หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับระบบระบายน้ำในเมืองนั้น ประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ ๆ อยู่สองส่วนด้วยกัน คือ การศึกษาทางด้านอุทกวิทยาเพื่อทำการกำหนดปริมาณน้ำฝนที่จะนำไปใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ขั้นต่อไป และการศึกษาทางด้านชลศาสตร์ถึงพฤติกรรมการเกิดของน้ำผิวดิน ดังจะได้กล่าวถึงต่อไป

2.1 การศึกษาทางด้านอุทกวิทยา

การศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางอุทกวิทยา ซึ่งถือเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอย่างหนึ่ง โดยทั่วไปจะทำการศึกษาเป็นระบบ (system) สนใจแต่เหตุและผลของการเกิดปรากฏการณ์นั้น ๆ ซึ่งจะต้องอาศัยการรวบรวมข้อมูลที่ผ่านมาเพื่อใช้ในการคาดคะเนเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตด้วยแนวความคิดเกี่ยวกับความน่าจะเป็นและสถิติ

การเกิดฝน (rainfall) ก็ถือเป็นปรากฏการณ์ทางอุทกวิทยาอย่างหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องใช้หลักการของความน่าจะเป็นและสถิติ มาทำการศึกษาวิเคราะห์เพื่อกำหนดปริมาณฝนสูงสุดที่ช่วงเวลาและรอบปีต่าง ๆ ที่ต้องการ ซึ่งหลักการดังกล่าวนั้นมีอยู่ด้วยกันมากมายหลายวิธี สำหรับการศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกวิธีอันเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย 3 วิธี ซึ่งได้แก่ การแจกแจงแบบลอกนอร์มอลชนิด 2 พารามิเตอร์ การแจกแจงแบบลอกเพียร์สันชนิดที่ 3 และการแจกแจงแบบกัมเบล ดังจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

สมการพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษาสำหรับการแจกแจงแบบต่าง ๆ ซึ่งเสนอไว้โดย Chow (1964) [9] ดังนี้

$$x_T = \mu + \sigma K \qquad (2\text{-}1)$$

ในเมื่อ x_T = ค่าปริมาณฝนที่รอบปี T ใด ๆ

μ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูล (arithmatic mean)

σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

K = ตัวคูณค่าความถี่ (frequency facter)

และ $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i$ (2-2)

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i-\mu)^2} \quad (2-3)$$

$$\gamma_1 = \frac{n}{(n-1)(n-2)\sigma^3} \sum_{i=1}^{n} (x_i-\mu)^3 \quad (2-4)$$

ในเมื่อ γ_1 = ค่าสัมประสิทธิ์ของความเบ้ (Coefficient of skew)

x_i = ค่าข้อมูลดิบลำดับที่ i

n = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.1.1 การแจกแจงแบบลอกนอร์มอลชนิด 2 พารามิเตอร์ (2 Parameter log-normal distribution) การแจกแจงแบบนี้จำเป็นต้องแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของค่าลอกคือ $y = \ln x$ และสามารถเขียนสมการพื้นฐาน (สมการ 2-1) ในรูปของลอกได้ดังนี้

$$\ln x_T = y_T = \mu_y + t\sigma_y \quad (2-5)$$

ในเมื่อ y_T = ค่าปริมาณฝนในรูปของลอกที่รอบปี T ใด ๆ

μ_y = ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเมื่อข้อมูลอยู่ในรูปของลอก

σ_y = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อข้อมูลอยู่ในรูปของลอก

t = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานปกติ (standard normal deviation)

$$K = \frac{\exp[\{\ln(1+z^2)\}^{1/2}t - \{\ln(1+z^2)\}/2] - 1}{z} \quad (2-6)$$

และสามารถประมาณค่า t ได้ด้วยสมการ

$$t = w - \frac{c_o + c_1 w + c_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3}$$

