บทที่ 3

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1 การพัฒนาสมการอธิบายการไหล

การจำลองสภาพการไหลของน้ำในคลองโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ระบบคลองระบายน้ำจะถูกแทนด้วยสมมุติฐานและสมการทางคณิตศาสตร์ แล้วสมมุติฐานและสมการเหล่านี้จะประกอบกันเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแทนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้หาค่าอัตราการไหลและระดับน้ำที่จุดต่าง ๆ ในคลองได้

ระบบคลองระบายน้ำประกอบด้วยทางน้ำ(Channels) จุดเชื่อมทางน้ำ (Junction) สถานีสูบน้ำ (Pumping station) ประตูระบายน้ำ (Gate) และปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่คลองอันเนื่องมาจากฝน (Storm inflow hydrograph) ในแบบจำลองนี้จะแทนจุดต่าง ๆ ในคลองด้วย Node และทางน้ำที่เชื่อมระหว่าง Node สองจุดจะแทนด้วย Link จุดที่กำหนดให้เป็น node ได้แก่ ตำแหน่งที่เป็นจุดเชื่อมทางน้ำ จุดที่เป็นสถานีสูบน้ำ จุดที่เป็นประตูระบายน้ำ จุดที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของคลอง และจุดที่มีปริมาณน้ำท่าไหลลงสู่คลอง

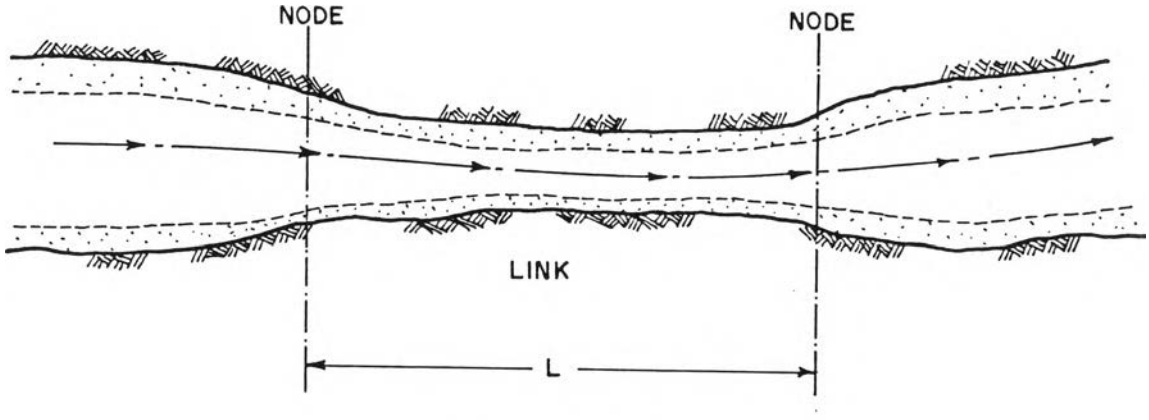
ในการจำลองการไหลของน้ำในคลอง จะอธิบายการไหลของน้ำด้วยสมการดิฟเฟอร์-เรนเชียล (Differential equation) ซึ่งมีรูปทั่วไป ดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ในการจะแก้สมการเหล่านี้ โดยวิธีเชิงตัวเลข (Numerical solutions) จะต้องทำให้สมการเหล่านี้อยู่ในรูป Finite difference และคำนวณโดยวิธีการเพิ่มค่าของเวลาและระยะทางทีละน้อย ๆ (small increments of time and distance) ซึ่งวิธีการแบบนี้มีข้อจำกัดคือใช้ได้เฉพาะการไหลในลำน้ำที่มีสายเดียวหรือมีจุดเชื่อมทางน้ำ (Junction) ของสองลำน้ำรวมเป็นลำน้ำสายเดียวและไม่สามารถใช้กับระบบระบายน้ำที่มีขนาดใหญ่ได้

เนื่องจากระบบคลองระบายน้ำในกรุงเทพมหานคร มีลักษณะที่โครงข่ายเชื่อมโยงกัน (Network) ซึ่งมีจำนวนทางน้ำ (Channel) จุดเชื่อมทางน้ำ (Junction) จำนวนมาก CDM [7] จึงได้พัฒนาสมการ (1) และ (2) ในบทที่ 2 ให้เหมาะสมกับสภาพระบบระบายน้ำ ของกรุงเทพมหานครขึ้น โดยอาศัยสมมุติฐานและเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

