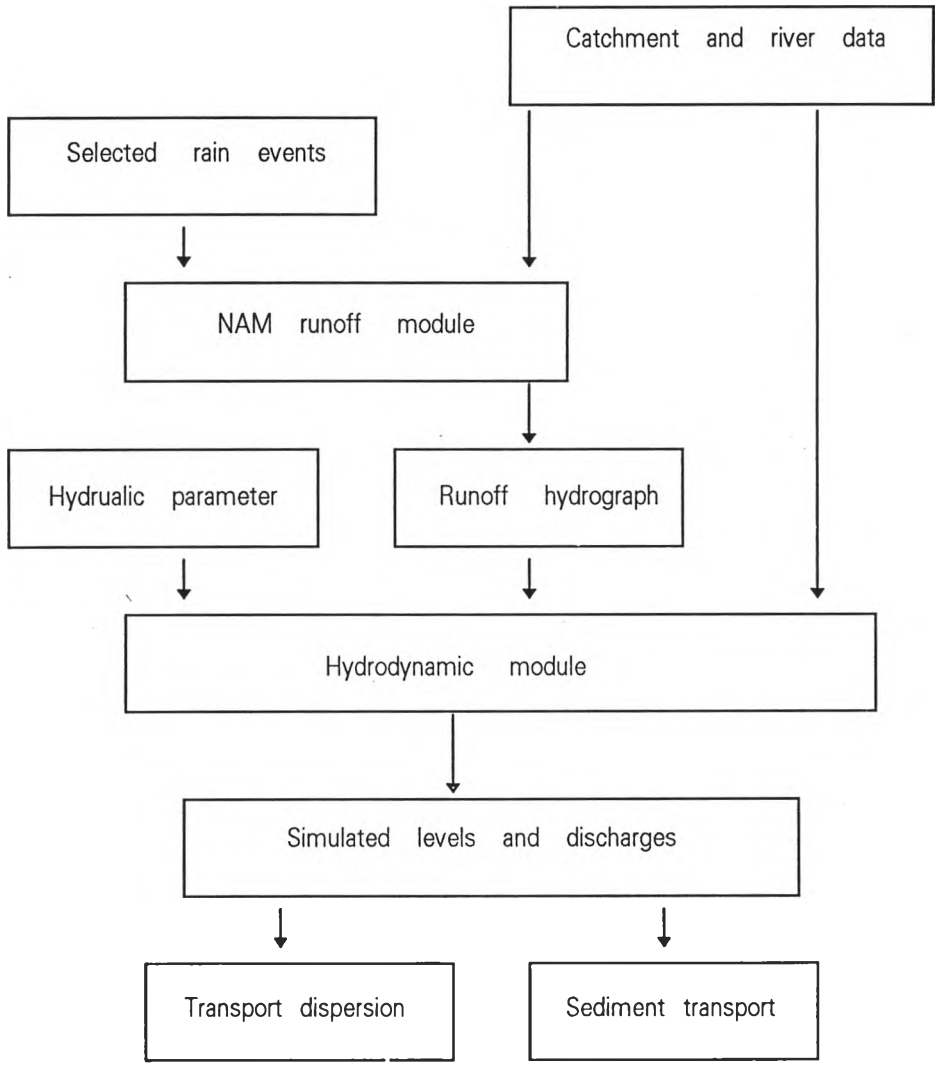
บทที่ 3

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา เป็นส่วนประกอบที่สำคัญใน MIKE 11 System คือ Hydrodynamic module และ Transport Dispersion module ซึ่งพัฒนาโดยสถาบันวิจัยทางด้านแหล่งน้ำ DHI (Danish Hydraulic Institute) ประเทศเดนมาร์ก สำหรับจำลองสภาพ (simulate) ของ Catchment runoff การไหลของแม่น้ำ (river flow) การเคลื่อนที่ของตะกอนและสารที่ก่อให้เกิดมลภาวะและคุณภาพน้ำที่ปากแม่น้ำ แม่น้ำ ระบบชลประทาน นอกจากนี้แล้ว MIKE 11 ได้มีการพัฒนาเป็นพิเศษ เพื่อให้สามารถใช้บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ได้ ภาษาของโปรแกรมเป็นภาษาปาสคาล (PASCAL) ดำเนินการอยู่ในระบบ MS-DOS Operating System version 2.11 ขึ้นไป หน่วยความจำ (RAM) 512 Kbytes ขึ้นไป ฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk) อย่างต่ำ 10 Mbytes Math - coprocessor (8087) MIKE 11 เหมาะสมสำหรับการออกแบบ การจัดการและการดำเนินงานของระบบโครงข่ายในลุ่มน้ำและคลอง

MIKE 11 HD module ได้รับการพัฒนามาจาก System 11 HD ซึ่งเป็น Implicit finite difference model สามารถจำลองสภาพของ Unsteady flow (การไหลแบบไม่ทรงตัว จะเกิดขึ้นเมื่อความเร็วของการไหลที่หน้าตัด มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา) ในลำน้ำที่มีลักษณะโครงข่ายแบบ Open Channels (ทางน้ำใดๆ ที่มีผิวอิสระของการไหลสัมผัสกับอากาศ) และผลของ HD module จำลองสภาพของระดับน้ำและปริมาณการไหลของน้ำ ส่วนผลของ Transport Dispersion module (TD) วิเคราะห์สภาพการเคลื่อนย้ายมวลสาร นอกจากนี้แล้ว MIKE 11 ยังประกอบด้วย NAM runoff module , Sediment transport module (ST) และ Water Quality module (WQ) ดังในแผนภาพ รูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงถึงรูปแบบการจำลองสภาพของแบบจำลอง MIKE 11



