หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ทฤษฎี

ระบบระบายน้ำเสียและน้ำฝนจากชุมชน แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ (ก) ระบบท่อระบายน้ำเสีย : จะออกแบบให้สามารถรับน้ำเสียจากชุมชน เขตพาณิชย์และอุตสาหกรรม รวมทั้งน้ำไหลรั่วเข้าท่อ (inflow & infiltration ,I/I), (ข) ระบบท่อระบายน้ำฝน : ออกแบบให้รับน้ำฝนโดยไม่รวมน้ำเสียใดๆ เข้ามาร่วมด้วย และ(ค) ระบบท่อระบายน้ำร่วม : ออกแบบให้รับน้ำจากชุมชนหนึ่งๆ ทั้งหมด ทั้งน้ำเสียและน้ำฝนรวมเข้าด้วยกัน

3.1 หลักการออกแบบระบบระบาย

การออกแบบระบบระบายที่ดีก็คือการจัดการและก่อสร้างระบบที่สามารถระบายน้ำให้ออกไปได้หมดที่ภาวะอัตราน้ำสูงยอดที่คาดการณ์ไว้โดยไม่เป็นอุปสรรค รวมทั้งสามารถทำให้น้ำไหลในเส้นท่อด้วยความเร็วที่ล้างท่อโดยตัวเอง (self cleansing velocity) ได้ และไม่มีสิ่งตกค้างในท่อ การออกแบบท่อทั้ง 3 ประเภท นิยมใช้สูตรหรือสมการของแมนนิ่งมากกว่าสูตรอื่นๆ สูตรของแมนนิ่งมีดังนี้

$$Q = AR^{(2/3)}S^{(1/2)}/n \qquad \ldots 3.1$$

$$V = R^{(2/3)}S^{(1/2)}/n \qquad \ldots 3.2$$

$$R = A/P \qquad \ldots 3.3$$

โดยที่ Q = อัตราการไหล (ลบ.ม/ชม.)

A = พื้นที่หน้าตัด (ตร.ม.)

R = ไฮดรอลิค เรเดียส (ม.)

S = ความลาดชัน (ม./ม.)

n = สัมประสิทธิ์ของแมนนิ่ง

V = ความเร็ว (ม./วินาที)

P = เส้นรอบรูปที่เปียก (ม.)

ส่วนแนวความคิดเรื่องพลังงานในการระบายนั้นวิศวกรควรจัดให้ใช้พลังงานให้น้อยที่สุดในการผลักดันน้ำให้ไหลและยังคงต้องให้มีความเร็วในท่อเพียงพอที่จะทำการล้างท่อได้ด้วยตัวมันเอง

ข้อมูลต่าง ๆ ที่ควรคำนึงถึงมีดังนี้

3.1.1 ความเร็วการไหลทั้งต่ำสุดและสูงสุด

ความเร็วต่ำสุดและสูงสุดเป็นปัญหาที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบระบบระบายน้ำเสียหรือระบบระบายน้ำร่วม ส่วนในกรณีท่อน้ำฝนจักคำนึงถึงความเร็วสูงสุดเพียงอย่างเดียว โดยปกติความเร็วต่ำสุดที่ไหลในเส้นท่อควรเพียงพอที่จะป้องกันการตกตะกอนจมตัวในเส้นท่อ

การออกแบบท่อเพื่อให้เกิดความเร็วต่ำสุดที่ต้องการ ควรใช้ข้อมูลอัตราน้ำเสียสูงสุด (ไม่รวมน้ำฝน) ที่คาดว่าจักเกิดขึ้นในช่วงต้นๆ ของโครงการ อันจะน้อยกว่ากรณีเมื่อสิ้นสุดโครงการ ซึ่งอาจเป็น 20 - 30 ปีข้างหน้า ความเร็วของการไหลในส่วนที่ชิดหรือใกล้ท้องท่อเป็นความเร็วที่จะชะเอาสารที่จมตัวและตกตะกอนอยู่ให้กระจายฟุ้งขึ้นมาซึ่งควรมีค่าอย่างต่ำประมาณ 0.3 ม./วินาที แต่ถ้าไม่ต้องการให้พวกกรวดทรายจมตัวลง จักต้องใช้ความเร็วเฉลี่ยถึง 0.75 ม./วินาที ในภูมิภาคเขตร้อนควรจะใช้ความเร็วเท่ากับหรือมากกว่า 0.9 ม./วินาที เพื่อป้องกันการเกิดก๊าซไข่เน่า(1)

