

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ RIC-Nays

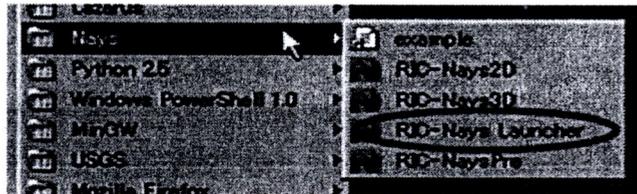
โปรแกรม RIC-Nays เป็น Freeware ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย The Foundation of Hokkaido River Disaster Prevention Research Center (RIC) แห่งประเทศญี่ปุ่น ซึ่งจะสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมพร้อมกับคู่มือการใช้งานได้จากเว็บไซต์ <http://i-ric.org/nays/en/download.html>

2.1.1 หลักการทำงานของแบบจำลอง RIC-Nays

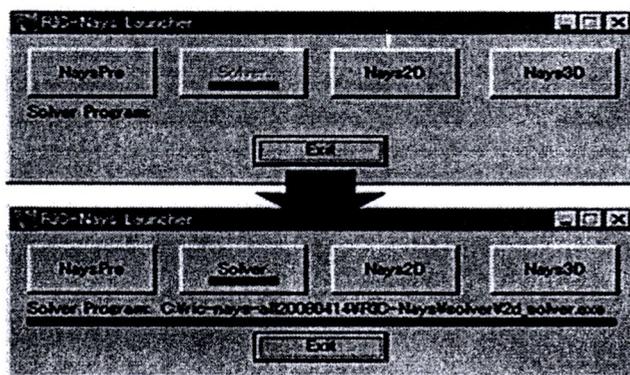
แบบจำลอง RIC-Nays [10] มีลักษณะของระบบโครงสร้างที่ออกแบบไว้โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ

1. RIC-Nays launcher

เมื่อทำการติดตั้งโปรแกรมแล้ว สามารถคลิกเปิดหน้าต่างนี้โดยเข้าไปในเมนู Start (รูปที่ 2.1ก.) เมื่อทำการเปิดหน้าต่างขึ้นมาแล้วก็จะแสดงปุ่มการใช้งานต่างๆ (รูปที่ 2.1ข.) และมีปุ่มที่จะใช้สำหรับ Run โปรแกรมคือ Solver อยู่ในลำดับที่ 2



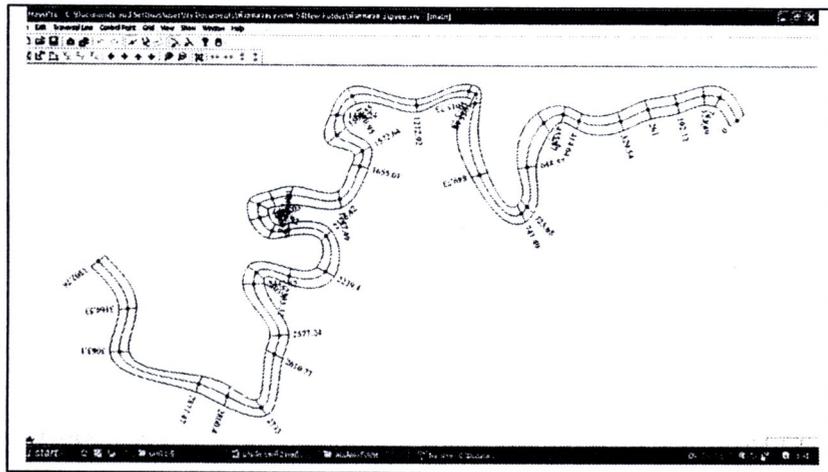
(รูปที่ 2.1ก.) คลิกเปิดการทำงานจากเมนู Start



(รูปที่ 2.1ข.) กดปุ่มการทำงานบนหน้าต่างของ RIC-Nays launcher

2. RIC-NaysPre

หน้าตาที่ใช้สำหรับสร้างกริด เพื่อใช้ในการคำนวณจากข้อมูลตำแหน่งพิกัดรูปตัดขวาง และรูปตัดตามยาวของแม่น้ำที่ได้จากการสำรวจ มี GUI และ Visualized สำหรับจัดการข้อมูลข้างต้น นอกจากนี้ยังใช้สำหรับกำหนดค่าเริ่มต้นและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการคำนวณด้วย (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงหน้าตาของ RIC-NaysPre

3. Sample solver and library

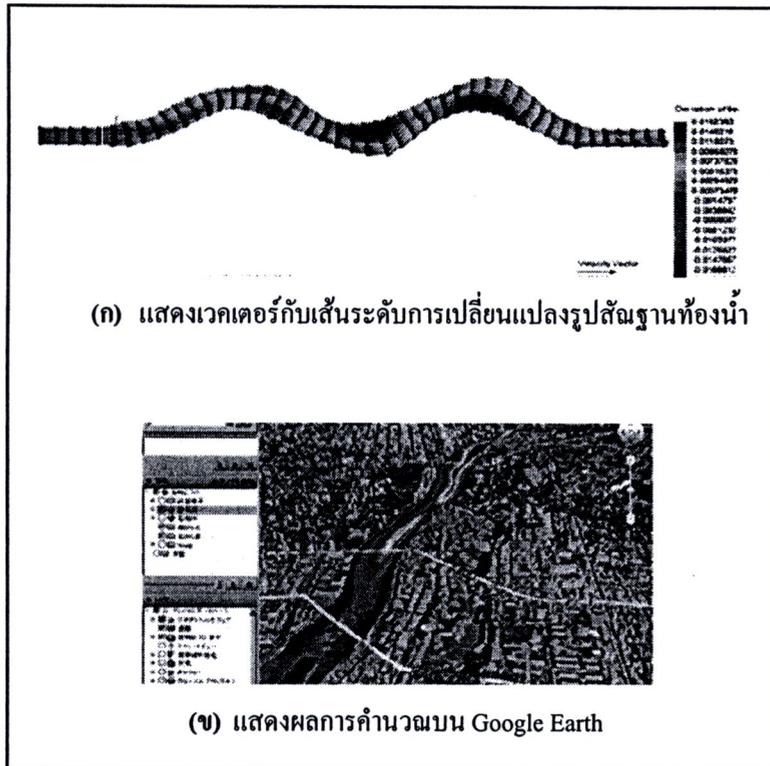
ตัวอย่างการคำนวณ เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำ Ishikari และ Sample_I-III เป็นต้น จะมีข้อมูลไฟล์ต่างๆ (รูปที่ 2.3) ที่ใช้ในการป้อนเข้าเพื่อ Run โปรแกรม เอกสารทฤษฎีกับคู่มือการใช้งาน และไฟล์ Nayslib.f90 ที่จะใช้เตรียมข้อมูลให้กับโปรแกรม RIC-Nays

ChaoPraya	File Folder	27/5/2552 13:11
cpy	File Folder	27/5/2552 17:00
Ishikari	File Folder	22/5/2552 10:55
Sample_I	File Folder	4/6/2552 10:44
Sample_II	File Folder	21/5/2552 17:15
Sample_III	File Folder	19/5/2552 13:29

รูปที่ 2.3 ภาพแสดงตัวอย่างการคำนวณใน Sample solver and library [10]

4. RIC-Nays2D, 3D

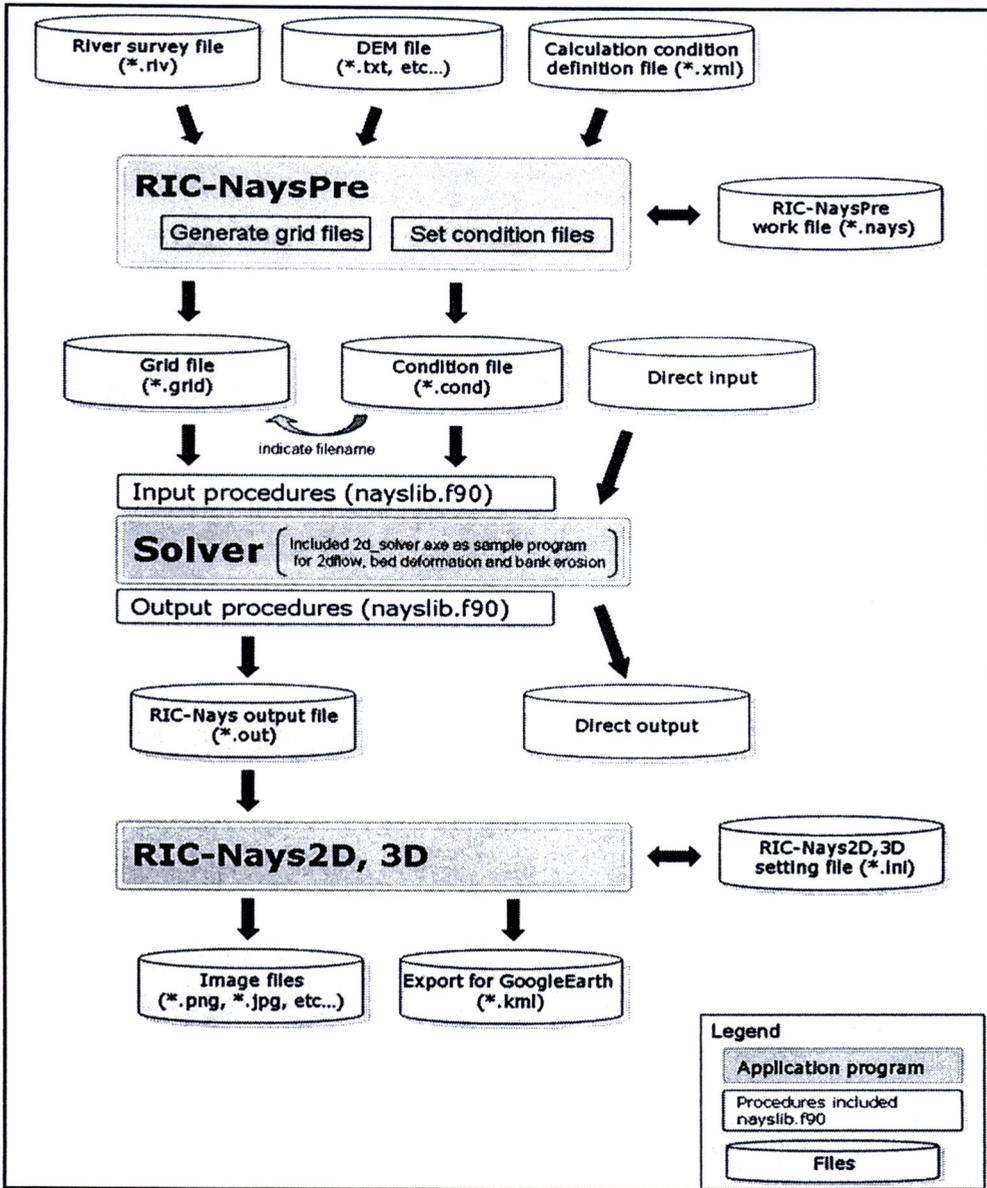
ส่วนที่ใช้สำหรับแสดงผลการคำนวณ (รูปที่ 2.4) ซึ่งสามารถแสดงได้หลายรูปแบบทั้งที่เป็นปริมาณสเกลาร์และปริมาณเวกเตอร์ เช่น เส้นการไหล เวกเตอร์ทิศทางของการไหล เส้นชั้นความสูง และการเปลี่ยนแปลงสัณฐานท้องน้ำ เป็นต้น และ/หรือมีความสามารถนำเสนอรูปภาพที่แสดงปริมาณหลายๆ อย่างในรูปภาพเดียวกันได้



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงหน้าต่างของ RIC-Nays2d, 3D [10]

2.1.2 ระบบโครงสร้างของโปรแกรม RIC-Nays

1. ส่วนสีส้ม เป็น Application ที่ผู้พัฒนาโปรแกรมจัดเตรียม
2. ส่วนสีเหลือง เป็น Procedures ต่างๆ รวมทั้งไฟล์ nayslib.f90
3. ส่วนสีฟ้า เป็น ไฟล์ที่ผู้ใช้สามารถเข้าไปจัดการได้เองหรือจะต้องจัดเตรียมข้อมูลเอง
4. ตัว Solver ถูกสร้างมาให้มีความยืดหยุ่น โดยที่ผู้ใช้งานอาจจะใช้โปรแกรมที่ผู้พัฒนาโปรแกรมจัดเตรียมไว้ให้ (ภาษา Fortran90) หรือผู้ใช้งานอาจจะพัฒนาขึ้นมาด้วยตัวเองก็ได้ (2d_solver.exe) (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงผังจำลองระบบโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม RIC-Nays [10]

2.1.3 การใช้งานโปรแกรม RIC-Nays

1. การเตรียมข้อมูลป้อนเข้า

ก) ข้อมูลตำแหน่งพิกัดและรูปตัดขวาง

ข้อมูลตำแหน่งพิกัดและรูปตัดขวาง จะประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วนคือ ข้อมูลตำแหน่งพิกัดของดิ่งซ้ายกับขวา (#Survey) กับข้อมูลรูปตัดขวาง (#X-Section) ของแม่น้ำ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะ ได้จากการสำรวจภาคสนาม จะเก็บไว้ในไฟล์ *.Riv (รูปที่ 2.6 ก-ข)

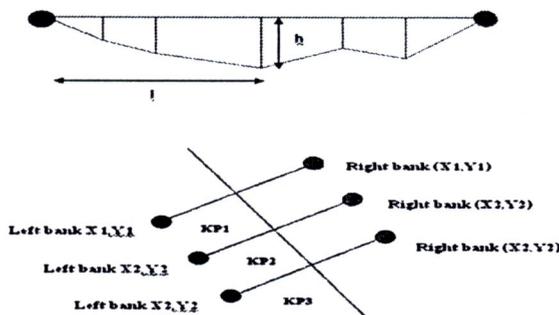
#survey					
0.0		326734.5	322038.9		326657.5 322069.9
92.7		326788.0	322114.6		322182.8 326716.3
196.3		326872.8	322174.1		326834.0 322249.7
295.4		326960.8	322219.7		326917.9 322303.4

#x-section					
0	9				
0.0	301.1	5.0	301.5	10.0	300.5
15.0	296.0	20.0	295.4	25.0	296.6
30.0	297.2	35.0	302.0	40.0	302.0
92.65	9				
0.0	301.6	5.0	301.6	10.0	301.6
15.0	296.0	20.0	295.8	25.0	295.5
30.0	301.8	35.0	302.0	40.0	302.0

KP1	Left bank X1	Left bank Y1	Right bank X1	Right bank Y1
KP2	Left bank X2	Left bank Y2	Right bank X2	Right bank Y2

KP1	Points 1				
l1,0	h1,0	l1,1	h1,1	l1,2	h1,2
l1,3	h1,3	l1,4	h1,4	l1,5	h1,5

(ก) ตัวอย่างข้อมูลตำแหน่งพิกัดและรูปตัดขวาง



(ข) ตัวอย่างข้อมูลตำแหน่งพิกัดและรูปตัดขวาง

รูปที่ 2.6 ภาพแสดงตัวอย่างข้อมูลตำแหน่งพิกัดและรูปตัดขวางลำน้ำ [10]