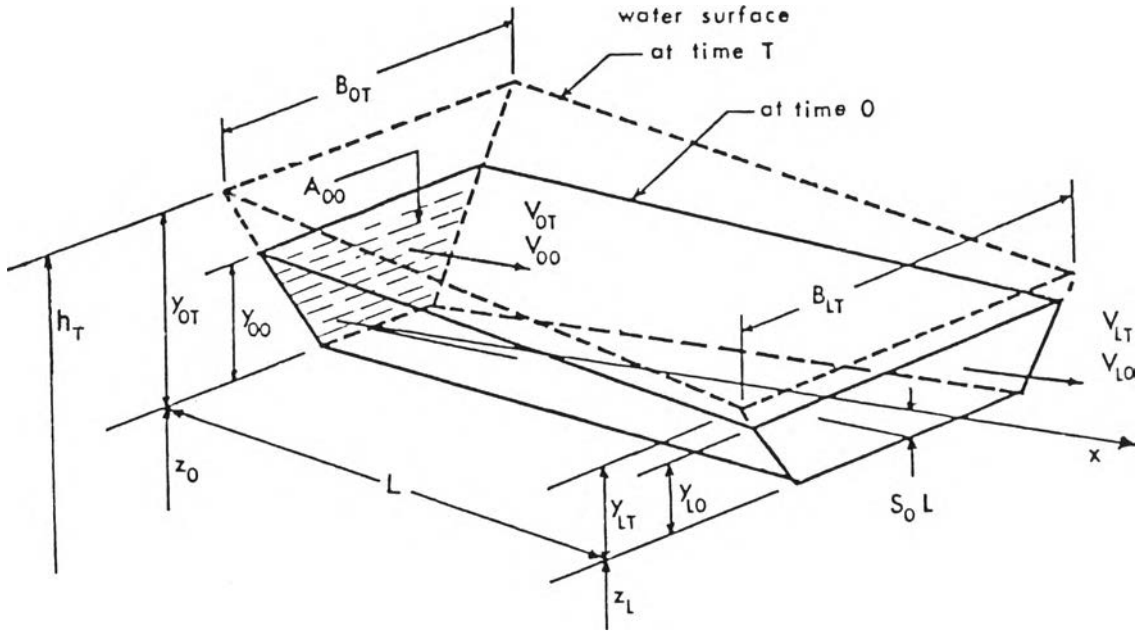
จากรูปที่ 3-1 แสดงลักษณะของ Link ซึ่งอยู่ระหว่าง Node ให้ระยะทางใน Link ตามแนวการไหลของน้ำแทนด้วย X ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0 เมื่ออยู่ต้น Link และมีค่าเท่ากับ L เมื่ออยู่ปลาย Link และให้ความลาดของท้องคลองมีค่าคงที่ สัญญลักษณ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่จะใช้กำกับด้วยอักษร 2 ตัว อักษรตัวที่ 1 สำหรับบอกตำแหน่ง ถ้าเป็นจุดเริ่มต้นของ Link แทนด้วย 0 ถ้าเป็นจุดปลายของ Link แทนด้วย L อักษรตัวที่ 2 สำหรับบอกเวลา ถ้าเป็นจุดเริ่มต้นช่วงเวลาการคำนวณแทนด้วย 0 และถ้าเป็นจุดสุดท้ายช่วงเวลาการคำนวณแทนด้วย T ตัวอย่างเช่น ค่าความลึกของน้ำ ณ จุดเริ่มต้นของ Link และที่เวลาเริ่มต้นช่วงเวลาการคำนวณจะแทนด้วย Y_{oo}

สมมุติฐานการไหลของน้ำในการจำลองนี้ สมมุติให้เป็นการไหลไม่คงที่แบบเปลี่ยนแปลงน้อยและสภาวะใต้วิกฤติ (Gradually varied unsteady free-surface flow in the subcritical range) โดยทั่วไปแล้วการไหลแบบไม่คงที่ ค่าระดับผิวน้ำและความเร็วการไหลจะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทาง ซึ่งการหาค่าระดับน้ำของการไหลแบบนี้ใน Link จะต้องหาหลาย ๆ จุดตามแนวของ X ระหว่าง 0 และ L แต่อย่างไรก็ตามถ้าอาศัยข้อสมมุติฐานที่ให้การไหลของน้ำในคลองเป็นการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อย และให้ความกว้างของคลองที่จุดใด ๆ ใน Link เปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทาง จึงอาจกล่าวได้ว่าค่าของระดับน้ำและความเร็วการไหลที่จุดใด ๆ ตามทางน้ำใน Link จะมีค่าอยู่ระหว่างค่าที่ปลายทั้งสองของ Link ดังนั้นแบบจำลองที่สร้างจึงกำหนดระดับน้ำที่ต้องการหาอยู่ที่ปลายทั้งสองของ Link และระดับน้ำที่จุดใด ๆ ใน Link เปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางตาม Link ในทำนองเดียวกันจะได้ว่า ความเร็ว, หน้าตัดคลอง, และความกว้างผิวน้ำ ก็เปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางใน Link ด้วย [ดูภาคผนวก ก]

