บทที่ 3
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในบทนี้จะเป็นการนำพื้นฐาน และทฤษฎีต่าง ๆ ที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 มาประยุกต์สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รวมทั้งอธิบายโครงสร้าง ขั้นตอนการคำนวณ การป้อนข้อมูล และการแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณของแบบจำลอง

3.1 หลักการและโครงสร้างทั่วไปของแบบจำลอง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นความพยายามของมนุษย์ที่จะจำลองสภาพ (simulate) ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ไม่ว่าสิ่งนั้นจะเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ หรือสิ่งที่มนุษย์เข้าไปยุ่งเกี่ยวด้วย โดยอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ปัจจุบันนิยมใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการศึกษาและวางแผนต่าง ๆ ซึ่งนับวันจะมีแนวโน้มที่จะนำมาใช้มากขึ้น เนื่องจากมีข้อดีมากมาย เช่น สามารถทดลองปรับปรุงแก้ไขระบบ แล้วสามารถตรวจสอบผลที่ได้โดยไม่มีผลกระทบต่อระบบจริง สิ้นค่าใช้จ่ายน้อย ทำงานได้รวดเร็ว เป็นต้น จึงเห็นได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการวางแผน และช่วยในการตัดสินใจโครงการต่าง ๆ ได้อย่างดี

การจำลองสภาพการระบายน้ำ และไล่น้ำเสีย อาศัยทฤษฎีดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งเป็นสมการคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ที่จะอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น รวมทั้งสมมติฐานบางประการประกอบขึ้นเป็น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อระบายน้ำและไล่น้ำเสีย (Flushing Model) แบบจำลองนี้มีการคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อน และมีรูปแบบการคำนวณในแต่ละช่วงเวลาซ้ำกันตลอดระยะเวลาการคำนวณ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ไม่สามารถคำนวณโดยมนุษย์ ถึงแม้จะมีเครื่องคำนวณด้วยก็ตาม มีเพียงวิธีเดียวในปัจจุบันที่จะจำลองปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ คือการจัดสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อสั่งให้เครื่องคอมพิวเตอร์คำนวณตามสมการคณิตศาสตร์ที่ต้องการ ในการศึกษานี้ได้จัดสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา FORTRAN 77 ซึ่งเป็นภาษาที่เหมาะสมกับงานทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ หรืองานที่มีการคำนวณที่ซับซ้อนมาก ๆ สามารถทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกชนิด แบบจำลองถูกจัดสร้างบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ขนาด 16 bit IBM PC/XT 640 K (RAM) ซึ่งมีขีดความสามารถสูง ราคาถูก และเป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน

วิธีการจำลองสภาพโดยแบบจำลองนี้ ใช้สมการคณิตศาสตร์ ที่อยู่ในรูปสมการอนุพันธ์ย่อย (partial differential) ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 การแก้สมการเหล่านี้ไม่สามารถคำนวณคำตอบได้โดยตรง จำเป็นต้องใช้สมมติฐานบางประการและเทคนิคการคำนวณคำตอบ โดยวิธีวิเคราะเชิงตัวเลข (numerical analysis) การศึกษานี้เลือกใช้วิธี finite-difference

I17499835

(FDM) ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

แบบจำลองการระบายน้ำ และไล่น้ำเสีย (Flushing Model) มีโครงสร้างหลักแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. แบบจำลองเชิงปริมาณ (Quantity Model) เป็นแบบจำลอง สำหรับจำลองสภาพการไหลของน้ำ เช่น ระดับน้ำ อัตราไหล เป็นต้น
2. แบบจำลองเชิงคุณภาพ (Quality Model) เป็นแบบจำลอง สำหรับจำลองคุณภาพน้ำ โดยนำผลการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณมาคำนวณการเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพน้ำ

3.2 การจำลองโดยวิธี Finite-Difference Method (FDM)

ดังได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่า สมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการจำลอง เป็นสมการแบบอนุพันธ์ย่อย มีลักษณะต่อเนื่อง (continuous) ไม่สามารถหาคำตอบของสมการต่อเนื่องนั้นได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคและสมมติฐานบางประการ วิธี finite-difference เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถหาคำตอบดังกล่าวได้โดยการแบ่งการคำนวณออกเป็นตอน ๆ (discretization) แล้วเริ่มคำนวณจากจุดเริ่มต้น ซึ่งทราบค่าแล้ว (initial condition) ต่อจากนั้นจะคำนวณที่ค่าถัดไปเรื่อย ๆ ทีละน้อย

การคำนวณโดยวิธี finite-difference แบ่งเป็นวิธีใหญ่ ๆ ได้ 2 แบบ คือ แบบ explicit scheme และแบบ implicit scheme ในการคำนวณแบบ explicit scheme ค่าที่ mesh ถัดไปเป็นฟังก์ชั่นของค่าเริ่มต้น หรือ คำตอบจากการคำนวณ step ก่อน และค่าที่ขอบเขตเท่านั้น จึงสามารถคำนวณค่าที่ mesh ถัดไปได้ทันที ส่วนการคำนวณแบบ implicit scheme ค่าที่ mesh ถัดไปเป็นฟังก์ชั่นของค่าเริ่มต้น ค่าที่ขอบเขต และค่าใน mesh เดียวกันที่ตำแหน่งข้างเคียงด้วย การคำนวณจำต้องคำนวณโดยวิธีคำนวณซ้ำ (iteration) หรือโดย linearizing เทอมที่เป็น non-linear แล้วหาคำตอบโดยการแก้สมการเชิงเส้นพร้อมกัน

3.2.1 การประมาณค่า derivative

ถ้าฟังก์ชั่น f(x) และ derivative ของ f(x) มีตัวแปรเดียว ฟังก์ชั่นต่อเนื่องของ x กระจายโดย Taylor's theorem ได้ดังสมการ 3-1 และสมการ 3-2

$$f(x + \Delta x) = f(x) + \Delta x \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{(\Delta x)^3}{3!} \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} + \cdots\cdots\cdots \quad \cdots\cdots (3\text{-}1)$$

$$f(x - \Delta x) = f(x) + \Delta x \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - \frac{(\Delta x)^3}{3!} \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} + \cdots\cdots\cdots \quad \cdots\cdots (3\text{-}2)$$

เมื่อนำสมการ 3-1 มาบวกกับสมการ 3-2 จะได้

$$f(x + \Delta x) + f(x) = 2 f(x) + (\Delta x)^2 \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + O(\Delta x)^4 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3\text{-}3)$$

เมื่อ $O(\Delta x)^4$ แทนอนุกรมที่มี order ของ Δx ตั้งแต่ 4 ขึ้นไป

เนื่องจากอนุกรมที่มี order สูงขึ้น จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับเทอมแรก ๆ สมมติไม่คิดเทอมที่มี order ของ Δx ตั้งแต่ 4 ขึ้นไป สมการ 3-3 จะสามารถประมาณค่า second order derivative ที่จุด x ได้ดังสมการ 3-4

$$\left.\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}\right|_{x=x} = \frac{1}{(\Delta x)^2} (f(x + \Delta x) - 2 f(x) + f(x - \Delta x)) \quad \ldots\ldots\ldots (3\text{-}4)$$

ทำนองเดียวกันถ้านำ สมการ 3-1 ลบสมการ 3-2 และไม่คิดเทอมที่มี order ของ Δx ตั้งแต่ 3 ขึ้นไป จะสามารถประมาณค่า derivative ที่จุด x ได้ดังสมการ 3-5

$$\left.\frac{\partial f}{\partial x}\right|_{x=x} = \frac{1}{2\,\Delta x} (f(x + \Delta x) - f(x - \Delta x)) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3\text{-}5)$$

สมการ 3-5 สามารถประมาณค่า derivative ที่จุด P โดย slope ของเส้นตรง AB (ดูรูป 3-1) การประมาณค่าแบบนี้เรียกว่า central-difference นอกจากนี้อาจประมาณโดย slope ของเส้นตรง PB เรียกว่า forward-difference ดังสมการ 3-6 หรือประมาณโดย slope ของเส้นตรง AP เรียกว่า backward-difference ดังสมการ 3-7

$$\left.\frac{\partial f}{\partial x}\right|_{x=x} = \frac{1}{\Delta x} (f(x + \Delta x) - f(x)) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3\text{-}6)$$

$$\left.\frac{\partial f}{\partial x}\right|_{x=x} = \frac{1}{\Delta x} (f(x) - f(x - \Delta x)) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3\text{-}7)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

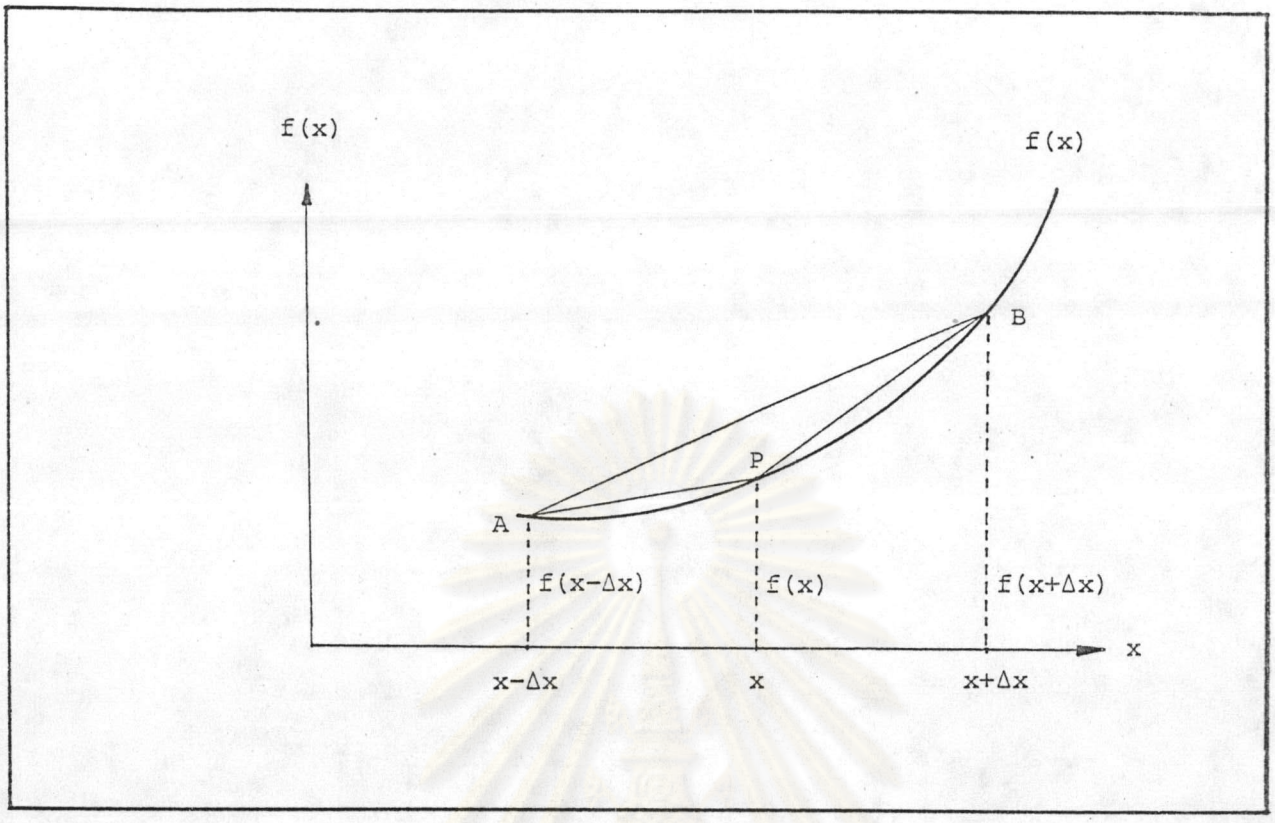
3.2.2 <u>การประมาณค่า derivative เมื่อมีตัวแปร 2 ตัว</u>

เมื่อ ฟังก์ชั่น u และ derivative ของ u มีตัวแปร 2 ตัว คือ x และ t เพื่อง่ายต่อคำนวณจึงแสดงบนระนาบ x-t ดังรูป 3-2 จุด co-ordinates (x,t) ของ mesh point P แสดงโดย

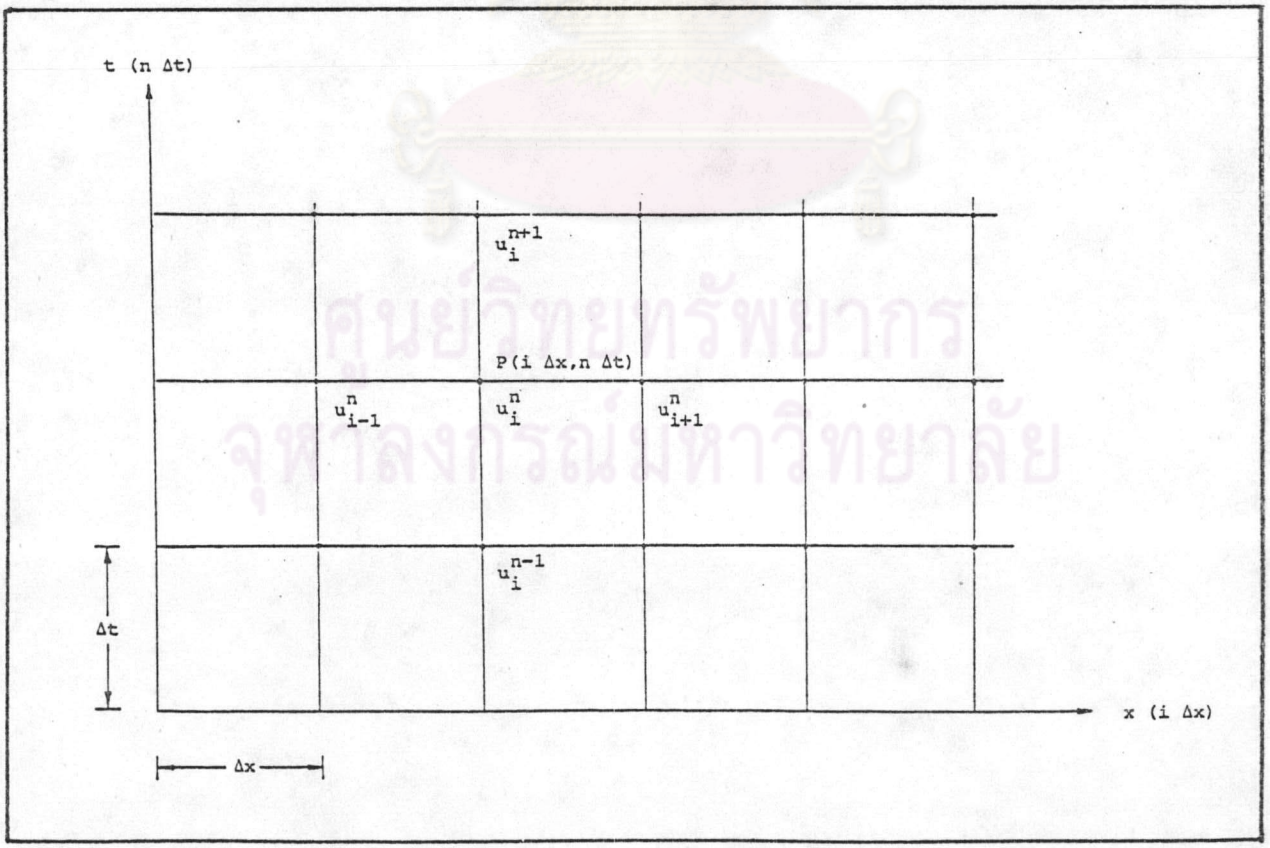
$$x = i * \Delta x$$

$$t = n * \Delta t$$

เมื่อ i และ n เป็นเลขจำนวนเต็ม



รูป 3-1 การประมาณค่า derivative แบบต่าง



รูป 3-2 การคำนวณค่า derivative เมื่อมีตัวแปร 2 ตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กำหนดค่าของ u ที่จุด P โดย $u_p = u(i\,\Delta x, n\,\Delta t) = u_i^n$

จากสมการ 2-4 สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{(\Delta x)^2} \quad \text{..... (3-8)}$$

ทำนองเดียวกัน

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{u_i^{n+1} - 2u_i^n + u_i^{n-1}}{(\Delta t)^2} \quad \text{..... (3-9)}$$

ด้วยวิธี forward-difference สามารถประมาณค่า $\partial u/\partial t$ ที่จุด P ได้ดังนี้

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t} \quad \text{..... (3-10)}$$