รูปที่ 3.1 แผนภาพรูปแบบการจำลองสภาพของแบบจำลอง MIKE 11 (DHI, 1988)

1. Hydrodynamic Model (HD Model)

HD Model เป็นแบบจำลองที่ใช้คำนวณการไหลแบบการไหลแบบไม่คงที่เปลี่ยนแปลงทีละน้อย (Gradually varied unsteady flow) ในทางน้ำเปิด โดยใช้สมการของ Saint Venant ซึ่งประกอบด้วยสมการต่อเนื่อง (Continuity equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum equation) การคำนวณเป็นแบบ Implicit Finite Difference Method โดยแบ่งการคำนวณออกเป็นตอนๆ (discretization) เริ่มคำนวณจากจุดเริ่มต้น ซึ่งทราบค่าแล้ว ต่อจากนั้นจะคำนวณที่ค่าถัดไปเรื่อยๆ

การคำนวณการไหลแบบไม่คงที่เปลี่ยนแปลงทีละน้อย ในทางน้ำเปิด มีลักษณะต่างๆ ดังนี้

1. การไหลทั้งแบบสภาวะใต้วิกฤต (Subcritical flow : เป็นช่วงการไหลที่มีความเร็วต่ำ แรงโน้มถ่วง จะมีผลสำคัญต่อการไหล) และสภาวะเหนือวิกฤต (Supercritical flow : เป็นช่วงการไหลที่มีความเร็วสูง แรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ จะมีผลสำคัญต่อการไหล)
2. การไหลในทางน้ำเปิด ที่มีลักษณะเป็นโครงข่ายหรือเป็น loop ได้
3. การไหลแบบ Quasi two - dimensional flood plains
4. การไหลผ่านโครงสร้างทางชลศาสตร์ เช่น ฝาย ท่อส่งน้ำ เป็นต้น

เงื่อนไขที่ใช้คำนวณพฤติกรรมการไหล โดยสมการของ Saint Venant มีดังนี้

1. การไหลของลำน้ำมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันตลอด (ความหนาแน่นคงที่ตลอดหน้าตัด)
2. ความลาดเอียงของท้องน้ำต่ำมาก จนถือว่าเป็นแนวราบ
3. ความยาวคลื่นน้ำมีค่ามาก เมื่อเทียบกับความลึกของลำน้ำ และถือว่ามีทิศทางขนานกับท้องน้ำ
4. การไหลเป็นแบบการไหลสภาวะใต้วิกฤต (การไหลสภาวะเหนือวิกฤต ใช้ในสภาพบังคับอื่นๆ)

ถ้าพิจารณาหน้าตัดรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยให้ท้องน้ำมีลักษณะเป็นแนวราบและความกว้างคงที่ จะได้ความสัมพันธ์ในสมการทรงมวลและสมการทรงโมเมนตัม ดังนี้

สมการทรงมวล

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h' b) = -\frac{\partial}{\partial x}(\rho h' b\bar{u}) \qquad (3.1)$$

สมการทรงโมเมนตัม

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h' b\bar{u}) = -\frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha' \rho h' b\bar{u}^2 + \frac{1}{2}\rho g b h'^2\right) \quad (3.2)$$

โดย

ρ	:	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)
h'	:	ความลึก (เมตร)
b	:	ความกว้าง (เมตร)
$\bar{u}$	:	ความเร็วเฉลี่ยในแนวดิ่ง (เมตร / วินาที)
α'	:	สัมประสิทธิ์การกระจายความเร็วในแนวดิ่ง (vertical velocity - distribution coefficient)
g	:	ความเร่งโน้มถ่วง (เมตร / วินาที^{2})

ถ้าให้ความลาดเอียงของท้องน้ำ (bottom slope ; l_b) และความกว้างของลำน้ำเปลี่ยนแปลง พิจารณาแรงกระทำของท้องน้ำและผิวสัมผัสด้านข้างที่กระทำต่อรูปหน้าตัดลำน้ำ จะได้สมการ ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h' b\bar{u}) = -\frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha' \rho h' b\bar{u}^2 + \frac{1}{2}\rho g b h'^2\right) + \frac{\partial b}{\partial x}\frac{1}{2}\rho g h'^2 - \rho g h' b l_b$$

$$= -\frac{\partial}{\partial x}(\alpha' \rho h' b\bar{u}^2) - b\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{2}\rho g h'^2\right) - \rho g h' b l_b \quad (3.3)$$

ถ้าใช้ค่าระดับน้ำ (water level ; h) เป็นความสัมพันธ์ที่ใช้แทนค่าความลึกของน้ำ (water depth ; h') จะได้สมการ