ดังได้กล่าวแล้วว่า การแก้สมการดิฟเฟอร์เรนเชียล (differential equation) โดยวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Solution) จะต้องให้สมการอยู่ในรูปของ Finite difference และทำการแก้สมการโดยเพิ่มค่าระยะทางตามลำน้ำเท่า ๆ กัน และค่าช่วงเวลาการคำนวณทีละน้อย ๆ แต่สำหรับการจำลองนี้อาศัยสมมุติฐานที่กล่าวมาแล้วสามารถที่จะกำหนดการเพิ่มของระยะทางให้มีค่าเท่ากับความยาวของ Link และสามารถกำหนดในแต่ละ Link มีความยาวไม่เท่ากันได้ สำหรับการเพิ่มของช่วงเวลาการคำนวณจะต้องกำหนดให้มีค่าไม่มากนัก เพื่อที่จะลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการใช้ค่าความเร็วและระดับน้ำที่ช่วงเวลา



แปลนคลองระบายน้ำ



รูปขยาย LINK

ที่มา : CDM, [7]

รูปที่ 3-1 แสดงลักษณะของ Node และ Link ที่ใช้ในการคำนวณ

เริ่มต้นการคำนวณ (Beginning of Time step, t=o) ไปหาค่าความเร็วและระดับน้ำที่จุดสุดท้ายของช่วงเวลาการคำนวณ (End of Time step,t=T) นอกจากนี้การกำหนดค่าการเพิ่มของช่วงเวลาการคำนวณน้อย ๆ ยังสามารถลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการตัดบางเทอมของสมการโมเมนตัมและสมการต่อเนื่องที่มีค่าน้อยออกไปด้วย

การคิดระดับน้ำที่จุดเชื่อม (Junction) เมื่อทางน้ำหลายอันมาพบกัน ระดับน้ำที่ปลาย link แต่ละอันที่มาพบกันจะมีค่าแตกต่างกันไป เช่น เมื่อมีทางน้ำตัดกัน จะมีหน้าตัดของทางน้ำจำนวน 4 หน้าตัดมาพบกันและจะมีค่าของระดับน้ำที่หน้าตัดแต่ละอันแตกต่างกัน ในการศึกษานี้สมมุติให้ไม่มีพื้นที่สำหรับเก็บกักน้ำที่จุดเชื่อมหรือที่ Node ดังนั้นระดับน้ำที่จุดเชื่อมนี้จะให้มีค่าเพียงค่าเดียวเท่านั้น [7]

3.2 สมการอธิบายการไหลที่ใช้ในแบบจำลอง

ในการศึกษานี้สมมุติให้การไหลของน้ำในคลองเป็นการไหลไม่คงที่แบบเปลี่ยนแปลงน้อยสภาวะใต้วิกฤต (Gradually Varied Unsteady Free-Surface Flow in the Subcritical Range) สมการพื้นฐานในการอธิบายการไหล คือ สมการต่อเนื่องและสมการการเคลื่อนที่ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ซึ่งสมการทั้งสองอยู่ในรูป Differential equation ที่ยุ่งยากซับซ้อนไม่สามารถจะอินทิเกรด (Integrate) หาคำตอบที่แน่นอนได้ อย่างไรก็ตามในการใช้งานได้พยายามแก้สมการทั้งสอง โดยใช้ค่าประมาณจากการตั้งสมมุติฐานหรือการตัดบางเทอมที่มีค่าน้อยออกไปเพื่อที่จะสามารถหาค่าตัวแปรในสมการได้ สำหรับการศึกษานี้จะใช้สมการต่อเนื่อง และสมการการเคลื่อนที่ที่หาไว้แล้วโดยบริษัทวิศวกรที่ปรึกษา Camp Dresser & Makee, CDM [7] (ดูภาคผนวก ก) ดังนี้

1) สมการต่อเนื่อง (Continuity equation) ที่ Link ในการหาสมการนี้จะทำการพิจารณา Control Volume ใน Link ซึ่งล้อมรอบด้วย Control Surface ที่เวลา t=o ให้มีปริมาตรคงที่ (ดูรูปที่ 3-1) และจะสมมุติให้การเพิ่มของปริมาณเก็บกักใน Link ระหว่างเวลา O และ T เป็นค่าอัตราการไหลออกผ่าน Control Surface ในช่วงเวลา T ดังนั้นสมการต่อเนื่องสามารถหาได้จาก ผลรวมทางพีชคณิตของอัตราการไหลเข้าและอัตราการไหลออกที่ผ่าน

Control Surface มีค่าเท่ากับ 0 โดยสมมุติให้อัตราการไหลเข้าผ่าน Control Surface มีเครื่องหมายเป็นลบ และอัตราการไหลออกผ่าน Control Surface มีเครื่องหมายเป็นบวก

$$-(V_{00} + V_{0T})A_{00} + (V_{L0} + V_{LT})A_{L0} - 2qL$$

$$+ \frac{L}{3T}\left[(h_{0T} - h_{00})(2B_{00} + B_{L0}) + (h_{LT} - h_{L0})(B_{00} + 2B_{L0})\right] = 0 \quad \cdots\cdots\cdots (3)$$

