2. หลักการและทฤษฎี

การตรวจสอบการออกแบบรางระบายน้ำและท่อระบายน้ำของคณะวิศวกรรมศาสตร์มีสิ่งที่จะต้องพิจารณา ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งทางอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาหลายประการอันได้แก่ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ข้อมูลการวิเคราะห์สภาพฝน การวิเคราะห์ความเข้มฝนทางอุทกวิทยา ระดับน้ำสูงสุดในแม่น้ำน่าน ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้ออกมานั้นจะนำมาใช้พิจารณาว่ารางระบายน้ำและท่อระบายน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ออกแบบมาแล้วนั้นมีความเหมาะสมเพียงใด

2.1 สภาพภูมิอากาศ

2.1.1 สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไป

ลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดพิษณุโลก อาจจัดได้ในลักษณะแบบฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดู เขตร้อนชื้น ปริมาณและการกระจายของฝนได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ (ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง ตุลาคม) และลมตะวันตกเฉียงเหนือ (ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึงเมษายน) โดยจะนำอากาศหนาวแห้งแล้งมาให้

2.1.2 สภาพฝน

การศึกษาสภาพฝนตก ในเขตพื้นที่โครงการพบว่าในช่วง 42 ปี จังหวัดพิษณุโลกมีปริมาณน้ำฝนอยู่ในระดับปานกลาง แต่ในบางปี จะมีปริมาณน้ำฝนตกสูงมากบ้าง

2.2 ปริมาณน้ำฝนไหลนอง

การประมาณปริมาณน้ำฝนไหลนองเพื่อประกอบการออกแบบระบบท่อระบายน้ำกระทำได้ยากมาก ด้วยสาเหตุหลายประการ อัตราและปริมาณน้ำฝนเองที่มีการเปลี่ยนแปลงในทุกฤดูและทุกปี ประการต่อไปได้แก่ พื้นที่ผิวที่ฝนตกลงไปนั้นมีขีดความสามารถในการ

อุ้มน้ำ (retention) และให้น้ำซึมลงดิน (infiltration) ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับต้นไม้ใบหญ้าและพื้นที่ผิวคอนกรีตหรือวัสดุอื่น ๆ ที่ซึมลงไม่ได้ ฯลฯ ว่ามีอยู่มากน้อยเพียงใด โดยปกติปริมาณน้ำไหลนองเท่ากับปริมาณน้ำฝน ลบด้วยปริมาณน้ำซึมลงดิน และปริมาณน้ำที่ระเหยทั้งโดยธรรมชาติและผ่านต้นไม้ (evaporation and evapotranspiration) รวมทั้งส่วนที่ถูกเก็บกักเอาไว้ในผิวดิน ในแอ่ง ในส่วนพื้นที่ลุ่ม ฯลฯ ดังนั้นสภาพพื้นที่ผิวและใต้พื้นที่ผิว (subsurface) ทั้งในรูปธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น มีผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำไหลนองมาก

หลักการในการประมาณปริมาณน้ำไหลนองมีอยู่สองแนวความคิดด้วยกัน ในหลักการแรก กำหนดปริมาณน้ำไหลนองมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนโดยตรง โดยให้เป็นสัดส่วนกับปริมาณฝนที่ตกลงบนพื้นที่ ๆ คำนึงถึงส่วนในแนวความคิดที่สองจะประมาณน้ำไหลนองโดยคิดหักปริมาณน้ำที่ซึมลงดิน ปริมาณน้ำที่ถูกอุ้มไว้ในดิน ในพืชและระหว่างการไหลออกจากปริมาณฝนที่ตกลงมา ในวิธีแรกซึ่งนิยมเรียกว่า เป็นวิธีเรชันแนล หรืออาร์เอ็ม (Rational Method R.M.) ได้ใช้กันมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2432 และยังเป็นที่ยอมรับกันแพร่หลายในปัจจุบัน แม้จะเป็นวิธีที่ประมาณปริมาณน้ำไหลนองได้ไม่ตรงกับความเป็นจริงนักก็ตาม ส่วนในแนวความคิดที่สองได้พัฒนาขึ้นเพื่อให้คำนวณหาปริมาณน้ำไหลนองที่แม่นยำขึ้น วิธีที่สองนี้มีผลสืบเนื่องไปยังการก่อสร้างท่อระบายให้ได้ถูกต้องในเชิงเศรษฐศาสตร์มากยิ่งขึ้นด้วย

2.3 ฝน

เมื่อเกิดฝนตกขึ้น ฝนนี้จักไม่ตกลงบนพื้นที่ขนาดใหญ่ด้วยความเข้มของฝน (rainfall intensity) และความนานของฝน (duration) ที่เท่ากันตลอดเวลา ในบางท้องที่อาจมีฝนเข้มมากหรือฝนตกหนักและนาน ในขณะที่บางท้องที่จะมีฝนเบาและตกในช่วงสั้น ๆ หรืออาจไม่มีฝนเลยก็ได้ แต่โดยส่วนใหญ่แล้วฝนที่ตกเป็นห่าใหญ่มักจะตกเพียงในช่วงสั้น ๆ ยกเว้นจะเป็นฝนที่ตกเป็นห่าใหญ่ในรอบหลาย ๆ ปี ซึ่งในกรณีนี้อาจเป็นฝนที่ตกหนักและนานได้ และฝนในประเภทหลังนี้แหละที่วิศวกรพึงระวังอันตรายจากการที่ระบายไม่ทันและเกิดปัญหาน้ำท่วมขึ้น