ความเร็วสูงสุดจักเกิดขึ้นเมื่อมีน้ำไหลด้วยอัตราสูงสุด ในระบบท่อน้ำฝนอัตรานี้คืออัตราสูงยอดของน้ำไหลนองที่ความถี่ฝนที่เลือกมารวมกับอัตราน้ำรั่วเข้าท่อ แต่ในระบบน้ำเสียอัตรานี้เท่ากับอัตราไหลสูงยอดประจำชั่วโมงของน้ำเสียที่เกิดจากประชากรเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาออกแบบของโครงการรวมกับอัตราน้ำรั่วเข้าท่อและปริมาณน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนระบบรวมอัตรานี้คืออัตราสูงยอดของทั้งสองประเภทข้างต้นรวมกัน

ในระบบน้ำเสียที่มีปริมาณน้ำเสียไหลมากและต่อเนื่อง มักออกแบบความเร็วสูงสุดไม่เกิน 3 ม./วินาที ส่วนระบบระบายน้ำฝนซึ่งมีปริมาณน้ำไหลมากเป็นระยะๆ ขึ้นอยู่กับฤดูกาลและความถี่ฝน ก็อาจใช้ความเร็วสูงสุดในการออกแบบได้สูงกว่าความเร็วสูงสุดในกรณีน้ำไหลอย่างต่อเนื่องได้มาก

3.1.2 ขนาดต่ำสุดของท่อ

ขนาดต่ำสุดของท่อที่พึงใช้ในการระบายน้ำเสียกำหนดว่าเท่ากับ 200 มม. เหตุผลคือการป้องกันการอุดตันในท่อ ส่วนท่อที่ต่อจากอาคารนั้นขนาดที่นิยมใช้กันมากที่สุดได้แก่ ขนาด 150 มม.

3.1.3 ความลึกของการวางท่อ

ท่อที่วางควรอยู่ในระดับลึกพอที่จะรับน้ำเสียจากชั้นล่างของอาคาร และลึกพอที่จะรับน้ำหนักจราจรและแรงกระแทกได้ ปกติใช้ระดับดินคลุมต่ำสุดไม่ต่ำกว่า 0.30-0.40 ม.สำหรับโครงการขนาดเล็กๆ แต่ถ้าต้องการหาระดับที่ควรให้ถูกต้องจริงๆ ก็อาจหารายละเอียดได้จากเอกสารของผู้ผลิตท่อ

3.1.4 การเลือกความลาดของท่อ (1)

การเลือกความลาดของท่อมีวิธีการเลือกเทียบกับความลาดของถนนได้ดังตารางที่ 3.1

3.2 <u>ปริมาณน้ำที่ใช้คำนวณระบบท่อ</u>

ในการออกแบบระบบระบายน้ำนั้นส่วนที่สำคัญที่สุดคือการกำหนดปริมาณน้ำไหลนั่นเอง จากการที่แยกประเภทของการระบายน้ำออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ก็จะสามารถแบ่งประเภทของปริมาณน้ำที่ใช้ออกแบบตามประเภทของการระบายน้ำได้ 3 ประเภทเช่นกัน กล่าวคือ (ก) ปริมาณน้ำเสียชุมชน (ข) ปริมาณน้ำฝน และ (ค) ปริมาณน้ำร่วม

3.2.1 ปริมาณน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียจากชุมชนที่ระบายออกในแต่ละวันปกติจะน้อยกว่าน้ำใช้เล็กน้อย ประมาณ 60 - 80 % ของน้ำใช้ อัตราการไหลขึ้นอยู่กับการแปรผันของปริมาณน้ำเสีย และการแปรผันของปริมาณน้ำใช้ขึ้นอยู่กับฤดูกาล รวมทั้งแต่ละวันในสัปดาห์ และแต่ละชั่วโมงในแต่ละวัน

ตารางที่ 3.1 ความลาดของท่อระบายเทียบกับความลาดของถนน (1)

