

การประยุกต์แบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลเวียนของกระแสน้ำและการแพร่กระจายความเค็ม
และตะกอนแขวนลอยในระบบทะเลสาบสงขลา



พันจ่าเอก สุนัน ผาสุข

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-7153-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NUMERICAL MODEL APPLICATION ON CIRCULATION AND DISPERSION OF SALT AND SEDIMENT
IN THE SONGKHLA LAGOON SYSTEM



Chief Pretty Officer1 Sunun Phasook

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Marine Science

Department of Marine Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-7153-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์แบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลเวียนของกระแสน้ำและ
 การแพร่กระจายความเค็มและตะกอนแขวนลอยในระบบทะเลสาบสงขลา
 โดย พันจ่าเอก สุณัน ผาสุข
 สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล
 อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.ปราโมทย์ ไศจุศุภร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
 หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
 (ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมณะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นิติธรรมยง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
 (อาจารย์ ดร. ปราโมทย์ ไศจุศุภร)

..... กรรมการ
 (อาจารย์ ดร. ศุภิชัย ตั้งใจตรง)

..... กรรมการ
 (อาจารย์ เจริญภา จิราภรณ์)

สุนัน ฝาสุข : การประยุกต์แบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลเวียนของกระแสน้ำและการแพร่กระจายความเค็มและตะกอนแขวนลอยในระบบทะเลสาบสงขลา. (NUMERICAL MODEL APPLICATION ON CIRCULATION AND DISPERSION OF SALT AND SEDIMENT IN THE SONGKHLA LAGOON SYSTEM). อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.ปราโมทย์ โศจุศุภกร, 93 หน้า. ISBN 974-17-7153-3.

ในการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข ซึ่งประกอบไปด้วยโปรแกรม RMA2, RMA4, SED2D เพื่อจำลองการไหลเวียนของกระแสน้ำ การแพร่กระจายความเค็ม และการแพร่กระจายตะกอนแขวนลอยในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ในช่วงปี พ.ศ. 2545 มีข้อมูลนำเข้าที่สำคัญได้แก่ ข้อมูลระดับน้ำจริง ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากคลองต่างๆ ข้อมูลลม ข้อมูลการระเหยของน้ำ ข้อมูลปริมาณฝน และข้อมูลความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย ทำการปรับเทียบแบบจำลองกับข้อมูล กระแสน้ำ ความเค็มและตะกอนแขวนลอย ที่วัดจริง ทั้งหมด 3 สถานี ได้แก่ สถานีร่อนน้ำทะเลสาบสงขลา สถานีเขาเขียว และสถานีปากกรอ ในช่วงน้ำเกิดระหว่างวันที่ 7 – 8 พฤศจิกายน 2545 และช่วงน้ำตายระหว่างวันที่ 13 – 15 พฤศจิกายน 2545 ผลการเปรียบเทียบพบว่าแบบจำลองสามารถประยุกต์ได้อย่างเหมาะสมกับบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยผลการจำลองพบว่า การไหลเวียนของน้ำในช่วงฤดูฝนได้รับอิทธิพลจากปริมาณน้ำท่าและน้ำขึ้นน้ำลงจากอ่าวไทย ส่วนฤดูแล้งได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงเพียงอย่างเดียว ทำให้ในช่วงฤดูแล้งเกิดแพร่กระจายความเค็มมากกว่าช่วงฤดูฝน ในช่วงฤดูแล้งความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยมีค่าน้อยกว่าช่วงฤดูฝน และบริเวณทะเลสาบสงขลาที่มีอัตราการตกตะกอนมากกว่าบริเวณอื่นๆ ในลุ่มน้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิทยาศาสตร์ทางทะเล.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์ทางทะเล.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2547.....

4572543923 : MAJOR MARINE SCIENCE

KEY WORD: SONGKHLA LAGOON SYSTEM / GULF OF THAILAND / RMA2/ RMA4/ SALT AND SEDIMENT DISPERSION

SUNUN PHASOOK : NUMERICAL MODEL APPLICATION ON CIRCULATION, AND DISPERSION OF SALT AND SEDIMENT IN THE SONGKHLA LAGOON SYSTEM.
 THESIS ADVISOR : PRAMOT SOJISUPORN, Ph.D., 93 pp. ISBN 974-17-7153-3.

Numerical models composed of RMA2, RMA4, and SED2D program were used to simulate the circulation, salt and sediment dispersion in the Songkhla lagoon system during the year 2002. Important inputs to in the models were tidal data, river runoff, wind speed and direction, evaporation, precipitation and suspended sediment concentration. Models calibration involved comparison of the model results with measured current, salinity and suspended sediment data at 3 stations; namely Songkhla Channel, Kao Kaw, and Pak Raw, in the period of spring tide during 7 - 8 November 2002 and neap tide during 13 - 15 November 2002. Reasonable agreement was obtained between the model results and measured data. The results showed that current at the Songkhla lagoon system in wet season was influenced by river runoff and tide from the Gulf of Thailand and that during dry season was influenced by tide only. In the wet season, salinity intrusion was less than in the dry season. Sediment particles were less dispersed during dry season than during wet season and net sedimentation in Songkhla lake was more than in other area of the Songkhla lagoon system.

Department.....Marine ScienceStudent's signature.....
 Field of study.....Marine Science..... Advisor's signature.....
 Academic year.....2004.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากโครงการบัณฑิตศึกษา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร. ปราโมทย์ ไชยศิริกร ซึ่งให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยให้ความกรุณาในการเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดจากการเขียนวิทยานิพนธ์และดูแลข้าพเจ้าด้วยดีตลอดมา ขอขอบพระคุณ อ.ดร. ศุภชัย ตั้งใจตรง และ อ. เจษฎา จิราภรณ์ ที่ให้คำปรึกษาแนะแนวทางในการทำงานวิจัยของข้าพเจ้าให้เป็นไปตามจุดประสงค์

ขอขอบคุณคุณ สามารถ อ่อนแป้น ที่ช่วยแนะนำข้าพเจ้าในการใช้แบบจำลอง และขอขอบคุณ น.ส. จิตรภรณ์ พักโสภา ที่ช่วยแนะนำดูแลในเรื่องรูปแบบการเขียนวิทยานิพนธ์ และ ขอขอบคุณ โครงการการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาผู้นำทะเลสาบสงขลา ที่อนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำท่า เพื่อใช้ในการศึกษา

นอกจากบุคคลดังกล่าวข้างต้นแล้ว ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเลที่ห้วยไทรสอบถามถึงความก้าวหน้าของวิทยานิพนธ์อยู่เสมอ และขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่คอยให้กำลังใจและช่วยตรวจสอบแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่เป็นทุกสิ่งทุกอย่างในชีวิตของข้าพเจ้า และน้องๆ ที่คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้และครั้งที่ผ่านๆ มา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ไทย).....	ง
บทคัดย่อ (อังกฤษ).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 สภาพภูมิศาสตร์ของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา.....	3
2.2 ลำน้ำและกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา.....	4
2.3 คุณนิยมวิทยาของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา.....	6
2.4 สมุทรศาสตร์ของระบบทะเลสาบสงขลา.....	6
2.5 การเคลื่อนที่ของตะกอนในทะเลสาบสงขลา.....	7
2.6 แบบจำลอง.....	9
3. วิธีดำเนินการวิจัยแนวคิดและทฤษฎี.....	11
3.1 โปรแกรม SMS8.0.....	11
3.1.1 หน้าที่และความสำคัญของโปรแกรม.....	11
3.2 โปรแกรม GFGEN 4.27.....	12
3.2.1 หน้าที่และความสำคัญของโปรแกรม.....	12
3.2.2 ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง.....	12
3.3 โปรแกรม RMA2.....	16
3.3.1 หน้าที่และความสำคัญของโปรแกรม.....	16
3.3.2 สมการควบคุม.....	16

บทที่

3.3.3	ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง.....	19
3.3.4	การปรับเทียบแบบจำลอง.....	21
3.4	โปรแกรม RMA4.....	21
3.4.1	หน้าที่และความสำคัญของโปรแกรม.....	21
3.4.2	สมการควบคุม.....	22
3.4.3	ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง.....	22
3.4.4	การปรับเทียบแบบจำลอง.....	22
3.5	โปรแกรม SED2D.....	23
3.5.1	หน้าที่และความสำคัญของโปรแกรม.....	23
3.5.2	สมการควบคุม.....	24
3.5.3	ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง.....	29
3.5.4	การปรับเทียบแบบจำลอง.....	35
4.	ผลการทดลอง.....	36
4.1	แบบจำลอง RMA2.....	36
4.1.1	ผลการปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลอง RMA2.....	36
4.1.2	ผลการไหลเวียนของกระแสน้ำ.....	45
4.2	แบบจำลอง RMA4.....	55
4.2.1	ผลการปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลอง RMA4.....	55
4.2.2	ผลการแพร่กระจายความเค็ม.....	58
4.3	แบบจำลอง SED2D.....	67
4.3.1	ผลการปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลอง SED2D.....	67
4.3.2	ผลการแพร่กระจายตะกอนแขวนลอย.....	71
4.3.2.1	ผลการจำลองตะกอนประเภท Cohesive.....	71
4.3.2.2	ผลการจำลองตะกอนประเภท Sand.....	80
5.	สรุปผลการทดลอง.....	84
	รายการอ้างอิง.....	87
	ภาคผนวก.....	89

บทที่	
ภาคผนวก ก.....	90
ภาคผนวก ข.....	91
ภาคผนวก ค.....	92
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	93



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1	ค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3 / s) ที่ไหลจากคลองต่างๆในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นรายเดือนในปี พ.ศ. 2545 ที่คำนวณโดยแบบจำลอง VIC-12L.....	20
3.2	ข้อมูลการระเหยของน้ำ (Evaporation) (-) และปริมาณน้ำฝน (rainfall) (+) หน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (mm/hr) ในบริเวณพื้นที่กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเฉลี่ยเป็นรายเดือน ของปีพ.ศ. 2545.....	20
3.3	ความเร็วลมหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s) และทิศทางของกระแสลมในบริเวณพื้นที่กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เฉลี่ยเป็นรายเดือน ของปีพ.ศ. 2545.....	20
3.4	ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยของอนุภาคทรายแป้งและดินเหนียว(cohesive) ที่ไหลจากคลองต่างๆในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นรายเดือน ในปี พ.ศ. 2545 หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l).....	31
3.5	ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยของอนุภาคทราย (non-cohesive) ที่ไหลจากคลองต่างๆในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นรายเดือนในปี พ.ศ. 2545 หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l).....	31
3.6	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในชั้นตะกอนท้องน้ำของตะกอนประเภท cohesive.....	33
3.7	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในตะกอนประเภท non – cohesive.....	34
4.1	ความเร็วกระแสน้ำได้จากการคำนวณของแบบจำลอง RMA2 ในแต่ละตำแหน่งในช่วงฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ – เมษายน) และช่วงฤดูฝน (พฤศจิกายน – มกราคม) ในระหว่างปี พ.ศ. 2545.....	51
4.2	เปรียบเทียบค่าความเค็มในแต่ละตำแหน่ง ที่คำนวณจากแบบจำลอง RMA4 ในช่วงฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ 2545 – มีนาคม 2545) และฤดูฝน (พฤศจิกายน 2545 – ธันวาคม 2545).....	62
4.3	ค่าระดับความเค็มที่คำนวณจากแบบจำลอง RMA4 เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริง ณ สถานีสูบน้ำระโนด.....	64
4.4	เปรียบเทียบอัตราการตกตะกอนที่คำนวณจากแบบจำลอง SED2D กับค่าที่ได้จากเทคนิคไอโซโทปของซีเซียม – 137.....	78

ภาพประกอบ	หน้า
2.1	ขอบเขตพื้นที่ศึกษาในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา.....5
2.2	กระบวนการเกิดการเกิด Flocculation.....8
3.1	เอลิเมนต์รูปสี่เหลี่ยมทั้งพื้นที่ มีจำนวน1,353 เอลิเมนต์.....14
3.2	ความลึกน้ำที่ได้จากการ interpolate จุดความลึกน้ำ.....15
3.3	กระบวนการการทำงานของแบบจำลอง.....18
4.1	ระดับน้ำขึ้นน้ำลงในบริเวณท่าเรือทะเลสาบสงขลาในระหว่างวันที่ทำการปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลอง ในเดือน พฤศจิกายน 2545..... 37
4.2	ตำแหน่งต่างๆของสถานี.....38
4.3(ก)	อัตราเร็วลัพธ์กระแสน้ำ ขนาดของความเร็วกระแสน้ำ และทิศทางของกระแสน้ำ คำนวณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดความเร็วกระแสน้ำ ช่วงน้ำเกิด (spring tide) ระหว่างวันที่ 7 – 8 พฤศจิกายน 2545 ที่สถานีปากกรอ.....39
4.3(ข)	อัตราเร็วลัพธ์กระแสน้ำ ขนาดของความเร็วกระแสน้ำ และทิศทางของกระแสน้ำ คำนวณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดความเร็วกระแสน้ำ ช่วงน้ำเกิด (spring tide) ระหว่างวันที่ 7 – 8 พฤศจิกายน 2545 ที่สถานีเขาเขียว.....40
4.3(ค)	อัตราเร็วลัพธ์กระแสน้ำ ขนาดของความเร็วกระแสน้ำ และทิศทางของกระแสน้ำ คำนวณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดความเร็วกระแสน้ำ ช่วงน้ำเกิด (spring tide) ระหว่างวันที่ 7 – 8 พฤศจิกายน 2545 ที่สถานี ร่องน้ำทะเลสาบสงขลา.....41
4.4(ก)	อัตราเร็วลัพธ์กระแสน้ำ ขนาดของความเร็วกระแสน้ำ และทิศทางของกระแสน้ำ คำนวณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดความเร็วกระแสน้ำ ช่วงน้ำตาย (neap tide) ระหว่างวันที่ 13 – 15 พฤศจิกายน 2545 ที่สถานีปากกรอ.....42
4.4(ข)	อัตราเร็วลัพธ์กระแสน้ำ ขนาดของความเร็วกระแสน้ำ และทิศทางของกระแสน้ำ คำนวณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดความเร็วกระแสน้ำ ช่วงน้ำตาย (neap tide) ระหว่างวันที่ 13 – 15 พฤศจิกายน 2545 ที่สถานีเขาเขียว.....43

ภาพประกอบ	หน้า
4.4(ค) อัตราเร็วลัพธ์กระแสน้ำ ขนาดของความเร็วกระแสน้ำ และทิศทางของกระแสน้ำ คำนวณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดความเร็วกระแสน้ำ ช่วงน้ำตาย (neap tide) ระหว่างวันที่ 13 – 15 พฤศจิกายน 2545 ที่สถานีร่องน้ำทะเลสาบสงขลา.....	44
4.5 ผลการเปรียบเทียบระหว่าง ระดับน้ำขึ้นน้ำลง และความเร็วของกระแสน้ำ ในทิศหลัก (u-component) จากแบบจำลองในระหว่างเดือน มีนาคม และ พฤศจิกายน 2545 ในบริเวณปากทางเข้าร่องน้ำทะเลสาบสงขลา.....	45
4.6 ผลการเปรียบเทียบระหว่าง ระดับน้ำขึ้นน้ำลง และความเร็วของกระแสน้ำ ในทิศหลัก (u-component) จากแบบจำลองในระหว่างเดือน มีนาคม และ เดือน พฤศจิกายน 2545 ในบริเวณร่องน้ำปากรอ.....	46
4.7 ผลการเปรียบเทียบความเร็วกระแสน้ำจากแบบจำลองในระหว่าง เดือน มีนาคม และ เดือน พฤศจิกายน 2545 ในบริเวณปากคลองหลวง บริเวณเหนือเกาะหมาก และบริเวณทะเลหลวง.....	48
4.8 ผลการเปรียบเทียบระหว่าง ระดับน้ำขึ้นน้ำลงจากสถานีบริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบ สงขลา กับระดับน้ำในบริเวณสถานีปากรอ (SK1) ที่ได้จากแบบจำลองในระหว่างเดือน มีนาคม และ เดือน พฤศจิกายน 2545.....	53
4.9 ผลการเปรียบเทียบความเค็มระหว่างแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดจริงในสถานี ร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (SK3), สถานีวัดเขาเขียว (SK2), สถานีวัดปากรอ1 (SK) ระหว่างวันที่ 7 – 8 พฤศจิกายน 2545.....	56
4.10 ผลการเปรียบเทียบความเค็มระหว่างแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดจริงในสถานี ร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (SK3), สถานีวัดเขาเขียว (SK2), สถานีวัดปากรอ1 (SK) ระหว่างวันที่ 13 – 15 พฤศจิกายน 2545.....	57
4.11 ผลการเปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณโดยแบบจำลอง RMA4 ของแต่ละเดือน ในช่วงปี 2545 ในตำแหน่ง ท่าเรือทะเลสาบสงขลา (SK3), เขาเขียว (SK2), ปากรอ (SK1), ปากพะยูน, บริเวณเหนือเกาะหมาก, ตอนล่างทะเลหลวง, ตอนบนทะเลหลวง.....	59
4.12 ผลการแพร่กระจายความเค็มในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ 2545 ทุก 5 ชั่วโมง ระหว่างชั่วโมงที่ 1,195 – 1,210.....	60

สารบัญภาพ

๕

ภาพประกอบ	หน้า
4.13 ผลการแพร่กระจายความเค็มในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2545 ทุก 5 ชั่วโมง ระหว่างชั่วโมงที่ 7,515 – 7,530.....	61
4.14 กราฟค่าระดับความเค็มเฉลี่ยรายเดือนระหว่างผลที่ได้จากแบบจำลอง RMA4 เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงแต่ละปีบริเวณสถานีสูบน้ำระโนด.....	63
4.15 ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดจริงในสถานีร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (SK3), สถานีเขาเขียว (SK2) และสถานีปากกรอ (SK1) ในช่วงน้ำเกิด (spring tide) ระหว่างวันที่ 7 – 8 พฤศจิกายน 2545.....	68
4.16 ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดจริงในสถานีร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (SK3), สถานีเขาเขียว (SK2) และสถานีปากกรอ (SK1) ในช่วงน้ำตาย (neap tide) ระหว่างวันที่ 13 – 15 พฤศจิกายน 2545.....	69
4.17 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย (ppm) ในฤดูแล้ง ชั่วโมงที่ 1,195 (เดือนกุมภาพันธ์) และในฤดูฝน ชั่วโมงที่ 7,624 (เดือนพฤศจิกายน).....	71
4.18 กราฟปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยประเภท Cohesive ในทะเลสาบสงขลาแต่ละบริเวณในรอบ 1 ปี ในปี 2545.....	72
4.19 ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในบริเวณทะเลสาบและทะเลหลวงระหว่างแบบจำลอง SED2D ในเดือน ตุลาคม 2545 กับค่าที่ได้จากการวัดจริงของโครงการจัดทำแผนแม่บทพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 4 (2548) ในเดือนตุลาคม 2546.....	74
4.20 ความหนาของชั้นตะกอน (cm) ทุก 3 เดือน ในรอบปี 2545.....	75
4.21 กราฟความหนาของชั้นตะกอนประเภท Cohesive ในทะเลสาบสงขลาแต่ละบริเวณในรอบ 1 ปี ในปี 2545.....	76
4.22 เปรียบเทียบอัตราการตกตะกอนในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ระหว่างปี พ.ศ. 2518 ถึงปี พ.ศ. 2547 (โครงการจัดทำแผนแม่บทพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 4,2548) กับค่าที่ได้จากแบบจำลอง SED2D.....	79
4.23 ความเข้มข้นและการแพร่กระจายตะกอนประเภท Sand (ทราย) (ppm) ในแต่ละช่วง 5 ชั่วโมง.....	80

ภาพประกอบ	หน้า
4.24 ความหนาของชั้นตะกอนประเภท Sand (ทราย) (cm) ทุก 3 เดือน ในรอบปี 2545.....	81
4.25 กราฟความหนาของชั้นตะกอนประเภท Sand (ทราย) ในบริเวณปากแม่น้ำคลอง คูตะเภาใน รอบปี 2545.....	82



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบทะเลสาบสงขลา (Songkhla lagoon system) เป็น estuary แบบทะเลสาบที่ใหญ่ที่สุดของประเทศไทยมีความซับซ้อนทางด้านกายภาพครอบคลุมพื้นที่ 3 จังหวัดได้แก่ จังหวัดพัทลุง จังหวัดสงขลา จังหวัดนครศรีธรรมราช รวมพื้นที่เป็นลุ่มน้ำทั้งหมด 8,495 ตารางกิโลเมตร โดยส่วนที่เป็นพื้นน้ำประมาณ 1,046 ตารางกิโลเมตร และส่วนที่เป็นพื้นดินซึ่งมีเนื้อที่ประมาณ 7,449 ตารางกิโลเมตร แบ่งทะเลสาบออกเป็น 4 ส่วน คือ ทะเลน้อย ทะเลหลวง ทะเลสาบ และทะเลสาบสงขลา จากการที่ลุ่มน้ำมีพื้นที่ขนาดใหญ่และมีความอุดมสมบูรณ์มาก่อน จึงมีจำนวนประชากรที่อาศัยอยู่บริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ในปี พ.ศ. 2547 ประชากรในลุ่มน้ำมีมากกว่า 1.6 ล้านคน (โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 4, 2548)

จากการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างไม่มีกรรมวางแผน ส่งผลให้พื้นที่ต้นน้ำดูดซับน้ำลดลงอย่างมาก นอกจากนี้การผันน้ำจัดไปใช้เพื่อการเกษตร และอุตสาหกรรม ก็ทำให้ปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงสู่ทะเลสาบลดลง ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก ทำให้ฝนตกไม่ตรงตามฤดูกาล หรืออาจทำให้ฝนแล้ง จึงทำให้ฤดูฝนเกิดการไหลบ่าของน้ำ และการพังทลายของหน้าดิน ส่วนฤดูแล้งก็ขาดแคลนน้ำ ส่งผลให้เกิดการรุกคืบน้ำเค็มเข้าไปในทะเลสาบและทะเลหลวงที่เพิ่มมากขึ้นในบางฤดู อย่างไรก็ตามผลกระทบที่เกิดขึ้นแตกต่างกันตามลักษณะการประกอบอาชีพของชุมชนในลุ่มน้ำนั้นเช่น ผู้ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ทำไร่ ทำนา มีความต้องการน้ำจืด แต่ผู้ประกอบอาชีพประมง และเลี้ยงกุ้งก็มีความต้องการน้ำกร่อยและน้ำเค็ม นอกจากนี้พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ยังไม่มีการวางระบบสมดุลของน้ำในระดับลุ่มน้ำ (Water Balance Account) ทำให้เกิดการพัฒนาพื้นที่ที่ขัดแย้งกับสภาพธรรมชาติ

การตื้นเขินของทะเลสาบสงขลาเพิ่มขึ้นโดยลำดับ เนื่องจากการตกตะกอนที่มากับแม่น้ำนาุ้ง การขุดเลนจากนาุ้ง การทับถมของซากเน่าเปื่อยของวัชพืชที่เกิดจากการรุกคืบความเค็มจากน้ำทะเลเพิ่มมากขึ้น การชะล้างพังทลายของหน้าดิน ตลอดจนการใช้เครื่องมือประมงที่กีดขวางและชะลอความเร็วในการไหลของน้ำในทะเลสาบ ได้ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเก็บกักของทะเลสาบสงขลา ระบบไหลเวียนของน้ำจืด และความเค็มตามธรรมชาติ และยังส่งผลให้ร่องน้ำเกิดการตื้นเขินอันเป็นอุปสรรคต่อการสัญจรทางเรือ

จากการศึกษาของ ธวัช ชิตตระการและคณะ (2541) พบว่าตะกอนที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา มีค่าสูงถึงประมาณ 3 แสนตันปี ก่อให้เกิดการตื้นเขินของทะเลสาบสงขลาปีละประมาณ

5 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามการวัดด้วยอัตราการตกตะกอนที่สูงเช่นนี้ อาจทำให้ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาตื้นเขินมากขึ้นเรื่อยๆ การถมที่ริมทะเลสาบอย่างผิดกฎหมายก็ทำให้ขนาดของทะเลสาบเล็กลงเรื่อยๆ เนื่องจากมีปัจจัยอื่นอีกที่มีส่วนเกี่ยวข้อง อาทิ การอัดตัวลง (Compaction) อันเกิดจากน้ำหนักตะกอนที่ทับถมลงมา หรือวงจรน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Cycle) ซึ่งส่งผลต่อการไหลเวียนของมวลน้ำในทะเลสาบที่มีตะกอนแขวนลอยสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งทะเลสาบสงขลาตอนล่างเป็นต้น นอกจากนี้การตื้นเขินของทะเลสาบสงขลาจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของชุมชนในระยะยาว

ทะเลสาบสงขลาแม้ว่าจะมีพื้นที่เก็บกักน้ำขนาดใหญ่ แต่เนื่องจากเป็นทะเลสาบน้ำตื้นคือมีความลึกไม่เกิน 2 เมตร ยกเว้นบริเวณปากร่องน้ำที่เชื่อมต่อกับบริเวณอ่าวไทย ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงกลไกธรรมชาติทางชลศาสตร์เกี่ยวกับอัตราการตกตะกอนและการแพร่กระจายความเค็ม ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนและพัฒนาทะเลสาบแห่งนี้ในระยะยาว การศึกษาอัตราการตกตะกอนและการแพร่กระจายความเค็มด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อให้สามารถอธิบายสภาพการตกตะกอนและการแพร่กระจายความเค็ม เพื่อใช้วางแผนประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับการสร้างเขื่อนกั้นน้ำเค็ม และการขุดลอกร่องน้ำในอนาคตตามแผนการศึกษาโครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อจำลองการไหลเวียนของกระแส น้ำ การแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอย และการแพร่กระจายความเค็มในทะเลสาบสงขลาโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อจำลองการไหลเวียนของกระแส น้ำ การแพร่กระจายความเค็ม และตะกอนในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่ได้จากแบบจำลองสามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับการสร้างเขื่อนกั้นน้ำเค็ม และการขุดลอกร่องน้ำในอนาคต

บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำรวจเอกสาร

2.1 สภาพภูมิศาสตร์ของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาตั้งอยู่บนชายฝั่งภาคใต้ฝั่งตะวันออก ระหว่าง ละติจูด 6 องศา 27 ลิปดาเหนือ ถึง 8 องศา 12 ลิปดาเหนือ และลองจิจูด 99 องศา 44 ลิปดาตะวันออก ถึง 100 องศา 41 ลิปดาตะวันออก ทะเลสาบสงขลาเป็นแหล่งน้ำที่เรียกว่าลากูน (Lagoon) หรือทะเลกึ่งปิด คาดว่ามีอายุประมาณ 1,300 ปีในยุค ศรีวิชัย (Srivijaya) (Taylor and Sons, 1985) โดยห้วงน้ำขนาดใหญ่ที่สุดของประเทศนี้ เกิดขึ้นจากการที่แผ่นดินบริเวณชายฝั่งปิดกั้นผืนน้ำ ซึ่งทอดยาวมาเป็นฝั่งทะเลอ่าวไทย ทำให้เกิดทะเลสาบน้ำเค็มอยู่ภายใน แต่เนื่องจากน้ำจืดจากคลองต่างๆ ไหลลงทะเลสาบ ทำให้พื้นที่ตอนในสุดเป็นทะเลสาบน้ำจืด ตอนกลางเป็นน้ำกร่อย และตอนล่างใกล้ทะเลสาบเป็นน้ำเค็ม ทางตอนเหนือของทะเลสาบเป็นพื้นที่น้ำขังขนาดใหญ่ เรียกว่า “พรุควนเค็ง” มีพื้นที่ประมาณ 125 ตารางกิโลเมตร คาดว่าเกิดจากการตื่นเขินโดยการทับถมของตะกอน ทำให้เกิดเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำขัง ส่วนทางตะวันออกเป็นที่ราบชายฝั่งทะเลติดกับอ่าวไทย

เนื่องจากกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีทางออกติดต่อกับอ่าวไทย ทำให้ระบบนิเวศมีความหลากหลาย เพราะได้รับทั้งอิทธิพลทั้งจากน้ำจืดที่ไหลลงมา และจากน้ำทะเลที่หนุนมาจากอ่าวไทย จากความแตกต่างทางระบบนิเวศดังกล่าวในรายงานของ Taylor and Sons (1985) ได้แบ่งกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาออกเป็น 4 ส่วนดังนี้ (รูปที่ 2.1)

1) ทะเลน้อย เป็นส่วนที่เล็กที่สุดคือมีพื้นที่ประมาณ 28 ตารางกิโลเมตร อยู่ตอนบนสุดและแยกออกจากทะเลสาบระบบอื่น โดยมีคลองเชื่อมต่อกับระหว่างทะเลน้อยกับทะเลหลวง สภาพน้ำเป็นน้ำจืดตลอดปี

2) ทะเลหลวง อยู่ถัดจากส่วนที่ติดต่อกับทะเลน้อยไปจนถึงเกาะใหญ่ในบริเวณจังหวัดสงขลา มีห้วงน้ำขนาดใหญ่ที่สุดโดยมีพื้นที่ประมาณ 459 ตารางกิโลเมตร ความลึกเฉลี่ยประมาณ 2 เมตร ส่วนใหญ่ของปีน้ำเป็นน้ำจืด แต่บางปีจะมีการรุกคืบของน้ำเค็มในช่วงฤดูแล้งที่ให้ค่าความเค็มสูงถึง 10 psu

3) ทะเลสาบ เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากตำบลเกาะใหญ่ อำเภอกระแสดินธุ์ จังหวัดสงขลา และอำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง ลงไปถึงบริเวณบ้านปากกรอจังหวัดสงขลา มีพื้นที่ประมาณ 377 ตารางกิโลเมตร ความลึกเฉลี่ยประมาณ 2 เมตร ทะเลสาบส่วนนี้มีเกาะอยู่หลายเกาะ ได้แก่

เกาะสี เกาะห้า เกาะหมาก เกาะนางคำ มีคลองปากจรเชื่อมต่อระหว่างทะเลสาบส่วนนี้กับทะเลสาบสงขลา ทะเลสาบช่วงนี้ยังได้รับอิทธิพลจากการผสมผสานของน้ำเค็มและน้ำจืด จึงมีระบบนิเวศที่เป็นทั้งน้ำจืดและน้ำกร่อย ค่าความเค็มของน้ำขึ้นอยู่กับฤดูกาล และอยู่ในช่วง 0-20 psu

4) ทะเลสาบสงขลา เป็นส่วนที่อยู่ตอนใต้สุด เริ่มจากบริเวณบ้านปากจร ตำบลปากจร อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ไปจนถึงจุดที่เชื่อมต่อกับอ่าวไทยมีพื้นที่ประมาณ 182 ตารางกิโลเมตร ความลึกเฉลี่ยประมาณ 1.5 เมตร ยกเว้นบริเวณร่องน้ำที่ต่อกับบริเวณอ่าวไทยซึ่งเป็นช่องทางเดินเรือ มีความลึกประมาณ 12 – 14 เมตร ทะเลสาบสงขลาส่วนนี้ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง มีค่าความเค็มของน้ำอยู่ในช่วง 23 – 30 psu ในฤดูแล้ง

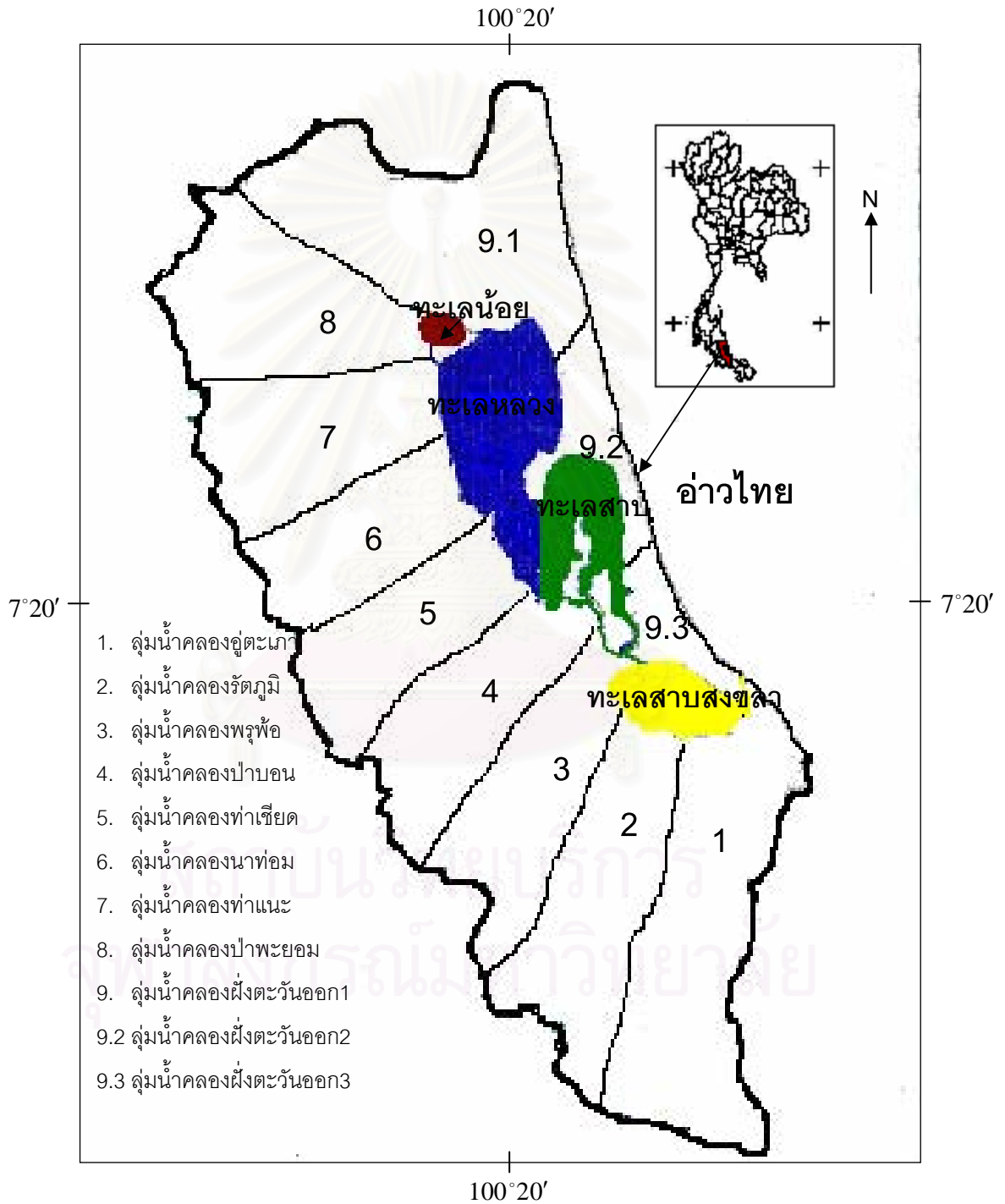
2.2 ลำน้ำและลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นลุ่มน้ำขนาดใหญ่ ที่มีต้นน้ำจากเทือกเขาบรรทัดทางทิศตะวันตก และบางส่วนของเทือกเขาสันกาลาศรีทางทิศใต้ระบายน้ำลงสู่ทะเลสาบสงขลา โดยรายงานของ โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (2547) ได้แบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาออกเป็นลุ่มน้ำย่อย 9 ลุ่มน้ำดังนี้

- 1) ลุ่มน้ำย่อยคลองป่าพยอม มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 805 ตารางกิโลเมตร มีคลองป่าพยอมเป็นลำน้ำสายหลัก
- 2) ลุ่มน้ำย่อยคลองท่าแนะ มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 353 ตารางกิโลเมตร มีคลองท่าแนะเป็นลำน้ำสายหลัก
- 3) ลุ่มน้ำย่อยคลองนาท่อม มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 747 ตารางกิโลเมตร มีคลองนาท่อมเป็นลำน้ำสายหลัก
- 4) ลุ่มน้ำย่อยคลองท่าเขียว มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 759 ตารางกิโลเมตร มีคลองท่าเขียวเป็นลำน้ำหลัก
- 5) ลุ่มน้ำย่อยคลองป่าบอน มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 323 ตารางกิโลเมตร มีคลองป่าบอนเป็นลำน้ำสายหลัก
- 6) ลุ่มน้ำย่อยคลองพรุฬห์ มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 500 ตารางกิโลเมตร มีคลองพรุฬห์เป็นลำน้ำสายหลัก
- 7) ลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 617 ตารางกิโลเมตร มีคลองรัตภูมิเป็นลำน้ำสายหลัก

8) กลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 2,383 ตารางกิโลเมตร มีคลองอู่ตะเภาเป็นลำน้ำสายหลัก

9) กลุ่มน้ำฝั่งตะวันออก มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 1,030 ตารางกิโลเมตร โดยแบ่งกลุ่มน้ำย่อยๆ ออกเป็น 4 กลุ่มน้ำย่อย



รูปที่ 2.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

2.3 อุณหภูมิต่ำของน้ำทะเลสาบสงขลา

จากรายงานของ โครงการศึกษาข้อมูลและศักยภาพการพัฒนาหลุมน้ำทะเลสาบสงขลา (สำนักวิจัยและพัฒนา, 2537) สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปของปริมาณฝนในหลุมน้ำทะเลสาบสงขลา มีความแปรผัน ระหว่าง 1,500 มิลลิเมตร ถึง 2,100 มิลลิเมตรมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,800 มิลลิเมตร/ปี ฤดูฝนจะอยู่ในช่วงระหว่างเดือน ตุลาคม – มกราคม อันเนื่องจากอิทธิพลของลม มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และฤดูแล้งอยู่ระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ – มีนาคม ทิศทางลม ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนเดือนตุลาคมเป็นลมจากตะวันตกเฉียงใต้ ทิศทางลมระหว่างเดือน ธันวาคมถึงเดือนเมษายนเป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นครั้งคราว ความเร็วลม เฉลี่ยตลอดปี 4.2 น็อต (2.7เมตร/วินาที) ความเร็วลมสูงสุดเกิดขึ้นในเดือน พฤศจิกายน ด้วย ความเร็ว 76.0 น็อต (39 เมตร/วินาที)

2.4 สมุทรศาสตร์ของระบบทะเลสาบสงขลา

จากการศึกษาของเทสโก้ (2536) ระบุว่าระดับน้ำขึ้นน้ำลงในอ่าวไทยมีเฟสนำหน้า (Phase lead) ที่ปากกรออยู่ประมาณ 5.5 ชั่วโมง พิสัยของน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal range) บริเวณปาก ทางเข้าทะเลสาบสงขลา มีค่าประมาณ 60 เซนติเมตร และลดลงเป็น 18 เซนติเมตร ที่บริเวณช่อง แคนปากกรอ และเหลือเพียง 10 เซนติเมตร ที่ช่องแคบปากพูน การถ่ายเทของมวลน้ำผ่านช่อง แคนปากกรอเกิดจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง โดยช่วงน้ำตายและน้ำเกิดมีค่าประมาณ 70 ล้าน ลบ.ม. และ 140 ล้านลบ.ม.ตามลำดับ (ประมาณ 0.3 และ 0.6 เท่าของปริมาตรน้ำในบริเวณ ทะเลสาบ) ความเร็วของกระแสน้ำที่ช่องแคบปากกรอมีค่าสูงสุดประมาณ 0.32 เมตร/วินาที และ กระแสน้ำช่วงน้ำลงมีค่าสูงสุดอยู่ประมาณ 0.44 เมตร/วินาที

Taylor and Sons (1985) รายงานว่าในสภาพอากาศที่มีลมฝนพบว่าการก่อตัวของคลื่น ในทะเลหลวงพบว่ามีคลื่นก่อตัวสูง 0.4 เมตร นอกจากนี้อิทธิพลของลมต่อทะเลหลวง ก่อให้เกิด การไหลเวียนแบบทวนเข็มนาฬิกาและการยกตัวของน้ำตามชายฝั่ง ในฤดูแล้งความเค็ม ณ ปาก ร่องน้ำทะเลสาบสงขลามีค่าประมาณ 35 psu และลดลงเป็น 20 – 30 psu ที่ช่องแคบปากกรอ และพบว่าที่บริเวณเกาะใหญ่เคยมีค่าสูงถึง 11 psu ขณะที่ฤดูฝนอาจกล่าวได้ว่าน้ำทั้งหลุมน้ำเป็น น้ำจืด นอกจากนี้ในรายงานยังกล่าวว่า ความเค็มในส่วนทิศตะวันตกของทะเลสาบมีค่าน้อยกว่า ในส่วนทิศตะวันออก ทั้งนี้เนื่องจากน้ำจืดสองในสามส่วนมีแนวโน้มไหลผ่านคลองหลวงซึ่งอยู่ใน ส่วนของทะเลสาบ

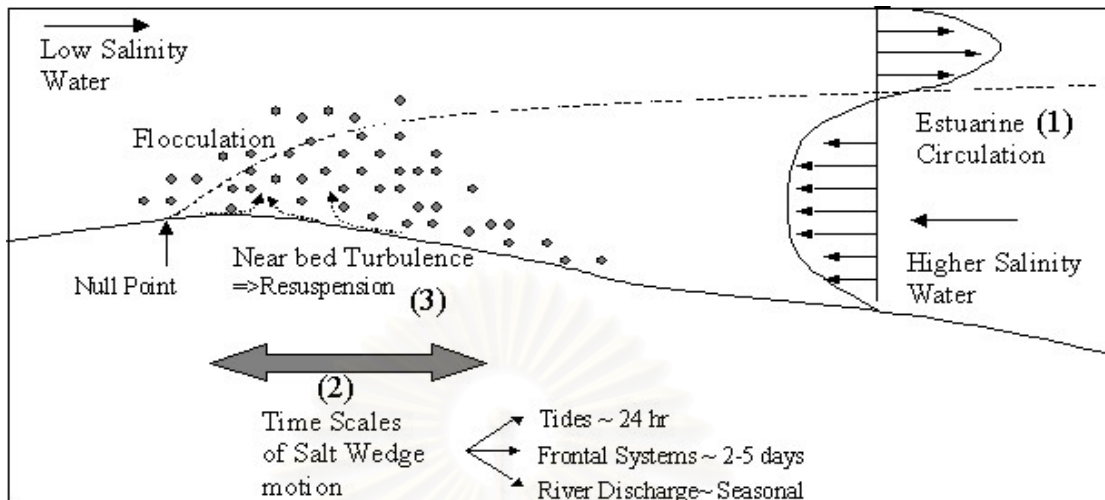
สำหรับจากรายงานของ ธวัช ชิตระการและคณะ (2541) พิสัยของน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal range) มีค่า 60 เซนติเมตร เมื่อเคลื่อนเข้าสู่ทะเลสาบสงขลาพิสัยลดลงเป็น 21 เซนติเมตร ที่

บ้านแหลมโพธิ์ช้ากว่าที่เกาะหนู 3.5 ชั่วโมง จากนั้นเข้าสู่ช่องแคบปากกรอและปากพูน มีค่าพิสัย เป็น 11 เซนติเมตร และ 9 เซนติเมตร และช้ากว่าที่เกาะหนู 4.5 ชั่วโมงและ 5.5 ชั่วโมง ตามลำดับ ความเร็วของกระแสน้ำสูงสุดทางด้านเหนือและใต้ของเกาะยอมีค่าประมาณ 0.67 เมตร/วินาที และ 0.43 เมตร/วินาที ตามลำดับและที่ช่องแคบปากพูนมีค่าประมาณ 0.24 เมตร/วินาที

สำหรับค่าความเค็มนั้นในฤดูฝนทั่วทั้งระบบของทะเลสาบสงขลาเป็นน้ำจืด ส่วนในฤดูแล้งความเค็มรุกถึงเกาะใหญ่ โดยในเดือนกรกฎาคมมีความเค็มถึง 4.5 psu นอกจากนี้บริเวณช่องแคบปากกรอ (ความลึกมากกว่า 9 เมตร) และบริเวณร่องน้ำเกาะยอทางทิศใต้และทิศเหนือ (ความลึกมากกว่า 3 เมตร) มีการผสมผสานกันระหว่างน้ำจืดกับน้ำเค็มเป็นแบบ weak partially-mixed ทั้งนี้คุณภาพของน้ำและตะกอนแขวนลอยจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความเค็มอย่างเด่นชัด อุณหภูมิของน้ำมีค่าเฉลี่ย 28°C และการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอตลอดความลึกของน้ำ โดยความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวน้ำและที่ท้องทะเลสาบมีค่าประมาณ 1°C

2.5 การเคลื่อนที่ของตะกอนในทะเลสาบสงขลา

เนื่องจากทะเลสาบสงขลาเป็นทะเลกึ่งเปิดได้รับอิทธิพลน้ำขึ้นน้ำลงจากบริเวณอ่าวไทย และน้ำท่าจากลุ่มน้ำต่างๆ ดังนั้นลักษณะการตกตะกอนในลุ่มน้ำทะเลสาบจึงเป็นการตกตะกอนในโซนน้ำกร่อย (ซึ่งขนาดของตะกอนจะมีขนาดใหญ่ขึ้น และตกตะกอนเร็วขึ้นจากขบวนการ Flocculation) Dyer (1972) กล่าวว่าตะกอนแขวนลอยในเอสตูรีจะไหลไปตามอิทธิพลของกระแสน้ำท่าและกระแสน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal current) ระยะทางที่ตะกอนเคลื่อนที่ไปจะขึ้นอยู่กับความเร็วและทิศทางการของกระแสน้ำ โดยที่ตะกอนบางส่วนตกลงสู่พื้นในช่วงน้ำนิ่ง (Slack water) เมื่อตะกอนได้สัมผัสกับน้ำเค็ม อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 2°C ไมครอน (ประกอบด้วยดินเหนียวเช่น Illite, Kaolinite และ Montmorillonite) จะเกิดการรวมตัวด้วยขบวนการ Flocculation ที่ความเค็มประมาณ 4 psu โดยบริเวณที่มีปริมาณการสะสมและตกตะกอนในปริมาณมากจะอยู่ที่ตำแหน่งปลายสุดของการรูก้ำของน้ำเค็ม ซึ่งกลไกทางกายภาพของการเคลื่อนที่ของตะกอนที่สำคัญนั้นเกิดจากแรงเฉือนอันเนื่องมาจากกระแสน้ำ (Shear stress) อันเนื่องมาจากความปั่นป่วนของกระแสน้ำ (Turbulence) ตะกอนท้องน้ำเช่น หวาย จะเคลื่อนไปด้วยแรงเฉือนอันเนื่องมาจากกระแสน้ำ และสะสมตัวที่ตำแหน่งปลายสุดของการรูก้ำของน้ำเค็ม นอกจากนี้การสะสมตัวของตะกอนท้องน้ำยังขึ้นอยู่กับรูปร่างของทะเลสาบ การเปลี่ยนแปลงรูปทรงของลำน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ สำหรับการแพร่กระจายและตกตะกอนในทะเลสาบสงขลา เกิดจากปัจจัยที่ซับซ้อนอันได้แก่ลักษณะภูมิประเทศ คลื่น ลม น้ำขึ้นน้ำลง การหลากของน้ำท่า (Run off) ความเค็ม และประเภทของตะกอน (ธวัช ชีตระการและคณะ, 2541)



รูปที่ 2.2 กระบวนการเกิดการเกิด Flocculation

(ที่มา :www.epa.gov/owow/estuaries/monitor/chptr14.html)

จากรายงานของ Taylor and Sons (1985) ที่ว่าตะกอนรายปีที่ลงสู่ทะเลสาบสงขลามีค่า 60 – 75 ตัน/ตร.กม. ก่อให้เกิดการตื่นขึ้นในภาพรวมประมาณ 0.4 มม./ปี ซึ่งไม่จัดอยู่ในชั้นวิกฤต ธวัช ชิตตระการ และคณะ (2539) ใช้เทคนิคไอโซโทปรังสีโดยอัตราการตกตะกอนหาโดยวิธีวัด ซีซีเอ็ม - 137 ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา ผลจากการวิเคราะห์ไอโซโทปรังสีซีซีเอ็ม - 137 ของตัวอย่างตะกอนบริเวณทะเลสาบสงขลาจำนวน 20 จุด พบว่าอัตราการตกตะกอนอยู่ที่ 0.0 – 10.0 มม./ปี โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5 ± 0.25 มม./ปี จากการศึกษาของ ธวัช ชิตตระการ และคณะ (2541) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ศึกษาการเคลื่อนที่ของตะกอน พบว่าการเคลื่อนที่ของตะกอนแขวนลอย (150 มิลลิกรัม/ลิตร) ประเภท non-cohesive เช่น sand จะตกตะกอนบริเวณปากแม่น้ำ ในรัศมีไม่เกิน 0.5 กม. ส่วนตะกอนประเภท cohesive เช่น clay และ silt จะถูกพัดพาและแพร่ไปกับกระแสน้ำ โดยมีอัตราการเคลื่อนที่ประมาณ 1 กม./วัน ในทะเลหลวง ซึ่งบางส่วนจะตกจมและบางส่วนจะถูกพัดพาออกสู่ทะเลสาบสงขลา

2.6 แบบจำลอง

Breithaupt et al. (2003) จำลองการไหลของกระแสน้ำโดยใช้แบบจำลอง SMS (RMA10 และ RMA11) ในขณะที่เกิดน้ำท่วมบริเวณปากแม่น้ำ Nisqually ในปี ค.ศ. 1996 นอกจากนี้ยังจำลองการแพร่กระจายความเค็ม ตลอดจนอัตราการตกตะกอนเพื่อเป็นทางเลือกในการสร้างเขื่อนกันคลื่น โดยจำลองการไหลของกระแสน้ำและการแพร่กระจายความเค็มจาก RMA10 และนำผลที่ได้จาก RMA10 ห้ออัตราการตกตะกอนใน RMA11 โดยสอบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองจากการไหลของกระแสน้ำ กับสถานีตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำ

Khangaonkar et al. (2003) นำแบบจำลอง SMS (RMA2 และ SED2D) มาศึกษาการเกิดผลกระทบการไหลเวียนของกระแสน้ำ และการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยจากการสร้างเขื่อนกันคลื่น ในบริเวณปากแม่น้ำ Dhamra River ในส่วน Port Dhamra- Chandbali ประเทศอินเดีย ซึ่งผลการทดลองชี้ว่าแบบจำลองสามารถจำลองการไหลเวียนของกระแสน้ำและการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยได้อย่างถูกต้อง

สำหรับในประเทศไทยนั้นเริ่มมีการนำแบบจำลอง SMS มาใช้งาน โดย Nielsen (2000) จำลองการไหลเวียนของน้ำและการตกตะกอนในบริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา โดยในรายงานสรุปว่า ในบริเวณปากแม่น้ำทะเลสาบสงขลาการไหลเวียนของน้ำจะได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ความเร็วของกระแสน้ำในบริเวณปากแม่น้ำขึ้นอยู่กับอิทธิพลจากปริมาณน้ำท่า (Runoff) ด้วย ซึ่งพบว่าการไหลของน้ำค่อนข้างช้า ส่วนอัตราการตกตะกอนบริเวณปากร่องน้ำมีประมาณ 0.2 เมตรปี กรมควบคุมมลพิษ (2545) ใช้แบบจำลอง SMS 7.0 (RMA2 และ RMA4) จำลองการไหลเวียนของน้ำ การแพร่กระจายของปรอทและสารอาหารในบริเวณอ่าวไทย โดยเทียบกับข้อมูลกระแสน้ำที่ตรวจวัดด้วยทุ่นสำรวจสมุทรศาสตร์ พบว่าทิศทางและขนาดของกระแสน้ำที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับข้อมูลที่วัดจากทุ่นดังกล่าว สามารถ อ่อนแป้น (2545) ศึกษาอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง และลมต่อกระแสน้ำทะเลในอ่าวไทย โดยใช้โปรแกรม RMA2 V. 4.5 (Resource Management Associates) ในชุดแบบจำลอง SMS 7.0 (Surface Modeling System) และใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการคำนวณ ข้อมูลนำเข้าที่สำคัญ ได้แก่ ข้อมูลลม โดยใช้ค่าลมทำนายของ NOGAPS (Navy Operational Global Atmospheric Prediction System) ข้อมูลระดับน้ำจริง จากอิทธิพลของลม ระดับน้ำขึ้นน้ำลง และปริมาณน้ำท่า ในช่วงเปลี่ยนมรสุมจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือไปมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ กับ ช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

สำหรับในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้แบบจำลอง SMS 8.0 (Surface-water Modeling System) เป็นแบบจำลองสำหรับป้อนและแสดงผลแบบจำลองของของไหลทางสิ่งแวดล้อม

สามารถใช้กับแบบจำลองที่เป็น 1 มิติ 2 มิติ แบบจำลองนี้ได้รับการพัฒนาโดยห้องวิจัยแบบจำลองทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Modeling Research Laboratory: EMRL) ที่มหาวิทยาลัยบริกแฮมย้ง (Brigham Young University) คุณสมบัติของแบบจำลอง SMS คือจะมีเครื่องมือที่ช่วยให้เราสามารถจำลองพื้นที่ศึกษาให้มีความใกล้เคียงตามลักษณะตามธรรมชาติของพื้นที่ศึกษาจริง ไม่ว่าจะเป็นการไล่ความลึกน้ำ การสร้างขอบเขตพื้นที่ศึกษาซึ่งในส่วนนี้จะเป็นส่วนเริ่มต้นก่อนการคำนวณ และเมื่อคำนวณแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะนำมาวิเคราะห์ผลในส่วนของแบบจำลอง SMS อีกครั้งหนึ่ง อาจวิเคราะห์ในรูปแบบเวกเตอร์หรือรูปภาพก็ได้ จึงเรียกแบบจำลอง SMS ว่าเป็น pre- และ post-processor เพราะฉะนั้นแบบจำลอง SMS จึงน่าจะเหมาะสมและใช้ได้ดีในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัยแนวคิดและทฤษฎี

โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ชุดโปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งประกอบด้วย

1. SMS 8.0 (Surface water Modeling System)
2. GFGEN V.4.27 (Geometry File GENeration)
3. RMA2-WES V.4.5 (Resource Management Associate and Waterways Experiment Station)
4. RMA4-WES V.4.5 (Resource Management Associate and Waterways Experiment Station)
5. SED2D-WES V.4.3 Beta (Sediment two-Dimension and Waterways Experiment Station)

3.1. โปรแกรม SMS8.0

3.1.1 หน้าที่และความสำคัญของโปรแกรม

Surface-water Modeling System เป็นโปรแกรมสำหรับป้อนและแสดงผลแบบจำลองของของไหลทางสิ่งแวดล้อม สามารถใช้กับแบบจำลองที่เป็น 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ โปรแกรมนี้ได้รับการพัฒนาโดยห้องวิจัยแบบจำลองทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Modeling Research Laboratory: EMRL) ที่มหาวิทยาลัยบรighamยัง (Brigham Young University) โปรแกรม SMS คือจะมีเครื่องมือที่ช่วยในการสามารถจำลองพื้นที่ศึกษาให้มีความใกล้เคียงตามลักษณะตามธรรมชาติของพื้นที่ศึกษาจริง ไม่ว่าจะเป็นการใส่ค่าความลึกน้ำ การสร้างขอบเขตพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นส่วนเริ่มต้นก่อนการคำนวณ และเมื่อคำนวณแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้ก็สามารถนำกลับมาวิเคราะห์ผลในส่วนของโปรแกรม SMS อีกครั้งหนึ่ง อาจจะวิเคราะห์ในรูปแบบเวกเตอร์หรือรูปภาพสี จึงเรียกโปรแกรม SMS ว่าเป็น pre- และ post-processsor post-processsor ถือว่าเป็นโมดูลกราฟิกพื้นฐาน และมีโปรแกรมเฉพาะสำหรับคำนวณคุณสมบัติด้านต่างๆ ของน้ำ เช่น โปรแกรมคำนวณการไหลเวียนของน้ำ โปรแกรมคำนวณการแพร่กระจายของเกลือ โปรแกรมคำนวณการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอย และโปรแกรมอื่นๆ ต่อเชื่อมกับโมดูลพื้นฐาน

3.2. โปรแกรม GFGEN 4.27

3.2.1 หน้าที่และความสำคัญของโปรแกรม

โปรแกรม GFGEN จะจัดการเรื่องพื้นที่ศึกษา (ตำแหน่งและความลึก) โดยจะแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นส่วนย่อยๆ เรียกว่าเอลิเมนต์ (element) แต่ละเอลิเมนต์จะมีขอบเส้นตรงหรือเส้นโค้ง 3 หรือ 4 เส้นที่มีความยาวไม่เท่ากัน หรือจะเป็นช่องกริดสมำเสมอก็ได้ แต่ละเส้นจะมีโหนด (node) 3 โหนดหรือจุด คือโหนดปลาย 2 โหนด และโหนดกลางอีก 1 โหนด แต่ละโหนดจะมีพิกัดในแนวราบและความลึกกำกับไว้ทุกโหนด เมื่อสร้างพื้นที่ศึกษาแล้วโปรแกรม GFGEN จะทำหน้าที่แปลงพื้นที่ศึกษาที่เก็บแบบ ASCII Geometry file เป็น Binary Geometry file นอกจากการแปลงไฟล์แล้วโปรแกรมจะตรวจสอบความเหมาะสมของเอลิเมนต์ว่ามีรูปทรงทางเรขาคณิตที่ดีพอสำหรับที่จะใช้ในการคำนวณหรือไม่ แล้วต้องมีการเรียงลำดับเอลิเมนต์เพื่อลำดับขั้นตอนในการคำนวณ จะทำให้ได้เอลิเมนต์ที่เรียงกันอย่างต่อเนื่องทำให้แบบจำลองคำนวณอย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องตามหลักการทางฟิสิกส์ เป็นต้น

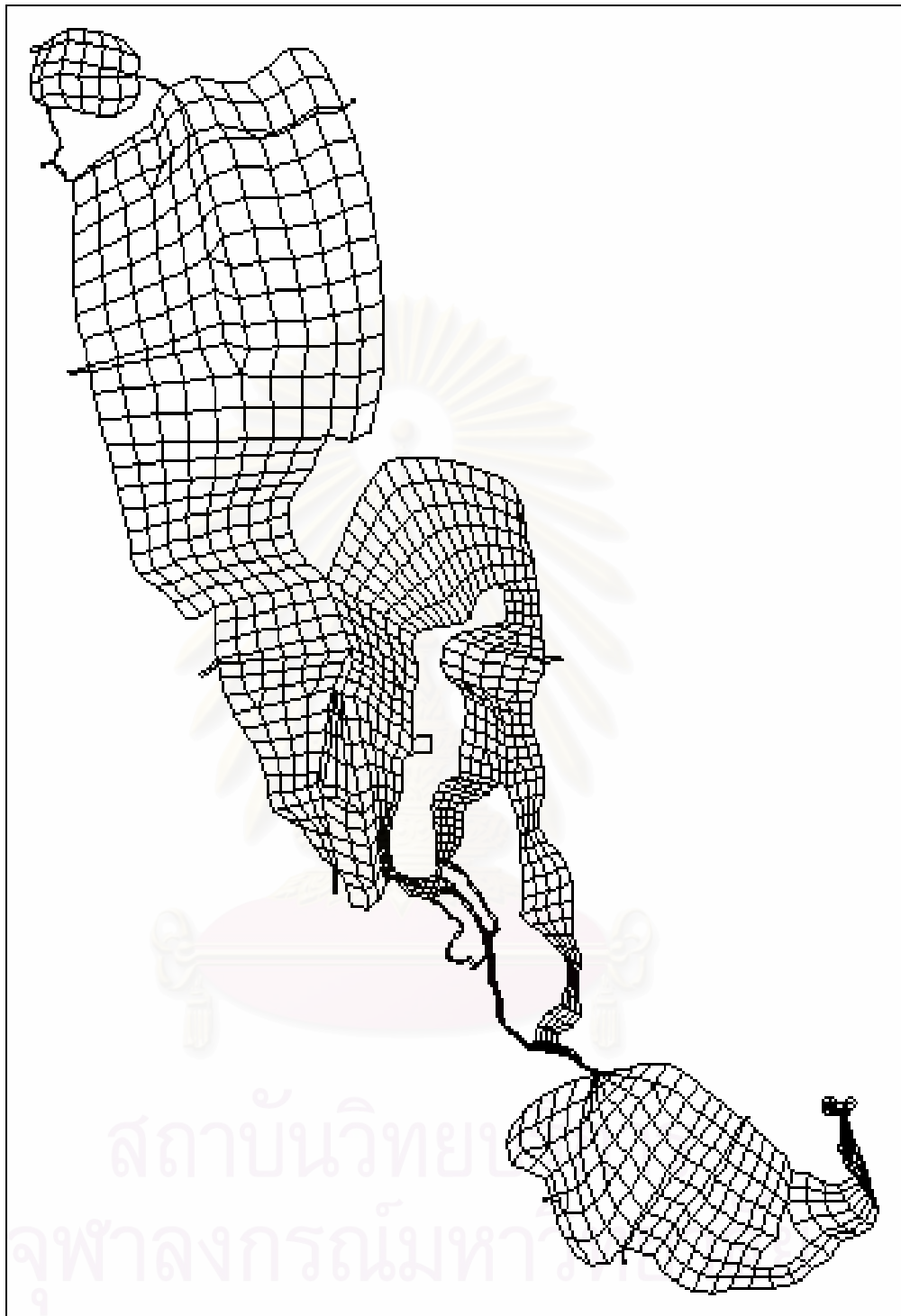
3.2.2 ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง

ขั้นแรกในการสร้างแบบจำลองเริ่มจากการนำภาพพื้นที่ศึกษา คือแผนที่ทะเลสาบสงขลาจากกรมเจ้าท่าปี พ.ศ. 2518 มาแปลงให้อยู่ในรูปแบบไฟล์นามสกุลจุด TIFF และปรับให้มีพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geo-Referenced) ในแบบจำลองให้มีโคออร์ดิเนตเป็น UTM ในระบบหน่วยเมตริก จากนั้นเราจะใช้เครื่องมือในโปรแกรม SMS สร้างขอบเขตโดยการ digitize เส้นรอบพื้นที่ศึกษาโดยกำหนดระยะจุดต่อ (node) บนเส้นขอบเขตที่ระยะต่างๆ กัน ในการศึกษานี้กำหนดจุดโหนดให้ใกล้กันเฉลี่ยประมาณ 1,542 เมตร โดยมีขอบเขตเปิดที่บริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลาที่ติดต่อกับอ่าวไทย

เมื่อกำหนดขอบเขตแล้วจึงแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 3 ส่วนย่อย เพื่อความเหมาะสมและง่ายในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระท้องน้ำ (manning roughness coefficient (n)) โดยส่วนที่ (1) พื้นที่ที่มีความลึก น้อยกว่า 1.5 เมตร ส่วนที่ (2) มีความลึก 1.5 ถึง 3.0 เมตร และส่วนที่ (3) ความลึกมากกว่า 3.0 เมตร เมื่อได้ขอบเขตพื้นที่ศึกษาแล้ว ทำการใส่ความลึกน้ำ ซึ่งในโปรแกรมนี้อาจใส่ความลึกน้ำตรง ตำแหน่งหยั่งน้ำและค่าความลึกจากรูปที่ปรับพิกัดแล้วบนแผนที่บริเวณที่เราศึกษาได้เลย โดยกำหนดให้ความลึกน้ำมีค่าติดลบ พื้นดินมีค่าเท่ากับศูนย์ เพื่อให้โปรแกรมสามารถแยกแยะระหว่างพื้นน้ำและพื้นดิน ได้

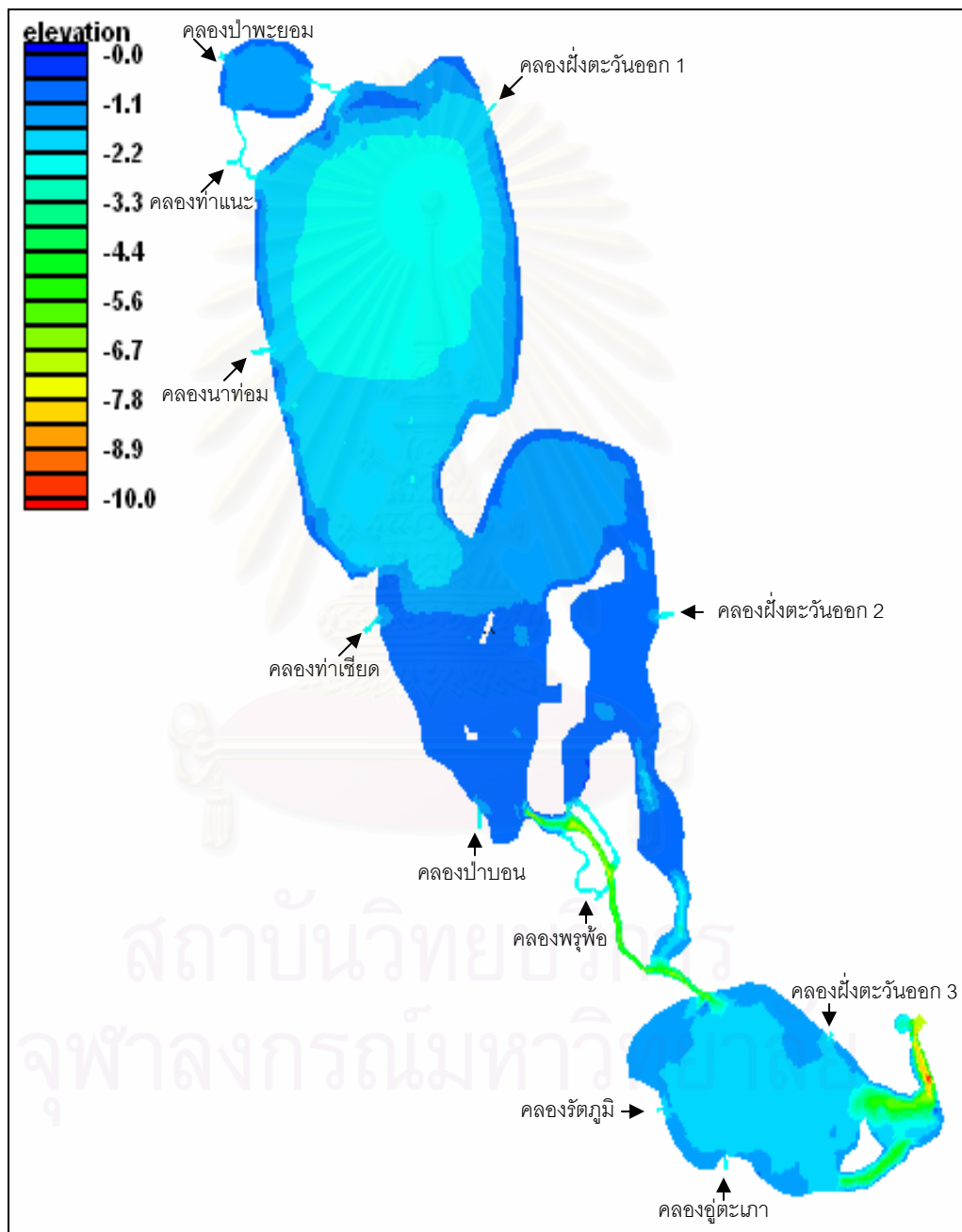
เมื่อสร้างขอบเขตและความลึกเรียบร้อยแล้วงานขั้นต่อไปการสร้างเอลิเมนต์ โดยโปรแกรมจะสร้างเอลิเมนต์ (elements) จากจุดโหนดที่กำหนดไว้ ซึ่งขนาดของเอลิเมนต์ได้จากระยะห่างของจุดโหนด เนื่องจากโปรแกรมจะใช้จุดโหนดนี้ในการสร้างเอลิเมนต์ทั้งพื้นที่ ส่วนสำคัญในการสร้างเอลิเมนต์ที่ต้องพิจารณาคือ ขนาดเอลิเมนต์ เนื่องจากจำนวนเอลิเมนต์มากขึ้น ก็จะมีจำนวนจุดโหนดมากขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน ตำแหน่งของจุดโหนดจะเป็นตำแหน่งที่แบบจำลองต้องการคำนวณผลลัพธ์ ในกรณีที่มีเอลิเมนต์มีขนาดเล็กและมีจำนวนมากจะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ และทำให้การประมวลผลนานขึ้น แต่การสร้างเอลิเมนต์ที่มีขนาดเล็กมีข้อดีคือจะได้ผลที่ให้ความละเอียดมากขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน ในการศึกษาครั้งนี้มีจำนวนเอลิเมนต์ทั้งพื้นที่ 1,353 เอลิเมนต์ โดยเลือกใช้เอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ 3.3 ซึ่งเหมาะกับโปรแกรมจำลองการไหลเวียนของน้ำ RMA2 นอกจากนั้นจะทำให้แบบจำลองมีเสถียรภาพมากขึ้น

หลังจากสร้างเอลิเมนต์เรียบร้อยแล้วนั้น จะใช้โปรแกรม GFGEN เพื่อสร้าง binary file สำหรับการคำนวณขั้นต่อไป เอลิเมนต์แต่ละเอลิเมนต์จะเชื่อมต่อกันด้วยจุดโหนด ดังรูปที่ 3.4 โดยมีจำนวนโหนดทั้งหมด 4,596 โหนด (node) ซึ่งตำแหน่งโหนดนี้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์และแสดงผล



รูปที่ 3.1 เอลิเมนต์รูปสี่เหลี่ยมทั้งพื้นที่ มีจำนวน1,353 เอลิเมนต์

เมื่อได้จุดความลึกและเอลิเมนต์แล้วจะต้องกระจายความลึกเข้าโหนดบนเอลิเมนต์ เพื่อให้ทุกโหนดมีค่าความลึกน้ำ โดยใช้หลักการ interpolate ระหว่างความลึกน้ำที่อยู่ใกล้เคียงกันของโหนดนั้นๆ จะทำให้ได้ค่าความลึกน้ำทั้งพื้นที่ศึกษา ในแบบจำลองลุ่มน้ำทะเลสาบมีความลึกมากที่สุด -12 เมตร และตื้นมากที่สุด -0.56 เมตร ดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 ความลึกน้ำที่ได้จากการ interpolate จุดความลึกน้ำ

3.3 โปรแกรม RMA2 (โปรแกรมจำลองการไหลเวียนของน้ำ)

3.3.1 หน้าที่และความสำคัญของโปรแกรม

RMA2 เป็นแบบจำลองเชิงตัวเลขไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการไหลเฉลี่ยตามความลึกใน 2 มิติ คำนวณหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากสมการควบคุมคือสมการโมเมนตัม (momentum equation) หรือสมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes equation) สำหรับการไหลอย่างปั่นป่วน (turbulent flows) และสมการอนุรักษ์มวลหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสมการความต่อเนื่อง (conservation of mass or continuity equation) โปรแกรมนี้ได้รับการพัฒนาโดย Norton, King and Orlob (1973) โปรแกรมจะอ่านไฟล์พื้นที่ศึกษาจากโปรแกรม GFGEN ซึ่งเป็น binary file ร่วมกับระบบสมการของการไหล แล้วหาความเร็วของกระแสน้ำใน 2 มิติในแนวราบ สำหรับผลลัพธ์ของแบบจำลองนี้จะทำให้สามารถวิเคราะห์ความหมายในรูปเวกเตอร์หรือรูปภาพได้

3.3.2 สมการควบคุม

สมการโมเมนตัม (momentum equation) ในแนวแกน X และ Y

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + gh \left[\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial a}{\partial y} \right] + \frac{gun^2}{\left(\frac{1}{h^6} \right)^2} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \xi V_a^2 \cos \psi - 2hv\omega \sin \Phi = 0 \quad (1)$$

