



IKM-05/2566

Water Resources Design 03

ส่วนสำรวจและออกแบบที่ 1 นครราชสีมา
สำนักงานทรัพยากรน้ำที่ 5
กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

16 มกราคม 2566





การคำนวณออกแบบ โครงการแหล่งน้ำด้านอุทกวิทยา (ตอนที่ 3)

M สมการแมนนิง (Manning's Formula)

สมการแมนนิงเป็นการหาปริมาณการไหลของลำน้ำโดยอาศัยหลักการทางชลศาสตร์ของรูปตัดลำน้ำที่มีการไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow) โดยลำน้ำมีความลาดเอียงและมีพื้นที่หน้าตัดคงที่เป็นระยะทางที่ยาวเพียงพอ รวมทั้งมีค่าระดับน้ำสูงสุด โดยการเก็บข้อมูลจากภาคสนาม ซึ่งเหมาะสมกับลำน้ำคลองส่งน้ำ ท่อระบายน้ำ และอุโมงค์ส่งน้ำ มีสมการดังนี้

$$V = 1/n * R^{2/3} * S^{1/2}$$

$$Q = A * V$$

$$R = A/P$$

- เมื่อ V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (ม./วินาที)
 S = ความลาดชันของ energy gradient (ม./ม.)
 R = รัศมีชลศาสตร์ (ม.)
 A = พื้นที่หน้าตัดของน้ำ (ม.²)
 P = ความยาวเส้นขอบเปียก (ม.)
 n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวสัมผัส
 Q = อัตราไหล (ม.³/วินาที)

จากสูตรข้างต้น หากถือว่าน้ำไหลด้วยความเร็วสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะทางแล้ว

S = ความลาดชันของท้องน้ำ เมื่อการไหลแบบ Uniform Flow

$$S = H/L$$

เมื่อ H = ผลต่างของระดับน้ำลำน้ำ 2 จุด (ม.)

L = ระยะตามแนวน้ำไหลระหว่าง 2 จุดนั้น (ม.)

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวสัมผัส (n)

ลักษณะของลำน้ำ	ค่าสัมประสิทธิ์ (n)
คลองส่งน้ำ	
คลองดินขุด	0.025
คลองหินขุด	0.40
คอนกรีต	0.13
ไม้	0.14
เหล็ก	0.12
ลำน้ำธรรมชาติบนพื้นราบ	
พื้นที่เรียบตรงไม่มีกรวดและวัชพืช	0.250-0.033
พื้นที่เรียบตรงมีกรวดและวัชพืช	0.030-0.040
พื้นที่ไม่เรียบมีแอ่งน้ำไปตลอด	0.033-0.045
พื้นที่ไม่เรียบมีแอ่งน้ำขรุขระและกรวดหิน	0.035-0.050
มีวัชพืชนานแน่น แอ่งลึก ที่ลุ่มน้ำท่วมมีดินไม่ขึ้นหนาแน่น	0.075-0.150
ลำน้ำธรรมชาติบนภูเขา	
พื้นที่มีกรวด หิน หินก้อนบ้างเล็กน้อย ไม่มีวัชพืช	0.030-0.050
พื้นที่หิน และหินก้อนใหญ่ (Boulder) อยู่ทั่วไป	0.040-0.070

ที่มา : คู่มือเกณฑ์กำหนดการออกแบบ โครงการพัฒนาแหล่งน้ำ, กรมทรัพยากรน้ำ, 2550.

ในวารสารนี้การใช้สมการแมนนิงจะพิจารณาได้ 2 กรณี ดังนี้

● กรณีที่ 1 : สำนักรวหาความลาดชันผิวน้ำจากคราบน้ำสูงสุดได้

● กรณีที่ 2 : ไม่ได้สำนักรวหาค่าความลาดชันผิวน้ำ

กรณีที่ 1. สำนักรวหาความลาดชันผิวน้ำจากคราบน้ำสูงสุดได้

ตัวอย่าง บ้านกุ่ม อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี (K.60) จุดสำนักรวหาสูงสุดที่สำนักรวได้ (อท. 02) ในปี 2008 คือ 10 ส.ค. 2551 ที่ระดับน้ำ 75.705 เมตร(รทก.) เวลาสำนักรว 16.15 – 16.30 ความกว้างผิวน้ำ 15.37 เมตร พื้นที่รูปตัด 23.151 ม.² ความเร็วเฉลี่ย 0.609 เมตร/วินาที ปริมาณน้ำ 14.09 เมตร³/วินาที

