บทที่2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ความหมาย

1. บ่อตรวจสอบ (Man hold) เป็นบ่อที่มีไว้เพื่อให้สามารถลงไปทำการล้าง หรือทำความสะอาดท่อ ถ้าพบว่ามีการอุดตันเกิดขึ้นตำแหน่งของบ่อตรวจสอบ ควรมีทุกจุดเปลี่ยนขนาดท่อ จุดที่มีการเลี้ยวหรือบรรจบของท่อ ส่วนระยะห่างของบ่อขึ้นอยู่กับดุลพินิจของวิศวกรผู้ออกแบบ แต่ไม่ควรเกิน 100 เมตร

2. ทางน้ำเข้าข้างถนน (Street inlet) ทำหน้าที่รับน้ำจากถนนให้ลงสู่ท่อระบายน้ำฝน

3. ท่อแรงดัน (Pressure sewer) คือท่อระบายน้ำที่เกิดแรงดันเนื่องมาจากการไหลของน้ำจากที่ต่ำไปยังที่สูงกว่า โดยท่อสามารถรับแรงดันของน้ำ ซึ่งเกิดจากการสูบน้ำ

4. ระบบท่อระบายน้ำ (Drainage system) หมายถึงระบบท่อและส่วนประกอบอื่นที่ใช้สำหรับรวมน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดน้ำเสียประเภทต่างๆ เช่นอาคารที่พักอาศัย, โรงแรม เพื่อบำบัดน้ำเสียเหล่านั้นไปบำบัดหรือทิ้ง

5. ท่อระบาย (Sewer) หมายถึงท่อหรือรางระบายน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและอุตสาหกรรมหรือ แหล่งชุมชน

2.2 ระบบระบายน้ำในชุมชน

การจัดการระบบระบายน้ำผิวดินในชุมชน ประกอบด้วยองค์ประกอบหลายประการ โดยมีจุดประสงค์ที่จะควบคุมปริมาณน้ำและคุณภาพน้ำ องค์ประกอบหนึ่งที่มักก่อให้เกิดปัญหาในชุมชนอย่างมากคือการระบายน้ำ การเกิดปัญหาการระบายน้ำไม่ทัน ปัญหาน้ำท่วมขัง ปัญหาน้ำเอ่อล้นในชุมชน จะมีผลกระทบต่อประชากรในชุมชนเป็นอย่างมาก

การจัดระบบน้ำในชุมชน โดยทั่วไปจะมีขนาดไม่ใหญ่มากนักใช้ระบายน้ำฝนหรือน้ำเสียจากบ้านเรือน อาคารต่างๆก่อนที่จะระบายเข้าระบบรวมน้ำเสียต่อไป การแก้ไขปัญหาสามารถทำได้โดยการศึกษาและหาแนวทางการออกแบบระบบระบายน้ำ

ของชุมชนให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสม มีความสอดคล้องกับระบบ ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่นั้นๆ ทั้งในแง่ชนิด ขนาดของหน้าตัดและทิศทางการระบาย

ระบบระบายน้ำทีมีการออกแบบและก่อสร้างเพื่อใช้งานในชุมชนโดยทั่วไปมีอยู่ 3 แบบคือ

2.2.1 ระบบระบายน้ำฝน (Storm drainage system)

เป็นระบบที่สร้างขึ้นเพื่อระบายน้ำฝนโดยเฉพาะเพื่อป้องกันไม่ให้มีน้ำฝนขังอยู่บนพื้นที่ต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความรำคาญ การจราจรติดขัด หรือเกิดความเสียหายต่อชีวิต และทรัพย์สิน ปริมาณน้ำที่ต้องระบายเป็นไปตามสมการ (2.1)

$$Q = Q_R + Q_I \qquad (2.1)$$

2.2.2 ระบบระบายน้ำเสีย (Sanitary drainage system)

เป็นระบบที่สร้างขึ้น เพื่อระบายน้ำเสียและน้ำทิ้งโดยเฉพาะ เพื่อป้องกันการระบาดของโรค และเพื่อเป็นการสะดวกต่อการบำบัดและลดค่าใช้จ่ายของระบบบำบัด ปริมาณน้ำที่ต้องระบายเป็นไปตามสมการ (2.2)

$$Q = Q_W + Q_I \qquad (2.2)$$

2.2.3ระบบระบายน้ำรวม (Combined drainage system)

ทำหน้าที่ระบายน้ำทั้งน้ำฝนและน้ำเสีย ตามสมการ (2.3)

$$Q = Q_R + Q_W + Q_I \qquad (2.3)$$

เมื่อ Q คือปริมาณน้ำที่ต้องระบาย (m^3/s, ft^3/s)

Q_R คือปริมาณน้ำท่า (น้ำฝน) (m^3/s, ft^3/s)

Q_W คือปริมาณน้ำเสียและน้ำทิ้ง (m^3/s, ft^3/s)

Q_I คือปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลซึมเข้าท่อ (m^3/s, ft^3/s)

ปริมาณน้ำเสียหรือน้ำทิ้งและปริมาณน้ำใต้ดินไหลซึมเข้าท่อมีน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำฝน อาจตัดทิ้งไม่ต้องนำมาพิจารณาก็ได้

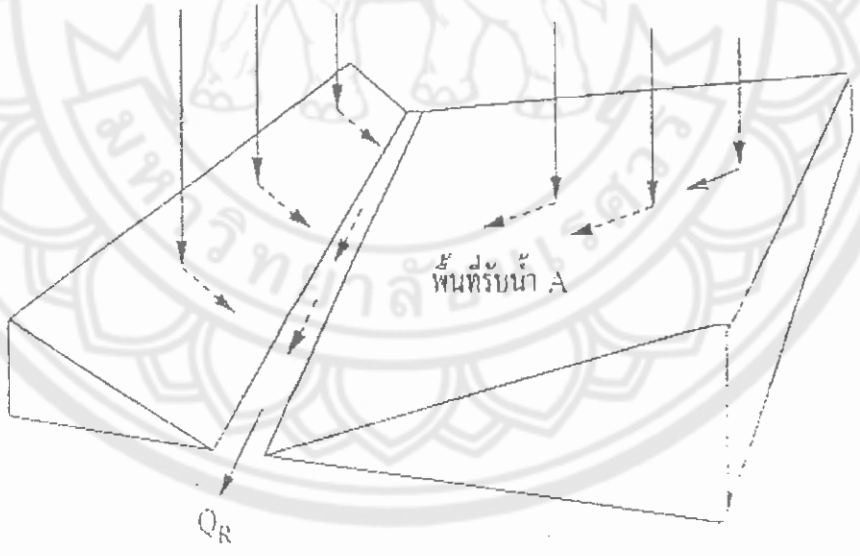
จะได้ $Q = Q_R$ **(2.4)**

2.3 ปริมาณน้ำที่ต้องระบาย

1. การคำนวณปริมาณน้ำท่า (run off)

การหาปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่รับน้ำแล้วไหลนองและเกิดการท่วมขังขึ้น การประมาณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่า สำหรับความถี่ต่างๆมีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดให้เหมาะสม เพื่อนำไปสู่การออกแบบขนาดหน้าตัดการไหลหรือท่อระบายน้ำ มีวิธีการหาหลายวิธีดังนี้ วิธี Rational วิธีสถิติ และ วิธีสร้างกราฟน้ำท่า (Hydro graph)

วิธี Rational เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด สำหรับการประมาณค่าน้ำนองจากพื้นที่ระบายน้ำของชุมชนเมือง มีค่า Run Off Coefficient , C ของพื้นที่มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียง 1.0 ทำให้การคำนวณนั้นง่ายและแม่นยำ รายละเอียดของวิธี Rational มีดังนี้



รูปที่ 2.1 แสดงแนวคิดค่า Run Off Coefficient ของชุมชนเมือง

วิธี Rational

เป็นวิธีที่นิยมใช้หาปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในพื้นที่รับน้ำขนาดเล็กไม่เกิน 1.3 ตารางกิโลเมตร โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มฝนเฉลี่ย (rainfall intensity, I) พื้นที่รับน้ำและค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า(run-off coefficient, C) ซึ่งแตกต่างกันไปตามสภาพของพื้นที่ดังสมการ

ระบบอังกฤษ $Q_R = CIA$ **(2.5)**

ระบบ SI $Q_R = 0.278\ CIA$ **(2.6)**

$Q_R = 0.278 \times 10^{-6}\ CIA$ **(2.7)**

$Q_R = 2.78\ CIA$ **(2.8)**

เมื่อ Q_R คือ ปริมาณน้ำท่าที่ใช้ออกแบบ (ระบบอังกฤษ ft^3/s, SI m^3/s, l/s จากสมการ (2.8))

C คือ สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำท่า ตามตาราง 2.I และ 2.2

I คือ ความเข้มฝนเฉลี่ยที่ตกในพื้นที่รับน้ำ (mm/hr, in/hr)

A คือ พื้นที่รับน้ำ

สมการ 2.5 มีหน่วยเป็น เอเคอร์ (Acres)

สมการ 2.6 มีหน่วยเป็น Km^2

สมการ 2.7 มีหน่วยเป็น m^2

สมการ 2.8 มีหน่วยเป็น hectares

ก. การหาค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (run - off coefficient)

สัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (C) = ปริมาณน้ำฝนที่กลายเป็นน้ำท่า / ปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่ตกในพื้นที่รับน้ำ

สัมประสิทธิ์การไหลนองของน้ำท่า (C) เป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงว่า เมื่อมีฝนตกลงมาบนพื้นที่รับน้ำหรือพื้นที่ระบายน้ำจะเกิดปริมาณน้ำนองบนพื้นผิวต่างๆที่หักการไหลซึมและปริมาณน้ำที่ตกค้างบนผิวออกแล้ว เป็นเปอร์เซ็นต์หรือสัดส่วนของปริมาณน้ำนองที่เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำฝน ว่ามีมากน้อยเพียงใดซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆมากมาย เช่นสภาพพื้นที่ ความลาดชันของพื้นที่ ปริมาณความชื้นในดิน ชนิดของสิ่งปกคลุมพื้นที่และความเข้มฝน ถ้ามีฝนตกลงสู่พื้นที่รับน้ำซึ่งทึบน้ำ เช่น พื้นคอนกรีต ปริมาณน้ำฝนก็จะกลายเป็นปริมาณน้ำท่าทั้งหมด ดังนั้นค่า C เท่ากับ 1.0 พอดี

แต่ถ้ากรณีฝนที่ตกลงในพื้นที่รับน้ำที่มีลักษณะพื้นผิวต่างกัน เช่น บริเวณบ้านเดี่ยว ซึ่งมีทั้งอาคาร ถนน สนามหญ้า การคำนวณหาค่าอัตราการไหลของน้ำอาจคำนวณได้จาก

ระบบอังกฤษ $$Q_R = I \sum C_j A_j \quad (2.9)$$

ระบบ SI $$Q_R = 0.278\, I \sum C_j A_j \quad (2.10)$$

$$Q_R = 0.278 \times 10^{-6}\, I \sum C_j A_j \quad (2.11)$$

$$Q_R = 2.78\, I \sum C_j A_j \quad (2.12)$$

เมื่อ C_j คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่าของพื้นที่ใดๆที่พิจารณา

A_j คือ พื้นที่รับน้ำย่อยใดๆที่พิจารณา

ตาราง 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองของน้ำท่าตามลักษณะต่างๆของพื้นที่

ลักษณะพื้นที่	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำท่า (C)
ที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย	0.40 – 0.45
ที่อยู่อาศัยหนาแน่นปานกลาง	0.50 - 0.55
ที่อยู่อาศัยหนาแน่นสูง	0.55 – 0.60
ย่านการค้า	0.50 – 0.70
โรงเรียน – โรงพยาบาล	0.40 – 0.70
ย่านอุตสาหกรรม	0.50 – 0.70
สวนสาธารณะและสนามหญ้า	0.20 – 0.30
พื้นที่เกษตรกรรม	0.20 – 0.30
พื้นที่รกร้าง	0.10 – 0.30

ตาราง 2.2 สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำท่าตามลักษณะพื้นผิว