2.4 รูปแบบของฝน

ในสถานที่หนึ่ง ๆ โดยปกติเมื่อฝนห่าหนึ่ง ๆ เริ่มตกจะตกด้วยอัตราความเข้มต่ำและเพิ่มขึ้นตามลำดับจนถึงจุด ๆ หนึ่งจะได้ฝนที่ความเข้มสูงสุด หลังจากจุดนี้ไปแล้วฝนจึงเริ่มซาเม็ดลงจนถึงจุดฝนหยุดในที่สุด ลักษณะฝนที่ตกปกติแสดงได้ดังในรูปที่ 3

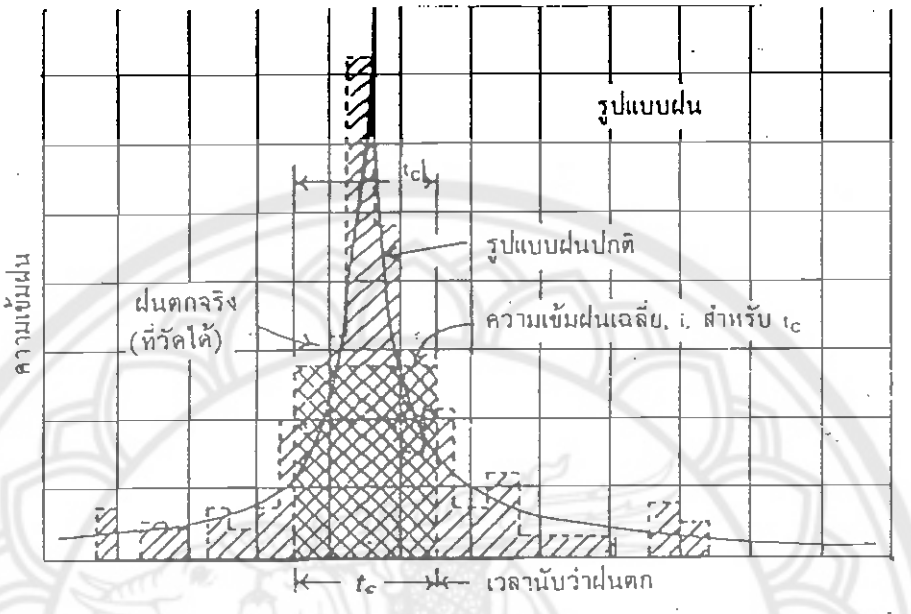
จากรูปดังกล่าว เห็นได้ว่าเวลาที่ฝนตกจริงจะยาวนาน นอกจากนี้ในช่วงต้น ๆ และหลัง ๆ ของฝนห่าหนึ่ง ๆ มีความเข้มของฝนเบาบางมาก ซึ่งฝนเบาบางในลักษณะนี้ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการไหลนองอย่างมีนัยสำคัญเลย จึงกำหนดให้คำนึงถึงเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนจะมีผลกระทบต่อการระบายเท่านั้น ซึ่งในกรณีนี้ขอเรียกว่า "ช่วงเวลานับว่าฝนตก" (time of concentration, t_c) พึงสังวรไว้ว่าเวลานับว่าฝนตก t_c นี้ไม่ใช่เวลาที่ฝนตกจริง ๆ แต่จะมีระยะเวลาสั้นกว่าฝนตกจริง ส่วนจะมีช่วงสั้นกว่าฝนตกจริงเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของฝนแต่ละท้องถิ่น ฝนในแต่ละฤดู และฝนในแต่ละปี

ในช่วงเวลานับว่าฝนตก (t_c) นี้ มีอัตราความเข้มของฝนแตกต่างกัน โดยขึ้นกับช่วงเวลาและรูปแบบของฝนนั้น ๆ การที่บ่งว่าฝนห่าหนึ่งตกด้วยความเข้มห่าเท่ากับความเข้มสูงสุดอันหาได้จากรูปแบบของฝน (ดูรูปที่ 3) ย่อมไม่ตรงกับความเป็นจริง และให้ค่าความเข้มของฝนห่านี้สูงเกินไป ทางที่ถูกคือ ต้องแสดงระดับความเข้มของฝนห่านี้เท่ากับความเข้มเฉลี่ยของฝน ซึ่งเท่ากับปริมาณน้ำฝนทั้งหมดของฝนห่านั้นหารด้วยเวลาที่นับว่าฝนตก อันมีผลกระทบในทางปฏิบัติหรือ t_c นั่นเอง

ด้วยวิธีนี้ จักสามารถแสดงลักษณะของฝนห่าหนึ่ง ๆ ได้อย่างเด่นชัดขึ้นว่าตกด้วยความเข้มเท่าใดและนานเท่าใด ทั้งนี้อย่างมีนัยสำคัญในทางผลกระทบที่ตามมา แต่ผู้ออกแบบระบบระบายต้องระลึกไว้เสมอว่าความเข้มและความนานของฝนที่ว่านี้เป็นลักษณะของฝนห่าหนึ่งเท่านั้น มิใช่เป็นอัตราการไหลนองที่จะไหลเข้าสู่ท่อระบาย ซึ่งต้องคำนึงถึงในการออกแบบ

