

การออกแบบระบบระบายน้ำฝน

เกณฑ์การออกแบบระบบระบายน้ำฝน

ที่มา : กรมโยธาธิการและผังเมือง

เกณฑ์การออกแบบระบบระบายน้ำ แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ เกณฑ์กำหนดทั่วไป เกณฑ์ด้านอุทกวิทยาและเกณฑ์ด้านชลศาสตร์

(1) เกณฑ์กำหนดทั่วไป

การแบ่งพื้นที่รับน้ำหรือระบายน้ำ แบ่งตามขอบเขตของพื้นที่ปิดล้อม โดยการระบายน้ำในแต่ละพื้นที่ปิดล้อมจะเป็นอิสระต่อกัน

- การปรับปรุงคลองในพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่น จะปรับปรุงเฉพาะในเขตคลองเดิมโดยหลีกเลี่ยงการขยายเขตคลอง ซึ่งจะต้องมีการจัดหาที่ดิน นอกจากจำเป็นจริงๆและมีแนวโน้มว่ามีความเป็นไปได้ในการจัดหา

- การปรับปรุงคลองในพื้นที่เกษตรกรรมหรือบริเวณที่ไม่มีบ้านเรือน อาจใช้การขยายความกว้างคลองที่ไม่เกินเขตคลอง ถ้าพบว่ามีน้ำท่วมขังและหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งนอกจากจะทำให้สามารถระบายน้ำในสภาพปัจจุบันได้ดีแล้ว ยังเผื่อไว้สำหรับในอนาคตด้วยเมื่อพื้นที่เหล่านี้มีการพัฒนามากขึ้น

- ระดับน้ำในคลองที่ผ่านพื้นที่ชุมชนจะต้องอยู่ต่ำกว่าระดับคันป้องกันน้ำท่วมในช่วงที่ฝนตกเท่าเกณฑ์การออกแบบเพื่อไม่ให้เกิดสภาพน้ำท่วม

- ก่อนเกิดฝนตกจะต้องรักษาระดับน้ำในคลองให้ต่ำไว้เพื่อให้คลองมีปริมาตรที่ว่างไว้สำหรับจะรับน้ำฝนที่ระบายน้ำลงคลองเมื่อเกิดฝนตก

- ถ้าระดับน้ำภายนอกคลองสูงกว่าระดับน้ำภายในคลองจะปิดประตูน้ำและทำการสูบน้ำออกอย่างเดียว แต่ถ้าระดับน้ำภายนอกอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำภายในจะเปิดประตูน้ำช่วยในการระบาย

- ถ้าภายในพื้นที่มีบ่อน้ำหรือหนองน้ำสาธารณะ จะพิจารณาใช้ประโยชน์จากบ่อน้ำดังกล่าวไว้เป็นพื้นที่ชะลอน้ำหรือเก็บกักน้ำชั่วคราว เพื่อประโยชน์ในการลดขนาดของระบบระบายน้ำ

- พิจารณาใช้ท่อระบายน้ำที่มีอยู่เดิมให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

- การวางท่อระบายน้ำจะพิจารณาขนาดความกว้างของถนนด้วย เนื่องจากถนนบางสายอาจมีขนาดเล็กถ้าวางท่อขนาดใหญ่ลงไปอาจมีพื้นที่วางท่อไม่พอ หรือถ้าวางท่อระบายน้ำได้ แต่อาจวางท่อสำหรับสาธารณูปโภคอื่นๆไม่ได้

- การวางท่อระบายน้ำที่ต่อลงคลอง ระดับกันท่อกาจอยู่ต่ำกว่ากันคลองซึ่งทำให้ต้องทำการปรับปรุงคลองตามมา ดังนั้นการวางแผนและออกแบบท่อระบายน้ำจะต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับระดับกันคลองถ้าจำเป็นจริงๆจึงจะทำการปรับปรุงคลอง

- การวางแผนท่อระบายน้ำสายหลักจะพิจารณาวางบนถนนเดิมเป็นหลัก สำหรับถนนผังเมืองในอนาคตจะวางท่อระบายน้ำสายหลักเฉพาะที่จำเป็นจริงๆ เนื่องจากความไม่แน่นอนว่าจะได้ก่อสร้างเมื่อใด

(2) เกณฑ์การออกแบบด้านอุทกวิทยา

- ระดับน้ำสูงสุดที่คาบความถี่ ใช้ตามเกณฑ์การออกแบบระดับป้องกันน้ำท่วม
- ความเข้มของฝนที่คาบความถี่ต่าง ๆ ใช้ผลการคำนวณของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของฝน-ช่วงเวลา-คาบความถี่ต่าง ๆ ของสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ภายในพื้นที่
- ฝนออกแบบสำหรับระบบระบายน้ำใช้ฝนระยะสั้น กล่าวคือมีระยะเวลาตกทั้งสิ้น 3 ชม. มีการกระจายของฝน 10 นาที่ ในช่วงเวลา 3 ชม. ตามลักษณะการกระจายที่ตรวจวัดได้ที่สถานีและในการกระจายที่กำหนดให้มีฝนสูงสุดในช่วง 10 นาที่ ช่วง 15 นาที่ ช่วง 30 นาที่ ช่วง 1 ชม. และช่วง 3 ชม. ของรอบปีที่รวบรวมอยู่ด้วย
- การประเมินฝนเฉลี่ยของพื้นที่ขนาดใหญ่ใช้ค่าตัวคูณการลดพื้นที่

(3) เกณฑ์การวางออกแบบด้านชลศาสตร์

- การคำนวณหาปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในพื้นที่จะคำนวณด้วยวิธี Rational Method โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน พื้นที่รองรับน้ำฝน และค่าสัมประสิทธิ์การไหลน้ำท่า (C) ซึ่งแตกต่างกันตามสภาพการใช้พื้นที่ซึ่งอัตราการไหลสูงสุดของปริมาณน้ำท่าคำนวณจากสูตร ดังนี้

$$Q = 0.278 \text{ CIA}$$

$$\text{เมื่อ } Q = \text{อัตราการไหลสูงสุด, ลบ.ม/วินาที}$$

$$C = \text{สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำท่า}$$

I = ความเข้มของฝน, มม./ชม.

A = พื้นที่รับน้ำฝนหรือพื้นที่ระบายน้ำ, ตร.กม.

- สัมประสิทธิ์ของน้ำท่าสำหรับพื้นที่รับน้ำย่อยในแต่ละแห่ง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลสำหรับลักษณะพื้นที่แบบต่างๆ ดังนี้

สภาพการใช้ที่ดิน	ค่า C
ที่ดินประเภทที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย	0.30-0.45
ที่ดินประเภทที่อยู่อาศัยหนาแน่นปานกลาง	0.40-0.50
ที่ดินประเภทพาณิชยกรรม และที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก	0.45-0.60
ที่ดินประเภทอุตสาหกรรมเฉพาะกิจ	0.50-0.70
ที่ดินประเภทชนบทและเกษตรกรรม	0.20-0.30
ที่ดินประเภทที่โล่งเพื่อนันทนาการและการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม	0.20-0.30
ที่ดินประเภทสถาบันการศึกษา	0.40-0.70
ที่ดินประเภทสถาบันศาสนา	0.20-0.30
ที่ดินประเภทสถาบันราชการ	0.50-0.60

- คาบความถี่ของฝนที่ใช้ในการออกแบบคลองและทางระบายน้ำสายหลักจะทำการออกแบบให้รับน้ำได้ด้วยคาบความถี่ 5 ปี

- ความเข้มของฝน (Rainfall Intensity) สำหรับคาบความถี่และช่วงเวลาของฝนที่กำหนดจะหาได้จากการวิเคราะห์ทางด้านอุทกวิทยาของฝน ช่วงเวลาของฝน กำหนดให้เท่ากับช่วงเวลาที่น้ำไหลจากบริเวณฝนตกที่จุดไกลที่สุดมาเข้าท่อหรือรางระบายน้ำและไหลในท่อหรือรางระบายมายังจุดที่พิจารณา

- ช่วงเวลาที่น้ำไหลบนผิวดินหาจากสมการเวลารวมตัวของน้ำ (Time of concentration)

- การคำนวณการไหลของน้ำในท่อหรือคลองโดยทั่วไปใช้ Manning Formula ค่าสัมประสิทธิ์ของแมนนิง (n) ใช้ 0.015 สำหรับพื้นผิวที่เป็นคอนกรีต โดยตั้งสมมุติฐานว่าเป็นทางระบายน้ำตรง (มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน 5 องศา) และรวมค่าความสูญเสียรอง (Minor Loss) ต่างๆ ไว้แล้ว เช่น ที่รอยต่อระหว่างท่อย่อยต่อระหว่างท่อที่บ่อกักเป็นต้น สำหรับกรณีคลองธรรมชาติ กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ n เท่ากับ 0.030-0.035 สำหรับตัวลำนน้ำและเท่ากับ 0.050-0.075 สำหรับบริเวณ Flood Plain ของลำนน้ำ

- ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบระบบระบายน้ำภายใน

(ก) การคำนวณขนาดท่อระบายน้ำได้พิจารณาเป็น 2 ลักษณะ ขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นที่

- กรณีที่จุดทิ้งน้ำ มีระดับน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะต่ำกว่าระดับท้องท่อระบายน้ำจะพิจารณาการไหลในท่อระบายน้ำในเงื่อนไขที่ระดับท้ายน้ำของท่อเป็นแบบอิสระ (Free Flow)
- กรณีที่จุดทิ้งน้ำ มีระดับน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะสูงกว่าระดับท้องท่อระบายน้ำจะพิจารณาการไหลในท่อระบายน้ำในเงื่อนไขที่ระดับท้ายน้ำของท่อเป็นแบบน้ำท่วมท้ายท่อ (Submerged Flow)

(ข) ชนิดและขนาดท่อระบายน้ำกำหนดให้ใช้ท่อ 2 ชนิด ได้แก่

- ท่อกลมคอนกรีต ใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.60-1.50 ม.
- ท่อสี่เหลี่ยมคอนกรีต ใช้ท่อขนาดตั้งแต่ 1.20×1.20 ม.ขึ้นไป

(ค) ท่อระบายน้ำ (Street Drain or Trunk Drain)

- ความเร็วต่ำสุด 0.60 ม./วินาที (ป้องกันการตกตะกอน)
- ความเร็วสูงสุด 3.00 ม./วินาที (ป้องกันการกัดกร่อน)
- ความลาดชันตามยาว ตามสภาพภูมิประเทศและใช้เกณฑ์ ดังนี้
 - ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.40. มีความลาดชันไม่น้อยกว่า 1:400
 - ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 ม. มีความลาดชันไม่น้อยกว่า 1:600
 - ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.20 ม. มีความลาดชันไม่น้อยกว่า 1:1,200
- ขนาดท่อเล็กสุด เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 เมตร (ป้องกันการอุดตัน)
- ระดับน้ำในท่อไหลเต็มท่อพอดีที่อัตราไหลสูงสุด ที่คำนวณได้จาก Rational
- ที่จุดเปลี่ยนขนาดท่อ ระดับสันท่อทั้ง 2 ข้างอยู่ระดับเดียวกัน
- ระดับดินถมหลังท่อ อย่างน้อย 0.60 เมตร
- ความลึกในการฝังท่อ ฝังท่อลึกที่สุดไม่ควรเกิน 6.0 เมตร แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการพิจารณาค่าลงทุนและความยากของการก่อสร้างด้วย

(ง) รางระบายน้ำเปิด (Open Drain) (ถ้ามี)

- ความเร็วต่ำสุด 0.60 ม./วินาที

- ความลาดเอียง ตามสภาพภูมิประเทศ
- ขนาดรางเล็กสุด กว้างอย่างน้อย 0.30 ม.
- ระดับน้ำในราง ไม่ต่ำกว่า 0.30 ม.
- ที่จุดเปลี่ยนขนาด ระดับน้ำในราง 2 ข้างอยู่ระดับเดียวกัน
- ระดับดินกันราง อยู่ต่ำกว่าระดับดินเดิม

(จ) ระยะห่างระหว่างบ่อพักน้ำเพื่อการบำรุงรักษา

- ไม่เกิน 8 ม. สำหรับท่อขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60–1.00 ม.
- ไม่เกิน 16 ม. สำหรับท่อขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.00–1.50 ม.

