

การเคลื่อนที่ของความเค็มในทะเลสาบสงขลา

สมบูรณ์ พรพิเนตพงศ์¹

Abstract

Pornpinatepong, S.¹

Salt transport in Songkhla Lake

Songklanakarin J. Sci. Technol., 2005, 27(4) : 889-900

Salinity surveys in 1997 revealed that in the dry season salinity in Thale Sap Songkhla, Thale Sap and Thale Luang reached the maximum values of 30, 11 and 5 ppt, respectively. Among the complex system of the lake, Khlong Pak Ro showed a complicate seawater transport with a maximal salinity of 20 ppt. Incomplete mixing with a stratification at a depth of 2-3 m occurred. The difference in salinity between the surface and the bottom was about 3 ppt.

A vertically-averaged salt transport model was employed to simulate the salinity intrusion in the lake. The results showed quite good agreement with the observation. The model depicted a sharp drop of the water level at the entrance from the Gulf into the lake. The tidal energy then spread widely in Thale Sap Songkhla and continuously decreased to Thale Luang. The predicted salinity indicated that salt transport in the lake is governed by tide and water losses from the lake. Tidal movement generated a quasi-steady state of salinity in three months. The water losses for two months caused the salinity to rise 5.8 ppt/1 mm/day loss (~13 m³/s) at Pak Ro. With a loss of 2.3 mm/day (~28 m³/s), the whole lake became brackish in three months. The salt entered the lake mainly through Khlong Luang, and only for 13 percent through Ao Thong Ben.

Key words : hydrodynamics, salt transport, Songkhla Lake, Khlong Pak Ro

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112, Thailand.

¹Ph.D.(Ocean Engineering), ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

E-mail: somboon.p@psu.ac.th

รับต้นฉบับ 22 พฤศจิกายน 2547

รับลงพิมพ์ 24 มกราคม 2548

บทคัดย่อ

สมบุรณ์ พรพิเนตพงศ์

การเคลื่อนที่ของความเค็มในทะเลสาบสงขลา

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2548 27(4) : 889-900

การสำรวจความเค็มตลอดปี 2540 พบว่าในฤดูแล้งความเค็มในทะเลสาบสงขลา ทะเลสาบ และทะเลหลวง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 30 11 และ 5 ppt ตามลำดับ โดยที่การแลกเปลี่ยนระหว่างมวลน้ำจืดและน้ำเค็มจะถูกควบคุมโดย คลองปากกรอที่ซึ่งมีความซับซ้อนทางอุทกพลศาสตร์ ความเค็มสูงสุดที่ปากกรอวัดได้เท่ากับ 20 ppt และมีการผสม ผสานในแนวตั้งอย่างไม่สมบูรณ์ การแยกชั้นของความเค็มเกิดขึ้นที่ความลึก 2-3 เมตร และมีความแตกต่างของความเค็มที่ผิวและพื้นคลองประมาณ 3 ppt

แบบจำลองคณิตศาสตร์การเคลื่อนที่ของความเค็มแบบค่าเฉลี่ยในแนวตั้งถูกนำมาประยุกต์กับระบบทะเลสาบ สงขลา ซึ่งพบว่าสามารถจำลองการรุกของความเค็มได้ค่อนข้างดี การพยากรณ์การรุกของน้ำเค็มชี้ว่ากระบวนการ พัฒนาภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและการสูญเสียปริมาณน้ำในทะเลสาบ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การรุกของน้ำเค็ม เป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยน้ำขึ้นน้ำลงจะทำให้ความเค็มในทะเลสาบเข้าสู่สภาวะคงตัว (quasi-steady state) ในเวลา ประมาณ 3 เดือน ส่วนการสูญเสียปริมาณน้ำจากการระเหยต่อเนื่อง 2 เดือน ทำให้ความเค็มที่ปากกรอจะเพิ่มขึ้นใน อัตรา 5.8 ppt/การสูญเสียน้ำ 1 มม/วัน (~13 ลบ.เมตร/วินาที) และถ้าสูญเสียน้ำในอัตรา 2.3 มม/วัน (~28 ลบ.เมตร/ วินาที) จะทำให้ทั่วทั้งระบบทะเลสาบสงขลาเป็นน้ำกร่อยภายในเวลา 3 เดือน โดยความเค็มที่ผ่านคลองปากกรอ ส่วนใหญ่จะแยกไหลเข้าสู่คลองหลวงและส่วนที่เหลือประมาณ 13% ผ่านไปทางอ่าวตังเกี๋ย

ระบบทะเลสาบสงขลาเป็นแหล่งน้ำกร่อยขนาดใหญ่ ที่ประกอบด้วยผืนน้ำ 3 ส่วนที่เชื่อมโยงกัน คือ ทะเลสาบ สงขลา ซึ่งตั้งอยู่ทางตอนล่างครอบคลุมพื้นที่ 190 ตร.กม อันเป็นเขตน้ำเค็มที่ติดต่อกับอ่าวไทย ทะเลสาบซึ่งเป็นเขต ของน้ำกร่อยที่อยู่บริเวณตอนกลางมีเกาะแก่งมากมายและ ค่อนข้างตื้นมีพื้นที่รวมประมาณ 376 ตร.กม และทะเล-

หลวงที่จัดเป็นแหล่งน้ำจืดขนาดใหญ่ที่ตั้งอยู่ทางตอนบนมี ผืนผิวน้ำขนาด 491 ตร.กม รายละเอียดของปริมาณน้ำ ต่อปีในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ ระบบทะเลสาบสงขลาแสดงไว้ใน Table 1 (John Taylor and Sons, 1985) ฤดูฝนและฤดูแล้งอยู่ระหว่างเดือน ตุลาคม-มกราคม และกุมภาพันธ์-สิงหาคม ตามลำดับ โดย

Table 1. Annual water budget of Songkhla Lake system. (John Taylor and Sons, 1985)

| | Depth (mm) | Volume (million m ³) | Area (km ²) |
|----------------------------|---------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Rainfall on land | 1,880 | 12,855 | 6,838 ¹ |
| Evaporation | 1,080 | 7,385 | 6,838 |
| Net irrigation withdrawals | 642 | 450 | 700 ² |
| Domestic water supply | 40 | 50 | 200 ³ |
| River flow | 730 | 4,970 | 6,838 |
| Rainfall on lake | 2,000 | 2,364 | 1,182 |
| Evaporation from lake | 1,400 | 1,655 | 1,182 |
| Flow to sea | 710 | 5,679 | 8,020 |