(สมมุติ) ช่างสำนักรวได้ทำการเดินระดับคราบน้ำสูงสุดที่ 77.83 เมตร (รทก.) ได้ค่าความลาดชันผิวน้ำ 1: 380

และสรุปข้อมูลดังนี้

ความลาดชันผิวน้ำ (S) = 0.002632 (1:380) (จากการสำนักรว (สมมุติ))

พื้นที่รูปตัด (A) = 70.486 ม.²

เส้นขอบเปียก (P) = 29.713 เมตร

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ " n " = 0.1 (ประเมินจากรูปตัดขวางและตารางค่า " n ")

รัศมีชลศาสตร์ ($\frac{A}{P}$) = 2.37722 เมตร

แทนค่าในสูตร

$$\bar{v} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{v} = \frac{1}{0.1} x \left(\frac{70.486}{29.713} \right)^{\frac{2}{3}} x (0.002632)^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{v} = 10 x (2.37722)^{\frac{2}{3}} x (0.002632)^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{v} = 0.914 \text{ เมตร/วินาที}$$

จาก $Q = A \cdot V$

$$= 70.486 \times 0.914$$

$$= 64.42 \text{ ลูกบาศก์เมตร /วินาที}$$

หากต้องการหาค่า " n " ก่อน สามารถหาได้จากสูตรดังนี้

$$n = \frac{1}{v} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

v = 0.609 เมตร/วินาที (จาก อท.02)

A = 23.151 เมตร² (จาก อท.02)

P = 18.559 เมตร

S = 0.002632 (ได้จากการเก็บคราบน้ำระดับน้ำ)

R = 23.151/18.559 = 2.37722

แทนค่า

$$n = \frac{1}{0.609} x (2.37722)^{\frac{2}{3}} x (0.002632)^{\frac{1}{2}}$$

$$n = 1.642 x 1.7817 x 0.0513$$

$$n = 0.150$$

จากนั้นนำค่า n ไปแทนค่าในสูตร $\bar{v} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$ โดย n ที่ได้นี้ต้องมีการปรับลดลงเล็กน้อย

เนื่องจากวัชพืช หรือสิ่งกีดขวางในลำน้ำก่อนเกิดปริมาณน้ำสูงสุด ได้ถูกทำให้ราบเรียบโดยปริมาณน้ำที่ไหลก่อนเกิดปริมาณน้ำสูงสุดแล้ว

โดย A = 70.486

P = 29.713

n = 0.12 (คำนวณและปรับลดแล้ว)

S = 0.002632 (จากการเก็บคราบน้ำระดับน้ำ)

R = 2.37222

แทนค่าในสูตร

$$\bar{v} = \frac{1}{0.12} x (2.37222)^{\frac{2}{3}} x (0.002632)^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{v} = 8.333 x 1.7792 x 0.0513$$

$$\bar{v} = 0.761$$

จาก $Q = A \cdot V$

$$= 70.486 \times 0.761$$

$$= 53.64 \text{ เมตร}^3/\text{วินาที}$$

ที่มา : การประเมินค่าปริมาณการไหลของน้ำด้วยวิธี Manning's Formula. สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน. 2553.



การคำนวณออกแบบ โครงการแหล่งน้ำด้านอุทกวิทยา (ตอนที่ 3)

กรณีที่ 2 ไม่ได้สำรวจหาความลาดชันผิวน้ำ

ตัวอย่าง กรณีตัวอย่าง K.60 สถานีบ้านกุยมั่ง อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี โดยจุดสำรวจ ปริมาณน้ำสูงสุดที่สำรวจได้ในปี 2008 คือ วันที่ 10 ส.ค. 2551 ที่ระดับน้ำ 75.705 เมตร(รทก.) เวลาสำรวจ 16.15 – 16.30 ความกว้างผิวน้ำ 15.37 เมตร พื้นที่รูปตัด 23.151 ม.² ความเร็วเฉลี่ย 0.609 เมตร/วินาที และปริมาณน้ำที่ได้ 14.09 ม.³/วินาที