ความลาดของถนน	ความลาดของท่อที่ควรออกแบบ
1. ลาดน้อยกว่าความลาดต่ำสุดที่ต้องการหรือวางท่อย้อนความลาดถนน	- ให้ใช้ความลาดต่ำสุดที่คำนวณได้
2. ชันกว่าความลาดต่ำสุด แต่ลาดน้อยกว่าความลาดสูงสุดที่คำนวณได้	- ถ้าบ่อตรวจระบายชุดบนมีดินคลุมหรือลึกเพียงพอแล้วให้วางท่อตามความลาดถนน - ถ้าบ่อตรวจชุดบนลึกมากกว่าความลึกของดินคลุมต่ำสุดที่ต้องการ ให้วางท่อให้บ่อตรวจตัวล่างมีดินคลุมพอ แต่ถ้าการกระทำเช่นนี้ทำให้ความลาดน้อยกว่าความลาดต่ำสุดก็ใช้ความลาดต่ำสุดแทน
3. ชันกว่าความลาดสูงสุดที่คำนวณได้	- ถ้าบ่อตรวจชุดบนมีดินคลุมพอ ให้วางท่อให้บ่อตรวจชุดล่างมีดินคลุมพอด้วย โดยกดบ่อตรวจชุดบนลงให้ต่ำและใช้ความลาดสูงสุดที่คำนวณได้ - ถ้าบ่อตรวจชุดบนลึกกว่าความลึกของดินคลุมต่ำสุดให้วางท่อให้บ่อตรวจชุดล่างมีดินคลุมพอด้วย แต่ถ้าทำเช่นนี้แล้วทำให้ความลาดมากกว่าความลาดสูงสุด ก็ให้ใช้ความลาดสูงสุดและกดบ่อตรวจชุดบนลง

ในฤดูร้อนจะมีการใช้น้ำมากกว่าฤดูหนาว ในขณะที่การใช้น้ำช่วงสุดสัปดาห์อาจมากกว่าในวันทำการ

อัตราแปรผันของความต้องการใช้น้ำในลักษณะนี้มีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราน้ำเสียที่ไหลอยู่ในท่อระบาย น้ำเสียที่ไหลอยู่ในท่อจะมีปริมาณมากบ้างน้อยบ้างขึ้นอยู่กับเวลาแต่ละ

วัน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับว่าเป็นวันใดของสัปดาห์ด้วย ถ้าท่อระบายน้ำเสียได้รับการออกแบบไว้ที่เพียงอัตราน้ำไหลเฉลี่ยขนาดหนึ่ง เมื่อปริมาณน้ำน้อยกว่าที่ออกแบบก็อาจเกิดการตกตะกอนในเส้นท่ออันจะไปมีผลทำให้เกิดก๊าซไข่เน่า ทำให้ท่อผุกร่อนและอายุการใช้งานลดลง ในทางตรงข้ามถ้าอัตราน้ำไหลมากกว่าที่ออกแบบไว้ ความเร็วของน้ำที่ไหลในท่ออาจมีมากเกินไปซึ่งจะทำให้ท่อสึกกร่อนเนื่องจากการขัดสีของกรวดทรายที่มีอยู่ในน้ำกับผิวท่อ ทำให้อายุการใช้งานน้อยลงกว่าที่ควรอีกได้เช่นกัน

ในชุมชนขนาดเล็กโดยเฉพาะในชนบทที่มีการจ่ายน้ำเป็นเวลา จะมีอัตราแปรผันของการใช้น้ำได้มาก น้ำจะไหลอยู่ในท่อในช่วงคาบเวลาสั้นๆ และความแตกต่างของการใช้น้ำสูงสุดและต่ำสุดจากค่าเฉลี่ยก็จะมีค่ามากกว่าที่เกิดขึ้นในเมืองใหญ่ ดังนั้นจึงมีการกำหนดอัตราการแปรผันของน้ำเสียด้วยข้อกำหนดค่าหนึ่งได้แก่ ค่า peak factor (PF) หรืออัตราส่วนของน้ำสูงสุดหรือต่ำสุดเทียบกับอัตราไหลเฉลี่ย Fair,Geyer and Okun ได้ให้ข้อเสนอสำหรับอัตราดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราสูงสุดและต่ำสุดของน้ำใช้ในชุมชน (1)

อัตราน้ำใช้สูงสุดแต่ละวัน	= 2 x อัตราน้ำใช้เฉลี่ยประจำวัน
อัตราน้ำใช้สูงสุดแต่ละชั่วโมง	= 3 x อัตราน้ำใช้เฉลี่ยประจำวัน
อัตราน้ำใช้ต่ำสุดแต่ละวัน	= 2/3 x อัตราน้ำใช้เฉลี่ยประจำวัน
อัตราน้ำใช้ต่ำสุดแต่ละชั่วโมง	= 1/3 x อัตราน้ำใช้เฉลี่ยประจำวัน

ส่วนอัตราน้ำใช้ของชุมชนจะเป็นเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับมาตรฐานการครองชีพเป็นสำคัญ อัตราการใช้น้ำของประเทศอุตสาหกรรมอยู่ในช่วง 300-400 ลตคว. (ลิตรต่อคนต่อวัน) และประมาณ 100-200 ลตคว.สำหรับชุมชนขนาดเล็กหรือในประเทศกำลังพัฒนาซึ่งมีข้อมูลที่เชื่อถือได้อยู่น้อยมาก ส่วนประชากรในประเทศไทยใช้อัตราน้ำใช้ประมาณ 60-250 ลตคว. ขึ้นอยู่กับขนาดของกลุ่มประชากร