โดยที่ $c_o = 2.515517$; $c_1 = 0.802853$; $c_2 = 0.010328$

$d_1 = 1.432788$; $d_2 = 0.189269$; $d_3 = 0.001308$

$w = \sqrt{\ln(1/P(t)^2)}$; $z = \sqrt{\exp(\sigma_y^2)-1}$

ถ้า P(t) > 0.5 ให้ใช้ค่า 1.0-P(t) แทนและเปลี่ยนเครื่องหมาย t เป็นลบ

สำหรับค่า P(t) คือค่าความถี่ของการเกิด (Exceedance probability) มีค่าเท่ากับส่วนกลับของค่าคาบปี (Return period,T) $P(t) = \frac{1}{T} = \frac{m}{n+1}$ (m = ลำดับที่ของข้อมูลซึ่งเรียงจากมากไปหาน้อย)

2.1.2 การแจกแจงแบบลอกเพียร์สันชนิดที่ 3 (Log-pearson type III distribution) การแจกแจงแบบนี้จำเป็นต้องแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของค่าลอกเช่นเดียวกัน ซึ่งมีสมการในการคำนวณหาปริมาณความเข้มของฝนที่รอบปี T ใด ๆ ดังนี้

$$\ln x_T = y_T = \mu_y + K\sigma_y \tag{2-7}$$

$$K = t + (t^2-1)\frac{\gamma_1}{6} + \frac{1}{3}(t^3 - 6t)\left(\frac{\gamma_1}{6}\right)^2 - (t^2-1)\left(\frac{\gamma_1}{6}\right)^3 + t\left(\frac{\gamma_1}{6}\right)^4 + \frac{1}{3}\left(\frac{\gamma_1}{6}\right)^5 \tag{2-8}$$

2.1.3 การแจกแจงแบบกัมเบล (Gumbel or Type I extremal distribution) สมการในการคำนวณหาปริมาณความเข้มของฝนที่รอบปี T ใด ๆ คือ

$$x_T = \mu + K\sigma \tag{2-9}$$

$$K = \frac{y_m - \mu_y}{\sigma_y} \tag{2-10}$$

$$y_m = -\ln[-\ln\{(n+1-m)/(n+1)\}]$$

$$\mu_y = \frac{1}{n}\sum_{m=1}^{n} y_m$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{m=1}^{n}(y_m - \mu_y)^2}$$

2.1.4 การทดสอบความเหมาะสม (Test of goodness of fit) การทดสอบความเหมาะสมกระทำเพื่อจะได้ทราบว่า การแจกแจงแบบใดมีความเหมาะสมกับชุดข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์มากที่สุด วิธีการทดสอบที่ใช้ในการศึกษานี้คือ Chi-square test ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก โดยมีสมการดังนี้

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^{k}\frac{(O_j - E_j)^2}{E_j} \tag{2-11}$$

ในเมื่อ χ^2 = ค่าความแตกต่างของการสังเกตุกับการคำนวณตามทฤษฎี

O_j = ค่าที่ได้จากการสังเกตุ

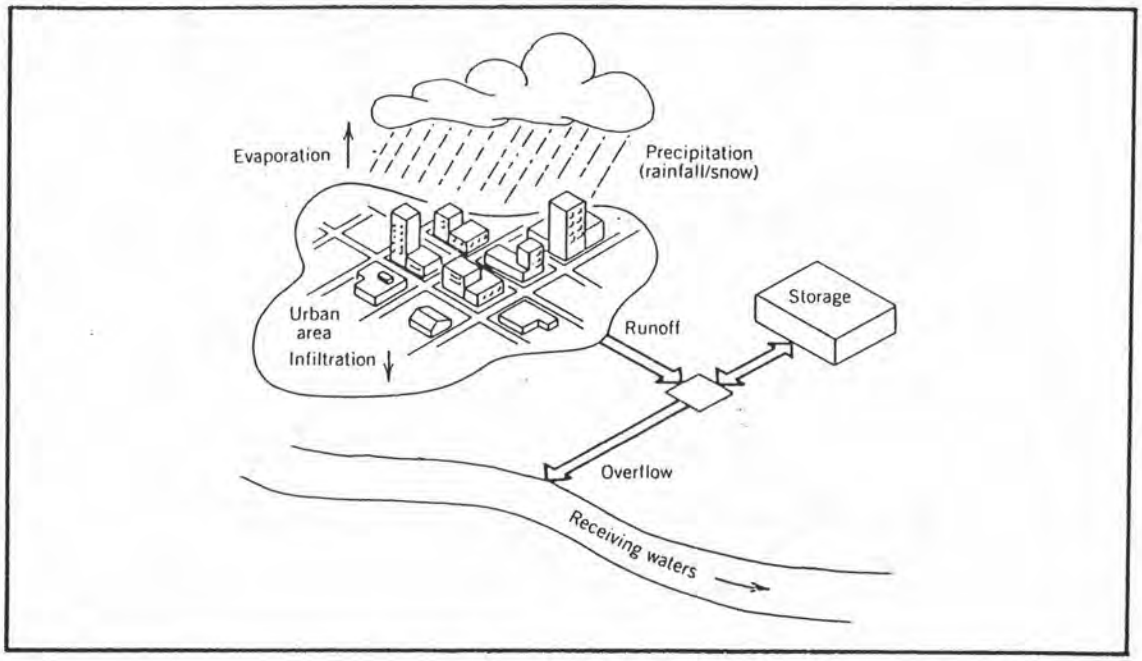
E_j = ค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี

k = จำนวนช่วงชั้น (number of class intervals)

โดยพิจารณาว่าค่า χ^2 ของการแจกแจงแบบใดมีค่าต่ำที่สุด แสดงว่าเหมาะสมที่สุด สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมของทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

2.2 การศึกษาทางด้านชลศาสตร์

ปรากฏการณ์การเกิดของน้ำผิวดิน (Surface runoff phenomena) นั้น เริ่มจากเมื่อมีฝนตกลงสู่พื้นดิน น้ำฝนส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งได้แก่การเก็บกักตามแหล่งรับน้ำบนผิวดิน (surface retention) อาทิเช่น ตามใบไม้ใบหญ้า (interception) และตามหลุมบ่อ (depression storage) เป็นต้น การสูญเสียไปในลักษณะของการระเหย (evaporation loss) และการสูญเสียไปในลักษณะของการซึมผ่านลงไปในดิน (infiltration loss) ในขณะที่น้ำฝนส่วนที่เหลือจากการสูญเสียไปในลักษณะดังกล่าวข้างต้นก็จะเกิดเป็นน้ำผิวดินไหลไปสู่ระบบระบายน้ำด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกจากที่สูงไปสู่ที่ต่ำดังแสดงไว้ในรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 ปรากฏการณ์การเกิดของน้ำผิวดิน

2.2.1 แนวทางและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา หลักการอันเป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันในการตรวจสอบระบบระบายน้ำมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ Macroscopic approach และ Microscopic approach ดังรายละเอียดต่อไปนี้

Macroscopic approach อาศัยสมมติฐานที่ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับน้ำผิวดิน มีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง (linear or non-linear) สำหรับตัวแปรทางชลศาสตร์ก็จะใช้ค่าตัวแปรรวม(lumped parameter) ซึ่งสามารถหาค่าได้โดยอาศัยลักษณะทางกายภาพของพื้นที่รับน้ำ แล้วจึงนำมาคำนวณหาปริมาณน้ำผิวดิน ณ จุดพิจารณาใด ๆ ของระบบระบายน้ำ วิธีการที่ใช้หลักการดังได้กล่าวมานี้ และยังเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีขนาดไม่ใหญ่นัก ได้แก่ วิธีเรชันแนล (Rational method), Unit hydrograph method และ Envelope curve method เป็นต้น

Microscopic approach หลักการนี้จะทำการพิจารณาตัวแปรทางชลศาสตร์ต่าง ๆ อันได้แก่ การกระจายของฝน การซึมผ่านลงไปในดิน การเก็บกักตามแหล่งรับน้ำบนผิวดิน การไหลของน้ำบนผิวดิน และการไหลของน้ำในทางระบายน้ำ ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องและส่งผลกระทบต่อระบบทางอุทกวิทยา โดยให้ผลลัพธ์ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผิวดินที่เวลาและจุดพิจารณาใด ๆ ของระบบระบายน้ำ วิธีการนี้มีขั้นตอนในการคำนวณที่ค่อนข้างจะยุ่งยากและใช้เวลานานเนื่องจากความซับซ้อนของระบบ แต่ปัจจุบันมีคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องช่วยในการคำนวณ ดังนั้นจึงมีการนำเอาหลักการนี้มาใช้กันมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกิดขึ้นมากมายได้แก่ SWMM ILLUDAS และ STORM เป็นต้น