2.5 ความเข้ม ความนาน ความถี่ของฝน

โดยปกติทางธรรมชาติ ฝนที่ตกหนักมักตกในช่วงสั้น ๆ ในทางกลับกันฝนที่ตกเบาบางมักตกเป็นระยะเวลานาน ความสัมพันธ์ของความเข้มเฉลี่ยของฝนกับความนานของเวลาที่นับว่าฝนตก (t_c) ความสัมพันธ์ของฝนในลักษณะนี้จักต้องสร้างขึ้นสำหรับเฉพาะแห่ง เช่น ท่อมีอายุใช้งานเพียง 5 ปี สำหรับฝนความถี่ 100 ปี แม้ว่าโอกาสเกิดฝนลักษณะนี้จักเป็นไปได้ก็ตาม แต่โครงสร้างสำหรับท่อระบายของฝนความถี่ 100 ปี จักมีขนาดใหญ่มาก และคงไม้คุ้มทุนที่จะออกแบบให้ใช้งานได้เพียง 5 ปี เพราะในช่วง 5 ปีนี้ ฝนความถี่ 100 ปี อาจยังไม่ได้เกิดขึ้นเลยก็ได้


รูปแบบฝน
t_c
รูปแบบฝนปกติ
ความเข้มฝน
ฝนตกจริง
(ที่วัดได้)
ความเข้มฝนเฉลี่ย, i, สำหรับ t_c
t_c
เวลานับว่าฝนตก

รูปที่ 3

ความเข้มฝนของแต่ละพื้นที่ย่อมไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับความถี่ และระยะเวลาที่ฝนตก ซึ่งในบางพื้นที่อาจมีฝนตกหนักและนาน แต่บางพื้นที่อาจมีฝนตกเบาบางและใช้เวลาสั้น ๆ

เนื่องจากความเข้มของฝนมีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราการไหลนองของน้ำและการระบายน้ำ ดังนั้นในการวิเคราะห์ความเข้มของฝนในช่วงเวลาต่าง ๆ ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก จึงสามารถนำไป วิเคราะห์ด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของฝนและช่วงความถี่ของฝน

ซึ่งเมื่อกำหนดรอบของการเกิดซ้ำในแต่ละรอบปีแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จะนำไป plot ลงบนกราฟ log-log จะได้ Depth-Duration-Frequency Curve ของฝนนี้ซึ่งจะใช้ในการคำนวณหาปริมาณฝนในสูตร Rational Method (RM) ได้ต่อไป

(1) คาบความถี่การเกิดซ้ำของน้ำฝนที่ใช้ในการออกแบบ

ความถี่ของฝนที่ใช้ในการวางแผน ใช้เกณฑ์ดังนี้

การตรวจสอบวางระบายน้ำเดิม และการออกแบบรางระบายน้ำได้ทำการออกแบบให้สาสมารถระบายน้ำฝนที่ความถี่ของการเกิดซ้ำ 5 ปี

(2) คาบเวลาและความเข้มของฝนที่ใช้การคำนวณ

สูตร

$$t_c = t_0 + t_d$$

เมื่อ t_c = เวลาในการรวมตัวของน้ำท่า, นาที

t_0 = เวลาในการไหลของน้ำบนผิวดิน, นาที

t_d = เวลาในการไหลในท่อหรือร่องน้ำ, นาที

$$t_0 = \frac{1.8\ (1.1 - c)\ L^{0.5}}{S^{0.33}}$$

(สูตรของ U.S.A Army Airport)

เมื่อ S = ความลาดของพื้นที่, ม./ม.

c = ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล

L = ความยาวจากพื้นที่ระบายน้ำถึงท่อ, (ม.)

เมื่อได้คาบเวลาแล้ว สามารถคำนวณหาความเข้มของฝนออกแบบ โดยใช้ความสัมพันธ์ของความเข้มกับช่วงเวลา และความถี่ของฝน

2.6 การคำนวณปริมาณน้ำท่าในบริเวณพื้นที่โครงการใช้ Rational Method

ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$Q = 0.278\ CIA$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลสูงสุด , ลบ.ม./วินาที

C = สัมประสิทธิ์ของน้ำท่า

I = ความเข้มของฝน, ม.ม./ชั่วโมง

A = พื้นที่รับน้ำฝนหรือพื้นที่ระบายน้ำ, ตร.กม.