ในการออกแบบท่อระบายน้ำเสีย จำต้องเผื่อสำหรับระบายน้ำที่รั่วไหลเข้ามาในท่อโดยไม่เจตนาด้วย ซึ่งอาจไหลผ่านท่อแตก รอยต่อเลื่อมสภาพหรือต่อไว้ไม่ดี บ่อตรวจระบายชำรุด หรือฝาบ่อตรวจอยู่ต่ำกว่าระดับถนน ฯลฯ

ในสหรัฐได้มีการกำหนดไว้คร่าวๆ ว่า ให้ออกแบบระบบระบายน้ำเสียโดยเผื่อสำหรับน้ำรั่วเข้าท่อดังนี้ (1)

กรณี ก) 5-50 ลบ.ม./เฮคทาร์-วัน, เฉลี่ย 20

กรณี ข) 12-240 ลบ.ม./วัน-กม.ท่อระบาย โดยรวมน้ำรั่วจากท่อส่วนต่อเข้าบ้านด้วยแล้ว, เฉลี่ย 70

กรณี ค) 0.5-5 ลบ.ม./กม.ท่อ-ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง (เฉลี่ย 2.5) บวกกับอีกประมาณ 400 ลิตร/บ่อตรวจระบาย

3.2.2 ปริมาณน้ำฝน

การประมาณปริมาณน้ำฝนเพื่อประกอบการออกแบบระบบท่อระบายน้ำนั้นทำได้ยากมาก ด้วยเหตุผลหลายประการ ประการแรกได้แก่ อัตราและปริมาณน้ำฝนเองที่มีการเปลี่ยนแปลงในทุกฤดูและทุกปี ประการต่อไปได้แก่ พื้นที่ผิวที่ฝนตกลงไปนั้นมีขีดความสามารถในการอุ้มน้ำและให้น้ำไหลซึมลงดินไม่เท่ากัน รวมทั้งปริมาณน้ำที่ระเหยทั้งโดยธรรมชาติและผ่านต้นไม้มีค่าไม่คงที่

หลักการในการประมาณปริมาณน้ำไหลนองมีวิธีการทำโดยกำหนดให้ปริมาณน้ำไหลนองมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนโดยตรง โดยเป็นสัดส่วนกับปริมาณฝนที่ตกลงบนพื้นที่ที่คำนึงถึง ซึ่งนิยมเรียกว่า วิธีเรชั่นแนล หรืออาร์เอ็ม

การหาปริมาณฝนหาได้จาก ความเข้ม ความนาน และความถี่ของฝน แต่วิศวกรผู้ออกแบบต้องระลึกไว้เสมอว่า ความเข้มและความนานของฝนที่ว่านี้เป็นลักษณะของฝนห่าหนึ่งเท่านั้น มิใช่เป็นอัตราการไหลนอง (runoff) เข้าท่อระบาย ความสัมพันธ์ของความเข้มเฉลี่ยของฝนกับความนานของเวลาที่นับว่าฝนตก (t_c ,time of concentration) แสดงได้ดังในรูป 3.1 ความสัมพันธ์ของฝนในลักษณะนี้จักต้องสร้างขึ้นสำหรับเฉพาะแห่ง วิธีการวิเคราะห์และสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ แสดงได้ดังในรูป 3.1

สมการที่ใช้แทนเส้นโค้งตามรูปที่ 3.1 ที่ดีที่สุด มักอยู่ในรูปของ (1)