สำหรับขั้นตอนการทำงานของการศึกษาเกี่ยวกับระบบระบายน้ำทั้งสองหลักการดังกล่าวนั้นมีลักษณะคล้าย ๆ กันดังนี้

1) คำนวณหาปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการออกแบบ (Design storm)
2) คำนวณหาปริมาณน้ำฝนที่ก่อให้เกิดน้ำผิวดิน (Rainfall excess)
3) คำนวณหาปริมาณการไหลของน้ำบนผิวดิน (Overland flow)
4) หาค่าการไหลของน้ำในทางระบายน้ำ (flow in gutter or drainage pipe)
5) คำนวณหาปริมาณน้ำผิวดินที่เวลาใด ๆ (Hydrograph)

2.2.2 การคำนวณปริมาณน้ำผิวดินอันเกิดจากน้ำฝน ได้มีผู้เสนอวิธีการคำนวณไว้มากมายหลายวิธี สำหรับการศึกษาวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน คือวิธีเรชันแนล (Rational method) ทั้งนี้เนื่องจากวิธีนี้มีความเหมาะสมต่อการศึกษาวิจัยกับพื้นที่ในเมืองที่มีขนาดของพื้นที่รับน้ำไม่ใหญ่นัก และยังให้ผลลัพธ์เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในการศึกษาพฤติกรรมการเกิดของน้ำผิวดิน การตรวจสอบขีดความสามารถของระบบระบายน้ำ และการออกแบบเกี่ยวกับระบบระบายน้ำ

วิธีเรชันแนลนี้เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้หลักการของ Macroscopic approach ซึ่งอาศัยการรวมตัวแปรทางชลศาสตร์ ในที่นี้ตัวแปรดังกล่าวก็คือ สัมประสิทธิ์ของการไหล (Runoff coefficient) โดยมีสมการในการคำนวณหาปริมาณน้ำผิวดิน ดังนี้

$$Q = \frac{CIA}{3.6 \times 10^6} \qquad (2\text{-}12)$$

ในเมื่อ Q = อัตราการไหลสูงสุด (Peak runoff), ลูกบาศก์เมตร/วินาที

C = สัมประสิทธิ์ของการไหล

I = ความเข้มของฝน (Rainfall intensity), มิลลิเมตร/ชั่วโมง

A = พื้นที่รับน้ำ (Drainage area), ตารางเมตร

สมการ 2-12 นี้ ตั้งอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่า ฝนตกกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ และค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำผิวดินกับน้ำฝนนั้นมีค่าดังแสดงไว้ในตารางที่ 2-1 โดยจำแนกออกตามสภาพการปกคลุมพื้นผิวดิน อันได้แก่ พื้นที่ที่น้ำซึมผ่านได้ยาก (Impervious area) เช่น ถนน ลานจอดรถ และ อาคารต่าง ๆ เป็นต้น และพื้นที่ที่น้ำซึมผ่านได้ (Pervious area) เช่นสนามหญ้า และพื้นที่โล่งแจ้ง เป็นต้น

สำหรับกรณีที่ก่อให้เกิดปริมาณน้ำผิวดินสูงสุดนั้นก็คือ กรณีที่ฝนตกติดต่อกันเป็นเวลานานเท่ากับระยะเวลาในการไหลของน้ำจากจุดไกลสุดมายังจุดที่ทำการพิจารณา (Time of concentration, t_c) ซึ่งได้จากการรวมกันของเวลาที่น้ำไหลจากจุดไกลสุดมายังทางระบายน้ำ (inlet time, t_i) กับเวลาที่น้ำไหลในทางระบายน้ำ (travel time, t_t) มายังจุดที่ทำการพิจารณา ดังสมการ

ตารางที่ 2-1 สัมประสิทธิ์ของการไหล

URBAN CATCHMENTS

General Description	C	Surface	
City	0.7-0.9	Asphalt paving	0.7 -0.9
Suburban business	0.5-0.7	Roofs	0.7 -0.9
Industrial	0.5-0.9	Lawn heavy soil, +7° slope	0.25-0.35
Residential Multiunits	0.6-0.7	2-7°	0.18-0.22
Housing estates	0.4-0.6	-2°	0.13-0.17
Bungalows	0.3-0.5	Lawn sandy soil, +7°	0.15-0.2
Parks, cemetries	0.1-0.3	2-7°	0.10-0.15
		-2°	0.05-0.10