ลักษณะพื้นผิว	คาบความถี่					
	2	5	10	25	50	100
พื้นที่ที่มีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลง						
แอสฟัลติก	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95
คอนกรีต / หลังคา	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97
พื้นที่เป็นสนามหญ้าหรือสวนสาธารณะ						
1. มีหญ้าปกคลุม<50%ของพื้นที่						
ที่ราบความลาด 0 - 2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47
ความลาด 2 - 7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53
ความลาด >7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55
2. มีหญ้าปกคลุม 50 - 75%						
ที่ราบความลาด 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41
ความลาด 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49
ความลาด >7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.48	0.53
3. มีหญ้าปกคลุม > 75%						
ที่ราบความลาด 0 - 2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36
ความลาด 2 - 7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46
พื้นที่ที่ยังไม่มีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลง						
1. พื้นที่เกษตรกรรม						
ที่ราบความลาด 0 - 2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47
ความลาด 2 - 7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51
ความลาด >7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54
2. พื้นที่ป่าไม้						
ที่ราบความลาด 0 - 2%	0.20	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39
ความลาด 2 - 7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47
ความลาด >7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52

ข.การกำหนดช่วงเวลาการตกของฝน (rainfall duration)

ช่วงเวลาฝนตกที่ใช้หาค่าความเข้มฝนเพื่อการออกแบบ ปกติจะให้มีค่าเท่ากับเวลาการไหลรวมตัว (time of concentration,T_c) ซึ่งหมายถึงเวลาที่ยาวนานที่สุดที่น้ำเริ่มไหลจากจุดที่ไกลที่สุดของพื้นที่รับน้ำมาถึงทางออกที่ต้องการออกแบบหน้าตัดของทางระบายน้ำ ค่า T_c คำนวณได้จากตารางที่ 2.3 โดยเลือกตามเหมาะสม

ตาราง 2.3 สรุปสูตรที่ใช้หาค่าเวลาการไหลรวมตัวของน้ำท่า , T_c

วิธีการของ	สูตรหาค่า T_c (min)	หมายเหตุ
1. Kirpich (1940)	$T_c = 0.0078L^{0.77} S^{-0.385}$ L = ความยาวของทางระบายจากจุดไกลสุดถึงทางออก (ft) S = ความลาดเฉลี่ยของพื้นที่ (ft/ft)	ก. เหมาะกับพื้นที่ที่มีความลาดชัน 3 – 10%และมีวัชพืชปกคลุม ข. พื้นผิวคอนกรีต แอสฟัลต์ $T_{cr} = 0.4\,T_c$ ค. รางคอนกรีต $T_{cr} = 0.2\,T_c$
2. California Culverts Practice (1942)	$T_c = 60(11.9L^3 / H)^{0.385}$ L = ระยะทางของการไหลที่ไกลที่สุด (mi) H = ความแตกต่างของระดับ ณ จุดเริ่มต้นของการไหลถึงจุดทางออก (ft)	ดัดแปลงมาจากสูตร Kirpich ใช้กับ พื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็กตามหุบเขา
3. Federal Aviation Administration (1970)	$T_c = 1.8(1.1 - C)L^{0.50} / S^{0.333}$ C = สัมประสิทธิ์การไหลนอง จากตารางที่ 2.1,2.2 L = ระยะทางของการไหล (ft) S = ความลาดของพื้นที่ (%)	ใช้กับงานออกแบบระบบระบายน้ำของสนามบินและพื้นที่ระบายน้ำในเมือง

วิธีการของ	สูตรหาค่า T_c (min)	หมายเหตุ
5. CMD (พ.ศ. 2511)	$T_c = 10 + \frac{L}{V}$ หรือ $= 10 + \frac{L}{45}$ L = ระยะทางของการไหล (m) V = ความเร็วของการไหล (m / min)	ใช้กับพื้นที่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล รวมทั้งเมืองที่มีลักษณะทางกายภาพคล้ายกรุงเทพฯ
6. Kerby's Equation (1959)	$T_c = c(n.Ls^{-0.5})^{0.467}$ L = ความยาวของการไหล < 365 m (1000 ft) c = 1.44 เมื่อ L เป็น m = 0.83 เมื่อ L เป็น ft s = ความลาดชัน n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นที่ผิวการไหล	ค่า n เลือกใช้ตามชนิดพื้นที่ผิว
7. Bransby Williams Equation (1922)	$T_c = 21.3L / (A^{0.1}.S^{0.2})$ L = ความยาวจากจุดไกลสุดถึงทางออก (mi) A = พื้นที่รับน้ำ (ตร.ไมล์) S = ความลาดชันของพื้นที่ระบายน้ำ	

ค. ค่าความเข้มฝนเฉลี่ย (rainfall intensity : I)

ความเข้มฝนเฉลี่ย (I) หมายถึงฝนที่ตกลงมาบนพื้นที่รับน้ำ คิดเป็นความลึกน้ำต่อหนึ่ง หน่วยเวลา เช่น mm / hr หรือ in / hr เป็นต้น

ความเข้มฝนเฉลี่ยสามารถหาได้จากกราฟที่ถูกสร้างขึ้นโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนที่ตก (rainfall depth) และช่วงเวลาการตก (rainfall duration)