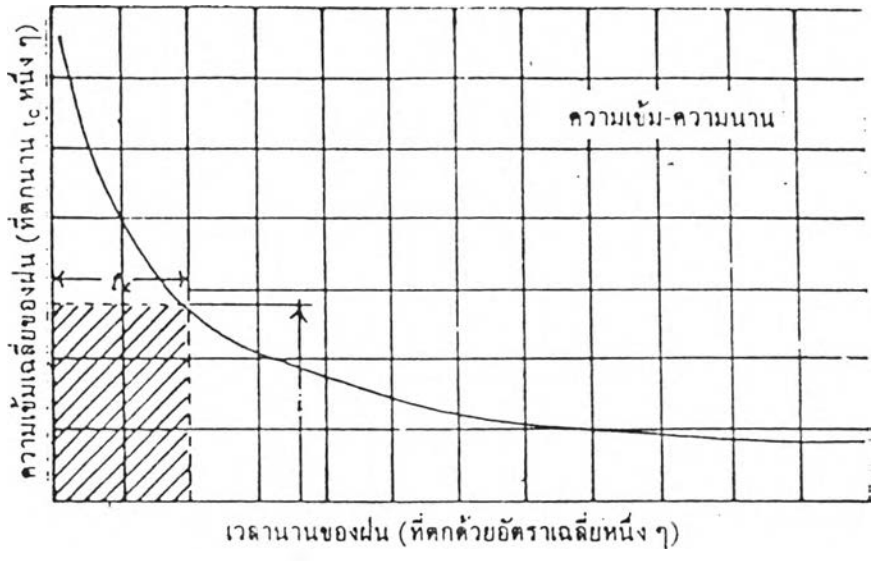
$$i = cT^m /(t+d)^n \qquad \ldots 3.4$$

โดยที่ i คือความเข้มฝน (มม./ชม.)

T คือความถี่ฝน (ปี)

t คือช่วงเวลาฝนตก (นาที)

และ c,d,m,n เป็นค่าคงที่สำหรับพื้นที่บริเวณหนึ่งๆ



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและความนานของฝนหนึ่งๆ (1)

ในกรณีที่เลือกฝนเฉพาะความถี่หนึ่งๆ สูตรดังกล่าวลดรูปได้เป็น

$$i = a/(t+b)^k \qquad \ldots 3.5$$

โดย $a = cT^m$

ในขณะเดียวกันฝนที่ตกในที่หนึ่งๆ จักไม่เท่ากันในทุกๆ ปี ขึ้นอยู่กับความถี่ของฝนห่าใหญ่ที่พึงมีในท้องที่นั้นๆ ฝนที่ตกใหญ่ในรอบ 100 ปี ย่อมมีขนาดใหญ่กว่าฝนห่าใหญ่ในรอบ 5 ปี (ดูรูปที่ 3.2)

โดยธรรมชาติ ฝนที่ตกห่าใหญ่มากเป็นพิเศษมักไม่เกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี ฝนยิ่งห่าใหญ่ก็ยิ่งมีความถี่เนิ่นนานออกไป ฝนความถี่ 100 ปี จักมีความเข้มมากกว่าฝนความถี่ 20 ปี และฝน 5 ปีตามลำดับ

การหาอัตราน้ำไหลนองสูงยอดในท่อระบายหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$Q = CiA / 1000 \qquad \ldots 3.6$$

โดย Q คืออัตราน้ำไหลนองสูงยอดในท่อระบาย (ลบ.ม./ชม.)

C เป็นสัมประสิทธิ์ของการไหลนอง

i คือความเข้มเฉลี่ยของฝน (มม./ชม.)

A เป็นพื้นที่ที่จะระบายน้ำออก (ตร.ม.)

สัมประสิทธิ์ของการไหลนองหรือค่า C เป็นตัวแปรที่ถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่สำหรับภาวะการณ์หนึ่งๆ เพื่อนำไปหาอัตราการไหล มีค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และตารางที่ 3.4 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้ใช้ได้เฉพาะกับฝนความถี่ 5 - 10 ปีเท่านั้น ถ้าฝนความถี่ต่ำและมีความเข้มสูงกว่านี้ต้องใช้ค่า C ที่สูงขึ้น (1)

สัมประสิทธิ์การไหลนองขึ้นอยู่กับความลาดของพื้นที่ผิวด้วย รูปที่ 3.3 แสดงการหาสัมประสิทธิ์ดังกล่าว สำหรับพื้นที่ลักษณะต่างๆ ที่มีความลาดต่างกัน(1) นอกจากนี้สัมประสิทธิ์การไหลนองยังขึ้นอยู่กับความอิ่มน้ำของดินด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การไหลนองกับเวลานับจากฝนตกดูได้จากรูปที่ 3.4

3.2.3 ปริมาณน้ำร่วม

เป็นการรวมเอาน้ำทั้งสองประเภทมาไว้ด้วยกัน โดยค่าอัตราไหลสูงสุดในกรณีนี้เป็นผลรวมของค่าปริมาณน้ำฝนรวมกับค่าอัตราการไหลสูงสุดของน้ำเสียจากชุมชน ส่วนค่าอัตราการไหลต่ำสุดนั้นยังคงเท่ากับอัตราการไหลต่ำสุดของระบบระบายน้ำเสียจากชุมชนเพียงค่าเดียว

