

ภาคผนวก 6ก

แบบจำลองการไหลเวียนของน้ำ: การแพร่กระจายของความเค็มและตะกอนแขวนลอย

แบบจำลองการไหลเวียนของน้ำ: การแพร่กระจายของความเค็มและตะกอนแขวนลอย

แบบจำลองนี้เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปชื่อว่า SMS (Surface water Modeling System) ใช้งานบนระบบปฏิบัติการ Windows เป็นโปรแกรมสำหรับป้อนและแสดงผลแบบจำลองของของไหลทางสิ่งแวดล้อม สามารถใช้กับแบบจำลองที่เป็น 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ คุณสมบัติของโปรแกรม SMS คือ จะมีเครื่องมือที่ช่วยให้เราสามารถจำลองพื้นที่ศึกษาให้มีความใกล้เคียงตามลักษณะตามธรรมชาติของพื้นที่ศึกษาจริง ไม่ว่าจะเป็นการป้อนข้อมูลความลึกน้ำ การสร้างขอบเขตพื้นที่ศึกษา ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นส่วนเริ่มต้นก่อนการคำนวณ และเมื่อคำนวณแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะนำมาวิเคราะห์ผลในส่วนของโปรแกรม SMS อีกครั้งหนึ่ง อาจจะวิเคราะห์ในรูปเวกเตอร์หรือรูปภาพสลับจอคอมพิวเตอร์ จึงเรียกโปรแกรม SMS ว่าเป็น Pre-processor (โปรแกรมสำหรับป้อนข้อมูล) และ Post-processor (โปรแกรมสำหรับแสดงผลที่คำนวณได้) ถือว่าเป็นโมดูลกราฟิกพื้นฐาน และมีโปรแกรมเฉพาะสำหรับคำนวณคุณสมบัติด้านต่างๆ ของน้ำ เช่น โปรแกรมคำนวณการไหลเวียนของน้ำ โปรแกรมคำนวณการแพร่กระจายของเกลือ โปรแกรมคำนวณการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอย และโปรแกรมอื่นๆ ต่อเชื่อมกับโมดูลพื้นฐาน โปรแกรมแต่ละส่วนประกอบจะทำงานเป็นอิสระต่อกัน แต่สามารถเรียกใช้ผลลัพธ์จากโปรแกรมส่วนประกอบอื่นได้

6ก.1 ส่วนประกอบของ SMS

คือโมดูลที่ช่วยในการทำ Pre-processor (ป้อนข้อมูลขอบเขต พื้นที่ศึกษา ความลึกน้ำ เป็นต้น) และ Post-processor (พล็อตความเร็วกระแสน้ำ ระดับน้ำ การแพร่กระจายของความเค็มและตะกอนแขวนลอย เป็นต้น) และเมนูเชื่อมต่อกับโมเดลจำลองการไหลเวียนของน้ำ (RMA2) การแพร่กระจายของความเค็ม (RMA4) การแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอย (SED2D) และโปรแกรมอื่นๆ ในที่นี้จะพรรณนาเฉพาะโปรแกรมที่ใช้สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ คือ

- GFGEN
- RMA2
- RMA4
- SED2D

ในการอธิบายโปรแกรมแต่ละส่วนประกอบอาจจะใช้สัญลักษณ์ต่างกันสำหรับตัวแปรตัวเดียวกันเนื่องจากคู่มือโปรแกรมแต่ละส่วนประกอบเขียนขึ้นอย่างเป็นอิสระต่อกัน

6ก.1.1 โปรแกรม GFGEN

จะจัดการเรื่องพื้นที่ศึกษา (ตำแหน่งและความลึก) SMS จะแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น ส่วนย่อยๆ เรียกว่าเอลิเมนต์ (Element) แต่ละเอลิเมนต์จะมีขอบเส้นตรงหรือเส้นโค้ง 3 หรือ 4 เส้นที่มีความยาวไม่เท่ากัน หรือจะเป็นช่องกริดสม่ำเสมอก็ได้ แต่ละเส้นจะมีโหนด (Node) 3 โหนดหรือจุด คือโหนดปลาย 2 โหนด และโหนดกลางอีก 1 โหนด แต่ละโหนดจะมีพิกัดใน แนวราบและความลึกกำกับไว้ทุกโหนด เมื่อสร้างพื้นที่ศึกษาแล้วโปรแกรม GFGEN จะทำหน้าที่ แปลงพื้นที่ศึกษาที่เก็บแบบ ASCII Geometry file เป็น Binary Geometry file นอกจากการแปลง ไฟล์แล้ว โปรแกรมจะตรวจสอบความเหมาะสมของเอลิเมนต์ว่ามีรูปทรงทางเรขาคณิตที่ดีพอ สำหรับที่จะใช้ในการคำนวณหรือไม่ แล้วต้องมีการเรียงลำดับเอลิเมนต์เพื่อลำดับขั้นตอนในการ คำนวณ จะทำให้ได้เอลิเมนต์ที่เรียงกันอย่างต่อเนื่องทำให้แบบจำลองคำนวณอย่างมีประสิทธิภาพ และถูกต้องตามหลักการทางฟิสิกส์ เป็นต้น

6ก.1.2 โปรแกรมจำลองการไหลเวียนของน้ำ (RMA2)

RMA2 เป็นแบบจำลองเชิงตัวเลขแบบไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับคำนวณการไหลแบบ 2 มิติโดยค่ากระแสน้ำที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยตามความลึก คำนวณหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์ เอลิเมนต์ โปรแกรมจะอ่านไฟล์พื้นที่ศึกษาที่สร้างโดยโปรแกรม GFGEN ซึ่งเป็น Binary file ร่วม กับสมการควบคุมการไหล แล้วคำนวณหาความเร็วของกระแสน้ำในแนวราบ 2 ทิศทาง (เหนือ-ใต้ ตะวันออก-ตะวันตก) สมการควบคุมคือสมการโมเมนตัม (Momentum equation) หรือ สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes equation) สำหรับการไหลอย่างปั่นป่วน (Turbulent flows) และสมการอนุรักษ์มวลหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสมการความต่อเนื่อง (Conservation of mass or Continuity equation)

สมการโมเมนตัม (ในแนวราบ)

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + gh \left[\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial a}{\partial y} \right] \quad (1)$$

$$+ \frac{g}{h^{\frac{1}{3}}} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \xi V_a^2 \cos \psi - 2hv \omega \sin \Phi = 0$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + gh \left[\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial a}{\partial y} \right] \quad (2)$$

$$+ \frac{g}{h^{\frac{1}{3}}} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \xi V_a^2 \sin \psi + 2hu \omega \sin \Phi = 0$$

สมการอนุรักษ์มวล

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

เมื่อ	h	=	ความลึกของน้ำ (ม.)
	u, v	=	ความเร็วของกระแสในแนวระนาบ x และ y (ม./วินาที)
	x, y, t	=	โคออร์ดิเนตในระบบพิกัดฉาก (ม.) และเวลา (วินาที)
	ρ	=	ความหนาแน่นของน้ำทะเล (1,026 กก./ลบ.ม.)
	E	=	Eddy viscosity coefficient (ตร.ม./วินาที)
	g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (9.81 ม./วินาที ²)
	a	=	ระดับของพื้นที่ท้องทะเล (ม.)
	n	=	Mannings' n value (ความขรุขระของท้องน้ำ)
	ξ	=	สัมประสิทธิ์ของความเค็มเนื่องจากลม
	V_a	=	ความเร็วของลม (ม./วินาที)
	ψ	=	ทิศทางของลม (องศา)
	ω	=	ความเร็วเชิงมุมที่โลกหมุนรอบตัวเอง (7.29×10^{-5} เรเดียน/วินาที)
	Φ	=	ละติจูด ณ พื้นที่แบบจำลอง (องศา)

สมการที่ (1) (2) และ (3) เรียกว่าระบบสมการการไหล 2 มิติ โดยรวมเทอมของความเค็มเนื่องจากลม (Wind stress) แรงโคริโอลิส (Coriolis force) และเทอมที่มาจากความแตกต่างของแรงดันน้ำ (Pressure gradient) ซึ่งเป็นเทอมที่มีความสำคัญต่อการไหลเวียนของน้ำทะเลอย่างมาก ในการแก้ปัญหาระบบสมการดังกล่าวข้างต้นในแบบจำลองนี้ จะใช้ระเบียบเชิงตัวเลขวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยประยุกต์วิธีกาลเอร์คิน (Galerkin) เข้ากับระเบียบวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method of weighted residuals) ในการแก้สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังกล่าว อยู่ในรูปแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) การหาคำตอบในรูปแบบไม่เป็นเชิงเส้นของแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้ ใช้ระเบียบวิธีการทำซ้ำของนิวตัน - ราฟสัน (Newton-Raphson iteration method)

6ก.1.3 โปรแกรมจำลองการแพร่กระจายของเกลือ (RMA4)