ข) ข้อมูลของการไหล เช่น ความลึก และอัตราการไหล เป็นต้น

ข้อมูลของการไหล จะประกอบด้วยอนุกรมเวลาของอัตราการไหลกับระดับน้ำด้านท้ายน้ำ เพื่อใช้เป็นค่าขอบเขตด้านบนกับด้านล่างของแบบจำลอง ข้อมูลจะเก็บไว้ในไฟล์ *.D (รูปที่ 2.7)

0.	2998.7778 -0.50
3600.	2750.2368 -0.25
7200.	2041.1505 -0.10
10800.	1847.2987 0.0
14400.	1787.7029 0.20
18000.	1658.0615 0.35
21600.	1675.7109 0.50

time Q (m³/s) H (m)

รูปที่ 2.7 ภาพแสดงตัวอย่างข้อมูลการไหลกับระดับน้ำ [10]

ค) ข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำ

ข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ρ , γ , n , d , Δt และกำหนดเลือกคำนวณสภาพเริ่มต้นกับวิธีการคำนวณ เป็นต้น ซึ่งในไฟล์นี้จะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งกำหนดชื่อไฟล์กับตำแหน่งที่จัดเก็บเพื่อจะใช้เรียกอ่านเป็นข้อมูลป้อนเข้าและแสดงผลการคำนวณด้วย โดยจะเก็บไฟล์ข้อมูลไว้ใน *.Cond

ง) ขนาดของช่วงเวลา (Timestep : Δt) และกำหนดเลือกคำนวณสภาพเริ่มต้นกับวิธีการคำนวณ

ผลลัพธ์และการนำเสนอผลการคำนวณเมื่อทำการ Run โปรแกรมเพื่อประมวลผลโดย Solver แล้วผลลัพธ์จากการคำนวณที่ได้ก็จะถูกจัดเก็บไว้ในไฟล์ชื่อ Out.dat เป็นข้อมูลแบบ Binary ซึ่งข้อมูลในไฟล์ข้างต้นจะสามารถนำไปใช้โดย Nays2D, 3D เพื่อสร้างรูปภาพนิ่งและ/หรือรูปภาพเคลื่อนไหวแบบต่างๆ ได้

ผลการคำนวณของ RIC-Nays2D, 3D สามารถเก็บและนำมาแสดงเป็นภาพนิ่งและ/หรือภาพเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่องและยังสามารถนำภาพเคลื่อนไหวไปสร้างเป็นไฟล์ *.Kml เพื่อใช้แสดงบน

2.1.4 ทฤษฎีสมการพื้นฐาน [10]

1. สมการการไหลของน้ำ

สมการพื้นฐานที่ถูกนำมาใช้ในโปรแกรม RIC-Nays จะประกอบด้วยสมการการไหลต่อเนื่องและสมการโมเมนตัม ซึ่งในระบบพิกัดแบบฉาก เขียนได้เป็น

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left[v \frac{\partial(hu)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v \frac{\partial(hu)}{\partial y} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left[v \frac{\partial(hv)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v \frac{\partial(hv)}{\partial y} \right] \quad (3)$$

โดยที่ h เป็น ความลึก u, v เป็น ความเร็วเฉลี่ยในแนวตั้ง, $\tau_{x,y}$ เป็นความเค้นเฉือนในแนวแกน x กับ y , ρ เป็น ความหนาแน่นของน้ำ, H เป็นค่าเสาระดับ ($H = z_b + h$), z_b เป็นระดับของท้องน้ำ, v เป็นความหนืดจลน์, t เป็นเวลา และ x, y เป็นแนวแกนของระบบพิกัดแบบฉากตามทิศทางการไหลกับทิศทางตั้งฉากตามลำดับ

พจน์ของความเค้นเฉือน τ_x, τ_y และความหนืดจลน์สามารถคำนวณได้จาก

$$\tau_x = \rho C_d u \sqrt{u^2 + v^2}, \quad \tau_y = \rho C_d v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4)$$

$$v = \frac{\kappa}{6} u_* h \quad (5)$$

โดยที่ C_d เป็น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, κ เป็น ค่าคงที่ของ Karman (มีค่าเท่ากับ 0.4) และ u_* เป็น ความเร็วเฉือน ซึ่งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของ

$$u_* = C_d \sqrt{u^2 + v^2} \quad (6)$$

2. สมการการขนส่งตะกอน

สมการต่อเนื่องของตะกอนท้องน้ำเขียนได้เป็น

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left[\frac{\partial q^x}{\partial x} + \frac{\partial q^y}{\partial y} \right] = 0 \quad (7)$$

โดยที่ z_b เป็น ระดับของท้องน้ำ, $q^{x,y}$ เป็นปริมาณขนส่งของตะกอนท้องน้ำและ/หรือตะกอนแขวนลอยในแนวแกน x กับแนวแกน y และ λ เป็นสัดส่วนช่องว่างของเม็ดตะกอน ซึ่งสมการพื้นฐานที่ได้แสดงไว้ข้างต้นในระบบพิกัดฉาก (x, y) จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของระบบพิกัดแบบทั่วไป

(General coordinate system) และแก้ระบบสมการเพื่อหาผลเฉลยโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงจำนวนผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite difference method: FDM) ตามแบบวิธี CIP (Cubic interpolation pseudoparticle) แต่อย่างไรก็ตามในโปรแกรม RIC-Nays สามารถเลือกใช้แบบวิธี Upwind ที่มีความแม่นยำน้อยกว่าแต่สามารถลดระยะเวลาในการคำนวณให้สั้นลงมาได้ และสามารถเลือกใช้วิธีการคำนวณการไหลแบบปั่นป่วนได้ 3 แบบคือ (1) ค่าความหนืดคงที่ (2) 0-Equation และ (3) k- ϵ model

2.1.5 การวิเคราะห์การสอบเทียบแบบจำลอง

จากผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง เมื่อพิจารณาหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และได้ค่าที่เหมาะสมจากการสอบเทียบแบบจำลอง ระหว่างผลลัพธ์กับข้อมูลที่ตรวจวัดจริงของระดับน้ำต่ออัตราการไหลโดยใช้หลักการทางสถิติมาเป็นเครื่องช่วยตัดสินใจเพื่อที่จะได้อย่างอิงผลการจำลองและคัดเลือกพารามิเตอร์ได้ง่ายขึ้น ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2), ค่าดัชนีการยอมรับ (Index of agreement) และค่าความคลาดเคลื่อน (Root mean square error) สำหรับพิจารณาความเหมาะสมของการสอบเทียบดังสมการที่ (8), (9) และ (10)

1. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2)

$$R^2 = \frac{N \sum_{i=1}^n O_i M_i - \sum_{i=1}^n (O_i) \sum_{i=1}^n (M_i)}{\sqrt{\left[N \sum_{i=1}^n O_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n (O_i) \right)^2 \right] \left[N \sum_{i=1}^n M_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n (M_i) \right)^2 \right]}} \quad (8)$$

เมื่อ

- R^2 = ค่า Coefficient of determination
- O_i = ข้อมูลจริงที่ได้จากการสำรวจระดับน้ำเอง $i = 1, 2, 3 \dots n$
- M_i = ผลการคำนวณจากแบบจำลอง $i = 1, 2, 3 \dots n$
- N = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจริงที่ได้จากแบบจำลอง

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และค่าประสิทธิภาพของ Nash and Sutcliffe (E) จะต้องมีค่าเข้าใกล้ 1 ไม่ต่ำกว่า 0.6 ในทางชลศาสตร์ถือว่ายอมรับได้ ส่วนค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) จะต้องมีค่าเข้าใกล้ 0

2. Nash and Sutcliffe (NS)

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{avg})^2} \quad (9)$$

เมื่อ

- NS = ค่า Nash and Sutcliffe
 O_i = ข้อมูลจริงที่ได้จากการสำรวจระดับน้ำเอง
 M_i = ผลการคำนวณจากแบบจำลอง
 O_{avg} = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจริงที่ได้จากการสำรวจระดับน้ำเอง

โดยที่ค่า NS มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงข้อมูลที่ต้องสมบูรณและสัมพันธ์กับข้อมูลที่ตรวจวัดจริง แต่ถ้าค่า NS มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงข้อมูลที่ไม่มีความถูกต้องและไม่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ตรวจวัดจริง

3. Root Mean Square Error

ในการพิจารณาแบบจำลองที่เหมาะสมในการพยากรณ์นั้น เราสามารถพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริงกับค่าพยากรณ์ หรือที่เราเรียกว่า “ค่าความคลาดเคลื่อน” ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

ค่าความคลาดเคลื่อน Root Mean Square Error, (RMSE)

$$RMES = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{M}_i)^2} \quad (10)$$

เมื่อ

- $RMSE$ = ค่าความคลาดเคลื่อน
 O_i = ข้อมูลจริงที่ได้จากการสำรวจระดับน้ำเอง
 M_i = ผลการคำนวณจากแบบจำลอง
 \bar{O}_{avg} = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจริงที่ได้จากการสำรวจระดับน้ำเอง
 i = จำนวนข้อมูล

โดยที่ค่า (RMSE) มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงข้อมูลที่มีความถูกต้องสมบูรณและสัมพันธ์กับข้อมูลที่ตรวจวัดจริงเพราะค่า Error มีน้อย แต่ถ้าค่า (RMSE) มีค่ามากกว่า 0 เกินไป แสดงถึงข้อมูลที่ไม่มีความถูกต้องและสัมพันธ์กับข้อมูลที่ตรวจวัดจริงน้อย



2.2 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

2.2.1 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 2.8 ภาพแสดงพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ที่มา <http://www.panteethai.com/region.asp?id=2>

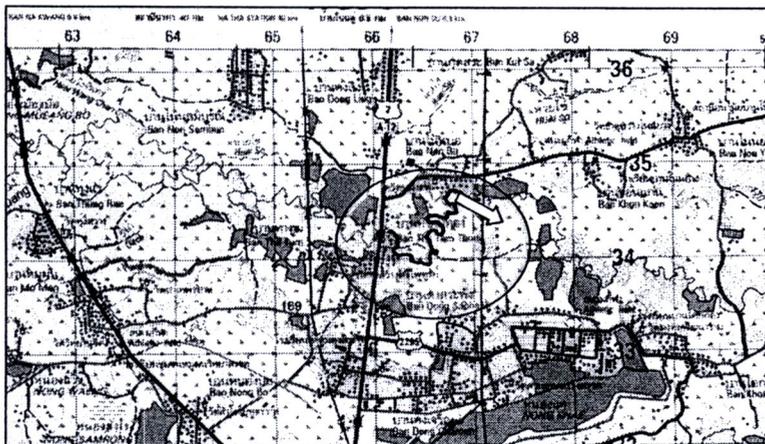
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีลักษณะเป็นพื้นที่ราบสูงตั้งอยู่ทางทิศทางตามชื่อภาคของประเทศ (รูปที่ 2.8) มีพื้นที่ประมาณ 170,26 ตารางกิโลเมตร หรือ 1 ใน 3 ของประเทศ พื้นที่ส่วนใหญ่ลาดเอียงไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 50 เมตรมีอากาศร้อนจัดและหนาวจัด ลักษณะดินเป็นดินปนทราย พื้นดินไม่เก็บน้ำจึงมีสภาพแห้งแล้ง ประวัติศาสตร์ในสมัยโบราณเคยเป็นอาณาจักรขอมมาก่อนที่จะตกมาเป็นเมืองขึ้นของประเทศไทย ประกอบด้วย 20 จังหวัด ได้แก่ กาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครพนม นครราชสีมา บุรีรัมย์ มหาสารคาม มุกดาหาร ยโสธร ร้อยเอ็ด เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ หนองคาย อุดรธานี อุบลราชธานี หนองบัวลำภู อำนาจเจริญและบึงกาฬ โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือสามารถแบ่งพื้นที่ได้ออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนแอ่งโคราช คือบริเวณแถบลุ่มน้ำชีและน้ำมูล มีพื้นที่ 3 ใน 4 ของภาคและส่วนแอ่งสกลนคร คือบริเวณตอนเหนือของ อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 26 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุดในเดือนเมษายนประมาณ 42 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดในเดือนมกราคมประมาณ 13 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,614 มิลลิเมตร/ปี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม 2 ชนิด คือ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 23 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน.....247129
เลขเรียกหนังสือ

1. ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงกลางเดือนตุลาคมไปจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์จะพัดเอาความหนาวเย็นจากประเทศจีนเข้าสู่ประเทศไทย จัดเป็นช่วงฤดูหนาวมีอากาศแห้งแล้ง
2. ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมจนถึงปลายเดือนกันยายน พัดพาเอาความชื้นจากบริเวณเส้นศูนย์สูตรจัดเป็นช่วงฤดูฝน

2.2.2 พื้นที่ศึกษาลำห้วยหลวง

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัณฐานท้องน้ำของลำน้ำห้วยหลวง โดยเริ่มต้นที่สถานีตรวจวัดข้อมูลอุทกนิยมนิเวศวิทยา-อุทกวิทยา ห้วยหลวง ตำบลหมู่ม อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี พิกัด 1934260 N, 266076 E ตั้งแต่สะพานข้ามห้วยหลวงทางหลวงแผ่นดินหมายเลข A2 สายอุดรธานี-หนองคาย ที่ กม. 125+581 ข้างศูนย์สร้างสาวกเพื่อประกาศและบุกเบิกคริสตจักร บ้านท่าตูม ตำบลหมู่ม อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี ไปถึงบ้านโนนยาง ตำบลกุดสระ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี ความยาวตามลำห้วยประมาณ 3 กิโลเมตร พื้นที่ในการศึกษาห่างจากท้ายเขื่อนห้วยหลวงประมาณ 25 กิโลเมตร



รูปที่ 2.9 ภาพแสดงแผนที่ 1:50,000 ราว 5543 I พิกัดที่ตั้งโครงการและทิศทางการไหลของลำน้ำ

ที่ตั้งลำน้ำห้วยหลวงที่ศึกษาดังกล่าวเป็นลำน้ำที่เริ่มขึ้นมาจากท้ายเขื่อนห้วยหลวง (รูปที่ 2.9) อำเภอ กุดจับ จังหวัดอุดรธานี ลำน้ำจะไหลอ้อมผ่านอำเภอเมืองอุดรธานีไปทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และผ่านเข้าอำเภอเพ็ญ อำเภอบ้านดุง ปลายสุดลำห้วยไหลลงสู่แม่น้ำโขงที่อำเภอโพธิ์ชัย จังหวัด หนองคาย ปริมาณการไหลรวมของน้ำส่วนใหญ่มาจากลำน้ำสาขาย่อยต่างๆ หลายสาขา ปริมาณน้ำฝน ที่ตกสู่พื้นที่รับน้ำด้านข้างและด้านท้ายของเขื่อนห้วยหลวงไหลมารวมกันในฤดูฝน ปริมาณน้ำ บางส่วนถูกระบายจากเขื่อนห้วยหลวงซึ่งเป็นปริมาณเพียงส่วนน้อย ลำห้วยหลวงเป็นลำห้วยที่ค่อนข้างแคบและคดเคี้ยวมาก ในบริเวณศึกษาปริมาณที่ไหลลงสู่ลำห้วยจะลดระดับค่อนข้างเร็วทำให้ตลิ่งพังเสียหายได้อย่างง่าย