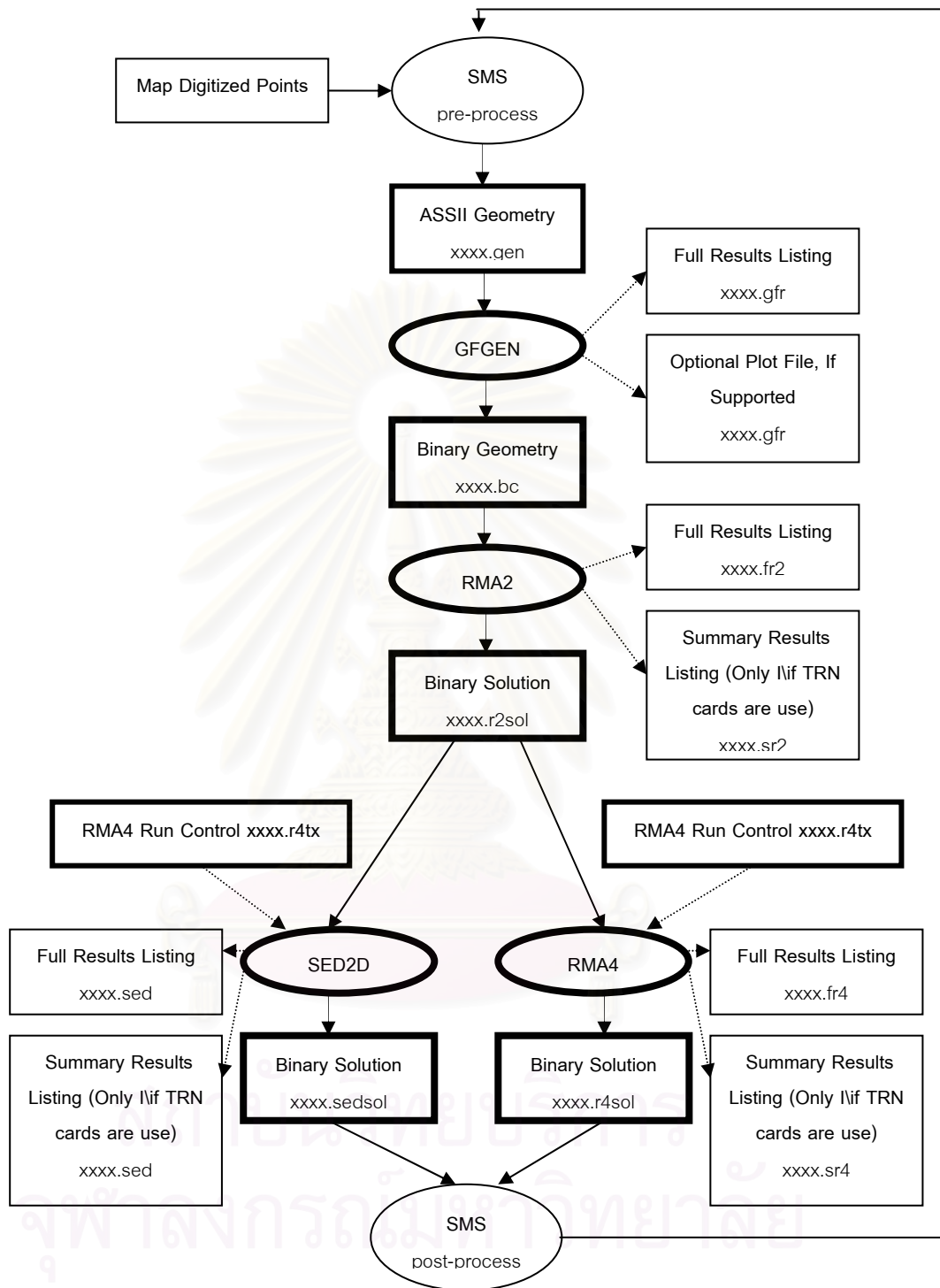
$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + gh \left[\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial a}{\partial y} \right] + \frac{gvn^2}{\left(\frac{1}{h^6} \right)^2} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \xi V_a^2 \sin \psi + 2hu\omega \sin \Phi = 0 \quad (2)$$

สมการอนุรักษ์มวล (Conservation of mass or continuity equation)

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

- เมื่อ h = ความลึกของน้ำ (เมตร)
 u, v = ความเร็วของกระแส น้ำ (เมตรต่อวินาที)
 x, y, t = โคออร์ดิเนตในระบบพิกัดฉาก (เมตร) และเวลา (วินาที)
 ρ = ความหนาแน่นของน้ำทะเล (1026 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
 E = Eddy viscosity coefficient
 g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (9.81 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)
 a = ระดับของพื้นที่ของทะเล (เมตร)
 n = Mannings' n value (ความขรุขระของท้องน้ำ)
 ξ = สัมประสิทธิ์ของความเค้นเนื่องจากลม
 V_a = ความเร็วของลม (เมตรต่อวินาที)
 ψ = ทิศทางของลม (องศา)
 ω = ความเร็วเชิงมุมที่โลกหมุนรอบตัวเอง (7.29×10^{-5} ต่อวินาที)
 Φ = ละติจูด ณ พื้นที่แบบจำลอง (องศา)

สมการที่ (1), (2) และ (3) เรียกว่าระบบสมการการไหล 2 มิติ โดยรวมพจน์ของความเค้นเนื่องจากลม (wind stress) แรงโคริโอลิส (coriolis force) และพจน์ที่มาจากความแตกต่างของแรงดันน้ำ (pressure gradient) ซึ่งเป็นพจน์ที่มีความสำคัญต่อการไหลเวียนของน้ำทะเลอย่างมาก ในการแก้ปัญหาระบบสมการดังกล่าวข้างต้น ในแบบจำลองนี้จะใช้ระเบียบวิธีตัวเลขวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยประยุกต์วิธีกาลเลอร์กิน (Galerkin) เข้ากับระเบียบวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (method of weighted residuals) ในการแก้สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังกล่าว อยู่ในรูปแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear) การหาคำตอบในรูปแบบไม่เป็นเชิงเส้นของแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้ ใช้ระเบียบวิธีการทำซ้ำของนิวตัน – ราฟสัน (Newton-Raphson iteration method) ความเชื่อมโยงของโปรแกรมต่างๆ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนผังกระบวนการการทำงานของแบบจำลอง

ที่มา : King (2000)

3.3.3 ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง

ขั้นตอนต่อไปเป็นส่วนที่จะกำหนดการนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง ในการศึกษาจะใช้ตรงส่วนที่เรียกว่าขอบเขตเปิด เป็นส่วนที่จะกำหนดการเข้าออกของข้อมูล สำหรับพื้นที่ศึกษานี้จะมีส่วนที่เป็นขอบเขตเปิด 3 ส่วน คือบริเวณที่เป็นแม่น้ำสายหลักของกลุ่มน้ำโดยใช้น้ำท่าเป็นข้อมูลนำเข้า ส่วนที่เป็นขอบเขตเปิดบริเวณร่องน้ำทางเข้าทะเลสาบสงขลา ซึ่งเป็นบริเวณที่ติดต่อกับอ่าวไทย และที่ผิวน้ำมีปริมาณฝนและการระเหยของน้ำ โดยในการศึกษาใช้ค่าระดับน้ำขึ้นน้ำลงเป็นข้อมูลนำเข้าทางขอบเขตเปิดด้านติดต่อกับอ่าวไทย นอกจากนี้ยังมีข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในแบบจำลองมีดังนี้

- ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ที่ไหลเข้าสู่ทะเลสาบ ในแบบจำลองกำหนดคลองสายหลักไว้ทั้งหมด 11 สาย จากทั้งหมด 9 กลุ่มน้ำดังแสดงในรูปที่ 3.2 ใช้ปริมาณน้ำเฉลี่ยเป็นรายเดือน ของปีพ.ศ. 2545 ที่คำนวณโดยแบบจำลอง VIC-12L (โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาหลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, 2547) ดังแสดงในตารางที่ 3.1
- ข้อมูลระดับน้ำ รายชั่วโมง ตลอดทั้งปีพ.ศ. 2545 รวม 8,760 ชั่วโมง จากสถานีวัดระดับน้ำกองทัพเรือ บริเวณปากทางเข้าร่องน้ำทะเลสาบสงขลา
- ข้อมูลการระเหยของน้ำ และปริมาณน้ำฝน ในบริเวณพื้นหลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เฉลี่ยเป็นรายเดือน ของปีพ.ศ. 2545 ข้อมูลจากกรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ ดังแสดงในตารางที่ 3.2
- ข้อมูลความเร็วลม และทิศทาง ในบริเวณพื้นหลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เฉลี่ยเป็นรายเดือน ของปีพ.ศ. 2545 ข้อมูลจากกรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ ดังแสดงในตารางที่

3.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3/s) ที่ไหลจากคลองต่างๆในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นรายเดือนในปี พ.ศ. 2545 ที่คำนวณโดยแบบจำลอง VIC-12L (โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, 2547)

เดือน คลอง	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
คูตะมา	25.80	0.040	0.082	3.275	40.37	9.356	2.315	8.445	27.06	70.03	108.3	45.78
รัตภูมิ	0.320	0.040	0.269	0.300	4.107	1.211	0.187	0.594	5.976	18.46	28.08	14.42
พรุฬห์	0.140	0.040	0.097	0.035	1.090	0.520	0.045	0.149	1.088	3.513	11.20	6.153
ป่าบอน	0.150	0.037	0.026	0.316	0.691	0.035	0.011	0.015	0.170	1.169	6.773	3.174
ท่าชียด	1.250	0.250	0.239	0.633	3.838	0.579	0.108	0.482	1.362	7.975	34.78	14.32
นาท่อม	4.390	0.290	0.545	1.597	7.624	2.330	0.314	1.639	6.998	19.03	82.66	41.46
ป่าพะยอม	2.840	0.150	0.213	0.518	3.203	0.852	0.310	0.782	1.882	7.142	43.39	29.90
ท่าแนะ	6.480	0.340	0.485	1.166	7.299	1.941	0.706	1.782	4.287	16.28	98.88	61.31
ตะวันออก 1	0.250	0.032	0.209	0.233	3.163	0.934	0.147	0.463	4.610	14.28	21.76	11.18
ตะวันออก 2	0.250	0.032	0.209	0.233	3.163	0.934	0.147	0.463	4.610	14.28	21.76	11.18
ตะวันออก 3	0.250	0.032	0.209	0.233	3.163	0.934	0.147	0.463	4.610	14.28	21.76	11.18

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลการระเหยของน้ำ (Evaporation) (-) และปริมาณน้ำฝน (rainfall) (+) หน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อชั่วโมง (cm/hr) ในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เฉลี่ยเป็นรายเดือน ของปี พ.ศ. 2545 (ข้อมูลจากกรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ)

ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
0.02	0.0008	0.018	0.025	0.006	0.012	0.018	0.014	0.001	0.006	0.058	0.018

ตารางที่ 3.3 ความเร็วลมหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s) และทิศทางของกระแสลม ในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เฉลี่ยเป็นรายเดือน ของปีพ.ศ. 2545 (ข้อมูลจากกรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ)

เดือน ข้อมูล	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ความเร็วลม	4.38	4.11	3.61	2.7	2.22	2.27	2.44	2.61	2.38	2.05	2.72	4
ทิศทางลม	E	E	E	E	W	W	W	W	W	W	NE,E	E

3.3.4 การเปรียบเทียบแบบจำลอง

สิ่งสำคัญในการศึกษาแบบจำลองของการไหล คือ ความถูกต้องของการจำลอง จึงต้องมีการตรวจสอบแบบจำลอง เพื่อให้ทราบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด โดยวิธีการเปรียบเทียบ (calibration) แบบจำลอง ในการศึกษาครั้งนี้เปรียบเทียบแบบจำลองกับความเร็วของกระแสน้ำจากการตรวจวัดจริง 3 สถานีคือ สถานีปากกรอ (SK1) สถานีเขาเขียว (SK2) และสถานีร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (SK3) ระหว่างช่วงน้ำเกิดในวันที่ 7 – 8 พฤศจิกายน 2545 และระหว่างช่วงน้ำตายในวันที่ 13 – 15 พฤศจิกายน 2545 โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำขึ้นน้ำลงรายชั่วโมง และปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันที่ได้การวัดจริง(รายงานผลปฏิบัติงานสำรวจทางอุทกวิทยาทะเลสาบสงขลาตอนล่าง, 2545) ในวันดังกล่าว ซึ่งจะต้องมีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ ซึ่งใน RMA2 มีค่า eddy viscosity (E) กับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระท้องน้ำ manning roughness coefficient (n) ที่จะต้องปรับจนกว่าความเร็วของกระแสน้ำที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วของกระแสน้ำที่ได้จากการวัดจริงทั้ง 3 สถานี

3.4 โปรแกรม RMA4 (โปรแกรมจำลองการแพร่กระจายของเกลือ)

3.4.1 หน้าที่และความสำคัญของโปรแกรม

RMA4 เป็นแบบจำลองเชิงตัวเลขแบบไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับจำลองการแพร่กระจายของเกลือและสารอื่นๆ รวมกันแล้วไม่เกิน 6 ชนิดในระบบ 1 หรือ 2 มิติ (เป็นค่าเฉลี่ยตามความลึก) RMA4 เป็นแบบจำลองที่ต้องอาศัยผลของแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลจาก RMA2 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 สมการควบคุมการแพร่กระจายของเกลือคือสมการอนุพันธ์มวลสารซึ่งเป็นความสมดุลระหว่างเทอมการไหลกับเทอมการแพร่กระจาย เพราะฉะนั้นความถูกต้องแม่นยำของ RMA4 จึงขึ้นอยู่กับความถูกต้องแม่นยำของ RMA2 ข้อจำกัดของ RMA4 คือต้องใช้กับมวลน้ำที่ผสมผสานกันดีในแนวตั้ง หากมวลน้ำมีการแบ่งชั้นกันจำเป็นต้องใช้แบบจำลอง 3 มิติ เช่น RMA11

3.4.2 สมการควบคุม

กรณีพิจารณาค่าความเข้มข้นของสารโดยเฉลี่ยตามความลึกของน้ำสามารถแสดงด้วยสมการอนุกรมมวลสารแบบ 2 มิติ ดังนี้ (King and Donnel, 2001)

$$\left(\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) = Source - Sink \quad (4)$$

เมื่อ C = ความเค็ม หรือความเข้มข้นของสารละลายอื่นๆ

t = เวลา (วินาที)

X = ระยะตามแนวแกน x (ตะวันออก-ตะวันตก)

y = ระยะตามแนวแกน y (เหนือ-ใต้)

U = ความเร็วกระแสน้ำในแนวแกน x

V = ความเร็วกระแสน้ำในแนวแกน y

D_x = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแนวแกน x

D_y = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแนวแกน y

3.4.3 ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง

เมื่อได้ค่าความเร็วกระแสน้ำจากแบบจำลอง RMA2 แล้วต่อมาทำการจำลองการแพร่กระจายของความเค็มในลุ่มน้ำ โดยกำหนดค่าความเค็มเริ่มต้นในแม่น้ำต่างๆและที่ทะเลสาบเท่ากับ 0 psu และความเค็มของน้ำทะเลที่ปากร่องน้ำสงขลาเท่ากับ 30 psu โดยในแบบจำลองมีแหล่งที่มาของเกลือจากทะเล แต่ไม่มีการสูญเสียเกลือเนื่องจากการตกทับถมที่ท้องน้ำหรือระเหยขึ้นไปในอากาศ

3.4.4 การปรับเทียบแบบจำลอง

การปรับเทียบ (calibration) แบบจำลอง RMA4 จะทำการปรับเทียบกับค่าจากการตรวจวัดจริงที่ได้จากสถานี 3 สถานีคือ สถานีปากอ (SK1) สถานีเขาเขียว (SK2) และสถานีร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (SK3) ระหว่างช่วงน้ำเกิดในวันที่ 7 - 8 พฤศจิกายน 2545 โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญคือค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (turbulent mixing (dispersion) coefficient) ที่ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ โดยจะต้องปรับเทียบจนกว่าความเค็มที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับความเค็มที่ได้จากการวัดจริงทั้ง 3 สถานี

3.5 โปรแกรม SED2D (โปรแกรมจำลองการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอย)

3.5.1 หน้าที่และความสำคัญของโปรแกรม

SED2D เป็นแบบจำลองเชิงตัวเลขแบบไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับจำลองการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอย และการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นตะกอนท้องน้ำ โดยเป็นโปรแกรมแบบ 1 หรือ 2 มิติที่ต้องใช้ร่วมกับแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเช่น RMA2 สมการควบคุมการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอย สมการอนุรักษ์มวลสารซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างพจน์การไหลกับพจน์การแพร่กระจาย โปรแกรมสามารถจำลองการแพร่กระจายและตกตะกอนของอนุภาคทรายหรืออนุภาคดินอย่างใดอย่างหนึ่ง ไม่สามารถจำลองอนุภาคตะกอน 2 ชนิดหรือ 2 ขนาดในเวลาเดียวกันได้ โปรแกรมค่อนข้างจะซับซ้อนกว่า RMA4

หลักการของโปรแกรม SED2D มีดังนี้

1. ขบวนการของอนุภาคตะกอนประกอบด้วยการกัดเซาะจากท้องน้ำ การฟุ้งเข้าไปรวมกับมวลน้ำ การถูกพัดพา และการทับถมในที่สุด
2. กระแสน้ำมีศักยภาพในการกัดเซาะ ฟุ้งกระจาย และพัดพาตะกอนถึงแม้ว่าจะมีอนุภาคตะกอนอยู่หรือไม่
3. อนุภาคตะกอนที่ท้องน้ำจะหยุดนิ่งตราบเท่าที่แรงกระทำจากกระแสน้ำมีค่าน้อยกว่าแรงเสียดทานวิกฤติของการถูกกัดเซาะ (critical shear stress for erosion)
4. เมื่ออนุภาคตะกอนท้องน้ำเป็นทรายและถูกกัดเซาะ ความหนาของชั้นตะกอนอาจไม่เปลี่ยนแปลงหากอัตราการกัดเซาะเท่ากับอัตราการตกตะกอน
5. ถ้าอนุภาคตะกอนท้องน้ำเป็นดินเหนียวหรือทรายแป้ง (ซึ่งเป็นตะกอนที่อนุภาคตะกอนสามารถเกาะกันทำให้อนุภาคตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น = cohesive sediment) ถูกกัดเซาะออกไปมันจะล่องลอยอยู่ในมวลน้ำตราบเท่าที่แรงเสียดทานท้องน้ำสูงกว่าแรงเสียดทานวิกฤติของการทับถม (critical shear stress for deposition) มีนัยยะว่าขบวนการกัดเซาะและขบวนการทับถมของตะกอนดินเหนียวและทรายแป้งจะไม่เกิดขึ้นพร้อมกัน
6. โครงสร้างของชั้นตะกอนดินเหนียวและทรายแป้งจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาและความหนาของชั้นตะกอนชั้นบน (ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ความหนาลดลง)
7. การเคลื่อนที่ของอนุภาคตะกอนอยู่ในรูปของการพัดพาเท่านั้น ไม่คำนึงถึงการเคลื่อนที่ไปตามท้องน้ำ (bedload transport)

3.5.2 สมการควบคุม

สมการที่ใช้ประกอบด้วย

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

1) สมการควบคุมการพาและการฟุ้งกระจายของตะกอนแขวนลอย

สมการควบคุมการพาและการฟุ้งกระจายของตะกอนแขวนลอยใช้ตามสมการของ 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 (kg/m^3)

t = เวลา (s)

u = ความเร็วกระแสน้ำในแนวแกน x (m/s)

x = แกนตะวันออก-ตะวันตกในระบบพิกัดฉาก (m)

v = ความเร็วกระแสน้ำในแนวแกน y (m/s)

y = แกนเหนือ-ใต้ในระบบพิกัดฉาก (m)

D_x = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (effective diffusion coefficient) ในแนวแกน x (m^2/s)

D_y = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (effective diffusion coefficient) ในแนวแกน y (m^2/s)

α_1 = สัมประสิทธิ์สำหรับตะกอนแขวนลอยที่ได้รับเพิ่ม (source term) (s^{-1})

α_2 = ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่สมดุลสำหรับตะกอนที่ได้รับเพิ่ม

$$= -\alpha_1 C_{eq} \quad (\text{kg/m}^3/\text{s})$$

2) สมการแรงเสียดทานที่พื้นท้องน้ำ

สมการแรงเสียดทานที่พื้นท้องน้ำใช้สำหรับคำนวณตะกอนแขวนลอยที่ฟุ้งกระจายขึ้นมา จากท้องน้ำ สูตรการคำนวณแรงเสียดทานที่พื้นท้องน้ำคือ

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

เมื่อ τ_b = แรงเสียดทานที่พื้นท้องน้ำ

ρ = ความหนาแน่นของน้ำทะเล (ประมาณ 1026 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

u^* = ความเร็วเสียดทานคือความเร็วใกล้ท้องน้ำที่จะมีผลต่อการกัดเซาะท้องน้ำ ซึ่งมีสูตร ในการคำนวณดังนี้

The Manning's shear stress equation

$$u^* = \frac{\sqrt{g\bar{u}n}}{CME}^{1/6} \quad (7)$$

เมื่อ g = แรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s²)

n = ความขรุขระในรูปของค่า Manning's

CME = ค่าคงที่เท่ากับ 1.0 ในระบบเมตริก และ 1.486 ในระบบอังกฤษ

3) สมการการกัดเซาะ-การทับถมของตะกอน

พจน์ที่ใช้แทนการกัดเซาะและทับถมของตะกอนท้องน้ำในสมการ (1) คือ

$S = \alpha_1 C + \alpha_2$ ซึ่งใช้ได้ทั้งสำหรับการกัดเซาะและทับถม และกับตะกอนทรายและตะกอนดินเหนียว ความแตกต่างอยู่ที่การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ (α) สำหรับตะกอนแต่ละชนิดและขึ้นกับว่าเป็นการกัดเซาะหรือทับถม

ก) การเคลื่อนตัวของตะกอนทราย (sand transport)

การเคลื่อนตัวของตะกอนทรายจากท้องน้ำขึ้นอยู่กับความสามารถของมวลน้ำในการจะ คู้มตะกอนทรายท้องน้ำและปริมาณตะกอนทรายที่ท้องน้ำ สมการสำหรับคำนวณปริมาณตะกอน ทรายจากท้องน้ำคือ

$$S = \frac{C_{eq} - C}{t_c} \quad (8)$$

เมื่อ S = แหล่งกำเนิดตะกอนทรายจากท้องน้ำ

C_{eq} = ความเข้มข้นของตะกอนทรายที่สภาวะสมดุล

C = ความเข้มข้นของตะกอนทรายในน้ำ

t_c = คุณสมบัติทางเวลาสำหรับการเพิ่มความเข้มข้นจาก C เป็น C_{eq}

ในโมเดลเลือกใช้สูตรของ Ackers-White (1973) ในการหาค่า C_{eq} สำหรับตะกอนทราย จะใช้ได้ดีกับอนุภาคทรายละเอียด ค่าคุณสมบัติทางเวลาจะขึ้นอยู่กับวิจารณ์ญาณของผู้ใช้ สำหรับการทับถมในโมเดลเลือกใช้ค่าที่มากที่สุดระหว่าง

$$t_c = \text{large of } \begin{cases} C_d \frac{D}{V_s} \\ or \\ DT \end{cases} \quad (9)$$

เมื่อ t_c = คุณสมบัติทางเวลา

C_d = สัมประสิทธิ์ในการตกตะกอน

D = ความลึกของชั้นน้ำ

V_s = ความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคตะกอน

DT = ชั้นเวลาในการคำนวณ

สำหรับการกัดเซาะในโมเดลเลือกใช้ค่าที่มากที่สุดระหว่าง

$$t_c = \text{large of } \begin{cases} C_{ed} \frac{D}{\bar{u}} \\ or \\ DT \end{cases} \quad (10)$$

เมื่อ C_e = สัมประสิทธิ์ในการแขวนลอย

\bar{u} = ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ

ข) การเคลื่อนตัวของดินเหนียว (clay transport)

การทับถมของตะกอนดินเหนียวใช้สูตรของ Krone (1962)

$$S = \begin{cases} -\frac{2V_s}{D} C \left(1 - \frac{\tau}{\tau_d}\right) & \text{for } C < C_c \\ -\frac{2V_k}{D} C^{5/3} \left(1 - \frac{\tau}{\tau_d}\right) & \text{for } C > C_c \end{cases} \quad (11)$$

เมื่อ τ = แรงเสียดทานที่ท้องน้ำ (bed shear stress)

τ_d = แรงเสียดทานวิกฤติสำหรับการทับถม

C_c = ความเข้มข้นวิกฤติ (300 มิลลิกรัมต่อลิตร)

การกัดเซาะท้องน้ำสำหรับอนุภาคตะกอนดินเหนียวใช้สูตรของ Partheniades (1962)

$$S = \frac{P}{D} \left(\frac{\tau}{\tau_e} - 1 \right) \quad (12)$$

เมื่อ P = ค่าคงที่ของการกัดเซาะ (erosion rate constant)

τ_e = แรงเสียดทานวิกฤติสำหรับการกัดเซาะของอนุภาคตะกอนดินเหนียว

หากแรงเสียดทานที่ท้องน้ำมีมากจนทำให้ตะกอนถูกกัดเซาะไปทั้งชั้นก็จะใช้สูตร

$$S = \frac{T_L \rho_L}{D \Delta t} \quad \text{for } \tau > \tau_s \quad (13)$$

เมื่อ T_L = ความหนาชั้นของตะกอนที่ถูกกัดเซาะ

ρ_L = ความหนาแน่นของชั้นตะกอนที่ถูกกัดเซาะ

Δt = ระยะเวลาที่การกัดเซาะเกิดขึ้น

τ_s = แรงทนทานต่อการกัดเซาะรวมของชั้น (bulk shear strength) ของชั้นตะกอน

4) สมการคุณสมบัติของชั้นของตะกอนท้องน้ำ

เทอมการกัดเซาะ-ทับถมในสมการที่ 1 จะกลายเป็นเทอมการทับถม-กัดเซาะของโมเดลชั้นตะกอนซึ่งเก็บบันทึกข้อมูลความหนาของชั้นตะกอน องค์ประกอบของตะกอน และคุณสมบัติของชั้นตะกอน โดยจะให้น้ำหนักการเปลี่ยนแปลงของชั้นตะกอนในแต่ละเวลาด้วยวิธีของ Crank-Nicholson

ก) ชั้นตะกอนทราย

ตะกอนทรายในโมเดลจะมีเพียงชั้นเดียวอยู่เหนือชั้นตะกอนแข็งที่ไม่สามารถถูกกัดเซาะได้ อัตราการทับถมหรือกัดเซาะขึ้นกับอัตราการกัดเซาะ-ทับถมของตะกอนในชั้นเวลาก่อนหน้านั้น น้ำหนักของตะกอนจะถูกแปลงเป็นปริมาตรของตะกอนด้วยความหนาแน่นของชั้นตะกอน

ข) ชั้นตะกอนดินเหนียว

ชั้นตะกอนดินเหนียวแบ่งเป็นชั้นๆ เรียงลำดับกัน แต่ละชั้นมีคุณสมบัติเฉพาะตัวดังนี้

- ความหนา
- ความหนาแน่น
- อายุ
- bulk shear strength
- ลำดับชั้นของตะกอน

ลำดับชั้นของตะกอนยังมีคุณสมบัติเพิ่มเติมดังนี้

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

ลำดับชั้นของตะกอนจะเปลี่ยนไปเมื่อมีชั้นตะกอนใหม่เกิดขึ้นเหนือชั้นตะกอนเดิมซึ่งมีความหนา ถึงค่าความหนาของชั้นตะกอนที่กำหนด ต่อจากนั้นโมเดลจะคำนวณความหนาของชั้นตะกอนให้ใหม่เนื่องจากว่าตะกอนจะผืนึกแน่นมากขึ้น สูตรคำนวณความหนาแน่นของชั้นตะกอนคือ

$$\rho = \rho_f - (\rho_f - \rho_i)e^{-\beta t} \quad (14)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของชั้นตะกอนที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

ρ_e = ความหนาแน่นที่เวลาสุดท้าย

ρ_f = ความหนาแน่นสูงที่สุดที่เป็นไปได้เท่ากับ 1000 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

t_0 = เวลาเริ่มต้นเท่ากับศูนย์

t_e = เวลาสุดท้าย

t = เวลาที่แต่ละชั้น

β = สัมประสิทธิ์การผกผันที่คำนวณจากสมการ

$$\beta = -\frac{1}{t_e} \ln \left[1 - \frac{\rho_e - \rho_i}{\rho_f - \rho_i} \right] \quad (15)$$

bulk shear strength, QS, สัมพันธ์กับความหนาแน่นดังนี้

$$\frac{QS_e}{QS_i} = \left(\frac{\rho_e}{\rho_i} \right)^\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{\ln(QS_i) - \ln(QS_e)}{\ln(\rho_i) - \ln(\rho_e)}$$

นี่คือ bulk shear strength ที่เวลาสุดท้าย สำหรับที่แต่ละเวลาให้แทน QS_e และ ρ_e ด้วยค่าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

3.5.3 ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง

สำหรับข้อมูลนำเข้าที่สำคัญในโปรแกรม SED2D คือปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (total suspended solid (TSS) concentrations) โดยกำหนดให้บริเวณขอบเขตเปิด (open boundary) บริเวณปากทางเข้าน้ำทะเลสาบสงขลา มีค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (TSS) เท่ากับ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบริเวณที่เป็นแม่น้ำสายหลักของกลุ่มน้ำ เป็นบริเวณที่ตะกอนไหลลงสู่ทะเลสาบ ซึ่งจะขึ้นกับปริมาณน้ำท่าในแบบจำลอง RMA2 โดยหาปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนกับอัตราการไหลของน้ำของ TEAM *et al* (1989) ได้ให้ปริมาณตะกอน (Q_s) จากคลองลำป่า อ.เมือง จ.พัทลุง โดยสัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยในแต่ละเดือน (Q_m) ดังนี้

$$Q_s = 171.297Q_m^{1.0885}$$

เมื่อ

Q_s = ปริมาณตะกอนแขวนลอย (ตันต่อเดือน)

Q_m = อัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยในแต่ละเดือน (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

สำหรับในบริเวณคลองป่าพะยอมที่ไหลลงสู่ทะเลน้อยและคลองพรุฬห์ พื้นที่รอบๆบริเวณนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นป่าพรุ ดังนั้นสมการของ TEAM *et al.* (1989) จึงไม่น่าจะเหมาะสมในทั้ง 2 บริเวณนี้ เพราะฉะนั้นในการหาความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยทั้ง 2 บริเวณจึงเลือกใช้สมการของ Taylor and Sons (1985) ซึ่งได้จากการคำนวณปริมาณตะกอนในบริเวณคลองพรุฬห์ได้สมการดังนี้

$$Q_s = 3.0Q^{1.6}$$

เมื่อ Q_s = ปริมาณตะกอนแขวนลอย (ตันต่อวัน)

Q = อัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยในแต่ละเดือน (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

จากข้อมูลการจำแนกขนาดของตะกอนที่องน้ำในกลุ่มทะเลสาบสงขลาพบว่าเป็นอนุภาคทราย (non - cohesive) ประมาณ 5% อนุภาคทรายแป้งและดินเหนียว (cohesive) 95% (โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาหลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, 2547) แสดงว่าตะกอนที่มากับน้ำทำน่าจะมีส่วนผสมของทรายแป้งและดินเหนียวเป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากค่าของพารามิเตอร์ในโปรแกรมจะแปรผันตามขนาดของอนุภาคตะกอนแขวนลอย โปรแกรม SED2D มีข้อจำกัดคือสามารถจำลองตะกอนแขวนลอยได้ครั้งละชนิดเท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะทำการจำลองการเคลื่อนที่ของตะกอน 2 ครั้ง ครั้งละ 1 ชนิดคือ ดินเหนียวและทรายแป้งซึ่งจัดเป็น cohesive sediment (อนุภาคเกาะตัวกันเมื่อแขวนลอยอยู่ในน้ำที่มีความเค็มประมาณ 4-8 psu) และชนิดที่สอง ตะกอนทรายซึ่งจัดเป็น non-cohesive sediment (อนุภาคไม่เกาะกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น) ตะกอนแต่ละชนิดใช้สมการควบคุมแตกต่างกัน สำหรับขบวนการกัดเซาะและทับถมของอนุภาคตะกอน โดยจากสมการที่กล่าวมาข้างต้นสามารถหาความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ไหลจากคลองต่างๆเพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.4 และ 3.5

ตารางที่ 3.4 ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยของอนุภาคทรายแป้งและดินเหนียว (cohesive) ที่ไหลจากคลองต่างๆในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นรายเดือนในปี พ.ศ. 2545 หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l)

เดือน คลอง	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
คูตะเภา	81.59	50.64	48.73	70.81	84.19	76.47	65.42	73.34	83.98	88.38	94.91	85.12
รัตภูมิ	54.95	50.64	54.12	56.58	68.82	63.85	52.41	58.03	73.51	78.58	84.25	76.89
พรุฬห์	51.09	50.64	49.46	46.57	61.22	59.27	46.22	51.36	63.26	67.88	77.7	71.32
ป่าบอน	51.4	50.3	44.04	57.39	58.81	46.72	40.82	41.95	53.7	61.6	74.32	67.27
ท่าเขียด	61.96	59.52	53.56	60.66	68.4	59.83	49.93	56.97	64.52	72.96	85.86	76.83
นาท่อม	69.22	60.31	57.59	65.83	72.68	67.64	54.86	63.46	74.53	78.79	92.67	84.38
ป่าพะยอม	66.62	56.9	53.01	59.57	67.33	61.9	54.79	59.46	66.38	72.26	87.55	81.99
ท่าแนะ	71.64	61.17	57	63.98	72.4	66.56	58.92	63.93	71.38	77.71	94.15	87.35
ตะวันออก 1	53.73	49.65	52.92	55.33	67.26	62.41	51.30	56.77	71.84	76.82	82.38	75.18
ตะวันออก 2	53.73	49.65	52.92	55.33	67.26	62.41	51.30	56.77	71.84	76.82	82.38	75.18
ตะวันออก 3	53.73	49.65	52.92	55.33	67.26	62.41	51.30	56.77	71.84	76.82	82.38	75.18

คำนวณจากสมการของ TEAM *et al.* (1989) และ Taylor and Sons (1985)

ตารางที่ 3.5 ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยของอนุภาคทราย (non-cohesive) ที่ไหลจากคลองต่างๆในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นรายเดือนในปี พ.ศ. 2545 หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l)

เดือน คลอง	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
คูตะเภา	4.29	2.66	2.56	2.56	4.43	4.02	3.44	3.85	4.42	4.65	4.99	4.48
รัตภูมิ	2.89	2.66	2.84	2.84	3.62	3.36	2.75	3.05	3.86	4.13	4.43	4.04
พรุฬห์	2.68	2.66	2.60	2.60	3.22	3.11	2.43	2.70	3.32	3.57	4.08	3.75
ป่าบอน	2.70	2.64	2.31	2.31	3.09	2.45	2.14	2.20	2.82	3.24	3.91	3.54
ท่าเขียด	3.26	3.13	2.81	2.81	3.6	3.14	2.62	2.99	3.39	3.84	4.51	4.04
นาท่อม	3.64	3.17	3.03	3.03	3.82	3.56	2.88	3.34	3.92	4.14	4.87	4.44
ป่าพะยอม	3.50	2.99	2.79	2.79	3.54	3.25	2.88	3.12	3.49	3.80	4.60	4.31
ท่าแนะ	3.77	3.21	3.00	3.00	3.81	3.50	3.10	3.36	3.75	4.09	4.95	4.59
ตะวันออก 1	2.82	2.61	2.78	2.78	3.53	3.28	2.70	2.98	3.78	4.04	4.33	3.95
ตะวันออก 2	2.82	2.61	2.78	2.78	3.53	3.28	2.70	2.98	3.78	4.04	4.33	3.95
ตะวันออก 3	2.82	2.61	2.78	2.78	3.53	3.28	2.70	2.98	3.78	4.04	4.33	3.95

คำนวณจากสมการของ TEAM *et al.* (1989) และ Taylor and Sons (1985)

สำหรับการใช้ค่าพารามิเตอร์ในการจำลองตะกอนทั้งสองประเภทนั้นเนื่องจากที่ผ่านมา ยังไม่เคยมีหน่วยงานใดทำการวัดค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ในลุ่มน้ำทะเลสาบมาก่อน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จึงได้จากการประมาณ แต่ก็อยู่บนพื้นฐานของข้อมูลที่ได้จากการวัดจากแหล่งอื่นๆ ที่ใกล้เคียงกันดังนี้

ค่าพารามิเตอร์สำหรับตะกอนประเภท cohesive

- diffusion coefficient = $3000 \text{ m}^2/\text{s}$ ทั้งแกน x และ y

(สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของตะกอน) โดยคำนวณจากสมการ

$$D_e = \frac{\lambda \bar{u}}{P_e}$$

เมื่อ

P_e = เพกเลต (peplet number)

λ = ขนาดของอีลิเมนต์ (เมตร)

\bar{u} = ค่าความเร็วเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)

- ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตั้งต้นในทะเลสาบ = 0 ppm

- critical shear stress for deposition = 0.0001 N/m^2

(แรงเสียดทานวิกฤติที่อนุภาคตะกอนแขวนลอยจะตกทับถม)

- critical shear stress for erosion = 0.04 N/m^2

(แรงเสียดทานวิกฤติที่อนุภาคตะกอนแขวนลอยจะฟุ้งกระจายขึ้นมา)

- ค่าคงที่ในสมการการกัดเซาะ = 0.002 (ค่า default)