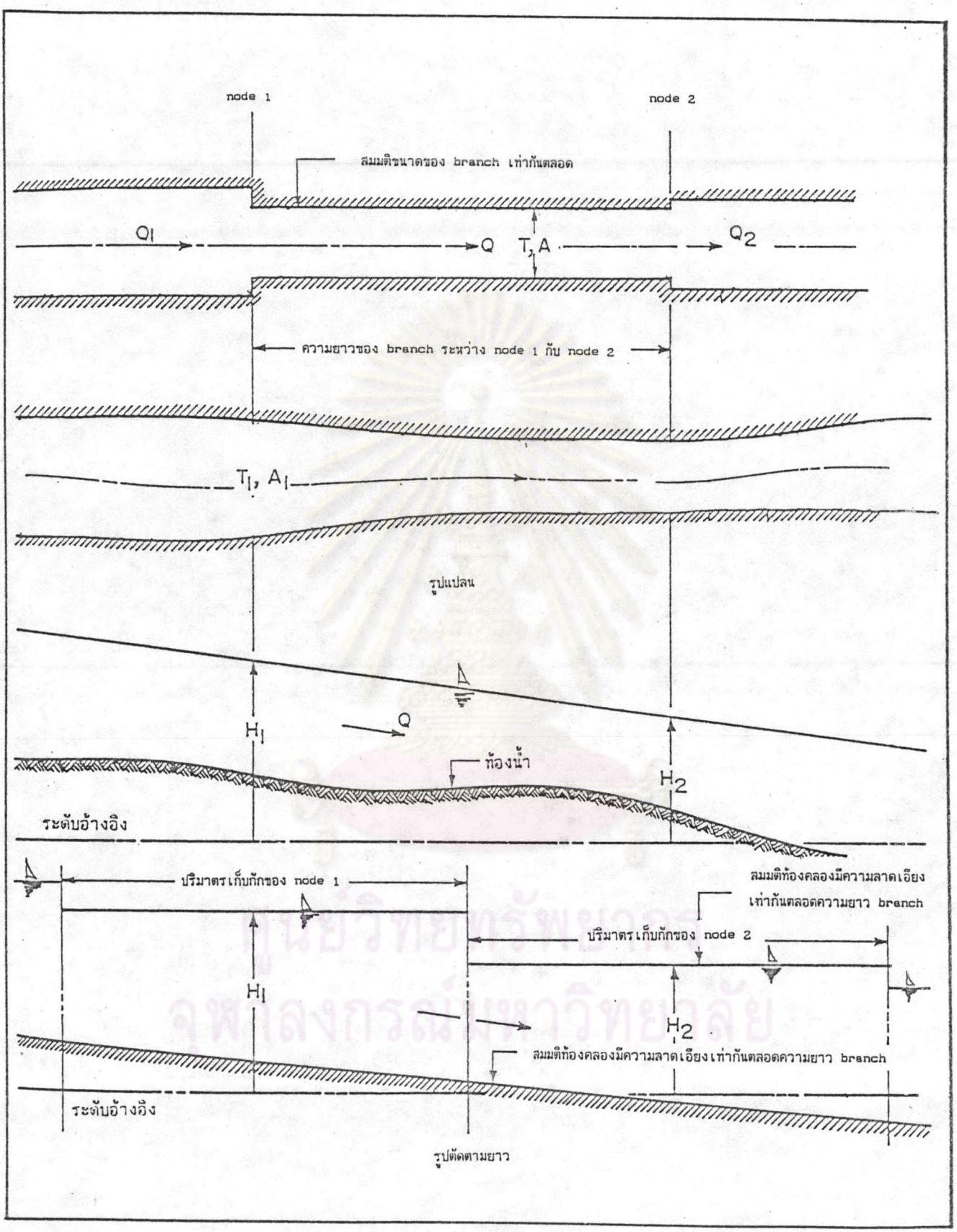
3.3 เทคนิคการจำลองโดยวิธี Node and Branch

วิธีการนี้พัฒนาขึ้นโดย Delft Hydraulic Lab. มีความเหมาะสมกับทางน้ำแบบโครงข่าย (network) ทางน้ำถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ที่จุดแบ่งจะคิดเป็น storage tank เรียกว่า node และทางน้ำที่เชื่อมต่อระหว่าง node เรียกว่า branch โดยคุณสมบัติทางชลศาสตร์ถูกสมมติว่าเหมือนกันตลอด ผลของการเก็บกัก (storage) และการส่งผ่านมวล (mass transfer) จำลองไว้ที่ node ส่วนผลของแรงเสียดทานทางชลศาสตร์ (hydraulic frictional) และความเฉื่อย (inertial effects) จำลองไว้ที่ branch รูป 3-3 แสดงการจำลองโดยวิธี node and branch ส่วนรูป 3-4 แสดงระดับน้ำและอัตราไหลที่ node และ branch

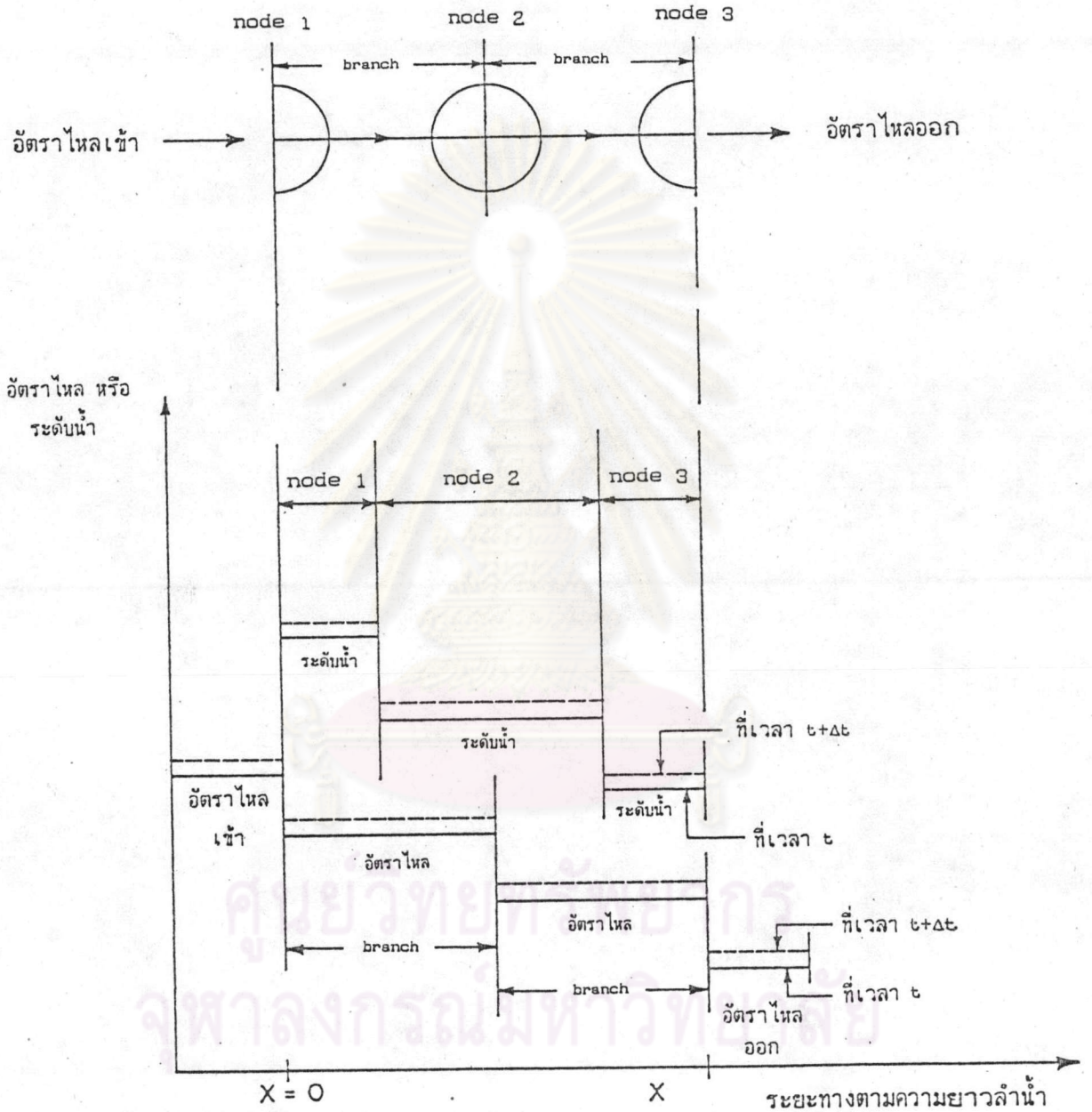
สมมติฐานของการจำลองวิธี node and branch สรุปได้ดังนี้

1) คำนวณระดับน้ำที่ node และคำนวณอัตราไหลที่ branch
2) การคำนวณปริมาตรเก็บกัก (storage) ของ node ถือว่าระดับน้ำอยู่ในแนวราบ
3) ปริมาตรเก็บกักของแต่ละ node ครอบคลุมกึ่งแนวถึงกลางของทุก branch ที่เชื่อมต่อกับ node
4) อัตราไหลที่กึ่งกลางของ branch ที่เชื่อมต่อกับ node จะคิดเป็นอัตราไหลเข้าหรือออกจาก storage ของ node นั้น

จากเทคนิคบางประการของวิธี node and branch ช่วยให้สามารถทำการแบ่งสมการพื้นฐาน (fundamental equation) ต่าง ๆ ดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งมีลักษณะต่อเนื่อง (continuous) ออกเป็นช่วง ๆ (discretization) เป็นสมการ finite-difference ดังจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อต่อไป



รูป 3-3 เทคนิคการจำลองวิธี node and branch



รูป 3-4 สมมติฐานในการแทนค่าระดับน้ำและอัตราไหล

3.3.1 สมการ finite-difference สำหรับสมการต่อเนื่อง

สมการต่อเนื่อง $$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q_\ell = 0$$

จากสมการต่อเนื่อง สามารถทำการ discretization ได้ดังสมการ 3-11

$$F \frac{dH}{dt} = \Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out} + Q_\ell \quad \text{..... (3-11)}$$

เมื่อ F = พื้นที่ผิวน้ำเปิดของ node, ตร.ม.

ΣQ_{in} = ผลรวมของอัตราไหลที่ไหลเข้า node, ลบ.ม./ว.

ΣQ_{out} = ผลรวมของอัตราไหลที่ไหลออกจาก node, ลบ.ม./ว.

Q_ℓ = อัตราไหลด้านข้างที่ไหลเข้าหรือออกจาก node, ลบ.ม./ว. ซึ่งคำนวณได้จาก q_ℓ คูณกับความยาวของ branch

การคำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามเวลา คำนวณโดยค่า derivative ของระดับน้ำที่เวลา t และ derivative ของระดับน้ำที่เวลา t+Δt ดังสมการ 3-12

$$\Delta H = \Delta t \left[(1 - \theta) \frac{dH}{dt}\Big|_t + \theta \frac{dH}{dt}\Big|_{t+\Delta t} \right] \quad \text{..... (3-12)}$$

เมื่อ ΔH แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในช่วงเวลา t ถึงเวลา t+Δt

θ = weighting coefficient $(0 \leq \theta \leq 1)$

= 0 (explicit scheme)

= 1 (fully implicit scheme)

= 0.5 (Crank - Nicolson implicit scheme)

= 0.55 (Vreudenhil scheme)

= 0.6667 (Garlerkin scheme)

จากสมการ 3-11 สามารถประมาณค่า derivative ที่เวลา t+Δt เมื่อคิด $F \approx F+\Delta F$ ได้ดังสมการ 3-13

$$F \frac{dH}{dt}\Big|_{t+\Delta t} = \Sigma Q_{in} + Q_\ell + \Sigma \Delta Q_{in} + \Delta Q_\ell - \Sigma Q_{out} - \Sigma \Delta Q_{out} \quad \text{..... (3-13)}$$

แทนค่าสมการ 3-12 ด้วยสมการ 3-11 และสมการ 3-13 ได้ดังนี้

$$\Delta H = \frac{\Delta t}{F} [(1 - \theta) (\Sigma Q_{in} + Q_\ell - \Sigma Q_{out}) + \theta (\Sigma Q_{in} + Q_\ell + \Sigma \Delta Q_{in} + \Delta Q_\ell - \Sigma Q_{out} - \Sigma \Delta Q_{out})]$$

$$\Delta H = \frac{\Delta t}{F} [(\Sigma Q_{in} + Q_\ell - \Sigma Q_{out}) + \theta (\Sigma \Delta Q_{in} + \Delta Q_\ell - \Sigma \Delta Q_{out})]$$

เขียนสมการต่อเนื่องสำหรับ node i ใด ๆ และจัดค่าที่เป็นตัวแปรไว้ด้านซ้าย ได้ดังสมการ 3-14

$$\frac{F}{\Delta t} \Delta H_i - \theta \Sigma \Delta Q_{in} + \theta \Sigma \Delta Q_{out} = \Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out} + Q_\ell + \theta \Delta Q_\ell \quad \text{.....} \quad (3-14)$$

3.3.2 <u>สมการ Finite-Difference สำหรับสมการโมเมนตัม</u>

สมการโมเมนตัม $\frac{dQ}{dt} + \frac{2Q}{A} \frac{dQ}{dx} - \frac{Q^2}{A^2} \frac{dA}{dx} + gA \frac{dH}{dx} + \frac{gn^2}{AR^{4/3}} Q |Q| = 0$

ค่า derivative แต่ละเทอมที่เวลา t เปลี่ยนได้ดังนี้

$$\frac{dA}{dx} = \frac{A_2 - A_1}{L} = \frac{T}{L} (H_2 - H_1) - \frac{T}{L} (z_2 - z_1)$$

$$\frac{dH}{dx} = \frac{H_2 - H_1}{L}$$

$$\frac{dQ}{dx} = -\frac{dA}{dt} = -\frac{T}{2} \frac{d}{dt} (H_1 + H_2) = -\frac{T}{2} [(\frac{\Sigma Q_{in} - Q_{out}}{F})_1 + (\frac{\Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out}}{F})_2]$$

เมื่อ subscript 1 หมายถึง node ต้นน้ำของ branch ที่พิจารณา

subscript 2 หมายถึง node ท้ายน้ำของ branch ที่พิจารณา

แทนค่า derivative แต่ละเทอมในสมการโมเมนตัม

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{gA}{L} \frac{QLT}{gA^2} [(\frac{\Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out}}{F})_1 + (\frac{\Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out}}{F})_2]$$

$$- (1 - \frac{Q^2 T}{gA^3}) (H_2 - H_1) - \frac{Q^2 T}{gA^3} (z_2 - z_1) - \frac{n^2 L}{A^2 R^{4/3}} Q |Q| \quad \text{.....} \quad (3-15)$$

การคำนวณการเปลี่ยนแปลงอัตราไหลตามเวลาคำนวณโดยค่า derivative ของอัตราไหลที่เวลา t และค่า derivative ของอัตราไหลที่เวลา t+Δt ดังสมการ (3-16)

$$\Delta Q = \Delta t [(1 - \theta) \frac{dQ}{dt} \Big|_t + \theta \frac{dQ}{dt} \Big|_{t+\Delta t}] \quad \text{.....} \quad (3-16)$$

เมื่อ ΔQ แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราไหลในช่วงเวลา t ถึงเวลา t+Δt

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากสมการ 3-15 สามารถประมาณค่า derivative ที่เวลา t+Δt ดังนี้

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{t+\Delta t} = \frac{gA}{L}\left[(Q+\Delta Q)\frac{LT}{gA^2}\left[\left(\frac{\Sigma Q_{in}-\Sigma Q_{out}}{F}\right)_1+\left(\frac{\Sigma \Delta Q_{in}-\Sigma \Delta Q_{out}}{F}\right)_1+\left(\frac{\Sigma Q_{in}-\Sigma Q_{out}}{F}\right)_2+\left(\frac{\Sigma \Delta Q_{in}-\Sigma \Delta Q_{out}}{F}\right)_2\right]\right.$$

$$\left.-\left(1-(Q+\Delta Q)^2\frac{T}{gA^3}\right)(H_2+\Delta H_2-H_1-\Delta H_1)-(Q+\Delta Q)^2\frac{T}{gA^3}(Z_2-Z_1)-\frac{n^2L}{A^2R^{4/3}}(Q+\Delta Q)|Q+\Delta Q|\right]$$

$$=\frac{gA}{L}\left[\frac{QLT}{gA^2}\left[\left(\frac{\Sigma Q_{in}-\Sigma Q_{out}}{F}\right)_1+\left(\frac{\Sigma Q_{in}-\Sigma Q_{out}}{F}\right)_2\right]+\frac{QLT}{gA^2}\left[\left(\frac{\Sigma \Delta Q_{in}-\Sigma \Delta Q_{out}}{F}\right)_1+\left(\frac{\Sigma \Delta Q_{in}-\Sigma \Delta Q_{out}}{F}\right)_2\right]\right.$$

$$+\frac{\Delta Q\,LT}{gA^2}\left[\left(\frac{\Sigma Q_{in}-\Sigma Q_{out}}{F}\right)_1+\left(\frac{\Sigma Q_{in}-\Sigma Q_{out}}{F}\right)_2\right]-\left(1-\frac{Q^2T}{gA^3}\right)(H_2-H_1)-\left(1-\frac{Q^2T}{gA^3}\right)(\Delta H_2-\Delta H_1)$$

$$+\frac{2QT}{gA^3}\Delta Q\,(H_2-H_1)+\frac{2QT}{gA^3}\Delta Q\,(\Delta H_2-\Delta H_1)-\frac{Q^2T}{gA^3}(Z_2-Z_1)-\frac{2QT}{gA^3}\Delta Q\,(Z_2-Z_1)-\frac{T}{gA^3}(\Delta Q)^2(Z_2-Z_1)$$

$$\left.-\frac{n^2L}{A^2R^{4/3}}Q|Q|-\frac{n^2L}{A^2R^{4/3}}2|Q|\Delta Q-\frac{n^2L}{A^2R^{4/3}}\Delta Q|\Delta Q|\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3\text{-}17)$$

