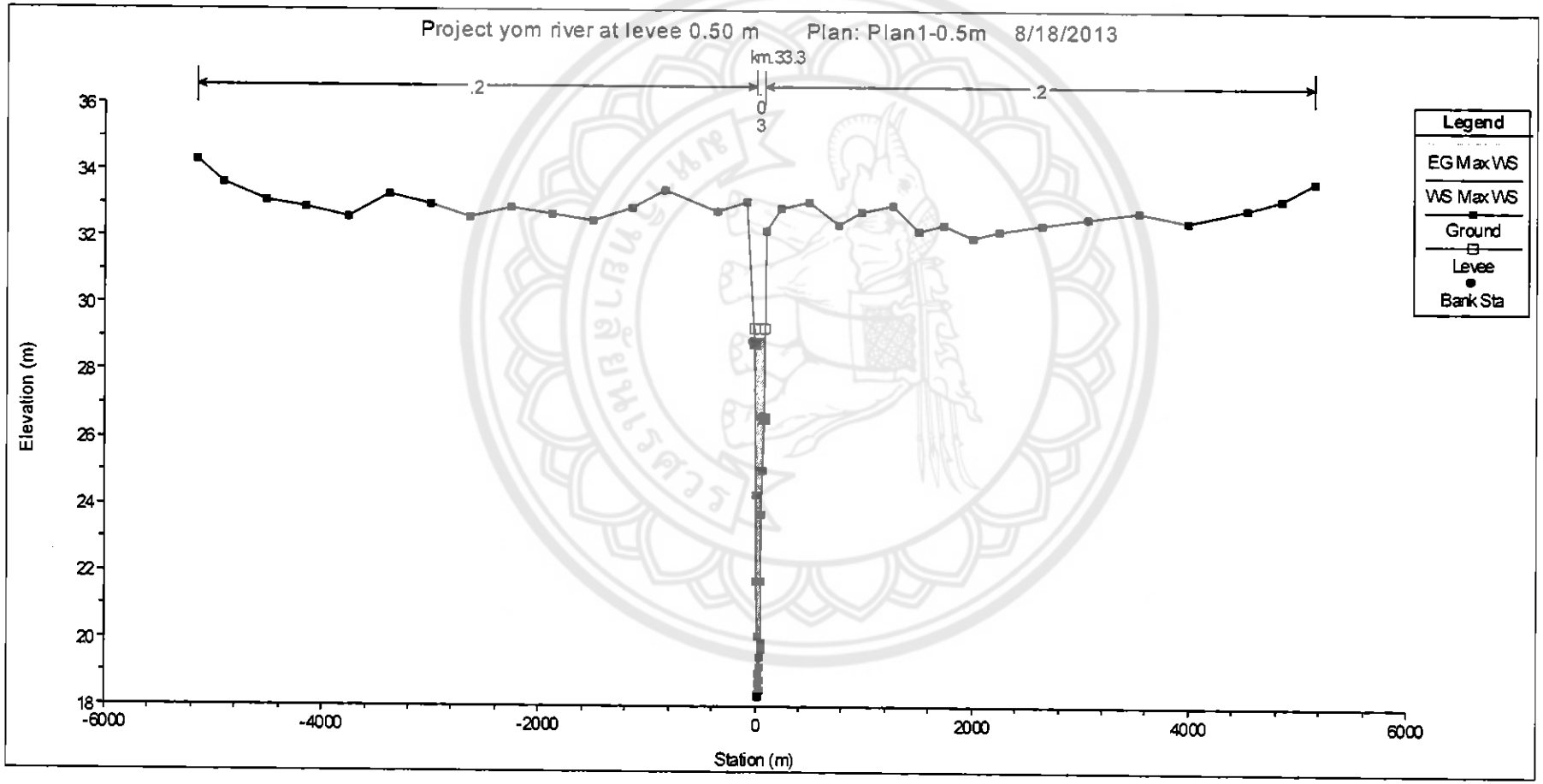
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



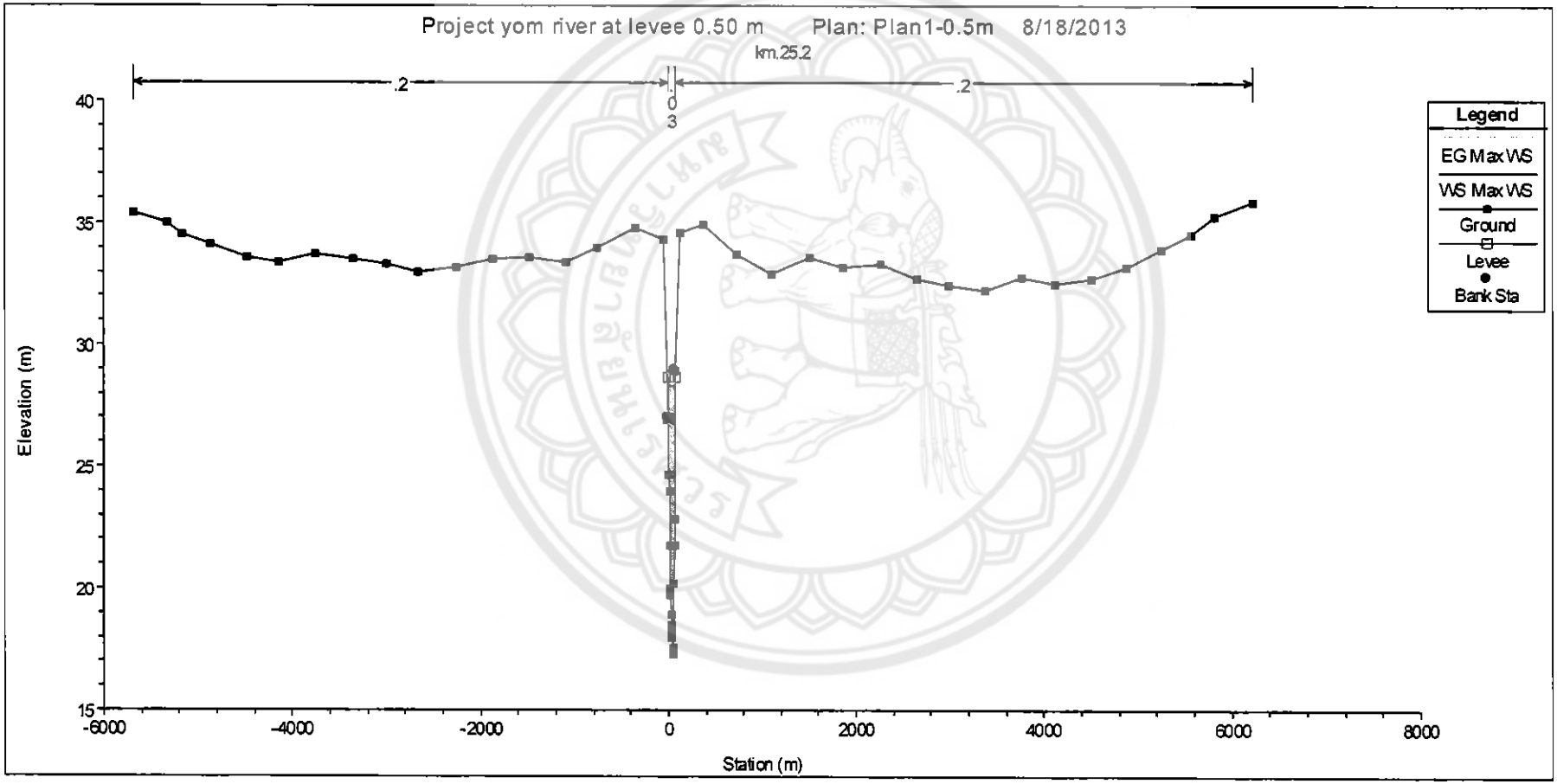
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



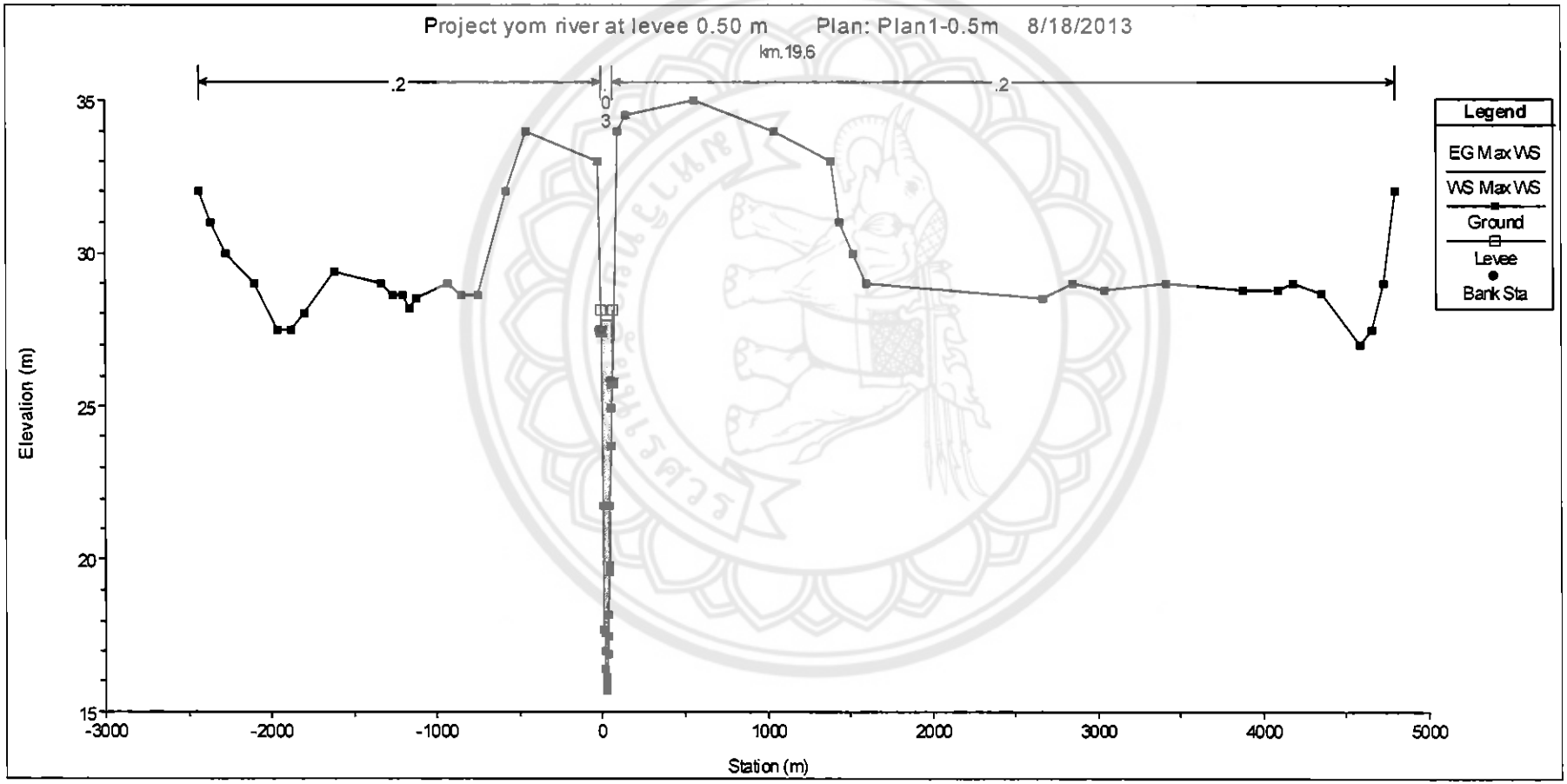
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