อย่างไรก็ตามภายในพื้นที่ปิดล้อม จำเป็นต้องมีระบบระบายน้ำภายใน เพื่อระบายน้ำฝนที่ตกลงมาภายในพื้นที่ปิดล้อมให้สามารถระบายออกมาจากพื้นที่ปิดล้อมได้ กรณีที่ระดับน้ำภายนอกพื้นที่ปิดล้อมอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำภายในพื้นที่ปิดล้อม การระบายน้ำภายในพื้นที่จะระบายได้เองตามแรงโน้มถ่วง (Gravity) แต่เมื่อใดก็ตามที่ระดับน้ำภายนอกอยู่สูงกว่าระดับน้ำภายใน น้ำภายในพื้นที่ปิดล้อมจะไม่สามารถระบายได้เองจำเป็นต้องใช้เครื่องสูบน้ำช่วย การวิเคราะห์หาขนาดอัตราการสูบน้ำที่เหมาะสม จะต้องพิจารณาถึงปริมาตรความจุของคลองหนองและบึงต่างๆ ภายในพื้นที่ ทั้งนี้เพื่อให้คลอง หนองและบึงดังกล่าว เป็นบ่อเก็บกักน้ำชั่วคราวในช่วงที่ฝนเริ่มตกเพื่อให้อัตราการสูบน้ำมีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไปและเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสถานีสูบน้ำ

หลักการในการวิเคราะห์หาขนาดอัตราของการสูบน้ำที่เหมาะสม มีดังนี้

- หาปริมาตรความจุของคลอง หนอง และบึงต่างๆ ที่มีอยู่ภายในพื้นที่ปิดล้อม
- คำนวณหาปริมาณน้ำท่าสะสมในพื้นที่ปิดล้อมที่เกิดจากฝน โดยใช้วิธี Rational Method ที่เวลาต่างๆโดยการใช้ปริมาณฝน 3 ซม. รอบ 5 ปี และค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าตามประเภทของการใช้ที่ดิน
- เขียนกราฟปริมาณน้ำท่าสะสมกับระยะเวลา
- ลากเส้นตรงจากจุดเริ่มต้น ความลาดชันของเส้นตรงจะเป็นอัตราการสูบน้ำทั้งหมดที่ต้องการ ทั้งนี้โดยให้ระยะห่างที่มากที่สุดจากเส้นตรงนี้ถึงปริมาณน้ำท่าสะสม มีค่าเท่ากับความจุคลอง หนองและบึงที่หาไว้แล้ว

เกณฑ์การพิจารณาในการวิเคราะห์การระบายน้ำหลากสูงสุด

: หน่วยวิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติ (CENDRU)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุด เพื่อพิจารณาถึงโครงสร้างการระบายน้ำและขนาดช่องเปิดการระบายที่เหมาะสม ที่ตำแหน่งซึ่งตัดผ่านลำน้ำ การคำนวณทำได้ 2 กรณี คือ

1. กรณีพื้นที่รับน้ำน้อยกว่า 25 ตร.กม. การคำนวณปริมาณน้ำหลากสูงสุดใช้วิธี Rational โดยสูตร

$$Q_p = 0.278 \quad C_i A \quad (1)$$

โดยที่ Q_p = ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)

C = สัมประสิทธิ์การไหลนอง ขึ้นกับความเข้มของฝนและสภาพภูมิประเทศ

i = ความเข้มของฝน (มม./ชม.) หาจาก IDF Curve ของพื้นที่ โดย

ขึ้นอยู่กับค่ารอบปีการเกิดซ้ำที่เลือกและช่วงเวลาฝนตก

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)

2. กรณีพื้นที่รับน้ำมากกว่า 25 ตร.กม. การคำนวณปริมาณน้ำหลากสูงสุดสำหรับลำน้ำที่เส้นทางตัดผ่านในลุ่มน้ำปิงและสาขา หากจากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากโดยการแจกแจงความถี่ทางสถิติจากข้อมูลปริมาณน้ำหลากสูงสุดของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ในลุ่มน้ำโดยที่ความยาวของช่วงสถิติข้อมูลตั้งแต่ 15 ปีขึ้นไป แล้วนำข้อมูลปริมาณน้ำหลากสูงสุดในแต่ละปีของสถานีที่เลือกมาทำการวิเคราะห์ความถี่ ทำการแจกแจงความถี่โดยวิธีกัมเบล เพื่อหาค่าการหลากสูงสุดในรอบปีการเกิดซ้ำขนาด 2, 5, 10, 20, 50, และ 100 ปี แล้วนำผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับพื้นที่รับน้ำที่รอบปีการเกิดซ้ำขนาดต่างๆ หากจากสมการ

$$Q_p = a A^b \quad (2)$$

โดยที่ Q_p = ปริมาณน้ำหลากสูงสุด ของรอบปีการเกิดซ้ำที่เลือก (ลบ.ม./วินาที)

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)

a, b = ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ ของลุ่มน้ำที่พิจารณา

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดและขนาดพื้นที่รับน้ำที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆของพื้นที่ในลุ่มน้ำปิง แสดงในรูป 1

พื้นที่หน้าตัดหรือช่องเปิดการระบายน้ำหลากเพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำของลำน้ำที่เส้นทางตัดผ่านและไม่ทำให้เกิดการท่วมและกัดเซาะทำความเสียหาย หาได้จากการนำค่าปริมาณการหลากสูงสุดมาหารค่าความเร็วการไหลของน้ำ โดยทั่วไปให้ความเร็วอยู่ในช่วง 1.5 – 2.0 เมตร/วินาที ดังแสดงในสมการ

$$A_d = Q_p / v \quad (3)$$

โดยที่ A_d = พื้นที่หน้าตัดการระบาย (ตร.ม.)

v = ความเร็วการไหลของน้ำ (เมตร/วินาที)

หรือใช้สมการของ Manning หาความเร็วการไหลของน้ำ ดังสมการ

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

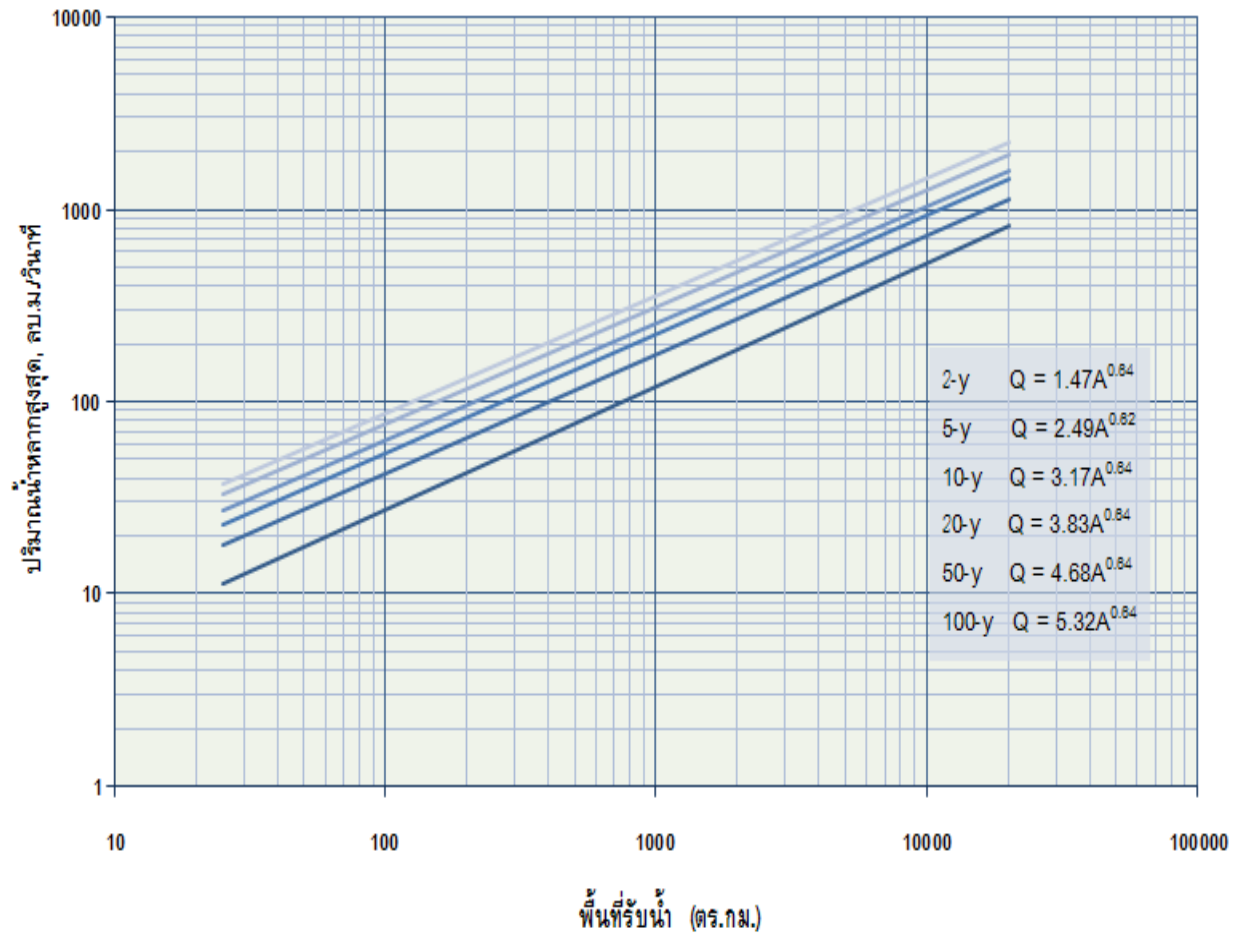
โดยที่ n = ค่า Manning n ขึ้นกับชนิดผิวการระบายน้ำ

R = รัศมีทางชลศาสตร์ = พื้นที่หน้าตัดการระบาย หารค่า wetted perimeter

S = ความลาดชันของการไหลท้องน้ำหรือท้องอาคารระบายน้ำ

สำหรับรอบปีการเกิดซ้ำ(Return Period) ที่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ กำหนดให้ทอกลมใช้ 5 – 10 ปี Return Period ทอหลอดเหลี่ยม ค.ส.ล. ใช้ 10 – 20 ปี และ สะพาน ค.ส.ล. ใช้ 50 ปี

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดและขนาดพื้นที่รับน้ำ ณรอบการเกิดซ้ำต่างๆ ของลุ่มแม่น้ำปิง



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับขนาดพื้นที่รับน้ำของลุ่มน้ำปิง

การออกแบบระบบระบายน้ำโดยวิธีเรชันแนล

: ชูโชค อายุพงศ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มช.