RMA4 เป็นแบบจำลองเชิงตัวเลขแบบไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับจำลองการแพร่กระจายของเกลือและสารอื่น ๆ รวมกันแล้วไม่เกิน 6 ชนิดในระบบ 1 หรือ 2 มิติ (เป็นค่าเฉลี่ยตามความลึก) โดยต้องใช้ร่วมกับแบบจำลองพลศาสตร์ของไหล (เช่น RMA2) สมการควบคุมการแพร่กระจายของเกลือคือสมการอนุรักษ์มวลสารซึ่งขึ้นความสัมพันธ์ระหว่างการไหลกับการแพร่กระจาย

$$\frac{\partial c}{\partial t} + U \frac{\partial c}{\partial x} + V \frac{\partial c}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} = \text{Source} - \text{Sink} \quad (4)$$

เมื่อ	c	= ความเค็ม หรือความเข้มข้นของสารละลายอื่นๆ (psu)
	t	= เวลา (วินาที)
	x	= ระยะตามแนวแกน x (ตะวันออก-ตะวันตก) (ม.)
	y	= ระยะตามแนวแกน y (เหนือ-ใต้) (ม.)
	u	= ความเร็วกระแสน้ำในแนวแกน x (ม./วินาที)
	v	= ความเร็วกระแสน้ำในแนวแกน y (ม./วินาที)
	D_x	= สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแนวแกน x (ตร.ม./วินาที)
	D_y	= สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแนวแกน y (ตร.ม./วินาที)
	Source	= แหล่งเพิ่มเกลือคือบริเวณที่ติดกับทะเล (psu/วินาที)
	Sink	= การสูญเสียเกลือเช่น การระเหยเป็นต้น (psu/วินาที)

ในแบบจำลองมี Source หรือที่มาของเกลือจากทะเล แต่ไม่มี Sink หรือการสูญเสียเกลือเนื่องจากการตกทับถมที่ท้องน้ำหรือระเหยขึ้นไปในอากาศ ข้อจำกัดของ RMA4 คือต้องใช้กับมวลน้ำที่ผสมผสานกันดีในแนวหนึ่ง หากมวลน้ำมีการแบ่งชั้นกันจำเป็นต้องใช้แบบจำลอง 3 มิติ เช่น RMA11

6ก.1.4 โปรแกรมจำลองการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอย (SED2D)

SED2D เป็นแบบจำลองเชิงตัวเลขแบบไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับจำลองการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอย และการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นตะกอนท้องน้ำ โดยเป็นโปรแกรมแบบ 1 หรือ 2 มิติที่ต้องใช้ร่วมกับแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเช่น RMA2 สมการควบคุมการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยคือสมการอนุพันธ์มวลสารซึ่งขึ้นความสัมพันธ์ระหว่างเทอมการไหลกับเทอมการแพร่กระจาย โปรแกรมสามารถจำลองการแพร่กระจายและตกตะกอนของอนุภาครายหรืออนุภาคดินอย่างใดอย่างหนึ่ง ไม่สามารถจำลองอนุภาคตะกอน 2 ชนิดหรือ 2 ขนาดในเวลาเดียวกันได้ โปรแกรมค่อนข้างจะซับซ้อนกว่า RMA4

หลักการและสมมติฐานของโปรแกรม SED2D มีดังนี้

(1) กระบวนการแพร่กระจายของอนุภาคตะกอนประกอบด้วยการกักเซาะจากท้องน้ำ การฟุ้งเข้าไปรวมกับมวลน้ำ การถูกพัดพา และการทับถมในที่สุด

(2) กระแสน้ำมีศักยภาพในการกักเซาะ ฟุ้งกระจาย และพัดพาตะกอน ไม่ว่าจะเป็นมีอนุภาคตะกอนอยู่หรือไม่

(3) อนุภาคตะกอนที่ท้องน้ำจะหยุดนิ่งตราบเท่าที่แรงกระทำจากกระแสน้ำมีค่าน้อยกว่าแรงเสียดทานวิกฤติของการถูกกัดเซาะ (Critical shear stress for erosion)

(4) เมื่ออนุภาคตะกอนท้องน้ำเป็นทรายและถูกกัดเซาะ ความหนาของชั้นตะกอนอาจไม่เปลี่ยนแปลงหากอัตราการกัดเซาะเท่ากับอัตราการตกตะกอน

(5) ถ้าอนุภาคตะกอนท้องน้ำเป็นดินเหนียวหรือทรายแป้ง (ซึ่งเป็นตะกอนที่อนุภาคตะกอนสามารถเกาะกันทำให้อนุภาคตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น = Cohesive sediment) ถูกกัดเซาะออกไป มันจะล่องลอยอยู่ในคอลัมน์ตราบเท่าที่แรงเสียดทานท้องน้ำสูงกว่าแรงเสียดทานวิกฤติของการทับถม (Critical shear stress for deposition) มีนัยยะว่ากระบวนการกัดเซาะและกระบวนการทับถมของตะกอนดินเหนียวและทรายแป้งจะไม่เกิดขึ้นพร้อมกัน

(6) โครงสร้างของชั้นตะกอนดินเหนียวและทรายแป้งจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาและความหนาของชั้นตะกอนชั้นบน (ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ความหนาลดลง)

(7) การเคลื่อนที่ของอนุภาคตะกอนอยู่ในรูปของการพัดพาเท่านั้น ไม่คำนึงถึงการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ (Bedload transport)

สมการที่ใช้ประกอบด้วย

- (1) สมการควบคุมการพาและการฟุ้งกระจายของตะกอนแขวนลอย
- (2) สมการแรงเสียดทานที่พื้นท้องน้ำ
- (3) สมการการกัดเซาะ-การทับถมของตะกอน
- (4) สมการคุณสมบัติของชั้นของตะกอนท้องน้ำ

(1) สมการควบคุมการพาและการฟุ้งกระจายของตะกอนแขวนลอย ใช้ตามผลงานของ Ariathurai, MacArthur, และ Krone (1977)

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \alpha_1 C + \alpha_2 \quad (5)$$

เมื่อ	C	= ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (กก./ลบ.ม.)
	t	= เวลา (วินาที)
	u	= ความเร็วกระแสน้ำในแนวแกน x (ม./วินาที)
	x	= แกนตะวันออก-ตะวันตกในระบบพิกัดฉาก (ม.)
	v	= ความเร็วกระแสน้ำในแนวแกน y (ม./วินาที)
	y	= แกนเหนือ-ใต้ในระบบพิกัดฉาก (ม.)
	D_x	= สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (effective diffusion coefficient) ในแนวแกน x (ตร.ม./วินาที)

D_y = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (effective diffusion coefficient) ในแนวแกน y (ตร.ม./วินาที)

α_1 = สัมประสิทธิ์สำหรับตะกอนแขวนลอยที่ได้รับเพิ่ม (source term) (วินาที⁻¹)

α_2 = ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่สมดุลสำหรับตะกอนที่ได้รับเพิ่ม
 $= -\alpha_1 C_{eq}$ (กก./ลบ.ม./วินาที)

(2) สมการแรงเสียดทานที่พื้นท้องน้ำ ใช้สำหรับคำนวณตะกอนแขวนลอยที่ฟุ้งกระจายขึ้นมาจากท้องน้ำ สูตรการคำนวณแรงเสียดทานที่พื้นท้องน้ำคือ

$$\tau_b = \rho(u^*)^2 \quad (6)$$

เมื่อ τ_b = แรงเสียดทานที่พื้นท้องน้ำ (นิวตัน/ตร.ม.)

ρ = ความหนาแน่นของน้ำทะเล (ประมาณ 1,026 กก./ลบ.ม.)

u^* = ความเร็วเสียดทาน คือ ความเร็วใกล้ท้องน้ำที่จะมีผลต่อการกัดเซาะท้องน้ำ (ม./วินาที)

ความเร็วเสียดทาน คือ ความเร็วใกล้ท้องน้ำที่จะมีผลต่อการกัดเซาะท้องน้ำ มีสูตรการคำนวณ 3 สูตร ดังนี้

ก) Smooth-wall log velocity profile

$$\frac{\bar{u}}{u^*} = 5.75 \log \left(3.32 \frac{u^* D}{\nu} \right) \quad (7)$$

เมื่อให้ท้องน้ำราบเรียบ ความเร็วใกล้ท้องน้ำลดลงแบบกราฟลอการิทึม เมื่อ

$$\frac{u^* D}{\nu} > 30 \quad (8)$$

เมื่อ $\bar{u}$ = ความเร็วเฉลี่ยของกระแส (ม./วินาที)

D = ความลึกน้ำ (ม.)