แทนค่าสมการ 3-16 ด้วยสมการ 3-15, 3-17

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t}=\frac{gA}{L}\left[\frac{QLT}{gA^2}\left[\left(\frac{\Sigma Q_{in}-\Sigma Q_{out}}{F}\right)_1+\left(\frac{\Sigma Q_{in}-\Sigma Q_{out}}{F}\right)_2\right]-\left(1-\frac{Q^2T}{gA^3}\right)(H_2-H_1)-\frac{Q^2T}{gA^3}(Z_2-Z_1)-\frac{n^2L}{A^2R^{4/3}}Q|Q|\right]$$

$$+\theta\frac{gA}{L}\left[\frac{QLT}{gA^2}\left[\left(\frac{\Sigma \Delta Q_{in}-\Sigma \Delta Q_{out}}{F}\right)_1+\left(\frac{\Sigma \Delta Q_{in}-\Sigma \Delta Q_{out}}{F}\right)_2\right]+\Delta Q\frac{LT}{gA^2}\left[\left(\frac{\Sigma Q_{in}-\Sigma Q_{out}}{F}\right)_1+\left(\frac{\Sigma Q_{in}-\Sigma Q_{out}}{F}\right)_2\right]\right.$$

$$\left.-\left(1-\frac{Q^2T}{gA^3}\right)(\Delta H_2-\Delta H_1)+\frac{2QT}{gA^3}\Delta Q\,(H_2-H_1)-\frac{2QT}{gA^3}\Delta Q\,(Z_2-Z_1)-\frac{n^2L}{A^2R^{4/3}}2|Q|\Delta Q\right]$$

$$\Delta H_1 \left(\frac{\theta gA}{L}\left(1 - \frac{Q^2T}{gA^3}\right)\right) + \Delta H_2 \left(-\frac{\theta gA}{L}\left(1 - \frac{Q^2T}{gA^3}\right)\right) + \Delta Q\left[\frac{\theta LT}{gA^2}\frac{g\Delta}{L}\left[\left(\frac{\Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out}}{F}\right)_1 + \left(\frac{\Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out}}{F}\right)_2\right]\right.$$

$$\left. + \frac{2\theta QT}{LA^2}(H_2 - H_1) - \frac{2\theta QT}{LA^2}(Z_2 - Z_1) - \frac{2n^2g}{AR^{4/3}}|Q| - \frac{1}{\Delta t}\right]$$

$$+ \left(\frac{\theta QT}{AF}\Sigma \Delta Q_{in}\right)_1 - \left(\frac{\theta QT}{AF}\Sigma \Delta Q_{out}\right)_1 + \left(\frac{\theta QT}{AF}\Sigma \Delta Q_{in}\right)_2 - \left(\frac{\theta QT}{AF}\Sigma \Delta Q_{out}\right)_2$$

$$= -\frac{gA}{L}\left[\frac{QLT}{gA^2}\left[\left(\frac{\Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out}}{F}\right)_1 + \left(\frac{\Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out}}{F}\right)_2\right] - \left(1 - \frac{Q^2T}{gA^3}\right)(H_2 - H_1) - \frac{Q^2T}{gA^3}(Z_2 - Z_1) - \frac{n^2L}{A^2R^{4/3}} Q|Q|\right]$$

$$\Delta H_1 \alpha_i + \Delta H_2 (-\alpha_i) + \Delta Q_i \beta_i + \left(\frac{\theta QT}{AF}\Sigma \Delta Q_{in}\right)_1 - \left(\frac{\theta QT}{AF}\Sigma \Delta Q_{out}\right)_2 = \gamma_i \qquad \text{..... (3-18)}$$

เมื่อ $\alpha_i = \frac{\theta gA}{L}\left(1 - \frac{Q^2T}{gA^3}\right)$

$$\beta_i = \frac{\theta T}{A}\left[\left(\frac{\Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out} - Q_i}{F}\right)_1 + \left(\frac{\Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out} + Q_i}{F}\right)_2\right] + \frac{2\theta QT}{LA^2}\left((H_2 - H_1) - (Z_2 - Z_1)\right)$$

$$- \frac{2\theta g}{AR^{4/3}} n^2 |Q| - \frac{1}{\Delta t}$$

$$\gamma_i = -\frac{gA}{L}\left[\frac{QLT}{gA^2}\left(\frac{\Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out}}{F}\right)_1 + \left(\frac{\Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out}}{F}\right)_2 - \left(1 - \frac{Q^2T}{gA^3}\right)(H_2 - H_1^*)\right.$$

$$\left. - \frac{Q^2T}{gA^3}(Z_2 - Z_1) - \frac{n^2L}{A^2R^{4/3}} Q|Q|\right]$$

สมการ 3-18 คือ สมการ finite-difference ของสมการ momentum สำหรับ branch

3.3.3 สมการ finite-difference สำหรับคุณภาพน้ำ

3.3.3.1 สมการ BOD

สมการ Mass Transport สำหรับ BOD ที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 (สมการ 2-17) และคำนวณค่า differential เช่นเดียวกับสมการ 3-12 สามารถเขียนในรูปสมการ finite-difference ได้ดังนี้

$$L_i^{n+1} [V_i^{n+1} + \Delta t\, \phi_2 \Sigma Q_{out}^{n+1} + \Delta t\, \phi_1 \Sigma (\frac{AD_{xb}}{\ell})^{n+1}] + [L_c^{n+1} [- \Delta t\, \phi_2 Q_{in}^{n+1} - \Delta t\, \phi_1 (\frac{AD_{xb}}{\ell})^{n+1}]]$$

$$= (L_i V_i)^n - \Delta t\, (1 - \phi_2) \Sigma (Q L_i)_{out}^n + \Delta t\, (1 - \phi_2) \Sigma (Q L_c)_{in}^n + \Delta t\, (1 - \phi_1) \Sigma (AD_{xb} \frac{L_c - L_i}{\ell})^n$$

$$- \Delta t\, K_d V_i^n L_i^n + 0.5\, \Delta t\, (Q_{\ell i} L_{\ell i})^{n+1} + 0.5\, \Delta t\, (Q_{\ell i} L_{\ell i})^n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3\text{-}19)$$

เมื่อ L = ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีทั้งหมด (Ultimate BOD), มก./ล.

L_ℓ = ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีทั้งหมดจากน้ำทิ้งชุมชน, มก./ล.

V = ปริมาตรเก็บกักน้ำ, ลบ.ม.

Δt = ช่วงเวลา (timestep), ว.

Q = อัตราไหลของน้ำเข้าหรือออกจาก node, ลบ.ม./ว.

Q_ℓ = อัตราไหลของน้ำทิ้งชุมชนเข้า node, ลบ.ม./ว.

A = พื้นที่หน้าตัดการไหล, ตร.ม.

D_{xx} = สัมประสิทธิ์การแพร่สำหรับ BOD, ตร.ม./ว.

ℓ = ความยาวของ branch, ม.

K_d = สัมประสิทธิ์การลดลงของ BOD (deoxygenation coefficient), ว.$^{-1}$

Σ = ค่าผลรวมของค่าทุกค่า branch หรือทุก node ที่เชื่อมต่อกับ node i

ϕ_1 = ค่า weighting coefficient ของการแพร่

ϕ_2 = ค่า weighting coefficient ของการพา

subscript i = node ที่ i

subscript c = branch ที่เชื่อมต่อกับ node i

subscript in = ไหลเข้า node i

subscript out = ไหลออกจาก node i

subscript n = ค่าที่เวลา t

subscript n+1 = ค่าที่เวลา t+Δt

3.3.3.2 สมการ DO

ในการศึกษานี้ค่า DO มีค่าน้อย หรืออาจเป็นศูนย์ ดังนั้นเพื่อเป็นการลด round-off error จึงเปลี่ยนการคำนวณ DO เป็นการคำนวณความขาดแคลนออกซิเจน (dissolved oxygen deficit, DOD) แทน DOD คำนวณได้จากสมการ 3-20 และสมการ finite-difference ของ DOD ได้จากสมการ 2-15 โดยแทน DO ด้วย DOD และคำนวณค่า differential เช่นเดียวกับสมการ 3-12 ดังสมการ 3-21

$$DOD = DO_s - DO \quad \text{..... (3-20)}$$

เมื่อ DOD = ความขาดแคลนออกซิเจน, มก./ล.

DO_s = ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจน (saturated dissolved oxygen concentration)

DO = ความเข้มข้นของออกซิเจน (dissolved oxygen concentration)

$$DOD_i^{n+1} [V_i^{n+1} + \Delta t \phi_2 \Sigma Q_{out}^{n+1} + \Delta t \phi_1 \Sigma (\frac{AD_{xd}}{\ell})^{n+1} + 0.5 \Delta t K_a V_i^{n+1}]$$

$$+ DOD_c^{n+1} [- \Delta t \phi_2 Q_{in}^{n+1} - \Delta t \phi_1 (\frac{AD_{xd}}{\ell})^{n+1}]$$

$$= (DOD_i V_i)^n - \Delta t (1 - \phi_2) \Sigma (Q DOD_i)_{out}^n + \Delta t (1 - \phi_2) \Sigma (Q DOD_c)_{in}^n$$

$$+ \Delta t (1 - \phi_1) \Sigma (\frac{AD_{xd}(DOD_c - DOD_i)}{\ell})^n + 0.5 \Delta t K_d (V_i L_i)^{n+1} + 0.5 \Delta t K_d (V_i L_i)^n$$

$$+ 0.5 \Delta t (Q_{\ell i} DOD_{\ell i})^{n+1} + 0.5 \Delta t (Q_{\ell i} DOD_{\ell i})^n - 0.5 \Delta t K_a (V_i DOD_i)^n \quad \text{..... (3-21)}$$

เมื่อ DOD_ℓ = ความขาดแคลนออกซิเจนของน้ำทิ้งชุมชน, มก./ล.

D_{xD} = สัมประสิทธิ์การแพร่ของ DOD, ตร.ม./ว.

K_a = สัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจน (reaeration coefficient), ว.$^{-1}$

3.3.4 สมการ finite-difference สำหรับอาคารบังคับน้ำ

สมการ finite-difference ในหัวข้อ 3.3.1 ถึง 3.3.3 เป็นสมการหลักสำหรับการจำลองการไหลทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ แต่ในสภาพจริงระบบคลองอาจประกอบด้วยอาคารบังคับน้ำต่าง ๆ เช่น สถานีสูบน้ำ ประตูระบายน้ำ ฝาย (weir) ท่อลอด (culvert)

เป็นต้น เมื่อมีอาคารบังคับน้ำ จะทำให้สภาพการไหลเปลี่ยนไป ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพ และขนาดของอาคารบังคับน้ำนั้น ในแบบจำลองแบบ node and branch สามารถประยุกต์ใช้กับอาคารบังคับน้ำได้อย่างสะดวก โดยใช้สมการ finite-difference ของอาคารบังคับน้ำ แทนในสมการ finite-difference ของสมการโมเมนตัม (สมการ 3-18) เท่านั้น ในแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้ ได้บรรจุส่วนที่จะจำลองสภาพสถานีสูบน้ำ และประตูระบายน้ำไว้แล้ว สำหรับอาคารบังคับน้ำอื่น ๆ สามารถที่จะเพิ่มเติมให้แบบจำลองได้อย่างง่ายดาย โดยวิธีการดังกล่าวข้างต้น สมการ finite-difference สำหรับสถานีสูบน้ำ และประตูระบายน้ำ จะแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไปตามลำดับ

3.3.4.1 <u>สมการสำหรับสถานีสูบน้ำ</u>

สถานีสูบน้ำมีลักษณะดังรูป 3-5 ปริมาณการสูบน้ำมีความสัมพันธ์กับ total head ดังรูป 3-6 เมื่อ total head อยู่ในช่วงไม่เกิน 3 เมตร ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถกำหนดให้เป็นเชิงเส้นได้ ดังนั้นจึงแสดงความสัมพันธ์ในรูปคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ 3-22 และเขียนเป็นสมการ finite- difference โดยแทนตัวแปร $Q = Q + \theta \Delta Q$, $H_1 = H_1 + \theta \Delta H_1$ และ $H_2 = H_2 + \theta \Delta H_2$ ได้ดังสมการ 3-23

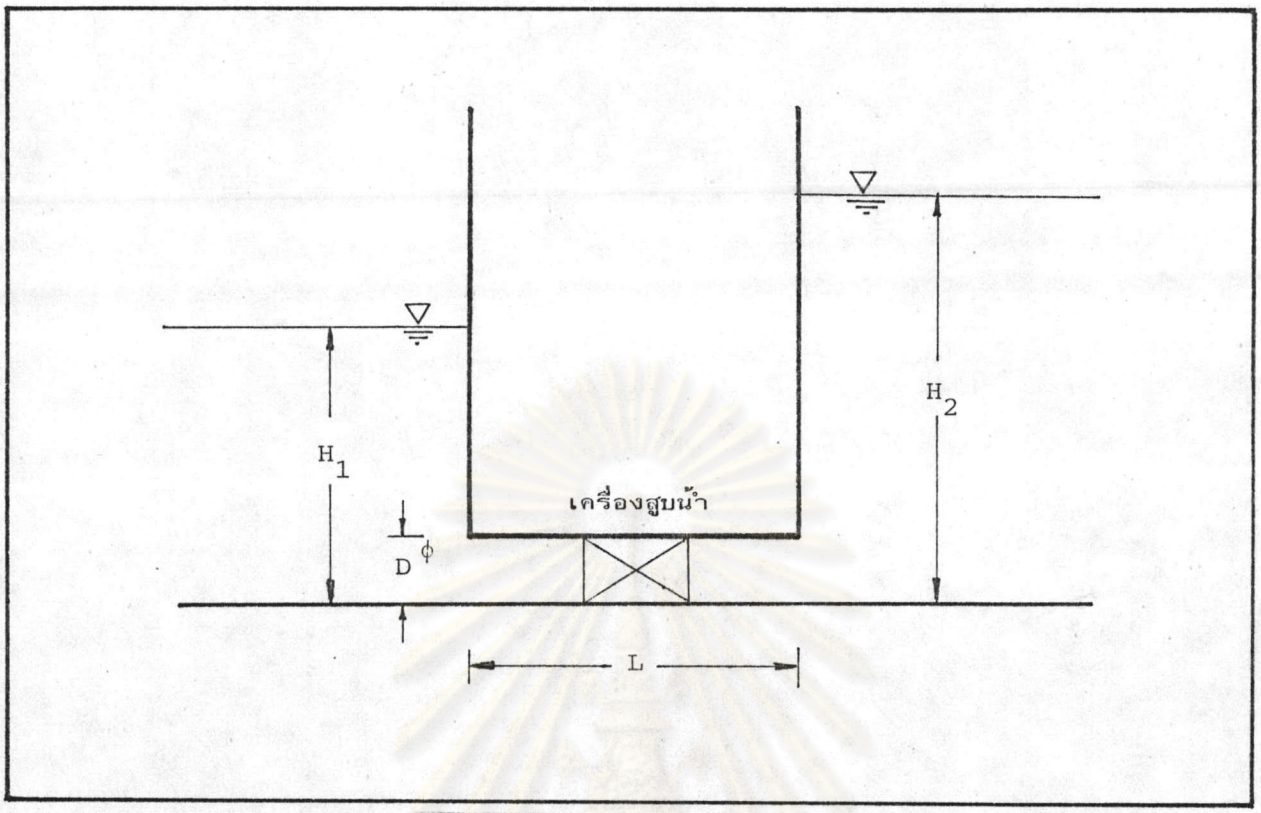
$$Q = PA + PB * H \quad \text{..... (3-22)}$$

$$\theta \Delta Q + \theta PB \Delta H_1 - \theta PB \Delta H_2 = -Q + PA + PB (H_2 - H_1 + h_f) \quad \text{..... (3-23)}$$

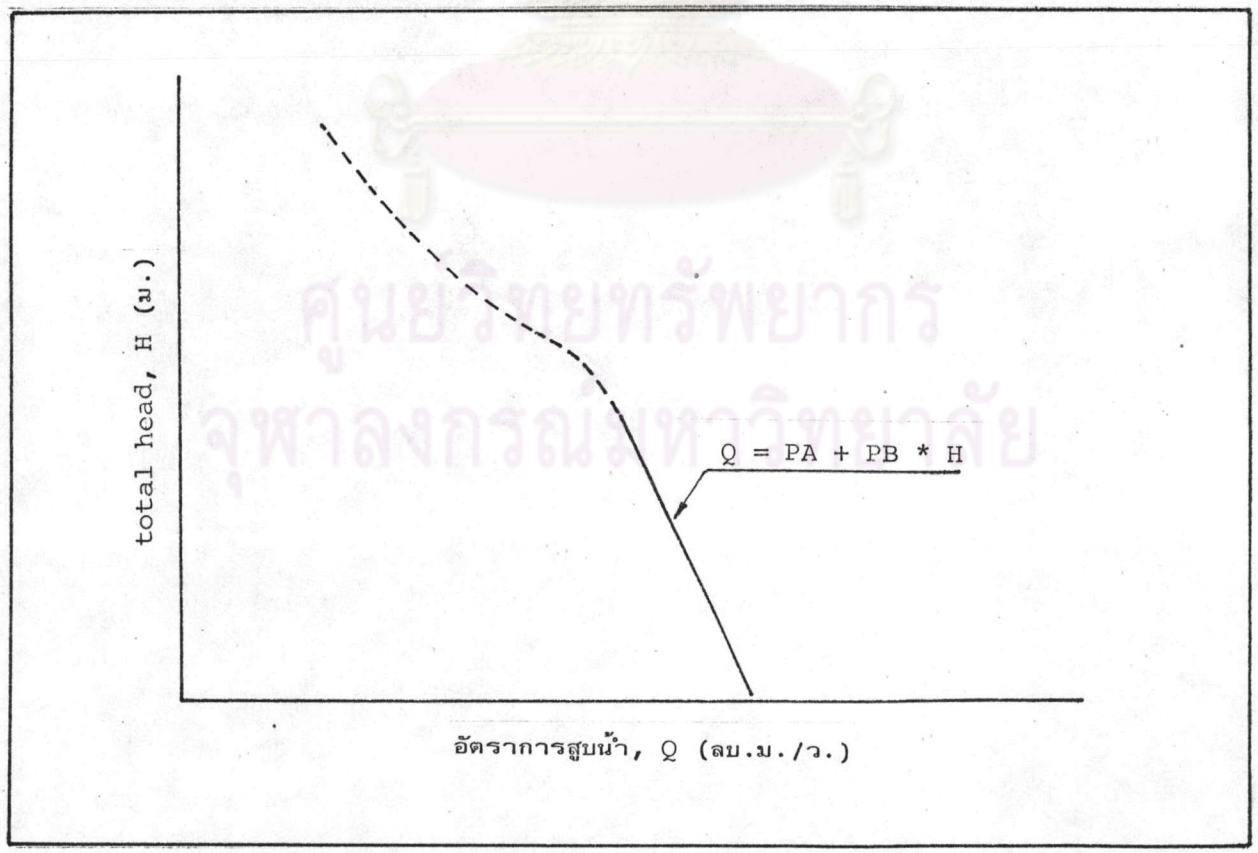
$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{U^2}{2g}$$

$$\lambda = 0.02 + \frac{1}{2000 D}$$

เมื่อ Q = อัตราไหล, ลบ.ม./ว.
PA = ค่าคงที่สำหรับเครื่องสูบน้ำ, ลบ.ม./ว.
PB = ค่าคงที่สำหรับเครื่องสูบน้ำ, ตร.ม./ว.
H = total head, ม.
H_1, H_2 = ระดับน้ำด้านต้นน้ำและท้ายน้ำ ตามลำดับ, ม.
h_f = ความสูญเสียพลังงานเนื่องจากความหยาบผิวท่อ, ม.
L = ความยาวของท่อ, ม.
D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ, ม.
U = ความเร็วกระแสน้ำในท่อ, ม/ว.
g = ความเร่งของโลก = 9.81 ม/ว^2