1. ทฤษฎีการประเมิน

ปริมาณน้ำหลากของฝนตกที่น้ำไหลมาจากพื้นที่ลุ่มน้ำ การคำนวณหาขนาดของปริมาณน้ำหลากสูงสุดจึงมีความจำเป็นเพื่อนำไปสู่การออกแบบขนาดของลำน้ำและรางระบายน้ำที่เหมาะสม

วิธีเรชันแนล (Rational method) ถูกใช้หาอัตราการไหลสูงสุดของน้ำบนพื้นดินเพื่อทำการออกแบบด้านการระบายน้ำมาอย่างกว้างขวางมาเป็นเวลานานมาแล้ว เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อนแต่มีข้อจำกัดหลายประการที่ผู้นำไปใช้ต้องมีความเข้าใจในสมมุติฐานของวิธีนี้ให้ถ่องแท้ วิธีนี้ยังสามารถใช้เพื่อการออกแบบการระบายน้ำเบื้องต้นเพื่อการออกแบบการระบายน้ำในพื้นที่ชุมชนเมืองและพื้นที่อุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี โดยวิธีนี้เหมาะที่จะใช้กับพื้นที่รับน้ำขนาดเล็กไม่เกิน 25 ตารางกิโลเมตร

1.1 วิธีเรชันแนล (Rational method)

แนวความคิดของวิธีเรชันแนลมีอยู่ว่า ถ้าฝนตกโดยที่ความเข้มของฝน (Rainfall intensity) , i เริ่มต้นและต่อเนื่องอย่างสม่ำเสมอ ค่าอัตราการไหลของน้ำท่าจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งอัตราการไหลสูงสุดที่เวลาหนึ่งเรียกว่า เวลาในการรวมตัวของน้ำท่า (Time of concentration), t_c ดังแสดงในรูปที่ 2 เมื่อพื้นที่ภายในพื้นที่รับน้ำกำลังให้น้ำท่าไหลไปที่ทางออก ผลคูณของค่าความเข้มของฝน i และขนาดพื้นที่รับน้ำ A เป็นอัตราไหลเข้าสู่ระบบ , iA และอัตราส่วนของค่า iA ต่อค่าอัตราการไหลสูงสุด Q (ซึ่งเกิดที่เวลา t_c) เป็นเทอมสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (Runoff coefficient) , C ซึ่งแสดงเป็นสูตรได้ดังนี้

$$Q = 0.278 \ C i A \quad (1)$$

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

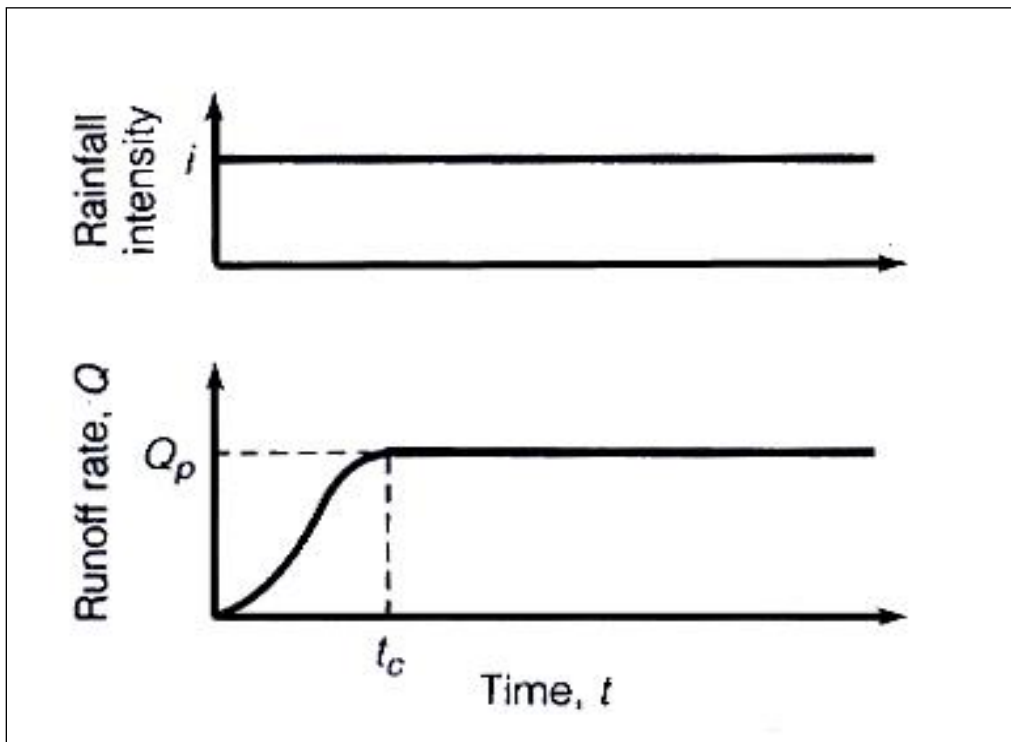
C = สัมประสิทธิ์ของน้ำท่า ขึ้นกับความเข้มของฝนและสภาพการใช้ที่ดิน

i = ความเข้มของฝน (Rainfall intensity) หน่วยเป็น มม./ชม. หากจากกราฟ ความเข้มของฝน-ช่วงเวลาการตกและความถี่การเกิด (IDF Curve) ของพื้นที่โดย ขึ้นอยู่กับค่ารอบปีการเกิดซ้ำที่เลือกและช่วงเวลาฝนตกออกแบบ , t_d

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำ (Watershed area) หน่วยเป็น ตร.กม.

สมมุติฐานที่เกี่ยวข้องกับวิธี เรชันแนลในการหาปริมาณการไหลบ่าสูงสุดเพื่อนำไปเป็นข้อมูลใช้ออกแบบหน้าตัดของโครงสร้างการระบายน้ำ เช่นรางระบายน้ำ ท่อระบายน้ำ เป็นต้น มีดังนี้

- อัตราการไหลหลากสูงสุดที่จุดทางออกพื้นที่รับน้ำเป็นฟังก์ชันของอัตราการตกของฝนเฉลี่ยระหว่างช่วงเวลารวมตัวของน้ำท่า หมายถึง เวลาที่ปริมาณน้ำหลากสูงสุดให้คิดที่เวลารวมตัวของน้ำนั่นเอง ซึ่งกำหนดให้เท่ากับเวลาในการรวมตัวของน้ำ (Time of concentration), t_c ในพื้นที่รับน้ำ



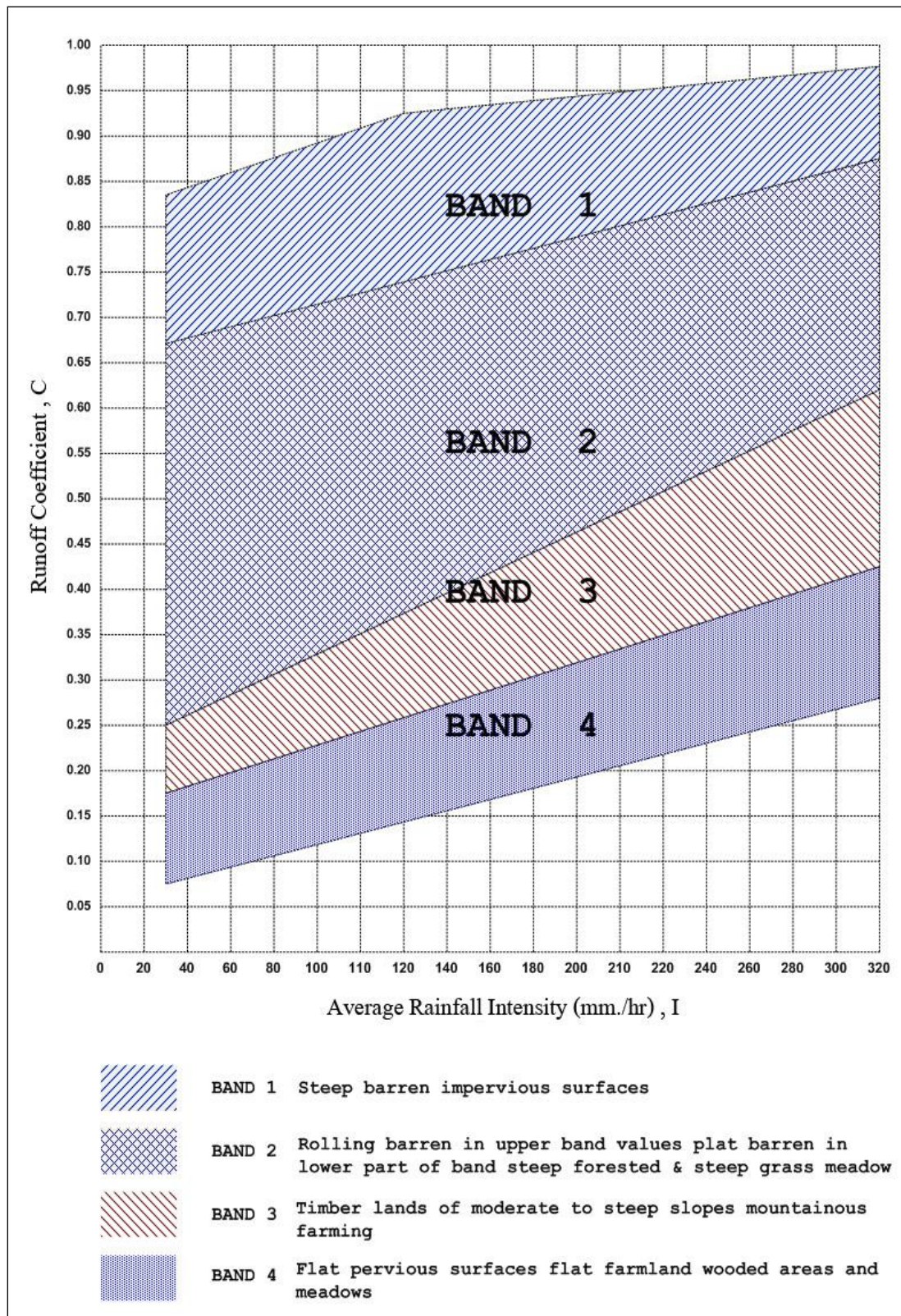
รูปที่ 2 รูปแบบของกราฟน้ำท่าที่ถูกสมมุติโดยวิธีเรชันแนล