2) สมการการเคลื่อนที่ (Momentum equation) ที่ Link หาได้จากหลักการที่ว่าผลบวกทางพีชคณิตของแรงกระทำภายนอกที่มีต่อของไหลใน Control Volume มีค่าเท่ากับ ผลรวมของโมเมนตัมของการไหลผ่าน Control Surface กับอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของการไหลใน Control Volume สำหรับการพิจารณา Control Volume ของสมการการเคลื่อนที่นี้ ใช้หลักการเดียวกันกับการพิจารณาในสมการต่อเนื่องที่ Link

$$\left[-\frac{A_{00}V_{00}}{g} + \frac{L}{6Tg}(2A_{00} + A_{L0})\right]V_{0T}$$

$$+ \left[\frac{A_{L0}V_{L0}}{g} + \frac{L}{6Tg}(A_{00} + 2A_{L0})\right]V_{LT}$$

$$+ \left\{\frac{-(A_{00} + A_{L0})}{4} + \frac{L}{12Tg}\left[B_{00}(3V_{00} + V_{L0}) + B_{L0}(V_{00} + V_{L0})\right]\right\}h_{0T}$$

$$+ \left\{\frac{A_{00} + A_{L0}}{4} + \frac{L}{12Tg}\left[B_{00}(V_{00} + V_{L0}) + B_{L0}(V_{00} + 3V_{L0})\right]\right\}h_{LT}$$

$$= -\frac{(A_{00} + A_{L0})}{4}(h_{L0} - h_{00})$$

$$+ \frac{L}{12Tg}\left\{h_{00}\left[B_{00}(3V_{00} + V_{L0}) + B_{L0}(V_{00} + V_{L0})\right]\right.$$

$$\left. + h_{L0}\left[B_{00}(V_{00} + V_{L0}) + B_{L0}(V_{00} + 3V_{L0})\right]\right\}$$

$$+ \frac{L}{6Tg}\left[V_{00}(2A_{00} + A_{L0}) + V_{L0}(A_{00} + 2A_{L0})\right]$$

$$- \frac{L}{6}\left[S_{f00}(2A_{00} + A_{L0}) + S_{fL0}(A_{00} + 2A_{L0})\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

3) สมการต่อเนื่อง (Continuity equation) ที่ Node จากหลักการจำลองสภาพการไหลของน้ำในแบบจำลองนี้ได้สมมุติให้ไม่มีการเก็บกักน้ำที่ Node ดังนั้นสมการต่อเนื่องที่ Node หาได้จากการพิจารณาผลรวมของอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ Node จะมีค่าเท่ากับผลรวมอัตราการไหลของน้ำออกจาก Node ซึ่งสมการต่อเนื่องนี้จะกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำออกจาก Node มีเครื่องหมายลบ และอัตราการไหลของน้ำเข้า Node มีเครื่องหมายบวก

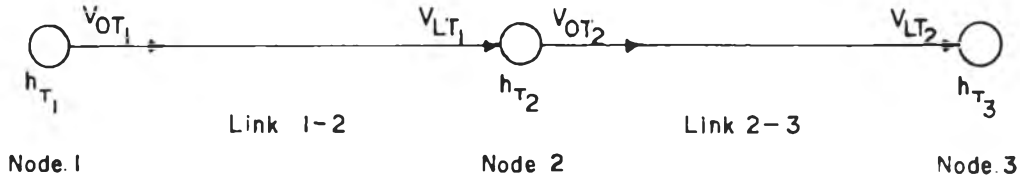
$$\sum\left[A_0V_T + V_0B_0(h_T - h_0)\right] + Q_{out} = 0 \quad \text{..... (5)}$$

ตัวแปรที่ไม่ทราบค่าของสมการชุดนี้มี 3 ตัว คือ ความเร็วที่ต้น Link (V_{OT}) ความเร็วที่ปลาย Link (V_{LT}) และระดับน้ำที่ Node (h_T) ที่เวลาสิ้นสุดการคำนวณ (End of time step, t=T) จากสมการ (3),(4) และ (5) สามารถหาตัวแปรเหล่านี้ โดยวิธีแก้สมการเชิงเส้นทั่วไป ดังจะกล่าวในย่อหน้าต่อไปนี้

3.3 วิธีการแก้สมการเชิงเส้นของสมการอธิบายการไหล

ดังได้กล่าวมาข้างต้นแล้วว่าในแต่ละ Link จะมีตัวแปรอยู่ 2 ตัว คือ ความเร็วที่ต้น Link (V_{OT}) และความเร็วที่ปลาย Link (V_{LT}) ในแต่ละ Node จะมีตัวแปรอยู่ 1 ตัว คือ ระดับน้ำ (h_T) ในการแก้สมการเชิงเส้นที่มีตัวแปรหลายตัวนี้ จำนวนตัวแปรจะต้องมีจำนวนเท่ากับจำนวนสมการจึงจะสามารถแก้สมการหาค่าตัวแปรได้ ตัวอย่างเช่น ระบบคลองที่จำลองมีจำนวน M Link และ N Node จะมีตัวแปรอยู่เท่ากับ 2M+N ตัว และสมการจะต้องมี 2M+N สมการด้วย ตัวแปรเหล่านี้จึงจะสามารถหาค่าได้