ทั้งนี้ สัมประสิทธิ์ของน้ำท่า สำหรับพื้นที่รับน้ำย่อยในแต่ละแห่ง ได้เลือกใช้จากตารางที่ 1 และจากพื้นฐานของการสำรวจภาคสนามในปัจจุบัน

เนื่องจากพื้นที่โครงการส่วนใหญ่เป็นพื้นคอนกรีต ดังนั้นคณะจัดทำได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า C = 0.7 และพื้นที่บางส่วนเป็นหญ้าสั้น จึงใช้ค่า C = 0.5

ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์ของน้ำท่าสำหรับพื้นที่รับน้ำย่อย

ชนิดของการใช้พื้นที่	สัมประสิทธิ์ของน้ำท่า, C
- พาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก	0.55 - 0.70
- ที่อยู่อาศัยหนาแน่นปานกลาง	0.45 - 0.55
- ที่อยู่อาศัยหนาแน่น้อย	0.30 - 0.45
- สถานที่ราชการ สถาบัน และผ่านอุตสาหกรรม	0.40 - 0.70
- สวนสาธารณะ พ.ท. เกษตรกรรมและที่ว่างเปล่า	0.20 - 0. 30
ฯลฯ	

หมายเหตุ ค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า ใช้ค่าเฉลี่ยตามสภาพการใช้พื้นที่

วิธีอาร์เอ็มนี้ใช้ประมาณอัตราน้ำไหลนองให้ถูกต้องแม่นยำได้ไม่ดีนัก จะใช้ได้ดีก็เฉพาะกับพื้นที่ระบายขนาดเล็ก ๆ และเมื่อนำไปใช้อย่างมีความเข้าใจอย่างถูกต้อง เท่านั้น ซึ่งต้องตระหนักให้ดีว่า วิธีอาร์เอ็มนี้ตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่สำคัญ 4 ประการ คือ

(ก) ค่าสัมประสิทธิการไหลนองเป็นค่าคงที่

ค่า C นี้แม้จะเป็นค่าคงที่สำหรับลักษณะพื้นที่ขนาดเล็กหนึ่ง ๆ ในสภาพแวดล้อมหนึ่ง ๆ ก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาพื้นที่ระบายน้ำขนาดใหญ่ขึ้นไปแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์นี้จักแปรผันไปได้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ๆ ใหม่ชิ้นนั้นว่ามีความสามารถในการไหลนองอย่างไร ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองนี้เป็นค่าคงที่ได้ก็เฉพาะสำหรับลักษณะพื้นที่หนึ่ง ๆ และในภาวะหนึ่ง ๆ เท่านั้น ในบริเวณที่มีขอบเขตจำกัดและมีข้อมูลพื้นที่ผิวรวมทั้งใต้พื้นที่ผิวดีเพียงพอเราอาจทดลองหาค่า C ของบริเวณนั้น ๆ ได้โดยไม่ยากนัก แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมหรือเมื่อพิจารณาพื้นที่ขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งมีพื้นที่หลายลักษณะประกอบเข้าด้วยกัน ค่า C นี้จักมีการแปรผันได้มาก ดังนั้นการที่จะกำหนดค่า C ให้เป็นค่าคงที่หนึ่ง ๆ ได้แม่นยำจึงกระทำได้ยาก แต่ในทางปฏิบัติในวิธีอาร์เอ็ม จำต้องกำหนดค่าคงที่ C นี้ขึ้น

มาสำหรับการคำนวณหาอัตราการไหลนอง ค่า C ที่ยัดเยียด กำหนดให้เป็นค่าคงที่นี้สามารถมีความคลาดเคลื่อนได้มาก ซึ่งนั่นก็หมายถึงการคำนวณขนาดท่อระบายและงบประมาณค่าลงทุนจักผิดตามไปด้วย

(ข) อัตราไหลนองสูงยอดที่จุดใด ๆ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มเฉลี่ยของฝนที่ตกในช่วงเวลานับว่าฝนตก (t_c) และไหลมาจนถึงจุดนั้น ๆ

นั่นคือค่า Q จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า i จากรูปที่ 3 เห็นได้ว่าอัตราสูงยอดของฝนห่าหนึ่ง ๆ มีค่ามากกว่าอัตราเฉลี่ยของฝนห่านั้น ๆ ได้มาก แต่ถ้ากำหนดให้อัตราน้ำไหลนองสูงสุดเป็นสัดส่วนกับอัตราสูงยอดของฝน ก็จักไม่ตรงกับความเป็นจริง เพราะฝนสูงยอดเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ เพียงจุดหนึ่งเท่านั้น ในขณะที่น้ำไหลนองเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลาที่นานกว่าช่วงเวลาที่เกิดอัตราฝนสูงยอด ดังนั้นสมมุติฐานในข้อนี้จึงบ่งเพียงว่าอัตราสูงยอดของน้ำไหลนองแปรผันตามอัตราเฉลี่ยของฝนในช่วง (t_c) นั้น ๆ เท่านั้น ซึ่งแน่นอนที่สมมุติฐานนี้ย่อมมีความคลาดเคลื่อน แต่ก็ให้ผลลัพธ์ที่น่าจะยอมรับได้ในทางปฏิบัติ

(ค) เวลานับว่าฝนตก (t_c) ให้ถือว่าเท่ากับเวลาที่น้ำไหลนองก่อตัวเป็นรูปร่างและไหลจากจุดที่ไกลจากจุดที่ไกลที่สุดของพื้นที่ระบายมายังจุดที่กำลังพิจารณาหรือออกแบบ