1 = basin land area, 2 = total paddy area, 3 = area of Khlong U-Taphao catchment

มีปริมาณฝนตกกระจายตัวอยู่ระหว่าง 1,600-2,400 มม./ปี (John Taylor and Sons, 1985)

การรุกของน้ำเค็มในทะเลหลวงได้รับการบันทึกโดย ณรงค์ (2522) พบว่ามีสภาพเป็นน้ำกร่อยมีความเค็มแปรเปลี่ยนอยู่ระหว่าง 2.5-7.8 ppt ต่อมา สมภพ (2525) ทำการวัดคุณภาพน้ำในทะเลหลวงเป็นเวลา 9 เดือน พบว่าน้ำเค็มรุกถึงทะเลน้อยมีค่าอยู่ระหว่าง 1-2 ppt การรุกของน้ำเค็มในระบบทะเลสาบสงขลาได้รับการรวบรวมอย่างเป็นระบบโดย VKI และคณะ (1997) รายงานว่าระหว่างปี พ.ศ. 2533-38 ที่สถานีสูบน้ำอำเภอรอนดงซึ่งอยู่ตอนบนของทะเลหลวง มีสภาพเป็นน้ำกร่อยถึง 10 ppt และระบุว่า การระบายน้ำเค็มจากนาุ้งลงสู่ทะเลหลวงและการใช้น้ำเพื่อการเกษตรทำให้ความเค็มในทะเลหลวงเพิ่มขึ้นถึง 17 ppt เทสโก้ และคณะ (2536) รายงานว่าความเค็มที่ปากทะเลสาบสงขลามีค่าแปรเปลี่ยนอยู่ระหว่าง 20-35 ppt และในฤดูแล้งน้ำทะเลรุกเข้าสู่ทะเลสาบทำให้ความเค็มที่เกาะใหญ่มีค่าอยู่ระหว่าง 5-11 ppt ขณะที่การสำรวจความเค็มทั่วทั้งระบบทะเลสาบสงขลาระหว่างเดือนมีนาคม 2540 ถึงมีนาคม 2541 ที่ดำเนินการโดย ธวัช และคณะ (2541) พบว่าในฤดูฝนทั่วทั้งทะเลสาบจะเป็นน้ำจืด ส่วนในฤดูแล้งความเค็มรุกถึงเกาะใหญ่ในทะเลหลวงโดยในเดือนกรกฎาคมความเค็มมีค่าสูงถึง 4.5 ppt ภาสกร และยงยุทธ (2542) รวบรวมข้อมูลความเค็มในรูปของ GIS และระบุว่าความเค็มในทะเลหลวงแกว่งตัวอยู่ระหว่าง 0.7-1.9 ppt

วิธีการศึกษา

การเคลื่อนที่ของความเค็มเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงจำกัดการศึกษาอยู่ในสองปัจจัยคือ ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและการสูญเสียปริมาณน้ำในระบบทะเลสาบ วิธีการศึกษาประกอบด้วย (1) การสำรวจข้อมูลสมุทรศาสตร์และการผสมผสานของความเค็มในทะเลสาบสงขลา และ (2) การพยากรณ์การเคลื่อนที่ของความเค็มด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์แบบ 2 มิติ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

การสำรวจข้อมูลสมุทรศาสตร์ ประกอบด้วย

1. ความเค็มรายเดือนในระบบทะเลสาบสงขลา ตลอดปี 2540 ตั้งแต่ปากทะเลสาบถึงทะเลหลวง

2. ระดับน้ำ 3 แห่ง คือ ที่บ้านแหลมโพธิ์ บ้านปากกรอ และอำเภอปากพะยูน ซึ่งอยู่ห่างจากปากทางเข้าทะเลสาบสงขลาประมาณ 22 และ 43 กม. ตามลำดับ

3. ความเร็วกระแส 4 แห่ง คือ ที่ร่องน้ำทิศเหนือและทิศใต้ของเกาะยอ คลองปากกรอ และที่ปากพะยูน

4. การกระจายความเร็วและความเค็ม ตามความลึกที่คลองปากกรอ

การพยากรณ์ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ทางอุทกพลศาสตร์และการเคลื่อนที่ของน้ำเค็ม

ในการศึกษานี้ใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์และการเคลื่อนที่ของความเค็มแบบ 2 มิติ ในระบบพิกัดทรงกลม (ϕ , θ , r) และพิกัดในแนวราบจะถูกแปลงให้เป็นระบบพิกัดฉากเพื่อความสะดวกในการคำนวณ (Spaulding, 1984 และ Swanson, 1986) ส่วนในแนวตั้งเป็นแบบพิกัดซิกมา (σ -coordinates) โดยให้คำตอบเป็นค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ปัจจุบันเป็นลิขสิทธิ์ของ Applied Sciences Associates, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีสมมติฐานการเคลื่อนที่ของมวลน้ำเป็นไปตามสมการ shallow water wave รายละเอียดของแบบจำลองฯ สามารถศึกษาได้ที่ www.appsci.com ขั้นตอนการศึกษามีดังนี้

1. การสังเคราะห์คุณลักษณะของน้ำขึ้นน้ำลงที่ปากทางเข้าทะเลสาบสงขลา เพื่อใช้เป็นแรงขับเคลื่อนมวลน้ำในแบบจำลองฯ

2. การตรวจสอบและปรับเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เหมาะสม

3. การศึกษาผลกระทบการรุกของน้ำเค็มในระบบทะเลสาบสงขลาและคลองปากกรอ

4. การพยากรณ์การรุกของน้ำเค็มภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและการสูญเสียปริมาณน้ำในระบบทะเลสาบสงขลา

ผลการศึกษา

รูปทรงสัณฐานของทะเลสาบสงขลา

Figure 1 แสดงความลึกท้องทะเลสาบตามแนวร่องน้ำตั้งแต่ปากทะเลสาบสงขลาถึงทะเลหลวง (ธวัช และ

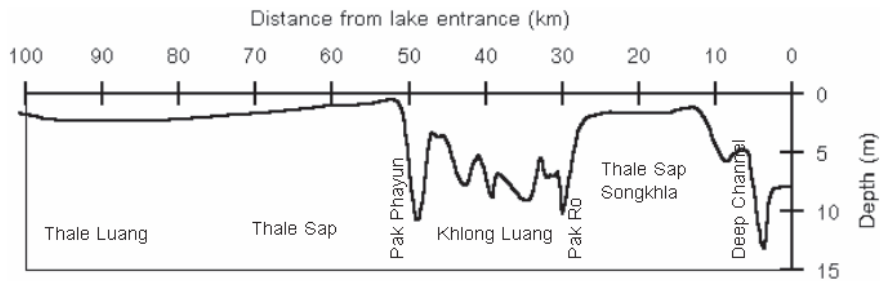


Figure 1. Depth along deep channel from lake entrance to Thale Luang.