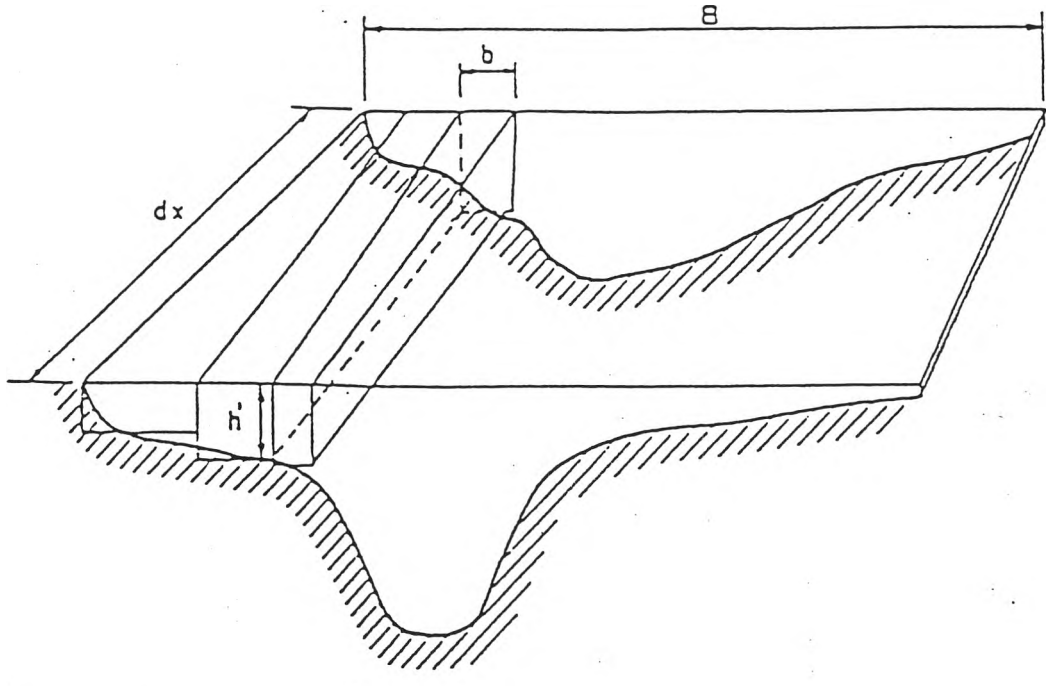
$$\frac{\partial h}{\partial x} = l_b + \frac{\partial h'}{\partial x} \quad (3.4)$$

ถ้ากำหนดให้ ρ คงที่ นำสมการ (3.1) และ (3.2) หารด้วย ρ ตลอด จะได้

$$\frac{\partial}{\partial t}(h' b) = -\frac{\partial}{\partial x}(h' b\bar{u}) \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(h'b\bar{u}) = -\frac{\partial}{\partial x}(\alpha h'b\bar{u}^2) - h'bg\frac{\partial h}{\partial x} \qquad (3.6)$$

สมการ (3.5) และ (3.6) สามารถอินทิเกรต เพื่ออธิบายการไหลผ่านหน้าตัดลำน้ำ โดยการตัดเป็นสี่เหลี่ยมเล็กๆ หลายๆ รูปตามแนวหน้าตัดลำน้ำทุกแบบ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 หน้าตัดลำน้ำที่พิจารณาเป็นลำน้ำรูปสี่เหลี่ยมหลายๆ รูป

ถ้าให้การอินทิเกรตพื้นที่หน้าตัด = A
ให้การอินทิเกรตอัตราการไหล = Q
และให้ความกว้างของพื้นที่หน้าตัด = B

$$A = \int_0^B h'\,db \qquad (3.7)$$

$$Q = \int_0^B h'\bar{u}\,db = \bar{u}A \qquad (3.8)$$

เมื่อรวมสมการ (3.5) และ (3.6) เข้ากับสมการที่ (3.7) และ (3.8) จะได้

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \qquad (3.9)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha \frac{Q^2}{A}\right) + gA\frac{\partial h}{\partial x} = 0 \qquad (3.10)$$

ถ้านำค่าความต้านทานทางชลศาสตร์ (hydraulic resistance) และการไหลด้านข้าง (lateral inflow) รวมในสมการ (3.9) และ (3.10) จะได้สมการพื้นฐานที่ใช้ในแบบจำลอง MIKE 11 ดังนี้คือ

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \qquad (3.11)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha \frac{Q^2}{A}\right) + gA\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \qquad (3.12)$$

โดย

A	:	พื้นที่หน้าตัดลำน้ำ (เมตร^2)
C	:	Chezy resistance coefficient (เมตร$^{1/2}$ / วินาที)
g	:	ความเร่งโน้มถ่วง (เมตร / วินาที^{2})
h	:	ระดับน้ำเหนือระดับอ้างอิง (เมตร)
Q	:	อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตร / วินาที)
R	:	รัศมีชลศาสตร์ (เมตร)
α	:	momentum distribution coefficient
q	:	อัตราการไหลด้านข้าง (ลูกบาศก์เมตร / วินาที)
t	:	เวลา (วินาที)

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

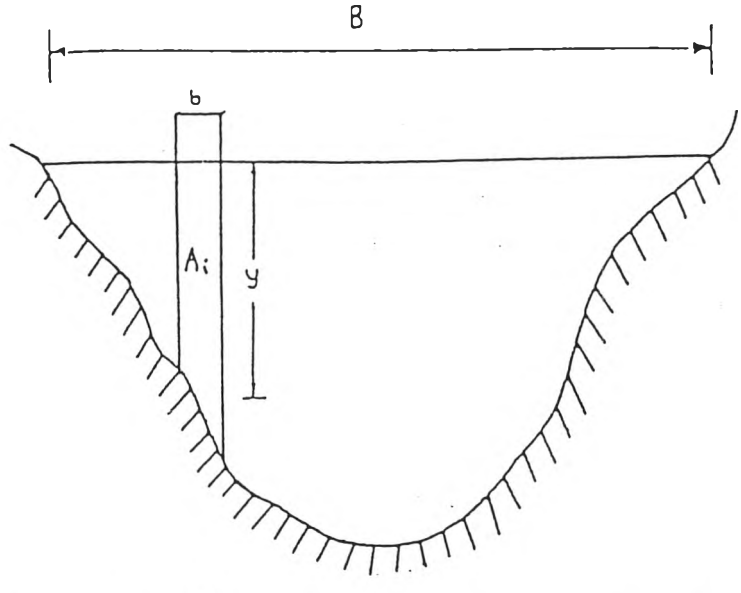
2) รัศมีความต้านทาน (Resistance Radius ; R)*