3.3 <u>การออกแบบท่อระบายน้ำ</u>

การออกแบบท่อระบายน้ำนี้ ผู้ออกแบบต้อง

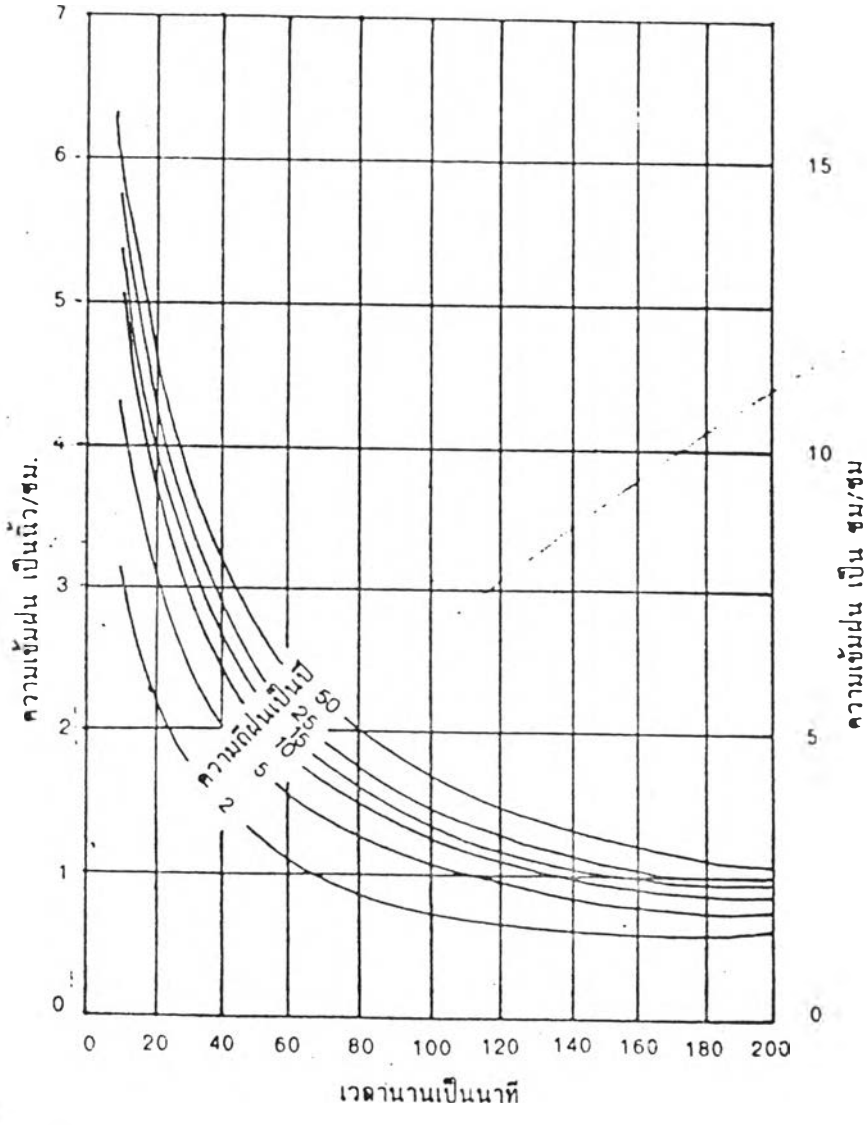
1. ทำการศึกษาขั้นตอนของโครงการ

2. พิจารณาข้อปลีกย่อยสำหรับการออกแบบและเลือกข้อมูลและข้อกำหนดกฎเกณฑ์ที่มีอยู่มากมายและกระจัดกระจายมาใช้สำหรับการออกแบบของโครงการโดยเฉพาะ

3. ออกแบบท่อ ซึ่งรวมทั้งการออกแบบระบบ การวางผังตลอดไปถึงการออกแบบท่อแต่ละสาย รวมทั้งการออกแบบจุดน้ำเข้าระบบระบายด้วย

4. เตรียมรูปแบบและเอกสารประกอบ

013057



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างความสัมพันธ์ของความเข้ม ความนาน และความถี่ของฝนห่าหนึ่ง (1)

ตารางที่ 3.3 สัมประสิทธิ์ของการไหลนองของพื้นที่ใช้สอยต่างๆ (1)

ลักษณะการใช้สอยของพื้นที่	สปส.การไหลนอง
เขตธุรกิจ	
หนาแน่น	0.70 - 0.95
รอบๆ บริเวณธุรกิจ	0.50 - 0.70
เขตที่พักอาศัย	
ครอบครัวเดี่ยว	0.30 - 0.50
หลายครอบครัว,แยกกัน	0.40 - 0.60
หลายครอบครัว,ติดกัน	0.60 - 0.75
เขตที่พักอาศัย (ชานเมือง)	0.25 - 0.40
เขตอพาร์ทเมนท์	0.50 - 0.70
เขตอุตสาหกรรม	
เบา	0.50 - 0.80
หนัก	0.60 - 0.90
สวนสาธารณะ	0.10 - 0.25
สวนเด็กเล่น	0.20 - 0.35
สถานีรถไฟ,ชุมทาง	0.20 - 0.35
ที่รกร้าง	0.10 - 0.30