ν = ความหนืดของน้ำ (kinematic viscosity, ตร.ม./วินาที)

ข) The Manning's shear stress equation

$$u^* = \frac{\sqrt{g\bar{u}n}}{CMED^{1/6}} \quad (9)$$

เมื่อ g = แรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 ม./วินาที²)
 n = ความขรุขระในรูปของค่า Manning's
 CME = ค่าคงที่เท่ากับ 1.0 ในระบบเมตริก

ค) Jonsson-type equation for surface shear stress

Jonsson (1967) ซึ่งคำนวณความเร็วเสียดทานที่เกิดเนื่องจากกระแสและคลื่นได้
 ดังนี้

$$u^* = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{f_w u_{om} + f_c \bar{u}}{u_{om} + \bar{u}} \right) \left(\bar{u}^2 + \frac{u_{om}^2}{2} \right)} \quad (10)$$

เมื่อ f_w = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับคลื่น
 u_{om} = ความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่เป็นวงของอนุภาคน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจาก
 คลื่น (ม./วินาที)
 f_c = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับกระแสน้ำ

ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้สมการ (9) เพราะความเร็วของกระแสน้ำสัมพันธ์กับแรงเสียดทานท้องน้ำ (Mannings' n value) สมการ (7) ใช้สำหรับท้องน้ำราบเรียบไม่น่าจะเหมาะกับทะเลสาบ ส่วนสมการ (10) ไม่มีข้อมูลคลื่นมาประกอบจึงไม่สามารถนำมาใช้ได้

(3) สมการการกัดเซาะ-การทับถมของตะกอน เทอมที่ใช้แทนการกัดเซาะและทับถมของตะกอนท้องน้ำในสมการ (5) คือ $S = \alpha_1 C + \alpha_2$ ซึ่งใช้ได้ทั้งสำหรับการกัดเซาะและทับถม และกับตะกอนทรายและตะกอนดินเหนียว ความแตกต่างอยู่ที่การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ (α) สำหรับตะกอนแต่ละชนิด และขึ้นกับว่าเป็นการกัดเซาะหรือทับถม

ก) การเคลื่อนตัวของตะกอนทราย (Sand transport) การเคลื่อนตัวของตะกอนทรายจากท้องน้ำขึ้นอยู่กับความสามารถของมวลน้ำในการจะอุ้มตะกอนทรายท้องน้ำและปริมาณตะกอนทรายที่ท้องน้ำ สมการสำหรับคำนวณปริมาณตะกอนทรายจากท้องน้ำ, S , คือ

$$S = \frac{C_{eq} - C}{t_c} \quad (11)$$

เมื่อ S = แห่่งกำเเนิดตะกอนทรายจากท้องน้ำ (มก./ล./วินาที)
 C_{eq} = ความเข้มข้นของตะกอนทรายที่สภาวะสมดุล (มก./ล.)
 C = ความเข้มข้นของตะกอนทรายในน้ำ (มก./ล.)
 t_c = คุณสมบัติทางเวลาสำหรับการเพิ่มความเข้มข้นจาก C เป็น C_{eq}
 (วินาที)

ในโมเดลเลือกใช้สูตรของ Ackers-White (1973) ในการหาค่า C_{eq} สำหรับตะกอนทรายซึ่งจะใช้ได้กับอนุภาคทรายละเอียด ค่าคุณสมบัติทางเวลาจะขึ้นอยู่กับวิจารณ์ญาณของผู้ใช้สำหรับการทับถมในโมเดล

$$t_c = \text{the larger of } \begin{cases} C_d \frac{D}{V_s} \\ DT \end{cases} \quad (12)$$

เมื่อ t_c = คุณสมบัติทางเวลา (วินาที)
 C_d = สัมประสิทธิ์ในการตกตะกอน
 D = ความลึกของชั้นน้ำ (ม.)
 V_s = ความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคตะกอน (ม./วินาที)
 DT = ชั้นเวลาในการคำนวณ (วินาที)

สำหรับการกัดเซาะในโมเดล

$$t_c = \text{the larger of } \begin{cases} C_e \frac{D}{u} \\ DT \end{cases} \quad (13)$$

เมื่อ C_e = สัมประสิทธิ์ในการแขวนลอย
 $\bar{u}$ = ความเร็วเฉลี่ยของกระแส น้ำ (ม./วินาที)

ข) การเคลื่อนตัวของดินเหนียว (Clay transport) การทับถมของตะกอนดินเหนียวใช้สูตรของ Krone (1962)

$$S = \begin{cases} -\frac{2V_s}{D} C \left(1 - \frac{\tau}{\tau_d}\right) & \text{for } C < C_c \\ -\frac{2V_k}{D} C^{5/3} \left(1 - \frac{\tau}{\tau_d}\right) & \text{for } C > C_c \end{cases} \quad (14)$$

เมื่อ τ = แรงเสียดทานที่ท้องน้ำ (Bed shear stress) (นิวตัน/ตร.ม.)
 τ_d = แรงเสียดทานวิกฤติสำหรับการทับถม (นิวตัน/ตร.ม.)
 C_c = ความเข้มข้นวิกฤติ (300 มก./ล.)

การกัดเซาะท้องน้ำสำหรับอนุภาคตะกอนดินเหนียวใช้สูตรของ Partheniades (1962)

$$S = \frac{P}{D} \left(\frac{\tau}{\tau_e} - 1 \right) \quad (15)$$

เมื่อ P = ค่าคงที่ของการกัดเซาะ (Erosion rate constant)
 τ_e = แรงเสียดทานวิกฤติสำหรับการกัดเซาะของอนุภาคตะกอนดินเหนียว (นิวตัน/ตร.ม.)

หากแรงเสียดทานที่ท้องน้ำมีมากจนทำให้ตะกอนถูกกัดเซาะไปทั้งชั้น จะใช้สูตร

$$S = \frac{TL\rho L}{D\Delta t} \text{ for } \tau > \tau_s \quad (16)$$

เมื่อ T_L = ความหนาชั้นของตะกอนที่ถูกกัดเซาะ (ม.)
 ρ_L = ความหนาแน่นของชั้นตะกอนที่ถูกกัดเซาะ (กก./ลบ.ม.)
 Δt = ระยะเวลาที่การกัดเซาะเกิดขึ้น (วินาที)
 τ_s = แรงเฉือนต่อการกัดเซาะรวม (Bulk shear strength) ของชั้นตะกอน (นิวตัน/ตร.ม.)
 D = ความลึกของน้ำ (ม.)

(4) **สมการคุณสมบัติของชั้นของตะกอนท้องน้ำ** เทอมการกัดเซาะ-ทับถมในสมการที่ 5 จะกลายเป็นเทอมการทับถม-กัดเซาะของโมเดลชั้นตะกอนซึ่งเก็บบันทึกข้อมูลความหนาของชั้นตะกอน องค์ประกอบของตะกอน และคุณสมบัติของชั้นตะกอน โดยจะให้น้ำหนักการเปลี่ยนแปลงของชั้นตะกอนในแต่ละเวลาด้วยวิธีของ Crank-Nicholson

ก) **ชั้นตะกอนทราย** ตะกอนทรายในโมเดลจะมีเพียงชั้นเดียวอยู่เหนือชั้นตะกอนแข็งที่ไม่สามารถถูกกัดเซาะได้ อัตราการทับถมหรือกัดเซาะขึ้นกับอัตราการกัดเซาะ-ทับถมของตะกอนในชั้นเวลาก่อนหน้านั้น น้ำหนักของตะกอนจะถูกแปลงเป็นปริมาตรของตะกอนด้วยความหนาแน่นของชั้นตะกอน

ข) **ชั้นตะกอนดินเหนียว** ชั้นตะกอนดินเหนียวแบ่งเป็นชั้นๆ เรียงลำดับกัน แต่ละชั้นมีคุณสมบัติเฉพาะตัว ดังนี้

- ความหนา
- ความหนาแน่น
- อายุ
- แรงเฉือนต่อการกัดเซาะรวม (Bulk shear strength)
- ลำดับชั้นของตะกอน

ลำดับชั้นของตะกอนยังมีคุณสมบัติเพิ่มเติม ดังนี้

- แรงเสียดทานวิกฤติสำหรับการกัดเซาะ
- ค่าคงที่ของการกัดเซาะ
- ความหนาแน่นเริ่มต้นและเมื่อเวลาผ่านไป 1 ปี
- Bulk shear strength เมื่อเริ่มต้นและเมื่อเวลาผ่านไป 1 ปี
- สัมประสิทธิ์การผืนกรวมกัน
- ชั้นดินเหนียวหรือทราย

ลำดับชั้นของตะกอนจะเปลี่ยนไปเมื่อมีชั้นตะกอนใหม่เกิดขึ้นเหนือชั้นตะกอนเดิมซึ่งมีความหนาถึงค่าความหนาของชั้นตะกอนที่กำหนด ต่อจากนั้น แบบจำลองจะคำนวณความหนาของชั้นตะกอนให้ใหม่เนื่องจากตะกอนจะผืนกันแน่นมากขึ้น สูตรคำนวณความหนาแน่นของชั้นตะกอน คือ

$$\rho = \rho_f - (\rho_f - \rho_i)e^{-\beta t} \quad (17)$$

เมื่อ

ρ	=	ความหนาแน่นของชั้นตะกอนที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (กก./ลบ.ม.)
ρ_e	=	ความหนาแน่นที่เวลาสุดท้าย (กก./ลบ.ม.)
ρ_f	=	ความหนาแน่นสูงที่สุดที่เป็นไปได้เท่ากับ 1,000 กก./ลบ.ม.