ถ้าสมมุติว่า แบบจำลองระบบคลองอันหนึ่ง แบ่งเป็น 2 Link และ 3 Node ดังรูป 3-2 ตัวแปรในแบบจำลองนี้จะมีเท่ากับ (2x2)+3 = 7 ตัว และสมการก็จะมี (2x2)+3 = 7 สมการเช่นกัน



รูปที่ 3-2 แสดงตำแหน่ง ของ Node และ Link

สมการทั้ง 7 มีรูปแบบดังนี้

$$\left.\begin{aligned}
P_{11}V_{OT_1} + P_{12}V_{LT_1} + P_{13}V_{OT_2} + P_{14}V_{LT_2} + P_{15}h_{T_1} + P_{16}h_{T_2} + P_{17}h_{T_3} &= C_1 \\
P_{21}V_{OT_1} + P_{22}V_{LT_1} + P_{23}V_{OT_2} + P_{24}V_{LT_2} + P_{25}h_{T_1} + P_{26}h_{T_2} + P_{27}h_{T_3} &= C_2 \\
P_{31}V_{OT_1} + P_{32}V_{LT_1} + P_{33}V_{OT_2} + P_{34}V_{LT_2} + P_{35}h_{T_1} + P_{36}h_{T_2} + P_{37}h_{T_3} &= C_3 \\
P_{41}V_{OT_1} + P_{42}V_{LT_1} + P_{43}V_{OT_2} + P_{44}V_{LT_2} + P_{45}h_{T_1} + P_{46}h_{T_2} + P_{47}h_{T_3} &= C_4 \\
P_{51}V_{OT_1} + P_{52}V_{LT_1} + P_{53}V_{OT_2} + P_{54}V_{LT_2} + P_{55}h_{T_1} + P_{56}h_{T_2} + P_{57}h_{T_3} &= C_5 \\
P_{61}V_{OT_1} + P_{62}V_{LT_1} + P_{63}V_{OT_2} + P_{64}V_{LT_2} + P_{65}h_{T_1} + P_{66}h_{T_2} + P_{67}h_{T_3} &= C_6 \\
P_{71}V_{OT_1} + P_{72}V_{LT_1} + P_{73}V_{OT_2} + P_{74}V_{LT_2} + P_{75}h_{T_1} + P_{76}h_{T_2} + P_{77}h_{T_3} &= C_7
\end{aligned}\right\} \quad (6)$$

สมการ (6) สามารถเขียนอยู่ในรูปของ Matrix ได้

$$(P)\ (X) = (C)$$

โดยที่

$$(P) = \begin{bmatrix}
P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} & P_{15} & P_{16} & P_{17} \\
P_{21} & P_{22} & - & - & - & - & P_{27} \\
P_{31} & P_{32} & - & - & - & - & P_{37} \\
P_{41} & P_{42} & - & - & - & - & P_{47} \\
P_{51} & P_{52} & - & - & - & - & P_{57} \\
P_{61} & P_{62} & - & - & - & - & P_{67} \\
P_{71} & P_{72} & - & - & - & - & P_{77}
\end{bmatrix} \quad (X) = \begin{bmatrix} V_{OT_1} \\ V_{LT_1} \\ V_{OT_2} \\ V_{LT_2} \\ h_{T_1} \\ h_{T_2} \\ h_{T_3} \end{bmatrix} \quad (C) = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_6 \\ C_7 \end{bmatrix}$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แล้วสามารถแก้สมการหาค่า(X) ได้โดยวิธีขจัดตัวแปรแบบเกาส์(Gaussian elimination mehtod)

3.4 การกำหนดค่าเริ่มต้นของการคำนวณ (Initial conditions)

ในการหาค่าตัวแปรในสมการ (3), (4) และ (5) ที่เวลาสิ้นสุดการคำนวณ (End of time step, t=T) จำเป็นที่ต้องทราบค่าของตัวแปรนั้นที่เวลาเริ่มต้นการคำนวณ (Beginning of time step, t=0) ก่อน ค่าที่ต้องกำหนดคือ ระดับน้ำในแต่ละ Node และค่าความเร็วการไหลที่ปลายทั้งสองข้างของ link

การกำหนดสภาพการไหลเริ่มต้นของระบบระบายน้ำสำหรับการจำลอง อาจจะกำหนดตามที่ทำการวัดได้จริงในสนามหรือสมมุติสภาพการไหลเริ่มต้นขึ้นก็ได้ ในการสมมุติสภาพการไหลเริ่มต้นขึ้นนี้ อาจจะให้การไหลเป็นแบบคงที่หรือไม่คงที่ก็ได้ แต่จะต้องเป็นสภาพการไหลที่สมเหตุสมผลและเป็นไปได้ แต่อย่างไรก็ตาม การกำหนดสภาพการไหลเริ่มต้นของระบบระบายน้ำจะมีผลต่อการคำนวณเฉพาะช่วงแรกของการคำนวณเท่านั้น สำหรับการศึกษานี้เป็นการจำลองระบบคลองภายในพื้นที่ปิดรอบ (Polder system) จึงสมมุติให้สภาพการไหลเริ่มต้นของน้ำในคลองเป็นแบบไม่มีการไหลเกิดขึ้น คือ ให้ค่าความเร็วในแต่ละ Link มีค่าเท่ากับ 0 และระดับน้ำในแต่ละ Node มีค่าเท่ากันหมด