2.3 แม่น้ำและลำน้ำ

แม่น้ำและลำน้ำ (River and stream) จัดเป็นแหล่งน้ำผิวดิน (Surface water) ที่ไหลอยู่ในร่องน้ำ มีต้นกำเนิดมาจากน้ำที่ไหลบนแผ่นดินจากที่สูงลงไปสู่ที่ราบต่ำ ในขณะที่กระแสน้ำที่ไหลนั้นน้ำบางส่วนถูกกักเก็บอยู่บนผิวดินสะสมเพิ่มเป็นแหล่งน้ำผิวดิน บางส่วนซึมผ่านลงดินเป็นน้ำใต้ดินและมีบางส่วนระเหยขึ้นอากาศ กระแสน้ำที่ไหลจากพื้นที่สูงลงสู่ที่ต่ำโดยไหลด้วยปริมาณที่มากมีความรุนแรงเชิงวิศวกรรมนั้นดินจึงถูกกัดเซาะเป็นร่องลึกและลึกเพิ่มขึ้น เพราะน้ำที่ไหลแรงจะมีการกัดเซาะสูง ทำให้เกิดระดับความลึกที่แตกต่างกัน จำนวนของร่องน้ำที่ไหลมารวมกันจนมากขึ้นจึงกลายเป็นร่องน้ำขนาดใหญ่หรือแม่น้ำ (River) แม่น้ำสายต่างๆมักจะมีลำน้ำ (Stream) เป็นลำน้ำสาขาย่อยหลายๆสายไหลมารวมกันซึ่งเป็นการเพิ่มเติมปริมาณน้ำในแม่น้ำนั้นๆ

สำหรับการกระทำของลำน้ำเป็นกระบวนการในการเคลื่อนย้ายผิวดินให้ปรากฏบนพื้นโลก เราเรียกว่ากระบวนการกร่อน (Erosion) การพัดพา (Transportation) และการทับถม (Deposition) กระบวนการกระทำของลำน้ำหรือกระแสน้ำไหลเป็นตัวการสำคัญในการเปลี่ยนแปลงของผิวโลก แต่จะขึ้นอยู่กับความรุนแรงของกระแสน้ำ ตลอดจนสภาพของดินว่าคุณสมบัติของดินนั้นเป็นดินชนิดใด และจะมีโอกาสถูกกระทำจากกระแสน้ำมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เนื่องจากกระแสน้ำจะกัดเซาะหรือการพัดพาตะกอนและทับถมขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงสัณฐานท้องน้ำใหม่ไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความจำเป็นในการปรับสภาพเพื่อรักษาสมดุลระหว่างปริมาณตะกอนที่ต้องพัดพาไปกับพลังที่กระแสน้ำที่มีอยู่ในการพัดพา

ส่วนประกอบของลำน้ำ มีส่วนประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้ ต้นน้ำ (Source) เป็นจุดเริ่มต้นของลำน้ำ ต้นน้ำคือบริเวณจุดเริ่มต้นของร่องน้ำหรือลำน้ำ ต้นน้ำมักอยู่ในเขตภูเขาหรือที่สูง ส่วนประกอบของลำน้ำได้แก่ สันปันน้ำ (Divide) สันปันน้ำเป็นส่วนแบ่งของกลุ่มน้ำ โดยสันปันน้ำเป็นส่วนที่สูงที่สุดของสันเขาและเป็นแนวแบ่งการไหลของลำน้ำมาตามความลาดชันของสภาพภูมิประเทศ ต้นน้ำอาจเกิดจากตาน้ำหรือน้ำที่ไหลซึมออกมาจากแหล่งน้ำหรือสันปันน้ำบนภูเขาก็ได้กลุ่มน้ำ (River valley) คือพื้นที่บริเวณที่รองรับน้ำฝนที่ตกลงมาและน้ำฝนดังกล่าว จะไหลมาจากแม่น้ำสาขาย่อยต่างๆแล้วไหลรวมกันที่แม่น้ำสาขาหลักใหญ่ เช่นแม่น้ำโขงซึ่งเป็นแม่น้ำนานาชาติไหลมาจากประเทศจีนซึ่งปริมาณน้ำเกิดจากลำน้ำสาขาต่างๆ แม่น้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่สำคัญ ได้แก่ แม่น้ำยวม แม่น้ำสงคราม แม่น้ำห้วยหลวง แม่น้ำอุบล แม่น้ำมูล แม่น้ำชี แม่น้ำพอง แม่น้ำเลย แม่น้ำป่าสักและลำตะคอง เป็นต้น ร่องน้ำ (Channel) คือส่วนที่ลึกที่สุดของลำน้ำและเป็นที่ยรวมของตะกอนขนาดต่างๆ ที่ถูกพัดพามา และเป็นช่องทางระบายน้ำลงสู่บริเวณที่ต่ำกว่า แคว (Tributary) คือลำน้ำสาขาย่อยที่เป็นสาขาของแม่น้ำที่ไหลลงมาจากต้นน้ำและไหลลงมารวมกันที่ลำน้ำสาขาหลัก ลำน้ำสาขา (Distributary) เป็นลำน้ำสาขาย่อยที่ไหลแตกแยกออกจากลำน้ำสาขาหลัก ออกไป และไหลลงสู่ทะเลและมหาสมุทร

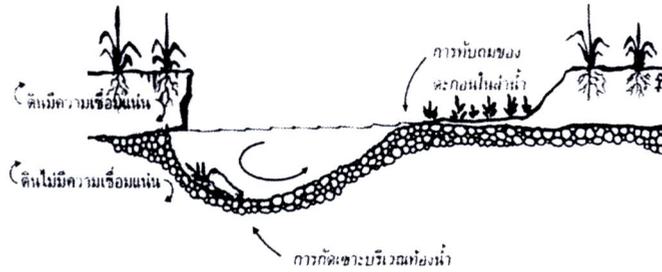
ปากน้ำ (Mouth) คือบริเวณที่ร่อนน้ำมาบรรจบกับแหล่งน้ำ เช่น ทะเลหรือบริเวณที่ต่ำที่สุดหรือจุดสิ้นสุดของแม่น้ำ โดยทั่วไประดับของท้องน้ำจะอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำทะเล น้ำทะเลสามารถไหลเข้ามาในร่องน้ำได้จึงเกิดการผสมกันระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม เกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้ตะกอนจับตัวกันเป็นก้อนมีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดการตกทับถมกันบริเวณปากแม่น้ำที่เราเรียกว่า “ดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ” จากส่วนประกอบของลำน้ำดังกล่าวทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วนั้นเราเรียกว่าระบบลำน้ำ (River system) ซึ่งระบบลำน้ำบนพื้นโลกจะแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ระบบลำน้ำถาวร (Permanent stream) ซึ่งมีน้ำไหลอยู่ตลอดปี และระบบลำน้ำชั่วคราว (Intermittent stream) จะมีน้ำไหลอยู่เพียงบางช่วงเวลาเท่านั้น น้ำจะแห้งขอดในฤดูแล้ง

2.4 ตลิ่ง

2.4.1 ประเภทของตลิ่ง

ตลิ่งของลำน้ำต่างๆ สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทตามลักษณะของดินได้ดังต่อไปนี้

1. ตลิ่งที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive banks) เป็นตลิ่งที่ประกอบจากดินประเภทที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive soil) หรือดินเหนียวเป็นสำคัญ ตลิ่งประเภทนี้มีความต้านทานต่อการกัดเซาะเนื่องจากการไหลของกระแสน้ำได้ดี
2. ตลิ่งที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Non-Cohesive banks) เป็นตลิ่งที่ประกอบจากดินประเภทที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Non-Cohesive soil) เช่น ทราย หรือกรวด การยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของเม็ดดินอาศัยเพียงแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคเป็นหลักตลิ่งประเภทนี้มีความต้านทานต่อการกัดเซาะเนื่องจากการไหลของกระแสน้ำต่ำ
3. ตลิ่งแบบผสม (Composite banks) เป็นตลิ่งที่พบเห็นได้ทั่วไปในแม่น้ำที่มีการนำพาตะกอน ตลิ่งประเภทนี้ประกอบด้วยดินที่มีความเชื่อมแน่นและไม่มีความเชื่อมแน่นวางตัวเป็นชั้นๆ ดังใน (รูปที่ 2.10) ที่แสดงตัวอย่างรูปตัดของโค้งลำน้ำที่มีตลิ่งเป็นแบบผสม ชั้นล่างของตลิ่งเป็นดินประเภทที่ไม่มีความเชื่อมแน่นที่ถูกกัดกร่อนและพัดพาได้ง่าย เช่น ทราย หรือกรวด ส่วนชั้นบนของตลิ่งเป็นดินประเภทที่มีความเชื่อมแน่น เช่น ดินเหนียว ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนและทับถมของอนุภาคละเอียดจากการไหลหลากของน้ำบนผิวดิน



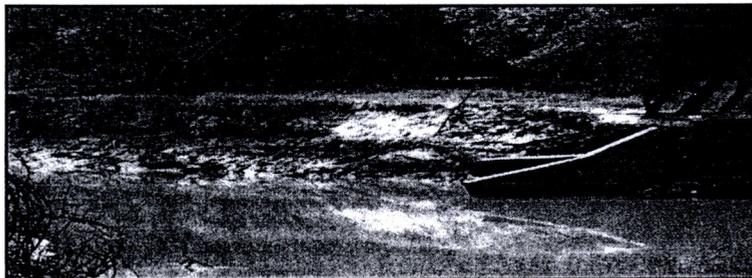
รูปที่ 2.10 ภาพแสดงตัวอย่างรูปตัดของโค้งลำน้ำที่มีตลิ่งเป็นแบบผสม
ที่มา http://opens.dpt.go.th/dpt_subkm01/dptpages/book-02/2_12.pdf

2.4.2 สาเหตุการพังทลายของตลิ่ง

สาเหตุการพังทลายของตลิ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 สาเหตุ ดังนี้

1. การกัดเซาะตลิ่ง (Bank erosion)

การกัดเซาะเป็นการกระทำที่เกิดขึ้นจากการไหลของน้ำผ่านผิวตลิ่ง ซึ่งการไหลของน้ำทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนกระทำกับผิวตลิ่ง หากหน่วยแรงดังกล่าวมีขนาดสูงเกินกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของผิวดิน จะเกิดการพัดพาหรือกัดเซาะเอาผิวดินไหลหลุดออกไปได้ การกัดเซาะนี้เกิดขึ้นได้ทั้งบริเวณลาดตลิ่งและท้องน้ำการกัดเซาะท้องน้ำบริเวณดินตลิ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ตลิ่งเกิดการพังทลาย และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดและทิศทางการไหลของแม่น้ำ นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณตะกอนในลำน้ำเพิ่มสูงขึ้นด้วย (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างการพังทลายเนื่องจากกัดเซาะตลิ่งลำน้ำห้วยหลวง

2. การขาดเสถียรภาพทางเทคนิคธรณี (Geotechnical instabilities)

การพังทลายของตลิ่งจากการขาดเสถียรภาพเกิดขึ้นเมื่อกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินไม่เพียงพอที่จะต้านหน่วยแรงที่กระทำกับตัวตลิ่งได้ สาเหตุการพังทลายของตลิ่งเนื่องจากการขาดเสถียรภาพที่สำคัญได้แก่

ก) การลดระดับน้ำในลำน้ำอย่างกะทันหัน ทำให้แรงดันน้ำในดินสูง กำลังของดินลดลง

ข) ตลิ่งที่มีชั้นดินทรายบางๆ อาจเกิดแรงดันน้ำในมวลดินสูง จนเกิดการกัดเซาะเม็ดดินออกเป็นโพรง (Piping) ส่งผลให้ดินส่วนบนพังทลายตามลงมา

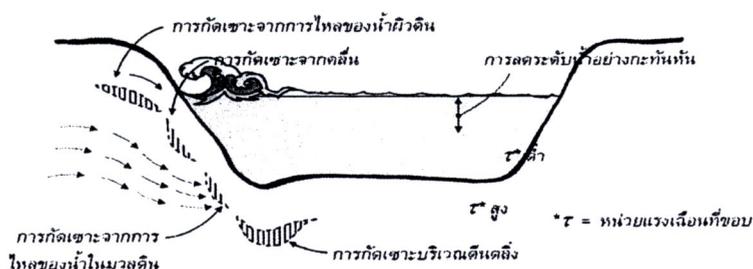
ค) แรงตึงผิว (Capillary) สามารถทำให้ตลิ่งประเภทดินทรายมีความชันสูงกว่าความชันธรรมชาติของตัวตลิ่งได้แต่เมื่อตลิ่งแห้งตัว แรงตึงผิวดังกล่าวจะหายไป ทำให้ตลิ่งขาดเสถียรภาพและพังทลายลงมา

2.4.3 การกัดเซาะตลิ่ง

การกัดเซาะตลิ่งเกิดขึ้นเมื่อแรงกัดเซาะเนื่องจากการไหลของกระแสน้ำเกินกว่าแรงต้านทานของดินริมตลิ่ง ทำให้เม็ดดินถูกพัดพาไหลหลุดออกมา อันอาจจะนำไปสู่การพังทลายของตลิ่งได้ สาเหตุการกัดเซาะของตลิ่งที่สำคัญสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

1. การกัดเซาะเนื่องจากการไหลของกระแสน้ำ (Erosion by current flow)

ความรุนแรงของกระแสน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณการไหลของน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ ขนาดและความลาดเอียงของลำน้ำ รวมทั้งรูปร่างความคดเคี้ยวของลำน้ำก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการกัดเซาะ ลำน้ำที่มีความคดเคี้ยวมากการกัดเซาะจะเป็นไปอย่างรุนแรง (รูปที่ 2.12)



รูปที่ 2.12 ภาพแสดงรูปตัดลำน้ำและการกัดเซาะจากสาเหตุต่างๆ

ที่มา http://opens.dpt.go.th/dpt_subkm01/dptpages/book-02/2_12.pdf

2. ลำน้ำตรง (Straight channels)

การไหลของกระแสน้ำในลำน้ำตรงทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผิวดินและน้ำ ซึ่งเรียกหน่วยแรงเฉือนดังกล่าวว่า หน่วยแรงเฉือนที่ขอบ (Boundary shearing stress) ซึ่งขนาดของหน่วยแรงเฉือนขึ้นอยู่กับความเร็วกวของกระแสน้ำ รูปร่างของหน้าตัด ความลาดเอียงและระดับความลึกในลำน้ำ

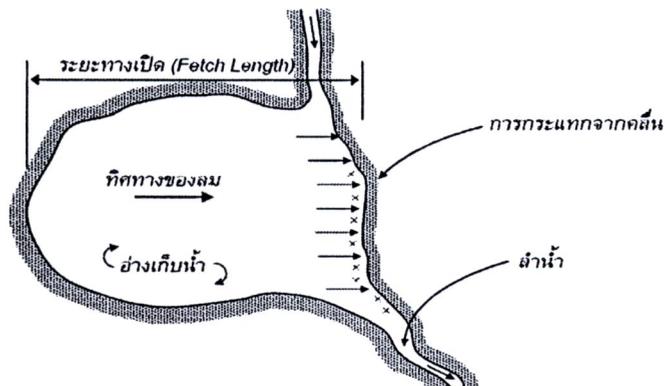
3. ลำน้ำที่ไม่สม่ำเสมอ (Irregular channels)