- ช่วงเวลาฝนตกออกแบบ, t_d เท่ากับเวลาในการรวมตัวของน้ำ (Time of concentration) ในพื้นที่รับน้ำ
- ช่วงเวลาในการรวมตัวของน้ำเท่ากับเวลาที่น้ำจากทุกส่วนในพื้นที่รับน้ำไหลมาถึงจุดทางออก ซึ่งได้แก่เวลาที่ต้องการสำหรับการเดินทางของน้ำท่าจากจุดไกลสุดในพื้นที่รับน้ำมาถึงทางออกนั่นเอง
- ความเข้มของฝนคงที่สม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาฝนตก
- สัมประสิทธิ์ของน้ำท่าที่ใช้จะเป็นค่าตัวแทนของพื้นที่รับน้ำทั้งหมด

สัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (Runoff coefficient) .C

สัมประสิทธิ์ของน้ำท่าหรือสัมประสิทธิ์การไหลนอง เป็นค่าที่มีความคลาดเคลื่อนมากในวิธีเรชันแนล โดยค่านี้ถูกใช้ในสมการเป็นอัตราส่วนที่ตายตัวของอัตราการไหลสูงสุดต่ออัตราการตกของฝนในพื้นที่รับน้ำซึ่งตามความจริงไม่ได้เป็นอย่างนั้น การเลือกค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่าที่เหมาะสมต้องใช้ในการตัดสินใจและประสบการณ์ของผู้ทำการประเมินที่มีความรู้ด้านชลศาสตร์และอุทกวิทยา โดยสัดส่วนของปริมาณฝนทั้งหมดที่กลายเป็นน้ำท่าขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ ความลาดชัน ลักษณะของพื้นที่ที่ตักน้ำ รวมทั้งคาบรอบปีการเกิดซ้ำ (Return period) ที่พิจารณา

สัมประสิทธิ์ของน้ำท่าขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้พื้นที่และเงื่อนไขของดิน ค่าอัตราการซึมจะลดลงเมื่อเกิดฝนตกต่อเนื่องยาวนาน และยังมีผลกระทบจากเงื่อนไขความชื้นก่อนหน้านี้ (Antecedent moisture condition) ของดินในพื้นที่รับน้ำด้วย ยังมีปัจจัยอื่นๆที่มีผลกระทบกับค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า ได้แก่ ความชื้นของฝน ระดับน้ำใต้ดิน ความแน่นของดิน ช่องว่างในดิน พืชที่ปกคลุม ความลาดชันของพื้นดิน และพื้นที่ตักน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าที่สมเหตุสมผลควรถูกเลือกโดยการผสมผสานปัจจัยข้างต้นอย่างครบถ้วน สัมประสิทธิ์น้ำท่าแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 3 และ ตารางที่ 1 ถึง 2



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (C) , (วิระพล แต่สมบัติ 2531)

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า C (ที่มา Applied Hydrology : Ven Te Chow , 1988)

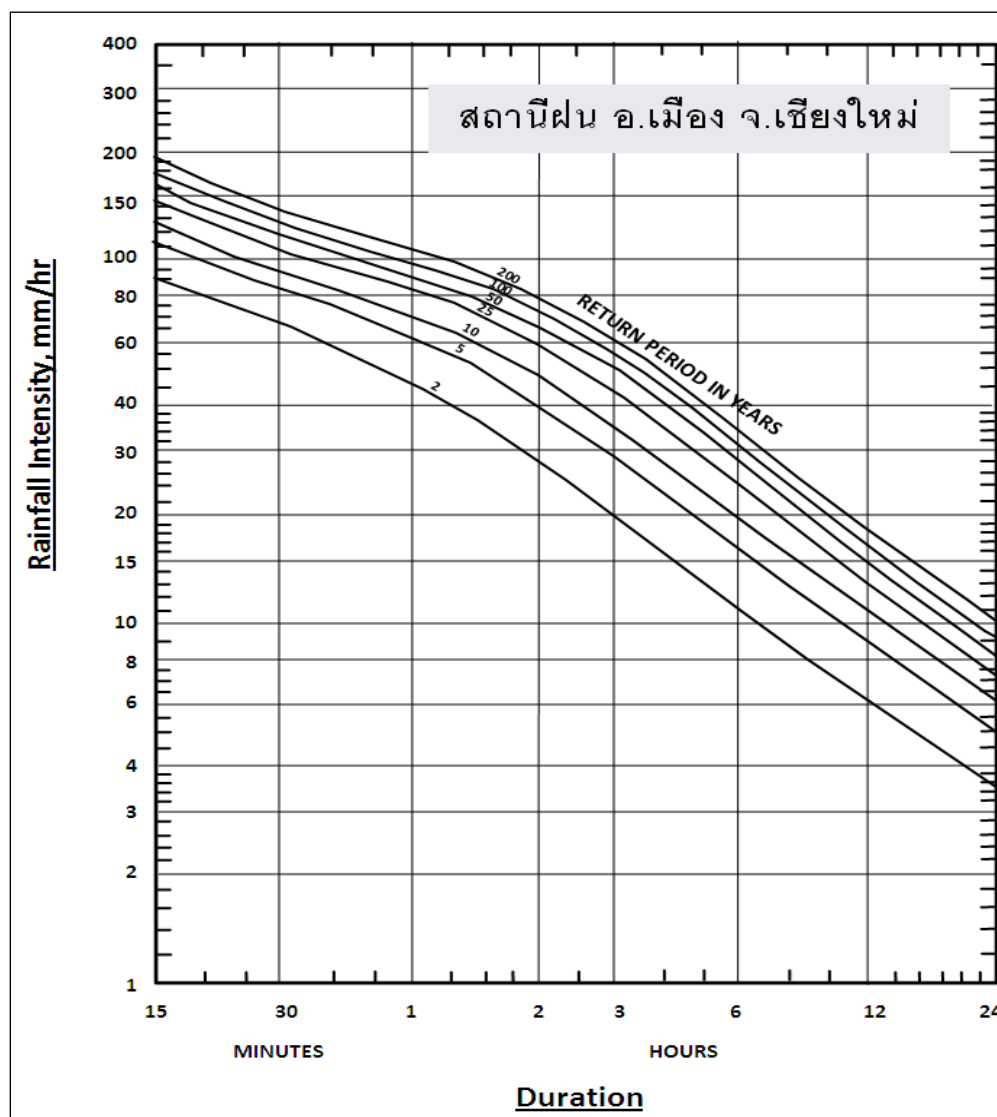
Character of surface	Return Period (years)						
	๒	๕	๑๐	๒๕	๕๐	๑๐๐	๕๐๐
Developed							
Asphaltic	๐.๗๗	๐.๗๗	๐.๘๑	๐.๘๖	๐.๙๐	๐.๙๕	๑.๐๐
Concrete/roof	๐.๗๕	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๘	๐.๙๒	๐.๙๗	๑.๐๐
Grass areas (lawns, parks, etc.)							
<i>Poor condition (grass cover less than ๕๐% of the area)</i>							
Flat, ๐-๒%	๐.๗๒	๐.๗๕	๐.๗๗	๐.๘๐	๐.๘๔	๐.๘๗	๐.๙๐
Average, ๒-๗%	๐.๗๗	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓	๐.๙๖
Steep, over ๗%	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๕	๐.๘๙	๐.๙๒	๐.๙๕	๐.๙๗
<i>Fair condition (grass cover on ๕๐% to ๗๕% of the area)</i>							
Flat, ๐-๒%	๐.๗๕	๐.๗๘	๐.๗๙	๐.๘๒	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓
Average, ๒-๗%	๐.๗๗	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓	๐.๙๖
Steep, over ๗%	๐.๗๗	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓	๐.๙๖
<i>Good condition (grass cover larger than ๗๕% of the area)</i>							
Flat, ๐-๒%	๐.๗๖	๐.๗๙	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓
Average, ๒-๗%	๐.๗๗	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓	๐.๙๖
Steep, over ๗%	๐.๗๗	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓	๐.๙๖
Undeveloped							
Cultivated Land							
Flat, ๐-๒%	๐.๗๖	๐.๗๙	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓
Average, ๒-๗%	๐.๗๗	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓	๐.๙๖
Steep, over ๗%	๐.๗๗	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓	๐.๙๖
Pasture/Range							
Flat, ๐-๒%	๐.๗๕	๐.๗๘	๐.๗๙	๐.๘๒	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓
Average, ๒-๗%	๐.๗๗	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓	๐.๙๖
Steep, over ๗%	๐.๗๗	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓	๐.๙๖
Forest/Woodlands							
Flat, ๐-๒%	๐.๗๖	๐.๗๙	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓
Average, ๒-๗%	๐.๗๖	๐.๗๙	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓
Steep, over ๗%	๐.๗๖	๐.๗๙	๐.๘๐	๐.๘๓	๐.๘๖	๐.๘๙	๐.๙๓

ตารางที่ ๒ ค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า C สำหรับรอบปีการเกิดซ้ำ ๕ ถึง ๑๐ ปี (ที่มา: ASCE ,๑๙๙๒)

Description of Area	Runoff Coefficients, C
Business	
Downtown areas	0.70 – 0.95
Neighborhood areas	0.50 – 0.70
Residential	
Single-family areas	0.30 – 0.50
Multi units, detached	0.40 – 0.60
Multi units, attached	0.60 – 0.75
Residential (suburban)	0.25 – 0.40
Apartment dwelling areas	0.50 – 0.70
Industrial	
Light areas	0.50 – 0.80
Heavy areas	0.60 – 0.90
Parks, cemeteries	0.10 – 0.25
Playgrounds	0.20 – 0.35
Railroad yard areas	0.20 – 0.40
Unimproved areas	0.10 – 0.30
Streets	
Asphaltic	0.70 – 0.95
Concrete	0.80 – 0.95
Brick	0.70 – 0.85
Drives and walks	0.75 – 0.85
Roofs	0.75 – 0.95
Lawns : Sandy soil	
Flat 2 %	0.05 – 0.10
Average 2 –7%	0.10 – 0.15
Steep 7%	0.15 – 0.20
Lawns : Heavy soil	
Flat 2 %	0.13 – 0.17
Average 2 –7%	0.18 – 0.22
Steep 7%	0.25 – 0.35

ความเข้มของฝน (Rainfall intensity)

ความเข้มของฝน i เป็นค่าอัตราของฝนตกเฉลี่ยสำหรับพื้นที่รับน้ำที่พิจารณา ค่าความเข้มของฝน ถูกเลือกบนพื้นฐานของช่วงเวลาฝนที่ใช้ออกแบบ (Design rainfall duration) และค่ารอบปีการเกิดซ้ำ (Return period) ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าทั้งสามในการวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยา เรียกว่า กราฟ ความสัมพันธ์ของความเข้ม – ช่วงเวลา – ความถี่ (Intensity – Duration – Frequency Curves) หรือ IDF Curves ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4 ช่วงเวลาฝนออกแบบกำหนดให้มีความเท่ากับเวลาในการรวมตัวของน้ำ (Time of concentration) ในพื้นที่รับน้ำ ส่วนค่ารอบปีการเกิดซ้ำเลือกโดยพิจารณาถึงความเสี่ยงที่ยอมรับได้ และความเหมาะสมด้านอื่นๆ