1. จากผลการสำรวจดังกล่าวสามารถหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{ความลาดเทผิวน้ำ}(S) &= \text{ยังไม่ทราบค่า} \\ \text{พื้นที่รูปตัด}(A) &= 23.151 \text{ ม.}^2 \quad (\text{จาก อท.02}) \\ \text{ความยาวเส้นขอบเปียก}(P) &= 18.559 \text{ เมตร} \\ \text{ความเร็วเฉลี่ย}(v) &= 0.609 \text{ เมตร/วินาที} \\ \text{ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ}(R) &= 23.151/18.559 = 1.2474 \\ \text{ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ}(n) &\approx 0.1\end{aligned}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระเมื่อพิจารณาจากรูปตัด จะพบว่าด้านท้าย แนวสำรวจมีพืชและต้นไม้ขึ้นเป็นจำนวนมากดังนั้นเมื่อพิจารณาจากตารางค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระจะได้ค่าประมาณ 0.10 – 0.12

$$\begin{aligned}\text{แทนค่าในสูตร} \quad \bar{v} &= \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \\ (\bar{v}n)/R^{\frac{2}{3}} &= S^{\frac{1}{2}} \\ (0.609 \times 0.1)/1.2474 &= S^{\frac{1}{2}} \\ (0.04882)^2 &= (S^{\frac{1}{2}})^2 \\ S &= 0.002383 \\ \text{Slope} &= 1:419\end{aligned}$$

2. นำค่าความลาดเทที่คำนวณได้ไปแทนค่าในสูตรแมนนิ่งที่ระดับน้ำสูงสุด(Peak)ในกรณีนี้คือ สถานี K.60 สถานีบ้านกุยมั่ง อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี ระดับน้ำสูงสุดเวลา 16.00 น. ที่ 77.83 เมตร (รทก.)

$$\begin{aligned}\text{ค่า } A \text{ ที่ระดับ } 77.83 \text{ ม.} &= 70.486 \text{ ม.}^2 \\ \text{ค่า } P \text{ ที่ระดับ } 77.83 \text{ ม.} &= 29.713 \text{ ม.} \\ \text{ค่า } n \text{ ที่ระดับ } 77.83 \text{ ม.} &= 0.1 \quad (\text{จากการประเมินค่า}) \\ \text{ค่า } S \text{ ที่ระดับ } 77.83 \text{ ม.} &= 0.002383 \quad (\text{ผลการคำนวณข้อ 1}) \\ \text{ค่า } R = A/P &= 3.57561 \text{ ม.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{แทนค่าในสูตร} \quad \bar{v} &= \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \\ \bar{v} &= \frac{1}{0.1} (3.57561)^{\frac{2}{3}} \times (0.002383)^{\frac{1}{2}} \\ \bar{v} &= 10 \times 2.3393 \times 0.04881 \\ \bar{v} &= 1.142\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{จาก } Q &= A \cdot V \\ Q &= 70.486 \times 1.142 \\ Q &= 80.40 \text{ ม.}^3/\text{วินาที}\end{aligned}$$

ที่มา : การประเมินค่าปริมาณการไหลของน้ำด้วยวิธี Manning's Formula. สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน. 2553.

หลักการประเมินค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n)

จากการวิจัยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการและปัจจัยเหล่านี้ยังมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกันอีกด้วย ซึ่งปัจจัยต่างๆ มีดังต่อไปนี้

- ความขรุขระของผิวหน้าทางน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของวัสดุที่นำมาใช้สร้างผิวหน้าทางน้ำ โดยวัสดุที่มีเม็ดละเอียดจะให้ค่า n ต่ำ และวัสดุที่มีเม็ดหยาบก็จะให้ค่า n สูง ความขรุขระของผิวหน้าทางน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดค่า n
- พืชที่ขึ้นปกคลุมทางน้ำ เช่น หญ้า ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการต้านการไหลและจะลดอัตราการไหล ผลของพืชที่ขึ้นปกคลุมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ความสูง ความหนาแน่น การกระจายและชนิดของพืช
- ความไม่สม่ำเสมอของทางน้ำ ในทางน้ำธรรมชาติความไม่สม่ำเสมอของทางน้ำจะเกิดขึ้นจากหาดทราย หลุมและบ่อในท้องคลอง เป็นต้น จากการวิจัยพบว่า ถ้าทางน้ำนั้นค่อยๆ เปลี่ยนแปลงทีละน้อยอย่างสม่ำเสมอไม่ว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นจะเป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างหรือหน้าตัดการไหล จะไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่า n มากนัก แต่ถ้าการเปลี่ยนแปลงนั้นเป็นการเปลี่ยนอย่างฉับพลันก็จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่า n อย่างมาก