สำหรับค่า settling velocity (ความเร็วในการตกสู่ท้องน้ำ) กำหนดให้มี 2 ค่าเนื่องจากตะกอนประเภท cohesive จะเกิดขบวนการ flocculation (อนุภาคเกาะตัวกันเมื่อแขวนลอยอยู่ในน้ำที่มีความเค็มประมาณ 4-8 psu) โดยกำหนดให้บริเวณทะเลน้อย ทะเลหลวง ทะเลสาบ มีค่า settling velocity = 0.00001 m/s (Julien, 1995) ส่วนในบริเวณทะเลสาบสงขลาซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงสูงน้ำจะเกิดขบวนการ flocculation (Taylor and Sons, 1985) มีค่า settling velocity = 0.0001 m/s นอกนั้นการกำหนดชั้นตะกอนท้องน้ำนั้นได้แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในชั้นตะกอนท้องน้ำของตะกอนประเภท cohesive

Layer	Thickness	Particle Tau	Erosion	Layer Tau	1 yr Tau	Layer Rho	1 yr Rho	Consolidation	Age
1	0.04	0.09	0.002	0.07	0.07	90	99	256	1
2	0.04	0.09	0.002	0.14	0.14	108	118	256	1
3	0.04	0.09	0.002	0.40	0.40	144	158	256	1
4	0.04	0.09	0.002	3.40	3.40	263	289	256	1
5	0.04	0.09	0.002	3.40	3.74	402	442	256	2

ค่าพารามิเตอร์สำหรับตะกอนประเภท non - cohesive (ทราย)

สำหรับตะกอนจำพวกทราย (sand) นั้นในการใส่ค่าพารามิเตอร์ได้จากการประมาณเช่นเดียวกับตะกอนประเภท cohesive โดยเลือกตะกอนทรายขนาดเท่ากับ 0.25 มิลลิเมตร (medium) มีค่า settling velocity = 0.3 m/s (Julien,1995) ค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตั้งต้นในทะเลสาบ = 0 ppm

ตารางที่ 3.7 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในตะกอนประเภท non – cohesive

พารามิเตอร์	ค่า
<i>Initial parameters and bottom description</i>	
Minimum CLASSA grain size (mm)	0.25
Maximum CLASSA grain size (mm)	0.25
Specific gravity	2.65
Grain sharp factor	0.67
Characteristics deposition length factor	1.0
Characteristics erosion length factor	10.0
Thickness (m)	1.0
Sand grain size (mm)	0.25
<i>Diffusion coefficients</i>	
D_{xx}, D_{yy} (m/s)	3000
Setting velocity (m/s)	0.30

3.5.4 การปรับเทียบแบบจำลอง

การปรับเทียบ (calibration) แบบจำลอง SED2D จะทำการปรับเทียบกับค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจากการตรวจวัดจริงที่ได้จากสถานีวัด 3 สถานีคือ สถานีวัดปากกรอ (SK1) สถานีวัดเขาเขียว (SK2) และสถานีวัดร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (SK3) ระหว่างช่วงน้ำตายในวันที่ 13 – 15 พฤศจิกายน 2545 เทียบกับค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ได้จากแบบจำลอง โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ โดยจะต้องปรับเทียบจนกว่าค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดจริงทั้ง 3 สถานีวัด นอกจากนี้ทำการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากการรัน (RUN) แบบจำลอง จะได้ค่าอัตราการตกตะกอนในรอบ 1 ปี แล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าอัตราการตกตะกอนที่ได้จากการใช้เทคนิคไอโซโทปของซีเซียม - 137 ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาของรวิษ ชิตตระการ และคณะ (2539)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 แบบจำลอง RMA2

4.1.1 ผลการปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลอง RMA2

ความถูกต้องของผลการคำนวณแบบจำลอง ขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบจากหลายส่วน เช่นความถูกต้องของข้อมูลนำเข้าและการเลือกใช้แบบจำลอง ซึ่งต้องแน่ใจว่าแบบจำลองมีพจน์ของสมการที่ใช้ในการคำนวณกระแสได้เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษา จึงต้องมีการปรับเทียบ (calibrate) ค่าพารามิเตอร์ที่แปรผันตามพื้นที่ ซึ่งใน RMA2 มีค่า eddy viscosity (E) กับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระท้องน้ำ (manning roughness coefficient; n) เนื่องจากขนาดของค่า E มีผลต่อการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมการไหลของน้ำในทิศทางต่างๆ และการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมการไหลของน้ำขึ้นอยู่กับอัตราเร็วกระแสในแต่ละในเอลิเมนต์ แต่เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้มีขนาดเอลิเมนต์ไม่เท่ากัน เพื่อให้ได้ค่า E ที่ใช้ได้กับทุกเอลิเมนต์และทุกอัตราเร็วที่เปลี่ยนแปลงบนเอลิเมนต์ที่มีขนาดต่างกัน การศึกษาในครั้งนี้จึงใช้ pecllet number (P) ช่วยในการปรับใช้ค่า E ตามความสัมพันธ์ (ดังแสดงในภาคผนวก ก)

$$P = \frac{\rho u dx}{E} \quad (4.1)$$

ρ = ความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

u = ความเร็วเฉลี่ยของแต่ละเอลิเมนต์ (เมตรต่อวินาที)

dx = ความยาวของเอลิเมนต์ (เมตร)

E = eddy viscosity (ตารางเมตรต่อวินาที)

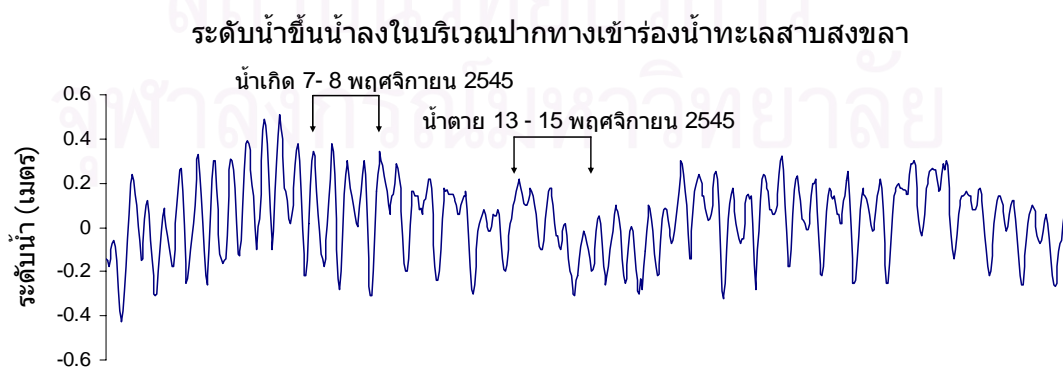
สำหรับในบริเวณทะเลสาบสงขลา กำหนดค่า pecllet number เท่ากับ 30 ซึ่งจะช่วยให้แบบจำลองเกิดเสถียรภาพ สำหรับการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำ (manning roughness coefficient; n) นั้นจะแปรผันตามความลึกของน้ำตามความสัมพันธ์ (King และ Donnel, 1997) ดังแสดงในภาคผนวก ข

$$n = \frac{n_0}{D^\eta} + n_M \cdot e^{\frac{-d}{D}} \quad (4.2)$$

- n_0 = ค่า manning n กรณีไม่มีสิ่งกีดขวางใต้น้ำ
- n_M = ค่าเพิ่มขึ้นของ manning n เนื่องจากสิ่งกีดขวางใต้น้ำ
- η = สัดส่วนของสัมประสิทธิ์ความขรุขระตามความลึกของน้ำ
- d = ระดับความลึกของน้ำที่ n จะได้รับอิทธิพลของสิ่งกีดขวางใต้น้ำ
- D = ระดับความลึกน้ำ

ในแบบจำลองแบ่งพื้นที่ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ออกเป็น 3 ส่วน ตามระดับความลึกของน้ำ เพื่อความเหมาะสมของกำหนด manning n เพื่อปรับเทียบค่าความเร็วกระแสน้ำจากแบบจำลอง กับสถานีวัดจริง 3 สถานีของกรมเจ้าท่า (2546) (รูปที่ 4.2) โดยแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ในช่วงน้ำเกิด (spring tide) ระหว่างวันที่ 7 – 8 พ.ย. 45 และช่วงน้ำตาย (neap tide) ระหว่างวันที่ 13 – 15 พ.ย. 45 ดังรูป 4.1 และผลการปรับเทียบแสดงในรูป 4.3 และ 4.4 โดยมีค่า manning n ที่เหมาะสมดังนี้

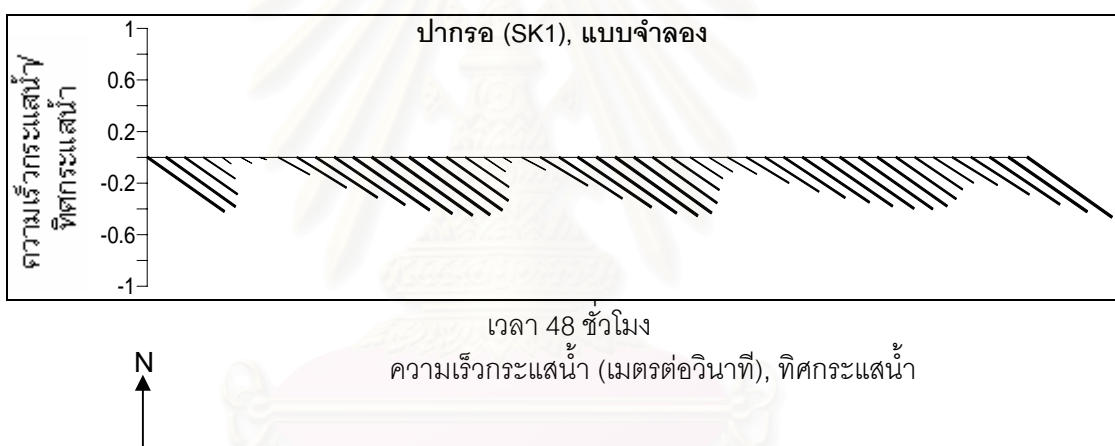
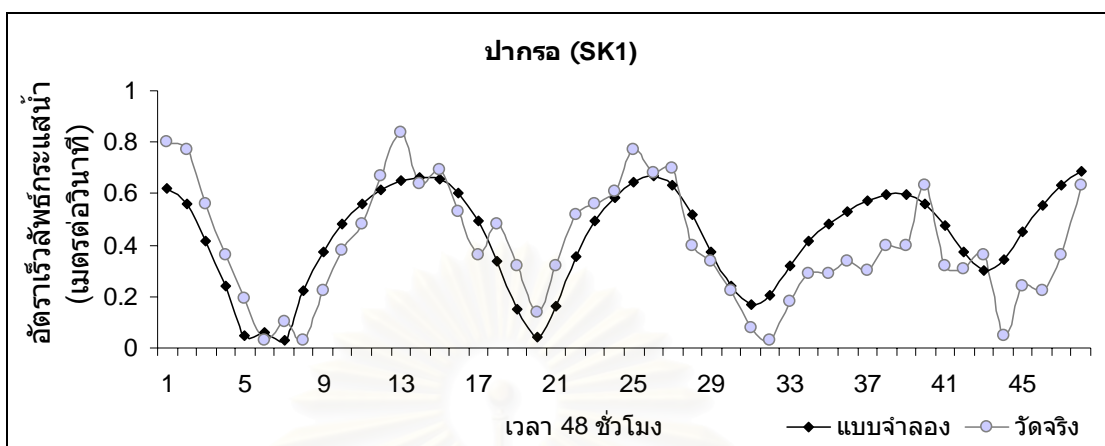
- (1) พื้นที่ที่มีความลึก น้อยกว่า 1.5 เมตร manning n เท่ากับ 0.035
- (2) พื้นที่ที่มีความลึก 1.5 ถึง 3.0 เมตร manning n เท่ากับ 0.025
- (3) พื้นที่ที่มีความลึกมากกว่า 3.0 เมตร manning n เท่ากับ 0.02



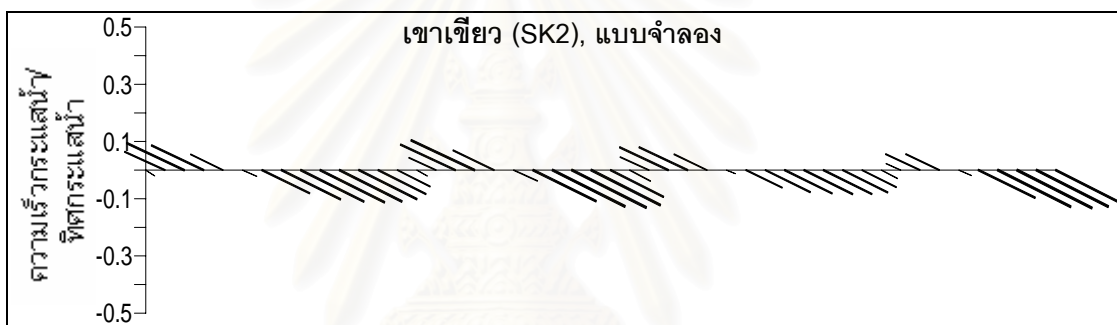
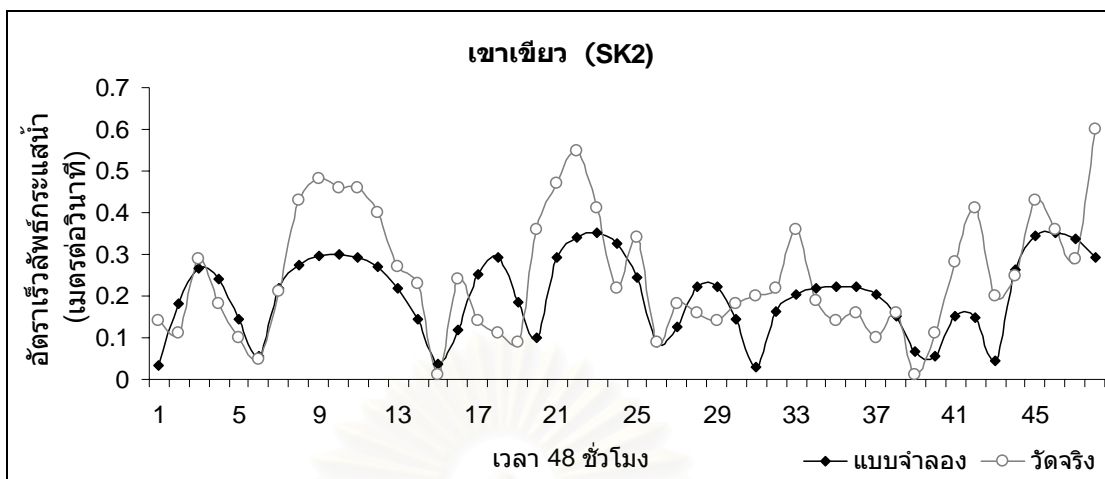
รูปที่ 4.1 ระดับน้ำขึ้นน้ำลงในบริเวณท่าเรือทะเลสาบสงขลาในระหว่างวันที่ทำการปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลอง ในเดือน พฤศจิกายน 2545



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งต่างๆของสถานี

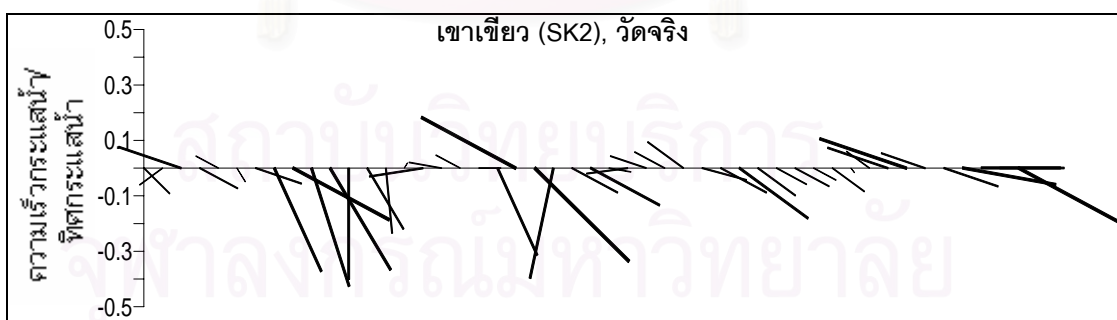


รูปที่ 4.3(ก) อัตราเร็วลัพธ์กระแสน้ำ ขนาดของความเร็วกระแสน้ำ และทิศทางของกระแสน้ำ คำนวณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดความเร็วกระแสน้ำช่วงน้ำขึ้นเกิด (spring tide) ระหว่างวันที่ 7 – 8 พฤศจิกายน 2545 ที่สถานีปากrohr



เวลา 48 ชั่วโมง

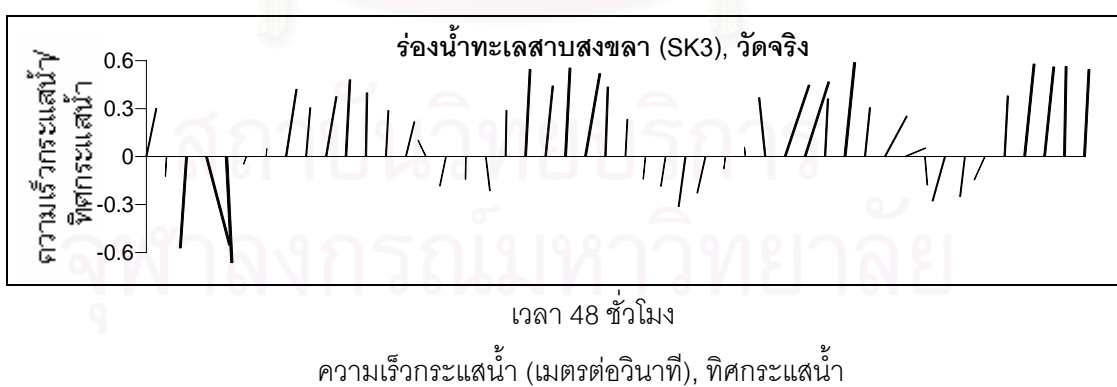
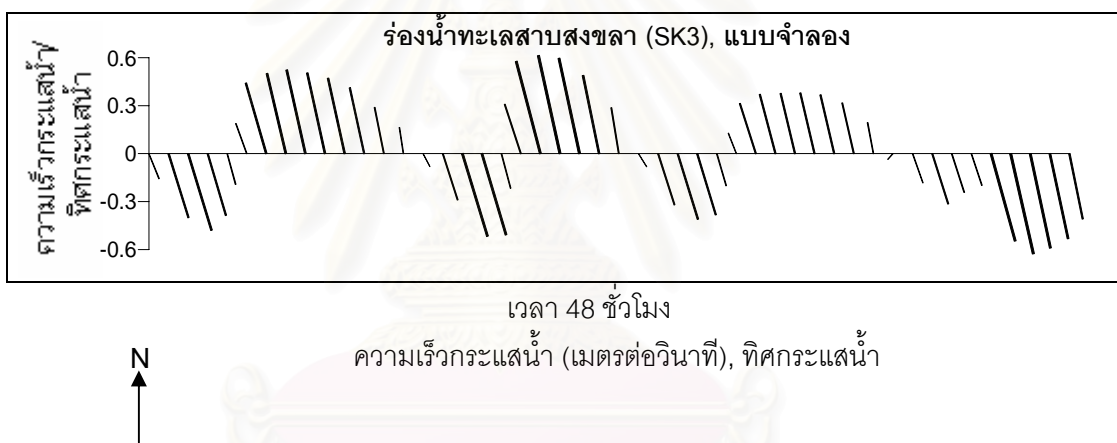
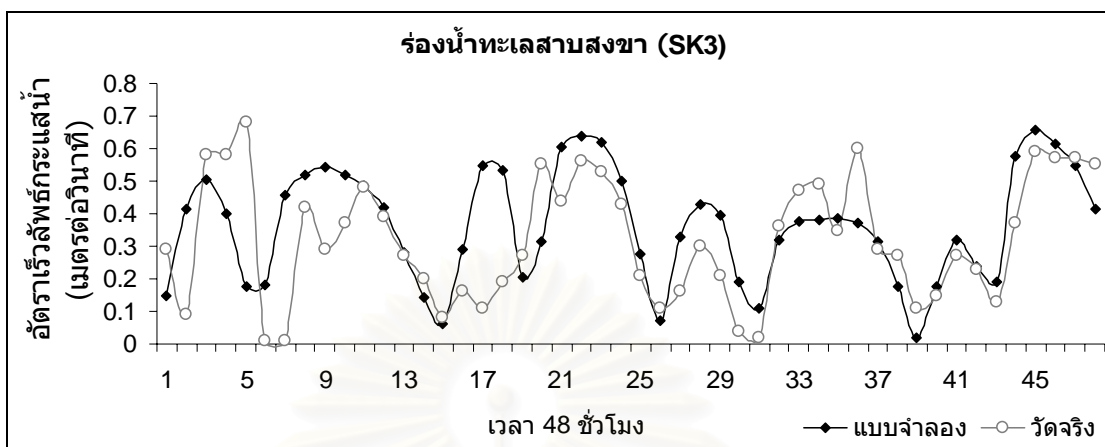
ความเร็วกระแสน้ำ (เมตรต่อวินาที), ทิศกระแสน้ำ



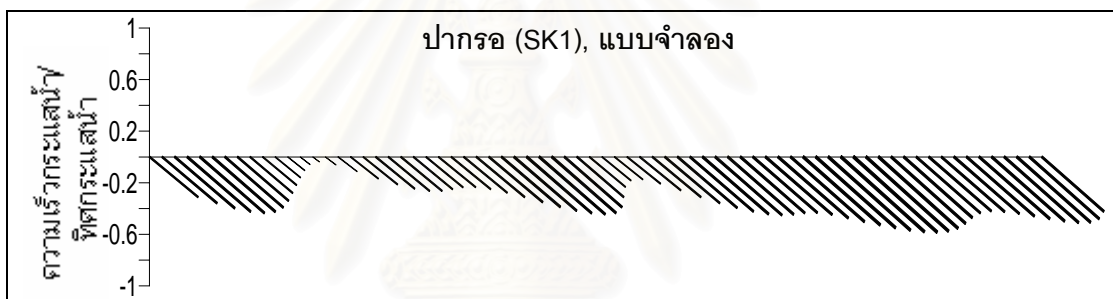
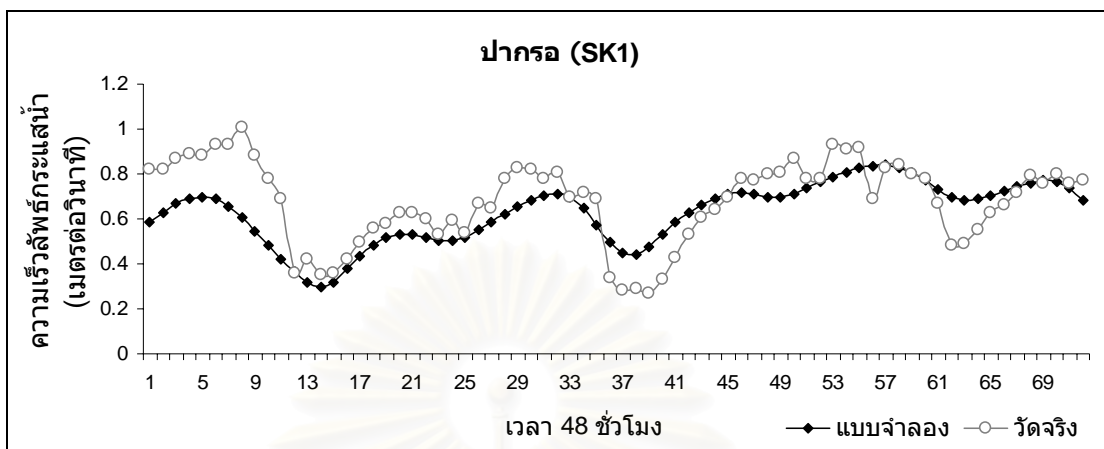
เวลา 48 ชั่วโมง

ความเร็วกระแสน้ำ (เมตรต่อวินาที), ทิศกระแสน้ำ

รูปที่ 4.3(ข) อัตราเร็วลัพธ์กระแสน้ำ ขนาดของความเร็วกระแสน้ำ และทิศทางของกระแสน้ำ คำนวณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดความเร็วกระแสน้ำช่วงน้ำเกิด (spring tide) ระหว่างวันที่ 7 – 8 พฤศจิกายน 2545 ที่สถานีเขาเขี้ยว



รูปที่ 4.3(ค) อัตราเร็วลัพธ์กระแสน้ำ ขนาดของความเร็วกระแสน้ำ และทิศทางของกระแสน้ำ คำนวณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดความเร็วกระแสน้ำช่วงน้ำเกิด (spring tide) ระหว่างวันที่ 7 – 8 พฤศจิกายน 2545 ที่สถานีร่องน้ำทะเลสาบสงขลา

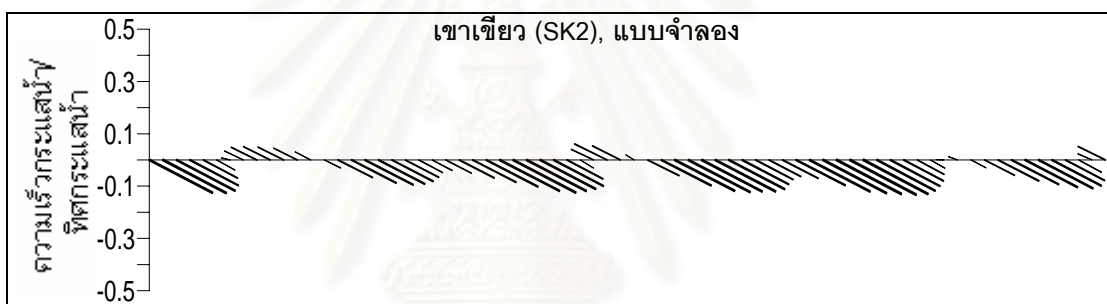
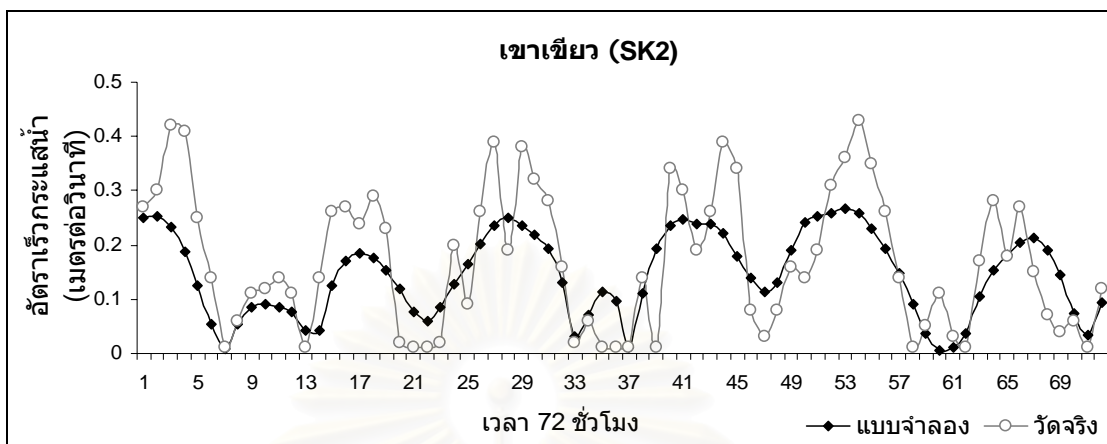


เวลา 72 ชั่วโมง
 ความเร็วกระแสน้ำ (เมตรต่อวินาที), ทิศกระแสน้ำ



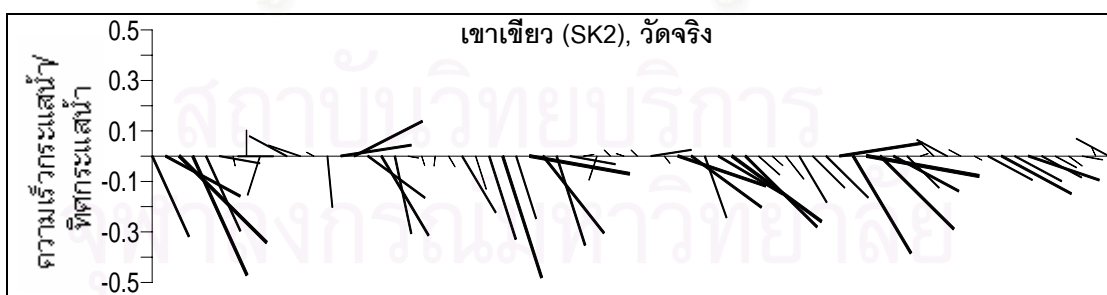
เวลา 72 ชั่วโมง
 ความเร็วกระแสน้ำ (เมตรต่อวินาที), ทิศกระแสน้ำ

รูปที่ 4.4(ก) อัตราเร็วพัลส์กระแสน้ำ ขนาดของความเร็วกระแสน้ำ และทิศทางของกระแสน้ำ คำนวณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดความเร็วกระแสน้ำช่วงน้ำเกิด (neap tide) ระหว่างวันที่ 13 - 15 พฤศจิกายน 2545 ที่สถานีปากกรอ



เวลา 72 ชั่วโมง

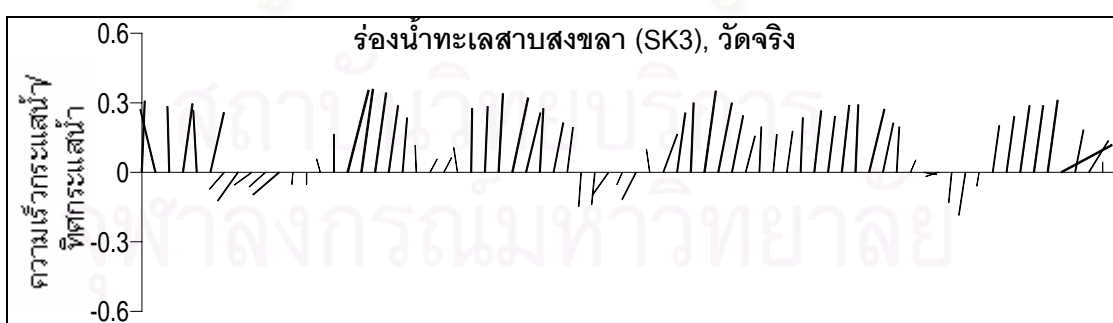
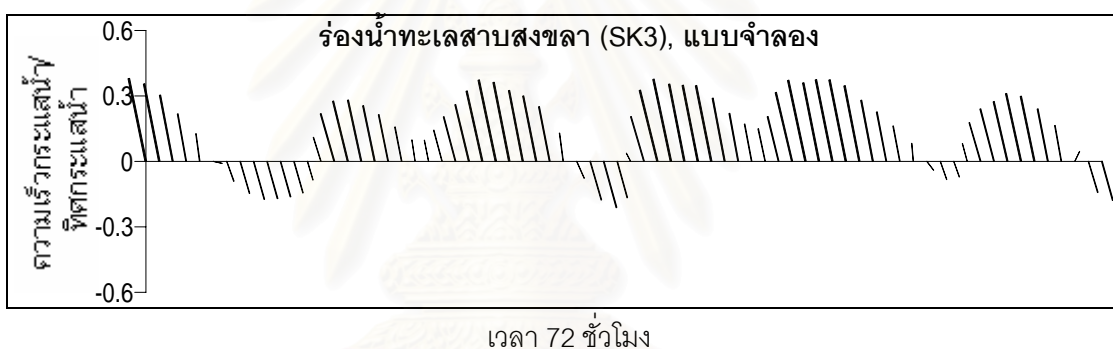
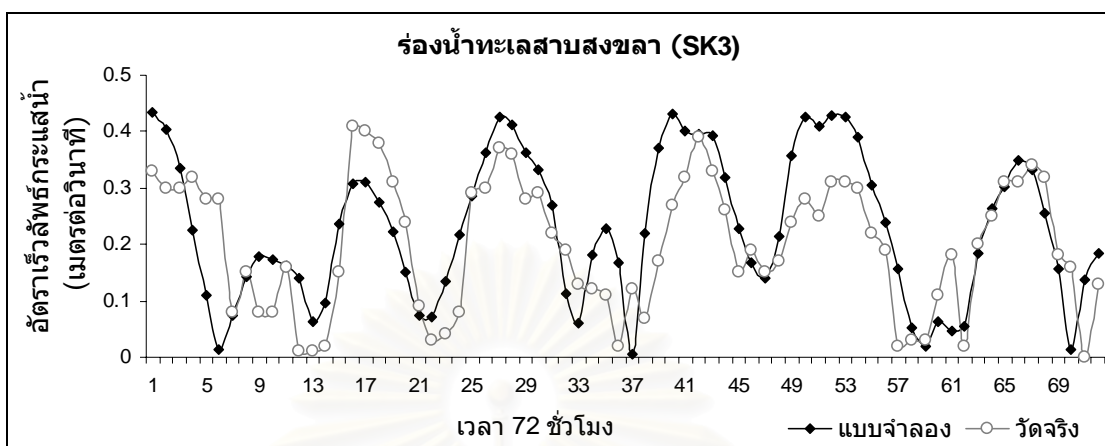
ความเร็วกระแสน้ำ (เมตรต่อวินาที), ทิศกระแสน้ำ



เวลา 72 ชั่วโมง

ความเร็วกระแสน้ำ (เมตรต่อวินาที), ทิศกระแสน้ำ

รูปที่ 4.4(ข) อัตราเร็วลัพธ์กระแสน้ำ ขนาดของความเร็วกระแสน้ำ และทิศทางของกระแสน้ำ คำนวณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดความเร็วกระแสน้ำช่วงน้ำเกิด (neap tide) ระหว่างวันที่ 13 – 15 พฤศจิกายน 2545 ที่สถานีเขาเขี้ยว



รูปที่ 4.4(ค) อัตราเร็วลัพธ์กระแสน้ำ ขนาดของความเร็วกระแสน้ำ และทิศทางของกระแสน้ำ คำนวณจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดความเร็วกระแสน้ำช่วงน้ำเกิด (neap tide) ระหว่างวันที่ 13 – 15 พฤศจิกายน 2545 ที่ร่องน้ำทะเลสาบสงขลา

จากการเปรียบเทียบความเร็วของกระแสน้ำในแบบจำลองกับค่าที่วัดจริงในช่วงน้ำเกิดและน้ำตายในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2545 ของทั้ง 3 สถานีนั้นพบว่า ทิศทางและความเร็วของกระแสน้ำจากแบบจำลองมีทิศทางและความเร็วสอดคล้องกับค่าที่วัดได้จริง โดยเฉพาะในบริเวณปากอ่าว ผลออกมาค่อนข้างดี ส่วนผลจากการคำนวณจากแบบจำลองมีแตกต่างจากวัดจริงบ้างนั้น ก็อาจเนื่องมาจากกระแสน้ำที่แบบจำลองคำนวณได้เป็นกระแสน้ำที่ได้จากกระแสน้ำเฉลี่ยตลอดความลึกน้ำ ณ ตำแหน่งนั้น ส่วนวัดจริงนั้นเป็นกระแสน้ำที่วัดจริงในระดับความลึก ณ ความลึกตำแหน่งเดียว ไม่ใช่ความลึกเฉลี่ย และนอกจากนี้จุดที่น้ำท่าและตะกอนที่ไหลลงสู่ทะเลสาบในแบบจำลองมีเพียง 12 จุด จากลุ่มน้ำย่อยทั้งหมด ซึ่งในความเป็นจริงมีแม่น้ำสายหลักมากกว่านี้ทำให้ผลการเปรียบเทียบที่ได้มีการคาดเคลื่อนเล็กน้อย

จากผลการเปรียบเทียบข้างต้นทำให้มั่นใจได้ระดับหนึ่งว่า แบบจำลองมีการคำนวณการไหลของกระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงและจากน้ำท่าได้เหมาะสม

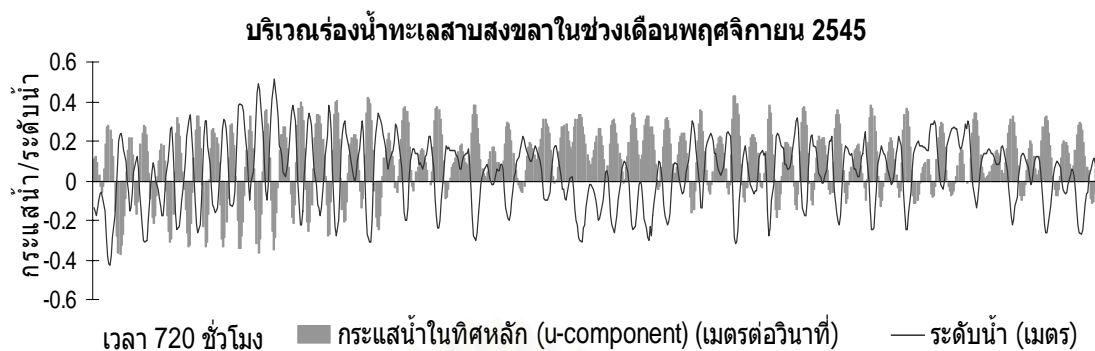
4.1.2 ผลการไหลเวียนของกระแสน้ำในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาจากแบบจำลอง RMA2