ลำน้ำที่มีความไม่สม่ำเสมอ เช่น ลำน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหน้าตัด การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของลำน้ำ เป็นต้น ทำให้เกิดการไหลของกระแสน้ำรอง ซึ่งการไหลดังกล่าวทำให้การไหลตามยาวในลำน้ำหรือการไหลหลักเกิดการปั่นป่วน อันมีผลต่อการกระจายของค่าหน่วยแรงเฉือนที่ขอบ

การกัดเซาะเนื่องจากคลื่น (Erosion by wave action) คลื่นเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการกัดเซาะขึ้นในลำน้ำ โดยเฉพาะในบริเวณลาดตลิ่ง สาเหตุการเกิดคลื่นในลำน้ำแยกออกได้ ดังนี้

ก) คลื่นที่เกิดจากลม (Wind-Generated waves) ความแรงของคลื่นประเภทนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วม ความถี่และระยะเวลาที่ลมพัด รวมทั้งระยะทางเปิดที่ลมพัดผ่าน (รูปที่ 2.13)

ข) คลื่นที่เกิดจากเรือ (Boat-Generated waves) เกิดขึ้นจากการสัญจรของเรือในลำน้ำ ความรุนแรงของคลื่นขึ้นอยู่กัประเภทรูปร่าง ขนาดและความเร็วของเรือรวมทั้งขนาดและรูปร่างของลำน้ำด้วย



รูปที่ 2.13 ภาพแสดงผลของระยะทางเปิดที่มีผลต่อการกัดเซาะลำน้ำจากคลื่นลม

ที่มา http://opens.dpt.go.th/dpt_subkm01/dptpages/book-02/2_12.pdf

4. การกัดเซาะทางกล (Erosion by mechanical action)

สาเหตุการกัดเซาะทางกลมีอยู่หลายประเภท ตัวอย่างได้แก่

- ก) การกระแทกของเรือเมื่อเรือเทียบฝั่ง รวมทั้งการฝั่งหมุดเพื่อยึดเรือ
- ข) การขยายและหดตัวของดินสลับกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่ดินมีสภาพชุ่มน้ำและแห้งสลับกัน ผลทำให้ดินเกิดการล้าตัวและหลุดร่อน
- ค) การกัดเซาะเนื่องจากการกระทำของมนุษย์ การกัดเซาะประเภทนี้ได้แก่ การสร้างสิ่งก่อสร้าง
- ง) การกัดเซาะเนื่องจากการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน (Erosion due to seepage) การซึมผ่านนี้ทำให้เกิดแรงดันน้ำในมวลดิน ซึ่งสามารถกัดเซาะเม็ดดินออกเป็น โพรง (Piping) ได้
- จ) การกัดเซาะเนื่องจากการไหลของน้ำผิวดิน (Erosion due to surface runoff) การกัดเซาะในกรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อปริมาณน้ำฝนสูงกว่าอัตราการซึมได้ของน้ำในดิน ทำให้เกิดการไหลหลากของน้ำบนผิวดิน การที่น้ำผิวดินไหลผ่านตลิ่งอาจทำให้ผิวดินเกิดการกัดเซาะขึ้นได้ การปลูกหญ้าหรือพืชคลุมตลิ่งจะช่วยให้ความรุนแรงของการกัดเซาะในลักษณะนี้ลดน้อยลงได้

5. องค์ประกอบที่มีผลต่อการขาดเสถียรภาพของตลิ่ง

องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการพังทลายของตลิ่งจากการขาดเสถียรภาพมีอยู่หลายประการด้วยกัน ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญ (รูปที่ 2.14) ได้แก่



รูปที่ 2.14 ภาพแสดงกลไกการวิบัติของตลิ่งเนื่องจากการขาดเสถียรภาพของความลาด

ที่มา http://www.fundyeng.com/cms/slope_stability

- ก) ความลาดเอียงของตลิ่ง (Bank slope geometry) หากตลิ่งมีความลาดเอียงสูงกว่าความลาดเอียงตามธรรมชาติของตัวตลิ่งเอง ก็มีแนวโน้มว่าตลิ่งดังกล่าวที่จะเกิดการพังทลายเนื่องจากการขาดเสถียรภาพได้ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความลาดเอียงของตลิ่งที่สำคัญ

ข) การไหลของน้ำ (Water flow) แบ่งออกเป็น

- การไหลซึมของน้ำในมวลดิน (Seepage) การไหลของน้ำในมวลดินเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำใต้ดินและระดับน้ำในลำน้ำแตกต่างกัน ถ้าผลต่างของระดับดังกล่าวสูง เช่น ในกรณีการลดระดับอย่างกะทันหันของน้ำในลำน้ำจะทำให้เกิดแรงดันน้ำในมวลดินสูง สามารถกัดเซาะเม็ดดินออกเป็นโพรงได้ นอกจากนี้การไหลของน้ำในมวลดินยังทำให้เกิดการกัดเซาะบริเวณผิวตลิ่งและดินตลิ่งได้

- การซึมผ่านของน้ำผิวดิน (Infiltration) การซึมผ่านของน้ำผิวดินและน้ำฝนทำให้หน่วยความหนาแน่นและแรงดันน้ำในดินสูงขึ้น ส่งผลให้กำลังของดินและเสถียรภาพของตลิ่งลดลง

ค) น้ำหนักบรรทุกจลน์ (Surcharge loads) ตัวอย่างของน้ำหนักบรรทุกนี้ได้แก่ น้ำหนักมนุษย์ น้ำหนักจากเครื่องจักรในขณะก่อสร้าง และน้ำหนักของรถยนต์ในกรณีที่มีถนนอยู่ริมตลิ่ง

ง) การแตกร้าวเนื่องจากแรงดึง (Tension crack) เกิดขึ้นกับดินประเภทดินเหนียว การแตกร้าวนี้ทำให้ตลิ่งลดเสถียรภาพลง โดยเฉพาะหากมีน้ำอยู่ในรอยร้าวดังกล่าว

6. ลักษณะการพังทลายของตลิ่ง

ลักษณะการพังทลายของตลิ่ง สามารถจำแนกได้เป็น 4 ลักษณะ ดังนี้

ก) การพังทลายบริเวณผิวลาด (Shallow failure) โดยทั่วไปเกิดกับตลิ่งที่เป็นดินประเภทดินทราย ระยะเวลาการพังทลายจะอยู่ในระดับต้นและขนานไปกับลาดของตลิ่ง การพังทลายของตลิ่งในลักษณะนี้เกิดขึ้นเนื่องจากความลาดเอียงของตลิ่งสูงกว่าแรงเสียดทานภายในของเม็ดดิน โดยเฉพาะถ้ามีน้ำไหลซึมผ่านในตลิ่งทำให้การพังทลายในลักษณะนี้เกิดได้ง่ายขึ้น (รูปที่ 2.15)

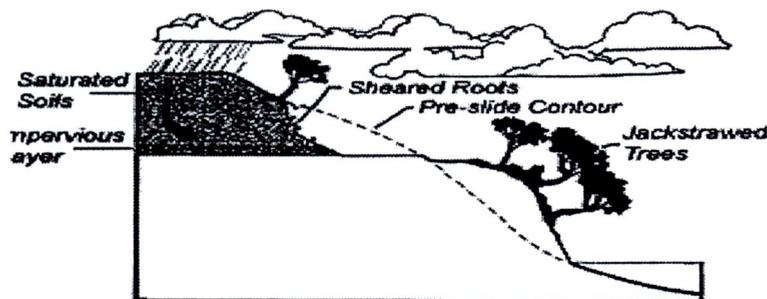


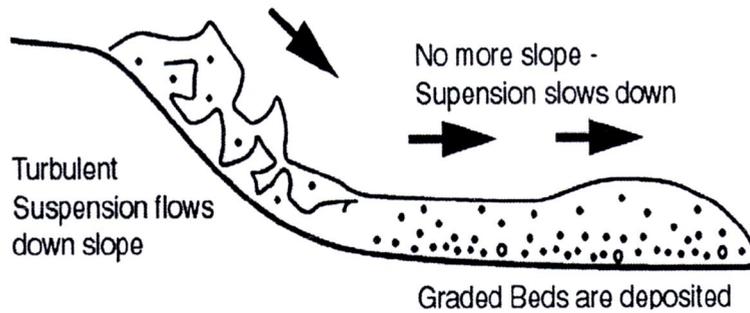
Illustration 6:
Indication of Earth Slump, Debris Avalanche
Caused by Groundwater Influences

รูปที่ 2.15 ภาพแสดงการพังทลายบริเวณผิวลาด

ที่มา <http://www.ecy.wa.gov/programs/sea/pubs/93-31/chap2.html>

ข) การพังทลายเป็นระนาบ (Planar failure) หรือการวิบัติแบบบล็อก (Block failure) โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นกับตลิ่งที่มีความชันปานกลาง ถ้าดินตลิ่งบริเวณผิวบนเกิดการแตกในลักษณะแตกร้าว

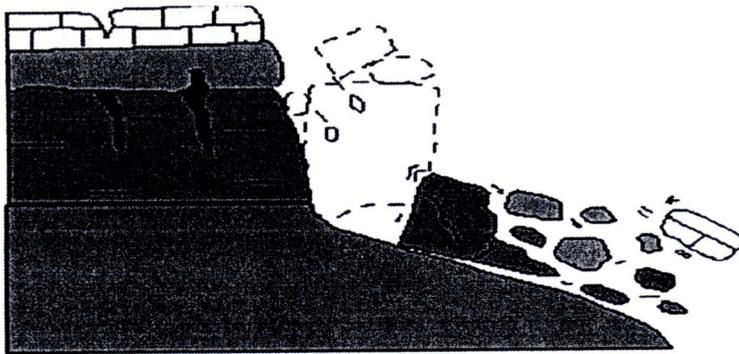
เนื่องจากแรงดึง (Tension crack) และมีน้ำอยู่ในรอยร้าวดังกล่าว จะทำให้การวิบัติในลักษณะนี้เกิดได้ง่ายขึ้น (รูปที่ 2.16)



รูปที่ 2.16 ภาพแสดงการพังทลายแบบเป็นระนาบ

ที่มา http://www.indiana.edu/~geol105/images/gaia_chapter_5/turbidite.jpg

ค) การพังทลายแบบเลื่อนหมุน (Rotational failure) โดยทั่วไปเกิดขึ้นกับตลิ่งที่เป็นดินประเภทดินเหนียวมีความสูงปานกลางถึงสูงมาก สาเหตุการพังทลายของตลิ่งในลักษณะนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากมีชั้นดินอ่อนอยู่ใต้ตลิ่งหรือท้องน้ำหรือเกิดจากการลดระดับน้ำในแม่น้ำอย่างกะทันหัน (รูปที่ 2.17)



รูปที่ 2.17 ภาพแสดงการพังทลายแบบเลื่อนหมุน

ที่มา <http://www.dmr.go.th/download/Landslide/picture/whatland/3.jpg>

ง) การพังทลายของตลิ่งแบบผสม (Failure of composite banks) การพังทลายของตลิ่งแบบผสมเกิดขึ้นเมื่อดินชั้นล่างซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินไม่มีความเชื่อมแน่นถูกกระแสน้ำกัดเซาะ ทำให้ดินชั้นบนเกิดเป็นส่วนคอด (Undercut) และพังทลายลงมา ซึ่งการพังทลายของดินส่วนบนอาจเกิดในลักษณะการพังทลายจากแรงดึง หรือจากการหมุนตัว

2.4.4 ตะกอนทราย

ในทางธรณีวิทยาให้คำจำกัดความของตะกอนในลำน้ำ ก็คือส่วนวัสดุ (Fragmental material) ที่เคลื่อนตัวไป (Transported) หรือแขวนลอยไป (Suspended) หรือตกตะกอน (Deposited) โดยน้ำเป็นตัวการ เมื่อเม็ดฝนตกกระทบผิวดินหรือเศษวัสดุต่างๆ บนผิวดินก็จะทำให้เม็ดดินแตกออกเป็นอนุภาคเล็ก และถูกชักนำไปกับน้ำบ่าผิวดิน ผู้ลำน้ำเล็กๆ ยิ่งกว่านั้นแรงที่เกิดจากการไหลของน้ำจะทำให้อนุภาคของเม็ดดินหลวมและแยกตัว ซึ่งทำให้แขวนลอยไปกับการไหลของน้ำจนถึงลำน้ำแม่น้ำได้ เมื่อไหลลงสู่ลำน้ำ อัตราเร็วของการไหลอาจจะลดต่ำลงทำให้ตะกอนหรืออนุภาคดินที่แขวนลอยมาตกตะกอนสู่ท้องน้ำ ในทางตรงกันข้ามหากเป็นสภาพที่น้ำสู่ลำน้ำแล้วอัตราการไหลเพิ่มขึ้นในลำน้ำก็จะทำให้ตะกอนที่ตกอยู่ตามท้องน้ำถูกลอยตัวและเคลื่อนไปยังท้ายน้ำได้ ขนาดของตะกอนที่ยังคงสภาพแขวนลอยไปกับการไหลของน้ำจะเป็นฟังก์ชันกับอัตราเร็วของน้ำ นอกจากตะกอนที่แขวนลอยไปกับน้ำแล้ว อนุภาคของตะกอนหรือเม็ดดินที่หนักกว่าอาจจะหมุนตัวหรือกระโดดไปตามท้องน้ำได้ การสร้างเขื่อนปิดกั้นทางน้ำหรือลำน้ำเดิมจะทำให้พื้นที่รูปตัดของการไหลเพิ่มขึ้นและทำให้ความเร็วของการไหลของน้ำลดลงมาก ด้วยเหตุนี้อ่างเก็บน้ำ ซึ่งทำหน้าทีเหมือนหนึ่งเป็นที่กักตะกอน (Sediment trap) จะไม่สามารถหลีกเลี่ยงการสูญเสียปริมาตรเก็บกักอันเกิดจากตะกอนที่น้ำพาลงมาสู่อ่างได้เลยในกรณีที่ลำน้ำหรือแม่น้ำไหลออกสู่ทะเล อัตราเร็วการไหลของน้ำบริเวณใกล้ๆ กับจุดออกทะเลจะลดต่ำลงมากทำให้ตะกอนที่เคลื่อนตัวมากับน้ำตกลงและทับถมกันมากขึ้นตามกาลเวลาจนเป็นสภาพที่เรียกว่าสันดอนในที่สุด ในช่วงเวลาที่เกิดน้ำท่วมหรือน้ำนอง เมื่อน้ำไหลล้นฝั่งจะทำให้อัตราการไหลของน้ำในพื้นที่นอกฝั่งลดต่ำลงทำให้ตะกอนตกสะสมกลายเป็น (Flood plain) ของลำน้ำหรือแม่น้ำต่อไป