คณะ, 2541) จะเห็นว่าบริเวณที่มีลักษณะเป็นทางน้ำจะมีความลึกมาก โดยวัดความลึกมากที่สุดวัดได้ประมาณ 13 เมตร ที่ร่องน้ำทางเข้าทะเลสาบสงขลา ร่องลงมาคือ ที่ปากกรอและปากพะยูน ซึ่งมีความลึกอยู่ระหว่าง 7-10 เมตร และ 11 เมตร ตามลำดับ บริเวณที่ค่อนข้างตื้นอยู่ที่ทะเลสาบตอนกลางซึ่งมีความลึกประมาณ 1-1.5 เมตร

ระดับน้ำและกระแส

จากการข้อมูลระดับน้ำของสำนักงานอุทกวิทยาที่ 8 กรมชลประทานที่บ้านแหลมโพธิ์ ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศใต้ของเกาะยอ พบว่ามีพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงแปรเปลี่ยนอยู่ระหว่าง 9.5-23 ซม. ในช่วงน้ำตาย-น้ำเกิด และเมื่อเคลื่อนเข้าสู่คลองปากกรอค่าพิสัยจะลดลงเป็น 6-14 ซม. และที่ปากพะยูนมีค่าเหลือเพียง 4-8.5 ซม.

การไหลเวียนในทะเลสาบในฤดูแล้งได้รับการตรวจวัดอย่างต่อเนื่องกัน โดยความเร็วกระแสน้ำที่ปากกรอได้รับการบันทึกเมื่อ 7-8 และ 14-17 มิถุนายน 2540 วัดความเร็วสูงสุดในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงได้เท่ากับ 0.46 และ 0.20 เมตร/วินาที ตามลำดับ ที่เกาะยอร่องน้ำทางทิศใต้และทิศเหนือของเกาะยอวัดระหว่างวันที่ 27-29 มิถุนายน 2540 และ 29 มิถุนายน - 1 กรกฎาคม 2540 โดยที่ทิศใต้ของเกาะยอมีค่าความเร็วสูงสุดในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงเท่ากับ 0.42 และ 0.44 เมตร/วินาที ส่วนที่ทิศเหนือของเกาะยอกระแสน้ำมีกำลังค่อนข้างแรง ความเร็วช่วงน้ำลงและน้ำขึ้นวัดได้สูงสุด 0.66 และ 0.42 เมตร/วินาที ต่อจากนั้นทำการวัดความเร็วที่ช่องแคบปากพะยูนระหว่างวันที่ 22-23 มิถุนายน 2540 ซึ่งพบว่าความเร็วค่อนข้างแปรปรวนโดยมีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 0.23 และ 0.27 เมตร/วินาที ในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง

การรุกของน้ำเค็มในระบบทะเลสาบสงขลา

การเคลื่อนที่ของความเค็มที่กึ่งกลางความลึกน้ำได้รับการตรวจวัดรายเดือนทั่วทั้งระบบทะเลสาบสงขลา ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2540 - มีนาคม 2541 (Figure 2) ซึ่งพบว่าน้ำทำในปริมาณมากในตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2539 - มกราคม 2540 ทำให้เกือบทั่วทะเลสาบมีสภาพเป็นน้ำจืด เว้นแต่ที่ร่องน้ำเกาะยอและทางเข้าทะเลสาบสงขลา ซึ่งพบการแยกตัวของชั้นความเค็ม (pycnocline) โดยในเดือนมกราคมที่ร่องน้ำเกาะยอมีความเค็มที่ผิวน้ำและที่พื้นเท่ากับ 3 และ 15 ppt ตามลำดับ และที่ทางเข้าทะเลสาบสงขลาความเค็มที่ผิวน้ำและที่พื้นเท่ากับ 5 และ 27 ppt ฝนที่ตกหนักในเดือนกุมภาพันธ์ 2540 ทำให้ทะเลสาบยังคงสภาพน้ำจืดจนถึงเดือนมีนาคม 2540 ในเดือนเมษายน 2540 พบว่ามีกรุกของน้ำเค็มจนถึงทะเลสาบตอนกลางโดยความเค็มที่อำเภอปากพะยูนวัดได้ 2.5 ppt จากนั้นค่อนข้างคงตัวจนถึงพฤษภาคม การรุกของน้ำเค็มอย่างรุนแรงเริ่มในเดือนมิถุนายนโดยที่ปากพะยูนมีความเค็มถึง 7.5 ppt และรุนแรงที่สุดในเดือนกรกฎาคมเมื่อความเค็มที่ปากพะยูนและเกาะใหญ่มีค่าสูงถึง 9.1 และ 4.5 ppt ตามลำดับ หลังจากนั้นความเค็มเริ่มลดลงจนเกือบทั่วทั้งทะเลสาบมีสภาพเป็นน้ำจืดในเดือนตุลาคม เป็นที่น่าสังเกตว่าในช่วงฤดูแล้งสีของน้ำในแต่ละส่วนของระบบทะเลสาบจะแตกต่างกันไป โดยในทะเลหลวงจะมีสีค่อนข้างเหลือง ขณะที่ในทะเลสาบสงขลาที่น้ำมีความเค็มจัดจะใสไม่มีสี

จาก Figure 2 สังเกตได้ว่าที่เกาะยอความเค็มเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 20-31 ppt และลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงปากกรอที่ซึ่งความเค็มแกว่งตัวอย่างมากระหว่าง 5-20 ppt จากนั้นความเค็มค่อนข้างคงที่ไปจนถึงปากพะยูน ก่อนที่

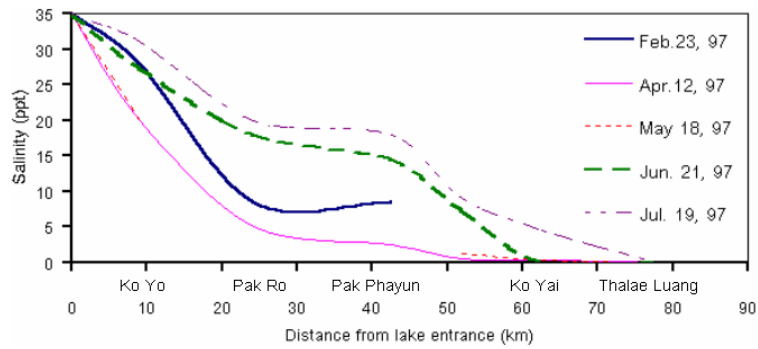


Figure 2. Salinity intrusion in Songkhla lake in 1997.