รูป 3-5 ลักษณะของสถานีสูบน้ำ



รูป 3-6 ความสัมพันธ์ของอัตราการสูบน้ำกับ total head

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

λ = ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความหยาบผิวท่อ

Δ = ปริมาณที่เปลี่ยนไปเมื่อเวลาผ่านไป Δt

θ = weighting coefficient

3.3.4.2 สมการสำหรับประตูระบายน้ำ

ประตูระบายน้ำมีลักษณะดังรูป 3-7 ปริมาณการระบายน้ำ มีความสัมพันธ์ดังสมการ 3-24 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนในรูปสมการ finite-difference ได้ โดยแทนค่า $Q = Q + \theta \Delta Q$, $H_1 = H_1 + \theta \Delta H_1$ และ $H_2 = H_2 + \theta \Delta H_2$ ดังสมการ 3-25 ใช้สำหรับ branch ที่เป็นประตูระบายน้ำ

$$Q = C_d b h_2 \sqrt{2g(H_1 - H_2)} \quad \text{..... (3-24)}$$

$$(\theta h_2^2)\Delta H_1 + (2\theta H_1 H_2 - 3\theta H_2^2)\Delta H_2 + \left(\frac{-\theta |Q|}{g C_d^2 b^2}\right)\Delta Q = -\frac{Q}{2\theta} + H_2^3 - H_1 H_2^2 \quad \text{.. (3-25)}$$

เมื่อ b = ความกว้างของ ประตูระบายน้ำ

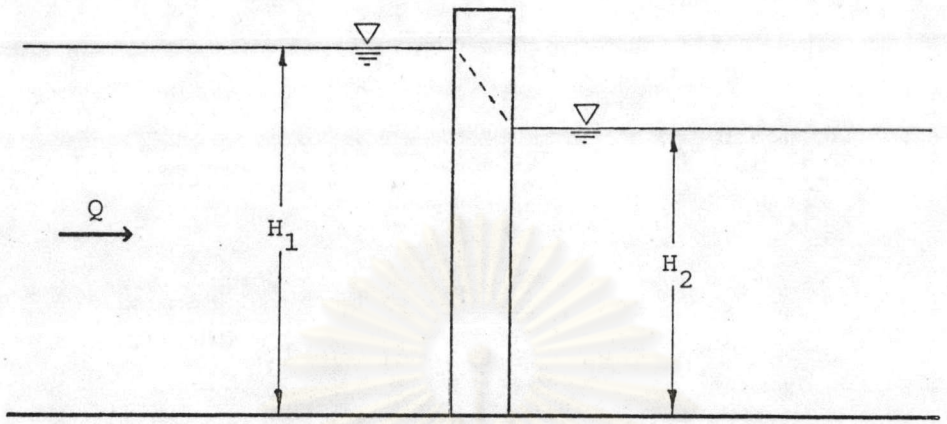
C_d = สัมประสิทธิ์การระบายน้ำของ ประตูระบายน้ำ (coefficient of discharge)

3.4 การแก้สมการ finite-difference

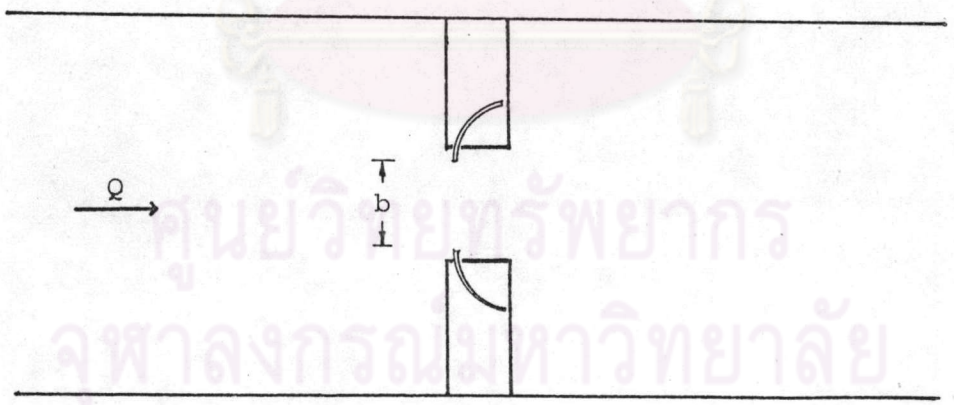
จากสมการ finite-difference ในหัวข้อ 3.3 เป็นสมการคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของระบบคลองได้ ดังที่กล่าวมาข้างต้นแล้วว่า finite-difference ที่ใช้เป็นชนิด implicit จึงไม่สามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงที่จุดต่าง ๆ โดยตรงได้ การคำนวณค่าที่ตำแหน่งใด ๆ จะเป็น function ของค่าที่ node และ branch ที่เวลา t และ t+Δt ด้วย ดังนั้น การคำนวณค่าต่าง ๆ ที่เวลาถัดไปจะต้องทำการแก้สมการเชิงเส้นพร้อมกัน (simultaneous linear equation) ตลอดลำน้ำ และคำนวณเช่นนี้เรื่อยไปจนสิ้นสุดระยะเวลาที่ต้องการ

3.4.1 การแก้สมการเชิงเส้นสำหรับสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนตัม

แทนค่าสมการ 3-14 สำหรับ n node และสมการ 3-18 หรือ 3-23 หรือ 3-25 (แล้วแต่กรณี) สำหรับ m branch จะมีรูปแบบทั่วไป ซึ่งมีตัวแปร ΔH_1 ถึง ΔH_n , ΔQ_1 ถึง ΔQ_m ดังนี้



รูปตัด



รูปแปลน

รูป 3-7 ลักษณะของประตูระบายน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$
\begin{array}{llllll}
C_{1,1} & H_1 + \cdots + C_{1,n} & H_n + C_{1,n+1} & Q_1 + \cdots + C_{1,n+m} & Q_m & = D_1 \\
\vdots & & & & \vdots & \vdots \\
C_{n,1} & H_1 + \cdots + C_{n,n} & H_n + C_{n+1,n+1} & Q_1 + \cdots + C_{n,n+m} & Q_m & = D_n \\
\hline
C_{n+1,1} & H_1 + \cdots + C_{n+1,n} & H_n + C_{n+1,n+1} & Q_1 + \cdots + C_{n+1,n+m} & Q_m & = D_{n+1} \\
\vdots & & & & \vdots & \vdots \\
C_{n+m,1} & H_1 + \cdots + C_{n+m,n} & H_n + C_{n+m,n+1} & Q_1 + \cdots + C_{n+m,n+m} & Q_m & = D_{n+m}
\end{array}
$$

หรือเขียนในรูปสมการ Matrix ดังนี้

$$[C]_{n+m \times n+m} \{X\}_{n+m \times 1} = \{D\}_{n+m \times 1}$$

$$\{X\}_{n+m \times 1} = [C]^{-1}_{n+m \times n+m} \{D\}_{n+m \times 1} \quad \cdots\cdots\cdots (3\text{-}26)$$

ดังนั้นในแต่ละช่วงเวลาสามารถจัดรูปได้ดังสมการ (3-25) และหาคำตอบจากการแก้สมการ simultaneous โดยขจัดตัวแบบเกาส์ (Guassian elimination method) ได้คำตอบเป็นการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ, ΔH และการเปลี่ยนแปลงของอัตราไหล, ΔQ ทุกตำแหน่งตลอดลำน้ำหลังจากเวลาผ่านไปหนึ่งช่วงเวลา, Δt

3.4.2 <u>การแก้สมการเชิงเส้นสำหรับสมการ BOD หรือ DOD</u>

แทนค่าสมการ (3-19) หรือ (3-21) ซึ่งเขียนในรูป Matrix สำหรับ n node ได้ดังนี้

$$[A]_{n \times n} \{Y\}_{n \times 1} = \{E\}_{n \times 1}$$

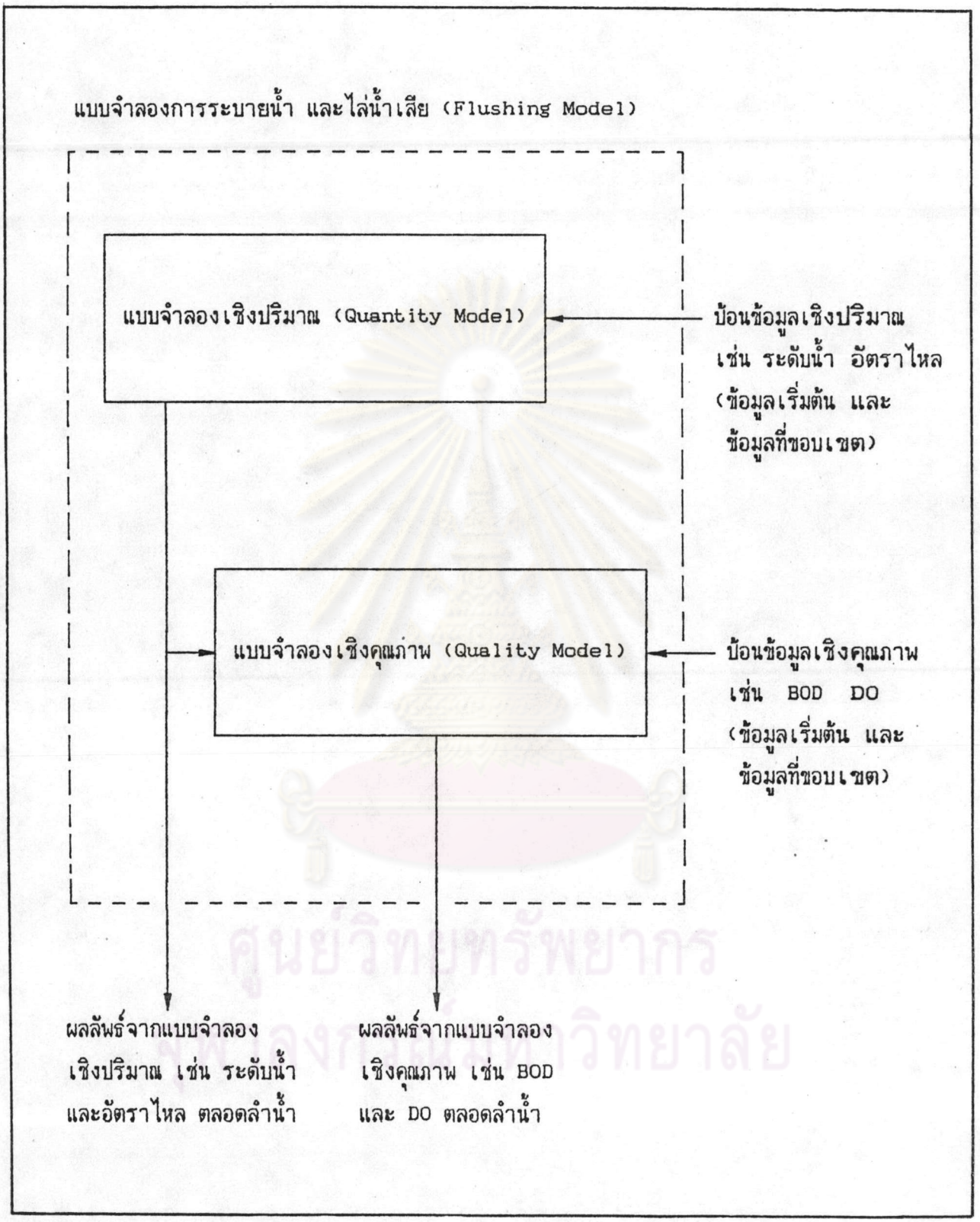
$$\{Y\}_{n \times 1} = [A]^{-1}_{n \times n} \{E\}_{n \times 1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3\text{-}27)$$

โดยที่ [A] และ {E} เป็นฟังชั่นของตัวแปรต่าง ๆ ที่ทราบค่าที่เวลา t จากสมการ 3-27 สามารถคำนวณคำตอบ {Y} ซึ่งเป็นค่า BOD หรือ DOD ทุกตำแหน่งตลอดลำน้ำ หลังจากเวลาผ่านไปหนึ่งช่วงเวลา, Δt โดยวิธีแก้สมการ simultaneous วิธีขจัดตัวแปรแบบเกาส์ (Gaussian elimination method) ค่า DO คำนวณได้จากค่า DOD ดังสมการ 3-20

3.5 โครงสร้างและขั้นตอนในการคำนวณ

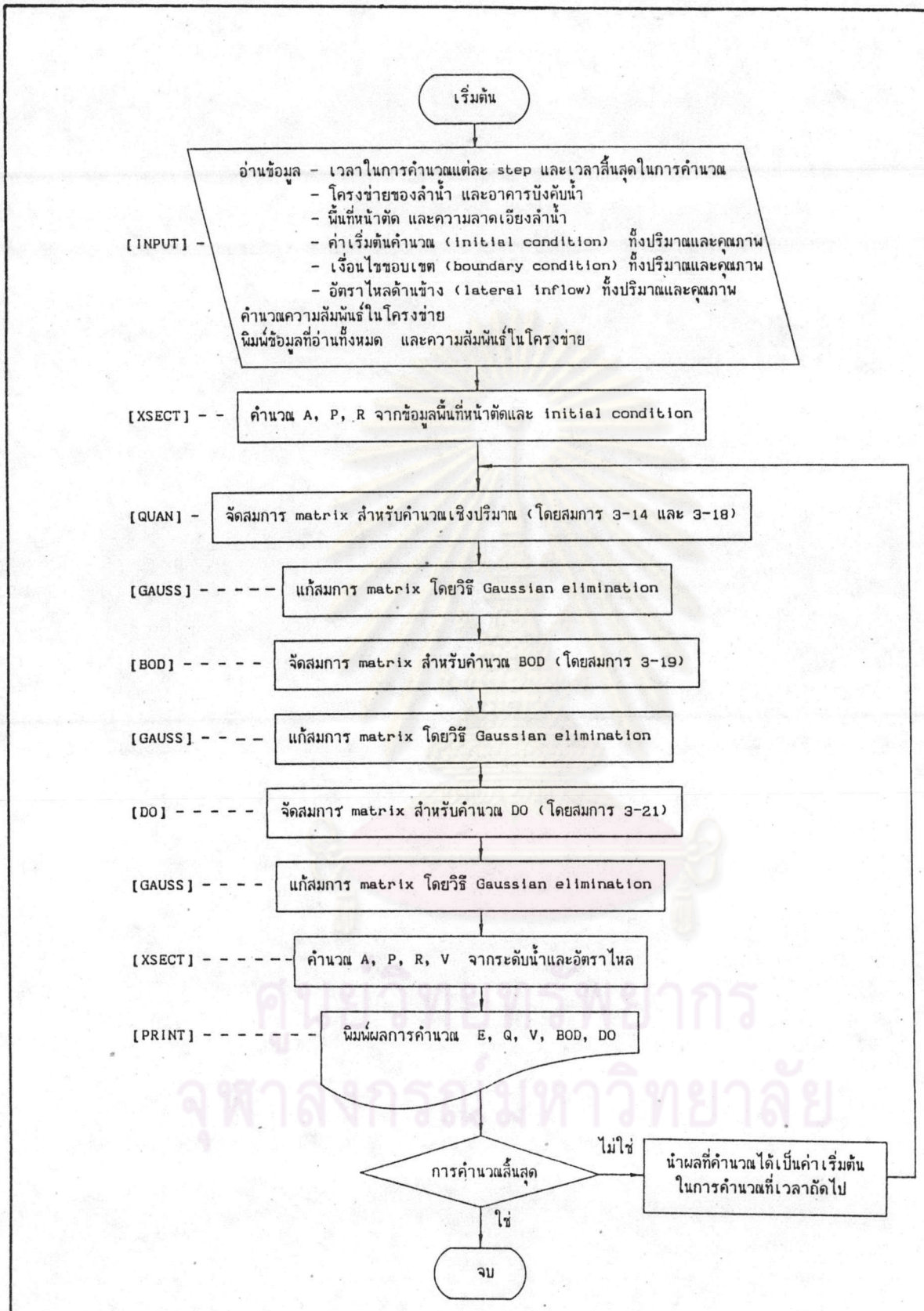
การนำแบบจำลองไปใช้งานควรเข้าใจโครงสร้างของแบบจำลอง และขั้นตอนในการคำนวณอย่างละเอียด เพื่อสามารถที่จะแก้ไขเพิ่มเติมการคำนวณให้เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ยิ่งขึ้น ดังได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่าแบบจำลองประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ แบบจำลองเชิงปริมาณ และแบบจำลองเชิงคุณภาพ ในส่วนของแบบจำลองเชิงปริมาณจะทำหน้าที่จำลองสภาพการไหล เช่น ระดับน้ำ อัตราไหล ความเร็วกระแสน้ำ เป็นต้น ได้ผลลัพธ์ตลอดลำน้ำที่เวลาใด ๆ ส่วนแบบจำลองเชิงคุณภาพ ทำหน้าที่จำลองคุณภาพน้ำ (ในที่นี้คือ BOD และ DO) โดยนำผลลัพธ์จากแบบจำลองเชิงปริมาณ มาคำนวณการเคลื่อนย้ายมวลสารที่ละลาย หรือแขวนลอยในลำน้ำ (ดูรูป 3-8) เมื่อแบ่งแบบจำลองออกตามหน้าที่การทำงาน จะสามารถแบ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ออกเป็นส่วน ๆ ประกอบด้วยโปรแกรมหลัก (main program) และโปรแกรมย่อย 7 โปรแกรม คือ INPUT XSECT QUAN BOD DO GAUSS และ PRINT โปรแกรมย่อยแต่ละส่วนจะแบ่งหน้าที่การคำนวณกันโดยถูกควบคุมด้วยโปรแกรมหลัก ซึ่งมีลำดับขั้นการคำนวณโดยละเอียดดังนี้ (ดูรูป 3-9 ถึงรูป 3-15)