ในรอบ 1 ปี ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา จะได้รับลมมรสุมพัดผ่าน 2 ช่วงมรสุม คือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้มีปริมาณฝนตกชุก ปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ทะเลสาบก็มีปริมาณมาก ส่วนในฤดูแล้งของปี คือในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ เดือนมีนาคม และเดือนเมษายน ปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ทะเลสาบจะมีปริมาณน้อย ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงจำลองการไหลเวียนของกระแสน้ำตลอดทั้ง 1 ปี ของปีพ.ศ. 2545 เพื่อพิจารณาความแตกต่างของกระแสน้ำในรอบ 1 ปี

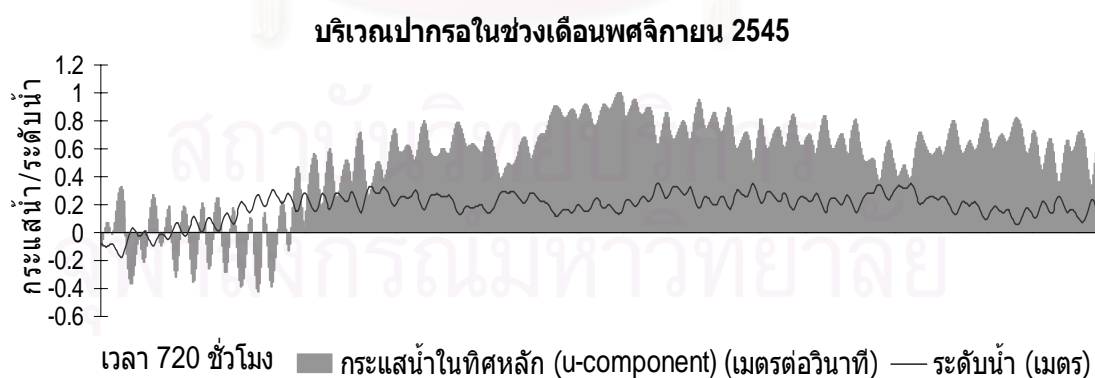
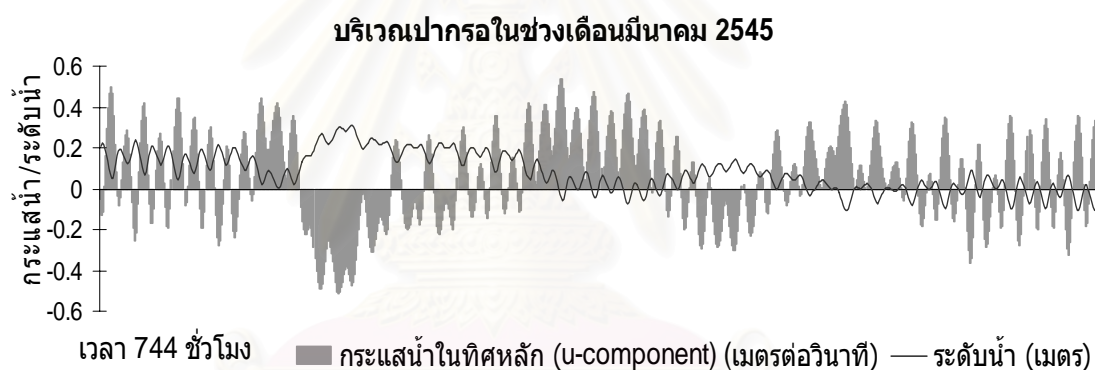
บริเวณร่องน้ำทะเลสาบสงขลาในช่วงเดือนมีนาคม 2545



รูปที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบระหว่าง ระดับน้ำขึ้นน้ำลง และความเร็วของกระแสน้ำในทิศหลัก (u-component) จากแบบจำลองในระหว่เดือน มีนาคม 2545 ในบริเวณปากทางเข้าร่องน้ำทะเลสาบสงขลา

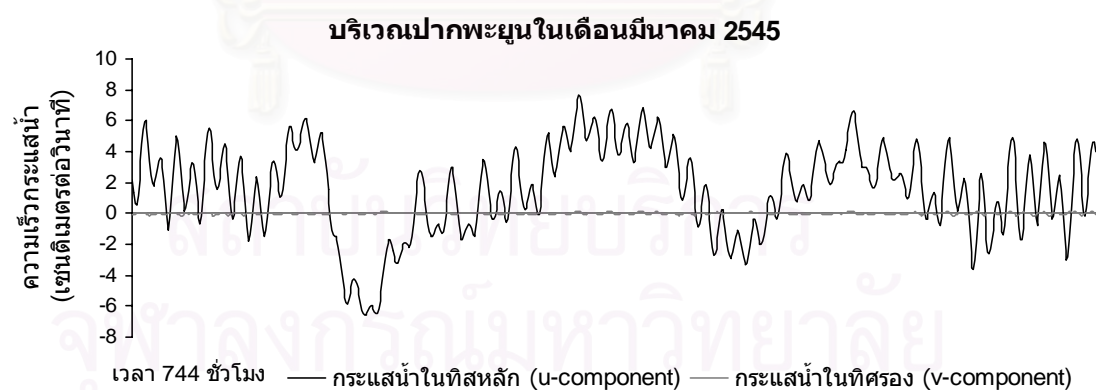
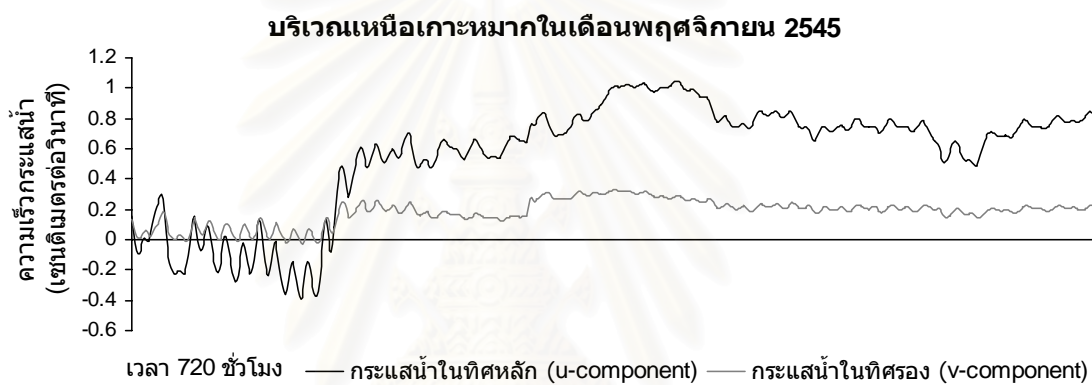


รูปที่ 4.5(ต่อ) ผลการเปรียบเทียบระหว่าง ระดับน้ำขึ้นน้ำลง และความเร็วของกระแสน้ำในทิศหลัก (u-component) จากแบบจำลองในระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2545 ในบริเวณปากทางเข้า ร่องน้ำทะเลสาบสงขลา

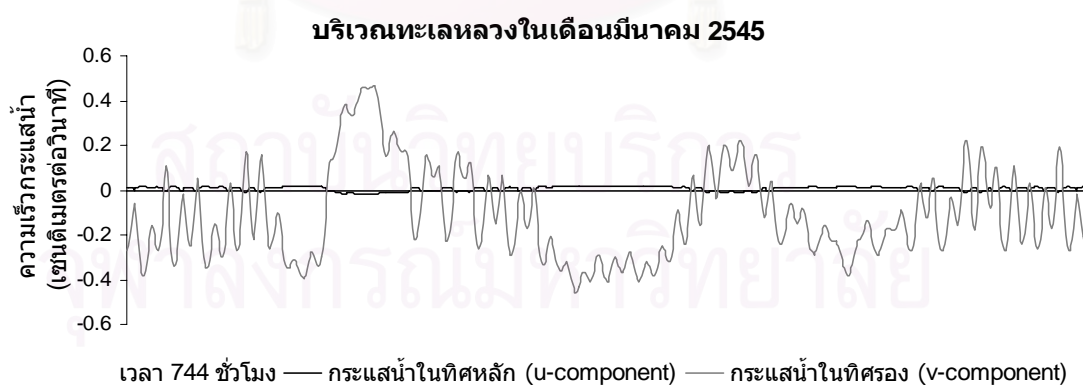
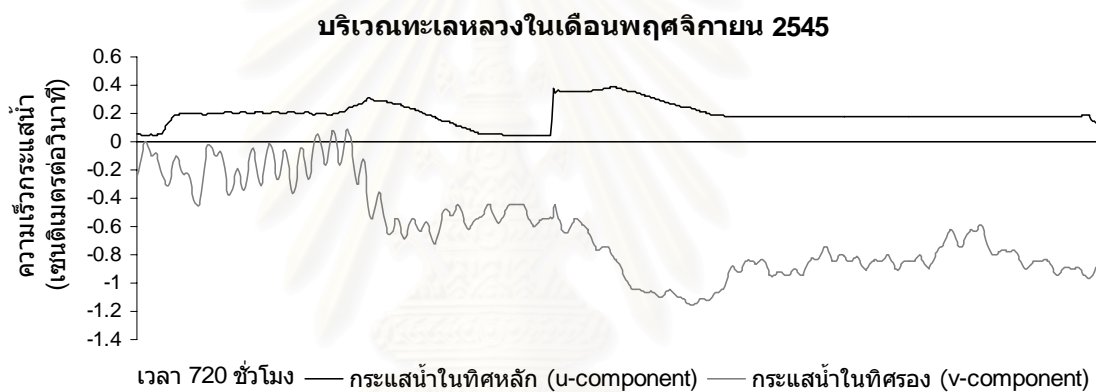
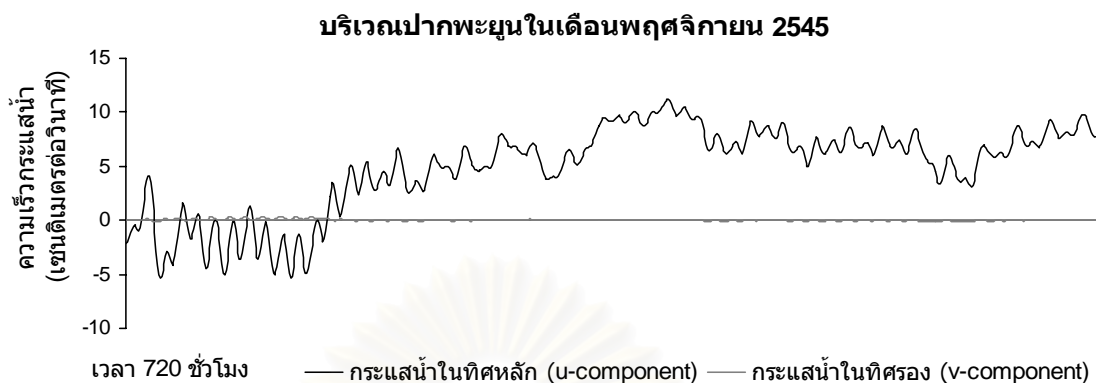


รูปที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบระหว่าง ระดับน้ำขึ้นน้ำลง และความเร็วของกระแสน้ำในทิศหลัก (u-component) จากแบบจำลองในระหว่างเดือน มีนาคม (บน) และ เดือน พฤศจิกายน (ล่าง) 2545 ในบริเวณร่องน้ำปากกรอ

ผลจากแบบจำลองข้อมูลความเร็วของกระแสน้ำ โดยมีการแตกความเร็วของกระแสน้ำในแนวน้ำขึ้นน้ำลง (u-component) และกระแสน้ำที่ตรงหรือกระแสน้ำที่ไหลเข้าหาฝั่งและตั้งฉากกับทิศกระแสน้ำหลัก (v-component) ตามรูปที่ 4.5 ในบริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลาจะเห็นว่า การไหลของกระแสน้ำกระแสน้ำในแนวน้ำขึ้นน้ำลง (u) จะมีความสัมพันธ์กับการขึ้นลงของระดับน้ำ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์แบบ Standing wave กล่าวคือ เฟส (phase) ของกระแสน้ำและระดับน้ำจะตรงกันข้าม กระแสน้ำไหลเปลี่ยนทิศทางตามอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ในรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นบริเวณปากร่องน้ำในรูปกราฟจะเห็นว่าช่วงเดือนมีนาคมซึ่งเป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ทะเลสาบในปริมาณที่น้อย จะมีความสัมพันธ์แบบ Standing wave คือกระแสน้ำในแนวน้ำขึ้นน้ำลง (u) ไหลเปลี่ยนทิศทางตามอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง สำหรับในเดือนพฤศจิกายนนั้นจะเป็นช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาจะมีปริมาณมากที่สุดในช่วงปี จะเห็นว่ากระแสน้ำส่วนใหญ่มีค่าเป็นบวก แสดงว่าน้ำจะไหลลงทางเดียว (ebb tide) และกระแสน้ำมีความเร็วสูง



รูปที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบความเร็วกระแสน้ำจากแบบจำลองในระหว่าง เดือน มีนาคม และ เดือน พฤศจิกายน 2545 ในบริเวณปากคลองหลวง บริเวณเหนือเกาะหมากและบริเวณทะเลหลวง



รูปที่ 4.7 (ต่อ) ผลการเปรียบเทียบความเร็วกระแสน้ำจากแบบจำลองในระหว่าง เดือน มีนาคม และ เดือน พฤศจิกายน 2545 ในบริเวณปากคลองหลวง บริเวณเหนือเกาะหมากและบริเวณทะเลหลวง

จากกราฟในรูปที่ 4.7 ความเร็วกระแสในทิศหลักบริเวณเหนือเกาะหมากและบริเวณตอนล่างทะเลหลวงทั้งเดือนมีนาคม และเดือนพฤศจิกายน มีค่าน้อยมากซึ่งน้อยกว่า 0.5 เซนติเมตรต่อวินาที ในบริเวณตอนล่างทะเลหลวงกระแสน้ำทิศหลักมีความอ่อนตัวกว่ากระแสน้ำทิศรอง สำหรับในบริเวณปากคลองหลวงนั้นความเร็วกระแสน้ำจะมีค่ามากกว่าทั้งสองบริเวณที่กล่าวมา ทั้งนี้เนื่องจากน้ำส่วนใหญ่ที่ไหลจากทะเลน้อย ทะเลหลวง และทะเลสาบ จะไหลผ่านบริเวณปากพะยูนไปผ่านคลองหลวงไปยังบริเวณทะเลสาบสงขลา และนอกจากนี้บริเวณคลองหลวงมีคลองที่ขนาดที่แคบ จึงทำให้กระแสน้ำไหลแรงกว่าบริเวณทะเลหลวง และบริเวณเหนือเกาะหมาก เมื่อพิจารณากราฟทั้งสามบริเวณจะเห็นว่าในช่วงเดือนมีนาคมบริเวณเหนือเกาะหมากและบริเวณปากพะยูน รูปกราฟกระแสน้ำทิศหลักมีทั้งค่าบวกและค่าลบแสดงว่าแสดงว่าทั้งสองบริเวณนี้ในช่วงฤดูแล้งได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงจากอ่าวไทย ส่วนบริเวณตอนล่างทะเลหลวงในช่วงเดือนมีนาคมการเปลี่ยนแปลงของกระแสน้ำในทิศหลัก (u) แบบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงเลยแสดงว่าในบริเวณตั้งแต่ตอนล่างทะเลหลวงขึ้นไปไม่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงจากอ่าวไทย เมื่อพิจารณารูปกราฟทั้งสี่บริเวณในเดือนพฤศจิกายน พบว่าของกระแสน้ำในทิศหลัก (u) มีค่าเป็นบวกเกือบตลอดทั้งเดือน แสดงว่าเกือบตลอดทั้งเดือนมีกระแสน้ำไหลลงเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากเดือนพฤศจิกายน บริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่มีปริมาณน้ำฝนตกมากที่สุดในรอบปีทำให้มีปริมาณน้ำไหลลงสู่ลุ่มน้ำในปริมาณที่มาก โดยตำแหน่งสถานีวัดต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ความเร็วกระแสน้ำได้จากการคำนวณของแบบจำลอง RMA2 ในแต่ละตำแหน่ง ในช่วงฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ – เมษายน) และช่วงฤดูฝน (พฤศจิกายน – มกราคม) ในระหว่างปี พ.ศ. 2545

ตำแหน่ง/ พารามิเตอร์	ฤดูแล้ง (เมตรต่อวินาที)	ฤดูฝน (เมตรต่อวินาที)
ร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (SK3) ความเร็วลัพธ์เฉลี่ย (U)/ทิศ - กระแสน้ำทิศหลัก (u) - กระแสน้ำทิศรอง (v)	0.167/ 67° 0.47/ -0.15/ -0.63 0.28/ 0.065/ -0.20	0.166/ 295° 0.43/ 0.145/ -0.42 0.18/ 0.065/ -0.17
เขาเขียว (SK2) ความเร็วลัพธ์เฉลี่ย (U)/ทิศ - กระแสน้ำทิศหลัก (u) - กระแสน้ำทิศรอง (v)	0.104/ 288° 0.27/ 0.095/ -0.37 0.13/ 0.03/ -0.10	0.106/ 250° 0.27/ 0.095/ -0.26 0.09/ -0.035/ -0.1
ปากrohr (SK1) ความเร็วลัพธ์เฉลี่ย (U)/ทิศ - กระแสน้ำทิศหลัก (u) - กระแสน้ำทิศรอง (v)	0.227/ 66° 0.54/ -0.21/ -0.89 0.38/ 0.09/ -0.24	0.383/ 294° 1.0/ 0.275/ -0.45 0.20/ -0.122/ -0.44
ปากพะยูน ความเร็วลัพธ์เฉลี่ย (U)/ทิศ - กระแสน้ำทิศหลัก (u) - กระแสน้ำทิศรอง (v)	0.029/ 91° 0.07/ -0.03/ -0.13 0.002/ -0.0004/ -0.0018	0.042/ 272° 0.11/ 0.039/ -0.07 0.003/ 0.00075/ -0.003
เหนือเกาะหมาก ความเร็วลัพธ์เฉลี่ย (U)/ทิศ - กระแสน้ำทิศหลัก (u) - กระแสน้ำทิศรอง (v)	0.003/ 105° 0.005/ -0.003/ -0.011 0.001/ -0.00075/ -0.003	0.004/ 282° 0.01/ 0.0035/ -0.004 0.003/ 0.0007/ -0.001
ตอนล่างของทะเลหลวง ความเร็วลัพธ์เฉลี่ย (U)/ทิศ - กระแสน้ำทิศหลัก (u) - กระแสน้ำทิศรอง (v)	0.002/ 2° 0.0002/ -0.0001/ -0.0004 0.01/ 0.002/ -0.005	0.004/ 342° 0.004/ 0.001/ 0.003 0.003/ 0.003/ -0.01
ตอนบนของทะเลหลวง ความเร็วลัพธ์เฉลี่ย (U)/ทิศ - กระแสน้ำทิศหลัก (u) - กระแสน้ำทิศรอง (v)	0.0004/ 18° 0.0002/ -0.0001/ -0.0003 0.002/ 0.0003/ -0.0009	0.003/ 206° 0.004/ 0.001/ 0.0002 0.003/ -0.002/ -0.006

หมายเหตุ: กระแสน้ำทิศหลัก (u) = ความเร็วสูงสุด / ความเร็วเฉลี่ย / ความเร็วต่ำสุด

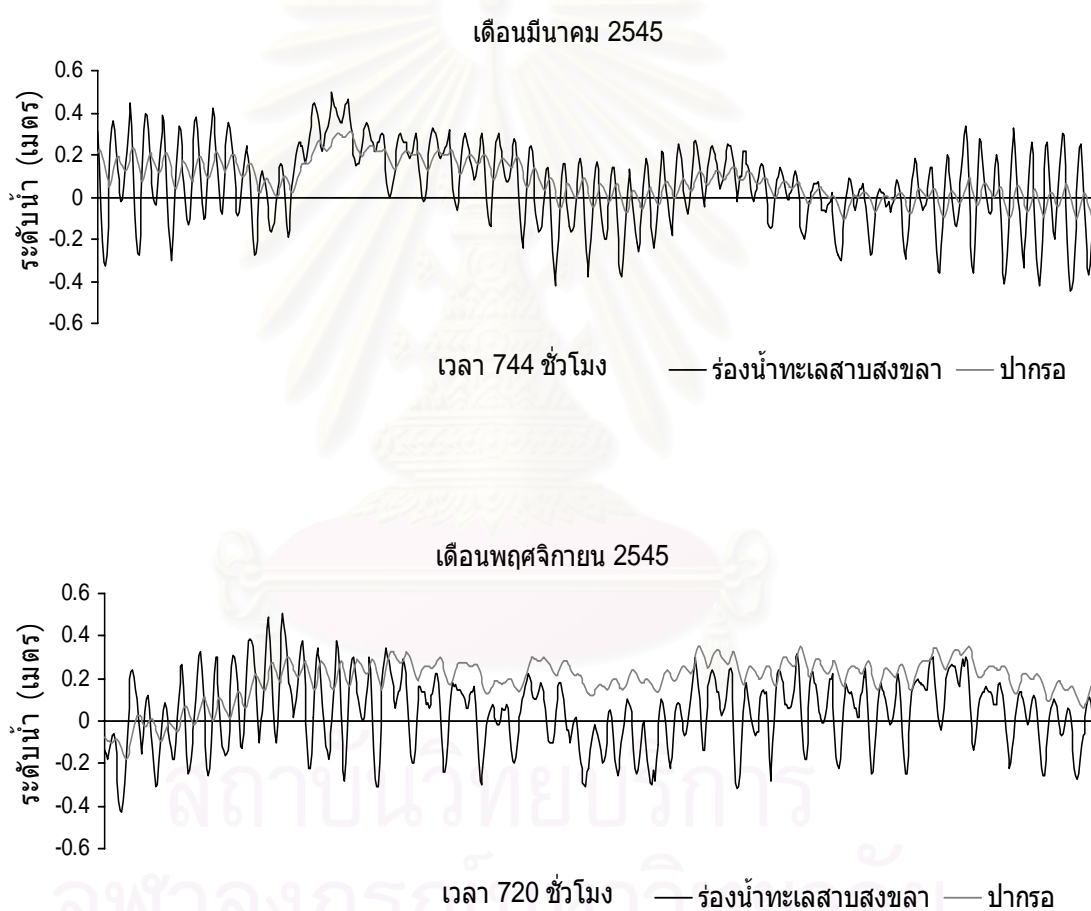
กระแสน้ำทิศรอง (v) = ความเร็วสูงสุด / ความเร็วเฉลี่ย / ความเร็วต่ำสุด

จากตารางที่ 4.1 ความเร็วกระแสน้ำในทิศหลัก (u) ในบริเวณร่องน้ำทะเลสาบสงขลามีความเร็วสูงสุดขณะน้ำขึ้นในช่วงฤดูแล้งเท่ากับ 0.63 เมตรต่อวินาที มีความเร็วเฉลี่ยขณะน้ำขึ้น 0.16 เมตรต่อวินาที ส่วนในฤดูฝนมีความเร็วสูงสุดขณะน้ำลง 0.43 เมตรต่อวินาที มีความเร็วเฉลี่ยขณะน้ำลง 0.16 เมตรต่อวินาที ซึ่งในตารางจะพบว่าความเร็วกระแสน้ำในบริเวณร่องน้ำทะเลสาบสงขลาในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนความเร็วกระแสน้ำในแนวน้ำขึ้นน้ำลง (u) มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าในบริเวณนี้อิทธิพลของน้ำขึ้นมีสูงมากกว่ากระแสน้ำเป็น Tidal current ส่วนกระแสน้ำในทิศรอง (v) มีความอ่อนตัวกว่ากระแสน้ำในทิศหลัก (u) ในบริเวณเขาเขียวก็เช่นเดียวกัน โดยกระแสน้ำเป็น Tidal current กระแสน้ำในทิศรอง (v) มีความอ่อนตัวกว่ากระแสน้ำในทิศหลัก (u) แต่ความแรงของกระแสน้ำจะน้อยกว่าบริเวณร่องน้ำทะเลสาบสงขลา ทั้งที่ทั้งสองบริเวณอยู่ห่างกันเพียงประมาณ 5 กิโลเมตร ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณร่องน้ำทะเลสาบสงขลามีร่องน้ำที่แคบกว่าบริเวณเขาเขียว และกระแสน้ำอีกส่วนหนึ่งจะไหลผ่านอีกฝั่งด้านหนึ่งของเกาะยอ โดยมีความมีความเร็วสูงสุดขณะน้ำลงในช่วงฤดูแล้งเท่ากับ 0.27 เมตรต่อวินาที มีความเร็วเฉลี่ยขณะน้ำขึ้น 0.10 เมตรต่อวินาที ส่วนในฤดูฝนมีความเร็วสูงสุดขณะน้ำลง -0.37 เมตรต่อวินาที มีความเร็วเฉลี่ยขณะน้ำลง -0.11 เมตรต่อวินาที ซึ่งในตารางจะพบว่าความเร็วกระแสน้ำในบริเวณร่องน้ำทะเลสาบสงขลาในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนความเร็วกระแสน้ำในแนวน้ำขึ้นน้ำลง (u) มีค่าใกล้เคียงกัน

ในส่วนของบริเวณปากอ้อมมีความเร็วสูงสุดขณะน้ำขึ้นในช่วงฤดูแล้งเท่ากับ -0.89 เมตรต่อวินาที มีความเร็วเฉลี่ยขณะน้ำขึ้น -0.22 เมตรต่อวินาที ส่วนความเร็วสูงสุดขณะน้ำลง 0.54 เมตรต่อวินาที มีความเร็วเฉลี่ยขณะน้ำลง 0.20 เมตรต่อวินาที ส่วนในฤดูฝนมีความเร็วสูงสุดขณะน้ำลง 1.0 เมตรต่อวินาที มีความเร็วเฉลี่ยขณะน้ำลง 0.41 เมตรต่อวินาที ส่วนความเร็วสูงสุดขณะน้ำขึ้น -0.45 เมตรต่อวินาที มีความเร็วเฉลี่ยขณะน้ำขึ้น -0.14 เมตรต่อวินาที ซึ่งในตารางจะพบว่าความเร็วกระแสน้ำในบริเวณปากอ้อมมีค่ามากกว่าบริเวณร่องน้ำทะเลสาบสงขลาและบริเวณเขาเขียวทั้งสองช่วงฤดู ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่าบริเวณปากอ้อมมีร่องน้ำที่แคบมากประมาณ 200 เมตร แคบกว่าทั้งสองบริเวณ ประกอบกับร่องน้ำปากอ้อมเป็นช่องทางรองรับน้ำในปริมาณมากจากทะเลสาบส่วนบนไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาและเป็นช่องเดียวที่กระแสน้ำน้ำลงจากอ่าวไทยผ่านไปยังทะเลสาบส่วนบน จึงทำให้บริเวณปากอ้อมมีความเร็วของกระแสน้ำมากกว่าบริเวณส่วนอื่นๆ ของลุ่มน้ำ

สำหรับในส่วนของบริเวณปากพะยูนจะมีความเร็วของกระแสน้ำมากกว่าส่วนอื่นๆ ของบริเวณทะเลสาบและทะเลหลวง โดยมีความเร็วสูงสุดในทั้งสองช่วงฤดูระหว่าง 0.07 – 0.11 เมตรต่อปี เมื่อพิจารณาความเร็วของกระแสน้ำในทิศหลัก (u) ในบริเวณเหนือเกาะหมาก, บริเวณตอนล่างทะเลหลวง และบริเวณตอนบนทะเลหลวง มีความเร็วของกระแสน้ำน้อยกว่า 0.5

เซนติเมตรต่อวินาที ในฤดูแล้งความเร็วของกระแสน้ำในทิศหลัก (u) ตีกลับแต่มีค่าน้อยมากแสดงว่าอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงจากอ่าวมีอิทธิพลต่อบริเวณนี้น้อยมาก ส่วนในฤดูฝนความเร็วของกระแสน้ำในทิศหลัก (u) มีค่าเป็นบวกทั้งหมด แสดงว่ากระแสน้ำไหลลงทางเดียวตลอดทั้งช่วงฤดูฝน โดยในบริเวณตอนบนและตอนล่างของทะเลหลวงกระแสน้ำทิศหลัก(u) อ่อนตัวกว่ากระแสน้ำทิศรอง (v)



รูปที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบระหว่าง ระดับน้ำขึ้นน้ำลงจากสถานีบริเวณปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา กับระดับน้ำในบริเวณปากอ่าว (SK1) ที่ได้จากแบบจำลองในระหว่างเดือน มีนาคม และ เดือน พฤศจิกายน 2545

จากกราฟรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า บริเวณปากrohrได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงชัดเจน สัมพันธ์จากระดับน้ำขึ้นน้ำลง ตามระดับน้ำที่บริเวณปากrohrต่ำกว่าบริเวณร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (ประมาณ 3 – 4 ชั่วโมง)

จากที่กล่าวมาทั้งหมดพอจะกล่าวได้ว่าการไหลเวียนของกระแสน้ำ ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเกิดจากอิทธิพลหลักๆ 2 ประการด้วยกันคือ

(1) น้ำขึ้นน้ำลง อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงสามารถเข้าสู่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ทางปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลาสงขลา ทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำบริเวณทะเลสาบสงขลา ความเร็วของน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงจะแรงเฉพาะปากทะเลสาบสงขลา กระแสน้ำในบริเวณหลังเกาะยอไปแล้วจะอ่อนตัว อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงส่งอิทธิพลเข้าไปถึงทะเลสาบและทะเลน้อยผ่านทางช่องแคบปากrohr แต่ความเร็วของกระแสน้ำน้ำในทะเลสาบและทะเลหลวงจะต่ำกว่าที่ร่องน้ำสงขลา มาก เพราะช่องแคบที่ปากrohrที่เป็นร่องน้ำเชื่อมแห่งเดียวที่เชื่อมทะเลสาบสงขลา กับทะเลสาบมีความแคบ ทำให้ความเร็วของกระแสน้ำในบริเวณปากrohrมากกว่าบริเวณอื่นๆ แต่ก็ส่งผลให้กระแสน้ำเนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงในทะเลสาบและทะเลหลวงมีค่าน้อยมากในฤดูแล้ง และแทบจะไม่มีเลยในฤดูฝน

(2) กระแสน้ำเนื่องจากน้ำท่า ในช่วงฤดูฝน (ตุลาคม-ธันวาคม) จะมีน้ำท่าไหลออกจากคลองต่างๆ ในปริมาณมาก ทำให้น้ำไหลแรงเฉพาะบริเวณปากคลอง ไหลออกไปในทะเลสาบ กระแสน้ำจะอ่อนตัวลง และกระแสน้ำจะไหลแรงขึ้นอีกครั้งบริเวณช่องแคบปากrohrที่เชื่อมต่อทะเลสาบกับทะเลสาบสงขลา เนื่องจากน้ำในทะเลหลวงและทะเลสาบจะไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลา

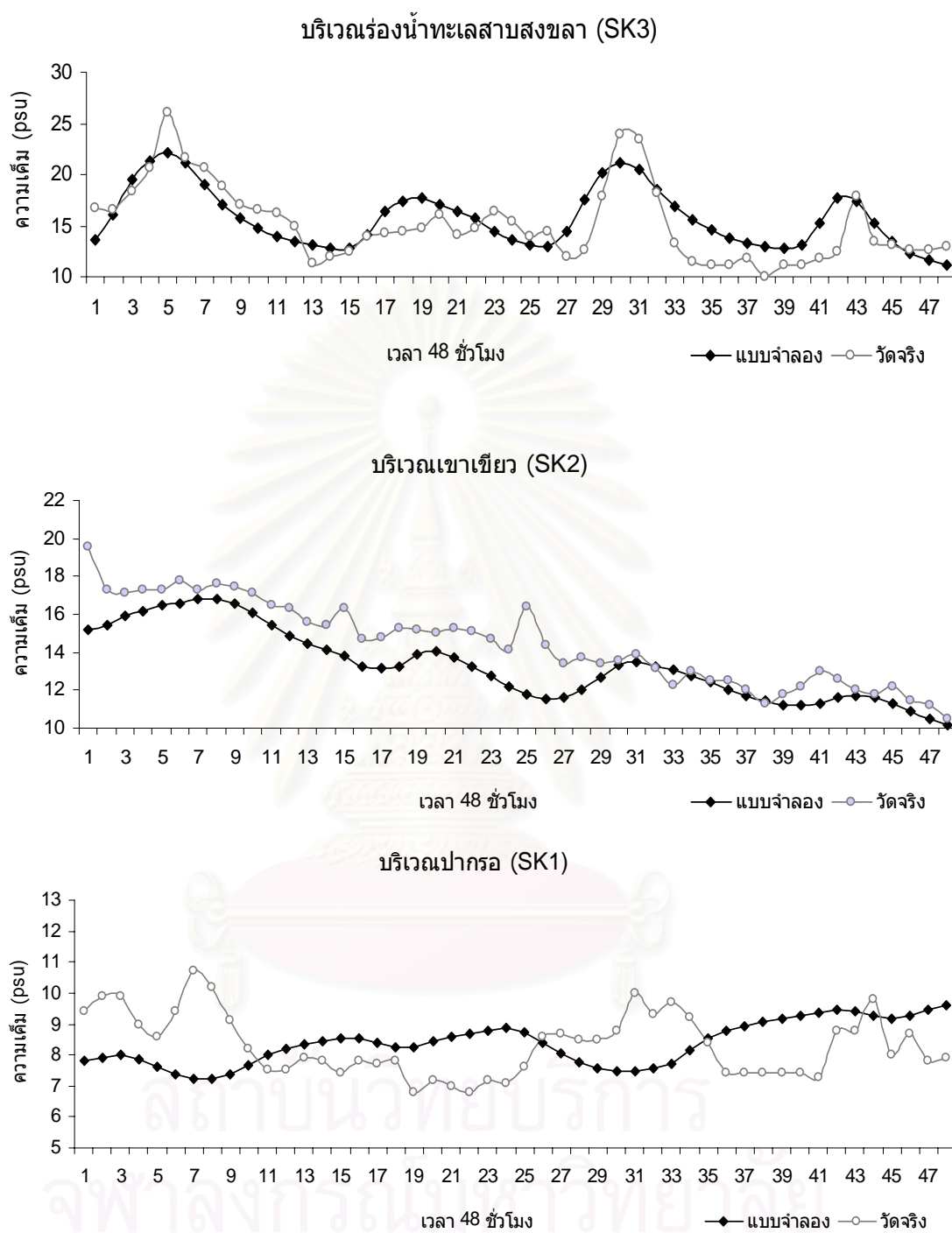
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 แบบจำลอง RMA4