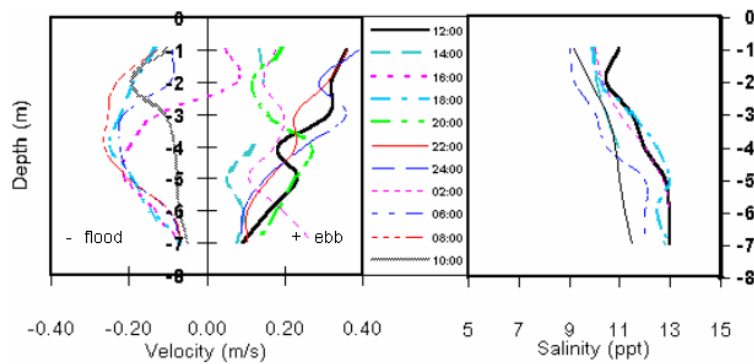


Figure 3. Vertical velocity and salinity profile at Pak Ro during August 9-10, 1997.

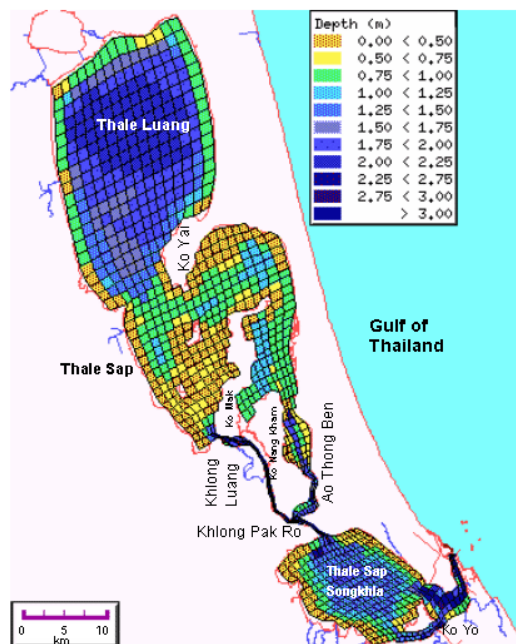


Figure 4. Model domain covering Songkhla lake system.

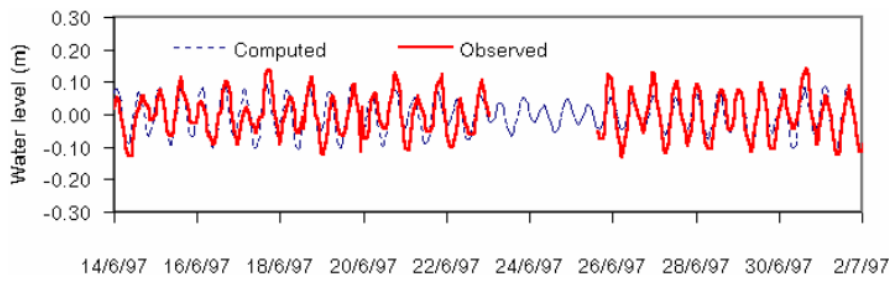


Figure 5. (a) Computed water level and observed at Laem Pho in June 1997.

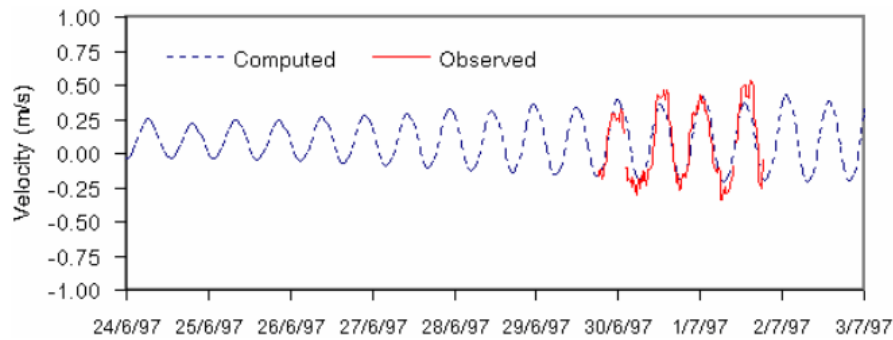


Figure 5. (b) Computed velocity and observed at north of Ko Yo during June 30 - July 1, 1997.

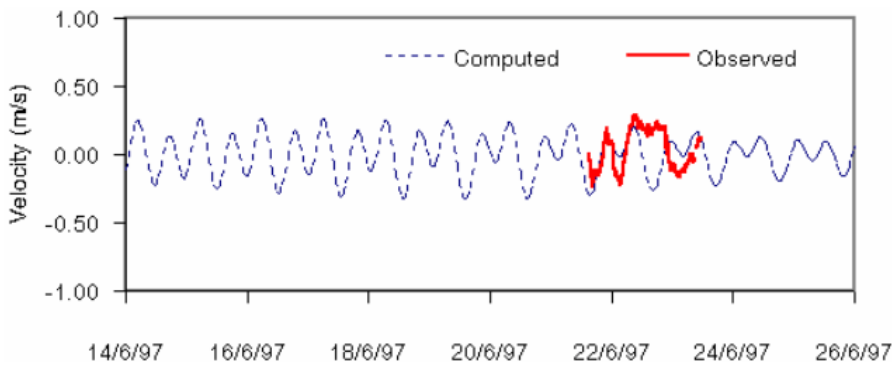


Figure 6. Computed velocity and observed at Pak Phayun during June 22-23, 1997.