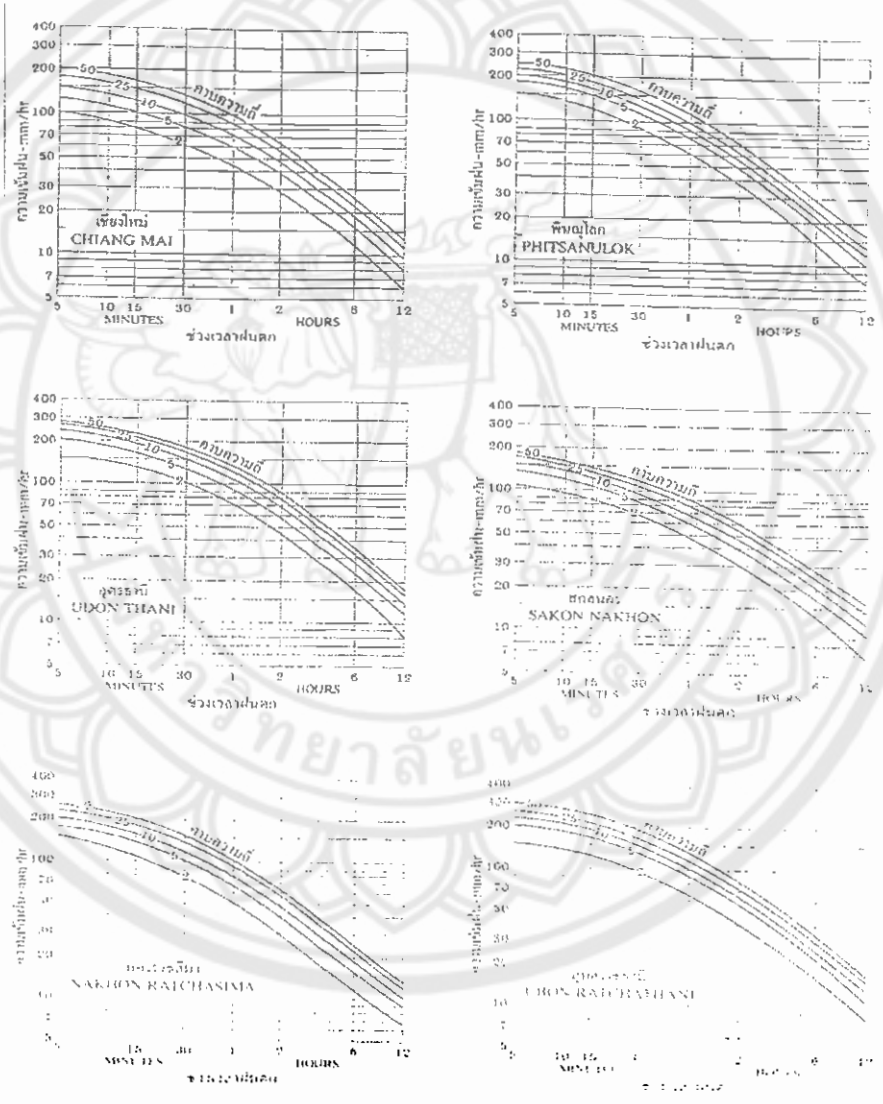
ค่าความเข้มฝนเฉลี่ย (I) จะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับรอบคาบความถี่หรือคาบย้อนพินิจ (return period) และช่วงเวลาการตกของฝน (rainfall duration) ที่ออกแบบ โดยที่ return period หมายถึงโอกาสที่จะเกิดฝนตกด้วยความเข้มฝน I ในรอบปีที่ออกแบบ

การเลือกค่าคาบความถี่เพื่อหาค่าความเข้มฝน (I) ขึ้นอยู่กับความสำคัญและสภาพนั้นๆว่าจะยอมให้เกิดเหตุการณ์วิกฤตจากน้ำท่วมบ่อยแค่ไหนซึ่งอาจอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 2.4 ในการพิจารณา

ตารางที่ 2.4 คาบความถี่ตามความสำคัญและสภาพพื้นที่ต่างๆ

สภาพพื้นที่	คาบความถี่ (ปี)
ระบบระบายน้ำในเมือง	
เมืองเล็ก	2 – 25
เมืองใหญ่	25 – 50
ระบบป้องกันน้ำท่วมของเมือง	> 50
ท่อลอดถนน	
มีการสัญจรน้อย	5 – 10
มีการสัญจรปานกลาง	10 – 25
มีการสัญจรมาก	50 – 100
สนามบิน	
มีการจราจรน้อย	5 – 10
มีการจราจรปานกลาง	10 -25
มีการจราจรมาก	50 – 100

ง. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนเฉลี่ย (I) คาบเวลาที่ฝนตก (D) และความถี่ของการเกิดฝน หรือ IDF – Curve (Intensity – Duration Frequercy Curve) จากข้อมูลน้ำฝนที่มีอยู่



รูปที่ 2.2 แสดง IDF Curve ของจังหวัดต่างๆ

2. ปริมาณน้ำเสียหรือปริมาณน้ำทิ้งเพื่อการออกแบบ จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำประปาที่ใช้ในแต่ละวัน ซึ่งปกติจะอยู่ในเกณฑ์ 60 – 80% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของอาคารต่างๆ ดังตารางที่ 2.5 และถ้าเป็นกรณีหมู่บ้านจัดสรรให้ถือตามข้อกำหนดเกี่ยวกับการจัดสรรที่ดิน พ. ศ. 2535 หมวด 5 ข้อ 32.2 ที่กำหนดไว้ว่า ปริมาณน้ำเสียใช้เกณฑ์ปริมาณไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95% ของน้ำที่ใช้แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 1 ลูกบาศก์เมตรต่อครัวเรือนต่อวัน

ตาราง 2.5 ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยจากชุมชน

ลักษณะพื้นที่	หน่วย	ลิตร / หน่วย – วัน	
		ช่วง	เกณฑ์ปกติ
อพาร์ตเมนต์	คน	200 – 340	250
โรงแรม	ผู้พัก	150 – 220	190
บ้านพัก			
บ้านทั่วไป	คน	190 – 350	280
บ้านระดับดี	คน	250 – 400	310
บ้านมีฐานะ	คน	300 – 550	380
บ้านตากอากาศ	คน	100 – 240	200
สนามบิน	ผู้โดยสาร	8 – 15	10
อู่ซ่อมรถ	คันรถ	30 - 50	40
	พนักงาน	35 – 60	50
บาร์	ลูกค้า	5 – 20	8
	พนักงาน	40 – 60	50
โรงงาน (ยกเว้นกระบวนการ	พนักงาน	30 – 65	55
ผลิตและโรงอาหาร)			
โรงซักผ้า	เครื่อง	1,800 – 2,600	2,200
	การซักล้าง	180 – 200	190
โมเต็ล	คน	90 – 150	120
โมเต็ลที่มีครัวในห้อง	คน	190 – 220	200
สำนักงาน	พนักงาน	30 – 65	55