3.5 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของระบบ (Boundary condition)

ในการคำนวณอัตราการไหลและระดับน้ำ จากสมการ (3),(4) และ (5) เงื่อนไขต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบที่เราพิจารณาจะต้องนำมาคิดด้วย เงื่อนไขเหล่านี้อาจจะอยู่ในรูปของชลภาพ ที่ไหลเข้า-ออกจากระบบหรืออยู่ในรูปของโครงสร้างทางชลศาสตร์ อาทิเช่น สถานีสูบน้ำ ประตูระบายน้ำก็ได้ ซึ่งหลักการในการจำลองของเงื่อนไขขอบเขตของระบบต่าง ๆ สำหรับใช้ในแบบจำลองนี้ มีดังนี้

3.5.1 การคำนวณหาปริมาณน้ำท่าไหลลงคลอง (Inflow Hydrograph)

การคำนวณหาปริมาณน้ำท่าจากน้ำฝนในพื้นที่ที่เป็นเขตเมือง จะต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้พื้นที่ ตลอดจนพิจารณาพื้นที่น้ำซึมผ่านได้ และพื้นที่ที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ (Pervious and Impervious area) ในการคำนวณหาน้ำท่าจากน้ำฝนของพื้นที่ในเขตเมือง มีวิธีการคำนวณได้หลายวิธี สำหรับในการศึกษานี้จะใช้หลักการรวมตัวแปร (Lumped Parameter) โดยวิธี RATIONAL METHOD ซึ่งมีตัวแปรสำคัญดังนี้คือ

- เวลารวมตัว (Time of Concentration, T_c) คือระยะเวลาที่น้ำไหลจากจุดไกลที่สุด มาถึงจุดที่พิจารณา
- สัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff Coefficient, C) คือ อัตราส่วนของน้ำท่าสูงสุดต่อความเข้มของฝนในช่วงเวลา T_c

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาน้ำท่าสูงสุด คือ

$$Q_p = CIA/3.6$$

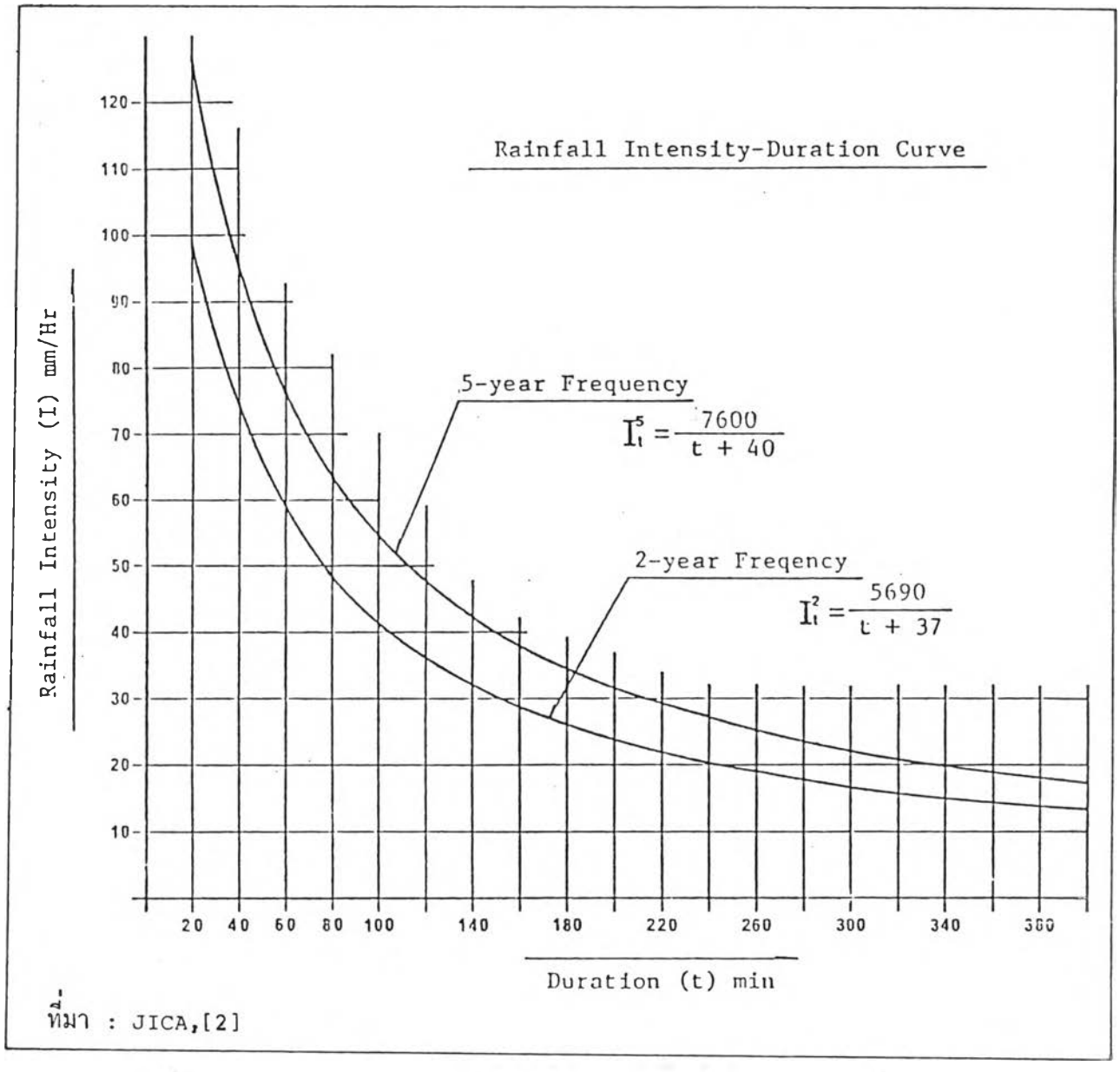
โดยที่ Q_p = อัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่า มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที

I = ปริมาณความเข้มของฝนในช่วงเวลา T_c มีหน่วยเป็น มม./ชม.

A = พื้นที่รับน้ำฝน มีหน่วยเป็น ตารางกิโลเมตร

ในการศึกษานี้ค่าความเข้มของฝน (I) จะหาค่าจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้ม-ช่วงเวลา-ความถี่ของฝน รูปที่ 3-3 ซึ่งค่าความเข้มของฝนที่ได้นี้เป็นฝนเฉพาะจุด (Point Rainfall) ถ้าจะทำให้เป็นฝนตกของอาณาบริเวณ (Areal Rainfall) จะต้องคูณด้วยสัมประสิทธิ์การกระจายเชิงพื้นที่ของฝน (Areal Reduction Factor, A.R.F.) ค่า A.R.F. ฝนในเขตกรุงเทพมหานครได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-1

สำหรับค่าเวลารวมตัว (T_c) สำหรับระบบระบายน้ำในเขตเมือง จะพิจารณาจากระยะเวลาที่น้ำฝนเดินทางก่อนเข้าท่อ (inlet time) รวมกับระยะเวลาที่น้ำเดินทางในท่อ โดยสมมุติให้ปริมาณน้ำฝนจากจุดไกลสุดไหลมายังจุดทางเข้าของท่อระบายน้ำ (Inlet) ใช้เวลาในการเดินทางประมาณ 10 นาที และสมมุติให้ความเร็วของน้ำไหลในท่อมีค่าประมาณ 0.35 เมตร/วินาที [2] ดังนั้นจะได้ค่า T_c เท่ากับ



ที่มา : JICA,[2]

รูปที่ 3-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม-ช่วงเวลา-ความถี่ของฝน

ตารางที่ 3-1 สัมประสิทธิ์การกระจายเชิงพื้นที่ของฝน (Areal Reduction Factor, A.R.F.) สำหรับเปลี่ยนค่า point rainfall เป็นค่า areal rainfall ของพื้นที่รับน้ำฝนขนาดต่าง ๆ

Area (km^2)	Area Reduction Factor
5	1.00
10	0.97
20	0.95
30	0.89
40	0.86
50	0.84
60	0.83

ที่มา : JICA [2]

$$T_c = 10 + L_s/21$$

โดยที่ T_c = เวลารวมตัว, นาที

L_s = ความยาวของท่อระบายน้ำ, เมตร

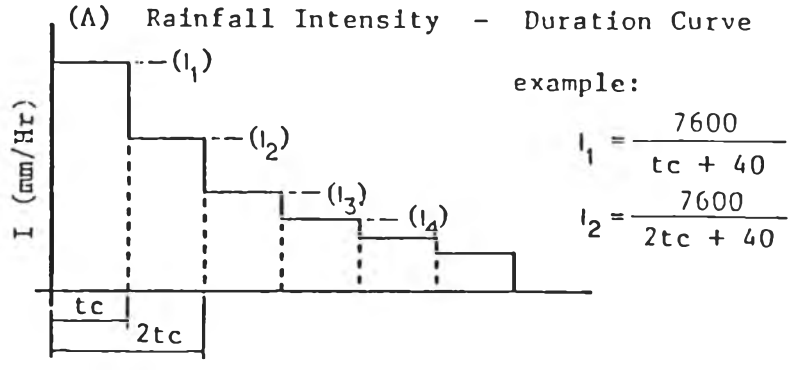
การหาค่าน้ำท่าจากน้ำฝน สำหรับการศึกษานี้จะสมมุติให้ชลภาพ (Hydrograph) ของพื้นที่ใด ๆ ที่เกิดจากฝนที่มีปริมาณความเข้ม (Intensity) เท่ากับ I มม./ชม. ช่วงเวลาที่ตก (Duration) เท่ากับ T_c ชม. จะประมาณให้เป็นรูปสามเหลี่ยมที่มียอดของสามเหลี่ยมเป็นจุดปริมาณน้ำท่าสูงสุด (Qpeak) และมี Time Base เท่ากับสองเท่าของ T_c ถ้าเป็นชลภาพ (Hydrograph) ของฝนที่มีช่วงเวลาตก (Duration) เท่ากับ nT_c จะหาได้จากการนำเอารูปชลภาพสามเหลี่ยมของฝนช่วงเวลา T_c มารวมกัน โดยให้เวลา Lag เท่ากับ T_c ดังรูปที่ 3-4 และชลภาพที่นำมารวมกันนี้แต่ละอันจะมีปริมาณความเข้มของฝนเป็น