3.3.1 วัสดุและขนาดท่อ

วิศวกรจะออกแบบระบบวิศวกรรมใดๆก็ตามต้องรู้จักวัสดุของที่ใช้ในส่วนที่จะกระทำ ตารางที่ 3.5 แสดงถึงวัสดุและขนาดท่อที่นิยมใช้ทั่วโลก แต่ในประเทศอาจมีไม่ครบ

3.3.2 การออกแบบกรณีน้ำไหลเต็มท่อ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ในปัจจุบันมักนิยมออกแบบท่อโดยใช้สูตรของแมนนิ่ง และใช้ค่า n = 0.013 หรือ 0.015 วิธีที่ง่ายที่สุดคือการใช้โมโนกราฟ

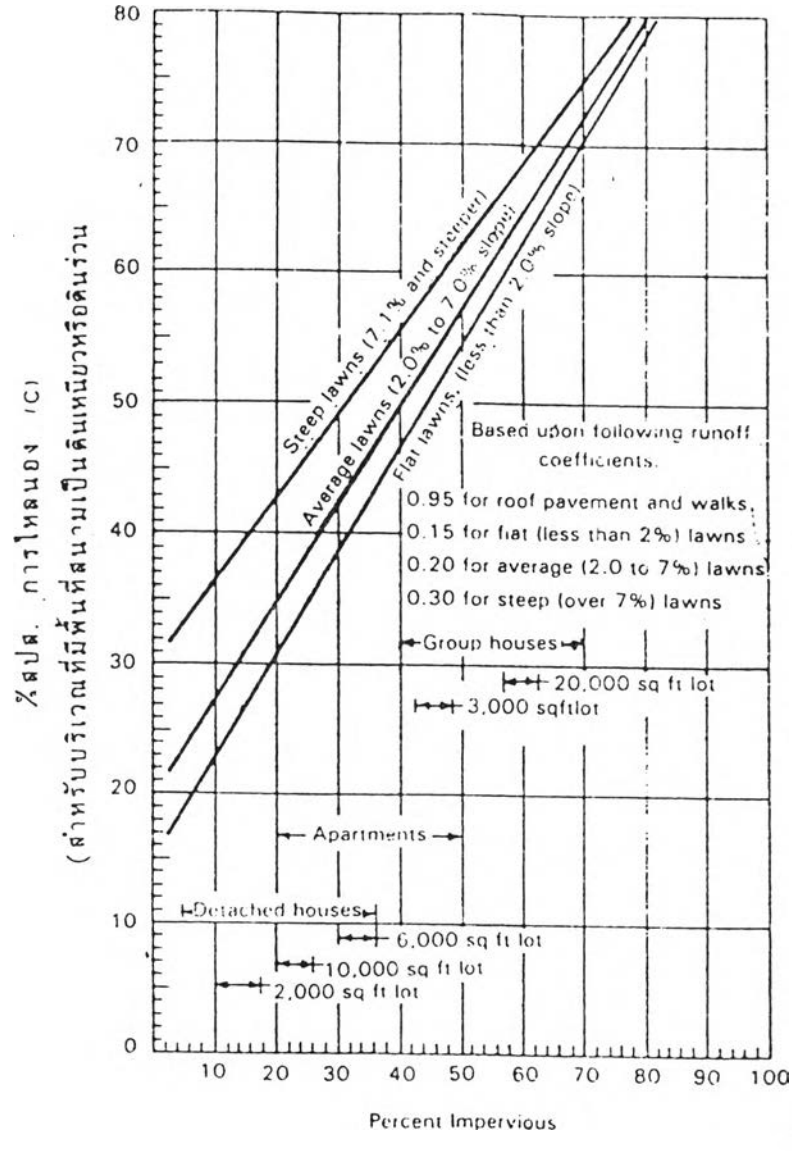
ตารางที่ 3.4 สัมประสิทธิ์การไหลนองของพื้นที่ผิวแบบต่างๆ(1)