- แนวทางน้ำ ทางน้ำที่มีรัศมีส่วนโค้งของแนวทางน้ำมากและส่วนโค้งนั้น ราบเรียบจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า n น้อยมาก แต่ถ้าทางน้ำนั้นมีความโค้งของแนวทางน้ำน้อยหรือเป็นโค้งหักศอกและโค้งกลับปัดกลับมา จะทำให้ค่า n มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งบางครั้งอาจจะเพิ่มค่า n ได้ถึง 30% นายสโคบี (Scobey) ได้ทำการทดลองในทางน้ำ (flume) พบว่า n จะมีค่าเพิ่มขึ้น 0.001 ถ้าทางน้ำเบี่ยงเบนไปเป็นมุม 20 องศา และความยาวของทางน้ำ 30 เมตร
- การกัดเซาะและการตกตะกอน จากการทดลองพบว่า การตกตะกอนจะทำให้ทางน้ำที่ไม่ว่างสม่ำเสมอและลดความเร็วลงตรงกันข้าม ถ้าเกิดการกัดเซาะก็จะทำให้ทางน้ำไม่สม่ำเสมอและค่าของ n จะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของวัสดุที่ปะปนกับน้ำและทำให้ลักษณะการตกตะกอนแตกต่างกัน เช่น การตกตะกอนทำให้เกิดสันทรายก็จะเพิ่มค่า n เป็นต้น
- สิ่งกีดขวาง สิ่งกีดขวางทางน้ำ เช่น ดอกไม้สะพาน จะทำให้ n มีค่าเพิ่มขึ้น การเพิ่มค่า n จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด รูปร่าง ปริมาณและการจัดวางตัวของสิ่งกีดขวาง
- ความลึกการไหลและอัตราการไหล โดยทั่วไปทางน้ำจะมีค่า n ลดลง เมื่อความลึกการไหลและอัตราการไหลมีค่ามากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่า เมื่อทางน้ำมีความลึกการไหลน้อย ความไม่สม่ำเสมอของท้องคลองจะทำให้มีบางส่วนไหลเข้ามาทำให้ n มีค่ามากขึ้นถ้าหากทางน้ำอาจจะมีค่า n เพิ่มขึ้น เมื่อความลึกการไหลและอัตราการไหลมีค่ามากขึ้นก็ได้ ถ้าลาดคลองของทางน้ำขรุขระ และมีพืชน้ำขึ้นรกรุงรัง

ที่มา : การประเมินค่าปริมาณการไหลของน้ำด้วยวิธี Manning's Formula. สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน. 2553.

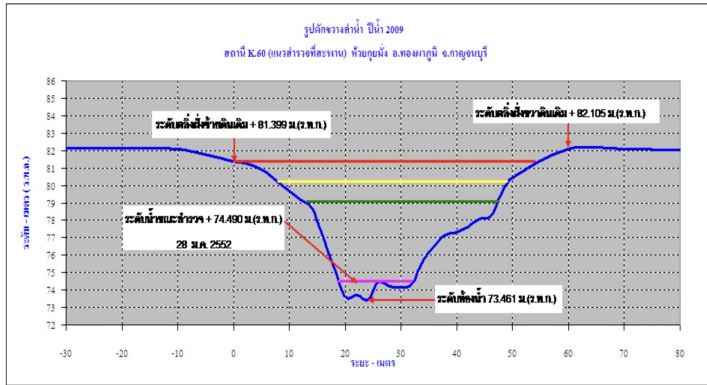
ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n ในสมการ Manning's formula