สมมุติฐานข้อนี้ยังเป็นที่ถกเถียงกันมาก เพราะไม่มีข้อพิสูจน์อย่างเด่นชัดว่าเป็นจริงตามนี้ และต้องเข้าใจว่าจุด "ไกลที่สุด" ในกรณีนี้หมายถึงทางด้านเวลาในการไหลนองของน้ำบนผิวพื้นที่ระบายมาเข้าท่อ และไหลตามท่อต่อมายังจุดที่คำนึง ไม่ใช่ระยะทาง กล่าวคือขึ้นอยู่กับความเร็วของการไหลของน้ำไหลนองบนผิวดินและการไหลในเส้นท่อระบายด้วย ถ้าระยะทางสั้นแต่ไหลช้าก็อาจมีค่า t_c มากกว่า t_c ในกรณีระยะทางยาวแต่ไหลเร็วได้ นอกจากนี้การไหลนองของการระบายน้ำของพื้นที่ระบายขนาดเล็กจะใช้เวลาน้อยกว่าการไหลนองของพื้นที่ขนาดใหญ่ นั่นหมายความว่าในพื้นที่ระบายเล็กจักมีค่า t_c ต่ำและความเข้มเฉลี่ยของฝนหรือค่า i สูงนั่นเอง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง พื้นที่ระบายยิ่งมีขนาดใหญ่จักยิ่งมีค่า i ลดลง ซึ่งนั่นก็ควรสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติ เพราะฝนที่ตกลงมาแต่ละครั้งจะไม่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่จนเกินไปนัก มักจะตกลงบนท้องที่ในอาณาเขตบริเวณที่จำกัดขอบเขตหนึ่ง ๆ ยกตัวอย่างเช่น ฝนที่ตกลงบนท้องที่หนึ่ง ๆ เช่น เขตดุสิต หรือบริเวณพระโขนง อาจตกไม่พร้อมกัน หรือถ้าตกพร้อมกันฝนนี้ก็มีความเข้มสูงกว่าฝนห่าเดียวกันนี้เมื่อเทียบนับเฉลี่ยเป็นฝนของทั้งกรุงเทพฯ

ในวิธีอาร์เอ็ม จะต้องระลึกเสมอว่าค่าความเข้มเฉลี่ยของฝนหรือค่า i ไม่มีความสัมพันธ์แบบ time sequence relation กับรูปแบบฝนที่ตกลงมาจริง ๆ ในฝนห่าหนึ่ง ๆ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า i กับค่า t_c ที่ใช้ในการประมาณอัตราการไหลนองของวิธีนี้ ไม่ใช่ time sequence curve ของฝนนั้นด้วย กล่าวคือ เมื่อฝนห่าหนึ่ง ๆ ตกลงมา จักไม่มีทางทราบได้ว่าจะเกิดช่วงเวลา t_c อันก่อให้เกิดเป็นความเข้มเฉลี่ยของฝนที่เวลาใด นับจากฝนเริ่มตก เพราะค่า i และรูปแบบของฝนไม่มีความสัมพันธ์แบบสืบเนื่องต่อกันและก็ไม่มีความจำเป็นใด ๆ ทั้งสิ้น เวลาน้ำไหลเจิ่งนองเพื่อวิ่งเข้าท่อรวมทั้งไหลตามท่อมายังจุดที่คำนึงต้องมีค่าเท่ากับ t_c โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าฝนห่าหนึ่ง ๆ ไม่อยู่กับที่และมีอัตราการเคลื่อนตัวของมวลฝนหรือเมฆฝนบริเวณพื้นที่ระบายไปทางต้นน้ำหรือขวางกับทิศทางการไหลนองอย่างรวดเร็ว ในกรณีนี้เวลาที่อัตราไหลนองสูงยอดจะก่อตัวและไหลมาถึงจุดที่พิจารณาจักนานกว่าค่า t_c ในกรณีปกติได้มาก

หากละเลยความข้อนี้ จะประเมินผลกระทบของฝนที่ตกลงมาก่อนหน้าจะเกิดการไหลนองและการซึมลงดินอย่างผิดพลาด ซึ่งทำให้การใช้สูตรอาร์เอ็มไม่ตรงกับแนวความคิดดั้งเดิม อนึ่งสมมุติฐานข้อนี้ แม้จะมีแนวเหตุผลที่เป็นไปได้ แต่ก็ไม่มีสิ่งใด ๆ มายืนยันแนวความคิดนี้ได้ว่าถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ ค่าอัตราน้ำไหลนองสูงสุดที่คำนวณได้จึงอาจผิดเผกไปจากความจริงได้

(ง) ความถี่ของอัตราน้ำไหลนองสูงสุดเท่ากับความถี่ของฝนที่ความเข้มเฉลี่ยนั้น ๆ

สมมุติฐานข้อนี้ก็เช่นกัน แม้จะมีแนวความคิดของ "ความควรเป็น" มาสนับสนุนแต่ก็ไม่สามารถยืนยันให้เป็นที่แน่ชัดไว้ว่าจักเป็นเช่นนี้เสมอ

จากการวิเคราะห์สมมุติฐานเหล่านี้ เห็นได้ว่าวิธีอาร์เอ็มนี้ยังมีช่องโหว่ในแนวความคิดและเหตุผลที่จะมาสนับสนุนอยู่มาก อย่างไรก็ตามพบว่าวิธีนี้ให้ผลเป็นที่น่าพอใจมากสำหรับพื้นที่ระบายขนาดเล็ก