ลักษณะพื้นที่ผิว	สปส.การไหลนอง
ส่วนปูพื้น	
ยางมะตอยหรือคอนกรีต	0.70 - 0.95
อิฐ หรือ อิฐตัวหนอน	0.70 - 0.85
หลังคา	0.75 - 0.95
สนาม,ดินทราย	
เรียบ - ลาด 2 %	0.05 - 0.10
ลาด 2 - 7 %	0.10 - 0.15
ชัน,ลาด 7 % ขึ้นไป	0.15 - 0.20
สนาม,ดินแน่น	
เรียบ - ลาด 2 %	0.13 - 0.17
ลาด 2 - 7 %	0.18 - 0.22
ชัน,ลาด 7 % ขึ้นไป	0.25 - 0.35

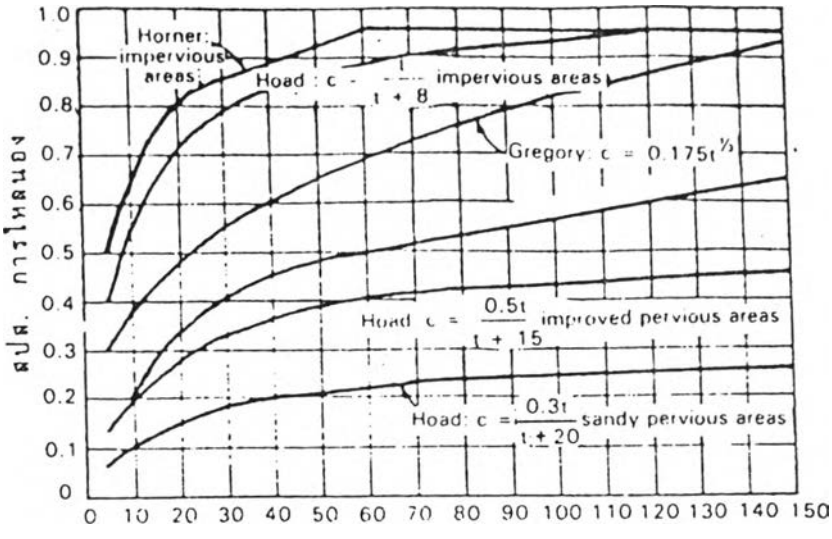
3.3.3 กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อ

โดยทั่วไป ท่อระบายน้ำจักไม่มีน้ำไหลเต็มท่อตลอดเวลา โดยส่วนใหญ่ของเวลาน้ำมักไม่ไหลเต็มท่อ

ขั้นตอนที่วิศวกรพึงใช้ในการออกแบบท่อ สามารถหาดูได้จากหนังสือ คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำเสียและน้ำฝน โดย รองศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์(1)



รูปที่ 3.3 สัมประสิทธิ์การไหลนองของพื้นที่ลักษณะต่างๆ ที่มีความลาดต่างกัน (1)



รูปที่ 3.4 การแปรผันของสัมประสิทธิ์การไหลนองที่เวลาต่างๆ นับจากฝนเริ่มตก(1)

ตารางที่ 3.5 วัสดุและขนาดท่อน้ำเสียที่นิยมใช้(1)

ชนิดท่อ	ขนาด (มม.)	การใช้งาน
ท่อกระเบื้องกระดาษหรือท่อเอซี	100 - 900	น้ำหนักเบา ทนการกัดกร่อนได้ไม่ดี แต่ถ้าผลิตด้วยระบบไอน้ำภายใต้ความดันสูงอาจใช้กับน้ำเสียที่มีเกลือซัลเฟตสูงได้
ท่อเหล็กเหนียว (ductile)	100 - 1,350	ใช้ในช่วงข้ามคลอง ในกรณีท่อต้องรับแรงกดมากๆ ทนกัดกร่อนไม่ดี และไม่ควรฝังในดินเค็ม
ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก	300 - 3,600	นิยมใช้มาก แต่ทนการกัดกร่อนได้ไม่ดี ใช้ฝังในดินเค็มไม่ดี

ตารางที่ 3.5 วัสดุและขนาดท่อน้ำเสียที่นิยมใช้ (1) (ต่อ)

ชนิดท่อ	ขนาด (มม.)	การใช้งาน
ท่อคอนกรีตอัดแรง (prestressed concrete,PC)	400 - 3,600	เหมาะกับท่อเมนช่วงยาวๆ ที่ไม่มีการบรรจบท่อด้านข้างและไม่ต้องการให้มีการรั่วไหลมาก แต่ทนการกัดกร่อนได้ไม่ดี
ท่อพีวีซี	100 - 375	น้ำหนักเบาแต่แข็งแรง มีความเสียดทานต่ำ ทนการกัดกร่อนได้ดีมาก
ท่อดินเผาเคลือบ (vitrified clay, VC)	100 - 900	นิยมใช้ในต่างประเทศ ทนกรดและด่างได้ แต่เปราะ