- t_0 = เวลาเริ่มต้นเท่ากับศูนย์ (วินาที)
 t_e = เวลาสุดท้าย (วินาที)
 t = เวลาที่แต่ละชั้น (วินาที)
 β = สัมประสิทธิ์การผกผันซึ่งคำนวณจากสมการ

$$\beta = -\frac{1}{t_e} \ln \left[1 - \frac{\rho_e - \rho_i}{\rho_f - \rho_i} \right] \quad (18)$$

แรงเนื่องต่อการกัดเซาะรวม (Bulk shear strength), τ_{se} , สัมพันธ์กับความหนาแน่นดังนี้

$$\frac{\tau_{se}}{\tau_{si}} = \left(\frac{\rho_e}{\rho_i} \right)^\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{\ln(\tau_{si}) - \ln(\tau_{se})}{\ln(\rho_i) - \ln(\rho_e)}$$

นี่คือ Bulk shear strength ที่เวลาสุดท้าย สำหรับที่แต่ละเวลาให้แทน τ_{se} และ ρ_e ด้วยค่าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

6ก.2 การพัฒนาแบบจำลองสำหรับลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

การพัฒนาแบบจำลองสำหรับลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเริ่มจากการสแกนแผนที่ลุ่มน้ำสงขลา เลือกใช้พิกัด U.T.M. (Universal transverse mercater) ต่อมากำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา คือ แนวชายฝั่งให้เหมือนจริงมากที่สุด แต่ได้ตัดทะเลน้อยออกไปเนื่องจากพิจารณาแล้วว่า หากไม่มีทะเลน้อยจะทำให้การคำนวณเร็วขึ้นและการไหลเวียนของน้ำที่ได้อีกไม่ผิดแผกไปจากความเป็นจริง ในแบบจำลองได้รวมการสร้างเขื่อนดักทรายด้านเหนือยาว 500 ม. ไว้ด้วยแล้ว

งานขั้นต่อมาคือการใส่ความลึกน้ำ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใส่ความลึกน้ำคงที่เป็นช่วงๆ ของทะเลสาบเนื่องจากพิจารณาแล้วเห็นว่าความลึกของทะเลสาบแต่ละแห่งค่อนข้างตื้นและคงที่ การใช้ความลึกเฉลี่ยจะไม่มีผลทำให้รูปแบบการไหลเวียนของน้ำผิดไปจากความเป็นจริงมากนัก แต่เราได้จำลองความลึกร่องน้ำทางเข้าทะเลสาบตอนล่างและร่องน้ำที่เชื่อมต่อระหว่างทะเลสาบตอนล่างกับทะเลสาบตอนกลางให้เหมือนจริงมากที่สุดเพราะร่องน้ำบริเวณนี้มีผลเป็นอย่างมากต่อปริมาณน้ำที่ไหลถ่ายเทระหว่างทะเลสาบกับทะเลอ่าวไทย และระหว่างทะเลสาบแต่ละบริเวณ

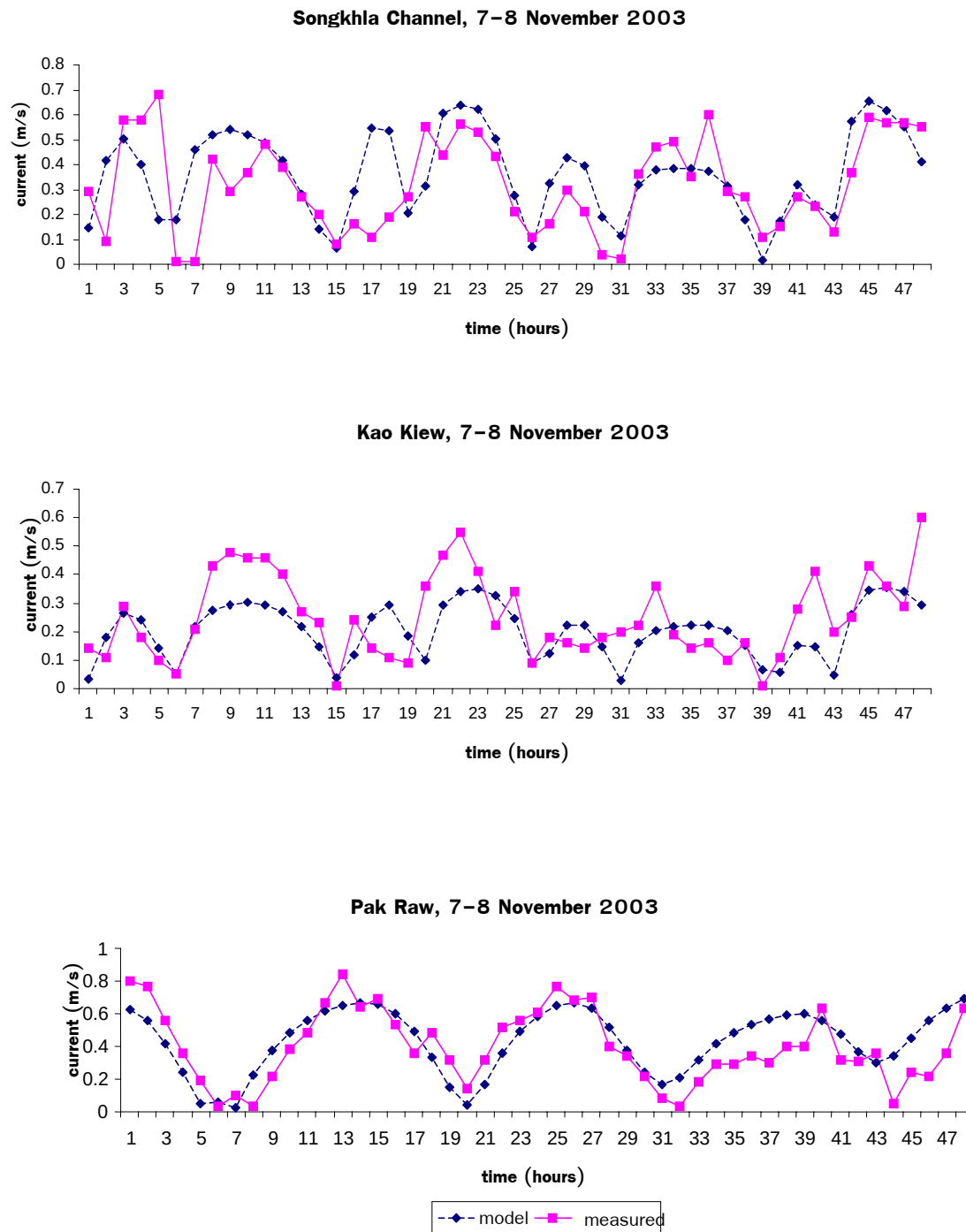
เมื่อสร้างขอบเขตและความลึกเรียบร้อยแล้วงานขั้นต่อมาคือการสร้างเอลิเมนต์ ในที่นี้เลือกใช้เอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยม (Rectangular element) ซึ่งเหมาะกับโปรแกรมจำลองการไหลเวียนของน้ำ RMA2 โดยความถี่ของเอลิเมนต์ในทะเลสาบตอนล่าง จะหนาแน่นกว่าในทะเลหลวง

และในทะเลสาบเนื่องจากเราต้องการศึกษาผลกระทบจากการขุดร่องน้ำสายหลักในทะเลสาบ ตอนล่างต่อการไหลเวียนของน้ำ การตกตะกอน และการช่วยระบายน้ำฝนป้องกันน้ำท่วมด้วย หลังจากนั้นใช้โปรแกรม GFGEN เพื่อสร้าง Binary file ของพื้นที่ศึกษาสำหรับการคำนวณขั้นต่อไป