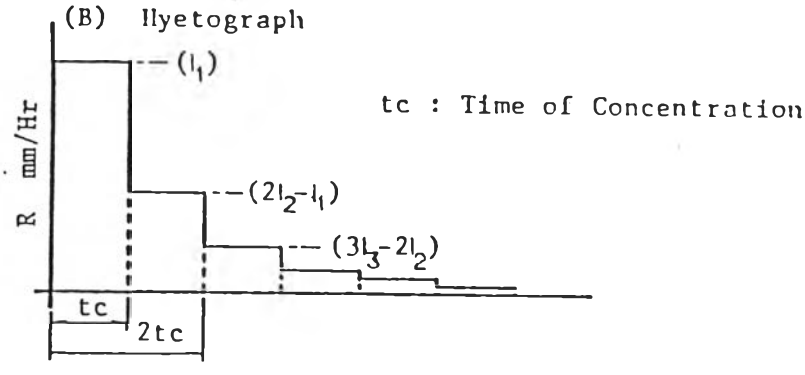
$$I_1,\ (2I_2 - I_1),\ (3I_3 - 2(I_2 - I_1)),\ldots\ldots\ldots\ldots$$ ตามลำดับ

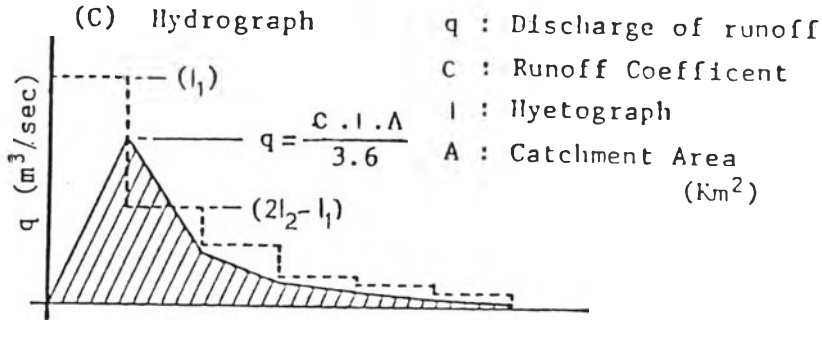
ซึ่ง I_1, I_2, I_3..... เป็นค่าความเข้มของฝนที่อ่านได้ที่เวลา T_c, $2T_c$, $3T_c$..... จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้ม-ช่วงเวลา-ความถี่ของฝน รูปที่ 3-3

3.5.2 สถานีสูบน้ำ

ในบางครั้งระดับน้ำในแม่น้ำหรือระดับน้ำภายนอก มีระดับสูงกว่าระดับน้ำภายในพื้นที่ป้องกัน จึงจำเป็นที่จะต้องสร้างทำนบสำหรับป้องกันไม่ให้น้ำจากแม่น้ำไหลเข้ามาภายในพื้นที่ป้องกัน และทำการติดตั้งสถานีสูบน้ำสำหรับสูบน้ำออกจากพื้นที่ป้องกันเมื่อเวลาฝนตก นอกจากนี้แล้วยังทำการติดตั้งสถานีสูบน้ำในพื้นที่บางแห่งที่เป็นแอ่ง ซึ่งน้ำในบริเวณนั้นไม่สามารถไหลลงสู่คลองได้โดยแรงโน้มถ่วงของโลก จึงต้องอาศัยเครื่องสูบน้ำระบายน้ำออก ในการสร้างแบบจำลองระบบคลองระบายน้ำนี้ กำหนดให้เครื่องสูบน้ำเริ่มทำงานเมื่อระดับน้ำในพื้นที่ป้องกันสูงกว่าระดับน้ำควบคุมที่กำหนดไว้ และหยุดทำงานเมื่อระดับน้ำในพื้นที่ป้องกันต่ำกว่าระดับน้ำควบคุม







ที่มา : JICA, [2]

รูปที่ 3-4 แสดงการหาชลภาพ (Hydrograph) ของน้ำท่า