รัศมีความต้านทานสามารถคำนวณโดยสมการ (Engelund , 1966) ดังนี้

$$\sqrt{R^*} = \frac{1}{A}\int_0^B y^{3/2}\,db \qquad (3.16)$$

โดย y : ความลึกในหน้าตัดย่อยที่พิจารณา

b : ความกว้างผิวน้ำที่ระดับ y ที่พิจารณา ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 หน้าตัดลำน้ำที่พิจารณาในสมการ Resistance Radius (R*)

จาก $A_e = \sum_{r=1}^{Ns} \left(\frac{A_i}{r_{ri}}\right)$ (3.17)

โดย A_e : effective area

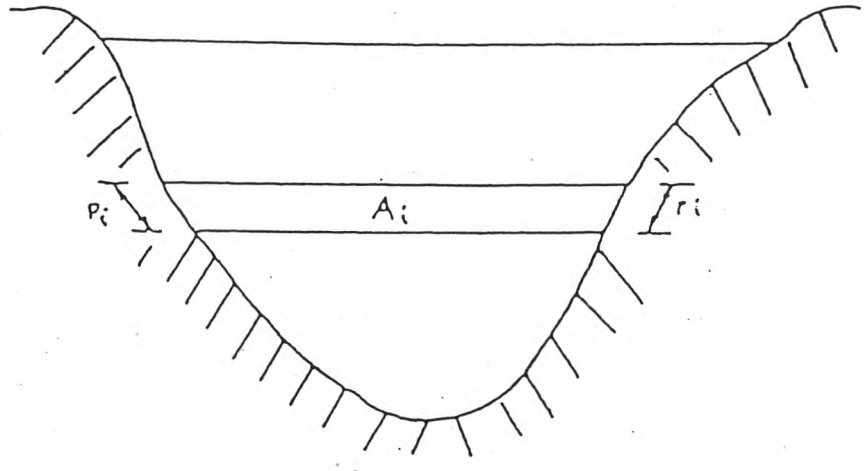
N_s : จำนวนหน้าตัดย่อยที่พิจารณา มีค่าเท่ากับจำนวน Coordinate x-z ลบด้วย 1

r_r : ค่า relative resistance

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

ดังนั้น สมการ (3.21) จะได้

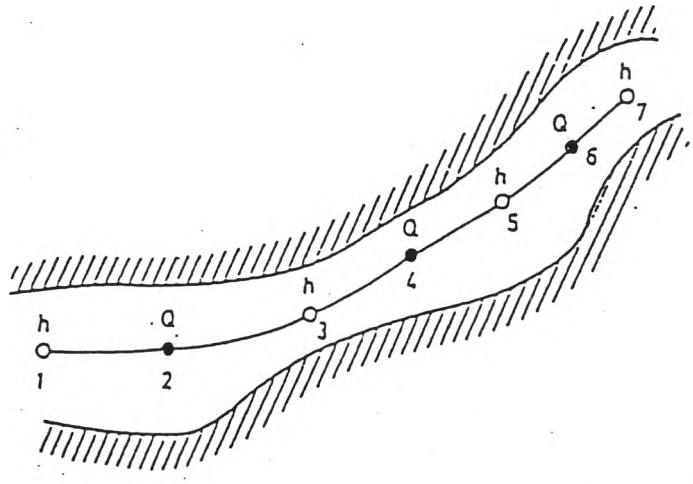
$$R = \frac{A}{P} \qquad (3.22)$$



รูปที่ 3.4 หน้าตัดลำน้ำที่พิจาณาในสมการ Hydraulic Radius (R)

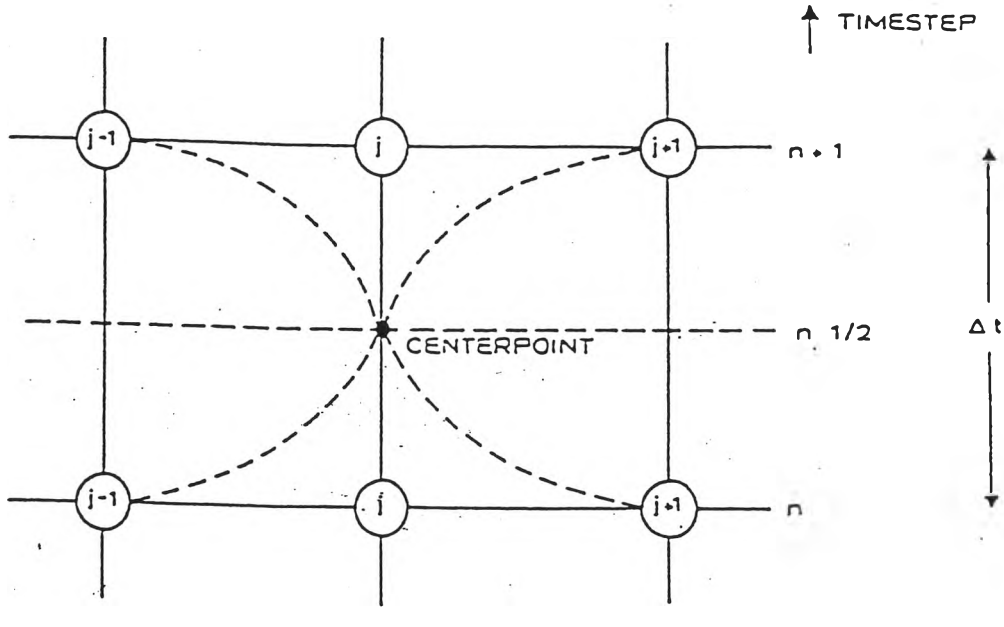
1.1 การคำนวณกริด

สมการ (3.11) และ (3.12) ของ Saint Venant เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่า Q และ h ที่แต่ละช่วงเวลา (time step) โปรแกรมจะคำนวณกริดขึ้นโดยอัตโนมัติ จุด Q จะอยู่ระหว่างจุด h ที่ติดกันเสมอ ดังรูปที่ 3.5 โดยที่ระยะระหว่างค่า h อาจจะแตกต่างกันไปตามข้อมูลที่มีอยู่