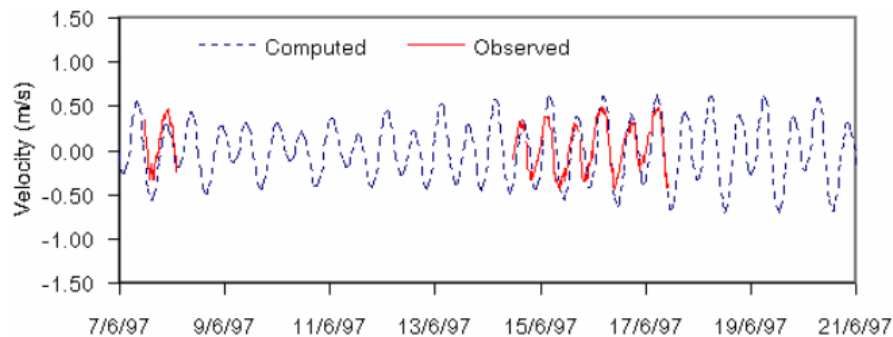


Figure 7. Computed velocity and observed at Pak Ro during June 7-17, 1997.

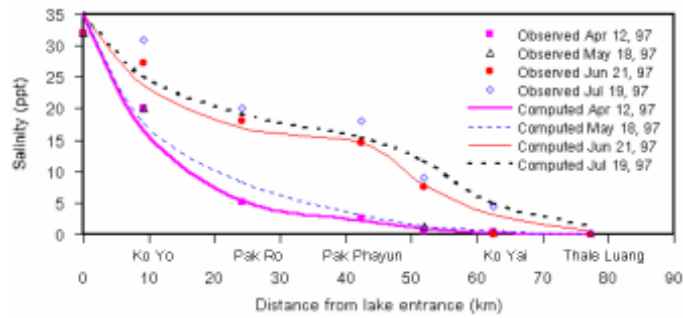


Figure 8. Comparison of computed salinity and observed in Songkhla lake in June 1997.

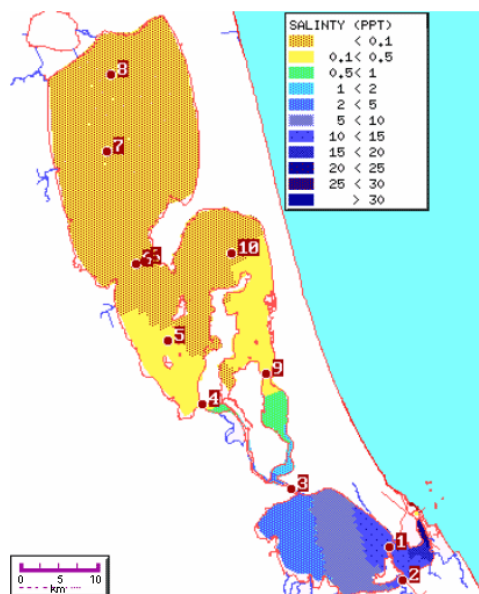


Figure 9. Salinity pattern due to tidal current for three months.



Figure 10. Net flow through Khlong Pak Ro due to water loss.

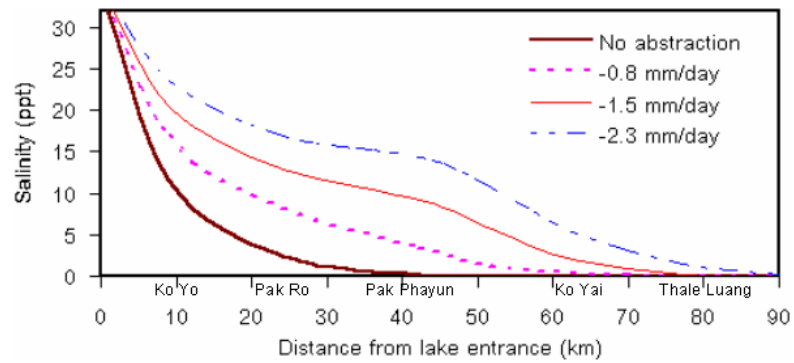


Figure 11. (a) Salt intrusion in the lake due to water losses for 60 days.

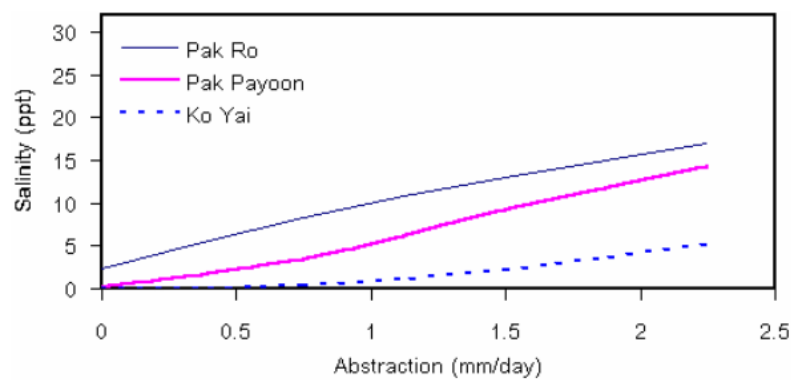


Figure 11. (b) Salinity rise at different rates of water losses for 60 days.