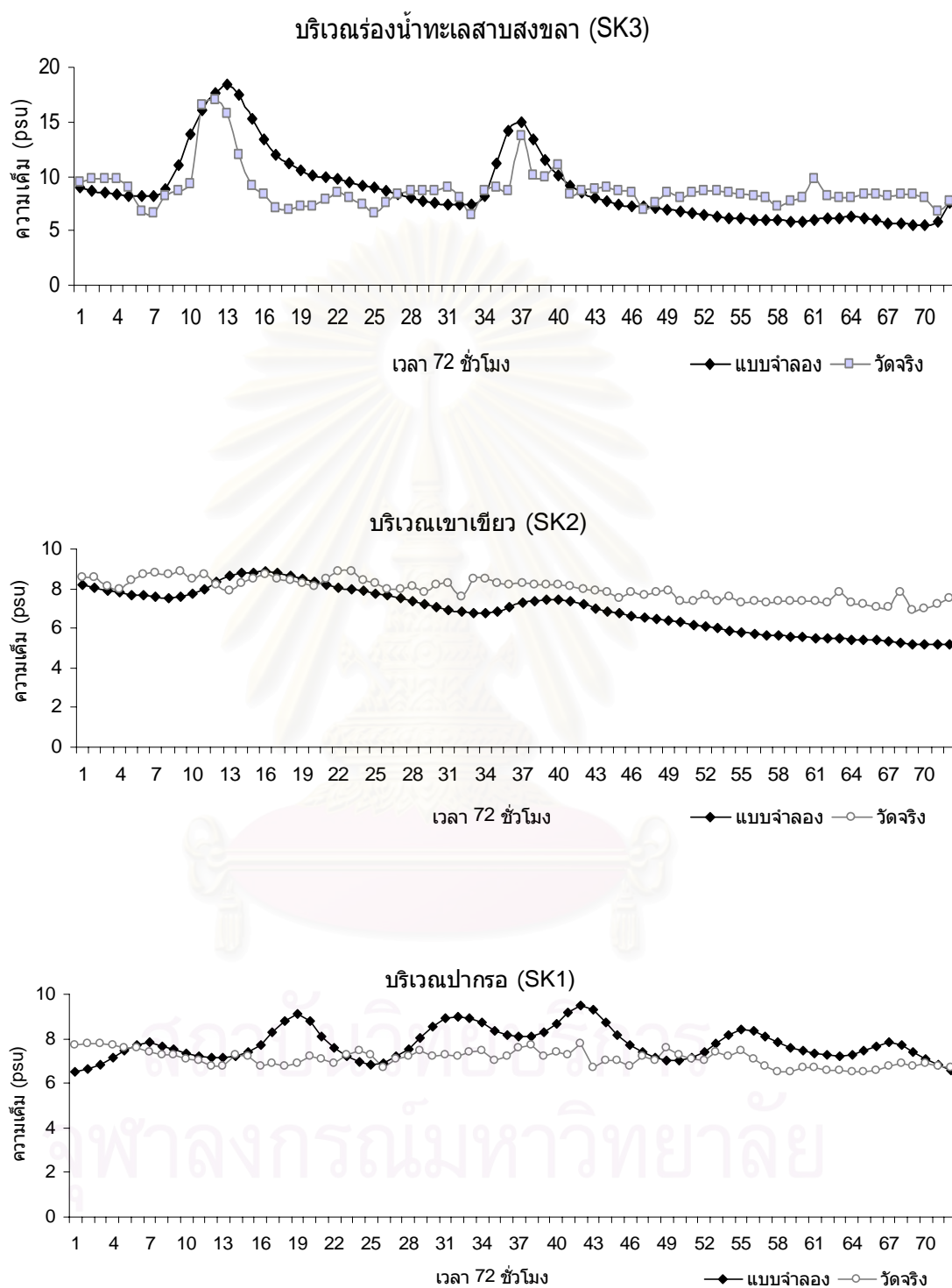
4.2.1 ผลการปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลอง RMA4

เมื่อทำการปรับเทียบ และคำนวณความเร็วกระแสน้ำในทะเลสาบสงขลา จากแบบจำลอง RMA2 เรียบร้อยแล้ว แบบจำลอง RMA4 จะนำผลความเร็วกระแสน้ำ จากแบบจำลอง RMA2 มาคำนวณการแพร่กระจายความเค็ม ในแบบจำลอง RMA4 เพื่อให้ผลของการคำนวณการแพร่กระจายความเค็มของแบบจำลองมีความถูกต้องได้นั้น จะต้องมีการปรับเทียบ (calibrate) ความถูกต้องของแบบจำลองกับค่าที่วัดจริงได้จากสถานี โดยต้องมีการปรับเทียบ (calibrate) ค่าพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ ซึ่งใน RMA4 มีค่า diffusion coefficient ที่ช่วยในการปรับเทียบการแพร่กระจายของความเค็ม

สำหรับในบริเวณทะเลสาบสงขลา กำหนดค่า diffusion coefficient (D_x, D_y) เท่ากับ $-10 \text{ m}^2/\text{s}$ (ความเค็มจะแพร่กระจายได้เร็วกว่าปกติ 10 เท่า) โดยกำหนดให้ค่าเริ่มต้นความเค็มของทะเลสาบสงขลาและค่าความเค็มในบริเวณปากแม่น้ำในแต่ละสายของแบบจำลอง เท่ากับ 0 psu แต่ค่าความเค็มในบริเวณท่าเรือทะเลสาบสงขลาที่ติดต่อกับอ่าวไทย มีค่า เท่ากับ 30 psu โดยพิจารณาการปรับเทียบการแพร่กระจายความเค็มจากแบบจำลองกับค่าที่วัดจริงสถานี 3 สถานี โดยแบ่งเป็น 2 ช่วง คือในช่วงน้ำเกิด (spring tide) ระหว่างวันที่ 7 – 8 พฤศจิกายน 2545 และช่วงน้ำตาย (neap tide) ระหว่างวันที่ 13 – 15 พฤศจิกายน 2545 ดังรูป 4.9 และ รูป 4.10



รูปที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบความเค็มระหว่างแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดในสถานีร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (SK3), สถานีเขาเขี้ยว (SK2), สถานีปากกรอ1 (SK) ระหว่างวันที่ 7 – 8 พฤศจิกายน 2545



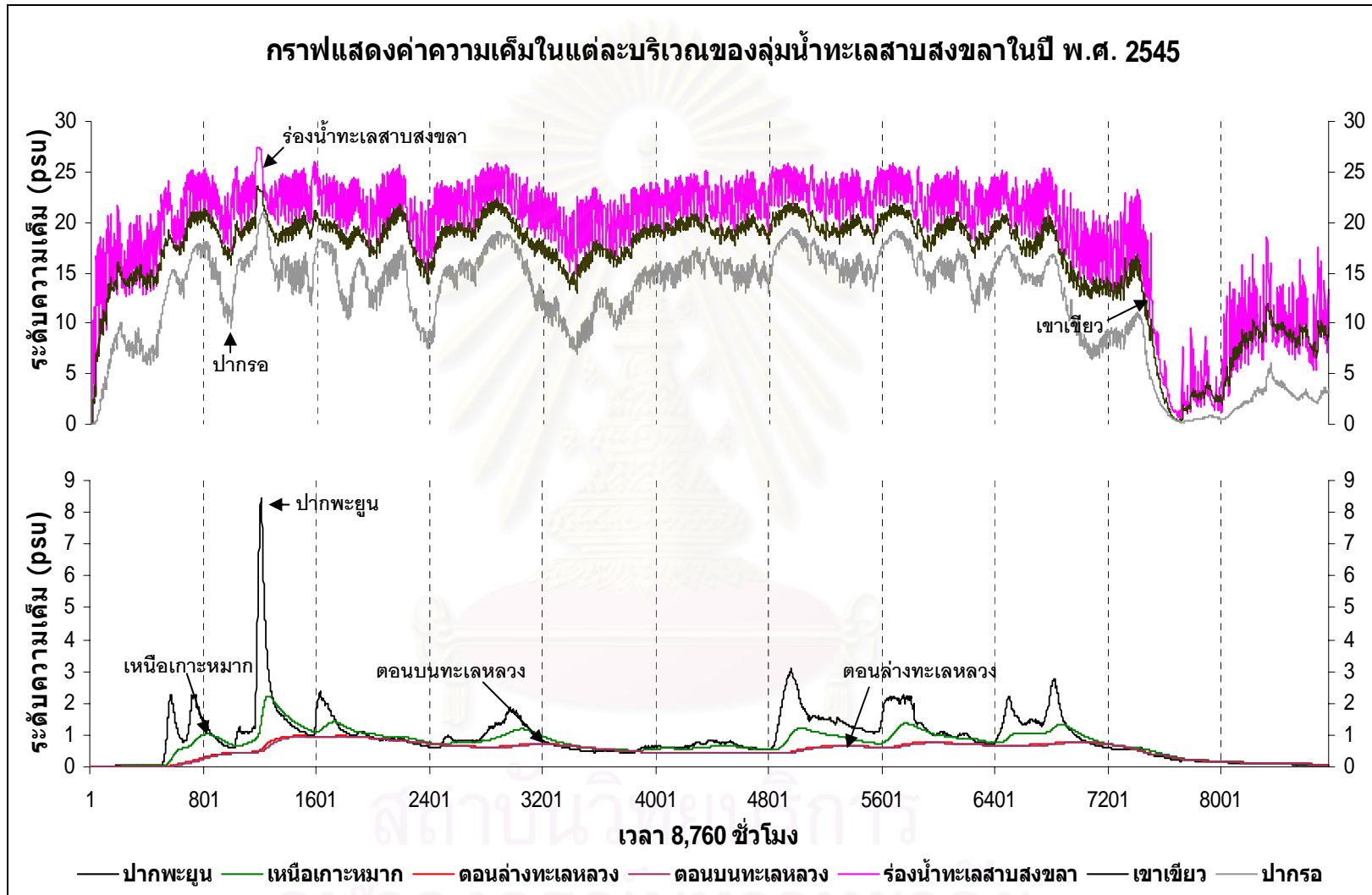
รูปที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบความเค็มระหว่างแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดในสถานี ร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (SK3), สถานีเขาเขี้ยว (SK2), สถานีปากกรอ1 (SK) ระหว่างวันที่ 13 – 15 พฤศจิกายน 2545

จากผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง จะพบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 3 สถานี มีค่าใกล้เคียงเมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้จริงจากสถานีวัด ค่าที่วัดจริงมีความแตกต่างจากค่าที่คำนวณจากแบบจำลองก็อาจเนื่องมาจากความเค็มที่แบบจำลองคำนวณได้เป็นความเค็มที่เฉลี่ยตลอดความลึกน้ำ ณ ตำแหน่งนั้น ส่วนสถานีวัดนั้นเป็นค่าความเค็มที่วัดจริงในระดับความลึก ณ ความลึกตำแหน่งเดียว ไม่ใช่ความลึกเฉลี่ย นอกจากนี้ความแตกต่างเกิดจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและน้ำท่าด้วย ที่ปากพรในวันที่ 7 – 8 พฤศจิกายน 2545 การเปลี่ยนแปลงความเค็มจากการตรวจวัดมีมากกว่าผลจากแบบจำลอง แต่ในวันที่ 13 – 15 พฤศจิกายน 2545 ได้ผลตรงกันข้ามหากต้องการให้ผลการทดลองเหมือนจริงต้องใส่อัตราการไหลของน้ำทำให้เหมือนจริงด้วย

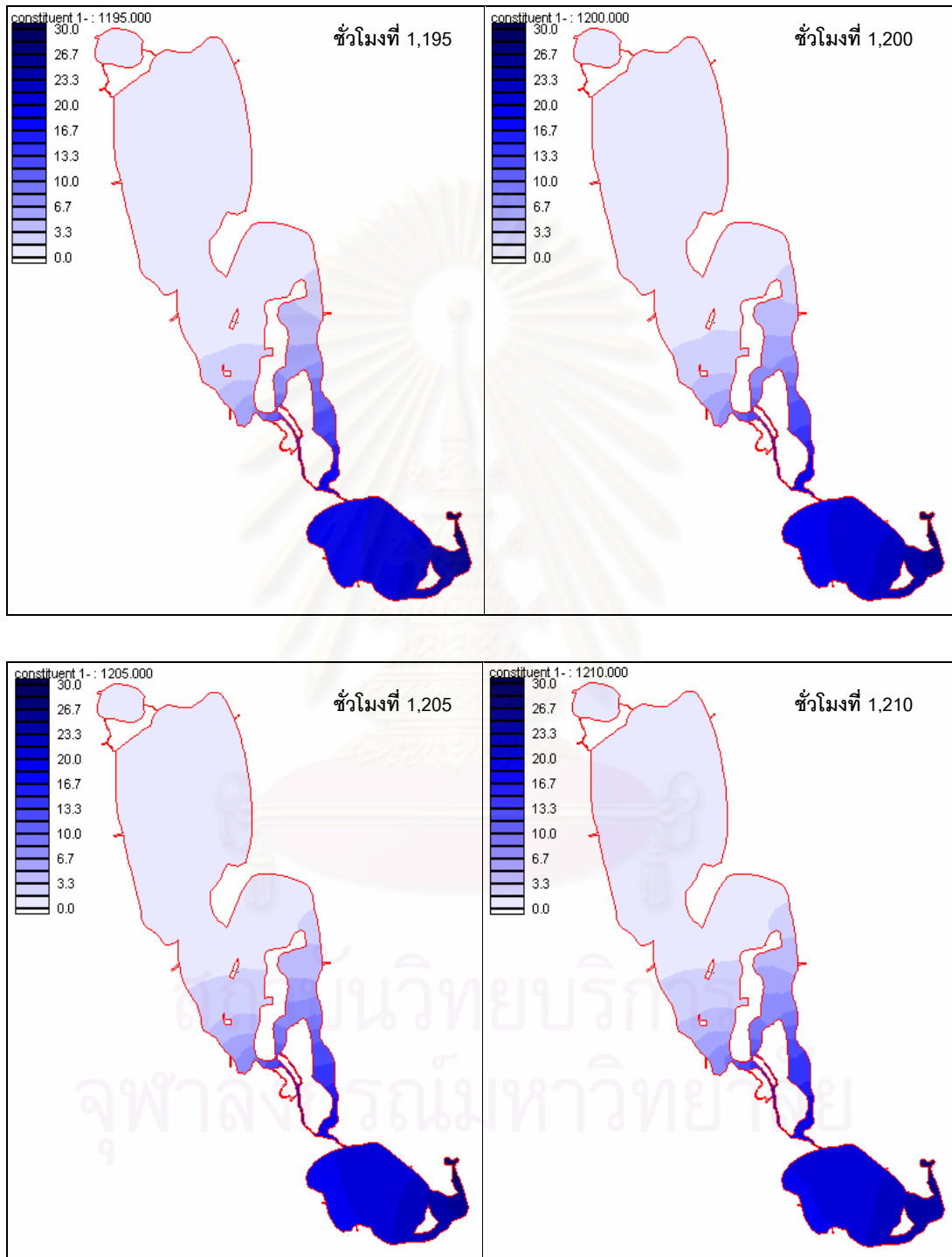
4.2.2 ผลการแพร่กระจายความเค็มในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาจากแบบจำลอง RMA4

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้จำลองการแพร่กระจายความเค็มในตลอดทั้ง 1 ปี ของปีพ.ศ. 2545 เพื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าความเค็มแต่ละบริเวณในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในรอบ 1 ปี ดังแสดงในรูปที่ 4.1

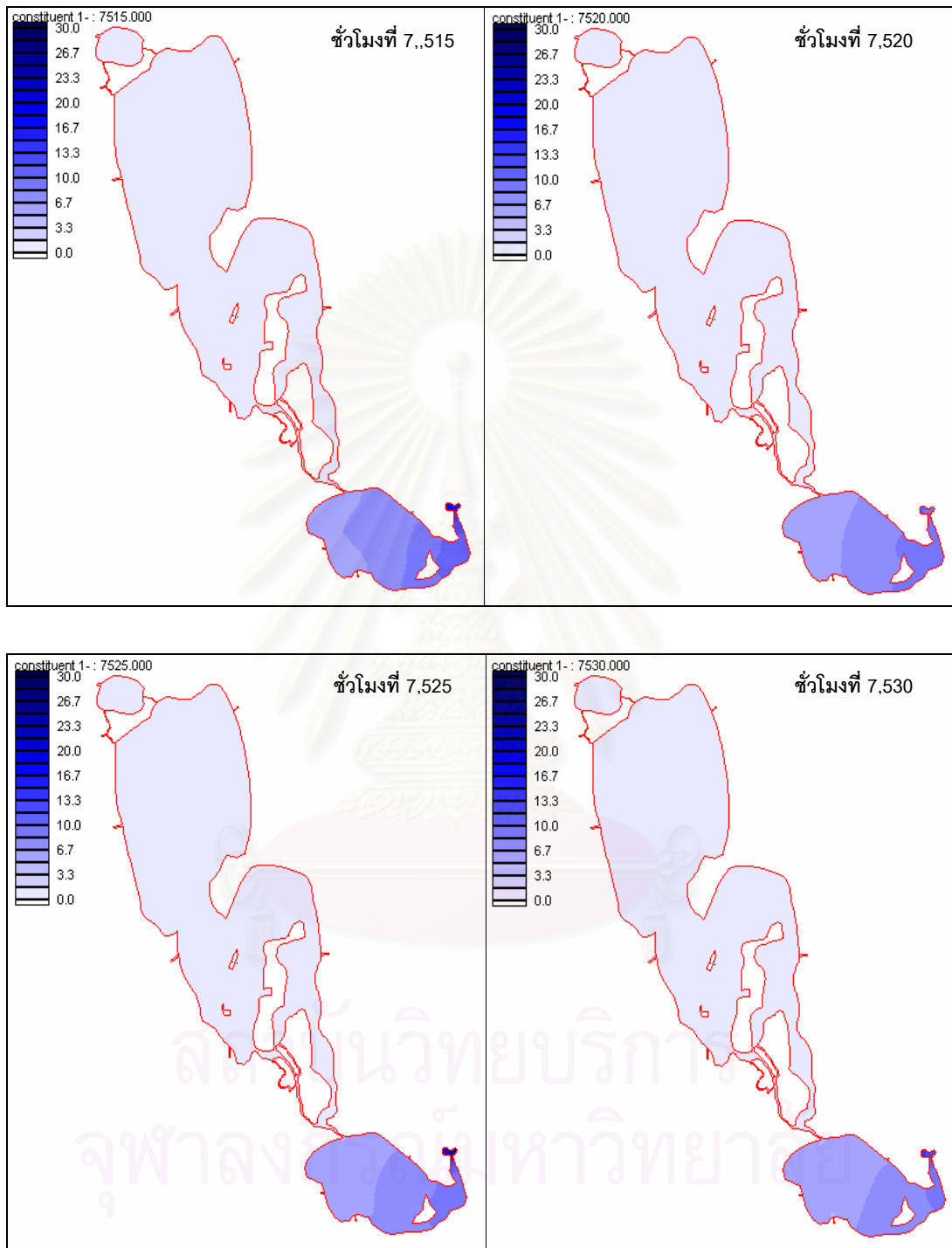
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณโดยแบบจำลอง RMA4 ของแต่ละเดือน ในช่วงปี 2545 ในตำแหน่ง ท่าเรือทะเลสาบสงขลา (SK3),เขาเขี้ยว (SK2),ปากรอ (SK1), ปากพะยูน, บริเวณหนือเกาะหมาก, ตอนล่างทะเลหลวง, ตอนบนทะเลหลวง



รูปที่ 4.12 ผลการแพร่กระจายความเค็มในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2545 ทุก 5 ชั่วโมง ระหว่างชั่วโมงที่ 1,195 – 1,210

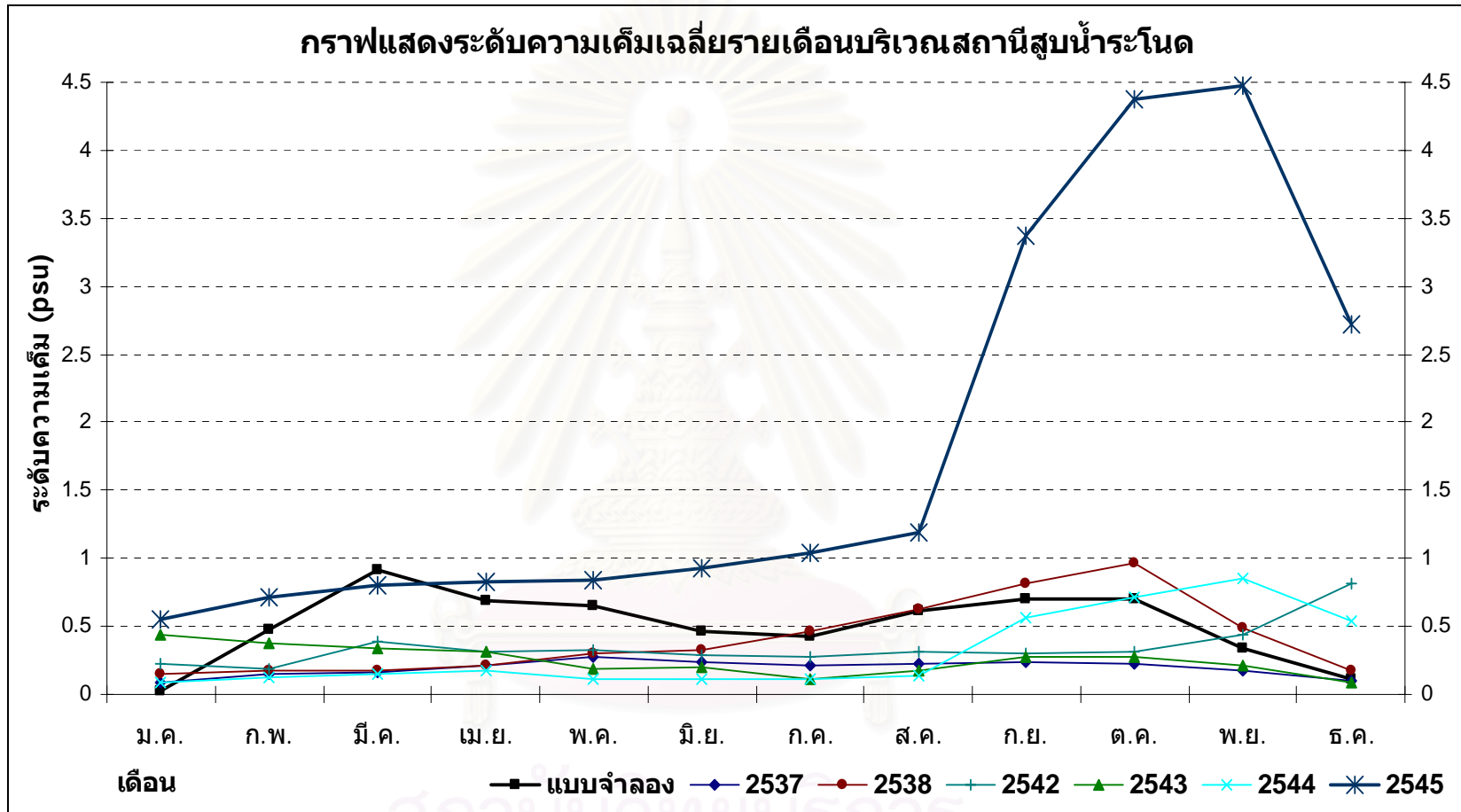


รูปที่ 4.13 ผลการแพร่กระจายความเค็มในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในช่วงเดือน พฤศจิกายน 2545 ทุก 5 ชั่วโมง ระหว่างชั่วโมงที่ 7,515 – 7,530

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าความเค็มที่คำนวณจากแบบจำลอง RMA4 ในแต่ละสถานี ในช่วงฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ 2545 – มีนาคม 2545) และฤดูฝน (พฤศจิกายน 2545 – ธันวาคม 2545)

ตำแหน่ง	ฤดูแล้ง (psu)			ฤดูฝน (psu)		
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด
ร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (SK3)	27.41	22.33	17.22	23.15	13.52	0.61
เขาเขียว (SK2)	23.55	19.30	15.81	17.02	10.94	0.32
ปากพร (SK1)	20.91	15.27	9.49	11.12	7.50	0.24
ปากพะยูน	8.45	1.45	0.59	0.59	0.76	0.14
เหนือเกาะหมาก	2.22	1.17	0.65	0.65	0.69	0.17
ตอนล่างของทะเลหลวง	0.97	0.74	0.21	0.66	0.54	0.16
ตอนบนของทะเลหลวง	0.94	0.71	0.16	0.66	0.53	0.15

ผลจากการคำนวณของแบบจำลอง RMA4 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.11 ซึ่งแสดงค่าระดับความเค็มในแต่ละบริเวณของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ส่วนในรูปที่ 4.12 และ 4.13 เป็นรูปแสดงการแพร่กระจายความเค็ม โดยเป็นภาพที่แสดงให้เห็นถึงการรुक้าของความเค็มเข้าไปในบริเวณกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ในกราฟรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าในบริเวณตอนล่างและตอนบนของทะเลหลวงตลอดทั้งปีมีค่าความเค็มน้อยกว่า 1psu ซึ่งมีค่าน้อยมาก โดยอาจจะเนื่องมาจาก ในบริเวณทะเลหลวงนั้น เป็นบริเวณที่รองรับน้ำจากกลุ่มน้ำต่างๆ เป็นส่วนใหญ่ ประกอบกับบริเวณทะเลหลวงนั้นอยู่ห่างจากปากอ่าวไทยมากทำให้ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงน้อย ส่วนในบริเวณปากพะยูน จากกราฟรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.2 นั้นพบว่าในช่วงฤดูแล้ง จะมีค่าความเค็มสูงถึง 8.45 psu สำหรับในบริเวณปากพะยูนจะมีค่าความเค็มใกล้เคียงบริเวณเหนือเกาะหมาก เนื่องจากกระแสน้ำ ส่วนบริเวณปากพรนั้นเป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง บริเวณปากพรเป็นร่องน้ำที่แคบ ในเดือนพฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านบริเวณปากพรมีมากทำให้น้ำไหลลงทางเดียว (flood tide) ดังนั้นในกราฟรูปที่ 4.9 ในเดือน พฤศจิกายน และเดือนธันวาคม จะเห็นว่าค่าระดับความเค็ม มีค่าน้อยกว่า 7.52 psu ซึ่งน้อยกว่าทุกเดือน แต่ในตารางที่ 4.2 ในฤดูแล้งพบว่าบริเวณปากพรมีค่าความเค็มสูงถึง 20.91 psu ส่วนในบริเวณร่องน้ำทะเลสาบสงขลาและบริเวณเขาเขียว ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้ปากอ่าวไทย จากรูปกราฟที่ 4.10 พบว่ามีค่าระดับความเค็มสูงกว่าบริเวณอื่น ซึ่งทุกๆ เดือนรูปกราฟจะเป็นรูปไซน์ (sine) แสดงว่าค่าความเค็มในร่องน้ำทะเลสาบสงขลาและบริเวณเขาเขียวแปรผันตามตามอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง



รูปที่ 4.14 กราฟค่าระดับความเค็มเฉลี่ยรายเดือนระหว่างผลที่ได้จากแบบจำลอง RMA4 เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงแต่ละปีบริเวณสถานีสูบน้ำระโนด (ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาหลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 4,2547)

ตารางที่ 4.3 ค่าระดับความเค็มที่คำนวณจากแบบจำลอง RMA4 เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริง ณ สถานีสูบน้ำระโนด (ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาหลุมน้ำทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 4, 2548)

เดือน	ค่าระดับความเค็ม (psu)			
	ต่ำสุด		สูงสุด	
	วัดจริง	แบบจำลอง	วัดจริง	แบบจำลอง
มกราคม	0.14	0.1	1.02	0.16
กุมภาพันธ์	0.49	0.16	1.02	0.91
มีนาคม	0.71	0.83	0.94	0.94
เมษายน	0.75	0.61	0.93	0.83
พฤษภาคม	0.77	0.56	1.01	0.71
มิถุนายน	0.87	0.42	1.04	0.56
กรกฎาคม	0.91	0.41	1.28	0.55
สิงหาคม	1.05	0.55	1.40	0.70
กันยายน	1.28	0.63	5.05	0.74
ตุลาคม	3.90	0.64	5.18	0.76
พฤศจิกายน	3.20	0.16	5.76	0.65
ธันวาคม	1.76	0.07	4.16	0.16

จากกราฟในรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.3 ค่าระดับความเค็มที่คำนวณจากแบบจำลอง RMA4 ปี พ.ศ. 2545 เทียบกับค่าที่วัดจริงปีเดียวกันกับระดับความเค็มในบริเวณสถานีสูบน้ำระโนด ปี พ.ศ. 2545 ผลปรากฏว่าความเค็มที่คำนวณจากแบบจำลองในช่วงปลายปี คือตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงเดือนธันวาคมมีค่าแตกต่างจากค่าที่วัดจริงมาก โดยค่าที่วัดจริงประมาณ 4 psu ขณะที่ค่าความเค็มที่คำนวณจากแบบจำลองมีมีค่าน้อยกว่า 1 psu ทั้งที่การปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลองในครั้งแรกมีค่าใกล้เคียงกับสถานีวัด แต่เมื่อเทียบค่าระดับความเค็มกับปีอื่น ๆ ผลปรากฏว่าค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าเฉลี่ยที่วัดจริงตลอดทั้งปีมีค่าใกล้เคียงกัน นั่นแสดงว่าในช่วงปลายปี พ.ศ. 2545 จะต้องมีการสูญเสียน้ำจืดในทะเลหลวงจึงทำให้เกลือไหลแพร่กระจายเข้ามาได้ จากกรณีวิเคราะห์ผลที่ได้ พอจะสรุปสาเหตุการสูญเสียน้ำจืดได้ 2 สาเหตุ คือ สาเหตุแรก น้ำในทะเลหลวงและทะเลสาบมีการระเหยออกไปทำให้น้ำกร่อยในทะเลสาบสงขลาไหลเข้ามาแทนที่ได้มากขึ้น น้ำในทะเลหลวงก็จะเค็มขึ้นกว่ากรณีไม่มีการระเหย สาเหตุที่

2 คือ การดูน้ำจืดในบริเวณทะเลหลวงไปใช้ในการเกษตร เช่น การทำข้าวนาปี และข้าวนาปรัง ซึ่งจากรายงานของโครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (2547) พบว่าในปี พ.ศ. 2545 ปริมาณการสูบน้ำจากสถานีสูบน้ำระโนดมีสูงถึง 93 ล้านลบ.ม. ซึ่งคิดเป็นประมาณ 10% ของปริมาณน้ำในทะเลหลวง เป็นการสูญเสียน้ำจืดในปริมาณที่มากทำให้น้ำกร่อยไหลเข้ามาแทนที่ได้ เพราะฉะนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปจึงจำเป็นต้องจำลองการสูบน้ำรวมเข้าไปในแบบจำลองด้วย

จากกราฟรูป 4.12 ในแบบจำลองจะเห็นว่าช่วงเดือนมกราคมระดับความเค็มเฉลี่ยมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าระดับความเค็มในช่วงเดียวกันกับปีอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากในแบบจำลองกำหนดให้ค่าเริ่มต้นของความเค็มในลุ่มน้ำเท่ากับ 0 psu และระดับความเค็มของน้ำทะเลที่ปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลาเท่ากับ 30 psu เพราะฉะนั้นในแบบจำลองจะต้องใช้เวลาหลายวันกว่าการแพร่กระจายของเกลือจากปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลาจะแพร่กระจายถึงบริเวณสถานีสูบน้ำระโนด ซึ่งอยู่ในบริเวณตอนบนของทะเลหลวงและห่างจากบริเวณปากทางเข้าร่องน้ำทะเลสาบสงขลาประมาณ 75 กิโลเมตรเพราะฉะนั้นค่าระดับความเค็มที่คำนวณในช่วงต้นเดือนจะมีค่าเท่ากับ 0 จึงทำให้ค่าความเค็มในเดือนมกราคมที่คำนวณจากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ประกอบกับในความเป็นจริงตามธรรมชาติระดับความเค็มในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในเดือนมกราคมไม่น่าจะมีค่าเป็น 0 psu แต่ในแบบจำลองคำนวณค่าเริ่มต้นที่ 0 psu จึงทำให้ในช่วงเดือนมกราคมระดับความเค็มเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

ผลจากแบบจำลองและที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่า ค่าความเค็มของน้ำในแต่ละส่วนของทะเลสาบสงขลาจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้

(1) ปริมาณน้ำท่า (Surface runoff) ที่ระบายลงสู่พื้นน้ำ ซึ่งขึ้นกับปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล กล่าวคือปีใดที่ฝนตกน้อยปริมาณที่น้ำไหลลงลุ่มน้ำมีปริมาณน้อย ทำให้น้ำทะเลที่หนุนจากอ่าวไทยไหลผ่านช่องแคบปากกรอดได้มากขึ้น ระดับความเค็มในลุ่มน้ำก็มากขึ้น แต่ถ้าในปีใดที่มีปริมาณฝนตกชุก ปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ลุ่มน้ำมีปริมาณมาก ปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่อ่าวไทยมีปริมาณมากและกระแสน้ำไหลขึ้น น้ำทะเลที่หนุนจากอ่าวไทยไหลผ่านร่องน้ำทะเลสาบสงขลาและช่องแคบปากกรอดได้น้อยลง ระดับความเค็มในลุ่มน้ำน้อยลง

(2) อิทธิพลการขึ้นลงของน้ำทะเลจากอ่าวไทย การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากทางเข้าร่องน้ำทะเลสาบสงขลาทำให้เกิดการไหลเวียนของกระแสน้ำ และการแพร่กระจายของเกลือในน้ำ โดยในขณะที่ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น น้ำทะเลจากอ่าวไทยจะไหลเข้าไปในลุ่มน้ำทำให้บริเวณทะเลสาบสงขลาที่มีระดับความเค็มสูงขึ้น และในขณะที่ระดับน้ำทะเลจาก

อ่าวไทยลดลง น้ำจากลุ่มน้ำส่วนต่างๆ จะไหลลงสู่อ่าวไทยผ่านทางทะเลสาบสงขลา ทำให้ระดับความเค็มในลุ่มน้ำลดลง

(3) สภาพทางภูมิศาสตร์ของทะเลสาบสงขลา ที่มีการเชื่อมต่อกันด้วยทางน้ำแคบๆ บริเวณปากอ่าวที่กว้างประมาณ 200 เมตร มีส่วนอย่างมากในการลดการแพร่กระจายของเกลือจากทะเลสาบสงขลาไปยังทะเลสาบและทะเลหลวง ทั้งนี้เนื่องจากสภาพปกติที่มีการสูบน้ำ น้ำจากทะเลหลวงและทะเลสาบ จะไหลผ่านช่องแคบปากอ่าว ลงสู่ทะเลสาบสงขลาด้วยความเร็วที่ค่อนข้างสูง ทำให้การแพร่กระจายของเกลือไหลย้อนเข้าไปในทะเลสาบและทะเลหลวงได้น้อยลง