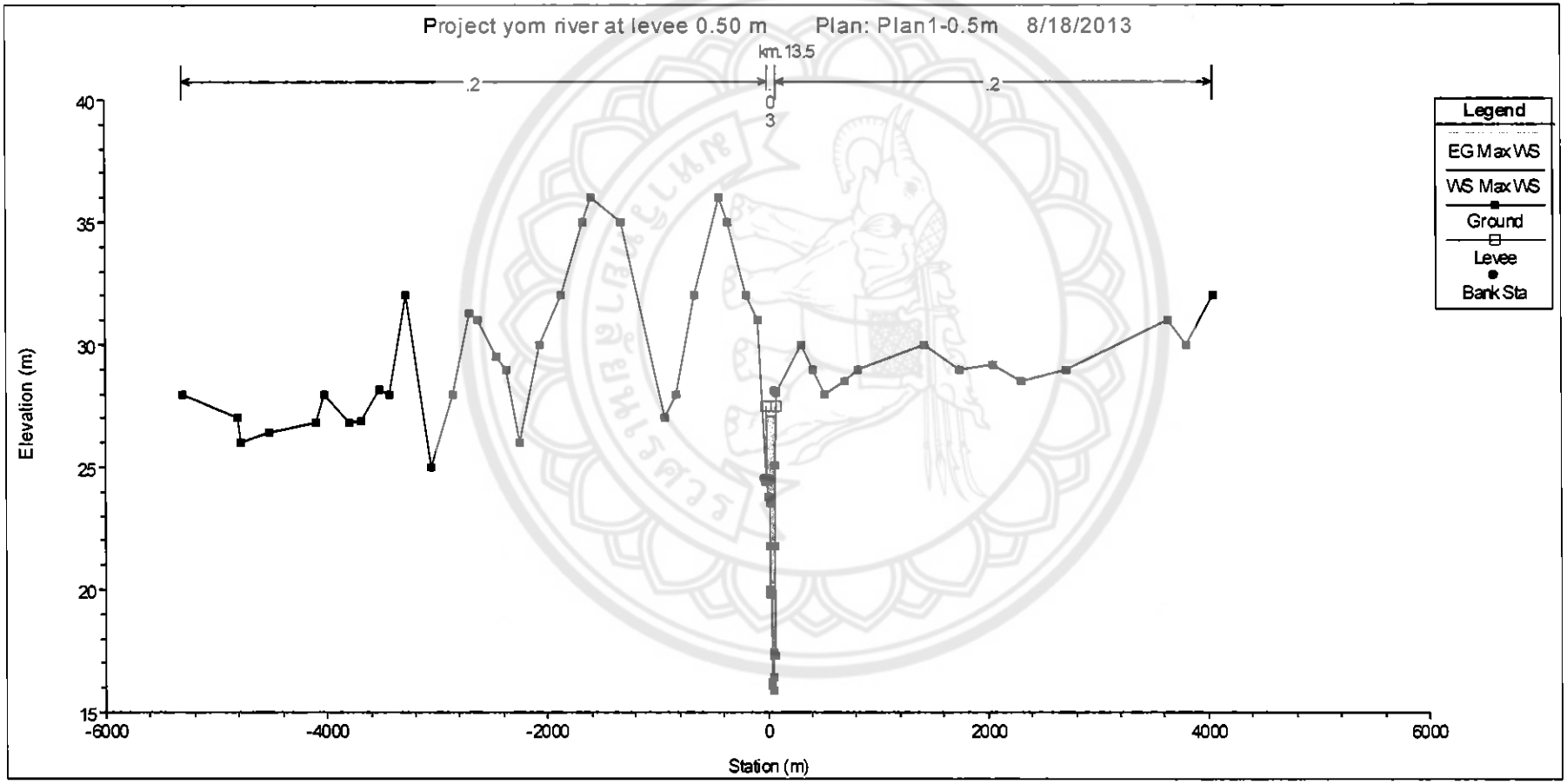
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



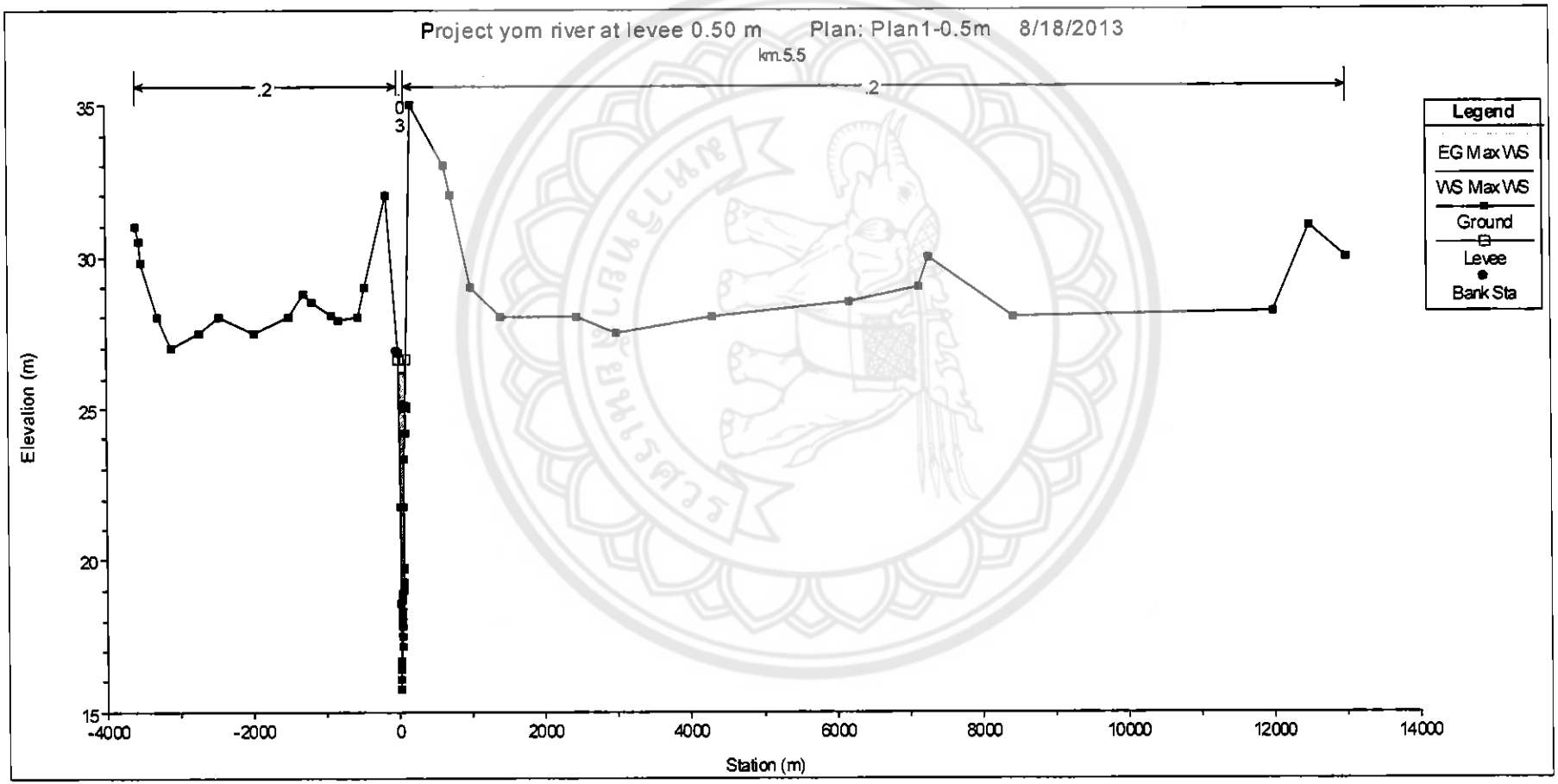
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



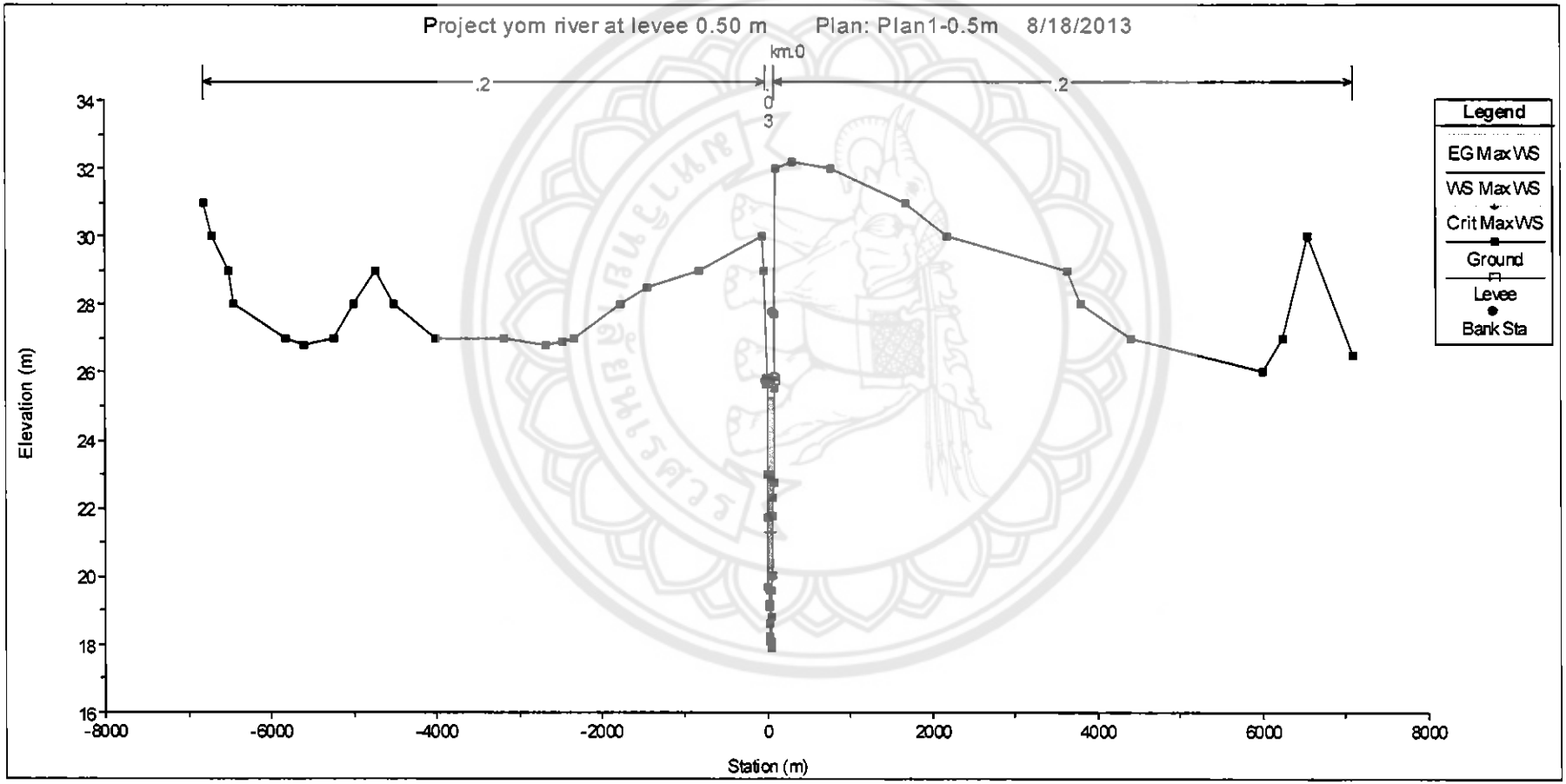
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