ชนิดและลักษณะทางน้ำ	ต่ำสุด	ปานกลาง	สูงสุด
1. ทางน้ำธรรมชาติ			
1.1 ลำน้ำย่อย (ความกว้างผิวน้ำที่เกิดอุทกภัย 100 ฟุต)			
1.1.1 ลำน้ำบนที่ราบ			
1.1.1.1 สะอาด ตรง ระดับสูง ไม่มีแยกและบ่อลึก	0.025	0.030	0.033
1.1.1.2 เหมือนข้อแรกแต่มีหินและวัชพืชมากกว่า	0.030	0.035	0.040
1.1.1.3 สะอาด คดเคี้ยว มีบ่อและแก่งตื้นน้ำ	0.033	0.040	0.045
1.1.1.4 เหมือนข้อ 1.1.1.3 แต่มีวัชพืชและหิน	0.035	0.045	0.050
1.1.1.5 เหมือนข้อ 1.1.1.4 แต่ระดับต่ำกว่าความลาดเทและรูปตัดไม่แน่นอน	0.040	0.048	0.055
1.1.1.6 เหมือนข้อ 1.1.1.4 แต่มีหินมากกว่า	0.045	0.050	0.060
1.1.1.7 ช่วงที่ไหลช้า วัชพืช บ่อลึก	0.050	0.070	0.080
1.1.1.8 ช่วงที่มีวัชพืชมาก บ่อลึกหรือทางอุทกภัยที่มีต้นไม้	0.075	0.100	0.150
1.1.2 ลำน้ำใหญ่เขาไม่มีวัชพืชในทางน้ำ คลังลาดชัน ต้นไม้และพุ่มไม้ตามตลิ่งอยู่ใต้ระดับการไหลสูง			
1.1.2.1 ก้น : กรวด ก้อนหิน และหินก้อนใหญ่ เล็กน้อย	0.030	0.040	0.050
1.1.2.2 ก้น : ก้อนหิน หินก้อนใหญ่กว่าข้อแรก	0.040	0.050	0.070
1.2 ทาม			
1.2.1 พุ่มหญ้า ไม่มีพุ่มไม้	0.025	0.030	0.035
1.2.1.1 หญ้าสั้น	0.030	0.035	0.050
1.2.1.2 หญ้ายาว			
1.2.2 พื้นที่เพาะปลูก			
1.2.2.1 ไม่มีพืช	0.020	0.030	0.040
1.2.2.2 พืชเป็นแถวที่แก่	0.025	0.035	0.045
1.2.2.3 พืชไร่ที่แก่	0.030	0.040	0.050
1.2.3 ไม้พุ่ม			
1.2.3.1 ไม้พุ่มกระจัดกระจาย วัชพืชขึ้นหนา	0.035	0.050	0.070
1.2.4 ต้นไม้			
1.2.4.1 พื้นที่ว่างเปล่ามีต้นไม้ไม่มีพุ่ม	0.030	0.040	0.050
1.2.4.2 เหมือนข้อ 2.2.4.1 แต่มีพุ่มน้อย	0.050	0.060	0.080
1.2.4.3 มีไม้ยืนต้นมาก มีไม้ล้มลุกเล็กน้อย ต้นเล็กมีเล็กน้อยระดับน้ำต่ำกว่ากิ่งก้าน	0.080	0.100	0.120
1.2.4.4 เหมือนข้อ 2.2.4.3 แต่ระดับน้ำถึงกิ่งก้าน	0.100	0.120	0.160
1.3 ลำน้ำหลัก (ผิวหน้าเมื่อเกิดอุทกภัยกว้าง 100 ฟุต) คำนวณกว่าลำน้ำย่อยที่มีลักษณะเหมือนกัน			
1.3.1 รูปตัดสม่ำเสมอ ไม่มีก้อนหินหรือไม้พุ่ม	0.025		0.060
1.3.2 ไม่สม่ำเสมอ และรูปตัดขรุขระ	0.035		0.100

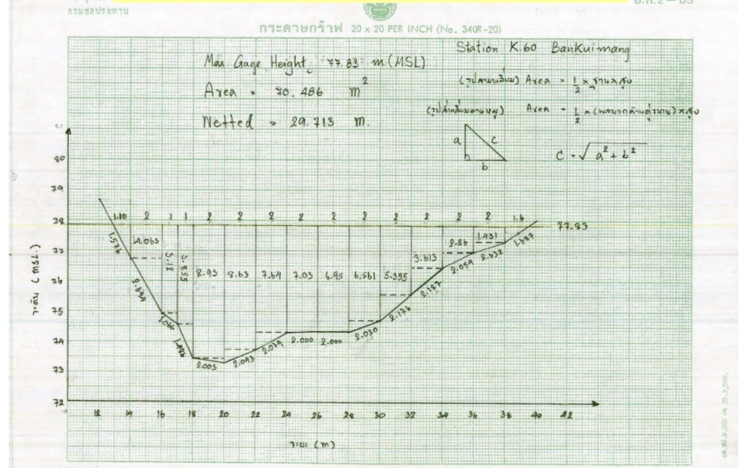
ที่มา : Bruce R. et al., " Fundamentals of Fluid Mechanics ", Iowa State University. Ames, Iowa, USA, 1990, 843 pp.