ลักษณะพื้นที่	หน่วย	ลิตร / หน่วย – วัน	
		ช่วง	เกณฑ์ปกติ
ภัตตาคาร	มื้อ – คน	8 – 15	10
บ้านแบ่งเช่า	ผู้พักอาศัย	90 – 190	150
ห้างสรรพสินค้า	ห้องน้ำ	1,600 - 2,400	2,000
	พนักงาน	30 – 50	40
ศูนย์การค้า	ตันรถ	2 – 8	4
	พนักงาน	30 – 50	40
โรงพยาบาล	เตียง	500 – 950	650
	พนักงาน	20 – 60	40
โรงพยาบาลประสาท	เตียง	300 – 550	400
	พนักงาน	20 – 60	40
เรือนจำ	นักโทษ	300 – 600	450
	พนักงาน	20 – 60	40
บ้านพักคนชรา	ผู้พัก	200 – 450	350
	พนักงาน	20 – 60	40
โรงเรียน			
- พร้อมโรงอาหาร,สนาม กีฬาในร่มและห้องน้ำ , อาบน้ำ	นักเรียน	60 – 115	80
- พร้อมโรงอาหาร	นักเรียน	40 – 80	60
- ไม่มีโรงอาหาร สนาม กีฬาในร่มและห้อง อาบน้ำ	นักเรียน	20 – 65	40
โรงเรียนประจำ	นักเรียน	200 – 400	280
บ้านตากอากาศ	คน	200 – 280	220
ร้านอาหาร (คาเฟ่)	ลูกค้า	4 – 10	6
	พนักงาน	30 – 50	40

ลักษณะพื้นที่	หน่วย	ลิตร / หน่วย – วัน	
		ช่วง	เกณฑ์ปกติ
คันทรีคลับ	สมาชิกที่มา	250 – 500	400
	พนักงาน	40 – 60	50
แคมป์ (กลางวัน)	คน	40 – 60	50
โรงอาหาร	มื้อ – คน	15 – 40	30
หอพัก	คน	75 – 175	150
โรงแรมตากอากาศ	คน	150 – 240	200
ห้องซักผ้า	เครื่อง	1,800 – 2,600	2,200
ร้านขายของ	ลูกค้า	5 – 20	10
	พนักงาน	30 – 50	40
สระว่ายน้ำ	ลูกค้า	20 – 50	40
	พนักงาน	30 – 50	40
โรงภาพยนตร์	ที่นั่ง	10 -15	10

ปริมาณของเสียหรือน้ำทิ้งที่ควรคำนึงถึงในการนำมาออกแบบคือ

1 .อัตราการไหลสูงสุด

2. อัตราการไหลเฉลี่ย

3. อัตราการไหลต่ำสุด

การคำนวณการไหลของน้ำทิ้ง เมื่อไม่คำนึงถึงปริมาณน้ำฝนโดยใช้สมการของ Hermans

$$M = 1 + \frac{14}{1+\sqrt{P}} \qquad (2.13)$$

เมื่อ M = ปริมาณน้ำทิ้งสูงสุด / ปริมาณน้ำทิ้งโดยเฉลี่ย

P = จำนวนพลเมือง ณ ปีที่ออกแบบ / 1000

3. ปริมาณน้ำซึมเข้าระบบท่อระบายน้ำ (Q_I)

ปริมาณน้ำซึมเข้าท่อระบายน้ำจะเกิดขึ้นในกรณีที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงกว่าท้องท่อหรือท้องรางระบายน้ำโดยเฉพาะช่วงฤดูฝนซึ่งจะไหลซึมตามรอยต่อหรือรอยแตกของท่อหรือรางระบายน้ำ ปริมาณน้ำซึมเข้าระบบท่อจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับน้ำใต้ดิน ชนิดของดิน การทำรอยต่อของท่อและความทนทานต่อการแตกร้าวของท่อ

ตารางที่ 2.6 อัตราการไหลซึมเข้าท่อระบายน้ำของน้ำใต้ดิน

เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)	อัตราการไหลซึมเข้าท่อระบายน้ำ (m^3 / day / km)
0.20	8 – 12
0.30	10 – 14
0.60	23 - 28

2.4 หลักการออกแบบขนาดของท่อระบายหรือรางระบายน้ำ

เมื่อคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องระบายคือปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำเสียและปริมาณน้ำซึมเข้าท่อได้แล้ว ขั้นต่อไปก็คือนำค่าที่ได้ไปออกแบบขนาดหน้าตัดของทางระบายน้ำแต่ละประเภทตามหัวข้อ 2.1 เพื่อให้รับรองอัตราการไหลทั้งหมดได้ตามที่ต้องการ

โดยปกติการไหลในท่อระบายน้ำจะมีอยู่ 2 กรณี คือ การไหลเต็มท่อซึ่งถือว่าเป็นการไหลภายใต้แรงดัน อีกกรณีคือ การไหลไม่เต็มท่อซึ่งถือว่าเป็นการไหลในทางน้ำเปิด ดั้งนั้นใน**การออกแบบจึงต้องอาศัยการประยุกต์สมการของการไหลแต่ละแบบมาใช้ให้ถูกต้อง**

I. การออกแบบท่อสำหรับการไหลไม่เต็มท่อหรือการไหลแบบรางเปิด

การออกแบบรางระบายน้ำแบบเปิด (Open Channel) จะอาศัยสมการของ Manning ที่ใช้กับการไหลสม่ำเสมอ ตามสมการ

ระบบอังกฤษ $$Q = \frac{1.49}{n} AR^{2/3} So^{1/2} \quad (2.14)$$

ระบบ SI $$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} So^{1/2} \quad (2.15)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของปริมาณน้ำที่ต้องระบาย (m^3/s , ft^3/s)

n คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

R คือ รัศมีชลศาสตร์ (ft , m) มีค่าเท่ากับ $\frac{A}{P}$ โดยที่ P คือเส้นขอบเปียก (ft , m)

S คือ ความลาดของเส้นระดับพลังงานหรือของท่อ ในกรณีการไหลสม่ำเสมอ (uniform flow) จะมีค่าเท่ากับความลาดผิวน้ำและลาดท้องน้ำ

ค่า n ใช้ 0.015 สำหรับพื้นผิวคอนกรีต โดยสมมติว่าเป็นทางระบายน้ำตรง (มีมุมเบนไม่เกิน 5 องศา) และรวมค่าความสูญเสียเล็กน้อย (miner losses) ต่างๆไว้แล้ว เช่น ที่รอยต่อระหว่างท่อ สำหรับพื้นที่หน้าตัดคลองดินใช้ค่า n เท่ากับ 0.025 – 0.030 ขึ้นกับสภาพคลอง