รูปที่ 4 กราฟความเข้ม-ช่วงเวลา-ความถี่ของฝน (IDF Curves) ของ อ.เมือง จ.เชียงใหม่

กราฟ IDF สร้างจากการวิเคราะห์ความถี่ (Frequency analysis) โดยใช้การแจกแจงแบบกัมเบล (Gumbel distribution) หรือ Extreme value type I การแจกแจงทำโดยการเลือกช่วงเวลาฝนตกหลายช่วง เช่น 30 นาที 60 นาที 2 ชั่วโมง เป็นต้น จากข้อมูลสถิติของฝนในรอบหลายปีที่บันทึกไว้ โดยแต่ละช่วงเวลาที่ถูกลเลือก ค่าปริมาณฝนตกสูงสุดตามช่วงเวลาที่เลือกในแต่ละปี ถูกลนำมาวิเคราะห์ความถี่โดยการแจกแจงสำหรับทุกช่วงเวลาและรอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มของฝน

ค่ารอบปีในการเกิดซ้ำเป็นค่าที่แสดงถึงโอกาสที่จะเกิดฝนตกเท่ากับค่าความเข้มของฝนที่เลือก เช่น รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี หมายถึงโอกาสที่จะเกิดฝนตกในแต่ละปีที่มีขนาดความเข้มของฝนมากกว่าค่าที่ได้จากกราฟ IDF มีโอกาส 1 ใน 10 หรือ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อพิจารณาในช่วงเวลานานมากๆ เป็นพันปีก็จะพบว่าฝนที่ตกด้วยค่าความเข้มขนาดดังกล่าวจะเกิดเฉลี่ย 10 ปีเกิดครั้ง ดังนั้นค่ารอบปีการเกิดซ้ำก็คือค่าส่วนกลับของค่าความน่าจะเป็นนั่นเอง ในการออกแบบโครงสร้างทางชลศาสตร์ จึงเลือกใช้ค่ารอบปีการเกิดซ้ำให้เหมาะสมกับการยอมรับความเสี่ยงที่จะเกิด ชนิดของโครงสร้างที่ออกแบบ รวมทั้งปัจจัยอื่นๆ ซึ่งบางพื้นที่ได้มีกฎหมายควบคุมกำหนดค่ารอบปีการเกิดซ้ำขั้นต่ำสำหรับการออกแบบไว้แล้วด้วย

เวลาในการรวมตัวของน้ำ (Time of concentration), t_c

เวลาในการรวมตัวของน้ำในพื้นที่รับน้ำ เป็นช่วงเวลาของการเดินทางของน้ำจากจุดไกลสุดมาถึงจุดทางออกของพื้นที่รับน้ำ สามารถหาได้จากการการสังเกตการณ์ทดลองในพื้นที่หรือใช้สมการที่แสดงในตารางที่ 3 โดยการเลือกใช้สมการดังกล่าวต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับลักษณะของพื้นที่

ตัวอย่างของสมการเพื่อหาค่าเวลาในการรวมตัวของน้ำในพื้นที่เพื่อนำไปใช้ในการหาค่าความเข้มของฝนจาก IDF Curve สามารถแยกออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

- กรณีพื้นที่รับน้ำเป็นที่ลาดชันสูงหรือเป็นป่าเขา อาจใช้สมการของ California culverts practice (1942) โดยค่า t_c มีหน่วยเป็นชั่วโมง ค่า L เป็นระยะทางที่ไกลที่สุดของลำน้ำสายหลักจากจุดที่ออกแบบถึงขอบพื้นที่รับน้ำหน่วยเป็นกิโลเมตร และ H เป็นค่าระดับความสูงต่างกันของจุดที่ออกแบบกับจุดไกลสุดของพื้นที่รับน้ำหน่วยเป็นเมตร นั่นคือ

$$t_c = \left[\frac{0.875L^3}{H} \right]^{0.385} \quad (2)$$

– กรณีพื้นที่รับน้ำเป็นพื้นที่ราบหรือชุมชนเมือง ใช้สมการของ Federal Aviation Agency (FAA) Empirical formula, 1970) โดยค่า t_c มีหน่วยเป็นนาที่ ค่า D เป็นระยะทางที่ยาวที่สุดจากจุดทางออกถึงขอบพื้นที่รับน้ำหน่วยเป็นเมตร และ S_0 เป็นค่าความลาดชันของผิวดินหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

$$t_c = \frac{3.26(1.1 - C)D^{\frac{1}{2}}}{S_0^{1/3}} \quad (3)$$

ตารางที่ 3 สรุปสมการหาค่าเวลาการรวมตัวของน้ำ (Time of concentration)

Method	Formula for T_c (min.)	Remarks
Kirpich (1940)	$T_c = 0.0078 L^{0.77} S^{-0.385}$ L = length of channel /ditch from headwater to outlet, ft S = average watershed slope, ft/ft	Developed from SCS data for seven rural basins with Well-defined channel and steep slopes (3% to 10%) ; for overland flow on concrete or asphalt surfaces multiply T_c by 0.4 for concrete channels multiply by 0.2; no adjustment for overland Flow on bare soil or flow in roadside ditches
California Culverts Practice (1942)	$T_c = 60 (11.9 L^3 / H)^{0.385}$ L = length of longest watercourse, mi H = elevation diff. between divide and outlet, ft	Formula is essentially the Kirpich equation ; developed from small mountainous basins in California ; (U.S. Bureau of Reclamation, 1973, pp. 67–71)

Method	Formula for T_c (min.)	Remarks
Izzard (1946)	$T_c = [41.025 (0.0007 i + c) L^{0.33}] / [S^{0.333} i^{0.667}]$ <p> i = rainfall intensity, in./h c = retardance coefficient L = length of flow path, ft S = slope of flow path, ft/ft </p>	Developed in laboratory experiments by Bureau of Public Roads for overland flow on roadway and turf surfaces ; values of the retardance coefficient range from 0.0070 for over smooth pavement, $c = 0.012$ for concrete pavement, and $c = 0.06$ for dense turf ; solution is extremely tedious and requires iteration ; product i times $L < 500$
Federal Aviation Agency (1970)	$T_c = 1.8 (1.1 - C) L^{0.50} / S^{0.333}$ <p> C = rational method runoff coefficient L = length of overland flow, ft S = surface slope, % </p>	Developed from air field drainage data assembled by the Corps of Engineers ; method is intended for use on airfield drainage problems but has been used frequently for overland flow in urban basins
Kinematic wave formulas Morgali and Linsley (1965) Aron and Egborge (1973)	$T_c = 0.94 L^{0.6} n^{0.6} (i^{0.4} s^{0.3})$ <p> L = length of overland flow, ft n = Manning roughness coefficient i = rainfall intensity, in./h s = average overland slope, ft/ft </p>	Overland flow equation developed from kinematic wave analysis of surface runoff from developed surfaces ; method requires iteration since both i (rainfall intensity) and T_c are unknown ; superposition of intensity–duration– frequency curve gives direct graphical solution for T_c

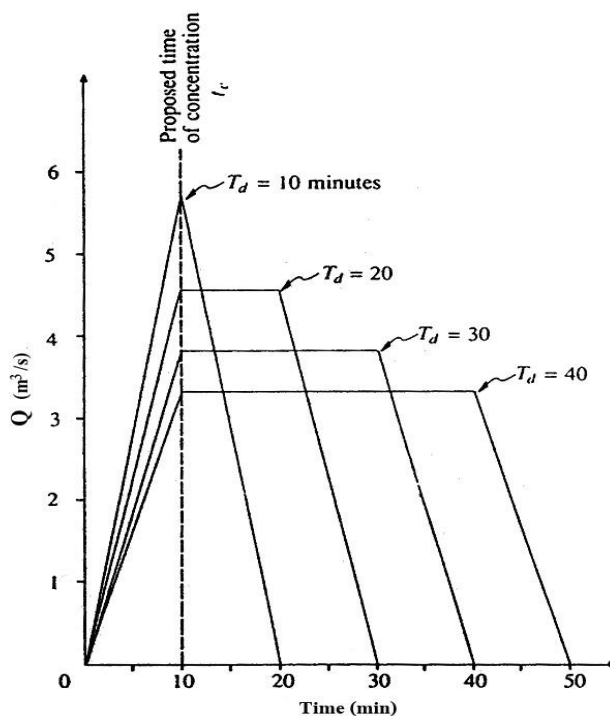
Method	Formula for T_c (min.)	Remarks
SCS (1975) lag equation	$T_c = \frac{100 L^{0.8} [(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900 S^{0.5}}$ <p> L = hydraulic length of watershed (longest flow path), ft CN = SCS runoff curve number S = average watershed slope, % </p>	Equation developed by SCS from agricultural watershed data ; it has been Adapted to small urban basins under 2000 acres : found generally good where area is completely paved ; for mixed areas it tends to overestimate ; adjustment Factors are applied to correct for channel improvement and impervious area ; The equation assumes that $T_c = 1.67 \times$ basin lag
SCS (1975) average velocity charts	$T_c = \frac{1}{60} \sum \frac{L}{V}$ <p> L = length of flow path, ft V = average velocity in feet per second of TR 55 for various surfaces </p>	Overland flow charts of TR 55 show average velocity as function Of watercourse slope and surface cover

ช่วงเวลาฝนตกที่ใช้ออกแบบ (Design rainfall duration) : t_d

การเลือกช่วงเวลาฝนตกของฝนที่ใช้ในการออกแบบ ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าอัตราการไหลบ่าของน้ำท่าสูงสุดจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาฝนตกที่จะต้องนานพอที่จะทำให้น้ำท่าจากทุกจุดในพื้นที่ระบายน้ำไหลมาถึงจุดทางออกของพื้นที่ ซึ่งแนวคิดนี้สอดคล้องกับความหมายของเวลาในการรวมตัวของน้ำในพื้นที่รับน้ำ ซึ่งหมายถึงช่วงเวลานานที่สุดของการเดินทางของน้ำจากจุดไกลที่สุดของพื้นที่รับน้ำมาถึงจุดทางออก ดังนั้นการคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าสูงสุดเพื่อนำไปเป็นข้อมูลใช้ออกแบบหน้าตัดของโครงสร้างการระบายน้ำ เช่นรางระบายน้ำ ท่อระบายน้ำ เป็นต้น จึงกำหนดให้ $t_d = t_c$

การดัดแปลงหลักการของวิธีเรชันแนล (Modification to basic rational method)