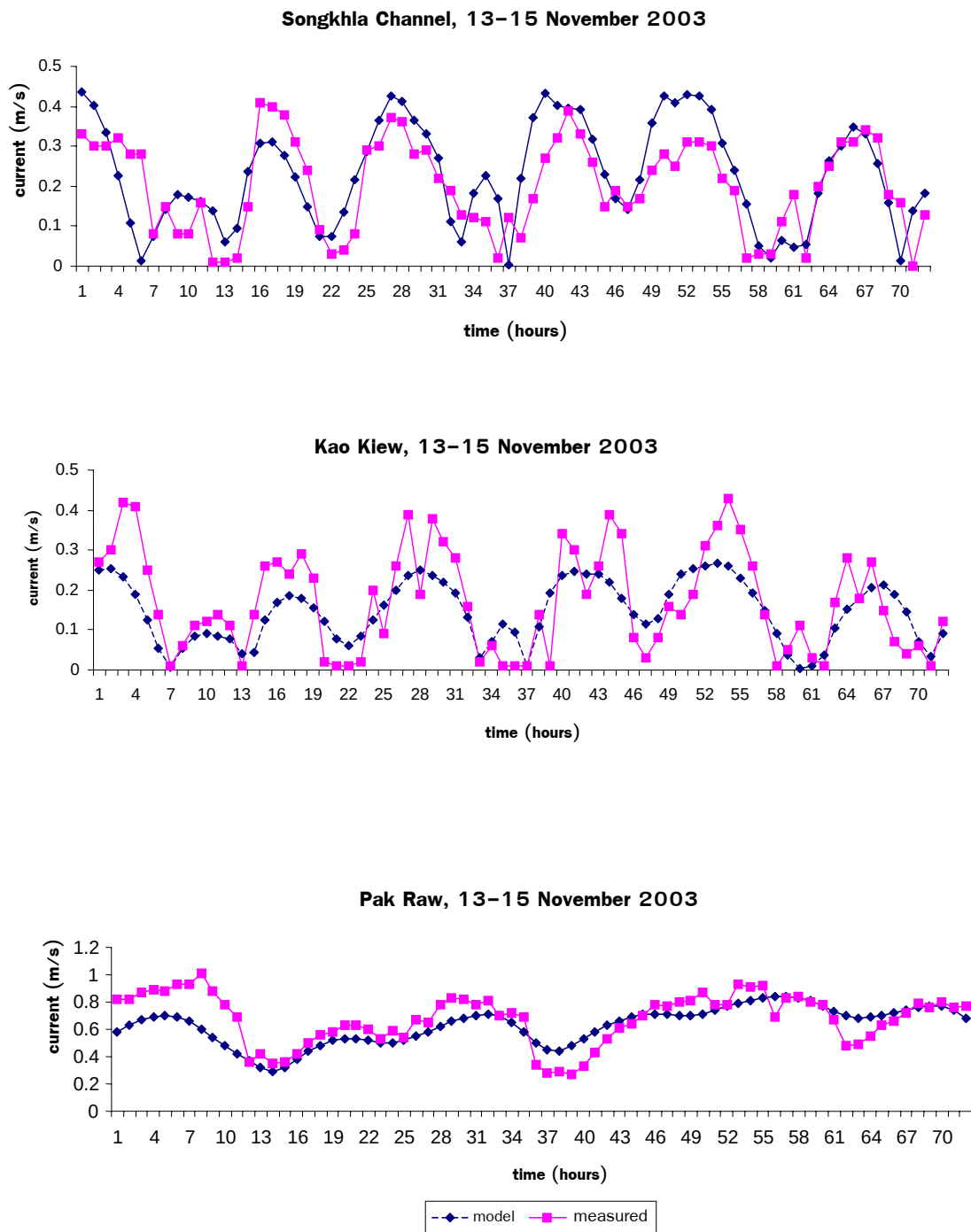
ต่อมาก็ใช้โปรแกรม RMA2 เพื่อจำลองการไหลเวียนของน้ำในทะเลสาบ ในเบื้องต้น เลือกใช้แรงขับเคลื่อนโมเดลเพียง 2 ชนิดคือ อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงที่ปากร่องน้ำทะเลสาบ สงขลา และน้ำท่าที่ไหลออกมาจากคลองรอบทะเลสาบ โดยเหตุที่ไม่มีข้อมูลต่างๆ เพียงพอ สำหรับการเปรียบเทียบ (Calibrate) จึงเลือกใช้ปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ไม่ใช่ค่าตรวจวัดแต่ได้ จากความสัมพันธ์ของปริมาณฝนตกกับพื้นที่ลุ่มน้ำ) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2535-2545 ระดับน้ำขึ้นน้ำลงที่ปากร่องน้ำจึงใช้ค่าระดับน้ำจากองค์ประกอบน้ำ (Tidal constituents) 4 ตัว (K_1 , O_1 , M_2 , และ S_2)

ผลการคำนวณกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงในทะเลสาบจากแบบจำลอง พบว่า กระแสน้ำจะแรงเฉพาะบริเวณปากร่องน้ำทางเข้าทะเลสาบตอนล่างและที่ช่องแคบปากกรอ (ร่องน้ำเชื่อมต่อทะเลสาบตอนล่างกับทะเลสาบตอนกลาง) กระแสน้ำในบริเวณอื่นๆ ในทะเลสาบ จะมีความเร็วอ่อน กระแสน้ำในทะเลสาบตอนล่างจะแรงกว่าในทะเลสาบตอนบนเพราะการลดทอนของไหลของน้ำเมื่อต้องผ่านช่องแคบปากกรอ กระแสน้ำในทะเลหลวงมีค่าน้อยมากเนื่องจากการลดทอนพลังงานจากน้ำขึ้นน้ำลง (ดู Movie clip ประกอบ)

จากการเปรียบเทียบความเร็วกระแสน้ำจากแบบจำลอง RMA2 (เมื่อใช้ข้อมูลน้ำท่า เฉพาะปี พ.ศ. 2545 และน้ำขึ้นน้ำลงจากสถานีวัดระดับน้ำที่ปากร่องน้ำสงขลา) กับผลการตรวจ วัดที่ร่องน้ำปากทางเข้าทะเลสาบตอนล่างและที่จุดตรวจวัดปากกรอเมื่อวันที่ 7-8 และ 13-15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2545 พบว่ากระแสน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลองมีค่าไม่แตกต่างกันมาก (ดูรูปที่ 6ก.1 และ 6ก.2) แสดงว่าเราสามารถใช่แบบจำลอง RMA2 ที่ปรับปรุงตรวจสอบแล้ว สำหรับการทำนายผลล่วงหน้าได้



รูปที่ 6ก.1 เปรียบเทียบความเร็วกระแสน้ำจากแบบจำลอง RMA2 กับผลการตรวจวัด 3 แห่ง ที่ร่องน้ำสงขลา เขาเขียว (ตรงข้ามเกาะยอฝั่งทิศเหนือ) และปากรอตตามลำดับ ในหน้าน้ำ เกิด ระหว่างวันที่ 7-8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2545

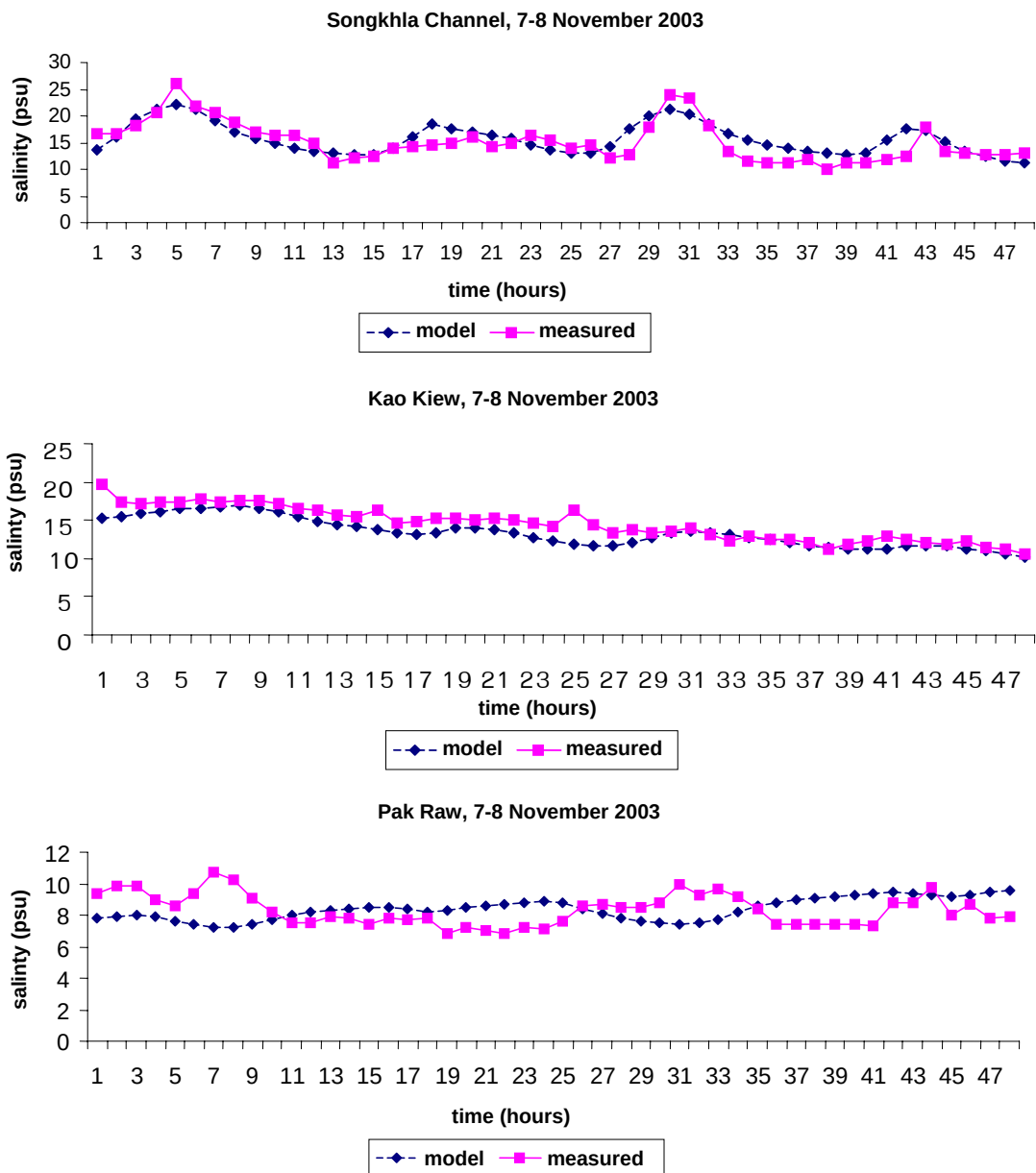


รูปที่ 6ก.2 เปรียบเทียบความเร็วกระแสน้ำจากแบบจำลอง RMA2 กับผลการตรวจวัด 3 แห่ง
ที่ร่องน้ำสงขลา เขาเขียว (ตรงข้ามเกาะยอฝั่งทิศเหนือ) และปากอตามลำดับ ในหน้าน้ำ
ตาย ระหว่างวันที่ 13–15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2545