1) เริ่มต้นที่โปรแกรมหลัก (main program) ทำการกำหนดค่าคงที่ต่าง ๆ และทำการเปิดแฟ้มข้อมูลหน่วยต่าง ๆ
2) โปรแกรมย่อย INPUT ทำการอ่านข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณทั้งหมด (รายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อการป้อนข้อมูล) คำนวณเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของโครงข่าย (network) ของคลอง จากนั้นจะพิมพ์ข้อมูลที่อ่านเข้าและความสัมพันธ์ของโครงข่ายทั้งหมดเพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องในการป้อนข้อมูล
3) โปรแกรมย่อย XSECT คำนวณค่าเริ่มต้นของปริมาตรเก็บกัก (storage) พื้นที่หน้าตัดการไหล เส้นขอบเปียก (wetted perimeter) และรัศมีชลศาสตร์ (hydraulic radius)
4) โปรแกรมย่อย QUAN ทำหน้าที่จัด matrix สำหรับคำนวณปริมาณ (สมการ 3-26) โดยใช้สมการ 3-14, 3-18, 3-23, และ 3-24
5) โปรแกรมย่อย GAUSS ทำการคำนวณคำตอบจาก matrix ในข้อ 4 คำตอบที่ได้เป็นการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ และอัตราไหล ทุกตำแหน่งตลอดคลองหลังจากเวลาผ่านไปหนึ่งช่วงเวลา
6) โปรแกรมย่อย BOD ทำหน้าที่จัด matrix สำหรับคำนวณค่า BOD โดยสมการ 3-19 ซึ่งมีรูปแบบดังสมการ 3-27
7) โปรแกรมย่อย GAUSS ทำการคำนวณคำตอบจากสมการ matrix ในข้อ 6 ได้คำตอบเป็นค่า BOD ทุกตำแหน่งตลอดคลอง

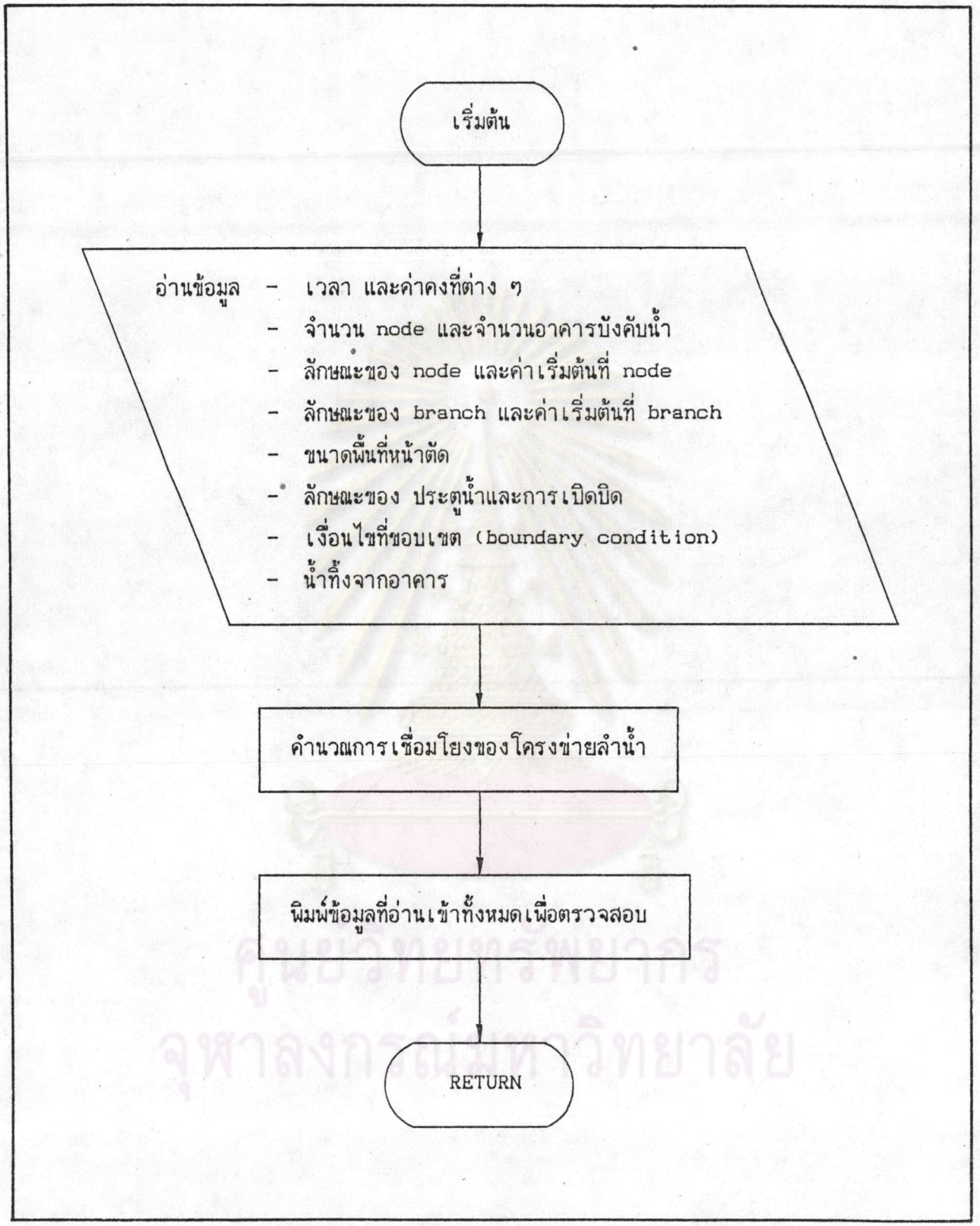


รูป 3-8 โครงสร้าง ข้อมูล และผลลัพธ์ของแบบจำลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

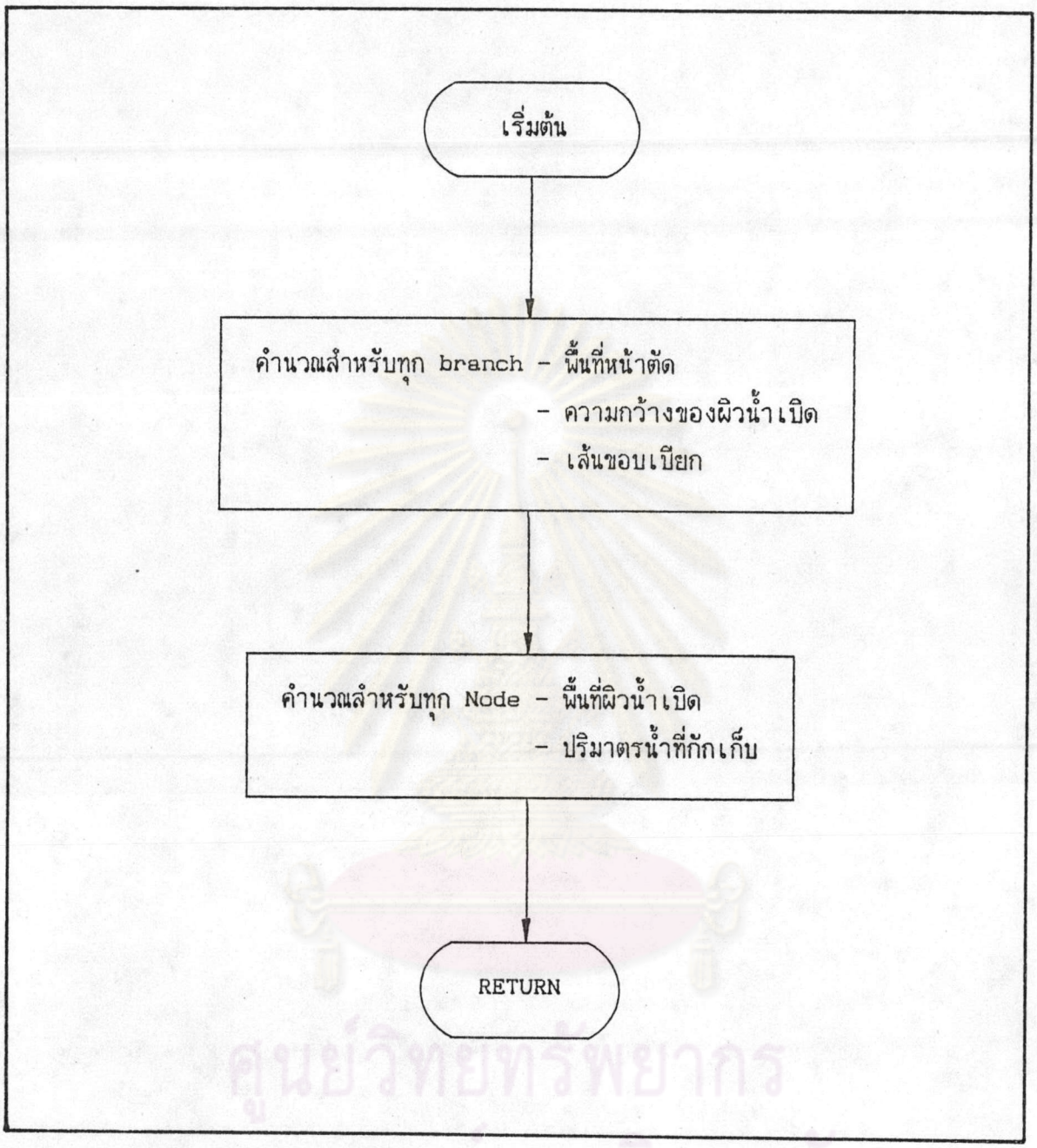


รูป 3-9 ผังการทำงานของโปรแกรมหลัก



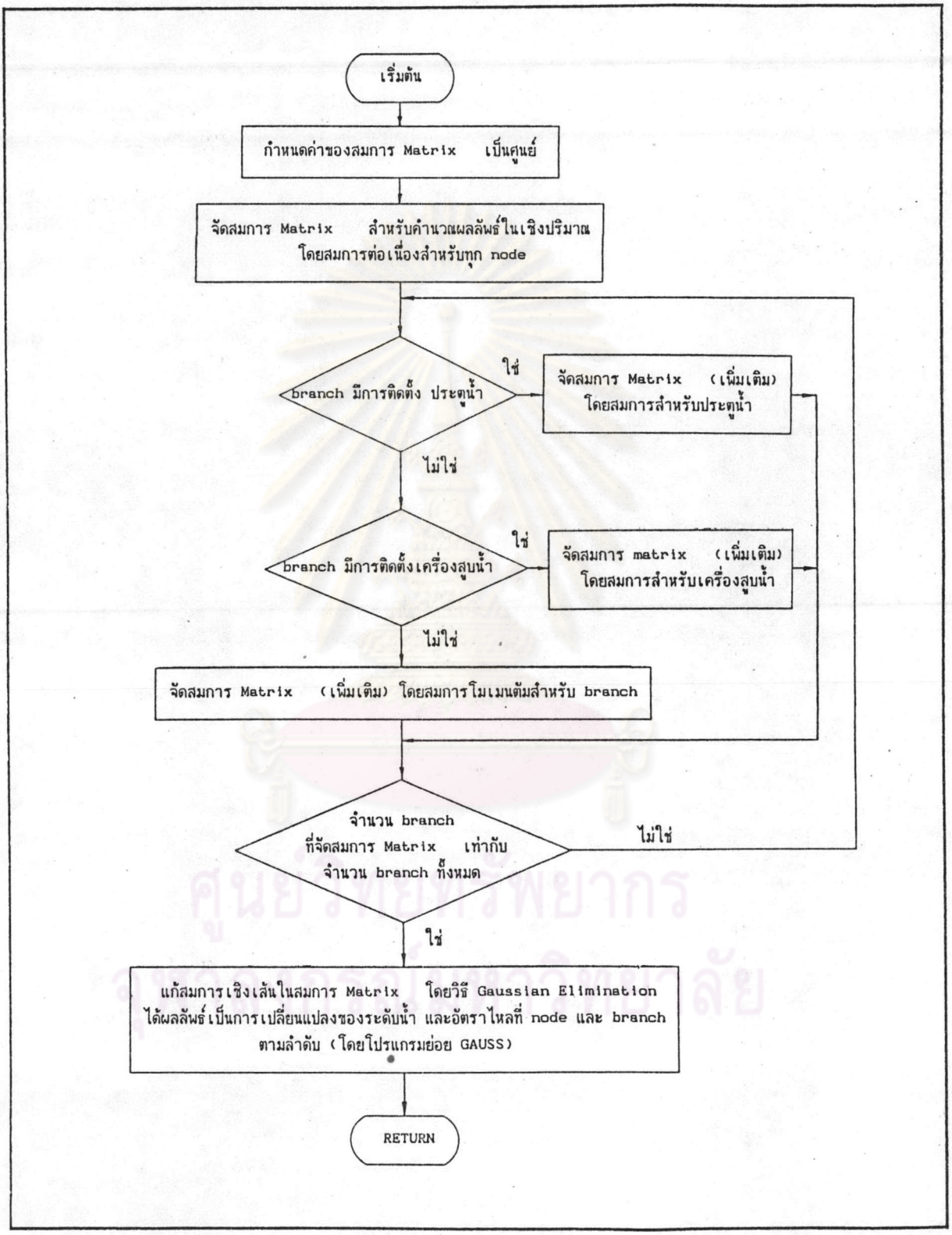
รูป 3-10 ผังการทำงานของโปรแกรมย่อย INPUT