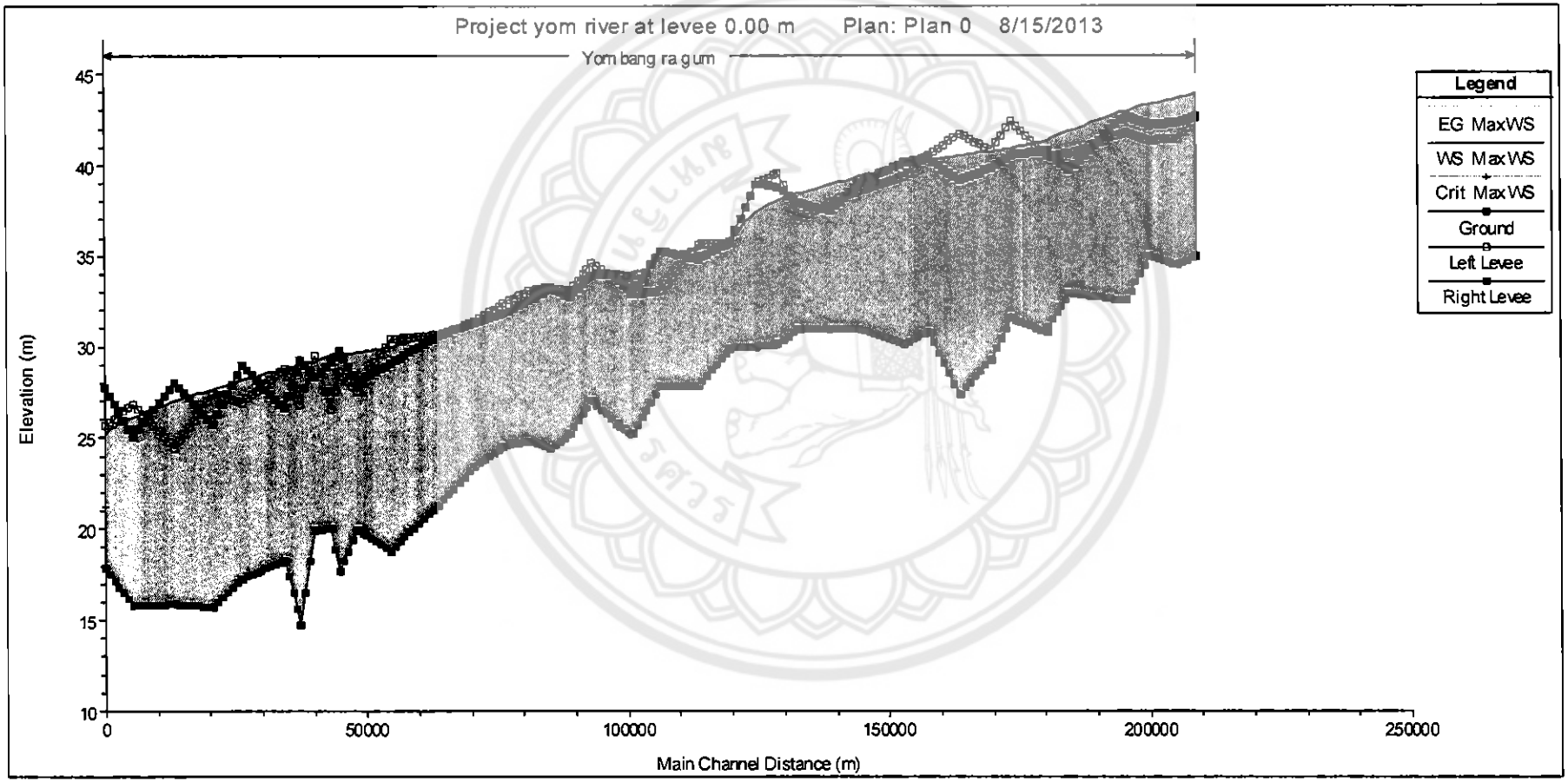
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



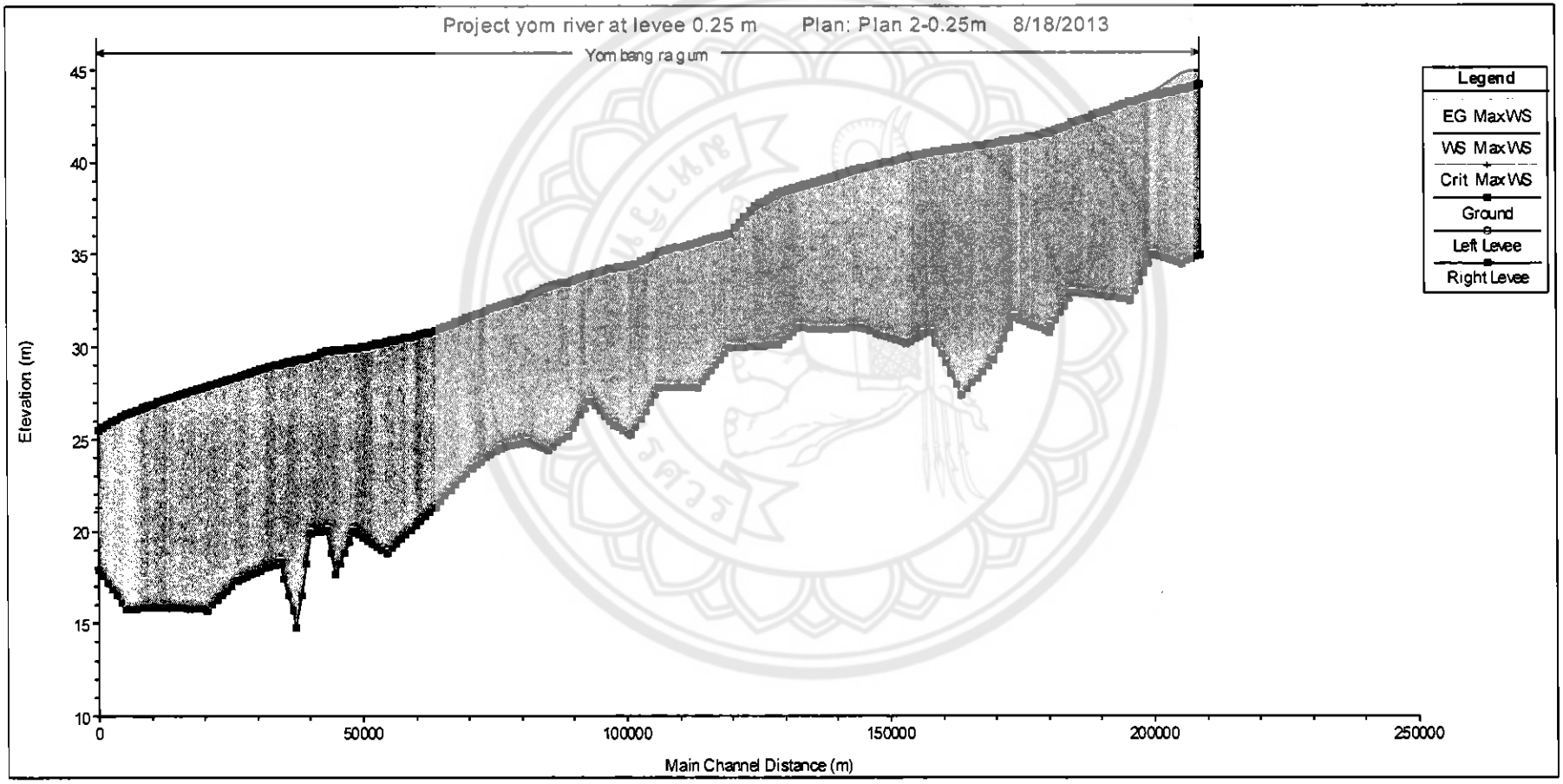
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