Frequency factor:

Recurrence interval	Multiplier
2-10 years	1.0
25	1.1
50	1.2
100	1.25

RURAL CATCHMENTS (less than 10 km²)

Ground cover	Basic factor	Corrections : Add or subtract
Bare surface	0.40	Slope<5% : - 0.05
Grassland	0.35	Slope>10% : + 0.05
Cultivated land	0.30	Recurrence interval<20y : -0.05
Timber	0.18	Recurrence interval>50y : +0.05
		Mean annual precipitation<600mm: -0.03
		Mean annual precipitation>900mm: +0.03

ที่มา : Stephenson, [21]

$$t_c = t_i + t_t \qquad (2\text{-}13)$$

การคำนวณหาเวลาที่น้ำไหลจากจุดไกลสุดมายังทางระบายน้ำ (t_i) สามารถกระทำได้โดยอาศัยคุณสมบัติเกี่ยวกับความเร็วในการไหลของน้ำบนพื้นผิวดิน(velocity of overland flow, V_o) ที่มีการปกคลุมผิวดินแตกต่างกัน ซึ่งมีค่าความลาดเทอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 2 เปอร์เซนต์ ที่ได้เสนอไว้โดย Mead [12] ดังนี้

- สำหรับพื้นที่ที่น้ำซึมผ่านได้ยาก V_o = 20-50 ฟุต/นาที
- สำหรับพื้นที่ที่น้ำซึมผ่านได้ V_o = 5-15 ฟุต/นาที

ส่วนเวลาที่น้ำไหลในทางระบายน้ำก็สามารถหาค่าได้จากอัตราส่วนระหว่าง ความยาวของทางระบายน้ำกับความเร็วในการไหลของน้ำในทางระบายน้ำ

2.2.3 การคำนวณความจุของทางระบายน้ำ การศึกษาวิจัยนี้กำหนดให้การไหลของน้ำในทางระบายน้ำเป็นการไหลแบบทางน้ำเปิด (Open channel flow) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าความจุของทางระบายน้ำได้โดยสูตรของแมนนิ่ง (Manning formula) ดังสมการ

$$Q_g = A_g V_g \qquad (2\text{-}14)$$

$$V_g = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \qquad (2\text{-}15)$$

ในเมื่อ Q_g = ความจุของทางระบายน้ำ, ลูกบาศก์เมตร/วินาที

A_g = พื้นที่หน้าตัดของทางระบายน้ำ, ตารางเมตร

V_g = ความเร็วในการไหลของน้ำ, เมตร/วินาที

n = สัมประสิทธิ์ของความขรุขระ (roughness coefficient) มีค่าเป็นไปตามตารางที่ 2-2

R = A/P = รัศมีชลศาสตร์, เมตร

P = เส้นแนวขอบเปียก, เมตร

S = ความลาดเท

ตารางที่ 2-2 สัมประสิทธิ์ของความขรุขระ

A joint committee of the ASCE and WPCF suggested the following values of n for use in the Manning formula. The lower values are suggested for clear water.

For cement-lined cast-iron pipe	0.012–0.015
For dirty or tuberculated cast-iron pipe	0.015–0.035
For concrete pipe	0.012–0.015
For asbestos-cement pipe	0.012–0.015
For vitrified-clay sewer pipe	0.012–0.015
For corrugated steel:	
Uncoated, ½-in. corrugations	0.024–0.026
Asphalt-coated and 25 % paved	0.021–0.023
Smooth asphaltic lining	0.012-0.015

ที่มา : Davis, [10]

2.2.4 การเคลื่อนตัวของน้ำ(Routing procedure) การศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการเกิดของน้ำผิวดิน ณ จุดที่ทำการพิจารณาใด ๆ จำเป็นต้องทราบลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำอันประกอบไปด้วยปริมาณการเกิดของน้ำผิวดิน ความสามารถในการเก็บกักตามแหล่งรับน้ำบนผิวดิน และความสามารถในการระบายน้ำของระบบระบายน้ำ ซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำผิวดินได้ด้วยการพิจารณาปริมาณน้ำที่ไหลเข้า-ออกไปจากจุดที่ทำการพิจารณาใด ๆ ได้

012537