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

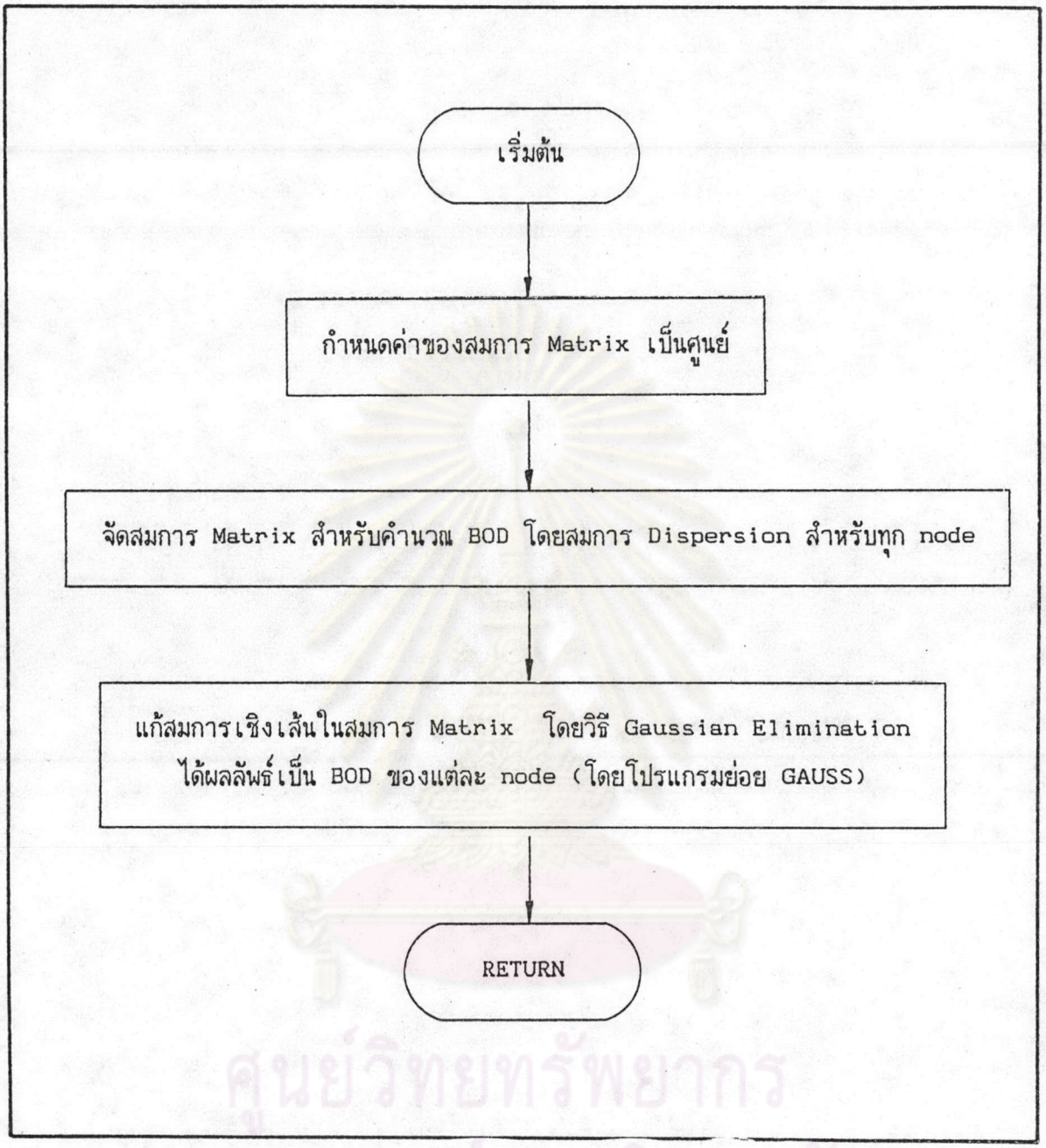


รูป 3-11 ผังการทำงานของโปรแกรมย่อย XSECT

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

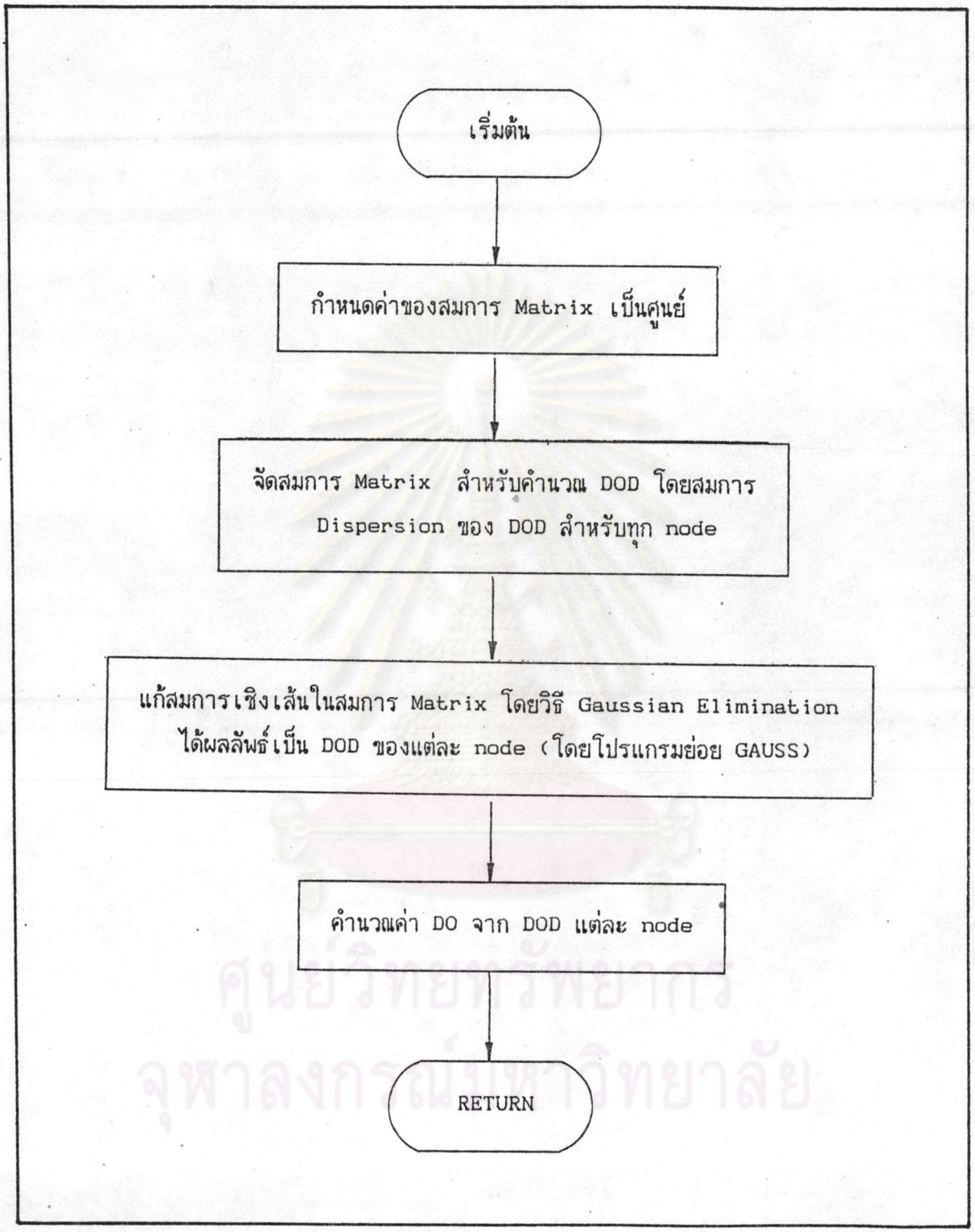


รูป 3-12 ผังการทำงานของโปรแกรมย่อย QUAN



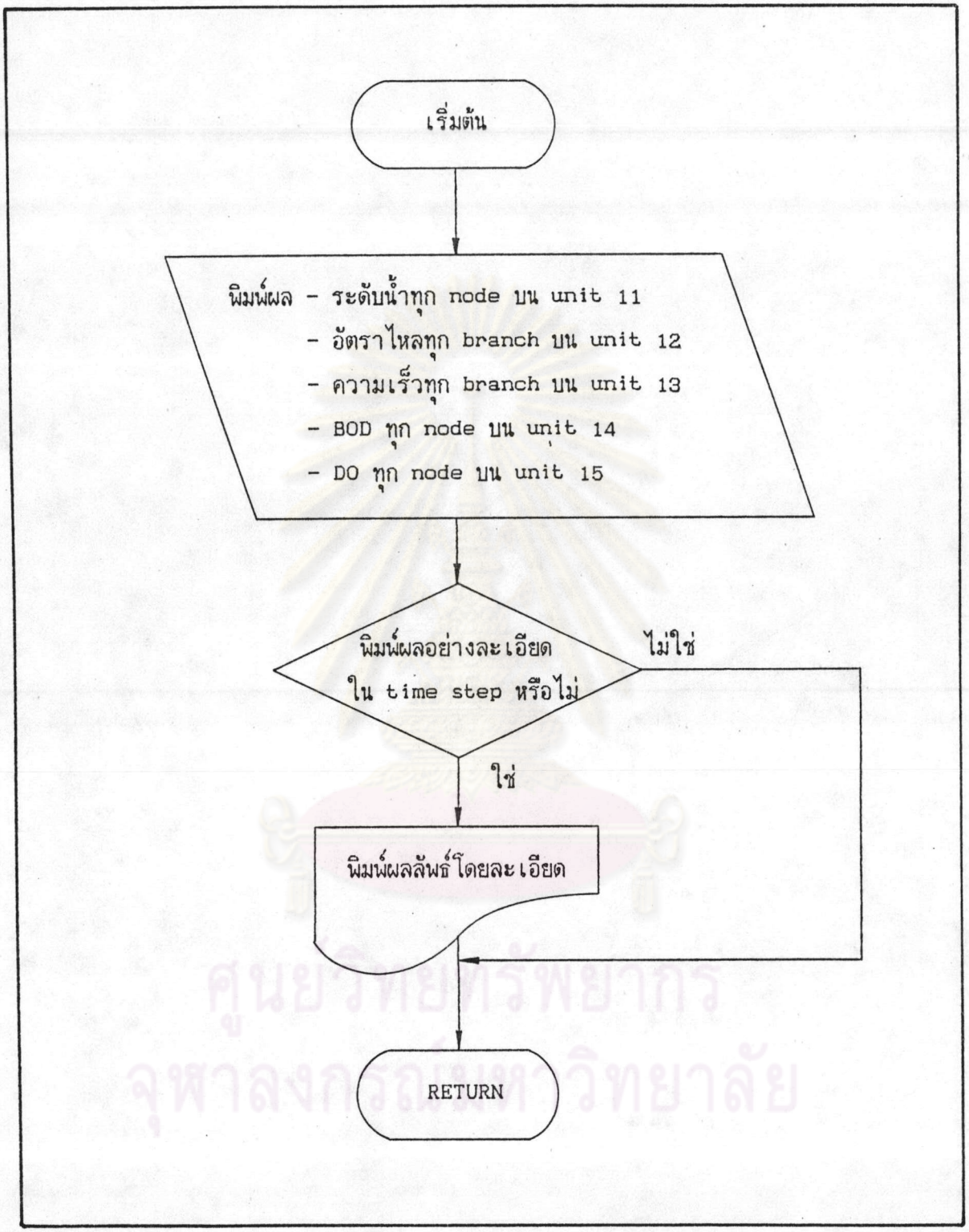
รูป 3-13 ผังการทำงานของโปรแกรมย่อย BOD

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 3-14 ผังการทำงานของโปรแกรมย่อย DO

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 3-15 ผังการทำงานของโปรแกรมย่อย PRINT

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8) โปรแกรมย่อย DO ทำหน้าที่จัดสมการ matrix สำหรับคำนวณค่า DO โดยสมการ 3-21 ซึ่งมีรูปแบบดังสมการ 3-27

9) โปรแกรมย่อย GAUSS คำนวณคำตอบจากสมการ matrix ในข้อ 8 ได้คำตอบเป็นค่า DO ทุกตำแหน่ง ตลอดคลอง

10) โปรแกรมย่อย XSECT คำนวณปริมาตรเก็บกัก พื้นที่หน้าตัดการไหล เส้นขอบเปียก และรัศมีชลศาสตร์ใหม่จากระดับน้ำที่คำนวณได้ในข้อ 5

11) โปรแกรมย่อย PRINT ทำหน้าที่พิมพ์ผลการคำนวณระดับน้ำ อัตราไหล BOD และ DO ทุกตำแหน่งตลอดคลอง

12) กลับมาที่โปรแกรมหลัก ตรวจสอบการสิ้นสุดการคำนวณ ถ้ายังไม่สิ้นสุดการคำนวณจะนำผลลัพธ์ที่คำนวณได้เป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณช่วงเวลาถัดไป โดยวิธีการคำนวณเช่นเดียวกับข้อ 3 ถึงข้อ 12 จนกว่าจะสิ้นสุดเวลาที่ต้องการคำนวณ

3.6 การป้อนข้อมูล

ข้อมูลในการจำลองสภาพมีจำนวนมากทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ เพื่อความสะดวกในการใช้งานจึงแบ่งข้อมูลออกเป็น หมวด ๆ รวม 6 หมวด แสดงดังตาราง 3-1 ถึงตาราง 3-6 ข้อมูลตัวอย่างที่ป้อนให้แบบจำลอง แสดงดังตาราง 3-7

3.7 การแสดงผล

ในการแสดงผลออกเครื่องพิมพ์ ประกอบด้วย การแสดงผลข้อมูลที่ป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ และการแสดงผลจากการคำนวณ ดังมีรายละเอียดดังนี้

3.7.1 การแสดงผลข้อมูลที่ป้อนเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์

เป็นการแสดงผลการอ่านข้อมูลพร้อมคำอธิบายชนิดของข้อมูลทั้งหมด และแสดงการเชื่อมโยงโครงข่าย (network) ของลำน้ำ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการป้อนข้อมูล การอ่านข้อมูลของคอมพิวเตอร์ การกำหนด node และ branch ที่เชื่อมโยงโครงข่าย การกำหนดตำแหน่ง และชนิดของอาคารบังคับน้ำ เป็นต้น ตัวอย่างการพิมพ์ผลการอ่านข้อมูล แสดงดังตาราง 3-8

ตาราง 3-1 แสดงการป้อนข้อมูลอธิบายรายละเอียดต่าง ๆ ในการศึกษา

GROUP 1		ข้อความอธิบายรายละเอียดต่าง ๆ ในการศึกษา
ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย
GROUP	-	ชื่อกลุ่มข้อมูล
TITLE(1) ถึง TITLE(5)	-	ข้อความอธิบายรายละเอียดต่างในการศึกษา 80 ตัวอักษร รวม 5 บรรทัด

ตาราง 3-2 แสดงการป้อนข้อมูลค่าคงที่ต่าง ๆ

GROUP 2		ค่าคงที่ต่าง ๆ
ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย
GROUP	-	ชื่อกลุ่มข้อมูล
DT	ว.	ช่วงเวลาหนึ่งช่วงเวลาคำนวณ
TIMEH	ชม.	ระยะเวลาการคำนวณ
TETA	-	weighting coefficient ของการคำนวณปริมาณ
PHI	-	weighting coefficient ของการคำนวณการแพร่
PHI2	-	weighting coefficient ของการคำนวณการพา
DXB	ตร.ม./ว.	สัมประสิทธิ์การแพร่ของ BOD
DXD	ตร.ม./ว.	สัมประสิทธิ์การแพร่ของ DO
FKD	1/วัน	สัมประสิทธิ์การลดลงของ BOD (deoxygenation coefficient)
FKA	1/วัน	สัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจน (reaeration coefficient)
TEM	องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ
NNOD	-	จำนวน node
NBRA	-	จำนวน branch
NPUMP	-	จำนวน เครื่องสูบน้ำ
NGATE	-	จำนวน ประตูระบายน้ำ

ตาราง 3-3 แสดงการป้อนข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ ที่ node

GROUP 3		รายละเอียดต่าง ๆ ที่ node
ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย
GROUP	-	ชื่อกลุ่มข้อมูล
NODNO	-	เลขที่ node
NTY	-	ชนิดของ node 1 = node ธรรมดา (ไม่ใช่ boundary node) 2 = node ที่กำหนดให้ระดับน้ำเปลี่ยนแปลงตามเวลา 3 = node ที่กำหนดให้ระดับน้ำคงที่ 4 = node ที่กำหนดให้อัตราไหลเปลี่ยนแปลงตามเวลา 5 = node ที่กำหนดให้อัตราไหลคงที่
H	ม.	ระดับน้ำเริ่มต้น
BODU	มก./ล.	BOD_5 เริ่มต้น
OXY	มก./ล.	DO เริ่มต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3-4 แสดงการป้อนข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับ branch

GROUP 4		รายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับ branch
ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย
GROUP	-	ชื่อกลุ่มข้อมูล
IBRA	-	เลขที่ของ branch
IBTY	-	ชนิดของ branch 1 = branch ธรรมดา (ไม่มีอาคารบังคับน้ำ) 2 = branch ที่ติดตั้งเครื่องสูบน้ำ 3 = branch ที่ติดตั้งประตูระบายน้ำ
NUD(I,1)	-	เลขที่ node ต้นน้ำของ branch
NUD(I,2)	-	เลขที่ node ท้ายน้ำ ของ branch
BELE(I,1)	ม.	ระดับท้องคลองของต้นน้ำ
BELE(I,2)	ม.	ระดับท้องคลองของท้ายน้ำ
BRAL	ม.	ความยาวของ branch
NMAN	$ว/ม^{1/3}$	ค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบผิวของ Manning
Q	ลบ.ม./ว.	อัตราไหลเริ่มต้นของ branch
IBRA	-	เลขที่ branch
NXY	-	จำนวนพิกัดพื้นที่หน้าตัดของ branch
X(1),Y(1) ถึง X(NXY),Y(NXY)	ม.	พิกัดพื้นที่หน้าตัดตามแนวราบ และแนวดิ่งตามลำดับ
BG	ม.	ความกว้างของประตูระบายน้ำ
HG	ม.	ระดับพื้นประตูระบายน้ำ
CD	-	ค่าสัมประสิทธิ์การระบายของประตูน้ำ
TIMEGB	ว.	เวลาเริ่มเปิดประตูน้ำ
TIMEGN	ว.	เวลาปิดประตูระบายน้ำ
TIMEGO	ว.	เวลาที่ใช้ในการเปิด-ปิด ประตูระบายน้ำ
LPIPE	ม.	ความยาวท่อของเครื่องสูบน้ำ
DIA	ม.	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อสูบน้ำ
PA	ลบ.ม./ว.	ค่าคงที่ของเครื่องสูบน้ำ (ดูหัวข้อ 3.3.5.1)
PB	ตร.ม./ว.	ค่าคงที่ของเครื่องสูบน้ำ (ดูหัวข้อ 3.3.5.1)
PUMP(1) ถึง PUMP(NSTEP)	เครื่อง	จำนวนเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในเวลาใด ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3-5 แสดงการป้อนข้อมูลเงื่อนไขที่ขอบเขต

GROUP 5 เงื่อนไขที่ขอบเขต (Boundary Condition) ของทุก node		
ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย
GROUP	-	ชื่อกลุ่มข้อมูล
กรณี NTY = 2		
INODH	-	เลขที่ node ที่เป็น boundary
NXY	-	จำนวนข้อมูลระดับน้ำ
HB(INODH,1)-HB(INODH,NSTEP)	ม.	ระดับน้ำที่ boundary ตามเวลา
NXY	-	จำนวนข้อมูล BOD
BB(INODH,1)-BB(INODH,NSTEP)	มก./ล.	BOD ระดับน้ำที่ boundary ตามเวลา
NXY	-	จำนวนข้อมูล DO
OXY(INODH,1)-OXY(INODH,NSTEP)	มก./ล.	DO ระดับน้ำที่ boundary ตามเวลา
กรณี NTY = 3		
INODH	-	เลขที่ node ที่เป็น boundary
HB(INODH)	ม.	ระดับน้ำที่ boundary
BB(INODH,1)	มก./ล.	BOD ที่ boundary
OXY(INODH,1)	มก./ล.	DO ที่ boundary
กรณี NTY = 4		
INODQ	-	เลขที่ node ที่เป็น boundary
NXY	-	จำนวนข้อมูลระดับน้ำ
HB(INODQ,1)-HB(INODQ,NSTEP)	ม.	ระดับน้ำที่ boundary ตามเวลา
NXY	-	จำนวนข้อมูล BOD
BB(INODQ,1)-BB(INODQ,NSTEP)	มก./ล.	BOD ที่ boundary ตามเวลา
NXY	-	จำนวนข้อมูล DO
OXY(INODQ,1)-OXY(INODQ,NSTEP)	มก./ล.	DO ที่ boundary ตามเวลา
กรณี NTY = 5		
INODQ	-	เลขที่ node ที่เป็น boundary
HB(INODQ,1)	ม.	ระดับน้ำที่ boundary
BB(INODQ,1)	มก./ล.	BOD ที่ boundary
OXY(INODQ,1)	มก./ล.	DO ที่ boundary