ทางด้านอุทกวิทยาจะพิจารณาศึกษาตะกอนเกี่ยวกับเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างน้ำ และอนุภาคของตะกอน โดยนับเริ่มต้นจากระยะแรกคือตั้งแต่เม็ดฝนตกกระทบพื้นผิวดินไปจนถึงการไหลของแม่น้ำลำคลองออกสู่ทะเล โดยผ่านกรรมวิธีหรือขั้นตอนต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อาจกล่าวได้ว่าการศึกษาตะกอนในเชิงอุทกวิทยานั้นจะรวมถึง การกัดเซาะ (Erosion) การนำหรือพาไป (Transport) การแขวนลอยไป (Suspension) และการตกตะกอน (Deposition) ของอนุภาคเม็ดดินโดยน้ำเป็นตัวการ

1. การกัดเซาะดิน (Erosion of soil material)

อัตราการกัดเซาะดินขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์ (Factor) ที่สำคัญ 3 ประการ คือ

ก) ความต้านทานต่อการกัดเซาะ (Resistance to erosion) การกัดเซาะเนื่องน้ำเป็นตัวการแบ่งออกได้เป็นสองลักษณะด้วยกันคือ

ข) การกัดเซาะเป็นผืน (Sheet erosion) ได้แก่ กรรมวิธีของการกัดเซาะผิวดินเป็นผืนหรือครอบคลุมพื้นที่กว้าง โดยมีลักษณะเป็นแผ่น (Sheet) ซึ่งมีความหนาบางแตกต่างกัน

ค) การกัดเซาะเป็นร่องเล็ก (Gully erosion) การกัดเซาะประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นร่องเล็ก ซึ่งเกิดจากการไหลของน้ำ

การกัดเซาะเป็นผืนเกิดจากการตกกระทบของเม็ดฝนและการบ่าของน้ำไหลบนผิวดินซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาเป็นทางไหลของน้ำหรือร่องน้ำเล็กๆ จำนวนมากมาย ทางน้ำไหลเล็กๆ เหล่านี้จะลบหายไปเมื่อมีการไถ คราด หรือจากการผูกร่องในทางธรรมชาติด้วยระยะเวลาต่างๆ ดังนั้นผืนผิวดินจะถูกกัดเซาะสลายไปโดยมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ สำหรับการกัดเซาะเป็นร่องเล็กนั้นเกิดจากการรวมตัวของน้ำบ่าผิวดินหรือน้ำท่าผิวดิน ทำให้เกิดมีความเร็วของการไหลสูงและไหลเซาะดินเป็นร่องน้ำ ในทางธรรมชาติการกัดเซาะทั้งสองลักษณะนี้จะแยกจากกันได้ยาก และมีความสัมพันธ์กันเสมอ

ความง่ายต่อการกัดเซาะของดินขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์ (Factor) หลายอย่างซึ่งมีความสัมพันธ์กันมาก ที่มีอิทธิพลสำคัญต่อความต้านทานการกัดเซาะของดินก็คือ

1. โครงสร้าง (Structure)
2. ชั้นดิน (Stratification)
3. อัตราการซึม (Permeability)
4. ความชื้นของดิน (Moisture content)
5. เนื้อดิน (Texture)
6. ส่วนผสมทางด้านกลศาสตร์ (Mechanical composition)
7. ชนิดและความหนาของพืชปกคลุม
8. ความลาดเทของผิวดิน

ถึงแม้ว่าความสามารถในการกัดเซาะ (Erosibility) ของดินบางชนิดจะเปลี่ยนแปลงผันกับขนาดของอนุภาคของดินก็ตามสำหรับดินประเภทดินทรายละเอียด (Fine sandy soil) จะถูกกัดเซาะได้ง่ายกว่าดินประเภท (Cement hardpan) หรือดินเหนียว (Tough clay) เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคดินจะลดลงเมื่อขาดความชื้น ดังนั้นดินที่แห้งจะมีโอกาสถูกกัดเซาะได้ง่ายกว่าดินที่เปียก ดินที่มีชั้นบนเป็นแบบค้ำมีชั้นดินเป็นเปลือกจะถูกกัดเซาะยากกว่าดินประเภทเดียวกัน แต่เพียงจะทำการปลูกพืชหรือทำการเตรียมแปลง ดินที่มีพืชปกคลุมจะต้านทานต่อการกัดเซาะได้ดี เพราะพืชที่ปกคลุมดินไม่เพียงแต่จะลดความแรงของการตกกระทบของเม็ดฝนต่อดินแต่ยังเพิ่มความต้านทานในการกัดเซาะที่เกิดจากการไหลบ่าของน้ำท่าผิวดินด้วย

2. ผลกระทบที่เกิดจากเม็ดฝน

การแยกหรือการแตกของส่วนผสม (Aggregates) หรือเม็ดดินและการนำอนุภาคของดินไปพร้อมกับ การไหลของน้ำป่าผิวดิน เป็นผลเนื่องมาจากพลังงานการตกกระทบของเม็ดฝนพลังงานจลน์ (Kinetic energy) ของเม็ดฝนใดๆ ที่ตกกระทบกับผิวดินจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของผลคูณระหว่างมวลสารของเม็ด ฝนและความเร็วยกกำลังสองเนื่องจากมวลสารของเม็ดฝนเป็นสัดส่วนกับเส้นผ่าศูนย์กลางยกกำลังสาม และความเร็วสุดท้าย (Terminal velocity) จะเพิ่มขึ้นเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น ดังนั้นพลังงานของ เม็ดฝนเดี่ยวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อขนาดของเม็ดฝนเพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่าขนาดของเม็ดฝน เฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยกับความเข้มของฝน (Rainfall intensity) ผลจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว และจากการเพิ่มมวลสารของเม็ดฝนจะทำให้พลังงานในการกัดเซาะของฝนเพิ่มขึ้นมาอย่างรวดเร็ว กว่า การเพิ่มความเข้มของฝน

3. ผลกระทบที่เกิดจากน้ำป่าผิวดิน (Effect of overland flow)

อนุภาคเม็ดดินส่วนมากที่แตกด้วยความแรงจากการตกกระทบของเม็ดฝนจะถูกพัดพาไปสู่ระบบลำน้ำ ด้วยน้ำป่าผิวดิน ยิ่งไปกว่านั้นความแรงของการไหลของน้ำอาจทำให้ส่วนผสมของดินที่ถูกพัดพาไป เกิดการแตกต่อไปอีก ก่อให้เกิดการกัดเซาะมากขึ้น ความสามารถในการกัดเซาะของน้ำป่าผิวดินจะ คำนวณด้วยการใช้หลักการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence) ของการเคลื่อนที่ของของไหล เมื่อการ ไหลมีความปั่นป่วนมากก็จะทำให้เกิดการกัดเซาะได้มาก อย่างไรก็ตามมีผู้ค้นพบว่าการปั่นป่วนและ การกัดเซาะอาจเกิดขึ้นได้ในการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) ของน้ำป่าผิวดิน

4. การเคลื่อนตัวของตะกอน

ก) ศัพท์นิยาม

การศึกษาปัญหาเกี่ยวกับตะกอนพบว่าเกี่ยวข้องกับวิชาต่างๆหลายสาขาร่วมกัน อาทิเช่น อุทกวิทยา ชลศาสตร์ ธรณีวิทยา กลศาสตร์ของไหล เป็นต้น และจากการพัฒนาสูตรต่างๆขึ้นใช้ทางด้านทฤษฎี และด้านทดลอง อาจทำให้ใช้ศัพท์นิยามเกี่ยวกับตะกอนผิดแผกกันไปได้ ในที่นี้จะขอกล่าวถึงคำจำกัด ความของเทอมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับตะกอนและที่นิยมใช้กันในวิชาอุทกวิทยาดังนี้

- ชั้นตะกอนท้องน้ำ (Bed layer) คือ ชั้นการไหลของตะกอนที่มีความหนาประมาณสองเท่า เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคตะกอน (Grain diameter) เหนือท้องน้ำเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค ตะกอนดังกล่าวจะใช้ขนาด (Median grain size) ซึ่งเป็นตัวแทนของขนาดอนุภาคตะกอนทั้งหมด
- ตะกอนท้องน้ำ (Bed load) ได้แก่ ตะกอนที่เคลื่อนตัวด้วยการกลิ้ง (Rolling) หรือการเลื่อน (Sliding) ไปตามท้องน้ำ และจำเป็นจะต้องสัมผัสกับท้องน้ำในชั้นตะกอนท้องน้ำ

- ปริมาณตะกอนที่ต้งน้ำ (Bed-Load discharge) ได้แก่ ปริมาณการไหลหรือจำนวนของตะกอนที่เคลื่อนตัวผ่านรูปตัดของลำน้ำที่พิจารณาในหนึ่งหน่วยเวลา
- ตะกอนวัสดุที่ต้งน้ำ (Bed material) ได้แก่ ส่วนผสมของตะกอน ซึ่งวัสดุส่วนใหญ่จะพบในต้งน้ำ
- ปริมาณตะกอนวัสดุที่ต้งน้ำ (Bed-Material discharge) ได้แก่ ปริมาณการไหลหรือจำนวนของตะกอนวัสดุที่เคลื่อนตัวผ่านรูปตัดของลำน้ำที่พิจารณาในหนึ่งหน่วยเวลา
- ตะกอนแขวนลอย (Suspended load หรือ Suspended sediment) ได้แก่ ตะกอนที่แขวนลอยไปกับน้ำ ซึ่งจะถูกพุงด้วยกระแสน้ำในส่วนที่มีทิศทางไหลขึ้น (Upward component) ในการไหลแบบปั่นป่วน และจะคงอยู่ในสภาพแขวนลอยไปกับน้ำด้วยระยะเวลาานพอสมควร
- ปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended-Sediment discharge) ได้แก่ ปริมาณการไหลหรือจำนวนของตะกอนแขวนลอยที่เคลื่อนตัวผ่านรูปตัดของลำน้ำที่พิจารณาในหนึ่งหน่วยเวลา
- ปริมาณตะกอนที่ไม่สามารถวัดได้ (Unmeasured-Sediment discharge) หมายถึง ปริมาณของตะกอนที่อยู่ใกล้กับต้งน้ำซึ่งไม่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือการเก็บตัวอย่างตะกอนแขวนลอย (Suspended-Load sampler)
- ตะกอนวัสดุละเอียด (Wash load) ได้แก่ ส่วนผสมของตะกอนซึ่งประกอบด้วยวัสดุขนาดเล็กหรือละเอียดกว่าตะกอนวัสดุที่ต้งน้ำ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นวัสดุที่ไม่ปรากฏในต้งน้ำส่วนใหญ่จะมาจากพื้นที่ลุ่มน้ำและบริเวณตลิ่ง
- ปริมาณตะกอนรวม (Total sediment discharge) คือปริมาณการไหลของตะกอนทั้งหมดผ่านรูปตัดของลำน้ำที่พิจารณาต่อหนึ่งหน่วยเวลา ปริมาณตะกอนรวมทั้งหมดนี้อาจคำนวณหาได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับวิธีการพิจารณาดังนี้

ปริมาณตะกอนรวม = ปริมาณตะกอนแขวนลอย + ปริมาณตะกอนที่ต้งน้ำ

ปริมาณตะกอนรวม = ปริมาณตะกอนวัสดุละเอียด + ปริมาณตะกอนวัสดุที่ต้งน้ำ

ปริมาณตะกอนรวม = ปริมาณตะกอนที่สามารถวัดได้ + ปริมาณตะกอนที่ไม่สามารถวัดได้

ข) วิธีการเคลื่อนตัวของตะกอน (Method)

การเคลื่อนตัวของตะกอนอาจแบ่งออกได้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งการเคลื่อนตัวอาจจะเป็นวิธีเดียวหรือหลายวิธีผสมกัน ยิ่งกว่านั้นตะกอนอาจเคลื่อนตัวด้วยวิธีการหนึ่งในช่วงระยะเวลาหนึ่ง และเคลื่อนตัวด้วยวิธีการอื่นต่อไปก็ได้ ดังนั้นการสังเกตการเคลื่อนตัวของตะกอนทั้งหมดในสภาพธรรมชาติด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างอาจจะกระทำไม่ได้เลย เพราะการเคลื่อนตัวของตะกอนจะยุ่งยากสับสนและ

เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การเคลื่อนตัวของตะกอนอาจแบ่งออกตามคำจำกัดความได้สามลักษณะด้วยกันคือ การแขวนลอย (Suspension) การสัมผัส (Contact) และการกระโดด (Saltation)

โดยทั่วไปแล้วตะกอนแขวนลอยประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าเมื่อเมื่อเปรียบเทียบกับตะกอนซึ่งเคลื่อนตัวไปสัมผัสท้องน้ำด้วยแรง (Traction forces) วิธีการเคลื่อนตัวในลักษณะกระโดดนั้นจะแยกออกจากการเคลื่อนตัวแบบแขวนลอยได้ยาก อย่างไรก็ตามขนาดของตะกอนที่เคลื่อนตัวแบบกระโดดนี้จะเล็กกว่าตะกอนที่เคลื่อนตัวแบบสัมผัสไปตามท้องน้ำ แต่จะใหญ่กว่าตะกอนที่เคลื่อนตัวแบบแขวนลอย ในปัจจุบันนี้มีผู้ให้ความเห็นว่าตะกอนที่เคลื่อนตัวแบบกระโดดนี้ไม่มีความสำคัญในทางอุทกวิทยาเพราะมีจำนวนน้อยมาก แต่สำหรับกรณีที่ตัวกลางหรือตัวนำพาเป็นอากาศ (ไม่ใช่ น้ำ) แล้วตะกอนที่เคลื่อนตัวแบบกระโดดบางครั้งจะมีความสำคัญมาก

ในลำน้ำส่วนมาก ตะกอนจะเคลื่อนตัวด้วยสองลักษณะหรือทั้งสามลักษณะผสมกัน ตะกอนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จะเคลื่อนตัวสัมผัสไปตามท้องน้ำ สำหรับภายในชั้นความหนาบางๆ เหนือท้องน้ำ ตะกอนจะมีลักษณะหยาบและมีความเข้มข้นสูง ตะกอนเหล่านี้จะเคลื่อนตัวในลักษณะแขวนลอยหรือกระโดด หรือทั้งสองวิธีรวมกัน จากชั้นความหนาบางๆ ดังกล่าวจนถึงผิวน้ำจะมีความหนาแน่นมากซึ่งความเข้มข้นของตะกอนจะลดลงกับความสูงเหนือท้องน้ำและขนาดอนุภาคของตะกอนจะเล็กลงตามลำดับด้วย การเคลื่อนตัวของตะกอนเหล่านี้เป็นแบบแขวนลอย โดยทั่วไปตะกอนแขวนลอยจะเป็นปริมาณมากที่สุดของตะกอนทั้งหมดในท้องน้ำ ดังนั้นตะกอนแขวนลอยนี้จะพิจารณาในการศึกษาเกี่ยวกับการตกสะสมของตะกอนในอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามตะกอนที่มีขนาดใหญ่กว่าจะเป็นส่วนสำคัญในการฟอร์มตัวของท้องน้ำและตลิ่งของลำน้ำ