เมื่อได้ค่าความเร็วกระแสน้ำจากแบบจำลอง RMA2 แล้ว ต่อมาทำการตรวจสอบว่า กระแสน้ำที่ได้มีความถูกต้องเพียงใดโดยดูจากการแพร่กระจายของความเค็มในทะเลสาบ จากข้อมูลการตรวจวัดความเค็มที่จุดต่างๆ ในทะเลสาบตอนบนและตอนกลาง พบว่าในหน้าแล้ง ความเค็มที่ปากพะยูนสูงขึ้นกว่า 8 psu ขณะที่ความเค็มที่สถานีสูบน้ำระโนดมีค่ากว่า 2 psu และในบางปีความเค็มที่สถานีสูบน้ำระโนดมีค่าถึง 8 psu จึงได้ลองใช้งานแบบจำลอง RMA4 ทั้งปี โดยใช้ความเร็วกระแสน้ำจากแบบจำลอง RMA2 ความเค็มเริ่มต้นในพื้นที่ทะเลสาบเท่ากับ 0 psu และความเค็มของน้ำทะเลที่ปากร่องน้ำสงขลาเท่ากับ 30 psu ผลปรากฏว่าเมื่อการคำนวณผ่านไปทั้งปีแล้ว ความเค็มที่ปากพะยูนในแบบจำลองมีค่าไม่ถึง 3 psu และความเค็มที่ปากคลองระโนดมีความเค็มน้อยกว่า 0.2 psu แสดงว่าจะต้องมีการสูญเสียน้ำจืดในทะเลหลวงจึงจะทำให้เกลือไหลและแพร่กระจายเข้ามาได้ จากการวิเคราะห์ผลที่ได้ พอจะสรุปสาเหตุของการสูญเสียน้ำจืดได้ 2 สาเหตุคือ สาเหตุแรก น้ำในทะเลหลวงและทะเลสาบมีการระเหยออกไป (รวมทั้งปี ประมาณเท่ากับความหนาของน้ำประมาณ 1.5 ม.) ทำให้น้ำกร่อยจากทะเลสาบสงขลาไหลเข้ามาแทนที่ได้มากขึ้น น้ำในทะเลสาบตอนบนก็จะเค็มขึ้นกว่ากรณีไม่มีการระเหย ซึ่งแบบจำลอง RMA2 สามารถจำลองการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยลงไปได้ สาเหตุที่ 2 คือ การดูดน้ำจืดในทะเลสาบตอนบนไปใช้ในฤดูแล้ง โดยปกติดูดน้ำไปใช้เพื่อการเกษตรปีละกว่า 100 ล้านลบ.ม. ซึ่งคิดเป็นประมาณ 10% ของปริมาตรน้ำในทะเลสาบตอนบน เป็นการสูญเสียน้ำจืดทำให้น้ำกร่อยไหลเข้ามาแทนที่ได้ ในแบบจำลอง RMA2 จึงต้องจำลองการดูดที่สถานีสูบน้ำด้วยโดยสามารถนำไปรวมกับอัตราการระเหยของน้ำแต่ละเดือนได้ (รูปที่ 6ก.3)

เมื่อมั่นใจในระดับหนึ่งว่ากระแสน้ำจากแบบจำลอง RMA2 มีความถูกต้อง ขึ้นต่อไปจึงศึกษาการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยและความหนาของชั้นตะกอนท้องน้ำโดยใช้โปรแกรม SED2D การใช้โปรแกรมนี้มีความยุ่งยากพอสมควร เพราะมีสมการควบคุมหลายสมการ มีค่าพารามิเตอร์สำคัญที่กำหนดโดยผู้ใช้ซึ่งต้องมีความรู้ความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับเรื่องตะกอนแขวนลอยและตะกอนท้องน้ำพอควร ค่าของพารามิเตอร์จะผันแปรตามขนาดของอนุภาคตะกอนแขวนลอย โปรแกรม SED2D มีข้อจำกัดคือสามารถจำลองตะกอนแขวนลอยได้ครั้งละชนิดและครั้งละขนาดเท่านั้น (ตะกอนมี 2 ชนิดคือ ตะกอนทราย-ทรายแป้งซึ่งจัดเป็น Non-cohesive sediment กล่าวคืออนุภาคไม่เกาะกันเป็นก้อนใหญ่) และดินเหนียวซึ่งจัดเป็น Cohesive sediment (อนุภาคเกาะตัวกันเมื่อแขวนลอยอยู่ในน้ำที่มีออสโมสโอสลอสลายอยู่) ตะกอนแต่ละชนิดใช้สมการควบคุมแตกต่างกันสำหรับกระบวนการกัดเซาะและทับถมของอนุภาคตะกอน

จากข้อมูลการจำแนกขนาดของตะกอนท้องน้ำในกลุ่มทะเลสาบสงขลา พบว่าเป็นอนุภาคทรายประมาณ 5% อนุภาคทรายแป้ง 65% และดินเหนียว 30% แสดงว่าตะกอนที่มากับน้ำท่าหน้าจะมีส่วนผสมของทรายแป้งและดินเหนียวเป็นส่วนใหญ่ ตะกอนทรายแป้งมีขนาดใหญ่กว่า มวลน้ำไม่สามารถอุ้มได้นานก็จะตกตะกอนในทะเลสาบก่อน ส่วนดินเหนียวมีขนาดเล็กกว่าตกตะกอนได้ยาก ก็จะถูกพัดพาออกไปสู่ทะเล ในเบื้องต้นจะจำลองท้องน้ำเป็นดินเหนียวโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้



รูปที่ 6.3 เปรียบเทียบความเค็มที่ร่องน้ำสงขลา เขาเขียว (ตรงข้ามเกาะยอฝั่งทิศเหนือ) และปากอรร
ระหว่างวันที่ 7-8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2545

- Diffusion coefficient (สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของตะกอน) = 2,000 ตร.ม./วินาที ทั้งแกน x และ y
- ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตั้งต้นในทะเลสาบ = 0 มก./ล.
- Settling velocity (ความเร็วในการตกสู่ท้องน้ำ) = 1×10^{-5} ม./วินาที
- Critical shear stress for deposition (แรงเสียดทานวิกฤติที่อนุภาคตะกอนแขวนลอยจะตกทับถม) = 1×10^{-4} นิวตัน/ตร.ม.
- Critical shear stress for erosion (แรงเสียดทานวิกฤติที่อนุภาคตะกอนแขวนลอยจะฟุ้งกระจายขึ้นมา) = 0.04 นิวตัน/ตร.ม.
- ค่าคงที่ในสมการการกัดเซาะ = 0.002 (ค่า Default)

ชั้นตะกอนท้องน้ำสำหรับดินเหนียวมีได้ 10 ชั้นลึก ความหนาของชั้นตะกอนสามารถกำหนดเองได้ (Default = 0.03 ม.) ความหนาแน่นของชั้นตะกอนแต่ละชั้นก็ไม่เท่ากัน ในตะกอน 4 ชั้นแรกมีความหนาแน่นของมวล¹²เท่ากับ 90, 108, 144, และ 263 kg/m³ ตามลำดับ ส่วนชั้นที่ 5 ลงไปมีความหนาแน่นเท่ากันหมดคือ 402 kg/m³ การจะให้แบบจำลองทำนายความหนาของชั้นตะกอนได้ถูกต้องจะต้องจะมีการเก็บตัวอย่างดินตะกอนท้องน้ำและนำมาวิเคราะห์หาความหนาแน่นตามความลึกในห้องปฏิบัติการ

ค่าแรงเสียดทานท้องน้ำวิกฤติสำหรับการทับถมหรือสำหรับการกัดเซาะ ซึ่งเป็นตัวกำหนดว่าอนุภาคตะกอนจะตกทับถมหรือท้องน้ำจะถูกกัดเซาะ การใช้ค่าที่แตกต่างกันทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง นอกจากนี้ การเลือกใช้สูตรคำนวณแรงเสียดทานที่ท้องน้ำ (มีอยู่ 3 สูตร) ต่างกันก็จะให้ผลที่แตกต่างกันด้วยแรงเสียดทานที่เหมาะสมจะได้รับการตรวจวัดข้อมูลภาคสนามและการทดลองในห้องปฏิบัติการ นำเสียดทานที่ยังไม่มีการข้อมูลสนับสนุนที่เพียงพอ

การจำลองการแพร่กระจายและตกตะกอนของตะกอนแขวนลอยให้เหมือนจริงนั้นทำได้ยากเพราะขาดข้อมูลจริง รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งสรุปเป็นประเด็นได้ ดังนี้