หมายเหตุ ความหมายของค่า NTY ดูในตาราง 3-3

ตาราง 3-6 แสดงการป้อนข้อมูลการไหลด้านข้างลำน้ำ

GROUP 6		ข้อมูลการไหลด้านข้างลำน้ำ
ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย
GROUP	-	ชื่อกลุ่มข้อมูล
LTY	-	LTY LTY = 0 (ไม่มีการไหลด้านข้าง) LTY = 1 (อัตราไหลด้านข้างคงที่) LTY = 2 (อัตราไหลด้านข้างเปลี่ยนตามเวลา)
<u>กรณี LTY = 1</u>		
NODNO	-	เลขที่ node
QL(NODNO,1)	ลบ.ม./ว.	อัตราไหลด้านข้าง
BODL(NODNO)	มก./ล.	BOD ของการไหลด้านข้าง
OXY(NODNO)	มก./ล.	DO ของการไหลด้านข้าง
<u>กรณี LTY = 2</u>		
NODNO	-	เลขที่ node
QL(NODNO,1) ถึง QL(NODNO,NSTEP+1)	ลบ.ม./ว.	อัตราไหลด้านข้างตามเวลา
BODL(NODNO)	มก./ล.	BOD ของการไหลด้านข้าง
OXY(NODNO)	มก./ล.	DO ของการไหลด้านข้าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3-7 ตัวอย่างข้อมูลที่ป้อนให้แบบจำลอง

```
GROUP 1
COMMENT
COMMENT                          INPUT DATA SAMPLE
COMMENT
COMMENT
COMMENT
1200.     24.0    0.55
0.5  0.5    5. 40.  0.3   0.472   30.0
GROUP 2
31  30  1  2
GROUP 3
 1  2      34.63     4.3      0.6
 2  1      34.381    15.      0.1
 3  1      34.381    20.      0.1
 4  1      34.381    30.      0.1
 5  2      34.59     30.      0.1
 6  1      34.55     30.      0.1
 7  1      34.50     30.      0.1
 8  1      34.46     30.      0.1
 9  1      34.42     30.      0.1
10  1      34.381    30.      0.1
11  1      34.378    30.      0.1
12  1      34.376    45.      0.1
13  2      34.80     50.      0.
14  1      34.72     50.      0.
15  1      34.64     50.      0.
16  1      34.56     50.      0.
17  1      34.48     50.      0.
18  1      34.4      50.      0.
19  2      34.59     50.      0.
20  1      34.54     50.      0.
21  1      34.50     50.      0.
22  1      34.46     50.      0.
23  1      34.42     50.      0.
24  1      34.381    50.      0.
25  1      34.376    50.      0.
26  1      34.353    50.      0.
27  1      34.330    50.      0.
28  1      34.307    50.      0.
29  1      34.285    50.      0.
30  1      34.262    50.      0.
31  2      34.630    50.      0.
GROUP 4
 1  3  1   2    30.64  30.58   640.  0.035  0.
 2  1  2   3    30.58  31.07   440.  0.035  0
 3  1  3   4    31.07  31.15   400.  0.035  0.
 4  1  4  11    31.15  33.59   400.  0.035  0.05
 5  1  5   6    33.79  33.75  2000.  0.035  0.13
 6  1  6   7    33.75  33.71  2000.  0.035  0.13
 7  1  7   8    33.71  33.67  2000.  0.035  0.13
 8  1  8   9    33.67  33.63  2000.  0.035  0.13
 9  1  9  10    33.63  33.59  2000.  0.035  0.13
10  1 10  11    33.59  33.26   300.  0.035  0.13
11  1 11  12    31.75  31.54   630.  0.035  0.13
12  1 12  25    31.54  33.10   300.  0.035  0.15
13  1 13  14    33.50  33.42  2000.  0.035  4.3
14  1 14  15    33.42  33.34  2000.  0.035  4.3
15  1 15  16    33.34  33.26  2000.  0.035  4.3
16  1 16  17    33.26  33.18  2000.  0.035  4.3
17  1 17  18    33.18  33.10  2000.  0.035  4.3
18  3 18  25    33.10  32.30   300.  0.035  4.3
19  1 19  20    33.12  33.08  2000.  0.035  1.7
20  1 20  21    33.08  33.06  2000.  0.035  1.7
21  1 21  22    33.06  33.02  2000.  0.035  1.7
22  1 22  23    33.02  32.98  2000.  0.035  1.7
23  1 23  24    32.98  32.94  2000.  0.035  1.7
24  1 24  25    32.90  32.65   300.  0.035  1.7
```

ตาราง 3-7 (ต่อ)

```
25  1 25  26   31.93  32.21   300.  0.035  6.2
26  1 26  27   32.21  32.10   570.  0.035  6.
27  1 27  28   32.10  32.13   780.  0.035  6.
28  1 28  29   32.13  31.23   280.  0.035  5.5
29  1 29  30   31.23  31.78   420.  0.035  5.
30  2 30  31   31.78  31.24   520.  0.035  5.0
 1 10   0.0 37.00   0.0 33.66   2.0 33.43   4.0 32.10  10.0 30.66
       12.0 30.78  16.0 32.19  22.0 33.36  23.0 33.82  23.0 37.00
 2  8   0.0 37.00   0.0 34.10   3.0 33.95  10.0 31.20  13.0 30.80
       16.8 32.80  23.2 34.00  23.2 37.00
 3  9   0.0 37.00   0.0 34.40   3.0 34.20   7.0 32.50  12.0 31.00
       16.0 31.75  18.0 32.70  24.6 34.30  24.6 37.00
 4 10   0.0 37.00   0.0 34.50   4.0 34.20   8.0 32.35  12.0 31.20
       14.0 31.60  18.0 33.30  22.0 34.35  24.0 34.65  24.0 37.00
 5 10   0.0 37.00   0.0 34.63   2.0 34.53   4.0 34.25   6.0 33.66
       7.0 33.46   8.0 33.70  10.0 34.27  12.3 34.37  12.3 37.00
 6 10   0.0 37.00   0.0 34.59   2.0 34.49   4.0 34.21   6.0 33.62
       7.0 33.42   8.0 33.66  10.0 34.23  12.3 34.33  12.3 37.00
 7 10   0.0 37.00   0.0 34.55   2.0 34.45   4.0 34.17   6.0 33.58
       7.0 33.38   8.0 33.62  10.0 34.19  12.3 34.29  12.3 37.00
 8 10   0.0 37.00   0.0 34.51   2.0 34.41   4.0 34.13   6.0 33.54
       7.0 33.34   8.0 33.58  10.0 34.15  12.3 34.24  12.3 37.00
 9 10   0.0 37.00   0.0 34.47   2.0 34.37   4.0 34.09   6.0 33.50
       7.0 33.30   8.0 33.54  10.0 34.11  12.3 34.20  12.3 37.00
10 10   0.0 37.00   0.0 34.43   2.0 34.33   4.0 34.05   6.0 33.46
       7.0 33.26   8.0 33.50  10.0 34.07  12.3 34.16  12.3 37.00
11  9   0.0 37.00   0.0 34.20   4.0 33.99   8.0 32.00  12.0 31.80
       16.0 33.40  18.0 33.80  22.5 34.20  22.5 37.00
12 10   0.0 37.00   0.0 34.50   4.0 33.80   8.0 32.50  12.0 31.50
       14.0 31.90  16.0 32.70  19.0 33.60  23.0 34.00  23.0 37.00
13  8   0.0 37.00   0.0 35.32   2.0 34.92  10.0 32.62  15.0 33.32
       17.0 34.22  20.6 35.32  20.6 37.00
14  8   0.0 37.00   0.0 35.24   2.0 34.84  10.0 32.54  15.0 33.24
       17.0 34.14  20.6 35.24  20.6 37.00
15  8   0.0 37.00   0.0 35.16   2.0 34.76  10.0 32.46  15.0 33.16
       17.0 34.06  20.6 35.16  20.6 37.00
16  8   0.0 37.00   0.0 35.08   2.0 34.68  10.0 32.38  15.0 33.08
       17.0 33.98  20.6 35.08  20.6 37.00
17  8   0.0 37.00   0.0 35.00   2.0 34.60  10.0 32.30  15.0 33.00
       17.0 33.90  20.6 35.00  20.6 37.00
18  8   0.0 37.00   0.0 35.00   2.0 34.60  10.0 32.30  15.0 33.00
       17.0 33.90  20.6 35.00  20.6 37.00
19  9   0.0 37.00   0.0 35.60   4.0 34.80   6.0 33.50  12.0 33.20
       16.0 33.50  19.0 34.50  23.2 35.40  23.2 37.00
20  9   0.0 37.00   0.0 35.56   4.0 34.76   6.0 33.46  12.0 33.16
       16.0 33.46  19.0 34.46  23.2 35.36  23.2 37.00
21  9   0.0 37.00   0.0 35.52   4.0 34.72   6.0 33.42  12.0 33.12
       16.0 33.42  19.0 34.42  23.2 35.32  23.2 37.00
22  9   0.0 37.00   0.0 35.48   4.0 34.68   6.0 33.38  12.0 33.08
       16.0 33.38  19.0 34.38  23.2 35.28  23.2 37.00
23  9   0.0 37.00   0.0 35.44   4.0 34.64   6.0 33.34  12.0 33.04
       16.0 33.34  19.0 34.34  23.2 35.24  23.2 37.00
24  9   0.0 37.00   0.0 35.40   4.0 34.60   6.0 33.30  12.0 33.00
       16.0 33.30  19.0 34.30  23.2 35.20  23.2 37.00
25 10   0.0 37.00   0.0 34.90   2.0 34.20   6.0 33.60  10.0 32.20
       12.0 31.80  14.0 32.10  18.0 32.60  23.4 34.00  23.4 37.00
26  9   0.0 37.00   0.0 35.00   3.0 34.20   6.0 33.75   9.0 32.10
       14.0 32.00  17.0 33.20  23.6 34.60  23.6 37.00
27  9   0.0 37.00   0.0 35.00   2.0 34.20   6.0 33.40   8.0 32.30
       14.0 32.10  16.0 33.00  24.3 34.40  24.3 37.00
28 10   0.0 37.00   0.0 34.90   2.0 34.00   6.6 32.20  10.0 31.60
       13.0 31.60  16.0 32.40  20.0 33.80  23.3 34.90  23.3 37.00
29  9   0.0 37.00   0.0 34.90   2.0 34.00   6.0 31.90   9.0 31.30
       13.0 31.40  16.0 33.15  19.4 34.60  19.4 37.00
30  8   0.0 37.00   0.0 34.80   4.0 33.33   6.0 31.82  15.0 31.73
       16.0 33.66  17.0 34.03  17.0 37.00
 5.00  32.72   0.6    2400.  64800.   6000.
 5.50  32.30   0.6       0.  86400.      0.
16      1.50   5.4   -0.60
   4    0.  1.   1200.  1.   1260  0.   1440  0.
```