การคำนวณออกแบบโครงการแหล่งน้ำด้านอุทกวิทยา (ตอนที่ 3)

ภาพที่ 1 รูปตัดขวางลำน้ำที่แนวสำรวจของสถานี K.60 บ้านกุ่มมั่ง



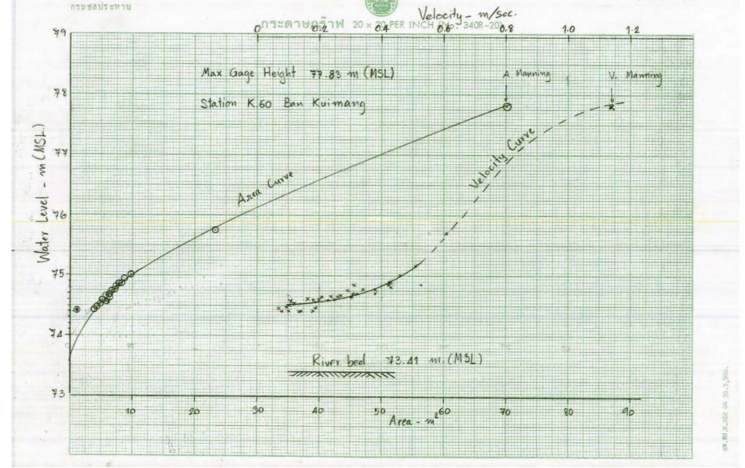
ภาพที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณพื้นที่รูปตัดขวางและเส้นขอบเปียก จากระดับน้ำสูงสุด (Peak)



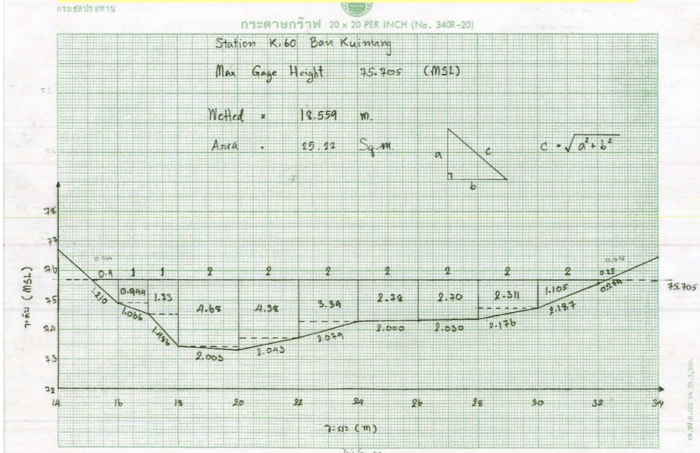
ภาพที่ 2 รูปถ่ายแนวสำรวจของสถานี K.60 บ้านกุ่มมั่ง



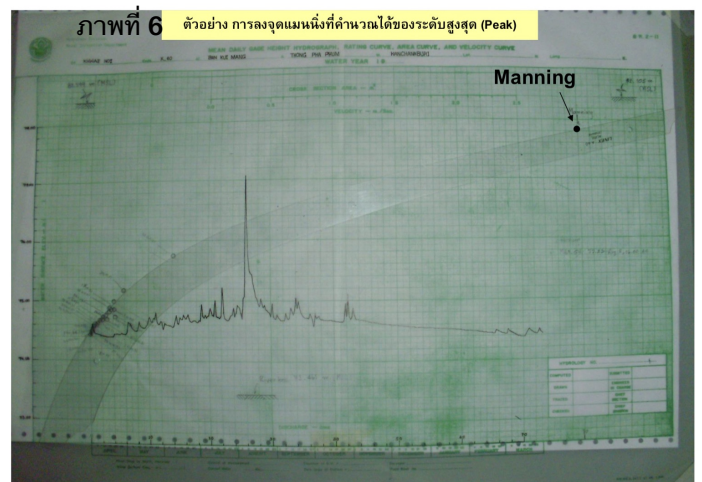
ภาพที่ 5 ตัวอย่าง การตรวจสอบพื้นที่รูปตัดขวางและเส้นขอบเปียก ที่คำนวณได้ของระดับสูงสุด (Peak)



ภาพที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณพื้นที่รูปตัดขวางและเส้นขอบเปียก จากจุดสำรวจจริงที่สำรวจได้ในระดับสูงสุด



ภาพที่ 6 ตัวอย่าง การลงจุดแมนนิ่งที่คำนวณได้ของระดับสูงสุด (Peak)



ที่มา : การประเมินค่าปริมาณการไหลของน้ำด้วยวิธี Manning's Formula. สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน. 2553.

ที่มา : การประเมินค่าปริมาณการไหลของน้ำด้วยวิธี Manning's Formula. สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน. 2553.