2.7 เวลาน้ำไหลนอง

เวลาน้ำไหลจากบริเวณฝนตกที่ไกลที่สุดมาเข้าท่อและวิ่งในท่อมายังจุดที่พิจารณากำหนดให้เป็นเวลา t_c ซึ่งให้เท่ากับเวลาที่นับว่าฝนตกด้วย เวลาที่วิ่งในเส้นท่ออาจคำนวณหาได้โดยสูตรทางชลศาสตร์ ส่วนเวลาไหลนองบนพื้นดินจนกว่าจะมาเข้ายังจุดเข้าท่อ (intel) นั้น คำนวณหาได้ยาก เพราะขึ้นอยู่กับ

(ก) ความลาดของพื้นที่ผิว

(ข) ลักษณะปกคลุมของพื้นที่ผิวนั้น ๆ (เป็นหญ้า ต้นไม้ ดินธรรมชาติ คอนกรีต ลูกรัง ฯลฯ)

(ค) ระยะทางที่น้ำวิ่งก่อนถึงจุดเข้าท่อ

(ง) ระยะห่างระหว่างจุดให้น้ำเข้าท่อ

(จ) ปัจจัยอื่น ๆ อีกที่อาจได้รับผลกระทบจากความเข้มและความนานของฝนที่ตกลงมาก่อนหน้านี้ เช่น ความอิ่มน้ำของใต้ผิวพื้น การซึมลงดิน การอุ้มน้ำของดิน เป็นต้น

แต่โดยปกติถ้าฝนมีความเข้มสูงมักมีเวลาวิ่งเข้าท่อสั้น เวลาน้ำไหลนองจะสั้นที่สุดสำหรับพื้นที่ระบายขนาดเล็ก มีแนวระบายกว้าง ชัน และมีพื้นที่ผิวที่ราบเรียบ และจะเนิ่นนานออกไปถ้าพื้นที่ผิวมีดินแห้ง พื้นผิวไม่สม่ำเสมอ มีทีชหญ้าปกคลุมมาก และมีการกักน้ำตามแอ่งหรือบริเวณที่ลุ่มต่าง ๆ

ในการออกแบบอาจเลือกใช้เวลาวิ่งเข้าท่อในช่วง 5 ถึง 30 นาที (นิยมใช้ 5-15 นาที) สำหรับกรณีทั่ว ๆ ไป ในกรณีพื้นที่ ๆ ได้รับการพัฒนามามากแล้วและมีการ ก่อสร้างอย่างหนาแน่น พื้นที่ผิวส่วนใหญ่เป็นชนิดน้ำซึมลงดินไม่ได้ และมีช่องให้น้ำเข้าระบบระบายอยู่ อย่างดี อาจเลือกใช้เวลาเข้าท่อสั้นเพียง 5 นาที สำหรับพื้นที่ ๆ มีการพัฒนามามากและระดับค่อนข้างราบเรียบให้ใช้เวลาเข้าท่อนาน 10 ถึง 15 นาที แต่ในบริเวณชุมชนที่พักอาศัยและภูมิประเทศราบเรียบให้ใช้ 20-30 นาทีเป็นเกณฑ์

การคำนวณหาอัตราไหลนองด้วยวิธีอื่น

ได้มีการศึกษา วิจัย ด้านอุทกศาสตร์ที่ผ่านมา วิธีคำนวณหาอัตราไหลนองได้แม่นยำและใกล้เคียงกับความจริงกว่าวิธีอาร์เอ็มและควรนำมาใช้กับพื้นที่ระบายขนาดใหญ่ เพราะการใช้วิธีอาร์เอ็มกับพื้นที่ขนาดใหญ่มักให้ค่าการไหลนองมากกว่าที่เกิดขึ้นจริง ทำให้การลงทุนระบบระบายสูงเกินกว่าที่ควรวิธีใหม่ดังกล่าวนี้ใช้หาปริมาณการไหลนองโดยอาศัยข้อมูลพายุฝนจากรูปแบบของฝนที่เลียนสภาพความจริงให้ใกล้เคียงที่สุดเท่าที่เป็นได้ รูปแบบฝนที่ว่านี้อาจไม่ถือเป็นความถี่ที่พึงบังเกิดขึ้นในระยะเวลาหนึ่ง แต่ปริมาณฝนที่ตามมาทั้งหมดในคาบเวลาหนึ่ง ๆ อาจถือเป็นความถี่นั้น ๆ (หรือความถี่ในการออกแบบ) ได้

มาตรการดังกล่าวมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ 1) วิธีไฮโดรกราฟหรือน้ำไหลเจิ่ง (over-land flow) 2. วิธีน้ำไหลเข้า (intel method) 3.วิธียูนิตไฮโดรกราฟ และ 4) วิธีอื่น ๆ ที่อาศัยสถิติน้ำท่วมในปีที่ผ่านมา

วิธีไฮโดรกราฟ

วิธีนี้ใช้มาตราการวัดปริมาณน้ำฝนหรือปริมาณน้ำไหลนอง (วัดในท่อระบาย) ที่เกิดจริง และนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างกันและกัน จึงค่อนข้างยากในทางปฏิบัติ เพราะจำเป็นต้องพึ่งข้อมูลสนามของแต่ละแห่งซึ่งมักมีไม่มากนักโดยเฉพาะในประเทศเรา ในทางปฏิบัติมักทดลองในแปลงเขตเล็ก ๆ เพื่อสะดวกในการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ แล้วหาข้อมูลไปประยุกต์สำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ต่อไป อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีคุณค่าแตกต่างจากวิธีใช้สูตรสำเร็จรูปที่หาได้จากงานสนาม (empirical formula) หรือวิธีอาร์เอ็มที่ในวิธีนี้เราสามารถมองเห็นรูปร่างของไฮโดรกราฟได้ และจากหลักการที่ว่าปริมาตรฝนเท่ากับอัตราฝนคูณกับเวลาฝนตก เราจะล่วงรู้ปริมาณฝนได้อย่างไม่ยาก