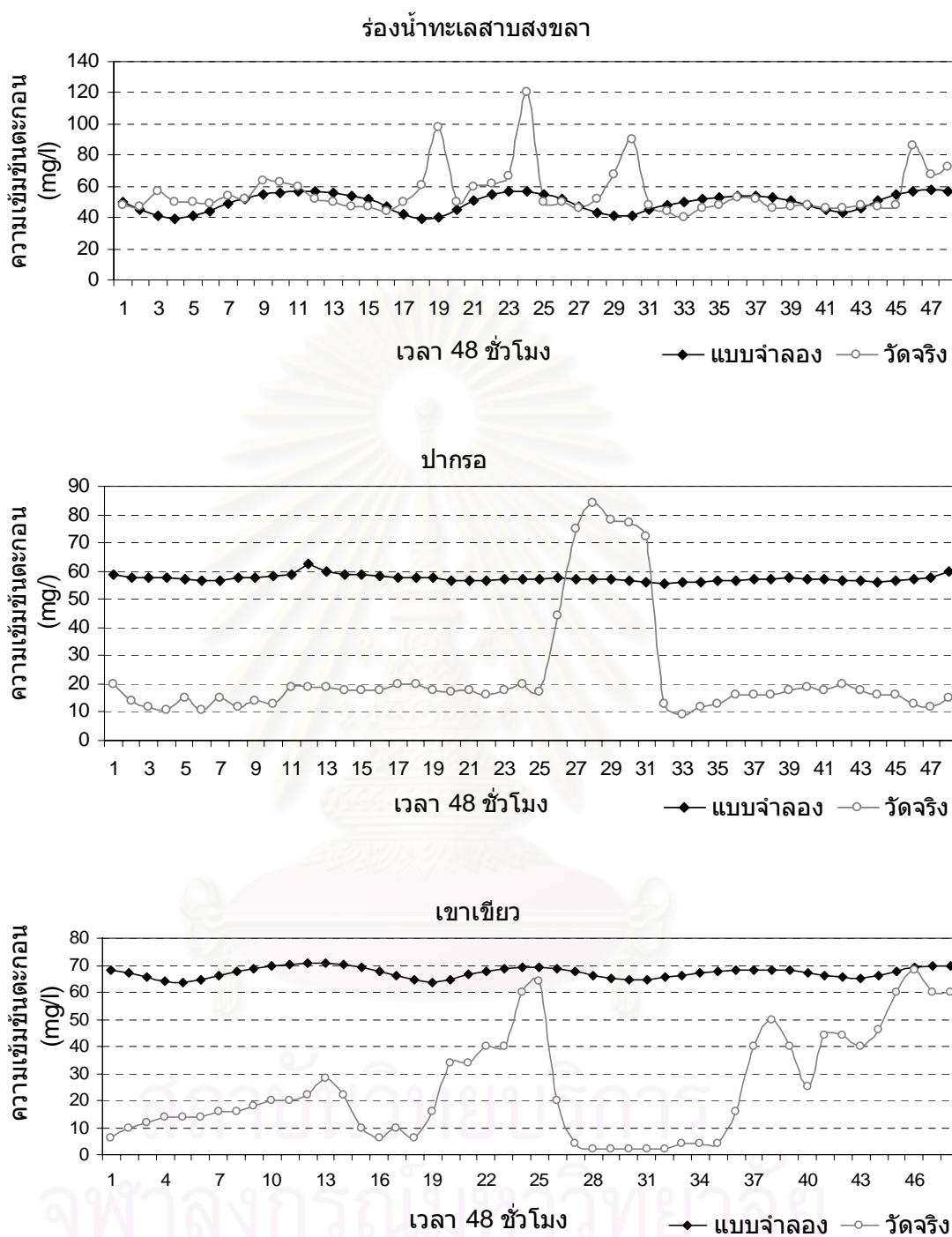


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

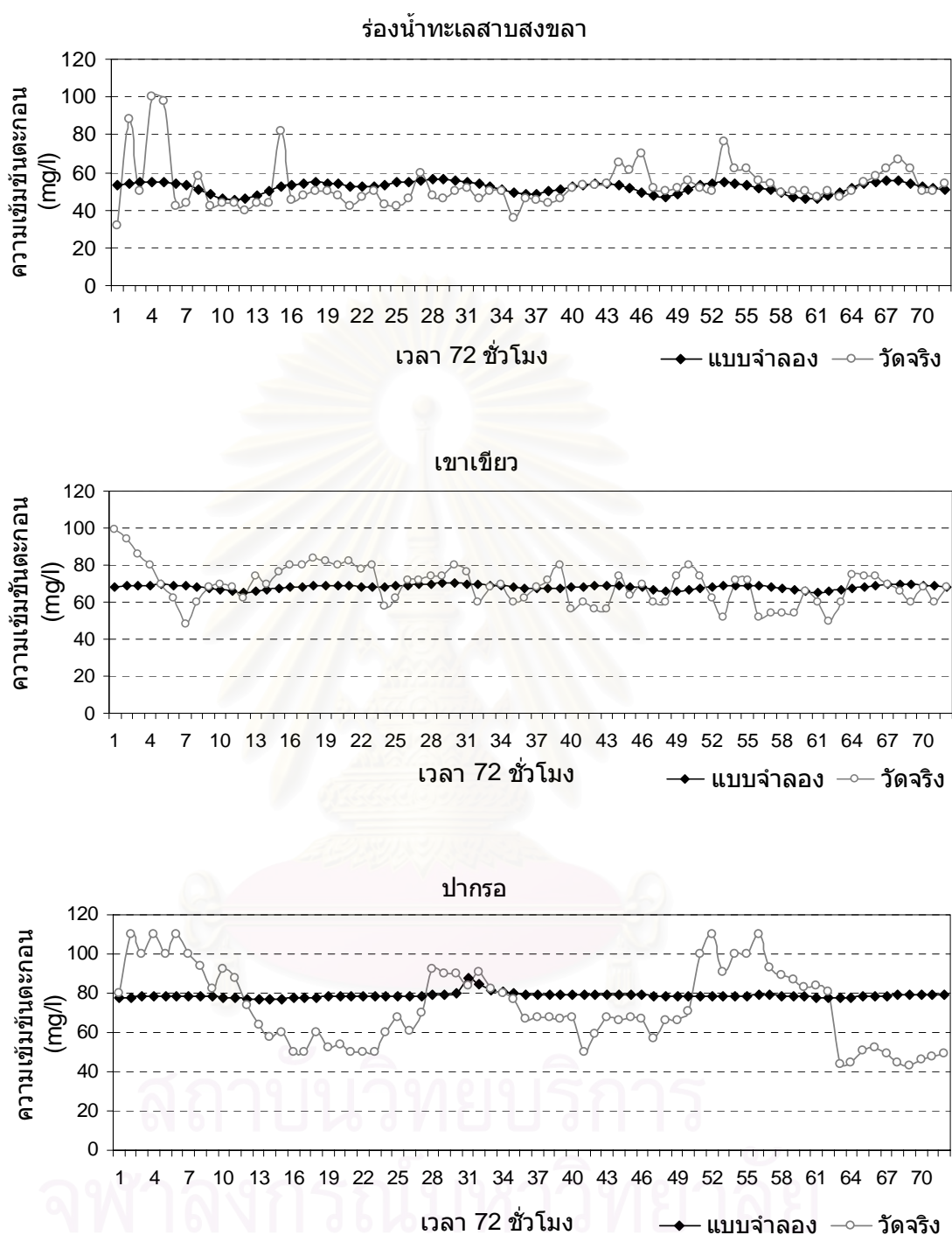
4.3 แบบจำลอง SED2D

4.3.1 ผลการปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลอง SED2D

เมื่อทำการปรับเทียบ และคำนวณความเร็วกระแสน้ำในทะเลสาบสงขลา จากแบบจำลอง RMA2 เรียบร้อยแล้ว แบบจำลอง SED2D จะนำผลความเร็วกระแสน้ำ จากแบบจำลอง RMA2 มาคำนวณการเคลื่อนที่ของตะกอนในแบบจำลอง SED2D เช่นเดียวกับแบบจำลอง RMA4 เพื่อให้ผลของการคำนวณการเคลื่อนที่ของตะกอนแขวนลอยของแบบจำลองมีความถูกต้องได้นั้น จะต้องมีการปรับเทียบ (calibrate) ความถูกต้องของแบบจำลองกับค่าที่วัดได้จากสถานีวัด โดยต้องมีการปรับเทียบ (calibrate) ค่าพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ สำหรับในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับเทียบ (calibrate) ดังแสดงไว้ในบทที่ 3 โดยพิจารณาการปรับเทียบการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยจากแบบจำลองกับค่าที่วัดจริง 3 สถานีโดยแบ่งเป็น 2 ช่วง คือในช่วงน้ำเกิด (spring tide) ระหว่างวันที่ 7 – 8 พฤศจิกายน 2545 และช่วงน้ำตาย (neap tide) ระหว่างวันที่ 13 – 15 พฤศจิกายน 2545 ดังรูป 4.15 และ รูป 4.16



รูปที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดในสถานีร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (SK3), สถานีเขาเขี้ยว (SK2) และสถานีปากอ (SK1) ในช่วงน้ำเกิด (spring tide) ระหว่างวันที่ 7 – 8 พฤศจิกายน 2545



รูปที่ 4.16 ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดในสถานีร่องน้ำทะเลสาบสงขลา (SK3), สถานีเขาเขี้ยว (SK2) และสถานีปากรอก (SK1) ในช่วงน้ำตาย (neap tide) ระหว่างวันที่ 13 – 15 พฤศจิกายน 2545

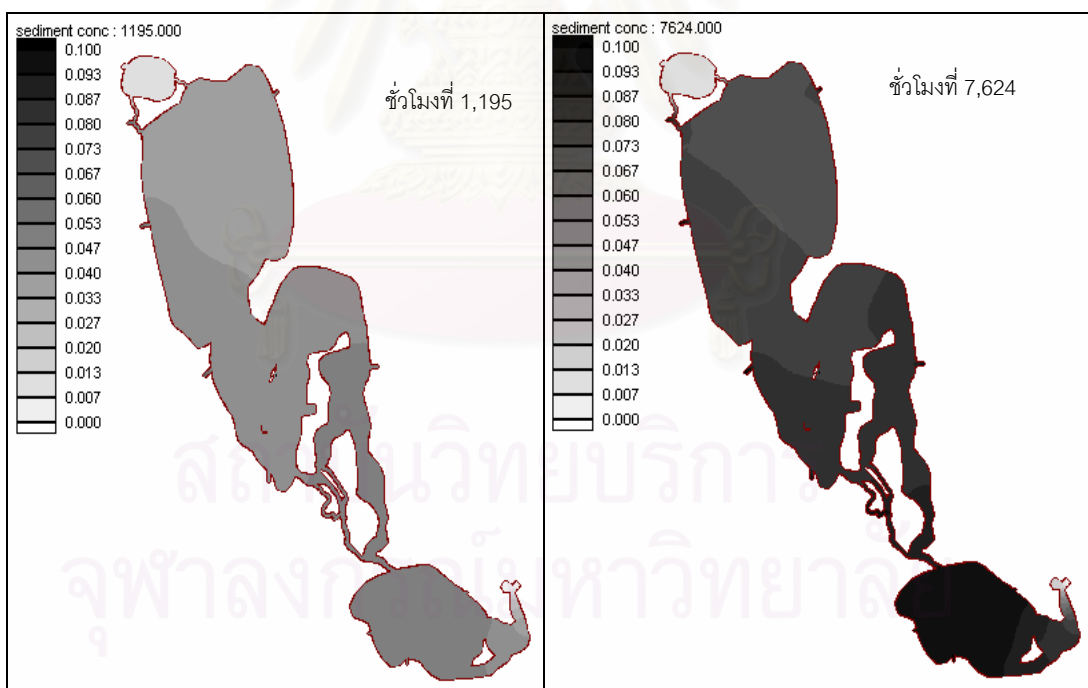
จากผลการเปรียบเทียบทั้งในช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย จะพบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกันในสถานี SK3 (ร่องน้ำทะเลสาบสงขลา) ส่วนสถานี SK2 (เขาเขียว) และ สถานี SK1 (ปากอ่าว) มีค่าต่างกันพอสมควร ทั้งนี้เนื่องจาก

- (1) ไม่มีข้อมูลความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจากปากแม่น้ำลงสู่ทะเลสาบที่ได้จากการวัดจริง โดยข้อมูลตะกอนแขวนลอยที่นำเข้าไปในแบบจำลองเป็นข้อมูลที่ได้จากสมการของ TEAM *et al.* (1989) และสมการของ Taylor and Sons (1985) และเป็นค่าเฉลี่ยคงที่ในแต่ละเดือน
- (2) จุดที่น้ำท่าและตะกอนที่ไหลลงสู่ทะเลสาบในแบบจำลองมีเพียง 12 จุด จากลุ่มน้ำย่อยทั้งหมด ซึ่งในความเป็นจริงมีแม่น้ำสายหลักมากกว่านี้
- (3) ตะกอนแขวนลอยยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆที่ไม่ได้รวมในแบบจำลองเช่น การสัญจรทางน้ำ ตะกอนจากบ่อเลี้ยงกุ้ง เป็นต้น
- (4) ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองตะกอนแขวนลอย อาทิ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของตะกอน ค่าแรงเสียดทานท้องน้ำวิกฤติสำหรับการทับถมหรือการกัดเซาะ การใช้ค่าเหล่านี้ที่แตกต่างกันทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างอย่างสิ้นเชิง เป็นต้น ซึ่งค่าเหล่านี้ ควรจะเป็นค่าตรวจวัดจากภาคสนาม แต่ในแบบจำลองเป็นค่าที่ได้จากการประมาณ

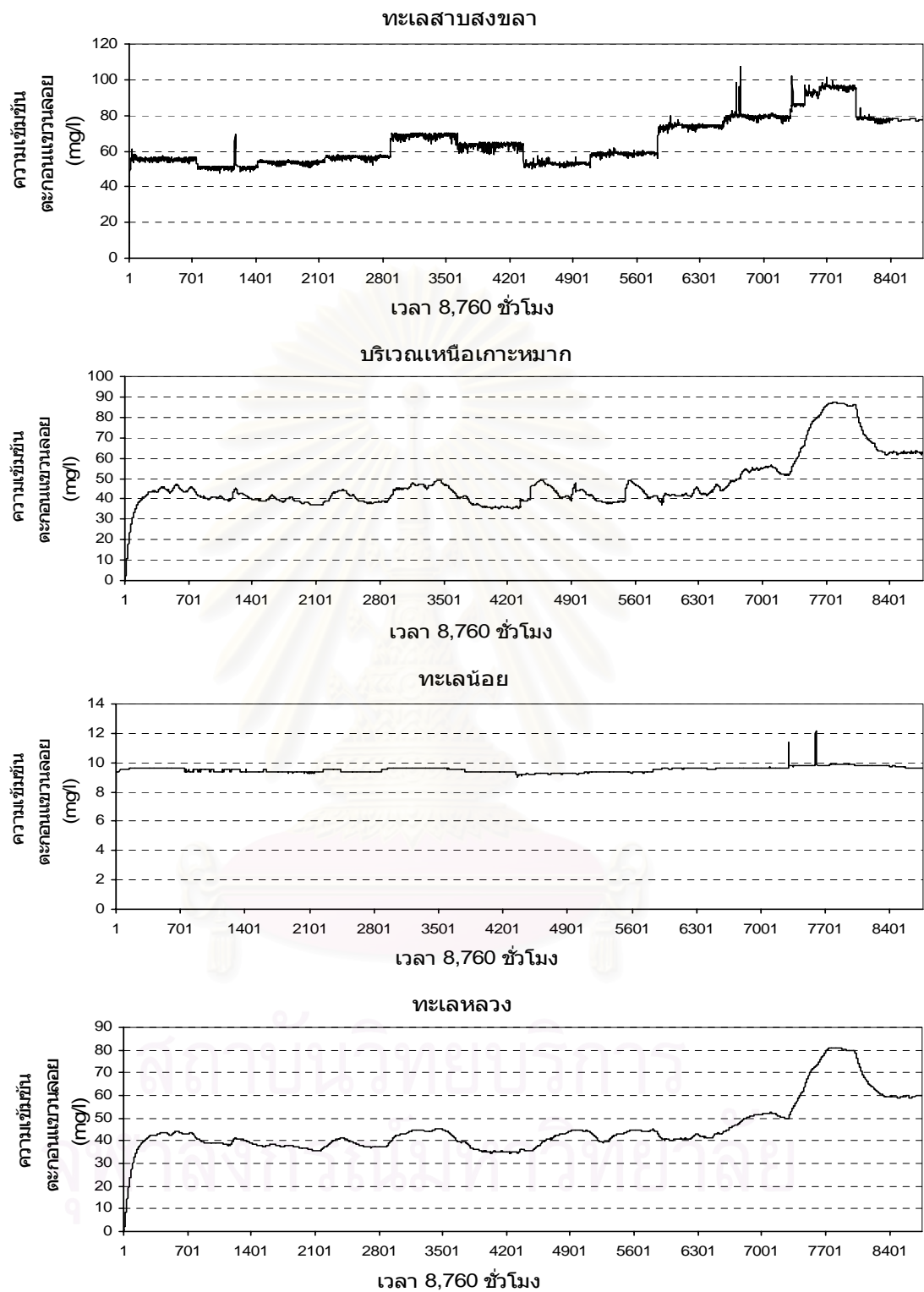
4.3.2 ผลจำลองการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยและการตกตะกอนในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาจากแบบจำลอง SED2D

4.3.2.1 ผลการจำลอง ของตะกอนประเภท Cohesive

จากผลการเปรียบเทียบแบบจำลองในข้างต้นที่กล่าวมา อาจทำให้ไม่สามารถจำลองการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยและการตกตะกอนได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากนัก แต่สามารถศึกษาพฤติกรรมของตะกอนแขวนลอยจากน้ำท่าโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข โดยรัน (RUN) แบบจำลองเป็นเวลา 1 ปี ใน ปี 2545 โดยใส่ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยรายเดือนตามคลองสายหลักต่างๆ 12 สายดังแสดงในตารางที่ 3.4 ส่วนความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตั้งต้นในทะเลสาบและปากทางเข้ร่องน้ำทะเลสาบสงขลาซึ่งเป็นบริเวณที่ติดกับอ่าวไทยให้มีค่าเท่ากับ 0 ppm และจำลองการเกิดขบวนการ flocculation ในบริเวณทะเลสาบสงขลา โดยมีผลการจำลองดังต่อไปนี้

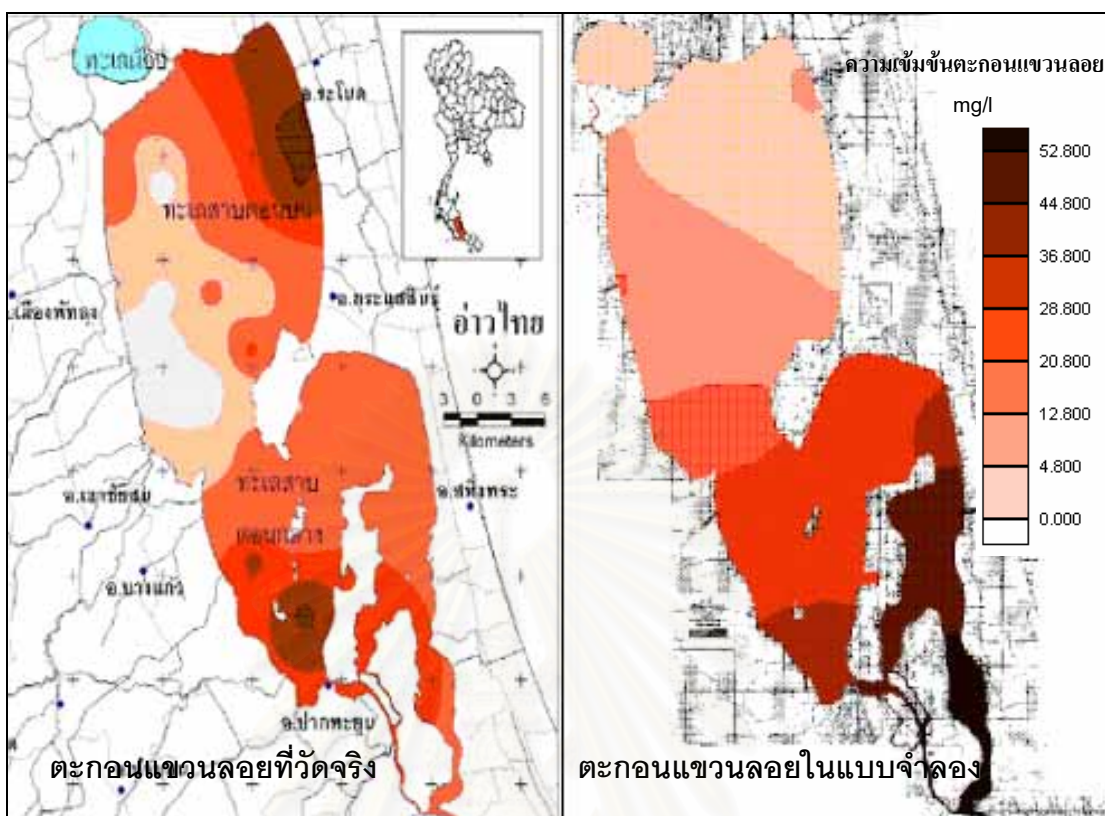


รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย (ppm) ในฤดูแล้ง ชั่วโมงที่ 1,195 (เดือนกุมภาพันธ์) และในฤดูฝน ชั่วโมงที่ 7,624 (เดือนพฤศจิกายน)



รูปที่ 4.18 กราฟปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยประเภท Cohesive ในทะเลสาบสงขลาแต่ละบริเวณในรอบ 1 ปี ในปี 2545

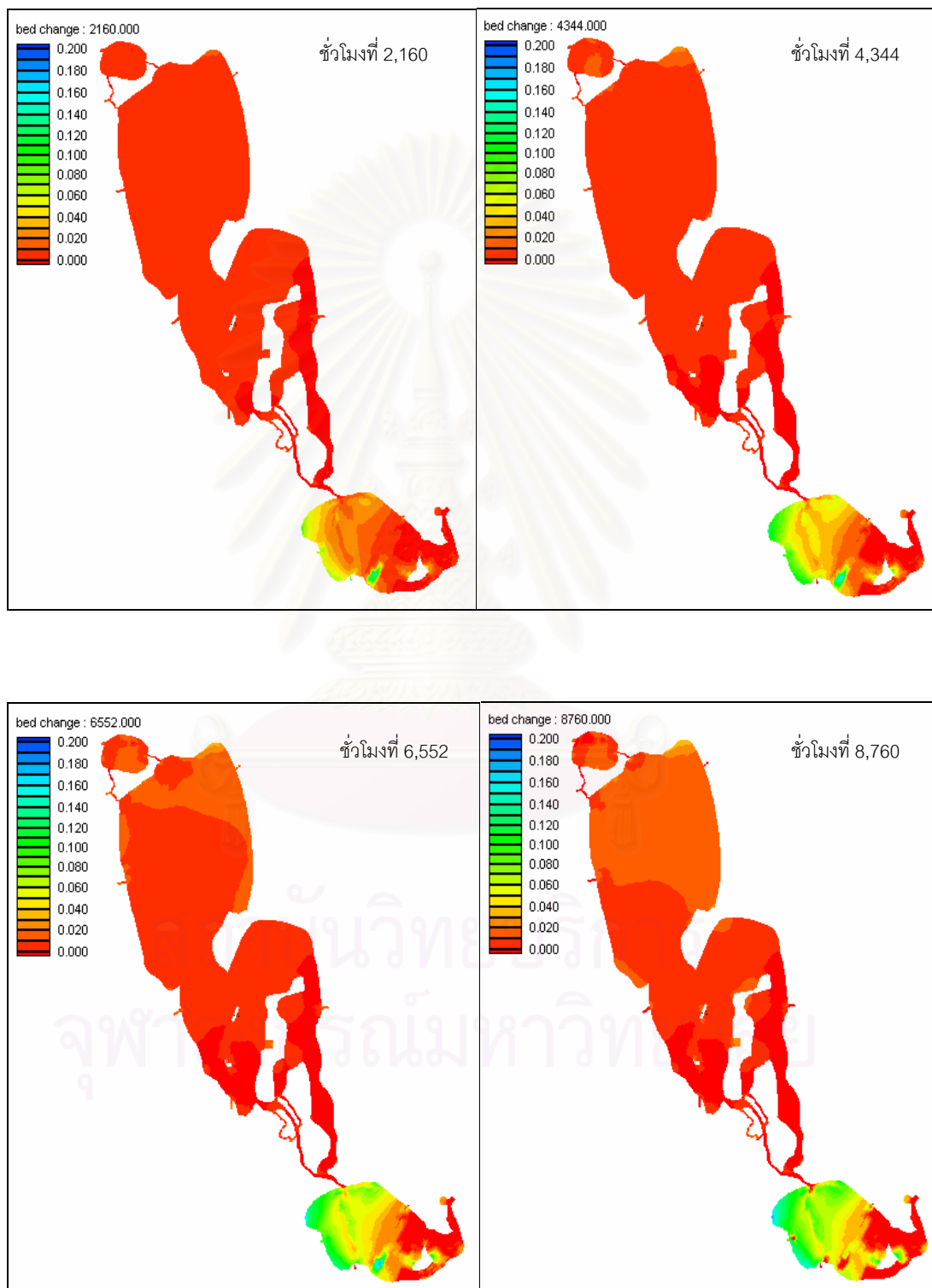
จากภาพในรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในช่วงฤดูแล้งมีความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยน้อยกว่าช่วงฤดูฝน เนื่องจากในฤดูฝนมีปริมาณน้ำท่าจากคลองต่างๆที่ไหลเข้าลุ่มน้ำมากกว่าฤดูแล้งจึงทำให้มีปริมาณตะกอนที่มากกว่า นอกจากนี้ในบริเวณทะเลสาบสงขลา จะมีความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยมากกว่าบริเวณอื่นๆ โดยเฉพาะในบริเวณทางฝั่งตะวันตกของทะเลสาบสงขลา ทั้งๆที่บริเวณทะเลสาบสงขลาจำลองการเกิดขบวนการ flocculation ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณทะเลสาบสงขลาเป็นบริเวณที่กระแสน้ำซึ่งพัดพาตะกอนจากทะเลสาบตอนบนไหลมารวมกันก่อนไหลลงสู่อ่าวไทย และในทะเลสาบสงขลาทางฝั่งตะวันตกยังเป็นบริเวณที่รองรับน้ำ และตะกอนในปริมาณมากจากคลองอู่ตะเภา ส่วนในรูปที่ 4.18 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจะมีมากในช่วงปลายปีโดยเฉพาะในเดือนพฤศจิกายน ปริมาณตะกอนแขวนลอยจะมีมากกว่าเดือนอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ทะเลสาบมีมากกว่าเดือนอื่นๆ ของช่วงปี โดยปริมาณตะกอนแขวนลอยจะมีปริมาณมากในบริเวณทะเลสาบสงขลา สำหรับบริเวณเหนือเกาะหมากและตอนกลางทะเลหลวงปริมาณตะกอนแขวนลอยมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั้งปี ส่วนบริเวณทะเลน้อยปริมาณตะกอนแขวนลอยจะมีน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจากบริเวณรอบข้างเป็นป่าพรุ น้ำที่ไหลเข้าสู่ทะเลน้อยจะใสกว่าบริเวณอื่นๆ เมื่อพิจารณาความถี่การขึ้นลงของกราฟจะเห็นได้ว่าบริเวณทะเลสาบสงขลาจะมีความถี่มากกว่าบริเวณอื่นๆ ก็เนื่องมาจากในบริเวณทะเลสาบสงขลาได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงมากกว่าบริเวณอื่นๆ ของลุ่มน้ำ โดยกราฟในบริเวณทะเลน้อยมีความถี่น้อยที่สุด



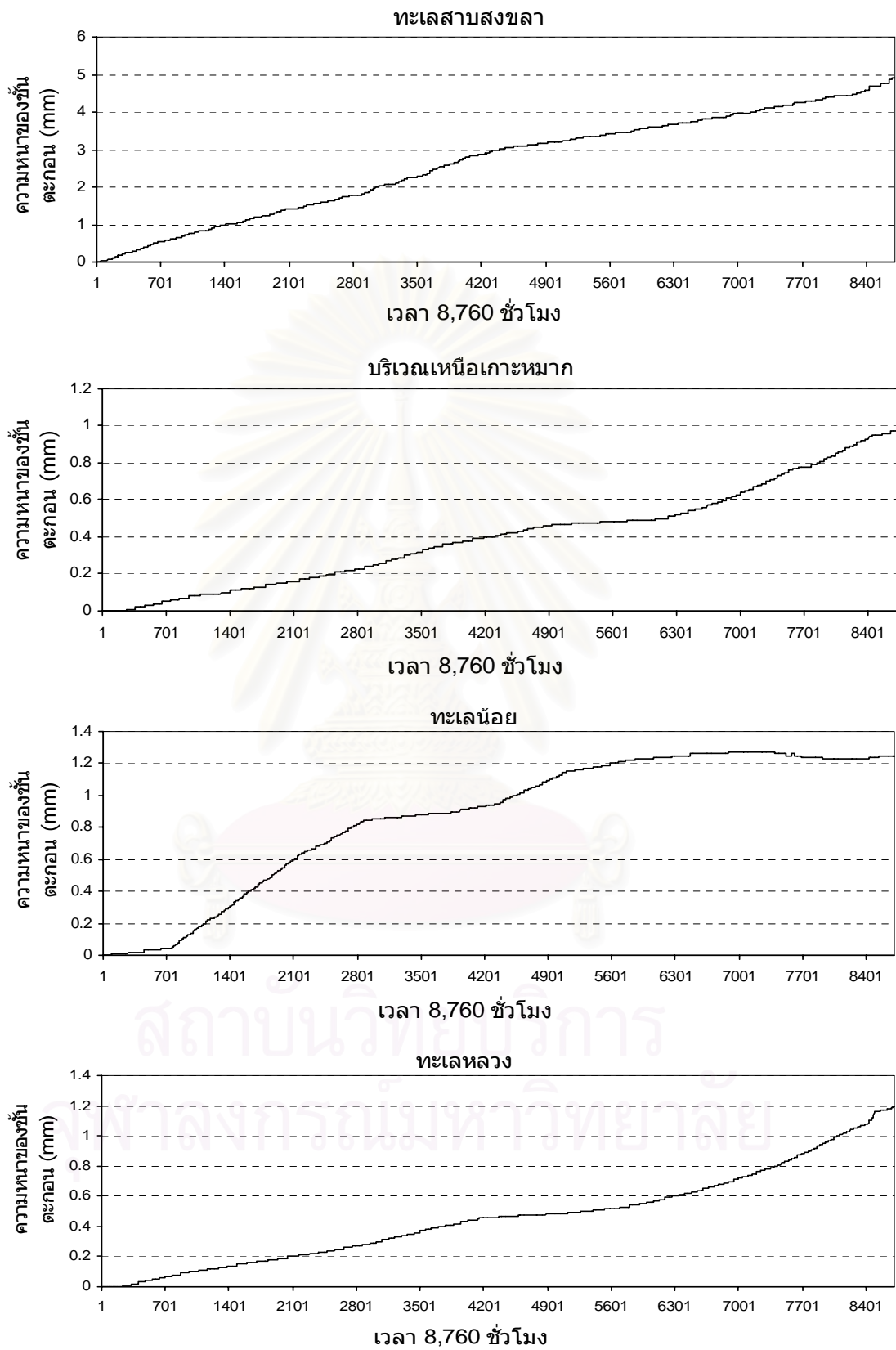
รูปที่ 4.19 ผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในบริเวณทะเลสาบและทะเลหลวง ระหว่างแบบจำลอง SED2D ในเดือน ตุลาคม 2545 กับค่าที่ได้จากการวัดจริงของโครงการจัดทำแผนแม่บทพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 4 (2548) ในเดือนตุลาคม 2546

จากการเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในบริเวณทะเลสาบและทะเลหลวงในรูปที่ 4.19 ซึ่งปีแต่ช่วงเดือนเดียวกันจะเห็นว่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย ในบริเวณทะเลหลวง ทะเลสาบ มีความแตกต่างกันพอสมควร โดยเฉพาะตอนบนฝั่งตะวันออกทะเลหลวงค่าที่วัดจริงจะมีความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยสูงกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลอง ส่วนบริเวณตอนล่างของทะเลสาบความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่า ทั้งนี้จะเนื่องมาจากข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบเป็นข้อมูลคนละปี และนอกจากนี้ค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยที่วัดจริงจากโครงการจัดทำแผนแม่บทพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 4 (2547) ทำการวัดเพียงวันเดียว ส่วนในแบบจำลองนั้นค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้จากการประมาณและในแบบจำลองมีจุดที่น้ำท่าและตะกอนที่ไหลลงสู่ทะเลสาบในแบบจำลองมีเพียง 12 จุด จากลุ่มน้ำย่อยทั้งหมด ซึ่งในความเป็นจริงมีแม่น้ำสายหลักมากกว่านี้ เพราะฉะนั้นดังที่กล่าวมาข้างต้นก็มีส่วนสำคัญอย่าง

มากที่ทำให้ในความเป็นจริงกับแบบจำลองมีความแตกต่างกัน แต่ก็พอที่จะศึกษาพฤติกรรมของ ตะกอนแขวนลอยจากน้ำท่าโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อให้เห็นภาพรวมกว้างๆ ได้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.20 ความหนาของชั้นตะกอน (cm) ทุก 3 เดือน ในรอบปี 2545



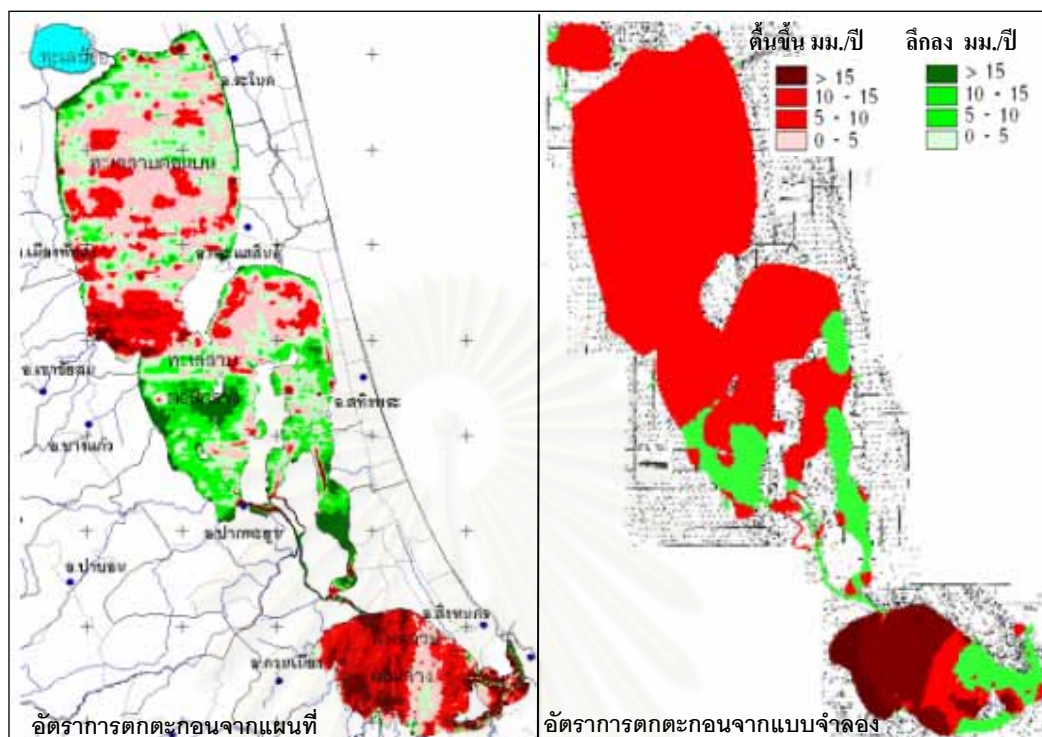
รูปที่ 4.21 กราฟความหนาของชั้นตะกอนประเภท Cohesive ในทะเลสาบสงขลาแต่ละบริเวณในรอบ 1 ปี ในปี 2545

จากกราฟในรูปที่ 4.21 จะเห็นว่าในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาทั้ง 4 ส่วน บริเวณทะเลสาบสงขลา มีอัตราการตกตะกอนมากที่สุด คือ ประมาณ 5 มิลลิเมตรต่อปี เนื่องจากบริเวณทะเลสาบสงขลาเป็นพื้นที่รองรับน้ำจากบริเวณส่วนอื่นๆของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา และปริมาณน้ำที่ไหลจากคลองอู่ตะเภาก็มีปริมาณมากเมื่อเทียบกับคลองอื่นๆ ทำให้ปริมาณตะกอนที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลามีปริมาณมากตามไปด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.17 และนอกจากนั้นในบริเวณทะเลสาบสงขลาเป็นบริเวณที่เกิด flocculation จึงทำให้เกิดการตกตะกอนมากขึ้น จากรูปที่ 4.20 บริเวณทางฝั่งตะวันตกของทะเลสาบสงขลามีอัตราการตกตะกอนประมาณ 13 มิลลิเมตรต่อปี มากกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจากกระแสน้ำบริเวณนี้ไหลช้ากว่าบริเวณอื่นในทะเลสาบสงขลา ประกอบกับเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กับคลองอู่ตะเภา ทำให้มีการตกตะกอนมากส่วนในบริเวณปากอ่าวและร่องน้ำทะเลสาบสงขลาพบว่าเกิดการกัดเซาะเนื่องจากทั้ง 2 บริเวณมีความเร็วกระแสน้ำสูง สำหรับบริเวณเหนือเกาะหมากและบริเวณตอนกลางทะเลหลวง จะพบว่าอัตราการตกตะกอนใกล้เคียงกันคือ 1.0 และ 1.2 มิลลิเมตรต่อปี เมื่อพิจารณากราฟทั้ง 3 บริเวณยกเว้นบริเวณทะเลน้อย จะพบว่าความชันของกราฟมีค่าคงที่ใกล้เคียงกันตลอดทั้งปี แสดงว่าอัตราการตกตะกอนในแต่ละเดือนนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่สำหรับในส่วนของทะเลน้อยมีอัตราการตกตะกอน ประมาณ 1.2 มิลลิเมตรต่อปีแต่เมื่อพิจารณาความชันของกราฟ จะพบว่า ในช่วงต้นปี คือช่วงเมษายน - พฤษภาคม (กุมภาพันธ์-เมษายน) ความชันของกราฟจะมีค่ามาก นั่นคือ อัตราการตกตะกอนจะสูง ทั้งนี้ อาจจะเป็นเนื่องจากเป็นช่วงฤดูแล้ง มีการไหลเวียนของกระแสน้ำมีน้อยมากและน้ำนิ่ง ทำให้มีอัตราการตกตะกอนที่สูง ส่วนในบริเวณปลายปี จะพบว่าความชันของกราฟ มีค่าลดลงแสดงว่าในช่วงปลายปีจะเกิดการกัดเซาะแทนการตกตะกอน เนื่องจากเป็นช่วงฤดูน้ำหลาก มีน้ำไหลเข้าในทะเลน้อยมากกระแสน้ำไหลเร็ว ทำให้เกิดการกัดเซาะ

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบอัตราการตกตะกอนที่คำนวณจากแบบจำลอง SED2D กับค่าที่ได้จากเทคนิคไอโซโทปของซีเซียม - 137 (วิธี ซีตตระการ และคณะ, 2539)