(1) ค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแบบจำลองตะกอนแขวนลอย อาทิเช่น สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของตะกอน ค่าแรงเสียดทานท้องน้ำวิกฤติสำหรับการทับถมหรือสำหรับการกัดเซาะ เป็นต้น ควรมีค่าเท่าใดแน่ ยังไม่เป็นที่ทราบกัน ค่าเหล่านี้ได้จากการตรวจวัดข้อมูลภาคสนามและการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งยังไม่มีข้อมูลสนับสนุนที่เพียงพอเช่นกัน

(2) การแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยในทะเลสาบ ได้มีการตรวจวัดความเค็มและความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยทั้งลุ่มทะเลสาบ 2-3 ครั้ง ค่าตะกอนแขวนลอยอยู่ในช่วง 10-40 มก./ลิตร แต่ลักษณะการแพร่กระจายแตกต่างกันไปตามฤดูกาล ฤกษ์และคณะ (2541) กล่าวว่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในทะเลสาบสงขลา น่าจะน้อยเนื่องจากกระบวนการ Flocculation (อนุภาคตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กเกาะตัวกันเพราะในน้ำมีความเค็มพอเหมาะประมาณ 4-8 psu) ทำให้ขนาดอนุภาคตะกอนใหญ่ขึ้น จึงตกตะกอนได้เร็วกว่าอนุภาคเดี่ยวๆ

¹² ค่าความหนาแน่นของมวลตะกอน (kg/m³) ที่ใช้ในแบบจำลอง = ความหนาแน่น - 1,000 kg/m³

ซึ่งผลการตรวจวัดลักษณะการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยในเดือนตุลาคม 2546 ให้ผลสอดคล้องกับทฤษฎี กล่าวคือ ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในทะเลสาบจะสูงกว่าในทะเลสาบสงขลา แต่ในการสำรวจครั้งอื่นๆ กลับให้ผลตรงกันข้าม ซึ่งอาจขึ้นกับปริมาณน้ำท่า ความแรงของลมที่พัดเหนือน้ำและกิจกรรมของมนุษย์ (การประมง การเดินเรือ เป็นต้น)

(3) ไม่มีข้อมูลความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจากปากคลองลงสู่ทะเลสาบ ตลอดจนถึงส่วนของอนุภาครายทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวในน้ำท่า จึงไม่สามารถจำลองการตกตะกอนในทะเลสาบให้เหมือนจริงได้เต็มที่ แต่ก็ได้มีผลต่อการจัดการและการวางแผนในภาพรวม ในระยะยาวมากนัก (เพียงมีผลต่อความเร็วของการตกตะกอน)

(4) จุดที่น้ำท่าและตะกอนไหลลงสู่ทะเลสาบในแบบจำลองมีเพียง 12 จุด จาก 8 ลุ่มน้ำย่อยทั้งหมด ในความเป็นจริงจะมีคลองมากสายกว่านี้ แต่เนื่องจากไม่มีข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากแต่ละคลอง จึงต้องคำนวณปริมาณน้ำท่าจากปริมาณน้ำฝนและพื้นที่ลุ่มน้ำแทน ดังนั้น จึงไม่สามารถจำลองแหล่งที่มาของตะกอนให้เหมือนจริงได้ แต่ก็ได้มีผลต่อการจัดการและการวางแผนในภาพรวม ในระยะยาวมากนัก (เพียงมีผลต่อการกระจายตัวของตะกอนในระดับจุลภาคบ้าง)

จากข้อจำกัดข้างต้น จึงไม่สามารถจำลองการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยและการตกตะกอนให้เหมือนจริง แต่เราจะใช้แบบจำลองศึกษาพฤติกรรมของตะกอนแขวนลอยและการสะสมของตะกอนในทะเลสาบ ในแบบจำลองได้เลือกจำลองตะกอนดินเหนียวโดยกำหนดให้ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากคลองเท่ากับ 20 มก./ล. ยกเว้นทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของทะเลสาบตอนบน ลงมาถึงคาบสมุทรฝั่งตะวันออกของทะเลสาบ (ลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 1-4) ใช้ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเท่ากับ 10 มก./ล. เพราะบริเวณนี้กระแสน้ำอ่อนตะกอนแขวนลอยจะตกตะกอนได้ง่าย หากใช้สัดส่วนทราย-ทรายแป้ง-ดินเหนียวของตะกอนท้องน้ำกับตะกอนแขวนลอย จะต้องกำหนดให้ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเท่ากับ 35 มก./ล. จึงจะทำให้ได้ปริมาณตะกอนแขวนลอยจากแม่น้ำรวมประมาณ 5 แสนตัน/ปี (ตามความเป็นจริงแล้วความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจะแปรผันกับปริมาณน้ำท่าแบบเอกโปเนนเชียล แต่เนื่องจากเราเลือกใช้ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี จึงต้องเลือกความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยคงที่ตามไปด้วย ในการพัฒนาการใช้งานแบบจำลองขั้นถัดไปจะใช้ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนซึ่งทำให้เราสามารถแปรค่าตะกอนแขวนลอยตามปริมาณน้ำท่าได้)

เมื่อคำนวณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยครบ 365 วัน (8,760 ชม.) พบว่าค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยลดลงอย่างรวดเร็วตามระยะทางห่างจากปากแม่น้ำ เนื่องจากเราใส่ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสูง ทำให้ตะกอนแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึง ไม่มีค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยสูงกว่า 20 มก./ล. แสดงว่าในแบบจำลองไม่เกิดการกักเซาะท้องน้ำที่จะทำให้ตะกอนดินเหนียวฟุ้งกระจายขึ้นมา ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในทะเลสาบสงขลาจะสูงกว่าในทะเลสาบตอนบน เพราะเทียบสัดส่วนพื้นที่กับตะกอนแขวนลอยที่ได้รับจะสูงกว่าแล้วยังได้รับตะกอนแขวนลอยจากทะเลสาบตอนบนด้วย กระแสน้ำก็ไหลแรงกว่า ทำให้ตะกอนแขวนลอยยังคงแขวนลอยไม่ตกตะกอน

ผลการตกตะกอนจากโปรแกรม SED2D พบว่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในทะเลสาบตอนบนมีค่ามากกว่าทะเลสาบตอนล่าง (รูปที่ 6ก.4) แต่ไม่สามารถจะเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดได้เพราะผลการตรวจวัดแต่ละครั้งก็มีความแปรปรวนในตัวของมันเอง และเราไม่สามารถความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยที่แท้จริงที่ไหลออกมาจากคลองสายต่างๆ ในทะเลสาบ

รูปที่ 6ก.5 แสดงความหนาของชั้นตะกอนจากการทับถม-กักเซาะของอนุภาคตะกอนดินเหนียวในรอบ 1 ปีในทะเลสาบ จะเห็นว่าการตกตะกอนในทะเลสาบตอนล่างมากกว่าทะเลสาบตอนบน ซึ่งอัตราการตกตะกอนต่อปี (3-4 ซม./ปี ในบริเวณที่ตกตะกอนมากๆ ในทะเลสาบตอนล่าง และประมาณ 4 มม./ปี ในทะเลสาบตอนบน) ใกล้เคียงกับผลการศึกษาอัตราการตกตะกอนในทะเลสาบตอนบน โดยวิเคราะห์จากการเปรียบเทียบแผนที่ชั้นความลึกน้ำที่ได้จากการสำรวจห่างกัน 29 ปี

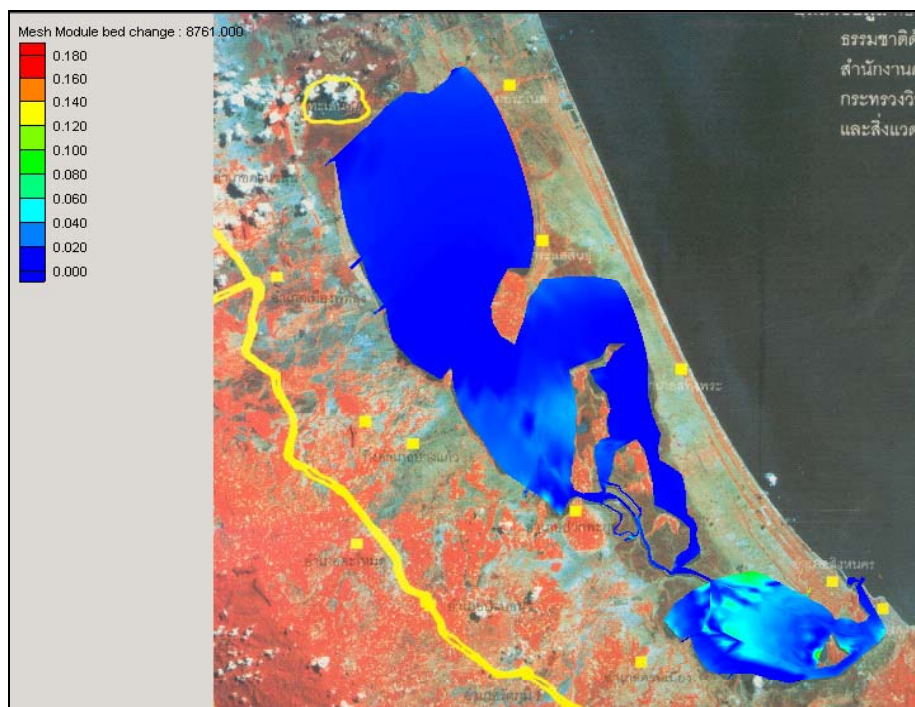
รูปที่ 6ก.6 เปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจากแบบจำลองกับผลการตรวจวัดเมื่อวันที่ 13-15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2545 ที่ร่องน้ำสงขลา เขาเขียว (ตรงข้ามเกาะยอฝั่งทิศเหนือ) และที่ปากกรอ ความแปรปรวนของตะกอนแขวนลอยในรอบน้ำขึ้นน้ำลงของแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ตรวจวัดจริงค่อนข้างมากเนื่องจากว่าแบบจำลองไม่สามารถจำลองแรงต่างๆ ที่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนแขวนลอยไว้ได้หมด เช่น การฟุ้งกระจายจากการขุดลอก จากเรือแล่นผ่าน ความแปรปรวนของค่าตะกอนแขวนลอยจากคลอง และความแปรปรวนของตะกอนแขวนลอยในแต่ละทะเลสาบ เป็นต้น พิสัยของกระแสน้ำในแบบจำลองอาจยังไม่สูงพอ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้อาจยังไม่เหมาะสม