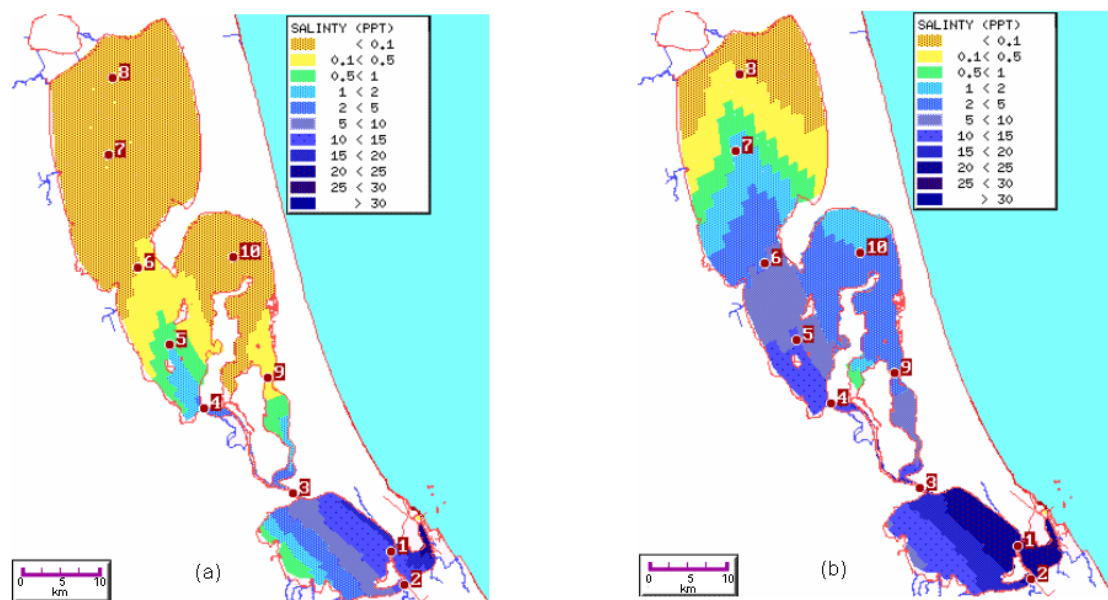


Figure 12. Salinity pattern due to water losses at the rate 1.5 mm/day for (a) 1 month and (b) 3 months.

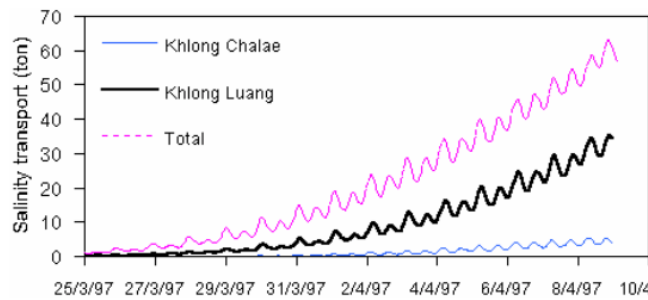


Figure 13. Computed salt flux through Pak Ro channel, Khlong Luang and Khlong Chalaie.

จะลดลงอย่างฉับพลันเมื่อเข้าสู่ทะเลสาบและแพร่ไปอย่างช้าๆ สู่ทะเลหลวง จากคุณลักษณะข้างต้นชี้ว่าปากอ้อมมีความสำคัญอย่างมากในการควบคุมพฤติกรรมทางสมุทรศาสตร์ของระบบทะเลสาบสงขลา

การผสมผสานของความเค็มในคลองปากอ้อม

การผสมผสานของความเค็มในคลองปากอ้อมได้รับการสำรวจในวันที่ 9 สิงหาคม 2540 โดยการวัดความเค็มตามแนวตั้งที่ต่างๆ ความลึก 1 เมตรรายชั่วโมงต่อเนื่องในหนึ่งรอบของน้ำขึ้นน้ำลง (Figure 3) จากรูปจะเห็นว่าทั้งความเร็วและความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสน้ำและพบว่าการแบ่งชั้นความเค็มเกิดขึ้นที่ความลึกประมาณ 2 เมตรจากผิวน้ำ ความเค็มค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงที่ความลึกประมาณ 5 เมตร จากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยความแตกต่างระหว่างความเค็มที่ผิวและท้องทะเลมีค่าประมาณ

3 ppt แสดงถึงการผสมผสานที่ไม่สมบูรณ์ (incompletely mixed) สังเกตว่าช่วงน้ำขึ้นความเร็วที่ผิวน้ำจะมีค่าน้อยและตำแหน่งที่ความเร็วสูงสุดอยู่ที่ความลึก 3-4 เมตรแสดงถึงแรงขับเคลื่อนมวลน้ำที่ส่วนทางกันระหว่างที่ผิวน้ำและท้องคลอง

การประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ 2 มิติกับระบบทะเลสาบสงขลา

Figure 4 แสดงขอบเขตของแบบจำลอง (model domain) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ผิวน้ำตั้งแต่ปากทะเลสาบสงขลาถึงทะเลหลวง ขนาดของกริดสำหรับการคำนวณเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิประเทศ โดยมีขนาดอยู่ระหว่าง 100-1500 เมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการ ความลึกของทะเลสาบ (ธวัช และคณะ, 2541) ถูกบันทึกไว้ที่กึ่งกลางของแต่ละกริด

Table 2. Salt intrusion in Songkhla lake due to tidal current.

| Location | Ko Yo | Pak Ro | Pak Phayun | Thale Sap |
|----------------------------------|-------|--------|------------|-----------|
| Distance from lake entrance (km) | 9 | 24 | 42 | 52 |
| Salt intrusion (ppt): 30 days | 8.2 | 0.63 | 0.01 | 0.00 |
| Salt intrusion (ppt): 60 days | 11.6 | 2.35 | 0.19 | 0.03 |
| Salt intrusion (ppt): 90 days | 13.85 | 3.85 | 0.48 | 0.12 |

Table 3. Predicted salt transport through Khlong Pak Ro.

| Days of salt transport | 1 day | 5 days | 10 days | 15 days |
|------------------------|-------|--------|---------|---------|
| Salt transport (ton) | 2 | 9 | 29 | 61 |

การตรวจสอบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์

คุณลักษณะของน้ำขึ้นน้ำลงในปี 2540 ที่เกาะหนู ซึ่งพยากรณ์โดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ (กรมอุทกศาสตร์, 2540) ได้รับการวิเคราะห์เชิงฮาร์โมนิก (Franco, 1981) เพื่อใช้เป็นแรงขับเคลื่อนมวลน้ำในแบบจำลองคณิตศาสตร์ การวิเคราะห์ชี้ว่าน้ำขึ้นน้ำลงที่เกาะหนูสามารถอธิบายได้ด้วยแอมพลิจูด (ซม.) และเฟส (องศา) ของ 5 องค์ประกอบหลัก คือ K1 (6.0/267.9) O1 (4.3/1.6) P1 (4.6/298.6) M2 (19.3/104.7) และ S2 (6.6/344) สังเกตว่าน้ำคู้จะเป็นลักษณะเด่น และพบว่าระดับน้ำทะเลเฉลี่ย (mean tidal height) ในฤดูแล้งและฤดูฝนแตกต่างกันประมาณ 0.50 เมตร โดยต่ำสุดและสูงสุดในเดือนกรกฎาคมและธันวาคม ตามลำดับ