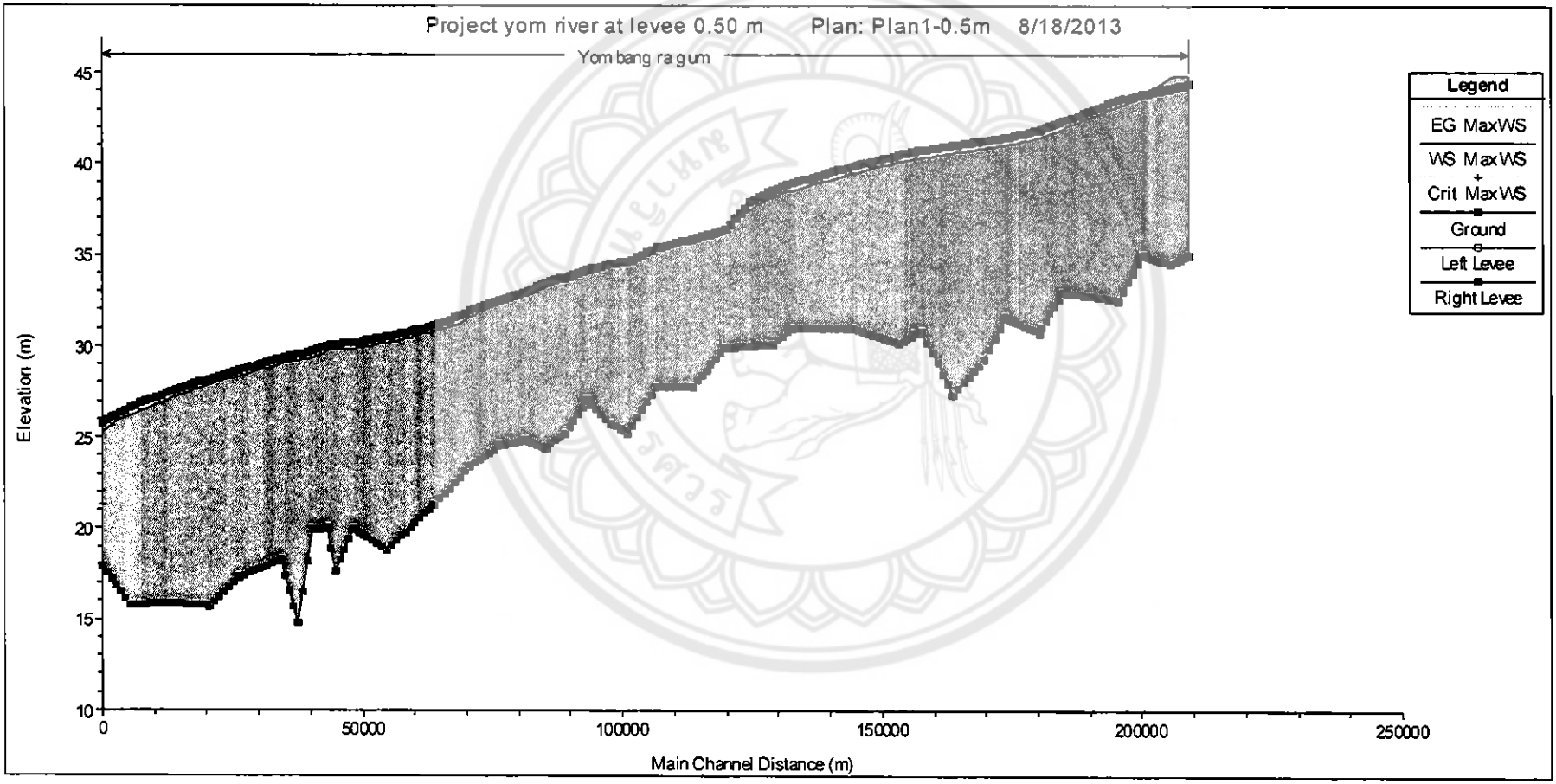
รูป Cross - section กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.



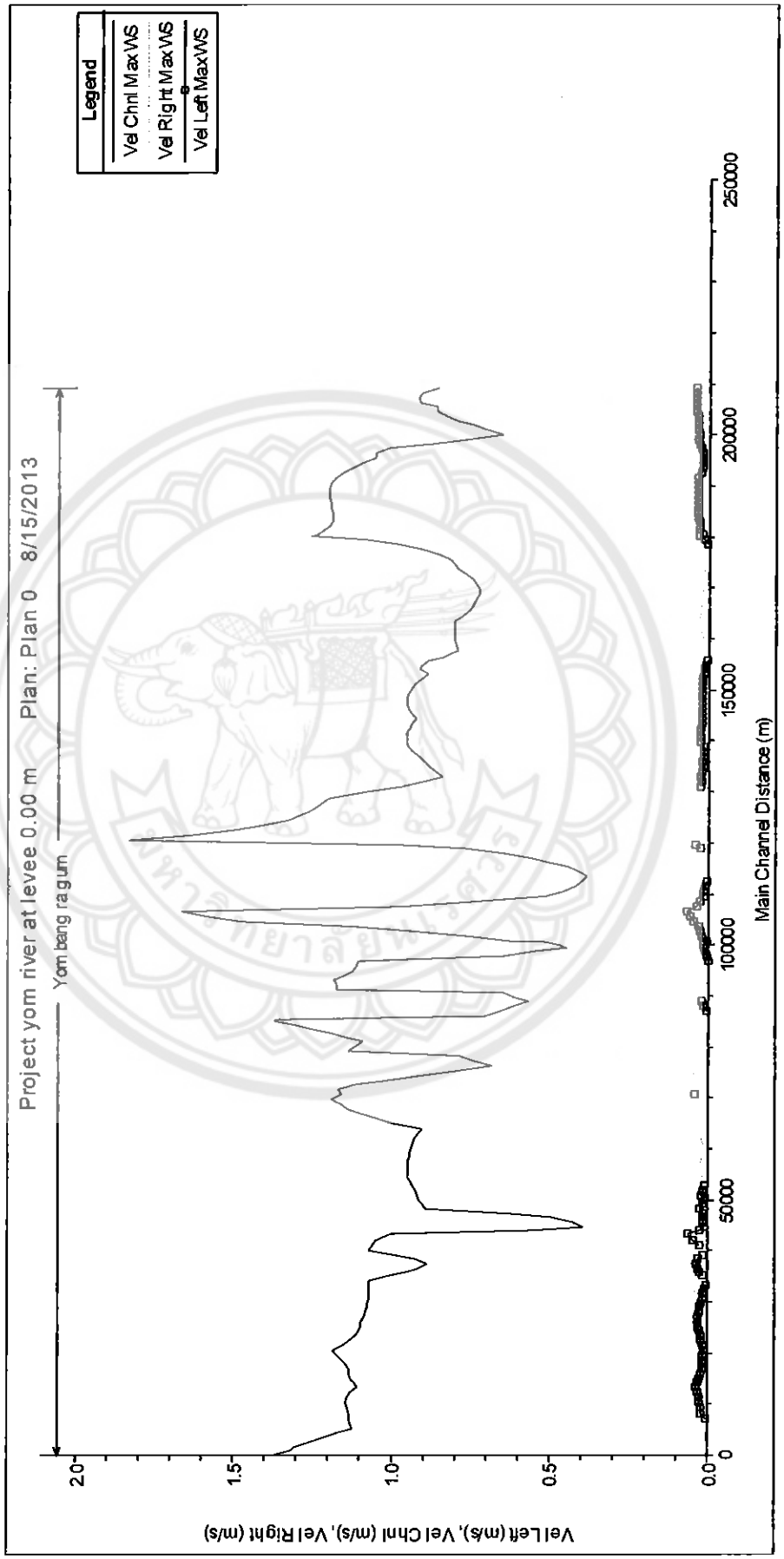
รูป water surface profiles กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบตลิ่ง