วิธีน้ำไหลเข้า (Inlet Method)

วิธีนี้มีมาตรการ 3 ส่วน ได้แก่ ก) หาข้อมูลปริมาณน้ำไหลที่จุดเข้า (ท่อ) แต่ละจุด ข) ลดปริมาณน้ำไหลสูงยอดจากพื้นที่ระบายขนาดเล็ก (กลุ่มของจุดน้ำเข้าหลายจุด) แต่ละพื้นที่เมื่อน้ำไหลไปตามท่อระบายตามลำดับและ ค) รวมปริมาณน้ำสูงยอดที่ลดปริมาณลงแล้วตามข้อ ข) เข้าด้วยกันเป็นปริมาณน้ำสูงยอดทั้งหมดที่พึงบังเกิดขึ้นที่จุดที่กำลังพิจารณา

วิธียูนิตไฮโดรกราฟ

วิธียูนิตไฮโดรกราฟขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างไฮโดรกราฟของน้ำที่วัดได้ขณะไหลออกจากท่อระบายจากบริเวณเขตพื้นที่ระบายชนิดต่าง ๆ กัน จากความสัมพันธ์นี้สามารถนำมาสร้างยูนิตไฮโดรกราฟสำหรับพื้นที่ ๆ จะออกแบบระบบระบายหนึ่ง ๆ ได้ มีข้อสังเกตว่ายูนิตไฮโดรกราฟของน้ำไหลออกจากท่อระบายนี้ใช้ประกอบการออกแบบขนาดของอ่างเก็บกักน้ำ (impounding basin) และสถานีสูบระบายได้ด้วย ในขณะที่การคำนวณในวิธีอาร์เอ็มจะไม่สามารถกระทำเช่นว่านี้ได้เลย แต่วิธีการสร้างยูนิตไฮโดรกราฟจำต้องมีข้อมูลอัตราน้ำไหลในเส้นท่อจริง ๆ เทียบกับฝนห่าหนึ่ง ๆ มาตรการนี้จึงดูมีแนวทางการประยุกต์ใช้ประเทศได้ค่อนข้างน้อยเช่นกัน ถ้าผู้สนใจมีข้อมูลเพียงพอก็อาจสร้างยูนิตไฮโดรกราฟนี้ได้เอง

คาบเวลาและความเข้มของฝนที่ใช้การคำนวณสูตร

ดังนี้

$$t_c = t_0 + t_d$$

เมื่อ t_c = เวลาในการรวมตัวของน้ำท่า, นาที

t_0 = เวลาในการไหลของน้ำบนผิวดิน, นาที

t_d = เวลาในการไหลในท่อหรือร่องน้ำ, นาที

$$t_0 = \frac{1.8\,(1.1 - c)\,L^{0.5}}{S^{0.33}}$$

เมื่อ S = ความลาดของพื้นที่, เมตร/เมตร

c = ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล

L = ความยาวจากพื้นที่ระบายน้ำถึงท่อ, เมตร

เนื่องจากสูตรนี้เป็นสูตรที่ใช้ในการออกแบบรางระบายน้ำของสนามบินในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งพื้นที่เป็นพื้นคอนกรีต มีลักษณะพื้นที่ใกล้เคียงกับพื้นที่โครงการวิจัย จึงนำจุดนี้มาใช้

เมื่อได้คาบเวลาแล้ว สามารถคำนวณหาความเข้มของฝนออกแบบ โดยใช้ความสัมพันธ์ของความเข้มกับช่วงเวลา และความถี่ของฝน

<u>สูตรคำนวณทางด้านชลศาสตร์</u>

2.8 <u>การตรวจสอบทางด้านชลศาสตร์</u>

ใช้สูตรของแมนนิ่ง ดังนี้

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) AR^{(2/3)} S^{(1/2)}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล, ลบ.ม./วินาที

A = พื้นที่หน้าตัดของการไหล, ตร.ม.

R = รัศมีทางชลศาสตร์ของหน้าตัดการไหล, ม.

S = ความลาดชันของเส้นลาดพลังงาน, ม./ม.

n = สัมประสิทธิ์ของแมนนิ่ง (Manning's Coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์ของแมนนิ่ง (n) ใช้ 0.015 สำหรับพื้นที่ผิวที่เป็นคอนกรีต โดยตั้งสมมติฐานว่าเป็นรางระบายน้ำตรง (มีมุมเบี่ยงไม่เกิน 5 องศา) และค่าความสูญเสีย (Minor Loss) ต่าง ๆ เช่นรอยต่อระหว่างรางกับบ่อพัก ถือว่าน้อยมาก จึงไม่นำมาคิด สำหรับพื้นที่หน้าตัดคลองดินใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของแมนนิ่งเท่ากับ 0.025-0.030 ขึ้นกับสภาพของความขรุขระของท่อ

2.9 การสูญเสียพลังงานย่อย (Minor Loss)

ในกรณีที่น้ำไหลผ่านอาคารพิเศษหรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือทิศทางของรางระบายน้ำ จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในการไหล การสูญเสียพลังงานนี้คำนวณได้จากสมการ

$$H_t = k\frac{v^2}{2g}$$

โดยที่ H_t = การสูญเสียพลังงาน, ม.

K = สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงาน

V = ความเร็วการไหล, ม./วินาที

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, ม./วินาที^{2}

2.10 อัตราการไหลของปริมาตร (Volume flow rate)

$$Q = AV \quad \text{ม.}^3/\text{วินาที}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของปริมาตร, ม.^{3}/วินาที

A = พื้นที่ภาคตัดขวาง, ม.

V = ความเร็วการไหล, ม.^{2}/วินาที

2.11 สมการพลังงาน (Energy equation)

กฎการคงที่ของพลังงาน [Law of Conservation of energy] คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 จะเท่ากับผลต่างของพลังงานความร้อนทั้งหมด

$$E_2 - E_1 = Q - W$$

คิด Control Volume

$$E = U + \frac{V^2}{2} + gz$$

เมื่อ U = พลังงานภายในต่อหนึ่งหน่วยมวล, จูล/วินาที

V = ความเร็ว, ม./วินาที

g = ค่าคงที่จากแรงโน้มถ่วงของโลก, ม./วินาที^{2}

z = ระยะทาง, ม.

2.12 สมการ Bernoulli

สมการ Bernoulli เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและความเร็วของ ของไหล แต่โดยปกติแล้วเราต้องการพิจารณาความสัมพันธ์ ดังกล่าว ณ จุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในสนามการไหล ดังนั้นเราจึงพิจารณา การไหลตาม Streamline และหาสมการ โมเมนตัมในรูปของสมการ ดิฟเฟอเรนเชียล แล้วอินทิเกรทสมการโมเมนตัมจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งตาม Streamline

$$\sum F_s \int_{\text{Control Surface}} v(\rho v_n dA)$$

$$\frac{dP}{\rho} + gdz + vdv = 0$$

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + \rho (z_2 - z_1) = 0$$

แล้ว $$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz = \text{ค่าคงที่}$$

สมการ Benoulli ขึ้นอยู่กับสมมุติฐานที่ว่าการไหลเป็นแบบคงที่ (Steady) ไม่มีความเสียดทาน (frictionless) ตลอด Streamline มีเฉพาะความดันและแรงโน้มถ่วงของโลกใน Control Volume และการไหลเป็นแบบ 1 มิติ

2.13 Froude Number (F)

จะเป็นค่าคงที่ที่แสดงความสัมพันธ์ของแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงเฉื่อย

$$F = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

2.14 Reynolds Number (R)

$$R = \frac{pvd}{\mu} = \frac{Dv}{\nu}$$

เมื่อ R = Reynolds Number

P = ความหนาแน่นของของไหล, กก./ม.^{3}

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ, ม.

V = ความเร็วของของไหล, ม./วินาที

ν = μ/p , ม.^{2}/วินาที

μ = ความหมืดของของไหล, นิวตัน-วินาที/ม.^{2}

ถ้า $R < 2000$ การไหลจะเป็นแบบราบเรียบ

$2000 < R < 4000$ การไหลจะเป็นแบบเปลี่ยนแปลง

$R > 4000$ การไหลจะเป็นแบบปั่นป่วน

2.15 การคำนวณการสูญเสียหลักเนื่องจากแรงเสียดทาน

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

เมื่อ h_f = การสูญเสียหลักเนื่องจากแรงเสียดทาน, ม.

f = แฟกเตอร์ของความเสียดทาน

L = ความยาวท่อ, ม.

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ, ม.

v = ความเร็วของการไหล, ม./วินาที

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, ม./วินาที^{2}

การไหลแบบราบเรียบ $f = \frac{64}{R}$

2.16 การคำนวณหาการสูญเสียรอง

$$h_m = \frac{kv^2}{2g}$$

h_m = การสูญเสียรอง, ม.

k = สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียรอง

v = ความเร็วของของไหลในท่อ, ม./วินาที

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, ม./วินาที^{2}

k = 0.4 - 0.5

2.17 Energy Gradient และ Hydraulic Gradient

Energy Gradient หรือ total head line หมายถึง เส้นกราฟที่แสดงผลรวมของ head ทั้งหมดคือ Velocify head $\left(\frac{v^2}{2g}\right)$ Pressure head $\left(\frac{p}{r}\right)$ และ elevation head (z)

Hydraulic Gradient หรือ Piezometric head line หมายถึง เส้นกราฟที่แสดงผลรวมของ pressure head $\left(\frac{p}{r}\right)$ และ elevation head (z)

2.18 สูตรของ Manning ในระบบ SI

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

v = ความเร็วของการไหล, ม./วินาที

n = ค่าสัมประสิทธ์ความขรุขระของ Manning

$$R = \frac{A}{p}$$

R = hydraulic radius, ม.

s = Slope ของ energy gradient, ม./ม.

A = พื้นที่หน้าตัด, $ม^2$

p = พื้นที่ขอบเปียก, ม