นอกจากการใช้วิธี เรชันแนลในการหาปริมาณการไหลบ่าสูงสุดเพื่อนำไปเป็นข้อมูลใช้ออกแบบหน้าตัดของโครงสร้างการระบายน้ำ เช่นรางระบายน้ำ ท่อระบายน้ำ แล้ว ยังมีการดัดแปลงหลักการของวิธีเรชันแนลเรียกว่า Modified Rational Method สำหรับช่วงเวลาฝนตกที่ยาวนานกว่าเวลาในการรวมตัวของน้ำ โดยกราฟน้ำท่าสำหรับช่วงเวลาฝนตกที่ยาวกว่ามีค่าอัตราการไหลสูงสุดน้อยกว่าเนื่องจากความเข้มของฝนน้อยกว่า วิธีนี้ถูกพัฒนาให้ใช้หากราฟน้ำท่า(hydrograph) เพื่อออกแบบความจุของแหล่งเก็บกักน้ำ (Detention storage) เท่านั้น ซึ่งในกรณีนี้ผู้ออกแบบต้องกำหนดช่วงเวลาฝนตกที่ต้องการเพื่อสร้างแหล่งเก็บกักน้ำมารองรับน้ำไหลบ่า โดยกำหนดช่วงเวลาฝนตกออกแบบ , t_d ให้มีค่ามากกว่าช่วงเวลาในการรวมตัวของน้ำ , t_c แล้วใช้ค่าเวลาฝนตกออกแบบดังกล่าวเป็นค่าช่วงเวลาในกราฟความเข้มของฝน-ช่วงเวลาการตกและความถี่การเกิด (IDF Curve) ค่าปริมาณการไหลสูงสุดที่หาได้จากสมการ เรชันแนลเกิดขึ้นที่เวลาเท่ากับเวลาในการรวมตัวของน้ำ แต่จะเกิดการไหลสูงสุดขนาดดังกล่าวยาวนานออกไปอีกเป็นระยะเวลาเท่ากับผลต่างของช่วงเวลาฝนตกออกแบบกับช่วงเวลาในการรวมตัวของน้ำ ($t_d - t_c$) ซึ่งกราฟน้ำท่าที่ได้เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยพื้นที่ใต้กราฟของกราฟน้ำท่านำไปหาขนาดความจุของแหล่งเก็บกักน้ำได้



รูปที่ 5 ตัวอย่างของกราฟน้ำท่าสำหรับวิธีเรชันแนลดัดแปลง (Modified rational method)

1.2 สมการของแมนนิง (Manning's equation)

ในการออกแบบโครงสร้างรางหรือระบายน้ำ เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่ไหลบ่าจากพื้นที่ได้ ขนาดพื้นที่รูปตัดของทางระบายน้ำขึ้นอยู่กับชนิดของรูปตัดที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ เช่น หน้าตัดแบบ ท่อกลม ท่อเหลี่ยม รางรูปสี่เหลี่ยมคางหมู รางรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รางตัววี เป็นต้น แต่ทั้งหมดจะถูกออกแบบในหลักการของการไหลในทางน้ำเปิดแบบคงรูป (Uniform flow) ทั้งสิ้น โดยคุณสมบัติรูปตัดของทางน้ำเปิดแบบทรงเรขาคณิตแสดงในรูปที่ 6

พื้นที่หน้าตัดหรือช่องเปิดการระบายน้ำหลากเพื่อการออกแบบระบบระบายน้ำจากพื้นที่รับน้ำโดยไม่ทำให้เกิดการท่วมและกัดเซาะทำความเสียหาย หาได้จากการนำค่าปริมาณการหลากสูงสุดมาหารค่าความเร็วการไหลของน้ำ โดยทั่วไปให้ความเร็วอยู่ในช่วง 1.5 – 2.0 เมตร/วินาทีหรือใช้สมการของแมนนิง (Manning's equation) ดังสมการ 4

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} A_d \quad (4)$$

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

N = ค่า Manning n ขึ้นกับชนิดพื้นผิวและลักษณะของทางระบายน้ำ

ดังแสดงในตารางที่ 1-4 และ 1-5

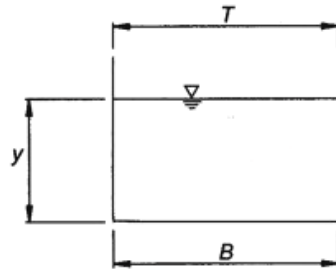
R = รัศมีทางชลศาสตร์ (Hydraulic radius) = A_d / P

= พื้นที่หน้าตัดการระบาย(A_d)หารด้วยค่า Wetted perimeter (P)

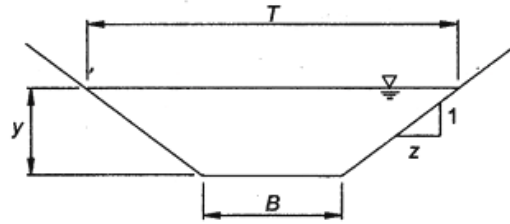
S = ความลาดชันเสียดทานการไหลของทางระบายน้ำ (Friction slope)

กำหนดให้เท่ากับค่าความลาดชันของท้องพื้นรางระบายน้ำ

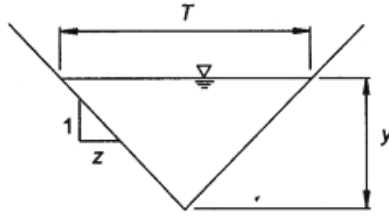
A_d = พื้นที่หน้าตัดการระบายของรางหรือท่อระบายน้ำ (ตร.ม.)



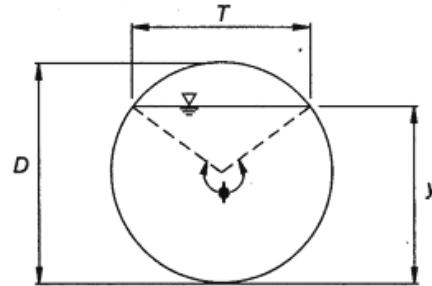
Rectangular



Trapezoidal



Triangular



Circular

Cross-sectional properties of prismatic open channels

Channel Shape	Area (A)	Wetted Perimeter (P)	Hydraulic Radius (R)	Top Width (T)	Hydraulic Depth (D_h)
Rectangular	By	$B + 2y$	$\frac{By}{B + 2y}$	B	y
Trapezoidal	$By + zy^2$	$B + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{By + zy^2}{B + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$B + 2zy$	$\frac{By + zy^2}{B + 2zy}$
Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	$\frac{y}{2}$
Circular ^a	$\frac{D^2(\phi - \sin \phi)}{8}$	$\frac{D\phi}{2}$	$\frac{D}{4} \left(1 - \frac{\sin \phi}{\phi} \right)$	$D \sin \left(\frac{\phi}{2} \right)$	$\frac{D}{8} \left(\frac{\phi - \sin \phi}{\sin(\phi/2)} \right)$

a. Angle ϕ is measured in radians. 1 radian ≈ 57.3 degrees.

รูปที่ 6 คุณสมบัติรูปตัดของทางน้ำเปิดแบบทรงเรขาคณิต

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ของแมนนิ่งในทางน้ำเปิด

Channel type	Manning n	Range
Lined channels:		
Brick, glazed	0.013	0.011–0.015
Brick	—	0.012–0.018
Concrete, float finish	0.015	0.011–0.020
Asphalt	—	0.013–0.02
Rubble or riprap	—	0.020–0.035
Concrete, concrete bottom	0.030	0.020–0.035
Gravel bottom with riprap	0.033	0.023–0.036
Vegetal	—	0.030–0.40
Excavated or dredged channels:		
Earth, straight and uniform	0.027	0.022–0.033
Earth, winding, fairly uniform	0.035	0.030–0.040
Rock	0.040	0.035–0.050
Dense vegetation	—	0.05–0.12
Unmaintained	0.080	0.050–0.12
Natural channels:		
Clean, straight	0.030	0.025–0.033
Clean, irregular	0.040	0.033–0.045
Weedy, irregular	0.070	0.050–0.080
Brush, irregular	—	0.07–0.16
Floodplains:		
Pasture, no brush	0.035	0.030–0.050
Brush, scattered	0.050	0.035–0.070
Brush, dense	0.100	0.070–0.160
Timber and brush	—	0.10–0.20

Source: ASCE (1982); Wurbs and James (2002); Bedient and Huber (2002).

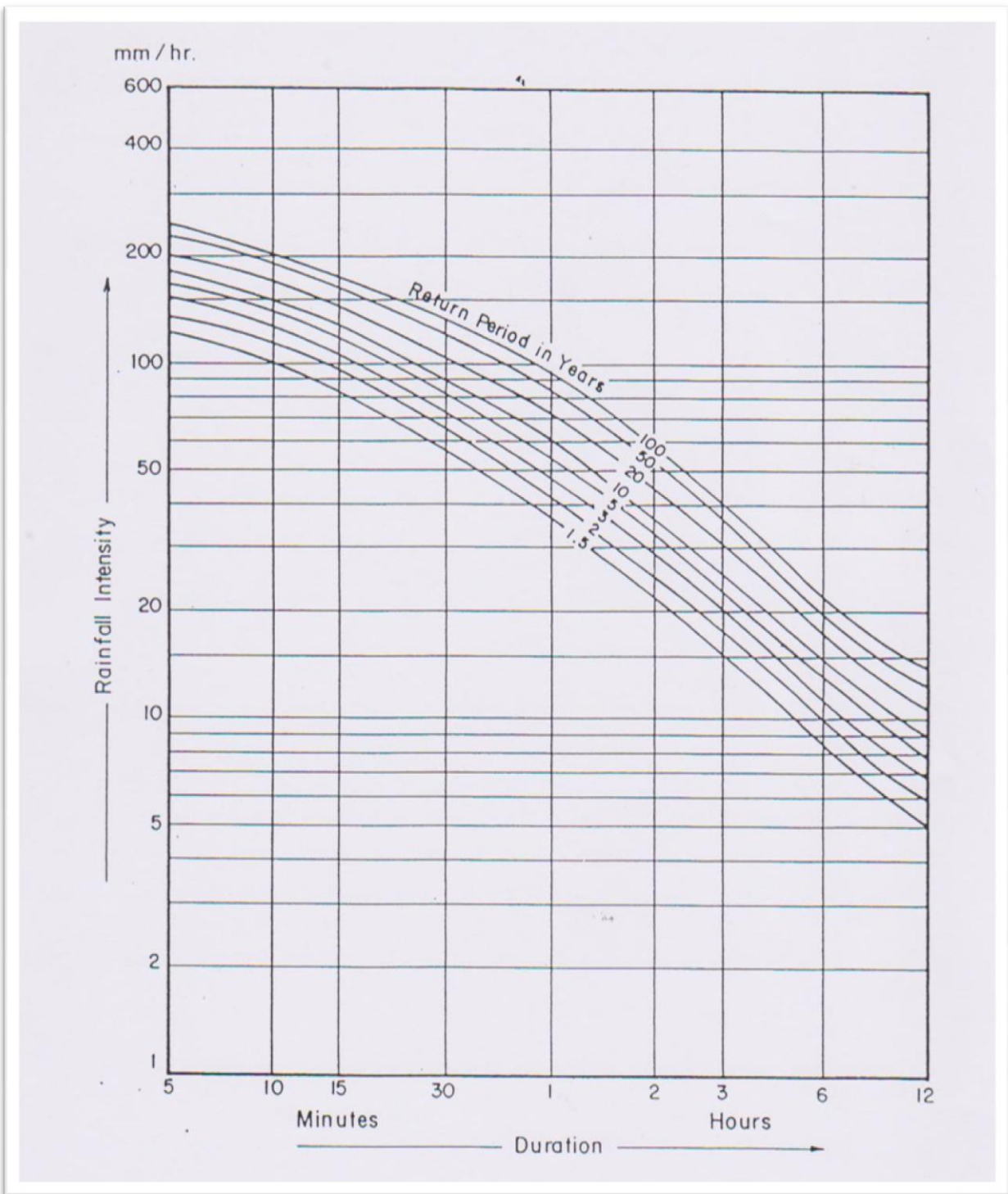
ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ของแมนนิ่งในท่อลอด (Culverts)

Type of conduit	Wall and joint description	n
Concrete pipe	Good joints, smooth walls	0.011–0.013
	Good joints, rough walls	0.014–0.016
	Poor joints, rough walls	0.016–0.017
	Badly spalled	0.015–0.020
Concrete box	Good joints, smooth finished walls	0.012–0.015
	Poor joints, rough, unfinished walls	0.014–0.018
Spiral rib metal pipe	19-mm × 19-mm recesses at 30-cm spacing, good joints	0.012–0.013
Corrugated metal pipe, pipe arch, and box	68-mm × 13-mm annular corrugations	0.022–0.027
	68-mm × 13-mm helical corrugations	0.011–0.023
	150-mm × 25-mm helical corrugations	0.022–0.025
	125-mm × 25-mm corrugations	0.025–0.026
	75-mm × 25-mm corrugations	0.027–0.028
	150-mm × 50-mm structural plate	0.033–0.035
	230-mm × 64-mm structural plate	0.033–0.037
Corrugated polyethylene	Corrugated	0.018–0.025
PVC	Smooth	0.009–0.011

Source: U.S. Federal Highway Administration (1985).