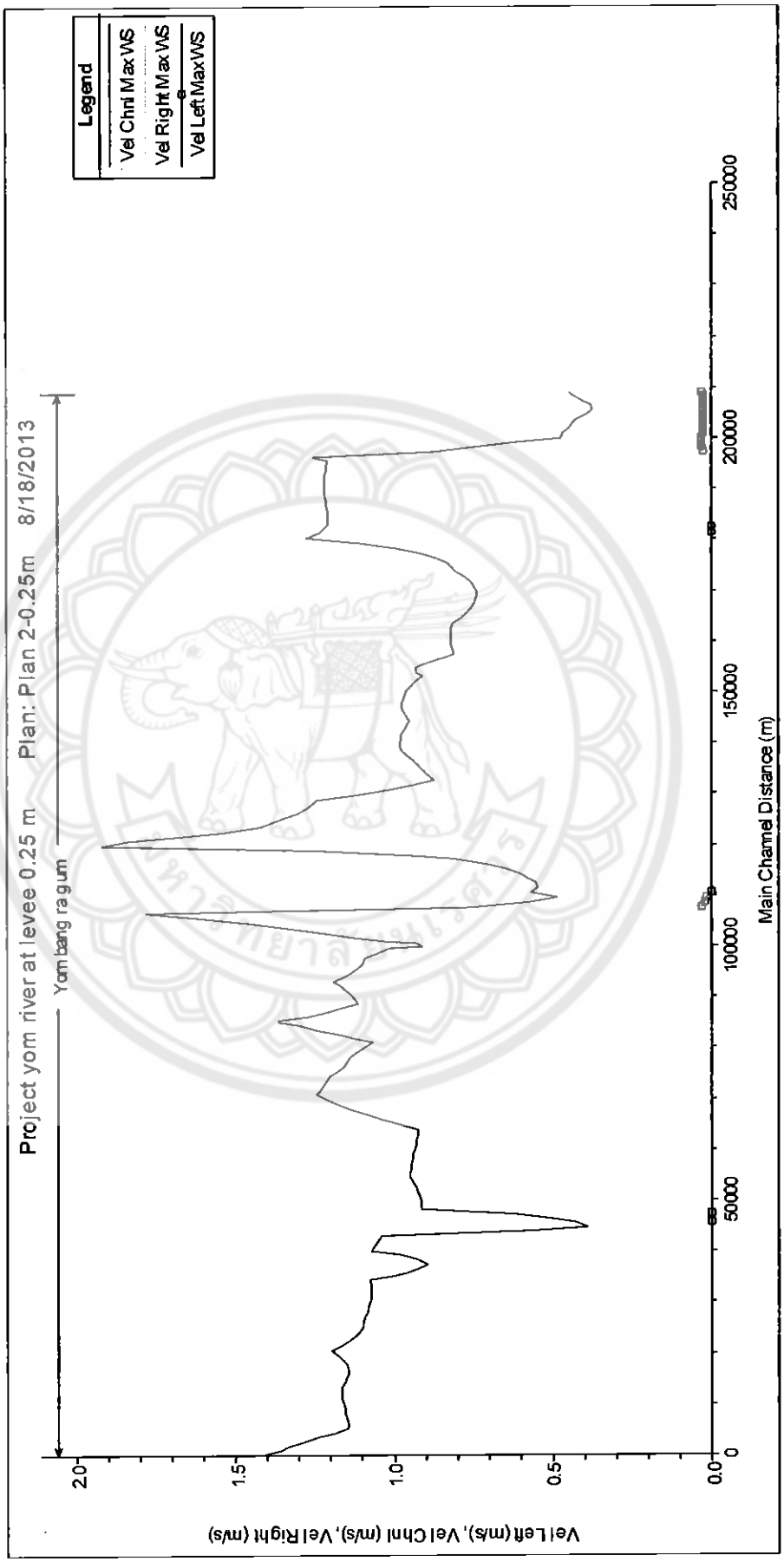


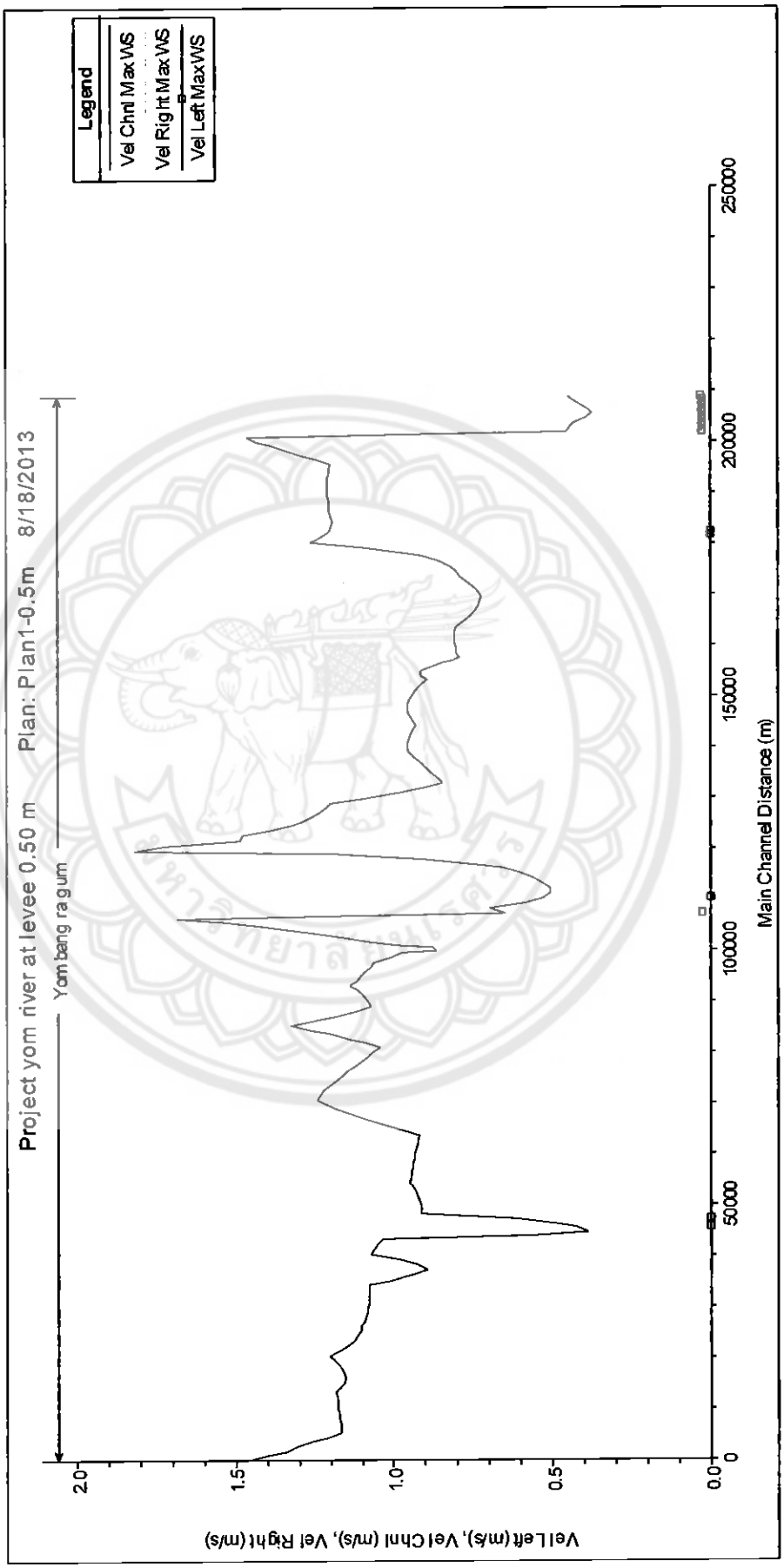
รูป water surface profiles กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.

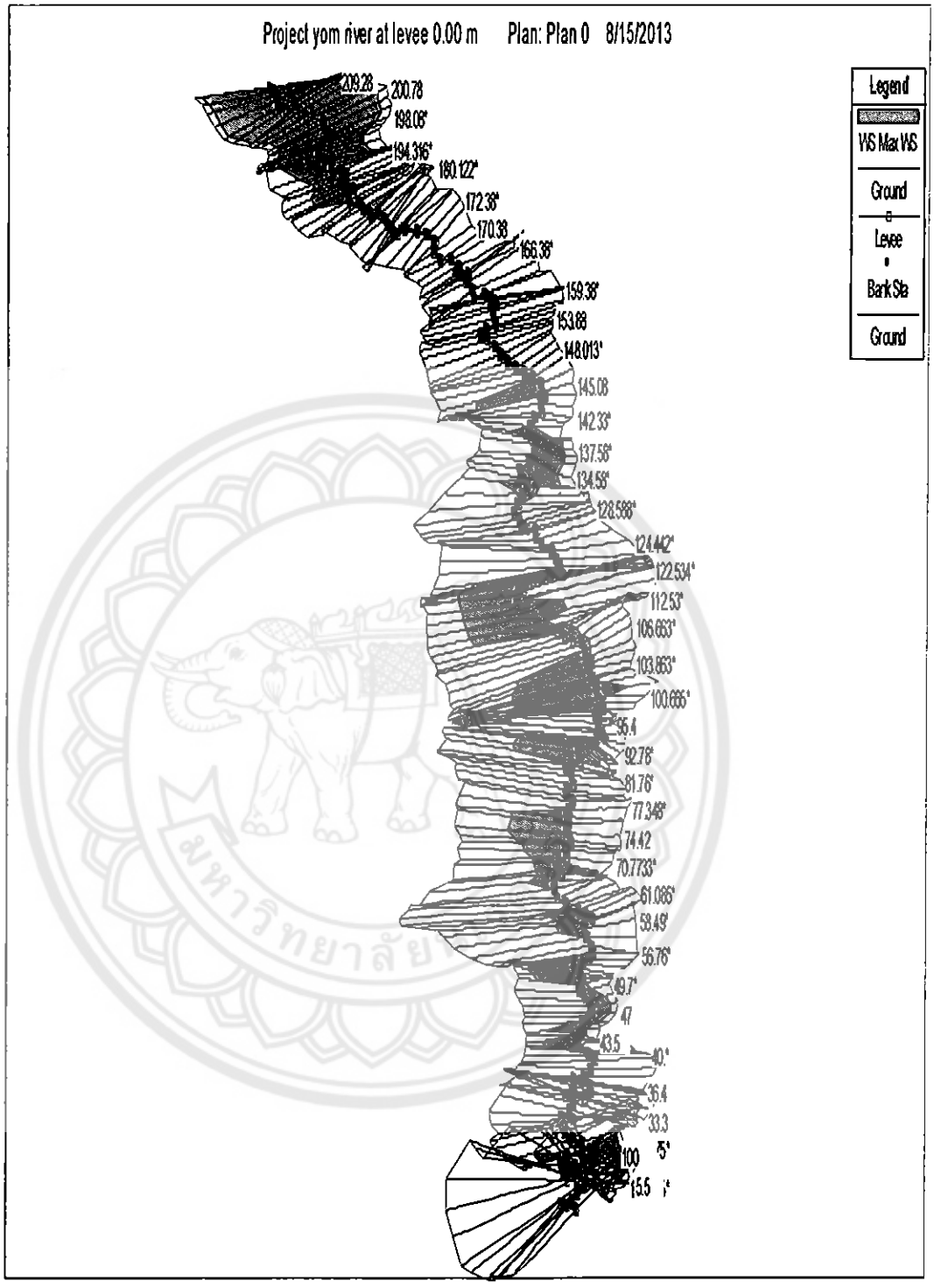


รูป water surface profiles กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.

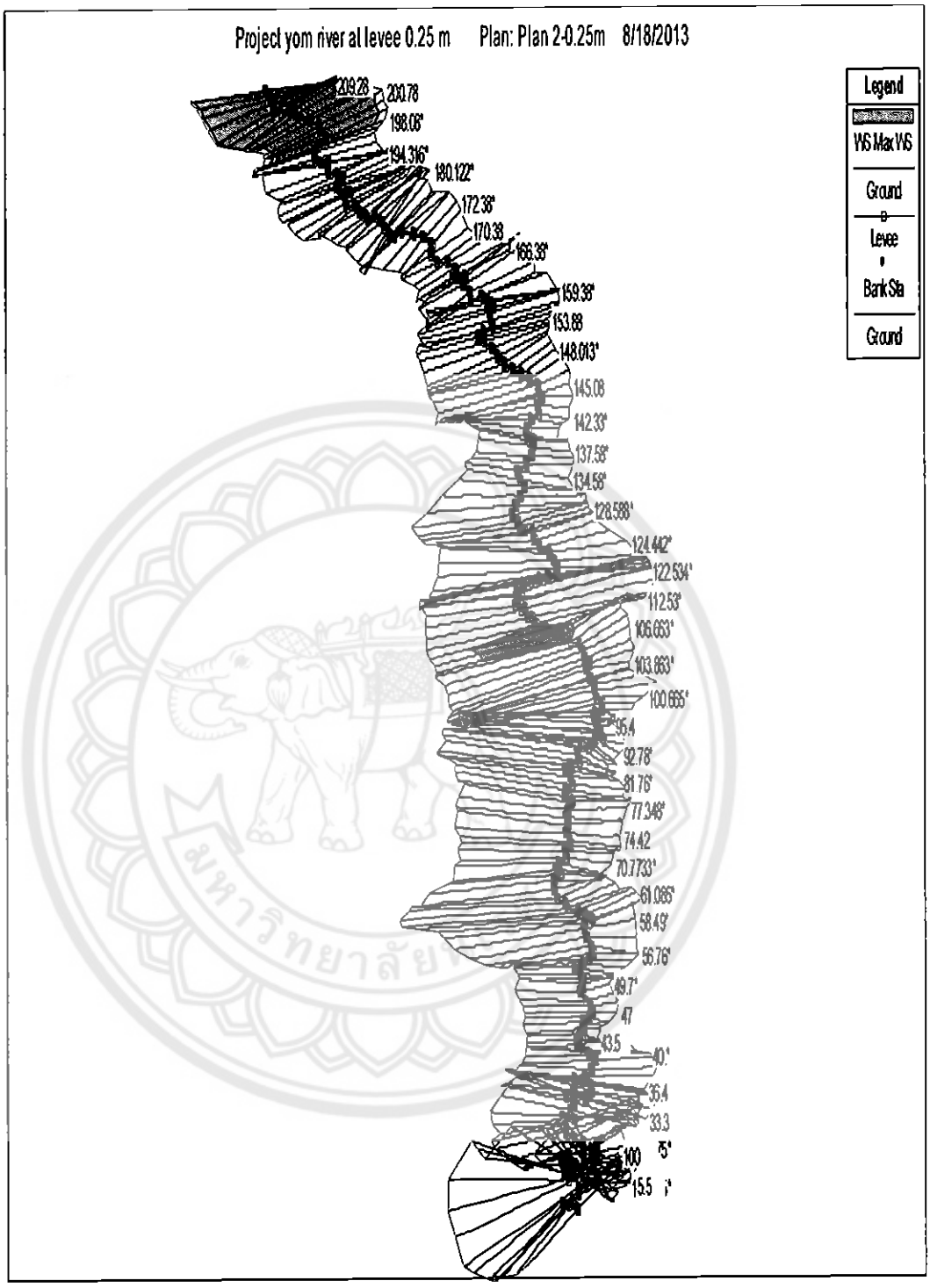

Project yom river at levee 0.00 m Plan: Plan 0 8/15/2013
Yom bang ra gum
Legend
Vel Chnl MaxWS
Vel Right MaxWS
Vel Left MaxWS
Vel Left (m/s), Vel Chnl (m/s), Vel Right (m/s)
Main Channel Distance (m)
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
0
50000
100000
150000
200000
250000