2. การออกแบบท่อภายใต้ความดัน

ในกรณีแหล่งรับน้ำมีระดับน้ำสูงกว่าระดับน้ำตรงจุดออกของระบบระบายน้ำ ลักษณะการไหลของน้ำจะพิจารณาในลักษณะของ Steady Pressured Flow ระบบระบายน้ำจะเป็นระบบท่อแรงดัน (Pressure Pipe Flow) และคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของระบบระบายน้ำจะคำนวณโดยใช้สมการของ Darcy – Weisbach

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.16)$$

เมื่อ h_f คือ การสูญเสียหลักเนื่องจากความฝืด (m , ft)

f คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ (= 0.030สำหรับคอนกรีต)

L คือ ความยาวท่อ (m , ft)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m , ft)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในท่อ = Q / A (m / s , ft / s)

g คือ อัตราเร็วของแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2 , ft/s^2)

นำทั้งสองสูตรมาพิจารณาร่วมกับ Hazen – Williams จะออกแบบหาขนาดของท่อได้ดังนี้

สูตร Manning (น้ำไหลไม่เต็มท่อ)

$$D = \left[3.21Q\frac{n}{\sqrt{s}}\right]^{\frac{3}{8}} \quad (m) \qquad (2.17)$$

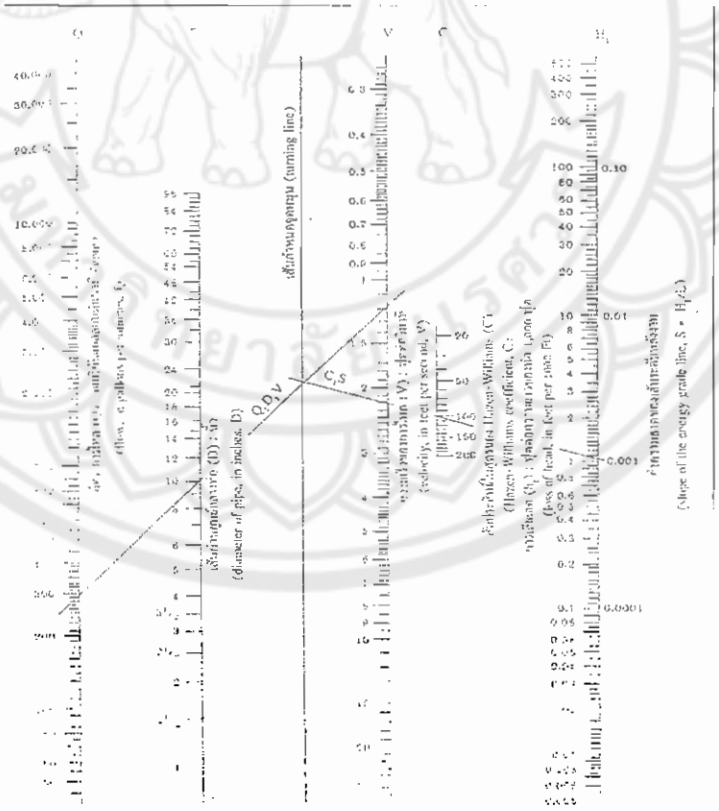
สูตร Darcy (น้ำไหลเต็มท่อและไหลเรียบ)

$$D = \left[0.811\frac{f}{g}\frac{Q^2}{S}\right]^{0.2} \quad (m) \qquad (2.18)$$

สูตร Hazen – Williams

$$D = \left[\frac{SC_H^{1.85}}{10.7Q^{1.85}}\right]^{0.025} \quad (m) \qquad (2.19)$$

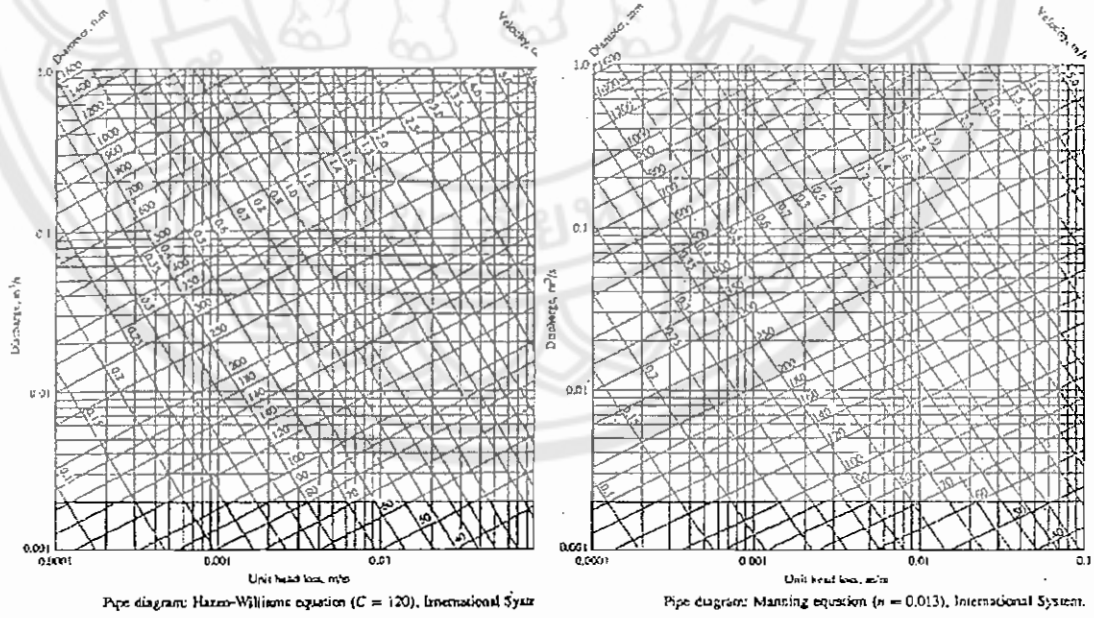
เมื่อ C_H คือสัมประสิทธิ์ของ Chezy มีค่า 80 – 140 ของท่อตามสภาพ



รูปที่ 2.3 Flow Chart for Hazen Williams Formula

ตารางที่ 2.7 สัมประสิทธิ์ของ Chezy (C_H) ของท่อแต่ละประเภท

ชนิดท่อ	C_H
ท่อตรงและเรียบมาก	140
ท่อเรียบมาก	130
ท่อไม้หรือปูนฉาบ	120
ท่อเหล็กใหม่มีหมุดย้ำ ท่อดินเผา	110
ท่อเหล็กเก่า ท่ออิฐ	100
ท่อเหล็กเก่ามีหมุดย้ำ	95
ท่อเหล็กเก่ามากสภาพโทรม	60 – 80