การใช้งานแบบจำลอง SED2D ทำให้พบว่ายังขาดข้อมูลพื้นฐานสำหรับเป็นข้อมูลนำเข้า และปรับแต่งแบบจำลอง อาทิเช่น ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยและปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มาจากคลองต่างๆ การตรวจวัดการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยทั่วทะเลสาบตลอดปี และอัตราการตกตะกอนในทะเลสาบ เป็นต้น

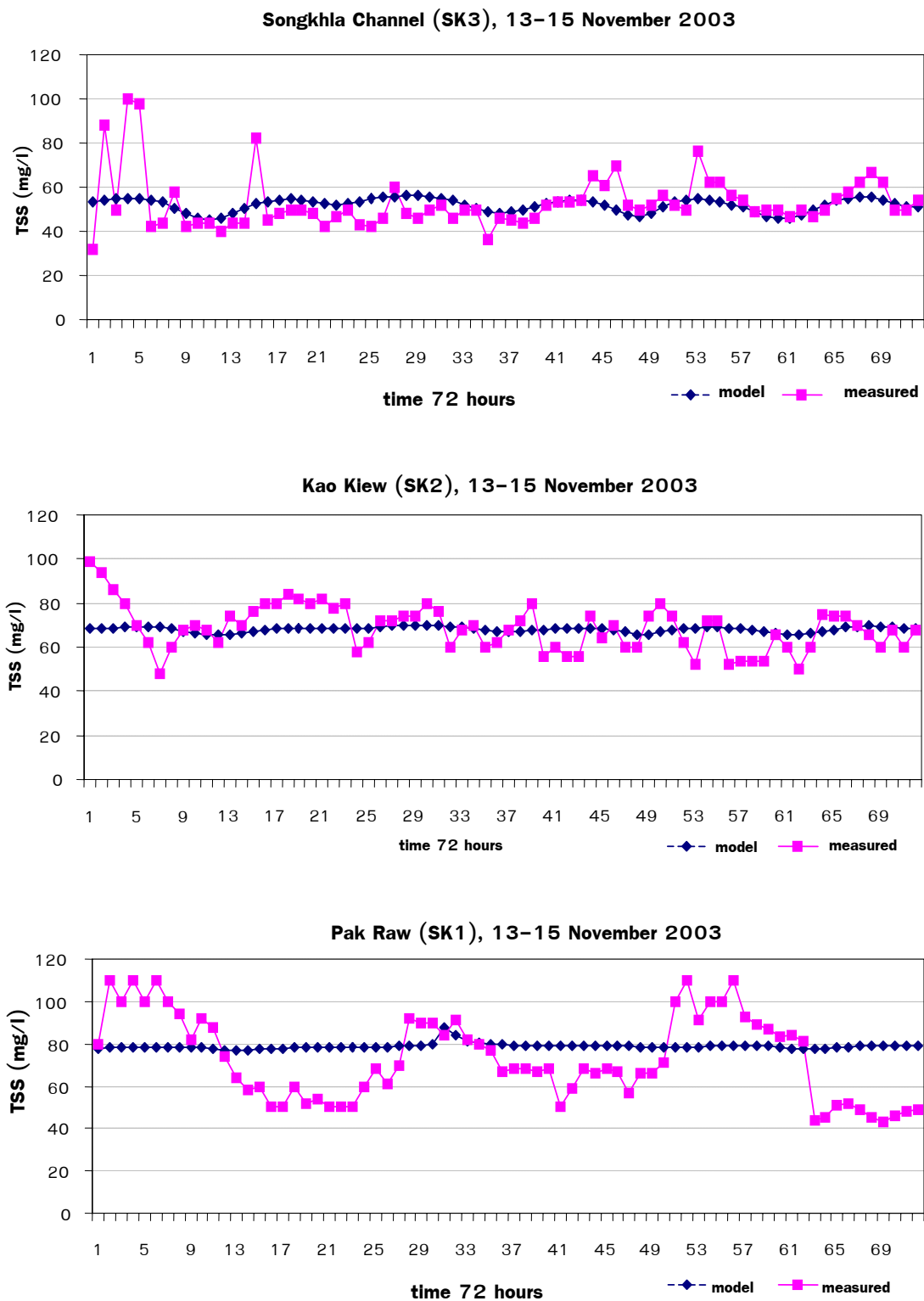
จากการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาการไหลเวียนของน้ำ การแพร่กระจายของความเค็ม ตะกอนแขวนลอย และการการตกตะกอนในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พบว่าการศึกษามีลักษณะเป็นแบบ Trial and error ต้องมีข้อมูลจริงสำหรับเปรียบเทียบความถูกต้องของผลจากแบบจำลอง ดังนั้น การศึกษาจึงต้องมีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และข้อสรุปอีกประการหนึ่งคือผลจากแบบจำลองอาจสามารถใช้เป็นข้อยืนยันว่าผลการคำนวณหรือทฤษฎีที่คิดขึ้นมีความถูกต้องหรือไม่ ทำให้ช่วยศึกษากระบวนการทางสมุทรศาสตร์ฟิสิกส์ได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น และประการสุดท้ายคือการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขช่วยในการทำนายเหตุการณ์อนาคต สำหรับช่วยในการตัดสินใจในการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้ยังอยู่ในระยะเริ่มต้นเท่านั้นจึงยังใช้งานเพื่อช่วยในการบริหารจัดการได้ไม่เต็มที่



รูปที่ 6.4 ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยชนิดดินเหนียวในบริเวณต่างๆ ของทะเลสาบ โดยใช้ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจากน้ำท่าเท่ากับ 20 มก./ลิตร ยกเว้น ที่ลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 1-4 มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 10 มก./ลิตร



รูปที่ 6.5 ความหนาของชั้นตะกอนจากการทับถม-กักเซาะของอนุภาคตะกอนดินเหนียว ในรอบ 1 ปีในทะเลสาบ ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลอง



รูปที่ 6ก.6 เปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ร่องน้ำสงขลา เขาเขียว (ตรงข้ามเกาะยอฝั่งทิศเหนือ) และปากอ่าว ระหว่างวันที่ 13-15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2545

เอกสารอ้างอิงสำหรับโปรแกรม SED2D

- Ackers, P., and W. R. White. 1973. "Sediment Transport: New Approach and Analysis" Journal of the Hydraulics Division, *American Society of Civil Engineers*, No. HY11.
- Ariathurai, R. 1974. A Finite Element Model for Sediment Transport in Estuaries. *Ph.D. Thesis*, Department of Civil Engineering, University of California, Davis.
- Ariathurai, R., R. C. MacArthur, and R. B. Krone. 1977. *Mathematical Model of Estuarial Sediment Transport*, Technical Report D-77-12. US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Krone, R.B. 1962. *Flume Studies of the Transport of Sediment in Estuarial Shoaling Processes*, Final Report. Hydraulic Engineering Laboratory and Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California, Berkeley.
- McAnally, W. H., and W. A. Thomas. 1980. *Shear Stress Computations in a Numerical Model for Estuarine Sediment Transport*. Memorandum for Record. US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Swart, D.H. 1976. *Coastal Sediment Transport, Computation of Longshore Transport R968, Part 1*. Delft Hydraulics Laboratory, The Netherlands.
- US Army Waterways Experiment Station. 2000. *Users Guide to SED2D WES Version 4.5*. US Army, Engineer Research and Development Center, Waterways Experimental Station, Coastal and Hydraulics Laboratory.
- White, W. R., H. Milli, and A. D. Crabbe. 1975. *Sediment Transport Theories: An Appraisal of Available Methods. Report Int. 119 (Vol. 1 and 2)*, Hydraulics Research Station, Wallingford, UK.