Project yom river at levee 0.25 m
Plan: Plan 2-0.25m
8/18/2013
Yombang ragum
Legend
Vel Chnl Max WS
Vel Right Max WS
Vel Left Max WS
Vel Left (m/s), Vel Chnl (m/s), Vel Right (m/s)
Main Channel Distance (m)
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
0
50000
100000
150000
200000
250000

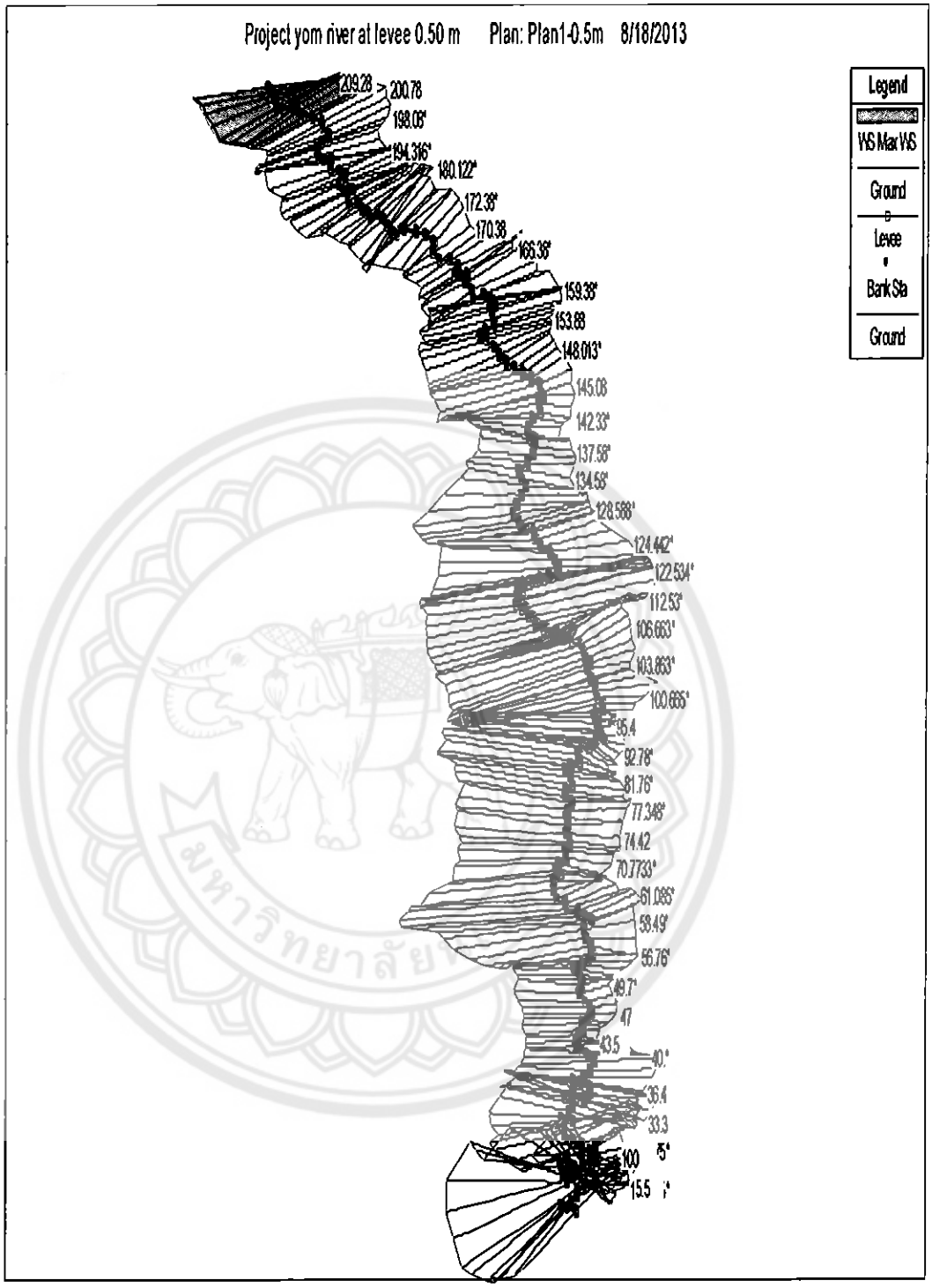

Project yom river at levee 0.50 m
Plan: Plan1-0.5m
8/18/2013
Yombang ra gum
Legend
Vel Chnl MaxWS
Vel Right MaxWS
Vel Left MaxWS
Vel Left (m/s), Vel Chnl (m/s), Vel Right (m/s)
Main Channel Distance (m)
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
0
50000
100000
150000
200000
250000



รูป X-Y-Z Perspective Plot กรณีพนังกั้นน้ำอยู่ที่ขอบริมตลิ่ง



รูป X-Y-Z Perspective กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.25 ม.



รูป X-Y-Z Perspective กรณีพนังกั้นน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด 0.50 ม.

ตารางข้อมูลรวมของโปรแกรม HEC - RAS

Reach	River Sta	Profile	Q Total	W.S. Elev	W.S. Elev	W.S. Elev	Top Width	Top Width	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	0.00(m)	0.25(m)	0.50(m)	0.00(m)	0.25(m)	0.50(m)	
Yom river	209.28	Max WS	614.05	43.89	44.91	44.86	6590.68	10007.38	9875.84	0.12
Yom river	208.405*	Max WS	610.02	43.83	44.9	44.84	7674.64	10675.78	10625.65	0.12
Yom river	207.53*	Max WS	602.97	43.77	44.89	44.83	8266.33	11252.35	11177.94	0.12
Yom river	206.655*	Max WS	600.77	43.71	44.88	44.82	9066.51	11389.25	11370.99	0.11
Yom river	205.78	Max WS	599.32	43.65	44.76	44.71	9586.83	11308.53	11266.18	0.11
Yom river	204.946*	Max WS	598.33	43.59	44.57	44.52	9936.52	11228.56	11199.05	0.11
Yom river	204.113*	Max WS	597.45	43.53	44.4	44.35	9950.89	10944.34	10889.73	0.1
Yom river	203.28*	Max WS	596.54	43.47	44.24	44.18	9873.46	10680.99	10633.56	0.1
Yom river	202.446*	Max WS	595.79	43.41	44.07	44.02	9787.08	10433.69	10386.3	0.09
Yom river	201.613*	Max WS	595.31	43.36	43.92	43.87	9568.45	10185.69	10141.97	0.09
Yom river	200.78	Max WS	594.93	43.32	43.76	43.72	9367.06	9820.47	64.09	0.08
Yom river	199.88*	Max WS	594.71	43.26	43.62	43.57	9147.23	9662.92	65.44	0.1
Yom river	198.98*	Max WS	594.45	43.2	43.49	43.45	8594.26	9500.39	66.78	0.11
Yom river	198.08*	Max WS	594.25	43.13	43.38	43.33	7549.1	68.13	68.13	0.12
Yom river	197.18*	Max WS	594.15	43.05	43.27	43.23	5776.75	69.47	69.47	0.13
Yom river	196.28	Max WS	594.06	42.98	43.18	43.14	4371.26	70.82	70.82	0.13
Yom river	195.298*	Max WS	594.04	42.9	43.08	43.03	3472.53	71.22	71.22	0.13
Yom river	194.316*	Max WS	594.02	42.8	42.97	42.93	2773.2	71.62	71.62	0.14
Yom river	193.334*	Max WS	594.01	42.7	42.86	42.82	2104.25	72.02	72.02	0.14

Yom river	192.352*	Max WS	594.01	42.6	42.76	42.72	1499.74	72.42	72.42	0.14
Yom river	191.370*	Max WS	594	42.49	42.65	42.61	1302.04	72.82	72.82	0.15
Yom river	190.389*	Max WS	594	42.38	42.54	42.5	856.07	73.21	73.21	0.15
Yom river	189.407*	Max WS	594	42.28	42.43	42.39	476.89	73.61	73.61	0.15
Yom river	188.425*	Max WS	593.99	42.17	42.31	42.28	248.92	74.01	74.01	0.15
Yom river	187.443*	Max WS	593.98	42.06	42.2	42.17	228.71	74.41	74.41	0.15
Yom river	186.461*	Max WS	593.98	41.95	42.08	42.05	208.2	74.81	74.81	0.15
Yom river	185.48	Max WS	593.97	41.83	41.96	41.93	185.02	75.21	75.21	0.15
Yom river	184.66*	Max WS	593.97	41.73	41.86	41.84	91.77	73.51	73.51	0.15
Yom river	183.84*	Max WS	593.96	41.65	41.77	41.75	87.55	71.81	71.81	0.14
Yom river	183.02*	Max WS	593.96	41.56	41.68	41.65	84.3	70.12	70.12	0.14
Yom river	182.2*	Max WS	593.95	41.47	41.59	41.56	82.32	68.42	68.42	0.15
Yom river	181.38	Max WS	593.95	41.37	41.49	41.47	181.69	66.72	66.72	0.15
Yom river	181.08	Max WS	593.94	41.33	41.45	41.43	85.24	65.16	65.16	0.15
Yom river	180.122*	Max WS	593.94	41.25	41.37	41.35	91.85	76.45	76.45	0.13
Yom river	179.165*	Max WS	593.93	41.19	41.31	41.29	98.09	87.74	87.74	0.12
Yom river	178.208*	Max WS	593.93	41.14	41.25	41.23	105.91	98.84	98.79	0.11
Yom river	177.251*	Max WS	593.92	41.08	41.2	41.18	115.39	109.07	109.01	0.11
Yom river	176.294*	Max WS	593.92	41.03	41.15	41.13	124.61	118.94	118.88	0.11
Yom river	175.337*	Max WS	593.92	40.98	41.09	41.08	133.48	128.4	128.34	0.11
Yom river	174.38	Max WS	593.92	40.93	41.04	41.02	141.9	137.42	137.35	0.11
Yom river	173.38*	Max WS	593.91	40.87	40.98	40.97	138.34	132.84	132.77	0.1
Yom river	172.38*	Max WS	593.91	40.82	40.94	40.92	134.39	128.11	128.05	0.1
Yom river	171.38*	Max WS	593.9	40.78	40.9	40.88	130.02	123.22	123.17	0.09
Yom river	170.38	Max WS	593.9	40.75	40.86	40.85	125.23	118.11	118.11	0.09