ตาราง 3-7 (ต่อ)

```
GROUP 5
 1
  25    0.0  34.63   60.0  34.67  120.0     35  180.0  35.48  240.0  35.76
       300.0  35.96  360.0  36.08  420.0  36.16  480.0  36.21  540.0  36.18
       600.0  36.08  660.0  35.96  720.0  35.87  780.0  35.86  840.0  35.86
       900.0  35.87  960.0  35.85 1020.0   35.8 1080.0   35.6 1140.0   35.4
      1200.0  35.18 1260.0  34.99 1320.0  34.82 1380.0  34.68 1440.0  34.55
    2     0  4.3   1440.0  4.3
    2     0  0.9   1440.0  0.9
 5
    2     0  34.59 1440.  34.59
    2     0  30.0  1440.  30.0
    2     0  0.1   1440.   0.1
13
    2     0  34.80 1440.  34.80
    2     0  50.   1440.  50.
    2     0   0.   1440.   0.
19
    2     0  34.59 1440.  34.59
    2     0  50.   1440.  50.
    2     0   0.   1440.   0.
31
  25    0.0  34.63   60.0  34.67  120.0     35  180.0  35.48  240.0  35.76
       300.0  35.96  360.0  36.08  420.0  36.16  480.0  36.21  540.0  36.18
       600.0  36.08  660.0  35.96  720.0  35.87  780.0  35.86  840.0  35.86
       900.0  35.87  960.0  35.85 1020.0   35.8 1080.0   35.6 1140.0   35.4
      1200.0  35.18 1260.0  34.99 1320.0  34.82 1380.0  34.68 1440.0  34.55
    2     0  15.0  1440.  15.0
    2     0   0.0  1440.   0.0
GROUP 6
1
 1  0.00290  130.  0.
 2  0.01422  130.  0.
 3  0.01920  130.  0.
 4  0.01888  130.  0.
 5  0.         0.  0.
 6  0.         0.  0.
 7  0.         0.  0.
 8  0.         0.  0.
 9  0.         0.  0.
10  0.         0.  0.
11  0.02122  130.  0.
12  0.03906  130.  0.
13  0.         0.  0.
14  0.         0.  0.
15  0.         0.  0.
16  0.         0.  0.
17  0.         0.  0.
18  0.         0.  0.
19  0.         0.  0.
20  0.         0.  0.
21  0.         0.  0.
22  0.         0.  0.
23  0.         0.  0.
24  0.         0.  0.
25  0.00851  130.  0.
26  0.02643  130.  0.
27  0.08604  130.  0.
28  0.05023  130.  0.
29  0.02003  130.  0.
30  0.01816  130.  0.
31  0.00378  130.  0.
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3-8 ตัวอย่างการพิมพ์ผลการอ่านข้อมูล

NUMBER OF NODES : 31
NUMBER OF BRANCHES : 30

CALCULATION PERIOD : 24.00 HRS
LENGTH OF TIMESTEP : 20.00 MIN
WEIGHTING COEFFICIENT : .5500

OVERVIEW OF NODE DATA

NODE NO.	NODE TYPE	INITIAL WATERLEVEL (M)	INITIAL BOD (MG/L)	INITIAL DO (MG/L)
1	VARY H	34.63	4.30	.60
2	NORMAL	34.38	15.00	.10
3	NORMAL	34.38	20.00	.10
4	NORMAL	34.38	30.00	.10
5	VARY H	34.59	30.00	.10
6	NORMAL	34.55	30.00	.10
7	NORMAL	34.50	30.00	.10
8	NORMAL	34.46	30.00	.10
9	NORMAL	34.42	30.00	.10
10	NORMAL	34.38	30.00	.10
11	NORMAL	34.38	30.00	.10
12	NORMAL	34.38	45.00	.10
13	VARY H	34.80	50.00	.00
14	NORMAL	34.72	50.00	.00
15	NORMAL	34.64	50.00	.00
16	NORMAL	34.56	50.00	.00
17	NORMAL	34.48	50.00	.00
18	NORMAL	34.40	50.00	.00
19	VARY H	34.59	50.00	.00
20	NORMAL	34.54	50.00	.00
21	NORMAL	34.50	50.00	.00
22	NORMAL	34.46	50.00	.00
23	NORMAL	34.42	50.00	.00
24	NORMAL	34.38	50.00	.00
25	NORMAL	34.38	50.00	.00
26	NORMAL	34.35	50.00	.00
27	NORMAL	34.33	50.00	.00
28	NORMAL	34.31	50.00	.00
29	NORMAL	34.29	50.00	.00
30	NORMAL	34.26	50.00	.00
31	VARY H	34.63	50.00	.00

OVERVIEW OF BRANCH DATA

BRANCH NO	TYPE	LENGTH (M)	MANNING	SLOPE (M/M)	INITIAL Q (CMS)
102	GATE	640.	.035	.0001	.00
203	NORMAL	440.	.035	-.0011	.00
304	NORMAL	400.	.035	-.0002	.00
411	NORMAL	400.	.035	-.0061	.05
506	NORMAL	2000.	.035	.0000	.13
607	NORMAL	2000.	.035	.0000	.13
708	NORMAL	2000.	.035	.0000	.13
809	NORMAL	2000.	.035	.0000	.13
910	NORMAL	2000.	.035	.0000	.13
1011	NORMAL	300.	.035	.0011	.13
1112	NORMAL	630.	.035	.0003	.13
1225	NORMAL	300.	.035	-.0052	.15

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3-8 (ต่อ)

1314	NORMAL	2000.	.035	.0000	4.30
1415	NORMAL	2000.	.035	.0000	4.30
1516	NORMAL	2000.	.035	.0000	4.30
1617	NORMAL	2000.	.035	.0000	4.30
1718	NORMAL	2000.	.035	.0000	4.30
1825	GATE	300.	.035	.0027	4.30
1920	NORMAL	2000.	.035	.0000	1.70
2021	NORMAL	2000.	.035	.0000	1.70
2122	NORMAL	2000.	.035	.0000	1.70
2223	NORMAL	2000.	.035	.0000	1.70
2324	NORMAL	2000.	.035	.0000	1.70
2425	NORMAL	300.	.035	.0008	1.70
2526	NORMAL	300.	.035	-.0009	6.20
2627	NORMAL	570.	.035	.0002	6.00
2728	NORMAL	780.	.035	.0000	6.00
2829	NORMAL	280.	.035	.0032	5.50
2930	NORMAL	420.	.035	-.0013	5.00
3031	PUMP	520.	.035	.0010	5.00

NODES WITH PRESCRIBED LEVEL

NODE.NO. 1 INTERVAL 20.0 MIN.

TIME (MIN)	.0	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0	120.0	140.0	160.0	180.0	200.0	220.0
LEVEL(M)	34.63	34.64	34.66	34.67	34.78	34.89	35.00	35.16	35.32	35.48	35.57	35.67
TIME (MIN)	240.0	260.0	280.0	300.0	320.0	340.0	360.0	380.0	400.0	420.0	440.0	460.0
LEVEL(M)	35.76	35.83	35.89	35.96	36.00	36.04	36.08	36.11	36.13	36.16	36.18	36.19
TIME (MIN)	480.0	500.0	520.0	540.0	560.0	580.0	600.0	620.0	640.0	660.0	680.0	700.0
LEVEL(M)	36.21	36.20	36.19	36.18	36.15	36.11	36.08	36.04	36.00	35.96	35.93	35.90
TIME (MIN)	720.0	740.0	760.0	780.0	800.0	820.0	840.0	860.0	880.0	900.0	920.0	940.0
LEVEL(M)	35.87	35.87	35.86	35.86	35.86	35.86	35.86	35.86	35.87	35.87	35.86	35.86
TIME (MIN)	960.0	980.0	1000.0	1020.0	1040.0	1060.0	1080.0	1100.0	1120.0	1140.0	1160.0	1180.0
LEVEL(M)	35.85	35.83	35.82	35.80	35.73	35.67	35.60	35.53	35.47	35.40	35.33	35.25
TIME (MIN)	1200.0	1220.0	1240.0	1260.0	1280.0	1300.0	1320.0	1340.0	1360.0	1380.0	1400.0	1420.0
LEVEL(M)	35.18	35.12	35.05	34.99	34.93	34.88	34.82	34.77	34.73	34.68	34.64	34.59

NODE.NO. 5 INTERVAL 20.0 MIN.

TIME (MIN)	.0	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0	120.0	140.0	160.0	180.0	200.0	220.0
LEVEL(M)	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59
TIME (MIN)	240.0	260.0	280.0	300.0	320.0	340.0	360.0	380.0	400.0	420.0	440.0	460.0
LEVEL(M)	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59
TIME (MIN)	480.0	500.0	520.0	540.0	560.0	580.0	600.0	620.0	640.0	660.0	680.0	700.0
LEVEL(M)	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59
TIME (MIN)	720.0	740.0	760.0	780.0	800.0	820.0	840.0	860.0	880.0	900.0	920.0	940.0
LEVEL(M)	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59
TIME (MIN)	960.0	980.0	1000.0	1020.0	1040.0	1060.0	1080.0	1100.0	1120.0	1140.0	1160.0	1180.0
LEVEL(M)	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59
TIME (MIN)	1200.0	1220.0	1240.0	1260.0	1280.0	1300.0	1320.0	1340.0	1360.0	1380.0	1400.0	1420.0
LEVEL(M)	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59

NODE.NO. 13 INTERVAL 20.0 MIN.

TIME (MIN)	.0	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0	120.0	140.0	160.0	180.0	200.0	220.0
LEVEL(M)	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80
TIME (MIN)	240.0	260.0	280.0	300.0	320.0	340.0	360.0	380.0	400.0	420.0	440.0	460.0
LEVEL(M)	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80
TIME (MIN)	480.0	500.0	520.0	540.0	560.0	580.0	600.0	620.0	640.0	660.0	680.0	700.0
LEVEL(M)	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80
TIME (MIN)	720.0	740.0	760.0	780.0	800.0	820.0	840.0	860.0	880.0	900.0	920.0	940.0
LEVEL(M)	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80
TIME (MIN)	960.0	980.0	1000.0	1020.0	1040.0	1060.0	1080.0	1100.0	1120.0	1140.0	1160.0	1180.0
LEVEL(M)	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80
TIME (MIN)	1200.0	1220.0	1240.0	1260.0	1280.0	1300.0	1320.0	1340.0	1360.0	1380.0	1400.0	1420.0
LEVEL(M)	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80	34.80

ตาราง 3-8 (ต่อ)

NODE.NO. 19 INTERVAL 20.0 MIN.

TIME (MIN)	.0	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0	120.0	140.0	160.0	180.0	200.0	220.0
LEVEL(M)	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59
TIME (MIN)	240.0	260.0	280.0	300.0	320.0	340.0	360.0	380.0	400.0	420.0	440.0	460.0
LEVEL(M)	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59
TIME (MIN)	480.0	500.0	520.0	540.0	560.0	580.0	600.0	620.0	640.0	660.0	680.0	700.0
LEVEL(M)	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59
TIME (MIN)	720.0	740.0	760.0	780.0	800.0	820.0	840.0	860.0	880.0	900.0	920.0	940.0
LEVEL(M)	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59
TIME (MIN)	960.0	980.0	1000.0	1020.0	1040.0	1060.0	1080.0	1100.0	1120.0	1140.0	1160.0	1180.0
LEVEL(M)	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59
TIME (MIN)	1200.0	1220.0	1240.0	1260.0	1280.0	1300.0	1320.0	1340.0	1360.0	1380.0	1400.0	1420.0
LEVEL(M)	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59	34.59

NODE.NO. 31 INTERVAL 20.0 MIN.

TIME (MIN)	.0	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0	120.0	140.0	160.0	180.0	200.0	220.0
LEVEL(M)	34.63	34.64	34.66	34.67	34.78	34.89	35.00	35.16	35.32	35.48	35.57	35.67
TIME (MIN)	240.0	260.0	280.0	300.0	320.0	340.0	360.0	380.0	400.0	420.0	440.0	460.0
LEVEL(M)	35.76	35.83	35.89	35.96	36.00	36.04	36.08	36.11	36.13	36.16	36.18	36.19
TIME (MIN)	480.0	500.0	520.0	540.0	560.0	580.0	600.0	620.0	640.0	660.0	680.0	700.0
LEVEL(M)	36.21	36.20	36.19	36.18	36.15	36.11	36.08	36.04	36.00	35.96	35.93	35.90
TIME (MIN)	720.0	740.0	760.0	780.0	800.0	820.0	840.0	860.0	880.0	900.0	920.0	940.0
LEVEL(M)	35.87	35.87	35.86	35.86	35.86	35.86	35.86	35.86	35.87	35.87	35.86	35.86
TIME (MIN)	960.0	980.0	1000.0	1020.0	1040.0	1060.0	1080.0	1100.0	1120.0	1140.0	1160.0	1180.0
LEVEL(M)	35.85	35.83	35.82	35.80	35.73	35.67	35.60	35.53	35.47	35.40	35.33	35.25
TIME (MIN)	1200.0	1220.0	1240.0	1260.0	1280.0	1300.0	1320.0	1340.0	1360.0	1380.0	1400.0	1420.0
LEVEL(M)	35.18	35.12	35.05	34.99	34.93	34.88	34.82	34.77	34.73	34.68	34.64	34.59

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7.2 การแสดงผลการคำนวณ

การแสดงผลการคำนวณของแบบจำลอง แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1) การแสดงผลอย่างละเอียด เป็นการแสดงผลการคำนวณ ที่ช่วงเวลาใด ๆ พร้อมคำอธิบาย ในแต่ละ node แสดงค่า ระดับน้ำ อัตราไหลด้านข้าง พื้นที่ผิวน้ำเปิด BOD และ DO พื้นที่ผิวน้ำเปิดรวมกันทุก node และแต่ละ branch แสดงชนิดของ branch (มีอาคารบังคับน้ำชนิดใด) เลขที่ node ต้นน้ำ เลขที่ node ท้ายน้ำ อัตราไหล ความเร็วกระแสน้ำ สำหรับการพิมพ์สามารถกำหนดให้ช่วงเวลาพิมพ์ผลเป็นจำนวนเท่าของช่วงเวลาคำนวณ เช่น กำหนดให้พิมพ์ผลทุก ๆ 10 ช่วงเวลาคำนวณ หรือพิมพ์ทุกช่วงเวลา เป็นต้น ตัวอย่างการแสดงผลอย่างละเอียด แสดงดังตาราง 3-9

2) การแสดงผลเฉพาะตัวเลข เป็นการแสดงผลเฉพาะผลการคำนวณของ ระดับน้ำ อัตราไหล ความเร็วกระแสน้ำ BOD และ DO ทุก node และทุก branch ในทุกช่วงเวลาคำนวณ โดยแยกแฟ้มข้อมูล (file) ของผลแต่ละชนิด เพื่อความสะดวกในการนำผลการการจำลองสภาพไปแสดงกราฟหรือวาดรูป เนื่องจากการแสดงกราฟหรือวาดรูป สามารถสื่อความหมายได้รวดเร็วและชัดเจนกว่าผลที่แสดงเป็นตัวเลขที่มีคำอธิบาย ตัวอย่างการแสดงผลเฉพาะตัวเลข แสดงดังตาราง 3-10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3-9 ตัวอย่างการพิมพ์ผลอย่างละเอียด

TIMESTEP 9 TIME 3 HRS 0 MIN 0 SEC

BRANCH TYPE	NODE LEFT	NODE RIGHT	DISCH (M3/S)	VELOC. (M/S)	#	NODE NO	LEVEL (M)	LATFLOW (M3/S)	WATER SURF(HA)	BOD5 (MG/L)	DO (MG/L)
GATE	1 -	2	21.280	.297	#	1	35.480	.00	.7360	4.27	.90
NORMAL	2 -	3	19.948	.376	#	2	34.967	.01	1.2464	5.13	.89
NORMAL	3 -	4	19.346	.366	#	3	34.931	.02	1.0024	6.73	.77
NORMAL	4 -	11	18.932	.449	#	4	34.902	.02	.9720	9.27	.63
NORMAL	5 -	6	.402	.075	#	5	34.590	.00	1.1122	30.00	.10
NORMAL	6 -	7	.339	.062	#	6	34.552	.00	2.2426	29.41	.08
NORMAL	7 -	8	.034	.006	#	7	34.528	.00	2.3295	29.10	.08
NORMAL	8 -	9	-.416	-.062	#	8	34.541	.00	2.4291	29.19	.07
NORMAL	9 -	10	-1.564	-.182	#	9	34.578	.00	2.4600	27.61	.25
NORMAL	10 -	11	-2.772	-.263	#	10	34.771	.00	1.4145	26.81	.00
NORMAL	11 -	12	15.297	.427	#	11	34.818	.02	1.3733	13.92	.41
NORMAL	12 -	25	14.701	.384	#	12	34.726	.04	1.0538	20.37	.25
NORMAL	13 -	14	3.568	.183	#	13	34.800	.00	1.6256	50.01	.00
NORMAL	14 -	15	3.354	.169	#	14	34.734	.00	3.2643	49.74	.05
NORMAL	15 -	16	2.757	.135	#	15	34.679	.00	3.3030	49.49	.07
NORMAL	16 -	17	1.447	.067	#	16	34.649	.00	3.3753	49.29	.07
NORMAL	17 -	18	-.761	-.033	#	17	34.657	.00	3.4964	50.79	.00
GATE	18 -	25	-2.002	-.085	#	18	34.679	.00	2.0544	49.36	.38
NORMAL	19 -	20	1.362	.091	#	19	34.590	.00	1.5046	50.00	.00
NORMAL	20 -	21	.930	.060	#	20	34.574	.00	3.0295	49.65	.06
NORMAL	21 -	22	-.164	-.010	#	21	34.575	.00	3.0823	51.08	.00
NORMAL	22 -	23	-1.731	-.101	#	22	34.599	.00	3.1513	49.44	.24
NORMAL	23 -	24	-2.440	-.133	#	23	34.613	.00	3.2333	48.41	.09
NORMAL	24 -	25	-3.768	-.192	#	24	34.665	.00	1.8957	43.96	.06
NORMAL	25 -	26	8.315	.219	#	25	34.678	.01	1.2117	28.01	.14
NORMAL	26 -	27	7.619	.240	#	26	34.667	.03	.9768	36.37	.18
NORMAL	27 -	28	6.683	.199	#	27	34.640	.09	1.5470	45.22	.10
NORMAL	28 -	29	5.971	.147	#	28	34.616	.05	1.2167	49.19	.04
NORMAL	29 -	30	5.404	.140	#	29	34.612	.02	.6991	50.20	.06
PUMP	30 -	31	4.856	.116	#	30	34.604	.02	.8358	47.49	.10
					#	31	35.480	.00	.4420	15.00	.00

TOTAL 58.32 HA.

DISCHARGE IS POSITIVE IF FLOW FROM LEFT NODE TO RIGHT NODE

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3-10 ตัวอย่างการพิมพ์ผลเฉพาะตัวเลข

	ค่าที่ node แรก ↓										. .	ค่าที่ node สุดท้าย ↓
ค่าที่ timestep → แรก	34.643	34.381	34.381	34.381	34.590	34.548	34.503	34.461	34.421	34.387	. .	34.643
	34.657	34.381	34.383	34.384	34.590	34.546	34.505	34.462	34.423	34.389		34.657
	34.670	34.413	34.408	34.405	34.590	34.547	34.505	34.463	34.425	34.398	. .	34.670
	34.780	34.425	34.426	34.425	34.590	34.547	34.505	34.464	34.430	34.424		34.780
	34.890	34.482	34.473	34.467	34.590	34.548	34.506	34.467	34.442	34.454	. .	34.890
	35.000	34.543	34.536	34.529	34.590	34.548	34.507	34.473	34.468	34.494		35.000
	35.160	34.709	34.674	34.651	34.590	34.548	34.510	34.485	34.500	34.559	. .	35.160
	35.320	34.871	34.837	34.808	34.590	34.550	34.516	34.512	34.532	34.661		35.320
	35.480	34.967	34.931	34.902	34.590	34.552	34.528	34.541	34.578	34.771	. .	35.480
	35.573	35.052	35.014	34.982	34.590	34.558	34.552	34.565	34.638	34.856		35.573
	35.667	35.117	35.081	35.051	34.590	34.568	34.576	34.595	34.703	34.926	. .	35.667
	35.760	35.186	35.146	35.113	34.590	34.584	34.595	34.633	34.769	34.992		35.760
	35.827	35.242	35.205	35.174	34.590	34.602	34.615	34.677	34.836	35.052	. .	35.827
	35.893	35.296	35.257	35.225	34.590	34.611	34.639	34.726	34.901	35.108		35.893
	35.960	35.346	35.309	35.277	34.590	34.618	34.667	34.778	34.962	35.160	. .	35.960
	36.000	35.389	35.351	35.320	34.590	34.631	34.700	34.832	35.020	35.208		36.000
	36.040	35.426	35.389	35.359	34.590	34.648	34.737	34.887	35.073	35.250	. .	36.040
	36.080	35.463	35.426	35.395	34.590	34.668	34.778	34.940	35.121	35.288		36.080
	36.107	35.494	35.458	35.428	34.590	34.692	34.821	34.991	35.166	35.325	. .	36.107
	36.133	35.523	35.487	35.458	34.590	34.720	34.867	35.039	35.207	35.357		36.133
	36.160	35.551	35.515	35.486	34.590	34.751	34.912	35.084	35.245	35.388	. .	36.160
	36.177	35.575	35.540	35.512	34.590	34.785	34.956	35.125	35.280	35.416		36.177
	36.193	35.597	35.563	35.534	34.590	34.820	34.999	35.164	35.312	35.442	. .	36.193
	36.210	35.617	35.584	35.556	34.590	34.857	35.039	35.200	35.341	35.466		36.210
	36.200	35.631	35.599	35.573	34.590	34.894	35.077	35.233	35.368	35.487	. .	36.200
	36.190	35.640	35.609	35.583	34.590	34.929	35.112	35.263	35.392	35.502		36.190
	36.180	35.647	35.618	35.593	34.590	34.963	35.144	35.289	35.411	35.515	. .	36.180
	36.147	35.647	35.620	35.597	34.590	34.995	35.173	35.312	35.428	35.524		36.147
	36.113	35.643	35.617	35.596	34.590	35.024	35.198	35.332	35.440	35.528	. .	36.113
	36.080	35.638	35.613	35.593	34.590	35.049	35.220	35.347	35.448	35.529		36.080
	36.040	35.628	35.605	35.586	34.590	35.072	35.238	35.359	35.453	35.527	. .	36.040
	36.000	35.616	35.595	35.577	34.590	35.090	35.252	35.367	35.455	35.522		36.000
	35.960	35.603	35.583	35.566	34.590	35.105	35.263	35.372	35.453	35.514	. .	35.960
	35.930	35.590	35.571	35.555	34.590	35.116	35.270	35.373	35.449	35.506		35.930
	35.900	35.577	35.559	35.544	34.590	35.125	35.274	35.373	35.444	35.497	. .	35.900
	35.870	35.564	35.546	35.532	34.590	35.130	35.275	35.370	35.438	35.487		35.870
	35.867	35.557	35.539	35.524	34.590	35.132	35.275	35.366	35.431	35.479	. .	35.867
	35.863	35.552	35.534	35.519	34.590	35.133	35.272	35.362	35.425	35.474		35.863
	35.860	35.548	35.529	35.514	34.590	35.132	35.269	35.357	35.421	35.469	. .	35.860
	35.860	35.545	35.526	35.511	34.590	35.130	35.266	35.354	35.417	35.465		35.860
	35.860	35.542	35.524	35.509	34.590	35.127	35.263	35.350	35.413	35.463	. .	35.860
	35.860	35.540	35.522	35.506	34.590	35.125	35.260	35.347	35.410	35.460		35.860
	35.863	35.539	35.520	35.505	34.590	35.122	35.257	35.344	35.408	35.458	. .	35.863
	35.867	35.539	35.520	35.504	34.590	35.120	35.255	35.342	35.406	35.457		35.867
	35.870	35.539	35.520	35.504	34.590	35.117	35.252	35.340	35.404	35.456	. .	35.870
	35.863	35.536	35.518	35.502	34.590	35.115	35.250	35.338	35.403	35.454		35.863
	35.857	35.533	35.514	35.499	34.590	35.113	35.249	35.336	35.401	35.451	. .	35.857
	35.850	35.530	35.511	35.496	34.590	35.112	35.247	35.334	35.399	35.449		35.850
	35.833	35.523	35.505	35.490	34.590	35.110	35.245	35.332	35.396	35.445	. .	35.833
	35.817	35.515	35.498	35.483	34.590	35.109	35.243	35.329	35.392	35.439		35.817
	35.800	35.507	35.490	35.476	34.590	35.107	35.240	35.326	35.387	35.432	. .	35.800
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	. .	.
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	. .	.
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	. .	.
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	. .	.
ค่าที่ timestep → สุดท้าย	34.550	34.744	34.744	34.744	34.590	34.739	34.768	34.770	34.767	34.748	. .	34.550