ระดับน้ำและความเร็วจากการวัดในเดือนมิถุนายน 2540 ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ เพื่อการเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองฯ Figure 5 แสดงการเปรียบเทียบระดับน้ำและความเร็วที่ทิศเหนือของเกาะหนู จะเห็นได้ว่าโดยภาพรวมผลการคำนวณค่อนข้างต่ำกว่าที่วัดได้ แต่อธิบายเวลาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำได้ค่อนข้างสอดคล้องกับการวัด ในทำนองเดียวกันแบบจำลองพยากรณ์ความเร็วได้ค่อนข้างต่ำกว่าค่าที่วัดได้ ยกเว้นที่อำเภอปากพะยูน (Figure 6) และที่ปากกรอ (Figure 7) ซึ่งแบบจำลองให้ค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้เล็กน้อย

การตรวจสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์การเคลื่อนที่ของความเค็ม

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของความเค็มมีความซับซ้อนมาก ในการศึกษาจึงกำหนดเงื่อนไขในการเปรียบเทียบแบบจำลองฯ ดังนี้

1. ในเดือนกุมภาพันธ์ 2540 ระบบทะเลสาบสงขลา มีสภาพเป็นน้ำจืด
2. ระหว่างเดือนมีนาคม-กรกฎาคม 2540 เป็นช่วงฤดูแล้ง การสูญเสียปริมาณน้ำในทะเลสาบที่อัตราต่างๆ ทำให้เกิดการรุกของน้ำเค็ม
3. ความเค็มที่ปากทะเลสาบสงขลา มีค่าคงที่เท่ากับ 35 ppt ตลอดฤดูแล้ง

Figure 8 แสดงการเปรียบเทียบความเค็มจาก

การคำนวณและการวัดในปี 2540 จะเห็นว่าแบบจำลองสามารถพยากรณ์การรุกของน้ำเค็มได้ค่อนข้างถูกต้องด้วยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เท่ากับ 0.001 ตร.เมตร/วินาที โดยมีปัจจัยที่สำคัญคือ การสูญเสียปริมาณน้ำในทะเลสาบจากการระเหยสุทธิอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่สุทธิของความเค็มเข้าสู่ทะเลสาบ สังเกตว่าแบบจำลองฯ พยากรณ์ความเค็มที่เกาะหนูได้น้อยกว่าที่เป็นจริง ขณะที่ในทะเลสาบตอนกลางได้ค่าสูงกว่าที่วัดได้

ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำเค็ม

1. จากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

ผลการพยากรณ์เนื่องจากแรงขับเคลื่อนมวลน้ำภายใต้กระแสขึ้นน้ำลง พบว่าการพัดพาในรอบของน้ำขึ้นน้ำลงทำให้ความเค็มเข้าสู่ระบบทะเลสาบอย่างช้าๆ และในที่สุดจะค่อยๆ เข้าสู่ภาวะคงตัว (quasi-steady state) ในเวลาประมาณ 3 เดือน โดยที่ปากกรอและปากพะยูนจะมีความเค็มสูงสุดประมาณ 4 และ 0.5 ppt ตามลำดับ (Table 2) ทั้งนี้พบว่าอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงไม่ส่งผลกระทบต่อความเค็มในทะเลหลวง Figure 9 แสดงรูปแบบการเคลื่อนที่ของความเค็มภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง โดยค่าของความเค็มแสดงด้วยแถบสี (raster) สังเกตว่าในทะเลสาบสงขลาจะมีสภาพเป็นน้ำเค็มจืด และลดลงอย่างฉับพลันเมื่อเข้าสู่คลองปากกรอ

2. จากการสูญเสียปริมาณน้ำ

จากข้อมูลภูมิอากาศที่สถานีตรวจอากาศเกษตร จ.พัทลุง ระหว่างปี 2525-43 พบว่าการสูญเสียน้ำสุทธิจากการระเหยระหว่างเดือนมกราคม-สิงหาคมมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.5 มม./วัน (~19 ลบ.เมตร/วินาที) ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นเงื่อนไขการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองฯ Figure 10 แสดงการไหลสุทธิผ่านคลองปากกรอ คลองหลวงและอ่าวท้องเบน ซึ่งมวลน้ำส่วนใหญ่ไหลไปทางคลองหลวงมากกว่าอ่าวท้องเบนในสัดส่วนประมาณ 5:1

การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองฯ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการรุกของน้ำเค็มกับการสูญเสียปริมาณน้ำ เนื่องจากการระเหยในทะเลสาบเป็นเวลา 2 เดือน (Figure 11a) พบว่าความเค็มที่ปากกรอ ปากพะยูน และเกาะใหญ่ จะเพิ่มขึ้นในอัตรา 5.8 7.3 และ 3.3 ppt ต่อการสูญเสียน้ำ

1 มม./วัน (~12.6 ลบ.เมตร/วินาที) ตามลำดับ (Figure 11b) การสูญเสียน้ำในอัตราประมาณ 2.3 มม./วัน (~28 ลบ.เมตร/วินาที) ต่อเนื่องเป็นเวลา 15 วัน จะทำให้น้ำเค็มสามารถรุกถึงเกาะใหญ่ และทั่วทั้งระบบทะเลสาบสงขลา จะมีสภาพเป็นน้ำกร่อยในเวลาประมาณ 90 วัน

Figure 12 แสดงรูปแบบการรุกของความเค็มเนื่องจากการสูญเสียน้ำในอัตรา 1.5 มม./วัน ต่อเนื่องเป็นเวลา 1 และ 3 เดือน จะเห็นได้ว่าในคลองปากกรอและคลองหลวงจะมีความเค็มค่อนข้างสูงเนื่องจากการถ่ายเทมวลน้ำสู่อ่าวเข้าสู่ทะเลสาบตอนบน โดยซีกตะวันตกของทะเลสาบน้ำจะเค็มกว่าซีกตะวันออก เนื่องจากอิทธิพลของการพัดพาในคลองหลวง