ตำแหน่ง	พิกัด UTM จุดเก็บตัวอย่าง เทคนิคไอโซโทป	พิกัด UTM ในแบบจำลอง	อัตราการตกตะกอน (มิลลิเมตรต่อปี) เทคนิคไอโซโทป	อัตราการตกตะกอน (มิลลิเมตรต่อปี) ในแบบจำลอง
ทะเลสาบสงขลา				
A	660670, N793113	660568, N793415	5.67 ± 0.5	5.53
B	659558, N798812	659775, N798450	6.25 ± 0.5	8.20
C	673681, N793433	672714, N792826	5.10 ± 0.5	4.42
ทะเลหลวง				
D	640093, N819887	641203, N819504	3.6 ± 0.2	0.10
E	653714, N822933	654077, N823507	7.9 ± 0.1	0.02
F	651764, N832430	651565, N832885	7.8 ± 0.1	0.80
G	647733, N832348	647672, N834038	4.4 ± 0.1	0.90
H	644979, N814992	644902, N814557	3.5 ± 0.1	-0.08
I	644901, N819866	664902, N819501	3.1 ± 0.1	-0.06
ทะเลหลวง				
J	640628, N830431	639474, N830287	8.7 ± 0.1	0.15
K	637844, N835053	637691, N835158	6.6 ± 0.1	0.70
L	632140, N835369	632329, N835403	2.1 ± 0.2	1.10
M	640391, N840074	640844, N840389	4.2 ± 0.1	1.25
N	635329, N840093	635386, N840268	4.6 ± 0.1	0.09
O	641122, N845234	641888, N845618	5.4 ± 0.5	1.44
P	634911, N845057	634037, N845672	6.2 ± 0.1	1.33
Q	629728, N844836	629427, N844825	4.1 ± 0.5	1.48
ทะเลน้อย				
R	642600, N830900	642600, N830900	5.0 ± 0.1	1.5

หมายเหตุ: ผลจากแบบจำลอง SED2D ไม่รวมอัตราการตกตะกอนของทรายเนื่องจากมีอัตราการตกตะกอนที่น้อยมาก

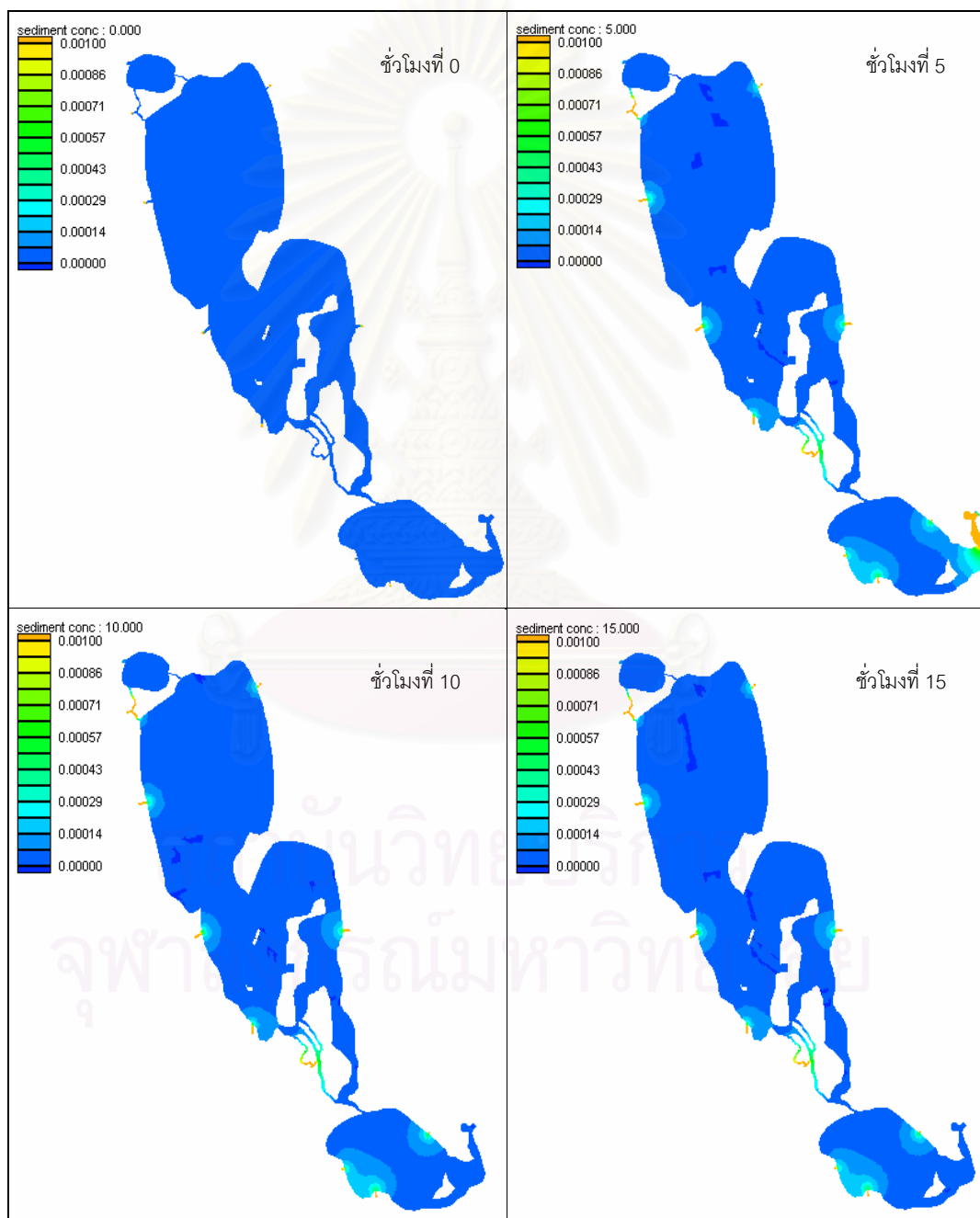


รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบอัตราการตกตะกอนในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ระหว่างปี พ.ศ. 2518 ถึงปี พ.ศ. 2547 (โครงการจัดทำแผนแม่บทพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 4,2548) กับค่าที่ได้จากแบบจำลอง SED2D (ในแบบจำลองไม่รวมอัตราการตกตะกอนของทรายเนื่องจากมีค่าน้อยมาก)

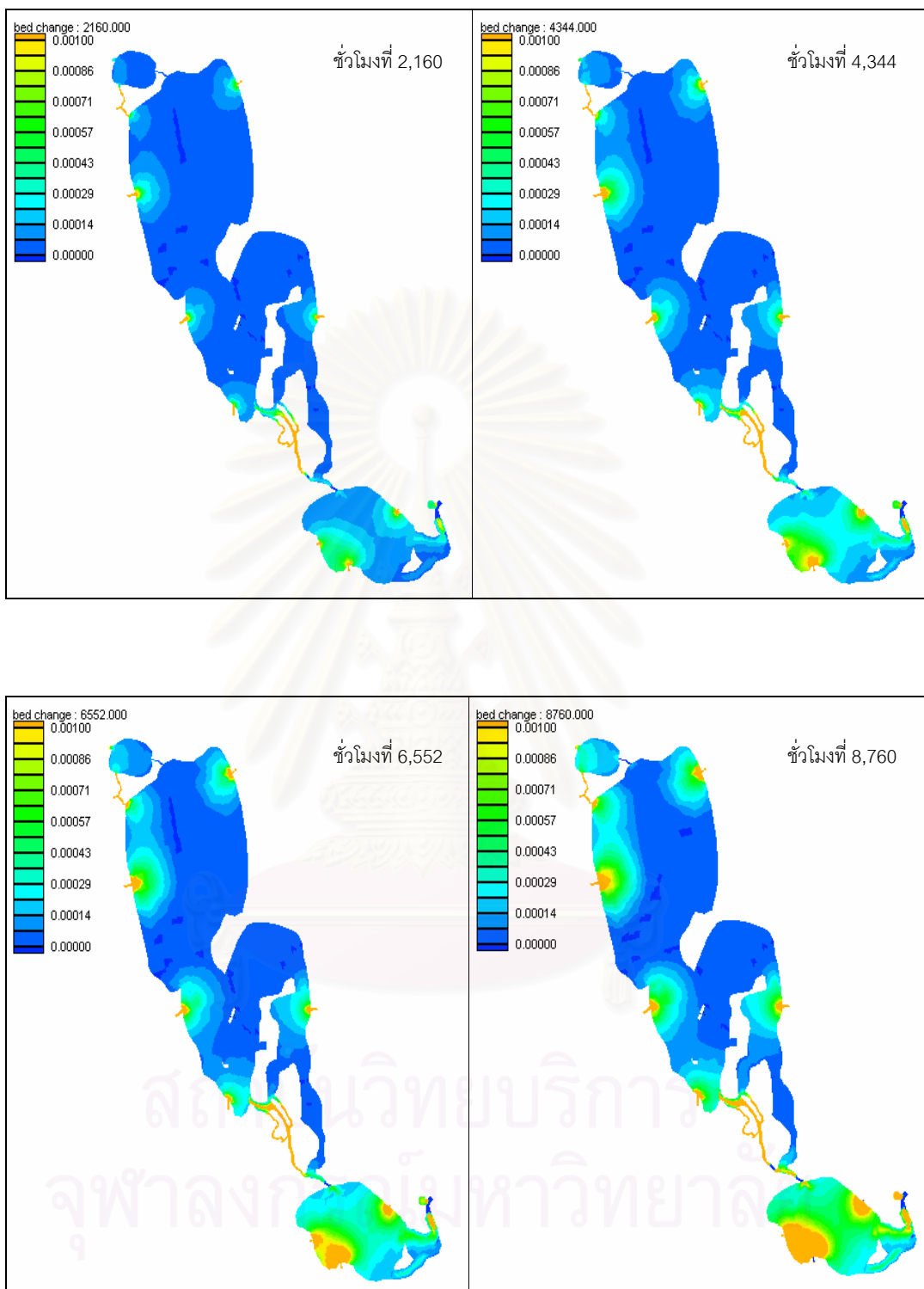
ในตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าอัตราการตกตะกอนในบริเวณทะเลสาบสงขลา ค่าที่วัดด้วยเทคนิคไอโซโทป Cs - 137 (ธวัช ชิตตระการ และคณะ, 2539) กับค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนของบริเวณทะเลสาบ ทะเลหลวง และทะเลน้อย มีค่าแตกต่างกัน โดยค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าค่าที่วัดด้วยเทคนิคไอโซโทป Cs - 137 ประมาณ 8 เท่า ส่วนในรูปที่ 4.22 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการตกตะกอนในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ระหว่างปี พ.ศ. 2518 ถึงปี พ.ศ. 2547 (โครงการจัดทำแผนแม่บทพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 4, 2548) กับค่าที่ได้จากแบบจำลอง SED2D พบว่ามีความใกล้เคียงกันและแตกต่างกันในบางพื้นที่ เช่นในบริเวณทะเลสาบจะเห็นว่ามี การกัดเซาะเหมือนกัน สาเหตุอาจจะเนื่องมาจากที่ตั้งของเกาะหมาก และเกาะนางคำขวางทางน้ำและสภาพภูมิประเทศบีบให้น้ำไหลเป็นสองร่อง กระแสน้ำแรงขึ้นทำให้เกิดการกัดเซาะ สำหรับในบริเวณทะเลหลวงมีค่าใกล้เคียงกัน ในบางบริเวณ ส่วนในบริเวณทะเลสาบสงขลาในส่วนของแบบจำลองนั้นพบว่าบริเวณร่องน้ำทะเลสาบสงขลา มีการกัดเซาะมากกว่าค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบอัตราการตกตะกอนในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ระหว่างปี พ.ศ. 2518 ถึงปี พ.ศ. 2547

4.3.2.1 ผลการจำลองตะกอนประเภท Sand (ทราย)

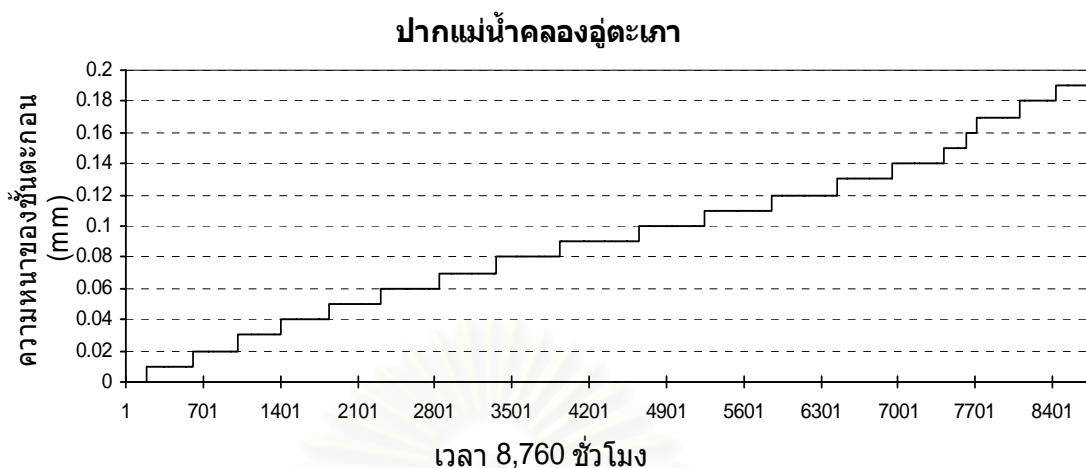
ในการจำลองการเคลื่อนที่และการตกตะกอนของทรายจะรัน (RUN) แบบจำลองเป็นเวลา 1 ปี ใน ปี 2545 โดยใส่ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยรายเดือนตามคลองสายหลักต่างๆ 12 สายดังแสดงในตารางที่ 3.5 ส่วนความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตั้งต้นในทะเลสาบและปากทางเข้าร่องน้ำทะเลสาบสงขลาซึ่งเป็นบริเวณที่ติดกับอ่าวไทยให้มีค่าเท่ากับ 0 ppm โดยมีผลการจำลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.23 ความเข้มข้นและการแพร่กระจายตะกอนประเภท Sand (ทราย) (ppm) ในแต่ละช่วง 5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.24 ความหนาของชั้นตะกอนประเภท Sand (ทราย) (cm) ทุก 3 เดือน ในรอบปี 2545



รูปที่ 4.25 กราฟความหนาของชั้นตะกอนประเภท Sand (ทราย) ในบริเวณปากแม่น้ำคลอง คูตะเกาใน รอบปี 2545

จากผลการทดลองพบว่าการเคลื่อนที่ของตะกอนประเภททราย เมื่อพิจารณารูปที่ 4.23 จะพบว่า ปริมาณของตะกอนประเภททรายนั้นมีมากในบริเวณใกล้ปากคลองต่างๆ ดังนั้นการตกตะกอนของทรายมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณมากในบริเวณปากคลองต่างๆ เนื่องจากจากตะกอนประเภททรายนั้น มีอนุภาคขนาดใหญ่ ประกอบกับมีค่า setting velocity มากกว่าอนุภาคของตะกอนจำพวก silt และ clay จึงทำให้ตะกอนประเภททราย (sand) เคลื่อนที่ไปได้ไม่ไกลมากนัก และตกตะกอนบริเวณปากคลองต่างๆ โดยในรูปที่ 4.24 แสดงอัตราการตกตะกอนประเภททราย (sand) ในบริเวณปากแม่น้ำคลองคูตะเกาในรอบปี 2545 จากแบบจำลองพบว่าอัตราการตกตะกอนเท่ากับ 0.19 มิลลิเมตรต่อปี ดังแสดงในรูปที่ 4.25 ซึ่งมีค่าน้อยมาก ส่วนบริเวณที่ไม่ใช่ปากคลองจะพบว่าการตกตะกอนของทรายแทบไม่มีเลย

จากผลการจำลองและศึกษาการแพร่กระจายและอัตราการตกตะกอนในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาทั้งหมดที่กล่าวมา เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้เทคนิคไอโซโทป การคำนวณอัตราการตกตะกอนในบริเวณกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาระหว่างปี พ.ศ. 2518 ถึงปี พ.ศ. 2547 จากการเปลี่ยนแปลงความลึกของกลุ่มน้ำ จะเห็นได้ว่าผลการศึกษาที่กล่าวมาทั้งหมดมีความแตกต่างกัน จึงยังไม่มีคำตอบแน่ชัดในเรื่องปริมาณตะกอนที่ไหลลงสู่กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา และอัตราการตกตะกอนที่แท้จริงในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา แต่จากที่กล่าวมาก็พอที่เห็นภาพกว้างของการแพร่กระจายและอัตราการตกตะกอนในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

จากข้อจำกัดของข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นในการเปรียบเทียบแบบจำลองและข้อจำกัดของแบบจำลองเองกล่าวคือ ในแบบจำลองไม่สามารถจำลองอิทธิพลของการฟุ้งกระจาย การทับถม

ของตะกอนได้ทั้งหมด ซึ่งทำให้ผลจากแบบจำลองจะไม่ตรงกับพฤติกรรมการตกตะกอนตามความเป็นจริงมากนัก แต่ก็พอสรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายและการตกตะกอนจากแบบจำลองในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาได้ดังนี้

(1) ปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่ลุ่มน้ำ กล่าวคือบริเวณใดที่มีปริมาณน้ำจากคลองต่างๆ ไหลลงสู่ลุ่มน้ำในปริมาณที่มาก ปริมาณตะกอนก็จะมีมากตามไปด้วย

(2) ความเร็วของกระแสน้ำ เช่นบริเวณที่มีความเร็วของกระแสน้ำมากก็จะเกิดการกัดเซาะส่วนบริเวณที่ความเร็วกระแสน้ำต่ำหรือนิ่งในบริเวณนั้นจะมีอัตราการตกตะกอนสูง เช่นบริเวณฝั่งตะวันตกของทะเลสาบสงขลา

(3) สภาพภูมิประเทศ จากแบบจำลองจะเห็นว่าบริเวณที่คลองและทางน้ำที่แคบ เช่น ช่องแคบปากอ หรือคลองหลวง บริเวณดังกล่าวจะเกิดการกัดเซาะ เนื่องจากกระแสน้ำที่แรงขึ้นเมื่อผ่านช่องแคบ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ในการใช้โปรแกรมชุด SMS ซึ่งประกอบไปด้วยโปรแกรม RMA2, RMA4, SED2D เพื่อจำลองการไหลเวียนของกระแสน้ำ การแพร่กระจายความเค็ม และการแพร่กระจายตะกอนแขวนลอยในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ในช่วงปี พ.ศ. 2545 โดยทำการปรับเทียบแบบจำลองกับข้อมูลที่วัดจริง ทั้งหมด 3 สถานีวัด ในบริเวณทะเลสาบสงขลา ในช่วงน้ำเกิดระหว่างวันที่ 7 - 8 พฤศจิกายน 2545 และช่วงน้ำตายระหว่างวันที่ 13 - 15 พฤศจิกายน 2545 โดยผลการปรับเทียบพบว่าแบบจำลองสามารถประยุกต์ใช้ได้เป็นอย่างดีเหมาะสมกับบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

การไหลเวียนของกระแสน้ำในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ที่คำนวณจากแบบจำลอง RMA2 ซึ่งให้เห็นว่า การเคลื่อนที่ของกระแสน้ำบริเวณทะเลสาบสงขลาในฤดูฝนขึ้นอยู่กับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงจากอ่าวไทยและปริมาณน้ำท่าที่ไหลจากทะเลสาบส่วนบน ส่วนในฤดูแล้งการไหลเวียนของกระแสน้ำจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงโดยตรง สำหรับบริเวณทะเลสาบ ทะเลหลวง และทะเลน้อยทั้งฤดูฝนน้ำขึ้นน้ำลงจากอ่าวไทยแทบจะไม่มีอิทธิพลต่อการไหลเวียนของกระแสน้ำ ส่วนในฤดูแล้งบริเวณทะเลน้อย และทะเลหลวงการไหลเวียนของกระแสน้ำได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงจากอ่าวไทยน้อยมาก ยกเว้นในบริเวณทะเลสาบแต่จะได้รับอิทธิพลน้ำขึ้นน้ำลงน้อยกว่าบริเวณทะเลสาบสงขลา เนื่องมาจากการควบคุมของช่องแคบปากกรอ ส่วนกระแสน้ำจะแรงเฉพาะทางเข้าปากกรอทะเลสาบสงขลาและบริเวณช่องแคบปากกรอ โดยมีความเร็วสูงสุดในช่วงฤดูฝน ขณะน้ำลง (ebb tide) เท่ากับ 1.09 เมตรต่อวินาที ในฤดูแล้งมีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 0.97 เมตรต่อวินาที สำหรับบริเวณร่องน้ำทะเลสาบสงขลามีความเร็วต่ำกว่าบริเวณปากกรอไม่มากนัก กระแสน้ำในบริเวณอื่นๆ จะมีความเร็วอ่อน กระแสน้ำในทะเลสาบตอนล่างจะแรงกว่าในทะเลสาบตอนบนเพราะการลดทอนการไหลของน้ำเมื่อต้องผ่านช่องแคบปากกรอ กระแสน้ำในทะเลหลวงมีค่าน้อยมากเนื่องจากการลดทอนพลังงานจากน้ำขึ้นน้ำลง จาก การเปรียบเทียบความเร็วกระแสน้ำจากแบบจำลอง RMA2 กับสถานีวัด พบว่ากระแสน้ำมีค่าไม่แตกต่างกันมาก แสดงว่าเราสามารถที่ใช้แบบจำลอง RMA2 ที่ปรับปรุงตรวจสอบแล้วทำนายผลล่วงหน้าได้

จากแบบจำลองการแพร่กระจายความเค็ม RMA4 ที่ให้เห็นว่า การรुक้าของความเค็ม ในบริเวณทั้งตอนล่างและตอนบนของทะเลหลวงตลอดทั้งปีมีค่าน้อยกว่า 1 psu ซึ่งมีค่าน้อยมาก ในบริเวณทะเลสาบช่วงบริเวณปากพะยูน ในช่วงฤดูแล้งมีความเค็มสูงสุด 8.45 psu ส่วนบริเวณปาก รอและทะเลสาบสงขลาในฤดูแล้งความเค็มของน้ำจะแปรผันตามอิทธิพลน้ำขึ้นน้ำลงเพียงอย่าง เดียว โดยในบริเวณปากอ้อมมีความเค็มสูงสุดในฤดูแล้งเท่ากับ 20.91 psu โดยในบริเวณร่อง น้ำทะเลสาบสงขลาและปากอ้อมมีความเค็มน้อยสุดช่วงที่น้ำไหลลงสู่อ่าวไทยมากที่สุด (ebb tide) ในเดือนพฤศจิกายน ที่สุดเท่ากับ 0.61 psu และ 0.24 psu โดยรวมแล้วในช่วงฤดูแล้งการรुक้า ความเค็มในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาขึ้นอยู่กับอิทธิพลน้ำขึ้นน้ำลงจากอ่าวไทย ส่วนในช่วง ของฤดูฝนค่าความเค็มของน้ำจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงจากอ่าวไทย และปริมาณน้ำท่า ที่ไหลจากคลองต่างๆ แต่ข้อจำกัดของแบบจำลอง RMA4 คือต้องใช้กับมวลน้ำที่ผสมผสานกันดี ในแนวตั้ง หากมวลน้ำมีการแบ่งชั้นกันเช่นกรณีในบริเวณร่องน้ำทะเลสาบสงขลา ควรจะใช้ แบบจำลองสามมิติ ซึ่งจะให้เห็นความแตกต่างของค่าความเค็ม นอกจากนี้ในแบบจำลอง RMA4 ไม่ได้มีการจำลองการสูบน้ำไปใช้ในการเกษตร จึงทำให้ผลการทดลองในบางช่วงของปีมี ค่าระดับความเค็มน้อยกว่าความเป็นจริง

ในการจำลองการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอยด้วยแบบจำลอง SED2D พบว่าปริมาณ ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจะสูงกว่าบริเวณทะเลสาบตอนบน เนื่องจากในการจำลองใส่ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสูง และความเร็วในการตกตะกอน (Setting velocity) ในทะเลสาบ ตอนบนต่ำ จึงทำให้ตะกอนแขวนลอยไปกับน้ำได้ไกล ส่วนการตกตะกอนในลุ่มน้ำทะเลสาบ สงขลา โดยภาพรวมจะเห็นว่าการตื่นขึ้นของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาแต่ละส่วนของลุ่มน้ำจะไม่ เท่ากัน ขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอนที่พัดพามาและความเร็วของกระแส น้ำ เช่นตะกอนประเภททราย ที่พัดพามากับกระแสน้ำออกจากคลองต่างๆ จะเกิดการตกตะกอนในบริเวณปากแม่น้ำนั้นๆเช่นใน บริเวณปากคลองอู่ตะเภามีอัตราการตกตะกอนของทรายเท่ากับ 0.019 มิลลิเมตรต่อปี ส่วน ตะกอนประเภท Cohesive ซึ่งมีค่า Setting velocity ต่ำมาก จะถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำ โดย อัตราการตกตะกอนในบริเวณทะเลน้อย ทะเลหลวง ทะเลสาบซึ่งมีค่าประมาณ 1.2 , 1.2 และ 1.0 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ โดยบริเวณทะเลสาบสงขลา มีอัตราการตกตะกอนมากที่สุด เฉลี่ย ประมาณ 5 มิลลิเมตรต่อปี และจะตกตะกอนบริเวณฝั่งตะวันตกของทะเลสาบสงขลามากกว่า บริเวณอื่นๆของลุ่มน้ำ โดยอัตราเฉลี่ยการตกตะกอนทั้งลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีค่าเท่ากับ 4 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งในแบบจำลองพบว่าในแต่ละส่วนของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีอัตราเฉลี่ยการ ตกตะกอนในแต่ละเดือนจะมีค่าคงที่ยกเว้นบริเวณทะเลน้อย

จากผลการเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจากแบบจำลองกับผลการตรวจวัด พบว่ามีค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากแบบจำลองไม่สามารถจำลองแรงต่างๆ ที่ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนแขวนลอยไว้ได้ทั้งหมด นอกจากนั้นจากการใช้งานแบบจำลอง SED2D ทำให้พบว่ายังขาดข้อมูลพื้นฐานสำหรับเป็นข้อมูลนำเข้าและปรับแต่งแบบจำลอง อาทิ ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจากคลอง และค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่แท้จริง

จากการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาการไหลเวียนของกระแสน้ำ การแพร่กระจายความเค็ม ตะกอนแขวนลอยและการตกตะกอนในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พบว่าพอที่สามารถเห็นภาพรวมกว้างๆ ทำให้ช่วยศึกษากระบวนการทางสมุทรศาสตร์ฟิสิกส์ของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ยังขาดข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญหลายๆ ข้อมูลด้วยกัน ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปจำเป็นต้องปรับปรุงข้อมูลอย่างต่อเนื่อง โดยมีข้อเสนอแนะที่จำเป็นที่จะต้องปรับปรุงดังต่อไปนี้

(1) การจำลองการไหลเวียนของกระแสน้ำ ควรจะรวมสมการของกระแสน้ำที่เกิดจากคลื่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณทะเลสาบสงขลาซึ่งมีอาณาเขตติดต่อกับบริเวณอ่าวไทย ซึ่งจะทำให้การจำลองการไหลเวียนของกระแสน้ำ การแพร่กระจายความเค็ม และการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอย มีความถูกต้องแม่นยำมากกว่านี้

(2) ในการจำลองครั้งต่อไปควรจะรวมปริมาณการสูบน้ำจากลุ่มน้ำด้วยเพราะในแต่ละปีมีการสูบน้ำเพื่อนำไปใช้ในการเกษตรคิดเป็นปีละประมาณ 10% ของปริมาณน้ำทั้งหมดของกลุ่มน้ำ

(3) ควรจะมีการศึกษาปริมาณ ขนาดของอนุภาคในตะกอนแขวนลอย (sand, silt และ clay) และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของตะกอน ค่าแรงเสียดทานท้องน้ำวิกฤติสำหรับการทับถมหรือการกัดเซาะ การใช้ค่าเหล่านี้ที่แตกต่างกันทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง เป็นต้น ซึ่งค่าเหล่านี้ ควรจะเป็นค่าตรวจวัดจากภาคสนาม แต่ในแบบจำลองเป็นค่าที่ได้จากการประมาณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. 2545. โครงการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษและการประเมินความเสี่ยงต่อนิเวศทางทะเล. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.

เทศไ้,ปัญญาคอนซัลเตนท์และพอลคอนซัลเตนท์. 2536. การออกแบบโครงการคั่นกั้นน้ำเค็มทะเลสาบสงขลา จังหวัดสงขลาและจังหวัดพัทลุง. กรมชลประทานกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ธวัช ชิตตระการ, ไตรภพ ผ่องสุวรรณ, ไพบุลย์ นวลนิล และเทิดทูน ทองเจิม. 2539. การหาอัตราการตกตะกอนในทะเลสาบสงขลา ด้วยเทคนิคไอโซโทปรังสี. รายงานการวิจัย. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

ธวัช ชิตตระการ, สมบูรณ์ พรพิเนตพงศ์, ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และไพบุลย์ นวลนิล. 2541. แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการหาอัตราการตกตะกอนในทะเลสาบสงขลา. รายงานการวิจัย. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

แม่น ชุนงาม. 2546. รายงานการปฏิบัติงานสำรวจทางอุทกวิทยาทะเลสาบสงขลาตอนล่างตั้งแต่บริเวณปากจรดถึงร่องน้ำสงขลาตอนใน จ. สงขลา.

สามารถ อ่อนแป้น. 2546. อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมต่อกระแสน้ำจำลองในอ่าวไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. เล่มที่ 4. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สำนักวิจัยและพัฒนา. 2537. โครงการศึกษาข้อมูลและศักยภาพการพัฒนา ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. รายงานการสรุปสำหรับผู้บริหาร

ภาษาอังกฤษ

Breithaupt, S. A., T. Khangaonkar, S. Liske and J. Takekawa. Hydrodynamic and sediment Transport Modeling of the Nisqually RiverDelta to Evaluate Habitat Restoration Alternatives. Available from:

http://www.fwc.com/publications/tech_papers/env/pdfs/dhamra.pdf

Jacobson, J. Modeling with RMA2 and SMS[Online]. 2001. Available from:

http://www.cae.wisc.edu/~chinwu/CEE514_Coastal_Engineering/2001_Students_Web/Jan/project2.html

John Taylor Sons. 1985. Songkhla Lake Basin Planning Study: Final Report.

Submitted to Nation Economic and Social Development Board and Nation Environment Board.

Khangaonkar, T., F. Kristanovich, M. Rashid and B. Mallick. Tidal Circulation and Sediment Transport Modeling for Port Dhamra-Chandbail Expansion Project.

Available from:

http://www.fwc.com/publications/tech_papers/env/pdfs/dhamra.pdf

Nielsen, A. F. 2000. Hydrodynamic modelling. Isotope Tracer Demonstration at the Port of Songkla, Thailand. IAEA/RCA/UNDP Project No. RAS/8/071-60, WRL Technical Report 99/638.

Nielsen, A. F. 2000. Sediment transport modelling. Isotope Tracer Demonstration at the Port of Songkla, Thailand. IAEA/RCA/UNDP Project No. RAS/8/071-60, WRL Technical Report 99/65.

Pierre Y. Julien. 1995. Erosion and sedimentation. Cambridge University Press, London, p.15



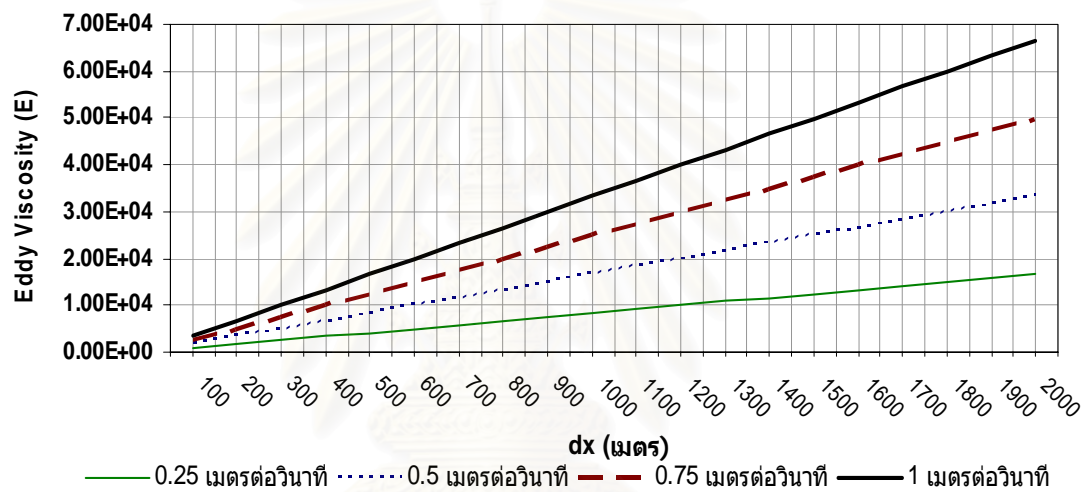
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การคำนวณหาค่า Eddy viscosity (E)

จากการเปรียบเทียบแบบจำลองพบว่า peclet number (P) เท่ากับ 30 ซึ่งจะทำให้แบบจำลองเกิดเสถียรภาพ จากสมการที่ 4.1 เมื่อ P เท่ากับ 30 จะได้ค่าของ E สำหรับการคำนวณในแบบจำลอง ดังกราฟที่แสดง



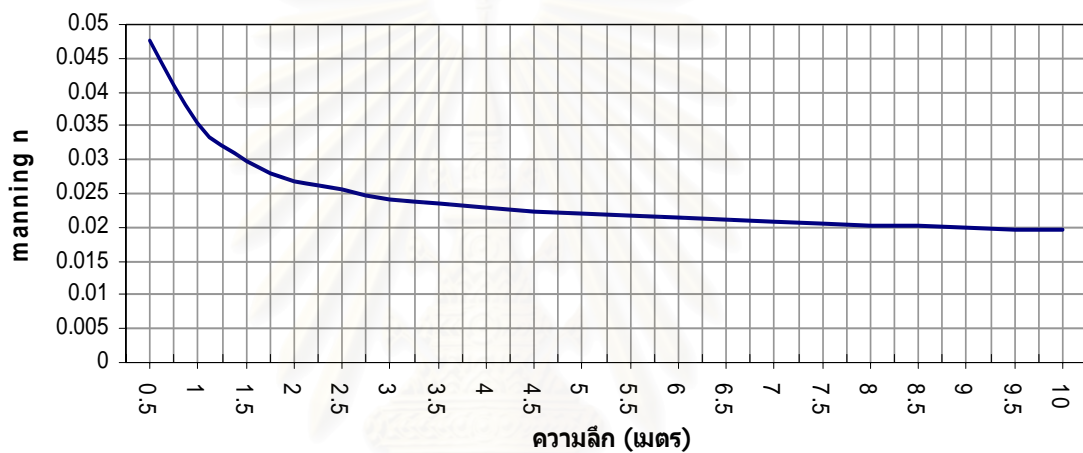
รูปแสดงขนาดของ eddy viscosity ซึ่งขึ้นกับอัตราเร็วเฉลี่ยของน้ำในเอลิเมนต์ (U) และความยาวเอลิเมนต์ตามทิศการไหลของน้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำ (Manning roughness coefficient; n)

สำหรับการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำ (Manning n) นั้นจะแปรผันตามความลึกของน้ำตามความสัมพันธ์ (King และ Donnel, 1997) ดังแสดงในสมการที่ 4.2 จากการเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาได้ Manning n สำหรับการคำนวณในแบบจำลอง ดังกราฟที่แสดง



รูปแสดงค่า Manning n แปรตามความลึกของพื้นที่ โดยกำหนดให้ $n_0 = 0.04$,

$$n_M = 0.04, \eta = 0.166667, d = 2$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

ปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำสูบในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

พ.ศ.	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	ปริมาณน้ำสูบ	
		นาปี (ม.ค. – มี.ค.)	นาปรัง (เม.ย. – มิ.ย.)
2537	2,519	31,874,040	49,599,000
2538	2,561	35,343,000	62,536,320
2539	2,410	59,883,120	65,446,920
2540	2,750	59,423,760	59,876,880
2541	2,249	62,781,840	-
2542	2,802	7,690,320	61,039,440
2543	2,871	19,475,280	80,831,520
2544	2,137	33,058,080	87,729,840
2545	2,061	41,659,220	51,997,920

ที่มา :โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาหลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา, 2547

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ข้าพเจ้าเข้ารับการศึกษาระดับอุดมศึกษาในปี 2540 ที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ จบการศึกษาในปี พ.ศ. 2544 และเข้ารับการศึกษต่อในระดับมหาบัณฑิต ทางด้านสาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล (สมุทรศาสตร์ฟิสิกส์) ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย