

Snร 0452

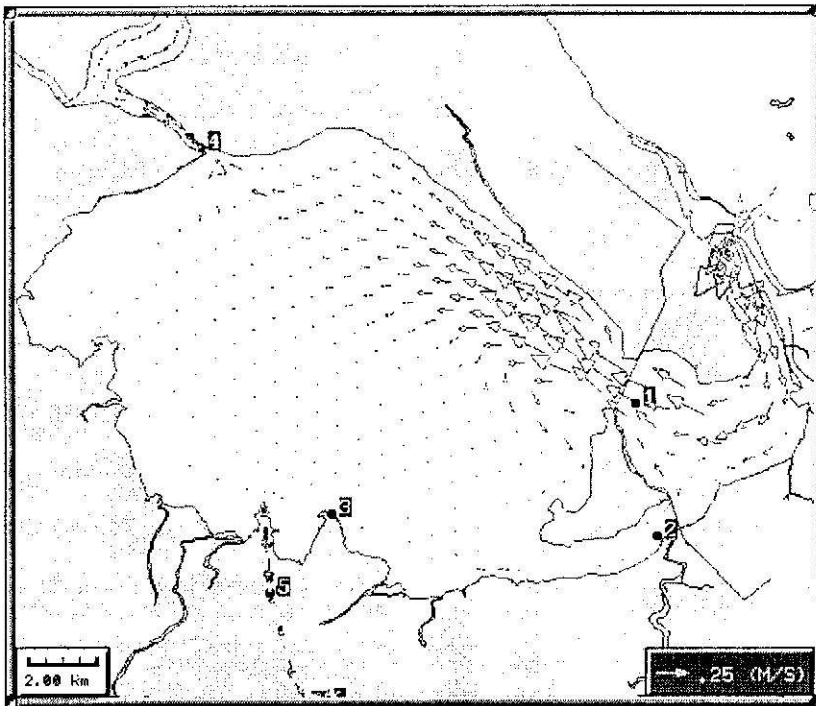
245 *ผ*โครงการการศึกษา

ความเป็นไปได้การแพร่กระจายของน้ำเสียในทะเลสาบสงขลาโดยวิธีการจำลอง
ทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ = *ผ*

(Feasibility Study of the Polluted Water Dispersion in Songkhla Lake by
Simulation Model) / *ผ* 100, 100

505 *ผ* รายงานฉบับสมบูรณ์ /

(Final Report)



110 *ผ* เสนอต่อ *ผ* คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
จัดทำโดย
100 *ผ* ผศ. สันนัย แซ่จิว
100 *ผ* ผศ. สมบูรณ์ พรพิเนตพงศ์ *ผ* *ผ*
คณะวิศวกรรมศาสตร์

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2540
สิงหาคม 2541

Order Key 16435
BIB Key 124052

ผ 100
เลขที่ TD 735 713 2541
เลขทะเบียน *ผ* 1
1/1 ก.ย. 2541

บทคัดย่อ

จากการสำรวจภาคสนามชี้ว่า คุณภาพน้ำในทะเลสาบสงขลา ยังอยู่ในสภาพดี แม้ว่าปริมาณ Coliform bacteria ในลำคลองโดยทั่วไปจะมีค่า >2400 MPN/100 ml ค่า BOD₅ (untreated) ที่วัดได้ อยู่ระหว่าง 2-7 mg/l และความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยมีค่าอยู่ระหว่าง 6-25 mg/l จากสำรวจ ความลึกพบว่า ตะกอนท้องทะเลสาบโดยทั่วไปเป็นโคลน และค่อยๆพัฒนาเป็นทรายเมื่อเข้าใกล้ ร่องน้ำทางเข้าทะเลสาบสงขลา โดยความลึกที่กึ่งกลางทะเลสาบมีค่าประมาณ 1.5 ม. จากการศึกษา ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาการไหลเวียนของมวลน้ำและการเคลื่อนที่ของของเสียใน ทะเลสาบสงขลาในช่วงฤดูแล้ง โดยมีน้ำขึ้นน้ำลงในอ่าวไทยเป็นปัจจัยหลักในการขับเคลื่อนมวลน้ำ และกำหนดให้ BOD ที่ระบายลงสู่ลำน้ำแต่ละสายมีความเข้มข้นคงที่ 100 mg/l พบว่าความแตกต่าง กันของเวลาในการเคลื่อนตัวของระดับน้ำ ทำให้เกิดการไหลเวียนที่ซับซ้อนขึ้นที่บริเวณกึ่งกลาง ทะเลสาบ และเกิดการไหลวน (Gyre) ขนาดใหญ่บริเวณเกาะยอช่วงน้ำขึ้น และโดยภาพรวมกระแสน้ำ ทางฝั่งทิศเหนือของเกาะยอมีความรุนแรง ขณะที่ทางฝั่งทิศใต้ของเกาะยอมีกระแสน้ำอ่อนและ ค่อนข้างเป็นระเบียบ และข้อสรุปเบื้องต้นของการเคลื่อนที่ของของเสียมีดังนี้

- ของเสียที่ระบายออกจากคลองอยู่เกาะมีแนวโน้มน้ำที่จะแพร่ไปตามแนวรัศมีรอบปาก แม่น้ำ ที่สภาวะคงตัว (steady state) ความเข้มข้น 10 มก/ล อยู่ที่รัศมี 2 กม.
- ของเสียที่ระบายออกจากคลองขุดบริเวณก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย มีแนวโน้มน้ำไม่ส่ง ผลกระทบต่อเขตอนุรักษ์พันธุ์สัตว์น้ำแหลมโพธิ์และกระซังเลี้ยงปลาบริเวณเกาะยอ
- ของเสียที่ระบายออกจากคลองพะวง มีแนวโน้มน้ำเจือจางอย่างรวดเร็ว
- ของเสียที่ระบายออกจากคลองสำโรง อำเภอเมืองสงขลา มีแนวโน้มน้ำส่งผลกระทบต่อ เกาะยอทางทิศเหนือ

อย่างไรก็ตามการศึกษาเบื้องต้นนี้ อยู่บนสมมติฐานหลายประการ ซึ่งควรทำการศึกษาใน รายละเอียดที่เสนอแนะในรายงานนี้ต่อไป

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ

บทคัดย่อ

หัวข้อ	หน้า
1. ขอบเขตของการศึกษา	1
2. ระบบทะเลสาบ	2
3. วัตถุประสงค์ของการศึกษาด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์	2
4. ขบวนการแพร่กระจายของของเสียในทะเลสาบสงขลา	3
5. การสำรวจภาคสนาม	3
6. รายละเอียดของการสำรวจภาคสนาม	3
7. สมการของแบบจำลองคณิตศาสตร์ (mathematical model)	5
7.1 แบบจำลองอุทกศาสตร์แบบ 2 มิติ (2-D vertically averaged model of hydrodynamics)	
7.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของของเสียแบบ 2 มิติ (2-D vertically averaged model of waste load transport)	
8. การหาคำตอบเชิงตัวเลขของแบบจำลอง	7
9. การทำงานของแบบจำลองทางอุทกศาสตร์	7
10. ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง waste load transport	8
11. การทดสอบแบบจำลอง (Model Testing)	8
12. ตัวอย่างผลการคำนวณจากแบบจำลองคณิตศาสตร์	9
13. สรุปผลการศึกษา	9
14. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อเนื่อง	11
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก A ข้อมูลทั่วไป	13
ตาราง A1 Decay rate ของ BOD	14
รูป A1 ลำน้ำสำคัญและขอบเขตลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	15
ภาคผนวก B ข้อมูลสนาม	16
รูป B1 ความลึกของท้องทะเลสาบสงขลา	17
รูป B2 ความลึก(ม)/ตะกอนท้องทะเลสาบสงขลา สำรวจเมื่อ 19 มกราคม 2540	18
รูป B3 ระดับน้ำที่ช่องแคบปากกรอ	19

รูป B4 ระดับน้ำที่แหลมโพธิ์	20
รูป B5 ระดับน้ำที่เกาะหนู	21
รูป B6 ความเร็วกระแสน้ำระดับน้ำที่เกาะยอทางทิศเหนือ	22
รูป B 7 ความเร็วกระแสน้ำระดับน้ำที่เกาะยอทางทิศใต้	23
รูป B8 ตะกอนแขวนลอย/ความเค็มในทะเลสาบสงขลาวันที่ 14 มิถุนายน 2540	24
รูป B9 ตะกอนแขวนลอย/ความเค็มในทะเลสาบสงขลาวันที่ 21 มิถุนายน 2540	24
รูป B10 BOD/pH ในทะเลสาบสงขลาวันที่ 12 เมษายน 2540	25
รูป B11 BOD/DO ในทะเลสาบสงขลาวันที่ 13 เมษายน 2540	25
รูป B12 BOD/DO/coliform ในทะเลสาบสงขลาวันที่ 14 มิถุนายน 2540	26
รูป B13 BOD/DO/coliform ในทะเลสาบสงขลาวันที่ 21 มิถุนายน 2540	26
ภาคผนวก C Curvilinear Transformation of Hydrodynamics and waste load transport model	27
ภาคผนวก D แบบจำลองคณิตศาสตร์	28
ภาคผนวก E การทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์ทางอุทกศาสตร์	29
รูปที่ E2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณการวัดที่ร่องน้ำด้านทิศใต้ของเกาะยอ	30
ภาคผนวก F ตัวอย่างการคำนวณจาก แบบจำลองคณิตศาสตร์ทางอุทกศาสตร์	31
ภาคผนวก G การทำนายการแพร่ของ BOD(100 mg/l)ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์	34
ภาคผนวก G2 การจำลองแพร่ของ BOD จากคลองขุดช่วงน้ำขึ้น	35
ภาคผนวก G2 การจำลองแพร่ของ BOD จากคลองขุดช่วงน้ำลง	35
ภาคผนวก G2 การเปลี่ยนแปลงของ BOD กับเวลา	36
ภาคผนวก G3 การจำลองแพร่ของ BOD จากคลองพะวงช่วงน้ำขึ้น	37
ภาคผนวก G3 การจำลองแพร่ของ BOD จากคลองพะวงช่วงน้ำลง	37
ภาคผนวก G3 การเปลี่ยนแปลงของ BOD กับเวลา	38
ภาคผนวก G4 การจำลองแพร่ของ BOD จากคลองสำโรง	39
ภาคผนวก E ผลการวิเคราะห์ coliform Bacteria 14 และ 21 มิถุนายน 2540	40
ภาคผนวก F รายงานผลการวิเคราะห์น้ำ เดือนมีนาคม-เมษายน 2540	43

การศึกษาความเป็นไปได้การแพร่กระจายของน้ำเสียในทะเลสาบสงขลาโดยวิธีการจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Feasibility Study Of The Polluted-water Dispersion In Songkhla lake By The Simulation Model)

1 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาเบื้องต้นของสภาพทางอุทกศาสตร์และการเคลื่อนที่ของของเสียในทะเลสาบสงขลา เพื่อพิจารณาเขตอิทธิพลที่ของเสียที่ระบายลงสู่ทะเลสาบสงขลาแพร่กระจายไป อันอาจส่งผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เขตอนุรักษ์พันธุ์สัตว์น้ำ และเพื่อให้เห็นภาพรวมของการถ่ายเทของมวลน้ำในทะเลสาบสงขลา

ในการศึกษานี้จำกัดเฉพาะพื้นที่ของทะเลสาบตอนล่าง (ทะเลสาบสงขลา) ซึ่งเป็นเขตที่มีการทำประมงน้ำกร่อยอย่างแพร่หลาย โดยของเสียที่พิจารณาเกิดจากกิจกรรมต่างๆที่ถ่ายลงสู่แม่น้ำ ลำคลองสายสำคัญๆรอบทะเลสาบตอนล่าง (ภาคผนวก A1) อันได้แก่

1. คลองอู่ตะเภา

คลองอู่ตะเภาซึ่งเป็นลำน้ำสำคัญที่สุดในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาสันกาลาคีรี เขตอำเภอสะเดา ไหลผ่านอำเภอหาดใหญ่และลงสู่ทะเลสาบสงขลาในทิศเหนือ มีอัตราการไหลเฉลี่ยในฤดูแล้ง (เมษายน-กันยายน) ประมาณ 7.8 ลบ.เมตรต่อวินาที และช่วงฤดูฝน (พย.-ธค.) มีค่า 88.6 ลบ.เมตรต่อวินาที (วินัยและสมบูรณ์ 2538) โดยภาพรวมลำน้ำอู่ตะเภามีความกว้างและความลึกเฉลี่ยประมาณ 50 เมตร และ 3.5 เมตร น้ำเสียจากอำเภอหาดใหญ่ถูกระบายลงสู่คลองอู่ตะเภา สุดท้ายลงสู่ทะเลสาบสงขลา ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษอย่างมากต่อสัตว์น้ำ

2. คลองขุดหรือคลองบางโหนด

ระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครหาดใหญ่ที่กำลังดำเนินการก่อสร้าง ได้รับการสนับสนุนจากกรมควบคุมมลพิษสิ่งแวดล้อม (เอส เอส กรู๊ป ร่วมค้าและคณะ 2539) โดยทำการก่อสร้างที่ระบายน้ำรวมจากตัวเมืองหาดใหญ่ ไปยังบ่อบำบัดรวม ณ บ้านบางโหนด ตำบลบางโหนด อำเภอหาดใหญ่ ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้ทะเลสาบสงขลา ทำการบำบัดเสีย ณ ที่นั่นแล้วระบายลงสู่ทะเลสาบสงขลาผ่านคลองขุด และลงสู่ทะเลสาบสงขลา ระบบบำบัดน้ำเสียนี้มีความสามารถที่จะบำบัดน้ำสกปรก จากค่า BOD 200 mg/l ให้ไม่เกิน 20 mg/l ซึ่งเกิดจากปริมาณน้ำเสียที่คาดไว้ใน ปี พ.ศ. 2548 คือมีน้ำเสียมากถึงวันละ 69,120 ลบ.ม. ในฤดูฝนและคาดว่าน้ำเสียที่ได้รับการบำบัดจะลงสู่ทะเลสาบสงขลาสูงสุดวันละประมาณ 70,000 ลบ.ม. ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อระบบนิเวศน้ำในทะเลสาบสงขลา และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

3. คลองพะวง

คลองพะวง เป็นลำน้ำสายสั้นๆ มีความยาวประมาณ 7 กม. เป็นที่ตั้งของอุตสาหกรรมปลาบ่นและที่พักอาศัย มีการระบายของเสียลงสู่คลองพะวง ซึ่งไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาทางทิศใต้ของเกาะยอ

4. คลองสำโรง

คลองสำโรงเป็นลำน้ำธรรมชาติที่สำคัญของอำเภอเมืองสงขลา สองฝั่งของลำน้ำเป็นที่อยู่อาศัยของชุมชนหนาแน่น (~6000 คน) (Brans, et.al, 1995) ด้วยเหตุนี้ลำน้ำสายนี้จึงเสมือนเส้นทางระบายน้ำ และแหล่งกำจัดของเสียแก่ชุมชน ซึ่งก่อให้เกิดการเน่าเสียอย่างรุนแรงในลำน้ำ เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และสันนิษฐานว่าเป็นแหล่งน้ำเสียที่ก่อให้เกิดการตายของปลาในกระชังในฤดูแล้ง บริเวณชายฝั่งทะเลสาบสงขลา (สำนักวิจัยและพัฒนา 2532)

2. ระบบทะเลสาบสงขลา

ระบบทะเลสาบสงขลา (Songkhla lagoon system) ครอบคลุมพื้นที่ 1182 ตารางกิโลเมตร (Taylor and Sons (V.4), 1985) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

ทะเลสาบตอนล่าง (ทะเลสาบสงขลา) ครอบคลุมพื้นที่ 190 ตารางกิโลเมตร มีความลึกเฉลี่ย 1.3 เมตร นับเป็นแหล่งน้ำเค็มตามธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อความเจริญทางเศรษฐกิจ และการประมง

ทะเลสาบตอนกลาง (ตั้งแต่บ้านป่ากรอ-บ้านแหลมจองถนน) เป็นโซนน้ำกร่อยมีขนาด 376 ตารางกิโลเมตร ความลึกเฉลี่ย 1.8 เมตร นับเป็นแหล่งอพยพของนกน้ำ และระบบนิเวศน์วิทยาที่สำคัญ

ทะเลสาบตอนบนครอบคลุมพื้นที่ 491 ตารางกิโลเมตร จัดเป็นแหล่งน้ำจืดขนาดใหญ่ที่เหมาะสมแก่การนำมาใช้เพื่อการเกษตร

3. วัตถุประสงค์ของการศึกษาดูด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ มีดังนี้

1. พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ทางอุทกศาสตร์และการแพร่ของของเสีย
2. ประยุกต์แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบ 2 มิติกับทะเลสาบสงขลา
3. ศึกษารูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำในทะเลสาบสงขลา
4. พยากรณ์การแพร่กระจายของของเสียในทะเลสาบสงขลา อันเนื่องมาจากของเสียที่ระบายมาจากลำคลองสายสำคัญๆ ในฤดูแล้ง

4. ขบวนการแพร่กระจายของของเสียในทะเลสาบสงขลา

การแพร่กระจายของของเสียเป็นขบวนการที่มีความซับซ้อน ทั้งในระดับมหภาค อาทิ การพัดพา (advection) โดยอิทธิพลของกระแสน้ำ ลม คลื่น การตกตะกอน เป็นต้น และในระดับจุลภาค อาทิ ความแตกต่างของอุณหภูมิและความหนาแน่น ความปั่นป่วน (turbulence) ขบวนการทางชีวเคมี (bio-chemical process) การเกิด flocculation เป็นต้น อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้จะพิจารณาเพียง 3 องค์ประกอบเบื้องต้นซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้สะดวก คือ

1. อิทธิพลของกระแสน้ำในทะเลสาบสงขลา จากขึ้นน้ำลง (tide) ในอ่าวไทย ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดการผสมผสานของมวลน้ำและของเสียในทะเลสาบ
2. อิทธิพลของน้ำท่า (runoff) ที่พัดพาของเสียออกจากลำคลองออกสู่ทะเลสาบสงขลา
3. ปฏิกริยาทางชีวเคมีของของเสีย (Fate) ซึ่งขบวนการที่เกิดขึ้นภายในมวลสารนั้นๆ อันเป็นปัจจัยที่ซับซ้อนมากประการหนึ่งในสภาวะทางธรรมชาติ

5. การสำรวจภาคสนาม

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่า มีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อขบวนการแพร่ของของเสีย อย่างไรก็ตามในการศึกษาเบื้องต้นนี้ได้จำกัดการศึกษาไว้ที่ปัจจัยหลัก (major driving force) คือจากอิทธิพลของกระแสน้ำขึ้นน้ำลง สำหรับปัจจัยอื่นเนื่องมาจากสภาพภูมิอากาศนั้นมีความซับซ้อนมาก (non-deterministic) และเกิดในช่วงระยะเวลาสั้นๆ จึงละไว้สำหรับการศึกษาเพิ่มเติมในโอกาสต่อไป

ความแม่นยำของการศึกษาด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์นั้นขึ้นอยู่กับข้อมูล พื้นฐานที่ป้อนแก่แบบจำลองๆ ดังนั้นจึงต้องทำการสำรวจภาคสนาม เพื่อให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นที่เพียงพอและเชื่อมั่นได้ จุดประสงค์ของการสำรวจมีดังนี้

1. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานแก่แบบจำลองๆ อันได้แก่ ความลึกและตะกอนท้องทะเลสาบสงขลา
2. เพื่อใช้ในการตรวจสอบแบบจำลองๆ อันได้แก่ ระดับน้ำ และความเร็วกระแสน้ำ
3. เพื่อให้เห็นภาพรวมของคุณภาพน้ำปัจจุบันในฤดูแล้ง อันได้แก่ ความเค็ม ตะกอนแขวนลอย BOD และ DO

6. รายละเอียดของการสำรวจภาคสนาม มีดังนี้

1. การสำรวจความลึกท้องทะเลสาบสงขลา (bathymetric survey) และคุณลักษณะของตะกอนท้องทะเลสาบ

ข้อมูลความลึกของทะเลสาบสงขลา มีความสำคัญมากต่อการกำหนดรูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำ เนื่องจากข้อมูลความลึกที่มีอยู่ (ปี 2522) ไม่มีความละเอียดเพียงพอและไม่ทราบแหล่งที่มาชัดเจน จึงจำเป็นต้องมีการสำรวจใหม่ซึ่งใช้งบประมาณค่อนข้างสูง ในที่นี้ทำการสำรวจด้วยเครื่องหยั่งความลึกด้วยคลื่นเสียง โดยมีความผิดพลาด ± 5 ซม. ส่วนพิกัดในแนวราบวัดด้วยเครื่อง GPS ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 30-50 ม แนวสำรวจความลึกทั้งสิ้นมีจำนวน 20 แนว ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ปากทางเข้าทะเลสาบ เกาะยอ ถึงช่องแคบป่ากรอ ผลการสำรวจถูกบันทึกอยู่ในรูปของกราฟ เมื่อนำมาหาค่าระดับน้ำขณะนั้น จะได้ค่าความลึกที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง แล้วนำมาเขียนเส้นชั้นความลึก (contour) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาตรฐานชื่อ SURFER ผลที่ได้แสดงในภาคผนวกรูปที่ B1

จากการเก็บตัวอย่างตะกอนห้องทะเลสาบสงขลา พบว่าเป็นโคลนทั่วทั้งทะเลสาบ และค่อยๆ เริ่มมีทรายละเอียดบริเวณช่องแคบทางเข้าทะเลสาบ และเป็นทรายหยาบที่บริเวณปากทางเข้ารูปภาคผนวก B2 แสดงคุณลักษณะของห้องทะเลสาบ ณ ตำแหน่งต่างๆ

2. การวัดระดับน้ำ

การบันทึกระดับน้ำกระทำขึ้น 2 จุด จุดที่ 1 ที่บ้านแหลมโพธิ์ อยู่ในความดูแลของกองอุทกวิทยา กรมชลประทาน จ.พัทลุง โดยติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติอย่างถาวร และทำการบันทึกระดับน้ำต่อเนื่องบนกระดาษกราฟตั้งแต่ปี 2539 การสำรวจจุดที่ 2 คือที่ช่องแคบป่ากรอ ซึ่งเป็นสถานีวัดระดับน้ำชั่วคราวติดตั้งด้วยเครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติโดยคณะวิจัยนี้ เพื่อทำการบันทึกระดับน้ำต่อเนื่องบนกระดาษกราฟตั้งแต่เดือน พฤษภาคม-กรกฎาคม 2540 ข้อมูลระดับน้ำทั้งสองสถานีได้รับการวิเคราะห์ (รูป B3 และ B4 ในภาคผนวก) และกำจัด sub-tidal frequencies โดยการผ่าน low pass filter ผลที่ได้จะถูกใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองฯ

ระดับน้ำที่ใช้ในการขับเคลื่อนแบบจำลองอุทกศาสตร์ ได้มาจากมาตราน้ำที่เกาะหนู (รูป B5 ในภาคผนวก) ซึ่งพิมพ์เผยแพร่โดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ค่าระดับน้ำที่ได้ถูกวิเคราะห์หาองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลง (tidal constituents) (Franco, 1988) จำนวน 17 องค์ประกอบ (ตาราง B1 ในภาคผนวก) เพื่อใช้เป็นตัวแทนของระดับน้ำที่ทางเข้าของทะเลสาบสงขลา ซึ่งผลที่ได้ชี้ว่า น้ำคู่เป็นองค์ประกอบหลักคือ M2, S2, N2 โดย M2 มีค่า amplitude และ phase เท่ากับ 19.4 ซม และ 124.3° ตามลำดับ และ น้ำเดี่ยวเป็นองค์ประกอบรองคือ K1 และ O1 โดย K1 มีค่า amplitude และ phase เท่ากับ 5.6 ซม และ 135.7° ตามลำดับ

3. การวัดความเร็วกระแสน้ำ

ขนาดและรูปแบบของความเร็วกระแสน้ำราย 20 นาทีถูกบันทึกเป็นระยะเวลาต่อเนื่องกัน 48 ชั่วโมง ที่ความลึก 2.0 ม จากผิวน้ำ ณ ร่องน้ำบริเวณเกาะยอด้านทิศเหนือและทิศใต้ แห่งละ 1 จุด

เพื่อใช้ในการปรับพารามิเตอร์ในแบบจำลองฯ และใช้ในการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ ตัวอย่างของความเร็วกะแสน้ำทั้ง 2 แห่งแสดงไว้ในภาคผนวก B6 และ B7

4. คุณภาพน้ำ

การสำรวจคุณภาพน้ำในฤดูแล้งระหว่างวันที่ 14 และ 21 มิถุนายน 2540 เพื่อศึกษาสถานะภาพปัจจุบันของคุณภาพน้ำในทะเลสาบสงขลาในฤดูแล้ง ซึ่งประกอบด้วย ตะกอนแขวนลอย/ความเค็ม (รูป B8 และ B9 ในภาคผนวก) และ BOD/DO/coliform (รูป B10 ถึง B13 ในภาคผนวก)

7. สมการของแบบจำลองคณิตศาสตร์ (mathematical model)

7.1 แบบจำลองอุทกสมุทรศาสตร์แบบ 2 มิติ (2-D vertically averaged model of hydrodynamics)

สมการที่ใช้ในแบบจำลองฯคือ กฎทรงมวลของสารและโมเมนตัมในพิกัดทรงกลม (spherical coordinate ϕ , θ และ r) โดยที่ ϕ คือ longitude θ คือ latitude และ r คือ รัศมีของโลก ภายใต้สมมติฐานของสมการ shallow water wave และการประมาณของ Boussinesq สมการข้างต้นสามารถแสดงได้ดังนี้

กฎทรงมวลของสาร

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{r \cos \theta} \frac{\partial UH}{\partial \phi} + \frac{1}{r} \frac{\partial VH}{\partial \theta} - \frac{VH \tan \theta}{r} = 0$$

สมการโมเมนตัมในแนว ϕ

$$\frac{\partial UH}{\partial t} + \frac{1}{r \cos \theta} \frac{\partial UUH}{\partial \phi} + \frac{1}{r} \frac{\partial UVH}{\partial \theta} - \frac{UVH \tan \theta}{r} = - \frac{1}{\rho_0 r \cos \theta} \varphi_\phi + \frac{\tau_\phi}{\rho_0}$$

$$\varphi_\phi = \int_{-h}^{\zeta} \frac{\partial p}{\partial r} dr = \rho_0 gH \frac{\partial (-h + \zeta)}{\partial \phi} + gH^2 \frac{\partial \rho}{2 \partial \phi}$$

$$\tau_\phi = \rho C_f U \sqrt{U^2 + V^2}$$

สมการโมเมนตัมในแนว θ

$$\frac{\partial VH}{\partial t} + \frac{1}{r \cos \theta} \frac{\partial UVH}{\partial \phi} + \frac{1}{r} \frac{\partial VVH}{\partial \theta} + \frac{U^2 - V^2}{r} H \tan \theta = - \frac{1}{\rho_0 r} \varphi_\theta + \frac{\tau_\theta}{\rho_0}$$

$$\varphi_\theta = \int_h^\zeta \frac{\partial p}{\partial r} dr = \rho_0 g H \frac{\partial(-h+\zeta)}{\partial \theta} + \frac{g H^2}{2} \frac{\partial \rho}{\partial \theta}$$

$$\tau_{\theta\theta} = \rho C_f v \sqrt{(u^2 + v^2)}$$

ตัวแปรในสมการข้างต้นมีความหมายดังต่อไปนี้

U, V	=	depth-averaged velocities in ϕ - and θ -direction, respectively
ζ	=	water surface elevation
$\tau_{\phi\phi}, \tau_{\theta\theta}$	=	bottom shear stress in ϕ - and θ -direction, respectively
H	=	depth (MSL)
C_f	=	bottom friction coefficient

7.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของของเสียแบบ 2 มิติ (2-D vertically averaged model of waste load transport)

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{1}{r} U \frac{\partial c}{\partial \theta} + \frac{1}{r} V \frac{\partial c}{\partial \phi} = \frac{D_H}{r^2 \cos^2 \theta} (c_{\theta\theta} - 2c_{\theta\phi} + c_{\phi\phi}) - D_H \tan \theta \frac{\partial c}{\partial \theta} + S$$

$$S = -K_d c$$

ในที่นี้	c	=	concentration of mass
	D_H	=	diffusion coefficient in ϕ - and θ -direction ดูตารางภาคผนวก A1
	S	=	Source term หรือ fate
	K_d	=	Decay rate = 0.3-0.4 day ⁻¹ (ดูตารางภาคผนวก A2)

สมการต่างๆข้างต้นได้รับการแปลงให้อยู่ในรูปของ curvilinear coordinates ซึ่งมีข้อดีคือสามารถใช้ได้กับขอบเขตของภูมิภาคประเทศที่ซับซ้อน และง่ายต่อการคำนวณเชิงตัวเลข สมการที่ได้รับการแปลงแล้วถูกแสดงไว้ในภาคผนวก C รายละเอียดในเรื่องนี้สามารถศึกษาได้จาก Spaulding (1984) and Swanson (1986)

8. การหาคำตอบเชิงตัวเลขของแบบจำลอง

สมการทางคณิตศาสตร์ของอุทกศาสตร์และการเคลื่อนที่ของของเสียแบบ 2 มิติ สามารถหาคำตอบเชิงตัวเลขได้ดังต่อไปนี้

1. สมการคงมวลของน้ำและสมการโมเมนตัม ประมาณค่าคำตอบด้วยวิธี staggered grid, semi-finite difference approximation
2. สมการการเคลื่อนที่ของของเสียสามารถหาคำตอบได้ โดยการแทนค่าความเร็วของกระแสน้ำที่ได้จากการแก้สมการ hydrodynamics ลงในสมการ convective-diffusion ของสาร และแก้สมการโดยวิธี staggered grid, Lax-Wendroff explicit finite difference scheme

9. การทำงานของแบบจำลองทางอุทกศาสตร์

ลำดับการทำงานของแบบจำลองทางอุทกศาสตร์มีดังต่อไปนี้

1. กำหนดขอบเขตของแบบจำลอง (model domain) ครอบคลุมพื้นที่ทั่วทั้งระบบทะเลสาบสงขลาและเกาะชอ ช่องแคบปากอและร่องน้ำทางเข้าทะเลสาบสงขลา และส่วนของอ่าวไทยถึงเกาะหนู (รูปภาคผนวก D1 แสดงขอบเขตแบบจำลองของทะเลสาบสงขลา)
2. เลือกขนาดและจำนวนกริดที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณ ในที่นี่ใช้ระยะของกริดเฉลี่ยประมาณ 500-1000 ม เป็นจำนวน 18x20 กริด (รูป D1) การเลือกจำนวนกริดที่มีขนาดเล็กมากจะให้ความละเอียดสูง แต่สิ้นเปลืองเวลาในการคำนวณมาก เพราะต้องเลือก time step ที่น้อยมาก ซึ่งไม่เหมาะกับการคำนวณเกี่ยวกับขบวนการแพร่ของสารด้วยวิธี explicit finite difference scheme
3. ใส่ค่าความลึกจริงของทะเลสาบที่ตำแหน่งกึ่งกลางของกริด โดยความลึกมากที่สุดมีค่า 9 ม อยู่ที่ช่องแคบทางเข้าทะเลสาบสงขลา ส่วนที่บริเวณกึ่งกลางทะเลสาบสงขลา มีความลึกประมาณ 1.5 ม (ดูรูป D1 ในภาคผนวก)
4. ใส่ค่าองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงที่เกาะหนู (ตารางภาคผนวก B1) ที่วิเคราะห์ได้จากมาตราน้ำกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
5. ค่าอุทกศาสตร์เริ่มต้น (Initial Condition) ของทะเลสาบสงขลา ถูกกำหนดให้อยู่ในสภาพน้ำนิ่ง นั่นคือความเร็ว ณ จุดต่างๆมี ค่าเท่ากับศูนย์ และอัตราการไหลของน้ำทำจากแม่น้ำต่างๆมีค่าน้อยมากเพราะเป็นช่วงฤดูแล้ง

6. ทำการคำนวณเพื่อทำนายสภาพอุทกศาสตร์รายชั่วโมง ต่อเนื่องเป็นเวลาประมาณ 16 วันเพื่อให้ครอบคลุมช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย
7. นำผลการคำนวณระดับน้ำและกระแสน้ำไปเปรียบเทียบกับที่วัดได้เพื่อปรับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในแบบจำลองฯ
8. ทำซ้ำข้อ 4 ถึง 7 จนกว่าจะให้ผลการเปรียบเทียบเป็นที่ดีที่สุด การเปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำ และกระแสน้ำจากการวัดกับการคำนวณ

10. ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง waste load transport มีดังนี้

เมื่อผลที่ได้แบบจำลองทางอุทกศาสตร์ พบว่ามีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้พยากรณ์การเคลื่อนที่ของมวลน้ำในทะเลสาบสงขลาได้ ต่อไปนำผลนี้ใช้ร่วมกับแบบจำลองการเคลื่อนที่ของของเสีย เพื่อทำนายการแพร่กระจายของของเสีย โดยมีลำดับการทำงานของแบบจำลองฯ ดังต่อไปนี้

1. ใส่ค่าองค์ประกอบน้ำขึ้นน้ำลงที่เกาะหนู (ตารางภาคผนวก B1) ที่วิเคราะห์ได้จากมาตราน้ำกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
2. ค่าอุทกศาสตร์เริ่มต้น (Initial Condition) ของทะเลสาบสงขลา ถูกกำหนดให้อยู่ในสภาพน้ำนิ่ง นั่นคือความเร็ว u จุดต่างๆมีค่าเท่ากับศูนย์
3. ค่าปริมาณของของเสียเริ่มต้น (Initial Condition) ในทะเลสาบสงขลาให้อยู่ในสภาพคุณภาพน้ำที่ดี นั่นคือค่าความปนเปื้อน C จุดต่างๆมีค่าเท่ากับศูนย์
4. ใส่ค่าปริมาณของของเสียในลำคลองต่างๆที่ระบายลงสู่ทะเลสาบ พร้อมทั้งอัตราการไหลของน้ำท่าจากลำน้ำนั้นๆในช่วงฤดูแล้ง การศึกษานี้จะกระทำไปที่ละลำน้ำ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดจากลำน้ำแต่ละสาย ในที่นี้สมมติให้ BOD เท่ากับ 100 mg/l ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการพิจารณา และอัตราการไหลในลำน้ำเป็นการไหลต่ำสุดในฤดูแล้งซึ่งมีค่าคงที่ตลอดการคำนวณ
5. ทำการคำนวณเพื่อทำนายสภาพของการแพร่กระจายของเสียรายชั่วโมง ต่อเนื่องเป็นเวลาประมาณ 16 วัน เพื่อศึกษาสภาวะที่เลวร้ายที่สุดที่อาจเกิดขึ้นได้

11. การทดสอบแบบจำลอง (Model Testing)

ก่อนที่จะนำแบบจำลองไปใช้งาน จำเป็นต้องมีการทดสอบแบบจำลองนั้นๆ ในที่นี้การทดสอบแบบจำลองฯ มีจุดประสงค์หลัก 2 ประการ คือ

1. ตรวจสอบ Computer Codes ที่เขียนขึ้น
2. ตรวจสอบว่าเชื่อถือและความเป็นไปได้ของคำตอบที่ได้จากแบบจำลองฯ

ผลการเปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำและกระแสน้ำจากการวัดกับการคำนวณ ที่ร่องน้ำด้านทิศเหนือของเกาะยอแสดงในรูป E1 ของภาคผนวก และสำหรับที่ร่องน้ำด้านทิศใต้ของเกาะยอแสดงในรูป E2 ของภาคผนวก

12. ตัวอย่างผลการคำนวณจากแบบจำลองคณิตศาสตร์

- รูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำที่ได้จากแบบจำลองอุทกศาสตร์

ประโยชน์ที่สำคัญของการศึกษาด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ คือสามารถแสดงรายละเอียดของกระแสน้ำที่ทุกๆ จุดได้ในเวลาเดียวกัน ซึ่งไม่อาจกระทำได้ด้วยการวัดโดยตรงในสนาม เนื่องจากกระแสน้ำในทะเลสาบจะแปรเปลี่ยนไปตลอดเวลา การไหลวนอันเป็นธรรมชาติที่ซับซ้อนนี้ถูกแสดงไว้ในภาคผนวกที่ F ในรูปของ vector diagram ราย 3 ชั่วโมงจนครบ 1 รอบของน้ำขึ้นน้ำลง

- รูปแบบการแพร่กระจายของของเสี้ยวที่ได้จากแบบจำลองฯ

เช่นเดียวกับในกรณีของแบบจำลองอุทกศาสตร์ รายละเอียดของการแพร่กระจายของของเสี้ยวที่ทุกๆ จุดในทะเลสาบสามารถแสดงได้ในรูปของ raster หรือแถบสี ซึ่งบ่งบอกความเข้มข้นของของเสี้ยว ดังตัวอย่างในภาคผนวก G

นอกจากนี้ผลการคำนวณยังแสดงการพยากรณ์ในรูปของปริมาณของเสี้ยวกับเวลา ณ จุดที่สนใจต่าง ๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าของเสี้ยวมีการเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสน้ำ จนถึงสภาวะคงตัว (steady state)

13. สรุปผลการศึกษา

จากข้อมูลภาคสนามให้ข้อสรุปภาพรวมของทะเลสาบสงขลา ในช่วงฤดูแล้งดังต่อไปนี้

1. พบว่าความเค็มมีค่าอยู่ระหว่าง 25-31 ppt ที่บริเวณเกาะยอ และค่อยๆ ลดลงจนมีค่า 12-29 ppt ที่ช่องแคบปากอ และยังพบว่ามี การแยกตัวของชั้นความเค็มบริเวณที่มีความลึกมากกว่า 3 ม ทำให้การผสมผสานของน้ำเป็นแบบ partially mixed
2. อุณหภูมิของน้ำมีค่าเฉลี่ย 28°C และการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอตลอดความลึกของน้ำ โดยความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวน้ำและที่ท้องทะเลสาบมีค่าประมาณ 1°C

13. สรุปผลการศึกษา

จากข้อมูลภาคสนามให้ข้อสรุปภาพรวมของทะเลสาบสงขลา ในช่วงฤดูแล้งดังต่อไปนี้

1. พบว่าความเค็มมีค่าอยู่ระหว่าง 25-31 ppt ที่บริเวณเกาะยอ และค่อยๆลดลงจนมีค่า 12-29 ppt ที่ช่องแคบปากอ และยังพบว่ามีการแยกตัวของชั้นความเค็มบริเวณที่มีความลึกมากกว่า 3 ม ทำให้การผสมผสานของน้ำเป็นแบบ partially mixed
2. อุณหภูมิของน้ำมีค่าเฉลี่ย 28°C และการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอตลอดความลึกของน้ำ โดยความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวน้ำและที่ท้องทะเลสาบมีค่าประมาณ 1°C

3. ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยมีค่าอยู่ระหว่าง 6-25 mg/l
4. ตะกอนท้องทะเลสาบโดยทั่วไปเป็นโคลน และค่อยๆพัฒนาเป็นทรายเมื่อเข้าใกล้ร่องน้ำทางเข้าทะเลสาบสงขลา
5. ค่า BOD₅ (untreated) มีค่าอยู่ระหว่าง 2-7 mg/l
6. Coliform bacteria ในทะเลสาบสงขลามีค่าอยู่ระหว่าง 2-31 MPN/100 ml ขณะที่ในลำคลองต่างๆ โดยรอบทะเลสาบจะมีค่า >2400 MPN/100 ml
7. ระดับน้ำในทะเลสาบที่แหลมโพธิ์แตกต่างจากที่เกาะหนูอยู่ 40 ซม โดยมี phase ต่างกันอยู่ 3.5 ชม.
8. ความเร็วสูงสุดของกระแสน้ำวัดที่เกาะยอดด้านทิศเหนือมีค่า 0.67 ม/วินาที ขณะที่ทางทิศใต้ของเกาะยอดได้ 0.43 ม/วินาที
9. เส้นชั้นความลึกที่สังเคราะห์ในเบื้องต้นนี้จำเป็นต้องมีการตรวจสอบอีกครั้งเพื่อความสมบูรณ์ และสามารถใช้อ้างอิงได้

จากการศึกษาด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยมีน้ำขึ้นน้ำลงในอ่าวไทยเป็นปัจจัยหลักในการขับเคลื่อนมวลน้ำ และกำหนดให้ BOD ที่ระบายลงสู่ลำน้ำแต่ละสายมีความเข้มข้นคงที่ 100 mg/l ทำให้ได้ข้อสรุปการไหลเวียนของมวลน้ำ และการเคลื่อนที่ของของเสียในทะเลสาบสงขลาในช่วงฤดูแล้งดังต่อไปนี้

1. ผลการจำลองระดับน้ำที่แหลมโพธิ์ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.0015
2. ผลการจำลองกระแสน้ำในร่องน้ำทิศเหนือและใต้ของเกาะยอด พบว่าให้ความแม่นยำสูงจากการคำนวณพบว่า ในช่วงน้ำเกิดขึ้น ความเร็วในร่องน้ำทิศเหนือของเกาะยอดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.77 ม/วินาที และทางทิศใต้ของเกาะยอดมีค่าเท่ากับ 0.38 ม/วินาที
3. การปะทะกันของมวลน้ำในทะเลสาบสงขลา อันเนื่องมาจากความต่างกันของ phase ของระดับน้ำ ทำให้เกิดการไหลวนที่ซับซ้อนขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางทะเลสาบ โดยค่อนข้างทางซีกฝั่งตะวันออก ขณะที่ทางซีกฝั่งตะวันตก การไหลไม่รุนแรงและเป็นระเบียบ
4. ของเสียที่ระบายออกจากคลองอู่ตะเภามีแนวโน้มที่จะแพร่ไปตามแนวรัศมีรอบปากแม่น้ำ ที่สภาวะคงตัว (steady state) ความเข้มข้น 10 มก/ล อยู่ที่รัศมี 2 กม ถ้าหากมีการปล่อยของเสียอย่างต่อเนื่องเป็นเวลามากกว่า 2-3 วัน โดยที่แหลมโพธิ์จะได้รับผลกระทบอย่างมากถึง 50 มก/ล

5. ของเสียที่ระบายออกจากคลองขุดบริเวณก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ไม่มีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อเขตอนุรักษ์พันธุ์สัตว์น้ำแหลมโพธิ์และกระชังเลี้ยงปลาบริเวณเกาะขอม โดยที่รัศมี 1 กม จะมีความเข้มข้นประมาณ 10 มก/ล
6. ของเสียที่ระบายออกจากคลองพะวง มีแนวโน้มส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อการเลี้ยงปลาในกระชังบริเวณทิศใต้ของเกาะขอม เนื่องจากอิทธิพลของกระแสน้ำทำให้ระดับของเสียที่ 10 มก/ล แพร่ไปตามแนวร่องน้ำเป็นระยะทาง 3 กม ทางทิศตะวันตก และ 2 กม ทางทิศตะวันออก
7. ของเสียที่ระบายออกจากคลองสำโรง อำเภอเมืองสงขลา มีแนวโน้มที่จะแพร่ไปถึงเกาะขอมทางทิศเหนืออย่างรวดเร็ว เนื่องจากของเสียไม่สามารถระบายออกสู่อ่าวไทยผ่านทางทางเข้าทะเลสาบได้ทันในช่วงน้ำลง ทำให้ของเสียมีแนวโน้มสะสมตัวอยู่ในทะเลสาบ และถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำผ่านทางร่องน้ำทางทิศเหนือของเกาะขอม

14. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อเนื่อง

จากการศึกษาเบื้องต้นนี้ทำให้เห็นภาพการแพร่ของของเสียได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามการศึกษานี้อยู่บนข้อสมมติหลายประการ ดังนั้นเพื่อความถูกต้องและเป็นประโยชน์อย่างแท้จริงจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1. ศึกษาแนวโน้มและปริมาณของเสียที่ระบายออกจากคลองต่างๆ พร้อมทั้งอัตราการไหลในฤดูแล้ง
2. การหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในทะเลสาบสงขลา โดยใช้การวัดการแพร่กระจายของของเสียบริเวณปากแม่น้ำ หรือการใช้สี (dye) หรือจากภาพถ่ายทางอากาศ เป็นต้น
3. การหา decay rate ของ BOD และ การฟื้นตัวของ DO ที่เชื่อถือได้ในทะเลสาบสงขลา
4. การปรับปรุงและพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มีอยู่ให้มีความแม่นยำมากขึ้น โดยการเพิ่มอิทธิพลต่างๆ อาทิ ความเค็ม อุณหภูมิ และสภาพภูมิอากาศ
5. การตรวจสอบความลึกในทะเลสาบให้ละเอียดเพิ่มขึ้นจากการสำรวจเบื้องต้นในการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

- วินัยและสมบูรณ์ 2538 “การศึกษาและจำลองสภาพการตกตะกอนทางธรรมชาติในลำคลองอุตะภา
เพื่อสร้างโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์” มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- สำนักวิจัยและพัฒนา 2532 “การติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา”
รายงานร่างฉบับสุดท้าย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- เอส เอส กรุ๊ป ร่วมค้า SUMMIT GRADE LTD. PART SEMBAWANG ENGINEERING และ
MONTGOMERY WATSON ASIA 2539 “โครงการออกแบบรวมก่อสร้างระบบบำบัด
น้ำเสียรวม เทศบาลเมืองหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา”
- Brans, R.P., Runge, A.C., and Ruyg, B.S. 1995 “Improvement of the Klong Sam Rong.” TU
Division of Hydraulics, Faculty of Civil Engineering, TUDelft, Netherland
- John Taylor and Sons, 1985 “Songkhla lake Basin Planning Study”, Final Report, Volume 4:
Projects, Water Resources,
- Thomann, R.V and Mueller J.A, 198-. “Principles of Surface Water Quality Modeling and
Control”
- Spaulding M.L., 1984. “A Vertically Averaged Circulation Model Using Boundary-Fitted
Coordinates.” Journal of Physical Oceanography, 14. Pages 973-982.
- Swanson, J.C., 1986. “A Three Dimensional Numerical Model System of Coastal Circulation and
Water Quality.”, Ph.D. Dissertation, Department of Ocean Engineering, Univ. of Rhode
Island.

ภาคผนวก A ข้อมูลทั่วไป

ตาราง A1 Diffusion coefficient ของของเสีย

ESTUARINE LONGITUDINAL DISPERSION COEFFICIENTS

Estuary	Flow (cfs)	Dispersion	
		(mi ² /day)	coefficient
Hudson River, NY	5000	20	Hydroscience (1971)
East River, NY	0	10	Hydroscience (1971)
Cooper River, SC	10000	30	Hydroscience (1971)
South River, NJ	23	5	Hydroscience (1971)
Houston Ship Channel, TX	900	27	Hydroscience (1971)
Cape Fear River, NC	1000	2-10	Hydroscience (1971)
Compton Creek, NJ	10	1	Hydroscience (1971)
Wappinger and Fishkill Creek, NY	2	0.5-1	Hydroscience (1971)
River Foyle, N. Ireland	250	5	Hydroscience (1971)
Delaware River, upper		2-7	Thomann (1972)
Delaware River, lower		7-11	Thomann (1972)
Potomac River, upper		0.6-6	Thomann (1972)
Potomac River, lower		6-10	Thomann (1972)
Narrows of Mercey		4.4-12	Tetra-Tech (1978)
San Francisco Bay, southern		0.6-6	Tetra-Tech (1978)
San Francisco Bay, northern		1.5-62	Tetra-Tech (1978)
Rio Quayas, Ecuador		25	Fischer et al. (1979) Thames River, England, low flow
Thames River, England, high flow		1.8-2.8	Fischer et al. (1979)
Thames River, England, high flow		11	Fischer et al. (1979)

ที่มา : Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, Thomann, R.V and Mueller J.A.

ආසන්න K_1 Decay rate ඉහත BOD

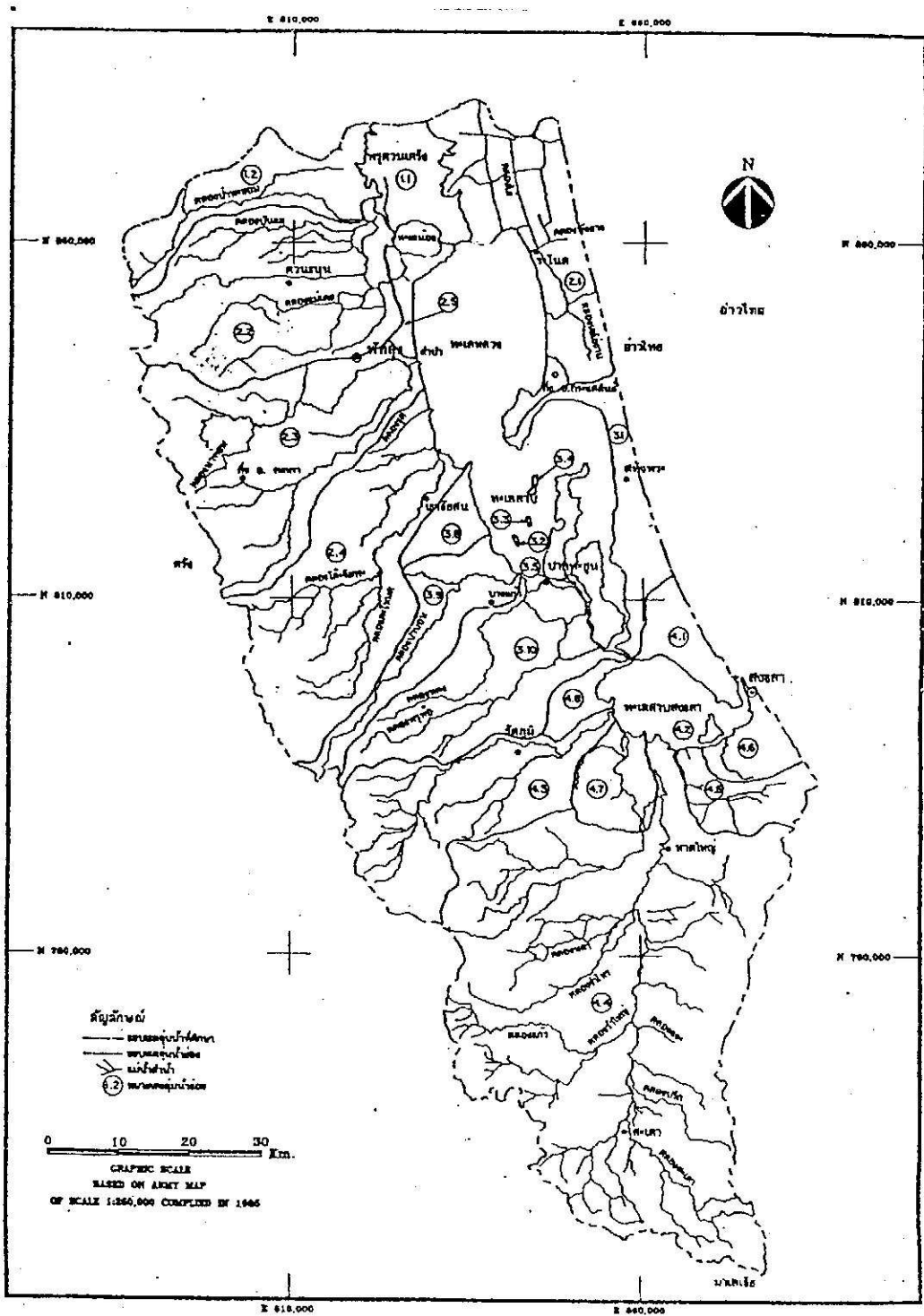
K_1 (day⁻¹) @ 20°C

Treatment level	Approximate range	Approximate average	<u>CBODU</u> CBOD5	<u>CBODU</u> BOD5
None	0.3-0.4	0.35	1.2	-
Primary/secondary	0.1-0.3	0.2	1.6	-
Activated sludge	0.05-0.1	0.075	3.2	-
Primary-advanced	-	0.087	2.84(±1.17)	2.74(±1.52)

මූලාශ්‍රය: Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, Thomann, R.V and Mueller J.A.

รูป A1 ลำน้ำสำคัญและขอบเขตลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ที่มา : เทสโก้ และคณะ (2536) "การศึกษาและออกแบบโครงการกั้นกั้นน้ำท่วม ทะเลสาบสงขลา จังหวัดสงขลาและจังหวัดพัทลุง"



ภาคผนวก B ข้อมูลสนาม

ตาราง B1 องค์ประกอบของน้ำขึ้นน้ำลงที่เกาะหนู

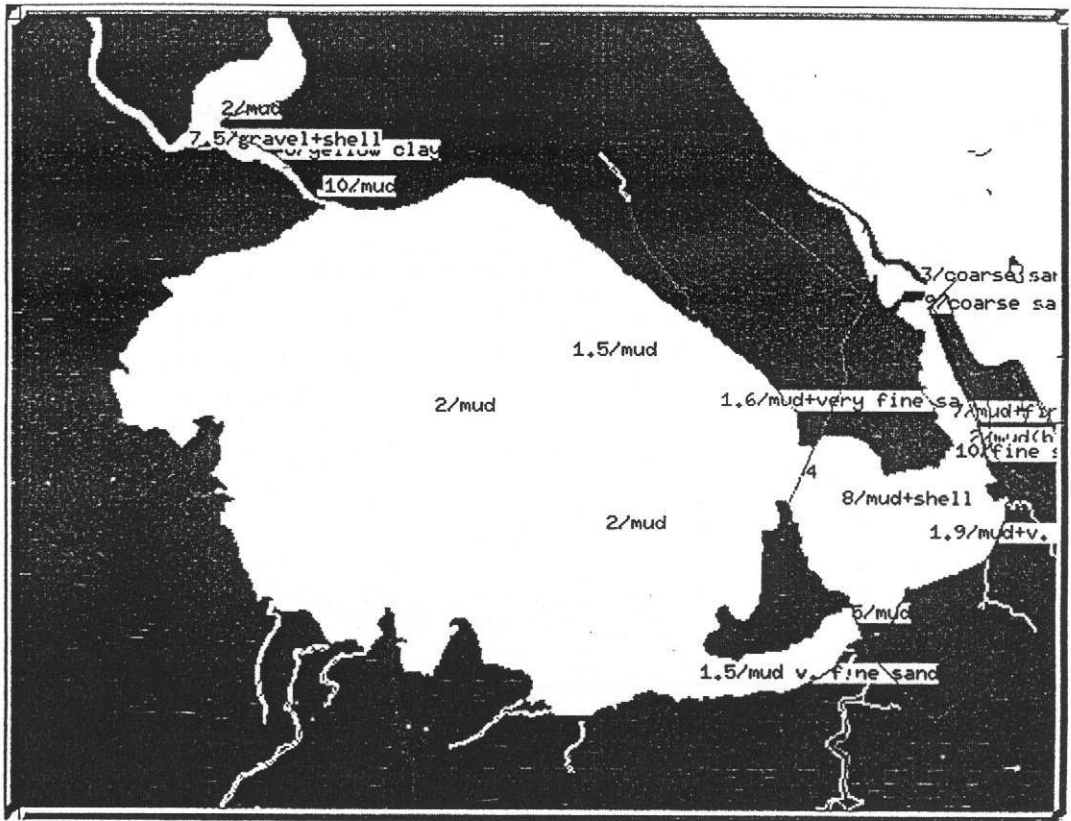
Tidal constituents	Degree/hr	Amplitude (cm)	Phase (degree)
Q1	13.4	0.771	107
O1	13.9	4.263	155.6
K1	15	5.589	135.7
OO1	16.1	0.841	252.5
P1	15	1.379	18.6
MU2	28	0.781	243
N2	28.4	5.273	81.3
M2	29	19.387	124.3
S2	30	6.385	316.9
MSN2	30.5	0.807	83.6
NU2	28.5	1.063	288.7
K2	30.1	1.623	219.7
NO3	42.4	0.656	100.7
MO3	42.9	1.801	117
M3	43.5	0.622	203.6
MK3	44	2.972	49
SK3	45	1.267	291.7

รูป B1 ความลึกของท้องทะเลสาบสงขลา

ที่มา: สมบูรณ์ พรพิเนตพงศ์ และคณะวิจัย 2540

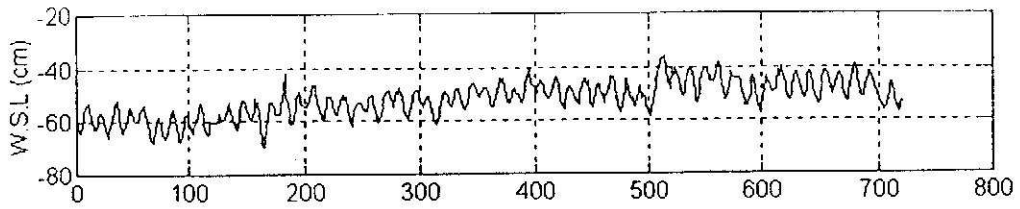


รูป B2 ความลึก(ม)/ตะกอนที่องค์ทะเล สาบสงขลา ตำรวจเมื่อ 19-มกราคม 2540

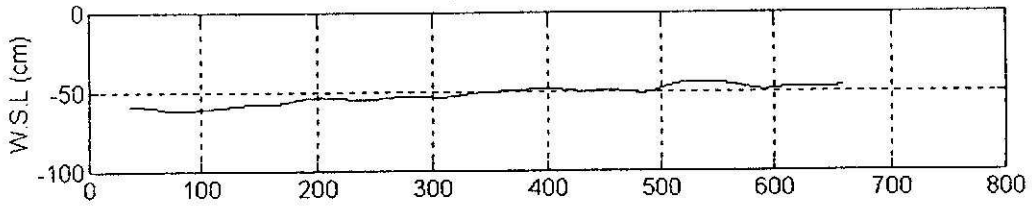


รูป B3 ระดับน้ำที่ช่องแคบปากอ

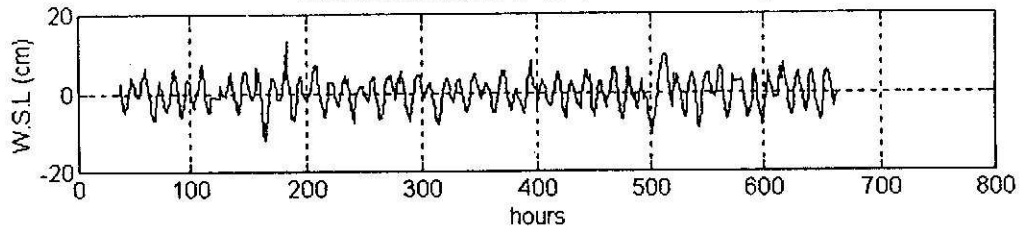
Observed record of W.S.L at Pak Ro June 1997



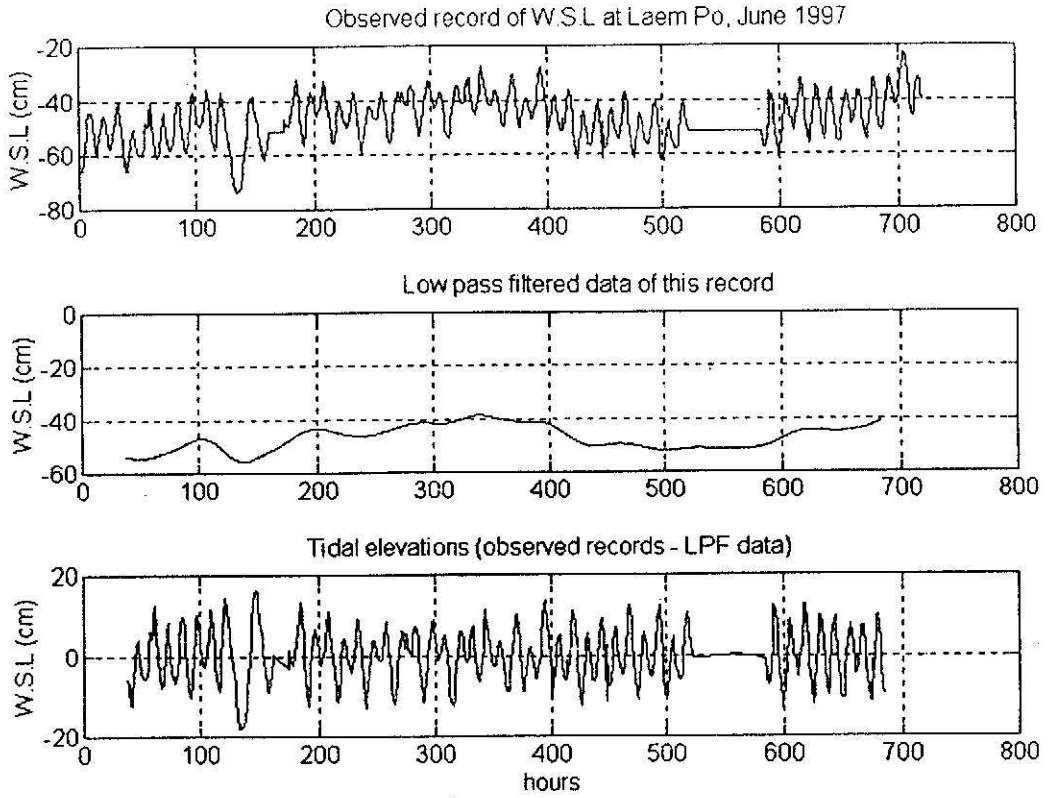
Low pass filtered data of this record



Tidal elevations (observed records - LPF data)

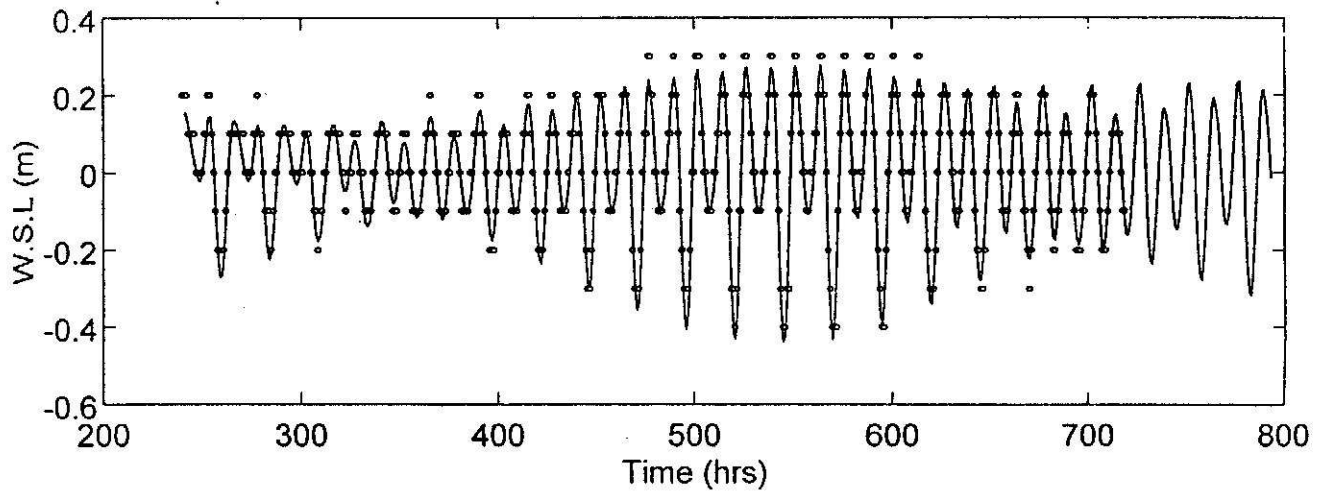


รูป B4 ระดับน้ำที่แหลมโพธิ์



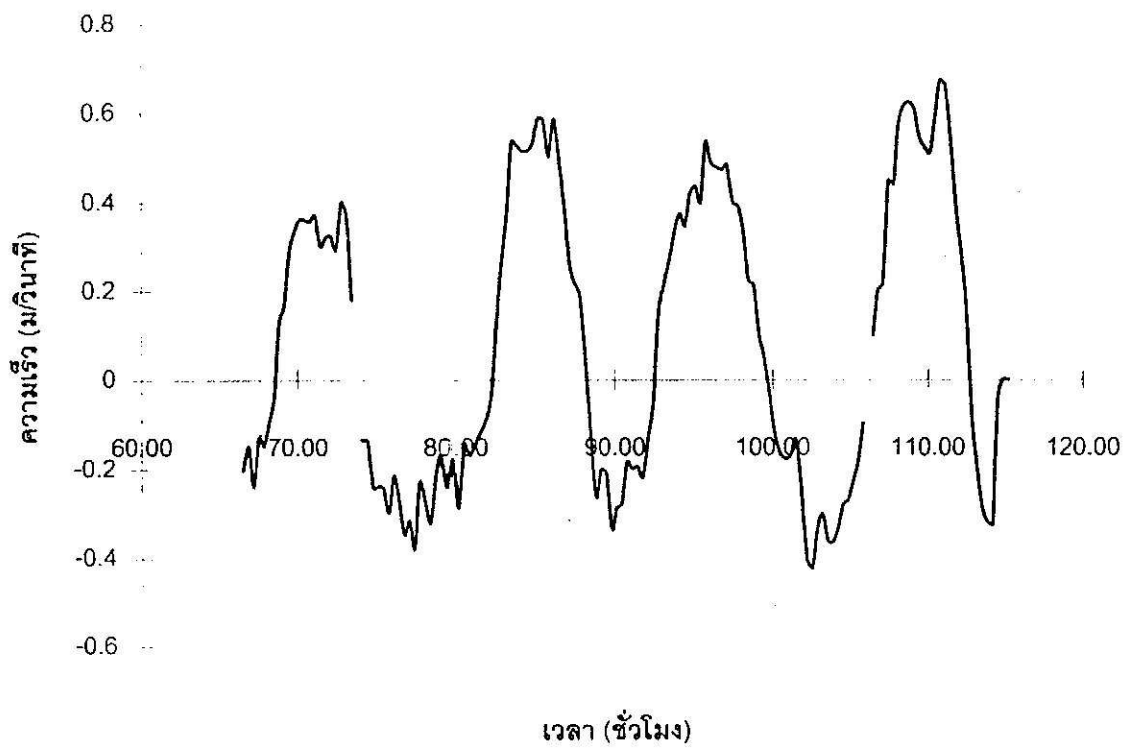
รูป B5 ระดับน้ำที่เกาะหนู

Computed and observed water surface elevation at Ko Nu, June 11-30, 1997



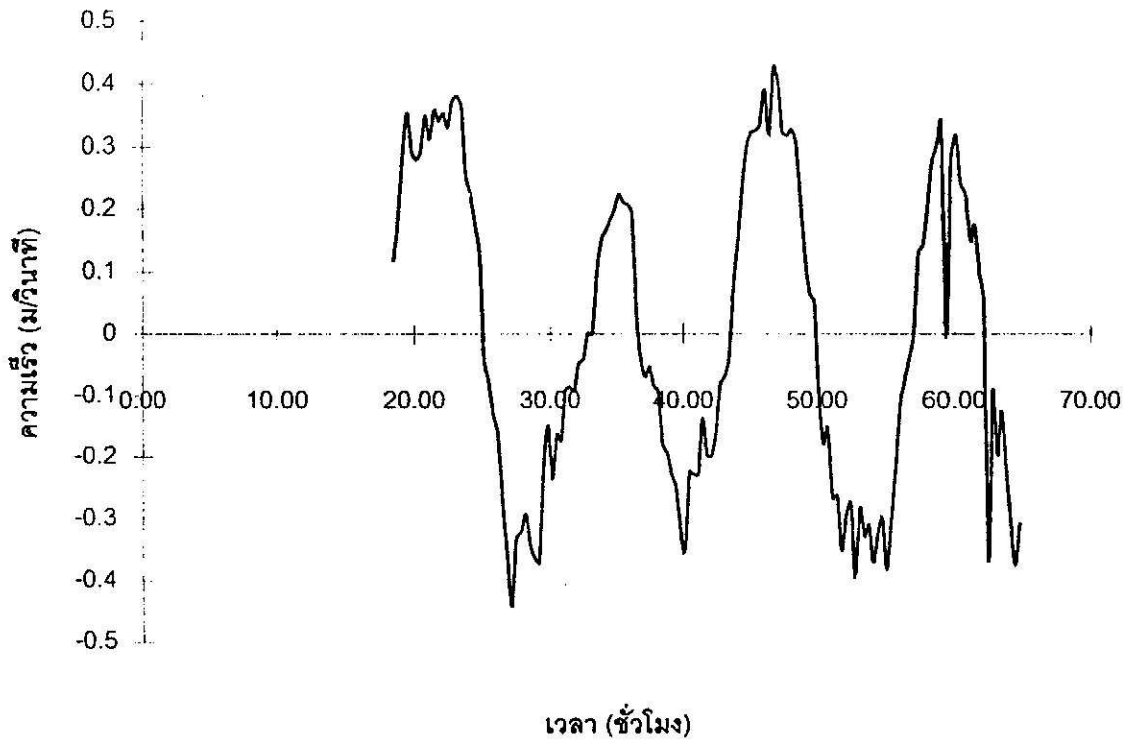
รูป B6 ความเร็วกระแสน้ำระดับน้ำที่เกาะขอมทางทิศเหนือ

ความเร็วกระแสน้ำที่ความลึก 2 ม วันที่ 29-1 กรกฎาคม 2540 ที่ทิศเหนือของเกาะขอม

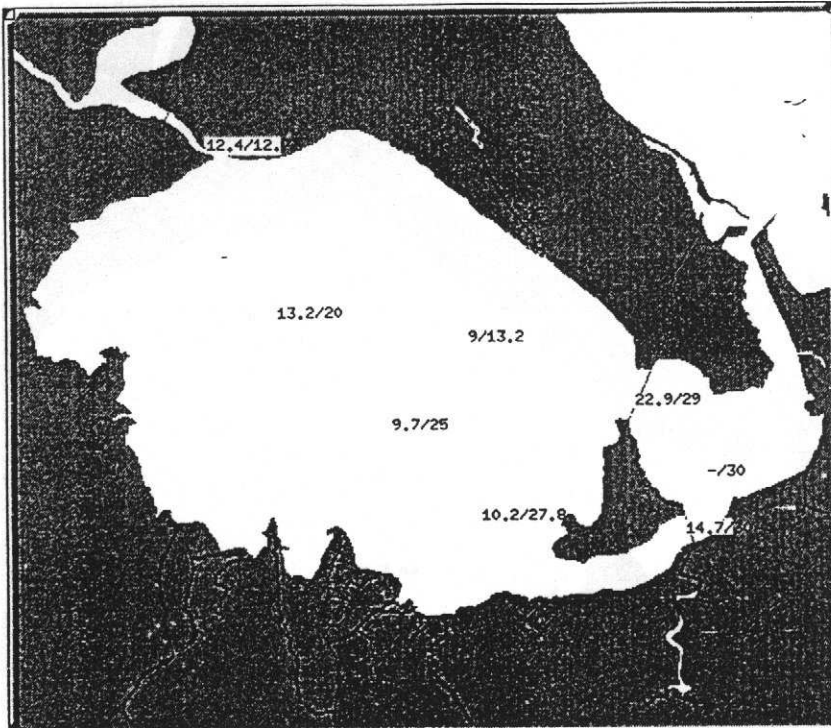


รูป B7 ความเร็วกระแสน้ำระดับน้ำที่เกาะขอมทางทิศใต้

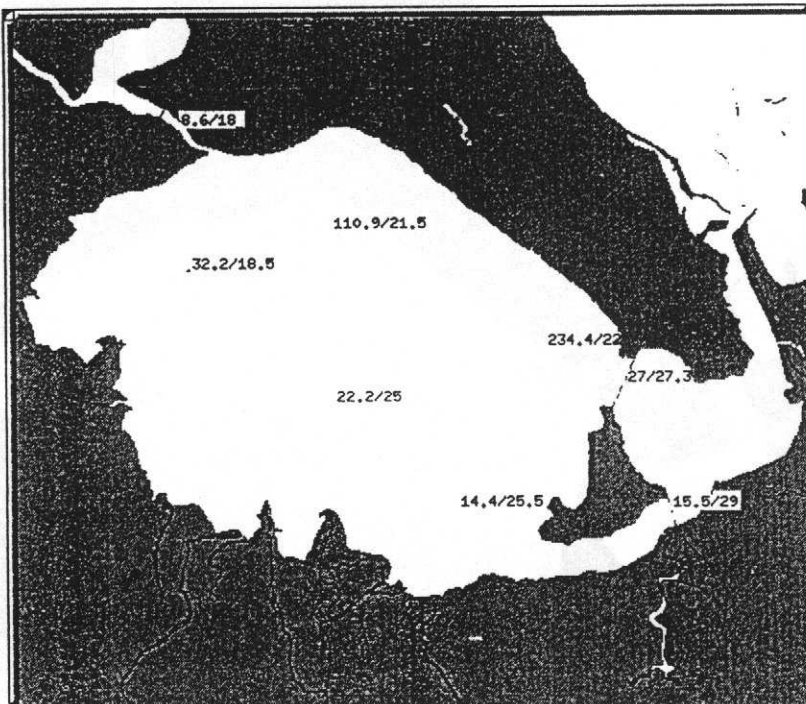
ความเร็วกระแสน้ำที่ความลึก 2 ม วันที่ 28-29 มิถุนายน 2540 ที่ทิศใต้ของเกาะขอม



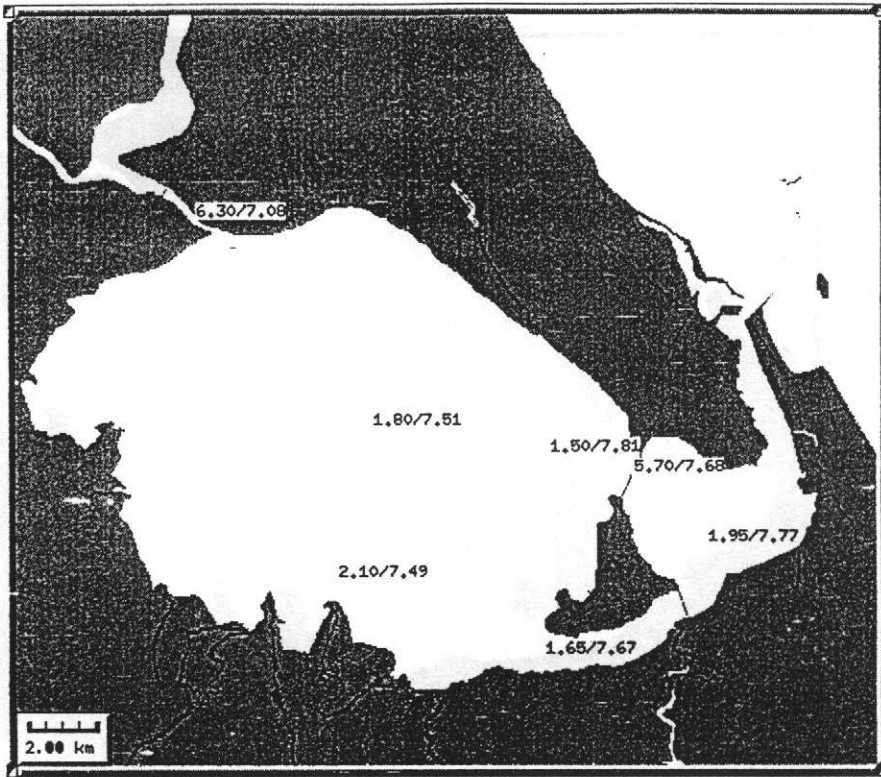
รูป B8 ตะกอนแขวนลอย/ความเค็มในทะเลสาบสงขลาวันที่ 14 มิถุนายน 2540



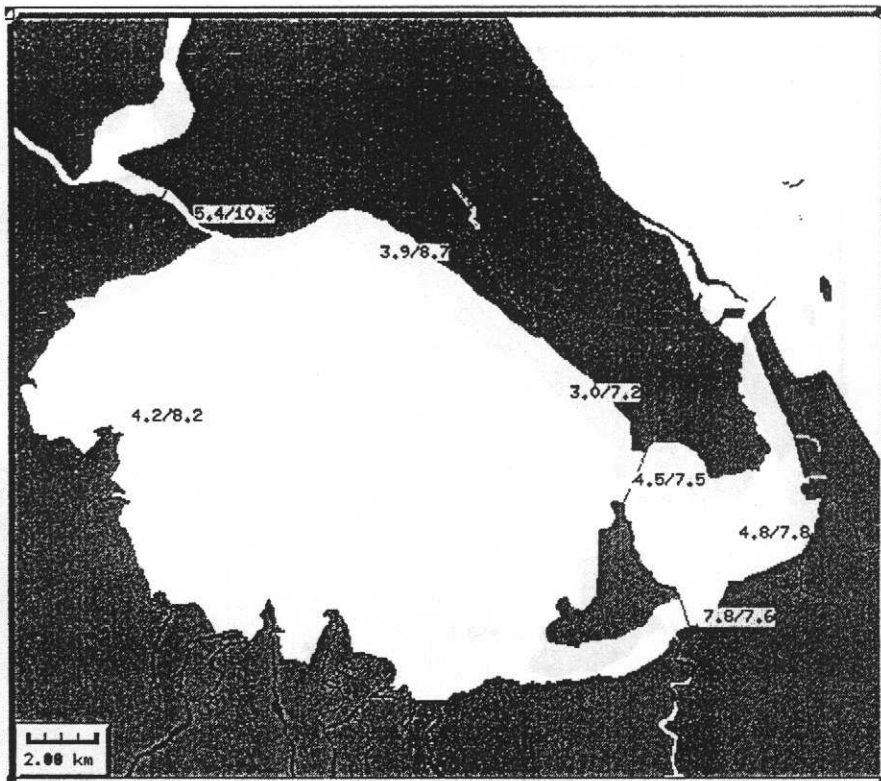
รูป B9 ตะกอนแขวนลอย/ความเค็มในทะเลสาบสงขลาวันที่ 21 มิถุนายน 2540



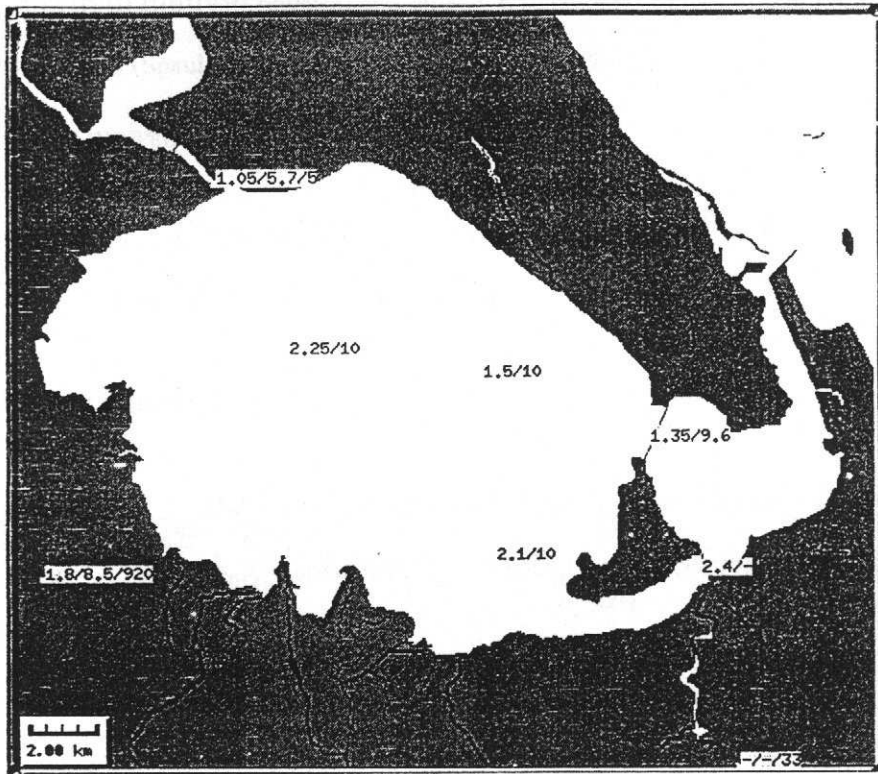
รูป B10 BOD/pH ในทะเลสาบสงขลาวันที่ 12 เมษายน 2540



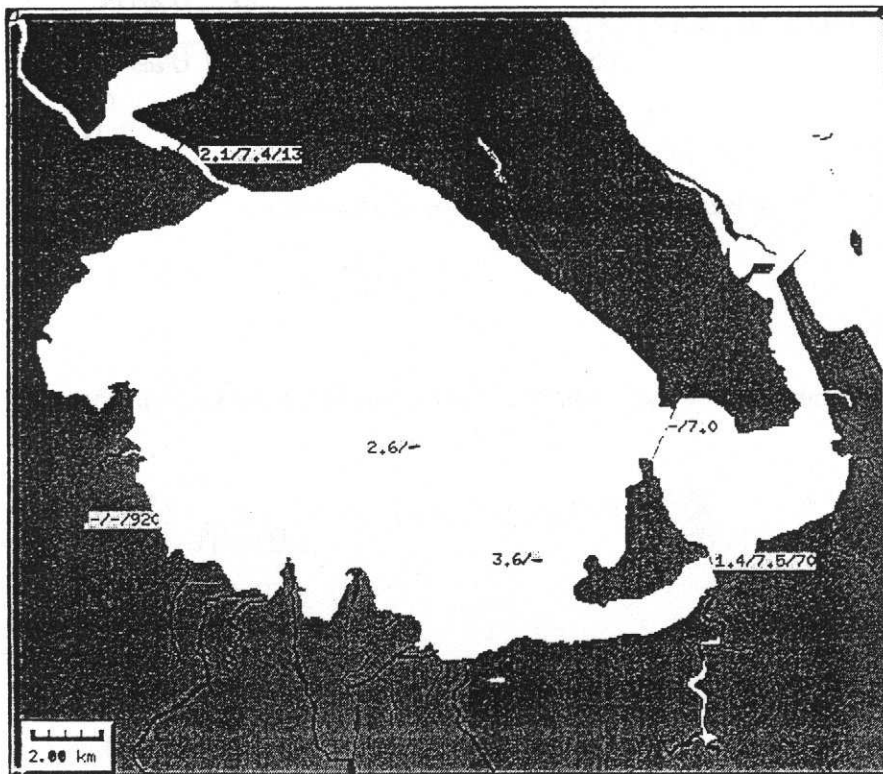
รูป B11 BOD/DO ในทะเลสาบสงขลาวันที่ 13 พฤษภาคม 2540



รูป B12 BOD/DO/coliform ในทะเลสาบสงขลาวันที่ 14 มิถุนายน 2540



รูป B13 BOD/DO/coliform ในทะเลสาบสงขลาวันที่ 21 มิถุนายน 2540



ภาคผนวก C Curvilinear Transformation of Hydrodynamic and waste load transport model

พิกัดในแนวนอนจาก physical coordinates สามารถ transform ให้อยู่ในรูปของ curvilinear coordinates (ξ, η) (Spaulding, 1984 และ Swanson, 1986) ได้ดังนี้

กฎทรงมวลของสาร

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{J_r \cos \theta} \frac{\partial (UHJ \cos \theta)}{\partial \xi} + \frac{1}{J_r \cos \theta} \frac{\partial (VHJ \cos \theta)}{\partial \eta} - VH \tan \theta = 0$$

สมการ โมเมนตัมในแนว ξ

$$\begin{aligned} \frac{\partial UH}{\partial t} + \frac{1}{J_r^2 \cos^2 \theta} \theta_\eta \left[\frac{\partial (\cos^2 \theta (UHJ \phi_\xi + UVHJ \phi_\eta))}{\partial \xi} + \frac{\partial (\cos^2 \theta (UVHJ \phi_\xi + VUHJ \phi_\eta))}{\partial \eta} \right] \\ - \frac{1}{J_r^2 \cos^2 \theta} \phi_\eta \left[\frac{\partial (\cos^2 \theta (UHJ \theta_\xi + UVHJ \theta_\eta))}{\partial \xi} + \frac{\partial (\cos^2 \theta (UVHJ \theta_\xi + VUHJ \theta_\eta))}{\partial \eta} \right] \\ = \frac{\tau_{b\xi}}{\rho_o} \end{aligned}$$

สมการ โมเมนตัมในแนว η

$$\begin{aligned} \frac{\partial VH}{\partial t} + \frac{1}{J_r^2 \cos^2 \theta} \theta_\xi \left[\frac{\partial (\cos^2 \theta (UHJ \phi_\xi + UVHJ \phi_\eta))}{\partial \xi} + \frac{\partial (\cos^2 \theta (UVHJ \phi_\xi + VUHJ \phi_\eta))}{\partial \eta} \right] \\ - \frac{1}{J_r^2 \cos^2 \theta} \phi_\xi \left[\frac{\partial (\cos^2 \theta (UHJ \theta_\xi + UVHJ \theta_\eta))}{\partial \xi} + \frac{\partial (\cos^2 \theta (UVHJ \theta_\xi + VUHJ \theta_\eta))}{\partial \eta} \right] \\ = \frac{\tau_{b\eta}}{\rho_o} \end{aligned}$$

เมื่อ U, V = contra-variance velocities in ξ and η -direction

$$J = \text{Jacobian} = \phi_\xi \theta_\eta - \phi_\eta \theta_\xi$$

สมการการเคลื่อนที่ของของเสียแบบ 2 มิติ ในรูปของ curvilinear Coordinates

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{1}{J_r} \frac{\partial Ds}{\partial \xi} + \frac{1}{J_r} \frac{\partial Ds}{\partial \eta} = \frac{D_{\eta^2}}{J_r^2 \cos^2 \theta} (G_{22} s_{\xi\xi} - 2G_{12} s_{\xi\eta} + G_{11} s_{\eta\eta}) - D_H \tan \theta \frac{\partial s}{\partial \theta} + S$$

เมื่อ G_{ij} คือ metric coefficients

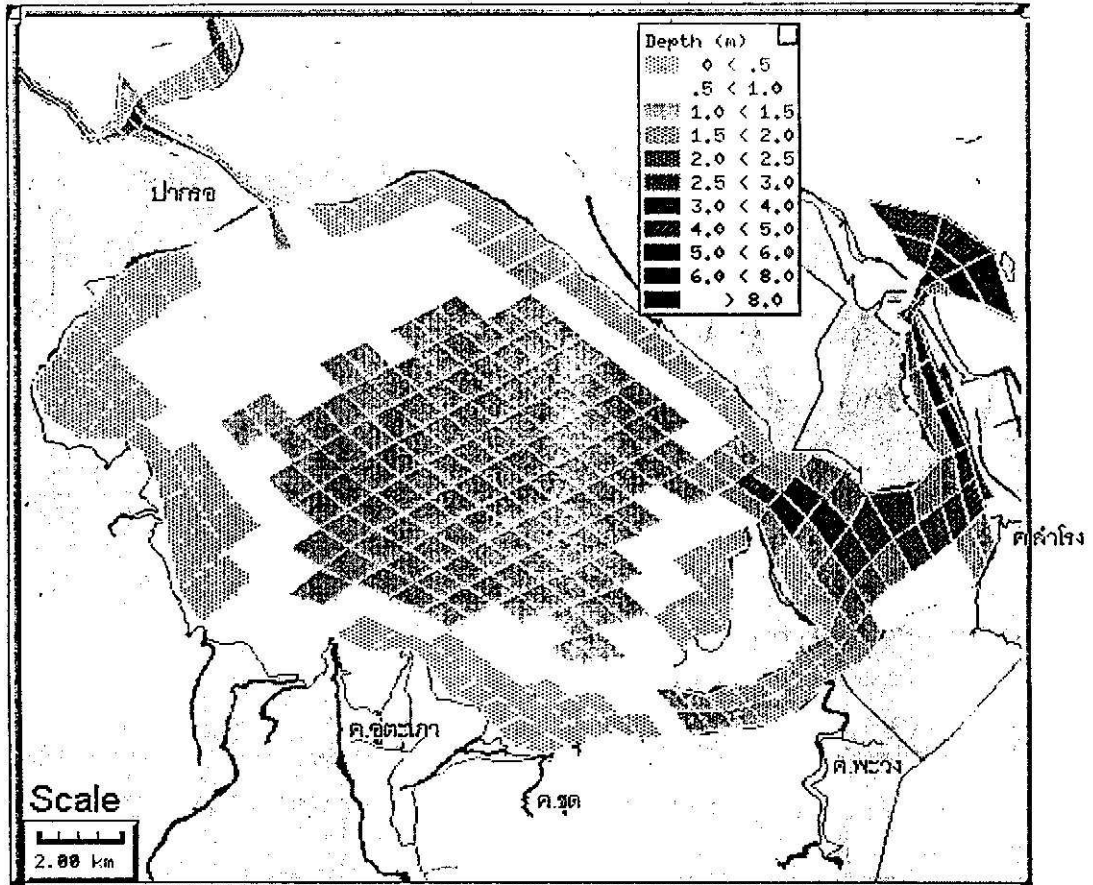
$$G_{11} = \theta_\xi^2 + \phi_\xi^2 \cos^2 \theta$$

$$G_{12} = \theta_\xi \theta_\eta + \phi_\xi \phi_\eta \cos^2 \theta$$

$$G_{22} = \theta_\eta^2 + \phi_\eta^2 \cos^2 \theta$$

ภาคผนวก D แบบจำลองคณิตศาสตร์

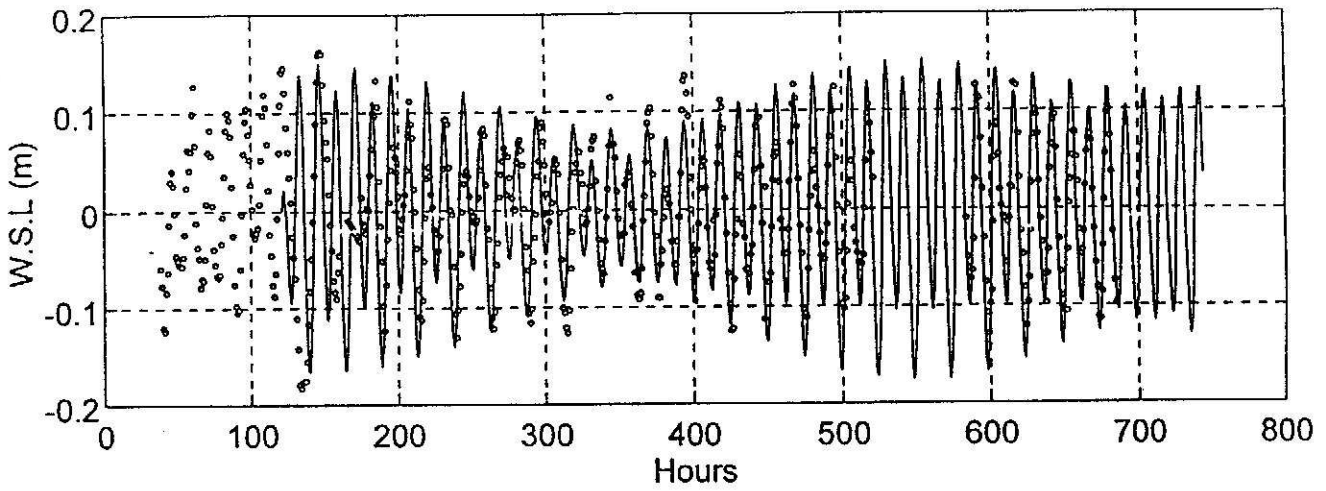
ขอบเขตของแบบจำลอง (model domain) กริด (grid) และความลึก



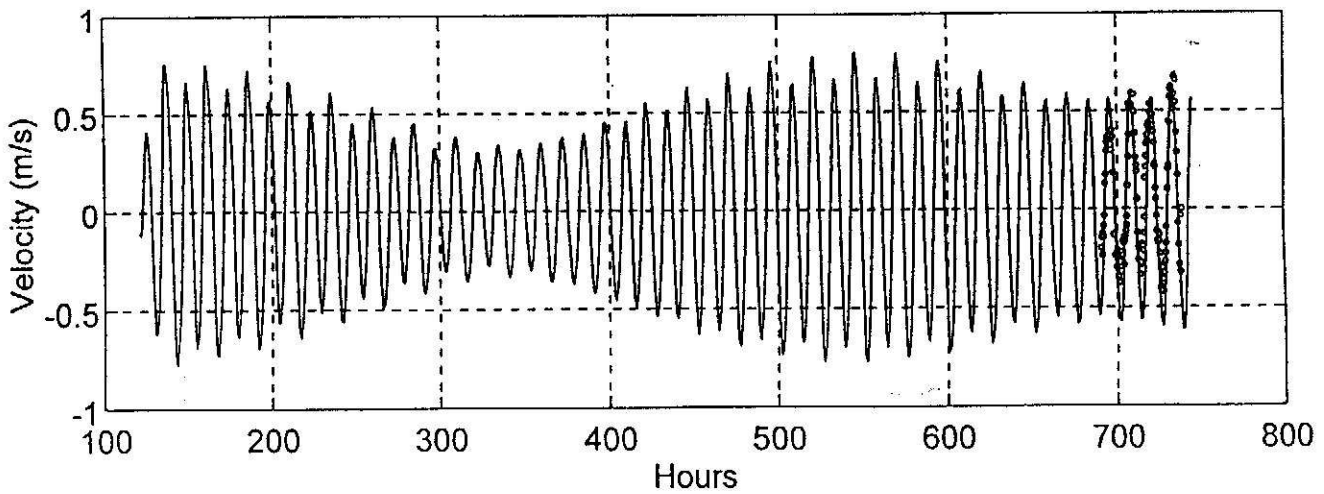
ภาคผนวก E การทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์ทางอุทกศาสตร์

รูปที่ E1 การเปรียบเทียบผลการคำนวณกับการวัดที่ร่องน้ำด้านทิศเหนือของเกาะชอ

Water surface elevation at Laem Po, June 2-30, 1997

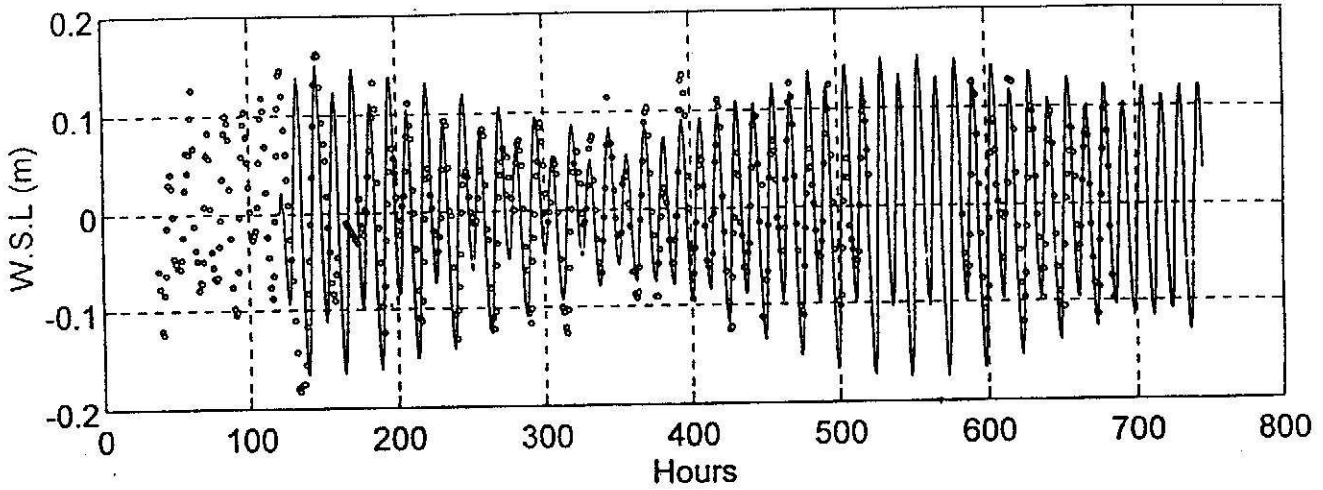


Velocity at north channel of Koyo, June 27-29, 1997

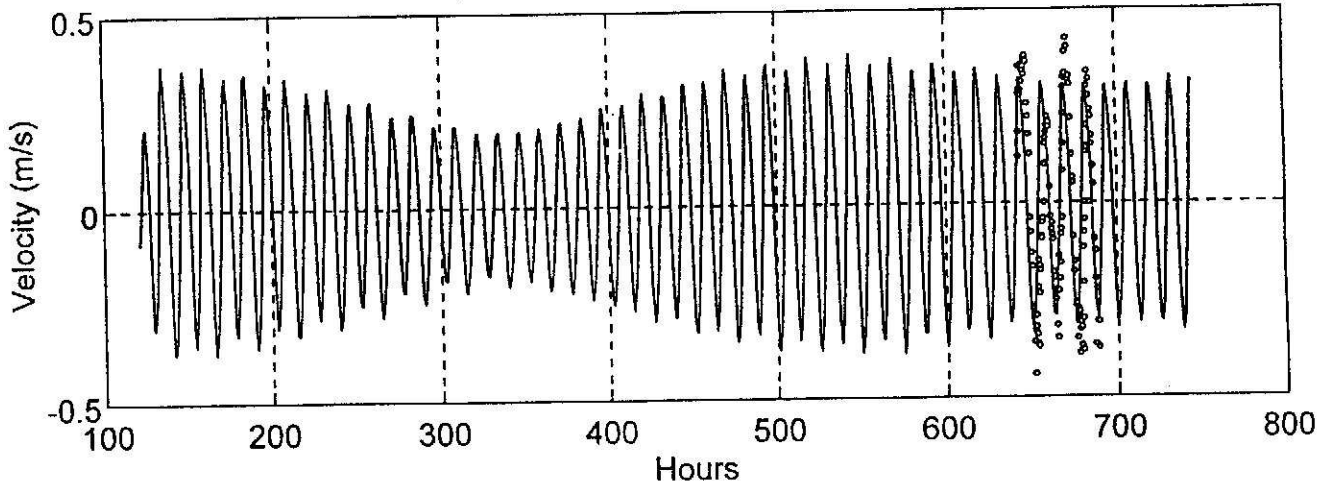


รูปที่ E2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณกับการวัดที่ร่องน้ำด้านทิศใต้ของเกาะชอ

Water surface elevation at Laem Po, June 2-30, 1997

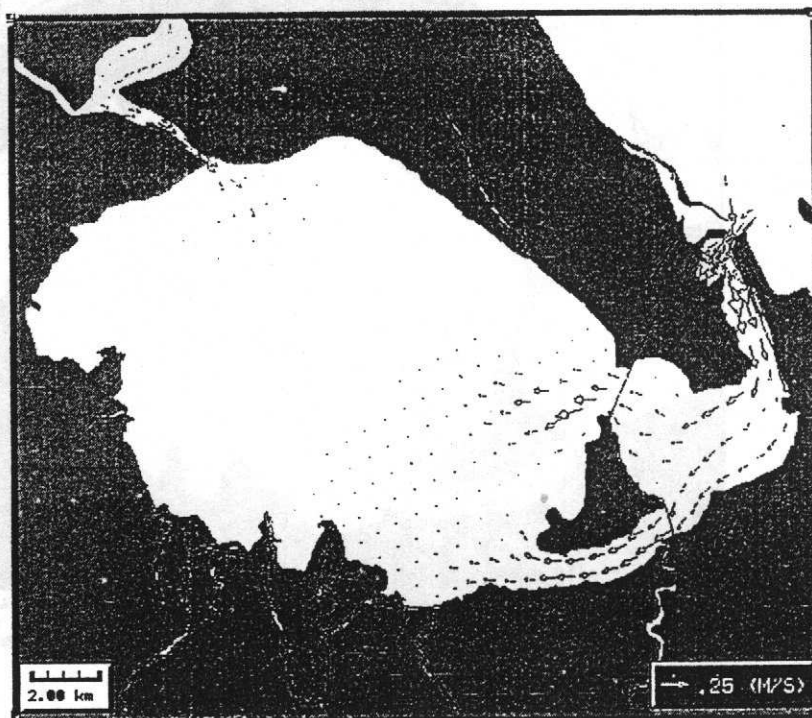


Velocity at south channel of Koyo, June 29-July 1, 1997

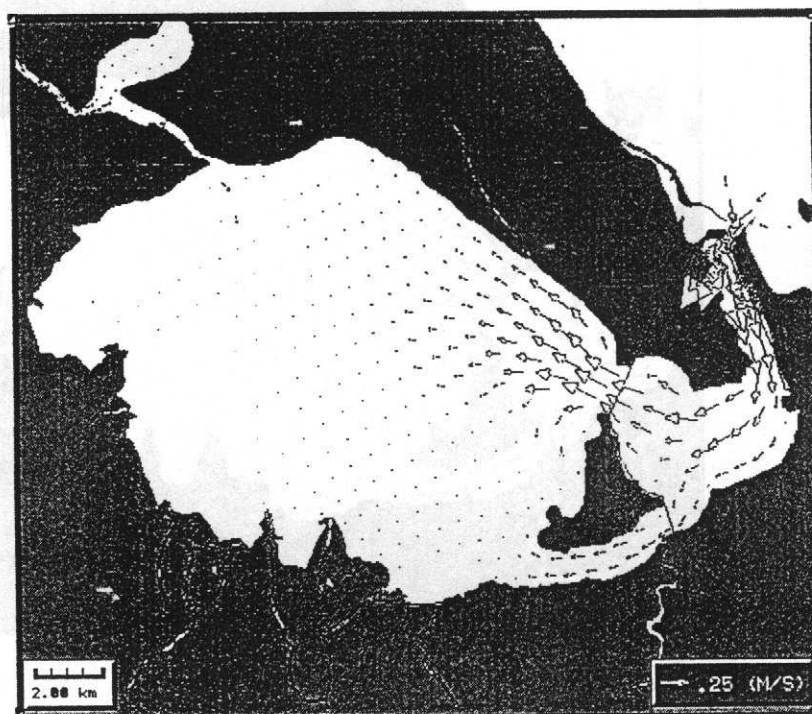


ภาคผนวก F ตัวอย่างผลการคำนวณจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ทางอุทกศาสตร์

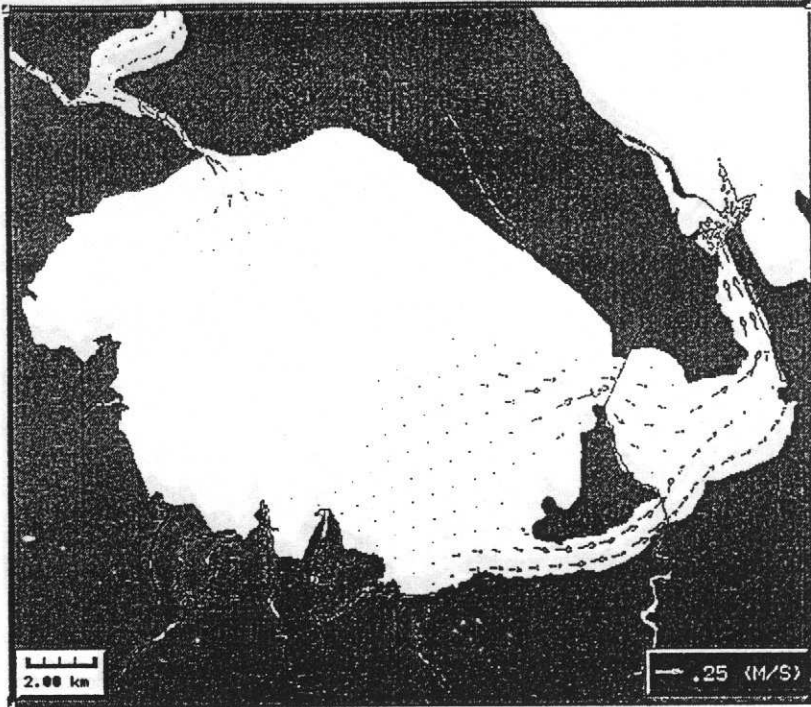
การจำลองกระแสน้ำ น้ำเริ่มขึ้นที่เกาะหนู (flood current)



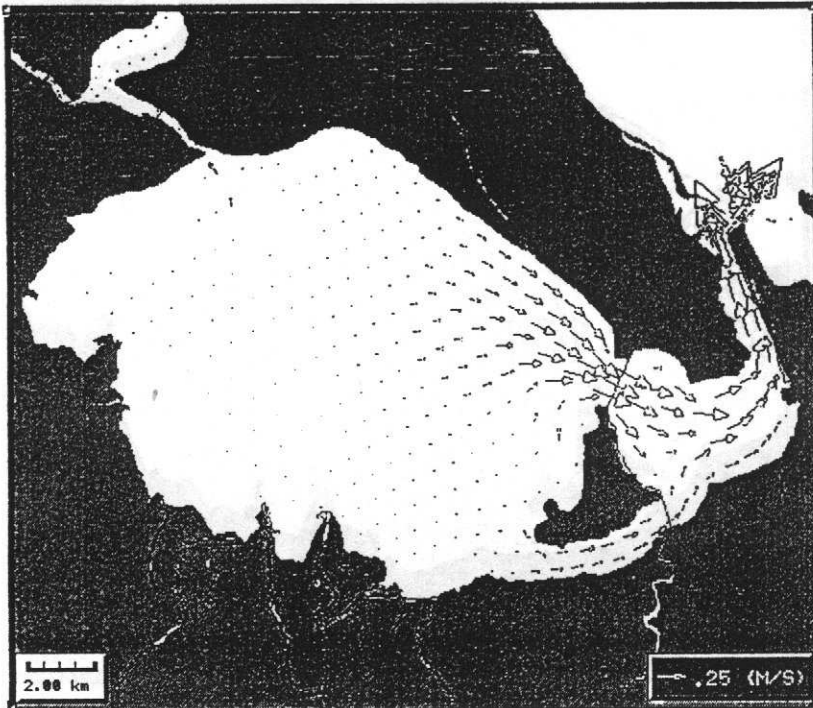
เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง



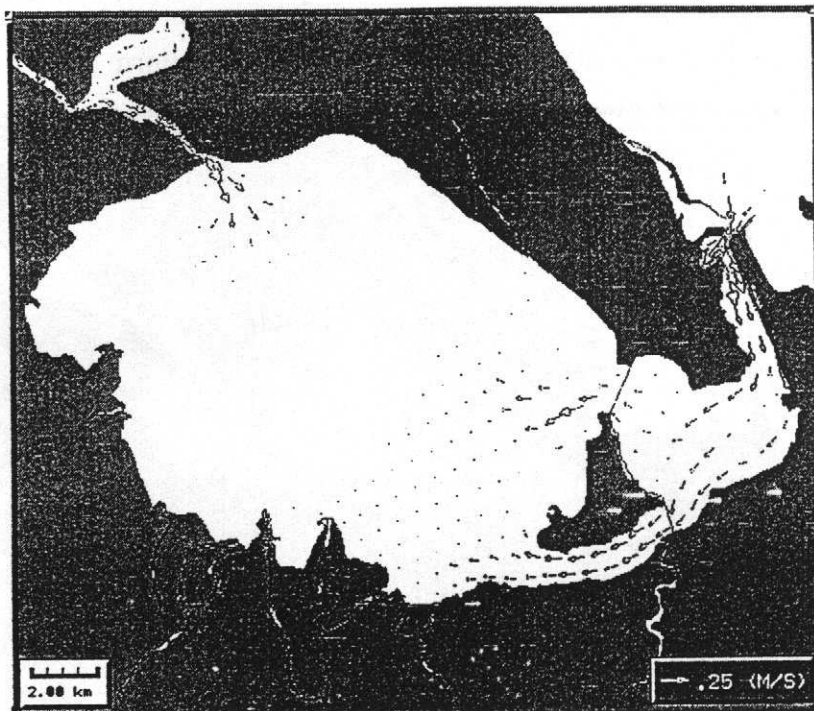
เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง น้ำเริ่มลง (ebb current)



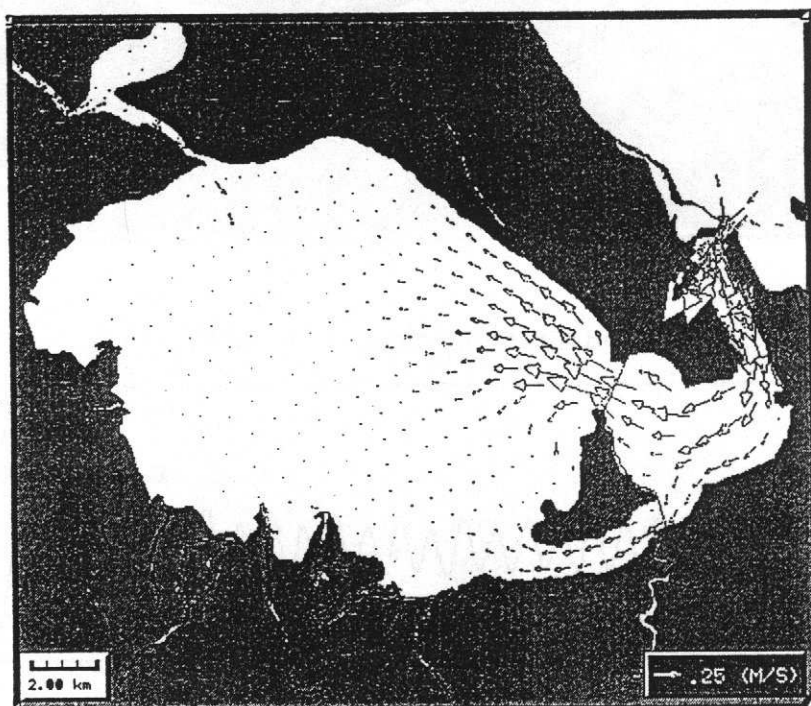
เมื่อเวลาผ่านไป 9 ชั่วโมง



เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง น้ำเริ่มขึ้น

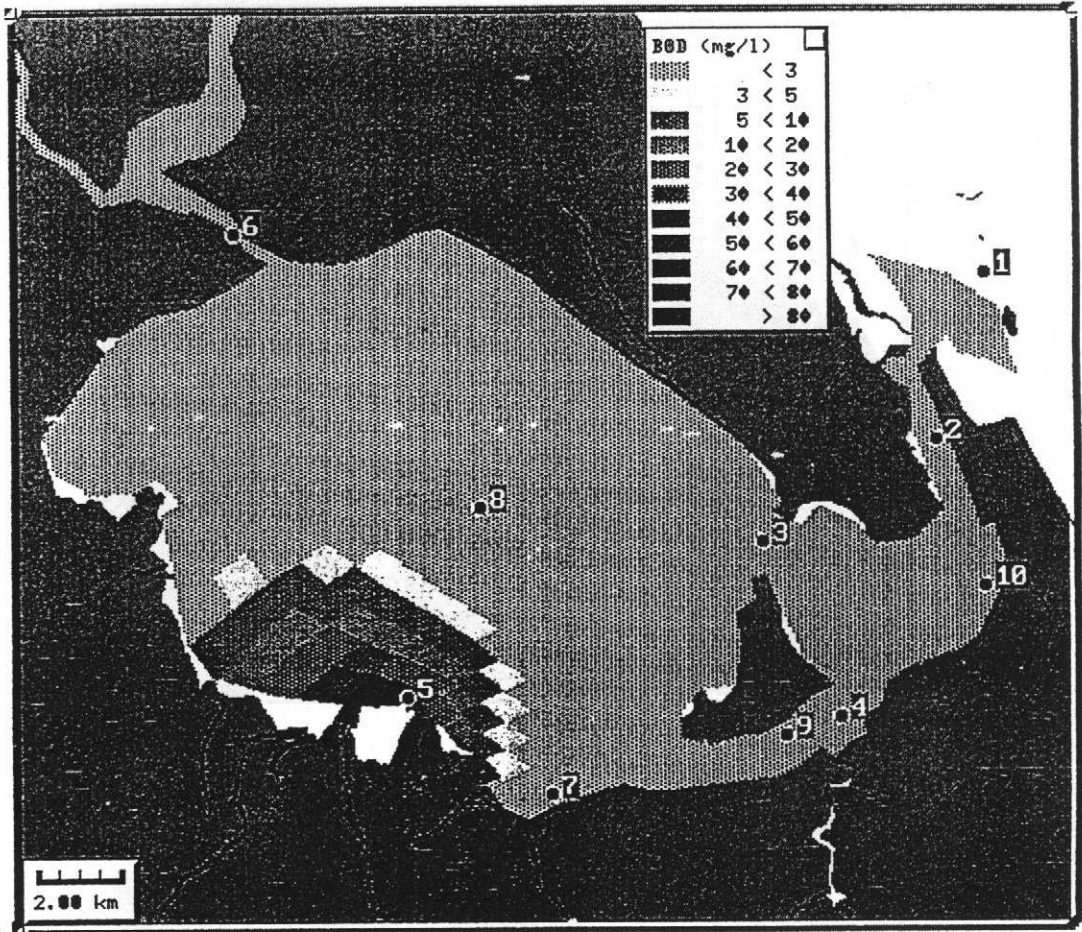


เมื่อเวลาผ่านไป 15 ชั่วโมง

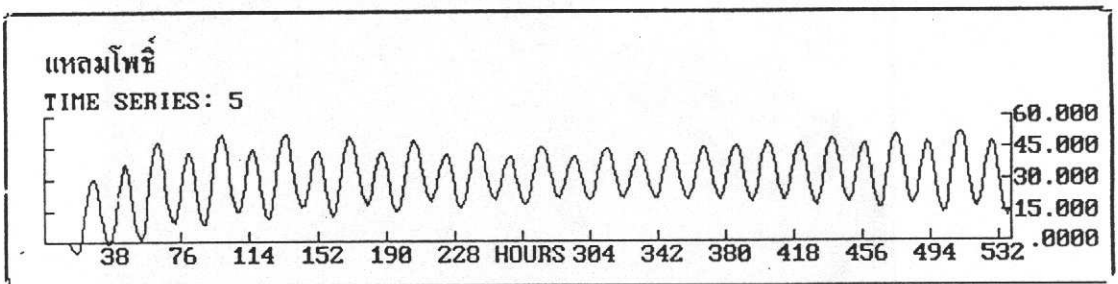


ภาคผนวก G การทำนายการแพร่ของ BOD (100 mg/l) ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

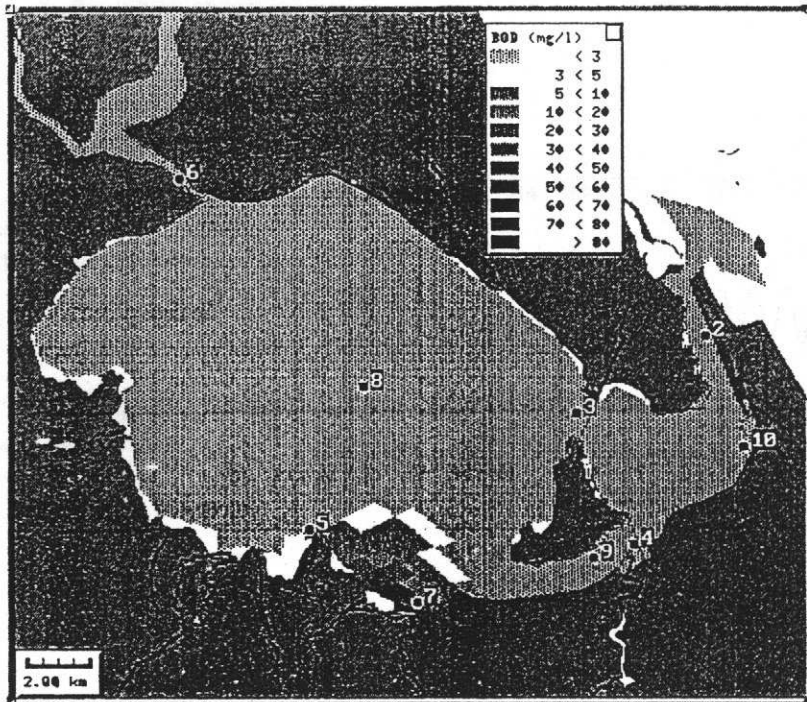
ภาคผนวก G1 การจำลองการแพร่ของ BOD จากคลองอุตะเถา



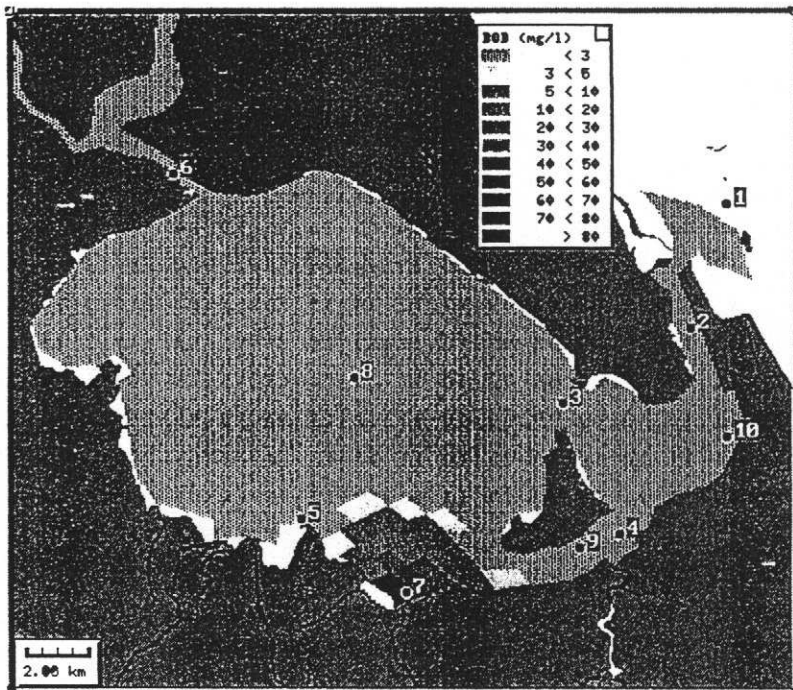
ภาคผนวก G1 การเปลี่ยนแปลงของ BOD กับเวลา



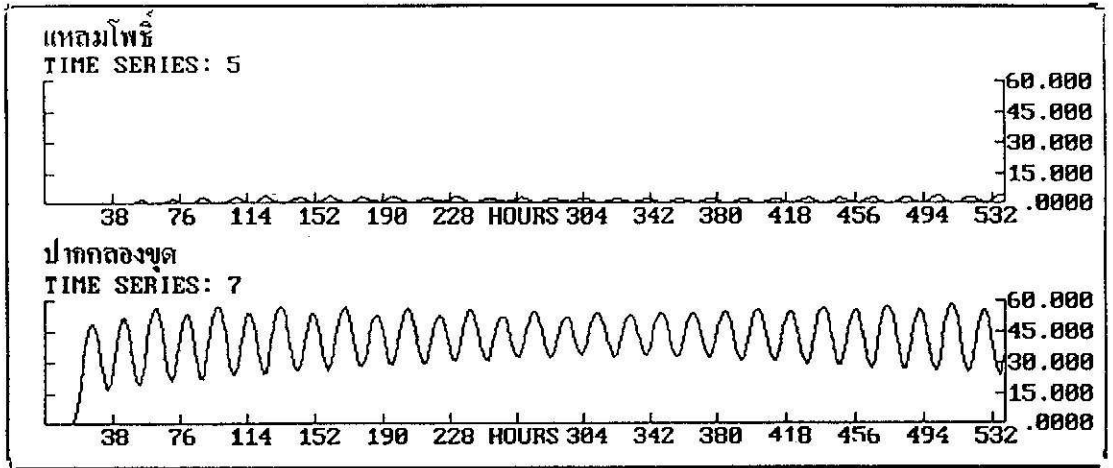
ภาคผนวก G2 การจำลองการแพร่ของ BOD จากคลองขุดช่วงน้ำขึ้น



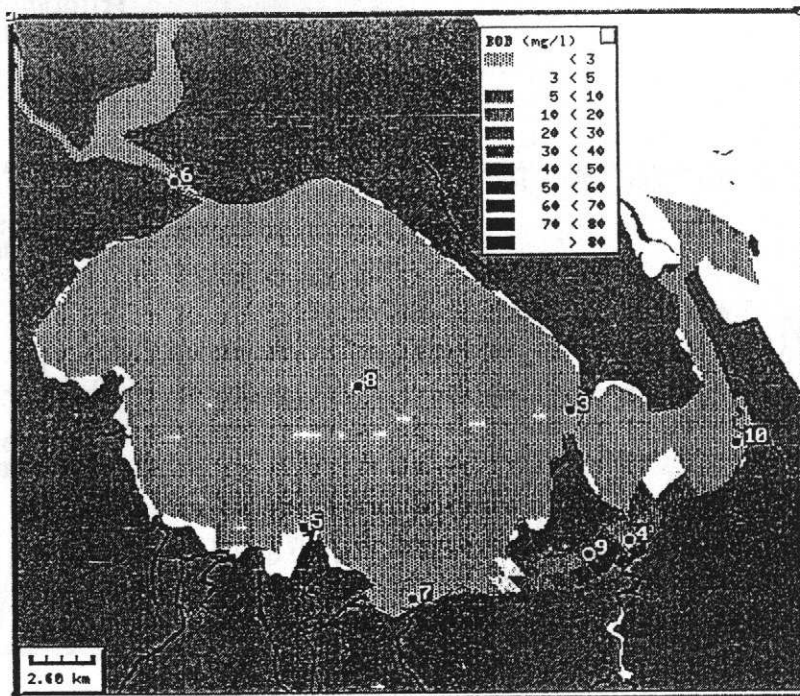
ภาคผนวก G2 การจำลองการแพร่ของ BOD จากคลองขุดช่วงน้ำลง



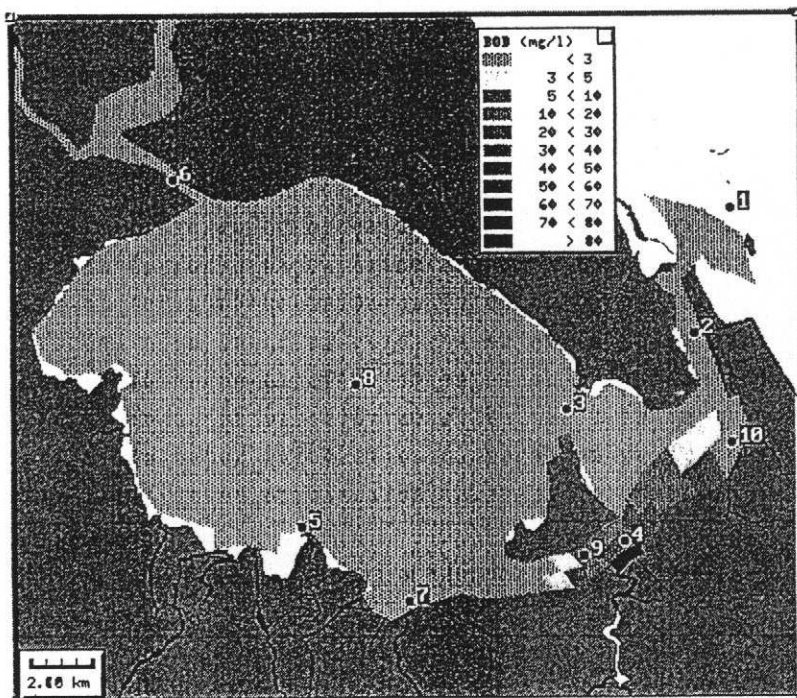
ภาคผนวก G2 การเปลี่ยนแปลงของ BOD กับเวลา



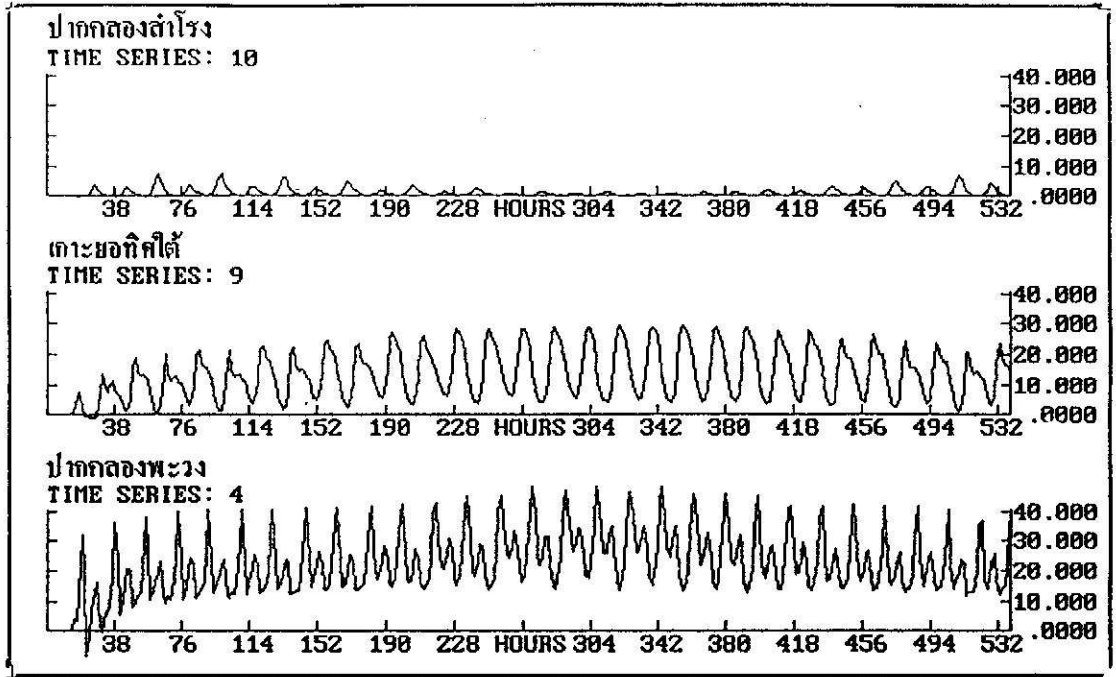
ภาคผนวก G3 การจำลองการแพร่ของ BOD จากคลองพะวงช่วงน้ำขึ้น



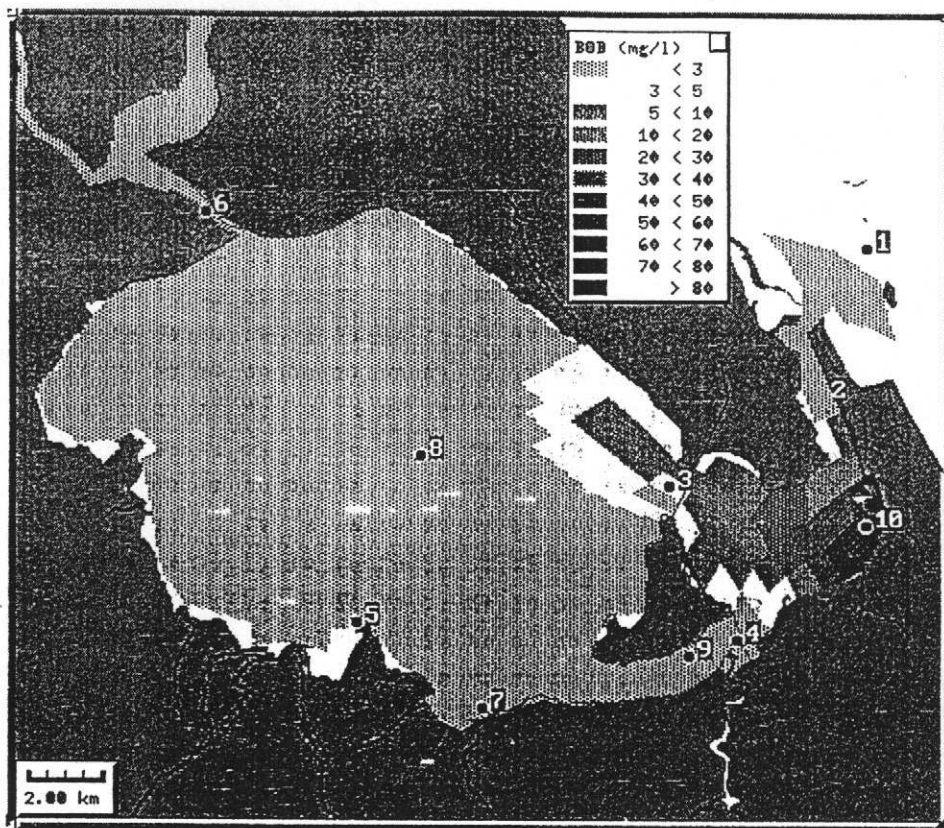
ภาคผนวก G3 การจำลองการแพร่ของ BOD จากคลองพะวงช่วงน้ำลง



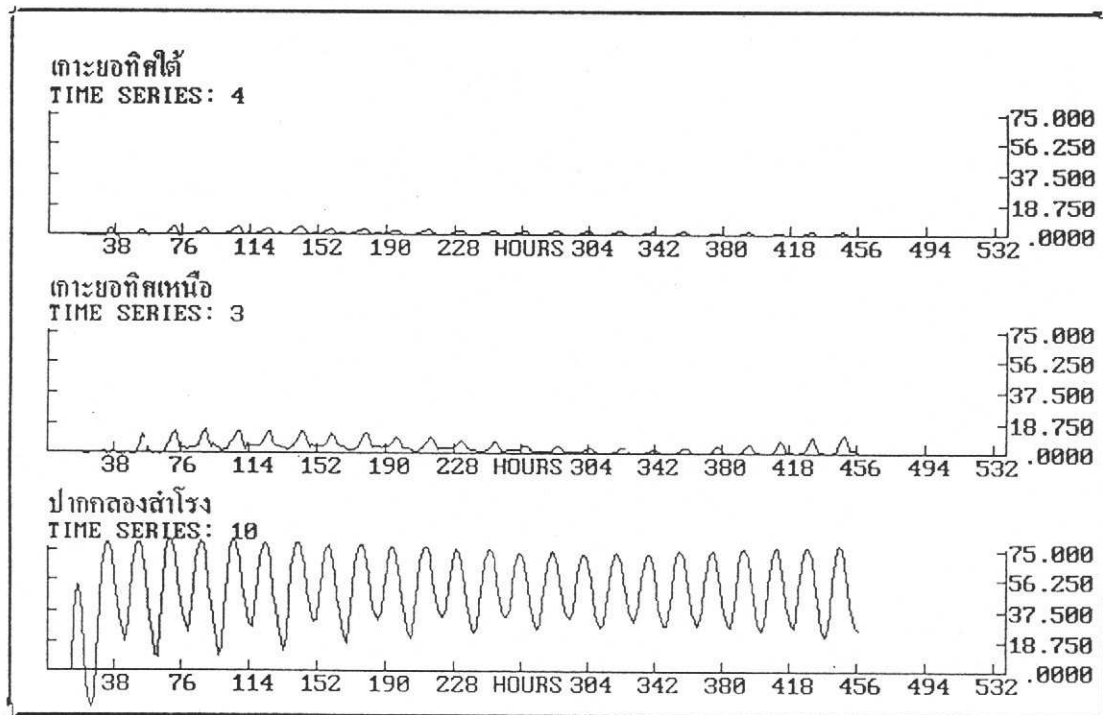
ภาคผนวก G3 การเปลี่ยนแปลงของ BOD กับเวลา



ภาคผนวก G4 การจำลองการแพร่ของ BOD จากคลองลำโรง



ภาคผนวก G4 การเปลี่ยนแปลงของ BOD กับเวลา



ภาคผนวก E

ผลการวิเคราะห์ Coliform Bacteria

14 และ 21 มิถุนายน 2540

Department of Microbiology

Faculty of Science

Prince of Songkla University

Hatyai, (074) 211030 Ext. 2635 ,2636

Fax (074) 446661



Product : water examination

Sampling : อาจารย์สมบูรณ์ พรพิเนตพงศ์

Techniques : Total bacterial count , coliform count and fecal coliform count
were performed by using the Standard Methods for the examination
of Water and Waste Water 1985 Americal Health Association

Lab no.	Sampling name	Sampling date	Total Baterial Count CFU/ml	Coliform count MPN/100 ml	Fecal coliform count MPN/ml	Remarks
1.	อัญชัญ	17-6-40	-	79	-	แหลมจวงถนน
2.	P30	17-6-40	-	33	-	ค.พะวง
3.	ภูมิ	17-6-40	-	920	-	ค. ภูมิ
4.	ปากรอก	17-6-40	-	5	-	ปากรอก
5.	ตะโน	17-6-40	-	1600	-	ค.ตะโน
6.	ประสาน	17-6-40	-	2	-	ปากพะยูน
7.	ลำปำ	17-6-40	-	>2400	-	ค. ลำปำ
8.	สมบูรณ์	17-6-40	-	>2400	-	ค. อู่ตะเภา

Tests conducted by : Anong Purivattanakul
(Mrs. Anong Purivattanakul)

Test approved by : Wilailak Klomklang
(Ms. Wilailak Klomklang)

Department of Microbiology

Faculty of Science

Prince of Songkla University

Hatyai, (074) 211030 Ext. 2635 ,2636

Fax (074) 446661



Product : water examination

Sampling : อาจารย์สมบูรณ์ พรพิเนตพงศ์

Techniques : Total bacterial count , coliform count and fecal coliform count

were performed by using the Standard Methods for the examination

of Water and Waste Water 1985 Americal Health Association

Lab no.	Sampling name	Sampling date	Total Baterial Count CFU/ml	Coliform count MPN/100 ml	Fecal coliform count MPN/ml	Remarks
1.	ป 1	23-6-40	-	13	-	ลำป้า
2.	ป 2	23-6-40	-	70	-	เกาะใหญ่
3.	ป 3	23-6-40	-	31	-	S เกาะยอ
4.	ป 4	23-6-40	-	17	-	N เกาะยอ
5.	ป 5	23-6-40	-	2	-	ปากวอ
6.	ป 6	23-6-40	-	920	-	ค.ลำป้า
7.	ป 7	23-6-40	-	>2400	-	ค.วังหลาม
8.	ป 8	23-6-40	-	1600	-	ปากพะยูน
9.	ตรวจเชื้อโรค	23-6-40	-	>2400	-	ค.ผู้ตะเภา

Tests conducted by :

Anong Purivattanakul

(Mrs. Anong Purivattanakul)

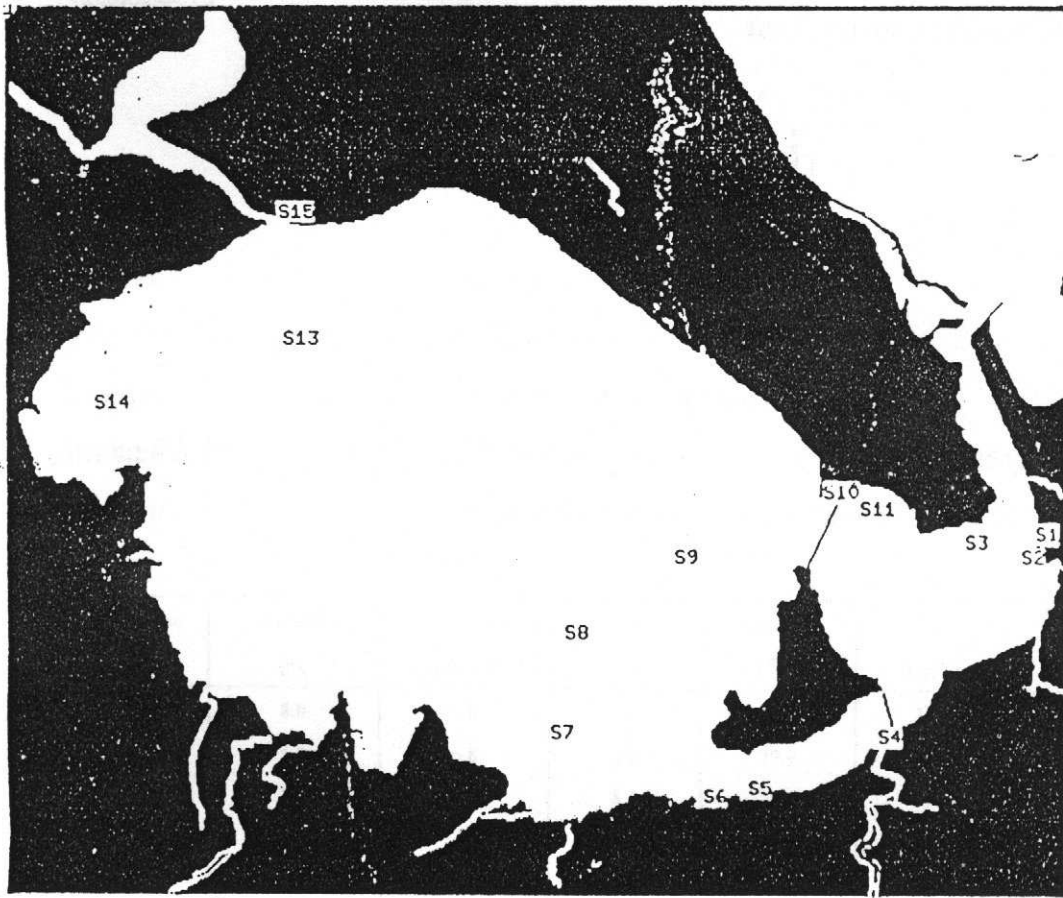
Test approved by :

Wilailak Klomklang

(Ms. Wilailak Klomklang)

ภาคผนวก F

รายงานผลการวิเคราะห์น้ำ
เดือนมีนาคม-เมษายน 2540



รูปที่ 1 ตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่าง (23 กุมภาพันธ์ 2540)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



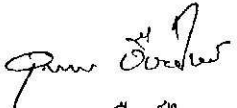
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

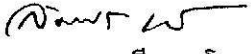
รายงานผลการวิเคราะห์น้ำ

งานเลขที่ : 538/2540
เจ้าของตัวอย่าง : ผศ. วินัย แซ่จิว
โครงการ : ตรวจสอบคุณภาพน้ำทะเลสาบสงขลา
ลักษณะตัวอย่าง : น้ำจากทะเลสาบสงขลา วันที่ 9 เมษายน 2540
ผู้ทดสอบ : น.ศ. กนกกร อ่อนสันต์ และ นางเสาวณีษ์ เบ็ญญู

Sample No.	ความลึก (m)	DO (mg/L)	pH	อุณหภูมิ (°C)	SS (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)
S1	8.0	5.6	8.1	29.3	343	1.4
S2	6.0	6.8	8.2	29.9	237	1.2
S3	2.0	6.2	8.1	29.2	383	1.3
S4	1.2	7.0	8.1	29.6	232	3.4
S5	1.0	6.2	8.1	29.6	247	3.4
S6	1.0	7.2	8.1	29.9	204	1.9
S7	0.8	8.2	8.1	30.1	87	2.6
S8	1.5	8.2	8.1	30.0	210	2.5
S9	1.5	6.7	8.1	29.6	242	0.7
S10	3.0	7.1	8.1	30.3	204	1.1
S11	1.5	6.8	8.2	29.1	244	0.8
S13	1.2	7.8	8.3	29.8	94	2.8
S14	1.5	7.4	8.3	30.6	143	4.3
S15	8.0	7.8	8.1	30.5	184	2.4

หมายเหตุ - เก็บตัวอย่างน้ำวันที่ 29 มีนาคม 2540


(นายอุดมผล พิชนไพบูลย์)
ผู้ควบคุมการทดสอบ


(นายสมพร เหริยชญ์)
รองหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



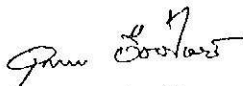
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รายงานผลการวิเคราะห์น้ำ

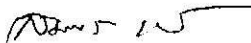
งานเลขที่ : 538/2540
เจ้าของตัวอย่าง : ผศ. วินัย แซ่จิว
โครงการ : ตรวจสอบคุณภาพน้ำทะเลสาบสงขลา
ลักษณะตัวอย่าง : น้ำจากทะเลสาบสงขลา วันที่ 3 มีนาคม 2540
ผู้ทดสอบ : น.ส. กนกกร อ่อนสันต์ และ นางเสาวณีษ์ เบ็ญนุ้ย

Sample No.	ความลึก (m)	DO (mg/L)	pH	อุณหภูมิ (°C)	SS (mg/L)	BOD, (mg/L)
S1	9.0	6.1	7.8	28.3	263	1.3
S2	6.5	5.8	7.8	28.2	329	1.3
S3	3.0	5.9	7.8	29.0	342	1.5
S4	1.5	5.6	7.2	28.0	275	2.2
S5	1.5	5.5	7.6	28.0	287	1.8
S6	1.0	4.7	7.4	28.0	224	0.9
S7	1.5	6.4	7.6	29.0	197	1.4
S8	2.0	5.4	7.7	29.0	275	3.0
S9	1.8	5.2	7.8	28.0	310	1.0
S10	2.2	5.2	7.8	28.0	240	0.4
S11	1.5	5.4	7.7	28.0	258	1.0
S13	-	-	7.2	-	98	2.1
S14	-	-	7.1	-	45	1.1
S15	-	-	7.0	-	130	1.7

หมายเหตุ - เก็บตัวอย่างน้ำวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2540


(นายอุดมผล พิชนไพบุลย์)

ผู้ควบคุมการทดสอบ


(นายสมพร เหมรัมย์)

รองหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์