Yom river	169.38*	Max WS	593.89	40.71	40.82	40.81	124.17	116.84	116.81	0.09
Yom river	168.38*	Max WS	593.9	40.67	40.78	40.77	123.3	115.69	115.66	0.09
Yom river	167.38*	Max WS	593.89	40.63	40.74	40.73	122.57	114.69	114.67	0.09
Yom river	166.38*	Max WS	593.89	40.59	40.7	40.69	121.96	113.83	113.82	0.09
Yom river	165.38*	Max WS	593.88	40.55	40.65	40.65	121.44	113.09	113.08	0.1
Yom river	164.38	Max WS	593.88	40.5	40.6	40.6	121	112.46	112.45	0.1
Yom river	163.38*	Max WS	593.88	40.45	40.55	40.55	118.94	110.55	110.54	0.1
Yom river	162.38*	Max WS	593.87	40.4	40.5	40.5	116.66	108.64	108.64	0.1
Yom river	161.38*	Max WS	593.87	40.35	40.46	40.45	114	106.74	106.74	0.1
Yom river	160.38*	Max WS	593.86	40.31	40.41	40.41	110.66	104.84	104.84	0.1
Yom river	159.38*	Max WS	593.87	40.27	40.36	40.37	105.84	102.95	102.95	0.09
Yom river	158.38	Max WS	593.86	40.22	40.32	40.33	100.74	101.04	101.05	0.09
Yom river	157.78*	Max WS	593.86	40.2	40.29	40.3	100.04	100.33	100.34	0.1
Yom river	157.18	Max WS	593.86	40.17	40.26	40.27	99.35	99.63	99.64	0.1
Yom river	156.355*	Max WS	593.85	40.12	40.22	40.22	98.36	97.81	97.82	0.11
Yom river	155.53*	Max WS	593.86	40.07	40.16	40.17	98.99	95.94	95.95	0.11
Yom river	154.705*	Max WS	593.85	40.02	40.11	40.12	100.17	94.07	94.08	0.11
Yom river	153.88	Max WS	593.85	39.97	40.07	40.08	102.16	92.2	92.21	0.11
Yom river	152.902*	Max WS	593.85	39.92	40.01	40.02	103.41	93.7	93.71	0.11
Yom river	151.924*	Max WS	593.83	39.86	39.95	39.96	104.56	95.11	95.11	0.11
Yom river	150.946*	Max WS	593.84	39.79	39.88	39.89	105.58	96.52	96.52	0.12
Yom river	149.968*	Max WS	593.83	39.72	39.81	39.82	106.49	97.93	97.93	0.12
Yom river	148.991*	Max WS	593.83	39.65	39.73	39.75	107.34	99.33	99.33	0.12
Yom river	148.013*	Max WS	593.82	39.58	39.66	39.68	108.14	100.74	100.74	0.12
Yom river	147.035*	Max WS	593.81	39.5	39.58	39.61	108.9	102.15	102.15	0.12

Yom river	146.057*	Max WS	593.82	39.43	39.5	39.53	356.67	103.55	103.55	0.12
Yom river	145.08	Max WS	593.81	39.36	39.43	39.46	645.55	104.96	104.96	0.12
Yom river	144.163*	Max WS	593.82	39.28	39.36	39.39	111.21	105.02	105.02	0.12
Yom river	143.246*	Max WS	593.8	39.21	39.28	39.32	112.14	105.09	105.09	0.12
Yom river	142.33*	Max WS	593.8	39.13	39.2	39.24	113.23	105.16	105.16	0.12
Yom river	141.413*	Max WS	593.78	39.05	39.12	39.16	114.55	105.22	105.22	0.13
Yom river	140.496*	Max WS	593.77	38.98	39.04	39.09	178.39	105.28	105.28	0.13
Yom river	139.58	Max WS	593.77	38.9	38.95	39.01	621.22	105.35	105.35	0.12
Yom river	138.58*	Max WS	593.76	38.81	38.87	38.93	459.53	108.42	108.42	0.12
Yom river	137.58*	Max WS	593.74	38.73	38.78	38.84	400.17	111.5	111.5	0.12
Yom river	136.58*	Max WS	593.73	38.65	38.7	38.77	258.41	114.57	114.57	0.12
Yom river	135.58*	Max WS	593.73	38.58	38.62	38.69	350.4	117.64	117.64	0.12
Yom river	134.58*	Max WS	593.72	38.51	38.55	38.62	514.14	120.72	120.72	0.12
Yom river	133.58	Max WS	593.71	38.44	38.47	38.56	681.69	123.79	123.79	0.11
Yom river	132.705*	Max WS	593.69	38.37	38.39	38.48	908.27	115.17	115.17	0.12
Yom river	131.83*	Max WS	593.68	38.28	38.3	38.39	839.5	106.47	106.55	0.13
Yom river	130.955*	Max WS	593.68	38.17	38.18	38.29	95.71	95.74	96.16	0.14
Yom river	130.08	Max WS	593.66	38.04	38.04	38.16	85.13	85.12	85.7	0.16
Yom river	129.334*	Max WS	593.68	37.92	37.91	38.04	85.72	85.68	86.3	0.16
Yom river	128.588*	Max WS	593.7	37.8	37.78	37.92	86.37	86.29	86.92	0.17
Yom river	127.842*	Max WS	593.72	37.66	37.64	37.79	87.04	86.94	87.58	0.17
Yom river	127.096*	Max WS	593.73	37.52	37.52	37.65	87.71	87.72	88.25	0.18
Yom river	126.35	Max WS	593.73	37.35	37.35	37.49	88.34	88.31	88.91	0.19
Yom river	125.396*	Max WS	593.75	37.15	37.13	37.29	86.7	86.6	87.34	0.2
Yom river	124.442*	Max WS	593.72	36.9	36.86	37.07	84.96	84.74	85.85	0.22

Yom river	123.488*	Max WS	593.59	36.59	36.51	36.8	83.13	82.63	84.58	0.25
Yom river	122.534*	Max WS	592.85	36.15	36.26	36.49	80.78	81.88	83.22	0.29
Yom river	121.58	Max WS	590.63	35.87	36.1	36.31	7462.4	80.4	80.4	0.16
Yom river	120.715*	Max WS	588.95	35.74	36	36.14	7103.44	7556.82	138.41	0.14
Yom river	119.851*	Max WS	588.09	35.65	35.88	36.03	6167.23	196.43	196.43	0.12
Yom river	118.987*	Max WS	587.42	35.57	35.8	35.97	5881.9	254.44	254.44	0.11
Yom river	118.122*	Max WS	586.89	35.51	35.75	35.92	5616.61	312.46	312.46	0.1
Yom river	117.258*	Max WS	586.62	35.46	35.7	35.84	5368.95	370.47	370.47	0.09
Yom river	116.394*	Max WS	586.56	35.41	35.64	35.77	5126.23	428.47	428.49	0.09
Yom river	115.53	Max WS	586.46	35.36	35.56	35.72	4885.61	486.21	486.5	0.09
Yom river	114.53*	Max WS	586.35	35.31	35.49	35.69	5329.77	425.66	425.66	0.08
Yom river	113.53*	Max WS	586.38	35.27	35.45	35.65	5689.57	364.81	364.81	0.08
Yom river	112.53*	Max WS	586.46	35.23	35.41	35.62	6139.84	303.97	303.97	0.08
Yom river	111.53*	Max WS	586.57	35.19	35.38	35.58	6716.06	243.13	243.13	0.08
Yom river	110.53*	Max WS	586.81	35.14	35.33	35.52	1152.88	182.29	182.29	0.11
Yom river	109.53*	Max WS	587.05	35.07	35.23	35.43	1211.95	121.44	121.44	0.14
Yom river	108.53	Max WS	587.24	34.87	35.04	35.13	975.44	59.56	59.96	0.23
Yom river	107.596*	Max WS	586.92	34.62	34.79	34.95	727.74	65.42	65.78	0.22
Yom river	106.663*	Max WS	585.45	34.43	34.62	34.83	541.2	70.97	70.97	0.2
Yom river	105.73*	Max WS	584.25	34.29	34.52	34.74	6488.05	76.15	76.15	0.15
Yom river	104.796*	Max WS	583.36	34.2	34.45	34.69	6587.48	7035.38	81.33	0.12
Yom river	103.863*	Max WS	582.74	34.14	34.39	34.62	6742.24	86.52	86.52	0.1
Yom river	102.93	Max WS	582.54	34.11	34.34	34.57	6909.87	91.7	91.7	0.08
Yom river	102.83	Max WS	582.56	34.11	34.33	34.56	6905.62	156.6	156.6	0.09
Yom river	102.205*	Max WS	582.38	34.08	34.31	34.54	7124.27	132.15	132.15	0.07

Yom river	101.58	Max WS	582.46	34.07	34.29	34.51	8889.53	107.7	107.7	0.06
Yom river	100.665*	Max WS	582.48	34.05	34.26	34.48	7637.31	105.8	105.8	0.08
Yom river	99.75	Max WS	582.19	34	34.22	34.41	7273.52	103.9	103.9	0.09
Yom river	98.88*	Max WS	581.85	33.95	34.15	34.32	102.68	102.2	102.2	0.16
Yom river	98.01*	Max WS	581.93	33.91	34.08	34.22	99.24	100.37	100.5	0.16
Yom river	97.14*	Max WS	582.15	33.86	33.97	34.12	97.02	97.83	98.32	0.16
Yom river	96.27*	Max WS	582.41	33.77	33.85	34.02	94.77	95.28	96.05	0.16
Yom river	95.4	Max WS	582.6	33.64	33.72	33.95	92.66	93.05	94.07	0.16
Yom river	95.3	Max WS	582.59	33.63	33.71	33.94	92.59	92.98	94.05	0.16
Yom river	94.46*	Max WS	582.7	33.51	33.64	33.88	93.35	94.06	94.87	0.16
Yom river	93.62*	Max WS	582.64	33.39	33.59	33.82	94.17	95.11	95.96	0.16
Yom river	92.78*	Max WS	582.68	33.33	33.55	33.77	5562.48	96.45	97.02	0.09
Yom river	91.94*	Max WS	582.9	33.29	33.51	33.73	5255.98	97.56	97.56	0.09
Yom river	91.1	Max WS	583.18	33.26	33.48	33.69	5470.12	98.1	98.1	0.08
Yom river	89.2*	Max WS	583.46	33.23	33.42	33.61	5498.51	93.67	93.67	0.09
Yom river	87.3*	Max WS	583.77	33.19	33.37	33.52	5555.97	89.25	89.25	0.09
Yom river	85.4*	Max WS	583.97	33.13	33.26	33.39	5442.54	84.83	84.83	0.1
Yom river	83.5	Max WS	584.13	32.99	33.09	33.24	79.3	79.7	80.26	0.19
Yom river	83.4	Max WS	584.15	32.97	33.07	33.22	79.22	79.62	80.22	0.19
Yom river	82.58*	Max WS	584.22	32.83	32.97	33.09	83.21	83.78	84.25	0.18
Yom river	81.76*	Max WS	584.42	32.73	32.85	33.01	87.37	87.86	88.38	0.17
Yom river	80.94*	Max WS	584.67	32.6	32.75	32.9	91.47	92.05	92.48	0.17
Yom river	80.12*	Max WS	584.88	32.5	32.68	32.82	95.63	96.36	96.63	0.16
Yom river	79.3	Max WS	585.01	32.42	32.6	32.73	99.91	100.56	100.79	0.15
Yom river	78.3240*	Max WS	584.89	32.33	32.49	32.63	98.54	98.98	99.22	0.15