ค) แหล่งของตะกอนที่เคลื่อนตัวในลำน้ำ

ในด้านอุทกวิทยา แหล่งของตะกอนที่เคลื่อนตัวในลำน้ำอาจแบ่งได้สองลักษณะด้วยกันคือ

- ตะกอนวัสดุท้องน้ำ (Bed material) ซึ่งได้แก่ส่วนที่ประกอบเป็นท้องน้ำ

- ตะกอนวัสดุละเอียดย (Wash load) ได้แก่ตะกอนที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (Fine material) ซึ่งเกิด

จากการกัดเซาะตลิ่งและจากพื้นที่ลุ่มน้ำ และเป็นวัสดุที่ไม่ค่อยพบตามท้องน้ำ

ในด้านธรณีวิทยาถือว่าตะกอนทั้งสองชนิดจะมาจากกลุ่มน้ำด้วยกัน แต่ในทางอุทกวิทยานั้นความแตกต่างของตะกอนจากแหล่งทั้งสองสำคัญมากเพราะตะกอนวัสดุท้องน้ำจะเคลื่อนตัวด้วยความสามารถของลำน้ำและจะเป็นฟังก์ชันกับตัวแปรชลศาสตร์ (Hydraulic variables) ที่สามารถวัด

ได้สำหรับตะกอนวัสดุละเอียดจะไม่เคลื่อนตัวตามความสามารถของลำน้ำ นอกจากนั้นตะกอนวัสดุละเอียดจะขึ้นอยู่กับจำนวนที่มีอยู่และไม่เป็นฟังก์ชันกับตัวแปรชลศาสตร์ที่สามารถวัดได้

การแบ่งตะกอนวัสดุละเอียดและตะกอนวัสดุท้องน้ำ ที่เคลื่อนตัวในลำน้ำไม่มีขีดจำกัดหรือขอบเขตแน่นอน อย่างไรก็ตามวิศวกรที่มีชื่อเสียงหลายท่านได้ให้ข้อสมมติฐานไว้ว่า ตะกอนวัสดุท้องน้ำประกอบด้วยตะกอนที่มีขนาดเท่ากับหรือโตกว่า 0.0625 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดสำหรับแบ่งประเภททราย (Sand) และตะกอนทราย (Silt) ส่วนของตะกอนที่ประกอบด้วยขนาดเล็กกว่า 0.0625 มิลลิเมตร ถือว่าเป็นตะกอนวัสดุละเอียด

- การศึกษาตะกอนในลำน้ำ (Study of stream sedimentation)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วทุกๆ ลำน้ำจะมีตะกอนแขวนลอยไปกับน้ำ และยังมีตะกอนท้องน้ำซึ่งเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่กว่าเคลื่อนที่ไปตามท้องน้ำด้วย เนื่องจากว่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของตะกอนมีค่าประมาณ 2.65 ดังนั้นอนุภาคของตะกอนแขวนลอยจะมีแนวโน้มที่จะตกตะกอนสู่ท้องน้ำ แต่เนื่องจากว่ามีแรงซึ่งเกิดจากการไหลในทิศทางย้อนขึ้นในการไหลแบบปั่นป่วนจะต้านไม่ให้อนุภาคของตะกอนแขวนลอยตกจมลงสู่ท้องน้ำ เมื่อน้ำที่มีตะกอนปะปนมาด้วยไหลลงมาสู่อ่างเก็บน้ำ ความเร็วและความปั่นป่วนจะลดน้อยลงอย่างรวดเร็ว เพราะมีพื้นที่รูปตัดการไหลขยายกว้างมากขึ้น ดังนั้น ตะกอนแขวนลอยที่มีอนุภาคใหญ่และตะกอนท้องน้ำส่วนใหญ่จะตกตะกอนลงและสะสมเป็นสันดอน (Delta) ที่บริเวณที่ลำน้ำเดิมบรรจบอ่างเก็บน้ำ สำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าก็ยังคงแขวนลอยไปกับน้ำต่อไปและอาจจะตกตะกอนไหลเข้าไปในอ่างเก็บน้ำ สำหรับตะกอนที่มีอนุภาคเล็กมากยังคงแขวนลอยไปกับน้ำอีกเป็นเวลานานและบางส่วนจะไหลผ่านเขื่อนไปกับน้ำทางอาคารน้ำล้นหรืออาคารทางออกอื่นๆ

ที่ได้กล่าวข้างต้นเป็นตัวอย่างของปัญหาที่เกิดจากตะกอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาตะกอนในลำน้ำ ก่อนที่จะนำผลการศึกษานี้ไปวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากตะกอนในโครงการพัฒนาแหล่งน้ำต่อไป

3. การพัดพาตะกอน

ตะกอนซึ่งทางน้ำกร่อนมาจากท้องน้ำและจากขอบของร่องน้ำจะถูกพัดพาไปกับทางน้ำสู่มหาสมุทร ในที่สุดปริมาณของตะกอนที่ทางน้ำสามารถพัดพาไปได้ในขณะหนึ่งๆ เรียกว่า วัตถุพัดพา (Load) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความสามารถในการพัดพาของทางน้ำ (Capacity) ซึ่งเป็นปริมาณของตะกอนที่มากที่สุดที่ทางน้ำจะพัดพาไปได้ในขณะหนึ่งๆ การพัดพาตะกอนไปกับทางน้ำเกิดขึ้นได้ใน 3 ลักษณะคือ

การละลาย (Solution) น้ำที่อยู่ในธรรมชาติมักมีสารละลายเจือปนอยู่เสมอ ปริมาณของสารที่ละลายอยู่จะขึ้นอยู่กับภูมิอากาศ ฤดูกาล และสภาพทางธรณีวิทยา ในบริเวณภูมิอากาศแบบร้อนชื้น สารที่ละลายอยู่มากในน้ำ ได้แก่พวก Calcium และ Magnesium carbonate อาจมีพวก chloride, nitrate, sulfates และ silica และปริมาณเล็กน้อยของ Potassium ละลายอยู่

ข) แขนวลอย (Suspension)

การแขวนลอย (Suspension) ตะกอนขนาดคินที่มากับทางน้ำจะถูกพัดพาไปในรูปของการแขวนลอย ปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมการพัดพาในลักษณะนี้คือ ความรุนแรงของน้ำ (Turbulence) และ ความเร็วในการตกจมของเม็ดตะกอน (Terminal velocity) ความเร็วในการตกจมของเม็ดตะกอน เป็นอัตราการตกจมตัวของตะกอนซึ่งเกิดจากแรงดึงดูดและความต้านทานของน้ำขณะที่ตะกอนตกจม ค่าความเร็วในการตกจมจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดของตะกอน โดยกำหนดว่ามีรูปร่างและความหนาแน่นคงที่ ความรุนแรงของน้ำที่พยายามจะพัดพาเอาตะกอนในลักษณะของการแขวนลอยก็จะต้องมีค่าสูงขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้ค่าความเร็วของกระแสน้ำมีค่าสูงขึ้นและปริมาณตะกอนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

ค) วัตถุพัดพาที่องน้ำ (Bed load)

วัตถุพัดพาที่องน้ำ (Bed load) ตะกอนที่เคลื่อนที่อยู่บนท้องน้ำซึ่งเรียกว่า วัตถุพัดพาที่องน้ำ มีความแตกต่างไปจากตะกอนแขวนลอยและพวกสารละลายอยู่มาก เนื่องจากเป็นเรื่องยากที่จะสังเกตและวัดค่าการเคลื่อนที่ของตะกอนประเภทนี้ การเคลื่อนที่ของวัตถุพัดพาที่องน้ำไปบนท้องน้ำเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ เช่น การกระโดด (Saltation) การกลิ้ง (Rolling) หรือ การไถล (Sliding) การกระโดด หรือ (Saltation) ไม่ได้มีความหมายที่เกี่ยวข้องกับเกลือ (Salt) เลย แต่เป็นคำที่มาจากภาษาละตินว่า "Saltare" ซึ่งแปลว่า กระโดด (Jump) ตะกอนที่เคลื่อนที่ในลักษณะนี้จะกระโดดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งบนท้องน้ำ ตะกอนที่อยู่บนท้องน้ำจะถูกทางน้ำดึงขึ้นและพัดพาไปกับทางน้ำ จนกระทั่งถึงระดับความเร็วตกจม ตะกอนก็จะตกลงสู่ท้องน้ำอีกครั้ง ส่วนตะกอนที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าความสามารถที่ทางน้ำจะดึงขึ้นมาจากท้องน้ำได้ ก็จะมีการเคลื่อนที่แบบกลิ้งและไถล ขึ้นอยู่กับรูปร่างของเม็ดตะกอน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐวุฒิ เอี่ยมกาญจน์ และคณะ (2552), [2] ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมวิทยาแม่น้ำปิงต่อการไหลของน้ำหลาก ซึ่งการศึกษานี้ได้ศึกษาที่จังหวัดเชียงใหม่เพราะจังหวัดเชียงใหม่เป็นพื้นที่ซึ่งมีรายงานเกี่ยวกับปัญหาน้ำท่วมอยู่บ่อยครั้ง จากเหตุการณ์ดังกล่าวได้มีการตั้งข้อสังเกตถึงความรุนแรงและความถี่การเกิดน้ำท่วมในเขตเมืองเชียงใหม่ ว่าเป็นผลที่เกิดจากความเปลี่ยนแปลงสภาพอุทกวิทยาของพื้นที่หรือไม่ หรือเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงระบบระบายน้ำของพื้นที่เมืองเชียงใหม่อีกด้วย ซึ่งแม่น้ำปิงได้วางทอดผ่านตัวเมืองตามแนวทิศเหนือ-ใต้ นับได้ว่าเป็นทางระบายน้ำหลักของระบบระบายน้ำของเมืองเชียงใหม่ ความสามารถในการนำน้ำ (Conveyance capacity) ของลำน้ำปิง จึงมีผลต่อการเกิดสถานะน้ำท่วมขังในบริเวณพื้นที่เมืองเชียงใหม่อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังเป็นที่ทราบแล้วว่าความสามารถในการนำน้ำหรือขนถ่ายน้ำของลำน้ำนั้นขึ้นกับสิ่งแวดล้อมวิทยาของลำน้ำ (River morphology) เป็นสำคัญ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมวิทยาของลำน้ำ ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในระนาบระดับ (Channel configuration or plan form) รูปร่างทางเรขาคณิตในระนาบตั้งหรือรูปตัดหน้าตัดขวาง (Channel geometry or cross sectional shape) ตลอดจนรูปทรงของรูปตัดตามยาวของลำน้ำ (Profile characteristics) และรูปแบบของท้องน้ำ (Bed form) ย่อมส่งผลต่อการไหลของน้ำในลำน้ำ ดังนั้นการทราบถึงการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการนำน้ำซึ่งสัมพันธ์กับความรุนแรงของสภาพน้ำท่วมของพื้นที่ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่สำคัญและจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนและจัดการปัญหาน้ำท่วมในเขตเมืองเชียงใหม่

วรวิทย์ มีสุข และคณะ (2552), [6] ได้ศึกษาการพัดพาตะกอนในคลองมหาชัยและคลองหลวง จังหวัดสมุทรสาคร ได้ผลว่าพื้นที่บริเวณดังกล่าว ประสบปัญหาการกัดเซาะตามแนวตลิ่งและการทับถมของตะกอนเป็นเวลานาน จากอิทธิพลของระดับน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งผู้วิจัยได้จัดทำการศึกษาการจำลองเหตุการณ์บริหารประจวบระบายน้ำกรณีต่างๆ ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ 2 มิติ ด้วยโปรแกรม CCHE2D จะสามารถใช้แสดงภาพการไหลของน้ำที่อาจส่งผลให้เกิดการกัดเซาะและสามารถติดตามการทับถมของตะกอนที่เปลี่ยนแปลงไปตามจังหวะขึ้น-ลงของระดับน้ำทะเลซึ่งแบบจำลอง CCHE2D นี้ใช้จำลองสภาพการไหลแบบ Unsteady flow และแบบจำลอง CCHE2D นี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนแรกคือกำหนดเงื่อนไขในการคำนวณ และกรอกข้อมูลซึ่งข้อมูลที่ใช้เป็นขอบเขตของแบบจำลองคือ ข้อมูลระดับน้ำ อัตราการไหล ข้อมูลตะกอนแขวนลอย และตะกอนท้องน้ำ เมื่อกรอกข้อมูลครบแล้วแบบจำลอง CCHE2D จะแสดงผลออกมาเป็นภาพความเปลี่ยนแปลงและทิศทางการไหลของน้ำ รวมถึงสามารถแสดงภาพการตกตะกอน และการทับถมของตะกอนในคลองที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งผลที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการบริหารประจวบระบายน้ำเพื่อลดระดับตะกอนท้องน้ำที่สะสมในคลองสายต่างๆ และช่วยฟื้นฟูสภาพทางน้ำด้วย สำหรับการตรวจสอบความถูกต้อง

ของแบบจำลอง CCHE2D กำลังอยู่ในระหว่างดำเนินการสอบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลอง รวมถึงการสอบเทียบกับข้อมูลทางภาคสนามเพื่อยืนยันความถูกต้องต่อไป

ธรรมบุญ รัชมีมาสเมือง (2552), [3] ได้ศึกษาการทบทวนความไม่แน่นอนของการจำลองความเร็วตกตะกอนในแบบจำลองตะกอนอนุภาคแขวนลอย ได้ผลสรุปว่าความเร็วตกตะกอนที่มักจะใช้ในแบบจำลองมีอยู่สองชนิด คือ ความเร็วตกตะกอนที่พิจารณาขนาดและความหนาแน่นของตะกอน โดยอาศัยกฎของ Stokes และความเร็วตกตะกอนที่พิจารณาตามความเข้มข้นของตะกอน หากนำความเร็วตกตะกอนประเภทแรก หรือ Stokes's settling velocity ไปใช้ในแบบจำลองที่ไม่มีการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นและขนาดอนุภาคของตะกอนแล้ว Stokes settling velocity จะให้ค่าความเร็วตกตะกอนที่คงที่ตลอดการจำลอง ซึ่งมีนัยยะว่า แบบจำลองนั้นไม่ได้พิจารณาปรากฏการณ์ Flocculating effect และ Hindering effect ซึ่งจะทำให้ความเร็วตกตะกอนแปรเปลี่ยนไป เมื่อทบทวนการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีการใช้ความหนาแน่นของตะกอนในการหาค่า Settling velocity ในช่วงที่กว้างมาก และให้ค่าความเร็วตกตะกอนที่แตกต่างกันมาก ทำให้การจำลองความเร็วตกตะกอนมีค่าความไม่แน่นอนสูง ความเร็วตกตะกอนที่พิจารณาความเข้มข้นของตะกอน หรือ Concentration-Dependent settling velocity จะมีพารามิเตอร์สอบเทียบหรือพารามิเตอร์ที่ได้จากการสังเกตอยู่เสมอจากการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมา ค่าของพารามิเตอร์ที่อ้างหรือที่ค้นพบในแต่ละการศึกษามีช่วงที่กว้างมาก จนทำให้ความแตกต่างของความเร็วตกตะกอนที่ได้จากการใช้พารามิเตอร์เหล่านั้น ให้ค่าที่แตกต่างกันหลายเท่าตัวบ่งบอกถึงความไม่แน่นอนในการกำหนดค่าพารามิเตอร์และการประมาณค่าความเร็วตกตะกอน

ประเสริฐ ลักษณะสมยา และคณะ (2552), [4] ได้พัฒนาระบบวัดและการเก็บข้อมูลอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งสรุปได้ว่าในงานวิศวกรรมชลประทาน ปริมาณการไหลของน้ำจะถูกนำไปใช้ในการออกแบบขนาดท่อส่งน้ำสำหรับใช้อุปโภคบริโภคและขนาดท่อระบายน้ำสำหรับระบายและรวบรวมน้ำเสียและน้ำหลากอีกเพื่อความเหมาะสมในการใช้งานแต่ละด้าน อัตราการไหลของของเหลวเป็นปริมาณทางฟิสิกส์ที่สามารถนำไปคำนวณหาได้ ถ้าทราบความเร็วและพื้นที่หน้าตัดที่แน่นอนของการไหลผ่านตัวตรวจจับความเร็วกระแสน้ำแบบใบพัด (Propeller current meter) สามารถวัดอัตราการไหลของน้ำได้ในช่วง 0.1-3.0 เมตรต่อวินาที โครงสร้างภายในประกอบไปด้วยแกนหมุนที่มีแม่เหล็กขนาดเล็กติดไว้ ต่อใกล้กับรีดสวิตช์ ซึ่งทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ออกมาเมื่อได้ตรวจเจอแม่เหล็กขนาดเล็กดังกล่าว ปกติจะใช้คู่กับเครื่องฟังเสียงเพื่อเทียบค่าความถี่ของเสียงที่วัดได้เป็นค่าความเร็วกระแสน้ำ แต่ในงานวิจัยนี้ได้นำสัญญาณพัลส์ดังกล่าวมาผ่านวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อวัดค่าเวลาพัลส์ช่วงที่เป็นบวก และส่งข้อมูลให้คอมพิวเตอร์เพื่อนำไปคำนวณค่าความถี่ดังสมการที่ 1 และแปลงเป็นค่า

ความเร็วกระแสน้ำดังสมการที่ 2 ซึ่งเป็นสมการที่ได้มาจากการเปรียบเทียบตัวตรวจจับกระแสน้ำดังกล่าวจากกรมชลประทาน

$$f=1/(2T_p) \quad (1)$$

เมื่อ f คือค่าความถี่ของตัวตรวจจับแบบใบพัด, T_p คือเวลาของสัญญาณพัลส์ช่วงบวก

$$V=0.1614(f-0.0078) \quad (2)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วของกระแสน้ำที่วัดได้

สนิท วงษา และคณะ (2546), [7] ได้กล่าวไว้ว่า ในระยะเวลา 40-50 ปีที่ผ่านมาการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการไหลโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้เป็นหัวใจสำคัญในการศึกษาของนักวิจัยทั่วโลก เพราะสามารถช่วยให้การทำงานของวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์ในสาขาต่าง ๆ มีประสิทธิภาพ สะดวกและประหยัดในการพัฒนาและออกแบบ แต่ในการปฏิบัติงานจริงก็ยังคงต้องใช้ทักษะและพื้นฐานความเข้าใจสูงในสถานการณ์ที่ซับซ้อน ในเมืองไทยนักวิจัยไทยและหน่วยงานต่าง ๆ ส่วนมากนิยมใช้โปรแกรมสำเร็จรูปจากต่างประเทศเพราะได้มีการพัฒนาเชิงพาณิชย์และใช้งานง่าย แต่ซอฟต์แวร์เหล่านี้จำเป็นต้องสั่งซื้อต้องนำเข้าและมีราคาแพง เป็นสาเหตุทำให้ประเทศไทยต้องเสียดุลการค้าให้กับต่างชาติ อีกทั้งเป็นอุปสรรคทำให้นักวิจัยรุ่นใหม่ขาดโอกาสและทักษะในการพัฒนาโปรแกรมด้วยตัวเองเพราะขาดการสนับสนุน ทำให้ขาดความเป็นผู้นำในงานวิจัยและขาดศักยภาพในการแข่งขันในระดับสากลเพราะเป็นเพียงผู้ใช้ซอฟต์แวร์ไม่ใช่ผู้พัฒนาโปรแกรมด้วยตัวเอง พื้นฐานการคำนวณของแบบจำลองจะถูกพัฒนาขึ้นจากการทดลองจากตัวอย่างที่สามารถใช้ได้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แต่ในบางครั้งเหตุการณ์ที่ต้องการศึกษานั้นเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเช่น การเคลื่อนตัวของน้ำหลาก การเคลื่อนตัวของตะกอน และการรูกตัวของน้ำเค็ม เป็นต้น ซึ่งมีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก เพราะฉะนั้นการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต้องอยู่บนพื้นฐานที่ใกล้เคียงกับความ เป็นจริงมากที่สุด และสามารถนำไปทำนายเหตุการณ์จริงในสถานที่จริงที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องจึงมีความสำคัญมาก เมื่อได้แบบจำลองที่ถูกต้องแล้วก็จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์และพยากรณ์ปัญหานั้น ๆ หรือปัญหาที่คล้ายคลึงกันในกรณีการศึกษาต่าง ๆ ทำให้สามารถประหยัดเวลาและงบประมาณได้

J.Miyatake และคณะ (2552), [12] ได้พัฒนาโปรแกรม RIC-Nays ให้เป็น Free software เพื่อใช้จำลองการไหล การเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลของน้ำ และการกัดเซาะตลิ่ง และได้กล่าวไว้ว่าในปัจจุบันได้มีการพัฒนาแบบจำลองขึ้นมาเพื่อทำนายพฤติกรรมการไหลของน้ำในแม่น้ำ ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวมีอยู่หลายแบบจำลองด้วยกัน และในแต่ละแบบจำลองต่างก็มีความก้าวหน้าและการพัฒนาเพิ่มขึ้น เช่น Common MP ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยประเทศญี่ปุ่นและ Open MI ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยยุโรป

แต่โปรแกรมดังกล่าวล้วนแล้วแต่มีลิขสิทธิ์ต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากในการที่จะซื้อโปรแกรมนี้มาใช้ และโปรแกรมดังกล่าวยังคงต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการพัฒนาตัวโปรแกรมให้สามารถรองรับตัวแปรที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง จึงได้มีการพัฒนาโปรแกรม RIC-Nays ขึ้นเพื่อช่วยลดภาระในการทำงาน และลดค่าใช้จ่ายเพราะโปรแกรมนี้เป็น Free software ซึ่งในการวิจัยนี้จะเป็นการแนะนำให้รู้จักถึง Function ของระบบ RIC-Nays ซึ่งระบบดังกล่าวใช้ในการจำลองพฤติกรรมทางชลศาสตร์ของแม่น้ำ นอกจากนี้ระบบ RIC-Nays ยังเป็น Free software ที่สามารถดาวน์โหลดมาใช้งานได้โดยไม่มีลิขสิทธิ์และประโยชน์ของระบบนี้คือสามารถช่วยลดภาระงานได้ และระบบยังเป็นระบบที่ใช้งานได้ง่าย

ระบบนี้ประกอบไปด้วย

1. RIC-Nays Pre software
2. RIC-Nays2D,3D software
3. Collection of procedure [nayslip.f90]
4. Executable file
5. ตัวอย่างข้อมูล
6. คู่มือการใช้

ซึ่งระบบดังกล่าวได้พัฒนาให้สมบูรณ์มากขึ้น โดยการคัดแปลงระบบพื้นฐานให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น นอกจากนั้นยังได้พัฒนาให้คู่มือและข้อมูลตัวอย่างให้ได้ศึกษาอีกด้วย

สนธิ วงษา และคณะ (2552), [10] ได้ทำการประยุกต์ใช้โปรแกรม RIC-Nays ในการคำนวณด้านชลศาสตร์และพลวัตพื้นฐานท้องน้ำ ซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวนำเสนอโปรแกรม RIC-Nays และการประยุกต์ใช้โปรแกรม สำหรับโปรแกรมนี้เป็น Freeware ที่พัฒนาขึ้นโดย The foundation of hokkaido river disaster prevention research center (RIC) แห่งประเทศญี่ปุ่นซึ่งจะสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมพร้อมกับคู่มือการใช้งานได้จากเว็บไซต์ <http://i-ric.org/nays/en/download.html> ระบบโครงสร้างของโปรแกรม RIC-Nays มีองค์ประกอบสำคัญอยู่ 4 ส่วนดังนี้ คือ (a) RIC-Nays launcher (b) RIC-Nays Pre (c) RIC-Nays2D, 3D และ (d) Sample solver and library ผลการคำนวณของ RIC-Nays2D, 3D สามารถนำภาพเคลื่อนไหวไปสร้างเป็นไฟล์ *.kml เพื่อใช้แสดงบน Google Earth ได้ด้วย

โปรแกรม RIC-Nays สามารถนำไปประยุกต์ใช้คำนวณเพื่อศึกษาพฤติกรรมด้านชลศาสตร์การไหลของน้ำในแม่น้ำทุ่งน้ำหลาก และพลวัตของสัณฐานท้องน้ำภายใต้สภาวะการไหลแบบคงที่และแบบคงที่ แปรที่และแม่น้ำหรือภาพถ่ายสามารถนำไปภาพพื้นหลังเพื่อนำเสนอและแสดงผลบนนั้นได้

ข้อดีข้อ โปรแกรมแบบจำลองทางศาสตร์ RIC-Nays

1. ลดภาระให้กับผู้วิจัยในการค้นคว้าและพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ทางศาสตร์
2. เพื่อแสดงแบบจำลองการไหล ซึ่งระบบนี้ยังยอมให้ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ทางศาสตร์โดยใช้ ระบบ GUI และการกรอกเอกสาร โดย Function input/output
3. ช่วยในการวิจัยในบริเวณที่ Software มีราคาแพงเพราะมีภาษาอื่น นอกจากภาษาญี่ปุ่นที่จัดไว้ให้เป็น Free software

Yasuyuki Shimizu (2552), [14] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงพลวัตพื้นฐานของน้ำและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดจากการไหลของน้ำ เช่น การกัดเซาะตลิ่ง การทับถมของตะกอนทราย ซึ่งนับได้ว่าเป็นปัญหาสำคัญที่ก่อให้เกิดปัจจัยทางน้ำ ซึ่งในปัจจุบันมีเครื่องมือที่จะนำมาทำนายลักษณะของท้องน้ำทางน้ำไหลรูปเรขาคณิต การไหลภายใต้ความไม่แน่นอนค่อนข้างน้อย ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแบบจำลอง RIC-Nays ซึ่ง โปรแกรมนี้สามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงพลวัตพื้นฐานของน้ำได้

โปรแกรม RIC-Nays เป็น Free software ที่ใช้ในการแสดงผลการสำรวจการไหลของน้ำในแม่น้ำ การเปลี่ยนแปลงพื้นฐานของน้ำและการกัดเซาะตลิ่ง ซึ่งระบบนี้ประกอบไปด้วย

- Pre-processing software (RIC-NaysPre)
- โปรแกรมจำลองการไหลของแม่น้ำแบบ 2 มิติ
- Post-Processing software (RIC-Nays2D, 3D)

สำหรับแบบจำลอง 2 มิติ แบบจำลองนี้ประกอบด้วย

- การจำลองการไหล
- การจำลองการพัดพาของตะกอนทราย
- การจำลองการเปลี่ยนแปลงพลวัตพื้นฐานของน้ำและการกัดเซาะตลิ่ง โปรแกรมนี้สามารถ

นำไปประยุกต์ใช้กับแม่น้ำอื่นๆ ได้อีกด้วย

สนธิ วงษา (2551), [8] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นฐานของน้ำแบบตะกอนทรายภายใต้การไหลแบบไม่คงที่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาพลวัตของรูปพื้นฐานของท้องน้ำภายใต้สภาวะการไหลแบบต่างๆ ในแม่น้ำที่เป็นเส้นตรงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ซึ่งสมการพื้นฐานที่นำมาใช้เป็นสมการการไหลแบบไม่คงที่ชนิดสองมิติประกอบสมการการไหลต่อเนื่องและสมการ โมเมนตัมสำหรับคำนวณการไหลของน้ำการขนส่งตะกอนและการพังทลายของตลิ่ง ได้ใช้กระบวนการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ตามแบบ CIP ซึ่งรายละเอียดของขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธี CIP และการคำนวณมีดังนี้ คือ ขั้นแรก วิธี CIP จะทำการแยกสมการ โมเมนตัม ออกเป็นสองส่วน กล่าวคือ เทอมการพา (Advection terms) กับ

เทอมการกระจาย (Diffusion terms) โดยส่วนของส่วนแรกจะทำการคำนวณและแก้ระบบสมการเชิงจำนวน โดยใช้ระบบสอดแทรกสมการเชิงเส้นกำลังสาม และส่วนเทอมหลังจะแก้ระบบสมการเชิงจำนวน โดยวิธีการทำซ้ำก็จะได้ค่าผลเฉลยเชิงจำนวนของค่าทางชลศาสตร์ เช่น ความลึก ความเร็ว และอัตราการไหล เป็นต้น ในเวลาใหม่ซึ่งผลการคำนวณจะมีความแม่นยำเป็นค่ายกกำลังสองในมิติของระยะทาง และในขั้นตอนถัดมาจะคำนวณหาปริมาณตะกอนที่อ่างน้ำและการพังทลายของตลิ่งในเวลาใหม่โดยใช้ข้อมูลจากขั้นตอนแรกและในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการปรับแก้ค่าในทางชลศาสตร์สำหรับเวลาใหม่โดยใช้ค่าผลเฉลยที่คำนวณได้จากทั้งสองขั้นตอนที่กล่าวข้างต้น

ทั้งนี้ก่อนจะเริ่มทำการคำนวณในเวลาใหม่ต่อไปใดๆ ก็จะต้องดำเนินการปรับแก้ระบบพิกัดใหม่ทุกครั้ง ซึ่งกระบวนการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ตามแบบ CIP ดังกล่าวข้างต้นสามารถแก้สมการการไหลและกระบวนการคำนวณแบบทำซ้ำสำหรับแก้สมการการไหลต่อเนื่องของตะกอนที่อ่างน้ำและตะกอนแขวนลอย เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงรูปสัณฐานของอ่างน้ำที่เป็นแม่น้ำเส้นตรงกับแม่น้ำวัดโค้ง รวมทั้งได้แสดงผลการประยุกต์แบบจำลองเทียบจากผลการทดลองเพื่อแสดงความสามารถของแบบจำลองภายใต้สภาวะการไหลแบบไม่คงที่ พบว่าสามารถลอกเลียนรูปแบบสัณฐานของอ่างน้ำตลอดจนความลึกของการทับถมสูงกับการกัดเซาะลึกลงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ความยาวของคลื่นสั้นทรายจะยาวกว่าผลการทดลอง ได้นำไปประยุกต์คำนวณกับกรณีไม่มีการพังทลายของตลิ่งของแม่น้ำที่สภาพเริ่มต้นของลำน้ำเป็นเส้นตรง พบว่าได้ผลการคำนวณถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงรูปสัณฐานของอ่างน้ำดังที่กล่าวไว้ในระดับที่น่าพึงพอใจ