ตารางที่ 6 สัมประสิทธิ์แทนค่าความหยาบของหน้าดินที่ด้านทานการไหล (นิพนธ์ ตั้งธรรม พ.ศ.
2527)

ลักษณะผิวดิน	ลักษณะสิ่งทำให้เกิดแรงเสียดทาน	สัมประสิทธิ์ n
ก. ร่องน้ำที่ ปราศจากพืช พรรณขึ้นปกคลุม	● หน้าตัดเท่ากันตลอด แนวความยาวไม่คดเคี้ยว ปราศจากก้อนกรวด และพืชพรรณในร่อง ดินเกิดจากหินตะกอนละเอียด	0.016
	● หน้าตัดเท่ากันตลอด แนวความยาวไม่คดเคี้ยว ปราศจากก้อนกรวด และพืชพรรณในร่อง ดินเป็นดินเหนียวเหนียวหรือชั้นดินดาน	0.018
	● หน้าตัดเท่ากันตลอด แนวความยาวไม่คดเคี้ยว มีก้อนกรวดและหิน เล็กๆ บ้างเล็กน้อย มีพืชขึ้นน้อยมาก เนื้อดินเป็น clay loam	0.012
	● หน้าตัดผันแปรต่างกันบ้าง แนวความยาวค่อนข้างตรงมีก้อนหินเล็กน้อย มีหญ้าขึ้นตามขอบร่องน้ำ เนื้อดินเป็นพวกดินทรายและดินเหนียว รวมทั้งร่องน้ำที่มีการไถพรวนและทำความสะอาดใหม่ๆ	0.0225
	● ร่องน้ำที่ค่อนข้างคดเคี้ยว มีลอนคลื่นในท้องร่อง ดินมีก้อนกรวด ก้อน หิน หรือพวกดิน Shale และมีวัชพืชรอยหยักๆ หรือพืชพรรณ ขึ้นอยู่สอง ฝั่งท้องร่อง	0.025
	● ทั้งหน้าตัดและแนวยาวไม่สม่ำเสมอ และหินเล็กกองกระจัดกระจายกัน หลวมๆ บนท้องร่องหรือมีพวกวัชพืชจำนวนมากปกคลุมสองฝั่งท้องร่อง หรือไม่ก็เป็นบริเวณที่ก้อนหินก้อนกรวดที่มีขนาดใหญ่มากถึง 15 เซนติเมตร	0.030
	● ร่องน้ำที่ไม่สม่ำเสมอและพังทลายง่าย ร่องน้ำเต็มไปด้วยหินก้อนโต	0.030
ข. ร่องน้ำที่คาด หรือปกคลุมด้วย พืชพรรณ	● คาดหรือปกคลุมด้วยหญ้าสั้นๆ (สูง 5-15 ซม.)	0.03-0.06
	● คาดหรือปกคลุมด้วยหญ้าสูงปานกลาง (สูง 15-20 ซม.)	0.03-0.085
	● คาดหรือปกคลุมด้วยหญ้าสูง (สูง 20-60 ซม.)	0.04-1.50
ค. ร่องน้ำ ธรรมชาติ	● ร่องน้ำธรรมชาติที่ตรงและสะอาด	0.025-0.060



รูปที่ 7 แสดง กราฟความสัมพันธ์ความเข้มของฝน-ช่วงเวลา-ความถี่ (IDF curve) ของจังหวัด
เชียงราย

ตารางที่ 7 IDF Curve Equation ของจังหวัดภาคเหนือประเทศไทย

$$i = \frac{A}{(t_c + d)^n}$$

เมื่อ i = Rainfall intensity (mm/hr)

t_c = Time of concentration (min)

A, d, n = ค่าคงที่ IDF-Curve

1) จังหวัดเชียงใหม่

Return Period (Years)	A	d	n
2	1050	14	0.719
5	1900	20	0.801
10	2100	14	0.830
15	2000	13	0.698

2) จังหวัดเชียงราย

Return Period (Years)	A	d	n
2	1100	9	0.740
5	1000	9	0.688
15	1800	14	0.810
20	1600	13	0.726

3) จังหวัดลำปาง

Return Period (Years)	A	d	n
2	1000	9	0.795
5	1500	10	0.853
10	2000	15	0.823
20	1800	6	0.778

4) อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน

Return Period (Years)	A	d	n
2	900	10	0.808
5	800	11	0.726
10	950	13	0.698
20	3000	12	0.972

5) จังหวัดนครสวรรค์

Return Period (Years)	A	d	n
2	1200	12	0.778
5	3000	16	0.875
10	4000	14	0.903
15	3100	14	0.875

6) จังหวัดน่าน

Return Period (Years)	A	d	n
2	1100	13	0.786
5	1500	13	0.833
10	1700	13	0.783
25	1300	10.5	0.666

7) จังหวัดพิษณุโลก

Return Period (Years)	A	d	n
2	1300	19	0.683
5	700	10	0.540
10	900	12	0.632
30	900	13	0.592

8) จังหวัดแพร่

Return Period (Years)	A	d	n
2	1100	15	0.740
5	1200	12	0.778
10	1050	10	0.709
25	2000	16	0.823

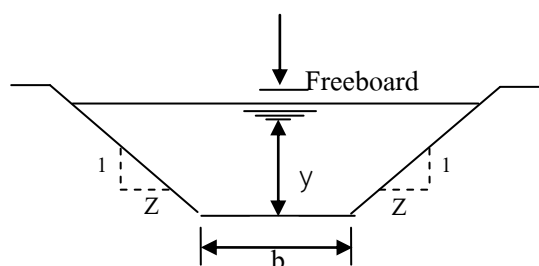
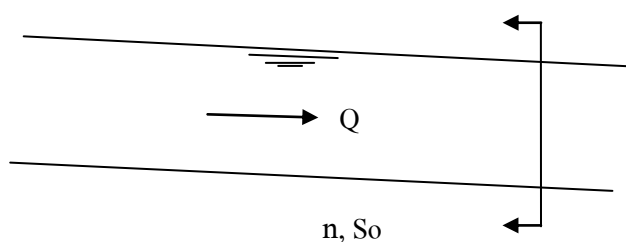
9) จังหวัดตาก

Return Period (Years)	A	d	n
2	2800	22	0.970
5	3000	18	0.897
10	3900	20	0.958
15	4000	24	0.903

การออกแบบทางน้ำเปิด

หลักการในการออกแบบ (Design Principles) แบ่งเป็น 2 กรณี คือ Open channels ซึ่งตาดผิว (Lined Open channels) และ Open channels ซึ่งไม่ตาดผิว (Unlined Open channels)

ก. การออกแบบ Lined Open channels (ไม่มีการกัดเซาะแต่อาจมีการตกตะกอน) – เพื่อป้องกันการตกตะกอน V (Mean velocity) > 0.76 ม/ว



ขั้นตอนในการออกแบบประกอบด้วย:

1. ทำการสำรวจภูมิประเทศและลักษณะกับชนิดของดิน บริเวณที่จะก่อสร้าง Open Channels
 - ก. เพื่อเลือกค่า So ที่เหมาะสม
 - ข. เพื่อเลือกค่า n และ z ที่เหมาะสม

2. ข้อมูลเกี่ยวกับการไหล คือ อัตราการไหล, Q

3. คำนวณหาค่า section Factor, $Z (= AR)^{\frac{2}{3}}$ จากสมการของแมนนิง

ก. $Q = \frac{1.49}{n} AR^{\frac{2}{3}} So^{\frac{1}{2}}$ ----- ในระบบหน่วยอังกฤษ (1)

ข. $Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} So^{\frac{1}{2}}$ ----- ในระบบหน่วย SI (2)

4. จากนั้นเลือกค่า $\frac{b}{y}$ ประมาณ 2 ถึง 6 นั่นคือ $2 \leq \frac{b}{y} \leq 6$

5. คำนวณ A, P และ R ของรูปตัดที่จะออกแบบ(สี่เหลี่ยมคางหมู) คือ:

ก. $A = (b + zy)y$

$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$

$R = \frac{A}{P} = \frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$ แล้วแต่กรณี แล้วแทนค่าลงในสมการที่ (1) หรือ (2)

6. คำนวณหาค่า b และ y

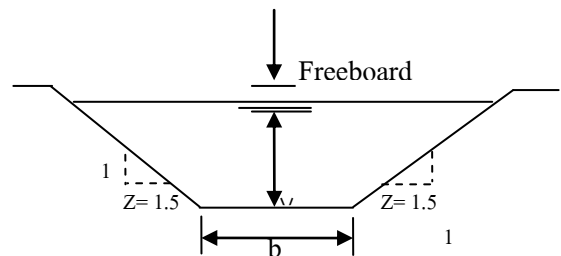
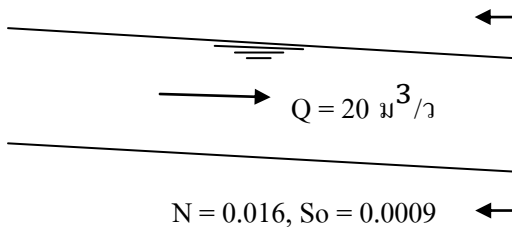
7. แทนค่าหา A ออกมาเป็นตัวเลข

8. หา $V(= \frac{Q}{A})$ แล้วเปรียบเทียบกับค่า $V_{allowable} = 0.76$ ม./ว
9. ถ้าใช้ได้เพิ่มระยะ Freeboard (ประมาณ 5% ถึง 30% ของ y)
10. เขียนรูปตัดตามยาว และตามขวางของ Designed Section

ตัวอย่างที่ ก จงออกแบบรางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งมี $Q = 20$ ม³/ว, $n = 0.016$, $z = 1.5$, และ $So = 0.0009$ กำหนดให้ $V_{allowable}$ เพื่อไม่ให้เกิดการตกตะกอนในรางน้ำ = 0.76 ม/ว

วิธีทำ จากรูปตัด (รูปสี่เหลี่ยมคางหมู) $A = (b+zy)y$, $P = b+2y\sqrt{1+2^2}$ และ

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+2^2}}$$



สมมุติใช้ค่า $\frac{b}{y} = 3$ หรือ $b = 3y$

แทนค่า Z และ $b (=3y)$ จะได้ $A = (3y+1.5y)y = 4.5y^2$

$$R = \frac{(3y+1.5y)y}{3y+2y\sqrt{1+1.5^2}} = \frac{4.5y^2}{6.61y} = 0.681y$$

$$\text{สมการแมนนิง (ในระบบหน่วย S.I)} \quad Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} So^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad Z = AR^{\frac{2}{3}} = \frac{Qn}{So^{\frac{1}{2}}}$$

$$(4.5y)^2 (0.681y)^{\frac{2}{3}} = \frac{20 \times 0.016}{0.0009^{\frac{1}{2}}} = 10.67$$

$$3.48 y^{\frac{8}{3}} = 10.67$$

$$y^{\frac{8}{3}} = 3.07 \quad \text{ดังนั้น} \quad y = 3.07^{\frac{3}{8}} = 1.52 \text{ ม}$$

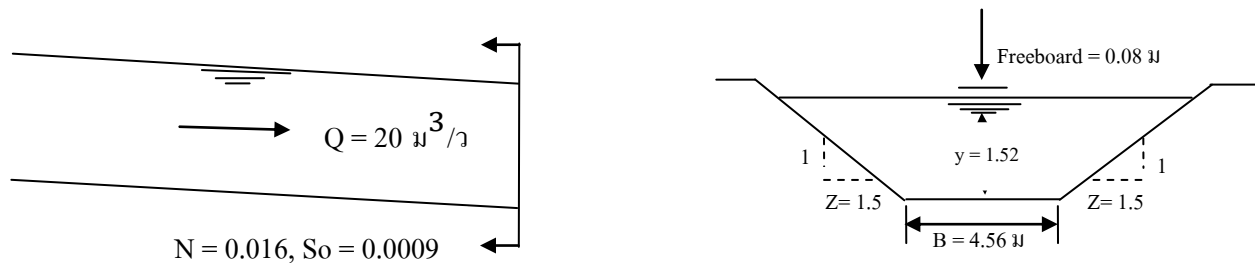
ดังนั้น $B = 3y = 3 \times 1.52 = 4.56 \text{ ม}$

ดังนั้น $A = 4.5(1.52)^2 = 10.40 \text{ ม}^2$

$V = \text{ความเร็วเฉลี่ย} = \frac{Q}{A} = \frac{20}{10.40} = 1.92 > V_{\text{allow}} (= 0.76 \text{ ม/ว}) \text{ O.K}$

$\text{Freeboard} \approx 5\% \text{ of } y = \frac{5}{100} \times 1.52 = 0.08 \text{ ม}$

ดังนั้น ความลึกรวมของรางน้ำเปิด = $1.52 + 0.18 = 1.60 \text{ ม}$



Designed Section

ข.การออกแบบ Unlined Open channels (มีการกัดเซาะได้แต่ต้องออกแบบป้องกันไว้)

- วิธี Method of Maximum Permissible Velocity

ค่า Maximum Permissible Velocity, $V_{\text{max.perm}}$ คือ ความเร็วเฉลี่ยสูงสุดในทางน้ำเปิด ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดการกัดเซาะต่อผิวส่วนใด ๆ ของทางน้ำนั้น แสดงในตารางที่ 8

การลดค่า $V_{\text{max.perm}}$ จากตารางที่ 8 ลงเนื่องจากความคดเคี้ยวของทางน้ำ

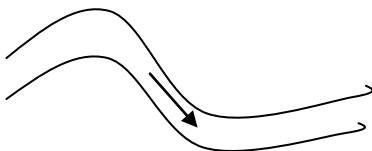
ก. ทางน้ำซึ่งมีแนวคดเคี้ยวเล็กน้อย (Slightly Sinuous Channels)



ลดค่า $V_{\text{max.perm}}$ ลง 5%

นั่นคือ $V'_{\text{max.perm.}} = 0.95 V_{\text{max.perm}}$

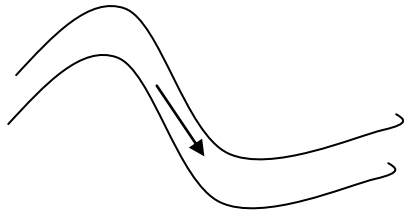
ข. ทางน้ำซึ่งมีแนวคดเคี้ยวปานกลาง (Moderately Sinuous Channels,



ลดค่า $V_{\text{max.perm.}}$ ลง 13%

นั่นคือ $V'_{\text{max.perm.}} = 0.87 V_{\text{max.perm.}}$

ค. ทางน้ำซึ่งมีแนวคดเคี้ยวมาก (Very Sinuous Channels)



ลดค่า $V_{\max.\text{perm.}}$ ลง 25%

นั่นคือ $V'_{\max.\text{perm.}} = 0.78 V_{\max.\text{perm.}}$

ตารางที่ 8 : ค่าของ Manning's n และ $V_{\max.\text{perm}}$ ของดินชนิดต่าง ๆ

ชนิดของดิน	n	$V_{\max.\text{perm.}}$, ม/ว	
		น้ำใส	น้ำ+ตะกอนลอย
1. Fine sand, Colloidal	0.020	0.46	0.76
2. Sandy Loam, Non-colloidal	0.020	0.53	0.76
3. Silt Loam, Non-colloidal	0.020	0.61	0.91
4. Alluvial Silts, Non-colloidal	0.020	0.61	1.07
5. Ordinary Firm Loam	0.020	0.76	1.07
6. Volcanic Ash	0.020	0.76	1.07
7. Stiff Clay, Very Colloidal	0.025	1.14	1.52
8. Alluvial Silts, Colloidal	0.025	1.14	1.52
9. Shales and Hardpans	0.025	1.83	1.83
10. Fine Gravel	0.025	0.76	1.52
11. Graded Loam to Cobbles, Non-colloidal	0.030	1.14	1.52
12. Graded silts to Cobbles, Colloidal	0.030	1.22	1.68
13. Coarse Gravel, Non-colloidal	0.035	1.22	1.83
14. Cobbles and Shingles	0.035	1.52	1.68

ขั้นตอนในการออกแบบทางน้ำเปิดซึ่งมีการกัดเซาะ มีดังต่อไปนี้คือ:

1. จากการสำรวจลักษณะภูมิประเทศ และชนิดของดินฯ เลือกใช้ค่า n, z, s_o และ $V_{max.perm.}$ (รวมทั้ง $V'_{max.perm.}$) ที่เหมาะสม
2. คำนวณหาค่า Hydraulic Radius ของทางน้ำเปิดที่ต้องการ, R จากสมการแมนนิงในรูปแบบของความเร็วนั้นคือ

$$\text{ก. } V (= V'_{max.perm.}) = \frac{1.49}{n} R^{\frac{2}{3}} S_o^{\frac{1}{2}} \dots \text{ในระบบหน่วยอังกฤษ (1)}$$

$$\text{ข. } V (= V'_{max.perm.}) = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_o^{\frac{1}{2}} \dots \text{ในระบบหน่วย SI (2)}$$

3. คำนวณหาค่าพื้นที่หน้าตัดของทางน้ำเปิดที่ต้องการ, A

$$A = \frac{Q}{V'_{max.perm.}} \quad (3)$$

4. คำนวณหาค่า Wetted Perimeter ของทางน้ำเปิดที่ต้องการ, P

$$P = \frac{A(\text{จากขั้นตอนที่ 3})}{R(\text{จากขั้นตอนที่ 2})} \quad (4)$$

5. จากตาราง Hydraulic Properties ของรูปตัดทรงเรขาคณิตต่างๆ(ตารางที่ 3.2)

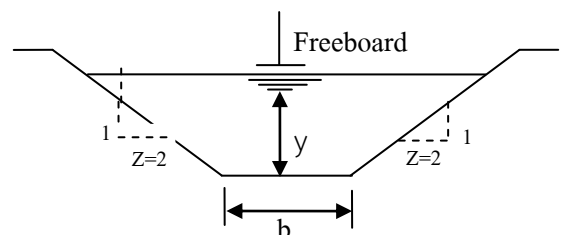
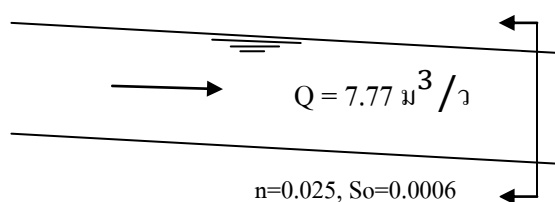
$$A = (b + zy) y \quad (5)$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2} \quad (6)$$

6. หาค่า b และ y จากสมการที่(5) และ (6)
7. เพิ่มค่า Freeboard, F ตามข้อกำหนด คือระหว่าง $0.05y$ ถึง 0.10
8. เขียนรูปตัดตามยาว และตามขวางของ Designed Section.

ตัวอย่างที่ 1 จงออกแบบรางน้ำเปิดซึ่งมีการกัดเซาะโดย Method of Permissible Velocity จากข้อมูลดังนี้

คือ: $z = 2$, $n = 0.025$, $S_o = 0.0006$, $V_{max.perm.} = 1.00$ ม/ว แนวทางของรางน้ำมีความคดเคี้ยวปานกลาง ($V'_{max.perm.} = 0.87 V_{max.perm.}$) และรับอัตราการไหล, $Q = 7.77$ ม³/ว



วิธีทำ

$$V (=V'_{\text{max.perm.}}) = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_o^{\frac{1}{2}}$$

$$R = \left\{ \frac{V'_{\text{max.perm.}} \times n}{S_o^{\frac{1}{2}}} \right\}^{\frac{3}{2}} = \left\{ \frac{(0.87 \times 1.00) \times 0.025}{0.0006^{\frac{1}{2}}} \right\}^{\frac{3}{2}} = 0.84 \text{ ม.} \quad (1)$$

$$A = \frac{Q}{V'_{\text{max.perm.}}} = \frac{7.77}{(0.87 \times 1.00)} = 8.93 \text{ ม}^2 \quad (2)$$

$$P = \frac{A}{R} = \frac{8.93}{0.84} = 10.63 \text{ ม.} \quad (3)$$

จากตารางที่ 8 :

$$A = (b + zy)y = (b + 2y)y = 8.93 \quad (4)$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2} = b + 2y\sqrt{1 + 2^2} = b + 4.47y = 10.63 \quad (5)$$

แทนค่า $b = 10.63 - 4.47y$ (จาก (5)) ลงใน (4) แล้ว simplify จะได้:

$$y^2 - 4.30y + 3.62 = 0$$

$$y = \frac{-(-4.30) \pm \sqrt{(-4.30)^2 - 4(3.62)}}{2} = 1.15 \text{ ม และ } b = 10.63 - 4.47(1.15) = 5.49 \text{ ม}$$

เพิ่มค่า Freeboard, $F \approx 0.22y \approx 0.22 \times 1.15 \approx 0.25 \text{ ม}$

Designed Section