3. ปริมาณเกลือผ่านคลองปากกรอ

Table 3 และ Figure 13 แสดงผลการคำนวณปริมาณเกลือสะสมที่ผ่านคลองปากกรอ คลองหลวง และอ่าวท้องเบนในแต่ละเวลาเนื่องจากการสูญเสียปริมาณน้ำสู่อ่าวจากการระเหยในอัตรา 1.5 มม./วัน (~19 ลบ.เมตร/วินาที) (สมบุรณ์, 2547) ทำให้ความเค็มที่คลองปากกรอเพิ่มขึ้นในอัตราประมาณ 8 ตัน/วัน ซึ่งความเค็มส่วนใหญ่จะถูกพัดพาเข้าสู่คลองหลวง และที่เหลือผ่านไปทางอ่าวท้องเบน คิดเป็นสัดส่วน 6.5 : 1

สรุปผลการศึกษา

การเคลื่อนที่ของความเค็มในระบบทะเลสาบสงขลาได้รับการศึกษาอย่างเป็นระบบ โดยการสำรวจข้อมูลสมุทรศาสตร์ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับแบบจำลองคณิตศาสตร์แบบ 2 มิติ และนำไปพยากรณ์การรุกของน้ำเค็มภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและการสูญเสียปริมาณน้ำในทะเลสาบ

จากข้อมูลความเค็มรายเดือนตลอดปี 2540 พบว่าช่วงที่น้ำเค็มรุกอย่างรุนแรงจะอยู่ระหว่างเดือนมิถุนายน-กรกฎาคม โดยความเค็มที่คลองปากกรอ ปากพะยูน และเกาะใหญ่มีค่า 20 9 และ 4.5 ppt ตามลำดับ และข้อมูลความเค็มตามความลึกชี้ว่า โดยภาพรวมในฤดูแล้งระบบทะเลสาบมีการผสมผสานอย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้การผสมผสานอย่างไม่สมบูรณ์จะพบในร่องน้ำลึก โดยที่ปากกรอพบว่าการ

แยกชั้นของความเค็มเริ่มที่ความลึก 2 เมตรโดยความเค็มจะเพิ่มขึ้นจนถึงความลึก 5 เมตร ผลต่างของความเค็มที่ผิวน้ำและท้องทะเลสาบมีค่าประมาณ 3 ppt

การเปรียบเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์และการศึกษาสภาพไว้ พบว่าแบบจำลองฯ สามารถอธิบายการไหลเวียนและการเคลื่อนที่ของความเค็มได้อย่างถูกต้อง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เท่ากับ 0.001 ตร.เมตร/วินาที และการวิเคราะห์การรุกของความเค็ม พบว่าน้ำขึ้นน้ำลงทำให้เกิดการพัดพาความเค็มเข้าสู่ทะเลสาบอย่างรวดเร็ว และเข้าสู่ภาวะคงตัวในเวลาประมาณ 90 วัน โดยความเค็มที่ปากกรอและปากพะยูนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 4 และ 0.5 ppt ขณะที่ในทะเลหลวงยังคงเป็นน้ำจืด การสูญเสียปริมาณน้ำเนื่องจากการระเหยและการใช้น้ำในทะเลสาบทำให้การรุกของน้ำเค็มรุนแรงขึ้น โดยในเวลา 2 เดือน ความเค็มที่ปากกรอ ปากพะยูน และเกาะใหญ่ จะเพิ่มขึ้นในอัตรา 5.8 7.3 และ 3.3 ppt ต่อการสูญเสียน้ำ 1 มม./วัน (~12.6 ลบ.เมตร/วินาที) และถ้าสูญเสียน้ำในอัตรา 2.3 มม./วัน (~28 ลบ.เมตร/วินาที) ต่อเนื่องเป็นเวลา 3 เดือน จะทำให้ทั่วทั้งทะเลสาบมีสภาพเป็นน้ำกร่อย ผลการคำนวณยังแสดงให้เห็นว่าความเค็มจะเคลื่อนที่ผ่านทางคลองหลวงมากกว่าอ่าวท้องเบน โดยคิดเป็นสัดส่วน 6.5:1

เอกสารอ้างอิง

- กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ. 2540. มาตรฐานน้ำ น่าน้ำไทย แม่น้ำเจ้าพระยา-อ่าวไทย-ทะเลอันดามัน พ.ศ. 2540. โรงพิมพ์กองสร้างแผนที่ กรมอุทกศาสตร์ กรุงเทพฯ
- ณรงค์ ณ เชียงใหม่. 2522. การรุกตัวของน้ำเค็มในทะเลสาบสงขลาตอนใน พฤษภาคม 2521 - เมษายน. คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- เทสโก้, ปัญญาคอนซัลแตนท์ และพอลคอนซัลแตนท์. 2536. การศึกษาและออกแบบโครงการคั่นกั้นน้ำเค็มทะเลสาบสงขลา จังหวัดสงขลาและจังหวัดพัทลุง กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ธวัช ชิตตระการ สมบุรณ์ พรพิเนตพงศ์ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และไพบุลย์ นวลนิล. 2541. การศึกษาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการหาอัตราการตกตะกอนในทะเลสาบสงขลา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.
- ภาสกร ภูมิพลกรัง และยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร. 2542. การสำรวจพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและสภาวะคุณภาพน้ำใน

- บริเวณทะเลสาบสงขลาและบริเวณใกล้เคียง โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมและระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา. สมบูรณ์ พรพิเนตพงศ์. 2547. อุทกพลศาสตร์และการรุกของน้ำเค็มในช่องแคบปากอ่าว ทะเลสาบสงขลา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.
- สมภพ อินทสุวรรณ. 2525. สำหรับในทะเลสาบสงขลาบริเวณทะเลน้อยและทะเลหลวง. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา.
- Franco, A.S. 1981. Tides, Fundamentals, Analysis and Prediction, Institute of Technological Research, Sao Paulo.
- John Taylor and Sons. 1985. Songkhla Lake Basin Planning Study, Final Report, Vol. 4: Projects, Water Resources.
- John Taylor and Sons. 1985. Songkhla Lake Basin Planning Study, SLB sector paper 9, Surface Water Resources.
- Spaulding, M.L. 1984. A Vertically Averaged Circulation Model Using Boundary-Fitted Coordinates, J of Physical Oceanography, 14: 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.
- VKI, DHI, PEM Consult A/S, COWI A/S, Prince of Songkla University and Seatec International Ltd. 1998. THE EMSONG PROJECT, No.13, DANCED and Ministry of Science, Technology and Environment, Thailand.
- Applied Sciences Associates, Inc. (ASA): (<http://www.appsci.com>) [Oct 1, 2004].