รูปที่ 3.5 กริดต่างๆ ตามหน้าตัดลำน้ำ

สำหรับ Numerical Scheme ที่ได้รับการยอมรับ คือ 6 - point Abbott Scheme ดังรูปที่ 3.6



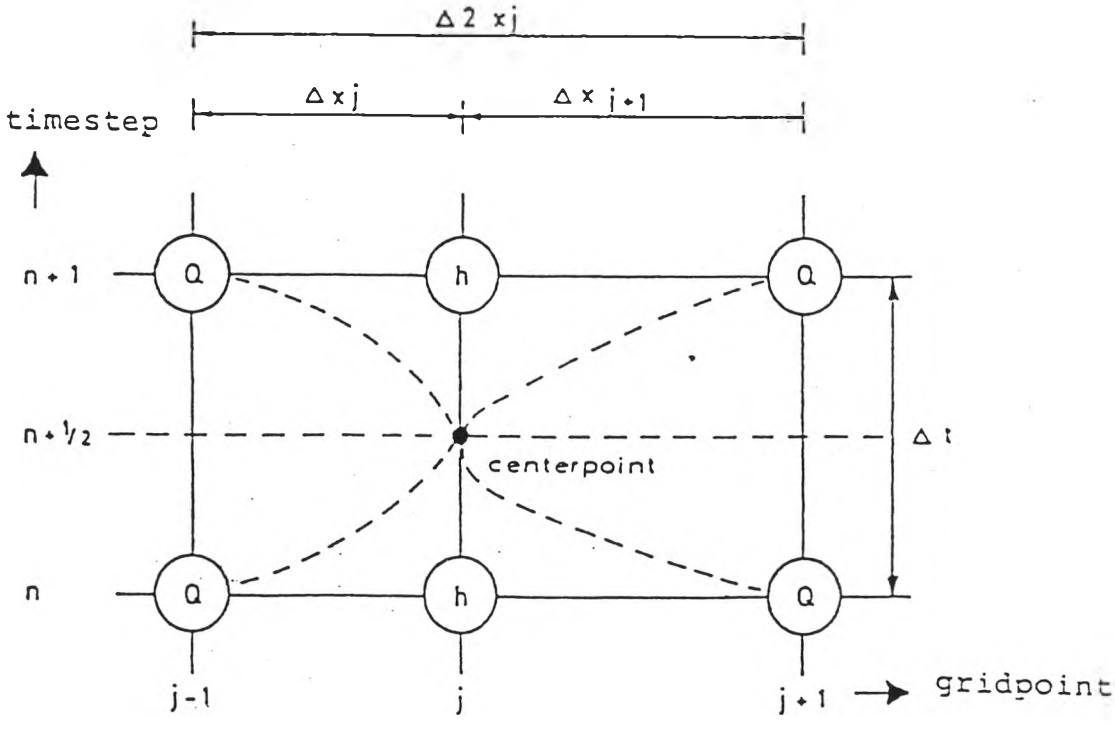
รูปที่ 3.6 Centered 6 - point Abbott Scheme

ในสมการต่อเนื่อง สมการ (3.11) ถ้าให้ความกว้างลำน้ำ คือ b_s จะได้

$$\frac{\partial A}{\partial t} = b_s \frac{\partial h}{\partial t} \qquad (3.23)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b_s \frac{\partial h}{\partial t} = q \qquad (3.24)$$

โดยค่า Q ขึ้นอยู่กับระยะ x ดังนั้น สมการจะหาค่า Centered ที่จุด h ได้ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 Centering of continuity equation in 6 - point Abbott Scheme

I17926488

พิจารณาสมการ (3.24) ที่เวลา n + 1/2 ได้ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\left(\frac{Q_{j+1}^{n+1} + Q_{j+1}^{n}}{2}\right) - \left(\frac{Q_{j-1}^{n+1} + Q_{j-1}^{n}}{2}\right)}{\Delta 2x_j} \qquad (3.25)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\left(h_j^{n+1} - h_j^{n} \right)}{\Delta t} \qquad (3.26)$$

ให้ $b_s = \frac{A_{0,j} + A_{0,j+1}}{\Delta 2x_j}$ (3.27)

โดย $A_{0,j}$: พื้นที่ผิวระหว่างกริด j-1 และ j

$A_{0,j+1}$: พื้นที่ผิวระหว่างกริด j และ j+1

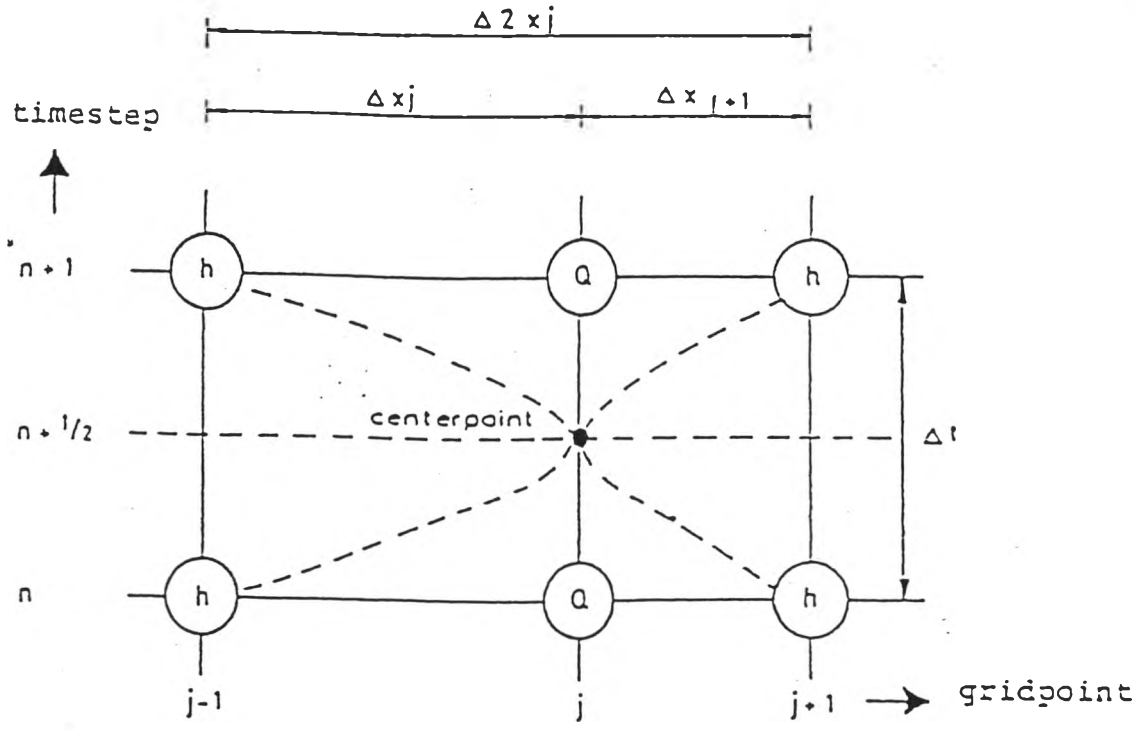
$\Delta 2x_j$: ระยะทางระหว่างจุด j-1 และ j+1

ดังนั้น แทนค่าลงในสมการ (3.24) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\alpha_j Q_{j-1}^{n+1} + \beta_j h_j^{n+1} + \gamma_j Q_{j+1}^{n+1} = \delta_j \qquad (3.28)$$

โดย α , β และ γ เป็นฟังก์ชันของ b และ δ ซึ่งทั้งหมดนี้ ขึ้นอยู่กับค่า Q และ h ที่เวลา n และ Q ที่เวลา n + 1/2

สมการโมเมนตัม (สมการ 3.12) Centerpoint ถูกกำหนดที่จุด Q ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 Centering of Momentum equation in 6-point Abbott Scheme

พิจารณาสมการ (3.12) ของ Saint Venant

$$\frac{\partial Q}{Qt} = \frac{\left(Q_j^{n+1} - Q_j^n\right)}{\Delta t} \qquad (3.29)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha \frac{Q^2}{A}\right) = \frac{\left[\left(\alpha \frac{Q^2}{A}\right)_{j+1}^{n+\frac{1}{2}} - \left(\alpha \frac{Q^2}{A}\right)_{j-1}^{n+\frac{1}{2}}\right]}{\Delta 2x_j} \qquad (3.30)$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\frac{\left(h_{j+1}^{n+1} + h_{j+1}^n\right)}{2} - \frac{\left(h_{j-1}^{n+1} + h_{j-1}^n\right)}{2}}{\Delta 2x_j} \qquad (3.31)$$

เนื่องจากสมการ (3.30) เป็นสมการกำลังสอง (Quadratic) ดังนั้น สูตรที่ใช้เพื่อแสดงค่าทิศทางของ Q ที่ถูกต้อง ในระหว่างเปลี่ยนค่าช่วงเวลา คือ

$$Q^2 = fQ_j^{n+1}Q_j^n - (f-1)Q_j^nQ_j^n \quad (3.32)$$

ซึ่งค่า f สามารถกำหนดเองได้โดยใช้ค่าประมาณ 1.0 (THETA Coefficient)

ดังนั้น สมการโมเมนตัมจะเขียนได้ ดังนี้

$$\alpha_j h_{j-1}^{n+1} + \beta_j Q_j^{n+1} + \gamma_j h_{j+1}^{n+1} = \delta_i \quad (3.33)$$

โดย α_j : f (A)

β_j : $f\left(Q_j^n, \Delta t, \Delta x, C, A, R\right)$

γ_j : f (A)

δ_j : $f\left(A, \Delta x, \Delta t, \alpha, q, v, h_{j-1}^n, Q_{j-1}^{n+\frac{1}{2}}, Q_j^n, h_{j+1}^n, Q_{j+1}^{n+\frac{1}{2}}\right)$

1.2 การกำหนดกริด

เพื่อให้สมการคงที่แบบการแปรผันเชิงเส้น (Linear Variation) จึงจำเป็นต้องกำหนดหลักเกณฑ์ (Criteria) ที่เกี่ยวข้องให้มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ดังนี้

1.2.1 หลักเกณฑ์ของ Courant Number (C_n)

$$C_n = \frac{\left(v + \sqrt{gd}\right)}{\Delta x}\Delta t \leq 10 - 15 \quad (3.34)$$

โดย C_n : Courant Number

v : ความเร็วเฉลี่ยของหน้าตัด (เมตร/วินาที)

d : ความลึกการไหลเฉลี่ย (เมตร)

Δt : ช่วงเวลา (วินาที)

Δx : space step (เมตร)

g : ความเร่งโน้มถ่วง (เมตร/วินาที^{2})

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2.2 หลักเกณฑ์ของความเร็ว (Velocity Criteria)

$$\frac{v\Delta t}{\Delta x} \leq 1 - 2 \qquad (3.35)$$

1.3 ข้อมูลที่ต้องการ

ข้อมูลที่ต้องใช้ใน HD Model สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1.3.1 ลักษณะโครงข่ายของลำน้ำ (River Channel Network) ประกอบด้วย

- รูปหน้าตัดลำน้ำในแบบพิกัด X - Z
- ความยาวและโครงข่ายของแม่น้ำหรือลำคลอง
- ค่า Manning's n

1.3.2 ขอบเขตเงื่อนไข

การกำหนดขอบเขต จะต้องใช้ทุกจุดเริ่มต้นและจุดปลายของลำน้ำทุกสาขา คือ

1) ขอบเขตต้นน้ำ (Upstream Boundary) ซึ่งใช้ข้อมูลใดข้อมูลหนึ่ง ดังนี้

- ปริมาณการไหล (Q) คงที่จากอ่างเก็บน้ำ
- ปริมาณการไหล (Q) แปรผันตามเวลา
- Discharge Hydrograph ของเหตุการณ์ใดๆ

2) ขอบเขตท้ายน้ำ (Downstream Boundary) ซึ่งใช้ข้อมูลใดข้อมูลหนึ่ง ดังนี้

- ระดับน้ำ (h) คงที่จากอ่างเก็บน้ำ
- ระดับน้ำ (h) แปรผันตามเวลา
- โค้งปริมาณน้ำ (Rating Curve)

1.4 เงื่อนไขเริ่มต้น

เงื่อนไขเริ่มต้นใน HD Model มีให้เลือกใช้ 2 แบบ คือ

1.4.1 Automatic Computed Initial Condition โดย MIKE 11 จะคำนวณหา Profile ในลำน้ำทั้งหมดที่ตำแหน่งขอบเขตเงื่อนไขที่เวลาเริ่มต้น เพื่อนำมาใช้เป็นเงื่อนไขเริ่มต้น

1.4.2 เงื่อนไขเริ่มต้นที่ให้กำหนดใน Supplementary Data Menu

1.5 การปรับเทียบ (Calibration)

การปรับแก้ใน HD Model มีตัวแปรเพียงตัวเดียวที่ต้องปรับแก้ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Chezy C หรือ Manning's n) ในแต่ละหน้าตัดลำน้ำ โดยจะปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระจนกระทั่งค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับค่าระดับน้ำที่ได้จากข้อมูลเก็บสำรวจได้มากที่สุด ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ มีความสำคัญต่อการไหลมาก ถึงแม้ว่ามีข้อเสนอแนะการเลือกค่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระไว้แล้ว แต่ก็เป็นการยากที่จะเลือกได้เหมาะสมกับค่าจริงได้ จึงจำเป็นต้องทำการปรับค่าอีก องค์ประกอบที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ มีดังนี้

1) ความขรุขระของผิวทางน้ำเปิด หมายถึงขนาดและรูปร่างของเม็ดวัสดุที่บนเส้นขอบเปียกของทางน้ำเปิด

2) พืชปกคลุม จะมีผลต่อความขรุขระของทางน้ำเปิด ลดพื้นที่หน้าตัดการไหล และยังทำให้การไหลช้าลงด้วย ผลของพืชปกคลุมต่อการไหล ขึ้นอยู่กับความสูง ความหนาแน่น การกระจายและชนิดของพืชปกคลุม

3) ความผันแปรของทาง น้ำเปิด อาจหมายถึงความแปรเปลี่ยนของเส้นขอบเปียก หน้าตัดสภาพท้องน้ำ ขนาด รูปร่างตามความยาวของทางน้ำเปิด

4) ความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด มีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระมีค่าสูง

5) การตกตะกอนและกัดเซาะ การตกตะกอนโดยมากจะมีแนวโน้มทำให้สภาพทางน้ำเปิดสม่ำเสมอและราบเรียบ จึงเป็นการลดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ ในทางตรงข้ามการกัดเซาะมักจะเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ แต่อย่างไรก็ตาม ยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ตกตะกอนและลักษณะการตกตะกอนเป็นสันหรือคลื่นทราย จะเป็นการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ ในขณะการกัดเซาะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ครอบคลุมพื้นที่กว้าง จะทำให้ทางน้ำเปิดมีความสม่ำเสมอมากขึ้น จึงเป็นการลดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ

6) สิ่งกีดขวางการไหล เช่น ท่อนซุง ตอม่อสะพานและอื่นๆ จะเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ โดยอัตราการเพิ่ม ขึ้นอยู่กับสภาพสิ่งกีดขวาง ขนาด รูปร่าง จำนวนและการกระจาย เป็นต้น

7) ขนาดและรูปร่างของทางน้ำเปิด

8) ความลึกและอัตราการไหล

9) การแปรผันตามฤดูกาล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของวัชพืชน้ำ หญ้าและต้นไม้

10) วัสดุตะกอนแขวนลอยและตะกอนท้องน้ำ

2. Transport - Dispersion Model (TD Model)

หลังจากที่ได้ประมวลผลโดย HD Model แล้ว ในขั้นต่อมาจะทำการประมวลผลโดย TD Model โดยใช้ข้อมูลพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ รัศมีชลศาสตร์ และผลที่ได้จาก HD Model คือ ค่าระดับน้ำ และอัตราการไหล

เงื่อนไขที่ใช้สำหรับสมการเคลื่อนย้ายมวลสารในลำน้ำ

1) สารแขวนลอยในลำน้ำผสมกันอย่างสมบูรณ์ตลอดหน้าตัด (Completely mixed)

2) ความเข้มข้นที่ปล่อยลงสู่ลำน้ำจะผสมกันอย่างสมบูรณ์ทันทีที่หน้าตัดนั้น

3) การคำนวณการย่อยสลายในสมการลำดับที่ 1 เท่านั้น (1st Order Decay)

4) ไม่มีการพิจารณาถึงปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับสารแขวนลอย

2.1 พฤติกรรมการเคลื่อนย้ายมวลสารในลำน้ำ

เกิดจากกระบวนการหลัก 3 กระบวนการ คือ

2.1.1 การพา (Convection) เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายมวลสาร เนื่องจากอิทธิพลของกระแสน้ำพาไป

2.1.2 การฟุ้งกระจาย (Diffusion) เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายมวลสารจากจุดที่มีความเข้มข้นสูงกว่า ไปยังจุดที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า

2.1.3 องค์ประกอบอื่นๆ ประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบเฉพาะของสาร เช่น กรณีการจำลองออกซิเจนละลาย จะมีการเติมออกซิเจนจากอากาศ การลดออกซิเจนเนื่องจากแบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เป็นต้น

TD Model ใช้สำหรับคำนวณการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยในทางน้ำเปิด โดยใช้หลักของกฎทรงมวล (Conservative of Mass) โดยคิดเป็นแบบทิศทางเดียว (One-dimensional Equation) สมการที่ใช้ คือ

$$\frac{\partial}{\partial t}AC + \frac{\partial}{\partial x}QC - \frac{\partial}{\partial x}\left(AD\frac{\partial C}{\partial x}\right) = -AKC + C_s q \qquad (3.36)$$

โดย C : ความเข้มข้น (มวล / ปริมาตร)

D : สัมประสิทธิ์ของการกระจาย (เมตร^2 / วินาที)

A : พื้นที่หน้าตัดลำน้ำ (เมตร^2)

K : สัมประสิทธิ์ของการย่อยสลาย (วินาที $^{-1}$)

C_s : ความเข้มข้นที่ปล่อยลงสู่ลำน้ำ (มวล / ปริมาตร)

q : อัตราการไหลเข้าด้านข้าง (ลูกบาศก์เมตร/ วินาที)

t : ช่วงเวลาระหว่างหน้าตัดลำน้ำ (วินาที)

x : ระยะระหว่างหน้าตัดลำน้ำ (เมตร)

2.2 ข้อมูลที่ต้องการ

2.2.1 ผลลัพธ์จาก HD Model

- อนุกรมเวลาของปริมาณการไหลและระดับน้ำ

2.2.2 ส่วนประกอบ (Components) สารที่ต้องการวิเคราะห์และหน่วยความเข้มข้น

2.2.3 สัมประสิทธิ์ของการกระจาย (Dispersion Coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจาย กำหนดได้ในรูปของฟังก์ชันของความเร็วการไหล ดังนี้

$$D = f v^{EX} \qquad (3.37)$$

โดย D : สัมประสิทธิ์ของการกระจาย (เมตร^2 / วินาที)

f : Dispersion Factor

v : ความเร็วของการไหล (เมตร / วินาที)

EX : Dimensionless Exponent

2.2.4 ค่าคงที่ของการย่อยสลาย (Decay Constant)

สารประกอบที่แขวนลอยในน้ำบางตัวมีการย่อยสลายบ้าง ดังนั้น แบบจำลอง จึงยอมให้มีการคำนวณแบบ Non Conservative Components ได้โดย

$$\frac{dc}{dt} = KC \qquad (3.38)$$

โดย K : สัมประสิทธิ์ของการย่อยสลาย (Decay Coefficient) (ชม$^{-1}$)

C : ความเข้มข้น

2.3 การกำหนดกริด

2.3.1 Pelect Number

$$Pe = V\Delta X / D > 2 \qquad (3.39)$$

โดย V : ความเร็ว (เมตร / วินาที)

ΔX : ระยะระหว่างจุดที่คำนวณ (เมตร)

D : สัมประสิทธิ์ของการกระจาย (เมตร^2 / วินาที)

2.3.2 Convective Courant Number

$$Cr = V\Delta t / \Delta X < 1 \qquad (3.40)$$

โดย Δt : ช่วงเวลา (วินาที)

ใน TD Model จะใช้จุดคำนวณทั้งจุด h และ Q จากการคำนวณโดย HD Model ดังนั้น ΔX ใน TD Model จะเท่ากับครึ่งหนึ่งของ ΔX ใน HD Model ซึ่งค่าช่วงเวลา ในการคำนวณโดย TD Model ก็จะลดลงตามปัจจัยทั้งสองที่กล่าวมาด้วย

2.4 เงื่อนไขเริ่มต้น

กำหนดค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารประกอบต่างๆ ในลำน้ำ ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่จะพิจารณาในโครงข่ายลำน้ำและต้องกำหนดค่าความเข้มข้นของสารประกอบต่างๆ ตามหน่วยที่เลือกไว้

2.5 ขอบเขตเงื่อนไข

การกำหนดขอบเขตที่ใช้ใน TD Model ต้องสอดคล้องกับการกำหนดขอบเขตที่ใช้ใน HD Model โดยใน TD Model จะใช้ข้อมูลสำหรับขอบเขตได้ 3 ประเภท คือ

2.5.1 อนุกรมเวลาของความเข้มข้นของสาร

โดยจะเป็นความเข้มข้นที่ขอบเขตนั้น ซึ่งผันแปรไปตามเวลา

2.5.2 Opened Boundary Conditions

โดยมีลักษณะที่การไหลของน้ำไปยังพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ เช่น อ่างเก็บน้ำ หรือทะเล

2.5.3 Closed Boundary Conditions

โดยมีลักษณะเป็นตำแหน่งที่สารประกอบในน้ำ ไม่สามารถเคลื่อนย้ายเข้าหรือออกไปจากขอบเขตโครงข่ายลำน้ำได้