รูปที่ 2.3 Flow Chart for Hazen Williams Formula

2. ความลาดของท่อ

เพื่อให้ได้ความเร็วตามกำหนดความลาดเอียงท่อต่ำสุดไม่น้อยกว่า 0.0006 หรือ ตามตาราง

ตารางที่ 2.8 ความลาดเอียงท่อขั้นต่ำสำหรับความเร็วหนึ่งๆเมื่อน้ำไหลเต็มท่อ(จากสูตรของแมนนิง)

ขนาดท่อ (มม.)	ความลาดต่ำสุดเพื่อรักษาความเร็วในเส้นท่อ					
	0.45 เมตร/วินาที		0.6 เมตร/วินาที		0.75 เมตร/วินาที	
	n = 0.013	n = 0.015	n = 0.013	n = 0.015	n = 0.013	n = 0.015
200	0.0019	0.0025	0.0033	0.0045	0.0052	0.0070
250	0.0014	0.0019	0.0024	0.0033	0.0037	0.0052
300	0.0011	0.0015	0.0019	0.0026	0.0030	0.0040
380	0.00079	0.0011	0.0014	0.0019	0.0022	0.0030
450	0.00062	0.00084	0.0011	0.0015	0.0017	0.0023
600	0.00043	0.00056	0.00077	0.0010	0.0012	0.0016

3. ระยะห่างสูงสุดของบ่อตรวจระบาย (Manhole spacing)

ระยะห่างสูงสุดสำหรับท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆเป็นดังนี้

- ท่อเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 600 mm. ระยะห่างไม่เกิน 100 เมตร
- ท่อเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 700 – 1200 mm. ระยะห่างไม่เกิน 120 เมตร
- **ท่อเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1200 mm. ระยะห่างให้อยู่ในดุลยพินิจของวิศวกรและสภาพแวดล้อม**

2.6 องค์ประกอบของระบบระบายน้ำ

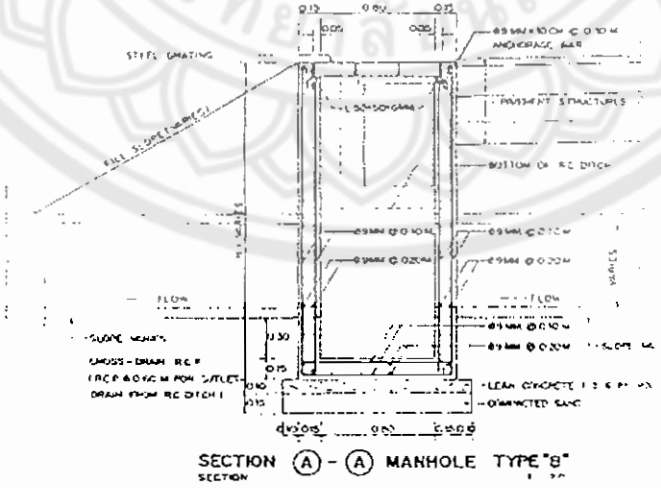
ระบบระบายน้ำโดยทั่วไป นอกจากจะท่อเป็นองค์ประกอบหลักแล้ว จะต้องมีองค์ประกอบอื่นๆจึงจะเป็นระบบที่สมบูรณ์

1. บ่อตรวจสอบ (man hole)

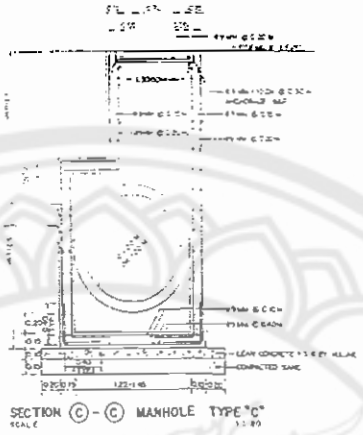
มีหน้าที่หลักคือมีไว้เพื่อให้สามารถลงไปทำความสะอาดหรือทำการล้างท่อได้ ถ้าพบว่ามีการอุดตันเกิดขึ้น และเป็นจุดเชื่อมต่อ (junction boxes) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดท่อ เปลี่ยนแปลงความลาดในการวางท่อ จุดบรรจบของท่อ

ปกติบ่อตรวจสอบจะสร้างจากอิฐก่อหรือคอนกรีตเสริมเหล็กหรือโลหะทนสนิม และบางครั้งจะทำด้วยไฟเบอร์กลาส (fiber glass) และระยะห่างที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาจากขนาดท่อและความลาดของท่อประกอบด้วย

ฝาปิดบ่อตรวจสอบจะทำจากคอนกรีตเสริมเหล็กหรือเหล็กหล่อ ซึ่งถ้าเป็นคอนกรีตจะมีน้ำหนักประมาณ 200 ปอนด์ ถึง 600 ปอนด์ (90 กิโลกรัม ถึง 270 กิโลกรัม) เนื่องจากฝาปิดจะต้องรับน้ำหนักบรรทุกที่รถสัญจรผ่าน ถ้าไม่ได้รับน้ำหนักจะใช้ฝาปิดขนาดบางเบาก็ได้



รูปที่ 2.5 ตัดของบ่อตรวจสอบ (manhole)



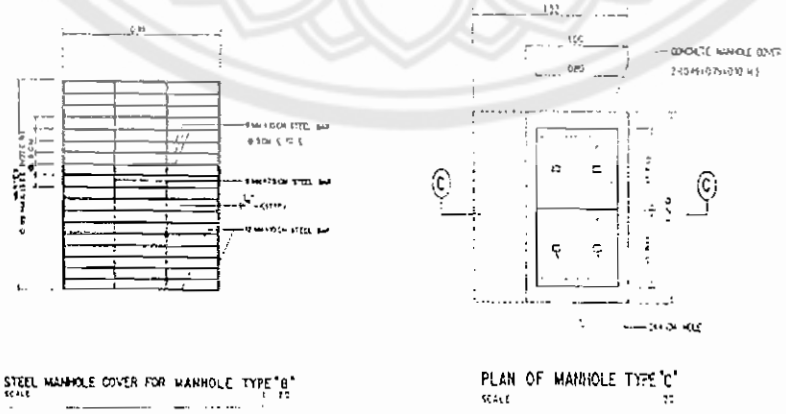
รูปที่ 2.6 ตัดของบ่อตรวจสอบ (manhole)

2. ทางน้ำเข้าข้างทาง (street inlet)

จะทำหน้าที่รับน้ำจากถนนให้ไหลลงสู่ท่อระบายน้ำฝนที่อยู่ใต้ดิน โดยลักษณะของทางน้ำเข้าข้างถนนจะแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.1 ทางเข้าน้ำ แบบตะแกรงบนพื้นที่ถนน (Grated Inlet)

มีลักษณะเป็นช่องเปิดที่มีตะแกรงดัก ดังรูป



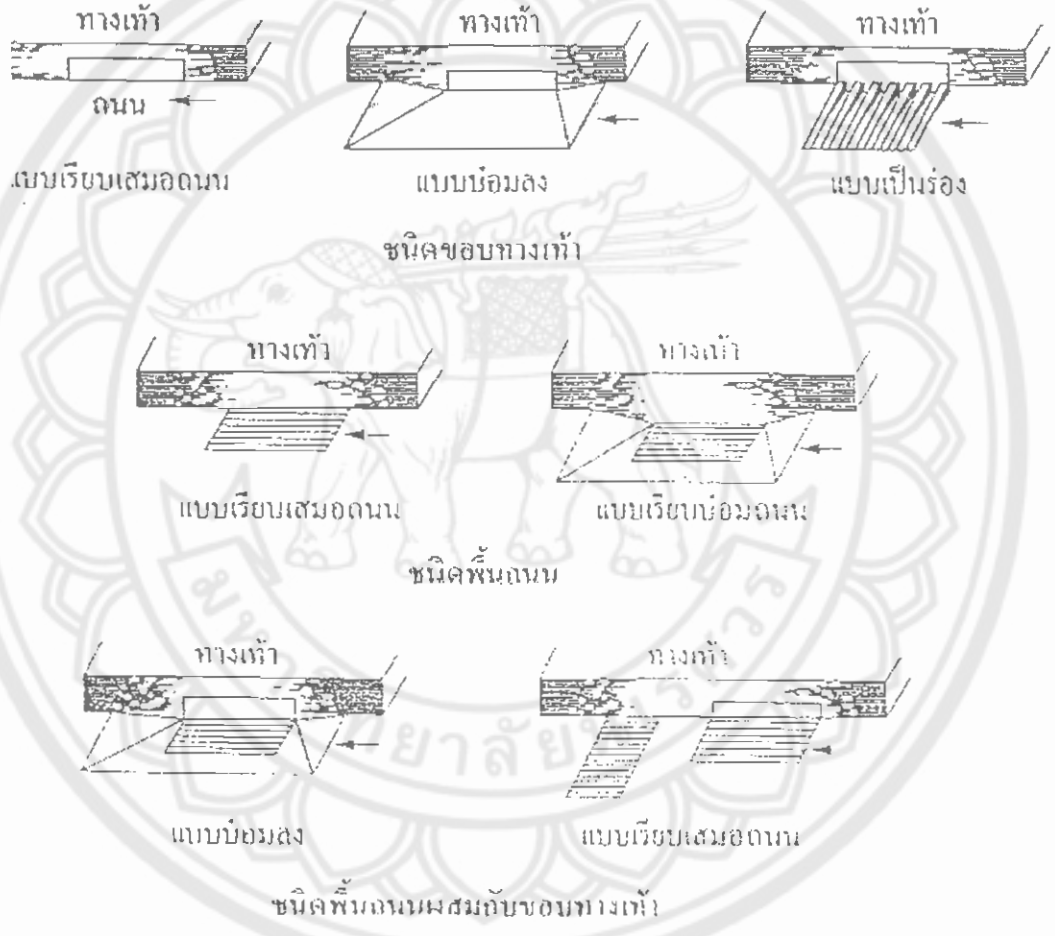
รูปที่ 2.7 ทางเข้าน้ำ แบบตะแกรงบนพื้นที่ถนน (Grated Inlet)

ป TC
978
.T5
ก1520
2542

สำนักหอสมุด
10 มิ.ย. 2548
4840090

2.2 ทางน้ำเข้าแบบช่องเปิดที่ขอบทาง (A curb – opening inlet)

มีลักษณะดังรูป โดยจะเป็นผิวขอบทางเปิดช่องน้ำให้น้ำไหลลงสู่ท่อ แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบได้แก่ ชนิดขอบทางเท้า ชนิดพื้นถนนและชนิดผสม ดังรูป



รูปที่ 2.8 ทางน้ำเข้าแบบช่องเปิดที่ขอบทาง (A curb – opening inlet)

สรุปแนวทางในการออกแบบระบบระบายน้ำเบื้องต้น

ในการออกแบบระบบระบายน้ำของชุมชนหนึ่งชุมชนใดวิศวกรผู้ออกแบบควรดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษากฎหมายและระเบียบข้อบังคับ ตลอดจนคำแนะนำอย่างละเอียด

2. ศึกษาแผนที่ลักษณะภูมิประเทศซึ่งแสดงเส้นชั้นความสูงอย่างละเอียด

3. กำหนดแนวทางการระบายให้สอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศ โดยให้การระบายเริ่มจากที่สูงไปสู่ที่ต่ำ ยกเว้นกรณีที่จำเป็นจริง ๆ จึงยินยอมให้วางลาดกลับทาง ทั้งนี้ต้องพิจารณาผลดี-ผลเสียที่จะตามมาให้ละเอียดรอบคอบ

4. ตรวจสอบและกำหนดความลาดของแนวท่อ ให้สอดคล้องกับภูมิประเทศ เป็นช่วงๆ ทั้งนี้ต้องไม่ลืมพิจารณาค่าที่แนะนำไว้ในหัวข้อ 2.5 มาประกอบการตัดสินใจ และที่ปลายท่อจะต้องให้สอดคล้องกับระดับน้ำหรือระดับการไหลที่มีอยู่ พยายามให้การไหลเป็นแบบการไหลทางน้ำเปิด

5. คำนวณหาปริมาณน้ำ อัตราการไหลที่ต้องระบาย

6. ออกแบบขนาดหน้าตัดของท่อหรือรางระบาย