สนิท วงษา (2549), [7] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปแบบอ่างน้ำในแม่น้ำที่คดเคี้ยว โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยสมการพื้นฐานที่นำมาใช้เป็นสมการการไหลแบบไม่คงที่ชนิดสองมิติประกอบด้วยสมการการไหลต่อเนื่องและสมการโมเมนตัมสำหรับคำนวณสภาพการไหลของน้ำ การขนส่งตะกอนและการพังทลายของตลิ่ง ได้ใช้กระบวนการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ตามแบบ CIP สำหรับแก้สมการการไหล และกระบวนการคำนวณแบบทำซ้ำสำหรับแก้สมการการไหลต่อเนื่องของตะกอนที่อ่างน้ำเพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงของอ่างน้ำ รวมทั้งได้แสดงผลการประยุกต์แบบจำลองเทียบกับผลการทดลองเพื่อแสดงความสามารถในการนำไปใช้งานจริง

สนิท วงษา และคณะ (2552), [9] ได้ศึกษาศึกษาและวิเคราะห์ผลพลวัตพฤติกรรมกัดเซาะของเสาดอมที่ตั้งอยู่ในแม่น้ำภายใต้สภาวะการไหลแบบคงที่ ด้วยแบบจำลองพลวัตสัณฐานอ่างน้ำเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมกัดเซาะของเสาดอม ซึ่งสมการพื้นฐานที่นำมาใช้เป็นสมการที่คำนึงถึงพลังการกัดเซาะของการไหลวน ความจุการกัดเซาะ และการพังทลาย ณ ตำแหน่งหลุมกัดเซาะ ได้ใช้ระเบียบวิธีจำนวนของ Euler เพื่อหาผลเฉลยของระบบสมการ ได้แสดงผลการประยุกต์แบบจำลอง

เทียบกับผลจากการทดลองเพื่อแสดงความสามารถของแบบจำลองในขั้นตอนการสอบเทียบคล้ายคลึงกับผลการทดลองในรายน่าเปิดพบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถวิเคราะห์ผลพลวัตของหลุมกักเซาะตั้งแต่ช่วงการพัฒนาการของการกักเซาะจนถึงเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ผลการคำนวณดังที่คาดไว้ในระดับที่น่าพึงพอใจ จากผลการทดสอบความไวของค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่าค่า K และ n มีค่าน้อยอัตราการกักเซาะจะต่ำเวลากักเซาะในช่วงแรกจะยาวขึ้นค่า n มีความไวตัวค่อนข้างสูงต่ออัตราการกักเซาะ และมุมเปิดรับน้อยอัตราการกักเซาะจะสูง

เอกรัตน์ รวยรวย และคณะ (2543), [11] ได้ศึกษาเปรียบเทียบ SIMPLE SIMPLER และ SIMPLIC ALGORITHMS เพื่อแก้สมการความเร็ว-ความดัน ในการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งงานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการไหลแบบปั่นป่วนโดยกระบวนการไฟไนต์โวลุ่ม ซึ่งมีพื้นฐานบนระบบกริดแบบเหลี่ยมเพื่อแก้สมการตามแบบมาตรฐาน $k-\epsilon$ Model ร่วมกับฟังก์ชันของผนัง ทำการแยกสมการโมเมนตัมกับสมการการไหลปั่นป่วนในระบบพิกัดฉากโดยใช้วิธีแบบผสมระหว่าง Central กับ Upwind ซึ่งได้ประยุกต์การคำนวณกับการไหลแบบหน้าตัดขยายอย่างทันทีทันใด การไหลแบบผนังขนาน และการไหลแบบชั้น พร้อมทั้งแสดงผลการคำนวณเปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่นๆ พบว่ามีความคล้ายคลึงกัน จากผลการทดลองเชิงตัวเลข SIMPLE Algorithm มีประสิทธิภาพในเรื่องเวลาที่ใช้คำนวณและมีเสถียรภาพสูงกว่าแบบอื่น สำหรับ SIMPLER Algorithm พัฒนาขึ้นโดยการคำนวณค่าสนามความดันที่ถูกต้องจากความเร็วปรับแก้ พบว่าวิธีนี้สามารถคำนวณสนามความดันได้อย่างถูกต้องแต่ค่าสนามความเร็วนั้นการคำนวณไม่ลู่ออกเข้าหาคำตอบ จากผลงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า SIMPLE Algorithm มีความเหมาะสมในการนำเอาไปประยุกต์ใช้มากที่สุด

พินัย จินชัย และคณะ (2552), [5] ได้พัฒนาแบบจำลองการไหล 2 มิติ กรณีศึกษาปากแม่น้ำบางปะกง ซึ่งสรุปได้ว่าการไหลในบริเวณปากแม่น้ำ เป็นการไหลที่ขึ้นอยู่กับสภาพน้ำขึ้นน้ำลงของทะเลเป็นหลัก ทิศทางความเร็วของกระแสน้ำ จะมีความเร็วของการไหลเข้า ออกที่ต่างกัน ตามจังหวะการขึ้นลงของกระแสน้ำ ซึ่งยากที่จะทำนายพฤติกรรมการไหลในบริเวณดังกล่าวได้ จึงจำเป็นต้องทำนายโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาและพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ขึ้น สำหรับใช้ในการพยากรณ์การไหลของปากแม่น้ำ เพื่อเป็นฐานของการพัฒนาแบบจำลองซึ่งต้องใช้ข้อมูลสภาพทางชลศาสตร์มาเป็นฐานของการจำลองต่อไป โดยการคำนวณความเร็วของกระแสน้ำและระดับน้ำของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้สมการความต่อเนื่องและสมการโมเมนตัม 2 มิติ ในทางราบเฉลี่ยและในแนวตั้งมาเป็นสมการควบคุมปรากฏการณ์ให้อยู่ในรูปของระเบียบวิธีเชิงตัวเลขด้วยวิธีผลต่างสืบเนื่องแบบ ADI พร้อมกับการพัฒนาแบบจำลอง โดยใช้ภาษาฟอร์แทรนในการสร้างชุดคำสั่งแบบจำลองชลศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นนี้ได้ถูกนำไปทดสอบความสามารถในการพยากรณ์สภาพการไหลบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง โดยปรับแก้ผลการคำนวณ

ด้วยข้อมูลที่ได้มีการตรวจวัดในภาคสนามในบริเวณพื้นที่ศึกษา ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถให้ผลความถูกต้องของการพยากรณ์เป็นที่ยอมรับได้ และเหมาะที่จะใช้เป็นฐานของการพัฒนา ของแบบจำลองด้านคุณภาพน้ำ และการเคลื่อนตัวของตะกอนแขวนลอยได้ต่อไปได้

Nigel G. Wright และคณะ (2545), [13] ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จำลองการกัดเซาะตลิ่งในการไหลของแม่น้ำแบบหมุนวน ซึ่งสรุปได้ว่าการกัดเซาะตลิ่งแม่น้ำถือเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของโลกในปัจจุบัน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะพื้นดินและเกิดตะกอนในแม่น้ำ ดังนั้นจึงได้มีแบบสร้างแบบจำลองขึ้น เพื่อใช้ในการทำนายกระบวนการกัดเซาะของตลิ่ง แต่แบบจำลองนั้นจำลองกระบวนการได้ไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร ซึ่งความจริงแล้วกระบวนการกัดเซาะตลิ่งมี 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. การกัดกร่อนด้วยการไหลของน้ำ
2. การทรุดตัวภายใต้แรงดึงดูดของโลก
3. การพัดพาตะกอน

ซึ่งส่วนใหญ่แบบจำลองสามารถจำลองได้เพียง 1 หรือ 2 ส่วนของกระบวนการกัดเซาะของตลิ่งเท่านั้น นอกจากนั้นแบบจำลองยังไม่สามารถอธิบายอิทธิพลความต่อเนื่องของกระแสได้ เพราะความต่อเนื่องของกระแสส่งผลต่อการกัดเซาะตลิ่งในการไหลแบบหมุนวน ซึ่งแบบจำลองจำเป็นต้องคำนึงถึง ดังนั้นในการวิจัยนี้นำเสนอแบบ 2 แบบจำลองที่แตกต่างกัน

1. แบบจำลองแบบจำลองการไหลแบบ 3 มิติ และการพัดพาตะกอน (SSIIM-3D, Olsen 2001)
2. แบบจำลองแบบจำลองการไหลแบบ 2 มิติ, การพัดพาตะกอนและการกัดกร่อนของตลิ่ง

(RIPA-2D, Darby 2001)

ตามการทดสอบทางน้ำจัดเป็นการทดสอบที่ดีที่สุดสำหรับวิเคราะห์แบบจำลอง ในส่วนแรกของการวิจัยจะเน้นเกี่ยวกับโครงสร้างของการไหล ในการไหลแบบหมุนวน (Riprap test facility, Vicksburg, Mississippi) โดยการใช้แบบจำลอง SSIIM-3D, ในส่วนที่สองใช้แบบจำลอง RIPA-2D ใช้ในการจำลองโครงสร้างการไหลและรูปแบบการกัดกร่อนตลิ่งในการไหลแบบหมุนวน (Fall river, Rocky mountain national park , Colorado) ผลการวิจัยได้แสดงให้เห็นผลของแบบจำลอง SSIIM-3D ว่ามีประสิทธิภาพในการจำลองความเร็ว, อนุภาค, ความต่อเนื่องในการไหลที่หน้าตัดของ Riprap test facility นอกจากนี้แบบจำลองนี้ยังเกี่ยวกับ Fall river ที่แสดงถึง RIPA-2D ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำนายโครงสร้างการไหลและรูปแบบของการกัดเซาะตลิ่งในแม่น้ำธรรมชาติต่อไป

ซัชชัย หนูเจริญ และคณะ (2550), [1] ได้ประยุกต์ใช้โปรแกรม Google Earth กับการจัดการทรัพยากรน้ำ (กรณีศึกษา : สามจังหวัดชายแดนภาคใต้) ซึ่งโปรแกรม Google Earth เป็นโปรแกรมสำหรับดู

ภาพถ่ายทางอากาศหรือภาพถ่ายทางดาวเทียมของทุกพื้นที่ทั่วโลก พร้อมทั้งสามารถซ้อนภาพแผนที่เส้นทาง และผังเมืองทับลงในภาพถ่ายได้ด้วย ซึ่งภาพถ่ายที่ใช้จะได้อาจมาจากหลากหลายที่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นบริษัทที่ทำงานเกี่ยวกับภาพถ่ายดาวเทียม เช่น Digital globe, Earth SAT เป็นต้นและโปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมฟรีจาก Google (Earth google.com) ซึ่งเป็นเว็บค้นหาข้อมูลชั้นนำของโลก ซึ่งเป็นเว็บที่พัฒนาโดยบริษัท Keyhole ซึ่ง Google ซื้อกิจการมาอีกทีหนึ่ง การทำงานของ Google Earth จะเป็นแบบ Client and server โดยมีโปรแกรม Google Earth client ประมวลผลบนเครื่องของผู้ใช้และติดต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์ของ Google Earth เพื่อดาวโหลดภาพถ่ายบริเวณที่เราสนใจ หรืออ้างอิงโดยระบุพิกัดละติจูด ลองจิจูด มาแสดงแต่ไม่ได้เก็บภาพถ่ายทั้งหมดไว้ในเครื่องขณะใช้งานจึงจำเป็นต้องต่อกับอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง เช่น ADSL เพื่อให้สามารถดึงข้อมูลปริมาณมากมาแสดงได้ทันที

ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ที่ใช้ในโปรแกรม Google Earth คือ Geographic coordinate (Lat-Long) พื้นฐานคือ WGS84 และใช้ Earth gravity model คือ EGM96 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมประกอบด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ขนาดความละเอียดภาพ 30 เมตร, ภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS ขนาดความละเอียดจุดภาพ 1 เมตร และภาพถ่ายดาวเทียม QUICKBIRD ขนาดความละเอียดจุดภาพ 0.6 เมตร โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเป็นภาพที่ถ่ายในช่วง 1-3 ปี ข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM) เป็นข้อมูล SRTM รายละเอียดของจุดภาพเท่ากับ 30 เมตร ความละเอียดถูกต้องแนวตั้งประมาณ 20-30 เมตร ด้วยความที่โปรแกรม Google Earth ใช้หลักการเขียนภาษา KML โดยใช้พิกัดในรูปแบบ Lat/Long เป็นจุดอ้างอิง ซึ่งในการเพิ่มข้อมูล GIS ก็คือการเพิ่มข้อมูลใน 3 ลักษณะคือ ประเภทจุด เส้นและพื้นที่ของการเพิ่มข้อมูลได้ใน Google Earth ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม GE Link ใน MapInfo professional 8.5 นำเข้าข้อมูลใน Google Earth และทำการปรับแก้ในส่วนที่เป็นปัญหาการแสดงผลตามหลักโครงสร้างภาษา KML ทำให้ได้ข้อมูลที่ง่ายแก่การตรวจสอบและศึกษาแนวทางการพิจารณาโครงการเบื้องต้น และสามารถปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันได้ ขึ้นอยู่กับผู้ให้บริการและได้ลดข้อจำกัดต่างๆของโปรแกรมไปใช้ได้บางส่วน เช่น การเพิ่มขึ้นข้อมูล GIS เข้าไปในโปรแกรมจะทำได้เฉพาะ ประเภทจุด แต่การเขียนด้วยโครงสร้างภาษา KML สามารถนำเข้าได้ทั้ง 3 ลักษณะซึ่งได้จัดทำข้อมูลไว้เป็นหมวดหมู่ตามลำดับชั้นข้อมูลหลักดังนี้

1. สภาพทั่วไป
2. ลำน้ำและแหล่งน้ำธรรมชาติ
3. สภาพอุคณิยมิวิทยาและอุทกวิทยา
4. การพัฒนาแหล่งน้ำ
5. การพิจารณาวางโครงการ
6. ข้อมูลทั่วไป

การประยุกต์ใช้งานที่สำคัญคือการใช้ข้อมูลที่มีเพื่อประกอบการพิจารณาโครงการเบื้องต้น ซึ่งได้นำแผนที่ 1:50,000 ซึ่งเป็นการพิจารณาโครงการแบบเดิมมาเปรียบเทียบกับพื้นที่จริง จากนั้นทำการแสดงผลแบบ 3 มิติด้วยการเพิ่ม Terrain ใน Google Earth ทำให้เราสามารถเห็นสภาพพื้นที่ได้ใกล้เคียงกับพื้นที่จริงและสามารถคำนวณพื้นที่รับน้ำได้ด้วยโปรแกรม GE Path และแสดงผลใน Google Earth ประกอบการพิจารณา จุดที่ตั้งฝาย แนวท่อส่งน้ำ ที่ตั้งถังกรองน้ำและถังเก็บ ตามความต้องการของหมู่บ้าน