Yom river	77.348*	Max WS	584.16	32.24	32.37	32.56	97.12	97.39	97.7	0.16
Yom river	76.372*	Max WS	582.18	32.11	32.3	32.49	4532.07	95.87	96.18	0.11
Yom river	75.396*	Max WS	581.94	32.03	32.24	32.41	4655.48	94.38	94.63	0.1
Yom river	74.42	Max WS	581.97	31.98	32.19	32.29	4797.53	92.88	93.03	0.09
Yom river	73.5083*	Max WS	582.07	31.93	32.1	32.17	4414.64	92.38	92.5	0.11
Yom river	72.5966*	Max WS	582.19	31.86	32	32.05	4002.94	91.88	91.97	0.13
Yom river	71.685*	Max WS	582.34	31.76	31.9	31.92	3436.17	91.4	91.4	0.14
Yom river	70.7733*	Max WS	582.5	31.66	31.77	31.78	2821.63	90.8	90.8	0.16
Yom river	69.8616*	Max WS	582.67	31.53	31.63	31.64	2208.94	90.2	90.2	0.16
Yom river	68.95	Max WS	582.86	31.4	31.49	31.5	2640.84	89.6	89.6	0.16
Yom river	67.95*	Max WS	583.07	31.25	31.34	31.35	1938.79	91.5	91.5	0.17
Yom river	66.95*	Max WS	583.28	31.11	31.2	31.22	1724.98	93.4	93.4	0.16
Yom river	65.95*	Max WS	583.49	30.98	31.08	31.09	94.83	95.28	95.3	0.16
Yom river	64.95*	Max WS	583.71	30.86	30.97	30.98	96.6	97.14	97.2	0.15
Yom river	63.95*	Max WS	583.92	30.77	30.87	30.89	98.49	99.05	99.1	0.14
Yom river	62.95*	Max WS	584.13	30.68	30.79	30.8	100.46	101	101	0.13
Yom river	61.95	Max WS	584.33	30.6	30.72	30.73	1819.62	102.9	102.9	0.12
Yom river	61.085*	Max WS	584.48	30.54	30.65	30.67	1580.77	101.05	101.05	0.12
Yom river	60.22*	Max WS	584.63	30.47	30.59	30.61	1331.21	99.03	99.12	0.12
Yom river	59.355*	Max WS	584.82	30.41	30.53	30.54	1052.03	97.01	97.1	0.12
Yom river	58.49*	Max WS	584.95	30.35	30.46	30.48	689.64	94.99	95.08	0.12
Yom river	57.625*	Max WS	585.09	30.28	30.4	30.42	124.57	92.98	93.07	0.12
Yom river	56.76*	Max WS	585.23	30.22	30.34	30.36	123.32	90.97	91.07	0.12
Yom river	55.895*	Max WS	585.37	30.16	30.28	30.3	120.82	88.97	89.07	0.11
Yom river	55.03*	Max WS	585.54	30.1	30.23	30.25	168.18	86.98	87.08	0.11

Yom river	54.165*	Max WS	585.63	30.05	30.17	30.19	574.29	84.99	85.09	0.11
Yom river	53.3	Max WS	585.76	29.99	30.12	30.13	694.56	83.02	83.11	0.11
Yom river	52.4*	Max WS	585.85	29.94	30.06	30.08	512.58	83.93	83.93	0.11
Yom river	51.5*	Max WS	585.89	29.88	30.01	30.03	254.69	83.41	83.41	0.11
Yom river	50.6*	Max WS	585.84	29.84	29.96	29.98	122.45	82.89	82.89	0.11
Yom river	49.7*	Max WS	584.96	29.79	29.92	29.94	163.27	82.36	82.36	0.11
Yom river	48.8*	Max WS	585.1	29.74	29.87	29.89	700.53	81.84	81.84	0.1
Yom river	47.9*	Max WS	585.28	29.7	29.82	29.84	950.29	81.32	81.32	0.1
Yom river	47	Max WS	585.48	29.66	29.78	29.8	934.28	80.8	80.8	0.1
Yom river	46.125*	Max WS	585.72	29.64	29.76	29.79	485.83	130.07	130.07	0.07
Yom river	45.25*	Max WS	585.92	29.62	29.75	29.78	259.09	179.35	179.35	0.06
Yom river	44.375*	Max WS	586.17	29.61	29.74	29.76	280.56	228.63	228.63	0.06
Yom river	43.5	Max WS	586.42	29.6	29.73	29.75	275.27	276.79	277.63	0.05
Yom river	42.75*	Max WS	586.64	29.58	29.71	29.73	398.54	191.98	191.98	0.08
Yom river	42	Max WS	586.77	29.51	29.62	29.64	1494.95	106.06	106.06	0.14
Yom river	41.*	Max WS	586.9	29.4	29.51	29.53	136.67	100.53	100.53	0.14
Yom river	40.*	Max WS	586.95	29.29	29.41	29.43	112.97	95.01	95.01	0.14
Yom river	39	Max WS	587.06	29.19	29.31	29.33	94.03	88.93	89	0.14
Yom river	38.1333*	Max WS	587.23	29.12	29.24	29.27	99.25	88.76	88.76	0.12
Yom river	37.2666*	Max WS	587.35	29.07	29.19	29.21	104.38	88.03	88.03	0.11
Yom river	36.4	Max WS	587.58	29.02	29.14	29.16	108.7	87.01	87.07	0.1
Yom river	35.625*	Max WS	587.79	28.98	29.09	29.12	107.36	84.85	84.85	0.11
Yom river	34.85*	Max WS	587.97	28.93	29.04	29.07	104.04	82.39	82.39	0.11
Yom river	34.075*	Max WS	588.15	28.87	28.99	29.01	97.37	79.93	79.93	0.12
Yom river	33.3	Max WS	588.26	28.81	28.92	28.95	87.48	77.47	77.47	0.13

Yom river	32.4*	Max WS	588.47	28.74	28.85	28.88	88.29	77.43	77.43	0.13
Yom river	31.5*	Max WS	588.71	28.66	28.78	28.8	88.78	77.4	77.4	0.13
Yom river	30.6*	Max WS	588.91	28.59	28.7	28.73	88.66	77.36	77.36	0.13
Yom river	29.7*	Max WS	589.18	28.52	28.63	28.66	88.02	77.32	77.32	0.13
Yom river	28.8*	Max WS	589.43	28.45	28.56	28.59	86.92	77.29	77.29	0.13
Yom river	27.9*	Max WS	589.56	28.37	28.48	28.51	85.33	77.25	77.25	0.13
Yom river	27.*	Max WS	589.74	28.3	28.41	28.44	84.11	77.19	77.21	0.13
Yom river	26.1*	Max WS	589.84	28.22	28.33	28.36	84.16	76.8	76.83	0.13
Yom river	25.2	Max WS	589.99	28.14	28.25	28.28	84.27	76.54	76.56	0.13
Yom river	24.2666*	Max WS	590.11	28.06	28.17	28.2	80.64	74.38	74.41	0.13
Yom river	23.3333*	Max WS	590.28	27.98	28.09	28.12	77.85	72.1	72.1	0.13
Yom river	22.4*	Max WS	590.45	27.9	28.01	28.04	76.72	69.58	69.58	0.13
Yom river	21.4666*	Max WS	590.63	27.82	27.93	27.96	74.96	67.06	67.06	0.13
Yom river	20.5333*	Max WS	590.85	27.74	27.85	27.88	72.78	64.54	64.54	0.13
Yom river	19.6	Max WS	591.09	27.66	27.76	27.79	359.63	62.02	62.02	0.13
Yom river	18.8375*	Max WS	591.26	27.58	27.68	27.71	245.94	64.94	64.94	0.13
Yom river	18.075*	Max WS	591.48	27.5	27.6	27.63	229.13	67.86	67.86	0.13
Yom river	17.3125*	Max WS	591.78	27.42	27.52	27.55	263.62	70.78	70.78	0.13
Yom river	16.55*	Max WS	591.97	27.34	27.43	27.46	357.24	73.7	73.7	0.14
Yom river	15.7875*	Max WS	592.18	27.25	27.34	27.37	528.11	76.62	76.62	0.14
Yom river	15.025*	Max WS	592.09	27.17	27.25	27.28	876.52	78.88	78.99	0.14
Yom river	14.2625*	Max WS	591.93	27.08	27.15	27.18	1061.56	80.22	80.36	0.14
Yom river	13.5	Max WS	591.72	26.98	27.05	27.08	1257.94	81.38	81.49	0.14
Yom river	12.5*	Max WS	591.47	26.88	26.93	26.96	994.2	81.89	82.01	0.14
Yom river	11.5*	Max WS	591.28	26.77	26.81	26.84	704.01	82.56	82.68	0.15

Yom river	10.5*	Max WS	591.12	26.65	26.7	26.72	419.09	83.4	83.52	0.15
Yom river	9.5*	Max WS	591.01	26.55	26.59	26.61	140.69	84.15	84.15	0.15
Yom river	8.5*	Max WS	590.91	26.44	26.47	26.5	96.18	83.85	83.85	0.15
Yom river	7.5*	Max WS	590.93	26.33	26.36	26.39	90.53	83.54	83.54	0.14
Yom river	6.5*	Max WS	591.14	26.22	26.26	26.28	90.33	82.7	82.74	0.14
Yom river	5.5	Max WS	591.56	26.12	26.15	26.17	91.78	81.94	81.97	0.14
Yom river	4.58333*	Max WS	591.52	26.02	26.05	26.06	87.79	83.88	83.9	0.15
Yom river	3.66666*	Max WS	591.49	25.9	25.93	25.94	85.56	85.69	85.77	0.16
Yom river	2.75*	Max WS	591.45	25.77	25.79	25.8	85.68	85.77	85.84	0.17
Yom river	1.83333*	Max WS	591.42	25.62	25.63	25.64	86.35	86.42	86.47	0.18
Yom river	.916666*	Max WS	571.2	25.45	25.46	25.46	86.51	86.62	86.7	0.19
Yom river	0	Max WS	571.11	25.26	25.26	25.26	86.65	86.65	86.65	0.2